

東海第二発電所 工事計画認可申請資料 提出リスト(強度)

No.	資料番号	資料名称	備考
1	工認-689 改1	V-3-5-4-4-2 管の基本板厚計算書	
2	工認-924 改0	V-2-1-13-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針	
3	工認-925 改0	V-2-1-13-2 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針	
4	工認-926 改0	V-2-1-13-3 平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針	
5	工認-927 改0	V-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針	
6	工認-928 改0	V-2-1-13-5 たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針	
7	工認-929 改1	V-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針	
8	工認-931 改0	V-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針	
9	工認-932 改0	V-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針	
10	工認-1050 改0	V-3-5-4-1-6 ストレーナ部ティーの応力計算書(高圧炉心スプレイ系)	
11	工認-1051 改0	V-3-5-4-2-6 ストレーナ部ティーの応力計算書(低圧炉心スプレイ系)	
12	工認-1057 改0	V-3-5-4-1-2 高圧炉心スプレイ系ストレーナの強度計算書	
13	工認-1058 改0	V-3-5-4-2-2 低圧炉心スプレイ系ストレーナの強度計算書	
14	工認-1061 改0	V-2-4-1 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震計算結果	
15	工認-1064 改0	V-2-7-1 放射性廃棄物の廃棄施設の耐震計算結果	
16	工認-1066 改0	V-2-9-1 原子炉格納施設の耐震計算結果	
17	工認-1068 改0	V-3-9-1-1-2 ドライウェルトップヘッドの強度計算書	
18	工認-1060 改0	V-2-3-1 原子炉本体の耐震計算結果	
19	工認-1062 改0	V-2-5-1 原子炉冷却系統施設の耐震計算結果	
20	工認-1063 改0	V-2-6-1 計測制御系統施設の耐震計算結果	
21	工認-1065 改0	V-2-8-1 放射線管理施設の耐震計算結果	
22	工認-596 改3	V-2-10-1-2-2 非常用ディーゼル発電機空気だめの耐震性についての計算書	
23	工認-634 改1	V-2-10-1-3-2 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの耐震性についての計算書	
24	工認-687 改1	V-2-5-5-4-2 管の耐震性についての計算書	
25	工認-690 改1	V-3-5-4-4-3 管の応力計算書	
26	工認-691 改1	V-2-4-3-2-1 管の耐震性についての計算書	

27	工認-693 改1	V-3-4-2-2-2 管の応力計算書	
28	工認-697 改1	V-2-9-7-1-2 フィルタ装置の耐震性についての計算書	
29	工認-698 改1	V-2-5-4-2-1 管の耐震性についての計算書	
30	工認-699 改1	V-3-5-3-2-2 管の応力計算書	
31	工認-708 改1	V-2-9-2-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書	
32	工認-711 改2	V-2-9-2-10 電気配線貫通部の耐震性についての計算書	
33	工認-739 改2	V-2-5-5-4-1 常設高圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算書	
34	工認-742 改0	V-2-7-2-3-1 管の耐震性についての計算書	
35	工認-743 改1	V-2-9-5-5-1 静的触媒式水素再結合器の耐震性についての計算書	
36	工認-761 改1	V-2-9-7-1-3 移送ポンプの耐震性についての計算書	
37	工認-770 改1	V-2-9-2-9 配管貫通部の耐震性についての計算書	
38	工認-772 改1	V-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書	
39	工認-776 改1	V-2-10-1-2-3 非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの耐震性についての計算書	
40	工認-777 改1	V-2-10-1-3-3 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンクの耐震性についての計算書	
41	工認-780 改1	V-2-9-4-1 ダイヤフラム・フロアの耐震性についての計算書	
42	工認-783 改2	V-3-9-2-5-1-4 フィルタ装置の強度計算書	
43	工認-855 改3	V-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針	
44	工認-856 改2	V-2-3-4-4-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針	
45	工認-901 改1	V-2-5-5-5-1 常設低圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算書	
46	工認-905 改1	V-2-9-4-3-4-1 管の耐震性についての計算書	
47	工認-906 改1	V-3-9-2-2-4-2 管の応力計算書	
48	工認-959 改1	V-2-9-5-6-1 管の耐震性についての計算書	
49	工認-960 改1	V-3-9-2-3-3-2 管の応力計算書	
50	工認-961 改1	V-2-9-4-3-2-1 管の耐震性についての計算書	
51	工認-963 改1	V-2-9-7-1-1 管の耐震性についての計算書	
52	工認-964 改1	V-3-9-2-5-1-2 管の応力計算書	
53	工認-970 改1	V-2-3-3-2-2 炉心シュラウドの耐震性についての計算書	
54	工認-971 改1	V-2-3-3-2-3 シュラウドサポートの耐震性についての計算書	
55	工認-972 改1	V-2-3-3-2-4 上部格子板の耐震性についての計算書	
56	工認-973 改1	V-2-3-3-2-5 炉心支持板の耐震性についての計算書	

57	工認-974 改1	V-2-3-3-2-6 燃料支持金具の耐震性についての計算書	
58	工認-975 改1	V-2-3-3-2-7 制御棒案内管の耐震性についての計算書	
59	工認-981 改1	V-2-5-5-5-2 管の耐震性についての計算書	
60	工認-989 改1	V-2-9-2-11 サプレッション・チェンバ底部ライナ部の耐震性についての計算書	
61	工認-990 改0	V-3-9-1-1-6 サプレッション・チェンバ底部ライナ部強度計算書	
62	工認-991 改0	V-3-9-2-1 ベント管の強度計算書	
63	工認-994 改1	V-2-3-4-4-2 蒸気乾燥器の耐震性についての計算書	
64	工認-995 改1	V-2-3-4-4-4 シュラウドヘッドの耐震性についての計算書	
65	工認-996 改1	V-2-3-4-4-5 ジェットポンプの耐震性についての計算書	
66	工認-997 改1	V-2-3-4-4-6 給水スパージャの耐震性についての計算書	
67	工認-998 改1	V-2-3-4-4-7 高圧及び低圧炉心スプレイスパージャの耐震性についての計算書	
68	工認-999 改1	V-2-3-4-4-8 残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書	
69	工認-1000 改1	V-2-3-4-4-9 高圧及び低圧炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書	
70	工認-1001 改1	V-2-3-4-4-10 差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書	
71	工認-1002 改1	V-2-3-4-4-11 中性子計測案内管の耐震性についての計算書	
72	工認-1010 改1	V-2-1-12-2 ダクト及び支持構造物の耐震計算について	
73	工認-1024 改0	V-3-9-1-1-3 ドライウェルフランジ部の強度計算書	
74	工認-1025 改0	V-3-9-1-1-4 ドライウェル本体及びサプレッション・チェンバ本体の強度計算書	
75	工認-1029 改0	V-3-9-1-4-1 原子炉格納容器貫通部の強度計算書	
76	工認-1032 改0	V-3-別添6-1 炉心シュラウドの応力計算書	
77	工認-1033 改0	V-3-別添6-2 シュラウドサポートの応力計算書	
78	工認-1034 改0	V-3-別添6-3 上部格子板の応力計算書	
79	工認-1035 改0	V-3-別添6-4 炉心支持板の応力計算書	
80	工認-1036 改0	V-3-別添6-5 燃料支持金具の応力計算書	
81	工認-1037 改0	V-3-別添6-6 制御棒案内管の応力計算書	
82	工認-1038 改0	V-3-別添7-1 ジェットポンプの応力計算書	
83	工認-1039 改0	V-3-別添7-2 高圧及び低圧炉心スプレイスパージャの応力計算書	
84	工認-1040 改0	V-3-別添7-3 残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）の応力計算書	
85	工認-1041 改0	V-3-別添7-4 高圧及び低圧炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）の応力計算書	
86	工認-1042 改0	V-3-別添7-5 差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉圧力容器内部）の応力計算書	

87	補足-340-10 改0	工事計画に係る補足説明資料 耐震性に関する説明書のうち補足-340-10【ケミカルアンカの高温環境下での使用について】	
88	補足-340-17 改2	工事計画に係る補足説明資料 耐震性に関する説明書のうち補足-340-17【常設高圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算書に関する補足説明資料】	
89	工認-711 改2	V-2-9-2-10 電気配線貫通部の耐震性についての計算書	
90	工認-770 改1	V-2-9-2-9 配管貫通部の耐震性についての計算書	
91	工認-780 改1	V-2-9-4-1 ダイヤフラム・フロアの耐震性についての計算書	
92	工認-991 改0	V-3-9-2-1 ベント管の強度計算書	
93	工認-1029 改0	V-3-9-1-4-1 原子炉格納容器貫通部の強度計算書	
94	工認-385 改1	V-2-5-4-1-1 残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算書	
95	工認-578 改1	V-2-5-4-1-4 管の耐震性についての計算書	
96	工認-633 改1	V-2-5-3-1-1 アクムレータの耐震性についての計算書	
97	工認-664 改1	V-2-9-5-4-1 低圧マニホールドの耐震性についての計算書	
98	工認-697 改1	V-2-9-7-1-2 フィルタ装置の耐震性についての計算書	
99	工認-741 改0	V-2-7-2-2-1 管の耐震性についての計算書	
100	工認-761 改1	V-2-9-7-1-3 移送ポンプの耐震性についての計算書	
101	工認-859 改2	V-2-11-2-4 チャンネル着脱機の耐震性についての計算書	
102	工認-383 改1	V-2-5-6-1-1 原子炉隔離時冷却系ポンプの耐震性についての計算書	
103	工認-384 改1	V-2-5-6-1-2 原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用蒸気タービンの耐震性についての計算書	
104	工認-433 改3	V-2-4-2-2 使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算書	
105	工認-461 改3	V-2-6-3-2-1 水圧制御ユニットの耐震性についての計算書	
106	工認-462 改3	V-2-9-5-3-2 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワの耐震性についての計算書	
107	工認-463 改3	V-2-9-5-3-3 可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震性についての計算書	
108	工認-575 改2	V-2-6-3-1 制御棒駆動機構の耐震性についての計算書	

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-689 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-5-4-4-2 管の基本板厚計算書

まえがき

本計算書は、「V-3-1-3 クラス2機器の強度計算の基本方針」及び「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」並びに「V-3-2-4 クラス2管の強度計算方法」及び「V-3-2-11 重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「V-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

NT2 補② V-3-5-4-4-2 R1

・評価条件整理表

管No.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか			評価条件に変更があるか					既工認に おける 評価結果 の有無	既工認 評価規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス
			DB クラス	SA クラス	クラス アップ の有無	DB条件		SA条件		条件 変更の 有無					
						圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)	温度 (°C)						
1	新規	無	—	SA-2	—	—	—	8.62	302	—	—	—	設計・ 建設規格	—	SA-2
2	新規	無	—	SA-2	—	—	—	8.62	302	—	—	—	設計・ 建設規格	—	SA-2
3	新規	無	—	SA-2	—	—	—	1.04	135	—	—	—	設計・ 建設規格	—	SA-2
4	新規	無	—	SA-2	—	—	—	1.04	135	—	—	—	設計・ 建設規格	—	SA-2
5	新規	無	—	SA-2	—	—	—	0.70	120	—	—	—	設計・ 建設規格	—	SA-2
6	新規	無	—	SA-2	—	—	—	0.70	120	—	—	—	設計・ 建設規格	—	SA-2
7	新規	無	—	SA-2	—	—	—	0.70	120	—	—	—	設計・ 建設規格	—	SA-2
8	新規	無	—	SA-2	—	—	—	0.70	120	—	—	—	設計・ 建設規格	—	SA-2
9	新規	無	—	SA-2	—	—	—	10.70	120	—	—	—	設計・ 建設規格	—	SA-2

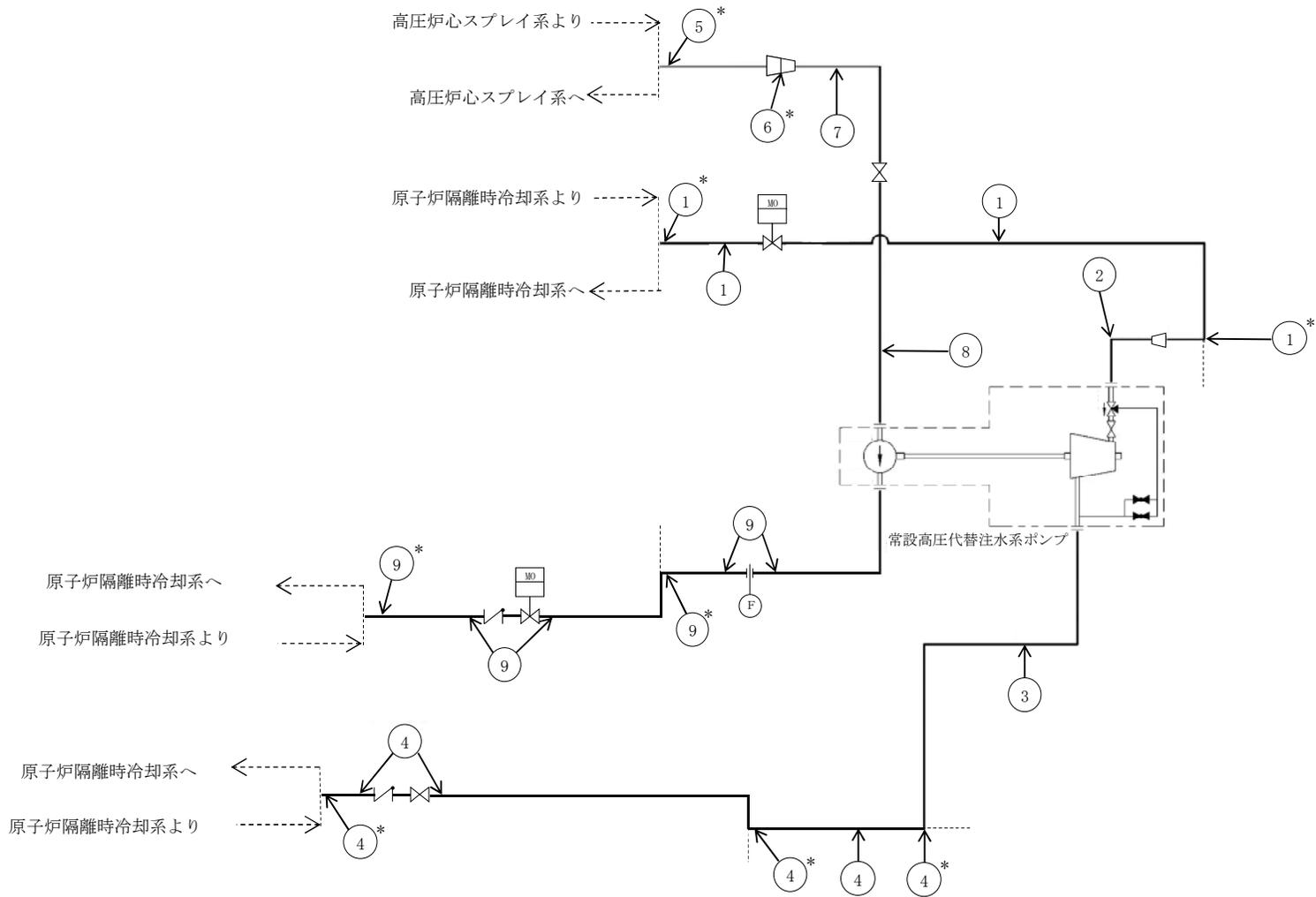
・適用規格の選定

管No.	評価項目	評価 区分	判定基準	適用規格
1	管の強度計算	設計・ 建設規格	—	設計・建設規格
2	管の強度計算	設計・ 建設規格	—	設計・建設規格
3	管の強度計算	設計・ 建設規格	—	設計・建設規格
4	管の強度計算	設計・ 建設規格	—	設計・建設規格
5	管の強度計算	設計・ 建設規格	—	設計・建設規格
6	管の強度計算	設計・ 建設規格	—	設計・建設規格
7	管の強度計算	設計・ 建設規格	—	設計・建設規格
8	管の強度計算	設計・ 建設規格	—	設計・建設規格
9	管の強度計算	設計・ 建設規格	—	設計・建設規格

目次

1. 概略系統図・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
2. 管の強度計算書・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2

1. 概略系統図



注記 * : 管継手

高圧代替注水系概略系統図

2. 管の強度計算書（重大事故等クラス2管）

設計・建設規格PPC-3411準用

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高 使用温度 (°C)	外径 D _o (mm)	公称厚さ (mm)	材料	製法	クラス	S (MPa)	η	Q	t _s (mm)	t (mm)	算式	t _r (mm)
1	8.62	302	114.3	8.6	STPT410	S	2	103	1.00	12.5%	7.5	4.63	A	4.63
2	8.62	302	89.1	7.6	STPT410	S	2	103	1.00	12.5%	6.6	3.61	A	3.61
3	1.04	135	216.3	8.2	STPT410	S	2	103	1.00	12.5%	7.1	1.09	C	3.80
4	1.04	135	355.6	11.1	STPT410	S	2	103	1.00	12.5%	9.7	1.79	C	3.80
5	0.70	120	457.2	14.3	STPT410	S	2	103	1.00	12.5%	12.5	1.55	C	3.80
6	0.70	120	267.4	9.3	STPT410	S	2	103	1.00	12.5%	8.1	0.91	C	3.80
7	0.70	120	216.3	8.2	STPT410	S	2	103	1.00	12.5%	7.1	0.74	C	3.80
8	0.70	120	216.3	8.2	STPT410	S	2	103	1.00	12.5%	7.1	0.74	C	3.80
9	10.70	120	165.2	14.3	STPT410	S	2	103	1.00	12.5%	12.5	8.24	A	8.24

評価：t_s ≥ t_r，よって十分である。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-924 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-1-13-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性
についての計算書作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	7
4.1 固有周期の計算方法	7
5. 構造強度評価	12
5.1 構造強度評価方法	12
5.2 設計用地震力	12
5.3 計算方法	13
5.4 応力の評価	21
6. 耐震計算書のフォーマット	25

1. 概要

本基本方針は、添付書類「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められているスカート支持たて置円筒形容器（耐震重要度分類Sクラス又はS s機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できないスカート支持たて置円筒形容器にあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

スカート支持たて置円筒形容器の応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 耐震計算書のフォーマット」にて示す。

スカート支持たて置円筒形容器の耐震評価フローを図2-1に示す。

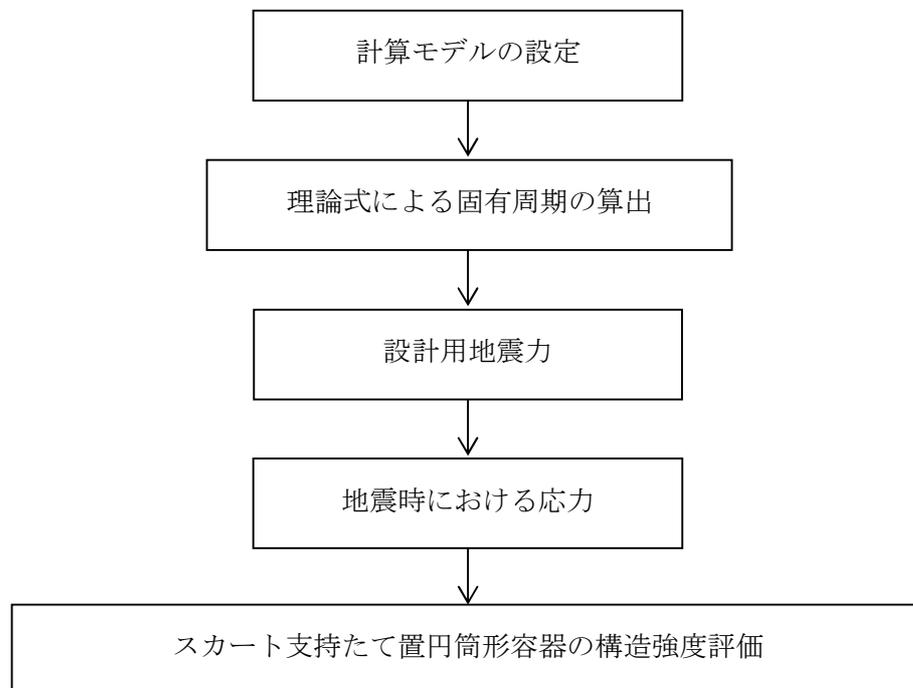


図2-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補一
1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会
電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））
J S M E S N C 1 -2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」
という。）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	胴の軸断面積	mm ²
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _e	胴の有効せん断断面積	mm ²
A _s	スカートの軸断面積	mm ²
A _{s e}	スカートの有効せん断断面積	mm ²
C _c	基礎ボルト計算における係数	—
C _H	水平方向設計震度	—
C _t	基礎ボルト計算における係数	—
C _v	鉛直方向設計震度	—
D _{b i}	ベースプレートの内径	mm
D _{b o}	ベースプレートの外径	mm
D _c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D _i	胴の内径	mm
D _j	スカートに設けられた各開口部の穴径 (j=1, 2, 3…j ₁)	mm
D _s	スカートの内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E _s	スカートの縦弾性係数	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	—
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F _c	基礎に作用する圧縮力	N
F _t	基礎ボルトに作用する引張力	N
f _b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f _c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f _{s b}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _t	スカートの許容引張応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
G _s	スカートのせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm ⁴
I _s	スカートの断面二次モーメント	mm ⁴
j ₁	スカートに設けられた開口部の穴の個数	—
K _H	水平方向ばね定数	N/m

記号	記号の説明	単位
K_v	鉛直方向ばね定数	N/m
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	—
l	胴のスカート接合点から重心までの距離	mm
l_1, l_2	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離 (図5-2に示す距離)	mm
l_r	容器の重心から上端支持部までの距離	mm
l_s	スカートの長さ	mm
M_s	スカートに作用する転倒モーメント	N・mm
M_{s1}	スカートの上端部に作用する転倒モーメント	N・mm
M_{s2}	スカートの下端部に作用する転倒モーメント	N・mm
m_o	容器の運転時質量	kg
m_e	容器のスカート接合部から上部の空質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
P_r	最高使用圧力	MPa
Q	重心に作用する任意の水平力	N
Q'	Qにより上端の支持部に作用する反力	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40℃における値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
t_1	基礎ボルト面積相当板幅	mm
t_2	圧縮側基礎相当幅	mm
t_s	スカートの厚さ	mm
Y	スカート開口部の水平断面における最大円周長さ	mm
z	基礎ボルト計算における係数	—
α	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
δ	荷重Qによる容器の上端での変位量	mm
δ'	荷重Q'による容器の上端での変位量	mm
δ_o	荷重Q, Q'による容器の重心での変位量	mm
η	座屈応力に対する安全率	—
π	円周率	—

記号	記号の説明	単位
ρ'	液体の密度 (=比重 $\times 10^{-6}$)	kg/mm ³
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
$\sigma_{2\phi}$	地震動のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2c}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (圧縮側)	MPa
σ_{2t}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (引張側)	MPa
σ_{2xc}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (圧縮側)	MPa
σ_{2xt}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (引張側)	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_c	基礎に生じる圧縮応力	MPa
σ_s	スカートの組合せ応力	MPa
σ_{s1}	スカートの運転時質量による軸方向応力	MPa
σ_{s2}	水平方向地震によりスカートに生じる曲げモーメントによる軸方向応力	MPa
σ_{s3}	スカートの鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
$\sigma_{x1}, \sigma_{\phi 1}$	静水頭又は内圧により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の運転時質量による軸方向引張応力	MPa
σ_{x3}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x4}	水平方向地震により胴に生じる曲げモーメントによる軸方向応力	MPa
σ_{x5}	胴の鉛直方向地震による軸方向引張応力	MPa
σ_{x6}	胴の鉛直方向地震による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和 (圧縮側)	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和 (引張側)	MPa
σ_{ϕ}	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_s	地震によりスカートに生じるせん断応力	MPa
$\phi_1(x)$	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
$\phi_2(x)$	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

2.4 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-1に示すとおりである。

表 2-1 表示する数値の丸め方

数 値 の 種 類		単 位	処 理 桁	処 理 方 法	表 示 桁
固有周期		s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度		—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第 2 位
温度		℃	—	—	整数位
比重		—	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
質量		kg	—	—	整数位
長 さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第 1 位
	スカートの厚さ	mm	—	—	小数点以下第 1 位
面積		mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント		N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

スカート支持たて置円筒形容器の耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる胴、スカート及び基礎ボルトについて評価を実施する。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

スカート支持たて置円筒形容器の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- a. 容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- b. 容器はスカートで支持され、スカートは下端のベースプレートを円周上等ピッチの多数の基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- c. 胴とスカートをはりと考え、変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。
- d. スカートの部材において、マンホール等の開口部があつて補強をしていない場合は、欠損の影響を考慮する。
- e. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

本容器は、前記の条件より図4-1に示す下端固定の1質点系振動モデルあるいは下端固定上端支持の1質点系振動モデルとして考える。

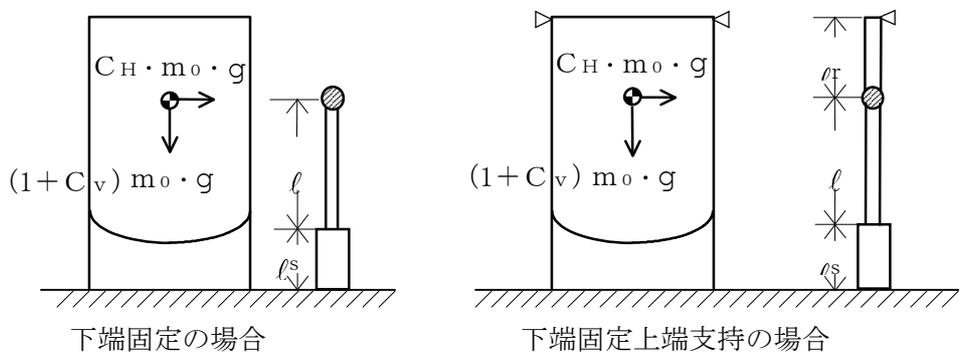


図4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

a. 下端固定の場合

曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_H は次式で求める。

$$K_H = 1000 \left\{ \frac{l^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{1}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot (3 \cdot l^2 \cdot l_s + 3 \cdot l \cdot l_s^2 + l_s^3) + \frac{l}{G \cdot A_e} + \frac{l_s}{G_s \cdot A_{se}} \right\} \dots \dots \dots (4.1.1)$$

ここで、スカートの開口部（図4-2参照）による影響を考慮し、胴及びスカートの断面性能は次のように求める。

胴の断面性能は次式で求める。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \dots\dots\dots (4.1.2)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \dots\dots\dots (4.1.3)$$

スカート断面性能は次式で求める。

$$I_s = \frac{\pi}{8} \cdot (D_s + t_s)^3 \cdot t_s - \frac{1}{4} \cdot (D_s + t_s)^2 \cdot t_s \cdot Y \dots\dots\dots (4.1.4)$$

スカート開口部の水平断面における最大円周長さは次式で求める。

(図 4-2 及び図 4-3 参照)

$$Y = \sum_{j=1}^{j_1} (D_s + t_s) \cdot \sin^{-1} \left(\frac{D_j}{D_s + t_s} \right) \dots\dots\dots (4.1.5)$$

$$A_{se} = \frac{2}{3} \cdot \{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \} \cdot t_s \dots\dots\dots (4.1.6)$$

したがって、固有周期は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \dots\dots\dots (4.1.7)$$

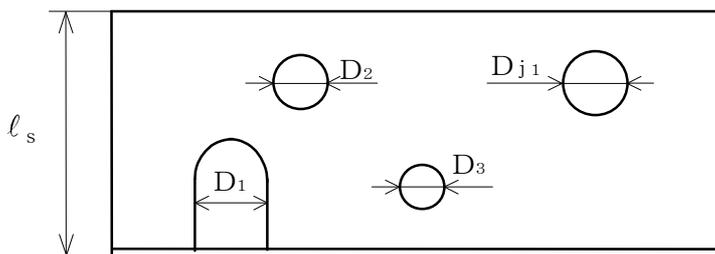


図4-2 スカート開口部の形状

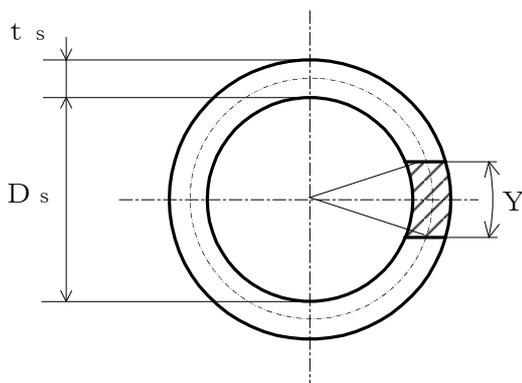


図4-3 スカート開口部の水平断面における最大円周長さ

b. 下端固定上端支持の場合

重心の位置に水平方向の荷重Qが作用したときに上端の支持部に生じる反力Q'は、図4-4に示すように荷重Q及び反力Q'による上端の変位量δとδ'が等しいとして求める。

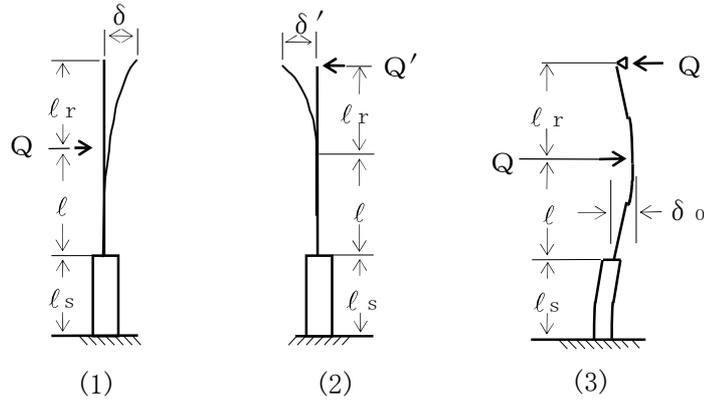


図4-4 下端固定上端支持の場合の変形モデル

図4-4の(1)の場合

$$\delta = \frac{Q \cdot l^2}{6 \cdot E \cdot I} \cdot (2 \cdot l + 3 \cdot l_r) + \frac{Q}{6 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot \{ 2 \cdot l_s^3 + 3 \cdot l_s^2 \cdot l_r + 6 \cdot l_s \cdot l \cdot (l_s + l + l_r) \} + \frac{Q \cdot l}{G \cdot A_e} + \frac{Q \cdot l_s}{G_s \cdot A_{se}} \dots \dots \dots (4.1.8)$$

図4-4の(2)の場合

$$\delta' = \frac{Q' \cdot (l + l_r)^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{Q'}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot \{ 3 \cdot (l + l_r)^2 \cdot l_s + 3 \cdot (l + l_r) \cdot l_s^2 + l_s^3 \} + \frac{Q' \cdot (l + l_r)}{G \cdot A_e} + \frac{Q' \cdot l_s}{G_s \cdot A_{se}} \dots \dots \dots (4.1.9)$$

(4.1.8) 式と (4.1.9) 式を等しく置くことにより、

$$Q' = Q \cdot \left\{ \frac{l^2 \cdot (2 \cdot l + 3 \cdot l_r)}{6 \cdot E \cdot I} + \frac{2 \cdot l_s^3 + 3 \cdot l_s^2 \cdot l_r + 6 \cdot l_s \cdot l \cdot (l_s + l + l_r)}{6 \cdot E_s \cdot I_s} + \frac{l}{G \cdot A_e} + \frac{l_s}{G_s \cdot A_{se}} \right\} \Bigg/ \left\{ \frac{(l + l_r)^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{3 \cdot (l + l_r)^2 \cdot l_s + 3 \cdot (l + l_r) \cdot l_s^2 + l_s^3}{3 \cdot E_s \cdot I_s} + \frac{l + l_r}{G \cdot A_e} + \frac{l_s}{G_s \cdot A_{se}} \right\} \dots \dots \dots (4.1.10)$$

したがって、図4-4の(3)に示す重心位置での変位量 δ_0 は図4-4の(1)及び(2)の重心位置での変位量の重ね合わせから求めることができ、ばね定数 K_H は次式で求める。

$$K_H = \frac{Q}{\delta_0} = 1000 \left/ \left\{ \frac{l^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{3 \cdot l^2 \cdot l_s + 3 \cdot l \cdot l_s^2 + l_s^3}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \right. \right. \\ \left. \left. + \left(1 - \frac{Q'}{Q} \right) \cdot \left(\frac{l}{G \cdot A_e} + \frac{l_s}{G_s \cdot A_{se}} \right) - \frac{Q'}{Q} \cdot \left(\frac{2 \cdot l^3 + 3 \cdot l^2 \cdot l_r}{6 \cdot E \cdot I} \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + \frac{3 \cdot l_s^2 \cdot l + l_s^3 + 3 \cdot l_s \cdot l^2 + 3 \cdot l_s \cdot l \cdot l_r + \frac{3}{2} \cdot l_s^2 \cdot l_r}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \right) \right\} \right. \quad (4.1.11)$$

固有周期は (4.1.7) 式により求める。

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 K_v は、次式で求める。

$$K_v = 1000 \left/ \left(\frac{l}{E \cdot A} + \frac{l_s}{E_s \cdot A_s} \right) \right. \quad \dots \dots \dots (4.1.12)$$

$$A = \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \dots \dots \dots (4.1.13)$$

$$A_s = \{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \} \cdot t_s \quad \dots \dots \dots (4.1.14)$$

したがって、固有周期 T_v は次式で求める。

$$T_v = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_v}} \quad \dots \dots \dots (4.1.15)$$

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1項a.～e.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

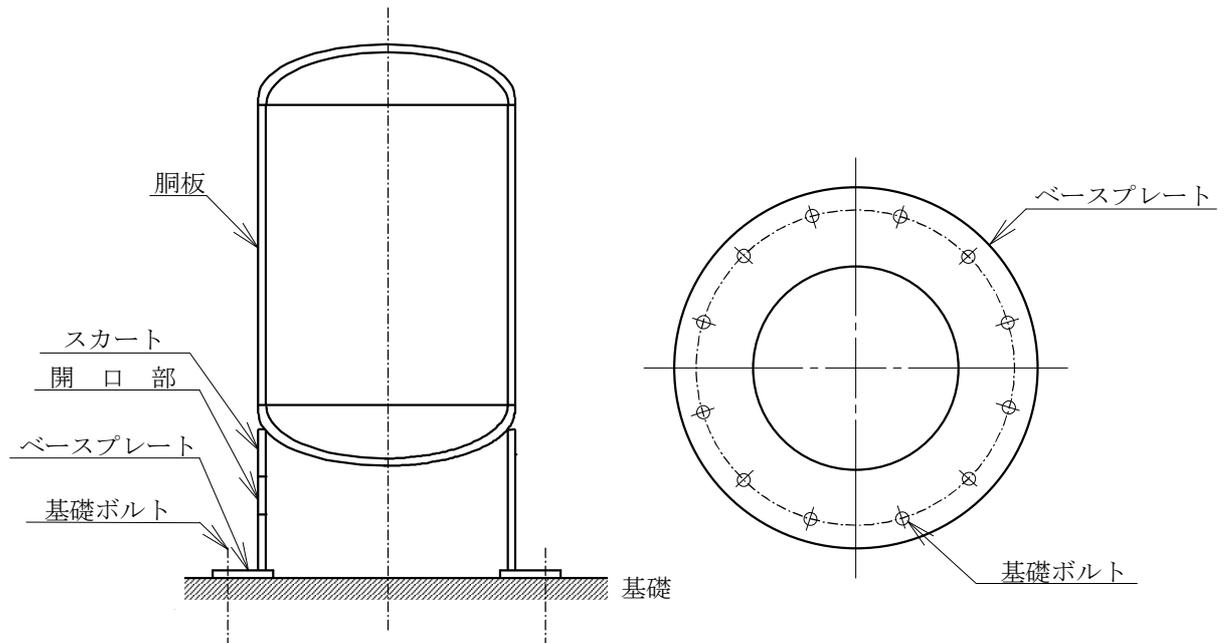


図5-1 概要図

5.2 設計用地震力

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度及び基準地震動 S_s による地震力は、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定される。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

応力計算における水平方向と鉛直方向の組合せについて、静的地震力を用いる場合は絶対値和を用いる。動的地震力を用いる場合は、絶対値和又はS R S S法を用いる。

5.3.1.1 胴の計算方法

(1) 静水頭又は内圧による応力

静水頭による場合（鉛直方向地震時を含む。）

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.2)$$

$$\sigma_{x 1} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.3)$$

内圧による場合

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.6)$$

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がスカートと接合する点を境界として、上部には胴自身の質量による圧縮応力が、下部には下部の胴自身の質量と内容物の質量による引張応力が生じる。

下部の胴について

$$\sigma_{x 2} = \frac{(m_o - m_e) \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.7)$$

$$\sigma_{x 5} = \frac{(m_o - m_e) \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

上部の胴について

$$\sigma_{x 3} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.9)$$

$$\sigma_{x 6} = \frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.10)$$

(3) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はスカート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

a. 下端固定の場合

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \ell}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.11)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.12)$$

b. 下端固定上端支持の場合

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left| \ell - \frac{Q'}{Q} \cdot (\ell + \ell_r) \right|}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.13)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left(1 - \frac{Q'}{Q}\right)}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.14)$$

(4) 組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_\phi = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.15)$$

$$\sigma_{ot} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_\phi + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.1.16)$$

ここで、

【絶対値和】

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x4} + \sigma_{x5} \dots\dots\dots (5.3.1.1.17)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x5}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.18)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_\phi = -\sigma_{\phi 1} - \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.19)$$

σ_{xc} が正の値（圧縮側）のとき、次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{oc} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_\phi + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.1.20)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x6} \dots\dots\dots (5.3.1.1.21)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x6}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.22)$$

したがって、胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は、絶対値和、SRSS法それぞれに対して、

$$\sigma_o = \text{Max} \{ \text{組合せ引張応力} (\sigma_{ot}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{oc}) \} \dots\dots\dots (5.3.1.1.23)$$

とする。

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

b. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{2\phi} = \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.24)$$

$$\sigma_{2t} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xt} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.25)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{2xt} = \sigma_{x4} + \sigma_{x5} \dots\dots\dots (5.3.1.1.26)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{2xt} = \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x5}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.27)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{2\phi} = -\sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.28)$$

$$\sigma_{2c} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xc} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.29)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{2xc} = \sigma_{x4} + \sigma_{x6} \dots\dots\dots (5.3.1.1.30)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{2xc} = \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x6}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.31)$$

したがって、胴の地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は、絶対値和、SRSS法それぞれに対して、

$$\sigma_2 = \text{Max} \{ \text{組合せ引張応力} (\sigma_{2t}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{2c}) \} \dots\dots\dots (5.3.1.1.32)$$

とする。

5.3.1.2 スカートの計算方法

(1) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

スカート底部に生じる運転時質量及び鉛直方向地震による圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_{s1} = \frac{m_0 \cdot g}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \dots\dots\dots (5.3.1.2.1)$$

$$\sigma_{s3} = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_v}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \dots\dots\dots (5.3.1.2.2)$$

(2) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力によりスカートに作用する曲げモーメントにより生じる軸方向応力及び水平方向地震力によるせん断応力は次のように求める。

a. 下端固定の場合

$$\sigma_{s2} = \frac{M_s}{(D_s + t_s) \cdot t_s \cdot \left\{ \frac{\pi}{4} \cdot (D_s + t_s) - \frac{Y}{2} \right\}} \dots\dots\dots (5.3.1.2.3)$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \dots\dots\dots (5.3.1.2.4)$$

ここで、

$$M_s = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot (\ell_s + \ell) \dots\dots\dots (5.3.1.2.5)$$

b. 下端固定上端支持の場合

軸方向応力は(5.3.1.2.3)式で表されるが、曲げモーメント M_s は次の M_{s1} 又は M_{s2} のいずれか大きい方の値とする。

$$M_{s1} = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left| l - \frac{Q'}{Q} \cdot (l + l_r) \right| \dots\dots\dots (5.3.1.2.6)$$

$$M_{s2} = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left| l_s + l - \frac{Q'}{Q} \cdot (l_s + l + l_r) \right| \dots\dots\dots (5.3.1.2.7)$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left(1 - \frac{Q'}{Q}\right)}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \dots\dots\dots (5.3.1.2.8)$$

(3) 組合せ応力

組合せ応力は次式で求める。

【絶対値和】

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3})^2 + 3 \cdot \tau_s^2} \cdots \cdots (5.3.1.2.9)$$

【SRSS法】

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s3}^2})^2 + 3 \cdot \tau_s^2} \cdots \cdots (5.3.1.2.10)$$

5.3.1.3 基礎ボルトの計算方法

(1) 引張応力

基礎に作用する転倒モーメント M_s は下端固定の場合、(5.3.1.2.5)式を、下端固定上端支持の場合は(5.3.1.2.6)式又は(5.3.1.2.7)式のいずれか大きい方を用いる。

転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。(図5-2参照)

以下にその手順を示す。

- a. σ_b 及び σ_c を仮定して基礎ボルトの応力計算における中立軸の荷重係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}} \dots\dots\dots (5.3.1.3.1)$$

- b. 基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度 α を求める。

$$\alpha = \cos^{-1} (1 - 2 \cdot k) \dots\dots\dots (5.3.1.3.2)$$

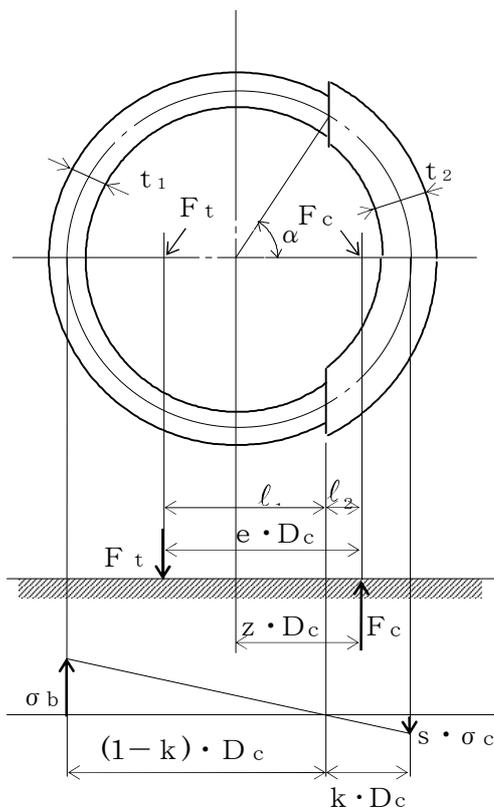


図5-2 基礎の荷重説明図

c. 各定数 e , z , C_t 及び C_c を求める。

$$e = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cdot \cos^2 \alpha + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.3.3)$$

$$z = \frac{1}{2} \cdot \left(\cos \alpha + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.3.4)$$

$$C_t = \frac{2 \cdot \{ (\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha \}}{1 + \cos \alpha} \dots\dots\dots (5.3.1.3.5)$$

$$C_c = \frac{2 \cdot (\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha} \dots\dots\dots (5.3.1.3.6)$$

d. 各定数を用いて F_t 及び F_c を求める。

【絶対値和】

$$F_t = \frac{M_s - (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g \cdot z \cdot D_c}{e \cdot D_c} \dots\dots\dots (5.3.1.3.7)$$

$$F_c = F_t + (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g \dots\dots\dots (5.3.1.3.8)$$

【SRSS法】

$$F_t = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot z \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} - \frac{z}{e} \cdot m_0 \cdot g \dots\dots\dots (5.3.1.3.9)$$

$$F_c = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot (z - e) \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} + (1 - \frac{z}{e}) \cdot m_0 \cdot g \dots\dots\dots (5.3.1.3.10)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 α が π に等しくなったときであり、(5.3.1.3.3)式及び(5.3.1.3.4)式において α を π に近づけた場合の値 $e = 0.75$ 及び $z = 0.25$ を(5.3.1.3.7)式又は(5.3.1.3.9)式に代入し、得られる F_t の値によって引張力の有無を次のように判定する。

$F_t \leq 0$ ならば引張力は作用しない。

$F_t > 0$ ならば引張力が作用しているので次の計算を行う。

e. σ_b 及び σ_c を求める。

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t} \dots\dots\dots (5.3.1.3.11)$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c} \dots\dots\dots (5.3.1.3.12)$$

ここで,

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c} \dots\dots\dots (5.3.1.3.13)$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{bo} - D_{bi}) - t_1 \dots\dots\dots (5.3.1.3.14)$$

σ_b 及び σ_c が a 項にて仮定した値と十分に近似していることを確認する。この場合の σ_b 及び σ_c を基礎ボルトと基礎に生じる応力とする。

(2) せん断応力

a. 下端固定の場合

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_o \cdot g}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.3.1.3.15)$$

b. 下端固定上端支持の場合

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_o \cdot g \cdot (1 - \frac{Q'}{Q})}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.3.1.3.16)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 胴の応力評価

5.3.1.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許容応力 S_a	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の0.6倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては許容引張応力 S の1.2倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の0.6倍
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の2倍以下であれば、疲れ解析は不要とする。	

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

5.4.2 スカートの応力評価

- (1) 5.3.1.2項で求めたスカートの組合せ応力が許容引張応力 f_t 以下であること。ただし、 f_t は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

(2) 圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。
 （座屈の評価）

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (5.4.2.1)$$

ここで、 f_c は次による。

$$\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \quad \dots\dots\dots (5.4.2.2)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \cdot \left[1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_1 \left(\frac{8000 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.2.3)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_c = \phi_1 \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.2.4)$$

ただし、 $\phi_1(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_1(x) = 0.6 \cdot \frac{E_s}{x} \cdot \left[1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x} \right) \right\} \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.2.5)$$

また、 f_b は次による。

$$\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = F \quad \dots\dots\dots (5.4.2.6)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \frac{9600 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = F \cdot \left[1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_2 \left(\frac{9600 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.2.7)$$

$$\frac{9600 \cdot g}{F} \leq \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_b = \phi_2 \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.2.8)$$

ただし、 $\phi_2(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_2(x) = 0.6 \cdot \frac{E_s}{x} \cdot \left[1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x}\right) \right\} \right] \dots\dots\dots (5.4.2.9)$$

η は安全率で次による。

$$\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1 \quad \dots\dots\dots (5.4.2.10)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1 + \frac{0.5 \cdot F}{6800 \cdot g} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.2.11)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1.5 \quad \dots\dots\dots (5.4.2.12)$$

5.4.3 基礎ボルトの応力評価

5.3.1.3項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots \dots \dots (5.4.3.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 耐震計算書のフォーマット

スカート支持たて置円筒形容器の耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記 *：重大事故等対処設備単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマット I 設計基準対象施設としての評価結果】

【〇〇〇〇容器の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
		建屋 EL. *			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =			

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m _o (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
						*1	*2	*1	*2

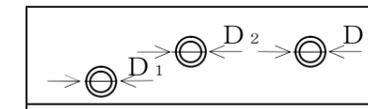
ℓ (mm)	ℓ _s (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	s	n	D _c (mm)	D _{b o} (mm)

D _{b i} (mm)	A _b (mm ²) (M)	Y (mm)	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
			M _s (N・mm)	M _s (N・mm)

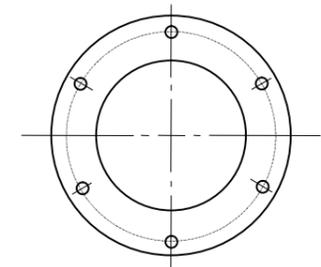
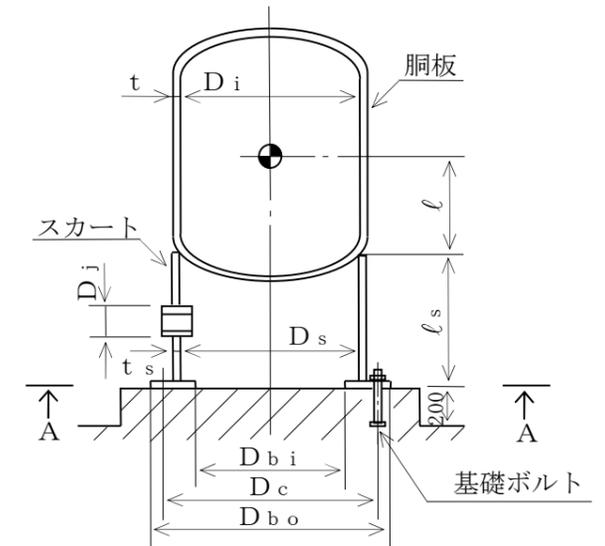
S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
*1	*1	*1	*2	*2		

S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
*2	*2		

注記 *1 : 最高使用温度で算出
*2 : 周囲環境温度で算出



スカート開口部の形状を示す。



A~A 矢視図

1.3. 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s			
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	
静水頭又は内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	—	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	—	
運転時質量による引張応力	—	$\sigma_{x 2} =$	—	—	$\sigma_{x 2} =$	—	
鉛直方向地震による引張応力	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 5} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 5} =$	—	
空質量による圧縮応力	—	$\sigma_{x 3} =$	—	—	$\sigma_{x 3} =$	—	
鉛直方向地震による圧縮応力	—	$\sigma_{x 6} =$	—	—	$\sigma_{x 6} =$	—	
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x 4} =$	$\tau =$	—	$\sigma_{x 4} =$	$\tau =$	
応力の和	引張側	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{x t} =$	—	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{x t} =$	
	圧縮側	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{x c} =$	—	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{x c} =$	
組合せ応力	引張り	$\sigma_{0 t} =$			$\sigma_{0 t} =$		
	圧縮	—			—		

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s			
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	
鉛直方向地震による引張応力	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 5} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 5} =$	—	
鉛直方向地震による圧縮応力	—	$\sigma_{x 6} =$	—	—	$\sigma_{x 6} =$	—	
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x 4} =$	$\tau =$	—	$\sigma_{x 4} =$	$\tau =$	
応力の和	引張側	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xt} =$	—	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xt} =$	
	圧縮側	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xc} =$	—	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xc} =$	
組合せ応力 (変動値)	引張り	$\sigma_{2t} =$			$\sigma_{2t} =$		
	圧縮	$\sigma_{2c} =$			$\sigma_{2c} =$		

1.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力	
運転時質量による応力	$\sigma_{s 1} =$	$\sigma_s =$	$\sigma_{s 1} =$	$\sigma_s =$	
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{s 3} =$		$\sigma_{s 3} =$		
水平方向地震による応力	曲げ		$\sigma_{s 2} =$		$\sigma_{s 2} =$
	せん断		$\tau_s =$		$\tau_s =$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
引張応力	$\sigma_b =$	$\sigma_b =$
せん断応力	$\tau_b =$	$\tau_b =$

1.4. 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方 向	固 有 周 期
水 平 方 向	$T_H =$
鉛 直 方 向	$T_V =$

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板		一次一般膜	$\sigma_0 =$	$S_a =$	$\sigma_0 =$	$S_a =$
		一次+二次	$\sigma_2 =$	$S_a =$	$\sigma_2 =$	$S_a =$
スカート		組 合 せ	$\sigma_s =$	$f_t =$	$\sigma_s =$	$f_t =$
		圧縮と曲げ の 組 合 せ	$\frac{n \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{n \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$		$\frac{n \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{n \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	
		(座屈の評価)	(無次元)		(無次元)	
基礎ボルト		引 張 り	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$
		せ ん 断	$\tau_b =$	$f_{sb} =$	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

【○○○容器の耐震性についての計算結果】

【静水頭の場合】
(圧力容器と様式が異なるページのみ掲載)

別紙

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
		建屋 EL. *			$C_H=$	$C_V=$	$C_H=$	$C_V=$	静水頭			

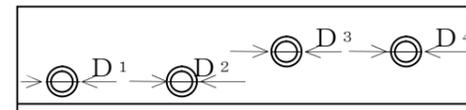
注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m_o (kg)	m_e (kg)	D_i (mm)	t (mm)	D_s (mm)	t_s (mm)	E (MPa)	E_s (MPa)	G (MPa)	G_s (MPa)

l (mm)	l_s (mm)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	D_3 (mm)	H (mm)	s	n	D_c (mm)	D_{bo} (mm)

D_{bi} (mm)	A_b (mm ²)	Y (mm)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			M_s (N·mm)		M_s (N·mm)	
	(M)					

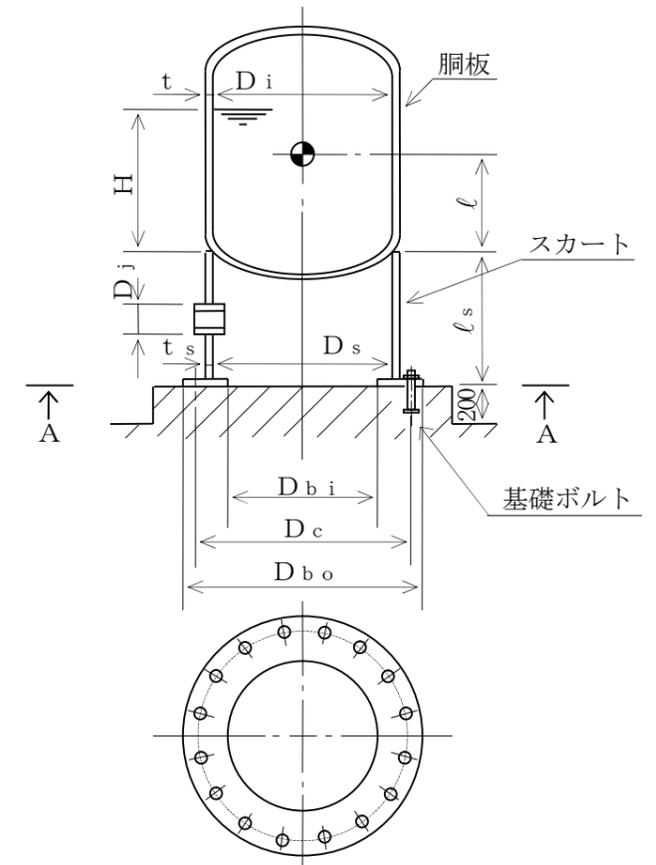


スカート開口部の形状を示す。

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S_y (スカート) (MPa)	S_u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F^* (スカート) (MPa)
*1	*1	*1	*2	*2		

S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
*2	*2		

注記 *1 : 最高使用温度で算出
*2 : 周囲環境温度で算出



A~A 矢視図

本記載例は、最高使用圧力が静水頭の容器を示したものである。

【フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果】
 【○○○○容器の耐震性についての計算結果】

【重大事故等対処設備単独の場合】
 本フォーマットを使用する。
 ただし、章番を1とする。

2. 重大事故等対処設備
 2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
		建屋 EL. *			—	—	$C_H=$	$C_V=$			

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m_o (kg)	m_e (kg)	D_i (mm)	t (mm)	D_s (mm)	t_s (mm)	E (MPa)	E_s (MPa)	G (MPa)	G_s (MPa)
						*1	*2	*1	*2

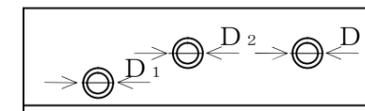
l (mm)	l_s (mm)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	D_3 (mm)	s	n	D_c (mm)	D_{bo} (mm)

D_{bi} (mm)	A_b (mm ²)	Y (mm)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s
			M_s (N・mm)	M_s (N・mm)	M_s (N・mm)
	(M)		—		

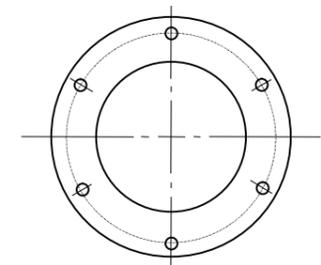
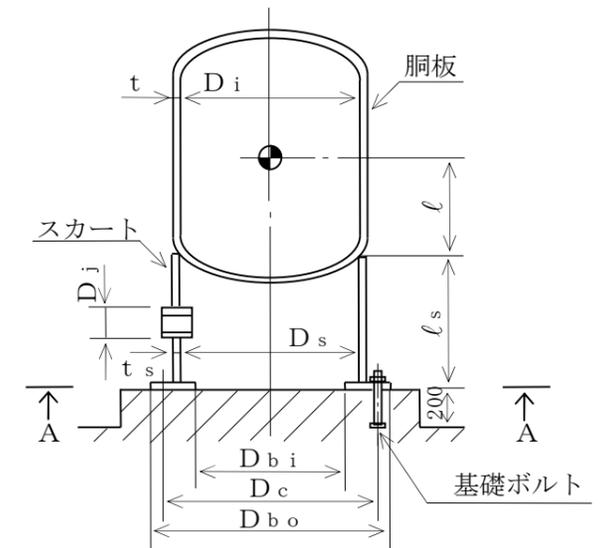
S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S_y (スカート) (MPa)	S_u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F^* (スカート) (MPa)
*1	*1	*1	*2	*2	—	

S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
*2	*2	—	

注記 *1 : 最高使用温度で算出
 *2 : 周囲環境温度で算出



スカート開口部の形状を示す。



A~A矢視図

2.3. 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	—
運転時質量による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 2} =$	—
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 5} =$	—
空質量による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 3} =$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 6} =$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 4} =$	$\tau =$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{x t} =$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{x c} =$	—
組合せ応力	引張り	—	—	$\sigma_{0 t} =$		
	圧縮	—	—	—		

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 5} =$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 6} =$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 4} =$	$\tau =$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xt} =$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xc} =$	—
組合せ応力 (変動値)	引張り	—	—	$\sigma_{2t} =$		
	圧縮	—	—	$\sigma_{2c} =$		

2.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力	—	—	$\sigma_{s 1} =$	$\sigma_s =$
鉛直方向地震による応力	—		$\sigma_{s 3} =$	
水平方向地震による応力	曲げ		$\sigma_{s 2} =$	
	せん断		$\tau_s =$	

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
引張応力	—	$\sigma_b =$
せん断応力	—	$\tau_b =$

2.4. 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

方 向	固 有 周 期
水 平 方 向	$T_H =$
鉛 直 方 向	$T_V =$

2.4.2 応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板		一次一般膜	—	—	$\sigma_0 =$	$S_a =$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 =$	$S_a =$
スカート		組 合 せ	—	—	$\sigma_s =$	$f_t =$
		圧縮と曲げ の 組 合 せ	$\frac{n \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{n \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$		$\frac{n \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{n \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	
		(座屈の評価)	—		(無次元)	
基礎ボルト		引 張 り	—	—	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$
		せ ん 断	—	—	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

【○○○容器の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

【静水頭の場合】
(圧力容器と様式が異なるページのみ掲載)

【重大事故等対処設備単独の場合】
本フォーマットを使用する。
但し、項番を1とする。

別紙

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
		建屋 EL. *			—	—	C _H =	C _V =	静水頭			

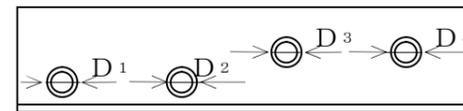
注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m _o (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)

ℓ (mm)	ℓ _s (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	H (mm)	s	n	D _c (mm)	D _{b o} (mm)

D _{b i} (mm)	A _b (mm ²)	Y (mm)	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			M _s (N・mm)		M _s (N・mm)	
	(M)		—			

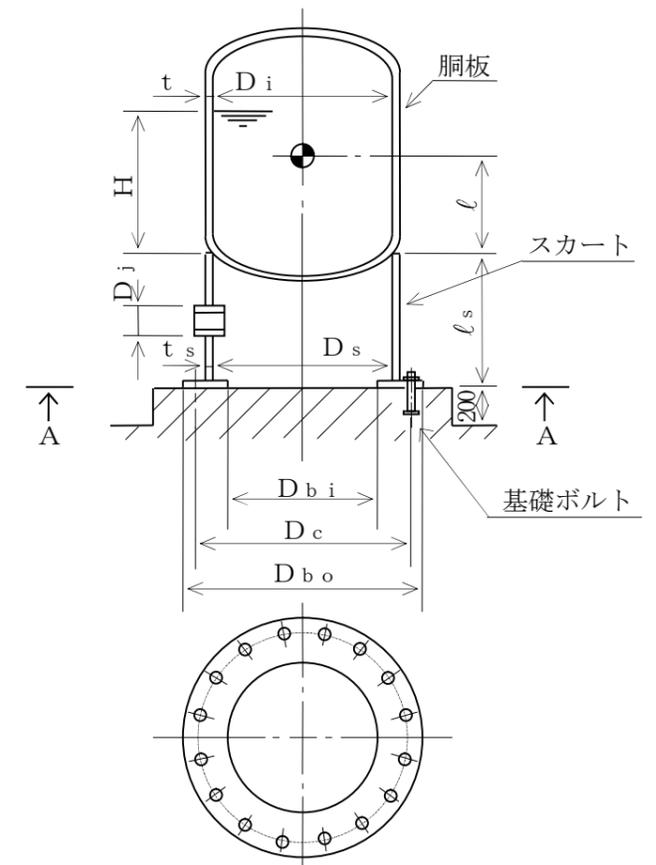


スカート開口部の形状を示す。

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F*(スカート) (MPa)
*1	*1	*1	*2	*2	—	

S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F*(基礎ボルト) (MPa)
*2	*2	—	

注記 *1 : 最高使用温度で算出
*2 : 周囲環境温度で算出



A~A 矢視図

本記載例は、最高使用圧力が静水頭の容器を示したものである。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-925 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-1-13-2 横置一胴円筒形容器の耐震性についての
計算書作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	9
3. 評価部位	10
4. 固有周期	10
4.1 固有周期の計算方法	10
5. 構造強度評価	12
5.1 構造強度評価方法	12
5.2 設計用地震力	13
5.3 計算方法	13
5.4 応力の評価	26
6. 耐震計算書のフォーマット	28
7. 引用文献	28

1. 概要

本基本方針は、**添付資料**「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている横置一胴円筒形容器（耐震重要度分類Sクラス又はS_s機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、**添付資料**「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できない横置一胴円筒形容器にあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

横置一胴円筒形容器の応力評価は、**添付資料**「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく**設計地震力による**応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

横置一胴円筒形容器の耐震評価フローを図2-1に示す。

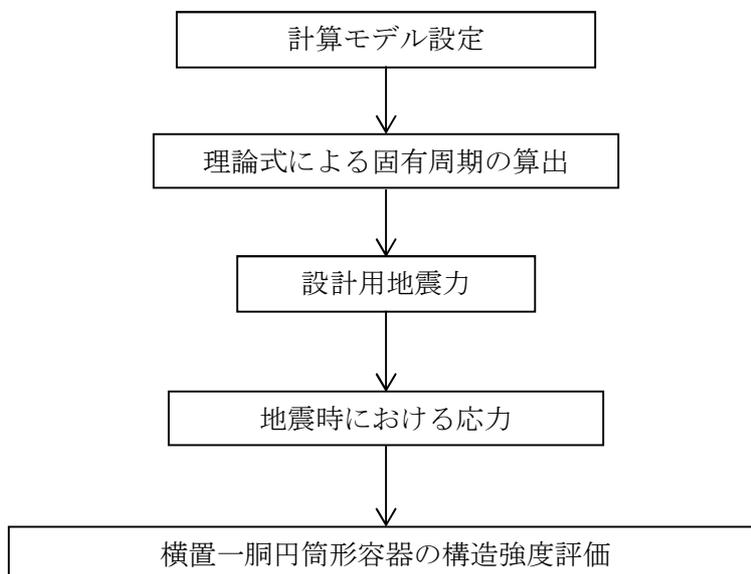


図2-1 横置一胴円筒形容器の耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補一 1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1 -2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	第1脚の断面積	mm^2
A_{s1}	第1脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	第1脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s3}	第1脚の長手方向に対するせん断断面積	mm^2
A_{s4}	第1脚の横方向に対するせん断断面積	mm^2
a	第1脚底板の長手方向幅	mm
b	第1脚底板の横方向幅	mm
C_1	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の横方向）	mm
C_2	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の長手方向）	mm
$C_{c j}$	周方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(2)より得られる値）（ $j=1$ ：周方向応力， $j=2$ ：軸方向応力）	—
C_H	水平方向設計震度	—
$C_{l j}$	軸方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(2)より得られる値）（ $j=1$ ：周方向応力， $j=2$ ：軸方向応力）	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
d_1	第1脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	mm
d_2	第1脚底板端面から基礎ボルト（外側）中心までの横方向の距離	mm
d_3	第1脚底板端面から基礎ボルト（内側）中心までの横方向の距離	mm
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
e	第1脚中心から偏心荷重作用点までの距離	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	脚の許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
H	水頭	mm
h_1	基礎から第1脚の胴付け根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm
I_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4

記号	記号の説明	単位
I_{sy}	第1脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
j_1	荷重分布で分割する荷重の数	—
j_2	第1脚より第2脚と反対の方向に作用する荷重の数（第1脚上の荷重は含まない。）	—
j_3	第2脚より第1脚と反対の方向に作用する荷重の数（第2脚上の荷重は含まない。）	—
K_{1j}, K_{2j}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
K_c	第1脚のばね定数（胴の横方向に水平力が作用する場合）	N/m
K^ℓ	第1脚のばね定数（胴の長手方向に水平力が作用する場合）	N/m
K_v	第1脚のばね定数（胴に鉛直力が作用する場合）	N/m
$K_{cj}, K^{\ell j}$	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
ℓ_0	脚中心間距離	mm
ℓ_i	第1脚より各荷重までの距離（ここで第2脚側の距離は正, その反対側は負とする。） ($i=1, 2, 3 \dots j_1$)	mm
ℓ_w	当板における脚の取り付けかない部分の長手方向長さ	mm
M	第1脚底板に作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_1	第1脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_2	第2脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_c	横方向地震により胴の第1脚付け根部に作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{c1}	横方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M^ℓ	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M^{ℓ_1}	長手方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}/\text{mm}$
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}/\text{mm}$
m_0	容器の運転時質量	kg
m_i	容器各部の質量 ($i=1, 2, 3 \dots j_1$)	kg
m_{s1}	第1脚の質量	kg
m_{s2}	第2脚の質量	kg
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
n	脚1個当たりの基礎ボルトの本数	—
n_1	長手方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	—
n_2	横方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	—
P	運転時質量により胴の第1脚付け根部に作用する反力	N

記号	記号の説明	単位
P_e	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に作用する反力	N
P_l	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に作用する鉛直荷重	N
P_r	最高使用圧力	MPa
P_s	長手方向及び鉛直方向地震により第1脚底部に作用する鉛直荷重	N
P_{s1}	横方向及び鉛直方向地震により第1脚底部に作用する鉛直荷重	N
R_1	第1脚の受ける荷重	N
R_2	第2脚の受ける荷重	N
r_m	第1脚付け根部における胴の平均半径	mm
r_o	第1脚付け根部における胴の外半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40℃における値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_1	長手方向固有周期	s
T_2	横方向固有周期	s
T_3	鉛直方向固有周期	s
t	第1脚側胴板の厚さ	mm
t_e	第1脚付け根部における胴の有効板厚	mm
X_n	基礎が圧縮力を受ける幅	mm
Z	引用文献(1)による胴の断面係数	mm ³
Z_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{sy}	第1脚の横方向軸に対する断面係数	mm ³
β, β_1, β_2	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータ	—
γ	引用文献(2)によるシェルパラメータ	—
θ	引用文献(1)による胴の有効範囲角の2分の1	rad
θ_o	胴の第1脚端部より鉛直軸までの角度	rad
θ_w	胴の第1脚端部より当板端部までの角度	rad
π	円周率	—
ρ'	液体の密度 (=比重×10 ⁻⁶)	kg/mm ³
σ_o	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{oc}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{0cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
σ_{0l}	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
σ_{0lx}	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0l\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
σ_1	胴の組合せ一次応力の最大値	MPa
σ_{1c}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
σ_{1l}	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1lx}	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1l\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{2c}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2cx}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2l}	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2lx}	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2l\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{b1}	長手方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b2}	横方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_s	第1脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{sc}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
σ_{sl}	鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
σ_{s1}	運転時質量により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{s2}	長手方向地震により第1脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和	MPa
σ_{s3}	横方向地震により第1脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{s4}	鉛直方向地震により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{x1}	内圧又は静水頭により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による長手方向曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x3}	運転時質量により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x41}, \sigma_{x42}$	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{x411}, \sigma_{x421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{x412}, \sigma_{x422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x413}	長手方向地震による水平方向荷重により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x51}, \sigma_{x52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x6}	鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x71}, \sigma_{x72}$	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi1}$	内圧又は静水頭により胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi2}$	静水頭に鉛直地震力が加わり胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi3}$	運転時質量により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi41}, \sigma_{\phi42}$	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi411}, \sigma_{\phi421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi412}, \sigma_{\phi422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi51}, \sigma_{\phi52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{\phi 71}, \sigma_{\phi 72}$	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b1}	長手方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b2}	横方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_c	横方向地震により胴の第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_l	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{s2}	長手方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s3}	横方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa

2.4 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-1に示すとおりである。

表2-1 表示する数値の丸め方

数 値 の 種 類	単 位	処 理 桁	処 理 方 法	表 示 桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
最高使用圧力	MPa	—	—	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
比重	—	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
質量	kg	—	—	整数位
長 さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	小数点以下第1位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
角度	rad	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

横置一胴円筒形容器の耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる胴、脚及び基礎ボルトについて評価を実施する。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- a. 容器及び内容物の質量は胴の中心軸に集中するものとする。
- b. 容器の胴は2個の脚で支持され、脚はそれぞれ基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- c. 胴は剛とし、脚をはりと考え、変形モードは脚の曲げ及びせん断変形を考慮する。
- d. 脚が長手方向に変形する場合、脚を基礎に取り付ける基礎ボルトが、脚の変形方向に直角な方向より見て脚1個につき1列の場合は下端を単純支持とする。
その他の場合は固定とする。
- e. 第2脚は長手方向にスライドできるものとし、その方向の力はすべて第1脚で受けるものとする。
- f. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- g. 本容器の荷重状態及び胴に生じるモーメントを図4-1～図4-4に示す。

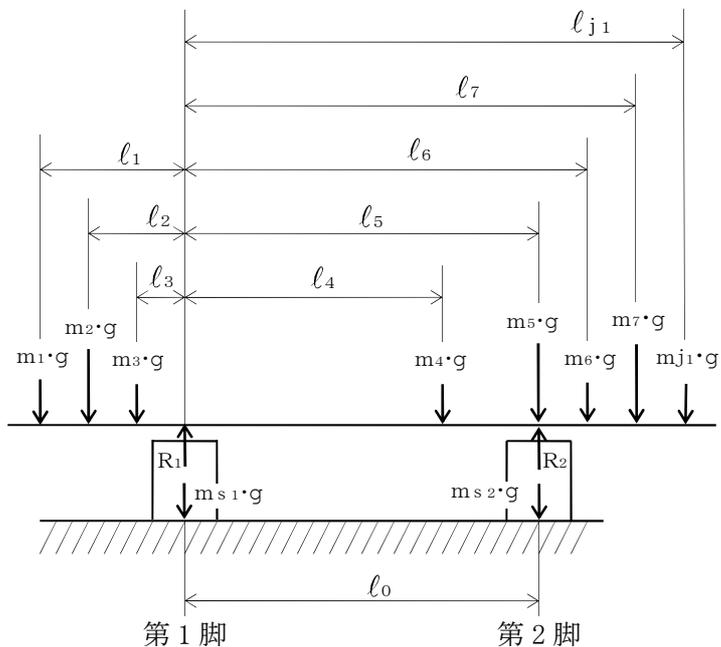


図4-1 荷重状態

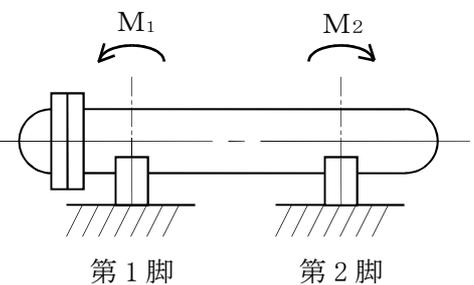


図4-2 脚の位置での曲げモーメント

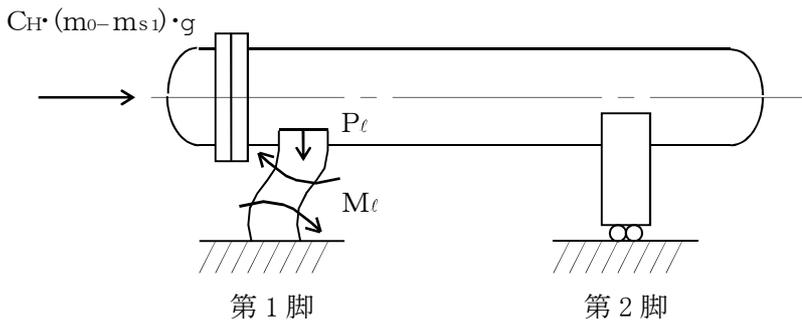


図4-3 長手方向荷重による胴の第1脚付け根部のモーメント及び鉛直荷重

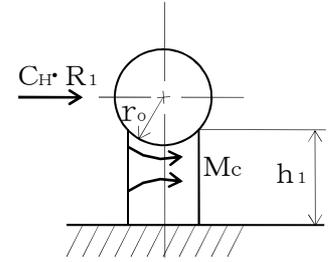


図4-4 横方向荷重による胴の第1脚付け根部のモーメント

h. 本容器は、前記の条件より図4-5、図4-6及び図4-7のような1質点系振動モデルとして考える。

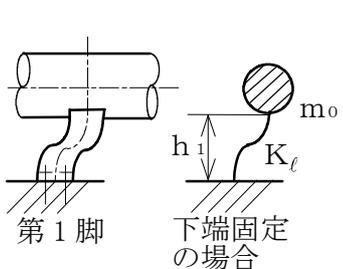


図4-5 長手方向の固有周期計算モデル

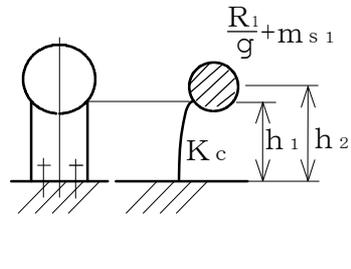


図4-6 横方向の固有周期計算モデル

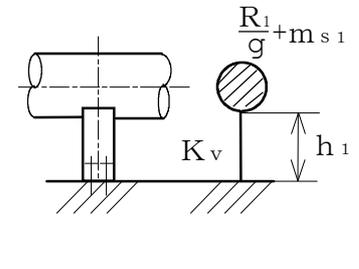


図4-7 鉛直方向の固有周期計算モデル

(2) 脚の受ける荷重

脚の受ける荷重はモーメントの釣合いより求める。図4-1において第1脚回りのモーメントの釣合いは次式で求める。

$$\sum_{i=1}^{j_1} m_i \cdot g \cdot l_i - R_2 \cdot l_0 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.1)$$

したがって、脚の受ける荷重は次式で求める。

$$R_2 = \sum_{i=1}^{j_1} m_i \cdot g \cdot l_i / l_0 \quad \dots\dots\dots (4.1.2)$$

$$R_1 = \sum_{i=1}^{j_1} m_i \cdot g - R_2 \quad \dots\dots\dots (4.1.3)$$

(3) 長手方向の固有周期

図4-5におけるばね定数は次式で求める。

$$K_\ell = \frac{1000}{\frac{h_1^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{sy}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s1}}} \quad \dots\dots\dots (4.1.4)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_l}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

(4) 横方向の固有周期

図4-6におけるばね定数は次式で求める。

$$K_c = \frac{1000}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{sx}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1 / 2)}{E_s \cdot I_{sx}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s2}}} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\frac{R_1}{g} + m_{s1}}{K_c}} \dots\dots\dots (4.1.7)$$

ただし、脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

(5) 鉛直方向の固有周期

図4-7におけるばね定数は次式で求める。

$$K_v = \frac{1000}{\frac{h_1}{A_s \cdot E_s}} \dots\dots\dots (4.1.8)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_3 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\frac{R_1}{g} + m_{s1}}{K_v}} \dots\dots\dots (4.1.9)$$

ただし、脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1項a.～f.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。ここで、水平方向地震力は胴の長手方向に作用する場合と胴の横方向に作用する場合を考慮する。
- (2) 第1脚と第2脚は同形状であり、受ける荷重の大きい方の脚についての評価を計算書に記載する。

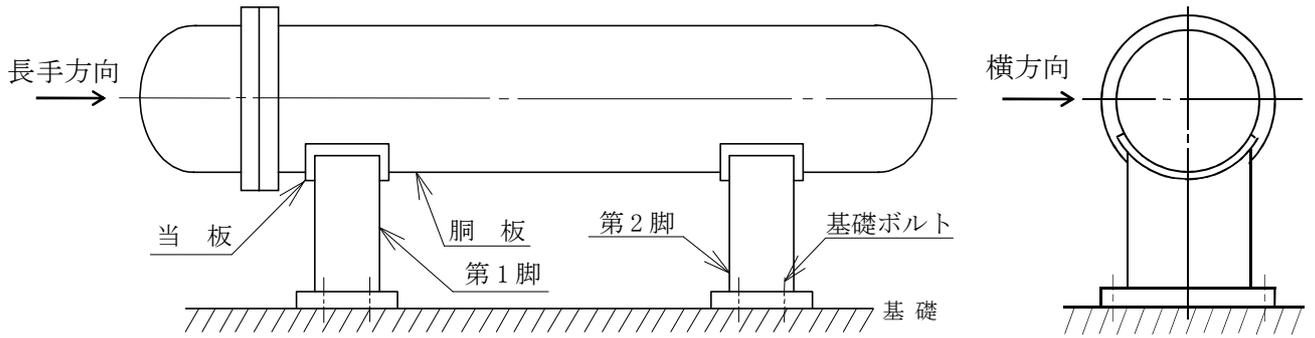


図5-1 概要図

5.2 設計用地震力

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度及び基準地震動 S_s による地震力は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

応力計算における水平方向と鉛直方向の組合せについて、静的地震力を用いる場合は絶対値和を用いる。動的地震力を用いる場合は、絶対値和又はSRSS法を用いる。

5.3.1.1 胴の計算方法

(1) 曲げモーメント

図4-1に示すように胴を集中荷重を受けるはりとして考える。

図4-2において脚付け根部における曲げモーメント M_1 及び M_2 は次式で求める。

$$M_1 = \sum_{i=1}^{j_2} m_i \cdot g \cdot |l_i| \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.1)$$

$$M_2 = \sum_{i=j_1-1}^{j_1} m_i \cdot g \cdot |l_i - l_0| \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.2)$$

(2) 静水頭又は内圧による応力

静水頭による場合（鉛直方向地震時を含む。）

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.3)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{4 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

内圧による場合

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.6)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.7)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

(3) 運転時質量及び鉛直方向地震により生じる長手方向曲げモーメントによる応力

(1)で求めた曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる応力は次のように求める。

引用文献(1)によれば、この曲げモーメントは胴の断面に対して一様に作用するものではなく、脚取付部において円周方向の曲げモーメントに置き換えられ、胴の局部変形を生じさせようとする。

いま、長手方向の曲げモーメントによる胴の応力の影響範囲を脚上 $\frac{\theta_0}{6}$ の点とすると長手方向曲げモーメントに対する胴の有効断面積は図5-2に $2 \cdot \theta$ で示される円殻である。

したがって、運転時質量による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x 2} = \frac{M_1}{Z} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.9)$$

また、鉛直方向地震による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x 6} = \frac{M_1}{Z} \cdot C_v \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.10)$$

ここで、

$$r_m = \frac{D_i + t_e}{2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.11)$$

$$Z = r_m^2 \cdot t_e \cdot \left\{ \frac{\theta + \sin \theta \cdot \cos \theta - 2 \cdot \sin^2 \theta / \theta}{(\sin \theta / \theta) - \cos \theta} \right\} \quad \dots\dots (5.3.1.1.12)$$

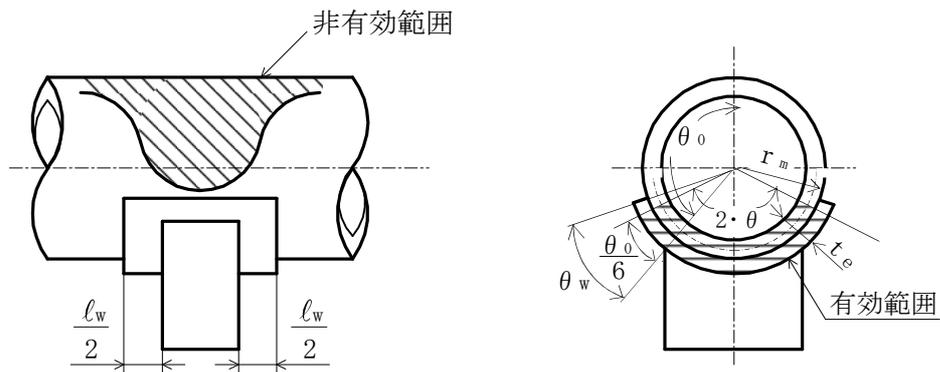


図5-2 脚付け根部の有効範囲

胴の脚付け根部に取り付く当板の大きさが

$$\text{周方向範囲} \quad \theta_w \geq \frac{\theta_0^{*1}}{6} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.13)$$

$$\text{長手方向範囲} \quad l_w \geq 1.56 \cdot \sqrt{\left(\frac{D_i + t}{2}\right) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.14)$$

である場合、脚付け根部における胴の有効板厚 t_e は胴板の厚さと当板の厚さの合計とする。また、当板が上記の範囲を満たさない場合、 t_e は胴板の厚さとする。

注記*1：引用文献(1)より引用

*2：引用文献(3)より引用

(4) 運転時質量及び鉛直方向地震による脚付け根部の応力

脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

胴の脚付け根部には脚反力による周方向応力及び軸方向応力が生じる。胴の第1脚付け根部に作用する反力は次式で求める。

運転時質量による反力は、

$$P = R_1 \dots\dots\dots (5.3.1.1.15)$$

鉛直方向地震による反力は、

$$P_e = C_v \cdot R_1 \dots\dots\dots (5.3.1.1.16)$$

この反力 P 及び P_e により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、引用文献(2)により次のように求める。

脚が胴に及ぼす力の関係を図5-3に示す。

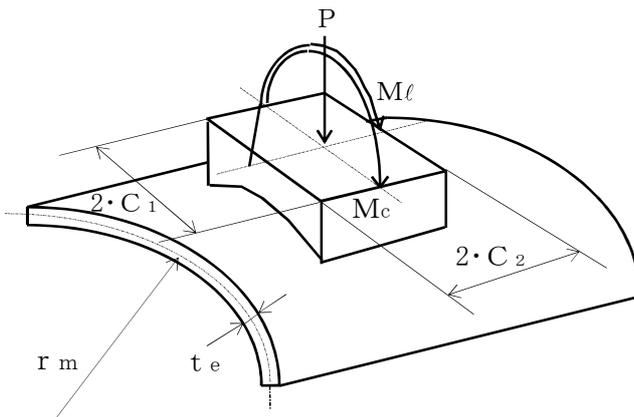


図5-3 脚が胴に及ぼす力の関係

ここで、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β は以下のように定義する。

$$\gamma = r_m / t_e \dots\dots\dots (5.3.1.1.17)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \dots\dots\dots (5.3.1.1.18)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \dots\dots\dots (5.3.1.1.19)$$

$4 \geq \beta_1 / \beta_2 \geq 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{1}{3} \cdot (\beta_1 / \beta_2 - 1) \cdot (1 - K_{1j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.20)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

$$\frac{1}{4} \leq \beta_1 / \beta_2 < 1 \text{ のとき}$$

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{4}{3} \cdot (1 - \beta_1 / \beta_2) \cdot (1 - K_{2j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.21)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより応力は次式で求める。

反力 P による応力は、

一次応力

$$\sigma_{\phi 3} = \left(\frac{N_{\phi}}{P / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t_e} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.1.22)$$

$$\sigma_{x 3} = \left(\frac{N_x}{P / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t_e} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.1.23)$$

反力 P_e による応力は、

一次応力

$$\sigma_{\phi 71} = \left(\frac{N_{\phi}}{P_e / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_e}{r_m \cdot t_e} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.1.24)$$

$$\sigma_{x 71} = \left(\frac{N_x}{P_e / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_e}{r_m \cdot t_e} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.1.25)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 72} = \left(\frac{M_{\phi}}{P_e} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_e}{t_e^2} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.1.26)$$

$$\sigma_{x 72} = \left(\frac{M_x}{P_e} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_e}{t_e^2} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.1.27)$$

(5) 長手方向地震による脚付け根部の応力

第2脚は長手方向に自由にスライドできるので第1脚は図4-3のように変形し、脚付け根部に生じる曲げモーメント及び鉛直荷重は次式で求める。

$$M_{\ell} = \frac{1}{2} \cdot C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g \cdot h_1 \dots\dots\dots (5.3.1.1.28)$$

$$P_{\ell} = C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g \cdot \frac{h_2 - \frac{1}{2} \cdot h_1}{\ell_0} \dots\dots\dots (5.3.1.1.29)$$

曲げモーメント M_{ℓ} と鉛直荷重 P_{ℓ} により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより (5.3.1.1.31) 式～ (5.3.1.1.38) 式で求める。

ここで、シェルパラメータ γ 及び P_{ℓ} の場合のアタッチメントパラメータ β は(4)と同じであるが、 M_{ℓ} の場合のアタッチメントパラメータ β は次式による。

ただし、二次応力を求める場合は更に $K_{\ell j}$ を乗じた値とする。

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.30)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

曲げモーメント $M\ell$ により生じる応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 411} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M\ell / (r m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M\ell}{r m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{\ell 1} \quad \dots \quad (5.3.1.1.31)$$

$$\sigma_{x 411} = \left\{ \frac{N_x}{M\ell / (r m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M\ell}{r m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{\ell 2} \quad \dots \quad (5.3.1.1.32)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 421} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M\ell / (r m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M\ell}{r m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \quad \dots \quad (5.3.1.1.33)$$

$$\sigma_{x 421} = \left\{ \frac{M_x}{M\ell / (r m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M\ell}{r m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \quad \dots \quad (5.3.1.1.34)$$

鉛直荷重 $P\ell$ により生じる応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 412} = \left(\frac{N_{\phi}}{P\ell / r m} \right)^* \cdot \left(\frac{P\ell}{r m \cdot t_e} \right) \quad \dots \quad (5.3.1.1.35)$$

$$\sigma_{x 412} = \left(\frac{N_x}{P\ell / r m} \right)^* \cdot \left(\frac{P\ell}{r m \cdot t_e} \right) \quad \dots \quad (5.3.1.1.36)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 422} = \left(\frac{M_{\phi}}{P\ell} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P\ell}{t_e^2} \right) \quad \dots \quad (5.3.1.1.37)$$

$$\sigma_{x 422} = \left(\frac{M_x}{P\ell} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P\ell}{t_e^2} \right) \quad \dots \quad (5.3.1.1.38)$$

また、水平方向荷重により胴には、次式で求める引張応力が生じる。

$$\sigma_{x 413} = \frac{C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots \quad (5.3.1.1.39)$$

したがって、曲げモーメント $M\ell$ 、鉛直荷重 $P\ell$ 及び水平方向荷重により生じる胴の応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 41} = \sigma_{\phi 411} + \sigma_{\phi 412} \quad \dots \quad (5.3.1.1.40)$$

$$\sigma_{x 41} = \sigma_{x 411} + \sigma_{x 412} + \sigma_{x 413} \quad \dots \quad (5.3.1.1.41)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 42} = \sigma_{\phi 421} + \sigma_{\phi 422} \quad \dots \quad (5.3.1.1.42)$$

$$\sigma_{x 42} = \sigma_{x 421} + \sigma_{x 422} \quad \dots \quad (5.3.1.1.43)$$

また、長手方向地震が作用した場合、第1脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{\ell} = \frac{C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots \quad (5.3.1.1.44)$$

(6) 横方向地震による脚付け根部の応力

脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

横方向地震が作用した場合、第1脚の付け根部に生じる曲げモーメント M_c は次式で求める。

$$M_c = C_H \cdot R_1 \cdot r_o \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.45)$$

$$r_o = \frac{D_i}{2} + t_e \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.46)$$

この曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより（5.3.1.1.48）式～（5.3.1.1.51）式で求める。

ここで、シェルパラメータ γ は(4)と同じであるが、アタッチメントパラメータ β は次式による。ただし、二次応力を求める場合は更に $K_{c j}$ を乗じた値とする。

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.47)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

したがって、応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 51} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{c1} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.48)$$

$$\sigma_{x 51} = \left\{ \frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{c2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.49)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 52} = \left\{ \frac{M_\phi}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.50)$$

$$\sigma_{x 52} = \left\{ \frac{M_x}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.51)$$

また、横方向地震が作用した場合、第1脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_c = \frac{C_H \cdot R_1}{4 \cdot C_1 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.52)$$

(7) 組合せ応力

(2)～(6)によって求めた第1脚付け根部に生じる胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{0\ell} = \text{Max} \{ \text{周方向応力}(\sigma_{0\ell\phi}), \text{軸方向応力}(\sigma_{0\ell x}) \} \dots\dots\dots (5.3.1.1.53)$$

ここで,

$$\sigma_{0\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.54)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{0\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 413} \dots\dots\dots (5.3.1.1.55)$$

【S R S S法】

$$\sigma_{0\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 6}^2 + \sigma_{x 413}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.56)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{0c} = \text{Max} \{ \text{周方向応力}(\sigma_{0c\phi}), \text{軸方向応力}(\sigma_{0cx}) \} \dots\dots\dots (5.3.1.1.57)$$

ここで,

$$\sigma_{0c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.58)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{0cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 6} \dots\dots\dots (5.3.1.1.59)$$

【S R S S法】

$$\sigma_{0cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 6} \dots\dots\dots (5.3.1.1.60)$$

したがって、胴に生じる一次一般膜応力の最大値は、絶対値和、S R S S法、それぞれに対して、

$$\sigma_0 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{0\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{0c}) \} \dots\dots\dots (5.3.1.1.61)$$

とする。

b. 一次応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1\ell} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1\ell\phi} + \sigma_{1\ell x}) + \sqrt{(\sigma_{1\ell\phi} - \sigma_{1\ell x})^2 + 4 \cdot \tau_{\ell}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.1.62)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{1\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 71} \dots\dots\dots (5.3.1.1.63)$$

$$\sigma_{1\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 41} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} \dots\dots\dots (5.3.1.1.64)$$

【S R S S法】

$$\sigma_{1\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 41}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71})^2} \dots\dots (5.3.1.1.65)$$

$$\sigma_{1\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{\sigma_{x 41}^2 + (\sigma_{x 6} + \sigma_{x 71})^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.66)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1c\phi} + \sigma_{1cx}) + \sqrt{(\sigma_{1c\phi} - \sigma_{1cx})^2 + 4 \cdot \tau_c^2} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.1.67)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 51} + \sigma_{\phi 71} \dots\dots\dots (5.3.1.1.68)$$

$$\sigma_{1cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 51} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} \dots\dots\dots (5.3.1.1.69)$$

【S R S S法】

$$\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 51}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71})^2} \dots\dots (5.3.1.1.70)$$

$$\sigma_{1cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{\sigma_{x 51}^2 + (\sigma_{x 6} + \sigma_{x 71})^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.71)$$

したがって、胴に生じる一次応力の最大値は、絶対値和、S R S S法、それぞれに対して、

$$\sigma_1 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{1\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{1c}) \} \dots\dots\dots (5.3.1.1.72)$$

とする。

c. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2l} = (\sigma_{2l\phi} + \sigma_{2lx}) + \sqrt{(\sigma_{2l\phi} - \sigma_{2lx})^2 + 4 \cdot \tau_l^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.73)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{2l\phi} = \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 42} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72} \quad \dots\dots (5.3.1.1.74)$$

$$\sigma_{2lx} = \sigma_{x41} + \sigma_{x42} + \sigma_{x6} + \sigma_{x71} + \sigma_{x72} \quad \dots\dots (5.3.1.1.75)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{2l\phi} = \sqrt{(\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72})^2 + (\sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 42})^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.76)$$

$$\sigma_{2lx} = \sqrt{(\sigma_{x41} + \sigma_{x42})^2 + (\sigma_{x6} + \sigma_{x71} + \sigma_{x72})^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.77)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2c} = (\sigma_{2c\phi} + \sigma_{2cx}) + \sqrt{(\sigma_{2c\phi} - \sigma_{2cx})^2 + 4 \cdot \tau_c^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.78)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{2c\phi} = \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 51} + \sigma_{\phi 52} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72} \quad \dots\dots (5.3.1.1.79)$$

$$\sigma_{2cx} = \sigma_{x51} + \sigma_{x52} + \sigma_{x6} + \sigma_{x71} + \sigma_{x72} \quad \dots\dots (5.3.1.1.80)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{2c\phi} = \sqrt{(\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72})^2 + (\sigma_{\phi 51} + \sigma_{\phi 52})^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.81)$$

$$\sigma_{2cx} = \sqrt{(\sigma_{x51} + \sigma_{x52})^2 + (\sigma_{x6} + \sigma_{x71} + \sigma_{x72})^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.82)$$

したがって、胴に生じる地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は、絶対値和、SRSS法、それぞれに対して、

$$\sigma_2 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{2l}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{2c}) \} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.83)$$

とする。

5.3.1.2 脚の計算方法

脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

- (1) 運転時荷重による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \dots\dots\dots (5.3.1.2.1)$$

- (2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{s4} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \cdot C_v \dots\dots\dots (5.3.1.2.2)$$

- (3) 長手方向地震による応力

曲げ及び圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_{s2} = \frac{M\ell_1}{Z_{sy}} + \frac{P\ell}{A_s} \dots\dots\dots (5.3.1.2.3)$$

ここで、

$$M\ell_1 = \frac{1}{2} \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot h_1 \dots\dots\dots (5.3.1.2.4)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s2} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{A_{s3}} \dots\dots\dots (5.3.1.2.5)$$

- (4) 横方向地震による応力

曲げ応力は次式で求める。

$$\sigma_{s3} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \cdot h_2}{Z_{sx}} \dots\dots\dots (5.3.1.2.6)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s3} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)}{A_{s4}} \dots\dots\dots (5.3.1.2.7)$$

- (5) 組合せ応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

【絶対値和】

$$\sigma_{s\ell} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4})^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.2.8)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{s\ell} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s4}^2})^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.2.9)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

【絶対値和】

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4})^2 + 3 \cdot \tau_{s3}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.2.10)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s3}^2 + \sigma_{s4}^2})^2 + 3 \cdot \tau_{s3}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.2.11)$$

したがって、脚に生じる最大応力は、絶対値和，SRSS法，それぞれに対して、

$$\sigma_s = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力} (\sigma_{s\ell}), \text{横方向地震時応力} (\sigma_{sc}) \} \dots\dots\dots (5.3.1.2.12)$$

とする。

5.3.1.3 基礎ボルトの計算方法

(1) 鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

a. 引張応力

長手方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは次式で求める。

$$M = M\ell_1 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.1)$$

鉛直荷重は

【絶対値和】

$$P_s = (1 - C_v) \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) - P_\ell \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.2)$$

【SRSS法】

$$P_s = R_1 + m_{s1} \cdot g - \sqrt{\{C_v \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)\}^2 + P_\ell^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.3)$$

である。ここで、モーメントと鉛直荷重の比を

$$e = M / P_s \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.4)$$

とする。

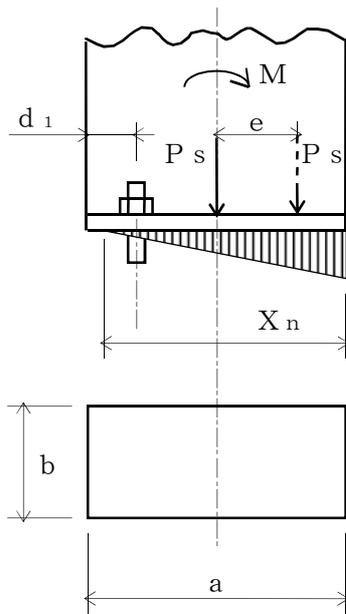


図5-4 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その1)

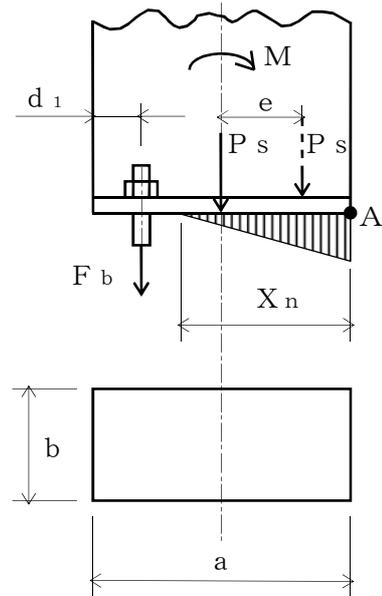


図5-5 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その2)

図5-4のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では基礎ボルトに引張力は作用しないため、引張力の評価は行わない。

一方、図5-5のように、ボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e > \frac{a}{6} + \frac{d_1}{3} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.5)$$

のとき、基礎ボルトに引張力が生じる。

このとき図5-5において、鉛直荷重の釣合い、A点回りのモーメントの釣合い、基礎ボルトの伸びと基礎の縮みの関係から中立軸の位置 X_n は

$$X_n^3 + 3 \cdot \left(e - \frac{a}{2}\right) \cdot X_n^2 - \frac{6 \cdot s \cdot A_b \cdot n_1}{b} \cdot \left(e + \frac{a}{2} - d_1\right) \cdot (a - d_1 - X_n) = 0 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.6)$$

より求めることができ、基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b = \frac{P_s \cdot \left(e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3}\right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.7)$$

となる。

したがって、基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b1} = \frac{F_b}{n_1 \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.8)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.9)$$

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

a. 引張応力

(a) 長手方向から見て図5-6のように応力を2列の基礎ボルトで受ける場合

鉛直方向と横方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは

$$M_{c1} = C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \cdot h_2 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.10)$$

鉛直荷重は

$$P_{s1} = (1 - C_v) \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.11)$$

で求める。

(1)と同様にして中立軸の位置 X_n を

$$X_n^3 + 3 \cdot \left(e - \frac{b}{2}\right) \cdot X_n^2 - \frac{6 \cdot s \cdot A_b \cdot n_2}{a} \cdot \left\{ \left(e + \frac{b}{2} - d_2\right) \cdot (b - X_n - d_2) + \left(e + \frac{b}{2} - d_3\right) \cdot (b - X_n - d_3) \right\} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.12)$$

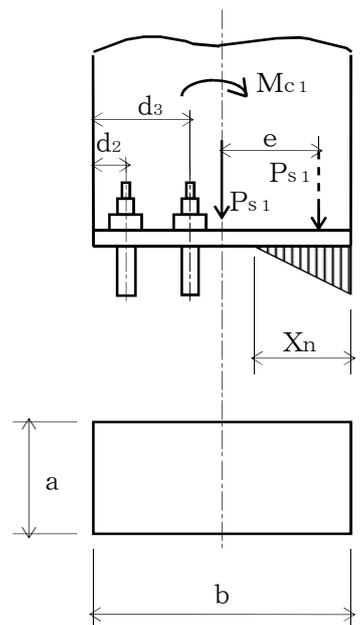


図 5-6 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その3)

ただし

$$e = M_{c1} / P_{s1} \dots \dots \dots (5.3.1.3.13)$$

より求めると、基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b = \frac{P_{s1} \cdot \left(e - \frac{b}{2} + \frac{X_n}{3} \right) \cdot (b - X_n - d_2)}{\left(b - d_2 - \frac{X_n}{3} \right) \cdot (b - X_n - d_2) + \left(b - d_3 - \frac{X_n}{3} \right) \cdot (b - X_n - d_3)} \dots \dots \dots (5.3.1.3.14)$$

となる。

したがって、基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b2} = \frac{F_b}{n_2 \cdot A_b} \dots \dots \dots (5.3.1.3.15)$$

(b) 長手方向から見て応力を1列の基礎ボルトで受ける場合

(1)と同様にして引張応力は求められるが、MをM_{c1}、P_sをP_{s1}、d₁をd₂、aをb、bをa及びn₁をn₂に置き換え、得られた基礎ボルトの応力をσ_{b2}とする。

b. せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots (5.3.1.3.16)$$

(3) 基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より求められた基礎ボルトの応力のうち最大のものをσ_b及びτ_bとする。

a. 基礎ボルトの最大引張応力

$$\sigma_b = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{b1}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{b2}) \} \dots \dots \dots (5.3.1.3.17)$$

b. 基礎ボルトの最大せん断応力

$$\tau_b = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\tau_{b1}), \text{横方向地震時応力}(\tau_{b2}) \} \dots \dots \dots (5.3.1.3.18)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 胴の応力評価

5.3.1.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許 容 応 力 S_a	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の0.6倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては許容引張応力 S の1.2倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の0.6倍
一 次 応 力	上記の1.5倍の値	上記の1.5倍の値
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の2倍以下であれば、疲れ解析は不要とする。	

5.4.2 脚の応力評価

5.3.1.2項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力 f_t 以下であること。

ただし、 f_t は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5.4.3 基礎ボルトの応力評価

5.3.1.3項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.4.3.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみ受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$ *
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$ *

6. 耐震計算書のフォーマット

横置一胴円筒形容器の耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記 *：重大事故等対処設備単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

7. 引用文献

- (1) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.
- (2) Wichman, K.R. et al.:Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 / August 1965.
- (3) 日本工業規格 J I S B 8 2 7 8 (2003)「サドル支持の横置圧力容器」

【フォーマット I 設計基準対象施設としての評価結果】

【〇〇〇〇〇タンクの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は 静的震度		基準地震動 S_s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
		建屋 EL. *			$C_H =$	$C_V =$	$C_H =$	$C_V =$			

注記 * : 基準床レベルを示す。

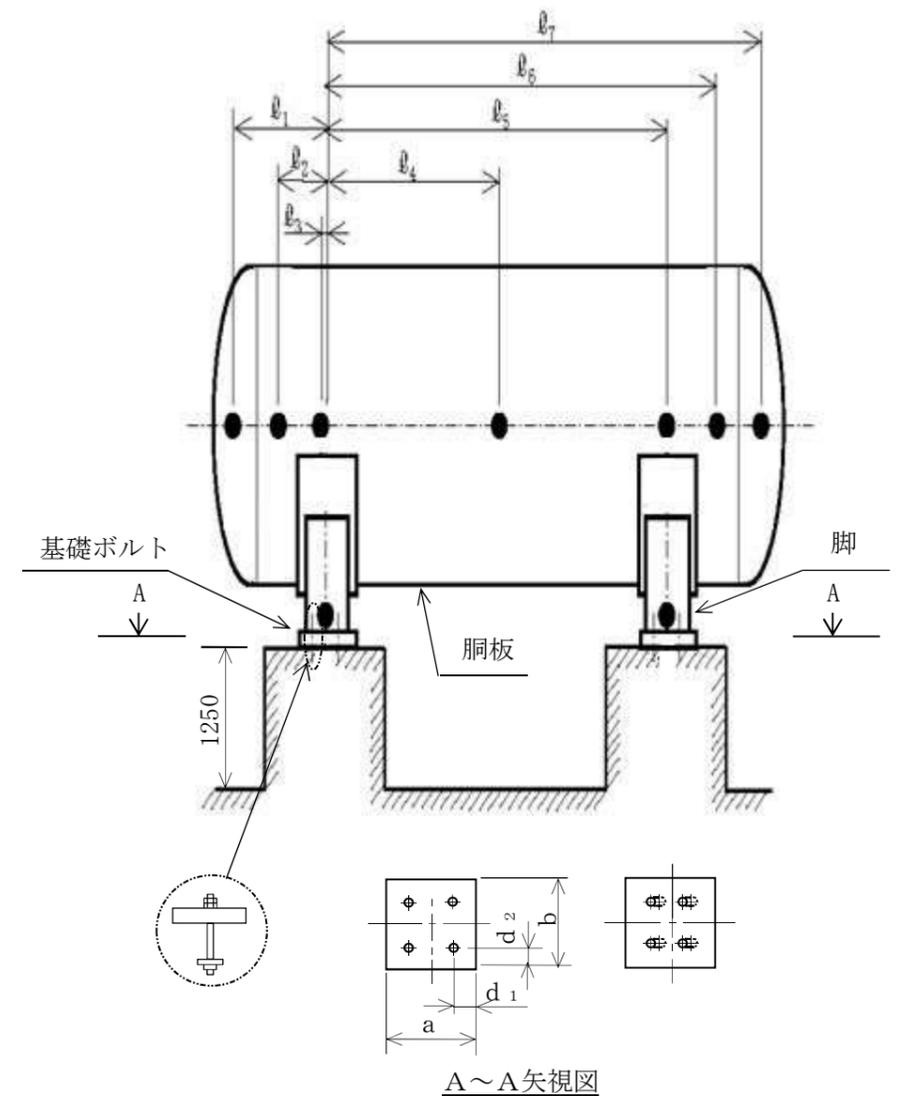
1.2 機器要目

m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_3 (kg)	m_4 (kg)	m_5 (kg)	m_6 (kg)	m_7 (kg)

l_1 (mm)	l_2 (mm)	l_3 (mm)	l_4 (mm)	l_5 (mm)	l_6 (mm)	l_7 (mm)	M_1 (N・mm)	M_2 (N・mm)	R_1 (N)	R_2 (N)

m_0 (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	l_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	θ_w (rad)	l_w (mm)
					*1					

C_1 (mm)	C_2 (mm)	I_{sx} (mm ⁴)	I_{sy} (mm ⁴)	Z_{sx} (mm ³)	Z_{sy} (mm ³)	θ_0 (rad)	θ (rad)



A_s (mm ²)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	A_{s3} (mm ²)	A_{s4} (mm ²)

K_{11}^{*4}	K_{12}^{*4}	K_{21}^{*4}	K_{22}^{*4}	K_{l1}	K_{l2}	K_{c1}	K_{c2}	C_{l1}	C_{l2}	C_{c1}	C_{c2}

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
						(M)		

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F* (脚) (MPa)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
*2	*2	*2	*3	*3			*3	*3		

注記 *1：本計算においては当板を有効とした。
 *2：最高使用温度で算出
 *3：周囲環境温度で算出
 *4：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

胴板と当板の材料が異なる場合
 当板の S_y , S_u 及び S 値を記載する。

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)
*1 (*3)	*1 (*3)	*1 (*3)	

注記 *1：最高使用温度で算出
 *2：周囲環境温度で算出
 *3：当板の材料を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	$\sigma_{x 413} =$	—	—	—	$\sigma_{x 413} =$	—	—
組合せ応力	$\sigma_{0\ell} =$		$\sigma_{0c} =$		$\sigma_{0\ell} =$		$\sigma_{0c} =$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	
水平方向地震 による応力	引張り	$\sigma_{\phi 411} =$	$\sigma_{x 411} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x 51} =$	$\sigma_{\phi 411} =$	$\sigma_{x 411} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x 51} =$
		$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$			$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$		
		$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$			$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$		
	せん断	$\tau_{\ell} =$		$\tau_{c} =$		$\tau_{\ell} =$		$\tau_{c} =$	
組合せ応力	$\sigma_{1\ell} =$		$\sigma_{1c} =$		$\sigma_{1\ell} =$		$\sigma_{1c} =$		

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		$\sigma_{\phi 71} =$ $\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x 71} =$ $\sigma_{x 72} =$	$\sigma_{\phi 71} =$ $\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x 71} =$ $\sigma_{x 72} =$	$\sigma_{\phi 71} =$ $\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x 71} =$ $\sigma_{x 72} =$	$\sigma_{\phi 71} =$ $\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x 71} =$ $\sigma_{x 72} =$
水平方向地震 による応力	引張り	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x 51} =$	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x 51} =$
		$\sigma_{\phi 421} =$ $\sigma_{\phi 422} =$	$\sigma_{x 421} =$ $\sigma_{x 422} =$	$\sigma_{\phi 52} =$	$\sigma_{x 52} =$	$\sigma_{\phi 421} =$ $\sigma_{\phi 422} =$	$\sigma_{x 421} =$ $\sigma_{x 422} =$	$\sigma_{\phi 52} =$	$\sigma_{x 52} =$
		$\sigma_{\phi 42} =$	$\sigma_{x 42} =$			$\sigma_{\phi 42} =$	$\sigma_{x 42} =$		
	せん断	$\tau_{\ell} =$		$\tau_c =$		$\tau_{\ell} =$		$\tau_c =$	
組合せ応力		$\sigma_{2\ell} =$		$\sigma_{2c} =$		$\sigma_{2\ell} =$		$\sigma_{2c} =$	

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$
鉛直方向地震による応力	圧縮	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$
水平方向地震による応力	曲げ	$\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s3} =$	$\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s3} =$
	せん断	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s3} =$	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s3} =$
組合せ応力		$\sigma_{s\ell} =$	$\sigma_{sc} =$	$\sigma_{s\ell} =$	$\sigma_{sc} =$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水 平方向地震による応力	引張り	$\sigma_{b1} =$	$\sigma_{b2} =$	$\sigma_{b1} =$	$\sigma_{b2} =$
水平方向地震による 応力	せん断	$\tau_{b1} =$	$\tau_{b2} =$	$\tau_{b1} =$	$\tau_{b2} =$

1.4 結 論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

方 向	固 有 周 期
長手方向	$T_1 =$
横 方 向	$T_2 =$
鉛直方向	$T_3 =$

1.4.2 応 力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板		一次一般膜	$\sigma_0 =$	$S_a =$	$\sigma_0 =$	$S_a =$
		一 次	$\sigma_1 =$	$S_a =$	$\sigma_1 =$	$S_a =$
		一次+二次	$\sigma_2 =$	$S_a =$	$\sigma_2 =$	$S_a =$
脚		組 合 せ	$\sigma_s =$	$f_t =$	$\sigma_s =$	$f_t =$
基礎ボルト		引 張 り	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$
		せ ん 断	$\tau_b =$	$f_{sb} =$	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

胴板と当板の材料が異なる場合、当板の材料名及び許容応力を記載する。

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	許 容 応 力
胴 板	(*)	$S_a =$ (*)
		$S_a =$ (*)
脚		$f_t =$
基礎ボルト		$f_{ts} =$
		$f_{sb} =$

注記 * 当板の材料を示す。

【○○○○○タンクの耐震性についての計算結果】

【静水頭の場合】

(圧力容器と様式が異なるページのみ掲載)

別紙

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
		建屋 EL. *			$C_H =$	$C_V =$	$C_H =$	$C_V =$	静水頭			

注記 * : 基準床レベルを示す。

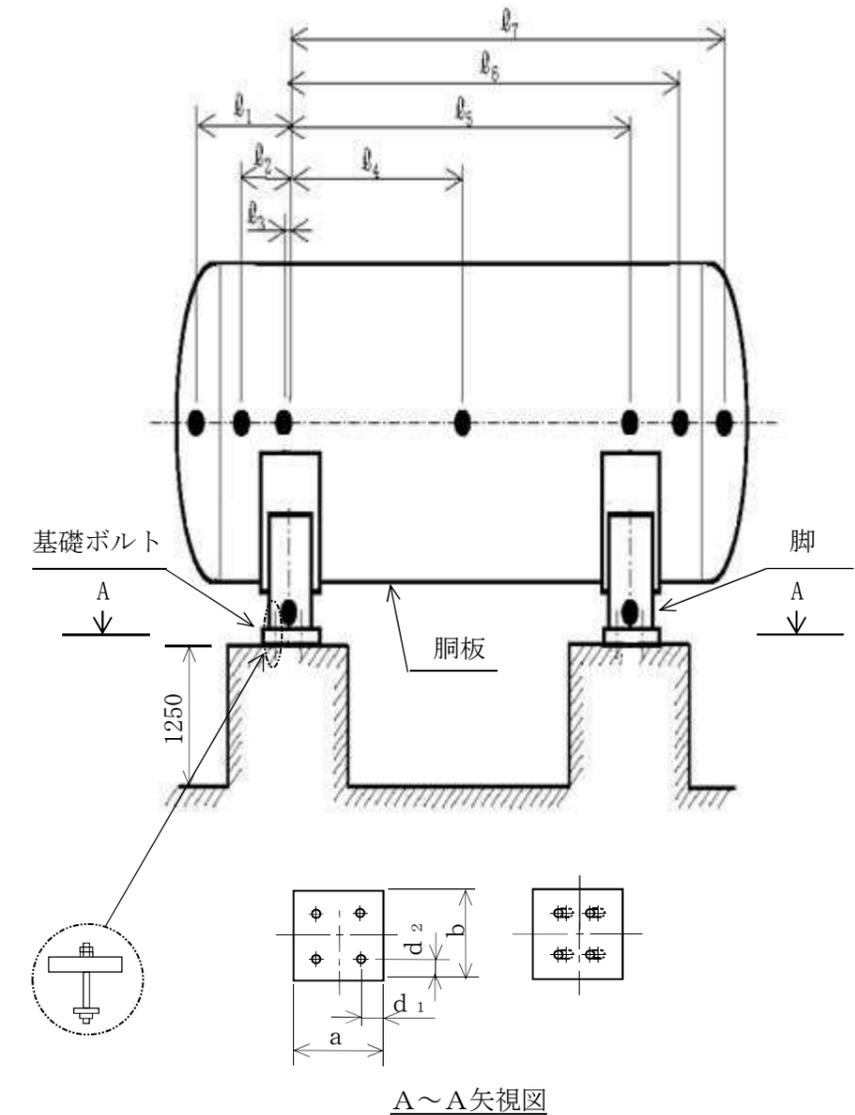
1.2 機器要目

m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_3 (kg)	m_4 (kg)	m_5 (kg)	m_6 (kg)	m_7 (kg)

l_1 (mm)	l_2 (mm)	l_3 (mm)	l_4 (mm)	l_5 (mm)	l_6 (mm)	l_7 (mm)	M_1 (N·mm)	M_2 (N·mm)	R_1 (N)	R_2 (N)	H (mm)

m_0 (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	l_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	θ_w (rad)	l_w (mm)
					*1					

C_1 (mm)	C_2 (mm)	I_{sx} (mm ⁴)	I_{sy} (mm ⁴)	Z_{sx} (mm ³)	Z_{sy} (mm ³)	θ_0 (rad)	θ (rad)



A~A 矢視図

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	$\sigma_{x 413} =$	—	—	—	$\sigma_{x 413} =$	—	—
組 合 せ 応 力	$\sigma_{0\ell} =$		$\sigma_{0c} =$		$\sigma_{0\ell} =$		$\sigma_{0c} =$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
静水頭による応力	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	
水平方向地震 による応力	引張り	$\sigma_{\phi 411} =$	$\sigma_{x 411} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x 51} =$	$\sigma_{\phi 411} =$	$\sigma_{x 411} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x 51} =$
		$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$			$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$		
		$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$			$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$		
	せん断	$\tau_{\ell} =$		$\tau_{c} =$		$\tau_{\ell} =$		$\tau_{c} =$	
組 合 せ 応 力	$\sigma_{1\ell} =$		$\sigma_{1c} =$		$\sigma_{1\ell} =$		$\sigma_{1c} =$		

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)		$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		$\sigma_{\phi 71} =$ $\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x 71} =$ $\sigma_{x 72} =$	$\sigma_{\phi 71} =$ $\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x 71} =$ $\sigma_{x 72} =$	$\sigma_{\phi 71} =$ $\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x 71} =$ $\sigma_{x 72} =$	$\sigma_{\phi 71} =$ $\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x 71} =$ $\sigma_{x 72} =$
水平方向地震 による応力	引張り	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x 51} =$	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x 51} =$
		$\sigma_{\phi 421} =$ $\sigma_{\phi 422} =$	$\sigma_{x 421} =$ $\sigma_{x 422} =$	$\sigma_{\phi 52} =$	$\sigma_{x 52} =$	$\sigma_{\phi 421} =$ $\sigma_{\phi 422} =$	$\sigma_{x 421} =$ $\sigma_{x 422} =$	$\sigma_{\phi 52} =$	$\sigma_{x 52} =$
		$\sigma_{\phi 42} =$	$\sigma_{x 42} =$			$\sigma_{\phi 42} =$	$\sigma_{x 42} =$		
	せん断	$\tau_{\ell} =$		$\tau_c =$		$\tau_{\ell} =$		$\tau_c =$	
組合せ応力		$\sigma_{2\ell} =$		$\sigma_{2c} =$		$\sigma_{2\ell} =$		$\sigma_{2c} =$	

36

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$
鉛直方向地震による応力	圧縮	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$
水平方向地震による応力	曲げ	$\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s3} =$	$\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s3} =$
	せん断	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s3} =$	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s3} =$
組合せ応力		$\sigma_{s\ell} =$	$\sigma_{sc} =$	$\sigma_{s\ell} =$	$\sigma_{sc} =$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水 平方向地震による応力	引張り	$\sigma_{b1} =$	$\sigma_{b2} =$	$\sigma_{b1} =$	$\sigma_{b2} =$
水平方向地震による 応力	せん断	$\tau_{b1} =$	$\tau_{b2} =$	$\tau_{b1} =$	$\tau_{b2} =$

【重大事故等対処設備単独の場合】
本フォーマットを使用する。
ただし、章番を1.とする。

【フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
		建屋 EL. *			—	—	$C_H =$	$C_V =$			

注記 * : 基準床レベルを示す。

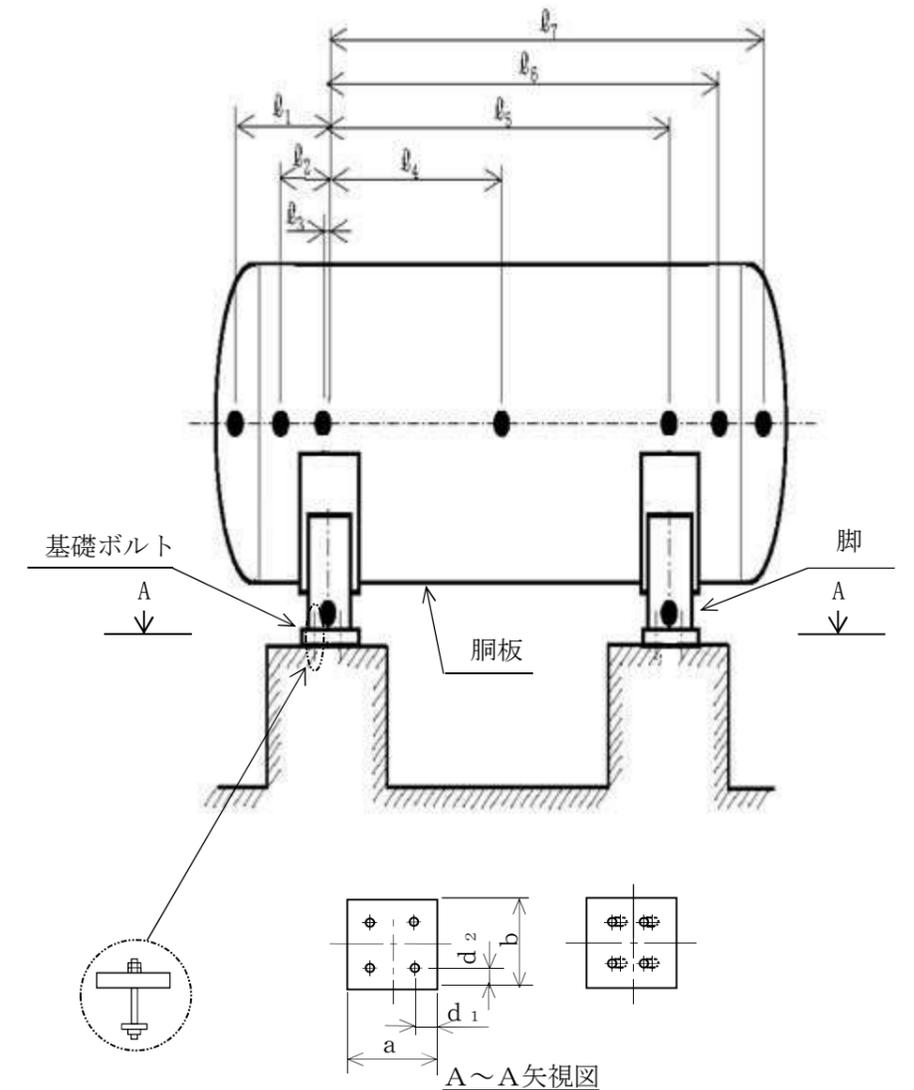
2.2 機器要目

m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_3 (kg)	m_4 (kg)	m_5 (kg)	m_6 (kg)	m_7 (kg)

l_1 (mm)	l_2 (mm)	l_3 (mm)	l_4 (mm)	l_5 (mm)	l_6 (mm)	l_7 (mm)	M_1 (N·mm)	M_2 (N·mm)	R_1 (N)	R_2 (N)

m_0 (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	l_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	θ_w (rad)	l_w (mm)
					*1					

C_1 (mm)	C_2 (mm)	I_{sx} (mm ⁴)	I_{sy} (mm ⁴)	Z_{sx} (mm ³)	Z_{sy} (mm ³)	θ_0 (rad)	θ (rad)



A_s (mm ²)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	A_{s3} (mm ²)	A_{s4} (mm ²)

K_{11}^{*4}	K_{12}^{*4}	K_{21}^{*4}	K_{22}^{*4}	K_{l1}	K_{l2}	K_{c1}	K_{c2}	C_{l1}	C_{l2}	C_{c1}	C_{c2}

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
						(M)		

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F^* (脚) (MPa)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
*2	*2	*2	*3	*3	—		*3	*3	—	

注記 *1：本計算においては当板を有効とした。
 *2：最高使用温度で算出
 *3：周囲環境温度で算出
 *4：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

胴板と当板の材料が異なる場合 当板の S_y 、 S_u 及び S 値を記載する。	S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	注記 *1：最高使用温度で算出 *2：周囲環境温度で算出 *3：当板の材料を示す。
	*1	*1	*1		
	(*3)	(*3)	(*3)		

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 4 1 3} =$	—	—
組合せ応力	—		—		$\sigma_{0 \ell} =$		$\sigma_{0 c} =$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7 1} =$	$\sigma_{x 7 1} =$	$\sigma_{\phi 7 1} =$	$\sigma_{x 7 1} =$	
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 1 1} =$	$\sigma_{x 4 1 1} =$	$\sigma_{\phi 5 1} =$	$\sigma_{x 5 1} =$
		—	—			$\sigma_{\phi 4 1 2} =$	$\sigma_{x 4 1 2} =$		
		—	—			$\sigma_{\phi 4 1} =$	$\sigma_{x 4 1} =$		
	せん断	—		—		$\tau_{\ell} =$		$\tau_{c} =$	
組合せ応力	—		—		$\sigma_{1 \ell} =$		$\sigma_{1 c} =$		

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度				基準地震動 S_s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	
	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x 72} =$	$\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x 72} =$	
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x 51} =$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 421} =$	$\sigma_{x 421} =$	$\sigma_{\phi 52} =$	$\sigma_{x 52} =$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 422} =$	$\sigma_{x 422} =$		
	せん断	—	—	—	—	$\tau_{\ell} =$	$\tau_c =$		
組合せ応力	—	—	—	—	$\sigma_{2\ell} =$		$\sigma_{2c} =$		

40

2.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s			
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s3} =$
	せん断	—	—	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s3} =$
組合せ応力	—	—	—	$\sigma_{s\ell} =$	$\sigma_{sc} =$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s			
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水平方向地震による応力	引張り	—	—	$\sigma_{b1} =$	$\sigma_{b2} =$
水平方向地震による応力	せん断	—	—	$\tau_{b1} =$	$\tau_{b2} =$

2.4 結 論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

方 向	固 有 周 期
長手方向	$T_1 =$
横 方 向	$T_2 =$
鉛直方向	$T_3 =$

2.4.2 応 力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板		一次一般膜	—	—	$\sigma_0 =$	$S_a =$
		一 次	—	—	$\sigma_1 =$	$S_a =$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 =$	$S_a =$
脚		組 合 せ	—	—	$\sigma_s =$	$f_t =$
基礎ボルト		引 張 り	—	—	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$
		せ ん 断	—	—	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

胴板と当板の材料が異なる場合、当板の材料名及び許容応力を記載する。

2.4.2 応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	許 容 応 力
胴 板	(*)	$S_a =$ (*)
		$S_a =$ (*)
脚		$f_t =$
基礎ボルト		$f_{ts} =$
		$f_{sb} =$

注記 *：当板の材料を示す。

2. 重大事故等対処設備

【静水頭の場合】
 (圧力容器と様式が異なるページのみ掲載)

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲环境温度 (°C)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
		建屋 EL. *			—	—	$C_H =$	$C_V =$	静水頭			

注記 * : 基準床レベルを示す。

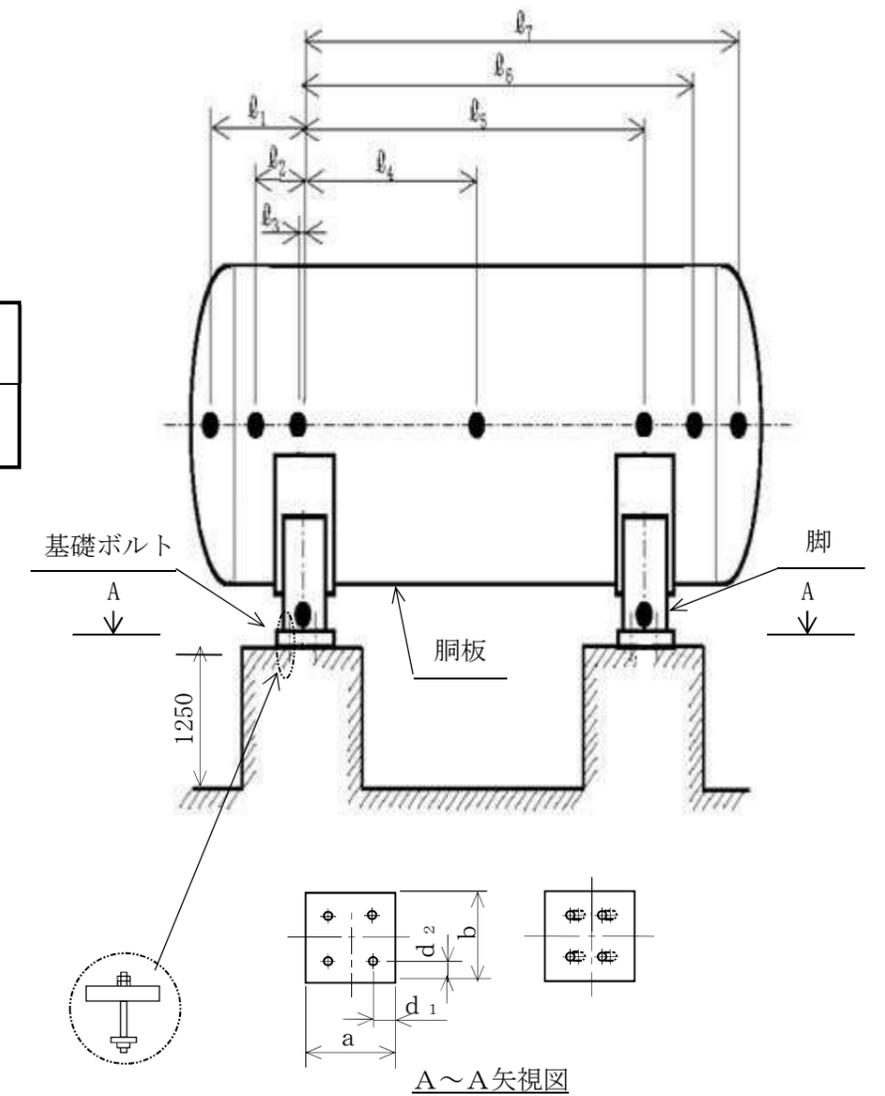
2.2 機器要目

m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_3 (kg)	m_4 (kg)	m_5 (kg)	m_6 (kg)	m_7 (kg)

l_1 (mm)	l_2 (mm)	l_3 (mm)	l_4 (mm)	l_5 (mm)	l_6 (mm)	l_7 (mm)	M_1 (N・mm)	M_2 (N・mm)	R_1 (N)	R_2 (N)	H (mm)

m_0 (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	l_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	θ_w (rad)	l_w (mm)
					*1					

C_1 (mm)	C_2 (mm)	I_{sx} (mm ⁴)	I_{sy} (mm ⁴)	Z_{sx} (mm ³)	Z_{sy} (mm ³)	θ_0 (rad)	θ (rad)



2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 413} =$	—	—
組 合 せ 応 力	—		—		$\sigma_{0l} =$		$\sigma_{0c} =$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
静水頭による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 411} =$	$\sigma_{x 411} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x 51} =$
		—	—			$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$		
		—	—			$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$		
	せん断	—		—		$\tau_{l} =$		$\tau_{c} =$	
組 合 せ 応 力	—		—		$\sigma_{1l} =$		$\sigma_{1c} =$		

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71} =$ $\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x 71} =$ $\sigma_{x 72} =$	$\sigma_{\phi 71} =$ $\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x 71} =$ $\sigma_{x 72} =$
水平方向地震による 応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x 51} =$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 421} =$ $\sigma_{\phi 422} =$	$\sigma_{x 421} =$ $\sigma_{x 422} =$	$\sigma_{\phi 52} =$	$\sigma_{x 52} =$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 42} =$	$\sigma_{x 42} =$		
	せん断	—		—		$\tau_{\ell} =$		$\tau_c =$	
組合せ応力		—		—		$\sigma_{2\ell} =$		$\sigma_{2c} =$	

2.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s3} =$
	せん断	—	—	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s3} =$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{s\ell} =$	$\sigma_{sc} =$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水 平方向地震による応力	引張り	—	—	$\sigma_{b1} =$	$\sigma_{b2} =$
水平方向地震による 応力	せん断	—	—	$\tau_{b1} =$	$\tau_{b2} =$

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-926 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-1-13-3 平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書
作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 固有周期	6
4.1 固有周期の計算方法	6
5. 構造強度評価	7
5.1 構造強度評価方法	7
5.2 設計用地震力	7
5.3 計算方法	8
5.4 応力の評価	13
6. 耐震計算書のフォーマット	16

1. 概要

本基本方針は、添付書類「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている平底たて置円筒形容器（耐震重要度分類Sクラス又はS_s機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用されない平底たて置円筒形容器にあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

平底たて置円筒形容器の応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

平底たて置円筒形容器の耐震評価フローを図2-1に示す。

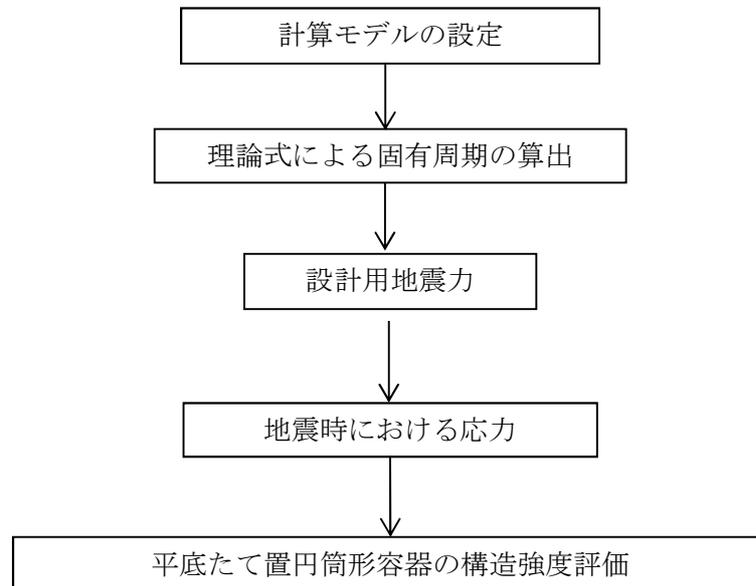


図2-1 平底たて置円筒形容器の耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984, J E A G 4 6 0 1－1987 及び J E A G 4 6 0 1－1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1－2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	胴の軸断面積	mm ²
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _e	胴の有効せん断断面積	mm ²
C _c	基礎ボルト計算における係数	—
C _H	水平方向設計震度	—
C _t	基礎ボルト計算における係数	—
C _v	鉛直方向設計震度	—
D _{b i}	ベースプレートの内径	mm
D _{b o}	ベースプレートの外径	mm
D _c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D _i	胴の内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	—
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F [*]	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F _c	基礎に作用する圧縮力	N
F _t	基礎ボルトに作用する引張力	N
f _b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f _c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f _{s b}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm ⁴
K _H	水平方向ばね定数	N/m
K _V	鉛直方向ばね定数	N/m
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	—
l ₁ , l ₂	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離 (図5-2に示す距離)	mm
l _g	基礎から容器重心までの距離	mm
M _s	基礎に作用する転倒モーメント	N・mm
m _o	容器の運転時質量	kg
m _e	容器の空質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S _a	胴の許容応力	MPa
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa

記号	記号の説明	単位
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
t_1	基礎ボルト面積相当板幅	mm
t_2	圧縮側基礎相当幅	mm
z	基礎ボルト計算における係数	—
α	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
η	座屈応力に対する安全率	—
π	円周率	—
ρ'	液体の密度 (=比重 $\times 10^{-6}$)	kg/mm ³
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
$\sigma_{2\phi}$	地震動のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2c}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (圧縮側)	MPa
σ_{2t}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (引張側)	MPa
σ_{2xc}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (圧縮側)	MPa
σ_{2xt}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (引張側)	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_c	基礎に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{x1}, \sigma_{\phi 1}$	静水頭により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x3}	胴の鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{x4}	水平方向地震により胴に生じる曲げモーメントによる軸方向応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和 (圧縮側)	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和 (引張側)	MPa
σ_{ϕ}	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\phi_1(x)$	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
$\phi_2(x)$	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

2.4 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-1に示すとおりである。

表2-1 表示する数値の丸め方

数 値 の 種 類		単 位	処 理 桁	処 理 方 法	表 示 桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度		°C	—	—	整数位
比重		—	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
質量		kg	—	—	整数位
長 さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位* ¹
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
面積		mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ²
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ²
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力* ³		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張り強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

平底たて置円筒形容器の耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる胴及び基礎ボルトについて評価を実施する。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- a. 容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- b. 容器は胴下端のベースプレートを円周上等ピッチの多数の基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- c. 胴をはりと考え、変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。
- d. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

本容器は、前記の条件より図4-1に示すような下端固定の1質点系振動モデルとして考える。

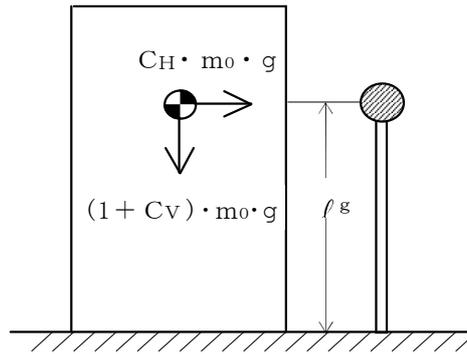


図4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_H は次式で求める。

$$K_H = \frac{1000}{\frac{l_g^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{l_g}{G \cdot A_e}} \quad \dots \quad (4.1.1)$$

ここで、胴の断面性能は次のように求める。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \quad \dots \quad (4.1.2)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \dots \quad (4.1.3)$$

したがって、固有周期 T_H は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \quad \dots \quad (4.1.4)$$

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 K_v は次式で求める。

$$K_v = \frac{1000}{\frac{l_g}{A \cdot E}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

ここで、胴の断面性能は次のように求める。

$$A = \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \dots\dots\dots (4.1.6)$$

したがって、固有周期 T_v は次式で求める。

$$T_v = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_e}{K_v}} \dots\dots\dots (4.1.7)$$

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1項a.～d.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

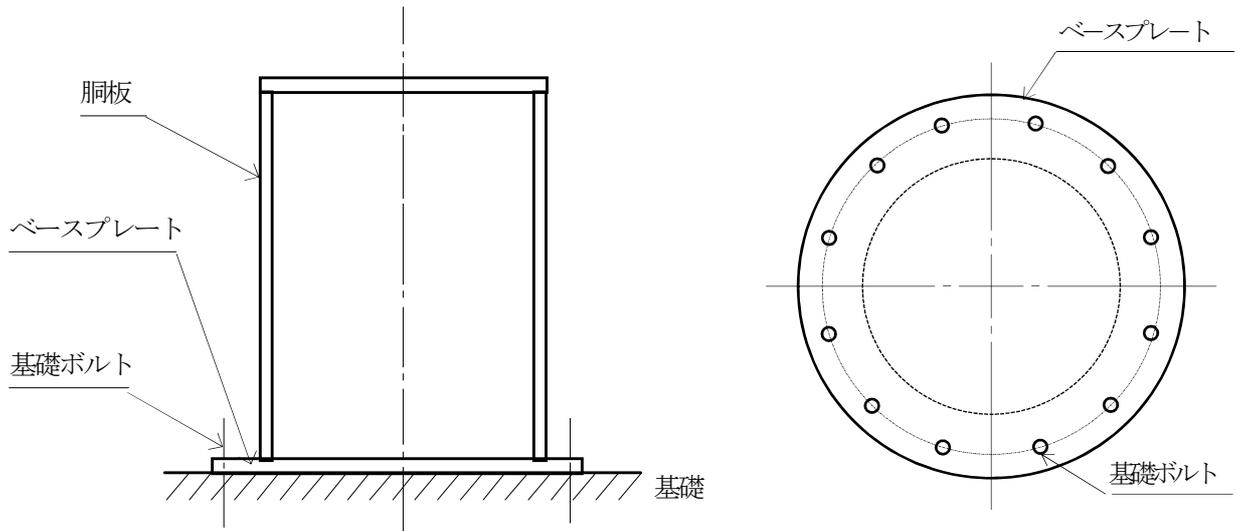


図5-1 概要図

5.2 設計用地震力

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度及び基準地震動 S_s による地震力は、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

応力計算における水平方向と鉛直方向の組合せについて、静的地震力を用いる場合は、絶対値和を用いる。動的地震力を用いる場合は、絶対値和又はS R S S法を用いる。

5.3.1.1 胴の計算方法

(1) 静水頭及び鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.2)$$

$$\sigma_{x 1} = 0 \dots\dots\dots (5.3.1.1.3)$$

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がベースプレートと接合する点には、胴自身の質量による圧縮応力と鉛直方向地震による軸方向応力が生じる。

$$\sigma_{x 2} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

$$\sigma_{x 3} = \frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

(3) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はベースプレート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

$$\sigma_{x 4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \ell_g}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.6)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.7)$$

(4) 組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

$$\sigma_{0 t} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{x t} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{x t})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.1.9)$$

ここで、

【絶対値和】

$$\sigma_{x t} = \sigma_{x 1} - \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} \dots\dots\dots (5.3.1.1.10)$$

【S R S S法】

$$\sigma_{x t} = \sigma_{x 1} - \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 3}^2 + \sigma_{x 4}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.11)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{\phi} = -\sigma_{\phi 1} - \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.12)$$

σ_{xc} が正の値 (圧縮側) のとき, 次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{oc} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.13)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.14)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.15)$$

したがって, 胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は, 絶対値和, SRSS法それぞれに対して,

$$\sigma_o = \text{Max} \left\{ \text{組合せ引張応力} (\sigma_{ot}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{oc}) \right\} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.16)$$

とする。

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

b. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{2\phi} = \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.17)$$

$$\sigma_{2t} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xt} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.18)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{2xt} = \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.19)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{2xt} = \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.20)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{2\phi} = -\sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.21)$$

$$\sigma_{2c} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xc} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.22)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{2xc} = \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.23)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{2xc} = \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.24)$$

したがって, 胴の地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は, 絶対値和, SRSS法それぞれに対して,

$$\sigma_2 = \text{Max} \left\{ \text{組合せ引張応力} (\sigma_{2t}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{2c}) \right\} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.25)$$

とする。

5.3.1.2 基礎ボルトの計算方法

(1) 引張応力

転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。(図5-2参照)

以下にその手順を示す。

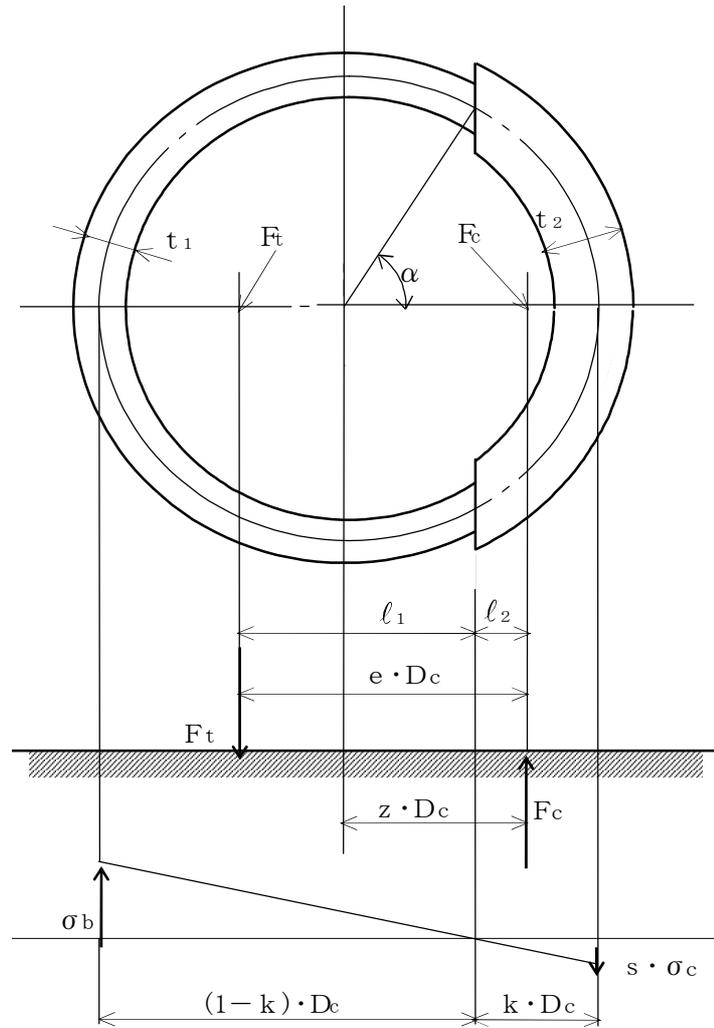


図5-2 基礎の荷重説明図

- a. σ_b 及び σ_c を仮定して基礎ボルトの応力計算における中立軸の荷重係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}} \dots\dots\dots (5.3.1.2.1)$$

b. 基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度 α を求める。

$$\alpha = \cos^{-1}(1-2 \cdot k) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.2)$$

c. 各定数 e , z , C_t 及び C_c を求める。

$$e = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cdot \cos^2 \alpha + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right\} \quad \dots\dots (5.3.1.2.3)$$

$$z = \frac{1}{2} \cdot \left(\cos \alpha + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.4)$$

$$C_t = \frac{2 \cdot \{ (\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha \}}{1 + \cos \alpha} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.5)$$

$$C_c = \frac{2 \cdot (\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.6)$$

d. 各定数を用いて F_t 及び F_c を求める。

【絶対値和】

$$F_t = \frac{M_s - (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g \cdot z \cdot D_c}{e \cdot D_c} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.7)$$

$$F_c = F_t + (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.8)$$

【SRSS法】

$$F_t = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot z \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} - \frac{z}{e} \cdot m_0 \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.9)$$

$$F_c = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot (z - e) \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} + \left(1 - \frac{z}{e}\right) \cdot m_0 \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.10)$$

ここで,

$$M_s = C_H \cdot m_b \cdot g \cdot l_g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.11)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 α が π に等しくなったときであり、(5.3.1.2.3) 式及び (5.3.1.2.4) 式において α を π に近づけた場合の値 $e = 0.75$ 及び $z = 0.25$ を (5.3.1.2.7) 式又は (5.3.1.2.9) 式に代入し、得られる F_t の値によって引張力の有無を次のように判定する。

$F_t \leq 0$ ならば引張力は作用しない。

$F_t > 0$ ならば引張力が作用しているので次の計算を行う。

e. σ_b 及び σ_c を求める。

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t} \dots\dots\dots (5.3.1.2.12)$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c} \dots\dots\dots (5.3.1.2.13)$$

ここで,

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c} \dots\dots\dots (5.3.1.2.14)$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{bo} - D_{bi}) - t_1 \dots\dots\dots (5.3.1.2.15)$$

σ_b 及び σ_c がa項にて仮定した値と十分に近似していることを確認する。この場合の σ_b 及び σ_c を基礎ボルトと基礎に生じる応力とする。

(2) せん断応力

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.3.1.2.16)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 胴の応力評価

- (1) 5.3.1.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許 容 応 力 S_a	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の0.6倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては許容引張応力 S の1.2倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の0.6倍
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の2倍以下であれば、疲れ解析は不要とする。	

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

- (2) 圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。（座屈の評価）

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

ここで、 f_c は次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \cdot \left[1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_1 \left(\frac{8000 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_c = \phi_1 \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4)$$

ただし、 $\phi_1(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_1(x) = 0.6 \cdot \frac{E}{x} \cdot \left[1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x}\right) \right\} \right] \dots\dots\dots (5.4.1.5)$$

また、 f_b は次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = F \quad \dots\dots\dots (5.4.1.6)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} < \frac{9600 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = F \cdot \left[1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_2\left(\frac{9600 \cdot g}{F}\right) \right\} \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right] \dots\dots\dots (5.4.1.7)$$

$$\frac{9600 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_b = \phi_2\left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t}\right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.8)$$

ただし、 $\phi_2(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_2(x) = 0.6 \cdot \frac{E}{x} \cdot \left[1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x}\right) \right\} \right] \dots\dots\dots (5.4.1.9)$$

η は安全率で次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.10)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1 + \frac{0.5 \cdot F}{6800 \cdot g} \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.11)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1.5 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.12)$$

5.4.2 基礎ボルトの応力評価

5.3.1.2 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.4.2.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 耐震計算書のフォーマット

平底たて置円筒形容器の耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

[設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合]

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

[重大事故等対処設備単独の場合]

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記 * : 重大事故等対処設備単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2. 」から「1. 」とする。

【フォーマット I 設計基準対象施設としての評価結果】

【〇〇〇〇タンクの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
		建屋 EL. *			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =				

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m _o (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	E (MPa)	G (MPa)	ℓ _g (mm)	H (mm)	s	n
				*1	*1				

D _c (mm)	D _{b o} (mm)	D _{b i} (mm)	A _b (mm ²)	S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
			(M)	*1	*1	*1	*2	*2		

注記 *1: 最高使用温度で算出
*2: 周囲環境温度で算出

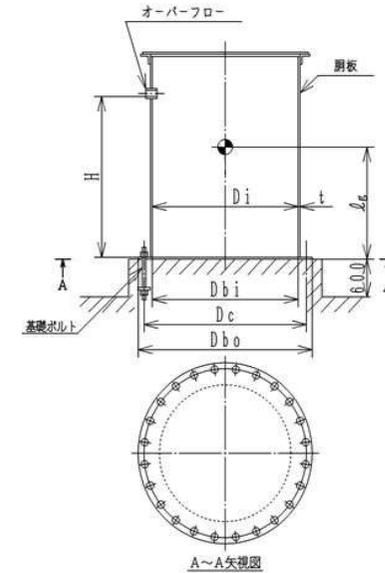
1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位: MPa)

応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s			
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	
静水頭による応力	σ _{φ1} =	-	-	σ _{φ1} =	-	-	
鉛直方向地震による引張応力	σ _{φ2} =	-	-	σ _{φ2} =	-	-	
空質量による圧縮応力	-	σ _{X2} =	-	-	σ _{X2} =	-	
鉛直方向地震による軸方向応力	-	σ _{X3} =	-	-	σ _{X3} =	-	
水平方向地震による応力	-	σ _{X4} =	τ =	-	σ _{X4} =	τ =	
応力の和	引張側	σ _φ =	σ _{Xt} =	-	σ _φ =	σ _{Xt} =	
	圧縮側	σ _φ =	σ _{Xc} =	-	σ _φ =	σ _{Xc} =	
組合せ応力	引張り	σ _{0t} =			σ _{0t} =		
	圧縮	σ _{0c} =			σ _{0c} =		



(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

応力の種類		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
		周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による応力		$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{X3} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{X3} =$	—
水平方向地震による応力		—	$\sigma_{X4} =$	$\tau =$	—	$\sigma_{X4} =$	$\tau =$
応力の和	引張側	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2Xt} =$	—	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2Xt} =$	—
	圧縮側	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2Xc} =$	—	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2Xc} =$	—
組合せ応力 (変動値)	引張り	$\sigma_{2t} =$			$\sigma_{2t} =$		
	圧縮	$\sigma_{2c} =$			$\sigma_{2c} =$		

1.3.2 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
引張応力	$\sigma_b =$	$\sigma_b =$
せん断応力	$\tau_b =$	$\tau_b =$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	T _H =
鉛直方向	T _V =

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板		一次一般膜	$\sigma_0 =$	S _a =	$\sigma_0 =$	S _a =
		一次+二次	$\sigma_2 =$	S _a =	$\sigma_2 =$	S _a =
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$ (無次元)		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$ (無次元)	
基礎ボルト		引張り	$\sigma_b =$	f _{ts} = *	$\sigma_b =$	f _{ts} = *
		せん断	$\tau_b =$	f _{sb} =	$\tau_b =$	f _{sb} =

すべて許容応力以下である。

注記* : f_{ts} = Min[1.4・f_{to} - 1.6・τ_b, f_{to}]より算出

【フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果】

【○○○○タンクの耐震性についての計算結果】

【重大事故等対処設備単独の場合】
本フォーマットを使用する。
ただし、章番を1とする。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
		建屋 EL. *			-	-	$C_H =$	$C_V =$				

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m_o (kg)	m_e (kg)	D_i (mm)	t (mm)	E (MPa)	G (MPa)	ℓ_g (mm)	H (mm)	s	n
				*1	*1				

D_c (mm)	D_{b_o} (mm)	D_{b_i} (mm)	A_b (mm ²)	S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
			(M)	*1	*1	*1	*2	*2	-	

注記 *1: 最高使用温度で算出
*2: 周囲環境温度で算出

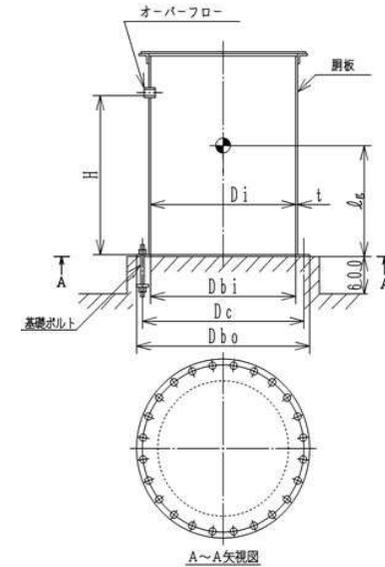
2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位: MPa)

応力の種類	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度			基準地震動 S_s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭による応力	-	-	-	$\sigma_{\phi 1} =$	-	-
鉛直方向地震による引張応力	-	-	-	$\sigma_{\phi 2} =$	-	-
空質量による圧縮応力	-	-	-	-	$\sigma_{X2} =$	-
鉛直方向地震による軸方向応力	-	-	-	-	$\sigma_{X3} =$	-
水平方向地震による応力	-	-	-	-	$\sigma_{X4} =$	$\tau =$
応力の和	引張側	-	-	-	$\sigma_{\phi t} =$	-
	圧縮側	-	-	-	$\sigma_{\phi c} =$	-
組合せ応力	引張り	-	-	-	$\sigma_{0t} =$	-
	圧縮	-	-	-	$\sigma_{0c} =$	-



(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x3} =$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x4} =$	$\tau =$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xt} =$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xc} =$	—
組合せ応力 (変動値)	引張り	—	—	—	$\sigma_{2t} =$	—
	圧縮	—	—	—	$\sigma_{2c} =$	—

2.3.2 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
引張応力	—	$\sigma_b =$
せん断応力	—	$\tau_b =$

20

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	T _H =
鉛直方向	T _V =

2.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板		一次一般膜	—	—	$\sigma_0 =$	S _a =
		一次＋二次	—	—	$\sigma_2 =$	S _a =
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	—	—	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$ (無次元)	
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b =$	f _{ts} = *
		せん断	—	—	$\tau_b =$	f _{sb} =

すべて許容応力以下である。

注記* : f_{ts} = Min[1.4・f_{to} - 1.6・τ_b, f_{to}]より算出

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-927 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	4
3. 評価部位	5
4. 構造強度評価	5
4.1 構造強度評価方法	5
4.2 設計用地震力	6
4.3 計算方法	6
4.4 応力の評価	14
5. 機能維持評価	15
5.1 動的機能維持評価方法	15
6. 耐震計算書のフォーマット	15

1. 概要

本基本方針は、**添付書類**「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている横軸ポンプ（耐震重要度分類Sクラス又はS s機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、**添付書類**「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

なお、本基本方針は横軸ブロワ及びファンにも適用する。（その場合は、ポンプをブロワ又はファンと読み替える。）

ただし、本基本方針が適用できない横軸ポンプにあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

横軸ポンプの応力評価は、**添付書類**「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する**設計用地震力による**応力等が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、横軸ポンプの機能維持評価は、**添付書類**「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.1 動的機能維持 (2) 回転機器及び弁」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が動的機能確認済加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 耐震計算書のフォーマット」にて示す。

横軸ポンプの耐震評価フローを図2-1に示す。

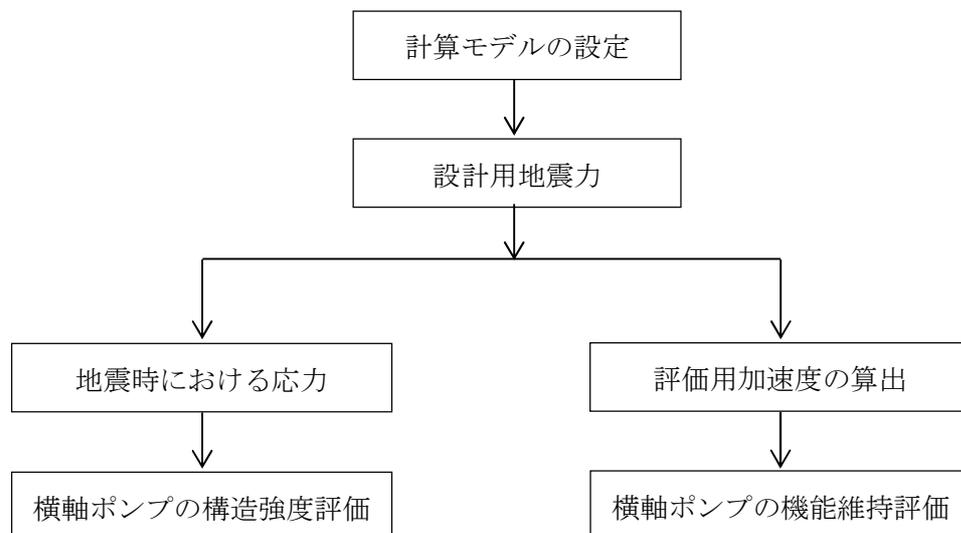


図2-1 横軸ポンプの耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補—1984, J E A G 4 6 0 1 —1987 及び J E A G 4 6 0 1 —1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1—2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_p	ポンプ振動による震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力 (1本あたり) * ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H_p	予想最大両振幅	μm
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
l_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離* ^{1, *3}	mm
l_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離* ^{1, *3}	mm
M_p	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
m_i	運転時質量* ²	kg
N	回転速度 (原動機の同期回転速度)	min ⁻¹
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
P	原動機出力	kW
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* ¹	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値* ¹	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記 *¹: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} , n_i , n_{fi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

- $i = 1$: 基礎ボルト
- $i = 2$: ポンプ取付ボルト
- $i = 3$: 原動機取付ボルト

なお、ポンプと原動機間に減速機がある場合は、次のように定義する。

- $i = 4$: 減速機取付ボルト

*2 : h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: ポンプ取付面

$i = 3$: 原動機取付面

なお、ポンプと原動機間に減速機がある場合は、次のように定義する。

$i = 4$: 減速機取付面

*3 : $l_{1i} \leq l_{2i}$

2.4 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-1に示すとおりである。

表2-1 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ*1	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1 : 設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*2 : 絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3 : 設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

横軸ポンプの耐震評価は「4.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び取付ボルトについて評価を実施する。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) 横軸ポンプは構造的に 1 個の大きなブロック状をしており、重心の位置がブロック状のほぼ中心にあり、かつ、下面が基礎ボルトにて固定されている。
したがって、全体的に一つの剛体と見なせるため、固有周期は十分に小さく、固有周期の計算は省略する。
- (2) ポンプ及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- (3) 地震力はポンプに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (4) ポンプは基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- (5) 転倒方向は図 4-1 概要図における軸直角方向及び軸方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (6) 設計用地震力は添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。
なお、横軸ポンプは剛として扱うため、設置床面の最大応答加速度の 1.2 倍の値を用いて評価する。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

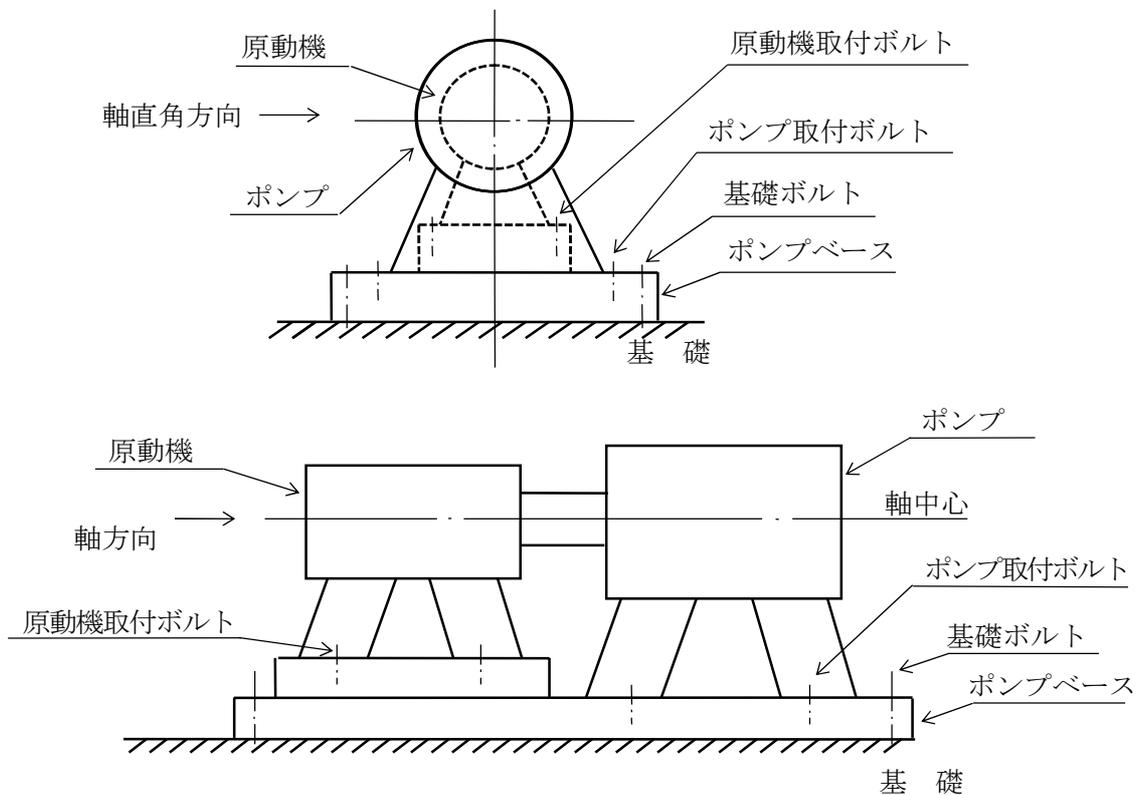


図 4-1 概要図

4.2 設計用地震力

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度及び基準地震動 S_s による地震力は、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

4.3 計算方法

4.3.1 応力の計算方法

4.3.1.1 ボルトの計算方法

ボルトの応力は地震による震度、ポンプ振動による震度及びポンプ回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

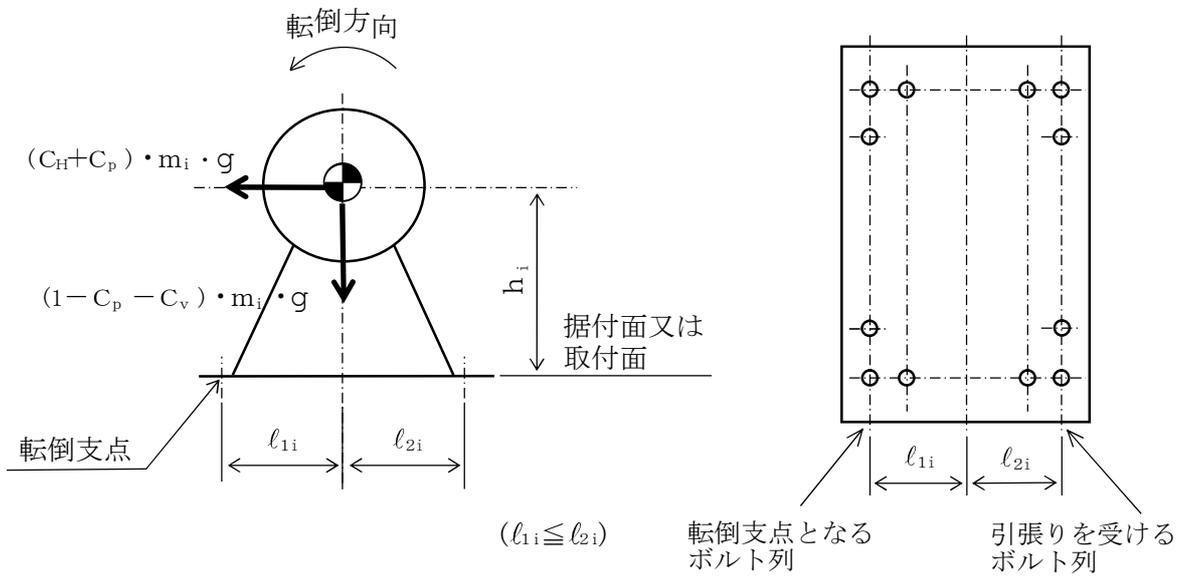


図 4-2(1) 計算モデル

(軸直角方向転倒-1 $(1 - C_p - C_v) \geq 0$ の場合)

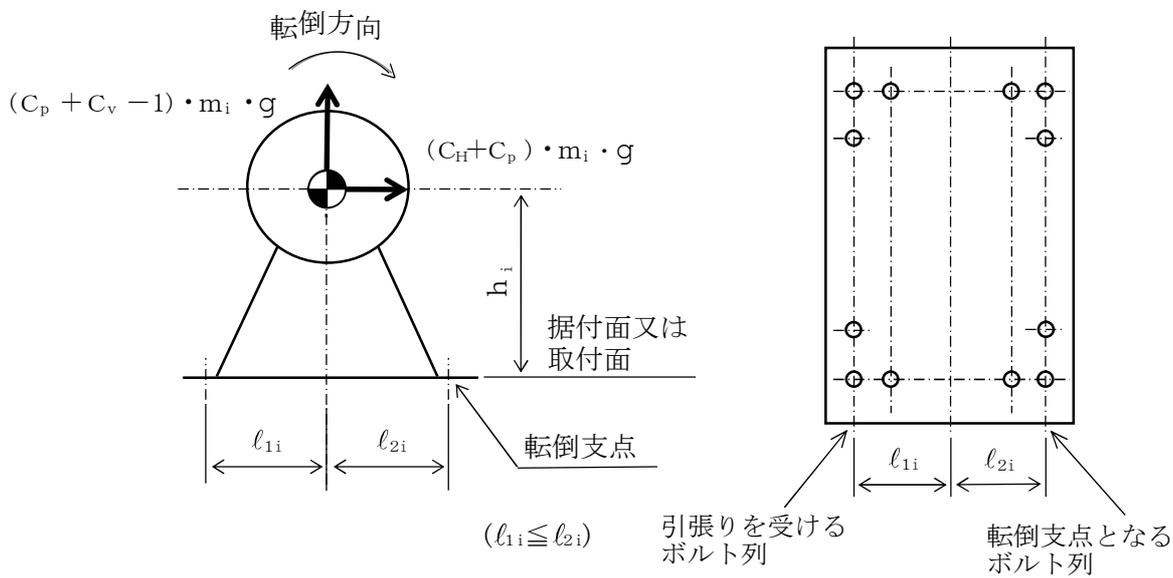


図 4-2(2) 計算モデル

(軸直角方向転倒-2 $(1 - C_p - C_v) < 0$ の場合)

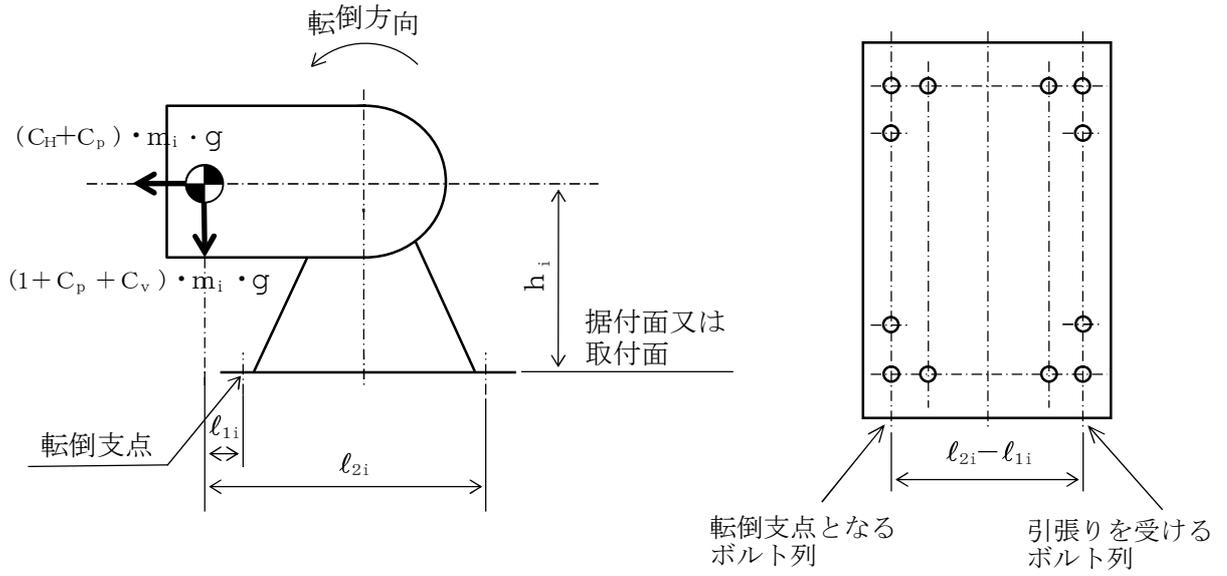


図 4-2 (3) 計算モデル

(軸直角方向転倒-3 軸直角方向の重心位置が，両端のボルトの間でない場合で $(l_{2i} + l_{1i}) / (l_{2i} - l_{1i}) \geq (C_v + C_p)$ の場合)

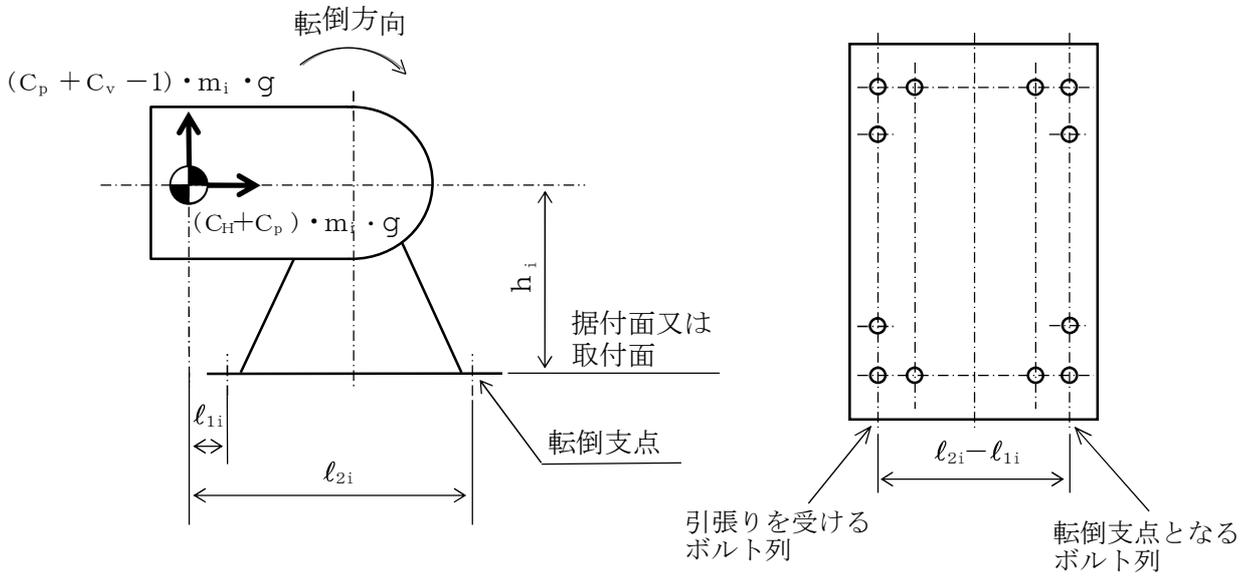


図 4-2 (4) 計算モデル

(軸直角方向転倒-4 軸直角方向の重心位置が，両端のボルトの間でない場合で $(l_{2i} + l_{1i}) / (l_{2i} - l_{1i}) < (C_v + C_p)$ の場合)

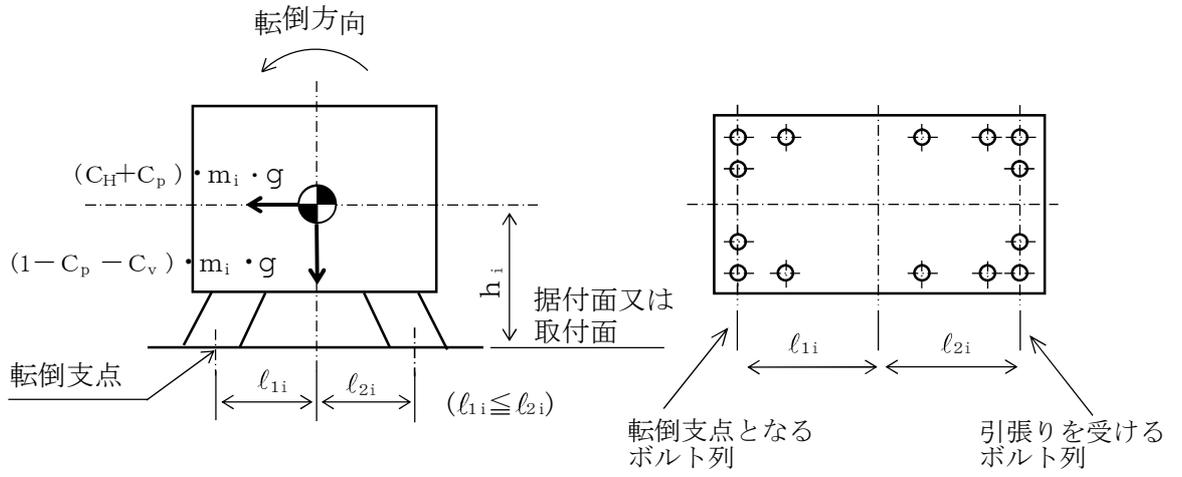


図 4-3 (1) 計算モデル
(軸方向転倒-1 $(1 - C_p - C_v) \geq 0$ の場合)

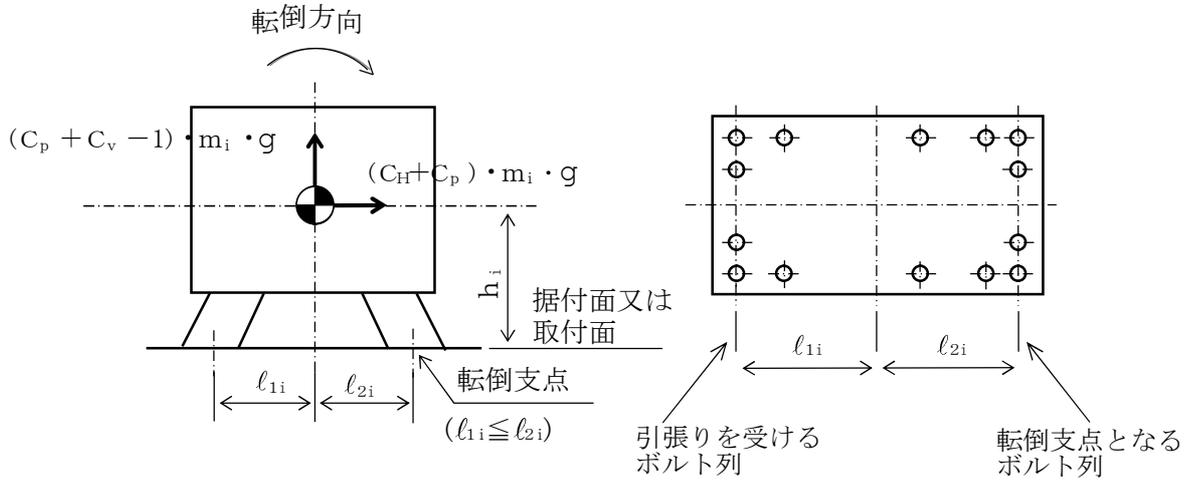


図 4-3 (2) 計算モデル
(軸方向転倒-2 $(1 - C_p - C_v) < 0$ の場合)

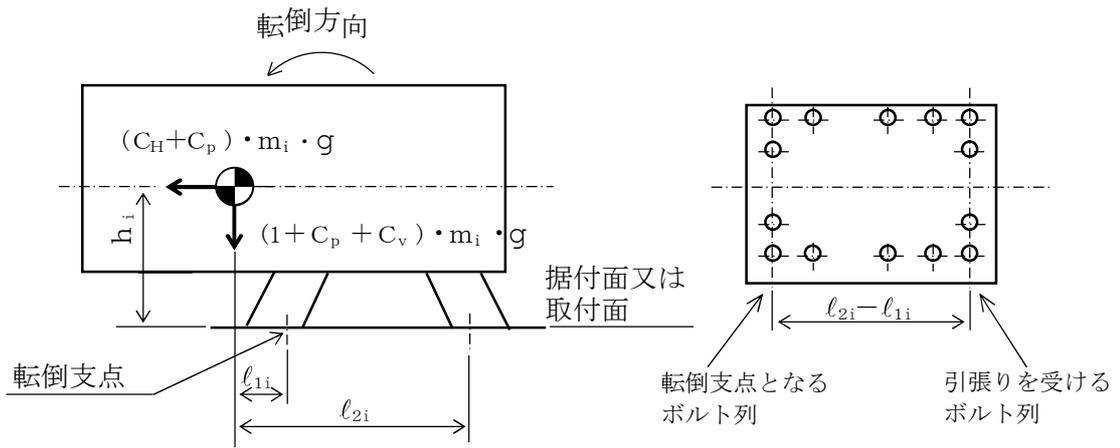


図 4-3 (3) 計算モデル
 (軸方向転倒-3 軸方向の重心位置が、両端のボルトの間でない場合で
 $(l_{2i} + l_{1i}) / (l_{2i} - l_{1i}) \geq (C_v + C_p)$ の場合)

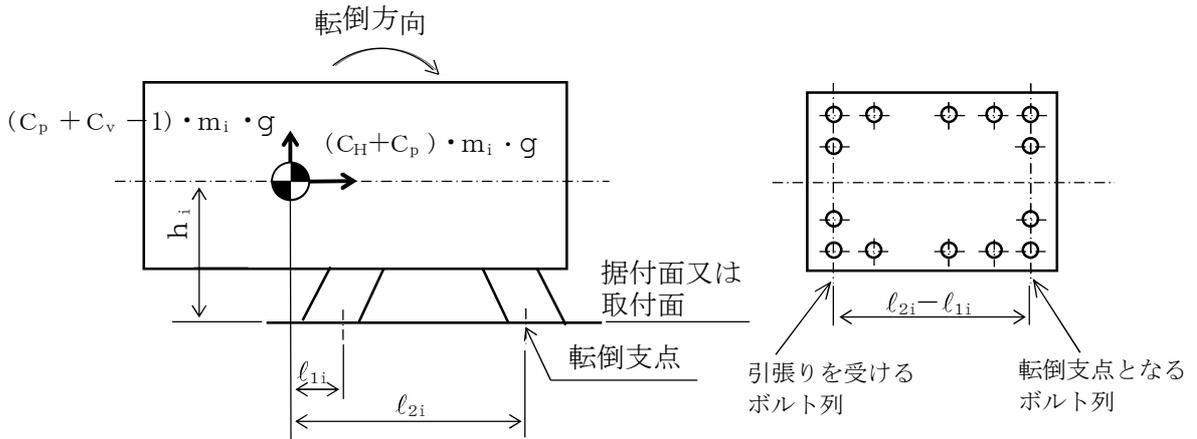


図 4-3 (4) 計算モデル
 (軸方向転倒-4 軸方向の重心位置が、両端のボルトの間でない場合で
 $(l_{2i} + l_{1i}) / (l_{2i} - l_{1i}) < (C_v + C_p)$ の場合)

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 4-2 及び図 4-3 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

なお、ポンプと原動機のベースが共通である場合の基礎ボルト ($i=1$) 及び計算モデル図 4-3 の場合のボルト ($i=1\sim 4$) については、ポンプ回転によるモーメントは作用しない。
引張力

計算モデル図 4-2(1) 及び 4-3(1) の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H + C_p) \cdot h_i + M_p - m_i \cdot g \cdot (1 - C_p - C_v) \cdot l_{1i}}{n_{fi} \cdot (l_{1i} + l_{2i})}$$

$$= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H \cdot h_i + C_v \cdot l_{1i}) + m_i \cdot C_p \cdot g \cdot (h_i + l_{1i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot l_{1i}}{n_{fi} \cdot (l_{1i} + l_{2i})}$$

..... (4.3.1.1.1)

【SRSS法】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot h_i)^2 + (C_v \cdot l_{1i})^2} + m_i \cdot g \cdot C_p \cdot (h_i + l_{1i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot l_{1i}}{n_{fi} \cdot (l_{1i} + l_{2i})}$$

..... (4.3.1.1.2)

計算モデル図 4-2(2) 及び 4-3(2) の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H + C_p) \cdot h_i + M_p - m_i \cdot g \cdot (1 - C_p - C_v) \cdot l_{2i}}{n_{fi} \cdot (l_{1i} + l_{2i})}$$

$$= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H \cdot h_i + C_v \cdot l_{2i}) + m_i \cdot C_p \cdot g \cdot (h_i + l_{2i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot l_{2i}}{n_{fi} \cdot (l_{1i} + l_{2i})}$$

..... (4.3.1.1.3)

【SRSS法】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot h_i)^2 + (C_v \cdot l_{2i})^2} + m_i \cdot g \cdot C_p \cdot (h_i + l_{2i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot l_{2i}}{n_{fi} \cdot (l_{1i} + l_{2i})}$$

..... (4.3.1.1.4)

計算モデル図 4-2(3) 及び 4-3(3) の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H + C_p) \cdot h_i + M_p + m_i \cdot g \cdot (1 + C_p + C_v) \cdot l_{1i}}{n_{fi} \cdot (l_{2i} - l_{1i})}$$

$$= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H \cdot h_i + C_v \cdot l_{1i}) + m_i \cdot C_p \cdot g \cdot (h_i + l_{1i}) + M_p + m_i \cdot g \cdot l_{1i}}{n_{fi} \cdot (l_{2i} - l_{1i})}$$

..... (4.3.1.1.5)

【SRSS法】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot h_i)^2 + (C_v \cdot l_{1i})^2} + m_i \cdot g \cdot C_p \cdot (h_i + l_{1i}) + M_p + m_i \cdot g \cdot l_{1i}}{n_{fi} \cdot (l_{2i} - l_{1i})}$$

..... (4.3.1.1.6)

計算モデル図 4-2(4) 及び 4-3(4) の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H + C_p) \cdot h_i + M_p + m_i \cdot g \cdot (C_p + C_v - 1) \cdot l_{2i}}{n_{fi} \cdot (l_{2i} - l_{1i})}$$

$$= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H \cdot h_i + C_v \cdot l_{2i}) + m_i \cdot C_p \cdot g \cdot (h_i + l_{2i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot l_{2i}}{n_{fi} \cdot (l_{2i} - l_{1i})}$$

..... (4.3.1.1.7)

【SRSS法】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot h_i)^2 + (C_v \cdot l_{2i})^2} + m_i \cdot g \cdot C_p \cdot (h_i + l_{2i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot l_{2i}}{n_{fi} \cdot (l_{2i} - l_{1i})}$$

..... (4.3.1.1.8)

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_p は次式で求める。

$$M_p = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P$$

..... (4.3.1.1.9)

(1kW = 10⁶N·mm/s)

ただし、ベースが共通でポンプと原動機間に減速機がある場合、ポンプ及び減速機取付ボルト ($i=2$ 及び 4) における (4.3.1.1.9) 式中の N はポンプ回転速度とする。

また、 C_p はポンプ振動による振幅及び原動機の同期回転速度を考慮して定める値で、次式で求める。

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_p}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \right)^2}{g \cdot 1000}$$

..... (4.3.1.1.10)

引張応力

$$\sigma_{b i} = \frac{F_{b i}}{A_{b i}} \dots\dots\dots (4.3.1.1.11)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_{b i}$ は次式により求める。

$$A_{b i} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (4.3.1.1.12)$$

ただし、 $F_{b i}$ が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b i} = (C_H + C_p) \cdot m_i \cdot g \dots\dots\dots (4.3.1.1.13)$$

せん断応力

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i}}{n_i \cdot A_{b i}} \dots\dots\dots (4.3.1.1.14)$$

4.4 応力の評価

4.4.1 ボルトの応力評価

4.3.1.1 項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

評価用加速度と機能確認済加速度との比較により，地震時又は地震後の動的機能維持を評価する。

評価用加速度は添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

機能確認済加速度は，添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」による。

なお，この適用形式を外れる場合は，加振試験等に基づき確認した加速度を用いることとし，個別計算書にその旨を記載する。

6. 耐震計算書のフォーマット

横軸ポンプの耐震計算書のフォーマットは，以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記 *：重大事故等対処設備単独の場合は，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし，評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマット I 設計基準対象施設としての評価結果】

【○○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
		建屋 EL. *1	— *2	— *2	C _H =	C _V =	C _H =	C _V =	C _P =		

注記 *1: 基準床レベルを示す。
*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *3 (mm)	ℓ _{2i} *3 (mm)	A _{bi} (mm)	n _i	n _{fi} *3
基礎ボルト (i=1)					(M)		
ポンプ取付ボルト (i=2)					(M)		
原動機取付ボルト (i=3)					(M)		
減速機取付ボルト (i=4)					(M)		

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	*2	*2						
ポンプ取付ボルト (i=2)	*1	*1						
原動機取付ボルト (i=3)	*1	*1						
減速機取付ボルト (i=4)	*1	*1						

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)
H _p =	N =

注記 *1: 最高使用温度で算出
*2: 周囲環境温度で算出
*3: 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒
に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に
に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
ポンプ取付ボルト (i=2)				
原動機取付ボルト (i=3)				
減速機取付ボルト (i=4)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
ポンプ取付ボルト		引張り	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$
原動機取付ボルト		引張り	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} = *$	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} = *$
		せん断	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$
減速機取付ボルト		引張り	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} = *$	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} = *$
		せん断	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 動的機能の評価結果

(×9.8m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

【フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果】

【○○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
		建屋 EL. *1	— *2	— *2	—	—	$C_H =$	$C_V =$	$C_P =$		

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i}^{*3} (mm)	l_{2i}^{*3} (mm)	A_{bi} (mm)	n_i	n_{fi}^{*3}
基礎ボルト (i=1)					(M)		
ポンプ取付ボルト (i=2)					(M)		
原動機取付ボルト (i=3)					(M)		
減速機取付ボルト (i=4)					(M)		

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向		M_p (N・mm)	
					弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)	*2	*2	—		—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	*1	*1	—		—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	*1	*1	—		—		—	
減速機取付ボルト (i=4)	*1	*1	—		—		—	

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
$H_p =$	$N =$

注記 *1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出

*3: 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	
減速機取付ボルト (i=4)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
ポンプ取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$
原動機取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$
減速機取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$

すべて許容応力以下である。

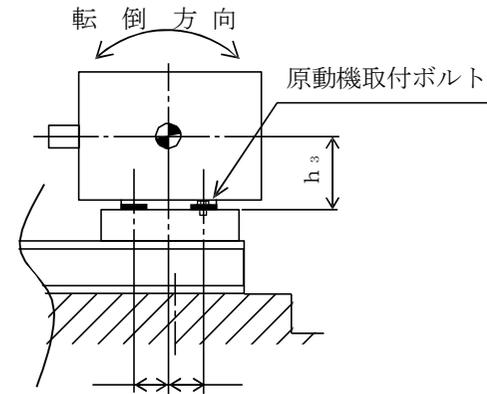
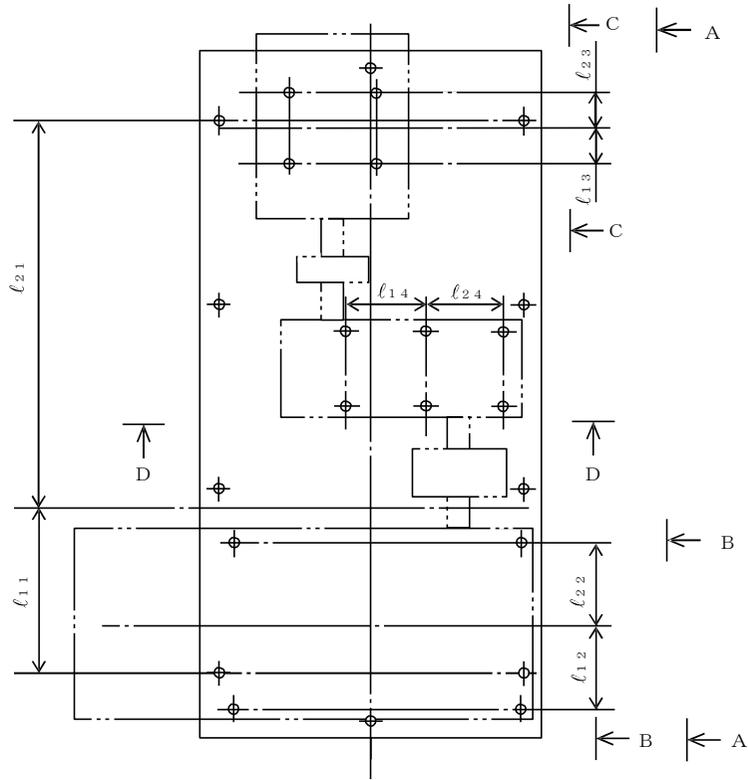
注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

2.4.2 動的機能の評価結果

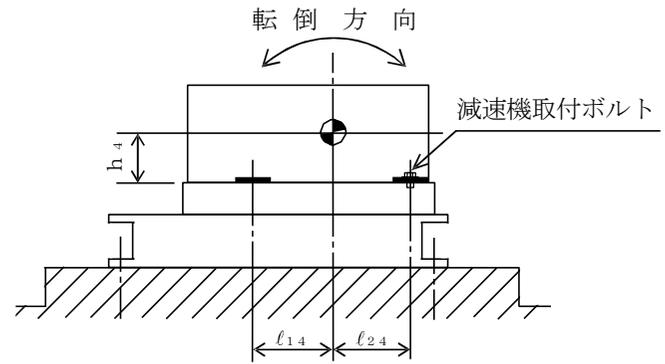
($\times 9.8 \text{m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

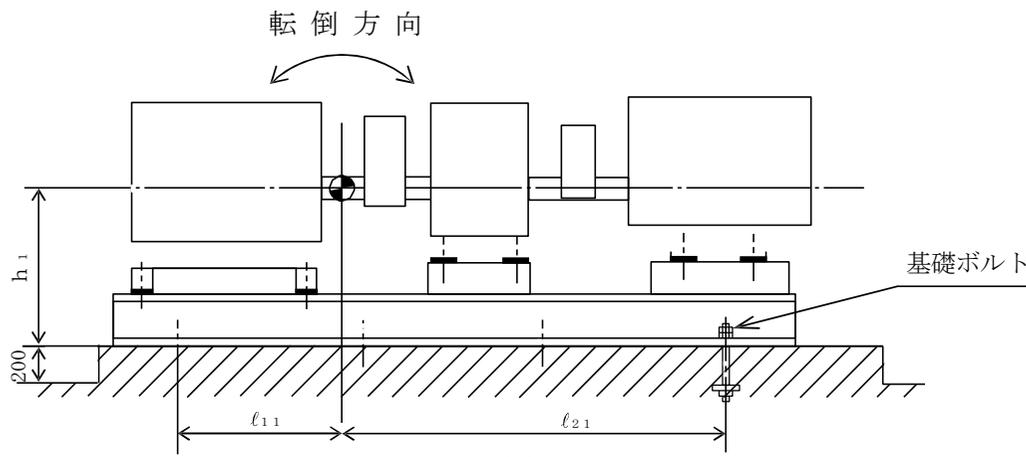


(原動機取付ボルト)

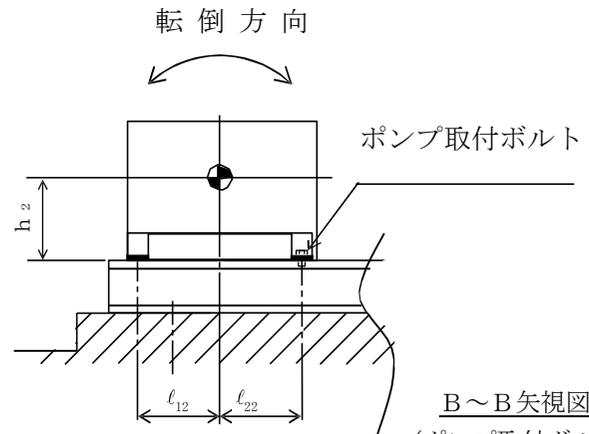


D~D矢視図

(減速機取付ボルト)



A~A矢視図
(基礎ボルト)



B~B矢視図
(ポンプ取付ボルト)

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-928 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-1-13-5 たて軸ポンプの耐震性についての計算書
作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	5
4. 固有値解析及び構造強度評価	6
4.1 固有値解析及び構造強度評価方法	6
4.2 固有周期	7
4.3 設計用地震力	7
4.4 計算方法	7
4.5 応力の評価	11
5. 機能維持評価	13
5.1 動的機能維持評価方法	13
6. 耐震計算書のフォーマット	13

1. 概要

本基本方針は、添付書類「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められているたて軸ポンプ（耐震重要度分類Sクラス又はS s機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。解析の方針及び減衰定数については、添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できないたて軸ポンプにあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

たて軸ポンプの応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.2 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 固有値解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、たて軸ポンプの機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.1 動的機能維持 (2) 回転機器及び弁」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が動的機能確認済加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

たて軸ポンプの耐震評価フローを図2-1に示す。

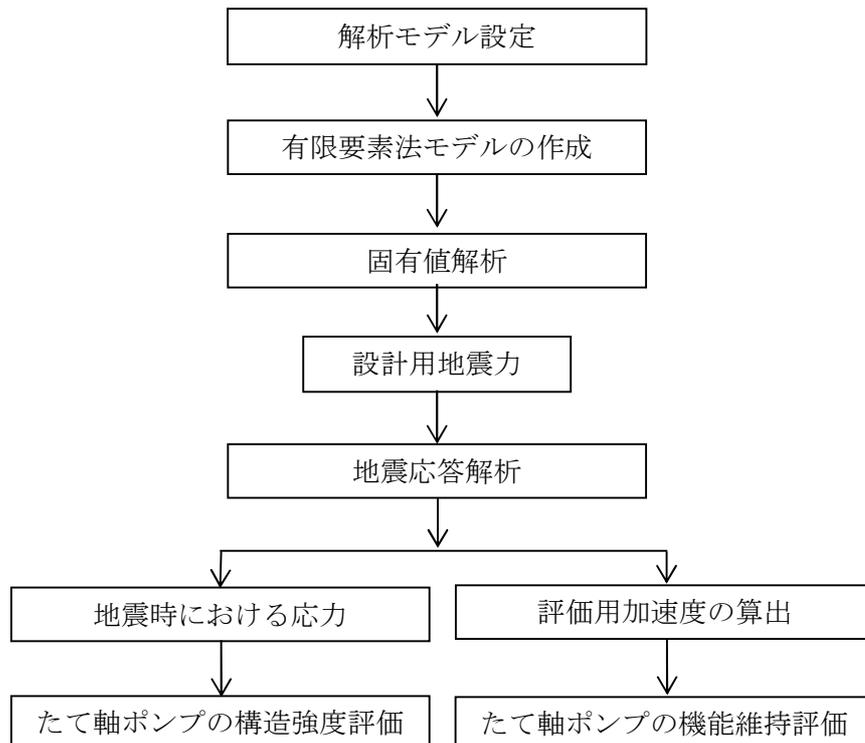


図2-1 たて軸ポンプの耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補一 1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1-2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A _{b i}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
A _c	バレルケーシング又はコラムパイプの断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _p	ポンプ振動による震度	—
C _v	鉛直方向設計震度	—
D _c	バレルケーシング又はコラムパイプの内径	mm
D _i	ボルトのピッチ円直径* ¹	mm
d _i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F _i	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値* ¹	MPa
F _i *	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F _{b i}	ボルトに作用する引張力 (1本あたり) * ¹	N
f _{s b i}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f _{t o i}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f _{t s i}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H _p	予想最大両振幅	μm
M	図4-2 計算モデルによる多質点解析により求められるモーメント	N・mm
M _i	図4-2 計算モデルの(イ), (ロ), (ハ)及び(ニ)を支点とする地震及び水平方向のポンプ振動による転倒モーメント* ²	N・mm
M _p	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
m	バレルケーシング付根部に対しては, ポンプ床下部質量 コラムパイプ付根部に対しては, コラムパイプ総質量	kg
m _i	運転時質量* ³	kg
N	回転速度 (原動機の同期回転速度)	min ⁻¹
n _i	ボルトの本数* ¹	—
n _{f i}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
P	原動機出力	kW
P _c	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧	MPa
Q _{b i}	図4-2 計算モデルの(イ), (ロ), (ハ)及び(ニ)における地震及び水平方向のポンプ振動によりボルトに作用するせん断力* ¹	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S _a	バレルケーシング又はコラムパイプの許容応力	MPa
S _u , S _{u i}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* ¹	MPa
S _y , S _{y i}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* ¹	MPa
S _{y i} (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値* ¹	MPa

記号	記号の説明	単位
T_i	固有周期*4	s
t	バレルケーシング又はコラムパイプの厚さ	mm
Z	バレルケーシング又はコラムパイプの断面係数	mm ³
π	円周率	—
σ	バレルケーシング又はコラムパイプの一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力*1	MPa
σ_{cH}	水平方向地震によりバレルケーシング又はコラムパイプに生じる応力	MPa
σ_{cv}	鉛直方向地震によりバレルケーシング又はコラムパイプに生じる応力	MPa
σ_{zP}	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧による軸方向応力	MPa
$\sigma_{\theta P}$	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧による周方向応力	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力*1	MPa

注記 *1: A_{bi} , D_i , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , n_i , n_{fi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

- $i = 1$: 基礎ボルト
- $i = 2$: ポンプ取付ボルト
- $i = 3$: 原動機台取付ボルト
- $i = 4$: 原動機取付ボルト

なお、ポンプ取付ボルト(上), (下)がある場合は、 $i = 2$: ポンプ取付ボルト(下), $i = 3$: ポンプ取付ボルト(上)とし、 $i = 3$ を $i = 4$, $i = 4$ を $i = 5$ とする。

*2: M_i の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

- $i = 1$: 
- $i = 2$: 
- $i = 3$: 
- $i = 4$: 

*3: m_i の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

- $i = 1$: 据付面
- $i = 2$: ポンプ取付面
- $i = 3$: 原動機台取付面
- $i = 4$: 原動機取付面

なお、ポンプ取付面(上), (下)がある場合は、 $i = 2$: ポンプ取付面(下), $i = 3$: ポンプ取付面(上)とし、 $i = 3$ を $i = 4$, $i = 4$ を $i = 5$ とする。

*4: T_i の添字*i*の意味は、固有周期の次数を示す。

2.4 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-1に示すとおりである。

表2-1 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ*1	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

たて軸ポンプの耐震評価は「4.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト、取付ボルト並びにバレルケーシング及びコラムパイプについて評価を実施する。

4. 固有値解析及び構造強度評価

4.1 固有値解析及び構造強度評価方法

たて軸ポンプの固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデルの作成条件を以下に示す。

- (1) ポンプは基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。
- (2) ポンプは原動機を含めて多質点モデルにてモデル化し，軸とケーシングとを分け軸受部をばねで接続した複列式多質点モデルとする。
- (3) モデル化に際しては，原動機，ポンプ及び内容物の質量は各質点に集中するものとする。
- (4) 下部サポートは鉛直方向にスライドできるものとし，水平方向の地震力を受けるものとする。
- (5) 地震力はポンプに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

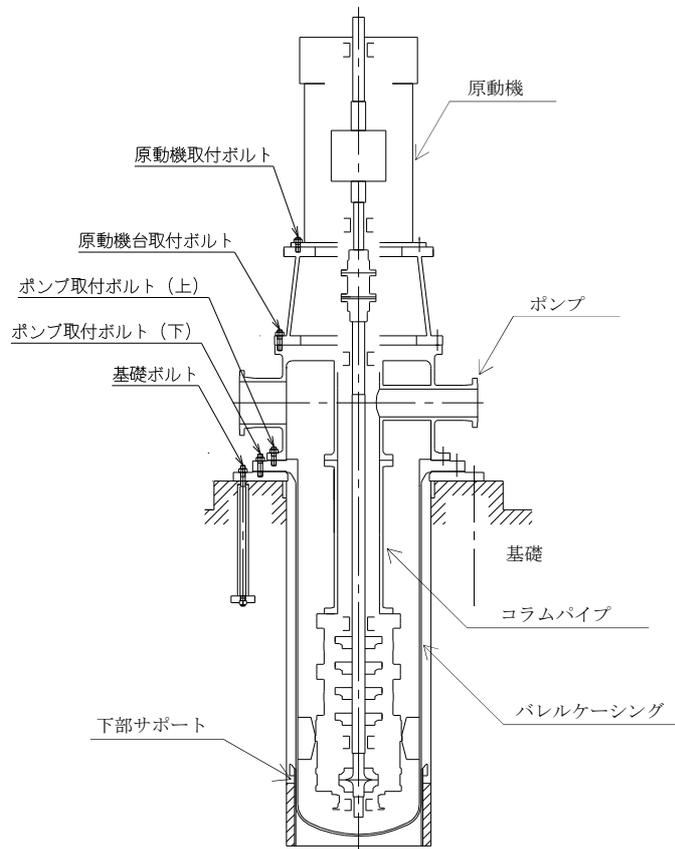


図 4-1 概要図

4.2 固有周期

たて軸ポンプの固有周期について、「4.1 たて軸ポンプの固有値解析及び構造強度評価方法」に基づき作成した解析モデルにより計算する。

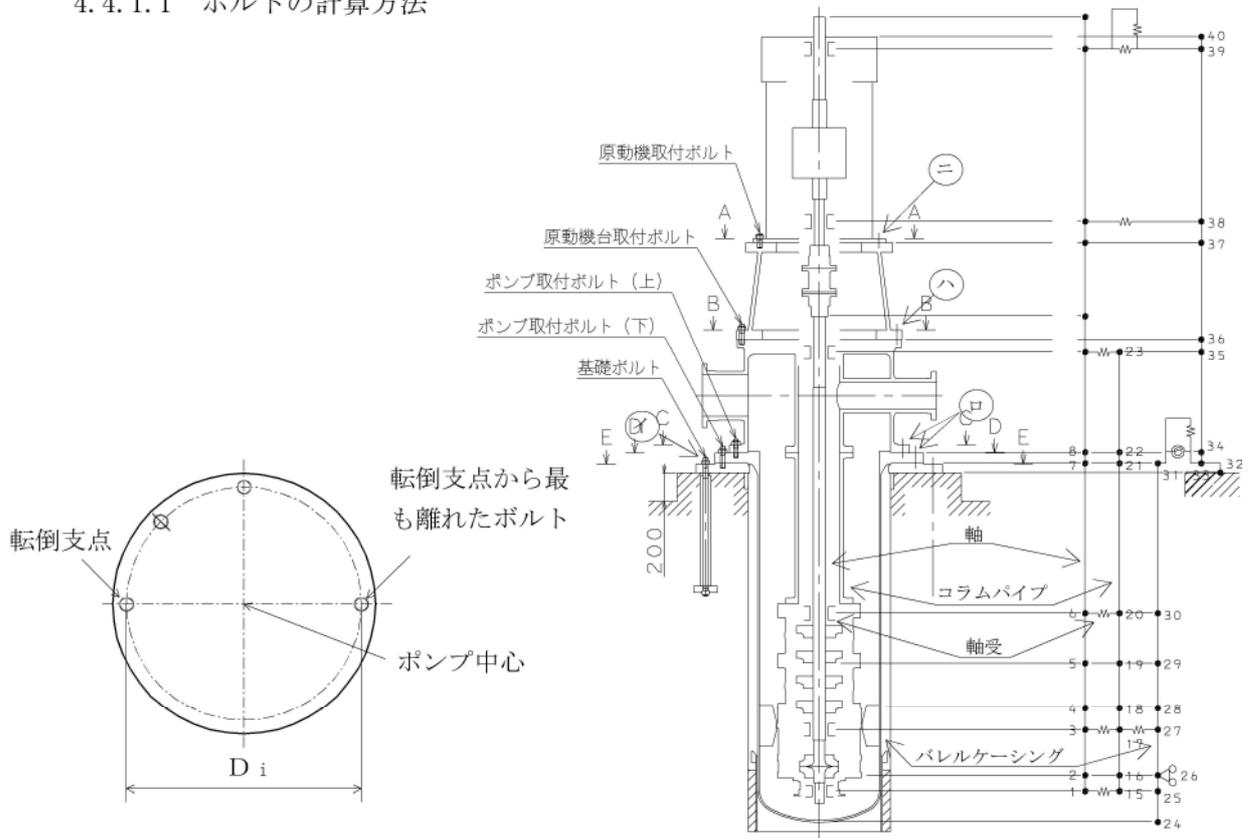
4.3 設計用地震力

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度及び基準地震動 S_s による地震力は、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

4.4 計算方法

4.4.1 応力の計算方法

4.4.1.1 ボルトの計算方法



$i=1$: 基礎ボルト

$i=2$: ポンプ取付ボルト*

$i=3$: 原動機台取付ボルト*

$i=4$: 原動機取付ボルト*

注記* : ポンプ取付ボルト(上), (下)がある場合は, $i=2$: ポンプ取付ボルト(下), $i=3$: ポンプ取付ボルト(上)とし, $i=3$ を $i=4$, $i=4$ を $i=5$ とする。

図 4-2 計算モデル

ボルトの応力は地震による震度, ポンプ振動による震度及びポンプ回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

なお、転倒モーメント並びにせん断力は、解析コードを用いた地震応答解析により算出するが、その際、水平方向には設計震度とポンプ振動による震度の合計を考慮し、鉛直方向には、設計震度と自重を考慮する。

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は転倒支点から正比例した力が作用するものとし、最も厳しい条件として転倒支点から最も離れたボルトについて計算する。

引張力

$$F_{b i} = \frac{M_i - (1 - C_p - C_v) \cdot m_i \cdot g \cdot \frac{D_i}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_{f i} \cdot D_i} \dots\dots\dots (4.3.1.1.1)$$

ここで、 M_i は計算機コード「NASTRAN」を用いた地震応答解析により求める。
また、 C_p はポンプ振動による振幅及び原動機の同期回転速度を考慮して定める値で、次式で求める。

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_p}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.1.1.2)$$

引張応力

$$\sigma_{b i} = \frac{F_{b i}}{A_{b i}} \dots\dots\dots (4.3.1.1.3)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_{b i}$ は次式により求める。

$$A_{b i} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (4.3.1.1.4)$$

ただし、 $F_{b i}$ が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。なお、基礎ボルト($i=1$)については、ポンプ回転によるモーメントは作用しない。

せん断力

せん断力は計算機コード「NASTRAN」を用いた地震応答解析により求める $Q_{b i}$ 及びポンプ回転により作用するモーメント M_p を考慮して求める。

せん断応力

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i} + 2 \cdot M_p / D_i}{n_i \cdot A_{b i}} \dots\dots\dots (4.3.1.1.5)$$

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_p は次式で求める。

$$M_p = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N}\right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (4.3.1.1.6)$$

(1kW=10⁶N・mm/s)

4.4.1.2 バレルケーシング及びコラムパイプの計算方法

バレルケーシング及びコラムパイプの応力は次式により求める。

(1) 水平方向地震力による応力

多質点モデルを用いて応答計算を行い、得られた各部に働くモーメントにより、曲げ応力は以下のようになる。

$$\sigma_{cH} = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots (4.3.1.2.1)$$

(2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{cv} = \frac{(1 + C_v + C_p) \cdot m \cdot g}{A_c} \dots\dots\dots (4.3.1.2.2)$$

(3) 内圧による応力

$$\sigma_{\theta P} = \frac{P_c \cdot D_c}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.3.1.2.3)$$

$$\sigma_{zP} = \frac{P_c \cdot D_c}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (4.3.1.2.4)$$

以上の(1)～(3)の各応力から、一次一般膜応力は

$$\sigma = \text{Max} (\sigma_{cH} + \sigma_{cv} + \sigma_{zP}, \sigma_{\theta P}) \dots\dots\dots (4.3.1.2.5)$$

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

4.5 応力の評価

4.5.1 ボルトの応力評価

4.3.1.1項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 $f_{t si}$ 以下であること。ただし、 $f_{t oi}$ は下表による。

$$f_{t si} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t oi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t oi}] \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 $f_{s bi}$ 以下であること。ただし、 $f_{s bi}$ は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{t oi}$	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s bi}$	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.5.2 バレルケーシング及びコラムパイプの応力評価

4.3.1.2 項で求めた応力が最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許 容 応 力 S_a	
		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の 0.6 倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては許容引張応力 S の 1.2 倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の 0.6 倍

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

評価用加速度と機能確認済加速度との比較により，地震時又は地震後の動的機能維持を評価する。

評価用加速度は添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。機能確認済加速度は，添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」による。

なお，この適用形式を外れる場合は，加振試験等に基づき確認した加速度を用いることとし，個別計算書にその旨を記載する。

6. 耐震計算書のフォーマット

たて軸ポンプの耐震計算書のフォーマットは，以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記*：重大事故等対処設備単独の場合は，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし，評価結果表に記載の章番号を「2.」から「1.」とする。

【フォーマット I 設計基準対象施設としての評価結果】

【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				吸入側	吐出側
		建屋 EL. *			$C_H =$	$C_V =$	$C_H =$	$C_V =$	$C_p =$				

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	A_{b_i} (mm ²)	n_i	n_{f_i}	M_p (N・mm)	S_{y_i} (MPa)	S_{u_i} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)
基礎ボルト (i=1)			(M)				*2	*2		
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)			(M)				*1	*1		
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)			(M)				*1	*1		
原動機台取付ボルト (i=4)			(M)				*1	*1		
原動機取付ボルト (i=5)			(M)				*2	*2		

注記 *1 : 最高使用温度で算出
*2 : 周囲環境温度で算出

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	*1	*1	*1		
コラムパイプ	*1	*1	*1		

注記 *1 : 最高使用温度で算出
*2 : 周囲環境温度で算出

予想最大両振幅 (μ m)	回転速度 (min ⁻¹)
$H_p =$	$N =$

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	M_i (N・mm)		F_{bi} (N)		Q_{bi} (N)	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト ($i=1$)						
ポンプ取付ボルト(下) ($i=2$)						
ポンプ取付ボルト(上) ($i=3$)						
原動機台取付ボルト ($i=4$)						
原動機取付ボルト ($i=5$)						

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力
(単位: N・mm)

部材	M	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
バレルケーシング		
コラムパイプ		

1.4 結 論

1.4.1 固有周期

(単位: s)

モード	固有周期
水平 1次	$T_{H1} =$
鉛直 1次	$T_{V1} =$

15

1.4.2 ボルトの応力

(単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
ポンプ取付ボルト(下)		引張り	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$
ポンプ取付ボルト(上)		引張り	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} = *$	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} = *$
		せん断	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$
原動機台取付ボルト		引張り	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} = *$	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} = *$
		せん断	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$
原動機取付ボルト		引張り	$\sigma_{b5} =$	$f_{ts5} = *$	$\sigma_{b5} =$	$f_{ts5} = *$
		せん断	$\tau_{b5} =$	$f_{sb5} =$	$\tau_{b5} =$	$f_{sb5} =$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部材	材 料		一次一般膜応力	
			算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	$\sigma =$	$S_a =$
		基準地震動 S_s	$\sigma =$	$S_a =$
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	$\sigma =$	$S_a =$
		基準地震動 S_s	$\sigma =$	$S_a =$

すべて許容応力以下である。

1.4.4 動的機能の評価結果

1.4.4.1 機能確認済加速度との比較 (×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	*1	
	鉛直方向	*2	
原動機	水平方向	*1	
	鉛直方向	*2	

注記 *1：水平方向評価用加速度はコラム先端の応答加速度又は1.0ZPAのうちいずれか大きい値。
 *2：鉛直方向評価用加速度は1.0ZPA。

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	(N/mm)
3	17	(N/mm)
6	20	(N/mm)
9	23	(N/mm)
12	38	(N/mm)
13	39	(N/mm)
17	27	(N/mm)
31	33	(N・mm/rad)

(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(5) 材料物性値

材料番号	温度(°C)	縦弾性係数(MPa)	質量密度(kg/mm ³)	ポアソン比(-)	材質	部位
1						
2						
3						
4						
5						

【フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果】

【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処施設

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				吸入側	吐出側
		建屋 EL. *			—	—	$C_H =$	$C_V =$	$C_p =$				

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	A_{b_i} (mm ²)	n_i	n_{f_i}	M_p (N・mm)	S_{y_i} (MPa)	S_{u_i} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)
基礎ボルト (i=1)			(M)				*2	*2	—	
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)			(M)				*1	*1	—	
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)			(M)				*1	*1	—	
原動機台取付ボルト (i=4)			(M)				*1	*1	—	
原動機取付ボルト (i=5)			(M)				*2	*2	—	

注記 *1 : 最高使用温度で算出
*2 : 周囲環境温度で算出

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	*1	*1	*1		
コラムパイプ	*1	*1	*1		

注記 *1 : 最高使用温度で算出
*2 : 周囲環境温度で算出

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
$H_p =$	$N =$

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	M _i (N・mm)		F _{b i} (N)		Q _{b i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—		—	
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)	—		—		—	
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)	—		—		—	
原動機台取付ボルト (i=4)	—		—		—	
原動機取付ボルト (i=5)	—		—		—	

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力
(単位: N・mm)

部材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング	—	
コラムパイプ	—	

2.4 結 論

2.4.1 固有周期

モード	固有周期 (s)	卓越方向

2.4.2 ボルトの応力

(単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
ポンプ取付ボルト(下)		引張り	—	—	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$
ポンプ取付ボルト(上)		引張り	—	—	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$
原動機台取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$
原動機取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b5} =$	$f_{ts5} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b5} =$	$f_{sb5} =$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

2.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力	
		算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—
		基準地震動 S _s	$\sigma =$
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—
		基準地震動 S _s	$\sigma =$

すべて許容応力以下である。

2.4.4 動的機能の評価結果

2.4.4.1 機能確認済加速度との比較 (×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	*1	
	鉛直方向	*2	
原動機	水平方向	*1	
	鉛直方向	*2	

注記 *1：水平方向評価用加速度はコラム先端の応答加速度又は1.0ZPAのうちいずれか大きい値。

*2：鉛直方向評価用加速度は1.0ZPA。

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2.5 その他の機器要目
 (1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	(N/mm)
3	17	(N/mm)
6	20	(N/mm)
9	23	(N/mm)
12	38	(N/mm)
13	39	(N/mm)
17	27	(N/mm)
31	33	(N・mm/rad)

(4) 節点の質量

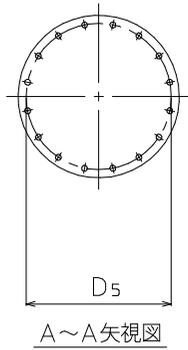
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(5) 材料物性値

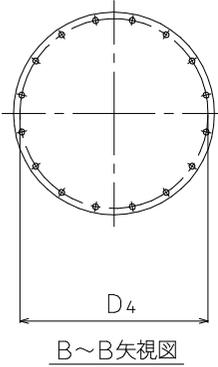
材料番号	温度(°C)	縦弾性係数(MPa)	質量密度(kg/mm ³)	ポアソン比(-)	材質	部位
1						
2						
3						
4						
5						

容器、基礎台及びボルトの形状
は実機ベースで記載する。
なお、ボルトのスリーブは記載しない。

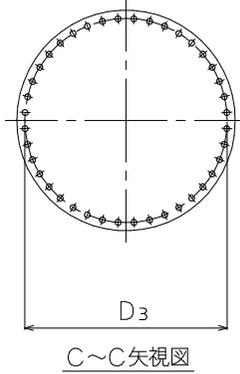
原動機取付ボルト



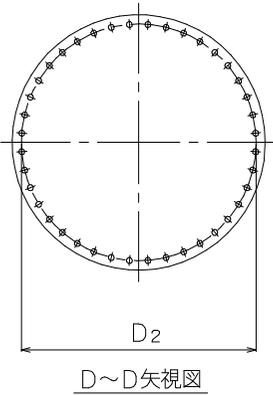
原動機台取付ボルト



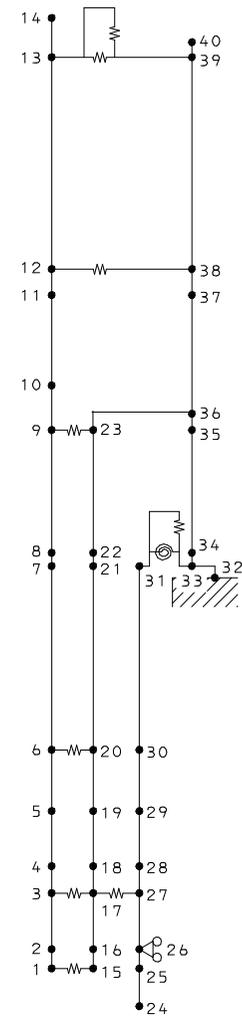
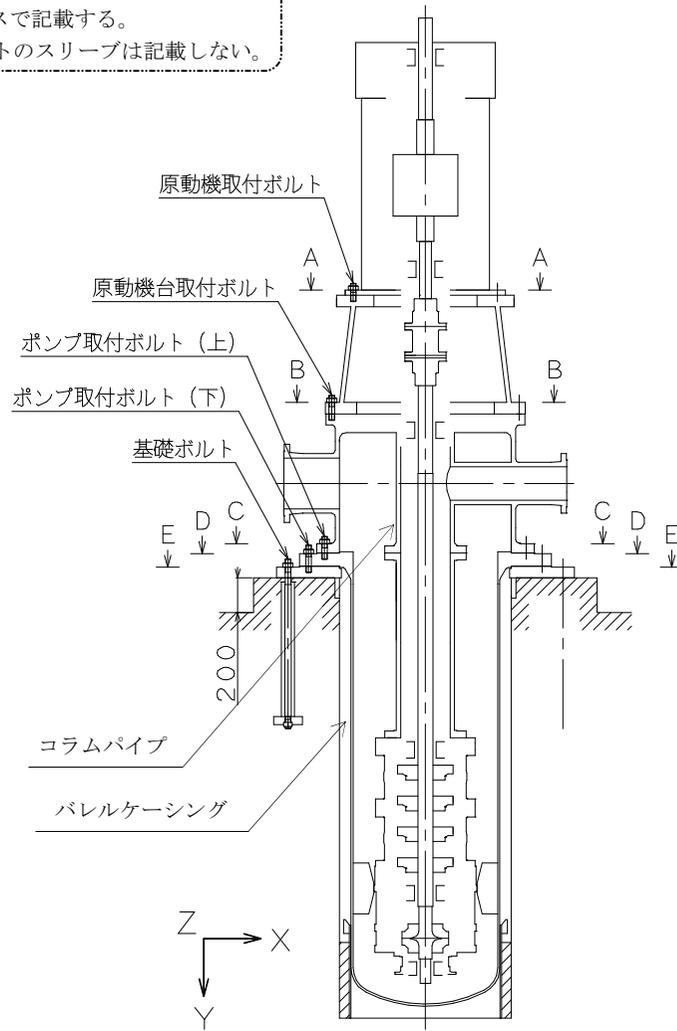
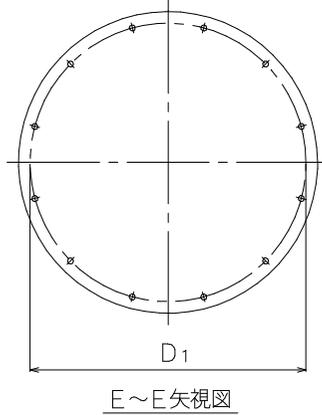
ポンプ取付ボルト (上)



ポンプ取付ボルト (下)



基礎ボルト



東海第二発電所	工事計画審査資料
資料番号	工認-929 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針

目 次

1. 一般事項.....	1
1.1 概要	1
1.2 適用規格	1
2. 計算方針.....	2
3. 計算方法.....	3
3.1 解析モデルの作成.....	3
3.2 解析条件	4
4. 計算式	5
4.1 記号の定義.....	5
5. 荷重の組合せ及び許容応力	9
6. 計算精度と数値の丸め方	12
7. 計算書の構成	13

1. 一般事項

1.1 概要

本基本方針は、実用発電用原子炉及びその附属施設のうち、管の耐震性についての計算書(以下「計算書」という。)について説明するものである。

1.2 適用規格

適用規格を以下に示す。

- (1) 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（原子力規制委員会 2013年6月）（以下「技術基準規則」という。）
- (2) 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈（原子力規制委員会 2013年6月）（以下「技術基準規則解釈」という。）
- (3) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む。））（J S M E S N C 1 -2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）
- (4) 耐震設計に係る工認審査ガイド（原子力規制委員会 2013年6月）（以下「耐震審査ガイド」という。）
- (5) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）

2. 計算方針

耐震審査ガイドの記載に基づき、J E A G 4 6 0 1の規定を適用する。なお、適用の際は耐震重要度分類におけるA_sクラス及びAクラスをSクラス、基準地震動S₂及びS₁をそれぞれ基準地震動S_s及び弾性設計用地震動S_dと読み替えるものとする。

DB施設については耐震設計上の重要度分類に応じてSクラス評価、Bクラス評価を実施し、SA設備についてはS_s機能維持評価を実施する。

管については、一次応力評価、一次+二次応力評価及び疲労評価を実施する。

支持構造物については、添付書類「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」に基づき、以下に示す種類及び型式に区分して応力評価を実施する。

- (1) オイルスナッパ
- (2) メカニカルスナッパ
- (3) ロッドレストレイント
- (4) スプリングハンガ
- (5) コンスタントハンガ
- (6) リジットハンガ
- (7) レストレイント
- (8) アンカ

上記の支持構造物のうち、(1)～(5)については、添付書類「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」において、種別及び型式単位に設定した許容荷重に対する応力評価を実施し、計算応力が許容応力以下であることを確認していることから、荷重確認による評価を実施し、計算荷重が許容荷重以下であることを確認する。なお、支持構造物は強度計算及び耐震性についての計算の基本式が同一であることから、強度計算を耐震性についての計算に含めて実施する。

弁については、動的機能維持要求弁に対する動的機能維持評価を実施し、計算により求めた弁応答加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。なお、弁応答加速度が機能確認済加速度を超過する場合は構造強度評価を実施し、計算応力が許容応力以下であることを確認する。

3. 計算方法

耐震性についての計算は3次元多質点系はりモデルによる解析により実施する。配管系の動的解析手法としては、スペクトルモーダル解析法を用いる。

3.1 解析モデルの作成

配管系の解析モデル作成に当たっては、以下を考慮する。

- (1) 配管系は3次元多質点系はりモデルとし、曲げ、せん断、ねじり及び軸力に対する剛性を考慮する。
- (2) 弁等の偏心質量がある場合には、その影響を評価できるモデル化を行う。また、弁の剛性を考慮したモデル化を行う。
- (3) 同一モデルに含める範囲は、原則としてアンカ点からアンカ点までとする。
- (4) 分岐管がある場合には、その影響を考慮できるモデル化を行う。ただし、母管に対して分岐管の径が十分に小さく、分岐管の振動が母管に与える影響が小さい場合にはこの限りではない。
- (5) 質点は応力が高くなると考えられる点に設定するとともに、代表的な振動モードを十分に表現できるように、適切な間隔で設ける。
- (6) 配管の支持構造物は、以下の境界条件として扱うことを基本とする。
 - a. レストレイント：拘束方向の剛性を考慮する。
 - b. スナッパ：拘束方向の剛性を考慮する。
 - c. アンカ：6方向の剛性を考慮する。
 - d. ガイド：拘束方向及び回転拘束方向の剛性を考慮する。
 - e. ハンガ：拘束方向の剛性を考慮する。
- (7) 配管系の質量は、配管自体の質量の他に弁等の集中質量、保温材等の付加質量及び管内流体の質量を考慮するものとする。

3.2 解析条件

解析において考慮する解析条件を以下に示す。

(1) 荷重条件

- a. 内圧
- b. 機械的荷重（自重その他の長期的荷重）
- c. 機械的荷重（逃がし弁又は安全弁の吹出し反力及びその他の短期的荷重）
- d. 地震荷重（基準地震動 S_s 、弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度による慣性力及び相対変位）

(2) 設計用地震力

設計用地震力は、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定した設備評価用床応答曲線を用いる。また、減衰定数は添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

なお、設備評価用床応答曲線は配管系の重心レベルを求め、その重心レベルの上階の設備評価用床応答曲線を適用する。もしくは、配管系が設置されているレベルを包絡する設備評価用床応答曲線を適用する。

4. 計算式

4.1 記号の定義

計算式中に説明のない記号の定義は下表のとおりとする。

記号	単位	定義
$B_1, B_2,$ B_{2b}, B_{2r}	—	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数(一次応力の計算に使用するもの)
C_2, C_{2b}, C_{2r}	—	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数(一次+二次応力の計算に使用するもの)
D_0	mm	管の外径
E	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 1 に規定する縦弾性係数
i_1	—	応力係数で設計・建設規格 PPC-3810 に規定する値又は 1.33 のいずれか大きい方の値
i_2	—	応力係数で設計・建設規格 PPC-3810 に規定する値又は 1.0 のいずれか大きい方の値
K_2, K_{2b}, K_{2r}	—	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数(ピーク応力の計算に使用するもの)
M_a	N・mm	管の機械的荷重(自重その他の長期的荷重に限る)により生ずるモーメント
M_b	N・mm	耐震性についての計算: 管の機械的荷重(地震を含めた短期的荷重)により生ずるモーメント
M_b^*	N・mm	地震による慣性力により生ずるモーメントの全振幅
M_{bp}	N・mm	耐震性についての計算: 管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の機械的荷重(地震による慣性力を含む)により生ずるモーメント
M_{bs}	N・mm	耐震性についての計算: 管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の地震による慣性力と相対変位により生ずるモーメントの全振幅
M_c	N・mm	耐震性についての計算: 地震による相対変位により生ずるモーメントの全振幅
M_{ip}	N・mm	耐震性についての計算: 管の機械的荷重(地震による慣性力を含む)により生ずるモーメント

記号	単位	定義
M_{is}	N・mm	耐震性についての計算：管の地震による慣性力と相対変位により生ずるモーメントの全振幅
M_{rp}	N・mm	耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の機械的荷重(地震による慣性力を含む)により生ずるモーメント
M_{rs}	N・mm	耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の地震による慣性力と相対変位により生ずるモーメントの全振幅
n_i	回	繰返し荷重 i の実際の繰返し回数
N_i	回	繰返し荷重 i に対し，設計・建設規格 PPB-3534 にしたがって算出された許容繰返し回数
P	MPa	耐震性についての計算：地震と組合せるべき運転状態における圧力
S_h	MPa	使用温度における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に規定する材料の許容引張応力
S_ℓ	MPa	繰返しピーク応力強さ
S_m	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に規定する材料の設計応力強さ
S_n	MPa	一次+二次応力
S_p	MPa	ピーク応力
S_{prm}	MPa	一次応力
S_y	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点
S_u	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に規定する材料の設計引張強さ
t	mm	管の厚さ
Z, Z_i	mm ³	管の断面係数
Z_b	mm ³	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の断面係数
Z_r	mm ³	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の断面係数
ϵ_e	—	S_p を求めたピーク応力強さのサイクルに対して，弾性解析により計算したときのひずみであり，次の計算式により計算した値 $\epsilon_e = \bar{\sigma}^* / E$ $\bar{\sigma}^*$ ：弾性解析によるミーゼス相当応力
ϵ_{ep}	—	S_p を求めたピーク応力強さのサイクルに対して，材料の応力-ひずみ関係として，降伏応力を S_m の 1.5 倍の値とした弾完全塑性体とした弾塑性解析により計算したときのひずみであり，次の計算式により計算した値 $\epsilon_{ep} = \bar{\sigma} / E + \bar{\epsilon}^p$ $\bar{\sigma}$ ：弾塑性解析によるミーゼス相当応力 $\bar{\epsilon}^p$ ：弾塑性解析によるミーゼス相当塑性ひずみ

4.2 耐震性についての計算

(1) クラス1管及び重大事故等クラス2管であってクラス1管

a. 一次応力

(a) 管台及び突合せ溶接式ティー

$$S_{prm} = B_1 P D_0 / 2 t + B_{2b} M_{bp} / Z_b + B_{2r} M_{rp} / Z_r$$

(b) (a)以外の管

$$S_{prm} = B_1 P D_0 / 2 t + B_2 M_{ip} / Z_i$$

b. 一次+二次応力

(a) 管台及び突合せ溶接式ティー

$$S_n = C_{2b} M_{bs} / Z_b + C_{2r} M_{rs} / Z_r$$

(b) (a)以外の管

$$S_n = C_2 M_{is} / Z_i$$

c. ピーク応力

(a) 管台及び突合せ溶接式ティー

$$S_p = K_{2b} C_{2b} M_{bs} / Z_b + K_{2r} C_{2r} M_{rs} / Z_r$$

(b) (a)以外の管

$$S_p = K_2 C_2 M_{is} / Z_i$$

d. 繰返しピーク応力強さ

$$S_\emptyset = K_e S_p / 2$$

 K_e : 次の計算式により計算した値イ. $S_n < 3 \cdot S_m$ の場合

$$K_e = 1$$

ロ. $S_n \geq 3 \cdot S_m$ 場合(イ) $K < B_0$ の場合

$$i. S_n / (3 \cdot S_m) < [(q + A_0 / K - 1)$$

$$- \sqrt{\{(q + A_0 / K - 1)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)\}}] / (2 \cdot A_0) \text{ の場合}$$

$$K_e = K_e^* = 1 + A_0 \cdot \{S_n / (3 \cdot S_m) - 1 / K\}$$

$$ii. S_n / (3 \cdot S_m) \geq [(q + A_0 / K - 1)$$

$$- \sqrt{\{(q + A_0 / K - 1)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)\}}] / (2 \cdot A_0) \text{ の場合}$$

$$K_e = K_e' = 1 + (q - 1) (1 - 3 \cdot S_m / S_n)$$

(ロ) $K \geq B_0$ の場合

$$i. S_n / (3 \cdot S_m) < [(q - 1) - \sqrt{\{A_0 \cdot (1 - 1/K) \cdot (q - 1)\}}] / a \text{ の場合}$$

$$K_e = K_e^{**} = a \cdot S_n / (3 \cdot S_m) + A_0 \cdot (1 - 1/K) + 1 - a$$

ii. $S_n / (3 \cdot S_m) \geq [(q-1) - \sqrt{\{A_0 \cdot (1-1/K) \cdot (q-1)\}}] / a$ の場合

$$K_e = K_e' = 1 + (q-1) \cdot (1 - 3 \cdot S_m / S_n)$$

ここで,

$$K = S_p / S_n,$$

$$a = A_0 \cdot (1 - 1/K) + (q-1) - 2 \cdot \sqrt{\{A_0 \cdot (1-1/K) \cdot (q-1)\}}$$

q, A_0, B_0 : 下表に掲げる材料の種類に応じ, それぞれの同表に掲げる値

材料の種類	q	A_0	B_0
低合金鋼	3.1	1.0	1.25
マルテンサイト系ステンレス鋼	3.1	1.0	1.25
炭素鋼	3.1	0.66	2.59
オーステナイト系ステンレス鋼	3.1	0.7	2.15
高ニッケル合金	3.1	0.7	2.15

$S_n \geq 3 \cdot S_m$ の場合, 4.2(1)d. 口. に関わらず, 次の計算式により計算した値を用いても良い。

$$K_e = \varepsilon_{ep} / \varepsilon_e$$

e. 疲労累積係数

$$\Sigma (n_i / N_i) \leq 1.0$$

(2) (1)を除く管

a. 一次応力

$$S_{prim} = P D_0 / 4 t + 0.75 i_1 (M_a + M_b) / Z$$

b. 一次+二次応力

$$S_n = (0.75 i_1 M_b^* + i_2 M_c) / Z$$

5. 荷重の組合せ及び許容応力

耐震性についての計算において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を表5-1～表5-5に示す。

表5-1 荷重の組合せ（耐震設計上の重要度分類Sクラス及びS_s機能維持対象）

施設分類*1	設備	管クラス	荷重の組合せ*2	許容応力状態	
DB	原子炉格納容器 バウンダリ	クラス1管 クラス2管	$I_L + S_d$	Ⅲ _A S	
			$II_L + S_d$		
			$IV_L(L) + S_d^{*3}$		
		上記を除く設備	クラス1管 クラス2管 クラス3管 クラス4管 火力技術基準適用の管	$I_L + S_s$	Ⅳ _A S
				$II_L + S_s$	
				$IV_L(L) + S_d^{*4, *5}$	
	S A	原子炉冷却材圧力 バウンダリ	重大事故等クラス2管	—*8	—*8
				原子炉格納容器 バウンダリ	重大事故等クラス2管
		$V_L(LL) + S_s^{*6}$			
		上記を除く設備	重大事故等クラス2管 重大事故等クラス3管 火力技術基準適用の管	$V_L + S_s$	V _A S

- 注記 *1：DB施設とS A設備の兼用範囲はDB施設及びS A設備の荷重の組合せを考慮する。
 *2：運転状態の添字Lは荷重，(L)は荷重が長期間作用している状態，(LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。
 *3：ECCS等（非常用炉心冷却系及びそれに関連する系統）のみにおいて考慮する。
 *4：ECCS等（非常用炉心冷却系及びそれに関連する系統）以外において考慮する。
 *5：クラス1管においてのみ考慮する。
 *6：プロセス条件に加え，重大事故時の原子炉格納容器バウンダリ条件として，重大事故時の原子炉格納容器限界温度及び圧力を考慮する。
 *7：荷重の組合せ $V_L(L) + S_d$ は $V_L(LL) + S_s$ に包絡されるため，評価を省略する。
 *8：原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲は重大事故等発生時の環境条件が設計条件（圧力・温度等）を超える時間が短期（10⁻¹年未満）であるため，運転状態VにおいてS_d又はS_s地震力との組合せは考慮不要である。

表 5-2 荷重の組合せ（耐震設計上の重要度分類Bクラス）

施設分類	設備	管クラス	荷重の組合せ*2	許容応力状態
DB	液体廃棄物処理系 固体廃棄物処理系	クラス3管	$I_L + 1/2 \cdot S_d$	B _A S
			$II_L + 1/2 \cdot S_d$	

表 5-3 許容応力（クラス1管及び重大事故等クラス2管であってクラス1管）

許容応力状態	一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
III _A S	$1.5 S_m^{*2}$	$2.25 S_m^{*3}$ ただし、ねじりによる応力が $0.55 S_m$ を超える場合は、曲げとねじりによる応力について $1.8 S_m$ とする。	$3 S_m^{*5}$ S_d 又は S_s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	S_d 又は S_s 地震動のみによる疲労累積係数と運転状態 I, II における疲労累積係数の和が 1.0 以下であること。
IV _A S V _A S*1	$2 S_m^{*2}$	$3 S_m^{*4}$ ただし、ねじりによる応力が $0.73 S_m$ を超える場合は、曲げとねじりによる応力について $2.4 S_m$ とする。		

注記 *1：許容応力状態 V_AS は許容応力状態 IV_AS の許容限界を使用し、許容応力状態 IV_AS として評価を実施する。

*2：軸力による全断面平均応力については、許容応力状態 III_AS の一次一般膜応力の許容値 ($1.5 \cdot S_m$) の 0.8 倍の値とする。

*3：許容応力状態 III_AS と供用状態 C を考慮し、 $2.25 \cdot S_m$ と $1.8 \cdot S_y$ の小さい方を許容値とする。

*4：許容応力状態 IV_AS と供用状態 D を考慮し、 $3 \cdot S_m$ と $2 \cdot S_y$ の小さい方を許容値とする。

*5： $3 \cdot S_m$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (同 PVB-3313 を除く) 又は PPB-3536 (1), (2), (4) 及び (5) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 5-4 許容応力（「クラス 1 管及び重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管」を除く管で耐震設計上の重要度分類 S クラス及び S_s 機能維持対象）

許容応力 状態	一次一般 膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次 応力	一次+二次 +ピーク応力
III _A S	Min($S_y, 0.6 S_u$)* ² ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については $1.2 S_h$ としてもよい。	S_y ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については $1.2 S_h$ としてもよい。	S_d 又は S_s 地震動のみによる疲労解析を行い疲労累積係数が 1.0 以下であること。ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要である。* ³	
IV _A S V _A S* ¹	$0.6 S_u$ * ²	$0.9 S_u$		

注記 *1: 許容応力状態 V_AS は許容応力状態 IV_AS の許容限界を使用し、許容応力状態 IV_AS として評価を実施する。

*2: 軸力による全断面平均応力については、許容応力状態 III_AS の一次一般膜応力の許容値の 0.8 倍の値とする。

*3: $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PPB-3536(1), (2), (4) 及び(5) (ただし、 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 5-5 許容応力（クラス 3 管で耐震設計上の重要度分類 B クラス）

許容応力 状態	一次一般 膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次 応力	一次+二次 +ピーク応力
B _A S	* ¹ S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と $1.2 \cdot S_h$ との大きい方。	S_y ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と $1.2 S_h$ との大きい方。		—

注記 *1: 軸力による全断面平均応力については本欄の 0.8 倍の値とする。

6. 計算精度と数値の丸め方

計算精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表6-1に示すとおりである。

表6-1 表示する数値の丸め方

項目	数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
鳥瞰図	寸法	mm	小数点第1位	四捨五入	整数位
	変位量	mm	小数点第2位	四捨五入	小数点第1位
計算条件	圧力	MPa	小数点第3位	四捨五入	小数点第2位*1
	温度	℃	小数点第1位	四捨五入	整数位
	外径	mm	小数点第2位	四捨五入	小数点第1位
	厚さ	mm	小数点第2位	四捨五入	小数点第1位
	縦弾性係数	MPa	小数点第1位	四捨五入	整数位
	質量	kg	小数点第1位	四捨五入	整数位
	単位長さ質量	kg/m	小数点第1位	四捨五入	整数位
	ばね定数	N/mm	有効桁数3桁	四捨五入	有効桁数2桁
	回転ばね定数	N・mm/rad	有効桁数3桁	四捨五入	有効桁数2桁
	方向余弦	—	小数点第5位	四捨五入	小数点第4位
	許容応力*2	MPa	小数点第1位	切捨て	整数位
	減衰定数	%	—	—	小数点第1位
	解析結果 及び評価	固有周期	s	小数点第4位	四捨五入
震度		—	小数点第3位	切上げ	小数点第2位
刺激係数		—	小数点第4位	四捨五入	小数点第3位
計算応力		MPa	小数点第1位	切上げ	整数位
許容応力*2		MPa	小数点第1位	切捨て	整数位
計算荷重		kN	小数点第1位	切上げ	整数位
許容荷重		kN	小数点第1位	切捨て	整数位
疲労累積係数		—	小数点第5位	切上げ	小数点第4位
弁応答加速度		×9.8m/s ²	小数点第2位	切上げ	小数点第1位
機能確認済加速度		×9.8m/s ²	—	—	小数点第1位

注記 *1: 必要に応じて小数点第3位表示とする。また、静水頭は「静水頭」と記載する。

*2: 設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容応力は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

7. 計算書の構成

(1) 概要

本基本方針及び添付書類「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」に基づき、管、支持構造物及び弁の耐震性についての計算を実施した結果を示す旨を記載する。なお、支持構造物は強度計算及び耐震性についての計算の基本式が同一であることから、強度計算を耐震性についての計算に含めて実施している旨を記載する。

また、評価結果の記載方法は以下とする旨を記載する。

a. 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果についても記載する。

b. 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に支持点荷重が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

c. 弁

評価結果を記載する対象弁は、工認主要弁かつ動的機能維持要求弁とし、機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

(2) 概略系統図及び鳥瞰図

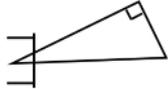
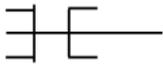
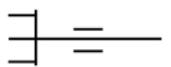
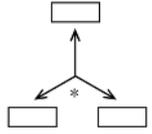
a. 概略系統図

工事計画記載範囲の系統の概略を示した図面を添付する。

b. 鳥瞰図

評価結果記載の解析モデルの解析モデル図を添付する。鳥瞰図に示す記号例を下表に示す。

記号例	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管

記号例	内容
	質点 質点に記載される記号は、「W」は溶接点、「Z」は配管の座、「S」はスリーブ、「F」はフランジ、「N」はノズル、「A」はアンカを示す。
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッパについても同様とする。)
	スナッパ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (* は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, □内に変位量を記載する。)

(3) 計算条件

本項目記載内容及び記載フォーマットを FORMAT 耐-1～耐-7 に示す。

(4) 解析結果及び評価

本項目記載内容及び記載フォーマットを FORMAT 耐-8～耐-13 に示す。

・FORMAT 耐-1 :

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設 分類*1	設備 分類*2	機器等 の区分	耐震設計上の 重要度分類	荷重の組 合せ*3,4	許容応力 状態*5

注記 *1 : DBは設計基準対象施設, SAは重大事故等対処設備を示す。

*2 : 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3 : 運転状態の添字Lは荷重, (L)は荷重が長期間作用している状態を示す。

*4 : 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5 : 許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し, 許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

・FORMAT 耐-2 :

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し, 管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図番号

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)

・FORMAT 耐-3 :

配管の付加質量, フランジ部の質量, 弁部の質量

鳥瞰図番号

質量	対応する評価点

注 : 配管の付加質量は, 保温等の配管に付加される重量を示す。

- FORMAT 耐-4 :
弁部の寸法

鳥瞰図番号

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)

- FORMAT 耐-5 :
支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図番号

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z

- FORMAT 耐-6 :
材料及び許容応力
使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力(MPa) *			
		S _m	S _y	S _u	S _h

注記 * : 評価に使用しない許容応力については「—」と記載する。

- FORMAT 耐-7 :
設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお、設備評価用床応答曲線は、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数(%)

・FORMAT 耐-8 :

固有周期及び設計震度

鳥瞰図番号

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S _d 及び静的震度			S _s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直 震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直 震度*1
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
...							
8次							
n次							
n+1次*4		—	—	—	—	—	—
動的震度*2							
静的震度*3					—	—	—

注：本表はSクラスの場合を示す。なお、S_s機能維持評価の場合は、「S_d及び静的震度」欄及び「静的震度」欄を削除したものを使用する。

注記 *1：各モードの固有周期に対し、設備評価用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：S_d又はS_s地震動に基づく最大設備評価用床応答加速度より定めた震度を示す。

*3：3.6C_I及び1.2C_vより定めた震度を示す。

*4：固有周期が0.050s以下であることを示す。

・FORMAT 耐-9 :

各モードに対応する刺激係数

鳥瞰図番号

モード	固有周期 (s)	刺激係数*1		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
...				
8次				
n次				

注：3次モードまでを代表として、各質点の変位の相対量・方向を示した振動モード図を添付する。

注記 *1：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリクス積から算出した値を示す。

・FORMAT 耐-10-1 :

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス1管

鳥瞰図	許容 応力 状態	最大 応力 評価点	配管 要素 名称	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)				一次+二次応力評価 (MPa)		疲労 評価
					一次応力	許容応力	ねじり 応力	許容 応力	一次+二次 応力	許容 応力	疲労累積係 数
					$S_{pm}(S_d)$	$2.25 S_m^{*1}$	$S_t(S_d)$	$0.55 S_m$			
					$S_{pm}(S_s)$	$3 S_m^{*1}$	$S_t(S_s)$	$0.73 S_m$	$S_n(S_s)$	$3 S_m$	$U+U S_m$
鳥瞰図 番号	Ⅲ _A S			$S_{pm}(S_d)$	Max	$2.25 S_m$	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S			$S_t(S_d)$	—	—	Max ^{*2}	$0.55 S_m$	—	—	—
	Ⅳ _A S			$S_{pm}(S_s)$	Max	$3 S_m$	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S			$S_t(S_s)$	—	—	Max ^{*2}	$0.73 S_m$	—	—	—
	Ⅳ _A S			$S_n(S_s)$	—	—	—	—	Max	$3 S_m$	$U+U S_m^{*3}$
	Ⅳ _A S			$U+U S_m$	—	—	—	—	—	—	Max

注：本表は曲げ+ねじり応力評価を除く評価結果を示すものである。

注記 *1：設計・建設規格 PPB-3552 及び PPB-3562 の規定に基づく供用状態C及びDにおける一次応力評価を許容応力状態Ⅲ_AS及びⅣ_ASにおける一次応力評価に含めて実施する場合は、許容応力状態Ⅲ_AS及びⅣ_ASの許容応力をそれぞれ、 $\text{Min}(2.25 S_m, 1.8 S_y)$ 及び $\text{Min}(3 S_m, 2 S_y)$ とする。

*2：ねじり応力が許容応力状態Ⅲ_ASのとき $0.55 S_m$ 、又は許容応力状態Ⅳ_ASのとき $0.73 S_m$ を超える場合は、曲げ+ねじり応力評価を実施する。

*3：一次+二次応力が $3 S_m$ 以下の場合は「—」と記載する。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態Ⅲ_ASのとき $0.55 S_m$ 、又は許容応力状態Ⅳ_ASのとき $0.73 S_m$ を超える評価点のうち曲げとねじりによる応力は許容値を満足している。

鳥瞰図	評価点	一次応力評価 (MPa)			
		ねじり応力	許容応力	曲げとねじり応力	許容応力
		$S_t(S_d)$	$0.55 S_m$	$S_t + S_b(S_d)$	$1.8 S_m$
		$S_t(S_s)$	$0.73 S_m$	$S_t + S_b(S_s)$	$2.4 S_m$
鳥瞰図 番号		Max	$0.55 S_m$	Max	$1.8 S_m$
		Max	$0.73 S_m$	Max	$2.4 S_m$

注：本表はねじり+曲げ応力評価結果を示すものである。

・FORMAT 耐-10-2 :

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス 2 以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{prm}(S_d)$	S_y^{*1}	$S_n(S_s)$	$2S_y$	
鳥瞰図 番号	III _A S IV _A S IV _A S		$S_{prm}(S_d)$ $S_{prm}(S_s)$ $S_n(S_s)$	Max Max —	S_y^{*1} $0.9S_u$ —	— — Max	— — $2S_y$	— — US_s^{*2}

注記 *1 : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 S_y と $1.2S_h$ のうち大きい方とする。

*2 : 一次+二次応力が $2S_y$ 以下の場合は「—」と記載する。

・FORMAT 耐-10-3 :

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管

鳥瞰図	許容 応力 状態	最大 応力 評価点	配管 要素 名称	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)				一次+二次応力評価 (MPa)		疲労 評価
					一次応力	許容応力	ねじり 応力	許容 応力	一次+二次 応力	許容 応力	疲労累積係 数
					$S_{prm}(S_s)$	$3S_m$	$S_t(S_s)$	$0.73S_m$	$S_n(S_s)$	$3S_m$	
鳥瞰図 番号	V _A S V _A S V _A S V _A S			$S_{prm}(S_s)$ $S_t(S_s)$ $S_n(S_s)$ $U+US_s$	Max — — —	$3S_m$ — — —	— Max ^{*1} — —	— $0.73S_m$ — —	— — Max —	— — $3S_m$ —	— — $U+US_s^{*2}$ Max

注 : 本表は曲げ+ねじり応力評価を除く評価結果を示すものである。

注記 *1 : ねじり応力が許容応力状態 V_AS のとき $0.73S_m$ を超える場合は、曲げ+ねじり応力評価を実施する。

*2 : 一次+二次応力が $3S_m$ 以下の場合は「—」と記載する。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態 $V_A S$ のとき $0.73 S_m$ を超える評価点のうち曲げとねじりによる応力は許容値を満足している。

鳥瞰図	評価点	一次応力評価 (MPa)			
		ねじり応力 $S_t(S_s)$	許容応力 $0.73 S_m$	曲げとねじり応力 $S_t + S_b(S_s)$	許容応力 $2.4 S_m$
鳥瞰図番号		Max	$0.73 S_m$	Max	$2.4 S_m$

注：本表はねじり+曲げ応力評価結果を示すものである。

・FORMAT 耐-10-4：

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{pr}(S_s)$	許容応力 $0.9 S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2 S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
鳥瞰図 番号	$V_A S$ $V_A S$		$S_{pr}(S_s)$ $S_n(S_s)$	Max —	$0.9 S_u$ —	— Max	— $2 S_y$	— $U S_s^{*1}$

注記 *1：一次+二次応力が $2 S_y$ 以下の場合は「—」と記載する。

・FORMAT 耐-10-5：

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス3管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{pr}(S_s)$	許容応力 S_y	計算応力 $S_n(S_d)$	許容応力 $2 S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
鳥瞰図 番号	$B_A S$		$S_{pr}(S_d)$	Max	S_y	—	—	—

・FORMAT 耐-11：

支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果(荷重評価)

支持 構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)
	メカニカルスナップ		添付書類「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持 設計方針」参照			
	オイルスナップ					
	ロッドレストレイント					
	スプリングハンガ					
	コンスタントハンガ					
	リジットハンガ					

支持構造物評価結果(応力評価)

支持 構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント(kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
	レストレイント												
	アンカ												

注：評価対象がない場合はすべての欄に「—」と記載する。

Ⅲ_AS, IV_AS の評価結果のうち、裕度最小の結果を記載する。

・FORMAT 耐-12：

弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度 (×9.8m/s ²)		機能確認済加速度 (×9.8m/s ²)		構造強度評価結果* (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力

注：評価対象がない場合はすべての欄に「—」と記載する。

注記 *：弁応答加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

• FORMAT 耐-13-1 :

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス*範囲）

No	配管 モデル	許容応力状態 III _S					許容応力状態 IV _S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 [MPa]	許容 応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算 応力 [MPa]	許容 応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算 応力 [MPa]	許容 応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累 積係数	代表
1	****-1	1	**	**	*.**	○	1	**	**	*.**	—	1	**	**	*.**	—	1	0.****	—
2	****-2	2	**	**	*.**	—	2	**	**	*.**	○	2	**	**	*.**	○	2	0.****	○
3	****-3	3	**	**	*.**	—	3	**	**	*.**	—	3	**	**	*.**	—	3	—	—

注：耐震設計上の重要度分類Sクラス範囲の記載方法(重大事故等クラス2でクラス1管と重大事故等クラス2でクラス2, 3管は上記の表を分けて記載する。)

注記*：III_Sの一次+二次応力の許容値はIV_Sと同様であることから、地震荷重が大きいIV_Sの一次+二次応力裕度最小を代表とする。IV_Sの計算応力は、V_SとIV_Sの大きい方を記載している。

• FORMAT 耐-13-2 :

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス*範囲）

No	配管 モデル	許容応力状態 V _S														
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価				
		評価点	計算 応力 [MPa]	許容 応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算 応力 [MPa]	許容 応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累 積係数	代表		
1	****-1	1	**	**	*.**	—	1	**	**	*.**	—	—	—	—		
2	****-2	2	**	**	*.**	○	2	**	**	*.**	—	2	0.****	—		
3	****-3	3	**	**	*.**	—	3	**	**	*.**	○	3	0.****	○		

注：耐震設計上の重要度分類Sクラス範囲を含まない、S s機能維持範囲の記載方法

• FORMAT 耐-13-3 :

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス*範囲）

No	配管 モデル	許容応力状態 B,S				
		一次応力				
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表
1	****-1	1	**	**	*,**	—
2	****-2	2	**	**	*,**	○
3	****-3	3	**	**	*,**	—
4	****-4	4	**	**	*,**	—

注：耐震設計上の重要度分類Bクラス範囲の記載方法

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-931 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 固有周期	6
4.1 基本方針	6
4.2 固有振動数の算出方法	6
5. 構造強度評価	6
5.1 構造強度評価方法	6
5.2 設計用地震力	8
5.3 計算方法	8
5.4 応力の評価	20
6. 機能維持評価	21
6.1 電氣的機能維持評価方法	21
7. 耐震計算書のフォーマット	21
7.1 直立形計装ラックの耐震計算書のフォーマット	21
7.2 壁掛形計装ラックの耐震計算書のフォーマット	21

1. 概要

基本方針は、添付書類「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている計装ラック（耐震重要度分類Sクラス又はS s 機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できない計装ラックにあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

計装ラックの応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、計装ラックの機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

計装ラックの耐震評価フローを図2-1に示す。

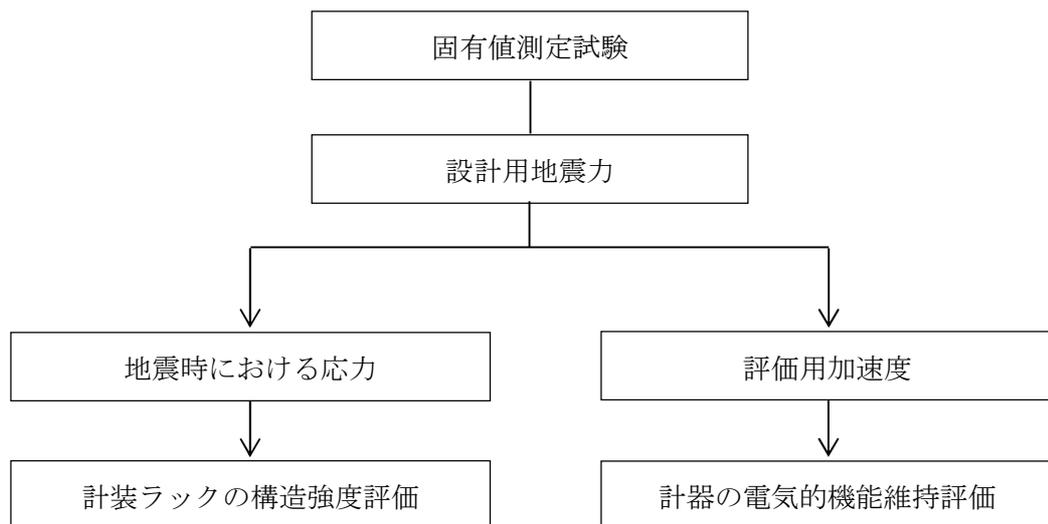


図2-1 計装ラックの耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補—1984, J E A G 4 6 0 1 —1987 及び J E A G 4 6 0 1 —1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1—2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1本当たり）* ¹	N
F_{b1i}	鉛直方向地震及び壁掛取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1本当たり）（壁掛形）* ¹	N
F_{b2i}	鉛直方向地震及び壁掛取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1本当たり）（壁掛形）* ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
h_i	取付面から重心までの距離	mm
l_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
l_{1i}	重心を下側ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）* ¹	mm
l_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
l_{2i}	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）* ¹	mm
l_{3i}	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離（壁掛形）* ¹	mm
m_i	計装ラックの質量	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
n_{Vi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 （側面方向）（壁掛形）* ¹	—
n_{Hi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 （正面方向）（壁掛形）* ¹	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
Q_{b1i}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）* ¹	N
Q_{b2i}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* ¹	MPa

記号	記号の説明	単位
S_{yi} (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値*1	MPa
π_i	円周率*1	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力*1	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力*1	MPa

注記 *1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , F_{b1i} , F_{b2i} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} , l_{3i} , n_i , nf_i , n_{Vi} , n_{Hi} , Q_{bi} , Q_{b1i} , Q_{b2i} , S_{ui} , S_{yi} , σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: 取付ボルト

*2: h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: 取付面

*3: $l_{1i} \leq l_{2i}$

2.4 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-1に示すとおりである。

表2-1 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ*1	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

計装ラックの耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる**基礎ボルト及び**取付ボルトについて評価を実施する。

4. 固有周期

計装ラックの固有周期は、振動試験（加振試験又は**打振試験**）にて求める。なお、振動試験により固有周期が求められていない計装ラックについては、構造が同様な計装ラックに対する振動試験の結果算定された固有周期を使用する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 計装ラックの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は計装ラックに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 計装ラックは取付ボルトでチャンネルベースに固定されており、固定端とする。
- (4) **チャンネルベースは基礎ボルト又は埋込金物で基礎と固定されており、固定端とする。**
- (5) 床面据付の計装ラックの転倒方向は、図 5-1 概要図（直立形）における長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。壁掛形の計装ラックについては、図 5-2 概要図（壁掛形）における**正面方向及び側面方向**について検討し、計算書には計算結果の厳しい方を記載する。
- (6) 計装ラックの重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

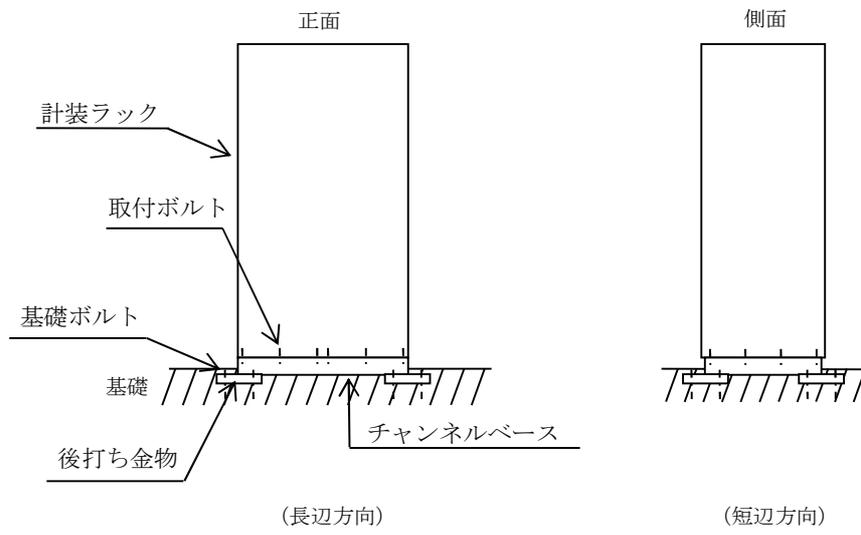


図 5-1 概要図 (直立形)

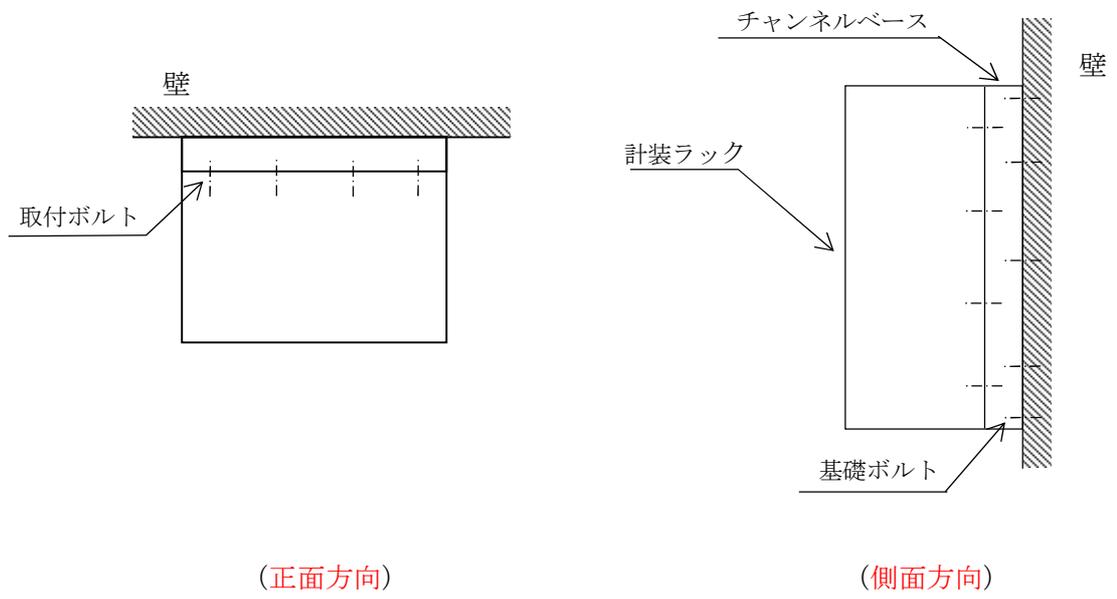


図 5-2 概要図 (壁掛形)

5.2 設計用地震力

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度及び基準地震動 S_s による地震力は、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。なお、壁掛形の計装ラックの設計用地震力については、設置床上階の設計用地震力を使用する。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

5.3.1.1 ボルトの計算方法

ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

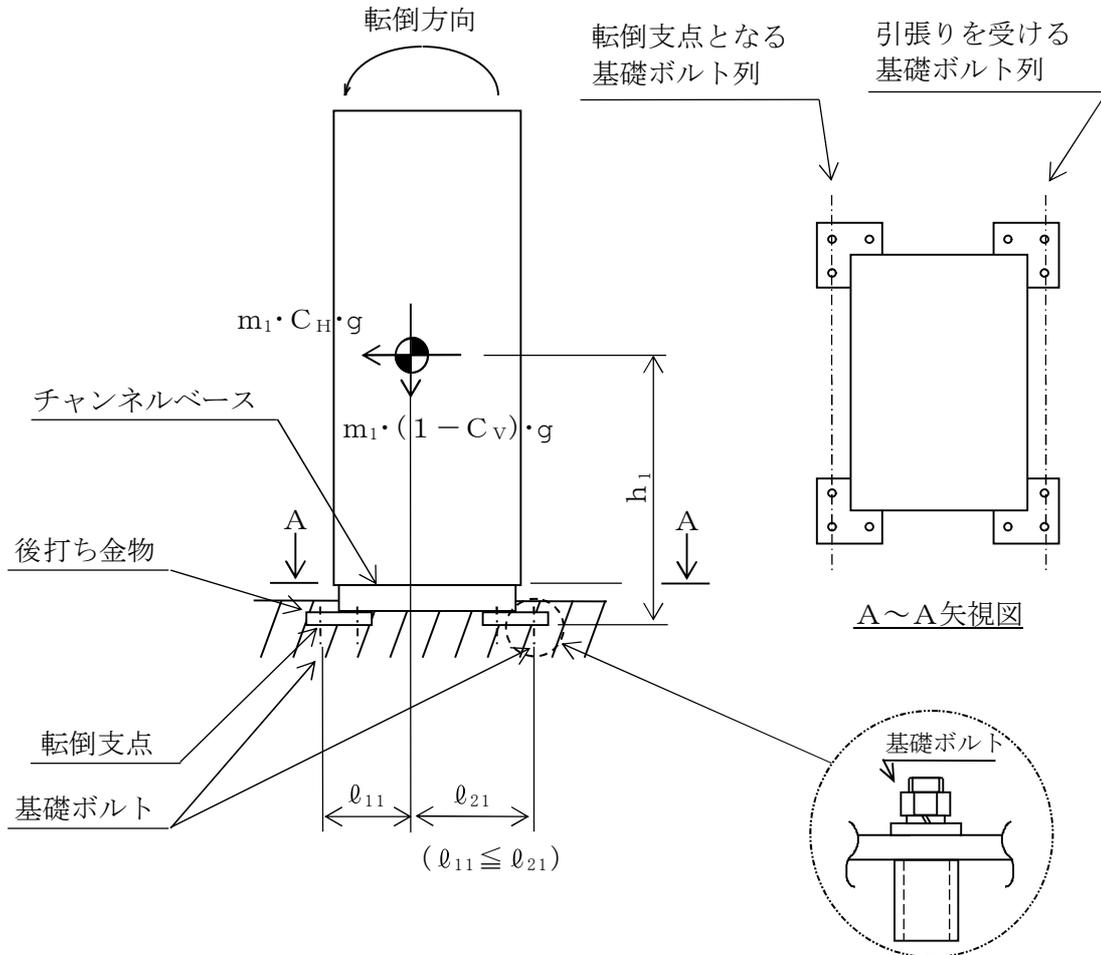


図5-3(1) 計算モデル
(直立形 短辺方向転倒 $(1 - C_v) \geq 0$ の場合)

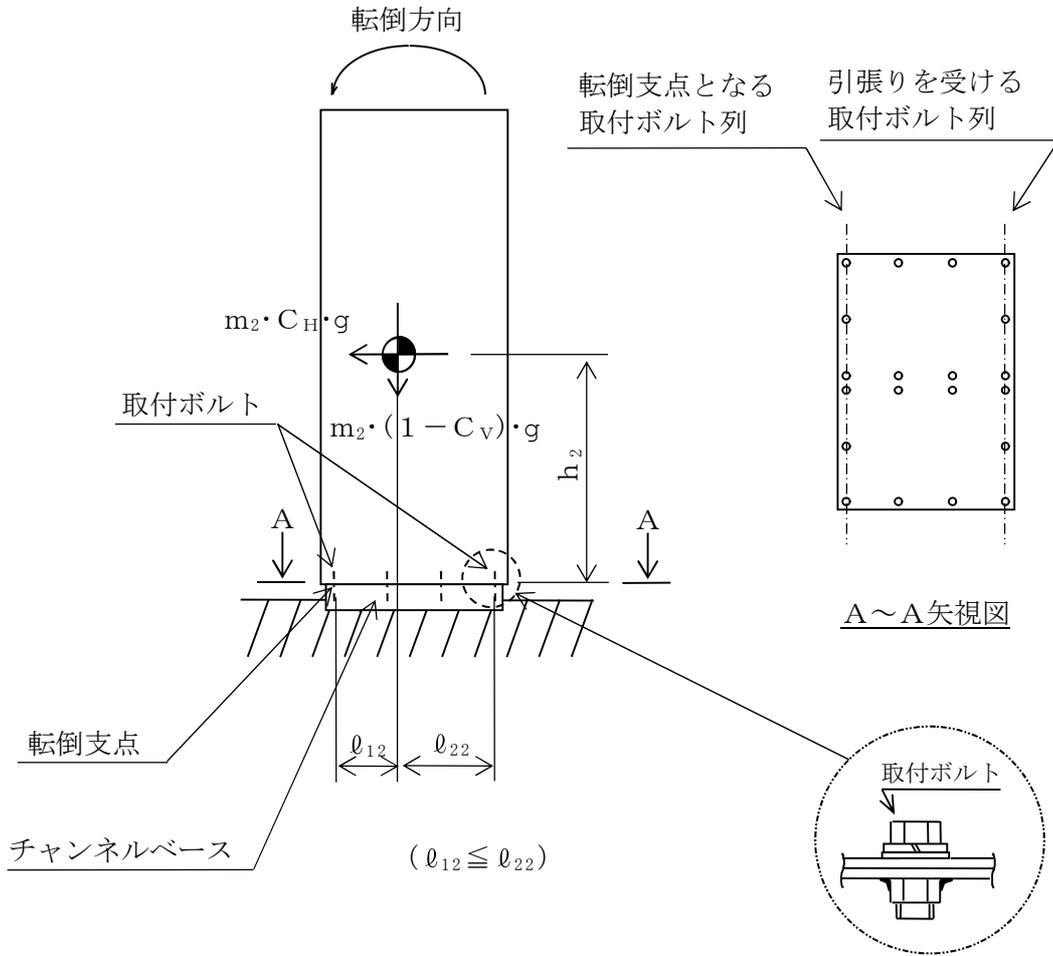


図5-3(2) 計算モデル
(直立形 短辺方向転倒 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

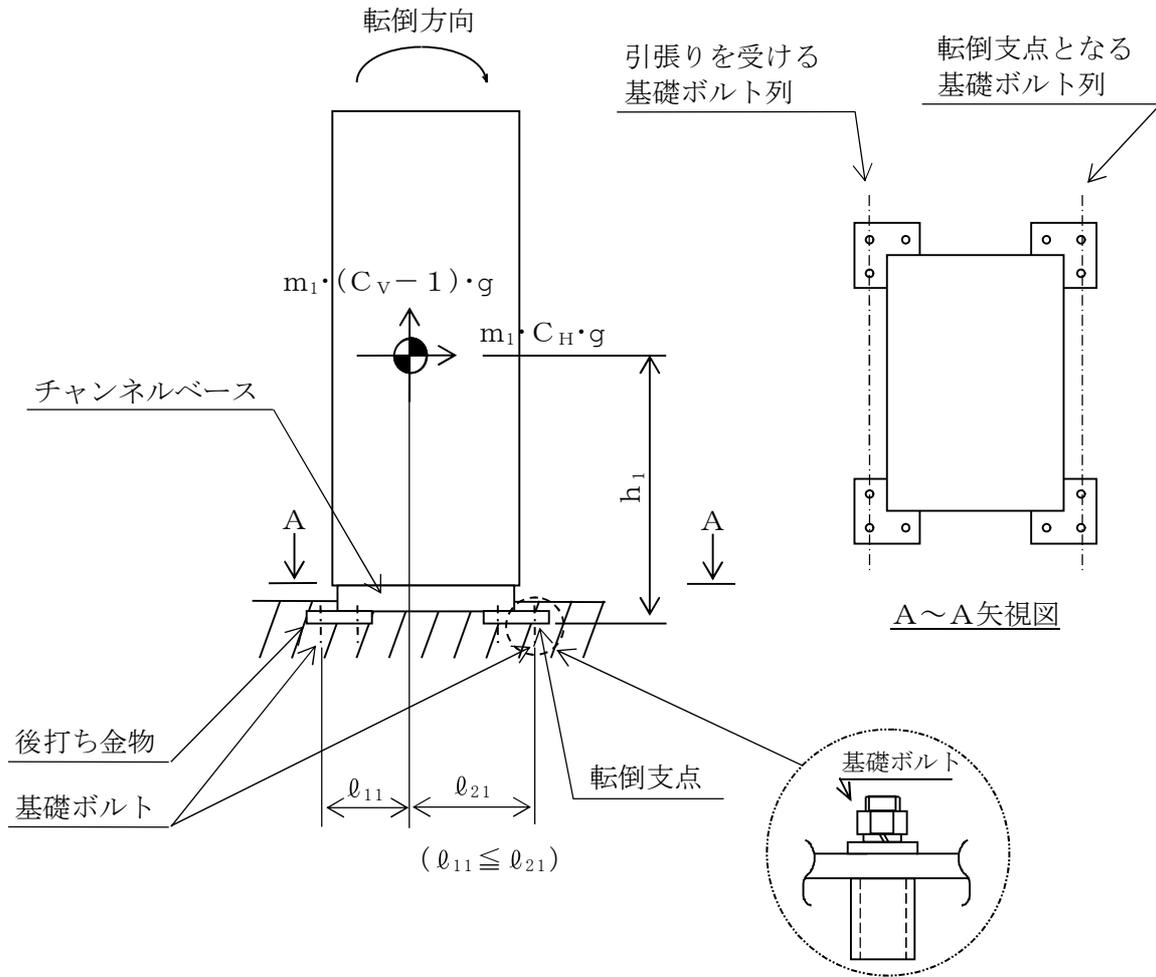


図5-3(3) 計算モデル
 (直立形 短辺方向転倒 $(1 - C_v) < 0$ の場合)

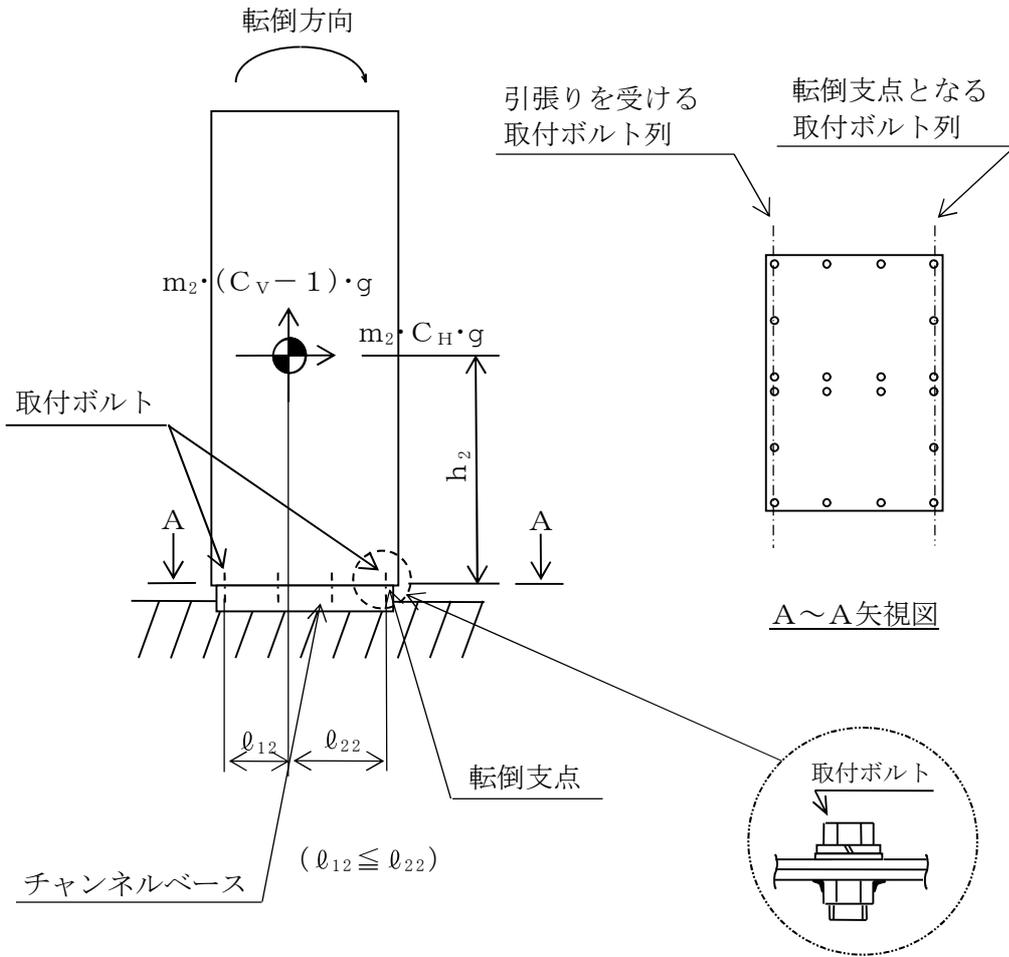


図5-3(4) 計算モデル
(直立形 短辺方向転倒 $(1 - C_V) < 0$ の場合)

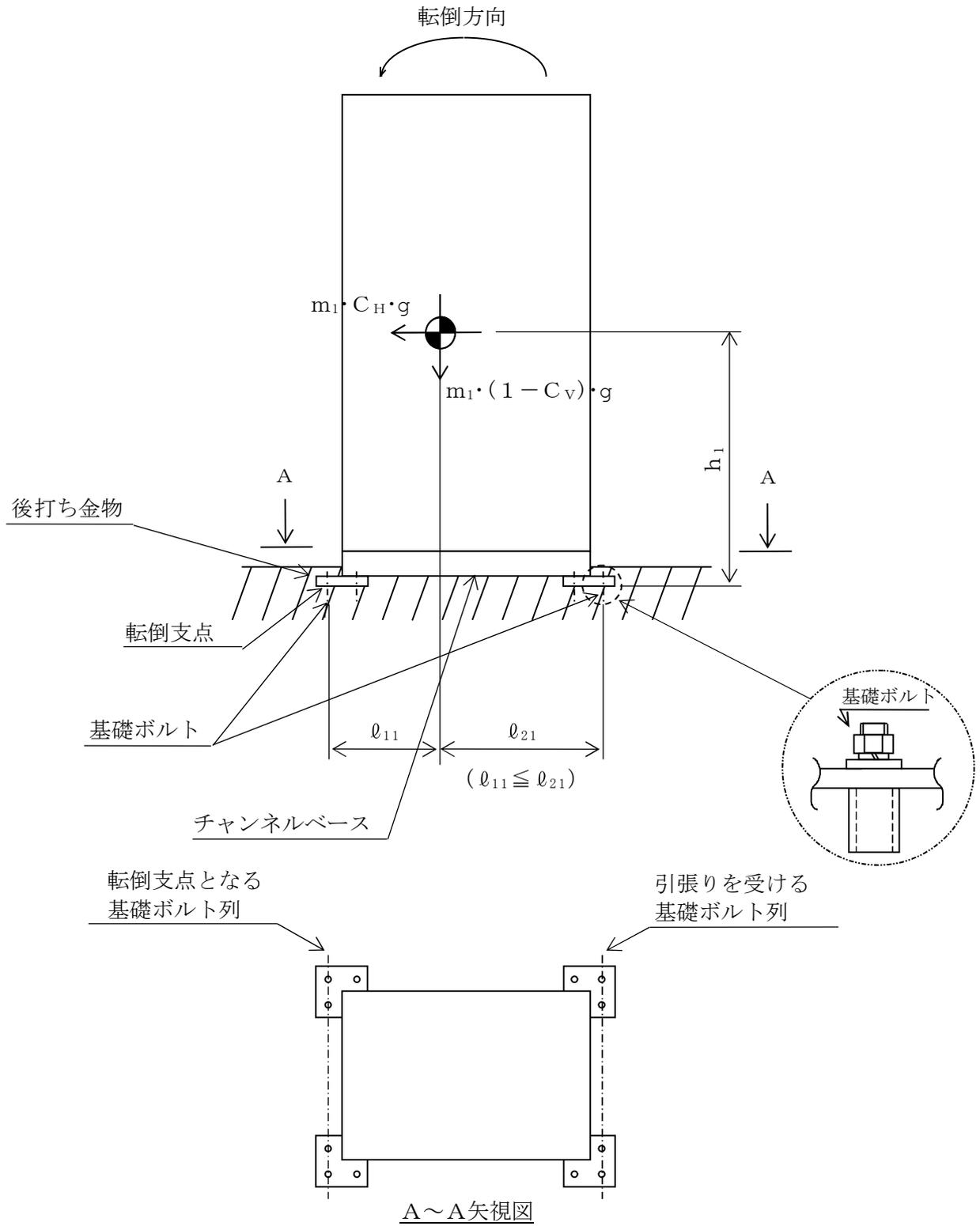


図5-3(5) 計算モデル
 (直立形 長辺方向転倒 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

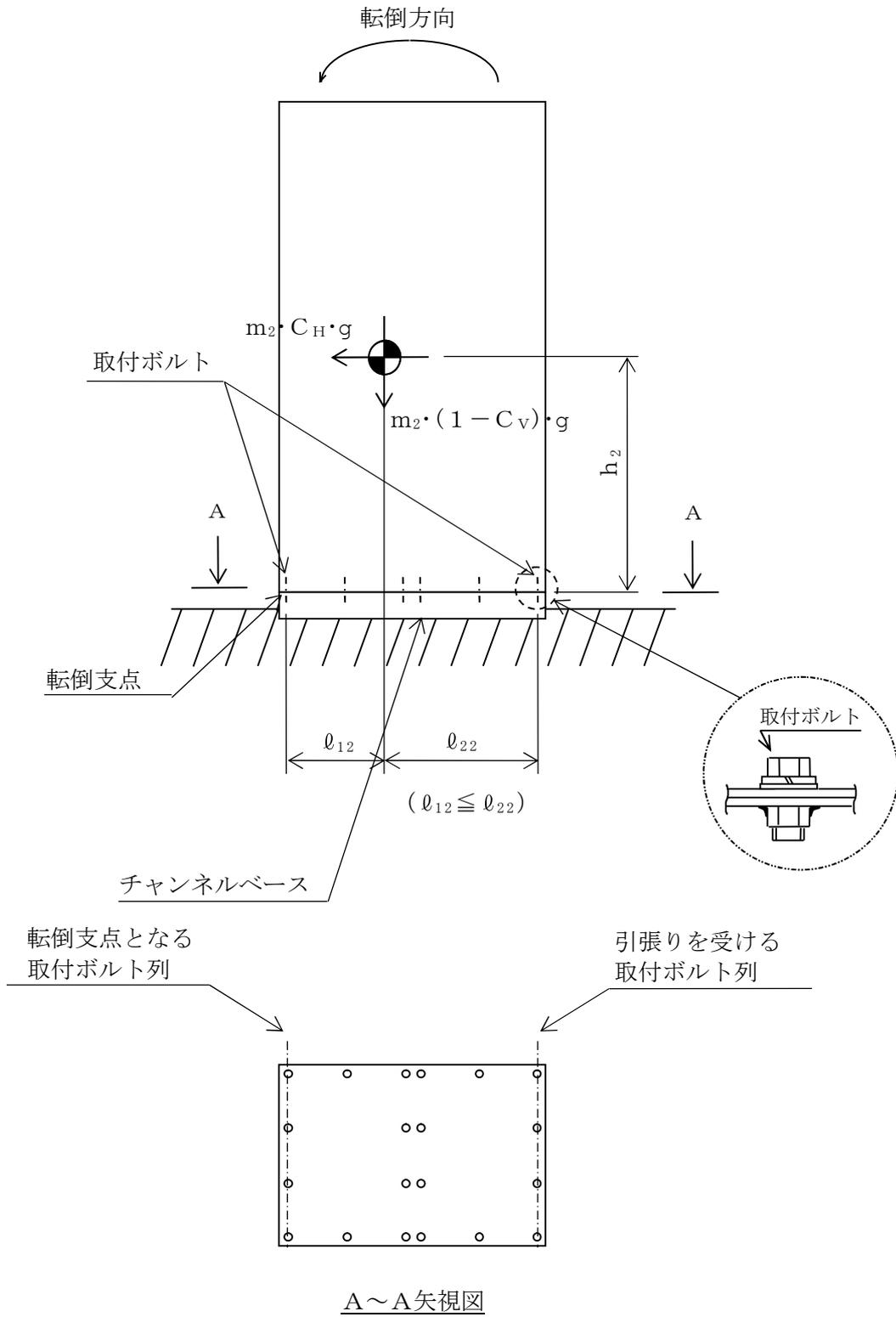


図5-3(6) 計算モデル
(直立形 長辺方向転倒 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

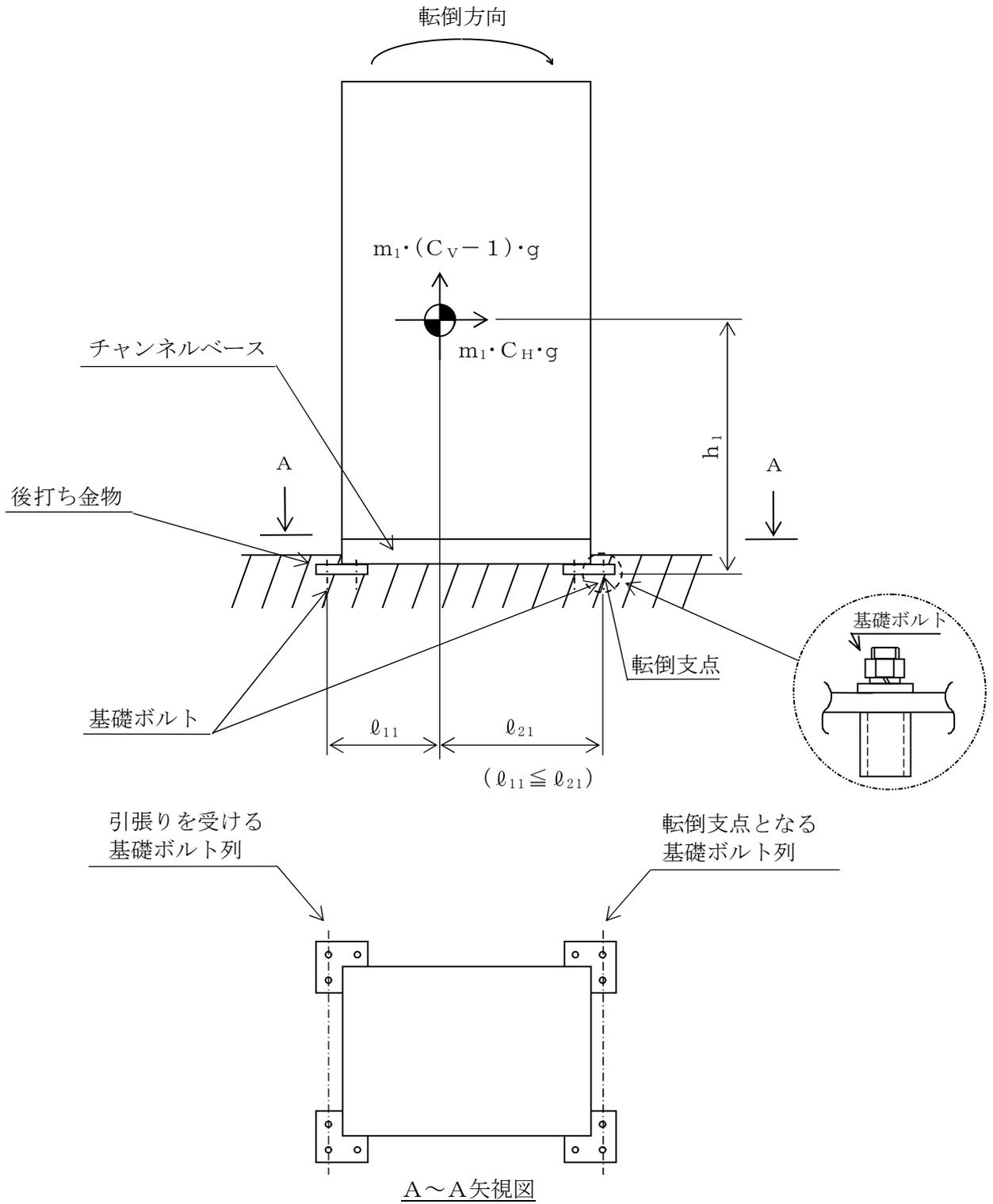


図5-3(7) 計算モデル
 (直立形 長辺方向転倒 $(1 - C_v) < 0$ の場合)

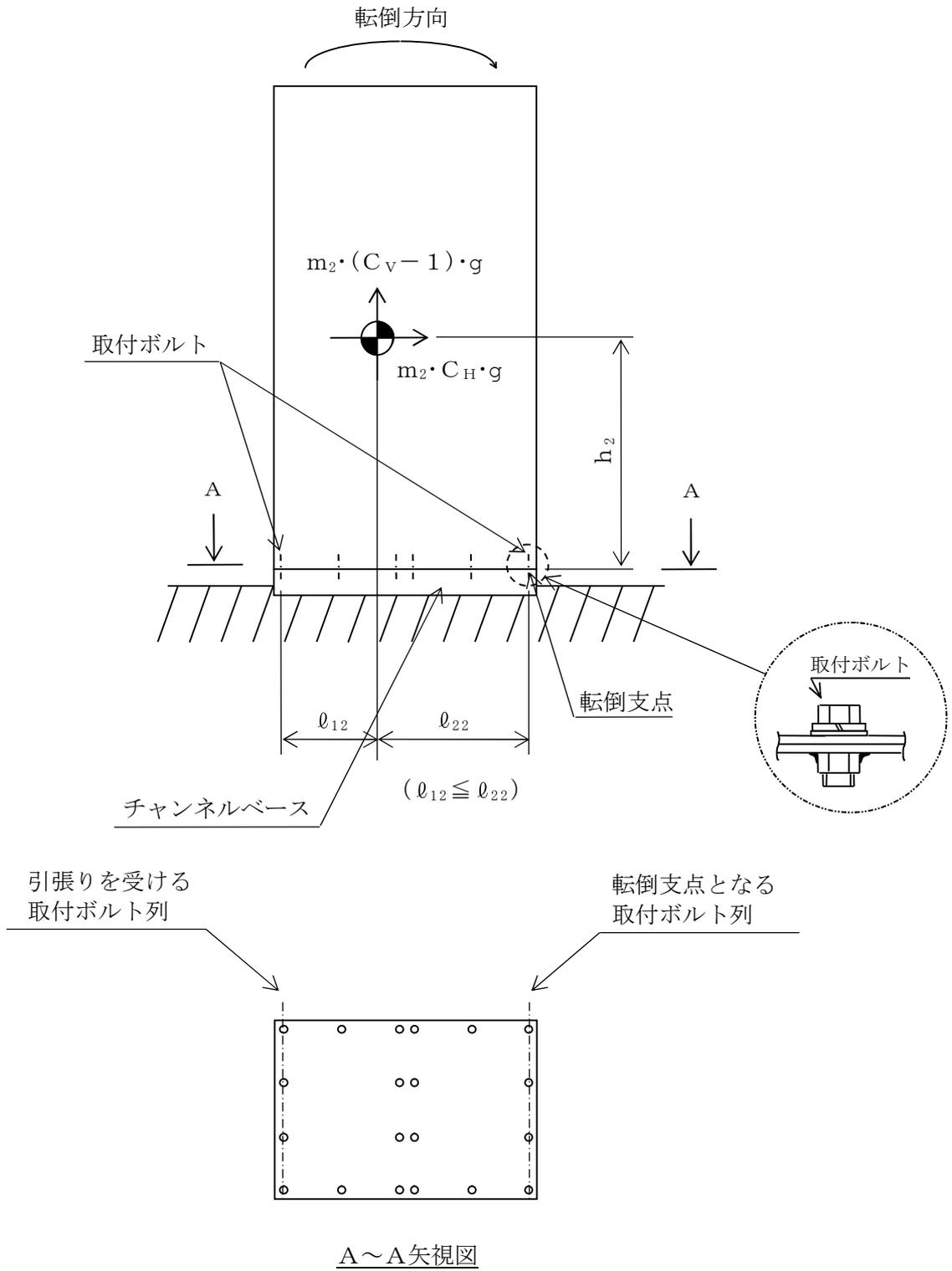


図5-3(8) 計算モデル
 (直立形 長辺方向転倒 $(1 - C_v) < 0$ の場合)

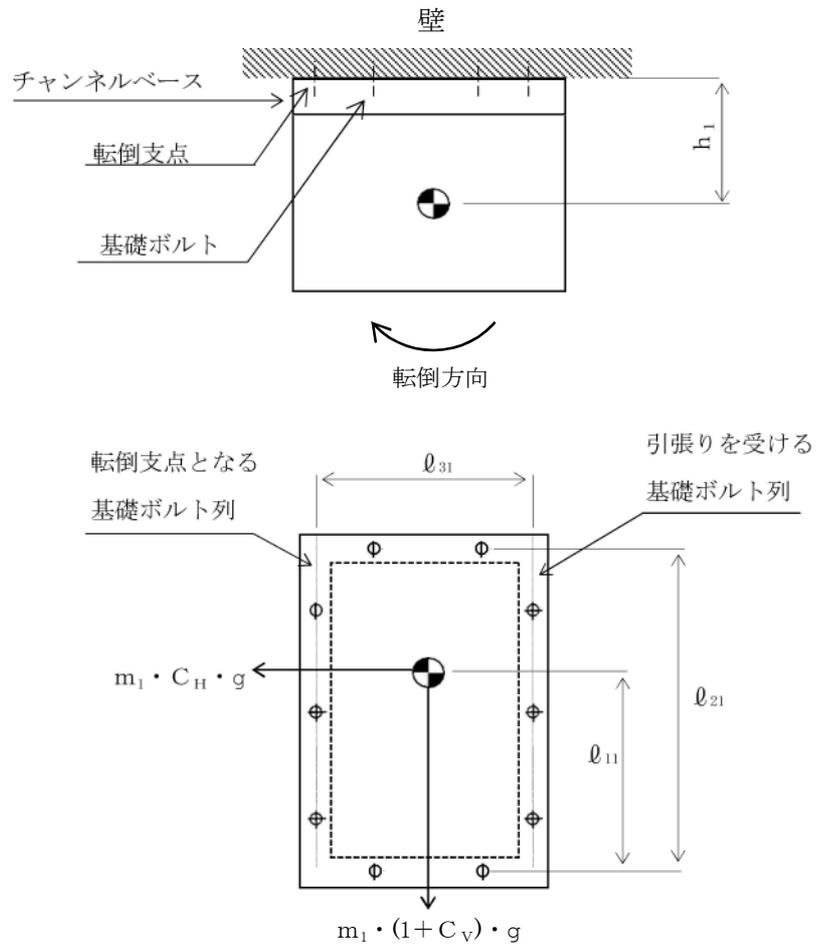


図5-4(1)計算モデル (壁掛形 正面方向転倒の場合)

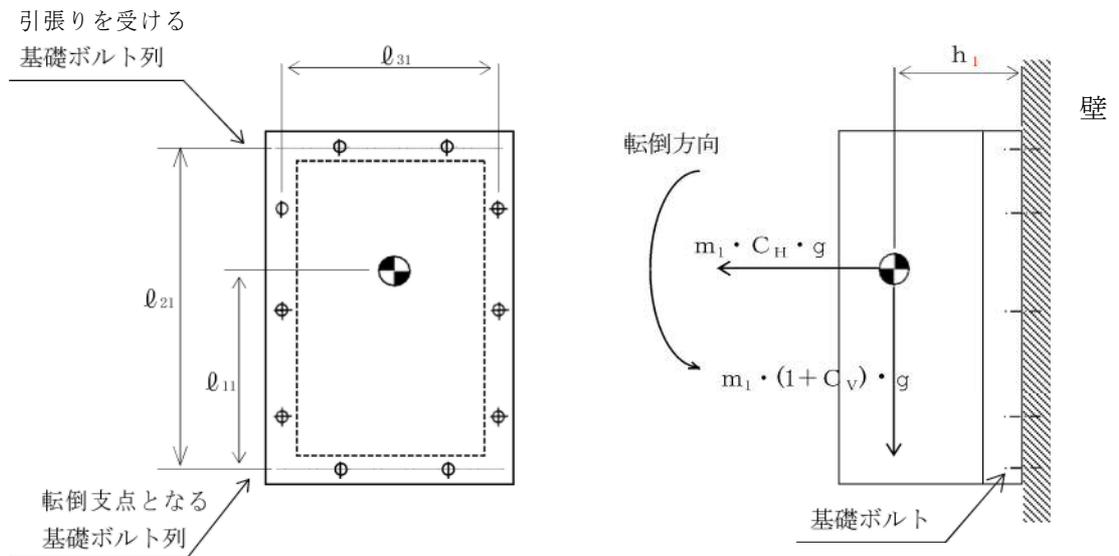


図5-4(2)計算モデル (壁掛形 側面方向転倒の場合)

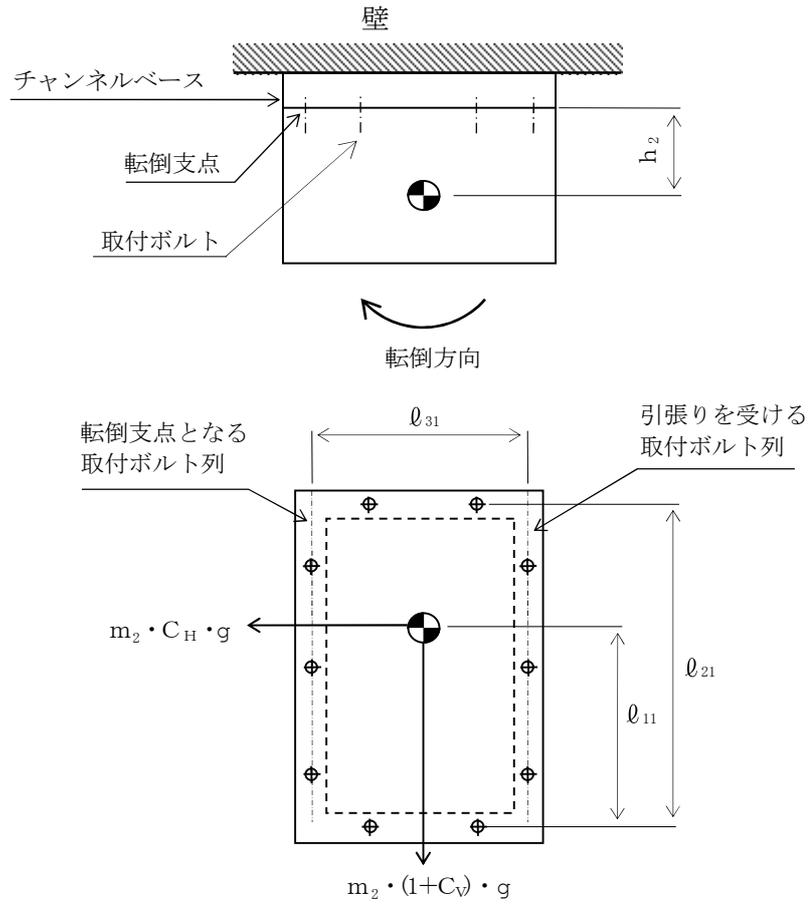


図5-4(3) 計算モデル (壁掛形 正面方向転倒の場合)

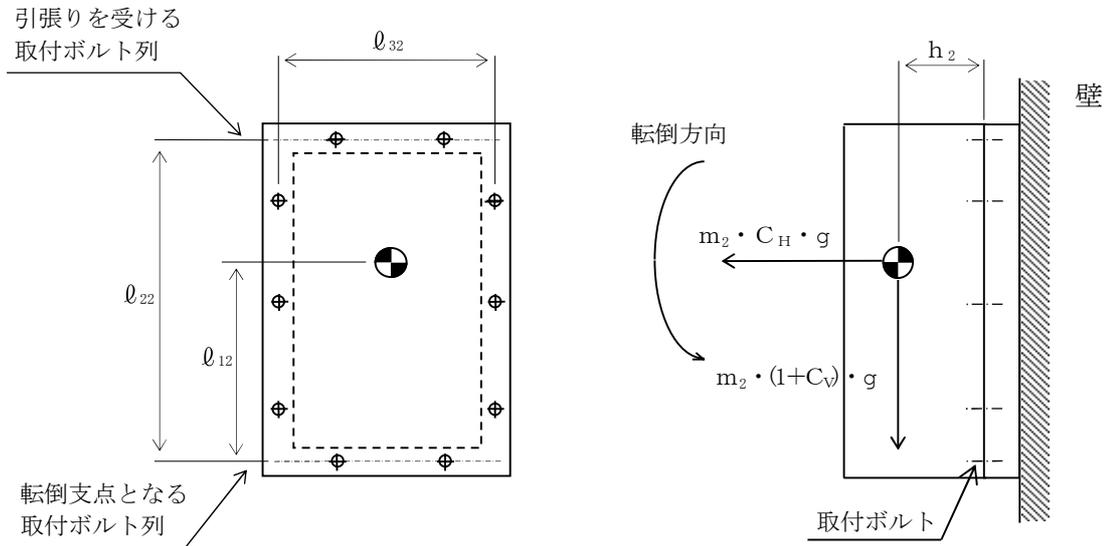


図5-4(4) 計算モデル (壁掛形 側面方向転倒の場合)

(1) 引張応力

基礎ボルト及び取付ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として図5-3及び図5-4で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力 (F_{b*i*})

計算モデル図5-3(1), 5-3(2), 5-3(5)及び5-3(6)の場合の引張力

$$F_{b_i} = \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g - m_i \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_{1i} \cdot g}{n_{f_i} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})} \dots (5.3.1.1.1)$$

計算モデル図5-3(3), 5-3(4), 5-3(7)及び5-3(8)の場合の引張力

$$F_{b_i} = \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g - m_i \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_{2i} \cdot g}{n_{f_i} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})} \dots (5.3.1.1.2)$$

計算モデル図5-4(1), 5-4(2), 5-4(3)及び5-4(4)の場合の引張力

$$F_{b_{1i}} = \frac{m_i \cdot (1 + C_V) \cdot h_i \cdot g}{n_{f_{V_i}} \cdot \ell_{2i}} + \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g}{n_{f_{H_i}} \cdot \ell_{3i}} \dots (5.3.1.1.3)$$

$$F_{b_{2i}} = \frac{m_i \cdot (1 + C_V) \cdot h_i \cdot g + m_i \cdot C_H \cdot \ell_{1i} \cdot g}{n_{f_{V_i}} \cdot \ell_{2i}} \dots (5.3.1.1.4)$$

$$F_{b_i} = \text{M a x} (F_{b_{1i}}, F_{b_{2i}}) \dots (5.3.1.1.5)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots (5.3.1.1.6)$$

ここで、ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_{b_i} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots (5.3.1.1.7)$$

ただし、F_bが負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

a. 直立形の場合

$$Q_{bi} = m_i \cdot C_H \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

b. 壁掛形の場合

$$Q_{b1i} = m_i \cdot C_H \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.9)$$

$$Q_{b2i} = m_i \cdot (1 + C_V) \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.10)$$

$$Q_{bi} = \sqrt{(Q_{b1i})^2 + (Q_{b2i})^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.11)$$

せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_i \cdot A_{bi}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.12)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 ボルトの応力評価

5.3.1項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の電氣的機能維持を評価する。

評価用加速度は添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

機能確認済加速度は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき加振試験等により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

7. 耐震計算書のフォーマット

7.1 直立形計装ラックの耐震計算書のフォーマット

直立形計装ラックの耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

[設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合]

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

[重大事故等対処設備単独の場合]

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

7.2 壁掛形計装ラックの耐震計算書のフォーマット

壁掛形計装ラックの耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

[設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合]

フォーマットⅢ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果

[重大事故等対処設備単独の場合]

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記 *：重大事故等対処設備単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマット I 直立形計装ラックの設計基準対象施設としての評価結果】

【○○○○の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
		建屋 EL.*			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =	

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 ○○○○

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} * (mm)	ℓ _{2i} * (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *
基礎ボルト (i=1)					(M)		
取付ボルト (i=2)					(M)		

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)						
取付ボルト (i=2)						

注記 * : 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
取付ボルト (i=2)				

1.4 結 論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
取付ボルト		引張り	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

すべて許容応力以下である。

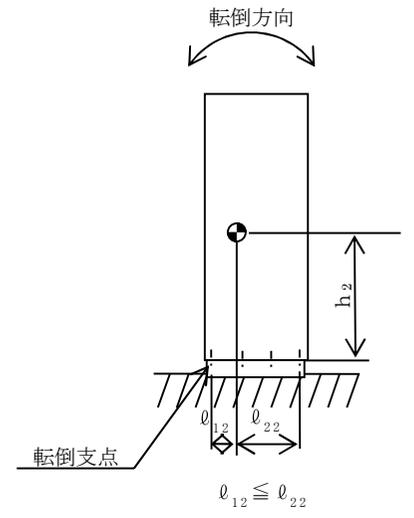
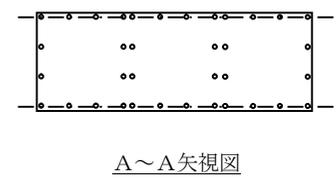
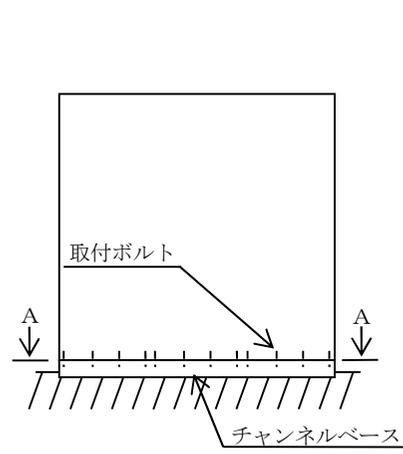
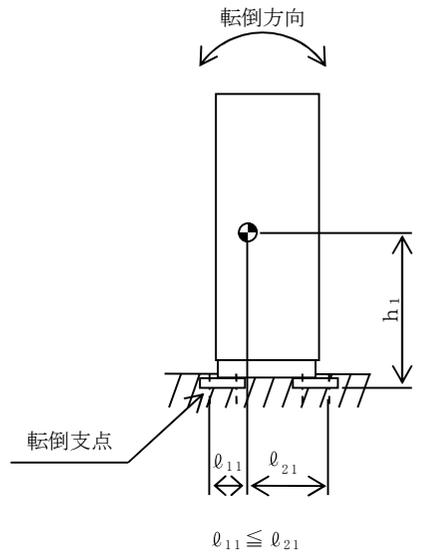
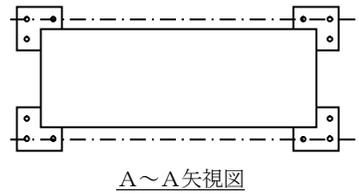
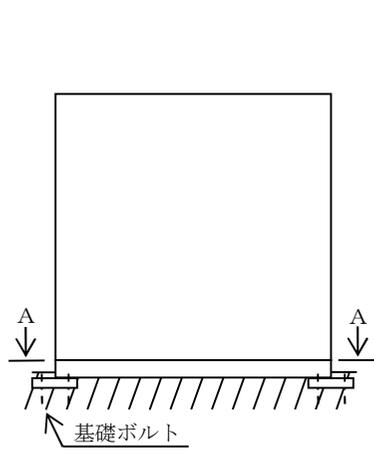
注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
○○○○	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



【重大事故等対処設備単独の場合】
 本フォーマットを使用する。
 ただし、章番を1.とする。

【フォーマットⅡ 直立形計装ラックの重大事故等対処設備としての評価結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 EL. *			—	—	$C_H =$	$C_V =$	

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

1.2.1 ○○○○

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i}^* (mm)	l_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^*
基礎ボルト (i=1)					(M)		
取付ボルト (i=2)					(M)		

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用 地震動 S_d 又は 静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)			—		—	
取付ボルト (i=2)			—		—	

注記 * : 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に
 対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に
 対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
取付ボルト (i=2)	—		—	

2.4 結 論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

すべて許容応力以下である。

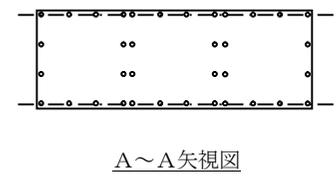
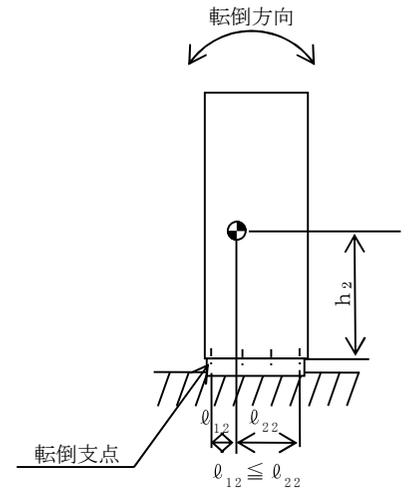
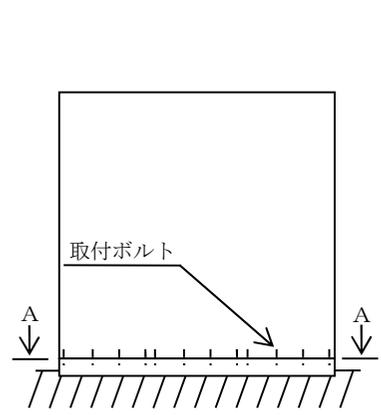
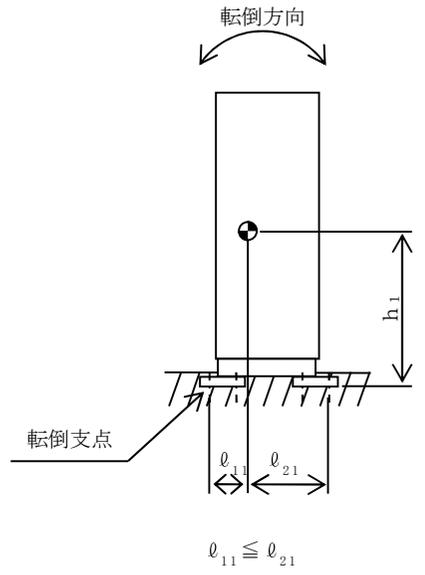
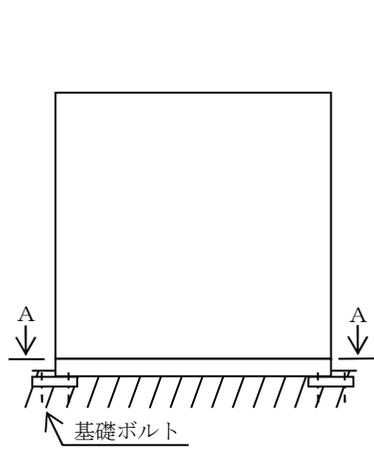
注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

2.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
○○○○	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



【フォーマットⅢ 壁掛形計装ラックの設計基準対象施設としての評価結果】

【○○○○の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機 器 名 称	耐 震 設 計 上 の 重 要 度 分 類	据 付 場 所 及 び 床 面 高 さ (m)	固 有 周 期 (s)		弾 性 設 計 用 地 震 動 S_d 又 は 静 的 震 度		基 準 地 震 動 S_s		周 围 環 境 温 度 (°C)
			水 平 方 向	鉛 直 方 向	水 平 方 向 設 計 震 度	鉛 直 方 向 設 計 震 度	水 平 方 向 設 計 震 度	鉛 直 方 向 設 計 震 度	
		建 屋 EL. (EL. *)			$C_H =$	$C_V =$	$C_H =$	$C_V =$	

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 ○○○○

部 材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} (mm)	ℓ_{2i} (mm)	ℓ_{3i} (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{Vi}	n_{Hi}
基礎ボルト (i=1)						(M)			
取付ボルト (i=2)						(M)			

部 材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向	
					弾 性 設 計 用 地 震 動 S_d 又 は 静 的 震 度	基 準 地 震 動 S_s
基礎ボルト (i=1)						
取付ボルト (i=2)						

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
取付ボルト (i=2)				

1.4 結 論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
取付ボルト		引張り	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

すべて許容応力以下である。

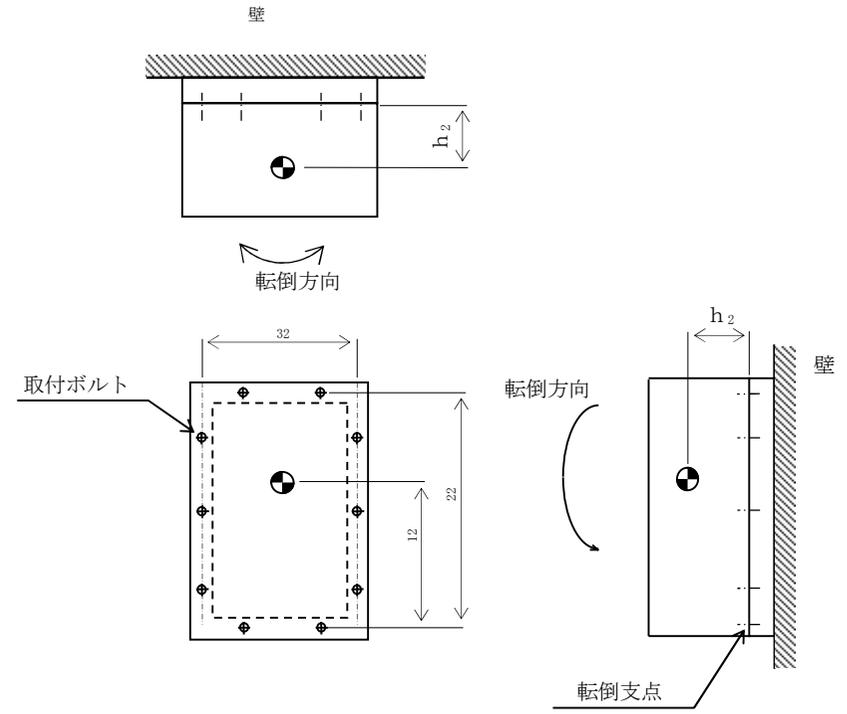
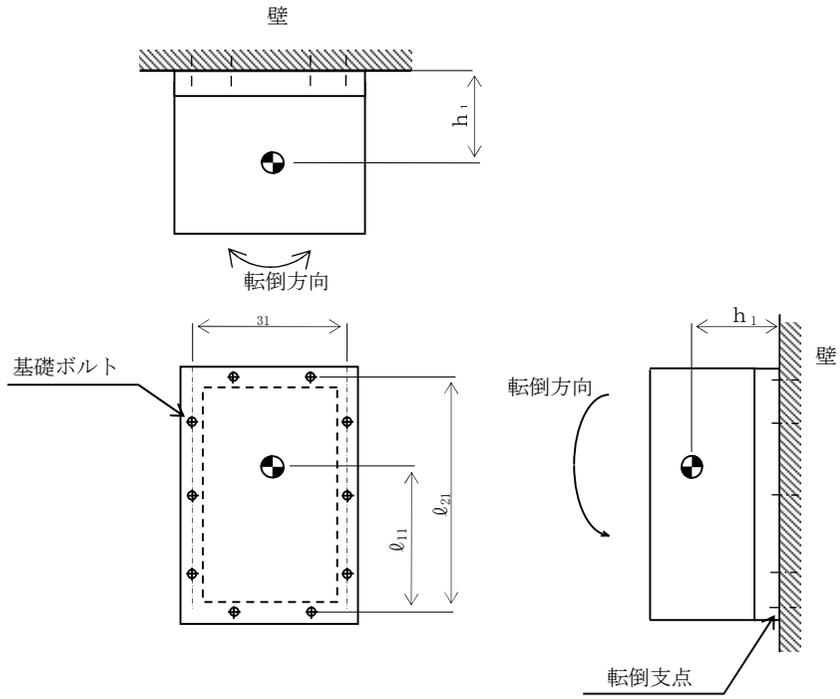
注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
○○○○	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



【重大事故等対処設備単独の場合】
 本フォーマットを使用する。
 ただし、章番を 1.とする。

【フォーマットⅣ 壁掛形計装ラックの重大事故等対処設備としての評価結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機 器 名 称	設 備 分 類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 EL. (EL. *)			—	—	$C_H=$	$C_V=$	

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

1.2.1 ○○○○

部 材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} (mm)	ℓ_{2i} (mm)	ℓ_{3i} (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{Vi}	n_{Hi}
基礎ボルト (i=1)						(M)			
取付ボルト (i=2)						(M)			

部 材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)			—		—	
取付ボルト (i=2)			—		—	

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
取付ボルト (i=2)	—		—	

2.4 結 論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

すべて許容応力以下である。

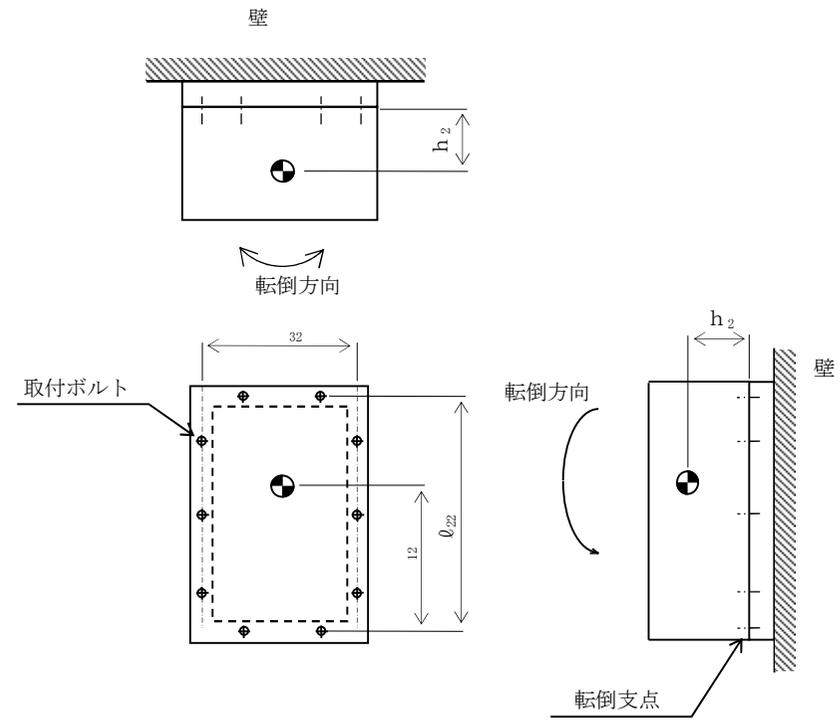
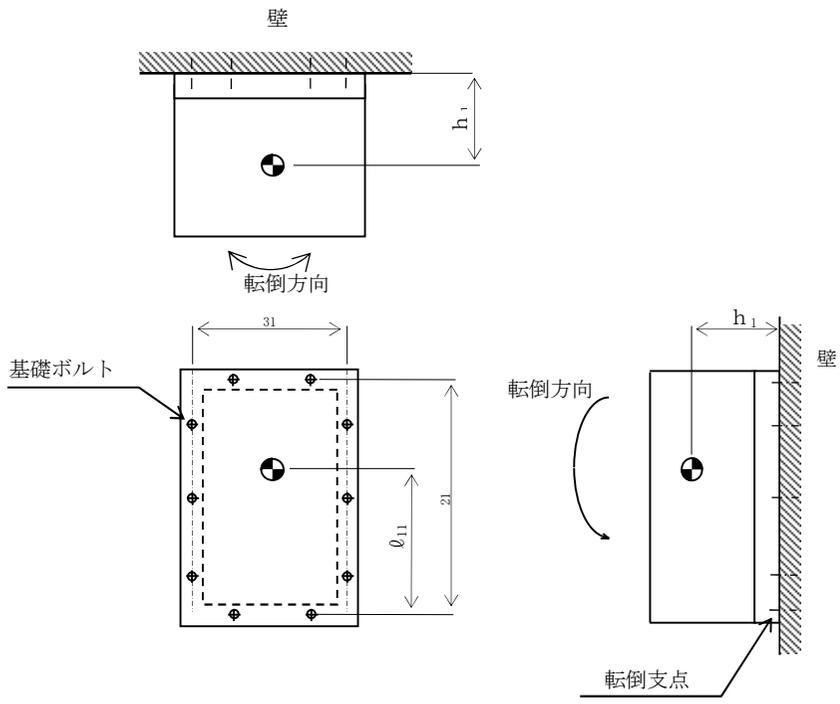
注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t0i} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t0i}]$ より算出

2.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
○○○○	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-932 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	4
3. 評価部位	5
4. 固有周期	5
5. 構造強度評価	5
5.1 構造強度評価方法	5
5.2 設計用地震力	7
5.3 計算方法	7
5.4 応力の評価	14
6. 機能維持評価	15
6.1 電氣的機能維持評価方法	15
7. 耐震計算書のフォーマット	15
7.1 直立形計器スタンションの耐震計算書のフォーマット	15
7.2 壁掛形計器スタンションの耐震計算書のフォーマット	15

1. 概要

基本方針は、添付書類「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている計器スタンション(耐震重要度分類Sクラス又はS s 機能維持の計算を行うもの)が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。解析の方針及び減衰定数については、添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

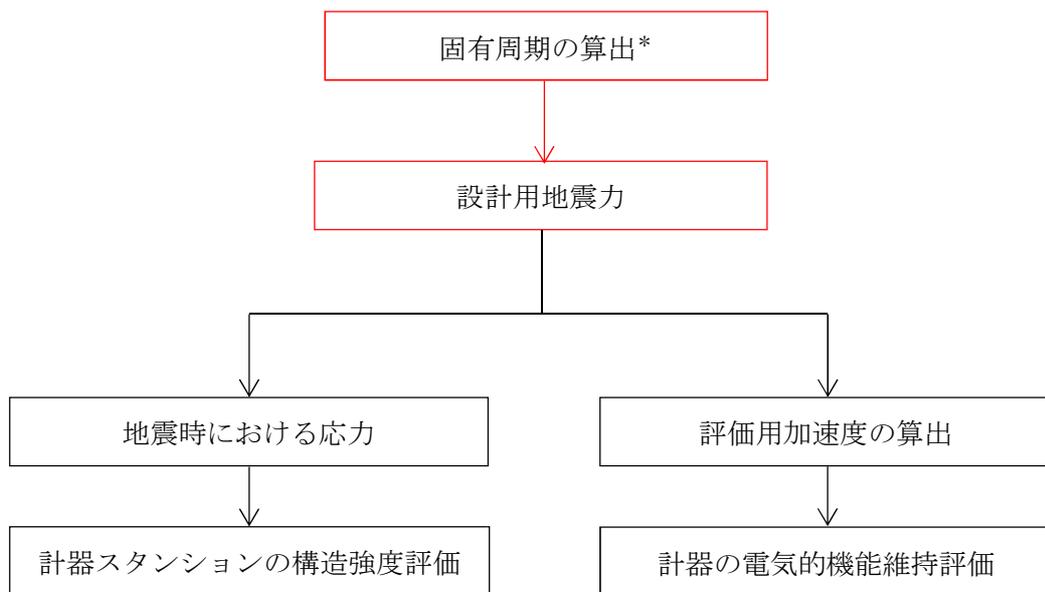
ただし、本基本方針が適用できない計器スタンションにあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

計器スタンションの応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、計器スタンションの機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

計器スタンションの耐震評価フローを図2-1に示す。



*：算出方法は、振動試験又は理論式による。

図2-1 計器スタンションの耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補一
1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協
会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））
J S M E S N C 1 -2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」
という。）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本あたり) (壁掛形)	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本あたり) (壁掛形)	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_1	取付面から重心までの距離	mm
h_2	取付面から重心までの距離 (壁掛形)	mm
l_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l_3	重心と下側ボルト間の距離 (壁掛形)	mm
l_a	側面 (左右) ボルト間の距離 (壁掛形)	mm
l_b	上下ボルト間の距離 (壁掛形)	mm
m	計器スタンションの質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (側面方向) (壁掛形)	—
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (正面方向) (壁掛形)	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力 (壁掛形)	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力 (壁掛形)	N

記号	記号の説明	単位
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part 5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part 5 表8に定める値	MPa
$S_y (R T)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part 5 表8に定める材料の 40℃における値	MPa
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記 * : $l_1 \leq l_2$

2.4 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-1に示すとおりである。

表2-1 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ*1	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1 : 設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*2 : 絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3 : 設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

計器スタンションの耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて評価を実施する。

4. 固有周期

計器スタンションの固有周期は、振動試験（加振試験又は打振試験）又は理論式にて求める。なお、振動試験又は理論式により固有周期が求められていない計器スタンションについては、構造が同様な計器スタンションに対する振動試験又は理論式の結果算定された固有周期を使用する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 計器スタンションの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は計器スタンションに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 計器スタンションは基礎ボルトで床面及び壁面に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、図 5-1 概要図（直立形）における正面方向及び側面方向並びに図 5-2 概要図（壁掛形）における正面方向及び側面方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 計器スタンションの重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

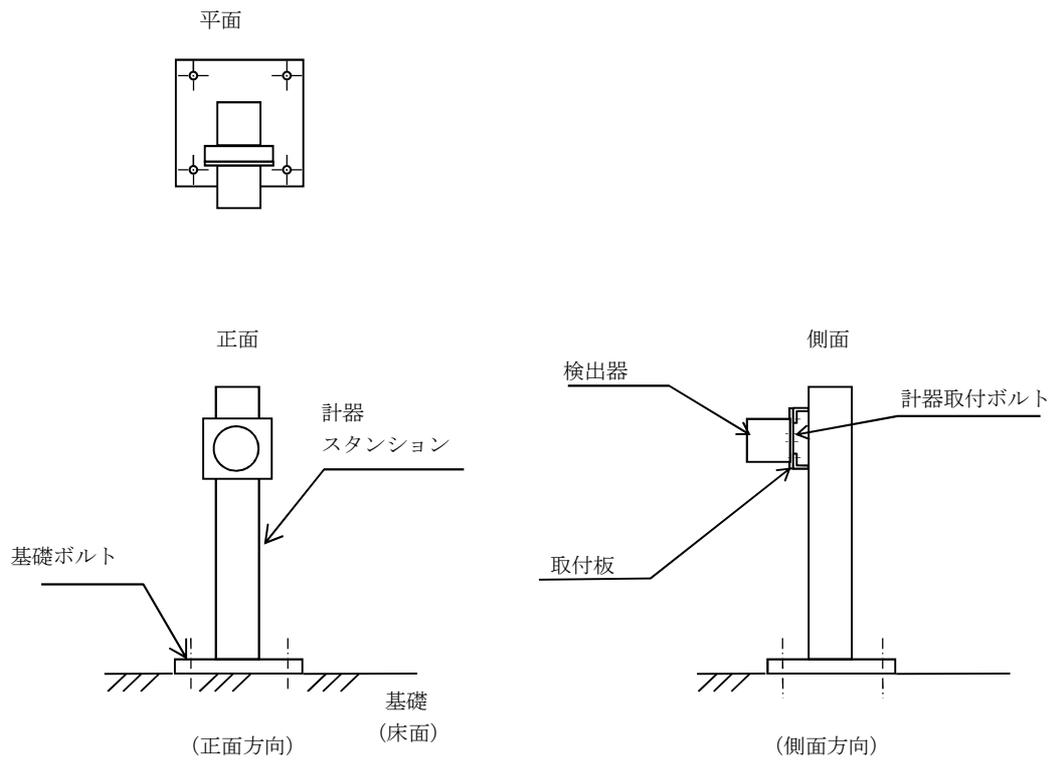


図 5-1 概要図(直立形)

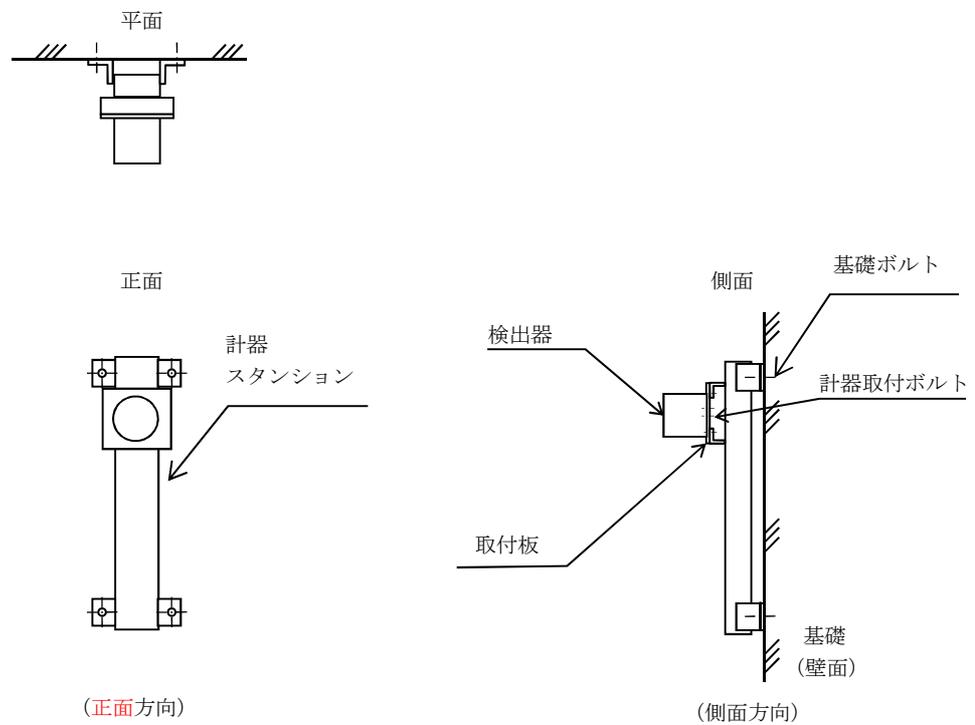


図 5-2 概要図(壁掛形)

5.2 設計用地震力

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度及び基準地震動 S_s による地震力は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。なお、壁掛形の計器スタンションの設計用地震力については、設置床上階の設計用地震力を使用する。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

5.3.1.1 ボルトの計算方法

ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

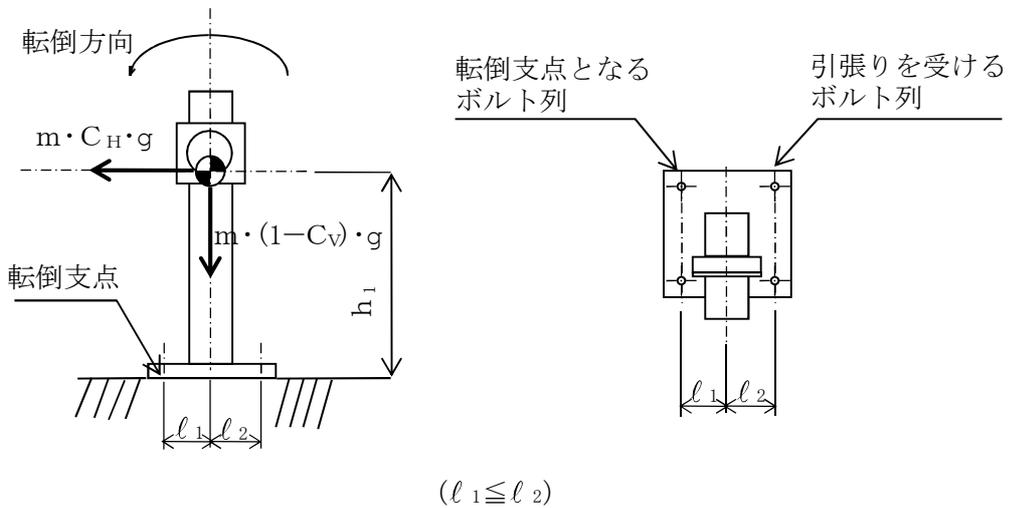


図5-3(1) 計算モデル

(直立形 正面方向転倒-1 $(1 - C_v) \geq 0$ の場合)

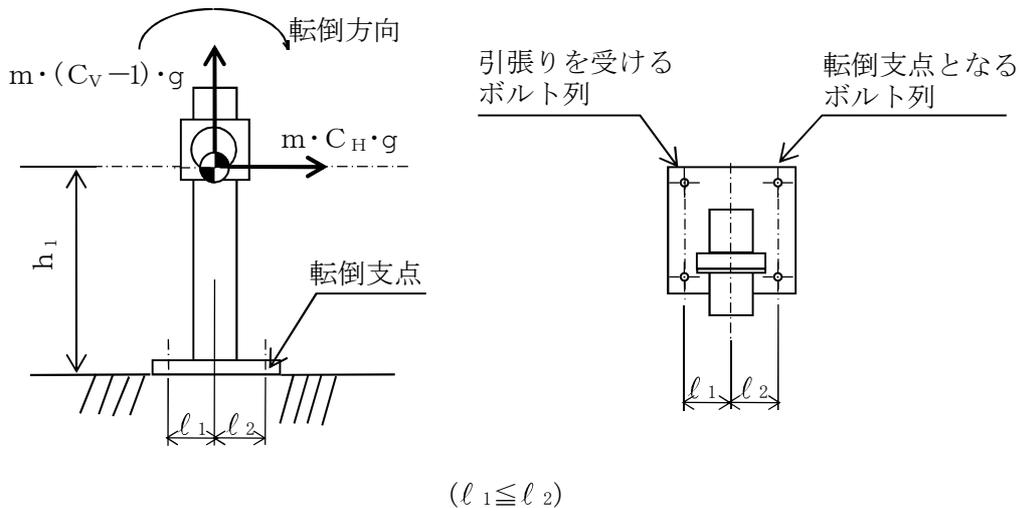


図5-3(2) 計算モデル

(直立形 正面方向転倒-2 $(1 - C_v) < 0$ の場合)

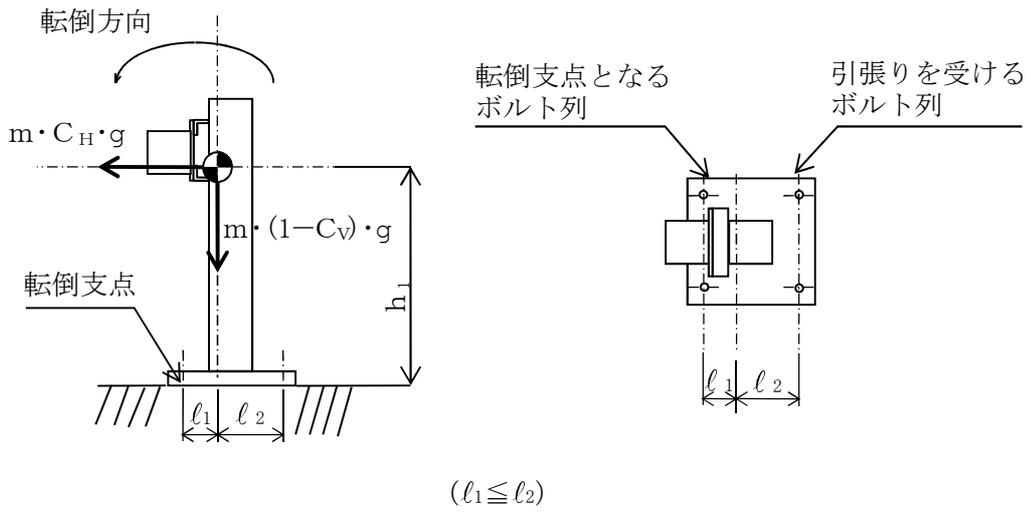


図5-4(1) 計算モデル

(直立形 側面方向転倒-1 ($1 - C_V \geq 0$ の場合))

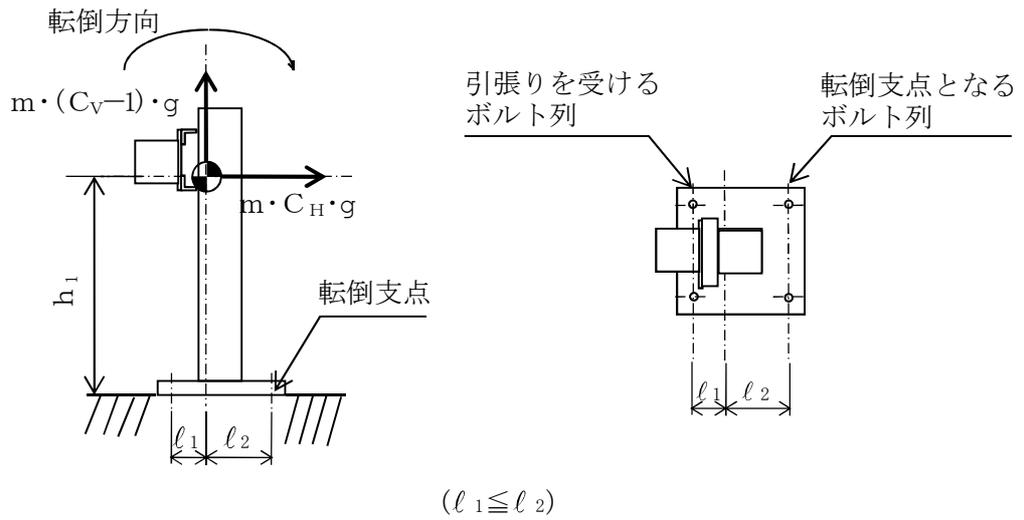


図5-4(2) 計算モデル

(直立形 側面方向転倒-1 ($1 - C_V < 0$ の場合))

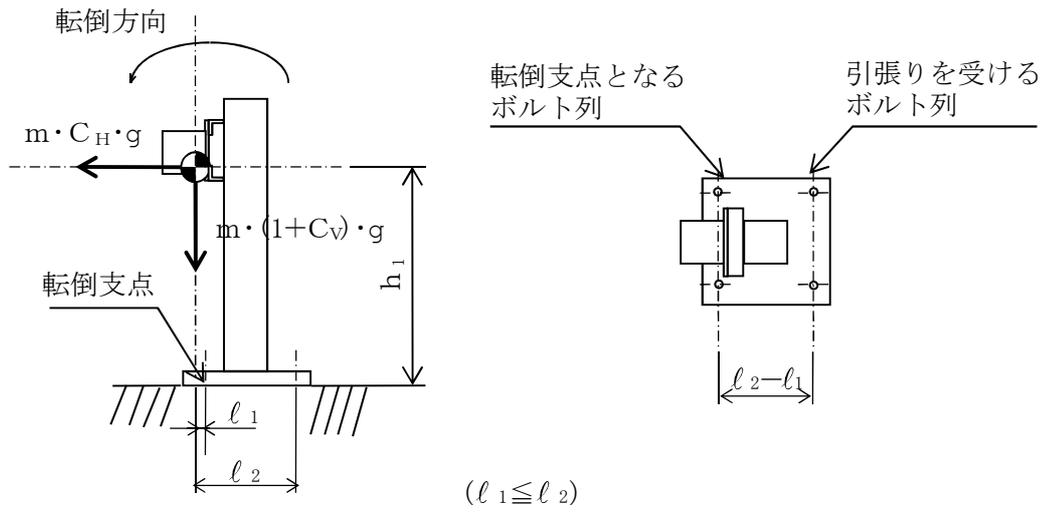


図5-4(3) 計算モデル

(直立形 側面方向転倒-3 重心位置が両端のボルトの間でない場合で
 $(l_2 + l_1) / (l_2 - l_1) \geq C_V$ の場合)

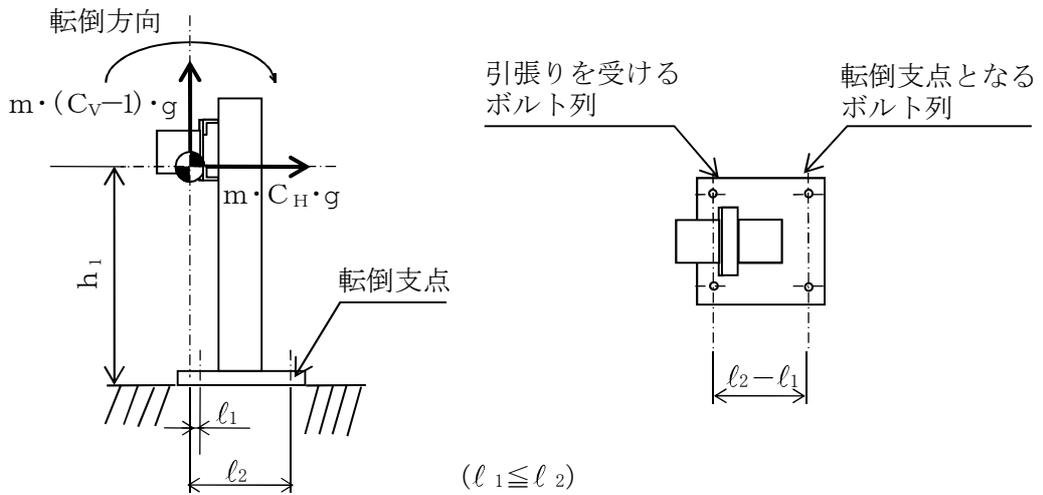


図5-4(4) 計算モデル

(直立形 側面方向転倒-4 重心位置が両端のボルトの間でない場合で
 $(l_2 + l_1) / (l_2 - l_1) < C_V$ の場合)

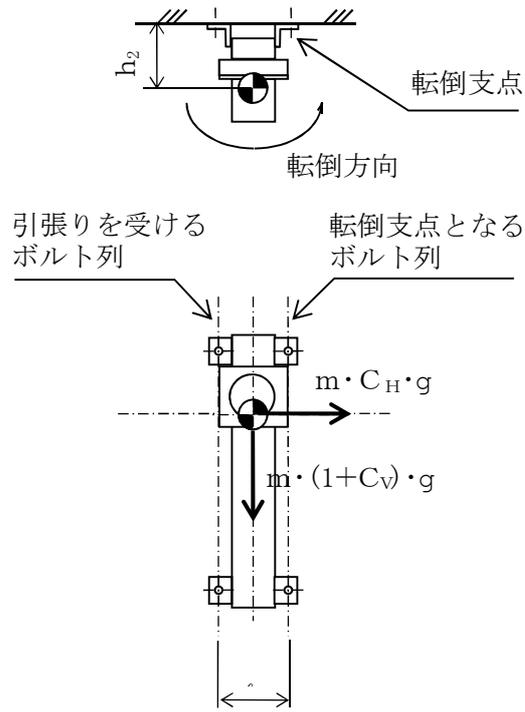


図5-5(1) 計算モデル
(壁掛形 正面方向転倒の場合)

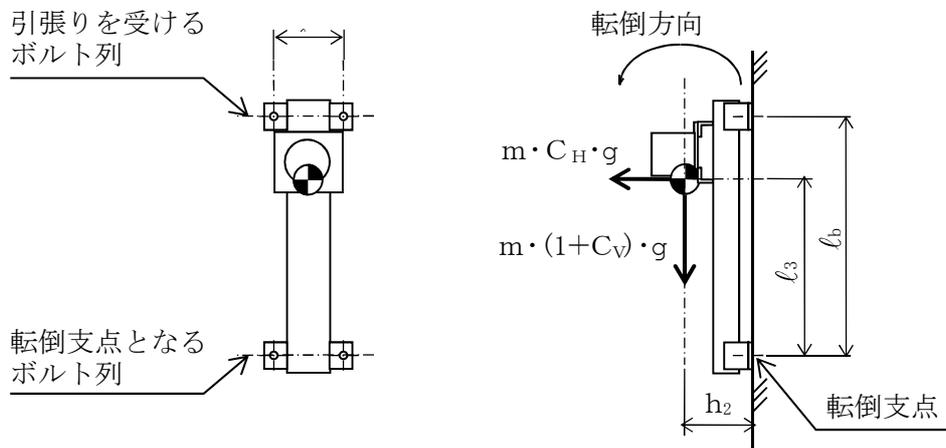


図5-5(2) 計算モデル
(壁掛形 側面方向転倒の場合)

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図5-3、図5-4及び図5-5で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力 (F_b)

計算モデル図5-3(1)及び5-4(1)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot l_1}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \dots\dots\dots (5.3.1.1.1)$$

計算モデル図5-3 (2)及び5-4 (2)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot l_2}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \dots\dots\dots (5.3.1.1.2)$$

計算モデル図5-4 (3)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 + m \cdot g \cdot (1 + C_V) \cdot l_1}{n_f \cdot (l_2 - l_1)} \dots\dots\dots (5.3.1.1.3)$$

計算モデル図5-4 (4)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot l_2}{n_f \cdot (l_2 - l_1)} \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

計算モデル図5-5 (1)の場合の引張力

$$F_{b1} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot h_2}{n_{fH} \cdot l_a} + \frac{(1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot l_b} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

計算モデル図5-5 (2)の場合の引張力

$$F_{b2} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot l_3 + (1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot l_b} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.1.6)$$

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \dots\dots\dots (5.3.1.1.7)$$

引張応力 (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

ここで、ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.3.1.1.9)$$

ただし、 F_b が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

a. 直立形の場合

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (5.3.1.1.10)$$

b. 壁掛形の場合

$$Q_{b1} = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (5.3.1.1.11)$$

$$Q_{b2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V) \dots\dots\dots (5.3.1.1.12)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.13)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.3.1.1.14)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 ボルトの応力評価

5.3.1.1 項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の電氣的機能維持を評価する。

評価用加速度は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

機能確認済加速度は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき加振試験等により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

7. 耐震計算書のフォーマット

7.1 直立形計器スタンションの耐震計算書のフォーマット

直立形計器スタンションの耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

[設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合]

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

[重大事故等対処設備単独の場合]

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

7.2 壁掛形計器スタンションの耐震計算書のフォーマット

壁掛形計器スタンションの耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

[設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合]

フォーマットⅢ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果

[重大事故等対処設備単独の場合]

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記 *：重大事故等対処設備単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡ及びⅣを使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマット I 直立形計器スタンプの設計基準対象施設としての評価結果】

【〇〇〇〇の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
		建屋 EL.*			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =	

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 〇〇〇〇

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	l ₁ * (mm)	l ₂ * (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f *
基礎ボルト					(M)		

部材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト						

注記 * : 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位 : N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$
		せん断	$\tau_b =$	$f_{sb} =$	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

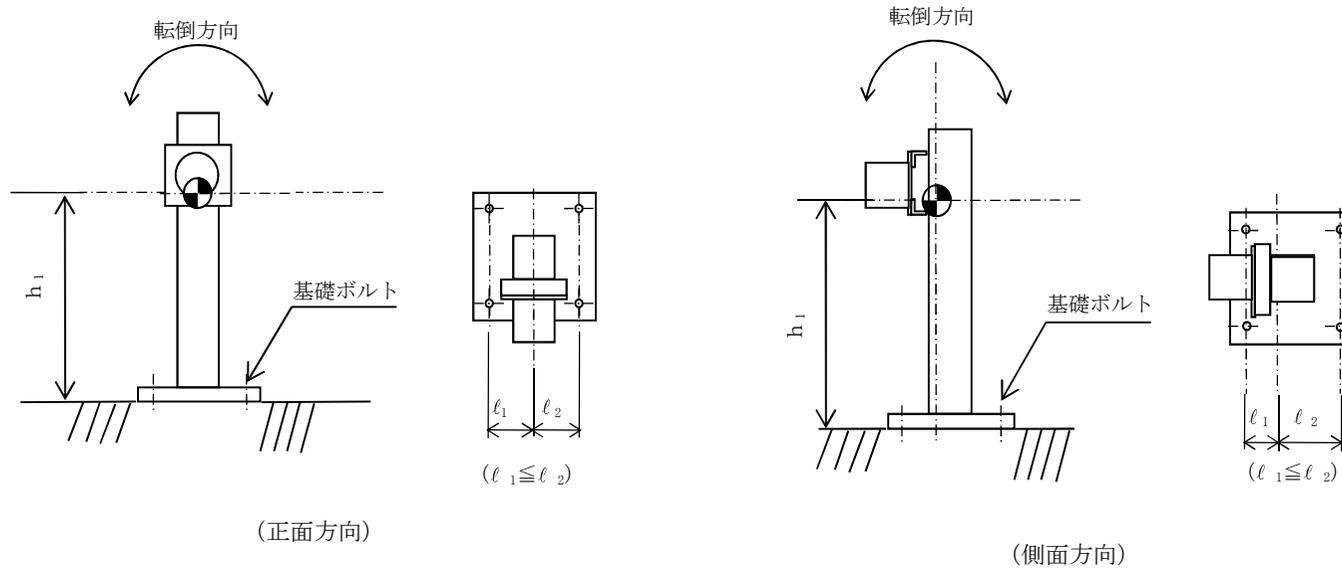
注記* : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.4.2 電気的機能の評価結果

(単位： $\times 9.8 \text{m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



【重大事故等対処設備単独の場合】
 本フォーマットを使用する。
 ただし、章番を1.とする。

フォーマットⅡ 直立形計器スタンションの重大事故等対処設備としての評価結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 EL.*			—	—	$C_H=$	$C_V=$	

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 ○○○○

部材	m (kg)	h_1 (mm)	l_1^* (mm)	l_2^* (mm)	A_b (mm ²)	n	n_f^*
基礎ボルト					(M)		

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F (MPa)*	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト			—		—	

注記 * : 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
 下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位 : N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$
		せん断	—	—	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

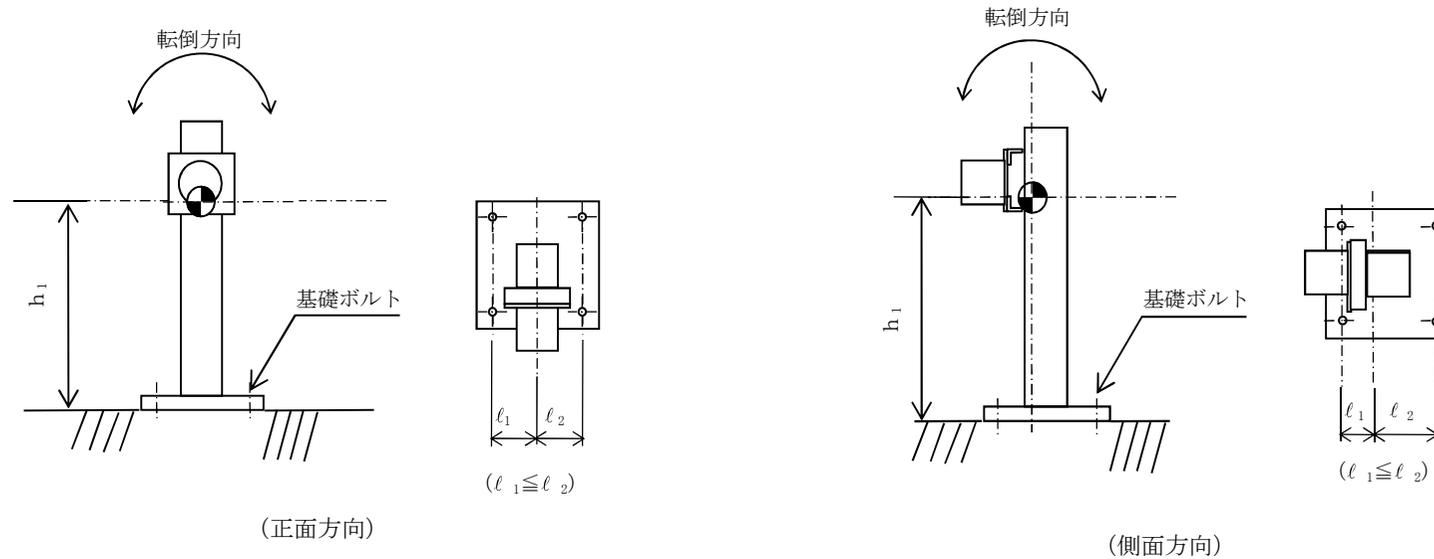
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

2.4.2 電氣的機能の評価結果

(単位： $\times 9.8m/s^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



【フォーマットⅢ 壁掛形計器スタンプの設計基準対象施設としての評価結果】

【〇〇〇〇の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 EL.*			$C_H=$	$C_V=$	$C_H=$	$C_V=$	

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 〇〇〇〇

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{LV}	n_{TH}
基礎ボルト						(M)			

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト						

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位 : N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$ *	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$ *
		せん断	$\tau_b =$	$f_{sb} =$	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

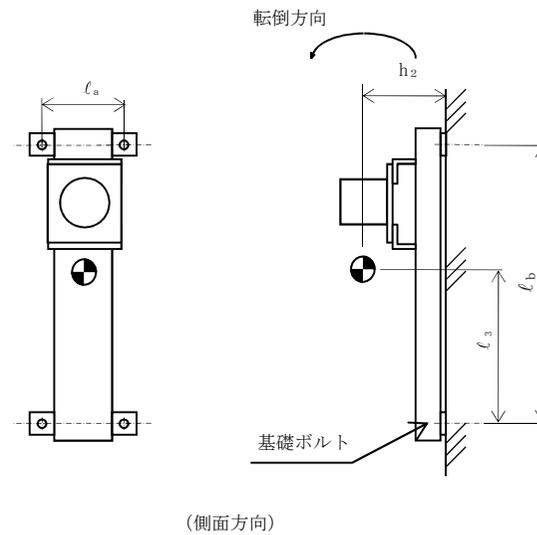
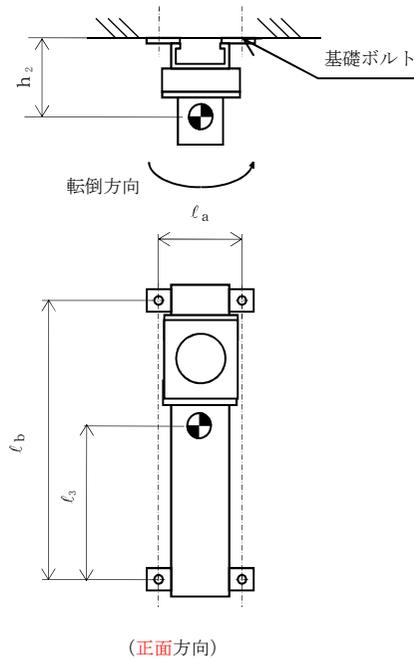
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能の評価結果

(単位： $\times 9.8\text{m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



【重大事故等対処設備単独の場合】
 本フォーマットを使用する。
 ただし、章番を 1. とする。

【フォーマットⅣ 壁掛形計器スタンションの重大事故等対処設備としての評価結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 EL. *			—	—	$C_H =$	$C_V =$	

注記 *1: 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 ○○○○

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{LV}	n_{TH}
基礎ボルト						(M)			

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト			—		—	

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位: N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$
		せん断	—	—	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

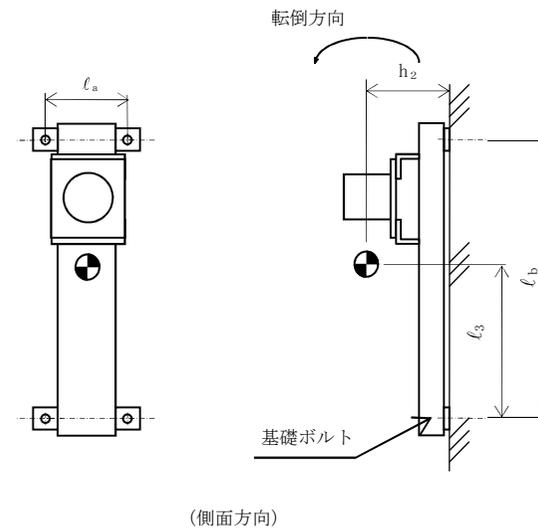
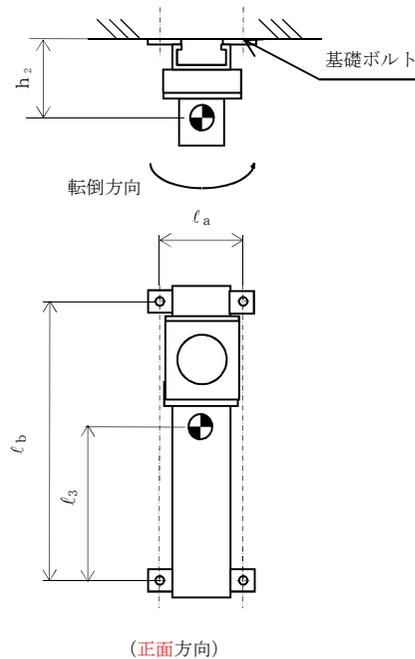
注記* : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

2.4.2 電氣的機能の評価結果

(単位： $\times 9.8\text{m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1050 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-5-4-1-6 ストレーナ部ティーの応力計算書(高圧炉心スプレイ系)

本計算書は、高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーの応力計算について説明するものである。高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーは残留熱除去系ストレーナ部ティー及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーと同様の形状を有しており、評価条件については同等である。また、添付書類「V-3-5-3-1-7 ストレーナ部ティーの応力計算書(残留熱除去系)」において、ストレーナの解析モデルを用いた応力計算を実施しており、その荷重条件については上記のストレーナで最大となる値を用いている。以上より、本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-5-3-1-7 ストレーナ部ティーの応力計算書(残留熱除去系)」による。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1051 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-5-4-2-6 ストレーナ部ティーの応力計算書(低圧炉心スプレイ系)

本計算書は、低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーの応力計算について説明するものである。低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーは残留熱除去系ストレーナ部ティー及び高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーと同様の形状を有しており、評価条件については同等である。また、添付書類「V-3-5-3-1-7 ストレーナ部ティーの応力計算書（残留熱除去系）」において、ストレーナの解析モデルを用いた応力計算を実施しており、その荷重条件については上記のストレーナで最大となる値を用いている。以上より、本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-5-3-1-7 ストレーナ部ティーの応力計算書（残留熱除去系）」による。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1057 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-5-4-1-2 高圧炉心スプレイ系ストレーナの強度計算書

本計算書では、高圧炉心スプレイ系ストレーナの強度について説明するものである。

高圧炉心スプレイ系ストレーナは残留熱除去系ストレーナ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナと同様の形状を有しており、解析モデルや評価条件については同等である。また、添付書類「V-3-5-3-1-3 残留熱除去系ストレーナの強度計算書」において、ストレーナの解析モデルを用いた強度の評価を実施しており、その荷重条件については上記のストレーナで最大となる値を用いる。

以上より、本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-5-3-1-3 残留熱除去系ストレーナの強度計算書」による。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1058 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-5-4-2-2 低圧炉心スプレイ系ストレーナの強度計算書

本計算書では、低圧炉心スプレイ系ストレーナの強度について説明するものである。

低圧炉心スプレイ系ストレーナは残留熱除去系ストレーナ及び高圧炉心スプレイ系ストレーナと同様の形状を有しており、解析モデルや評価条件については同等である。また、添付書類「V-3-5-3-1-3 残留熱除去系ストレーナの強度計算書」において、ストレーナの解析モデルを用いた強度の評価を実施しており、その荷重条件については上記のストレーナで最大となる値を用いる。

以上より、本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-5-3-1-3 残留熱除去系ストレーナの強度計算書」による。

東海第二発電所	工事計画審査資料
資料番号	工認-1061 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-4-1 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震計算結果

目次

1. 概要	1
2. 耐震評価条件整理	1

1. 概要

本資料は、核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の設備に対して、設計基準対象施設の耐震クラス、重大事故等対処施設の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績と差異の有無を整理した。また、重大事故等対処施設のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処施設の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。結果を表 2-1 に示す。

核燃料物資の取扱施設及び貯蔵施設のうち、新設又は、新規登録の設計基準対象施設並びに重大事故等対処施設の耐震計算は表 2-1 に示す計算書に記載することとする。また、表 2-1 に示す設備のうち、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績と差異がない施設の耐震計算は、工事計画認可実績を示し、入力条件及び評価結果を示すことを基本とする。

なお、既設の設備における弾性設計用地震動 S_d による耐震計算については、基準地震動 S_s による評価結果が弾性設計用地震動 S_d の許容限界を満足する場合、省略することとし、省略せず耐震評価を実施する場合は、静的地震力についても考慮することとする。

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (1/3)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^(注1)	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵設備	使用済燃料プール	S	—	V-2-4-2-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-4-2-1
		使用済燃料貯蔵ラック	S	無	V-2-4-2-2	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-4-2-2
		使用済燃料乾式貯蔵容器	S	無	V-2-4-2-3	—	—	—
		使用済燃料プール温度 (S A)	—	—	—	常設／防止 常設／緩和	—	V-2-4-2-4
		使用済燃料プール水位・温度 (S A 広域)	C	—	—	常設／防止 常設／緩和	—	V-2-4-2-5
	使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備	主配管	S	無	V-2-4-3-1-1	—	—	—
		主配管	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-4-3-2-1
		代替燃料プール冷却系熱交換器	—	—	—	常設耐震／防止	—	V-2-4-3-3-1

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (2/3)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵槽 冷却浄化設備	代替燃料プール冷却系ポンプ	—	—	—	常設耐震／防止	—	V-2-4-3-3-2
		常設低圧代替注水系ポンプ	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-5-5-5-1
		代替淡水貯槽	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-2-29
		西側淡水貯水設備	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-2-23
		主配管	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-4-3-2-1
		主配管	—	—	—	常設耐震／防止	—	V-2-4-3-3-3

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (3/3)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備				
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所		
及び貯蔵施設	核燃料物質の取扱施設	その他	使用済燃料プール監視カメラ	S	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-4-4-1
			使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置	S	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-4-4-2

注 1: 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備, 「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備を示す。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1064 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-7-1 放射性廃棄物の廃棄施設の耐震計算結果

目次

1. 概要 1
2. 耐震評価条件整理 1

1. 概要

本資料は、放射性廃棄物の廃棄施設の設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

放射性廃棄物の廃棄施設の設備に対して、設計基準対象施設の耐震クラス、重大事故等対処施設の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績と差異の有無を整理した。また、重大事故等対処施設のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処施設の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。結果を表 2-1 に示す。

放射性廃棄物の廃棄施設の設備の耐震計算は表 2-1 に示す計算書に記載することとする。また、表 2-1 に示す設備のうち、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績と差異がない施設の耐震計算は、工事計画認可実績を示し、入力条件及び評価結果を示すことを基本とする。

なお、既設の設備における弾性設計用地震動 S_d による耐震計算については、基準地震動 S_s による評価結果が弾性設計用地震動 S_d の許容限界を満足する場合、省略することとし、省略せず耐震評価を実施する場合は、静的地震力についても考慮することとする。

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^(注1)	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
放射性廃棄物の廃棄施設	気体、液体又は固体廃棄物処理設備	主配管	S	無	V-2-7-2-1-1	—	—	—
		格納容器機器ドレンサンプ	B	—	V-2-7-2-1-2	常設／緩和	無	V-2-7-2-1-2
		格納容器床ドレンサンプ	—	—	—	常設／緩和	無	V-2-7-2-1-3
		主配管	B	有	V-2-7-2-2-1	—	—	—
		主配管	B	有	V-2-7-2-3-1	—	—	—
		主排気筒	C	有	V-2-7-2-4	—	—	—
		非常用ガス処理系排気筒	S	有	V-2-7-2-5	常設／緩和	有	V-2-7-2-5

注1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1066 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-9-1 原子炉格納施設の耐震計算結果

目次

1. 概要 1
2. 耐震評価条件整理 1

1. 概要

本資料は、原子炉格納施設の設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

原子炉格納施設の設備に対して、設計基準対象施設の耐震クラス、重大事故等対処施設の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績と差異の有無を整理した。また、重大事故等対処施設のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処施設の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。結果を表 2-1 に示す。

原子炉格納施設のうち、新設又は、新規登録の設計基準対象施設並びに重大事故等対処施設の耐震計算は表 2-1 に示す計算書に記載することとする。また、表 2-1 に示す設備のうち、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績と差異がない施設の耐震計算は、工事計画認可実績を示し、入力条件及び評価結果を示すことを基本とする。

なお、既設の設備における弾性設計用地震動 S_d による耐震計算については、基準地震動 S_s による評価結果が弾性設計用地震動 S_d の許容限界を満足する場合、省略することとし、省略せず耐震評価を実施する場合は、静的地震力についても考慮することとする。

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (1/8)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^(注1)	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
原子炉格納施設	原子炉格納容器	原子炉格納容器本体	S	有	V-2-9-2-1, V-2-9-2-2, V-2-9-2-3, V-2-9-2-4, V-2-9-2-5, V-2-9-2-11	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-9-2-1, V-2-9-2-2, V-2-9-2-3, V-2-9-2-4, V-2-9-2-5, V-2-9-2-11
		機器搬入用ハッチ	S	有	V-2-9-2-6	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-9-2-6
		所員用エアロック	S	有	V-2-9-2-7	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-9-2-7
		サプレッション・チェンバアクセスハッチ	S	有	V-2-9-2-8	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-9-2-8

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (2/8)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^(注1)	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
原子炉格納施設	原子炉格納容器配管貫通部及び電気配線貫通部	配管貫通部	S	有	V-2-9-2-9	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-9-2-9
		電気配線貫通部	S	有	V-2-9-2-10	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-9-2-10
	原子炉建屋	原子炉建屋原子炉棟	S	無	V-2-9-3-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-9-3-1
		原子炉建屋大物搬入口	S	—	V-2-9-3-2	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-9-3-2
		原子炉建屋エアロック	S	—	V-2-9-3-3	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-9-3-3
		原子炉建屋基礎盤	S	無	V-2-9-3-4	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-9-3-4
	圧力低減設備 その他の安全設備	ダイヤフラム・フロア	S	有	V-2-9-4-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-9-4-1
		ベント管	S	有	V-2-9-4-2	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-9-4-2

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (3/8)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^(注1)	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	主配管	S	無	V-2-9-4-3-1	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-9-4-3-1
		主配管	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-9-4-3-2-1
		主配管	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-9-4-3-3-1
		主配管	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-9-4-3-4-1
		主配管	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-9-4-3-5-1
		コリウムシールド	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-9-4-3-5-2
		残留熱除去系ポンプ	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-5-4-1-2
		残留熱除去系熱交換器	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-5-4-1-1

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (4/8)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^(注1)	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	残留熱除去系ストレーナ	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-5-4-1-3
		常設低圧代替注水系ポンプ	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-5-5-5-1
		代替循環冷却系ポンプ	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-5-5-6-1
		常設高圧代替注水系ポンプ	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-5-5-4-1
		高圧炉心スプレイ系ストレーナ	—	—	—	常設／緩和	有	V-2-5-5-1-1
		ほう酸水注入ポンプ	—	—	—	常設／緩和	有	V-2-6-4-1-1
		ほう酸水貯蔵タンク	—	—	—	常設／緩和	有	V-2-6-4-1-2
		原子炉圧力容器	—	—	—	常設／緩和	無	V-2-3-4-1-2, V-2-3-4-1-3

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (5/8)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^(注1)	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	炉心支持構造物	—	—	—	常設／緩和	無	V-2-3-3-2-1
		低圧炉心スプレイスパージャ	—	—	—	常設／緩和	有	V-2-3-4-4-7
		低圧炉心スプレイ配管（原子炉压力容器内部）	—	—	—	常設／緩和	有	V-2-3-4-4-9
		残留熱除去系配管（原子炉压力容器内部）	—	—	—	常設／緩和	有	V-2-3-4-4-8
		差圧検出・ほう酸水注入管（ティーよりN10ノズルまでの外管）	—	—	—	常設／緩和	無	V-2-3-4-3-4
		差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉压力容器内部）	—	—	—	常設／緩和	有	V-2-3-4-4-10

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (6/8)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^(注1)	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
原子炉格納施設	放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備	主配管	S	無	V-2-9-5-1-1	常設／緩和	無	V-2-9-5-1-1
		非常用ガス再循環系排風機	S	無	V-2-9-5-1-2	常設／緩和	有	V-2-9-5-1-2
		非常用ガス再循環系フィルタトレイン	S	無	V-2-9-5-1-3	常設／緩和	有	V-2-9-5-1-3
		主配管	S	無	V-2-9-5-2-1	常設／緩和	無	V-2-9-5-2-1
		非常用ガス処理系排風機	S	無	V-2-9-5-2-2	常設／緩和	有	V-2-9-5-2-2
		非常用ガス処理系フィルタトレイン	S	無	V-2-9-5-2-3	常設／緩和	有	V-2-9-5-2-3
		非常用ガス処理系排気筒	—	—	—	常設／緩和	有	V-2-7-2-5
		ブローアウトパネル閉止装置	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-9-5-2-4

第 2-1 表 耐震評価条件整理一覧表 (7/8)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^(注1)	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
8 原子炉格納施設	放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備	主配管	S	無	V-2-9-5-3-1	—	—	—
		可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	S	無	V-2-9-5-3-2	—	—	—
		可燃性ガス濃度制御系再結合装置	S	無	V-2-9-5-3-3	—	—	—
		低圧マニホールド	S	無	V-2-9-5-4-1	—	—	—
		主配管	S	無	V-2-9-5-4-2	—	—	—
		主蒸気隔離弁漏えい抑制系ブロワ	S	無	V-2-9-5-4-3	—	—	—
		静的触媒式水素再結合器	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-9-5-5-1
		主配管	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-9-5-6-1

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (8/8)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^(注1)	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
原子炉格納施設	原子炉格納容器調気設備	主配管	S	無	V-2-9-6-1-1	—	—	—
	圧力逃がし装置	主配管	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-9-7-1-1
		フィルタ装置	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-9-7-1-2
		移送ポンプ	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-9-7-1-3

注 1: 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1068 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-9-1-1-2 ドライウェルトップヘッドの強度計算書

本計算書の評価結果については、本工事計画認可申請書 添付書類「V-3-9-1-1-4 ドライウェル本体及びサプレッション・チェンバ本体の強度計算書」による。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1060 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-3-1 原子炉本体の耐震計算結果

目次

1. 概要 1
2. 耐震評価条件整理 1

1. 概要

本資料は、原子炉本体の設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

原子炉本体の設備に対して、設計基準対象施設の耐震クラス、重大事故等対処施設の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績と差異の有無を整理した。また、重大事故等対処施設のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処施設の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。結果を表 2-1 に示す。

原子炉本体の設備の耐震計算は表 2-1 に示す計算書に記載することとする。また、表 2-1 に示す設備のうち、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績と差異がない施設の耐震計算は、工事計画認可実績を示し、入力条件及び評価結果を示すことを基本とする。

なお、既設の設備における弾性設計用地震動 S_d による耐震計算については、基準地震動 S_s による評価結果が弾性設計用地震動 S_d の許容限界を満足する場合、省略することとし、省略せず耐震評価を実施する場合は、静的地震力についても考慮することとする。

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (1/3)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震設計上の 重要度分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉 本体	炉心	燃料集合体	S	無	V-2-3-3-1	—	—	—
	炉心支持 構造物	炉心シュラウド	S	有	V-2-3-3-2-2	—	—	—
		シュラウドサポート	S	有	V-2-3-3-2-3	—	—	—
		上部格子板	S	有	V-2-3-3-2-4	—	—	—
		炉心支持板	S	有	V-2-3-3-2-5	—	—	—
		燃料支持金具	S	有	V-2-3-3-2-6	—	—	—
		制御棒案内管	S	有	V-2-3-3-2-7	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (2/3)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
原子炉本体	原子炉圧力容器	S	有	V-2-3-4-1-2, V-2-3-4-1-3	—	—	—	
	付属構造物 原子炉圧力容器	原子炉圧力容器 スタビライザ	S	無	V-2-3-4-3-1	—	—	—
		原子炉格納容器 スタビライザ	S	無	V-2-3-4-3-2	—	—	—
		制御棒駆動機構 ハウジング支持金具	S	無	V-2-3-4-3-3	—	—	—
		差圧検出・ほう酸水 注入配管	S	無	V-2-3-4-3-4	—	—	—
	内部構造物 原子炉圧力容器	蒸気乾燥器	S	有	V-2-3-4-4-2	—	—	—
		気水分離器及び スタンドパイプ	S	有	V-2-3-4-4-3	—	—	—
		シュラウドヘッド	S	有	V-2-3-4-4-4	—	—	—
		ジェットポンプ	S	有	V-2-3-4-4-5	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (3/3)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
原子炉圧力容器	内部構造物 原子炉圧力容器	給水スパージャ	S	無	V-2-3-4-4-6	—	—	—
		高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ	S	有	V-2-3-4-4-7	—	—	—
		残留熱除去系配管 (原子炉圧力容器内部)	S	有	V-2-3-4-4-8	—	—	—
		高圧及び低圧炉心スプレイ配管 (原子炉圧力容器内部)	S	有	V-2-3-4-4-9	—	—	—
		差圧検出・ほう酸水注入管 (原子炉圧力容器内部)	S	無	V-2-3-4-4-10	—	—	—
		中性子計測案内管	S	無	V-2-3-4-4-11	—	—	—

東海第二発電所	工事計画審査資料
資料番号	工認-1062 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-5-1 原子炉冷却系統施設の耐震計算結果

目次

1. 概要 1
2. 耐震評価条件整理 1

1. 概要

本資料は、原子炉冷却系統施設の設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

原子炉冷却系統施設の設備に対して、設計基準対象施設の耐震クラス、重大事故等対処施設の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績と差異の有無を整理した。また、重大事故等対処施設のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処施設の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。結果を表 2-1 に示す。

原子炉冷却系統施設のうち、新設又は、新規登録の設計基準対象施設並びに重大事故等対処施設の耐震計算は表 2-1 に示す計算書に記載することとする。また、表 2-1 に示す設備のうち、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績と差異がない施設の耐震計算は、工事計画認可実績を示し、入力条件及び評価結果を示すことを基本とする。

なお、既設の設備における弾性設計用地震動 S_d による耐震計算については、基準地震動 S_s による評価結果が弾性設計用地震動 S_d の許容限界を満足する場合、省略することとし、省略せず耐震評価を実施する場合は、静的地震力についても考慮することとする。

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (1/9)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^(注1)	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材再循環設備	主配管	S	無	V-2-5-2-1-1	—	—	—
	原子炉冷却材の循環設備	アキュムレータ	S	無	V-2-5-3-1-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-5-3-1-1
		主配管	S	無	V-2-5-3-1-2	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-5-3-1-2
		主配管	S	無	V-2-5-3-2-1	—	—	—
		主配管	S	無	V-2-5-3-3-1	—	—	—
	残留熱除去設備	残留熱除去系熱交換器	S	有	V-2-5-4-1-1	常設耐震／防止	有	V-2-5-4-1-1
		残留熱除去系ポンプ	S	無	V-2-5-4-1-2	常設耐震／防止	無	V-2-5-4-1-2
		残留熱除去系ストレーナ	S	無	V-2-5-4-1-3	常設耐震／防止	有	V-2-5-4-1-3

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (2/9)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^(注1)	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	原子炉圧力容器	—	—	—	常設耐震／防止	無	V-2-3-4-1-2, V-2-3-4-1-3
		炉心支持構造物	—	—	—	常設耐震／防止	無	V-2-3-3-2-2, V-2-3-3-2-3, V-2-3-3-2-4, V-2-3-3-2-5, V-2-3-3-2-6, V-2-3-3-2-7
		ジェットポンプ	—	—	—	常設耐震／防止	無	V-2-3-4-4-5
		原子炉格納容器	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-9-2-1, V-2-9-2-2, V-2-9-2-3, V-2-9-2-4, V-2-9-2-5, V-2-9-2-11
		フィルタ装置	—	—	—	常設耐震／防止	—	V-2-9-7-1-2
		非常用ガス処理系排気筒	—	—	—	常設耐震／防止	有	V-2-7-2-5

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (3/9)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^(注1)	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	主配管	S	無	V-2-5-2-1-1, V-2-5-4-1-4	常設耐震/防止	有	V-2-5-2-1-1, V-2-5-4-1-4
		主配管	S	無	V-2-5-4-1-5	常設耐震/防止	有	V-2-5-4-1-5
		主配管	—	—	—	常設耐震/防止	—	V-2-5-4-2-1
	非常用炉心冷却設備その他 原子炉注水設備	高圧炉心スプレイ系ポンプ	S	無	V-2-5-5-1-1	常設耐震/防止	有	V-2-5-5-1-1
		高圧炉心スプレイ系ストレナ	S	無	V-2-5-5-1-2	常設耐震/防止	有	V-2-5-5-1-2
		主配管	S	無	V-2-5-5-1-3	常設耐震/防止	有	V-2-5-5-1-3
		主配管	S	無	V-2-5-5-1-4	常設耐震/防止	有	V-2-5-5-1-4
		低圧炉心スプレイ系ポンプ	S	無	V-2-5-5-2-1	常設耐震/防止	有	V-2-5-5-2-1

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (4/9)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^(注1)	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他 原子炉注水設備	低圧炉心スプレイストレーナ	S	無	V-2-5-5-2-2	常設耐震／防止	有	V-2-5-5-2-2
		主配管	S	無	V-2-5-5-2-3	常設耐震／防止	有	V-2-5-5-2-3
		主配管	S	無	V-2-5-5-2-4	常設耐震／防止	有	V-2-5-5-2-4
		原子炉隔離時冷却系ポンプ	—	—	—	常設耐震／防止	—	V-2-5-6-1-1, V-2-5-6-1-2
		原子炉隔離時冷却系ストレーナ	—	—	—	常設耐震／防止	有	V-2-5-5-3-1
		残留熱除去系ポンプ	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-5-4-1-2
		残留熱除去系熱交換器	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-5-4-1-1
		残留熱除去系ストレーナ	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-5-4-1-3

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (5/9)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^(注1)	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他 原子炉注水設備	ほう酸水注入ポンプ	—	—	—	常設耐震／防止	有	V-2-6-4-1-1
		ほう酸水注入タンク	—	—	—	常設耐震／防止	有	V-2-6-4-1-2
		常設高圧代替注水系ポンプ	—	—	—	常設耐震／防止	—	V-2-5-5-4-1
		主配管	—	—	—	常設耐震／防止	—	V-2-5-5-4-2
		常設低圧代替注水系ポンプ	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-5-5-5-1
		主配管	—	—	—	常設耐震／防止	—	V-2-5-5-5-2

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (6/9)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^(注1)	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他 原子炉注水設備	代替循環冷却系ポンプ	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-5-5-6-1
		主配管	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-5-5-6-2
		原子炉圧力容器	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-3-4-1-2 V-2-3-4-1-3
		炉心支持構造物	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-3-3-2-1
		高圧炉心スプレー スパーチャ	—	—	—	常設耐震／防止	有	V-2-3-4-4-7
		高圧炉心スプレー 配管（原子炉圧力容器内部）	—	—	—	常設耐震／防止	有	V-2-3-4-4-9
		低圧炉心スプレー スパーチャ	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-3-4-4-7

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (7/9)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^(注1)	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	低圧炉心スプレイ配管(原子炉压力容器内部)	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-3-4-4-9
		残留熱除去系配管(原子炉压力容器内部)	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-3-4-4-8
		差圧検出・ほう酸水注入管(ティーよりN10ノズルまでの外管)	—	—	—	常設耐震／防止	無	V-2-3-4-3-4
		差圧検出・ほう酸水注入管(原子炉压力容器内部)	—	—	—	常設耐震／防止	有	V-2-3-4-4-10
		代替淡水貯槽	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-2-29
		西側淡水貯水設備	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-2-23

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (8/9)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^(注1)	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材補給設備	原子炉隔離時冷却系ポンプ	S	無	V-2-5-6-1-1, V-2-5-6-1-2	—	—	—
		主配管	S	無	V-2-5-6-1-3	—	—	—
		主配管	S	無	V-2-5-6-1-4	—	—	—
	原子炉補機冷却設備	残留熱除去系海水系ポンプ	S	無	V-2-5-7-1-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-5-7-1-1
		残留熱除去系海水系ストレーナ	S	無	V-2-5-7-1-2	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-5-7-1-2
		主配管	S	無	V-2-5-7-1-3	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-5-7-1-3

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (9/9)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^(注1)	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	緊急用海水ポンプ	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-5-7-2-1
		緊急用海水系ストレーナ	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-5-7-2-2
		主配管	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-5-7-2-3
	原子炉冷却材浄化	主配管	S	無	V-2-5-8-1-1	—	—	—

注1: 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

東海第二発電所	工事計画審査資料
資料番号	工認-1063 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-1 計測制御系統施設の耐震計算結果

目次

1. 概要	1
2. 耐震評価条件整理	1

1. 概要

本資料は、計測制御系統施設の設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

計測制御系統施設の設備に対して、設計基準対象施設の耐震設計上の重要度分類、重大事故等対処施設の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績と差異の有無を整理した。また、重大事故等対処施設のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処施設の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。結果を表 2-1 に示す。

通信連絡設備については設備が複数の機器により構成されている。添付書類「V-1-1-10 通信連絡設備に関する説明書」に記載の機器構成を図 2-1～図 2-3 に示し、その機器構成による設備の内訳を表 2-2 に示す。

計測制御系統施設のうち、新設又は、新規登録の設計基準対象施設並びに重大事故等対処施設の耐震計算は表 2-1 に示す計算書に記載することとする。また、表 2-1 に示す設備のうち、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績と差異がない施設の耐震計算は、工事計画認可実績を示し、入力条件及び評価結果を示すことを基本とする。

なお、既設の設備における弾性設計用地震動 S_d による耐震計算については、基準地震動 S_s による評価結果が弾性設計用地震動 S_d の許容限界を満足する場合、省略することとし、省略せず耐震評価を実施する場合は、静的地震力についても考慮することとする。

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (1/18)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
計測制御系統施設	制御材	制御棒	S	無	V-2-6-2-1	常設耐震/防止	無	V-2-6-2-1
	制御材駆動装置	制御棒駆動機構	S	有	V-2-6-3-1	常設耐震/防止	無	V-2-6-3-1
		水圧制御ユニット	S	無	V-2-6-3-2-1	常設耐震/防止	有	V-2-6-3-2-1
		主配管	S	無	V-2-6-3-2-2	常設耐震/防止	無	V-2-6-3-2-2
		主配管	—	—	—	常設耐震/防止	無	V-2-6-3-2-2
		ほう酸水注入設備	ほう酸水注入ポンプ	S	無	V-2-6-4-1-1	常設耐震/防止	有
	ほう酸水注入設備	ほう酸水貯蔵タンク	S	無	V-2-6-4-1-2	常設耐震/防止	有	V-2-6-4-1-2
		主配管	S	無	V-2-6-4-1-3	常設耐震/防止	無	V-2-6-4-1-3
		主配管	—	—	—	常設耐震/防止	無	V-2-6-4-1-3

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (2/18)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
計測制御系統施設	ほう酸水注入設備	差圧検出・ほう酸水注入管（ティーよりN10ノズルまでの外管）	—	—	—	常設耐震／防止	無	V-2-3-4-3-4
		差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉压力容器内部）	—	—	—	常設耐震／防止	有	V-2-3-4-4-10
		原子炉压力容器	—	—	—	常設耐震／防止	有	V-2-3-4-1-2 V-2-3-4-1-3
		炉心支持構造物	—	—	—	常設耐震／防止	無	V-2-3-3-2-1
	計測装置	起動領域計装	S	無	V-2-6-5-1	常設耐震／防止	無	V-2-6-5-1
		出力領域計装	S	無	V-2-6-5-2	常設耐震／防止	無	V-2-6-5-2
		主蒸気流量	S	無	V-2-6-5-3	—	—	—
		原子炉压力容器温度	—	—	—	常設／防止 常設／緩和	—	V-2-6-5-4
		高圧代替注水系系統流量	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-6-5-5

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (3/18)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
計測制御系統施設	計測装置	低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-6-5-6
		低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-6-5-7
		低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-6-5-8
		低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-6-5-9
		代替循環冷却系原子炉注水流量	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-6-5-10

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (4/18)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
計測制御系統施設	計測装置	代替循環冷却系ポンプ入口温度	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-6-5-11
		残留熱除去系熱交換器入口温度	C	—	—	常設／防止 常設／緩和	—	V-2-6-5-12
		残留熱除去系熱交換器出口温度	C	—	—	常設／防止 常設／緩和	—	V-2-6-5-13
		原子炉隔離時冷却系系統流量	S	無	V-2-6-5-14	常設耐震／防止	無	V-2-6-5-14
		高圧炉心スプレイ系系統流量	S	無	V-2-6-5-15	常設耐震／防止	有	V-2-6-5-15
		低圧炉心スプレイ系系統流量	S	無	V-2-6-5-16	常設耐震／防止	有	V-2-6-5-16
		残留熱除去系系統流量	S	無	V-2-6-5-17	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-6-5-17

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (5/18)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処施設		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
計測制御系統施設	計測装置	原子炉圧力	S*2	無	V-2-6-5-18	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-6-5-18
			S*3	無	V-2-6-5-18	—	—	—
		原子炉圧力 (S A)	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-6-5-19
		原子炉水位	S	無	V-2-6-5-20	—	—	—
		原子炉水位 (広帯域)	S*4	無	V-2-6-5-21	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-6-5-21
			—	—	—	常設耐震／防止*5	—	V-2-6-5-21
		原子炉水位 (燃料域)	S	無	V-2-6-5-22	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-6-5-22

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (6/18)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
計測制御系統施設	計測装置	原子炉水位 (S A 広帯域)	—	—	—	常設耐震 / 防止 常設 / 緩和	—	V-2-6-5-23
		原子炉水位 (S A 燃料域)	—	—	—	常設耐震 / 防止 常設 / 緩和	—	V-2-6-5-24
		ドライウエル圧力	S*6	無	V-2-6-5-25	—	—	—
			—	—	—	常設耐震 / 防止*7 常設 / 緩和*7	—	V-2-6-5-25
		サプレッション・チェンバ圧力	S*8	無	V-2-6-5-26	—	—	—
			—	—	—	常設耐震 / 防止*9 常設 / 緩和*9	—	V-2-6-5-26

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (7/18)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^{*1}	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
計測制御系統施設	計測装置	サプレッション・プール水温度	S ^{*10}	無	V-2-6-5-27	—	—	—
			—	—	—	常設耐震／防止 ^{*11} 常設／緩和 ^{*11}	—	V-2-6-5-27
		ドライウエル雰囲気温度	—	—	—	常設／防止 常設／緩和	—	V-2-6-5-28
		サプレッション・チェンバ雰囲気温度	—	—	—	常設／防止 常設／緩和	—	V-2-6-5-29
		格納容器内水素濃度	S	無	V-2-6-5-30	—	—	—
		格納容器内水素濃度 (S A)	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-6-5-31
		格納容器内酸素濃度	S	無	V-2-6-5-32	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (8/18)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類* ¹	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
計測制御系統施設	計測装置	格納容器内酸素濃度 (S A)	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-6-5-33
		格納容器下部水温	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-6-5-34
		代替淡水貯槽水位	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-6-5-35
		西側淡水貯水設備水位	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-6-5-36
		低圧代替注水系格納容器スプレイ流量 (常設ライン用)	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-6-5-37
		低圧代替注水系格納容器スプレイ流量 (可搬ライン用)	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-6-5-38

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (9/18)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
計測制御系統施設	計測装置	低圧代替注水系格納容器下部注水流量	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-6-5-39
		代替循環冷却系格納容器スプレイ流量	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-6-5-40
		サプレッション・プール水位	S*12	無	V-2-6-5-41	—	—	—
			—	—	—	常設耐震／防止*13 常設／緩和*13	—	V-2-6-5-41
		格納容器下部水位	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-6-5-42
		原子炉建屋水素濃度	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-6-5-43

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (10/18)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
計測制御系統施設	制御用空気設備	自動減圧機能用アキュムレータ	—	—	—	—	—	
		主配管	S	—	V-2-6-6-1-1	—	—	
		主配管	—	—	—	常設耐震／防止	—	V-2-6-6-2-1
		主配管	—	—	—	常設耐震／防止	—	V-2-6-6-3-1
	その他の計測制御設備	所内電気操作盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-6-7-1
		タービン補機盤	S	無	V-2-6-7-1	—	—	—
		窒素置換－空調換気制御盤	S	無	V-2-6-7-1	—	—	—
		非常用ガス処理系，非常用ガス循環系操作盤	S	無	V-2-6-7-1	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (11/18)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	タービン補機補助継電器盤	S	無	V-2-6-7-1	—	—	—
		緊急時炉心冷却系操作盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-6-7-1
		原子炉補機操作盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震／防止	無	V-2-6-7-1
		原子炉制御操作盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震／防止	無	V-2-6-7-1
		プロセス放射線モニタ計装盤	S	無	V-2-6-7-1	—	—	—
		出力領域モニタ計装盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震／防止	無	V-2-6-7-1
		原子炉保護系継電器盤	S	無	V-2-6-7-1	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (12/18)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	プロセス計装盤	S	無	V-2-6-7-1	—	—	—
		残留熱除去系 (B), (C) 補助継電器盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震/防止 常設/緩和	無	V-2-6-7-1
		原子炉隔離時冷却系継電器盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震/防止	無	V-2-6-7-1
		原子炉格納容器隔離系継電器盤	S	無	V-2-6-7-1	—	—	—
		高圧炉心スプレイ系継電器盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震/防止	無	V-2-6-7-1
		自動減圧系継電器盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震/防止	無	V-2-6-7-1
		低圧炉心スプレイ系, 残留熱除去系 (A) 補助継電器盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震/防止 常設/緩和	無	V-2-6-7-1

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (13/18)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	漏えい検出系操作盤	S	無	V-2-6-7-1	—	—	—
		プロセス放射線モニタ, 起動領域モニタ操作盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震/防止	無	V-2-6-7-1
		格納容器雰囲気監視系操作盤	S	無	V-2-6-7-1	—	—	—
		サプレッション・プール温度記録計盤	S	無	V-2-6-7-1	—	—	—
		原子炉保護系トリップユニット盤	S	無	V-2-6-7-1	—	—	—
		緊急時炉心冷却系トリップユニット盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震/防止 常設/緩和	無	V-2-6-7-1
		高圧炉心スプレイ系トリップユニット盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震/防止	無	V-2-6-7-1

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (14/18)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	RCIC タービン制御盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震/防止	無	V-2-6-7-1
		原子炉遠隔停止操作盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震/防止	無	V-2-6-7-1
		ほう酸水注入ポンプ操作盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震/防止	有	V-2-6-7-1
		S A 設備新設盤	S	—	V-2-6-7-1	常設耐震/防止 常設/緩和	無	V-2-6-7-1
		安全パラメータ表示システム (SPDS) 新設盤	—	—	—	常設耐震/防止 常設/緩和	無	V-2-6-7-1
		再循環系ポンプ遮断器	S	無	V-2-6-7-8	常設耐震/防止	無	V-2-6-7-8
		再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器	—	—	—	常設耐震/防止	—	V-2-6-7-9

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (15/18)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-6-7-10
		フィルタ装置入口水素濃度	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-6-7-11
		静的触媒式水素再結合器動作監視装置	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-6-7-12
		フィルタ装置水位	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-6-7-13
		フィルタ装置圧力	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-6-7-14
		フィルタ装置スクラビング水温度	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-6-7-15
		残留熱除去系海水系系統流量	C	—	—	常設／防止 常設／緩和	—	V-2-6-7-16

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (16/18)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	緊急用海水系流量(残留熱除去系熱交換器)	—	—	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	V-2-6-7-17
		緊急用海水系流量(残留熱除去系補機)	—	—	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	V-2-6-7-18
		常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力	—	—	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	V-2-6-7-19
		常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力	—	—	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	V-2-6-7-20
		代替循環冷却系ポンプ吐出圧力	—	—	—	常設/緩和	—	V-2-6-7-21
		原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力	C	—	—	常設/防止	—	V-2-6-7-22

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (17/18)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力	C	—	—	常設／防止	—	V-2-6-7-23
		低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力	S	無	V-2-6-7-24	常設耐震／防止	有	V-2-6-7-24
		残留熱除去系ポンプ吐出圧力	S	無	V-2-6-7-25	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-6-7-25
		非常用窒素供給系供給圧力	—	—	—	常設耐震／防止	—	V-2-6-7-26
		非常用窒素供給系高圧窒素ポンベ圧力	—	—	—	常設耐震／防止	—	V-2-6-7-27
		非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力	—	—	—	常設耐震／防止	—	V-2-6-7-28
		非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ポンベ圧力	—	—	—	常設耐震／防止	—	V-2-6-7-29

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (18/18)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震設計上の 重要度分類	新規制基準 施工前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
計測制御系統施設	その他	衛星電話設備（固定型）	C (新規登録)	—	—	常設／防止 常設／緩和 その他	—	表 2-2*14
		安全パラメータ表示システム（SPDS）	C (新規登録)	—	—	常設／防止 常設／緩和	—	表 2-2*14
		統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備	C (新規登録)	—	—	その他	—	表 2-2*14

注記 *1:「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備,「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備,「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備,「その他」は常設重大事故等対処施設（防止でも緩和でもない設備）を示す。

*2 : 対象計器は、PT-B22-N051A, PT-B22-N051B。

*3 : 対象計器は、PT-B22-N078A, PT-B22-N078B, PT-B22-N078C, PT-B22-N078D。

*4 : 対象計器は、LT-B22-N091A, LT-B22-N091B, LT-B22-N091C, LT-B22-N091D。

*5 : 対象計器は、LT-B22-N079A, LT-B22-N079B, LT-B22-N079C, LT-B22-N079D。

*6 : 対象計器は、PT-B22-N067A, PT-B22-N067B, PT-B22-N067C, PT-B22-N067D, PT-B22-N094A, PT-B22-N094B, PT-B22-N094C, PT-B22-N094D, PT-C72-N050A, PT-C72-N050B, PT-C72-N050C, PT-C72-N050D, PT-26-79.51A, PT-26-79.51B。

*7 : 対象計器は、PT-26-79.60。

*8 : 対象計器は、PT-26-79.52A, PT-26-79.52B。

*9 : 対象計器は、PT-26-79.61。

*10 : 対象計器は、TE-T23-N001B, TE-T23-N001C, TE-T23-N002B, TE-T23-N002C, TE-T23-N003B, TE-T23-N003C, TE-T23-N004B, TE-T23-N004C, TE-T23-N005B, TE-T23-N005C, TE-T23-N006B, TE-T23-N006C, TE-T23-N007, TE-T23-N009, TE-T23-N011, TE-T23-N012, TE-T23-N013, TE-T23-N014, TE-T23-N015, TE-T23-N017, TE-T23-N019, TE-T23-N020, TE-T23-N021, TE-T23-N022。

*11 : 対象計器は、TE-T23-N030, TE-T23-N040, TE-T23-N050。

*12 : 対象計器は、LT-26-79.5A, LT-26-79.5B。

*13 : 対象計器は、LT-26-79.60。

*14 : 通信連絡設備は複数の機器で構成されているため、別途整理し、表 2-2 に記載する。

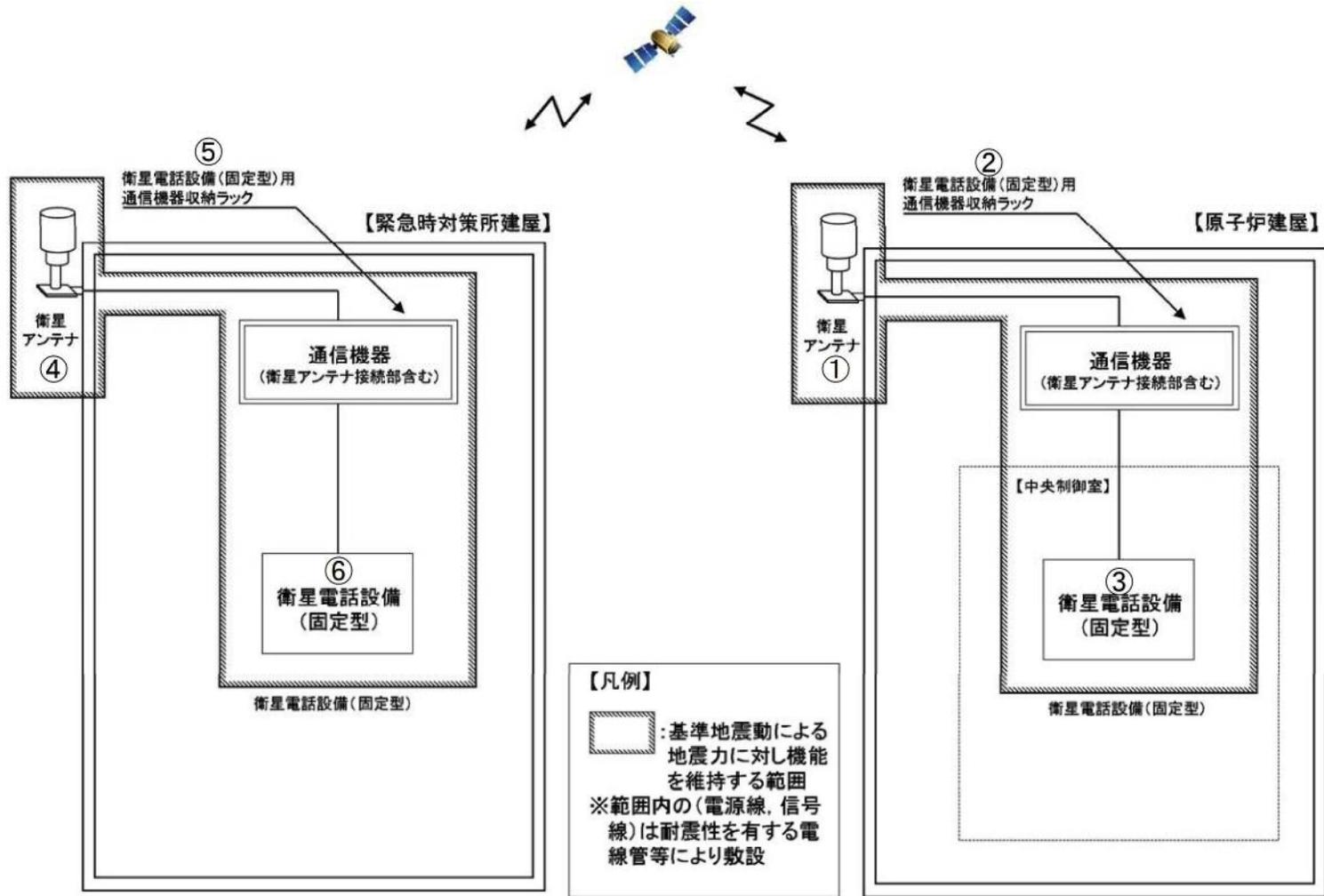


図 2-1 衛星電話設備 (固定型) 概略構成図

※統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備と共用

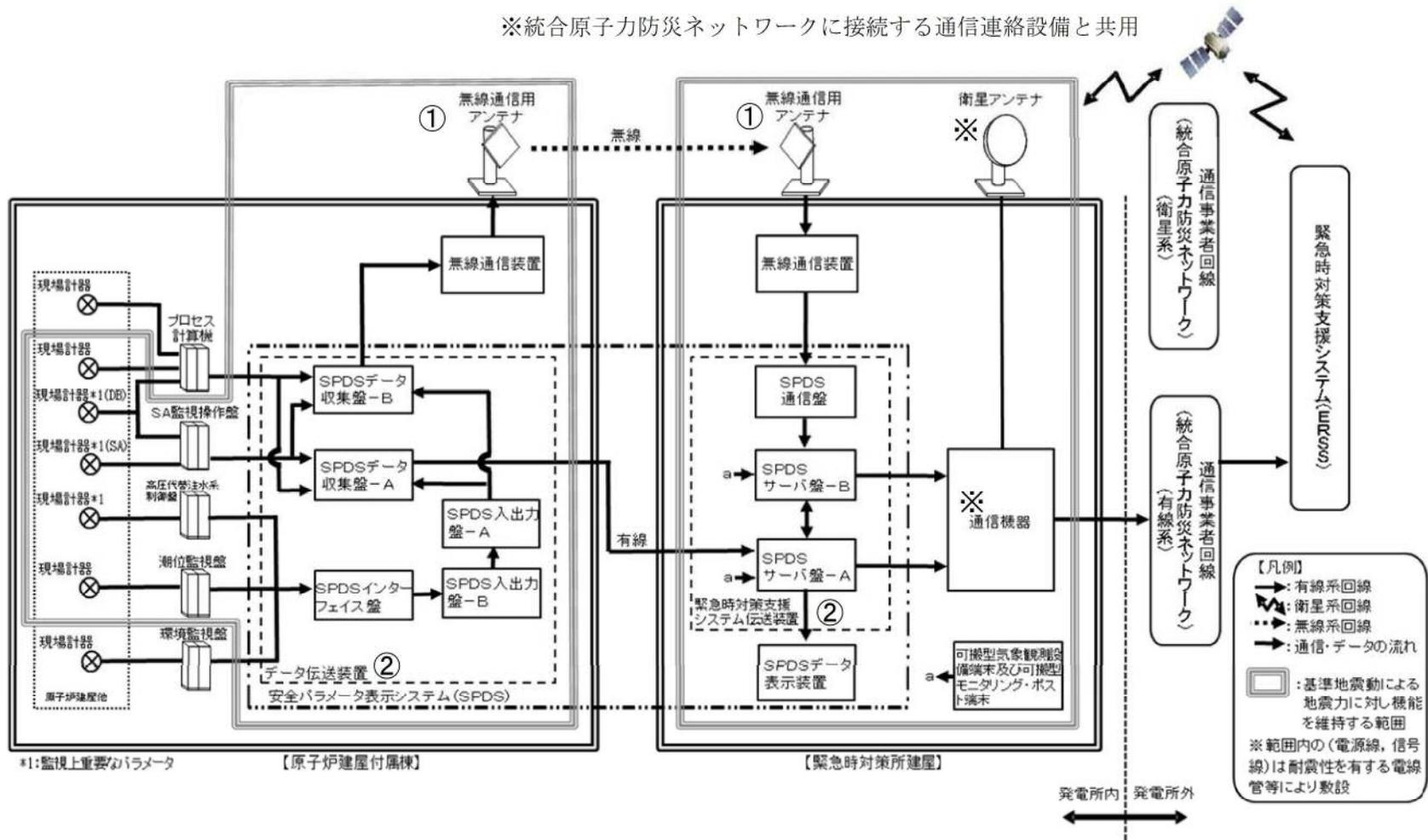


図 2-2 安全パラメータ表示システム (SPDS) 及びデータ伝送装置の概略構成図

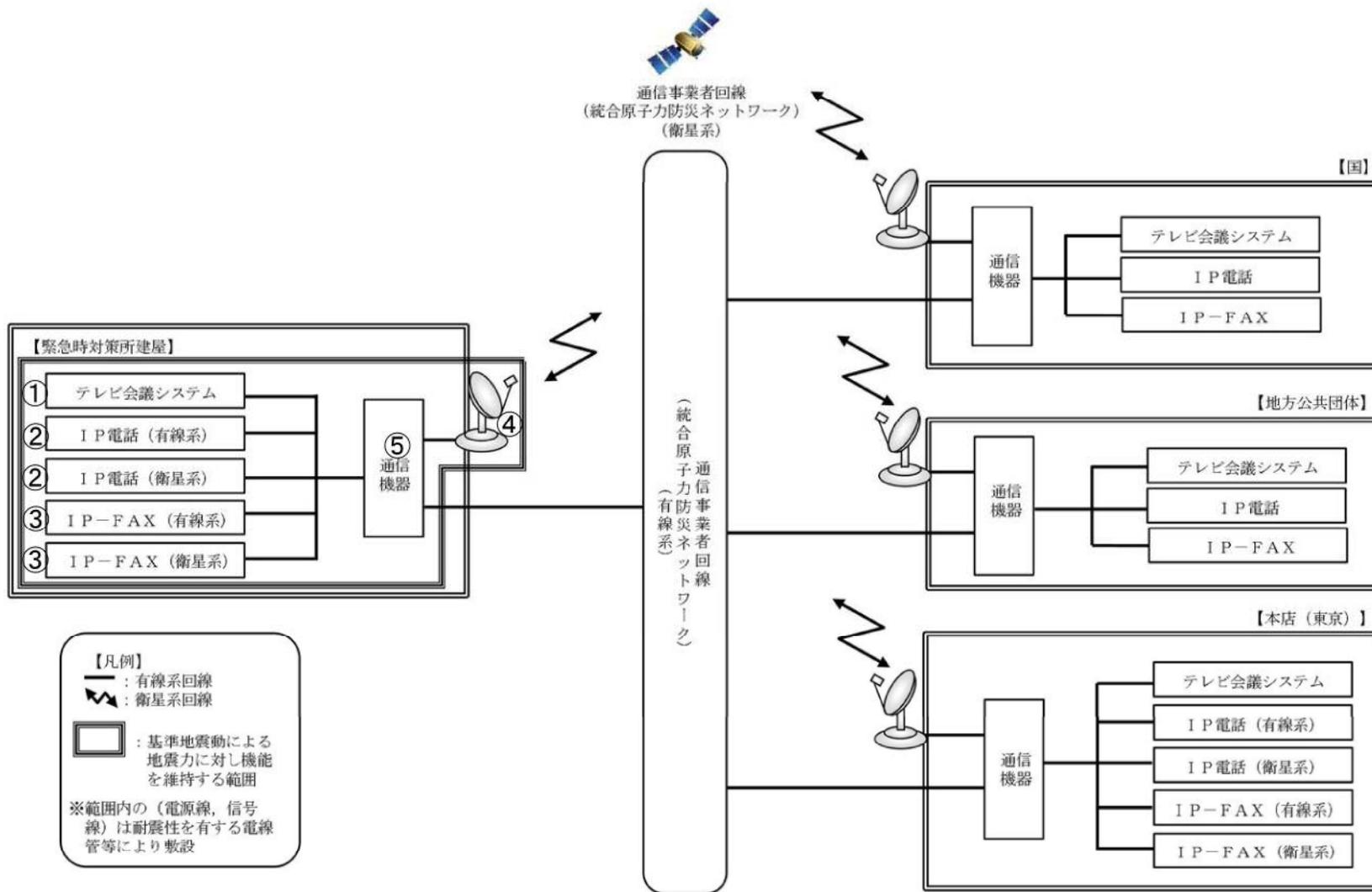


図 2-3 統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備の概略構成図

表 2-2 耐震評価条件整理一覧表（通信連絡設備）（1/3）

評価対象設備				衛星電話設備 （固定型）	安全パラメータ 表示システム （SPDS）	統合原子力防 災ネットワークに接続する 通信連絡設備	耐震計算の 記載箇所
				図 2-1	図 2-2	図 2-3	
計測 制御 系統 施設	その他	衛星電話設備 （固定型）	衛星電話設備（固定型） （中央制御室）	①	—	—	V-2-6-7-2-1
			屋外アンテナ （中央制御室）	②	—	—	V-2-6-7-2-2
			衛星電話設備用通信機器 収納ラック（中央制御室）	③	—	—	V-2-6-7-2-3
			衛星電話設備（固定型） （緊急時対策所）	④	—	—	V-2-6-7-2-4
			屋外アンテナ （緊急時対策所）	⑤	—	—	V-2-6-7-2-5
			衛星電話設備用通信機器 収納ラック（緊急時対策所）	⑥	—	—	V-2-6-7-2-6

表 2-2 耐震評価条件整理一覧表（通信連絡設備）（2/3）

評価対象設備			衛星電話設備 (固定型)	安全パラメータ 表示システム (SPDS)	統合原子力 防災ネット ワークに接 続する通信 連絡設備	耐震計算の 記載箇所	
			図 2-1	図 2-2	図 2-3		
計測 制御 系統 施設	その他	安全パラメータ 表示システム (SPDS)	無線通信用アンテナ	—	①	—	V-2-6-7-4
			SPDSデータ収集盤-A	—	②	—	V-2-6-1
			SPDSデータ収集盤-B	—	②	—	V-2-6-1
			SPDS入出力盤-A	—	②	—	V-2-6-1
			SPDS入出力盤-B	—	②	—	V-2-6-1
			SPDSインターフェース盤	—	②	—	V-2-6-1
			SPDS通信盤	—	②	—	V-2-6-1
			SPDS入出力盤-A	—	②	—	V-2-6-1
			SPDS入出力盤-B	—	②	—	V-2-6-1

表 2-2 耐震評価条件整理一覧表（通信連絡設備）（3/3）

評価対象設備			衛星電話設備 (固定型)	安全パラメータ 表示システム (SPDS)	統合原子力 防災ネット ワークに接 続する通信 連絡設備	耐震計算の 記載箇所	
			図 2-1	図 2-2	図 2-3		
計測 制御 系統 施設	その他	統合原子力防 災ネットワ ークに接続する 通信連絡設備	テレビ会議システム	—	—	①	V-2-6-7-5
			IP電話（有線系，衛星系）	—	—	②	V-2-6-7-5
			IP-FAX（有線系，衛星系）	—	—	③	V-2-6-7-5
			統合原子力防災ネットワーク設備 衛星アンテナ	—	—	④	V-2-6-7-6
			LAN収容架（SA）	—	—	⑤	V-2-6-7-7

東海第二発電所	工事計画審査資料
資料番号	工認-1065 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-8-1 放射線管理施設の耐震計算結果

目次

1. 概要	1
2. 耐震評価条件整理	1

1. 概要

本資料は、放射線管理施設の設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

放射線管理施設の設備に対して、設計基準対象施設の耐震クラス、重大事故等対処施設の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績と差異の有無を整理した。また、重大事故等対処施設のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処施設の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。結果を表 2-1 に示す。

放射線管理施設のうち、新設又は、新規登録の設計基準対象施設並びに重大事故等対処施設の耐震計算は表 2-1 に示す計算書に記載することとする。また、表 2-1 に示す設備のうち、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績と差異がない施設の耐震計算は、工事計画認可実績を示し、入力条件及び評価結果を示すことを基本とする。

なお、既設の設備における弾性設計用地震動 S_d による耐震計算については、基準地震動 S_s による評価結果が弾性設計用地震動 S_d の許容限界を満足する場合、省略することとし、省略せず耐震評価を実施する場合は、静的地震力についても考慮することとする。

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (1/4)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^(注1)	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
放射線管理施設	放射線管理用計測装置	主蒸気管放射線モニタ	S	無	V-2-8-2-1	—	—	—
		格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W)	S	無	V-2-8-2-2	常設耐震/防止 常設/緩和	有	V-2-8-2-2
		格納容器雰囲気放射線モニタ (S/C)	S	無	V-2-8-2-3	常設耐震/防止 常設/緩和	有	V-2-8-2-3
		原子炉建屋換気系(ダクト)放射線モニタ	S	無	V-2-8-2-4	—	—	—
		フィルタ装置出口放射線モニタ (低レンジ)	—	—	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	V-2-8-2-5
		フィルタ装置出口放射線モニタ (高レンジ)	—	—	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	V-2-8-2-6
		耐圧強化ベント系放射線モニタ	—	—	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	V-2-8-2-7

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (2/4)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^(注1)	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
放射線管理施設	放射線管理用計測装置	使用済燃料プールエリア放射線モニタ (低レンジ)	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-8-2-8
		使用済燃料プールエリア放射線モニタ (高レンジ)	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-8-2-9
	換気設備	主配管 (ダクト)	S	無	V-2-8-3-1-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-8-3-1-1
		中央制御室換気系空気調和機ファン	S	無	V-2-8-3-1-2	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-8-3-1-2
		中央制御室換気系フィルタ系ファン	S	無	V-2-8-3-1-2	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-8-3-1-2
		中央制御室換気系フィルタユニット	S	無	V-2-8-3-1-3	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-8-3-1-3

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (3/4)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^(注1)	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
放射線管理施設	換気設備	主配管	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-8-3-2-1
		中央制御室待避室差圧計	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-8-3-2-2
		主配管 (ダクト)	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-8-3-3-1
		主配管	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-8-3-3-2
		緊急時対策所非常用送風機	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-8-3-3-3
		緊急時対策所非常用フィルタ装置	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-8-3-3-4
		緊急時対策所用差圧計	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-8-3-3-5

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (4/4)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^(注1)	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
放射線管理施設	換気設備	主配管	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-8-3-4-1
		第二弁操作室差圧計	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-8-3-4-2
	生体遮蔽装置	二次遮蔽	B	無	V-2-8-4-2	常設／防止 常設／緩和	無	V-2-8-4-2
		中央制御室遮蔽	S	—	V-2-8-4-3	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-8-4-3
		中央制御室遮蔽(待避室)	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-8-4-4
		緊急時対策所遮蔽	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-8-4-5
		第二弁操作室遮蔽	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-8-4-6

注1:「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備,「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備,「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-596 改3
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-10-1-2-2 非常用ディーゼル発電機空気だめの耐震性について
の計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 固有周期	8
4.1 固有周期の計算方法	8
4.2 固有周期の計算条件	9
4.3 固有周期の計算結果	9
5. 地震応答解析及び構造強度評価	10
5.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	10
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
5.3 設計用地震力	15
5.4 解析モデル及び諸元	16
5.5 計算方法	18
5.6 計算条件	20
5.7 応力の評価	21
6. 評価結果	22
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	22
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	22

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、非常用ディーゼル発電機空気だめが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

非常用ディーゼル発電機空気だめは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

非常用ディーゼル発電機空気だめの構造計画を表2-1に示す。

表2-1 構造計画

計 画 の 概 要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴を4個の脚で支持し，脚をそれぞれ基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>横置円筒形容器</p>	<p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

非常用ディーゼル発電機空気だめの応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す非常用ディーゼル発電機空気だめの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

非常用ディーゼル発電機空気だめの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

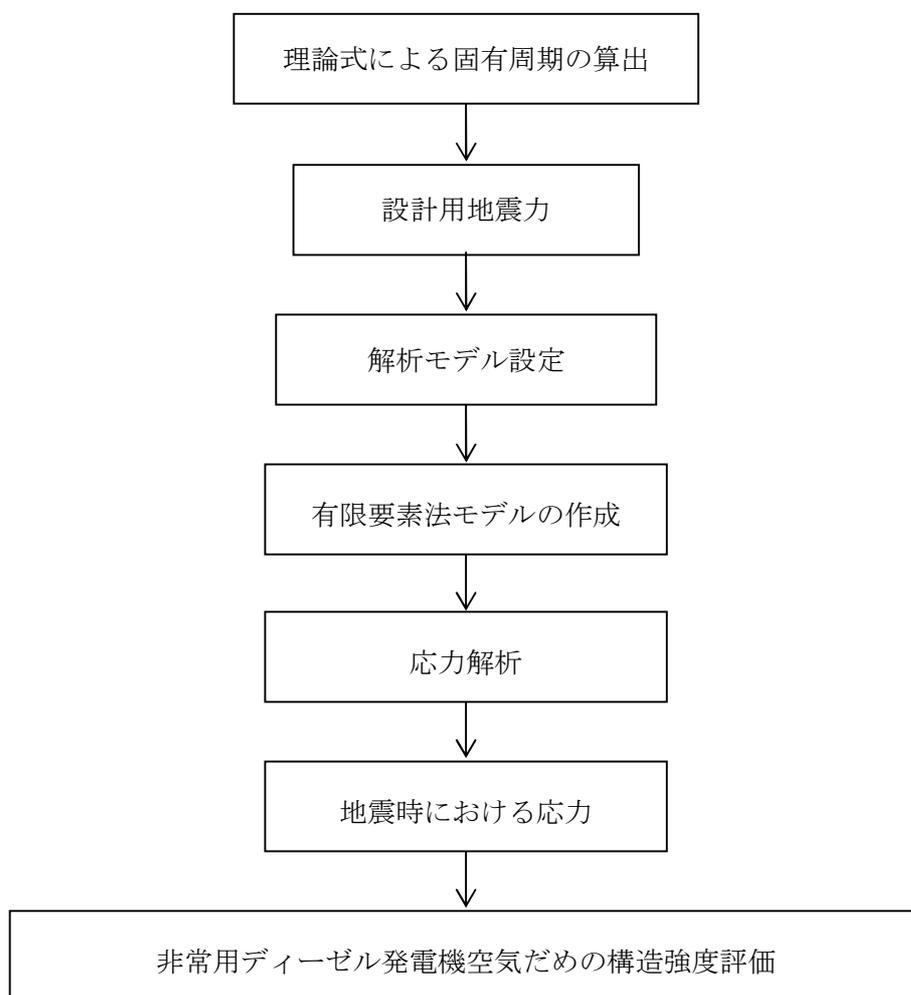


図 2-1 非常用ディーゼル発電機空気だめの耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984， J E A G 4 6 0 1－1987及び J E A G 4 6 0 1－1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和59年9月，昭和62年8月及び平成3年6月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。）） J S M E S N C 1－2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	固定脚の断面積	mm^2
A_{s1}	固定脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	固定脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_{sb}	ボルト1本あたりに作用するせん断力	N
F_{tb}	ボルト1本あたりに作用する引張力	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
h_1	基礎から固定脚の胴付け根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm
I_{sx}	固定脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
I_{sy}	固定脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
K_c	固定脚のばね定数 (胴の横方向に水平力が作用する場合)	N/m
K_l	固定脚のばね定数 (胴の長手方向に水平力が作用する場合)	N/m
K_v	固定脚のばね定数 (胴に鉛直力が作用する場合)	N/m
m_o	容器の運転時質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
T	胴の温度条件	°C
T_s	脚の温度条件	°C

記号	記号の説明	単位
T_1	長手方向固有周期	s
T_2	横方向固有周期	s
T_3	鉛直方向固有周期	s
t	固定脚側胴板の厚さ	mm
t_e	固定脚付け根部における胴の有効板厚	mm
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0x}	胴の長手方向一次一般膜応力	MPa
σ_{0y}	胴の周方向一次一般膜応力	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_{1x}	胴の長手方向一次応力	MPa
σ_{1y}	胴の周方向一次応力	MPa
σ_2	胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{2x}	胴の長手方向一次+二次応力	MPa
σ_{2y}	胴の周方向一次+二次応力	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{s1}	脚の一次応力の最大値	MPa
σ_{s1x}	脚のシェル要素における x 方向一次応力	MPa
σ_{s1y}	脚のシェル要素における y 方向一次応力	MPa
σ_{s2}	脚の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{s2x}	脚のシェル要素における x 方向一次+二次応力	MPa
σ_{s2y}	脚のシェル要素における y 方向一次+二次応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{0xy}	胴の一次一般膜せん断応力	MPa
τ_{1xy}	胴の一次せん断応力	MPa
τ_{2xy}	胴の一次+二次せん断応力	MPa
τ_{s1xy}	脚のシェル要素における一次せん断応力	MPa
τ_{s2xy}	脚のシェル要素における一次+二次せん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	胴の厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
面積 ^{*2}		mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

非常用ディーゼル発電機空気だめの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる胴、脚及び基礎ボルトについて実施する。非常用ディーゼル発電機空気だめの耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

容器及び内容物の質量は動の中心軸に集中するものとする。また、水平方向は、脚をはりと考え、変形モードは脚の曲げ及びせん断変形を考慮する。胴の水平方向及び水平方向及び鉛直方向は剛とみなす。

(1) 計算モデル

本容器は、図4-1、図4-2及び図4-3のような1質点系振動モデルとして考える。

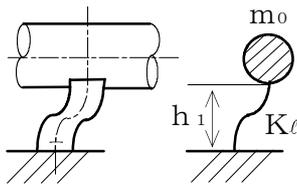


図4-1 長手方向の固有周期
計算モデル

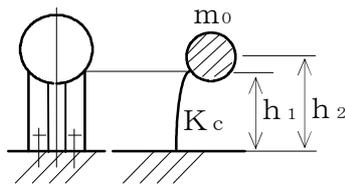


図4-2 横方向の固有周期
計算モデル

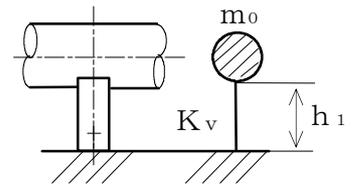


図4-3 鉛直方向の固有周期
計算モデル

(2) 脚の受ける荷重

脚の受ける荷重は全ての脚が下端固定構造であるため、機器の運転時質量 m_0 を全ての脚で受けるものとする。

(3) 長手方向の固有周期

図4-1におけるばね定数は次式で求める。

$$K_{\ell} = \frac{1000}{\frac{h_1^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{s y}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s 1}}} \dots \dots \dots (4.1.1)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_{\ell}}} \dots \dots \dots (4.1.2)$$

(4) 横方向の固有周期

図4-2におけるばね定数は次式で求める。

$$K_c = \frac{1000}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{sx}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1 / 2)}{E_s \cdot I_{sx}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s2}}} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_c}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

(5) 鉛直方向の固有周期

図4-3におけるばね定数は次式で求める。

$$K_v = \frac{1000}{\frac{h_1}{A_s \cdot E_s}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_3 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_v}} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、「6.1 設計基準対象施設としての評価結果」及び「6.2 重大事故等対処設備としての評価結果」の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を、表 4-1 に示す。計算結果より、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期(s)

水平方向		鉛直方向
長手方向	横方向	
0.005	0.017	0.002

5. 地震応答解析及び構造強度評価

5.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 地震力は、容器に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、原則として、強度評価において組合せるものとする。なお、基礎ボルトにおいては、作用する荷重の算出において組合せるものとする。
- (2) 容器の胴は4個の脚で支持され、脚はそれぞれ基礎に基礎ボルトで取り付ける。
- (3) 胴と脚との取付部において胴の局部変形を考慮する。
- (4) 脚は全脚固定とし、水平方向荷重は全ての脚で受けるものとする。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

非常用ディーゼル発電機空気だめの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-2に示す。

5.2.2 許容応力

非常用ディーゼル発電機空気だめの許容応力を表5-3～表5-4に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用ディーゼル発電機空気だめの許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-5に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-6に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	非常用ディーゼル発電機 空気だめ	S	クラス3容器*1	$D + P_D + M_D + S_d^{*2}$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *1：クラス3容器の支持構造物を含む。
*2：S_sと組み合わせ、Ⅲ_ASの評価を実施する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	非常用ディーゼル発電機 空気だめ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。
*2：重大事故等クラス2容器の支持構造物を含む。
*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表5-3 許容応力 (クラス2, 3 容器及び重大事故等クラス2 容器)

許容応力状態	許容限界 ^{*1}			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と1.2・Sのうち大きい方とする。	左欄の1.5倍の値	弾性設計用地震動S _d 又は基準地震動S _s ^{*2} のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば疲労解析は不要。	
Ⅳ _A S				
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値	基準地震動S _s ^{*2} のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば疲労解析は不要。	

注記 *1: 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2: 2・S_yを超えるときは弾塑性解析若しくは設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。S_mは 2/3・S_y と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表5-4 許容応力（クラス2，3支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴	SM50B*1 (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	60	—	304	471	—
脚		周囲環境温度		—	309	480	—
基礎ボルト		周囲環境温度		—	231	394	—

[Redacted]

表 5-6 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴	SM50B*1 (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	60	—	304	471	—
脚		周囲環境温度		—	309	480	—
基礎ボルト		周囲環境温度		—	231	394	—

[Redacted]

5.3 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、
添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。
評価に用いる設計用地震力を表5-7及び表5-8に示す。

表 5-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 EL. -4.0 ^{*1}	0.017	0.002	— ^{*2}	— ^{*2}	$C_H =$ 0.87	$C_V =$ 0.90

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：Ⅲ_AS については、基準地震動 S_s で評価する。

表 5-8 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 EL. -4.0 [*]	0.017	0.002	—	—	$C_H =$ 0.87	$C_V =$ 0.90

注記 *：基準床レベルを示す。

5.4 解析モデル及び諸元

非常用ディーゼル発電機空気だめの解析モデルを図5-1に、解析モデルの概要を以下に示す。
また、機器の諸元を表5-9に示す。

- (1) 空気だめをシェル要素でモデル化したFEMモデルによって求める。
- (2) 拘束条件は、脚を脚底面ボルト位置で変位3(X, Y, Z)方向拘束, 脚底面を鉛直(Z)方向フリーとする。
- (3) **解析**コードは、「ABAQUS」を使用し、胴、脚及び基礎ボルトの応力を求める。
なお、評価に用いる**解析**コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「V-5-5 計算機プログラム (解析コード) の概要・ABAQUS」に示す。

表5-9 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	<input type="text"/>
質量	m_o	kg	2000
温度条件 (雰囲気温度)	胴	T	℃
	脚	T_s	℃
縦弾性係数	胴	E	MPa
	脚	E_s	MPa
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	13544
節点数	—	個	13522
<input type="text"/>			

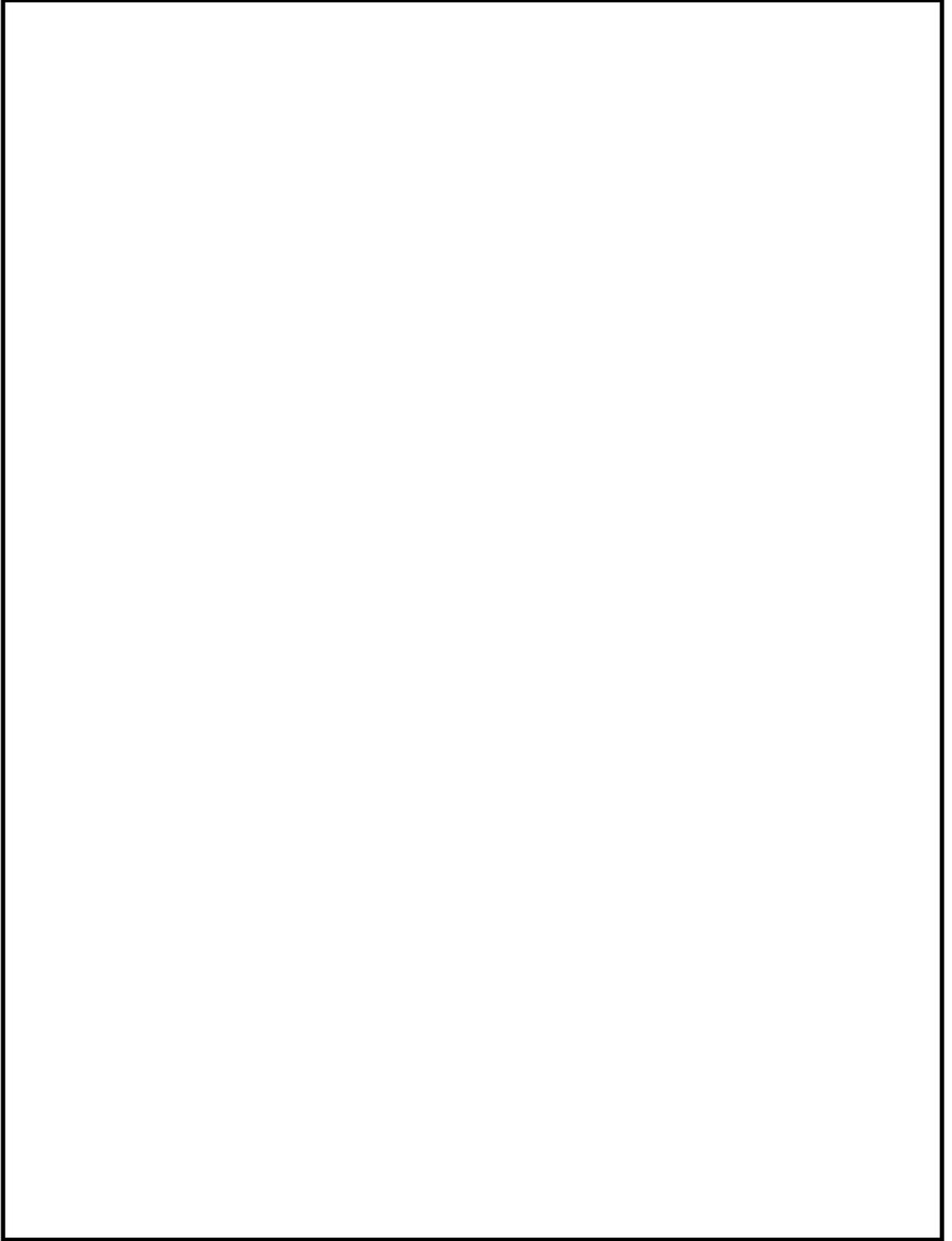


図5-1 解析モデル

5.5 計算方法

(1) 胴の応力

FEM解析結果から得られる各部材（シェル要素）の応力成分より各種応力を算出する。
 胴については、以下の式を用いて応力を算出する。

a. 一次一般膜

$$\sigma_0 = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{0x} + \sigma_{0y}) + \sqrt{(\sigma_{0x} - \sigma_{0y})^2 + 4 \cdot \tau_{0xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.1)$$

b. 一次応力

$$\sigma_1 = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1x} + \sigma_{1y}) + \sqrt{(\sigma_{1x} - \sigma_{1y})^2 + 4 \cdot \tau_{1xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.2)$$

c. 一次+二次応力

$$\sigma_2 = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{2x} + \sigma_{2y}) + \sqrt{(\sigma_{2x} - \sigma_{2y})^2 + 4 \cdot \tau_{2xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.3)$$

表5-10 FEM解析による胴の応力成分

項目	記号	単位	応力値
胴の長手方向一次一般膜応力	σ_{0x}	MPa	44.7
胴の周方向一次一般膜応力	σ_{0y}	MPa	89.8
胴の一次一般膜せん断応力	τ_{0xy}	MPa	0.0
胴の長手方向一次応力	σ_{1x}	MPa	41.3
胴の周方向一次応力	σ_{1y}	MPa	105.9
胴の一次せん断応力	τ_{1xy}	MPa	7.1
胴の長手方向一次+二次応力	σ_{2x}	MPa	20.0
胴の周方向一次+二次応力	σ_{2y}	MPa	23.4
胴の一次+二次せん断応力	τ_{2xy}	MPa	8.6

(2) 脚の応力

FEM解析結果から得られる各部材（シェル要素）の応力成分より各種応力を算出する。
脚については、以下の式を用いて応力を算出する。

a. 一次応力

$$\sigma_{s1} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{s1x} + \sigma_{s1y}) + \sqrt{(\sigma_{s1x} - \sigma_{s1y})^2 + 4 \cdot \tau_{s1xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.4)$$

b. 一次+二次応力

$$\sigma_{s2} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{s2x} + \sigma_{s2y}) + \sqrt{(\sigma_{s2x} - \sigma_{s2y})^2 + 4 \cdot \tau_{s2xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.5)$$

表5-11 FEM解析による脚の応力成分

項目	記号	単位	応力値
脚のシェル要素における x 方向一次応力	σ_{s1x}	MPa	79.6
脚のシェル要素における y 方向一次応力	σ_{s1y}	MPa	0.8
脚のシェル要素における一次せん断応力	τ_{s1xy}	MPa	4.1
脚のシェル要素における x 方向一次+二次応力	σ_{s2x}	MPa	9.0
脚のシェル要素における y 方向一次+二次応力	σ_{s2y}	MPa	28.0
脚のシェル要素における一次+二次せん断応力	τ_{s2xy}	MPa	2.5

(3) 基礎ボルトの応力

FEM解析結果から得られる基礎ボルト固定位置における最大荷重を用いて、各種応力を算出する。

基礎ボルトについては、以下の式を用いて応力を算出する。

a. 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_{tb}}{A_b} \dots\dots\dots (5.5.6)$$

b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{F_{sb}}{A_b} \dots\dots\dots (5.5.7)$$

表5-12 FEM解析による基礎ボルトの最大荷重

項目	記号	単位	荷重値
ボルト1本あたりに作用する引張力	F _{tb}	N	4.095×10 ³
ボルト1本あたりに作用するせん断力	F _{sb}	N	2.726×10 ⁴

5.6 計算条件

応力解析に用いる自重（胴，脚及び基礎ボルト）は、本計算書の【非常用ディーゼル発電機 空気だめの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.7 応力の評価

5.7.1 胴及び脚の応力評価

4.6項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度及び脚の周囲環境温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は5.5.2項 表5-3による。

5.7.2 基礎ボルトの応力評価

4.6項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.7.2.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ディーゼル発電機空気だめの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。なお、弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ディーゼル発電機空気だめの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用ディーゼル発電機空気だめの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
非常用ディーゼル発電機 空気だめ	S	原子炉建屋 EL. -4.0*1	0.017	0.002	—*2	—*2	C _H =0.87	C _V =0.90	3.24	60	□

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: III_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。

1.2 機器要目

m _o (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)
2000	1200	22.0	22.0	2.128×10 ⁸	5.230×10 ⁸

A _s (mm ²)	E (MPa)	E _s (MPa)	G _s (MPa)	A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	n	A _b (mm ²)
5.333×10 ⁴	201000 *1	201000 *2	77300	2.153×10 ⁴	3.133×10 ⁴	4	452.4 (M24)

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S _y (脚) * (MPa)	S _u (脚) (MPa)	S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)
304 *1	471 *1	309 *2	480 *2	231 *2	394 *2	231	276

注記 *1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(単位：MPa)

応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	発生応力	発生応力
一次一般膜	—	$\sigma_0 = 90$
一 次	—	$\sigma_1 = 107$
一次＋二次	—	$\sigma_2 = 31$

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	発生応力	発生応力
一 次	—	$\sigma_{s1} = 80$
一次＋二次	—	$\sigma_{s2} = 29$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

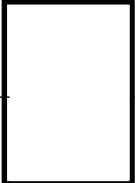
応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	発生応力	発生応力
引 張 り	—	$\sigma_b = 9$
せ ん 断	—	$\tau_b = 61$

NT2 補③ V-2-10-1-2-2 R1

1.4 結論

1.4.1 応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基 準 地 震 動 S_s	
			算出応力*1	許容応力	算出応力	許容応力
胴 板	SM50B	一次一般膜	$\sigma_0 = 90$	$S_a = 282$	$\sigma_0 = 90$	$S_a = 282$
		一 次	$\sigma_1 = 107$	$S_a = 423$	$\sigma_1 = 107$	$S_a = 423$
		一次 + 二次	$\sigma_2 = 31$	$S_a = 608$	$\sigma_2 = 31$	$S_a = 608$
脚		一 次	$\sigma_{s1} = 80$	$S_a = 432$	$\sigma_{s1} = 80$	$S_a = 432$
		一次 + 二次	$\sigma_{s2} = 29$	$S_a = 619$	$\sigma_{s2} = 29$	$S_a = 619$
基礎ボルト		引 張 り	$\sigma_b = 9$	$f_{ts} = 145^{*2}$	$\sigma_b = 9$	$f_{ts} = 192^{*2}$
		せ ん 断	$\tau_b = 61$	$f_{sb} = 133$	$\tau_b = 61$	$f_{sb} = 159$

すべて許容応力以下である。

注記 *1：基準地震動 S_s による算出値

*2： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
非常用ディーゼル発電機 空気だめ	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 EL. -4.0*	0.017	0.002	—	—	C _H =0.87	C _V =0.90	3.24	60	

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m _o (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	I _{s x} (mm ⁴)	I _{s y} (mm ⁴)
2000	1200	22.0	22.0	2.128×10 ⁸	5.230×10 ⁸

A _s (mm ²)	E (MPa)	E _s (MPa)	G _s (MPa)	A _{s 1} (mm ²)	A _{s 2} (mm ²)	n	A _b (mm ²)
5.333×10 ⁴	201000 ^{*1}	201000 ^{*2}	77300	2.153×10 ⁴	3.133×10 ⁴	4	452.4 (M24)

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S _y (脚)* (MPa)	S _u (脚) (MPa)	S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)
304 ^{*1}	471 ^{*1}	309 ^{*2}	480 ^{*2}	231 ^{*2}	394 ^{*2}	276

注記 *1 : 最高使用温度で算出

*2 : 周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(単位：MPa)

応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	発生応力	発生応力
一次一般膜	—	$\sigma_0 = 90$
一 次	—	$\sigma_1 = 107$
一次＋二次	—	$\sigma_2 = 31$

2.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	発生応力	発生応力
一 次	—	$\sigma_{s1} = 80$
一次＋二次	—	$\sigma_{s2} = 29$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

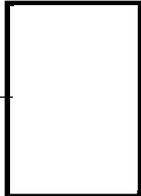
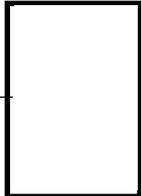
(単位：MPa)

応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	発生応力	発生応力
引 張 り	—	$\sigma_b = 9$
せ ん 断	—	$\tau_b = 61$

2.4 結論

2.4.1 応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基 準 地 震 動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴 板	SM50B	一次一般膜	—	—	$\sigma_0 = 90$	$S_a = 282$
		一 次	—	—	$\sigma_1 = 107$	$S_a = 423$
		一次 + 二次	—	—	$\sigma_2 = 31$	$S_a = 608$
脚		一 次	—	—	$\sigma_{s1} = 80$	$S_a = 432$
		一次 + 二次	—	—	$\sigma_{s2} = 29$	$S_a = 619$
基礎ボルト		引 張 り	—	—	$\sigma_b = 9$	$f_{ts} = 192^*$
		せ ん 断	—	—	$\tau_b = 61$	$f_{sb} = 159$

すべて許容応力以下である。

注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-634 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-10-1-3-2 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの耐
震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 固有周期	8
4.1 固有周期の計算方法	8
4.2 固有周期の計算条件	9
4.3 固有周期の計算結果	9
5. 地震応答解析及び構造強度評価	10
5.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	10
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
5.3 設計用地震力	15
5.4 解析モデル及び諸元	16
5.5 計算方法	18
5.6 計算条件	20
5.7 応力の評価	21
6. 評価結果	22
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	22
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	22

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの構造計画を表2-1に示す。

表2-1 構造計画

計 画 の 概 要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴を4個の脚で支持し，脚をそれぞれ基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>横置円筒形容器</p>	<p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

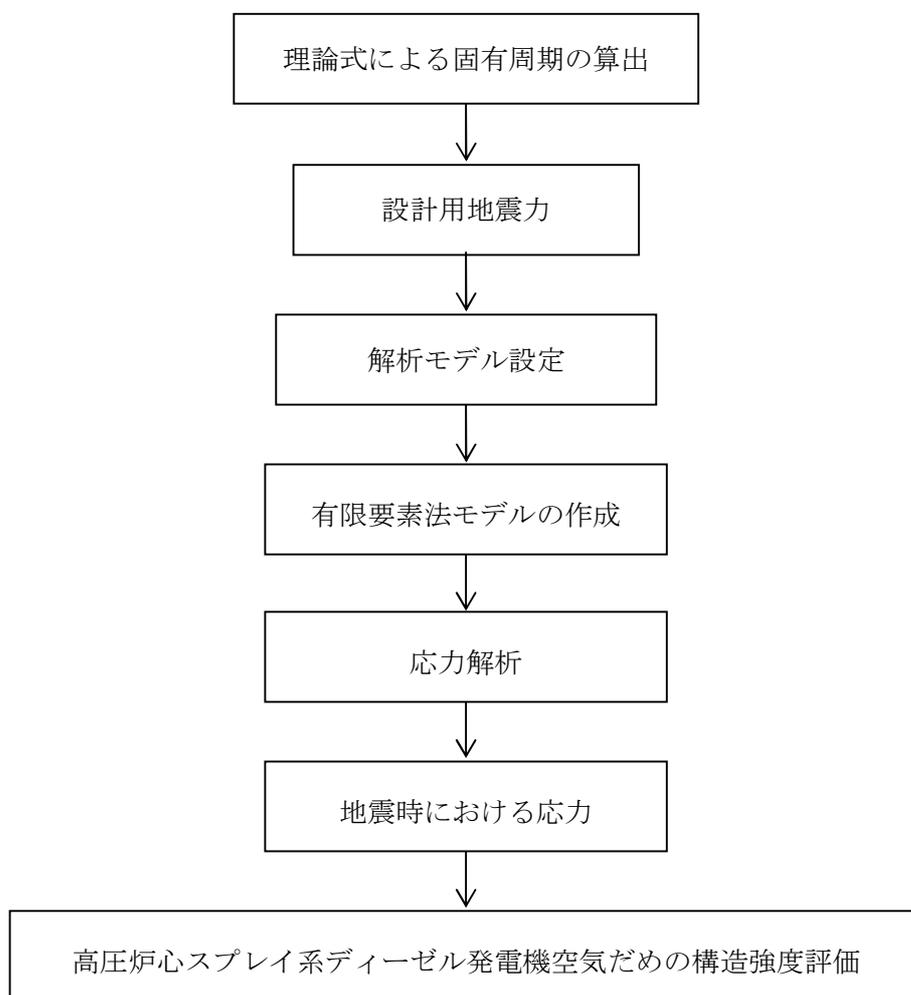


図 2-1 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984，J E A G 4 6 0 1－1987及びJ E A G 4 6 0 1－1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和59年9月，昭和62年8月及び平成3年6月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。）） J S M E S N C 1－2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	固定脚の断面積	mm^2
A_{s1}	固定脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	固定脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_{sb}	ボルト1本あたりに作用するせん断力	N
F_{tb}	ボルト1本あたりに作用する引張力	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
h_1	基礎から固定脚の胴付け根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm
I_{sx}	固定脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
I_{sy}	固定脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
K_c	固定脚のばね定数 (胴の横方向に水平力が作用する場合)	N/m
K_l	固定脚のばね定数 (胴の長手方向に水平力が作用する場合)	N/m
K_v	固定脚のばね定数 (胴に鉛直力が作用する場合)	N/m
m_o	容器の運転時質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
T	胴の温度条件	°C
T_s	脚の温度条件	°C

記号	記号の説明	単位
T_1	長手方向固有周期	s
T_2	横方向固有周期	s
T_3	鉛直方向固有周期	s
t	固定脚側胴板の厚さ	mm
t_e	固定脚付け根部における胴の有効板厚	mm
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0x}	胴の長手方向一次一般膜応力	MPa
σ_{0y}	胴の周方向一次一般膜応力	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_{1x}	胴の長手方向一次応力	MPa
σ_{1y}	胴の周方向一次応力	MPa
σ_2	胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{2x}	胴の長手方向一次+二次応力	MPa
σ_{2y}	胴の周方向一次+二次応力	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{s1}	脚の一次応力の最大値	MPa
σ_{s1x}	脚のシェル要素における x 方向一次応力	MPa
σ_{s1y}	脚のシェル要素における y 方向一次応力	MPa
σ_{s2}	脚の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{s2x}	脚のシェル要素における x 方向一次+二次応力	MPa
σ_{s2y}	脚のシェル要素における y 方向一次+二次応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{0xy}	胴の一次一般膜せん断応力	MPa
τ_{1xy}	胴の一次せん断応力	MPa
τ_{2xy}	胴の一次+二次せん断応力	MPa
τ_{s1xy}	脚のシェル要素における一次せん断応力	MPa
τ_{s2xy}	脚のシェル要素における一次+二次せん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	胴の厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
面積 ^{*2}		mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる胴、脚及び基礎ボルトについて実施する。高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

容器及び内容物の質量は動の中心軸に集中するものとする。また、水平方向は、脚をはりと考え、変形モードは脚の曲げ及びせん断変形を考慮する。胴の水平方向及び水平方向及び鉛直方向は剛とみなす。

(1) 計算モデル

本容器は、図4-1、図4-2及び図4-3のような1質点系振動モデルとして考える。

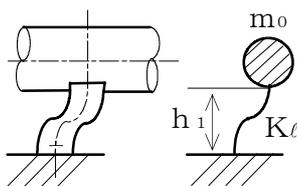


図4-1 長手方向の固有周期
計算モデル

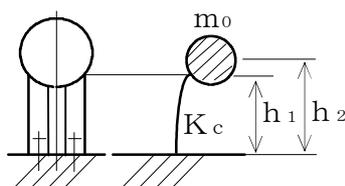


図4-2 横方向の固有周期
計算モデル

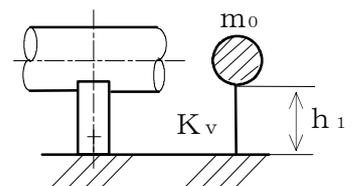


図4-3 鉛直方向の固有周期
計算モデル

(2) 脚の受ける荷重

脚の受ける荷重は全ての脚が下端固定構造であるため、機器の運転時質量 m_0 を全ての脚で受けるものとする。

(3) 長手方向の固有周期

図4-1におけるばね定数は次式で求める。

$$K_l = \frac{1000}{\frac{h_1^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{sy}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s1}}} \quad \dots \quad (4.1.1)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_l}} \quad \dots \quad (4.1.2)$$

(4) 横方向の固有周期

図4-2におけるばね定数は次式で求める。

$$K_c = \frac{1000}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{sx}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1 / 2)}{E_s \cdot I_{sx}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s2}}} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_c}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

(5) 鉛直方向の固有周期

図4-3におけるばね定数は次式で求める。

$$K_v = \frac{1000}{\frac{h_1}{A_s \cdot E_s}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_3 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_v}} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、「6.1 設計基準対象施設としての評価結果」及び「6.2 重大事故等対処設備としての評価結果」の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を、表 4-1 に示す。計算結果より、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期(s)

水平方向		鉛直方向
長手方向	横方向	
0.005	0.017	0.002

5. 地震応答解析及び構造強度評価

5.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 地震力は、容器に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、原則として、強度評価において組合せるものとする。なお、基礎ボルトにおいては、作用する荷重の算出において組合せるものとする。
- (2) 容器の胴は4個の脚で支持され、脚はそれぞれ基礎に基礎ボルトで取り付ける。
- (3) 胴と脚との取付部において胴の局部変形を考慮する。
- (4) 脚は全脚固定とし、水平方向荷重は全ての脚で受けるものとする。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-2に示す。

5.2.2 許容応力

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの許容応力を表5-3～表5-4に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-5に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-6に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電 用原子炉の 附属施設	非常用電源 設備	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機 空気だめ	S	クラス3容器*1	$D + P_D + M_D + S_d^{*2}$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *1: クラス3容器の支持構造物を含む。
*2: S_sと組み合わせ、Ⅲ_ASの評価を実施する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電 用原子炉の 附属施設	非常用電源 設備	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機 空気だめ	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 クラス2容器*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界を 用いる。)

注記 *1: 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。
*2: 重大事故等クラス2容器の支持構造物を含む。
*3: 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため, 評価結果の記載を省略する。

表5-3 許容応力 (クラス2, 3 容器及び重大事故等クラス2 容器)

許容応力状態	許容限界 ^{*1}			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と1.2・Sのうち大きい方とする。	左欄の1.5倍の値	弾性設計用地震動S _d 又は基準地震動S _s ^{*2} のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば疲労解析は不要。	
Ⅳ _A S				
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値	基準地震動S _s ^{*2} のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば疲労解析は不要。	

注記 *1: 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2: 2・S_yを超えるときは弾塑性解析若しくは設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。S_mは 2/3・S_y と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表5-4 許容応力（クラス2，3支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴	SM50B*1 (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	60	—	304	471	—
脚		周囲環境温度		—	309	480	—
基礎ボルト		周囲環境温度		—	231	394	—

[Redacted]

表 5-6 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴	SM50B*1 (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	60	—	304	471	—
脚		周囲環境温度		—	309	480	—
基礎ボルト		周囲環境温度		—	231	394	—

[Redacted]

5.3 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、
添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。
評価に用いる設計用地震力を表5-7及び表5-8に示す。

表 5-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 EL. -4.0 ^{*1}	0.017	0.002	— ^{*2}	— ^{*2}	$C_H =$ 0.87	$C_V =$ 0.90

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：Ⅲ_AS については、基準地震動 S_s で評価する。

表 5-8 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 EL. -4.0 [*]	0.017	0.002	—	—	$C_H =$ 0.87	$C_V =$ 0.90

注記 *：基準床レベルを示す。

5.4 解析モデル及び諸元

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの解析モデルを図5-1に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表5-9に示す。

- (1) 空気だめをシェル要素でモデル化したFEMモデルによって求める。
- (2) 拘束条件は、脚を脚底面ボルト位置で変位3(X, Y, Z)方向拘束、脚底面を鉛直(Z)方向フリーとする。
- (3) 解析コードは、「ABAQUS」を使用し、胴、脚及び基礎ボルトの応力を求める。
 なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「V-5-5 計算機プログラム（解析コード）の概要・ABAQUS」に示す。

表5-9 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	<input type="text"/>
質量	m_o	kg	2000
温度条件 (雰囲気温度)	胴	T	℃
	脚	T_s	℃
縦弾性係数	胴	E	MPa
	脚	E_s	MPa
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	13544
節点数	—	個	13522
<input type="text"/>			

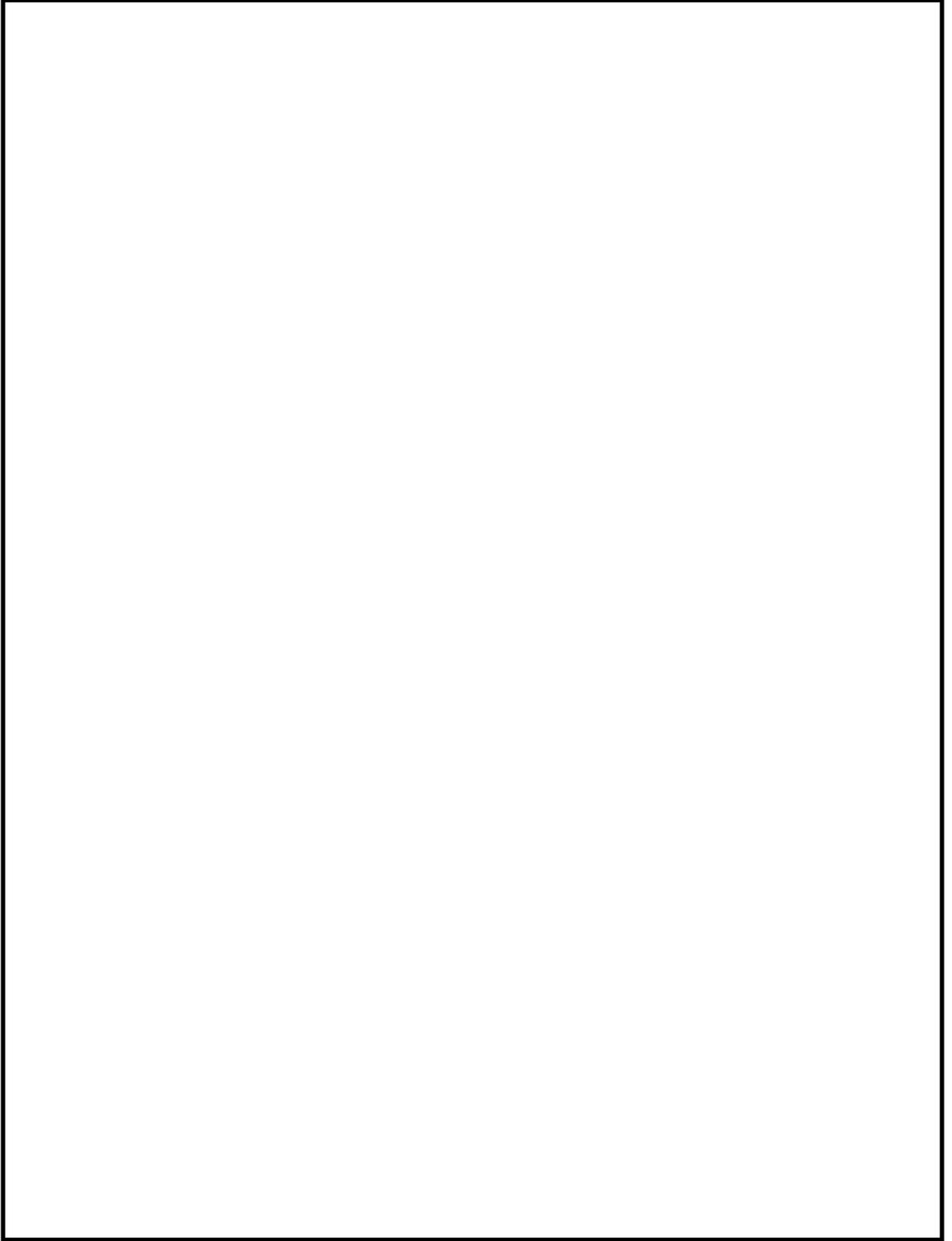


図5-1 解析モデル

5.5 計算方法

(1) 胴の応力

FEM解析結果から得られる各部材（シェル要素）の応力成分より各種応力を算出する。
 胴については、以下の式を用いて応力を算出する。

a. 一次一般膜

$$\sigma_0 = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{0x} + \sigma_{0y}) + \sqrt{(\sigma_{0x} - \sigma_{0y})^2 + 4 \cdot \tau_{0xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.1)$$

b. 一次応力

$$\sigma_1 = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1x} + \sigma_{1y}) + \sqrt{(\sigma_{1x} - \sigma_{1y})^2 + 4 \cdot \tau_{1xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.2)$$

c. 一次+二次応力

$$\sigma_2 = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{2x} + \sigma_{2y}) + \sqrt{(\sigma_{2x} - \sigma_{2y})^2 + 4 \cdot \tau_{2xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.3)$$

表5-10 FEM解析による胴の応力成分

項目	記号	単位	応力値
胴の長手方向一次一般膜応力	σ_{0x}	MPa	44.7
胴の周方向一次一般膜応力	σ_{0y}	MPa	89.8
胴の一次一般膜せん断応力	τ_{0xy}	MPa	0.0
胴の長手方向一次応力	σ_{1x}	MPa	41.3
胴の周方向一次応力	σ_{1y}	MPa	105.9
胴の一次せん断応力	τ_{1xy}	MPa	7.1
胴の長手方向一次+二次応力	σ_{2x}	MPa	20.0
胴の周方向一次+二次応力	σ_{2y}	MPa	23.4
胴の一次+二次せん断応力	τ_{2xy}	MPa	8.6

(2) 脚の応力

FEM解析結果から得られる各部材（シェル要素）の応力成分より各種応力を算出する。
脚については、以下の式を用いて応力を算出する。

a. 一次応力

$$\sigma_{s1} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{s1x} + \sigma_{s1y}) + \sqrt{(\sigma_{s1x} - \sigma_{s1y})^2 + 4 \cdot \tau_{s1xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.4)$$

b. 一次+二次応力

$$\sigma_{s2} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{s2x} + \sigma_{s2y}) + \sqrt{(\sigma_{s2x} - \sigma_{s2y})^2 + 4 \cdot \tau_{s2xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.5)$$

表5-11 FEM解析による脚の応力成分

項目	記号	単位	応力値
脚のシェル要素における x 方向一次応力	σ_{s1x}	MPa	79.6
脚のシェル要素における y 方向一次応力	σ_{s1y}	MPa	0.8
脚のシェル要素における一次せん断応力	τ_{s1xy}	MPa	4.1
脚のシェル要素における x 方向一次+二次応力	σ_{s2x}	MPa	9.0
脚のシェル要素における y 方向一次+二次応力	σ_{s2y}	MPa	28.0
脚のシェル要素における一次+二次せん断応力	τ_{s2xy}	MPa	2.5

(3) 基礎ボルトの応力

F E M解析結果から得られる基礎ボルト固定位置における最大荷重を用いて、各種応力を算出する。

基礎ボルトについては、以下の式を用いて応力を算出する。

a. 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_{tb}}{A_b} \dots\dots\dots (5.5.6)$$

b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{F_{sb}}{A_b} \dots\dots\dots (5.5.7)$$

表5-12 F E M解析による基礎ボルトの最大荷重

項目	記号	単位	荷重値
ボルト1本あたりに作用する引張力	F _{tb}	N	4.095×10 ³
ボルト1本あたりに作用するせん断力	F _{sb}	N	2.726×10 ⁴

5.6 計算条件

応力解析に用いる自重（胴，脚及び基礎ボルト）は、本計算書の【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.7 応力の評価

5.7.1 胴及び脚の応力評価

4.6項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度及び脚の周囲環境温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は5.5.2項 表5-3による。

5.7.2 基礎ボルトの応力評価

4.6項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.7.2.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。なお、弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめ	S	原子炉建屋 EL. -4.0* ¹	0.017	0.002	—* ²	—* ²	C _H =0.87	C _V =0.90	3.24	60	□

注記 *1: 基準床レベルを示す。
*2: III_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。

1.2 機器要目

m _o (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)
2000	1200	22.0	22.0	2.128×10 ⁸	5.230×10 ⁸

A _s (mm ²)	E (MPa)	E _s (MPa)	G _s (MPa)	A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	n	A _b (mm ²)
5.333×10 ⁴	201000 * ¹	201000 * ²	77300	2.153×10 ⁴	3.133×10 ⁴	4	452.4 (M24)

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S _y (脚) * (MPa)	S _u (脚) (MPa)	S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)
304 * ¹	471 * ¹	309 * ²	480 * ²	231 * ²	394 * ²	231	276

注記 *1: 最高使用温度で算出
*2: 周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(単位：MPa)

応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	発生応力	発生応力
一次一般膜	—	$\sigma_0 = 90$
一 次	—	$\sigma_1 = 107$
一次＋二次	—	$\sigma_2 = 31$

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	発生応力	発生応力
一 次	—	$\sigma_{s1} = 80$
一次＋二次	—	$\sigma_{s2} = 29$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

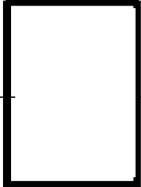
応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	発生応力	発生応力
引 張 り	—	$\sigma_b = 9$
せ ん 断	—	$\tau_b = 61$

NT2 補③ V-2-10-1-2-2 R1

1.4 結論

1.4.1 応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基 準 地 震 動 S_s	
			算出応力*1	許容応力	算出応力	許容応力
胴 板	SM50B	一次一般膜	$\sigma_0 = 90$	$S_a = 282$	$\sigma_0 = 90$	$S_a = 282$
		一 次	$\sigma_1 = 107$	$S_a = 423$	$\sigma_1 = 107$	$S_a = 423$
		一次 + 二次	$\sigma_2 = 31$	$S_a = 608$	$\sigma_2 = 31$	$S_a = 608$
脚		一 次	$\sigma_{s1} = 80$	$S_a = 432$	$\sigma_{s1} = 80$	$S_a = 432$
		一次 + 二次	$\sigma_{s2} = 29$	$S_a = 619$	$\sigma_{s2} = 29$	$S_a = 619$
基礎ボルト		引 張 り	$\sigma_b = 9$	$f_{ts} = 145^{*2}$	$\sigma_b = 9$	$f_{ts} = 192^{*2}$
		せ ん 断	$\tau_b = 61$	$f_{sb} = 133$	$\tau_b = 61$	$f_{sb} = 159$

すべて許容応力以下である。

注記 *1：基準地震動 S_s による算出値

*2： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機 空気だめ	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 EL. -4.0*	0.017	0.002	—	—	C _H =0.87	C _V =0.90	3.24	60	

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m _o (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	I _{s x} (mm ⁴)	I _{s y} (mm ⁴)
2000	1200	22.0	22.0	2.128×10 ⁸	5.230×10 ⁸

A _s (mm ²)	E (MPa)	E _s (MPa)	G _s (MPa)	A _{s 1} (mm ²)	A _{s 2} (mm ²)	n	A _b (mm ²)
5.333×10 ⁴	201000 ^{*1}	201000 ^{*2}	77300	2.153×10 ⁴	3.133×10 ⁴	4	452.4 (M24)

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S _y (脚)* (MPa)	S _u (脚) (MPa)	S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)
304 ^{*1}	471 ^{*1}	309 ^{*2}	480 ^{*2}	231 ^{*2}	394 ^{*2}	276

注記 *1 : 最高使用温度で算出
*2 : 周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(単位：MPa)

応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	発生応力	発生応力
一次一般膜	—	$\sigma_0 = 90$
一 次	—	$\sigma_1 = 107$
一次＋二次	—	$\sigma_2 = 31$

2.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	発生応力	発生応力
一 次	—	$\sigma_{s1} = 80$
一次＋二次	—	$\sigma_{s2} = 29$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

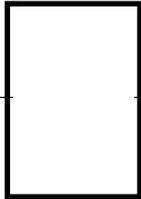
(単位：MPa)

応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	発生応力	発生応力
引 張 り	—	$\sigma_b = 9$
せ ん 断	—	$\tau_b = 61$

2.4 結論

2.4.1 応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基 準 地 震 動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴 板	SM50B	一次一般膜	—	—	$\sigma_0 = 90$	$S_a = 282$
		一 次	—	—	$\sigma_1 = 107$	$S_a = 423$
		一次 + 二次	—	—	$\sigma_2 = 31$	$S_a = 608$
脚		一 次	—	—	$\sigma_{s1} = 80$	$S_a = 432$
		一次 + 二次	—	—	$\sigma_{s2} = 29$	$S_a = 619$
基礎ボルト		引 張 り	—	—	$\sigma_b = 9$	$f_{ts} = 192^*$
		せ ん 断	—	—	$\tau_b = 61$	$f_{sb} = 159$

すべて許容応力以下である。

注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

V-2-5-5-4-2 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	7
3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	7
3.2 設計条件	8
3.3 材料及び許容応力	16
3.4 設計用地震力	17
4. 解析結果及び評価	18
4.1 固有周期及び設計震度	18
4.2 評価結果	24
4.2.1 管の応力評価結果	24
4.2.2 支持構造物評価結果	25
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	26
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	27

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」、添付書類「V-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」及び添付書類「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」に基づき、管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していること説明するものである。

評価結果の記載方法は以下に示す通りとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全8モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件および評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に支持点荷重が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

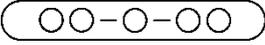
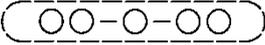
(3) 弁

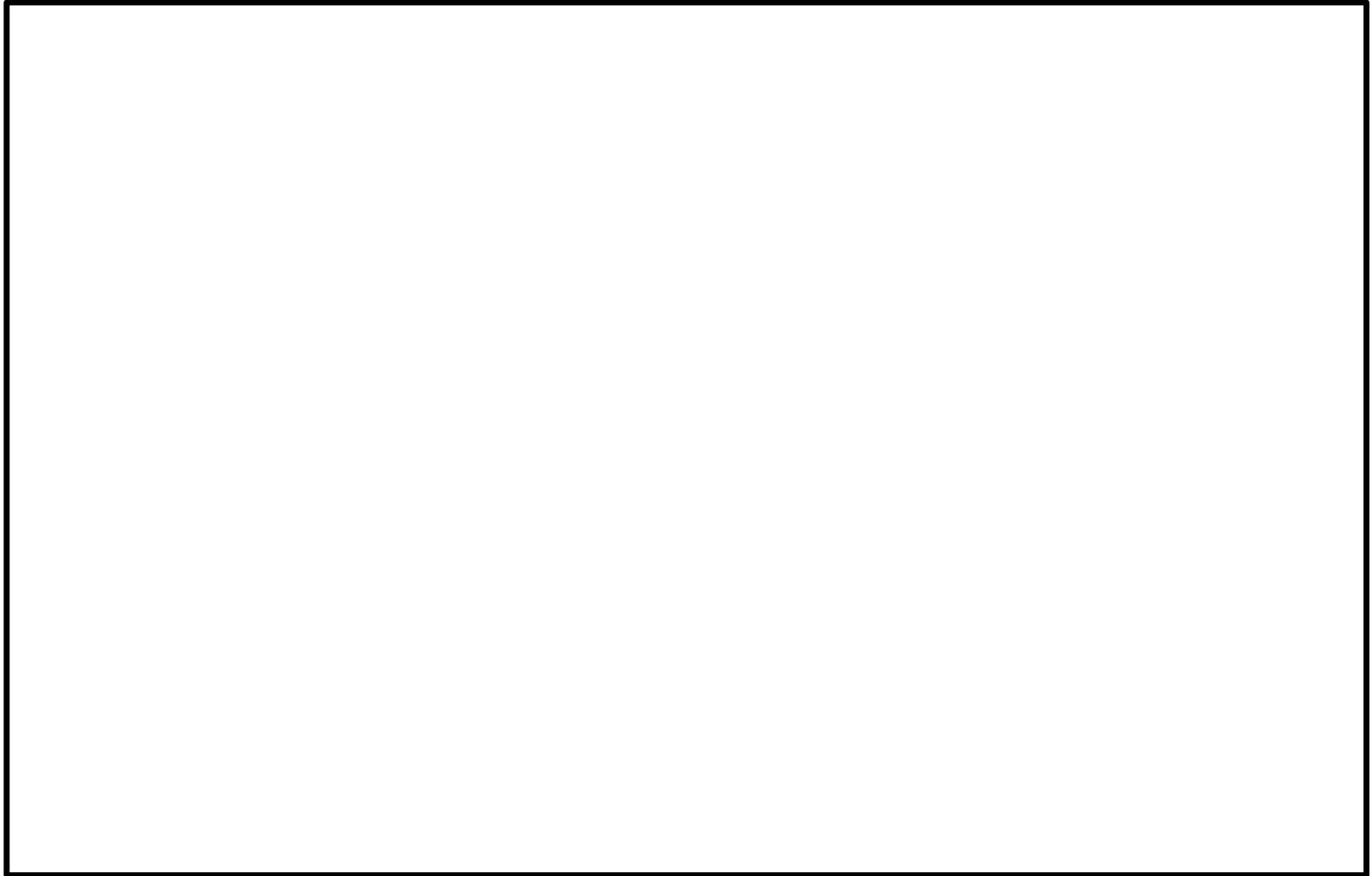
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

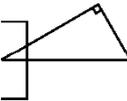
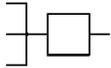
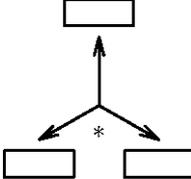
概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算 書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のう ち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する 管
	鳥瞰図番号 (鳥瞰図, 計算条件及び評価結果を記載する範 囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果のみを記載する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



2.2 鳥瞰図

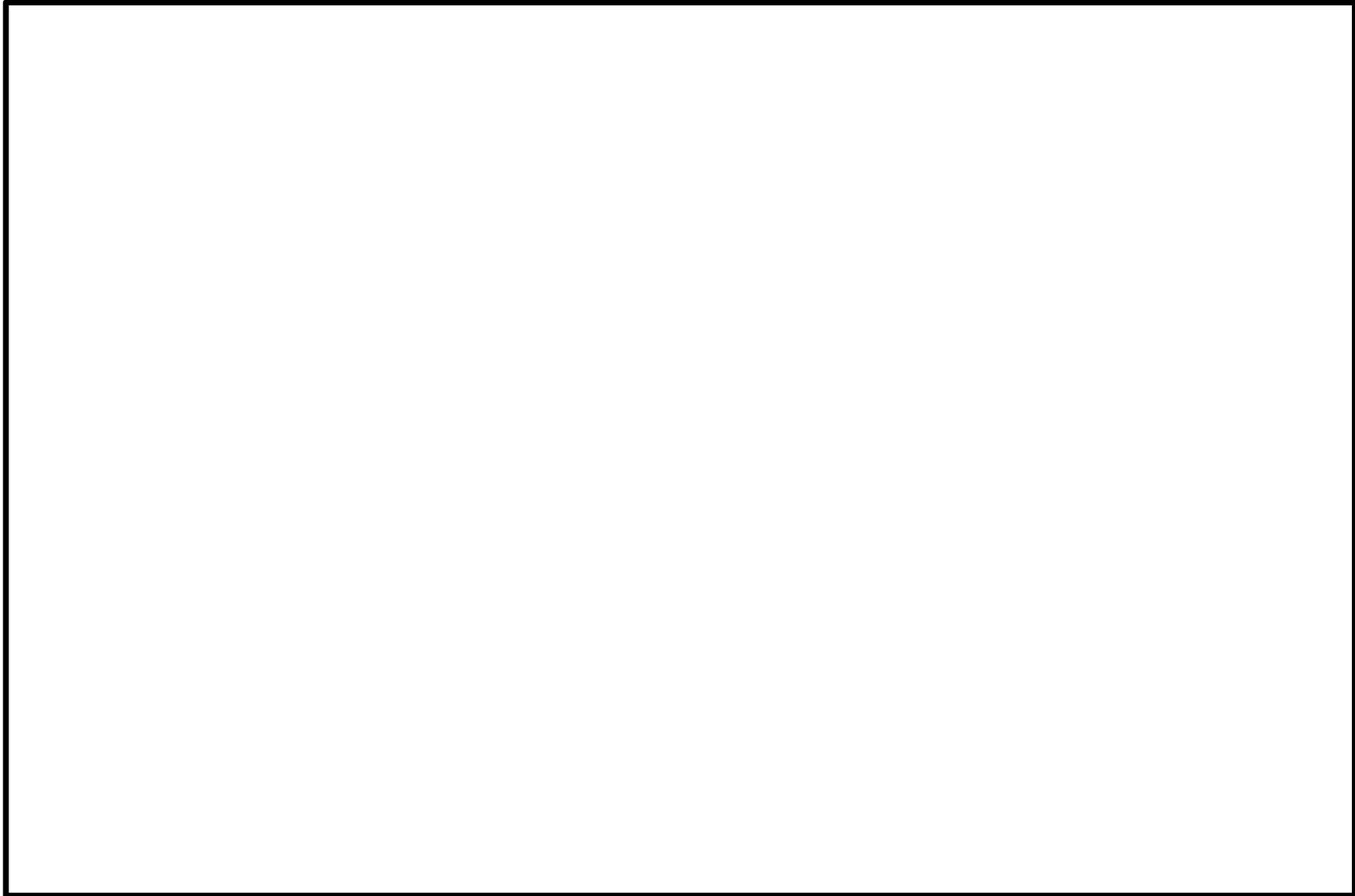
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	節 点
	質 点
	ア ン カ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	拘束点の地震による相対変位量 (mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, □内に変位量を記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。

5



9



3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷却設備	高压代替注水系	S A	常設耐震/防止	重大事故等 クラス2管	-	$V_L(L) + S_d^{*6,7}$	$V_A S$
	その他原子炉注水設備						$V_L(LL) + S_s^{*6}$	

注記 *1: D Bは設計基準対象施設, S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2: 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3: 運転状態の添字Lは荷重, (L)は荷重が長期間作用している状態, (LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4: 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5: 許容応力状態 $V_A S$ は許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界を使用し, 許容応力状態 $IV_A S$ として評価を実施する。

*6: プロセス条件に加え, 重大事故時の原子炉格納容器バウンダリ条件として, 重大事故時の原子炉格納容器限界温度及び圧力を考慮する。

*7: 荷重の組合せ $V_L(L) + S_d$ は $V_L(LL) + S_s$ に包絡されるため, 評価を省略する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図番号 AHPI-3

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	801, 1, 3, 600, 802, 4 6, 7, 9, 311, 901, 312 10, 12, 803, 13, 15, 602 804, 603, 805, 604, 806, 16 18, 605, 19, 21, 807, 22 24, 25, 27, 28, 606, 30 808, 607, 809, 608, 810, 609 31, 33, 811, 610, 34, 36 37, 39, 40, 42, 812, 611 813, 43, 45, 46, 48, 612 814, 613, 49, 51, 52, 54 815, 614, 55, 57, 816, 58 60, 817, 61, 63, 64, 66 67, 69, 70, 72, 818, 73 75, 76, 78, 615, 79, 81 82, 84, 819, 85, 616, 87 820, 88	8.62	302	114.3	8.6	STPT410	—	<input type="text"/>

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図番号 AHPI-3

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	617, 90, 821, 91, 93, 618 94, 96, 822, 619, 823, 97 99, 100, 102, 412, 411, 221	8.62	302	114.3	8.6	STPT410	—	
2	222, 501, 103, 105, 502, 1001	8.62	302	89.1	7.6	STPT410	—	

配管の付加質量

鳥瞰図番号 AHPI-3

質量	対応する評価点
	801, 1, 3, 600, 802, 4, 6, 7, 9, 311, 901, 312, 10, 12
	803, 13, 15, 602, 804, 603, 805, 604, 806, 16, 18, 605, 19, 21
	807, 22, 24, 25, 27, 28, 606, 30, 808, 607, 809, 608, 810, 609
	31, 33, 811, 610, 34, 36, 37, 39, 40, 42, 812, 611, 813, 43
	45, 46, 48, 612, 814, 613, 49, 51, 52, 54, 815, 614, 55, 57
	816, 58, 60, 817, 61, 63, 64, 66, 67, 69, 70, 72, 818, 73
	75, 76, 78, 615, 79, 81, 82, 84, 819, 85, 616, 87, 820, 88
	617, 90, 821, 91, 93, 618, 94, 96, 822, 619, 823, 97, 99, 100
	102, 412, 411, 221
	222, 501, 103, 105, 502, 1001

フランジ部の質量

鳥瞰図番号 AHPI-3

質量	対応する評価点
	501
	502

弁部の質量

鳥瞰図番号 AHPI-3

質量	対応する評価点
	901
	951

弁部の寸法

鳥瞰図番号 AHPI-3

評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
901			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図番号 AHPI-3

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
801						
802						
803*						
803*						
804						
805						
806						
807						
808						
809						
810						
811*						
811						
812*						
812						
813*						
813						
814*						
814						
815*						

NT2 補② V-2-5-5-4-2 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図番号 AHPI-3

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
815						
816*						
816*						
817						
818						
819						
820*						
820*						
821						
822						
823*						
823*						
1001						

NT2 補② V-2-5-5-4-2 R1

3.3 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STPT410	302	—	182	404	103

3.4 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお、設備評価用床応答曲線は、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
AHPI-3	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図番号 AHPI-3

耐震設計上の重要度分類		—		
適用する地震動等		S _s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度* ¹		応答鉛直 震度* ¹
		X方向	Z方向	Y方向
		3.25	3.25	4.96
		3.25	3.25	4.21
		2.66	2.66	3.13
		1.42	1.42	2.07
		1.10	1.10	1.82
		1.08	1.08	1.82
		1.08	1.08	1.82
		1.08	1.08	1.82
		0.92	0.92	0.80
		0.92	0.92	0.80
動的震度* ²		1.10	1.10	0.96

注記 *1：各モードの固有周期に対し、設備評価用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：S_d 又はS_s 地震動に基づく最大設計用床応答加速度より定めた震度を示す。

*3：固有周期が0.050s 以下であることを示す

各モードに対応する刺激係数

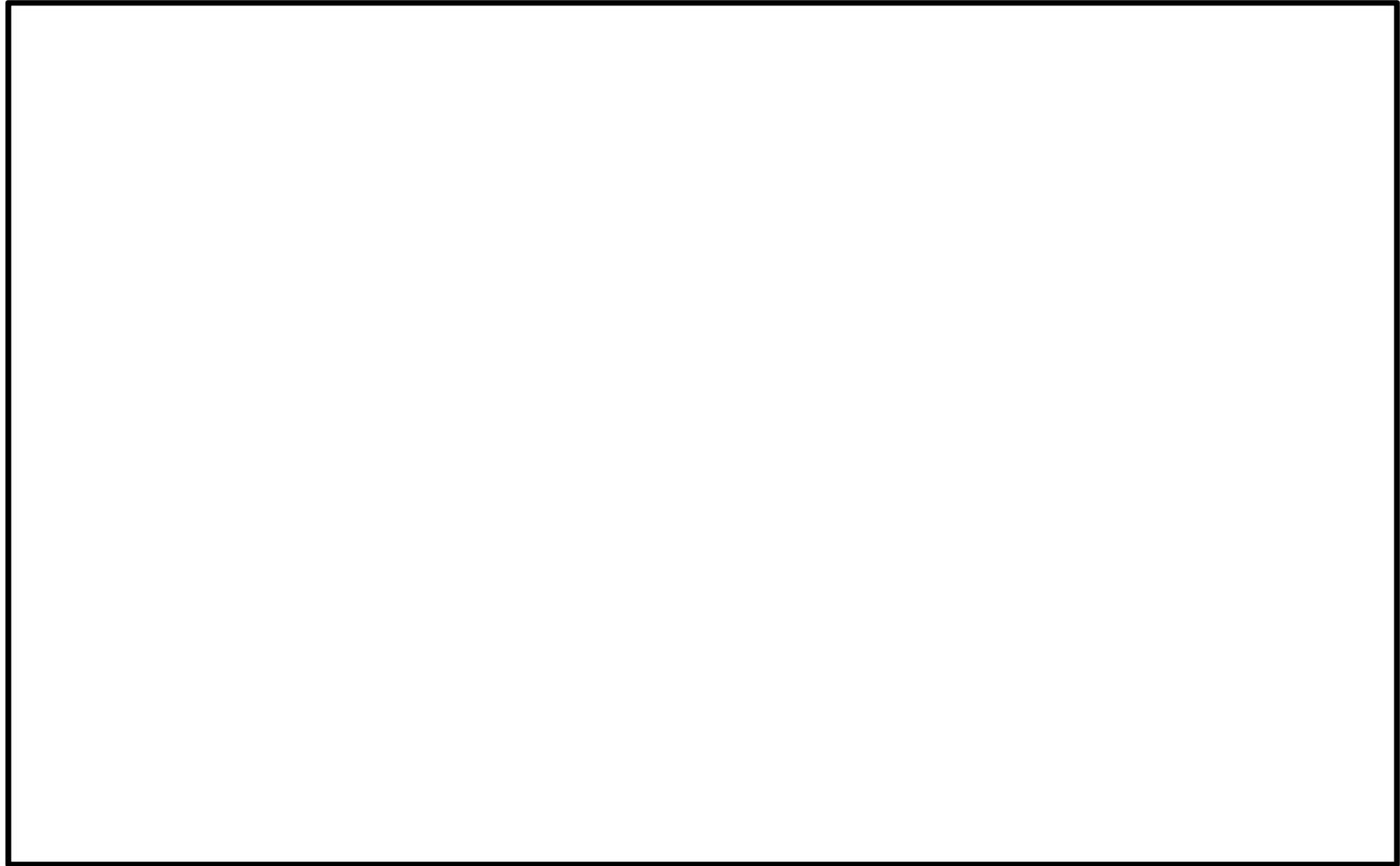
鳥瞰図番号 AHPI-3

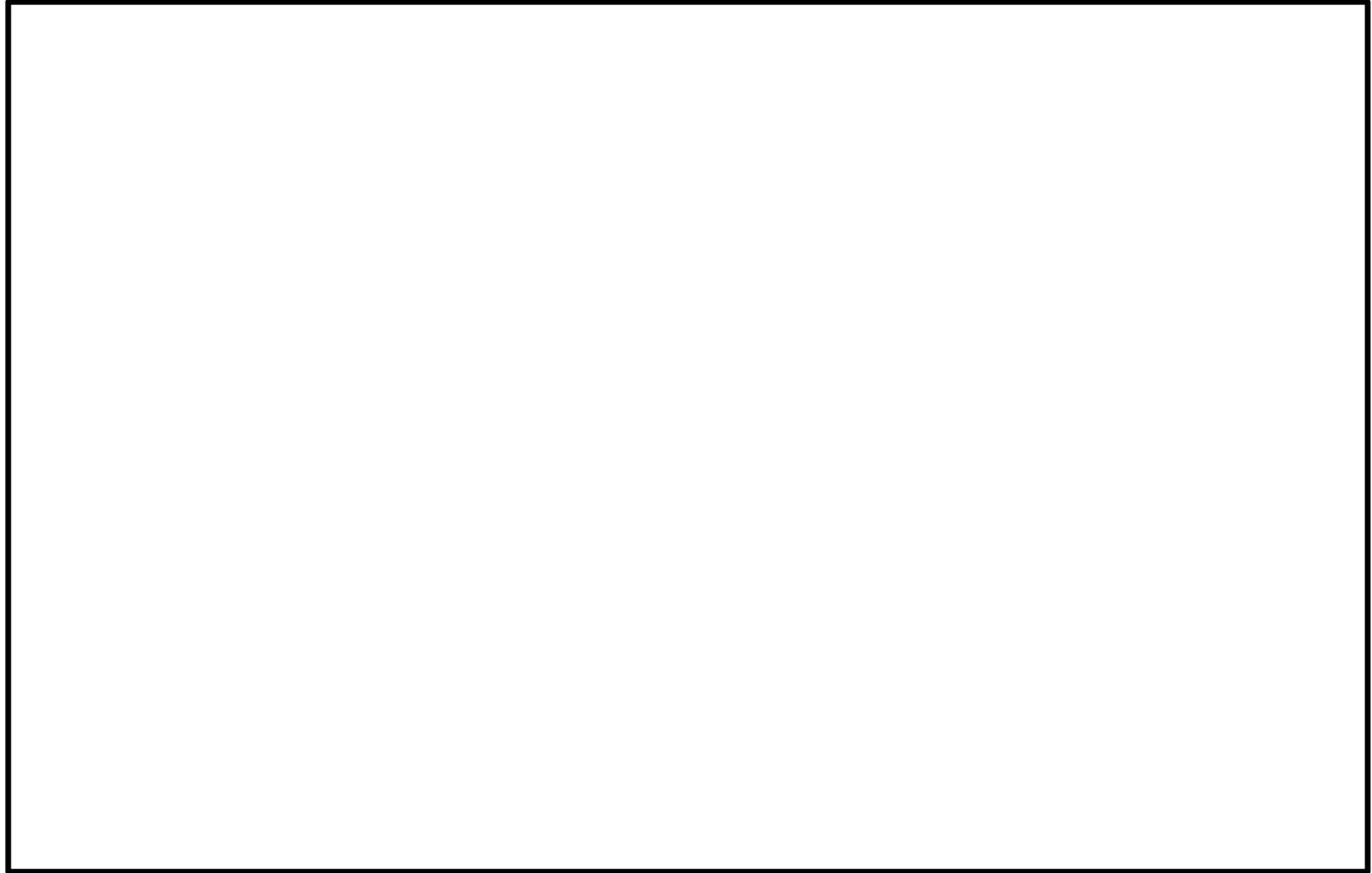
モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向

NT2 補② V-2-5-5-4-2 R1

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。





4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{prm} (S_s)$	許容応力 $0.9 S_u$	計算応力 $S_n (S_s)$	許容応力 $2 S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
AHPI-3	$V_A S$	4	$S_{prm} (S_s)$	□	363	—	—	—
AHPI-3	$V_A S$	9	$S_n (S_s)$	—	—	□	364	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果(荷重評価)

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					支持点荷重 (kN)	許容荷重 (kN)
SNO-AHPI-2-005	オイルスナップ	SN-3	「V-2-1-11 機器・配 管の耐震支持設計方 針」参照		26	45
RO-AHPI-4-001	ロッドレストレイント	RSA-6			67	108

25

支持構造物評価結果(応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-AHPI-4-022	レストレイント	サドル	SS400	135	80	25	—	—	—	—	せん断	38	65
AN-AHPI-4-007	アンカ	ラグ	STKR400 STPT410	135	62	12.4	50	16.4	78	40	組合せ	202	223

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	型式	要求 機能	応答加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
SA13-MO-F300	一般弁	β (S_s)	3.5	1.0	6.0	6.0	—	—

※応答加速度は打ち切り振動数 50Hz として計算した結果を示す。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2範囲）

No.	配管モデル	供用状態 (IV _A S)												
		一次応力 (膜+曲げ)					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	AHPI-1	1		363		—	1		434		—	—	—	—
2	AHPI-2	15		363		—	15		434		—	—	—	—
3	AHPI-3	4		363		○	9		364		○	—	—	—
4	AHPI-4	810		363		—	810		430		—	—	—	—
5	RCIC-14, 15, 16, 17, 18	192		363		—	192		434		—	—	—	—
6	HPCS-R-1	60		363		—	53		428		—	—	—	—
7	RCIC-4	61		363		—	61		430		—	—	—	—
8	RCIC-5, 6	408A		363		—	408A		364		—	—	—	—

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-690 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-5-4-4-3 管の応力計算書

まえがき

本計算書は、添付書類「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及び添付書類「V-3-2-11 重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果は以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「V-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

評価条件整理表

応力計算 モデルNo.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
AHPI-3	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	8.62	302	—	—	設計・ 建設規格	—	SA-2

目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	7
3.1 設計条件	7
3.2 材料及び許容応力	11
4. 評価結果	12
5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	13

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及び添付書類「V-3-2-11 重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づき、管についての計算を実施した結果を示す旨を記載する。

また、評価結果の記載方法は以下に示す通りとする。

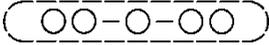
(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全8モデルのうち、最大応力評価点の許容値/発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定及び全モデルの評価結果を5.に記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

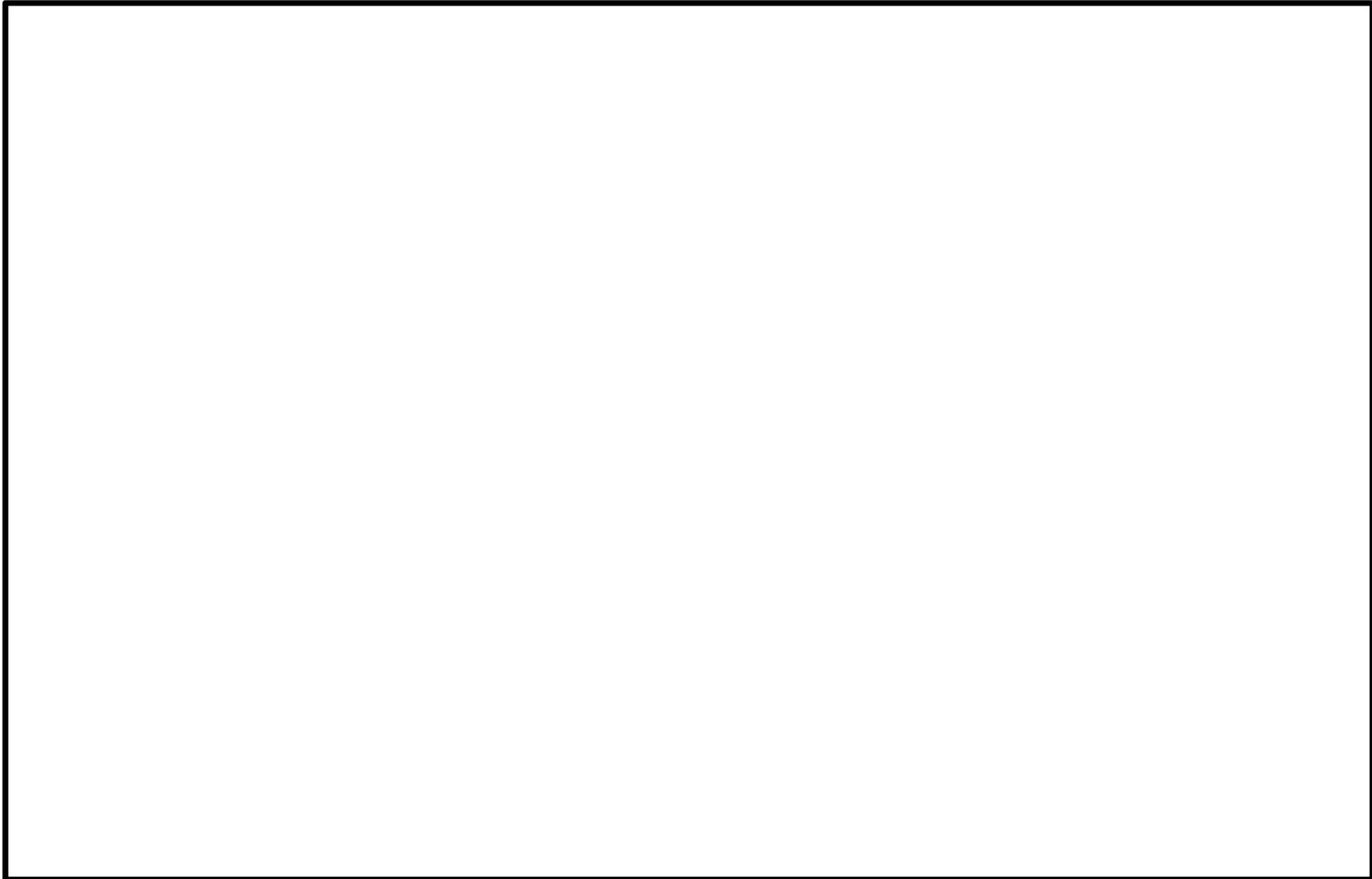
2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算 書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のう ち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する 管
	鳥瞰図番号 (鳥瞰図, 計算条件及び評価結果を記載する範 囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果のみ記載を省略する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス1管
DB2	クラス2管
DB3	クラス3管
DB4	クラス4管
SA2	重大事故等クラス2管
SA3	重大事故等クラス3管
DB1/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス1管
DB2/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス2管
DB3/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス3管
DB4/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス4管

NT2 補② V-3-5-4-4-3 R1

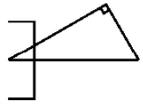
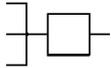
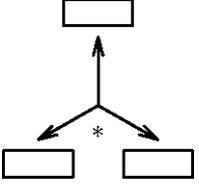
3



高压代替注水系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(S A)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(D B)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	節 点
	質 点
	ア ン カ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	拘束点の地震による相対変位量 (mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, □内に変位量を記載する。)
注： 鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。	



5

9



3. 計算条件

3.1 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図番号 AHPI-3

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
1	801, 1, 3, 600, 802, 4 6, 7, 9, 311, 901, 312 10, 12, 803, 13, 15, 602 804, 603, 805, 604, 806, 16 18, 605, 19, 21, 807, 22 24, 25, 27, 28, 606, 30 808, 607, 809, 608, 810, 609 31, 33, 811, 610, 34, 36 37, 39, 40, 42, 812, 611 813, 43, 45, 46, 48, 612 814, 613, 49, 51, 52, 54 815, 614, 55, 57, 816, 58 60, 817, 61, 63, 64, 66 67, 69, 70, 72, 818, 73 75, 76, 78, 615, 79, 81 82, 84, 819, 85, 616, 87 820, 88	8.62	302	114.3	8.6	STPT410

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図番号 AHPI-3

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
1	617, 90, 821, 91, 93, 618 94, 96, 822, 619, 823, 97 99, 100, 102, 412, 411, 221	8.62	302	114.3	8.6	STPT410
2	222, 501, 103, 105, 502, 1001	8.62	302	89.1	7.6	STPT410

弁部の質量

鳥瞰図番号 AHPI-3

質量	対応する評価点
	901
	951

弁部の寸法

鳥瞰図番号 AHPI-3

評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
901			

3.2 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STPT410	302	—	182	404	103

注記 *1：評価に使用しない許容応力については「—」と記載する

4. 評価結果

下表に示すとおり最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス2管

設計・建設規格 PPC-3500 による評価結果

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)	
			計算応力	許容応力
			$S_{prm}(1)$	$1.5 S_h$
AHPI-3	6	$S_{prm}(1)$	118	154
AHPI-3	6	$S_{prm}(2)$	118	185

5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2範囲）

No.	配管モデル	Sprm(1)					Sprm(2)				
		一次応力					一次応力				
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表
1	AHPI-1	1		154		—	1		185		—
2	AHPI-2	42		154		—	42		185		—
3	AHPI-3	6		154		○	6		185		○
4	AHPI-4	411		154		—	411		185		—
5	RCIC-14, 15, 16, 17, 18	192		154		—	192		185		—
6	HPCS-R-1	54		154		—	54		185		—
7	RCIC-4	46		154		—	46		185		—
8	RCIC-5, 6	403		154		—	403		185		—

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-691 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-4-3-2-1 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	10
3.1 荷重の組合せ及び許容応力	10
3.2 設計条件	11
3.3 材料及び許容応力	17
3.4 設計用地震力	18
4. 解析結果及び評価	19
4.1 固有周期及び設計震度	19
4.2 評価結果	25
4.2.1 管の応力評価結果	25
4.2.2 支持構造物評価結果	26
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	27
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	28

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」，「V-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」及び「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」に基づき、管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は以下に示す通りとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全3モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に支持点荷重が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

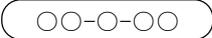
(3) 弁

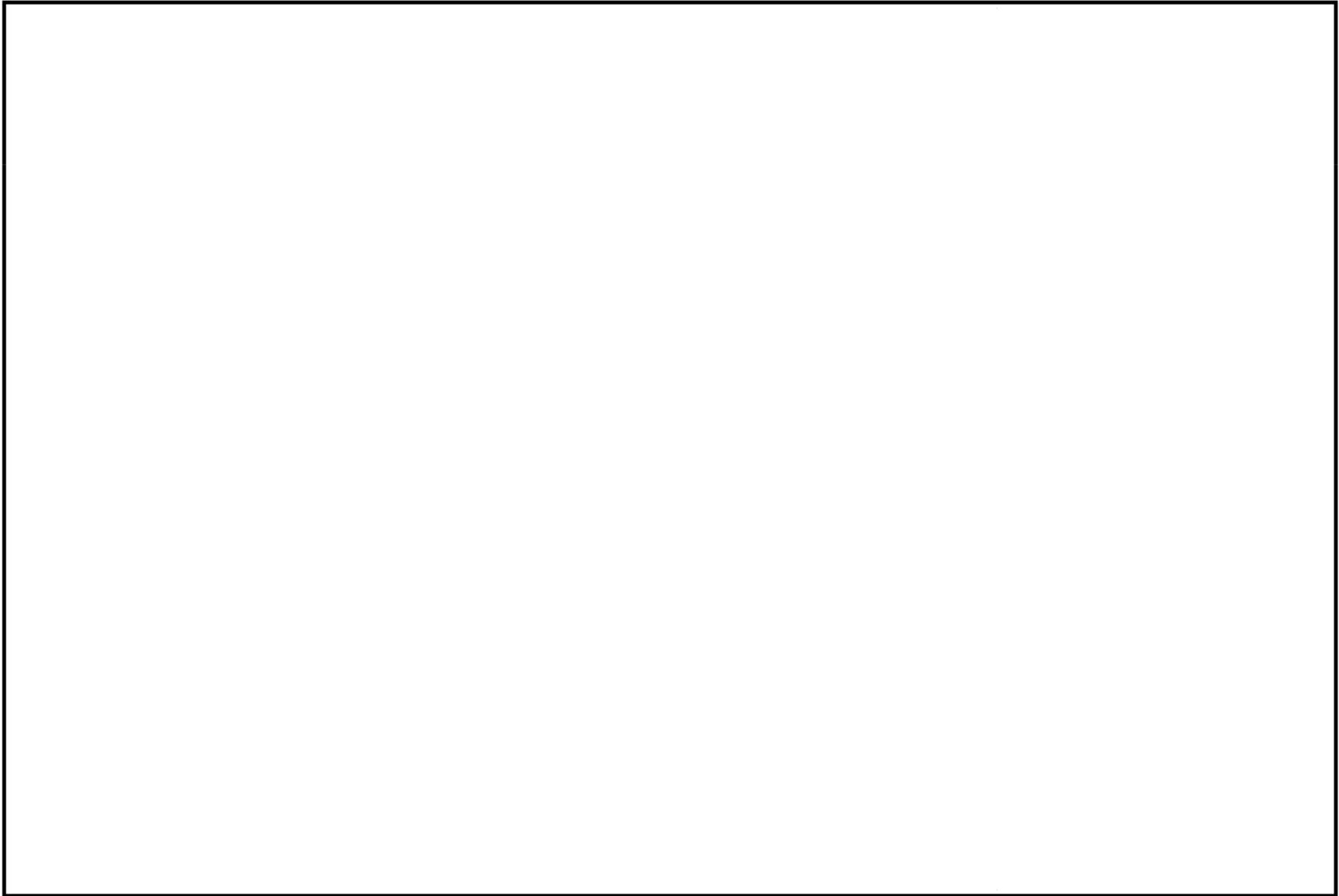
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

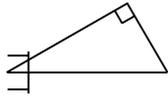
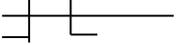
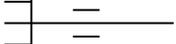
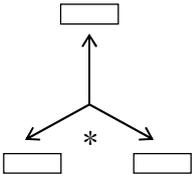
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (鳥瞰図, 計算条件及び評価結果を記載す る範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果のみ記載する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



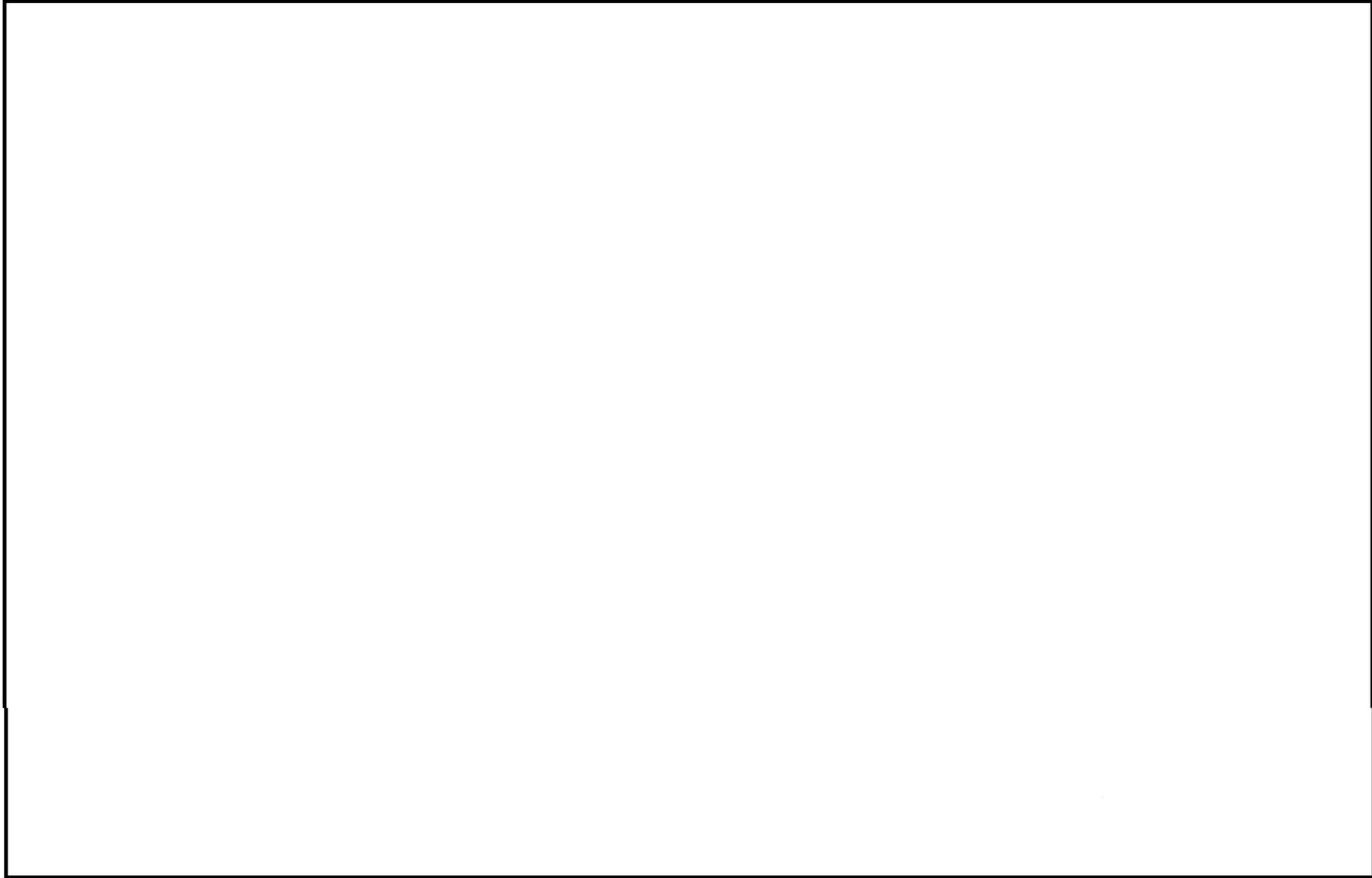
代替燃料プール注水系概略系統図

2.2 鳥瞰図

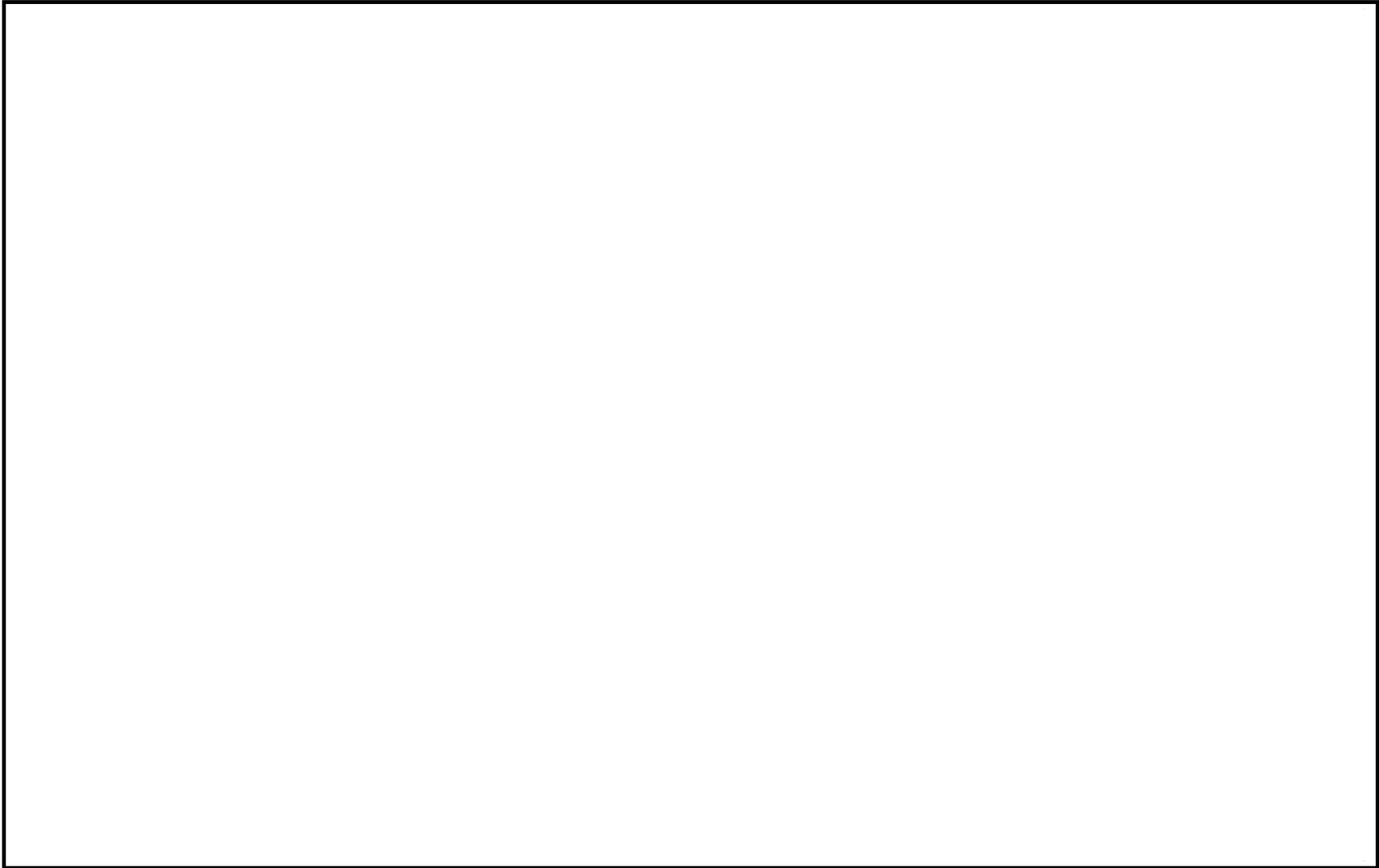
鳥瞰図記号凡例

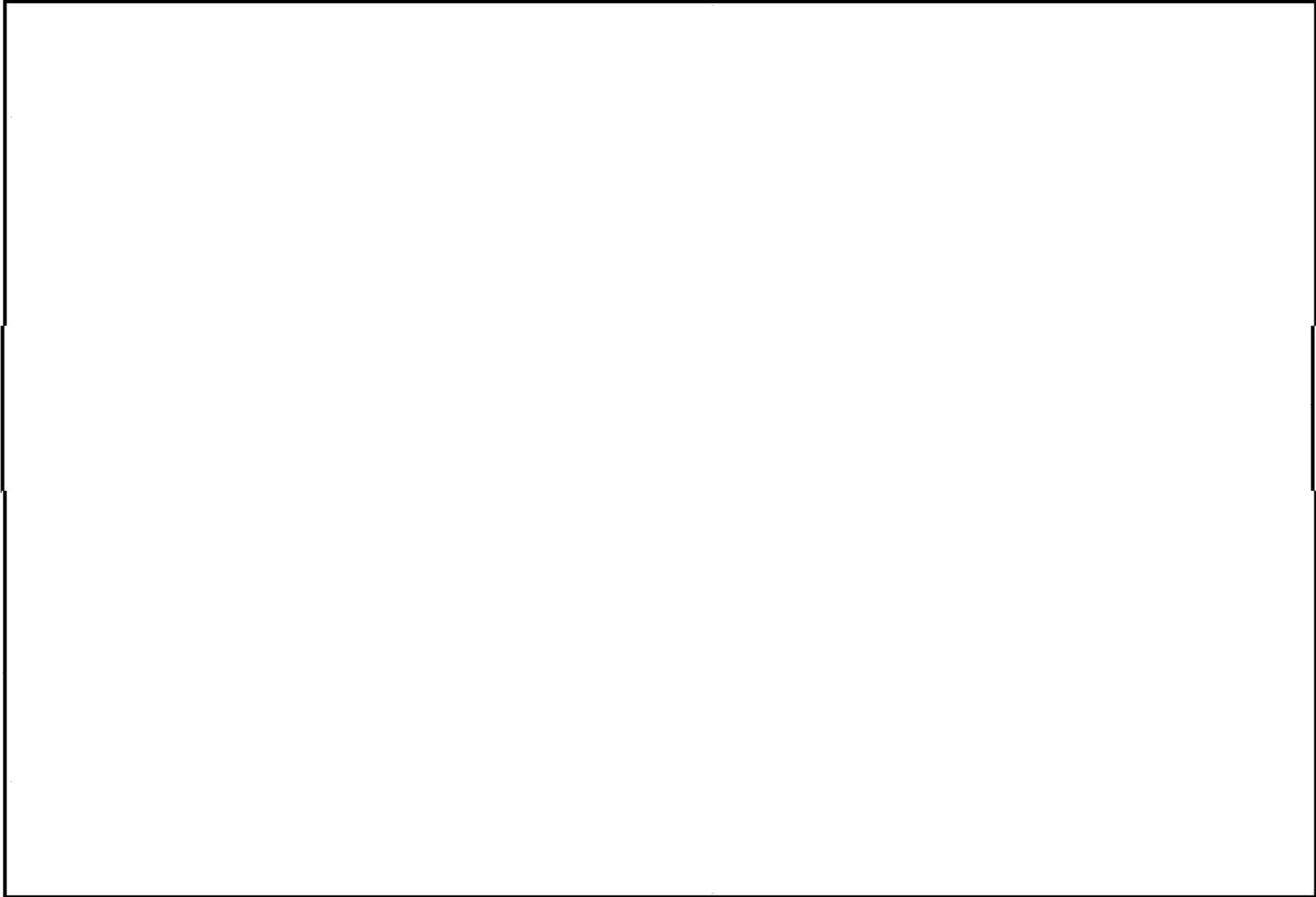
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッパについても同様とする。)
	スナッパ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, □内に変位量を記載する。)

注：鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。

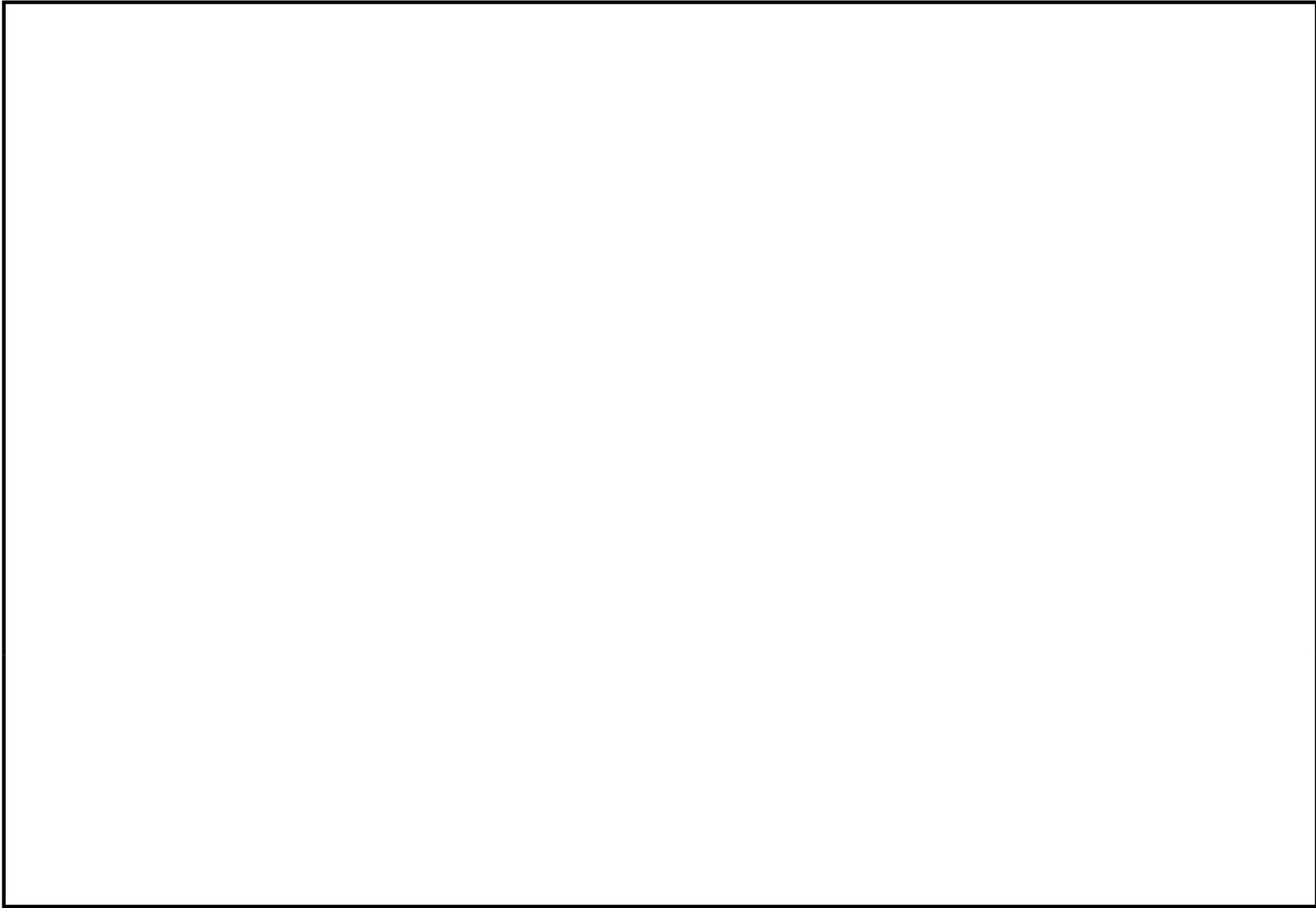


5

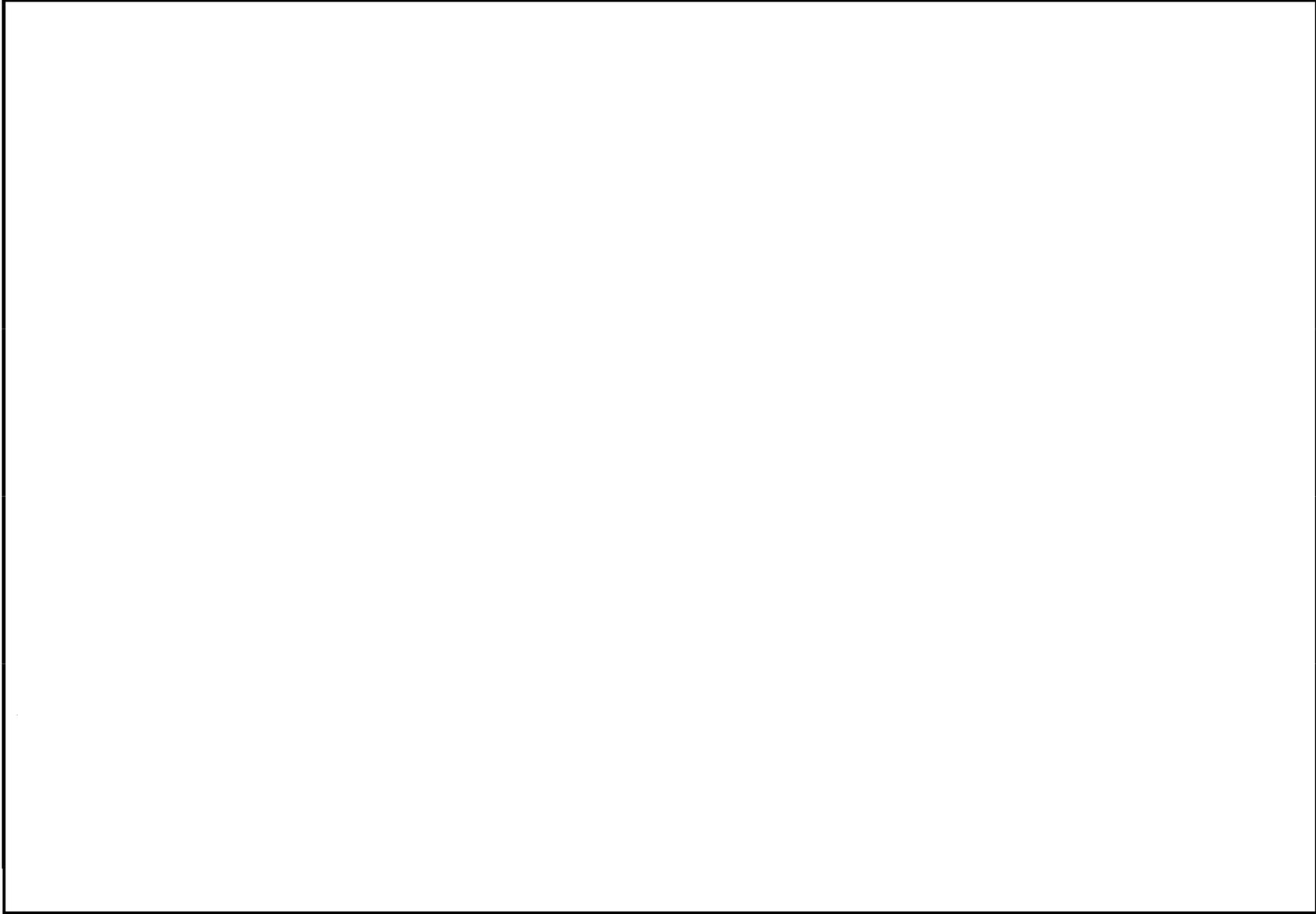




7



8



3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備	代替燃料プール注水系	S A	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	V _L + S _s	V _A S

注記*1： DBは設計基準対象施設，S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2： 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3： 運転状態の添字Lは荷重，(L)は荷重が長期間作用している状態，(LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4： 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5： 許容応力状態V_A Sは許容応力状態IV_A Sの許容限界を使用し，許容応力状態IV_A Sとして評価を実施する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 ALPI-004R4F

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	A00～A48, A42～B04 A48～D02, A48～E05	1.40	66	216.3	8.2	STPT410	—	
2	D03～D04, D06～D08 D10～D17, E06～E44 E46～E63	1.40	66	114.3	6.0	STPT410	—	
3	E64～E88, E88～F06 E88～G02, G04～G12 G14～G16	1.40	66	89.1	5.5	STPT410	—	
4	F08～H01	1.00	66	89.1	5.5	STPT410	—	

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 ALPI-004R4F

質量	対応する評価点
	E20

弁部の寸法

鳥 瞰 図 ALPI-004R4F

評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
D04～D06				D05～D05A			
D05A～D05B				D05B～D05C			
D08～D10				D09～D09A			
D09A～D09B				D09B～D09C			
E44～E46				E45～E45A			
E45A～E45B				E45B～E45C			
F06～F08				F07～F07A			
F07A～F07B				F07B～F07C			
G02～G04				G03～G03A			
G03A～G03B				G03B～G03C			
G12～G14							

NT2 補② V-2-4-3-2-1 R2

弁部の質量

鳥 瞰 図 ALPI-004R4F

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	D04, D06, E44, E46		D05, E45
	D05A, E45A		D05C, E45C
	D08, D10		D09
	D09A		D09C
	F06, F08, G02, G04		F07, G03
	F07A, G03A		F07C, G03C
	G12, G14		G13

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 ALPI-004R4F

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
A00						
A05						
A08						
A10						
A14						
A18						
A22						
A24						
A32						
A36						
B02						
B04						
D05B						
D07						
D09B						
D11						
D15						
D17						
E04						
E13						
E16						
E23						
E25						
E27						
E31						
E34						
E37						
E41						
E45B						
E47						

NT2 補② V-2-4-3-2-1 R2

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 ALPI-004R4F

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
E50						
E54						
E59						
E62						
E69						
E73						
E79						
E83						
G03B						
G06						
G11						
F02						
F05						
F07B						
H01						

NT2 補② V-2-4-3-2-1 R2

3.3 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S h
STPT410	66	—	231	407	—

3.4 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお、設備評価用床応答曲線は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
ALPI-004R4F	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 ALPI-004R4F

耐震設計上の重要度分類		—		
適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向
		4.80	4.80	6.82
		4.71	4.71	6.82
		4.71	4.71	6.82
		4.40	4.40	6.82
		2.56	2.56	6.90
		2.06	2.06	4.92
		1.99	1.99	4.59
		—	—	—
動的震度		2.09	2.09	1.77

各モードに対応する刺激係数

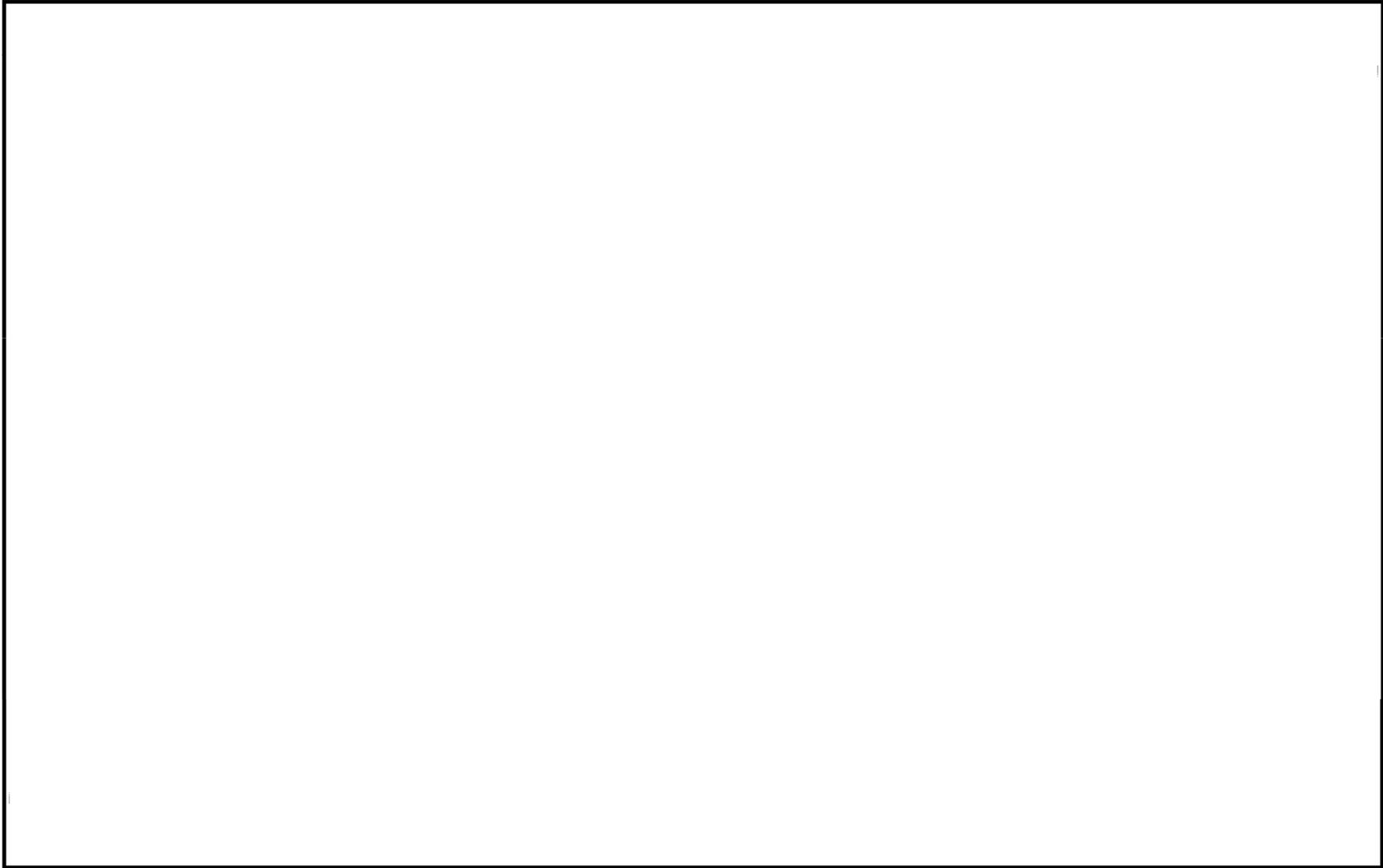
鳥 瞰 図 ALPI-004R4F

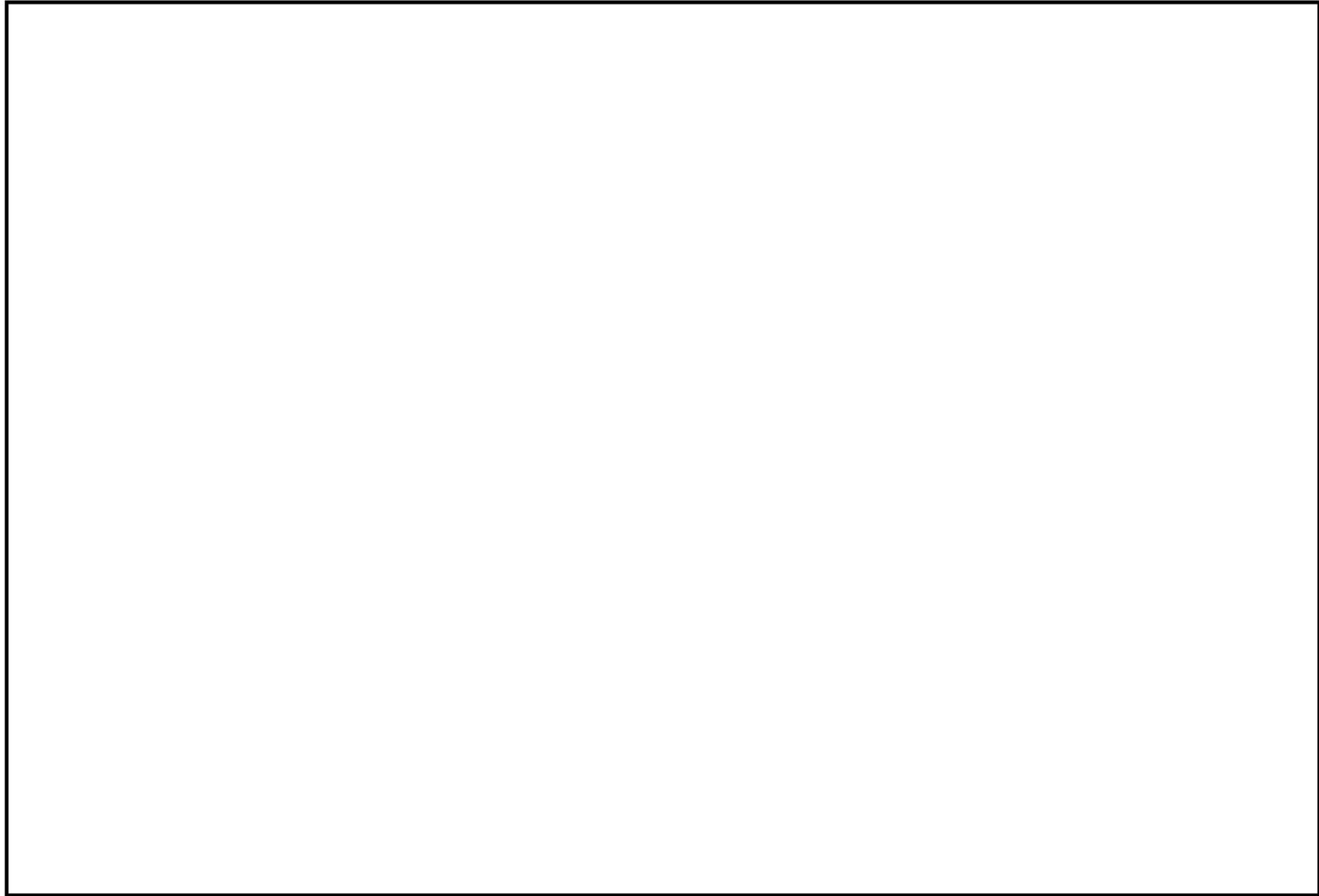
モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向

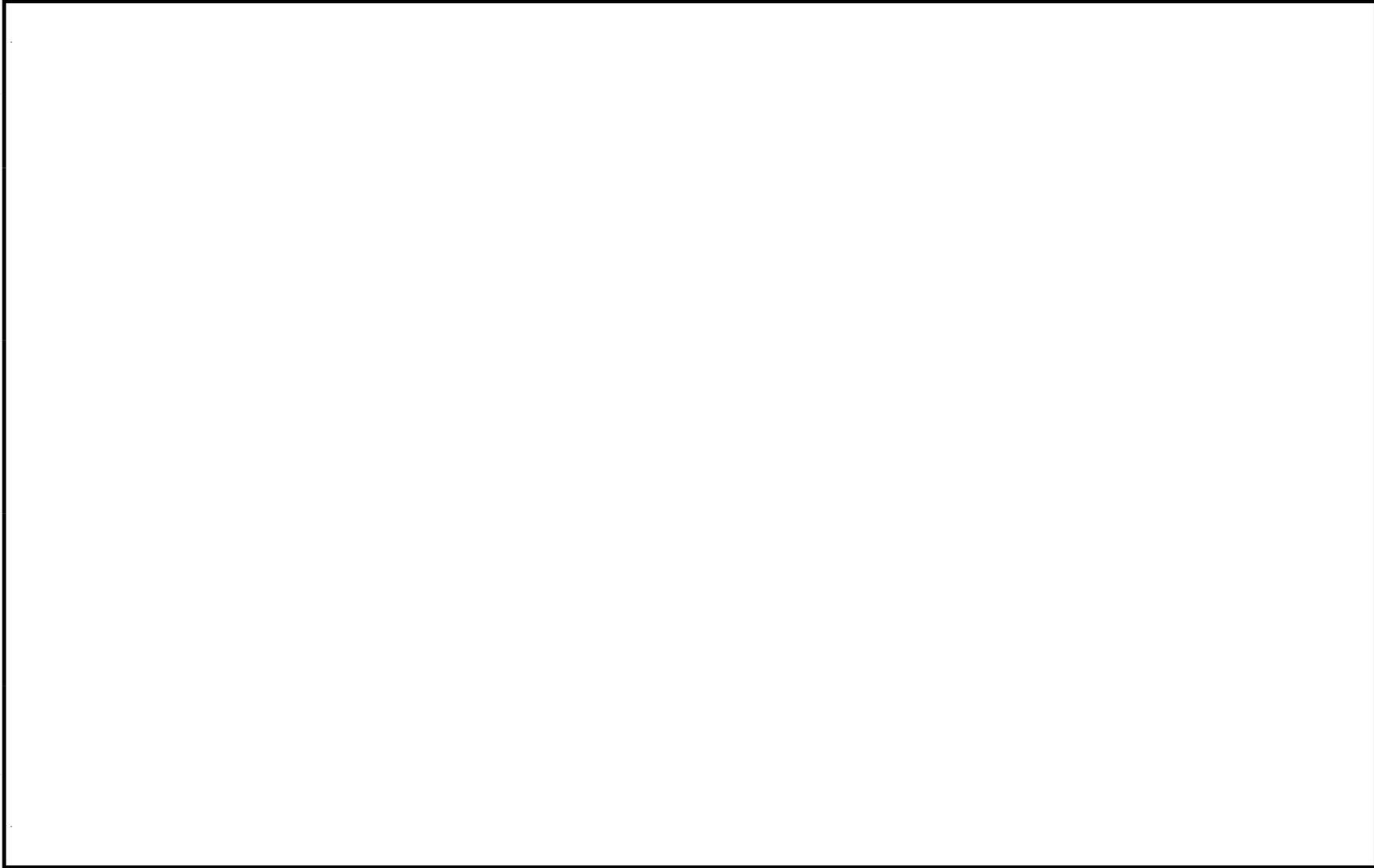
NT2 補② V-2-4-3-2-1 R2

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。







4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

鳥瞰図	許容応力 状態 (供用状態)	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 Sprm (S s)	許容応力 0.9Su	計算応力 Sn (S s)	許容応力 2Sy	疲労累積係数 USs
ALPI-004R4F	V _A S	G10F	Spr _m (S s)		366	-	-	-
ALPI-004R4F	V _A S	G10F	Sn (S s)	-	-		462	-

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
ALPI-234R0R-2	ロッドレストレイント	RSA-1	「V-2-1-11 機 器・配管の耐震支 持設計方針」参照		3	18

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注 反力が最大となる支持点の支持構造物評価結果（応力評価）は、兼用の低圧代替注水系に示す。

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2範囲）

No	配管モデル	許容応力状態 V _A S												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	ALPI-008R6F	B09F	81	366	4.51	-	B09F	148	462	3.12	-	-	-	-
2	ALPI-009R6F	34	17	431	25.35	-	11	18	376	20.88	-	-	-	-
3	ALPI-004R4F	G10F	133	366	2.75	○	G10F	224	462	2.06	○	-	-	-

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-693 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-4-2-2-2 管の応力計算書

まえがき

本計算書は、添付書類「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及び「V-3-2-11 重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果は以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「V-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

評価条件整理表

応力計算 モデルNo.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
ALPI-004R4F	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	1.4	66	—	—	設計・ 建設規格	—	SA-2
ALPI-008R6F	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	1.0	66	—	—	設計・ 建設規格	—	SA-2
ALPI-009R6F	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	1.0	66	—	—	設計・ 建設規格	—	SA-2

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	10
3.1 設計条件	10
3.2 材料及び許容応力	14
4. 評価結果	15
5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	16

1. 概要

本計算書は、「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及び「V-3-2-11 重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づき、管の応力計算を実施した結果を示したものである

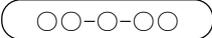
(1) 管

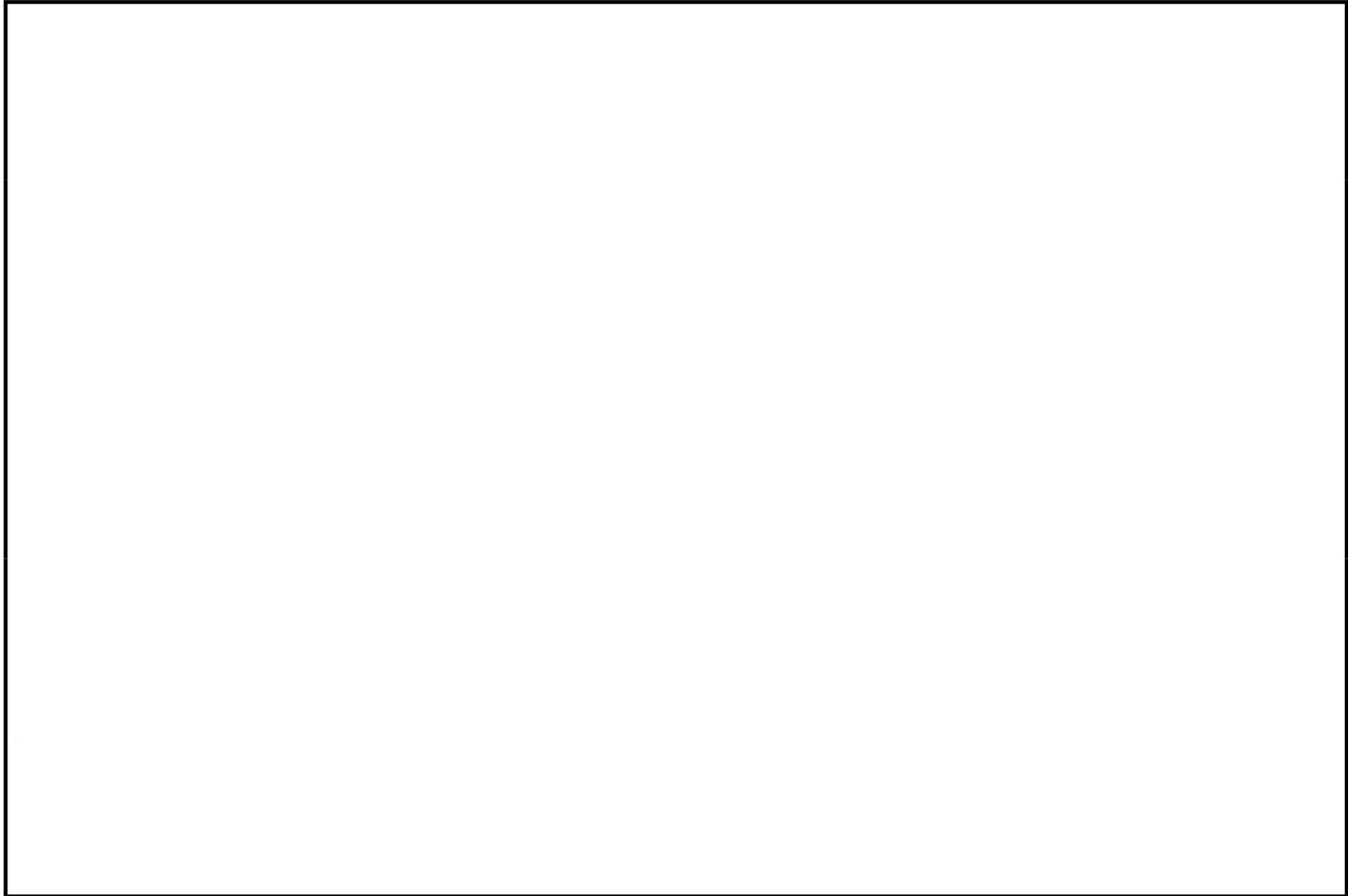
工事計画記載範囲の管のうち、設計条件あるいは管クラスに変更がある管における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、**全3モデルのうち、最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定及び全モデルの評価結果を5.に記載する。**

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

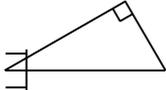
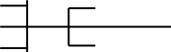
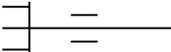
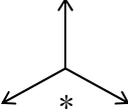
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (鳥瞰図, 計算条件及び評価結果を記載す る範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果のみ記載する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス1管
DB2	クラス2管
DB3	クラス3管
DB4	クラス4管
SA2	重大事故等クラス2管
SA3	重大事故等クラス3管
DB1/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス1管
DB2/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス2管
DB3/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス3管
DB4/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス4管



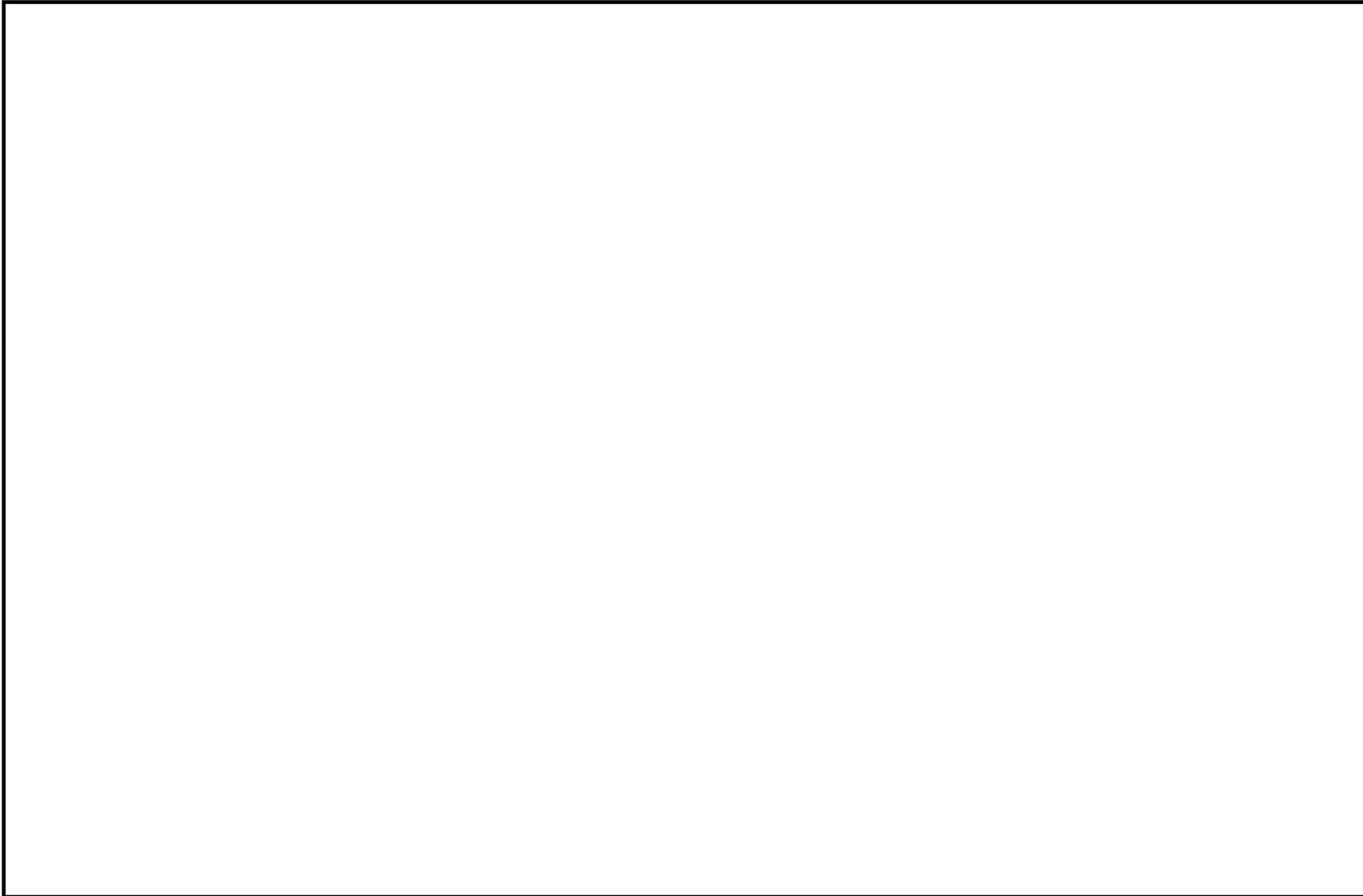
代替燃料プール注水系概略系統図

2.2 鳥瞰図

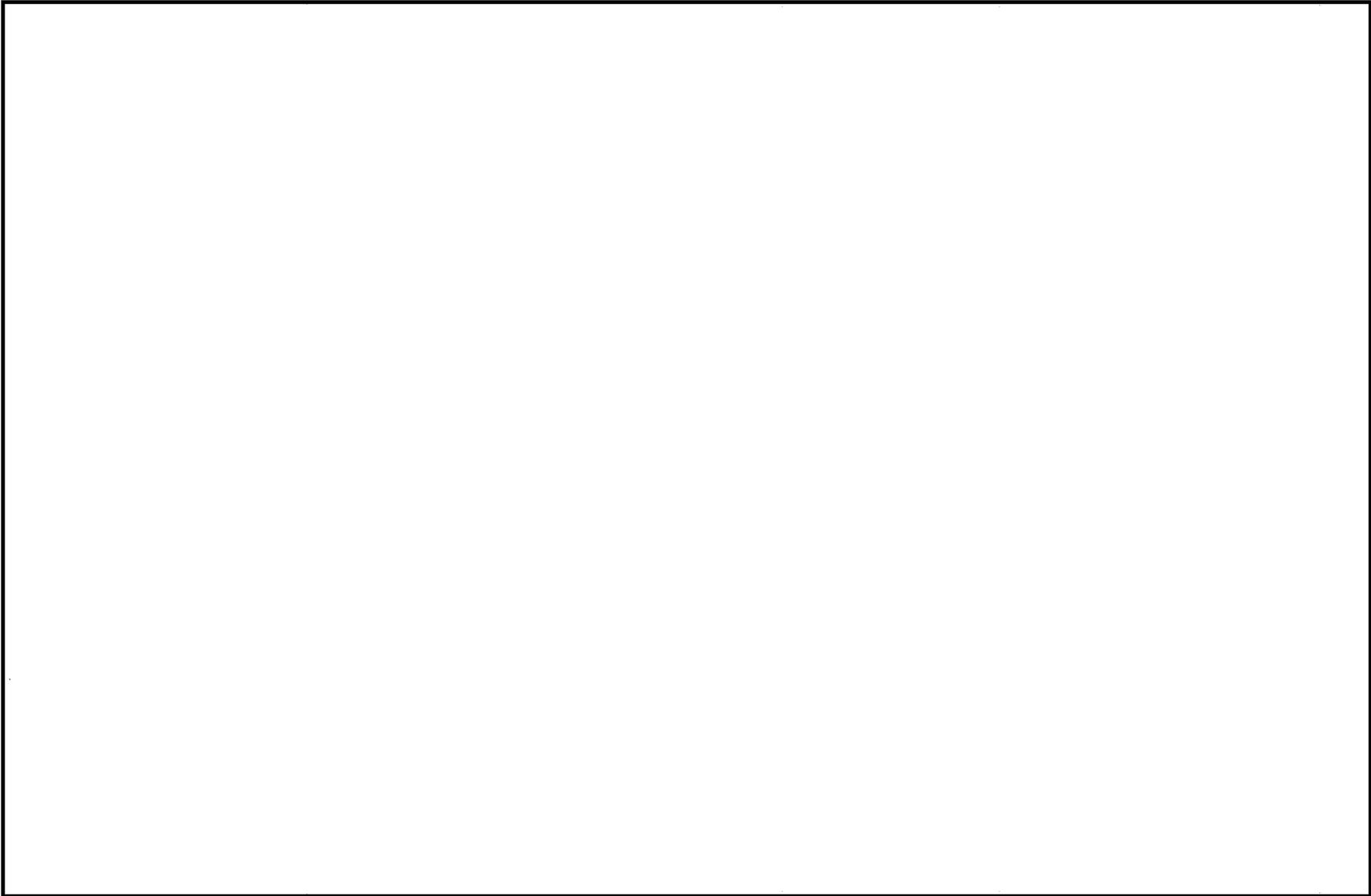
鳥瞰図記号凡例

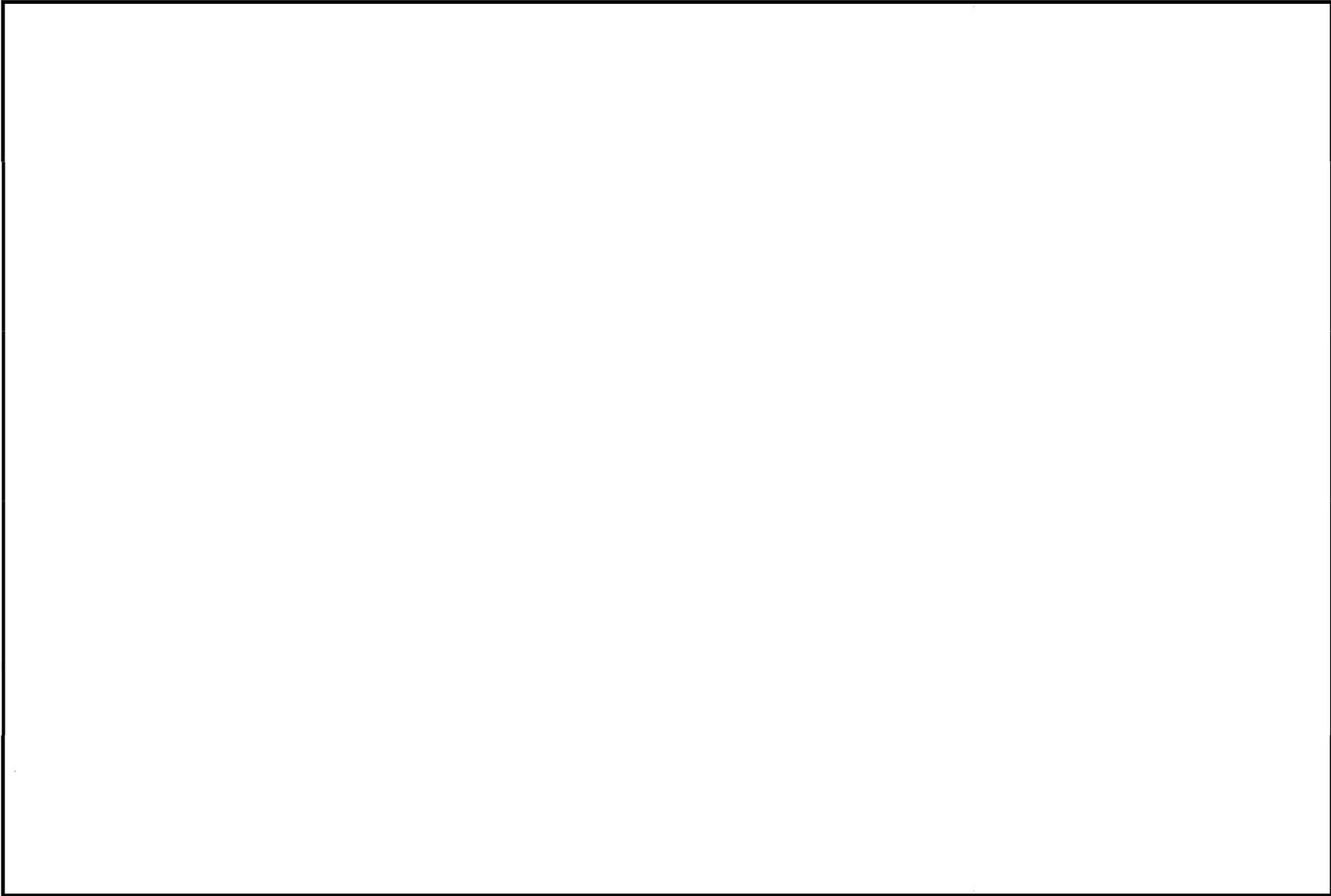
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の熱膨張による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。

NT2 補② V-3-4-2-2-2 R1

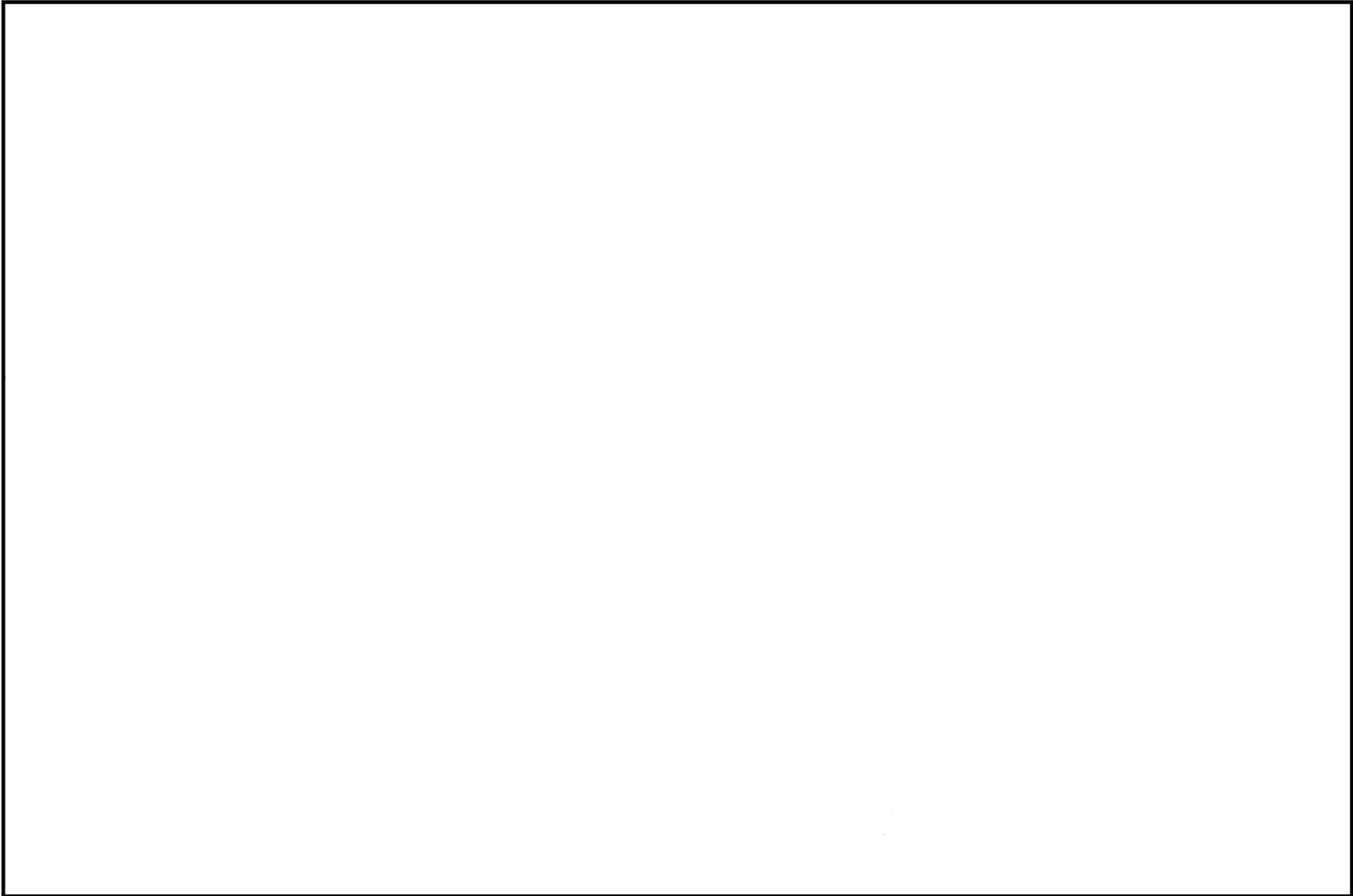


5

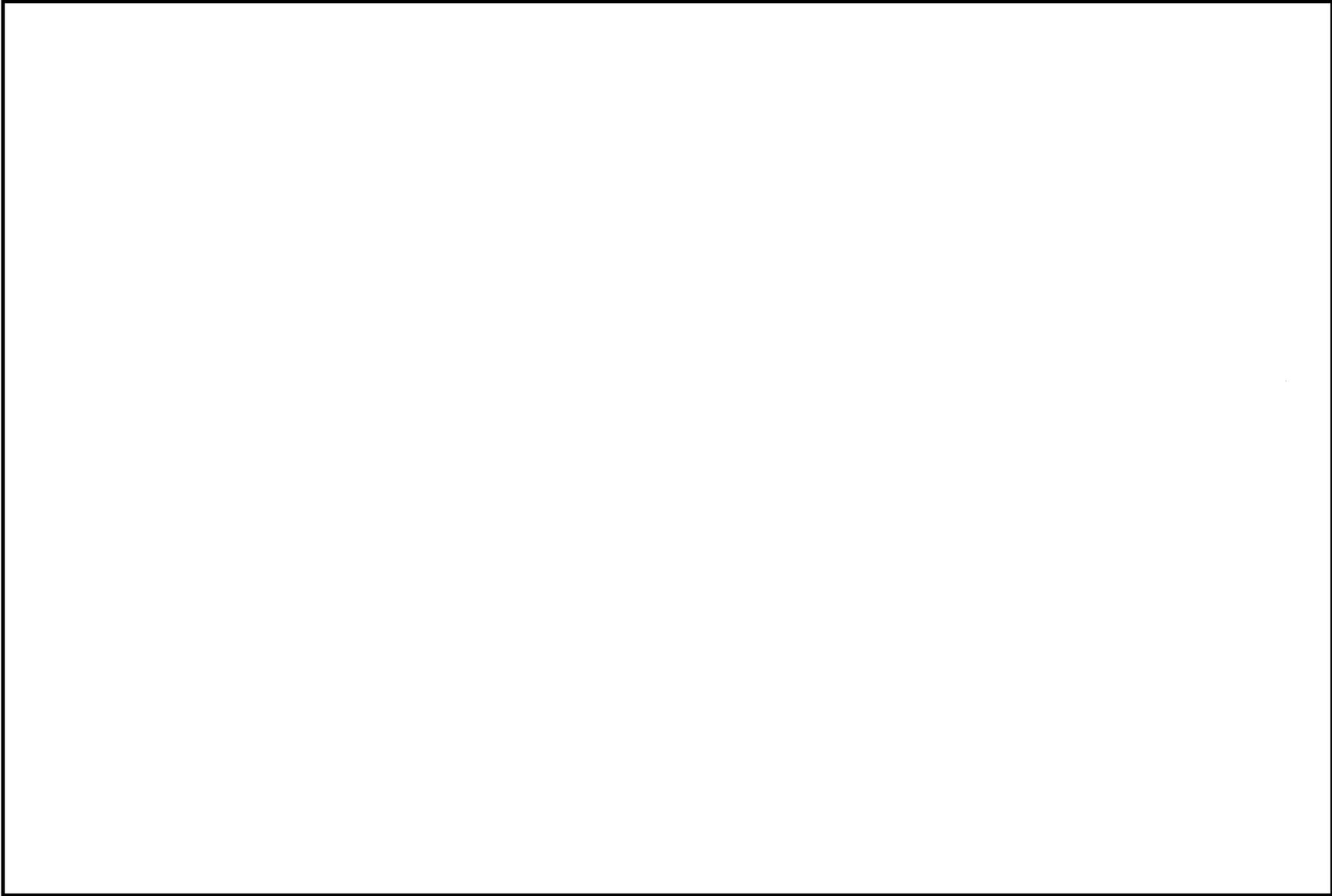




7



8



6

3. 計算条件

3.1 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 ALPI-004R4F

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震クラス	縦弾性係数 (MPa)
1	A00～A48, A42～B04 A48～D02, A48～E05	1.40	66	216.3	8.2	STPT410	—	
2	D03～D04, D06～D08 D10～D17, E06～E44 E46～E63	1.40	66	114.3	6.0	STPT410	—	
3	E64～E88, E88～F06 E88～G02, G04～G12 G14～G16	1.40	66	89.1	5.5	STPT410	—	
4	F08～H01	1.00	66	89.1	5.5	STPT410	—	

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 ALPI-004R4F

質量	対応する評価点
	E20

弁部の寸法

鳥 瞰 図 ALPI-004R4F

評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
D04~D06				D05~D05A			
D05A~D05B				D05B~D05C			
D08~D10				D09~D09A			
D09A~D09B				D09B~D09C			
E44~E46				E45~E45A			
E45A~E45B				E45B~E45C			
F06~F08				F07~F07A			
F07A~F07B				F07B~F07C			
G02~G04				G03~G03A			
G03A~G03B				G03B~G03C			
G12~G14							

NT2 補② V-3-4-2-2-2 R1

弁部の質量

鳥 瞰 図 ALPI-004R4F

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	D04, D06, E44, E46		D05, E45
	D05A, E45A		D05C, E45C
	D08, D10		D09
	D09A		D09C
	F06, F08, G02, G04		F07, G03
	F07A, G03A		F07C, G03C
	G12, G14		G13

3.2 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S h
STPT410	66	—	—	—	103

4. 評価結果

下表に示すとおり最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス2管

設計・建設規格 PPC-3500 による評価結果

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分*1	一次応力評価(MPa)	
			計算応力	許容応力
			S prm(1)	1.5 S h
ALPI-004R4F	G09F	S prm(1)	37	154
ALPI-004R4F	G09F	S prm(2)	38	185

注記 *1 : S prm(1), S prm(2)はそれぞれ, 設計・建設規格 PPC-3520(1), (2)に基づき計算した一次応力を示す。

5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2範囲）

No.	配管モデル	Sprm(1)					Sprm(2)				
		一次応力					一次応力				
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表
1	ALPI-008R6F	A09N	21	154	7.33	—	A09N	22	185	8.40	—
2	ALPI-009R6F	34	17	189	11.11	—	34	17	226	13.29	—
3	ALPI-004R4F	G09F	37	154	4.16	○	G09F	38	185	4.86	○

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料

資料番号 工認-697 改1

提出年月日 平成30年8月16日

V-2-9-7-1-2 フィルタ装置の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4. 評価結果	7
4.1 重大事故等対処設備としての評価結果	7

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、フィルタ装置が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

フィルタ装置は、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

フィルタ装置の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図*
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴をスカートで支持し、スカートを基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>上面及び下面に鏡板を有するたて置円筒形</p>	<p>(単位: mm)</p>

注記 *: フィルタ装置の内部構造物 (金属フィルタ, 銀ゼオライトフィルタ, ベンチュリノズル等) は溶接等により容器に固定される構造であり, 水平・鉛直ともに変位は拘束されることから容器と一体として評価する。

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

フィルタ装置の構造はスカート支持たて置円筒形容器であるため、構造強度評価は、「**V-2-1-13-1** スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

フィルタ装置の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

フィルタ装置の許容応力を表 3-2～表 3-3 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

フィルタ装置の使用材料の許容応力評価条件のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-4 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納 施設	圧力逃がし 装置	フィルタ装置	常設／緩和	重大事故等 ^{*2} クラス 2 容器	$D + P_D + M_D + S_S$ ^{*3}	IV _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限 界を用いる。)

注記 *1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-2 許容応力（重大事故等クラス 2 容器）

許容応力状態	許容限界*1, *2			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
IV _A S	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値	基準地震動 S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば、疲労解析は行わない。	
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)				

注記 *1：座屈に対する評価は、クラスMC 容器の座屈に対する評価式による。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-3 許容応力 (重大事故等クラス 2 支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (スカート)	許容限界*1, *2 (基礎ボルト)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)			

9

注記 *1: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度					
胴 板	SUS316L	最高使用温度	200	—	120	407	—
ス カ ー ト	SUS304	最高使用温度	200	—	144	402	205
基 礎 ボ ル ト (H1075)	SUS630	周囲環境温度	<input type="text"/>	—	829	932	—

4. 評価結果

4.1 重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【フィルタ装置の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
フィルタ装置	常設/緩和	格納容器圧力逃がし 装置格納槽 EL. -12.8*	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H =2.15	C _V =1.07	0.62	200	<input type="text"/>

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m ₀ (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	4600	30.0	4600	30.0	183000*1	183000*1	70400*1	70400*1

ℓ (mm)	ℓ _s (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	D ₄ (mm)	D ₅ (mm)	s	n	D _c (mm)	D _{b0} (mm)
<input type="text"/>	1790	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>				

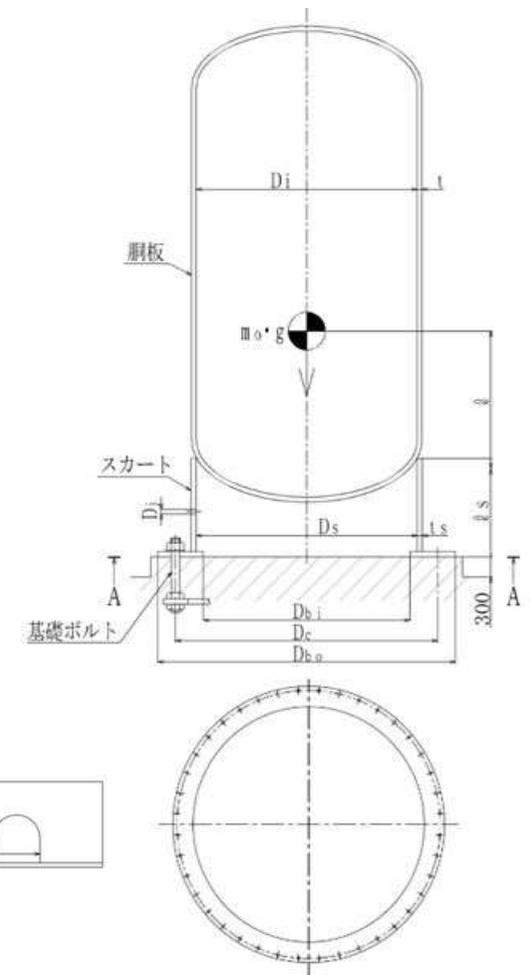
D _{b1} (mm)	A _b (mm ²)	Y (mm)	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			M _s (N・mm)		M _s (N・mm)	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—		1.334×10 ¹⁰	

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
120*1	407*1	—	144*1	402*1	—	194

S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
829*2 (H1075)	932*2 (H1075)	—	652

注記 *1 : 最高使用温度で算出

*2 : 周囲環境温度で算出



スカート開口部の形状を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=48$	$\sigma_{x1}=24$	—
運転時質量による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x2}=2$	—
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x5}=2$	—
空質量による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x3}=2$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=2$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x4}=17$	$\tau=14$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{\phi}=48$	$\sigma_{xt}=43$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{\phi}=-48$	$\sigma_{xc}=-4$	—
組合せ応力	引張り	—	—	$\sigma_{0t}=59$		
	圧縮	—	—	—		

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x5}=2$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=2$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x4}=17$	$\tau=14$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2xt}=18$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2xc}=19$	—
組合せ応力 (変動値)	引張り	—	—	$\sigma_{2t}=50$		
	圧縮	—	—	$\sigma_{2c}=51$		

1.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力	
運転時質量による応力	—	—	$\sigma_{s1}=4$	$\sigma_s=50$	
鉛直方向地震による応力	—		$\sigma_{s3}=4$		
水平方向地震による応力	曲げ		—		$\sigma_{s2}=35$
	せん断		—		$\tau_s=15$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
引張応力	—	$\sigma_b=118$
せん断応力	—	$\tau_b=40$

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

方 向	固 有 周 期
水 平 方 向	T _H <input type="text"/>
鉛 直 方 向	T _V <input type="text"/>

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基 準 地 震 動 S _s	
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板	SUS316L	一 次 一 般 膜	—	—	σ ₀ =59	S _a =244
		一 次 + 二 次	—	—	σ ₂ =51	S _a =240
ス カ ー ト	<input type="text"/>	組 合 せ	—	—	σ _s =50	f _t =194
		圧 縮 と 曲 げ の 組 合 せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	
			—		0.23 (無次元)	
基 礎 ボ ル ト	<input type="text"/>	引 張 り	—	—	σ _b =118	f _{ts} =489*
		せ ん 断	—	—	τ _b =40	f _{sb} =376

すべて許容応力以下である。

注記* : f_{ts} = Min[1.4 · f_{to} - 1.6 · τ_b, f_{to}]より算出

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料

資料番号 工認-698 改1

提出年月日 平成30年8月16日

V-2-5-4-2-1 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	13
3.1 荷重の組合せ及び許容応力	13
3.2 設計条件	14
3.3 材料及び許容応力	19
3.4 設計用地震力	20
4. 解析結果及び評価	21
4.1 固有周期及び設計震度	21
4.2 評価結果	27
4.2.1 管の応力評価結果	27
4.2.2 支持構造物評価結果	28
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	29

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」，「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」及び「V-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき、管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は以下に示すとおりとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

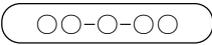
(3) 弁

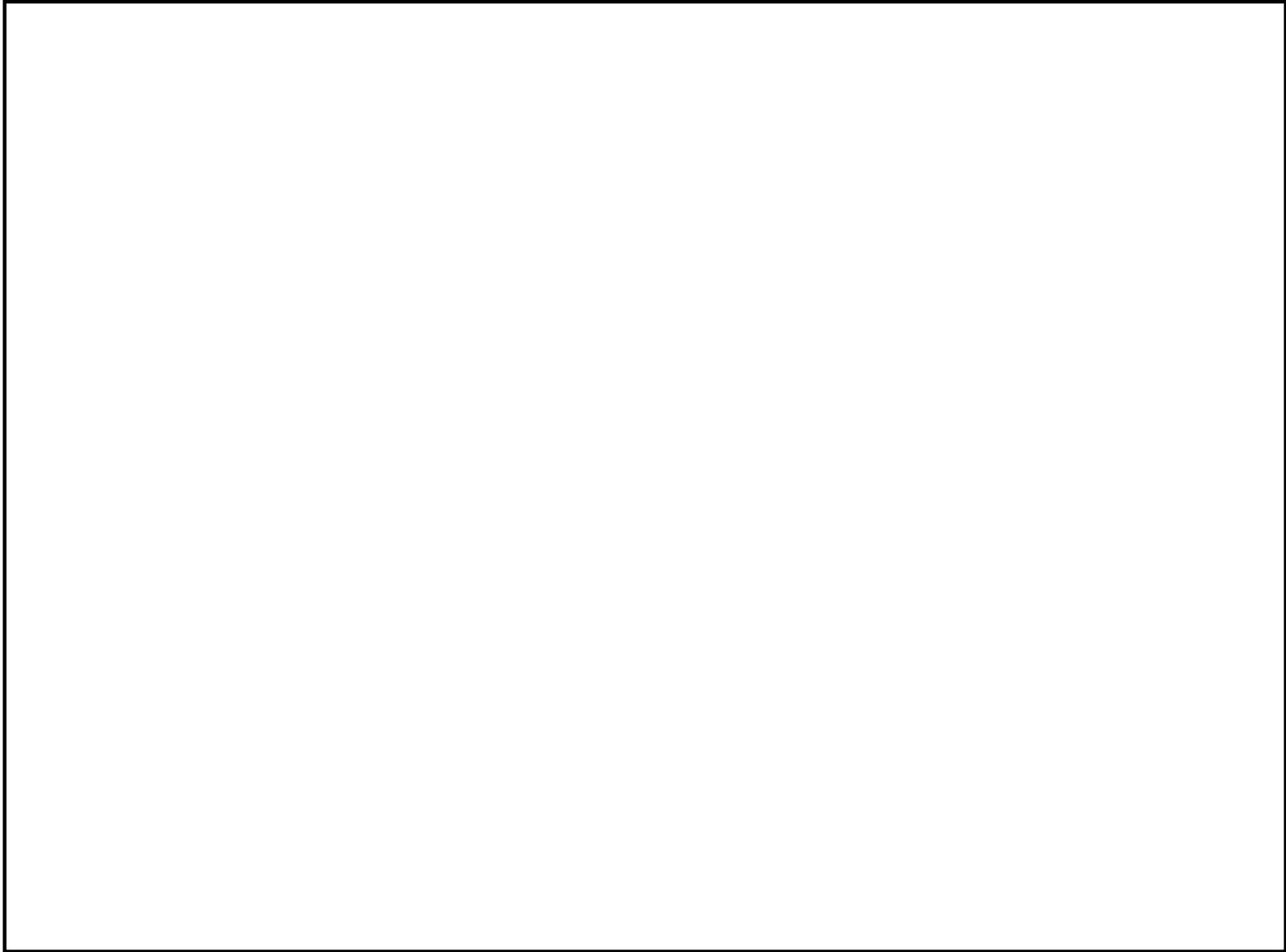
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

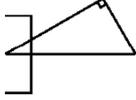
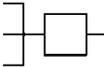
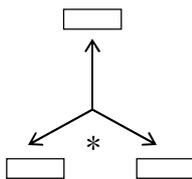
概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (鳥瞰図, 計算条件及び評価結果を記載す る範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果のみ記載する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス1管
DB2	クラス2管
DB3	クラス3管
DB4	クラス4管
SA2	重大事故等クラス2管
SA3	重大事故等クラス3管
DB1/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス1管
DB2/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス2管
DB3/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス3管
DB4/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス4管



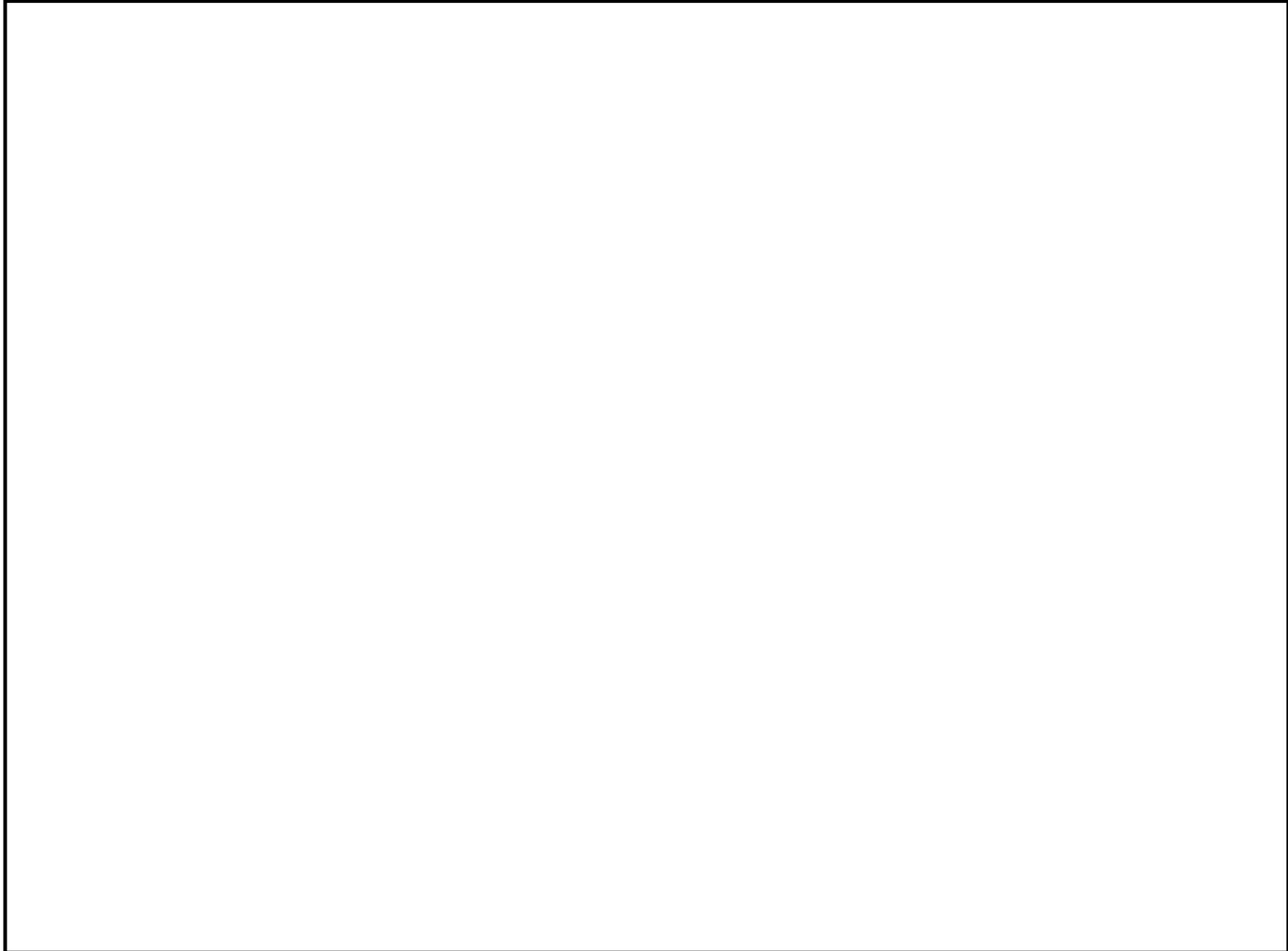
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
 	節 点 質 点
	ア ン カ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, □ 内に 変位量を記載する。)
注：鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。	

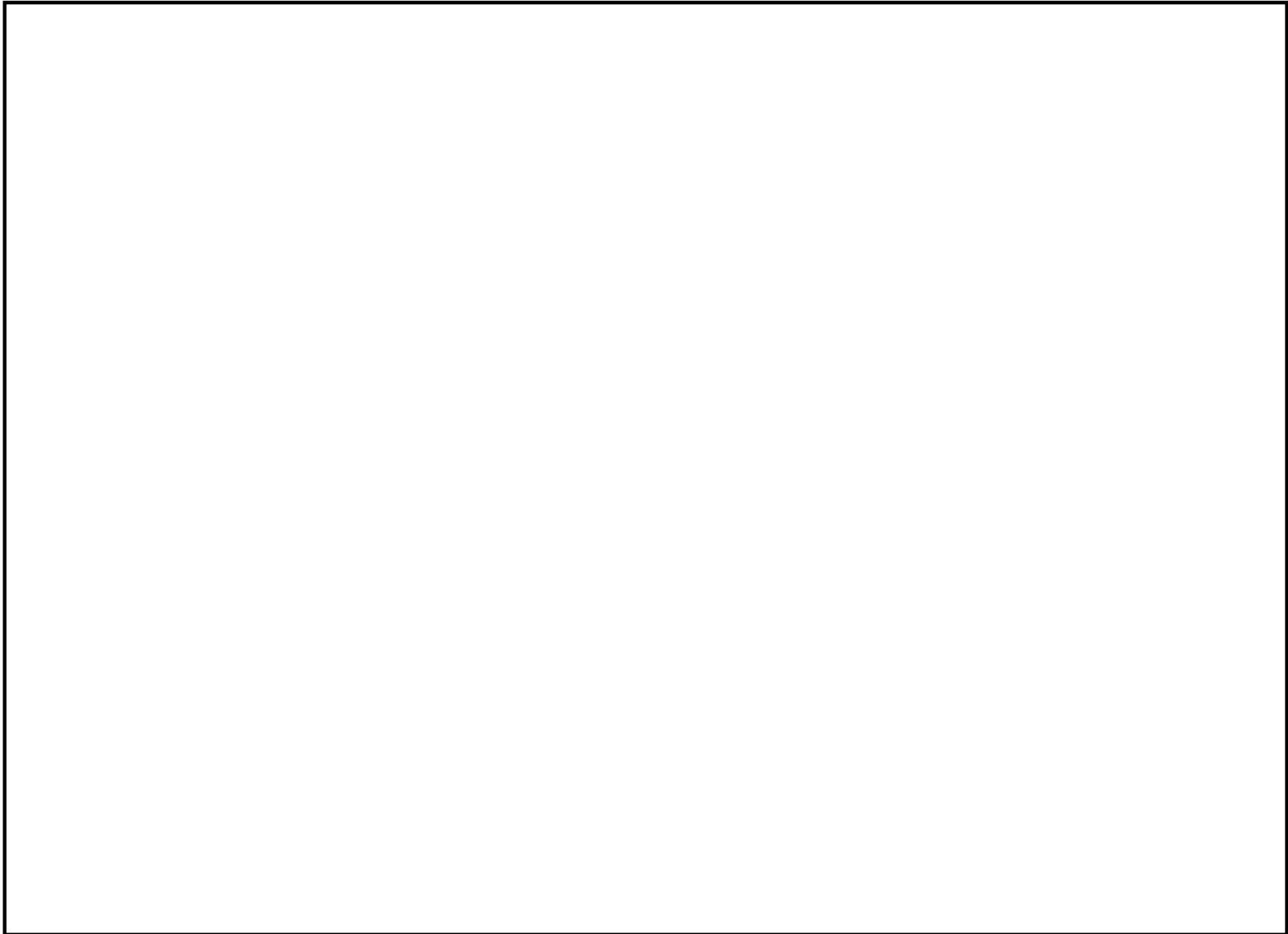
NT2 補② V-2-5-4-2-1 R1

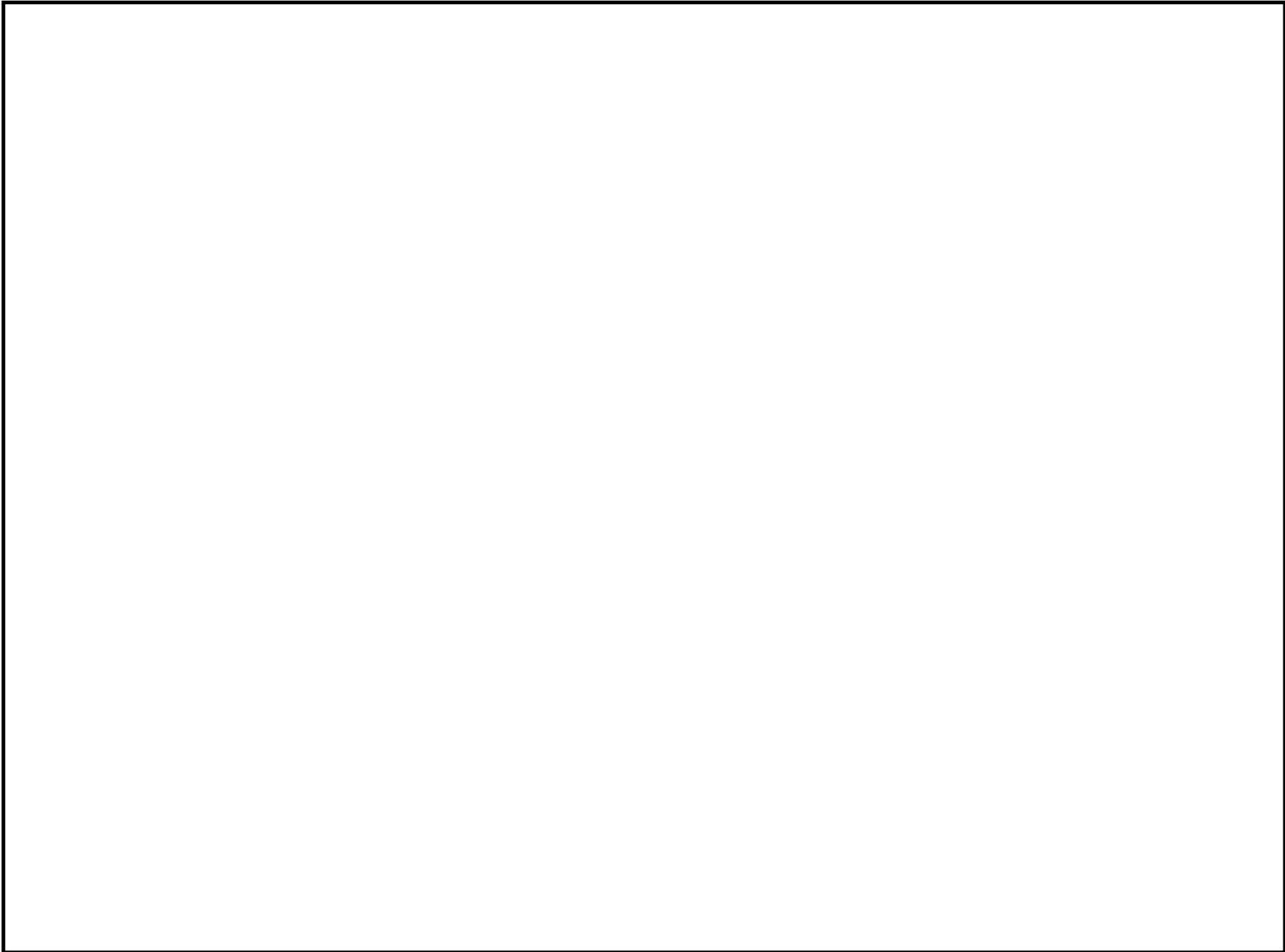


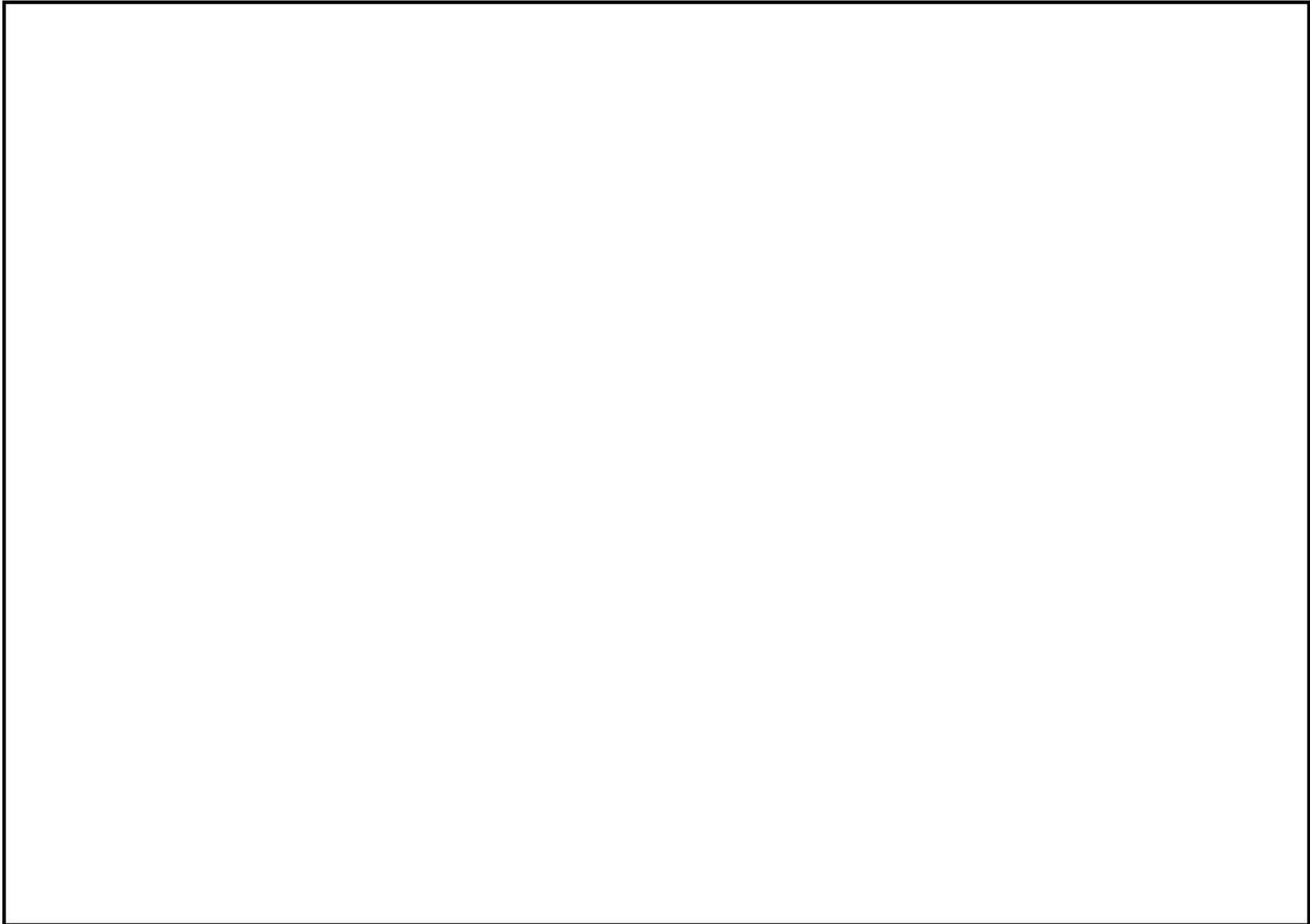


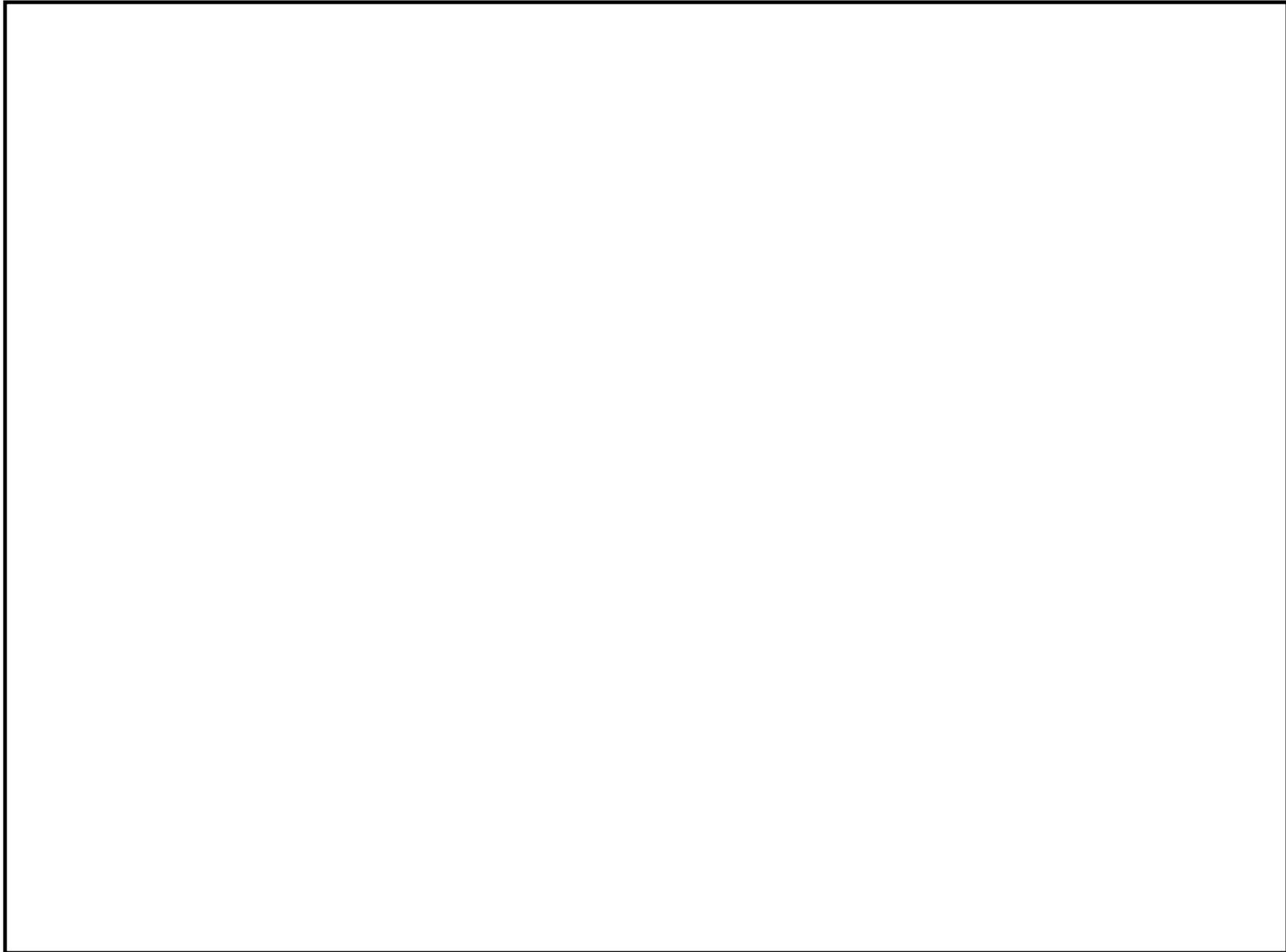


8











3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	耐圧強化ベント系	S A	常設耐震/防止	重大事故等クラス2管	—	$V_L + S_s$	V_{AS}

注記*1: DBは設計基準対象施設, SAは重大事故等対処設備を示す。

*2: 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*3: 運転状態の添字Lは荷重が作用している状態を示す。

*4: 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5: 許容応力状態 V_{AS} は許容応力状態 IV_{AS} の許容限界を使用し, 許容応力状態 IV_{AS} として評価を実施する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 AC-SGTS

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	209～210	0.62	200	457.2	12.7	SM400C	S	
2	211～212F, 215F～216F 217F～2211	0.62	200	318.5	10.3	STPT410	S	

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 AC-SGTS

質量	対応する評価点
	212F, 215F, 216F, 217F

弁部の寸法

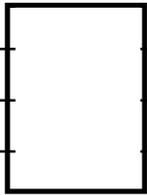
鳥 瞰 図 AC-SGTS

評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
212F~213			
213~2131			
2131~2132			
2132~2133			
213~215F			
216F~2161			
2161~2162			
2162~2163			
2163~2164			
2161~217F			

NT2 補② V-2-5-4-2-1 R1

弁部の質量

鳥 瞰 図 AC-SGTS

質量	対応する評価点
	213, 2161
	2131, 2162
	2132, 2163
	2133, 2164

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 AC-SGTS

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
2151			—	—	—	—

3.3 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S h
SM400C	200	—	193	373	—
STPT410	200	—	207	404	—

3.4 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお、設備評価用床応答曲線は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
AC-SGTS	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 AC-SGTS

耐震設計上の重要度分類		—		
適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向
		2.62	2.62	8.36
		2.62	2.62	8.36
		1.98	1.98	7.48
		1.98	1.98	7.48
		1.76	1.76	6.89
		1.69	1.69	5.43
		1.89	1.89	4.76
		1.89	1.89	4.68
		1.50	1.50	3.10
		—	—	—
	動的震度		1.67	1.67

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 ANI-7

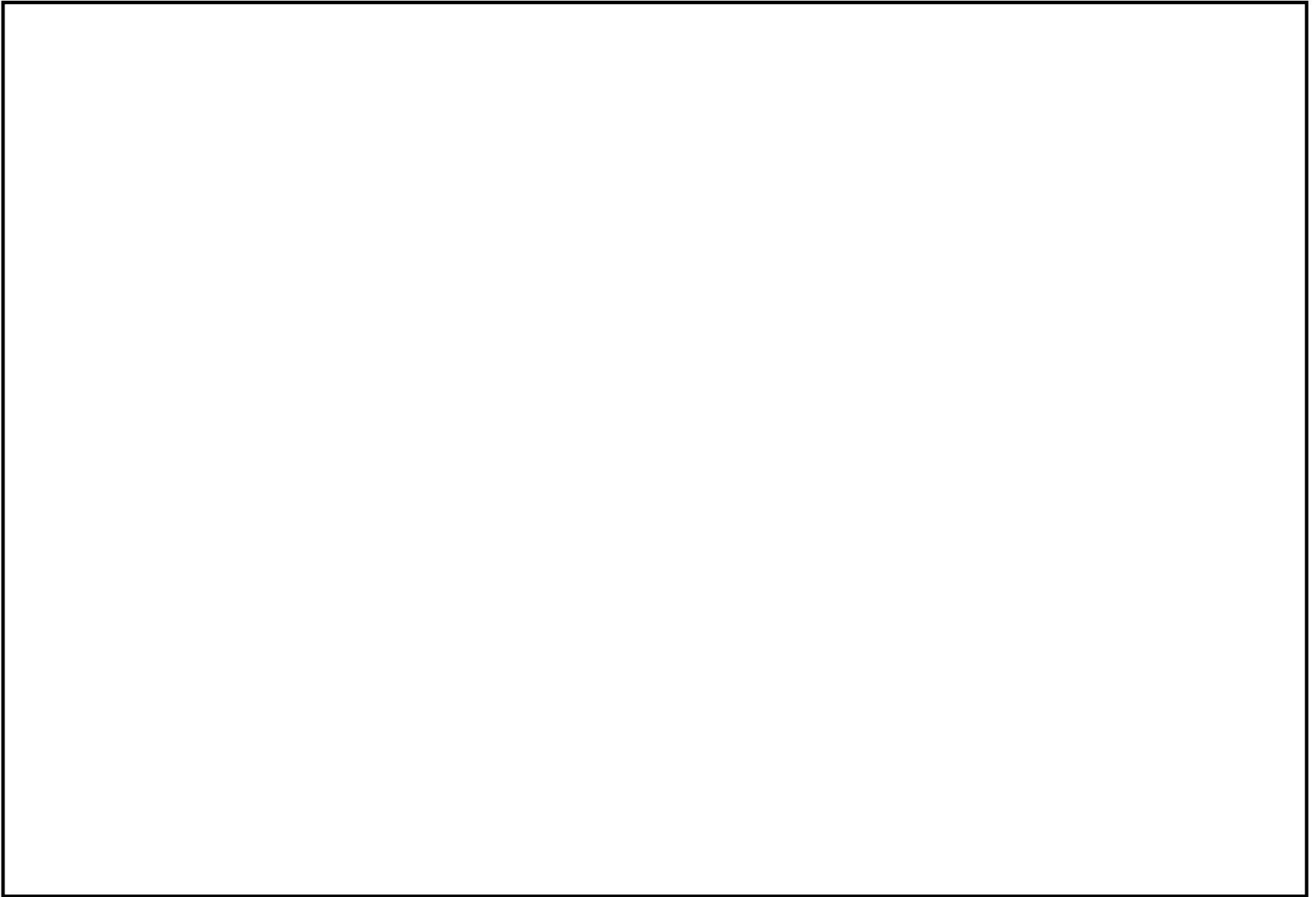
モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向

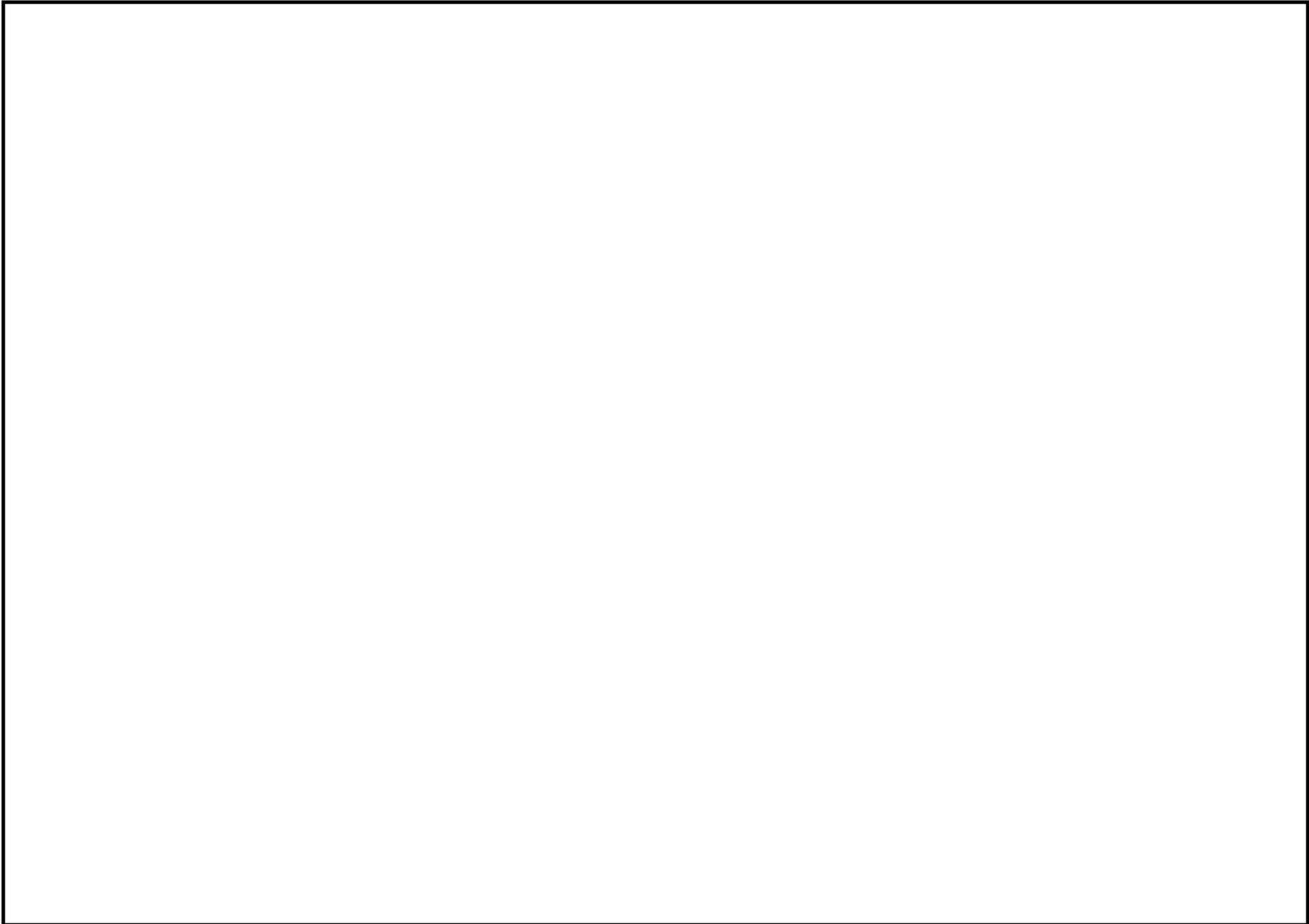
NT2 補② V-2-5-4-2-1 R1

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。







4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

鳥瞰図	許容応力 状態 (供用状態)	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 Sprm (S s)	許容応力 0.9Su	計算応力 Sn (S s)	許容応力 2Sy	疲労累積係数 USs
AC-SGTS	IV _A S	2092	Spr _m (S s)		335	-	-	-
	IV _A S	2092	Sn (S s)	-	-		356	-

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	—	—	—	—	—	—

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-SGTS-R001	レストレイント	パイプバンド	STK400 SM400B	200	39.7	53.3	0	—	—	—	圧縮	42	111

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度* ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

* 応答加速度は、打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-699 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-5-3-2-2 管の応力計算書

まえがき

本計算書は、添付書類「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」並びに「V-3-2-11 重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「V-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

評価条件整理表

応力計算 モデルNo.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
AC-SGTS	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	13
3.1 設計条件	13
3.2 材料及び許容応力	17
4. 計算結果	18

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」並びに「V-3-2-11 重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づき、管の応力計算を実施した結果を示したものである。

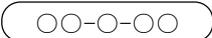
(1) 管

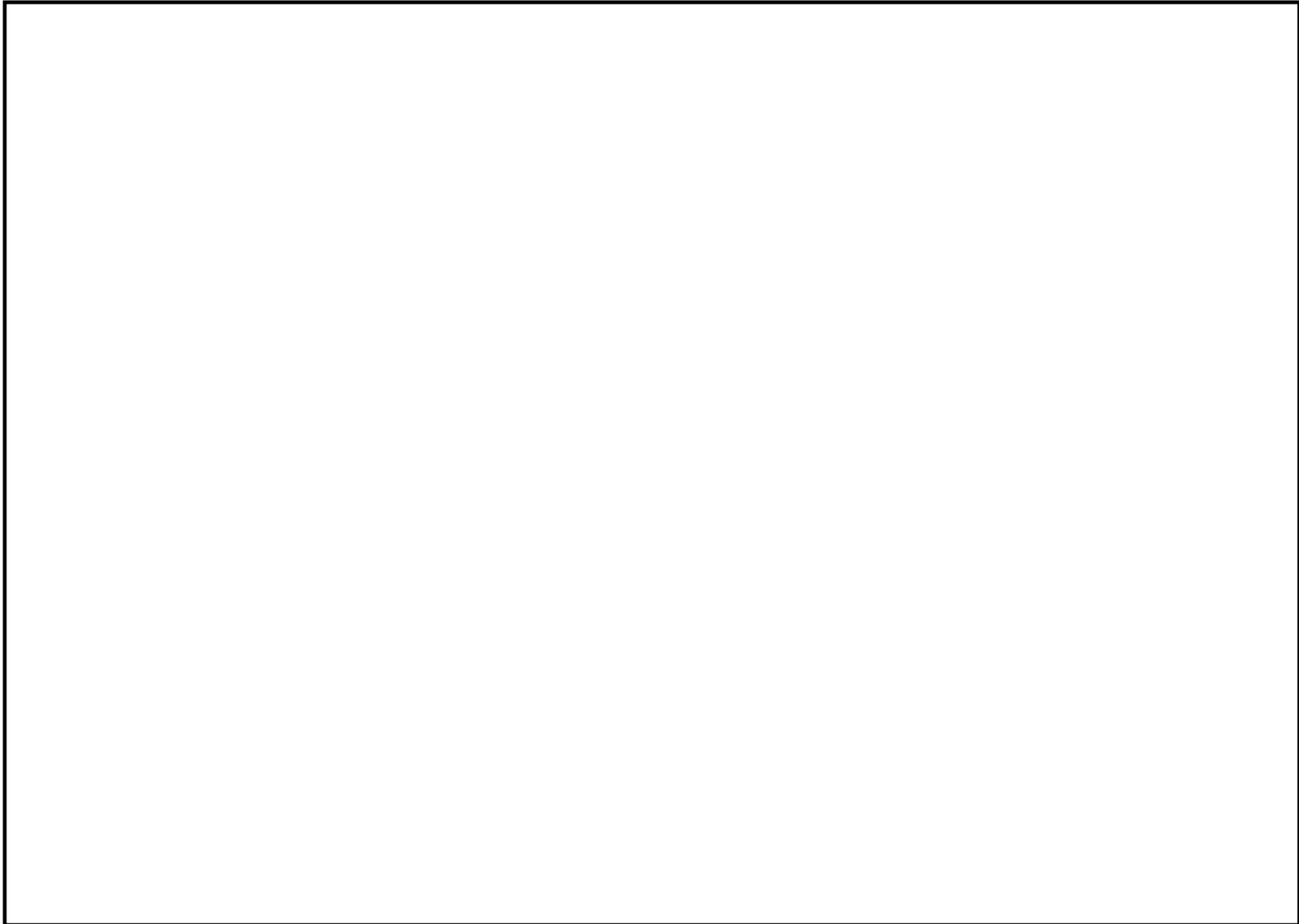
工事計画記載範囲の管のうち、設計条件あるいは管クラスに変更がある管における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

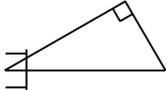
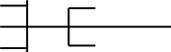
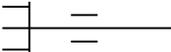
概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (鳥瞰図, 計算条件及び評価結果を記載す る範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果のみ記載する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

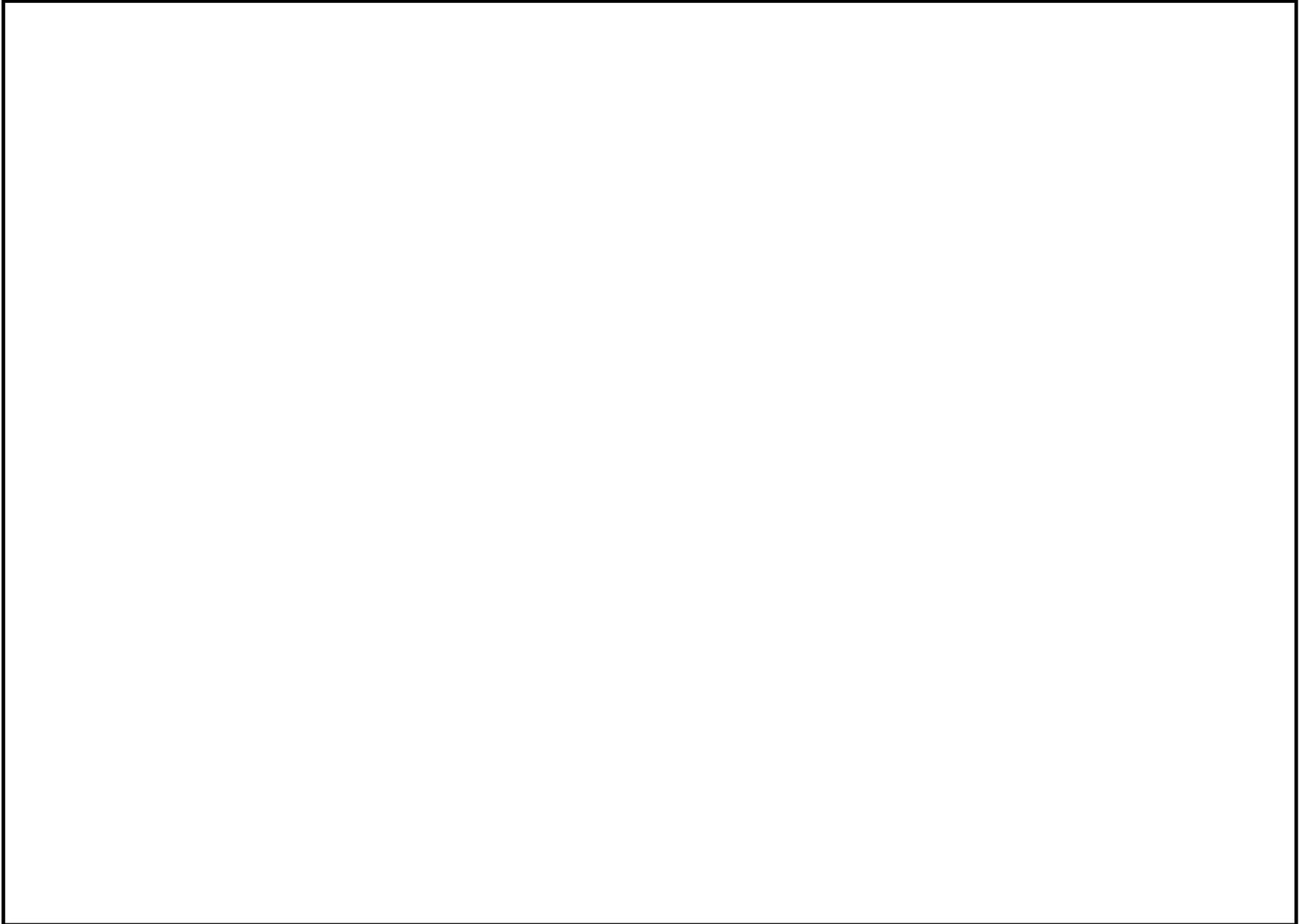


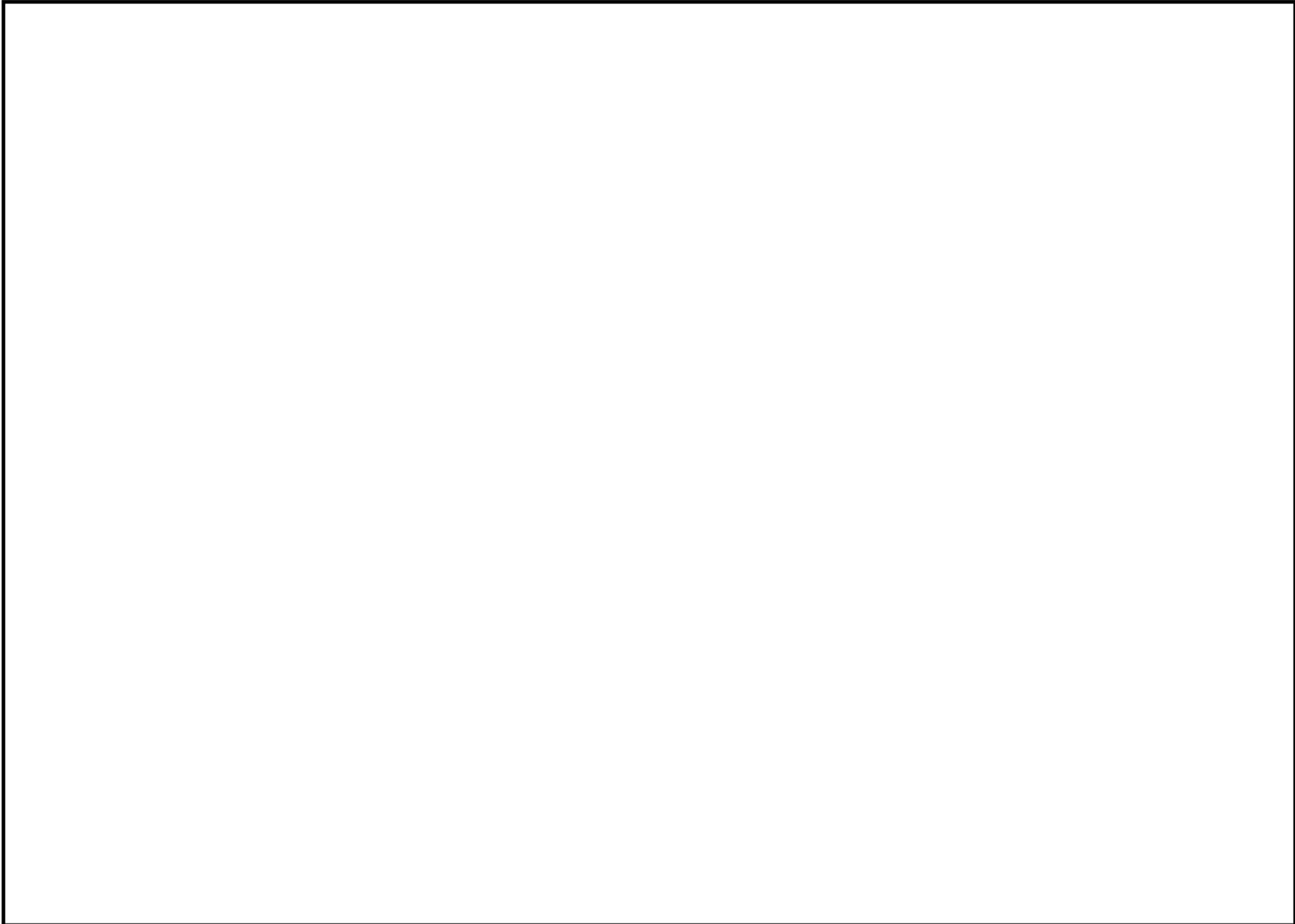
2.2 鳥瞰図

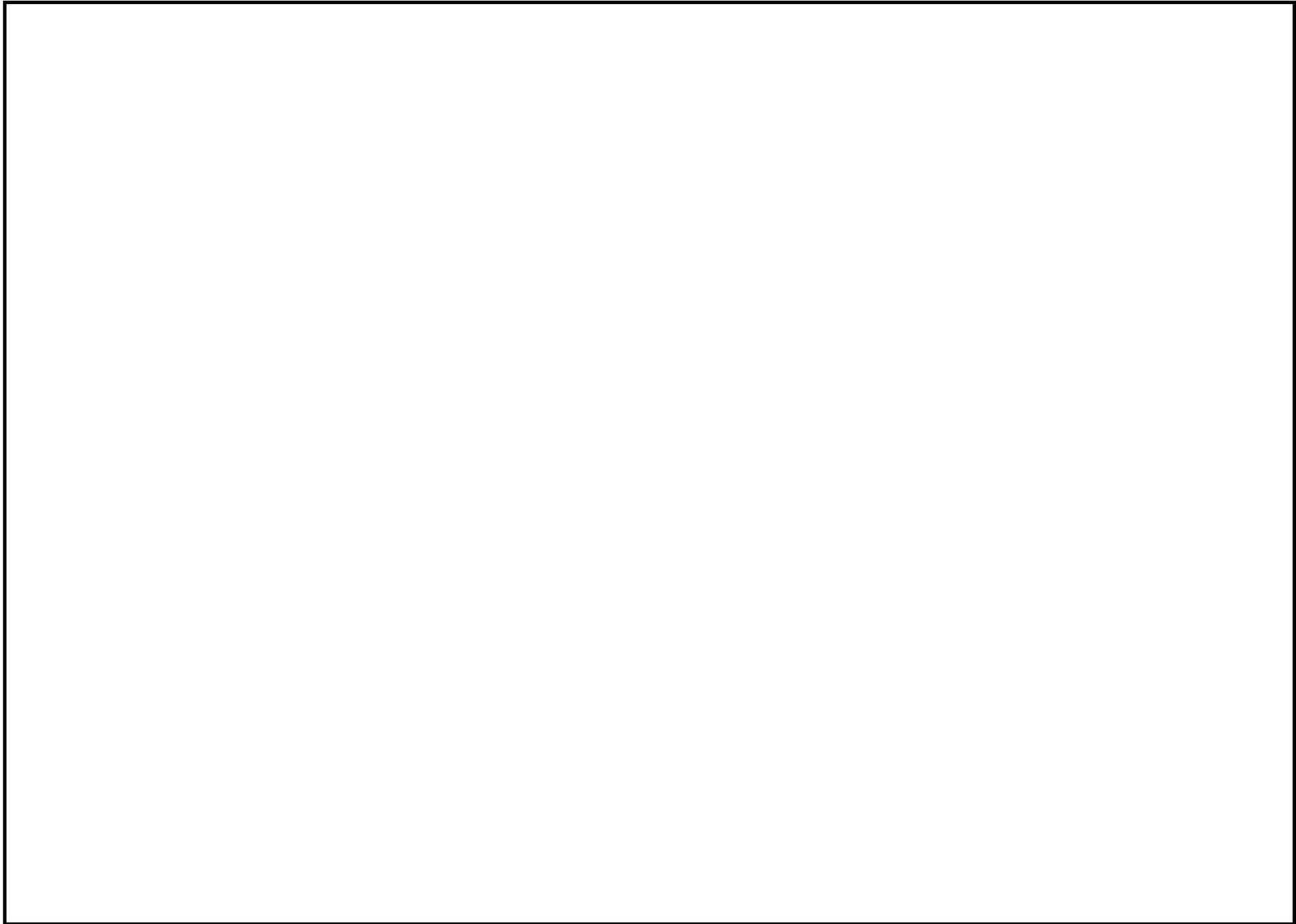
鳥瞰図記号凡例

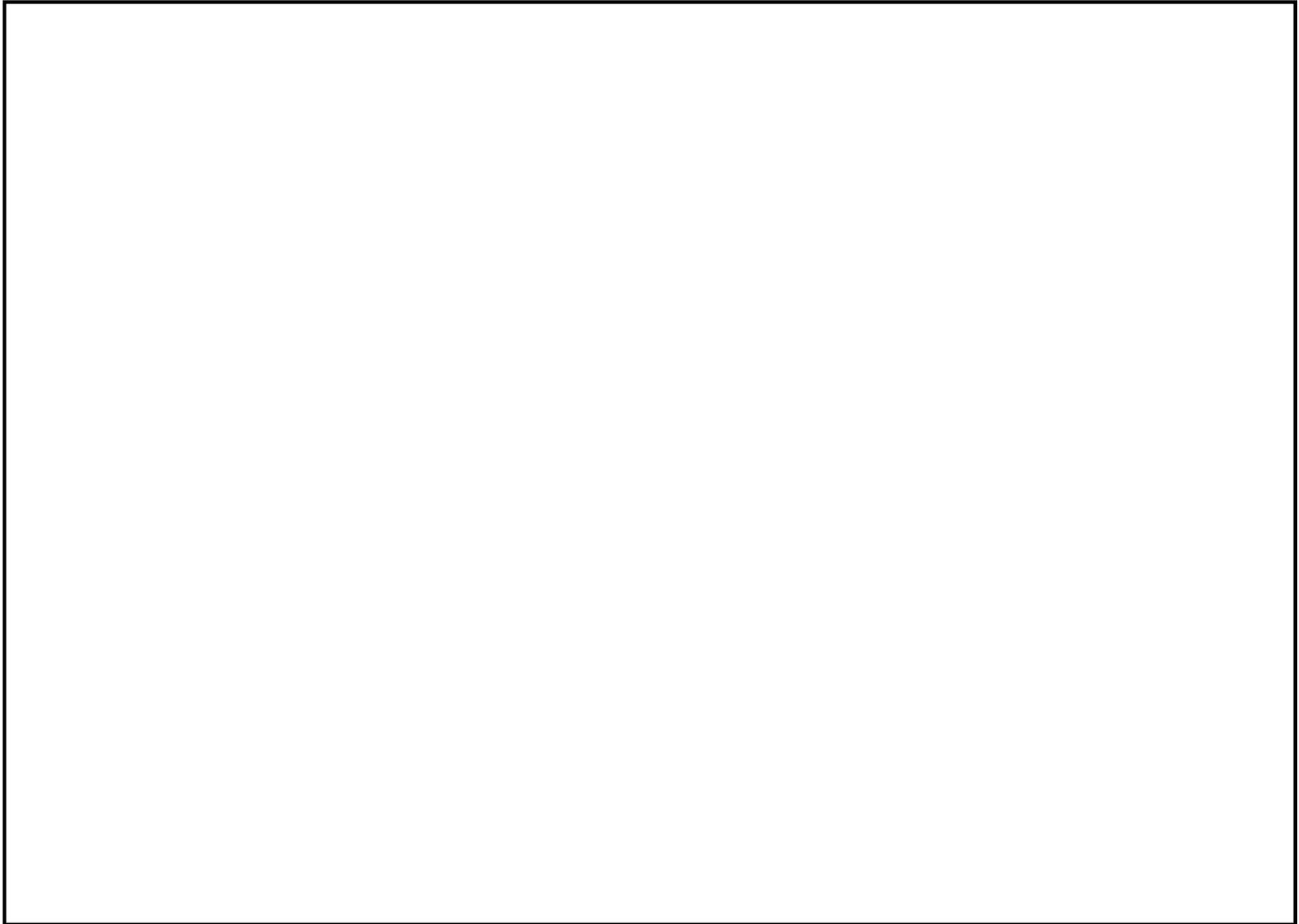
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッパについても同様とする。)
	スナッパ
	ハンガ
	リジットハンガ
	注：鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。





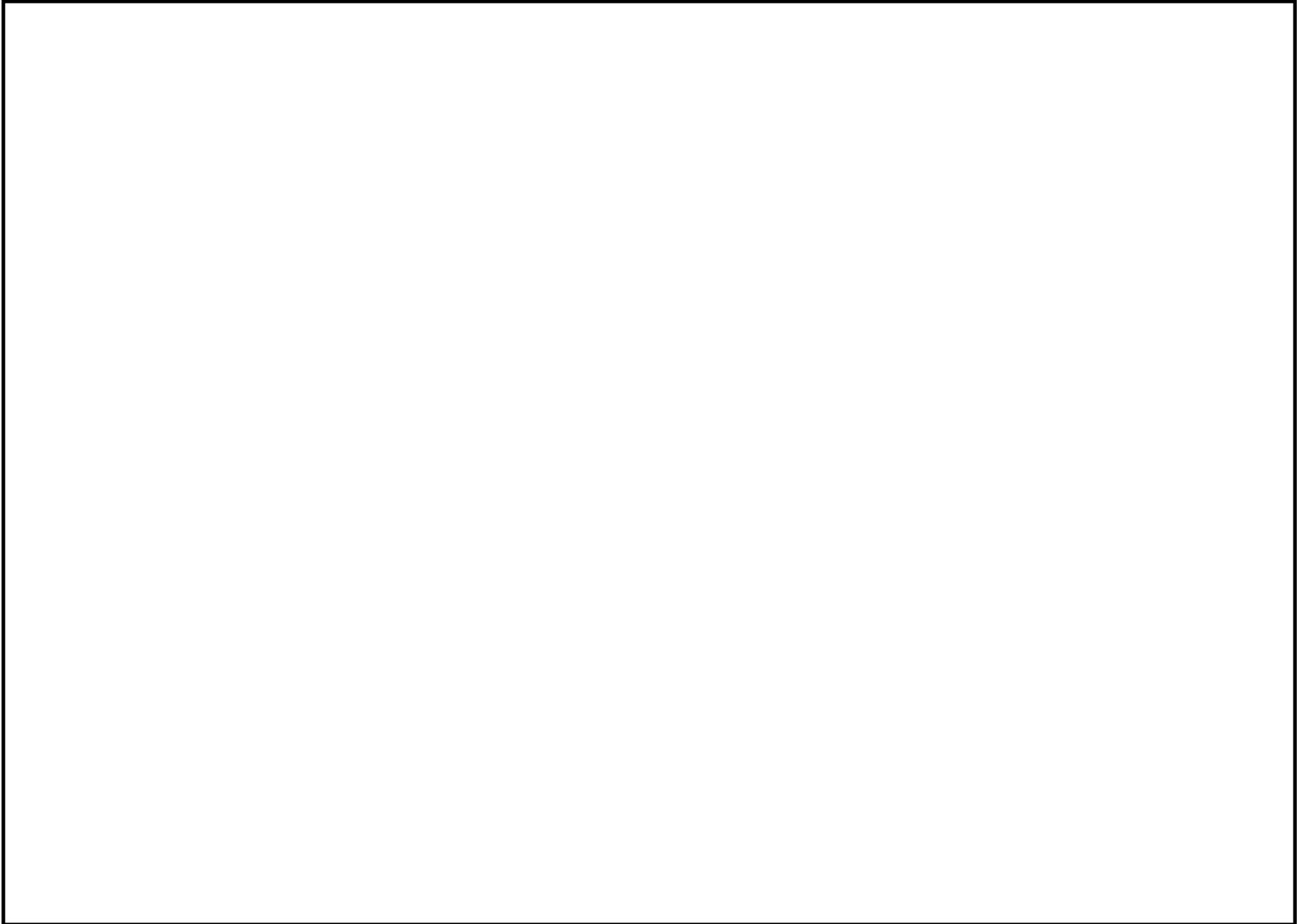












3. 計算条件

3.1 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 AC-SGTS

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
1	209～210	0.62	200	457.2	12.7	SM400C
2	211～212F, 215F～216F 217F～2211	0.62	200	318.5	10.3	STPT410

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 AC-SGTS

質量	対応する評価点
	212F, 215F, 216F, 217F

弁部の寸法

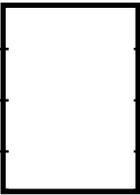
鳥 瞰 図 AC-SGTS

評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
212F~213			
213~2131			
2131~2132			
2132~2133			
213~215F			
216F~2161			
2161~2162			
2162~2163			
2163~2164			
2161~217F			

NT2 補② V-3-5-3-2-2 R1

弁部の質量

鳥 瞰 図 AC-SGTS

質量	対応する評価点
	213, 2161
	2131, 2162
	2132, 2163
	2133, 2164

3.2 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S h
SM400C	200	—	—	—	100
STPT410	200	—	—	—	103

4. 計算結果

下表に示すとおり最大応力はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

設計・建設規格 PPC-3520 による評価結果

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区 分	一次応力評価 (MPa)	
			計算応力	許容応力
			S prm (1)	1.5 S h
			S prm (2)	1.8 S h
AC-SGTS	2092	S prm (1)	42	150
AC-SGTS	2092	S prm (2)	43	180

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-708 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-9-2-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 構造説明	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	3
3. 形状及び主要寸法	4
4. 設計条件	11
4.1 設計荷重	11
4.2 材料及び許容応力	16
5. 応力計算	21
5.1 応力評価点	21
5.2 計算方針	22
5.3 座屈評価	28
6. 評価結果	30
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	30
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	35

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉格納容器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価は原子炉格納容器の地震応答解析、応力評価により行う。

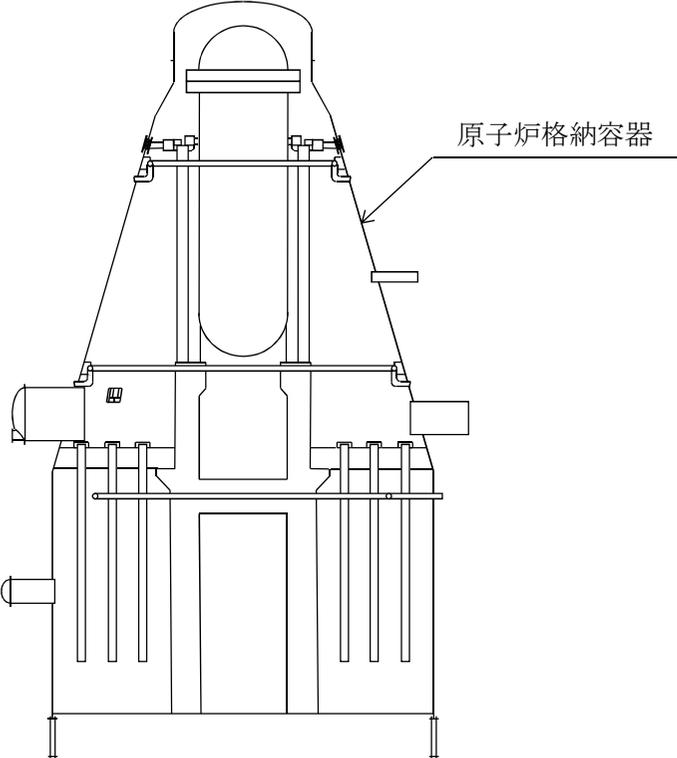
原子炉格納容器は設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

原子炉格納容器の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
支持構造	主体構造	
<p>□ m 以下においてコンクリートに埋設されており、原子炉格納容器外側壁及び原子炉建屋の基礎と一体となっている。</p>	<p>上部円錐胴部円筒形の鋼製容器（胴部内径約 □ m、全高約 □ m）であり、板厚は □ mm である。</p> <p>原子炉格納容器の水平地震力はシアラグ及び原子炉格納容器下部より原子炉建屋に伝達される。</p>	

2.2 評価方針

- (1) 原子炉格納容器胴の応力評価は、東海第二発電所 昭和48年4月9日付け47公第12076号（既工認）にて認可された実績のある手法を適用する。各荷重による応力は、実績のある三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。また、J E A G 4 6 0 1に基づき、軸圧縮荷重及び曲げモーメントによる座屈評価を行う。
- (2) 解析コードはM S C N A S T R A Nを用いる。なお、評価に用いる解析コードM S C N A S T R A Nの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3. 形状及び主要寸法

原子炉格納容器胴の形状及び主要寸法を図 3-1 及び図 3-2 に，原子炉格納容器のドライウエルビームシートの形状及び主要寸法を図 3-3～図 3-7 に示す。

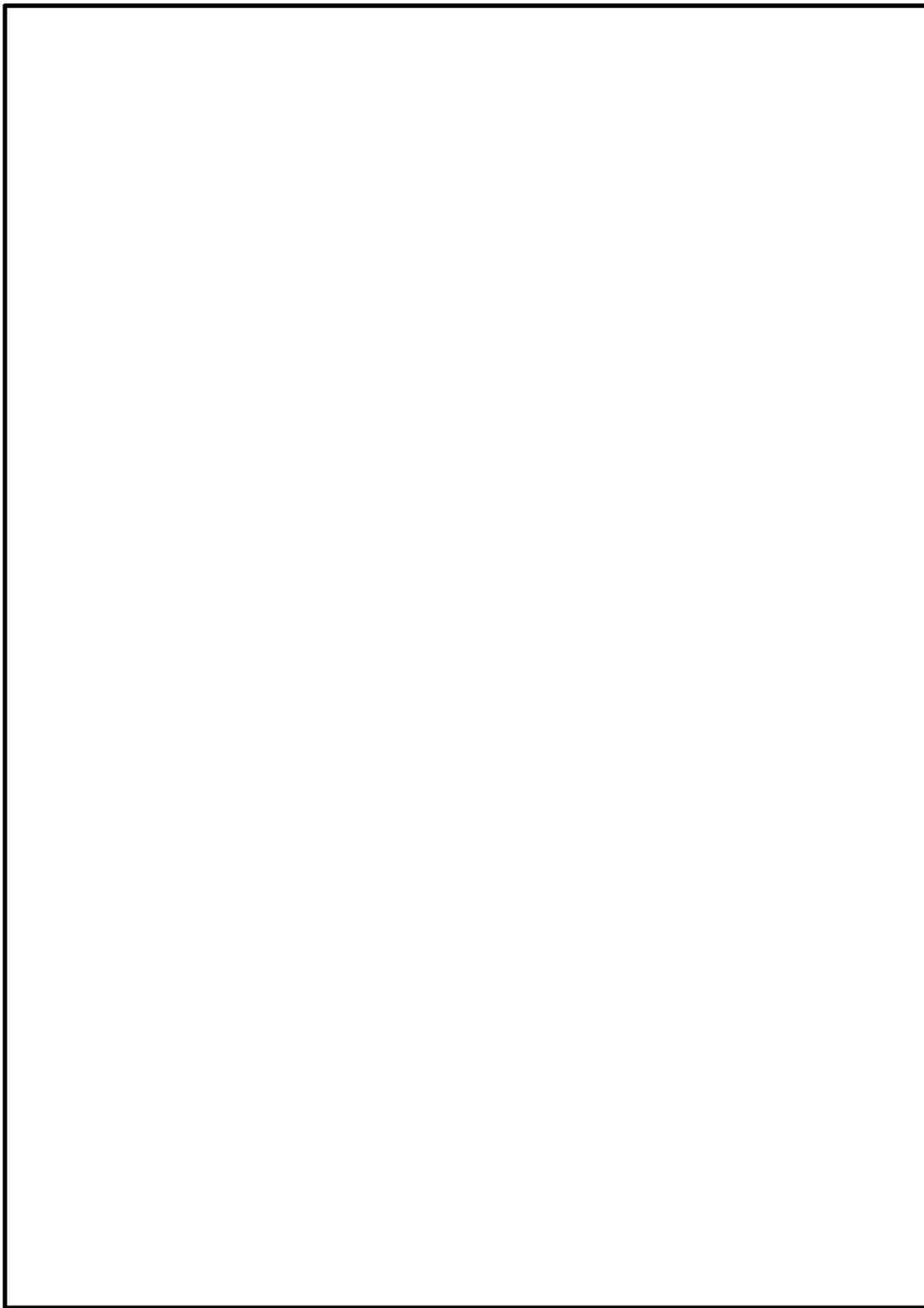


図 3-1 ドライウエル円錐部，サブプレッション・チェンバ円筒部の形状及び主要寸法（単位：mm）

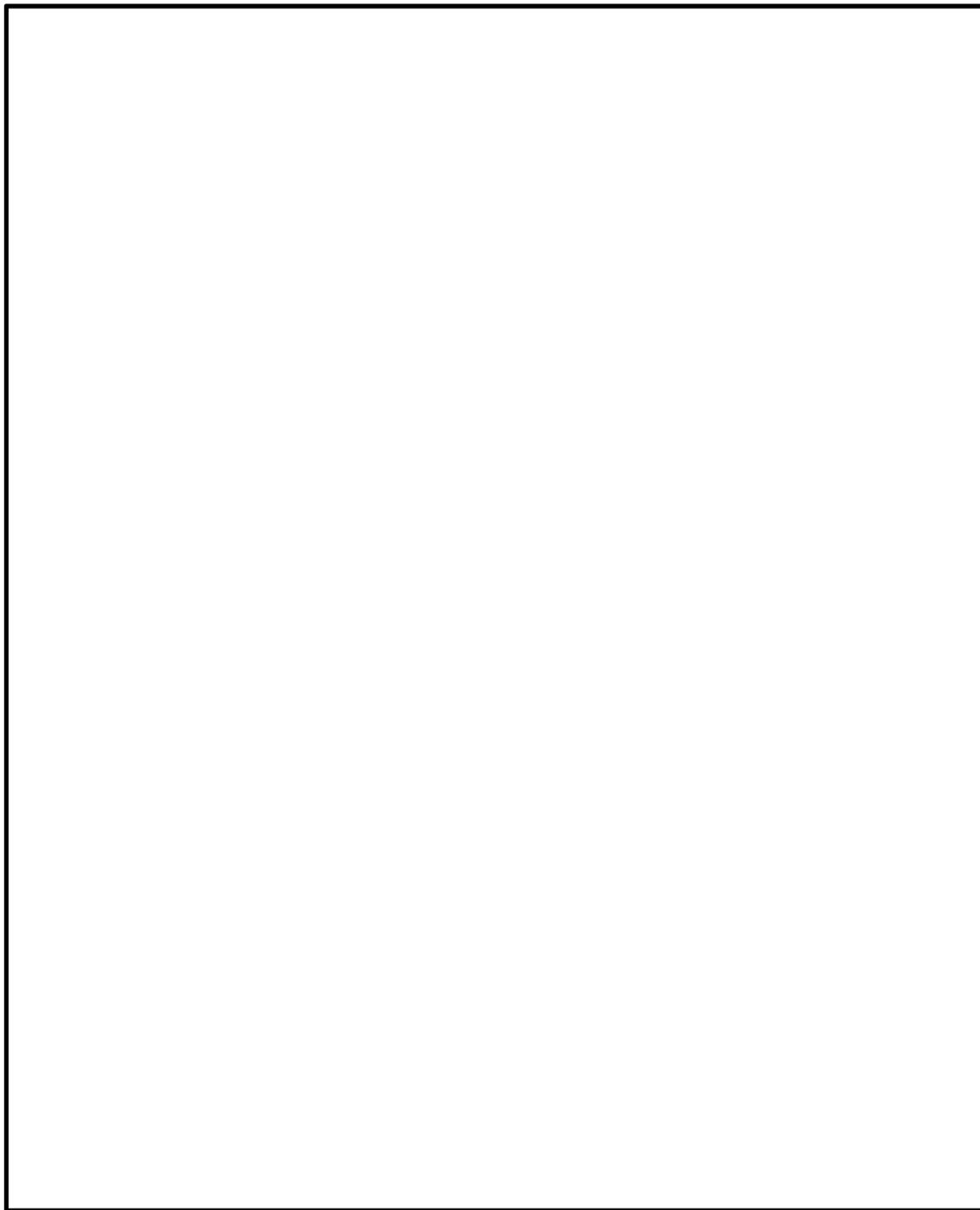
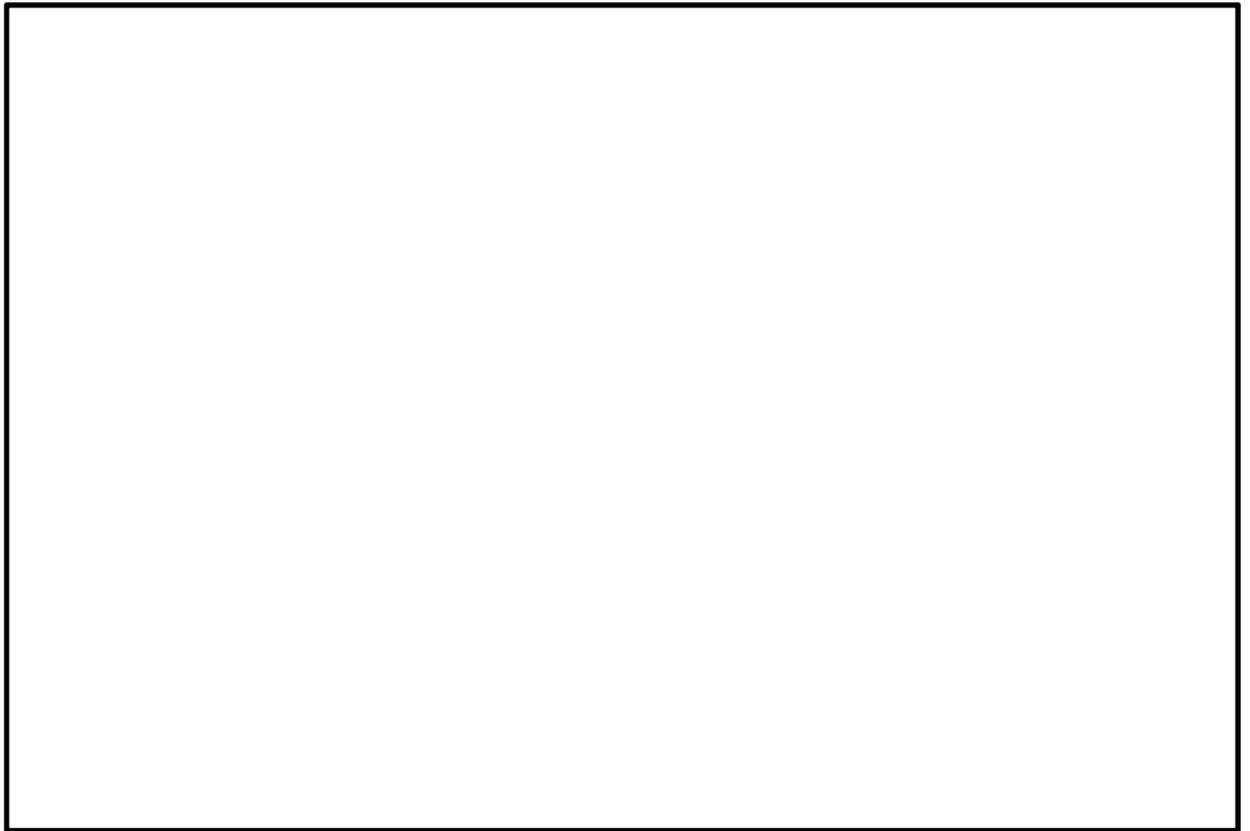


図 3-2 サプレッション・チェンバ円筒部, サンドクッション部の形状及び主要寸法 (単位 : mm)



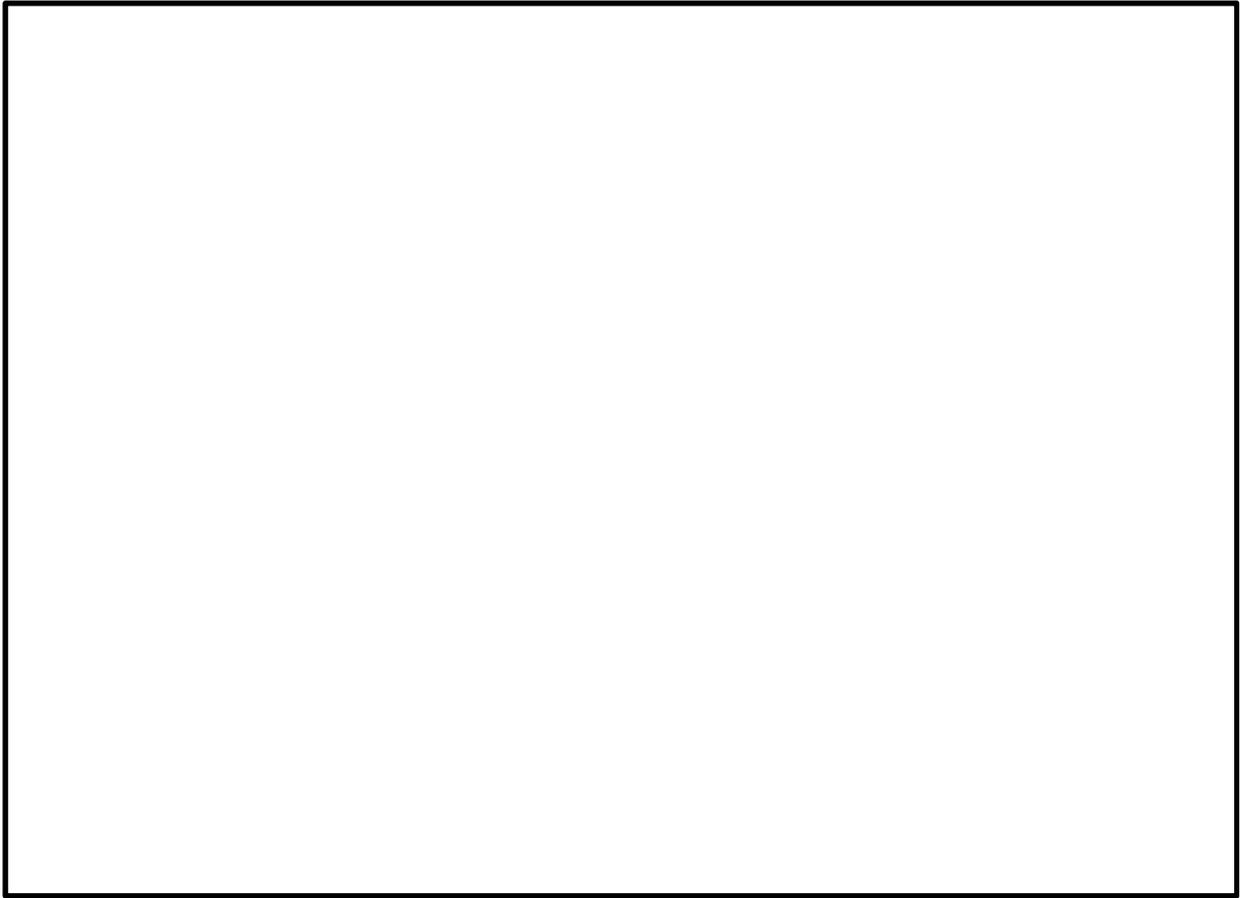
- ① 補強リング
- ② 側板
- ③ シートプレート
- ④ 下板
- Ⓔ 応力評価点

図 3-3 上段ビームシートの寸法及び名称 (単位 : mm)



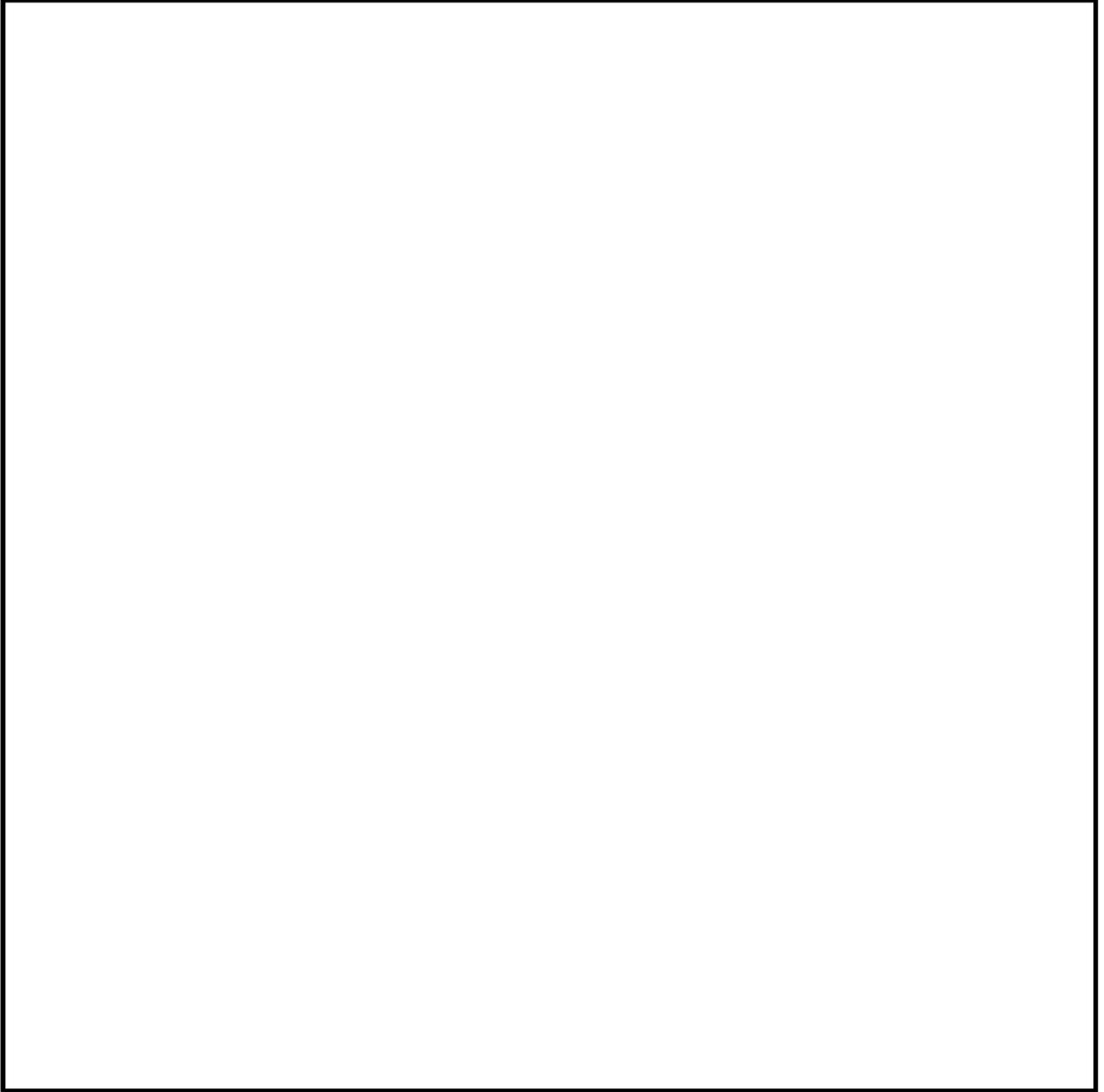
- ① 側板
- ② シートプレート
- ③ 下板
- Ⓟ 応力評価点

図 3-4 下段Aビームシート（補強板なし）の寸法及び名称（単位：mm）



- ① 側板
- ② シートプレート
- ③ 下板
- ④ 補強板
- Ⓟ 応力評価点

図 3-5 下段A ビームシート及び補強板 (単位 : mm)



- ① 側板
- ② シートプレート
- ③ 下板
- ④ 補強板
- Ⓟ P10 応力評価点

図 3-6 下段B ビームシート及び補強板 (単位 : mm)

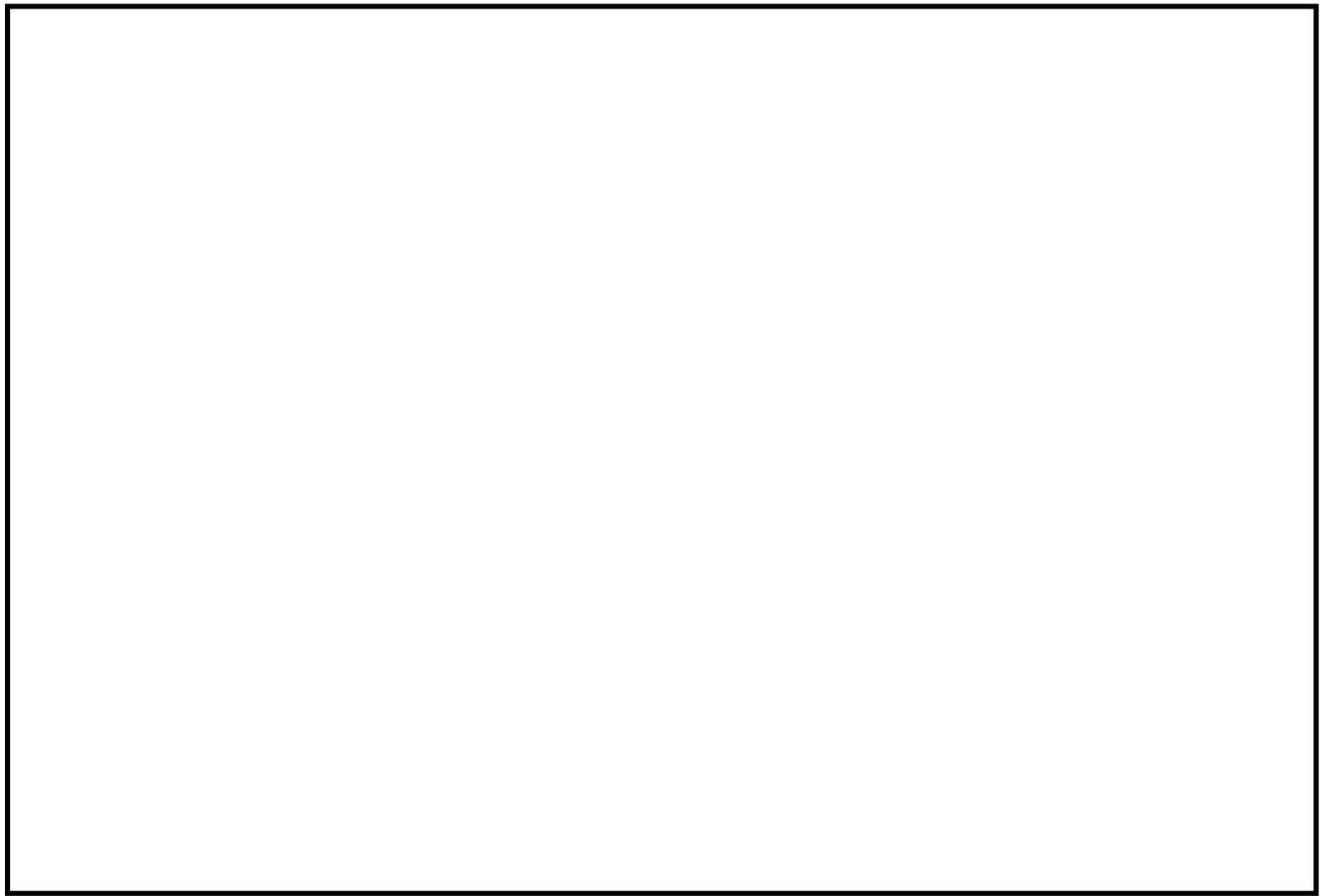


図 3-7 ビームシートの位置 (単位 : mm)

4. 設計条件

4.1 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての最高使用圧力及び最高使用温度

a. ドライウエル

内圧 P_D 310 kPa

外圧 P_{DO} 14 kPa

温度 T_D 171 °C

b. サプレッション・チェンバ

内圧 P_D 310 kPa

外圧 P_{DO} 14 kPa

温度 T_D 104.5 °C

(2) 冷却材喪失事故後の最大内圧 P_{DBA}

a. ドライウエル 255 kPa

b. サプレッション・チェンバ 196 kPa

(3) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

内圧 $P_{SA(L)}$ 465 kPa * (SA後長期)

内圧 $P_{SA(LL)}$ 200 kPa (SA後長々期)

温度 $T_{SA(L)}$ 171 °C (SA後長期)

温度 $T_{SA(LL)}$ 150 °C (SA後長々期)

注記 * : 原子炉冷却材喪失事故時荷重と組み合わせる場合には、事象に応じた内圧を設定する。

(4) 死荷重

死荷重はドライウエル及びサプレッション・チェンバ容器の自重及びシェルに取付くアタッチメントの重量を考慮したものである。死荷重の値が大きく変化する代表的応力評価点に対して荷重の大きさを示す。

応力評価点 P3		N
応力評価点 P4		N
応力評価点 P5		N
応力評価点 P6		N

(5) 活荷重

内部機器支持ビームから加わる荷重 (燃料交換時以外)		N
内部機器支持ビームから加わる荷重 (燃料交換時)		N
イクイブメントハッチ床に加わる荷重		N
パーソネルエアロック床に加わる荷重		N
サプレッション・チェンバ内のキャットウォークに加わる荷重		N
溶接パッドの支持荷重		N

(6) 水荷重

ドライウェル下フランジ・シールプレートに加わる荷重（燃料交換時）

リングガーターにかかるサプレッション・チェンバ内保有水重量

スプレイヘッダ内保有水重量

N
N
N

重大事故等対処設備の評価に用いる水荷重として、下記の冠水水位による水頭圧を考慮する。

冠水水位 mm

(7) 地震力による荷重

a. 原子炉格納容器胴

原子炉格納容器に加わる地震荷重について、添付書類「V-2-3-2 炉心，原子炉压力容器及び压力容器内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」において計算された計算結果を用いる。応力計算に用いる鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。また，弾性設計用地震動 S_d 又は静的地震力及び基準地震動 S_s による水平方向地震荷重のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-3 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-4 に示す。

(8) 逃がし安全弁作動時荷重

最大正圧 kPa

最大負圧 kPa

(9) 原子炉冷却材喪失事故時荷重

最大正圧 kPa

最大負圧 kPa

表 4-1 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（設計基準対象施設）

(単位：N)

応力評価点*	通常運転時			燃料交換時		
	鉛直荷重	地震荷重		鉛直荷重	地震荷重	
		S_d^*	S_s		S_d^*	S_s
P1						
P2						
P3						
P4						
P5						
P6						

注記 *：応力評価点の位置は図 3-1 及び図 3-2 参照。

表 4-2 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（重大事故等対処設備）

（単位：N）

応力評価点* ¹	重大事故等時		
	鉛直荷重	地震荷重	
		S _d	S _s
P1			
P2			
P3			
P4			
P5			
P6			

注記 *1：応力評価点の位置は図 3-1 及び図 3-2 参照。

*2：座屈評価に用いる荷重。

表 4-3 水平方向地震荷重（設計基準対象施設）

応力評価点*	S _d *による地震荷重		S _s による地震荷重	
	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
P1				
P2				
P3				
P4				
P5				
P6				

注記 *：応力評価点の位置は図 3-1 及び図 3-2 参照。

表 4-4 水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

応力評価点* ¹	S _d による地震荷重		S _s による地震荷重	
	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
P1				
P2				
P3				
P4				
P5				
P6				

注記 *1：応力評価点の位置は図 3-1 及び図 3-2 参照。

*2：座屈評価に用いる荷重。

b. ビームシート

内部機器支持ビームからビームシートに加わる最大荷重を表 4-5 に示す。なお，下段ビームシートにおいて地震荷重の加わる 135°，315° の位置を下段 B としその他を下段 A とする。また，各取付位置における設計荷重を表 4-6 に示す。

表 4-5 最大荷重（設計基準対象施設）

取付位置	最大荷重 P (N)		荷重の組合せ
	S _d *	S _s	
上段			総荷重＋活荷重
下段 A			総荷重
下段 B			総荷重＋地震荷重
下段 B 補強板 取付部			下段 A に加わる最大荷重＋ 下段 B に加わる最大荷重＋ 2×地震荷重

表 4-6 各取付位置における設計荷重（設計基準対象施設）

取付位置	S_{d^*}			S_s		
	半径方向 分力	軸方向 モーメント	円周方向 モーメント	半径方向 分力	軸方向 モーメント	円周方向 モーメント
	P_n (N)	M_L (N・mm)	M_c (N・mm)	P_n (N)	M_L (N・mm)	M_c (N・mm)
上段						
下段A						
下段B						
下段B補強板 取付部						

c. ビームシートと原子炉格納容器の取付部

原子炉格納容器に加わる鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重を表 4-7 に示す。水平方向地震荷重を表 4-8 に示す。

表 4-7 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（設計基準対象施設）

(単位：N)

取付位置	通常運転時		燃料交換時			
	鉛直荷重	地震荷重		鉛直荷重	地震荷重	
		S_{d^*}	S_s		S_{d^*}	S_s
上段						
下段						

表 4-8 水平方向地震荷重（設計基準対象施設）

取付位置	S_{d^*} による地震荷重		S_s による地震荷重	
	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
上段				
下段				

4.2 材料及び許容応力

(1) 材料

応力計算に使用する材料を表 4-9 に示す。

表 4-9 使用材料表

使用部位	使用材料		備考
ドライウェル円錐部シェル	SGV49 相当		SGV480*
サプレッション・チェンバ 円筒部シェル	SGV49 相当		SGV480*
ビームシート	SGV49 相当		SGV480*

注記 *：新 JIS を示す。

(2) 荷重の組合せ及び許容応力

基準地震動の策定に伴う地震荷重との組合せの評価として、荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-10 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-11 に、許容応力状態に対する許容限界について表 4-12 に示す。各材料の許容応力状態に対する許容応力のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-13 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-14 に示す。

表 4-10 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等 の区分	荷重の組合せ	許容応力 状態
原子炉 格納施設	原子炉 格納容器	原子炉格納容器胴及 びドライウェルビー ムシートと原子炉格 納容器胴との接合部	S	クラス MC 容器	$D + P + M + S_d^*$	III _A S
					$D + P + M + S_s$	IV _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^{**}$	IV _A S

注記 *：原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

表4-11 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	原子炉格納容器胴	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス2容器	$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。)
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ *2	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。)

注記 *1: 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2: 原子炉格納容器は, 放射性物質放出の最終障壁となることから, 重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表4-12 許容限界（クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器）

許容応力状態	許容限界*1					
	一次一般膜応力	一次膜応力 + 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力	特別な応力限界	
					純せん断応力	支圧応力
III _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及高ニッケル合金については1.2・Sとする。	左欄の 1.5倍の値 *2			0.6・S	S _y *6 (1.5・S _y)
IV _v S	構造上の連続な部分は0.6・S _u 、 不連続な部分はS _y と0.6・S _u の 小さい方。 ただし、オーステナイト系ステン レス鋼及び高ニッケル合金につい ては、構造上の連続な部分は2・ Sと0.6S _u の小さい方、不連続な 部分は1.2・Sとする。	左欄の 1.5倍の値 *2	3・S*3 S _d 又はS _s 地震動 のみによる応力振幅 について評価する。	S _d 又はS _s 地震動のみ による疲労解析を行い、 運転状態Ⅰ，Ⅱにおける 疲労累積係数との和が 1.0 以下であること。 *4*5	0.4・S _u	S _u *6 (1.5・S _u)
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用 いる。)						

注記 *1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の非又は1.5のいずれか小さい方の値（α）を用いる。

*3：3・Sを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313を除く。S_mはSと読み替える。）の弾塑性解析を用いる。

*4：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「 S_d 又は S_s 地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*5：運転状態Ⅰ，Ⅱにおいて疲労解析を要しない場合は，地震動のみによる疲労累積係数を1.0以下とする。

*6：（ ）内は，支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

表4-13 許容応力（設計基準対象施設）

（単位：MPa）

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次+二次応力
			P_m	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	171	III _A S	—	344	393
		IV _A S	—	380	393
	104.5	III _A S	237	356	393
		IV _A S	258	387	393

表4-14 許容応力（重大事故等対処設備）

（単位：MPa）

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次+二次応力
			P_m	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	150	V _A S	254	381	393
	171	V _A S	253	380	393

5. 応力計算

5.1 応力評価点

原子炉格納容器胴の形状及び応力レベルを考慮して設定した応力評価点を表 5-1 及び図 3-1～図 3-6 に示す。

表 5-1 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1	円筒部と円錐部の接合部
P2	円錐部の角度変化部
P3	円錐部の板厚変化部
P4	円錐部と円筒部の接合部
P5	円筒部（中央部）
P6	底部のフランジプレートとの接合部
P7	上段ビームシートとの接合部
P8	下段Aビームシート（補強板なし）との接合部
P9	下段Aビームシート（補強板あり）との接合部
P10	下段Bビームシートとの接合部

5.2 計算方針

各荷重により原子炉格納容器胴に生じる応力は、解析コード**MSC NASTRAN**を使用して計算する。原子炉格納容器の計算モデルを図 5-1～5-5 に、**計算モデルの諸元を表 5-2**に示す。

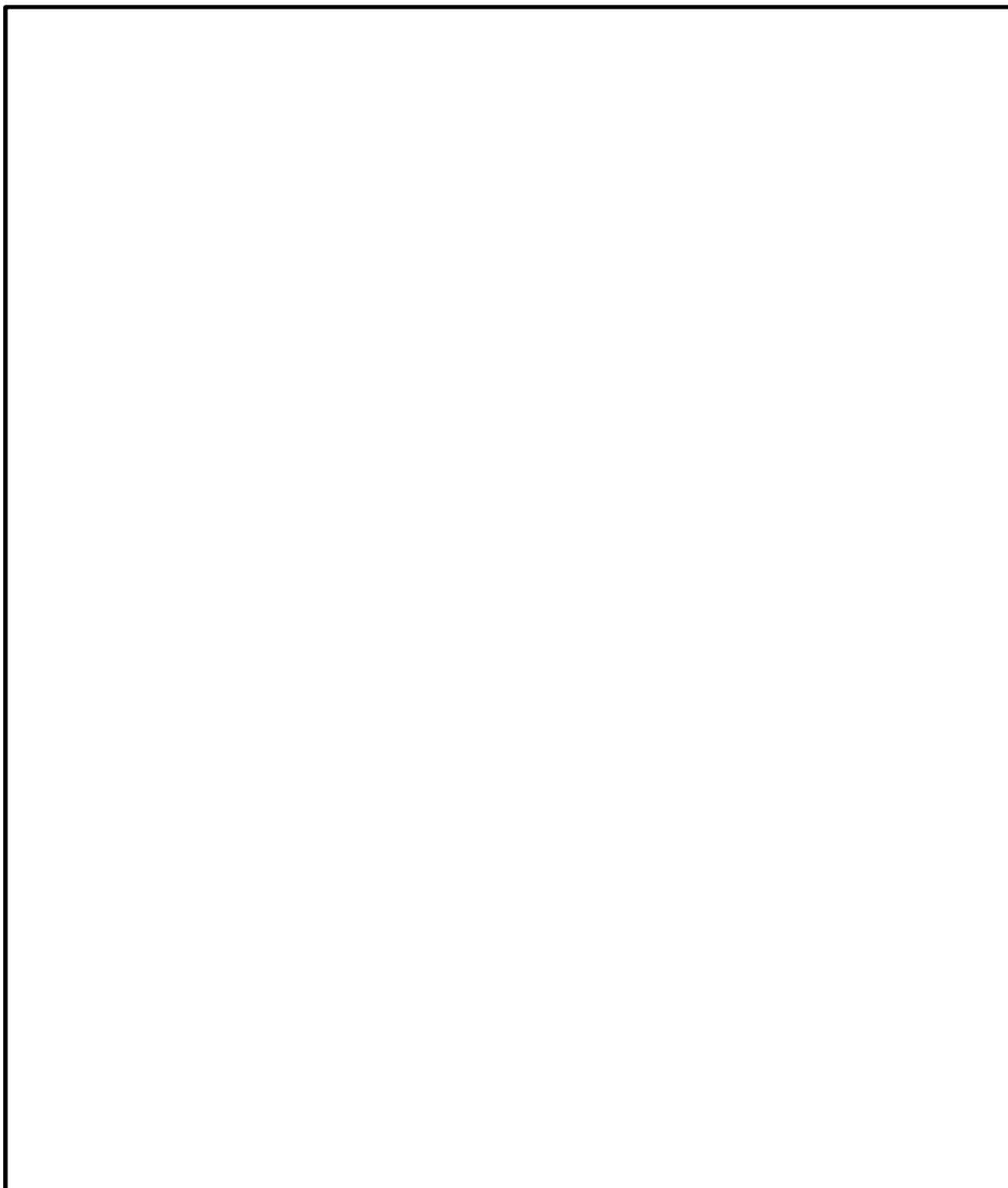


図 5-1 計算モデル

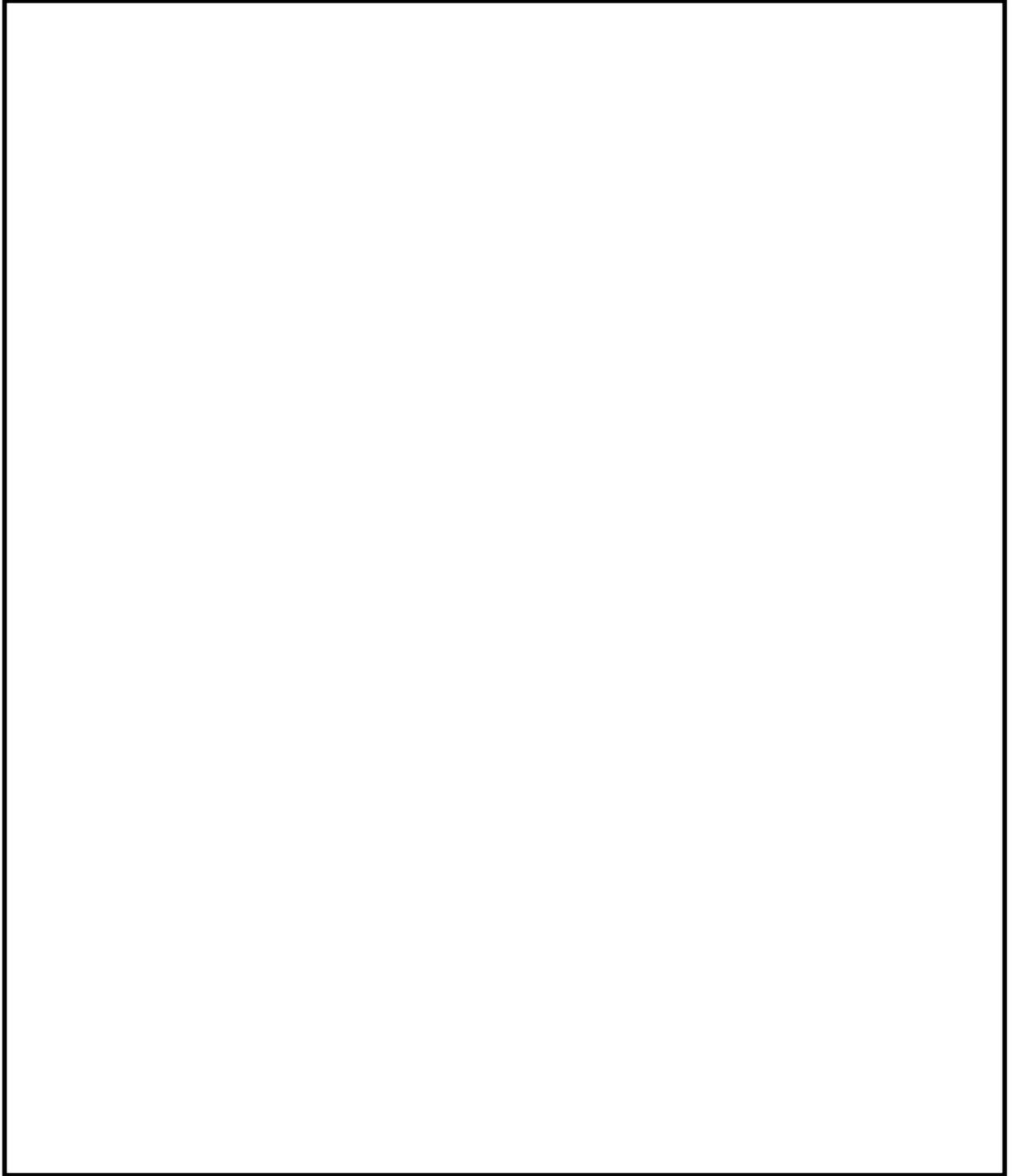


図 5-2 上段ビームシートの解析モデル

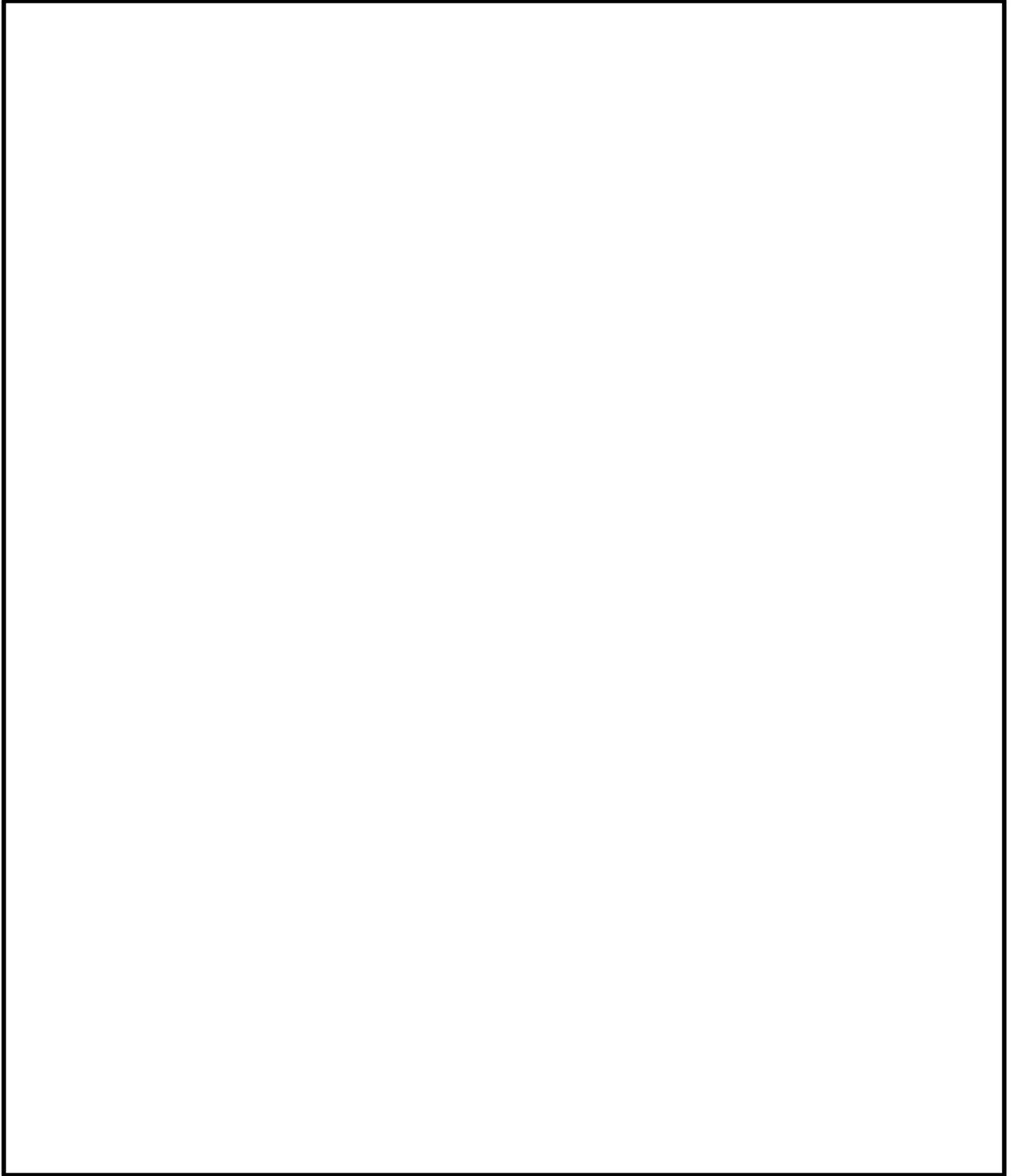


図 5-3 下段Aビームシート（補強板なし）の解析モデル

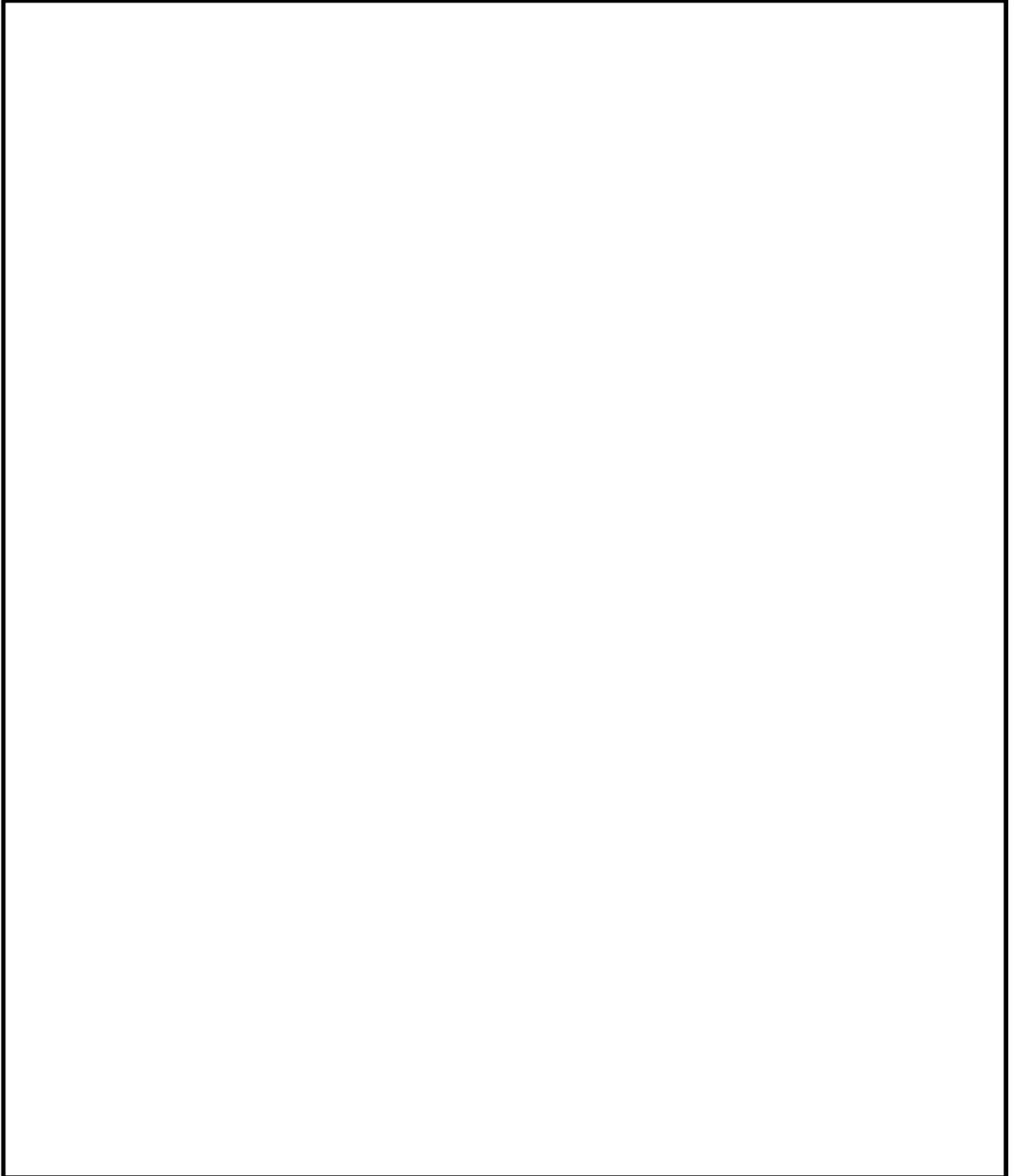


図 5-4 下段Aビームシート（補強板あり）の解析モデル

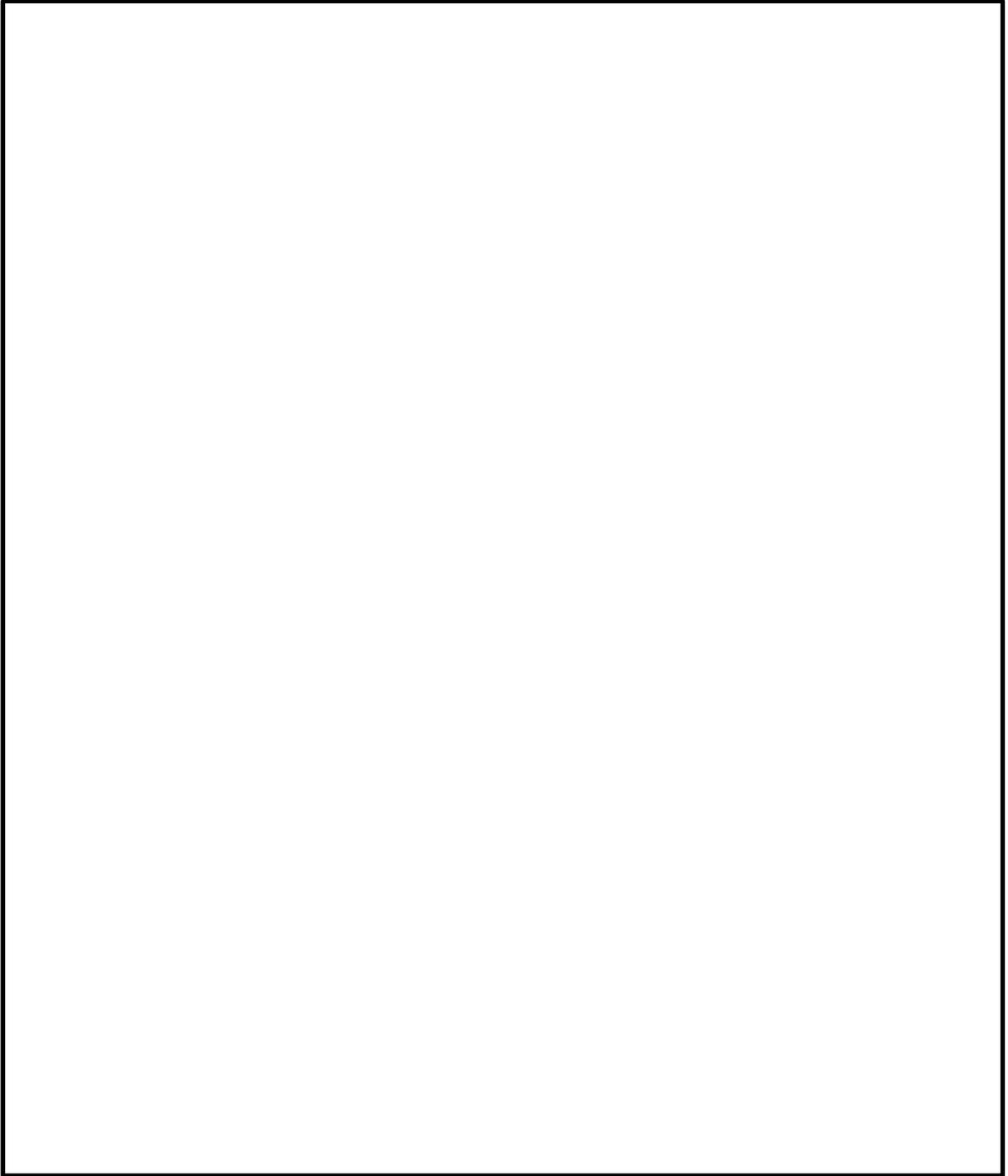


図 5-5 下段B ビームシート（補強板あり）の解析モデル

表 5-2 解析モデル諸元表

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV480
質量	m_0	kg	— *1
温度条件	T	°C	— *2
縦弾性係数	E	MPa	— *2
ポアソン比	ν	—	□
要素数	—	個	図5-1～図5-5に 記載のとおり
節点数	—	個	

注記 *1：単位荷重による解析のため、質量の入力は不要。

*2：動的応答を考慮しない為、温度及び剛性（縦弾性係数）は解析結果に影響しない。

5.3 座屈評価

(1) 評価荷重

応力評価点 P6 の座屈評価に用いる地震荷重を以下に示す。

a. 設計基準対象施設としての評価荷重

$$\begin{aligned} \text{軸圧縮荷重} \quad P &= \boxed{} \text{ (N)} \\ \text{曲げモーメント} \quad M &= \boxed{} \text{ (N}\cdot\text{mm)} \end{aligned}$$

b. 重大事故等対処設備としての評価荷重

$$\begin{aligned} \text{軸圧縮荷重} \quad P &= \boxed{} \text{ (N)} \\ \text{曲げモーメント} \quad M &= \boxed{} \text{ (N}\cdot\text{mm)} \end{aligned}$$

(2) 評価式

応力評価点 P6 に対する地震時における評価は、以下の評価式を用いて行う。

$$\frac{\alpha \cdot (P/A)}{f_c} + \frac{\alpha \cdot (M/Z)}{f_b} \leq 1.0$$

ここで、

A : 断面積 (mm²)

Z : 断面係数 (mm³)

f_c : 軸圧縮荷重に対する座屈応力で、次の計算式により計算した値 (MPa)

$$f_c = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \left\{ 1 - \frac{1}{6800g} (F - \Phi_c\{\eta_2\})(\eta - \eta_1) \right\} & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \\ \Phi_c\{\eta\} & (\eta_2 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

ここで、

$$\Phi_c\{\eta\} = 0.6 \frac{E}{\eta} \left[1 - 0.901 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \sqrt{\eta}\right) \right\} \right]$$

f_b : 曲げモーメントに対する座屈応力で、次の計算式により計算した値 (MPa)

$$f_b = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \left\{ 1 - \frac{1}{8400g} (F - \Phi_b\{\eta_3\})(\eta - \eta_1) \right\} & (\eta_1 < \eta < \eta_3) \\ \Phi_b\{\eta\} & (\eta_3 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

ここで、

$$\Phi_b\{\eta\} = 0.6 \frac{E}{\eta} \left[1 - 0.731 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \sqrt{\eta}\right) \right\} \right]$$

α : 安全率で次に規定する値。許容応力状態ⅢAS及びⅣASに対して、

$$\alpha = \begin{cases} 1.0 & (\eta \leq \eta_1) \\ 1.0 + \frac{F}{13600g} (\eta - \eta_1) & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \\ 1.5 & (\eta_2 \leq \eta) \end{cases}$$

E : 材料の縦弾性係数 (MPa)

t : 円筒の板厚 (mm)

R : 円筒の平均半径(mm)

η : R / t

η_1 : 1200 g / F

η_2 : 8000 g / F

η_3 : 9600 g / F

g : 重力加速度

F : 設計・建設規格 SSB-3121.1 において定める F の値(MPa)

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉格納容器胴の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅳ_ASに対する応力評価結果を表6-1に示す。

表4-10に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_s$ 及び $D + P_L + M_L + S_d^*$ の評価について、それぞれ発生値が高い方の評価を記載している。

(2) 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅲ_ASに対する応力評価結果を表6-2に示す。

表4-10に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_d^*$ の評価について評価を記載している。

表 6-1 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P + M + S_S又はD + P_L + M_L + S_d*) (その1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
原子炉格納容器胴	P1	円筒部と円錐部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	131	380	○	②*1
			一次+二次応力	144	393	○	①*1
	P2	円錐部の角度変化部	一次膜応力+一次曲げ応力	73	380	○	①*1
			一次+二次応力	156	393	○	①*1
	P3	円錐部の板厚変化部	一次膜応力+一次曲げ応力	86	380	○	②*1
			一次+二次応力	90	393	○	①*1
	P4	円錐部と円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	112	387	○	①*1
			一次+二次応力	284	393	○	①*1
	P5	円筒部 (中央部)	一次一般膜応力	82	258	○	②*1
			一次膜応力+一次曲げ応力	82	387	○	②*1
			一次+二次応力	98	393	○	①*1
	P6	底部のフランジプレートとの接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	66	387	○	①*1
			一次+二次応力	186	393	○	①*1
			座屈	0.59	1	○	①*1 単位なし

表 6-1 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P + M + S_s 又は D + P_L + M_L + S_d*) (その 2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
原子炉格納容器胴	P7	上段ビームシートとの接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	116	380	○	②* ¹
			一次+二次応力	286	393	○	①* ¹
	P8	下段Aビームシート (補強板なし)との接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	112	380	○	②* ¹
			一次+二次応力	324	393	○	①* ¹
	P9	下段Aビームシート (補強板あり)との接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	106	380	○	②* ¹
			一次+二次応力	210	393	○	①* ¹
	P10	下段Bビームシートとの接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	128	380	○	②* ¹
			一次+二次応力	544	393	×* ²	①* ¹
			疲労評価	0.821	1	○	単位なし

注記 *¹: ①: D + P + M + S_s / ②: D + P_L + M_L + S_d*における結果を示す。

*²: P10 の一次+二次応力評価結果は評価基準値を満足しないが、設計・建設規格 (J S M E S N C 1 - 2005) PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、この結果より耐震性を有することを確認した。

表 6-2 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価結果 (D+P+M+S_d*) (その1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
原子炉格納容器胴	P1	円筒部と円錐部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	47	344	○	
			一次+二次応力	88	393	○	
	P2	円錐部の角度変化部	一次膜応力+一次曲げ応力	54	344	○	
			一次+二次応力	96	393	○	
	P3	円錐部の板厚変化部	一次膜応力+一次曲げ応力	31	344	○	
			一次+二次応力	42	393	○	
	P4	円錐部と円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	70	356	○	
			一次+二次応力	140	393	○	
	P5	円筒部 (中央部)	一次一般膜応力	37	237	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	37	356	○	
			一次+二次応力	52	393	○	
	P6	底部のフランジプレートとの接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	42	356	○	
			一次+二次応力	102	393	○	
			座屈	0.59*	1	○	単位なし

表 6-2 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価結果 (D+P+M+S_d*) (その2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
原子炉格納容器胴	P7	上段ビームシートとの接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	61	344	○	
			一次+二次応力	216	393	○	
	P8	下段Aビームシート (補強板なし) との接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	50	344	○	
			一次+二次応力	218	393	○	
	P9	下段Aビームシート (補強板あり) との接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	47	344	○	
			一次+二次応力	130	393	○	
	P10	下段Bビームシートとの接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	61	344	○	
			一次+二次応力	370	393	○	

注記 * : 保守的に (D+P+M+S_s) の評価結果を記載する。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉格納容器胴の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価

許容応力状態 V_{AS} に対する応力評価結果を表 6-3 に示す。

表 4-11 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ 及び $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ の評価について、それぞれ発生値が高い方の評価を記載している。

表 6-3 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_S$ 又は $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
原子炉格納容器胴	P1	円筒部と円錐部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	232	380	○	②*
			一次+二次応力	92	393	○	①*
	P2	円錐部の角度変化部	一次膜応力+一次曲げ応力	71	380	○	②*
			一次+二次応力	120	393	○	①*
	P3	円錐部の板厚変化部	一次膜応力+一次曲げ応力	156	380	○	②*
			一次+二次応力	88	393	○	①*
	P4	円錐部と円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	157	380	○	②*
			一次+二次応力	278	393	○	①*
	P5	円筒部 (中央部)	一次一般膜応力	227	253	○	②*
			一次膜応力+一次曲げ応力	227	380	○	②*
			一次+二次応力	146	393	○	①*
	P6	底部のフランジプレートとの接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	94	380	○	②*
			一次+二次応力	304	393	○	①*
			座屈	0.98	1	○	①* 単位なし

注記 * : ① : $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_S$ / ② : $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ における結果を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-711 改2
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-9-2-10 電気配線貫通部の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 構造説明	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	3
3. 形状及び主要寸法	4
4. 設計条件	5
4.1 設計荷重	5
4.2 材料及び許容 限界	7
5. 応力計算	11
5.1 応力評価点	11
5.2 計算方針	12
5.2.1 原子炉格納容器に作用する荷重による応力	12
5.2.2 貫通部に作用する荷重による応力	12
6. 評価結果	13
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	13
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	16
7. 引用図書	18

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、電気配線貫通部が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価は電気配線貫通部の地震応答解析、応力評価により行う。

電気配線貫通部は設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

電気配線貫通部の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>電気配線貫通部は、原子炉格納容器に支持される。</p>	<p>・原子炉格納容器に円筒形スリーブ、アダプタ及びヘッドが取り付けられた鋼製構造物である。</p>	

2.2 評価方針

- (1) 電気配線貫通部の応力評価は、原子炉格納容器側の応力については、原子炉格納容器に作用する荷重（死荷重、圧力、地震荷重）による応力と、貫通部に作用する荷重による応力を組み合わせて評価する。原子炉格納容器に作用する荷重による応力は、引用図書(1)で計算した応力を用い、貫通部に作用する荷重による応力は、実績のある三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。
- (2) 解析コードはN A S T R A Nを用いる。なお、評価に用いる解析コードN A S T R A Nの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。
- (3) 本計算書における評価部位は、電気配線貫通部の形状及び応力レベルを考慮し、電気配線貫通部の原子炉格納容器への取付部とする。

3. 形状及び主要寸法

電気配線貫通部の形状及び主要寸法を図 3-1 及び表 3-1 に示す。

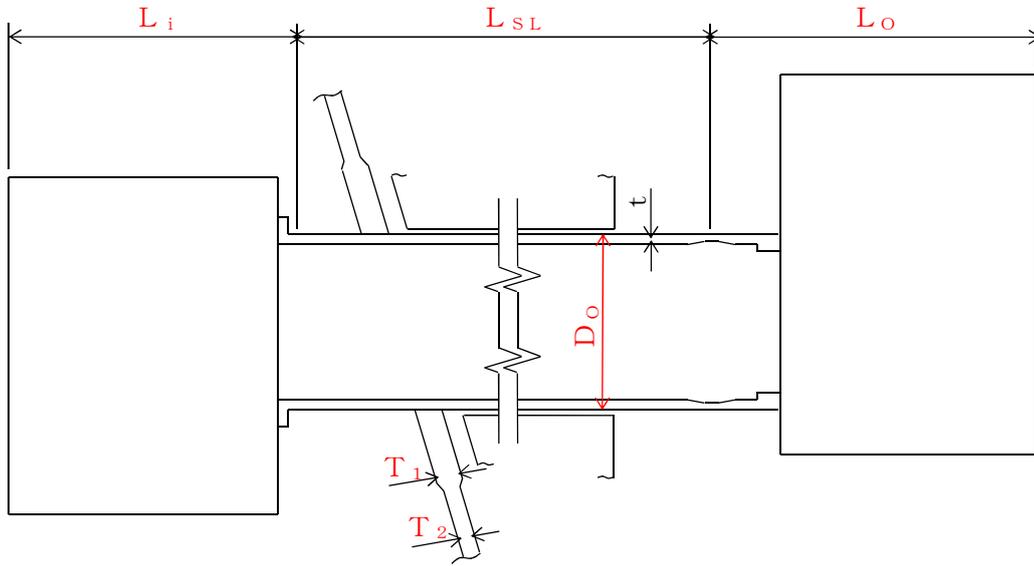


図 3-1 電気配線貫通部の形状

表 3-1 電気配線貫通部の寸法

(単位：mm)

貫通部番号	取付位置 (EL.)	D_o	t	T_1	T_2	L_{sL}	L_i	L_o

4. 設計条件

4.1 設計荷重

- (1) 設計基準対象施設としての最高使用圧力及び最高使用温度

内圧 P_D	310 kPa
外圧 P_{DO}	14 kPa
温度 T_D	171 °C

- (2) 冷却材喪失事故後の最大内圧 P_{DBA} 255 kPa

- (3) 重大事故等対処施設としての評価圧力及び評価温度

内圧 P_{SAL}	465 kPa (SA後長期)
内圧 P_{SALL}	200 kPa (SA後長々期)
温度 T_{SAL}	171 °C (SA後長期)
温度 T_{SALL}	150 °C (SA後長々期)

- (4) 死荷重

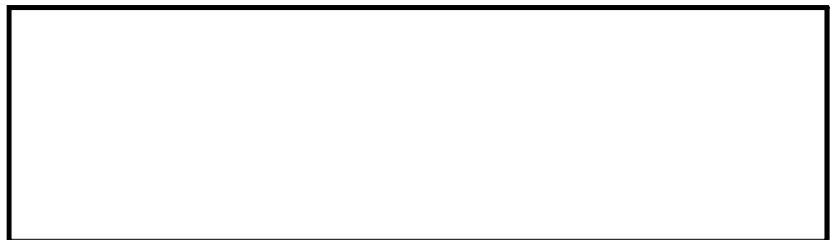
- a. 電気配線貫通部の自重



- (5) 地震力による荷重

解析モデルによる固有値解析の結果を表 4-1, 図 4-1, 図 4-2 及び表 4-2, 表 4-3, 図 4-3 に示す。

電気配線貫通部に加わる地震荷重について、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した応答スペクトルの作成方針に基づき、作成した設計用床応答曲線を用いる。表 4-4, 表 4-6 に示す設計震度により電気配線貫通部に加わる荷重を解析コード NASTRAN を使用して計算する。計算モデルを図 4-1 に、計算モデルの諸元を表 5-2 に示す。



接続箱中心位置に接続箱質量を設定し、スリーブは等分布質量を設定
格納容器との接合はシェルバネを考慮

図 4-1 計算モデル

表 4-1 固有周期 (設計基準対象施設)

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
			X	Y	Z
1次		水平方向(周方向)			
2次		鉛直方向			
3次		水平方向(径方向)			

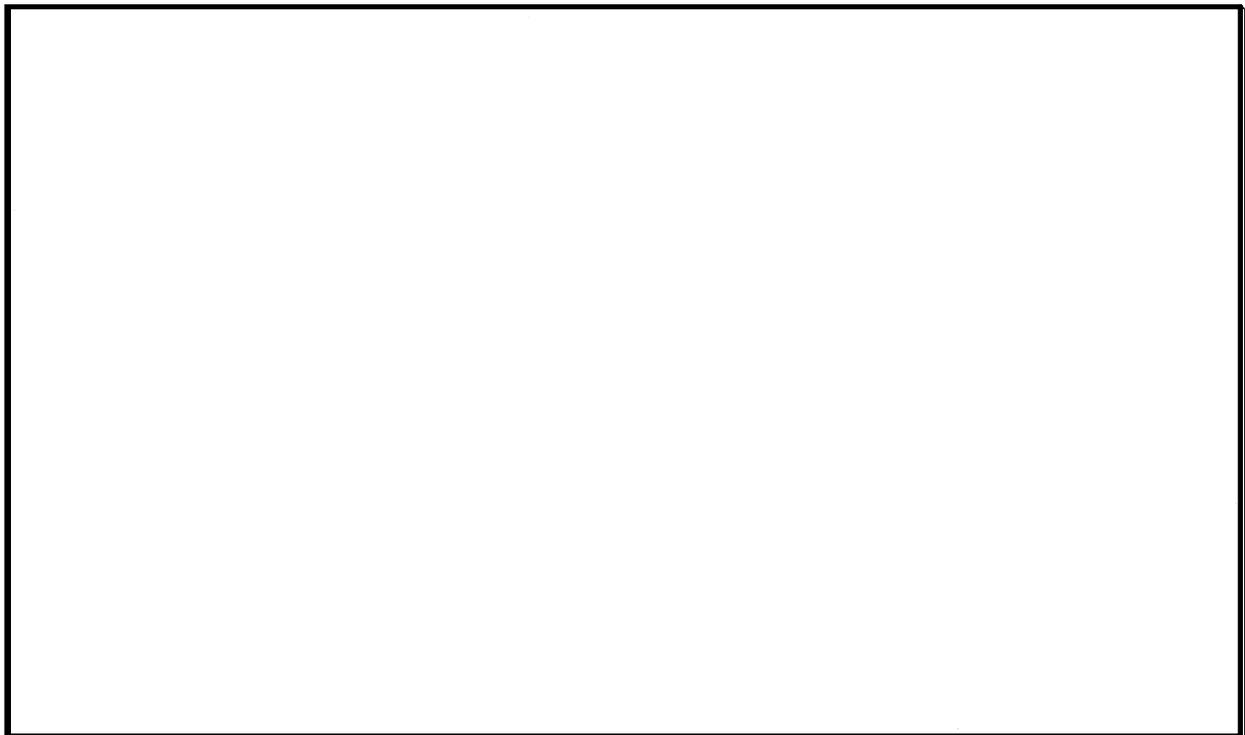


図 4-2 モード変形図 (設計基準対象施設)

表 4-2 固有周期（重大事故等対処設備）

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
			X	Y	Z
1次	[]	水平方向(周方向)	[]		
2次		鉛直方向			
3次		水平方向(径方向)			

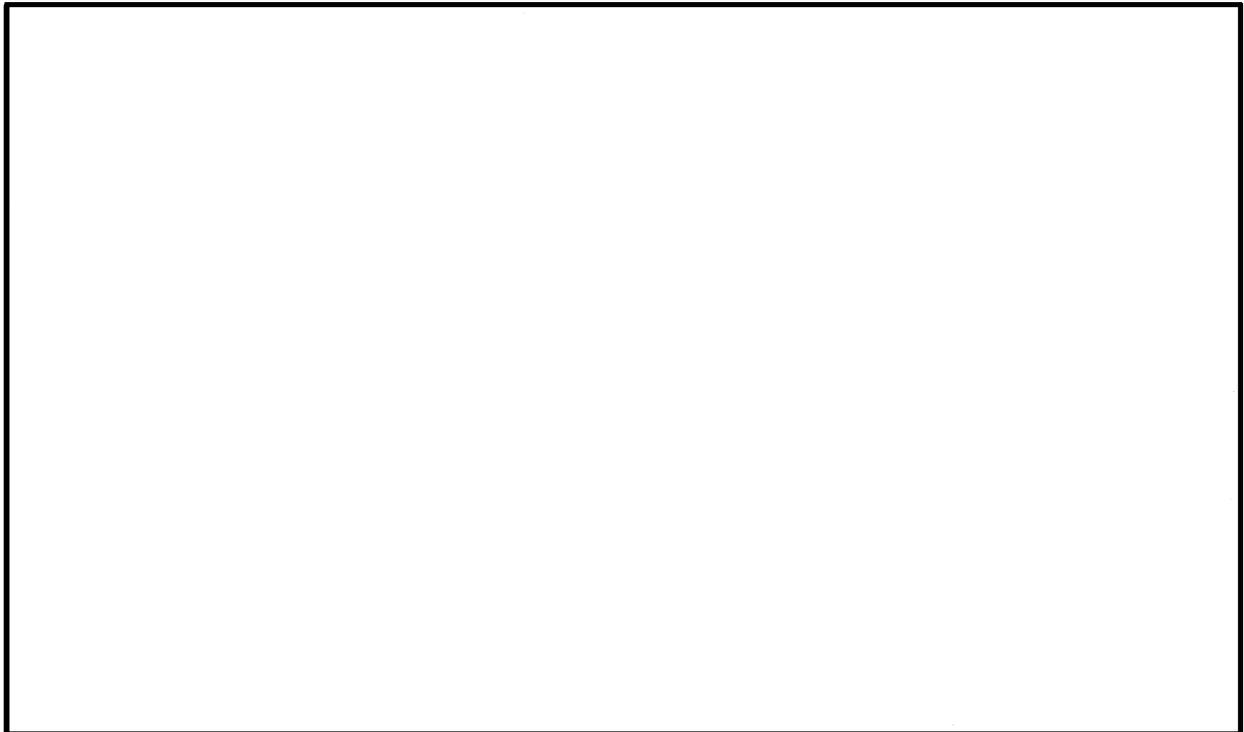


図 4-3 モード変形図（重大事故等対処設備）

表 4-3 設計震度（設計用床応答曲線）（設計基準対象施設）

地震動	設置場所 及び床面高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	備考
S_d	原子炉格納容器 EL. 21. 420～ EL. 24. 422	鉛直	1.0	水平方向はX方向 及びY方向の包絡 曲線を用いる。
		水平	1.0	
S_s	原子炉格納容器 EL. 21. 420～ EL. 24. 422	鉛直	1.0	水平方向はX方向 及びY方向の包絡 曲線を用いる。
		水平	1.0	

注記 * : 電気配線貫通部は溶接構造物のため 1.0 %を適用

表 4-4 設計震度（設計基準対象施設）

方向	S_d^*	S_s
鉛直方向		
水平方向		

表 4-5 設計震度（設計用床応答曲線）（重大事故等対処設備）

地震動	設置場所 及び床面高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	備考
S _d	原子炉格納容器 EL. 21.420～ EL. 24.422	鉛直	1.0	水平方向はX方向 及びY方向の包絡 曲線を用いる。
		水平	1.0	
S _s	原子炉格納容器 EL. 21.420～ EL. 24.422	鉛直	1.0	水平方向はX方向 及びY方向の包絡 曲線を用いる。
		水平	1.0	

注記 * : 電気配線貫通部は溶接構造物のため 1.0 %を適用

表 4-6 設計震度（重大事故等対処設備）

方向	S _d	S _s
鉛直方向		
水平方向		

4.2 材料及び許容応力

(1) 材料

表 4-7 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
原子炉格納容器胴	SGV49 相当	SGV480*
補強板	SGV49 相当	SGV480*

注記 * : 現行の JIS を示す。

(2) 荷重の組合せ及び許容応力

基準地震動の策定に伴う地震荷重との組合せの評価として、荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-8 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-9 に示す。各材料の許容応力状態に対する許容応力のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-11 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-12 に示す。

表4-8 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	電気配線貫通部	S	クラス MC 容器	$D + P + M + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	Ⅳ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^{**}$	Ⅳ _A S

注記 * : 原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

表4-9 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	電気配線貫通部	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス2容器	$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として V_{AS} の許容限界を用いる。)
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	V_{AS} (V_{AS} として V_{AS} の許容限界を用いる。)

注記 *1:「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備,「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備,「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。
*2:原子炉格納容器は,放射性物質放出の最終障壁となること喪失事故後の最終障壁となることから,重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表4-10 許容限界 (クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器)

許容応力状態	許容限界*1					
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ピーク 応力	特別な応力限界	
					純せん断応力	支圧応力
III _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及高ニッケル合金については1.2・Sとする。	左欄の1.5倍の値*2			0.6・S	S _y *6 (1.5・S _y)
IV _A S	構造上の連続な部分は0.6・S _u 、不連続な部分は、S _y と0.6・S _u の小さい方。	左欄の1.5倍の値*2	3・S*3 S _d 又はS _s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態I、IIにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。	0.4・S _u	S _u *6 (1.5・S _u)
VA S (VA SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)	ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、構造上の連続な部分は2・Sと0.6S _u の小さい方、不連続な部分は1.2・Sとする。					

注記 *1: 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2: 設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は、1.5のいずれか小さい方の値 (α) を用いる。

- *3 : $3 \cdot S$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。 S_m は S と読み替える。) の弾塑性解析を用いる。
- *4 : 設計・建設規格 PVB-3140(6) を満たすときは疲労解析不要。
ただし、PVB-3140(6) の「応力の全振幅」は「 S_d 又は S_s 地震動による応力の全振幅」と読み替える。
- *5 : 運転状態 I, II において疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数を 1.0 以下とする。
- *6 : () 内は、支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

表4-11 許容応力（設計基準対象施設）

（単位：MPa）

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次+二次応力
			P_m	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	171	Ⅲ _A S	—	344	393
		Ⅳ _A S	—	344 ^{*1}	393
			—	380 ^{*2}	393

注記 *1：構造不連続部に対する許容応力を示す。

*2：構造連続部に対する許容応力を示す。

表4-12 許容応力（重大事故等対処設備）

（単位：MPa）

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次+二次応力
			P_m	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	171	Ⅴ _A S	—	344 ^{*1}	393
			—	380 ^{*2}	393
	150	Ⅴ _A S	—	348 ^{*1}	393
			—	381 ^{*2}	393

注記 *1：構造不連続部に対する許容応力を示す。

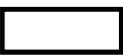
*2：構造連続部に対する許容応力を示す。

5. 応力計算

5.1 応力評価点

電気配線貫通部の形状及び応力レベルを考慮して設定した応力評価点を表 5-1 及び図 5-1 に示す。

表 5-1 応力評価点

貫通部番号	応力評価点番号	応力評価点
	P 1	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部 (胴側) (P 1 - A ~ P 1 - C)
	P 2	補強板結合部 (胴側) (P 2 - A ~ P 2 - C)

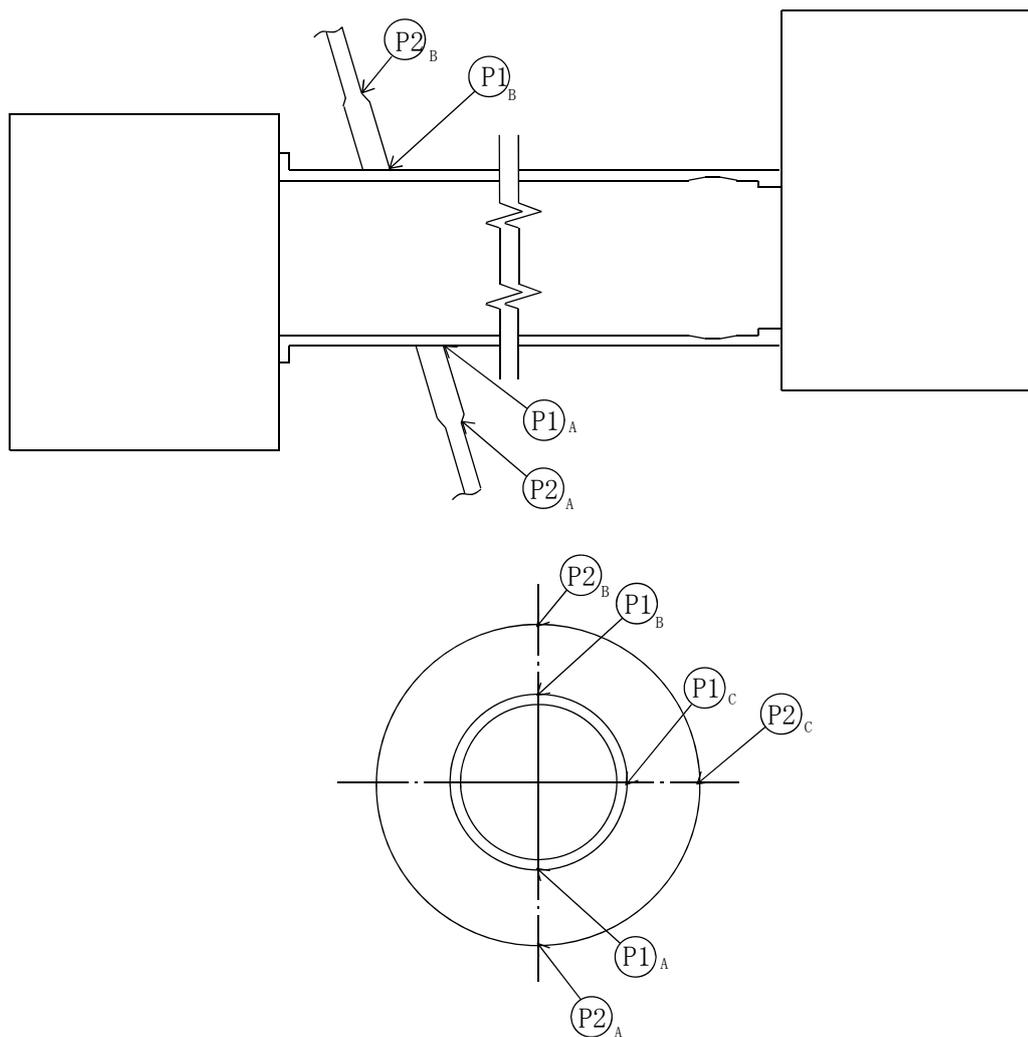


図 5-1 応力評価点

5.2 計算方針

5.2.1 原子炉格納容器に作用する荷重による応力

原子炉格納容器に作用する最高使用圧力（内圧）、最高使用圧力（外圧）、死荷重及び地震荷重による応力は、引用図書(1)で計算した応力を用いる。

5.2.2 貫通部に作用する荷重による応力

貫通部に作用する死荷重、地震荷重による応力は、解析コードNASTRANを用いて計算する。

計算モデルを図5-2に示す。

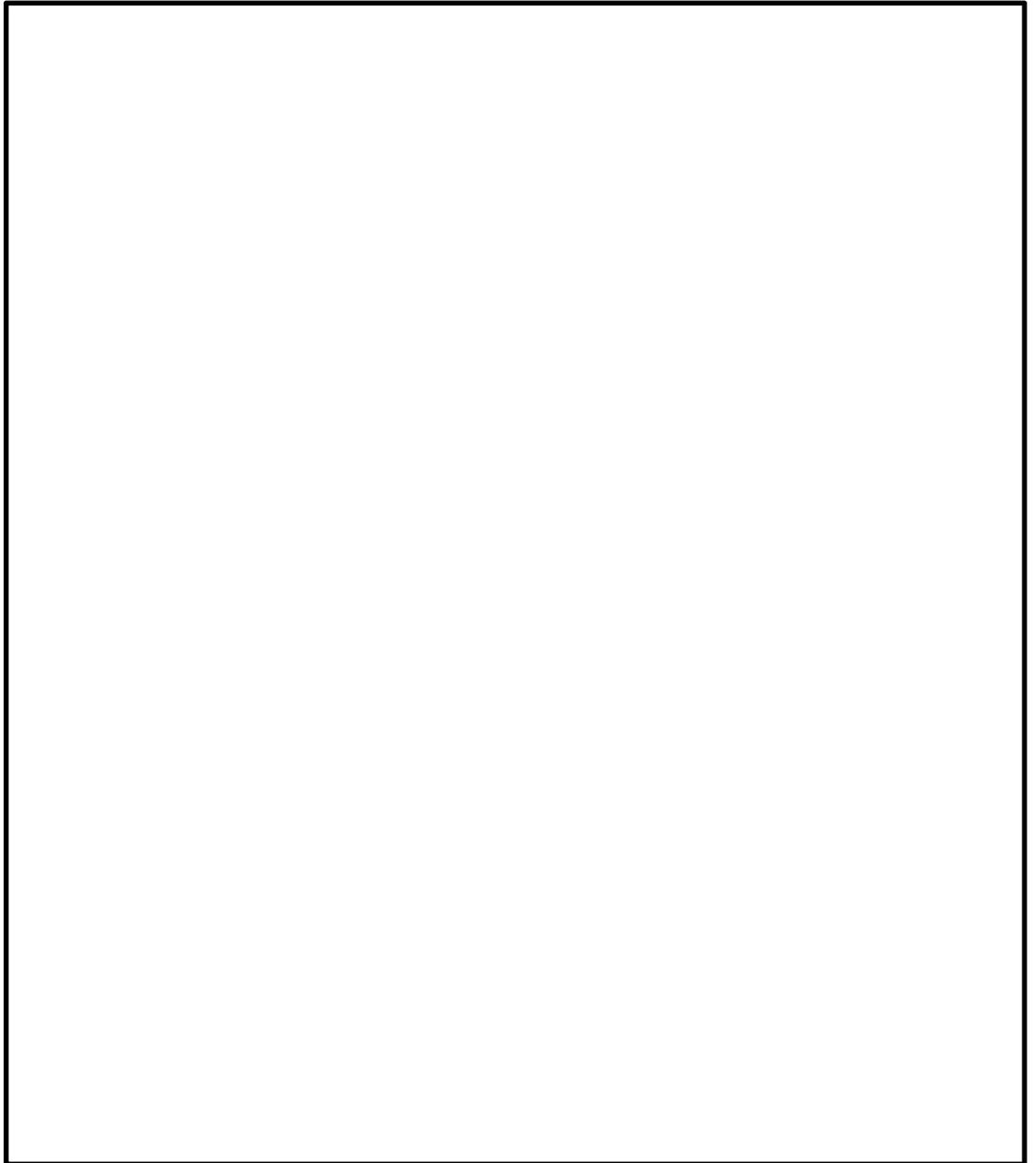


図5-2 計算モデル 

表 5-2 解析モデル諸元表

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV49相当
質量	m ₀	kg	—
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	66
等価縦弾性係数	E	MPa	<input type="text"/>
等価ポアソン比	ν	—	<input type="text"/>
応力増倍率	—	—	—
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

配管貫通部の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅳ_ASに対する応力評価結果を表 6-1 に示す。

表 4-10 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_L + M_L + S_d^*$ 及び $D + P + M + S_s$ の評価について、それぞれ発生値が高い方の評価を記載している。

(2) 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅲ_ASに対する応力評価結果を表 6-2 に示す。

表 4-10 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_d^*$ の評価について評価を記載している。

表 6-1 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s 又は D + P_L + M_L + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
電気配線貫通部	P 1 - A	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	112	344	○	①*
			一次+二次応力	516	393	×*	① *
			疲労評価	0.346	1	○	単位なし
	P 1 - B	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	117	344	○	①*
			一次+二次応力	524	393	×*	① *
			疲労評価	0.378	1	○	単位なし
	P 1 - C	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	96	344	○	①*
			一次+二次応力	336	393	○	①*
	P 2 - A	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	104	380	○	②*
			一次+二次応力	440	393	×*	① *
			疲労評価	0.065	1	○	単位なし
	P 2 - B	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	112	380	○	②*
			一次+二次応力	446	393	×*	① *
			疲労評価	0.069	1	○	単位なし
	P 2 - C	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	98	380	○	②*
			一次+二次応力	320	393	○	①*

注記 * : ① : D + P + M + S_s / ② : D + P_L + M_L + S_d*における結果を示す。

P 1 - A, P 1 - B 及び P 2 - A, P 2 - B の一次+二次応力評価結果は評価基準値を満足しないが, 設計・建設規格 (J S M E S N C 1 - 2005) PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, この結果より耐震性を有することを確認した。

表 6-2 許容応力状態ⅢA S に対する評価結果 (D + P + M + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	ⅢA S		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
電気配線貫通部	P 1 - A	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	60	344	○	
			一次+二次応力	274	393	○	
	P 1 - B	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	66	344	○	
			一次+二次応力	276	393	○	
	P 1 - C	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	57	344	○	
			一次+二次応力	180	393	○	
	P 2 - A	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	60	344	○	
			一次+二次応力	234	393	○	
	P 2 - B	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	59	344	○	
			一次+二次応力	236	393	○	
	P 2 - C	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	55	344	○	
			一次+二次応力	170	393	○	

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

電気配線貫通部の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価

許容応力状態 V_{AS} に対する応力評価結果を表 6-3 に示す。

表 4-10 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ 又は $D + P_{SALL} + M_{SAL} + S_s$ の評価について、それぞれ発生値が高い方の評価を記載している。

表 6-3 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_S$ 又は $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
電気配線貫通部	P 1 - A	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	176	344	○	②*
			一次+二次応力	512	393	×*	①*
			疲労評価	0.327	1	○	単位なし
	P 1 - B	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	185	344	○	②*
			一次+二次応力	520	393	×*	①*
			疲労評価	0.350	1	○	単位なし
	P 1 - C	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	162	344	○	②*
			一次+二次応力	332	393	○	①*
	P 2 - A	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	174	380	○	②*
			一次+二次応力	436	393	×*	①*
			疲労評価	0.059	1	○	単位なし
	P 2 - B	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	182	380	○	②*
			一次+二次応力	442	393	×*	①*
			疲労評価	0.063	1	○	単位なし
	P 2 - C	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	166	380	○	②*
			一次+二次応力	318	393	○	①*

注記 * : ① : $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_S$ / ② : $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ における結果を示す。

P 1 - A, P 1 - B 及び P 2 - A, P 2 - B の一次+二次応力評価結果は評価基準値を満足しないが, 設計・建設規格 (J S M E S N C 1 - 2005) PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, この結果より耐震性を有することを確認した。

7. 引用図書

- (1) 「V-2-9-2-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書」

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-739 改2
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-5-5-4-1 常設高圧代替注水系ポンプの
耐震性についての計算書

NT2 補① V-2-5-5-4-1 R2

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
3.	固有周期	3
3.1	固有周期の算出方法	3
4.	構造強度評価	3
4.1	構造強度評価方法	3
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	3
5.	機能維持評価	7
5.1	機能維持評価方法	7
5.2	動的機能維持評価	7
6.	評価結果	8
6.1	重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、常設高圧代替注水系ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

常設高圧代替注水系ポンプは、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

常設高圧代替注水系ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形横軸ポンプ</p>	<p>(単位: mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

振動試験により固有振動数（共振周波数）を測定する。固有周期を表 3-1 に示す。試験の結果、水平方向、鉛直方向は剛であることを確認した。

表 3-1 固有周期 (s)

水平方向	鉛直方向

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

常設高圧代替注水系ポンプの構造は横軸ポンプであるため、構造強度評価は添付書類「V-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

常設高圧代替注水系ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

4.2.2 許容応力

常設高圧代替注水系ポンプの許容応力を表 3-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

常設高圧代替注水系ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-3 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心 冷却設備そ の他原子炉 注水設備	常設高圧代替注水系ポンプ	常設耐震／防止	重大事故等 クラス 2 ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして、 IVASの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 4-2 許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許 容 限 界 ^{*1*2} (ボ ル ト 等)	
	一 次 応 力	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
V _A S (V _A Sとして、IV _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		699	803	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	120	663	759	—

5. 機能維持評価

5.1 機能維持評価方法

常設高圧代替注水系ポンプの機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.1 動的機能維持」にて設定した動的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が、動的機能維持確認済加速度以下であることを、「5.2 動的機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

常設高圧代替注水系ポンプの機能維持評価フローを図 5-1 に示す。

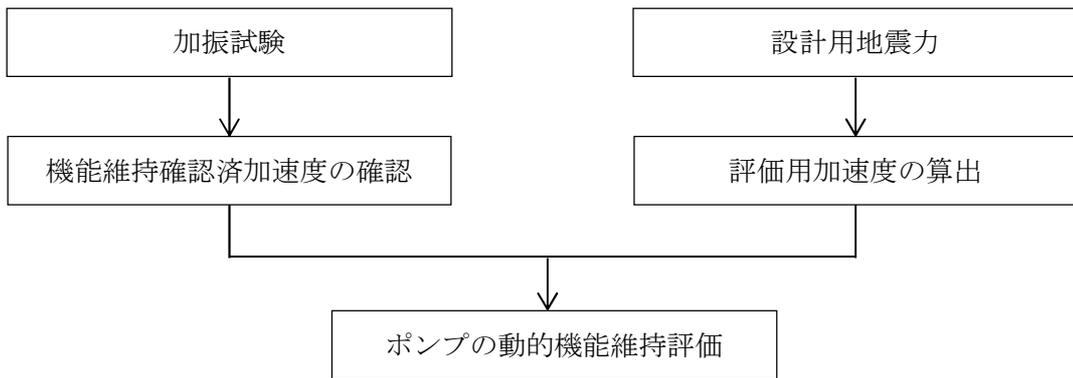


図 5-1 常設高圧代替注水系ポンプの機能維持評価フロー

5.2 動的機能維持評価

5.2.1 評価用加速度

常設高圧代替注水系ポンプの動的機能維持評価について、以下に示す。

ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付けられることから、設計用地震力は添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す、常設高圧代替注水系ポンプの設置床における基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線とする。評価用加速度には、設置場所の設備評価用床最大加速度を適用する。

評価用加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価用加速度 (単位: $\times 9.8\text{m/s}^2$)

対象機器設置箇所	加振方向		最大加速度
			S_s
原子炉建屋 EL. -4.0 (m)	水平	NS	0.72
		EW	0.72
	鉛直		0.75

5.2.2 機能確認済加速度

常設高圧代替注水系ポンプの機能確認済加速度について以下に示す。

常設高圧代替注水系ポンプは、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、実機の据付状態を模擬した上で、当該機器が設置される床における設備評価用床応答曲線を包絡する模擬地震波により加振試験を行い、動的機能の健全性を確認した。機能確認済加速度には、加振台において測定した最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-2 に示す。

表 5-2 機能確認済加速度 (単位：×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
常設高圧代替注水系ポンプ	水平	□
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

常設高圧代替注水系ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。なお、弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【常設高圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

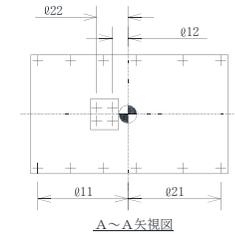
1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
常設高圧代替 注水系ポンプ	常設耐震/防止	原子炉建屋 EL. -4.0 ^{*1}			—	—	$C_H=0.87$	$C_V=0.90$	$C_p=0.77$	120	

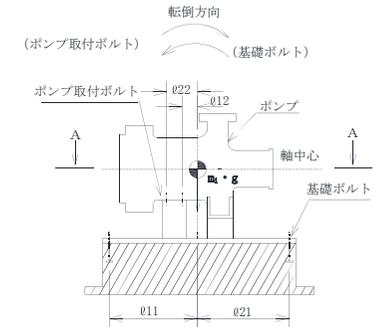
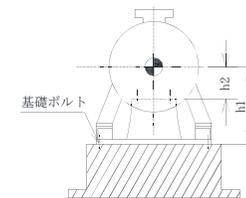
注記 *1: 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i}^{*3} (mm)	l_{2i}^{*3} (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^{*3}
基礎ボルト (i=1)						12	2 6
ポンプ取付ボルト (i=2)						4	2 2



部 材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向		M_p (N・mm)	
					弾性設計用 地震動 S_d 又 は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用 地震動 S_d 又 は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)	699 ^{*2}	803 ^{*2}	—	562	—	軸	—	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	663 ^{*1}	759 ^{*1}	—	531	—	軸	—	—



注記 *1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出

*3: 各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。

予想最大両振幅 (μ m)	回転速度 (min ⁻¹)
$H_p =$ <input type="text"/>	$N_p =$ <input type="text"/>

1.3 計算数値

ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)	—	1.897×10^4	—	5.852×10^4
ポンプ取付ボルト (i=2)	—	4.500×10^4	—	4.257×10^4

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b1}=19$	$f_{ts1}=421^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=5$	$f_{sb1}=324$
ポンプ取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=64$	$f_{ts2}=398^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=15$	$f_{sb2}=306$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t0i} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t0i}]$ より算出

1.4.2 動的機能の評価結果

(単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
常設高圧代替注水系ポンプ	水平方向	0.72	
	鉛直方向	0.75	

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-742 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-7-2-3-1 管の耐震性についての計算書

目次

1. 概要.....	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図.....	2
2.1 概略系統図.....	2
2.2 鳥瞰図.....	6
3. 計算条件.....	28
3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態.....	28
3.2 設計条件.....	29
3.3 材料及び許容応力.....	37
3.4 設計用地震力.....	38
4. 解析結果及び評価.....	39
4.1 固有周期及び設計震度.....	39
4.2 評価結果.....	45
4.2.1 管の応力評価結果.....	45
4.2.2 弁の動的機能維持評価結果.....	46
4.2.3 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果.....	47

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」及び「V-2-1-14-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき、管が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していること説明するものである。

評価結果記載方法は以下に示す通りとする。

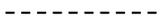
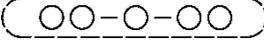
(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、**全4モデルのうち**、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として**鳥瞰図**、**計算条件及び評価結果**を記載する。**代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.3に記載する。**

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

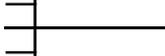
概略系統図記号凡例

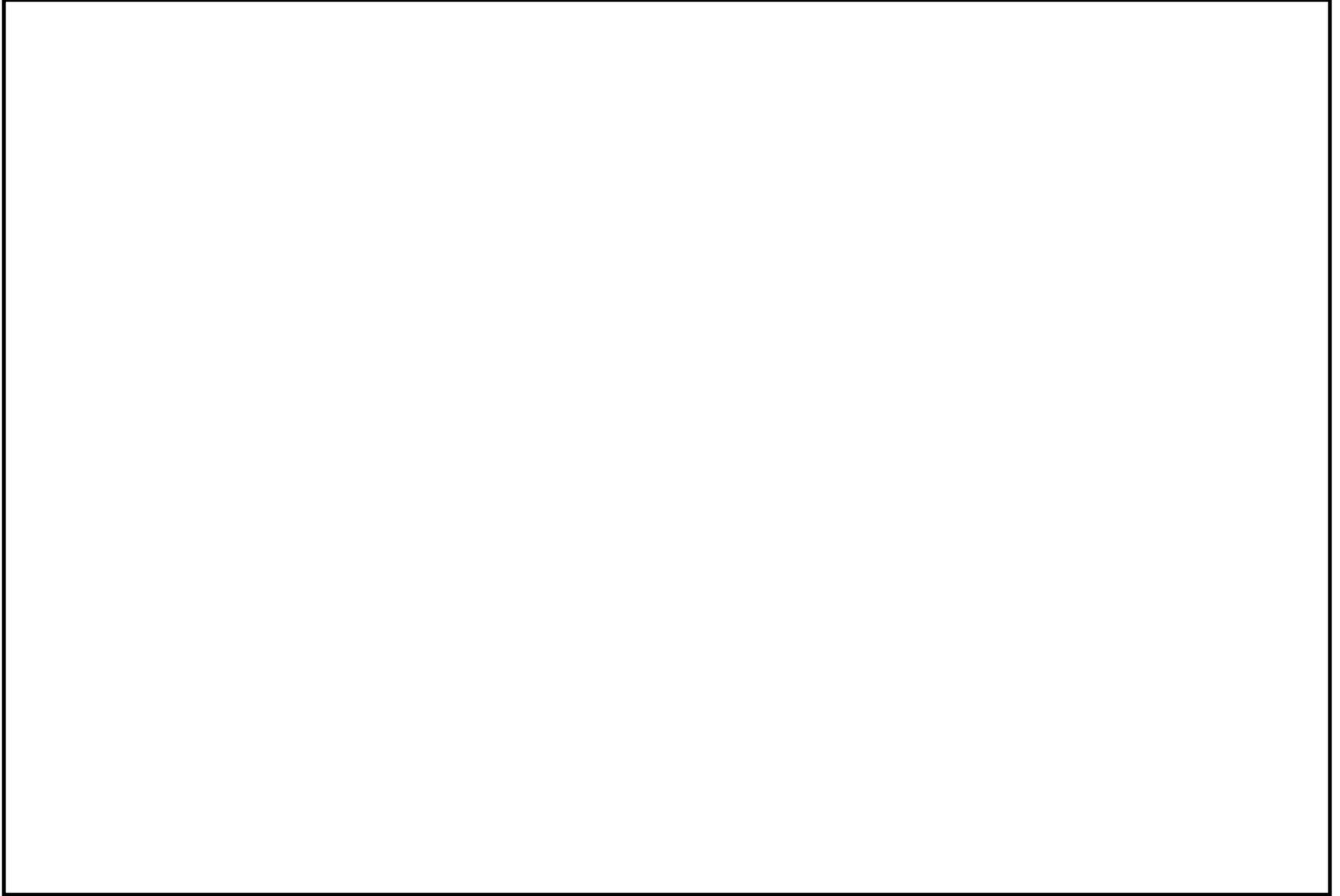
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲外の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の 管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために 表記する管
	鳥瞰図番号 (鳥瞰図, 計算条件及び評価結果を記載する範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果のみ記載する範囲)
	アンカ
[管クラス] クラス3	クラス3管

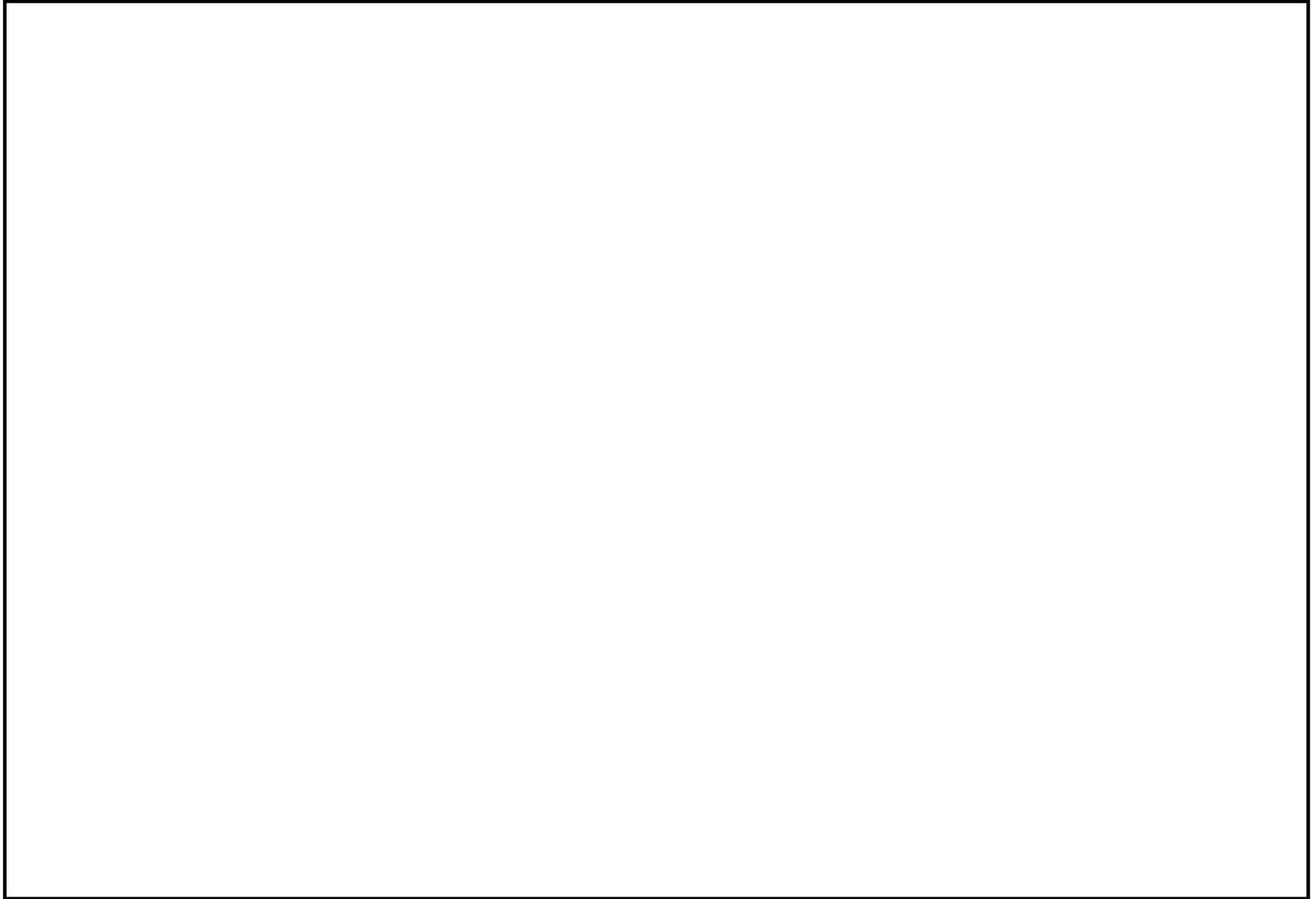


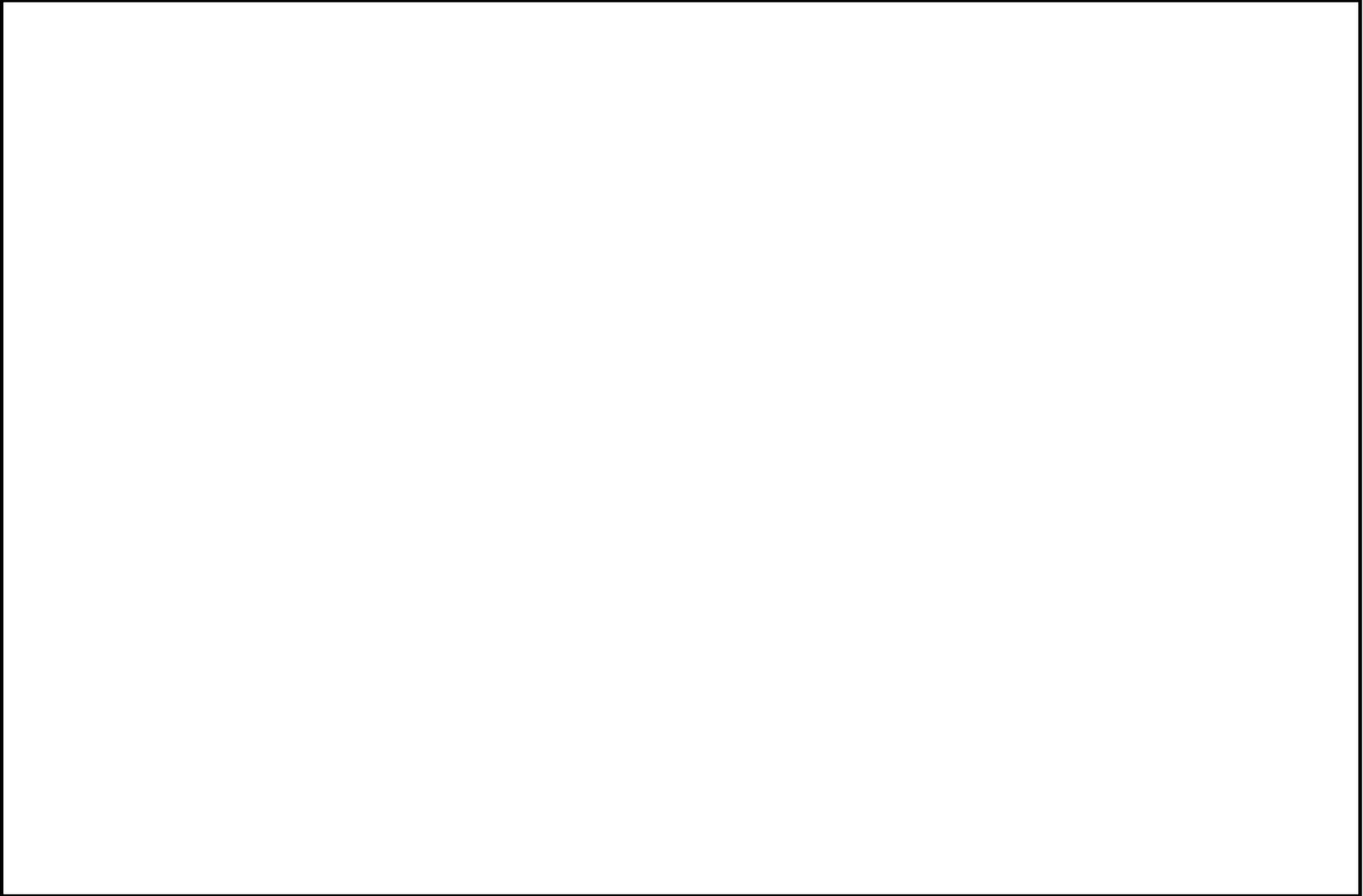
2.2 鳥瞰図

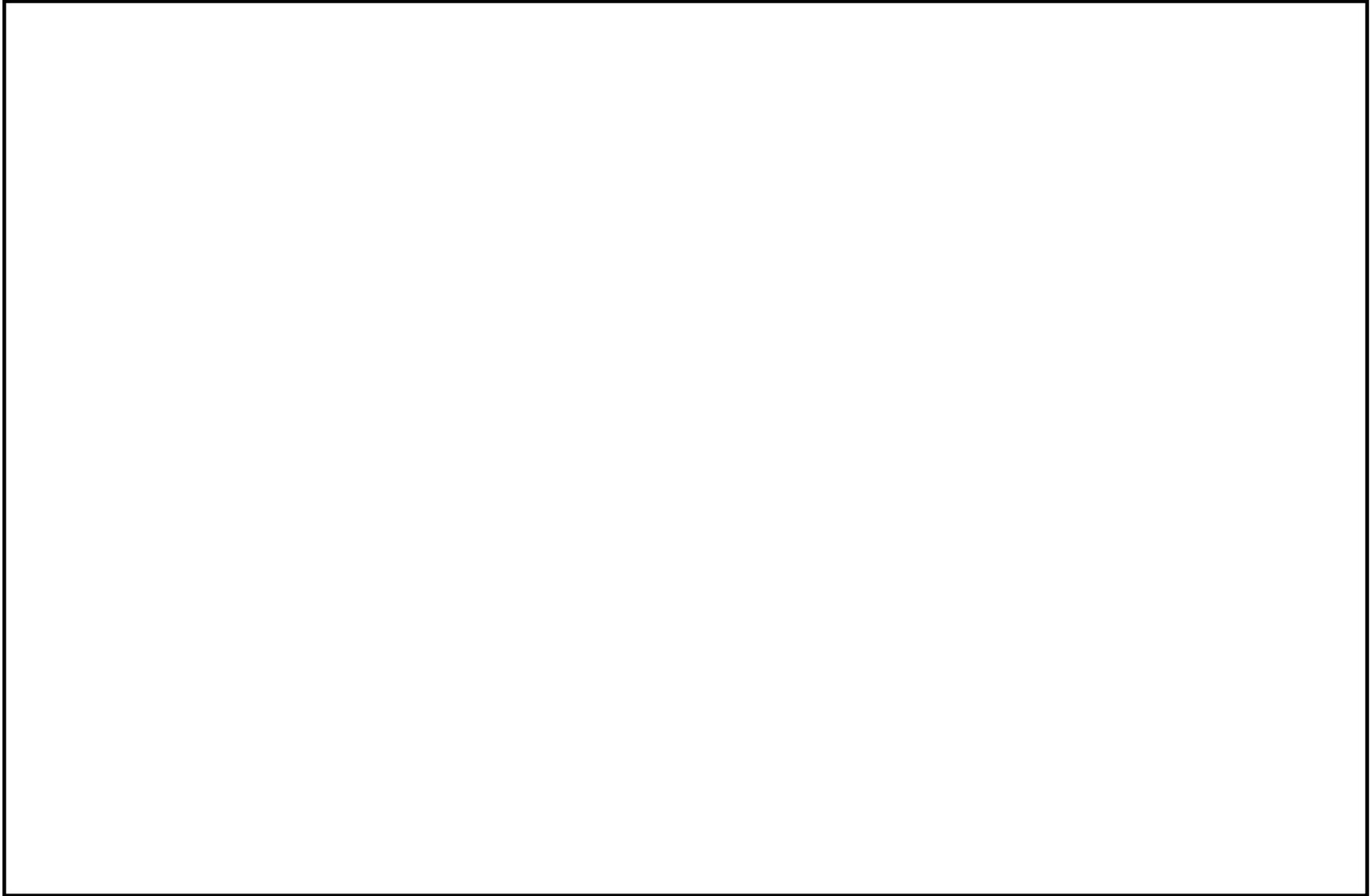
鳥瞰図記号凡例

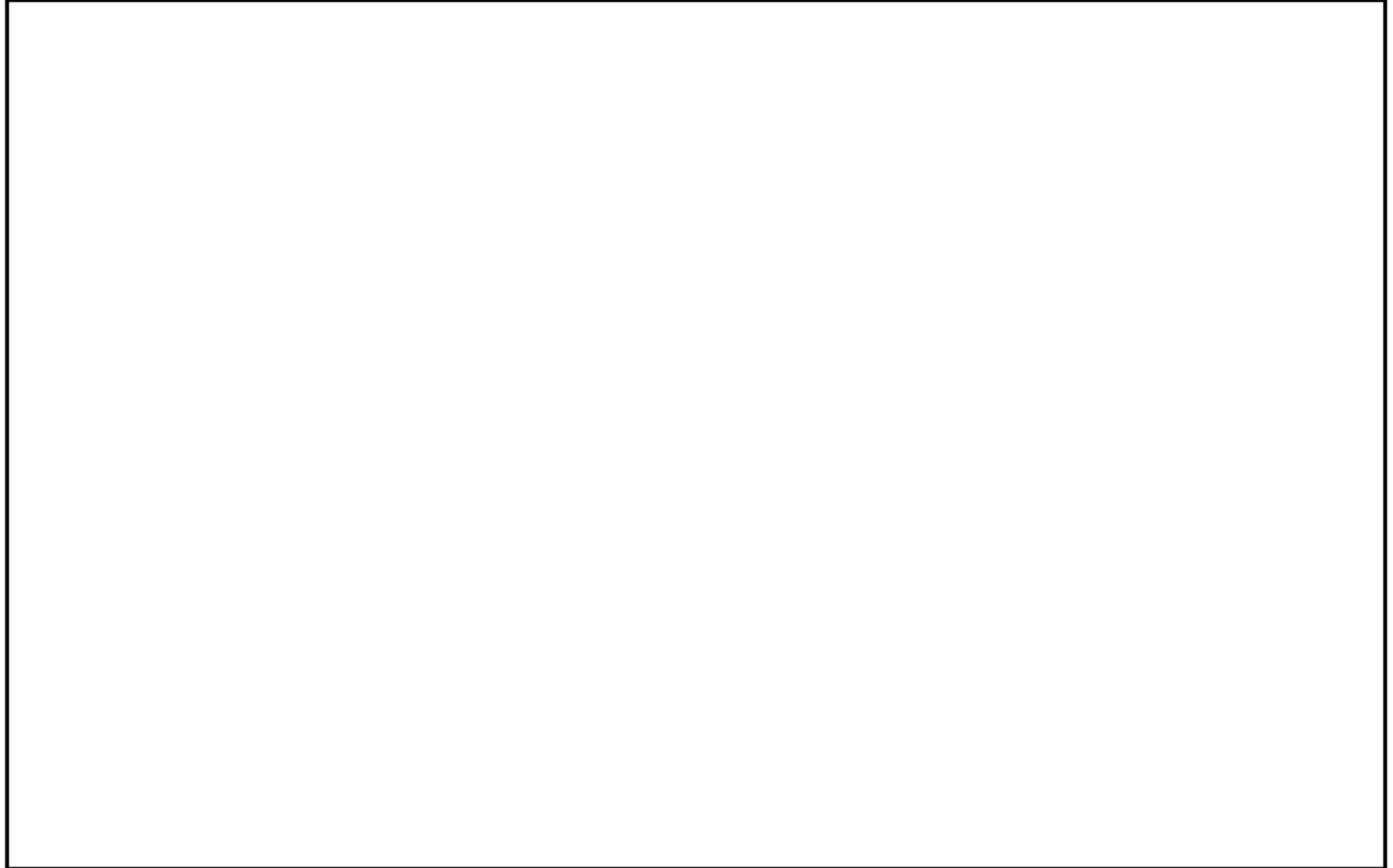
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲外の管のうち，本計算書記載範囲の管
	質 点
	ア ン カ
	レストレイント 注： 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

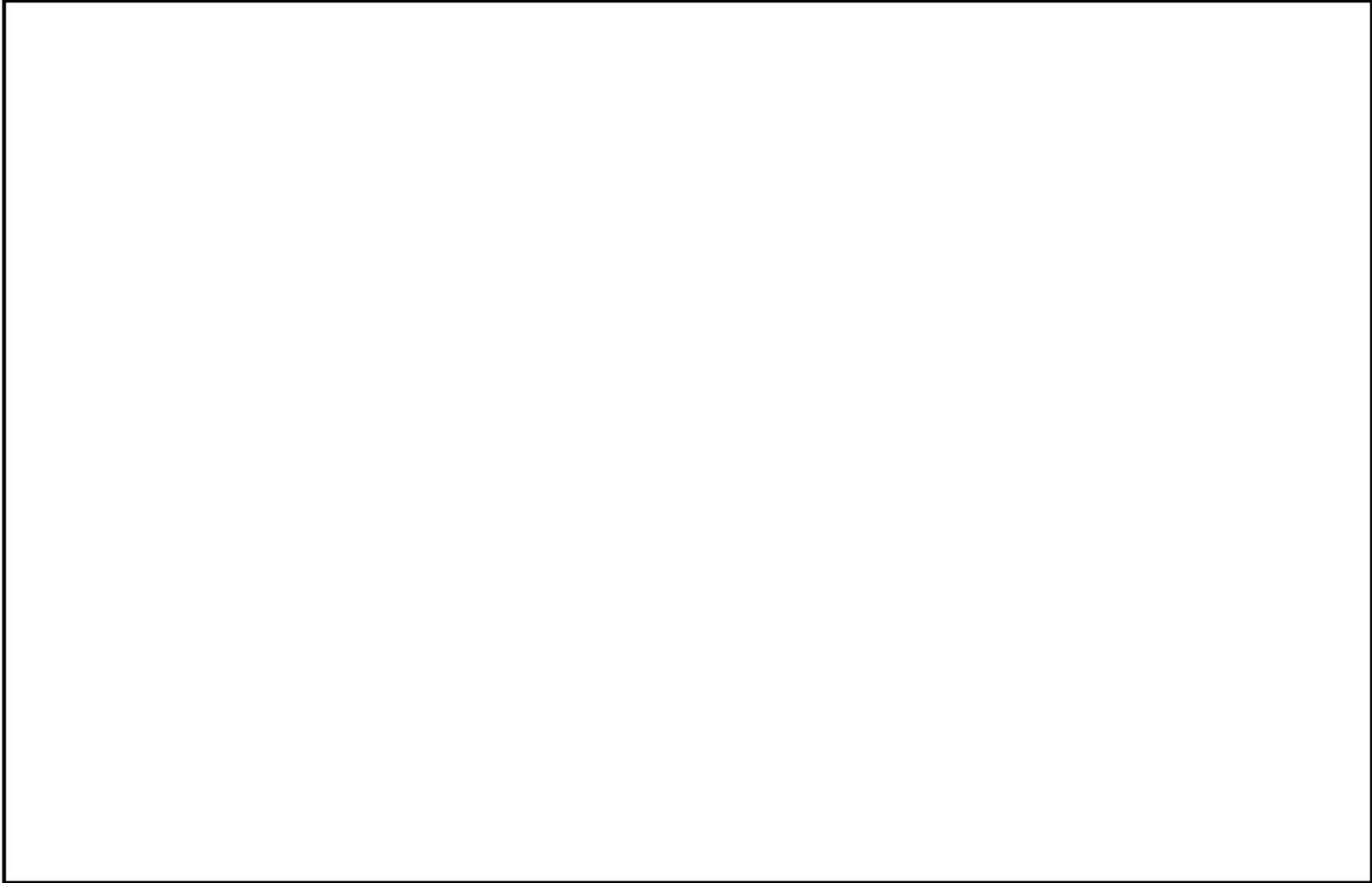


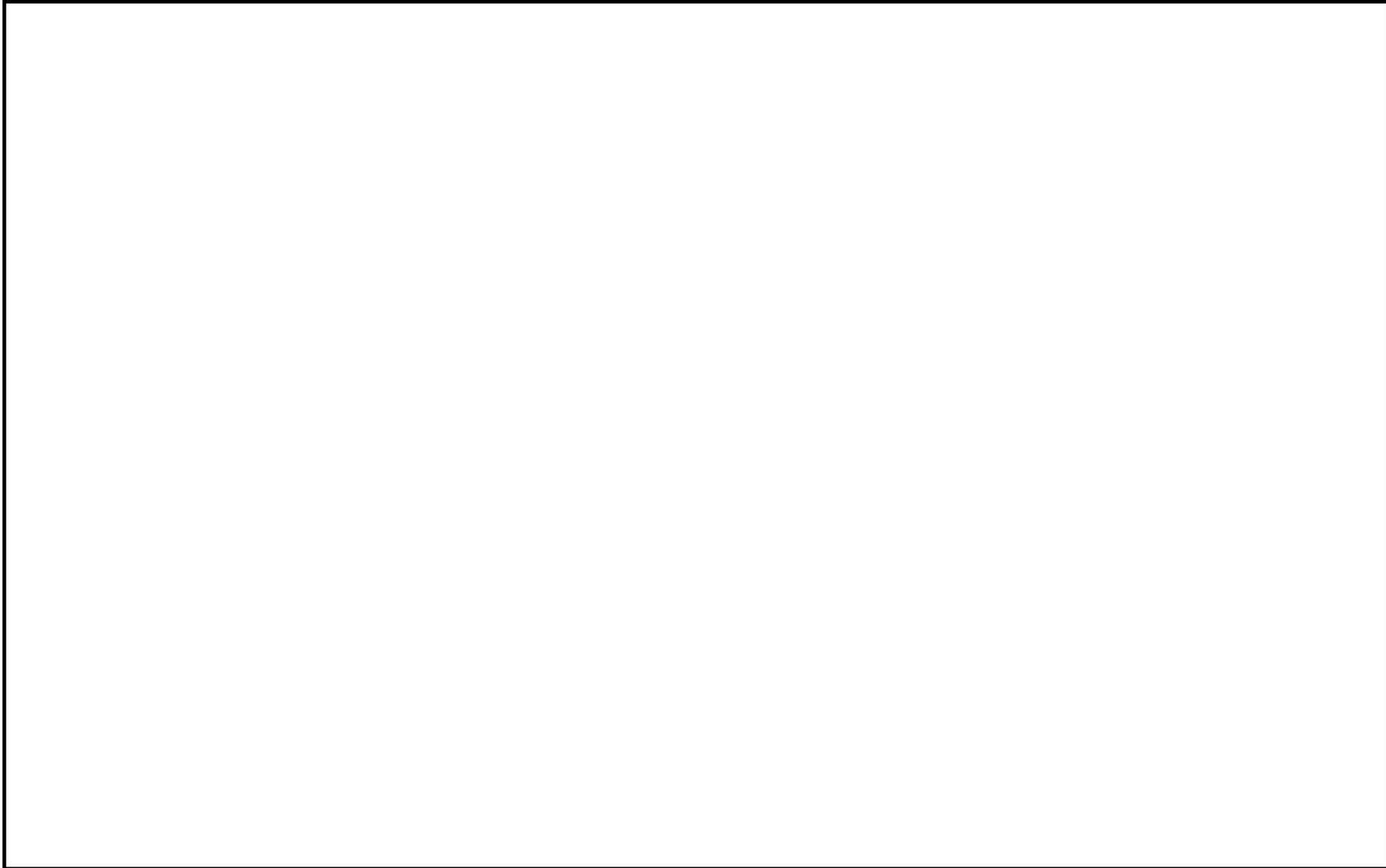


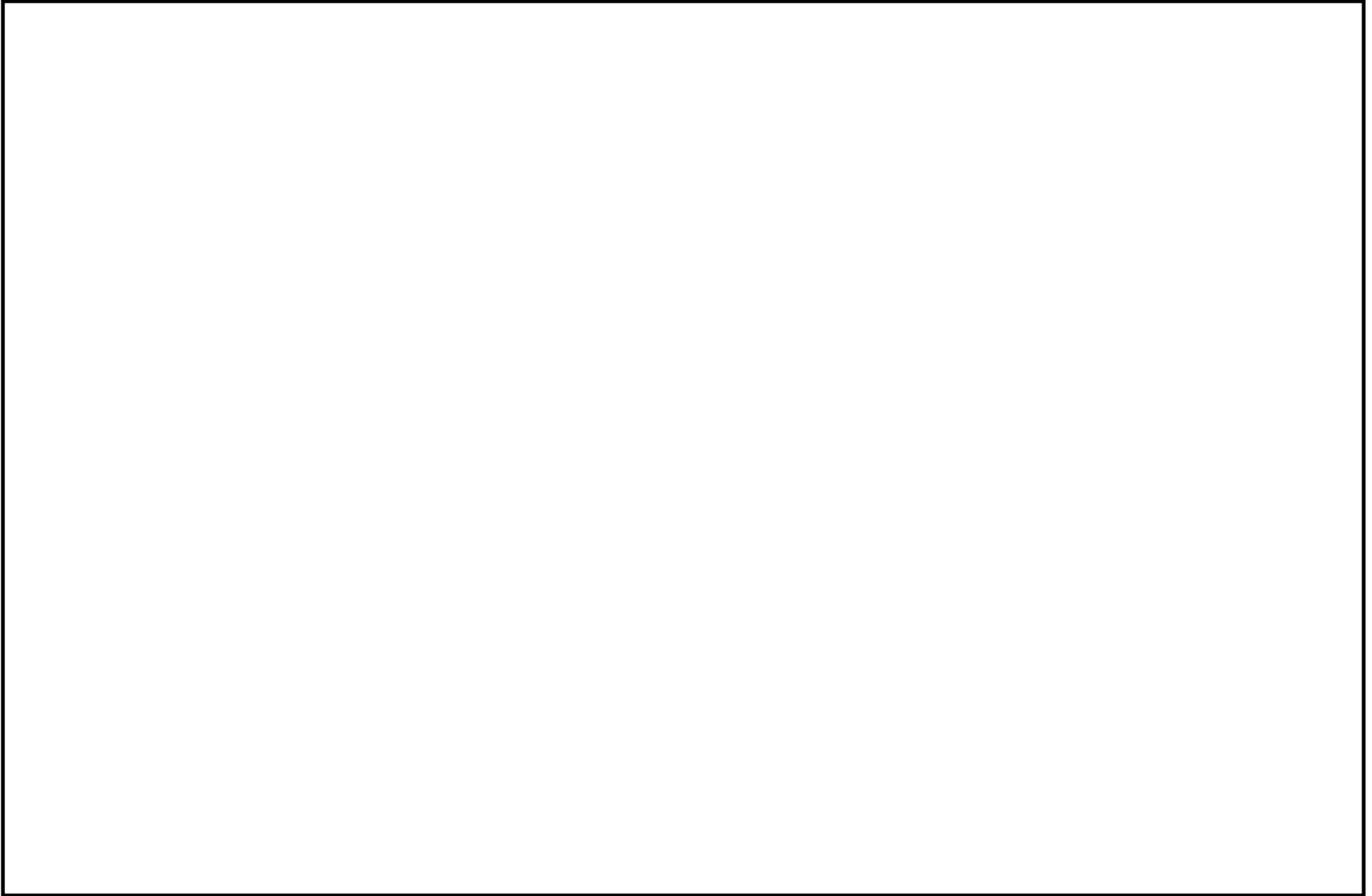


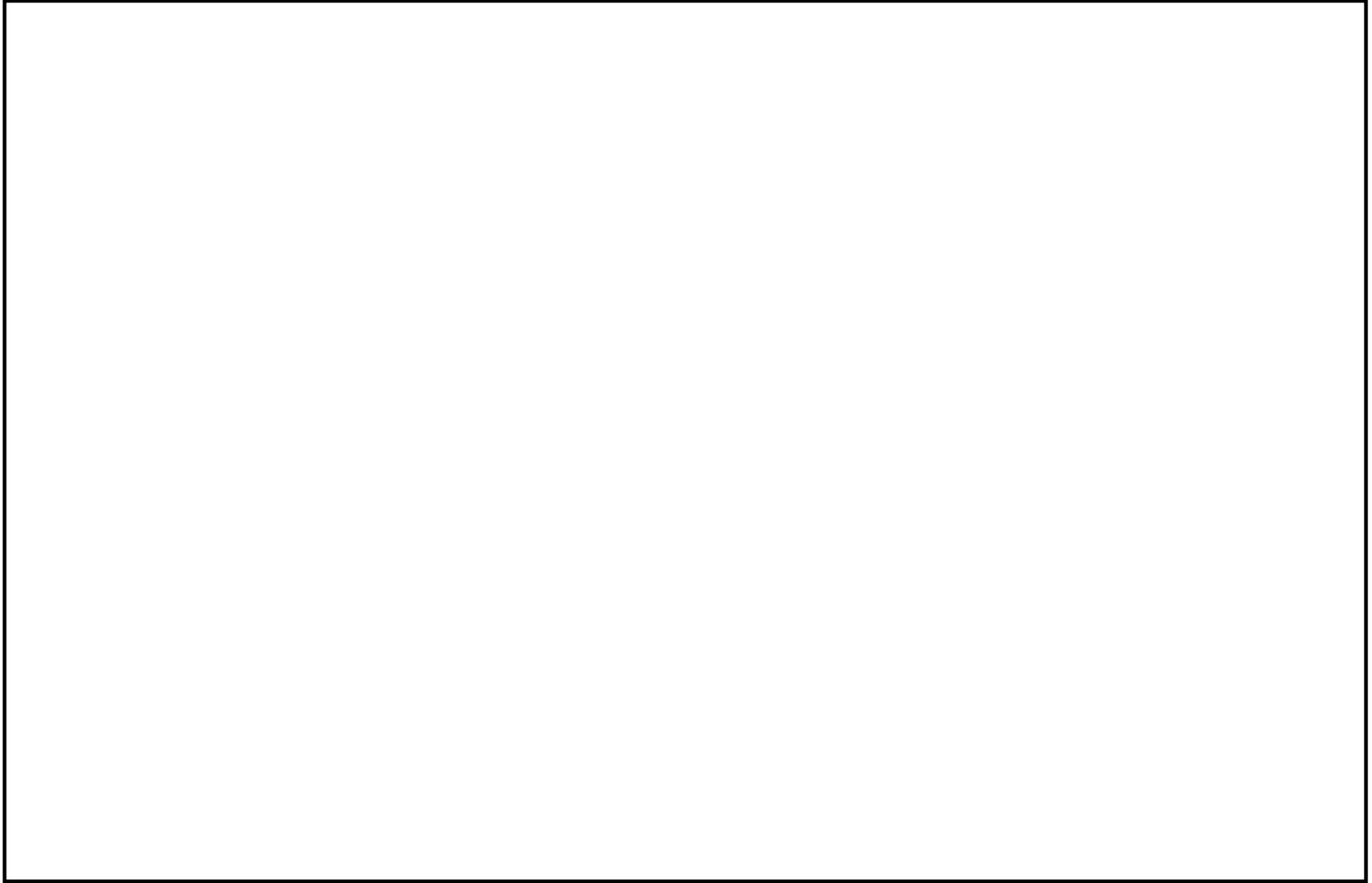




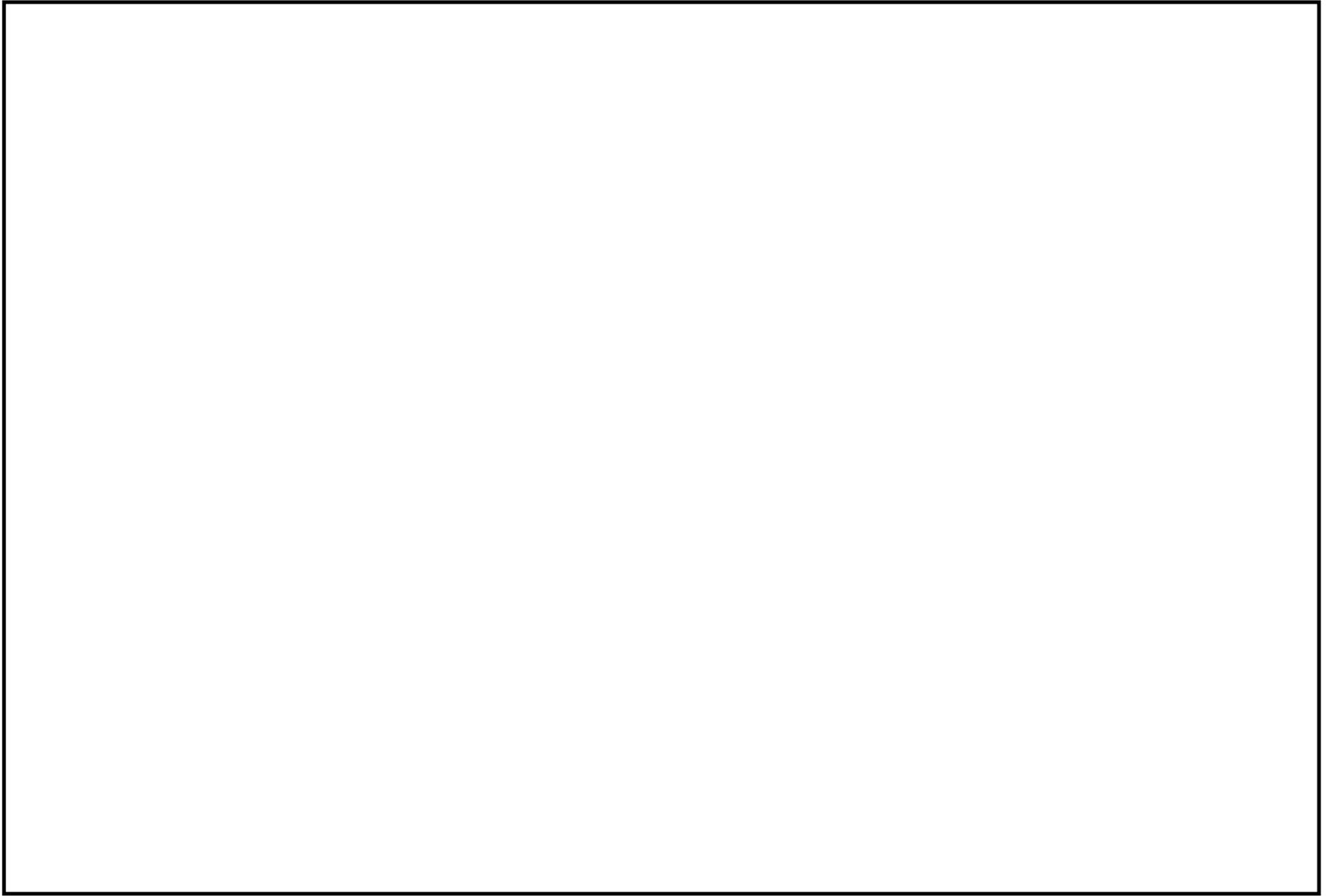


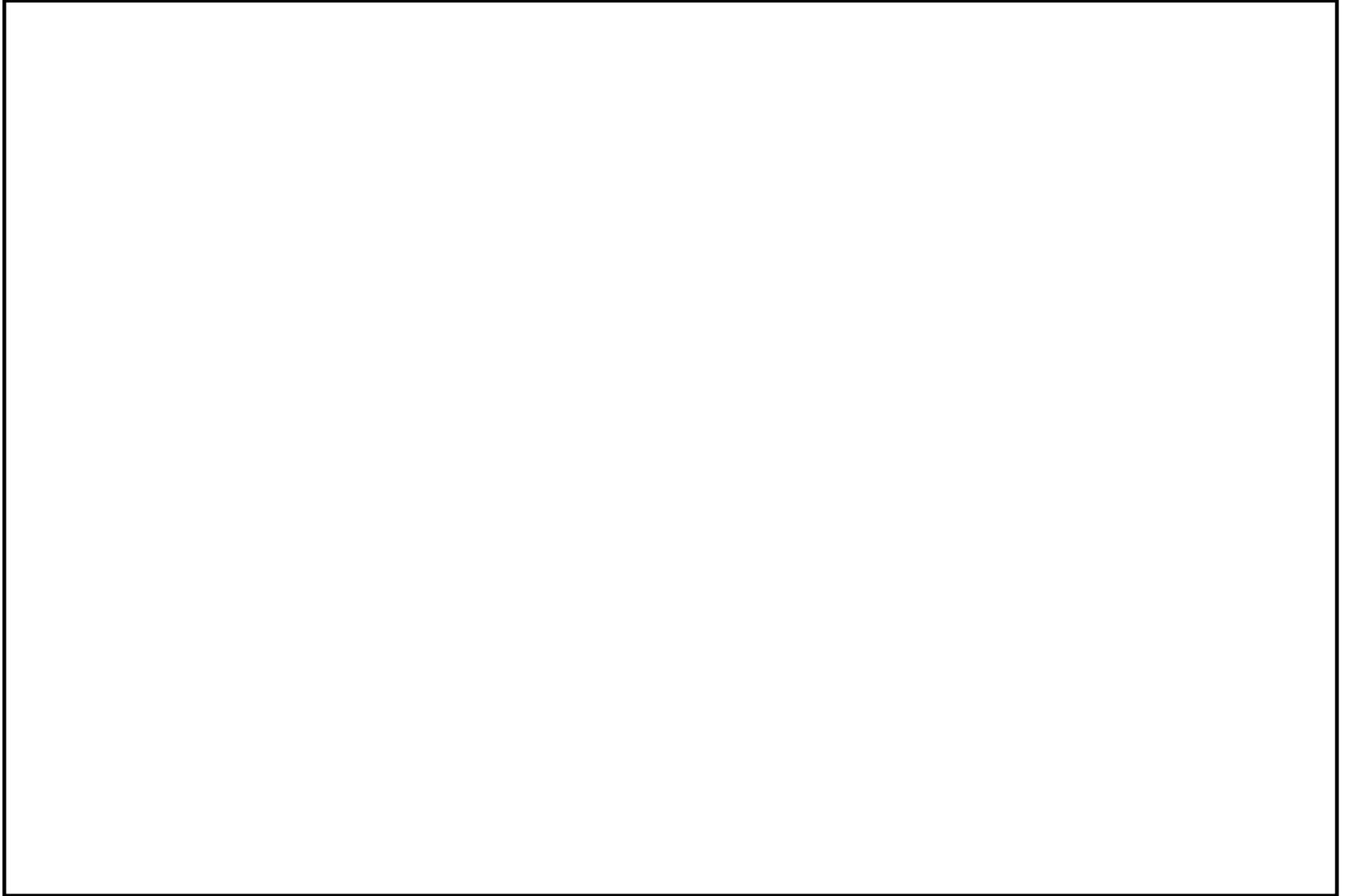


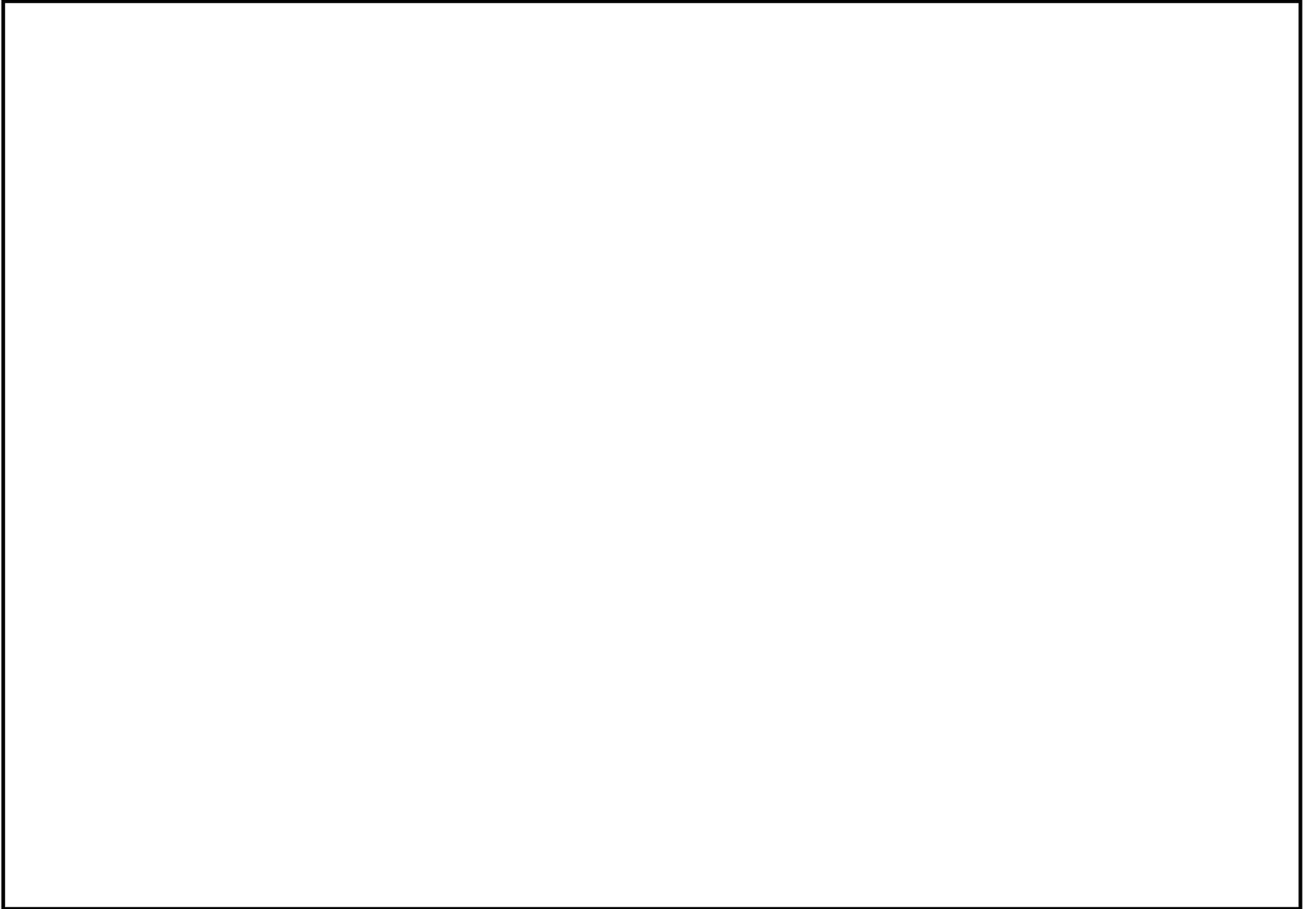


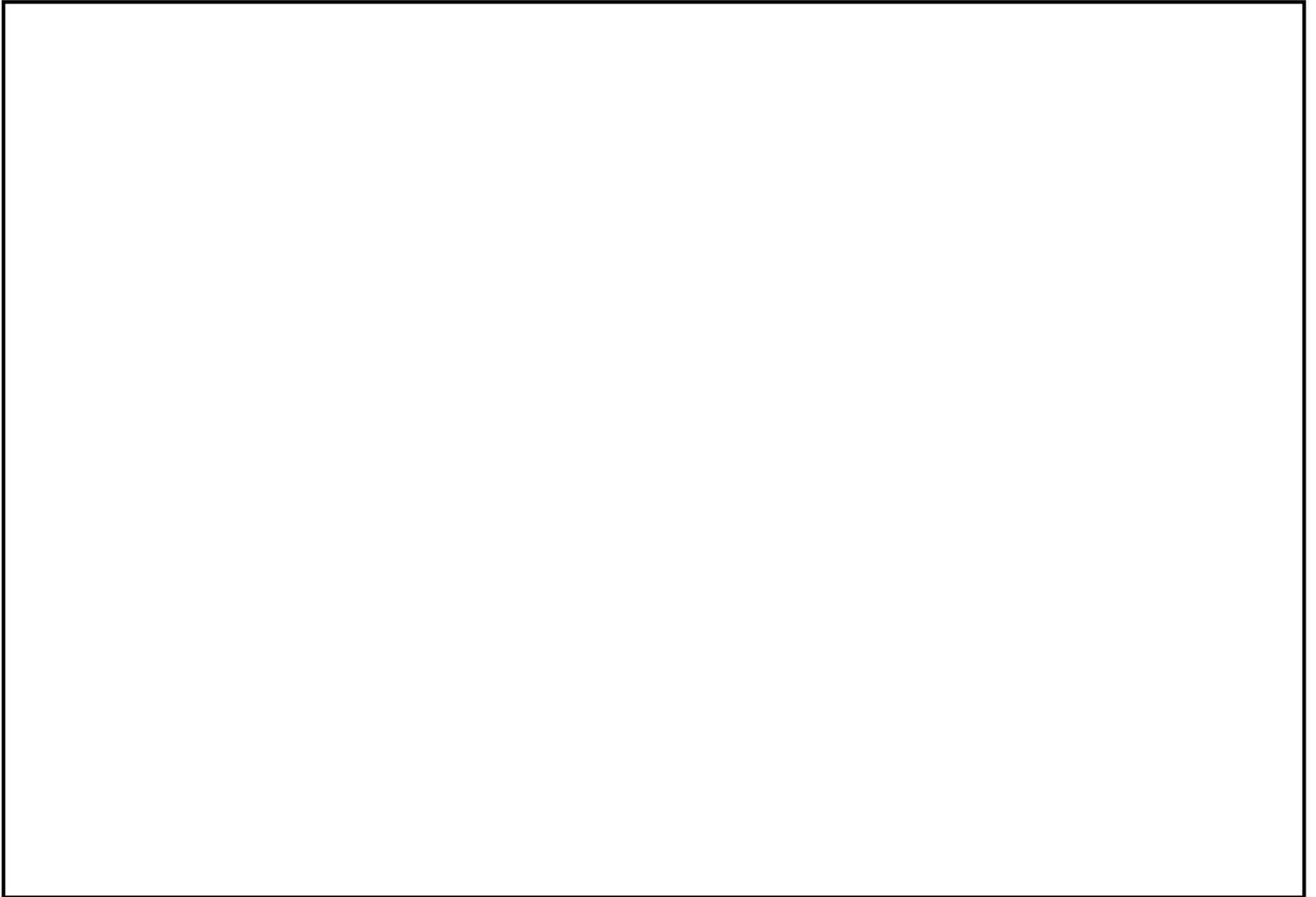


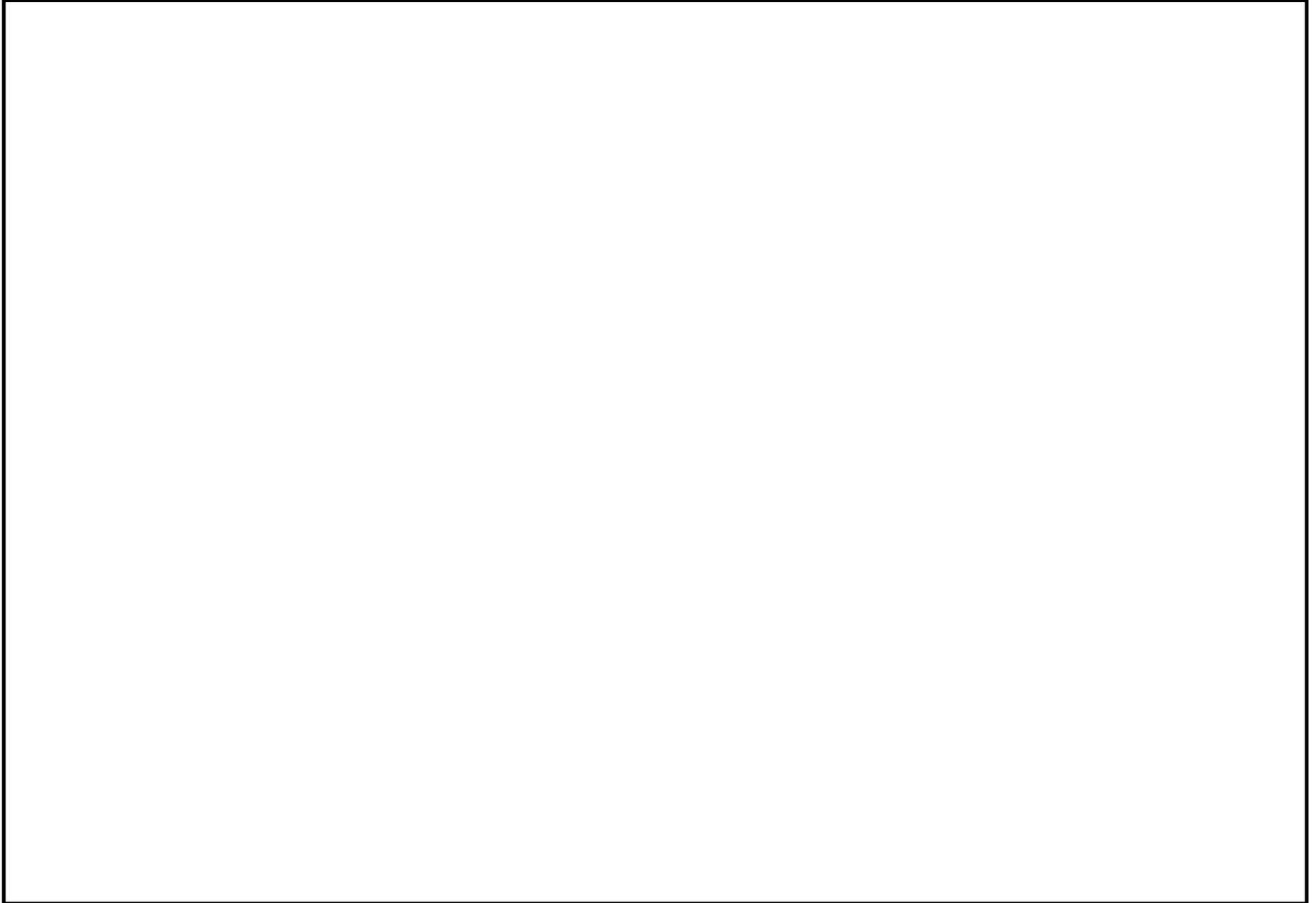


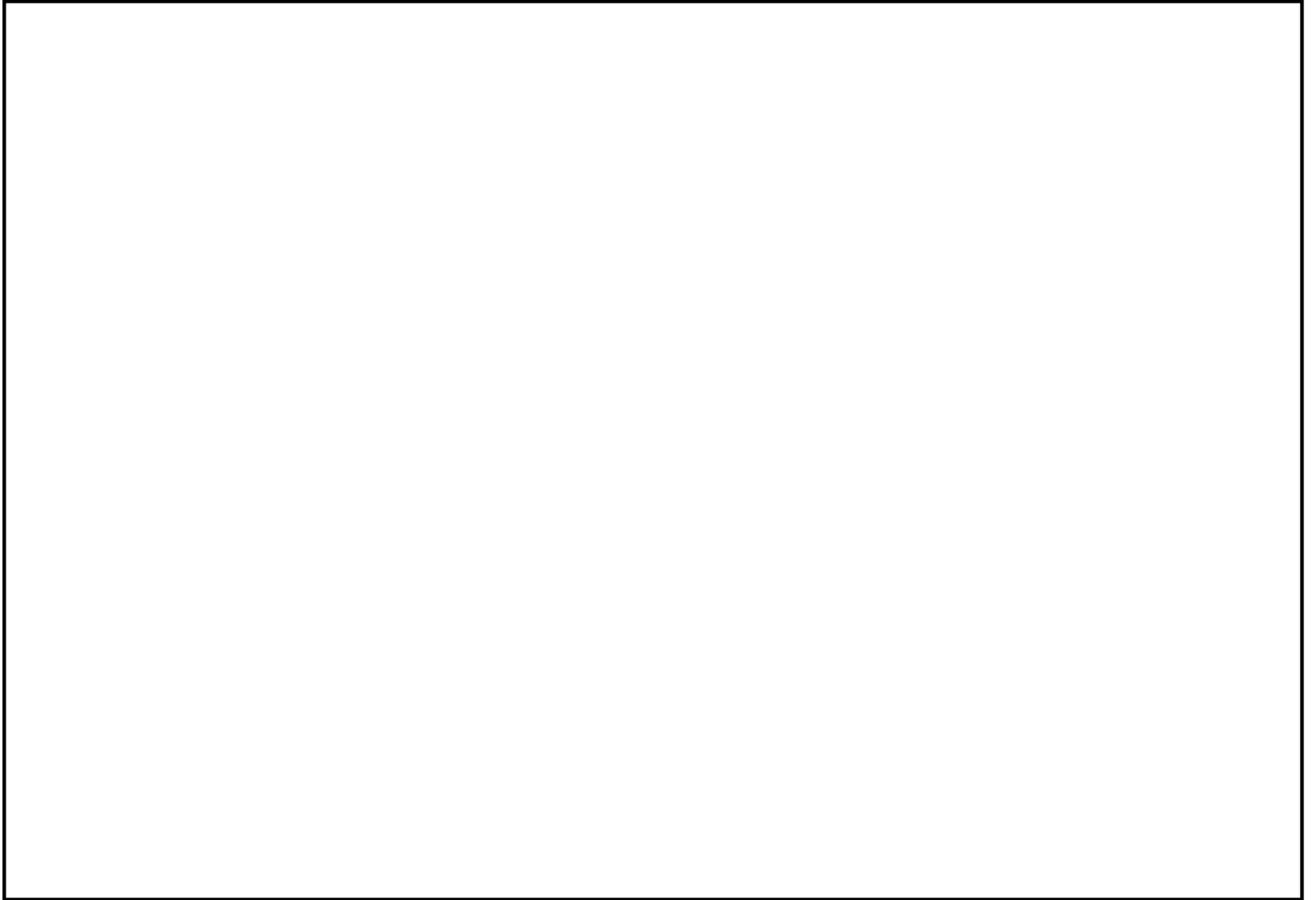




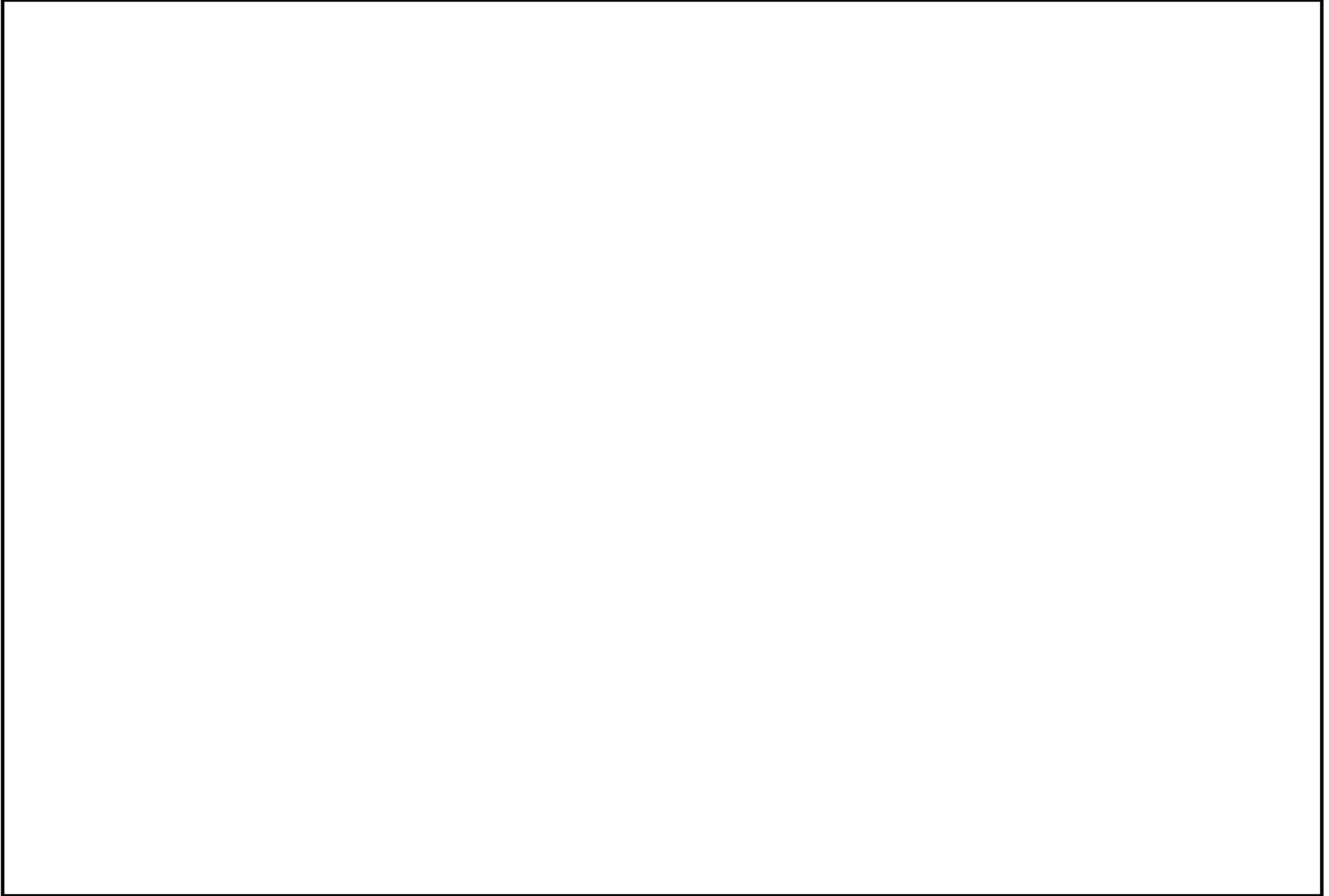


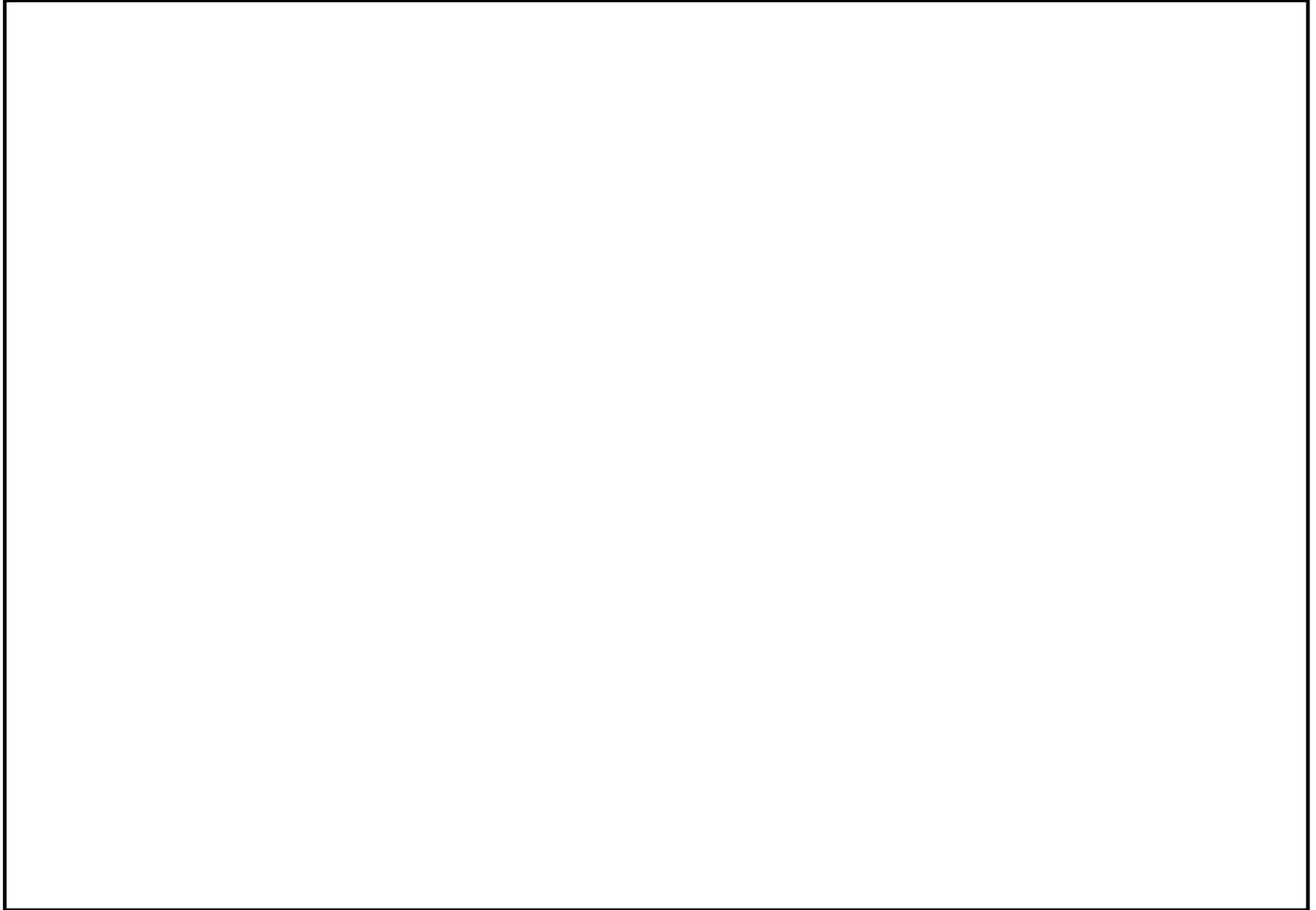












3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設 分類*1	設備分類	機器等 の区分	耐震設計上の 重要度分類	荷重の組合せ *2,3	許容応力 状態
放射性廃棄物 の廃棄施設	固体廃棄物処理系	固体廃棄物処理系	DB	—	クラス3管	B	$I_{L+1/2S_d}$ $II_{L+1/2S_d}$	B _A S

注記 *1: DBは設計基準対象施設, SAは重大事故等対処設備を示す。

*2: 運転状態の添字Lは荷重を示す。

*3: 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 C-03-1360-001

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
P6	A07A～A94N A33～J17 A34～F31 A49～B20	1.96	65	34.0	4.5	STPT42	B	
P7	B20～B31 F31～F42	1.81	65	34.0	4.5	STPT42	B	
P8	B21～C03 B22～D04 B25～E02 F33～H02 F32～G02 F36～I02	1.81	65	27.2	3.9	STPT42	B	
P9	H02～H06	1.03	65	27.2	3.9	STPT42	B	
P12	A00～A07A A94N～A130	1.96	65	34.0	4.5	STPT410	B	
P13	A125～K03 A128～L02	1.96	65	27.2	3.9	STPT410	B	

配管の付加質量

鳥瞰図番号 C-03-1360-001

質量	対応する評価点
1 kg	A07A, A10, A12, A16, A18, A19, A21, A24, A28, A32, A38, A42, A46, A53, A57, A61, A63, A65, A67, A70, A73, A77, A80, A84, A86, A87, A89, A90, B01, B03, B05, B09, B11, B13, B15, B17, B26, B28, B30, F01, F03, F04, F06, F10, F12, F14, F16, F19, F21, F23, F25, F26, F28, F37, F39, F41, J01, J03, J04, J06, J10, J12, J14, J16
7 kg	E02, I02, L02
11 kg	C03, G02

フランジ部の質量

鳥瞰図番号 C-03-1360-001

質量	対応する評価点
2 kg	A130, B31, F42

弁部の質量

鳥瞰図番号 C-03-1360-001

質量	対応する評価点
4 kg	A126～A127, B23～B24, D01～D02, E01～E02, F34～F35, H01～H02, I01～I02, K01～K02, L01～L02
5 kg	C02～C03, G01～G02
10 kg	A121～A122, B19～B20, F30～F31

弁部の寸法

鳥瞰図番号 C-03-1360-001

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
D01～D02, E01～E02, H01～H02, I01～I02, K01～K02, L01～L02	27.2	3.9	117
C02～C03, G01～G02	27.2	3.9	178
A121～A122, B19～B20, F30～F31	34.0	4.5	125
A126～A127, B23～B24, F34～F35	34.0	4.5	203

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図番号 C-03-1360-001

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
A00	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	1.4×10^{10}	1.4×10^{10}	1.4×10^{10}
A01	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A02	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A03	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A05	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A06	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A08	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A09	1.8×10^9	—	1.8×10^9	—	—	—
A13	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A14	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A15	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A22	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A23	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A25	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A26	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A27	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A29	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A30	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A31	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A35	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A36	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A37	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A39	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A40	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A41	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A43	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A44	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A45	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A47	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A48	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A50	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A51	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A52	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A54	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A55	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A56	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A58	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A59	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A60	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
* A64 *	—	1.8×10^9	—	—	—	—
A68	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A69	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A71	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A72	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A74	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A75	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A76	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A78	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A79	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A81	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A82	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A83	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A91	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A92	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A93	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A97	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A99	1.8×10^9	—	1.8×10^9	—	—	—
A101	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A104	1.8×10^9	—	1.8×10^9	—	—	—
A107	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A108	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A109	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A110	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A112	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A113	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A114	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A115	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A116	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A117	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A120	1.8×10^9	—	1.8×10^9	—	—	—
A124	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A130	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	1.4×10^{10}	1.4×10^{10}	1.4×10^{10}
B06	1.8×10^9	—	1.8×10^9	—	—	—
B07	1.8×10^9	—	1.8×10^9	—	—	—
B08	1.8×10^9	—	1.8×10^9	—	—	—
B10	1.8×10^9	—	1.8×10^9	—	—	—
B14	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
B18	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—

*印のY軸方向のばね定数はマイナス側にのみとする。

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
B31	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	1.4×10^{10}	1.4×10^{10}	1.4×10^{10}
D04	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
F07	1.8×10^9	—	1.8×10^9	—	—	—
F08	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
F09	1.8×10^9	—	1.8×10^9	—	—	—
* F13 *	—	1.8×10^9	—	—	—	—
F17	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
F18	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
F20	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
F22	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
F29	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
F42	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	1.4×10^{10}	1.4×10^{10}	1.4×10^{10}
H06	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
J07	1.8×10^9	—	1.8×10^9	—	—	—
J08	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
J09	1.8×10^9	—	1.8×10^9	—	—	—
J13	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
J17	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
K03	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—

*印のY軸方向のばね定数はマイナス側にのみとする。

3.3 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa) *			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STPT42	65	—	232	—	103
STPT410	65	—	232	—	103

注記 * : 評価に使用しない許容応力については「—」と記載する。

3.4 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお、設備評価用床応答曲線は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数(%)
C-03-1360-001	原子炉建屋付属棟		

4. 解析結果及び評価
4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 C-03-1360-001

耐震設計上の重要度分類		B					
適用する地震動等		静的震度*5			1/2 S _d		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
		—	—	—	0.40	0.40	0.69
		—	—	—	0.40	0.40	0.69
		—	—	—	0.40	0.40	0.69
		—	—	—	0.40	0.40	0.69
		—	—	—	0.40	0.40	0.69
		—	—	—	0.40	0.40	0.69
		—	—	—	0.40	0.40	0.69
		—	—	—	0.40	0.40	0.69
		—	—	—	0.40	0.40	0.69
		—	—	—	0.26	0.26	0.54
		—	—	—	—	—	—
動的震度*2		—	—	—	1.74	1.74	2.62
静的震度*3		0.32	0.32	—	—	—	—

- 注記 *1： 各モードの固有周期に対し、設備評価用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2： S_d地震動に基づく最大設備評価用床応答加速度より定めた震度を示す。
 *3： 1.8C_Iより定めた震度を示す。
 *4： 固有周期が0.050s以下であることを示す。
 *5： 静的震度を示す為、応答震度については「—」と記載する。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 C-03-1360-001

モード	固有周期 (s)	刺激係数 ^{*1}		
		X方向	Y方向	Z方向

注記 *1：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリクスの積から算出した値を示す。

NT2 補③ V-2-7-2-3-1 R0

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を赤線で図示し、次ページ以降に示す。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおりの最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス3管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{prm} (S_d)$	許容応力 S_y	計算応力 $S_n (S_d)$	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
C-03-1360-001	BAS	B21	$S_{prm} (S_d)$		232	—	—	—

4.2.2 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.3 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス3範囲）

No	配管 モデル	許容応力状態 B _A S				
		一次応力				
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表
1	C-03-1360-001	B21	81	232	2.86	○
2	C-03-1360-002	B19	37	232	6.27	—
3	C-03-1360-003	K03	50	160	3.20	—
4	C-03-1360-004	F01F	58	232	4.00	—

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-743 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-9-5-5-1 静的触媒式水素再結合器の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要.....	1
2. 一般事項.....	2
2.1 構造計画.....	2
2.2 評価方針.....	3
2.3 適用基準.....	4
2.4 記号の説明.....	5
2.5 計算精度と数値の丸め方.....	6
3. 評価部位.....	8
4. 応力解析及び構造強度評価.....	8
4.1 応力解析及び構造強度評価方法.....	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力.....	9
4.3 解析モデル及び諸元.....	13
4.4 固有周期.....	15
4.5 設計用地震力.....	15
4.6 解析方法.....	16
4.7 計算条件.....	20
4.8 応力の評価.....	20
5. 評価結果.....	21
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果.....	21

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、静的触媒式水素再結合器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

静的触媒式水素再結合器は、重大事故等対処設備において常設重大事故緩和設備に分類される。以下、この分類に応じた構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

静的触媒式水素再結合器の構造計画を表2-1に示す。

表2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>静的触媒式水素再結合器は取付ボルトにて架台に固定する。 架台はアンカボルトにて壁面に固定する。</p>	<p>角形</p>	

2.2 評価方針

静的触媒式水素再結合器の応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す静的触媒式水素再結合器の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.4 解析モデル及び諸元」及び「4.5 固有周期」で算出した固有周期及び荷重に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「4. 応力解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

静的触媒式水素再結合器の耐震評価フローを図2-1に示す。

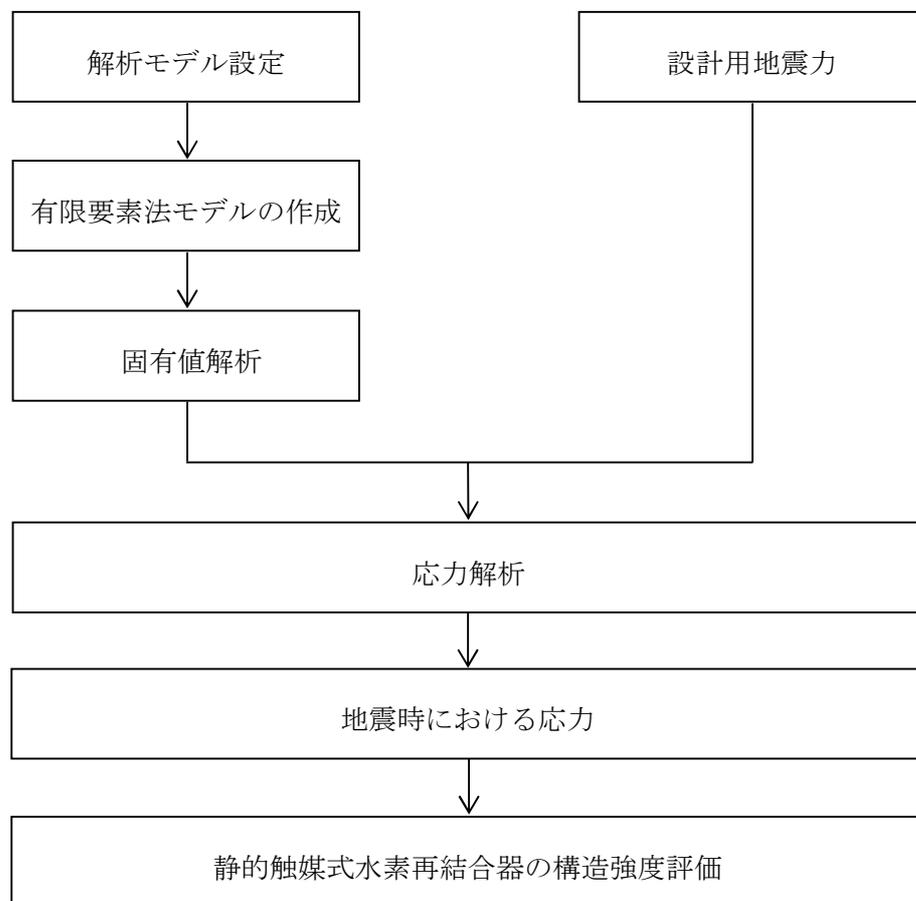


図 2-1 静的触媒式水素再結合器の耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984, JEAG 4601-1987及びJEAG 4601-1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和59年9月, 昭和62年8月及び平成3年6月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））
JSME S NC 1-2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{b1}	取付ボルトの軸断面積	mm^2
A_{b2}	アンカボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_1	取付ボルトの呼び径	mm
d_2	アンカボルトの呼び径	mm
E	本体の縦弾性係数	MPa
E_s	架台の縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_{ba}	アンカボルトに作用する引張力	N
F_{bp}	取付ボルトに作用する引張力	N
f_t	許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{sb}	ボルトの許容せん断応力	MPa
G	本体のせん断弾性係数	MPa
G_s	架台のせん断弾性係数	MPa
$l_1 \sim l_4$	重心とボルト間の水平方向距離	mm
m_0	本体の運転時質量	kg
n_1	せん断力を受ける取付ボルトの本数	—
n_2	せん断力を受けるアンカボルトの本数	—
n_{f1}	引張力を受ける取付ボルトの本数	—
n_{f2}	引張力を受けるアンカボルトの本数	—
Q_{ba}	アンカボルトに作用するせん断力	N
Q_{bp}	取付ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値	MPa
T	温度条件	°C
T_1	水平方向固有周期	—
T_2	鉛直方向固有周期	—
t	本体の厚さ	mm
ν	ポアソン比	—

記 号	記 号 の 説 明	単 位
σ_{ba}	アンカボルトに作用する引張応力	MPa
σ_{bp}	取付ボルトに作用する引張応力	MPa
σ_p	本体に作用する組合せ応力	MPa
σ_s	架台に作用する組合せ応力	MPa
τ_{ba}	アンカボルトに作用するせん断応力	MPa
τ_{bp}	取付ボルトに作用するせん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ* ¹	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ³	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は，小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

本体の耐震評価は、「4.1 応力解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、本体、架台、取付ボルト、アンカボルトについて実施する。本体の耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 応力解析及び構造強度評価

4.1 応力解析及び構造強度評価方法

- (1) 地震力は、本体に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとし、原則として、応力評価において組合せるものとする。
- (2) 触媒カートリッジは、本体と一体として評価する。
- (3) カートリッジが補強材として作用しないよう解析モデルでは、本体に質量のみを負荷する。
- (4) 本体は、壁に設置した架台に取付ボルトで取り付ける。また、架台は、壁にアンカボルトで取り付ける。
- (5) 本体は、形状が円筒形ではないため、三次元のシェル要素を用いて本体及び架台の応力を算出する。なお、取付ボルト及びアンカボルトの強度評価については、解析結果で得られた荷重を用いて、理論式により応力を算出する。
- (6) 本体は、壁に設置した架台上に取付ボルト4本で据付けられている。このうち1本は固定、その他3本は熱膨張を逃がす構造となっていることから、評価上転倒による引張を受けるボルト本数は保守的に1本とする。また、上記構造から評価上せん断を受けるボルト本数も保守的に1本とする。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

静的触媒式水素再結合器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-1に示す。

4.2.2 許容応力

静的触媒式水素再結合器の許容応力を表4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

静的触媒式水素再結合器の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるもの表4-3に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等その他の支持構造物）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	供用状態
原子炉 格納施設	圧力低減設 備その他の 安全設備	静的触媒式 水素再結合器	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_S$ *3	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容 限界を用いる)

注記*1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

注記*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

注記*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

	許容限界*1, *2 (ボルト以外)	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張り	せん断
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる)			

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度				
本体	SUS304	最高使用温度	300	127	391	205
架台	SS400	最高使用温度	300	170	373	—
取付ボルト	SUS304	最高使用温度	300	127	391	205
アンカボルト	SS400	最高使用温度	300	170	373	—

4.3 解析モデル及び諸元

静的触媒式水素再結合器の解析モデルを図4-1に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表4-6に示す。

- (1) 静的触媒式水素再結合器本体及び架台をシェル要素でモデル化する。
- (2) 拘束条件としては、架台は壁で固定されている。静的触媒式水素再結合器本体は、取付ボルトにより架台に固定されている。
- (3) 解析コードは、「NX NASTRAN」を使用し、固有値、静的触媒式水素再結合器本体の応力及び架台の応力を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-49 計算機プログラム（解析コード）の概要 NX NASTRAN」に示す。

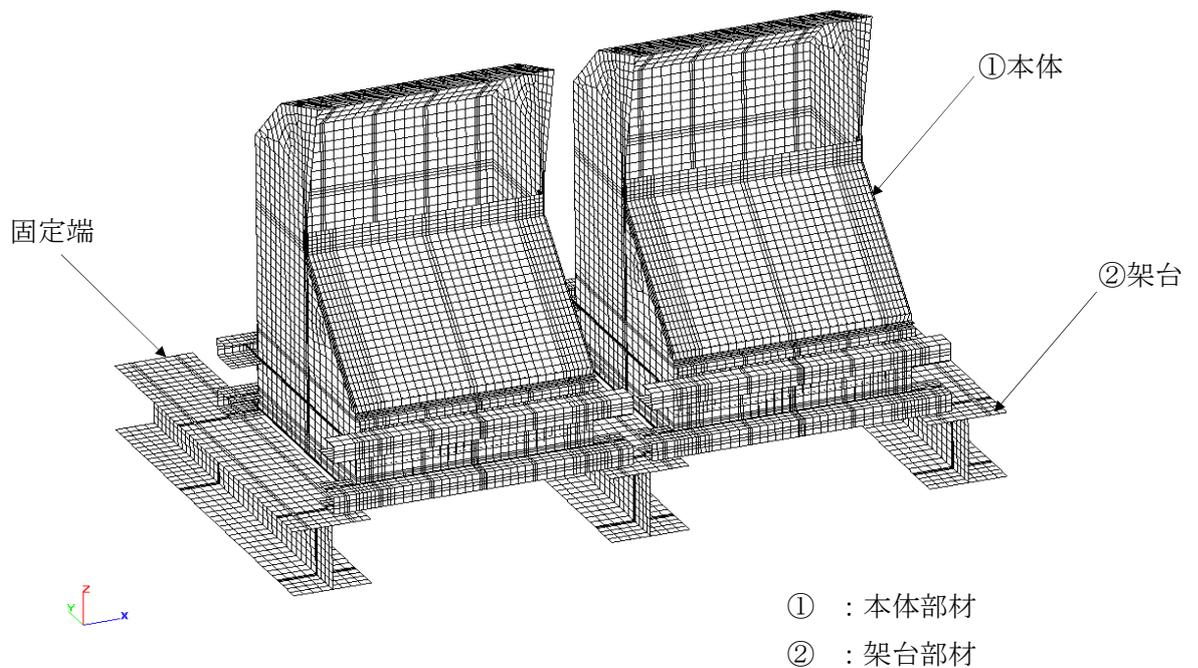


図4-1 解析モデル

表4-6 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SUS304 (本体) SS400 (架台)
全体質量	—	kg	<input type="text"/>
温度条件 (最高使用温度)	T	℃	300 (本体) 300 (架台)
縦弾性係数 (最高使用温度)	E E s	MPa	176000 (本体) 185000 (架台)
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>

4.4 固有周期

4.5.1 振動モード図及び刺激係数

解析コード「NX NASTRAN」により求めた固有値解析の結果を表4-7に示す。

表 4-7 固有周期 (s)

モード	卓越方向	固有周期 (s)
5次		$T_5 =$
17次		$T_{17} =$

4.5 設計用地震力

「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

評価に用いる設計用地震力を表4-5に示す。

表 4-5 設計用地震力 (重大事故等対処設備)

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S_s		減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平	鉛直
原子炉建屋 EL. 46.5 * ¹ (EL. 57.0 * ²)			$C_H=2.09$	$C_V=1.77$	—	—

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：壁に設置した架台に取り付けられた機器のため、設置床上階の設計用地震力を使用する。

4.6 計算方法

4.6.1 本体

本体の応力は、自重、鉛直方向地震及び水平方向地震(X, Y)を考慮し、三次元シェル要素による解析結果を用いる。ここで、各応力の算出式は下記による。

応力の種類	単位	応力算出式
組合せ応力	MPa	$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3 \tau_{xy}^2}$

三次元シェル要素による解析結果を5.項に示す。

4.6.2 架台

架台の応力は、本体と同様に、自重、鉛直方向地震及び水平方向地震(X, Y)を考慮し三次元シェル要素による解析結果を用いる。各応力の算出式は本体と同様である。

三次元シェル要素による解析結果を5.項に示す。

4.6.3 取付ボルト

取付ボルトの応力は、地震による震度によって生じる引張力とせん断力について計算する。

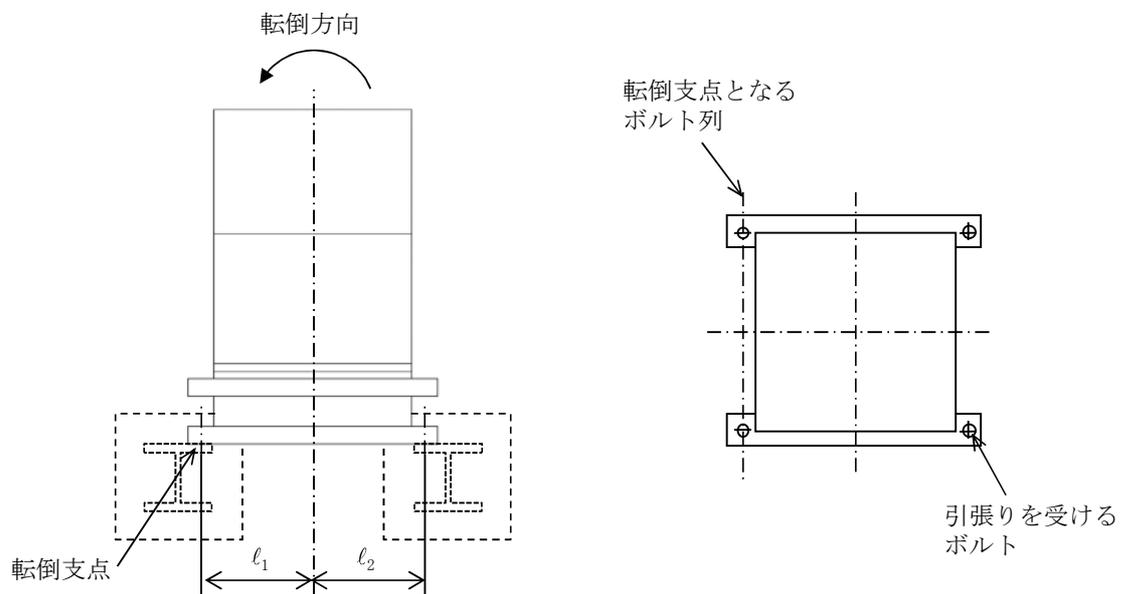


図4-2 計算モデル（長辺方向転倒）

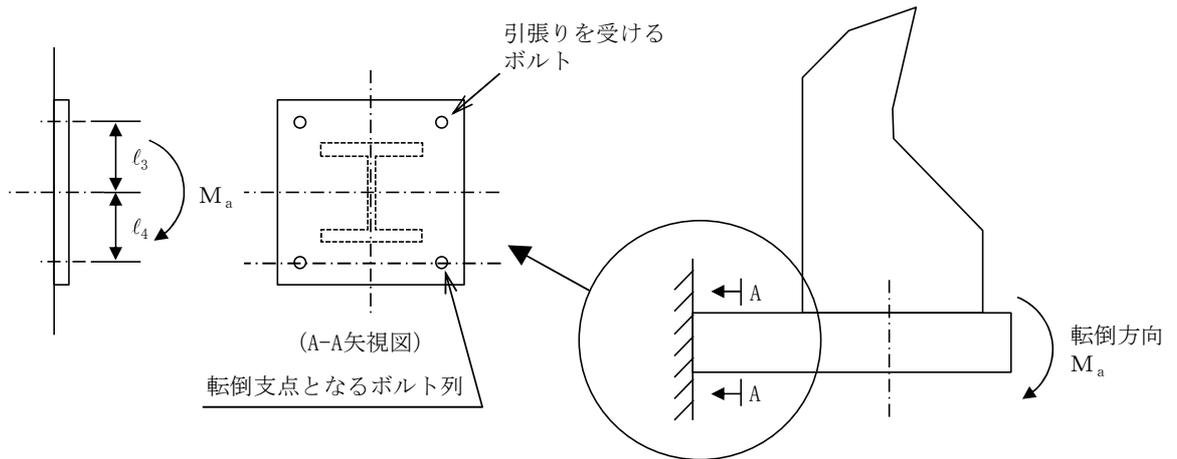


図4-3 計算モデル（短辺方向転倒）

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は図4-2及び図4-3で取付ボルトを支点とする転倒を考え、この片側の取付ボルト1本で受けるものとして計算する。

引張応力(σ_{bp})

$$\sigma_{bp} = \frac{F_{bp}}{n_{f1} \cdot A_{b1}} \dots\dots\dots (4.6.1)$$

ここで、

引張力 F_{bp} は、解析結果より得られた値を用いる。

取付ボルトの軸断面積 A_{b1} は、

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots\dots\dots (4.6.2)$$

(2) せん断応力

取付ボルトに対するせん断力は、取付ボルト1本で受けるものとして計算する。

せん断応力(τ_{bp})

$$\tau_{bp} = \frac{Q_{bp}}{n_1 \cdot A_{b1}} \dots\dots\dots (4.6.3)$$

ここで、

せん断応力 Q_{bp} は、解析結果より得られた値を用いる。

4.6.4 アンカボルト

アンカボルトについては、自重、鉛直方向地震力及び水平方向地震力によって生じる、引張力及びせん断力について計算する。

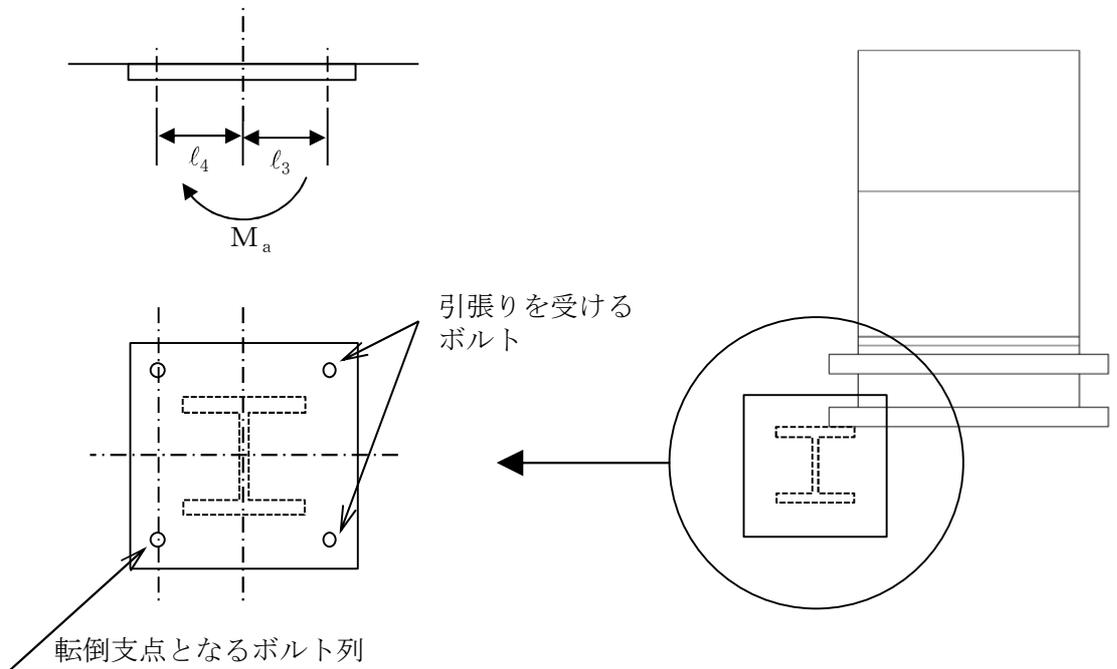


図4-4 計算モデル（水平方向転倒）

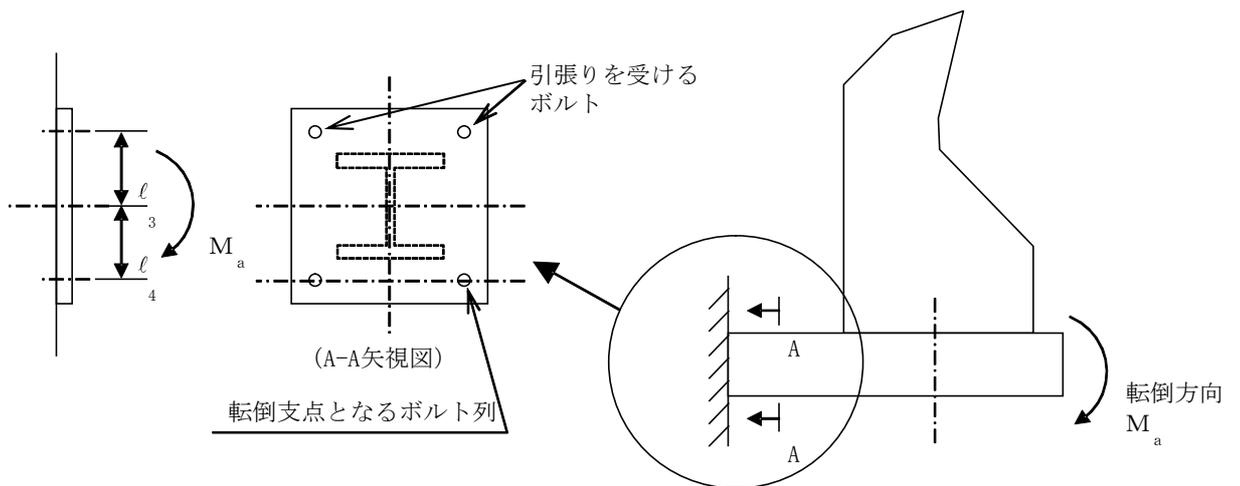


図4-5 計算モデル（鉛直方向転倒）

(1) 引張応力

アンカボルトに対する引張力は図4-4及び図4-5でアンカボルトを支点とする転倒を考え、この片側のアンカボルト2本で受けるものとして計算する。

引張応力(σ_{ba})

$$\sigma_{ba} = \frac{F_{ba}}{n_f \cdot 2 \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (4.6.4)$$

ここで、

引張力 F_{ba} は、解析結果より得られた値を用いる。

アンカボルトの軸断面積 A_{b2} は、

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (4.6.5)$$

(2) せん断応力

アンカボルトに対するせん断力は、アンカボルト4本で受けるものとして計算する。

せん断応力(τ_{ba})

$$\tau_{ba} = \frac{Q_{ba}}{n_s \cdot 4 \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (4.6.6)$$

ここで、

せん断応力 Q_{ba} は、解析結果より得られた値を用いる。

4.7 計算条件

応力解析に用いる計算条件は、本計算書の【静的触媒式水素再結合器の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 本体及び架台の応力評価

4.6.1及び4.6.2項で求めた本体及び架台の応力は許容応力 f_t 以下であること。ただし、 f_t は下表による。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F^*}{1.5} \times 1.5$

4.8.2 取付ボルト及びアンカボルトの応力評価

4.6.3項で求めた取付ボルトの引張応力 σ_{bp} 及び4.6.4項で求めたアンカボルトの引張応力 σ_{ba} は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (4.8.1)$$

せん断応力 τ_{bh} 及び τ_{bv} はせん断力のみを受ける取付ボルト及びアンカボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{2} \times 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \times 1.5$

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

静的触媒式水素再結合器の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。なお、弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

【静的触媒式水素再結合器の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
静的触媒式水素再結合器	常設/緩和	原子炉建屋 EL. 57.0*1			—	—	C _H =2.09*2	C _V =1.77*2	300	—

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 基準地震動 S_s の震度に地盤部物性のばらつきを考慮した設計震度

1.2 機器要目

m _o (kg)	t (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)	A _{b1} (mm ²)	A _{b2} (mm ²)	l ₁ (mm)	l ₂ (mm)	l ₃ (mm)	l ₄ (mm)
	12	176000	185000	67700	71200	113.1 (M12)	201.1 (M16)	222	238	115	115

n ₁ (-)	n _{f1} (-)	n ₂ (-)	n _{f2} (-)
1	1	4	2

S _y (本体) (MPa)	S _u (本体) (MPa)	F*(本体) (MPa)	S _y (架台) (MPa)	S _u (架台) (MPa)	F*(架台) (MPa)
127	391	171	170	373	204

S _y (取付ボルト) (MPa)	S _u (取付ボルト) (MPa)	F*(取付ボルト) (MPa)	S _y (アンカボルト) (MPa)	S _u (アンカボルト) (MPa)	F*(アンカボルト) (MPa)
127	391	171	170	373	204

1.3 結 論

1.3.1 固有周期

(単位 : s)

モード	卓越方向	固有周期
5次		$T_5 =$
17次		$T_{17} =$

1.3.2 応力及び許容荷重

(単位 : MPa)

部 材	材 料	応 力	基準地震動 S_s	
			算 出 応 力	許 容 応 力
本 体	SUS304	組 合 せ	$\sigma_p = 119$	$f_t = 171$
架 台	SS400	組 合 せ	$\sigma_s = 16$	$f_t = 204$
取付ボルト	SUS304	引 張 り	$\sigma_{bp} = 7$	$f_{ts} = 128^*$
		せ ん 断	$\tau_{bp} = 9$	$f_{sb} = 98$
アンカボルト	SS400	引 張 り	$\sigma_{ba} = 14$	$f_{ts} = 153^*$
		せ ん 断	$\tau_{ba} = 4$	$f_{sb} = 117$

注記* : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料

資料番号 工認-761 改1

提出年月日 平成30年8月16日

V-2-9-7-1-3 移送ポンプの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、移送ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

移送ポンプは、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

移送ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>うず巻形横軸ポンプ</p>	<p>(単位: mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

移送ポンプの構造は横軸ポンプであるため、構造強度評価は、「**V-2-1-13-4** 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

移送ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

移送ポンプの許容応力を表 3-2～表 3-3 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力**評価条件**

移送ポンプの使用材料の許容応力**評価条件**のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-4 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納 施設	圧力逃がし 装置	移送ポンプ	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	IV _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限 界を用いる。)

注記 *1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-2 許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5 · f _t *	1.5 · f _s *
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)		

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		—	188	479	205
ポンプ取付ボルト（下）		最高使用温度	200	—	633	759	—
ポンプ取付ボルト（上）		最高使用温度	200	—	633	759	—

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

移送ポンプの地震後の動的機能維持評価について、以下に示す。

移送ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度

(単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	横形単段遠心式	水平	
	ポンプ	鉛直	

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

移送ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【移送ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
移送ポンプ	常設/緩和	格納槽内 EL. -12.8*1	—*2	—*2	—	—	$C_H=0.47$	$C_V=0.55$	$C_p=0.21$	200	<input type="text"/>

注記 *1: 基準床レベルを示す。
*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} (mm)	ℓ_{2i} (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}	
							弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	4	—	2				
ポンプ取付ボルト (下) (i=2)						6	—	2
ポンプ取付ボルト (上) (i=3)						6	—	2

6

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向		M_p (N・mm)	
					弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)	188*1	479*1	—	246	—	軸直角	—	—
ポンプ取付ボルト (下) (i=2)	633*2 (径 ≤ 63 mm)	759*2 (径 ≤ 63 mm)	—	531	—	軸直角	—	—
ポンプ取付ボルト (上) (i=3)	633*2 (径 ≤ 63 mm)	759*2 (径 ≤ 63 mm)	—	531	—	軸直角	—	—

予想最大両振幅 (μ m)	回転速度 (min^{-1})
$H_p = \text{$	$N = \text{$

注記 *1: 周囲環境温度で算出
*2: 最高使用温度で算出
*3: 各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	1.375×10 ³	—	3.801×10 ³
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)	—	1.762×10 ³	—	3.374×10 ³
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)	—	955.7	—	3.288×10 ³

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b1} = 7$	$f_{ts1} = 184^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = 5$	$f_{sb1} = 142$
ポンプ取付ボルト(下)		引張り	—	—	$\sigma_{b2} = 9$	$f_{ts2} = 398^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = 3$	$f_{sb2} = 306$
ポンプ取付ボルト(上)		引張り	—	—	$\sigma_{b3} = 5$	$f_{ts3} = 398^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} = 3$	$f_{sb3} = 306$

すべて許容応力以下である。

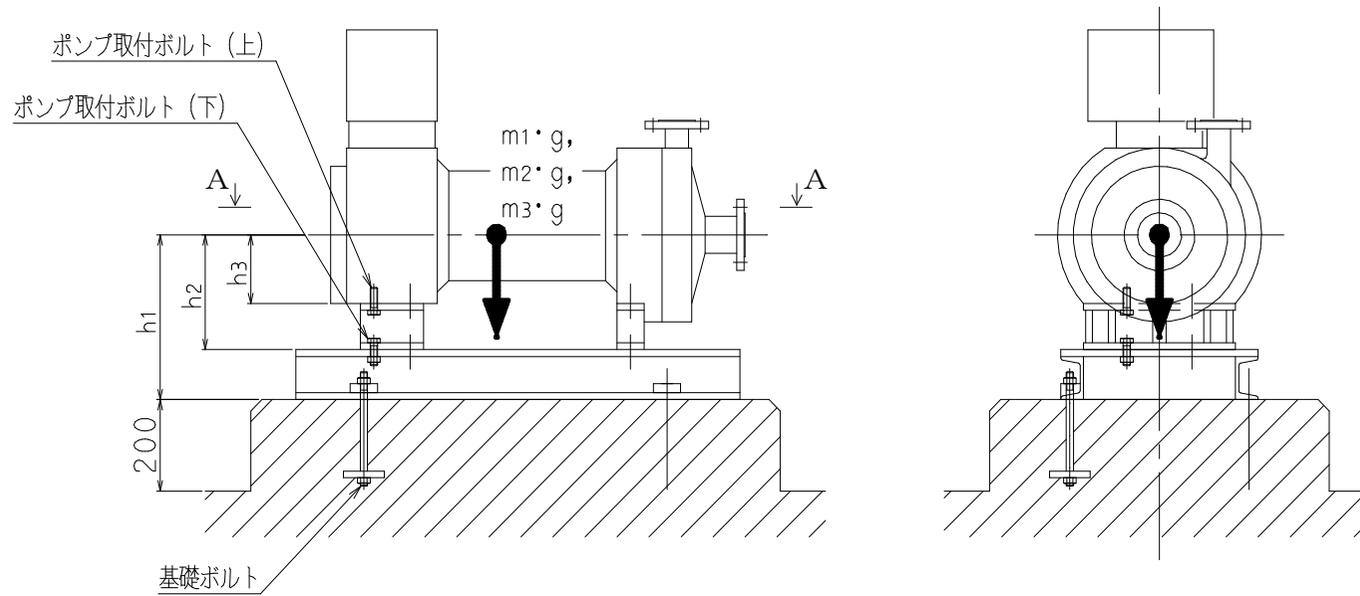
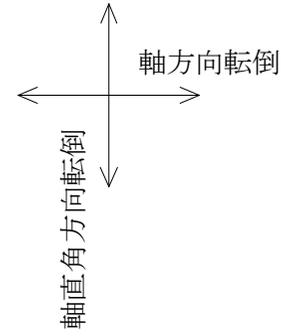
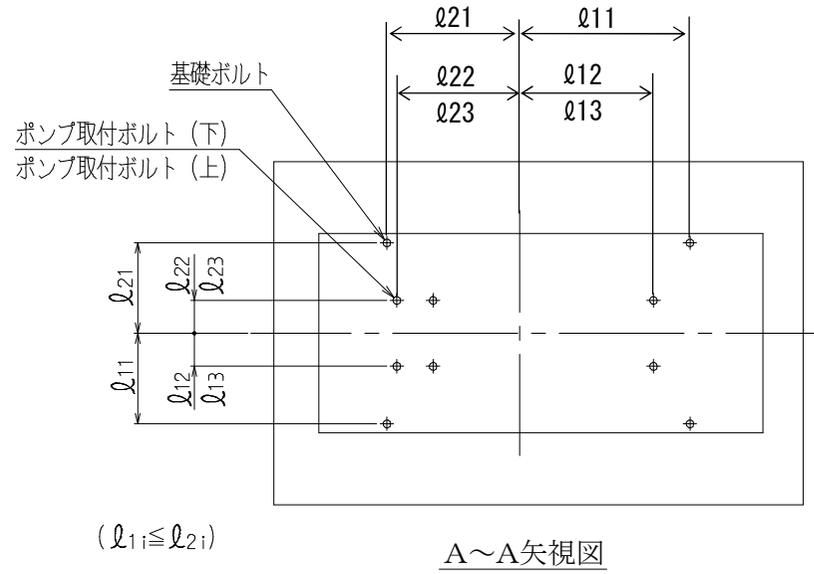
注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 動的機能の評価結果

(単位：×9.8m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.44	
	鉛直方向	0.50	

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-770 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-9-2-9 配管貫通部の耐震性についての計算書

目次

1. 概要.....	1
2. 構造説明.....	2
2.1 構造計画.....	2
2.2 評価方針.....	3
3. 形状及び主要寸法.....	4
4. 設計条件.....	5
4.1 設計荷重.....	5
4.2 材料及び許容応力.....	7
5. 応力計算.....	12
5.1 応力評価点.....	12
5.2 計算方針.....	14
6. 評価結果.....	17
6.1 設計基準対象施設としての評価結果.....	17
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果.....	20

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、配管貫通部が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価は配管貫通部の地震応答解析、応力評価により行う。

配管貫通部は設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

配管貫通部の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
支持構造	主体構造	
配管貫通部は原子炉格納容器により支持される。	原子炉格納容器に円筒形スリーブが取り付けられた鋼製構造物である。	

2.2 評価方針

- (1) 配管貫通部の応力評価のうち、原子炉格納容器側の応力については、原子炉格納容器に作用する荷重（死荷重、圧力、地震荷重）による応力と、貫通部に作用する荷重（配管反力）による応力を組み合わせて評価する。原子炉格納容器に作用する荷重による応力は、添付書類「V-2-9-2-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書」で計算した応力を用い、貫通部に作用する荷重による応力は、実績のある三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。
- (2) 解析コードはMSC NASTRANを用いる。なお、評価に用いる解析コードMSC NASTRANの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3. 形状及び主要寸法

配管貫通部の形状及び主要寸法を図3-1及び表3-1に示す。

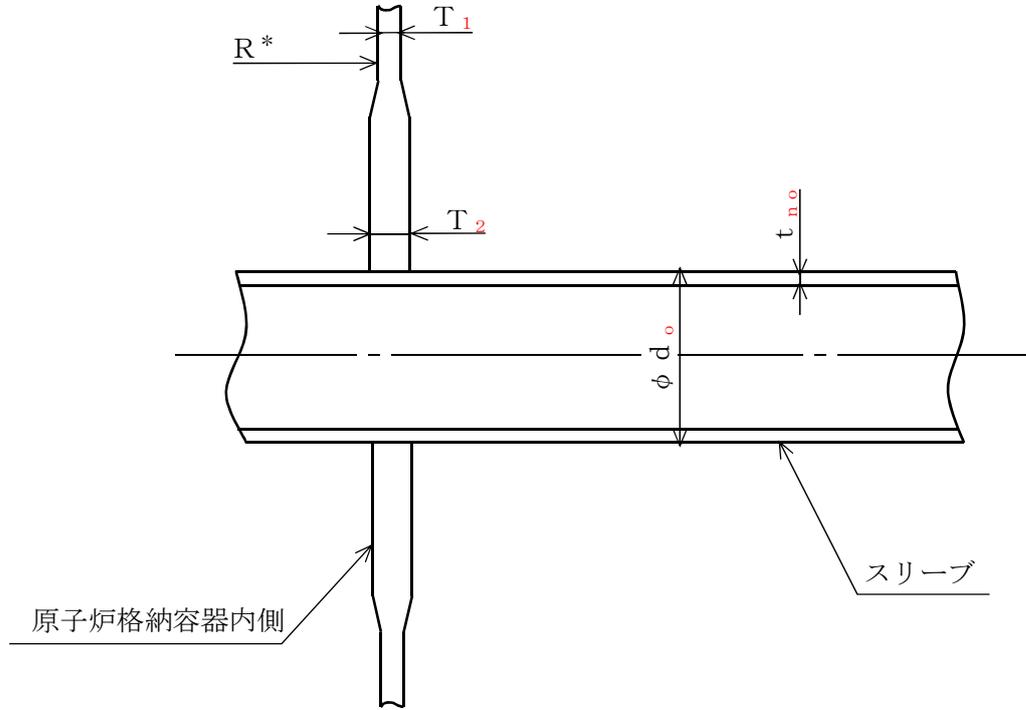


図3-1 配管貫通部の形状

表3-1 配管貫通部の主要寸法

(単位：mm)

貫通部番号	T_1	T_2	d_o	t_{no}	R^*

注記 *：原子炉格納容器中心から原子炉格納容器内側までの距離

4. 設計条件

4.1 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての最高使用圧力及び最高使用温度

内圧 P_D	310 kPa
外圧 P_{DO}	14 kPa
温度 T_D	104.5 °C

(2) 冷却材喪失事故後の最大内圧 P_{DBA} 196 kPa

(3) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

内圧 P_{SAL}	465 kPa (S A後長期)
内圧 P_{SALL}	200 kPa (S A後長々期)
温度 T_{SAL}	171 °C (S A後長期)
温度 T_{SALL}	150 °C (S A後長々期)

(4) 配管荷重

貫通部に作用する配管反力による設計荷重を表 4-1 に示す。地震荷重の作用方向を図 4-1 に示す。

表 4-1 配管反力による設計荷重

貫通部番号	荷重の種類	軸力(N)	モーメント(N・mm)		
		P	M_C	M_L	
□	死荷重				
	逃し安全弁 作動時荷重				
	地震荷重				S_d
					S_s
□	死荷重				
	逃し安全弁 作動時荷重				
	地震荷重				S_d
					S_s

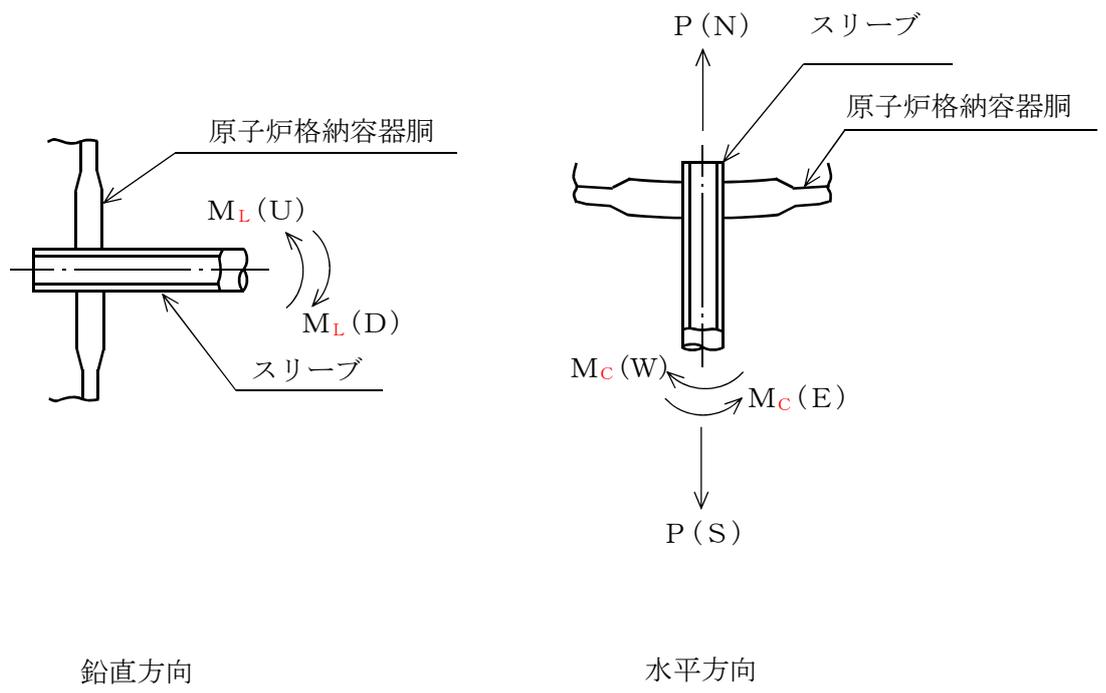


図 4-1 地震荷重の作用方向

4.2 材料及び許容応力

(1) 材料

表 4-2 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
原子炉格納容器胴	SGV49 相当	SGV480*
補強板	SGV49 相当	SGV480*

注記 * : 新 JIS を示す。

(2) 荷重の組合せ及び許容応力

基準地震動の策定に伴う地震荷重との組合せの評価として、荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-3 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-4 に、許容応力状態に対する許容限界について表 4-5 に示す。各材料の許容応力状態に対する許容応力のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-6 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-7 に示す。

表4-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	配管貫通部	S	クラス MC 容器	$D + P + M + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	Ⅳ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^{**}$	Ⅳ _A S

注記 * : 原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

表4-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	配管貫通部	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス2容器	$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ *2	V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)

注記 *1: 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2: 原子炉格納容器は, 放射性物質放出の最終障壁となること喪失事故後の最終障壁となることから, 重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

表4-5 許容限界 (クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器)

許容応力状態	許容限界*1					
	一次一般膜応力	一次膜応力 + 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ピーク 応力	特別な応力限界	
					純せん断応力	支圧応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及高ニッケル合金については1.2・Sとする。	左欄の 1.5倍の値*2		*4, *5 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。	0.6・S	S _y *6 (1.5・S _y)
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は0.6・S _u 、不連続な部分は、S _y と0.6・S _u の小さい方。	左欄の 1.5倍の値*2	3・S*3 S _d 又はS _s 地震動のみによる応力振幅について評価する。		0.4・S _u	S _u *6 (1.5・S _u)
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)	ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、構造上の連続な部分は2・Sと0.6S _u の小さい方、不連続な部分は1.2・Sとする。					

注記 *1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は、1.5のいずれか小さい方の値 (α)

を用いる。

*3: $3 \cdot S$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。 S_m は S と読み替える。) の弾塑性解析を用いる。

*4: 設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「 S_d 又は S_s 地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*5: 運転状態 I, IIにおいて疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数を1.0以下とする。

*6: () 内は、支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値

表4-6 許容応力（設計基準対象施設）

（単位：MPa）

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次+二次応力
			P_m	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	104.5	Ⅲ _A S	—	356	393
		Ⅳ _A S	—	356 ^{*1}	393
			—	387 ^{*2}	393

注記 *1：構造不連続部に対する許容応力を示す。

*2：構造連続部に対する許容応力を示す。

表4-7 許容応力（重大事故等対処設備）

（単位：MPa）

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次+二次応力
			P_m	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	171	Ⅴ _A S	—	344 ^{*1}	393
			—	380 ^{*2}	393
	150	Ⅴ _A S	—	348 ^{*1}	393
			—	381 ^{*2}	393

注記 *1：構造不連続部に対する許容応力を示す。

*2：構造連続部に対する許容応力を示す。

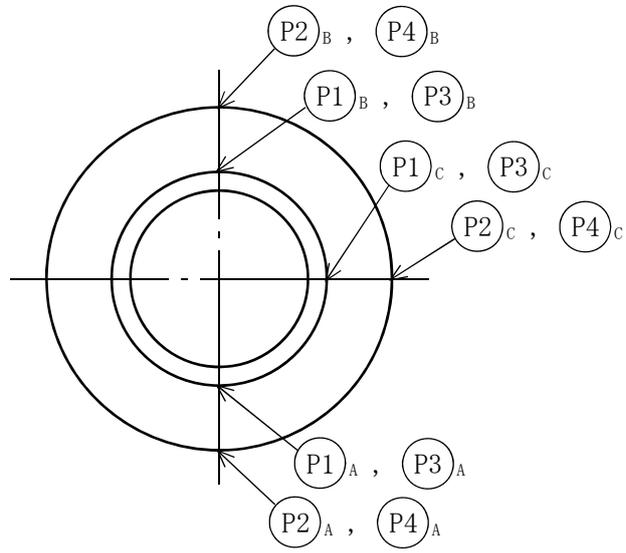
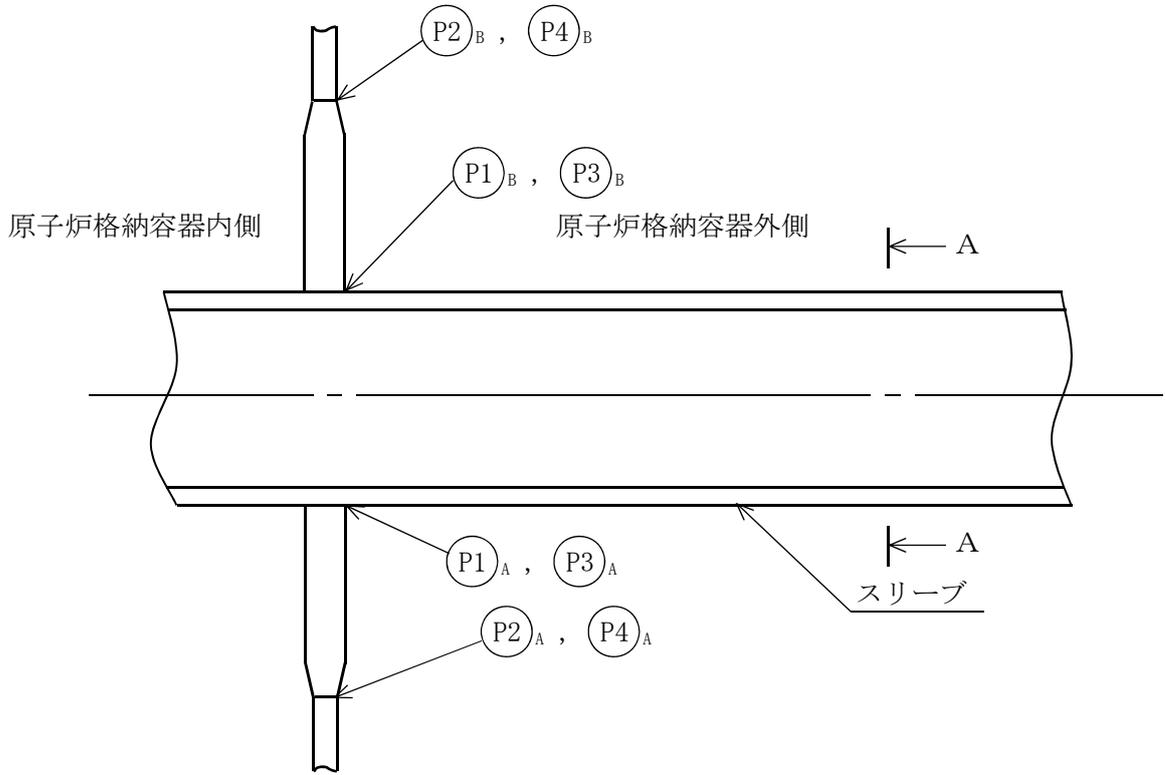
5. 応力計算

5.1 応力評価点

貫通部の形状及び応力レベルを考慮して設定した応力評価点を表 5-1 及び図 5-1 に示す。

表 5-1 応力評価点

貫通部番号	応力評価点番号	応力評価点
	P 1	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (P 1 - A ~ P 1 - C)
	P 2	補強板取付部 (P 2 - A ~ P 2 - C)
	P 3	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (P 3 - A ~ P 3 - C)
	P 4	補強板取付部 (P 4 - A ~ P 4 - C)



A~A 矢視図

図 5-1 配管貫通部の応力評価点

5.2 計算方針

5.2.1 原子炉格納容器に作用する荷重による応力

原子炉格納容器に作用する最高使用圧力(内圧), 最高使用圧力(外圧), 死荷重及び地震荷重による応力は, 添付書類「V-2-9-2-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書」で計算した応力を用いる。

5.2.2 貫通部に作用する荷重による応力

貫通部に作用する死荷重, 地震荷重による応力は, 解析コードMSC NASTRANを用いて計算する。

貫通部番号 及び の計算モデルを図 5-2 及び図 5-3 に示す。

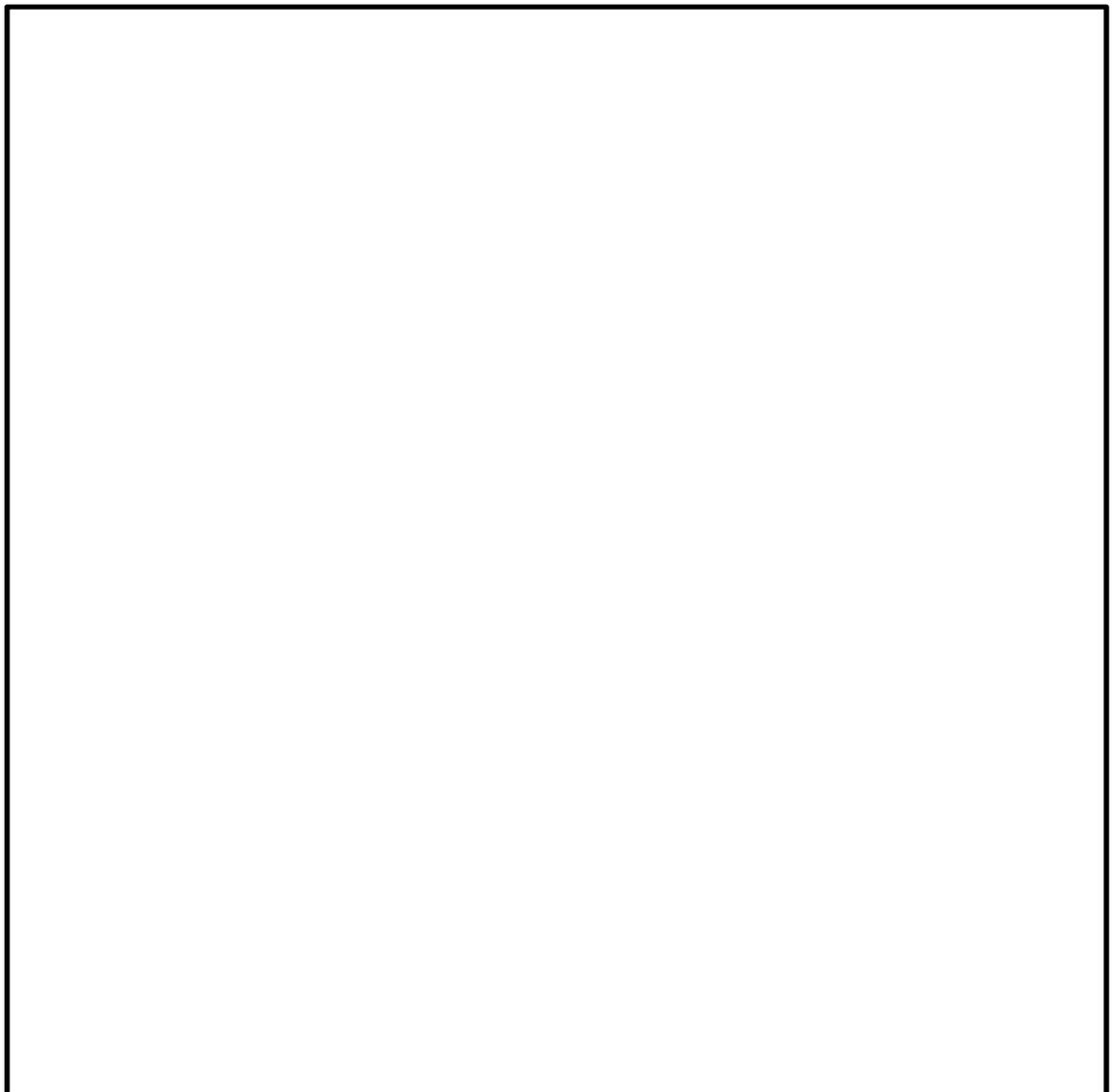


図 5-2 貫通部番号 の解析モデル

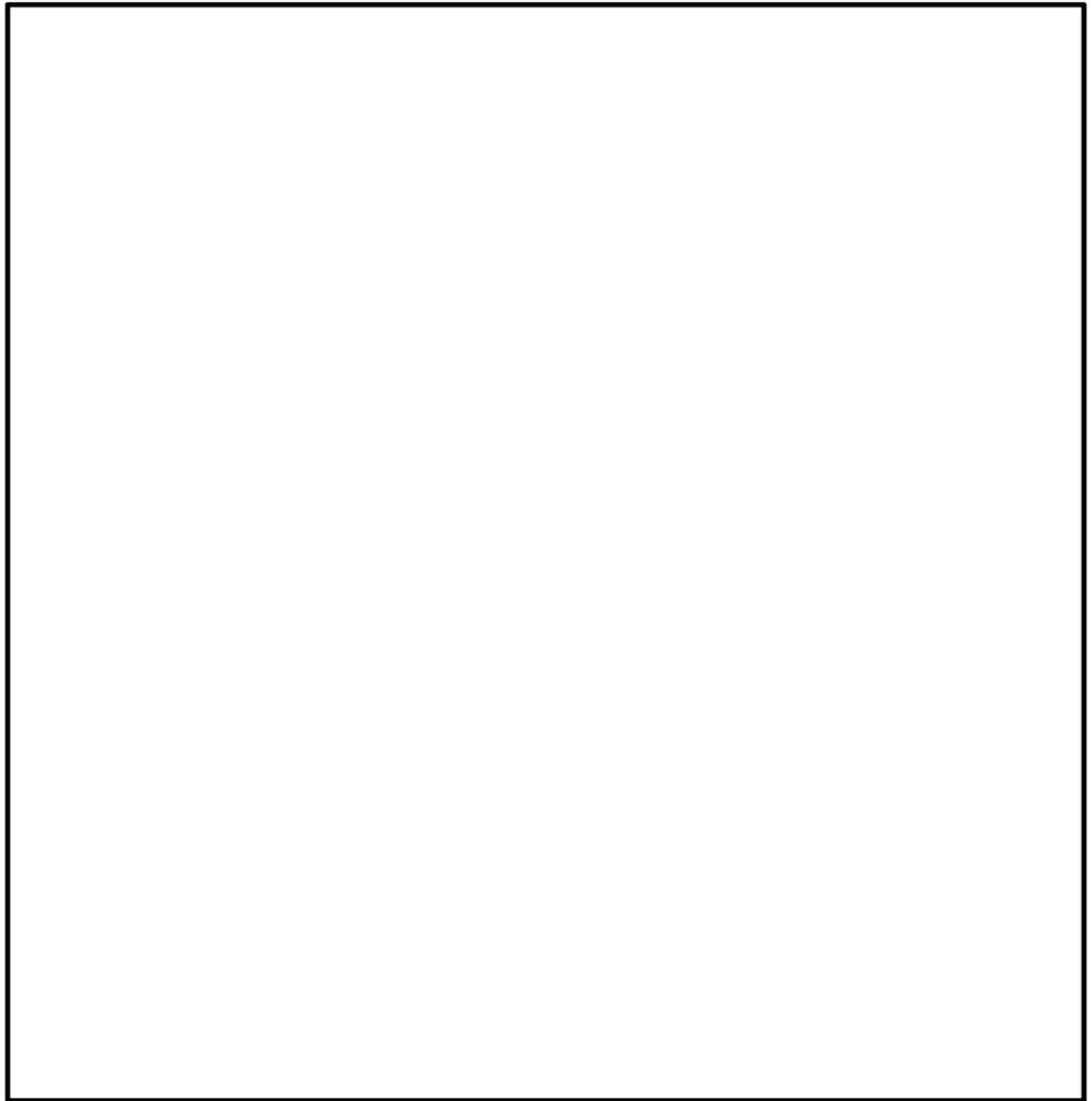


図 5-3 貫通部番号 の解析モデル

表 5-2 解析モデル諸元表

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV480
質量	m_0	kg	—*
温度条件	T	°C	4.1に記載のとおり
縦弾性係数	E	MPa	□
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	図5-2～図5-3に 記載のとおり
節点数	—	個	

注記 * : 単位荷重による解析のため、質量は定義不要。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

配管貫通部の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅳ_ASに対する応力評価結果を表 6-1 に示す。

表 4-3 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_L + M_L + S_d^*$ 及び $D + P + M + S_s$ の評価について、それぞれ発生値が高い方の評価を記載している。

(2) 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅲ_ASに対する応力評価結果を表 6-2 に示す。

表 4-3 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_d^*$ の評価について評価を記載している。

表 6-1 許容応力状態Ⅳ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s 又は D + P_L + M_L + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
配管貫通部 X-31	P 1	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	176	356	○	①*
			一次+二次応力	230	393	○	①*
	P 2	補強板取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	166	387	○	①*
			一次+二次応力	226	393	○	①*
配管貫通部 X-34	P 3	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	176	356	○	①*
			一次+二次応力	230	393	○	①*
	P 4	補強板取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	166	387	○	①*
			一次+二次応力	232	393	○	①*

注記 * : ① : D + P + M + S_s / ② : D + P_L + M_L + S_d*における結果を示す。

表 6-2 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
配管貫通部 X-31	P 1	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	137	356	○	
			一次+二次応力	130	393	○	
	P 2	補強板取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	130	356	○	
			一次+二次応力	130	393	○	
配管貫通部 X-34	P 3	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	137	356	○	
			一次+二次応力	130	393	○	
	P 4	補強板取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	129	356	○	
			一次+二次応力	130	393	○	

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

配管貫通部の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価

許容応力状態 $V_A S$ に対する応力評価結果を表 6-3 に示す。

表 4-4 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ 及び $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ の評価について、それぞれ評価基準値に対する発生値の割合が高い方の評価を記載している。

表 6-3 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ 又は $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V _{AS}		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
配管貫通部 X-31	P 1	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	266	348	○	①*
			一次+二次応力	346	393	○	①*
	P 2	補強板取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	258	380	○	②*
			一次+二次応力	346	393	○	①*
配管貫通部 X-34	P 3	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	266	348	○	①*
			一次+二次応力	344	393	○	①*
	P 4	補強板取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	258	380	○	②*
			一次+二次応力	350	393	○	①*

注記 * : ① : $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ / ② : $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ における結果を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-772 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 構造説明	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	3
3. 形状及び主要寸法	4
4. 設計条件	5
4.1 設計荷重	5
4.2 材料及び許容応力	12
5. 応力計算	16
5.1 応力評価点	16
5.2 計算方針	17
6. 評価結果	18
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	18
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	21

1. 概要

本説明書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、ベント管が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価はベント管の地震応答解析、応力評価により行う。

ベント管は設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

ベント管の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図	
基礎・支持構造	主体構造		
ベント管上部をダイヤフラムフロアに固定し, 下部には水平ブレースにて支持している。	<p>ベント管は内径 <input type="text"/> mm, 板厚 <input type="text"/> mm, 長さ <input type="text"/> mm の管でできている。</p> <p>ベント管の上部には配管破断時の防護のためジェットデフレクタを取付けた構造である。</p>		

2.2 評価方針

- (1) ベント管の応力評価は、東海第二発電所 昭和 48 年 10 月 22 日付け 48 公第 8316 号（既工認）にて認可された実績のある手法を適用する。各荷重による応力は、実績のある三次元ビームモデルによる有限要素解析手法を適用する。
- (2) 解析コードはMSC NASTRANを用いる。なお、評価に用いる解析コードMSC NASTRANの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3. 形状及び主要寸法

ベント管の形状及び主要寸法を図 3-1 に示す。

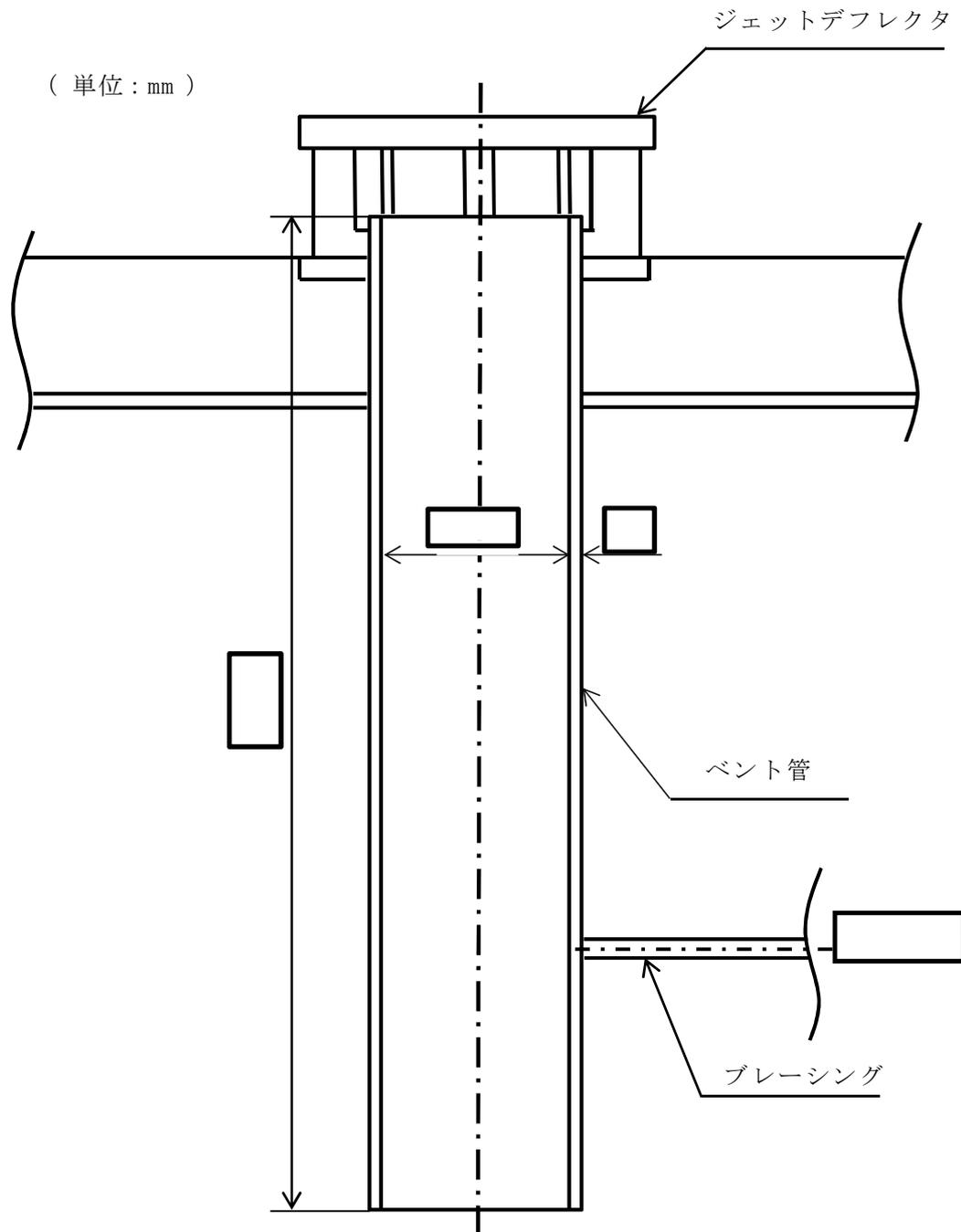


図 3-1 ベント管の形状及び主要寸法 (単位 : mm)

4. 設計条件

4.1 設計荷重

- (1) 設計基準対象施設としての最高使用圧力及び最高使用温度

内圧 P_D 173 kPa温度 T_D 171 °C

- (2) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

内圧 P_{SAL} 173 kPa (SA後長期)内圧 P_{SALL} 173 kPa (SA後長々期)温度 T_{SAL} 171 °C (SA後長期)温度 T_{SALL} 150 °C (SA後長々期)

- (3) 死荷重

ベント管の自重



- (4) 地震力による荷重

解析モデルによる固有値解析の結果を表 4-1, 図 4-1 及び表 4-2, 図 4-2 に示す。

ベント管の設計震度について、水平方向については、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した応答スペクトルの作成方針に基づき、作成した（設計用床応答曲線）表 4-3 及び表 4-5 を用いる。また、鉛直方向については表 4-4 及び表 4-6 に示す設計震度を用いる。表 4-3～表 4-6 に示す設計震度によりベント管に加わる荷重を解析コード MSC NASTRAN を使用して計算する。計算モデルを図 4-3 に、計算モデルの諸元を表 4-7 に示す。

- (5) 逃がし安全弁作動時荷重

逃がし安全弁作動時空気泡圧力による荷重としては、気泡差圧による荷重と気泡速度によるドラッグ力が作用する。

$$P = \sqrt{(\Delta P_{\max})^2 + (P_{D\max})^2}$$

ここに、

$$\Delta P_{\max} = P_{o\max} \cdot R_0 \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_1 + a} \right)$$

$$P_{D\max} = \frac{\gamma}{2 \cdot g} \cdot C_D \cdot V_{o\max}^2 \cdot \left(\frac{R_0}{r_1} \right)^4$$

 $P_{o\max}$: 最大気泡圧力 R_0 : 気泡半径 r_1 : 気泡中心と構造物前面までの距離 a : 構造物の厚さ $V_{o\max}$: 最大気泡表面速度 C_D : ドラッグ係数

γ : 比重量

g : 重力加速度

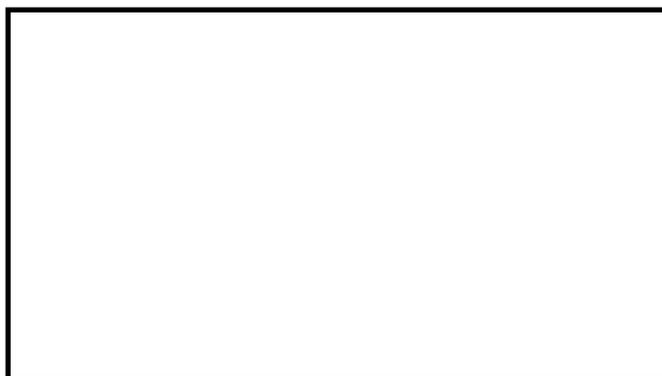
(6) 冷却材喪失事故時蒸気ブローダウンによる荷重

ベント管に加わる水平方向荷重

$$F_1 = \square \cdot \sin(\pi \cdot t/3) \quad (\times 10^3 \text{ N}) \quad 0 \leq t \leq 3 \text{ ms}$$

表 4-1 固有周期（設計基準対象施設）

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数	
			X	Z
1次		水平方向		
2次		水平方向		



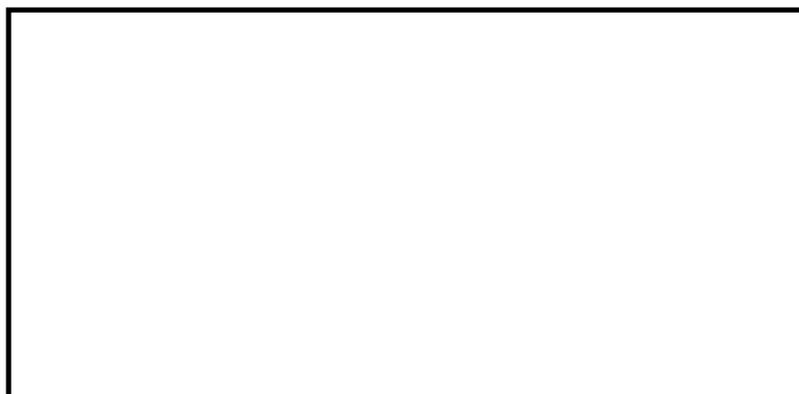
1次モード

2次モード

図 4-1 モード変形図（設計基準対象施設）

表 4-2 固有周期（重大事故等対処設備）

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数	
			X	Z
1次		水平方向		
2次		水平方向		
3次		水平方向		



1次モード

2次モード

3次モード

図 4-2 モード変形図（重大事故等対処設備）

表 4-3 設計震度（設計用床応答曲線）（設計基準対象施設）

地震動	設置場所 及び床面高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	備考
S_d	原子炉格納容器 EL. 13. 523 ペDESTAL EL. 2. 189, EL. 8. 395 及び EL. 13. 198	水平	0.5*	水平方向はX方向 及びY方向の包絡 曲線を用いる。
S_s	原子炉格納容器 EL. 13. 523 ペDESTAL EL. 2. 189, EL. 8. 395 及び EL. 13. 198	水平	0.5*	水平方向はX方向 及びY方向の包絡 曲線を用いる。

注記 * : 保温材の無い配管のため

表 4-4 設計震度（設計基準対象施設）

機器	方向	S_d	S_s
ベント管	鉛直		

表 4-5 設計震度（設計用床応答曲線）（重大事故等対処設備）

地震動	設置場所 及び床面高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	備考
S_d	原子炉格納容器 EL. 13. 523 ペDESTAL EL. 2. 189, EL. 8. 395 及び EL. 13. 198	水平	0.5*	水平方向はX方向 及びY方向の包絡 曲線を用いる。
S_s	原子炉格納容器 EL. 13. 523 ペDESTAL EL. 2. 189, EL. 8. 395 及び EL. 13. 198	水平	0.5*	水平方向はX方向 及びY方向の包絡 曲線を用いる。

注記 * : 保温材の無い配管のため

表 4-6 設計震度（重大事故等対処設備）

機器	方向	S_d	S_s
ベント管	鉛直		

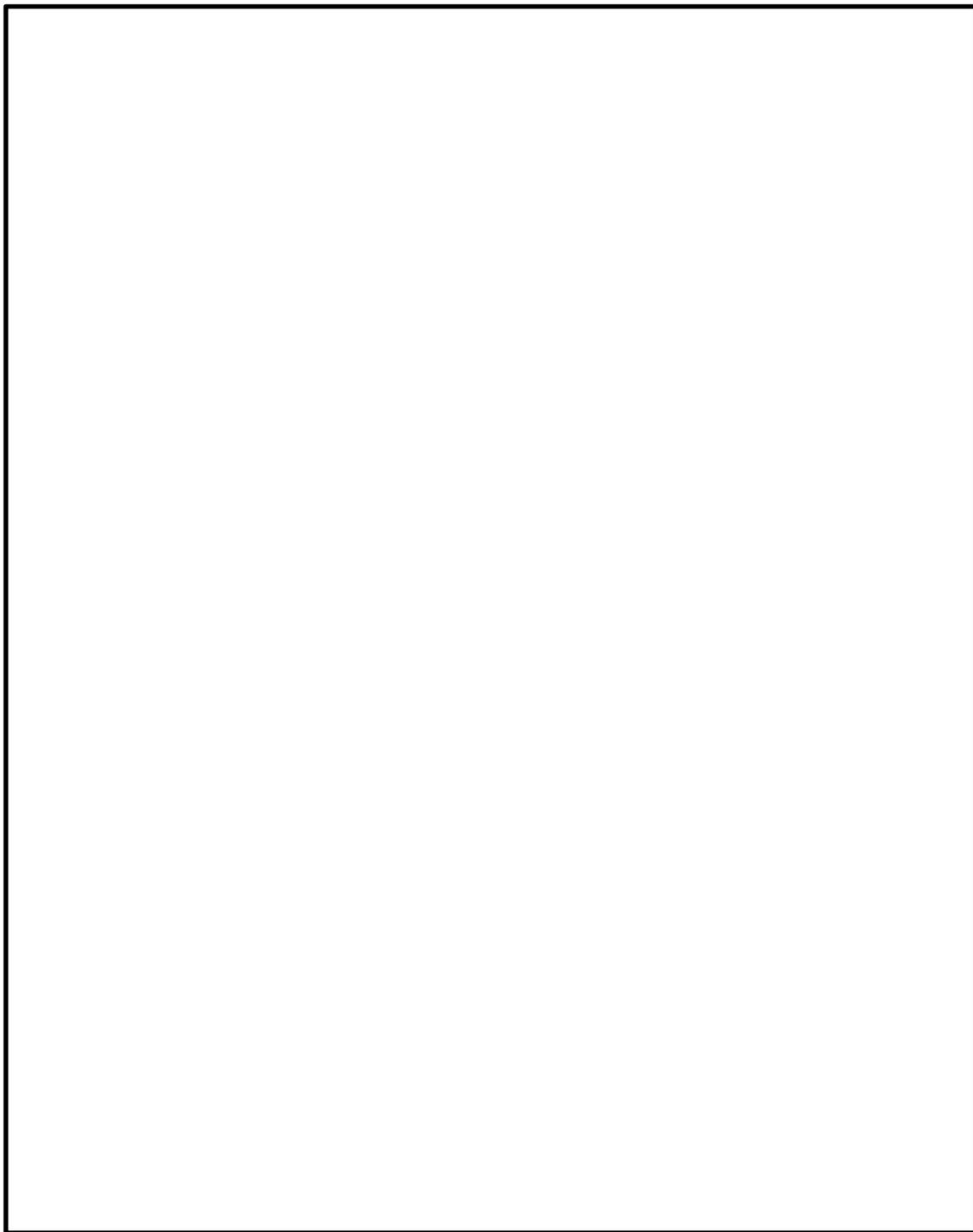


図 4-3 ベント管の計算モデル

表 4-7 解析モデル諸元表

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV480
質量	m_0	kg	
温度条件	T	°C	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

4.2 材料及び許容応力

(1) 材料

表 4-8 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
ベント管	SGV49 相当 	SGV480*

注記 *：新 JIS を示す。

(2) 荷重の組合せ及び許容応力

基準地震動の策定に伴う地震荷重との組合せの評価として、荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-9 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-10 に、許容応力状態に対する許容限界について表 4-11 に示す。また、各材料の許容応力状態に対する許容応力のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-12 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-13 に示す。

表 4-9 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	ベント管	S	クラス 2 管	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

表4-10 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	ベント管	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス2管	$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として I_{AS} の許容限界を用いる。)
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^*$	V_{AS} (V_{AS} として I_{AS} の許容限界を用いる。)

注記 * : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

表4-11 許容限界 (クラス2, 3管及び重大事故等クラス2管)

許容応力状態	許容限界*1			
	一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	*2 S _y と0.6・S _u の小さい方。 ただし、オーステナイト系ステンレス 鋼及高ニッケル合金については上記 値と1.2・S _h との大きい方。	S _y ただし、オーステナイト系ステンレス 鋼及高ニッケル合金については上記 値と1.2・S _h との大きい方。	*3 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行 い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変 動値が2・S _y 以下であれば疲労解析不要。	
Ⅳ _A S	*3 0.6・S _u	左欄の1.5倍の値	*3	
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用 いる。)			*3 S _s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累 積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変 動値が2・S _y 以下であれば疲労解析不要。	

注記 *1: 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2: 軸力による全断面平均応力については、許容応力状態Ⅲ_ASの一次一般膜応力の許容値の0.8倍の値とする。

*3: 2・S_yを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PPB-3536(1), (2), (4)及び(5) (ただし、S_mは2/3・S_yと読み替
える。)の簡易弾塑性解析を用いる。

表 4-12 許容応力（設計基準対象施設）

（単位：MPa）

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次+二次応力
			P_m	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	171	Ⅲ _A S	—	229	458
		Ⅳ _A S	—	380	458

表4-13 許容応力（重大事故等対処設備）

（単位：MPa）

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次+二次応力
			P_m	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	150	V _A S	—	381	464
	171	V _A S	—	380	458

5. 応力計算

5.1 応力評価点

ベント管の形状及び応力レベルを考慮して設定した応力評価点を表 5-1 に示す。

表 5-1 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	上部
P 2	ブレーシング部

5.2 計算方針

ベント管の応力評価は、東海第二発電所 昭和 48 年 10 月 22 日付け 48 公第 8316 号（既工認）にて認可された実績のある手法を適用する。各荷重によりベント管に生じる応力は、解析コード **M S C N A S T R A N** を使用して計算する。ベント管の計算モデルを図 4-3 に、計算モデルの諸元を表 4-7 に示す。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

ベント管の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅳ_ASに対する応力評価結果を表 6-1 に示す。

表 4-9 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_D + M_D + S_s$ の評価について記載している。

(2) 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅲ_ASに対する応力評価結果を表 6-2 に示す。

表 4-9 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_D + M_D + S_d^*$ の評価について記載している。

表 6-1 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_S)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
ベント管	P 1	上部	膜応力+曲げ応力	139	380	○	
			一次+二次応力	196	458	○	
	P 2	ブレーシング部	膜応力+曲げ応力	291	380	○	
			一次+二次応力	422	458	○	

表 6-2 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_d^{*})

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
ベント管	P 1	上部	膜応力+曲げ応力	101	229	○	
			一次+二次応力	120	458	○	
	P 2	ブレーシング部	膜応力+曲げ応力	209	229	○	
			一次+二次応力	258	458	○	

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ベント管の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価

許容応力状態 V_{AS} に対する応力評価結果を表 6-3 に示す。

表 4-10 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ 及び $D + P_{SALL} + M_{SAL} + S_d$ の評価について、それぞれ発生値が高い方の評価を記載している。

表 6-3 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_S$ 又は $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
ベント管	P 1	上部	膜応力+曲げ応力	159	381	○	①*
			一次+二次応力	306	464	○	①*
	P 2	ブレーシング部	膜応力+曲げ応力	138	381	○	①*
			一次+二次応力	264	464	○	①*

注記 * : ① : $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_S$ / ② : $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ における結果を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-776 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-10-1-2-3 非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの耐震性
についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	8
3. 評価部位	9
4. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	10
4.3 固有周期の計算結果	10
5. 地震応答解析及び構造強度評価	11
5.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.3 設計用地震力	16
5.4 解析モデル及び諸元	17
5.5 計算方法	19
5.6 計算条件	21
5.7 応力の評価	22
5.8 疲労解析評価	23
6. 評価結果	26
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	26
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	26

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、非常用ディーゼル発電機燃料油デイタンクが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

非常用ディーゼル発電機燃料油デイタンクは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

非常用ディーゼル発電機燃料油デイタンクの構造計画を表2-1に示す。

表2-1 構造計画

計 画 の 概 要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴を6個の脚で支持し，脚をそれぞれ基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>横置円筒形容器</p>	<p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

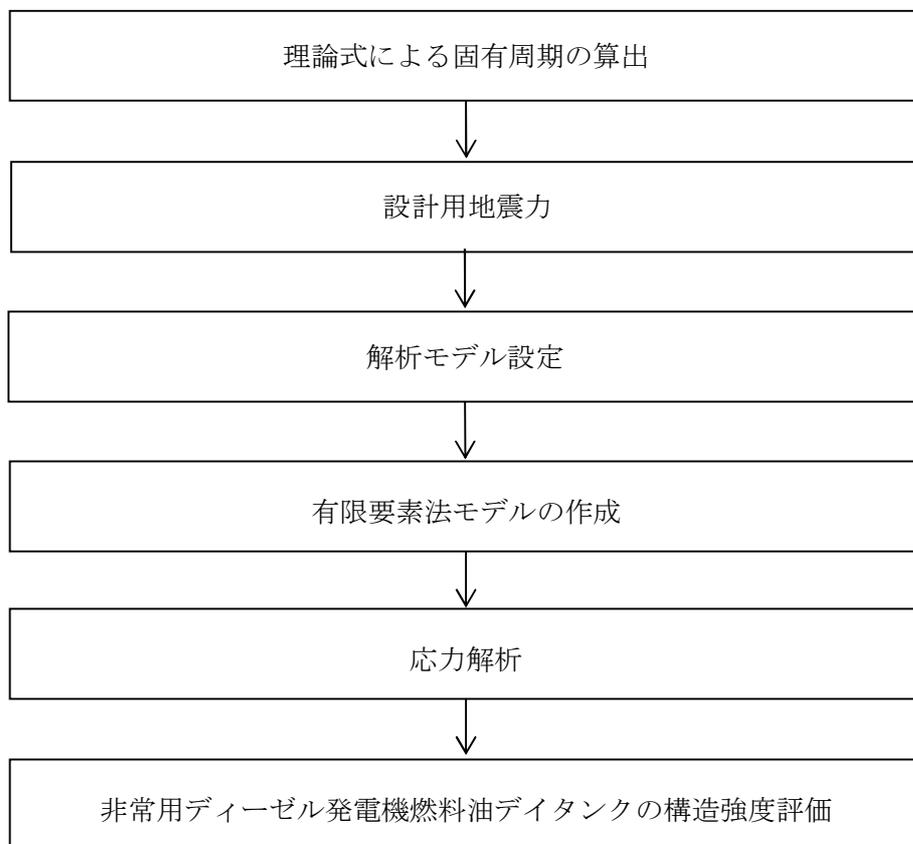


図 2-1 非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984，J E A G 4 6 0 1－1987及びJ E A G 4 6 0 1－1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和59年9月，昭和62年8月及び平成3年6月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。）） J S M E S N C 1－2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_0	設計・建設規格 PVB-3315に定める値	—
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	固定脚の断面積	mm^2
A_{s1}	固定脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	固定脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
B_0	設計・建設規格 PVB-3315に定める値	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E'	設計・建設規格 添付4-2に定める値 ($=2.07 \times 10^5$)	MPa
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_{sb}	ボルト1本あたりに作用するせん断力	N
F_{tb}	ボルト1本あたりに作用する引張力	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
H	水頭	mm
h_1	基礎から固定脚の胴付け根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm
I_{sx}	固定脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
I_{sy}	固定脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
K	疲労強度減少係数又は応力集中係数	—
K_c	固定脚のばね定数 (胴の横方向に水平力が作用する場合)	N/m
K_e	繰返しピーク応力強さの割増し係数	—
K_l	固定脚のばね定数 (胴の長手方向に水平力が作用する場合)	N/m
K_v	固定脚のばね定数 (胴に鉛直力が作用する場合)	N/m
m_0	容器の運転時質量	kg
N_1	S_1 に対応する許容繰返し回数	—
N_2	S_2 に対応する許容繰返し回数	—
N_a	許容繰返し回数	—

記 号	記 号 の 説 明	単 位
N_c	実際の繰返し回数	—
n	基礎ボルトの本数	—
q	設計・建設規格 PVB-3315に定める値	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_1	設計・建設規格 付録材料図表 添付4-2.2に定める値	MPa
S_2	設計・建設規格 付録材料図表 添付4-2.2に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
$S_{a'}$	設計・建設規格 付録材料図表 添付4-2.2に定める値	MPa
S^l	繰返しピーク応力強さ	MPa
$S^{l'}$	補正した繰返しピーク応力強さ	MPa
S_m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める値	MPa
S_n	一次＋二次応力強さ (=算出応力)	MPa
S_p	応力集中係数を考慮した一次＋二次応力強さ	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
T	胴の温度条件	°C
T_s	脚の温度条件	°C
T_1	長手方向固有周期	s
T_2	横方向固有周期	s
T_3	鉛直方向固有周期	s
t	固定脚側胴板の厚さ	mm
t_e	固定脚付け根部における胴の有効板厚	mm
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0x}	胴の長手方向一次一般膜応力	MPa
σ_{0y}	胴の周方向一次一般膜応力	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_{1x}	胴の長手方向一次応力	MPa
σ_{1y}	胴の周方向一次応力	MPa
σ_2	胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{2x}	胴の長手方向一次＋二次応力	MPa
σ_{2y}	胴の周方向一次＋二次応力	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{s1}	脚の一次応力の最大値	MPa
σ_{s1x}	脚のシェル要素における x 方向一次応力	MPa
σ_{s1y}	脚のシェル要素における y 方向一次応力	MPa
σ_{s2}	脚の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{s2x}	脚のシェル要素における x 方向一次+二次応力	MPa
σ_{s2y}	脚のシェル要素における y 方向一次+二次応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{0xy}	胴の一次一般膜せん断応力	MPa
τ_{1xy}	胴の一次せん断応力	MPa
τ_{2xy}	胴の一次+二次せん断応力	MPa
τ_{s1xy}	脚のシェル要素における一次せん断応力	MPa
τ_{s2xy}	脚のシェル要素における一次+二次せん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	胴の厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
面積 ^{*2}		mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる胴、脚及び基礎ボルトについて実施する。非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

容器及び内容物の質量は動の中心軸に集中するものとする。また、水平方向は、脚をはりと考え、変形モードは脚の曲げ及びせん断変形を考慮する。胴の水平方向及び水平方向及び鉛直方向は剛とみなす。

(1) 計算モデル

本容器は、図4-1、図4-2及び図4-3のような1質点系振動モデルとして考える。

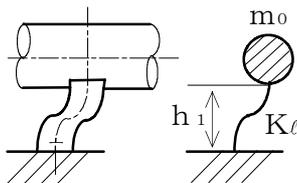


図4-1 長手方向の固有周期
計算モデル

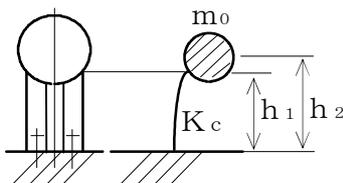


図4-2 横方向の固有周期
計算モデル

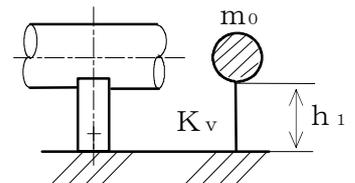


図4-3 鉛直方向の固有周期
計算モデル

(2) 脚の受ける荷重

脚の受ける荷重は全ての脚が下端固定構造であるため、機器の運転時質量 m_0 を全ての脚で受けるものとする。

(3) 長手方向の固有周期

図4-1におけるばね定数は次式で求める。

$$K_l = \frac{1000}{\frac{h_1^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{sy}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s1}}} \dots \dots \dots (4.1.1)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_l}} \dots \dots \dots (4.1.2)$$

(4) 横方向の固有周期

図4-2におけるばね定数は次式で求める。

$$K_c = \frac{1000}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{sx}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1 / 2)}{E_s \cdot I_{sx}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s2}}} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_c}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

(5) 鉛直方向の固有周期

図4-3におけるばね定数は次式で求める。

$$K_v = \frac{1000}{\frac{h_1}{A_s \cdot E_s}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_3 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_v}} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、「6.1 設計基準対象施設としての評価結果」及び「6.2 重大事故等対処設備としての評価結果」の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を、表4-1に示す。計算結果より、剛であることを確認した。

表4-1 固有周期(s)

水平方向		鉛直方向
長手方向	横方向	
0.014	0.039	0.004

5. 地震応答解析及び構造強度評価

5.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 地震力は、容器に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、原則として、強度評価において組合せるものとする。なお、基礎ボルトにおいては、作用する荷重の算出において組合せるものとする。
- (2) 容器の胴は6個の脚で支持され、脚はそれぞれ基礎に基礎ボルトで取り付ける。
- (3) 胴と脚との取付部において胴の局部変形を考慮する。
- (4) 脚は全脚固定とし、水平方向荷重は全ての脚で受けるものとする。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-2に示す。

5.2.2 許容応力

非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの許容応力を表5-3～表5-4に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-5に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-6に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	非常用ディーゼル発電機 燃料油デイトンク	S	—*1	$D + P_D + M_D + S_d^{*2}$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *1: クラス 2, 3 容器及びクラス 2, 3 支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*2: S_s と組み合わせ、Ⅲ_AS の評価を実施する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	非常用ディーゼル発電機 燃料油デイトンク	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 クラス 2 容器*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A S として Ⅳ _A S の許容限界を 用いる。)

注記 *1: 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2: 重大事故等クラス 2 容器の支持構造物を含む。

*3: 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため, 評価結果の記載を省略する。

表5-3 許容応力 (クラス 2, 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器)

許容応力状態	許容限界 ^{*1}			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と 0.6・S _u の小さい方。 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と 1.2・S のうち大きい方とする。	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動 S _d 又は基準地震動 S _s ^{*2} のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば疲労解析は不要。	
Ⅳ _A S				
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値	基準地震動 S _s ^{*2} のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば疲労解析は不要。	

注記 *1: 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2: 2・S_y を超えるときは弾塑性解析若しくは設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。S_m は 2/3・S_y と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表5-4 許容応力（クラス2，3支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴	SS41* (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	55	—	239	391	—
脚		周囲環境温度		—	231	394	—
基礎ボルト		周囲環境温度		—	231	394	—

表 5-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴	SS41* (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	55	—	239	391	—
脚		周囲環境温度		—	231	394	—
基礎ボルト		周囲環境温度		—	231	394	—

5.3 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、
添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表5-7及び表5-8に示す。

表5-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 EL. 8.2* ¹	0.039	0.004	—* ²	—* ²	$C_H =$ 1.10	$C_V =$ 0.96

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：Ⅲ_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。

表5-8 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 EL. 8.2*	0.039	0.004	—	—	$C_H =$ 1.10	$C_V =$ 0.96

注記 *：基準床レベルを示す。

5.4 解析モデル及び諸元

非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの解析モデルを図5-1に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表5-9に示す。

- (1) 燃料油デイトンクをシェル要素でモデル化したFEMモデルによって求める。
- (2) 拘束条件は、脚を脚底面ボルト位置で変位3(X, Y, Z)方向拘束、脚底面を鉛直(Z)方向フリーとする。
- (3) 解析コードは、「ABAQUS」を使用し、胴、脚及び基礎ボルトの応力を求める。
 なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「V-5-5 計算機プログラム（解析コード）の概要・ABAQUS」に示す。

表5-9 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質		—	—	<input type="text"/>
質量		m_0	kg	15000
温度条件 (雰囲気温度)	胴	T	℃	55
	脚	T_s	℃	<input type="text"/>
縦弾性係数	胴	E	MPa	201000
	脚	E_s	MPa	201000
ポアソン比		ν	—	0.3
要素数		—	個	23972
節点数		—	個	23956

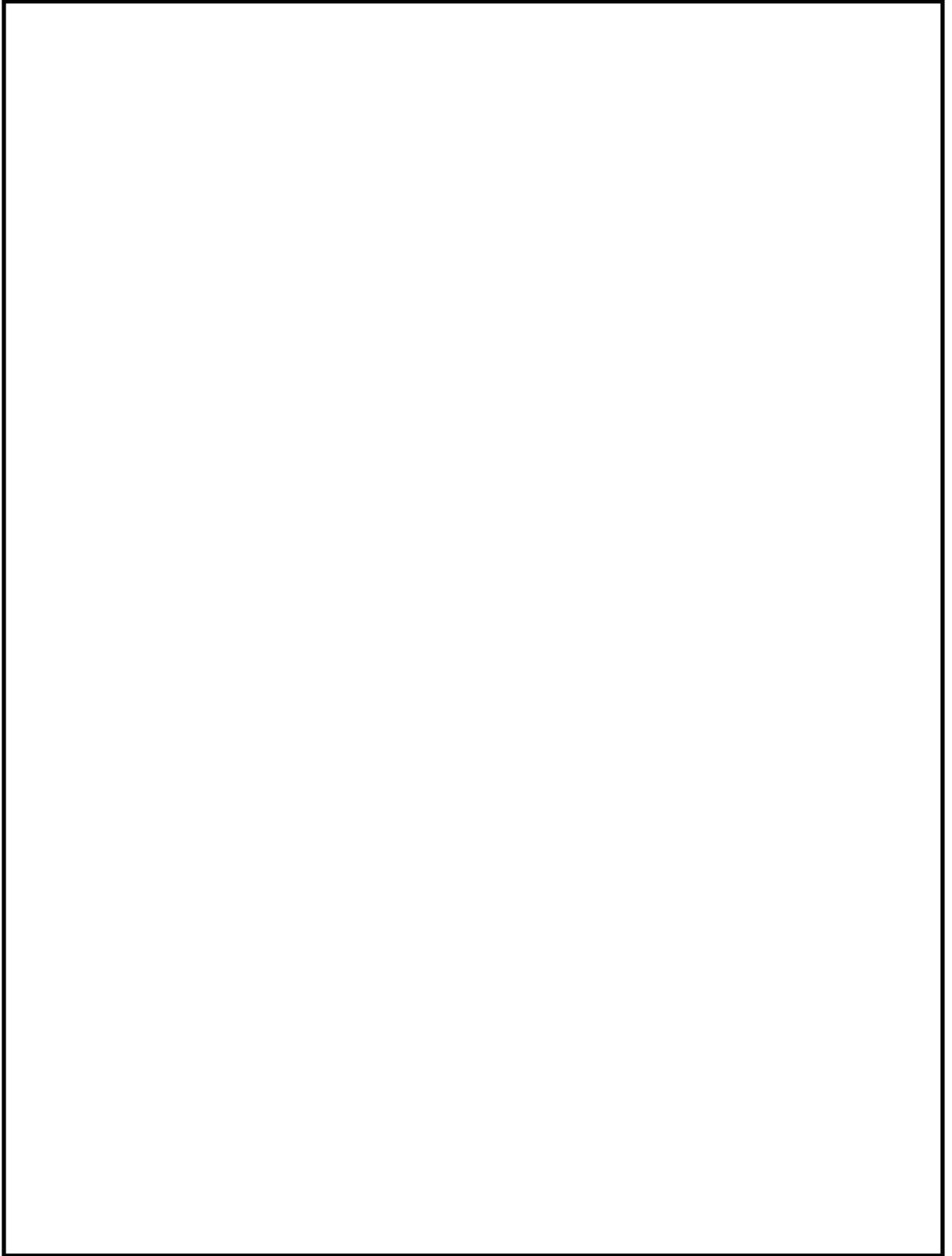


図5-1 解析モデル

5.5 計算方法

(1) 胴の応力

FEM解析結果から得られる各部材（シェル要素）の応力成分より各種応力を算出する。
 胴については、以下の式を用いて応力を算出する。

a. 一次一般膜

$$\sigma_0 = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{0x} + \sigma_{0y}) + \sqrt{(\sigma_{0x} - \sigma_{0y})^2 + 4 \cdot \tau_{0xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.1)$$

b. 一次応力

$$\sigma_1 = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1x} + \sigma_{1y}) + \sqrt{(\sigma_{1x} - \sigma_{1y})^2 + 4 \cdot \tau_{1xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.2)$$

c. 一次+二次応力

$$\sigma_2 = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{2x} + \sigma_{2y}) + \sqrt{(\sigma_{2x} - \sigma_{2y})^2 + 4 \cdot \tau_{2xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.3)$$

表5-10 FEM解析による胴の応力成分

項目	記号	単位	応力値
胴の長手方向一次一般膜応力	σ_{0x}	MPa	26.1
胴の周方向一次一般膜応力	σ_{0y}	MPa	0.7
胴の一次一般膜せん断応力	τ_{0xy}	MPa	1.2
胴の長手方向一次応力	σ_{1x}	MPa	45.4
胴の周方向一次応力	σ_{1y}	MPa	57.4
胴の一次せん断応力	τ_{1xy}	MPa	34.0
胴の長手方向一次+二次応力	σ_{2x}	MPa	257.8
胴の周方向一次+二次応力	σ_{2y}	MPa	514.9
胴の一次+二次せん断応力	τ_{2xy}	MPa	126.7

(2) 脚の応力

FEM解析結果から得られる各部材（シェル要素）の応力成分より各種応力を算出する。
脚については、以下の式を用いて応力を算出する。

a. 一次応力

$$\sigma_{s1} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{s1x} + \sigma_{s1y}) + \sqrt{(\sigma_{s1x} - \sigma_{s1y})^2 + 4 \cdot \tau_{s1xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.4)$$

b. 一次+二次応力

$$\sigma_{s2} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{s2x} + \sigma_{s2y}) + \sqrt{(\sigma_{s2x} - \sigma_{s2y})^2 + 4 \cdot \tau_{s2xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.5)$$

表5-11 FEM解析による脚の応力成分

項目	記号	単位	応力値
脚のシェル要素における x 方向一次応力	σ_{s1x}	MPa	39.8
脚のシェル要素における y 方向一次応力	σ_{s1y}	MPa	122.4
脚のシェル要素における一次せん断応力	τ_{s1xy}	MPa	23.6
脚のシェル要素における x 方向一次+二次応力	σ_{s2x}	MPa	125.2
脚のシェル要素における y 方向一次+二次応力	σ_{s2y}	MPa	533.2
脚のシェル要素における一次+二次せん断応力	τ_{s2xy}	MPa	43.6

(3) 基礎ボルトの応力

F E M解析結果から得られる基礎ボルト固定位置における最大荷重を用いて、各種応力を算出する。

基礎ボルトについては、以下の式を用いて応力を算出する。

a. 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_{tb}}{A_b} \dots\dots\dots (5.5.6)$$

b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{F_{sb}}{A_b} \dots\dots\dots (5.5.7)$$

表5-12 F E M解析による基礎ボルトの最大荷重

項目	記号	単位	荷重値
ボルト1本あたりに作用する引張力	F_{tb}	N	3.875×10^4
ボルト1本あたりに作用するせん断力	F_{sb}	N	5.072×10^4

5.6 計算条件

応力解析に用いる自重（胴、脚及び基礎ボルト）は、本計算書の【非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.7 応力の評価

5.7.1 胴及び脚の応力評価

5.5項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度及び脚の周囲環境温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は5.5.2項 表5-3による。

5.7.2 基礎ボルトの応力評価

5.5項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.7.2.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5.8 疲労解析評価

胴及び脚の応力評価において、一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の 2 倍を上回る場合には、設計・建設規格 PVB-3300 に規定された簡易弾塑性評価方法に基づき、疲労解析評価を実施する。

なお、疲労解析評価に用いる実際の繰返し回数 N_c は 160 回とする。

(1) 応力集中係数を考慮した一次+二次応力強さ

応力集中係数を考慮した一次+二次応力強さ S_p を次式により求める。

$$S_p = S_n \cdot K \quad \dots\dots\dots (5.8.1)$$

ここで、応力集中係数 K は、理論的に求めた値または表 5-13 に示す値を使用し、解析を実施する。

表 5-13 疲労強度減少係数または応力集中係数

容器の部分	疲労強度減少係数 または応力集中係数
局所的な構造上の不連続部	5
ボルトのねじ部	4
容器のラグ、ブラケット等の取付物（強め材、支持構造物及び炉心支持構造物を除く）を取り付けるすみ肉溶接部	4

(2) 繰返しピーク応力強さ

繰返しピーク応力強さ S_ℓ を次式により求める。

$$S_\ell = \frac{K_e \cdot S_p}{2} \quad \dots\dots\dots (5.8.2)$$

ここで、繰返しピーク応力強さの割増し係数 K_e は、次の手順で求める。

a. $K < B_0$ の場合

$$(a) \quad \frac{S_n}{3 \cdot S_m} < \frac{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1 \right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1 \right)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)}}{2 \cdot A_0}$$

$$K_e = K_e^* = 1 + A_0 \cdot \left(\frac{S_n}{3 \cdot S_m} - \frac{1}{K} \right) \quad \dots\dots\dots (5.8.3)$$

$$(b) \quad \frac{S_n}{3 \cdot S_m} \geq \frac{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1 \right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1 \right)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q-1)}}{2 \cdot A_0}$$

$$K_e = K_e' = 1 + (q-1) \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot S_m}{S_n} \right) \dots\dots\dots (5.8.4)$$

b. $K \geq B_0$ の場合

$$(a) \quad \frac{S_n}{3 \cdot S_m} < \frac{(q-1) - \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K} \right) \cdot (q-1)}}{a}$$

$$K_e = K_e^{**} = a \cdot \frac{S_n}{3 \cdot S_m} + A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K} \right) + 1 - a \dots\dots\dots (5.8.5)$$

$$(b) \quad \frac{S_n}{3 \cdot S_m} \geq \frac{(q-1) - \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K} \right) \cdot (q-1)}}{a}$$

$$K_e = K_e' = 1 + (q-1) \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot S_m}{S_n} \right) \dots\dots\dots (5.8.6)$$

ここで,

$$K = \frac{S_p}{S_n} \dots\dots\dots (5.8.7)$$

$$a = A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K} \right) + (q-1) - 2 \cdot \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K} \right) \cdot (q-1)} \dots\dots\dots (5.8.8)$$

また, q , A_0 及び B_0 を表5-14に示す。

表5-14 q , A_0 及び B_0 の値

材料の種類	q	A_0	B_0
低合金鋼	3.1	1.0	1.25
マルテンサイト系ステンレス鋼	3.1	1.0	1.25
炭素鋼	3.1	0.66	2.59
オーステナイト系ステンレス鋼	3.1	0.7	2.15
高ニッケル合金	3.1	0.7	2.15

(3) 繰返しピーク応力強さの補正

縦弾性係数比を考慮し、繰返しピーク応力強さ S_l を次式で補正する。

$$S_{l'} = \frac{S_l \cdot E'}{E} \dots\dots\dots (5.8.9)$$

(4) 許容繰返し回数

許容繰返し回数 N_a は次式により求める。

$$N_a = N_2 \cdot \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^{\frac{\log S_2 / S_{a'}}{\log S_2 / S_1}} \dots\dots\dots (5.8.10)$$

(5) 疲労累積係数

疲労累積係数 U_f が次式を満足することを確認する。

$$U_f = \sum_{i=1}^k \frac{N_c(i)}{N_a(i)} \leq 1.0 \dots\dots\dots (5.8.11)$$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。（一次＋二次応力については許容応力を超える結果となるが、一次＋二次＋ピーク応力が疲労解析評価により許容値以下となることを確認した。）

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。なお、弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。（一次＋二次応力については許容応力を超える結果となるが、一次＋二次＋ピーク応力が疲労解析評価により許容値以下となることを確認した。）

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンク	S	原子炉建屋 EL. 8.2*1	0.039	0.004	—*2	—*2	C _H =1.10	C _V =0.96	静水頭	55	

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: III_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。

1.2 機器要目

m _o (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	H (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)
15000	1800	9.0	12.0	1604	7.912×10 ⁸	1.317×10 ⁹

A _s (mm ²)	E (MPa)	E _s (MPa)	G _s (MPa)	A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	n	A _b (mm ²)
8.333×10 ⁴	201000 *1	201000 *2	77300	2.840×10 ⁴	5.085×10 ⁴	6	706.9 (M30)

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S _y (脚) (MPa)	S _u (脚) (MPa)	S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
239 *1	391 *1	231 *2	394 *2	231 *2	394 *2	231	276

注記 *1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(単位：MPa)

応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	発生応力	発生応力
一次一般膜	—	$\sigma_0 = 27$
一 次	—	$\sigma_1 = 86$
一次＋二次	—	$\sigma_2 = 567$

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	発生応力	発生応力
一 次	—	$\sigma_{s1} = 129$
一次＋二次	—	$\sigma_{s2} = 538$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

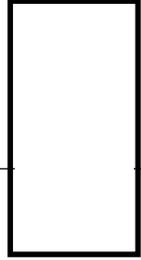
(単位：MPa)

応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	発生応力	発生応力
引 張 り	—	$\sigma_b = 55$
せ ん 断	—	$\tau_b = 72$

1.4 結論

1.4.1 応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基 準 地 震 動 S_s	
			算出応力*1	許容応力	算出応力	許容応力
胴 板	SS41	一次一般膜	$\sigma_0 = 27$	$S_a = 235$	$\sigma_0 = 27$	$S_a = 235$
		一 次	$\sigma_1 = 86$	$S_a = 352$	$\sigma_1 = 86$	$S_a = 352$
		一次＋二次	$\sigma_2 = 567$	$S_a = 478$	$\sigma_2 = 567$	$S_a = 478$
		一次＋二次 ＋ピーク	[疲労累積係数] 0.62	[疲労累積係数] ≤ 1.0	[疲労累積係数] 0.62	[疲労累積係数] ≤ 1.0
脚		一 次	$\sigma_{s1} = 129$	$S_a = 346$	$\sigma_{s1} = 129$	$S_a = 355$
		一次＋二次	$\sigma_{s2} = 538$	$S_a = 462$	$\sigma_{s2} = 538$	$S_a = 462$
		一次＋二次 ＋ピーク	[疲労累積係数] 0.23	[疲労累積係数] ≤ 1.0	[疲労累積係数] 0.23	[疲労累積係数] ≤ 1.0
基礎ボルト		引 張 り	$\sigma_b = 55$	$f_{ts} = 127^{*2}$	$\sigma_b = 55$	$f_{ts} = 174^{*2}$
		せ ん 断	$\tau_b = 72$	$f_{sb} = 133$	$\tau_b = 72$	$f_{sb} = 159$

すべて許容応力以下である。

注記 *1：基準地震動 S_s による算出値

*2： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
非常用ディーゼル発電機 燃料油デイトンク	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 EL. 8.2*	0.039	0.004	—	—	C _H =1.10	C _V =0.96	静水頭	55	

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m _o (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	H (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)
15000	1800	9.0	12.0	1604	7.912×10 ⁸	1.317×10 ⁹

A _s (mm ²)	E (MPa)	E _s (MPa)	G _s (MPa)	A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	n	A _b (mm ²)
8.333×10 ⁴	201000 ^{*1}	201000 ^{*2}	77300	2.840×10 ⁴	5.085×10 ⁴	6	706.9 (M30)

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S _y (脚) (MPa)	S _u (脚) (MPa)	S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
239 ^{*1}	391 ^{*1}	231 ^{*2}	394 ^{*2}	231 ^{*2}	394 ^{*2}	276

注記 *1 : 最高使用温度で算出

*2 : 周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(単位：MPa)

応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基 準 地 震 動 S_s
	発 生 応 力	発 生 応 力
一次一般膜	—	$\sigma_0 = 27$
一 次	—	$\sigma_1 = 86$
一次＋二次	—	$\sigma_2 = 567$

2.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基 準 地 震 動 S_s
	発 生 応 力	発 生 応 力
一 次	—	$\sigma_{s1} = 129$
一次＋二次	—	$\sigma_{s2} = 538$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基 準 地 震 動 S_s
	発 生 応 力	発 生 応 力
引 張 り	—	$\sigma_b = 55$
せ ん 断	—	$\tau_b = 72$

2.4 結論

2.4.1 応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基 準 地 震 動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴 板	SS41	一次一般膜	—	—	$\sigma_0 = 27$	$S_a = 235$
		一 次	—	—	$\sigma_1 = 86$	$S_a = 352$
		一次＋二次	—	—	$\sigma_2 = 567$	$S_a = 478$
		一次＋二次 ＋ピーク	—	—	[疲労累積係数] 0.62	[疲労累積係数] ≤ 1.0
脚		一 次	—	—	$\sigma_{s1} = 129$	$S_a = 355$
		一次＋二次	—	—	$\sigma_{s2} = 538$	$S_a = 462$
		一次＋二次 ＋ピーク	—	—	[疲労累積係数] 0.23	[疲労累積係数] ≤ 1.0
基礎ボルト		引 張 り	—	—	$\sigma_b = 55$	$f_{ts} = 174^*$
		せ ん 断	—	—	$\tau_b = 72$	$f_{sb} = 159$

すべて許容応力以下である。

注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-777 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-10-1-3-3 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油データ
ンクの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 固有周期	8
4.1 固有周期の計算方法	8
4.2 固有周期の計算条件	9
4.3 固有周期の計算結果	9
5. 地震応答解析及び構造強度評価	10
5.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	10
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
5.3 設計用地震力	15
5.4 解析モデル及び諸元	16
5.5 計算方法	18
5.6 計算条件	20
5.7 応力の評価	21
6. 評価結果	22
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	22
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	22

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイタンクが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイタンクは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイタンクの構造計画を表2-1に示す。

表2-1 構造計画

計 画 の 概 要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴を4個の脚で支持し，脚をそれぞれ基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>横置円筒形容器</p>	<p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンクの応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンクの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンクの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

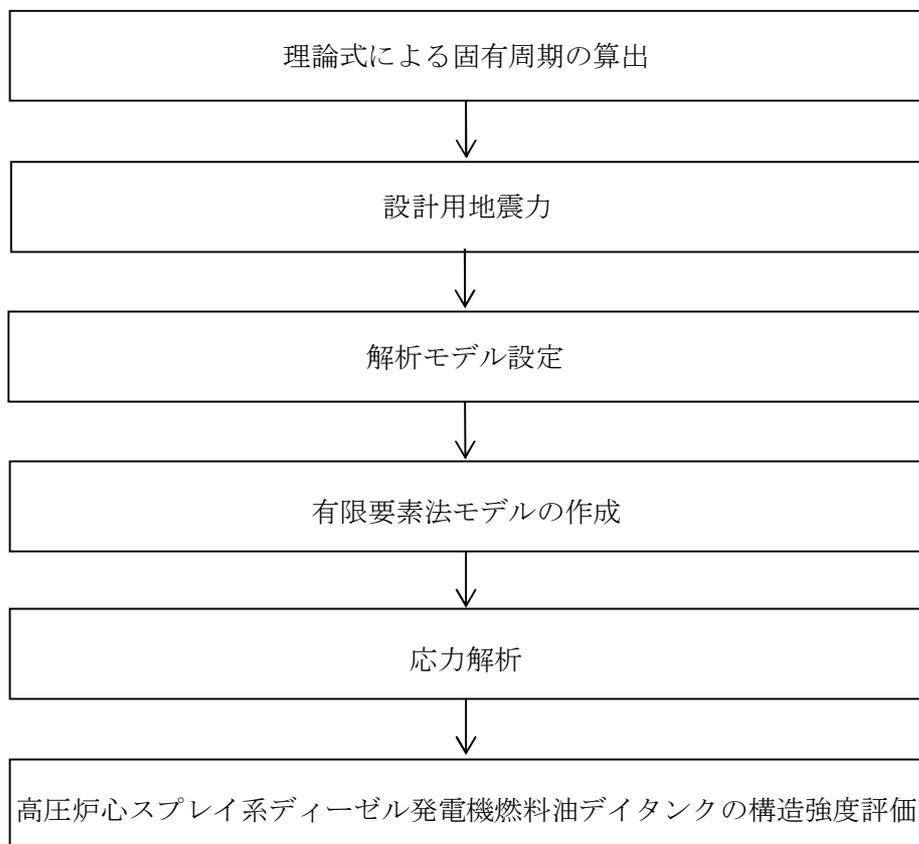


図 2-1 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンクの耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984，J E A G 4 6 0 1－1987及びJ E A G 4 6 0 1－1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和59年9月，昭和62年8月及び平成3年6月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。）） J S M E S N C 1－2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	固定脚の断面積	mm^2
A_{s1}	固定脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	固定脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_{sb}	ボルト1本あたりに作用するせん断力	N
F_{tb}	ボルト1本あたりに作用する引張力	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
H	水頭	mm
h_1	基礎から固定脚の胴付け根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm
I_{sx}	固定脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
I_{sy}	固定脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
K_c	固定脚のばね定数（胴の横方向に水平力が作用する場合）	N/m
K_l	固定脚のばね定数（胴の長手方向に水平力が作用する場合）	N/m
K_v	固定脚のばね定数（胴に鉛直力が作用する場合）	N/m
m_0	容器の運転時質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
T	胴の温度条件	°C

記号	記号の説明	単位
T_s	脚の温度条件	°C
T_1	長手方向固有周期	s
T_2	横方向固有周期	s
T_3	鉛直方向固有周期	s
t	固定脚側胴板の厚さ	mm
t_e	固定脚付け根部における胴の有効板厚	mm
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0x}	胴の長手方向一次一般膜応力	MPa
σ_{0y}	胴の周方向一次一般膜応力	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_{1x}	胴の長手方向一次応力	MPa
σ_{1y}	胴の周方向一次応力	MPa
σ_2	胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{2x}	胴の長手方向一次+二次応力	MPa
σ_{2y}	胴の周方向一次+二次応力	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{s1}	脚の一次応力の最大値	MPa
σ_{s1x}	脚のシェル要素における x 方向一次応力	MPa
σ_{s1y}	脚のシェル要素における y 方向一次応力	MPa
σ_{s2}	脚の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{s2x}	脚のシェル要素における x 方向一次+二次応力	MPa
σ_{s2y}	脚のシェル要素における y 方向一次+二次応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{0xy}	胴の一次一般膜せん断応力	MPa
τ_{1xy}	胴の一次せん断応力	MPa
τ_{2xy}	胴の一次+二次せん断応力	MPa
τ_{s1xy}	脚のシェル要素における一次せん断応力	MPa
τ_{s2xy}	脚のシェル要素における一次+二次せん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	胴の厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
面積 ^{*2}		mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンクの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる胴、脚及び基礎ボルトについて実施する。高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンクの耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

容器及び内容物の質量は動の中心軸に集中するものとする。また、水平方向は、脚をはりと考え、変形モードは脚の曲げ及びせん断変形を考慮する。胴の水平方向及び水平方向及び鉛直方向は剛とみなす。

(1) 計算モデル

本容器は、図4-1、図4-2及び図4-3のような1質点系振動モデルとして考える。

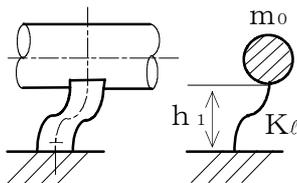


図4-1 長手方向の固有周期
計算モデル

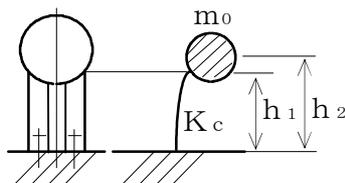


図4-2 横方向の固有周期
計算モデル

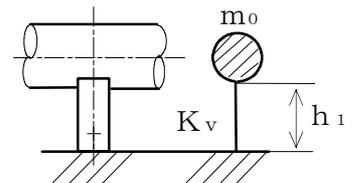


図4-3 鉛直方向の固有周期
計算モデル

(2) 脚の受ける荷重

脚の受ける荷重は全ての脚が下端固定構造であるため、機器の運転時質量 m_0 を全ての脚で受けるものとする。

(3) 長手方向の固有周期

図4-1におけるばね定数は次式で求める。

$$K_l = \frac{1000}{\frac{h_1^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{sy}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s1}}} \dots \dots \dots (4.1.1)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_l}} \dots \dots \dots (4.1.2)$$

(4) 横方向の固有周期

図4-2におけるばね定数は次式で求める。

$$K_c = \frac{1000}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{sx}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1 / 2)}{E_s \cdot I_{sx}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s2}}} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_c}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

(5) 鉛直方向の固有周期

図4-3におけるばね定数は次式で求める。

$$K_v = \frac{1000}{\frac{h_1}{A_s \cdot E_s}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_3 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_v}} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、「6.1 設計基準対象施設としての評価結果」及び「6.2 重大事故等対処設備としての評価結果」の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を、表 4-1 に示す。計算結果より、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期(s)

水平方向		鉛直方向
長手方向	横方向	
0.013	0.037	0.004

5. 地震応答解析及び構造強度評価

5.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 地震力は、容器に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、原則として、強度評価において組合せるものとする。なお、基礎ボルトにおいては、作用する荷重の算出において組合せるものとする。
- (2) 容器の胴は4個の脚で支持され、脚はそれぞれ基礎に基礎ボルトで取り付ける。
- (3) 胴と脚との取付部において胴の局部変形を考慮する。
- (4) 脚は全脚固定とし、水平方向荷重は全ての脚で受けるものとする。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンクの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-2に示す。

5.2.2 許容応力

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンクの許容応力を表5-3～表5-4に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンクの許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-5に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-6に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電 用原子炉の 附属施設	非常用電源 設備	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機 燃料油デイトンク	S	—*1	$D + P_D + M_D + S_d^{*2}$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *1: クラス 2, 3 容器及びクラス 2, 3 支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*2: S_sと組み合わせ、Ⅲ_ASの評価を実施する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電 用原子炉の 附属施設	非常用電源 設備	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機 燃料油デイトンク	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 クラス 2 容器*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界を 用いる。)

注記 *1: 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2: 重大事故等クラス 2 容器の支持構造物を含む。

*3: 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため, 評価結果の記載を省略する。

表5-3 許容応力 (クラス2, 3 容器及び重大事故等クラス2 容器)

許容応力状態	許容限界 ^{*1}			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と1.2・Sのうち大きい方とする。	左欄の1.5倍の値	弾性設計用地震動S _d 又は基準地震動S _s ^{*2} のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば疲労解析は不要。	
Ⅳ _A S				
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値	基準地震動S _s ^{*2} のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば疲労解析は不要。	

注記 *1: 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2: 2・S_yを超えるときは弾塑性解析若しくは設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。S_mは 2/3・S_y と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表5-4 許容応力（クラス2，3支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴	SS41* (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	55	—	239	391	—
脚		周囲環境温度		—	231	394	—
基礎ボルト		周囲環境温度		—	231	394	—

表 5-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴	SS41* (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	55	—	239	391	—
脚		周囲環境温度		—	231	394	—
基礎ボルト		周囲環境温度		—	231	394	—

5.3 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、
添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表5-7及び表5-8に示す。

表5-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 EL. 8.2* ¹	0.037	0.004	—* ²	—* ²	$C_H =$ 1.10	$C_V =$ 0.96

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：Ⅲ_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。

表5-8 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 EL. 8.2*	0.037	0.004	—	—	$C_H =$ 1.10	$C_V =$ 0.96

注記 *：基準床レベルを示す。

5.4 解析モデル及び諸元

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンクの解析モデルを図5-1に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表5-9に示す。

- (1) 燃料油デイトンクをシェル要素でモデル化したFEMモデルによって求める。
- (2) 拘束条件は、脚を脚底面ボルト位置で変位3(X, Y, Z)方向拘束、脚底面を鉛直(Z)方向フリーとする。
- (3) 解析コードは、「ABAQUS」を使用し、胴、脚及び基礎ボルトの応力を求める。
 なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「V-5-5 計算機プログラム（解析コード）の概要・ABAQUS」に示す。

表5-9 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質		—	—	<input type="text"/>
質量		m_0	kg	8660
温度条件 (雰囲気温度)	胴	T	℃	55
	脚	T_s	℃	<input type="text"/>
縦弾性係数	胴	E	MPa	201000
	脚	E_s	MPa	201000
ポアソン比		ν	—	0.3
要素数		—	個	16428
節点数		—	個	16418

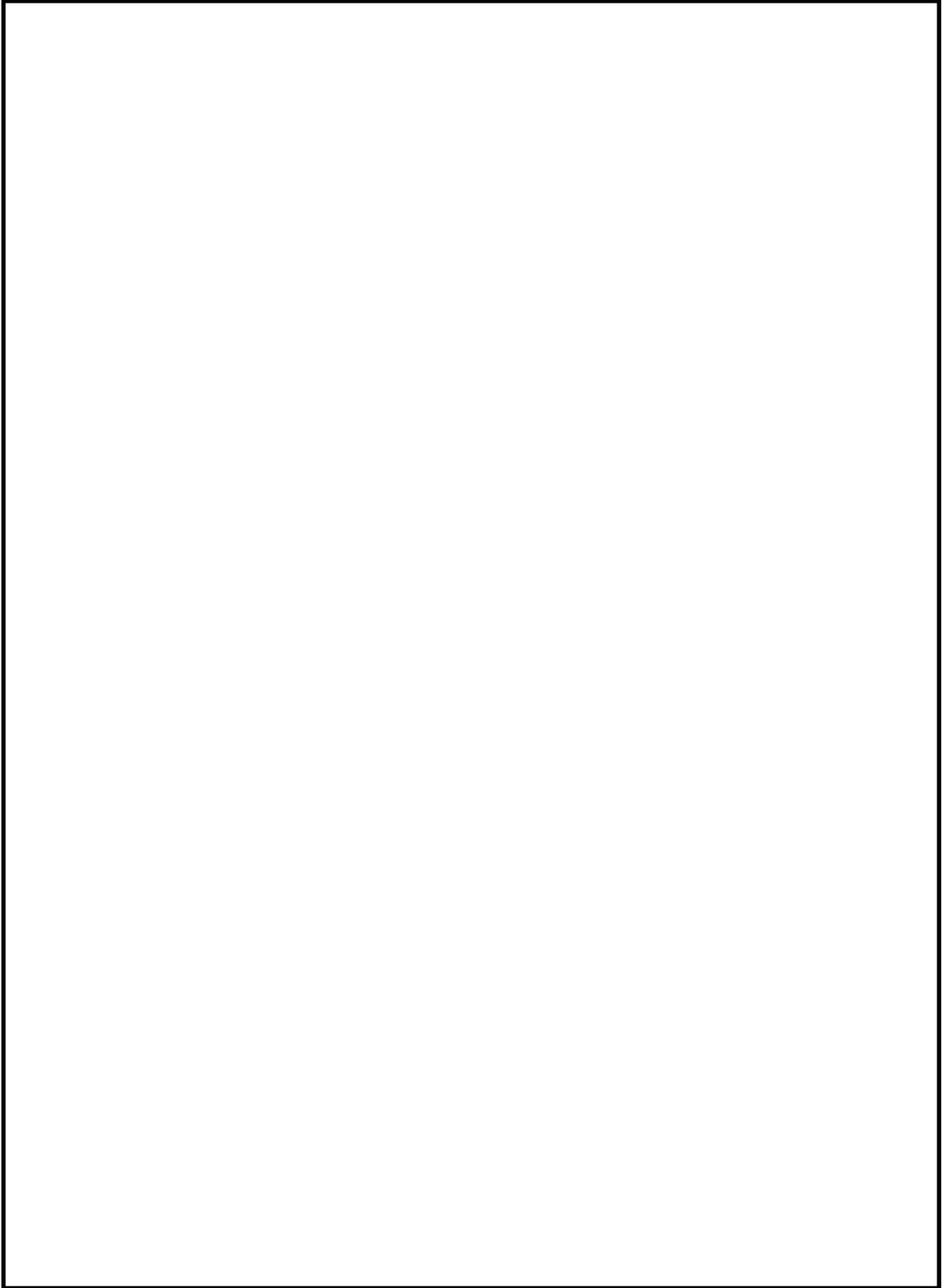


図5-1 解析モデル

5.5 計算方法

(1) 胴の応力

FEM解析結果から得られる各部材（シェル要素）の応力成分より各種応力を算出する。
 胴については、以下の式を用いて応力を算出する。

a. 一次一般膜

$$\sigma_0 = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{0x} + \sigma_{0y}) + \sqrt{(\sigma_{0x} - \sigma_{0y})^2 + 4 \cdot \tau_{0xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.1)$$

b. 一次応力

$$\sigma_1 = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1x} + \sigma_{1y}) + \sqrt{(\sigma_{1x} - \sigma_{1y})^2 + 4 \cdot \tau_{1xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.2)$$

c. 一次+二次応力

$$\sigma_2 = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{2x} + \sigma_{2y}) + \sqrt{(\sigma_{2x} - \sigma_{2y})^2 + 4 \cdot \tau_{2xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.3)$$

表5-10 FEM解析による胴の応力成分

項目	記号	単位	応力値
胴の長手方向一次一般膜応力	σ_{0x}	MPa	9.2
胴の周方向一次一般膜応力	σ_{0y}	MPa	0.8
胴の一次一般膜せん断応力	τ_{0xy}	MPa	0.0
胴の長手方向一次応力	σ_{1x}	MPa	27.5
胴の周方向一次応力	σ_{1y}	MPa	33.6
胴の一次せん断応力	τ_{1xy}	MPa	21.0
胴の長手方向一次+二次応力	σ_{2x}	MPa	162.7
胴の周方向一次+二次応力	σ_{2y}	MPa	325.7
胴の一次+二次せん断応力	τ_{2xy}	MPa	80.2

(2) 脚の応力

FEM解析結果から得られる各部材（シェル要素）の応力成分より各種応力を算出する。
脚については、以下の式を用いて応力を算出する。

a. 一次応力

$$\sigma_{s1} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{s1x} + \sigma_{s1y}) + \sqrt{(\sigma_{s1x} - \sigma_{s1y})^2 + 4 \cdot \tau_{s1xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.4)$$

b. 一次+二次応力

$$\sigma_{s2} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{s2x} + \sigma_{s2y}) + \sqrt{(\sigma_{s2x} - \sigma_{s2y})^2 + 4 \cdot \tau_{s2xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.5)$$

表5-11 FEM解析による脚の応力成分

項目	記号	単位	応力値
脚のシェル要素における x 方向一次応力	σ_{s1x}	MPa	78.4
脚のシェル要素における y 方向一次応力	σ_{s1y}	MPa	0.5
脚のシェル要素における一次せん断応力	τ_{s1xy}	MPa	0.5
脚のシェル要素における x 方向一次+二次応力	σ_{s2x}	MPa	77.7
脚のシェル要素における y 方向一次+二次応力	σ_{s2y}	MPa	328.8
脚のシェル要素における一次+二次せん断応力	τ_{s2xy}	MPa	27.5

(3) 基礎ボルトの応力

F E M解析結果から得られる基礎ボルト固定位置における最大荷重を用いて、各種応力を算出する。

基礎ボルトについては、以下の式を用いて応力を算出する。

a. 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_{tb}}{A_b} \dots\dots\dots (5.5.6)$$

b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{F_{sb}}{A_b} \dots\dots\dots (5.5.7)$$

表5-12 F E M解析による基礎ボルトの最大荷重

項目	記号	単位	荷重値
ボルト1本あたりに作用する引張力	F_{tb}	N	2.069×10^4
ボルト1本あたりに作用するせん断力	F_{sb}	N	3.131×10^4

5.6 計算条件

応力解析に用いる自重（胴、脚及び基礎ボルト）は、本計算書の【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンクの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.7 応力の評価

5.7.1 胴及び脚の応力評価

5.5項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度及び脚の周囲環境温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は5.5.2項 表5-3による。

5.7.2 基礎ボルトの応力評価

5.5項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.7.2.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイタンクの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。なお、弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイタンクの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンクの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンク	S	原子炉建屋 EL. 8.2* ¹	0.037	0.004	—* ²	—* ²	C _H =1.10	C _V =0.96	静水頭	55	

注記 *1: 基準床レベルを示す。
*2: III_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。

1.2 機器要目

m ₀ (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	H (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)
8660	1800	9.0	12.0	1604	5.274×10 ⁸	8.778×10 ⁸

A _s (mm ²)	E (MPa)	E _s (MPa)	G _s (MPa)	A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	n	A _b (mm ²)
5.555×10 ⁴	201000 * ¹	201000 * ²	77300	1.893×10 ⁴	3.390×10 ⁴	4	706.9 (M30)

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S _y (脚) (MPa)	S _u (脚) (MPa)	S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
239 * ¹	391 * ¹	231 * ²	394 * ²	231 * ²	394 * ²	231	276

注記 *1: 最高使用温度で算出
*2: 周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(単位：MPa)

応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	発生応力	発生応力
一次一般膜	—	$\sigma_0 = 10$
一 次	—	$\sigma_1 = 52$
一次＋二次	—	$\sigma_2 = 359$

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	発生応力	発生応力
一 次	—	$\sigma_{s1} = 79$
一次＋二次	—	$\sigma_{s2} = 332$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

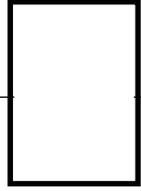
(単位：MPa)

応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	発生応力	発生応力
引 張 り	—	$\sigma_b = 30$
せ ん 断	—	$\tau_b = 45$

1.4 結論

1.4.1 応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基 準 地 震 動 S_s	
			算出応力*1	許容応力	算出応力	許容応力
胴 板	SS41	一次一般膜	$\sigma_0 = 10$	$S_a = 235$	$\sigma_0 = 10$	$S_a = 235$
		一 次	$\sigma_1 = 52$	$S_a = 352$	$\sigma_1 = 52$	$S_a = 352$
		一次 + 二次	$\sigma_2 = 359$	$S_a = 478$	$\sigma_2 = 359$	$S_a = 478$
脚		一 次	$\sigma_{s1} = 79$	$S_a = 346$	$\sigma_{s1} = 79$	$S_a = 355$
		一次 + 二次	$\sigma_{s2} = 332$	$S_a = 462$	$\sigma_{s2} = 332$	$S_a = 462$
基礎ボルト		引 張 り	$\sigma_b = 30$	$f_{ts} = 130^{*2}$	$\sigma_b = 30$	$f_{ts} = 177^{*2}$
		せ ん 断	$\tau_b = 45$	$f_{sb} = 133$	$\tau_b = 45$	$f_{sb} = 159$

すべて許容応力以下である。

注記 *1：基準地震動 S_s による算出値

*2： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
高压炉心スプレイ系 ディーゼル発電機 燃料油デイトンク	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 EL. 8.2*	0.037	0.002	—	—	C _H =1.10	C _V =0.96	静水頭	55	

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m _o (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	H (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)
8660	1800	9.0	12.0	1604	5.274×10 ⁸	8.778×10 ⁸

A _s (mm ²)	E (MPa)	E _s (MPa)	G _s (MPa)	A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	n	A _b (mm ²)
5.555×10 ⁴	201000 * ¹	201000 * ²	77300	1.893×10 ⁴	3.390×10 ⁴	4	706.9 (M30)

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S _y (脚) (MPa)	S _u (脚) (MPa)	S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
239 * ¹	391 * ¹	231 * ²	394 * ²	231 * ²	394 * ²	276

注記 *¹ : 最高使用温度で算出

*² : 周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(単位：MPa)

応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	発生応力	発生応力
一次一般膜	—	$\sigma_0 = 10$
一 次	—	$\sigma_1 = 52$
一次＋二次	—	$\sigma_2 = 359$

2.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	発生応力	発生応力
一 次	—	$\sigma_{s1} = 79$
一次＋二次	—	$\sigma_{s2} = 332$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

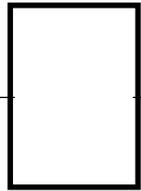
(単位：MPa)

応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	発生応力	発生応力
引 張 り	—	$\sigma_b = 30$
せ ん 断	—	$\tau_b = 45$

2.4 結論

2.4.1 応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基 準 地 震 動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴 板	SS41	一次一般膜	—	—	$\sigma_0 = 10$	$S_a = 235$
		一 次	—	—	$\sigma_1 = 52$	$S_a = 352$
		一次 + 二次	—	—	$\sigma_2 = 359$	$S_a = 478$
脚		一 次	—	—	$\sigma_{s1} = 79$	$S_a = 355$
		一次 + 二次	—	—	$\sigma_{s2} = 332$	$S_a = 462$
基礎ボルト		引 張 り	—	—	$\sigma_b = 30$	$f_{ts} = 177^*$
		せ ん 断	—	—	$\tau_b = 45$	$f_{sb} = 159$

すべて許容応力以下である。

注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-780 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-9-4-1 ダイヤフラム・フロアの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
1.1 基本方針	1
2. 構造説明	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	3
3. 形状及び主要寸法	4
4. 設計条件	5
4.1 設計荷重	5
4.2 材料及び許容応力	6
5. 応力計算	8
5.1 応力評価点	8
5.2 計算方針	10
6. 評価結果	12
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	12

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、ダイヤフラム・フロアが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価はダイヤフラム・フロアの地震応答解析、応力評価により行う。

ダイヤフラム・フロアは設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。なお、ダイヤフラム・フロアはコンクリート構造物であり、重大事故等対処設備としての評価は設計基準対象施設としての評価に包絡される。以下、設計基準対象施設としての耐震評価を示す。

なお、技術基準規則第17条において、設計基準対象施設に関しては、技術基準規則の要求に変更がないため、今回の申請において変更は行わない。

1.1 基本方針

ダイヤフラム・フロアの応力評価は、発電用原子力設備規格（コンクリート製原子炉格納容器規格 JSME S NE 1-2003）（日本機械学会 2003年12月）（以下「CCV規格」という。）、鋼構造設計規準（日本建築学会 2005年改定）、各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会 2010年改定）を適用して評価する。

2. 構造説明

2.1 構造計画

ダイヤフラム・フロアの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ダイヤフラム・フロアは鉛直方向を原子炉本体の基礎と柱によって支持され、水平方向はシアラグによって支持される。</p>	<p>外径 <input type="text"/> mm, 内径 <input type="text"/> mm, スラブ厚さ <input type="text"/> mm (強度部材), <input type="text"/> mm (断熱材を含む) の鉄筋コンクリート造スラブである。</p>	<p>原子炉格納容器</p> <p>ダイヤフラム・フロア</p> <p>断熱層 (コンクリート)</p> <p>構造用スラブ</p> <p>シヤーコネクタ</p> <p>鉄骨梁</p> <p>柱</p> <p>ダイヤフラム・フロア 拡大図</p>

2.2 評価方針

- (1) ダイヤフラム・フロアの応力評価は，東海第二発電所 昭和 48 年 10 月 22 日付け 48 公第 8316 号（既工認）にて認可された実績ある手法を適用する。各荷重による応力は，実績のある三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。
- (2) 解析コードはMSC NASTRANを用いる。なお，評価に用いる解析コードMSC NASTRANの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3. 形状及び主要寸法

構造概要を図3-1に示す。

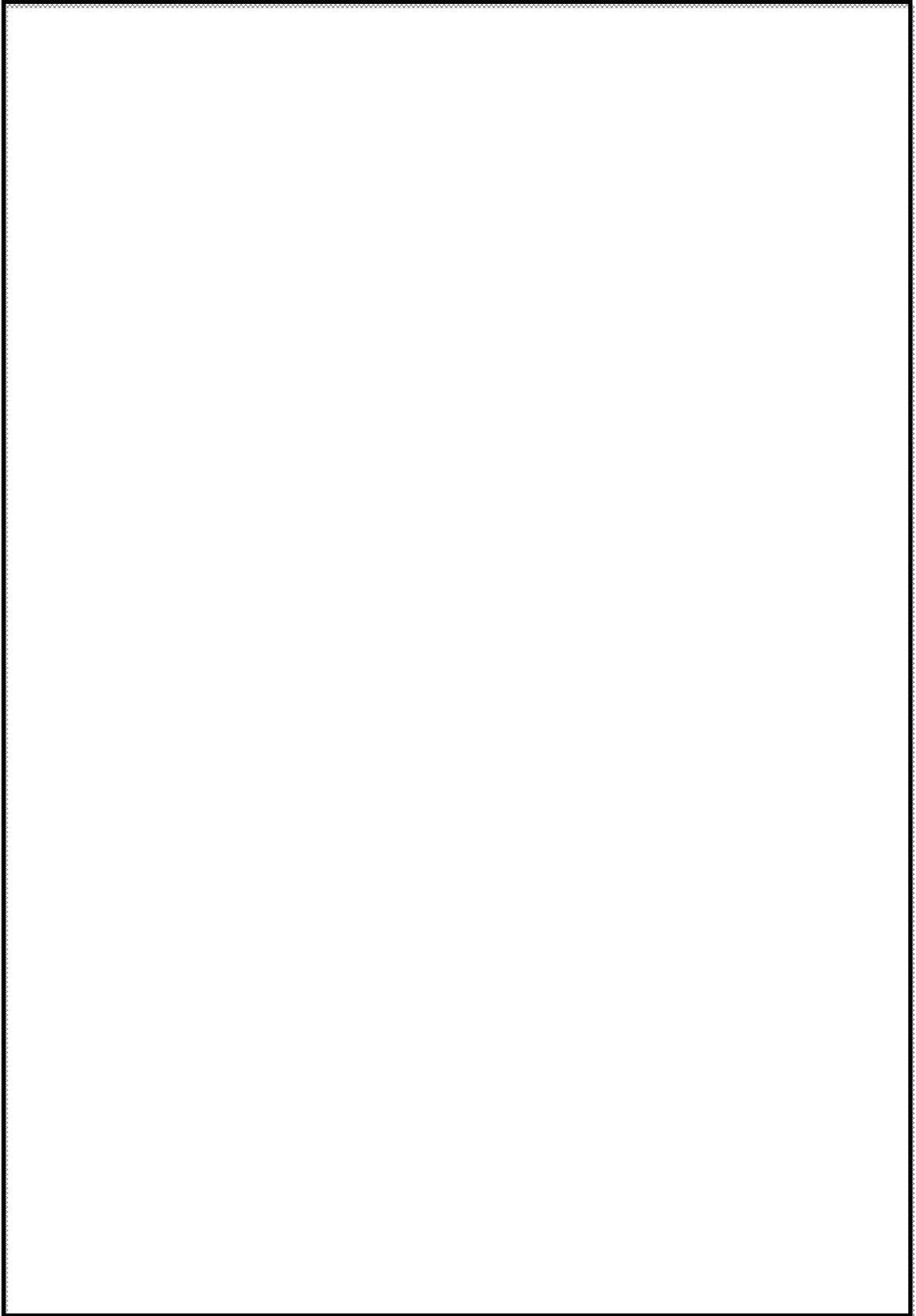


図 3-1 構造概要図 (単位 : mm)

4. 設計条件

4.1 設計荷重

設計基準対象施設の評価に用いる設計荷重を表4-1に示す。地震荷重は添付書類「V-2-1 耐震設計の基本方針」及び添付書類「V-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」より設定する。

表4-1 設計荷重

荷 重		鉄筋コンクリートスラブに作用する荷重		直接鉄骨大ばりに作用する荷重	コラムサポートに作用する荷重
D	DL	死荷重		V : スラブ用 <input type="text"/> kN/m ² V : 鉄骨はり用 <input type="text"/> kN/m ²	V : 最大 <input type="text"/> kN V : <input type="text"/> kN/m
O	P ₁	通常運転時	圧力	V : <input type="text"/> kN/m ²	—
	温度		上下面温度差 <input type="text"/> °C	—	
	H ₁	逃し安全弁作動時 空気泡圧力による荷重	R : <input type="text"/> kN/ベント管 1本	—	
L	P ₂	地震と組合せる異常時圧力		V : 10 ⁻¹ 年後 <input type="text"/> kN/m ²	—
	T ₂	地震と組合せる異常時温度		10 ⁻¹ 年後上下面温度差 <input type="text"/> °C	—
S _d *	K ₁	弾性設計用地震動 S _d により定まる地震力又は静的地震力		H : 11400 kN V : 鉛直震度 ±0.24	R ₁ : 最大 ±1454 kN —
S _s	K ₂	基準地震動 S _s により定まる地震力		H : 18600 kN V : 鉛直震度 ±1.08	R ₂ : 最大 ±2782 kN —

注1 : Vは鉛直方向を示す。(下向きを正とする。)

注2 : Hは水平方向を示す。

4.2 材料及び許容応力

設計基準強度 $F_c = 27.4 \text{ N/mm}^2$

鉄筋 SD345* (SD35)

* : 新JISを示す

各材料の許容応力度を表 4-2～表 4-6 に示す。

設計基準対象施設の評価に用いる（荷重状態Ⅲ，Ⅳ）の荷重組合せを表 4-7 に示す。

表 4-2 コンクリートの許容圧縮応力度

(単位：N/mm²)

荷重状態	応力状態 1 * ¹	応力状態 2 * ²
Ⅲ	18.2	20.5

注記 *1：各荷重状態において，温度荷重により生じる応力を除いた応力が生じている状態。

*2：各荷重状態において，応力が生じている状態。

表 4-3 コンクリートの許容せん断応力度

(単位：N/mm²)

荷重状態	許容値
Ⅲ	1.14

表 4-4 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm²)

荷重状態	許容値	
	圧縮及び引張り	せん断
Ⅲ，Ⅳ	345	345

表 4-5 鉄筋とコンクリートの許容ひずみ

荷重状態	鉄筋		コンクリート 圧縮
	引張り	圧縮	
Ⅳ	0.005	0.005	0.003

表4-6 構造用鋼材の許容応力度

(単位：N/mm²)

	材 料	板 厚	F 値	許 容 応 力 度
構造用鋼材	SM400B	40 ≥	235	左記 F の値より求める。
	SS400	40 <	215	

表4-7 荷重の組合せ

荷重状態	荷重時名称	地震荷重	荷重番号	荷重の組合せ
Ⅲ	地 震 時	S _d *	4	D L + P ₁ + T ₁ + H ₁ + R ₁ + K ₁
Ⅳ	地 震 時	S _s	5	D L + P ₁ + T ₂ + H ₁ + R ₂ + K ₂
	(異常* + 地震)時	S _d *	6	D L + P ₂ + T ₂ + R ₁ + K ₁

注：異常時の圧力と温度と配管荷重については時間のずれを考慮する。

注記 *：地震荷重と組み合わせる場合は、異常発生直後を除くその後の状態の荷重と組み合わせる。

5. 応力計算

5.1 応力評価点

ダイヤフラム・フロアの形状及び応力レベルを考慮して設定した応力評価点を表 5-1 及び図 5-1 に示す。

表5-1 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
No. 1	RC スラブ 中間
No. 2	RC スラブ 端部
No. 3	RC スラブ ベント管近傍
No. 4	RC スラブ ベント管近傍

NT2 補② V-2-9-4-1 R1

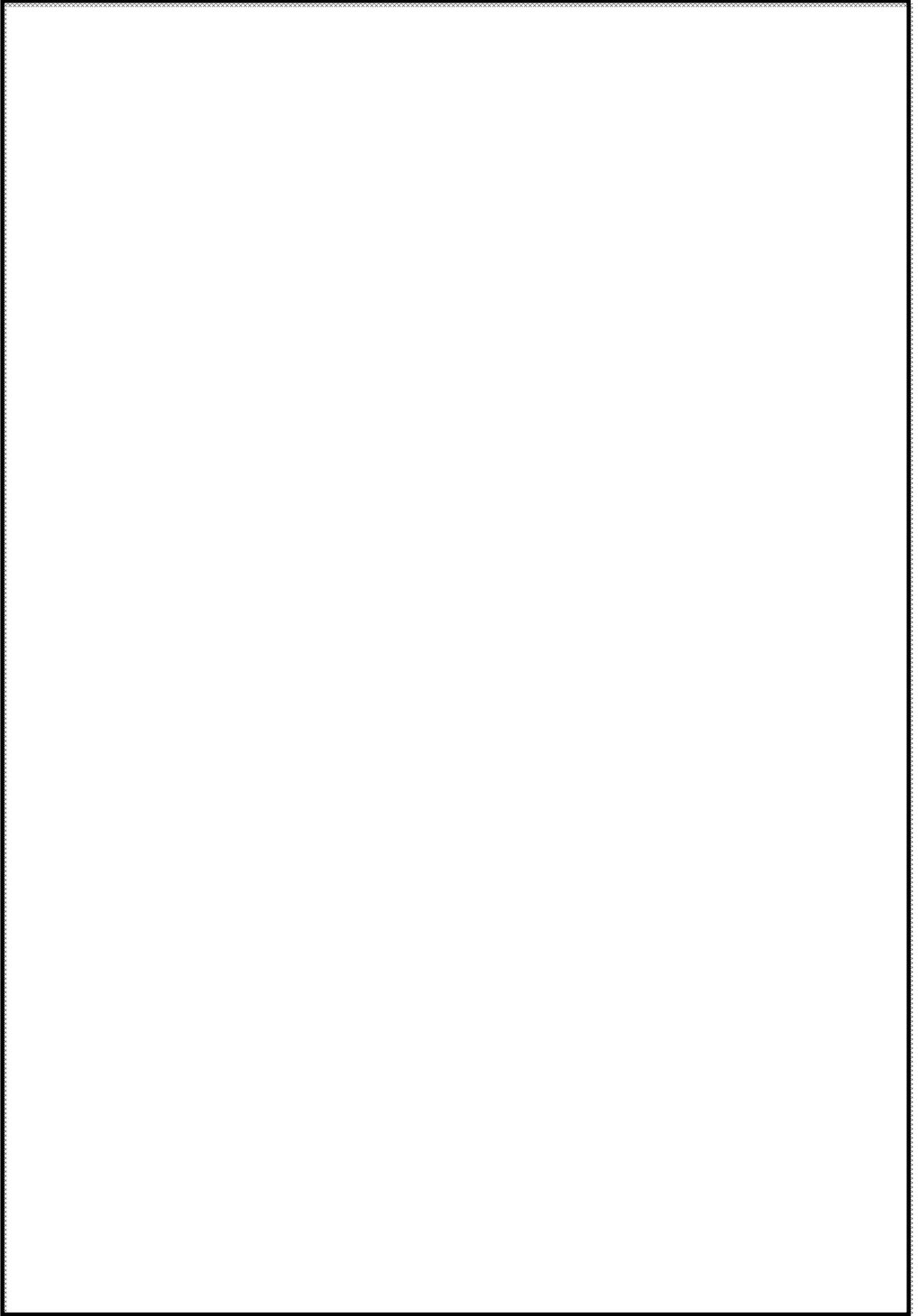


図5-1 解析モデル (ダイヤフラム・フロアの応力評価点)

5.2 計算方針

各荷重によりダイヤフラム・フロアに生じる応力は、解析コードMSC NA STRANを使用して計算する。ダイヤフラム・フロアの計算モデルを図 5-1 に示す。

ダイヤフラム・フロアは鉛直方向を原子炉本体の基礎と柱によって支持され、水平方向はシアラグによって支持されている軸対称形の構造をしている。解析では、鉄筋コンクリートスラブ、鉄骨の大梁、小梁、柱を含む 360° 全体をモデル化した。非対称形の荷重に対応できるように三次元的にモデル化し有限要素法による弾性解析を行っている。

鉄筋コンクリートは、有限要素分割は四辺形及び三角形を用いることで板の曲げと膜力を同時に考慮している。また、鉄骨の大梁、小梁、柱ははり要素を用いて、軸力、曲げ、せん断力を同時に評価できるようにしている。

解析に用いる材料の物性値は次のとおりとする。

コンクリートのヤング係数	$E_c = 2.43 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$
コンクリートのせん断弾性係数	$G_c = 1.04 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$
コンクリートのポアソン比	$\nu_c = 0.167$
コンクリートの線膨張係数	$\alpha_c = 1.0 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$
鉄筋コンクリートの単位体積質量	$\gamma_c = 24 \text{ kN/m}^3$
鉄骨のヤング係数	$E_s = 2.06 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$
鉄骨のポアソン比	$\nu_s = 0.3$
鉄骨の線膨張係数	$\alpha_s = 1.0 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$
鉄骨の単位体積質量	$\gamma_s = 77 \text{ kN/m}^3$

表5-2 解析モデル諸元表

項目	記号	単位	入力値	
			鉄筋コンクリート	鉄骨部
材質	—	—	コンクリート	SD345
質量	m ₀	kg	—*1	—*1
縦弾性係数	E	MPa	2.43×10 ⁴	
ポアソン比	ν	—	0.167	
要素数	—	個		
節点数	—	個		

注記 *1：単位荷重による解析のため、質量は定義不要。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

ダイヤフラム・フロア的设计基準対象施設としての評価を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 鉄筋コンクリート部

鉄筋コンクリート部の解析結果とそれに基づく断面算定結果を表 6-1～表 6-6 に示す。

表 6-1 荷重状態Ⅲの軸力及び曲げモーメントによる応力検討結果（円周方向）

箇所名	荷重状態	検討応力	荷重番号	応力状態	設計応力		a _{tx} (mm ² /m)	引張応力及び圧縮応力			許容値			判定
					N _x (kN/m)	M _x (kN・m/m)		cσ _c N/mm ²	sσ _c N/mm ²	sσ _t N/mm ²	cfc N/mm ²	sfc N/mm ²	sft N/mm ²	
No.1	Ⅲ	cσ _c	4	2	-107	-9	3380	-0.5	-6.5	-0.3	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ _t	4	2	-98	-9	3380	-0.5	-6.2	0.2	-20.5	-345	345	可
No.2	Ⅲ	cσ _c	4	2	-2699	103	16900	-4.3	-60.2	-31.2	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ _t	4	2	3187	103	16900	0.0	73.8	114.8	-20.5	-345	345	可
No.3	Ⅲ	cσ _c	4	2	-587	-136	13520	-2.8	-34.1	15.5	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ _t	4	2	485	-136	13520	-1.4	-11.1	51.6	-20.5	-345	345	可
No.4	Ⅲ	cσ _c	4	2	-638	-170	13520	-3.4	-41.0	22.5	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ _t	4	2	672	-170	13520	-1.6	-12.4	67.2	-20.5	-345	345	可

注1: は検討ひずみの最大値を示す。

表 6-2 荷重状態Ⅳの軸力及び曲げモーメントによる応力検討結果（円周方向）

箇所名	荷重状態	検討応力	荷重番号	応力状態	設計応力		a _{tx} (mm ² /m)	引張ひずみ及び圧縮ひずみ			許容値			判定
					N _x (kN/m)	M _x (kN・m/m)		cε _c (×10 ⁶)	sε _c (×10 ⁶)	sε _t (×10 ⁶)	cε _{cu} (×10 ⁶)	sε _{cu} (×10 ⁶)	sε _{tu} (×10 ⁶)	
No.1	Ⅳ	sε _t	5	1	15	-4	3380	-6	-2	28	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε _t	6	1	8	-4	3380	-8	-4	26	-3000	-5000	5000	可
No.2	Ⅳ	sε _t	5	1	5253	178	16900	0	585	932	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε _t	6	1	2941	114	16900	0	314	536	-3000	-5000	5000	可
No.3	Ⅳ	sε _t	5	1	1004	-226	13520	-126	-55	455	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε _t	6	1	560	-130	13520	-75	-34	259	-3000	-5000	5000	可
No.4	Ⅳ	sε _t	5	1	1207	-281	13520	-161	-73	558	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε _t	6	1	673	-164	13520	-97	-46	320	-3000	-5000	5000	可

注1: は検討ひずみの最大値を示す。

表 6-3 面外せん断力による検討結果（円周方向）

箇所名	荷重状態	荷重番号	応力状態	設計応力		Q _x (N/mm)	許容値	判定
				M _x (kN・m/m)	Q _x (kN/m)		Q _{A1} (N/mm)	
No.1	III	4	2	-10	11	11	339	可
	IV	5	1	-4	16	16	339	可
No.2	III	4	2	103	-256	256	5400	可
	IV	5	1	178	-361	361	5400	可
No.3	III	4	2	-136	751	751	3780	可
	IV	5	1	-227	1292	1292	3780	可
No.4	III	4	2	-171	-184	184	3780	可
	IV	5	1	-282	-304	304	3780	可

注1： は面外せん断力の最大値を示す。

表 6-4 荷重状態Ⅲの軸力及び曲げモーメントによる応力検討結果（半径方向）

箇所名	荷重状態	検討応力	荷重番号	応力状態	設計応力		a _{ty} (mm ² /m)	引張応力及び圧縮応力			許容値			判定
					N _y (kN/m)	M _y (kN・m/m)		cσ _c N/mm ²	sσ _c N/mm ²	sσ _t N/mm ²	cfc N/mm ²	sfc N/mm ²	sft N/mm ²	
No.1	Ⅲ	cσ _c	4	2	13	32	3380	-1.2	-11.0	34.1	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ _t	4	2	88	32	3380	-1.0	-7.1	45.0	-20.5	-345	345	可
No.2	Ⅲ	cσ _c	4	2	-295	9	16900	-0.5	-6.3	-3.8	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ _t	4	2	382	9	16900	0.0	9.6	13.1	-20.5	-345	345	可
No.3	Ⅲ	cσ _c	4	2	-89	-226	13520	-3.5	-39.3	54.2	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ _t	4	2	38	-226	13520	-3.4	-36.6	58.5	-20.5	-345	345	可
No.4	Ⅲ	cσ _c	4	2	-291	-92	13520	-1.8	-21.2	13.8	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ _t	4	2	242	-92	13520	-1.1	-9.8	31.9	-20.5	-345	345	可

注1: は検討ひずみの最大値を示す。

表 6-5 荷重状態Ⅳの軸力及び曲げモーメントによる応力検討結果（半径方向）

箇所名	荷重状態	検討応力	荷重番号	応力状態	設計応力		a _{ty} (mm ² /m)	引張ひずみ及び圧縮ひずみ			許容値			判定
					N _y (kN/m)	M _y (kN・m/m)		cε _c (×10 ⁶)	sε _c (×10 ⁶)	sε _t (×10 ⁶)	cε _{cu} (×10 ⁶)	sε _{cu} (×10 ⁶)	sε _{tu} (×10 ⁶)	
No.1	Ⅳ	sε _t	5	1	124	63	3380	-119	-56	389	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε _t	6	1	68	37	3380	-71	-34	227	-3000	-5000	5000	可
No.2	Ⅳ	sε _t	5	1	605	19	16900	0	70	106	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε _t	6	1	339	12	16900	0	38	61	-3000	-5000	5000	可
No.3	Ⅳ	sε _t	5	1	18	-395	13520	-375	-268	490	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε _t	6	1	14	-222	13520	-209	-149	277	-3000	-5000	5000	可
No.4	Ⅳ	sε _t	5	1	490	-156	13520	-107	-59	278	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε _t	6	1	274	-90	13520	-62	-35	159	-3000	-5000	5000	可

注1: は検討ひずみの最大値を示す。

表 6-6 面外せん断力による検討結果（半径方向）

箇所名	荷重状態	荷重番号	応力状態	設計応力		Q _y (N/mm)	許容値 Q _{A1} (N/mm)	判定
				M _y (kN・m/m)	Q _y (kN/m)			
No.1	Ⅲ	4	2	33	-26	26	339	可
	Ⅳ	5	1	64	-39	39	339	可
No.2	Ⅲ	4	2	9	13	13	5400	可
	Ⅳ	5	1	19	20	20	5400	可
No.3	Ⅲ	4	2	-227	-477	477	3780	可
	Ⅳ	5	1	-396	-846	846	3780	可
No.4	Ⅲ	4	2	-93	302	302	3780	可
	Ⅳ	5	1	-157	529	529	3780	可

注1: は面外せん断力の最大値を示す。

(2) 鉄骨部

鉄骨部の解析結果とそれに基づく評価結果を表 6-7～表 6-11 に示す。

表 6-7 大梁の水平方向荷重に対する評価結果

荷重 組合せ	M (kN・m)	Q (kN)	σ_b (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	組合せ (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	
						せん断	曲げ 組合せ
(4)	144.1	1440.6	37.0	33.4	68.7	135	235
(5)	222.9	2228.5	57.2	51.6	106.2		
(6)	124.7	1247.5	32.1	28.9	59.5		

表 6-8 大梁の鉛直方向荷重に対する評価結果

荷重 組合せ	M (kN・m)	Q (kN)	σ_b (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	組合せ (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	
						せん断	曲げ 組合せ
(4)	752.8	995.3	31.3	31.1	62.3	135	235
(5)	1105.7	1547.9	46.0	48.4	95.7		
(6)	723.1	1000.1	30.1	31.3	62.0		

表 6-9 小梁の評価結果

荷重 組合せ	M (kN・m)	Q (kN)	σ_b (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	組合せ (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	
						せん断	曲げ 組合せ
(4)	627.7	380.1	70.0	26.4	83.7	135	235
(5)	1019.5	645.1	113.6	44.8	137.6		
(6)	646.4	379.3	72.0	26.4	85.3		

表 6-10 柱の評価結果

荷重 組合せ	N (kN)	断面積 (mm ²)	σ_c (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)
(4)	2349.8	52440	44.9	144
(5)	3426.8		65.4	
(6)	2355.1		45.0	

表 6-11 シアコネクタの評価結果

荷重 組合せ	F (kN)	T (kN/本)	本数	許容値 (kN/本)
(4)	1440.6	40.1	36	82
(5)	2228.5	61.9		
(6)	1247.5	34.7		

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-783 改2
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-9-2-5-1-4 フィルタ装置の強度計算書

まえがき

本計算書は、添付書類「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」,「V-3-2-9 重大事故等クラス2容器の強度計算方法」及び「V-3-2-13 重大事故等クラス2支持構造物（容器）の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

なお、適用規格の選定結果について以下に示す。適用規格の選定に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「V-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
フィルタ装置	新規	無	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	200	—	—	設計・ 建設規格	—	SA-2

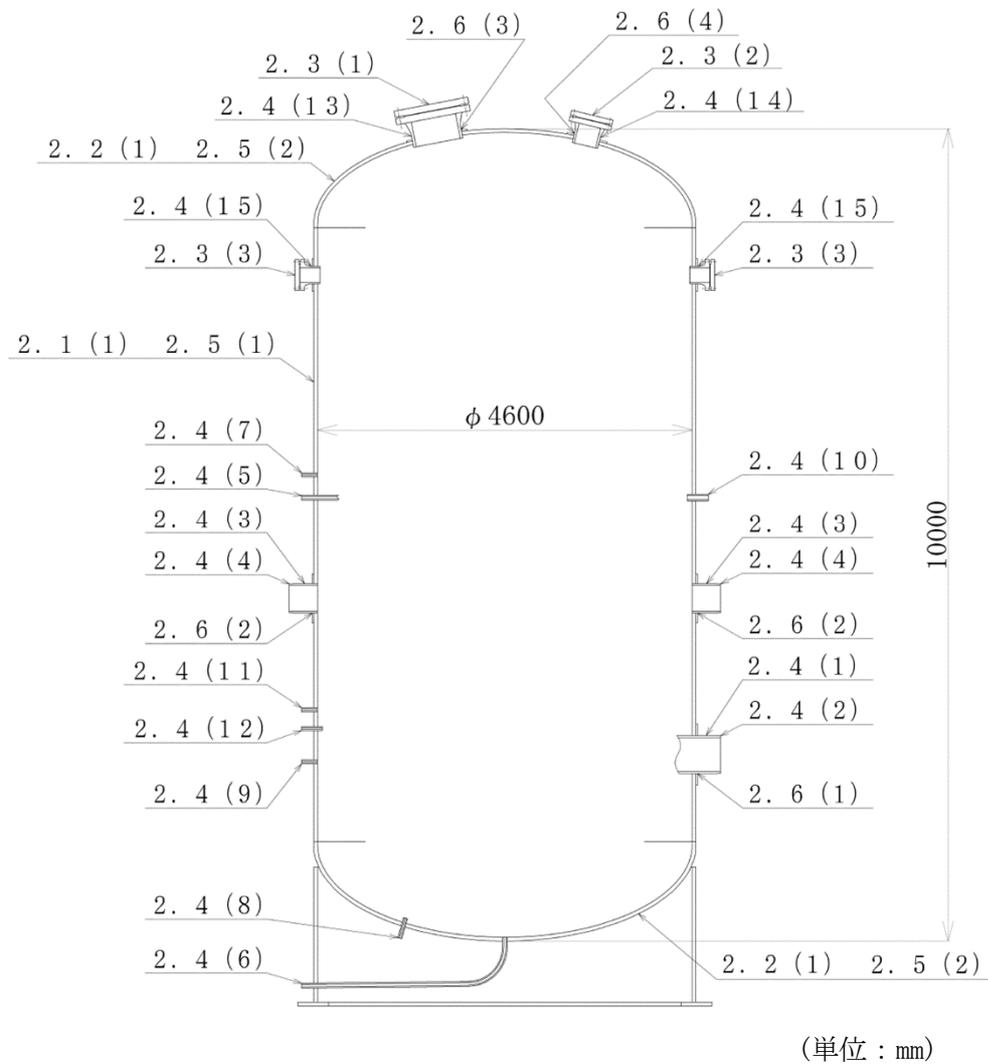
目 次

1. 計算条件	1
1.1 計算部位	1
1.2 設計条件	1
2. 強度計算	2
2.1 容器の胴の厚さの計算	2
2.2 容器の鏡板の厚さの計算	3
2.3 容器の平板の厚さの計算	4
2.4 容器の管台の厚さの計算	7
2.5 容器の補強を要しない穴の最大径の計算	22
2.6 容器の穴の補強計算	24
3. 支持構造物の強度計算	32

1. 計算条件

1.1 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。



図中の番号は次ページ以降の
計算項目番号を示す。

図 1-1 概要図

1.2 設計条件

最高使用圧力 (MPa)	0.62
最高使用温度 (°C)	200

2. 強度計算

2.1 容器の胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3121, PVC-3122 (1)

胴板名称	(1) 胴板		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.62
最高使用温度		(°C)	200
胴の内径	D _i	(mm)	4600.00
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	突合せ両側溶接		
放射線検査の有無	有り		
必要厚さ	t ₁	(mm)	1.50
必要厚さ	t ₂	(mm)	13.38
t ₁ , t ₂ の大きい値	t	(mm)	13.38
呼び厚さ	t _{so}	(mm)	30.00
最小厚さ	t _s	(mm)	<input type="text"/>
評価: $t_s \geq t$, よって十分である。			

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

2.2 容器の鏡板の厚さの計算

(イ) 設計・建設規格 PVC-3210 (3)

鏡板の形状

鏡板名称		(1) 鏡板
鏡板の内面における長径	D_{iL} (mm)	4600.00
鏡板の内面における短径の1/2	h (mm)	1150.00
長径と短径の比	$D_{iL} / (2 \cdot h)$	2.00
評価： $D_{iL} / (2 \cdot h) \leq 2$, よって半だ円形鏡板である。		

(ロ) 設計・建設規格 PVC-3220, PVC-3225

鏡板の厚さ

鏡板名称		(1) 鏡板
材料		SUS316L
最高使用圧力	P (MPa)	0.62
最高使用温度	(°C)	200
胴の内径	D_i (mm)	4600.00
半だ円形鏡板の形状による係数	K	1.00
許容引張応力	S (MPa)	107
継手効率	η	1.00
継手の種類		突合せ両側溶接
放射線検査の有無		有り
必要厚さ	t_1 (mm)	13.38
必要厚さ	t_2 (mm)	13.34
t_1, t_2 の大きい値	t (mm)	13.38
呼び厚さ	t_{co} (mm)	30.00
最小厚さ	t_c (mm)	<input type="text"/>
評価： $t_c \geq t$, よって十分である。		

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

2.3 容器の平板の厚さの計算

(イ) 設計・建設規格 PVC-3310

取付け方法及び穴の有無

平板名称	(1) マンホール平板
平板の取付け方法	(m)
平板の穴の有無	無し

(ロ) 設計・建設規格 PVC-3310

(J I S B 8 2 6 5 附属書3適用)

平板の厚さ

平板名称	(1) マンホール平板		
平板材料	SUSF316L		
ボルト材料	SNB7 (直径63mm超え100mm以下)		
ガスケット材料	渦巻形金属ガスケット(非石綿)(ステンレス鋼)		
ガスケット厚さ	(mm)	4.5	
ガスケット座面の形状	1a-II		
最高使用圧力	P (MPa)	0.62	
最高使用温度	(°C)	200	
平板の許容引張応力	S (MPa)	107	
ボルトの許容引張応力	常温(ガスケット締付時)(20°C)	S _a (MPa)	161
	最高使用温度(使用状態)	S _b (MPa)	161
ボルト中心円の直径	C (mm)	812.80	
ボルト呼び	M42×3		
ボルト本数	n	24	
ボルト谷径	d _b (mm)	38.752	
実際のボルト総有効断面積	A _b (mm ²)	2.831×10 ⁴	
ガスケット接触面の外径	G _s (mm)	685.80	
ガスケット接触面の幅	N (mm)	28.55	
ガスケット係数	m	3.00	
最小設計締付圧力	y (N/mm ²)	68.9	
ガスケット座の基本幅	b _o (mm)	14.28	
ガスケット座の有効幅	b (mm)	9.52	
平板の径(ガスケット有効径)	d = G (mm)	666.76	
内圧による全荷重	W = H (N)	2.165×10 ⁵	
使用状態での最小ボルト荷重	W _{m1} (N)	2.907×10 ⁵	
ガスケット締付最小ボルト荷重	W _{m2} (N)	1.374×10 ⁶	
ボルトの所要総有効断面積	使用状態	A _{m1} (mm ²)	1.805×10 ³
	ガスケット締付時	A _{m2} (mm ²)	8.535×10 ³
	いずれか大きい値	A _m (mm ²)	8.535×10 ³
ボルト荷重	使用状態	W _o (N)	2.907×10 ⁵
	ガスケット締付時	W _g (N)	2.966×10 ⁶
	いずれか大きい値	F (N)	2.966×10 ⁶
モーメントアーム	h _g (mm)	73.02	
取付け方法による係数	K	1.70	
必要厚さ	t (mm)	66.19	
呼び厚さ	t _{p o} (mm)	83.20	
最小厚さ	t _p (mm)		
評価: t _p ≥ t, よって十分である。			

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

容器の平板の厚さの計算
 (イ) 設計・建設規格 PVC-3310
 取付け方法及び穴の有無

平板名称	(2) 換気口平板
平板の取付け方法	(m)
平板の穴の有無	無し

(ロ) 設計・建設規格 PVC-3310
 (J I S B 8 2 6 5 附属書3適用)

平板の厚さ

平板名称	(2) 換気口平板		
平板材料	SUSF316L		
ボルト材料	SNB7 (直径63mm以下)		
ガスケット材料	渦巻形金属ガスケット(非石綿)(ステンレス鋼)		
ガスケット厚さ	(mm)	4.5	
ガスケット座面の形状	1a-II		
最高使用圧力	P (MPa)	0.62	
最高使用温度	(°C)	200	
平板の許容引張応力	S (MPa)	107	
ボルトの許容引張応力	常温(ガスケット締付時)(20°C)	S _a (MPa)	173
	最高使用温度(使用状態)	S _b (MPa)	173
ボルト中心円の直径	C (mm)	450.90	
ボルト呼び	M30×3		
ボルト本数	n	16	
ボルト谷径	d _b (mm)	26.752	
実際のボルト総有効断面積	A _b (mm ²)	8.993×10 ³	
ガスケット接触面の外径	G _s (mm)	374.70	
ガスケット接触面の幅	N (mm)	23.75	
ガスケット係数	m	3.00	
最小設計締付圧力	y (N/mm ²)	68.9	
ガスケット座の基本幅	b _o (mm)	11.88	
ガスケット座の有効幅	b (mm)	8.68	
平板の径(ガスケット有効径)	d = G (mm)	357.33	
内圧による全荷重	W = H (N)	6.218×10 ⁴	
使用状態での最小ボルト荷重	W _{m1} (N)	9.844×10 ⁴	
ガスケット締付最小ボルト荷重	W _{m2} (N)	6.717×10 ⁵	
ボルトの所要総有効断面積	使用状態	A _{m1} (mm ²)	569.0
	ガスケット締付時	A _{m2} (mm ²)	3.883×10 ³
	いずれか大きい値	A _m (mm ²)	3.883×10 ³
ボルト荷重	使用状態	W _o (N)	9.844×10 ⁴
	ガスケット締付時	W _g (N)	1.114×10 ⁶
	いずれか大きい値	F (N)	1.114×10 ⁶
モーメントアーム	h _g (mm)	46.78	
取付け方法による係数	K	2.55	
必要厚さ	t (mm)	43.40	
呼び厚さ	t _{p o} (mm)	64.10	
最小厚さ	t _p (mm)		
評価: t _p ≥ t, よって十分である。			

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

容器の平板の厚さの計算
 (イ) 設計・建設規格 PVC-3310
 取付け方法及び穴の有無

平板名称	(3) モレキュラシーブ採取口平板
平板の取付け方法	(m)
平板の穴の有無	無し

(ロ) 設計・建設規格 PVC-3310
 (J I S B 8 2 6 5 附属書3適用)

平板の厚さ

平板名称	(3) モレキュラシーブ採取口平板		
平板材料	SUSF316L		
ボルト材料	SNB7 (直径63mm以下)		
ガスケット材料	渦巻形金属ガスケット(非石綿)(ステンレス鋼)		
ガスケット厚さ	(mm)	4.5	
ガスケット座面の形状	1a-II		
最高使用圧力	P (MPa)	0.62	
最高使用温度	(°C)	200	
平板の許容引張応力	S (MPa)	107	
ボルトの許容引張応力	常温(ガスケット締付時)(20°C)	S _a (MPa)	173
	最高使用温度(使用状態)	S _b (MPa)	173
ボルト中心円の直径	C (mm)	330.20	
ボルト呼び	M24		
ボルト本数	n	12	
ボルト谷径	d _b (mm)	20.752	
実際のボルト総有効断面積	A _b (mm ²)	4.059×10 ³	
ガスケット接触面の外径	G _s (mm)	263.70	
ガスケット接触面の幅	N (mm)	19.05	
ガスケット係数	m	3.00	
最小設計締付圧力	y (N/mm ²)	68.9	
ガスケット座の基本幅	b _o (mm)	9.53	
ガスケット座の有効幅	b (mm)	7.78	
平板の径(ガスケット有効径)	d = G (mm)	248.15	
内圧による全荷重	W = H (N)	2.998×10 ⁴	
使用状態での最小ボルト荷重	W _{m1} (N)	5.254×10 ⁴	
ガスケット締付最小ボルト荷重	W _{m2} (N)	4.177×10 ⁵	
ボルトの所要総有効断面積	使用状態	A _{m1} (mm ²)	303.7
	ガスケット締付時	A _{m2} (mm ²)	2.415×10 ³
	いずれか大きい値	A _m (mm ²)	2.415×10 ³
ボルト荷重	使用状態	W _o (N)	5.254×10 ⁴
	ガスケット締付時	W _g (N)	5.600×10 ⁵
	いずれか大きい値	F (N)	5.600×10 ⁵
モーメントアーム	h _g (mm)	41.03	
取付け方法による係数	K	3.29	
必要厚さ	t (mm)	34.25	
呼び厚さ	t _{p o} (mm)	54.70	
最小厚さ	t _p (mm)		
評価: t _p ≥ t, よって十分である。			

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

2.4 容器の管台の厚さの計算
設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(1) ベントガス入口		
材料	SUSF316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.62
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D _o	(mm)	468.60
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t ₁	(mm)	1.36
必要厚さ	t ₃	(mm)	—
t ₁ , t ₃ の大きい値	t	(mm)	1.36
呼び厚さ	t _{no}	(mm)	20.00
最小厚さ	t _n	(mm)	<input type="text"/>
評価：t _n ≥ t, よって十分である。			

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

容器の管台の厚さの計算
設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(2) ベントガス入口		
材料	SUSF316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.62
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D _o	(mm)	457.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t ₁	(mm)	1.33
必要厚さ	t ₃	(mm)	—
t ₁ , t ₃ の大きい値	t	(mm)	1.33
呼び厚さ	t _{no}	(mm)	14.30
最小厚さ	t _n	(mm)	<input type="text"/>
評価: t _n ≥ t, よって十分である。			

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

容器の管台の厚さの計算
設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(3) ベントガス出口		
材料	SUSF316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.62
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D _o	(mm)	363.40
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t ₁	(mm)	1.05
必要厚さ	t ₃	(mm)	—
t ₁ , t ₃ の大きい値	t	(mm)	1.05
呼び厚さ	t _{no}	(mm)	15.00
最小厚さ	t _n	(mm)	<input type="text"/>
評価：t _n ≥ t, よって十分である。			

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

容器の管台の厚さの計算
設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(4) ベントガス出口		
材料	SUSF316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.62
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D _o	(mm)	355.60
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t ₁	(mm)	1.03
必要厚さ	t ₃	(mm)	—
t ₁ , t ₃ の大きい値	t	(mm)	1.03
呼び厚さ	t _{no}	(mm)	11.10
最小厚さ	t _n	(mm)	<input type="text"/>
評価：t _n ≥ t, よって十分である。			

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

容器の管台の厚さの計算
設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(5) 補給水入口		
材料	SUS316LTP-S		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.62
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D _o	(mm)	60.50
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t ₁	(mm)	0.18
必要厚さ	t ₃	(mm)	—
t ₁ , t ₃ の大きい値	t	(mm)	0.18
呼び厚さ	t _{no}	(mm)	3.90
最小厚さ	t _n	(mm)	<input type="text"/>
評価：t _n ≥ t, よって十分である。			

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

容器の管台の厚さの計算
設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(6) ドレン		
材料	SUS316LTP-S		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.62
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D _o	(mm)	60.50
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t ₁	(mm)	0.18
必要厚さ	t ₃	(mm)	—
t ₁ , t ₃ の大きい値	t	(mm)	0.18
呼び厚さ	t _{no}	(mm)	3.90
最小厚さ	t _n	(mm)	<input type="text"/>
評価：t _n ≥ t, よって十分である。			

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

容器の管台の厚さの計算
設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(7) 液位計		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.62
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D _o	(mm)	50.00
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t ₁	(mm)	0.15
必要厚さ	t ₃	(mm)	—
t ₁ , t ₃ の大きい値	t	(mm)	0.15
呼び厚さ	t _{no}	(mm)	11.15
最小厚さ	t _n	(mm)	<input type="text"/>
評価：t _n ≥ t, よって十分である。			

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

容器の管台の厚さの計算
設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(8) 液位計		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.62
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D _o	(mm)	50.00
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t ₁	(mm)	0.15
必要厚さ	t ₃	(mm)	—
t ₁ , t ₃ の大きい値	t	(mm)	0.15
呼び厚さ	t _{no}	(mm)	11.15
最小厚さ	t _n	(mm)	<input type="text"/>
評価：t _n ≥ t, よって十分である。			

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

容器の管台の厚さの計算
設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(9) 試料採取		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.62
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D _o	(mm)	50.00
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t ₁	(mm)	0.15
必要厚さ	t ₃	(mm)	—
t ₁ , t ₃ の大きい値	t	(mm)	0.15
呼び厚さ	t _{no}	(mm)	11.15
最小厚さ	t _n	(mm)	<input type="text"/>
評価：t _n ≥ t, よって十分である。			

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

容器の管台の厚さの計算
 設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(10) 出口配管ドレン入口		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.62
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D _o	(mm)	80.00
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t ₁	(mm)	0.24
必要厚さ	t ₃	(mm)	—
t ₁ , t ₃ の大きい値	t	(mm)	0.24
呼び厚さ	t _{no}	(mm)	15.45
最小厚さ	t _n	(mm)	<input type="text"/>
評価：t _n ≥ t, よって十分である。			

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

容器の管台の厚さの計算
設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(11) モレキュラシーブ室ドレン		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.62
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D _o	(mm)	50.00
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t ₁	(mm)	0.15
必要厚さ	t ₃	(mm)	—
t ₁ , t ₃ の大きい値	t	(mm)	0.15
呼び厚さ	t _{no}	(mm)	11.15
最小厚さ	t _n	(mm)	<input type="text"/>
評価：t _n ≥ t, よって十分である。			

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

容器の管台の厚さの計算
設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(12) モレキュラシーブ室ドレン		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.62
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D _o	(mm)	50.00
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t ₁	(mm)	0.15
必要厚さ	t ₃	(mm)	—
t ₁ , t ₃ の大きい値	t	(mm)	0.15
呼び厚さ	t _{no}	(mm)	11.15
最小厚さ	t _n	(mm)	<input type="text"/>
評価：t _n ≥ t, よって十分である。			

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

容器の管台の厚さの計算
 設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(13) マンホール		
材料	SUSF316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.62
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D _o	(mm)	609.60
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t ₁	(mm)	1.77
必要厚さ	t ₃	(mm)	—
t ₁ , t ₃ の大きい値	t	(mm)	1.77
呼び厚さ	t _{no}	(mm)	20.00
最小厚さ	t _n	(mm)	<input type="text"/>
評価：t _n ≥ t, よって十分である。			

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

容器の管台の厚さの計算
設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(14) 換気口		
材料	SUSF316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.62
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D _o	(mm)	318.50
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t ₁	(mm)	0.92
必要厚さ	t ₃	(mm)	—
t ₁ , t ₃ の大きい値	t	(mm)	0.92
呼び厚さ	t _{no}	(mm)	17.40
最小厚さ	t _n	(mm)	<input type="text"/>
評価: $t_n \geq t$, よって十分である。			

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

容器の管台の厚さの計算
設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(15) モレキュラシーブ採取口		
材料	SUSF316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.62
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D _o	(mm)	216.30
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t ₁	(mm)	0.63
必要厚さ	t ₃	(mm)	—
t ₁ , t ₃ の大きい値	t	(mm)	0.63
呼び厚さ	t _{no}	(mm)	12.70
最小厚さ	t _n	(mm)	<input type="text"/>
評価：t _n ≥ t, よって十分である。			

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

2.5 容器の補強を要しない穴の最大径の計算
設計・建設規格 PVC-3150(2)

胴板名称		(1) 胴板
材料		SUS316L
最高使用圧力	P (MPa)	0.62
最高使用温度	(°C)	200
胴の外径	D (mm)	4660.00
許容引張応力	S (MPa)	107
胴板の最小厚さ	t_s (mm)	<input type="text"/>
継手効率	η	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_s) / 4$	(mm)	<input type="text"/>
61, d_{r1} の小さい値	(mm)	61.00
K		<input type="text"/>
$D \cdot t_s$	(mm ²)	<input type="text"/>
200, d_{r2} の小さい値	(mm)	200.00
補強を要しない穴の最大径	(mm)	200.00
評価：補強の計算を要する穴の名称		ベントガス入口(2.6(1)) ベントガス出口(2.6(2))

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

容器の補強を要しない穴の最大径の計算
設計・建設規格 PVC-3230(2)

鏡板名称		(2) 鏡板
材料		SUS316L
最高使用圧力	P (MPa)	0.62
最高使用温度	(°C)	200
鏡板のフランジ部の外径	D (mm)	4660.00
許容引張応力	S (MPa)	107
鏡板の最小厚さ	t _c (mm)	<input type="text"/>
継手効率	η	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_c) / 4$	(mm)	<input type="text"/>
61, d _{r1} の小さい値	(mm)	61.00
K		<input type="text"/>
D · t _c	(mm ²)	<input type="text"/>
200, d _{r2} の小さい値	(mm)	200.00
補強を要しない穴の最大径	(mm)	200.00
評価：補強の計算を要する穴の名称		マンホール(2.6(3)) 換気口(2.6(4))

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

2.6 容器の穴の補強計算
設計・建設規格 PVC-3160

参照附图 WELD-11

部材名称	(1) ベントガス入口		
胴板材料	SUS316L		
管台材料	SUSF316L		
強め板材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.62
最高使用温度		(°C)	200
胴板の許容引張応力	S_s	(MPa)	107
管台の許容引張応力	S_n	(MPa)	107
強め板の許容引張応力	S_e	(MPa)	107
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	d_w	(mm)	478.60
胴板の最小厚さ	t_s	(mm)	
管台の最小厚さ	t_n	(mm)	
胴板の継手効率	η		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	D_i	(mm)	4600.00
胴板の計算上必要な厚さ	t_{sr}	(mm)	13.38
管台の計算上必要な厚さ	t_{nr}	(mm)	
穴の補強に必要な面積	A_r	(mm ²)	
補強の有効範囲	X_1	(mm)	
補強の有効範囲	X_2	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	Y_1	(mm)	
補強の有効範囲	Y_2	(mm)	
強め板の最小厚さ	t_e	(mm)	
強め板の外径	B_e	(mm)	750.00
管台の外径	D_{on}	(mm)	468.60
溶接寸法	L_1	(mm)	9.00
溶接寸法	L_2	(mm)	14.00
溶接寸法	L_3	(mm)	19.00
胴板の有効補強面積	A_1	(mm ²)	
管台の有効補強面積	A_2	(mm ²)	
すみ肉溶接部の有効補強面積	A_3	(mm ²)	638.0
強め板の有効補強面積	A_4	(mm ²)	
補強に有効な総面積	A_o	(mm ²)	1.570×10^4
評価： $A_o > A_r$ ，よって十分である。			

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

部材名称	(1) ベントガス入口	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	d_j (mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	W_1 (N)	1.033×10^6
溶接部にかかる荷重	W_2 (N)	
溶接部の負うべき荷重	W (N)	
すみ肉溶接の許容せん断応力	S_{w1} (MPa)	49
突合せ溶接の許容せん断応力	S_{w2} (MPa)	60
突合せ溶接の許容引張応力	S_{w3} (MPa)	75
管台壁の許容せん断応力	S_{w4} (MPa)	75
応力除去の有無		無し
すみ肉溶接の許容せん断応力係数	F_1	0.46
突合せ溶接の許容せん断応力係数	F_2	0.56
突合せ溶接の許容引張応力係数	F_3	0.70
管台壁の許容せん断応力係数	F_4	0.70
すみ肉溶接部のせん断力	W_{e1} (N)	3.261×10^5
すみ肉溶接部のせん断力	W_{e2} (N)	6.884×10^5
すみ肉溶接部のせん断力	W_{e3} (N)	8.118×10^5
突合せ溶接部のせん断力	W_{e4} (N)	2.205×10^5
突合せ溶接部の引張力	W_{e8} (N)	
突合せ溶接部の引張力	W_{e9} (N)	
管台のせん断力	W_{e10} (N)	9.898×10^5
予想される破断箇所の強さ	W_{ebp1} (N)	1.721×10^6
予想される破断箇所の強さ	W_{ebp2} (N)	1.997×10^6
予想される破断箇所の強さ	W_{ebp3} (N)	1.912×10^6
予想される破断箇所の強さ	W_{ebp4} (N)	2.022×10^6
予想される破断箇所の強さ	W_{ebp5} (N)	1.316×10^6
評価： $W_{ebp1} \geq W$ ， $W_{ebp2} \geq W$ ， $W_{ebp3} \geq W$ ， $W_{ebp4} \geq W$ ， $W_{ebp5} \geq W$ 以上より十分である。		

容器の穴の補強計算
設計・建設規格 PVC-3160

参照附図 WELD-14'

部材名称		(2) ベントガス出口	
胴板材料		SUS316L	
管台材料		SUSF316L	
強め板材料		SUS316L	
最高使用圧力	P (MPa)	0.62	
最高使用温度	(°C)	200	
胴板の許容引張応力	S_s (MPa)	107	
管台の許容引張応力	S_n (MPa)	107	
強め板の許容引張応力	S_e (MPa)	107	
穴の径	d (mm)		
管台が取り付く穴の径	d_w (mm)	373.40	
胴板の最小厚さ	t_s (mm)		
管台の最小厚さ	t_n (mm)		
胴板の継手効率	η	1.00	
係数	F	1.00	
胴の内径	D_i (mm)	4600.00	
胴板の計算上必要な厚さ	t_{sr} (mm)	13.38	
管台の計算上必要な厚さ	t_{nr} (mm)		
穴の補強に必要な面積	A_r (mm ²)		
補強の有効範囲	X_1 (mm)		
補強の有効範囲	X_2 (mm)		
補強の有効範囲	X (mm)		
補強の有効範囲	Y_1 (mm)		
強め板の最小厚さ	t_e (mm)		
強め板の外径	B_e (mm)	600.00	
管台の外径	D_{on} (mm)	363.40	
溶接寸法	L_1 (mm)	9.00	
溶接寸法	L_2 (mm)	11.00	
溶接寸法	L_4 (mm)	11.00	
胴板の有効補強面積	A_1 (mm ²)		
管台の有効補強面積	A_2 (mm ²)		
すみ肉溶接部の有効補強面積	A_3 (mm ²)	202.0	
強め板の有効補強面積	A_4 (mm ²)		
補強に有効な総面積	A_0 (mm ²)	1.046×10^4	
評価： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

部材名称	(2) ベントガス出口	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径 d_j (mm)	1000.00	
評価: $d \leq d_j$, よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重 W_1 (N)	6.144×10^5	
溶接部にかかる荷重 W_2 (N)		
溶接部の負うべき荷重 W (N)		
すみ肉溶接の許容せん断応力 S_{w1} (MPa)	49	
突合せ溶接の許容せん断応力 S_{w2} (MPa)	60	
突合せ溶接の許容引張応力 S_{w3} (MPa)	75	
管台壁の許容せん断応力 S_{w4} (MPa)	75	
応力除去の有無	無し	
すみ肉溶接の許容せん断応力係数 F_1	0.46	
突合せ溶接の許容せん断応力係数 F_2	0.56	
突合せ溶接の許容引張応力係数 F_3	0.70	
管台壁の許容せん断応力係数 F_4	0.70	
すみ肉溶接部のせん断力 W_{e1} (N)	2.529×10^5	
すみ肉溶接部のせん断力 W_{e3} (N)	5.103×10^5	
突合せ溶接部のせん断力 W_{e4} (N)	1.710×10^5	
突合せ溶接部の引張力 W_{e6} (N)		
突合せ溶接部の引張力 W_{e8} (N)		
突合せ溶接部の引張力 W_{e9} (N)		
管台のせん断力 W_{e10} (N)	5.637×10^5	
予想される破断箇所の強さ W_{ebp1} (N)	1.152×10^6	
予想される破断箇所の強さ W_{ebp2} (N)	1.485×10^6	
予想される破断箇所の強さ W_{ebp3} (N)	1.424×10^6	
予想される破断箇所の強さ W_{ebp4} (N)	1.245×10^6	
予想される破断箇所の強さ W_{ebp5} (N)	8.165×10^5	
評価: $W_{ebp1} \geq W$, $W_{ebp2} \geq W$, $W_{ebp3} \geq W$, $W_{ebp4} \geq W$, $W_{ebp5} \geq W$ 以上より十分である。		

容器の穴の補強計算
設計・建設規格 PVC-3240

参照附図 WELD-41

部材名称	(3) マンホール		
鏡板材料	SUS316L		
管台材料	SUSF316L		
強め板材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.62
最高使用温度		(°C)	200
鏡板の許容引張応力	S_c	(MPa)	107
管台の許容引張応力	S_n	(MPa)	107
強め板の許容引張応力	S_e	(MPa)	107
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	d_w	(mm)	619.60
鏡板の最小厚さ	t_c	(mm)	
管台の最小厚さ	t_n	(mm)	
鏡板の継手効率	η		1.00
係数	F		1.00
鏡板の中央部における内半径	R	(mm)	4140.00
鏡板の計算上必要な厚さ	t_{cr}	(mm)	12.01
管台の計算上必要な厚さ	t_{nr}	(mm)	
穴の補強に必要な面積	A_r	(mm ²)	
補強の有効範囲	X_1	(mm)	
補強の有効範囲	X_2	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	Y_1	(mm)	
補強の有効範囲	Y_2	(mm)	
強め板の最小厚さ	t_e	(mm)	
強め板の外径	B_e	(mm)	898.00
管台の外径	D_{on}	(mm)	609.60
溶接寸法	L_1	(mm)	9.00
溶接寸法	L_2	(mm)	14.00
溶接寸法	L_3	(mm)	19.00
鏡板の有効補強面積	A_1	(mm ²)	
管台の有効補強面積	A_2	(mm ²)	
すみ肉溶接部の有効補強面積	A_3	(mm ²)	638.0
強め板の有効補強面積	A_4	(mm ²)	
補強に有効な総面積	A_0	(mm ²)	1.581×10^4
評価： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

部材名称	(3) マンホール	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径 d_j (mm)	1000.00	
評価: $d \leq d_j$, よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重 W_1 (N)	1.015×10^6	
溶接部にかかる荷重 W_2 (N)		
溶接部の負うべき荷重 W (N)		
すみ肉溶接の許容せん断応力 S_{w1} (MPa)	49	
突合せ溶接の許容せん断応力 S_{w2} (MPa)	60	
突合せ溶接の許容引張応力 S_{w3} (MPa)	75	
管台壁の許容せん断応力 S_{w4} (MPa)	75	
応力除去の有無	無し	
すみ肉溶接の許容せん断応力係数 F_1	0.46	
突合せ溶接の許容せん断応力係数 F_2	0.56	
突合せ溶接の許容引張応力係数 F_3	0.70	
管台壁の許容せん断応力係数 F_4	0.70	
すみ肉溶接部のせん断力 W_{e1} (N)	4.242×10^5	
すみ肉溶接部のせん断力 W_{e2} (N)	8.955×10^5	
すみ肉溶接部のせん断力 W_{e3} (N)	9.720×10^5	
突合せ溶接部のせん断力 W_{e4} (N)	2.869×10^5	
突合せ溶接部の引張力 W_{e8} (N)		
突合せ溶接部の引張力 W_{e9} (N)		
管台のせん断力 W_{e10} (N)	1.300×10^6	
予想される破断箇所の強さ W_{ebp1} (N)	2.154×10^6	
予想される破断箇所の強さ W_{ebp2} (N)	2.597×10^6	
予想される破断箇所の強さ W_{ebp3} (N)	2.481×10^6	
予想される破断箇所の強さ W_{ebp4} (N)	2.559×10^6	
予想される破断箇所の強さ W_{ebp5} (N)	1.724×10^6	
評価: $W_{ebp1} \geq W$, $W_{ebp2} \geq W$, $W_{ebp3} \geq W$, $W_{ebp4} \geq W$, $W_{ebp5} \geq W$ 以上より十分である。		

容器の穴の補強計算
設計・建設規格 PVC-3240

参照附図 W E L D - 4 1

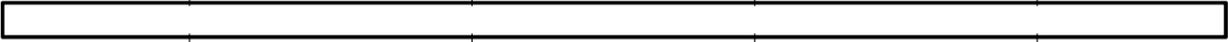
部材名称		(4) 換気口
鏡板材料		SUS316L
管台材料		SUSF316L
強め板材料		SUS316L
最高使用圧力	P (MPa)	0.62
最高使用温度	(°C)	200
鏡板の許容引張応力	S _c (MPa)	107
管台の許容引張応力	S _n (MPa)	107
強め板の許容引張応力	S _e (MPa)	107
穴の径	d (mm)	
管台が取り付く穴の径	d _w (mm)	328.50
鏡板の最小厚さ	t _c (mm)	
管台の最小厚さ	t _n (mm)	
鏡板の継手効率	η	1.00
係数	F	1.00
鏡板の中央部における内半径	R (mm)	4140.00
鏡板の計算上必要な厚さ	t _{c r} (mm)	12.01
管台の計算上必要な厚さ	t _{n r} (mm)	
穴の補強に必要な面積	A _r (mm ²)	
補強の有効範囲	X ₁ (mm)	
補強の有効範囲	X ₂ (mm)	
補強の有効範囲	X (mm)	
補強の有効範囲	Y ₁ (mm)	
補強の有効範囲	Y ₂ (mm)	
強め板の最小厚さ	t _e (mm)	
強め板の外径	B _e (mm)	498.00
管台の外径	D _{o n} (mm)	318.50
溶接寸法	L ₁ (mm)	9.00
溶接寸法	L ₂ (mm)	13.00
溶接寸法	L ₃ (mm)	18.00
鏡板の有効補強面積	A ₁ (mm ²)	
管台の有効補強面積	A ₂ (mm ²)	
すみ肉溶接部の有効補強面積	A ₃ (mm ²)	574.0
強め板の有効補強面積	A ₄ (mm ²)	
補強に有効な総面積	A ₀ (mm ²)	9.991×10 ³
評価：A ₀ > A _r ，よって十分である。		

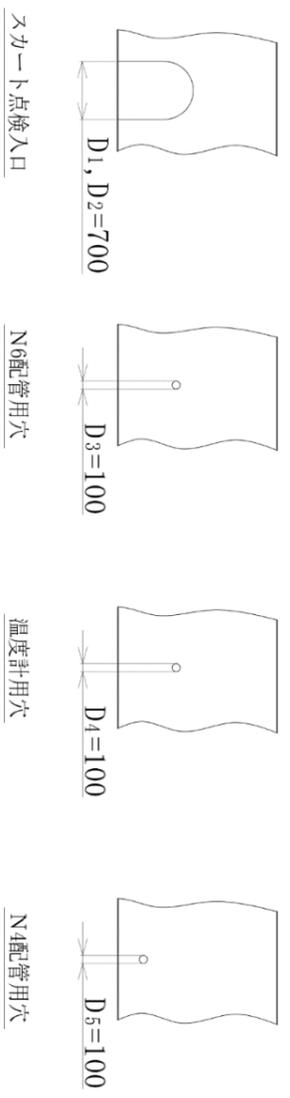
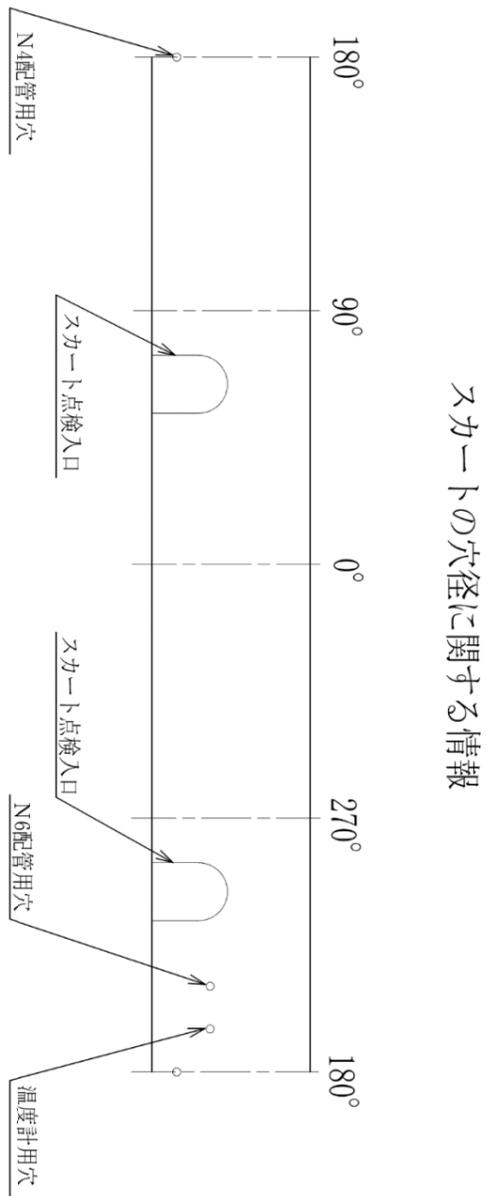
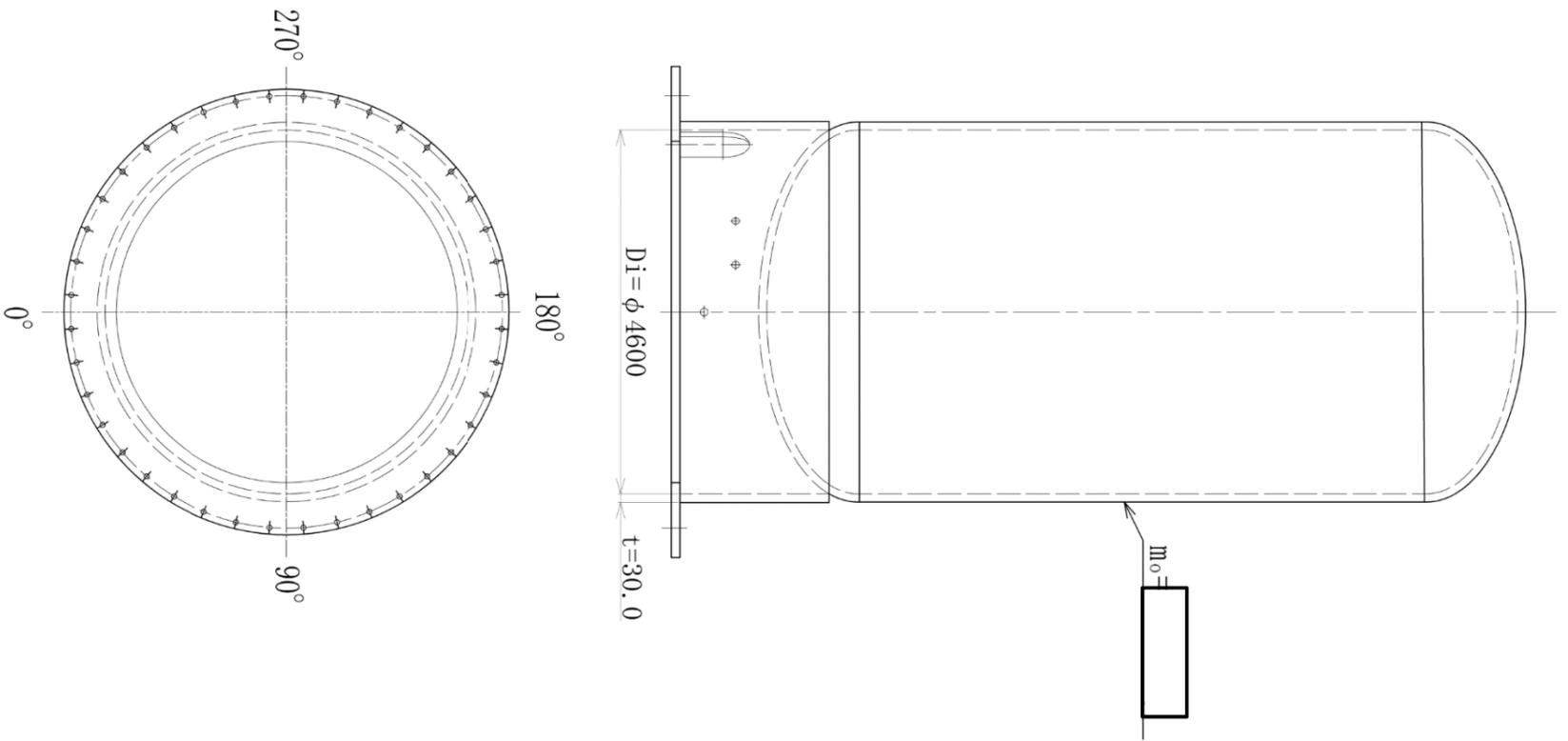
NT2 補② V-3-9-2-5-1-4 R2

部材名称	(4) 換気口		
大きい穴の補強			
補強を要する穴の限界径	d_j	(mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。			
溶接部にかかる荷重	W_1	(N)	7.305×10^5
溶接部にかかる荷重	W_2	(N)	
溶接部の負うべき荷重	W	(N)	
すみ肉溶接の許容せん断応力	S_{w1}	(MPa)	49
突合せ溶接の許容せん断応力	S_{w2}	(MPa)	60
突合せ溶接の許容引張応力	S_{w3}	(MPa)	75
管台壁の許容せん断応力	S_{w4}	(MPa)	75
応力除去の有無	無し		
すみ肉溶接の許容せん断応力係数	F_1		0.46
突合せ溶接の許容せん断応力係数	F_2		0.56
突合せ溶接の許容引張応力係数	F_3		0.70
管台壁の許容せん断応力係数	F_4		0.70
すみ肉溶接部のせん断力	W_{e1}	(N)	2.216×10^5
すみ肉溶接部のせん断力	W_{e2}	(N)	4.432×10^5
すみ肉溶接部のせん断力	W_{e3}	(N)	5.005×10^5
突合せ溶接部のせん断力	W_{e4}	(N)	1.499×10^5
突合せ溶接部の引張力	W_{e8}	(N)	
突合せ溶接部の引張力	W_{e9}	(N)	
管台のせん断力	W_{e10}	(N)	5.728×10^5
予想される破断箇所の強さ	W_{ebp1}	(N)	1.094×10^6
予想される破断箇所の強さ	W_{ebp2}	(N)	1.332×10^6
予想される破断箇所の強さ	W_{ebp3}	(N)	1.282×10^6
予想される破断箇所の強さ	W_{ebp4}	(N)	1.223×10^6
予想される破断箇所の強さ	W_{ebp5}	(N)	7.944×10^5
評価： $W_{ebp1} \geq W$ ， $W_{ebp2} \geq W$ ， $W_{ebp3} \geq W$ ， $W_{ebp4} \geq W$ ， $W_{ebp5} \geq W$ 以上より十分である。			

3. 支持構造物の強度計算

1. 一次圧縮応力評価

種類	材料	最高使用温度 (°C)	F 値 (MPa)	鉛直荷重 F_c (N)	断面積 A (mm ²)	一次圧縮応力 σ_c (MPa)	許容圧縮応力 f_c (MPa)	評価
スカート支持 たて置円筒形容器		200						σ_c は f_c 以下であるので、支持構造物の強度は十分である。



(単位：mm)

フイルタ装置 支持構造物の強度計算説明図

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-855 改3
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針

目次

1.	概要	1
1.1	一般事項	1
1.2	構造の説明	1
2.	記号の説明	3
3.	計算条件	4
3.1	適用基準	4
3.2	評価対象箇所	4
3.3	形状及び寸法	4
3.4	物性値	4
3.4.1	材料の物性値	4
3.5	荷重の組合せ及び許容応力状態 (供用状態)	4
3.6	許容応力	5
3.7	溶接部の継手効率	5
4.	荷重条件	6
4.1	設計条件	6
4.2	運転条件	6
4.2.1	運転状態Ⅰ及びⅡ	6
4.2.2	運転状態Ⅲ	7
4.2.3	運転状態Ⅳ	7
4.3	重大事故等時の条件	7
4.4	外荷重の条件	7
4.4.1	死荷重	7
4.4.2	機械的荷重	7
4.4.3	地震荷重	7
4.5	荷重の組合せと応力評価	8
5.	応力解析の手順	9
5.1	解析手順の概要	9
5.2	荷重条件の選定	9
5.3	応力計算と応力の分類	9
5.3.1	応力計算の方法	9
5.3.2	計算に使用する解析コード	9
5.3.3	応力の分類	9

5.4 応力の評価	9
5.4.1 主応力	9
5.4.2 応力強さ	10
5.4.3 一次応力強さ	10
5.5 特別な評価	10
5.5.1 支圧応力の評価	10
5.5.2 座屈に対する評価	10
6. 解析及び評価結果の添付	11
6.1 応力評価結果	11
7. 引用文献	12
添付1 溶接部の継手効率	37

図表目次

図3-1	全体断面図	13
図4-1	炉心支持構造物の各運転状態における差圧	14
図4-2	炉心支持構造物の運転条件	15
図5-1	応力解析の手順	19
表1-1	炉心支持構造物の構造計画	2
表3-1	材料の分類	20
表3-2	応力計算に使用する材料の物性値	21
表3-3	荷重の組合せ及び許容応力状態（供用状態）、許容応力	22
表3-4	炉心支持構造物用材料の許容限界	25
表4-1	外荷重	28
表4-2	荷重の組合せ	35
表5-1	応力の分類	36

1. 概要

1.1 一般事項

本書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、炉心支持構造物に関する応力解析の方針を述べるものである。

炉心支持構造物は、設計基準対象施設においては耐震Sクラスに、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、炉心支持構造物の耐震評価及び重大事故等時における強度評価について記載する。

注1：本書に記載していない特別な内容がある場合は、各計算書に示す。

注2：図表は、原則として巻末に示す。

1.2 構造の説明

炉心支持構造物の構造計画を表1-1に示す。

なお、炉心支持構造物は、下記の機器により構成される。

- (1) 炉心シュラウド
- (2) シュラウドサポート
- (3) 上部格子板
- (4) 炉心支持板
- (5) 燃料支持金具
- (6) 制御棒案内管

表 1-1 炉心支持構造物の構造計画

計画の概要		概略構造図
支持構造	主体構造	
<p>上部格子板及び炉心支持板は炉心シュラウドにより支持される。</p> <p>炉心シュラウドは、原子炉圧力容器下部鏡板に溶接されたシュラウドサポートにより支持される。</p> <p>燃料支持金具のうち中央燃料支持金具は制御棒案内管に支持され、周辺燃料支持金具は炉心支持板によって支持される。燃料集合体の水平方向については、上部格子板及び炉心支持板によって支持される。</p>	<p>炉心支持構造物は、炉心シュラウド、シュラウドサポート、上部格子板、炉心支持板、燃料支持金具、制御棒案内管により構成され、燃料集合体の位置決め、制御棒の案内を行う構造となっている。</p>	<p>The diagram is a cross-sectional view of the core support structure. At the top is the '上部格子板' (Upper Grid Plate). Below it is the '炉心シュラウド' (Core Shroud). A '炉心支持板' (Core Support Plate) is positioned below the shroud. The '燃料支持金具' (Fuel Support Fixtures) are divided into '周辺燃料支持金具' (Peripheral Fuel Support Fixtures) and '中央燃料支持金具' (Central Fuel Support Fixtures). The 'シュラウドサポート' (Shroud Support) consists of a 'シリンダ' (Cylinder), 'プレート' (Plate), and 'レグ' (Leg). The '制御棒案内管' (Control Rod Guide Tube) is shown at the bottom. Labels with arrows point to each of these components.</p>

2. 記号の説明

本書及び各計算書において、以下の記号を使用する。ただし、本書添付及び各計算書中に別途記載ある場合は、この限りでない。

なお、各計算書における記号の字体及び大きさについては、本書と異なる場合がある。

計算書の記号	記号の説明	単位
E	縦弾性係数	MPa
H	水平力	N
M	モーメント	N・mm
P _b	一次曲げ応力	MPa
P _m	一次一般膜応力	MPa
S _d	弾性設計用地震動S _d により定まる地震力	—
S _d *	弾性設計用地震動S _d により定まる地震力又はSクラス設備に適用される静的地震力	—
S _s	基準地震動S _s により定まる地震力	—
S ₁₂	主応力差 $\sigma_1 - \sigma_2$	MPa
S ₂₃	主応力差 $\sigma_2 - \sigma_3$	MPa
S ₃₁	主応力差 $\sigma_3 - \sigma_1$	MPa
S _m	設計応力強さ	MPa
S _u	設計引張強さ	MPa
S _y	設計降伏点	MPa
V	鉛直力	N
η	溶接部の継手効率	—
ν	ポアソン比	—
σ_1	主応力	MPa
σ_2	主応力	MPa
σ_3	主応力	MPa
σ_l	軸方向応力	MPa
σ_r	半径方向応力	MPa
σ_t	周方向応力	MPa
τ_{lr}	せん断応力	MPa
τ_{rt}	せん断応力	MPa
τ_{tl}	せん断応力	MPa
IIIAS	設計・建設規格の供用状態C相当の許容応力を基準として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態	—
IVAS	設計・建設規格の供用状態D相当の許容応力を基準として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態	—
VAS	運転状態V相当の応力評価を行う許容応力を基本として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態	—

3. 計算条件

3.1 適用基準

発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））J S M E S N C 1-2005/2007）（日本機械学会 2007年）（以下「設計・建設規格」という。）及び原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和59年）を適用する。

注：本書及び各計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格 ○○○-△△△ △(◇)a. (a)」として示す。

3.2 評価対象箇所

応力解析を行う箇所は、次のとおりである。（図3-1参照）

- (1) 炉心シュラウド
- (2) シュラウドサポート
- (3) 上部格子板
- (4) 炉心支持板
- (5) 燃料支持金具
- (6) 制御棒案内管

3.3 形状及び寸法

各部の形状及び寸法は、各計算書に示す。

3.4 物性値

応力計算に使用する材料の物性値は、以下のとおりである。

3.4.1 材料の物性値

材料の物性値は、次のように定める。

- (1) 縦弾性係数Eは、設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1に定められたものによる。

なお、物性値を補正して使用する場合には、補正方法を各計算書に示す。

- (2) 材料は、表3-1に従って分類する。

主な温度における材料の物性値を表3-2に示す。

3.5 荷重の組合せ及び許容応力状態（供用状態）

炉心支持構造物の評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態（供用状態）は、表3-3に示すとおりである。また、各許容応力状態（供用状態）で考慮する荷重は、4章に示すとおりである。

なお、本書及び各計算書において、設計・建設規格 GNR-2120(1)の規定による最高使用圧力（供用状態Aを定義する運転状態において機器が受ける最高の圧力以上の圧力であって、設計上定めるものをいう。）を「設計差圧」と呼ぶ。（図4-1参照）

3.6 許容限界

- (1) 設計応力強さ S_m 、設計降伏点 S_y 及び設計引張強さ S_u は、それぞれ設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1、表 8 及び表 9 に定められたものを使用する。
- (2) 許容応力状態Ⅲ_AS 及び許容応力状態Ⅳ_AS の一次応力強さの評価には、各運転状態における流体の最高温度（運転状態Ⅰ及びⅡ：℃）に対する許容限界を用いる。供用状態E*の一次応力強さの評価には、運転状態Ⅴにおける評価温度条件 ℃）に対する許容限界を用いる。
- (3) 炉心支持構造物の各運転状態の応力評価に用いる許容限界は、表 3-4 に示すとおりである。

これらの表に記載のない軸圧縮荷重を受ける場合に対する許容応力及び外面に圧力を受ける場合に対する許容外圧は、各計算書に記載するものとする。

注記 *：供用状態Eとは、重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）であり、供用状態Dを超える状態である。許容限界の算出式は供用状態Dと同様とする。

3.7 溶接部の継手効率

- (1) 溶接部の継手効率は、継手の種類と分類及び継手に適用する検査の種類により、設計・建設規格 CSS-3150 に従って定める。
- (2) 溶接部の許容限界は、表 3-4 に定める許容限界に継手効率を乗じたものとする。溶接部の継手効率を添付 1 に示す。

4. 荷重条件

炉心支持構造物は、以下の荷重条件に耐えるように設計する。

各機器の応力解析には本章に示す荷重を考慮する。

4.1 設計条件

原子炉压力容器の最高使用圧力	: 8.62 MPa
設計差圧	: 図 4-1 に示す。
最高使用温度	: 302 °C

4.2 運転条件

運転条件及び記号は、次のとおりである。また、これらの記号を解析及び評価に用いる場合において、同一事象内に複数の解析時点がある場合は、記号に小番号を付して使用する。

[例 C03-01, C03-02]

なお、各計算書においては、{ }内の名称を用いる。

計算書では以下に示す運転条件のうち、一次応力強さの評価については、各供用状態（許容応力状態）を定義する各運転状態のうち、最も厳しい運転条件について選定する。

4.2.1 運転状態 I 及び II

(1) ボルト締付け	{ボルト締付け}	[C01]
(2) 耐圧試験（最高使用圧力以下）	{耐圧試験最高使用圧力以下}	[C02]
(3) 起動（昇温）	{起動昇温}	[C03]
(4) 起動（タービン起動）	{起動タービン起動}	[C04]
(5) 夜間低出力運転（出力 75 %）	{夜間低出力運転出力 75 %}	[C05]
(6) 週末低出力運転（出力 50 %）	{週末低出力運転出力 50 %}	[C06]
(7) 制御棒パターン変更	{制御棒パターン変更}	[C07]
(8) 給水加熱機能喪失（発電機トリップ）	{発電機トリップ}	[C08]
(9) 給水加熱機能喪失（給水加熱器部分バイパス）	{給水加熱器部分バイパス}	[C09]
(10) スクラム（タービントリップ）	{スクラムタービントリップ}	[C10]
(11) スクラム（その他のスクラム）	{スクラムその他のスクラム}	[C11]
(12) 定格出力運転	{定格出力運転}	[C12]
(13) 停止（タービン停止）	{停止タービン停止}	[C13]
(14) 停止（高温待機）	{停止高温待機}	[C14]
(15) 停止（冷却）	{停止冷却}	[C15]
(16) 停止（容器満水）	{停止容器満水}	[C16]
(17) 停止（満水後冷却）	{停止満水後冷却}	[C17]
(18) ボルト取外し	{ボルト取外し}	[C18]
(19) 燃料交換	{燃料交換}	[C19]
(20) スクラム（原子炉給水ポンプ停止）	{スクラム原子炉給水ポンプ停止}	[C20]

- (21) スクラム (逃がし安全弁誤作動) {スクラム逃がし安全弁誤作動} [C21]
- 4.2.2 運転状態Ⅲ
- (1) スクラム (過大圧力) {スクラム過大圧力} [C22]
- (2) 冷却材再循環系仕切弁誤作動 (冷状態) {冷再循環系仕切弁誤作動} [C23]
- (3) 冷却材再循環ポンプ誤起動 (冷状態) {冷再循環ポンプ誤起動} [C24]
- 4.2.3 運転状態Ⅳ
- (1) 冷却材喪失事故 {冷却材喪失事故} [C25]

各運転条件における設計上定めた炉心支持構造物の周囲の流体の温度、圧力の変化及びその繰返し回数を図 4-2 に示す。

4.3 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件は以下のとおりである。

温度条件：

圧力条件：

差圧条件：



4.4 外荷重の条件

4.4.1 死荷重

荷重作用点において機器の自重により生じる荷重とし表 4-1 に示す。

4.4.2 機械的荷重

炉心支持構造物に作用する死荷重及び地震荷重以外の機械的荷重は発生しない。

4.4.3 地震荷重

炉心支持構造物に加わる地震荷重については、添付書類「V-2-3-2 炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づくものとし、表 4-1 に炉心支持構造物に加わる地震荷重を示す。

4.5 荷重の組合せと応力評価

荷重の組合せと応力評価項目の対応を表 4-2 に示す。表 4-2 及び各計算書において、荷重の種類と記号は以下のとおりである。

なお、荷重の組合せについては各機器ごとに適切に組み合わせる。

荷 重	記号
(1) 原子炉圧力容器の内圧	[L01]
(2) 差圧	[L02]
(3) 死荷重 (機器の自重により生じる荷重)	[L04]
(4) 機器の地震時の慣性力による地震荷重 S_d^* (一次荷重)	[L14]
(5) 機器の地震時の慣性力による地震荷重 S_s (一次荷重)	[L16]

5. 応力解析の手順

応力解析の手順について述べる。

5.1 解析手順の概要

解析手順の概要を図5-1に示す。本図において、内圧及び差圧による応力とその他の荷重による応力の計算で考慮する荷重を「機械荷重」という。

5.2 荷重条件の選定

応力解析においては、4章に示した荷重条件のうちから、その部分に作用する荷重を選定して計算を行う。それぞれの部分について考慮した荷重を表4-1に示す。

5.3 応力計算と応力の分類

5.3.1 応力計算の方法

- (1) 応力計算は、4.4項に示す荷重の種類ごとに行う。
- (2) 解析する箇所の形状は、次の方針に従ってモデル化する。
 - a. 内張り材は、強度部材に含めない。
 - b. 内張り材のない低合金鋼及び炭素鋼母材の内表面は□mm、外表面は□mmの腐食代を考慮する。内張り材のある低合金鋼及び炭素鋼母材の内表面、オーステナイト系ステンレス鋼、高ニッケル合金には、腐食代を考慮しない。
 - c. 溶接部は、溶接金属に相当する鋼材と同じ物性値及び機械的性質を用いる。
- (3) モデル図と使用する境界条件（拘束条件）は、各計算書に示す。

5.3.2 計算に使用する解析コード

解析コードとしてASHSD2-Bを用いる。なお、解析コード「ASHSD2-B」の検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-53 計算機プログラム（解析コード）の概要・ASHSD2-B」に示す。

5.3.3 応力の分類

応力の計算結果は、表5-1の応力の分類方法に従って分類して、各計算書に示す。

5.4 応力の評価

5.4.1 主応力

5.3節で計算された応力は、応力の分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求める。組合せ応力は、一般に σ_t 、 σ_l 、 σ_r 、 τ_{tl} 、 τ_{lr} 、 τ_{rt} の6成分をもつが、主応力 σ は引用文献(1)の1・3・6項により、次式を満足する3根 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 として計算する。

$$\begin{aligned} & \sigma^3 - (\sigma_t + \sigma_l + \sigma_r) \cdot \sigma^2 + (\sigma_t \cdot \sigma_l + \sigma_l \cdot \sigma_r + \sigma_r \cdot \sigma_t - \tau_{tl}^2 \\ & - \tau_{lr}^2 - \tau_{rt}^2) \cdot \sigma - \sigma_t \cdot \sigma_l \cdot \sigma_r + \sigma_t \cdot \tau_{lr}^2 + \sigma_l \cdot \tau_{rt}^2 + \sigma_r \cdot \tau_{tl}^2 \\ & - 2 \cdot \tau_{tl} \cdot \tau_{lr} \cdot \tau_{rt} = 0 \end{aligned}$$

上式により主応力を求める。

5.4.2 応力強さ

以下の3つの主応力差の絶対値で最大のものを応力強さとする。

$$S_{12} = \sigma_1 - \sigma_2$$

$$S_{23} = \sigma_2 - \sigma_3$$

$$S_{31} = \sigma_3 - \sigma_1$$

5.4.3 一次応力強さ

許容応力状態Ⅲ_AS, 許容応力状態Ⅳ_AS 及び供用状態Eにおいて生じる一次一般膜応力及び一次一般膜+一次曲げ応力の応力強さが, 3.6 節及び 3.7 節に示す許容限界を満足することを示す。

5.5 特別な評価

5.5.1 支圧応力の評価

支圧荷重を受ける部分は, 設計・建設規格 CSS-3115 により評価する。解析箇所を以下に示す。許容応力は, 表 3-4(3)に示し, 評価方法は, 炉心シュラウドの計算書に示す。

- (1) 炉心シュラウドの上部格子板及び炉心支持板支持面

5.5.2 座屈に対する評価

軸圧縮荷重又は外圧を受ける部分は, 設計・建設規格 CSS-3116.1 又は CSS-3200 により圧縮応力を評価する。ただし, シュラウドサポートレグの座屈に対する評価は, 設計・建設規格 CSS-3116.2 により圧縮応力を評価する。解析箇所を以下に示す。許容応力及び評価方法は, 各計算書に示す。

- (1) 炉心シュラウドの下部胴
- (2) シュラウドサポートレグ
- (3) 制御棒案内管のボディ

6. 解析及び評価結果の添付

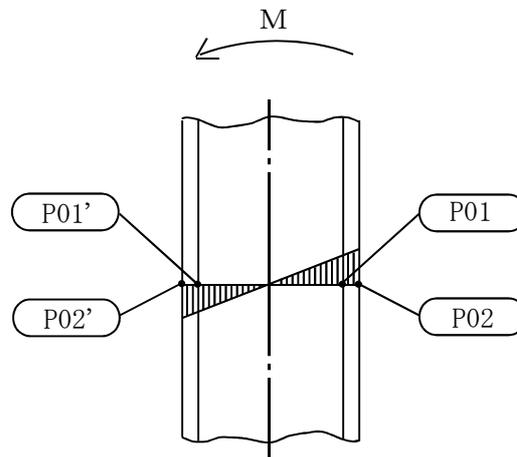
各計算書では、以下に示すように解析結果を添付する。

全応力評価点（面）について考慮した荷重ごとに応力を分類し、その結果を示す。また、応力評価点の選定に当たっては、各部分ごとに応力評価上厳しくなる評価点を、各部分を代表する評価点として選定する。

応力評価点番号は、計算書ごとに記号 P01 からの連番とする。奇数番号を内面の点、偶数番号を外面の点として、各計算書の形状・寸法・材料・応力評価点を示す図において定義する。

なお、軸対称モデルにおいて、非軸対称な外荷重による応力評価を行った場合、荷重の入力方位と応力評価点の方位の関係により応力に極大値と極小値が生じる。外荷重による応力が極大となる方位の応力評価点は〔例 P01〕と表し、極小となる方位の応力評価点には、プライム（'）を付けて〔例 P01'〕と表す。

一次応力の評価は、内外面の応力評価点を含む断面（応力評価面）について行う。



6.1 応力評価結果

(1) 次の応力評価結果は、全応力評価点（面）について添付する。

- a. 一次一般膜応力強さの評価のまとめ
- b. 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(2) 次の特別な評価は、対象となるすべての部位について評価し、この結果を記載する。

- a. 支圧応力
- b. 座屈

7. 引用文献

文献番号は，本書及び各計算書において共通である。

- (1) 機械工学便覧 基礎編 $\alpha 3$ (日本機械学会)

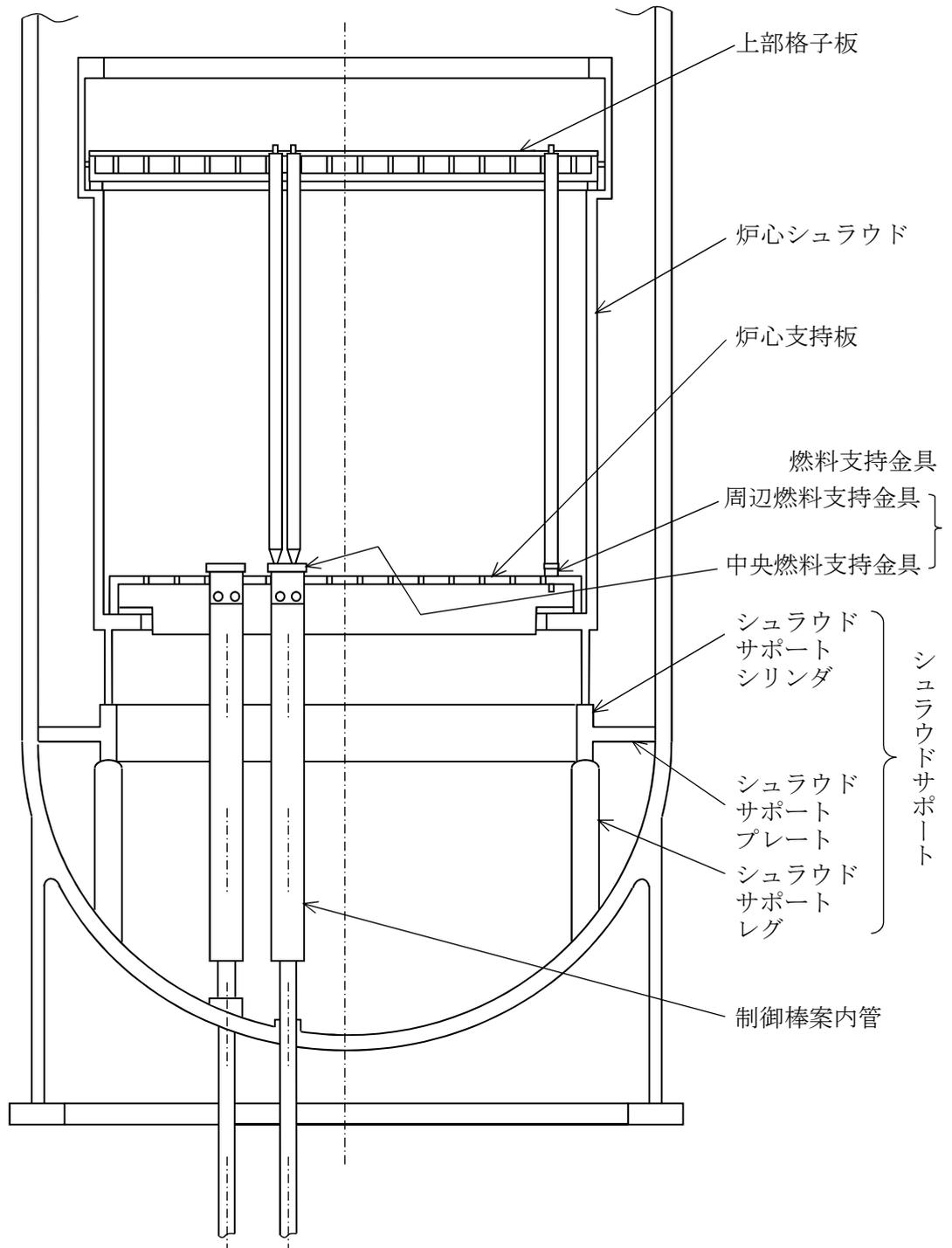
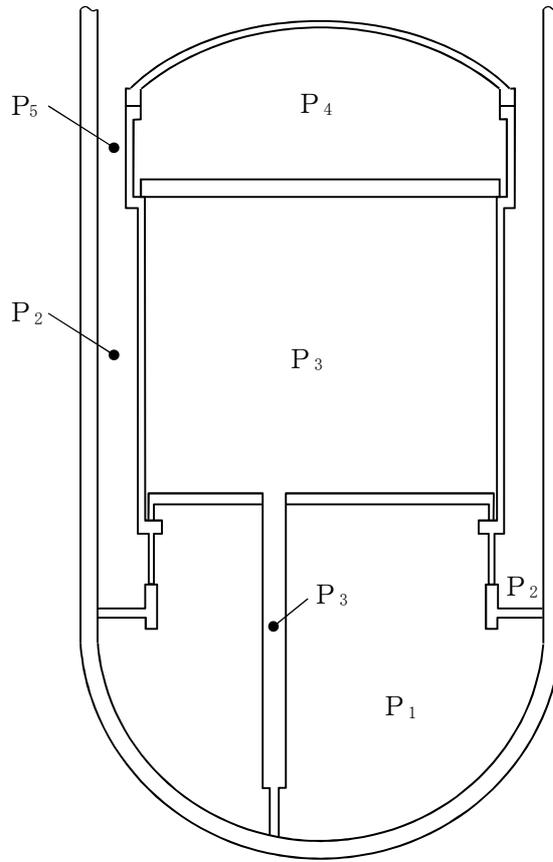


図 3-1 全体断面図



(単位：MPa)

部位		設計条件 (設計差圧)	運転状態 I, II, III	運転状態 IV, V
炉心シュラウド	$P_{45} = P_4 - P_5$			
	$P_{32} = P_3 - P_2$			
	$P_{12} = P_1 - P_2$			
シュラウドサポート	$P_{12} = P_1 - P_2$			
上部格子板	$P_{34} = P_3 - P_4$			
炉心支持板	$P_{13} = P_1 - P_3$			
燃料支持金具	$P_{13} = P_1 - P_3$			
制御棒案内管	$P_{13} = P_1 - P_3$			

図 4-1 炉心支持構造物の各運転状態における差圧

運転状態 運転条件	I 及び II																			III			IV				
	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25		
運転名称	ボルト締付け	耐圧試験 最高使用 圧力以下	起動 昇温	タービン 起動	夜間 低出力 運転 (出力 75%)	週末 低出力 運転 (出力 50%)	制御棒 パターン 変更	給水加熱機能喪失 発電機 トリップ	給水加熱器部分 バイパス	スクラム タービン トリップ		その他の スクラム	定格 出力 運転	タービン 停止	高温 待機	停止 冷却	容器 満水	満水後 冷却	ボルト 取外し	燃料 交換	スクラム 原子炉給水ポンプ停止		逃がし 安全弁 誤作動	過大圧力	冷却材 再循環系 仕切弁 誤作動 (冷状態)	冷却材 再循環 ポンプ 誤起動 (冷状態)	冷却材 喪失事故
回数																											
差圧 (MPa)																											
0.5																											
0.4																											
0.3																											
0.2																											
0.1																											
0.0																											

図4-2(1) 炉心支持構造物の運転条件

運転状態		I 及び II																	III			IV				
運転条件		C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25
運転名称		ボルト締付け	耐圧試験 最高使用 圧力以下	起動 昇温	タービン 起動	夜間 低出力 運転 (出力 75%)	週末 低出力 運転 (出力 50%)	制御棒 パターン 変更	給水加熱機能喪失 発電機 トリップ	給水加熱 器部分 バイパス	スクラム タービン トリップ	その他の スクラム	定格 出力 運転	タービン 停止	高温 待機	停止 冷却	容器 満水	満水後 冷却	ボルト 取外し	燃料 交換	スクラム 原子炉給水ポンプ停止	スクラム 逃がし 安全弁 誤作動	過大圧力	冷却材 再循環系 仕切弁 誤作動 (冷状態)	冷却材 再循環 ポンプ 誤起動 (冷状態)	冷却材 喪失事故
回数																										

領域 A	圧力 (MPa)	温度 (°C)
		300
	10	250
	8	200
	6	150
	4	100
	2	50
	0	0

領域 B	水位	温度 (°C)
	RPV頂部	300
	フランジ	250
	定常水位	200
	低水位3	150
	低水位2	100
炉心	50	
RPV底部	0	

領域 C	温度 (°C)
	300
	250
	200
	150
	100
50	
0	

図4-2(2) 炉心支持構造物の運転条件

図 4-2(3) 炉心支持構造物の運転条件 (続)

注記 *1 :
*2 :



注 1 :
注 2 :
注 3 :

注 4 :

注 5 :

注 6 :
注 7 :



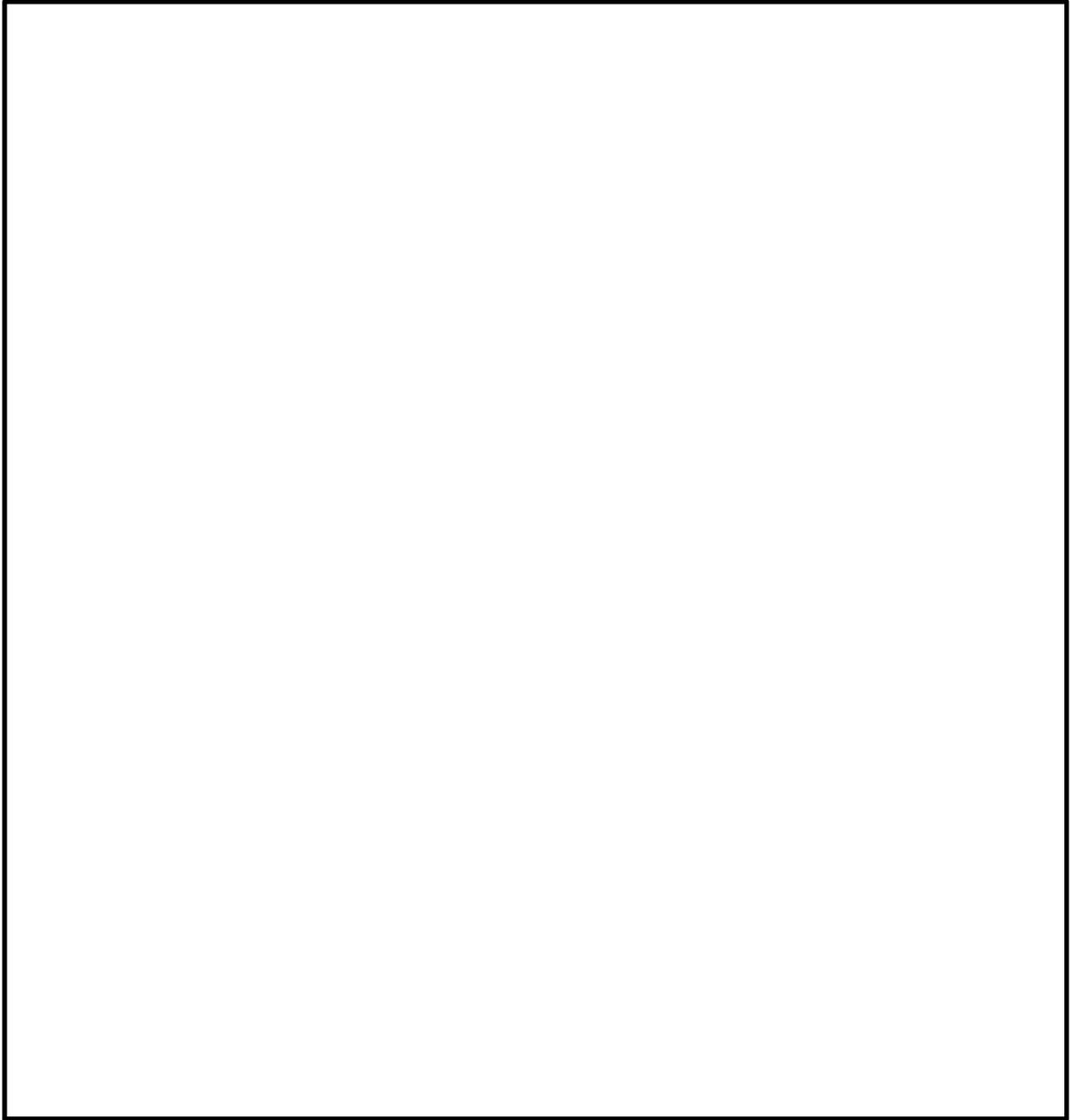


図 4-2(4) 炉心支持構造物の運転条件
(原子炉压力容器内領域図)

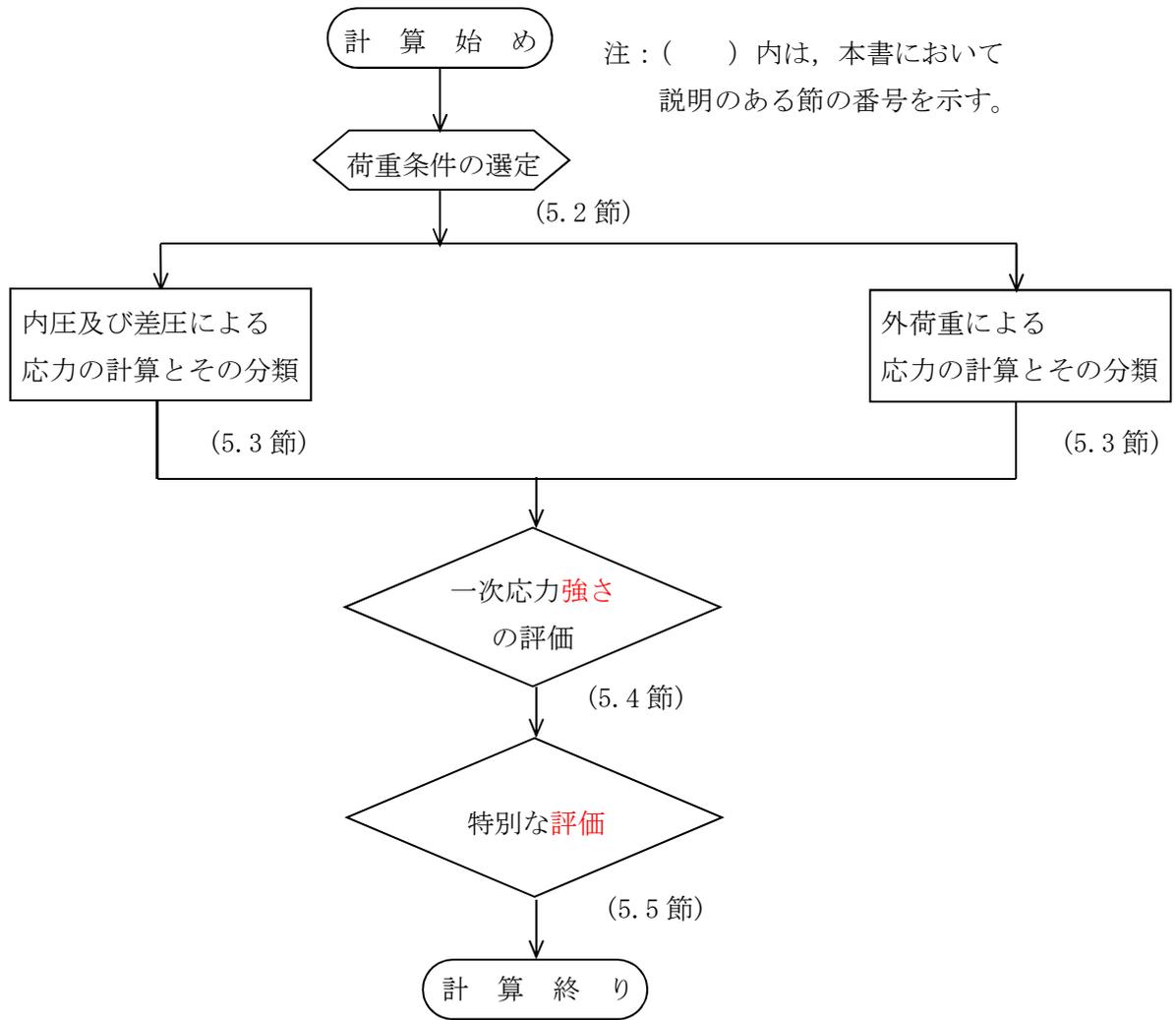


図 5-1 応力解析の手順

表 3-1 材料の分類

種類	使用材料		備考
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304 相当	[Redacted]	
	SUS304L 相当	[Redacted]	
	SUS304TP 相当	[Redacted]	
	SUS304TP 相当	[Redacted]	
	SCS13 相当 SCS13A 相当	[Redacted]	SCS13A *
高ニッケル合金	NCF600 相当	[Redacted]	

注記 * : 新 JIS を示す。

表 3-2 応力計算に使用する材料の物性値

材料	温度 (°C)	E × 10 ⁵ (MPa)	ν
SUS304	20		
SUS304L	161		
SUS304TP	302		
SCS13A			
NCF600	20		
	161		
	302		

表 3-3(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態（供用状態）（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	許容応力状態	荷重の組合せ
原子炉本体	炉心支持 構造物	炉心シュラウド シュラウドサポート 上部格子板 炉心支持板 燃料支持金具 制御棒案内管	S	炉心支持構造物	Ⅲ _A S	$D + P + M + S_d^*$
					Ⅳ _A S	$D + P_L + M_L + S_d^*$
					Ⅳ _A S	$D + P + M + S_s$

[記号の説明]

- D : 死荷重
- P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態Ⅳ，Ⅴは除く）における圧力荷重
- M : 地震及び死荷重以外で地震と組み合わせべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態Ⅳ，Ⅴは除く）で設備に作用している機械的荷重
- P_L : 地震と組合せが独立な運転状態Ⅳの事故の直後を除き，その後に生じている圧力荷重
- M_L : 地震と組合せが独立な運転状態Ⅳの事故の直後を除き，その後に生じている死荷重及び地震荷重以外の機械的荷重
- S_d^{*} : 弾性設計用地震動 S_dにより定まる地震力又は S クラス設備に適用される静的地震力
- S_s : 基準地震動 S_sにより定まる地震力

表 3-3(2) 荷重の組合せ及び許容応力状態（供用状態）（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	許容応力状態（供用状態）	荷重の組合せ
原子炉本体	炉心支持構造物	炉心シュラウド シュラウドサポート 上部格子板 炉心支持板 燃料支持金具 制御棒案内管	常設耐震 ／防止 常設／緩和	S	-	V _A S*2	D + P _{SAL} + M _{SAL} + S _d *3
							D + P _{SALL} + M _{SALL} + S _s *3
						E	D + P + M

[記号の説明]

- D : 死荷重
- P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態における圧力荷重
- M : 地震及び死荷重以外で地震と組み合わせべきプラントの運転状態で設備に作用している機械的荷重
- P_{SAL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））に作用する圧力荷重
- M_{SAL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））に作用する機械的荷重
- P_{SALL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））より更に長期的（長期（LL））に作用する圧力荷重
- M_{SALL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））より更に長期的（長期（LL））に作用する機械的荷重
- S_d : 弾性設計用地震動S_dにより定まる地震力
- S_s : 基準地震動S_sにより定まる地震力

注記 *1:「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備,「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2: V_ASとして, IV_ASの許容限界を用いる。

*3:「D + P + M + S_s」の評価に包絡されるため, 評価結果の記載を省略する。

注: 許容応力状態V_ASにおける荷重の組合せで, 重大事故後の状態における圧力荷重P_{SAL}, P_{SALL}は, 設計基準対象施設で想定される圧力及び機械的荷重と比べて小さい。また, 重大事故後の状態で設備に作用する機械荷重Mは発生しない。このことから, 許容応力状態V_ASにおける荷重の組合せによる評価は, 設計基準対象施設の評価に包絡される。

表3-3(3) 許容限界 (炉心支持構造物)

許容応力状態	許容限界 (ボルト等以外)					許容限界 (ボルト等)		
	一次一般膜応力強さ	一次一般膜応力強さ+一次曲げ応力強さ	特別な応力限界			一次一般膜応力強さ	一次一般膜応力強さ+一次曲げ応力強さ	一次+二次応力強さ
			純せん断応力	支圧応力	ねじり応力			
III _A S	$1.5 \cdot S_m$ ^{*1}	左欄の1.5倍の値 ^{*1}	$0.9 \cdot S_m$	$1.5 \cdot S_y$ ($2.25 \cdot S_y$) ^{*3}	$1.2 \cdot S_m$	$1.5 \cdot S_m$ ^{*1}	左欄の1.5倍の値 ^{*1}	—
IV _A S	$2/3 \cdot S_u$ ^{*2}	左欄の1.5倍の値 ^{*2}	$1.2 \cdot S_m$	$2 \cdot S_y$ ($3 \cdot S_y$) ^{*3}	$1.6 \cdot S_m$	$2/3 \cdot S_u$ ^{*2}	左欄の1.5倍の値 ^{*2}	—
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)	ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 $2/3 \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の小さい方。							

注記 *1: 設計・建設規格 CSS-3160(2)の崩壊荷重の下限に基づく評価を適用する場合は、この限りではない。
 *2: 設計・建設規格 CSS-3160(3)の崩壊荷重の下限に基づく評価を適用する場合は、この限りではない。
 *3: ()内は、支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

表 3-4(1) 炉心支持構造物用材料の許容限界

(単位：MPa)

応力分類		一次一般膜応力強さ (P _m)		
状態		許容応力状態Ⅲ _A S	許容応力状態Ⅳ _A S	供用状態E
温度(°C)				
オーステナイト系 ステンレス鋼及び 高ニッケル合金	SUS304	172	260	260
	SUS304TP			
	SUS304L	145	232	232
	SCS13A	172	248	248
	NCF600	246	334	334
許容応力強さの算出式		$1.5 \cdot S_m$	Min ($2.4 \cdot S_m, 2/3 \cdot S_u$)	Min ($2.4 \cdot S_m, 2/3 \cdot S_u$)

表 3-4(2) 炉心支持構造物用材料の許容限界

(単位：MPa)

応力分類		一次一般膜応力強さ＋一次曲げ応力強さ (P _m + P _b)		
状態		許容応力状態Ⅲ _A S	許容応力状態Ⅳ _A S	供用状態E
温度(°C)				
オーステナイト系 ステンレス鋼及び 高ニッケル合金	SUS304	258	391	391
	SUS304TP			
	SUS304L	218	348	348
	SCS13A	258	372	372
	NCF600	369	501	501
許容応力強さの算出式		2.25 · S _m	Min (3.6 · S _m , S _u)	Min (3.6 · S _m , S _u)

表 3-4(3) 炉心支持構造物用材料の許容限界

(単位：MPa)

応力分類		支圧応力		
状態		許容応力状態Ⅲ _A S	許容応力状態Ⅳ _A S	供用状態E
温度(°C)				
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304L	163	217	217
許容応力の算出式		$1.5 \cdot S_y$	$2 \cdot S_y$	$2 \cdot S_y$

表 4-1(1) 外荷重

炉心シュラウド外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	鉛直力	水平力	モーメント
			V (kN)	H (kN)	M (kN・m)
L04	死荷重	A			
		B			
		C			
		D			
		E			
		F			
		G			
L14	地震荷重 S_d^*	A			
		B			
		C			
		D			
		E			
		F			
		G			
L16	地震荷重 S_s	A			
		B			
		C			
		D			
		E			
		F			
		G			

注：V，H及びMは，A～Gの各荷重作用点に作用する。

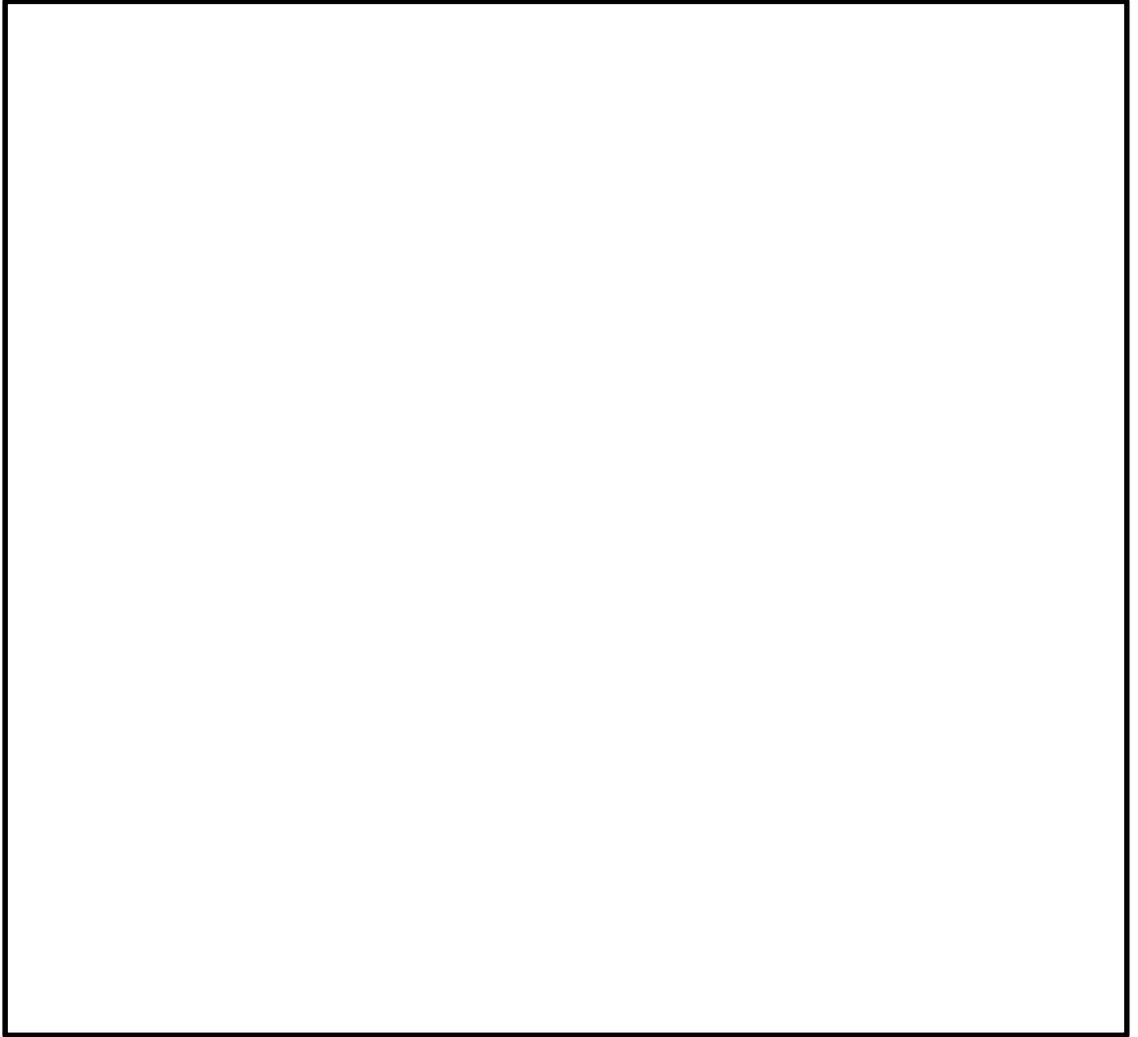


表 4-1(2) 外荷重

シュラウドサポート外荷重

記号	荷重名称	鉛直力		水平力	モーメント
		V ₁ (kN)	V ₂ (kN)	H (kN)	M (kN・m)
L04	死荷重				
L14	地震荷重 S _d *				
L16	地震荷重 S _s				

注 1 :

注 2 :

表 4-1(3) 外荷重

上部格子板外荷重

記号	荷重名称	鉛直力*1	水平力*2
		V (kN)	H (kN)
L04	死荷重		
L14	地震荷重 S_d^*		
L16	地震荷重 S_s		

注記 *1 :

*2 :

表 4-1(4) 外荷重

炉心支持板外荷重

記号	荷重名称	鉛直力		水平力*3
		V ₁ (N) *1	V ₂ (N) *2	H (kN)
L04	死荷重			
L14	地震荷重 S _d *			
L16	地震荷重 S _s			

注記 *1
*2
*3

表 4-1(5) 外荷重

燃料支持金具外荷重

記号	荷重名称	荷重*1 作用点	鉛直力	水平力
			V (kN) *2	H (kN) *2
L04	死荷重			
L14	地震荷重 S _d *			
L16	地震荷重 S _s			

注記 *1: 荷重作用点Aは中央燃料支持金具を示し, 荷重作用点Bは
周辺燃料支持金具を示す。

*2

注

表 4-1(6) 外荷重

制御棒案内管外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	鉛直力	水平力	モーメント
			V (kN) *	H (kN) *	M (kN・m) *
L04	死荷重	A			
		B			
L14	地震荷重 S_d^*	A			
		B			
L16	地震荷重 S_s	A			
		B			

注記 * :

注 :



表 4-2 荷重の組合せ

状 態	荷重の組合せ	応力評価
許容応力状態Ⅲ _A S	L02+L04+L14	P_m $P_m + P_b$
許容応力状態Ⅳ _A S	L02+L04+L16	P_m $P_m + P_b$
供用状態E	L02+L04	P_m $P_m + P_b$

表 5-1 応力の分類

炉心支持 構造物の要素	位 置	荷重の種類	応力の分類	
胴	全胴部の任意断面	外荷重, モーメント 又は圧力差	全断面について平均した 一般膜応力, 断面に垂直 な応力成分	P_m
はり又は板	全般	外荷重, モーメント 又は圧力差	全断面について平均した 一般膜応力, 断面に垂直 な応力成分 曲げ応力	P_m P_b

注：

P_m : 圧力差又は機械的荷重によって生じる膜応力であって、構造上の不連続性及び局部的形状の変化によって生じる膜応力は除く。

ただし、実際の応力評価では、応力評価面を構造上の不連続部にとることが多いので、内径、板厚がその応力評価面での値に等しい単純な殻を仮定し、シェル理論又ははり理論を用いて計算した応力を、その応力評価面における P_m とする。

P_b : 外力、内力及びモーメントに対して、単純な平衡の法則を満足する曲げ応力をいう。

添付1 溶接部の継手効率

炉心支持構造物の主な溶接部の継手効率は、設計・建設規格 CSS-3150 に従い、付表-1 のとおりに定められる。

付表-1 溶接部の継手効率

継手の箇所	継手の分類	継手の種類	検査の種類*	継手効率
炉心シュラウド	胴の長手継手			
	胴の周継手			
	胴とリングの周継手			
	リングセクタ同士の継手			
炉心シュラウドとシュラウドサポートシリンダの溶接継手	胴と胴の周継手			
シュラウドサポート	シリンダの長手継手			
	プレートとプレートの継手			
	シリンダとプレートの継手			
	プレートと原子炉圧力容器の周継手			
	シリンダとレグの継手			
	レグと原子炉圧力容器の継手			
炉心支持板	板と板の継手			
	胴の長手継手			
	胴と板の周継手			
	胴と補強ビームの継手			
	板と補強ビームの継手			
燃料支持金具	周辺燃料支持金具と炉心支持板			
制御棒案内管	胴の長手継手			
	胴の周継手			
	胴とベースの周継手			

注記 * : 検査の種類を示す記号は次のとおりである。

- P T + R T : 設計・建設規格 CSS-3150 に規定する A の検査
- P P T : 設計・建設規格 CSS-3150 に規定する C の検査
- R P T + F P T : 設計・建設規格 CSS-3150 に規定する D の検査
- P T : 設計・建設規格 CSS-3150 に規定する E の検査
- V T : 設計・建設規格 CSS-3150 に規定する F の検査

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-856 改2
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-3-4-4-1 原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針

目次

1.	概要	1
1.1	一般事項	1
1.2	構造の説明	1
2.	記号の説明	3
3.	計算条件	4
3.1	適用基準	4
3.2	評価対象箇所	4
3.3	形状及び寸法	5
3.4	物性値	5
3.4.1	材料の物性値	5
3.5	荷重の組合せ及び許容応力状態（供用状態）	5
3.6	許容限界	5
3.7	溶接部の継手効率	5
4.	荷重条件	6
4.1	設計条件	6
4.2	運転条件	6
4.2.1	運転状態Ⅰ及びⅡ	6
4.2.2	運転状態Ⅲ	7
4.2.3	運転状態Ⅳ	7
4.3	重大事故等時の条件	7
4.4	外荷重の条件	7
4.4.1	死荷重	7
4.4.2	機械的荷重	7
4.4.3	地震荷重	7
4.5	荷重の組合せと応力評価	8
5.	応力解析の手順	9
5.1	解析手順の概要	9
5.2	荷重の選定	9
5.3	応力計算と応力の分類	9
5.3.1	応力計算の方法	9
5.3.2	応力計算に使用する解析コード	9
5.3.3	応力の分類	9
5.4	応力の評価	10
5.4.1	主応力	10
5.4.2	応力強さ	10
5.4.3	一次応力強さ	10

5.5	特別な評価	10
5.5.1	純せん断応力の評価	10
5.6	極限解析による評価	10
5.6.1	極限解析の方法	10
5.6.2	極限解析に使用する解析コード	11
6.	解析及び評価結果の添付	12
6.1	応力評価結果	12
7.	引用文献	13
添付 1	溶接部の継手効率	41

図表目次

図 3-1	全体断面図	14
図 4-1	原子炉压力容器内部構造物の各運転状態における差圧	15
図 4-2	原子炉压力容器内部構造物の運転条件	16
図 5-1	応力解析の手順	26
表 1-1	原子炉压力容器内部構造物の構造計画	2
表 3-1	材料の分類	27
表 3-2	応力計算に使用する材料の物性値	28
表 3-3	極限解析による評価に使用する材料の物性値	29
表 3-4	荷重の組合せ及び許容応力状態 (供用状態), 許容限界	30
表 3-5	原子炉压力容器内部構造物用材料の許容限界	33
表 4-1	外荷重	36
表 4-2	荷重の組合せ	39
表 5-1	応力の分類	40

1. 概要

1.1 一般事項

本書は、**添付書類**「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉圧力容器内部構造物に関する応力解析の方針を述べるものである。

原子炉圧力容器内部構造物は、設計基準対象施設においては耐震Sクラスに分類される。

下記の機器は、重大事故等対処設備に該当し、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類され、その他の機器は重大事故等対処設備に該当しない。

以下、原子炉圧力容器内部構造物の耐震評価及び重大事故等時における強度評価について記載する。

【常設耐震重要重大事故防止設備】

- ・ジェットポンプ
- ・高圧炉心スプレイスパージャ
- ・高圧炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）
- ・差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉圧力容器内部）

【常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備】

- ・低圧炉心スプレイスパージャ
- ・残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）
- ・低圧炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）

注1：本書に記載していない特別な内容がある場合は、各計算書に示す。

注2：図表は、原則として巻末に示す。

1.2 構造の説明

原子炉圧力容器内部構造物の構造計画を表1-1に示す。

なお、原子炉圧力容器内部構造物は、下記の機器により構成される。

- (1) 蒸気乾燥器
- (2) 気水分離器及びスタンドパイプ
- (3) シュラウドヘッド
- (4) ジェットポンプ
- (5) 給水スパージャ
- (6) 高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ
- (7) 残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）
- (8) 高圧及び低圧炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）
- (9) 差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉圧力容器内部）
- (10) 中性子計測案内管

表 1-1 原子炉圧力容器内部構造物の構造計画

計画の概要		概略構造図
支持構造	主体構造	
<p>蒸気乾燥器，給水スパージャ，高圧及び低圧炉心スプレイ配管は，原子炉圧力容器内部に取り付けられたブラケットにより支持されている。</p> <p>また，気水分離器及びスタンドパイプはシュラウドヘッドに溶接により接続され，シュラウドヘッドは炉心シュラウド上にボルトによりフランジ接続される。</p>	<p>原子炉圧力容器内部構造物は蒸気乾燥器，気水分離器及びスタンドパイプ，シュラウドヘッド，ジェットポンプ，給水スパージャ，高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ，残留熱除去系配管，高圧及び低圧炉心スプレイ配管，差圧検出・ほう酸水注入管，中性子計測案内管により構成される。</p>	

2. 記号の説明

本書及び各計算書において、以下の記号を使用する。ただし、本書添付及び各計算書中に別途記載ある場合は、この限りでない。

なお、各計算書における記号の字体及び大きさについては、本書と異なる場合がある。

計算書の記号	記号の説明	単位
E	縦弾性係数	MPa
F _L	軸力	N
F _S	せん断力	N
H	水平力	N
M	モーメント	N・mm
P _b	一次曲げ応力	MPa
P _m	一次一般膜応力	MPa
S _d *	弾性設計用地震動 S _d により定まる地震力又は静的地震力	—
S _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	—
S ₁₂	主応力差 $\sigma_1 - \sigma_2$	MPa
S ₂₃	主応力差 $\sigma_2 - \sigma_3$	MPa
S ₃₁	主応力差 $\sigma_3 - \sigma_1$	MPa
S _m	設計応力強さ	MPa
S _u	設計引張強さ	MPa
S _y	設計降伏点	MPa
T	ねじりモーメント	N・mm
V	鉛直力	N
η	溶接部の継手効率	—
ν	ポアソン比	—
σ_1	主応力	MPa
σ_2	主応力	MPa
σ_3	主応力	MPa
σ_l	軸方向応力	MPa
σ_r	半径方向応力	MPa
σ_t	周方向応力	MPa
τ_{lr}	せん断応力	MPa
τ_{rt}	せん断応力	MPa
τ_{tl}	せん断応力	MPa
ⅢAS	設計・建設規格の供用状態C相当の許容応力を基準として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態	—
ⅣAS	設計・建設規格の供用状態D相当の許容応力を基準として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態	—
VAS	運転状態V相当の応力評価を行う許容応力を基本として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態	—

3. 計算条件

3.1 適用基準

発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））J S M E S N C 1 - 2005/2007）（日本機械学会 2007年）（以下「設計・建設規格」という。）及び原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補 - 1984）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59年）を適用する。

注：本書及び各計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格 ○○○-△△△△(◇)a. (a)」として示す。

3.2 評価対象箇所

新規制対応工認対象となる設計用地震力及び重大事故等時に対する応力評価の対象箇所は、次のとおりである。（図 3-1 参照）

	機器名称	設計用地震力に対する 応力評価	重大事故等時に対する 応力評価
(1)	蒸気乾燥器	○	×*
(2)	気水分離器及びスタンドパイプ	○	×*
(3)	シュラウドヘッド	○	×*
(4)	ジェットポンプ	○	○
(5)	給水スパーージャ	○	×
(6)	高圧及び低圧炉心スプレイスパーージャ	○	○
(7)	残留熱除去系配管 （原子炉压力容器内部）	○	○
(8)	高圧及び低圧炉心スプレイ配管 （原子炉压力容器内部）	○	○
(9)	差圧検出・ほう酸水注入管 （原子炉压力容器内部）	○	○
(10)	中性子計測案内管	○	×*

注：「○」は評価対象、「×」は評価対象外を示す。

注記 *：原子炉冷却材の流路機能がないため、評価対象外とする。

3.3 形状及び寸法

各部の形状及び寸法は、各計算書に示す。

3.4 物性値

応力計算及び極限解析による評価に使用する材料の物性値は、以下のとおりである。

3.4.1 材料の物性値

材料の物性値は、次のように定める。

- (1) 縦弾性係数 E は、設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1及び表2に定められたものによる。
- (2) 材料は、表3-1に従って分類する。
主な温度における材料の物性値を表3-2に示す。
極限解析による評価に使用する物性値を表3-3に示す。

3.5 荷重の組合せ及び許容応力状態（供用状態）

原子炉压力容器内部構造物の評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態（供用状態）は、表3-4に示すとおりである。また、各許容応力状態（供用状態）で考慮する荷重は、4章に示すとおりである。

なお、本書及び各計算書において、設計・建設規格 GNR-2120(1)の規定による最高使用圧力（供用状態Aを定義する運転状態において機器が受ける最高の圧力以上の圧力であって、設計上定めるものをいう。）を「設計差圧」と呼ぶ。（図4-1参照）

3.6 許容限界

- (1) 設計応力強さ S_m 、設計降伏点 S_y 及び設計引張強さ S_u は、それぞれ設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1、表8及び表9に定められたものを使用する。
- (2) 許容応力状態ⅢA S 及び許容応力状態ⅣA S の一次応力強さの評価には、各運転状態における流体の最高温度（運転状態Ⅰ及びⅡ °C）に対する許容限界を用いる。供用状態E*の一次応力強さの評価には、運転状態Ⅴにおける評価温度条件 °C）に対する許容限界を用いる。
- (3) 原子炉压力容器内部構造物の各運転状態の応力評価に用いる許容限界は、設計・建設規格 CSS-3110により表3-5に示すとおりである。

注記 *：供用状態Eとは、重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）であり、供用状態Dを超える状態である。許容限界の算出式は供用状態Dと同様とする。

3.7 溶接部の継手効率

- (1) 溶接部の継手効率は、継手の種類と分類及び継手に適用する検査の種類により、設計・建設規格 CSS-3150に従って定める。

- (2) 溶接部の許容限界は、表 3-5 に定める許容限界に継手効率を乗じたものである。
溶接部の継手効率を添付 1 に示す。

4. 荷重条件

原子炉圧力容器内部構造物は、以下の荷重条件に耐えるように設計する。
各機器の応力解析には、本章に示す荷重を考慮する。

4.1 設計条件

原子炉圧力容器の最高使用圧力 : 8.62 MPa
設計差圧 : 図 4-1 に示す。
最高使用温度 : 302 °C

4.2 運転条件

運転条件及び記号は、次のとおりである。また、これらの記号を解析及び評価に用いる場合において、同一事象内に複数の解析時点がある場合は記号に小番号を付して使用する。

[例 C03-01, C03-02]

なお、各計算書においては、{ }内の名称を用いる。

計算書では以下に示す運転条件のうち、一次応力強さの評価については、各供用状態（許容応力状態）を定義する各運転状態のうち、最も厳しい運転条件について選定する。

4.2.1 運転状態 I 及び II

(1) ボルト締付け	{ボルト締付け}	[C01]
(2) 耐圧試験（最高使用圧力以下）	{耐圧試験最高使用圧力以下}	[C02]
(3) 起動（昇温）	{起動昇温}	[C03]
(4) 起動（タービン起動）	{起動タービン起動}	[C04]
(5) 夜間低出力運転（出力 75 %）	{夜間低出力運転出力 75 %}	[C05]
(6) 週末低出力運転（出力 50 %）	{週末低出力運転出力 50 %}	[C06]
(7) 制御棒パターン変更	{制御棒パターン変更}	[C07]
(8) 給水加熱機能喪失（発電機トリップ）	{発電機トリップ}	[C08]
(9) 給水加熱機能喪失（給水加熱器部分バイパス）	{給水加熱器部分バイパス}	[C09]
(10) スクラム（タービントリップ）	{スクラムタービントリップ}	[C10]
(11) スクラム（その他のスクラム）	{スクラムその他のスクラム}	[C11]
(12) 定格出力運転	{定格出力運転}	[C12]
(13) 停止（タービン停止）	{停止タービン停止}	[C13]
(14) 停止（高温待機）	{停止高温待機}	[C14]
(15) 停止（冷却）	{停止冷却}	[C15]
(16) 停止（容器満水）	{停止容器満水}	[C16]
(17) 停止（満水後冷却）	{停止満水後冷却}	[C17]

(18) ボルト取外し	{ボルト取外し}	[C18]
(19) 燃料交換	{燃料交換}	[C19]
(20) スクラム(原子炉給水ポンプ停止)	{スクラム原子炉給水ポンプ停止}	[C20]
(21) スクラム(逃がし安全弁誤作動)	{スクラム逃がし安全弁誤作動}	[C21]

4.2.2 運転状態Ⅲ

(1) スクラム(過大圧力)	{スクラム過大圧力}	[C22]
(2) 冷却材再循環系仕切弁誤作動(冷状態)	{冷再循環系仕切弁誤作動}	[C23]
(3) 冷却材再循環ポンプ誤起動(冷状態)	{冷再循環ポンプ誤起動}	[C24]

4.2.3 運転状態Ⅳ

(1) 冷却材喪失事故	{冷却材喪失事故}	[C25]
-------------	-----------	-------

各運転条件における原子炉圧力容器内部構造物の周囲の流体の温度、圧力の変化及びその繰返し回数を図 4-2 に示す。

4.3 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件は以下のとおりである。

温度条件：
 圧力条件：
 差圧条件：



4.4 外荷重の条件

4.4.1 死荷重

荷重作用点において機器の自重により生じる荷重とし表 4-1 に示す。

なお、表 4-1 に記載のない機器の荷重については各計算書において示す。

4.4.2 機械的荷重

原子炉圧力容器内部構造物に作用する死荷重及び地震荷重以外の機械的荷重には流体荷重があるが、重大事故後の状態で変化することはない。

なお、流体荷重がある機器の荷重については各計算書に示す。

4.4.3 地震荷重

原子炉圧力容器内部構造物に加わる地震荷重については、添付資料「V-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づくものとし、表 4-1 に地震荷重を示す。

なお、表 4-1 に記載のない機器の荷重については各計算書において示す。

4.5 荷重の組合せと応力評価

荷重の組合せと応力評価項目の対応を表 4-2 に示す。表 4-2 及び各計算書において、荷重の種類と記号は以下のとおりである。

なお、荷重の組合せについては各機器ごとに適切に組み合わせる。

荷重	記号
(1) 原子炉圧力容器の内圧	[L01]
(2) 差圧	[L02]
(3) 死荷重（機器の自重により生じる荷重）	[L04]
(4) 活荷重（流体反力）	[L08]
(5) 配管又は機器の地震時の慣性力による地震荷重 S_d^* （一次荷重）	[L14]
(6) 配管又は機器の地震時の慣性力による地震荷重 S_s （一次荷重）	[L16]

注：L08は、L04として考慮する。

5. 応力解析の手順

応力解析の手順について述べる。

5.1 解析手順の概要

解析手順の概要を図5-1に示す。本図において、差圧による応力とその他の荷重による応力の計算で考慮する荷重を「機械荷重」という。

5.2 荷重の選定

応力解析においては、4章に示した荷重条件のうちから、その部分に作用する荷重を選定して計算を行う。それぞれの部分について考慮した荷重を表4-1に示す。

5.3 応力計算と応力の分類

5.3.1 応力計算の方法

- (1) 応力計算は、4.4.1項に示す荷重の種類ごとに行う。
- (2) 解析する箇所の形状は、次の方針に従ってモデル化する。
 - a. 形状及び材料の不連続を考慮して、応力計算のためのメッシュ分割を行う。
 - b. 溶接部は、溶接金属に相当する鋼材と同じ物性値及び機械的性質を用いる。
- (3) モデル図と使用する境界条件（拘束条件）は、各計算書に示す。

5.3.2 応力計算に使用する解析コード

解析コードは「ABAQUS」及び「MSC NASTRAN」を用いる。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要・MSC NASTRAN」及び「V-5-5 計算機プログラム（解析コード）の概要・ABAQUS」に示す。

5.3.3 応力の分類

応力の計算結果は、表5-1の応力の分類方法に従って分類して、各計算書に示す。

5.4 応力の評価

5.4.1 主応力

5.3節で計算された応力は、応力の分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求める。組合せ応力は、一般に σ_t 、 σ_l 、 σ_r 、 τ_{tl} 、 τ_{lr} 、 τ_{rt} の6成分をもつが、主応力 σ は、引用文献(1)の1・3・6項により、次式を満足する3根 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 として計算する。

$$\begin{aligned} & \sigma^3 - (\sigma_t + \sigma_l + \sigma_r) \cdot \sigma^2 + (\sigma_t \cdot \sigma_l + \sigma_l \cdot \sigma_r + \sigma_r \cdot \sigma_t - \tau_{tl}^2 \\ & - \tau_{lr}^2 - \tau_{rt}^2) \cdot \sigma - \sigma_t \cdot \sigma_l \cdot \sigma_r + \sigma_t \cdot \tau_{lr}^2 + \sigma_l \cdot \tau_{rt}^2 + \sigma_r \cdot \tau_{tl}^2 \\ & - 2 \cdot \tau_{tl} \cdot \tau_{lr} \cdot \tau_{rt} = 0 \end{aligned}$$

上式により主応力を求める。

5.4.2 応力強さ

以下の3つの主応力差の絶対値で最大のものを応力強さとする。

$$S_{12} = \sigma_1 - \sigma_2$$

$$S_{23} = \sigma_2 - \sigma_3$$

$$S_{31} = \sigma_3 - \sigma_1$$

5.4.3 一次応力強さ

許容応力状態Ⅲ_AS、許容応力状態Ⅳ_AS及び供用状態Eにおいて生じる一次一般膜応力及び一次一般膜＋一次曲げ応力の応力強さが、3.6節及び3.7節に示す許容限界を満足することを示す。

5.5 特別な評価

5.5.1 純せん断応力の評価

純せん断荷重を受ける部分は、設計・建設規格 CSS-3114により評価する。解析箇所を以下に示す。許容応力は、表3-5(3)に示し、評価方法は計算書に示す。

- (1) 蒸気乾燥器の耐震サポート

5.6 極限解析による評価

気水分離器及びスタンドパイプについては、許容応力状態Ⅲ_AS及び許容応力状態Ⅳ_ASに対して、設計・建設規格 CSS-3160に従い極限解析による評価を行う。

5.6.1 極限解析の方法

- (1) 極限解析は、有限要素法による弾塑性解析を用いて行う。
- (2) 解析する箇所の形状は、次の方針に従ってモデル化する。
 - a. 形状及び材料の不連続を考慮して、弾塑性解析のためのメッシュ分割を行う。
 - b. 溶接部は、溶接金属に相当する鋼材と同じ物性値及び機械的性質を用いる。
- (3) モデル図と使用する境界条件（拘束条件）は、計算書に示す。

5.6.2 極限解析に使用する解析コード

解析コードは「ABAQUS」を用いる。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-5 計算機プログラム(解析コード)の概要・ABAQUS」に示す。

6. 解析及び評価結果の添付

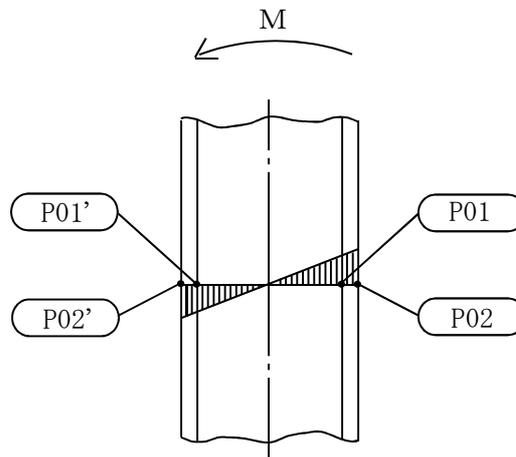
各計算書では、以下に示すように解析結果を添付する。

全応力評価点（面）について考慮した荷重ごとに応力を分類し、その結果を示す。また、応力評価点の選定に当たっては、各部分ごとに応力評価上厳しくなる評価点を、各部分を代表する評価点として選定する。

応力評価点番号は、計算書ごとに記号 P01 からの連番とする。奇数番号を内面の点、偶数番号を外面の点として、各計算書の形状・寸法・材料・応力評価点を示す図において定義する。

なお、軸対称モデルにおいて、非軸対称な外荷重による応力評価を行った場合、荷重の入力方位と応力評価点の方位の関係により応力に極大値と極小値が生じる。外荷重による応力が極大となる方位の応力評価点は〔例 P01〕と表し、極小となる方位の応力評価点には、プライム（'）を付けて〔例 P01'〕と表す。

一次応力の評価は、内外面の応力評価点を含む断面（応力評価面）について行う。



6.1 応力評価結果

- (1) 次の応力評価結果は、全応力評価点（面）について添付する。
 - a. 一次一般膜応力強さの評価のまとめ
 - b. 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ
- (2) 次の特別な評価は、対象となるすべての部位について評価し、この結果を記載する。
 - a. 純せん断応力
- (3) 極限解析による評価は、対象となるすべての部位について、結果を記載する。

7. 引用文献

文献番号は、本書及び各計算書において共通である。

- (1) 機械工学便覧 基礎編 $\alpha 3$ (日本機械学会)
- (2) Journal of Engineering for Industry, 「Effective Elastic Constants for Thick Perforated Plates with Square and Triangular Penetration Patterns」 (T. SLOT, W. J. O'DONNELL)

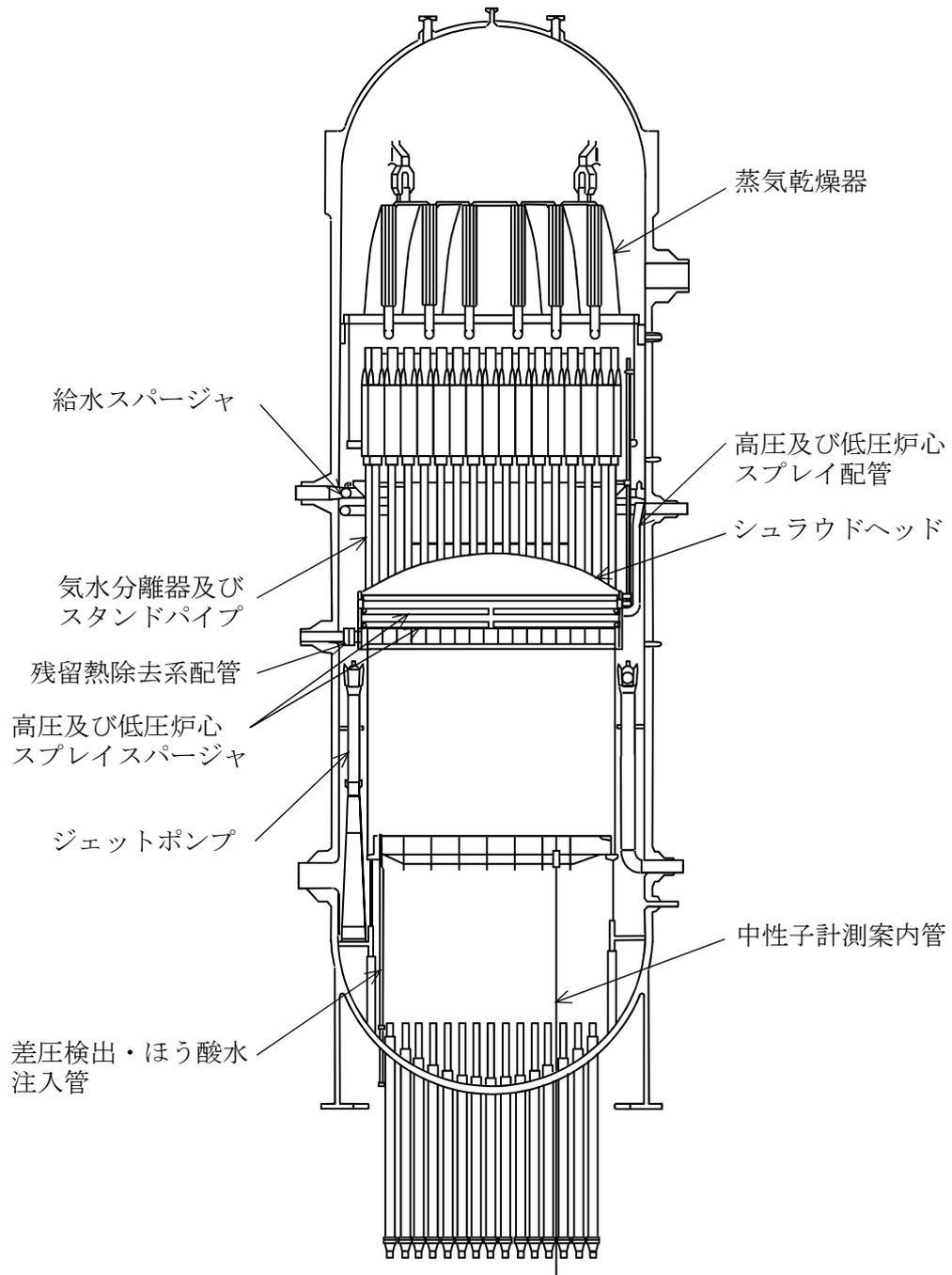
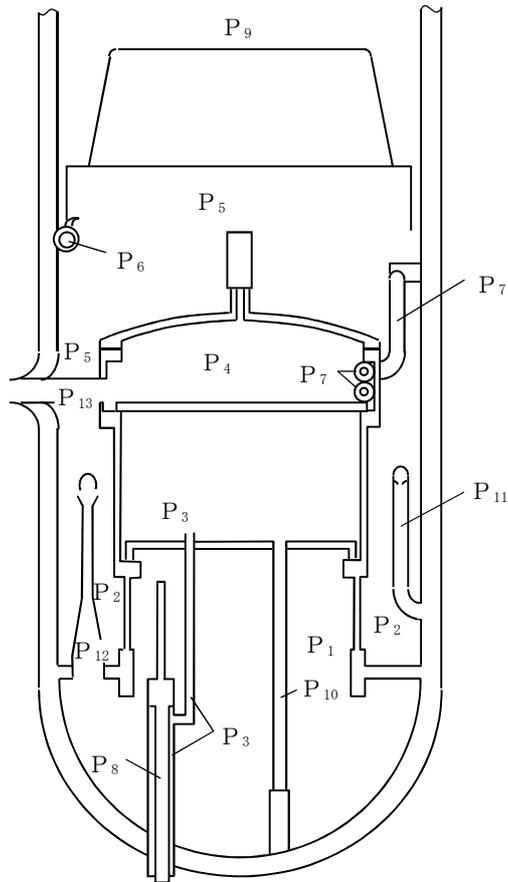


図 3-1 全体断面図



(単位：MPa)

部位		設計条件 (設計差圧)	運転状態 I, II	運転状態 III	運転状態 IV, V
蒸気乾燥器	$P_{59} = P_5 - P_9$				
気水分離器及び スタンドパイプ	$P_{45} = P_4 - P_5$				
シュラウドヘッド	$P_{45} = P_4 - P_5$				
ジェットポンプ	$P_{112} = P_{11} - P_2$				
	$P_{122} = P_{12} - P_2$				
給水スパージャ	$P_{65} = P_6 - P_5$				
高圧及び低圧炉心 スプレイスパージャ	$P_{74} = P_7 - P_4$				
残留熱除去系配管	$P_{135} = P_{13} - P_5$				
高圧及び低圧炉心 スプレイ配管	$P_{75} = P_7 - P_5$				
差圧検出・ほう酸水 注入管	$P_{13} = P_1 - P_3$				
	$P_{81} = P_8 - P_1$				
	$P_{83} = P_8 - P_3$				
中性子計測案内管	$P_{110} = P_1 - P_{10}$				

図 4-1 原子炉压力容器内部構造物の各運転状態における差圧

運転状態 運転条件	I 及び II																			III			IV				
	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25		
運転名称	ボルト締付け	耐圧試験 最高使用 圧力以下	起動 昇温	タービン 起動	夜間 低出力 運転 (出力 75%)	週末 低出力 運転 (出力 50%)	制御棒 パターン 変更	給水加熱機能喪失 発電機 トリップ	給水加熱 器部分 バイパス	スクラム タービン トリップ		他の スクラム	定格 出力 運転	タービン 停止	高温 待機	停止 冷却	容器 満水	満水後 冷却	ボルト 取外し	燃料 交換	スクラム 原子炉給水ポンプ停止		逃がし 安全弁 誤作動	過大圧力	冷却材 再循環系 仕切弁 誤作動 (冷状態)	冷却材 再循環 ポンプ 誤起動 (冷状態)	冷却材 喪失事故
回数																											
差圧 (MPa)																											
0.5																											
0.4																											
0.3																											
0.2																											
0.1																											
0.0																											

図4-2(1) 原子炉压力容器内部構造物の運転条件

運転状態		I 及び II																	III			IV									
運転条件		C01	C02	C03		C04	C05	C06	C07	C08		C09	C10		C11	C12	C13	C14	C15		C16	C17	C18	C19	C20		C21	C22	C23	C24	C25
運転名称		ボルト締付け	耐圧試験 最高使用 圧力以下	昇温	タービン 起動	夜間 低出力 運転 (出力 75%)	週末 低出力 運転 (出力 50%)	制御棒 パターン 変更	給水加熱 機能喪失 発電機 トリップ	給水加熱 器部分 バイパス	スクラム タービン トリップ	その他の スクラム	定格 出力 運転	タービン 停止	高温 待機	冷却	容器 満水	満水後 冷却	ボルト 取外し	燃料 交換	スクラム 原子炉給水ポンプ停止	逃がし 安全弁 誤作動	過大圧力	冷却材 再循環系 仕切弁 誤作動 (冷止能)	冷却材 再循環 ポンプ 誤起動 (冷止能)	冷却材 喪失事故					
回数																															
領域 A	圧力 (MPa)	300																													
	温度 (°C)	250																													
		200																													
		150																													
		100																													
		50																													
領域 B	水位	300																													
	温度 (°C)	250																													
	RPV頂部 フランジ	200																													
	定常水位	150																													
	低水位3	100																													
	低水位2 炉心	50																													
領域 C	RPV底部	0																													
	温度 (°C)	300																													
		250																													
		200																													
		150																													
		100																													

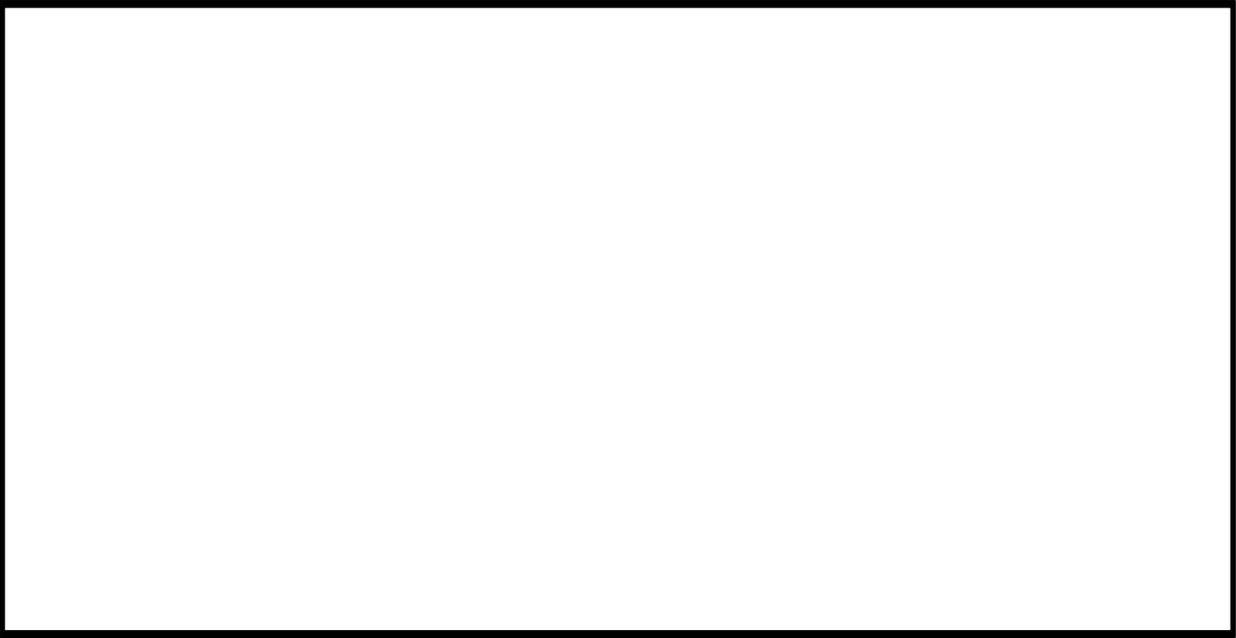
図4-2(2) 原子炉圧力容器内部構造物の運転条件

図 4-2(3) 原子炉压力容器内部構造物の運転条件 (続)

注記 *1
*2



注 1
注 2
注 3
注 4
注 5
注 6
注 7



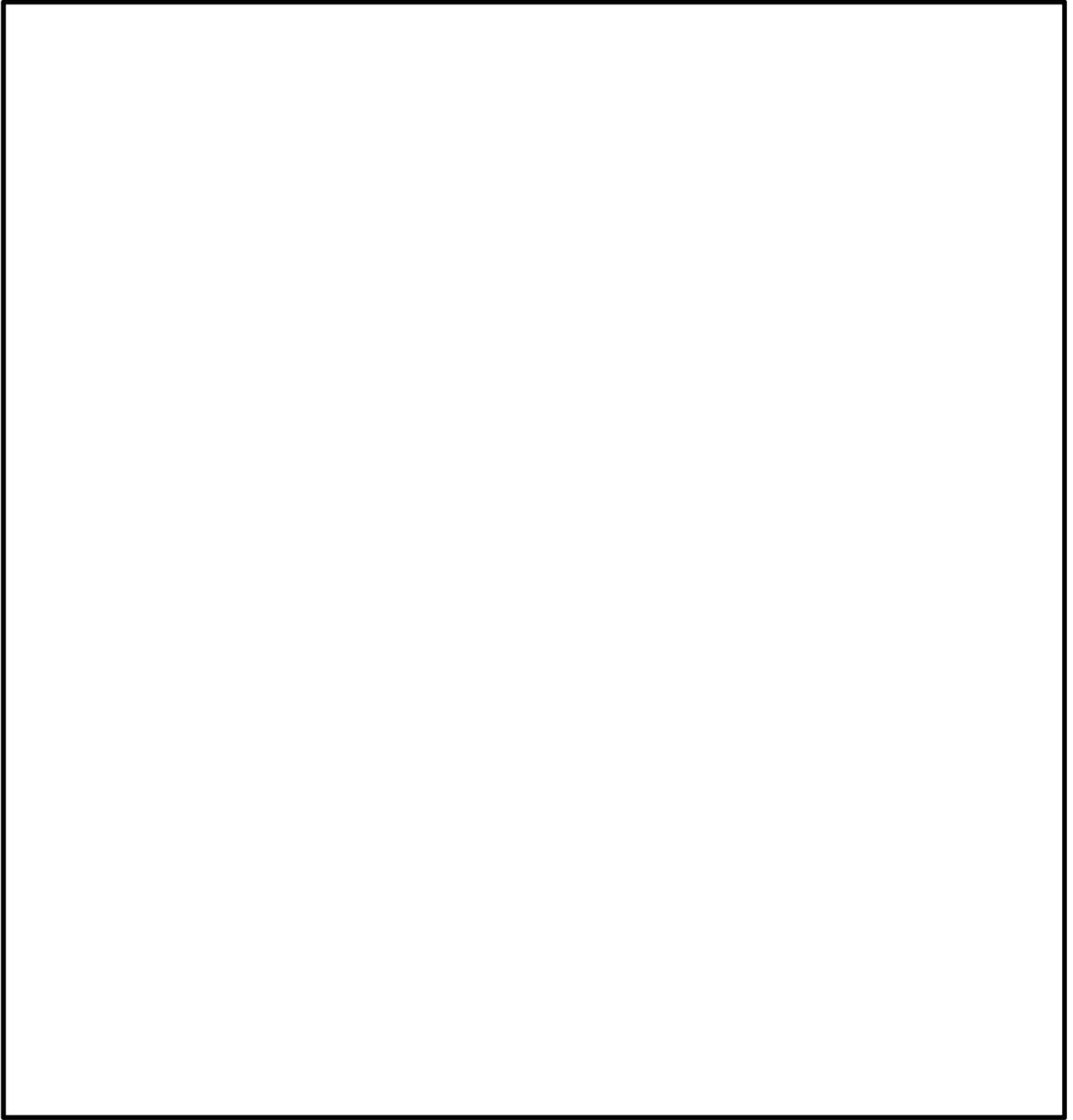
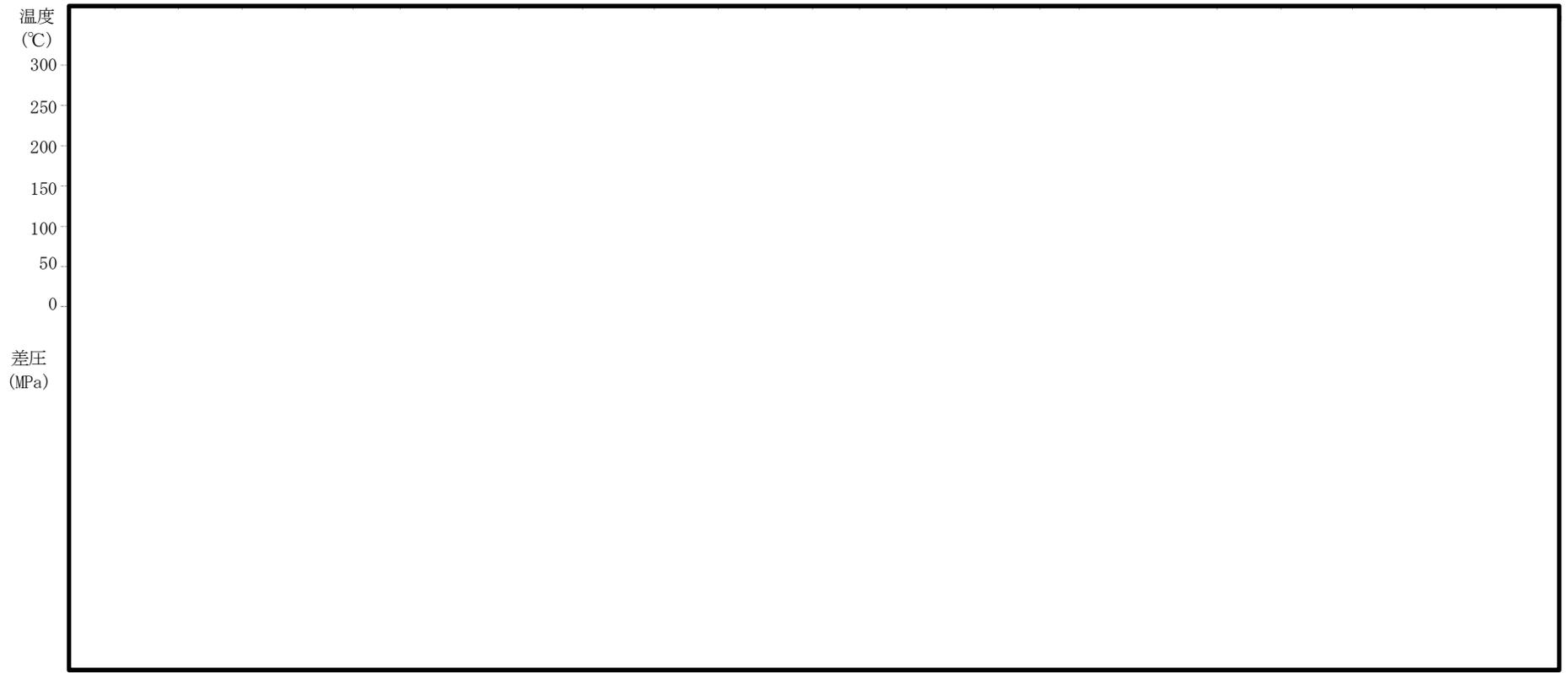


図 4-2(4) 原子炉压力容器内部構造物の運転条件
(原子炉压力容器内領域図)

運転条件 | C01 | C02 | C03 | C04 | C05 | C06 | C07 | C08 | C09 | C10 | C11 | C12 | C13 | C14 | C15 | C16 | C17 | C18 | C19 | C20 | C21 | C22 | C23 | C24 | C25



注記 *1
*2
*3

注

度

図 4-2(4) 原子炉压力容器内部構造物の運転条件 (ジェットポンプ)

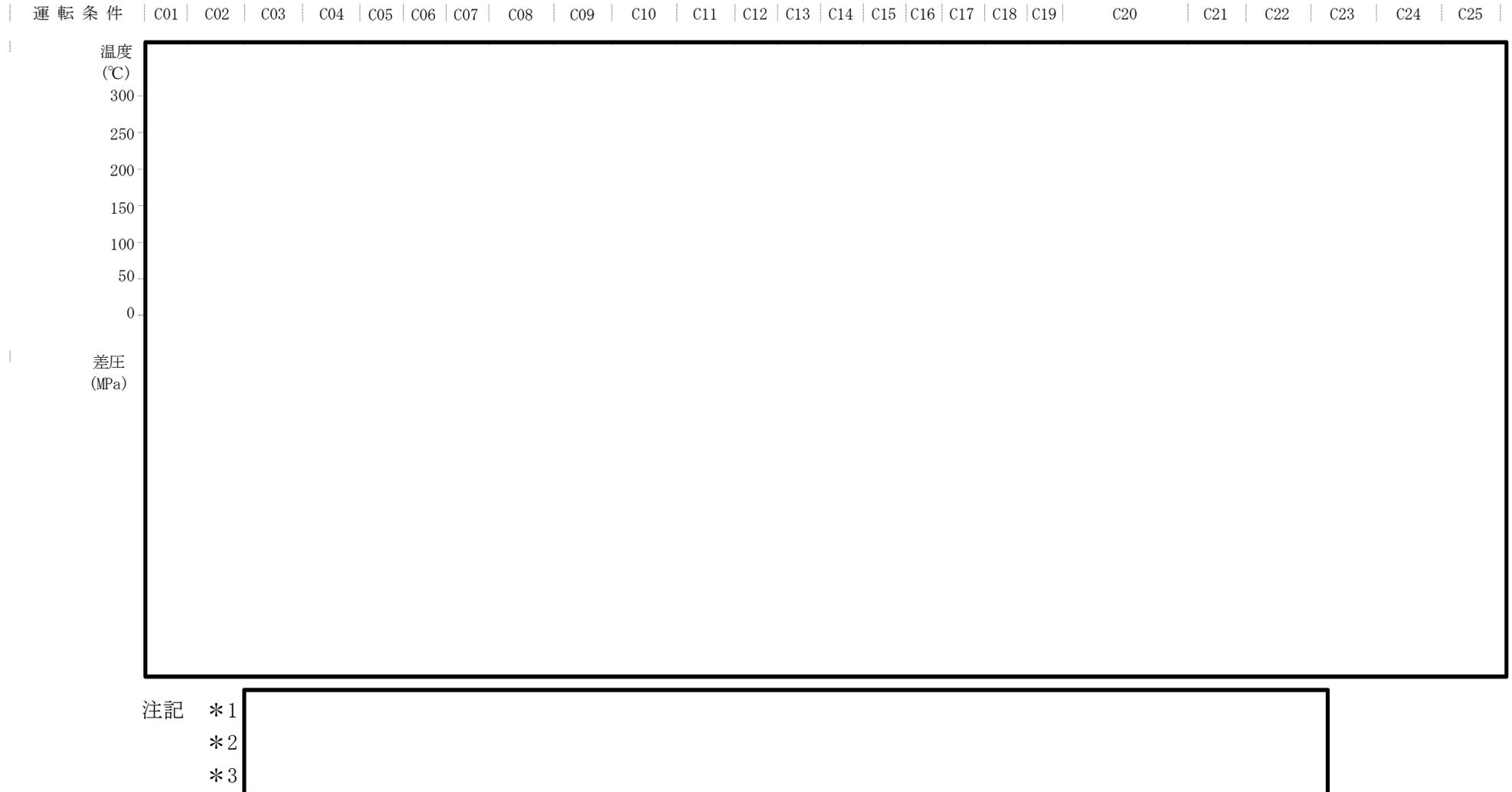
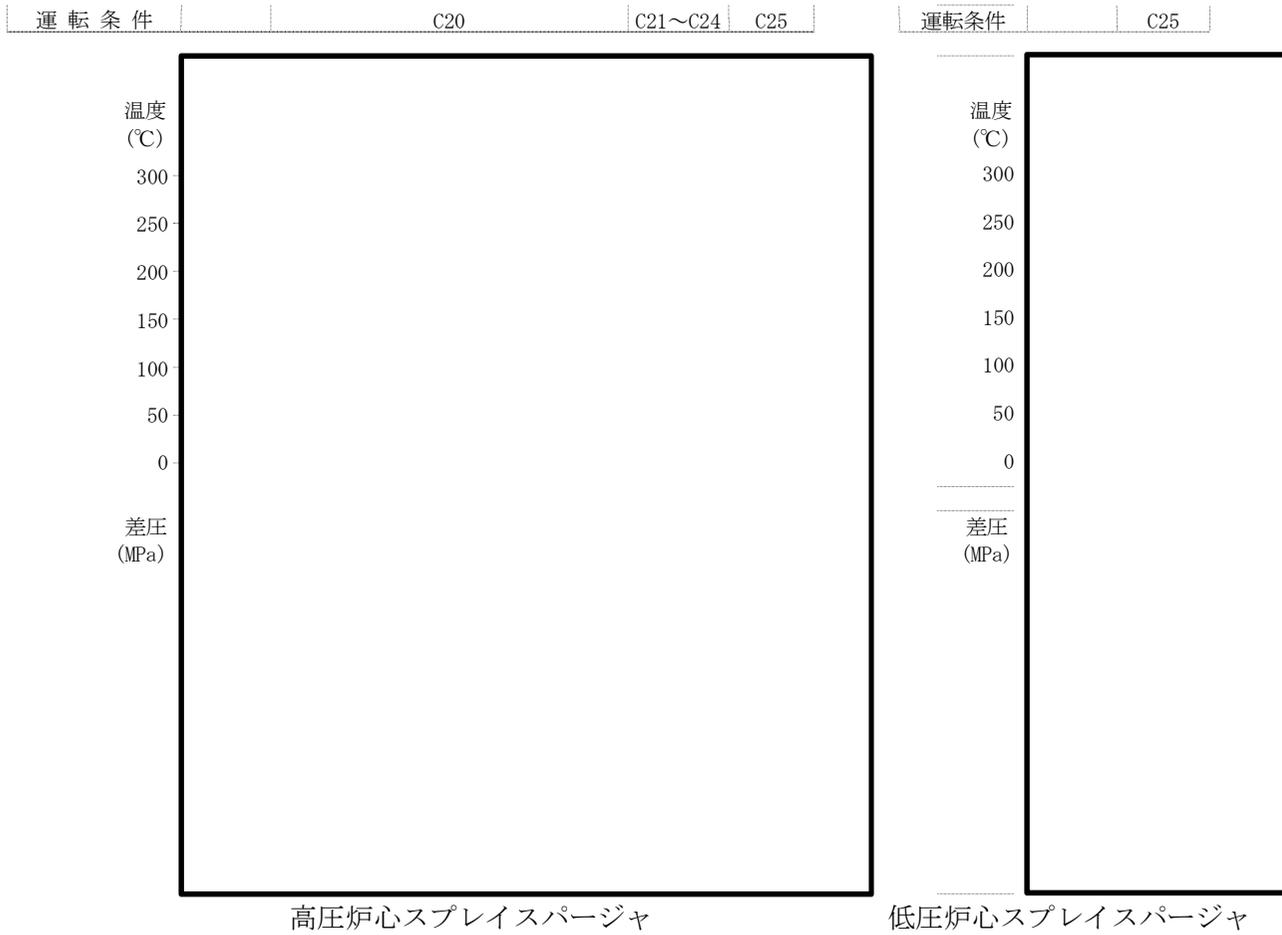


図 4-2(5) 原子炉压力容器内部構造物の運転条件 (給水スパーージャ)



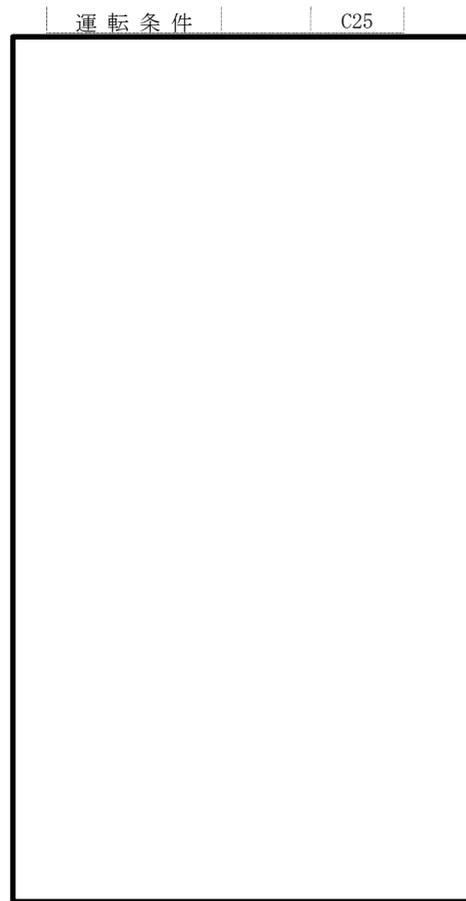
注記 *1 [Redacted]

*2 [Redacted]

注1 [Redacted]

注2 [Redacted]

図 4-2(6) 原子炉圧力容器内部構造物の運転条件 (高圧及び低圧炉心スプレイスパーチャ)



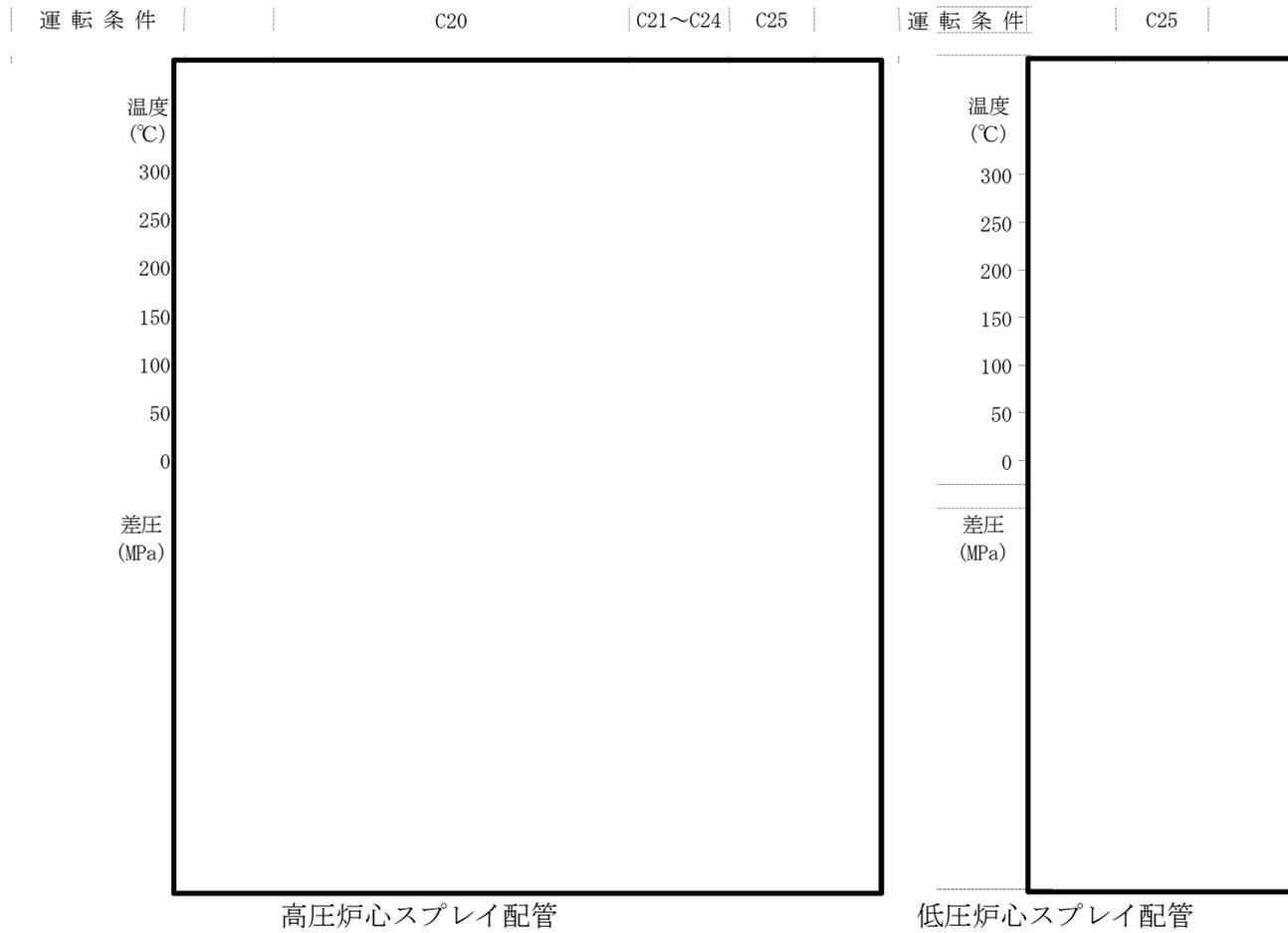
注記

注 1

注 2



図 4-2(7) 原子炉压力容器内部構造物の運転条件 (残留熱除去系配管)

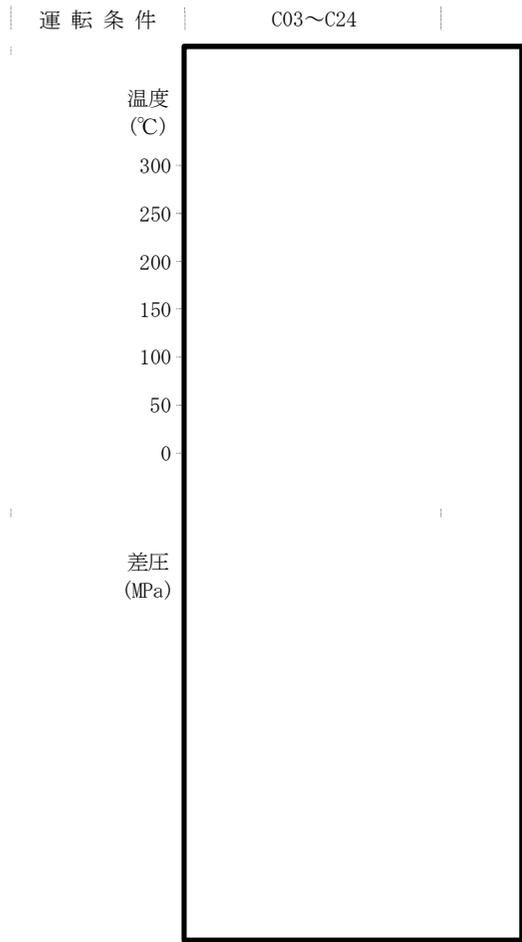


注記

注 1

注 2

図 4-2(8) 原子炉圧力容器内部構造物の運転条件 (高圧及び低圧炉心スプレイ配管)



注記
注1
注2
注3
注4

[Redacted area]

図 4-2(9) 原子炉压力容器内部構造物の運転条件 (差圧検出・ほう酸水注入管)

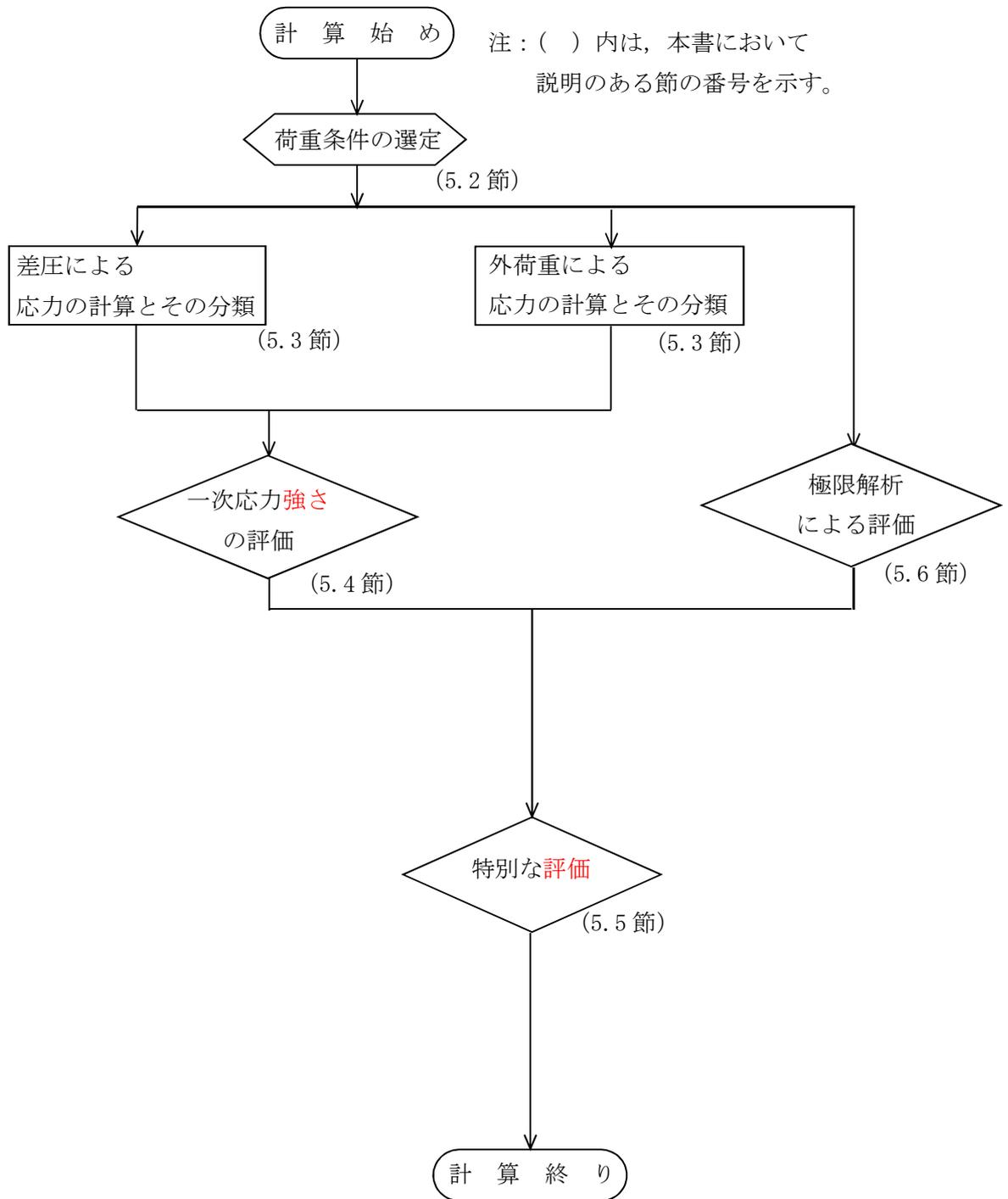


図 5-1 応力解析の手順

表 3-1 材料の分類

種類	使用材料		備考
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304 相当	[Redacted]	
	SUS304 相当	[Redacted]	
	SUS304TP 相当	[Redacted]	
	SUS304TP 相当	[Redacted]	
	SUS304TP 相当	[Redacted]	
	SUSF304 相当	[Redacted]	
	SUSF304 相当	[Redacted]	
	SUS304LTP 相当	[Redacted]	
	SUS316LTP		
高ニッケル合金	NCF600 相当	[Redacted]	
	NCF600 相当	[Redacted]	
	NCF600 相当	[Redacted]	

表 3-2 応力計算に使用する材料の物性値

材料	温度 (°C)	E × 10 ⁵ (MPa)	ν
SUS304	20		
SUS304TP	161		
SUSF304	302		
SUS304LTP			
NCF600	20		
	161		
	302		

表 3-3 極限解析による評価に使用する材料の物性値

材料	E ×10 ⁵ (MPa)	ν	降伏点 (MPa)	
			許容応力状態ⅢΔS	許容応力状態ⅣΔS
SUS304 SUS304TP	1.76	0.3	172	264
降伏点の算出式	—	—	1.5・S _m	Min (2.3・S _m , 0.7・S _u)

注：運転状態Ⅰ及びⅡの最高温度 °C) に対する物性値

表 3-4(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態（供用状態）（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	許容応力状態	荷重の組合せ
原子炉 本体	原子炉 圧力容器 内部 構造物	蒸気乾燥器* ¹ 気水分離器及びスタンドパイプ* ¹ シュラウドヘッド* ¹ ジェットポンプ* ¹ 給水スパージャ* ¹ 高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ* ¹ 残留熱除去系配管* ¹ 高圧及び低圧炉心スプレイ配管* ¹ 差圧検出・ほう酸水注入管* ¹ 中性子計測案内管* ¹	S	—	Ⅲ _A S	$D + P_D + M_D + S_d^*$
		Ⅳ _A S			$D + P_D + M_D + S_s$	

[記号の説明]

- D : 死荷重
- P_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重
- M_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた機械的荷重
- S_d^* : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又はSクラス設備に適用される静的地震力
- S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

注記 *1 : 炉心支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 3-4(2) 荷重の組合せ及び供用状態（許容応力状態）（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	許容応力状態 (供用状態)	荷重の組合せ
原子炉 本体	原子炉 压力容器 内部 構造物	ジェットポンプ*2	常設耐震/ 防止 常設/緩和	-	V _A S*3	D + P _{SAD} + M _{SAD} + S _s *4
		高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ*2 残留熱除去系配管*2 高圧及び低圧炉心スプレイ配管*2 差圧検出・ほう酸水注入管*2				

[記号の説明]

- D : 死荷重
- P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態における圧力荷重
- M : 地震及び死荷重以外で地震と組み合わせべきプラントの運転状態で設備に作用している機械的荷重
- P_{SAD} : 重大事故等時の状態（運転状態V）における運転状態等を考慮して当該設備に設計上定められた設計圧力による荷重
- M_{SAD} : 重大事故等時の状態（運転状態V）における運転状態等を考慮して当該設備に設計上定められた機械的荷重
- S_s : 基準地震動S_sにより定まる地震力

注記 *1:「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備,「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2: 炉心支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3: V_ASとして, IV_ASの許容限界を用いる。

*4:「D + P_D + M_D + S_s」の評価に包絡されるため, 評価結果の記載を省略する。

注: 許容応力状態V_ASにおける荷重の組合せで, 重大事故後の状態における圧力荷重P_{SAD}及びM_{SAD}は, 設計基準対象施設で想定される圧力及び機械的荷重と比べて小さい。また, 重大事故後の状態で設備に作用する機械荷重Mは発生しない。このことから, 許容応力状態V_ASにおける荷重の組合せによる評価は, 設計基準対象施設の評価に包絡される。

表 3-4(3) 許容限界 (原子炉圧力容器内部構造物)

許容応力状態	許容限界 (ボルト等以外)					許容限界 (ボルト等)		
	一次一般膜応力強さ	一次一般膜+ 一次曲げ応力 強さ	特別な応力限界			一次一般膜応力強さ	一次一般膜 +一次曲げ 応力強さ	一次+二 次応力強 さ
			純せん断 応力	支圧応力	ねじり 応力			
III _A S	$1.5 \cdot S_m^{*1}$	$\text{左欄の } 1.5 \text{ 倍の値}^{*1}$	$0.9 \cdot S_m$	$1.5 \cdot S_y^{*3}$ ($2.25 \cdot S_y$)	$1.2 \cdot S_m$	$1.5 \cdot S_m^{*1}$	$\text{左欄の } 1.5 \text{ 倍の値}^{*1}$	—
IV _A S	$2/3 \cdot S_u^{*2}$ ただし、オーステナ イト系ステンレス鋼 及び高ニッケル合金 については、 $2/3 \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の小さい方。	$\text{左欄の } 1.5 \text{ 倍の値}^{*2}$	$1.2 \cdot S_m$	$2 \cdot S_y^{*3}$ ($3 \cdot S_y$)	$1.6 \cdot S_m$	$2/3 \cdot S_u^{*2}$ ただし、オーステナ イト系ステンレス鋼 及び高ニッケル合金 については、 $2/3 \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の小さい方。	$\text{左欄の } 1.5 \text{ 倍の値}^{*2}$	—
V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限 界を用いる。)								

注記 *1: 設計・建設規格 CSS-3160(2)の崩壊荷重の下限に基づく評価を適用する場合は、この限りではない。
 *2: 設計・建設規格 CSS-3160(3)の崩壊荷重の下限に基づく評価を適用する場合は、この限りではない。
 *3: () 内は、支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

表 3-5(1) 原子炉圧力容器内部構造物用材料の許容限界

(単位：MPa)

応力分類		一次一般膜応力強さ (P _m)		
状態		許容応力状態Ⅲ _A S	許容応力状態Ⅳ _A S	供用状態E
温度 (°C)				
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304	172	260	260
	SUS304TP			
	SUSF304			
	SUS304LTP	145	232	232
	SUS316LTP	142	227	—
許容応力強さの算出式		$1.5 \cdot S_m$	Min ($2.4 \cdot S_m, 2/3 \cdot S_u$)	Min ($2.4 \cdot S_m, 2/3 \cdot S_u$)

表 3-5(2) 原子炉压力容器内部構造物用材料の許容限界

(単位：MPa)

応力分類		一次一般膜応力強さ + 一次曲げ応力強さ ($P_m + P_b$)		
状態		許容応力状態Ⅲ _A S	許容応力状態Ⅳ _A S	供用状態E
温度 (°C)				
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304	258	391	391
	SUS304TP SUSF304			
	SUS304LTP	218	348	348
	SUS316LTP	213	341	—
	許容応力強さの算出式		$2.25 \cdot S_m$	Min ($3.6 \cdot S_m, S_u$)

表 3-5(3) 原子炉压力容器内部構造物用材料の許容~~限界~~

(単位：MPa)

応力分類		純せん断応力		
		許容応力状態Ⅲ _A S	許容応力状態Ⅳ _A S	供用状態E
状態				
温度(°C)				
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304	103	137	137
許容応力の算出式		$0.9 \cdot S_m$	$1.2 \cdot S_m$	$1.2 \cdot S_m$

表 4-1(1) 外荷重

蒸気乾燥器外荷重

記号	荷重名称	鉛直力		水平力	
		全体に加わる荷重	最長の蒸気乾燥器ユニット列に加わる荷重	全体に加わる荷重	最長の蒸気乾燥器ユニット列に加わる荷重
		V ₁ (kN)	V ₂ (kN)	H ₁ (kN)	H ₂ (kN)
L04	死荷重				
L14	地震荷重 S d *				
L16	地震荷重 S s				

注 1

注 2

表 4-1(2) 外荷重

気水分離器及びスタンドパイプ外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	鉛直力	水平力	モーメント
			V (kN)	H (kN)	M* (kN・m)
L04	死荷重	A			
L14	地震荷重 S d *	A			
L16	地震荷重 S s	A			

注記 *

注

表 4-1(3) 外荷重

シュラウドヘッド外荷重

記号	荷重名称	鉛直力		水平力	モーメント
		V ₁ (kN)	V ₂ (kN)	H (kN)	M (kN・m)
L04	死荷重				
L14	地震荷重 S d *				
L16	地震荷重 S s				

注 1

注 2

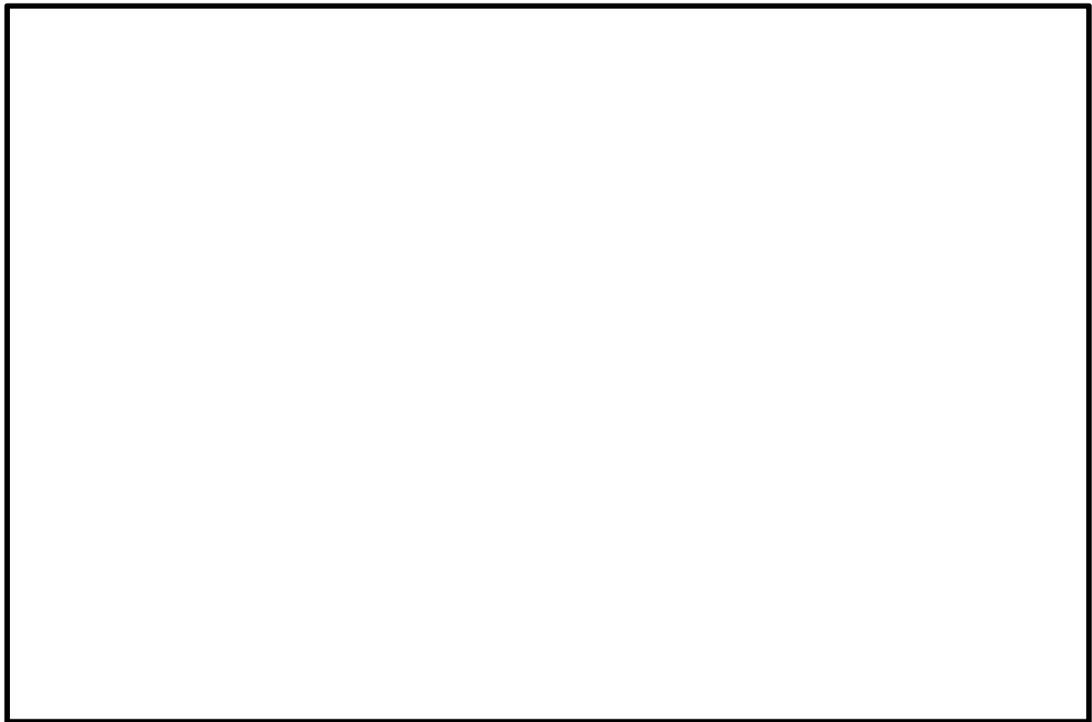


表 4-2 荷重の組合せ

条件	荷重の組合せ	応力評価
許容応力状態Ⅲ _A S	L02+L04+L14	P_m $P_m + P_b$ 極限解析
許容応力状態Ⅳ _A S	L02+L04+L16	P_m $P_m + P_b$ 極限解析
供用状態E	L02+L04	P_m $P_m + P_b$

表 5-1 応力の分類

原子炉压力容器 内部構造物の要素	位 置	荷重の種類	応力の分類	
管状構造物	不連続部より 遠い部分	圧力差	一般膜応力	P_m
		外荷重又はモー メント	全断面について平均した一般膜応力 曲げ応力	P_m P_b
	不連続部又 はその付近	外荷重又はモー メント	全断面について平均した一般膜応力 曲げ応力	P_m P_b
鏡板	全胴部の 任意断面	圧力差	全断面について平均した一般膜応 力，断面に垂直な応力成分	P_m
		外荷重又はモー メント	一般膜応力 曲げ応力	P_m P_b
はり又は板	全般	外荷重，モー メント又は圧 力差	全断面について平均した一般膜応 力，断面に垂直な応力成分 曲げ応力	P_m P_b

注：

P_m : 圧力差又は機械的荷重によって生じる膜応力であって，構造上の不連続性及び局部的形状の変化によって生じる膜応力は除く。

ただし，実際の応力評価では，応力評価面を，構造上の不連続部にとることが多いので，内径，板厚がその応力評価面での値に等しい単純な殻を仮定し，シェル理論又ははり理論を用いて計算した応力を，その応力評価面における P_m とする。

P_b : 外力，内力及びモーメントに対して，単純な平衡の法則を満足する曲げ応力をいう。

添付1 溶接部の継手効率

原子炉圧力容器内部構造物の主な溶接部の継手効率は、設計・建設規格 CSS-3150 に従い、
付表-1 のとおりに定められる。

付表-1

継手の箇所	継手の分類	継手の種類	検査の種類*	継手効率
蒸気乾燥器	リングとサポートの継手			
気水分離器及び スタンドパイプ	管と鏡板の周継手			
シュラウドヘッド	鏡板と胴の周継手			
	管と管の周継手			
ジェットポンプ	ライザの長手継手			
	ライザ下部の周継手			
	ディフューザ下部の 周継手			
	ライザブレースと原子炉 圧力容器内壁との継手			
給水スパージャ	レジューサとティーの 周継手			
	ティーとヘッダの周継手			
高圧及び低圧炉心 スプレイスパージャ	管端部の周継手			
	管とヘッダの周継手			
残留熱除去系配管	フランジネックとリング の周継手			
	サーマルスリーブとフラ ンジネックの周継手			
高圧及び低圧炉心 スプレイ配管	ヘッダと管の周継手			
	ヘッダとサーマル スリーブの周継手			
	管とスリーブの周継手			
差圧検出・ほう酸水 注入管	管と管の周継手			
	管とカップリングの周継 手			
	管とアダプタの周継手			
中性子計測案内管	管と管の周継手			

注記 * : 検査の種類を示す記号は次のとおりである。

R P T + F P T : 設計・建設規格 CSS-3150 に規定する D の検査
P T : 設計・建設規格 CSS-3150 に規定する E の検査
V T : 設計・建設規格 CSS-3150 に規定する F の検査

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-901 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-5-5-5-1 常設低圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、常設低圧代替注水系ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

常設低圧代替注水系ポンプは、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

常設低圧代替注水系ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形横軸ポンプ</p>	<p>(単位 : mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

常設低圧代替注水系ポンプの構造は横軸ポンプであるため、構造強度評価は、「V-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

常設低圧代替注水系ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

常設低圧代替注水系ポンプの許容応力を表 3-2 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

常設低圧代替注水系ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-4 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去 設備	常設低圧代替注水系 ポンプ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	IV _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限 界を用いる。)
原子炉格納 施設	圧力低減設 備その他の 安全設備	常設低圧代替注水系 ポンプ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	IV _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限 界を用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-2 許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV_{AS}	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。)		

注記 *1: 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2: 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		基礎ボルト		周囲環境温度		—	188
ポンプ取付ボルト	最高使用温度	66		—	699	803	—
原動機取付ボルト	周囲環境温度			—	699	803	—

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

常設低圧代替注水系ポンプの地震後の動的機能維持評価について、以下に示す。

常設低圧代替注水系ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度

(単位：×9.8 m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	横形多段遠心式 ポンプ	水平	1.4
		鉛直	1.0
原動機	横形すべり軸受 電動機	水平	2.6
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

常設低圧代替注水系ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【常設低圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
常設低圧代替注水系ポンプ	常設耐震/防止 常設/緩和	常設低圧代替注水系ポンプ格納槽 EL. -18.5*1	-*2	-*2	-	-	$C_H=1.58$	$C_V=1.10$	$C_P=0.09$	66	

注記 *1: 基準床レベルを示す。
*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

1.2 機器要目

部 材	m_i (kg)	h_i (mm)	ϕ_{1i} (mm)	ϕ_{2i} (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}	
							弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)						8	-	2
								4
ポンプ取付ボルト (i=2)						4	-	2
								2
原動機取付ボルト (i=3)						4	-	2
								2

部 材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向		M_p (N・mm)	
					弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)	188*2	479*2	-	246	-	軸直角	-	-
ポンプ取付ボルト (i=2)	699*1 (径≤63mm)	803*1 (径≤63mm)	-	562	-	軸	-	-
原動機取付ボルト (i=3)	699*2 (径≤63mm)	803*2 (径≤63mm)	-	562	-	軸直角	-	1.210×10 ⁶

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)
$H_p = \square$	$N = \square$

注記 *1: 周囲環境温度で算出
*2: 最高使用温度で算出
*3: 各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	2.685×10 ⁴	—	1.376×10 ⁵
ポンプ取付ボルト (i=2)	—	1.615×10 ⁴	—	8.885×10 ⁴
原動機取付ボルト (i=3)	—	9.898×10 ³	—	2.620×10 ⁴

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[]	引張り	—	—	[]	[]
		せん断	—	—		
ポンプ取付ボルト		引張り	—	—		
		せん断	—	—		
原動機取付ボルト		引張り	—	—		
		せん断	—	—		

すべて許容応力以下である。

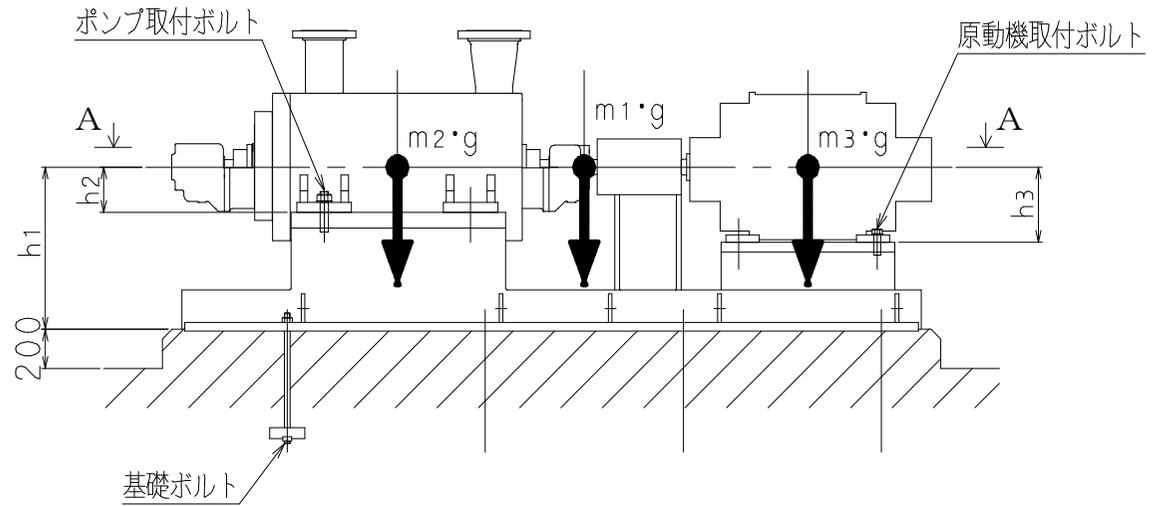
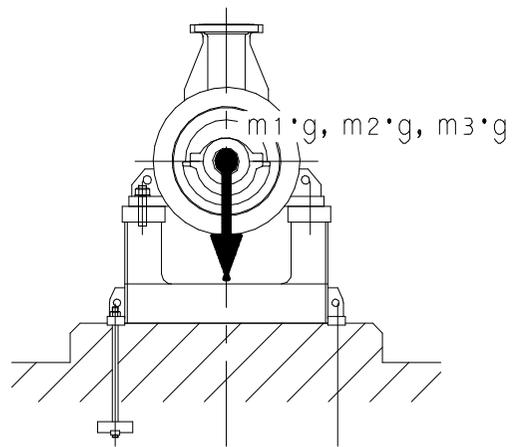
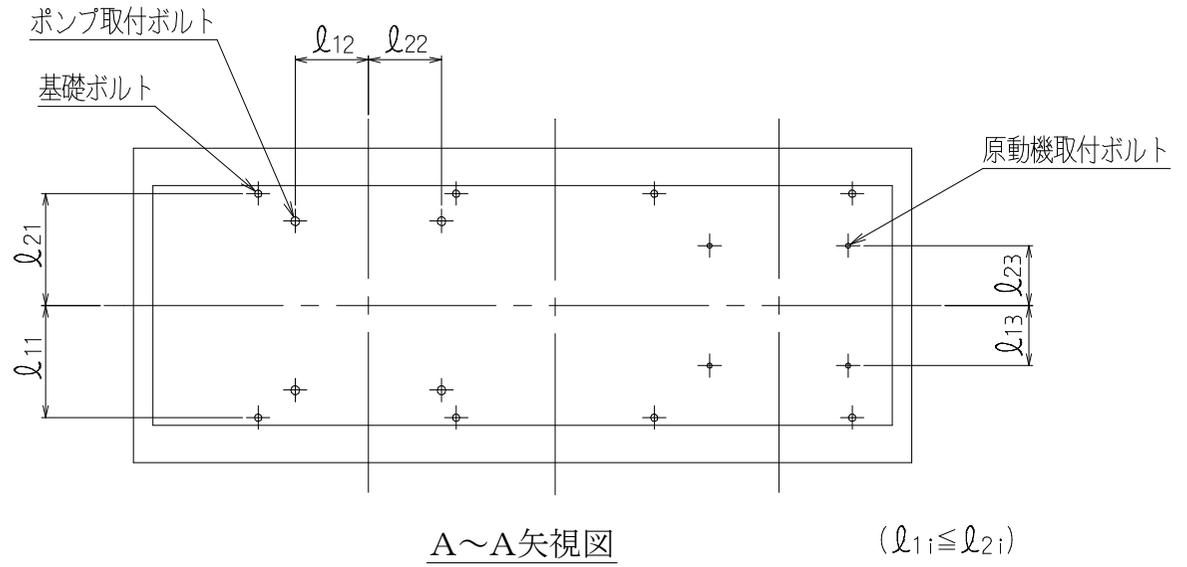
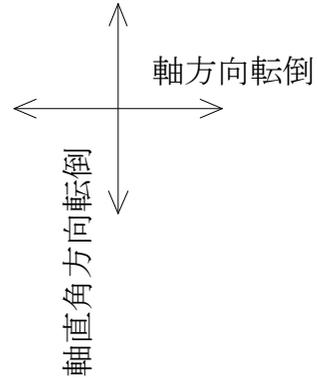
注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 動的機能の評価結果

(単位：×9.8m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.31	1.4
	鉛直方向	0.92	1.0
原動機	水平方向	1.31	2.6
	鉛直方向	0.92	1.0

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-905 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-9-4-3-4-1 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	10
3.1 荷重の組合せ及び許容応力	10
3.2 設計条件	11
3.3 材料及び許容応力	18
3.4 設計用地震力	19
4. 解析結果及び評価	20
4.1 固有周期及び設計震度	20
4.2 評価結果	32
4.2.1 管の応力評価結果	32
4.2.2 支持構造物評価結果	33
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	34
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	35

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」，「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」及び「V-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき、管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は以下に示すとおりとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全2モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

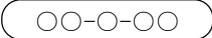
(3) 弁

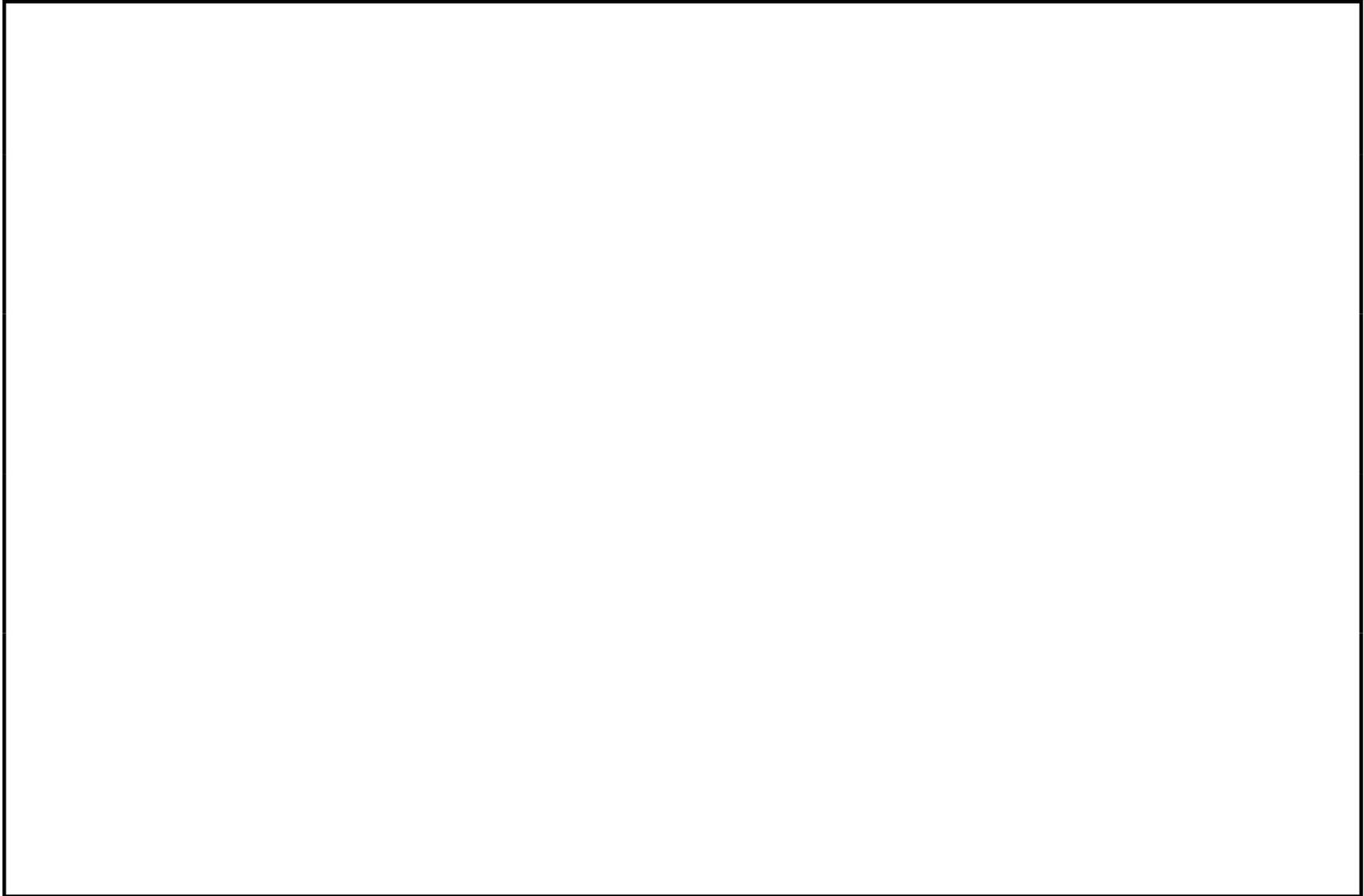
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (鳥瞰図, 計算条件及び評価結果を記載す る範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果のみ記載する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス1管
DB2	クラス2管
DB3	クラス3管
DB4	クラス4管
SA2	重大事故等クラス2管
SA3	重大事故等クラス3管
DB1/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス1管
DB2/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス2管
DB3/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス3管
DB4/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス4管

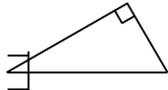
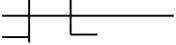
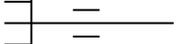
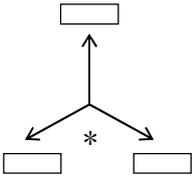


格納容器下部注水系概略系統図

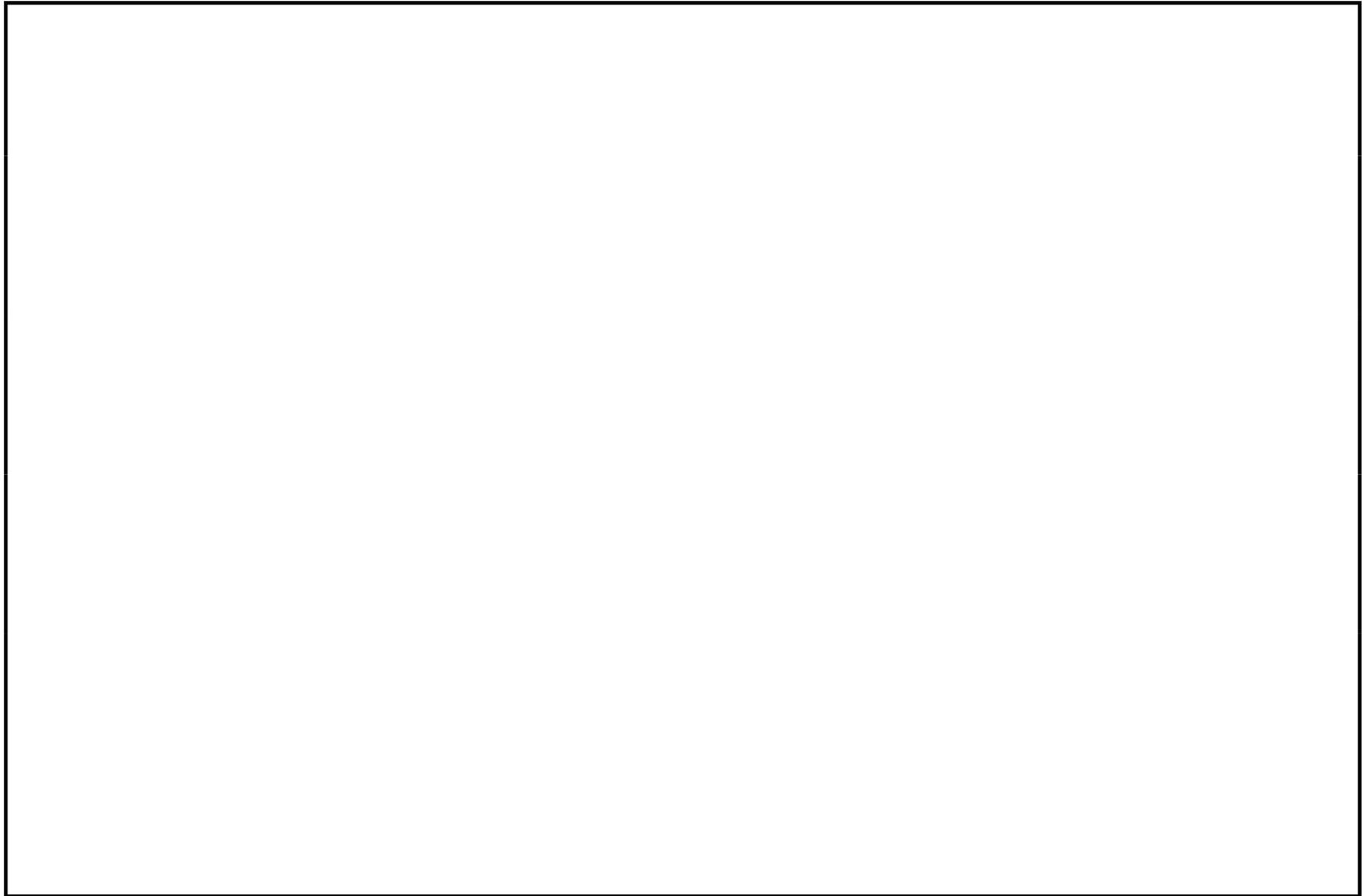
2.2 鳥瞰図

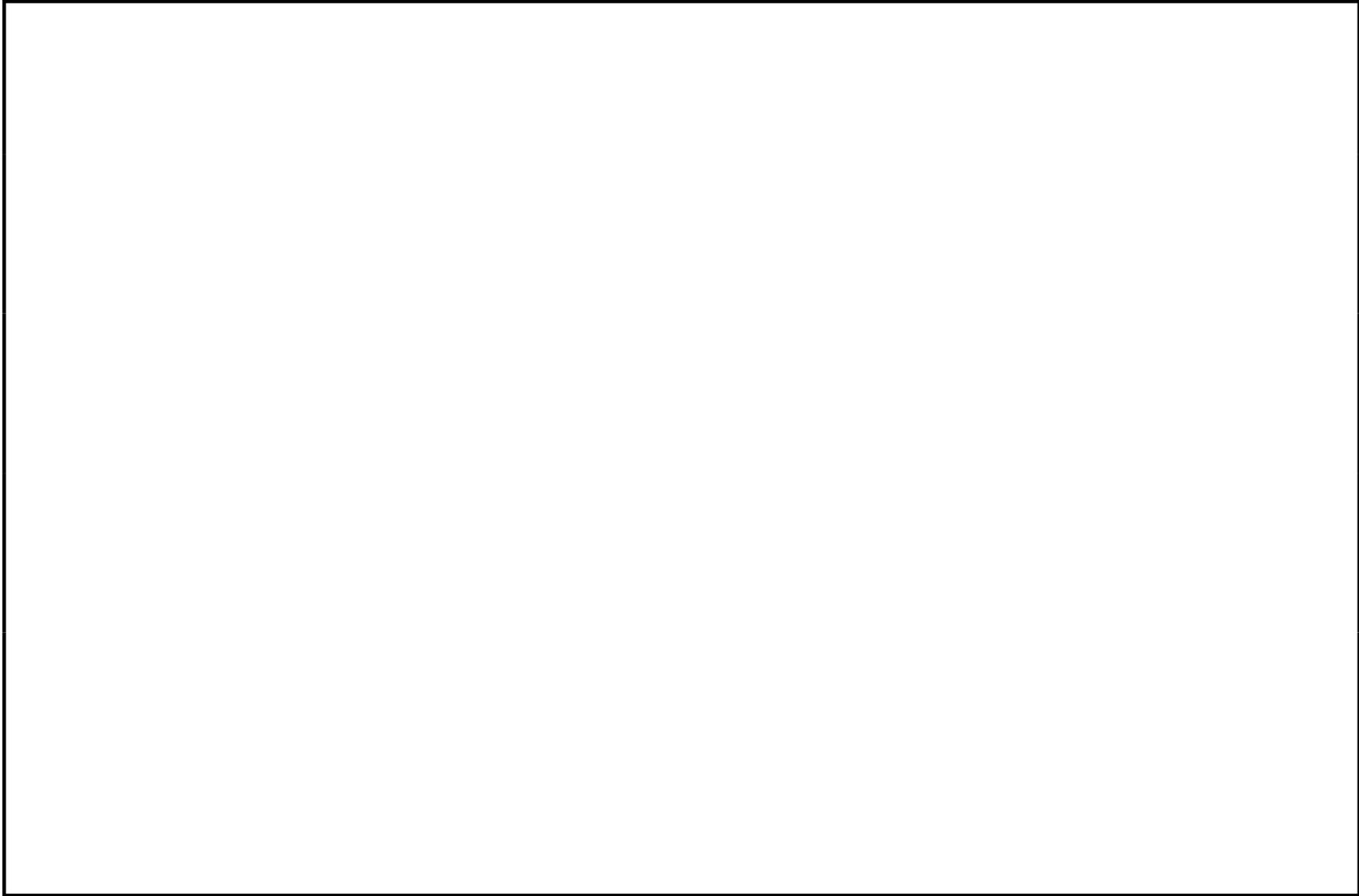
鳥瞰図記号凡例

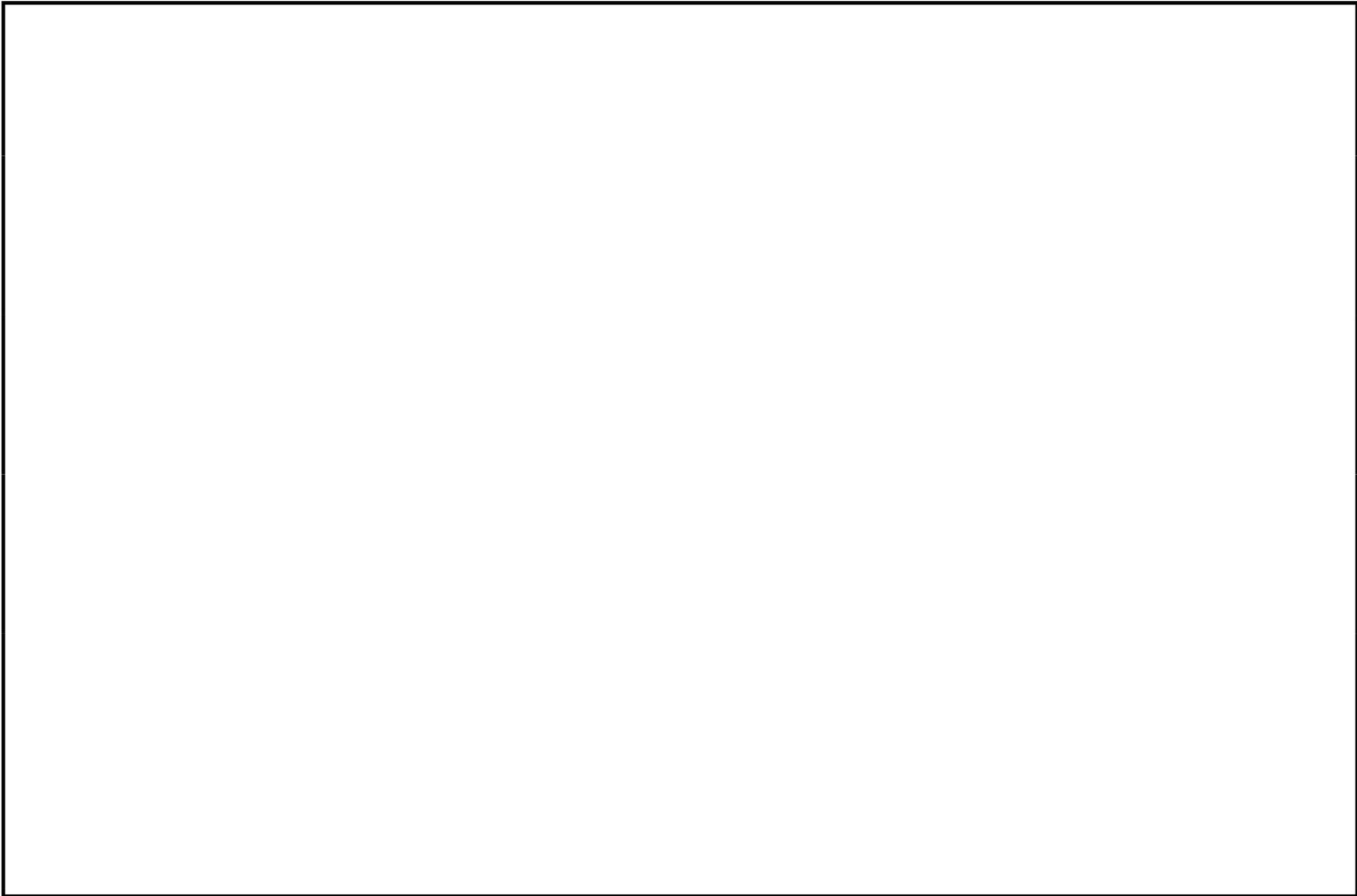
NT2 補② V-2-9-4-3-4-1 R2

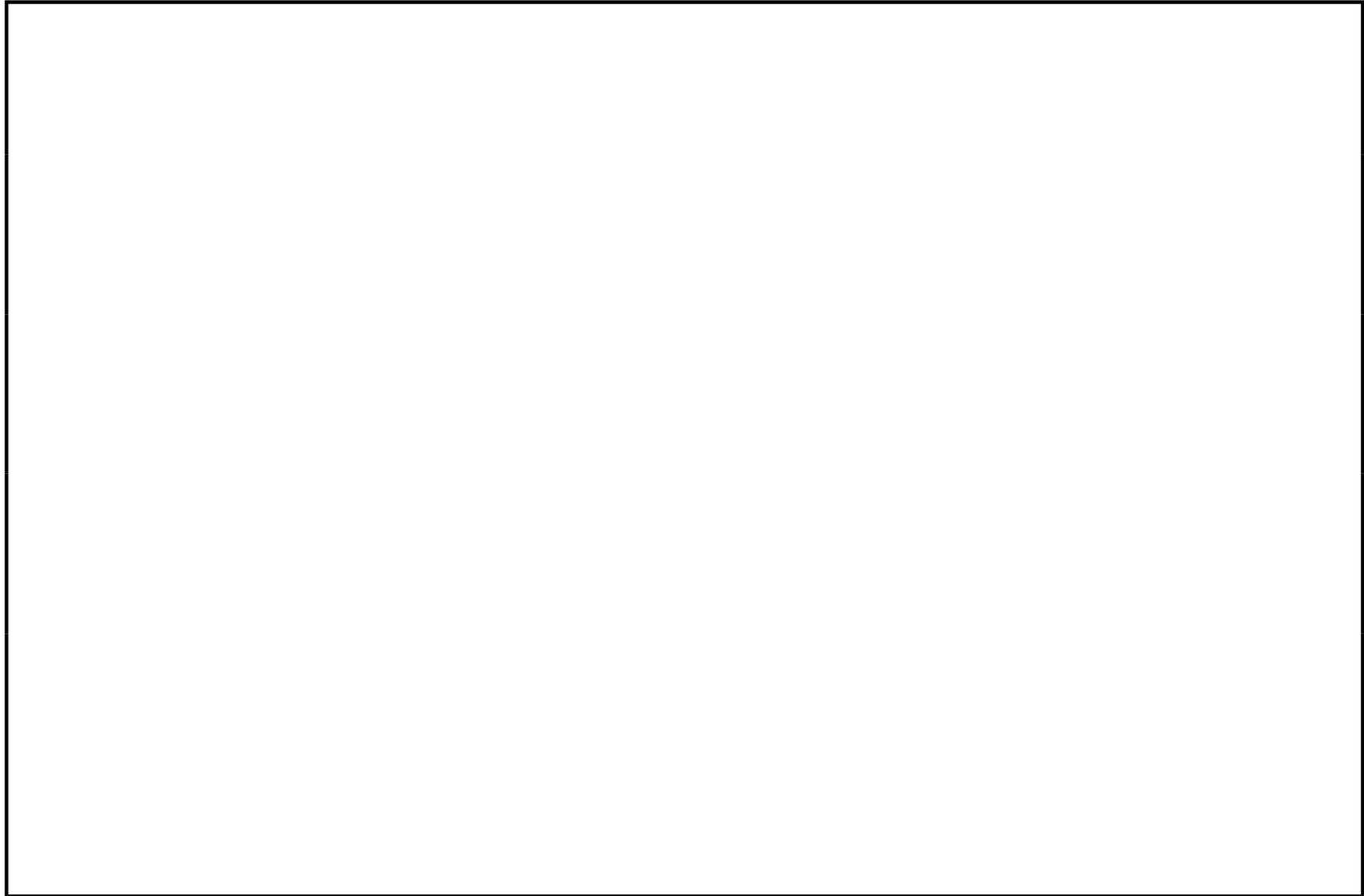
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッパについても同様とする。)
	スナッパ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, □内に変位量を記載する。)

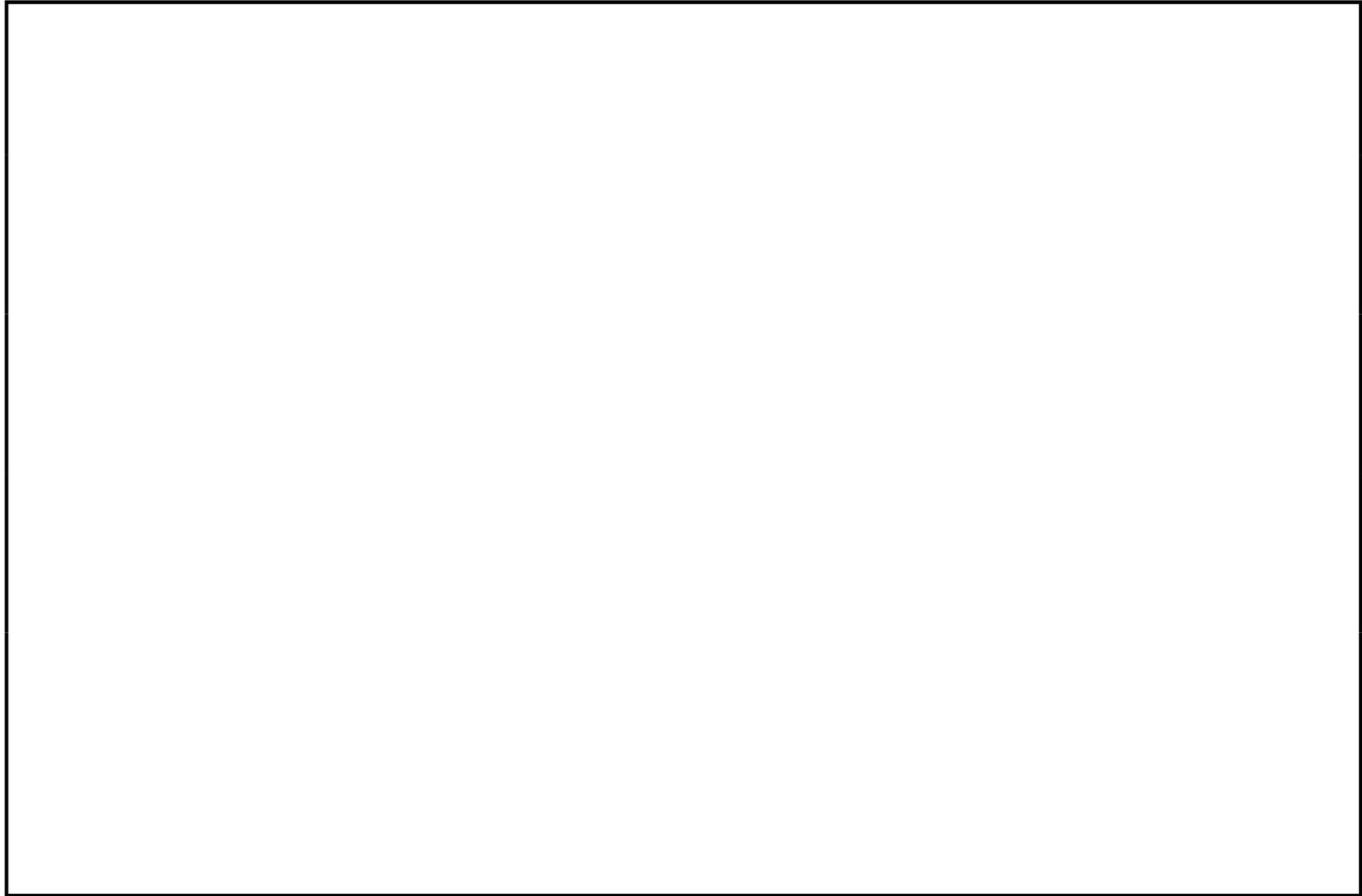
注：鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。











3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備の原子炉格納容器安全設備	格納容器下部注水系	S A	常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L (L L) + S_s$	$V_A S$

注記*1: DBは設計基準対象施設, SAは重大事故等対処設備を示す。

*2: 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3: 運転状態の添字Lは荷重, (L)は荷重が長期間作用している状態, (LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4: 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5: 許容応力状態 $V_A S$ は許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界を使用し, 許容応力状態 $IV_A S$ として評価を実施する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FP-R-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	B05～C01, C03～D01 B05～F05, F07～G05 B08～H03	3.14	66	114.3	6.0	STPT410	—	
2	D03～E14	0.62	200	114.3	6.0	STPT410	—	
3	H05～I19	1.40	66	114.3	6.0	STPT410	—	

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 FP-R-1

質量	対応する評価点
	B13

弁部の寸法

鳥 瞰 図 FP-R-1

評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
C01～C03				C02～C02A			
C02A～C02B				D01～D03			
D02～D02A				D02A～D02B			
D02B～D02C				F05～F07			
H03～H05							

弁部の質量

鳥 瞰 図 FP-R-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	C01, C03, D01, D03		C02, D02
	C02A, D02A		C02B, D02C
	F05, F07, H03, H05		F06, H04

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FP-R-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
B11						
B15						
B17						
C04						
D02B						
** E07 **						
G01						
G05						
I02						
I06						
I10						
I14						
I19						

NT2 補② V-2-9-4-3-4-1 R2

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FP-R-2

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	A05～A40	0.62	200	114.3	6.0	STPT410	—	

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FP-R-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
A10						
** A10 **						
A14						
** A14 **						
** A20 **						
** A20 **						
A23						
** A23 **						
** A28 **						
** A28 **						
A31						
** A31 **						
A39						
** A39 **						
** A39 **						

NT2 補② V-2-9-4-3-4-1 R2

3.3 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S h
STPT410	66	—	231	407	—
STPT410	200	—	207	404	—

3.4 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお、設備評価用床応答曲線は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また、減衰定数は「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
FP-R-1	原子炉建屋		
FP-R-2	しゃへい壁		
	ペDESTAL		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FP-R-1

耐震設計上の重要度分類		—		
適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向
		2.59	2.59	5.43
		2.11	2.11	4.68
		1.89	1.89	5.11
		1.77	1.77	4.58
		1.74	1.74	4.46
		1.68	1.68	4.46
		1.68	1.68	4.46
		—	—	—
		動的震度	1.67	1.67

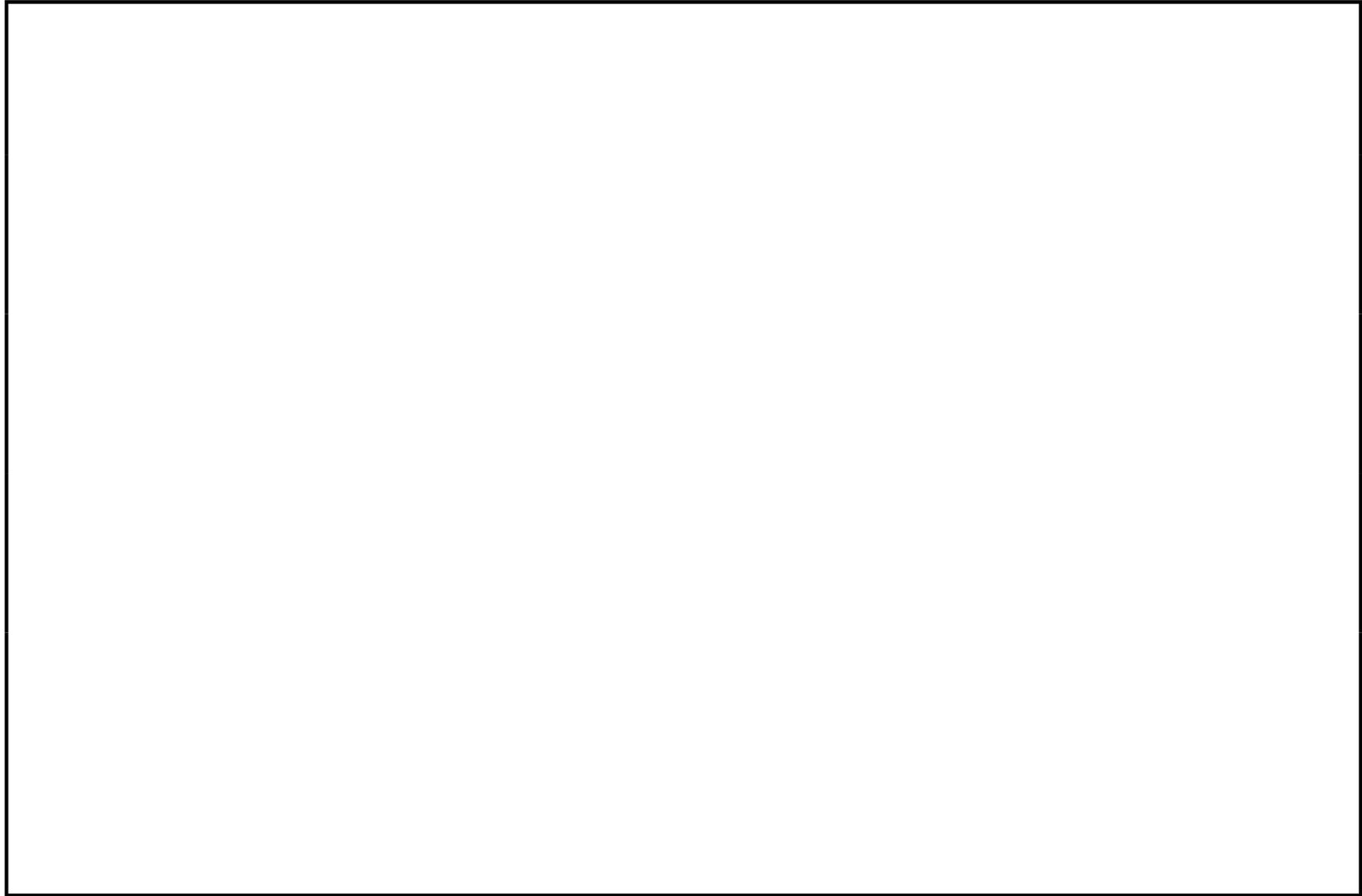
各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 FP-R-1

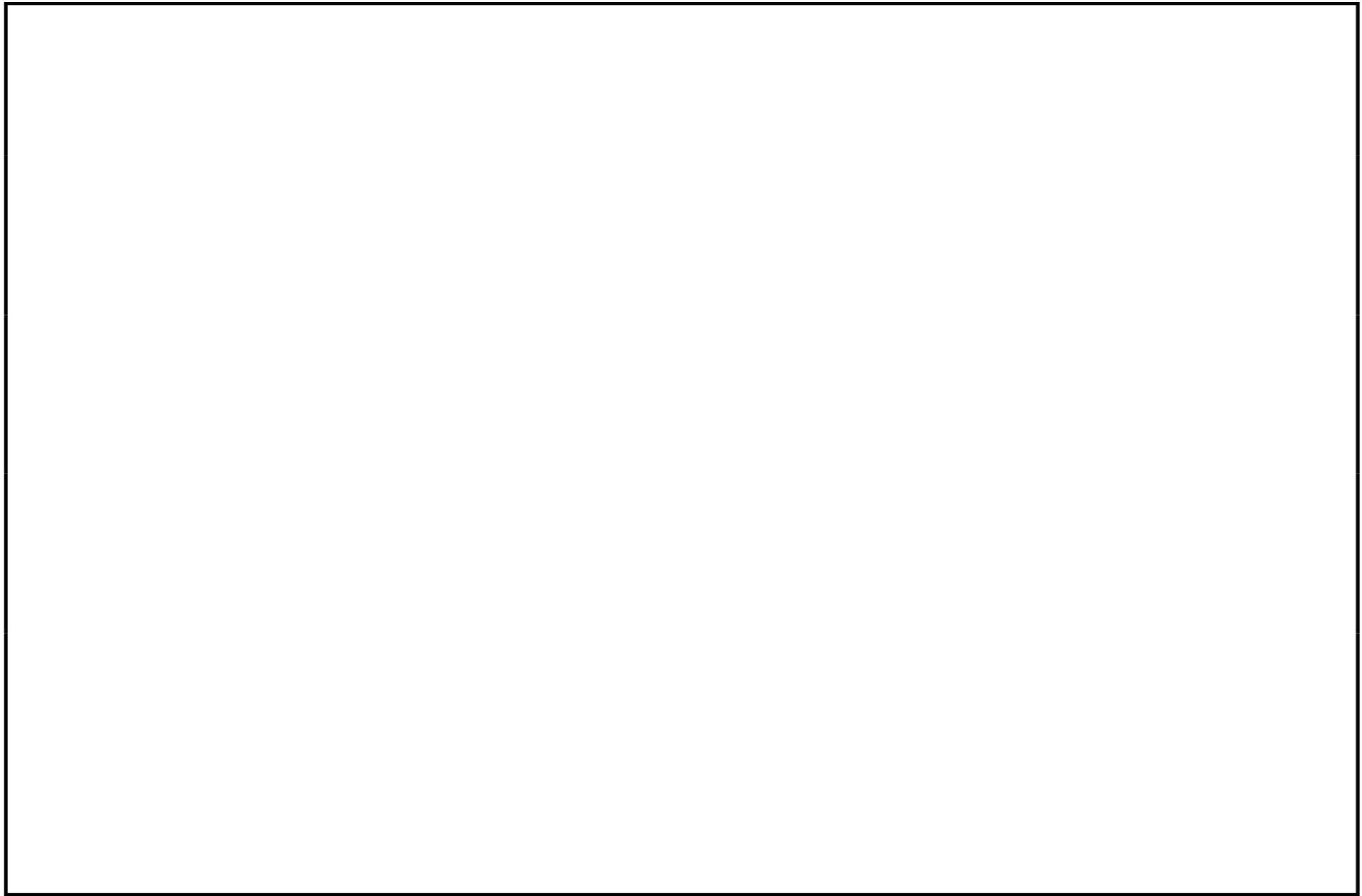
モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。







解析結果及び評価
固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FP-R-2

耐震設計上の重要度分類		—		
適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向
		21.18	21.18	6.88
		7.22	7.22	10.07
		7.22	7.22	12.36
		4.99	4.99	12.50
		1.81	1.81	9.18
		—	—	—
動的震度		1.59	1.59	1.34

各モードに対応する刺激係数

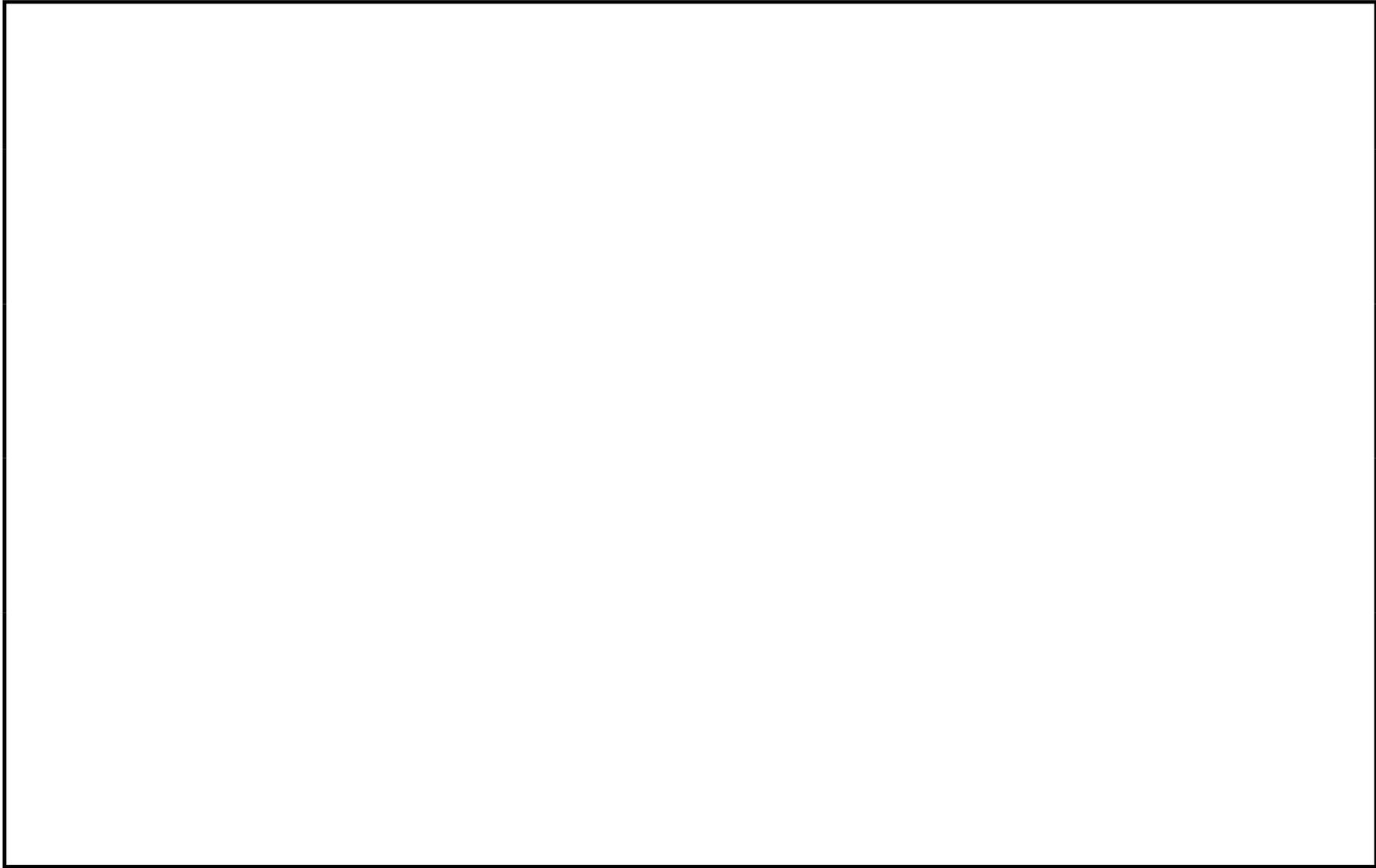
鳥 瞰 図 FP-R-2

モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向

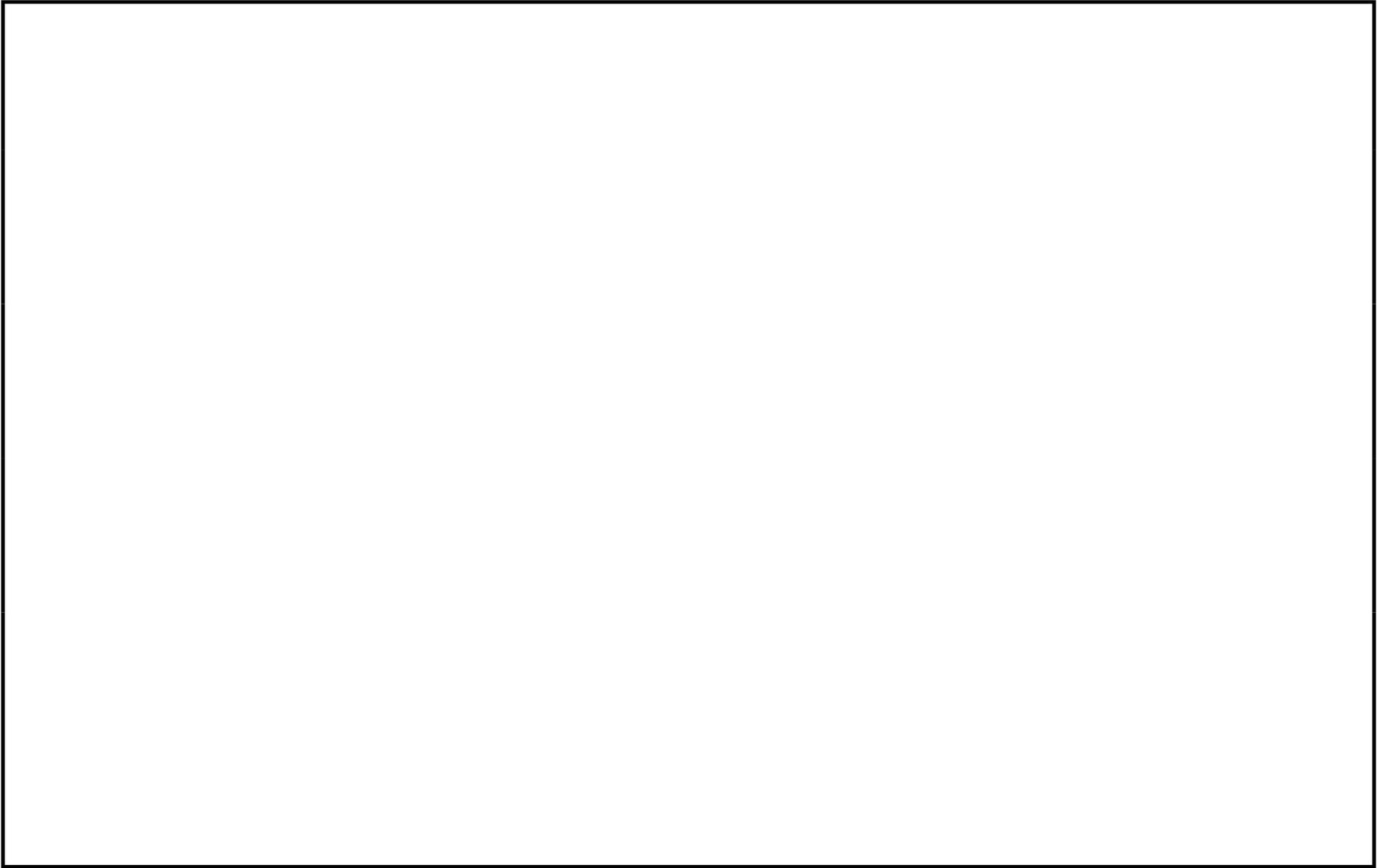
NT2 補② V-2-9-4-3-4-1 R2

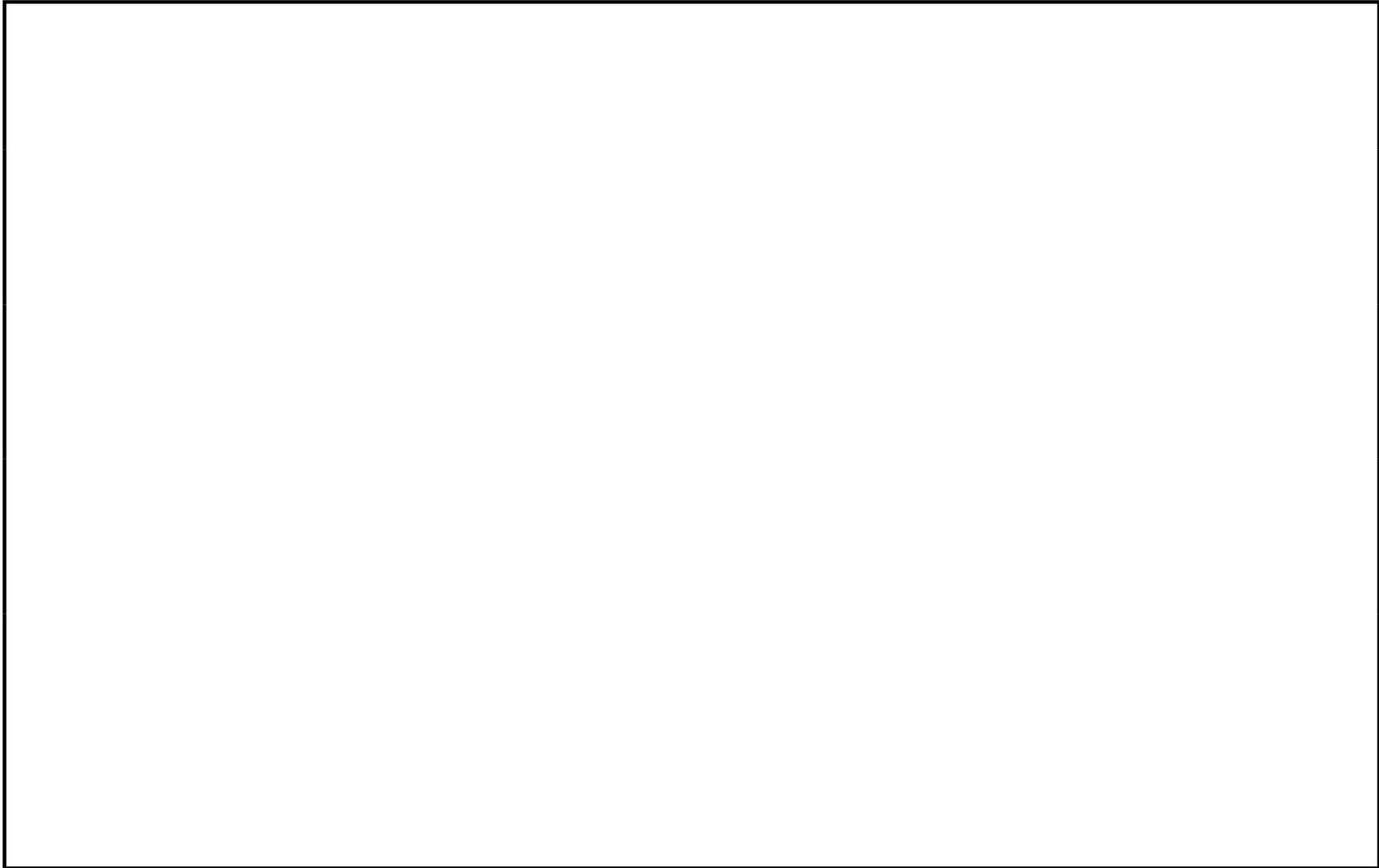
代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。



30





4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

鳥瞰図	許容応力 状態 (供用状態)	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 Sprm (S s)	許容応力 0.9Su	計算応力 Sn (S s)	許容応力 2Sy	疲労累積係数 USs
FP-R-1	V _A S	C03	Spr _m (S s)		366	-	-	-
FP-R-2	V _A S	A18F	Sn (S s)	-	-		414	-

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
ALPI-288SNM	メカニカルスナッパ	SMS-1	「V-2-1-11 機 器・配管の耐震支 持設計方針」参照		4	15

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注 反力が最大となる支持点の支持構造物評価結果（応力評価）は、兼用の低圧代替注水系に示す。

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2範囲）

No.	配管モデル	供用状態 (V _A S)												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	FP-R-1	C03	183	366	2.00	○	C03	308	462	1.50	—	—	—	—
2	FP-R-2	A18F	136	363	2.66	—	A18F	326	414	1.26	○	—	—	—

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-906 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-9-2-2-4-2 管の応力計算書

まえがき

本計算書は、添付書類「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及び「V-3-2-11 重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果は以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「V-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

評価条件整理表

応力計算 モデルNo.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に 対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
FP-R-1	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	3.14	66	—	—	設計・ 建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	200	—	—	設計・ 建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	1.40	66	—	—	設計・ 建設規格	—	SA-2
FP-R-2	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	200	—	—	設計・ 建設規格	—	SA-2

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	8
3.1 設計条件	8
3.2 材料及び許容応力	12
4. 評価結果	13
5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	14

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及び「V-3-2-11 重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づき、管の応力計算を実施した結果を示したものである。

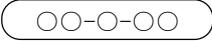
(1) 管

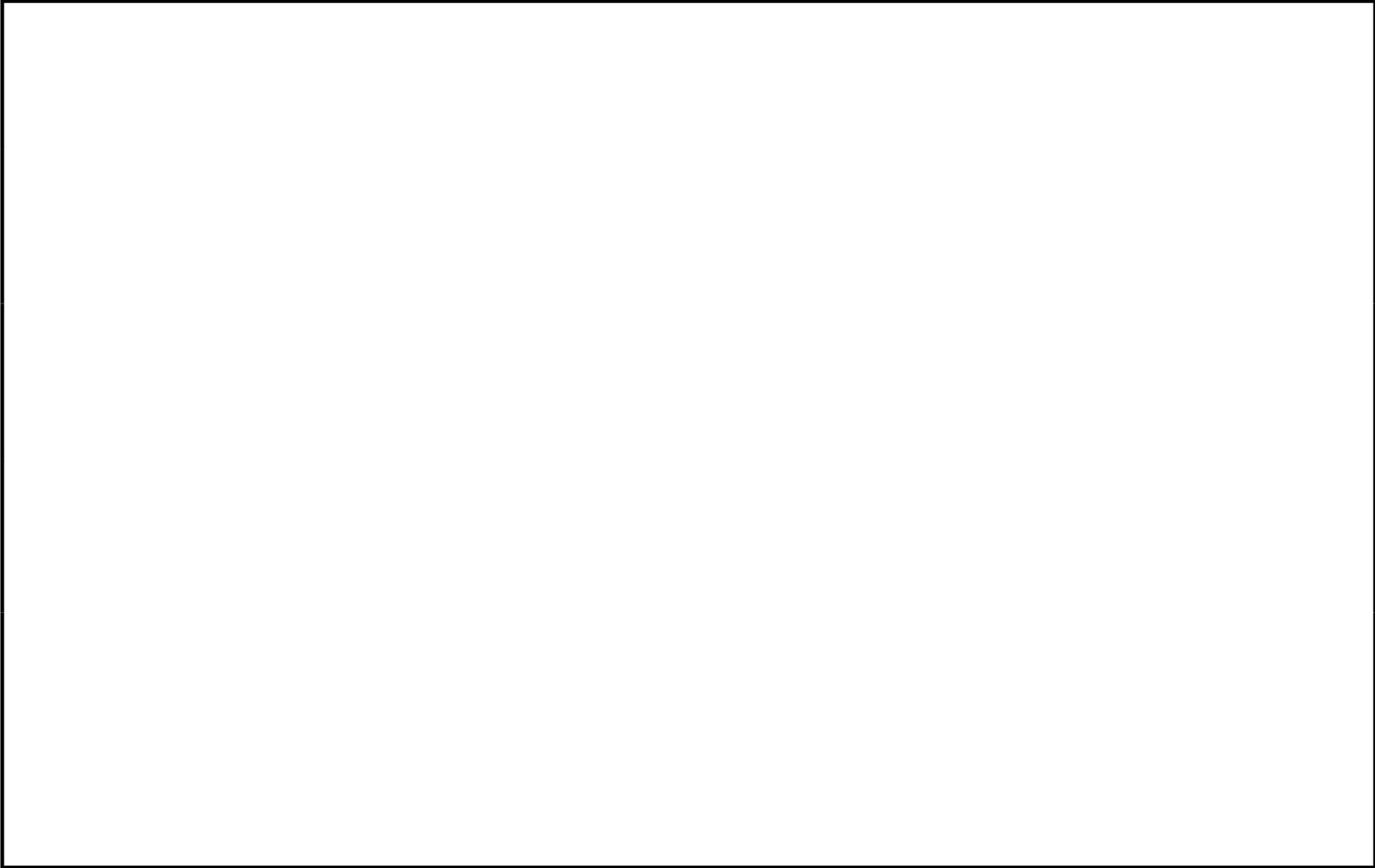
工事計画記載範囲の管のうち、設計条件あるいは管クラスに変更がある管における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全2モデルのうち、最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定及び全モデルの評価結果を5.に記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

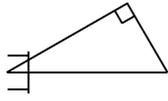
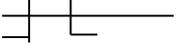
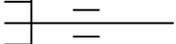
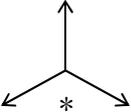
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (鳥瞰図, 計算条件及び評価結果を記載す る範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果のみ記載する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

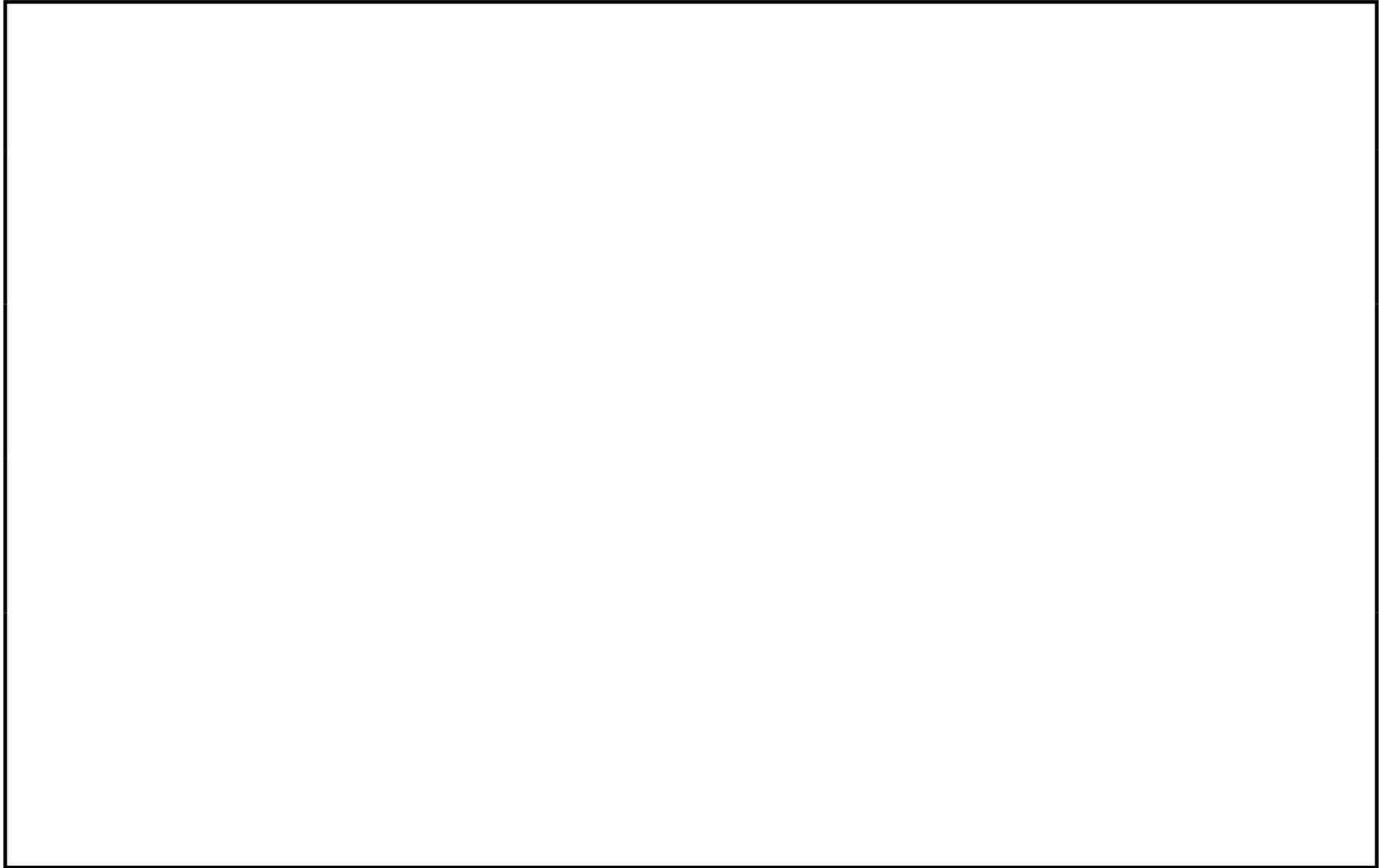


格納容器下部注水系概略系統図

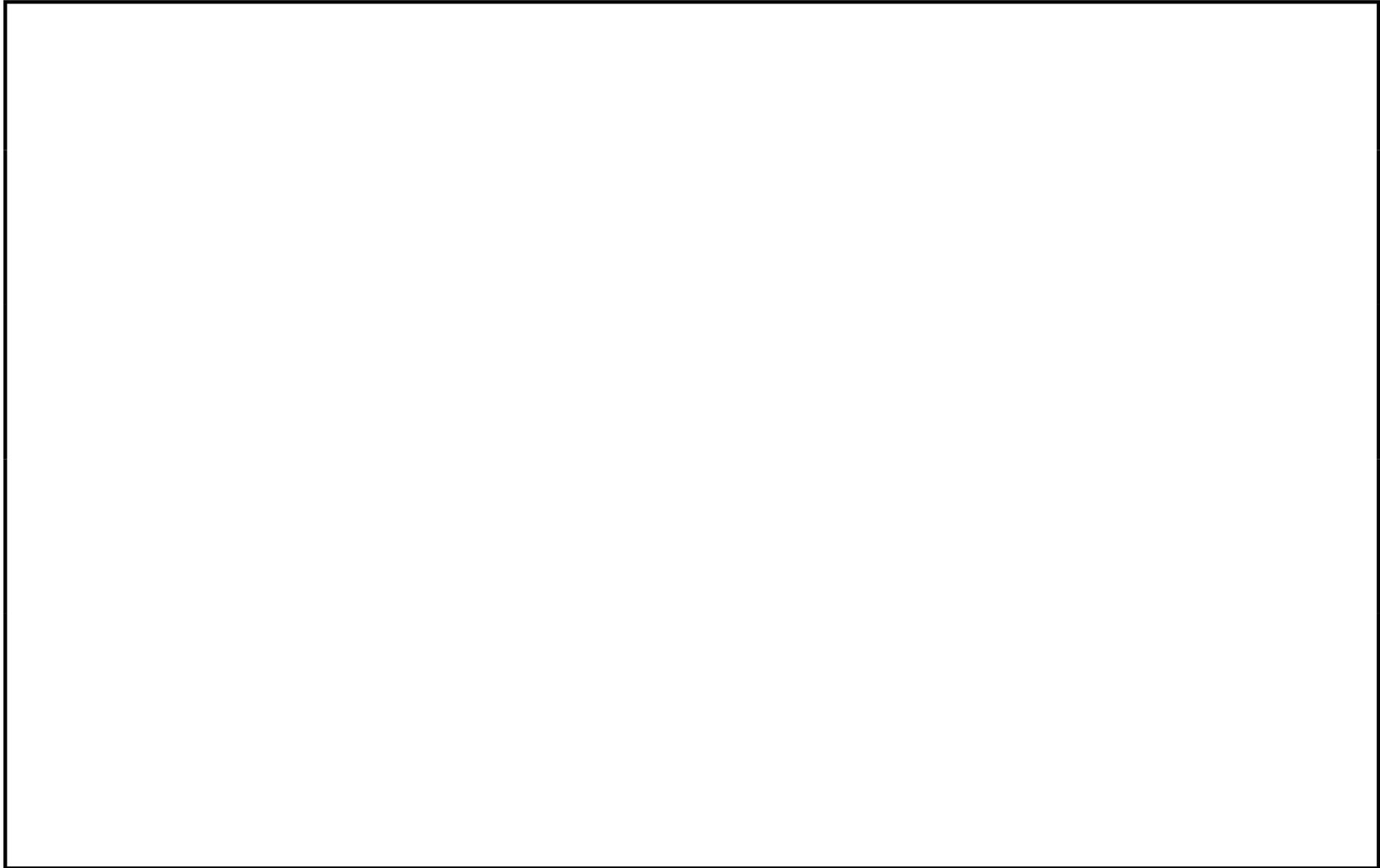
2.2 鳥瞰図

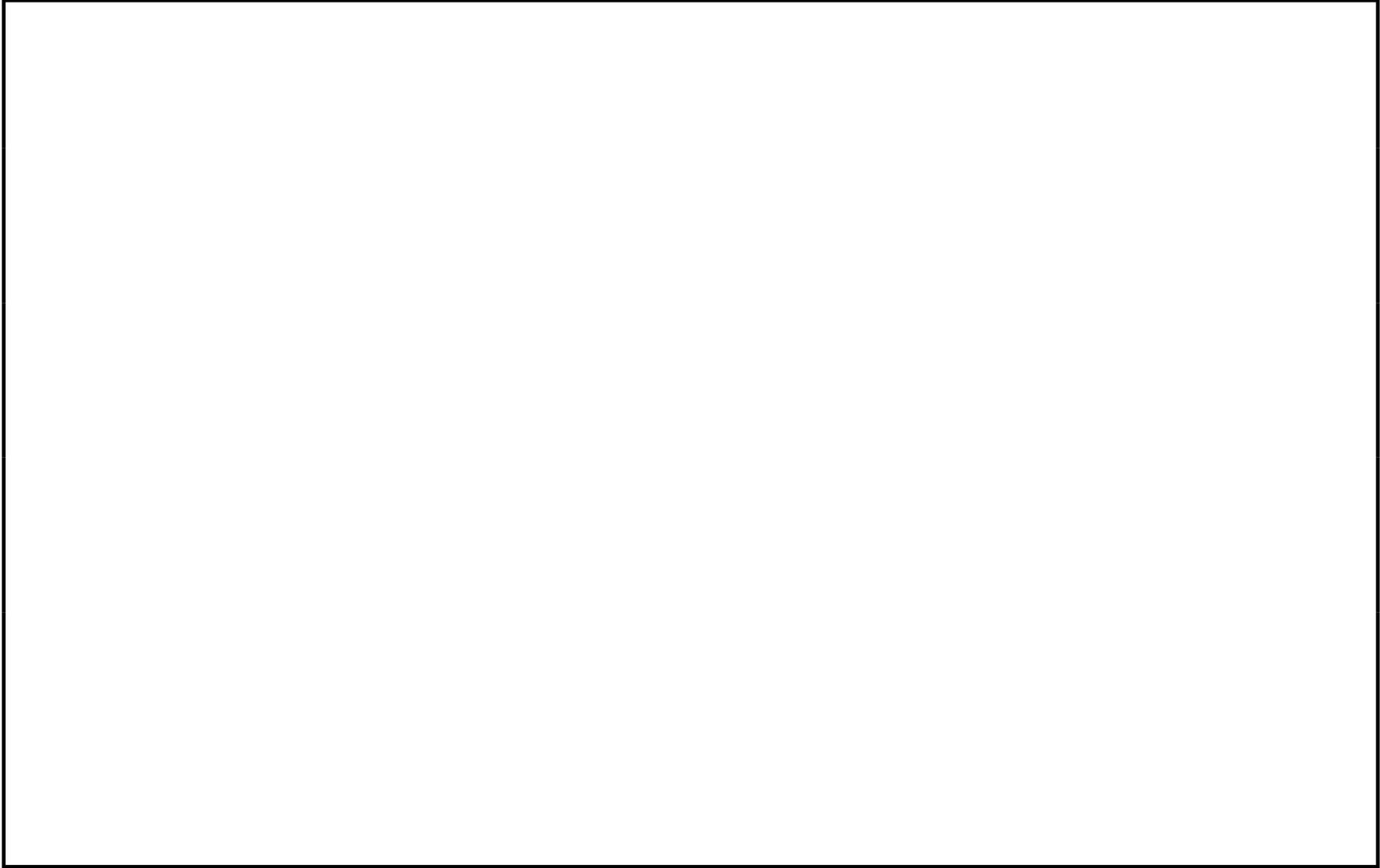
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の熱膨張による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。



5





3. 計算条件

3.1 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FP-R-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
1	B05～C01, C03～D01 B05～F05, F07～G05 B08～H03	3.14	66	114.3	6.0	STPT410
2	D03～E14	0.62	200	114.3	6.0	STPT410
3	H05～I19	1.40	66	114.3	6.0	STPT410

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 FP-R-1

質量	対応する評価点
	B13

弁部の寸法

鳥 瞰 図 FP-R-1

評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
C01～C03				C02～C02A			
C02A～C02B				D01～D03			
D02～D02A				D02A～D02B			
D02B～D02C				F05～F07			
H03～H05							

弁部の質量

鳥 瞰 図 FP-R-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	C01, C03, D01, D03		C02, D02
	C02A, D02A		C02B, D02C
	F05, F07, H03, H05		F06, H04

3.2 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S h
STPT410	66	—	—	—	103
STPT410	200	—	—	—	103

4. 評価結果

下表に示すとおり最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス2管

設計・建設規格 PPC-3500 による評価結果

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分*1	一次応力評価 (MPa)	
			計算応力 Sprm(1) Sprm(2)	許容応力 1.5 Sh 1.8 Sh
FP-R-1	C04	Sprm(1)	54	154
FP-R-1	C04	Sprm(2)	56	185

注記 *1 : Sprm(1), Sprm(2)はそれぞれ, 設計・建設規格 PPC-3520(1), (2)に基づき計算した一次応力を示す。

5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2範囲）

No.	配管モデル	Sprm(1)					Sprm(2)				
		一次応力					一次応力				
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表
1	FP-R-1	C04	54	154	2.85	○	C04	56	185	3.30	○
2	FP-R-2	A32N	27	154	5.70	—	A32N	28	185	6.60	—

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料

資料番号 工認-959 改1

提出年月日 平成30年8月16日

V-2-9-5-6-1 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	8
3.1 荷重の組合せ及び許容応力	8
3.2 設計条件	9
3.3 材料及び許容応力	13
3.4 設計用地震力	14
4. 解析結果及び評価	15
4.1 固有周期及び設計震度	15
4.2 評価結果	21
4.2.1 管の応力評価結果	21
4.2.2 支持構造物評価結果	22
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	23
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	24

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」，「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」及び「V-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき、管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は以下に示すとおりとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全14モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

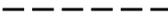
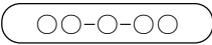
(3) 弁

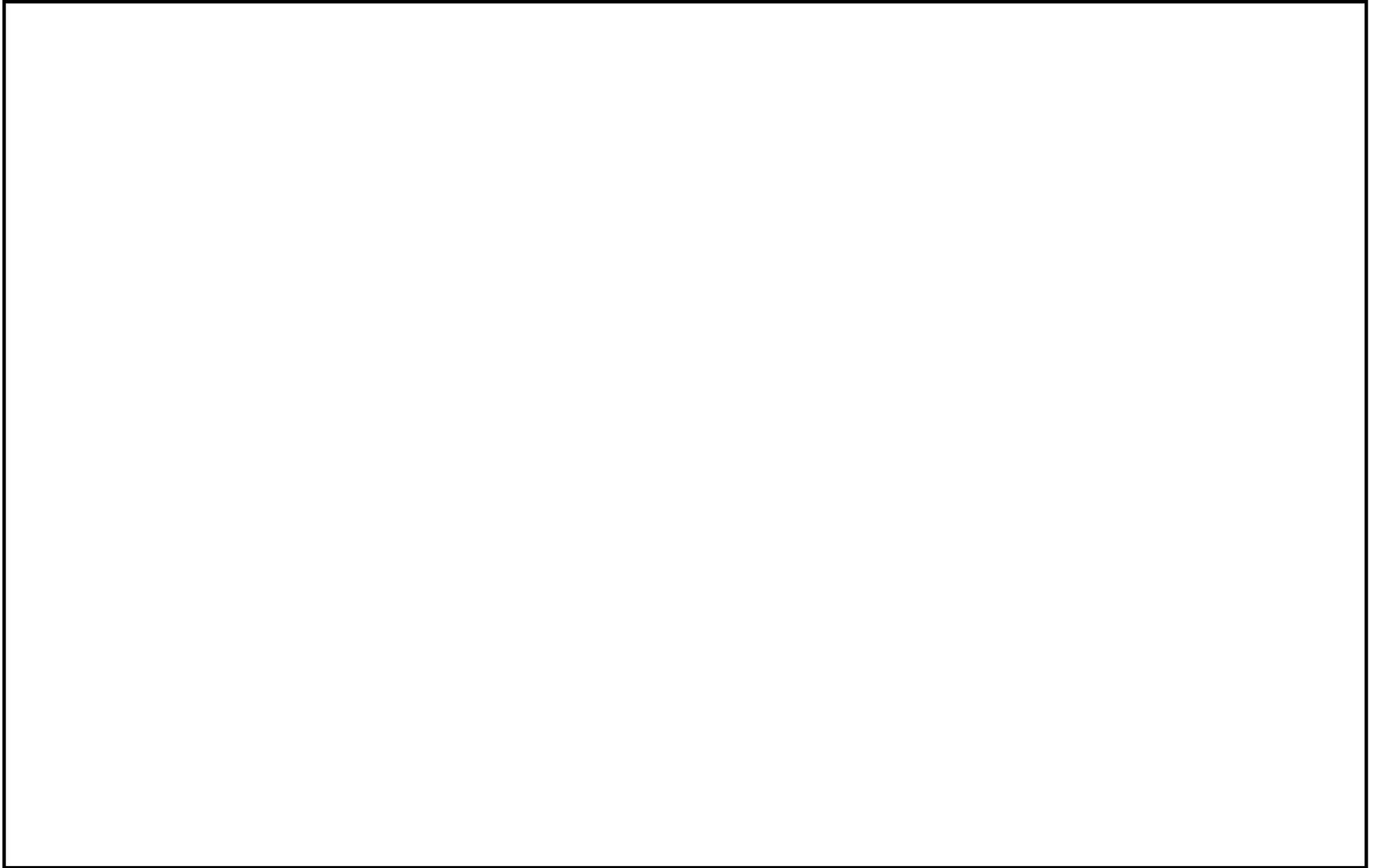
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

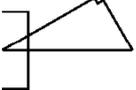
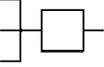
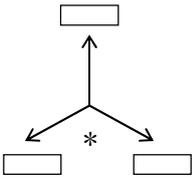
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (鳥瞰図, 計算条件及び評価結果を記載す る範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果のみ記載する範囲)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

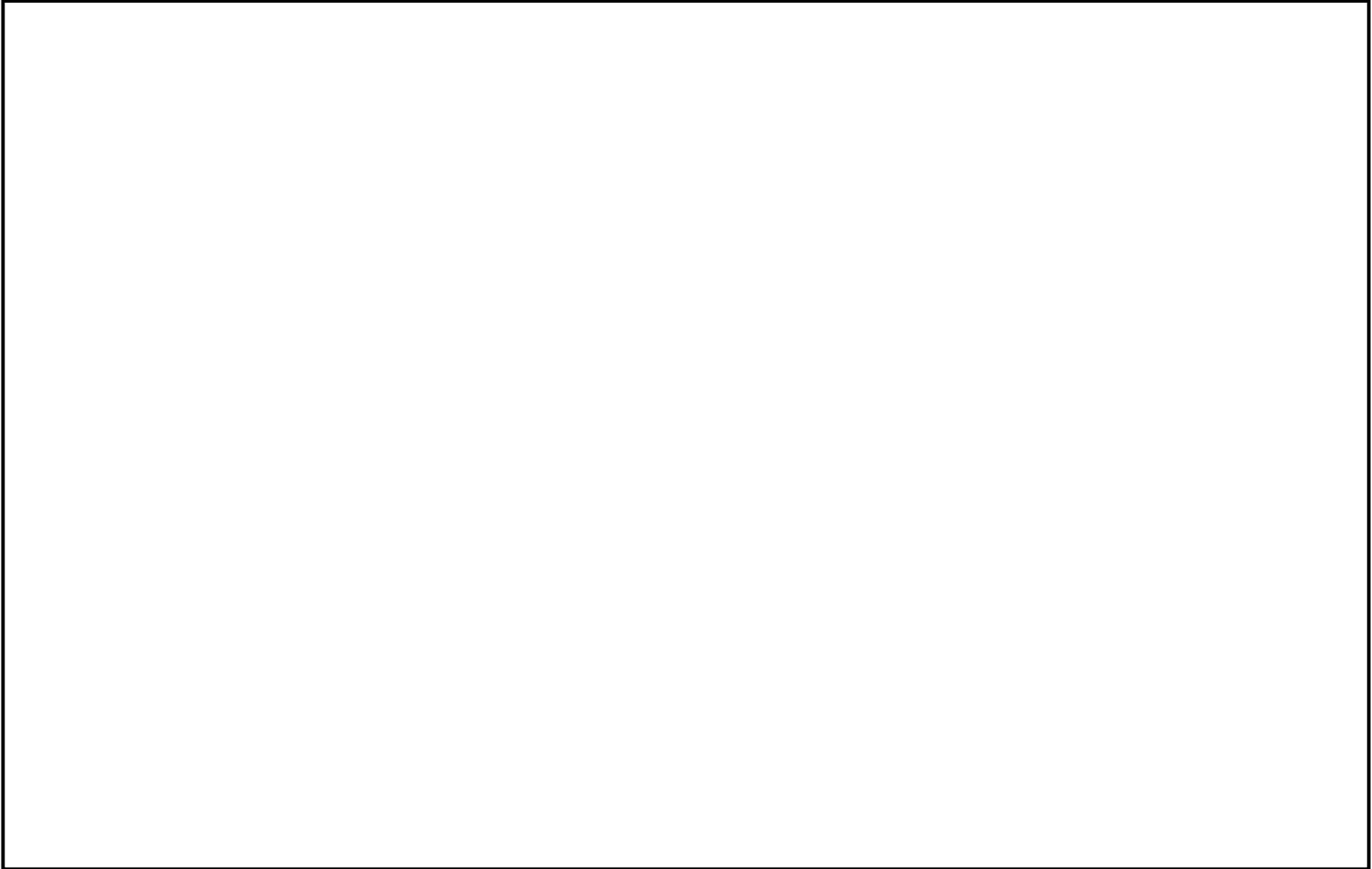


窒素ガス代替注入系概略系統図（その1）

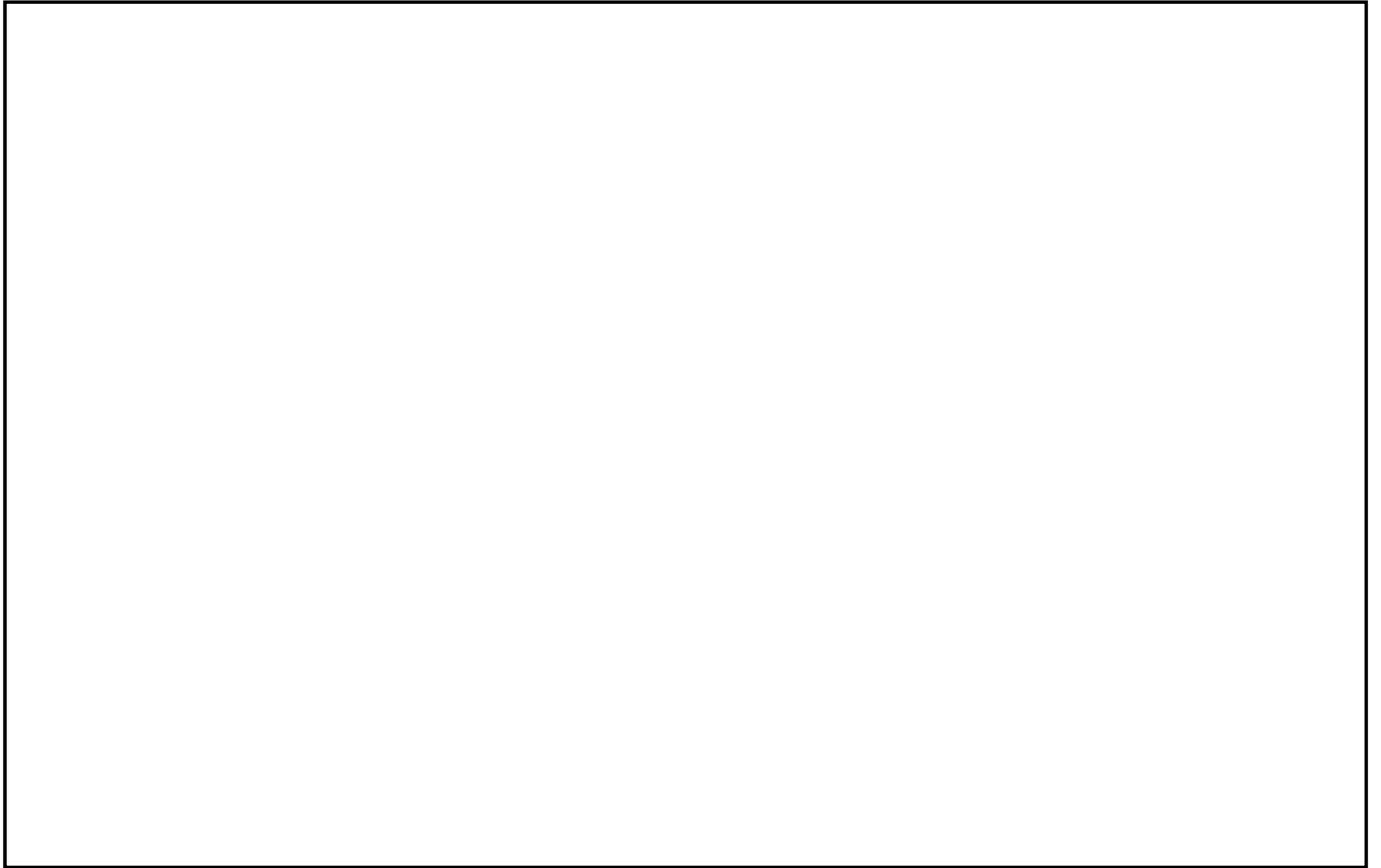
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
 	節 点 質 点
	ア ン カ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, □ 内に 変位量を記載する。)
注：鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。	



7



3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉格納施設	放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備	窒素ガス代替注入系	SA	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L + S_s$	V_{AS}

注記*1: DBは設計基準対象施設, SAは重大事故等対処設備を示す。

*2: 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3: 運転状態の添字Lは荷重, (L)は荷重が長期間作用している状態, (LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4: 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5: 許容応力状態 V_{AS} は許容応力状態 IV_{AS} の許容限界を使用し, 許容応力状態 IV_{AS} として評価を実施する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 ANI-7

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	801~39, 412~827, 411~814	0.62	60	60.5	5.5	STPT410	—	
2	39~40, 41~412	0.62	60	60.5	5.5	SFVC2B	—	
3	40~311, 312~41	0.62	60	60.5	3.9	SUS304TP	—	

弁部の寸法

鳥 瞰 図 ANI-7

評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
311~312			

弁部の質量

鳥 瞰 図 ANI-7

質量	対応する評価点
	901

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 ANI-7

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
801						
802						
803						
804						
805						
806						
807						
808						
809						
810						
811						
812						
813						
814						
815						
816						
817						
818						
819						
820						
821						
822						
823						
824						
825						
826						
827						

NT2 補② V-2-9-5-6-1 R2

3.3 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S h
STPT410	60	—	234	408	—
SFVC2B	60	—	238	460	—
SUS304TP	60	—	192	489	—

3.4 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお、設備評価用床応答曲線は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
ANI-7	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 ANI-7

耐震設計上の重要度分類		—		
適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向
		8.19	8.19	11.64
		6.45	6.45	11.64
		6.30	6.30	11.16
		6.09	6.09	7.25
		2.30	2.30	6.25
		2.30	2.30	6.25
		2.30	2.30	3.80
		2.30	2.30	3.75
		1.11	1.11	0.84
		—	—	—
	動的震度		1.34	1.34

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 ANI-7

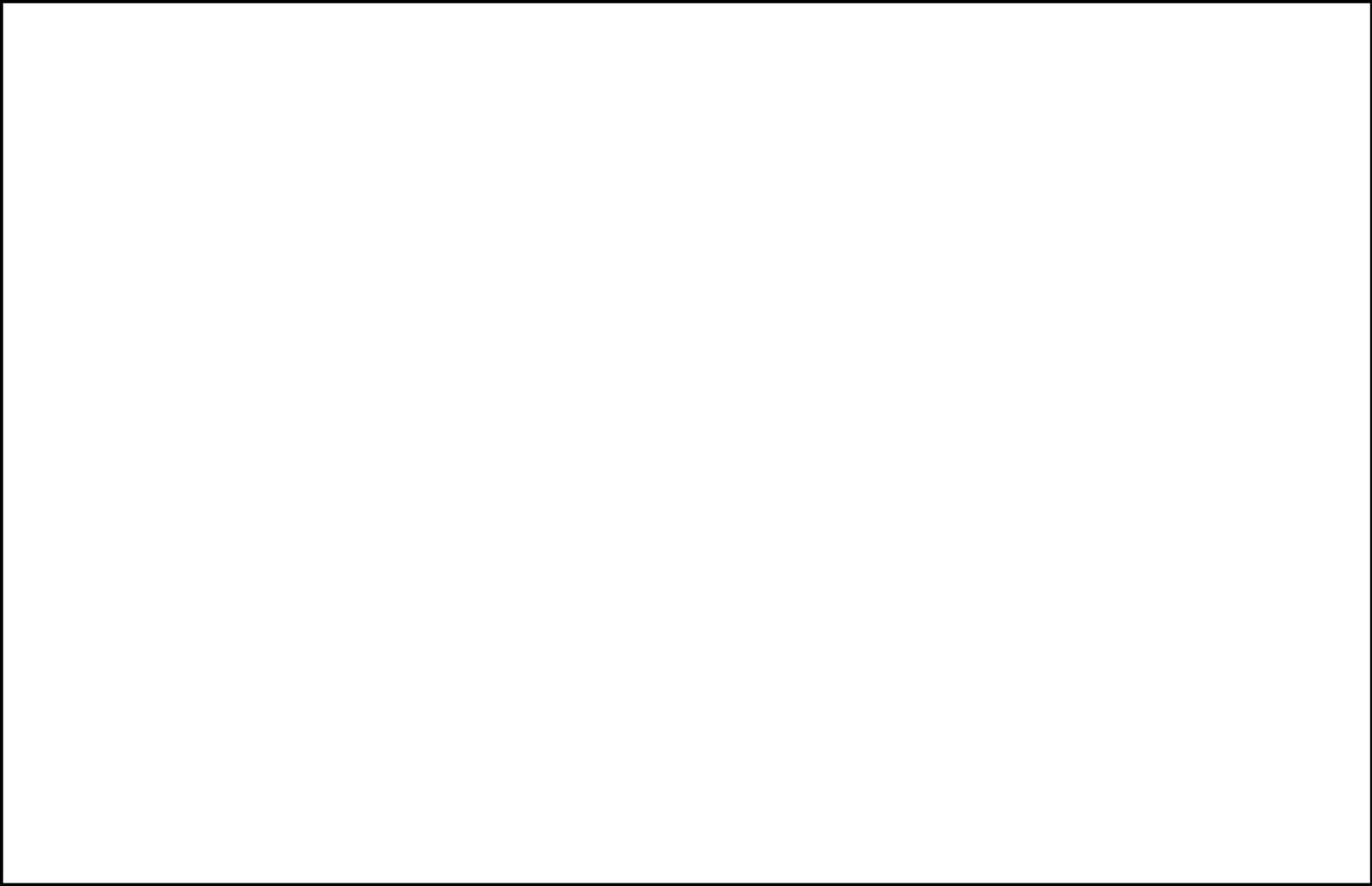
モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向

NT2 補② V-2-9-5-6-1 R2

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

18



20

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

鳥瞰図	許容応力 状態 (供用状態)	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 Sprm (S s)	許容応力 0.9Su	計算応力 Sn (S s)	許容応力 2Sy	疲労累積係数 USs
ANI-7	V _A S	801	Spr _m (S s)		367	-	-	-
ANI-7	V _A S	801	S _n (S s)	-	-		468	-

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	—	—	—	—	—	—

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
ANI-040RES	レストレイント	U ボルト	SUS304	200	1.3	8.3	—	—	—	—	組合せ	155	203
ANI-388RES	アンカ	U バンド	SS400	66	0.86	3.8	2.6	3.1	0.43	1.2	組合せ	121	283

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度* ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

* 応答加速度は、打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2範囲）

No	配管モデル	許容応力状態 V_{AS}												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	ANI-1	819	144	367	2.54	—	903	240	288	1.20	—	—	—	—
2	ANI-2	807	63	367	5.82	—	807	114	468	4.10	—	—	—	—
3	ANI-3	832	19	367	19.31	—	832	33	468	14.18	—	—	—	—
4	ANI-4	805	77	367	4.76	—	835	401	468	1.16	—	—	—	—
5	ANI-5	807	37	367	9.91	—	807	55	468	8.50	—	—	—	—
6	ANI-6	108	196	367	1.87	—	108	356	468	1.31	—	—	—	—
7	ANI-7	801	244	367	1.50	○	801	455	468	1.02	○	—	—	—
8	ANI-8	816	99	367	3.70	—	610	172	468	2.72	—	—	—	—
9	AC-11	379	193	363	1.88	—	379	345	422	1.22	—	—	—	—
10	PV-028YD	A07F	63	367	5.82	—	A07F	78	468	6.00	—	—	—	—
11	PV-029YD	E10	171	367	2.14	—	E12N	268	468	1.74	—	—	—	—
12	PV-030YD	C27	153	367	2.39	—	C39	246	468	1.90	—	—	—	—
13	PV-031R2F	F11F	106	361	3.40	—	F11F	166	288	1.73	—	—	—	—
14	PV-032R4F	C346F	125	367	2.93	—	D06	210	288	1.37	—	—	—	—

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-960 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-9-2-3-3-2 管の応力計算書

まえがき

本計算書は、添付書類「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」並びに「V-3-2-11 重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「V-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

評価条件整理表

応力計算 モデルNo.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
ANI-1	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	1.0	60	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	60	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
ANI-2	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	60	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
ANI-3	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	60	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
ANI-4	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	1.0	60	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	60	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
ANI-5	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	60	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
ANI-6	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	60	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
ANI-7	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	60	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
ANI-8	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	1.0	60	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	60	—	—	設計・建設規格	—	SA-2

NT2 補② V-3-9-2-3-3-2 R2

応力計算 モデルNo.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
AC-11	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
PV-028YD	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	1.0	60	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	60	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
PV-029YD	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	60	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
PV-030YD	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	60	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
PV-031R2F	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	60	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
PV-032R4F	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	60	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	7
3.1 設計条件	7
3.2 材料及び許容応力	10
4. 計算結果	11
5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	12

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」並びに「V-3-2-11 重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づき、管の応力計算を実施した結果を示したものである。

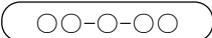
(1) 管

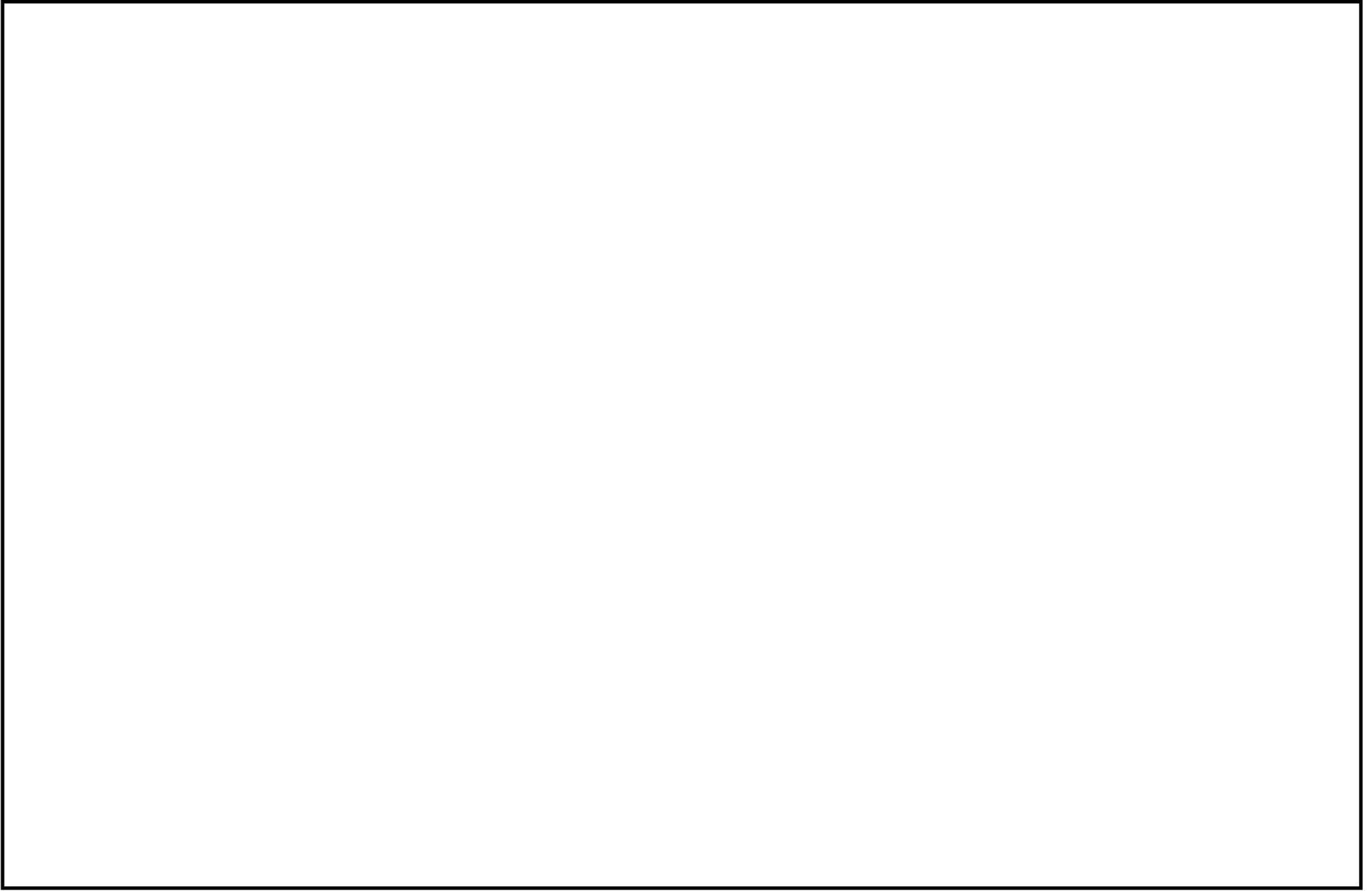
工事計画記載範囲の管のうち、最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全14モデルのうち、最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を5.に記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

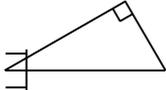
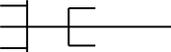
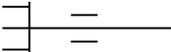
概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (鳥瞰図, 計算条件及び評価結果を記載す る範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果のみ記載する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッパについても同様とする。)
	スナッパ
	ハンガ
	リジットハンガ
注：鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。	

3. 計算条件

3.1 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 PV-029YD

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
1	E08～E09, E10～E27 E28～E31	0.62	60	60.5	3.9	STPT410

伸縮継手部の質量

鳥 瞰 図 PV-029YD

質量	対応する評価点
	E09～E32, E33～E10
	E27～E34, E35～E28
	E32～E33, E34～E35

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 PV-029YD

質量	対応する評価点
	E09, E10, E27, E28

3.2 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S h
STPT410	60	—	—	—	103

4. 計算結果

下表に示すとおり最大応力はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

設計・建設規格 PPC-3520 による評価結果

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区 分	一次応力評価 (MPa)	
			計算応力	許容応力
			S prm (1)	1.5 S h
			S prm (2)	1.8 S h
PV-029YD	E12N	S prm (1)	55	154
PV-029YD	E12N	S prm (2)	55	185

5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2範囲）

No	配管モデル	供用状態 E*1					供用状態 E*2				
		一次応力					一次応力				
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表
1	ANI-1	150	36	166	4.61	—	150	36	199	5.52	—
2	ANI-2	49	13	154	11.84	—	49	13	185	14.23	—
3	ANI-3	607	8	154	19.25	—	607	8	185	23.12	—
4	ANI-4	411	23	154	6.69	—	411	23	185	8.04	—
5	ANI-5	22	12	154	12.83	—	22	12	185	15.41	—
6	ANI-6	108	34	154	4.52	—	108	34	185	5.44	—
7	ANI-7	1	34	154	4.52	—	1	34	185	5.44	—
8	ANI-8	60	22	154	7.00	—	60	22	185	8.40	—
9	AC-11	40	49	154	3.14	—	40	49	185	3.77	—
10	PV-028YD	A07F	41	154	3.75	—	A07F	42	185	4.40	—
11	PV-029YD	E12N	55	154	2.80	○	E12N	55	185	3.36	○
12	PV-030YD	C11	42	154	3.66	—	C11	42	185	4.40	—
13	PV-031R2F	F11F	59	166	2.81	—	F11F	59	199	3.37	—
14	PV-032R4F	C346F	49	154	3.14	—	C346F	49	185	3.77	—

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)に基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)に基づき計算した一次応力を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-961 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-9-4-3-2-1 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	18
3.1 荷重の組合せ及び許容応力	18
3.2 設計条件	19
3.3 材料及び許容応力	25
3.4 設計用地震力	26
4. 解析結果及び評価	27
4.1 固有周期及び設計震度	27
4.2 評価結果	33
4.2.1 管の応力評価結果	33
4.2.2 支持構造物評価結果	34
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	35
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	36

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」，「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」及び「V-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき、管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は以下に示すとおりとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全2モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

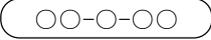
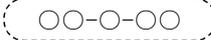
(3) 弁

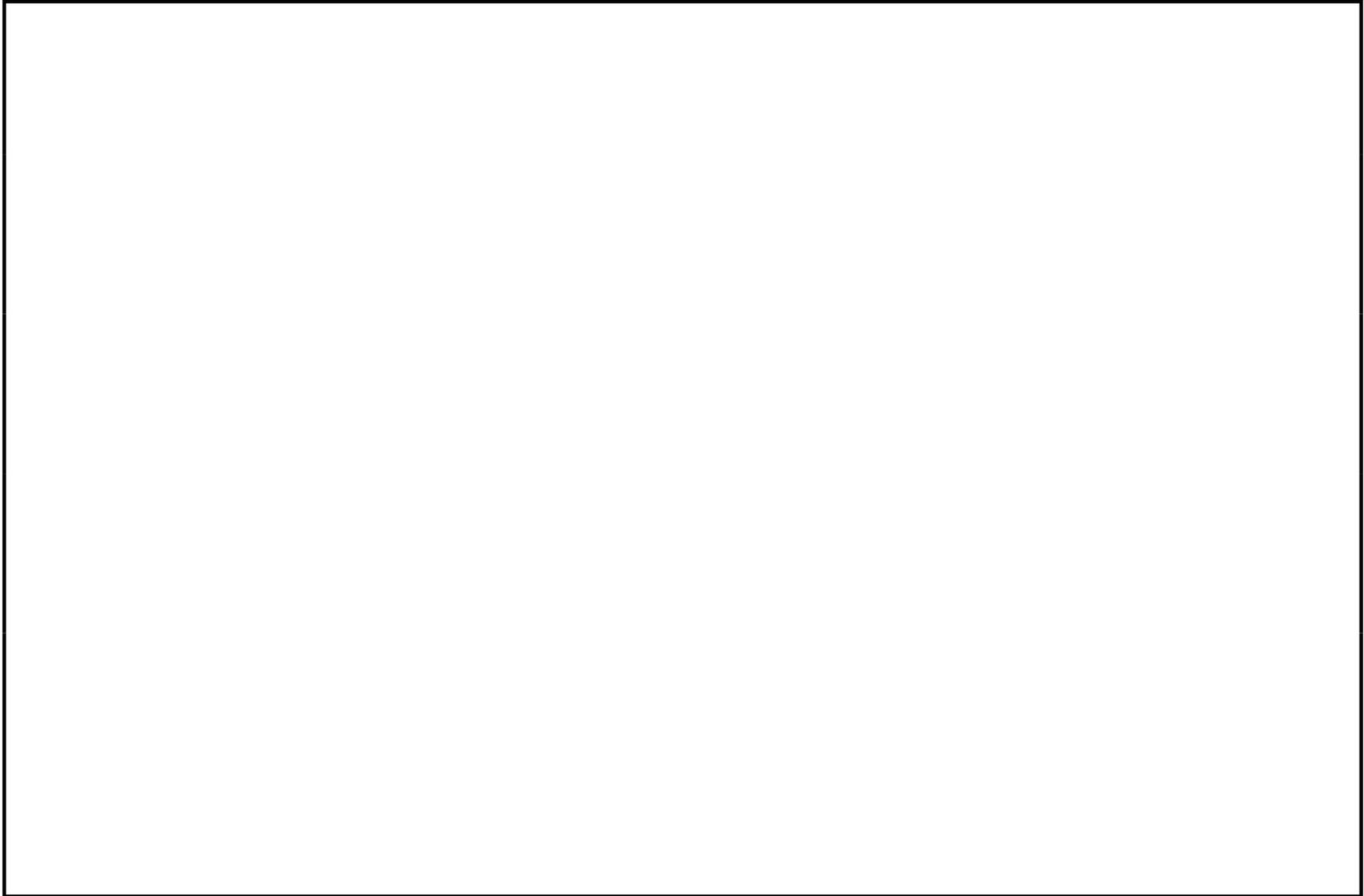
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

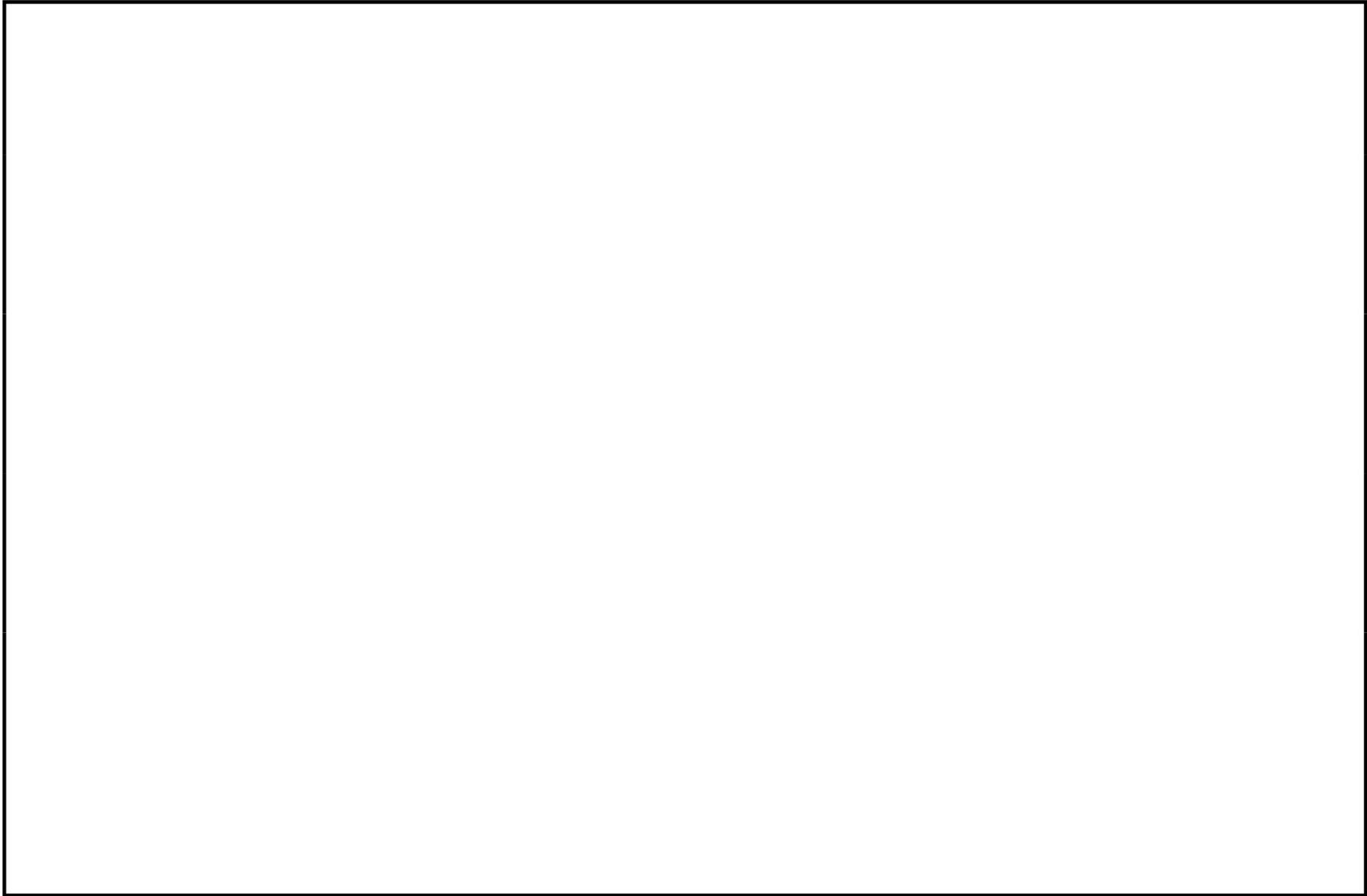
2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

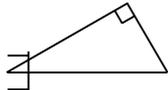
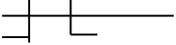
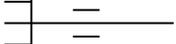
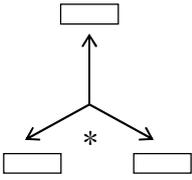
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (鳥瞰図, 計算条件及び評価結果を記載す る範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果のみ記載する範囲)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



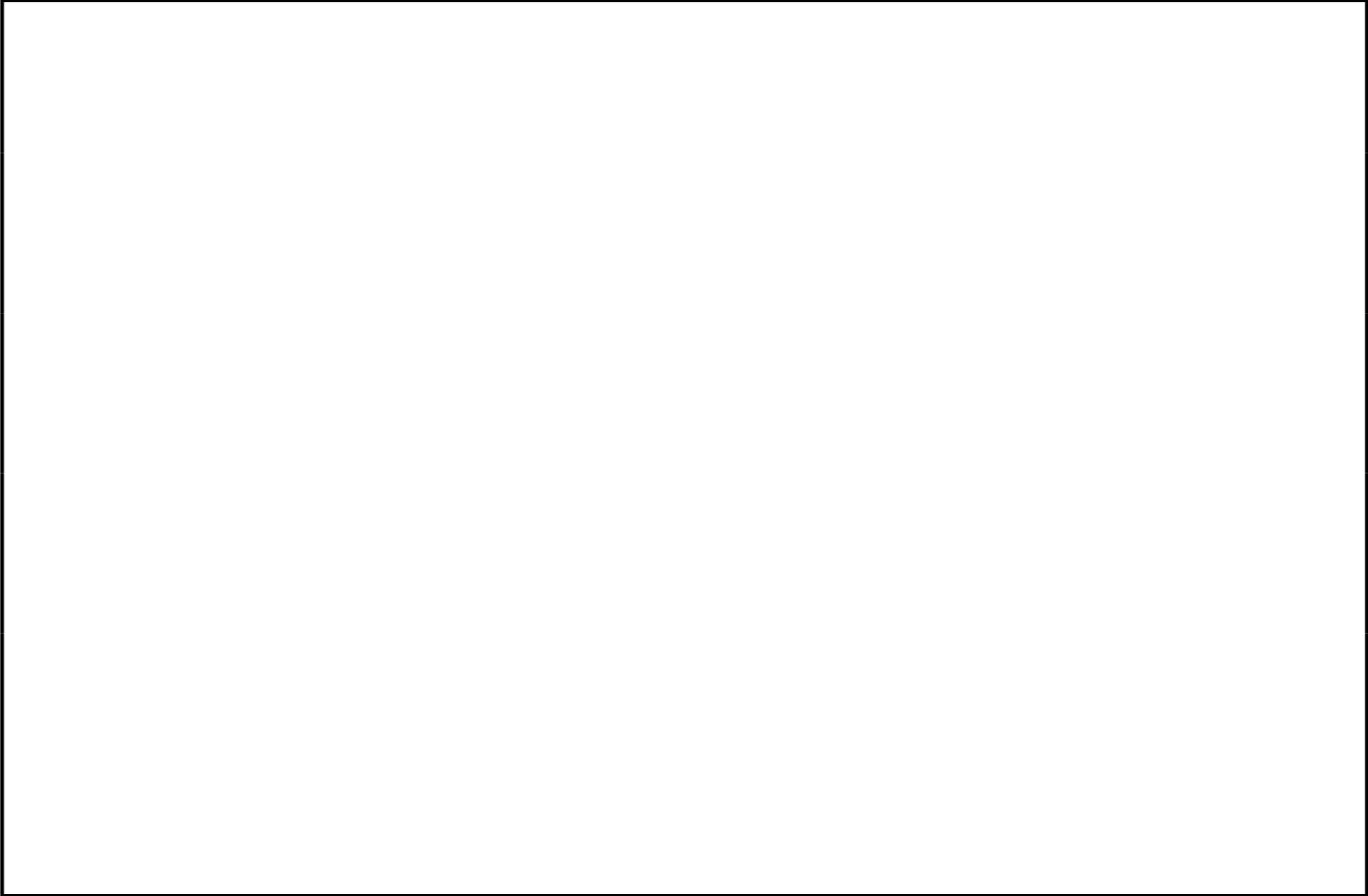


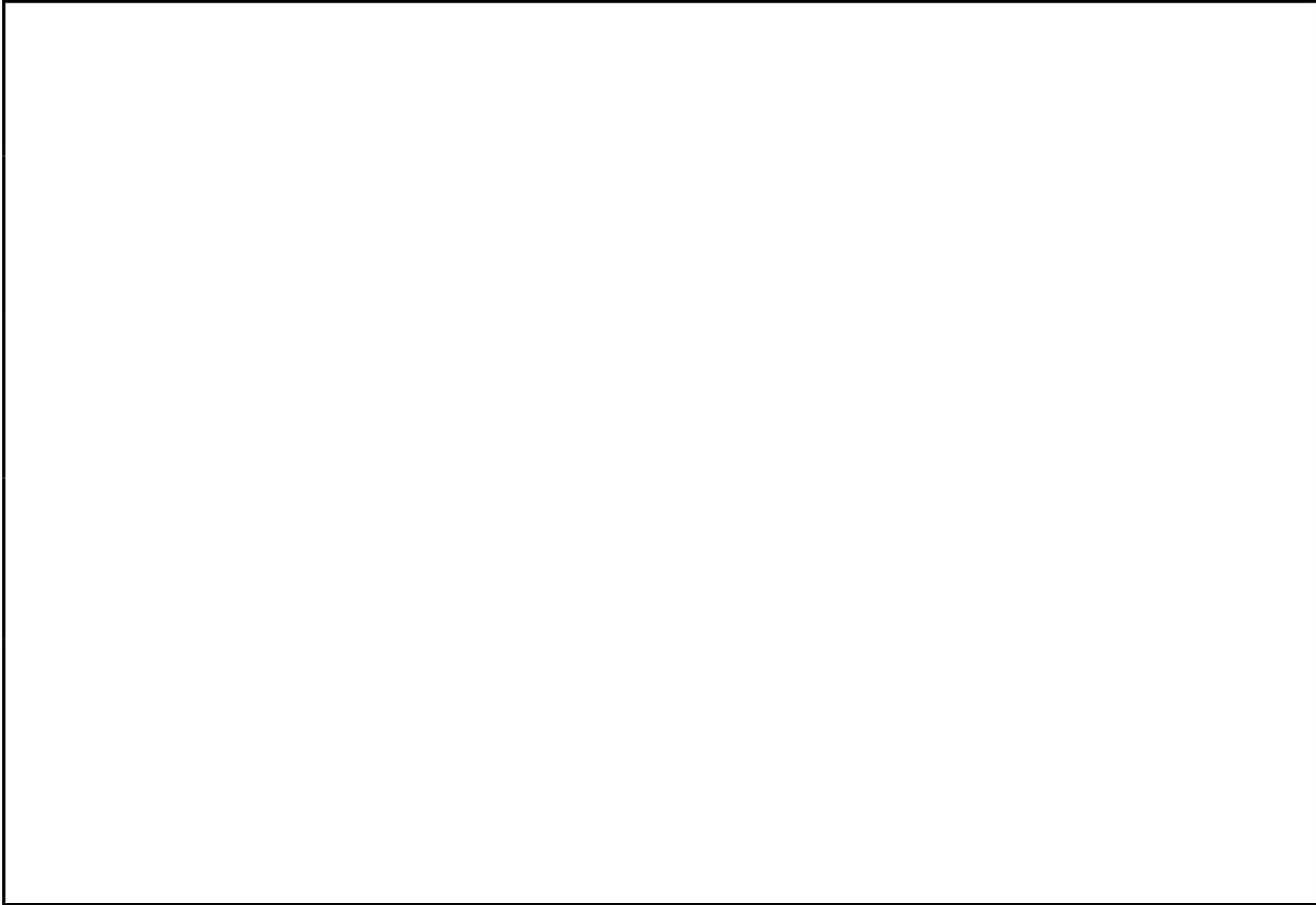
2.2 鳥瞰図

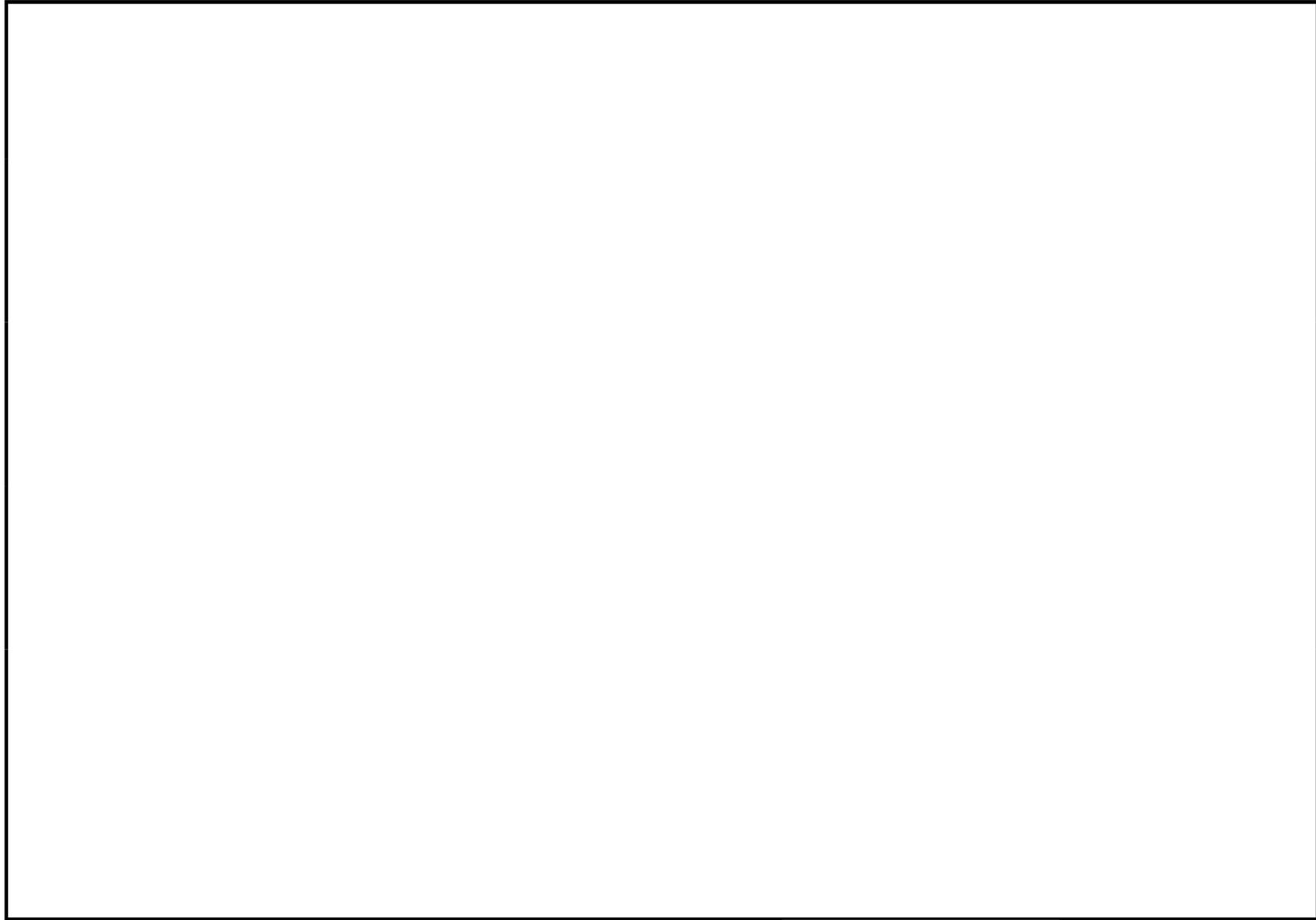
鳥瞰図記号凡例

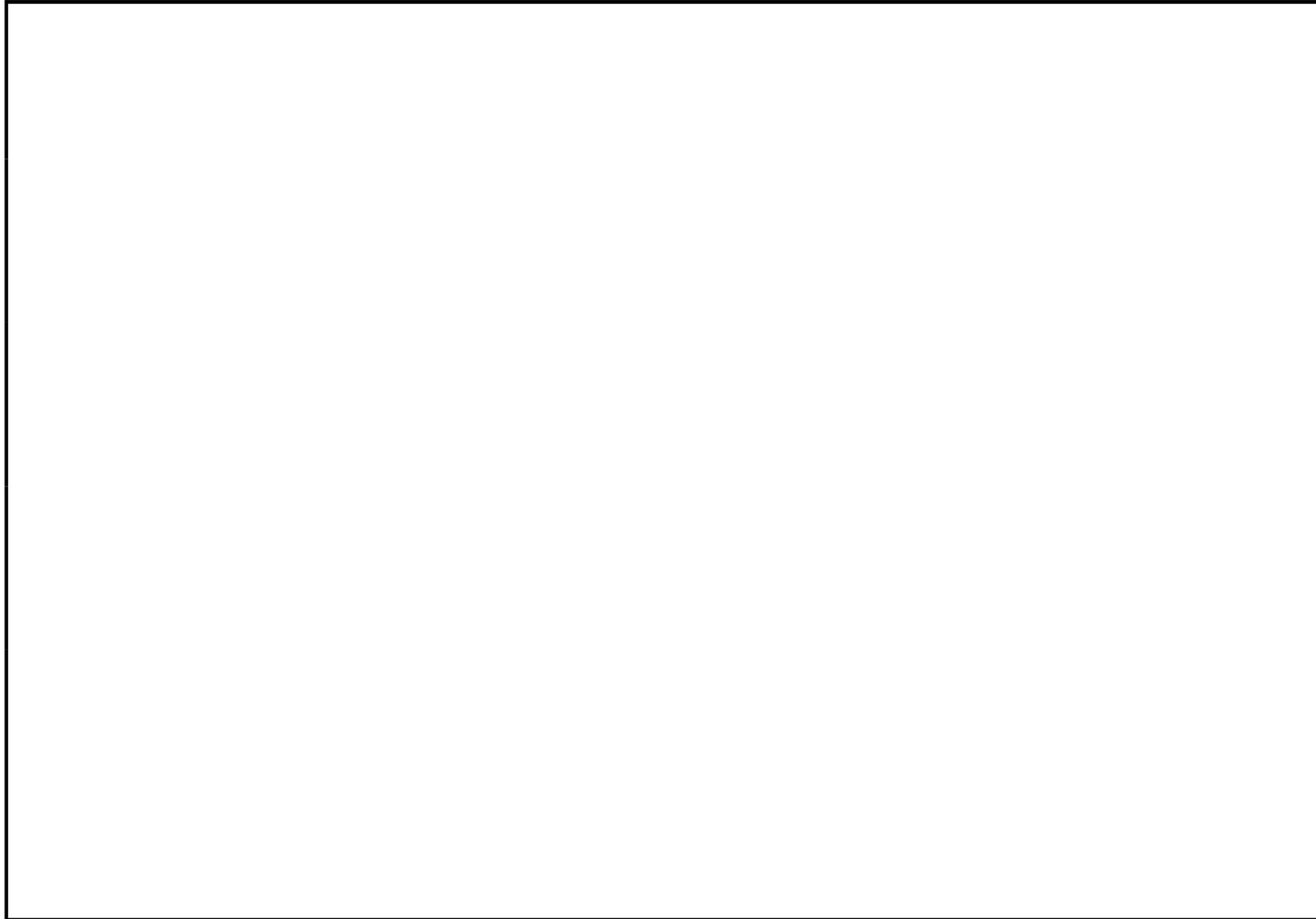
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッパについても同様とする。)
	スナッパ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, □ 内に変位量を記載する。)

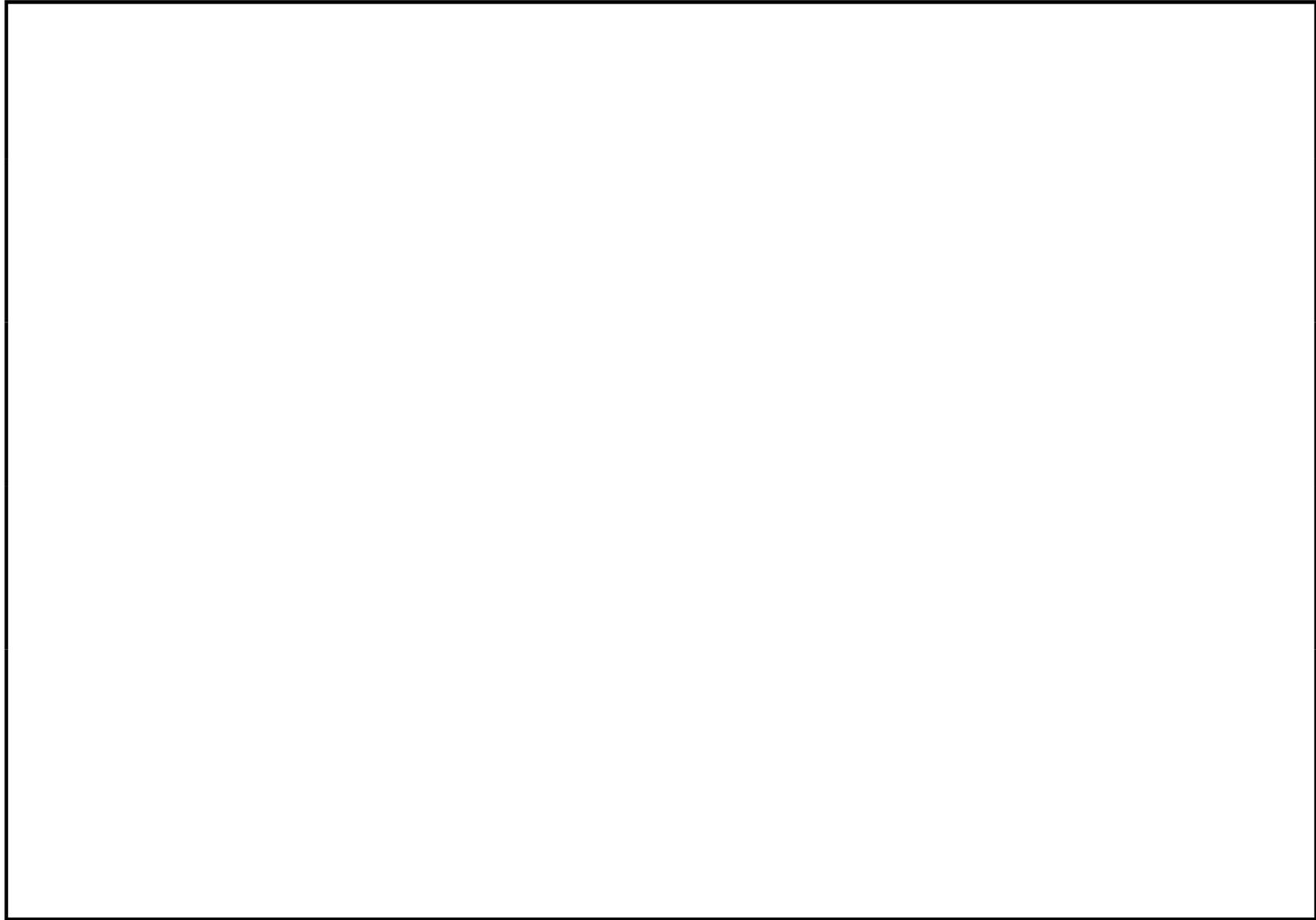
注：鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。

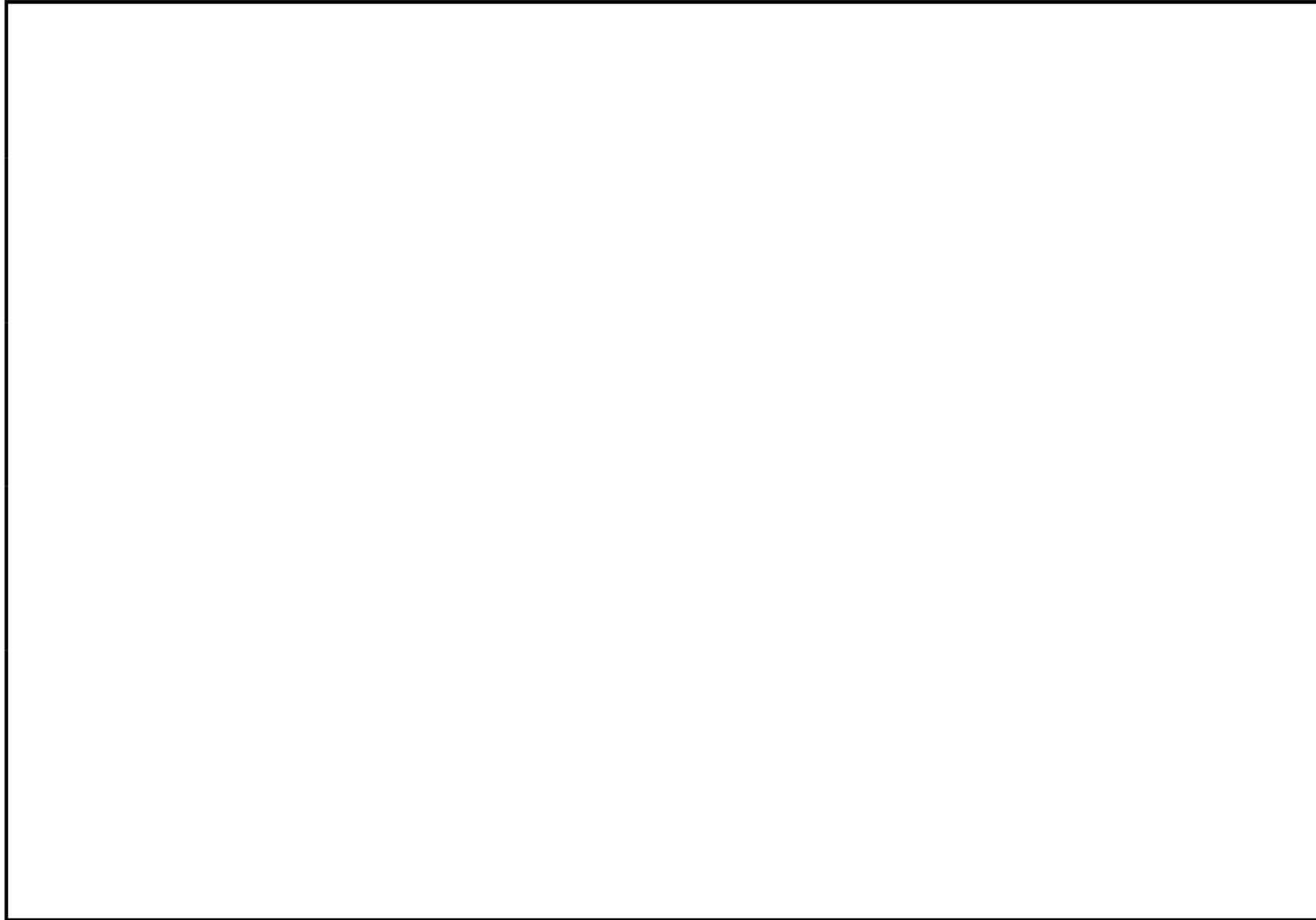


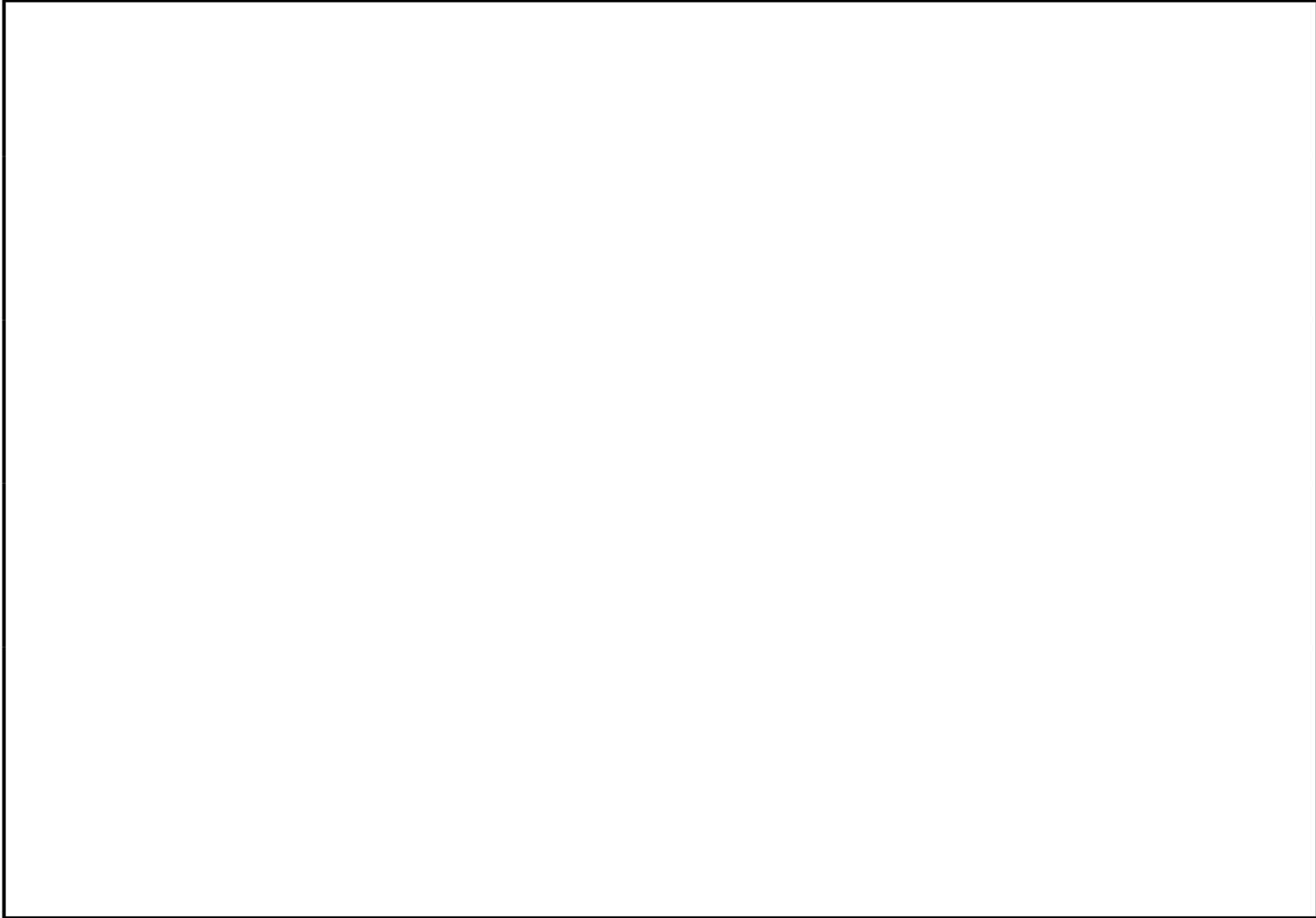


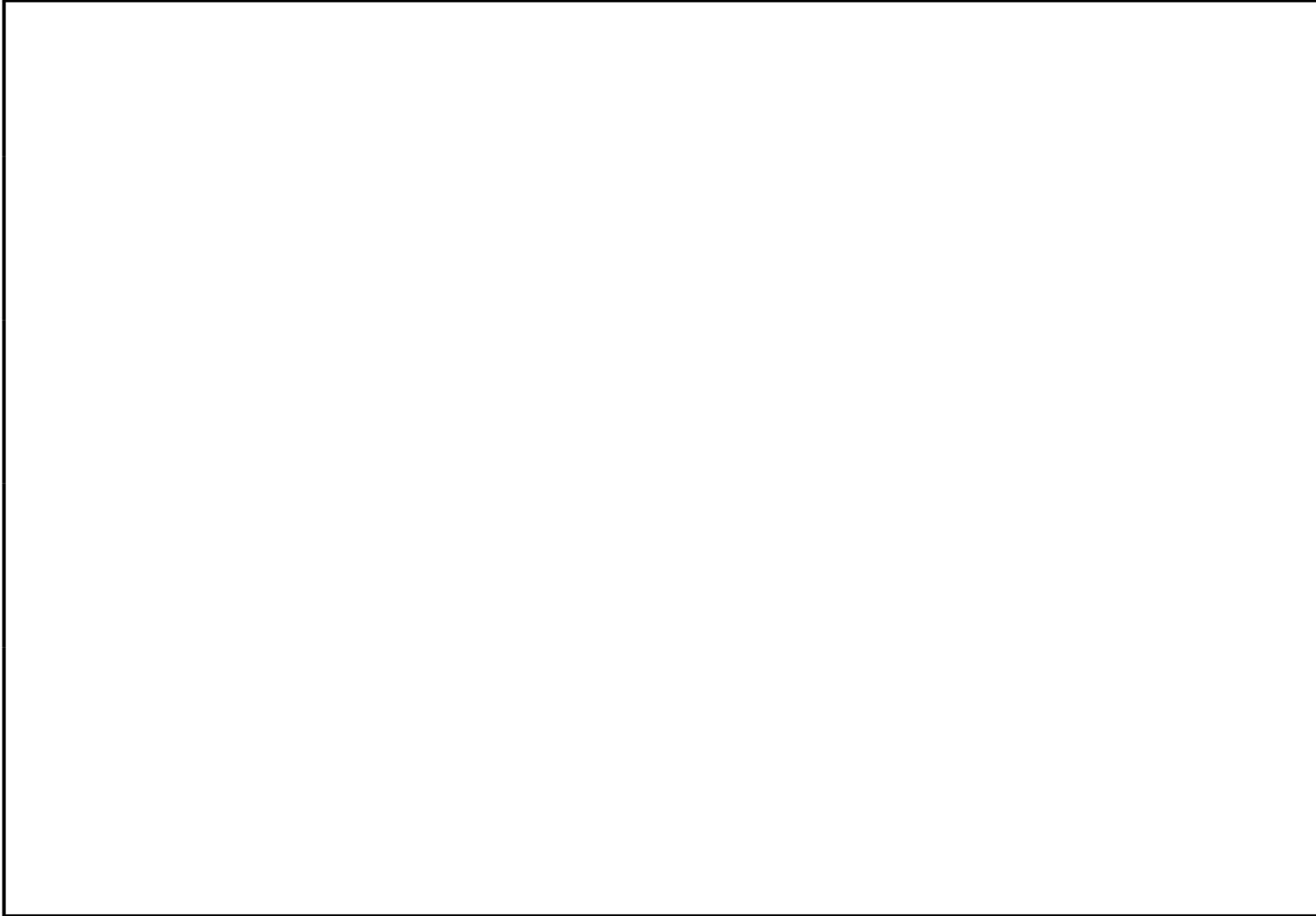




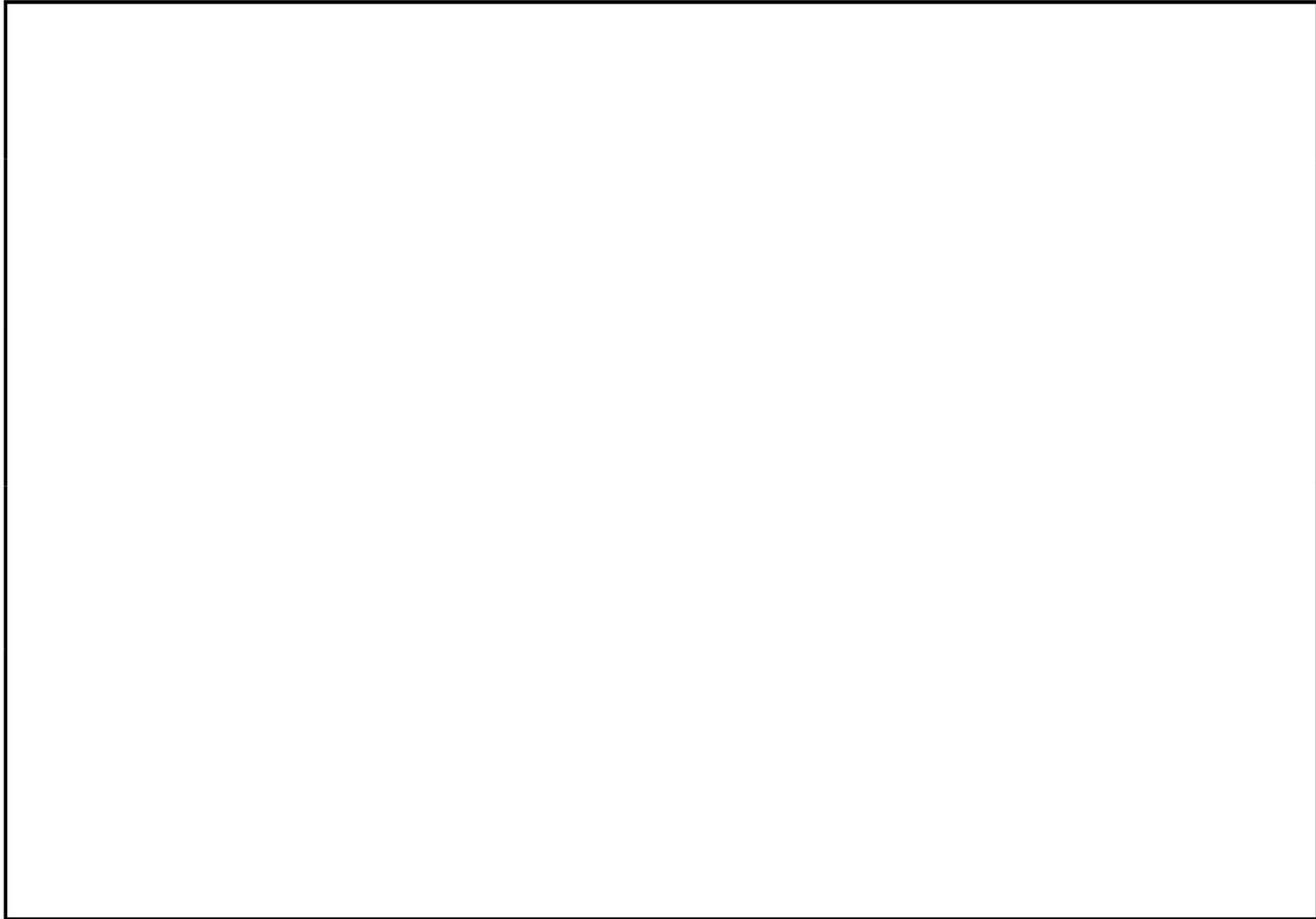


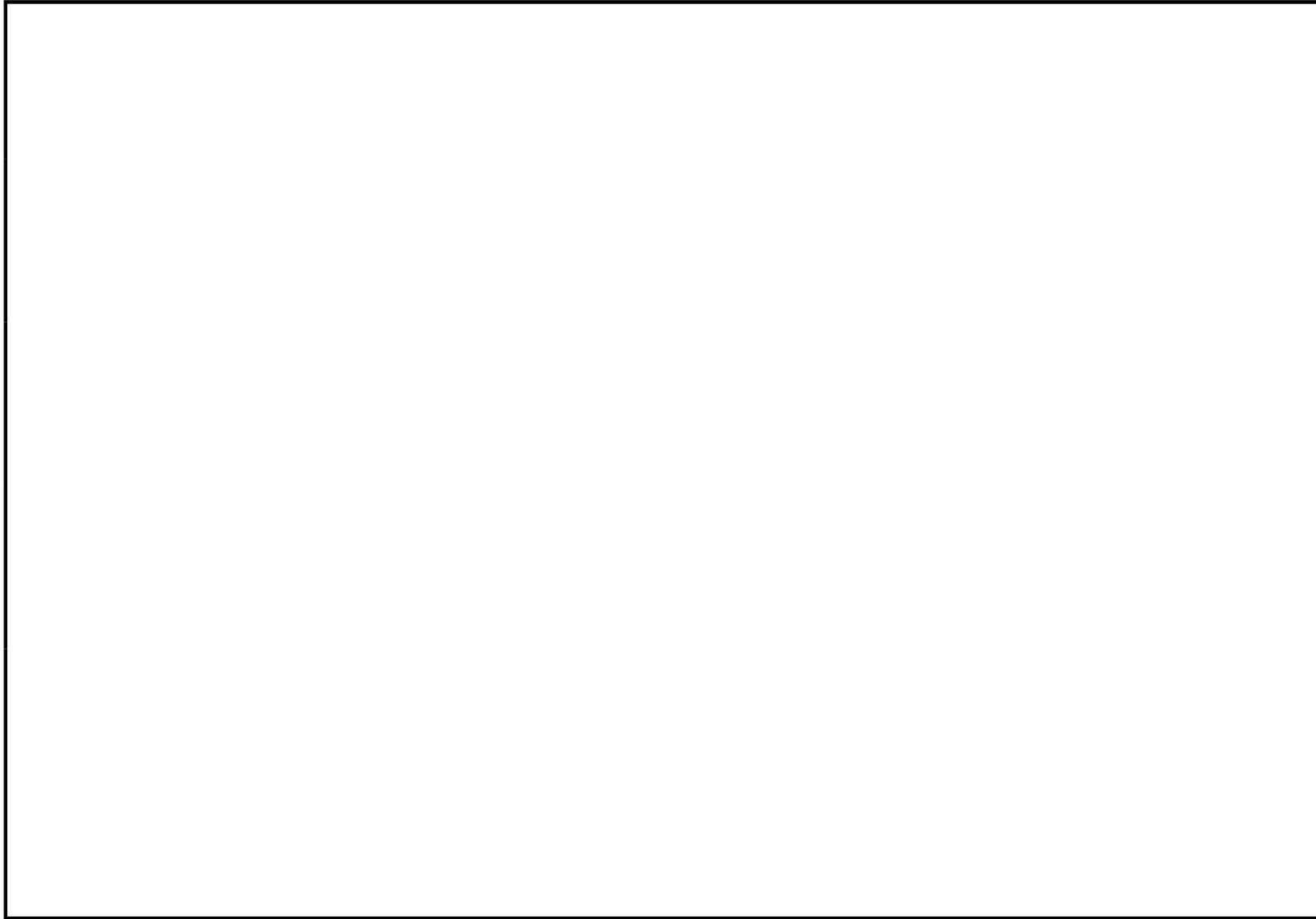


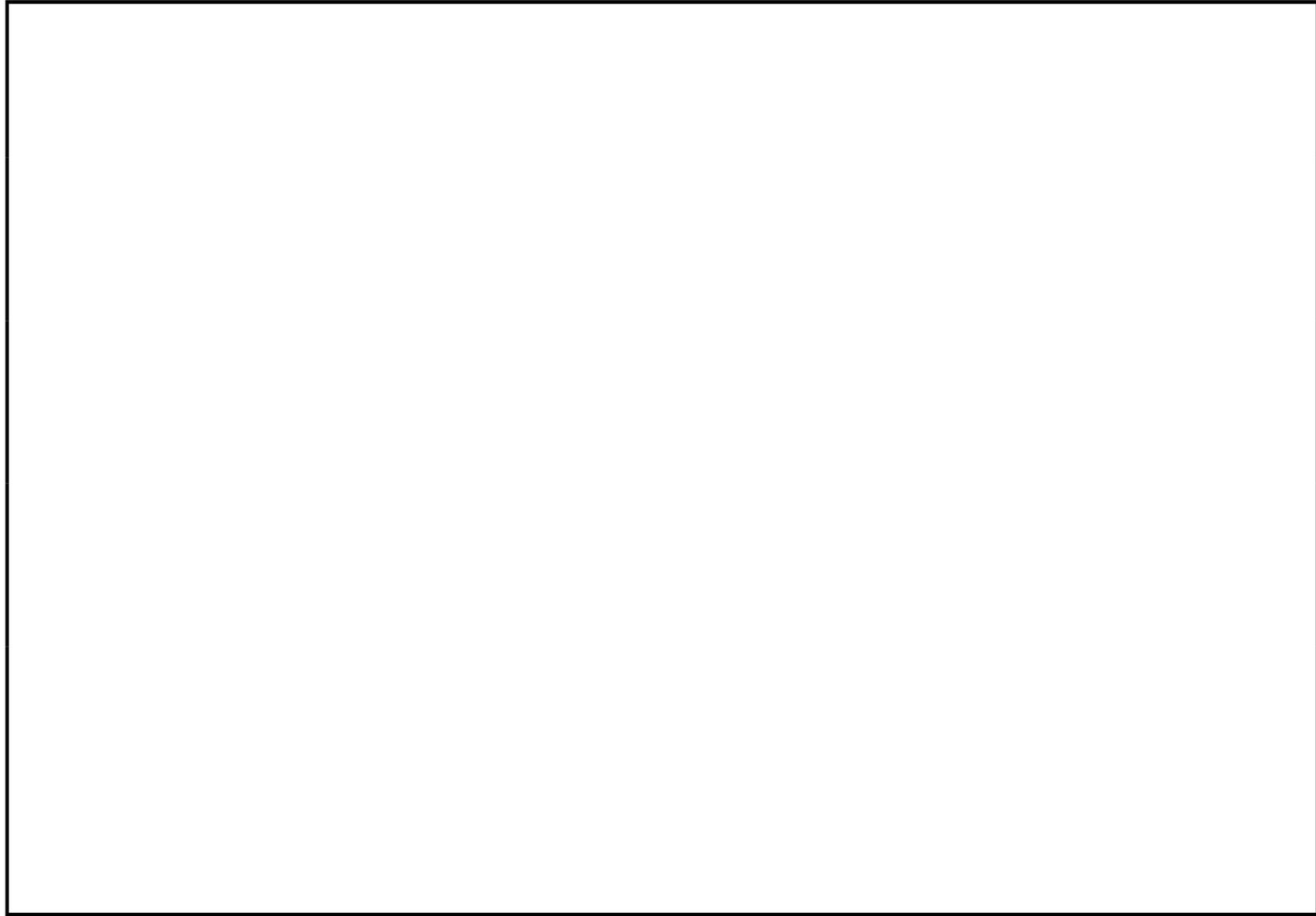


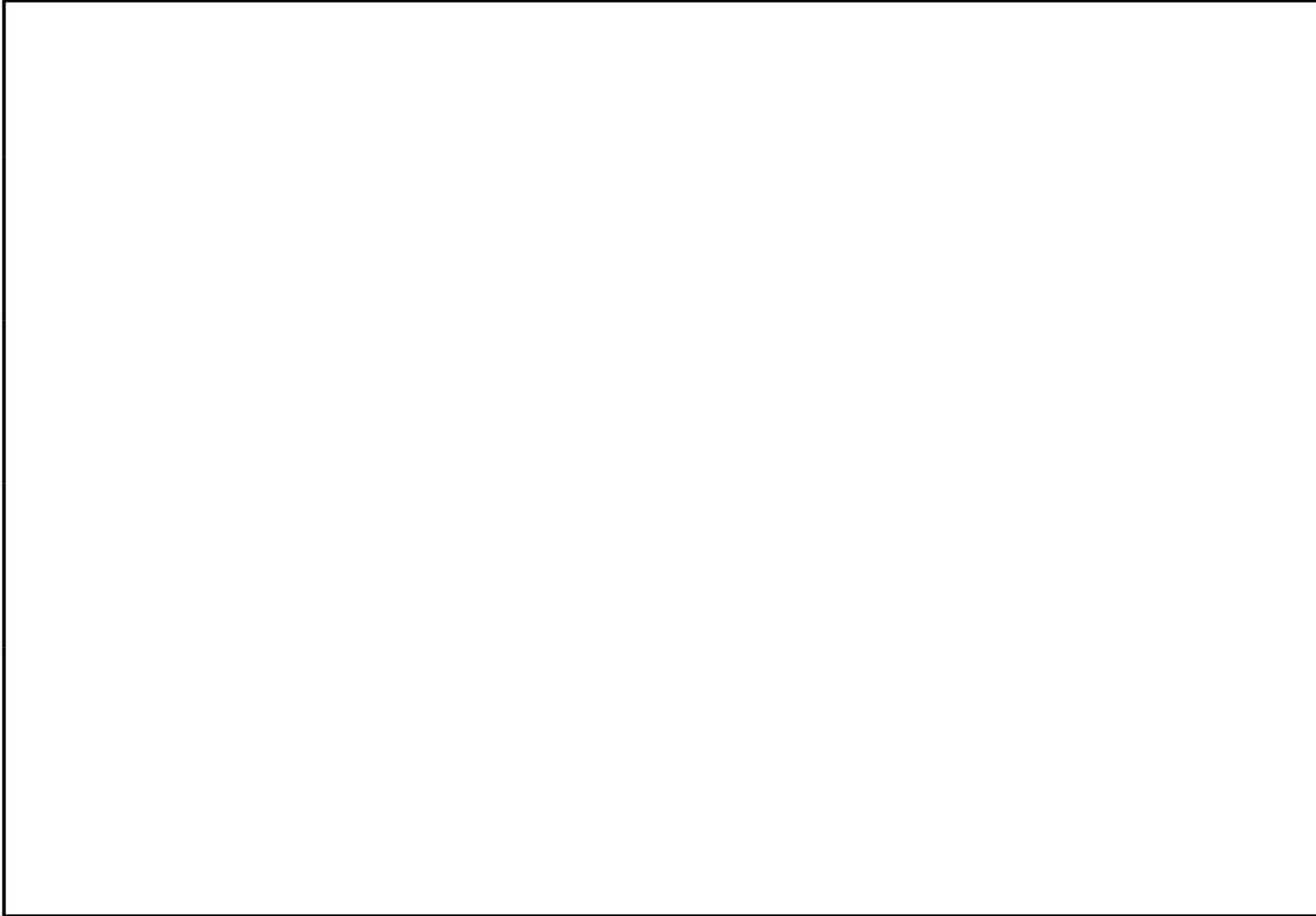


鳥瞰図	RHR-34, 37, 38, 39, 50 (SA) (8/12)
-----	------------------------------------









鳥瞰図	RHR-34, 37, 38, 39, 50 (SA) (12/12)
-----	-------------------------------------

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備の原子炉格納容器安全設備	代替格納容器スプレイ冷却系	S A	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$

注記*1： DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2： 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3： 運転状態の添字Lは荷重，(L)は荷重が長期間作用している状態，(LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4： 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5： 許容応力状態 $V_A S$ は許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界を使用し，許容応力状態 $IV_A S$ として評価を実施する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-34, 37, 38, 39, 50

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	514～517	3.45	174	216.3	8.2	STPT410	—	
2	518～523, 528～529, 534～542A	1.40	66	216.3	8.2	STPT410	—	

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RHR-34, 37, 38, 39, 50

質量	対応する評価点
	514～517

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RHR-34, 37, 38, 39, 50

質量	対応する評価点
	541F

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RHR-34, 37, 38, 39, 50

評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
517～518				523～528			
524～525				525～526			
526～527				529～534			
530～531				531～532			
532～533							

弁部の質量

鳥 瞰 図 RHR-34, 37, 38, 39, 50

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	517～518		524
	525		527
	530		531
	533		

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-34, 37, 38, 39, 50

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
520						
526						
** 526 **						
** 532 **						
540						
542A						

NT2 補② V-2-9-4-3-2-1 R2

3.3 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S h
STPT410	174	—	210	404	—
STPT410	66	—	231	407	—

3.4 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお、設備評価用床応答曲線は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
RHR-34, 37, 38, 39, 50	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RHR-34, 37, 38, 39, 50

耐震設計上の重要度分類		—		
適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向
		3.18	3.18	6.22
		3.18	3.18	5.94
		3.05	3.05	4.37
		2.85	2.85	4.37
		2.83	2.83	4.37
		2.81	2.81	4.37
		2.64	2.64	4.27
		2.64	2.64	4.26
		1.37	1.37	1.38
		—	—	—
動的震度		1.34	1.34	1.01

各モードに対応する刺激係数

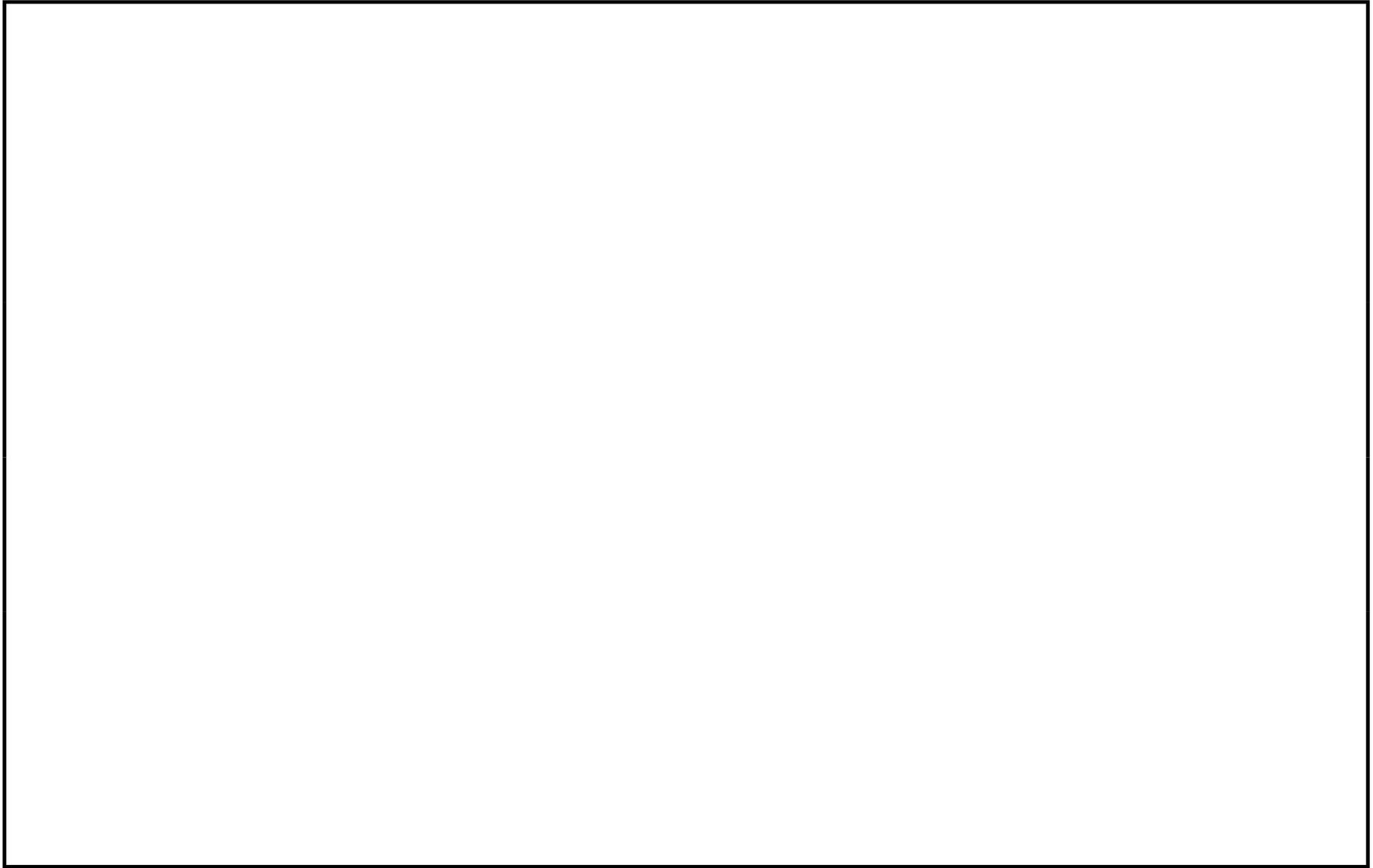
鳥 瞰 図 RHR-34, 37, 38, 39, 50

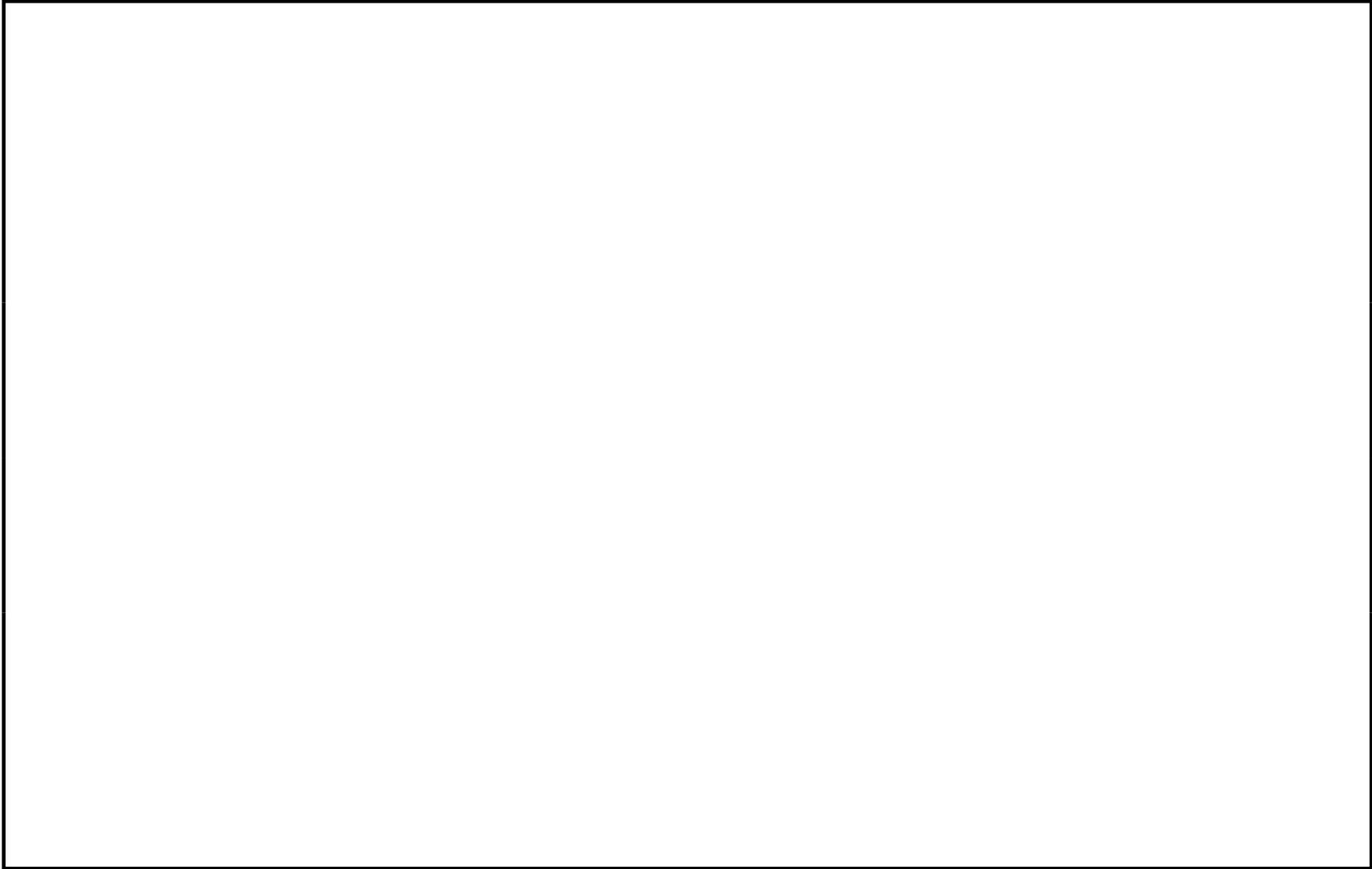
モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向

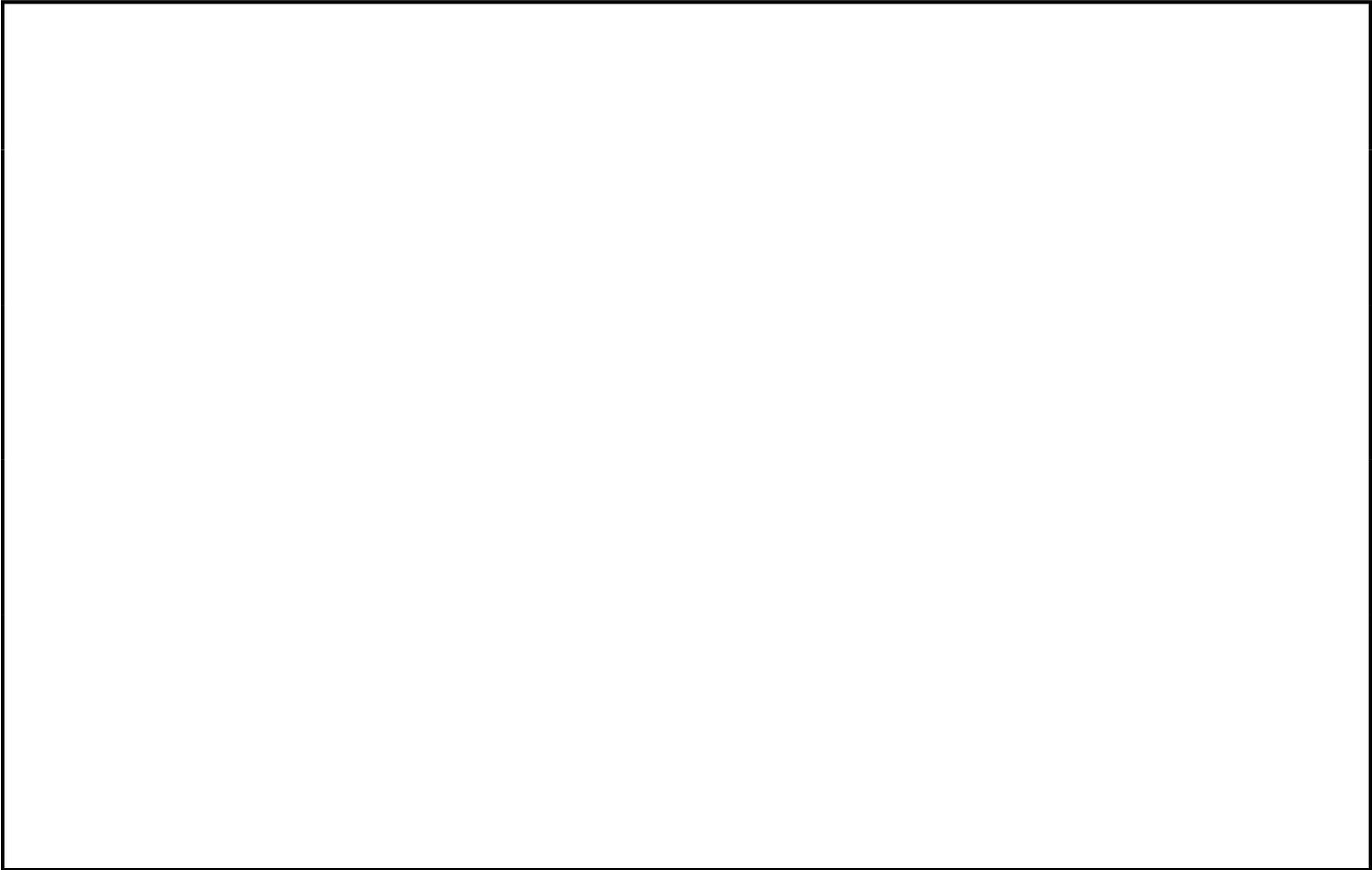
NT2 補② V-2-9-4-3-2-1 R2

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。







4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

鳥瞰図	許容応力 状態 (供用状態)	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 Sprm (S s)	許容応力 0.9Su	計算応力 Sn (S s)	許容応力 2Sy	疲労累積係数 USs
RHR-34, 37, 38, 39, 50	V _A S	515	Spr _m (S s)		363	—	—	—
RHR-34, 37, 38, 39, 50	V _A S	515	S _n (S s)	—	—		420	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	—	—	—	—	—	—

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
ALPI-265ANC	アンカ	架構	STKR400	100	24	8	8	3	4	4	組合せ	18	234

注 反力が最大となる支持点の支持構造物評価結果（応力評価）は、兼用の低圧代替注水系に示す

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度* ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

* 応答加速度は、打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2範囲）

No	配管モデル	許容応力状態 V _A S												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	RHR-48	104	50	363	7.26	—	104	49	420	8.57	—	—	—	—
2	RHR-34, 37, 38, 39, 50	515	128	363	2.83	○	515	201	420	2.08	○	—	—	—

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-963 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-9-7-1-1 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	8
3.1 荷重の組合せ及び許容応力	8
3.2 設計条件	9
3.3 材料及び許容応力	14
3.4 設計用地震力	15
4. 解析結果及び評価	16
4.1 固有周期及び設計震度	16
4.2 評価結果	22
4.2.1 管の応力評価結果	22
4.2.2 支持構造物評価結果	23
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	24
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	25

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」，「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」及び「V-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき、管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は以下に示すとおりとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全14モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

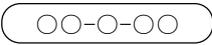
(3) 弁

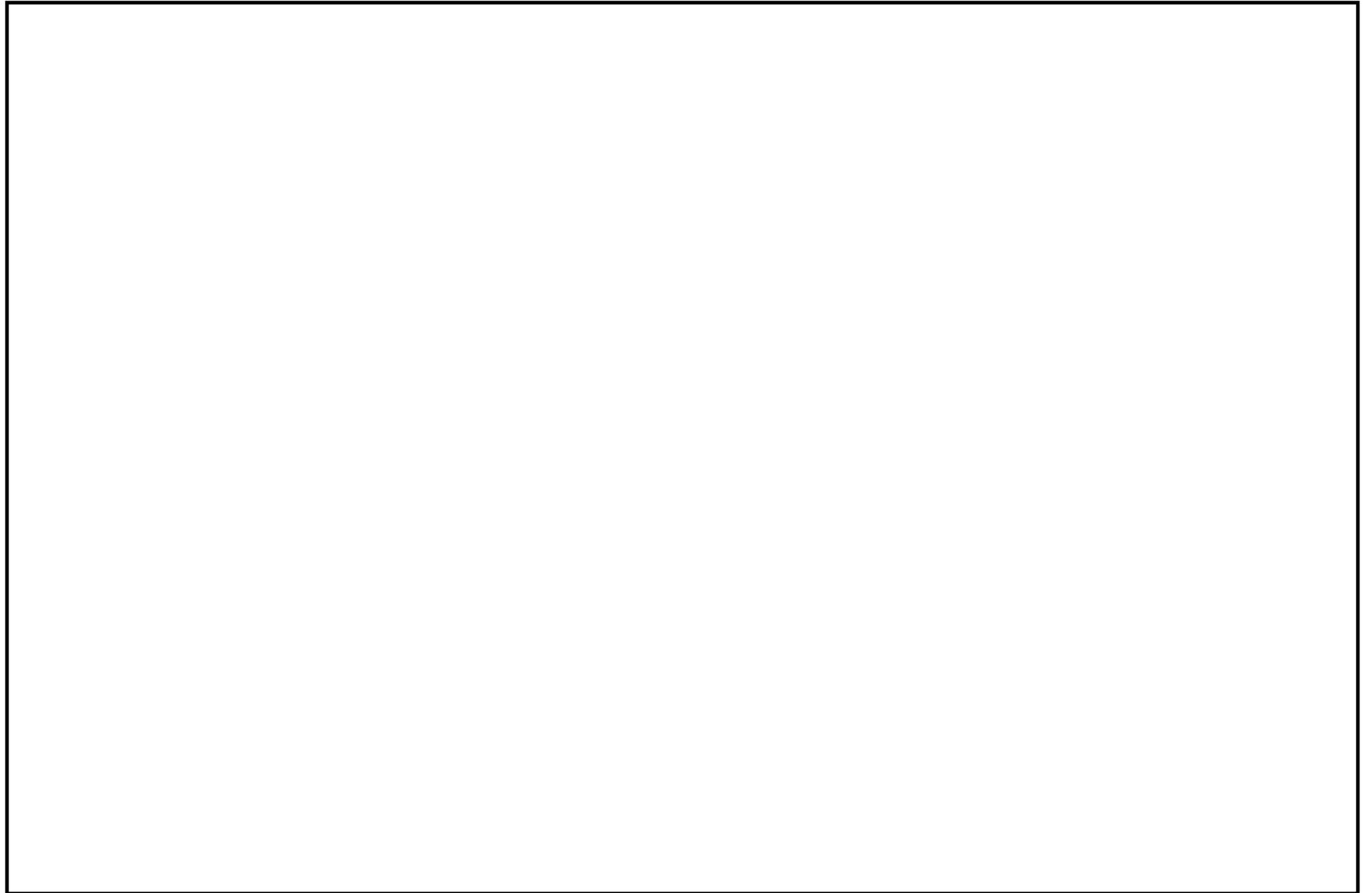
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

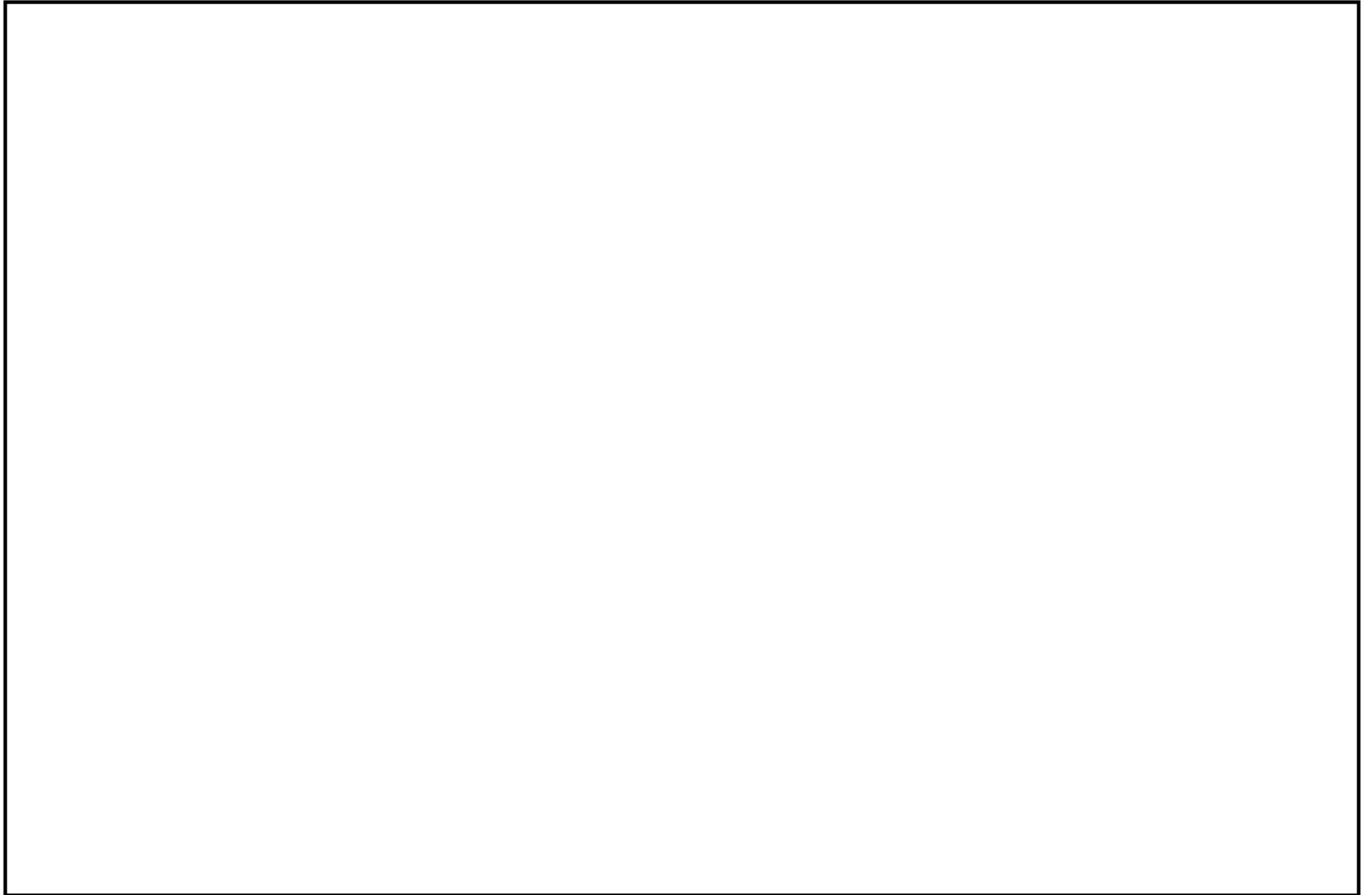
2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

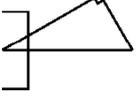
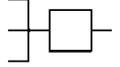
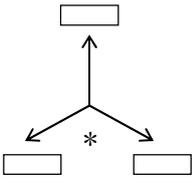
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (鳥瞰図, 計算条件及び評価結果を記載す る範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果のみ記載する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

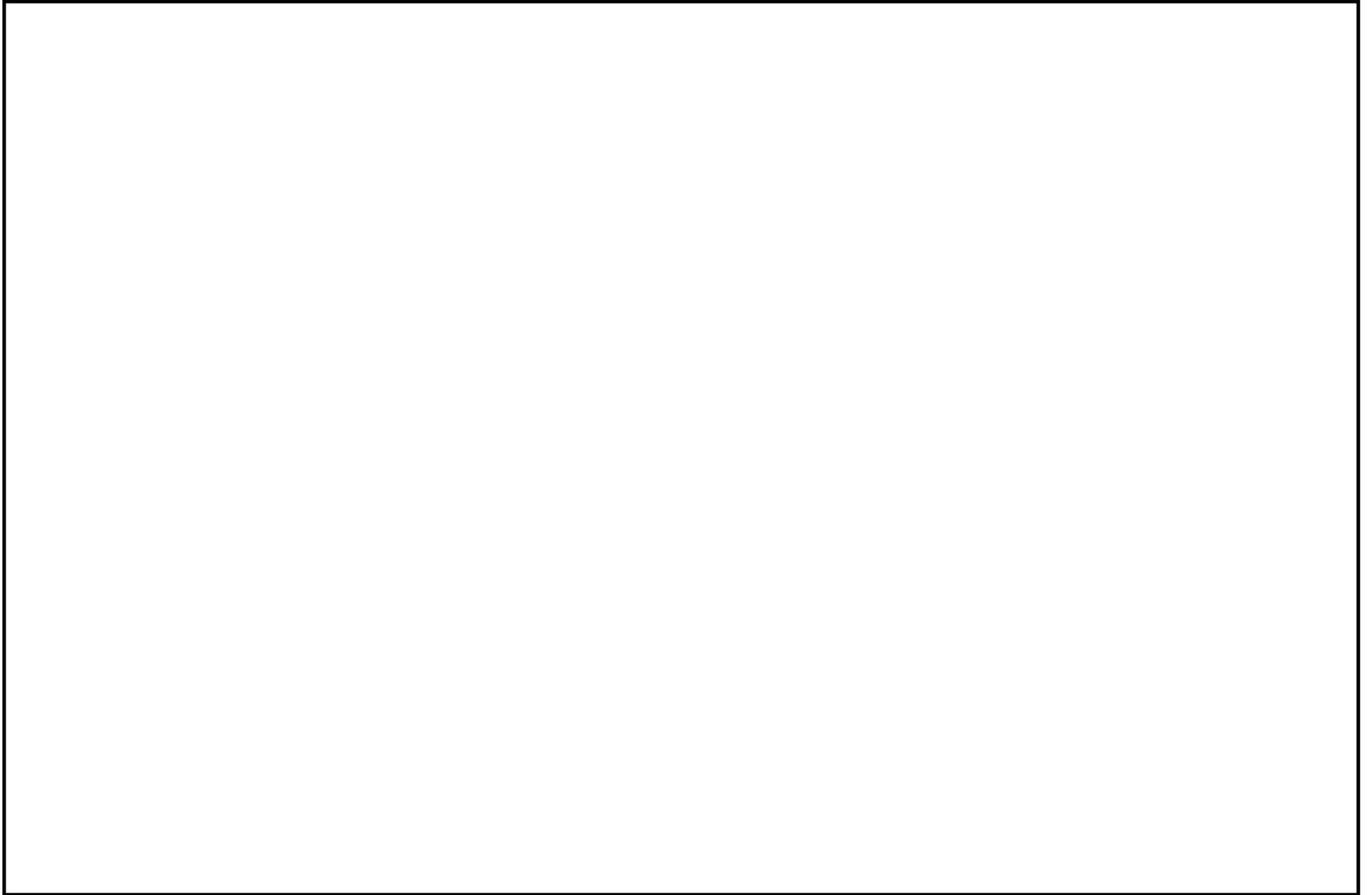


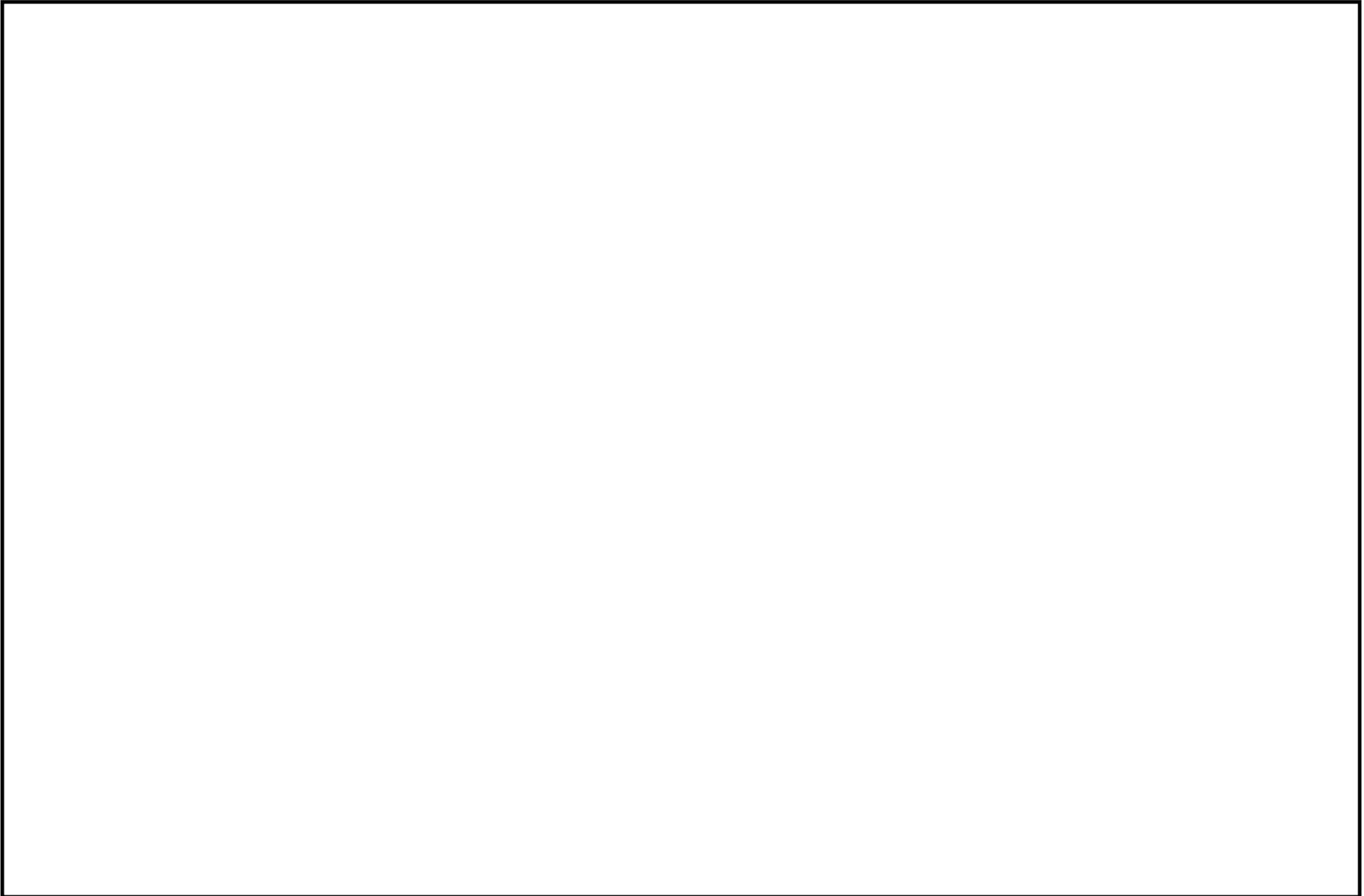


2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
 	節 点 質 点
	ア ン カ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, □ 内に 変位量を記載する。)
注：鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。	





3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	格納容器圧力逃がし装置	S A	常設/緩和	重大事故等クラス2管	-	$V_L(L) + S_d^{*6,7}$	$V_A S$
							$V_L(LL) + S_s^{*6}$	
		$V_L + S_s$						
		窒素ガス代替注入系	S A	常設/緩和	重大事故等クラス2管	-	$V_L + S_s$	$V_A S$
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	格納容器圧力逃がし装置	S A	常設耐震/防止	重大事故等クラス2管	-	$V_L + S_s$	$V_A S$

注記*1: DBは設計基準対象施設, SAは重大事故等対処設備を示す。

*2: 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3: 運転状態の添字Lは荷重, (L)は荷重が長期間作用している状態, (LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4: 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5: 許容応力状態 $V_A S$ は許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界を使用し, 許容応力状態 $IV_A S$ として評価を実施する。

*6: プロセス条件に加え, 重大事故時の原子炉格納容器バウンダリ条件として, 重大事故時の原子炉格納容器限界温度及び圧力を考慮する。

*7: 荷重の組合せ $V_L(L) + S_d$ は $V_L(LL) + S_s$ に包絡されるため, 評価を省略する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RCIC-32

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	29～33W, 29～67	0.69	200	60.5	5.5	STPT410	—	191000
2	38W～40W	0.69	200	60.5	5.5	STPT42	—	191000
3	67～68	0.69	200	60.5	5.5	SFVC2B	—	191000
4	68～76W, 77W～86A	0.69	200	60.5	3.9	SUS316LTP	—	183000

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RCIC-32

質量	対応する評価点
	29～33W, 38W～40W

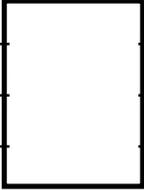
弁部の寸法

鳥 瞰 図 RCIC-32

評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
33W~34			
34~35			
35~36			
36~37			
34~38W			
76W~77W			

弁部の質量

鳥 瞰 図 ANI-7

質量	対応する評価点
	34
	35
	37
	76W~77W

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RCIC-32

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
36						
45N						
7301						
** 7301 **						
7701						
86A						

3.3 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S h
STPT42	200	—	207	404	—
STPT410	200	—	207	404	—
SFVC2B	200	—	213	438	—
SUS316LTP	200		120	407	

3.4 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる**設備評価用床応答曲線**を下表に示す。

なお、**設備評価用床応答曲線**は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
RCIC-32	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RCIC-32

耐震設計上の重要度分類		—		
適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向
		3.35	3.35	3.35
		2.23	2.23	3.08
		1.20	1.20	1.74
		1.20	1.20	1.63
		0.97	0.97	2.02
		0.96	0.96	2.02
		—	—	—
動的震度		1.10	1.10	0.96

各モードに対応する刺激係数

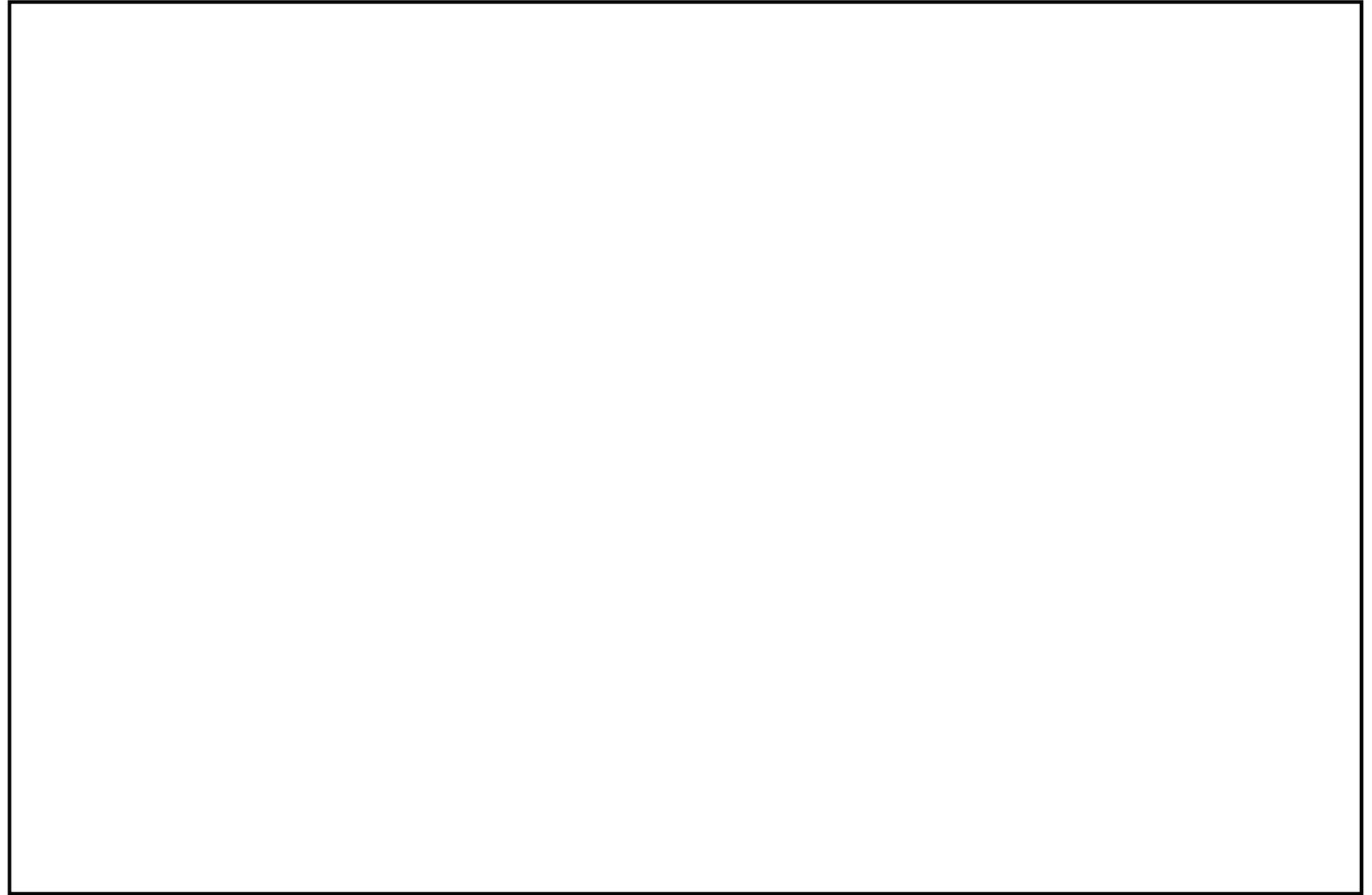
鳥 瞰 図 RCIC-32

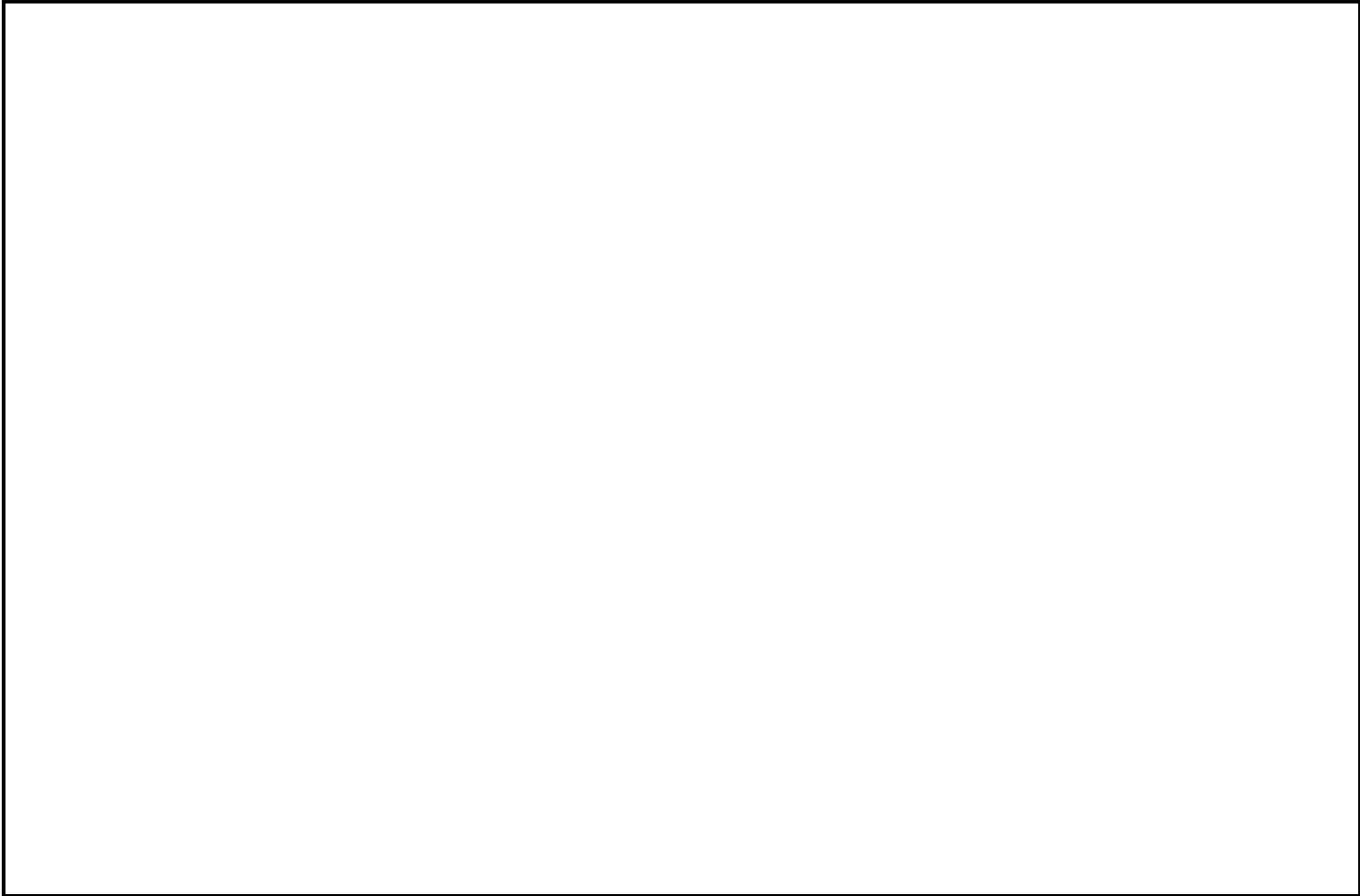
モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向

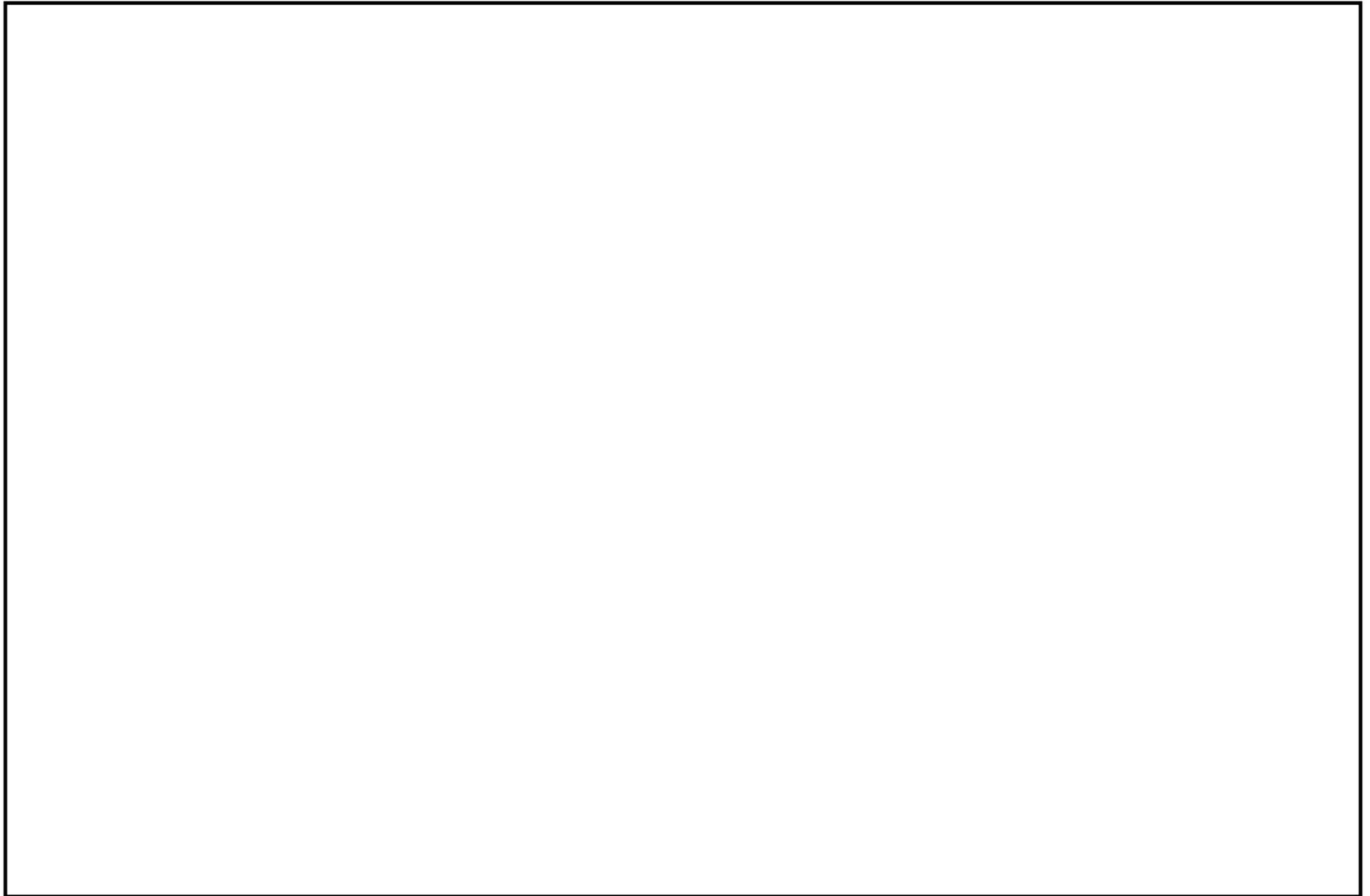
NT2 補② V-2-9-7-1-1 R2

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。







4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

鳥瞰図	許容応力 状態 (供用状態)	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 S _{prm} (S s)	許容応力 0.9S _u	計算応力 S _n (S s)	許容応力 2S _y	疲労累積係数 U S s
RCIC-32	V _A S	33W	S _{prm} (S s)	□	363	-	-	-
RCIC-32	V _A S	33W	S _n (S s)	-	-	□	414	-

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
PV-053SNM	メカニカルスナップ	SMS-16	「V-2-1-11 機器・ 配管の耐震支持設 計方針」参照	40	123.0	240.0
SNO-PV-Y009	オイルスナップ	SN-16			106.0	240.0
RO-PV-Y008	ロッドレストレイント	RTS-10			128.0	180.0
PV-059HAS	スプリングハンガ	VSA-2			23.0	30.5

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
PV-022RES	レストレイント	—	—	40	—	156.0	40.0	—	—	—	—	—	—
PV-067ANC	アンカ	ラグ	SGV480	200	63.3	27.9	152.0	39.7	92.5	16.0	組合せ	63	271

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度* ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

* 応答加速度は、打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2範囲）

No	配管モデル	許容応力状態 V _A S												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	AC-SGTS	385	78	335	4.29	—	385	128	386	3.01	—	—	—	—
2	RCIC-2	2W	35	363	10.37	—	2W	92	414	4.50	—	—	—	—
3	RCIC-32	33W	197	363	1.84	○	33W	386	414	1.07	○	—	—	—
4	PV-01	34	39	366	9.38	—	21	63	240	3.80	—	—	—	—
5	PV-02	15	92	396	4.30	—	15	156	298	1.91	—	—	—	—
6	PV-03	156W	109	366	3.35	—	215N	203	240	1.18	—	—	—	—
7	PV-04	5	160	366	2.28	—	5	206	240	1.16	—	—	—	—
8	PV-05	103	140	366	2.61	—	103	186	240	1.29	—	—	—	—
9	PV-002R5F	B23N	78	363	4.65	—	A25	120	386	3.21	—	—	—	—
10	PV-003YD	A05	21	363	17.28	—	A05	20	414	20.70	—	—	—	—
11	PV-007YD	A10	27	363	13.44	—	A10	26	414	15.92	—	—	—	—
12	PV-008YD	A18F	96	363	3.78	—	A13	166	414	2.49	—	—	—	—
13	PV-009YD	A15N	92	363	3.94	—	A15N	152	414	2.72	—	—	—	—
14	PV-202YD	A44	117	366	3.12	—	A42	136	240	1.76	—	—	—	—
15	PV-203R1F	C05	94	366	3.89	—	C05	164	240	1.46	—	—	—	—

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-964 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-9-2-5-1-2 管の応力計算書

まえがき

本計算書は、添付書類「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」並びに「V-3-2-11 重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「V-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

評価条件整理表

応力計算 モデルNo.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
AC-SGTS	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
RCIC-2	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.69	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
RCIC-32	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.69	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
PV-01	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
PV-02	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
PV-03	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
PV-04	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
PV-05	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	2.50	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	1.0	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
PV-002R5F	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
PV-003YD	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
PV-007YD	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2

NT2 補② V-3-9-2-5-1-2 R2

応力計算 モデルNo.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
PV-008YD	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
PV-009YD	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.62	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
PV-202YD	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	2.50	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
PV-203R1F	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	2.50	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.69	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	8
3.1 設計条件	8
3.2 材料及び許容応力	12
4. 計算結果	13
5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	14

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」並びに「V-3-2-11 重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づき、管の応力計算を実施した結果を示したものである。

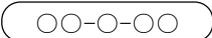
(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全15モデルのうち、最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を5.に記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

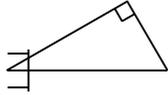
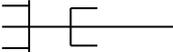
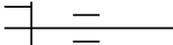
概略系統図記号凡例

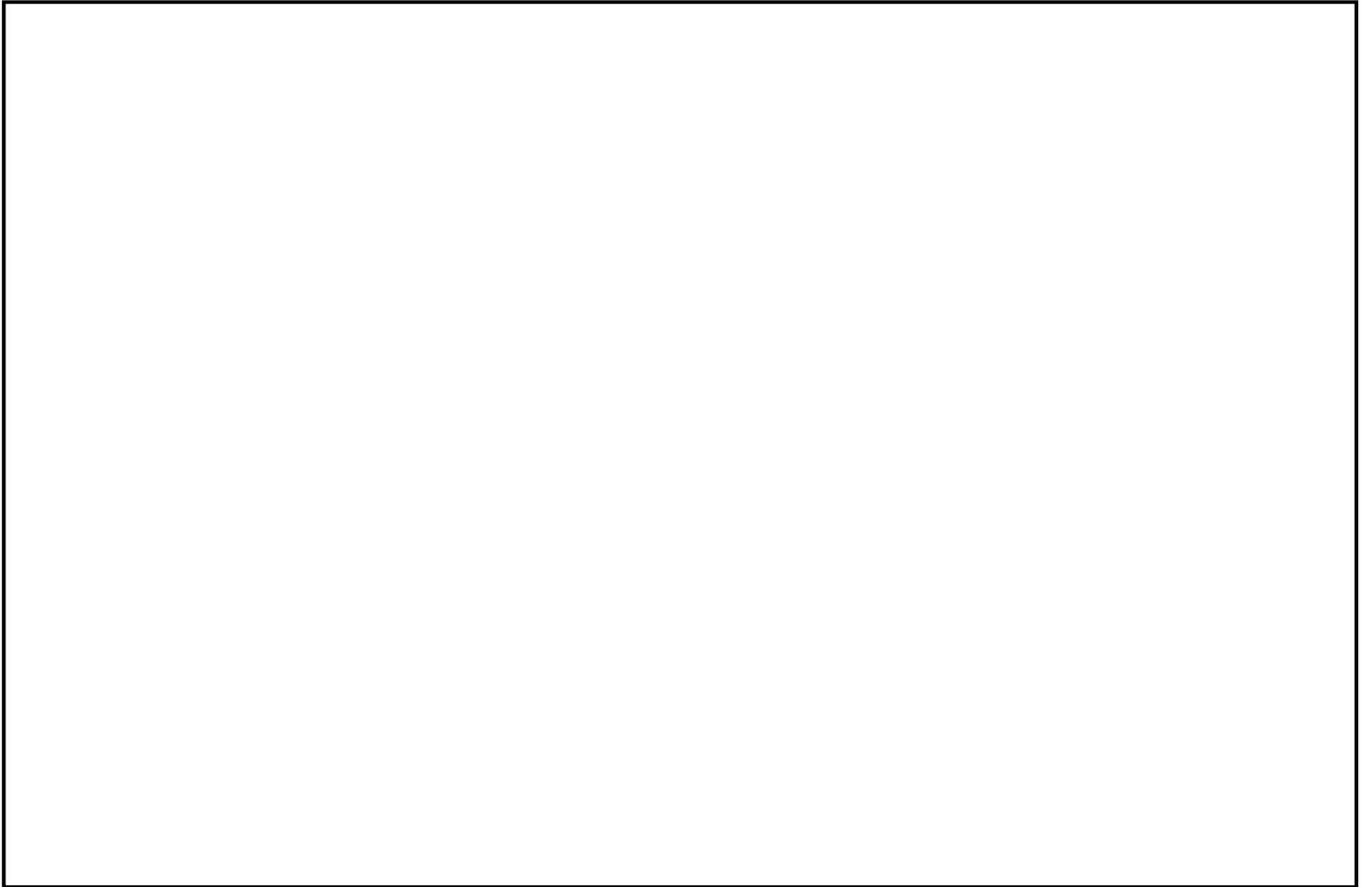
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (鳥瞰図, 計算条件及び評価結果を記載す る範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果のみ記載する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

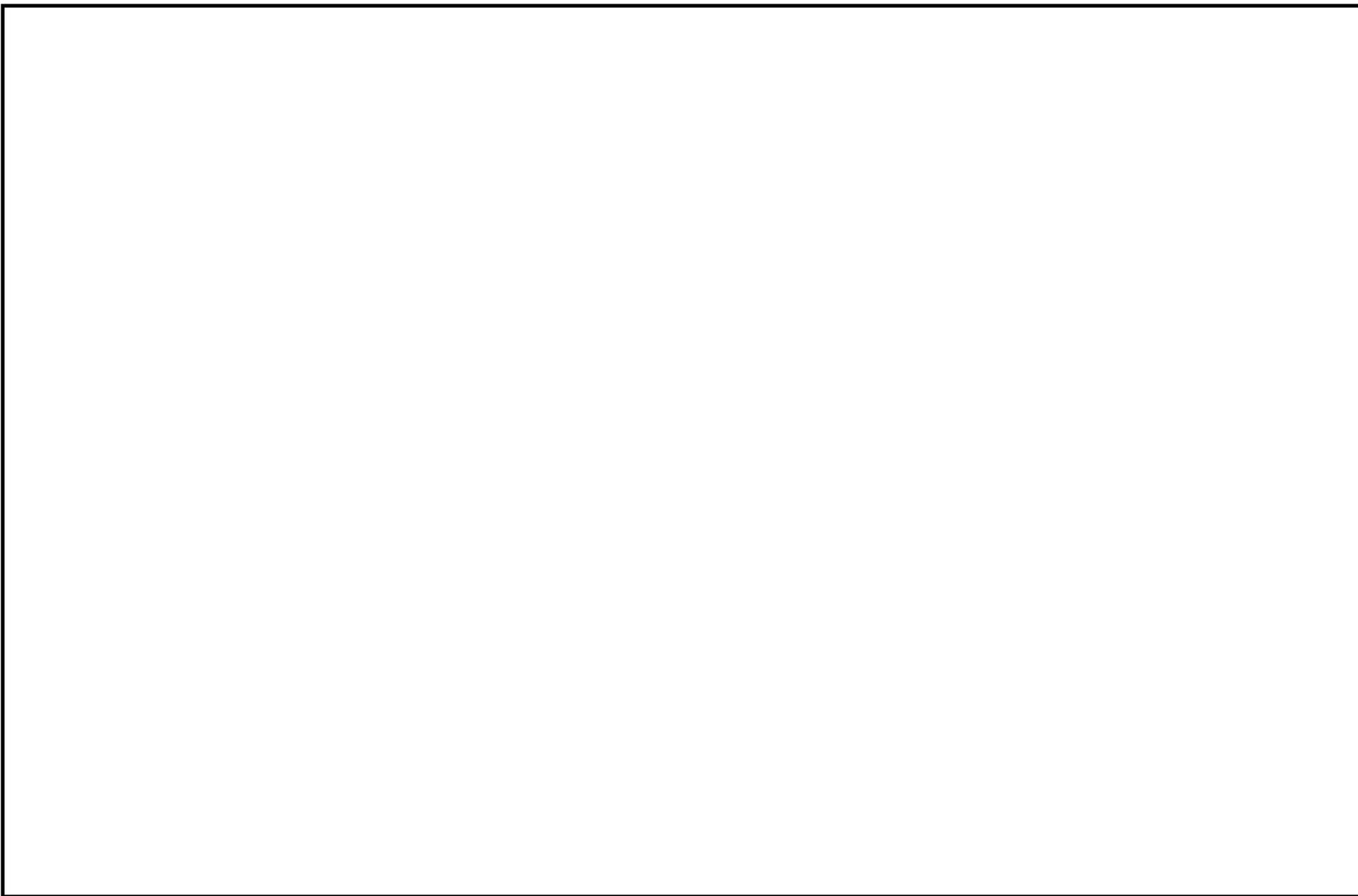


2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッパについても同様とする。)
	スナッパ
	ハンガ
	リジットハンガ
注：鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。	





7

3. 計算条件

3.1 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 PV-04

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
1	1N~108W, 109W~5 11~15W, 16W~29N	0.62	200	60.5	3.9	SUS316LTP

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 PV-04

質量	対応する評価点
	201F, 21F
	29N

弁部の寸法

鳥 瞰 図 PV-029YD

評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
108W~109W			
6~7			
7~8			
8~8001			
8001~9			
7~10			
15W~16W			

NT2 補② V-3-9-2-5-1-1-2 R2

弁部の質量

鳥 瞰 図 PV-04

質量	対応する評価点
	108W~109W, 15W~16W
	6, 10
	7
	8
	9

3.2 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S h
SUS316LTP	200	—	—	—	107

4. 計算結果

下表に示すとおり最大応力はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

設計・建設規格 PPC-3520 による評価結果

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区 分	一次応力評価 (MPa)	
			計算応力	許容応力
			S prm (1)	1.5 S h
			S prm (2)	1.8 S h
PV-04	11	S prm (1)	59	160
PV-04	11	S prm (2)	59	192

5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2範囲）

No	配管モデル	供用状態 E*1					供用状態 E*2				
		一次応力					一次応力				
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表
1	AC-SGTS	385	21	150	7.14	—	385	22	180	8.18	—
2	RCIC-2	2W	4	154	38.50	—	2W	4	185	46.25	—
3	RCIC-32	81	15	160	10.66	—	81	15	192	12.80	—
4	PV-01	9	22	154	7.00	—	9	22	185	8.40	—
5	PV-02	35	36	190	5.27	—	35	37	228	6.16	—
6	PV-03	141	38	162	4.26	—	141	38	194	5.10	—
7	PV-04	11	59	160	2.71	○	11	59	192	3.25	○
8	PV-05	103	46	160	3.47	—	103	47	192	4.08	—
9	PV-002R5F	B21F	46	154	3.34	—	B21F	47	185	3.93	—
10	PV-003YD	A05	11	154	14.00	—	A05	12	185	15.41	—
11	PV-007YD	A10	14	154	11.00	—	A10	15	185	12.33	—
12	PV-008YD	A25F	43	154	3.58	—	A25F	44	185	4.20	—
13	PV-009YD	A03N	30	154	5.13	—	A03N	31	185	5.96	—
14	PV-202YD	A44	49	160	3.26	—	A44	50	192	3.84	—
15	PV-203R1F	C45F	29	160	5.51	—	B109F	29	192	6.62	—

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)に基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)に基づき計算した一次応力を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-970 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-3-3-2-2 炉心シュラウドの耐震性についての計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	形状・寸法・材料	1
1.2	記号の説明	1
1.3	考慮する荷重	1
1.4	計算結果の概要	1
2.	計算条件	5
2.1	解析範囲	5
2.2	設計条件	5
2.3	運転条件	5
2.4	材料	5
2.5	物性値及び許容 限界	5
2.6	応力の記号と方向	5
3.	応力計算	6
3.1	応力評価点	6
3.2	差圧による応力	6
3.2.1	荷重条件 (L02)	6
3.2.2	計算方法	6
3.3	外荷重による応力	7
3.3.1	荷重条件 (L04, L14 及び L16)	7
3.3.2	計算方法	7
3.4	応力の評価	7
4.	応力強さの評価	7
4.1	一次一般膜応力強さの評価	7
4.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	7
5.	特別な 評価	8
5.1	支圧応力の評価	8
5.1.1	支圧面積	8
5.1.2	支圧荷重	8
5.1.3	平均支圧応力	8
5.1.4	支圧応力の評価	8
5.2	座屈に対する評価	9
5.2.1	計算データ	9
5.2.2	許容値	9
5.2.3	座屈に対する評価	10

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 5-1	支圧荷重の支持面	11
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	断面性状	12
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	13
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	14
表 5-1	支圧応力の評価	15
表 5-2	座屈に対する評価	15

1. 一般事項

本計算書は、炉心シュラウドの耐震性についての計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」(以下「応力解析の方針」という。)の 2 章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
R _o	外半径	mm
R	平均半径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
t	厚さ	mm
σ _b	平均支圧応力	MPa
σ _{ba}	許容支圧応力	MPa
g	重力加速度	m/s ²

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

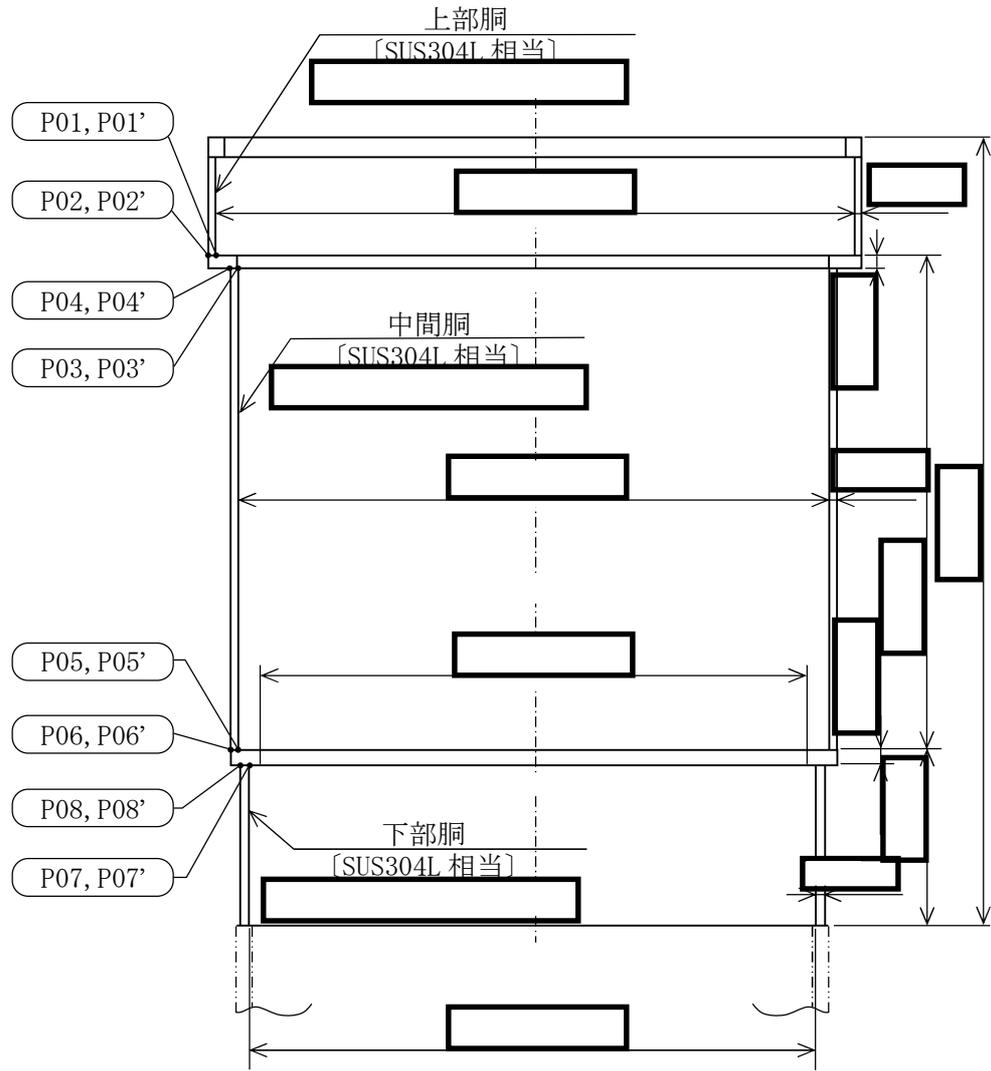
- a. 差 圧
- b. 外荷重

差圧及び外荷重の値を「応力解析の方針」の 4 章に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。



- : 応力評価点
- [] : J I S 相当材
- () : 材 料

図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1(1) 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜 +一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力 強さ	許容値	応力 評価面	応力 強さ	許容値	応力 評価面
上部胴 SUS304L	Ⅲ _A S	18	94	P01'-P02'	18	141	P01'-P02'
	Ⅳ _A S	25	150	P01'-P02'	25	226	P01'-P02'
中間胴 SUS304L	Ⅲ _A S	45	94	P05'-P06'	45	141	P05'-P06'
	Ⅳ _A S	68	150	P05'-P06'	68	226	P05'-P06'
下部胴 SUS304L	Ⅲ _A S	51	94	P07'-P08'	51	141	P07'-P08'
	Ⅳ _A S	75	150	P07'-P08'	75	226	P07'-P08'

表 1-1(2) 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	支圧応力 (MPa)	
		平均支圧応力	許容値
上部格子板支持面 SUS304L	Ⅲ _A S	2	163
	Ⅳ _A S	3	217
炉心支持板支持面 SUS304L	Ⅲ _A S	1	163
	Ⅳ _A S	1	217

表 1-1(3) 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	座屈に対する評価	
		座屈応力 との比	許容値
下部胴 SUS304L	Ⅲ _A S	0.36	1.0
	Ⅳ _A S	0.56	1.0

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

なお，下部胴とシュラウドサポートとの接合部の応力解析及び評価は，添付書類「V-2-3-3-2-3 シュラウドサポートの耐震性についての計算書」に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容限界

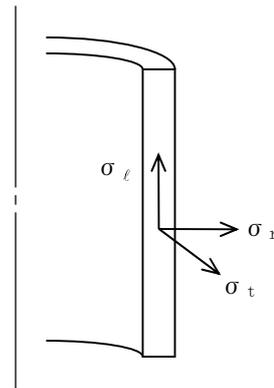
物性値及び許容限界は，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は，以下のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
- σ_ℓ : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力
- $\tau_{t\ell}$: せん断応力
- $\tau_{\ell r}$: せん断応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。また、各応力評価点の断面性状を表 3-1 に示す。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

各運転条件による差圧を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、**各許容応力状態**での応力は、比例計算により求める。

3.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

差圧 P による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P$$

$$\sigma_l = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P$$

$$\text{ここで、} Y = \frac{D_o}{D_i}$$

(2) 一次一般膜+一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜+一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

炉心シュラウドに働く外荷重を「応力解析の方針」の 4.4 節に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{t\ell} = \frac{V}{A} + \frac{M \cdot D_o}{I \cdot 2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{H}{A}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力を分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の 5.4 節に示す。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 4-1 に示す。

表 4-1 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 4-2 に示す。

表 4-2 より、各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

5. 特別な評価

炉心シュラウドの上部格子板支持面及び炉心支持板支持面には、鉛直荷重により支圧応力が生じるため、支圧応力の評価を行う。

また、J E A G 4 6 0 1・補-1984 を用いて炉心シュラウド下部胴について、地震時の軸圧縮荷重と曲げモーメントによる座屈に対する評価を行う。

5.1 支圧応力の評価

5.1.1 支圧面積

(1) 上部格子板支持面 (図 5-1(1)参照)

上部格子板支持面の支圧荷重を受ける面積は次のようになる。



(2) 炉心支持板支持面 (図 5-1(2)参照)

炉心支持板支持面の支圧荷重を受ける面積は次のようになる。



5.1.2 支圧荷重

各運転条件における上部格子板支持面及び炉心支持板支持面に作用する鉛直力を「応力解析の方針」の 4.2 節の表 4-1(1) (荷重作用点 F 及び G) に示す。

5.1.3 平均支圧応力

平均支圧応力 σ_b は、次式により求める。

$$\sigma_b = \frac{V}{A}$$

5.1.4 支圧応力の評価

各許容応力状態における支圧応力の評価を表 5-1 に示す。

表 5-1 より、各許容応力状態における平均支圧応力は、「応力解析の方針」の表 3-4(3) に示す許容値を満足する。

5.2 座屈に対する評価

地震荷重を考慮し、J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 を用いて、軸圧縮荷重及び曲げモーメントに対する評価を実施する。

5.2.1 計算データ

内径 : $D_i =$

外径 : $D_o = D_i + 2 \cdot t$

断面積 : $A = \frac{\pi}{4} \cdot (D_o^2 - D_i^2)$

断面二次モーメント : $I = \frac{\pi}{64} \cdot (D_o^4 - D_i^4)$

5.2.2 許容値

許容応力状態Ⅲ_AS 及びⅣ_AS において圧縮応力の座屈応力 (f_c) に対する比と曲げ応力の座屈応力 (f_b) に対する比の和が 1 以下であることを示す。座屈に対する評価は次式による。

$$\frac{\alpha \cdot \left(\frac{V}{A}\right)}{f_c} + \frac{\alpha \cdot \left(\frac{M \cdot D_o}{I \cdot 2}\right)}{f_b} \leq 1.0$$

ここで、

f_c : 軸圧縮荷重に対する座屈応力で次の計算式により計算した値

$$\eta < \eta_1 \text{ より}$$

$$f_c = F = 146 \text{ MPa}$$

f_b : 曲げモーメントに対する座屈応力で次の計算式により計算した値

$$\eta < \eta_1 \text{ より}$$

$$f_b = F = 146 \text{ MPa}$$

α : 安全率で次の値

$$\eta < \eta_1 \text{ より}$$

$$\alpha = 1$$

ここで,

$$\eta : R / t = \boxed{} = 49.6880$$

$$\eta_1 : 1200 \cdot g / F = 1200 \times 9.80665 / 146 = 80.6026$$

F は、以下の3つの値のうち小さい方の値を用いる。

$$1.35 \cdot S_y = 146 \text{ MPa} \quad (\text{供用状態 A 及び B の最高温度 } \boxed{} \text{ C における値})$$

$$0.7 \cdot S_u = 253 \text{ MPa} \quad (\text{供用状態 A 及び B の最高温度 } \boxed{} \text{ C における値})$$

$$S_y = 175 \text{ MPa} \quad (\text{室温における値})$$

したがって、 $F = 146 \text{ MPa}$ とする。

5.2.3 座屈に対する評価

評価に用いる応力は、圧縮応力については死荷重及び地震荷重による鉛直力を、曲げ応力については地震荷重によるモーメントを考慮する。それぞれの荷重を「応力解析の方針」表 4-1(1)に示す。

許容応力状態 III_AS 及び IV_AS における座屈に対する評価を表 5-2 に示す。

表 5-2 より、許容応力状態 III_AS 及び IV_AS における応力は、J E A G 4 6 0 1 ・ 補 - 1984 の座屈に対する評価式を満足する。

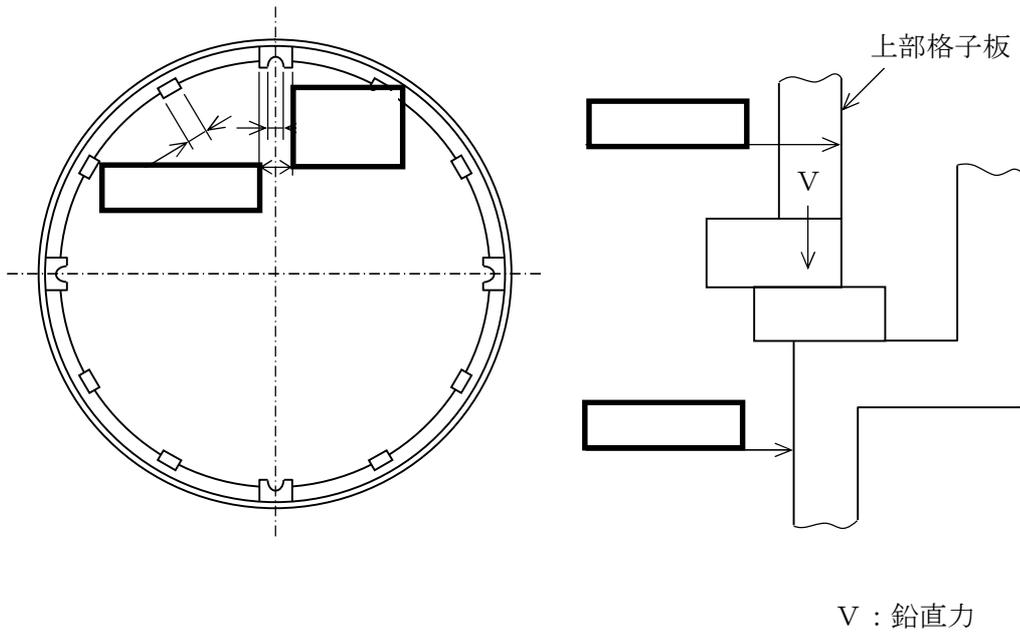


図 5-1(1) 支圧荷重の支持面（上部格子板）（単位：mm）

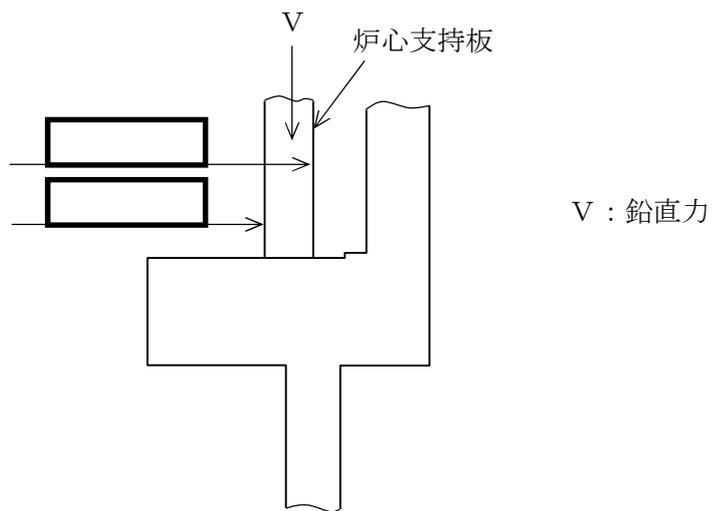


図 5-1(2) 支圧荷重の支持面（炉心支持板）（単位：mm）

表 3-1 断面性状

応力評価点	t (mm)	D _i (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
P01, P02				
P03, P04				
P05, P06				
P07, P08				

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	16	94*	22	150*
P01' P02'	18	94*	25	150*
P03 P04	18	94*	27	150*
P03' P04'	21	94*	31	150*
P05 P06	41	94*	62	150*
P05' P06'	45	94*	68	150*
P07 P08	47	94*	69	150*
P07' P08'	51	94*	75	150*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	16	141*	22	226*
P01' P02'	18	141*	25	226*
P03 P04	18	141*	27	226*
P03' P04'	21	141*	31	226*
P05 P06	41	141*	62	226*
P05' P06'	45	141*	68	226*
P07 P08	47	141*	69	226*
P07' P08'	51	141*	75	226*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

表 5-1(1) 支圧応力の評価

応力評価面 : 上部格子板支持面 (単位 : MPa)

条件	平均支圧応力 σ_b	許容支圧応力 σ_{ba}
許容応力状態Ⅲ _A S	2	163
許容応力状態Ⅳ _A S	3	217

表 5-1(2) 支圧応力の評価

応力評価面 : 炉心支持板支持面 (単位 : MPa)

条件	平均支圧応力 σ_b	許容支圧応力 σ_{ba}
許容応力状態Ⅲ _A S	1	163
許容応力状態Ⅳ _A S	1	217

表 5-2 座屈に対する評価

応力評価部位 : 下部胴

条件	座屈応力 との比	許容値
許容応力状態Ⅲ _A S	0.36	1.0
許容応力状態Ⅳ _A S	0.56	1.0

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-971 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-3-3-2-3 シュラウドサポートの耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	2
1.4 計算結果の概要	2
2. 計算条件	5
2.1 解析範囲	5
2.2 運転条件	5
2.3 材料	5
2.4 物性値及び許容 限界	5
2.5 応力の記号と方向	5
3. 応力計算	6
3.1 応力評価点	6
3.2 外荷重による応力	6
3.2.1 荷重条件 (L04, L14及びL16)	6
3.3 応力の評価	6
4. 応力強さの評価	6
4.1 一次一般膜応力強さの評価	6
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	6
5. 特別な 評価	7
5.1 座屈に対する評価	7
5.1.1 計算データ	7
5.1.2 外荷重	7
5.1.3 圧縮応力	7
5.1.4 許容圧縮応力	8
5.1.5 座屈に対する評価	9

図表目次

図1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	3
表1-1	計算結果の概要	4
表4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	10
表4-2	一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	11
表5-1	座屈に対する評価	12

1. 一般事項

本計算書は、シュラウドサポートの応力計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図1-1に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）の2章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	シュラウドサポートレグ1 本当たりの断面積	mm ²
B	シュラウドサポートレグの幅	mm
C	部材両端の拘束条件に対する座屈長さの係数	—
F	許容応力度	MPa
f_c	許容圧縮応力	MPa
I	座屈軸についての断面二次モーメント	mm ⁴
i	座屈軸についての断面二次半径	mm
l	シュラウドサポートレグの長さ	mm
l_k	座屈長さ	mm
T	シュラウドサポートレグの板厚	mm
Λ	限界細長比	—
λ	有効細長比	—
ν	設計・建設規格 SSB-3121.1(3)a.における ν	—

1.3 考慮する荷重

考慮した各荷重の値を「応力解析の方針」の4章に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表1-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。

注：以下、シュラウドサポートレグ、シュラウドサポートシリンダ、シュラウドサポートプレート及び炉心シュラウド下部胴を、それぞれ「レグ」、「シリンダ」、「プレート」及び「下部胴」という。

- : 応力評価点
- () : 材 料
- [] : J I S 相当材

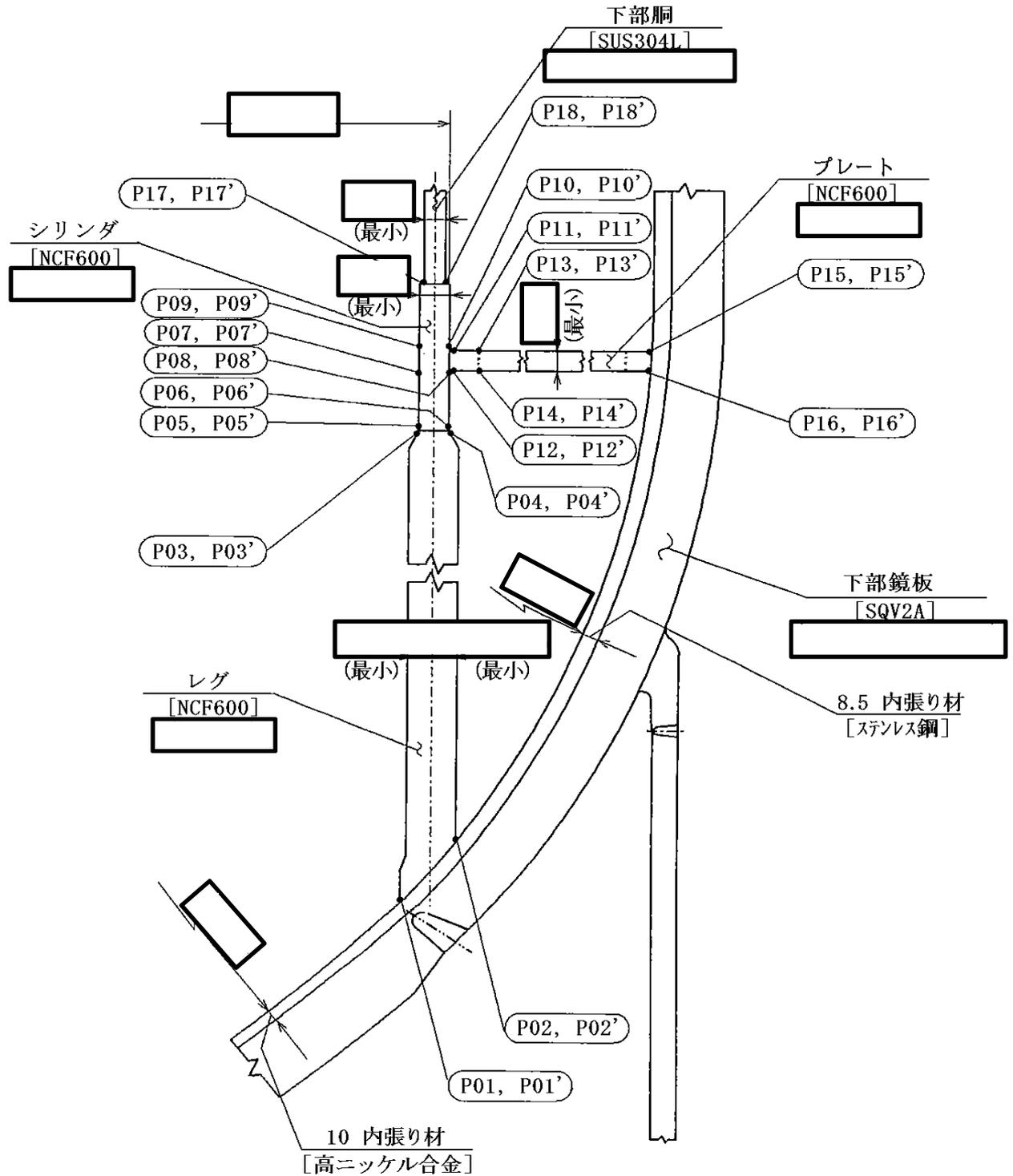


図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表1-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力強さ	許容値	応力評価面	応力強さ	許容値	応力評価面
レグ NCF600	Ⅲ _A S	128	246	P03 - P04	128	369	P03 - P04
	Ⅳ _A S	194	334	P03' - P04'	194	501	P03' - P04'
シリンダ NCF600	Ⅲ _A S	131	246	P07' - P08'	131	369	P07' - P08'
	Ⅳ _A S	149	334	P07' - P08'	149	501	P07' - P08'
プレート NCF600	Ⅲ _A S	104	246	P13 - P14	104	369	P13 - P14
	Ⅳ _A S	108	334	P13 - P14	108	501	P13 - P14
下部胴 SUS304L	Ⅲ _A S	79	130	P17' - P18'	79	196	P17' - P18'
	Ⅳ _A S	99	209	P17' - P18'	99	313	P17' - P18'

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図1-1に示す。

2.2 運転条件

考慮した**運転条件**を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

2.3 材料

各部の材料を図1-1に示す。

2.4 物性値及び許容**限界**

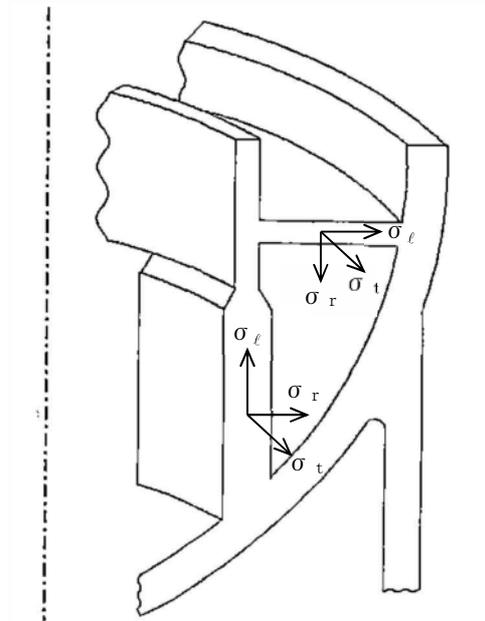
物性値及び許容**限界**は、「応力解析の方針」の3.4節及び3.6節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の3.7節に示す。

2.5 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
- σ_ℓ : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図1-1に示す。

3.2 外荷重による応力

3.2.1 荷重条件 (L04, L14及びL16)

シュラウドサポートに作用する外荷重を「応力解析の方針」の4.4節に示す。

3.3 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力を分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の5.4節に示す。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表4-1に示す。

表4-1より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.6節及び3.7節に示す許容値を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表4-2に示す。

表4-2より、各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.6節及び3.7節に示す許容値を満足する。

5. 特別な評価

5.1 座屈に対する評価

レグには、シュラウドサポートに作用する外荷重により、**圧縮応力**が生じる。したがって、これらの荷重の組合せにより発生する圧縮応力の評価を行う。

5.1.1 計算データ

(1) 座屈長さ l_k

$$l_k = C \cdot \ell = 0.7 \times \boxed{} = \boxed{} \text{ mm}$$

ここで、 $C = 0.7$

$$\ell : \text{レグの長さ} = \boxed{} \text{ mm}$$

(2) 座屈軸についての断面二次半径 i

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \boxed{} = 36.0844 \text{ mm}$$

ここで、 I : 座屈軸についての断面二次モーメント

$$= \frac{1}{12} \cdot T^3 \cdot B = \boxed{} \text{ mm}^4$$

$$T : \text{レグの板厚} = \boxed{} \text{ mm}$$

$$B : \text{レグの幅} = \boxed{} \text{ mm}$$

A : レグ1 本当りの断面積

$$= T \cdot B = \boxed{} \text{ mm}^2$$

(3) 有効細長比 λ

$$\lambda = \frac{l_k}{i} = \boxed{}$$

5.1.2 外荷重

シュラウドサポートに作用する外荷重を「応力解析の方針」の4.4節に示す。

5.1.3 圧縮応力

各許容応力状態においてレグに発生する最大圧縮応力は、応力評価面P03'-P04'での一次一般膜応力 (σ_ℓ) に注目して、表5-1に示す。

5.1.4 許容圧縮応力

各許容応力状態における許容圧縮応力の計算は、設計・建設規格 SSB-3121を準用して計算する。

(1) 許容応力状態Ⅲ_AS

許容応力状態Ⅲ_ASにおける許容応力度Fは、以下の3つの値のうち小さい方を用いる。

$$1.35 \cdot S_y = 261 \text{ MPa} \quad (\text{供用状態A及びBの最高温度 } \boxed{} \text{ } ^\circ\text{C} \text{ における値})$$

$$0.7 \cdot S_u = 350 \text{ MPa} \quad (\text{供用状態A及びBの最高温度 } \boxed{} \text{ } ^\circ\text{C} \text{ における値})$$

$$S_y = 245 \text{ MPa} \quad (\text{室温における値})$$

したがって、許容応力度F = 245 MPaとする。

許容応力状態Ⅲ_ASにおける許容圧縮応力 f_c は、F = 245 MPaに対して次のように得られる。

$$\begin{aligned} \text{限界細長比: } \Lambda &= \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times \boxed{}}{0.6 \times 245}} \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

ここで、E：縦弾性係数 = $\boxed{}$ MPa $\boxed{}$ $^\circ\text{C}$ における値)

ゆえに、 $\lambda < \Lambda$ なので f_c は、

$$\begin{aligned} f_c &= 1.5 \times \left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{\nu} \\ &= 1.5 \times \left\{ 1 - 0.4 \times \boxed{} \right\} \times \frac{245}{1.54576} = 231 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ここで、} \nu &= 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \\ &= 1.5 + \frac{2}{3} \times \boxed{} = 1.54576 \end{aligned}$$

(2) 許容応力状態Ⅳ_AS

許容応力状態Ⅳ_ASにおける許容応力度Fは、以下の3つの値のうち小さい方を用いる。

$$1.35 \cdot S_y = 261 \text{ MPa} \quad (\text{供用状態A及びBの最高温度 } \boxed{} \text{ } ^\circ\text{C} \text{ における値})$$

$$0.7 \cdot S_u = 350 \text{ MPa} \quad (\text{供用状態A及びBの最高温度 } \boxed{} \text{ } ^\circ\text{C} \text{ における値})$$

$$1.2 \cdot S_y = 294 \text{ MPa} \quad (\text{室温における値})$$

したがって、許容応力度F = 261 MPaとする。

許容応力状態Ⅳ_ASにおける許容圧縮応力 f_c は、F = 261 MPaに対して次のように得られる。

$$\text{限界細長比: } \Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times \boxed{}}{0.6 \times 261}}$$

$$= \boxed{}$$

ここで、E：縦弾性係数= $\boxed{}$ MPa $\boxed{}$ °Cにおける値)
ゆえに、 $\lambda < \Lambda$ なので f_c は、

$$f_c = 1.5 \times \left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{v}$$

$$= 1.5 \times \left\{ 1 - 0.4 \times \boxed{} \right\} \times \frac{261}{1.54875} = 245 \text{ MPa}$$

ここで、 $v = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$

$$= 1.5 + \frac{2}{3} \boxed{} = 1.54875$$

5.1.5 座屈に対する評価

各許容応力状態における座屈に対する評価を表5-1に示す。

表5-1より、各許容応力状態における圧縮応力は、許容圧縮応力を超えないため、座屈は発生しない。

表4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	85	221*	121	300*
P01' P02'	75	221*	109	300*
P03 P04	128	246	187	334
P03' P04'	126	246	194	334
P05 P06	79	246	81	334
P05' P06'	107	246	130	334
P07 P08	103	246	110	334
P07' P08'	131	246	149	334
P09 P10	107	246	116	334
P09' P10'	110	246	122	334
P11 P12	89	221*	92	300*
P11' P12'	90	221*	93	300*
P13 P14	104	246	108	334
P13' P14'	96	246	94	334
P15 P16	62	221*	61	300*
P15' P16'	70	221*	73	300*
P17 P18	74	130*	97	209*
P17' P18'	79	130*	99	209*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

表4-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	85	332*	121	450*
P01' P02'	75	332*	109	450*
P03 P04	128	369	187	501
P03' P04'	126	369	194	501
P05 P06	79	369	81	501
P05' P06'	107	369	130	501
P07 P08	103	369	110	501
P07' P08'	131	369	149	501
P09 P10	107	369	116	501
P09' P10'	110	369	122	501
P11 P12	89	332*	92	450*
P11' P12'	90	332*	93	450*
P13 P14	104	369	108	501
P13' P14'	96	369	94	501
P15 P16	62	332*	61	450*
P15' P16'	70	332*	73	450*
P17 P18	74	196*	97	313*
P17' P18'	79	196*	99	313*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

表5-1 座屈に対する評価

(単位：MPa)

許容応力状態	圧縮応力	許容圧縮応力
Ⅲ _A S	124	231
Ⅳ _A S	193	245

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-972 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-3-3-2-4 上部格子板の耐震性についての計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	形状・寸法・材料	1
1.2	記号の説明	1
1.3	考慮する荷重	1
1.4	計算結果の概要	1
2.	計算条件	4
2.1	解析範囲	4
2.2	設計条件	4
2.3	運転条件	4
2.4	材料	4
2.5	物性値及び許容応力	4
2.6	応力の記号と方向	4
3.	応力計算	5
3.1	応力評価点	5
3.2	差圧による応力	5
3.2.1	荷重条件 (L02)	5
3.2.2	計算方法	5
3.3	外荷重による応力	6
3.3.1	荷重条件 (L04, L14 及び L16)	6
3.3.2	計算方法	6
3.4	応力の評価	7
4.	応力強さの評価	8
4.1	一次一般膜応力強さの評価	8
4.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	応力計算モデル	9
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	断面性状	10
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	11
表 4-2	一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	11

1. 一般事項

本計算書は、上部格子板の耐震性についての計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」(以下「応力解析の方針」という。)の2章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
b	グリッドプレートの厚さ	mm
h _a	グリッドプレートの高さ	mm
I _y	断面二次モーメント	mm ⁴
I _z	断面二次モーメント	mm ⁴
L	最長グリッドプレートの長さ	mm
ℓ	グリッドプレート1スパンの長さ	mm

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

- a. 差 圧
- b. 外荷重

各荷重の値を「応力解析の方針」の4章に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。

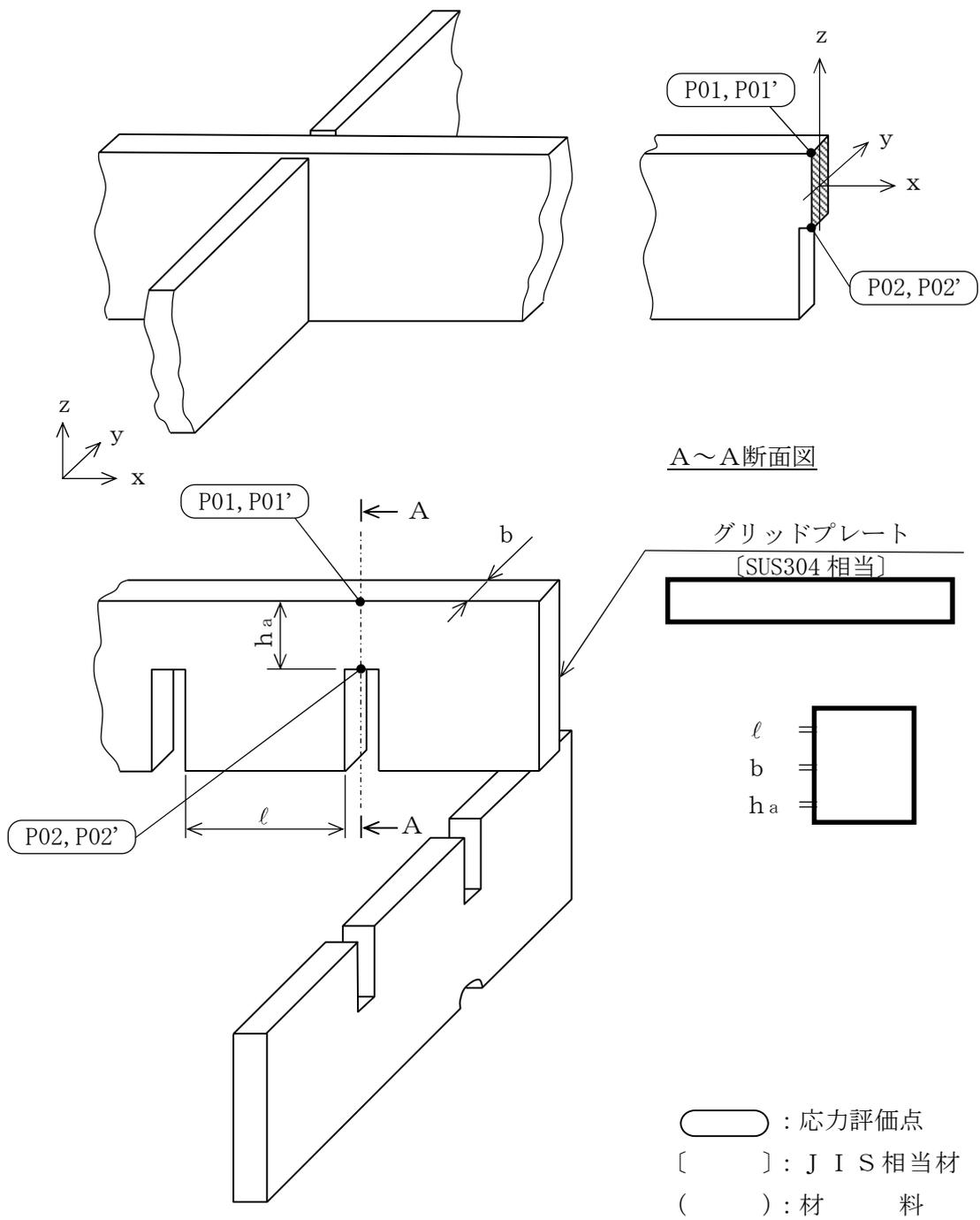


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位 : mm)

表 1-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力 強さ	許容値	応力 評価面	応力 強さ	許容値	応力 評価点
グリッド プレート SUS304	Ⅲ _A S	7	172	P01-P02	82	258	P01
	Ⅳ _A S	11	260	P01-P02	136	391	P01

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容限界

物性値及び許容限界は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

なお、主応力の算出は、「応力解析の方針」の 5.4.1 項に示される式において、 σ_t 、 σ_f 、 σ_r 、 $\tau_{t\theta}$ 、 τ_{rt} をそれぞれ σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 τ_{xy} 、 τ_{zx} に添字を置き換えて求める。

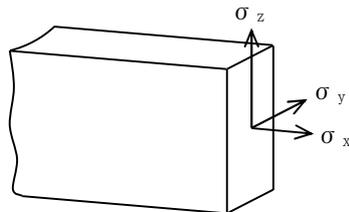
σ_x : x 方向応力

σ_y : y 方向応力

σ_z : z 方向応力

τ_{xy} : せん断応力

τ_{zx} : せん断応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。また、各応力評価点の断面性状を表 3-1 に示す。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

各運転条件による差圧を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、各許容応力状態での応力は、比例計算により求める。

3.2.2 計算方法

差圧 P_{34} による応力は、以下により求める。なお、計算は、最大応力の発生する最長のグリッドプレートについて行う。計算モデルを図 3-1 に示す。

(1) 一次応力

a. 差圧 P_{34} による荷重

$$W_P = -P_{34} \cdot b \cdot L$$

b. 端部におけるモーメント

$$M = \frac{W_P \cdot L}{12}$$

c. 曲げ応力

$$\sigma_x = \frac{M}{I_y} \cdot \frac{h_a}{2}$$

d. せん断応力

$$\tau_{zx} = \frac{W_P}{2 \cdot A}$$

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

上部格子板に働く外荷重を「応力解析の方針」の 4.4 節に示す。

3.3.2 計算方法

外荷重による応力は、以下により求める。

(1) 一次応力

a. 鉛直方向荷重による応力

(a) グリッドプレートの端部における鉛直方向荷重

$$W_v = V$$

(b) グリッドプレートの端部におけるモーメント

$$M_v = \frac{W_v \cdot L}{12}$$

(c) 曲げ応力

$$\sigma_x = \frac{M_v}{I_y} \cdot \frac{h_a}{2}$$

(d) せん断応力

$$\tau_{zx} = \frac{W_v}{2 \cdot A}$$

b. 水平方向荷重による応力

(a) 格子 1 個当たりの水平方向荷重

$$W_H = \frac{4 \cdot H}{764}$$

(b) 格子の端部におけるモーメント

$$M_H = \frac{W_H \cdot \ell}{12}$$

(c) 曲げ応力

$$\sigma_x = \frac{M_H}{I_z} \cdot \frac{b}{2}$$

(d) せん断応力

$$\tau_{xy} = \frac{W_H}{2 \cdot A}$$

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力を分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。応力強さの算出方法「応力解析の方針」の5.4節に示す。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 4-1 に示す。

表 4-1 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

4.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 4-2 に示す。

表 4-2 より、各許容応力状態の一次一般膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

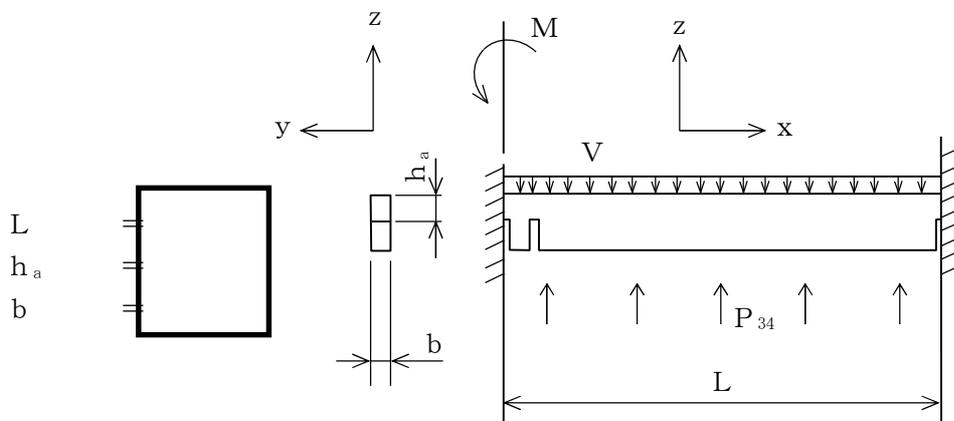


図 3-1(1) 応力計算モデル (鉛直方向荷重) (単位 : mm)

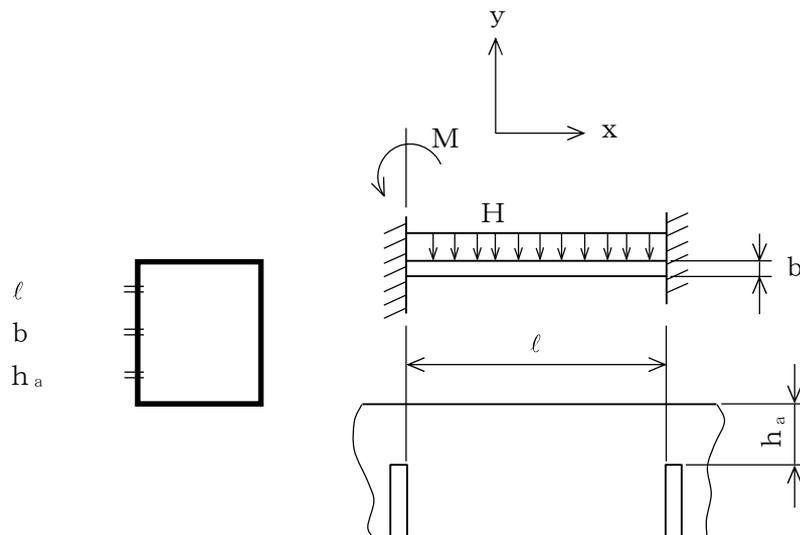


図 3-1(2) 応力計算モデル (水平方向荷重) (単位 : mm)

表 3-1 断面性状

応力評価点	b (mm)	h _a (mm)	A (mm ²)	I _y (mm ⁴)	I _z (mm ⁴)
P01, P02					

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	7	172	11	260
P01' P02'	6	172	11	260

表 4-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価点	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01	82	258	136	391
P01'	64	258	118	391
P02	64	258	118	391
P02'	82	258	136	391

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-973 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-3-3-2-5 炉心支持板の耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	2
1.4 計算結果の概要	2
2. 計算条件	7
2.1 解析範囲	7
2.2 設計条件	7
2.3 運転条件	7
2.4 材料	7
2.5 物性値及び許容 限界	7
2.6 応力の記号と方向	8
3. 応力計算	9
3.1 応力評価点	9
3.2 差圧による応力	9
3.2.1 荷重条件 (L02)	9
3.2.2 計算方法	9
3.3 外荷重による応力	12
3.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)	12
3.3.2 計算方法	12
3.4 応力の評価	14
4. 応力強さの評価	15
4.1 一次一般膜応力強さの評価	15
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	15

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	3
図 3-1	補強ビームの荷重計算モデル	16
図 3-2	補強ビームの応力計算モデル	16
図 3-3	支持板の荷重計算及び応力計算モデル	18
図 3-4	支持板の応力計算モデル	19
表 1-1	計算結果の概要	6
表 3-1	断面性状	20
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	21
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	22

1. 一般事項

本計算書は、炉心支持板の耐震性についての計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図1-1に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」(以下「応力解析の方針」という。)の2章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
a_i	補強ビーム固定端から中央部までの長さ	mm
b_e	等価幅	mm
D	制御棒案内管用穴径	mm
d	中性子計測案内管用穴径	mm
e_0	中立軸からの距離	mm
e_0'	中立軸からの距離	mm
e_1	中立軸からの距離	mm
e_1'	中立軸からの距離	mm
e_2	中立軸からの距離	mm
e_3	中立軸からの距離	mm
e_A	中立軸からの距離	mm
e_B	中立軸からの距離	mm
Fs	せん断力	N
h_c	支持板の厚さ	mm
h_0	補強ビーム固定端の高さ	mm
h_1	補強ビーム高さ	mm
I_0	断面二次モーメント	mm ⁴
I_1	断面二次モーメント	mm ⁴
I_2	断面二次モーメント	mm ⁴
I_3	断面二次モーメント	mm ⁴
I_A	断面二次モーメント	mm ⁴
I_B	断面二次モーメント	mm ⁴
l_i	補強ビーム固定端近傍から中央部までの長さ	mm
l_p	補強ビーム1スパン当たりの長さ	mm
t	補強ビーム厚さ	mm

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

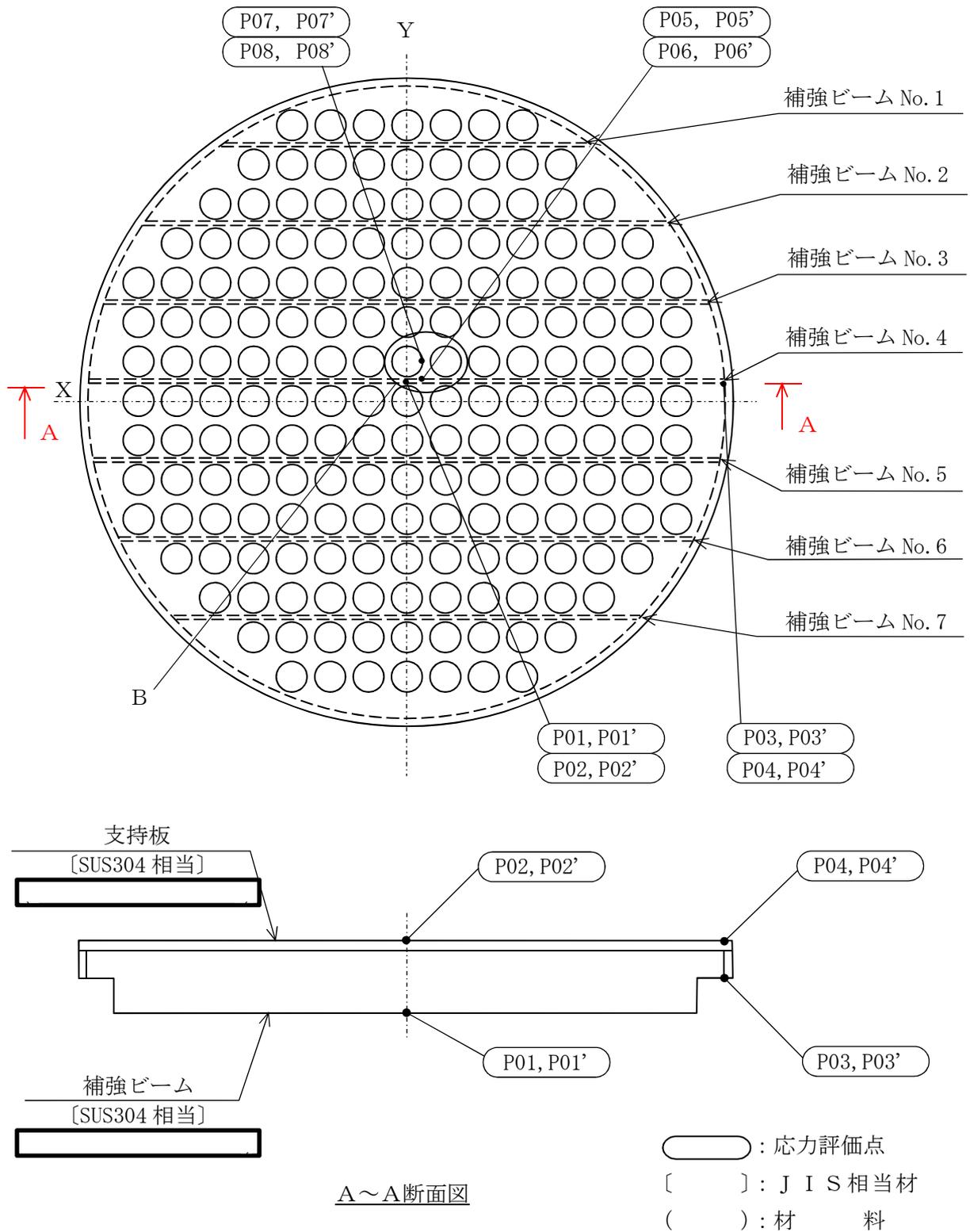
- a. 差 圧
- b. 外荷重

各荷重の値を「応力解析の方針」の4章に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。



注 1 : B 部の詳細は図 1-1(2) に示す。

注 2 : 各補強ビームの寸法を図 1-1(3) に示す。

図 1-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点

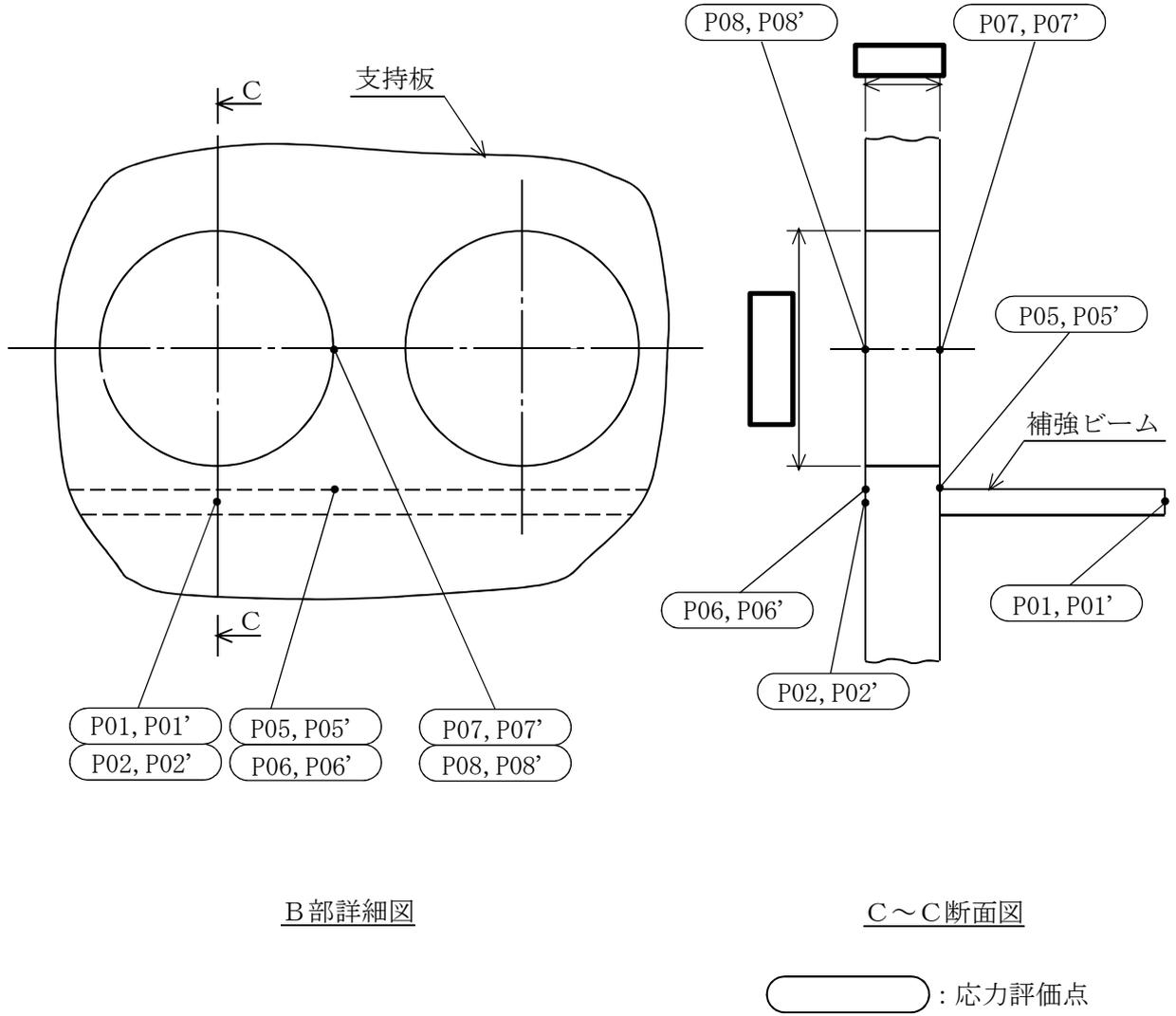
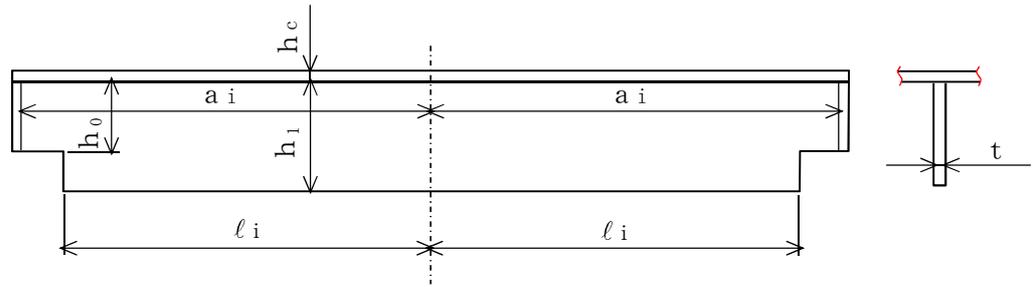


図 1-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)



各補強ビームの寸法

(単位：mm)

寸法 ビーム No.	a_i	ℓ_i	h_0	h_1	h_c	t
補強ビーム No. 1						
補強ビーム No. 2						
補強ビーム No. 3						
補強ビーム No. 4						
補強ビーム No. 5						
補強ビーム No. 6						
補強ビーム No. 7						

図 1-1(3) 形状・寸法・材料・応力評価点 (補強ビーム) (単位：mm)

表 1-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力 強さ	許容値	応力 評価面	応力 強さ	許容値	応力 評価点
補強ビーム SUS304	Ⅲ _A S	12	129	P03-P04	70	193	P03
	Ⅳ _A S	12	195	P03-P04	72	293	P03
支持板 SUS304	Ⅲ _A S	16	172	P07-P08	68	258	P07'
	Ⅳ _A S	27	260	P07-P08	108	391	P07'

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容限界

物性値及び許容限界は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

なお、主応力の算出は、「応力解析の方針」5.4.1項に示される式において、 σ_t 、 σ_l 、 σ_r 、 τ_{tl} 、 τ_{lr} 、 τ_{rt} をそれぞれ σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 τ_{xy} 、 τ_{yz} 、 τ_{zx} に添字を置き換えて求める。

σ_x : x 方向応力

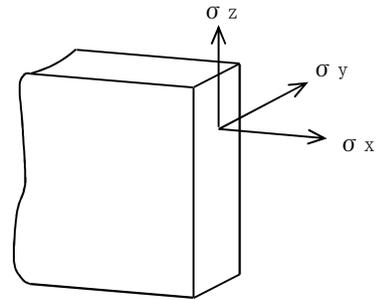
σ_y : y 方向応力

σ_z : z 方向応力

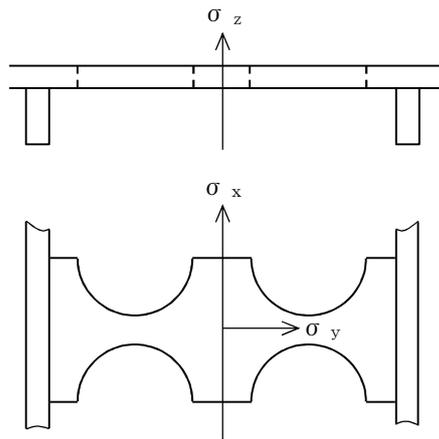
τ_{xy} : せん断応力

τ_{yz} : せん断応力

τ_{zx} : せん断応力



補強ビーム



支持板

3. 応力計算

応力計算において、荷重は図 3-1 及び図 3-3 に示す各補強ビーム及び各支持板に加わると考えて計算する。

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。また、各応力評価点の断面性状を表 3-1 に示す。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

各運転条件における差圧を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、**各許容応力状態**での応力は、比例計算により求める。

3.2.2 計算方法

(1) 差圧による一次応力の計算

a. 補強ビーム

(a) 差圧による荷重

補強ビームの荷重計算モデルを、図 3-1 に示す。

差圧による単位長さ当たりの分布荷重 W_1 は、次式で求める。

$$W_1 = P_{13} \cdot \frac{1}{\ell_p} \cdot (2 \cdot \ell_p^2 - 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2)$$

(b) 曲げ応力 (一次応力)

図 3-1 に示す補強ビームの荷重計算モデルにより荷重を求め、図 3-2 に示す補強ビームの応力計算モデルにより曲げ応力を求める。ここで、断面二次モーメント I_0 、 I_1 は、支持板を穴の部分の面積を除いたものと等しい面積を持つ穴のない帯状の板に置き換えて計算する。穴としては、制御棒案内管の入る穴及び中性子計測案内管の入る穴を考慮する。なお、モーメントは最長の補強ビーム No. 4 について求める。

イ. $0 \leq x \leq \ell_i$ のとき

(イ) モーメント

$$M = -M_A + \frac{W_1}{2} \cdot (a_i^2 - x^2)$$

(ロ) 曲げ応力

$$\sigma_x = -\frac{M}{I_1} \cdot e_1 \quad (\text{補強ビームの下端})$$

$$\sigma_x = \frac{M}{I_1} \cdot e_1' \quad (\text{補強ビームの上端})$$

ロ. $\ell_i \leq x \leq a_i$ のとき

(イ) モーメント

$$M = -M_A + \frac{W_1}{2} \cdot (a_i^2 - x^2)$$

(ロ) 曲げ応力

$$\sigma_x = -\frac{M}{I_0} \cdot e_0 \quad (\text{補強ビームの下端})$$

$$\sigma_x = \frac{M}{I_0} \cdot e_0' \quad (\text{補強ビームの上端})$$

ここで, M_A : 固定端モーメント

$$M_A = \frac{\frac{W_1}{2} \ell_i \cdot \left(a_i^2 - \frac{\ell_i^2}{3} \right) \cdot (I_0 - I_1) + I_1 \cdot \frac{W_1}{3} \cdot a_i^3}{(I_0 - I_1) \cdot \ell_i + I_1 \cdot a_i}$$

I_0 : I_0 部の断面二次モーメント

I_1 : I_1 部の断面二次モーメント

(c) せん断応力 (一次一般膜応力)

補強ビームの固定端でせん断力は最大となり, 補強ビームの中央でせん断力は0となる。

補強ビームの固定端におけるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{zx} = \frac{F_s}{A_0}$$

ここで, F_s : 固定端におけるせん断力

$$F_s = W_1 \cdot a_i$$

A_0 : 固定端の断面積

$$A_0 = b_e \cdot h_c + h_o \cdot t$$

b. 支持板

支持板の計算モデルを, 図3-3及び図3-4に示す。

(a) 差圧による荷重

差圧による単位長さ当たりの分布荷重 W_2 は, 次式で求める。

$$W_2 = P_{13} \cdot \frac{1}{2 \cdot \ell_4} \cdot (2 \cdot \ell_4 \cdot \ell_p - 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2)$$

(b) 曲げ応力 (一次応力)

図3-3に示す支持板の計算モデルにより曲げ応力を求める。

イ. モーメント

$$M = M_A - W_2 \cdot \ell_4 \cdot y + \frac{W_2}{2} \cdot y^2$$

ロ. 曲げ応力

固定端における曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_y = \frac{M_A}{I_2} \cdot e_2 \quad (\text{支持板の下面})$$

$$\sigma_y = -\frac{M_A}{I_2} \cdot e_2 \quad (\text{支持板の上面})$$

また、 $y = \boxed{\quad}$ mm における曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_y = \frac{M}{I_3} \cdot e_3 \quad (\text{支持板の下面})$$

$$\sigma_y = -\frac{M}{I_3} \cdot e_3 \quad (\text{支持板の上面})$$

ここで、 M_A : 固定端モーメント

$$M_A = \left[\frac{2 \cdot \ell_4^3 - \left(\frac{I_2}{I_3} - 1 \right) \cdot (\ell_3^3 - \ell_2^3 - 3 \cdot \ell_3^2 \cdot \ell_4 + 3 \cdot \ell_2^2 \cdot \ell_4)}{6 \cdot \left\{ \ell_4 + \left(\frac{I_2}{I_3} - 1 \right) \cdot (\ell_3 - \ell_2) \right\}} \right] \cdot W_2$$

I_2 : I_2 部の断面二次モーメント

I_3 : I_3 部の断面二次モーメント

(c) せん断応力 (一次一般膜応力)

固定端におけるせん断応力は、次式で求める。

$$\tau_{yz} = \frac{W_2 \cdot \ell_4}{h_c \cdot \ell_5}$$

$y = \boxed{\quad}$ mm におけるせん断応力は、次式で求める。

$$\tau_{yz} = \frac{W_2}{h_c \cdot \ell_6} \cdot (\ell_4 \cdot \boxed{})$$

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

炉心支持板に働く外荷重を「応力解析の方針」の 4.4 節に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 外荷重による一次応力の計算

a. 補強ビーム

補強ビームの荷重計算モデルを、図 3-1 に示す。

(a) 死荷重による単位長さ当たりの分布荷重

死荷重による単位長さ当たりの分布荷重 W_3 は、次式で求める。

$$W_3 = -\frac{V_1}{\ell_p}$$

(b) 鉛直方向地震荷重による単位長さ当たりの分布荷重

鉛直方向地震荷重による単位長さ当たりの分布荷重 W_4 は、次式で求める。

$$W_4 = \frac{V_1}{\ell_p}$$

(c) 曲げ応力及びせん断応力

3.2.2(1)a. 項と同様にして求める。

b. 支持板

支持板の計算モデルを図 3-3 に示す。

(a) 死荷重による単位長さ当たりの分布荷重

死荷重による単位長さ当たりの分布荷重 W_5 は、次式で求める。

$$W_5 = -\frac{V_2}{2 \cdot \ell_4}$$

- (b) 鉛直方向地震荷重による単位長さ当たりの分布荷重

鉛直方向地震荷重による単位長さ当たりの分布荷重 W_6 は、次式で求める。

$$W_6 = \frac{V_2}{2 \cdot \ell_4}$$

- (c) 水平方向地震荷重による荷重

図 3-4(3)に示す 1 本の制御棒案内管が支持板に与える水平方向地震荷重 H_p は、次式で求める。

$$H_p = \frac{4 \cdot H}{764}$$

ここで、 H は水平方向地震荷重で「応力解析の方針」の 4.4 節に示す。

- (d) 曲げ応力及びせん断応力

- イ. 鉛直方向荷重（死荷重及び鉛直方向地震荷重）

3.2.2(1)b. 項と同様にして求める。

- ロ. 水平方向地震荷重

図 3-4 に示す支持板のモデルにより、曲げ応力を求める。

- (イ) モーメント

固定端におけるモーメント M_A

$$M_A = \left(-\boxed{} - \frac{\boxed{}}{2 \cdot \ell_4} \right) \cdot H_p$$

$y = \boxed{}$ mm におけるモーメント M_B

$$M_B = \frac{\boxed{}}{2 \cdot \ell_4} \cdot H_p$$

- (ロ) 曲げ応力（一次応力）

固定端における曲げ応力

$$\sigma_y = \frac{M_A}{I_A} \cdot e_A$$

$y = \boxed{\quad}$ mm における曲げ応力

$$\sigma_y = \frac{M_B}{I_B} \cdot e_B$$

ここで、 I_A : I_A 部の断面二次モーメント

I_B : I_B 部の断面二次モーメント

(ハ) せん断応力 (一次一般膜応力)

固定端におけるせん断応力

$$\tau_{xy} = \frac{H_p}{h_c \cdot \ell_5}$$

$y = \boxed{\quad}$ mm におけるせん断応力

$$\tau_{xy} = \frac{H_p}{h_c \cdot \ell_6}$$

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力を分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の 5.4 節に示す。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 4-1 に示す。

表 4-1 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

4.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 4-2 に示す。

表 4-2 より、各許容応力状態の一次一般膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

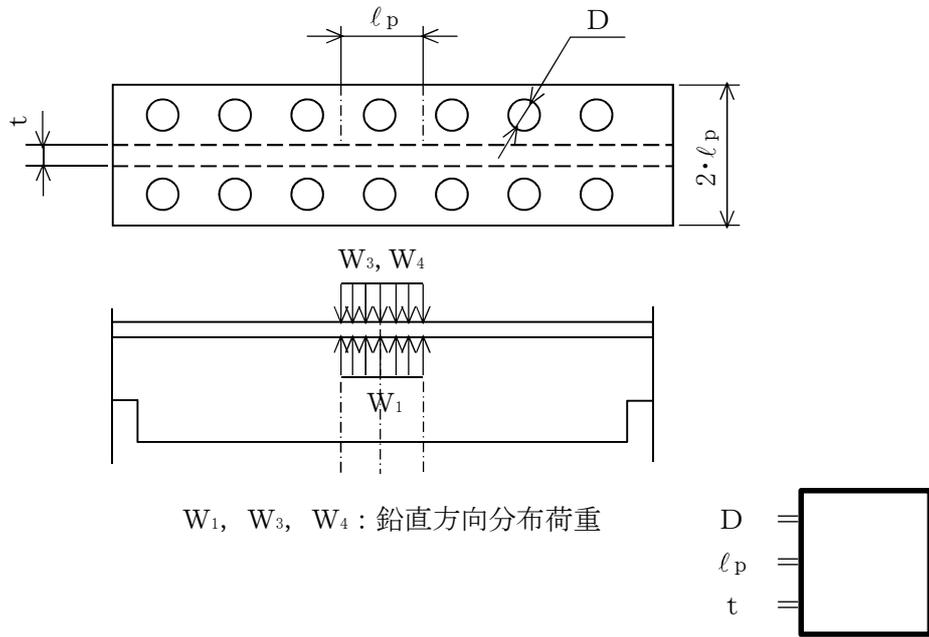


図 3-1 補強ビームの荷重計算モデル (単位 : mm)

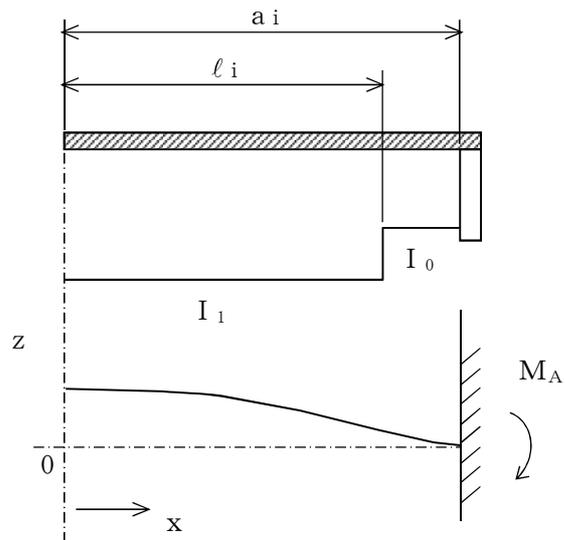
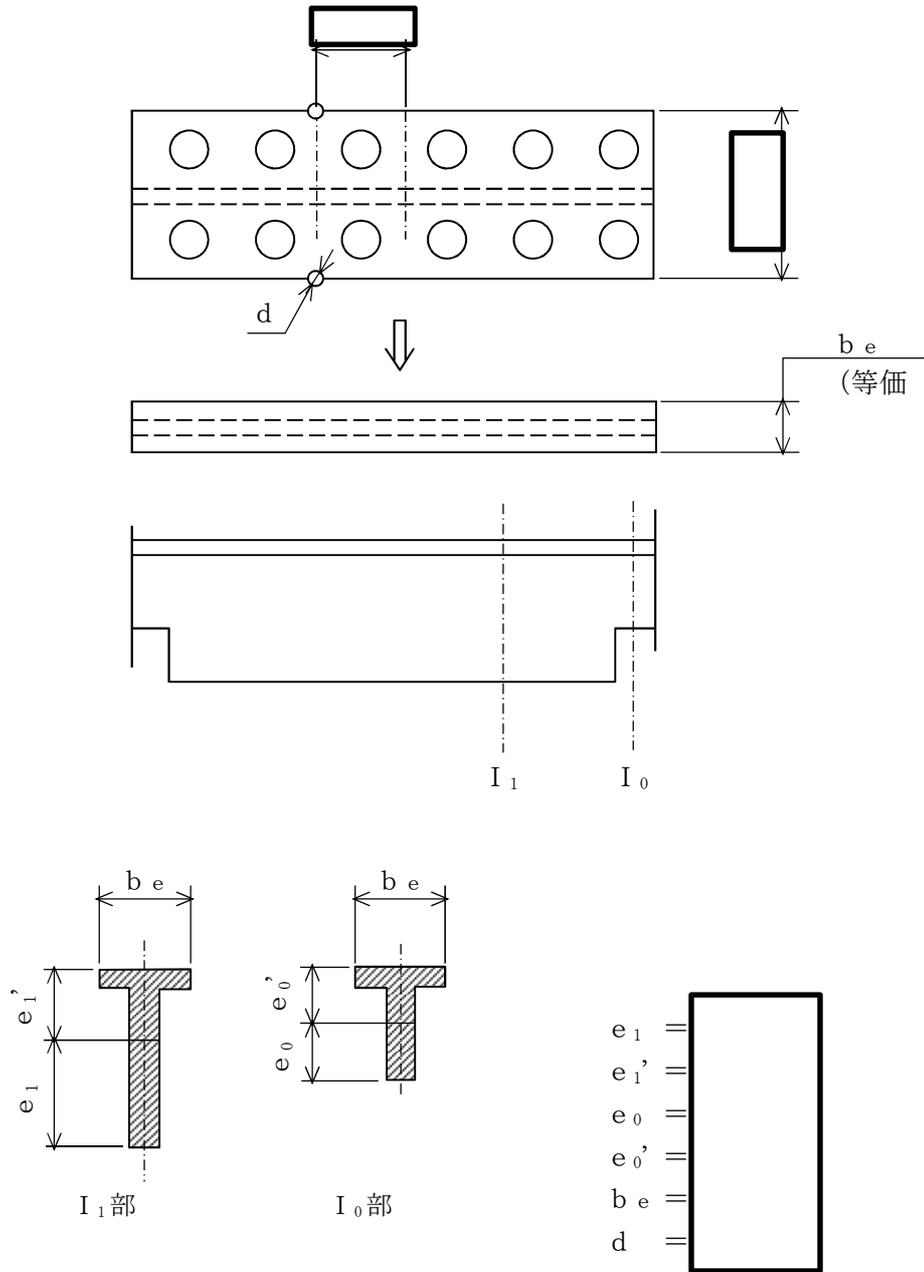
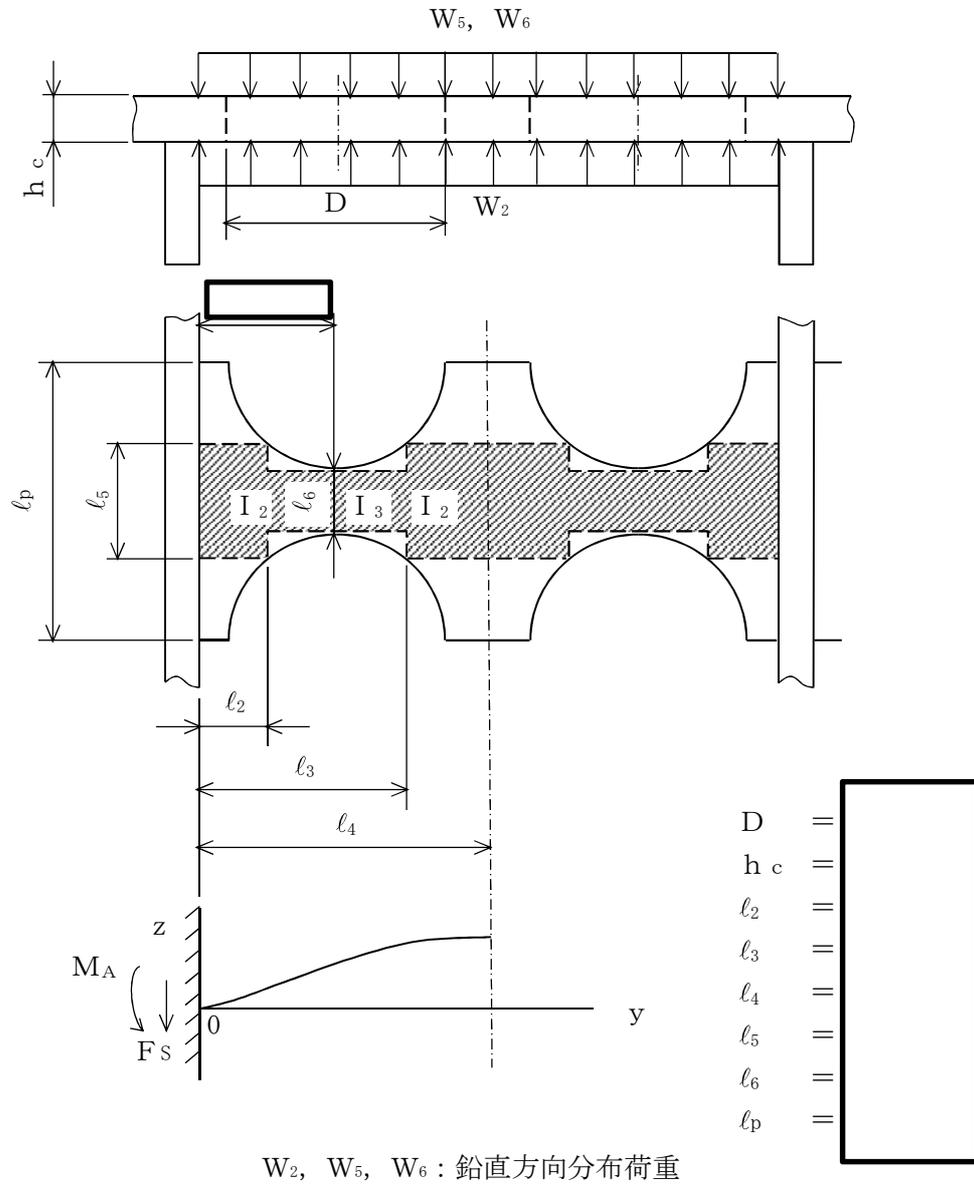


図 3-2(1) 補強ビームの応力計算モデル



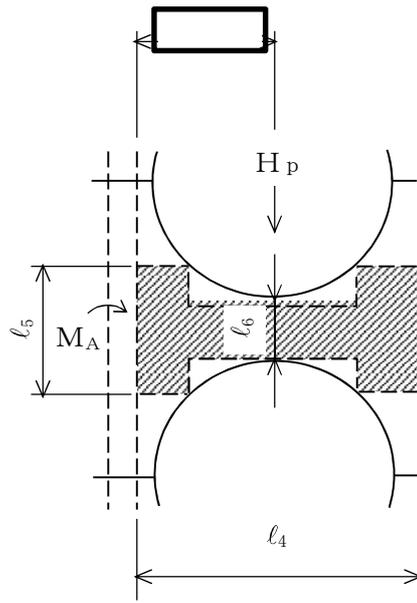
ここで, $b_e = \frac{1}{l_p} \cdot (2 \cdot l_p^2 - 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 - \frac{\pi}{4} \cdot d^2)$

図 3-2(2) 補強ビームの応力計算モデル (単位: mm)



注記 * : 固定端から最小幅になる部分までの距離

図 3-3 支持板の荷重計算及び応力計算モデル (単位 : mm)



H_p : 制御棒案内管用穴 1 つあたりに作用する水平方向地震荷重

図 3-4 支持板の応力計算モデル (単位 : mm)

表 3-1 断面性状

応力評価点	補強ビームに平行な軸		補強ビームに垂直な軸	
	I (mm ⁴)	e (mm)	I (mm ⁴)	e (mm)
P01, P02				
P03, P04				
P05, P06				
P07, P08				

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価点	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
	P01 ^{*1}	0	172	0
P01' ^{*1}	0	172	0	260
P02 ^{*1}	0	172	0	260
P02' ^{*1}	0	172	0	260
P03 ^{*1}	12	129 ^{*3}	12	195 ^{*3}
P03' ^{*1}	11	129 ^{*3}	11	195 ^{*3}
P04 ^{*1}	12	172	12	260
P04' ^{*1}	11	172	11	260
P05 ^{*2}	5	103 ^{*3}	7	156 ^{*3}
P05' ^{*2}	5	103 ^{*3}	7	156 ^{*3}
P06 ^{*2}	5	172	7	260
P06' ^{*2}	5	172	7	260
P07 ^{*2}	16	172	27	260
P07' ^{*2}	16	172	27	260
P08 ^{*2}	16	172	27	260
P08' ^{*2}	16	172	27	260

注記 *1：補強ビーム

*2：支持板

*3：継手効率を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価点	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
	P01 ^{*1}	19	258	18
P01' ^{*1}	21	258	21	391
P02 ^{*1}	10	258	10	391
P02' ^{*1}	9	258	9	391
P03 ^{*1}	70	193 ^{*3}	72	293 ^{*3}
P03' ^{*1}	64	193 ^{*3}	62	293 ^{*3}
P04 ^{*1}	27	258	26	391
P04' ^{*1}	29	258	29	391
P05 ^{*2}	24	154 ^{*3}	32	234 ^{*3}
P05' ^{*2}	11	154 ^{*3}	20	234 ^{*3}
P06 ^{*2}	11	258	14	391
P06' ^{*2}	32	258	41	391
P07 ^{*2}	53	258	93	391
P07' ^{*2}	68	258	108	391
P08 ^{*2}	59	258	98	391
P08' ^{*2}	63	258	102	391

注記 *1：補強ビーム

*2：支持板

*3：継手効率を乗じた値を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-974 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-3-3-2-6 燃料支持金具の耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	1
1.4 計算結果の概要	1
2. 計算条件	5
2.1 解析範囲	5
2.2 設計条件	5
2.3 運転条件	5
2.4 材料	5
2.5 物性値及び許容限界	5
2.6 応力の記号と方向	5
3. 応力計算	6
3.1 応力評価点	6
3.2 差圧による応力	6
3.2.1 荷重条件 (L02)	6
3.2.2 計算方法	6
3.3 外荷重による応力	7
3.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)	7
3.3.2 計算方法	7
3.4 応力の評価	7
4. 応力強さの評価	8
4.1 一次一般膜応力強さの評価	8
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	中央燃料支持金具の差圧による応力計算モデル	10
図 3-2	中央燃料支持金具の外荷重による応力計算モデル	10
表 1-1	計算結果の概要	4
表 3-1	断面性状	9
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	11
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	12

1. 一般事項

本計算書は、燃料支持金具の耐震性についての計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」(以下「応力解析の方針」という。)の 2 章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
l	高さ	mm
t	厚さ	mm

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

- a. 差圧
- b. 外荷重

各荷重の値を「応力解析の方針」の 4 章に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。

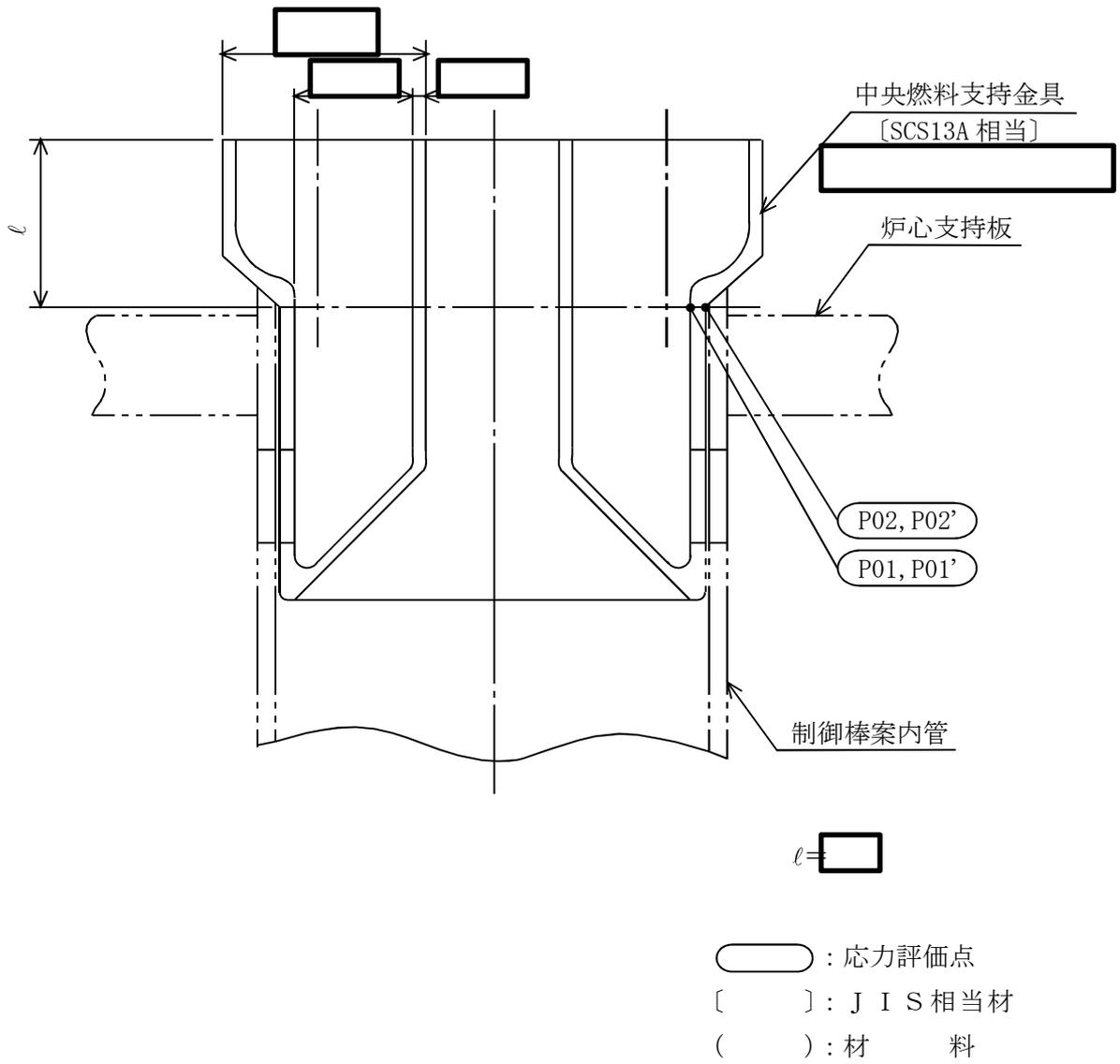


図1-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

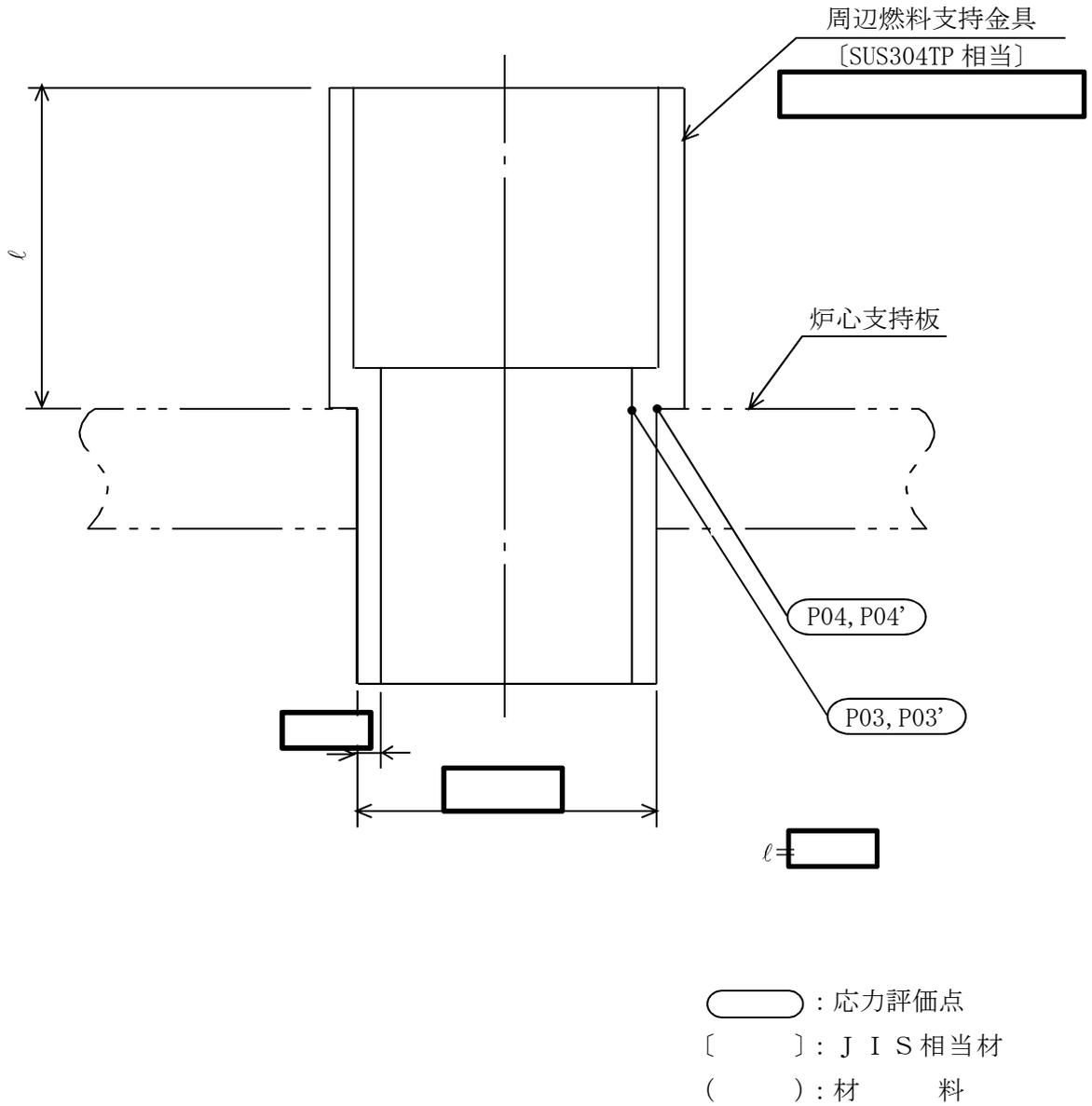


図1-1(2) 形状・寸法・材料・应力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

部分及び材料	供用状態 (許容応力状態)	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜＋ 一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力 強さ	許容値	応力 評価面	応力 強さ	許容値	応力 評価面
中央 燃料支持金具 SCS13A	Ⅲ _A S	14	172	P01'-P02'	14	258	P01'-P02'
	Ⅳ _A S	21	248	P01'-P02'	21	372	P01'-P02'
周辺 燃料支持金具 SUS304TP	Ⅲ _A S	8	68	P03'-P04'	8	103	P03'-P04'
	Ⅳ _A S	12	104	P03'-P04'	12	156	P03'-P04'

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容限界

物性値及び許容限界は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

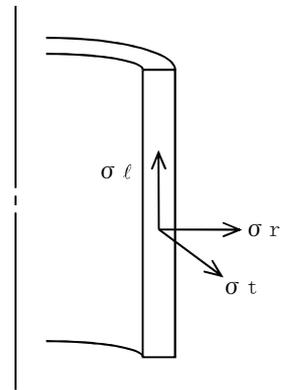
応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

σ_t : 周方向応力

σ_l : 軸方向応力

σ_r : 半径方向応力

τ_{tl} : せん断応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

また、各応力評価点の断面性状を表 3-1 に示す。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

各運転条件による差圧を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

計算は、設計条件に対して行い、各供用状態（許容応力状態）での応力は、比例計算により求める。

3.2.2 計算方法

中央燃料支持金具の差圧による応力は、応力評価点の位置における断面で、外径を ϕ

mm とし、かつ厚さが最小となる円筒を考え計算する。

中央燃料支持金具の差圧による応力計算のモデルを、図 3-1 に示す。

周辺燃料支持金具の差圧による応力は、応力評価点の位置における断面の円筒を考え計算する。

(1) 一次一般膜応力

差圧 P_{13} による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P_{13}$$

$$\sigma_\ell = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P_{13}$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P_{13}$$

ここで、 $Y = \frac{D_o}{D_i}$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

燃料支持金具に働く外荷重を「応力解析の方針」の 4.4 節に示す。

3.3.2 計算方法

中央燃料支持金具の外荷重による応力は、応力評価点の位置における断面で、その断面の最小幅を内径とし、かつ厚さが最小となる円筒を考え計算する。

中央燃料支持金具の外荷重による応力計算のモデルを、図 3-2 に示す。

周辺燃料支持金具の外荷重による応力は、応力評価点の位置における断面の円筒を考え計算する。

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{V}{A} + \frac{M}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{H}{A}$$

ここで、M：応力評価点での水平力Hにより発生するモーメント

$$M = H \cdot \ell$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力を分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の 5.4 節に示す。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

各供用状態（許容応力状態）における評価をまとめて、表 4-1 に示す。

表 4-1 より、各供用状態（許容応力状態）の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

4.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価

各供用状態（許容応力状態）における評価をまとめて、表 4-2 に示す。

表 4-2 より、各供用状態（許容応力状態）の一次一般膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

表 3-1 断面性状

応力評価点	t (mm)	D _o (mm)	D _i (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
P01, P02*					
P03, P04					

注記 * : 上段は差圧による応力計算のモデルの断面性状を示し, 下段は外荷重による応力計算のモデルの断面性状を示す。

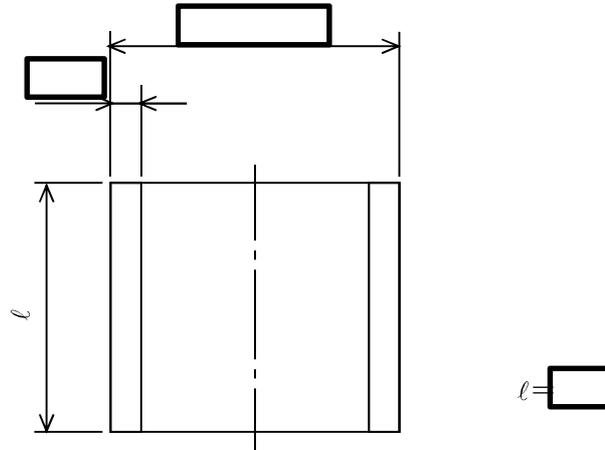


図 3-1 中央燃料支持金具の差圧による応力計算モデル (単位: mm)

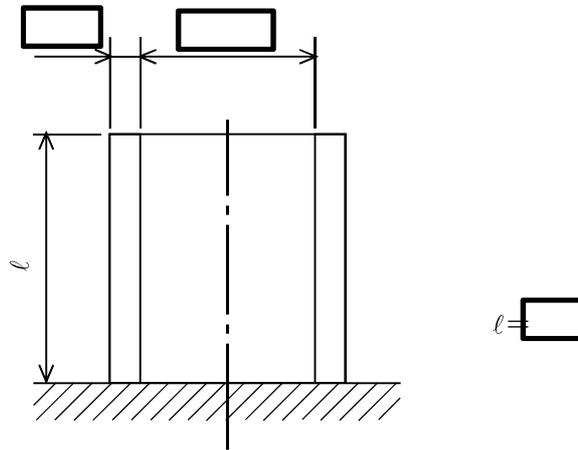


図 3-2 中央燃料支持金具の外荷重による応力計算モデル (単位: mm)

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	9	172	16	248
P01' P02'	14	172	21	248
P03 P04	5	68*	9	104*
P03' P04'	8	68*	12	104*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	9	258	16	372
P01' P02'	14	258	21	372
P03 P04	5	103*	9	156*
P03' P04'	8	103*	12	156*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-975 改 1
提出年月日	平成 30 年 8 月 16 日

V-2-3-3-2-7 制御棒案内管の耐震性についての計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	形状・寸法・材料	1
1.2	記号の説明	1
1.3	考慮する荷重	1
1.4	計算結果の概要	1
2.	計算条件	4
2.1	解析範囲	4
2.2	設計条件	4
2.3	運転条件	4
2.4	材料	4
2.5	物性値及び許容限界	4
2.6	応力の記号と方向	4
3.	応力計算	5
3.1	応力評価点	5
3.2	差圧による応力	5
3.2.1	荷重条件 (L02)	5
3.2.2	計算方法	5
3.3	外荷重による応力	6
3.3.1	荷重条件 (L04, L14 及び L16)	6
3.3.2	計算方法	6
3.4	応力の評価	6
4.	応力強さの評価	7
4.1	一次一般膜応力強さの評価	7
4.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	7

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	断面性状	8
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	9
表 4-2	一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	10

1. 一般事項

本計算書は、制御棒案内管の耐震性についての計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 記号の説明

添付書類 「V-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」(以下「応力解析の方針」という。)の 2 章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
R _o	外半径	mm
t	厚さ	mm
L	長さ	mm

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

- a. 差 圧
- b. 外荷重

差圧及び外荷重の値を「応力解析の方針」の 4 章に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。

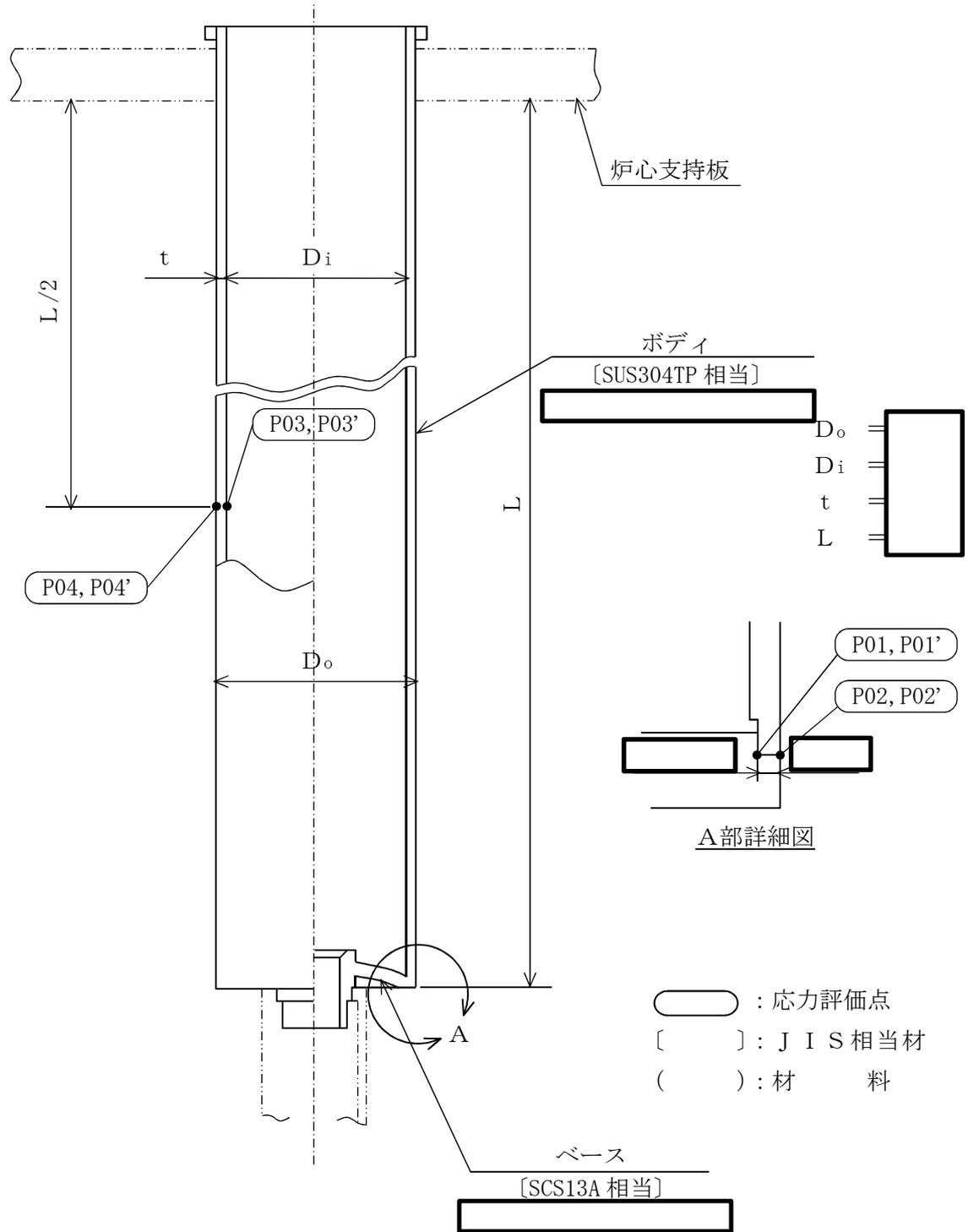


図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力 強さ	許容値	応力 評価面	応力 強さ	許容値	応力 評価面
下部溶接部 SCS13A	Ⅲ _A S	8	86	P01'-P02'	8	129	P01'-P02'
	Ⅳ _A S	11	124	P01'-P02'	11	186	P01'-P02'
長手中央部 SUS304TP	Ⅲ _A S	14	86	P03'-P04'	14	129	P03'-P04'
	Ⅳ _A S	20	130	P03'-P04'	20	195	P03'-P04'

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容限界

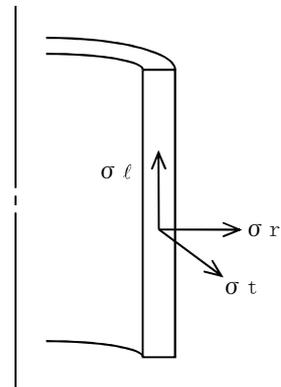
物性値及び許容限界は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
- σ_l : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力
- τ_{tl} : せん断応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。また、各応力評価点の断面性状を表 3-1 に示す。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

各運転条件による差圧を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

計算は、設計条件に対して行い、各許容応力状態での応力は、比例計算により求める。

3.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

差圧 P_{13} による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = -\frac{Y}{Y-1} \cdot P_{13}$$

$$\sigma_\ell = 0$$

$$\sigma_r = -\frac{Y}{Y+1} \cdot P_{13}$$

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

(2) 一次一般膜+一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜+一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

制御棒案内管に働く外荷重を「応力解析の方針」の 4.4 節に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{t\ell} = \frac{V}{A} + \frac{M \cdot D_o}{I \cdot 2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{H}{A}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力を分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の 5.4 節に示す。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 4-1 に示す。

表 4-1 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

4.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 4-2 に示す。

表 4-2 より、各許容応力状態の一次一般膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

表 3-1 断面性状

応力評価点	t (mm)	D _o (mm)	D _i (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
P01, P02					
P03, P04					

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ
(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	7	86 *	8	124 *
P01' P02'	8	86 *	11	124 *
P03 P04	11	86 *	17	130 *
P03' P04'	14	86 *	20	130 *

注記 * : 継手効率を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	7	129 *	8	186 *
P01' P02'	8	129 *	11	186 *
P03 P04	11	129 *	17	195 *
P03' P04'	14	129 *	20	195 *

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料

資料番号

工認-981 改1

提出年月日

平成30年8月16日

V-2-5-5-5-2 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	9
3. 計算条件	11
3.1 荷重の組合せ及び許容応力	11
3.2 設計条件	12
3.3 材料及び許容応力	16
3.4 設計用地震力	17
4. 解析結果及び評価	18
4.1 固有周期及び設計震度	18
4.2 評価結果	23
4.2.1 管の応力評価結果	23
4.2.2 支持構造物評価結果	24
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	26
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	27

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」，「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」及び「V-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき、管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は以下に示すとおりとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全29モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

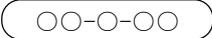
(3) 弁

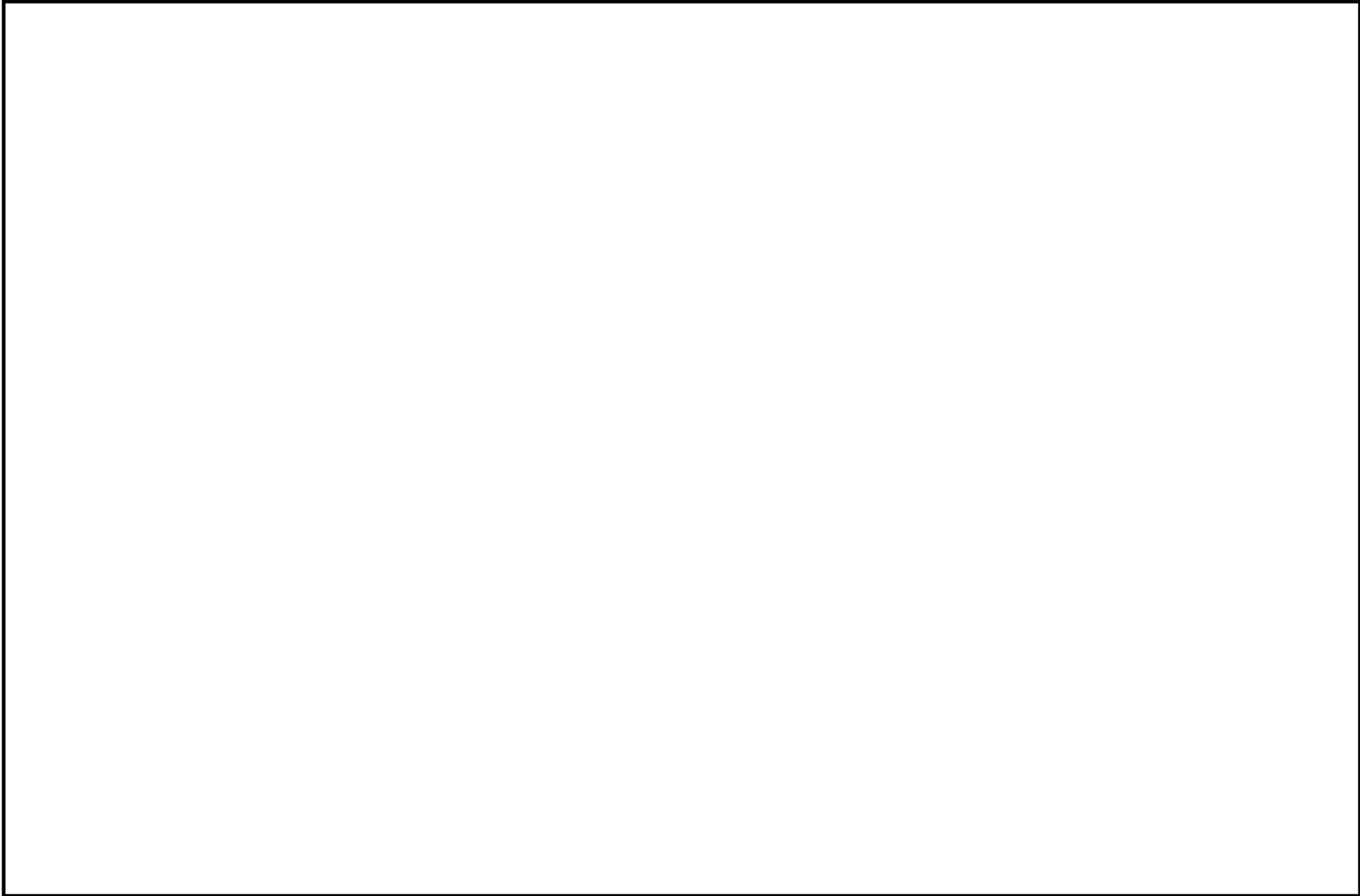
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

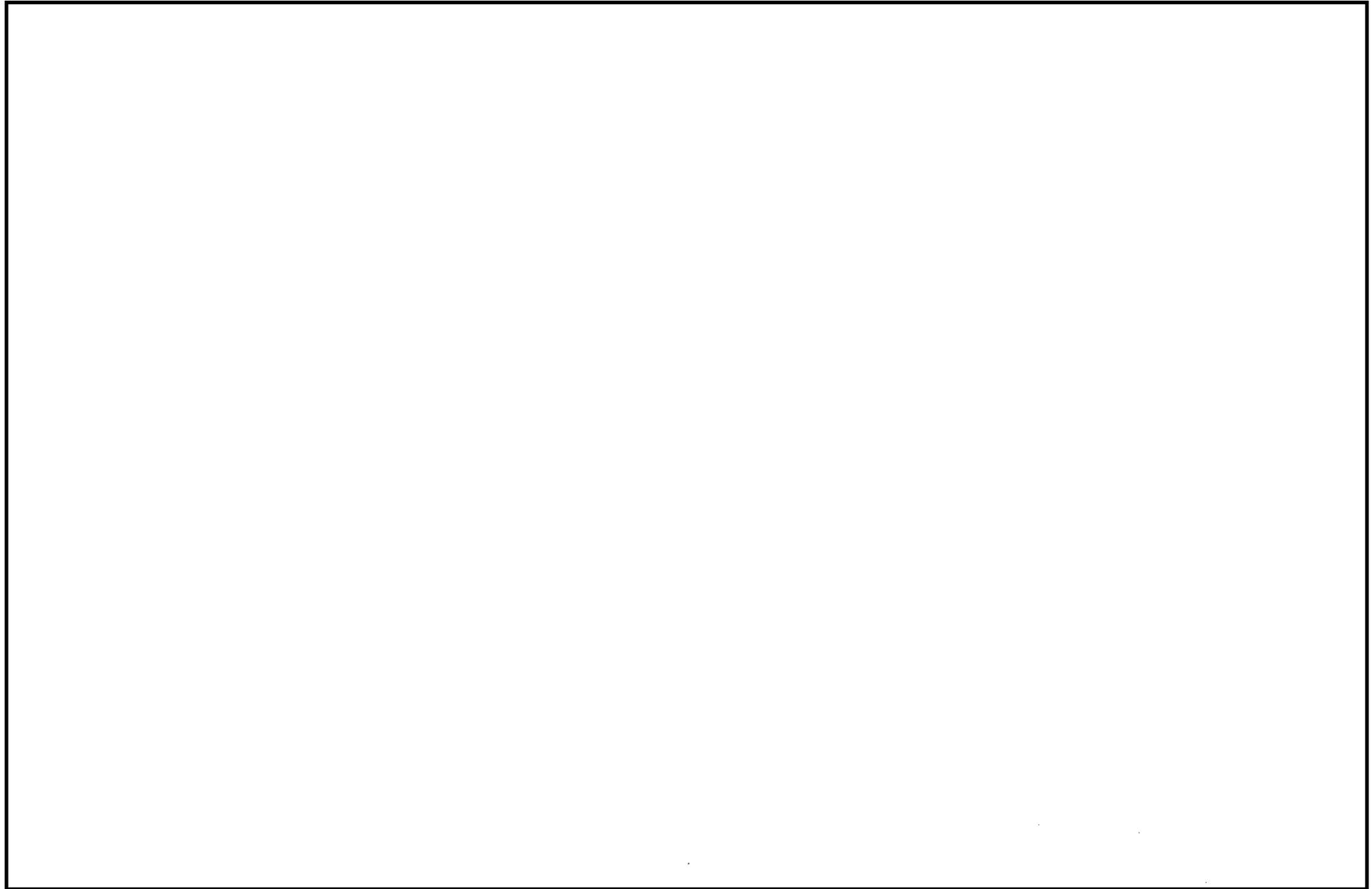
2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (鳥瞰図, 計算条件及び評価結果を記載す る範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果のみ記載する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



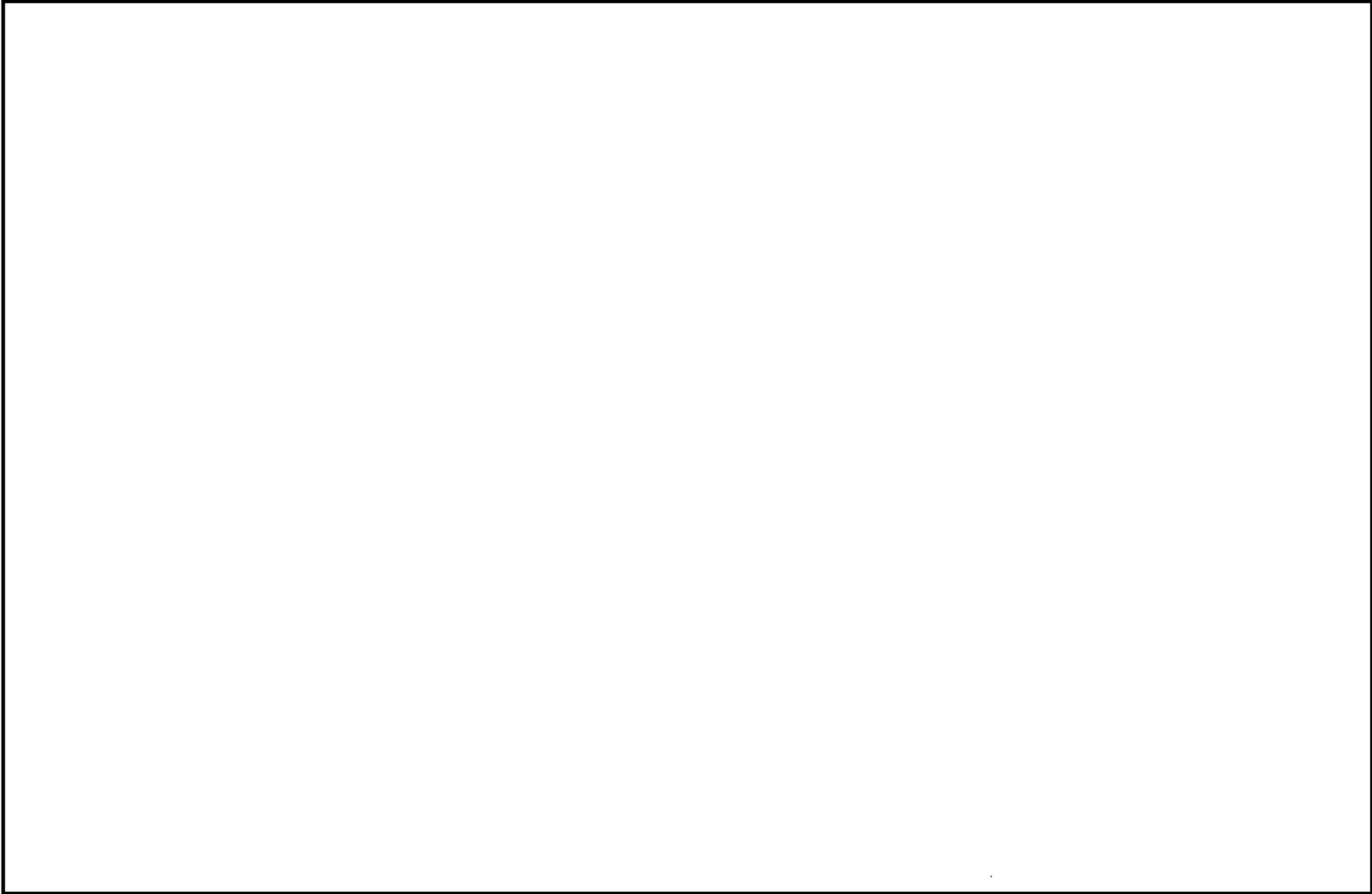
低圧代替注水系概略系統図 (その1)



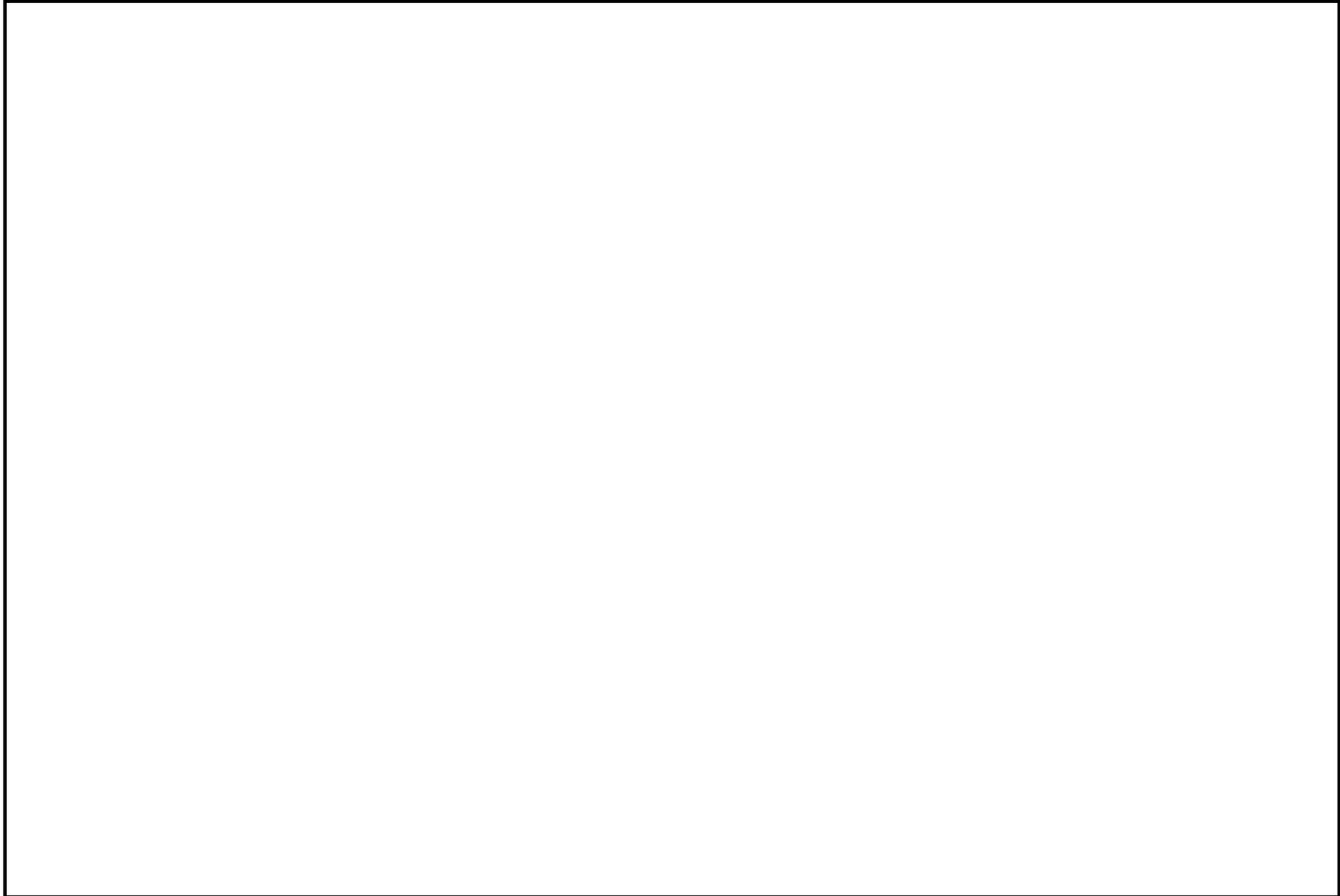
低圧代替注水系概略系統図 (その2)

NT2 補② V-2-5-5-5-2 R2

5

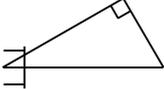
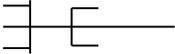
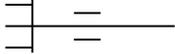
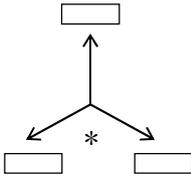


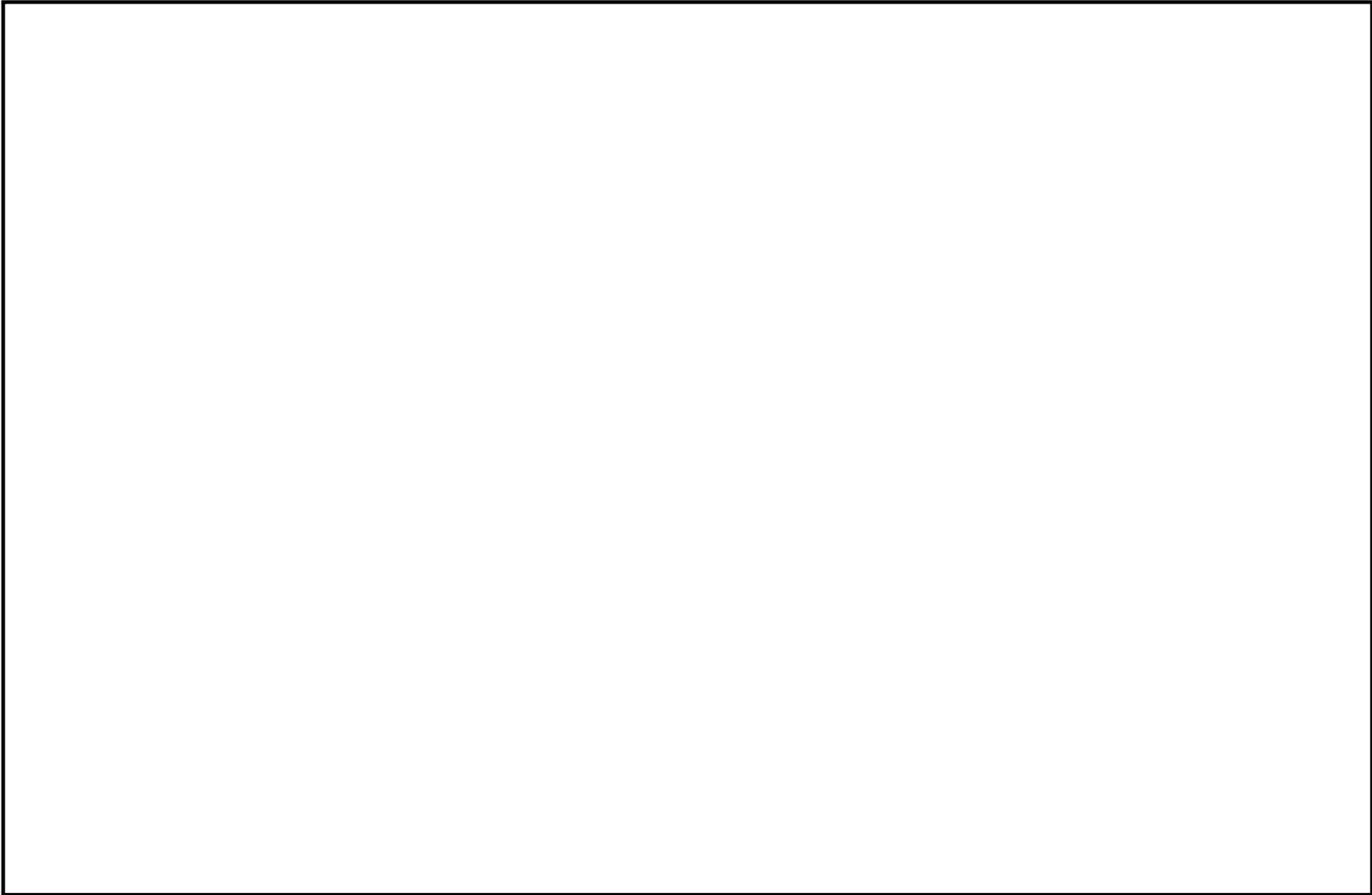
低圧代替注水系概略系統図 (その3)



2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質 点
	ア ン カ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, □ 内に 変位量を記載する。)
	注：鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。



3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	低圧代替注水系	S A	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L + S_s$	V_{AS}
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備の原子炉格納容器安全設備	低圧代替注水系	S A	常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L + S_s$	V_{AS}

注記*1: DBは設計基準対象施設, SAは重大事故等対処設備を示す。

*2: 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3: 運転状態の添字Lは荷重, (L)は荷重が長期間作用している状態, (LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4: 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5: 許容応力状態 V_{AS} は許容応力状態 IV_{AS} の許容限界を使用し, 許容応力状態 IV_{AS} として評価を実施する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 ALPI-013YD

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	A00～A01, A04～A13	3.14	66	216.3	8.2	STPT410	—	

伸縮継手部の質量

鳥 瞰 図 ALPI-013YD

質量	対応する評価点
	A01～A02, A03～A04
	A02～A03

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 ALPI-013YD

質量	対応する評価点
	A01, A04

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 ALPI-013YD

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
A00						
A05						
A10						
A12						
A13						

3.3 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S h
STPT410	66	—	231	407	—

3.4 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお、設備評価用床応答曲線は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
ALPI-013YD	原子炉建屋		
	常設低圧代替注水系 配管カルバート		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 ALPI-013YD

耐震設計上の重要度分類		—		
適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向
[Redacted]		2.39	2.39	4.28
		2.21	2.21	4.28
		—	—	—
動的震度		0.96	0.96	0.92

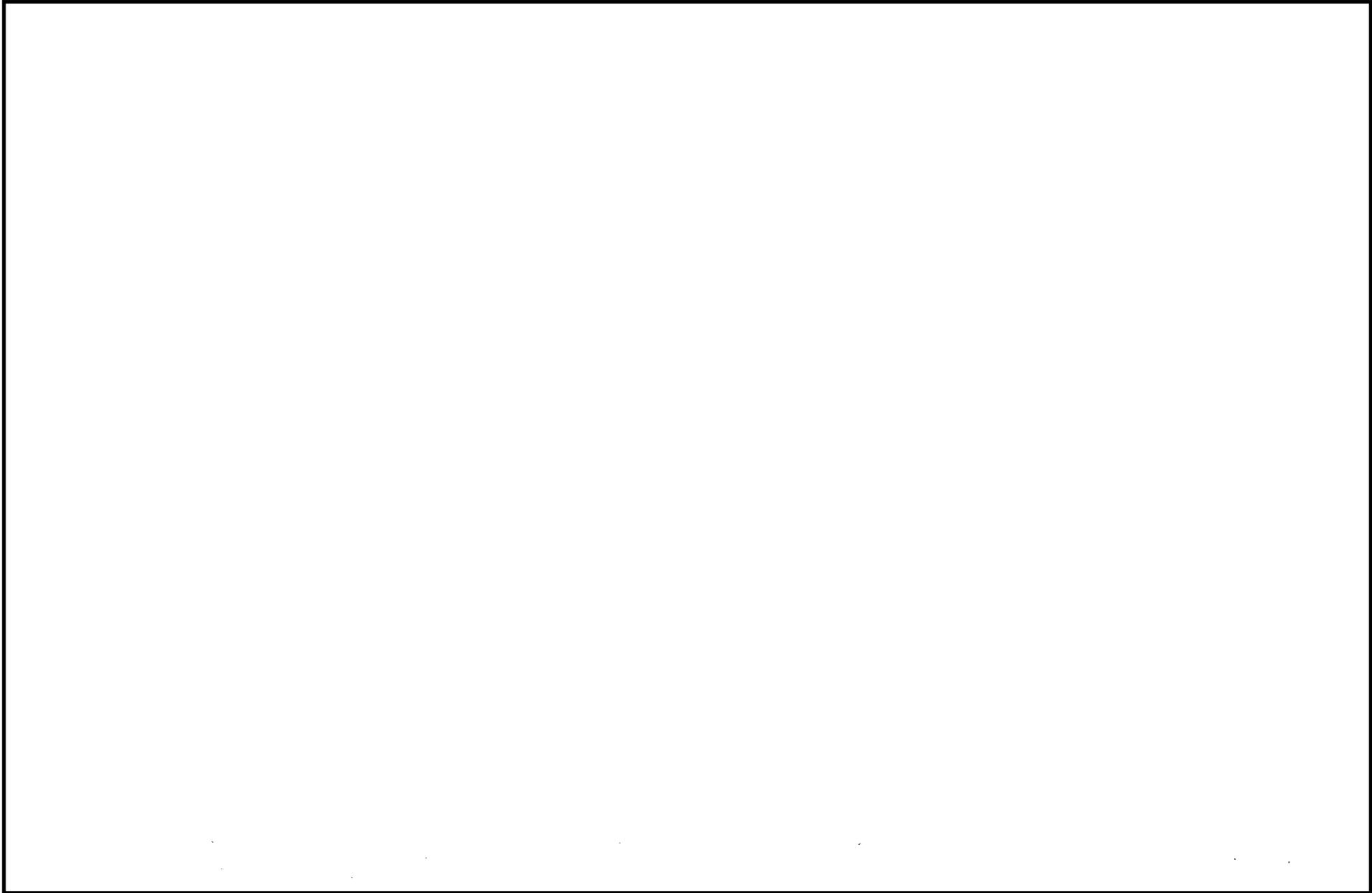
各モードに対応する刺激係数

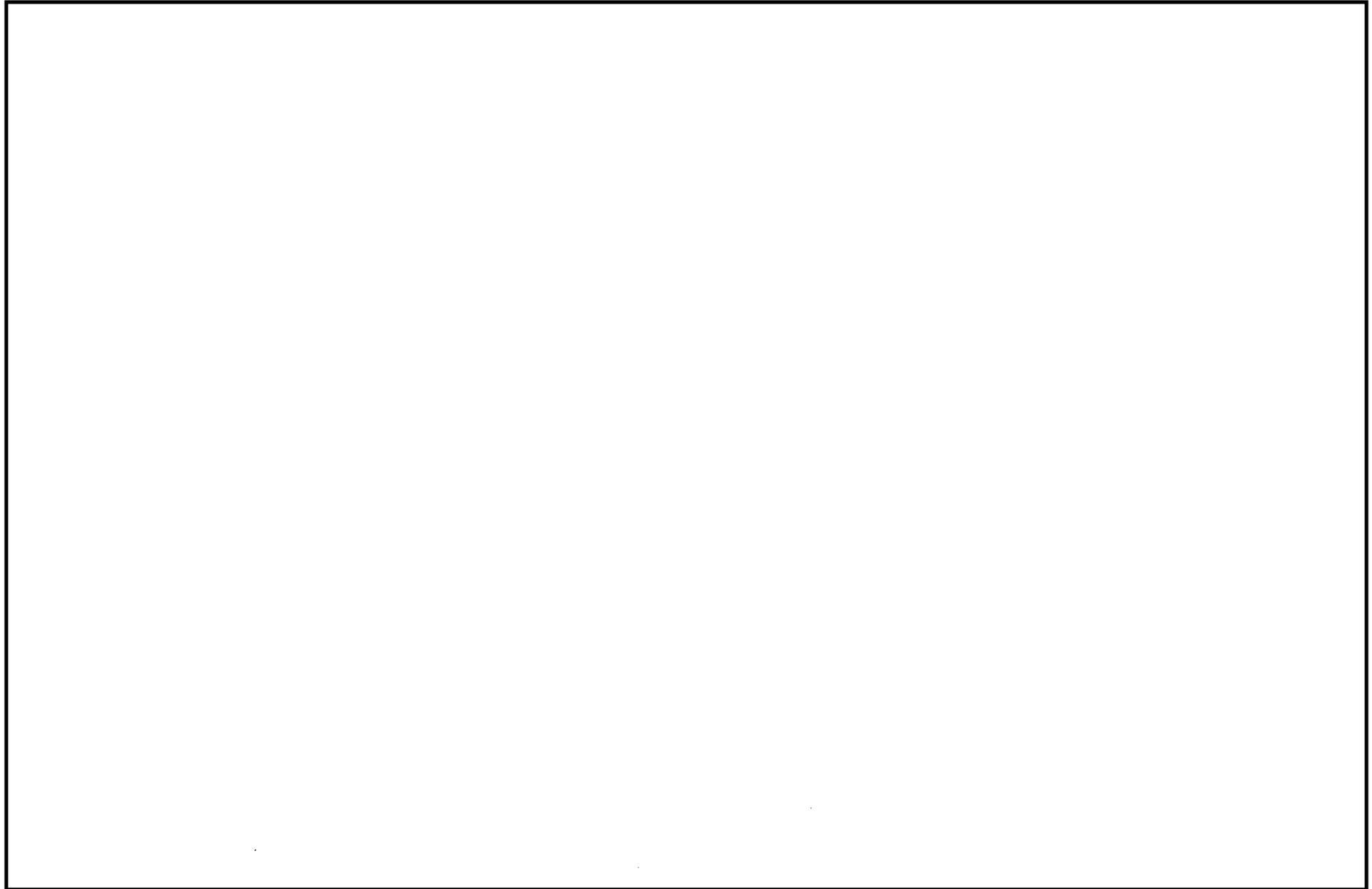
鳥 瞰 図 ALPI-013YD

モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。





4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

鳥瞰図	許容応力 状態 (供用状態)	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 Sprm (S s)	許容応力 0.9Su	計算応力 Sn (S s)	許容応力 2Sy	疲労累積係数 USs
ALPI-013YD	V _A S	A05	Spr _m (S s)		366	-	-	-
ALPI-013YD	V _A S	A05	Sn (S s)	-	-		462	-

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
ALPI-009SNM	メカニカルスナッパ	SMS-3	「V-2-1-11 機器・ 配管の耐震支持設 計方針」参照		8	45
ALPI-017SNM	メカニカルスナッパ	SMS-6			6	90
ALPI-023SNM	メカニカルスナッパ	SMS-10			6	150
ALPI-020SNM	メカニカルスナッパ	SMS-16			3	240
ALPI-312SNM	メカニカルスナッパ	SMS-25			3	375
ALPI-165ROR	ロッドレストレイント	RSA-1			6	18
ALPI-011ROR	ロッドレストレイント	RSA-3			9	54
ALPI-121ROR-1	ロッドレストレイント	RSA-6			16	108

注 反力が最大となる支持点の支持構造物評価結果（荷重評価）は、本系統であって評価結果の記載を省略する範囲も示す。

支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
ALPI-083RES	レストレイント	架構	STKR400	100	34	0	19	—	—	—	組合せ	45	234
ALPI-102ANC	アンカ	架構	STKR400	100	5	8	40	5	3	2	組合せ	36	234

注 反力が最大となる支持点の支持構造物評価結果（応力評価）は、本系統であって評価結果の記載を省略する範囲も示す。

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度* ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

* 応答加速度は、打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2範囲）

No	配管モデル	許容応力状態 V _A S												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	ALPI-010YD	A07F	36	366	10.16	—	A07F	60	462	7.70	—	—	—	—
2	ALPI-005YD	A00	23	366	15.91	—	A00	32	462	14.43	—	—	—	—
3	ALPI-006YD	A24	72	366	5.08	—	C21	72	462	6.41	—	—	—	—
4	ALPI-011YD	A06	107	366	3.42	—	A06	126	462	3.66	—	—	—	—
5	ALPI-013YD	A05	142	366	2.57	○	A05	194	462	2.38	○	—	—	—
6	ALPI-001DG	A66F	116	366	3.15	—	A66F	172	462	2.68	—	—	—	—
7	ALPI-002R4F	C50	92	366	3.97	—	C50	146	462	3.16	—	—	—	—
8	RHR-34, 37, 38, 39, 50	544	62	363	5.85	—	579	66	462	7.00	—	—	—	—
9	ALPI-007YD	A16	58	366	6.31	—	A16	58	462	7.96	—	—	—	—
10	ALPI-014YD	A12	38	366	9.63	—	A12	32	462	14.43	—	—	—	—
11	ALPI-015YD	A00	24	366	15.25	—	A00	18	462	25.66	—	—	—	—
12	ALPI-003R3F	A109F	97	366	3.77	—	A108N	134	462	3.44	—	—	—	—
13	LPCS-2, 3	120	34	363	10.67	—	131A	28	462	16.50	—	—	—	—
14	C-04-1360-001	A09	45	431	9.57	—	A04AN	45	376	8.35	—	—	—	—
15	C-04-1360-002	A12	17	431	25.35	—	A12	11	376	34.18	—	—	—	—
16	C-04-1360-003	A07	14	431	30.78	—	A07	4	376	94.00	—	—	—	—
17	C-04-1360-004	A15	15	431	28.73	—	A10	6	376	62.66	—	—	—	—

NT2 補② V-2-5-5-5-2 R2E

No	配管モデル	許容応力状態 V _A S												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
18	C-04-1360-005	A05	16	431	26.93	—	A08	6	376	62.66	—	—	—	—
19	C-04-1360-006	A13	15	431	28.73	—	A13	3	376	125.33	—	—	—	—
20	C-04-1360-007	A03	17	431	25.35	—	A03	11	376	34.18	—	—	—	—
21	C-04-1360-008	A00	20	431	21.55	—	A00	19	376	19.78	—	—	—	—
22	C-04-1360-009	A00	21	431	20.52	—	A00	22	376	17.09	—	—	—	—
23	C-04-1360-010	A01	40	431	10.77	—	A08F	45	376	8.35	—	—	—	—
24	C-04-1360-011	A12N	33	431	13.06	—	A12N	43	376	8.74	—	—	—	—
25	C-04-1360-013	A05	37	431	11.64	—	A05	51	376	7.37	—	—	—	—
26	C-04-1360-014	A05	17	431	25.35	—	A05	11	376	34.18	—	—	—	—
27	C-04-1360-015	A00	17	431	25.35	—	A00	6	376	62.66	—	—	—	—
28	C-04-1360-016	A02F	29	431	14.86	—	A02F	36	376	10.44	—	—	—	—
29	C-04-1360-017	A01N	16	431	26.93	—	A01N	7	376	53.71	—	—	—	—

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-989 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-9-2-11 サプレッション・チェンバ底部ライナ部の
耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 構造説明	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	3
3. 形状及び主要寸法	4
4. 設計条件	6
4.1 設計荷重	6
4.2 材料及び許容ひずみ	8
5. ひずみ計算	10
5.1 ひずみ評価点	10
5.2 ひずみ計算方法	11
6. 評価結果	15
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	15
6.2 重大事故時等対処設備としての評価結果	16
7. 引用図書	17

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、サプレッション・チェンバ底部ライナ部（以下「底部ライナ部」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価は底部ライナ部のひずみ評価により行う。

底部ライナ部は、設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

底部ライナ部の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>・底部ライナ部は、原子炉格納容器底部コンクリートマット上に設置されたH型鋼を介して取り付けられる。</p>	<p>・板厚 <input type="text"/> mm の円形鋼板で構成された鋼製構造物である。</p>	

2.2 評価方針

底部ライナ部のひずみ評価は、東海第二発電所 昭和 48 年 4 月 9 日付け 47 公第 12075 号及び昭和 48 年 4 月 9 日付け 47 公第 12076 号（既工認）にて認可された実績のある手法を適用する。

3. 形状及び主要寸法

底部ライナ部の主要寸法を図 3-1, 図 3-2 及び図 3-3 に示す。

なお, 耐震計算書に必要な細部の寸法は各項毎に示す。

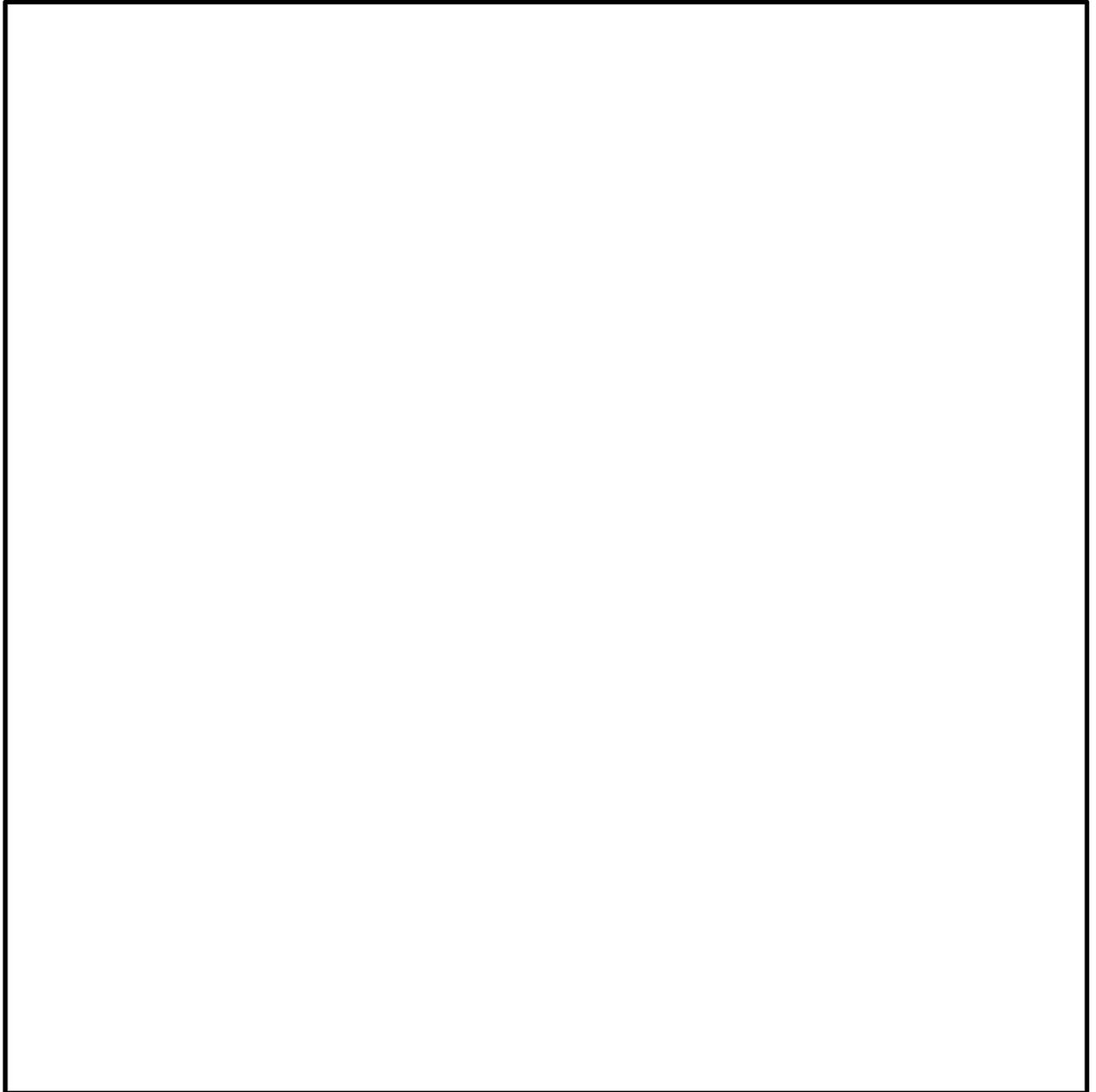


図 3-1 底部ライナ部全体形状及び主要寸法 (単位 : mm)

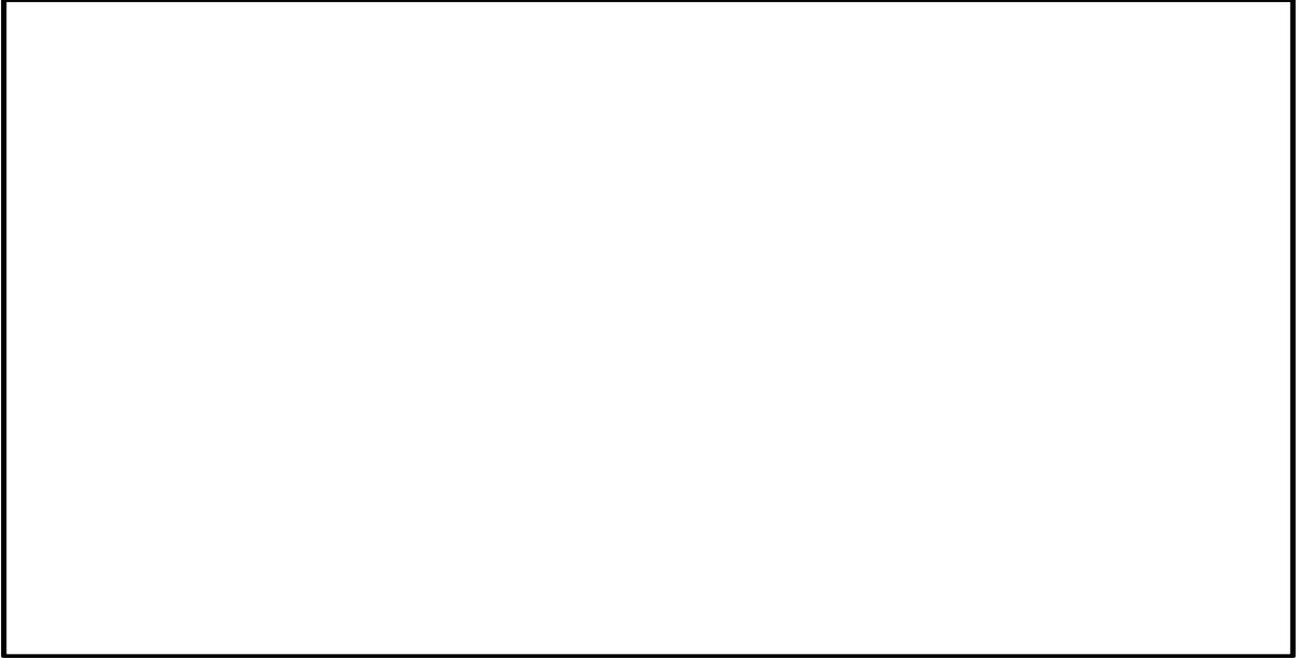


図 3-2 中央部の断面形状及び主要寸法（単位：mm）

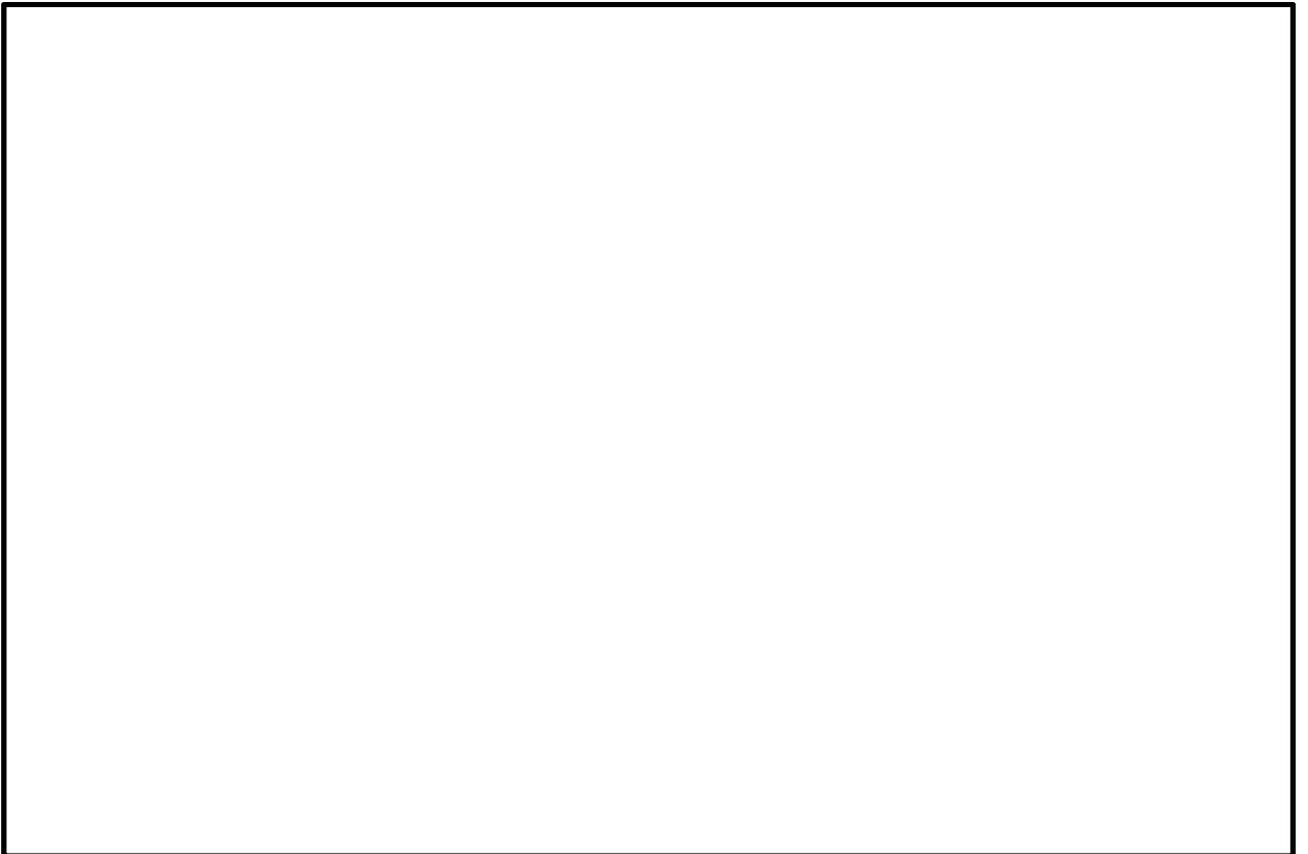


図 3-3 周辺部の断面形状及び主要寸法（単位：mm）

4. 設計条件

4.1 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての最高使用圧力及び最高使用温度

内圧 P_D 310 kPa

温度 T_D 104.5 °C

(2) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

内圧 P_{SAL} 465 kPa (SA後長期)

内圧 P_{SALL} 200 kPa (SA後長々期)

温度 T_{SAL} 171 °C (SA後長期)

温度 T_{SALL} 150 °C (SA後長々期)

(3) 水荷重

水荷重は以下に示す水位によるものとする。

最高水位 mm

重大事故時冠水水位 mm

(4) 逃がし安全弁作動時荷重

最大正圧 kPa

最大負圧 kPa

(5) 原子炉冷却材喪失事故時荷重

最大正圧 kPa

最大負圧 kPa

(6) アンカーボルトの伸び

アンカーボルトの伸びは引用図書(1)より得られる。アンカーボルトの伸びを表4-1及び表4-2に示す。

表 4-1 アンカーボルトの伸び (設計基準対象施設)

荷重の組合せ	アンカーボルトの伸び (mm)	
	通常運転時	燃料交換時
$D + P + M + S_d^*$	0.79	0.78
$D + P + M + S_s$	1.88	1.90
$D + P_L + M_L + S_d^*$	3.87	—

表 4-2 アンカーボルトの伸び（重大事故等対処設備）

荷重の組合せ	アンカーボルトの伸び (mm)
$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	4.40
$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	4.89

(7) 地震荷重

地震によって生じるライナプレート下部のコンクリートのひずみに等しいひずみがライナプレートにも生じると考える。地震荷重によるライナプレートの膜ひずみを表 4-3 及び表 4-4 に示す。

表 4-3 地震荷重によるライナプレートの膜ひずみ（設計基準対象施設）*

	S_d^*	S_s
膜ひずみ	0.00027	0.00042

注記 *：膜ひずみの最大値を示す。

表 4-4 地震荷重によるライナプレートの膜ひずみ（重大事故等対処設備）*

	S_d	S_s
膜ひずみ	0.00044	0.00039

注記 *：膜ひずみの最大値を示す。

4.2 材料及び許容ひずみ

(1) 材料

表 4-5 使用材料表

使用部位	使用材料		備考
ライナプレート	SGV49 相当		SGV480*

注記 * : 新 J I S を示す。

(2) 荷重の組合せ及び許容ひずみ

基準地震動の策定に伴う地震荷重との組合せの評価として、荷重の組合せ及び荷重状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-6 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-8 に示す。各材料の荷重状態に対する許容ひずみのうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-7 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-9 に示す。

表 4-6 荷重の組合せ及び荷重状態 (設計基準対象施設)

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	荷重状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	底部ライナ部	S	クラス MC 容器	$D + P + M + S_d^*$	III
					$D + P + M + S_s$	IV
					$D + P_L + M_L + S_d^*$	III, IV

表 4-7 ライナプレートの許容ひずみ (設計基準対象施設)

材料	荷重 荷重の組合せ	膜ひずみ	
		圧縮	引張
SGV480	$D + P + M + S_d^*$	0.005	0.003
	$D + P + M + S_s$	0.005	0.003
	$D + P_L + M_L + S_d^*$	0.005	0.003

表4-8 荷重の組合せ及び荷重状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	荷重状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	底部ライナ部	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2 容器	$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	IV*2
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	IV*2

注記 *1:「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備,「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備,「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2: 重大事故時の許容限界として, 荷重状態IVの許容限界を用いる。

表 4-9 ライナプレートの許容ひずみ（重大事故等対処設備）

材料	荷重 荷重の組合せ	膜ひずみ	
		圧縮	引張
SGV480	$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	0.005	0.003
	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	0.005	0.003

5. ひずみ計算

5.1 ひずみ評価点

ひずみ評価点を表 5-1 に示す。

表 5-1 ひずみ評価点

ひずみ評価点番号	ひずみ評価点
P 1	中央部のライナプレート
P 2	周辺部のライナプレート

5.2 ひずみ計算方法

5.2.1 中央部のライナプレート（ひずみ評価点 P 1）

ライナプレートは逃がし安全弁作動時荷重を受ける。逃がし安全弁作動時の負圧 kPa に対し，サプレッション・チェンバ内の水頭圧は kPa であり，その差 kPa (=) が正圧としてライナプレートに加わるため，負圧によるひずみは生じない。

5.2.2 周辺部のライナプレート（ひずみ評価点 P 2）

周辺部のライナプレートには，中央部のライナプレートと異なり，フランジプレートの浮き上がりに基づくひずみも合わせて考慮しなければならない。

(1) フランジプレートの浮き上がり及び圧力によるひずみ

フランジプレート部分は非常に剛であることから，フランジプレートの浮き上がり量は基礎ボルトの伸びの量に等しいものとする。

また，フランジプレートが浮き上がると，ライナプレートの一部も同様に浮き上がるため，フランジプレートの浮き上がり及び圧力によるライナプレートのひずみは，図 5-1 に示す計算モデルにて計算する。

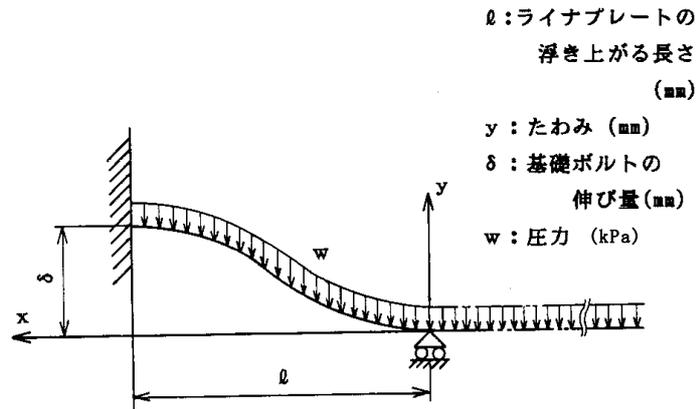


図 5-1 計算モデル

図 5-1 において、たわみ y は次式で表わされる。フランジプレートの浮き上がりにより、端部のライナプレートはコンクリートから離れる。このとき、水頭圧及び内圧を受ける。

$$y = \delta - \frac{w}{72E I} (\ell^4 - 4\ell x^3 + 3x^4)$$

ここに、

$$w = w_1 + w_2$$

$$w_1 : \text{水頭圧} = \rho g h$$

$$\rho : \text{水の密度} = 1.0 \times 10^{-6} \text{kg/mm}^3$$

$$g : \text{重力加速度} = 9.80665 \text{m/s}^2$$

w_2 : 内圧

E : 縦弾性係数

I : 断面二次モーメント

$$I = \frac{1}{12} t^3 = \frac{1}{12} \times \boxed{} = \boxed{}$$

- a. ライナプレートの浮き上がり長さ l

ライナプレートの浮き上がる長さ l は、たわみの式より求められる。

たわみと基礎ボルトの伸び量が等しく、 $x = 0$ の点で $y = 0$ となることから、

$x = 0, y = 0$ を代入して、

$$y = \delta - \frac{w}{72E I} (\ell^4 - 4\ell x^3 + 3x^4)$$

$$\delta = \frac{w \ell^4}{72E I}$$

$$\therefore \ell = \sqrt[4]{\frac{72E I \delta}{w}}$$

ここに、

ℓ : ライナプレートの浮き上がる長さ (mm)

- b. 浮き上がり及び圧力によるひずみ ε

変形後のはりの長さ s は、a. 項で求めたスパン l の範囲で求められ、次式で表わされる。

$$\begin{aligned} s &= \int_0^\ell \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \\ &\doteq \int_0^\ell \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 \right\} dx \end{aligned}$$

したがって、ひずみ ε は次のように計算される。

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{s - \ell}{\ell} = \frac{1}{2\ell} \int_0^\ell \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 dx \\ &= \frac{1}{7560} \left(\frac{w}{E I}\right)^2 \ell^6 \end{aligned}$$

このひずみは引張ひずみである。

以上より、各荷重条件における内圧によるひずみは、表 4-1 及び表 4-2 に示す最も厳しい荷重条件 $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ について計算すると、

$$\begin{aligned} \ell &= \sqrt[4]{\frac{72E I \delta}{w}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{72 \times 193000 \times 83.3 \times 4.89}{0.614}} \\ &= 309.9 \text{ mm} \end{aligned}$$

ここに、表 4-2 より

$$\delta = 4.89 \text{ mm}$$

$$w = 614 \text{ kPa} = 0.614 \text{ MPa}$$

ゆえに,

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{1}{7560} \left(\frac{w}{E I} \right)^2 \ell^6 \\ &= \frac{1}{7560} \times \left(\frac{0.614}{193000 \times 83.3} \right)^2 \times 309.9^6 \\ &= 0.00017 \end{aligned}$$

このひずみは、許容値に比べ十分小さいので無視できる。

(2) 逃がし安全弁作動時のひずみ

逃がし安全弁作動時のひずみは(1)と同様に計算される。また、ひずみは表4-1に示す最も厳しい荷重条件D + P + M + S_sにおいて計算する。

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{1}{7560} \left(\frac{w}{E I} \right)^2 \ell^6 \\ &= \frac{1}{7560} \times \left(\frac{0.157}{202000 \times 83.3} \right)^2 \times 348.0^6 \\ &= 0.00002 \end{aligned}$$

ここに、w : 逃がし安全弁作動時の圧力

$$w = 70.8 + 86.3 = 157 \text{ kPa} = 0.157 \text{ MPa}$$

$$\delta = 1.90 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \ell &= \sqrt[4]{\frac{72 E I \delta}{w}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{72 \times 202000 \times 83.3 \times 1.90}{0.157}} \\ &= 348.0 \text{ mm} \end{aligned}$$

このひずみは、許容値に比べ十分小さいので無視できる。

(3) 冷却材喪失事故時のひずみ

冷却材喪失事故時のひずみは(1)と同様に計算される。また、ひずみは表4-2に示す最も厳しい荷重条件D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_dにおいて計算する。

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{1}{7560} \left(\frac{w}{E I} \right)^2 \ell^6 \\ &= \frac{1}{7560} \times \left(\frac{0.699}{193000 \times 83.3} \right)^2 \times 300.0^6 \\ &= 0.00019 \end{aligned}$$

ここに、 w ：冷却材喪失事故時の圧力

$$w = 0.699 \text{MPa}$$

$$\delta = 4.89 \text{mm}$$

$$\ell = \sqrt[4]{\frac{72E I \delta}{w}}$$

$$= \sqrt[4]{\frac{72 \times 193000 \times 83.3 \times 4.89}{0.699}}$$

$$= 300.0 \text{mm}$$

このひずみは、許容値に比べ十分小さいので無視できる。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

底部ライナ部の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 中央部のライナプレートのひずみ評価 (P 1)

各々の荷重条件での計算結果を表 6-1 に示す。

表 6-1 中央部ライナプレートのひずみ評価
(設計基準対象施設)

荷重の組合せ	ひずみ* ¹	許容 ひずみ* ²	判定
D + P + M + S _d *	±0.00027	0.005	○
		0.003	○
D + P + M + S _s	±0.00042	0.005	○
		0.003	○
D + P _L + M _L + S _d *	±0.00026	0.005	○
		0.003	○

注記 *1：正の符号は引張ひずみ，負の符号は圧縮ひずみを示す。

*2：上段は圧縮ひずみ，下段は引張ひずみを示す。

(2) 周辺部のライナプレートのひずみ評価 (P 2)

5.2.2 項に示す計算の結果，フランジプレートの浮き上がりに基づくひずみは許容値に比べて小さいので，評価は中央部のライナプレートと同様になる。すなわち，生じるひずみは許容値に比べて小さい。

6.2 重大事故時等対処設備としての評価結果

底部ライナ部の重大事故時等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 中央部のライナプレートのひずみ評価 (P 1)

各々の荷重条件での計算結果を表 6-2 に示す。

表 6-2 中央部ライナプレートのひずみ評価
(重大事故等対処設備)

荷重の組合せ	ひずみ ^{*1}	許容ひずみ ^{*2}	判定
D + P _{SALL} + M _{SALL} + S _s	±0.00039	0.005	○
		0.003	○
D + P _{SAL} + M _{SAL} + S _d	±0.00044	0.005	○
		0.003	○

注記 *1：正の符号は引張ひずみ，負の符号は圧縮ひずみを示す。

*2：上段は圧縮ひずみ，下段は引張ひずみを示す。

(2) 周辺部のライナプレートのひずみ評価 (P 2)

5.2.2 項に示す計算の結果，フランジプレートの浮き上がりに基づくひずみは許容値に比べて小さいので，評価は中央部のライナプレートと同様になる。すなわち，生じるひずみは許容値に比べて小さい。

7. 引用図書

- (1) 添付書類「V-2-9-2-5 胴アンカー部の耐震性についての計算書」

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-990 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-9-1-1-6 サプレッション・チェンバ底部ライナ部

強度計算書

目次

1. 概要	1
2. 構造説明	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	3
3. 形状及び主要寸法	4
4. 設計条件	6
4.1 設計荷重	6
4.2 材料及び許容ひずみ	7
5. ひずみ計算	8
5.1 ひずみ評価点	8
5.2 ひずみ計算方法	9
6. 評価結果	13
6.1 重大事故時等対処設備としての評価結果	13
7. 引用図書	14

1. 概要

本計算書は、サプレッション・チェンバ底部ライナ部の強度計算書である。

サプレッション・チェンバ底部ライナ部は、設計基準対象施設の底部ライナ部を重大事故等クラス2容器として兼用する鋼製構造物である。

設計基準対象施設としては、東海第二発電所 昭和48年4月9日付け47公第12075号及び昭和48年4月9日付け47公第12076号にて認可された工事計画書の添付書類「Ⅲ-3-3-12 サプレッション・チェンバ底部ライナ部強度計算書」に評価結果があり、強度が十分であることを確認している。

以下、重大事故等クラス2容器としての強度評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

底部ライナ部の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>・底部ライナ部は、原子炉格納容器底部コンクリートマット上に設置されたH型鋼を介して取り付けられる。</p>	<p>・板厚 <input type="text" value=""/> mm の円形鋼板で構成された鋼製構造物である。</p>	<p>底部ライナ部</p>

2.2 評価方針

底部ライナ部のひずみ評価は、東海第二発電所 昭和 48 年 4 月 9 日付け 47 公第 12075 号及び昭和 48 年 4 月 9 日付け 47 公第 12076 号（既工認）にて認可された実績のある手法を適用する。

3. 形状及び主要寸法

底部ライナ部の主要寸法を図 3-1、図 3-2 及び図 3-3 に示す。

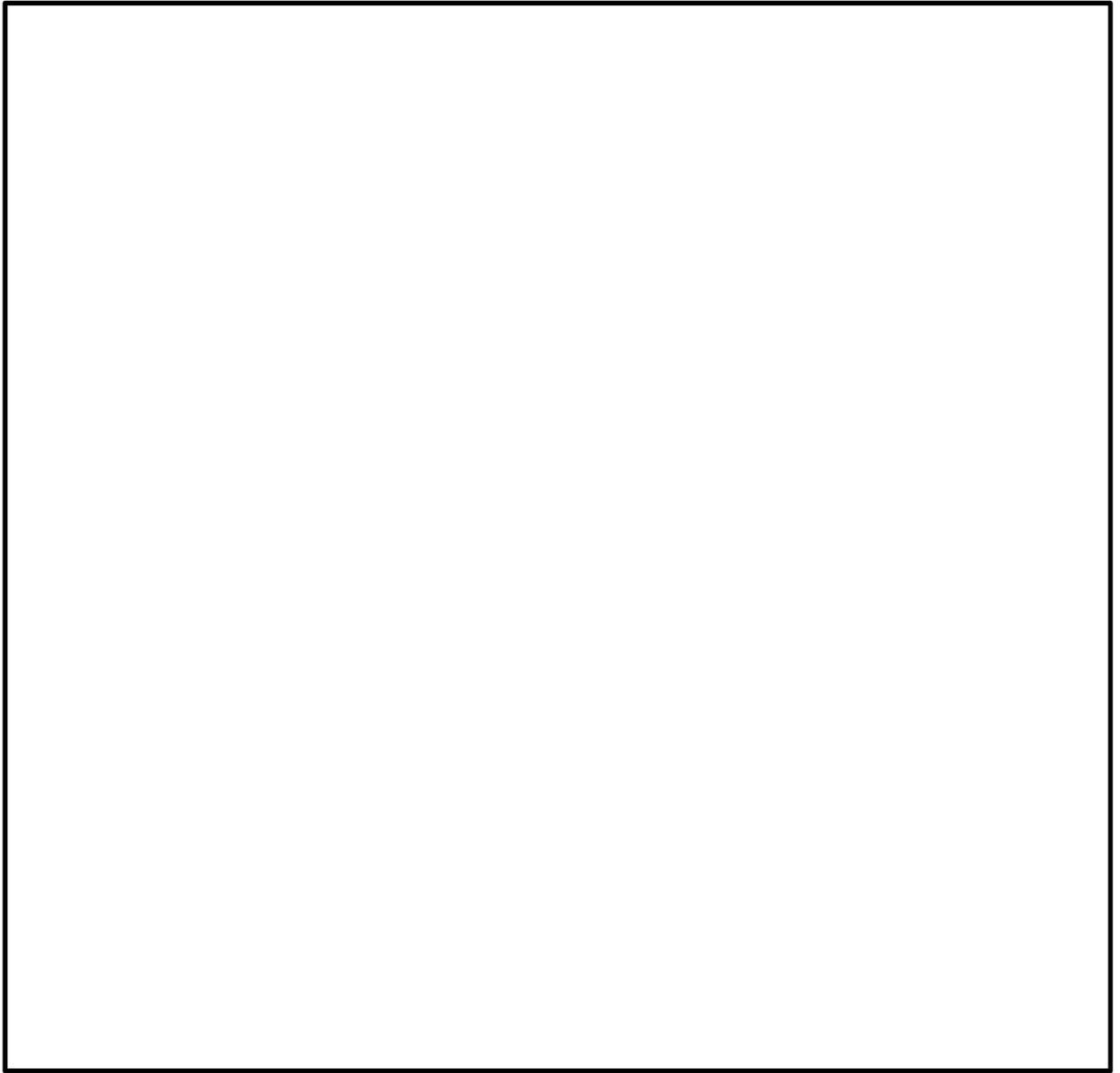


図 3-1 底部ライナ部全体形状及び主要寸法（単位：mm）

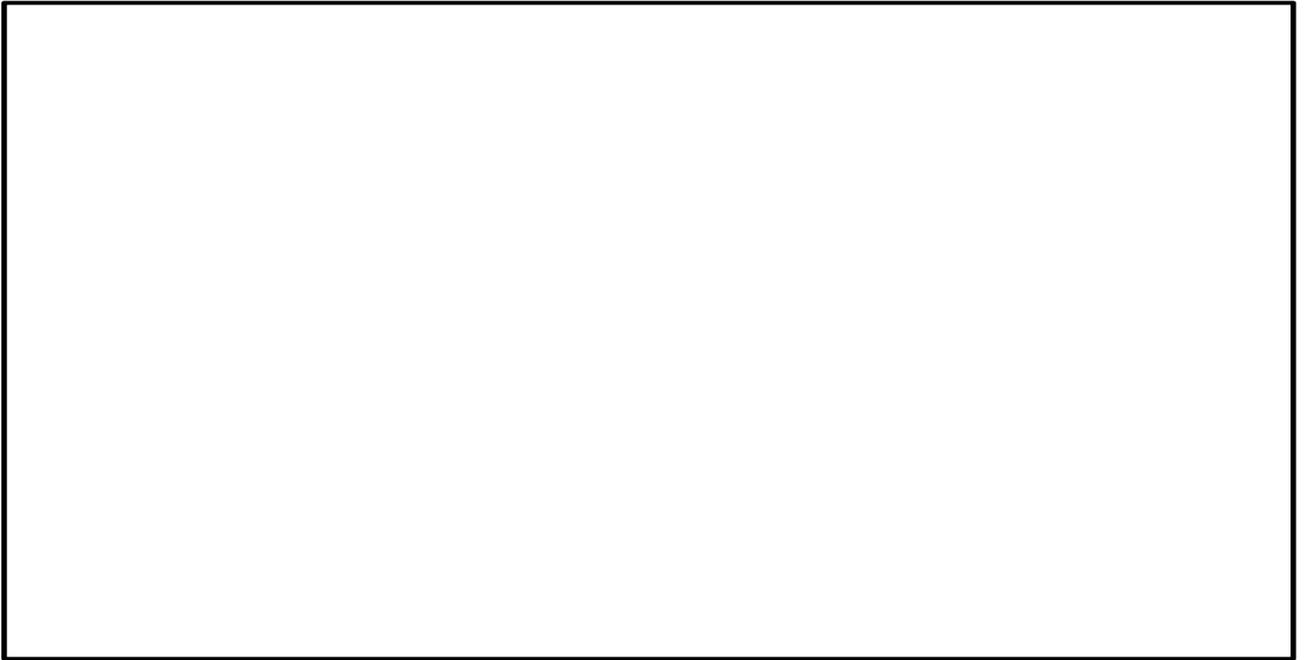


図 3-2 中央部の断面形状及び主要寸法（単位：mm）

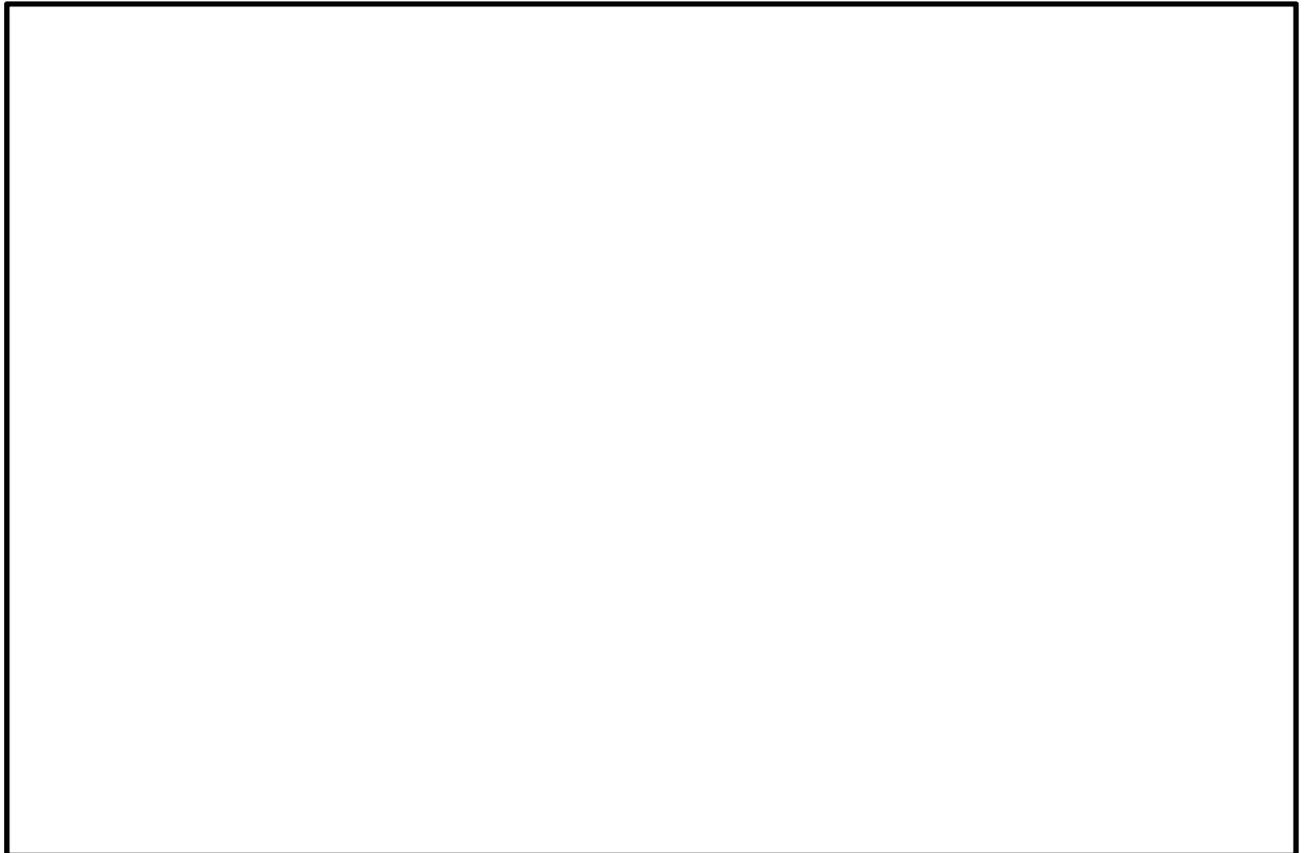


図 3-3 周辺部の断面形状及び主要寸法（単位：mm）

4. 設計条件

4.1 設計荷重

(1) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

内圧 P_{SA} 620 kPa
 温度 T_{SA} 200 °C

(2) 水荷重

水荷重は以下に示す水位によるものとする。

重大事故時冠水水位 mm

(3) 逃がし安全弁作動時荷重

最大正圧 kPa
 最大負圧 kPa

(4) 原子炉冷却材喪失事故時荷重

最大正圧 kPa
 最大負圧 kPa

(5) アンカーボルトの伸び

アンカーボルトの伸びは引用図書(1)より得られる。アンカーボルトの伸びを表4-1に示す。

表 4-1 アンカーボルトの伸び (重大事故等対処設備)

荷重	アンカーボルトの伸び (mm)
荷重の組合せ	
$D + P_{SA} + M_{SA}$	4.11

(6) 内圧によるライナプレートの膜ひずみ

内圧によって生じるライナプレート下部のコンクリートのひずみに等しいひずみがライナプレートにも生じると考える。内圧によるライナプレートの膜ひずみを表4-2に示す。

表 4-2 内圧によるライナプレートの膜ひずみ (重大事故等対処設備)

荷重	膜ひずみ (mm)
荷重の組合せ	
$D + P_{SA} + M_{SA}$	0.00095

4.2 材料及び許容ひずみ

(1) 材料

表 4-3 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
ライナプレート	SGV49 相当 	SGV480*

注記 * : 新 JIS を示す。

(2) 荷重の組合せ及び許容ひずみ

重大事故等対処設備の評価における荷重の組合せ及び荷重状態を表 4-3 に、荷重状態に対する許容ひずみを表 4-4 に示す。

表 4-3 荷重の組合せ及び荷重状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	荷重状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	底部ライナ部	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 容器	$D + P_{SA} + M_{SA}$	IV*2

注記 *1 : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備、「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備、「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

注記 *2 : 重大事故時の許容限界として、荷重状態IVの許容限界を用いる。

表 4-4 ライナプレートの許容ひずみ（重大事故等対処設備）

材料	荷重状態	荷重 荷重の組合せ	膜ひずみ	
			圧縮	引張
SGV480	IV*	$D + P_{SA} + M_{SA}$	0.005	0.003

注記 * : 重大事故時の許容限界として、荷重状態IVの許容限界を用いる。

5. ひずみ計算

5.1 ひずみ評価点

ひずみ評価点を表 5-1 に示す。

表 5-1 ひずみ評価点

ひずみ評価点番号	ひずみ評価点
P 1	中央部のライナプレート
P 2	周辺部のライナプレート

5.2 ひずみ計算方法

5.2.1 中央部のライナプレート（ひずみ評価点 P 1）

ライナプレートにはサプレッション・チェンバ内の水頭圧が加わるため、負圧によるひずみは生じない。

5.2.2 周辺部のライナプレート（ひずみ評価点 P 2）

周辺部のライナプレートには、中央部のライナプレートと異なり、フランジプレートの浮き上がりに基づくひずみも合わせて考慮しなければならない。

(1) フランジプレートの浮き上がり及び圧力によるひずみ

フランジプレート部分は非常に剛であることから、フランジプレートの浮き上がり量は基礎ボルトの伸びの量に等しいものとする。

また、フランジプレートが浮き上がると、ライナプレートの一部も同様に浮き上がるため、フランジプレートの浮き上がり及び圧力によるライナプレートのひずみは、図 5-1 に示す計算モデルにて計算する。

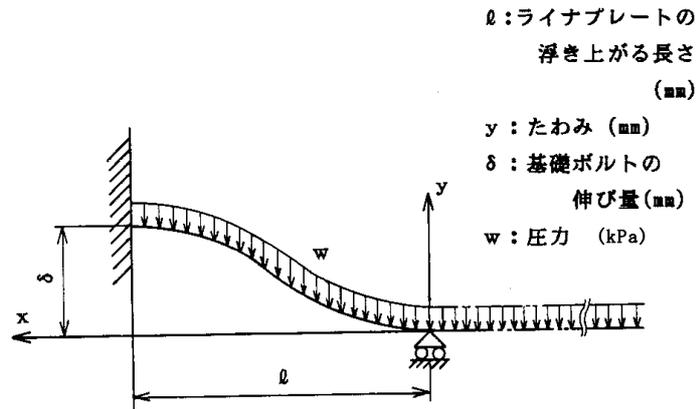


図 5-1 計算モデル

図 5-1 において、たわみ y は次式で表わされる。フランジプレートの浮き上がりにより、端部のライナプレートはコンクリートから離れる。このとき、水頭圧及び内圧を受ける。

$$y = \delta - \frac{w}{72E I} (\ell^4 - 4\ell x^3 + 3x^4)$$

ここに、

$$w = w_1 + w_2$$

$$w_1 : \text{水頭圧} = \rho g h$$

$$\rho : \text{水の密度} = 1.0 \times 10^{-6} \text{kg/mm}^3$$

$$g : \text{重力加速度} = 9.80665 \text{m/s}^2$$

w_2 : 内圧

E : 縦弾性係数

I : 断面二次モーメント

$$I = \frac{1}{12} t^3 = \frac{1}{12} \times \boxed{} = \boxed{}$$

- a. ライナプレートの浮き上がり長さ l

ライナプレートの浮き上がる長さ l は、たわみの式より求められる。

たわみと基礎ボルトの伸び量が等しく、 $x=0$ の点で $y=0$ となることから、

$x=0$, $y=0$ を代入して、

$$y = \delta - \frac{w}{72E I} (\ell^4 - 4\ell x^3 + 3x^4)$$

$$\delta = \frac{w \ell^4}{72E I}$$

$$\therefore \ell = \sqrt[4]{\frac{72E I \delta}{w}}$$

ここに、

ℓ : ライナプレートの浮き上がる長さ (mm)

- b. 浮き上がり及び圧力によるひずみ ε

変形後のはりの長さ s は、a. 項で求めたスパン l の範囲で求められ、次式で表わされる。

$$\begin{aligned} s &= \int_0^\ell \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \\ &\doteq \int_0^\ell \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 \right\} dx \end{aligned}$$

したがって、ひずみ ε は次のように計算される。

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{s - \ell}{\ell} = \frac{1}{2\ell} \int_0^\ell \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 dx \\ &= \frac{1}{7560} \left(\frac{w}{E I}\right)^2 \ell^6 \end{aligned}$$

このひずみは引張ひずみである。

以上より、内圧によるひずみについて計算すると、

$$\begin{aligned} \ell &= \sqrt[4]{\frac{72E I \delta}{w}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{72 \times 191000 \times 83.3 \times 4.11}{0.769}} \\ &= 279.7 \text{ mm} \end{aligned}$$

ここに、表 4-1 より

$$\delta = 4.11 \text{ mm}$$

$$w = 769 \text{ kPa} = 0.769 \text{ MPa}$$

ゆえに、

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{1}{7560} \left(\frac{w}{E I} \right)^2 \ell^6 \\ &= \frac{1}{7560} \times \left(\frac{0.769}{191000 \times 83.3} \right)^2 \times 279.7^6 \\ &= 0.00015\end{aligned}$$

このひずみは、許容値に比べ十分小さいので無視できる。

(2) 逃がし安全弁作動時及び冷却材喪失事故時のひずみ

逃がし安全弁作動時及び冷却材喪失事故時のひずみは(1)と同様に計算される。

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{1}{7560} \left(\frac{w}{E I} \right)^2 \ell^6 \\ &= \frac{1}{7560} \times \left(\frac{0.941}{191000 \times 83.3} \right)^2 \times 266.0^6 \\ &= 0.00017\end{aligned}$$

ここに、

w : 逃がし安全弁作動時と冷却材喪失事故時の荷重が同時に作用した時の
圧力

$$w = 0.941 \text{MPa}$$

$$\delta = 4.11 \text{mm}$$

$$\ell = \sqrt[4]{\frac{72 E I \delta}{w}}$$

$$= \sqrt[4]{\frac{72 \times 191000 \times 83.3 \times 4.11}{0.941}}$$

$$= 266.0 \text{mm}$$

このひずみは、許容値に比べ十分小さいので無視できる。

6. 評価結果

6.1 重大事故時等対処設備としての評価結果

底部ライナ部の重大事故時等対処設備としての評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足している。

(1) 中央部のライナプレートのひずみ評価 (P 1)

評価結果を表 6-1 に示す。

表 6-1 中央部ライナプレートのひずみ評価
(重大事故時等対処設備)

荷重の組合せ	荷重状態	ひずみ ^{*1}	許容ひずみ ^{*2}	判定
D + P _{SA} + M _{SA}	IV ^{*3}	±0.00095	0.005	○
			0.003	○

注記 *1: 正の符号は引張ひずみ, 負の符号は圧縮ひずみを示す。

*2: 上段は圧縮ひずみ, 下段は引張ひずみを示す。

*3: 重大事故時の許容限界として, 荷重状態IVの許容限界を用いる。

(2) 周辺部のライナプレートのひずみ評価 (P 2)

5.2.2 項に示す計算の結果, フランジプレートの浮き上がりに基づくひずみは許容値に比べて小さいので, 評価は中央部のライナプレートと同様になる。すなわち, 生じるひずみは許容値に比べて小さい。

7. 引用図書

- (1) 添付書類「V-3-9-1-1-5 原子炉格納容器胴アンカー部強度計算書」

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-991 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-9-2-1 ベント管の強度計算書

目次

1. 概要	1
2. 構造説明	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	3
3. 形状及び主要寸法	4
4. 設計条件	5
4.1 設計荷重	5
4.2 材料及び許容応力	6
5. 応力計算	7
5.1 応力評価点	7
5.2 計算方針	8
6. 評価結果	9
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、ベント管の強度計算書である。

ベント管は、設計基準対象施設のベント管を重大事故等クラス2管として兼用する管である。

設計基準対象施設としては、東海第二発電所 昭和48年10月22日付け48公第8316号にて認可された工事計画書の添付書類「Ⅲ-2-2-1 ベント管の規格計算書」、「Ⅲ-3-2-2 ベント管の耐震性についての計算書」に評価結果があり、強度が十分であることを確認している。

以下、重大事故等クラス2管としての強度評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

ベント管の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

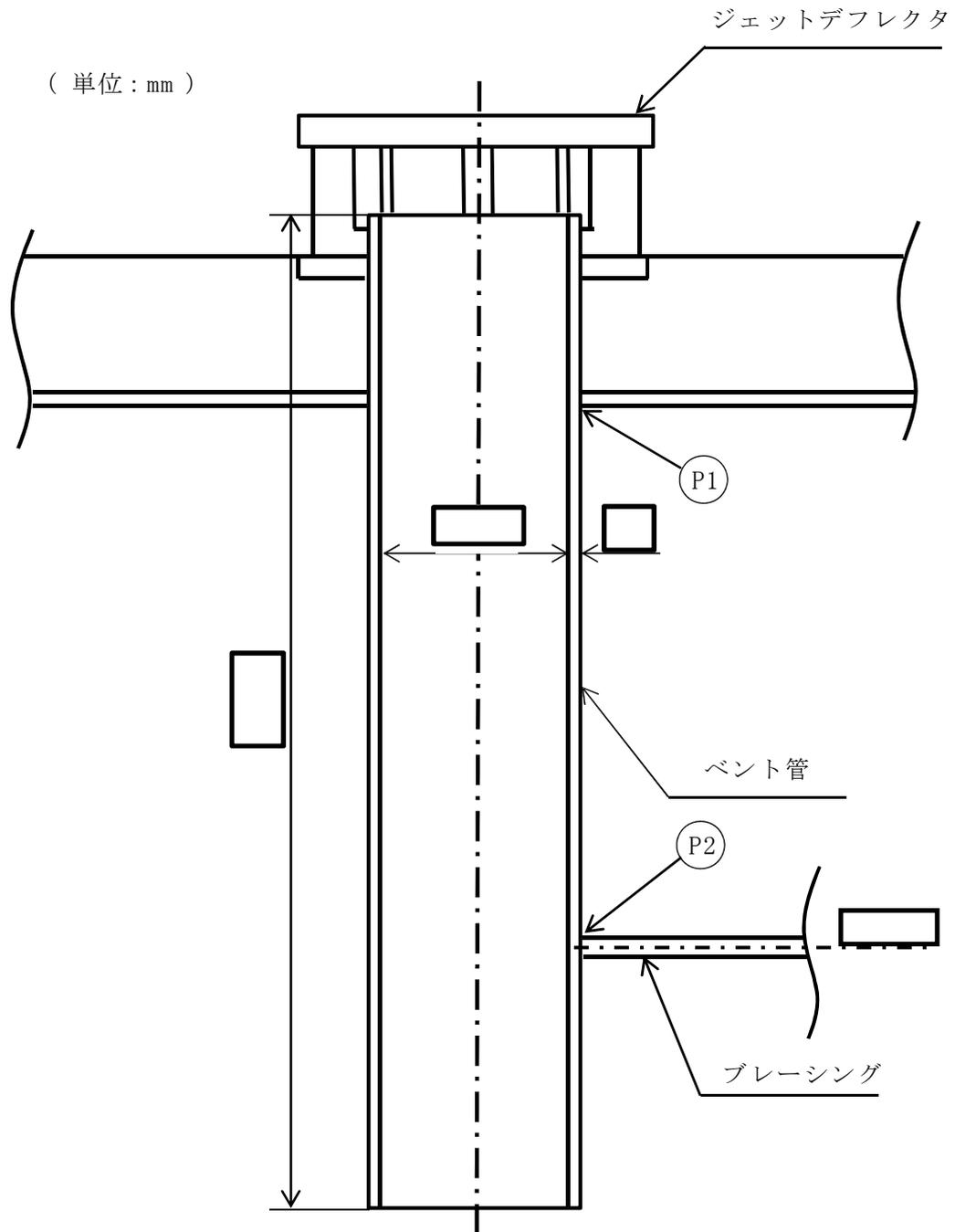
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ベント管上部をダイヤフラムフロアに固定し、下部には水平ブレースにて支持している。</p>	<p>ベント管は内径 <input type="text"/> mm, 板厚 <input type="text"/> mm, 長さ <input type="text"/> mm の管でできている。</p> <p>ベント管の上部には配管破断時の防護のためジェットデフレクタが取付けた構造である。</p>	<p>ベント管</p> <p>ベント管</p> <p>ベント管詳細図</p> <p>ジェットデフレクタ</p> <p>ベント管</p> <p>ブレイシング</p>

2.2 評価方針

ベント管の応力評価は，東海第二発電所 昭和 48 年 10 月 22 日付け 48 公第 8316 号（既工認）にて認可された実績のある手法を適用する。

3. 形状及び主要寸法

ベント管の形状及び主要寸法を図 3-1 に示す。



Ⓐ P1 及び Ⓑ P2 応力評価点

図 3-1 ベント管の形状及び主要寸法 (単位: mm)

4. 設計条件

4.1 設計荷重

- (1) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

内圧 P_{SA} 173 kPa

温度 T_{SA} 200 °C

- (2) 自重

ベント管

- (3) 逃がし安全弁作動時荷重

逃がし安全弁作動時空気泡圧力による荷重としては、気泡差圧による荷重と気泡速度によるドラッグ力が作用する。

$$P = \sqrt{(\Delta P_{\max})^2 + (P_{D\max})^2}$$

ここに、

$$\Delta P_{\max} = P_{0\max} \cdot R_0 \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_1 + a} \right)$$

$$P_{D\max} = \frac{\gamma}{2 \cdot g} \cdot C_D \cdot V_{0\max}^2 \cdot \left(\frac{R_0}{r_1} \right)^4$$

$P_{0\max}$: 最大気泡圧力

R_0 : 気泡半径

r_1 : 気泡中心と構造物前面までの距離

a : 構造物の厚さ

$V_{0\max}$: 最大気泡表面速度

C_D : ドラッグ係数

γ : 比重量

g : 重力加速度

- (4) 冷却材喪失事故時蒸気ブローダウンによる荷重

ベント管に加わる水平方向荷重

$$F_1 = \boxed{} \cdot \sin(\pi \cdot t/3) \quad (\times 10^3 \text{ N}) \quad 0 \leq t \leq 3 \text{ ms}$$

4.2 材料及び許容応力

(1) 材料

表 4-1 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
ベント管	SGV49 相当 	SGV480*

注記 * : 新 JIS を示す。

(2) 荷重の組合せ及び許容応力

重大事故等対処設備の評価における荷重の組合せ及び供用状態を表 4-2 に、供用状態に対する許容応力を表 4-3 に示す。

表 4-2 荷重の組合せ及び供用状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*	機器等の区分	荷重の組合せ	供用状態
原子炉 格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	ベント管	常設耐震 ／防止 常設／緩和	重大事故等クラス 2 管	$D + P_{SA} + M_{SA}$	E (E として D_S の許容限界を準用する)

注記 * : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

表 4-3 許容応力（重大事故等対処設備）

(単位 : MPa)

材料	供用状態	許容応力		
		一次応力		一次+二次応力
		P_m	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	E	—	379	—

5. 応力計算

5.1 応力評価点

ベント管の形状及び応力レベルを考慮して設定した応力評価点を表 5-1, 図 3-1 に示す。

表 5-1 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	上部
P 2	ブレーシング部

5.2 計算方針

ベント管の応力評価は，東海第二発電所 昭和 48 年 10 月 22 日付け 48 公第 8316 号（既工認）にて認可された実績のある手法を適用する。

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

ベント管の重大事故等対処設備としての強度評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足している。

(1) 供用状態Eに対する評価

供用状態Eに対する応力評価結果を表 6-1 に示す。

表 4-2 に示す荷重の組合せについて記載している。

表 6-1 供用状態Eに対する評価結果 (D + P_{SA} + M_{SA})

評価対象設備	評価部位		応力分類	E		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
ベント管	P 1	上部	一次膜応力+一次曲げ応力	98	379	○	
	P 2	ブレーシング部	一次膜応力+一次曲げ応力	139	379	○	

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-994 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-3-4-4-2 蒸気乾燥器の耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	2
1.4 計算結果の概要	2
2. 計算条件	8
2.1 解析範囲	8
2.2 設計条件	8
2.3 運転条件	8
2.4 材料	8
2.5 物性値及び許容限界	8
2.6 応力の記号と方向	8
3. 応力計算	9
3.1 応力評価点	9
3.2 差圧による応力	9
3.2.1 荷重条件 (L02)	9
3.2.2 計算方法	9
3.3 外荷重による応力	11
3.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)	11
3.3.2 計算方法	11
3.4 応力の評価	12
4. 応力強さの評価	13
4.1 一次一般膜応力強さの評価	13
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	13
5. 特別な評価	14
5.1 純せん断応力の評価	14
5.1.1 計算データ及び荷重	14
5.1.2 計算方法	14
5.1.3 純せん断応力の評価	14

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	3
図 3-1	解析モデル	15
表 1-1	計算結果の概要	6
表 3-1	断面性状	16
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	17
表 4-2	一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	18
表 5-1	純せん断応力の評価	19

1. 一般事項

本計算書は、蒸気乾燥器の耐震性についての計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図1-1に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-4-4-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）の2章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	ユニットサポートの断面積	mm ²
A ₀	耐震サポートのせん断断面積	mm ²
b	受圧幅	mm
e ₁	中立軸から各応力評価点までの距離	mm
e ₂	中立軸から各応力評価点までの距離	mm
e ₃	中立軸から各応力評価点までの距離	mm
e ₄	中立軸から各応力評価点までの距離	mm
F ₁	ユニットサポートに働くせん断力	N
F ₂	ユニットサポートに働くせん断力	N
F ₃	ユニットサポートに働くせん断力	N
F ₄	ユニットサポートに働くせん断力	N
F ₅	ユニットサポートに働くせん断力	N
h	受圧高さ	mm
I _y	ユニットサポートの断面二次モーメント	mm ⁴
I _z	ユニットサポートの断面二次モーメント	mm ⁴
L	最長蒸気乾燥器ユニット列の全長	mm
ℓ	最長蒸気乾燥器ユニット長さ	mm
M ₁	ユニットサポートに働くモーメント	N・mm
M ₂	ユニットサポートに働くモーメント	N・mm
M ₃	ユニットサポートに働くモーメント	N・mm
M ₄	ユニットサポートに働くモーメント	N・mm
M ₅	ユニットサポートに働くモーメント	N・mm
w ₁	ユニット列に働く単位長さ当たりの分布荷重	N/mm
w ₂	ユニット列に働く単位長さ当たりの分布荷重	N/mm
w ₃	ユニット列に働く単位長さ当たりの分布荷重	N/mm
w ₄	ユニット列に働く単位長さ当たりの分布荷重	N/mm

記号	記号の説明	単位
w_5	ユニット列に働く単位長さ当たりの分布荷重	N/mm
τ_a	許容せん断応力	MPa

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

- a. 差圧
- b. 外荷重

差圧及び外荷重の値を「応力解析の方針」の4章に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表1-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。

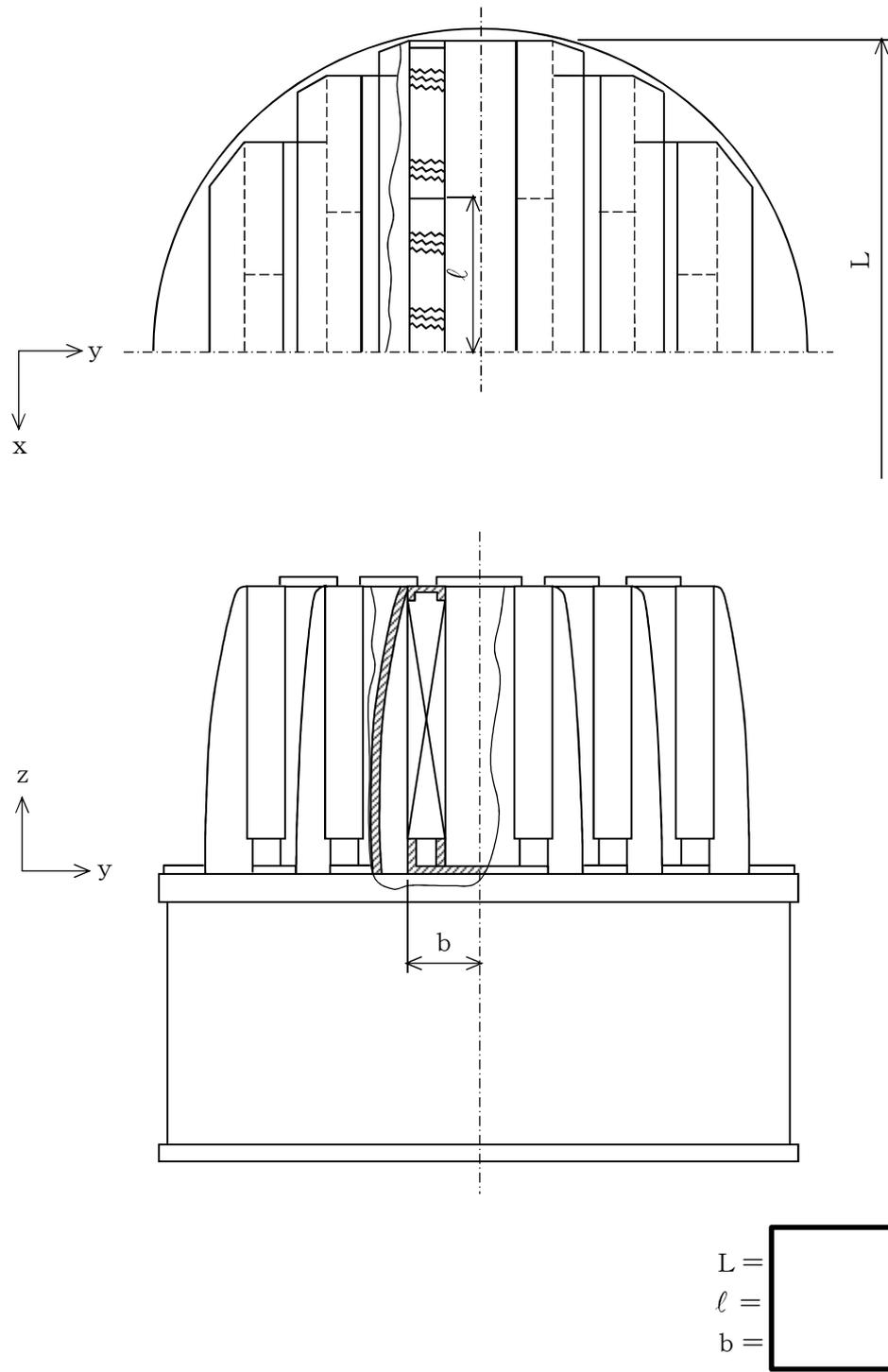


图 1-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点 (蒸気乾燥器) (単位 : mm)

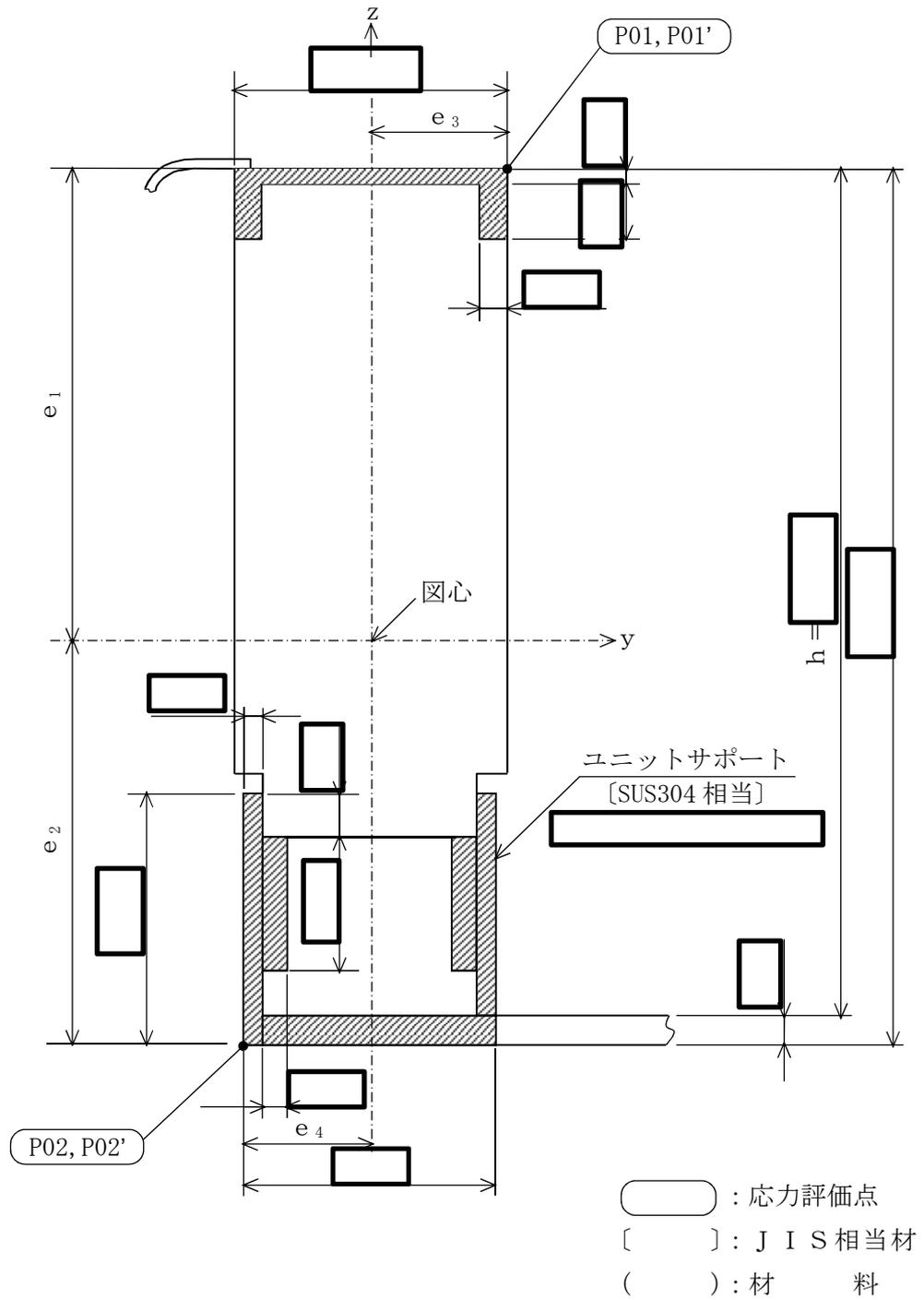


図 1-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点
(ユニット及びユニットサポート) (単位: mm)

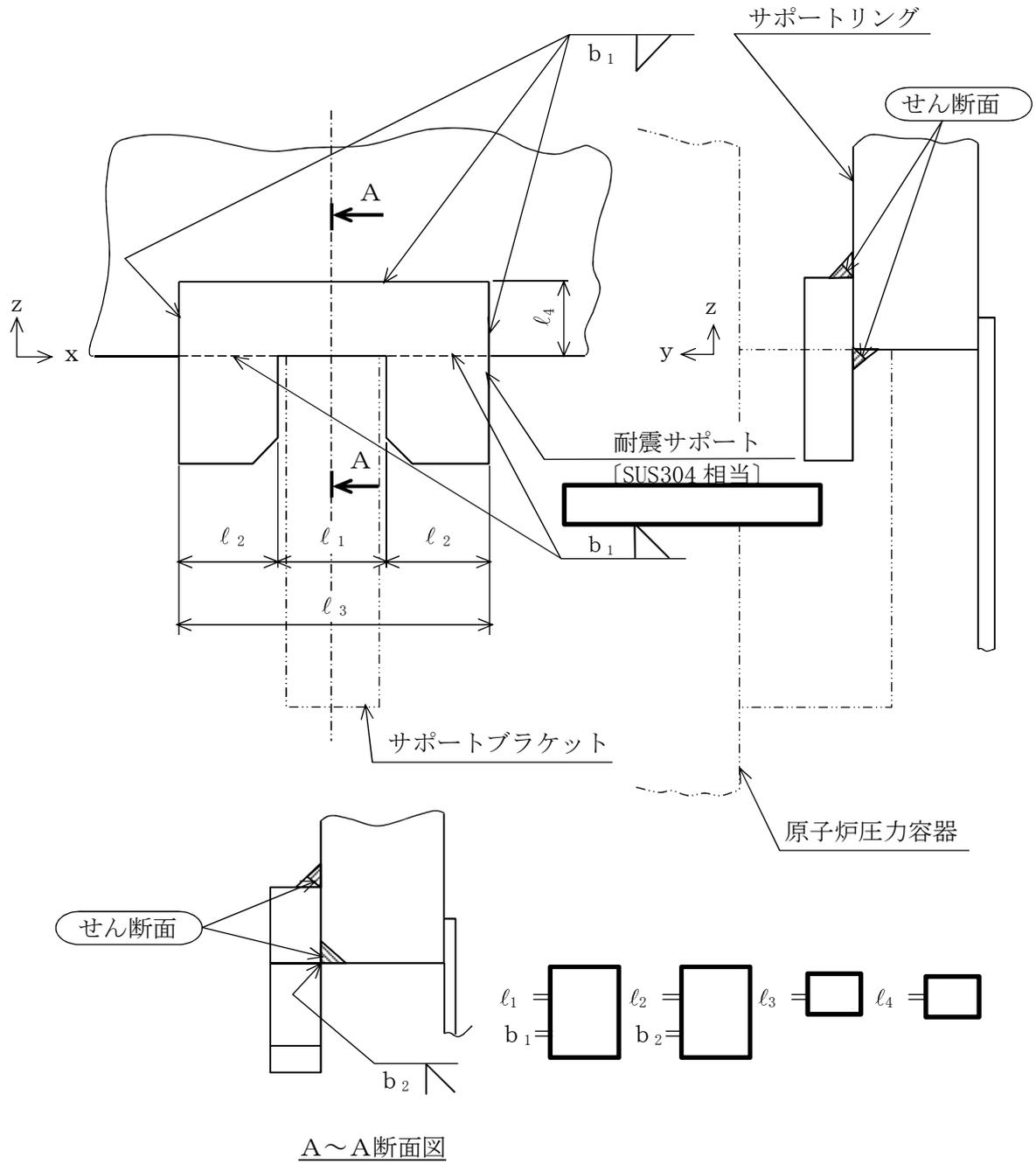


図 1-1(3) 形状・寸法・材料・応力評価点 (耐震サポート) (単位: mm)

表 1-1(1) 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力強さ	許容値	応力評価面	応力強さ	許容値	応力評価点
ユニット サポート SUS304	Ⅲ A S	2	172	P01-P02	10	258	P01'
	Ⅳ A S	3	260	P01-P02	15	391	P01'

表 1-1(2) 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	純せん断応力 (MPa)	
		平均せん断応力	許容値
耐震サポート SUS304	Ⅲ _A S	39	61
	Ⅳ _A S	63	82

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容限界

物性値及び許容限界は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

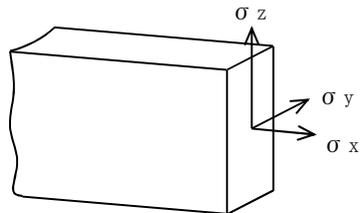
なお、主応力の算出は、「応力解析の方針」の 5.4.1 項に示される式において σ_t , σ_l , σ_r , τ_{tl} をそれぞれ σ_x , σ_y , σ_z , τ_{xy} に添字を置き換えて求める。

σ_x : x 方向応力

σ_y : y 方向応力

σ_z : z 方向応力

τ_{xy} : せん断応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1(2)及び(3)に示す。

また、各応力評価点の断面性状を表 3-1 に示す。

蒸気乾燥器には、6 列の蒸気乾燥器ユニット列が配置されているが、このうち最大応力の生じる最長のものについて評価する。

なお、強度は、図 1-1(2)の斜線で示した部分（ユニットサポート）が有効であるものとして評価する。

耐震サポートについては、5 章で純せん断応力の評価を行う。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

各運転条件における差圧を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、各許容応力状態での応力は、比例計算により求める。

3.2.2 計算方法

差圧 P_{59} による応力は、以下により求める。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を、図 3-1 に示す。

(1) 差圧による荷重

a. 鉛直方向荷重

ユニット列にかかる鉛直方向、単位長さ当たりの分布荷重 w_1 は、次式で求める。

$$w_1 = P_{59} \cdot b$$

b. 水平方向荷重

ユニット列にかかる水平方向、単位長さ当たりの分布荷重 w_2 は、次式で求める。

$$w_2 = P_{59} \cdot h$$

(2) 中央部及び端部のモーメント、せん断力

a. 中央部

ユニット列全長の中央部のユニットサポートにかかるモーメント M_1 及びせん断力 F_1 は、次式で求める。

$$M_1 = \frac{w_1 \cdot L^2}{8}$$

$$F_1 = 0$$

b. 端部

各ユニットの端部のユニットサポートにかかるモーメント M_2 及びせん断力 F_2 は、次式で求める。

$$M_2 = \frac{w_2 \cdot \ell^2}{12}$$

$$F_2 = \frac{w_2 \cdot \ell}{2}$$

(3) 一次一般膜応力

$$\begin{array}{l} P01 \text{ 及び } P01' \\ P02 \text{ 及び } P02' \end{array} : \tau_{xy} = \frac{F_2}{A}$$

(4) 一次曲げ応力

$$P01 \text{ 及び } P01' : \sigma_x = \frac{M_1}{I_y} \cdot e_1 + \frac{M_2}{I_z} \cdot e_3$$

$$P02 \text{ 及び } P02' : \sigma_x = -\frac{M_1}{I_y} \cdot e_2 - \frac{M_2}{I_z} \cdot e_4$$

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

蒸気乾燥器ユニット列に働く外荷重を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

3.3.2 計算方法

外荷重による応力は、以下により求める。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図 3-1 に示す。

(1) 死荷重 (L04)

- a. ユニット列にかかる鉛直方向、単位長さ当たりの分布荷重 w_3 は、次式で求める。

$$w_3 = \frac{V_2}{L}$$

- b. ユニット列全長の中央部のユニットサポートにかかるモーメント M_3 及びせん断力 F_3 は、次式で求める。

$$M_3 = \frac{w_3 \cdot L^2}{8}$$

$$F_3 = 0$$

- c. 一次曲げ応力

$$P01 \text{ 及び } P01' : \sigma_x = -\frac{M_3}{I_y} \cdot e_1$$

$$P02 \text{ 及び } P02' : \sigma_x = \frac{M_3}{I_y} \cdot e_2$$

なお、せん断力 $F_3 = 0$ であることより、一次一般膜応力は発生しない。

(2) 地震荷重 S_d^* , S_s (L14, L16)

- a. 地震荷重 S_d^* , S_s による荷重

(a) 鉛直方向荷重

ユニット列にかかる鉛直方向、単位長さ当たりの分布荷重 w_4 は、次式で求める。

$$w_4 = \frac{V_2}{L}$$

(b) 水平方向荷重

ユニット列にかかる水平方向，単位長さ当たりの分布荷重 w_5 は，次式で求める。

$$w_5 = \frac{H_2}{L}$$

b. 中央部及び端部のモーメント，せん断力

(a) 中央部

ユニット列全長の中央部のユニットサポートにかかるモーメント M_4 及びせん断力 F_4 は，次式で求める。

$$M_4 = \frac{w_4 \cdot L^2}{8}$$

$$F_4 = 0$$

(b) 端部

各ユニット端部のユニットサポートにかかるモーメント M_5 及びせん断力 F_5 は，次式で求める。

$$M_5 = \frac{w_5 \cdot \ell^2}{12}$$

$$F_5 = \frac{w_5 \cdot \ell}{2}$$

c. 一次一般膜応力

$$\begin{array}{l} P01 \text{ 及び } P01' \\ P02 \text{ 及び } P02' \end{array} : \tau_{xy} = \frac{F_5}{A}$$

d. 一次曲げ応力

$$P01 \text{ 及び } P01' : \sigma_x = \frac{M_4}{I_y} \cdot e_1 + \frac{M_5}{I_z} \cdot e_3$$

$$P02 \text{ 及び } P02' : \sigma_x = \frac{M_4}{I_y} \cdot e_2 + \frac{M_5}{I_z} \cdot e_4$$

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は，応力の分類ごとに重ね合わせ，組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の 5.4 節に示す。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 4-1 に示す。

表 4-1 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

4.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 4-2 に示す。

表 4-2 より、各許容応力状態の一次一般膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

5. 特別な評価

耐震サポートには、地震荷重 S_d^* (L14)、地震荷重 S_s (L16) の水平力 H_1 により、純せん断応力が生じるため、純せん断応力の評価を行う。

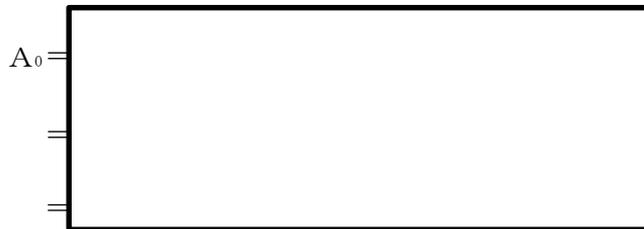
5.1 純せん断応力の評価

耐震サポートには、水平力 H_1 により純せん断応力が生じる。

5.1.1 計算データ及び荷重

(1) 計算データ

耐震サポート溶接部のせん断断面積 (図 1-1(3) 参照)



(2) 荷重

各運転条件における水平力を、「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

5.1.2 計算方法

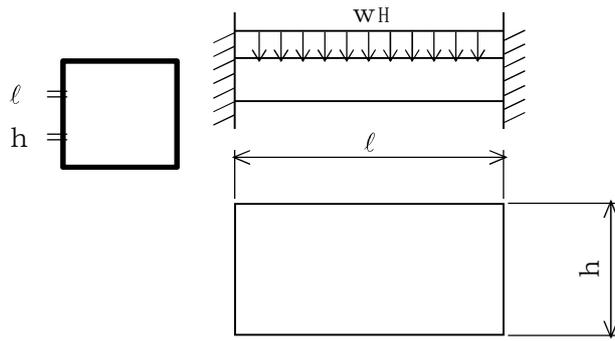
せん断面に発生する平均せん断応力 τ は、

$$\tau = \square$$

5.1.3 純せん断応力の評価

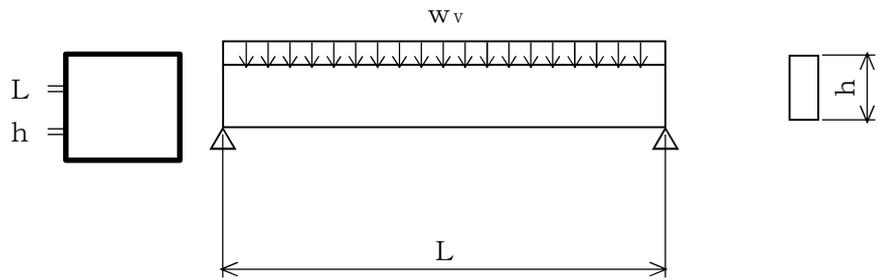
各許容応力状態における純せん断応力の評価を表 5-1 に示す。

表 5-1 より、各許容応力状態における平均せん断応力は、「応力解析の方針」の表 3-5(3)に示す許容値を満足する。



w_H : 水平方向分布荷重 (w_2 又は w_5)

図 3-1(1) 解析モデル (水平方向荷重) (単位 : mm)



w_V : 鉛直方向分布荷重 (w_1, w_3, w_4)

図 3-1(2) 解析モデル (鉛直方向荷重) (単位 : mm)

表3-1 断面性状

応力評価点	b (mm)	h (mm)	L (mm)	ℓ (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	e_3 (mm)	e_4 (mm)	A (mm ²)	I _y (mm ⁴)	I _z (mm ⁴)
P01, P01'											
P02, P02'											

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	2	172	3	260
P01' P02'	0	172	1	260

表 4-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価点	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01	4	258	10	391
P01'	10	258	15	391
P02	4	258	6	391
P02'	4	258	6	391

表 5-1 純せん断応力の評価

(単位 : MPa)

供用状態 (許容応力状態)	平均せん断応力 τ	許容せん断応力 τ_a
許容応力状態Ⅲ _A S	39	61*
許容応力状態Ⅳ _A S	63	82*

注記 * : 継手効率を乗じた値を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-995 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-3-4-4-4 シュラウドヘッドの耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	1
1.4 計算結果の概要	1
2. 計算条件	5
2.1 解析範囲	5
2.2 設計条件	5
2.3 運転条件	5
2.4 材料	5
2.5 物性値及び許容限界	5
2.6 応力の記号と方向	5
3. 応力計算	6
3.1 応力評価点	6
3.2 差圧による応力	6
3.2.1 荷重条件 (L02)	6
3.2.2 計算方法	6
3.3 外荷重による応力	8
3.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)	8
3.3.2 計算方法	8
3.4 応力の評価	9
4. 応力強さの評価	10
4.1 一次一般膜応力強さの評価	10
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	10

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	解析モデル	11
表 1-1	計算結果の概要	4
表 3-1	断面性状	12
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	13
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	14

1. 一般事項

本計算書は、シュラウドヘッドの耐震性についての計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-4-4-1 原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針」(以下「応力解析の方針」という。)の2章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A ₁	鏡板の断面積	mm ²
A ₂	外側スリーブの断面積	mm ²
D _i	フランジ内径	mm
D _o	フランジ外径	mm
D _{si}	外側スリーブ内径	mm
D _{so}	外側スリーブ外径	mm
R _m	球殻の平均半径	mm
t _s	鏡板厚さ	mm
R _s	球殻の内半径	mm
t	フランジ厚さ	mm

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

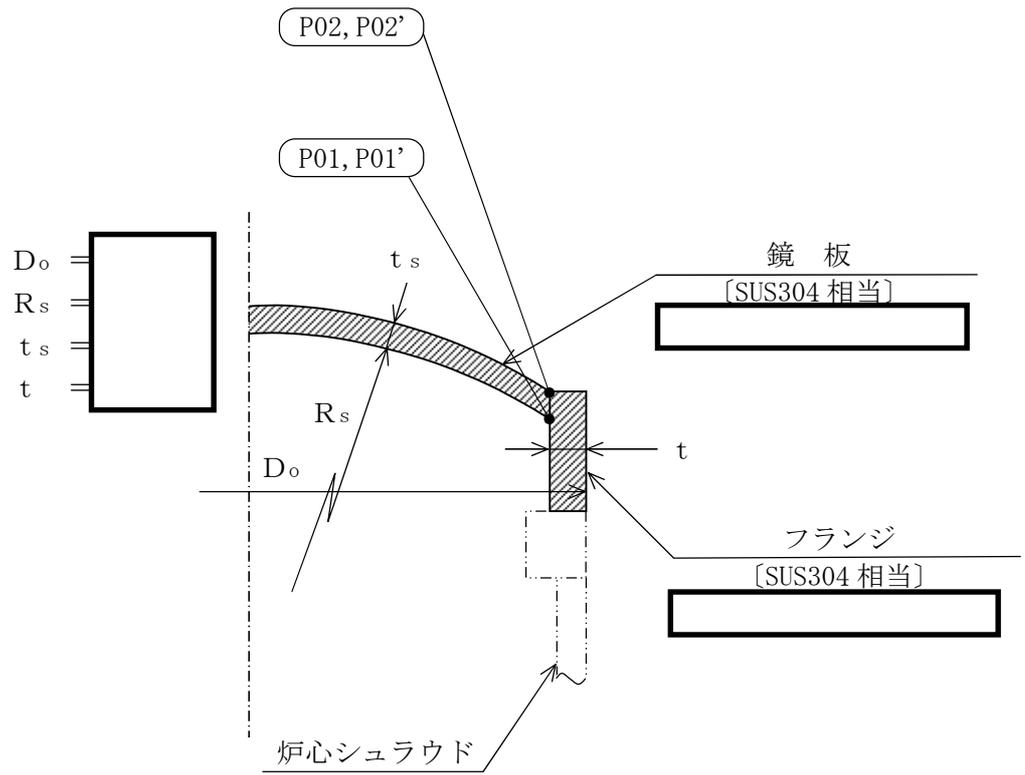
- a. 差圧
- b. 外荷重

差圧及び外荷重の値を「応力解析の方針」の4章に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。



- : 応力評価点
- [] : J I S 相当材
- () : 材 料

図 1-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点 (シュラウドヘッド) (単位 : mm)

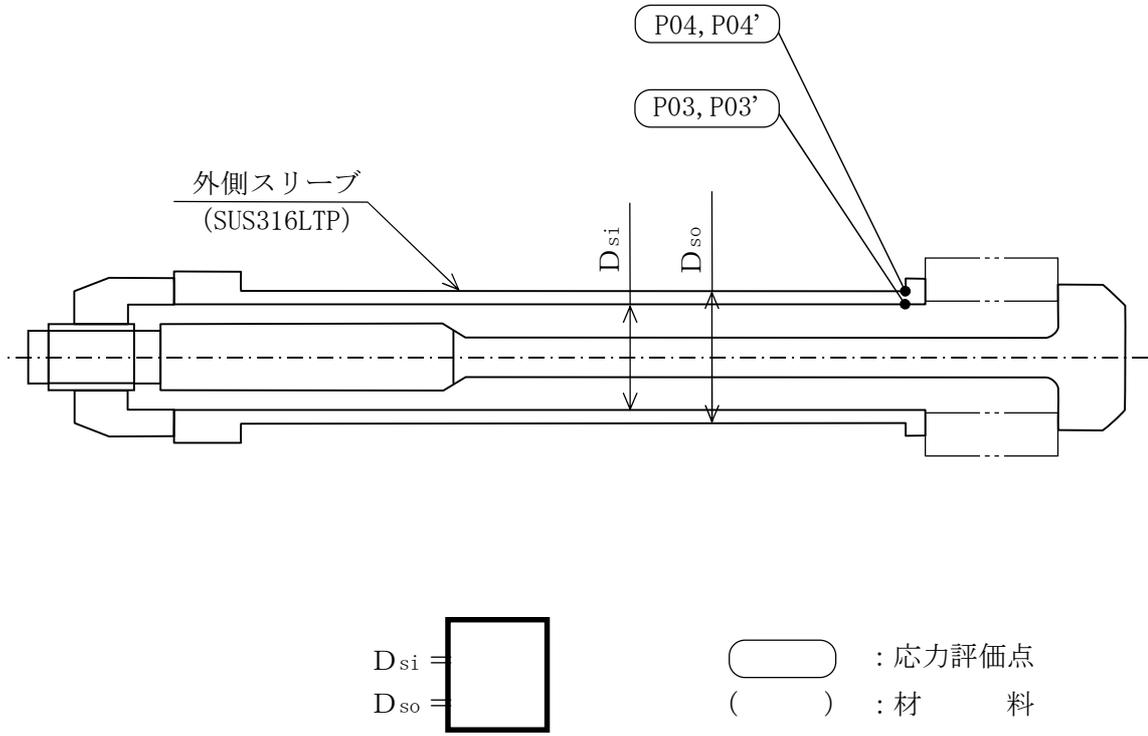


図 1-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点 (シュラウドヘッドボルト) (単位 : mm)

表 1-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力強さ	許容値	応力評価面	応力強さ	許容値	応力評価点
シュラウドヘッド SUS304	Ⅲ _A S	52	111	P01'-P02'	125	167	P01
	Ⅳ _A S	79	169	P01'-P02'	187	254	P01
シュラウドヘッドボルト SUS316LTP	Ⅲ _A S	81	92	P03'-P04'	81	138	P03'-P04'
	Ⅳ _A S	131	147	P03'-P04'	131	221	P03'-P04'

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容**限界**

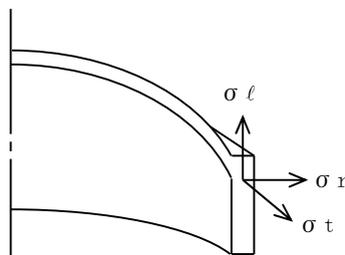
物性値及び許容**限界**は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

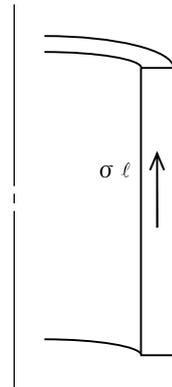
2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
- σ_l : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力
- τ_{tl} : せん断応力
- τ_{lr} : せん断応力
- τ_{rt} : せん断応力



シュラウドヘッド



シュラウドヘッドボルト

3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

また、各応力評価点の断面性状を表 3-1 に示す。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

各運転条件における差圧を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、各許容応力状態での応力は、比例計算により求める。

3.2.2 計算方法

(1) 差圧による一次応力の計算

a. シュラウドヘッド

(a) 一次一般膜応力

差圧 P_{45} による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \sigma_\ell = \frac{P_{45} \cdot R_m}{2 \cdot t_s}$$

$$\sigma_r = -\frac{P_{45}}{2}$$

(b) 一次一般膜＋一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

b. シュラウドヘッドボルト

(a) 差圧によるシュラウドヘッドの浮上がり力

差圧 P_{45} によるシュラウドヘッドの浮き上がり力 F_P は、次式で求める。

$$F_P = \frac{\pi \cdot P_{45} \cdot D_i}{4 \times \square}$$

(b) シュラウドヘッドの死荷重による押付け力

シュラウドヘッドの死荷重 V_1 による押付け力 F_{SH} は、次式で求める。

$$F_{SH} = \square \cdot V_1$$

(c) 一次一般膜応力

差圧 P_{45} による一次一般膜応力は，次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = - \frac{F_P - F_{SH}}{A_2}$$

(d) 一次一般膜応力＋一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって，一次一般膜＋一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

シュラウドヘッドに働く外荷重を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 外荷重による一次応力の計算

a. シュラウドヘッド

(a) 一次一般膜応力

イ. 死荷重 (L04)

死荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\tau_{lr} = \frac{V_1}{A_1}$$

ロ. 地震荷重 (L14 及び L16)

地震荷重による一次一般膜応力の計算は、解析コード「ABAQUS」を用いて行う。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を、図 3-1 に示す。

(b) 一次一般膜+一次曲げ応力

イ. 死荷重 (L04)

死荷重による一次一般膜+一次曲げ応力は、次式で求める。

$$\tau_{lr} = \frac{V_1}{A_1}$$

ロ. 地震荷重 (L14 及び L16)

地震荷重による一次一般膜+一次曲げ応力の計算は、解析コード「ABAQUS」を用いて行う。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を、図 3-1 に示す。

b. シュラウドヘッドボルト

(a) 一次一般膜応力

イ. 死荷重及び地震荷重 (L04, L14 及び L16)

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = -\frac{V_2}{A_2}$$

(b) 一次一般膜＋一次曲げ応力

イ. 死荷重及び地震荷重 (L04, L14 及び L16)

外荷重による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力の分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の 5.4 節に示す。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 4-1 に示す。

表 4-1 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

4.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 4-2 に示す。

表 4-2 より、各許容応力状態の一次一般膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

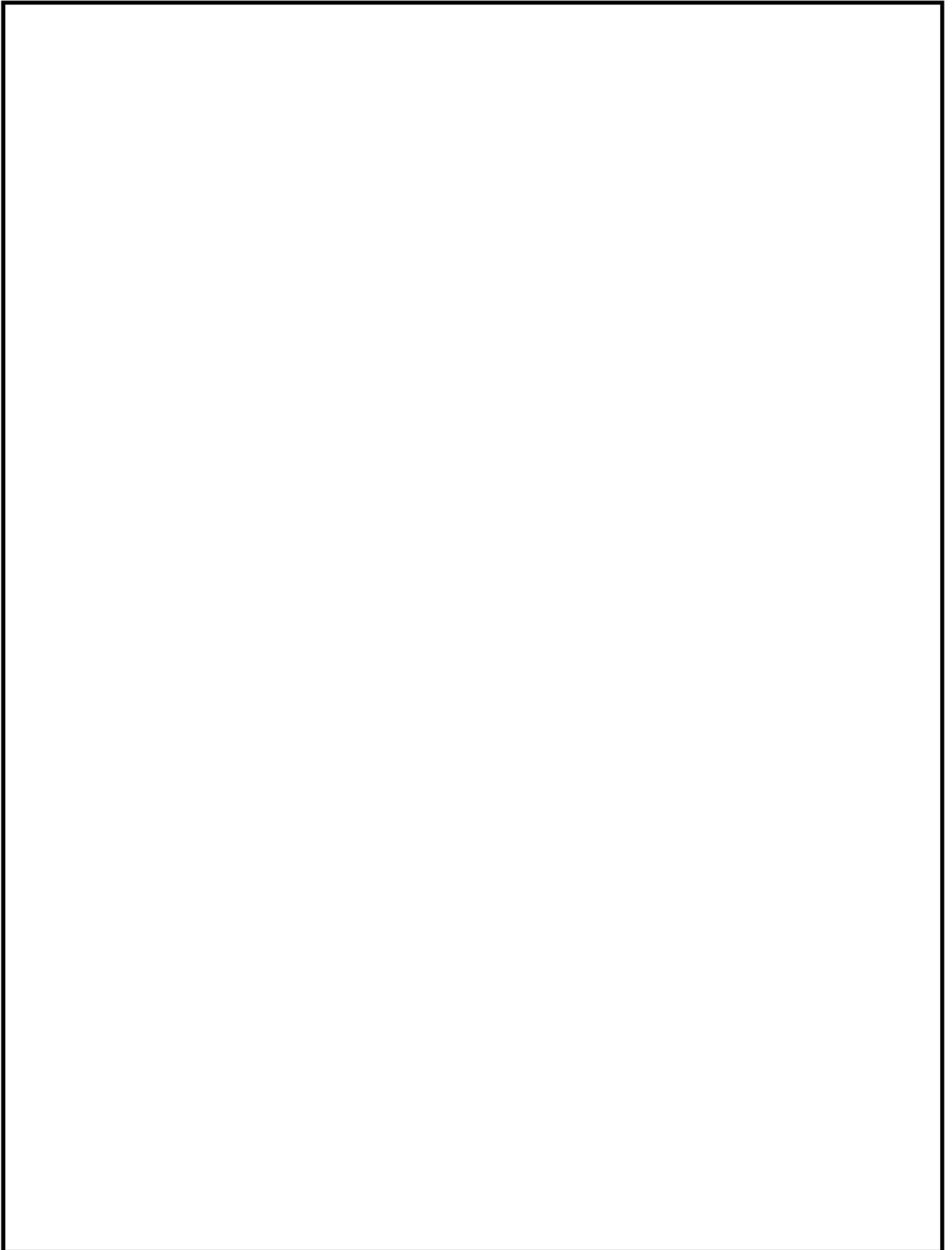


図 3-1 解析モデル

表 3-1 断面性状

応力評価点	D _i (mm)	D _{si} (mm)	D _{so} (mm)	R _m (mm)	t _s (mm)	A ₁ (mm ²)	A ₂ (mm ²)
P01, P02							
P03, P04							

注記 * : $A_1 = \pi \cdot D_i \cdot t_s$

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	50	111*	77	169*
P01' P02'	52	111*	79	169*
P03 P04	19	92*	19	147*
P03' P04'	81	92*	131	147*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価点	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01	125	167*	187	254*
P01'	120	167*	182	254*
P02	92	167*	137	254*
P02'	81	167*	126	254*
P03 P04	19	138*	19	221*
P03' P04'	81	138*	131	221*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-996 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-3-4-4-5 ジェットポンプの耐震性についての計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	形状・寸法・材料	1
1.2	記号の説明	1
1.3	考慮する荷重	1
1.4	計算結果の概要	1
2.	計算条件	4
2.1	解析範囲	4
2.2	設計条件	4
2.3	運転条件	4
2.4	材料	4
2.5	物性値及び許容 限界	4
2.6	応力の記号と方向	4
3.	荷重条件	5
3.1	計算方法	5
3.2	解析モデル及び諸元	5
3.3	死荷重	5
3.4	固有周期	5
3.5	地震荷重	5
3.5.1	設計用地震力	5
3.5.2	地震荷重	5
4.	応力計算	6
4.1	応力評価点	6
4.2	差圧による応力	6
4.2.1	荷重条件 (L02)	6
4.2.2	計算方法	6
4.3	外荷重による応力	7
4.3.1	荷重条件 (L04, L14 及び L16)	7
4.3.2	計算方法	7
4.4	応力の評価	7
5.	応力強さの評価	8
5.1	一次一般膜応力強さの評価	8
5.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	解析モデル	9
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	節点座標	10
表 3-2	解析モデルのデータ諸元	11
表 3-3	固有周期	12
表 3-4	設計用地震力（設計基準対象施設）	13
表 3-5	設計用地震力（重大事故等対処設備）	13
表 3-6	ジェットポンプ外荷重	14
表 4-1	断面性状	15
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	16
表 5-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	17

1. 一般事項

本計算書は、ジェットポンプの耐震性についての計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-4-4-1 原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）の 2 章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
I _p	ねじり係数	mm ⁴
t	厚さ	mm

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

- a. 差圧
- b. 外荷重

差圧の値を「応力解析の方針」の 4 章に示す。外荷重の値を「3. 荷重条件」に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。

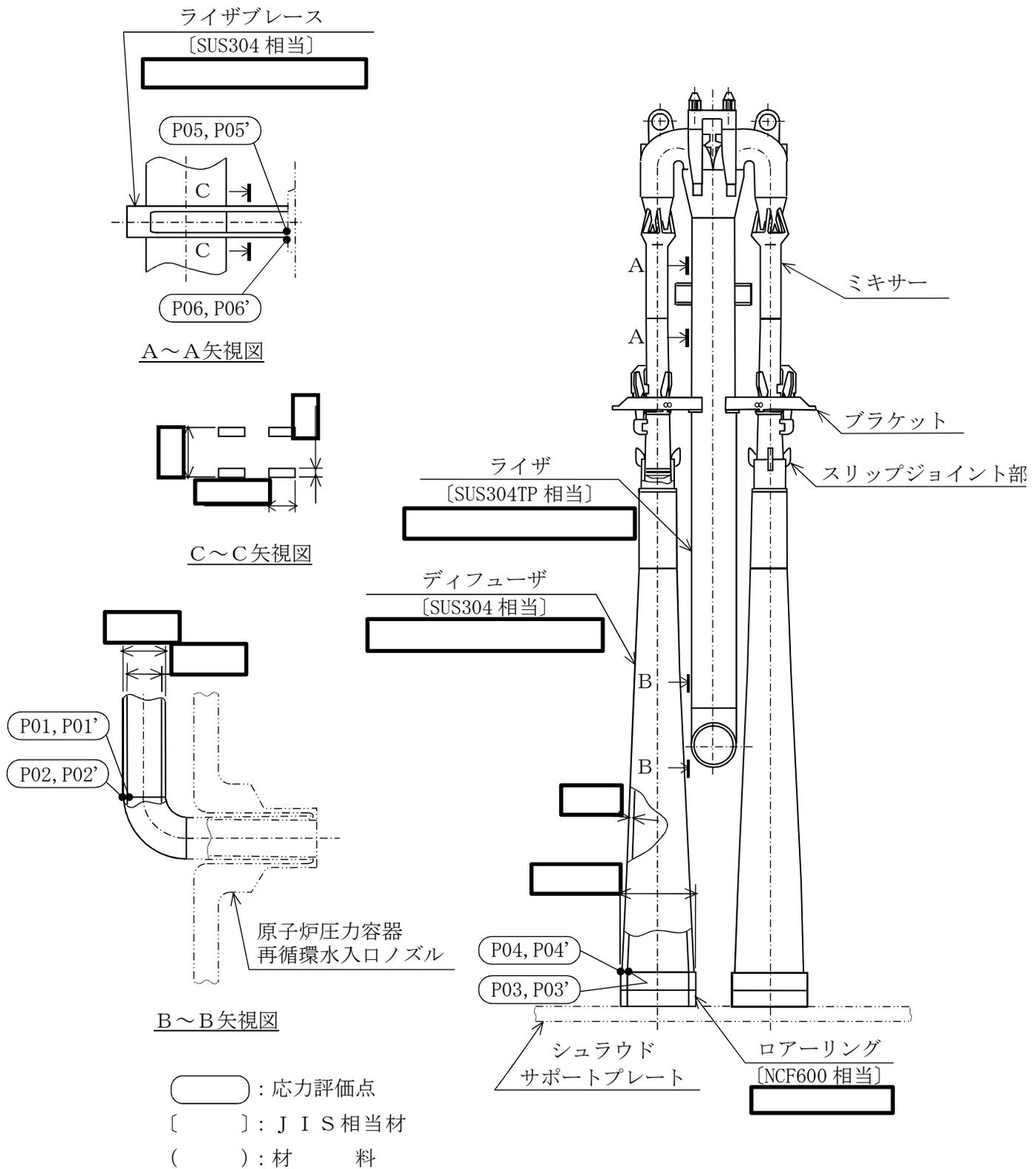


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力強さ	許容値	応力評価面	応力強さ	許容値	応力評価面
ライザ SUS304TP	ⅢA S	34	86	P01-P02	70	129	P01-P02
	ⅣA S	35	130	P01-P02	78	195	P01-P02
ディフューザ SUS304	ⅢA S	9	111	P03-P04	11	167	P03-P04
	ⅣA S	10	169	P03-P04	14	254	P03-P04
ライザブレース SUS304	ⅢA S	13	111	P05-P06	71	167	P05-P06
	ⅣA S	17	169	P05-P06	100	254	P05-P06

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容**限界**

物性値及び許容**限界**は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

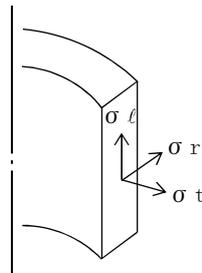
応力の記号と方向は、以下のとおりとする。

σ_t : 周方向応力

σ_l : 軸方向応力

σ_r : 半径方向応力

τ_{tl} : せん断応力



3. 荷重条件

3.1 計算方法

材料及び形状に関するデータから、固有周期を求める。さらに、入力加速度に対する各節点の軸力、せん断力及びモーメントの最大値を求める。

以上の計算は、解析コード「MSC NASTRAN」を用いて行う。

3.2 解析モデル及び諸元

本機器の形状を図 1-1 に示し、解析モデルを図 3-1 に示す。

また、各節点の座標及び解析モデルのデータ諸元を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

支持条件は、する。

3.3 死荷重

ジェットポンプの評価に用いる死荷重を表 3-6 に示す。

3.4 固有周期

ジェットポンプの固有値解析の結果を表 3-3 に示す。固有値解析より一次固有周期は  s であることから、剛であることを確認した。

3.5 地震荷重

3.5.1 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「V-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表 3-4，表 3-5 に示す。

3.5.2 地震荷重

図 3-1 に示す解析モデルに 3.4.1 節で設定した地震力を入力することにより、ジェットポンプの評価位置に発生する荷重を地震荷重とする。

算出された地震荷重を表 3-6 に示す。

4. 応力計算

4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

また、各応力評価点の断面性状を表 4-1 に示す。

4.2 差圧による応力

4.2.1 荷重条件 (L02)

各運転条件における差圧を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、各許容応力状態での応力は、比例計算により求める。

4.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

差圧 P による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P$$

$$\sigma_\ell = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P$$

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

(2) 一次一般膜+一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜+一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

4.3 外荷重による応力

4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

ジェットポンプに働く外荷重を表 3-4 示す。

4.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{I_p} \cdot r_m$$

ここで、 r_m ：平均半径又はライザブレースの板厚

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次一般膜＋一次曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A} \pm \frac{M}{I} \cdot r_1$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{I_p} \cdot r_2$$

ここで、 r_1 ：外半径又はライザブレースの中立軸から応力評価点までの距離

r_2 ：外半径又はライザブレースの板厚

4.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力の分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の 5.4 節に示す。

5. 応力強さの評価

5.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 5-1 に示す。

表 5-1 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

5.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 5-2 に示す。

表 5-2 より、各許容応力状態の一次一般膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

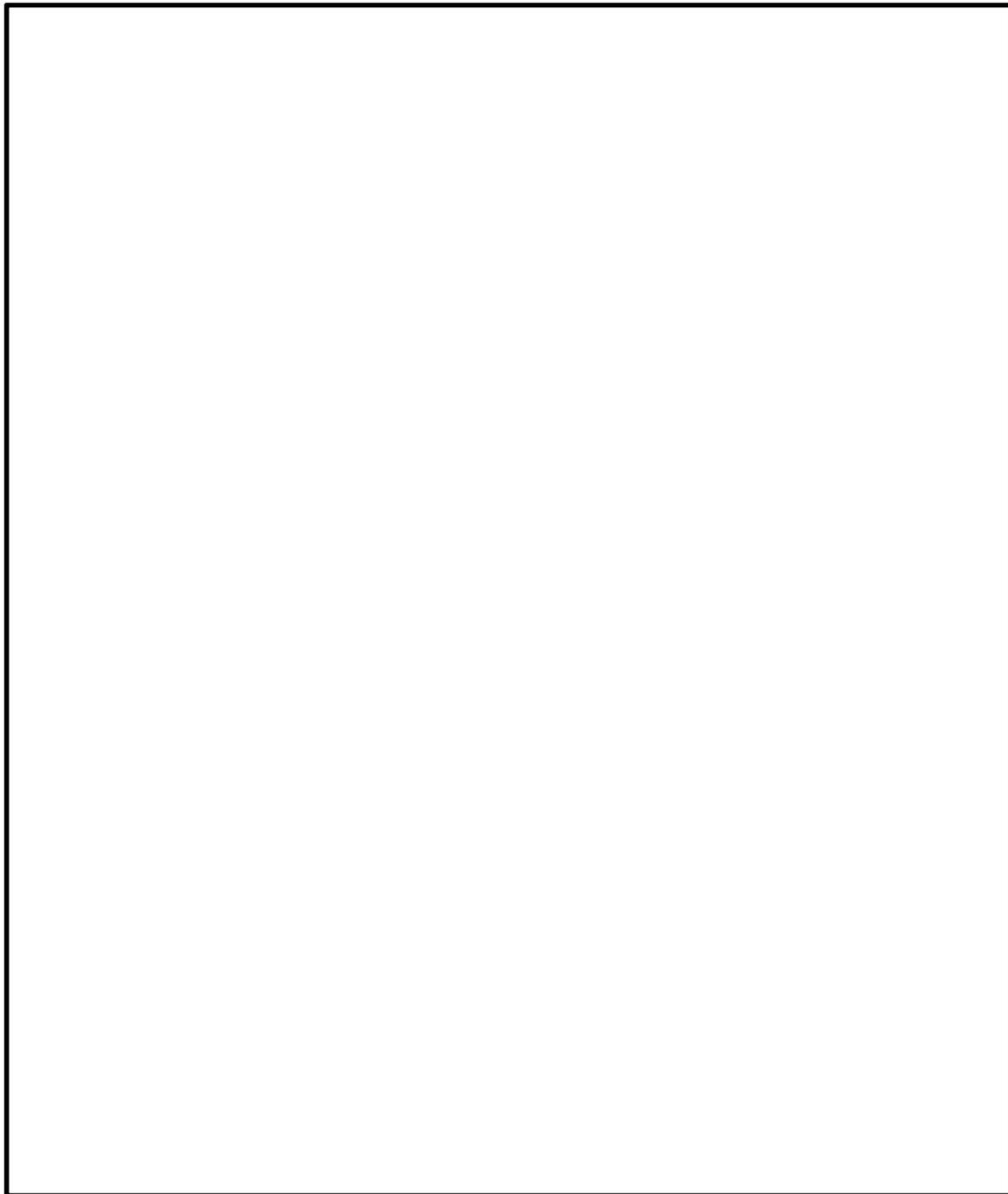


図 3-1 解析モデル

表 3-1 節点座標

(単位：mm)

節点番号	座標			節点番号	座標		
	X	Y	Z		X	Y	Z
1				36			
2				37			
3				38			
4				39			
5				40			
6				41			
7				42			
8				43			
9				44			
10				45			
11				46			
12				47			
13				48			
14				49			
15				50			
16				51			
17				52			
18				53			
19				54			
20				55			
21				56			
22				57			
23				58			
24				59			
25				60			
26				61			
27				62			
28				63			
29				64			
30				65			
31				66			
32				67			
33				68			
34				69			
35				70			

表 3-2 解析モデルのデータ諸元

部材端の節点番号	断面寸法 (mm)		縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比	密度 (kg/mm ³)
	外径	内径			
1～ 2, 35～36					
2～ 3, 36～37					
3～ 4, 37～38					
4～ 5, 38～39					
5～ 6, 39～40					
6～ 7, 40～41					
7～ 8, 41～42					
9～10, 43～44					
10～11, 44～45					
11～12, 45～46					
12～13, 46～47					
13～14, 47～48					
14～21, 48～54, 54～21					
21～22					
22～30					
30～31					
31～34					
55～56, 56～26, 26～57, 57～58					
59～63, 66～70					
63～64, 64～24, 24～65, 65～66					

NT2 補③ V-2-3-4-4-5 R1

表 3-3 固有周期

部分	次数	固有周期
		(s)
ジェットポンプ	1	

表 3-4 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉压力容器内 EL. 23.38~28.19 m	0.05 以下*	$C_H=0.98$	$C_V=0.73$	$C_H=1.61$	$C_H=1.38$

注記 * : 固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 3-5 設計用地震力（重大事故対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉压力容器内 EL. 23.38~28.19 m	0.05 以下*	—	—	$C_H=1.61$	$C_H=1.38$

注記 * : 固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 3-6 ジェットポンプ外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	ねじり モーメント	曲げ モーメント
			FL (N)	Fs (N)	T (N・m)	M (N・m)
L04	死荷重	A				
		B				
		C				
L14	地震荷重 S d *	A				
		B				
		C				
L16	地震荷重 S s	A				
		B				
		C				

注記 * : 流体反力を含む。



表 4-1 断面性状

応力評価点	t (mm)	D _o (mm)	D _i (mm)	A (mm ²)	I [*] (mm ⁴)	I _p (mm ⁴)
P01, P02						
P03, P04						
P05, P06						

注記 * : 二段表記は上段が y 軸まわり, 下段が z 軸まわりの値を示す。
y 軸, z 軸それぞれの方向は下図のとおりである。

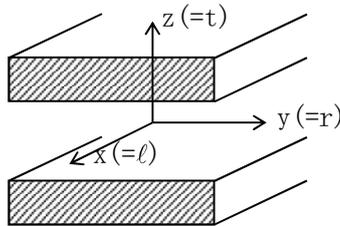


表 5-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	34	86*	35	130*
P01' P02'	34	86*	35	130*
P03 P04	9	111*	10	169*
P03' P04'	9	111*	9	169*
P05 P06	13	111*	17	169*
P05' P06'	13	111*	16	169*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

表 5-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	70	129*	78	195*
P01' P02'	56	129*	64	195*
P03 P04	11	167*	14	254*
P03' P04'	10	167*	14	254*
P05 P06	71	167*	100	254*
P05' P06'	70	167*	99	254*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-997 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-3-4-4-6 給水スパーージャの耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	1
1.4 計算結果の概要	1
2. 計算条件	4
2.1 解析範囲	4
2.2 設計条件	4
2.3 運転条件	4
2.4 材料	4
2.5 物性値及び許容 限界	4
2.6 応力の記号と方向	4
3. 荷重条件	5
3.1 計算方法	5
3.2 解析モデル及び諸元	5
3.3 死荷重	5
3.4 固有周期	5
3.5 地震荷重	5
3.5.1 設計用地震力	5
3.5.2 地震荷重	5
4. 応力計算	6
4.1 応力評価点	6
4.2 差圧による応力	6
4.2.1 荷重条件 (L02)	6
4.2.2 計算方法	6
4.3 外荷重による応力	7
4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)	7
4.3.2 計算方法	7
4.4 応力の評価	7
5. 応力強さの評価	8
5.1 一次一般膜応力強さの評価	8
5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	解析モデル	9
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	節点座標	10
表 3-2	解析モデルのデータ諸元	11
表 3-3	固有周期	12
表 3-4	設計用地震力（設計基準対象施設）	13
表 3-5	設計用地震力（重大事故等対処設備）	13
表 3-6	給水スパーチャ外荷重	14
表 4-1	断面性状	15
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	16
表 5-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	17

1. 一般事項

本計算書は、給水スパー ज्याの耐震性についての計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-4-4-1 原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針」(以下「応力解析の方針」という。)の2章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
t	厚さ	mm

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

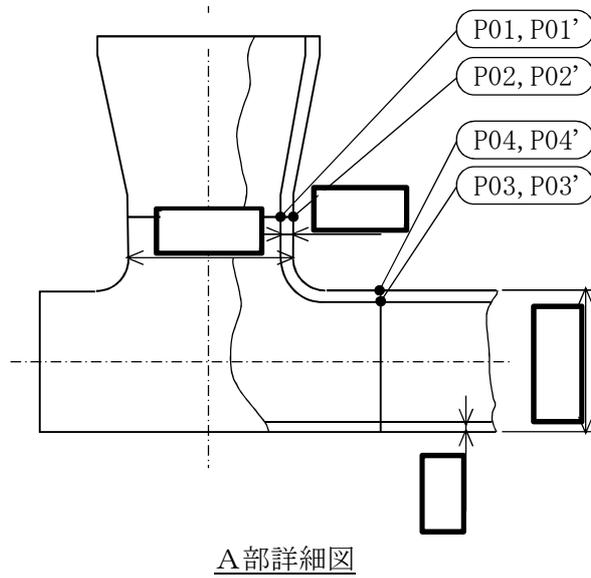
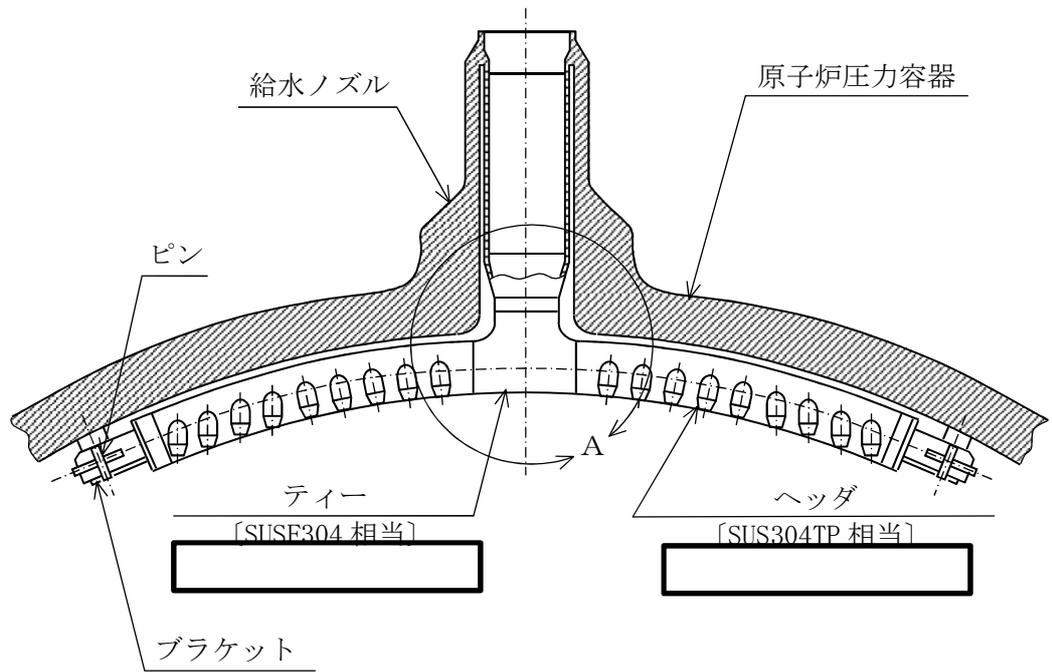
- a. 差圧
- b. 外荷重

差圧の値を「応力解析の方針」の4章に示す。外荷重の値を「3. 荷重条件」に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。



○ : 応力評価点
 [] : J I S 相当材
 () : 材 料

図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位 : mm)

表 1-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力強さ	許容値	応力評価面	応力強さ	許容値	応力評価面
テーパー SUSF304	Ⅲ _A S	3	111	P01-P02	9	167	P01-P02
	Ⅳ _A S	3	169	P01-P02	12	254	P01-P02
ヘッド SUS304TP	Ⅲ _A S	3	111	P03'-P04'	22	167	P03-P04
	Ⅳ _A S	3	169	P03'-P04'	23	254	P03-P04

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容**限界**

物性値及び許容**限界**は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

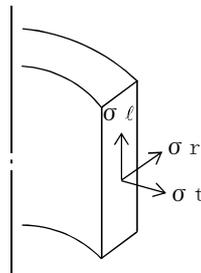
応力の記号と方向は、以下のとおりとする。

σ_t : 周方向応力

σ_l : 軸方向応力

σ_r : 半径方向応力

τ_{tl} : せん断応力



3. 荷重条件

3.1 計算方法

材料及び形状に関するデータから、固有周期を求める。さらに、入力加速度に対する各節点の軸力、せん断力及びモーメントの最大値を求める。

以上の計算は、解析コード「MSC NASTRAN」を用いて行う。

3.2 解析モデル及び諸元

本機器の形状を図 1-1 に示し、解析モデルを図 3-1 に示す。

また、各節点の座標及び解析モデルのデータ諸元を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

支持条件は、

ものとする。

3.3 死荷重

給水スパー ज्याの評価に用いる死荷重を表 3-6 に示す。

3.4 固有周期

給水スパー ज्याの固有値解析の結果を表 3-3 に示す。固有値解析より一次固有周期は、s であることから、剛であることを確認した。

3.5 地震荷重

3.5.1 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「V-2-3-2 炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表 3-4、表 3-5 に示す。

3.5.2 地震荷重

図 3-1 に示す解析モデルに 3.4.1 節で設定した地震力を入力することにより、給水スパー ज्याの評価位置に発生する荷重を地震荷重とする。

算出された地震荷重を表 3-6 に示す。

4. 応力計算

4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

また、各応力評価点の断面性状を表 4-1 に示す。

4.2 差圧による応力

4.2.1 荷重条件 (L02)

各運転条件における差圧を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、各許容応力状態での応力は、比例計算により求める。

4.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

差圧 P_{65} による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P_{65}$$

$$\sigma_l = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P_{65}$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P_{65}$$

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

(2) 一次一般膜+一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜+一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

4.3 外荷重による応力

4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

給水スパーージャに働く外荷重を表 3-4 示す。

4.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot r_m$$

ここで,
$$r_m = \frac{D_i + D_o}{4}$$

(2) 一次一般膜+一次曲げ応力

外荷重による一次一般膜+一次曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A} \pm \frac{M}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

4.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力の分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の 5.4 節に示す。

5. 応力強さの評価

5.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 5-1 に示す。

表 5-1 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

5.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 5-2 に示す。

表 5-2 より、各許容応力状態の一次一般膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

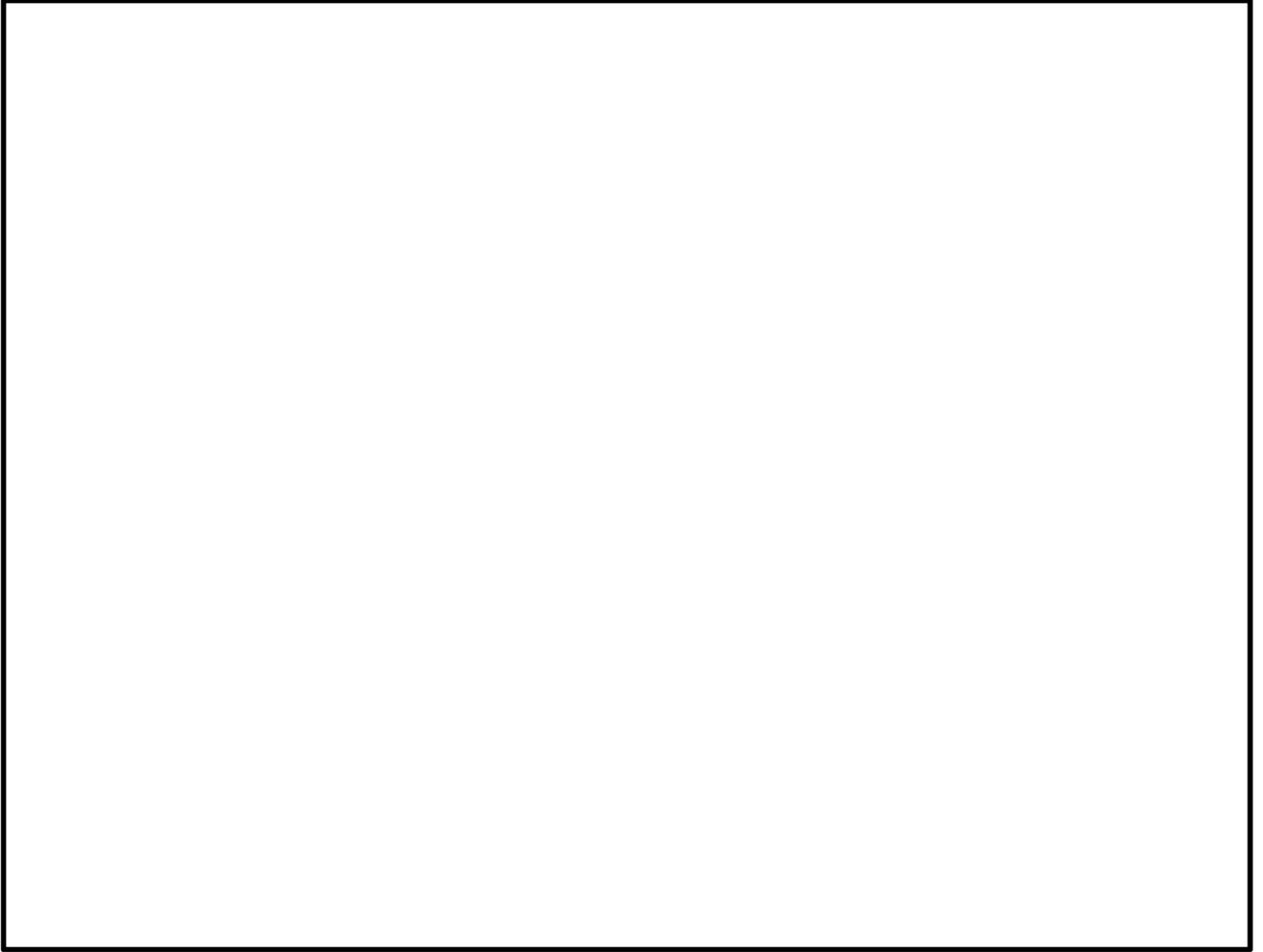


図 3-1 解析モデル

表 3-1 節点座標

(単位：mm)

節点番号	座標		
	X	Y	Z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			

表 3-2 解析モデルのデータ諸元

部材端の節点番号	断面寸法 (mm)		縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比	密度 (kg/mm ³)
	外径	厚さ			
1～ 2					
2～ 3					
3～ 4					
4-15, 15- 5, 5～ 9, 4-16, 16-10, 10～14					

表 3-3 固有周期

部分	次数	固有周期
		(s)
給水スパーチャ	1	

表 3-4 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉压力容器内 EL. 31.54~33.13 m	0.05 以下*	$C_H=0.97$	$C_V=0.75$	$C_H=1.62$	$C_H=1.38$

注記 * : 固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 3-5 設計用地震力（重大事故対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉压力容器内 EL. 31.54~33.13 m	0.05 以下*	—	—	$C_H=1.62$	$C_H=1.38$

注記 * : 固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 3-6 給水スパージャ外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	ねじり モーメント	曲げ モーメント
			FL (N)	F _s (N)	T (N・m)	M (N・m)
L04	死荷重	A				
		B				
L14	地震荷重 S _d *	A				
		B				
L16	地震荷重 S _s	A				
		B				

注記 * : 流体反力を含む。

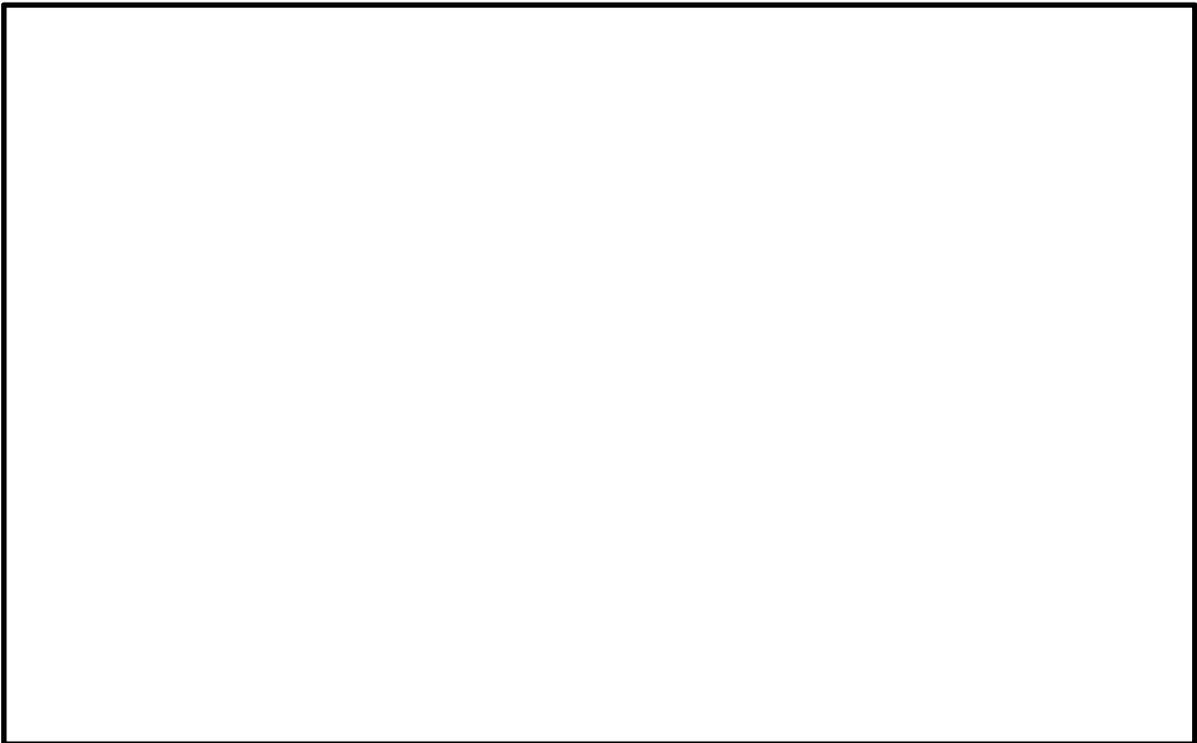


表 4-1 断面性状

応力評価点	t (mm)	D _o (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
P01, P02				
P03, P04				

表 5-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	3	111*	3	169*
P01' P02'	2	111*	3	169*
P03 P04	3	111*	3	169*
P03' P04'	3	111*	3	169*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

表 5-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	9	167*	12	254*
P01' P02'	6	167*	10	254*
P03 P04	22	167*	23	254*
P03' P04'	22	167*	23	254*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-998 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-3-4-4-7 高圧及び低圧炉心スプレイスパー ज्या
の耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	1
1.4 計算結果の概要	1
2. 計算条件	4
2.1 解析範囲	4
2.2 設計条件	4
2.3 運転条件	4
2.4 材料	4
2.5 物性値及び許容 限界	4
2.6 応力の記号と方向	4
3. 荷重条件	5
3.1 計算方法	5
3.2 解析モデル及び諸元	5
3.3 死荷重	5
3.4 固有周期	5
3.5 地震荷重	5
3.5.1 設計用地震力	5
3.5.2 地震荷重	5
4. 応力計算	6
4.1 応力評価点	6
4.2 差圧による応力	6
4.2.1 荷重条件 (L02)	6
4.2.2 計算方法	6
4.3 外荷重による応力	7
4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)	7
4.3.2 計算方法	7
4.4 応力の評価	7
5. 応力強さの評価	8
5.1 一次一般膜応力強さの評価	8
5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	解析モデル	9
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	節点座標	10
表 3-2	解析モデルのデータ諸元	11
表 3-3	固有周期	12
表 3-4	設計用地震力（設計基準対象施設）	13
表 3-5	設計用地震力（重大事故等対処設備）	13
表 3-6	高圧及び低圧炉心スプレイスパーージャ外荷重	14
表 4-1	断面性状	15
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	16
表 5-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	17

1. 一般事項

本計算書は、高圧及び低圧炉心スプレイスパージャの耐震性についての計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-4-4-1 原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）の 2 章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
t	厚さ	mm

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

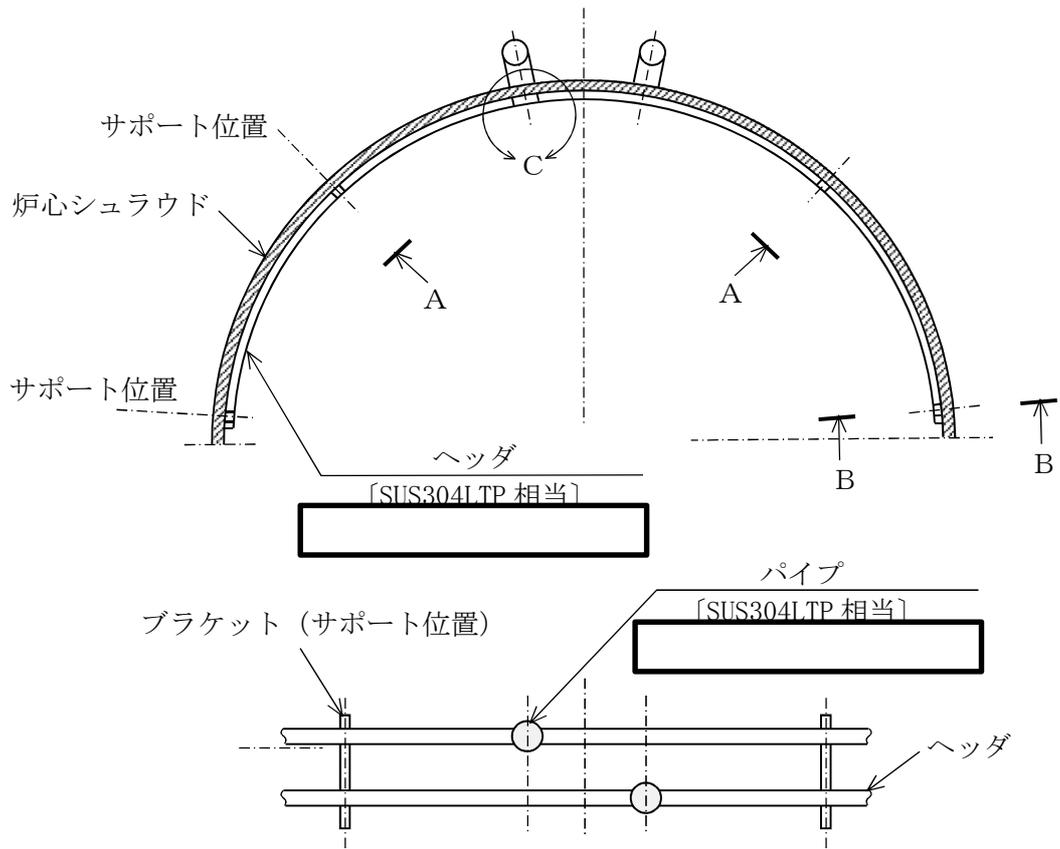
- a. 差圧
- b. 外荷重

差圧の値を「応力解析の方針」の 4 章に示す。外荷重の値を「3. 荷重条件」に示す。

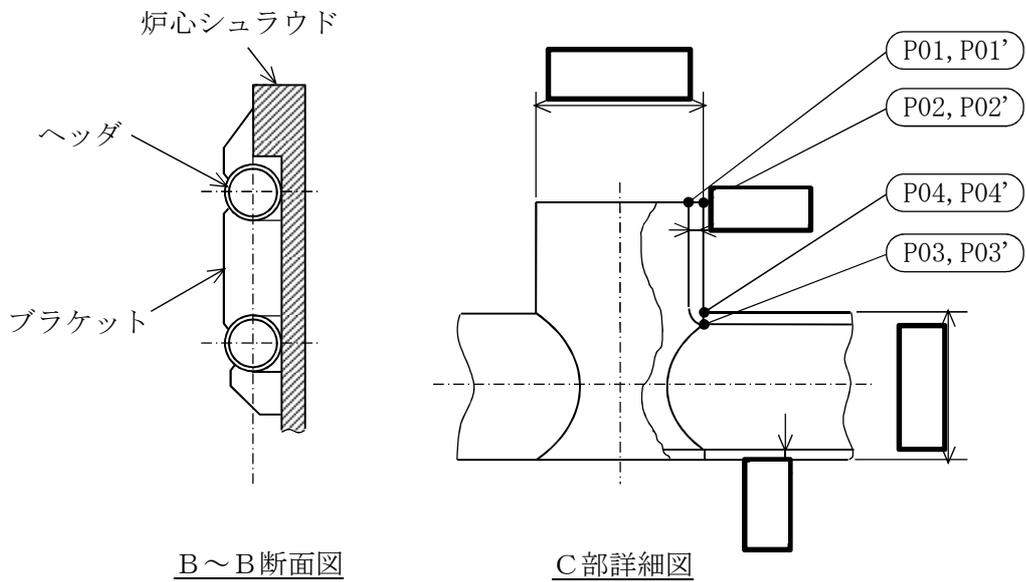
1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。



A~A矢視図



 : 応力評価点
 : J I S 相当材
 : 材 料

図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力強さ	許容値	応力評価面	応力強さ	許容値	応力評価面
パイプ SUS304LTP	Ⅲ _A S	7	94	P01-P02	12	141	P01-P02
	Ⅳ _A S	8	150	P01-P02	14	226	P01-P02
ヘッド SUS304LTP	Ⅲ _A S	6	94	P03-P04	37	141	P03-P04
	Ⅳ _A S	7	150	P03-P04	43	226	P03-P04

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容**限界**

物性値及び許容**限界**は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

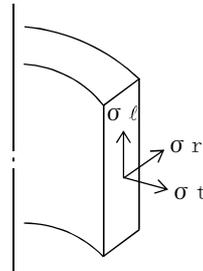
応力の記号と方向は、以下のとおりとする。

σ_t : 周方向応力

σ_l : 軸方向応力

σ_r : 半径方向応力

τ_{tl} : せん断応力



3. 荷重条件

3.1 計算方法

材料及び形状に関するデータから、固有周期を求める。さらに、入力加速度に対する各節点の軸力、せん断力及びモーメントの最大値を求める。

以上の計算は、解析コード「MSC NASTRAN」を用いて行う。

3.2 解析モデル及び諸元

本機器の形状を図 1-1 に示し、解析モデルを図 3-1 に示す。

また、各節点の座標及び解析モデルのデータ諸元を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

支持条件は、

とする。

3.3 死荷重

高圧及び低圧炉心スプレイスパーージャ評価に用いる死荷重を表 3-6 に示す。

3.4 固有周期

高圧及び低圧炉心スプレイスパーージャの固有値解析の結果を表 3-3 に示す。固有値解析より一次固有周期は、 s であることから、剛であることを確認した。

3.5 地震荷重

3.5.1 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「V-2-3-2 炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表 3-4、表 3-5 に示す。

3.5.2 地震荷重

図 3-1 に示す解析モデルに 3.4.1 節で設定した地震力を入力することにより、高圧及び低圧炉心スプレイスパーージャの評価位置に発生する荷重を地震荷重とする。

算出された地震荷重を表 3-6 に示す。

4. 応力計算

4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

また、各応力評価点の断面性状を表 4-1 に示す。

4.2 差圧による応力

4.2.1 荷重条件 (L02)

各運転条件における差圧を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、各許容応力状態での応力は、比例計算により求める。

4.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

差圧 P_{74} による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P_{74}$$

$$\sigma_\ell = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P_{74}$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P_{74}$$

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

(2) 一次一般膜+一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜+一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

4.3 外荷重による応力

4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

高圧及び低圧炉心スプレイスパーージャに働く外荷重を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

4.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot r_m$$

ここで、
$$r_m = \frac{D_i + D_o}{4}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次一般膜＋一次曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A} \pm \frac{M}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

4.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力の分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の 5.4 節に示す。

5. 応力強さの評価

5.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 5-1 に示す。

表 5-1 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

5.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 5-2 に示す。

表 5-2 より、各許容応力状態の一次一般膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

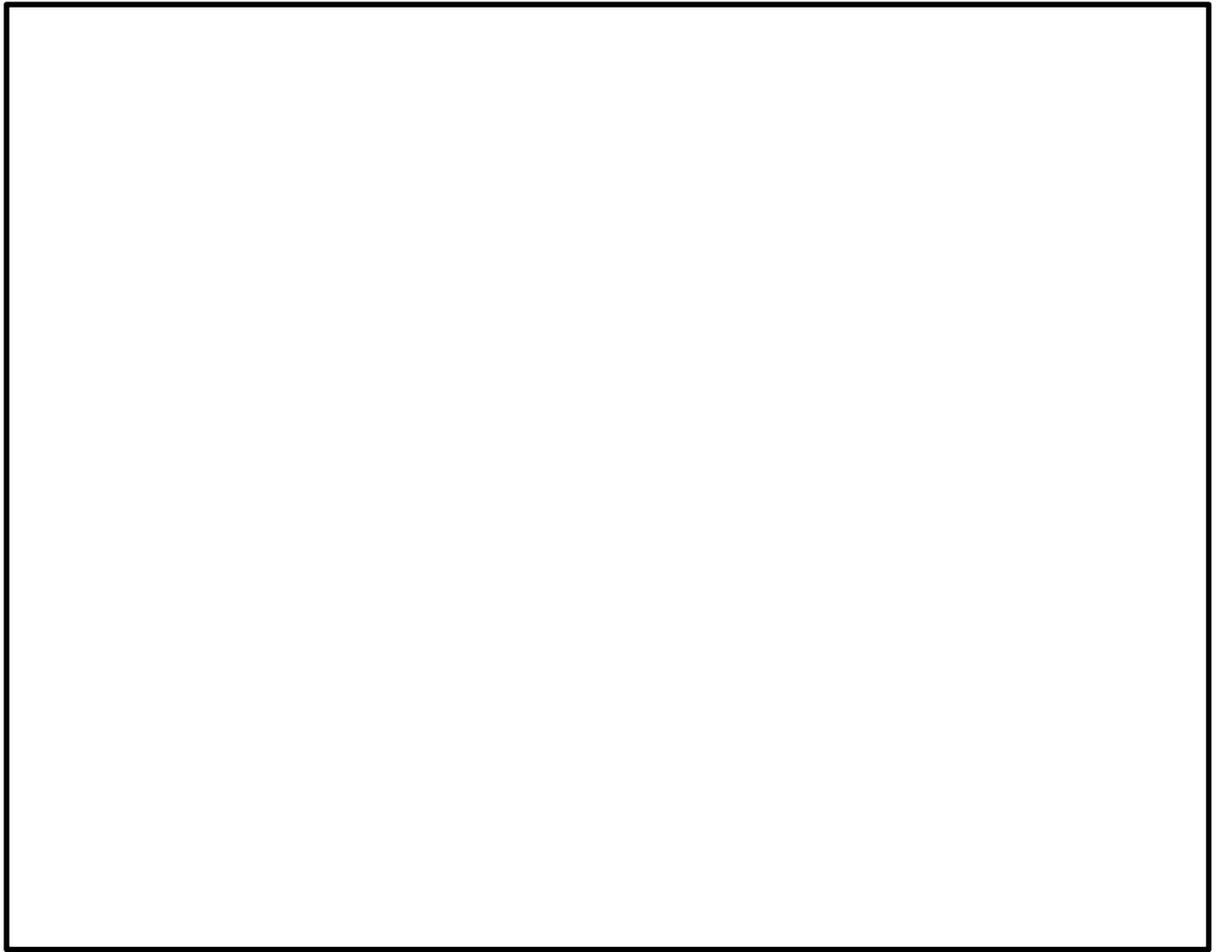


図 3-1 解析モデル

表 3-1 節点座標

(単位：mm)

節点番号	座標		
	X	Y	Z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			

表 3-2 解析モデルのデータ諸元

部材端の節点番号	断面寸法 (mm)		縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比	密度 (kg/mm ³)
	外径	厚さ			
1～ 2					
2～15, 2-16, 16～30					

表 3-3 固有周期

部分	次数	固有周期
		(s)
高圧及び低圧炉心スプレイスパーチャ	1	

表 3-4 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉圧力容器内 EL. 29.50~30.56 m	0.05 以下*	$C_H=1.68$	$C_V=0.77$	$C_H=2.54$	$C_H=1.42$

注記 * : 固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 3-5 設計用地震力（重大事故対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉圧力容器内 EL. 29.50~30.56 m	0.05 以下*	—	—	$C_H=2.54$	$C_H=1.42$

注記 * : 固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 3-6 高圧及び低圧炉心スプレイスパーージャ外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	ねじり モーメント	曲げ モーメント
			F _L (N)	F _s (N)	T (N・m)	M (N・m)
L04	死荷重	A				
		B				
L14	地震荷重 S _d *	A				
		B				
L16	地震荷重 S _s	A				
		B				

注記 * : 流体反力を含む。

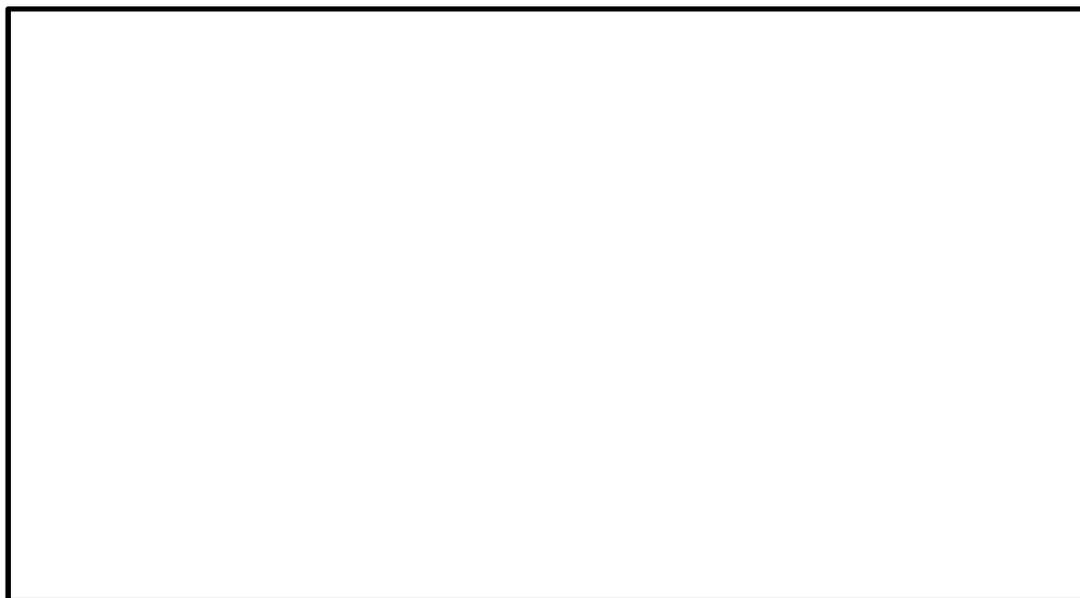


表 4-1 断面性状

応力評価点	t (mm)	D _o (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
P01, P02				
P03, P04				

表 5-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	7	94*	8	150*
P01' P02'	7	94*	7	150*
P03 P04	6	94*	7	150*
P03' P04'	6	94*	6	150*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

表 5-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	12	141*	14	226*
P01' P02'	10	141*	12	226*
P03 P04	37	141*	43	226*
P03' P04'	36	141*	42	226*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-999 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-3-4-4-8 残留熱除去系配管（原子炉压力容器内部）
の耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	1
1.4 計算結果の概要	1
2. 計算条件	4
2.1 解析範囲	4
2.2 設計条件	4
2.3 運転条件	4
2.4 材料	4
2.5 物性値及び許容 限界	4
2.6 応力の記号と方向	4
3. 荷重条件	5
3.1 計算方法	5
3.2 解析モデル及び諸元	5
3.3 死荷重	5
3.4 固有周期	5
3.5 地震荷重	5
3.5.1 設計用地震力	5
3.5.2 地震荷重	5
4. 応力計算	6
4.1 応力評価点	6
4.2 差圧による応力	6
4.2.1 荷重条件 (L02)	6
4.2.2 計算方法	6
4.3 外荷重による応力	7
4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)	7
4.3.2 計算方法	7
4.4 応力の評価	7
5. 応力強さの評価	8
5.1 一次一般膜応力強さの評価	8
5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	解析モデル	9
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	節点座標	10
表 3-2	解析モデルのデータ諸元	11
表 3-3	固有周期	12
表 3-4	設計用地震力（設計基準対象施設）	13
表 3-5	設計用地震力（重大事故等対処設備）	13
表 3-6	残留熱除去系配管外荷重	14
表 4-1	断面性状	15
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	16
表 5-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	17

1. 一般事項

本計算書は、残留熱除去系配管（原子炉压力容器内部）（以下「残留熱除去系配管」という。）の耐震性についての計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-4-4-1 原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）の 2 章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
t	厚さ	mm

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

- a. 差圧
- b. 外荷重

差圧の値を「応力解析の方針」の 4 章に示す。外荷重の値を「3. 荷重条件」に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。

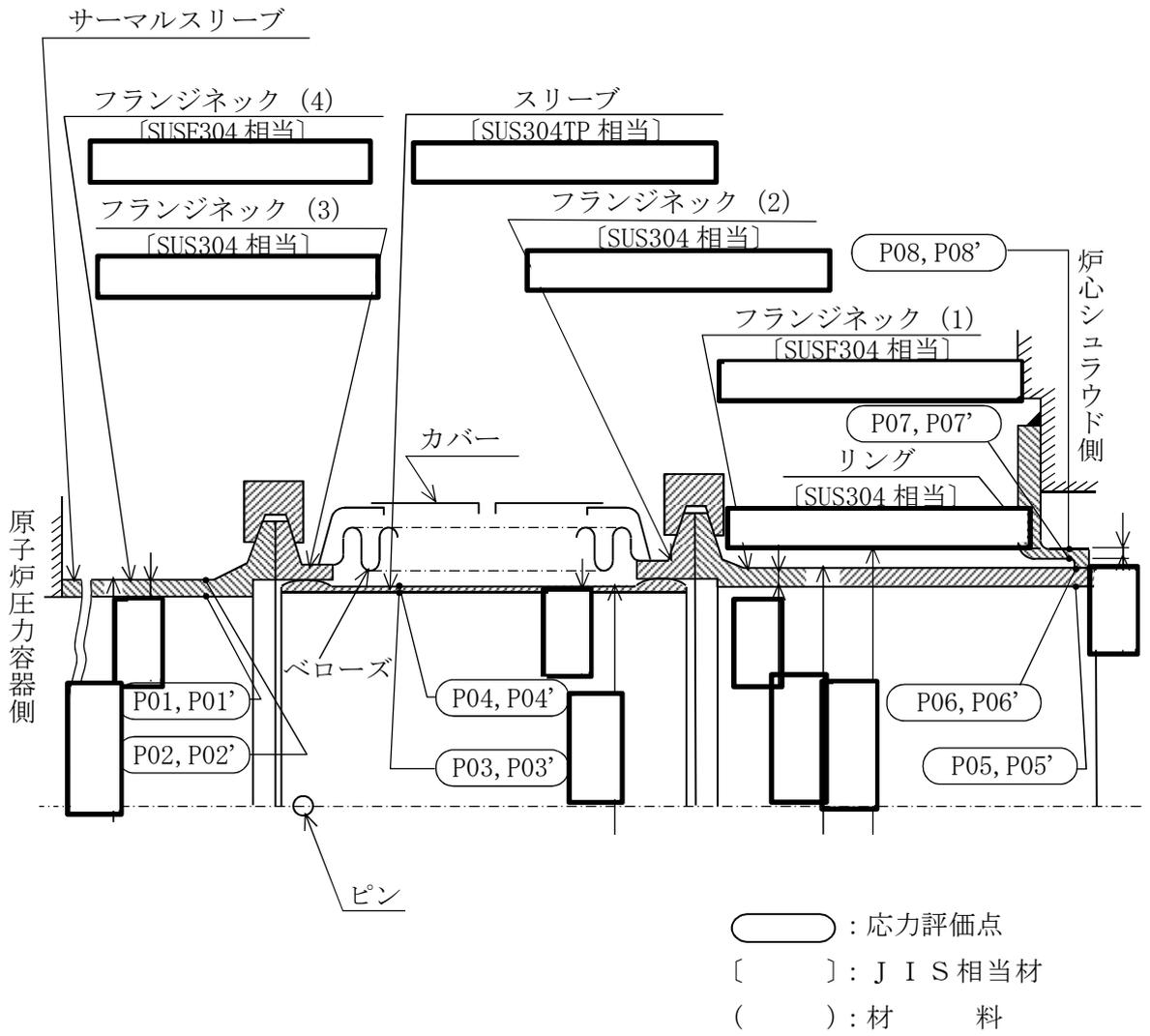


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位 : mm)

表 1-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力強さ	許容値	応力評価面	応力強さ	許容値	応力評価面
フランジネック (4) SUSF304	Ⅲ _A S	1	111	P01-P02	1	167	P01-P02
	Ⅳ _A S	1	169	P01-P02	1	254	P01-P02
スリーブ SUS304TP	Ⅲ _A S	4	172	P03-P04	4	258	P03-P04
	Ⅳ _A S	4	260	P03-P04	4	391	P03-P04
フランジネック (1) SUSF304	Ⅲ _A S	2	68	P05-P06	2	103	P05-P06
	Ⅳ _A S	2	104	P05-P06	2	156	P05-P06
リング SUS304	Ⅲ _A S	4	172	P07-P08	4	258	P07-P08
	Ⅳ _A S	5	260	P07-P08	5	391	P07-P08

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容**限界**

物性値及び許容**限界**は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

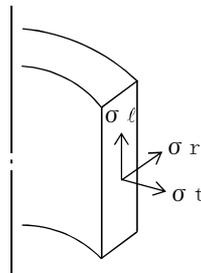
応力の記号と方向は、以下のとおりとする。

σ_t : 周方向応力

σ_l : 軸方向応力

σ_r : 半径方向応力

τ_{tl} : せん断応力



3. 荷重条件

3.1 計算方法

材料及び形状に関するデータから、固有周期を求める。さらに、入力加速度に対する各節点の軸力、せん断力及びモーメントの最大値を求める。

以上の計算は、解析コード「MSC NASTRAN」を用いて行う。

3.2 解析モデル及び諸元

本機器の形状を図 1-1 に示し、解析モデルを図 3-1 に示す。

また、各節点の座標及び解析モデルのデータ諸元を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

支持条件は、

を考慮する。

3.3 死荷重

残留熱除去系配管の評価に用いる死荷重を表 3-6 に示す。

3.4 固有周期

残留熱除去系配管の固有値解析の結果を表 3-3 に示す。固有値解析より一次固有周期は、であるから、剛であることを確認した。

3.5 地震荷重

3.5.1 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「V-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表 3-4，表 3-5 に示す。

3.5.2 地震荷重

図 3-1 に示す解析モデルに 3.4.1 節で設定した地震力を入力することにより，残留熱除去系配管の評価位置に発生する荷重を地震荷重とする。

算出された地震荷重を表 3-6 に示す。

4. 応力計算

4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

また、各応力評価点の断面性状を表 4-1 に示す。

4.2 差圧による応力

4.2.1 荷重条件 (L02)

各運転条件における差圧を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、各許容応力状態での応力は、比例計算により求める。

4.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

差圧 P_{135} による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P_{135}$$

$$\sigma_\ell = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P_{135}$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P_{135}$$

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

(2) 一次一般膜+一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜+一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

4.3 外荷重による応力

4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

残留熱除去系配管に働く外荷重を表 3-4 示す。

4.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot r_m$$

$$\text{ここで, } r_m = \frac{D_i + D_o}{4}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次一般膜＋一次曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A} \pm \frac{M}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

4.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力の分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の 5.4 節に示す。

5. 応力強さの評価

5.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 5-1 に示す。

表 5-1 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

5.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 5-2 に示す。

表 5-2 より、各許容応力状態の一次一般膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。



図 3-1 解析モデル

表 3-1 節点座標

(単位：mm)

節点番号	座標		
	X	Y	Z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			

表 3-2 解析モデルのデータ諸元

部材端の節点番号	断面寸法 (mm)		縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比	密度 (kg/mm ³)
	外径	厚さ			
1~10					
10~13					
13~17					
17~20					
20~21					
21~22					

注：節点 12 に対しては、集中荷重 を付加させる。

節点 18 に対しては、集中荷重 を付加させる。

表 3-3 固有周期

部分	次数	固有周期
		(s)
残留熱除去系配管	1	

表 3-4 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉压力容器内 EL. 29.50~30.56 m	0.05 以下*	$C_H=1.68$	$C_V=0.77$	$C_H=2.54$	$C_H=1.42$

注記 *：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 3-5 設計用地震力（重大事故対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉压力容器内 EL. 29.50~30.56 m	0.05 以下*	—	—	$C_H=2.54$	$C_H=1.42$

注記 *：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 3-6 残留熱除去系配管外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	ねじり モーメント	曲げ モーメント
			F _L (N)	F _s (N)	T (N・m)	M (N・m)
L04	死荷重	A				
		B				
		C				
L14	地震荷重 S _d *	A				
		B				
		C				
L16	地震荷重 S _s	A				
		B				
		C				

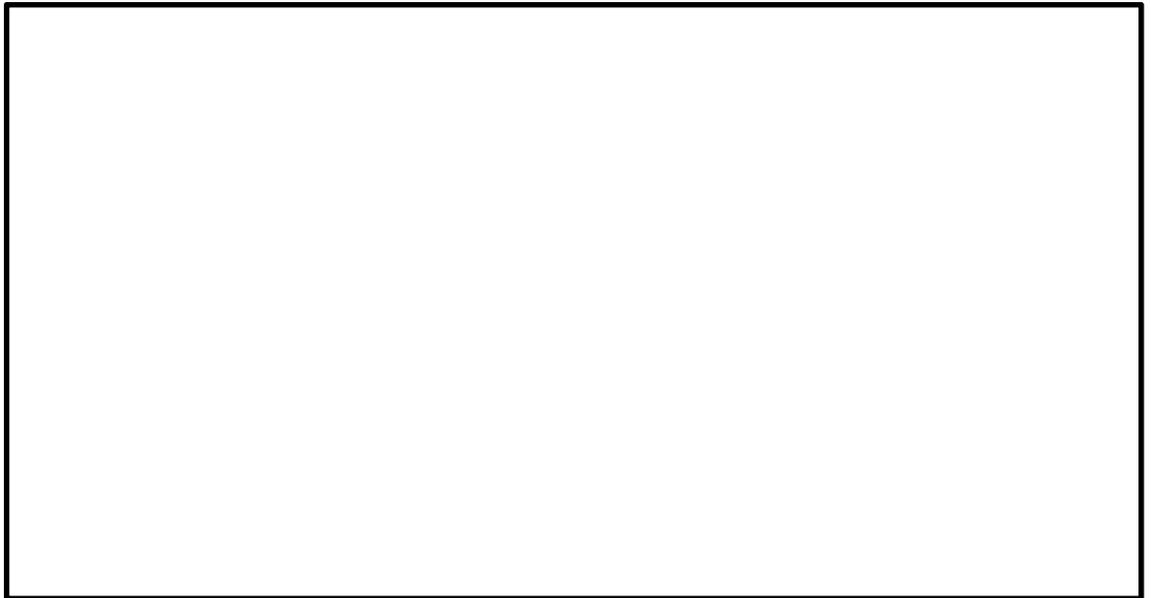


表 4-1 断面性状

応力評価点	t (mm)	D _o (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
P01, P02				
P03, P04				
P05, P06				
P07, P08				

表 5-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	1	111*	1	169*
P01' P02'	1	111*	1	169*
P03 P04	4	172	4	260
P03' P04'	4	172	4	260
P05 P06	2	68*	2	104*
P05' P06'	2	68*	2	104*
P07 P08	4	172	5	260
P07' P08'	4	172	4	260

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

表 5-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	1	167*	1	254*
P01' P02'	1	167*	1	254*
P03 P04	4	258	4	391
P03' P04'	4	258	4	391
P05 P06	2	103*	2	156*
P05' P06'	2	103*	2	156*
P07 P08	4	258	5	391
P07' P08'	4	258	4	391

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1000 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-3-4-4-9 高圧及び低圧炉心スプレイ配管（原子炉压力容器
内部）の耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	1
1.4 計算結果の概要	1
2. 計算条件	4
2.1 解析範囲	4
2.2 設計条件	4
2.3 運転条件	4
2.4 材料	4
2.5 物性値及び許容 限界	4
2.6 応力の記号と方向	4
3. 荷重条件	5
3.1 計算方法	5
3.2 解析モデル及び諸元	5
3.3 死荷重	5
3.4 固有周期	5
3.5 地震荷重	5
3.5.1 設計用地震力	5
3.5.2 地震荷重	5
4. 応力計算	6
4.1 応力評価点	6
4.2 差圧による応力	6
4.2.1 荷重条件 (L02)	6
4.2.2 計算方法	6
4.3 外荷重による応力	7
4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)	7
4.3.2 計算方法	7
4.4 応力の評価	7
5. 応力強さの評価	8
5.1 一次一般膜応力強さの評価	8
5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	解析モデル	9
図 3-2	振動モード図	13
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	節点座標	10
表 3-2	解析モデルのデータ諸元	11
表 3-3	固有周期	12
表 3-4	設計用地震力（設計基準対象施設）	15
表 3-5	設計用地震力（重大事故等対処設備）	15
表 3-6	高圧炉心スプレイ配管外荷重	16
表 3-7	低圧炉心スプレイ配管外荷重	17
表 4-1	断面性状	18
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	19
表 5-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	20

1. 一般事項

本計算書は、高圧及び低圧炉心スプレイ配管（原子炉压力容器内部）（以下「高圧及び低圧炉心スプレイ配管」という。）の耐震性についての計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-4-4-1 原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）の 2 章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

- a. 差圧
- b. 外荷重

差圧の値を「応力解析の方針」の 4 章に示す。外荷重の値を「3. 荷重条件」に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。

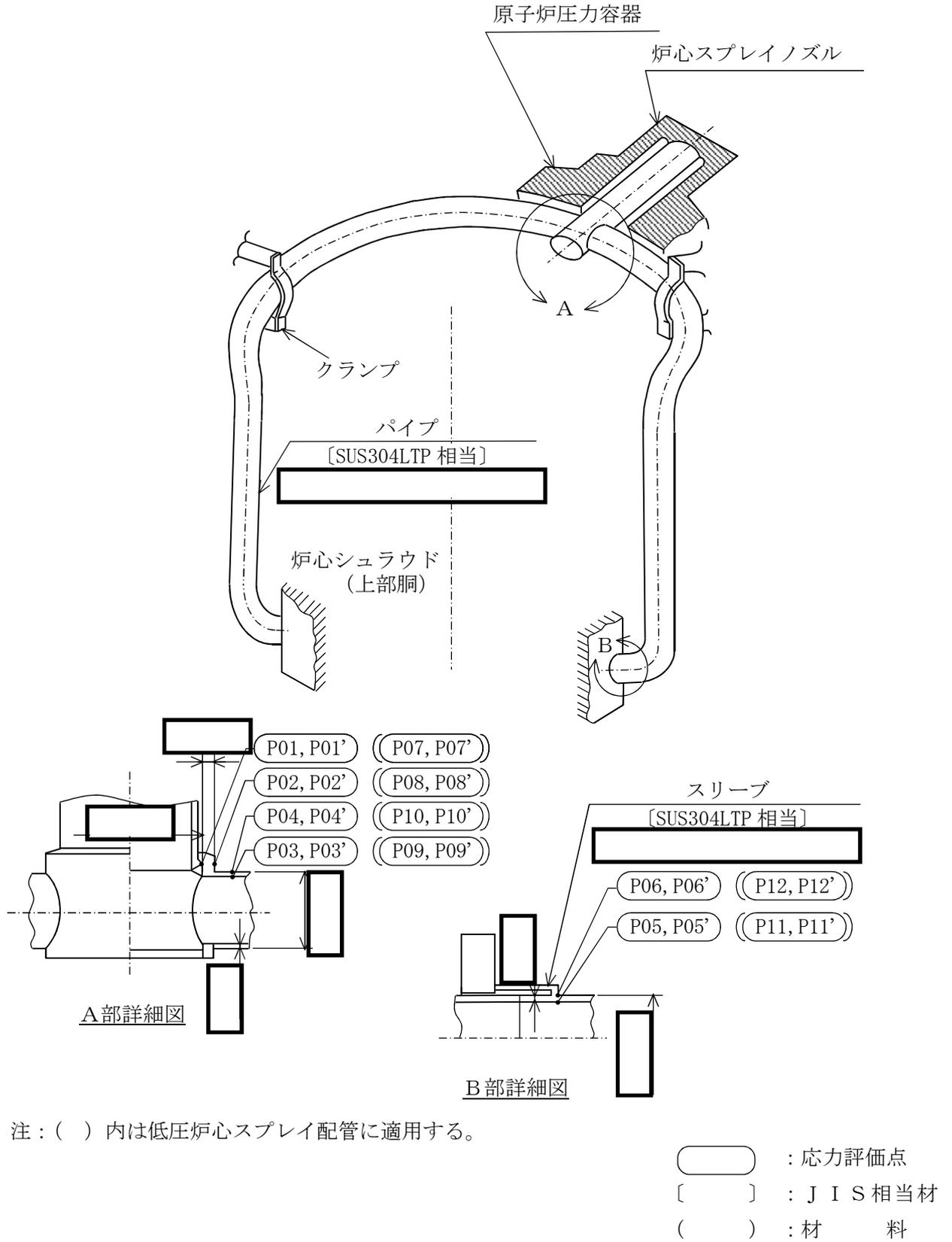


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位 : mm)

表 1-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力強さ	許容値	応力評価面	応力強さ	許容値	応力評価面
高圧炉心スプレイ配管 SUS304LTP	Ⅲ _A S	37	65	P05'-P06'	106	163	P03-P04
	Ⅳ _A S	54	104	P05'-P06'	153	261	P03-P04
低圧炉心スプレイ配管 SUS304LTP	Ⅲ _A S	47	65	P11'-P12'	142	163	P09-P10
	Ⅳ _A S	78	104	P11'-P12'	228	261	P09-P10

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容**限界**

物性値及び許容**限界**は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

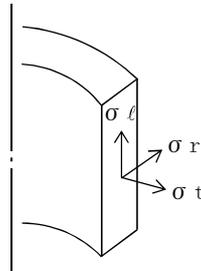
応力の記号と方向は、以下のとおりとする。

σ_t : 周方向応力

σ_l : 軸方向応力

σ_r : 半径方向応力

τ_{tl} : せん断応力



3. 荷重条件

3.1 計算方法

材料及び形状に関するデータから、固有周期を求める。さらに、入力加速度に対する各節点の軸力、せん断力及びモーメントの最大値を求める。

以上の計算は、解析コード「MSC NASTRAN」を用いて行う。

3.2 解析モデル及び諸元

本機器の形状を図 1-1 に示し、解析モデルを図 3-1 に示す。

また、各節点の座標及び解析モデルのデータ諸元を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

支持条件は、

とする。

3.3 死荷重

高圧及び低圧炉心スプレイ配管の評価に用いる死荷重を表 3-6 及び表 3-7 に示す。

3.4 固有周期

高圧及び低圧炉心スプレイ配管の固有周期を表 3-3 に示す。

3.5 地震荷重

3.5.1 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「V-2-3-2 炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」及び「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

評価に用いる設計用地震力を表 3-4、表 3-5 に示す。

3.5.2 地震荷重

図 3-1 に示す解析モデルに 3.4.1 節で設定した地震力を入力することにより、中性子計測案内管の評価位置に発生する荷重を地震荷重とする。

算出された地震荷重を表 3-6 及び表 3-7 に示す。

4. 応力計算

4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

また、各応力評価点の断面性状を表 4-1 に示す。

4.2 差圧による応力

4.2.1 荷重条件 (L02)

各運転条件における差圧を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、各許容応力状態での応力は、比例計算により求める。

4.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

差圧 P_{75} による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P_{75}$$

$$\sigma_\ell = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P_{75}$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P_{75}$$

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

(2) 一次一般膜+一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜+一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

4.3 外荷重による応力

4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

高圧及び低圧炉心スプレイ配管に働く外荷重を表 3-6, 表 3-7 に示す。

4.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot r_m$$

$$\text{ここで, } r_m = \frac{D_i + D_o}{4}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次一般膜＋一次曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A} \pm \frac{M}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

4.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力の分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の 5.4 節に示す。

5. 応力強さの評価

5.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 5-1 に示す。

表 5-1 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

5.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 5-2 に示す。

表 5-2 より、各許容応力状態の一次一般膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

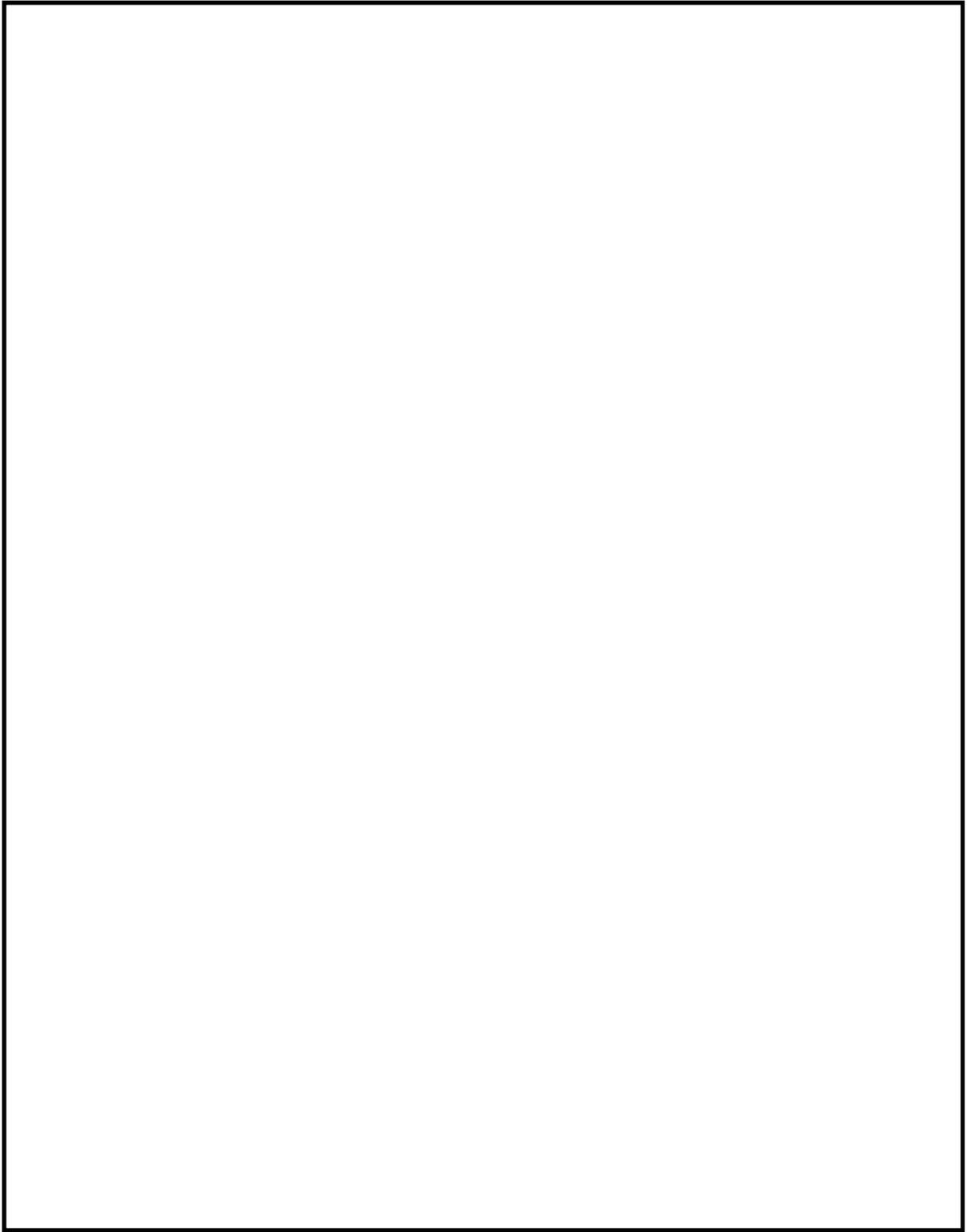


図 3-1 解析モデル

表 3-1 節点座標

(単位：mm)

節点番号	座標*		
	X	Y	Z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			

注記 * : () 内は、低圧炉心スプレイ配管に適用する。

表 3-2 解析モデルのデータ諸元

部材端の節点番号	断面寸法 (mm)		縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比	密度 (kg/mm ³)
	外径	厚さ			
1～ 3					
3～ 4					
4～18, 4-20, 20～29					
18～19, 29～30					

表 3-3(1) 固有周期（高压炉心スプレイ配管）

部分	次数	固有周期	刺激係数		
		(s)	X	Y	Z
高压炉心スプレイ 配管	1				
	2				
	3				

表 3-3(2) 固有周期（低压炉心スプレイ配管）

部分	次数	固有周期	刺激係数		
		(s)	X	Y	Z
低压炉心スプレイ 配管	1				
	2				
	3				

(単位 : Hz)

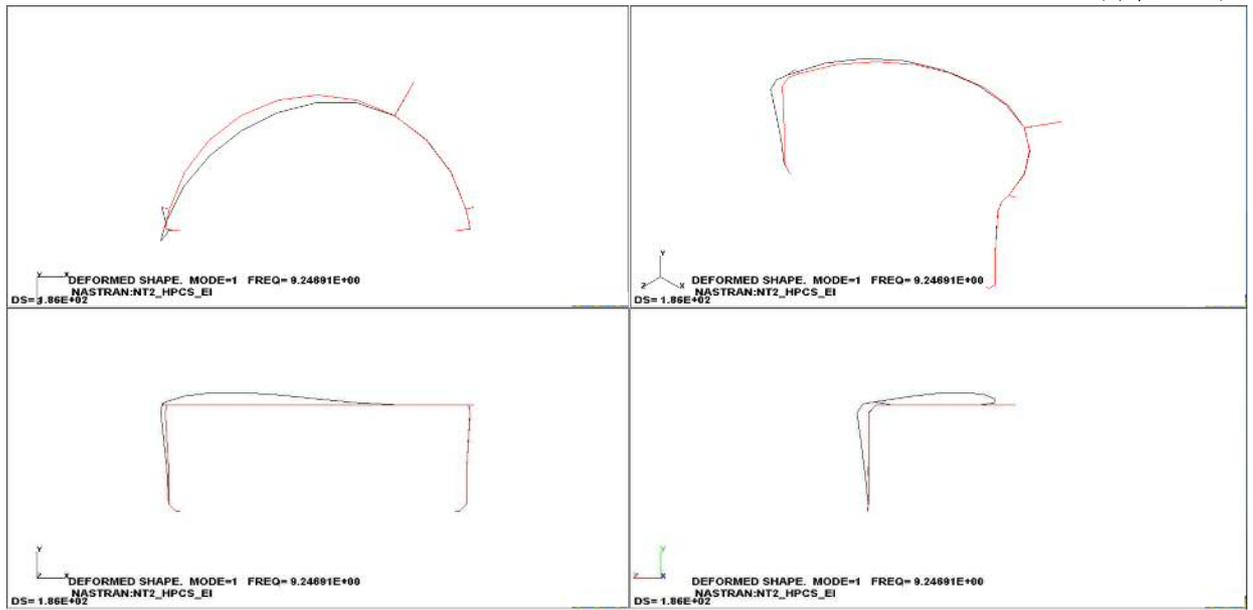


図 3-2(1) 振動モード図 (高圧炉心スプレイ配管 1次)

(単位 : Hz)

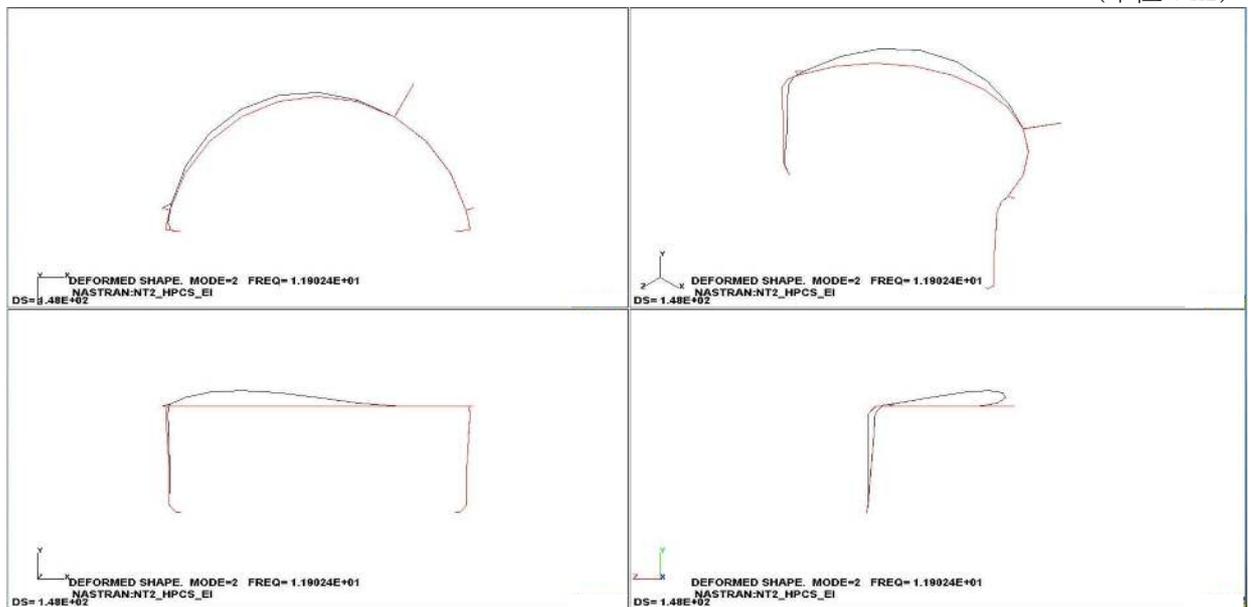


図 3-2(2) 振動モード図 (高圧炉心スプレイ配管 2次)

(単位 : Hz)

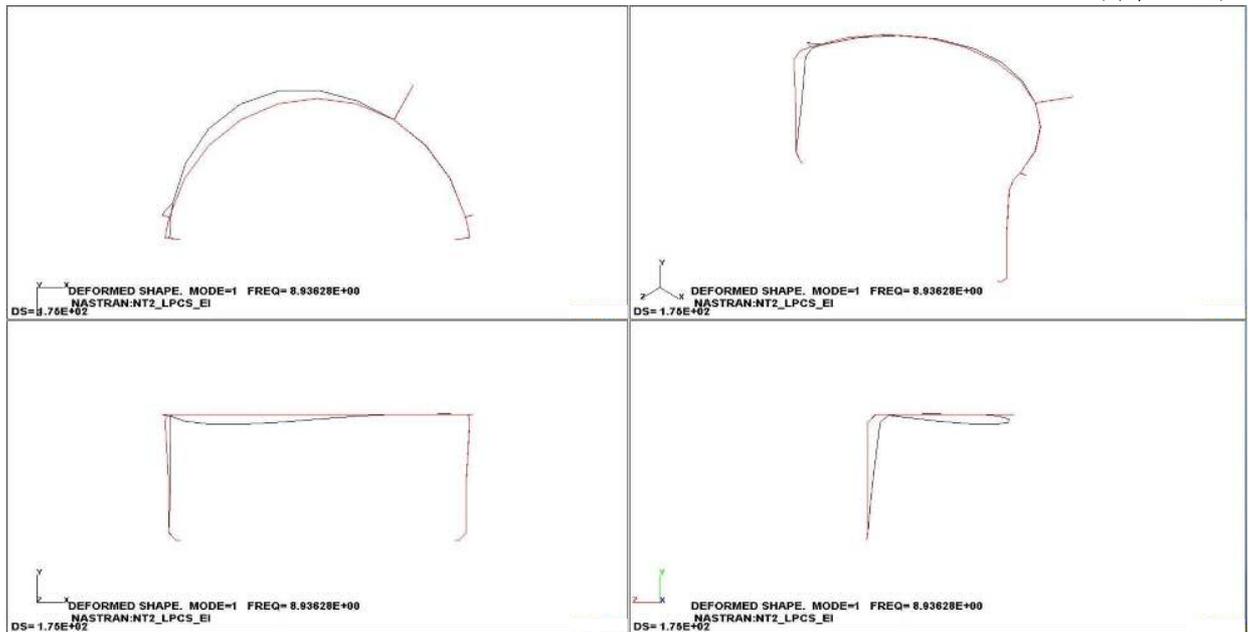


図 3-2(3) 振動モード図 (低圧炉心スプレイ配管 1次)

(単位 : Hz)

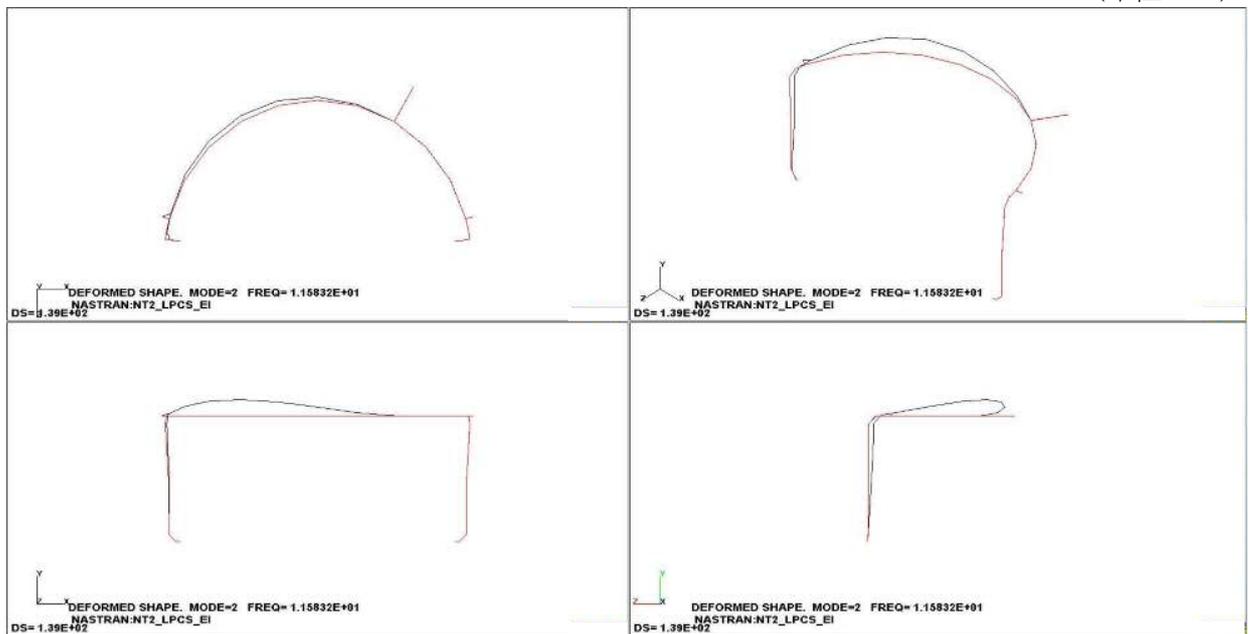


図 3-2(4) 振動モード図 (低圧炉心スプレイ配管 2次)

表 3-4 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び設置高さ(m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		減衰定数(%)	
	HPCS	LPCS	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平 方向	鉛直 方向
原子炉压力容器内 EL. 31.54~33.13 m								

注記 *1：基準地震動 S_d に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*2：基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

表 3-5 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び設置高さ(m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		減衰定数(%)	
	HPCS	LPCS	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平 方向	鉛直 方向
原子炉压力容器内 EL. 31.54~33.13 m								

注記 *：基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

表 3-6 高圧炉心スプレィ配管外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	ねじり モーメント	曲げ モーメント
			F _L (N)	F _S (N)	T (N・m)	M (N・m)
L04	死荷重	A				
		B				
		C				
L14	地震荷重 S _d *	A				
		B				
		C				
L16	地震荷重 S _s	A				
		B				
		C				

注記 * : 流体反力を含む。

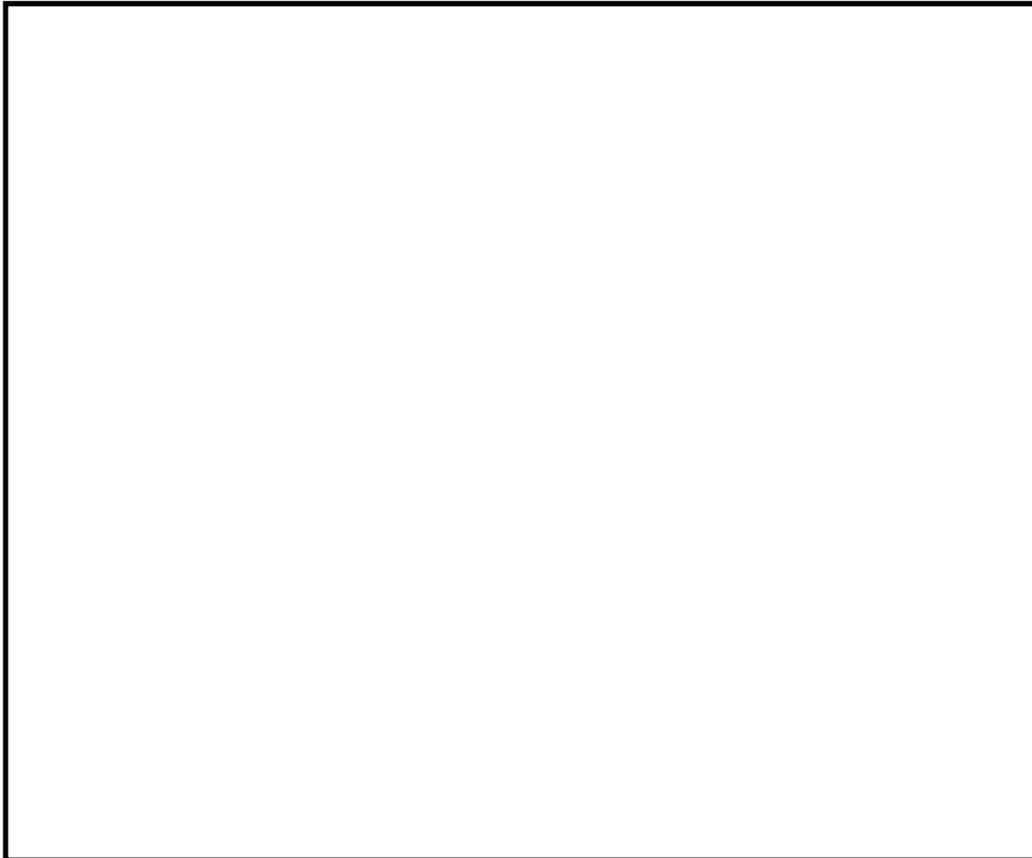


表 3-7 低圧炉心スプレイ配管外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	ねじり モーメント	曲げ モーメント
			F _L (N)	F _S (N)	T (N・m)	M (N・m)
L04	死荷重	A				
		B				
		C				
L14	地震荷重 S _d *	A				
		B				
		C				
L16	地震荷重 S _s	A				
		B				
		C				

注記 * : 流体反力を含む。

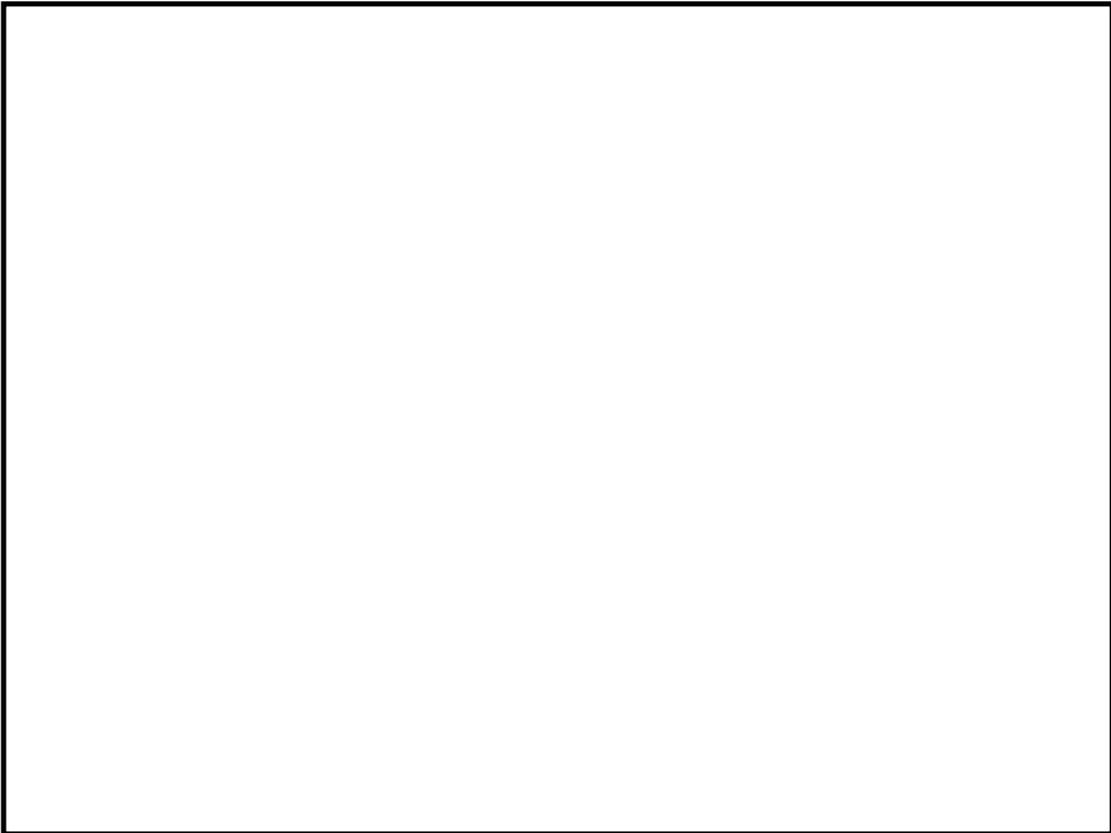


表 4-1 断面性状

応力評価点	D_o (mm)	D_i (mm)	A (mm^2)	I (mm^4)
P01, P02				
P03, P04				
P05, P06				
P07, P08				
P09, P10				
P11, P12				

表 5-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	7	65*	9	104*
P01' P02'	7	65*	10	104*
P03 P04	13	108*	19	174*
P03' P04'	14	108*	19	174*
P05 P06	36	65*	54	104*
P05' P06'	37	65*	54	104*
P07 P08	7	65*	11	104*
P07' P08'	7	65*	12	104*
P09 P10	16	108*	25	174*
P09' P10'	17	108*	25	174*
P11 P12	47	65*	78	104*
P11' P12'	47	65*	78	104*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

表 5-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	12	98*	17	156*
P01' P02'	13	98*	17	156*
P03 P04	106	163*	153	261*
P03' P04'	106	163*	153	261*
P05 P06	39	98*	57	156*
P05' P06'	40	98*	58	156*
P07 P08	16	98*	24	156*
P07' P08'	16	98*	25	156*
P09 P10	142	163*	228	261*
P09' P10'	142	163*	228	261*
P11 P12	50	98*	83	156*
P11' P12'	51	98*	84	156*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1001 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-3-4-4-10 差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉圧力容器内部）
の耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	1
1.4 計算結果の概要	1
2. 計算条件	4
2.1 解析範囲	4
2.2 設計条件	4
2.3 運転条件	4
2.4 材料	4
2.5 物性値及び許容応力	4
2.6 応力の記号と方向	4
3. 荷重条件	5
3.1 計算方法	5
3.2 解析モデル及び諸元	5
3.3 死荷重	5
3.4 固有周期	5
3.5 地震荷重	5
3.5.1 設計用地震力	5
3.5.2 地震荷重	5
4. 応力計算	6
4.1 応力評価点	6
4.2 差圧による応力	6
4.2.1 荷重条件 (L02)	6
4.2.2 計算方法	6
4.3 外荷重による応力	7
4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)	7
4.3.2 計算方法	7
4.4 応力の評価	7
5. 応力強さの評価	8
5.1 一次一般膜応力強さの評価	8
5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	解析モデル	9
図 3-2	振動モード図	12
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	節点座標	10
表 3-2	解析モデルのデータ諸元	11
表 3-3	固有周期	12
表 3-4	設計用地震力（設計基準対象施設）	13
表 3-5	設計用地震力（重大事故等対処設備）	13
表 3-6	差圧検出・ほう酸水注入管外荷重	14
表 4-1	断面性状	15
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	16
表 5-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	17

1. 一般事項

本計算書は、差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉压力容器内部）（以下「差圧検出・ほう酸水注入管」という。）の耐震性についての計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-4-4-1 原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）の 2 章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
t	厚さ	mm

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

- a. 差圧
- b. 外荷重

差圧の値を「応力解析の方針」の 4 章に示す。外荷重の値を「3. 荷重条件」に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。

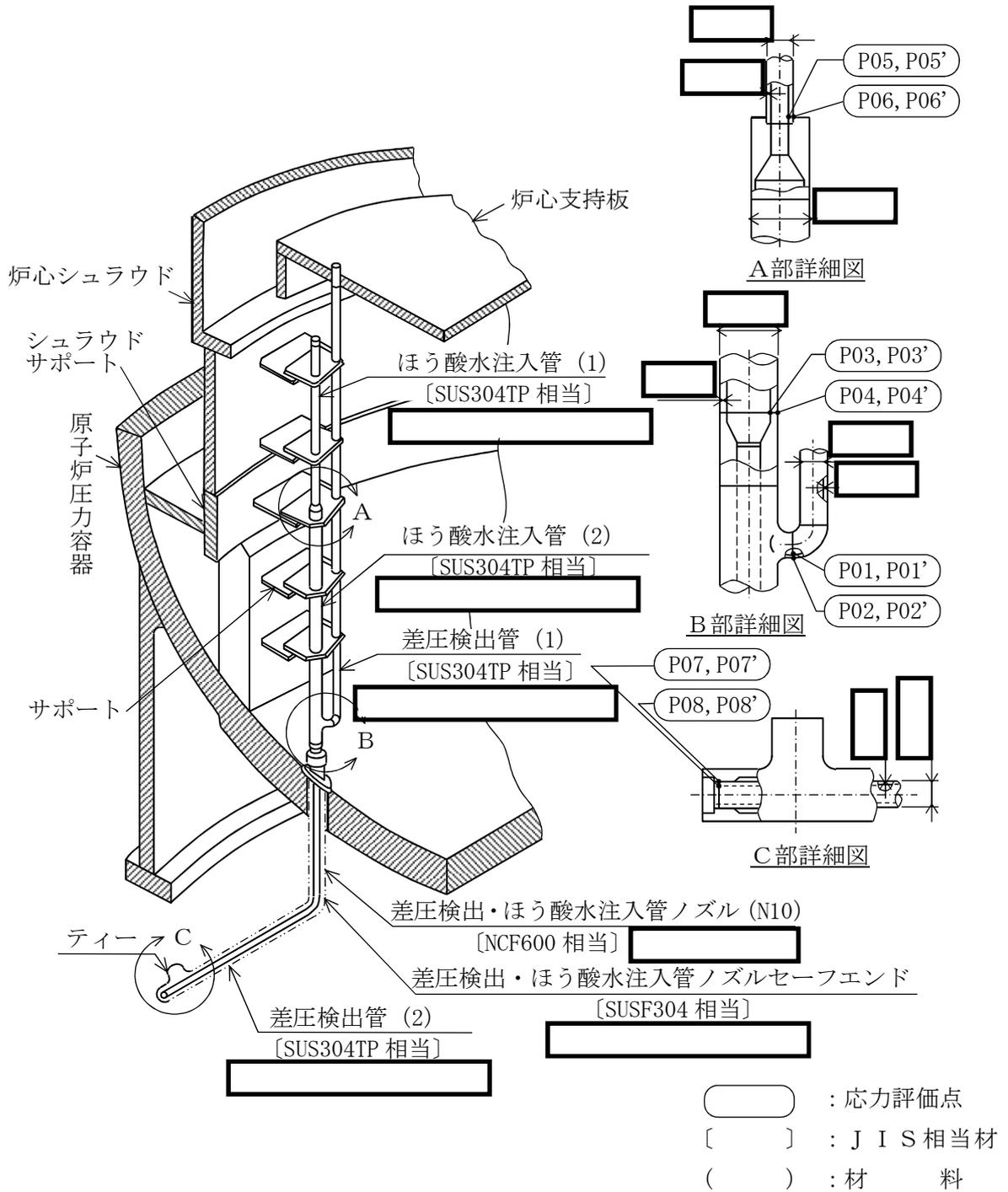


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位 : mm)

表 1-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力 強さ	許容値	応力 評価面	応力 強さ	許容値	応力 評価面
差圧検出管 SUS304TP	Ⅲ _A S	2	111	P01-P02	8	167	P01-P02
	Ⅳ _A S	2	169	P01-P02	10	254	P01-P02
ほう酸水注入管 SUS304TP	Ⅲ _A S	6	68	P07-P08	39	103	P07-P08
	Ⅳ _A S	7	104	P07-P08	47	156	P07-P08

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容**限界**

物性値及び許容**限界**は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

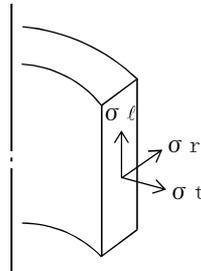
応力の記号と方向は、以下のとおりとする。

σ_t : 周方向応力

σ_l : 軸方向応力

σ_r : 半径方向応力

τ_{tl} : せん断応力



3. 荷重条件

3.1 計算方法

材料及び形状に関するデータから、固有周期を求める。さらに、入力加速度に対する各節点の軸力、せん断力及びモーメントの最大値を求める。

以上の計算は、解析コード「MSC NASTRAN」を用いて行う。

3.2 解析モデル及び諸元

本機器の形状を図 1-1 に示し、解析モデルを図 3-1 に示す。

また、各節点の座標及び解析モデルのデータ諸元を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

支持条件は、

とする。

3.3 死荷重

差圧検出・ほう酸水注入管の評価に用いる死荷重を表 3-6 に示す。

3.4 固有周期

差圧検出・ほう酸水注入管の固有周期を表 3-3 に示す。

3.5 地震荷重

3.5.1 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「V-2-3-2 炉心、原子炉压力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」及び「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

評価に用いる設計用地震力を表 3-4、表 3-5 に示す。

3.5.2 地震荷重

図 3-1 に示す解析モデルに 3.4.1 節で設定した地震力を入力することにより、差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉压力容器内部）の評価位置に発生する荷重を地震荷重とする。

算出された地震荷重を表 3-6 に示す。

4. 応力計算

4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

また、各応力評価点の断面性状を表 4-1 に示す。

4.2 差圧による応力

4.2.1 荷重条件 (L02)

各運転条件における差圧を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、各許容応力状態での応力は、比例計算により求める。

4.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

差圧 P_{13} 、 P_{81} 及び P_{83} による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = -\frac{Y}{Y-1} \cdot P_{13} \quad , \quad \sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P_{81} \quad , \quad \sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P_{83}$$

$$\sigma_l = -\frac{Y^2}{Y^2-1} \cdot P_{13} \quad , \quad \sigma_l = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P_{81} \quad , \quad \sigma_l = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P_{83}$$

$$\sigma_r = -\frac{Y}{Y+1} \cdot P_{13} \quad , \quad \sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P_{81} \quad , \quad \sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P_{83}$$

$$\text{ここで,} \quad Y = \frac{D_o}{D_i}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

4.3 外荷重による応力

4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

差圧検出・ほう酸水注入管に働く外荷重を表 3-5 に示す。

4.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot r_m$$

$$\text{ここで, } r_m = \frac{D_i + D_o}{4}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次一般膜＋一次曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A} \pm \frac{M}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

4.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力を分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の 5.4 節に示す。

5. 応力強さの評価

5.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 5-1 に示す。

表 5-1 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

5.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 5-2 に示す。

表 5-2 より、各許容応力状態の一次一般膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

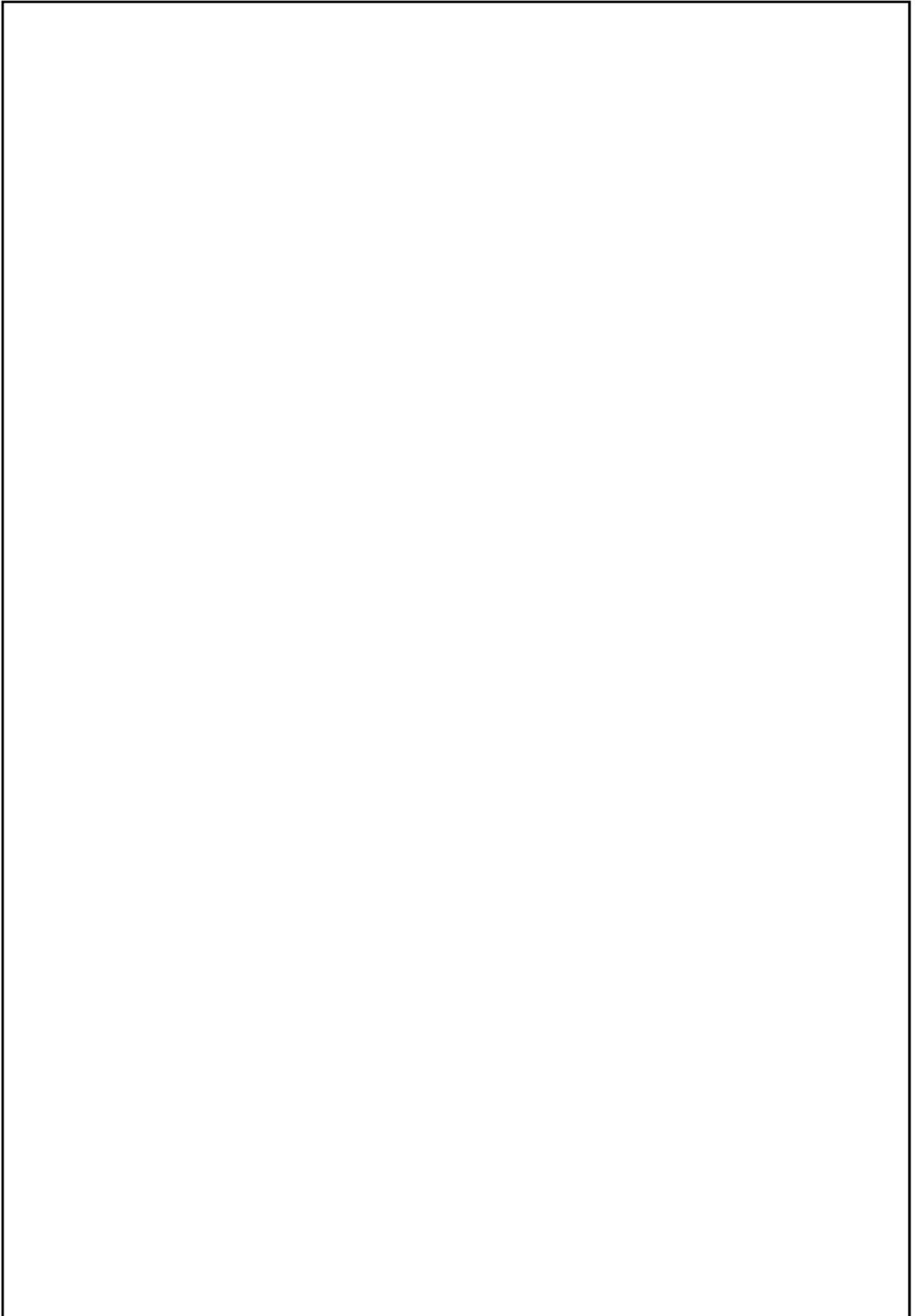


図 3-1 解析モデル

表 3-1 節点座標

(単位：mm)

節点番号	座標		
	X	Y	Z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			

表 3-2 解析モデルのデータ諸元

部材端の節点番号	断面寸法 (mm)		縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比	密度 (kg/mm ³)
	外径	厚さ			
1～ 2					
2～ 3					
3～ 5					
5～ 9					
9～11					
4-12, 12～19					
1-20					
20～21					
21～24					
5-25, 25～29, 29-24					

表 3-3 固有周期

次数	固有周期	刺激係数		
	(s)	X	Y	Z
1				
2				

(単位 : Hz)

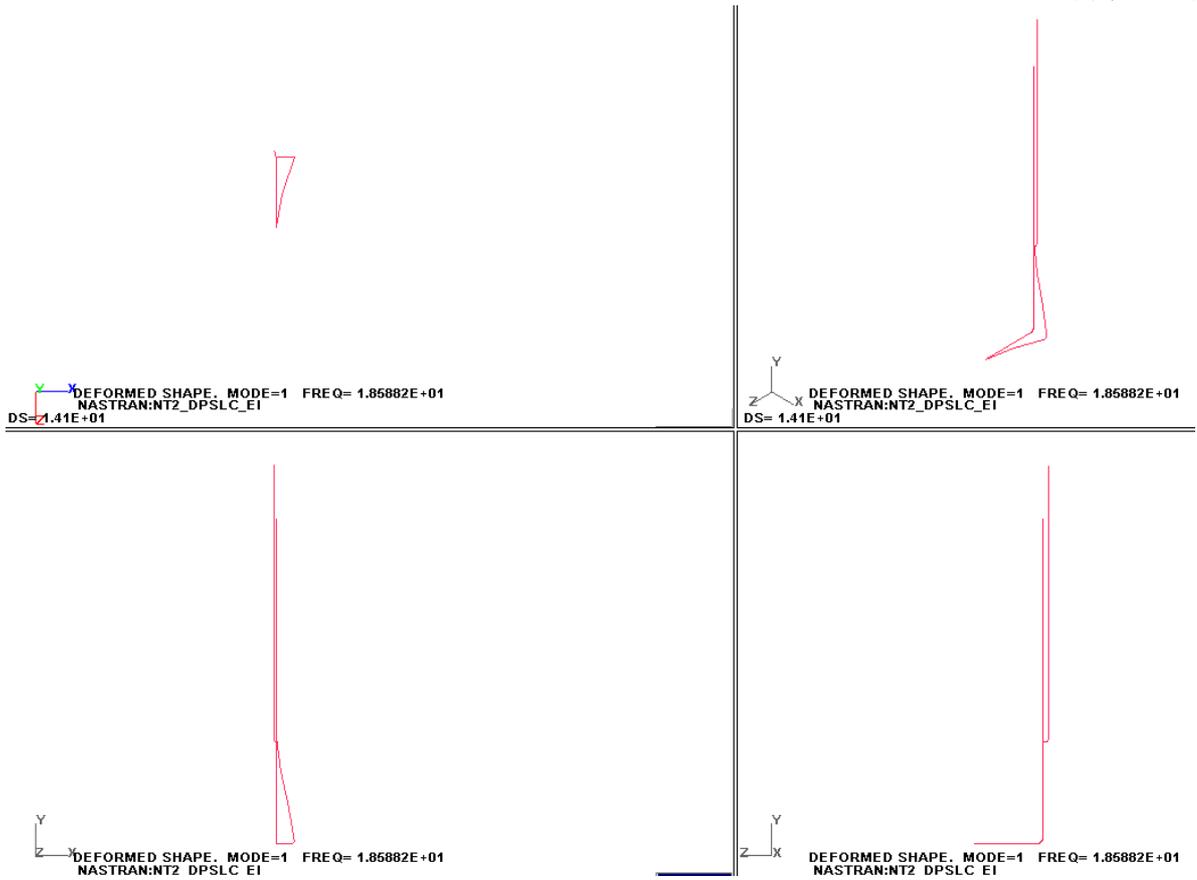


図 3-2 振動モード (1次)

表 3-4 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び設置高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		減衰定数 (%)	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平 方向	鉛直 方向
原子炉圧力容器内 EL. 20.98~25.56 m							

注記 *1: 基準地震動 S_d に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*2: 基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

表 3-5 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び設置高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		減衰定数 (%)	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平 方向	鉛直 方向
原子炉圧力容器内 EL. 20.98~25.56 m							

注記 *: 基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

表 3-6 差圧検出・ほう酸水注入管外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	ねじり モーメント	曲げ モーメント
			F _L (N)	F _S (N)	T (N・mm)	M (N・mm)
L04	死荷重	A				
		B				
		C				
		D				
L14	地震荷重 S _d *	A				
		B				
		C				
		D				
L16	地震荷重 S _s	A				
		B				
		C				
		D				

注記 * : 流体反力を含む。



表 4-1 断面性状

応力評価点	t (mm)	D _o (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
P01, P02				
P03, P04				
P05, P06				
P07, P08				

表 5-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
	P01 P02	2	111*	2
P01' P02'	2	111*	2	169*
P03 P04	8	111*	8	169*
P03' P04'	8	111*	8	169*
P05 P06	6	68*	6	104*
P05' P06'	6	68*	6	104*
P07 P08	6	68*	7	104*
P07' P08'	6	68*	7	104*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

表 5-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	8	167*	10	254*
P01' P02'	7	167*	10	254*
P03 P04	8	167*	8	254*
P03' P04'	8	167*	8	254*
P05 P06	6	103*	6	156*
P05' P06'	6	103*	6	156*
P07 P08	39	103*	47	156*
P07' P08'	39	103*	47	156*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所	工事計画審査資料
資料番号	工認-1002 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-3-4-4-11 中性子計測案内管の耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	1
1.4 計算結果の概要	1
2. 計算条件	4
2.1 解析範囲	4
2.2 設計条件	4
2.3 運転条件	4
2.4 材料	4
2.5 物性値及び許容 限界	4
2.6 応力の記号と方向	4
3. 荷重条件	5
3.1 計算方法	5
3.2 解析モデル及び諸元	5
3.3 死荷重	5
3.4 固有周期	5
3.5 地震荷重	5
3.5.1 設計用地震力	5
3.5.2 地震荷重	5
4. 応力計算	6
4.1 応力評価点	6
4.2 差圧による応力	6
4.2.1 荷重条件 (L02)	6
4.2.2 計算方法	6
4.3 外荷重による応力	7
4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)	7
4.3.2 計算方法	7
4.4 応力の評価	7
5. 応力強さの評価	8
5.1 一次一般膜応力強さの評価	8
5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	解析モデル	9
図 3-2	中性子計測案内管と中性子計測案内管スタビライザの配置及びグループ分割	10
図 3-3	振動モード図	14
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	節点座標	11
表 3-2	解析モデルのデータ諸元	12
表 3-3	固有周期	13
表 3-4	設計用地震力（設計基準対象施設）	18
表 3-5	設計用地震力（重大事故等対処設備）	18
表 3-6	中性子計測案内管外荷重	19
表 4-1	断面性状	20
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	21
表 5-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	22

1. 一般事項

本計算書は、中性子計測案内管の耐震性についての計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-4-4-1 原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）の 2 章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

- a. 差圧
- b. 外荷重

差圧の値を「応力解析の方針」の 4 章に示す。外荷重の値を「3. 荷重条件」に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。

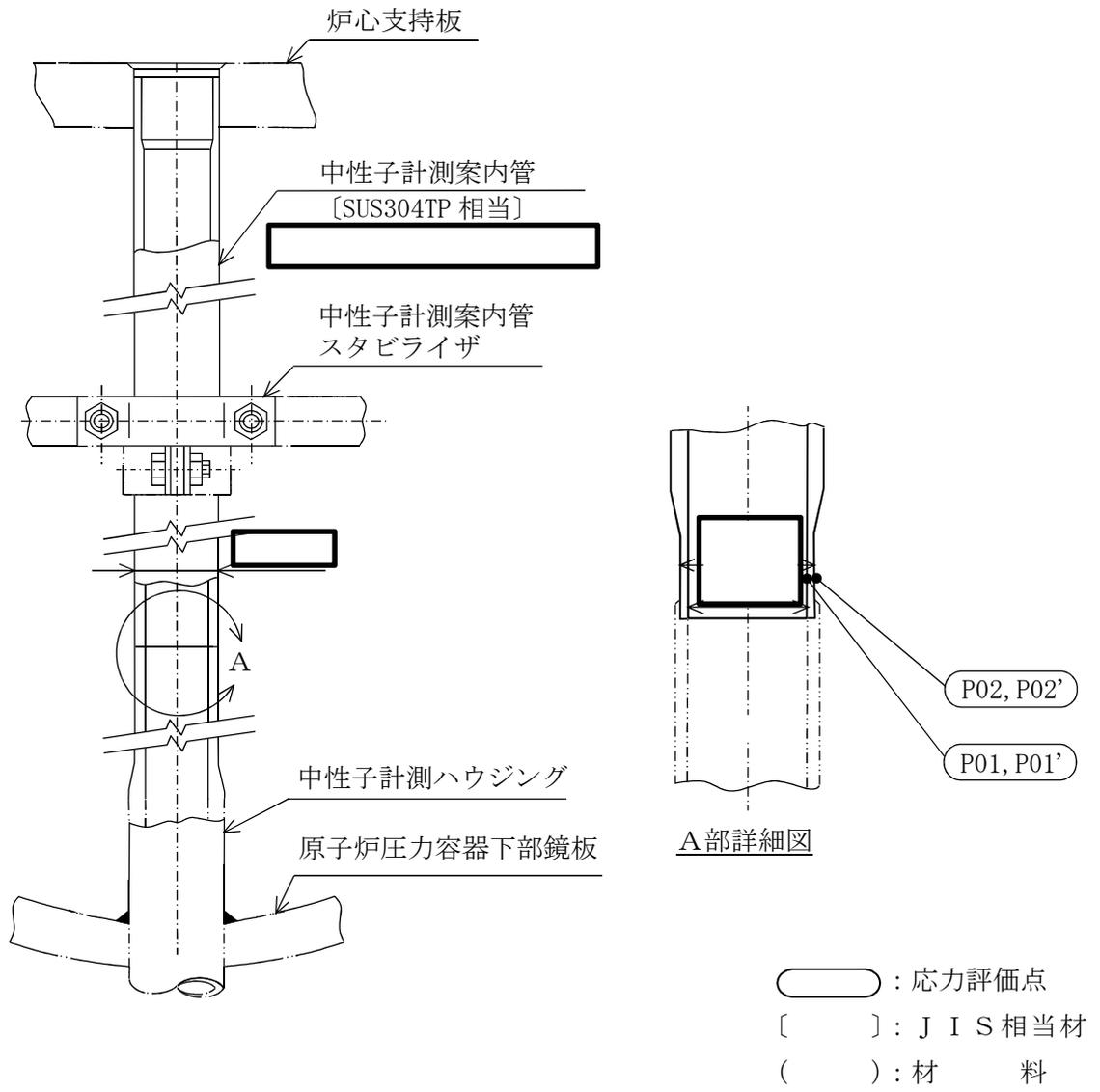


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力強さ	許容値	応力評価面	応力強さ	許容値	応力評価面
中性子計測案内管 SUS304TP	Ⅲ _A S	3	68	P01'- P02'	62	103	P01'- P02'
	Ⅳ _A S	4	104	P01'- P02'	102	156	P01'- P02'

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容**限界**

物性値及び許容**限界**は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

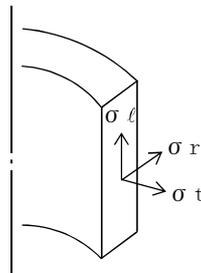
応力の記号と方向は、以下のとおりとする。

σ_t : 周方向応力

σ_l : 軸方向応力

σ_r : 半径方向応力

τ_{tl} : せん断応力



3. 荷重条件

3.1 計算方法

材料及び形状に関するデータから、固有周期を求める。さらに、入力加速度に対する各節点のせん断力及びモーメントの最大値を求める。

以上の計算は、解析コード「MSC NASTRAN」を用いて行う。

3.2 解析モデル及び諸元

本機器の形状を図 1-1 に示し、解析モデルを図 3-1 に示す。

また、各節点の座標及び解析モデルのデータ諸元を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

支持条件は、

とする。

本解析モデルは、図 3-2 に示すように

したモデルである。

3.3 死荷重

中性子計測案内管の評価に用いる死荷重を表 3-6 に示す。

3.4 固有周期

中性子計測案内管の固有周期を表 3-3 に示す。

鉛直方向については、0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

3.5 地震荷重

3.5.1 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「V-2-3-2 炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」及び「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

評価に用いる設計用地震力を表 3-4、表 3-5 に示す。

3.5.2 地震荷重

図 3-1 に示す解析モデルに 3.4.1 節で設定した地震力を入力することにより、中性子計測案内管の評価位置に発生する荷重を地震荷重とする。

算出された地震荷重を表 3-6 に示す。

4. 応力計算

4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

また、各応力評価点の断面性状を表 4-1 に示す。

4.2 差圧による応力

4.2.1 荷重条件 (L02)

各運転条件における差圧を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、各許容応力状態での応力は、比例計算により求める。

4.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

差圧 P_{110} による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = -\frac{Y}{Y-1} \cdot P_{110}$$

$$\sigma_\ell = 0$$

$$\sigma_r = -\frac{Y}{Y+1} \cdot P_{110}$$

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

(2) 一次一般膜+一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜+一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

4.3 外荷重による応力

4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

中性子計測案内管に働く外荷重を表 3-5 に示す。

4.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot r_m$$

ここで,
$$r_m = \frac{D_i + D_o}{4}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次一般膜＋一次曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A} \pm \frac{M}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

4.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力を分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の 5.4 節に示す。

5. 応力強さの評価

5.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 5-1 に示す。

表 5-1 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

5.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 5-2 に示す。

表 5-2 より、各許容応力状態の一次一般膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

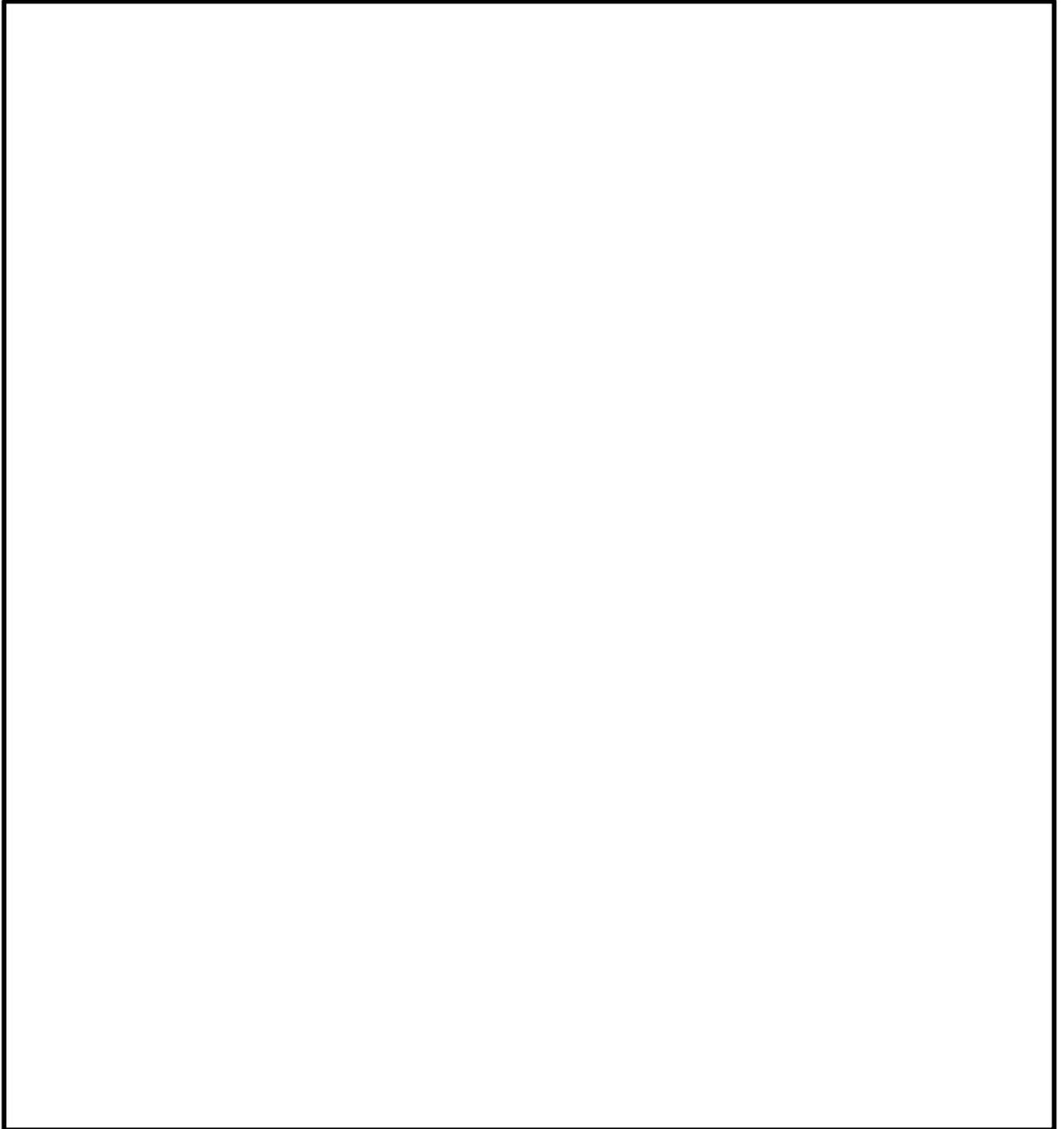


図 3-1 解析モデル

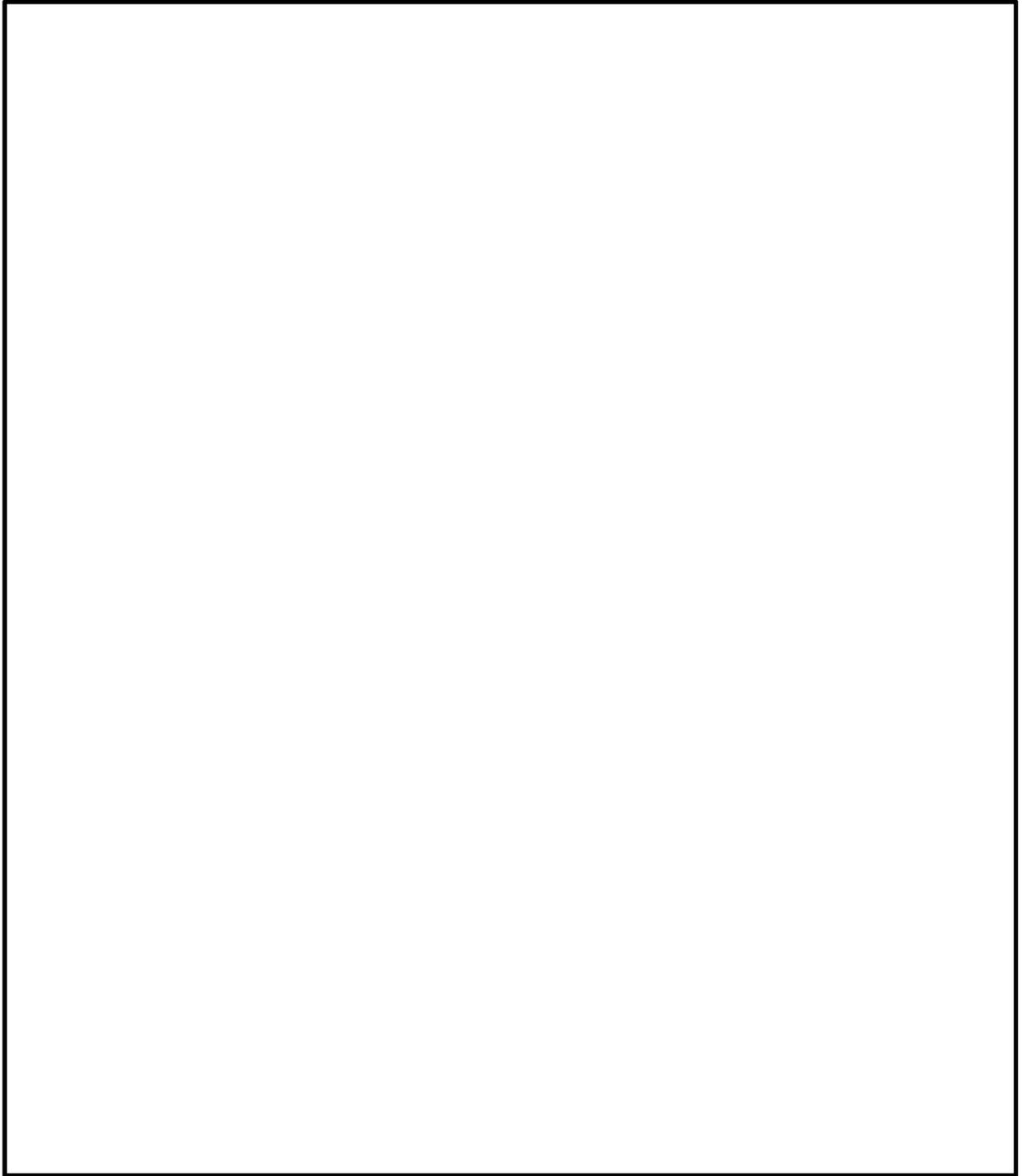


図 3-2 中性子計測案内管と中性子計測案内管スタビライザの配置及びグループ分割

表 3-1 節点座標

(単位：mm)

節点番号	座標		
	X	Y	Z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			

表 3-2 解析モデルのデータ諸元

部材端の節点番号	断面寸法 (mm)		縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比	密度 (kg/mm ³)
	外径	厚さ			
1～7					
7～8					
9～15					
15～16					
17～23					
23～24					
25～31					
31～32					
33～38					
38～39					
39～40					
41～47					
47～48					
4-12					
12-20					
12-28					
20-28					
20-36					
20-44					
28-36					
28-44					
36-44					

注記 * : () 内は, G5 グループ中の取り替えた中性子計測ハウジングの寸法を示す。

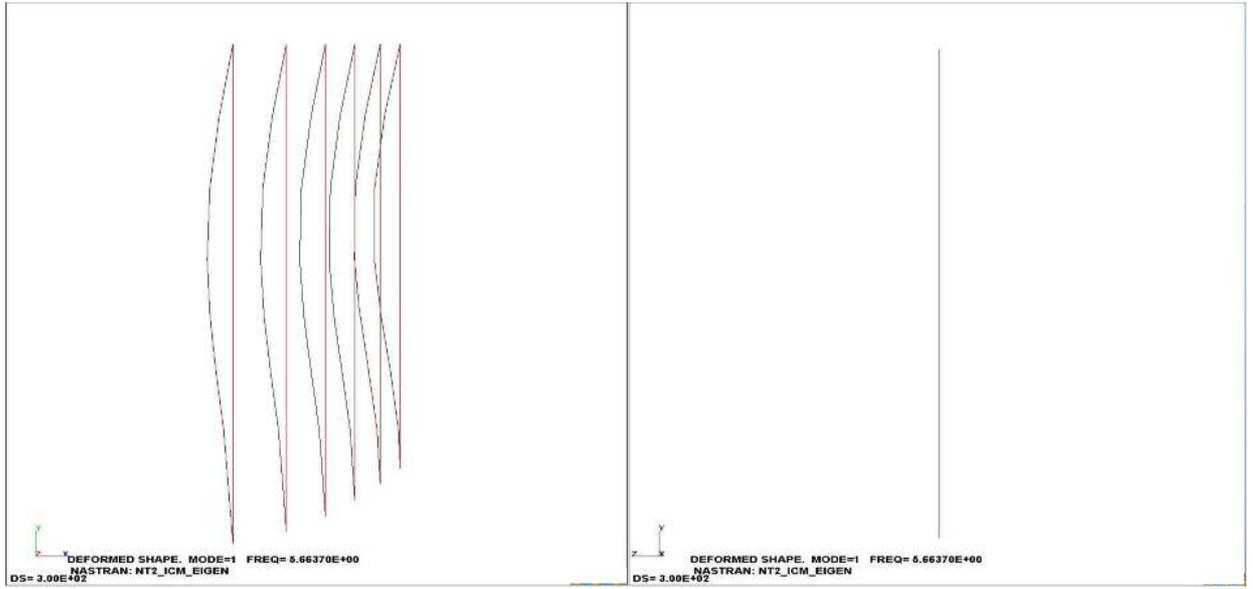
表 3-3 固有周期

(単位 : s)

次数	NS 方向	EW 方向	刺激係数		
			X	Y	Z
1					
2					
3					
4					
5					

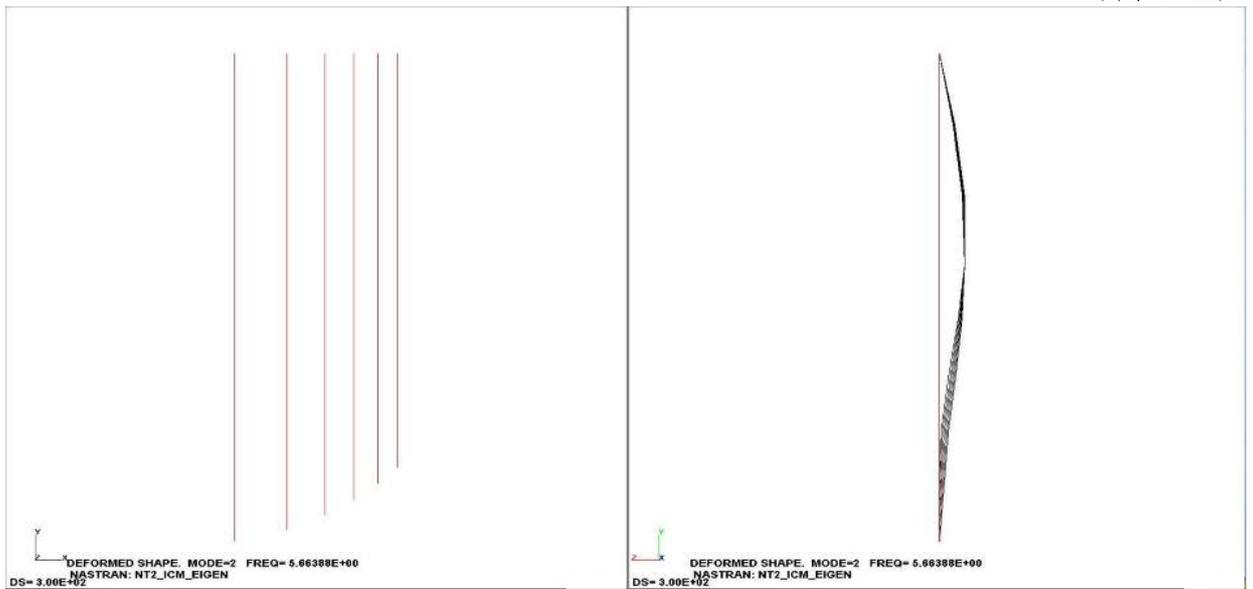
注 : 鉛直方向については, 0.05 秒以下であり, 剛であることを確認した。

(単位 : Hz)



(EW方向)

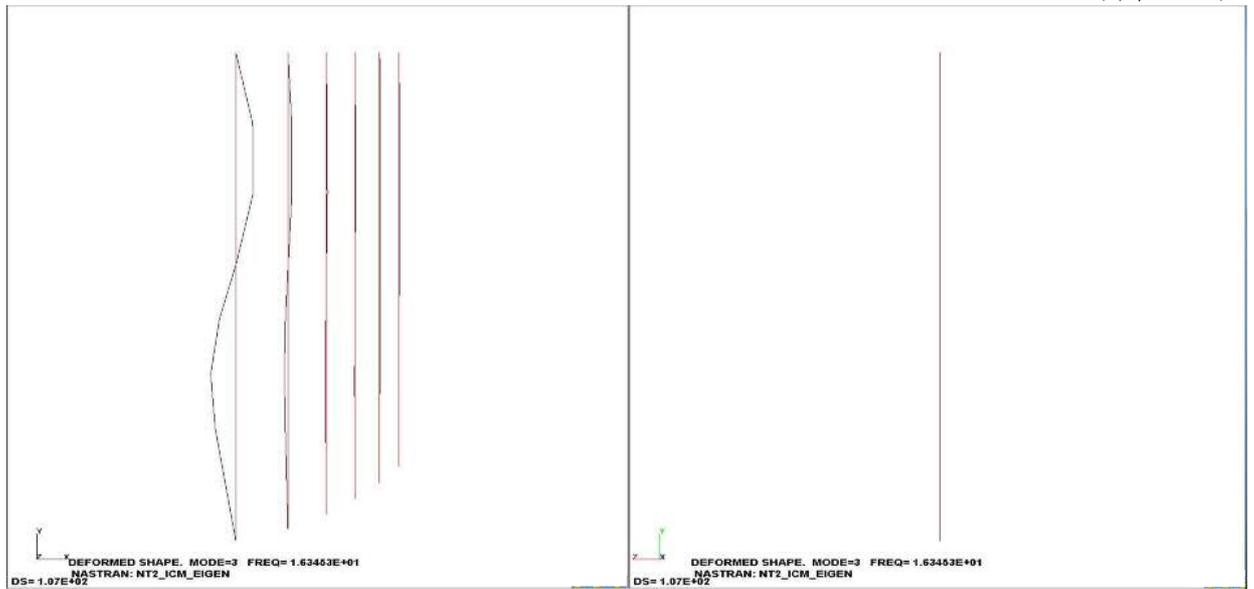
(単位 : Hz)



(NS方向)

図 3-3(1) 振動モード図 (1次)

(単位 : Hz)



(EW方向)

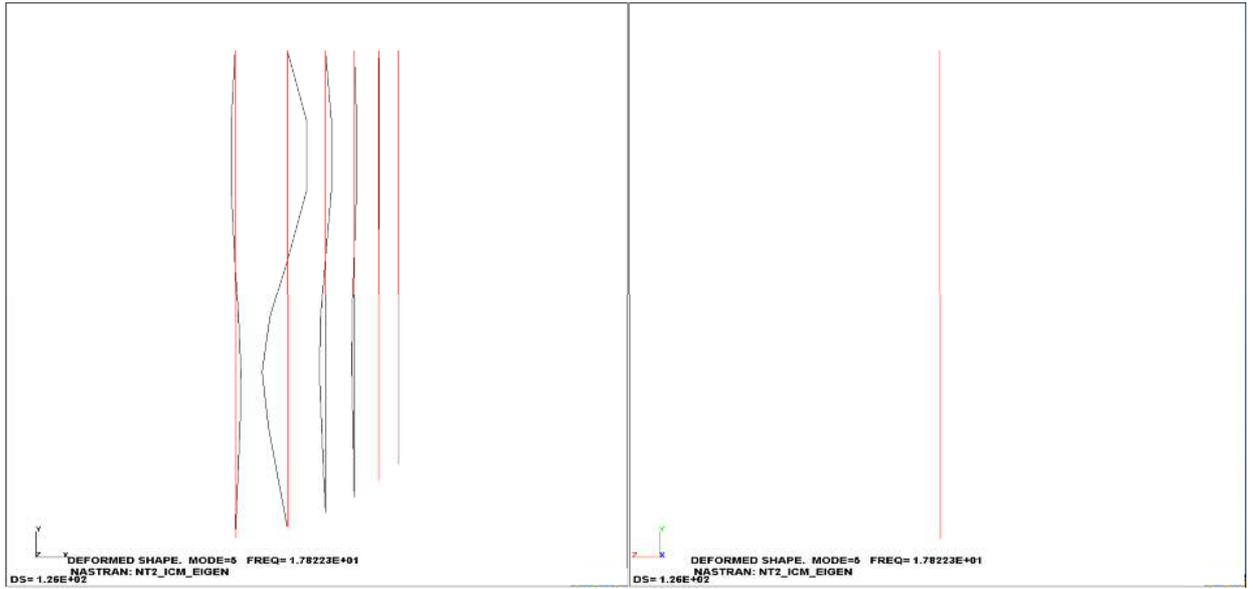
(単位 : Hz)



(NS方向)

図 3-3(2) 振動モード図 (2次)

(単位 : Hz)



(EW方向)

(単位 : Hz)



(NS方向)

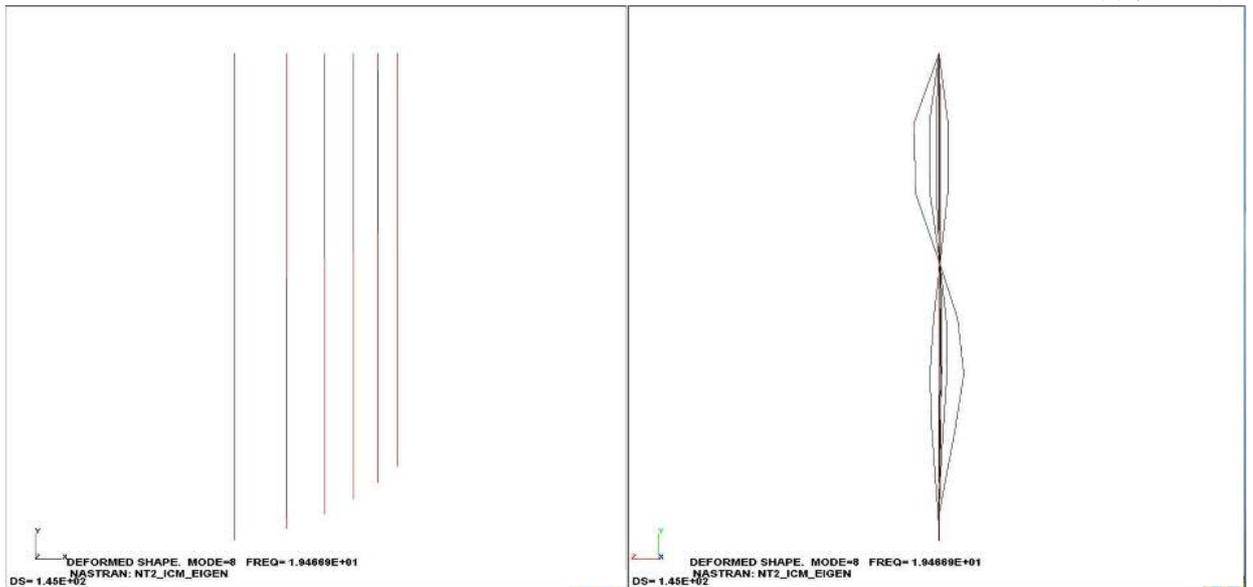
図 3-3(3) 振動モード図 (3次)

(単位 : Hz)



(EW方向)

(単位 : Hz)



(NS方向)

図 3-3(4) 振動モード図 (4次)

表 3-4 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_a 又は静的震度		基準地震動 S_s		減衰定数 (%)	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平 方向	鉛直 方向
原子炉压力容器内 EL. 20.29~25.56 m								

注記 *1：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。
 *2：基準地震動 S_a に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値
 *3：基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

表 3-5 設計用地震力（重大事故対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_a 又は静的震度		基準地震動 S_s		減衰定数 (%)	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平 方向	鉛直 方向
原子炉压力容器内 EL. 20.29~25.56 m								

注記 *1：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。
 *2：基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

表 3-6 中性子計測案内管外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	曲げ モーメント
			FL (N)	Fs (N)	M (N・m)
L04	死荷重	A			
L14	地震荷重 S d *	A			
L16	地震荷重 S s	A			

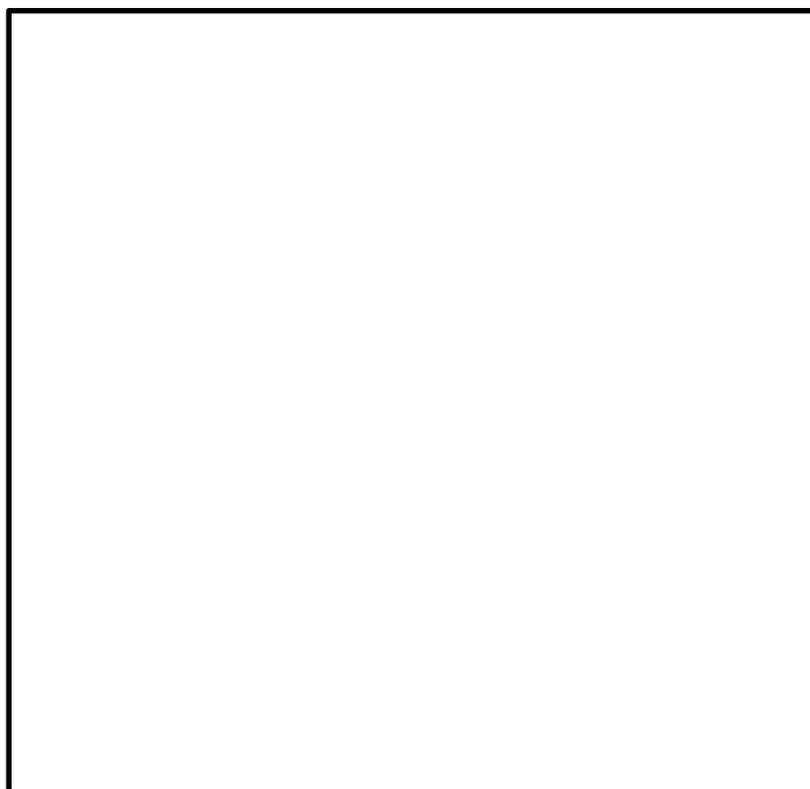


表 4-1 断面性状

応力評価点	D _o (mm)	D _i (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
P01, P02				

表 5-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	2	68*	3	104*
P01' P02'	3	68*	4	104*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

表 5-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	61	103*	102	156*
P01' P02'	62	103*	102	156*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1010 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-1-12-2 ダクト及び支持構造物の耐震計算について

目次

1. 概要	1
2. 耐震設計の原則	1
3. ダクト及び支持構造物の設計手順	1
4. ダクト設計の基本方針	3
4.1 重要度別による設計方針	3
4.2 荷重の組合せ*1	3
4.3 設計用地震力	4
4.4 ダクト支持点の設計方法	5
4.5 耐震支持間隔	7
4.6 支持方法	11
4.7 ダクトの構造	11
5. 支持構造物の構造及び種類	12

1. 概要

本方針は、ダクト及び支持構造物について耐震設計上十分安全であるように考慮すべき事項を定めたものである。

2. 耐震設計の原則

ダクト及びその支持構造物は、耐震設計上の重要度分類に応じた地震力に対して十分な強度を有するように設計する。

3. ダクト及び支持構造物の設計手順

ダクトの経路は、建屋の形状、機器の配置、配管、ケーブルトレイ等の経路を考慮し、耐震性を加味して決定する。

以上を考慮して決定されたダクト経路について支持方法を定めて、ダクトが十分な耐震強度を有するように支持点を決定する。

ダクト支持構造物の設計、製作、据付までの作業の流れを概念的に図 3-1 に示す。

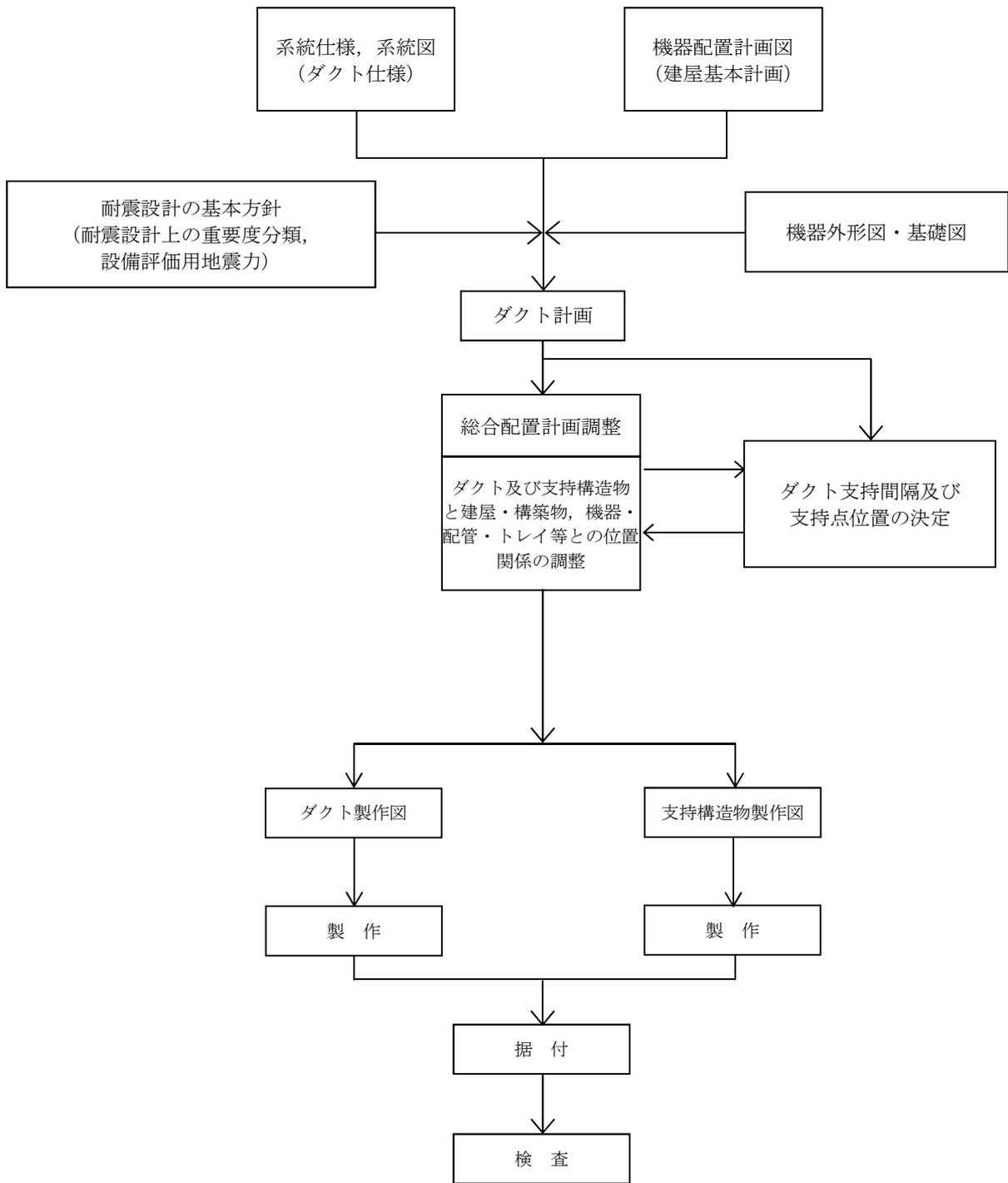


図 3-1 ダクト及び支持構造物の設計作業手順

4. ダクト設計の基本方針

4.1 重要度別による設計方針

ダクトは、耐震設計上の重要度分類に応じてクラス分類し、表 4-1 に示す設計方針とする。

表 4-1 重要度分類と設計方針

分類	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	設計方針
設計基準対象 施設	S クラス	Non	地震時の加速度に対し機能が保たれるようサポートの スパン長 を最大許容 ピッチ 以下に確保すること。（最大許容 ピッチ は式(4.7)から(4.10)に基づき座屈限界曲げモーメントより算出する。）
重大事故等対 処設備	-	重大事故等 クラス2管	

4.2 荷重の組合せ*1

$$D + P_D + M_D + S_s \dots\dots\dots (4.1)$$

$$D + P_D + M_D + S_d \dots\dots\dots (4.2)$$

ここで、

D : 死荷重

P_D : 最高使用圧力による機械的荷重

M_D : 設計上定められた機械的荷重

S_s : 基準地震動 S_s

S_d : 弾性設計用地震動 S_d*2

注記 *1 : ダクトは座屈評価のため、死荷重 (D) , 地震荷重 (S_s) を考慮して評価を行う。

*2 : ダクトの耐震支持間隔の算出においては、許容値となる許容座屈曲げモーメントの算出にあたり、評価手法上、ダクト材の降伏点を使用するため、基準地震動 S_s 評価と弾性設計用地震動 S_d 評価に用いる**係数**、許容値に差異はない。また、発生曲げモーメントの算出に当たっては、表 4-2 に示すとおり、弾性設計用地震動 S_d は基準地震動 S_s に明らかに包絡されるため、弾性設計用地震動 S_d に対する評価は省略する。尚、緊急時対策所ダクトについては、設計基準対象設備「-」であり、重大事故等クラス2管であることから基準地震動 S_s の評価を行う。

表 4-2 基準地震動 S_s と弾性設計用地震動 S_d の比較例

建物・構築物	設計用地震力	EL. (m)	震度				
			静的震度及び 1.2ZPA* ³		設計用床応答曲線* ⁴		
			水平	鉛直	固有周期 (s)	水平	鉛直
原子炉建屋	基準地震動 S_s	20.3	1.64	1.34	□	1.91	4.20
	弾性設計用地震動 S_d	~34.7	0.86	0.71		1.20	2.21

注記 *3: 静的震度, 1.2ZPA のうち, 大きな値を示す。 (1.2ZPA: 基準床の最大応答加速度の 1.2 倍の値)

*4: ダクトの固有振動数が, 設計用床応答曲線のピーク振動数の $\sqrt{2}$ 倍以上となる固有周期を示し, 水平, 鉛直震度はそれぞれ当該固有周期よりも短周期側における最大応答を示す。

4.3 設計用地震力

ダクトについては, 「V-2-1 耐震設計の基本方針」に示す設計用地震力を用いて評価を行う。尚, 「4.4 ダクト支持点の設計方法」のうち, 手法 1 はダクトの固有振動数が十分剛 (20 Hz 以上) となる領域で設計することから, 表 4-2 に示す静的震度及び 1.2ZPA を使用する。

また, 手法 2 は, ダクトの固有周期が 0.05 秒よりも長周期側で, 且つ設計用床応答曲線のピーク周期の $1/\sqrt{2}$ 倍よりも短周期側となる領域で設計することから, 表 4-2 に示す設計用床応答曲線の震度を使用する。尚, この際に使用する設計用床応答曲線の震度は, 図 4-1 に示すように谷埋めピーク保持を行い右肩上がりの領域で設計することで保守性を担保する。

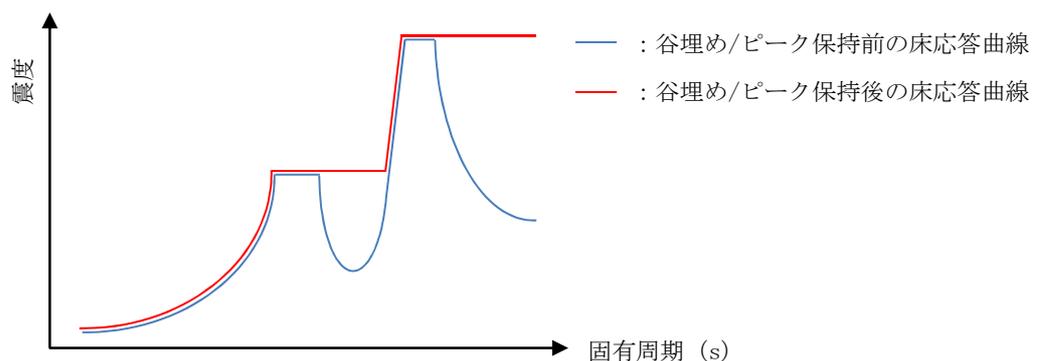


図 4-1 床応答曲線の谷埋め/ピーク保持の例

4.4 ダクト支持点の設計方法

ダクト及びその支持構造物は適切な剛性を有するとともに、許容座屈曲げモーメントを満足する支持間隔とすることにより耐震性を確保する。

支持間隔の算定は、ダクトの固有振動数 (f_d) が十分剛 (20 Hz 以上) となるよう算定する手法とダクトの固有振動数に応じた地震力で算定する手法が有り、このうち前者を手法 1、後者を手法 2 と呼び、この 2 つの手法を用いて支持間隔を決定する。

ダクトの支持点はまず手法 1 の支持間隔で計画し、施工性及びダクトの周囲条件等を考慮して手法 1 の支持間隔以内に収まらない場合は手法 2 の支持間隔で計画する。

手法 1、手法 2 による支持間隔算出手順を図 4-2 に示す。

4.4.1 手法 1 の支持間隔算定法

ダクトの固有振動数が 20 Hz 以上となる支持間隔と静的震度及び 1.2ZPA によりダクトに生じる曲げモーメントが許容座屈曲げモーメント以下となる支持間隔を算定し、いずれか小さい方を支持間隔とする。

4.4.2 手法 2 の支持間隔算定法

静的震度、1.2ZPA 及び設計用床応答曲線から地震力を算定し、ダクトに生じる曲げモーメントが許容座屈曲げモーメント以下となるように支持間隔を算定する。

ただし、支持間隔はダクトの固有振動数が、設計用床応答曲線のピーク振動数の $\sqrt{2}$ 倍以上となるように定めるものとし、固有振動数から定まる支持間隔と許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔のうち、いずれか小さい方とする。設計領域の例を図 4-3 に示す。

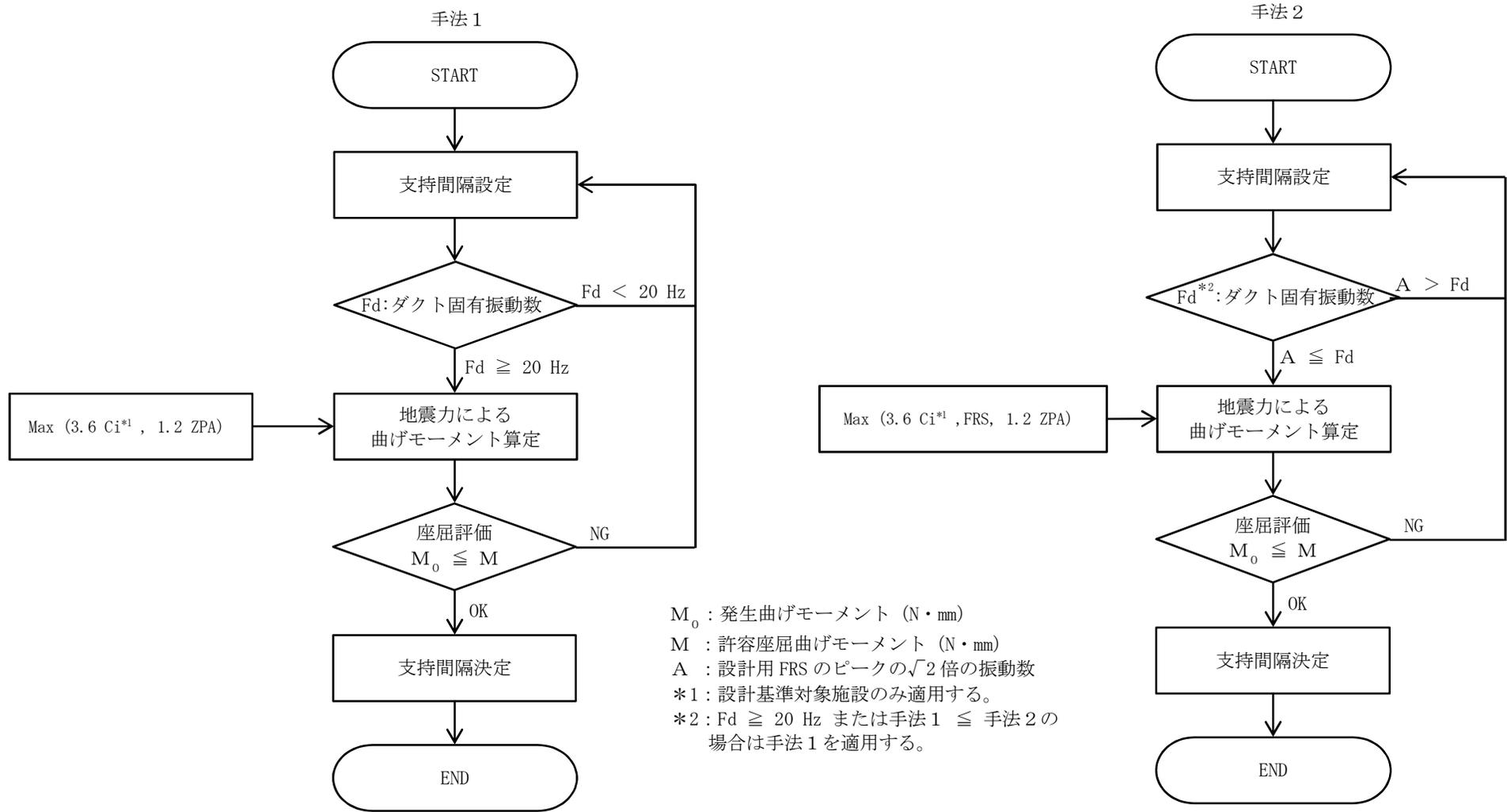


図 4-2 ダクト支持点間隔算出手順

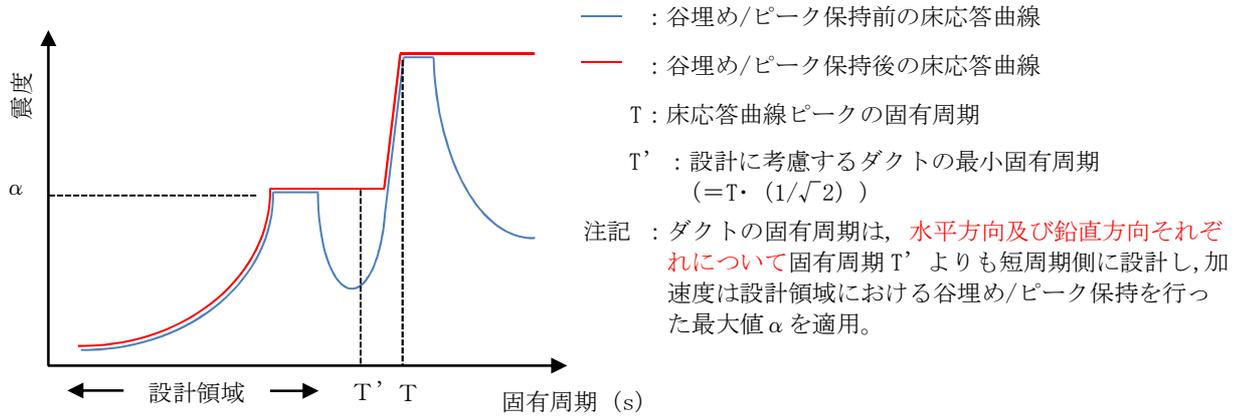


図 4-3 手法 2 設計領域の例

4.5 耐震支持間隔

ダクトの耐震支持間隔は、ダクトが薄板構造であることを考慮した剛性評価及び座屈強度に基づき定める。

4.5.1 矩形ダクトの固有振動数

両端単純支持された矩形ダクトの固有振動数は、次式で与えられる。

$$f = \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{W}} \dots\dots\dots (4.3)$$

ここで、

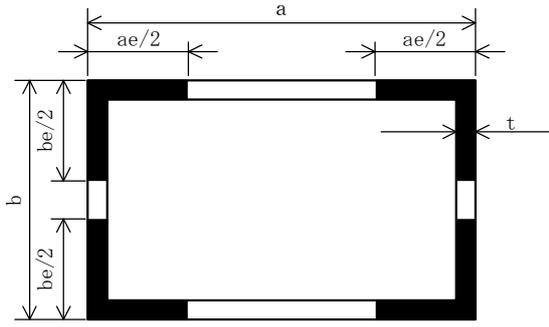
$$I = \left(\frac{t \cdot be^3}{6} + ae \cdot t \cdot \frac{be^2}{2} \right) \cdot \beta \dots\dots\dots (4.4)$$

(4.3)～(4.4)式の出典：共同研究報告書「機器配管系の合理的な耐震設計手法の確立に関する研究」

ここで、

- f : 固有振動数 (Hz)
- π : 円周率 (—)
- ℓ : 両端単純支持間隔 (mm)
- E : 縦弾性係数 (N/mm²)
- g : 重力加速度 (mm/s²)
- I : 断面二次モーメント (mm⁴)
- W : ダクト単位長さ重量 (N/mm)
- β : 断面二次モーメントの安全係数 (—)

(幅厚比 b/t ≤ 600… β = 0.75 , b/t > 600… β = 0.6)



- a : ダクト長辺寸法 (mm)
- b : ダクト短辺寸法 (mm)
- ae : ダクトフランジの有効幅 (mm)
- be : ダクトウェブの有効幅 (mm)
- t : ダクト板厚 (mm)
- a/b : アスペクト比 (-)

図 4-4 矩形ダクトの断面図

4.5.2 矩形ダクトの座屈評価

地震時、両端単純支持された矩形ダクトに生じる曲げモーメントは次式で与えられる。

$$M_0 = \frac{\alpha \cdot W \cdot \ell^2}{8} \dots\dots\dots (4.5)$$

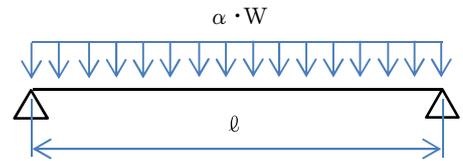


図 4-5 両端単純支持梁

ここで、

M_0 : 発生曲げモーメント (N・mm)
 α : 設計震度 (-)

ここで、矩形ダクトの座屈による大変形を防ぐために矩形ダクトに生じる曲げモーメントが許容座屈曲げモーメント以下となるようにする。

$$M_0 \leq M \dots\dots\dots (4.6)$$

ここで、

M : 許容座屈曲げモーメント (N・mm)

(4.5) , (4.6) 式より許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔は次式で与えられる。

$$\ell = \sqrt{\frac{8 \cdot M}{W \cdot \alpha}} \dots\dots\dots (4.7)$$

ここで、

$$M = S \cdot M_T \dots\dots\dots (4.8)$$

$$M_T = \lambda \cdot \frac{\pi \cdot t \cdot I}{\sqrt{1 - \nu^2 \cdot b^2}} \cdot \sqrt{E \cdot \sigma_y} \cdot \gamma \dots\dots\dots (4.9)$$

$$I = \frac{t \cdot b^3}{6} + ae \cdot t \cdot \frac{b^2}{2} \dots\dots\dots (4.10)$$

(4.5)～(4.10)式の出典：共同研究報告書「機器配管系の合理的な耐震設計手法の確立に関する研究」

S	: 座屈曲げモーメントの安全係数 (=0.7)	(-)
M_T	: 座屈限界曲げモーメント	(N・mm)
λ	: 座屈限界曲げモーメントの補正係数 ^{*5}	(-)
ν	: ポアソン比 (=0.3)	(-)
σ_y	: 降伏点	(N/mm ²)
γ	: 座屈限界曲げモーメントの安全係数 (=0.6) ^{*5}	(-)
l	: 両端単純支持間隔	(mm)
W	: ダクト単位長さ重量	(N/mm)

注記 *5: 出典 共同研究報告書「機器配管系の合理的な耐震設計手法の確立に関する研究より, 理論値と実験値の比率から定まる近似曲線を用いる。

4.6 支持方法

(1) 直管部

直管部は、「4.5 耐震支持間隔」で求まる支持間隔以下で支持するものとする。また、直管部が長い箇所には軸方向を拘束する支持構造物を設けるものとする。

(2) 曲管部

曲管部は、直管部に比べ剛性、及び強度が低下するが、「4.5 耐震支持間隔」で求まる支持間隔は、これら曲管部の縮小率を包絡する支持間隔としている。

(3) 重量物の取付部

ダクトに自動ダンパ等の重量物が取り付く場合は、重量物自体又は近傍を支持するものとする。なお、近傍を支持する場合には「4.5 耐震支持間隔」で求まる支持間隔と、当該重量物を考慮した支持間隔を用いて、支持点を設計する。

4.7 ダクトの構造

ここでは、主要な矩形ダクトについて記述する。矩形ダクトは、溶接ダクトとハゼ折ダクトがある。

(1) 溶接ダクトは、二隅あるいは四隅を溶接継手とする。補強は、定ピッチで全周を形鋼で囲い、ダクトに断続溶接する。

(2) ハゼ折ダクトの補強は、定ピッチで全周を形鋼で囲いダクトにリベット止めする。

ダクト構造の代表例を図4-6に示す。

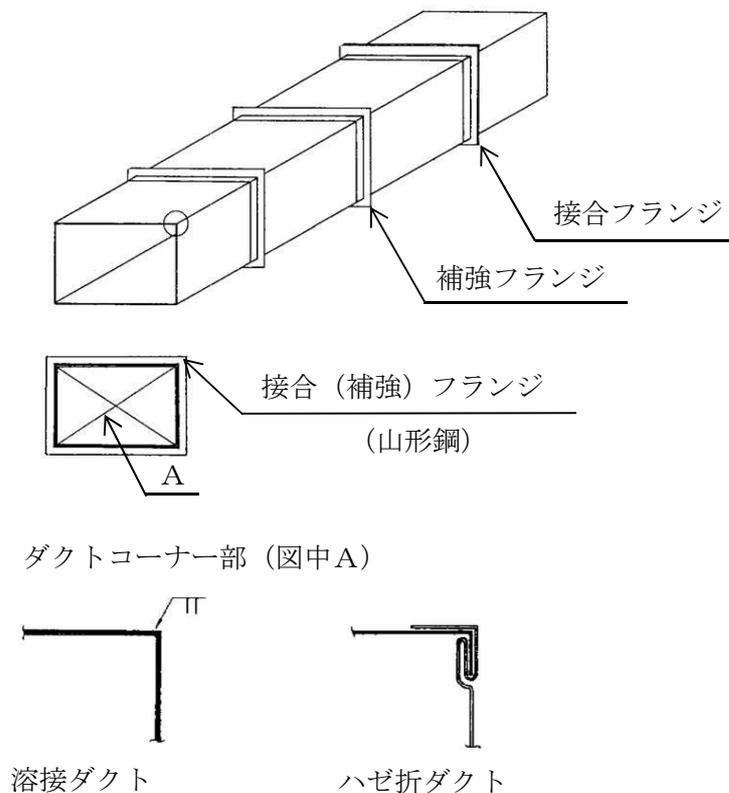


図4-6 ダクト構造の代表例

5. 支持構造物の構造及び種類

(1) 支持構造物は、形鋼を組み合わせた溶接構造を原則とし、その用途に応じて以下に大別する。

- (a) ダクト軸直角の2方向を拘束するもの
- (b) ダクト軸方向及び軸直角の3方向を拘束するもの

図5-1～図5-4に支持構造物の代表例を示す。

(2) 支持構造物の構造は、ダクトより作用する地震荷重に対し十分な強度を有する構造とする。尚、ダクトの荷重は隣接する支持構造物の距離より定まる荷重の負担割合（ダクト長さ）と地震力から算定する。

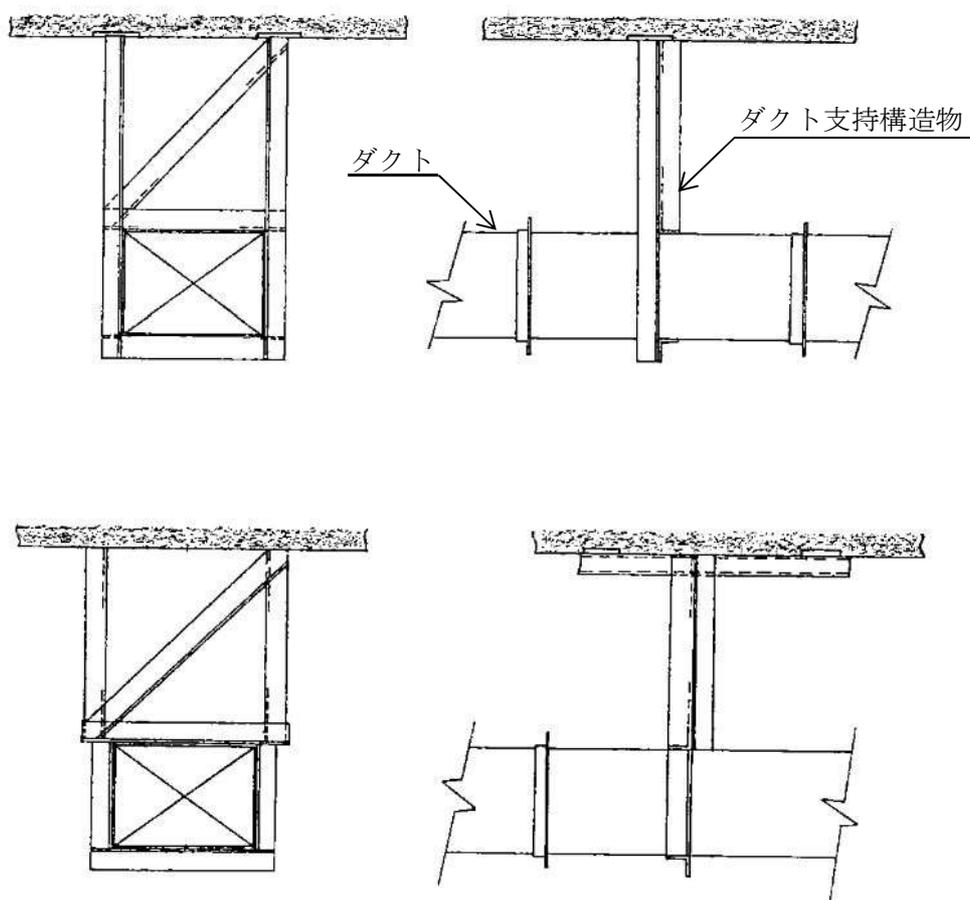


図5-1 2方向（軸直角方向）拘束の代表例

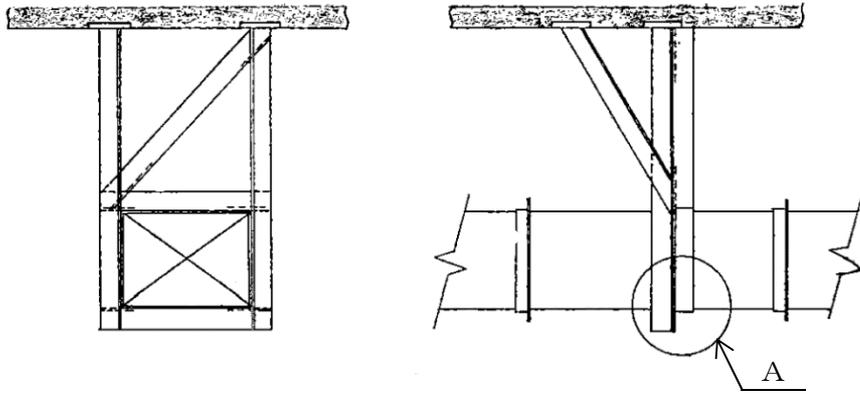


図5-2 3方向（軸方向及び軸直角方向）拘束の代表例

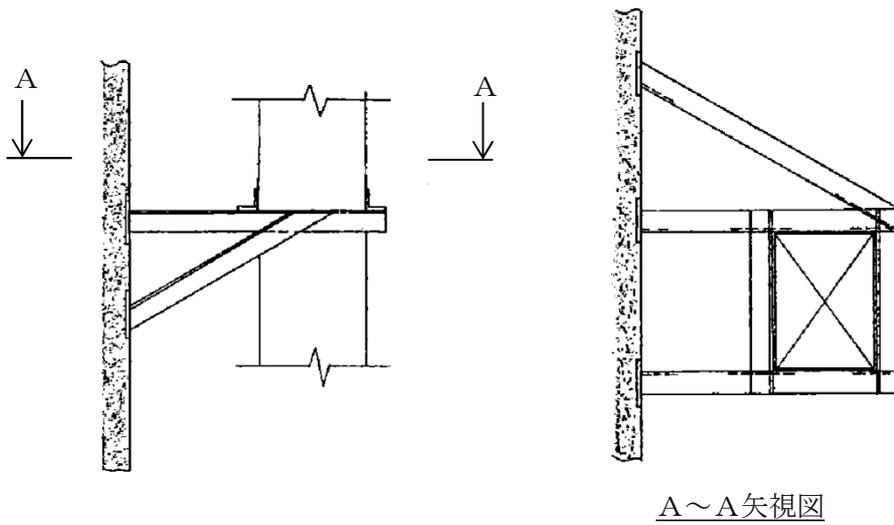
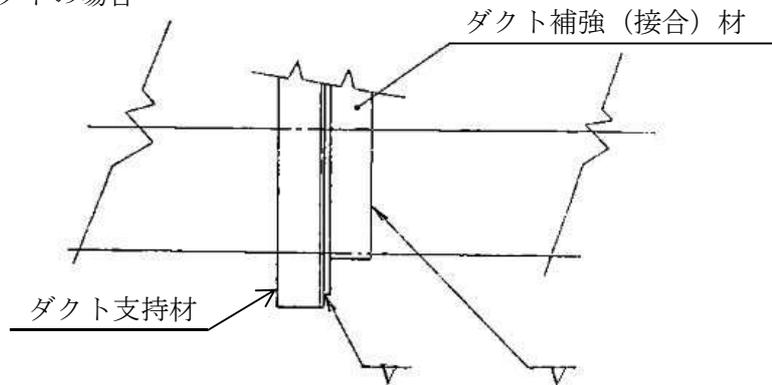


図5-3 垂直ダクトの支持の代表例

図 5-2 における A 部

溶接ダクトの場合



ハゼ折ダクトの場合

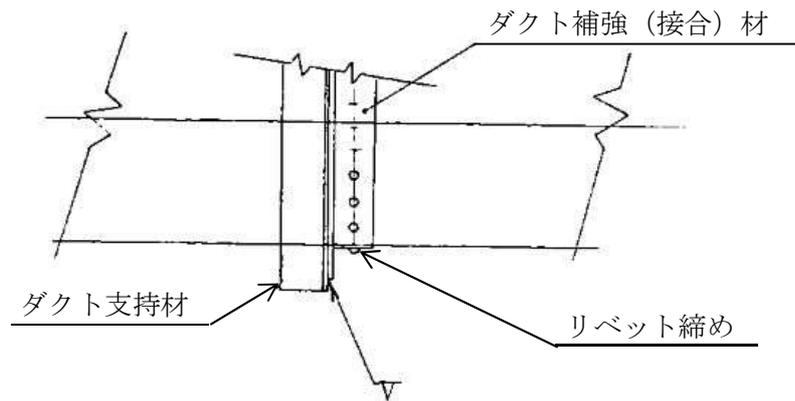


図 5-4 ダクトと支持構造物の接合

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1024 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-9-1-1-3 ドライウェルフランジ部の強度計算書

目次

1. 概要	1
2. 構造説明	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
3. 形状及び主要寸法	4
4. 設計条件	5
4.1 設計条件	5
4.2 材料及び許容応力	5
5. 応力計算	7
5.1 計算方法	7
5.2 応力算出に係る構成部材	7
5.3 フランジ及びボルトの計算応力	8
6. 評価結果	10

1. 概要

本計算書は、ドライウェルフランジ部の強度計算書である。

ドライウェルフランジ部は、設計基準対象施設のドライウェルフランジ部を重大事故等クラス 2 容器として兼用される機器である。

設計基準対象施設としては、東海第二発電所 昭和 48 年 4 月 9 日付け 47 公第 12076 号にて認可された工事計画書の添付書類「Ⅲ-3-3-2 ドライウェル・フランジ部強度計算書」に評価結果があり、強度が十分であることを確認している。

以下、重大事故等クラス 2 容器としての強度評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

ドライウェルフランジ部の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>・ドライウェルトップヘッドは、ドライウェルフランジ部でボルトによりドライウェル本体に締結される。</p>	<p>・上フランジ，下フランジ及びボルトにより構成され，フランジ部のガスケットを押圧し，封止機能を得る鋼製構造物である。</p>	

2.2 評価方針

ドライウェルフランジ部の強度計算は、東海第二発電所 昭和 48 年 4 月 9 日付け 47 公第 12076 号（既工認）にて認可された実績のある手法を適用する。

3. 評価部位

ドライウェルフランジ部の形状及び主要寸法を図 3-1 に示す。

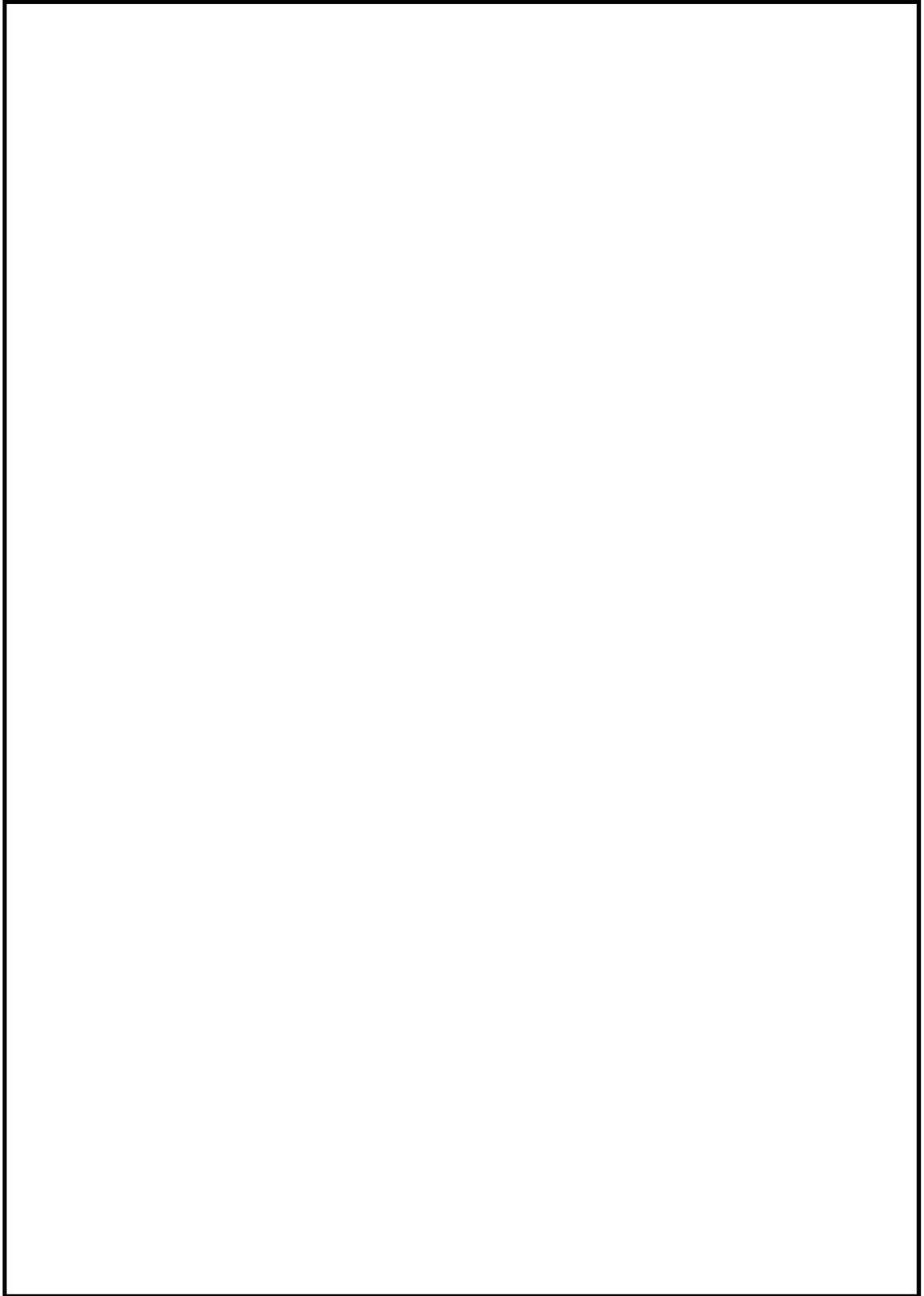


図 3-1 ドライウェルフランジ部の形状及び主要寸法

4. 設計条件

4.1 評価条件（重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度）

- (1) 内圧 P_D 620 kPa
- (2) 温度 T_D 200 °C

4.2 材料及び許容応力

4.2.1 材料

- (1) フランジ (SGV480 相当)
- (2) ボルト (SNM439 相当)

4.2.2 荷重の組合せ及び許容応力

ドライウェルフランジ部に対する荷重の組合せ及び供用状態を表 4-1 に、各材料の供用状態に対する許容応力を表 4-2 及び表 4-3 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び供用状態

荷重の組合せ		供用状態
番号	運転状態	
1	運転状態 V	E (EとしてDの許容限界を用いる)

表 4-2 フランジの許容応力

材料	供用状態	許容応力強さ	
		一次応力	
		一次一般膜応力	一次膜応力 +一次曲げ応力
<div style="border: 2px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></div> (SGV480 相当)	E	281	422

表 4-3 ボルトの許容応力

材料	供用状態	許容応力強さ	
		一次応力	
		平均引張応力	平均引張応力 +曲げ応力
<div style="border: 2px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></div> (SNCM439 相当)	E	576	—

5. 応力計算

5.1 計算方法

ドライウエルフランジ部の応力計算は、設計・建設規格 PVE-3700 を適用し、J I S B 8 2 6 5 (2003) 「圧力容器の構造—一般事項」に基づいて行う。

5.2 応力算出に係る構成部材

5.2.1 ボルト

- (1) 呼び
- (2) シャフト径 d
- (3) 数量 n
- (4) ボルトの有効断面積

$$A_b = n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 =$$

5.2.2 ガasket

- (1) 材料
- (2) ガasket係数 m
- (3) 最小設計締付圧力 y
- (4) シート面の接触幅 w
- (5) ガasket接触面の幅 N
- (6) ガasketの厚さ T
- (7) ガasket座の基本幅 b

布又は石綿を多く含まないゴムシート

$$b_o = \frac{(w+T)}{2} =$$

$$b_{omax} = \frac{(w+N)}{4} =$$

$b_{omax} < b_o$ なので $b_o = b_{omax} =$

$b_o > 6.35 \text{ mm}$ の場合 $b =$

5.3 フランジ及びボルトの計算応力

5.3.1 荷重

- (1) 内圧によってフランジに作用する荷重

$$H=0.785 \cdot G^2 \cdot P$$

- (2) 内圧によってフランジの内径面に作用する荷重

$$H_D=0.785 \cdot B^2 \cdot P$$

- (3) 内圧によって、フランジに作用する荷重とフランジの内径面に作用する荷重の差

$$H_T=H-H_D$$

- (4) ガスケット荷重

$$H_G=2 \cdot b \times 3.14 \cdot m \cdot P \cdot (G_1+G_2)$$

5.3.2 長さ

- (1) ボルト穴の中心円から H_D の作用点までの半径方向の距離

$$h_D=\frac{C-(B+g_1)}{2}$$

- (2) ボルト穴の中心円から H_T の作用点までの半径方向の距離

$$h_T=\frac{C-(B+G)/2}{2}$$

- (3) ボルト穴の中心円から H_G の作用点までの半径方向の距離

$$h_G=\frac{C-(G_1+G_2)/2}{2}$$

5.3.3 モーメントの計算

- (1) 内圧によってフランジ内径面に加わる荷重によるモーメント

$$M_D=H_D \cdot h_D$$

- (2) 内圧によってフランジに加わる全荷重とフランジ内径面に加わる荷重の差によるモーメント

$$M_T=H_T \cdot h_T$$

- (3) ガスケット荷重によるモーメント

$$M_G=H_G \cdot h_G$$

- (4) 内圧荷重とガスケット荷重によるモーメント

$$M_0=M_D+M_T+M_G$$

5.3.4 ボルトに作用する荷重

$$W = \frac{M_0}{h_D} \boxed{\hspace{10em}}$$

5.3.5 応力計算

(1) フランジの軸方向応力

$$\sigma_H = \frac{f \cdot M_0}{L \cdot g_1^2 \cdot B}$$

(2) フランジの径方向応力

$$\sigma_R = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_0}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

(3) フランジの周方向応力

$$\sigma_T = \frac{Y \cdot M_0}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_R$$

(4) ボルトの引張応力

$$\sigma_b = \frac{W}{A_b}$$

6. 評価結果

フランジ及びボルトの応力評価結果を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

評価結果に示すように、発生応力は許容応力以下である。

表 6-1 フランジの応力評価結果

(単位：MPa)

材料	項目	記号	発生応力	許容値
<div style="border: 2px solid black; width: 100px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> (SGV480 相当)	軸方向応力	σ_H	185	422
	径方向応力	σ_R	2	281
	周方向応力	σ_T	86	281
	組合せ応力	$\frac{\sigma_H + \sigma_R}{2}$	94	281
		$\frac{\sigma_H + \sigma_T}{2}$	136	281

表 6-2 ボルトの応力評価結果

(単位：MPa)

材料	項目	記号	発生応力	許容値
<div style="border: 2px solid black; width: 100px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> (SNCM439 相当)	引張応力	σ_b	247	576

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1025 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-9-1-1-4 ドライウェル本体及びサプレッション・チェンバ本体の
強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 構造説明	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	4
3. 形状及び主要寸法	5
4. 設計条件	7
4.1 設計荷重	7
4.2 材料及び許容応力	8
5. 応力計算	9
5.1 応力評価点	9
5.2 計算方針	10
6. 評価結果	12
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	12

1. 概要

本計算書は、ドライウエル本体及びサプレッション・チェンバ本体の強度計算書である。

ドライウエル本体及びサプレッション・チェンバ本体は、設計基準対象施設のドライウエル本体及びサプレッション・チェンバ本体を重大事故等クラス 2 容器として兼用する機器である。

設計基準対象施設としては、東海第二発電所 昭和 48 年 4 月 9 日付け 47 公第 12076 号にて認可された工事計画書の添付書類「Ⅲ-3-3-3 ドライウエル円錐部およびサプレッションチェンバ円筒部シェル部およびサンドクッション部強度計算書」に評価結果があり、強度が十分であることを確認している。

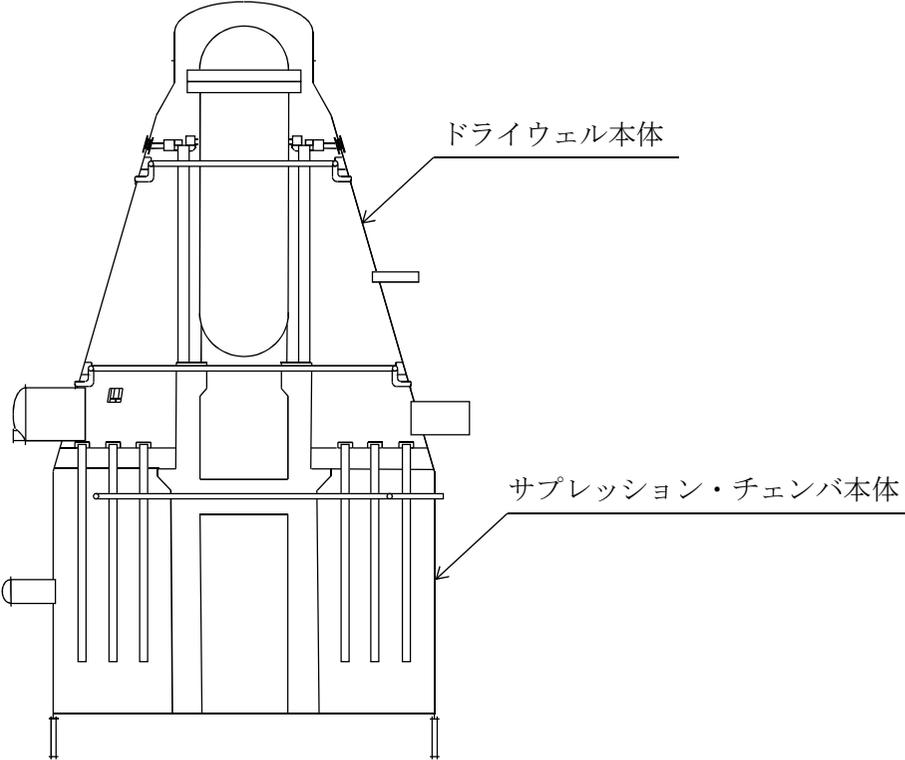
以下、重大事故等クラス 2 容器としての強度評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

ドライウエル本体及びサプレッション・チェンバ本体の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>□ m 以下においてコンクリートに埋設されており、原子炉格納容器外側壁及び原子炉建屋の基礎と一体となっている。</p>	<p>上部円錐胴部円筒形の鋼製容器（胴部内径約 □ m, 全高約 □ m）であり、板厚は □ mm である。</p> <p>原子炉格納容器の水平地震力はシアラグ及び原子炉格納容器下部より原子炉建屋に伝達される。</p>	 <p>The diagram illustrates the containment structure. At the top is the 'ドライウェル本体' (Drywell Body), which is a dome-shaped structure supported by a cylindrical section. Below this is the 'サプレッション・チェンバ本体' (Suppression Chamber Body), which is a larger cylindrical structure with several vertical pipes extending upwards. The entire structure is supported by a base with four legs.</p>

2.2 評価方針

- (1) ドライウェル本体及びサプレッション・チェンバ本体の応力評価は、東海第二発電所昭和48年4月9日付け47公第12076号（既工認）にて認可された実績のある手法を適用する。各荷重による応力は、実績のある三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。
- (2) 解析コードはMSC NASTRANを用いる。なお、評価に用いる解析コードMSC NASTRANの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3. 形状及び主要寸法

ドライウエル本体及びサプレッション・チェンバ本体の形状及び主要寸法を図 3-1 及び図 3-2 に示す。

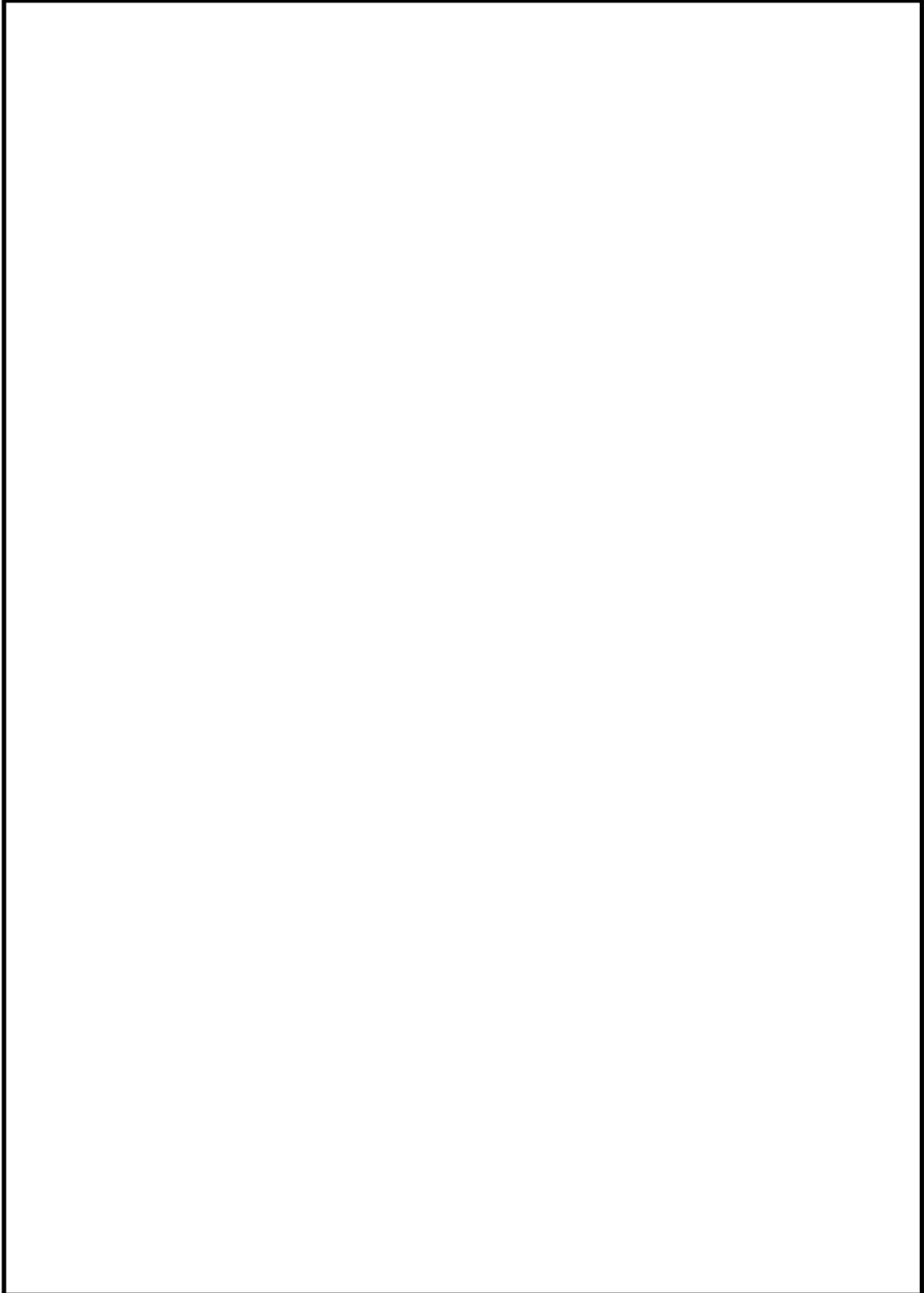


図 3-1 ドライウエル円錐部, サプレッション・チェンバ円筒部の形状及び主要寸法 (単位 : mm)

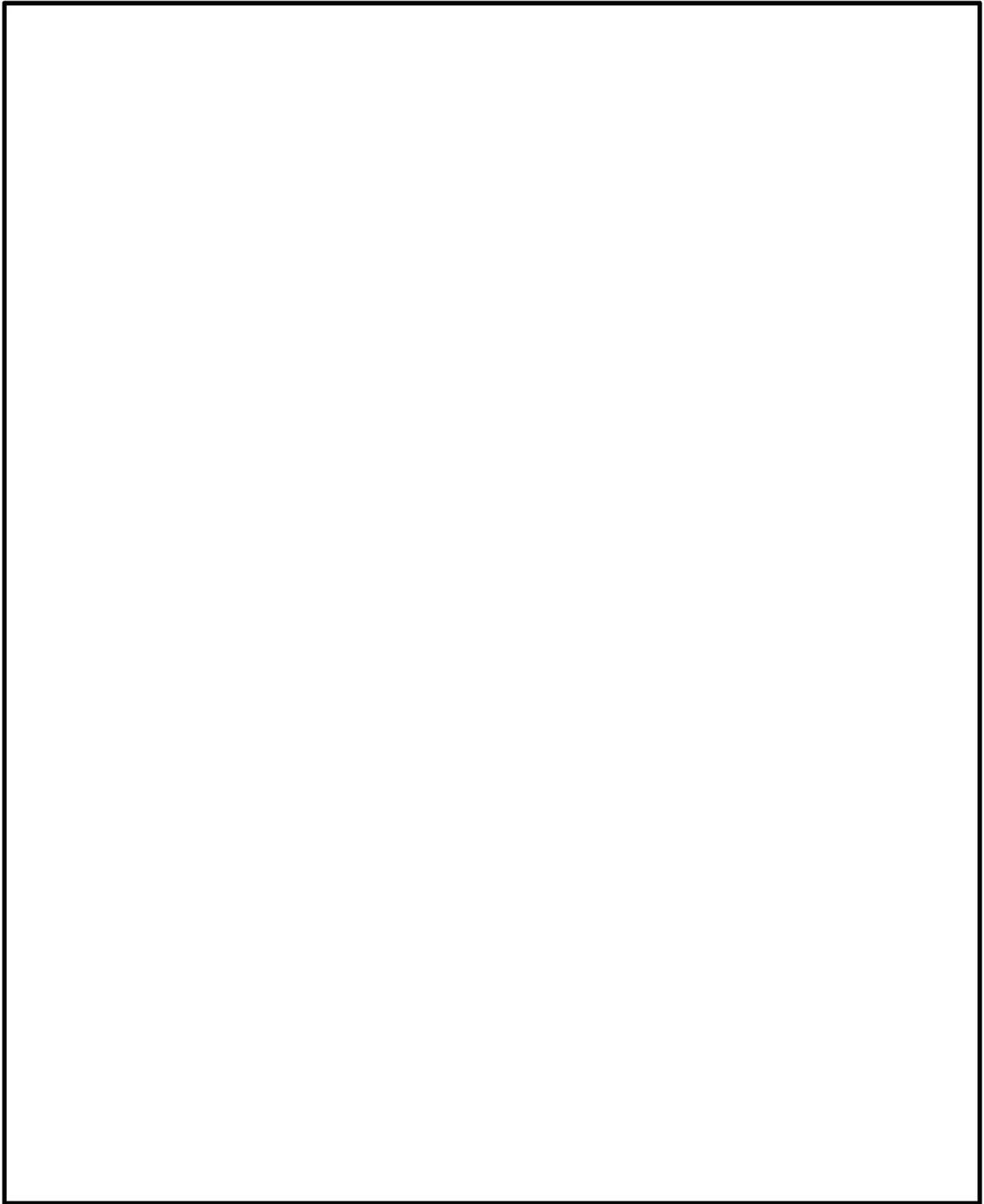


図 3-2 サプレッション・チェンバ円筒部, サンドクッション部の形状及び主要寸法 (単位 : mm)

4. 設計条件

4.1 設計荷重

- (1) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

内圧 P_{SA}	620 kPa*
温度 T_{SA}	200 °C

注記 * : 逃がし安全弁作動時荷重及び原子炉冷却材喪失事故時荷重と組み合わせる場合には、事象に応じた内圧を設定する。

- (2) 死荷重

死荷重はドライウエル本体及びサプレッション・チェンバ本体の自重及びシエルに取付くアタッチメントの重量を考慮したものである。死荷重の値が大きく変化する代表的応力評価点に対して荷重の大きさを示す。

応力評価点 P3		N
応力評価点 P4		N
応力評価点 P5		N
応力評価点 P6		N

- (3) 活荷重

内部機器支持ビームから加わる荷重 (燃料交換時以外)		N
内部機器支持ビームから加わる荷重 (燃料交換時)		N
イクイPMENTハッチ床に加わる荷重		N
パーソネルエアロック床に加わる荷重		N
サプレッション・チェンバ内のキャットウォークに加わる荷重		N
溶接パッドの支持荷重		N

- (4) 水荷重

ドライウエル下フランジ・シールプレートに加わる荷重 (燃料交換時)		N
リングガーターにかかるサプレッション・チェンバ内保有水重量		N
スプレイヘッダ内保有水重量		N

重大事故等対処設備の評価に用いる水荷重として、下記の冠水水位による水頭圧を考慮する。

冠水水位 mm

- (5) 逃がし安全弁作動時荷重

最大正圧	 kPa
最大負圧	 kPa

- (6) 原子炉冷却材喪失事故時荷重

最大正圧	 kPa
最大負圧	 kPa

4.2 材料及び許容応力

(1) 材料

応力計算に使用する材料を表 4-1 に示す。

表 4-1 使用材料表

使用部位	使用材料		備考
ドライウエル円錐部シェル	SGV49 相当		SGV480*
サプレッション・チェンバ 円筒部シェル	SGV49 相当		SGV480*

注記 * : 新 JIS を示す。

(2) 荷重の組合せ及び許容応力

重大事故等対処設備の評価における荷重の組合せ及び供用状態を表 4-2 に、供用状態に対する許容応力を表 4-3 に示す。

表4-2 荷重の組合せ及び供用状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*	機器等の区分	荷重の組合せ	供用状態
原子炉 格納施設	原子炉 格納容器	ドライウエル本体 及びサプレッショ ン・チェンバ本体	常設耐震/ 防止 常設 /緩和	重大 事故等 クラス 2 容器	$D + P_{SA} + M_{SA}$	E (Eとして Dの許容限 界を用いる)

注記* : 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

表4-3 許容応力（重大事故等対処設備）

(単位 : MPa)

材料	供用状態	許容応力		
		一次応力		一次+二次応力
		P_m	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	E	281	422	—

5. 応力計算

5.1 応力評価点

ドライウエル本体及びサプレッション・チェンバ本体の形状及び応力レベルを考慮して設定した応力評価点を表 5-1 及び図 3-1 及び図 3-2 に示す。

表 5-1 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1	円筒部と円錐部の接合部
P2	円錐部の角度変化部
P3	円錐部の板厚変化部
P4	円錐部と円筒部の接合部
P5	円筒部（中央部）
P6	底部のフランジプレートとの接合部

5.2 計算方針

各荷重によりドライウエル本体及びサプレッション・チェンバ本体に生じる応力は、解析コードMSC NASTRANを使用して計算する。ドライウエル本体及びサプレッション・チェンバ本体の計算モデルを図5-1に、計算モデルの諸元を表5-2に示す。

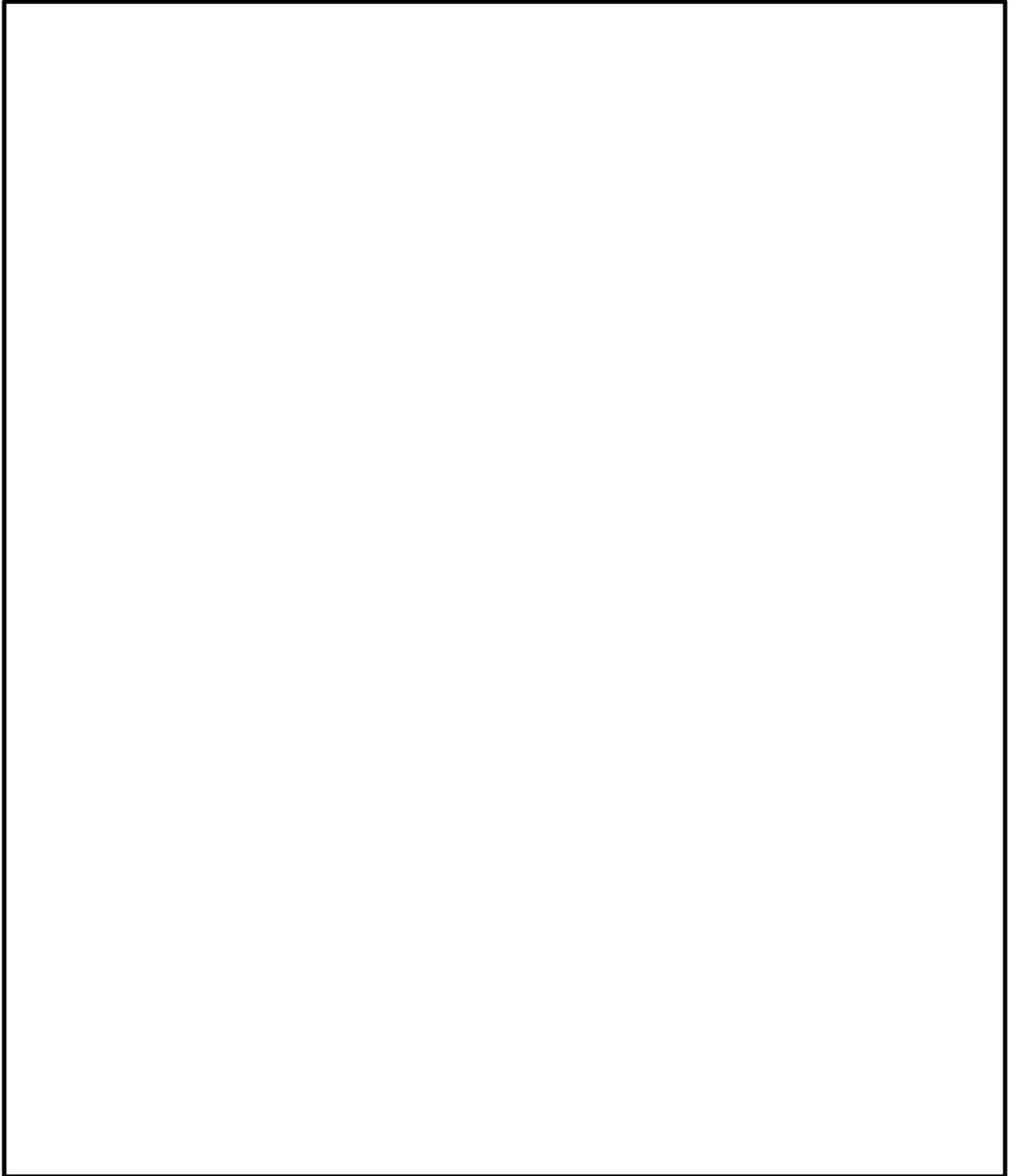


図5-1 計算モデル

表 5-2 解析モデル諸元表

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV480
質量	m_0	kg	— *1
温度条件	T	°C	— *2
縦弾性係数	E	MPa	— *2
ポアソン比	ν	—	<input type="text"/>
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	

注記 *1：単位荷重による解析のため，質量の入力は不要。

*2：動的応答を考慮しない為，温度及び剛性（縦弾性係数）は解析結果に影響しない。

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

ドライウエル本体及びサプレッション・チェンバ本体の重大事故等対処設備としての強度評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足している。

(1) 供用状態Eに対する評価

供用状態Eに対する応力評価結果を表 6-1 に示す。

表 4-2 に示す荷重の組合せについて記載している。

表 6-1 供用状態Eに対する評価結果 (D + P_{SA} + M_{SA})

評価対象設備	評価部位		応力分類	E		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
ドライウエル本体 及びサプレッション・チェンバ本体	P1	円筒部と円錐部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	289	422	○	
	P2	円錐部の角度変化部	一次膜応力+一次曲げ応力	67	422	○	
	P3	円錐部の板厚変化部	一次膜応力+一次曲げ応力	206	422	○	
	P4	円錐部と円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	157	422	○	
	P5	円筒部 (中央部)	一次一般膜応力	275	281	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	275	422	○	
P6	底部のフランジプレートとの接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	76	422	○		

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1029 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-9-1-4-1 原子炉格納容器貫通部の強度計算書

目次

1. 概要.....	1
2. 構造説明.....	2
2.1 構造計画.....	2
2.2 評価方針.....	4
3. 形状及び主要寸法.....	5
4. 設計条件.....	6
4.1 設計荷重.....	6
4.2 材料及び許容応力.....	8
5. 応力計算.....	9
5.1 応力評価点.....	9
5.2 計算方針.....	11
6. 評価結果.....	14
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果.....	14

1. 概要

本計算書は、原子炉格納容器貫通部の強度計算書である。

原子炉格納容器貫通部は、設計基準対象施設の原子炉格納容器貫通部を重大事故等クラス2容器として兼用する機器である。

設計基準対象施設としては、東海第二発電所 平成20年4月7日付け平成20・02・29原第41号にて認可された工事計画書の参考資料、「参考資料2-1 原子炉格納容器貫通部の評価について」に評価結果があり、強度が十分であることを確認している。

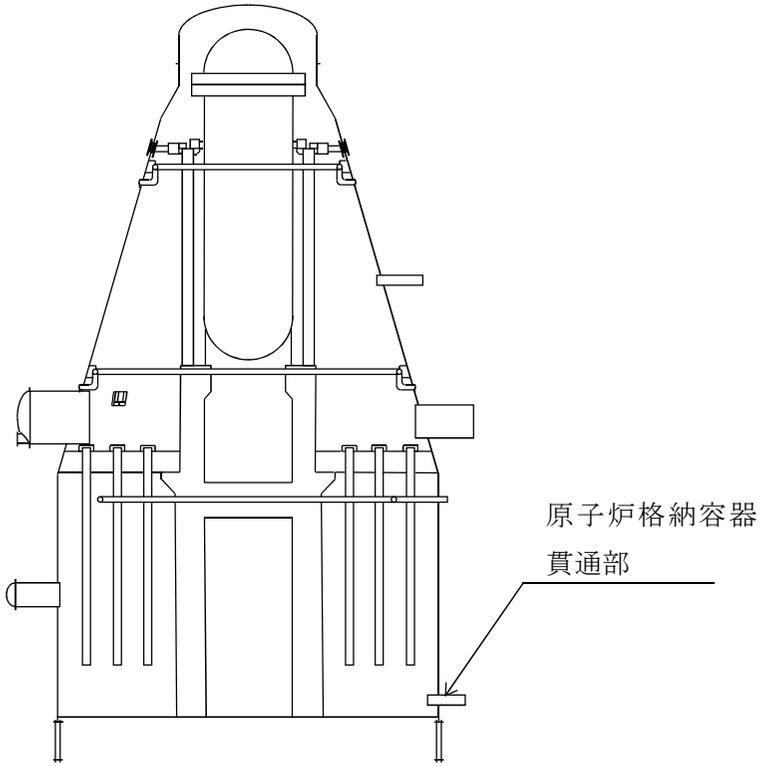
以下、重大事故等クラス2容器としての強度評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

原子炉格納容器貫通部の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
原子炉格納容器貫通部は原子炉格納容器により支持される。	原子炉格納容器に円筒形スリーブが取り付けられた鋼製構造物である。	 <p>原子炉格納容器貫通部</p>

2.2 評価方針

- (1) 原子炉格納容器貫通部の応力評価のうち、原子炉格納容器側の応力については、原子炉格納容器に作用する荷重（死荷重、圧力）による応力と、貫通部に作用する荷重（配管反力）による応力を組み合わせて評価する。原子炉格納容器に作用する荷重による応力は、添付書類「V-3-9-1-1-4 ドライウェル本体及びサプレッション・チェンバ本体の強度計算書」で計算した応力を用い、貫通部に作用する荷重による応力は、実績のある三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。
- (2) 解析コードはMSC NASTRANを用いる。なお、評価に用いる解析コードMSC NASTRANの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3. 形状及び主要寸法

原子炉格納容器貫通部の形状及び主要寸法を図3-1及び表3-1に示す。

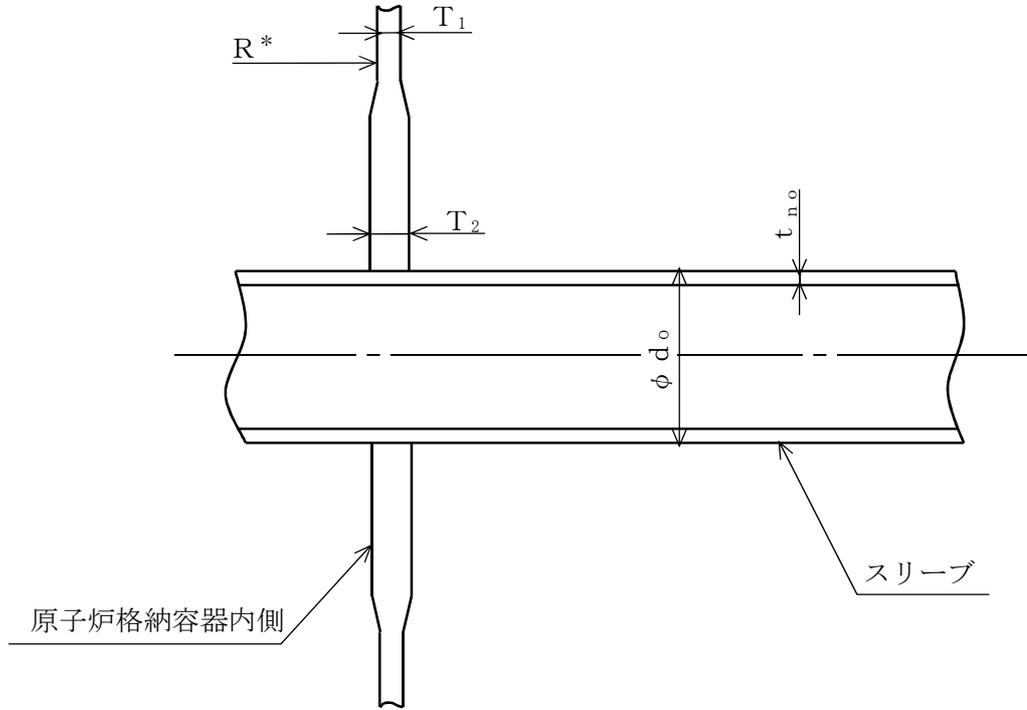


図3-1 原子炉格納容器貫通部の形状

表3-1 原子炉格納容器貫通部の主要寸法

(単位：mm)

貫通部番号	T ₁	T ₂	d _o	t _{n.o}	R*
X-31					
X-34					

注記 *：原子炉格納容器中心から原子炉格納容器内側までの距離

4. 設計条件

4.1 設計荷重

- (1) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

内圧 P_{SA} 620 kPa

温度 T_{SA} 200 °C

- (2) 配管荷重

貫通部に作用する配管反力による設計荷重を表 4-1 に示す。設計荷重の作用方向を図 4-1 に示す。

表 4-1 配管反力による設計荷重

貫通部番号	荷重の種類	軸力(N)	モーメント(N・mm)	
		P	M_C	M_L
X-31	死荷重			
X-34	死荷重			

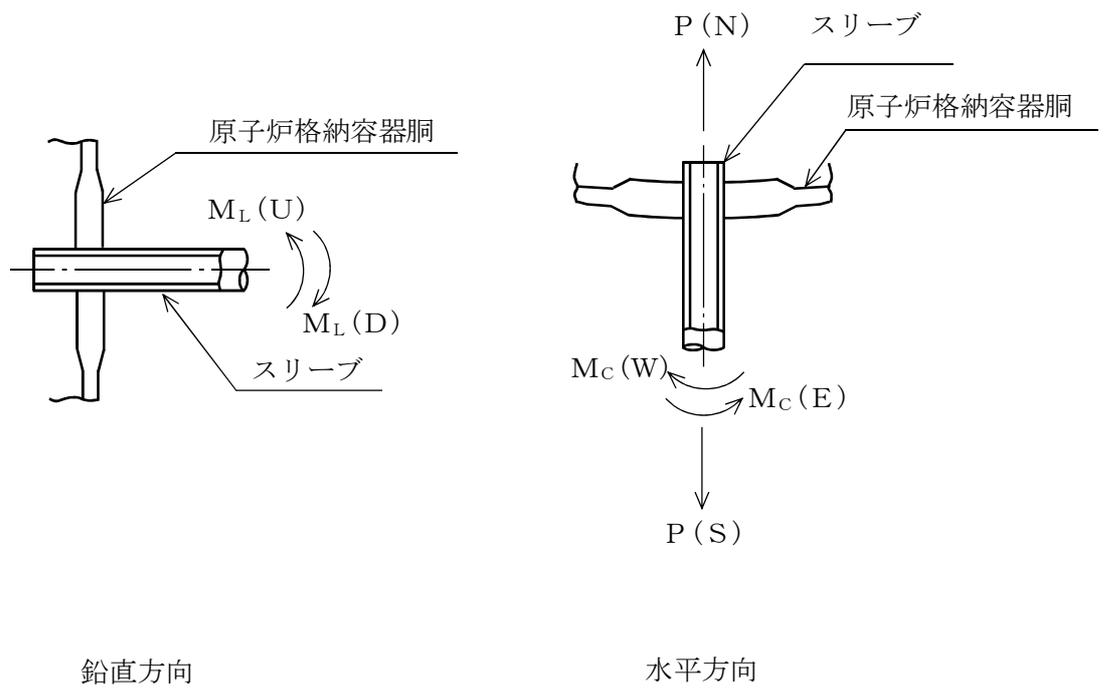


図 4-1 地震荷重の作用方向

4.2 材料及び許容応力

(1) 材料

表 4-1 使用材料表

使用部位	使用材料		備考
原子炉格納容器胴	SGV49 相当		SGV480*
補強板	SGV49 相当		SGV480*

注記 * : 新 JIS を示す。

(2) 荷重の組合せ及び許容応力

重大事故等対処設備の評価における荷重の組合せ及び供用状態を表 4-2 に、供用状態に対する許容応力を表 4-3 に示す。

表4-2 荷重の組合せ及び供用状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*	機器等の区分	荷重の組合せ	供用状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	原子炉格納容器貫通部	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等クラス2容器	$D + P_{SA} + M_{SA}$	E (EとしてDの許容限界を用いる)

注記 * : 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

表4-3 許容応力（重大事故等対処設備）

(単位 : MPa)

材料	供用状態	許容応力		
		一次応力		一次+二次応力
		P	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	E	—	422	—

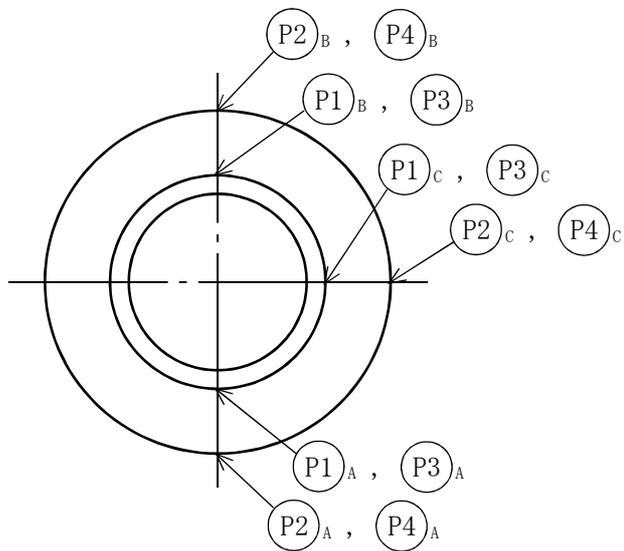
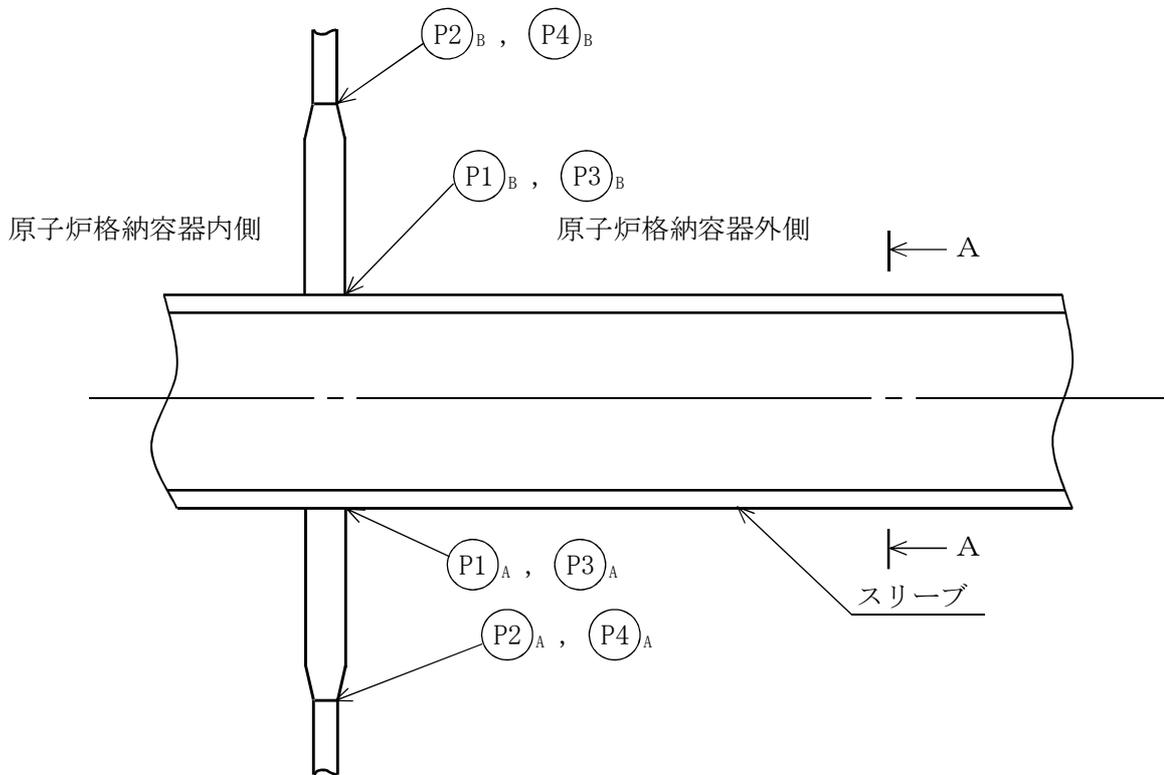
5. 応力計算

5.1 応力評価点

貫通部の形状及び応力レベルを考慮して設定した応力評価点を表 5-1 及び図 5-1 に示す。

表 5-1 応力評価点

貫通部番号	応力評価点番号	応力評価点
X-31	P 1	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (P 1 - A ~ P 1 - C)
	P 2	補強板取付部 (P 2 - A ~ P 2 - C)
X-34	P 3	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (P 3 - A ~ P 3 - C)
	P 4	補強板取付部 (P 4 - A ~ P 4 - C)



A~A 矢視図

図 5-1 応力評価点

5.2 計算方針

5.2.1 原子炉格納容器に作用する荷重による応力

原子炉格納容器に作用する内圧及び死荷重による応力は、添付書類「V-3-9-1-1-4 ドライウェル本体及びサプレッション・チェンバ本体の強度計算書」で計算した応力を用いる。

5.2.2 貫通部に作用する荷重による応力

貫通部に作用する死荷重による応力は、解析コードMSC NASTRANを用いて計算する。

貫通部番号 X-31 及び X-34 の計算モデルを図 5-2 及び図 5-3 に示す。

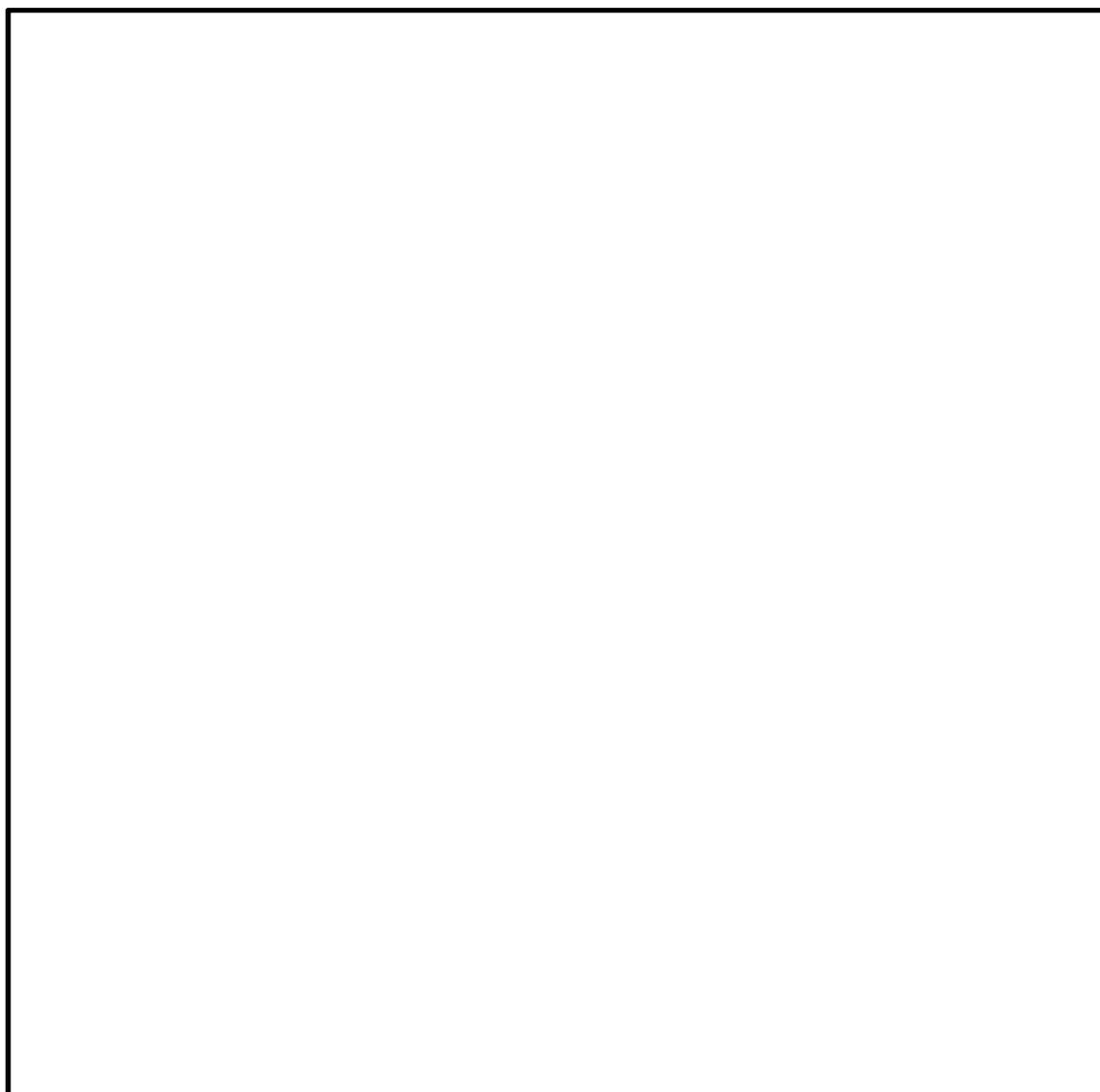


図 5-2 貫通部番号 X-31 の解析モデル

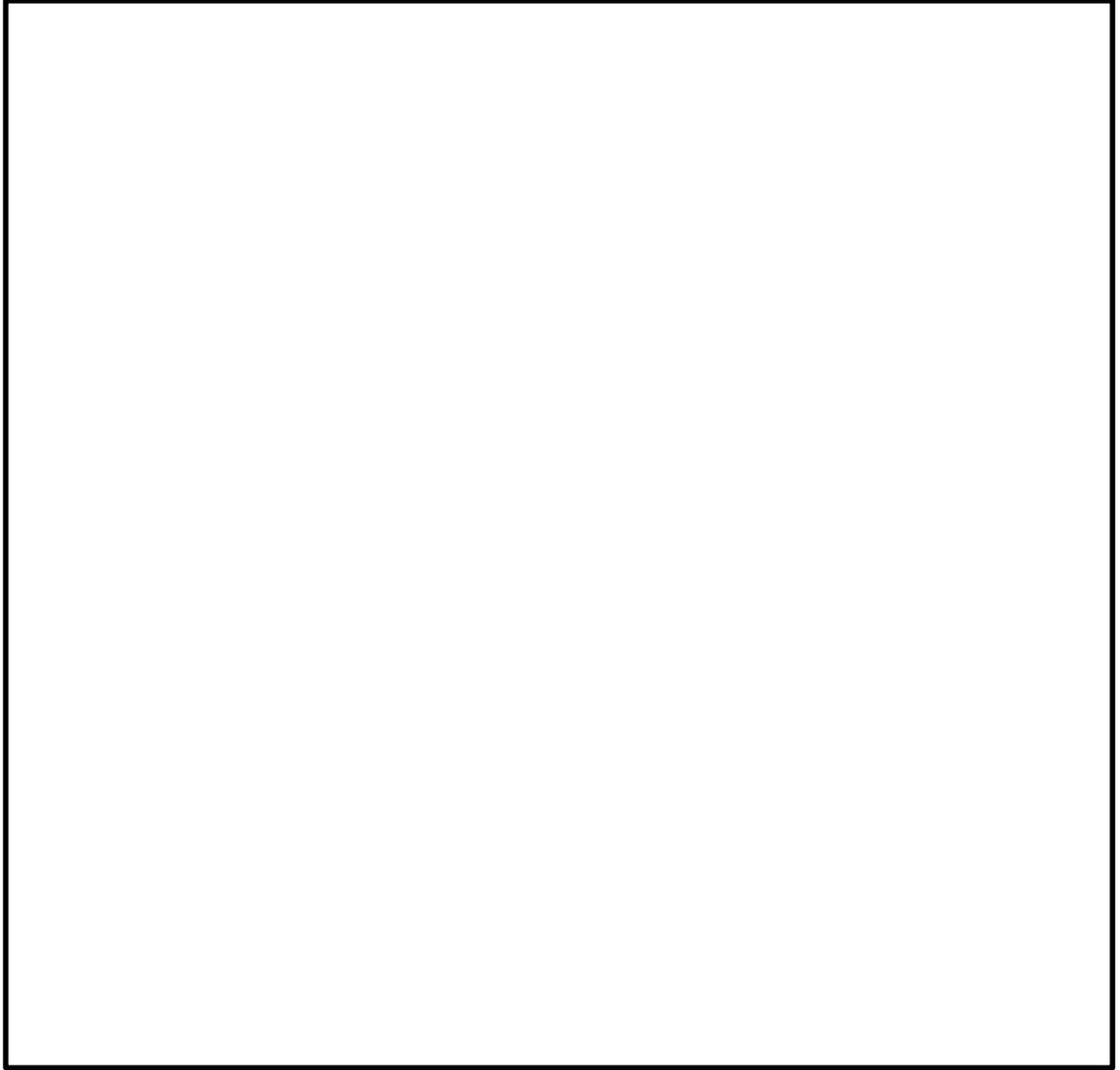


図 5-3 貫通部番号 X-34 の解析モデル

表 5-2 解析モデル諸元表

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV480
質量	m_0	kg	— *1
温度条件	T	°C	4.1に記載のとおり
縦弾性係数	E	MPa	— *2
ポアソン比	ν	—	<input type="text"/>
要素数	—	個	図5-2～図5-3に 記載のとおり
節点数	—	個	

注記 *1：単位荷重による解析のため、質量は定義不要。

*2：動的応答を考慮しない為、剛性（縦弾性係数）は解析結果に影響しない。

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉格納容器貫通部の重大事故等対処設備としての強度評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足している。

(1) 供用状態Eに対する評価

供用状態Eに対する応力評価結果を表 6-1 に示す。

表 4-2 に示す荷重の組合せについて記載している。

表 6-1 供用状態Eに対する評価結果 (D + P_{SA} + M_{SA})

評価対象設備	評価部位		応力分類	E		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
原子炉格納容器 貫通部 X-31	P 1	原子炉格納容器胴とスリーブとの 取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	269	422	○	
	P 2	補強板取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	270	422	○	
原子炉格納容器 貫通部 X-34	P 3	原子炉格納容器胴とスリーブとの 取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	270	422	○	
	P 4	補強板取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	270	422	○	

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1032 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-別添 6-1 炉心シュラウドの応力計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	1
1.4 計算結果の概要	1
2. 計算条件	5
2.1 解析範囲	5
2.2 設計条件	5
2.3 重大事故等時の条件	5
2.4 材料	5
2.5 物性値及び許容限界	5
2.6 応力の記号と方向	5
3. 応力計算	6
3.1 応力評価点	6
3.2 差圧による応力	6
3.2.1 荷重条件 (L02)	6
3.2.2 計算方法	6
3.3 外荷重による応力	7
3.3.1 荷重条件 (L04)	7
3.3.2 計算方法	7
3.4 応力の評価	7
4. 応力強さの評価	8
4.1 一次一般膜応力強さの評価	8
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8
5. 特別な評価	9
5.1 支圧応力の評価	9
5.1.1 支圧面積	9
5.1.2 支圧荷重	9
5.1.3 平均支圧応力	9
5.1.4 支圧応力の評価	9
5.2 座屈に対する評価	10
5.2.1 計算データ	10
5.2.2 圧縮応力	10
5.2.3 許容圧縮応力	10
5.2.4 座屈に対する評価	10

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 5-1	支圧荷重の支持面	11
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	断面性状	12
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	13
表 4-2	一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	14
表 5-1	支圧応力の評価	15
表 5-2	座屈に対する評価	15

1. 一般事項

本計算書は、炉心シュラウドの応力計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を図1-1に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」(以下「応力解析の方針」という。)の2章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
R _o	外半径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
t	厚さ	mm
σ_b	平均支圧応力	MPa
σ_{ba}	許容支圧応力	MPa
σ_c	圧縮応力	MPa
σ_{ca}	許容圧縮応力	MPa

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

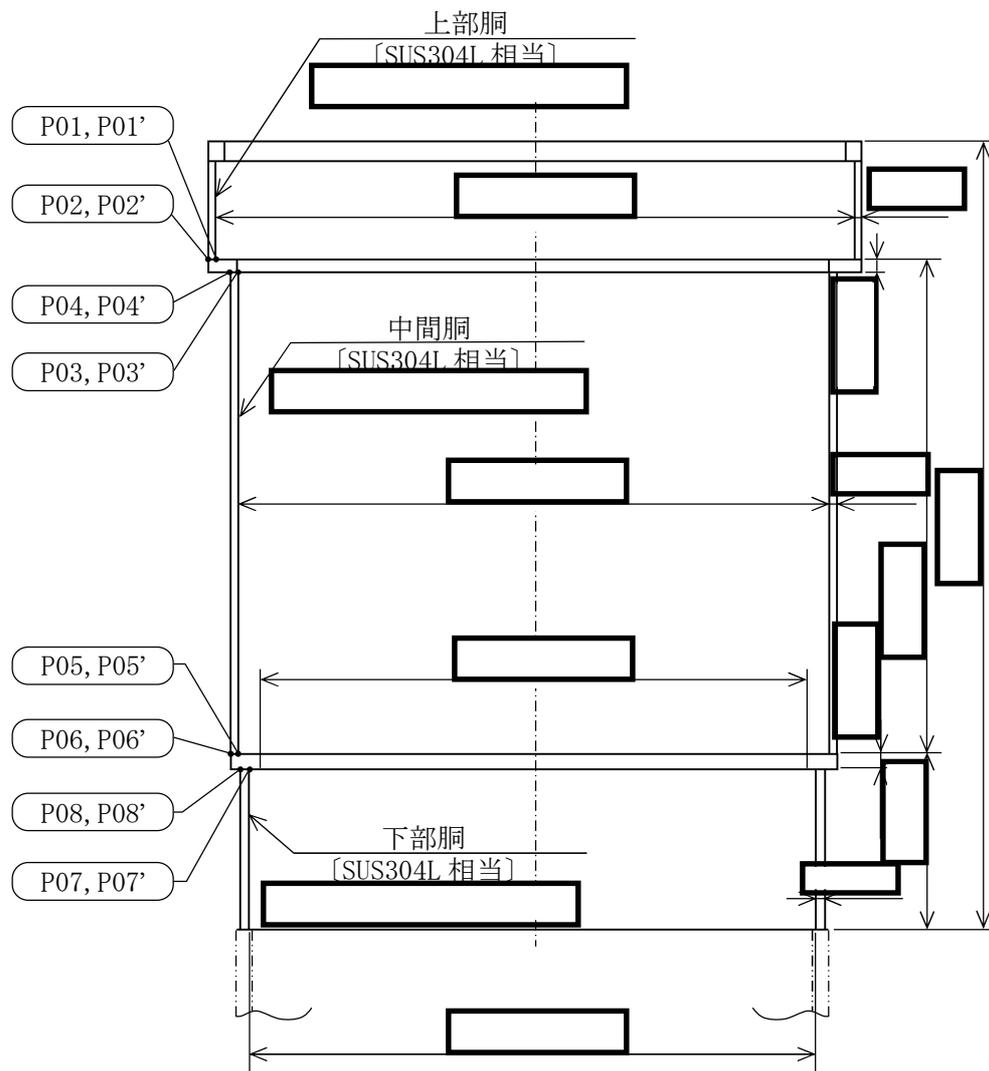
- a. 差圧
- b. 外荷重

差圧及び外荷重の値を「応力解析の方針」の4章に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表1-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。



- : 応力評価点
- [] : J I S 相当材
- () : 材料

図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1(1) 計算結果の概要

部分及び材料	供用状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜 +一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力 強さ	許容値	応力 評価面	応力 強さ	許容値	応力 評価面
上部胴 SUS304L	E	11	150	P01-P02	11	226	P01-P02
中間胴 SUS304L	E	11	150	P03-P04	11	226	P03-P04
下部胴 SUS304L	E	20	150	P07-P08	20	226	P07-P08

表 1-1(2) 計算結果の概要

部分及び材料	供用状態	支圧応力 (MPa)	
		平均支圧応力	許容値
上部格子板支持面 SUS304L	E	1	217
炉心支持板支持面 SUS304L	E	1	217

表 1-1(3) 計算結果の概要

部分及び材料	供用状態	座屈に対する評価 (MPa)	
		圧縮応力	許容値
下部胴 SUS304L	E	2	50

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

なお、下部胴とシュラウドサポートとの接合部の応力解析及び評価は、添付書類「V-3-別添 6-2 シュラウドサポートの応力計算書」に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容限界

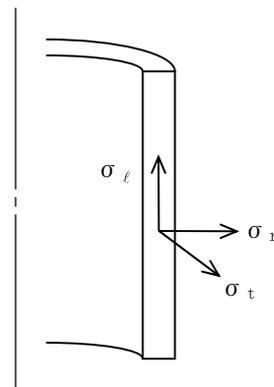
物性値及び許容限界は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
- σ_ℓ : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力
- $\tau_{t\ell}$: せん断応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。また、各応力評価点の断面性状を表 3-1 に示す。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

重大事故等時の条件による差圧を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

3.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

差圧 P による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P$$

$$\sigma_\ell = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P$$

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

(2) 一次一般膜+一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜+一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

炉心シュラウドに働く外荷重を「応力解析の方針」の4.4節に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{t\ell} = \frac{V}{A} + \frac{M \cdot D_o}{I \cdot 2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{H}{A}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力を分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の5.4節に示す。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

供用状態Eにおける評価を，表 4-1 に示す。

表 4-1 より，供用状態Eの一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

供用状態Eにおける評価を，表 4-2 に示す。

表 4-2 より，供用状態Eの一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

5. 特別な評価

炉心シュラウドの上部格子板支持面及び炉心支持板支持面には、鉛直荷重により支圧応力が生じるため、支圧応力の評価を行う。

軸圧縮荷重に対しては、炉心シュラウド下部胴について、座屈に対する評価を実施する。

5.1 支圧応力の評価

5.1.1 支圧面積

(1) 上部格子板支持面 (図 5-1(1)参照)

上部格子板支持面の支圧荷重を受ける面積は次のようになる。



(2) 炉心支持板支持面 (図 5-1(2)参照)

炉心支持板支持面の支圧荷重を受ける面積は次のようになる。



5.1.2 支圧荷重

重大事故等時の条件における上部格子板支持面及び炉心支持板支持面に作用する鉛直力を「応力解析の方針」の 4.2 節の表 4-1(1) (荷重作用点 F 及び G) に示す。

5.1.3 平均支圧応力

平均支圧応力 σ_b は、次式により求める。

$$\sigma_b = \frac{V}{A}$$

5.1.4 支圧応力の評価

供用状態 E における支圧応力の評価を表 5-1 に示す。

表 5-1 より、供用状態 E における平均支圧応力は、「応力解析の方針」の表 3-4(3) に示す許容値を満足する。

5.2 座屈に対する評価

炉心シュラウドに圧縮応力を発生させる荷重を、「応力解析の方針」の表4-1(1)に示す。これらの荷重の組合せにより発生する圧縮応力の評価を行う。

5.2.1 計算データ

内径 : $D_i =$

外径 : $D_o = D_i + 2 \cdot t$

断面積 : $A = \frac{\pi}{4} \cdot (D_o^2 - D_i^2)$

5.2.2 圧縮応力

重大事故等時の条件での圧縮応力は、次のように求める。

供用状態E

$\sigma_c = \frac{V}{A} =$
 = 2 MPa

5.2.3 許容圧縮応力

重大事故等時の条件での許容圧縮応力は、次のように求める。

供用状態Eにおける許容圧縮応力は、次の2つの値のうち小さい方の値を用いる。

$2.0 \cdot S_m = 193 \text{ MPa}$

$2.0 \cdot B = 77 \text{ MPa}$

(供用状態Eの温度 °Cにおける値)

ここで、B値は次のようにして求める。

設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図12より、

$\frac{0.125}{R_o / t} = \frac{0.125}{\text{}}$

を用いて、

$2.0 \cdot B = 77 \text{ MPa}$

ゆえに、許容圧縮応力は継手効率を考慮し、

$\sigma_{ca} = 50 \text{ MPa}$

5.2.4 座屈に対する評価

供用状態Eにおける座屈に対する評価を表5-2に示す。

表5-2より、供用状態Eにおける圧縮応力は、5.2.3項に示す許容圧縮応力を満足する。

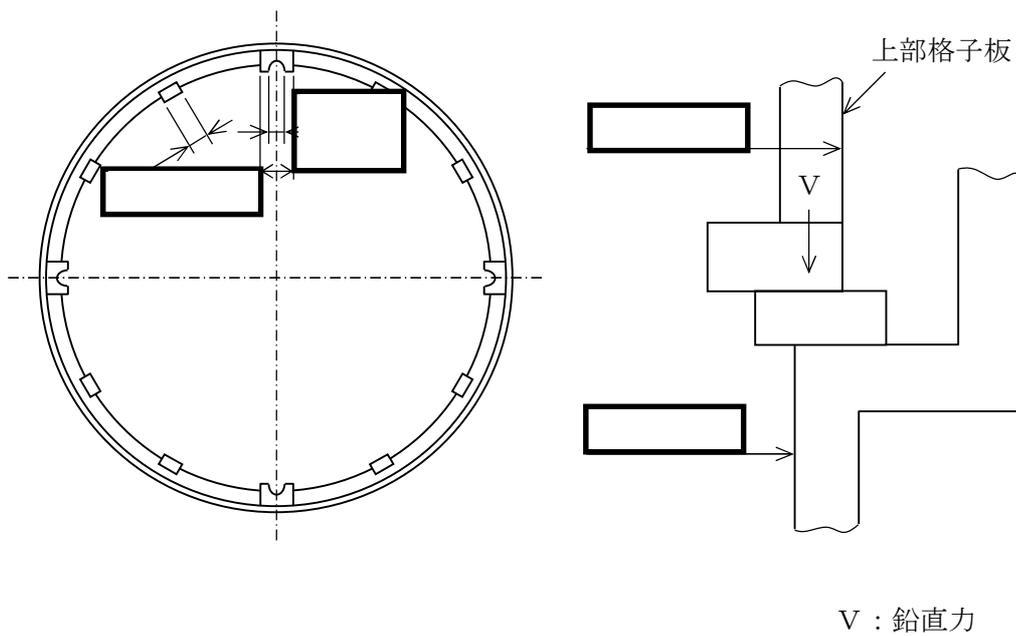


図 5-1(1) 支圧荷重の支持面 (上部格子板) (単位 : mm)

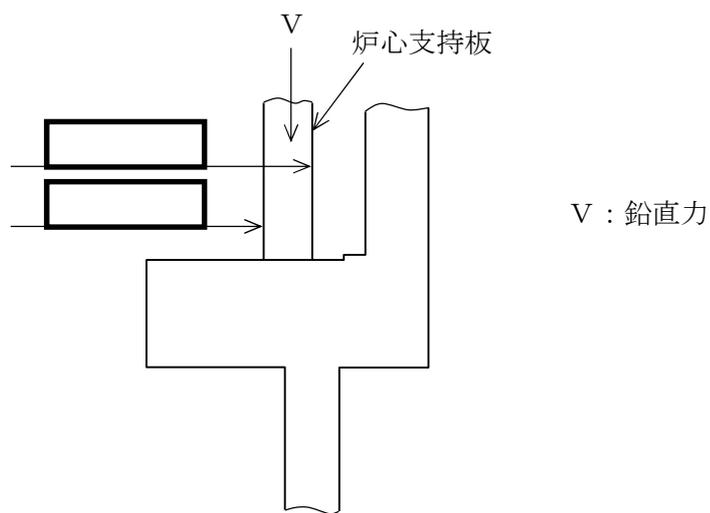


図 5-1(2) 支圧荷重の支持面 (炉心支持板) (単位 : mm)

表 3-1 断面性状

応力評価点	t (mm)	D _i (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
P01, P02				
P03, P04				
P05, P06				
P07, P08				

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	供用状態 E	
	応力 強さ	許容値
P01 P02	11	150*
P01' P02'	11	150*
P03 P04	11	150*
P03' P04'	11	150*
P05 P06	11	150*
P05' P06'	11	150*
P07 P08	20	150*
P07' P08'	20	150*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	供用状態 E	
	応力 強さ	許容値
P01 P02	11	226*
P01' P02'	11	226*
P03 P04	11	226*
P03' P04'	11	226*
P05 P06	11	226*
P05' P06'	11	226*
P07 P08	20	226*
P07' P08'	20	226*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

表 5-1(1) 支圧応力の評価

応力評価面 : 上部格子板支持面 (単位 : MPa)

条件	平均支圧応力 σ_b	許容支圧応力 σ_{ba}
供用状態E	1	217

表 5-1(2) 支圧応力の評価

応力評価面 : 炉心支持板支持面 (単位 : MPa)

条件	平均支圧応力 σ_b	許容支圧応力 σ_{ba}
供用状態E	1	217

表 5-2 座屈に対する評価

応力評価部位 : 下部胴 (単位 : MPa)

条件	圧縮応力 σ_c	許容圧縮応力 σ_{ca}
供用状態E	2	50

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1033 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-別添6-2 シュラウドサポートの応力計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	2
1.4 計算結果の概要	2
2. 計算条件	5
2.1 解析範囲	5
2.2 重大事故等時の条件	5
2.3 材料	5
2.4 物性値及び許容限界	5
2.5 応力の記号と方向	5
3. 応力計算	6
3.1 応力評価点	6
3.2 外荷重による応力	6
3.2.1 荷重条件 (L04)	6
3.3 応力の評価	6
4. 応力強さの評価	6
4.1 一次一般膜応力強さの評価	6
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	6
5. 特別な評価	7
5.1 座屈に対する評価	7
5.1.1 計算データ	7
5.1.2 外荷重	7
5.1.3 圧縮応力	7
5.1.4 許容圧縮応力	8
5.1.5 座屈に対する評価	8

図表目次

図1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	3
表1-1	計算結果の概要	4
表4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	9
表4-2	一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	10
表5-1	座屈に対する評価	11

1. 一般事項

本計算書は、シュラウドサポートの応力計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図1-1に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）の2章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	シュラウドサポートレグ 1 本当たりの断面積	mm ²
B	シュラウドサポートレグの幅	mm
C	部材両端の拘束条件に対する座屈長さの係数	—
F	許容応力度	MPa
f _c	許容圧縮応力	MPa
I	座屈軸についての断面二次モーメント	mm ⁴
i	座屈軸についての断面二次半径	mm
ℓ	シュラウドサポートレグの長さ	mm
ℓ _k	座屈長さ	mm
T	シュラウドサポートレグの板厚	mm
Λ	限界細長比	—
λ	有効細長比	—
ν	設計・建設規格 SSB-3121.1(3)a. における ν	—

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重の値を「応力解析の方針」の4章に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表1-1に示す。

なお、供用状態Eにおける評価結果は、添付書類「V-2-3-3-2-3 シュラウドサポートの耐震性についての計算書」にて選定した、各部分を代表する応力評価面について記載している。

注：以下、シュラウドサポートレグ、シュラウドサポートシリンダ、シュラウドサポートプレート及び炉心シュラウド下部胴を、それぞれ「レグ」、「シリンダ」、「プレート」及び「下部胴」という。

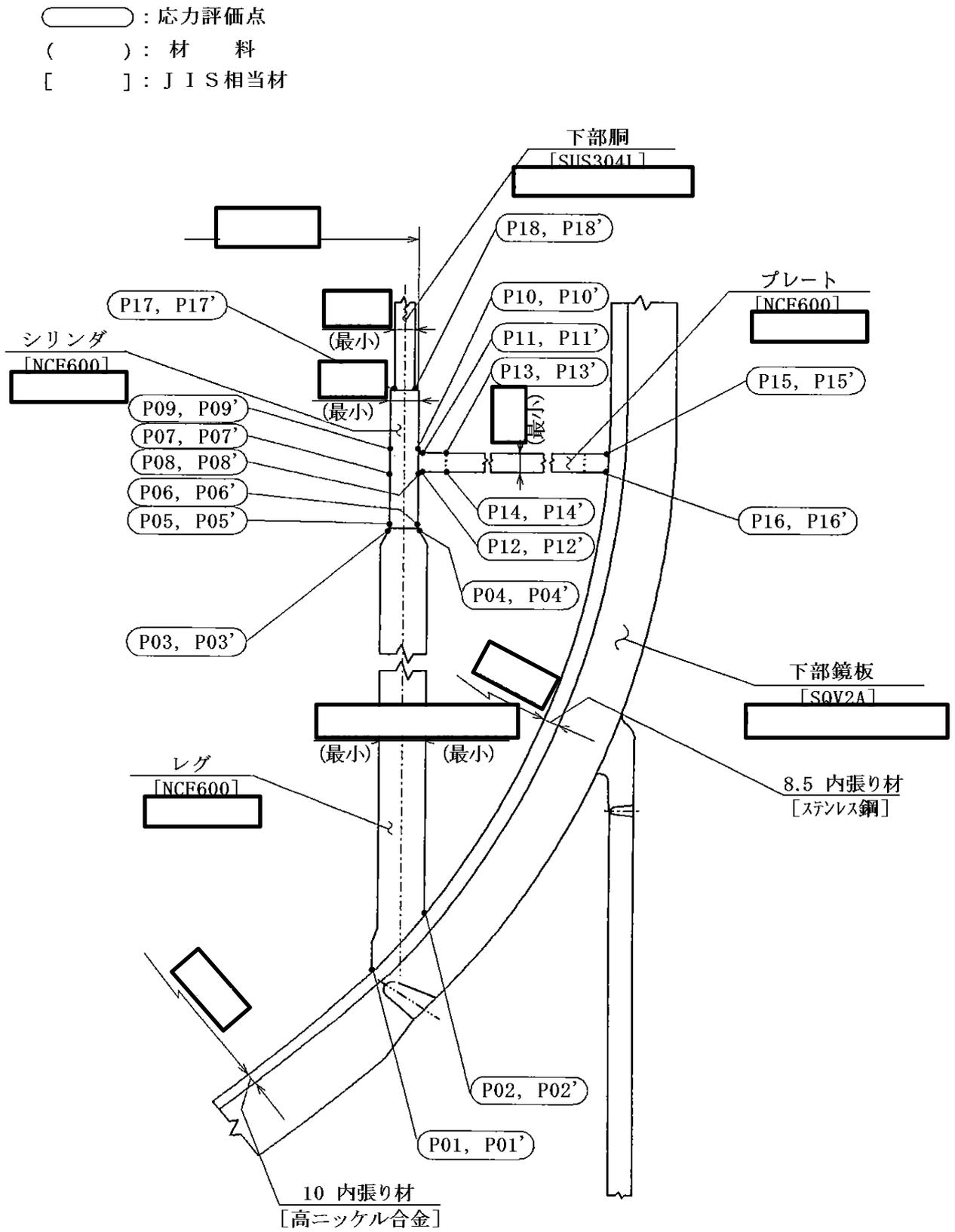


図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表1-1 計算結果の概要

部分及び材料	供用状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力 強さ	許容値	応力評価面	応力 強さ	許容値	応力評価面
レグ NCF600	E	48	300	P01 - P02	48	450	P01 - P02
シリンダ NCF600	E	109	334	P07 - P08	109	501	P07 - P08
プレート NCF600	E	107	334	P13 - P14	107	501	P13 - P14
下部胴 SUS304L	E	58	209	P17 - P18	58	313	P17 - P18

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図1-1に示す。

2.2 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

2.3 材料

各部の材料を図1-1に示す。

2.4 物性値及び許容限界

物性値及び許容限界は、「応力解析の方針」の3.4節及び3.6節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の3.7節に示す。

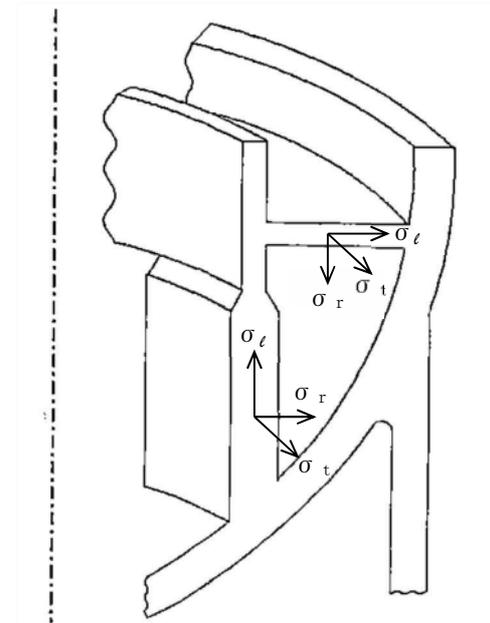
2.5 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

σ_t : 周方向応力

σ_l : 軸方向応力

σ_r : 半径方向応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図1-1に示す。

3.2 外荷重による応力

3.2.1 荷重条件 (L04)

シュラウドサポートに作用する外荷重を「応力解析の方針」の4.4節に示す。

3.3 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力を分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の5.4節に示す。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

供用状態Eにおける評価をまとめて、表4-1に示す。

表4-1より、供用状態Eの一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.6節及び3.7節に示す許容値を満足する。

4.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価

供用状態Eにおける評価をまとめて、表4-2に示す。

表4-2より、供用状態Eの一次一般膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.6節及び3.7節に示す許容値を満足する。

5. 特別な評価

5.1 座屈に対する評価

レグには、シュラウドサポートに作用する外荷重により、圧縮応力が生じる。したがって、これらの荷重の組合せにより発生する圧縮応力の評価を行う。

5.1.1 計算データ

(1) 座屈長さ l_k

$$l_k = C \cdot l = 0.7 \times \boxed{} = \boxed{} \text{ mm}$$

ここで、 $C = 0.7$

$$l : \text{レグの長さ} = \boxed{} \text{ mm}$$

(2) 座屈軸についての断面二次半径 i

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \boxed{} = 36.0844 \text{ mm}$$

ここで、 I : 座屈軸についての断面二次モーメント

$$= \frac{1}{12} \cdot T^3 \cdot B = \boxed{} \text{ mm}^4$$

$$T : \text{レグの板厚} = \boxed{} \text{ mm}$$

$$B : \text{レグの幅} = \boxed{} \text{ mm}$$

A : レグ1 本当りの断面積

$$= T \cdot B = \boxed{} \text{ mm}^2$$

(3) 有効細長比 λ

$$\lambda = \frac{l_k}{i} = \boxed{}$$

5.1.2 外荷重

シュラウドサポートに作用する外荷重を「応力解析の方針」の4.4節に示す。

5.1.3 圧縮応力

供用状態Eにおいてレグに発生する最大圧縮応力は、応力評価面P03'-P04'での一次一般膜応力 (σ_t) に注目して、表5-1に示す。

5.1.4 許容圧縮応力

供用状態Eにおける許容圧縮応力の計算は、設計・建設規格 SSB-3121を準用して計算する。

供用状態Eにおける許容応力度Fは、以下の3つの値のうち小さい方を用いる。

$$1.35 \cdot S_y = 261 \text{ MPa} \quad (\text{ } ^\circ\text{C}\text{における値})$$

$$0.7 \cdot S_u = 350 \text{ MPa} \quad (\text{ } ^\circ\text{C}\text{における値})$$

$$1.2 \cdot S_y = 294 \text{ MPa} \quad (\text{室温における値})$$

したがって、許容応力度F = 261 MPaとする。

供用状態Eにおける許容圧縮応力 f_c は、F = 261 MPa に対して次のように得られる。

$$\begin{aligned} \text{限界細長比: } \Lambda &= \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times \text{ } }{0.6 \times 261}} \\ &= \text{ } \end{aligned}$$

ここで、E：縦弾性係数 = $\text{ } \text{ MPa}$ $\text{ } ^\circ\text{C}$ における値)

ゆえに、 $\lambda < \Lambda$ なので f_c は、

$$\begin{aligned} f_c &= 1.5 \times \left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{\nu} \\ &= 1.5 \times \left\{ 1 - 0.4 \times \text{ } \right\} \times \frac{261}{1.54875} = 245 \text{ MPa} \end{aligned}$$

ここで、 $\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$

$$= 1.5 + \frac{2}{3} \times \text{ } = 1.54875$$

5.1.5 座屈に対する評価

供用状態Eにおける座屈に対する評価を表5-1に示す。

表5-1より、各許容応力状態における圧縮応力は、許容圧縮応力を超えないため、座屈は発生しない。

表4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

評価面	供用状態E	
	応力強さ	許容値
P01 P02	48	300*
P01' P02'	48	300*
P03 P04	43	334
P03' P04'	43	334
P05 P06	82	334
P05' P06'	82	334
P07 P08	109	334
P07' P08'	109	334
P09 P10	104	334
P09' P10'	104	334
P11 P12	94	300*
P11' P12'	94	300*
P13 P14	107	334
P13' P14'	107	334
P15 P16	69	300*
P15' P16'	69	300*
P17 P18	58	209*
P17' P18'	58	209*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

表4-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

評価面	供用状態E	
	応力強さ	許容値
P01 P02	48	450*
P01' P02'	48	450*
P03 P04	43	501
P03' P04'	43	501
P05 P06	82	501
P05' P06'	82	501
P07 P08	109	501
P07' P08'	109	501
P09 P10	104	501
P09' P10'	104	501
P11 P12	94	450*
P11' P12'	94	450*
P13 P14	107	501
P13' P14'	107	501
P15 P16	69	450*
P15' P16'	69	450*
P17 P18	58	313*
P17' P18'	58	313*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

表5-1 座屈に対する評価

(単位：MPa)

状態	圧縮応力	許容圧縮応力
供用状態E	6	245

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1034 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-別添6-3 上部格子板の応力計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	1
1.4 計算結果の概要	1
2. 計算条件	4
2.1 解析範囲	4
2.2 設計条件	4
2.3 重大事故等時の条件	4
2.4 材料	4
2.5 物性値及び許容応力	4
2.6 応力の記号と方向	4
3. 応力計算	5
3.1 応力評価点	5
3.2 差圧による応力	5
3.2.1 荷重条件 (L02)	5
3.2.2 計算方法	5
3.2.3 計算結果	5
3.3 外荷重による応力	6
3.3.1 荷重条件 (L04)	6
3.3.2 計算方法	6
3.3.3 計算結果	6
3.4 応力の評価	6
4. 応力強さの評価	7
4.1 一次一般膜応力強さの評価	7
4.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価	7

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	応力計算モデル	8
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	断面性状	8
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	9
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	9

1. 一般事項

本計算書は、上部格子板の応力計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）の 2 章による。さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
b	グリッドプレートの厚さ	mm
h _a	グリッドプレートの高さ	mm
I _y	断面二次モーメント	mm ⁴
L	最長グリッドプレートの長さ	mm

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

- a. 差圧
- b. 外荷重

各荷重の値を「応力解析の方針」の 4 章に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。

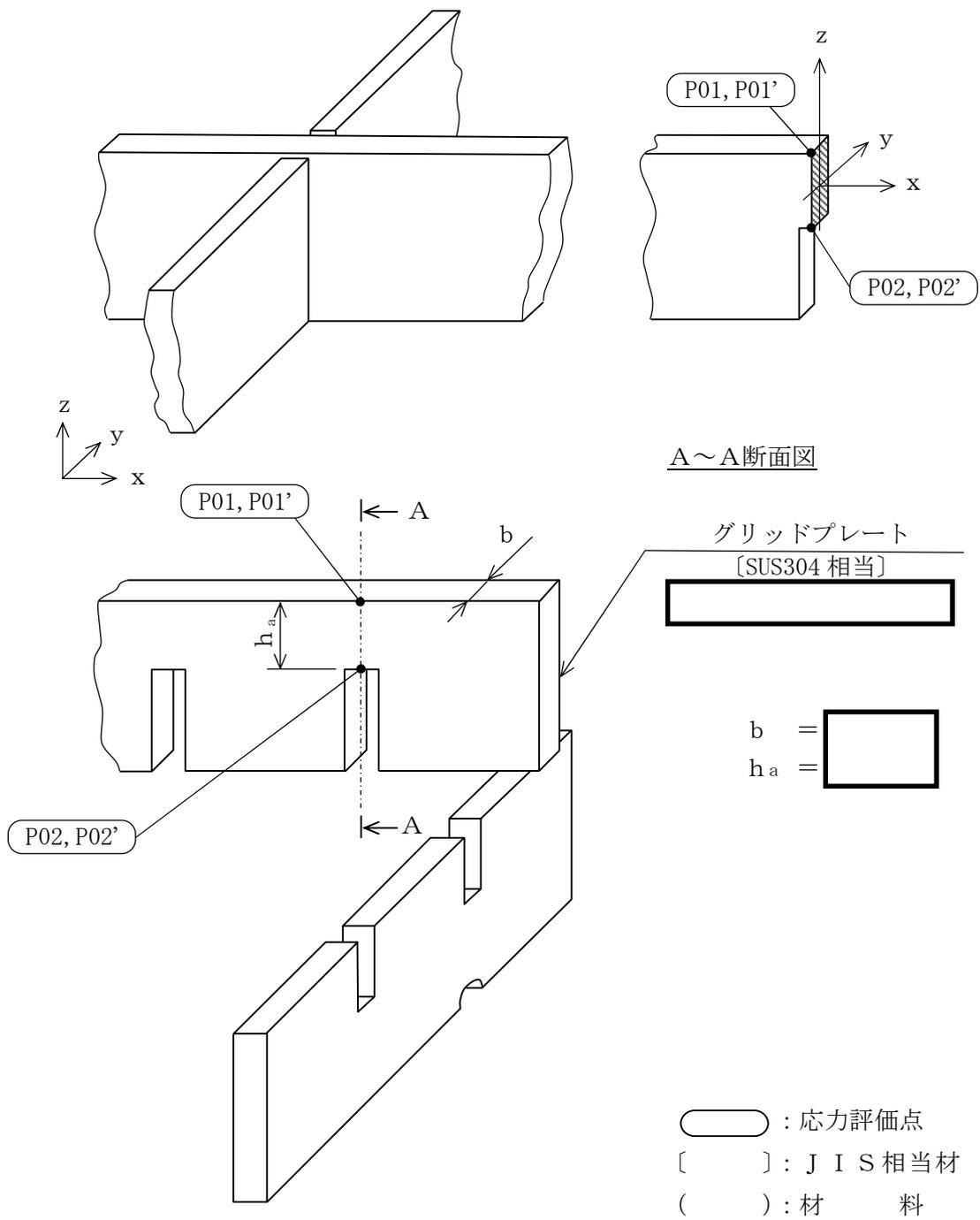


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位 : mm)

表 1-1 計算結果の概要

部分及び材料	供用状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜＋ 一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力 強さ	許容値	応力 評価面	応力 強さ	許容値	応力 評価点
グリッドプレート SUS304	E	2	260	P01-P02	5	391	P01

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容限界

物性値及び許容限界は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

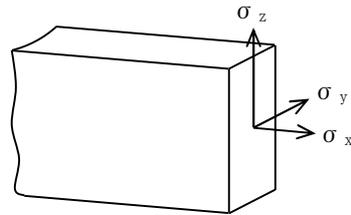
なお、主応力の算出は、「応力解析の方針」の 5.4.1 項に示される式において、 σ_t 、 σ_b 、 σ_r 、 τ_{rt} をそれぞれ σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 τ_{zx} に添字を置き換えて求める。

σ_x : x 方向応力

σ_y : y 方向応力

σ_z : z 方向応力

τ_{zx} : せん断応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。また、各応力評価点の断面性状を表 3-1 に示す。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

重大事故等時の条件による差圧を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、供用状態 E での応力は、比例計算により求める。

3.2.2 計算方法

差圧 P_{34} による応力は、以下により求める。なお、計算は、最大応力の発生する最長のグリッドプレートについて行う。計算モデルを図 3-1 に示す。

(1) 一次応力

a. 差圧 P_{34} による荷重

$$W_P = -P_{34} \cdot b \cdot L$$

b. 端部におけるモーメント

$$M = \frac{W_P \cdot L}{12}$$

c. 曲げ応力

$$\sigma_x = \frac{M}{I_y} \cdot \frac{h_a}{2}$$

d. せん断応力

$$\tau_{zx} = \frac{W_P}{2 \cdot A}$$

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

上部格子板に働く外荷重を「応力解析の方針」の 4.4 節に示す。

3.3.2 計算方法

外荷重による応力は、以下により求める。

(1) 一次応力

a. 鉛直方向荷重による応力

(a) グリッドプレートの端部における鉛直方向荷重

$$W_v = V$$

(b) グリッドプレートの端部におけるモーメント

$$M_v = \frac{W_v \cdot L}{12}$$

(c) 曲げ応力

$$\sigma_x = \frac{M_v}{I_y} \cdot \frac{h_a}{2}$$

(d) せん断応力

$$\tau_{zx} = \frac{W_v}{2 \cdot A}$$

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力を分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の 5.4 節に示す。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

供用状態Eにおける評価を、表 4-1 に示す。

表 4-1 より、供用状態Eの一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

4.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価

供用状態Eにおける評価を、表 4-2 に示す。

表 4-2 より、供用状態Eの一次一般膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

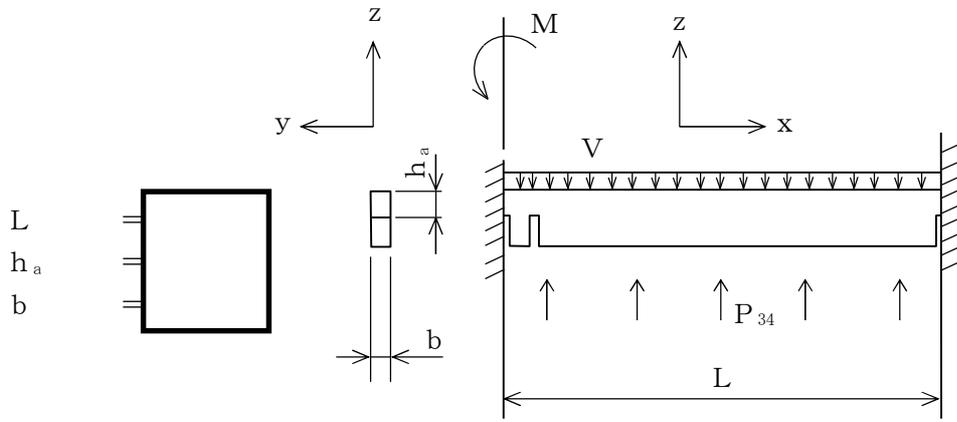


図 3-1 応力計算モデル（鉛直方向荷重）（単位：mm）

表 3-1 断面性状

応力評価点	b (mm)	h_a (mm)	A (mm ²)	I_y (mm ⁴)
P01, P02				

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	供用状態 E	
	応力 強さ	許容値
P01 P02	2	260
P01' P02'	2	260

表 4-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価点	供用状態 E	
	応力 強さ	許容値
P01	5	391
P01'	5	391
P02	5	391
P02'	5	391

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1035 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-別添6-4 炉心支持板の応力計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	2
1.4 計算結果の概要	2
2. 計算条件	7
2.1 解析範囲	7
2.2 設計条件	7
2.3 重大事故等時の条件	7
2.4 材料	7
2.5 物性値及び許容限界	7
2.6 応力の記号と方向	8
3. 応力計算	9
3.1 応力評価点	9
3.2 差圧による応力	9
3.2.1 荷重条件 (L02)	9
3.2.2 計算方法	9
3.2.3 計算結果	12
3.3 外荷重による応力	12
3.3.1 荷重条件 (L04)	12
3.3.2 計算方法	12
3.3.3 計算結果	12
3.4 応力の評価	12
4. 応力強さの評価	13
4.1 一次一般膜応力強さの評価	13
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	13

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	3
図 3-1	補強ビームの荷重計算モデル	14
図 3-2	補強ビームの応力計算モデル	14
図 3-3	支持板の荷重計算及び応力計算モデル	16
表 1-1	計算結果の概要	6
表 3-1	断面性状	17
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	18
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	19

1. 一般事項

本計算書は、炉心支持板の応力計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図1-1に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」(以下「応力解析の方針」という。)の2章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
a_i	補強ビーム固定端から中央部までの長さ	mm
b_e	等価幅	mm
D	制御棒案内管用穴径	mm
d	中性子計測案内管用穴径	mm
e_0	中立軸からの距離	mm
e_0'	中立軸からの距離	mm
e_1	中立軸からの距離	mm
e_1'	中立軸からの距離	mm
e_2	中立軸からの距離	mm
e_3	中立軸からの距離	mm
Fs	せん断力	N
h_c	支持板の厚さ	mm
h_0	補強ビーム固定端の高さ	mm
h_1	補強ビーム高さ	mm
I_0	断面二次モーメント	mm ⁴
I_1	断面二次モーメント	mm ⁴
I_2	断面二次モーメント	mm ⁴
I_3	断面二次モーメント	mm ⁴
l_i	補強ビーム固定端近傍から中央部までの長さ	mm
l_p	補強ビーム1スパン当たりの長さ	mm
t	補強ビーム厚さ	mm

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

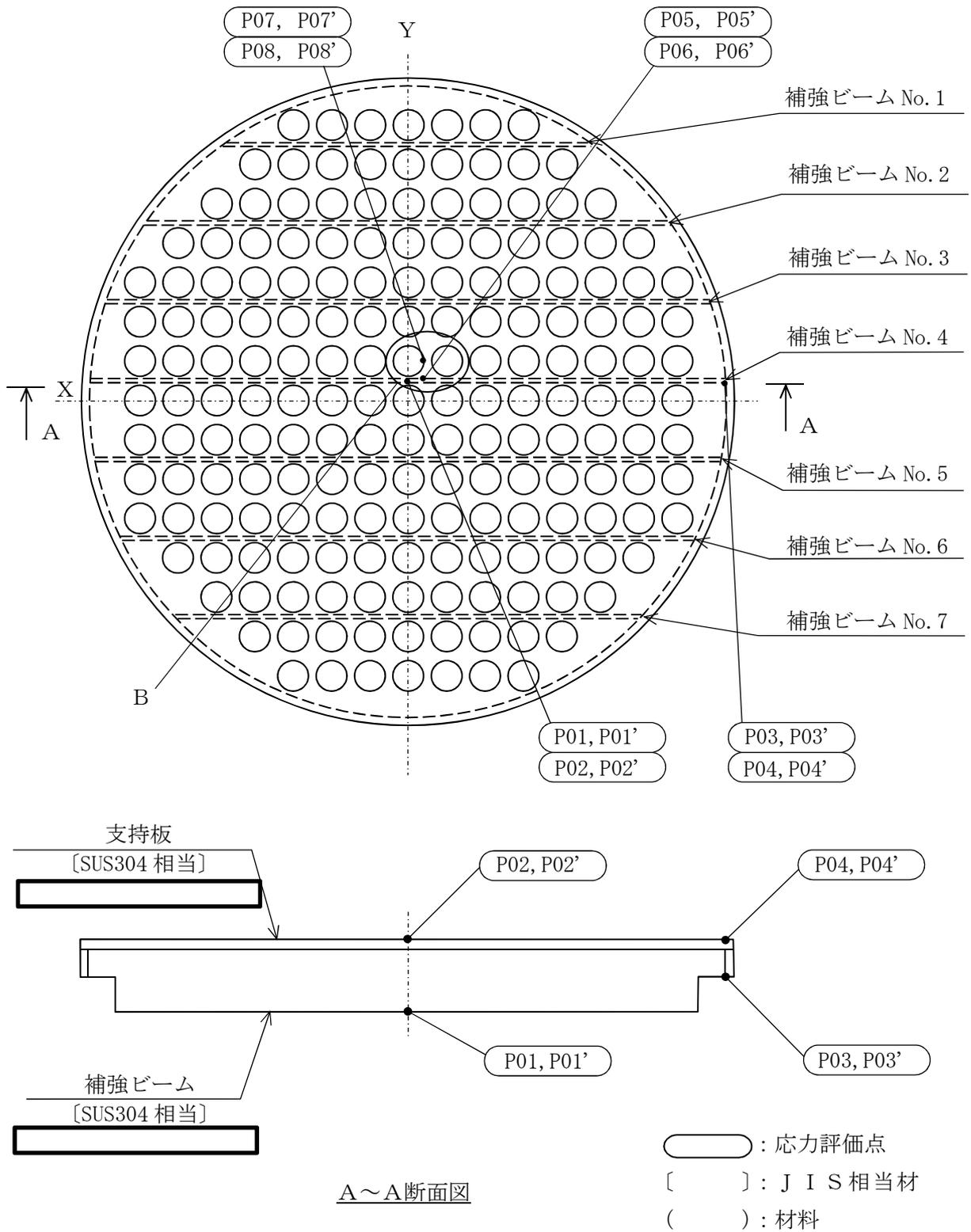
- a. 差圧
- b. 外荷重

各荷重の値を「応力解析の方針」の4章に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。



注1：B部の詳細は図1-1(2)に示す。

注2：各補強ビームの寸法を図1-1(3)に示す。

図1-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点

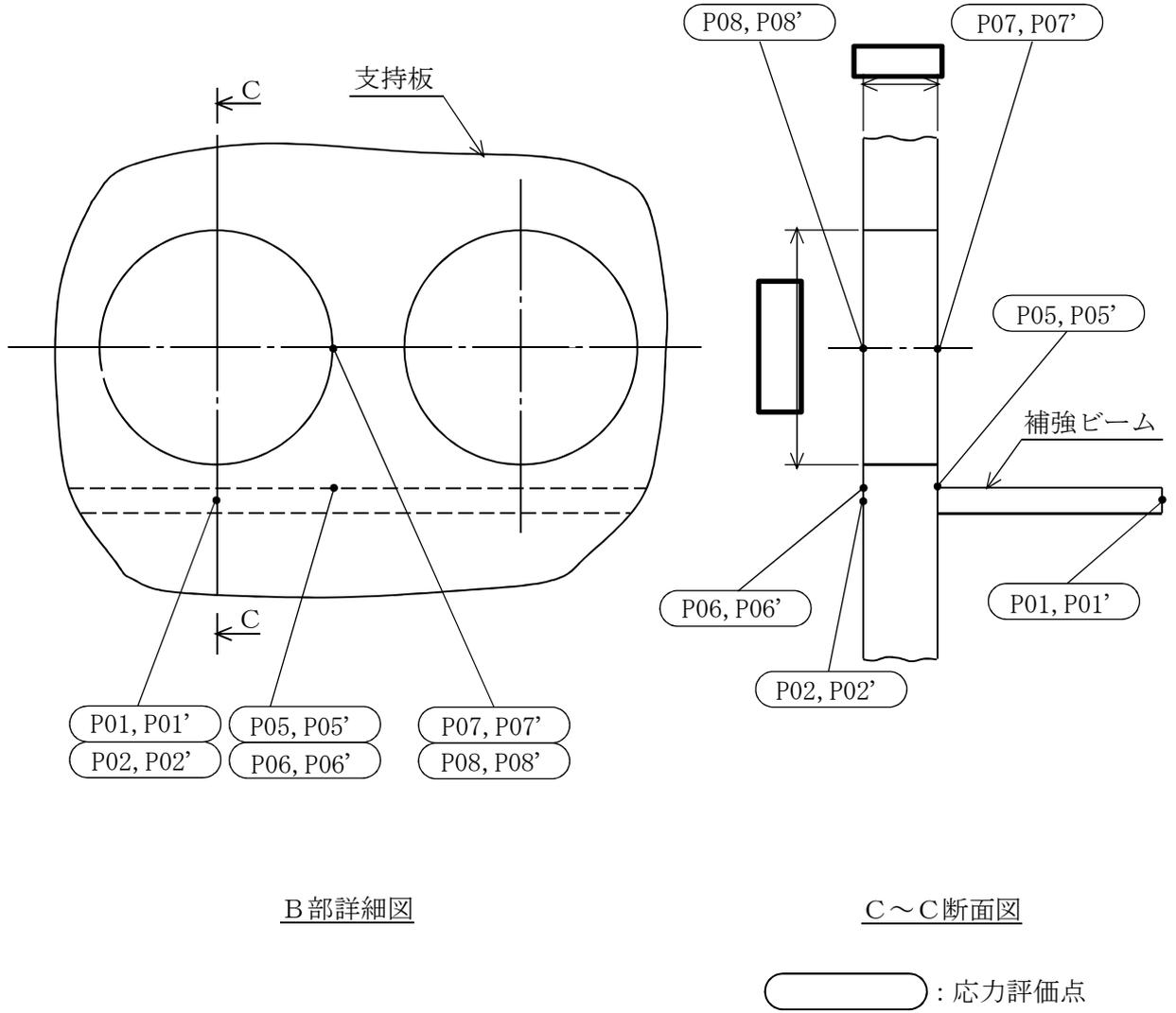
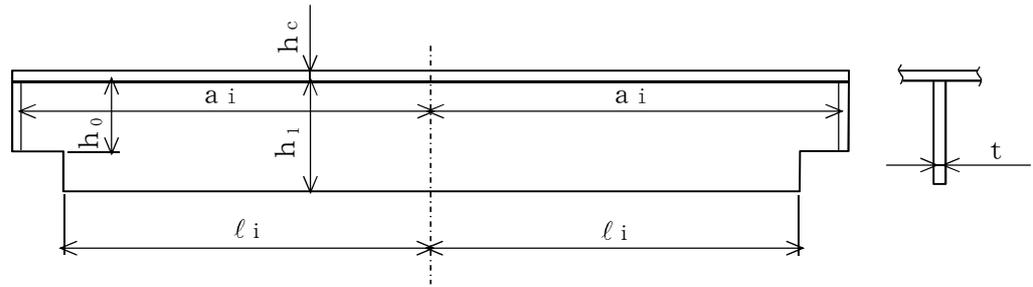


図 1-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位 : mm)



各補強ビームの寸法

(単位：mm)

寸法 ビーム No.	a_i	l_i	h_0	h_1	h_c	t
補強ビーム No. 1						
補強ビーム No. 2						
補強ビーム No. 3						
補強ビーム No. 4						
補強ビーム No. 5						
補強ビーム No. 6						
補強ビーム No. 7						

図 1-1(3) 形状・寸法・材料・応力評価点 (補強ビーム) (単位：mm)

表 1-1 計算結果の概要

部分及び材料	供用状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力 強さ	許容値	応力 評価面	応力 強さ	許容値	応力 評価点
補強ビーム SUS304	E	16	195	P03-P04	98	293	P03
支持板 SUS304	E	6	260	P07-P08	30	391	P06

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容限界

物性値及び許容応力は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。
溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

なお、主応力の算出は、「応力解析の方針」5.4.1項に示される式において、 σ_t 、 σ_l 、 σ_r 、 τ_{lr} 、 τ_{rt} をそれぞれ σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 τ_{yz} 、 τ_{zx} に添字を置き換えて求める。

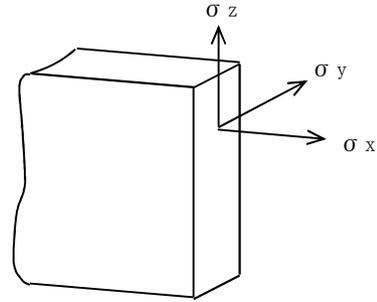
σ_x : x 方向応力

σ_y : y 方向応力

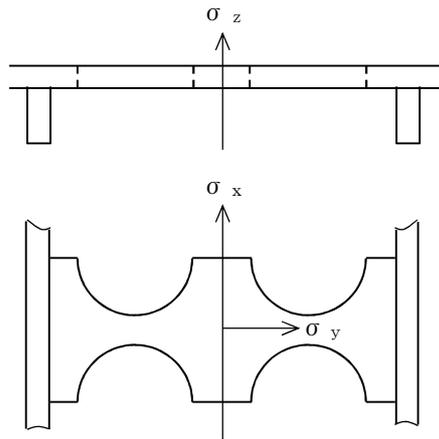
σ_z : z 方向応力

τ_{yz} : せん断応力

τ_{zx} : せん断応力



補強ビーム



支持板

3. 応力計算

応力計算において、荷重は図 3-1 及び図 3-3 に示す各補強ビーム及び各支持板に加わると考えて計算する。

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。また、各応力評価点の断面性状を表 3-1 に示す。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

重大事故等時の条件における差圧を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、供用状態 E での応力は、比例計算により求める。

3.2.2 計算方法

(1) 差圧による一次応力の計算

a. 補強ビーム

(a) 差圧による荷重

補強ビームの荷重計算モデルを、図 3-1 に示す。

差圧による単位長さ当たりの分布荷重 W_1 は、次式で求める。

$$W_1 = P_{13} \cdot \frac{1}{\ell_p} \cdot (2 \cdot \ell_p^2 - 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2)$$

(b) 曲げ応力 (一次応力)

図 3-1 に示す補強ビームの荷重計算モデルにより荷重を求め、図 3-2 に示す補強ビームの応力計算モデルにより曲げ応力を求める。ここで、断面二次モーメント I_0 、 I_1 は、支持板を穴の部分の面積を除いたものと等しい面積を持つ穴のない帯状の板に置き換えて計算する。穴としては、制御棒案内管の入る穴及び中性子計測案内管の入る穴を考慮する。なお、モーメントは最長の補強ビーム No. 4 について求める。

イ. $0 \leq x \leq \ell_i$ のとき

(イ) モーメント

$$M = -M_A + \frac{W_1}{2} \cdot (a_i^2 - x^2)$$

(ロ) 曲げ応力

$$\sigma_x = -\frac{M}{I_1} \cdot e_1 \quad (\text{補強ビームの下端})$$

$$\sigma_x = \frac{M}{I_1} \cdot e_1' \quad (\text{補強ビームの上端})$$

ロ. $\ell_i \leq x \leq a_i$ のとき

(イ) モーメント

$$M = -M_A + \frac{W_1}{2} \cdot (a_i^2 - x^2)$$

(ロ) 曲げ応力

$$\sigma_x = -\frac{M}{I_0} \cdot e_0 \quad (\text{補強ビームの下端})$$

$$\sigma_x = \frac{M}{I_0} \cdot e_0' \quad (\text{補強ビームの上端})$$

ここで, M_A : 固定端モーメント

$$M_A = \frac{\frac{W_1}{2} \ell_i \cdot \left(a_i^2 - \frac{\ell_i^2}{3} \right) \cdot (I_0 - I_1) + I_1 \cdot \frac{W_1}{3} \cdot a_i^3}{(I_0 - I_1) \cdot \ell_i + I_1 \cdot a_i}$$

I_0 : I_0 部の断面二次モーメント

I_1 : I_1 部の断面二次モーメント

(c) せん断応力 (一次一般膜応力)

補強ビームの固定端でせん断力は最大となり, 補強ビームの中央でせん断力は 0 となる。

補強ビームの固定端におけるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{zx} = \frac{F_s}{A_0}$$

ここで, F_s : 固定端におけるせん断力

$$F_s = W_1 \cdot a_i$$

A_0 : 固定端の断面積

$$A_0 = b_e \cdot h_c + h_0 \cdot t$$

b. 支持板

支持板の計算モデルを, 図 3-3 に示す。

(a) 差圧による荷重

差圧による単位長さ当たりの分布荷重 W_2 は, 次式で求める。

$$W_2 = P_{13} \cdot \frac{1}{2 \cdot \ell_4} \cdot (2 \cdot \ell_4 \cdot \ell_p - 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2)$$

(b) 曲げ応力 (一次応力)

図 3-3 に示す支持板の計算モデルにより曲げ応力を求める。

イ. モーメント

$$M = M_A - W_2 \cdot \ell_4 \cdot y + \frac{W_2}{2} \cdot y^2$$

ロ. 曲げ応力

固定端における曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_y = \frac{M_A}{I_2} \cdot e_2 \quad (\text{支持板の下面})$$

$$\sigma_y = -\frac{M_A}{I_2} \cdot e_2 \quad (\text{支持板の上面})$$

また、 $y = \boxed{}$ mm における曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_y = \frac{M}{I_3} \cdot e_3 \quad (\text{支持板の下面})$$

$$\sigma_y = -\frac{M}{I_3} \cdot e_3 \quad (\text{支持板の上面})$$

ここで、 M_A : 固定端モーメント

$$M_A = \left[\frac{2 \cdot \ell_4^3 - \left(\frac{I_2}{I_3} - 1 \right) \cdot (\ell_3^3 - \ell_2^3 - 3 \cdot \ell_3^2 \cdot \ell_4 + 3 \cdot \ell_2^2 \cdot \ell_4)}{6 \cdot \left\{ \ell_4 + \left(\frac{I_2}{I_3} - 1 \right) \cdot (\ell_3 - \ell_2) \right\}} \right] \cdot W_2$$

I_2 : I_2 部の断面二次モーメント

I_3 : I_3 部の断面二次モーメント

(c) せん断応力 (一次一般膜応力)

固定端におけるせん断応力は、次式で求める。

$$\tau_{yz} = \frac{W_2 \cdot \ell_4}{h_c \cdot \ell_5}$$

$y = \boxed{}$ mm におけるせん断応力は、次式で求める。

$$\tau_{yz} = \frac{W_2}{h_c \cdot \ell_6} \cdot (\ell_4 - \boxed{})$$

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

炉心支持板に働く外荷重を「応力解析の方針」の4.4節に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 外荷重による一次応力の計算

a. 補強ビーム

補強ビームの荷重計算モデルを、図3-1に示す。

(a) 死荷重による単位長さ当たりの分布荷重

死荷重による単位長さ当たりの分布荷重 W_3 は、次式で求める。

$$W_3 = -\frac{V_1}{\ell_p}$$

(b) 曲げ応力及びせん断応力

3.2.2(1)a.項と同様にして求める。

b. 支持板

支持板の計算モデルを図3-3に示す。

(a) 死荷重による単位長さ当たりの分布荷重

死荷重による単位長さ当たりの分布荷重 W_5 は、次式で求める。

$$W_5 = -\frac{V_2}{2 \cdot \ell_4}$$

(b) 曲げ応力及びせん断応力

3.2.2(1)b.項と同様にして求める。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力を分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の5.4節に示す。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

供用状態Eにおける評価を，表 4-1 に示す。

表 4-1 より，供用状態Eの一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

供用状態Eにおける評価を，表 4-2 に示す。

表 4-2 より，供用状態Eの一次一般膜＋一次曲げ応力強さは「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

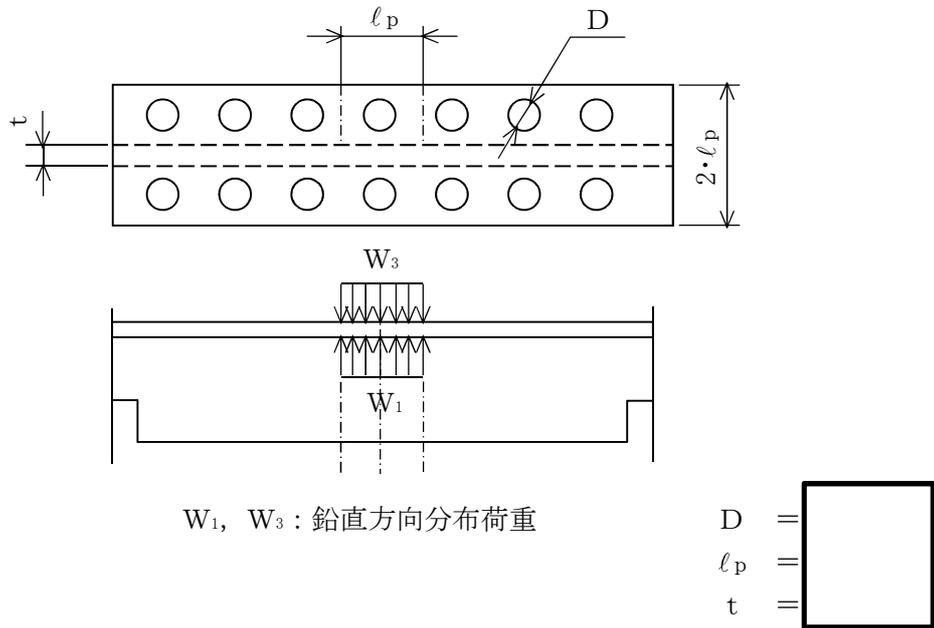


図 3-1 補強ビームの荷重計算モデル (単位: mm)

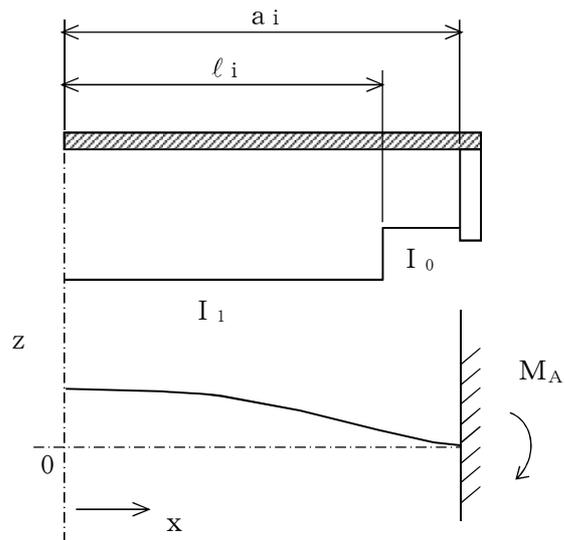
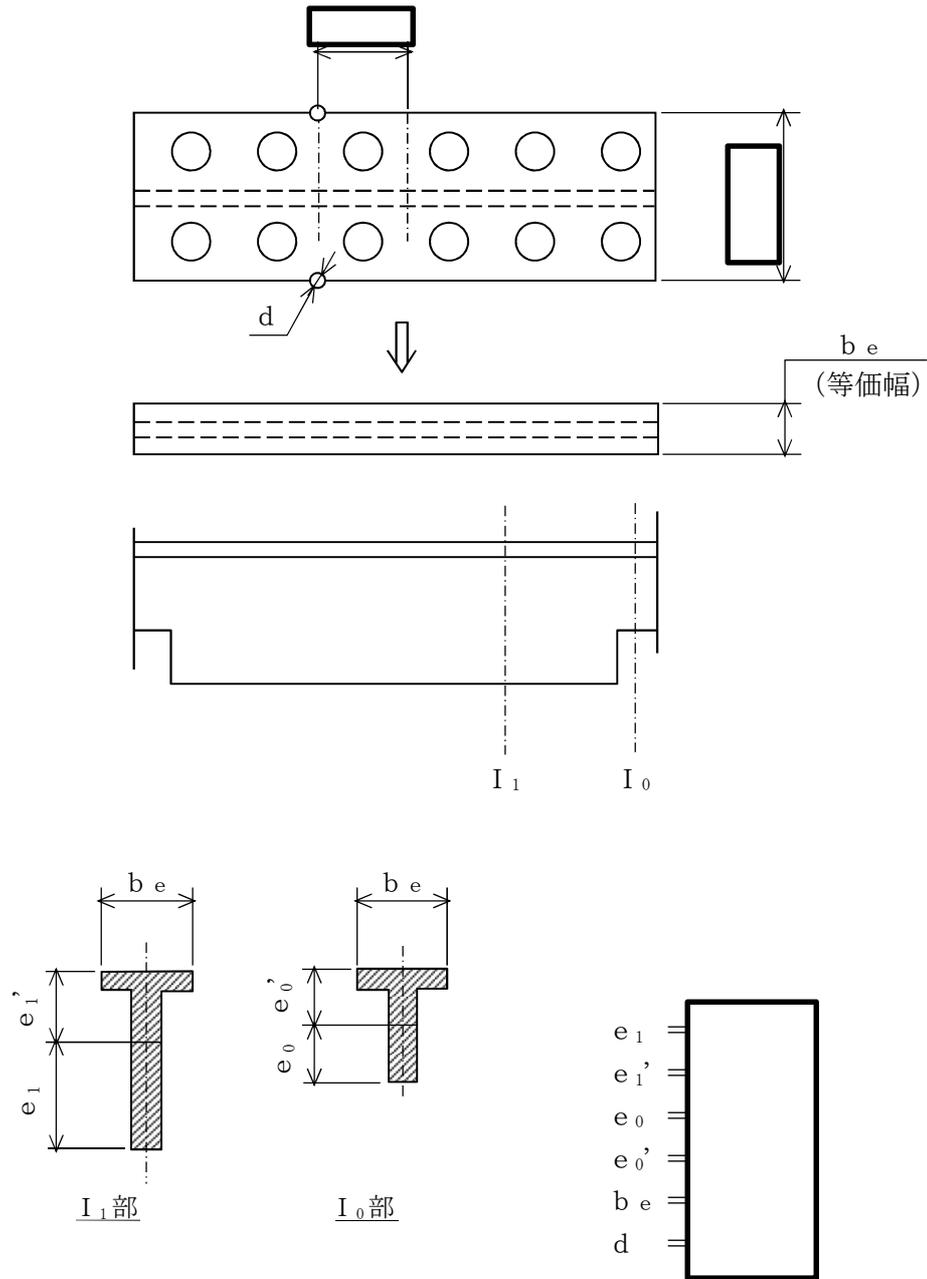
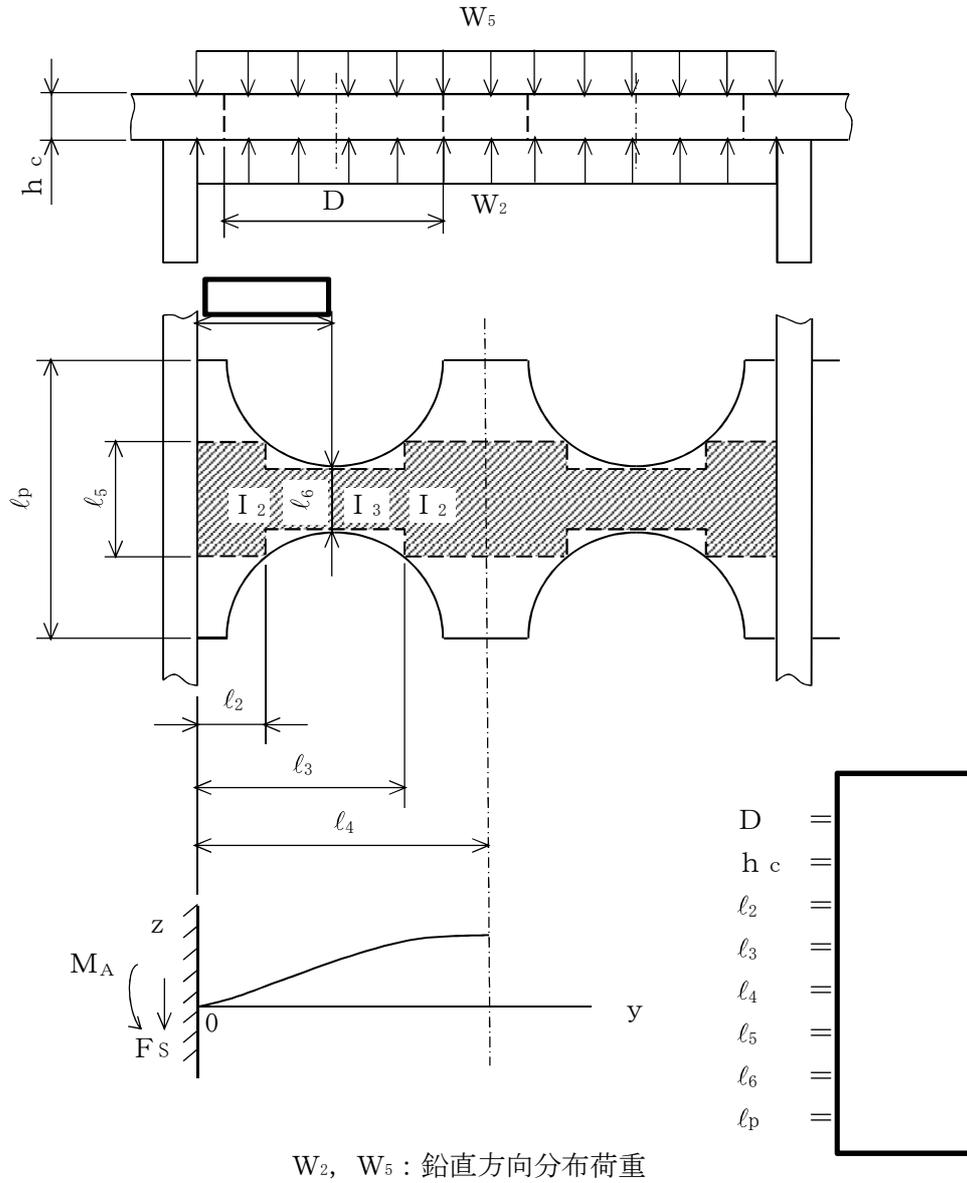


図 3-2(1) 補強ビームの応力計算モデル



ここで, $b_e = \frac{1}{l_p} \cdot (2 \cdot l_p^2 - 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 - \frac{\pi}{4} \cdot d^2)$

図 3-2(2) 補強ビームの応力計算モデル (単位: mm)



注記 * : 固定端から最小幅になる部分までの距離

図 3-3 支持板の荷重計算及び応力計算モデル (単位 : mm)

表 3-1 断面性状

応力評価点	補強ビームに平行な軸	
	I (mm ⁴)	e (mm)
P01, P02		
P03, P04		
P05, P06		
P07, P08		

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価点	供用状態E	
	応力 強さ	許容値
P01* ¹	0	260
P01' ^{*1}	0	260
P02* ¹	0	260
P02' ^{*1}	0	260
P03* ¹	16	195* ³
P03' ^{*1}	16	195* ³
P04* ¹	16	260
P04' ^{*1}	16	260
P05* ²	3	156* ³
P05' ^{*2}	3	156* ³
P06* ²	3	260
P06' ^{*2}	3	260
P07* ²	6	260
P07' ^{*2}	6	260
P08* ²	6	260
P08' ^{*2}	6	260

注記 *1：補強ビーム

*2：支持板

*3：継手効率を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価点	供用状態 E	
	応力 強さ	許容値
P01* ¹	29	391
P01' * ¹	29	391
P02* ¹	14	391
P02' * ¹	14	391
P03* ¹	98	293* ³
P03' * ¹	98	293* ³
P04* ¹	40	391
P04' * ¹	40	391
P05* ²	17	234* ³
P05' * ²	17	234* ³
P06* ²	30	391
P06' * ²	30	391
P07* ²	20	391
P07' * ²	20	391
P08* ²	15	391
P08' * ²	15	391

注記 *1：補強ビーム

*2：支持板

*3：継手効率を乗じた値を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1036 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-別添6-5 燃料支持金具の応力計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	1
1.4 計算結果の概要	1
2. 計算条件	5
2.1 解析範囲	5
2.2 設計条件	5
2.3 重大事故等時の条件	5
2.4 材料	5
2.5 物性値及び許容限界	5
2.6 応力の記号と方向	5
3. 応力計算	6
3.1 応力評価点	6
3.2 差圧による応力	6
3.2.1 荷重条件 (L02)	6
3.2.2 計算方法	6
3.3 外荷重による応力	7
3.3.1 荷重条件 (L04)	7
3.3.2 計算方法	7
3.4 応力の評価	7
4. 応力強さの評価	8
4.1 一次一般膜応力強さの評価	8
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	中央燃料支持金具の差圧による応力計算モデル	10
図 3-2	中央燃料支持金具の外荷重による応力計算モデル	10
表 1-1	計算結果の概要	4
表 3-1	断面性状	9
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	11
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	12

1. 一般事項

本計算書は、燃料支持金具の応力計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）の 2 章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
l	高さ	mm
t	厚さ	mm

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

- a. 差圧
- b. 外荷重

各荷重の値を「応力解析の方針」の 4 章に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。

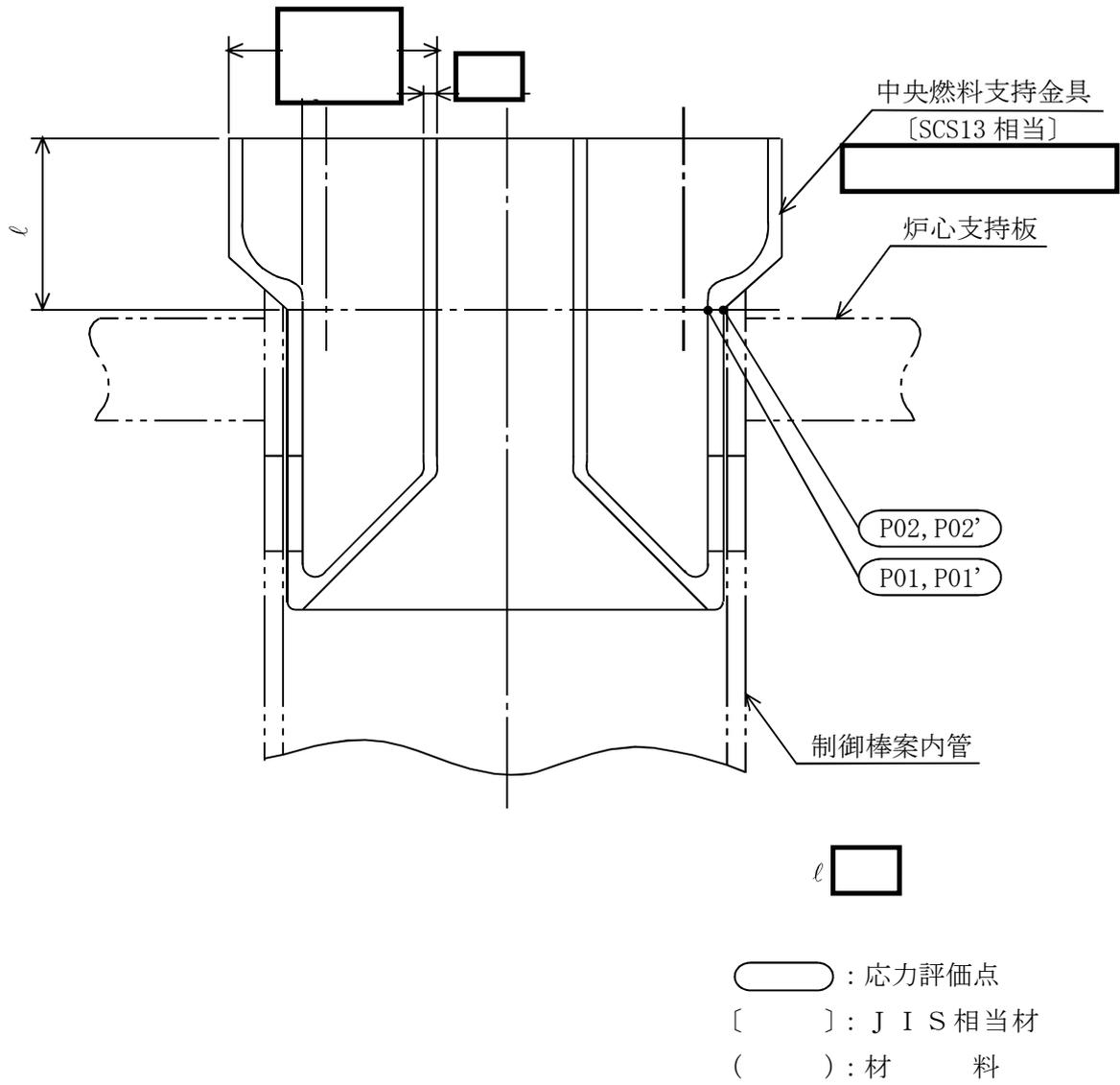


図1-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

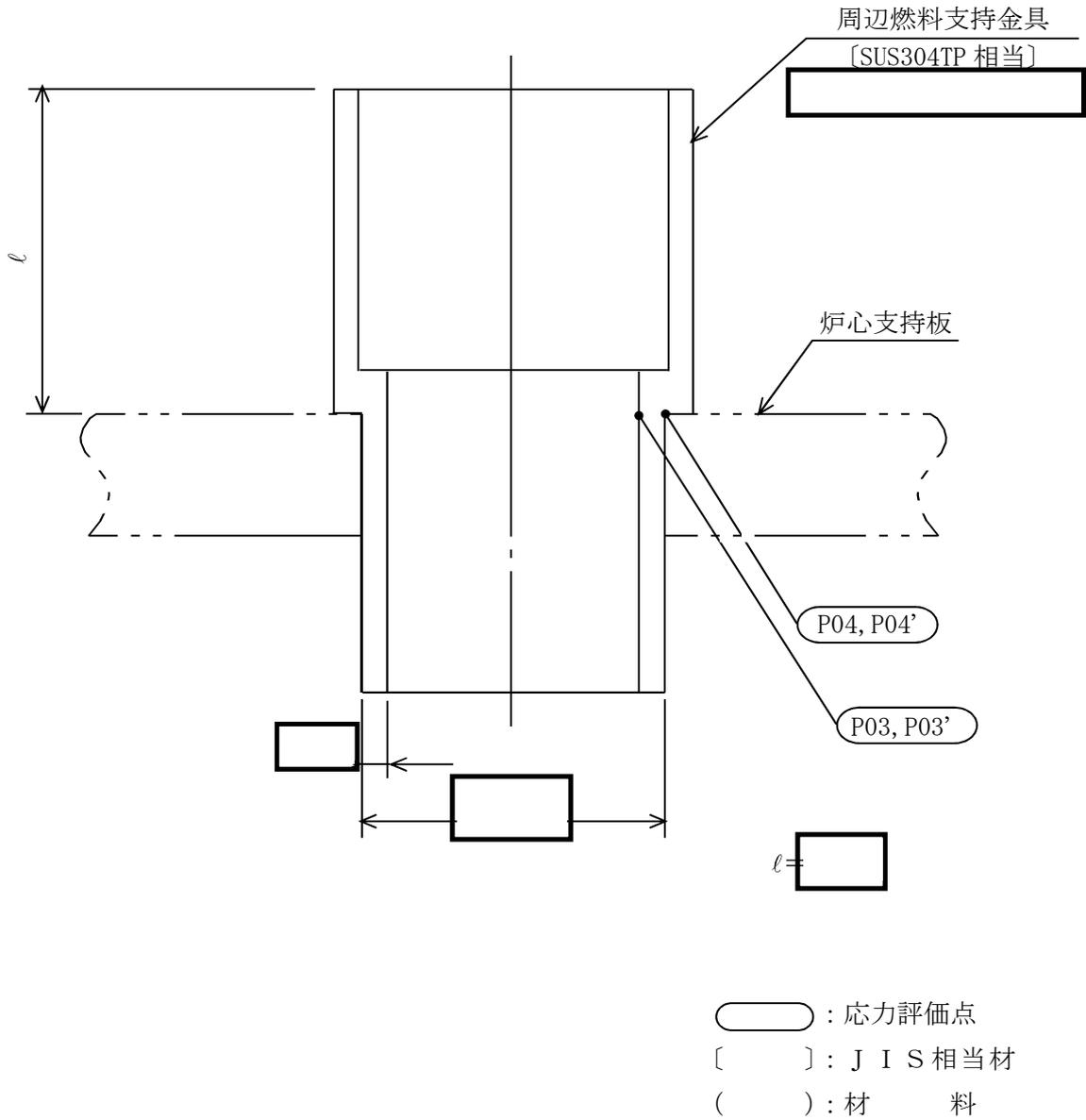


図1-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜＋ 一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力 強さ	許容値	応力 評価面	応力 強さ	許容値	応力 評価面
中央 燃料支持金具 SCS13	E	4	248	P01-P02	4	372	P01-P02
周辺 燃料支持金具 SUS304TP	E	2	104	P03-P04	2	156	P03-P04

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容限界

物性値及び許容限界は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

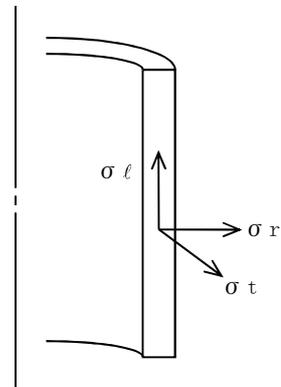
応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

σ_t : 周方向応力

σ_l : 軸方向応力

σ_r : 半径方向応力

τ_{tl} : せん断応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

また、各応力評価点の断面性状を表 3-1 に示す。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

重大事故等時の条件による差圧を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

計算は、設計条件に対して行い、供用状態 E での応力は、比例計算により求める。

3.2.2 計算方法

中央燃料支持金具の差圧による応力は、応力評価点の位置における断面で、外径を ϕ mm とし、かつ厚さが最小となる円筒を考え計算する。

中央燃料支持金具の差圧による応力計算のモデルを、図 3-1 に示す。

周辺燃料支持金具の差圧による応力は、応力評価点の位置における断面の円筒を考え計算する。

(1) 一次一般膜応力

差圧 P_{13} による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P_{13}$$

$$\sigma_\ell = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P_{13}$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P_{13}$$

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

燃料支持金具に働く外荷重を「応力解析の方針」の 4.4 節に示す。

3.3.2 計算方法

中央燃料支持金具の外荷重による応力は、応力評価点の位置における断面で、その断面の最小幅を内径とし、かつ厚さが最小となる円筒を考え計算する。

中央燃料支持金具の外荷重による応力計算のモデルを、図 3-2 に示す。

周辺燃料支持金具の外荷重による応力は、応力評価点の位置における断面の円筒を考え計算する。

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{V}{A} + \frac{M}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

$$\tau_{\ell} = \frac{H}{A}$$

ここで、M：応力評価点での水平力Hにより発生するモーメント

$$M = H \cdot \ell$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力を分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の 5.4 節に示す。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

供用状態Eにおける評価を、表 4-1 に示す。

表 4-1 より、供用状態Eの一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

供用状態Eにおける評価を、表 4-2 に示す。

表 4-3 より、供用状態Eの一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

表 3-1 断面性状

応力評価点	t (mm)	D _o (mm)	D _i (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
P01, P02*					
P03, P04					

注記 * : 上段は差圧による応力計算のモデルの断面性状を示し, 下段は外荷重による応力計算のモデルの断面性状を示す。

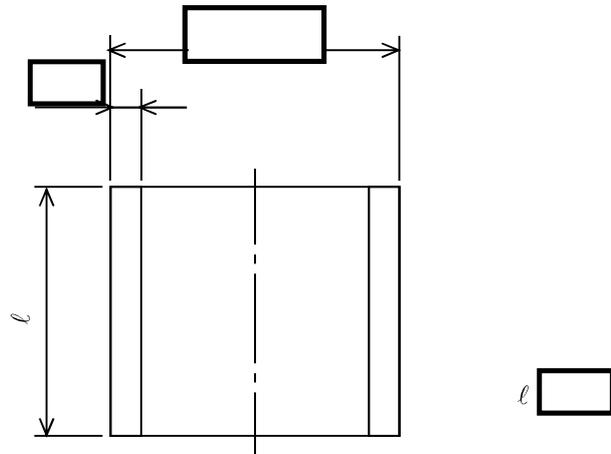


図 3-1 中央燃料支持金具の差圧による応力計算モデル (単位: mm)

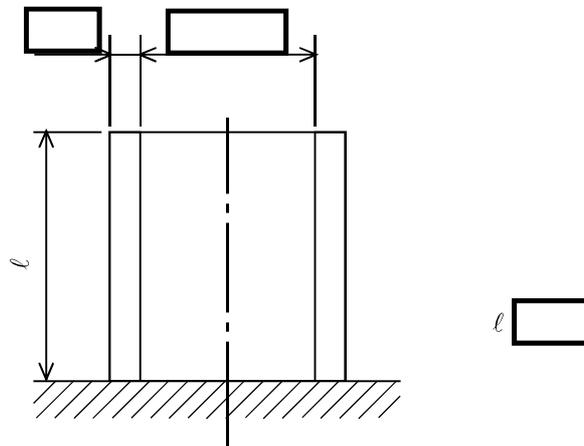


図 3-2 中央燃料支持金具の外荷重による応力計算モデル (単位: mm)

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	供用状態 E	
	応力 強さ	許容値
P01 P02	4	248
P01' P02'	4	248
P03 P04	2	104*
P03' P04'	2	104*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	供用状態 E	
	応力 強さ	許容値
P01 P02	4	372
P01' P02'	4	372
P03 P04	2	156*
P03' P04'	2	156*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1037 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-別添6-6 制御棒案内管の応力計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	1
1.4 計算結果の概要	1
2. 計算条件	5
2.1 解析範囲	5
2.2 設計条件	5
2.3 重大事故等時の条件	5
2.4 材料	5
2.5 物性値及び許容限界	5
2.6 応力の記号と方向	5
3. 応力計算	6
3.1 応力評価点	6
3.2 差圧による応力	6
3.2.1 荷重条件 (L02)	6
3.2.2 計算方法	6
3.3 外荷重による応力	7
3.3.1 荷重条件 (L04)	7
3.3.2 計算方法	7
3.4 応力の評価	7
4. 応力強さの評価	8
4.1 一次一般膜応力強さの評価	8
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8
5. 特別な評価	9
5.1 圧縮応力の評価	9
5.1.1 計算データ	9
5.1.2 圧縮応力	9
5.1.3 許容圧縮応力	9
5.1.4 圧縮応力の評価	10
5.2 外圧の評価	10
5.2.1 外圧	10
5.2.2 許容外圧	10
5.2.3 外圧の評価	10

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	断面性状	11
表 3-2	機械荷重による応力の計算結果	12
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	16
表 4-2	一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	17
表 5-1	圧縮応力の評価	18
表 5-2	外圧の評価	18

1. 一般事項

本計算書は、制御棒案内管の応力計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 記号の説明

添付書類 「V-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」(以下「応力解析の方針」という。)の 2 章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
R _o	外半径	mm
t	厚さ	mm
σ_{ca}	許容圧縮応力	MPa
P _a	許容外圧	MPa
L	長さ	mm

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

- a. 差圧
- b. 外荷重

差圧及び外荷重の値を「応力解析の方針」の 4 章に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。

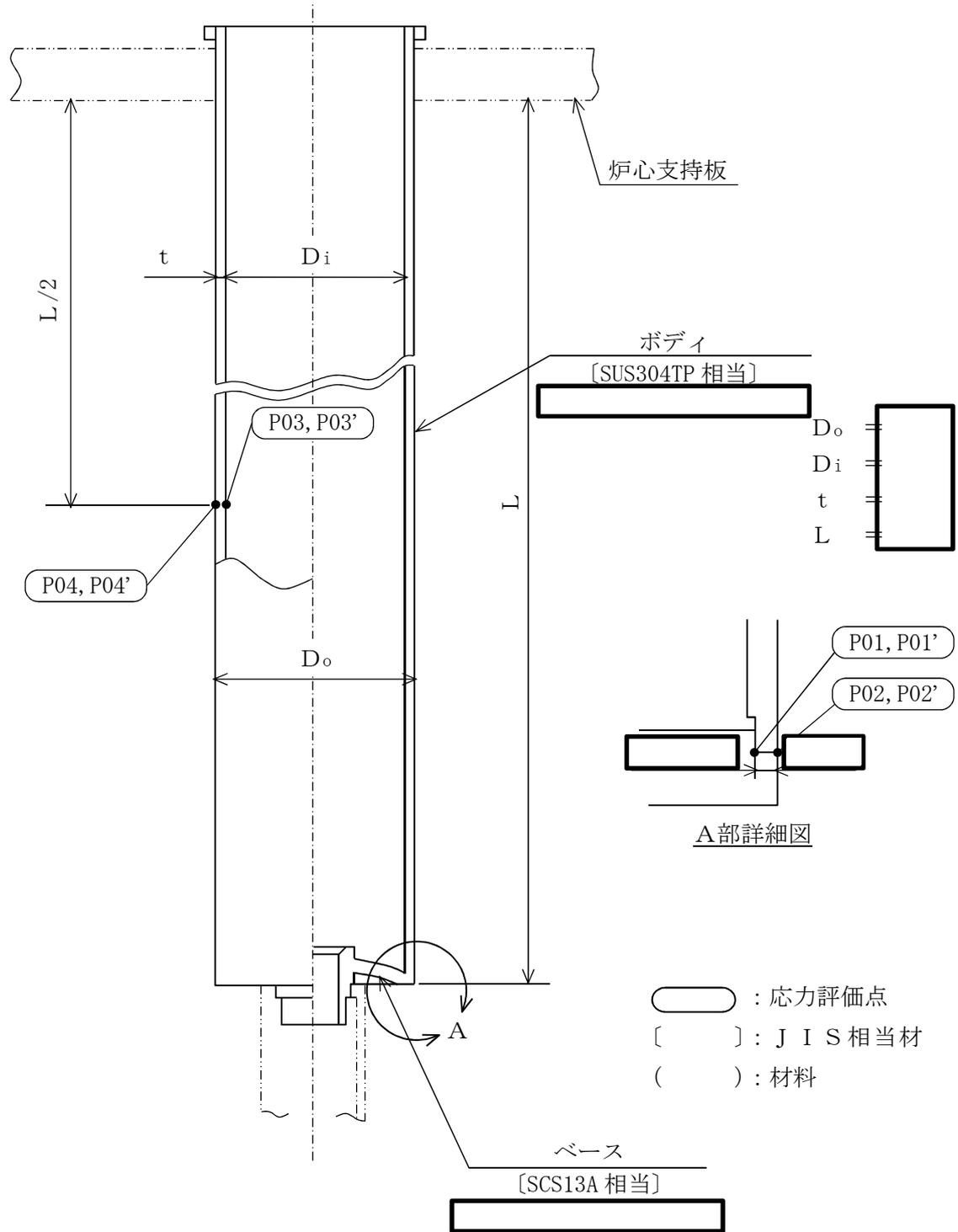


図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1(1) 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力 強さ	許容値	応力 評価面	応力 強さ	許容値	応力 評価面
下部溶接部 SCS13A	E	10	113	P01-P02	10	170	P01-P02
長手中央部 SUS304TP	E	9	130	P03-P04	9	195	P03-P04

表 1-1(2) 計算結果の概要

部分及び材料	供用状態	圧縮応力の評価 (MPa)		外圧の評価 (MPa)	
		圧縮応力	許容圧縮応力	外圧	許容外圧
ボディ SUS304TP	E	5	55	<input type="text"/>	0.89

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容限界

物性値及び許容限界は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

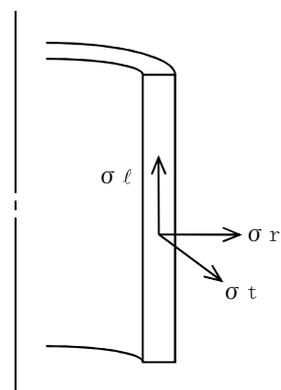
応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

σ_t : 周方向応力

σ_l : 軸方向応力

σ_r : 半径方向応力

τ_{tl} : せん断応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。また、各応力評価点の断面性状を表 3-1 に示す。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

重大事故等時の条件による差圧を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

計算は、設計条件に対して行い、供用状態 E での応力は、比例計算により求める。

3.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

差圧 P_{13} による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = -\frac{Y}{Y-1} \cdot P_{13}$$

$$\sigma_\ell = 0$$

$$\sigma_r = -\frac{Y}{Y+1} \cdot P_{13}$$

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

制御棒案内管に働く外荷重を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{t\ell} = \frac{V}{A} + \frac{M}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{H}{A}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力を分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の 5.4 節に示す。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

供用状態Eにおける評価を，表 4-1 に示す。

表 4-1 より，供用状態Eの一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

供用状態Eにおける評価を，表 4-2 に示す。

表 4-2 より，供用状態Eの一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

5. 特別な評価

5.1 圧縮応力の評価

制御棒案内管に圧縮応力を発生させる荷重は、「応力解析の方針」の表 4-1(6)に示す鉛直力である。これらの荷重の組合せにより発生する圧縮応力の評価を行う。

5.1.1 計算データ

外径 : $D_o = \boxed{} \text{ mm}$

内径 : $D_i = D_o - 2 \cdot t$

$= \boxed{}$

断面積 : $A = \frac{\pi}{4} \cdot (D_o^2 - D_i^2)$

$= \boxed{}$

5.1.2 圧縮応力

重大事故等時の条件での圧縮応力は、次のように求める。

供用状態 E

$\sigma_c = \frac{V}{A} = \boxed{}$
 $= 5 \text{ MPa}$

5.1.3 許容圧縮応力

重大事故等時の条件での許容圧縮応力は、次のように求める。

供用状態 E における許容圧縮応力は、次の 2 つの値のうち小さい方の値を用いる。

$2.0 \cdot S_m = 229 \text{ MPa}$

$2.0 \cdot B = 111 \text{ MPa}$

(供用状態 E の温度 $\boxed{} \text{ }^\circ\text{C}$ における値)

ここで、B 値は次のようにして求める。

設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図 11 より、

$\frac{0.125}{R_o / t} = \frac{0.125}{\boxed{} / \boxed{}} = 0.0038$

を用いて、

$2.0 \cdot B = 111 \text{ MPa}$

ゆえに、許容圧縮応力は継手効率を考慮し、

$\sigma_{ca} = 55 \text{ MPa}$

5.1.4 圧縮応力の評価

供用状態Eにおける圧縮応力の評価を表5-1に示す。

表5-1より、供用状態Eにおける圧縮応力は、5.1.3項に示す許容圧縮応力を満足する。

5.2 外圧の評価

ボディに作用する外圧の評価を行う。

5.2.1 外圧

重大事故等時の条件における外圧を「応力解析の方針」の図4-2に示す。

5.2.2 許容外圧

供用状態Eにおける許容外圧を次に示す。

(単位：MPa)

条件	許容外圧
供用状態E	$2.0 \cdot \frac{4 \cdot B^* \cdot t}{3 \cdot D_o} = 0.89$

注記 *：設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図11より
 求めた供用状態Eの温度 °CにおけるBの値
 =22 MPa

5.2.3 外圧の評価

供用状態Eにおける外圧の評価を表5-2に示す。

表5-2より、供用状態Eにおける外圧は5.2.2項に示す許容外圧を満足する。

表 3-1 断面性状

応力評価点	t (mm)	D _o (mm)	D _i (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
P01, P02					
P03, P04					

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ
(単位：MPa)

応力 評価面	供用状態E	
	応力 強さ	許容値
P01 P02	10	124 *
P01' P02'	10	124 *
P03 P04	9	130 *
P03' P04'	9	130 *

*：継手効率を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	供用状態 E	
	応力 強さ	許容値
P01 P02	10	186 *
P01' P02'	10	186 *
P03 P04	9	195 *
P03' P04'	9	195 *

*：継手効率を乗じた値を示す。

表 5-1 軸圧縮応力の評価

(単位：MPa)

条件	圧縮応力	許容圧縮応力
供用状態E	5	55

表 5-2 外圧の評価

(単位：MPa)

条件	外圧 P_{13}	許容外圧 P_a
供用状態E		0.89

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1038 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-別添7-1 ジェットポンプの応力計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	1
1.4 計算結果の概要	1
2. 計算条件	4
2.1 解析範囲	4
2.2 設計条件	4
2.3 重大事故等時の条件	4
2.4 材料	4
2.5 物性値及び許容限界	4
2.6 応力の記号と方向	4
3. 応力計算	5
3.1 応力評価点	5
3.2 差圧による応力	5
3.2.1 荷重条件 (L02)	5
3.2.2 計算方法	5
3.3 外荷重による応力	6
3.3.1 荷重条件 (L04)	6
3.3.2 計算方法	6
3.4 応力の評価	6
4. 応力強さの評価	7
4.1 一次一般膜応力強さの評価	7
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	7

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	断面性状	8
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	9
表 4-2	一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	10

1. 一般事項

本計算書は、ジェットポンプの応力計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-4-4-1 原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針」(以下「応力解析の方針」という。)の2章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
I _p	ねじり係数	mm ⁴
t	厚さ	mm

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

- a. 差圧
- b. 外荷重

差圧の値を「応力解析の方針」の4章に示す。外荷重の値を添付書類「V-2-3-4-4-5 ジェットポンプの耐震性についての計算書」の3章に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。

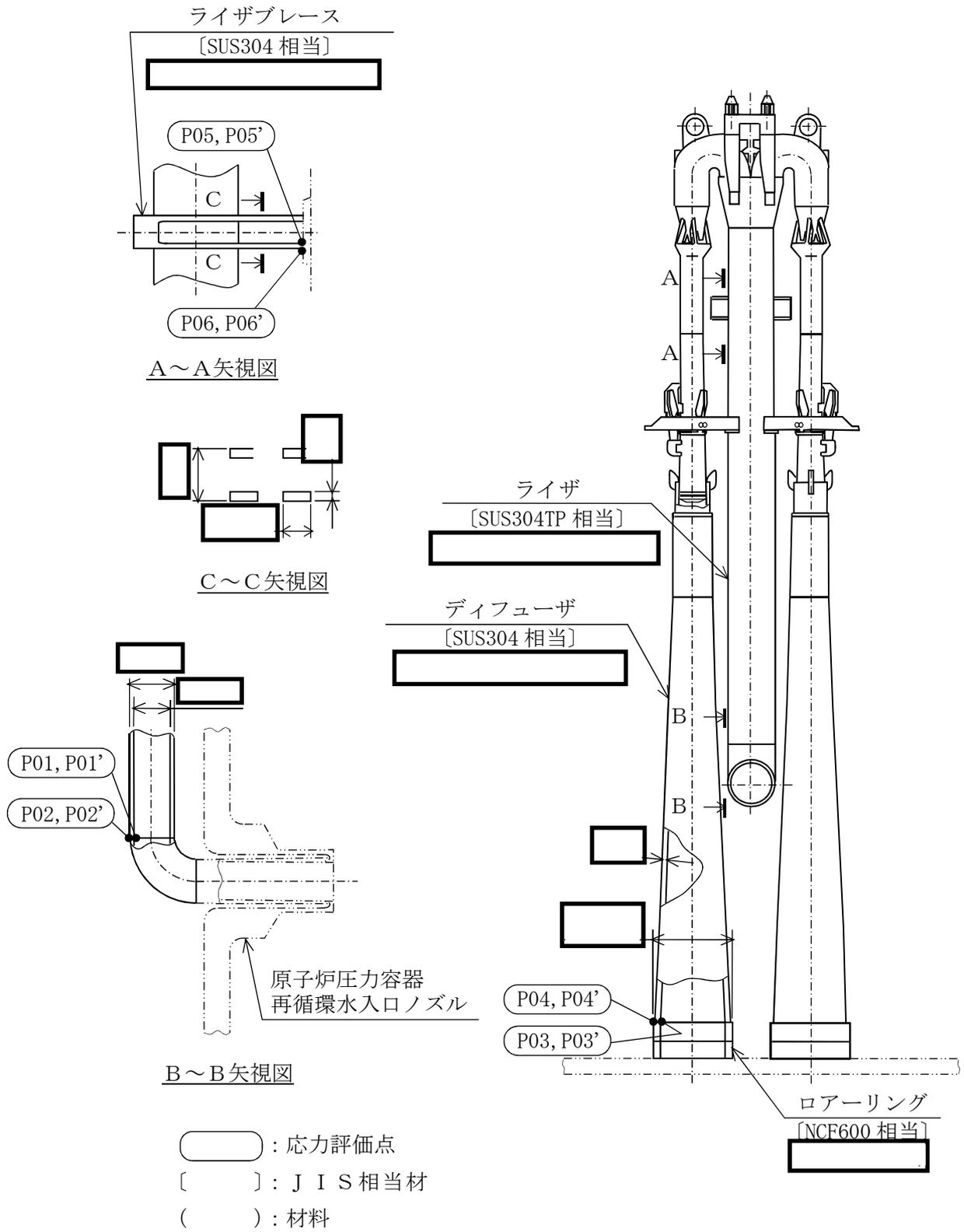


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

部分及び材料	供用状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力 強さ	許容値	応力評価面	応力 強さ	許容値	応力評価面
ライザ SUS304TP	E	12	130	P01-P02	45	195	P01-P02
ディフューザ SUS304	E	16	169	P03-P04	16	254	P03-P04
ライザブレース SUS304	E	8	169	P05-P06	30	254	P05-P06

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

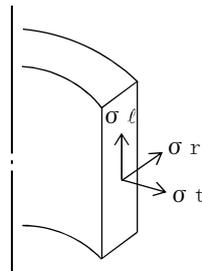
2.5 物性値及び許容限界

物性値及び許容限界は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。
溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号と方向は、以下のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
- σ_l : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力
- τ_{tl} : せん断応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

また、各応力評価点の断面性状を表 3-1 に示す。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

重大事故等時の条件における差圧を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、供用状態 E での応力は、比例計算により求める。

3.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

差圧 P による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P$$

$$\sigma_\ell = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P$$

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

ジェットポンプに働く外荷重を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{I_p} \cdot r_m$$

ここで、 r_m ：平均半径又はライザブレースの板厚

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次一般膜＋一次曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A} \pm \frac{M}{I} \cdot r_1$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{I_p} \cdot r_2$$

ここで、 r_1 ：外半径又はライザブレースの中立軸から応力評価点までの距離

r_2 ：外半径又はライザブレースの板厚

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力を分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の 5.4 節に示す。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

供用状態Eにおける評価を、表 4-1 に示す。

表 4-1 より、供用状態Eの一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

4.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価

供用状態Eにおける評価を、表 4-2 に示す。

表 4-2 より、供用状態Eの一次一般膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

表 3-1 断面性状

応力評価点	t (mm)	D _o (mm)	D _i (mm)	A (mm ²)	I [*] (mm ⁴)	I _p (mm ⁴)
P01, P02						
P03, P04						
P05, P06						

注記 * : 二段表記は上段が y 軸まわり, 下段が z 軸まわりの値を示す。
y 軸, z 軸それぞれの方向は下図のとおりである。

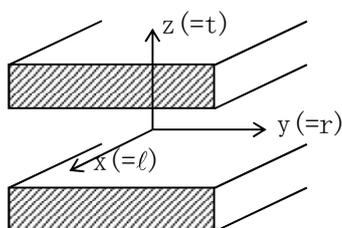


表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	供用状態E	
	応力強さ	許容値
P01 P02	12	130*
P01' P02'	12	130*
P03 P04	16	169*
P03' P04'	16	169*
P05 P06	8	169*
P05' P06'	8	169*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	供用状態E	
	応力強さ	許容値
P01 P02	45	195*
P01' P02'	31	195*
P03 P04	16	254*
P03' P04'	16	254*
P05 P06	30	254*
P05' P06'	29	254*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1039 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-別添7-2 高圧及び低圧炉心スプレイスパーージャの応力計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	1
1.4 計算結果の概要	1
2. 計算条件	4
2.1 解析範囲	4
2.2 設計条件	4
2.3 重大事故等時の条件	4
2.4 材料	4
2.5 物性値及び許容限界	4
2.6 応力の記号と方向	4
3. 応力計算	5
3.1 応力評価点	5
3.2 差圧による応力	5
3.2.1 荷重条件 (L02)	5
3.2.2 計算方法	5
3.3 外荷重による応力	6
3.3.1 荷重条件 (L04)	6
3.3.2 計算方法	6
3.4 応力の評価	6
4. 応力強さの評価	7
4.1 一次一般膜応力強さの評価	7
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	7

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	断面性状	8
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	9
表 4-2	一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	10

1. 一般事項

本計算書は、高圧及び低圧炉心スプレイスパージャの応力計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-4-4-1 原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）の 2 章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
t	厚さ	mm

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

- a. 差圧
- b. 外荷重

差圧の値を「応力解析の方針」の 4 章に示す。外荷重の値を添付書類「V-2-3-4-4-7 高圧及び低圧炉心スプレイスパージャの耐震性についての計算書」の 3 章に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。

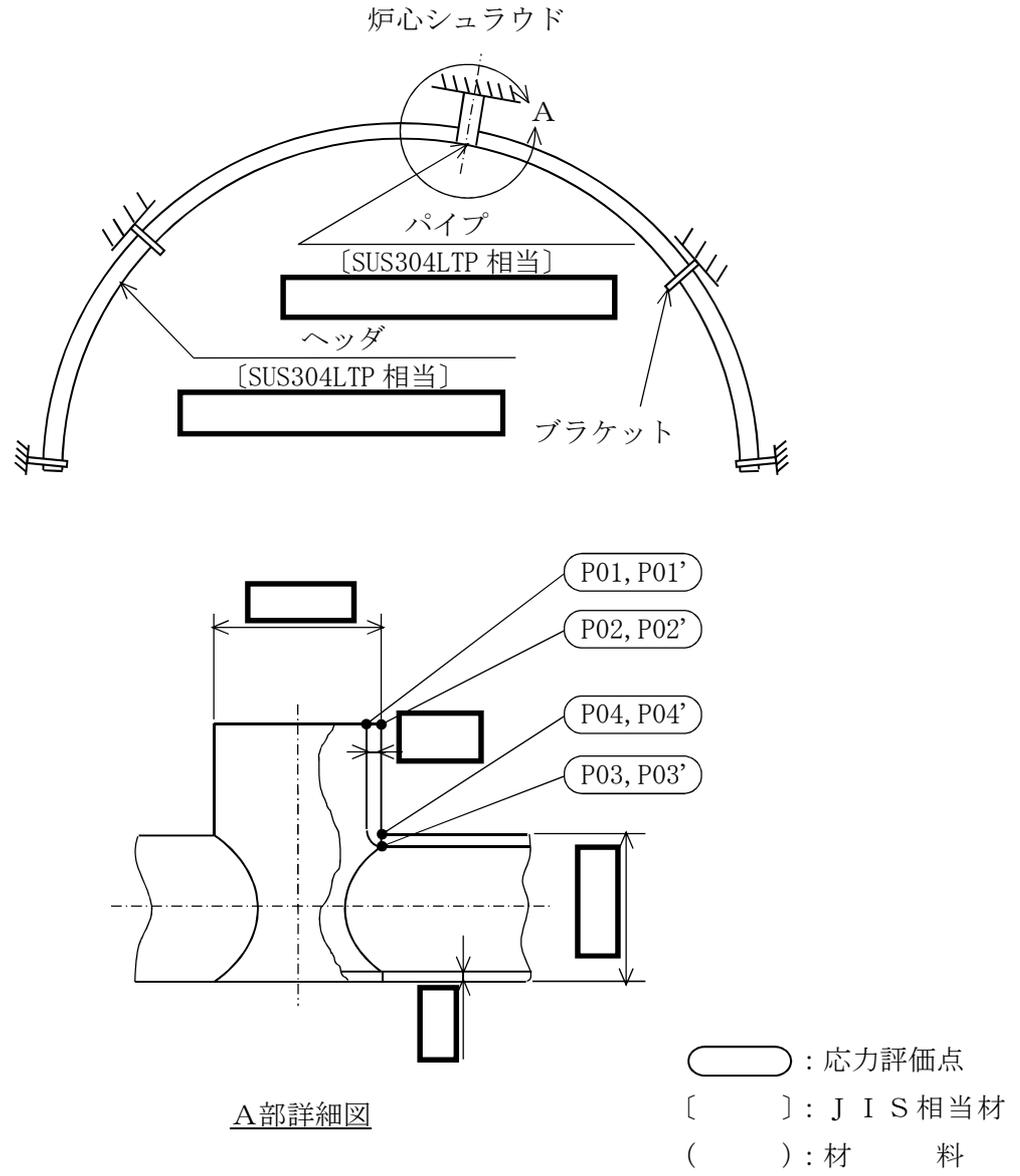


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

部分及び材料	供用状態 (許容応力状態)	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力 強さ	許容値	応力評価面	応力 強さ	許容値	応力評価面
パイプ SUS304LTP	E	6	150	P01-P02	9	226	P01-P02
ヘッド SUS304LTP	E	5	150	P03-P04	26	226	P03-P04

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容限界

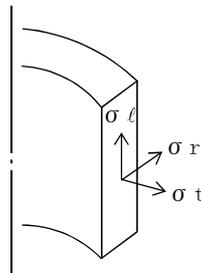
物性値及び許容限界は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号と方向は、以下のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
- σ_l : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力
- τ_{tl} : せん断応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

また、各応力評価点の断面性状を表 3-1 に示す。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

重大事故等時の条件における差圧を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、供用状態 E での応力は、比例計算により求める。

3.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

差圧 P_{74} による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P_{74}$$

$$\sigma_\ell = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P_{74}$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P_{74}$$

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

(2) 一次一般膜+一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜+一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

高圧及び低圧炉心スプレイスパーージャに働く外荷重を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot r_m$$

$$\text{ここで, } r_m = \frac{D_i + D_o}{4}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次一般膜＋一次曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A} \pm \frac{M}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力を分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の 5.4 節に示す。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

供用状態Eにおける評価を、表 4-1 に示す。

表 4-1 より、供用状態Eの一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

供用状態Eにおける評価を、表 4-2 に示す。

表 4-2 より、供用状態Eの一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

表 3-1 断面性状

応力評価点	t (mm)	D _o (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
P01, P02				
P03, P04				

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	供用状態E	
	応力強さ	許容値
P01 P02	6	150*
P01' P02'	6	150*
P03 P04	5	150*
P03' P04'	5	150*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	供用状態E	
	応力強さ	許容値
P01 P02	9	226*
P01' P02'	7	226*
P03 P04	26	226*
P03' P04'	24	226*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1040 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-別添7-3 残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）の応力計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	1
1.4 計算結果の概要	1
2. 計算条件	4
2.1 解析範囲	4
2.2 設計条件	4
2.3 重大事故等時の条件	4
2.4 材料	4
2.5 物性値及び許容限界	4
2.6 応力の記号と方向	4
3. 応力計算	5
3.1 応力評価点	5
3.2 差圧による応力	5
3.2.1 荷重条件 (L02)	5
3.2.2 計算方法	5
3.3 外荷重による応力	6
3.3.1 荷重条件 (L04)	6
3.3.2 計算方法	6
3.4 応力の評価	6
4. 応力強さの評価	7
4.1 一次一般膜応力強さの評価	7
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	7

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	断面性状	8
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	9
表 4-2	一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	10

1. 一般事項

本計算書は、残留熱除去系配管（原子炉压力容器内部）（以下「残留熱除去系配管」という。）の応力計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-4-4-1 原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）の 2 章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
t	厚さ	mm

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

- a. 差圧
- b. 外荷重

差圧の値を「応力解析の方針」の 4 章に示す。外荷重の値を添付書類「V-2-3-4-4-8 残留熱除去系配管（原子炉压力容器内部）の耐震性についての計算書」の 3 章に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。

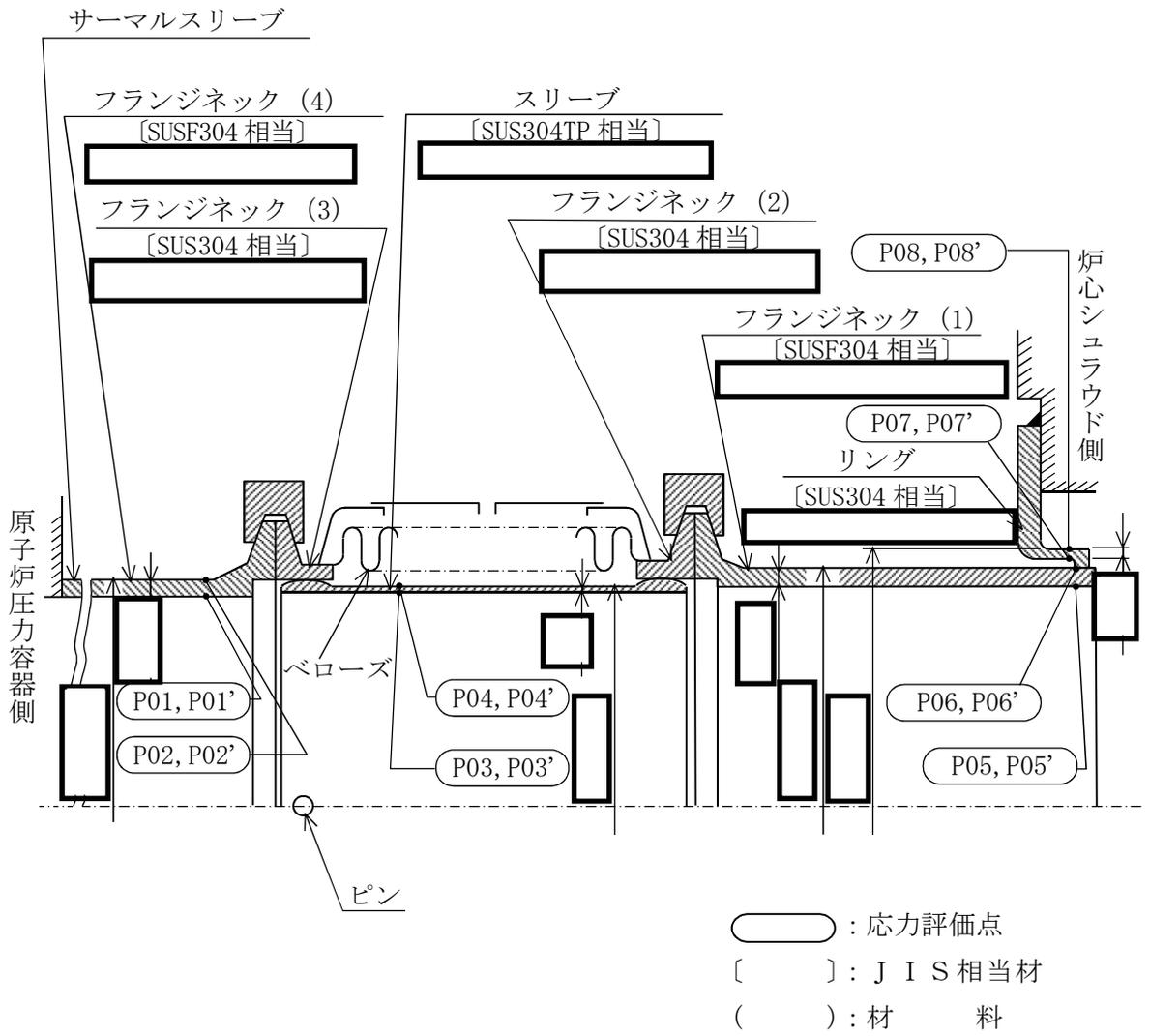


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

部分及び材料	供用状態 (許容応力状態)	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力 強さ	許容値	応力評価面	応力 強さ	許容値	応力評価面
フランジネック (4) SUSF304	E	3	169	P01-P02	3	254	P01-P02
スリーブ SUS304TP	E	12	260	P03-P04	12	391	P03-P04
フランジネック (1) SUSF304	E	4	104	P05-P06	4	156	P05-P06
リング SUS304	E	14	260	P07-P08	14	391	P07-P08

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容限界

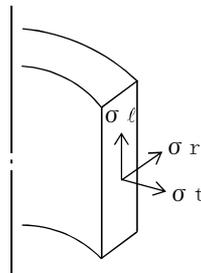
物性値及び許容限界は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号と方向は、以下のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
- σ_l : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力
- τ_{tl} : せん断応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

また、各応力評価点の断面性状を表 3-1 に示す。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

重大事故等時の条件における差圧を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、供用状態 E での応力は、比例計算により求める。

3.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

差圧 P_{135} による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P_{135}$$

$$\sigma_\ell = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P_{135}$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P_{135}$$

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

(2) 一次一般膜+一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜+一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

残留熱除去系配管に働く外荷重を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot r_m$$

$$\text{ここで, } r_m = \frac{D_i + D_o}{4}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次一般膜＋一次曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A} \pm \frac{M}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力を分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の 5.4 節に示す。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

供用状態Eにおける評価を，表 4-1 に示す。

表 4-1 より，供用状態Eの一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

供用状態Eにおける評価を，表 4-2 に示す。

表 4-2 より，供用状態Eの一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

表 3-1 断面性状

応力評価点	t (mm)	D _o (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
P01, P02				
P03, P04				
P05, P06				
P07, P08				

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	供用状態E	
	応力強さ	許容値
P01 P02	3	169*
P01' P02'	3	169*
P03 P04	12	260
P03' P04'	12	260
P05 P06	4	104*
P05' P06'	4	104*
P07 P08	14	260
P07' P08'	14	260

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	供用状態E	
	応力強さ	許容値
P01 P02	3	254*
P01' P02'	3	254*
P03 P04	12	391
P03' P04'	12	391
P05 P06	4	156*
P05' P06'	4	156*
P07 P08	14	391
P07' P08'	14	391

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1041 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-別添7-4 高圧及び低圧炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）
の応力計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	形状・寸法・材料	1
1.2	記号の説明	1
1.3	考慮する荷重	1
1.4	計算結果の概要	1
2.	計算条件	4
2.1	解析範囲	4
2.2	設計条件	4
2.3	重大事故等時の条件	4
2.4	材料	4
2.5	物性値及び許容限界	4
2.6	応力の記号と方向	4
3.	応力計算	5
3.1	応力評価点	5
3.2	差圧による応力	5
3.2.1	荷重条件 (L02)	5
3.2.2	計算方法	5
3.3	外荷重による応力	6
3.3.1	荷重条件 (L04)	6
3.3.2	計算方法	6
3.4	応力の評価	6
4.	応力強さの評価	7
4.1	一次一般膜応力強さの評価	7
4.2	一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価	7

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	断面性状	8
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	9
表 4-2	一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	10

1. 一般事項

本計算書は、高圧及び低圧炉心スプレイ配管（原子炉压力容器内部）（以下「高圧及び低圧炉心スプレイ配管」という。）の応力計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-4-4-1 原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）の 2 章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

- a. 差圧
- b. 外荷重

差圧の値を「応力解析の方針」の 4 章に示す。外荷重の値を添付書類「V-2-3-4-4-9 高圧及び低圧炉心スプレイ配管（原子炉压力容器内部）の耐震性についての計算書」の 3 章に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。

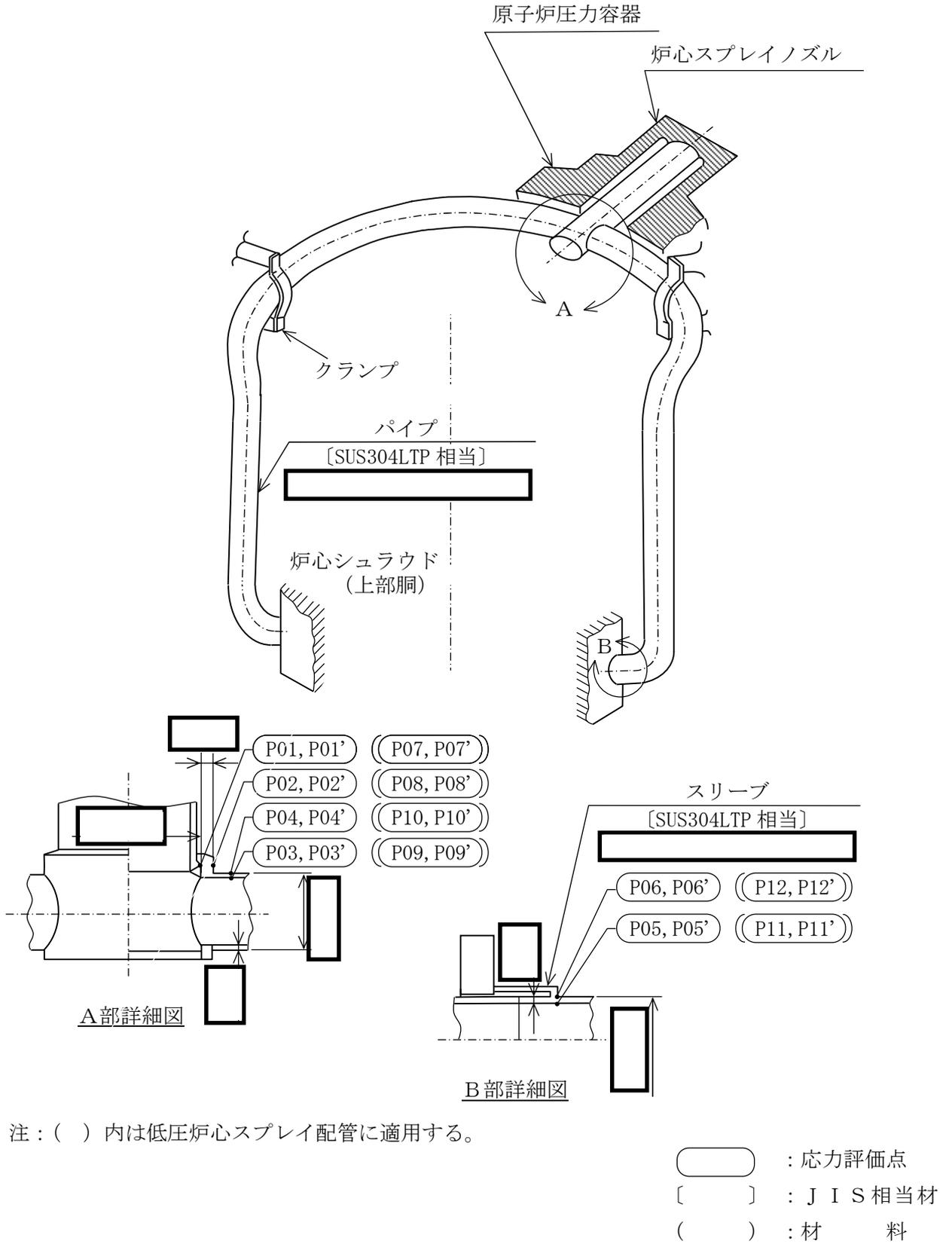


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

部分及び材料	供用状態 (許容応力状態)	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力 強さ	許容値	応力評価面	応力 強さ	許容値	応力評価面
高圧炉心 スプレイ配管 SUS304LTP	E	6	104	P05-P06	15	261	P03-P04
低圧炉心 スプレイ配管 SUS304LTP	E	6	104	P11-P12	15	261	P09-P10

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容限界

物性値及び許容限界は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

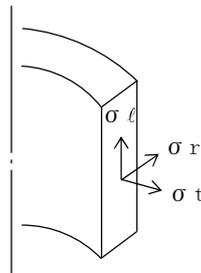
応力の記号と方向は、以下のとおりとする。

σ_t : 周方向応力

σ_l : 軸方向応力

σ_r : 半径方向応力

τ_{tl} : せん断応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

また、各応力評価点の断面性状を表 3-1 に示す。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

重大事故等時の条件における差圧を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、供用状態 E での応力は、比例計算により求める。

3.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

差圧 P_{75} による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P_{75}$$

$$\sigma_\ell = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P_{75}$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P_{75}$$

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

(2) 一次一般膜+一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜+一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

高圧及び低圧炉心スプレイ配管に働く外荷重を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot r_m$$

$$\text{ここで, } r_m = \frac{D_i + D_o}{4}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次一般膜＋一次曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A} \pm \frac{M}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力を分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の5.4節に示す。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

供用状態Eにおける評価を、表 4-1 に示す。

表 4-1 より、供用状態Eの一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

4.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価

供用状態Eにおける評価を、表 4-2 に示す。

表 4-2 より、供用状態Eの一次一般膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

表 3-1 断面性状

応力評価点	D_o (mm)	D_i (mm)	A (mm^2)	I (mm^4)
P01, P02				
P03, P04				
P05, P06				
P07, P08				
P09, P10				
P11, P12				

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	供用状態E	
	応力強さ	許容値
P01 P02	3	104*
P01' P02'	3	104*
P03 P04	7	174*
P03' P04'	7	174*
P05 P06	6	104*
P05' P06'	6	104*
P07 P08	3	104*
P07' P08'	3	104*
P09 P10	7	174*
P09' P10'	7	174*
P11 P12	6	104*
P11' P12'	6	104*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	供用状態E	
	応力強さ	許容値
P01 P02	4	156*
P01' P02'	3	156*
P03 P04	15	261*
P03' P04'	14	261*
P05 P06	6	156*
P05' P06'	6	156*
P07 P08	4	156*
P07' P08'	3	156*
P09 P10	15	261*
P09' P10'	14	261*
P11 P12	6	156*
P11' P12'	6	156*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1042 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-別添7-5 差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉压力容器内部）
の応力計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	1
1.4 計算結果の概要	1
2. 計算条件	4
2.1 解析範囲	4
2.2 設計条件	4
2.3 重大事故等時の条件	4
2.4 材料	4
2.5 物性値及び許容限界	4
2.6 応力の記号と方向	4
3. 応力計算	5
3.1 応力評価点	5
3.2 差圧による応力	5
3.2.1 荷重条件 (L02)	5
3.2.2 計算方法	5
3.3 外荷重による応力	6
3.3.1 荷重条件 (L04)	6
3.3.2 計算方法	6
3.4 応力の評価	6
4. 応力強さの評価	7
4.1 一次一般膜応力強さの評価	7
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	7

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	断面性状	8
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	9
表 4-2	一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	10

1. 一般事項

本計算書は、差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉压力容器内部）（以下「差圧検出・ほう酸水注入管」という。）の応力計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-2-3-4-4-1 原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）の 2 章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
t	厚さ	mm

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

- a. 差圧
- b. 外荷重

差圧の値を「応力解析の方針」の 4 章に示す。外荷重の値を添付書類「V-2-3-4-4-10 差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉压力容器内部）の耐震性についての計算書」の 3 章に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。

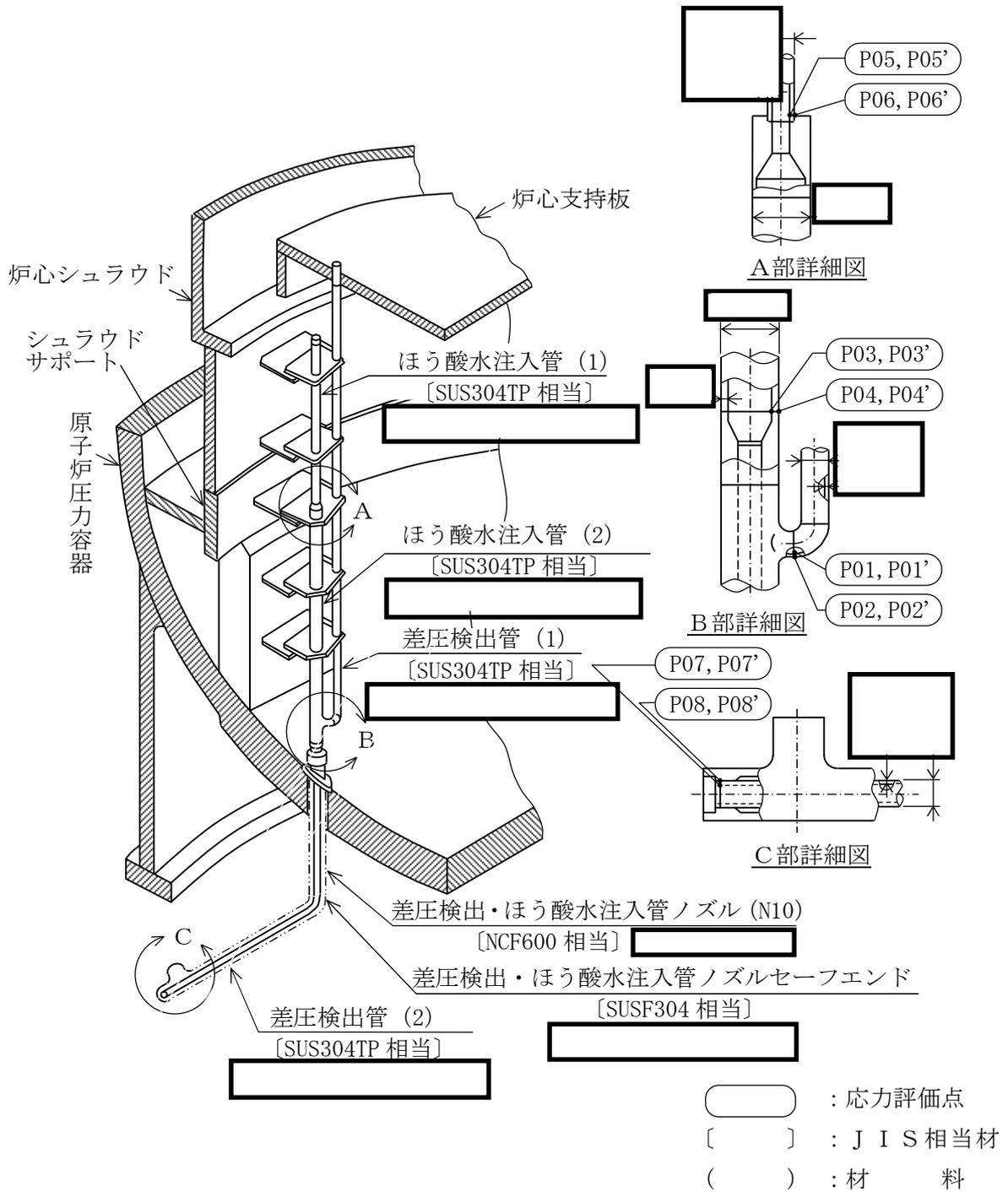


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位 : mm)

表 1-1 計算結果の概要

部分及び材料	供用状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力 強さ	許容値	応力 評価面	応力 強さ	許容値	応力 評価面
差圧検出管 SUS304TP	E	1	169	P01-P02	5	254	P01-P02
ほう酸水注入管 SUS304TP	E	2	104	P07-P08	24	156	P07-P08

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容限界

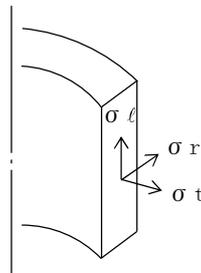
物性値及び許容限界は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号と方向は、以下のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
- σ_l : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力
- τ_{tl} : せん断応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

また、各応力評価点の断面性状を表 3-1 に示す。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

重大事故等時の条件における差圧を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、供用状態 E での応力は、比例計算により求める。

3.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

差圧 P_{13} 、 P_{81} 及び P_{83} による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = -\frac{Y}{Y-1} \cdot P_{13} \quad , \quad \sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P_{81} \quad , \quad \sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P_{83}$$

$$\sigma_\ell = -\frac{Y^2}{Y^2-1} \cdot P_{13} \quad , \quad \sigma_\ell = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P_{81} \quad , \quad \sigma_\ell = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P_{83}$$

$$\sigma_r = -\frac{Y}{Y+1} \cdot P_{13} \quad , \quad \sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P_{81} \quad , \quad \sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P_{83}$$

ここで, $Y = \frac{D_o}{D_i}$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

差圧検出・ほう酸水注入管に働く外荷重を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot r_m$$

$$\text{ここで, } r_m = \frac{D_i + D_o}{4}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次一般膜＋一次曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A} \pm \frac{M}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力を分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の 5.4 節に示す。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

供用状態Eにおける評価を、表 4-1 に示す。

表 4-1 より、供用状態Eの一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

4.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価

供用状態Eにおける評価を、表 4-2 に示す。

表 4-2 より、供用状態Eの一次一般膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

表 3-1 断面性状

応力評価点	t (mm)	D _o (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
P01, P02				
P03, P04				
P05, P06				
P07, P08				

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	供用状態E	
	応力 強さ	許容値
P01 P02	1	169*
P01' P02'	1	169*
P03 P04	1	169*
P03' P04'	1	169*
P05 P06	1	104*
P05' P06'	1	104*
P07 P08	2	104*
P07' P08'	2	104*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	供用状態E	
	応力 強さ	許容値
P01 P02	5	254*
P01' P02'	4	254*
P03 P04	1	254*
P03' P04'	1	254*
P05 P06	1	156*
P05' P06'	1	156*
P07 P08	24	156*
P07' P08'	24	156*

注記 *：継手効率を乗じた値を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-340-10 改0
提出年月日	平成30年8月16日

工事計画に係る補足説明資料

耐震性に関する説明書のうち

補足-340-10

【ケミカルアンカの高温環境下での使用について】

平成30年8月

日本原子力発電株式会社

目次

1. 概要.....	1
2. 適用範囲.....	1
3. ケミカルアンカーの許容引張荷重.....	1
4. 付着強度実験要領.....	2
5. 付着強度実験結果.....	4
6. 製品の品質管理.....	4
7. 施工時の品質管理.....	4
8. 高温環境下での経時変化について.....	4
9. 実荷重に基づく評価.....	6

1. 概要

重大事故等時の使用温度が 100 °C 程度となる環境下でケミカルアンカーを使用することとしているが、ケミカルアンカーの耐熱温度はカタログでは 80 °C とされていることが多いことから、高温環境下での実験を行うことにより、その温度条件下で使用可能であることを示す。

2. 適用範囲

重大事故等時に 80 °C を超える温度環境下で使用する以下の機器の基礎ボルトとして、以下の有機系カプセル式のケミカルアンカーを使用しており、これに適用する。

適用機器	
静的触媒式水素再結合装置	

当該ケミカルアンカーは JCAA の製品認証を受けたものであり、80 °C までの使用は保証されている。

3. ケミカルアンカーの許容引張荷重

ケミカルアンカーの許容引張荷重は、日本建築学会「各種合成構造設計指針・同解説」（以下「AIJ 指針」という。）に従う。

ケミカルアンカーの許容引張荷重は、ボルトの降伏により決まる値又はボルトの付着力により決まる値の小さい方とされており、ボルトの付着力により決まる許容引張荷重は、

$$P_{a3} = \phi_3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \tau_{bavg} \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_{ce} \text{ (N)}$$

である。ここで、

ϕ_3 : 低減係数 (=2/3 : 短期荷重)

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$: ボルトの配置による低減係数

τ_{bavg} : ボルトの基本平均付着強度 = $10\sqrt{F_c/21}$ (N/mm²)

F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

d_a : ボルト径 (mm)

l_{ce} : 強度算定用埋込み長さで、 $l_{ce} = l_e - 2d_a$ (mm)

l_e : ボルトの有効埋込み長さ (mm)

である。

まず、この式の先頭の係数 ϕ_3 が引張荷重に対する安全率となっており、地震のような短期荷重に対しては、その値を2/3（安全率1.5）とし、その後の式はボルトの付着強度の最低保証値であり、全体として安全率が最小で1.5 考慮されている。

ケミカルアンカーの破壊モードにも、コンクリートのコーン状破壊があるが、AIJ 指針では、これに対する制限を設けていない。付着力により決まる許容引張荷重を強度算定用埋込み長さ（ $l_{ce} = l_e - 2d_a$ ）を用いて算定することによりコーン状破壊により決まる許容引張荷重が包

絡できるため、AIJ 指針 第4 編 各種アンカーボルト設計指針・解説の図4.30 に示されている。

したがって、 $\tau_{bavg} = 10\sqrt{F_c/21}$ には、ボルトの平均付着強度の上限値としての意味が内包されている。

また、 $\tau_{bavg} = 10\sqrt{F_c/21}$ は、JCAA「あと施工アンカー設計指針（案）・同解説」（2005）（以下「JCAA 指針」という。）によれば、「接着系アンカーの接着剤の付着強度は、引張強度試験結果に基づいて定めるものとし、実験値のばらつきを考慮した95 %信頼強度とする」、
「不良率5%以下となる算定式」とされており、解図3.1.16(a)及び解図3.1.16(b)に計算値と実験値の比較が示されているが、規格値を下回る実験データが存在することは問題とされていない。

これらのことから、ボルトの付着強度 $e\tau_b$ を実験により求め、その95 %信頼強度が規格で定められている $\tau_{bavg} = 10\sqrt{F_c/21}$ 以上であることを確認することとする。

4. 付着強度実験要領

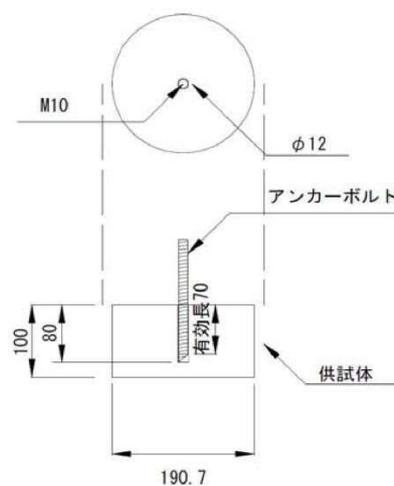
JACC 指針には、適切な引張強度試験方法として、JCAA「あと施工アンカー標準試験法・同解説（現在の版は、あと施工アンカー試験方法）」があるとされていることから、この試験方法に従う。以下に実験要領を示す。

(1) サンプル数

型式毎に3 体とする。

(2) 供試体形状

供試体形状及び寸法を第1 図に示す。コンクリートに孔を開け、ボルトを挿入し、ケミカルアンカーを施工・固着させたものとする。施工は技量認定を受けた施工者が施工要領に基づき実施した。



第1 図 供試体の形状

AIJ 指針 第4 編 各種アンカーボルト設計指針・解説によれば、「図4.31 に示す接着系アンカーボルトのひずみ分布は、埋込み長さに対し、直線的な性状であり、埋込み長さ全長で平均的に付着抵抗していることから、平均付着強度による設計法を採用した」とされており、また、JACC 指針では、「接着剤の付着強度は、付着強度試験における最大荷重をアンカー筋の外径に埋込み長さに乗じた数値で除して算出した数値」とされており、平均付着強度がアンカー筋の外径や埋込み長さ依存するとは考えられていない。

(3) 実験温度

実験温度は150 °Cとする。

供試体を加熱炉に入れ、コンクリート内部の温度が150 °Cとなるまで加熱する。その後、温度を安定させるために数時間加熱状態を保持する。

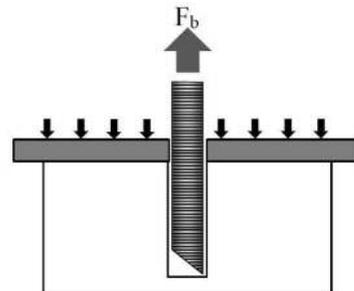
コンクリート内部の温度は、供試体と同形状の温度測定用のコンクリート供試体に埋め込まれた熱電対により計測する。

(4) 評価要領

上記供試体を引張実験装置で引張応力の平均増加率が毎秒19.6 N/mm²以下の速度で引っ張った際の最大荷重 (F_b (N)) から、F_c = 21N/mm²換算のケミカルアンカーの付着 $e\tau_b$ (N/mm²) を次式により求める。

コンクリートのコーン状破壊を防ぎつつ付着強度を調べる為、コンクリート表面を鋼板で拘束する。

$$e\tau_b = \frac{F_b \sqrt{21/F_c}}{\pi \cdot d_a \cdot l_e}$$



(5) 判定基準

$e\tau_b$ の95%信頼強度が、10(N/mm²) 以上であること。

5. 付着強度実験結果

下表に示すとおり，前項の実験で得られた150℃における $e\tau_b$ の95 %信頼強度は，10(N/mm²) 以上であり，150℃で使用することは可能である。

$e\tau_b$ (N/mm ²)	供試体1	14.03
	供試体2	10.41
	供試体3	13.24
平均値 \bar{X} (N/mm ²)		12.56
標準偏差 σ $\sigma^2 = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 (x_i - \bar{x})^2$		1.554113
95 %信頼強度(N/mm ²) $\bar{x} - 1.64\sigma$		10.01
判定値(N/mm ²)		10

6. 製品の品質管理

アンカーメーカーが，型式毎，ロット毎に材料証明書を作成している。

プラントメーカーがアンカーを購入する際には，指定した型式であることを確認の上，納品している。

7. 施工時の品質管理

あと施工アンカーの施工は，技量認定対象工事とされており，施工者は以下に示す何れかの資格を有していることから，アンカー施工によるバラツキは小さい。

- (1) あと施工アンカーメーカー規定の資料に基づき，施工方法，商品説明等の技術的な講習を受講後，施工実技実習時の試験に合格
- (2) 日本建築あと施工アンカー協会が発行する第1種又は第2種あと施工アンカー施工士

8. 高温環境下での経時変化について

静的触媒式水素再結合装置に使用するケミカルアンカーは，重大事故等時に，ピーク温度100℃を数時間経験するモードがあることから，この影響について考察する。ケミカルアンカーに特有な劣化モードは樹脂の劣化で，高分子樹脂が熱の影響で低分子化することで，揮発成分がガス化し，その結果，重量が減少することにより生じる。

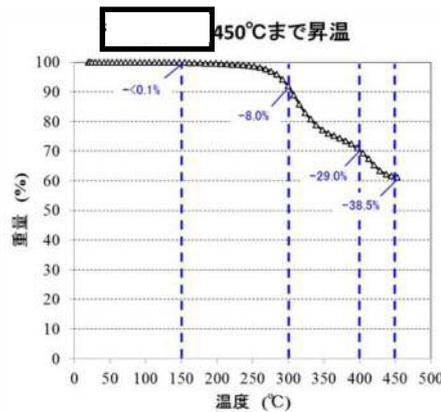
なお，重量減少には酸化によるものも考えられるが，アンカーはコンクリートに埋まっており，酸化による影響は無視できる。また，劣化が化学的反応によるものであることから，樹脂に生じている応力の影響はない。

したがって、に使用されている樹脂の熱分解挙動を実験により確認した。

(1) 昇温試験

以下の条件により昇温試験を行い、この際の樹脂の重量減少をJIS K7120「プラスチックの熱重量測定方法」に基づき測定した結果を第2 図に示す。

- ・ 温度 : 室温～450 °C
- ・ 昇温速度 : 5.0 °C/min
- ・ 測定雰囲気 : 窒素

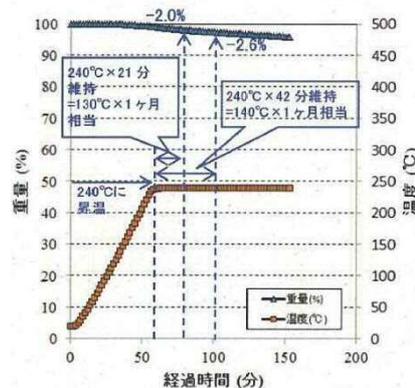


第2図 温度と重量減少の関係

150 °Cまでの加熱では、重量減少は検出限界未満であり、樹脂の劣化はない。

(2) 加速試験

一定の昇温速度で240 °Cまで昇温した後、240 °Cで最長90 分保持し、この際の樹脂の重量減少をJIS K7120「プラスチックの熱重量測定方法」に基づき測定した結果を第3 図に示す。



第3図 240 °C保持試験

樹脂の劣化に関して、アレニウス則に基づいた10 °C半減則が適用される。すなわち、化学的反応が劣化を支配している場合は、“温度が10 °C上昇すると、寿命が1/2 になる”とされ、環境温度が変化した場合の、高分子材料のおおよその寿命の目安を得ることができる

[1]。

10 °C半減則に則って考えると、130 °C×1ヶ月保持は240 °C×21 分保持（加速倍率2048倍に相当し、140 °C×1ヶ月保持は240°C×42 分保持（加速倍率1024 倍）に相当する、150 °C×1ヶ月保持は240 °C×84 分保持（加速倍率512 倍）に相当する。

重量減少は僅かであり、樹脂の劣化はほとんどないと言える。

[1] 渡辺茂隆，日本ゴム協会誌，Vol.46，No.8，p96-103，1973.

以上のことから、重大事故等時に想定される熱履歴を受けた場合も、熱劣化の影響は少ないと推定される。

9. 実荷重に基づく評価

Ss 地震によりアンカーボルト1 本に発生する引張荷重 (P_b (N)) が、付着力により決まるアンカーボルト1 本当りの許容引張荷重(P_{a3} (N))以下であることを示す。

それぞれの荷重は次式で計算することができる。

$$P_b = \sigma_t \cdot \frac{\pi}{4} d_a^2$$

$$P_{a3} = \phi_3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \tau_{bavg} \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_{ce}$$

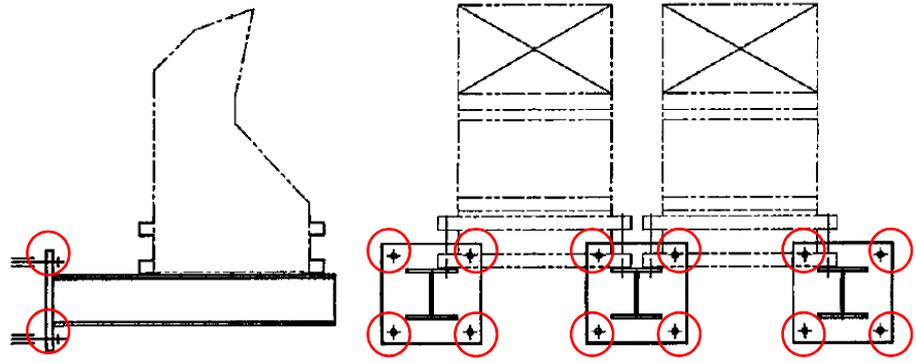
ここで、

- σ_t : ボルトの引張応力(N/mm²)
- d_a : ボルト呼径 (mm)
- ϕ_3 : 低減係数 = 2/3
- $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$: ボルトの配置による低減係数
- τ_{bavg} : ボルトの基本平均付着強度 = $10\sqrt{F_c/21}$ (N/mm²)
- F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)
- d_a : ボルト径 (mm)
- l_{ce} : 強度算定用埋込み長さで、 $l_{ce} = l_e - 2d_a$ (mm)
- l_e : ボルトの有効埋込み長さ (mm)

静的触媒式水素再結合装置

σ_t (N/mm ²)	d_a (mm)	$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$	F_c (N/mm ²)	l_e (mm)
14	M16	1	24	114

P_b (N)	P_{a3} (N)	P_b/P_{a3}
2814	29375	0.095



本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません

東海第二発電所	工事計画審査資料
資料番号	補足-340-17 改2
提出年月日	平成30年8月16日

工事計画に係る補足説明資料

耐震性に関する説明書のうち

補足-340-17

【常設高圧代替注水系ポンプの耐震性についての
計算書に関する補足説明資料】

平成30年8月

日本原子力発電株式会社

常設高圧代替注水系ポンプ加振試験について

1. 試験概要

常設高圧代替注水ポンプは標準的な機種から外れることから、既往の研究によって機能維持を確認した加速度を適用できない。そのため、機能確認済加速度を設定することを目的とし、を用いて東海第二発電所向けのポンプと同型式のポンプを加振した。本ポンプはタービンと一体構造であり、ガバナ等の付属品を含む形で試験を実施した。ポンプ断面イメージ図を図 1-1 に示す。試験方法としては振動特性把握試験を実施し固有振動数を求め、剛構造であることを確認した後、機器の据付位置における評価用加速度を包絡する加振波で加振試験を実施した。また、加振試験に加え、試験前後の性能比較及び試験後に機器毎の部品に分解し目視検査を実施することで健全性を確認している。振動試験装置外観を図 1-2、振動台仕様を表 1-1 に示す。

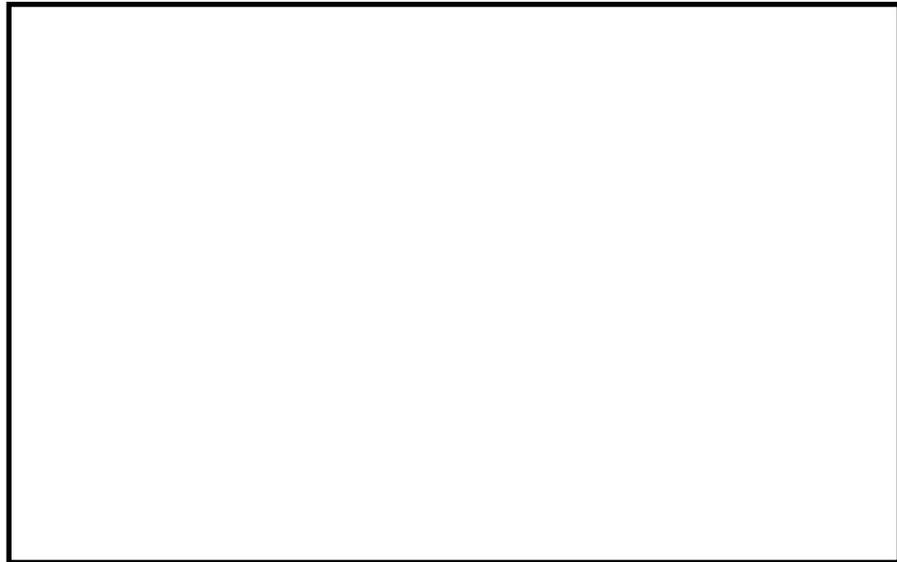


図 1-1 ポンプ断面イメージ図



図 1-2 振動試験装置外観

表 1-1 振動台仕様

寸法		
最大積載量		
運転周波数帯域		

2. 振動特性把握試験

2.1 試験方法

ポンプに3軸加速度計を取付け、加振波として [] までの範囲でランダム波を使用した各軸単独加振を実施し、応答加速度から周波数応答関数を得て、固有周期について求める。

2.2 試験結果

試験により得られた固有振動数のうち最小のものを表 2-1 に示す。各軸方向について剛構造と見なせる固有振動数 [] を十分に上回る結果が得られた。

表 2-1 各軸方向での固有振動数

方向	固有振動数 [Hz]
X	[]
Y	[]
Z	[]

3. 加振試験

3.1 試験方法

「2.2 試験結果」で示しているように、機器の固有振動数は [] を上回っており、剛構造と見なせることから、機器据付位置における評価用加速度を包絡するような加振波を生成し、加振試験を実施する。加振波は水平（前後）+水平（左右）+鉛直方向を加振方向として、次のように生成される。機器設置位置における設備評価用床応答曲線と等価な試験用床応答曲線を設定し、ランダム波を作成する。作成されたランダム波を入力とした加振台の時刻歴加速度波形から床応答曲線に変換し、試験用床応答曲線と比較する。ここで加振台での床応答曲線が試験用床応答曲線を満足する場合、これを最終的な入力加振波とする。満足していない場合、ランダム波を補正し、再度確認するプロセスを繰り返して試験用床応答曲線を満足する入力加振波を作成する。

3.2 試験結果

以下について機器に異常のないことを確認し、本試験において振動台での最大加速度を整数位で切り捨てた値を機能確認済加速度とした。

- (1) 振動台への時刻歴入力 of 最大加速度が機器据付位置における評価用加速度以上であること。(表 3-1 参照)
- (2) 漏えいのないこと。
- (3) 構造上損傷のないこと。
- (4) 加振中にガバナが 以上変位しないこと。
- (5) トリップ装置が誤作動しないこと。
- (6) 動作試験として、加振試験前後の性能比較を実施し、機器の健全性ならびに動作性に異常のないこと。
 - a. 高圧および低圧時における定格流量点で設計揚程の の範囲にあること。
 - b. 高圧時による性能試験で、必要揚程を下回らないこと。
 - c. 高圧時による性能試験で、設定締切揚程を上回らないこと。
 - d. 正常にトリップ機能が動作すること
 - e. 漏えいのないこと
- (7) 加振試験後に機器毎の部品に分解し、外観目視点検により損傷のないこと。

表 3-1 評価用加速度と試験時の時刻歴最大加速度との比較

(単位：×9.8 m/s²)

方向	評価用加速度	機能確認済加速度	振動台加振試験時 最大加速度
X	0.72	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Y	0.72	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Z	0.75	<input type="text"/>	<input type="text"/>

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-711 改2
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-9-2-10 電気配線貫通部の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 構造説明	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	3
3. 形状及び主要寸法	4
4. 設計条件	5
4.1 設計荷重	5
4.2 材料及び許容 限界	7
5. 応力計算	11
5.1 応力評価点	11
5.2 計算方針	12
5.2.1 原子炉格納容器に作用する荷重による応力	12
5.2.2 貫通部に作用する荷重による応力	12
6. 評価結果	13
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	13
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	16
7. 引用図書	18

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、電気配線貫通部が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価は電気配線貫通部の地震応答解析、応力評価により行う。

電気配線貫通部は設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

電気配線貫通部の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
電気配線貫通部は、原子炉格納容器に支持される。	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉格納容器に円筒形スリーブ、アダプタ及びヘッドが取り付けられた鋼製構造物である。 	

2.2 評価方針

- (1) 電気配線貫通部の応力評価は、原子炉格納容器側の応力については、原子炉格納容器に作用する荷重（死荷重、圧力、地震荷重）による応力と、貫通部に作用する荷重による応力を組み合わせて評価する。原子炉格納容器に作用する荷重による応力は、引用図書(1)で計算した応力を用い、貫通部に作用する荷重による応力は、実績のある三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。
- (2) 解析コードはNASTRANを用いる。なお、評価に用いる解析コードNASTRANの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。
- (3) 本計算書における評価部位は、電気配線貫通部の形状及び応力レベルを考慮し、電気配線貫通部の原子炉格納容器への取付部とする。

3. 形状及び主要寸法

電気配線貫通部の形状及び主要寸法を図 3-1 及び表 3-1 に示す。

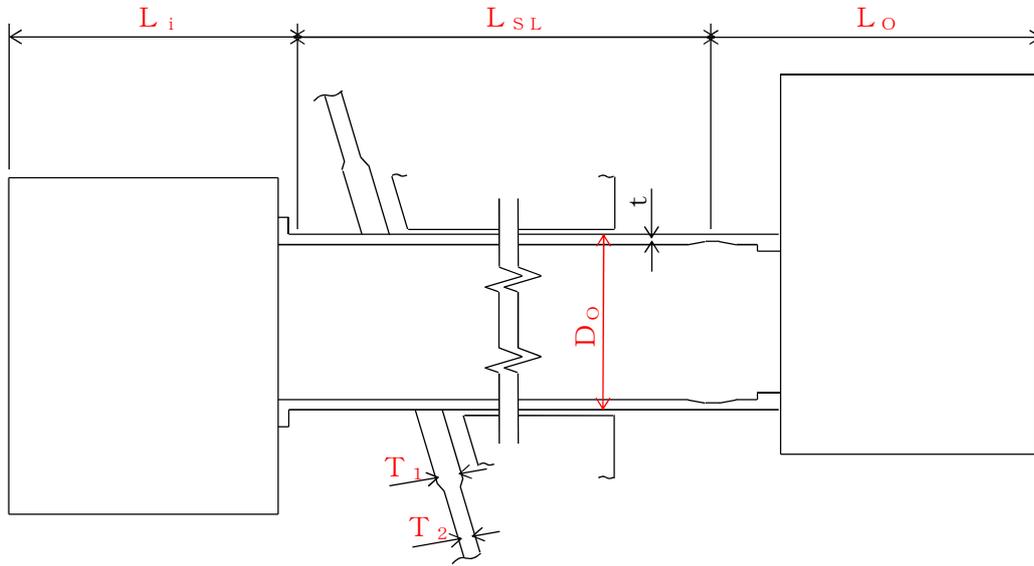


図 3-1 電気配線貫通部の形状

表 3-1 電気配線貫通部の寸法

(単位：mm)

貫通部番号	取付位置 (EL.)	D_o	t	T_1	T_2	L_{sL}	L_i	L_o

4. 設計条件

4.1 設計荷重

- (1) 設計基準対象施設としての最高使用圧力及び最高使用温度

内圧 P_D	310 kPa
外圧 P_{DO}	14 kPa
温度 T_D	171 °C

- (2) 冷却材喪失事故後の最大内圧
- P_{DBA}
- 255 kPa

- (3) 重大事故等対処施設としての評価圧力及び評価温度

内圧 P_{SAL}	465 kPa (SA後長期)
内圧 P_{SALL}	200 kPa (SA後長々期)
温度 T_{SAL}	171 °C (SA後長期)
温度 T_{SALL}	150 °C (SA後長々期)

- (4) 死荷重

- a. 電気配線貫通部の自重



- (5) 地震力による荷重

解析モデルによる固有値解析の結果を表 4-1, 図 4-1, 図 4-2 及び表 4-2, 表 4-3, 図 4-3 に示す。

電気配線貫通部に加わる地震荷重について、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した応答スペクトルの作成方針に基づき、作成した設計用床応答曲線を用いる。表 4-4, 表 4-6 に示す設計震度により電気配線貫通部に加わる荷重を解析コード NASTRAN を使用して計算する。計算モデルを図 4-1 に、計算モデルの諸元を表 5-2 に示す。



接続箱中心位置に接続箱質量を設定し、スリーブは等分布質量を設定
格納容器との接合はシェルバネを考慮

図 4-1 計算モデル

表 4-1 固有周期（設計基準対象施設）

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
			X	Y	Z
1次		水平方向(周方向)			
2次		鉛直方向			
3次		水平方向(径方向)			

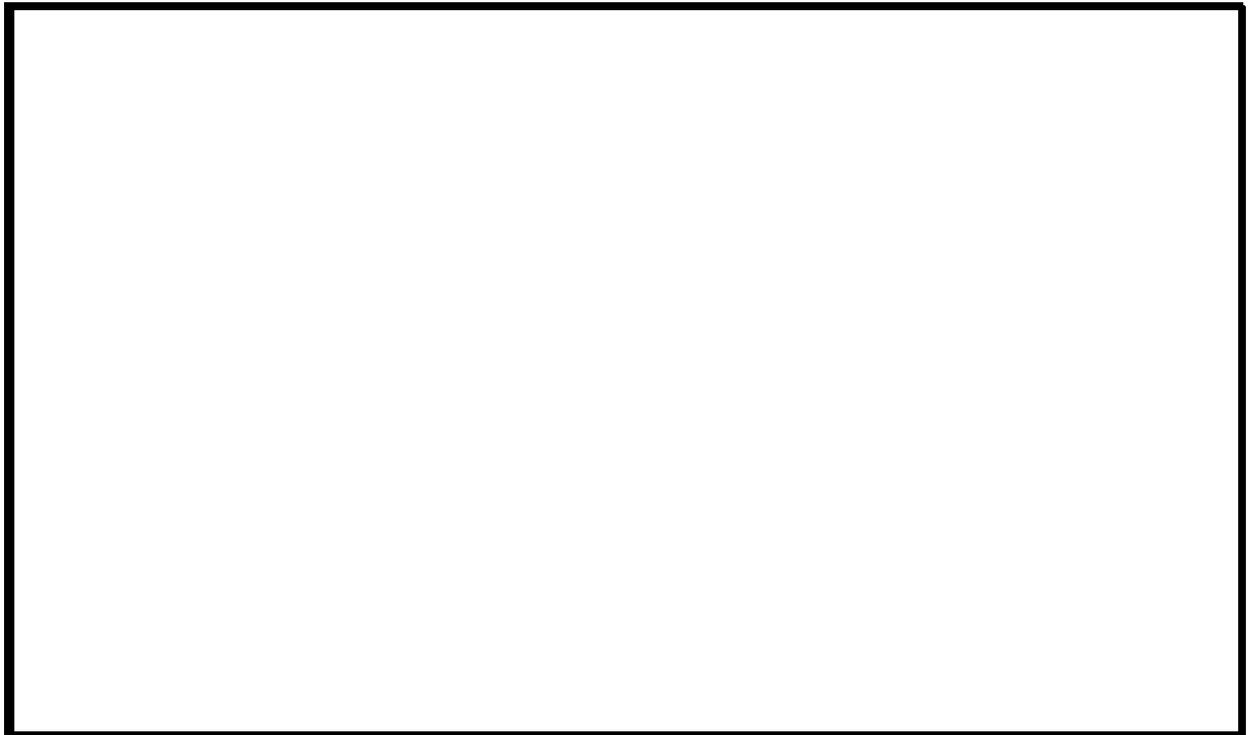


図 4-2 モード変形図（設計基準対象施設）

表 4-2 固有周期（重大事故等対処設備）

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
			X	Y	Z
1次	[]	水平方向(周方向)	[]		
2次		鉛直方向			
3次		水平方向(径方向)			

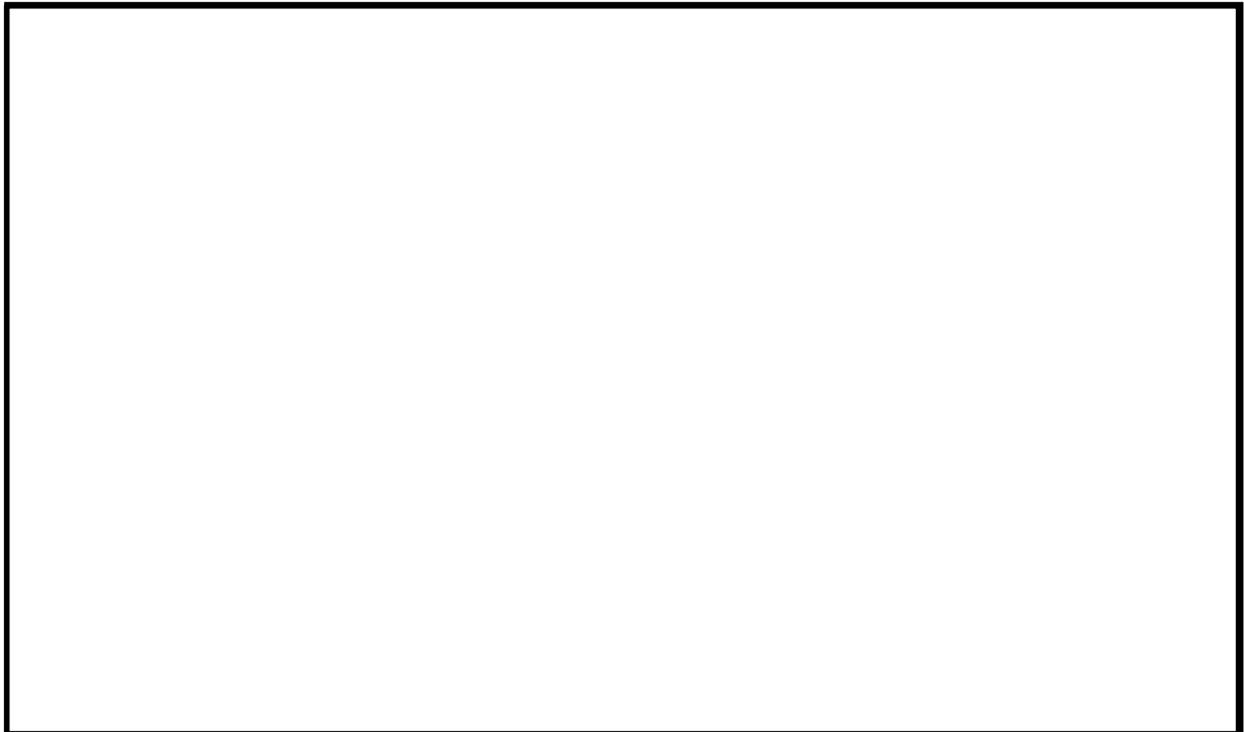


図 4-3 モード変形図（重大事故等対処設備）

表 4-3 設計震度（設計用床応答曲線）（設計基準対象施設）

地震動	設置場所 及び床面高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	備考
S_d	原子炉格納容器 EL. 21. 420～ EL. 24. 422	鉛直	1.0	水平方向はX方向 及びY方向の包絡 曲線を用いる。
		水平	1.0	
S_s	原子炉格納容器 EL. 21. 420～ EL. 24. 422	鉛直	1.0	水平方向はX方向 及びY方向の包絡 曲線を用いる。
		水平	1.0	

注記 * : 電気配線貫通部は溶接構造物のため 1.0 %を適用

表 4-4 設計震度（設計基準対象施設）

方向	S_d^*	S_s
鉛直方向		
水平方向		

表 4-5 設計震度（設計用床応答曲線）（重大事故等対処設備）

地震動	設置場所 及び床面高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	備考
S _d	原子炉格納容器 EL. 21. 420～ EL. 24. 422	鉛直	1.0	水平方向はX方向 及びY方向の包絡 曲線を用いる。
		水平	1.0	
S _s	原子炉格納容器 EL. 21. 420～ EL. 24. 422	鉛直	1.0	水平方向はX方向 及びY方向の包絡 曲線を用いる。
		水平	1.0	

注記 * : 電気配線貫通部は溶接構造物のため 1.0 %を適用

表 4-6 設計震度（重大事故等対処設備）

方向	S _d	S _s
鉛直方向		
水平方向		

4.2 材料及び許容応力

(1) 材料

表 4-7 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
原子炉格納容器胴	SGV49 相当 	SGV480*
補強板	SGV49 相当 	SGV480*

注記 * : 現行の JIS を示す。

(2) 荷重の組合せ及び許容応力

基準地震動の策定に伴う地震荷重との組合せの評価として、荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-8 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-9 に示す。各材料の許容応力状態に対する許容応力のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-11 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-12 に示す。

表4-8 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	電気配線貫通部	S	クラス MC 容器	$D + P + M + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	Ⅳ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^{**}$	Ⅳ _A S

注記 * : 原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

表4-9 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	電気配線貫通部	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス2容器	$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として I_{VAS} の許容限界を用いる。)
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ *2	V_{AS} (V_{AS} として I_{VAS} の許容限界を用いる。)

注記 *1:「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備,「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備,「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2:原子炉格納容器は,放射性物質放出の最終障壁となること喪失事故後の最終障壁となることから,重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表4-10 許容限界 (クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器)

許容応力状態	許容限界*1					
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ピーク 応力	特別な応力限界	
					純せん 断応力	支圧応力
III _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及高ニッケル合金については1.2・Sとする。	左欄の1.5倍の値*2	3・S*3 S _d 又はS _s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	*4, *5 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態I, IIにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。	0.6・S	S _y *6 (1.5・S _y)
IV _A S	構造上の連続な部分は0.6・S _u 、不連続な部分は、S _y と0.6・S _u の小さい方。	左欄の1.5倍の値*2			0.4・S _u	S _u *6 (1.5・S _u)
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)	ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、構造上の連続な部分は2・Sと0.6S _u の小さい方、不連続な部分は1.2・Sとする。					

注記 *1: 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2: 設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は、1.5のいずれか小さい方の値 (α) を用いる。

- *3 : $3 \cdot S$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。 S_m は S と読み替える。) の弾塑性解析を用いる。
- *4 : 設計・建設規格 PVB-3140(6) を満たすときは疲労解析不要。
ただし、PVB-3140(6) の「応力の全振幅」は「 S_d 又は S_s 地震動による応力の全振幅」と読み替える。
- *5 : 運転状態 I, II において疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数を1.0以下とする。
- *6 : () 内は、支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

表4-11 許容応力（設計基準対象施設）

（単位：MPa）

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次+二次応力
			P_m	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	171	Ⅲ _A S	—	344	393
		Ⅳ _A S	—	344 ^{*1}	393
			—	380 ^{*2}	393

注記 *1：構造不連続部に対する許容応力を示す。

*2：構造連続部に対する許容応力を示す。

表4-12 許容応力（重大事故等対処設備）

（単位：MPa）

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次+二次応力
			P_m	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	171	Ⅴ _A S	—	344 ^{*1}	393
			—	380 ^{*2}	393
	150	Ⅴ _A S	—	348 ^{*1}	393
			—	381 ^{*2}	393

注記 *1：構造不連続部に対する許容応力を示す。

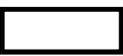
*2：構造連続部に対する許容応力を示す。

5. 応力計算

5.1 応力評価点

電気配線貫通部の形状及び応力レベルを考慮して設定した応力評価点を表 5-1 及び図 5-1 に示す。

表 5-1 応力評価点

貫通部番号	応力評価点番号	応力評価点
	P 1	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部 (胴側) (P 1 - A ~ P 1 - C)
	P 2	補強板結合部 (胴側) (P 2 - A ~ P 2 - C)

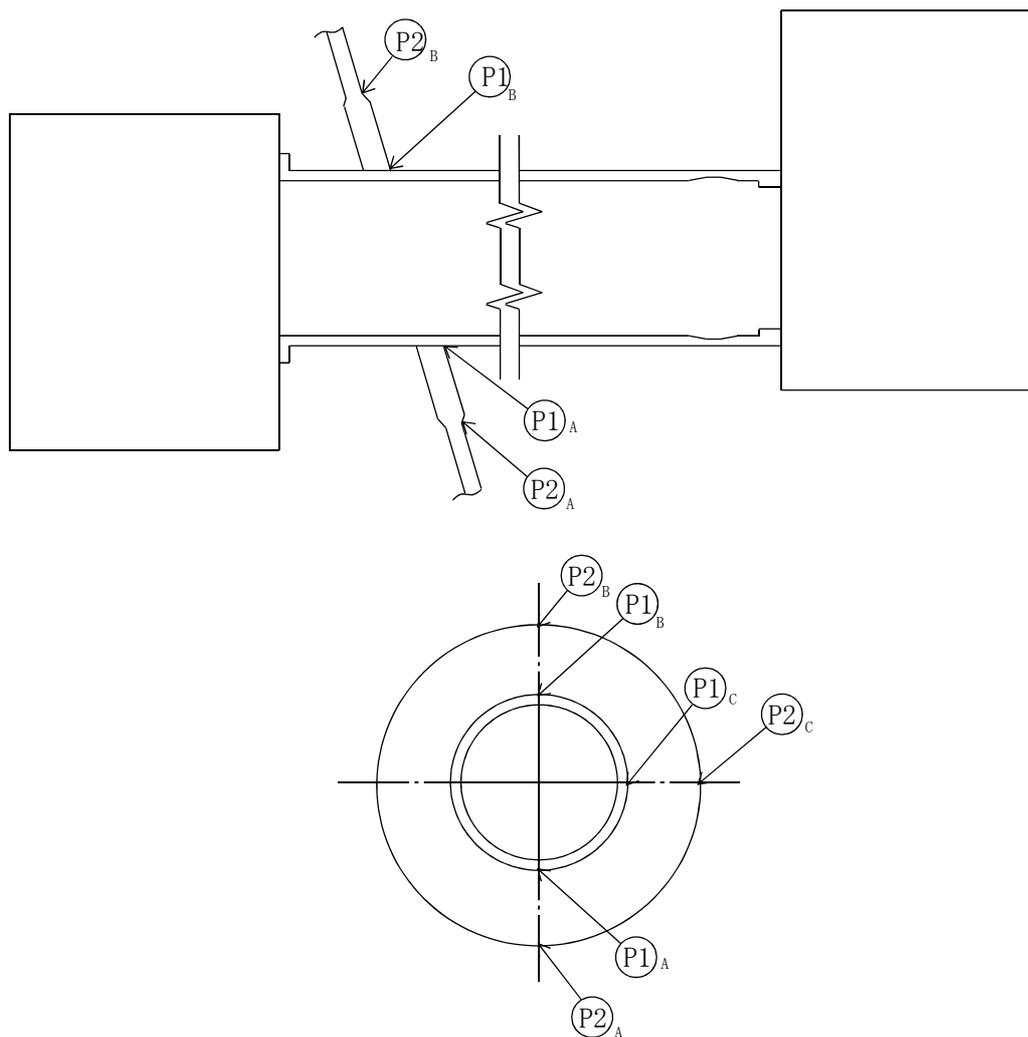


図 5-1 応力評価点

5.2 計算方針

5.2.1 原子炉格納容器に作用する荷重による応力

原子炉格納容器に作用する最高使用圧力（内圧）、最高使用圧力（外圧）、死荷重及び地震荷重による応力は、引用図書(1)で計算した応力を用いる。

5.2.2 貫通部に作用する荷重による応力

貫通部に作用する死荷重、地震荷重による応力は、解析コードNASTRANを用いて計算する。

計算モデルを図5-2に示す。

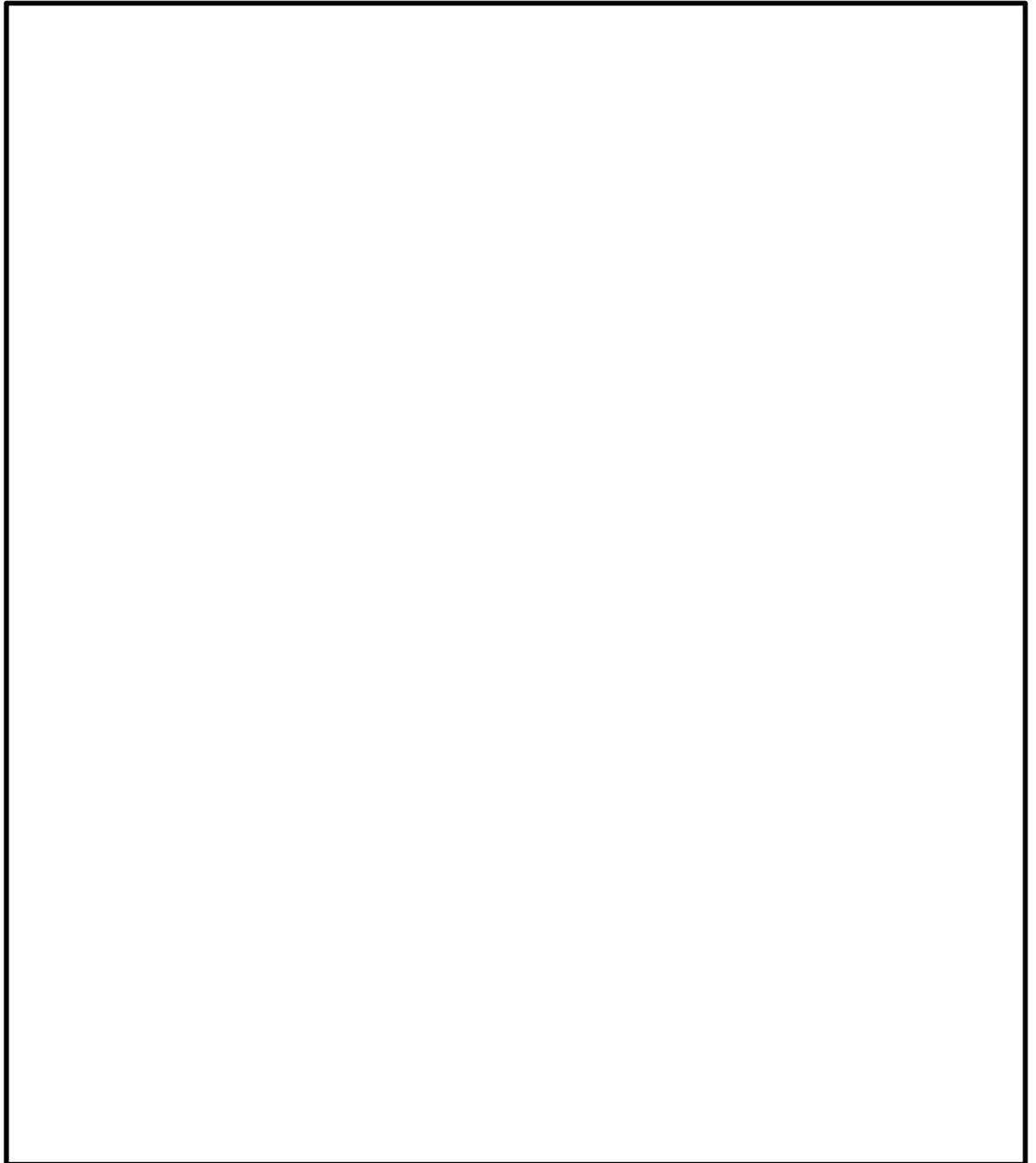


図5-2 計算モデル 

表 5-2 解析モデル諸元表

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV49相当
質量	m ₀	kg	—
温度条件 (雰囲気温度)	T	℃	66
等価縦弾性係数	E	MPa	<input type="text"/>
等価ポアソン比	ν	—	<input type="text"/>
応力増倍率	—	—	—
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

配管貫通部の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅳ_ASに対する応力評価結果を表 6-1 に示す。

表 4-10 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_L + M_L + S_d^*$ 及び $D + P + M + S_s$ の評価について、それぞれ発生値が高い方の評価を記載している。

(2) 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅲ_ASに対する応力評価結果を表 6-2 に示す。

表 4-10 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_d^*$ の評価について評価を記載している。

表 6-1 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s 又は D + P_L + M_L + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
電気配線貫通部	P 1 - A	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	112	344	○	①*
			一次+二次応力	516	393	×*	① *
			疲労評価	0.346	1	○	単位なし
	P 1 - B	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	117	344	○	①*
			一次+二次応力	524	393	×*	① *
			疲労評価	0.378	1	○	単位なし
	P 1 - C	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	96	344	○	①*
			一次+二次応力	336	393	○	①*
	P 2 - A	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	104	380	○	②*
			一次+二次応力	440	393	×*	① *
			疲労評価	0.065	1	○	単位なし
	P 2 - B	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	112	380	○	②*
			一次+二次応力	446	393	×*	① *
			疲労評価	0.069	1	○	単位なし
	P 2 - C	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	98	380	○	②*
			一次+二次応力	320	393	○	①*

注記 * : ① : D + P + M + S_s / ② : D + P_L + M_L + S_d*における結果を示す。

P 1 - A, P 1 - B 及び P 2 - A, P 2 - B の一次+二次応力評価結果は評価基準値を満足しないが, 設計・建設規格 (J S M E S N C 1 - 2005) PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, この結果より耐震性を有することを確認した。

表 6-2 許容応力状態ⅢA S に対する評価結果 (D + P + M + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	ⅢA S		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
電気配線貫通部	P 1 - A	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	60	344	○	
			一次+二次応力	274	393	○	
	P 1 - B	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	66	344	○	
			一次+二次応力	276	393	○	
	P 1 - C	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	57	344	○	
			一次+二次応力	180	393	○	
	P 2 - A	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	60	344	○	
			一次+二次応力	234	393	○	
	P 2 - B	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	59	344	○	
			一次+二次応力	236	393	○	
	P 2 - C	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	55	344	○	
			一次+二次応力	170	393	○	

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

電気配線貫通部の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価

許容応力状態 V_{AS} に対する応力評価結果を表 6-3 に示す。

表 4-10 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ 又は $D + P_{SALL} + M_{SAL} + S_s$ の評価について、それぞれ発生値が高い方の評価を記載している。

表 6-3 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ 又は $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
電気配線貫通部	P 1 - A	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	176	344	○	②*
			一次+二次応力	512	393	×*	①*
			疲労評価	0.327	1	○	単位なし
	P 1 - B	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	185	344	○	②*
			一次+二次応力	520	393	×*	①*
			疲労評価	0.350	1	○	単位なし
	P 1 - C	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	162	344	○	②*
			一次+二次応力	332	393	○	①*
	P 2 - A	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	174	380	○	②*
			一次+二次応力	436	393	×*	①*
			疲労評価	0.059	1	○	単位なし
	P 2 - B	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	182	380	○	②*
			一次+二次応力	442	393	×*	①*
			疲労評価	0.063	1	○	単位なし
	P 2 - C	補強板取付部 (胴側)	一次膜応力+一次曲げ応力	166	380	○	②*
			一次+二次応力	318	393	○	①*

注記 * : ① : $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ / ② : $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ における結果を示す。

P 1 - A, P 1 - B 及び P 2 - A, P 2 - B の一次+二次応力評価結果は評価基準値を満足しないが, 設計・建設規格 (J SME S NC 1 - 2005) PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, この結果より耐震性を有することを確認した。

7. 引用図書

- (1) 「V-2-9-2-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書」

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-770 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-9-2-9 配管貫通部の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 構造説明	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	3
3. 形状及び主要寸法	4
4. 設計条件	5
4.1 設計荷重	5
4.2 材料及び許容応力	7
5. 応力計算	12
5.1 応力評価点	12
5.2 計算方針	14
6. 評価結果	17
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	17
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	20

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、配管貫通部が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価は配管貫通部の地震応答解析、応力評価により行う。

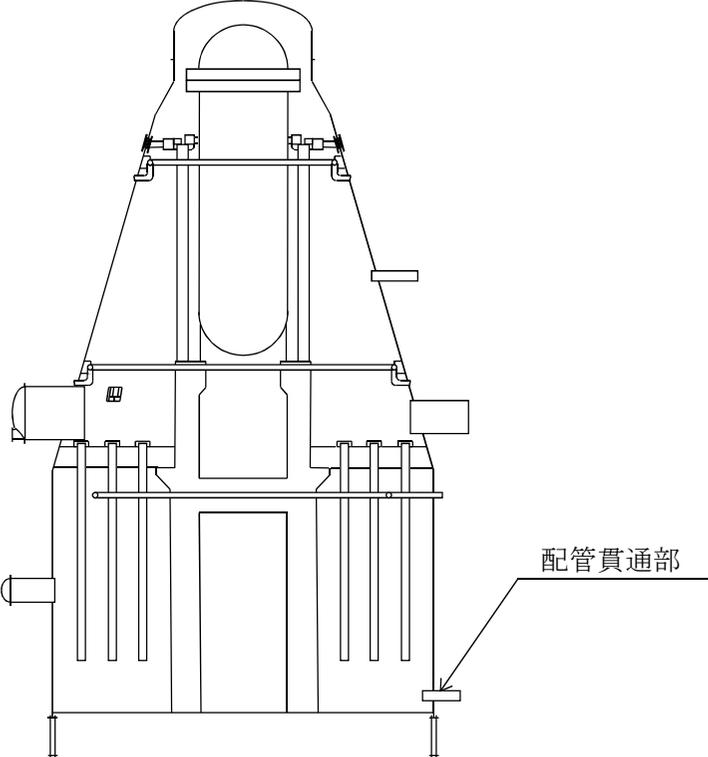
配管貫通部は設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

配管貫通部の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
支持構造	主体構造	
配管貫通部は原子炉格納容器により支持される。	原子炉格納容器に円筒形スリーブが取り付けられた鋼製構造物である。	

2.2 評価方針

- (1) 配管貫通部の応力評価のうち、原子炉格納容器側の応力については、原子炉格納容器に作用する荷重（死荷重、圧力、地震荷重）による応力と、貫通部に作用する荷重（配管反力）による応力を組み合わせて評価する。原子炉格納容器に作用する荷重による応力は、添付書類「V-2-9-2-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書」で計算した応力を用い、貫通部に作用する荷重による応力は、実績のある三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。
- (2) 解析コードはMSC NASTRANを用いる。なお、評価に用いる解析コードMSC NASTRANの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3. 形状及び主要寸法

配管貫通部の形状及び主要寸法を図3-1及び表3-1に示す。

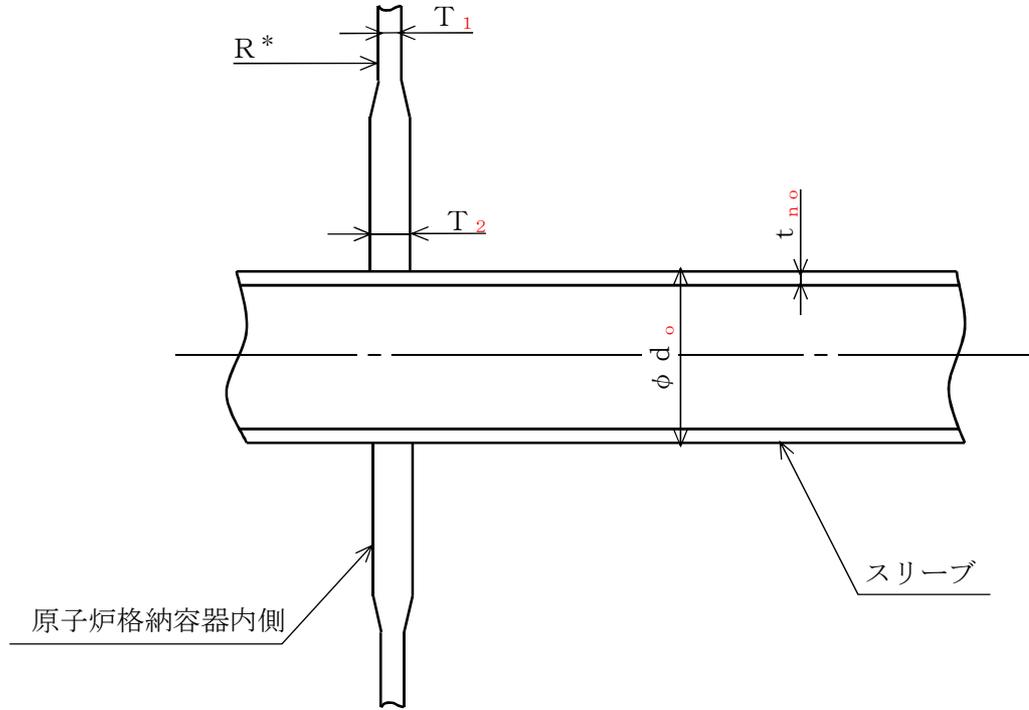


図3-1 配管貫通部の形状

表3-1 配管貫通部の主要寸法

(単位：mm)

貫通部番号	T_1	T_2	d_o	t_{no}	R^*

注記 *：原子炉格納容器中心から原子炉格納容器内側までの距離

4. 設計条件

4.1 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての最高使用圧力及び最高使用温度

内圧 P_D	310 kPa
外圧 P_{DO}	14 kPa
温度 T_D	104.5 °C

(2) 冷却材喪失事故後の最大内圧 P_{DBA} 196 kPa

(3) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

内圧 P_{SAL}	465 kPa (SA後長期)
内圧 P_{SALL}	200 kPa (SA後長々期)
温度 T_{SAL}	171 °C (SA後長期)
温度 T_{SALL}	150 °C (SA後長々期)

(4) 配管荷重

貫通部に作用する配管反力による設計荷重を表 4-1 に示す。地震荷重の作用方向を図 4-1 に示す。

表 4-1 配管反力による設計荷重

貫通部番号	荷重の種類	軸力 (N)		モーメント (N・mm)		
		P		M_C	M_L	
□	死荷重					
	逃し安全弁 作動時荷重					
	地震荷重					S_d
						S_s
□	死荷重					
	逃し安全弁 作動時荷重					
	地震荷重					S_d
						S_s

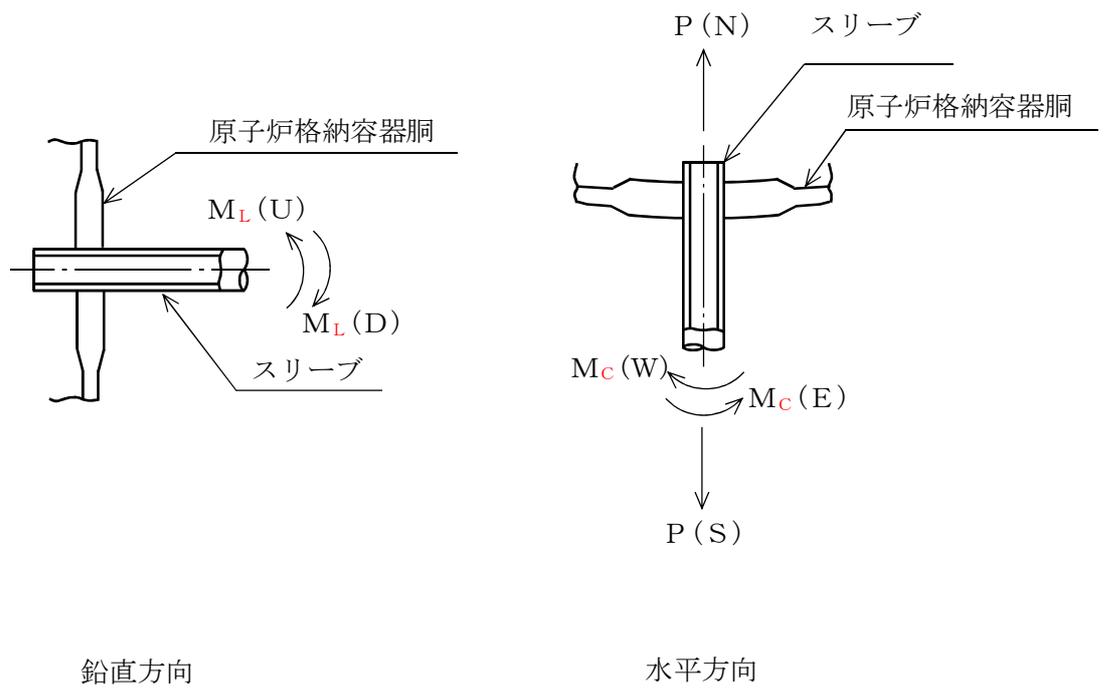


図 4-1 地震荷重の作用方向

4.2 材料及び許容応力

(1) 材料

表 4-2 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
原子炉格納容器胴	SGV49 相当	SGV480*
補強板	SGV49 相当	SGV480*

注記 * : 新 JIS を示す。

(2) 荷重の組合せ及び許容応力

基準地震動の策定に伴う地震荷重との組合せの評価として、荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-3 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-4 に、許容応力状態に対する許容限界について表 4-5 に示す。各材料の許容応力状態に対する許容応力のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-6 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-7 に示す。

表4-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	配管貫通部	S	クラス MC 容器	$D + P + M + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	Ⅳ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^{**}$	Ⅳ _A S

注記 * : 原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

表4-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	配管貫通部	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス2容器	$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ *2	V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)

注記 *1: 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2: 原子炉格納容器は, 放射性物質放出の最終障壁となること喪失事故後の最終障壁となることから, 重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

表4-5 許容限界 (クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器)

許容応力状態	許容限界*1					
	一次一般膜応力	一次膜応力 + 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ピーク 応力	特別な応力限界	
					純せん断応力	支圧応力
III _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及高ニッケル合金については1.2・Sとする。	左欄の 1.5倍の値*2		*4, *5 S _d 又はS _s 地震動	0.6・S	S _y *6 (1.5・S _y)
IV _A S	構造上の連続な部分は0.6・S _u , 不連続な部分は, S _y と0.6・S _u の小さい方。	左欄の 1.5倍の値*2	3・S*3 S _d 又はS _s 地震動 のみによる応力振幅 について評価する。	のみによる疲労解析 を行い, 運転状態 I, IIにおける疲労 累積係数との和が 1.0 以下であるこ と。	0.4・S _u	S _u *6 (1.5・S _u)
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用 いる。)	ただし, オーステナイト系ステン レス鋼及び高ニッケル合金につ いては, 構造上の連続な部分は2・ Sと0.6S _u の小さい方, 不連続な 部分は1.2・Sとする。					

注記 *1: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2: 設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は, 純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は, 1.5のいずれか小さい方の値 (α)

を用いる。

*3: $3 \cdot S$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。 S_m は S と読み替える。) の弾塑性解析を用いる。

*4: 設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「 S_d 又は S_s 地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*5: 運転状態 I, IIにおいて疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数を1.0以下とする。

*6: () 内は、支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値

表4-6 許容応力（設計基準対象施設）

(単位：MPa)

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次+二次応力
			P_m	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	104.5	Ⅲ _A S	—	356	393
		Ⅳ _A S	—	356 ^{*1}	393
			—	387 ^{*2}	393

注記 *1：構造不連続部に対する許容応力を示す。

*2：構造連続部に対する許容応力を示す。

表4-7 許容応力（重大事故等対処設備）

(単位：MPa)

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次+二次応力
			P_m	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	171	Ⅴ _A S	—	344 ^{*1}	393
			—	380 ^{*2}	393
	150	Ⅴ _A S	—	348 ^{*1}	393
			—	381 ^{*2}	393

注記 *1：構造不連続部に対する許容応力を示す。

*2：構造連続部に対する許容応力を示す。

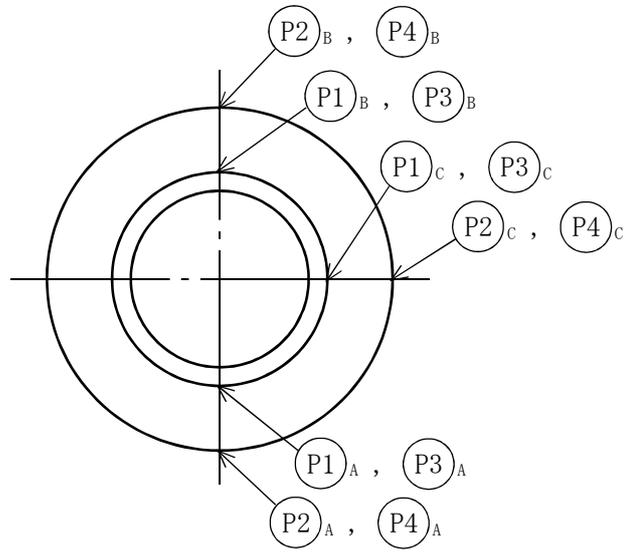
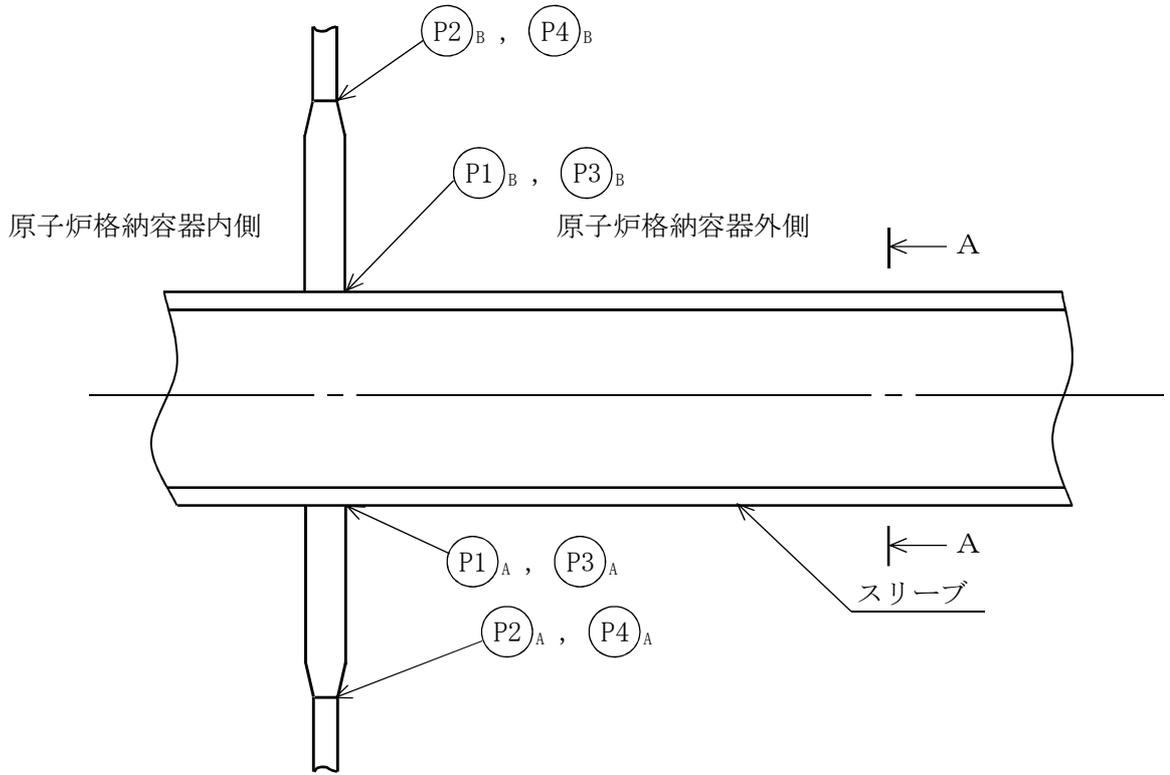
5. 応力計算

5.1 応力評価点

貫通部の形状及び応力レベルを考慮して設定した応力評価点を表 5-1 及び図 5-1 に示す。

表 5-1 応力評価点

貫通部番号	応力評価点番号	応力評価点
	P 1	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (P 1 - A ~ P 1 - C)
	P 2	補強板取付部 (P 2 - A ~ P 2 - C)
	P 3	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (P 3 - A ~ P 3 - C)
	P 4	補強板取付部 (P 4 - A ~ P 4 - C)



A~A 矢視図

図 5-1 配管貫通部の応力評価点

5.2 計算方針

5.2.1 原子炉格納容器に作用する荷重による応力

原子炉格納容器に作用する最高使用圧力(内圧), 最高使用圧力(外圧), 死荷重及び地震荷重による応力は, 添付書類「V-2-9-2-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書」で計算した応力を用いる。

5.2.2 貫通部に作用する荷重による応力

貫通部に作用する死荷重, 地震荷重による応力は, 解析コードMSC NASTRANを用いて計算する。

貫通部番号 及び の計算モデルを図5-2及び図5-3に示す。

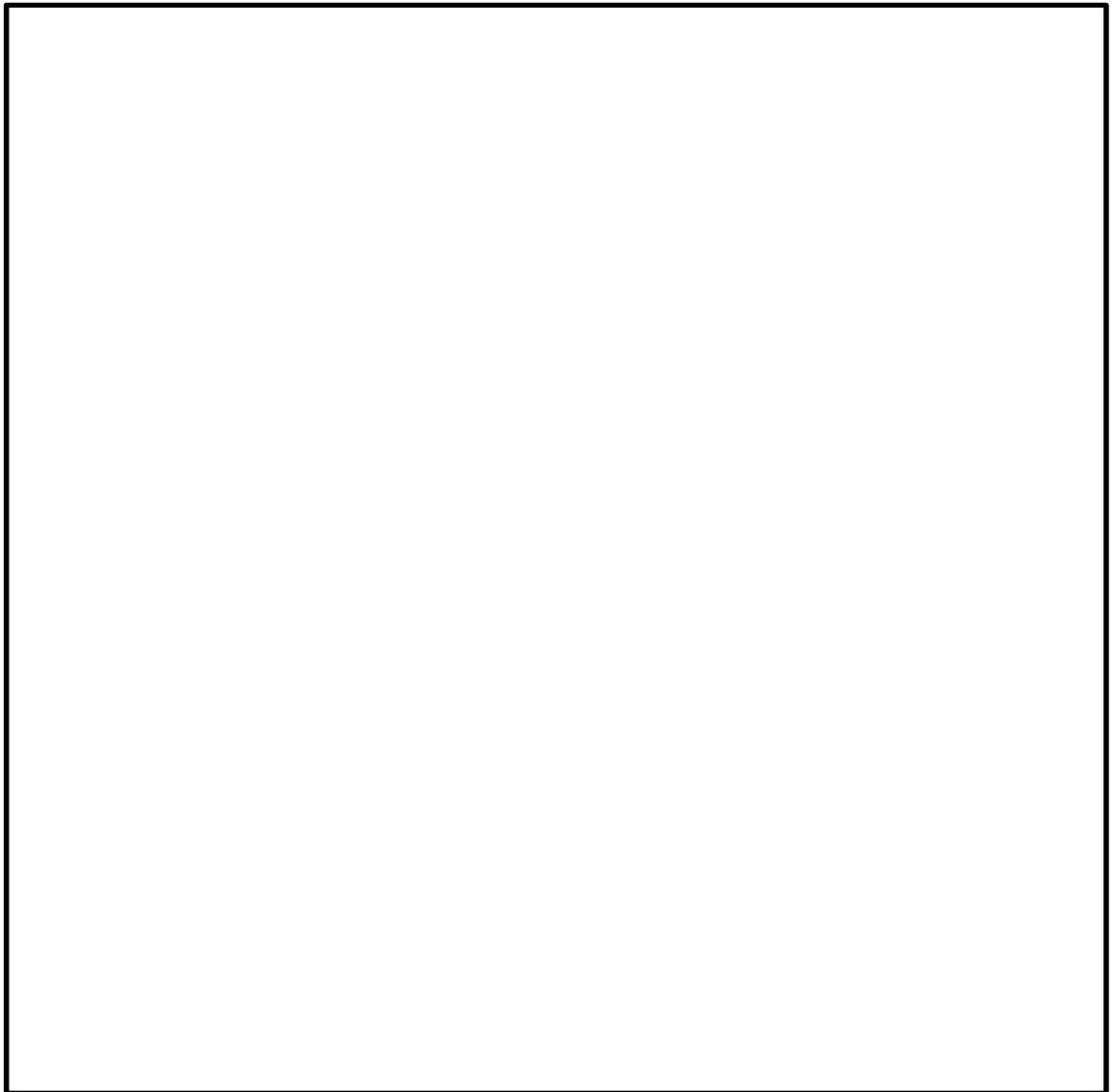


図5-2 貫通部番号 の解析モデル

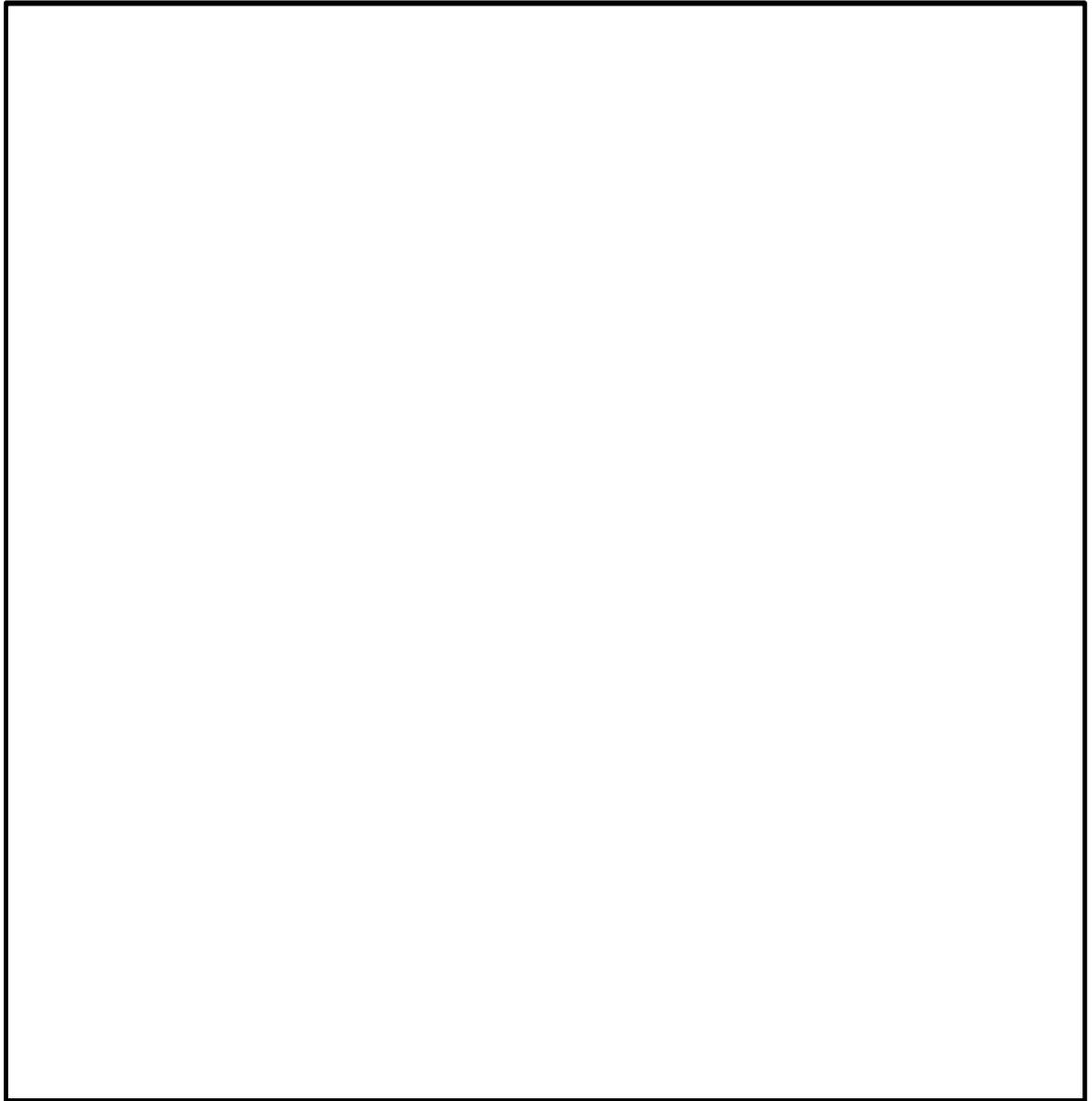


図 5-3 貫通部番号 の解析モデル

表 5-2 解析モデル諸元表

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV480
質量	m_0	kg	—*
温度条件	T	°C	4.1に記載のとおり
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	図5-2～図5-3に 記載のとおり
節点数	—	個	

注記 * : 単位荷重による解析のため、質量は定義不要。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

配管貫通部の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅳ_ASに対する応力評価結果を表6-1に示す。

表4-3に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_L + M_L + S_d^*$ 及び $D + P + M + S_s$ の評価について、それぞれ発生値が高い方の評価を記載している。

(2) 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅲ_ASに対する応力評価結果を表6-2に示す。

表4-3に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_d^*$ の評価について評価を記載している。

表 6-1 許容応力状態Ⅳ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s 又は D + P_L + M_L + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
配管貫通部 X-31	P 1	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	176	356	○	①*
			一次+二次応力	230	393	○	①*
	P 2	補強板取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	166	387	○	①*
			一次+二次応力	226	393	○	①*
配管貫通部 X-34	P 3	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	176	356	○	①*
			一次+二次応力	230	393	○	①*
	P 4	補強板取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	166	387	○	①*
			一次+二次応力	232	393	○	①*

注記 * : ① : D + P + M + S_s / ② : D + P_L + M_L + S_d*における結果を示す。

表 6-2 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
配管貫通部 X-31	P 1	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	137	356	○	
			一次+二次応力	130	393	○	
	P 2	補強板取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	130	356	○	
			一次+二次応力	130	393	○	
配管貫通部 X-34	P 3	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	137	356	○	
			一次+二次応力	130	393	○	
	P 4	補強板取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	129	356	○	
			一次+二次応力	130	393	○	

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

配管貫通部の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価

許容応力状態 $V_A S$ に対する応力評価結果を表 6-3 に示す。

表 4-4 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ 及び $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ の評価について、それぞれ評価基準値に対する発生値の割合が高い方の評価を記載している。

表 6-3 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ 又は $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V _{AS}		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
配管貫通部 X-31	P 1	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	266	348	○	①*
			一次+二次応力	346	393	○	①*
	P 2	補強板取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	258	380	○	②*
			一次+二次応力	346	393	○	①*
配管貫通部 X-34	P 3	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	266	348	○	①*
			一次+二次応力	344	393	○	①*
	P 4	補強板取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	258	380	○	②*
			一次+二次応力	350	393	○	①*

注記 * : ① : $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ / ② : $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ における結果を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-780 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-9-4-1 ダイヤフラム・フロアの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
1.1 基本方針	1
2. 構造説明	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	3
3. 形状及び主要寸法	4
4. 設計条件	5
4.1 設計荷重	5
4.2 材料及び許容応力	6
5. 応力計算	8
5.1 応力評価点	8
5.2 計算方針	10
6. 評価結果	12
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	12

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、ダイヤフラム・フロアが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価はダイヤフラム・フロアの地震応答解析、応力評価により行う。

ダイヤフラム・フロアは設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。なお、ダイヤフラム・フロアはコンクリート構造物であり、重大事故等対処設備としての評価は設計基準対象施設としての評価に包絡される。以下、設計基準対象施設としての耐震評価を示す。

なお、技術基準規則第17条において、設計基準対象施設に関しては、技術基準規則の要求に変更がないため、今回の申請において変更は行わない。

1.1 基本方針

ダイヤフラム・フロアの応力評価は、発電用原子力設備規格（コンクリート製原子炉格納容器規格 JSME S NE 1-2003）（日本機械学会 2003年12月）（以下「CCV規格」という。）、鋼構造設計規準（日本建築学会 2005年改定）、各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会 2010年改定）を適用して評価する。

2. 構造説明

2.1 構造計画

ダイヤフラム・フロアの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ダイヤフラム・フロアは鉛直方向を原子炉本体の基礎と柱によって支持され、水平方向はシアラグによって支持される。</p>	<p>外径 <input type="text"/> mm, 内径 <input type="text"/> mm, スラブ厚さ <input type="text"/> mm (強度部材), <input type="text"/> mm (断熱材を含む) の鉄筋コンクリート造スラブである。</p>	<p>原子炉格納容器</p> <p>ダイヤフラム・フロア</p> <p>断熱層 (コンクリート)</p> <p>構造用スラブ</p> <p>シヤ-コネクタ</p> <p>鉄骨梁</p> <p>柱</p> <p>ダイヤフラム・フロア 拡大図</p>

2.2 評価方針

- (1) ダイヤフラム・フロアの応力評価は，東海第二発電所 昭和 48 年 10 月 22 日付け 48 公第 8316 号（既工認）にて認可された実績ある手法を適用する。各荷重による応力は，実績のある三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。
- (2) 解析コードはMSC NASTRANを用いる。なお，評価に用いる解析コードMSC NASTRANの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3. 形状及び主要寸法

構造概要を図3-1に示す。

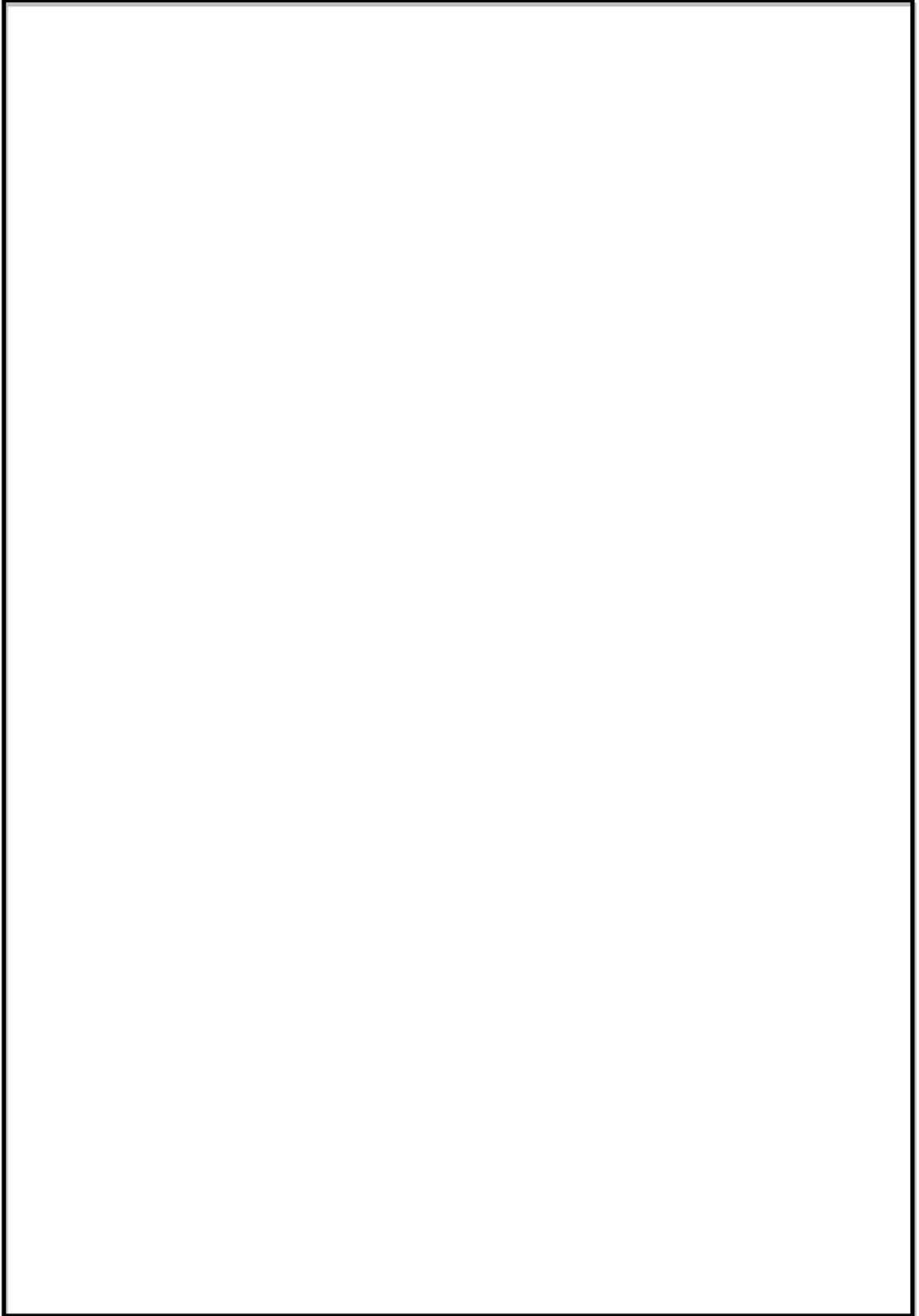


図 3-1 構造概要図 (単位 : mm)

4. 設計条件

4.1 設計荷重

設計基準対象施設の評価に用いる設計荷重を表4-1に示す。地震荷重は添付書類「V-2-1 耐震設計の基本方針」及び添付書類「V-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」より設定する。

表4-1 設計荷重

荷重		鉄筋コンクリートスラブに作用する荷重		直接鉄骨大ばりに作用する荷重	コラムポートに作用する荷重
D	DL	死荷重		V : スラブ用 <input type="text"/> kN/m ² V : 鉄骨はり用 <input type="text"/> kN/m ²	V : 最大 <input type="text"/> kN V : <input type="text"/> kN/m
O	P ₁	通常運転時	圧力	V : <input type="text"/> kN/m ²	—
	T ₁		温度	上下面温度差 <input type="text"/> °C	—
	H ₁	逃し安全弁作動時 空気泡圧力による荷重		R : <input type="text"/> kN/ベント管 1本	—
L	P ₂	地震と組合せる異常時圧力		V : 10 ⁻¹ 年後 <input type="text"/> kN/m ²	—
	T ₂	地震と組合せる異常時温度		10 ⁻¹ 年後上下面温度差 <input type="text"/> °C	—
S _d *	K ₁	弾性設計用地震動 S _d により定まる地震力又は静的地震力		H : 11400 kN V : 鉛直震度 ±0.24	R ₁ : 最大 ±1454 kN —
S _s	K ₂	基準地震動 S _s により定まる地震力		H : 18600 kN V : 鉛直震度 ±1.08	R ₂ : 最大 ±2782 kN —

注1 : Vは鉛直方向を示す。(下向きを正とする。)

注2 : Hは水平方向を示す。

4.2 材料及び許容応力

設計基準強度 $F_c = 27.4 \text{ N/mm}^2$

鉄筋 SD345* (SD35)

* : 新JISを示す

各材料の許容応力度を表 4-2～表 4-6 に示す。

設計基準対象施設の評価に用いる（荷重状態Ⅲ，Ⅳ）の荷重組合せを表 4-7 に示す。

表 4-2 コンクリートの許容圧縮応力度

(単位：N/mm²)

荷重状態	応力状態 1 * ¹	応力状態 2 * ²
Ⅲ	18.2	20.5

注記 *1 : 各荷重状態において，温度荷重により生じる応力を除いた応力が生じている状態。

*2 : 各荷重状態において，応力が生じている状態。

表 4-3 コンクリートの許容せん断応力度

(単位：N/mm²)

荷重状態	許容値
Ⅲ	1.14

表 4-4 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm²)

荷重状態	許容値	
	圧縮及び引張り	せん断
Ⅲ，Ⅳ	345	345

表 4-5 鉄筋とコンクリートの許容ひずみ

荷重状態	鉄筋		コンクリート 圧縮
	引張り	圧縮	
Ⅳ	0.005	0.005	0.003

表4-6 構造用鋼材の許容応力度

(単位：N/mm²)

	材 料	板 厚	F 値	許容応力度
構造用鋼材	SM400B	40 ≥	235	左記 F の値より求める。
	SS400	40 <	215	

表4-7 荷重の組合せ

荷重状態	荷重時名称	地震荷重	荷重番号	荷重の組合せ
Ⅲ	地 震 時	S _d *	4	D L + P ₁ + T ₁ + H ₁ + R ₁ + K ₁
Ⅳ	地 震 時	S _s	5	D L + P ₁ + T ₂ + H ₁ + R ₂ + K ₂
	(異常* + 地震) 時	S _d *	6	D L + P ₂ + T ₂ + R ₁ + K ₁

注：異常時の圧力と温度と配管荷重については時間のずれを考慮する。

注記 *：地震荷重と組み合わせる場合は，異常発生直後を除くその後の状態の荷重と組み合わせる。

5. 応力計算

5.1 応力評価点

ダイヤフラム・フロアの形状及び応力レベルを考慮して設定した応力評価点を表 5-1 及び図 5-1 に示す。

表5-1 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
No. 1	RC スラブ 中間
No. 2	RC スラブ 端部
No. 3	RC スラブ ベント管近傍
No. 4	RC スラブ ベント管近傍

NT2 補② V-2-9-4-1 R1

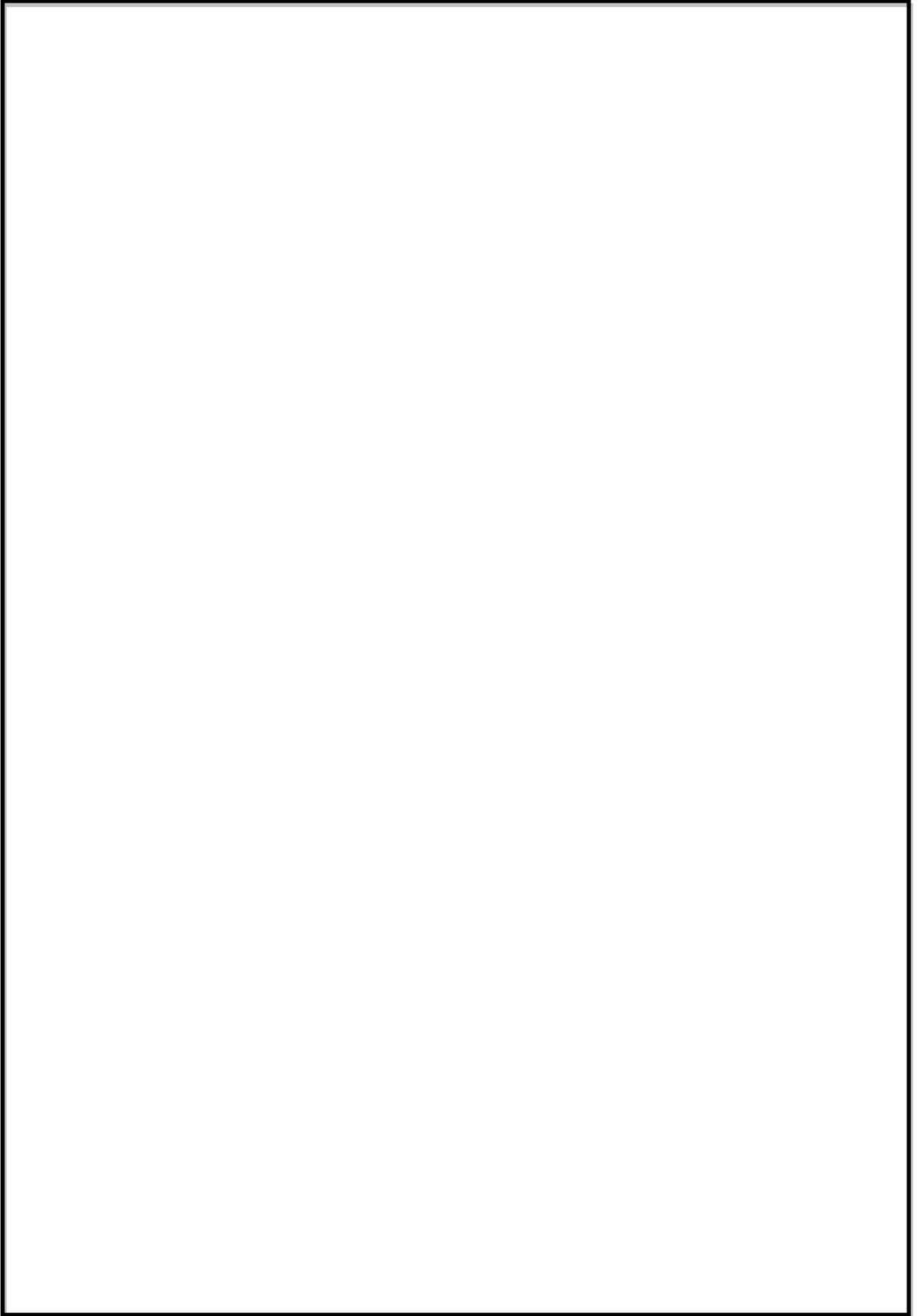


図5-1 解析モデル（ダイヤフラム・フロアの応力評価点）

5.2 計算方針

各荷重によりダイアフラム・フロアに生じる応力は、解析コードMSC NASTRANを使用して計算する。ダイアフラム・フロアの計算モデルを図 5-1 に示す。

ダイアフラム・フロアは鉛直方向を原子炉本体の基礎と柱によって支持され、水平方向はシアラグによって支持されている軸対称形の構造をしている。解析では、鉄筋コンクリートスラブ、鉄骨の大梁、小梁、柱を含む 360° 全体をモデル化した。非対称形の荷重に対応できるように三次元的にモデル化し有限要素法による弾性解析を行っている。

鉄筋コンクリートは、有限要素分割は四辺形及び三角形を用いることで板の曲げと膜力を同時に考慮している。また、鉄骨の大梁、小梁、柱ははり要素を用いて、軸力、曲げ、せん断力を同時に評価できるようにしている。

解析に用いる材料の物性値は次のとおりとする。

コンクリートのヤング係数	$E_c = 2.43 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$
コンクリートのせん断弾性係数	$G_c = 1.04 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$
コンクリートのポアソン比	$\nu_c = 0.167$
コンクリートの線膨張係数	$\alpha_c = 1.0 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$
鉄筋コンクリートの単位体積質量	$\gamma_c = 24 \text{ kN/m}^3$
鉄骨のヤング係数	$E_s = 2.06 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$
鉄骨のポアソン比	$\nu_s = 0.3$
鉄骨の線膨張係数	$\alpha_s = 1.0 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$
鉄骨の単位体積質量	$\gamma_s = 77 \text{ kN/m}^3$

表5-2 解析モデル諸元表

項目	記号	単位	入力値	
			鉄筋コンクリート	鉄骨部
材質	—	—	コンクリート	SD345
質量	m ₀	kg	—*1	—*1
縦弾性係数	E	MPa	2.43×10 ⁴	
ポアソン比	ν	—	0.167	
要素数	—	個		
節点数	—	個		

注記 *1：単位荷重による解析のため、質量は定義不要。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

ダイヤフラム・フロア的设计基準対象施設としての評価を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 鉄筋コンクリート部

鉄筋コンクリート部の解析結果とそれに基づく断面算定結果を表 6-1～表 6-6 に示す。

表 6-1 荷重状態Ⅲの軸力及び曲げモーメントによる応力検討結果（円周方向）

箇所名	荷重状態	検討応力	荷重番号	応力状態	設計応力		a _{tx} (mm ² /m)	引張応力及び圧縮応力			許容値			判定
					N _x (kN/m)	M _x (kN・m/m)		cσ _c N/mm ²	sσ _c N/mm ²	sσ _t N/mm ²	cfc N/mm ²	sfc N/mm ²	sft N/mm ²	
No.1	Ⅲ	cσ _c	4	2	-107	-9	3380	-0.5	-6.5	-0.3	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ _t	4	2	-98	-9	3380	-0.5	-6.2	0.2	-20.5	-345	345	可
No.2	Ⅲ	cσ _c	4	2	-2699	103	16900	-4.3	-60.2	-31.2	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ _t	4	2	3187	103	16900	0.0	73.8	114.8	-20.5	-345	345	可
No.3	Ⅲ	cσ _c	4	2	-587	-136	13520	-2.8	-34.1	15.5	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ _t	4	2	485	-136	13520	-1.4	-11.1	51.6	-20.5	-345	345	可
No.4	Ⅲ	cσ _c	4	2	-638	-170	13520	-3.4	-41.0	22.5	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ _t	4	2	672	-170	13520	-1.6	-12.4	67.2	-20.5	-345	345	可

注1：□ は検討ひずみの最大値を示す。

表 6-2 荷重状態Ⅳの軸力及び曲げモーメントによる応力検討結果（円周方向）

箇所名	荷重状態	検討応力	荷重番号	応力状態	設計応力		a _{tx} (mm ² /m)	引張ひずみ及び圧縮ひずみ			許容値			判定
					N _x (kN/m)	M _x (kN・m/m)		cε _c (×10 ⁶)	sε _c (×10 ⁶)	sε _t (×10 ⁶)	cε _{cu} (×10 ⁶)	sε _{cu} (×10 ⁶)	sε _{tu} (×10 ⁶)	
No.1	Ⅳ	sε _t	5	1	15	-4	3380	-6	-2	28	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε _t	6	1	8	-4	3380	-8	-4	26	-3000	-5000	5000	可
No.2	Ⅳ	sε _t	5	1	5253	178	16900	0	585	932	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε _t	6	1	2941	114	16900	0	314	536	-3000	-5000	5000	可
No.3	Ⅳ	sε _t	5	1	1004	-226	13520	-126	-55	455	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε _t	6	1	560	-130	13520	-75	-34	259	-3000	-5000	5000	可
No.4	Ⅳ	sε _t	5	1	1207	-281	13520	-161	-73	558	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε _t	6	1	673	-164	13520	-97	-46	320	-3000	-5000	5000	可

注1：□ は検討ひずみの最大値を示す。

表 6-3 面外せん断力による検討結果（円周方向）

箇所名	荷重状態	荷重番号	応力状態	設計応力		Q _x (N/mm)	許容値	判定
				M _x (kN・m/m)	Q _x (kN/m)		Q _{A1} (N/mm)	
No.1	Ⅲ	4	2	-10	11	11	339	可
	Ⅳ	5	1	-4	16	16	339	可
No.2	Ⅲ	4	2	103	-256	256	5400	可
	Ⅳ	5	1	178	-361	361	5400	可
No.3	Ⅲ	4	2	-136	751	751	3780	可
	Ⅳ	5	1	-227	1292	1292	3780	可
No.4	Ⅲ	4	2	-171	-184	184	3780	可
	Ⅳ	5	1	-282	-304	304	3780	可

注1： は面外せん断力の最大値を示す。

表 6-4 荷重状態Ⅲの軸力及び曲げモーメントによる応力検討結果（半径方向）

箇所名	荷重状態	検討応力	荷重番号	応力状態	設計応力		a _{ty} (mm ² /m)	引張応力及び圧縮応力			許容値			判定
					N _y (kN/m)	M _y (kN・m/m)		cσ _c N/mm ²	sσ _c N/mm ²	sσ _t N/mm ²	cfc N/mm ²	sfc N/mm ²	sft N/mm ²	
No.1	Ⅲ	cσ _c	4	2	13	32	3380	-1.2	-11.0	34.1	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ _t	4	2	88	32	3380	-1.0	-7.1	45.0	-20.5	-345	345	可
No.2	Ⅲ	cσ _c	4	2	-295	9	16900	-0.5	-6.3	-3.8	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ _t	4	2	382	9	16900	0.0	9.6	13.1	-20.5	-345	345	可
No.3	Ⅲ	cσ _c	4	2	-89	-226	13520	-3.5	-39.3	54.2	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ _t	4	2	38	-226	13520	-3.4	-36.6	58.5	-20.5	-345	345	可
No.4	Ⅲ	cσ _c	4	2	-291	-92	13520	-1.8	-21.2	13.8	-20.5	-345	345	可
	Ⅲ	sσ _t	4	2	242	-92	13520	-1.1	-9.8	31.9	-20.5	-345	345	可

注1: は検討ひずみの最大値を示す。

表 6-5 荷重状態Ⅳの軸力及び曲げモーメントによる応力検討結果（半径方向）

箇所名	荷重状態	検討応力	荷重番号	応力状態	設計応力		a _{ty} (mm ² /m)	引張ひずみ及び圧縮ひずみ			許容値			判定
					N _y (kN/m)	M _y (kN・m/m)		cε _c (×10 ⁶)	sε _c (×10 ⁶)	sε _t (×10 ⁶)	cε _{cu} (×10 ⁶)	sε _{cu} (×10 ⁶)	sε _{tu} (×10 ⁶)	
No.1	Ⅳ	sε _t	5	1	124	63	3380	-119	-56	389	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε _t	6	1	68	37	3380	-71	-34	227	-3000	-5000	5000	可
No.2	Ⅳ	sε _t	5	1	605	19	16900	0	70	106	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε _t	6	1	339	12	16900	0	38	61	-3000	-5000	5000	可
No.3	Ⅳ	sε _t	5	1	18	-395	13520	-375	-268	490	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε _t	6	1	14	-222	13520	-209	-149	277	-3000	-5000	5000	可
No.4	Ⅳ	sε _t	5	1	490	-156	13520	-107	-59	278	-3000	-5000	5000	可
	Ⅳ	sε _t	6	1	274	-90	13520	-62	-35	159	-3000	-5000	5000	可

注1: は検討ひずみの最大値を示す。

表 6-6 面外せん断力による検討結果（半径方向）

箇所名	荷重状態	荷重番号	応力状態	設計応力		Q _y (N/mm)	許容値 Q _{A1} (N/mm)	判定
				M _y (kN・m/m)	Q _y (kN/m)			
No.1	Ⅲ	4	2	33	-26	26	339	可
	Ⅳ	5	1	64	-39	39	339	可
No.2	Ⅲ	4	2	9	13	13	5400	可
	Ⅳ	5	1	19	20	20	5400	可
No.3	Ⅲ	4	2	-227	-477	477	3780	可
	Ⅳ	5	1	-396	-846	846	3780	可
No.4	Ⅲ	4	2	-93	302	302	3780	可
	Ⅳ	5	1	-157	529	529	3780	可

注1: は面外せん断力の最大値を示す。

(2) 鉄骨部

鉄骨部の解析結果とそれに基づく評価結果を表 6-7～表 6-11 に示す。

表 6-7 大梁の水平方向荷重に対する評価結果

荷重 組合せ	M (kN・m)	Q (kN)	σ_b (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	組合せ (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	
						せん断	曲げ 組合せ
(4)	144.1	1440.6	37.0	33.4	68.7	135	235
(5)	222.9	2228.5	57.2	51.6	106.2		
(6)	124.7	1247.5	32.1	28.9	59.5		

表 6-8 大梁の鉛直方向荷重に対する評価結果

荷重 組合せ	M (kN・m)	Q (kN)	σ_b (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	組合せ (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	
						せん断	曲げ 組合せ
(4)	752.8	995.3	31.3	31.1	62.3	135	235
(5)	1105.7	1547.9	46.0	48.4	95.7		
(6)	723.1	1000.1	30.1	31.3	62.0		

表 6-9 小梁の評価結果

荷重 組合せ	M (kN・m)	Q (kN)	σ_b (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	組合せ (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	
						せん断	曲げ 組合せ
(4)	627.7	380.1	70.0	26.4	83.7	135	235
(5)	1019.5	645.1	113.6	44.8	137.6		
(6)	646.4	379.3	72.0	26.4	85.3		

表 6-10 柱の評価結果

荷重 組合せ	N (kN)	断面積 (mm ²)	σ_c (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)
(4)	2349.8	52440	44.9	144
(5)	3426.8		65.4	
(6)	2355.1		45.0	

表 6-11 シアコネクタの評価結果

荷重 組合せ	F (kN)	T (kN/本)	本数	許容値 (kN/本)
(4)	1440.6	40.1	36	82
(5)	2228.5	61.9		
(6)	1247.5	34.7		

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-991 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-9-2-1 ベント管の強度計算書

目次

1. 概要	1
2. 構造説明	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	3
3. 形状及び主要寸法	4
4. 設計条件	5
4.1 設計荷重	5
4.2 材料及び許容応力	6
5. 応力計算	7
5.1 応力評価点	7
5.2 計算方針	8
6. 評価結果	9
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、ベント管の強度計算書である。

ベント管は、設計基準対象施設のベント管を重大事故等クラス2管として兼用する管である。

設計基準対象施設としては、東海第二発電所 昭和48年10月22日付け48公第8316号にて認可された工事計画書の添付書類「Ⅲ-2-2-1 ベント管の規格計算書」、「Ⅲ-3-2-2 ベント管の耐震性についての計算書」に評価結果があり、強度が十分であることを確認している。

以下、重大事故等クラス2管としての強度評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

ベント管の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

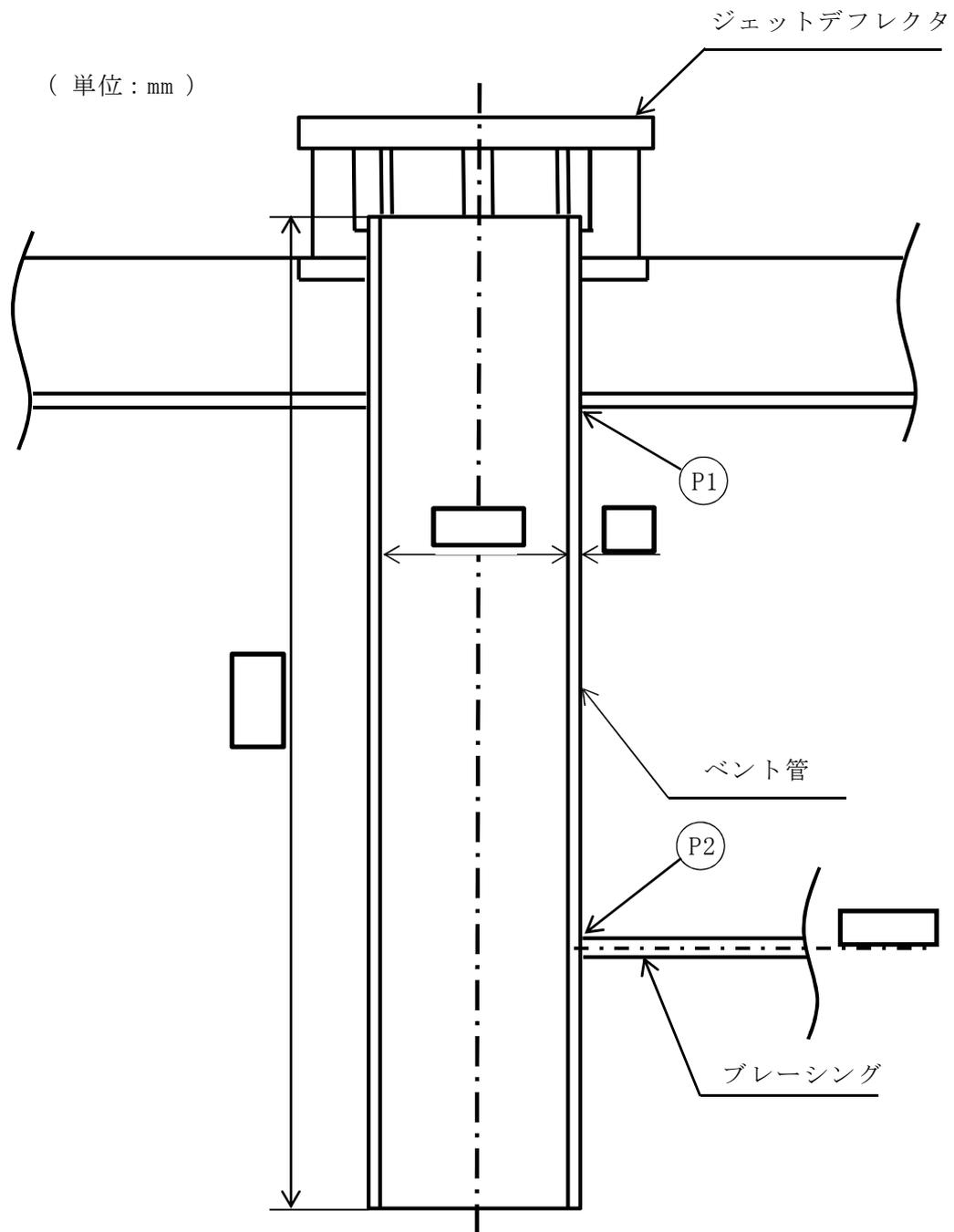
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ベント管上部をダイヤフラムフロアに固定し、下部には水平ブレースにて支持している。	<p>ベント管は内径 <input type="text"/> mm, 板厚 <input type="text"/> mm, 長さ <input type="text"/> mm の管でできている。</p> <p>ベント管の上部には配管破断時の防護のためジェットデフレクタが取付けた構造である。</p>	

2.2 評価方針

ベント管の応力評価は，東海第二発電所 昭和 48 年 10 月 22 日付け 48 公第 8316 号（既工認）にて認可された実績のある手法を適用する。

3. 形状及び主要寸法

ベント管の形状及び主要寸法を図 3-1 に示す。



Ⓐ P1 及び Ⓑ P2 応力評価点

図 3-1 ベント管の形状及び主要寸法 (単位: mm)

4. 設計条件

4.1 設計荷重

- (1) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

内圧 P_{SA} 173 kPa

温度 T_{SA} 200 °C

- (2) 自重

ベント管

- (3) 逃がし安全弁作動時荷重

逃がし安全弁作動時空気泡圧力による荷重としては、気泡差圧による荷重と気泡速度によるドラッグ力が作用する。

$$P = \sqrt{(\Delta P_{\max})^2 + (P_{D\max})^2}$$

ここに、

$$\Delta P_{\max} = P_{0\max} \cdot R_0 \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_1 + a} \right)$$

$$P_{D\max} = \frac{\gamma}{2 \cdot g} \cdot C_D \cdot V_{0\max}^2 \cdot \left(\frac{R_0}{r_1} \right)^4$$

$P_{0\max}$: 最大気泡圧力

R_0 : 気泡半径

r_1 : 気泡中心と構造物前面までの距離

a : 構造物の厚さ

$V_{0\max}$: 最大気泡表面速度

C_D : ドラッグ係数

γ : 比重量

g : 重力加速度

- (4) 冷却材喪失事故時蒸気ブローダウンによる荷重

ベント管に加わる水平方向荷重

$$F_1 = \boxed{} \cdot \sin(\pi \cdot t/3) \quad (\times 10^3 \text{ N}) \quad 0 \leq t \leq 3 \text{ ms}$$

4.2 材料及び許容応力

(1) 材料

表 4-1 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
ベント管	SGV49 相当 	SGV480*

注記 * : 新 JIS を示す。

(2) 荷重の組合せ及び許容応力

重大事故等対処設備の評価における荷重の組合せ及び供用状態を表 4-2 に、供用状態に対する許容応力を表 4-3 に示す。

表4-2 荷重の組合せ及び供用状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*	機器等の区分	荷重の組合せ	供用状態
原子炉 格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	ベント管	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス 2管	$D + P_{SA} + M_{SA}$	E (Eとして D_S の許容 限界を準用 する)

注記 * : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

表4-3 許容応力（重大事故等対処設備）

(単位 : MPa)

材料	供用状態	許容応力		
		一次応力		一次+二次応力
		P_m	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	E	—	379	—

5. 応力計算

5.1 応力評価点

ベント管の形状及び応力レベルを考慮して設定した応力評価点を表 5-1, 図 3-1 に示す。

表 5-1 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	上部
P 2	ブレーシング部

5.2 計算方針

ベント管の応力評価は，東海第二発電所 昭和 48 年 10 月 22 日付け 48 公第 8316 号（既工認）にて認可された実績のある手法を適用する。

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

ベント管の重大事故等対処設備としての強度評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足している。

(1) 供用状態Eに対する評価

供用状態Eに対する応力評価結果を表 6-1 に示す。

表 4-2 に示す荷重の組合せについて記載している。

表 6-1 供用状態Eに対する評価結果 (D + P_{SA} + M_{SA})

評価対象設備	評価部位		応力分類	E		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
ベント管	P 1	上部	一次膜応力+一次曲げ応力	98	379	○	
	P 2	ブレーシング部	一次膜応力+一次曲げ応力	139	379	○	

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所	工事計画審査資料
資料番号	工認-1029 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-3-9-1-4-1 原子炉格納容器貫通部の強度計算書

目次

1. 概要.....	1
2. 構造説明.....	2
2.1 構造計画.....	2
2.2 評価方針.....	4
3. 形状及び主要寸法.....	5
4. 設計条件.....	6
4.1 設計荷重.....	6
4.2 材料及び許容応力.....	8
5. 応力計算.....	9
5.1 応力評価点.....	9
5.2 計算方針.....	11
6. 評価結果.....	14
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果.....	14

1. 概要

本計算書は、原子炉格納容器貫通部の強度計算書である。

原子炉格納容器貫通部は、設計基準対象施設の原子炉格納容器貫通部を重大事故等クラス2容器として兼用する機器である。

設計基準対象施設としては、東海第二発電所 平成20年4月7日付け平成20・02・29原第41号にて認可された工事計画書の参考資料、「参考資料2-1 原子炉格納容器貫通部の評価について」に評価結果があり、強度が十分であることを確認している。

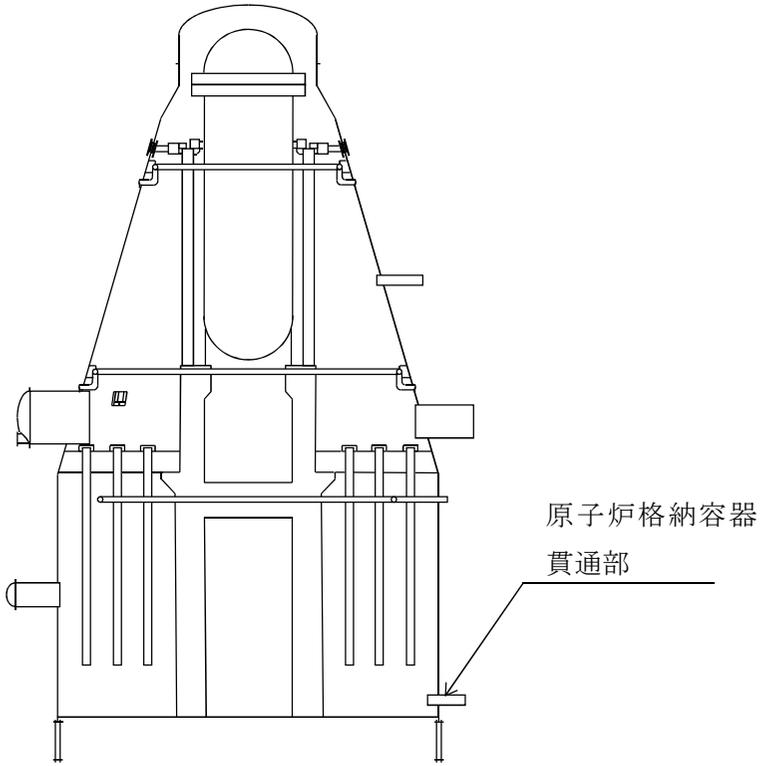
以下、重大事故等クラス2容器としての強度評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

原子炉格納容器貫通部の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
原子炉格納容器貫通部は原子炉格納容器により支持される。	原子炉格納容器に円筒形スリーブが取り付けられた鋼製構造物である。	 <p>原子炉格納容器貫通部</p>

2.2 評価方針

- (1) 原子炉格納容器貫通部の応力評価のうち、原子炉格納容器側の応力については、原子炉格納容器に作用する荷重（死荷重、圧力）による応力と、貫通部に作用する荷重（配管反力）による応力を組み合わせて評価する。原子炉格納容器に作用する荷重による応力は、添付書類「V-3-9-1-1-4 ドライウェル本体及びサプレッション・チェンバ本体の強度計算書」で計算した応力を用い、貫通部に作用する荷重による応力は、実績のある三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。
- (2) 解析コードはMSC NASTRANを用いる。なお、評価に用いる解析コードMSC NASTRANの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3. 形状及び主要寸法

原子炉格納容器貫通部の形状及び主要寸法を図3-1及び表3-1に示す。

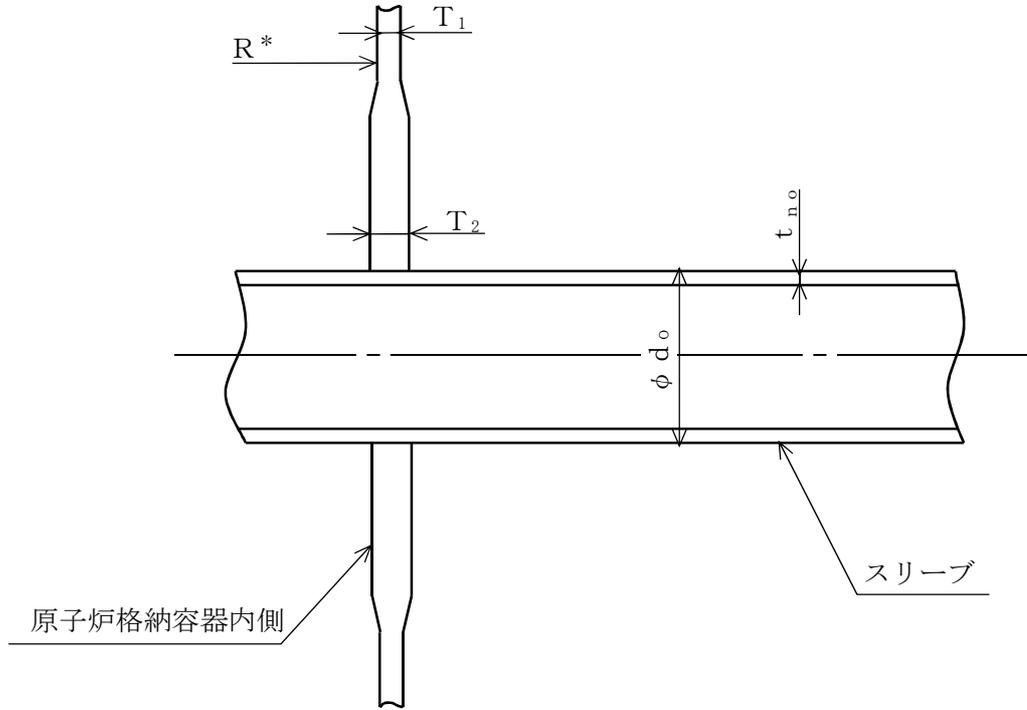


図3-1 原子炉格納容器貫通部の形状

表3-1 原子炉格納容器貫通部の主要寸法

(単位：mm)

貫通部番号	T ₁	T ₂	d _o	t _{no}	R*
X-31					
X-34					

注記 *：原子炉格納容器中心から原子炉格納容器内側までの距離

4. 設計条件

4.1 設計荷重

- (1) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

内圧 P_{SA} 620 kPa

温度 T_{SA} 200 °C

- (2) 配管荷重

貫通部に作用する配管反力による設計荷重を表 4-1 に示す。設計荷重の作用方向を図 4-1 に示す。

表 4-1 配管反力による設計荷重

貫通部番号	荷重の種類	軸力(N)	モーメント(N・mm)	
		P	M_C	M_L
X-31	死荷重			
X-34	死荷重			

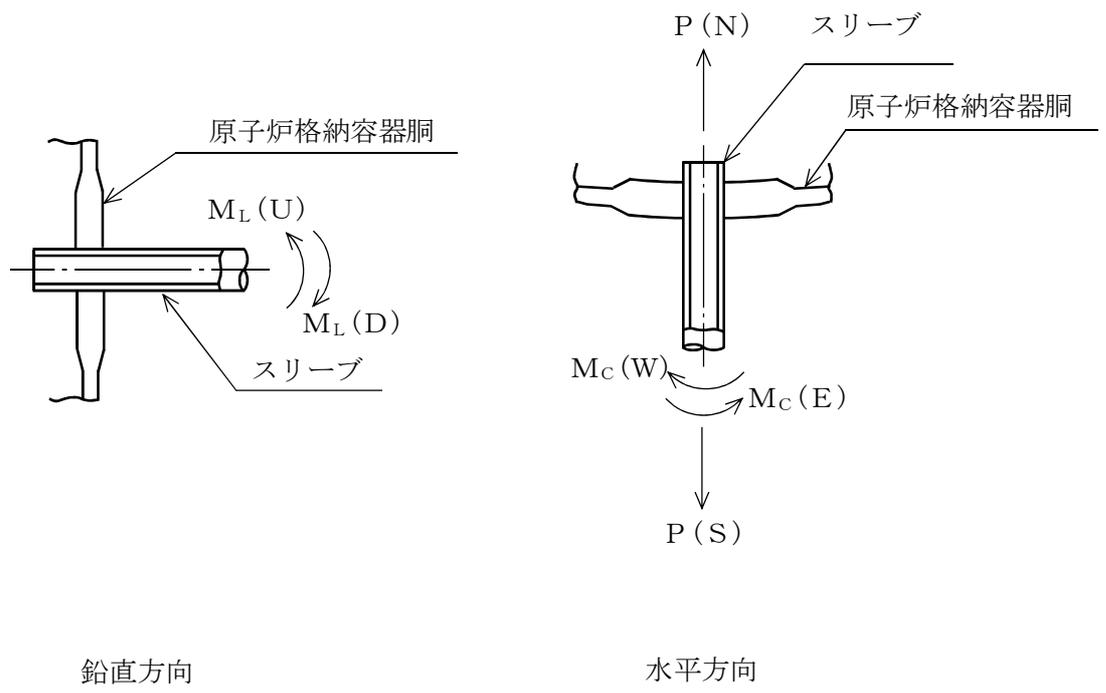


図 4-1 地震荷重の作用方向

4.2 材料及び許容応力

(1) 材料

表 4-1 使用材料表

使用部位	使用材料		備考
原子炉格納容器胴	SGV49 相当		SGV480*
補強板	SGV49 相当		SGV480*

注記 * : 新 JIS を示す。

(2) 荷重の組合せ及び許容応力

重大事故等対処設備の評価における荷重の組合せ及び供用状態を表 4-2 に、供用状態に対する許容応力を表 4-3 に示す。

表4-2 荷重の組合せ及び供用状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*	機器等の区分	荷重の組合せ	供用状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	原子炉格納容器貫通部	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等クラス2容器	$D + P_{SA} + M_{SA}$	E (EとしてDの許容限界を用いる)

注記 * : 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

表4-3 許容応力（重大事故等対処設備）

(単位 : MPa)

材料	供用状態	許容応力		
		一次応力		一次+二次応力
		P	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	E	—	422	—

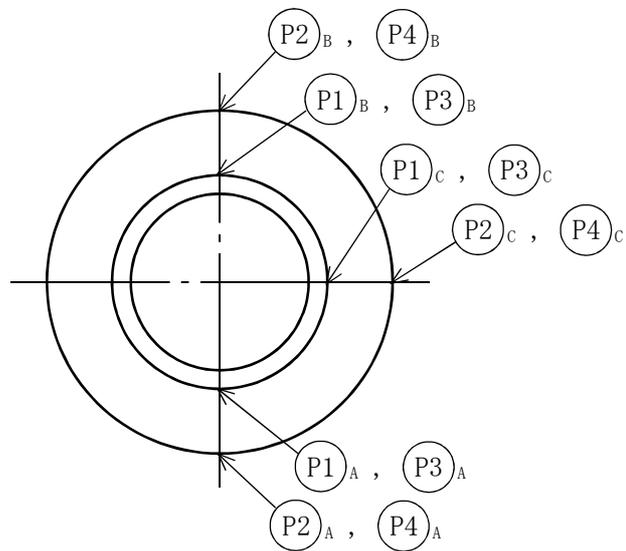
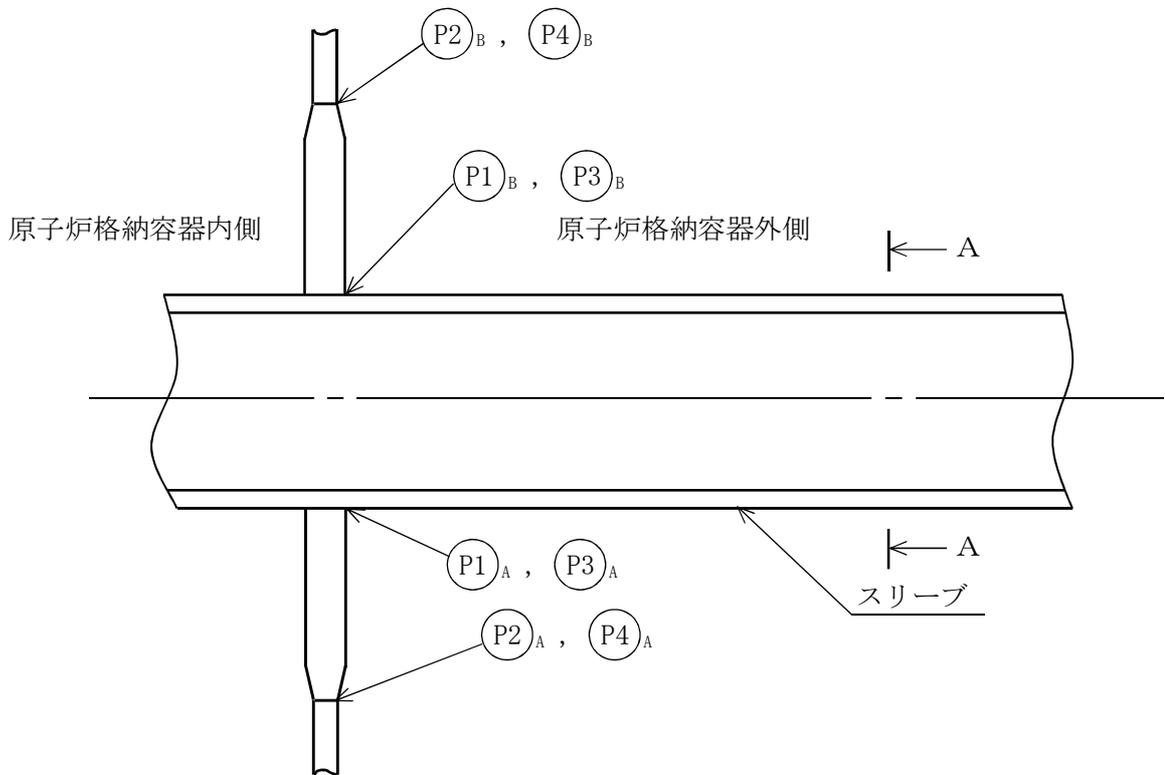
5. 応力計算

5.1 応力評価点

貫通部の形状及び応力レベルを考慮して設定した応力評価点を表 5-1 及び図 5-1 に示す。

表 5-1 応力評価点

貫通部番号	応力評価点番号	応力評価点
X-31	P 1	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (P 1 - A ~ P 1 - C)
	P 2	補強板取付部 (P 2 - A ~ P 2 - C)
X-34	P 3	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 (P 3 - A ~ P 3 - C)
	P 4	補強板取付部 (P 4 - A ~ P 4 - C)



A~A 矢視図

図 5-1 応力評価点

5.2 計算方針

5.2.1 原子炉格納容器に作用する荷重による応力

原子炉格納容器に作用する内圧及び死荷重による応力は、添付書類「V-3-9-1-1-4 ドライウェル本体及びサプレッション・チェンバ本体の強度計算書」で計算した応力を用いる。

5.2.2 貫通部に作用する荷重による応力

貫通部に作用する死荷重による応力は、解析コードMSC NASTRANを用いて計算する。

貫通部番号 X-31 及び X-34 の計算モデルを図 5-2 及び図 5-3 に示す。

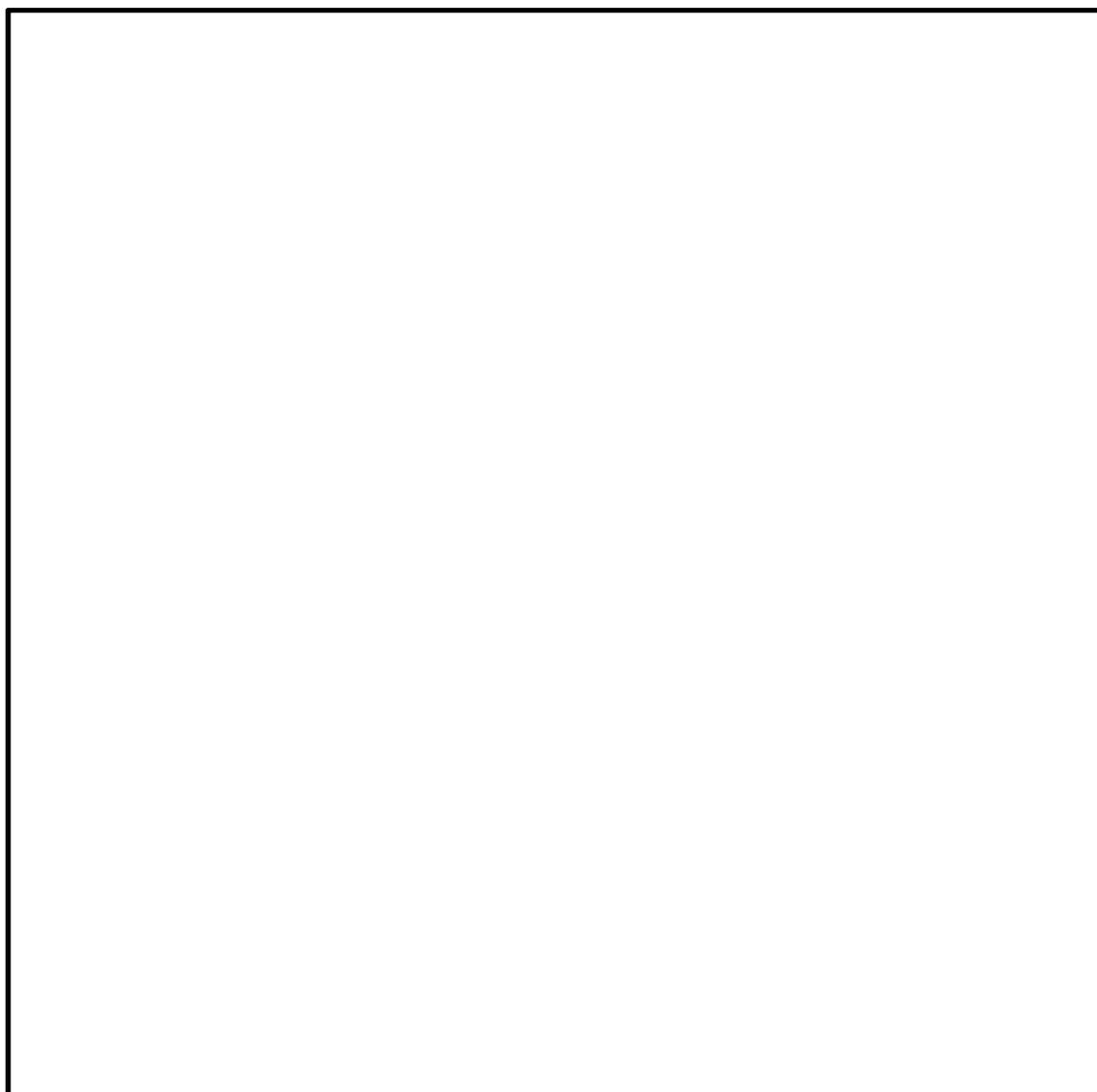


図 5-2 貫通部番号 X-31 の解析モデル

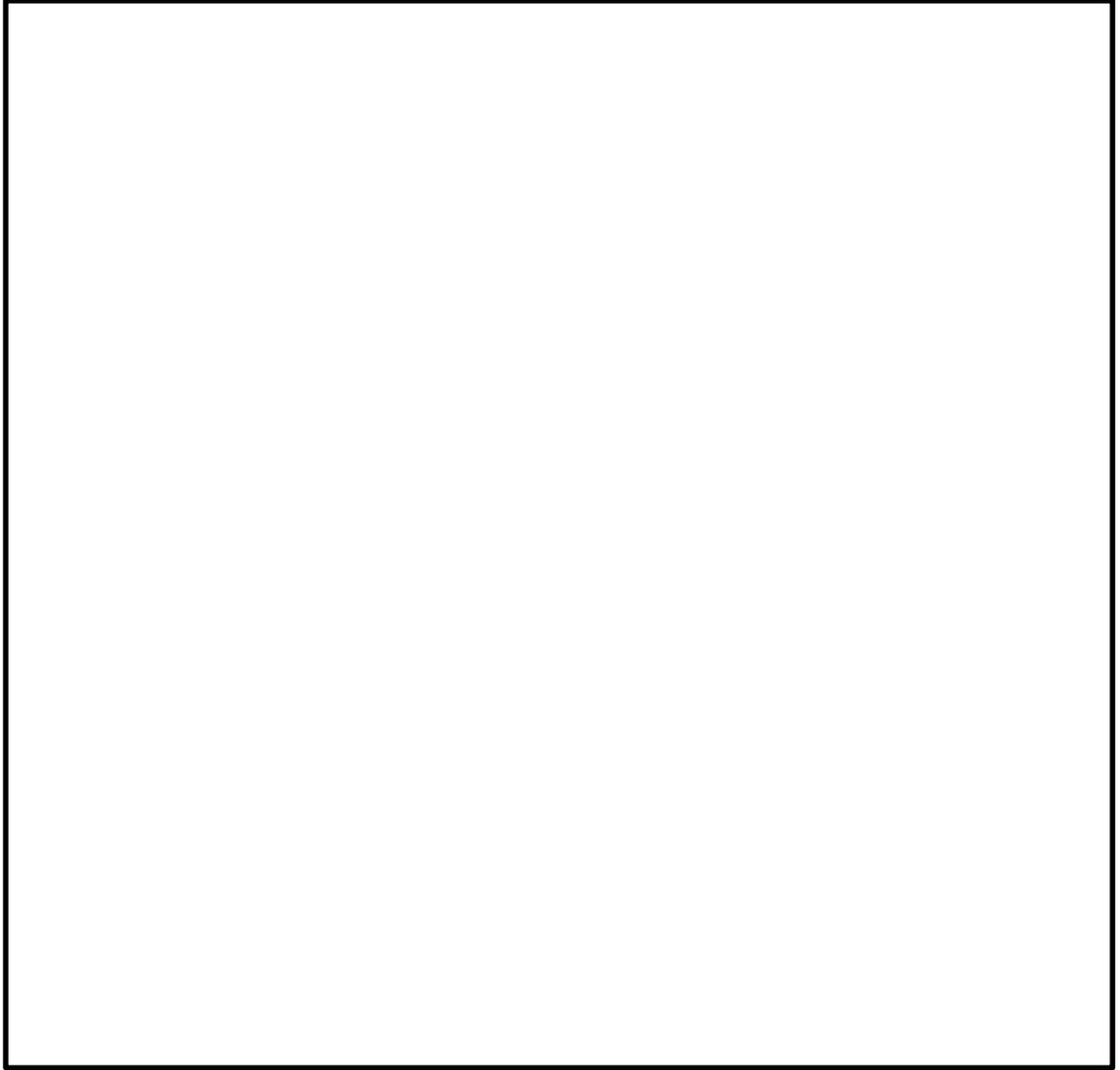


図 5-3 貫通部番号 X-34 の解析モデル

表 5-2 解析モデル諸元表

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV480
質量	m_0	kg	— *1
温度条件	T	°C	4.1に記載のとおり
縦弾性係数	E	MPa	— *2
ポアソン比	ν	—	<input type="text"/>
要素数	—	個	図5-2～図5-3に 記載のとおり
節点数	—	個	

注記 *1：単位荷重による解析のため、質量は定義不要。

*2：動的応答を考慮しない為、剛性（縦弾性係数）は解析結果に影響しない。

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉格納容器貫通部の重大事故等対処設備としての強度評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足している。

(1) 供用状態Eに対する評価

供用状態Eに対する応力評価結果を表 6-1 に示す。

表 4-2 に示す荷重の組合せについて記載している。

表 6-1 供用状態Eに対する評価結果 (D + P_{SA} + M_{SA})

評価対象設備	評価部位		応力分類	E		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
原子炉格納容器 貫通部 X-31	P 1	原子炉格納容器胴とスリーブとの 取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	269	422	○	
	P 2	補強板取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	270	422	○	
原子炉格納容器 貫通部 X-34	P 3	原子炉格納容器胴とスリーブとの 取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	270	422	○	
	P 4	補強板取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	270	422	○	

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-385 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-5-4-1-1 残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	11
3. 評価部位	12
4. 地震応答解析及び構造強度評価	12
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	12
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	13
4.3 解析モデル及び諸元	18
4.4 固有周期	21
4.5 設計用地震力	24
4.6 計算方法	25
4.7 計算条件	41
4.8 応力の評価	41
5. 評価結果	43
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	43
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	43
6. 引用文献	43

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、残留熱除去系熱交換器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

残留熱除去系熱交換器は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系熱交換器の構造計画を表2-1に示す。

表2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
支持構造	主体構造	
<p>胴を4個のラグで支持し、ラグをそれぞれ架台に取付ボルトで取り付ける。</p>	<p>水室、管板、胴を有するラグ支持たて置円筒形容器</p>	<p>A号機</p> <p>胴板 (ラグ付根部)</p> <p>取付ボルト (ラグ部)</p> <p>取付ボルト (振れ止め部)</p> <p>ラグ</p> <p>シアーラグ</p> <p>振れ止め</p> <p>胴板 (振れ止め付根部)</p> <p>B号機</p> <p>ラグ</p> <p>シアーラグ</p> <p>胴板 (ラグ付根部)</p> <p>取付ボルト (ラグ部)</p> <p>取付ボルト (振れ止め部)</p> <p>振れ止め</p> <p>胴板 (振れ止め付根部)</p>

2.2 評価方針

残留熱除去系熱交換器の応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す残留熱除去系熱交換器の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.4 解析モデル及び諸元」及び「4.5 固有周期」で算出した固有周期及び荷重に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

残留熱除去系熱交換器の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

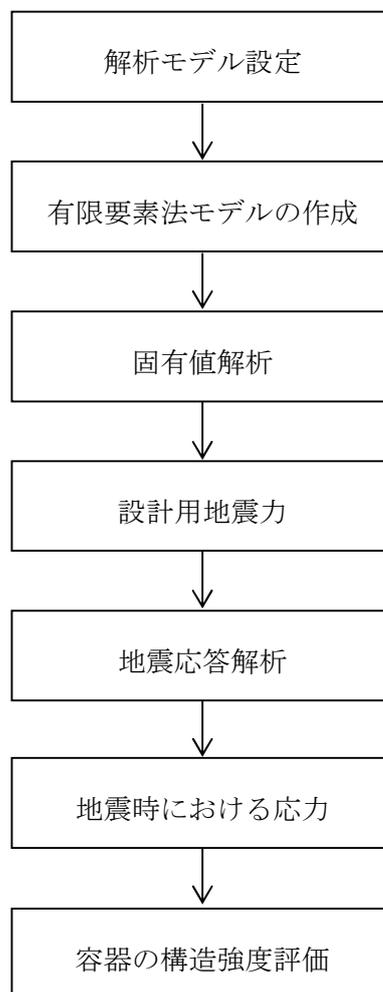


図 2-1 残留熱除去系熱交換器の耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984, J E A G 4 6 0 1 －1987及びJ E A G 4 6 0 1 －1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和59年9月, 昭和62年8月及び平成3年6月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））
J S M E S N C 1 －2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{Lb}	取付ボルト（ラグ部及び振れ止め部）の軸断面積	mm^2
A_{Tb}	取付ボルト（振れ止め部）の軸断面積	mm^2
A_{Ls1}	鉛直方向荷重に対するラグのせん断断面積	mm^2
A_{Ls2}	円周方向荷重に対するラグのせん断断面積	mm^2
A_{Ts}	鉛直方向荷重に対する振れ止めのせん断断面積	mm^2
A_T	半径方向荷重に対する振れ止めの断面積	mm^2
A_S	せん断方向荷重に対するシアーラグの断面積	mm^2
a_L	ラグの半径方向端面から胴板までの距離	mm
a_T	振れ止めの円周方向の幅	mm
b_L	ラグの半径方向端面から取付ボルト中心までの距離	mm
C_{L1}	ラグの胴付根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の周方向）	mm
C_{L2}	ラグの胴付根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の軸方向）	mm
C_{T1}	振れ止めの胴付根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の周方向）	mm
C_{T2}	振れ止めの胴付根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の軸方向）	mm
C_{Lcj}, C_{Tcj}	周方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(2)より得られる値）（ $j=1$:周方向応力, $j=2$:軸方向応力）	—
C_{Llj}	鉛直方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(2)より得られる値）（ $j=1$:周方向応力, $j=2$:軸方向応力）	—
c_L	ラグの据付くシアーラグ端面から取付ボルト中心までの距離	mm
D_i	胴の内径	mm
d_T	振れ止め中心から取付ボルト中心までの距離	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F^*	F 値を求める際において、設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_V	鉛直方向地震力による荷重	N
F_{L01}	運転時質量によりラグの取付ボルトに作用する鉛直方向荷重	N
F_{L01V}	鉛直方向地震力によりラグの取付ボルトに作用する鉛直方向荷重	N
F_{L11}	水平方向地震力によりラグの取付ボルトに作用する鉛直方向荷重	N
F_{Trg}	運転時質量により胴の振れ止め付根部に半径方向に作用する荷重	N
F_{TrV}	鉛直方向地震力により胴の振れ止め付根部に半径方向に作用する荷重	N
F_{TrH}	水平方向地震力により胴の振れ止め付根部に半径方向に作用する荷重	N
F_{Tsr}	振れ止めの引張方向に作用する荷重	N
F_{Tsl}	振れ止めのせん断方向に作用する荷重	N
F_{Tb}	振れ止めの取付ボルトに作用するせん断方向の荷重	N
f_{sbs}	シアーラグの許容せん断応力	MPa

記号	記号の説明	単位
f_{Tsb}	振れ止めの取付ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{Lt}	ラグの許容引張応力	MPa
f_{Tt}	振れ止めの許容引張応力	MPa
f_{Lto}	引張力のみを受けるラグの取付ボルトの許容引張応力	MPa
f_{Tto}	引張力のみを受ける振れ止めの取付ボルトの許容引張応力	MPa
f_{Tts}	引張力とせん断力を同時に受ける振れ止めの取付ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
I_L	ラグ部の胴の断面二次モーメント	mm ⁴
I_T	振れ止め部の胴の断面二次モーメント	mm ⁴
$k_{Lcj}, k_{L\ell j},$ k_{Tcj}	引用文献(1)によるアタッチメントパラメータの周方向及び軸方向の補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
K_{1Nj}, K_{1Mj}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの膜応力及び曲げ応力に対する補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
M_{LH}	水平方向地震力によるラグ部の胴の曲げモーメント	N・mm
M_{TH}	水平方向地震力による振れ止め部の胴の曲げモーメント	N・mm
M_{L1}	水平方向地震力によるラグ付根部の鉛直方向モーメント	N・mm
M_{L3}	水平方向地震力によるラグ付根部のねじりモーメント	N・mm
M_{T3}	水平方向地震力による振れ止め付根部のねじりモーメント	N・mm
M_{Lc}	水平方向地震力によるラグ付根部の周方向モーメント	N・mm
M_{Tc}	水平方向地震力による振れ止め付根部の周方向モーメント	N・mm
$M_{L\ell}$	運転時質量によるラグ付根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_{L\ell V}$	鉛直方向地震力によるラグ付根部の鉛直方向モーメント	N・mm
M_{Ts}	振れ止めに作用する曲げモーメント	N・mm
M_{Tb}	振れ止めの取付ボルトの締結部に作用する曲げモーメント	N・mm
m_0	容器の運転時質量	kg
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	N
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント	N
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
n_L	ラグ1個当たりの取付ボルトの本数	—
n_T	振れ止め1個当たりの取付ボルトの本数	—
P	半径方向荷重	N
P_r	最高使用圧力	MPa
P_{Tb}	振れ止めの取付ボルトに作用する軸方向の荷重	N

記 号	記 号 の 説 明	単 位
Q_L	水平方向地震力によるラグ付根部の周方向荷重	N
Q_T	水平方向地震力による振れ止め付根部の周方向荷重	N
Q_S	シアーラグに作用するせん断方向荷重	N
R_L	運転時質量によるラグ付根部の鉛直方向荷重	N
R_{L1}	水平方向地震力によるラグ付根部の鉛直方向荷重	N
R_{LV}	鉛直方向地震力によるラグ付根部の鉛直方向荷重	N
r_{mL}	ラグ部の胴の平均半径	mm
r_{mT}	振れ止め部の胴の平均半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
t_L	ラグ部の胴の厚さ	mm
t_T	振れ止め部の胴の厚さ	mm
Z_{Lsp}	ラグのねじり断面係数	mm ³
Z_{Lsl}	ラグの半径方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{Lst}	ラグの周方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{Ts}	振れ止めの鉛直方向軸に対する断面係数	mm ³
$\beta, \beta_{L1}, \beta_{L2},$ $\beta_{Lc}, \beta_{Ll},$ $\beta_{T1}, \beta_{T2},$ $\beta_{Tc}, \beta_N, \beta_M$	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータ	—
γ_L, γ_T	引用文献(2)によるシェルパラメータ	—
π	円周率	—
σ_{L0}	胴のラグ付根部の一次一般膜応力最大値	MPa
σ_{T0}	胴の振れ止め付根部の一次一般膜応力最大値	MPa
$\sigma_{L0\phi}$	胴のラグ付根部の周方向一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{T0\phi}$	胴の振れ止め付根部の周方向一次一般膜応力	MPa
σ_{L0x}	胴のラグ付根部の軸方向一次一般膜応力	MPa
σ_{T0x}	胴の振れ止め付根部の軸方向一次一般膜応力	MPa
σ_{L1}	胴のラグ付根部の一次応力の最大値	MPa
σ_{T1}	胴の振れ止め付根部の一次応力の最大値	MPa
$\sigma_{L11}, \sigma_{L12}$	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴のラグ付根部の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{T11}, \sigma_{T12}$	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の振れ止め付根部の組合せ一次応力	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
σ_{L2}	胴のラグ付根部の一次応力+二次応力の最大値	MPa
σ_{T2}	胴の振れ止め付根部の一次応力+二次応力の最大値	MPa
$\sigma_{L21}, \sigma_{L22}$	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴のラグ付根部の組合せ一次応力+二次応力の変動値	MPa
$\sigma_{T21}, \sigma_{T22}$	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の振れ止め付根部の組合せ一次応力+二次応力の変動値	MPa
σ_{Lb}	ラグ部の取付ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{Tb}	振れ止め部の取付ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{Ls}	ラグの組合せ応力の最大値	MPa
σ_{Ts}	振れ止めの組合せ応力の最大値	MPa
σ_{Ls1}	運転時質量によるラグの曲げ応力	MPa
$\sigma_{Ts1}, \sigma_{Ts2}$	振れ止めの引張応力及び曲げ応力	MPa
σ_{Ls2}	水平方向地震力によるラグの曲げ応力	MPa
σ_{Ls7}	鉛直方向地震力によるラグの曲げ応力	MPa
$\sigma_{Lxe1}, \sigma_{Lxe2}$	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴のラグ付根部の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{Txe1}, \sigma_{Txe2}$	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の振れ止め付根部の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{L\phi e1}, \sigma_{L\phi e2}$	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴のラグ付根部の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{T\phi e1}, \sigma_{T\phi e2}$	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の振れ止め付根部の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{L2xe1}, \sigma_{L2xe2}$	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴のラグ付根部の軸方向一次応力+二次応力	MPa
$\sigma_{T2xe1}, \sigma_{T2xe2}$	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の振れ止め付根部の軸方向一次応力+二次応力	MPa
$\sigma_{L2\phi e1}, \sigma_{L2\phi e2}$	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴のラグ付根部の周方向一次応力+二次応力	MPa
$\sigma_{T2\phi e1}, \sigma_{T2\phi e2}$	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の振れ止め付根部の周方向一次応力+二次応力	MPa
$\sigma_{L\phi 1}, \sigma_{Lx1}$	内圧による胴のラグ付根部の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{T\phi 1}, \sigma_{Tx1}$	内圧による胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に作用する鉛直方向地震力による胴の周方向応力	MPa
σ_{Lx2}	運転時質量による胴のラグ付根部及び軸方向応力	MPa
σ_{Tx2}	運転時質量による胴の振れ止め付根部及び軸方向応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{L\phi 3}, \sigma_{Lx3}$	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴のラグ付根部の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{T\phi rg}, \sigma_{Txrg}$	運転時質量により生じる半径方向荷重による胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向応力	MPa
σ_{Lx4}	水平方向地震力が作用した場合の転倒モーメントによる胴のラグ付根部の軸方向応力	MPa
σ_{Tx4}	水平方向地震力が作用した場合の転倒モーメントによる胴の振れ止め付根部の軸方向応力	MPa
$\sigma_{L\phi 5}, \sigma_{Lx5}$	水平方向地震力が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴のラグ付根部の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{L2\phi 5}, \sigma_{L2x5}$	水平方向地震力が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴のラグ付根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{L\phi 7}, \sigma_{Lx7}$	水平方向地震力が作用した場合の周方向モーメントによる胴のラグ付根部の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{L2\phi 7}, \sigma_{L2x7}$	水平方向地震力が作用した場合の周方向モーメントによる胴のラグ付根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{T\phi 7}, \sigma_{Tx7}$	水平方向地震力が作用した場合の周方向モーメントによる胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{T2\phi 7}, \sigma_{T2x7}$	水平方向地震力が作用した場合の周方向モーメントによる胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{T\phi rH},$ σ_{TxrH}	水平方向地震力が作用した場合の半径方向荷重による胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{T2\phi rH},$ $\sigma_{T2x rH}$	水平方向地震力が作用した場合の半径方向荷重による胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa
σ_{Lx11}	鉛直方向地震力によるラグ付根部の胴断面に生じる引張応力	MPa
σ_{Tx11}	鉛直方向地震力による振れ止め付根部の胴断面に生じる引張応力	MPa
$\sigma_{L\phi 12}, \sigma_{Lx12}$	鉛直方向地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴のラグ付根部の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{T\phi rV}, \sigma_{TxrV}$	鉛直方向地震力により生じる半径方向荷重による胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{L2\phi 12},$ σ_{L2x12}	鉛直方向地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴のラグ付根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{T2\phi rV},$ $\sigma_{T2x rV}$	鉛直方向地震力により生じる半径方向荷重による胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
τ_{L3}	水平方向地震力により胴のラグ付根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_{T3}	水平方向地震力により胴の振れ止め付根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_{Tb}	振れ止めの取付ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_S	シアーラグに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{Lc1}	水平方向地震力により胴のラグ付根部に生じる周方向せん断応力	MPa
τ_{Tc1}	水平方向地震力により胴の振れ止め付根部に生じる周方向せん断応力	MPa
τ_{Ll1}	運転時質量により胴のラグ付根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{Ll2}	水平方向地震力により胴のラグ付根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{Ll6}	鉛直方向地震力により胴のラグ付根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{Ls1}	運転時質量によるラグのせん断応力	MPa
τ_{Ts1}	運転時質量と地震力による振れ止めのせん断応力	MPa
τ_{Ls2}	水平方向地震力によるラグのせん断応力	MPa
τ_{Ls7}	鉛直方向地震力によるラグのせん断応力	MPa

注：「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。）） J S M E S N C 1 - 2 0 0 5 / 2 0 0 7 ）（日本機械学会 2007年）をいう。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
面積 ^{*2}		mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

残留熱除去系熱交換器の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、胴板（ラグ付根部及び振れ止め付根部）、ラグ、振れ止め、取付ボルト（ラグ部及び振れ止め部）、シアールグについて実施する。残留熱除去系熱交換器の耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

なお、残留熱除去系熱交換器はA号機とB号機で架台の形状が異なるため、A号機とB号機それぞれについて耐震評価を実施する。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 容器及び内容物の質量はラグの中心を基準にして  部分に分け、各部分の全質量が、それぞれの重心に集中するものとする。
- (2) 地震力は、容器に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、原則として、応力評価において組合せるものとする。なお、取付ボルトにおいては、作用する荷重の算出において組合せるものとする。
- (3) 容器の胴は4個のラグで支持され、ラグはそれぞれ架台に取付ボルトで取り付いている。また、容器の胴は4個の振れ止めで横揺れを押さえられており、振れ止めはそれぞれ振れ止めサポートに取付ボルトで取り付いている。
- (4) 水平方向は、胴をはりと考え、変形モードは胴の曲げ及びせん断変形を考慮する。胴の鉛直方向は剛とみなす。
- (5) 胴板とラグ及び振れ止めとの取付部において胴板の局部変形を考慮する。
- (6) ラグは、胴の半径方向にスライド可能とし、半径方向の荷重は受けもたないものとする。また、円周方向の荷重に対しては、取付ボルト間の中心を軸とする回転方向に自由度を有しているものとする。
- (7) 振れ止めは、胴の鉛直方向にスライド可能とし、鉛直方向の荷重は受けもたないものとする。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

残留熱除去系熱交換器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-2に示す。

4.2.2 許容応力

残留熱除去系熱交換器の許容応力を表4-3～表4-4に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価基準

残留熱除去系熱交換器の使用材料の許容応力評価基準のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-5に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-6に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去 設備	残留熱除去系 熱交換器	S	クラス 2 容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *：クラス 2 容器の支持構造物を含む。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去 設備	残留熱除去系 熱交換器	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 ^{*2} クラス 2 容器	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界 を用いる。)

注記 *1：「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表4-3 許容応力（クラス2，3容器及び重大事故等クラス2容器（クラス2，3容器））

許容応力状態	許容限界 ^{*1}			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+ 二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方 ただし，オーステナイト系 ステンレス鋼及び高ニッケル合 金については上記値と1.2・S のうち大きい方とする。	左欄の1.5倍の値	弾性設計用地震動S _d 又は基準地震動S _s のみ による疲労解析を行い，疲労累積係数が1.0 以下であること。 ただし，地震動のみによる一次+二次応力の 変動値が2・S _y 以下であれば，疲労解析は不 要 ^{*2}	
Ⅳ _A S				
V _A S (V _A Sとして，Ⅳ _A Sの許容限界を用 いる。)	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値	基準地震動S _s のみによる疲労解析を行い，疲労 累積係数が1.0以下であること。 ただし，地震動のみによる一次+二次応力の変動値 が2・S _y 以下であれば，疲労解析は不要 ^{*2}	

注記 *1：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：2・S_yを超えるときは弾塑性解析若しくは設計・建設規格PVB-3300（PVB-3313を除く。S_mは2/3・S_yと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

表4-4 許容応力（クラス2，3支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物（クラス2，3支持構造物））

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ラグ及び振れ止め)	許容限界*1, *2 (取付ボルト)		許容限界*1, *2 (シアーラグ)
	一次応力	一次応力		一次応力
	組合せ	引張り	せん断	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A Sとして、Ⅳ _A Sの許容 限界を用いる。)				

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SB410	最高使用温度	249	—	180	391	—
ラグ	SM400A (40mm<厚さ≤75mm)	最高使用温度	249	—	160	373	—
振れ止め	SM400A (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	249	—	173	373	—
取付ボルト		周囲環境温度		—	764	906	—
シアーラグ		周囲環境温度		—	211	394	—

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SB410	最高使用温度	249	—	180	391	—
ラグ	SM400A (40mm<厚さ≤75mm)	最高使用温度	249	—	160	373	—
振れ止め	SM400A (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	249	—	173	373	—
取付ボルト		周囲環境温度		—	685	847	—
シアーラグ		周囲環境温度		—	194	373	—

4.3 解析モデル及び諸元

残留熱除去系熱交換器の解析モデルを図4-1～図4-2に、解析モデルの概要を以下に示す。
また、機器の諸元を表4-7に示す。

- (1) 熱交換器本体及び架台をはり要素でモデル化する。なお、架台の形状が異なることから、A号機とB号機それぞれをモデル化する。
- (2) 熱交換器本体を□質点系振動モデルとして考える。
- (3) 拘束条件は、壁面及び床面と架台の取合い部を完全拘束とし、ラグ及び振れ止めは一方方向にスライド可能とする。
- (4) 解析コードは、「SAP-IV」を使用し、固有値及び荷重を求める。

なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「V-5-3 計算機プログラム（解析コード）の概要 SAP-IV」に示す。

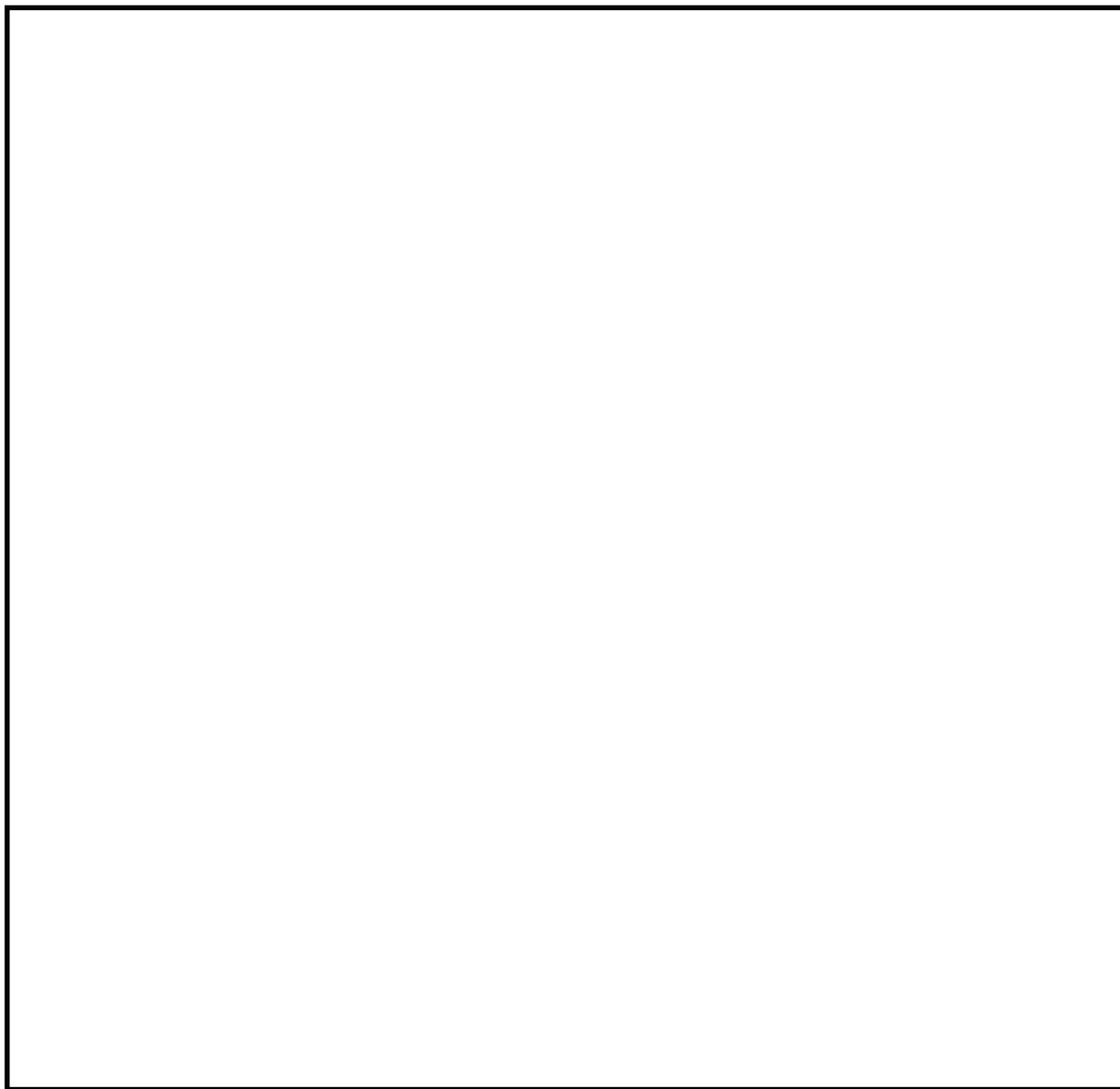


図4-1 解析モデル（A号機）

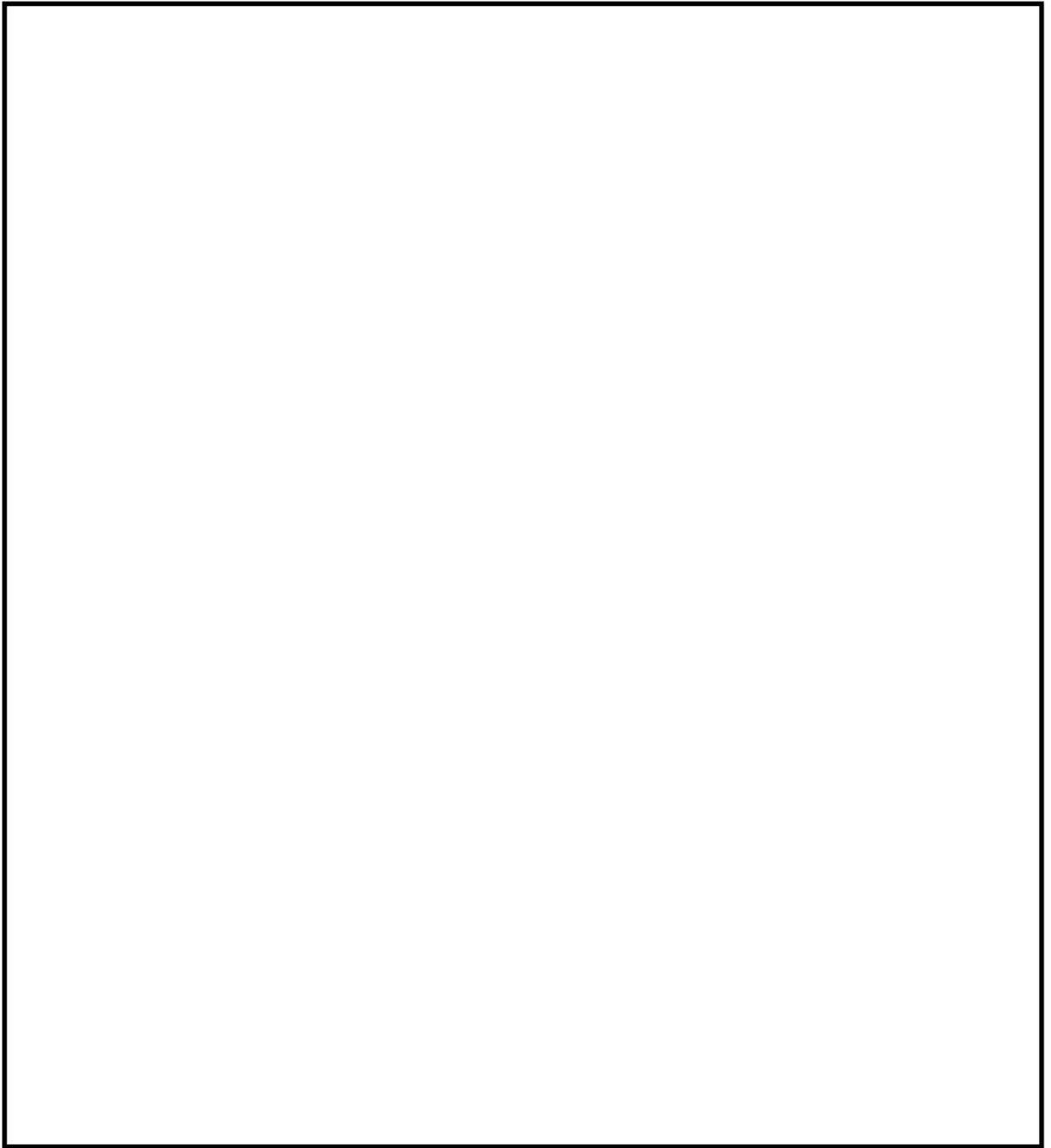


図4-2 解析モデル (B号機)

表4-7 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m_0	kg	
温度条件 (最高使用温度又は 雰囲気温度)	T	°C	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表4-8及び表4-9に、振動モード図を図4-3及び図4-4に示す。

表 4-8 固有値解析結果 (A号機)

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
			E W方向	N S方向	鉛直方向
1次					
2次					
3次					
4次					
5次					
6次					

表 4-9 固有値解析結果 (B号機)

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
			E W方向	N S方向	鉛直方向
1次					
2次					
3次					
4次					
5次					
6次					
7次					

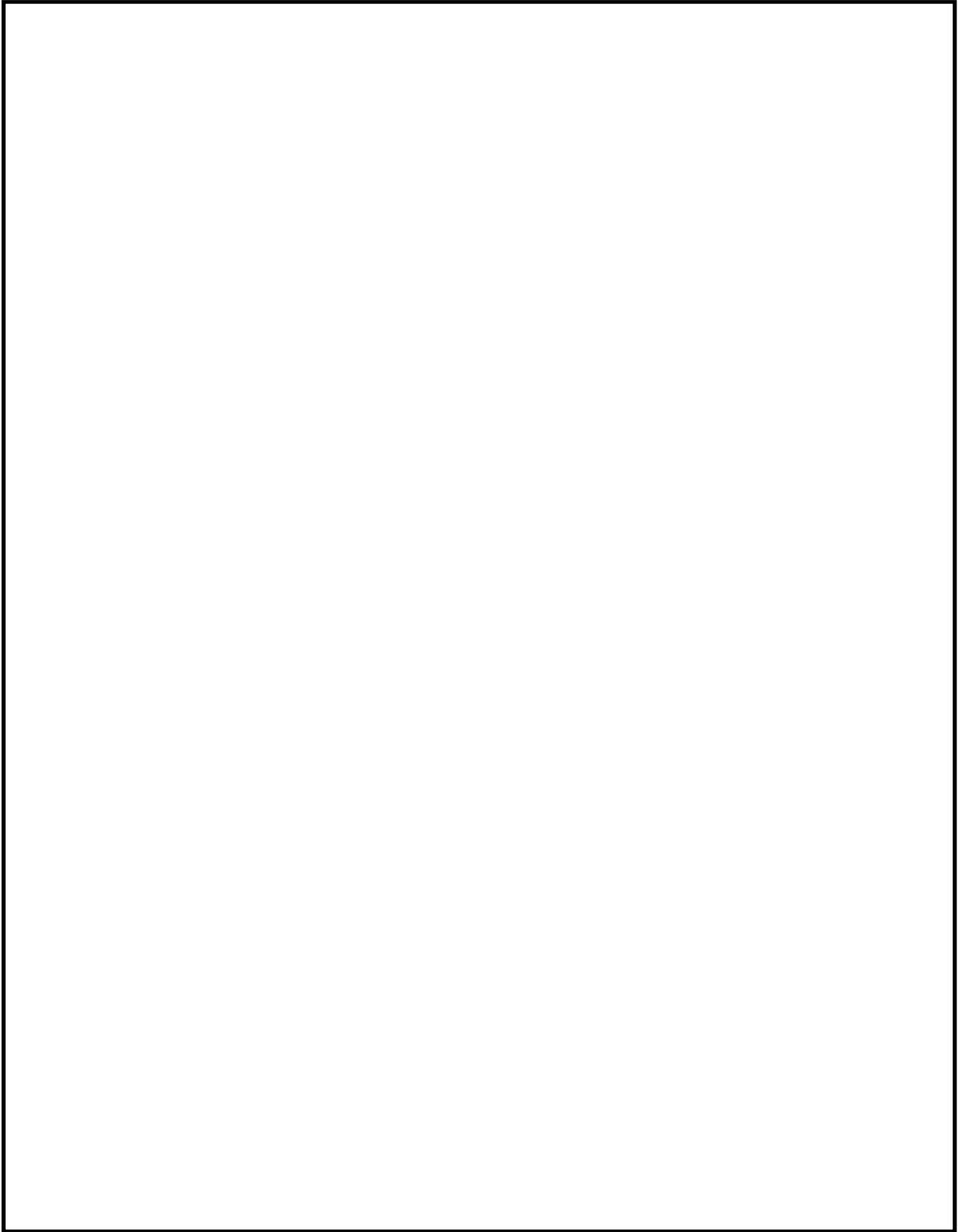


図4-3 振動モード (A号機)

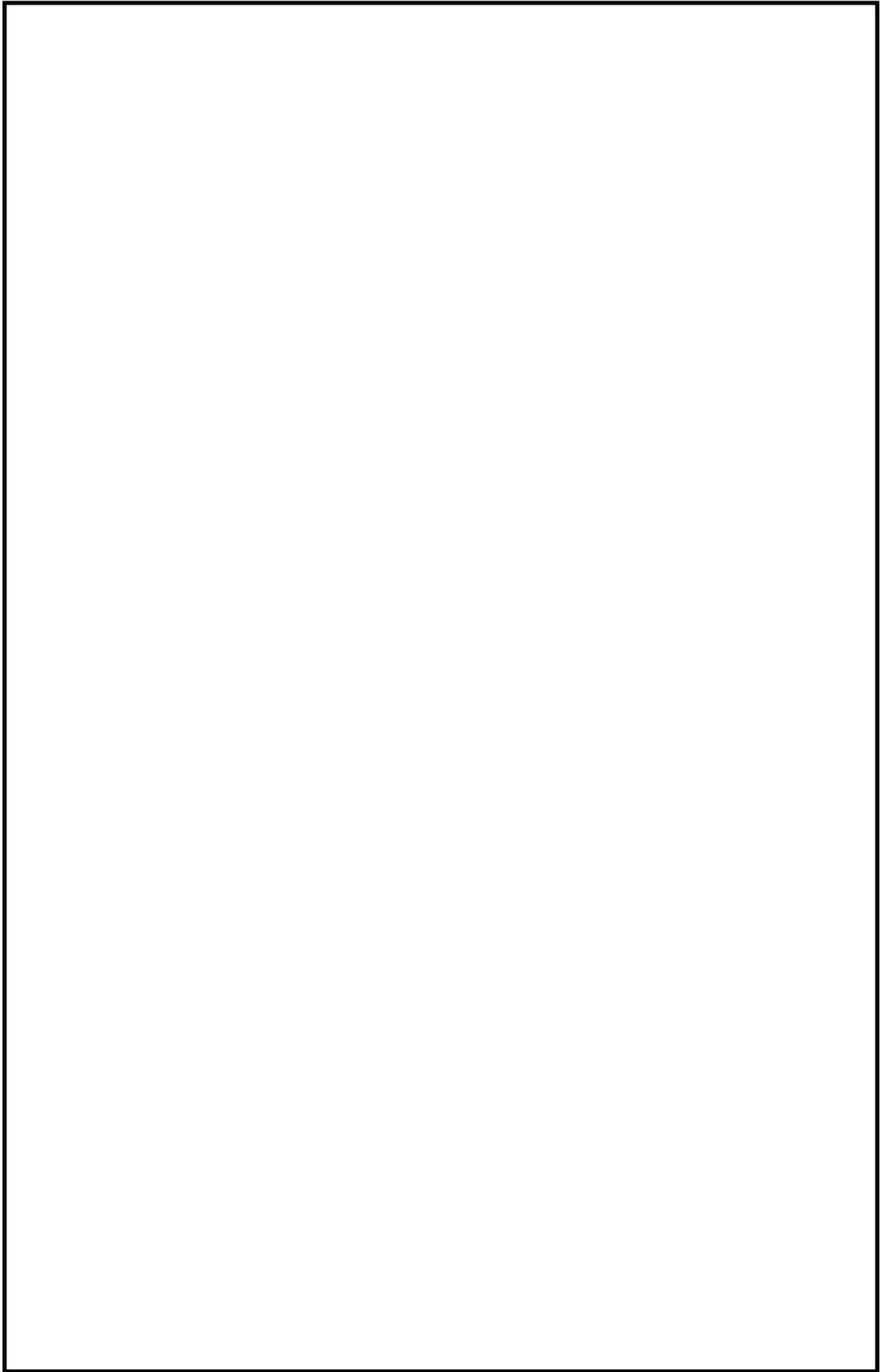


図4-4 振動モード (B号機)

4.5 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

評価に用いる設計用地震力を表4-10及び表4-11に示す。

表 4-10 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向	鉛直方向
原子炉建屋 EL. 2.0 *1	0.198 (A号機)	0.066 (A号機)	$C_H=0.63$ 又は*2	$C_V=0.50$ 又は*2	$C_H=0.73$ 又は*3	$C_V=0.64$ 又は*3	1.0*4	1.0*4
	0.196 (B号機)	0.069 (B号機)						

注記 *1:基準床レベルを示す。

*2:弾性設計用地震動 S_d に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*3:基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*4:溶接構造物に適用される減衰定数の値

表 4-11 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向	鉛直方向
原子炉建屋 EL. 2.0 *1	0.198 (A号機)	0.066 (A号機)	—	—	$C_H=0.73$ 又は*2	$C_V=0.64$ 又は*2	1.0*3	1.0*3
	0.196 (B号機)	0.069 (B号機)						

注記 *1:基準床レベルを示す。

*2:基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*3:溶接構造物に適用される減衰定数の値

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

応力計算は、S R S S法を用いて行い、水平震度については、EW方向及びNS方向の場合に分けて組合せるものとする。

4.6.1.1 胴板（ラグ付根部）の応力

(1) 内圧による応力

$$\sigma_{L\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t_L)}{2 \cdot t_L} \dots\dots\dots (4.6.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \dots\dots\dots (4.6.1.1.2)$$

$$\sigma_{Lx 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t_L)}{4 \cdot t_L} \dots\dots\dots (4.6.1.1.3)$$

(2) 運転時質量による応力

$$\sigma_{Lx 2} = \frac{m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t_L) \cdot t_L} \dots\dots\dots (4.6.1.1.4)$$

(3) 鉛直方向地震力により胴断面に生じる引張応力

鉛直方向地震力による荷重 F_v は、図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」により得られる値を使用する。

$$\sigma_{Lx 11} = \frac{|F_v|}{\pi \cdot (D_i + t_L) \cdot t_L} \dots\dots\dots (4.6.1.1.5)$$

(4) 運転時質量による胴のラグ付根部の応力

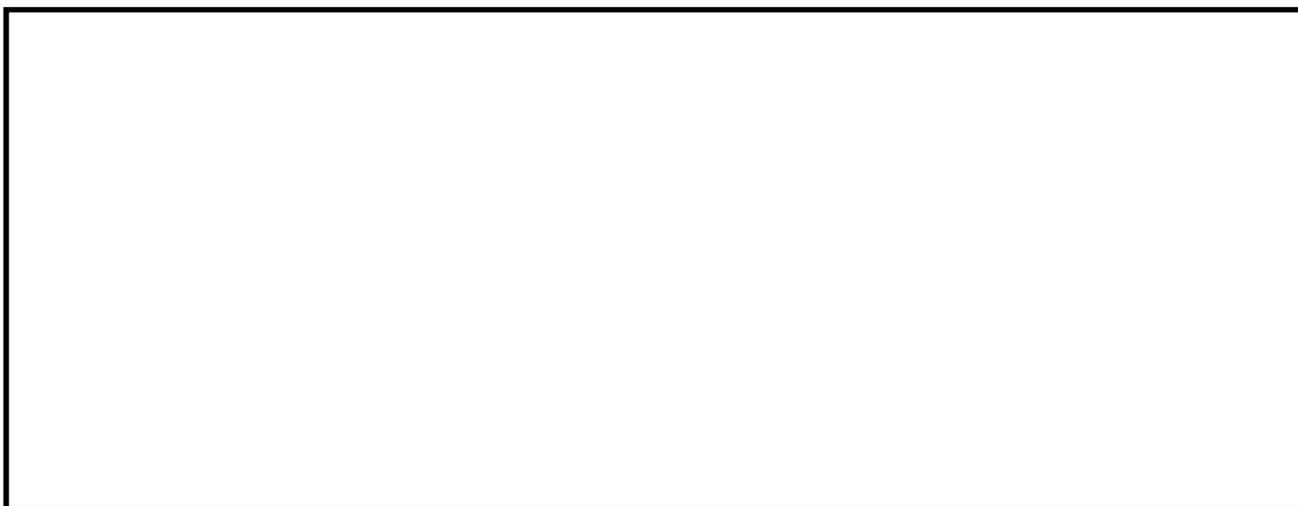


図4-9 鉛直荷重により胴及びラグに作用するモーメントと力

運転時質量による鉛直方向モーメント $M_{L\ell}$ 及び反力 R_L は、図4-1及び図4-2に示す計算モデルについて計算機コード「SAP-IV」により得られる値を使用する。

鉛直方向曲げモーメント $M_{L\ell}$ により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、引用文献(2)により次のようにして求める。

シェルパラメータ γ_L 及びアタッチメントパラメータ $\beta_{L\ell}$ は、以下のように定義する。

$$\gamma_L = r_{mL} / t_L \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.6)$$

$$\beta_{L1} = C_{L1} / r_{mL} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.7)$$

$$\beta_{L2} = C_{L2} / r_{mL} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.8)$$

$$\beta_{L\ell} = \sqrt[3]{\beta_{L1} \cdot \beta_{L2}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.9)$$

ただし、 $\beta_{L\ell} \leq 0.5$

シェルパラメータ γ_L 及びアタッチメントパラメータ $\beta_{L\ell}$ によって引用文献(2)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより、次式で求める。

$$\sigma_{L\phi 3} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_{L\ell} / (r_{mL}^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_{L\ell}|}{r_{mL}^2 \cdot t_L \cdot \beta_{L\ell}} \right) \cdot C_{L\ell 1} \quad (4.6.1.1.10)$$

$$\sigma_{Lx 3} = \left\{ \frac{N_x}{M_{L\ell} / (r_{mL}^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_{L\ell}|}{r_{mL}^2 \cdot t_L \cdot \beta_{L\ell}} \right) \cdot C_{L\ell 2} \quad (4.6.1.1.11)$$

反力 R_L によるせん断応力

$$\tau_{L\ell 1} = \frac{|R_L|}{4 \cdot C_{L2} \cdot t_L} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.12)$$

(5) 鉛直方向地震力による胴のラグ付根部の応力

鉛直方向地震力による鉛直方向モーメント $M_{L\ell V}$ は、図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」により得られる値を使用する。

鉛直方向地震力による鉛直方向曲げモーメント $M_{L\ell V}$ により生じる周方向応力及び軸方向応力はシェルパラメータ γ_L 及びアタッチメントパラメータ $\beta_{L\ell}$ によって引用文献(2)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより、次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{L\phi 12} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_{L\ell V} / (r_{mL}^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_{L\ell V}|}{r_{mL}^2 \cdot \beta_{L\ell} \cdot t_L} \right) \cdot C_{L\ell 1} \quad (4.6.1.1.13)$$

$$\sigma_{Lx 12} = \left\{ \frac{N_x}{M_{L\ell V} / (r_{mL}^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_{L\ell V}|}{r_{mL}^2 \cdot \beta_{L\ell} \cdot t_L} \right) \cdot C_{L\ell 2} \quad (4.6.1.1.14)$$

二次応力

$$\sigma_{L2\phi 12} = \left\{ \frac{M_\phi}{M_{L\ell V} / (r_{mL} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_{L\ell V}|}{r_{mL} \cdot \beta_{L\ell} \cdot t_{L^2}} \right) \quad (4.6.1.1.15)$$

$$\sigma_{L2x 12} = \left\{ \frac{M_x}{M_{L\ell V} / (r_{mL} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_{L\ell V}|}{r_{mL} \cdot \beta_{L\ell} \cdot t_{L^2}} \right) \quad (4.6.1.1.16)$$

ここで、アタッチメントパラメータ $\beta_{L\ell}$ は、次式で表される。ただし、二次応力を求める場合は更に $k_{L\ell}$ を乗じた値とする。

$$\beta_{L\ell} = \sqrt[3]{\beta_{L1} \cdot \beta_{L2^2}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.17)$$

鉛直方向地震力による反力 R_{LV} は、図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」により得られる値を使用し、反力 R_{LV} によるせん断応力は、次式で表される。

$$\tau_{L\ell 6} = \frac{|R_{LV}|}{4 \cdot C_{L2} \cdot t_L} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.18)$$

(6) 水平方向地震による胴の曲げ応力

$$\sigma_{Lx 4} = \frac{M_{LH} \cdot (D_i + 2 \cdot t_L)}{2 \cdot I_L} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.19)$$

水平方向地震力による曲げモーメント M_{LH} は、図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」により得られる値を使用する。

ここで、胴の断面二次モーメント I_L は次のように求める。

$$I_L = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t_L)^3 \cdot t_L \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.20)$$

(7) 水平方向地震力による胴のラグ付根部に作用する荷重及びモーメント

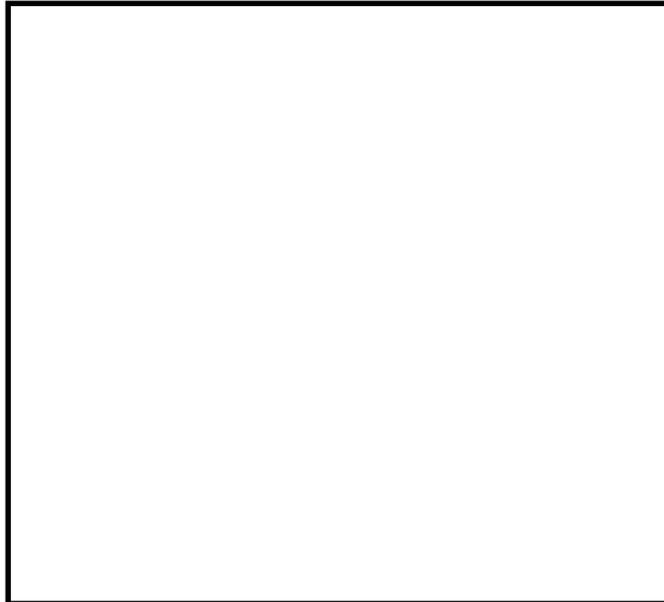


図4-10 ラグに作用する周方向曲げモーメント及びねじりモーメントと力

水平方向地震力による鉛直方向曲げモーメントの最大値 M_{L1} は、図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」により得られる値を使用する。

鉛直方向モーメント M_{L1} により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、(4.6.1.1.10) 式の $\sigma_{L\phi 3}$ 及び(4.6.1.1.11) 式の $\sigma_{Lx 3}$ と同様にして次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{L\phi 5} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_{L1} / (r_{mL} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_{L1}|}{r_{mL} \cdot \beta_{L\ell} \cdot t_L} \right) \cdot C_{L\ell 1} \quad (4.6.1.1.21)$$

$$\sigma_{Lx 5} = \left\{ \frac{N_x}{M_{L1} / (r_{mL} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_{L1}|}{r_{mL} \cdot \beta_{L\ell} \cdot t_L} \right) \cdot C_{L\ell 2} \quad (4.6.1.1.22)$$

二次応力

$$\sigma_{L2\phi 5} = \left\{ \frac{M_\phi}{M_{L1} / (r_{mL} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_{L1}|}{r_{mL} \cdot \beta_{L\ell} \cdot t_L^2} \right) \cdots \quad (4.6.1.1.23)$$

$$\sigma_{L2x 5} = \left\{ \frac{M_x}{M_{L1} / (r_{mL} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_{L1}|}{r_{mL} \cdot \beta_{L\ell} \cdot t_L^2} \right) \cdots \quad (4.6.1.1.24)$$

ここで、アタッチメントパラメータ $\beta_{L\ell}$ は次式で表される。ただし、二次応力を求める場合は、更に $k_{L\ell}$ を乗じた値とする。

$$\beta_{L\ell} = \sqrt[3]{\beta_{L1} \cdot \beta_{L2}^2} \cdots \cdots \cdots \quad (4.6.1.1.25)$$

水平方向地震による周方向曲げモーメントの最大値 M_{Lc} は、図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」により得られる値を使用する。

周方向曲げモーメント M_{Lc} により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{L\phi 7} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_{Lc} / (r_{mL} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_{Lc}|}{r_{mL} \cdot \beta_{Lc} \cdot t_L} \right) \cdot C_{Lc1} \quad (4.6.1.1.26)$$

$$\sigma_{Lx 7} = \left\{ \frac{N_x}{M_{Lc} / (r_{mL} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_{Lc}|}{r_{mL} \cdot \beta_{Lc} \cdot t_L} \right) \cdot C_{Lc2} \quad (4.6.1.1.27)$$

二次応力

$$\sigma_{L2\phi 7} = \left\{ \frac{M_\phi}{M_{Lc} / (r_{mL} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_{Lc}|}{r_{mL} \cdot \beta_{Lc} \cdot t_L^2} \right) \cdot \quad (4.6.1.1.28)$$

$$\sigma_{L2x 7} = \left\{ \frac{M_x}{M_{Lc} / (r_{mL} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_{Lc}|}{r_{mL} \cdot \beta_{Lc} \cdot t_L^2} \right) \cdot \quad (4.6.1.1.29)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_{Lc} は次式で表される。ただし、二次応力を求める場合は更に k_{Lc} を乗じた値とする。

$$\beta_{Lc} = \sqrt[3]{\beta_{L1}^2 \cdot \beta_{L2}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.30)$$

水平方向地震による周方向せん断力の最大値 Q_L 、鉛直方向せん断力の最大値 R_{L1} 及びねじりモーメントの最大値 M_{L3} は、図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」により得られる値を使用する。

周方向せん断力 Q_L によるせん断応力

$$\tau_{Lc1} = \frac{|Q_L|}{4 \cdot C_{L1} \cdot t_L} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.31)$$

鉛直方向せん断力 R_{L1} によるせん断応力

$$\tau_{L\ell 2} = \frac{|R_{L1}|}{4 \cdot C_{L2} \cdot t_L} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.32)$$

ねじりモーメント M_{L3} により生じる胴のせん断応力

$$\tau_{L3} = \frac{|M_{L3}|}{2 \cdot \pi \cdot C_{L1}^2 \cdot t_L} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.33)$$

(8) 組合せ応力

(1)～(7)によって算出される胴のラグ付根部に生じる応力は、以下により組み合わせられる。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma_{L0} = \max[\sigma_{L0\phi}, \sigma_{L0x}] \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.34)$$

$$\sigma_{L0\phi} = \sigma_{L\phi1} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.35)$$

$$\sigma_{L0x} = \sigma_{Lx1} + \sigma_{Lx2} + \sqrt{\sigma_{Lx11}^2 + \sigma_{Lx4}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.36)$$

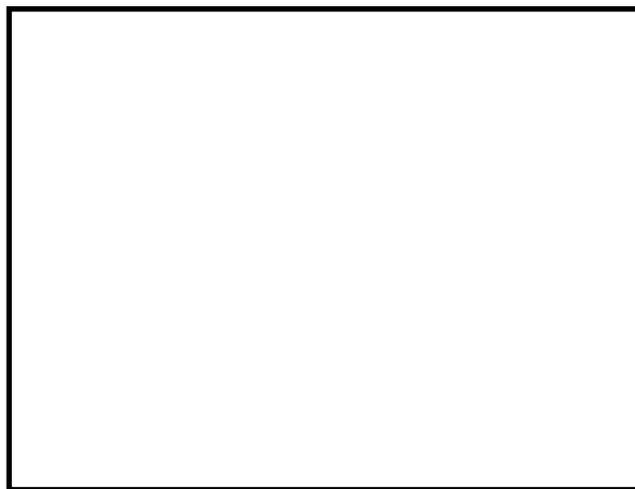


図4-11 胴（ラグ付根部）の評価点

b. 一次応力

$$\sigma_{L1} = \text{Max}(\sigma_{L11}, \sigma_{L12}) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.37)$$

水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の一次応力は、次式で求める。

第1評価点

$$\sigma_{L\phi e1} = \sigma_{L\phi1} + \sigma_{L\phi3} + \sqrt{\sigma_{L\phi5}^2 + \sigma_{L\phi12}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.38)$$

$$\sigma_{Lxe1} = \sigma_{Lx1} + \sigma_{Lx2} + \sigma_{Lx3} + \sqrt{(\sigma_{Lx4} + \sigma_{Lx5})^2 + (\sigma_{Lx11} + \sigma_{Lx12})^2} \quad \dots\dots (4.6.1.1.39)$$

$$\sigma_{L11} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{L\phi e1} + \sigma_{Lxe1} + \sqrt{(\sigma_{L\phi e1} - \sigma_{Lxe1})^2 + 4 \cdot (\tau_{Lc1} + \tau_{L3})^2} \} \quad \dots\dots (4.6.1.1.40)$$

第2評価点

$$\sigma_{L\phi e2} = \sigma_{L\phi1} + \sigma_{L\phi7} \dots\dots\dots (4.6.1.1.41)$$

$$\sigma_{Lxe2} = \sigma_{Lx1} + \sigma_{Lx2} + \sqrt{(\sigma_{Lx4} + \sigma_{Lx7})^2 + \sigma_{Lx11}^2} \dots\dots (4.6.1.1.42)$$

$$\sigma_{L12} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{L\phi e2} + \sigma_{Lxe2} + \sqrt{\frac{(\sigma_{L\phi e2} - \sigma_{Lxe2})^2}{+ 4 \cdot \left[\tau_{L\ell1} + \sqrt{(\tau_{L\ell2} + \tau_{L3})^2 + \tau_{L\ell6}^2} \right]^2}} \right\} \dots\dots (4.6.1.1.43)$$

c. 胴の一次+二次応力の変動値

$$\sigma_{L2} = \text{Max}(\sigma_{L21}, \sigma_{L22}) \dots\dots\dots (4.6.1.1.44)$$

水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の地震のみによる一次+二次応力の変動値は、次式で求める。

第1評価点

$$\sigma_{L2\phi e1} = \sqrt{(\sigma_{L\phi5} + \sigma_{L2\phi5})^2 + (\sigma_{L\phi12} + \sigma_{L2\phi12})^2} \dots\dots (4.6.1.1.45)$$

$$\sigma_{L2xe1} = \sqrt{\frac{(\sigma_{Lx4} + \sigma_{Lx5} + \sigma_{L2x5})^2}{+ (\sigma_{Lx11} + \sigma_{Lx12} + \sigma_{L2x12})^2}} \dots\dots (4.6.1.1.46)$$

$$\sigma_{L21} = \sigma_{L2\phi e1} + \sigma_{L2xe1} \dots\dots (4.6.1.1.47) + \sqrt{(\sigma_{L2\phi e1} - \sigma_{L2xe1})^2 + 4 \cdot (\tau_{Lc1} + \tau_{L3})^2}$$

第2評価点

$$\sigma_{L2\phi e2} = \sigma_{L\phi7} + \sigma_{L2\phi7} \dots\dots\dots (4.6.1.1.48)$$

$$\sigma_{L2xe2} = \sqrt{(\sigma_{Lx4} + \sigma_{Lx7} + \sigma_{L2x7})^2 + \sigma_{Lx11}^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.49)$$

$$\sigma_{L22} = \sigma_{L2\phi e2} + \sigma_{L2xe2} + \sqrt{\frac{(\sigma_{L2\phi e2} - \sigma_{L2xe2})^2}{+ 4 \cdot \left[\sqrt{\tau_{L\ell6}^2 + (\tau_{L\ell2} + \tau_{L3})^2} \right]^2}} \dots\dots\dots (4.6.1.1.50)$$

4.6.1.2 胴板（振れ止め付根部）の応力

(1) 内圧による応力

$$\sigma_{T\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t_T)}{2 \cdot t_T} \dots\dots\dots (4.6.1.2.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \dots\dots\dots (4.6.1.2.2)$$

$$\sigma_{Tx1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t_T)}{4 \cdot t_T} \dots\dots\dots (4.6.1.2.3)$$

(2) 運転時質量による応力

$$\sigma_{Tx2} = \frac{m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t_T) \cdot t_T} \dots\dots\dots (4.6.1.2.4)$$

(3) 鉛直方向地震力により胴断面に生じる引張応力

鉛直方向地震力による荷重 F_v は、図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」により得られる値を使用する。

$$\sigma_{Tx11} = \frac{|F_v|}{\pi \cdot (D_i + t_T) \cdot t_T} \dots\dots\dots (4.6.1.2.5)$$

(4) 運転時質量による胴の振れ止め付根部の応力

振れ止めは、鉛直方向にスライド可能であるため、振れ止め付根部に運転時質量による鉛直方向モーメント及び反力は、生じないものとする。

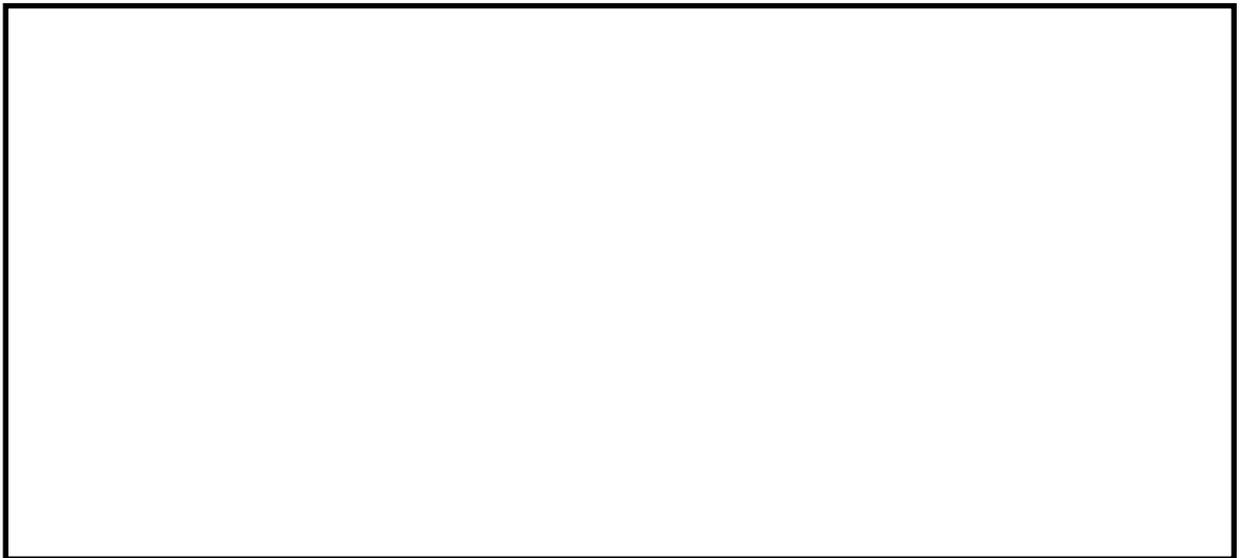


図4-12 胴及び振れ止めに作用するモーメントと力

運転時質量により半径方向に働く荷重 F_{Trg} は、図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」により得られる値を使用する。

半径方向に働く荷重 F_{Trg} により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、引用文献(2)により次のようにして求める。

シェルパラメータ γ_T 及びアタッチメントパラメータ β_N は、 K_{1N} を用いて以下のように定義する。

$$\gamma_T = r_{mT} / t_T \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.6)$$

$$\beta_{T1} = C_{T1} / r_{mT} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.7)$$

$$\beta_{T2} = C_{T2} / r_{mT} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.8)$$

$$\beta_N = \left\{ 1 - 1/3 \cdot (\beta_{T1} / \beta_{T2} - 1) \cdot (1 - K_{1N}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_{T1} \cdot \beta_{T2}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.9)$$

シェルパラメータ γ_T 及びアタッチメントパラメータ β_N によって引用文献(2)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより、次式で求める。

$$\sigma_{T\phi rg} = \left\{ \frac{N_\phi}{P / r_{mT}} \right\}^* \cdot \left(\frac{|F_{Trg}|}{r_{mT} \cdot t_T} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.10)$$

$$\sigma_{Tx rg} = \left\{ \frac{N_x}{P / r_{mT}} \right\}^* \cdot \left(\frac{|F_{Trg}|}{r_{mT} \cdot t_T} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.11)$$

(5) 鉛直方向地震力による胴の振れ止め付根部の応力

振れ止めは鉛直方向にスライド可能であるため、振れ止め付根部に鉛直方向地震力による鉛直方向モーメント及び反力は、生じないものとする。

鉛直方向地震力により半径方向に働く荷重 F_{Trv} は、図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」により得られる値を使用する。

半径方向に働く荷重 F_{Trv} により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、次のようにして求める。

一次応力

$$\sigma_{T\phi rv} = \left\{ \frac{N_\phi}{P / r_{mT}} \right\}^* \cdot \left(\frac{|F_{Trv}|}{r_{mT} \cdot t_T} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.12)$$

$$\sigma_{Tx rv} = \left\{ \frac{N_x}{P / r_{mT}} \right\}^* \cdot \left(\frac{|F_{Trv}|}{r_{mT} \cdot t_T} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.13)$$

二次応力

$$\sigma_{T2\phi rv} = \left\{ \frac{M_\phi}{P} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |F_{Trv}|}{t_T^2} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.14)$$

$$\sigma_{T2x rv} = \left\{ \frac{M_x}{P} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |F_{Trv}|}{t_T^2} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.15)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_M は、次式で表される。

$$\beta_M = \left\{ 1 - 1/3 \cdot (\beta_{T1} / \beta_{T2} - 1) \cdot (1 - K_{1M}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_{T1} \cdot \beta_{T2}} \quad (4.6.1.2.16)$$

(6) 水平方向地震による胴の曲げ応力

$$\sigma_{Tx4} = \frac{M_{TH} \cdot (D_i + 2 \cdot t_T)}{2 \cdot I_T} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.17)$$

水平方向地震による曲げモーメント M_{TH} は、図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」により得られる値を使用する。

ここで、胴の断面二次モーメント I_T は、次のように求める。

$$I_T = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t_T)^3 \cdot t_T \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.18)$$

(7) 水平方向地震力による胴の振れ止め付根部に作用する荷重及びモーメント

振れ止めは、鉛直方向にスライド可能であるため、振れ止め付根部に水平方向地震による鉛直方向曲げモーメント及び鉛直方向せん断力は生じないものとする。

水平方向地震による周方向曲げモーメントの最大値 M_{Tc} は、図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」により得られる値を使用する。

周方向曲げモーメント M_{Tc} により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{T\phi7} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_{Tc} / (r_{mT} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_{Tc}|}{r_{mT} \cdot \beta_{Tc} \cdot t_T} \right) \cdot C_{Tc1} \quad (4.6.1.2.19)$$

$$\sigma_{Tx7} = \left\{ \frac{N_x}{M_{Tc} / (r_{mT} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_{Tc}|}{r_{mT} \cdot \beta_{Tc} \cdot t_T} \right) \cdot C_{Tc2} \quad (4.6.1.2.20)$$

二次応力

$$\sigma_{T2\phi7} = \left\{ \frac{M_\phi}{M_{Tc} / (r_{mT} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_{Tc}|}{r_{mT} \cdot \beta_{Tc} \cdot t_T^2} \right) \quad \dots\dots (4.6.1.2.21)$$

$$\sigma_{T2x7} = \left\{ \frac{M_x}{M_{Tc} / (r_{mT} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_{Tc}|}{r_{mT} \cdot \beta_{Tc} \cdot t_T^2} \right) \quad \dots\dots (4.6.1.2.22)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_{Tc} は次式で表される。ただし、二次応力を求める場合は、更に k_{Tc} を乗じた値とする。

$$\beta_{Tc} = \sqrt[3]{\beta_{T1}^2 \cdot \beta_{T2}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.23)$$

水平方向地震による周方向せん断力の最大値 Q_T ，ねじりモーメントの最大値 M_{T3} 及び半径方向に働く荷重 F_{TrH} は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」により得られる値を使用する。

周方向せん断力 Q_T によるせん断応力

$$\tau_{Tc1} = \frac{|Q_T|}{4 \cdot C_{T1} \cdot t_T} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.24)$$

ねじりモーメント M_{T3} により生じる胴のせん断応力

$$\tau_{T3} = \frac{|M_{T3}|}{2 \cdot \pi \cdot C_{T1}^2 \cdot t_T} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.25)$$

半径方向に働く荷重 F_{TrH} により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は，(4.6.1.2.12) 式～ (4.6.1.2.15) 式と同様にして次のようにして求める。

一次応力

$$\sigma_{T\phi rH} = \left\{ \frac{N_\phi}{P / r_{mT}} \right\}^* \cdot \left(\frac{|F_{TrH}|}{r_{mT} \cdot t_T} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.26)$$

$$\sigma_{Tx rH} = \left\{ \frac{N_x}{P / r_{mT}} \right\}^* \cdot \left(\frac{|F_{TrH}|}{r_{mT} \cdot t_T} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.27)$$

二次応力

$$\sigma_{T2\phi rH} = \left\{ \frac{M_\phi}{P} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |F_{TrH}|}{t_T^2} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.28)$$

$$\sigma_{T2x rH} = \left\{ \frac{M_x}{P} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |F_{TrH}|}{t_T^2} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.29)$$

(8) 組合せ応力

(1)～(7)によって算出される胴の振れ止め付根部に生じる応力は，以下により組み合わせられる。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma_{T0} = \max[\sigma_{T0\phi}, \sigma_{T0x}] \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.30)$$

$$\sigma_{T0\phi} = \sigma_{T\phi1} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.31)$$

$$\sigma_{T0x} = \sigma_{Tx1} + \sigma_{Tx2} + \sqrt{\sigma_{Tx1}^2 + \sigma_{Tx4}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.32)$$



図4-13 胴（振れ止め付根部）の評価点

b. 一次応力

$$\sigma_{T1} = \text{Max}(\sigma_{T11}, \sigma_{T12}) \dots\dots\dots (4.6.1.2.33)$$

水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の一次応力は、次式で求める。

第1評価点

$$\sigma_{T\phi e1} = \text{[Redacted]} \dots\dots\dots (4.6.1.2.34)$$

$$\sigma_{Tx e1} = \text{[Redacted]} \dots\dots (4.6.1.2.35)$$

$$\sigma_{T11} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{T\phi e1} + \sigma_{Tx e1} + \sqrt{(\sigma_{T\phi e1} - \sigma_{Tx e1})^2 + 4 \cdot (\tau_{Tc1} + \tau_{T3})^2} \} \dots\dots (4.6.1.2.36)$$

第2評価点

$$\sigma_{T\phi e2} = \text{[Redacted]} \dots\dots (4.6.1.2.37)$$

$$\sigma_{Tx e2} = \text{[Redacted]} \dots\dots (4.6.1.2.38)$$

$$\sigma_{T12} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{T\phi e2} + \sigma_{Tx e2} + \sqrt{(\sigma_{T\phi e2} - \sigma_{Tx e2})^2 + 4 \cdot \tau_{T3}^2} \} \dots\dots (4.6.1.2.39)$$

c. 胴の一次+二次応力の変動値

$$\sigma_{T2} = \text{Max}(\sigma_{T21}, \sigma_{T22}) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.40)$$

水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の地震のみによる一次+二次応力の変動値は、次式で求める。

イ. 振れ止めの付根部

第1評価点

$$\sigma_{T2\phi e1} = \boxed{\hspace{15em}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.41)$$

$$\sigma_{T2xe1} = \boxed{\hspace{15em}} \quad \dots\dots (4.6.1.2.42)$$

$$\sigma_{T21} = \sigma_{T2\phi e1} + \sigma_{T2xe1} \quad \dots\dots (4.6.1.2.43)$$

$$+ \sqrt{(\sigma_{T2\phi e1} - \sigma_{T2xe1})^2 + 4 \cdot (\tau_{Tc1} + \tau_{T3})^2}$$

第2評価点

$$\sigma_{T2\phi e2} = \boxed{\hspace{15em}} \quad \dots\dots (4.6.1.2.44)$$

$$\sigma_{T2xe2} = \boxed{\hspace{15em}} \quad (4.6.1.2.45)$$

$$\sigma_{T22} = \sigma_{T2\phi e2} + \sigma_{T2xe2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.46)$$

$$+ \sqrt{(\sigma_{T2\phi e2} - \sigma_{T2xe2})^2 + 4 \cdot \tau_{T3}^2}$$

4.6.1.3 ラグの応力

(1) 運転時質量による応力

$$\sigma_{L s 1} = \frac{|M_{L \ell}|}{Z_{L s t}} \dots\dots\dots (4.6.1.3.1)$$

$$\tau_{L s 1} = \frac{|R_L|}{A_{L s 1}} \dots\dots\dots (4.6.1.3.2)$$

(2) 鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{L s 7} = \frac{|M_{L \ell V}|}{Z_{L s t}} \dots\dots\dots (4.6.1.3.3)$$

$$\tau_{L s 7} = \frac{|R_{L V}|}{A_{L s 1}} \dots\dots\dots (4.6.1.3.4)$$

(3) 水平方向地震力による応力

$$\sigma_{L s 2} = \frac{|M_{L 1}|}{Z_{L s t}} + \frac{|M_{L c}|}{Z_{L s \ell}} \dots\dots\dots (4.6.1.3.5)$$

$$\tau_{L s 2} = \frac{|R_{L 1}|}{A_{L s 1}} + \frac{|M_{L 3}|}{Z_{L s p}} + \frac{|Q_L|}{A_{L s 2}} \dots\dots\dots (4.6.1.3.6)$$

(4) 組合せ応力

ラグの最大応力は、次式で求める。

$$\sigma_L = \sqrt{\left(\sigma_{L s 1} + \sqrt{\sigma_{L s 2}^2 + \sigma_{L s 7}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\tau_{L s 1} + \sqrt{\tau_{L s 2}^2 + \tau_{L s 7}^2}\right)^2} \dots\dots\dots (4.6.1.3.7)$$

4.6.1.4 振れ止めの応力

(1) 運転時質量と地震力による応力

運転時質量と地震力により半径方向に働く荷重 F_{Tsr} ，鉛直方向に働く荷重 $F_{Ts\ell}$ 及び曲げモーメント M_{Ts} は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」により得られる値を使用する。

$$\sigma_{Ts1} = \frac{F_{Tsr}}{A_T} \dots\dots\dots (4.6.1.4.1)$$

$$\tau_{Ts1} = \frac{F_{Ts\ell}}{A_{Ts}} \dots\dots\dots (4.6.1.4.2)$$

$$\sigma_{Ts2} = \frac{M_{Ts}}{Z_{Ts}} \dots\dots\dots (4.6.1.4.3)$$

(2) 組合せ応力

振れ止めの最大応力は次式で求める。

$$\sigma_{Ts} = \boxed{\phantom{\sigma_{Ts}}} \dots\dots\dots (4.6.1.4.4)$$

4.6.1.5 取付ボルト（ラグ部）の応力

R_L , R_{L1} , R_{LV} 及び M_{Ll} , M_{L1} , M_{LV} は、図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」により得られる値を使用する。

$$F_{L01} = \text{[]} \dots\dots\dots (4.6.1.5.1)$$

$$F_{L11} = \text{[]} \dots\dots\dots (4.6.1.5.2)$$

$$F_{L01V} = \text{[]} \dots\dots\dots (4.6.1.5.3)$$

$$\sigma_{Lb} = \frac{F_{L01} + \sqrt{F_{L11}^2 + F_{L01V}^2}}{n_L \cdot A_{Lb}} \dots\dots\dots (4.6.1.5.4)$$

4.6.1.6 取付ボルト（振れ止め部）の応力

運転時質量と地震力により軸方向に作用する荷重 P_{Tb} ，締結部の曲げモーメント M_{Tb} 及びせん断方向に作用する荷重 F_{Tb} は、図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」により得られる値を使用する。

$$\sigma_{Tb} = \text{[]} \dots\dots\dots (4.6.1.6.1)$$

$$\tau_{Tb} = \frac{F_{Tb}}{n_T \cdot A_{Tb}} \dots\dots\dots (4.6.1.6.2)$$

4.6.1.7 シアーラグの応力

シアーラグには、せん断応力のみ発生するものとする。

Q_s は、図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」により得られる値を使用する。

$$\tau_s = \frac{Q_s}{A_s} \dots\dots\dots (4.6.1.7.1)$$



図4-14 シアーラグに作用する力

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 胴の応力評価

4.6.1.1項及び4.6.1.2項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は4.2.2項 表4-3による。

4.8.2 ラグ及び振れ止めの応力評価

4.6.1.3項で求めたラグ及び4.6.1.4項で求めた振れ止めの組合せ応力が許容応力 f_t 以下であること。

ただし、 f_t は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

4.8.3 取付ボルトの応力評価

4.6.1.5項及び4.6.1.6項で求めた取付ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (4.8.3.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.8.4 シアーラグの応力評価

4.6.1.7項で求めたシアーラグのせん断応力が許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

残留熱除去系熱交換器の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系熱交換器の重大事故時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6. 引用文献

- (1) Bijlaard, P.P.: Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, The Welding Journal, 34(12), Research Supplement, 1955.
- (2) Wichman, K.R. et al.: Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 / August 1965.

【残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設 残留熱除去系熱交換器A号機

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
残留熱除去系熱交換器 A号機	S	原子炉建屋 EL. 2.0 *1			C _H =0.63 又は*2	C _V =0.50 又は*2	C _H =0.73 又は*3	C _V =0.64 又は*3	3.45	249	

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 弾性設計用地震動 S_d に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*3: 基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

1.2 機器要目

m _o (kg)	D _i (mm)	t _L (mm)	t _T (mm)	C _{L1} (mm)	C _{L2} (mm)	C _{T1} (mm)	C _{T2} (mm)	A _{LS1} (mm ²)	A _{LS2} (mm ²)	A _{TS} (mm ²)	A _T (mm ²)	A _S (mm ²)	Z _{LSp} (mm ³)	Z _{LSl} (mm ³)

Z _{LS t} (mm ³)	Z _{TS} (mm ³)	k _{L1}	k _{L2}	k _{Lc1}	k _{Lc2}	k _{Tc1}	k _{Tc2}	C _{L1}	C _{L2}	C _{Lc1}	C _{Lc2}	C _{Tc1}	C _{Tc2}	n _L	n _T

a _L (mm)	b _L (mm)	c _L (mm)	a _T (mm)	d _T (mm)	A _{Lb} (mm ²)	A _{Tb} (mm ²)

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (ラグ) (MPa)	S _u (ラグ) (MPa)	F (ラグ) (MPa)	F* (ラグ) (MPa)
180 *1	391 *1	—	160 *1	373 *1	160	192

S _y (振れ止め) (MPa)	S _u (振れ止め) (MPa)	F (振れ止め) (MPa)	F* (振れ止め) (MPa)	S _y (取付ボルト) ^{*2} (MPa)	S _u (取付ボルト) ^{*2} (MPa)	F (取付ボルト) ^{*2} (MPa)	F* (取付ボルト) ^{*2} (MPa)	S _y (シアーラグ) (MPa)	S _u (シアーラグ) (MPa)	F (シアーラグ) (MPa)	F* (シアーラグ) (MPa)
173 *1	373 *1	173	207	764 *3	906 *3	634	634	211 *3	394 *3	211	253

注記 *1: 最高使用温度で算出

*2: ラグ部と振れ止め部は同一値

*3: 周囲環境温度で算出

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

1.3 計算数値 (A号機)

1.3.1 胴板 (ラグ付根部) に生じる応力

(1) 胴板 (ラグ付根部) に生じる一次一般膜応力 (弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度)

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	—	—	—	—	$\sigma_{L0} = 93$
		軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	—	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx11} = 4$	
		せん断	—	—	—	—	—	
	N S 方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	—	—	—	—	$\sigma_{L0} = 93$
		軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	—	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx11} = 4$	
		せん断	—	—	—	—	—	

(2) 胴板 (ラグ付根部) に生じる一次一般膜応力 (基準地震動 S_s)

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
基準地震動 S_s	E W 方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	—	—	—	—	$\sigma_{L0} = 93$
		軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	—	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx11} = 4$	
		せん断	—	—	—	—	—	
	N S 方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	—	—	—	—	$\sigma_{L0} = 93$
		軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	—	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx11} = 4$	
		せん断	—	—	—	—	—	

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

(3) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次応力（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力	
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力		
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	-	-	$\sigma_{L\phi 3} = 5$	-	$\sigma_{L\phi 5} = 7$	-	-	$\sigma_{L\phi 12} = 7$	$\sigma_{L11} = 108$	
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	-	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx3} = 3$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 4$	-	$\sigma_{Lx11} = 4$	$\sigma_{Lx12} = 4$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{Lc1} = 4$	$\tau_{L3} = 0$	-	-	-		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	-	-	-	-	-	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	-	-		$\sigma_{L12} = 95$
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	-	$\sigma_{Lx2} = 4$	-	$\sigma_{Lx4} = 4$	-	$\sigma_{Lx7} = 1$	$\sigma_{Lx11} = 4$	-		
			せん断	-	-	$\tau_{L11} = 4$	-	$\tau_{L12} = 2$	$\tau_{L3} = 0$	-	$\tau_{L16} = 5$	-		
	N S 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	-	-	$\sigma_{L\phi 3} = 5$	-	$\sigma_{L\phi 5} = 8$	-	-	$\sigma_{L\phi 12} = 7$	$\sigma_{L11} = 108$	
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	-	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx3} = 3$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 5$	-	$\sigma_{Lx11} = 4$	$\sigma_{Lx12} = 4$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{Lc1} = 4$	$\tau_{L3} = 0$	-	-	-		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	-	-	-	-	-	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	-	-	$\sigma_{L12} = 95$	
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	-	$\sigma_{Lx2} = 4$	-	$\sigma_{Lx4} = 4$	-	$\sigma_{Lx7} = 1$	$\sigma_{Lx11} = 4$	-		
			せん断	-	-	$\tau_{L11} = 4$	-	$\tau_{L12} = 2$	$\tau_{L3} = 0$	-	$\tau_{L16} = 5$	-		

(4) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次応力（基準地震動 S_s ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力	
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力		
基準地震動 S_s	E W 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	-	-	$\sigma_{L\phi 3} = 5$	-	$\sigma_{L\phi 5} = 8$	-	-	$\sigma_{L\phi 12} = 9$	$\sigma_{L11} = 110$	
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	-	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx3} = 3$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 5$	-	$\sigma_{Lx11} = 4$	$\sigma_{Lx12} = 5$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{Lc1} = 4$	$\tau_{L3} = 0$	-	-	-		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	-	-	-	-	-	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	-	-		$\sigma_{L12} = 96$
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	-	$\sigma_{Lx2} = 4$	-	$\sigma_{Lx4} = 4$	-	$\sigma_{Lx7} = 1$	$\sigma_{Lx11} = 4$	-		
			せん断	-	-	$\tau_{L11} = 4$	-	$\tau_{L12} = 2$	$\tau_{L3} = 0$	-	$\tau_{L16} = 6$	-		
	N S 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	-	-	$\sigma_{L\phi 3} = 5$	-	$\sigma_{L\phi 5} = 9$	-	-	$\sigma_{L\phi 12} = 9$	$\sigma_{L11} = 110$	
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	-	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx3} = 3$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 5$	-	$\sigma_{Lx11} = 4$	$\sigma_{Lx12} = 5$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{Lc1} = 4$	$\tau_{L3} = 0$	-	-	-		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	-	-	-	-	-	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	-	-	$\sigma_{L12} = 96$	
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	-	$\sigma_{Lx2} = 4$	-	$\sigma_{Lx4} = 4$	-	$\sigma_{Lx7} = 1$	$\sigma_{Lx11} = 4$	-		
			せん断	-	-	$\tau_{L11} = 4$	-	$\tau_{L12} = 2$	$\tau_{L3} = 0$	-	$\tau_{L16} = 6$	-		

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

(5) 胴板（ラグ付根部）に生じる地震動のみによる一次十二次応力（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力			水平方向地震による応力			組合せ一次十二次応力(変動値)		
				鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力		転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力			周方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	W方向	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{L\phi 12} = 7$	$\sigma_{L2\phi 12} = 9$	—	$\sigma_{L\phi 5} = 7$	$\sigma_{L2\phi 5} = 10$	—	$\sigma_{L21} = 70$	
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 4$	$\sigma_{Lx12} = 4$	$\sigma_{L2x12} = 17$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 4$	$\sigma_{L2x5} = 17$	—		
			せん断	—			$\tau_{L3} = 0$	$\tau_{Lc1} = 4$		—		
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	$\sigma_{L2\phi 7} = 3$	—		$\sigma_{L22} = 20$
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 4$	—	—	$\sigma_{Lx4} = 4$	—	$\sigma_{Lx7} = 1$	$\sigma_{L2x7} = 1$		
			せん断	$\tau_{L16} = 5$			$\tau_{L3} = 0$	$\tau_{L12} = 2$		—		
	S方向	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{L\phi 12} = 7$	$\sigma_{L2\phi 12} = 9$	—	$\sigma_{L\phi 5} = 8$	$\sigma_{L2\phi 5} = 10$	—	$\sigma_{L21} = 73$	
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 4$	$\sigma_{Lx12} = 4$	$\sigma_{L2x12} = 17$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 5$	$\sigma_{L2x5} = 18$	—		
			せん断	—			$\tau_{L3} = 0$	$\tau_{Lc1} = 4$		—		
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	$\sigma_{L2\phi 7} = 4$	—		$\sigma_{L22} = 22$
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 4$	—	—	$\sigma_{Lx4} = 4$	—	$\sigma_{Lx7} = 1$	$\sigma_{L2x7} = 2$		
			せん断	$\tau_{L16} = 5$			$\tau_{L3} = 0$	$\tau_{L12} = 2$		—		

(6) 胴板（ラグ付根部）に生じる地震動のみによる一次十二次応力（基準地震動 S_s ）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力			水平方向地震による応力			組合せ一次十二次応力(変動値)		
				鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力		転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力			周方向モーメントによる応力	
基準地震動 S_s	W方向	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{L\phi 12} = 9$	$\sigma_{L2\phi 12} = 12$	—	$\sigma_{L\phi 5} = 8$	$\sigma_{L2\phi 5} = 10$	—	$\sigma_{L21} = 81$	
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 4$	$\sigma_{Lx12} = 5$	$\sigma_{L2x12} = 21$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 5$	$\sigma_{L2x5} = 18$	—		
			せん断	—			$\tau_{L3} = 0$	$\tau_{Lc1} = 4$		—		
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	$\sigma_{L2\phi 7} = 3$	—		$\sigma_{L22} = 23$
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 4$	—	—	$\sigma_{Lx4} = 4$	—	$\sigma_{Lx7} = 1$	$\sigma_{L2x7} = 1$		
			せん断	$\tau_{L16} = 6$			$\tau_{L3} = 0$	$\tau_{L12} = 2$		—		
	S方向	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{L\phi 12} = 9$	$\sigma_{L2\phi 12} = 12$	—	$\sigma_{L\phi 5} = 9$	$\sigma_{L2\phi 5} = 11$	—	$\sigma_{L21} = 84$	
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 4$	$\sigma_{Lx12} = 5$	$\sigma_{L2x12} = 21$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 5$	$\sigma_{L2x5} = 20$	—		
			せん断	—			$\tau_{L3} = 0$	$\tau_{Lc1} = 4$		—		
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	$\sigma_{L2\phi 7} = 4$	—		$\sigma_{L22} = 25$
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 4$	—	—	$\sigma_{Lx4} = 4$	—	$\sigma_{Lx7} = 1$	$\sigma_{L2x7} = 2$		
			せん断	$\tau_{L16} = 6$			$\tau_{L3} = 0$	$\tau_{L12} = 2$		—		

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

1.3.2 胴板（振れ止め付根部）に生じる応力

(1) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次一般膜応力（弾性設計用地震動 S_a 又は静的震度）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次 一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
弾性設計用地震動 S_a 又は静的震度	E W 方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	—	—	—	—	$\sigma_{T0} = 65$
		軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	—	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{Tx11} = 3$	
		せん断	—	—	—	—	—	
	N S 方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	—	—	—	—	$\sigma_{T0} = 65$
		軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	—	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{Tx11} = 3$	
		せん断	—	—	—	—	—	

(2) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次一般膜応力（基準地震動 S_s ）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次 一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
基準地震動 S_s	E W 方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	—	—	—	—	$\sigma_{T0} = 65$
		軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	—	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{Tx11} = 3$	
		せん断	—	—	—	—	—	
	N S 方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	—	—	—	—	$\sigma_{T0} = 65$
		軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	—	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{Tx11} = 3$	
		せん断	—	—	—	—	—	

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

(3) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次応力（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ 一次応力	
						自重による応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力		
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	-	-	$\sigma_{T\phi rg} = 0$	-	$\sigma_{T\phi rH} = 13$	-	-	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T11} = 78$	
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	-	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Txrg} = 0$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{TxrH} = 13$	-	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{Tc1} = 0$	$\tau_{T3} = 0$	-	-			
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	-	-	$\sigma_{T\phi rg} = 0$	-	$\sigma_{T\phi rH} = 13$	$\sigma_{T\phi 7} = 1$	-	$\sigma_{T\phi rV} = 1$		$\sigma_{T12} = 78$
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	-	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Txrg} = 0$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{TxrH} = 13$	$\sigma_{Tx7} = 1$	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{T3} = 0$	-	-				
	N S 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	-	-	$\sigma_{T\phi rg} = 0$	-	$\sigma_{T\phi rH} = 14$	-	-	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T11} = 79$	
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	-	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Txrg} = 0$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{TxrH} = 14$	-	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{Tc1} = 1$	$\tau_{T3} = 0$	-	-			
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	-	-	$\sigma_{T\phi rg} = 0$	-	$\sigma_{T\phi rH} = 14$	$\sigma_{T\phi 7} = 1$	-	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T12} = 80$	
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	-	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Txrg} = 0$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{TxrH} = 14$	$\sigma_{Tx7} = 1$	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{T3} = 0$	-	-				

(4) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次応力（基準地震動 S_s ）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ 一次応力	
						自重による応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力		
基準地震動 S_s	E W 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	-	-	$\sigma_{T\phi rg} = 0$	-	$\sigma_{T\phi rH} = 14$	-	-	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T11} = 79$	
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	-	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Txrg} = 0$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{TxrH} = 13$	-	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{Tc1} = 0$	$\tau_{T3} = 0$	-	-			
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	-	-	$\sigma_{T\phi rg} = 0$	-	$\sigma_{T\phi rH} = 14$	$\sigma_{T\phi 7} = 1$	-	$\sigma_{T\phi rV} = 1$		$\sigma_{T12} = 79$
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	-	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Txrg} = 0$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{TxrH} = 13$	$\sigma_{Tx7} = 1$	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{T3} = 0$	-	-				
	N S 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	-	-	$\sigma_{T\phi rg} = 0$	-	$\sigma_{T\phi rH} = 15$	-	-	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T11} = 80$	
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	-	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Txrg} = 0$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{TxrH} = 15$	-	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{Tc1} = 1$	$\tau_{T3} = 0$	-	-			
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	-	-	$\sigma_{T\phi rg} = 0$	-	$\sigma_{T\phi rH} = 15$	$\sigma_{T\phi 7} = 1$	-	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T12} = 81$	
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	-	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Txrg} = 0$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{TxrH} = 15$	$\sigma_{Tx7} = 1$	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{T3} = 0$	-	-				

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

(5) 胴板（振れ止め付根部）に生じる地震動のみによる一次+二次応力（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力			水平方向地震による応力			組合せ一次+二次応力(変動値)		
				鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力		転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力			周方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	W方向	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T2\phi rV} = 2$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 13$	$\sigma_{T2\phi rH} = 35$	—	$\sigma_{T21} = 97$	
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{Tx rV} = 1$	$\sigma_{T2x rV} = 2$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{Tx rH} = 13$	$\sigma_{T2x rH} = 33$	—		
			せん断	—			$\tau_{T3} = 0$	$\tau_{Tc1} = 0$		—		
		第2評価点	周方向	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T2\phi rV} = 2$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 13$	$\sigma_{T2\phi rH} = 35$	$\sigma_{T\phi7} = 1$ $\sigma_{T2\phi7} = 3$		$\sigma_{T22} = 101$
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{Tx rV} = 1$	$\sigma_{T2x rV} = 2$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{Tx rH} = 13$	$\sigma_{T2x rH} = 33$	$\sigma_{Tx7} = 1$ $\sigma_{T2x7} = 2$		
			せん断	—			$\tau_{T3} = 0$	$\tau_{Tc1} = 0$		—		
	S方向	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T2\phi rV} = 2$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 14$	$\sigma_{T2\phi rH} = 38$	—	$\sigma_{T21} = 106$	
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{Tx rV} = 1$	$\sigma_{T2x rV} = 2$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{Tx rH} = 14$	$\sigma_{T2x rH} = 36$	—		
			せん断	—			$\tau_{T3} = 0$	$\tau_{Tc1} = 1$		—		
		第2評価点	周方向	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T2\phi rV} = 2$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 14$	$\sigma_{T2\phi rH} = 38$	$\sigma_{T\phi7} = 1$ $\sigma_{T2\phi7} = 4$	$\sigma_{T22} = 111$	
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{Tx rV} = 1$	$\sigma_{T2x rV} = 2$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{Tx rH} = 14$	$\sigma_{T2x rH} = 36$	$\sigma_{Tx7} = 1$ $\sigma_{T2x7} = 2$		
			せん断	—			$\tau_{T3} = 0$	$\tau_{Tc1} = 0$		—		

(6) 胴板（振れ止め付根部）に生じる地震動のみによる一次+二次応力（基準地震動 S_s ）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力			水平方向地震による応力			組合せ一次+二次応力(変動値)		
				鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力		転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力			周方向モーメントによる応力	
基準地震動 S_s	W方向	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T2\phi rV} = 2$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 14$	$\sigma_{T2\phi rH} = 36$	—	$\sigma_{T21} = 101$	
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{Tx rV} = 1$	$\sigma_{T2x rV} = 2$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{Tx rH} = 13$	$\sigma_{T2x rH} = 34$	—		
			せん断	—			$\tau_{T3} = 0$	$\tau_{Tc1} = 0$		—		
		第2評価点	周方向	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T2\phi rV} = 2$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 14$	$\sigma_{T2\phi rH} = 36$	$\sigma_{T\phi7} = 1$ $\sigma_{T2\phi7} = 3$		$\sigma_{T22} = 106$
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{Tx rV} = 1$	$\sigma_{T2x rV} = 2$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{Tx rH} = 13$	$\sigma_{T2x rH} = 34$	$\sigma_{Tx7} = 1$ $\sigma_{T2x7} = 2$		
			せん断	—			$\tau_{T3} = 0$	$\tau_{Tc1} = 0$		—		
	S方向	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T2\phi rV} = 2$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 15$	$\sigma_{T2\phi rH} = 41$	—	$\sigma_{T21} = 113$	
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{Tx rV} = 1$	$\sigma_{T2x rV} = 2$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{Tx rH} = 15$	$\sigma_{T2x rH} = 39$	—		
			せん断	—			$\tau_{T3} = 0$	$\tau_{Tc1} = 1$		—		
		第2評価点	周方向	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T2\phi rV} = 2$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 15$	$\sigma_{T2\phi rH} = 41$	$\sigma_{T\phi7} = 1$ $\sigma_{T2\phi7} = 4$	$\sigma_{T22} = 119$	
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{Tx rV} = 1$	$\sigma_{T2x rV} = 2$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{Tx rH} = 15$	$\sigma_{T2x rH} = 39$	$\sigma_{Tx7} = 1$ $\sigma_{T2x7} = 2$		
			せん断	—			$\tau_{T3} = 0$	$\tau_{Tc1} = 0$		—		

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

1.3.3 ラグに生じる応力

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	運転時質量による応力		水平方向地震による応力		鉛直方向地震による応力		組合せ応力
		曲げ	せん断	曲げ	せん断	曲げ	せん断	
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	$\sigma_{LS1} = 3$	$\tau_{LS1} = 5$	$\sigma_{LS2} = 4$	$\tau_{LS2} = 7$	$\sigma_{LS7} = 4$	$\tau_{LS7} = 7$	$\sigma_{LS} = 27$
	N S 方向	$\sigma_{LS1} = 3$	$\tau_{LS1} = 5$	$\sigma_{LS2} = 4$	$\tau_{LS2} = 8$	$\sigma_{LS7} = 4$	$\tau_{LS7} = 7$	$\sigma_{LS} = 28$
基準地震動 S_s	E W 方向	$\sigma_{LS1} = 3$	$\tau_{LS1} = 5$	$\sigma_{LS2} = 4$	$\tau_{LS2} = 8$	$\sigma_{LS7} = 4$	$\tau_{LS7} = 9$	$\sigma_{LS} = 30$
	N S 方向	$\sigma_{LS1} = 3$	$\tau_{LS1} = 5$	$\sigma_{LS2} = 5$	$\tau_{LS2} = 9$	$\sigma_{LS7} = 4$	$\tau_{LS7} = 9$	$\sigma_{LS} = 30$

1.3.4 振れ止めに生じる応力

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	運転時質量と地震による応力			組合せ応力
		引張り	せん断	曲げ	
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	$\sigma_{TS1} = 11$	$\tau_{TS1} = 1$	$\sigma_{TS2} = 2$	$\sigma_{TS} = 12$
	N S 方向	$\sigma_{TS1} = 12$	$\tau_{TS1} = 1$	$\sigma_{TS2} = 2$	$\sigma_{TS} = 13$
基準地震動 S_s	E W 方向	$\sigma_{TS1} = 11$	$\tau_{TS1} = 1$	$\sigma_{TS2} = 2$	$\sigma_{TS} = 13$
	N S 方向	$\sigma_{TS1} = 12$	$\tau_{TS1} = 1$	$\sigma_{TS2} = 2$	$\sigma_{TS} = 14$

1.3.5 取付ボルト (ラグ部) に生じる応力

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	$\sigma_{Lb} = 355$	—
	N S 方向	$\sigma_{Lb} = 358$	—
基準地震動 S_s	E W 方向	$\sigma_{Lb} = 401$	—
	N S 方向	$\sigma_{Lb} = 405$	—

1.3.6 取付ボルト (振れ止め部) に生じる応力

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	$\sigma_{Tb} = 60$	$\tau_{Tb} = 1$
	N S 方向	$\sigma_{Tb} = 66$	$\tau_{Tb} = 2$
基準地震動 S_s	E W 方向	$\sigma_{Tb} = 62$	$\tau_{Tb} = 2$
	N S 方向	$\sigma_{Tb} = 71$	$\tau_{Tb} = 2$

1.3.7 シアーラグに生じる応力

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	—	$\tau_s = 12$
	N S 方向	—	$\tau_s = 13$
基準地震動 S_s	E W 方向	—	$\tau_s = 13$
	N S 方向	—	$\tau_s = 14$

1.4. 結論 (A号機)

1.4.1 固有周期

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1次		
2次		
3次		
4次		
5次		

1.4.2 応力

(単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板 (ラグ付根部)	SB410	一次一般膜	$\sigma_{L0} = 93$	$S_a = 180$	$\sigma_{L0} = 93$	$S_a = 234$
		一 次	$\sigma_{L1} = 108$	$S_a = 270$	$\sigma_{L1} = 110$	$S_a = 351$
		一次+二次	$\sigma_{L2} = 73$	$S_a = 360$	$\sigma_{L2} = 84$	$S_a = 360$
胴 板 (振れ止め 付根部)	SB410	一次一般膜	$\sigma_{T0} = 65$	$S_a = 180$	$\sigma_{T0} = 65$	$S_a = 234$
		一 次	$\sigma_{T1} = 80$	$S_a = 270$	$\sigma_{T1} = 81$	$S_a = 351$
		一次+二次	$\sigma_{T2} = 111$	$S_a = 360$	$\sigma_{T2} = 119$	$S_a = 360$
ラ グ	SM400A	組 合 せ	$\sigma_{Ls} = 28$	$f_{Lt} = 160$	$\sigma_{Ls} = 30$	$f_{Lt} = 192$
振れ止め	SM400A	組 合 せ	$\sigma_{Ts} = 13$	$f_{Tt} = 173$	$\sigma_{Ts} = 14$	$f_{Tt} = 207$
取付ボルト (ラグ部)	SCM435	引 張 り	$\sigma_{Lb} = 358$	$f_{Lto} = 475$	$\sigma_{Lb} = 405$	$f_{Lto} = 475$
取付ボルト (振れ止め部)	SCM435	引 張 り	$\sigma_{Tb} = 66$	$f_{Tts} = 475^*$	$\sigma_{Tb} = 71$	$f_{Tts} = 475^*$
		せ ん 断	$\tau_{Tb} = 2$	$f_{Tsb} = 366$	$\tau_{Tb} = 2$	$f_{Tsb} = 366$
シアーラグ	SM400A	せ ん 断	$\tau_{Ss} = 13$	$f_{Ssb} = 121$	$\tau_{Ss} = 14$	$f_{Ssb} = 146$

すべて許容応力以下である。

注記 * : $f_{Tts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{Tto} - 1.6 \cdot \tau_{Tb}, f_{Tto}]$ より算出

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

【残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算結果】

2. 設計基準対象施設 残留熱除去系熱交換器B号機

2.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
残留熱除去系熱交換器 B号機	S	原子炉建屋 EL. 2.0 *1			$C_H=0.63$ 又は*2	$C_V=0.50$ 又は*2	$C_H=0.73$ 又は*3	$C_V=0.64$ 又は*3	3.45	249	

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 弾性設計用地震動 S_d に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*3: 基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

2.2 機器要目

m_o (kg)	D_i (mm)	t_L (mm)	t_T (mm)	C_{L1} (mm)	C_{L2} (mm)	C_{T1} (mm)	C_{T2} (mm)	A_{Ls1} (mm ²)	A_{Ls2} (mm ²)	A_{Ts} (mm ²)	A_T (mm ²)	A_s (mm ²)	Z_{Lsp} (mm ³)	Z_{Lsl} (mm ³)

Z_{Lst} (mm ³)	Z_{Ts} (mm ³)	k_{L1}	k_{L2}	k_{Lc1}	k_{Lc2}	k_{Tc1}	k_{Tc2}	C_{L1}	C_{L2}	C_{Lc1}	C_{Lc2}	C_{Tc1}	C_{Tc2}	n_L	n_T

a_L (mm)	b_L (mm)	c_L (mm)	a_T (mm)	d_T (mm)	A_{Lb} (mm ²)	A_{Tb} (mm ²)

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S_y (ラグ) (MPa)	S_u (ラグ) (MPa)	F (ラグ) (MPa)	F^* (ラグ) (MPa)
180 *1	391 *1	—	160 *1	373 *1	160	192

S_y (振れ止め) (MPa)	S_u (振れ止め) (MPa)	F (振れ止め) (MPa)	F^* (振れ止め) (MPa)	S_y (取付ボルト) ^{*2} (MPa)	S_u (取付ボルト) ^{*2} (MPa)	F (取付ボルト) ^{*2} (MPa)	F^* (取付ボルト) ^{*2} (MPa)	S_y (シアールラグ) (MPa)	S_u (シアールラグ) (MPa)	F (シアールラグ) (MPa)	F^* (シアールラグ) (MPa)
173 *1	373 *1	173	207	764 *3	906 *3	634	634	211 *3	394 *3	211	253

注記 *1: 最高使用温度で算出

*2: ラグ部と振れ止め部は同一値

*3: 周囲環境温度で算出

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

2.3 計算数値 (B号機)

2.3.1 胴板 (ラグ付根部) に生じる応力

(1) 胴板 (ラグ付根部) に生じる一次一般膜応力 (弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度)

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	—	—	—	—	$\sigma_{L0} = 93$
		軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	—	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx11} = 3$	
		せん断	—	—	—	—	—	
	N S 方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	—	—	—	—	$\sigma_{L0} = 93$
		軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	—	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx11} = 3$	
		せん断	—	—	—	—	—	

(2) 胴板 (ラグ付根部) に生じる一次一般膜応力 (基準地震動 S_s)

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
基準地震動 S_s	E W 方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	—	—	—	—	$\sigma_{L0} = 93$
		軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	—	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx11} = 3$	
		せん断	—	—	—	—	—	
	N S 方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	—	—	—	—	$\sigma_{L0} = 93$
		軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	—	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx11} = 3$	
		せん断	—	—	—	—	—	

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

(3) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次応力（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ 一次応力	
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力		
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	—	—	$\sigma_{L\phi 3} = 5$	—	$\sigma_{L\phi 5} = 6$	—	—	$\sigma_{L\phi 12} = 6$	$\sigma_{L11} = 106$	
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	—	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx3} = 3$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 4$	—	$\sigma_{Lx11} = 3$	$\sigma_{Lx12} = 4$		
			せん断	—	—	—	—	$\tau_{Lc1} = 3$	$\tau_{L3} = 0$	—	—	—		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	—	—	—	—	—	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	—	—		$\sigma_{L12} = 95$
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	—	$\sigma_{Lx2} = 4$	—	$\sigma_{Lx4} = 4$	—	$\sigma_{Lx7} = 2$	$\sigma_{Lx11} = 3$	—		
			せん断	—	—	$\tau_{L11} = 4$	—	$\tau_{L12} = 2$	$\tau_{L3} = 0$	—	$\tau_{L6} = 4$	—		
	N S 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	—	—	$\sigma_{L\phi 3} = 5$	—	$\sigma_{L\phi 5} = 7$	—	—	$\sigma_{L\phi 12} = 6$	$\sigma_{L11} = 107$	
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	—	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx3} = 3$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 4$	—	$\sigma_{Lx11} = 3$	$\sigma_{Lx12} = 4$		
			せん断	—	—	—	—	$\tau_{Lc1} = 4$	$\tau_{L3} = 0$	—	—	—		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	—	—	—	—	—	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	—	—	$\sigma_{L12} = 95$	
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	—	$\sigma_{Lx2} = 4$	—	$\sigma_{Lx4} = 4$	—	$\sigma_{Lx7} = 2$	$\sigma_{Lx11} = 3$	—		
			せん断	—	—	$\tau_{L11} = 4$	—	$\tau_{L12} = 2$	$\tau_{L3} = 0$	—	$\tau_{L6} = 4$	—		

(4) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次応力（基準地震動 S_s ）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ 一次応力	
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力		
基準地震動 S_s	E W 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	—	—	$\sigma_{L\phi 3} = 5$	—	$\sigma_{L\phi 5} = 7$	—	—	$\sigma_{L\phi 12} = 7$	$\sigma_{L11} = 108$	
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	—	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx3} = 3$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 4$	—	$\sigma_{Lx11} = 3$	$\sigma_{Lx12} = 4$		
			せん断	—	—	—	—	$\tau_{Lc1} = 4$	$\tau_{L3} = 0$	—	—	—		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	—	—	—	—	—	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	—	—		$\sigma_{L12} = 96$
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	—	$\sigma_{Lx2} = 4$	—	$\sigma_{Lx4} = 4$	—	$\sigma_{Lx7} = 3$	$\sigma_{Lx11} = 3$	—		
			せん断	—	—	$\tau_{L11} = 4$	—	$\tau_{L12} = 2$	$\tau_{L3} = 0$	—	$\tau_{L6} = 5$	—		
	N S 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	—	—	$\sigma_{L\phi 3} = 5$	—	$\sigma_{L\phi 5} = 7$	—	—	$\sigma_{L\phi 12} = 7$	$\sigma_{L11} = 108$	
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	—	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx3} = 3$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 4$	—	$\sigma_{Lx11} = 3$	$\sigma_{Lx12} = 4$		
			せん断	—	—	—	—	$\tau_{Lc1} = 4$	$\tau_{L3} = 0$	—	—	—		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	—	—	—	—	—	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	—	—	$\sigma_{L12} = 96$	
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	—	$\sigma_{Lx2} = 4$	—	$\sigma_{Lx4} = 4$	—	$\sigma_{Lx7} = 2$	$\sigma_{Lx11} = 3$	—		
			せん断	—	—	$\tau_{L11} = 4$	—	$\tau_{L12} = 2$	$\tau_{L3} = 0$	—	$\tau_{L6} = 5$	—		

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

(5) 胴板（ラグ付根部）に生じる地震動のみによる一次十二次応力（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力			水平方向地震による応力			組合せ一次十二次応力(変動値)		
				鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力		転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力			周方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	W方向	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{L\phi 12} = 6$	$\sigma_{L2\phi 12} = 8$	—	$\sigma_{L\phi 5} = 6$	$\sigma_{L2\phi 5} = 8$	—	$\sigma_{L21} = 58$	
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 3$	$\sigma_{Lx12} = 4$	$\sigma_{L2x12} = 13$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 4$	$\sigma_{L2x5} = 14$	—		
			せん断	—			$\tau_{L3} = 0$	$\tau_{Lc1} = 3$		—		
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	$\sigma_{L2\phi 7} = 8$	—		$\sigma_{L22} = 24$
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 3$	—	—	$\sigma_{Lx4} = 4$	—	$\sigma_{Lx7} = 2$	$\sigma_{L2x7} = 3$		
			せん断	$\tau_{L16} = 4$			$\tau_{L3} = 0$	$\tau_{L12} = 2$		—		
	S方向	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{L\phi 12} = 6$	$\sigma_{L2\phi 12} = 8$	—	$\sigma_{L\phi 5} = 7$	$\sigma_{L2\phi 5} = 9$	—	$\sigma_{L21} = 62$	
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 3$	$\sigma_{Lx12} = 4$	$\sigma_{L2x12} = 13$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 4$	$\sigma_{L2x5} = 16$	—		
			せん断	—			$\tau_{L3} = 0$	$\tau_{Lc1} = 4$		—		
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	$\sigma_{L2\phi 7} = 7$	—		$\sigma_{L22} = 24$
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 3$	—	—	$\sigma_{Lx4} = 4$	—	$\sigma_{Lx7} = 2$	$\sigma_{L2x7} = 3$		
			せん断	$\tau_{L16} = 4$			$\tau_{L3} = 0$	$\tau_{L12} = 2$		—		

(6) 胴板（ラグ付根部）に生じる地震動のみによる一次十二次応力（基準地震動 S_s ）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力			水平方向地震による応力			組合せ一次十二次応力(変動値)		
				鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力		転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力			周方向モーメントによる応力	
基準地震動 S_s	W方向	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{L\phi 12} = 7$	$\sigma_{L2\phi 12} = 9$	—	$\sigma_{L\phi 5} = 7$	$\sigma_{L2\phi 5} = 9$	—	$\sigma_{L21} = 67$	
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 3$	$\sigma_{Lx12} = 4$	$\sigma_{L2x12} = 17$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 4$	$\sigma_{L2x5} = 15$	—		
			せん断	—			$\tau_{L3} = 0$	$\tau_{Lc1} = 4$		—		
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	$\sigma_{L2\phi 7} = 9$	—		$\sigma_{L22} = 29$
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 3$	—	—	$\sigma_{Lx4} = 4$	—	$\sigma_{Lx7} = 3$	$\sigma_{L2x7} = 4$		
			せん断	$\tau_{L16} = 5$			$\tau_{L3} = 0$	$\tau_{L12} = 2$		—		
	S方向	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{L\phi 12} = 7$	$\sigma_{L2\phi 12} = 9$	—	$\sigma_{L\phi 5} = 7$	$\sigma_{L2\phi 5} = 10$	—	$\sigma_{L21} = 71$	
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 3$	$\sigma_{Lx12} = 4$	$\sigma_{L2x12} = 17$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 4$	$\sigma_{L2x5} = 17$	—		
			せん断	—			$\tau_{L3} = 0$	$\tau_{Lc1} = 4$		—		
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	$\sigma_{L2\phi 7} = 8$	—		$\sigma_{L22} = 28$
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 3$	—	—	$\sigma_{Lx4} = 4$	—	$\sigma_{Lx7} = 2$	$\sigma_{L2x7} = 4$		
			せん断	$\tau_{L16} = 5$			$\tau_{L3} = 0$	$\tau_{L12} = 2$		—		

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

2.3.2 胴板（振れ止め付根部）に生じる応力

(1) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次一般膜応力（弾性設計用地震動 S_a 又は静的震度）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次 一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
弾性設計用地震動 S_a 又は 静的震度	E W 方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	—	—	—	—	$\sigma_{T0} = 65$
		軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	—	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 3$	$\sigma_{Tx11} = 2$	
		せん断	—	—	—	—	—	
	N S 方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	—	—	—	—	$\sigma_{T0} = 65$
		軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	—	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 3$	$\sigma_{Tx11} = 2$	
		せん断	—	—	—	—	—	

(2) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次一般膜応力（基準地震動 S_s ）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次 一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
基準地震動 S_s	E W 方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	—	—	—	—	$\sigma_{T0} = 65$
		軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	—	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{Tx11} = 2$	
		せん断	—	—	—	—	—	
	N S 方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	—	—	—	—	$\sigma_{T0} = 65$
		軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	—	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{Tx11} = 2$	
		せん断	—	—	—	—	—	

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

(3) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次応力（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ 一次応力	
						自重による応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力		
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	—	—	$\sigma_{T\phi r\theta} = 1$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 14$	—	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T11} = 80$	
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	—	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Txr\theta} = 1$	$\sigma_{Tx4} = 3$	$\sigma_{TxrH} = 14$	—	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	—	—	—	—	$\tau_{Tc1} = 3$	$\tau_{T3} = 0$	—	—			
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	—	—	$\sigma_{T\phi r\theta} = 1$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 14$	$\sigma_{T\phi 7} = 3$	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$		$\sigma_{T12} = 82$
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	—	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Txr\theta} = 1$	$\sigma_{Tx4} = 3$	$\sigma_{TxrH} = 14$	$\sigma_{Tx7} = 6$	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	—	—	—	—	$\tau_{T3} = 0$	—	—				
	N S 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	—	—	$\sigma_{T\phi r\theta} = 1$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 16$	—	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T11} = 81$	
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	—	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Txr\theta} = 1$	$\sigma_{Tx4} = 3$	$\sigma_{TxrH} = 16$	—	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	—	—	—	—	$\tau_{Tc1} = 3$	$\tau_{T3} = 0$	—	—			
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	—	—	$\sigma_{T\phi r\theta} = 1$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 16$	$\sigma_{T\phi 7} = 3$	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T12} = 84$	
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	—	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Txr\theta} = 1$	$\sigma_{Tx4} = 3$	$\sigma_{TxrH} = 16$	$\sigma_{Tx7} = 5$	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	—	—	—	—	$\tau_{T3} = 0$	—	—				

(4) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次応力（基準地震動 S_s ）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ 一次応力	
						自重による応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力		
基準地震動 S_s	E W 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	—	—	$\sigma_{T\phi r\theta} = 1$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 15$	—	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T11} = 81$	
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	—	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Txr\theta} = 1$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{TxrH} = 15$	—	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	—	—	—	—	$\tau_{Tc1} = 3$	$\tau_{T3} = 0$	—	—			
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	—	—	$\sigma_{T\phi r\theta} = 1$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 15$	$\sigma_{T\phi 7} = 4$	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$		$\sigma_{T12} = 84$
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	—	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Txr\theta} = 1$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{TxrH} = 15$	$\sigma_{Tx7} = 6$	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	—	—	—	—	$\tau_{T3} = 0$	—	—				
	N S 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	—	—	$\sigma_{T\phi r\theta} = 1$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 17$	—	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T11} = 82$	
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	—	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Txr\theta} = 1$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{TxrH} = 16$	—	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	—	—	—	—	$\tau_{Tc1} = 3$	$\tau_{T3} = 0$	—	—			
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	—	—	$\sigma_{T\phi r\theta} = 1$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 17$	$\sigma_{T\phi 7} = 4$	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T12} = 85$	
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	—	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Txr\theta} = 1$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{TxrH} = 16$	$\sigma_{Tx7} = 6$	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	—	—	—	—	$\tau_{T3} = 0$	—	—				

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

(5) 胴板（振れ止め付根部）に生じる地震動のみによる一次+二次応力（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力			水平方向地震による応力			組合せ一次+二次応力(変動値)			
				鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力		転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力			周方向モーメントによる応力		
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	W方向	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T2\phi rV} = 3$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 14$	$\sigma_{T2\phi rH} = 38$	—	$\sigma_{T21} = 110$		
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{Tx rV} = 1$	$\sigma_{T2x rV} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 3$	$\sigma_{Tx rH} = 14$	$\sigma_{T2x rH} = 36$	—			
			せん断	—			$\tau_{T3} = 0$	$\tau_{Tc1} = 3$		—			
		第2評価点	周方向	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T2\phi rV} = 3$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 14$	$\sigma_{T2\phi rH} = 38$	$\sigma_{T\phi7} = 3$		$\sigma_{T2\phi7} = 26$	$\sigma_{T22} = 161$
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{Tx rV} = 1$	$\sigma_{T2x rV} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 3$	$\sigma_{Tx rH} = 14$	$\sigma_{T2x rH} = 36$	$\sigma_{Tx7} = 6$		$\sigma_{T2x7} = 14$	
			せん断	—			$\tau_{T3} = 0$	—		—			
	S方向	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T2\phi rV} = 3$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 16$	$\sigma_{T2\phi rH} = 42$	—	$\sigma_{T21} = 121$		
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{Tx rV} = 1$	$\sigma_{T2x rV} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 3$	$\sigma_{Tx rH} = 16$	$\sigma_{T2x rH} = 41$	—			
			せん断	—			$\tau_{T3} = 0$	$\tau_{Tc1} = 3$		—			
		第2評価点	周方向	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T2\phi rV} = 3$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 16$	$\sigma_{T2\phi rH} = 42$	$\sigma_{T\phi7} = 3$	$\sigma_{T2\phi7} = 24$	$\sigma_{T22} = 169$	
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{Tx rV} = 1$	$\sigma_{T2x rV} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 3$	$\sigma_{Tx rH} = 16$	$\sigma_{T2x rH} = 41$	$\sigma_{Tx7} = 5$	$\sigma_{T2x7} = 13$		
			せん断	—			$\tau_{T3} = 0$	—		—			

(6) 胴板（振れ止め付根部）に生じる地震動のみによる一次+二次応力（基準地震動 S_s ）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力			水平方向地震による応力			組合せ一次+二次応力(変動値)			
				鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力		転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力			周方向モーメントによる応力		
基準地震動 S_s	W方向	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T2\phi rV} = 3$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 15$	$\sigma_{T2\phi rH} = 40$	—	$\sigma_{T21} = 117$		
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{Tx rV} = 1$	$\sigma_{T2x rV} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{Tx rH} = 15$	$\sigma_{T2x rH} = 38$	—			
			せん断	—			$\tau_{T3} = 0$	$\tau_{Tc1} = 3$		—			
		第2評価点	周方向	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T2\phi rV} = 3$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 15$	$\sigma_{T2\phi rH} = 40$	$\sigma_{T\phi7} = 4$		$\sigma_{T2\phi7} = 31$	$\sigma_{T22} = 177$
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{Tx rV} = 1$	$\sigma_{T2x rV} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{Tx rH} = 15$	$\sigma_{T2x rH} = 38$	$\sigma_{Tx7} = 6$		$\sigma_{T2x7} = 16$	
			せん断	—			$\tau_{T3} = 0$	—		—			
	S方向	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T2\phi rV} = 3$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 17$	$\sigma_{T2\phi rH} = 45$	—	$\sigma_{T21} = 129$		
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{Tx rV} = 1$	$\sigma_{T2x rV} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{Tx rH} = 16$	$\sigma_{T2x rH} = 43$	—			
			せん断	—			$\tau_{T3} = 0$	$\tau_{Tc1} = 3$		—			
		第2評価点	周方向	—	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T2\phi rV} = 3$	—	$\sigma_{T\phi rH} = 17$	$\sigma_{T2\phi rH} = 45$	$\sigma_{T\phi7} = 4$	$\sigma_{T2\phi7} = 28$	$\sigma_{T22} = 185$	
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{Tx rV} = 1$	$\sigma_{T2x rV} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{Tx rH} = 16$	$\sigma_{T2x rH} = 43$	$\sigma_{Tx7} = 6$	$\sigma_{T2x7} = 15$		
			せん断	—			$\tau_{T3} = 0$	—		—			

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

2.3.3 ラグに生じる応力

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	運転時質量による応力		水平方向地震による応力		鉛直方向地震による応力		組合せ応力
		曲げ	せん断	曲げ	せん断	曲げ	せん断	
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	$\sigma_{LS1} = 3$	$\tau_{LS1} = 5$	$\sigma_{LS2} = 4$	$\tau_{LS2} = 6$	$\sigma_{LS7} = 3$	$\tau_{LS7} = 6$	$\sigma_{LS} = 23$
	N S 方向	$\sigma_{LS1} = 3$	$\tau_{LS1} = 5$	$\sigma_{LS2} = 4$	$\tau_{LS2} = 7$	$\sigma_{LS7} = 3$	$\tau_{LS7} = 6$	$\sigma_{LS} = 24$
基準地震動 S_s	E W 方向	$\sigma_{LS1} = 3$	$\tau_{LS1} = 5$	$\sigma_{LS2} = 4$	$\tau_{LS2} = 7$	$\sigma_{LS7} = 4$	$\tau_{LS7} = 7$	$\sigma_{LS} = 26$
	N S 方向	$\sigma_{LS1} = 3$	$\tau_{LS1} = 5$	$\sigma_{LS2} = 4$	$\tau_{LS2} = 8$	$\sigma_{LS7} = 4$	$\tau_{LS7} = 7$	$\sigma_{LS} = 26$

2.3.4 振れ止めに生じる応力

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	運転時質量と地震による応力			組合せ応力
		引張り	せん断	曲げ	
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	$\sigma_{TS1} = 12$	$\tau_{TS1} = 21$	$\sigma_{TS2} = 12$	$\sigma_{TS} = 43$
	N S 方向	$\sigma_{TS1} = 13$	$\tau_{TS1} = 20$	$\sigma_{TS2} = 11$	$\sigma_{TS} = 41$
基準地震動 S_s	E W 方向	$\sigma_{TS1} = 12$	$\tau_{TS1} = 25$	$\sigma_{TS2} = 14$	$\sigma_{TS} = 50$
	N S 方向	$\sigma_{TS1} = 14$	$\tau_{TS1} = 23$	$\sigma_{TS2} = 13$	$\sigma_{TS} = 48$

2.3.5 取付ボルト (ラグ部) に生じる応力

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	$\sigma_{Lb} = 311$	—
	N S 方向	$\sigma_{Lb} = 315$	—
基準地震動 S_s	E W 方向	$\sigma_{Lb} = 348$	—
	N S 方向	$\sigma_{Lb} = 352$	—

2.3.6 取付ボルト (振れ止め部) に生じる応力

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	$\sigma_{Tb} = 183$	$\tau_{Tb} = 30$
	N S 方向	$\sigma_{Tb} = 178$	$\tau_{Tb} = 28$
基準地震動 S_s	E W 方向	$\sigma_{Tb} = 210$	$\tau_{Tb} = 35$
	N S 方向	$\sigma_{Tb} = 204$	$\tau_{Tb} = 33$

2.3.7 シアーラグに生じる応力

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	—	$\tau_s = 11$
	N S 方向	—	$\tau_s = 12$
基準地震動 S_s	E W 方向	—	$\tau_s = 11$
	N S 方向	—	$\tau_s = 12$

2.4 結 論 (B号機)

2.4.1 固有周期

モ ー ド	固 有 周 期 (s)	卓 越 方 向
1次		
2次		
3次		
4次		
5次		
6次		

2.4.2 応 力

(単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板 (ラグ付根部)	SB410	一次一般膜	$\sigma_{L0} = 93$	$S_a = 180$	$\sigma_{L0} = 93$	$S_a = 234$
		一 次	$\sigma_{L1} = 107$	$S_a = 270$	$\sigma_{L1} = 108$	$S_a = 351$
		一次+二次	$\sigma_{L2} = 62$	$S_a = 360$	$\sigma_{L2} = 71$	$S_a = 360$
胴 板 (振れ止め 付根部)	SB410	一次一般膜	$\sigma_{T0} = 65$	$S_a = 180$	$\sigma_{T0} = 65$	$S_a = 234$
		一 次	$\sigma_{T1} = 84$	$S_a = 270$	$\sigma_{T1} = 85$	$S_a = 351$
		一次+二次	$\sigma_{T2} = 169$	$S_a = 360$	$\sigma_{T2} = 185$	$S_a = 360$
ラ グ	SM400A	組 合 せ	$\sigma_{Ls} = 24$	$f_{Lt} = 160$	$\sigma_{Ls} = 26$	$f_{Lt} = 192$
振れ止め	SM400A	組 合 せ	$\sigma_{Ts} = 43$	$f_{Tt} = 173$	$\sigma_{Ts} = 50$	$f_{Tt} = 207$
取付ボルト (ラグ部)	SCM435	引 張 り	$\sigma_{Lb} = 315$	$f_{Lto} = 475$	$\sigma_{Lb} = 352$	$f_{Lto} = 475$
取付ボルト (振れ止め部)	SCM435	引 張 り	$\sigma_{Tb} = 183$	$f_{Tts} = 475^*$	$\sigma_{Tb} = 210$	$f_{Tts} = 475^*$
		せ ん 断	$\tau_{Tb} = 30$	$f_{Tsb} = 366$	$\tau_{Tb} = 35$	$f_{Tsb} = 366$
シアーラグ	SM400A	せ ん 断	$\tau_{Ss} = 12$	$f_{Ssb} = 121$	$\tau_{Ss} = 12$	$f_{Ssb} = 146$

すべて許容応力以下である。

注記 * : $f_{Tts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{Tto} - 1.6 \cdot \tau_{Tb}, f_{Tto}]$ より算出

【残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算結果】

3. 重大事故等対処設備 残留熱除去系熱交換器 A号機

3.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
残留熱除去系熱交換器 A号機	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 EL. 2.0 *1			-	-	C _H =0.73 又は*2	C _V =0.64 又は*2	3.45	249	

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

3.2 機器要目

m _o (kg)	D _i (mm)	t _L (mm)	t _T (mm)	C _{L1} (mm)	C _{L2} (mm)	C _{T1} (mm)	C _{T2} (mm)	A _{LS1} (mm ²)	A _{LS2} (mm ²)	A _{TS} (mm ²)	A _T (mm ²)	A _S (mm ²)	Z _{LSp} (mm ³)	Z _{LSl} (mm ³)

Z _{LS t} (mm ³)	Z _{TS} (mm ³)	k _{L1}	k _{L2}	k _{Lc1}	k _{Lc2}	k _{Tc1}	k _{Tc2}	C _{L1}	C _{L2}	C _{Lc1}	C _{Lc2}	C _{Tc1}	C _{Tc2}	n _L	n _T

a _L (mm)	b _L (mm)	c _L (mm)	a _T (mm)	d _T (mm)	A _{Lb} (mm ²)	A _{Tb} (mm ²)

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (ラグ) (MPa)	S _u (ラグ) (MPa)	F (ラグ) (MPa)	F* (ラグ) (MPa)
180 *1	391 *1	-	160 *1	373 *1	-	192

S _y (振れ止め) (MPa)	S _u (振れ止め) (MPa)	F (振れ止め) (MPa)	F* (振れ止め) (MPa)	S _y (取付ボルト) ^{*2} (MPa)	S _u (取付ボルト) ^{*2} (MPa)	F (取付ボルト) ^{*2} (MPa)	F* (取付ボルト) ^{*2} (MPa)	S _y (シアーラグ) (MPa)	S _u (シアーラグ) (MPa)	F (シアーラグ) (MPa)	F* (シアーラグ) (MPa)
173 *1	373 *1	-	207	685 *3	847 *3	-	592	194 *3	373 *3	-	232

注記 *1: 最高使用温度で算出

*2: ラグ部と振れ止め部は同一値

*3: 周囲環境温度で算出

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

3.3 計算数値 (A号機)

3.3.1 胴板 (ラグ付根部) に生じる応力

(1) 胴板 (ラグ付根部) に生じる一次一般膜応力 (弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度)

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力	
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力		
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	周方向	-	-	-	-	-	-	
		軸方向	-	-	-	-	-		
		せん断	-	-	-	-	-		
	N S 方向	周方向	-	-	-	-	-		-
		軸方向	-	-	-	-	-		
		せん断	-	-	-	-	-		

(2) 胴板 (ラグ付根部) に生じる一次一般膜応力 (基準地震動 S_s)

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力	
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力		
基準地震動 S_s	E W 方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	-	-	-	-	$\sigma_{L0} = 93$	
		軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	-	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx11} = 4$		
		せん断	-	-	-	-	-		
	N S 方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	-	-	-	-		$\sigma_{L0} = 93$
		軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	-	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx4} = 5$	$\sigma_{Lx11} = 4$		
		せん断	-	-	-	-	-		

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

(3) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次応力（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ応力	
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力		
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	W方向	第1評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			軸方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			せん断	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		第2評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-
			軸方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			せん断	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	S方向	第1評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			軸方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			せん断	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		第2評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-
			軸方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			せん断	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

(4) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次応力（基準地震動 S_s ）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ応力	
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力		
基準地震動 S_s	W方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	-	-	$\sigma_{L\phi 3} = 5$	-	$\sigma_{L\phi 5} = 8$	-	-	$\sigma_{L\phi 12} = 9$	$\sigma_{L11} = 110$	
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	-	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx3} = 3$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 5$	-	$\sigma_{Lx11} = 4$	$\sigma_{Lx12} = 5$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{Lc1} = 4$	$\tau_{L3} = 0$	-	-	-		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	-	-	-	-	-	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	-	-		$\sigma_{L12} = 96$
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	-	$\sigma_{Lx2} = 4$	-	$\sigma_{Lx4} = 4$	-	$\sigma_{Lx7} = 1$	$\sigma_{Lx11} = 4$	-		
			せん断	-	-	$\tau_{L1} = 4$	-	$\tau_{L12} = 2$	$\tau_{L3} = 0$	-	$\tau_{L16} = 6$	-		
	S方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	-	-	$\sigma_{L\phi 3} = 5$	-	$\sigma_{L\phi 5} = 9$	-	-	$\sigma_{L\phi 12} = 9$	$\sigma_{L11} = 110$	
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	-	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx3} = 3$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 5$	-	$\sigma_{Lx11} = 4$	$\sigma_{Lx12} = 5$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{Lc1} = 4$	$\tau_{L3} = 0$	-	-	-		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	-	-	-	-	-	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	-	-		$\sigma_{L12} = 96$
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	-	$\sigma_{Lx2} = 4$	-	$\sigma_{Lx4} = 4$	-	$\sigma_{Lx7} = 1$	$\sigma_{Lx11} = 4$	-		
			せん断	-	-	$\tau_{L1} = 4$	-	$\tau_{L12} = 2$	$\tau_{L3} = 0$	-	$\tau_{L16} = 6$	-		

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

(5) 胴板（ラグ付根部）に生じる地震動のみによる一次十二次応力（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力			水平方向地震による応力			組合せ一次十二次応力(変動値)
				鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力		
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	W方向	第1評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-
			軸方向	-	-	-	-	-		
			せん断	-			-			
		第2評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	
			軸方向	-	-	-	-	-	-	
			せん断	-			-			
	S方向	第1評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-
			軸方向	-	-	-	-	-		
			せん断	-			-			
		第2評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	
			軸方向	-	-	-	-	-	-	
			せん断	-			-			

(6) 胴板（ラグ付根部）に生じる地震動のみによる一次十二次応力（基準地震動 S_s ）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力			水平方向地震による応力			組合せ一次十二次応力(変動値)		
				鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力				
基準地震動 S_s	W方向	第1評価点	周方向	-	$\sigma_{L\phi 12} = 9$	$\sigma_{L2\phi 12} = 12$	-	$\sigma_{L\phi 5} = 8$	$\sigma_{L2\phi 5} = 10$	-	$\sigma_{L21} = 81$	
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 4$	$\sigma_{Lx12} = 5$	$\sigma_{L2x12} = 21$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 5$	$\sigma_{L2x5} = 18$	-		
			せん断	$\tau_{L3} = 0$			$\tau_{Lc1} = 4$					
		第2評価点	周方向	-	-	-	-	-	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	$\sigma_{L2\phi 7} = 3$		-
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 4$	-	-	$\sigma_{Lx4} = 4$	-	-	$\sigma_{Lx7} = 1$		$\sigma_{L2x7} = 1$
			せん断	$\tau_{L16} = 6$			$\tau_{L3} = 0$			$\tau_{L12} = 2$		
	S方向	第1評価点	周方向	-	$\sigma_{L\phi 12} = 9$	$\sigma_{L2\phi 12} = 12$	-	$\sigma_{L\phi 5} = 9$	$\sigma_{L2\phi 5} = 11$	-	$\sigma_{L21} = 84$	
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 4$	$\sigma_{Lx12} = 5$	$\sigma_{L2x12} = 21$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 5$	$\sigma_{L2x5} = 20$	-		
			せん断	$\tau_{L3} = 0$			$\tau_{Lc1} = 4$					
		第2評価点	周方向	-	-	-	-	-	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	$\sigma_{L2\phi 7} = 4$		-
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 4$	-	-	$\sigma_{Lx4} = 4$	-	-	$\sigma_{Lx7} = 1$		$\sigma_{L2x7} = 2$
			せん断	$\tau_{L16} = 6$			$\tau_{L3} = 0$			$\tau_{L12} = 2$		

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

3.3.2 胴板（振れ止め付根部）に生じる応力

(1) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次一般膜応力（弾性設計用地震動 S_a 又は静的震度）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次 一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
弾性設計用地震動 S_a 又は 静的震度	E W 方向	周方向	—	—	—	—	—	—
		軸方向	—	—	—	—		
		せん断	—	—	—	—		
	N S 方向	周方向	—	—	—	—	—	—
		軸方向	—	—	—	—		
		せん断	—	—	—	—		

(2) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次一般膜応力（基準地震動 S_s ）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次 一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
基準地震動 S_s	E W 方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	—	—	—	—	$\sigma_{T0} = 65$
		軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	—	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{Tx11} = 3$	
		せん断	—	—	—	—	—	
	N S 方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	—	—	—	—	$\sigma_{T0} = 65$
		軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	—	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{Tx11} = 3$	
		せん断	—	—	—	—	—	

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

(3) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次応力（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ力 一次応力	
						自重による応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力		
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	W方向	第1評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			軸方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			せん断	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		第2評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-
			軸方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			せん断	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	S方向	第1評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			軸方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			せん断	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		第2評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			軸方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			せん断	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

(4) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次応力（基準地震動 S_s ）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ力 一次応力	
						自重による応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力		
基準地震動 S_s	W方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	-	-	$\sigma_{T\phi 9} = 0$	-	$\sigma_{T\phi rH} = 14$	-	-	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T11} = 79$	
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	-	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Tx9} = 0$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{TxrH} = 13$	-	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{Tc1} = 0$	$\tau_{T3} = 0$	-	-	-		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	-	-	$\sigma_{T\phi 9} = 0$	-	$\sigma_{T\phi rH} = 14$	$\sigma_{T\phi 7} = 1$	-	$\sigma_{T\phi rV} = 1$		$\sigma_{T12} = 79$
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	-	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Tx9} = 0$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{TxrH} = 13$	$\sigma_{Tx7} = 1$	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{T3} = 0$	-	-	-	-		
	S方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	-	-	$\sigma_{T\phi 9} = 0$	-	$\sigma_{T\phi rH} = 15$	-	-	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T11} = 80$	
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	-	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Tx9} = 0$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{TxrH} = 15$	-	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{Tc1} = 1$	$\tau_{T3} = 0$	-	-	-		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	-	-	$\sigma_{T\phi 9} = 0$	-	$\sigma_{T\phi rH} = 15$	$\sigma_{T\phi 7} = 1$	-	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T12} = 81$	
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	-	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Tx9} = 0$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{TxrH} = 15$	$\sigma_{Tx7} = 1$	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{T3} = 0$	-	-	-	-		

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

(5) 胴板（振れ止め付根部）に生じる地震動のみによる一次+二次応力（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次+二次応力(変動値)
				鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	周方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E	第1評価点	周方向	-	-	-	-	-	-
			軸方向	-	-	-	-	-	
			せん断	-		-			
	W	第2評価点	周方向	-	-	-	-	-	-
			軸方向	-	-	-	-	-	
			せん断	-		-			
	N	第1評価点	周方向	-	-	-	-	-	-
			軸方向	-	-	-	-	-	
			せん断	-		-			
	S	第2評価点	周方向	-	-	-	-	-	-
			軸方向	-	-	-	-	-	
			せん断	-		-			

(6) 胴板（振れ止め付根部）に生じる地震動のみによる一次+二次応力（基準地震動 S_s ）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次+二次応力(変動値)
				鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	周方向モーメントによる応力	
基準地震動 S_s	E	第1評価点	周方向	-	$\sigma_{T\phi r v} = 1$ $\sigma_{T2\phi r v} = 2$	-	$\tau_{T\phi r H} = 14$ $\sigma_{T2\phi r H} = 36$	-	$\sigma_{T21} = 101$
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{Tx r v} = 1$ $\sigma_{T2x r v} = 2$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\tau_{Tx r H} = 13$ $\sigma_{T2x r H} = 34$	-	
			せん断	-		$\tau_{T3} = 0$	$\tau_{Tc1} = 0$		
	W	第2評価点	周方向	-	$\sigma_{T\phi r v} = 1$ $\sigma_{T2\phi r v} = 2$	-	$\tau_{T\phi r H} = 14$ $\sigma_{T2\phi r H} = 36$ $\sigma_{T\phi 7} = 1$ $\sigma_{T2\phi 7} = 3$	-	$\sigma_{T22} = 106$
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{Tx r v} = 1$ $\sigma_{T2x r v} = 2$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\tau_{Tx r H} = 13$ $\sigma_{T2x r H} = 34$ $\sigma_{Tx7} = 1$ $\sigma_{T2x7} = 2$	-	
			せん断	-		$\tau_{T3} = 0$			
	N	第1評価点	周方向	-	$\sigma_{T\phi r v} = 1$ $\sigma_{T2\phi r v} = 2$	-	$\tau_{T\phi r H} = 15$ $\sigma_{T2\phi r H} = 41$	-	$\sigma_{T21} = 113$
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{Tx r v} = 1$ $\sigma_{T2x r v} = 2$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\tau_{Tx r H} = 15$ $\sigma_{T2x r H} = 39$	-	
			せん断	-		$\tau_{T3} = 0$	$\tau_{Tc1} = 1$		
	S	第2評価点	周方向	-	$\sigma_{T\phi r v} = 1$ $\sigma_{T2\phi r v} = 2$	-	$\tau_{T\phi r H} = 15$ $\sigma_{T2\phi r H} = 41$ $\sigma_{T\phi 7} = 1$ $\sigma_{T2\phi 7} = 4$	-	$\sigma_{T22} = 119$
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 3$	$\sigma_{Tx r v} = 1$ $\sigma_{T2x r v} = 2$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\tau_{Tx r H} = 15$ $\sigma_{T2x r H} = 39$ $\sigma_{Tx7} = 1$ $\sigma_{T2x7} = 2$	-	
			せん断	-		$\tau_{T3} = 0$			

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

3.3.3 ラグに生じる応力

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	運転時質量による応力		水平方向地震による応力		鉛直方向地震による応力		組合せ応力
		曲げ	せん断	曲げ	せん断	曲げ	せん断	
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	-	-	-	-	-	-	-
	N S 方向	-	-	-	-	-	-	-
基準地震動 S_s	E W 方向	$\sigma_{Ls1} = 3$	$\tau_{Ls1} = 5$	$\sigma_{Ls2} = 4$	$\tau_{Ls2} = 8$	$\sigma_{Ls7} = 4$	$\tau_{Ls7} = 9$	$\sigma_{Ls} = 30$
	N S 方向	$\sigma_{Ls1} = 3$	$\tau_{Ls1} = 5$	$\sigma_{Ls2} = 5$	$\tau_{Ls2} = 9$	$\sigma_{Ls7} = 4$	$\tau_{Ls7} = 9$	$\sigma_{Ls} = 30$

3.3.4 振れ止めに生じる応力

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	運転時質量と地震による応力			組合せ応力
		引張り	せん断	曲げ	
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	-	-	-	-
	N S 方向	-	-	-	-
基準地震動 S_s	E W 方向	$\sigma_{Ts1} = 11$	$\tau_{Ts1} = 1$	$\sigma_{Ts2} = 2$	$\sigma_{Ts} = 13$
	N S 方向	$\sigma_{Ts1} = 12$	$\tau_{Ts1} = 1$	$\sigma_{Ts2} = 2$	$\sigma_{Ts} = 14$

3.3.5 取付ボルト (ラグ部) に生じる応力

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	-	-
	N S 方向	-	-
基準地震動 S_s	E W 方向	$\sigma_{Lb} = 401$	-
	N S 方向	$\sigma_{Lb} = 405$	-

3.3.6 取付ボルト (振れ止め部) に生じる応力

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	-	-
	N S 方向	-	-
基準地震動 S_s	E W 方向	$\sigma_{Tb} = 62$	$\tau_{Tb} = 2$
	N S 方向	$\sigma_{Tb} = 71$	$\tau_{Tb} = 2$

3.3.7 シアーラグに生じる応力

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	-	-
	N S 方向	-	-
基準地震動 S_s	E W 方向	-	$\tau_s = 13$
	N S 方向	-	$\tau_s = 14$

3.4. 結 論 (A号機)

3.4.1 固有周期

モ ー ド	固 有 周 期 (s)	卓 越 方 向
1次		
2次		
3次		
4次		
5次		

3.4.2 応 力

(単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板 (ラグ付根部)	SB410	一次一般膜	—	—	$\sigma_{L0} = 93$	$S_a = 234$
		一 次	—	—	$\sigma_{L1} = 110$	$S_a = 351$
		一次+二次	—	—	$\sigma_{L2} = 84$	$S_a = 360$
胴 板 (振れ止め 付根部)	SB410	一次一般膜	—	—	$\sigma_{T0} = 65$	$S_a = 234$
		一 次	—	—	$\sigma_{T1} = 81$	$S_a = 351$
		一次+二次	—	—	$\sigma_{T2} = 119$	$S_a = 360$
ラ グ	SM400A	組 合 せ	—	—	$\sigma_{Ls} = 30$	$f_{Lt} = 192$
振れ止め	SM400A	組 合 せ	—	—	$\sigma_{Ts} = 14$	$f_{Tt} = 207$
取付ボルト (ラグ部)	SCM435	引 張 り	—	—	$\sigma_{Lb} = 405$	$f_{Lto} = 444$
取付ボルト (振れ止め部)	SCM435	引 張 り	—	—	$\sigma_{Tb} = 71$	$f_{Tts} = 444^*$
		せ ん 断	—	—	$\tau_{Tb} = 2$	$f_{Tsb} = 341$
シアーラグ	SM400A	せ ん 断	—	—	$\tau_{Ss} = 14$	$f_{Ssb} = 133$

すべて許容応力以下である。

注記 * : $f_{Tts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{Tto} - 1.6 \cdot \tau_{Tb}, f_{Tto}]$ より算出

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

【残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算結果】

4. 重大事故等対処設備 残留熱除去系熱交換器B号機

4.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
残留熱除去系熱交換器 B号機	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 EL. 2.0 *1			-	-	C _H =0.73 又は*2	C _V =0.64 又は*2	3.45	249	

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

4.2 機器要目

m _o (kg)	D _i (mm)	t _L (mm)	t _T (mm)	C _{L1} (mm)	C _{L2} (mm)	C _{T1} (mm)	C _{T2} (mm)	A _{LS1} (mm ²)	A _{LS2} (mm ²)	A _{TS} (mm ²)	A _T (mm ²)	A _S (mm ²)	Z _{LSp} (mm ³)	Z _{LSl} (mm ³)
[Redacted]														

Z _{LS t} (mm ³)	Z _{TS} (mm ³)	k _{L1}	k _{L2}	k _{Lc1}	k _{Lc2}	k _{Tc1}	k _{Tc2}	C _{L1}	C _{L2}	C _{Lc1}	C _{Lc2}	C _{Tc1}	C _{Tc2}	n _L	n _T
[Redacted]															

a _L (mm)	b _L (mm)	c _L (mm)	a _T (mm)	d _T (mm)	A _{Lb} (mm ²)	A _{Tb} (mm ²)
[Redacted]						

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (ラグ) (MPa)	S _u (ラグ) (MPa)	F (ラグ) (MPa)	F* (ラグ) (MPa)
180 *1	391 *1	-	160 *1	373 *1	-	192

S _y (振れ止め) (MPa)	S _u (振れ止め) (MPa)	F (振れ止め) (MPa)	F* (振れ止め) (MPa)	S _y (取付ボルト) ^{*2} (MPa)	S _u (取付ボルト) ^{*2} (MPa)	F (取付ボルト) ^{*2} (MPa)	F* (取付ボルト) ^{*2} (MPa)	S _y (シアーラグ) (MPa)	S _u (シアーラグ) (MPa)	F (シアーラグ) (MPa)	F* (シアーラグ) (MPa)
173 *1	373 *1	-	207	685 *3	847 *3	-	592	194 *3	373 *3	-	232

注記 *1: 最高使用温度で算出

*2: ラグ部と振れ止め部は同一値

*3: 周囲環境温度で算出

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

4.3 計算数値 (B号機)

4.3.1 胴板 (ラグ付根部) に生じる応力

(1) 胴板 (ラグ付根部) に生じる一次一般膜応力 (弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度)

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	周方向	-	-	-	-	-	-
		軸方向	-	-	-	-	-	
		せん断	-	-	-	-	-	
	N S 方向	周方向	-	-	-	-	-	-
		軸方向	-	-	-	-	-	
		せん断	-	-	-	-	-	

(2) 胴板 (ラグ付根部) に生じる一次一般膜応力 (基準地震動 S_s)

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
基準地震動 S_s	E W 方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	-	-	-	-	$\sigma_{L0} = 93$
		軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	-	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx11} = 3$	
		せん断	-	-	-	-	-	
	N S 方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	-	-	-	-	$\sigma_{L0} = 93$
		軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	-	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx11} = 3$	
		せん断	-	-	-	-	-	

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

(3) 胴板 (ラグ付根部) に生じる一次応力 (弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度)

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力	
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力		
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	W 方向	第1評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			軸方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			せん断	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		第2評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-
			軸方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			せん断	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	S 方向	第1評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			軸方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			せん断	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		第2評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-
			軸方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			せん断	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

(4) 胴板 (ラグ付根部) に生じる一次応力 (基準地震動 S_s)

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力	
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力		
基準地震動 S_s	W 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	-	-	$\sigma_{L\phi 3} = 5$	-	$\sigma_{L\phi 5} = 7$	-	-	$\sigma_{L\phi 12} = 7$	$\sigma_{L11} = 108$	
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	-	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx3} = 3$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 4$	-	$\sigma_{Lx11} = 3$	$\sigma_{Lx12} = 4$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{Lc1} = 4$	$\tau_{L3} = 0$	-	-	-		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	-	-	-	-	-	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	-	-		$\sigma_{L12} = 96$
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	-	$\sigma_{Lx2} = 4$	-	$\sigma_{Lx4} = 4$	-	$\sigma_{Lx7} = 3$	$\sigma_{Lx11} = 3$	-		
			せん断	-	-	$\tau_{L1} = 4$	-	$\tau_{L2} = 2$	$\tau_{L3} = 0$	-	$\tau_{L6} = 5$	-		
	S 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	-	-	$\sigma_{L\phi 3} = 5$	-	$\sigma_{L\phi 5} = 7$	-	-	$\sigma_{L\phi 12} = 7$	$\sigma_{L11} = 108$	
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	-	$\sigma_{Lx2} = 4$	$\sigma_{Lx3} = 3$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 4$	-	$\sigma_{Lx11} = 3$	$\sigma_{Lx12} = 4$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{Lc1} = 4$	$\tau_{L3} = 0$	-	-	-		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1} = 93$	-	-	-	-	-	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	-	-		$\sigma_{L12} = 96$
			軸方向	$\sigma_{Lx1} = 47$	-	$\sigma_{Lx2} = 4$	-	$\sigma_{Lx4} = 4$	-	$\sigma_{Lx7} = 2$	$\sigma_{Lx11} = 3$	-		
			せん断	-	-	$\tau_{L1} = 4$	-	$\tau_{L2} = 2$	$\tau_{L3} = 0$	-	$\tau_{L6} = 5$	-		

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

(5) 胴板（ラグ付根部）に生じる地震動のみによる一次十二次応力（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力			水平方向地震による応力			組合せ一次十二次応力(変動値)
				鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力		
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	W方向	第1評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-
			軸方向	-	-	-	-	-		
			せん断	-			-			
		第2評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	
			軸方向	-	-	-	-	-		
			せん断	-			-			
	S方向	第1評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-
			軸方向	-	-	-	-	-		
			せん断	-			-			
		第2評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	
			軸方向	-	-	-	-	-		
			せん断	-			-			

(6) 胴板（ラグ付根部）に生じる地震動のみによる一次十二次応力（基準地震動 S_s ）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力			水平方向地震による応力			組合せ一次十二次応力(変動値)		
				鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力				
基準地震動 S_s	W方向	第1評価点	周方向	-	$\sigma_{L\phi 12} = 7$	$\sigma_{L2\phi 12} = 9$	-	$\sigma_{L\phi 5} = 7$	$\sigma_{L2\phi 5} = 9$	-	$\sigma_{L21} = 67$	
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 3$	$\sigma_{Lx12} = 4$	$\sigma_{L2x12} = 17$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 4$	$\sigma_{L2x5} = 15$	-		
			せん断	-			$\tau_{L3} = 0$	$\tau_{Lc1} = 4$				
		第2評価点	周方向	-	-	-	-	-	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	$\sigma_{L2\phi 7} = 9$		-
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 3$	-	-	$\sigma_{Lx4} = 4$	-	$\sigma_{Lx7} = 3$	$\sigma_{L2x7} = 4$		
			せん断	$\tau_{L16} = 5$			$\tau_{L3} = 0$	$\tau_{L12} = 2$				
	S方向	第1評価点	周方向	-	$\sigma_{L\phi 12} = 7$	$\sigma_{L2\phi 12} = 9$	-	$\sigma_{L\phi 5} = 7$	$\sigma_{L2\phi 5} = 10$	-	$\sigma_{L21} = 71$	
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 3$	$\sigma_{Lx12} = 4$	$\sigma_{L2x12} = 17$	$\sigma_{Lx4} = 4$	$\sigma_{Lx5} = 4$	$\sigma_{L2x5} = 17$	-		
			せん断	-			$\tau_{L3} = 0$	$\tau_{Lc1} = 4$				
		第2評価点	周方向	-	-	-	-	-	$\sigma_{L\phi 7} = 1$	$\sigma_{L2\phi 7} = 8$		-
			軸方向	$\sigma_{Lx11} = 3$	-	-	$\sigma_{Lx4} = 4$	-	$\sigma_{Lx7} = 2$	$\sigma_{L2x7} = 4$		
			せん断	$\tau_{L16} = 5$			$\tau_{L3} = 0$	$\tau_{L12} = 2$				

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

4.3.2 胴板（振れ止め付根部）に生じる応力

(1) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次一般膜応力（弾性設計用地震動 S_a 又は静的震度）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次 一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
弾性設計用地震動 S_a 又は 静的震度	E W 方向	周方向	—	—	—	—	—	—
		軸方向	—	—	—	—		
		せん断	—	—	—	—		
	N S 方向	周方向	—	—	—	—	—	—
		軸方向	—	—	—	—		
		せん断	—	—	—	—		

(2) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次一般膜応力（基準地震動 S_s ）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次 一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
基準地震動 S_s	E W 方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	—	—	—	—	$\sigma_{T0} = 65$
		軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	—	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{Tx11} = 2$	
		せん断	—	—	—	—	—	
	N S 方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	—	—	—	—	$\sigma_{T0} = 65$
		軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	—	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{Tx11} = 2$	
		せん断	—	—	—	—	—	

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

(3) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次応力（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ力 一次応力	
						自重による応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力		
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	W方向	第1評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			軸方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			せん断	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		第2評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-
			軸方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			せん断	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	S方向	第1評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			軸方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			せん断	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		第2評価点	周方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-
			軸方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			せん断	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

(4) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次応力（基準地震動 S_s ）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ力 一次応力	
						自重による応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力		
基準地震動 S_s	W方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	-	-	$\sigma_{T\phi 9} = 1$	-	$\sigma_{T\phi rH} = 15$	-	-	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T11} = 81$	
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	-	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Tx9} = 1$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{TxrH} = 15$	-	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{Tc1} = 3$	$\tau_{T3} = 0$	-	-	-		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	-	-	$\sigma_{T\phi 9} = 1$	-	$\sigma_{T\phi rH} = 15$	$\sigma_{T\phi 7} = 4$	-	$\sigma_{T\phi rV} = 1$		$\sigma_{T12} = 84$
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	-	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Tx9} = 1$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{TxrH} = 15$	$\sigma_{Tx7} = 6$	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{T3} = 0$	-	-	-	-		
	S方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	-	-	$\sigma_{T\phi 9} = 1$	-	$\sigma_{T\phi rH} = 17$	-	-	$\sigma_{T\phi rV} = 1$	$\sigma_{T11} = 82$	
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	-	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Tx9} = 1$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{TxrH} = 16$	-	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{Tc1} = 3$	$\tau_{T3} = 0$	-	-	-		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1} = 65$	-	-	$\sigma_{T\phi 9} = 1$	-	$\sigma_{T\phi rH} = 17$	$\sigma_{T\phi 7} = 4$	-	$\sigma_{T\phi rV} = 1$		$\sigma_{T12} = 85$
			軸方向	$\sigma_{Tx1} = 33$	-	$\sigma_{Tx2} = 3$	$\sigma_{Tx9} = 1$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\sigma_{TxrH} = 16$	$\sigma_{Tx7} = 6$	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{TxrV} = 1$		
			せん断	-	-	-	-	$\tau_{T3} = 0$	-	-	-	-		

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

(5) 胴板（振れ止め付根部）に生じる地震動のみによる一次+二次応力（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次+二次応力(変動値)
				鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	周方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方 向	第1評価点	周方向	-	-	-	-	-	-
			軸方向	-	-	-	-	-	
			せん断	-		-			
		第2評価点	周方向	-	-	-	-	-	
			軸方向	-	-	-	-	-	
			せん断	-		-			
	N S 方 向	第1評価点	周方向	-	-	-	-	-	-
			軸方向	-	-	-	-	-	
			せん断	-		-			
		第2評価点	周方向	-	-	-	-	-	
			軸方向	-	-	-	-	-	
			せん断	-		-			

(6) 胴板（振れ止め付根部）に生じる地震動のみによる一次+二次応力（基準地震動 S_s ）

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次+二次応力(変動値)
				鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	周方向モーメントによる応力	
基準地震動 S_s	E W 方 向	第1評価点	周方向	-	$\sigma_{T\phi r v} = 1$ $\sigma_{T2\phi r v} = 3$	-	$\tau_{T\phi r H} = 15$ $\sigma_{T2\phi r H} = 40$	-	$\sigma_{T21} = 117$
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{Tx r v} = 1$ $\sigma_{T2x r v} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\tau_{Tx r H} = 15$ $\sigma_{T2x r H} = 38$	-	
			せん断	-		$\tau_{T3} = 0$	$\tau_{Tc1} = 3$		
		第2評価点	周方向	-	$\sigma_{T\phi r v} = 1$ $\sigma_{T2\phi r v} = 3$	-	$\tau_{T\phi r H} = 15$ $\sigma_{T2\phi r H} = 40$	$\sigma_{T\phi7} = 4$ $\sigma_{T2\phi7} = 31$	$\sigma_{T22} = 177$
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{Tx r v} = 1$ $\sigma_{T2x r v} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\tau_{Tx r H} = 15$ $\sigma_{T2x r H} = 38$	$\sigma_{Tx7} = 6$ $\sigma_{T2x7} = 16$	
			せん断	-		$\tau_{T3} = 0$			
	N S 方 向	第1評価点	周方向	-	$\sigma_{T\phi r v} = 1$ $\sigma_{T2\phi r v} = 3$	-	$\tau_{T\phi r H} = 17$ $\sigma_{T2\phi r H} = 45$	-	$\sigma_{T21} = 129$
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{Tx r v} = 1$ $\sigma_{T2x r v} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\tau_{Tx r H} = 16$ $\sigma_{T2x r H} = 43$	-	
			せん断	-		$\tau_{T3} = 0$	$\tau_{Tc1} = 3$		
		第2評価点	周方向	-	$\sigma_{T\phi r v} = 1$ $\sigma_{T2\phi r v} = 3$	-	$\tau_{T\phi r H} = 17$ $\sigma_{T2\phi r H} = 45$	$\sigma_{T\phi7} = 4$ $\sigma_{T2\phi7} = 28$	$\sigma_{T22} = 185$
			軸方向	$\sigma_{Tx11} = 2$	$\sigma_{Tx r v} = 1$ $\sigma_{T2x r v} = 3$	$\sigma_{Tx4} = 4$	$\tau_{Tx r H} = 16$ $\sigma_{T2x r H} = 43$	$\sigma_{Tx7} = 6$ $\sigma_{T2x7} = 15$	
			せん断	-		$\tau_{T3} = 0$			

NT2 補③ V-2-5-4-1-1 R0

4.3.3 ラグに生じる応力

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	運転時質量による応力		水平方向地震による応力		鉛直方向地震による応力		組合せ応力
		曲げ	せん断	曲げ	せん断	曲げ	せん断	
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	-	-	-	-	-	-	-
	N S 方向	-	-	-	-	-	-	-
基準地震動 S_s	E W 方向	$\sigma_{Ls1} = 3$	$\tau_{Ls1} = 5$	$\sigma_{Ls2} = 4$	$\tau_{Ls2} = 7$	$\sigma_{Ls7} = 4$	$\tau_{Ls7} = 7$	$\sigma_{Ls} = 26$
	N S 方向	$\sigma_{Ls1} = 3$	$\tau_{Ls1} = 5$	$\sigma_{Ls2} = 4$	$\tau_{Ls2} = 8$	$\sigma_{Ls7} = 4$	$\tau_{Ls7} = 7$	$\sigma_{Ls} = 26$

4.3.4 振れ止めに生じる応力

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	運転時質量と地震による応力			組合せ応力
		引張り	せん断	曲げ	
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	-	-	-	-
	N S 方向	-	-	-	-
基準地震動 S_s	E W 方向	$\sigma_{Ts1} = 12$	$\tau_{Ts1} = 25$	$\sigma_{Ts2} = 14$	$\sigma_{Ts} = 50$
	N S 方向	$\sigma_{Ts1} = 14$	$\tau_{Ts1} = 23$	$\sigma_{Ts2} = 13$	$\sigma_{Ts} = 48$

4.3.5 取付ボルト (ラグ部) に生じる応力

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	-	-
	N S 方向	-	-
基準地震動 S_s	E W 方向	$\sigma_{Lb} = 348$	-
	N S 方向	$\sigma_{Lb} = 352$	-

4.3.6 取付ボルト (振れ止め部) に生じる応力

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	-	-
	N S 方向	-	-
基準地震動 S_s	E W 方向	$\sigma_{Tb} = 210$	$\tau_{Tb} = 35$
	N S 方向	$\sigma_{Tb} = 204$	$\tau_{Tb} = 33$

4.3.7 シアーラグに生じる応力

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	E W 方向	-	-
	N S 方向	-	-
基準地震動 S_s	E W 方向	-	$\tau_s = 11$
	N S 方向	-	$\tau_s = 12$

4.4. 結 論 (B号機)

4.4.1 固有周期

モ ー ド	固 有 周 期 (s)	卓 越 方 向
1次		
2次		
3次		
4次		
5次		
6次		

4.4.2 応 力

(単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板 (ラグ付根部)	SB410	一次一般膜	—	—	$\sigma_{L0} = 93$	$S_a = 234$
		一 次	—	—	$\sigma_{L1} = 108$	$S_a = 351$
		一次+二次	—	—	$\sigma_{L2} = 71$	$S_a = 360$
胴 板 (振れ止め 付根部)	SB410	一次一般膜	—	—	$\sigma_{T0} = 65$	$S_a = 234$
		一 次	—	—	$\sigma_{T1} = 85$	$S_a = 351$
		一次+二次	—	—	$\sigma_{T2} = 185$	$S_a = 360$
ラ グ	SM400A	組 合 せ	—	—	$\sigma_{Ls} = 26$	$f_{Lt} = 192$
振れ止め	SM400A	組 合 せ	—	—	$\sigma_{Ts} = 50$	$f_{Tt} = 207$
取付ボルト (ラグ部)	SCM435	引 張 り	—	—	$\sigma_{Lb} = 352$	$f_{Lto} = 444$
取付ボルト (振れ止め部)	SCM435	引 張 り	—	—	$\sigma_{Tb} = 211$	$f_{Tto} = 444^*$
		せ ん 断	—	—	$\tau_{Tb} = 35$	$f_{Tsb} = 341$
シアーラグ	SM400A	せ ん 断	—	—	$\tau_{Ss} = 12$	$f_{Ssb} = 133$

すべて許容応力以下である。

注記 * : $f_{Tts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{Tto} - 1.6 \cdot \tau_{Tb}, f_{Tto}]$ より算出

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-578 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-5-4-1-4 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	26
3.1 荷重の組合せ及び許容応力	26
3.2 設計条件	29
3.3 材料及び許容応力	45
3.4 設計用地震力	46
4. 解析結果及び評価	47
4.1 固有周期及び設計震度	47
4.2 評価結果	59
4.2.1 管の応力評価結果	59
4.2.2 支持構造物評価結果	62
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	63
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	64

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」, 「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」及び「V-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき、管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果記載方法は以下に示す通りである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全24モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(裕度)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

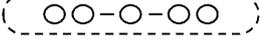
(3) 弁

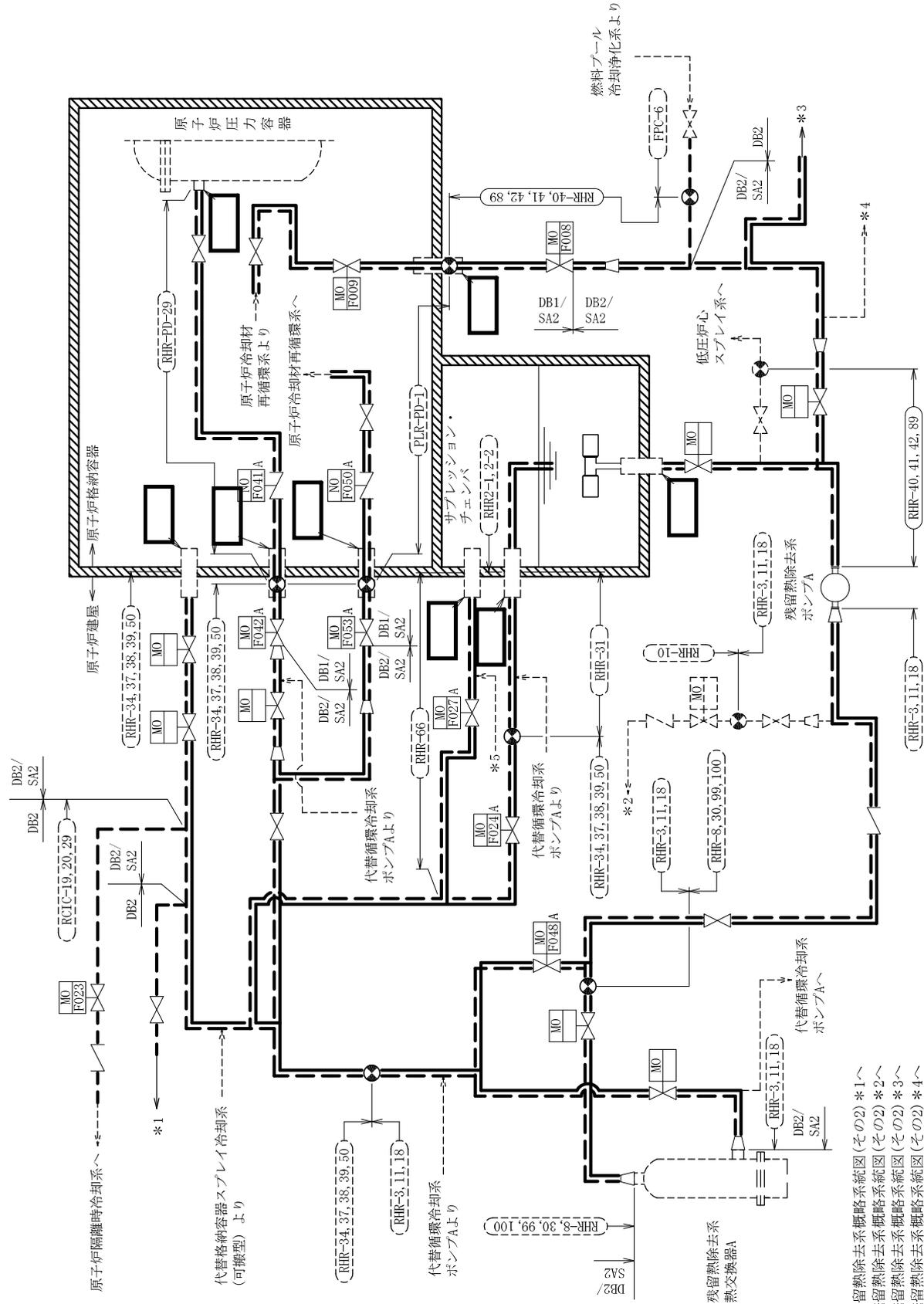
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

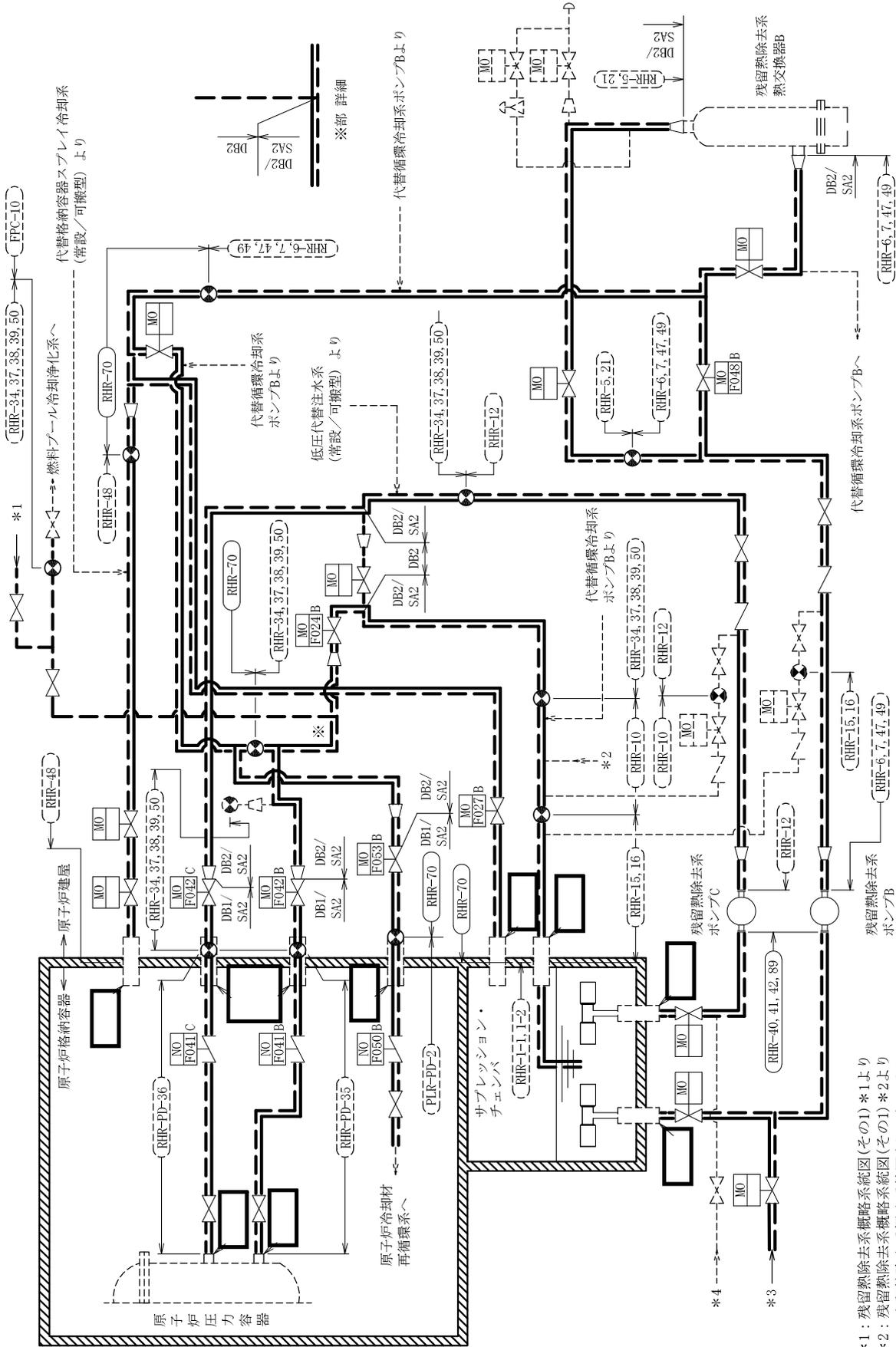
概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (鳥瞰図, 計算条件及び評価結果を記載す る範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果のみ記載する範囲)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



注記*1: 残留熱除去系概略系統図(その2)*1へ
 *2: 残留熱除去系概略系統図(その2)*2へ
 *3: 残留熱除去系概略系統図(その2)*3へ
 *4: 残留熱除去系概略系統図(その2)*4へ
 *5: サプレッション・プール水 pH制御装置より

残留熱除去系概略系統図(その1)

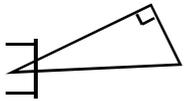
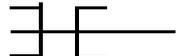
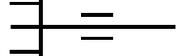
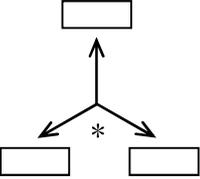


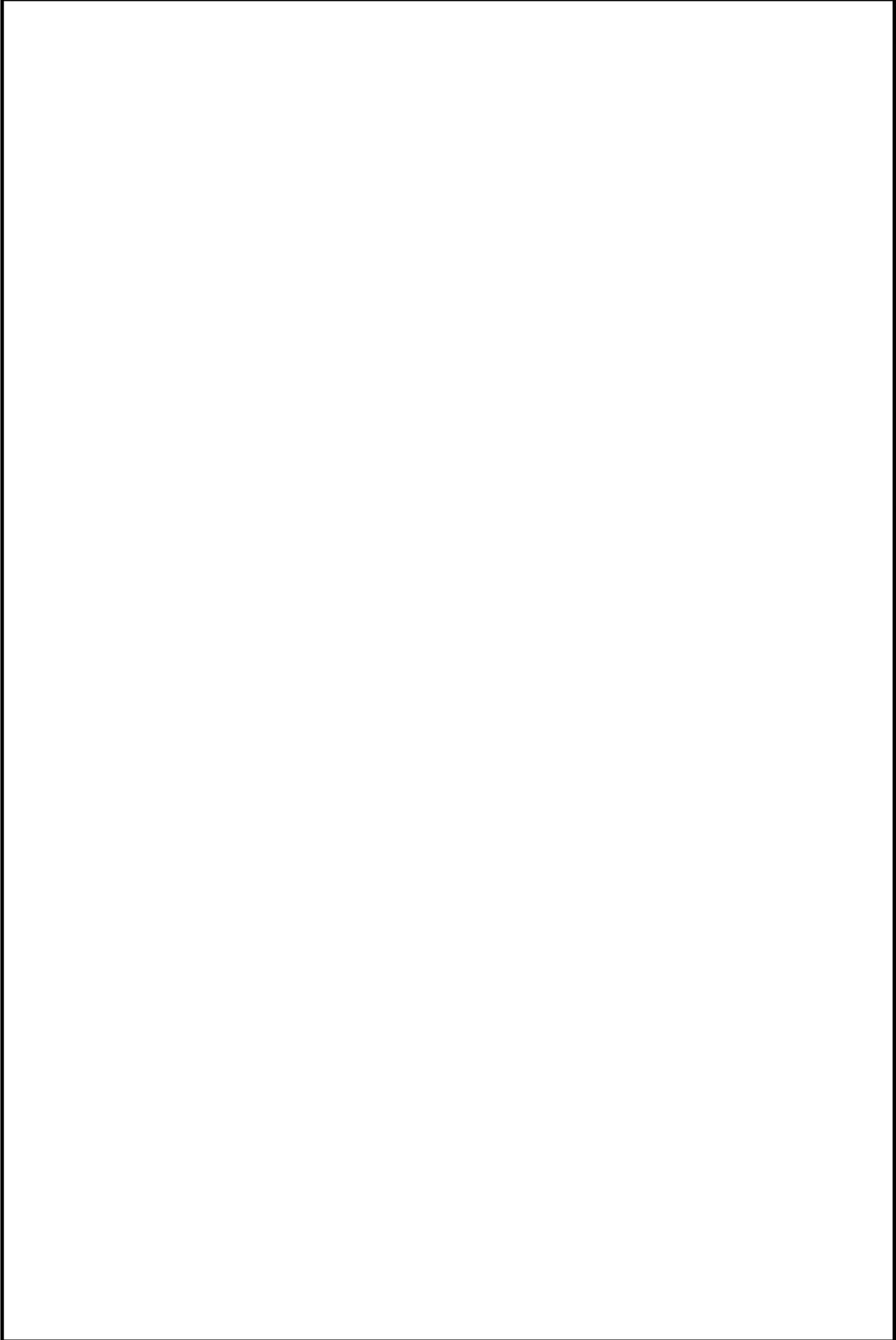
注記 *1 : 残留熱除去系概略系統図 (その1) *1より
 *2 : 残留熱除去系概略系統図 (その1) *2より
 *3 : 残留熱除去系概略系統図 (その1) *3より
 *4 : 残留熱除去系概略系統図 (その1) *4より

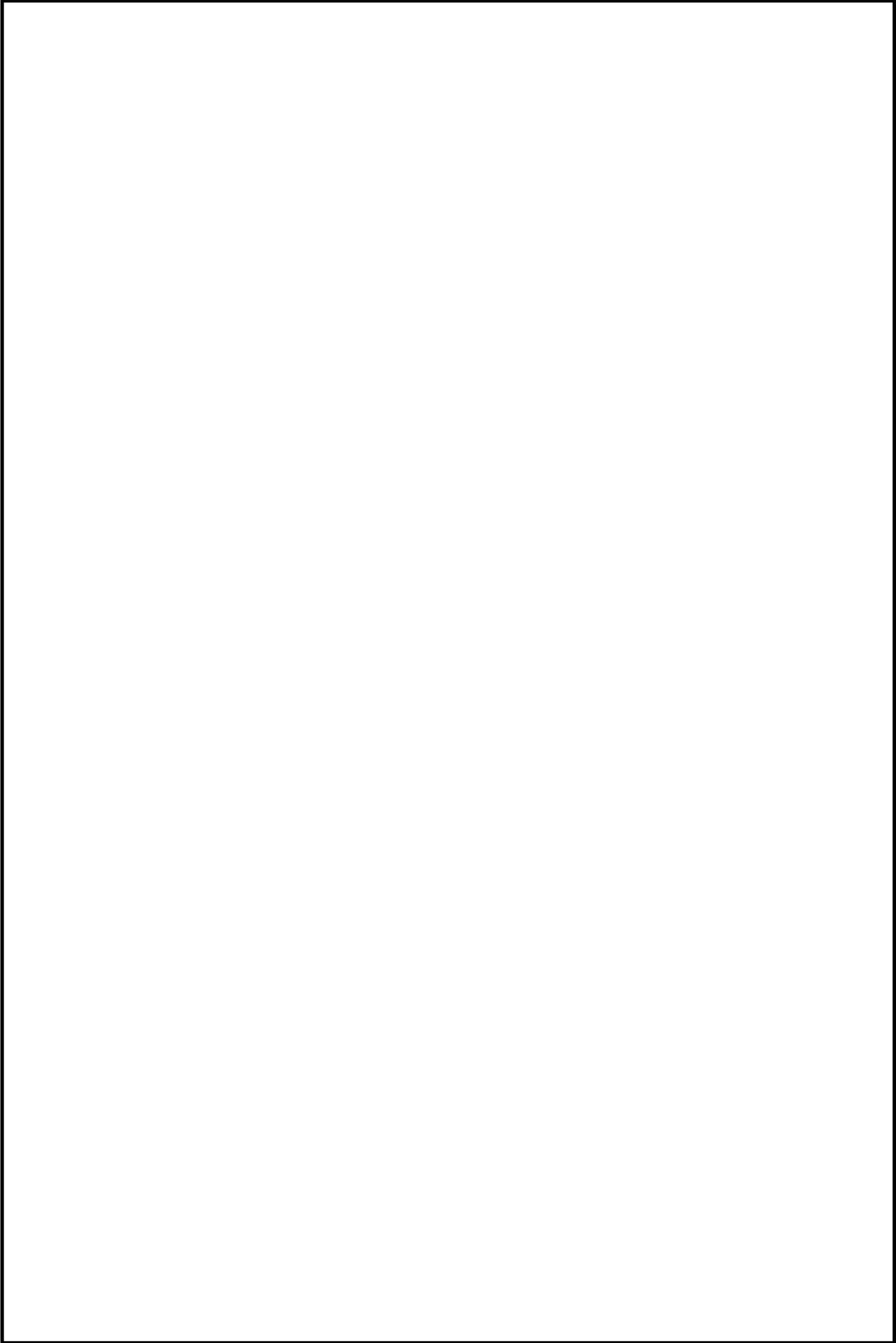
残留熱除去系概略系統図 (その2)

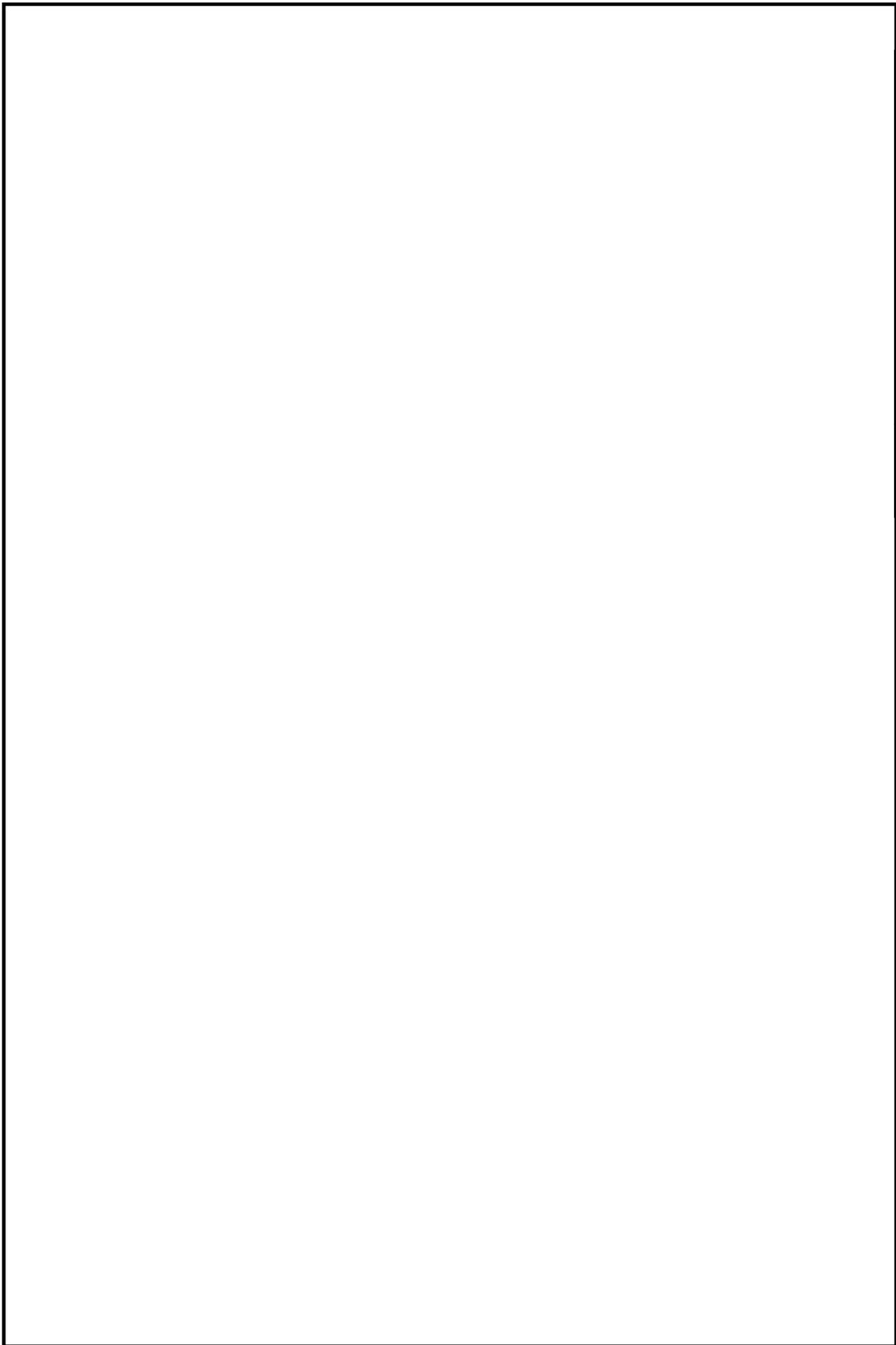
2.2 鳥瞰図

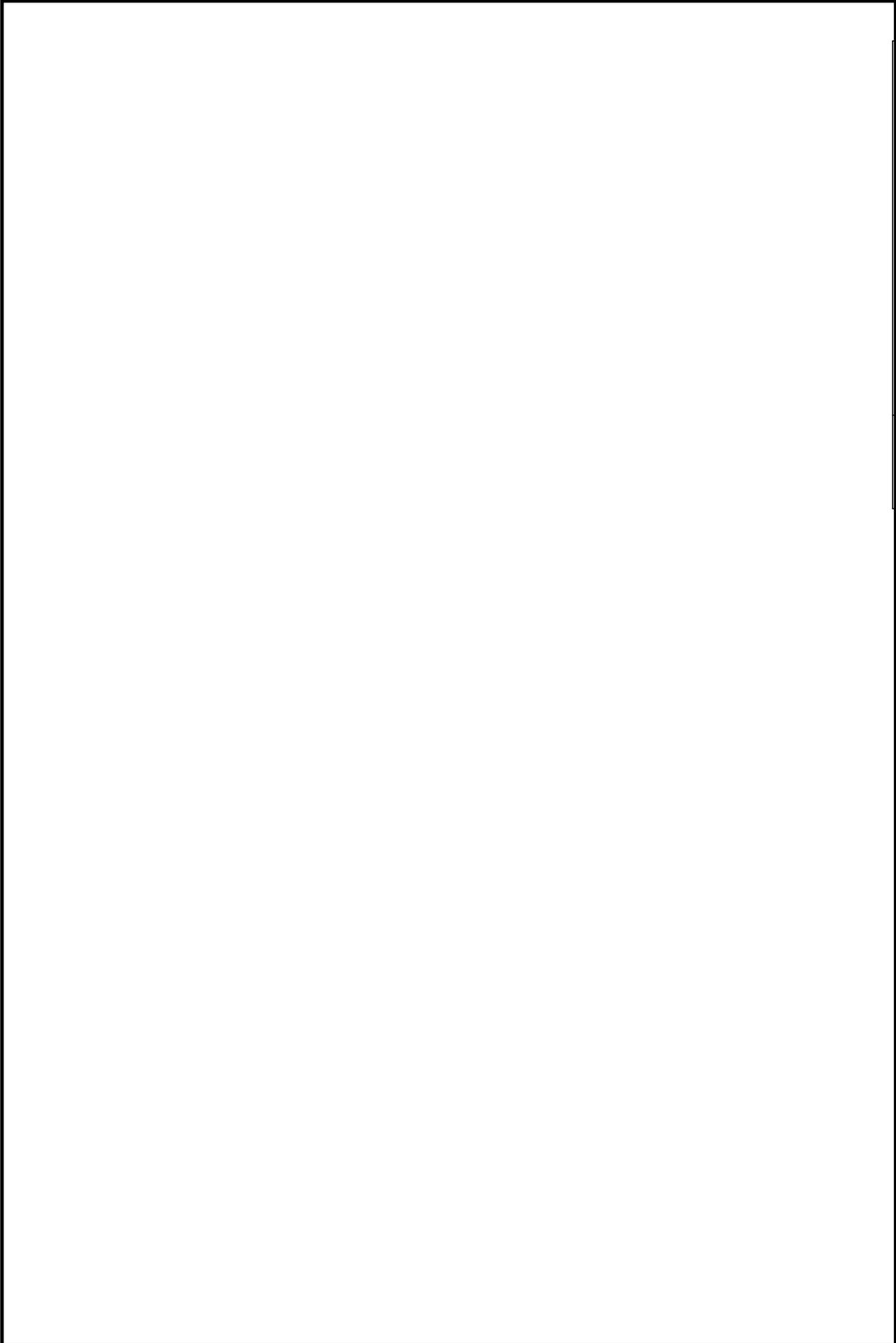
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッパについても同様とする。)
	スナッパ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (* は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に 変位量を記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



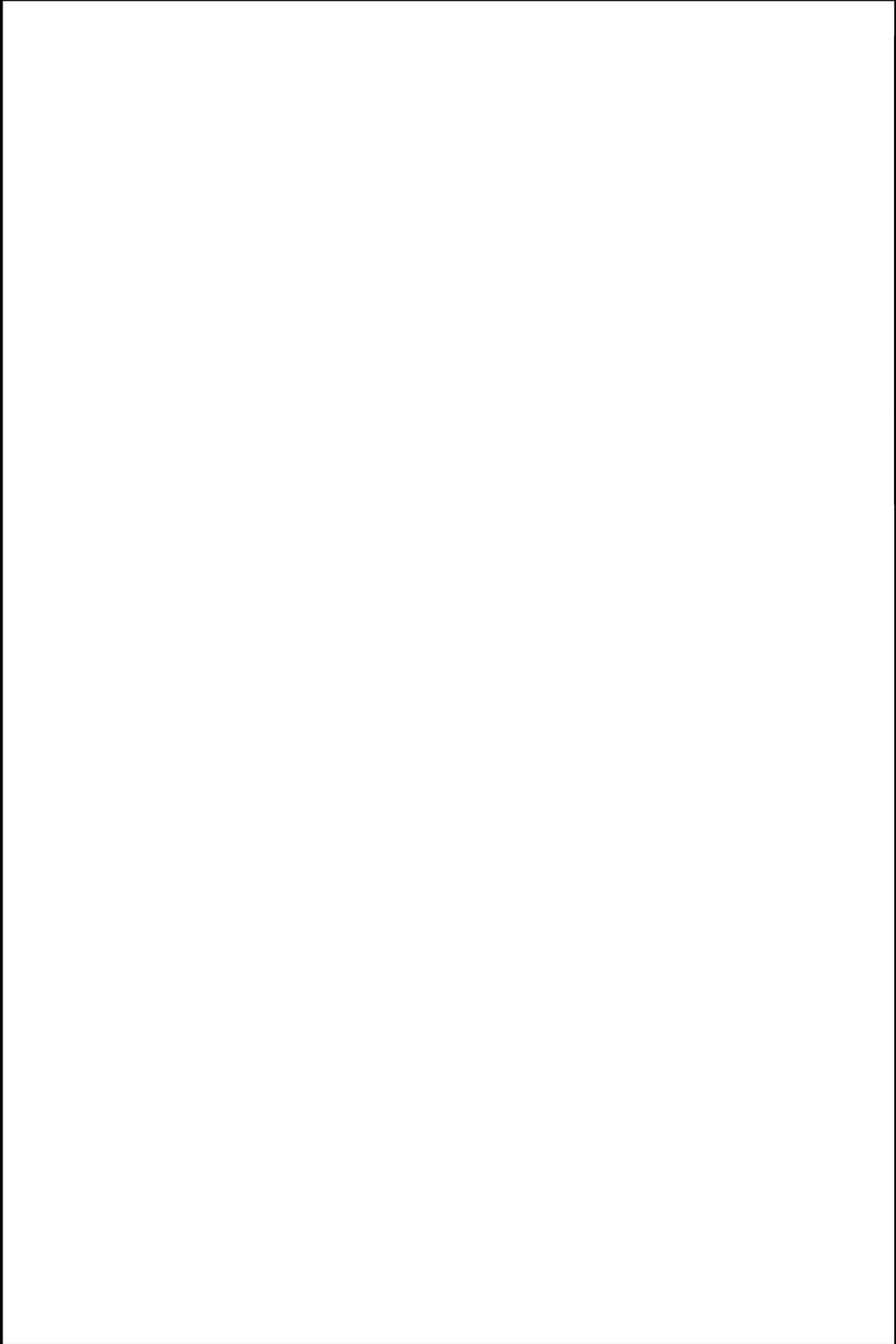


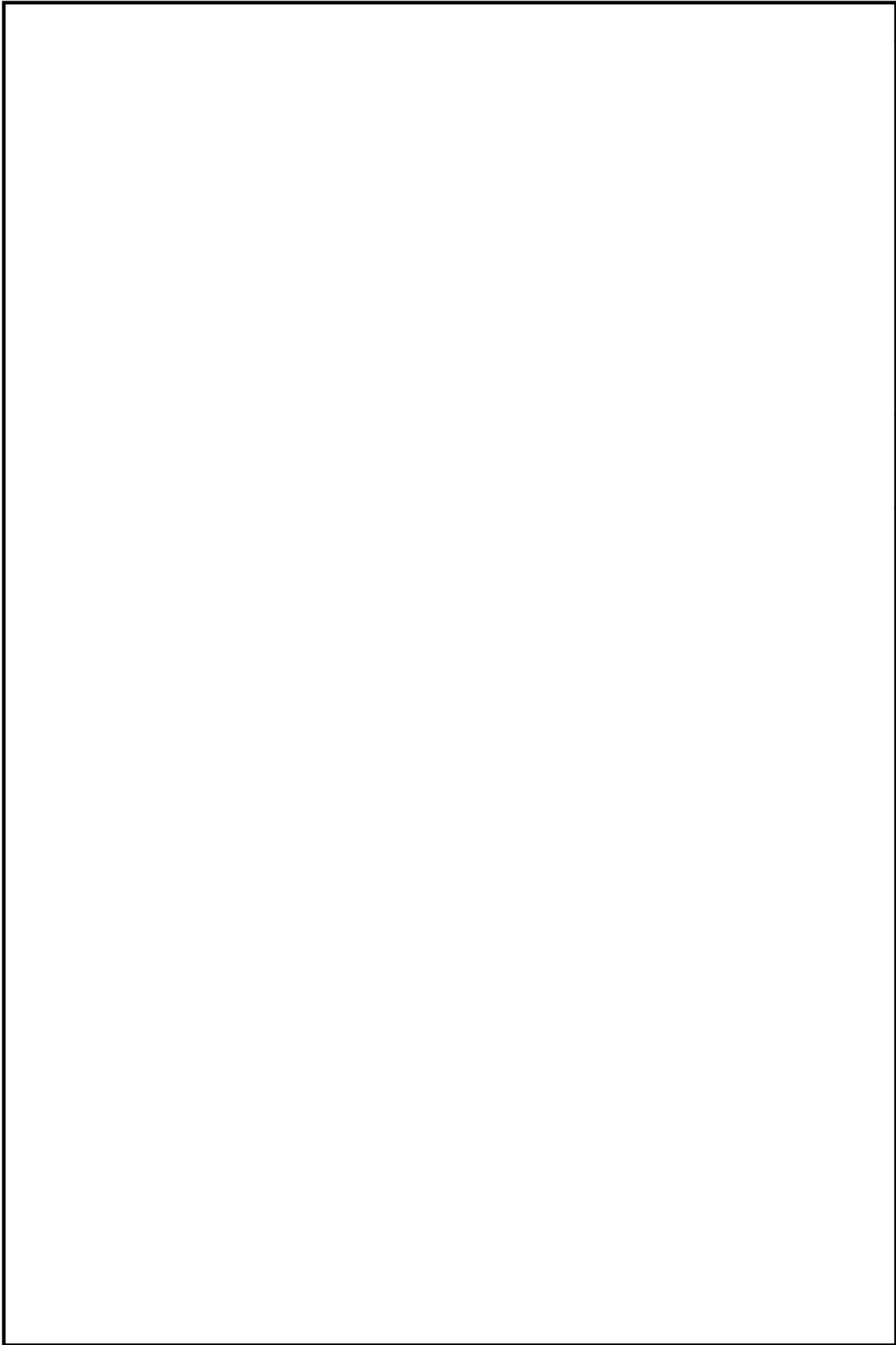


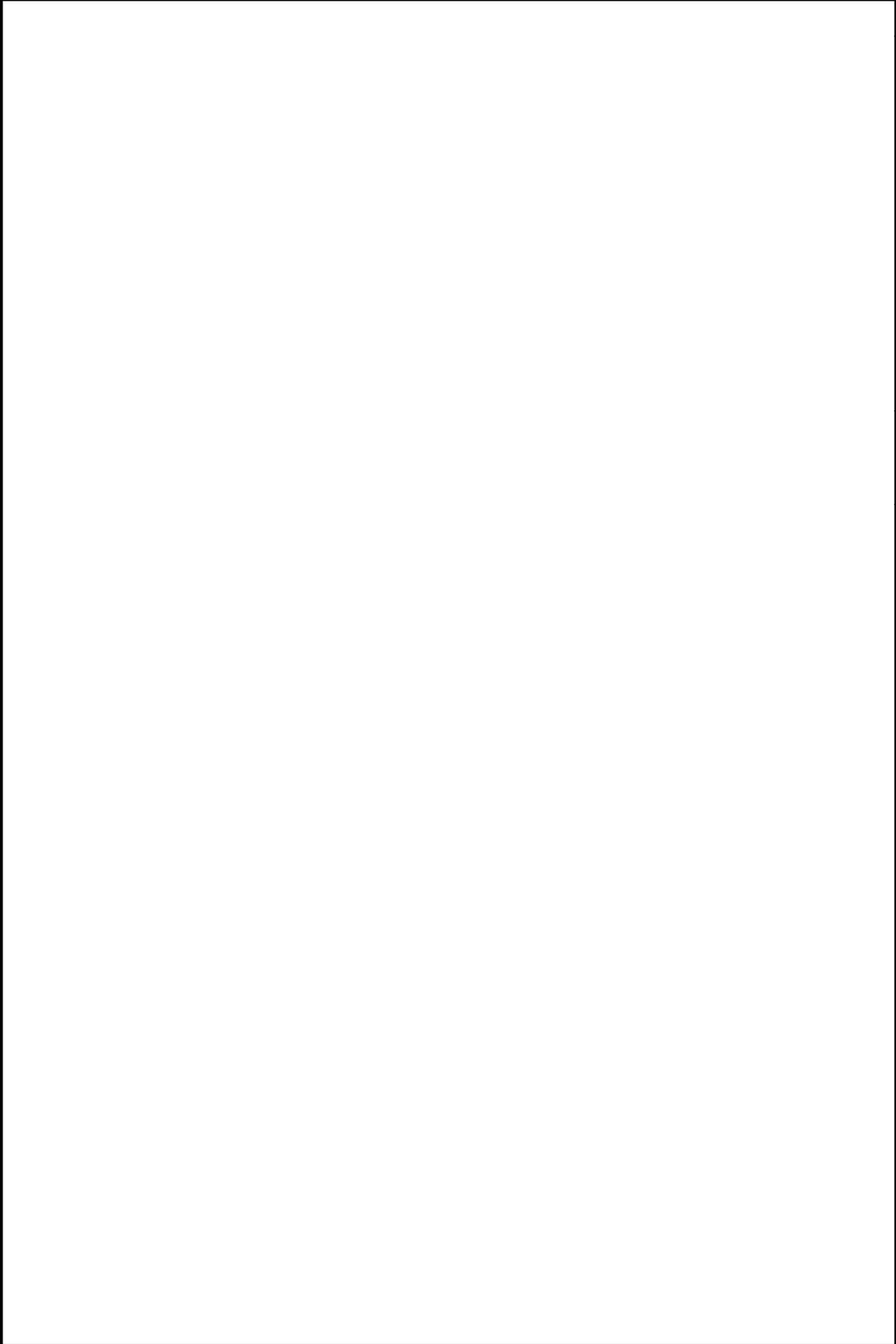


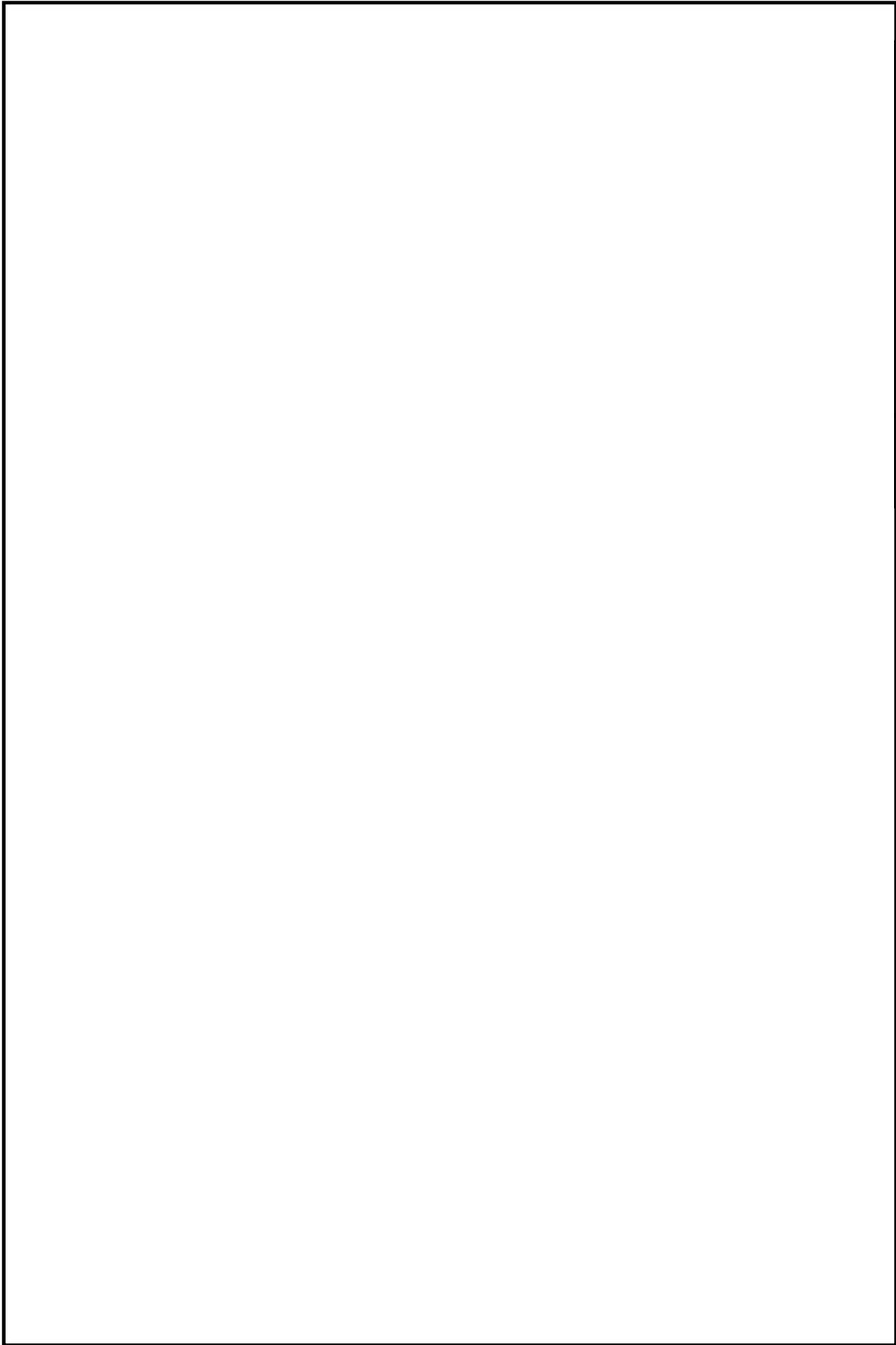
鳥瞰図

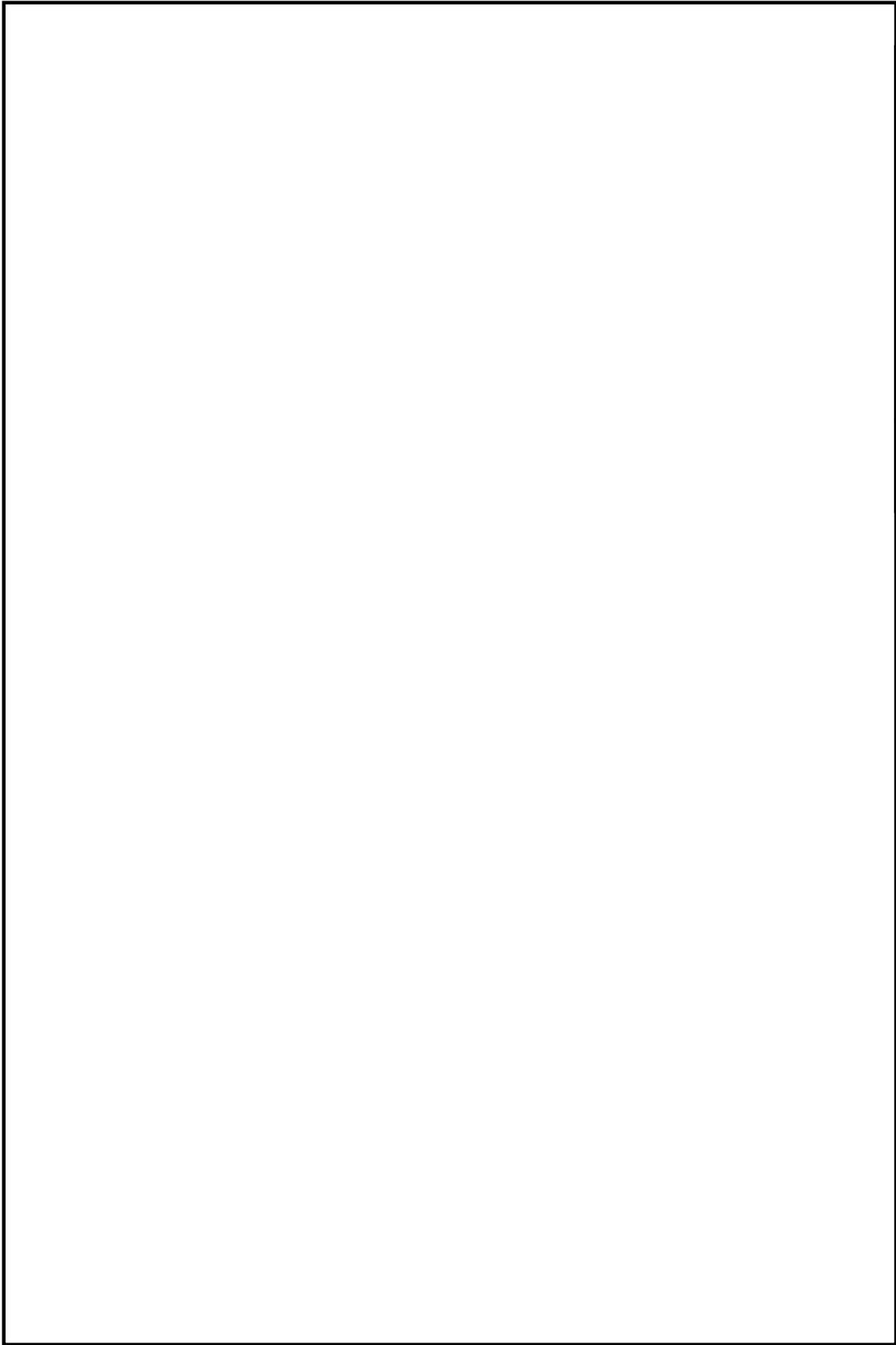
RHR-40, 41, 42, 89 (DB) (4/7)

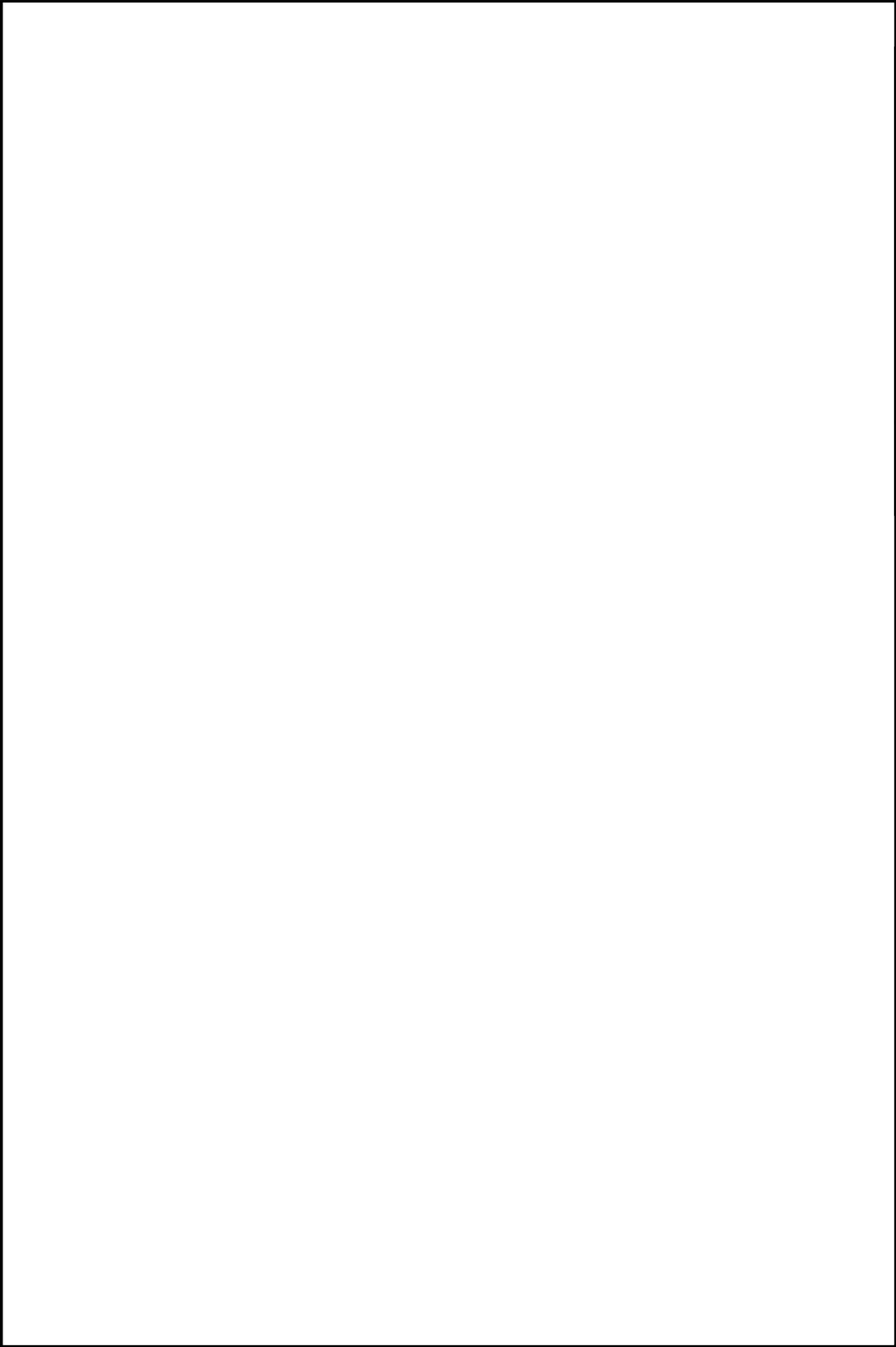


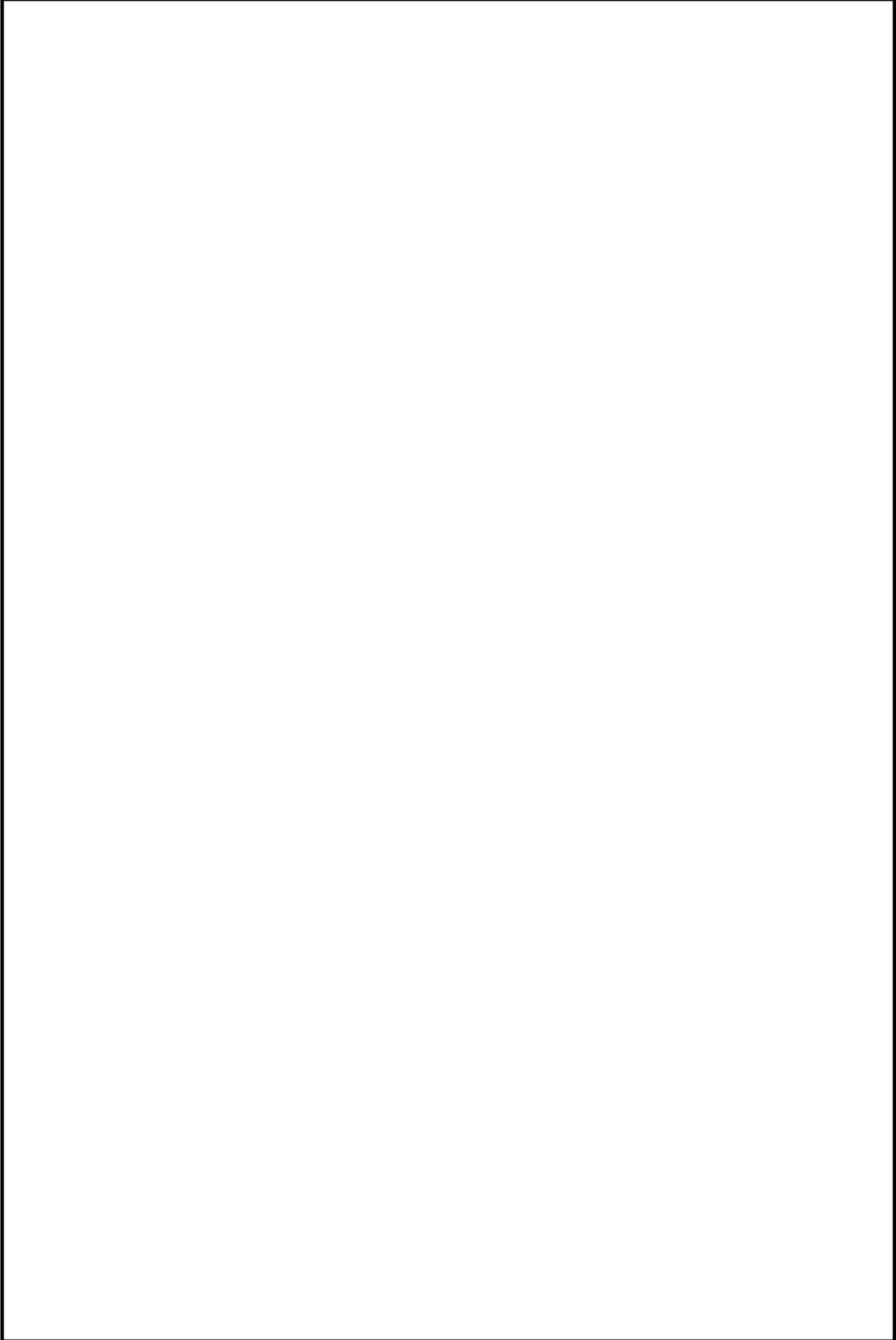


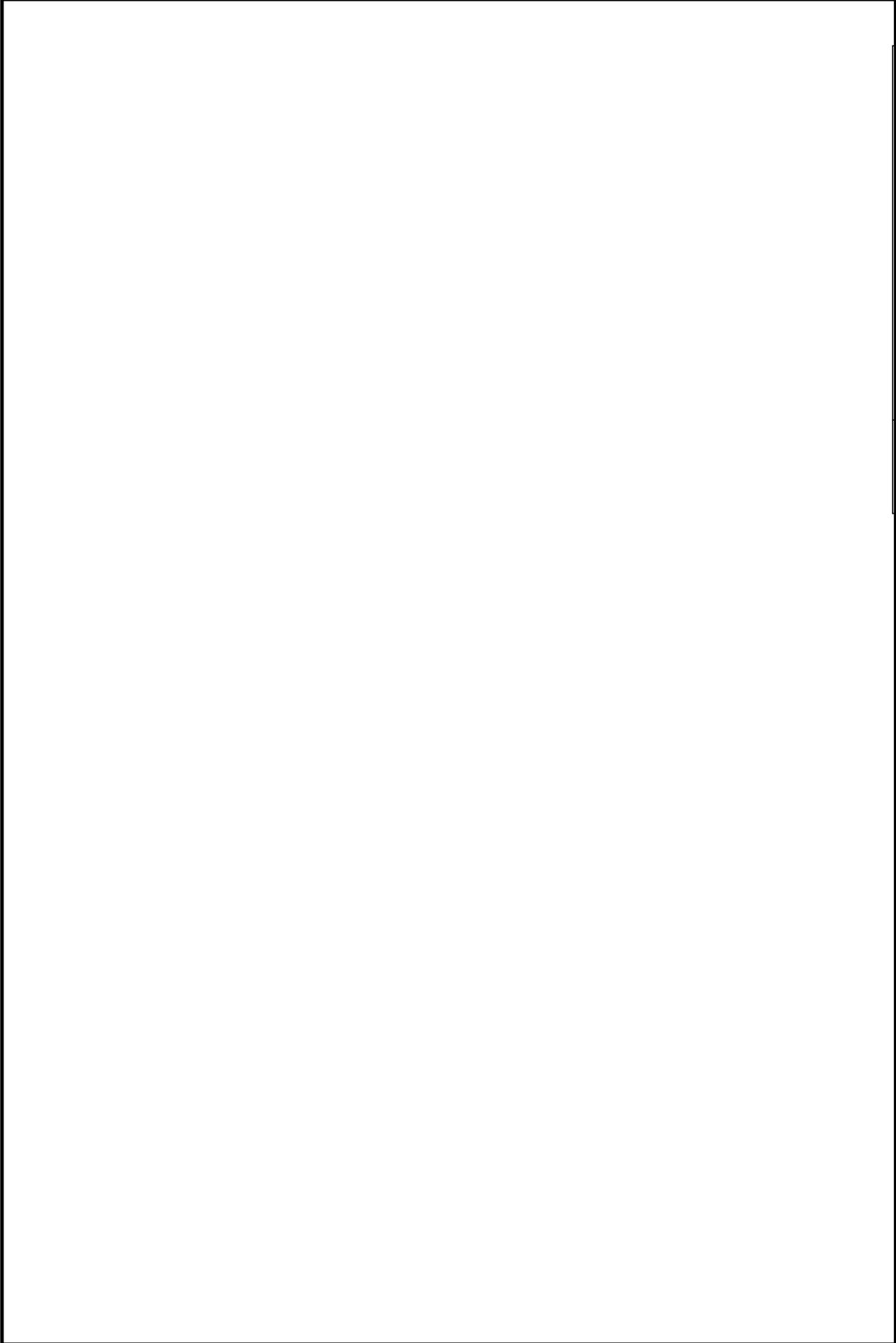






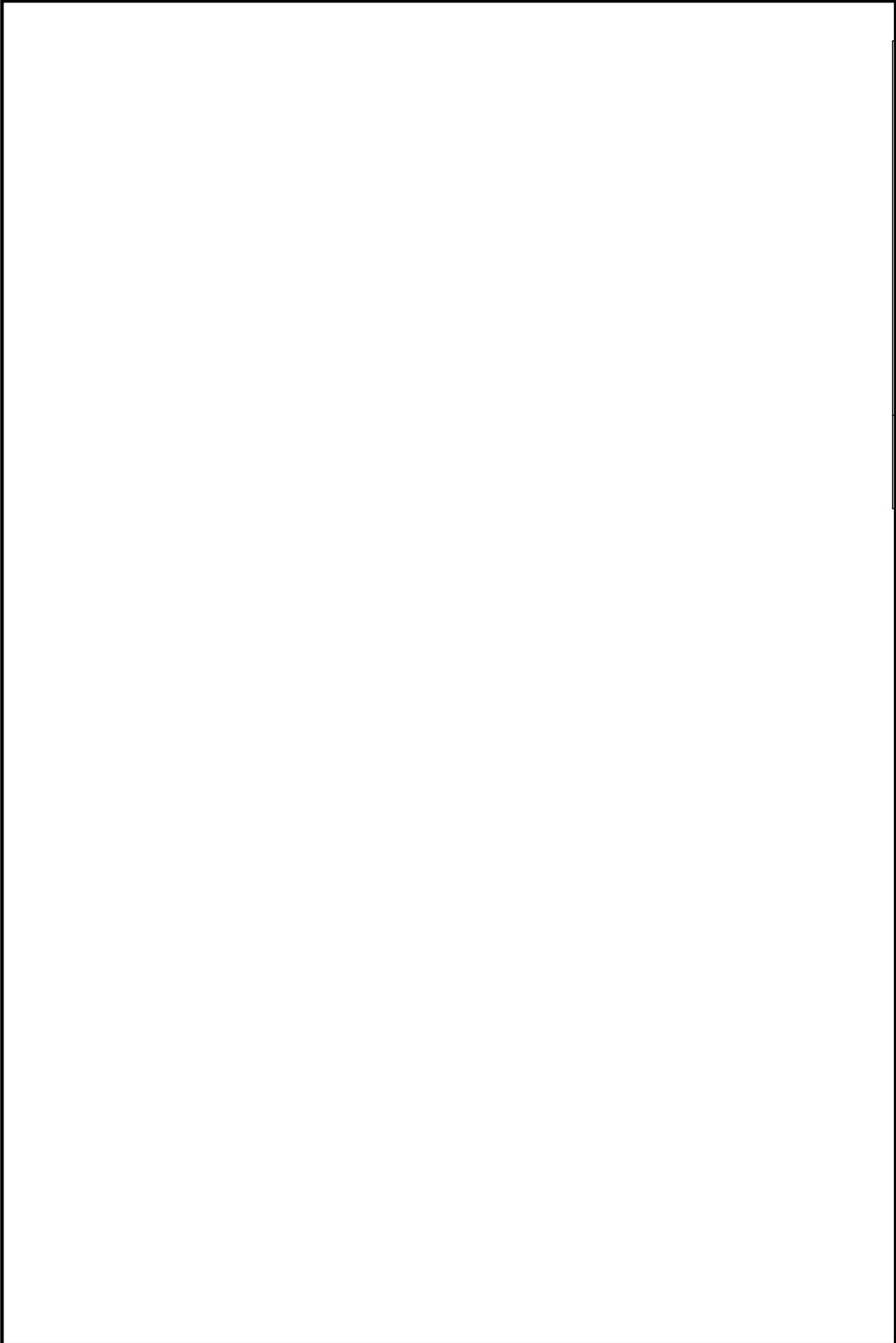






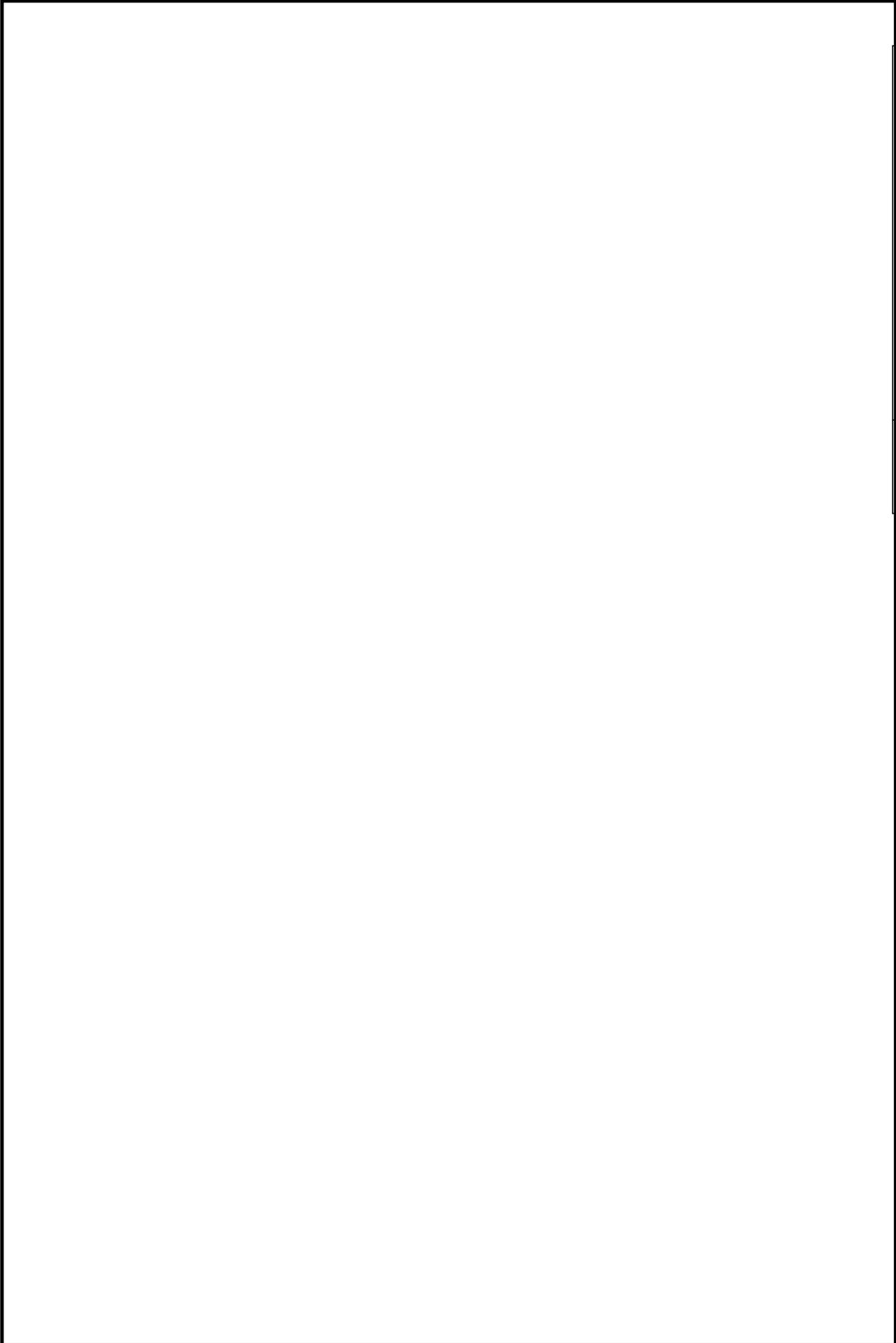
鳥瞰図

RHR-40, 41, 42, 89 (SA) (5/7)



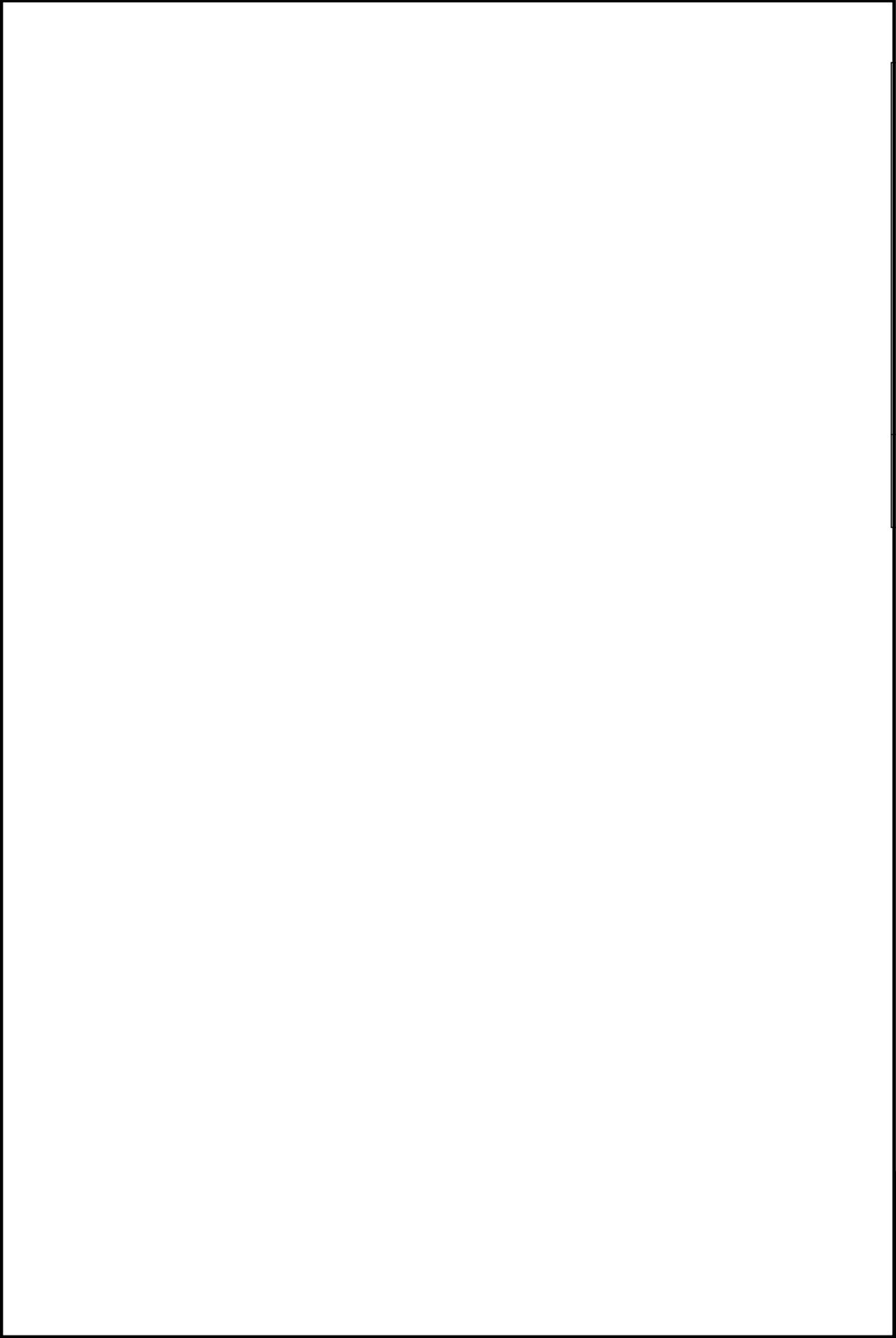
鳥瞰図

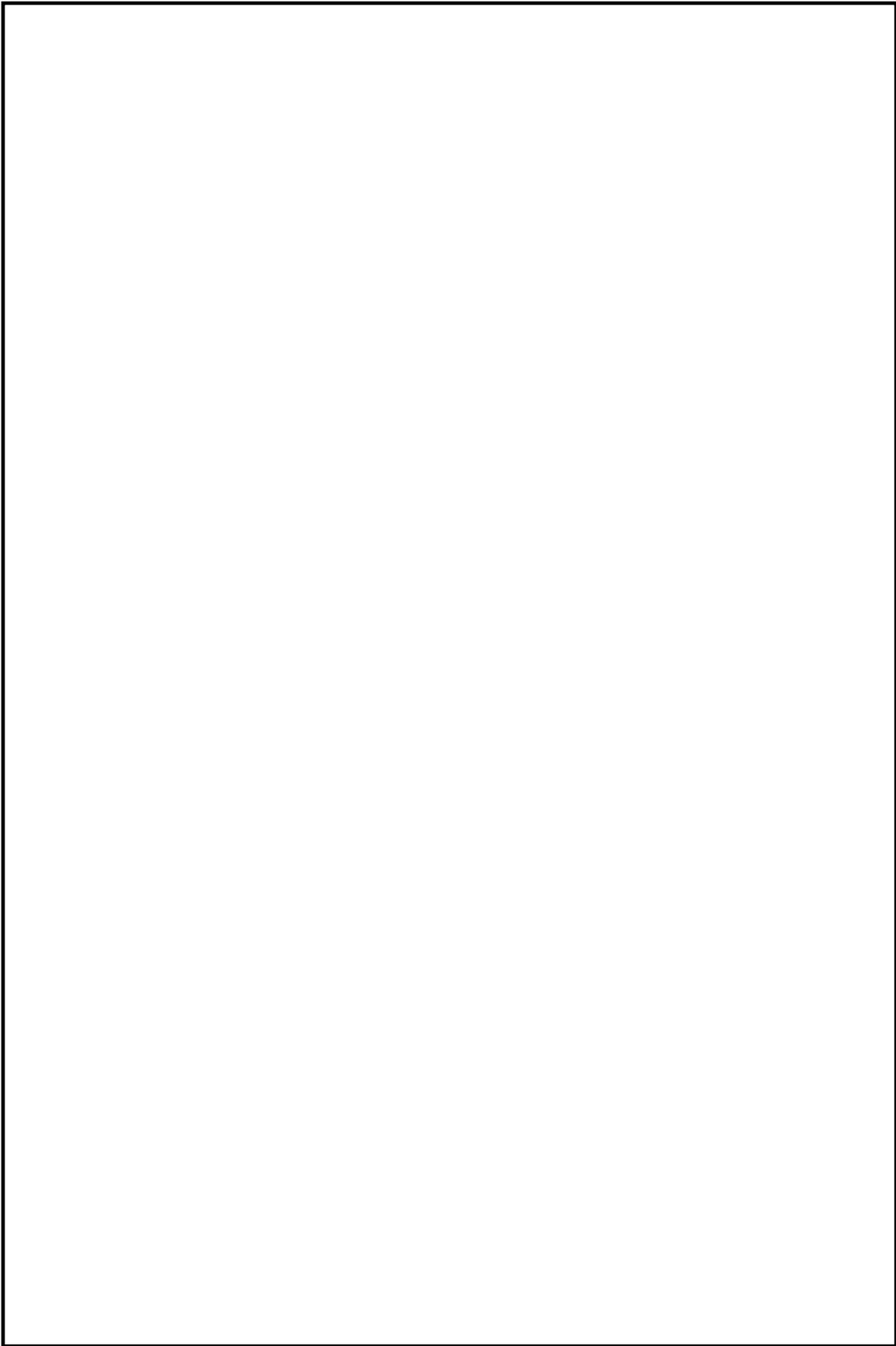
RHR-40, 41, 42, 89 (SA) (6/7)

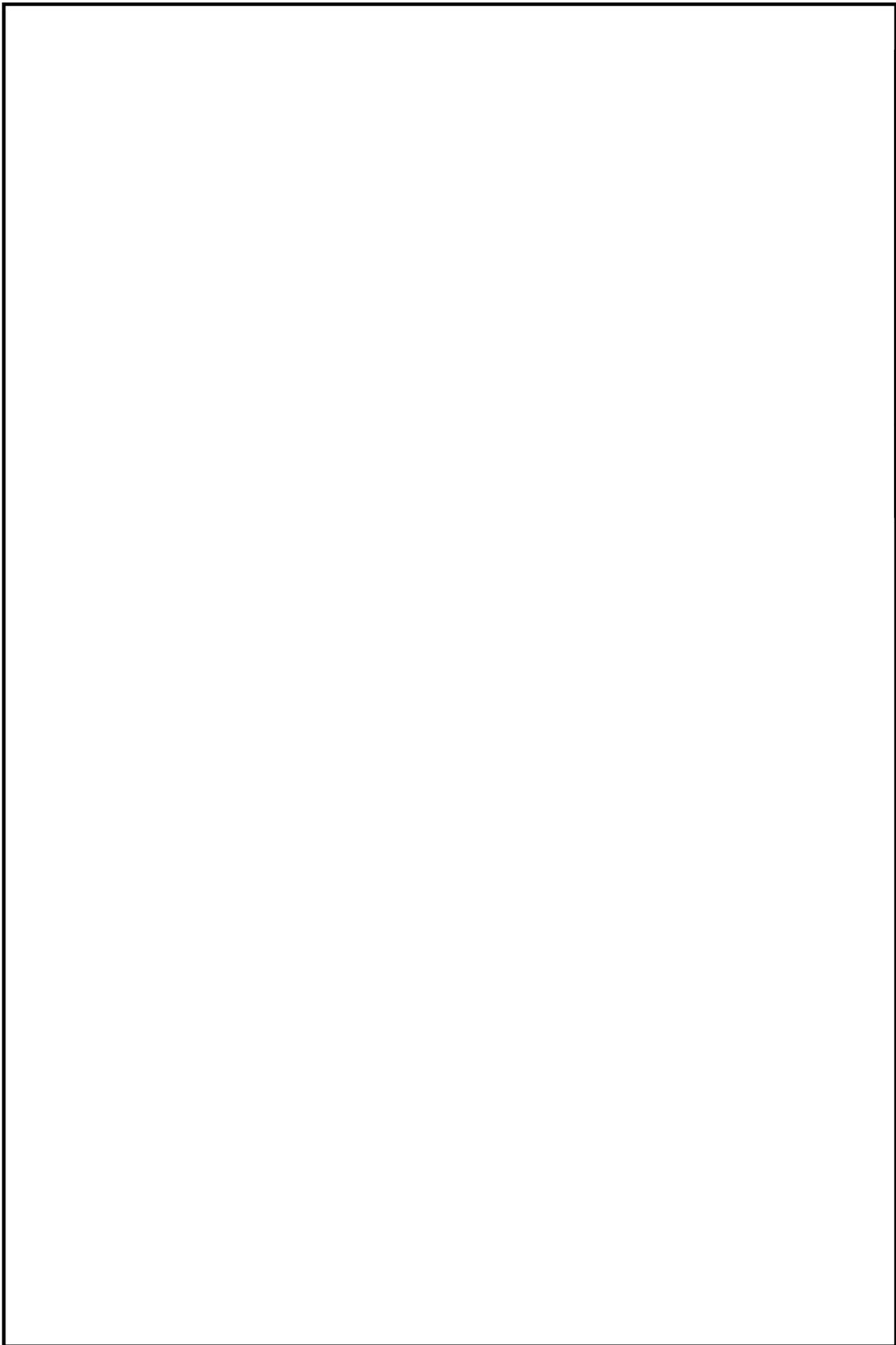


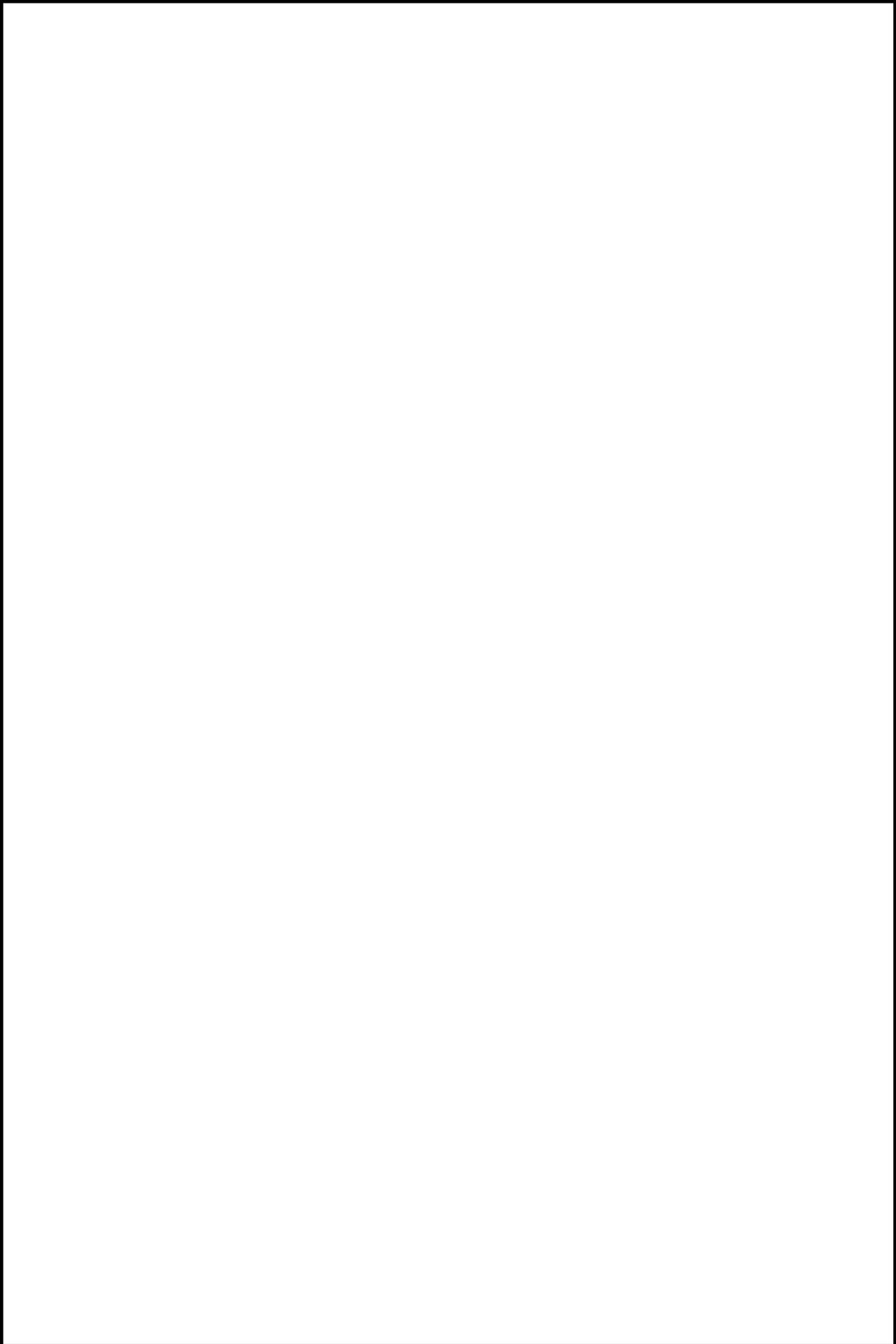
鳥瞰図

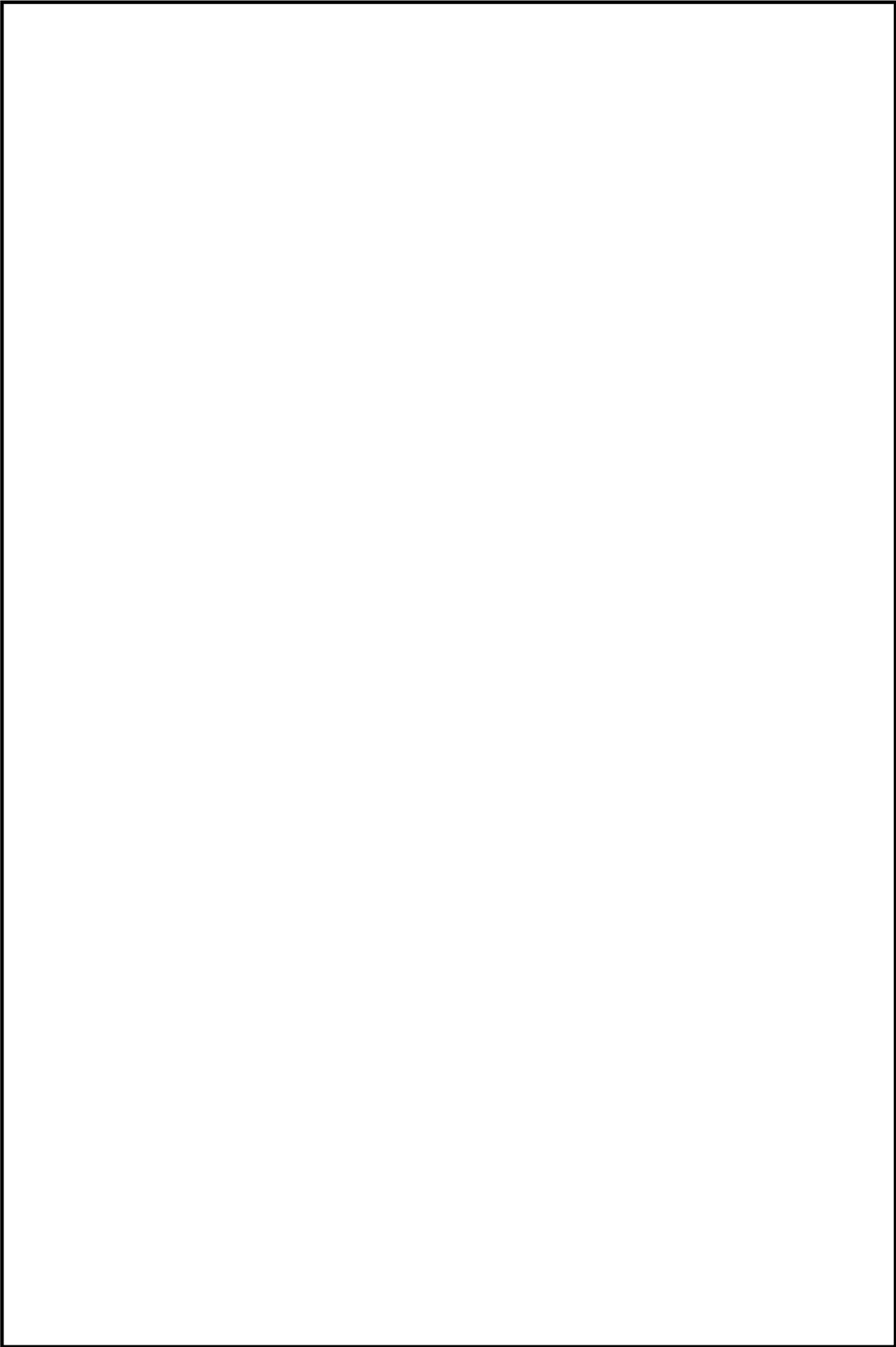
RHR-40, 41, 42, 89 (SA) (7/7)

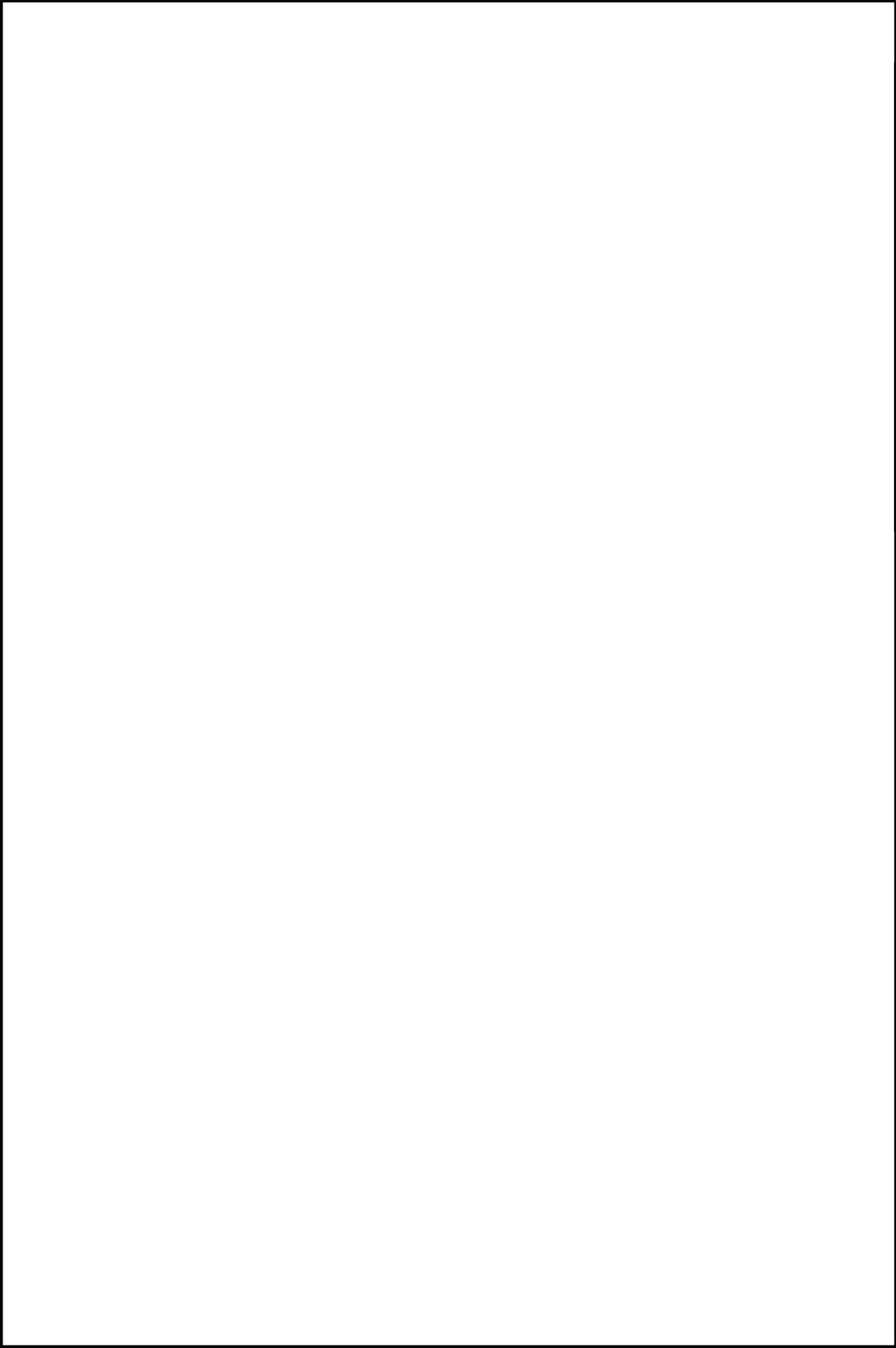












3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ ^{*3,4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系	DB	—	クラス1管 クラス2管	S	$I_L + S_d$	$III_A S$
							$II_L + S_d$	
							$IV_L(L) + S_d$	
							$I_L + S_s$	$IV_A S$
							$II_L + S_s$	
							$V_L(L) + S_d^{*6,7}$	$V_A S$
	$V_L(LL) + S_s^{*6}$							
	非常用炉心冷却設備その他 原子炉注水設備	低圧注水系	SA	常設/防止	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S_d^{*6,7}$	$V_A S$
							$V_L(LL) + S_s^{*6}$	
							$V_L + S_s$	
非常用炉心冷却設備その他 原子炉注水設備	低圧注水系	SA	常設/防止	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S_d^{*6,7}$	$V_A S$	
						$V_L(LL) + S_s^{*6}$		
						$V_L + S_s$		

荷重の組合せ及び許容応力

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ ^{*3,4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	低圧代替注水系	S A	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S_d^{*6,7}$	$V_A S$
							$V_L(LL) + S_s^{*6}$	
							$V_L + S_s$	
	代替循環冷却系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S_d^{*6,7}$	$V_A S$	
						$V_L(LL) + S_s^{*6}$		
						$V_L + S_s$		
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	格納容器 スプレイ冷却系	S A	常設／防止	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S_d^{*6,7}$	$V_A S$
							$V_L(LL) + S_s^{*6}$	
							$V_L + S_s$	
		サプレッション ・プール冷却系	S A	常設／防止	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S_d^{*6,7}$	$V_A S$
							$V_L(LL) + S_s^{*6}$	
							$V_L + S_s$	
	代替格納容器 スプレイ冷却系	S A	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S_d^{*6,7}$	$V_A S$	
						$V_L(LL) + S_s^{*6}$		
						$V_L + S_s$		

荷重の組合せ及び許容応力

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ ^{*3,4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	代替循環冷却系	S A	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S_d^{*6,7}$	$V_A S$
							$V_L(LL) + S_s^{*6}$	
							$V_L + S_s$	
		低圧代替注水系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S_d^{*6,7}$	$V_A S$
							$V_L(LL) + S_s^{*6}$	
							$V_L + S_s$	

注記*1: DBは設計基準対象施設, SAは重大事故等対処設備を示す。

*2: 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3: 運転状態の添字Lは荷重, (L)は荷重が長期間作用している状態, (LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4: 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5: 許容応力状態 $V_A S$ は許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界を使用し, 許容応力状態 $IV_A S$ として評価を実施する。

*6: プロセス条件に加え, 重大事故時の原子炉格納容器バウンダリ条件として, 重大事故時の原子炉格納容器限界温度及び圧力を考慮する。

*7: 荷重の組合せ $V_L(L) + S_d$ は $V_L(LL) + S_s$ に包絡されるため, 評価を省略する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-40, 41, 42, 89

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	101N~111, 113~117 528~529, 727~729	0.86	148	609.6	9.5	SM41B	S	
2	145~184, 145~200 509~519N, 509~526 707~717N, 707~725	1.52	174	609.6	9.5	SM50B	S	
3	185~192	1.52	174	508.0	9.5	SM41B	S	
4	194~197A	8.62	302	508.0	32.5	SUS304TP	S	
5	201~506, 508~509 154~704, 706~707	1.52	174	457.2	9.5	SM41B	S	
6	1561~274A	1.52	174	267.4	9.3	STPT42	S	

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RHR-40, 41, 42, 89

質量		対応する評価点
		201～506, 508～509, 154～704, 706～707
		145～184, 145～200, 509～519N, 509～526, 707～717N 707～725
		185～192
		194～197A
		1561～274A

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RHR-40, 41, 42, 89

質量	対応する評価点
□	102F, 516F, 712F, 713F, 717N
□	256F

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RHR-40, 41, 42, 89

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
111~112				112~1101			
1101~1102				112~113			
192~193				193~1901			
1901~1902				193~194			
506~507				507~5001			
5001~5000				5000~5002			
507~508				526~527			
527~5201				5201~5200			
5200~5202				527~528			
704~705				705~7001			
7001~7000				7000~7002			
705~706				725~726			
726~7201				7201~7200			
7200~7202				726~727			

弁部の質量

鳥 瞰 図 RHR-40, 41, 42, 89

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	111, 113, 528, 526, 727, 725		112, 527, 726
	1101, 5201, 7201		1102, 5202, 7202
	192, 194		193
	1901		1902
	506, 508, 704, 706		507, 705
	5001, 7001		5002, 7002

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-40, 41, 42, 89

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
101N						
105						
** 105 **						
** 109 **						
1090						
110						
119N						
** 119N **						
** 119N **						
148						
150						
1511						
152						
155						
** 158 **						
158						
163						
** 165 **						
168						
** 170 **						
172						
176						
** 176 **						

NT2 補③ V-2-5-4-1-4 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-40, 41, 42, 89

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 177 **						
180						
180						
183						
187						
190						
191						
** 1902 **						
1951						
197A						
202						
205						
** 208 **						
** 208 **						
209						
501						
501						
502						
505						
5000						
** 5000 **						
509						
511						
511						
5131						
5141						

NT2 補③ V-2-5-4-1-4 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-40, 41, 42, 89

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
5141						
519N						
520						
521						
523						
527						
5200						
531N						
** 531N **						
** 531N **						
** 223 **						
** 223 **						
224						
** 701 **						
** 701 **						
702						
7000						
** 7000 **						
709						
709						
709						
7091						
716						
717N						

NT2 補③ V-2-5-4-1-4 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-40, 41, 42, 89

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
719						
721						
721						
726						
7200						
731N						
** 731N **						
** 731N **						
233						
2351						
** 238 **						
238						
243						
248						
250						
255						
257						
260						
264						
267						
272						
274A						

NT2 補③ V-2-5-4-1-4 R0

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-70

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A~11, 4~4800 49~74A	3.45	174	457.2	14.3	SM41B	S	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>
2	12~38A	3.45	174	406.4	12.7	SM50B	S	
3	480~49	3.45	174	457.2	14.3	STPT410	S	
4	57~76	3.45	174	355.6	11.1	STPT42	S	
5	77~78	3.45	174	318.5	10.3	STPT42	S	
6	79~83	10.70	302	318.5	25.4	SUSF316	S	
7	83~84A	10.70	302	318.5	25.4	SUS304TP	S	
8	10~94	3.45	174	114.3	6.0	STPT42	S	
9	95~98	3.45	148	114.3	6.0	STPT42	S	

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RHR-70

質量	対応する評価点
[]	1A~11, 4~4800, 480~74A
[]	12~38A
[]	57~76
[]	77~78
[]	79~84A
[]	10~94

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RHR-70

質量	対応する評価点
	2F
	961F

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RHR-70

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
4800~4801				4801~4802			
4802~4803				4801~480			
78~780				780~781			
781~782				780~79			
94~940				940~941			
941~942				940~95			

弁部の質量

鳥 瞰 図 RHR-70

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	4800, 480		4801
	4802		4803
	78, 79		780
	781		782
	94, 95		940
	941		942

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-70

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
7						
8						
13						
** 18 **						
19						
** 27 **						
28						
34						
38A						
44						
** 44 **						
48						
51						
** 51 **						
** 53 **						
** 580 **						
63						
64						
68						
710						
74A						
84A						
89						
93						

NT2 補③ V-2-5-4-1-4 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-70

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
96						
96						
101N						

3.3 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S h
SM41B	148	—	207	373	—
SM50B	174	—	264	441	—
SM41B	174	—	200	373	—
SUS304TP	302	114	126	391	110
STPT42	174	—	210	404	—
STPT410	174	—	210	404	—
SUSF316	302	118	130	420	116
STPT42	148	—	214	404	—

3.4 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお、設備評価用床応答曲線は添付資料「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は添付資料「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
RHR-40, 41, 42, 89	原子炉建屋		
RHR-70	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 RHR-40, 41, 42, 89

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S _d 及び静的震度			S _s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度		応答鉛直震度	
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
37次							
38次							
動的震度							
静的震度							

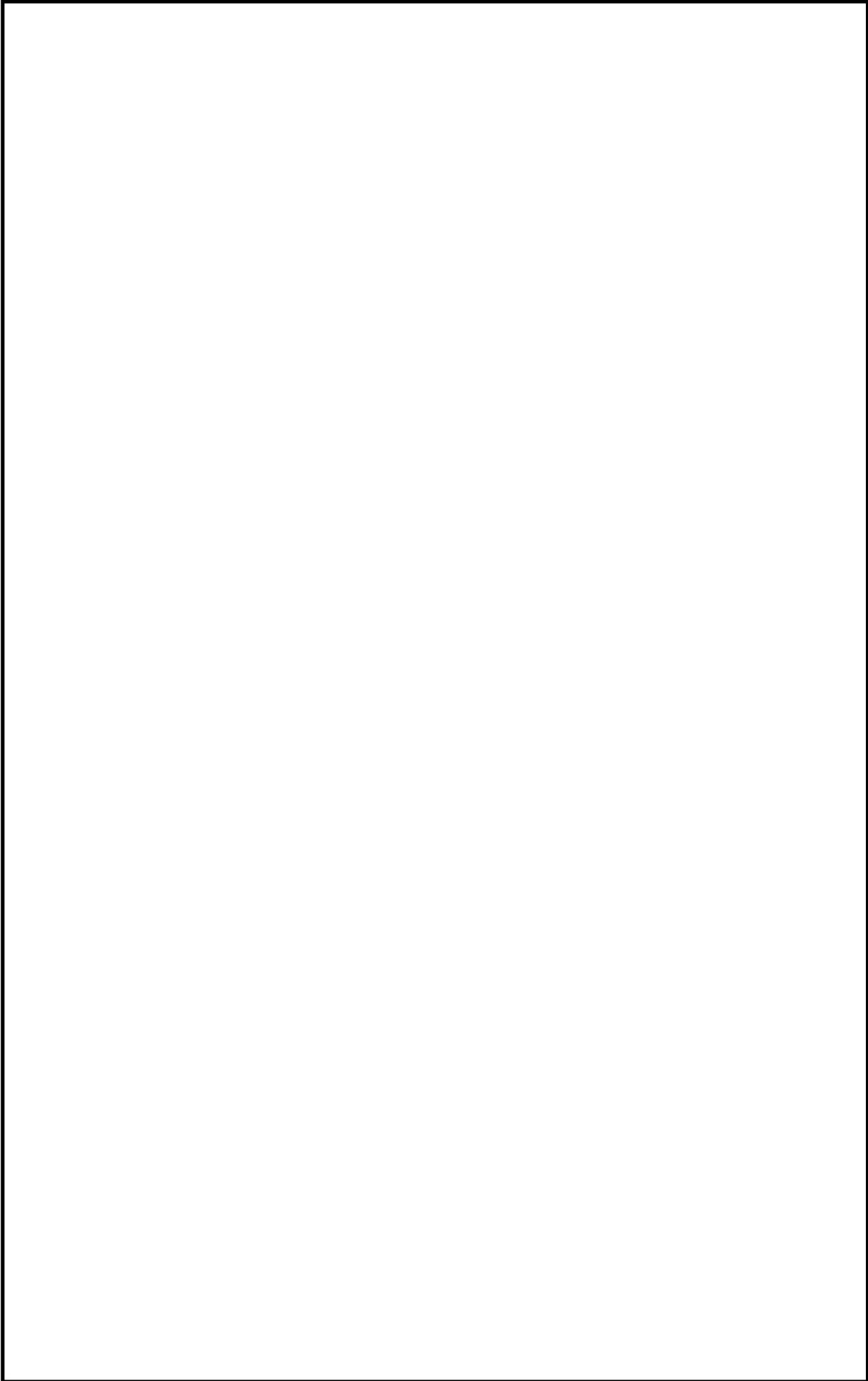
各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RHR-40, 41, 42, 89

モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次		[Blank area for data]	[Blank area for data]	[Blank area for data]
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
37次				

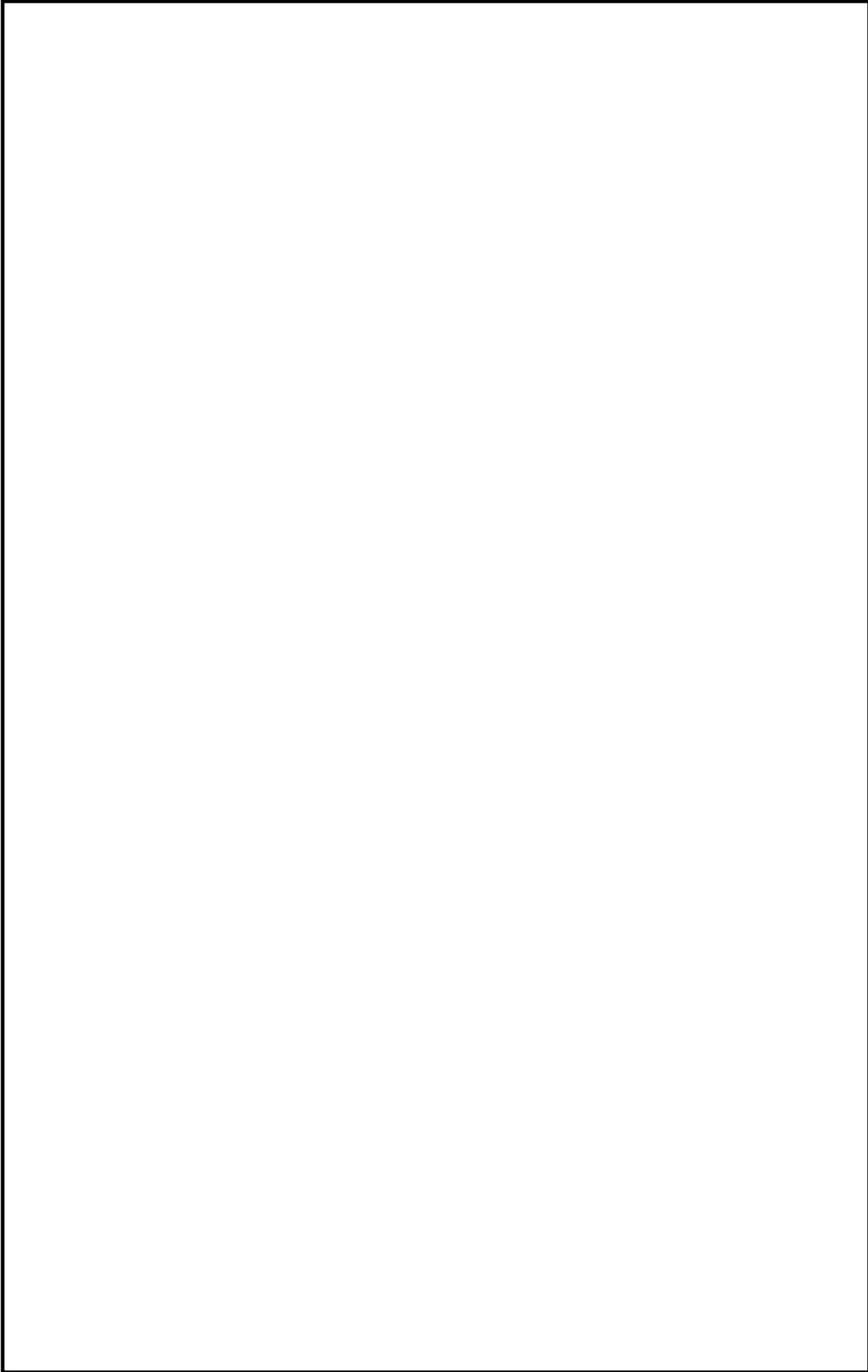
代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。



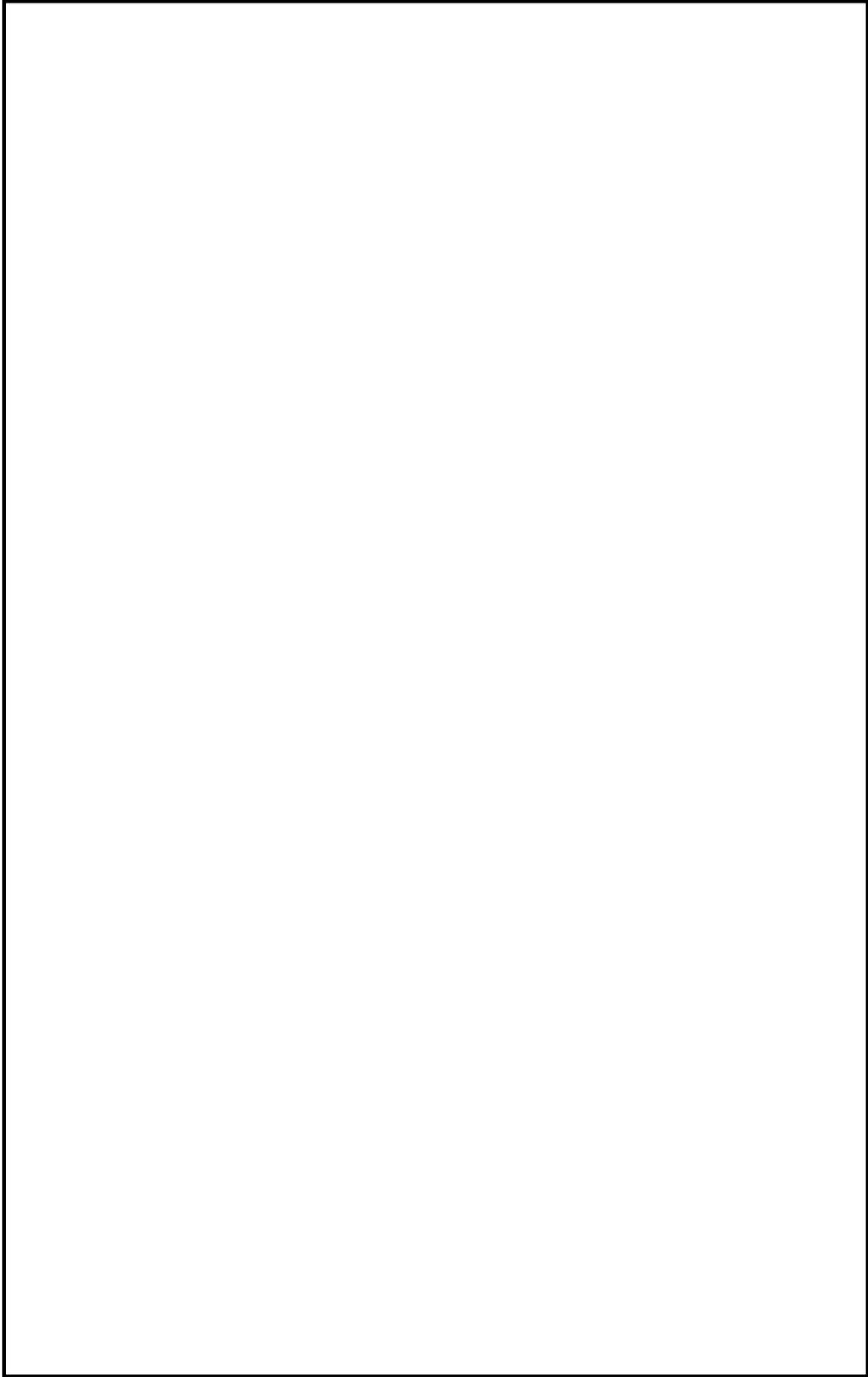
鳥瞰図

RHR-40, 41, 42, 89



鳥瞰図

RHR-40, 41, 42, 89



鳥瞰図

RHR-40, 41, 42, 89

解析結果及び評価
固有周期及び設計震度

鳥瞰図 RHR-70

耐震設計上の重要度分類		S							
		S _d 及び静的震度				S _s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度		応答水平震度		応答鉛直震度	
		X方向	Z方向	Y方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向	Y方向
1次									
2次									
3次									
4次									
5次									
6次									
7次									
8次									
18次									
19次									
動的震度									
静的震度									

各モードに対応する刺激係数

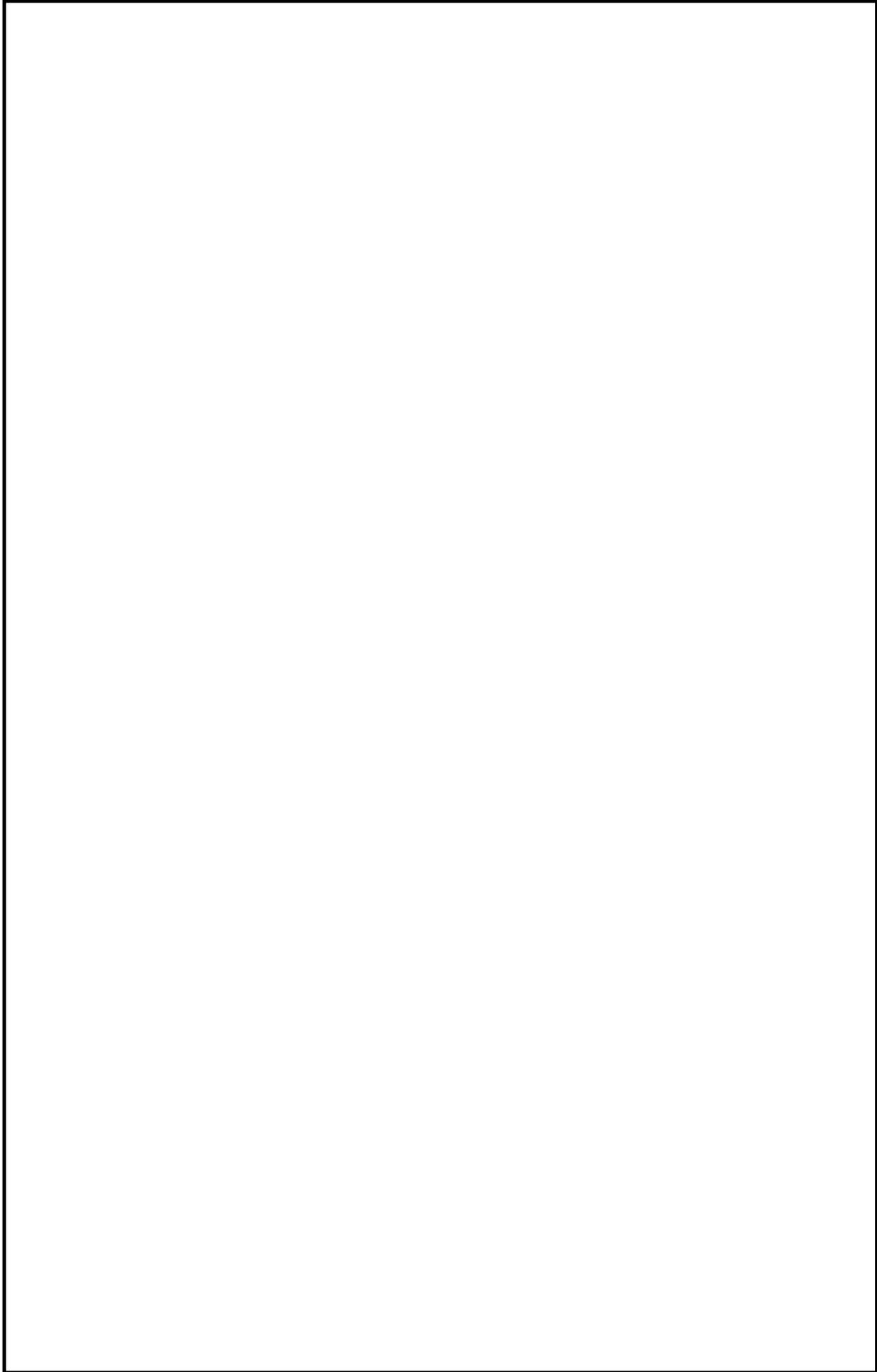
鳥 瞰 図 RHR-70

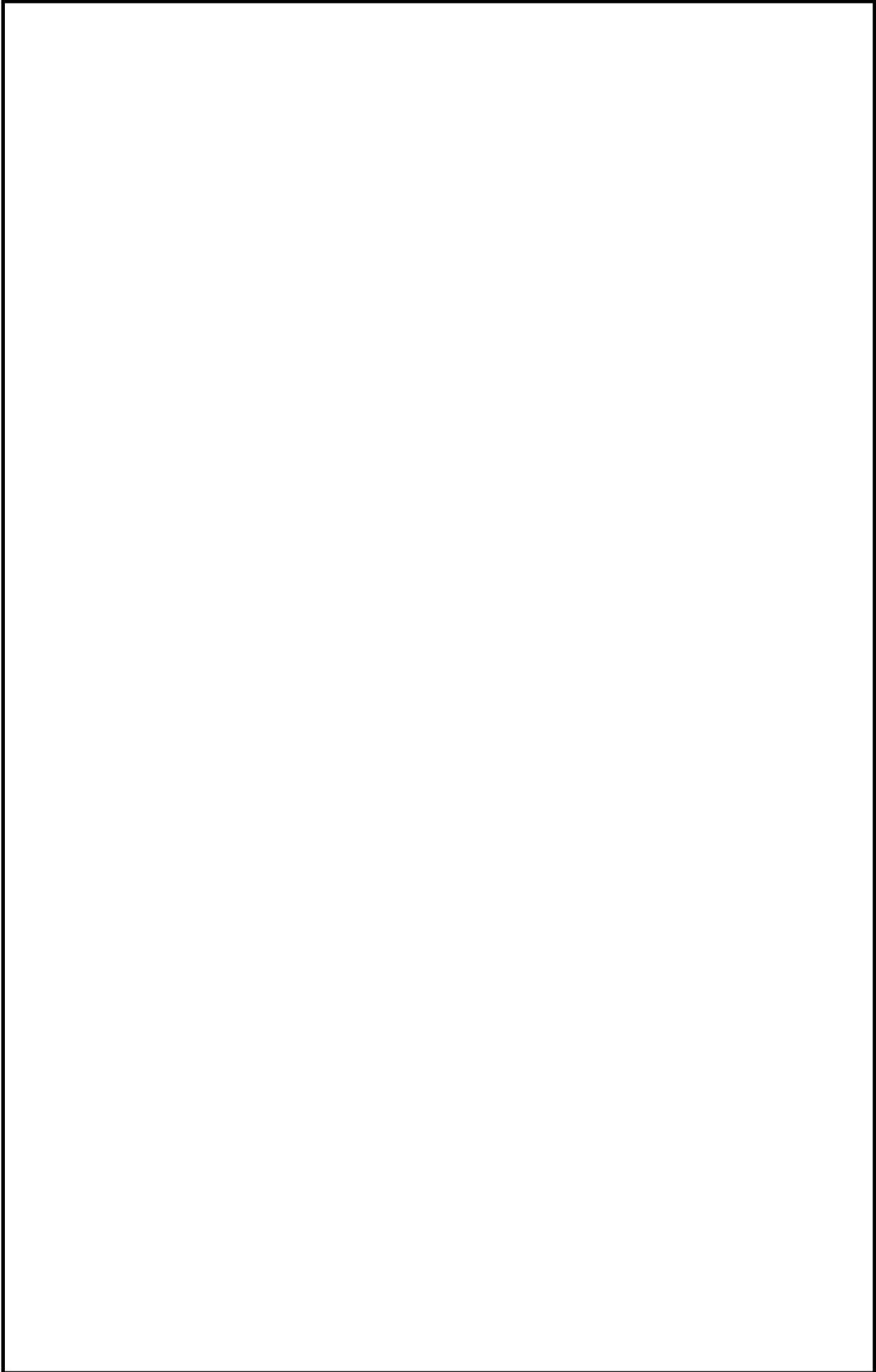
モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次		[Blank area for data]		
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
18次				

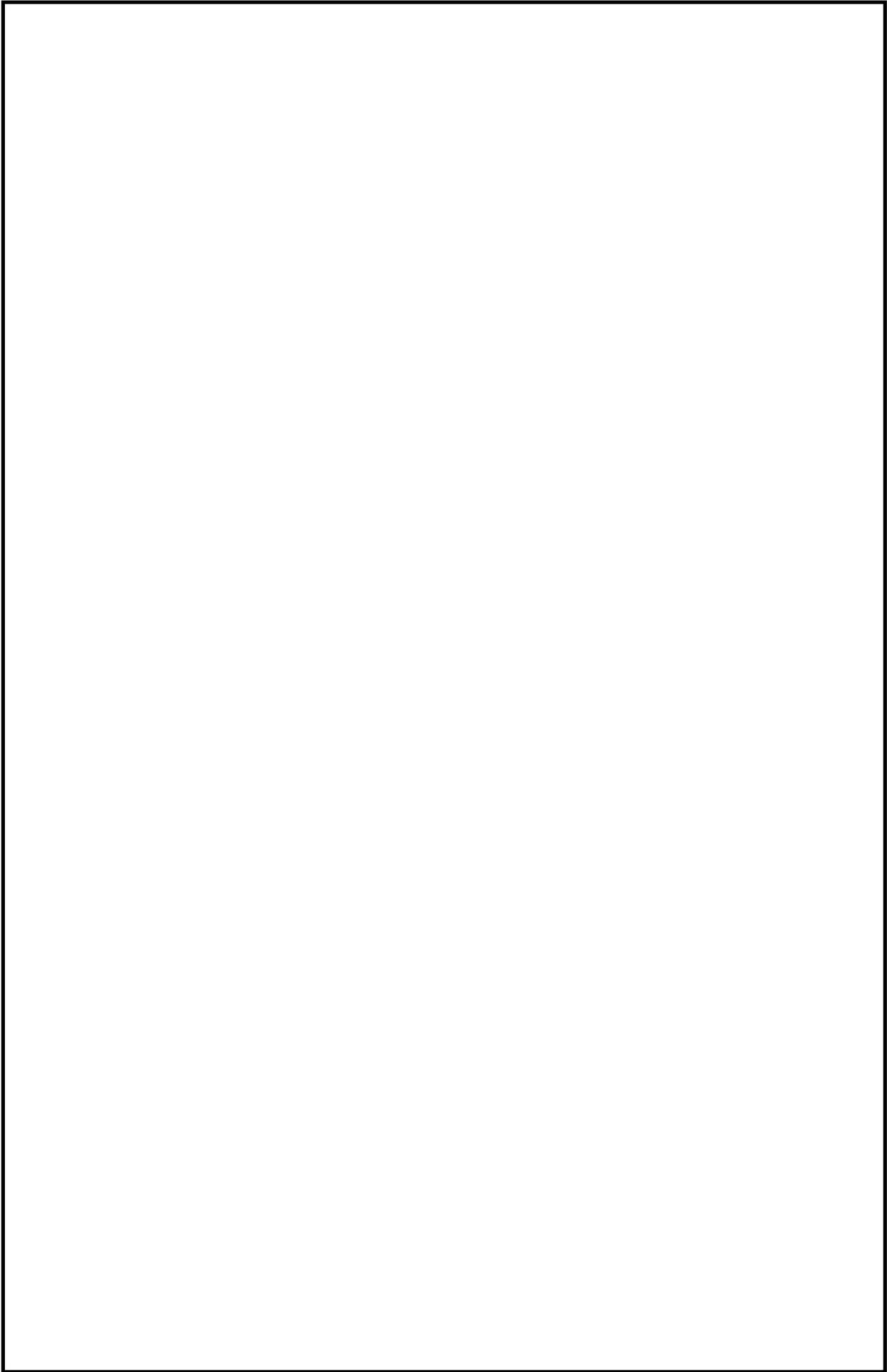
NT2 補③ V-2-5-4-1-4 R0

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。







4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス1管

鳥瞰図	許容応力状態 (供用状態)	最大応力 評価点	配管要素 名称	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)				一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価 疲労累積 係数 U+U S s
					一次応力 S _{pr} m(S _d) S _{pr} m(S _s)	許容応力 min(2.25S _m , 1.8S _y) min(3S _m , 2S _y)	ねじり 応力 S _t (S _d) S _t (S _s)	許容 応力 0.55S _m 0.73S _m	一次+二次 応力 S _n (S _s)	許容 応力 3S _m	
RHR-70	III A S	82	ELBOW	S _{pr} m(S _d)	153	234	—	—	—	—	—
RHR-70	III A S	81	ELBOW	S _t (S _d)	—	—	* 73	64	—	—	—
RHR-70	IV A S	82	ELBOW	S _{pr} m(S _s)	217	260	—	—	—	—	—
RHR-70	IV A S	81	ELBOW	S _t (S _s)	—	—	* 119	86	—	—	—
RHR-70	IV A S	82	ELBOW	S _n (S _s)	—	—	—	—	496	354	0.0160
RHR-70	IV A S	82	ELBOW	U+U S s	—	—	—	—	—	—	0.0160

* 印はねじりによる応力が許容応力状態III_ASのとき0.55S_m、又は許容応力状態IV_ASのとき0.73S_mを超える評価点を示し、次紙に曲げとねじりによる応力評価結果を示す。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態Ⅲ_ASのとき0.55S_m、又は許容応力状態Ⅳ_ASのとき0.73S_mを超える評価点のうち曲げとねじりによる応力は許容値を満足している。

鳥瞰図	評価点	一次応力評価 (MPa)			
		ねじり応力 St(Sd) St(Ss)	許容応力 0.55S _m 0.73S _m	曲げとねじり応力 St+Sb(Sd) St+Sb(Ss)	許容応力 1.8S _m 2.4S _m
RHR-70	81	73	64	88	212
RHR-70	81	119	86	146	283

管の応力評価結果
 下表に示すとおり、最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管及び重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態 (供用状態)	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 S _{pr} m (S _d) S _{pr} m (S _s)	許容応力 S _y * 0.9S _u	計算応力	許容応力	
RHR-40, 41, 42, 89	III _Δ S	509	S _{pr} m (S _d)	131	200	—	—	—
RHR-40, 41, 42, 89	IV _Δ S	509	S _{pr} m (S _s)	203	335	—	—	—
RHR-40, 41, 42, 89	IV _Δ S	509	S _n (S _s)	—	—	382	400	—

注記*： オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、S_yと1.2S_hのうち大きい方とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
SNM-RHR-606B-2	メカニカルスナッパ	SMS-3	「V-2-1-11機器・ 配管の耐震支持設 計方針」参照		41.8	45.0
SNO-RHR-32C	オイルスナッパ	SN-25			300.0	375.0
RO-RHR-RE20	ロッドストレイント	RTS-6			55.3	108.0
SH-RHR-30C	スプリングハンガ	VS-4			75.8	97.2
CH-RHR-178	コンスタントハンガ	CSH-25			21.1	22.5

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
AN-RHR-641	アンカ	ラグ	SM41B	174	49.9	217.0	76.0	87.9	30.4	72.5	組合せ	101	138
RE-RHR-698A	レストレイント	パイプバンド	STKR400 SM400B	174	51.2	172.0	0	—	—	—	圧縮	42	120
RH-RHR-861T1	リジットハンガ	パイプバンド	STKR400 SM400B	302	0	41.5	0	—	—	—	圧縮	11	55

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり心答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	心答加速度* ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
E12-F053B	止め弁	β (Ss)	5.7	1.5	6.0	6.0	—	—
E12-F042A	止め弁	β (Sd)	2.3	4.9	6.0	6.0	—	—
E12-F050A	逆止め弁	β (Ss)	5.9	2.2	6.0	6.0	—	—
E12-F041B	逆止め弁	β (Sd)	5.0	3.2	6.0	6.0	—	—

* 心答加速度は、打ち切り振動数を50Hzとして計算した結果を示す。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果
 代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス1範囲）

No	配管モデル	許容応力状態 III _A S						許容応力状態 IV _A S											
		一次応力			一次応力			一次+二次応力			一次+二次応力								
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	疲労累積係数	代表	
1	RHR-34_X-12	670	119	310	2.60	—	670	162	414	2.55	—	68A	205	366	1.78	—	670	0.0013	—
2	RHR-34_X-19	1731	67	234	3.49	—	1731	78	260	3.33	—	1731	102	354	3.47	—	1731	0.0002	—
3	RHR-70	82	153	234	1.52	○	82	217	260	1.19	○	82	496	354	0.71	○	82	0.0160	○
4	RHR-PD-29	13	118	310	2.62	—	20	147	414	2.81	—	20	350	414	1.18	—	21N	0.0084	—
5	RHR-PD-35	13	120	310	2.58	—	20	145	414	2.85	—	20	355	414	1.16	—	21N	0.0080	—
6	RHR-PD-36	13	120	310	2.58	—	20	147	414	2.81	—	20	351	414	1.17	—	21N	0.0087	—
7	RHR-40, 41, 42, 89	196	76	226	2.97	—	196	93	252	2.70	—	196	171	342	2.00	—	1952	0.0009	—
8	PLR-PD-1	308	95	226	2.37	—	302	103	252	2.44	—	334	264	342	1.29	—	334	0.0009	—
9	PLR-PD-2	216	75	234	3.12	—	216	102	260	2.54	—	223	212	354	1.66	—	217	0.0002	—

注記*：III_ASの一次+二次応力の許容値はIV_ASと同様であることから、地震荷重が大きいIV_ASの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

IV_ASの計算応力は、V_ASとIV_ASの大きい方を記載している。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス2範囲）

No	配管モデル	許容応力状態 III _A S						許容応力状態 IV _A S									
		一次応力			一次応力			一次応力			二次応力						
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	疲労評価
1	RHR-3	28	100	200	2.00	—	28	136	335	2.46	—	28	192	400	2.08	—	—
2	RHR-5	38	110	181	1.64	—	38	156	335	2.14	—	38	222	362	1.63	—	—
3	RHR-6	33	88	200	2.27	—	116	134	335	2.50	—	116	203	400	1.97	—	—
4	RHR-8	88A	75	200	2.66	—	88A	97	335	3.45	—	88A	118	400	3.38	—	—
5	RHR-10	622	39	210	5.38	—	622	56	363	6.48	—	622	75	420	5.60	—	—
6	RHR-12	6	52	207	3.98	—	6	66	335	5.07	—	6	71	414	5.83	—	—
7	RHR-15	47	24	200	8.33	—	47	34	335	9.85	—	44	113	400	3.53	—	—
8	RHR-34	335F	94	200	2.12	—	158A	147	335	2.27	—	158A	265	400	1.50	—	—
9	RHR-48	93	104	273	2.62	—	93	143	396	2.76	—	93	234	546	2.33	—	—
10	RHR-70	76	137	210	1.53	—	76	202	363	1.79	—	76	318	420	1.32	—	—
11	FPC-6	535A	24	210	8.75	—	535A	28	363	12.96	—	522	28	420	15.00	—	—
12	FPC-10	135A	44	210	4.77	—	135A	56	363	6.48	—	135A	55	420	7.63	—	—
13	RHR1-1	2	61	207	3.39	—	2	81	335	4.13	—	2	99	414	4.18	—	—
14	RHR2-1	2	63	207	3.28	—	2	85	335	3.94	—	2	104	414	3.98	—	—
15	RHR-31	1A	93	207	2.22	—	1A	141	335	2.37	—	1A	272	414	1.52	—	—
16	RHR-40	509	131	200	1.52	○	509	203	335	1.65	○	509	382	400	1.04	○	—
17	RHR-66	1N	72	210	2.91	—	1N	109	363	3.33	—	1N	319	420	1.31	—	—

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-633 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-5-3-1-1 アキュムレータの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	12
3. 評価部位	13
4. 固有周期	13
4.1 固有周期の計算方法	13
4.2 固有周期の計算条件	18
4.3 固有周期の計算結果	18
5. 構造強度評価	18
5.1 構造強度評価方法	18
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	18
5.3 設計用地震力	23
5.4 計算方法	25
5.5 計算条件	38
5.6 応力の評価	38
6. 評価結果	41
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	41
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	41
7. 引用文献	63

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、アキュムレータが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

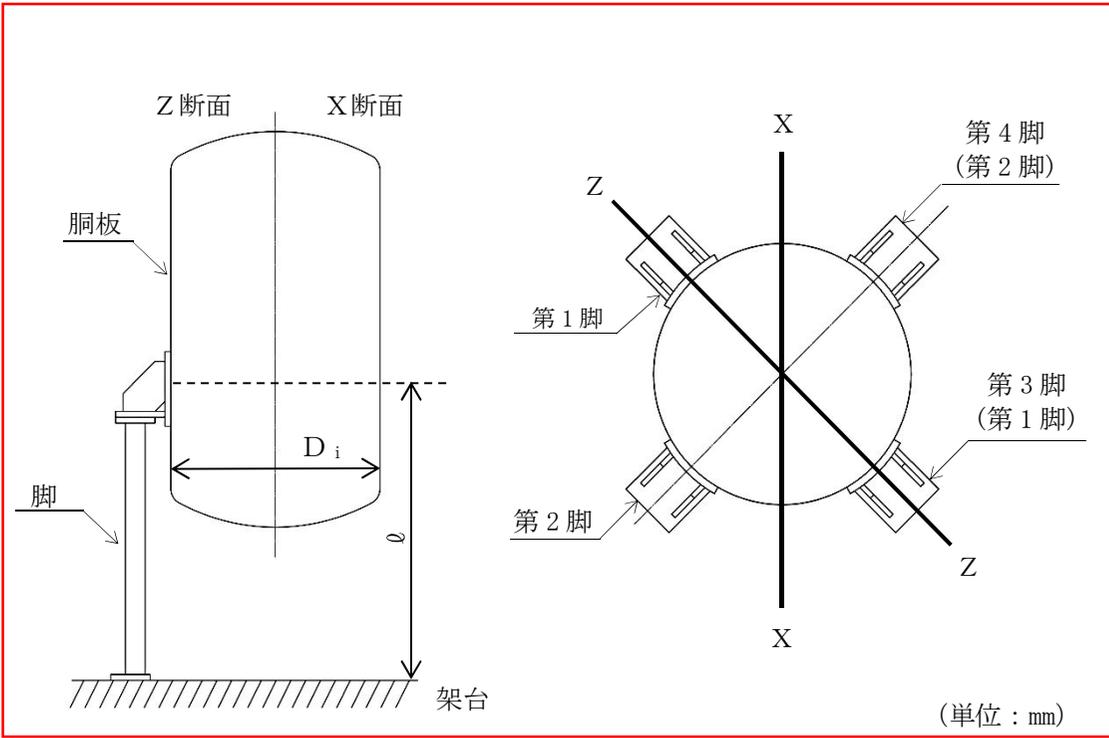
アキュムレータは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、**設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。**

2. 一般事項

2.1 構造計画

アキュムレータの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図	備考
基礎・支持構造	主体構造		
<p>胴を 4 個の脚で支持し、脚を溶接で架台に据え付ける。</p>	<p>上面及び下面に鏡板を有するたて置円筒形</p>		<p>・逃がし安全弁 自動減圧機能用 アキュムレータ $D_i = 550$ $l = 645$</p>
<p>胴を 4 個の脚で支持し、脚を溶接で架台に据え付ける。</p>	<p>上面及び下面に鏡板を有するたて置円筒形</p>		<p>・逃がし安全弁 逃がし弁機能用 アキュムレータ $D_i = 400$ $l = 577$</p>

2.2 評価方針

アキュムレータの応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すアキュムレータの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

アキュムレータの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

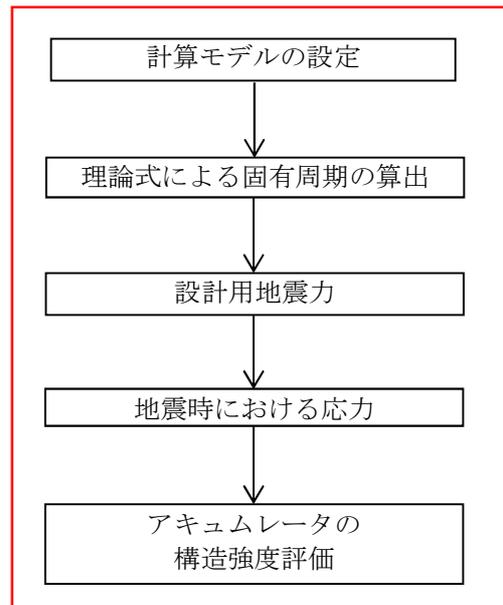


図 2-1 アキュムレータの耐震評価フロー

2.3 適用基準

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）に準拠して評価する。

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A _e	胴の有効せん断断面積	mm ²
A _f	脚の圧縮フランジの断面積	mm ²
A _s	脚の断面積	mm ²
A _{s1}	脚の半径方向軸に対するせん断断面積	mm ²
A _{s2}	脚の周方向軸に対するせん断断面積	mm ²
A _{sf}	脚の圧縮フランジとせいの6分の1から成る T形断面の断面積	mm ²
A _{sr}	脚の半径方向軸に対する有効せん断断面積	mm ²
A _{st}	脚の周方向軸に対する有効せん断断面積	mm ²
C	脚の座屈曲げモーメントに対する修正係数	—
C ₁	脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の周方向)	mm
C ₂	脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の軸方向)	mm
C _{cj}	周方向モーメントによる応力の補正係数 (引用文献(2)より得られる値) (j=1: 周方向応力, j=2: 軸方向応力)	—
C _H	水平方向設計震度	—
C _v	鉛直方向設計震度	—
C _{ℓj}	鉛直方向モーメントによる応力の補正係数 (引用文献(2)より得られる値) (j=1: 周方向応力, j=2: 軸方向応力)	—
D _i	胴の内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E _s	脚の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3に定める値	MPa
F _o	振動モデル系における水平力	N
F _v	鉛直方向荷重	N
f _{br}	脚の半径方向軸回りの許容曲げ応力	MPa
f _{bt}	脚の半径方向に直角な方向の軸回りの許容曲げ応力	MPa
f _c	脚の許容圧縮応力	MPa

記号	記号の説明	単位
f_t	脚の許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h	脚断面のせい	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm^4
i	脚の弱軸についての断面二次半径	mm
i_f	脚の圧縮フランジとせいの6分の1から成るT形断面のウェブ軸回りの断面二次半径	mm
$I_{s f}$	脚の圧縮フランジとせいの6分の1から成るT形断面のウェブ軸回りの断面二次モーメント	mm^4
$I_{s r}$	脚の半径方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
$I_{s t}$	脚の周方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
J_s	脚のねじりモーメント係数	mm^4
K_{1j}, K_{2j}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 ($j=1$:周方向応力, $j=2$:軸方向応力)	—
K_c	胴の脚付け根部における周方向曲げモーメントに対する局部ばね定数 (引用文献(1)より得られる値)	—
K_H	ばね定数 (水平方向)	N/m
K_ℓ	胴の脚付け根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ばね定数 (引用文献(1)より得られる値)	—
K_r	胴の脚付け根部における半径方向荷重に対する局部ばね定数 (引用文献(1)より得られる値)	—
K_v	ばね定数 (鉛直方向)	N/m
k_c, k_ℓ	引用文献(1)によるアタッチメントパラメータの周方向及び軸方向の補正係数	—
l	脚の長さ	mm
l_c	脚の中立軸間の距離	mm
l_g	架台から容器重心までの距離	mm
l_k	脚の有効座屈長さ	mm
M_1	Z方向地震による胴の脚付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm

記 号	記 号 の 説 明	単 位
M_3	Z方向地震による胴の脚付け根部のねじりモーメント	N・mm
M_c	Z方向地震による胴の脚付け根部の周方向モーメント	N・mm
M_ℓ	運転時質量による胴の脚付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_{\ell 2}$	鉛直方向地震による胴の脚付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
M_{s1}, M_{s2}	脚の上下両端に作用する曲げモーメント	N・mm
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	N・mm /mm
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント	N・mm /mm
m_0	容器の運転時質量	kg
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
P	運転時質量による胴の脚付け根部の半径方向荷重	N
P_1	Z方向地震による胴の脚付け根部の半径方向荷重	N
P_2	鉛直方向地震による胴の脚付け根部の半径方向荷重	N
P_r	最高使用圧力	MPa
Q	Z方向地震による胴の脚付け根部の周方向荷重	N
R	運転時質量による脚の軸力	N
R_1	Z方向地震により脚に作用する軸力	N
R_2	鉛直方向地震により脚に作用する軸力	N
r_m	胴の平均半径	mm

記 号	記 号 の 説 明	単 位
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S _a	胴の許容応力	MPa
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
T _H	水平方向の固有周期	s
T _V	鉛直方向の固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
u	脚の中心軸から胴板の厚さの中心までの距離	mm
Z _{s p}	脚のねじり断面係数	mm ³
Z _{s r}	脚の半径方向軸に対する断面係数	mm ³
Z _{s t}	脚の周方向軸に対する断面係数	mm ³
β, β_1, β_2	引用文献(2) によるアタッチメントパラメータ	—
γ	引用文献(2) によるシェルパラメータ	—
δ_H	水平力 F _o による胴重心の水平方向変位量	mm
δ_V	胴重心の鉛直方向変位量	mm
Δ_r	運転時質量による胴の半径方向局部変位量	mm
Δ_{r1}	水平力 F _o による胴の半径方向局部変位量	mm
Δ_{x1}	水平力 F _o による第1脚上端の水平方向変位量	mm
Δ_{x3}	水平力 F _o による第2脚上端の水平方向変位量	mm
Δ_{y1}	水平力 F _o による第1脚の鉛直方向変位量	mm
Δ_{y2}	鉛直方向荷重 F _v による支持脚の鉛直方向変位量	mm
Δ_{y3}	鉛直方向荷重 F _v による胴の鉛直方向変位量	mm
Δ_{y4}	運転時質量による胴付け根部における局部傾き角による鉛直方向変位量	mm
θ	運転時質量による胴の脚付け根部における局部傾き角	rad
θ_0	水平力 F _o による胴の中心軸の傾き角	rad
θ_1	水平力 F _o による第1脚の傾き角	rad
θ_1'	水平力 F _o による胴の第1脚付け根部における局部傾き角	rad
θ_3	水平力 F _o による第2脚の傾き角	rad
Λ	脚の限界細長比	—
λ	脚の有効細長比	—
ν	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—

記号	記号の説明	単位
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{0\phi}$	胴の周方向の一次一般膜応力	MPa
σ_{0x}	胴の軸方向の一次一般膜応力	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_2	胴の一次+二次応力の最大値	MPa
σ_{11}, σ_{12}	Z方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
σ_{13}, σ_{14}	Z方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
σ_{15}, σ_{16}	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
σ_{21}, σ_{22}	Z方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次+二次応力	MPa
σ_{23}, σ_{24}	Z方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次+二次応力	MPa
σ_{25}, σ_{26}	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次+二次応力	MPa
σ_s	脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{s1}, σ_{s2}	運転時質量による脚の圧縮及び曲げ応力	MPa
σ_{s3}, σ_{s4}	鉛直方向地震による脚の圧縮及び曲げ応力	MPa
$\sigma_{s5}, \sigma_{s6}, \sigma_{s7}$	Z方向地震による脚の圧縮並びに第1脚及び第2脚の曲げ応力	MPa
$\sigma_{s8}, \sigma_{s9}, \sigma_{s10}$	X方向地震による脚の圧縮並びに半径方向及び周方向の曲げ応力	MPa
σ_{sc}	脚の圧縮応力の和	MPa
σ_{sr}	脚の半径方向軸回りの圧縮側曲げ応力の和	MPa
σ_{st}	脚の半径方向に直角な軸回りの圧縮側曲げ応力の和	MPa
σ_{sx}	X方向地震が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{sz1}, \sigma_{sz2}$	Z方向地震が作用した場合の第1脚及び第2脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{\phi1}, \sigma_{x1}$	内圧による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi3}, \sigma_{x3}$	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi4}, \sigma_{x4}$	運転時質量により生じる半径方向荷重による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
σ_{x5}	水平方向地震が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi7}, \sigma_{x7}$	鉛直方向地震による胴の周方向応力及び軸方向応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{\phi 8}, \sigma_{x 8}$	鉛直方向地震により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 9}, \sigma_{x 9}$	鉛直方向地震により生じる半径方向荷重による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 10}, \sigma_{x 10}$	鉛直方向地震により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 11}, \sigma_{x 11}$	鉛直方向地震により生じる半径方向荷重による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 61}, \sigma_{x 61}$	Z方向地震が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向及び	MPa
$\sigma_{\phi 62}, \sigma_{x 62}$	軸方向応力	
$\sigma_{\phi 71}, \sigma_{x 71}$	Z方向地震が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び	MPa
$\sigma_{\phi 72}, \sigma_{x 72}$	軸方向応力	
$\sigma_{\phi 81}, \sigma_{x 81}$	Z方向地震が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向及び	MPa
$\sigma_{\phi 82}, \sigma_{x 82}$	軸方向応力	
$\sigma_{\phi 91}, \sigma_{x 91}$	X方向地震が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向及び	MPa
$\sigma_{\phi 92}, \sigma_{x 92}$	軸方向応力	
$\sigma_{\phi 101}, \sigma_{x 101}$	X方向地震が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向	MPa
$\sigma_{\phi 102}, \sigma_{x 102}$	及び軸方向応力	
$\sigma_{\phi 111}, \sigma_{x 111}$	X方向地震が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向及び	MPa
$\sigma_{\phi 112}, \sigma_{x 112}$	軸方向応力	
$\sigma_{x x 1}, \sigma_{x x 2}$	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{x x 3}, \sigma_{x x 4}$	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次+二次応力の和	MPa
$\sigma_{x z 1}, \sigma_{x z 2}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{x z 3}, \sigma_{x z 4}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{x z 5}, \sigma_{x z 6}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次+二次応力の和	MPa
$\sigma_{x z 7}, \sigma_{x z 8}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次+二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi x 1}, \sigma_{\phi x 2}$	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi x 3}, \sigma_{\phi x 4}$	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次+二次応力の和	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
$\sigma_{\phi z 1}, \sigma_{\phi z 2}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi z 3}, \sigma_{\phi z 4}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi z 5}, \sigma_{\phi z 6}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次+二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi z 7}, \sigma_{\phi z 8}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次+二次応力の和	MPa
τ_3	Z方向地震により胴の脚付け根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_6	X方向地震により胴の脚付け根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_{c1}	Z方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向せん断応力	MPa
τ_{c4}	X方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向せん断応力	MPa
$\tau_{\ell 1}$	運転時質量により胴の脚付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\ell 2}$	Z方向地震により胴の脚付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\ell 5}$	X方向地震により胴の脚付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\ell 3}$	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{s1}	運転時質量による脚のせん断応力	MPa
τ_{s2}	鉛直方向地震による脚のせん断応力	MPa
τ_{s3}, τ_{s4}	Z方向地震による第1脚及び第2脚のせん断応力	MPa
τ_{s5}	X方向地震による脚のせん断応力	MPa

注：「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））J SME S NC 1-2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）をいう。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度		—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第 2 位
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第 1 位
面積		mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント		N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ及び逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータは、胴及び脚について評価を実施する。

逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ及び逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

本容器は、2.1節より脚下端の支持条件を組み合わせることで次の計算モデルができる。

a. 第1脚及び第2脚とも固定の場合

図4-1にa項の変形モードを示す。

(2) 固有周期

それぞれの脚及び胴について、荷重、モーメント及び変形の釣合い条件の方程式を作ることにより、以下のように固有周期を求める。

a. 水平方向の固有周期

第1脚及び第2脚とも固定の場合（図4-1参照），水平力の釣合いより

$$2 \cdot P_1 + 2 \cdot Q = F_0 \quad \dots\dots\dots (4.1.1)$$

転倒モーメントの釣合いより

$$2 \cdot M_1 - 2 \cdot M_3 + 2 \cdot R_1 \cdot r_m = F_0 \cdot (\ell_g - \ell) \quad \dots\dots\dots (4.1.2)$$

ただし、

$$r_m = (D_i + t) / 2 \quad \dots\dots\dots (4.1.3)$$

水平力 F_0 による第1脚の水平方向変位量、傾き角及び鉛直方向変位量は

$$\Delta_{x1} = \frac{P_1 \cdot \ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot \ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \quad \dots\dots\dots (4.1.4)$$

ここで, (図 4-1 参照)

$$u = \frac{\ell_c}{2} - r_m \quad \dots\dots\dots (4.1.5)$$

$$\theta_1 = \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \ell}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \quad \dots\dots\dots (4.1.6)$$

$$\Delta_{y1} = \frac{R_1 \cdot \ell}{A_s \cdot E_s} \quad \dots\dots\dots (4.1.7)$$

水平力 F_0 による胴の半径方向局部変位量と局部傾き角は

$$\Delta_{r1} = \frac{K_r \cdot P_1}{r_m \cdot E} \quad \dots\dots\dots (4.1.8)$$

$$\theta_{1'} = \frac{K\ell \cdot M_1}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \quad \dots\dots\dots (4.1.9)$$

ここで, K_r 及び $K\ell$ は引用文献(1)に基づく胴の半径方向荷重による局部変位と長手方向曲げモーメントによる局部傾き角に対する定数であり, シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β は, 以下のように定義する。

$$r_m = (D_i + t) / 2 \quad \dots\dots\dots (4.1.10)$$

$$\gamma = r_m / t \quad \dots\dots\dots (4.1.11)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad \dots\dots\dots (4.1.12)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad \dots\dots\dots (4.1.13)$$

$$\beta = k\ell \cdot \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \dots\dots\dots (4.1.14)$$

水平力 F_0 による第 2 脚の傾き角 (胴の中心軸の傾き角に同じ。) と水平方向変位量は

$$\theta_0 = \frac{-M_3 \cdot \ell}{E_s \cdot I_{sr}} + \frac{Q \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} \quad \dots\dots\dots (4.1.15)$$

$$\Delta_{x3} = \frac{Q \cdot \ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{sr}} + \frac{Q \cdot \ell}{G_s \cdot A_{st}} - \frac{M_3 \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} \quad \dots\dots (4.1.16)$$

第 1 脚と胴の傾き角の釣合いより

$$\theta_1 + \theta_{1'} - \theta_0 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.17)$$

水平力 F_0 による第 2 脚のねじれ角と胴の局部傾き角は等しいから

$$\theta_3 = \frac{(Q \cdot u - M_c) \cdot \ell}{G_s \cdot J_s} = \frac{K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \quad \dots\dots\dots (4.1.18)$$

ここで、 K_c は、引用文献(1)に基づく胴の周方向曲げモーメントによる局部傾き角に対する定数であり、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β は、(4.1.10)式～(4.1.14)式とする。ただし、(4.1.14)式の k_l を k_c 、 β_1 を β_2 及び β_2 を β_1 に置き換える。

脚と胴の水平方向変位量の釣合いより

$$\Delta_{x1} + \Delta_{r1} = \Delta_{x3} + u \cdot \theta_3 \quad \dots\dots\dots (4.1.19)$$

さらに、鉛直方向の釣合いより

$$\Delta_{y1} - u \cdot \theta_1 - r_m \cdot \theta_0 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.20)$$

(4.1.20)式へ(4.1.6)式、(4.1.7)式及び(4.1.15)式を代入して

$$\begin{aligned} & \frac{R_1 \cdot \ell}{A_s \cdot E_s} - \frac{u \cdot (M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \ell}{E_s \cdot I_{st}} - \frac{u \cdot P_1 \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{r_m \cdot M_3 \cdot \ell}{E_s \cdot I_{sr}} \\ & - \frac{r_m \cdot Q \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.21) \end{aligned}$$

(4.1.17)式へ(4.1.6)式、(4.1.9)式及び(4.1.15)式を代入して

$$\begin{aligned} & \frac{M_3 \cdot \ell}{E_s \cdot I_{sr}} - \frac{Q \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \ell}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \\ & + \frac{K_l \cdot M_1}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.22) \end{aligned}$$

(4.1.18)式を変形して

$$\frac{u \cdot Q \cdot \ell}{G_s \cdot J_s} - \frac{M_c \cdot \ell}{G_s \cdot J_s} - \frac{K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.23)$$

(4.1.19)式へ(4.1.4)式、(4.1.8)式、(4.1.16)式及び(4.1.18)式を代入して

$$\begin{aligned} & \frac{P_1 \cdot \ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot \ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_r \cdot P_1}{r_m \cdot E} \\ & - \frac{Q \cdot \ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{sr}} - \frac{Q \cdot \ell}{G_s \cdot A_{st}} + \frac{M_3 \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} - \frac{u \cdot K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} = 0 \\ & \dots\dots\dots (4.1.24) \end{aligned}$$

以上より、6変数 P_1 、 Q 、 R_1 、 M_1 、 M_3 及び M_c に対して(4.1.1)式、(4.1.2)式及び(4.1.21)式～(4.1.24)式を連立させ、 Δ_{x1} 、 Δ_{r1} 及び θ_0 を求める。

胴重心の変位量 δ_H 、ばね定数 K_H 及び固有周期 T_H は次式で求める。

$$\begin{aligned} \delta_H = & \Delta_{x1} + \Delta_{r1} + (\ell_g - \ell) \cdot \theta_0 + \frac{(\ell_g - \ell)^3}{3 \cdot E \cdot I} \cdot F_0 + \frac{(\ell_g - \ell)}{G \cdot A_e} \cdot F_0 \\ & \dots\dots\dots (4.1.25) \end{aligned}$$

$$K_H = \frac{1000 \cdot F_o}{\delta_H} \dots\dots\dots (4.1.26)$$

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_o}{K_H}} \dots\dots\dots (4.1.27)$$

ここで、胴の断面性能は次式で求める。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \dots\dots\dots (4.1.28)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \dots\dots\dots (4.1.29)$$

b. 鉛直方向の固有周期

鉛直方向荷重 F_v による支持脚の鉛直方向変位量と胴の鉛直方向変位量は次式で求める。

$$\Delta_{y2} = \frac{F_v \cdot \ell}{4 \cdot A_s \cdot E_s} \dots\dots\dots (4.1.30)$$

$$\Delta_{y3} = \frac{F_v \cdot (\ell_g - \ell)}{A_s \cdot E} \dots\dots\dots (4.1.31)$$

ここで、

$$A_s = \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \dots\dots\dots (4.1.32)$$

運転時質量による胴の脚付け根部における局部傾き角による鉛直方向変位量は次式で求める。

$$\Delta_{y4} = \theta \cdot u \dots\dots\dots (4.1.33)$$

局部傾き角は脚下端の支持条件により、脚下端が固定の場合

$$\theta = \frac{K_\ell \cdot M_\ell}{r m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \dots\dots\dots (4.1.34)$$

ここで、

$$M_\ell = \left\{ \left(\frac{\ell^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r m \cdot E} \right) \cdot \frac{F_v \cdot u \cdot \ell}{4 \cdot E_s \cdot I_{st}} \right\} \\ \cdot \left\{ \left(\frac{\ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r m \cdot E} \right) \cdot \left(\frac{\ell}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_\ell}{r m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \right) - \left(\frac{\ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \right)^2 \right\} \dots\dots\dots (4.1.35)$$

以上により、胴重心の鉛直方向変位量 δ_v 、ばね定数 K_v 及び固有周期 T_v は次式で求める。

$$\delta_v = \Delta_{y2} + \Delta_{y3} + \Delta_{y4} \dots\dots\dots (4.1.36)$$

$$K_v = \frac{1000 \cdot F_v}{\delta_v} \dots\dots\dots (4.1.37)$$

$$T_v = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_o}{K_v}} \dots\dots\dots (4.1.38)$$

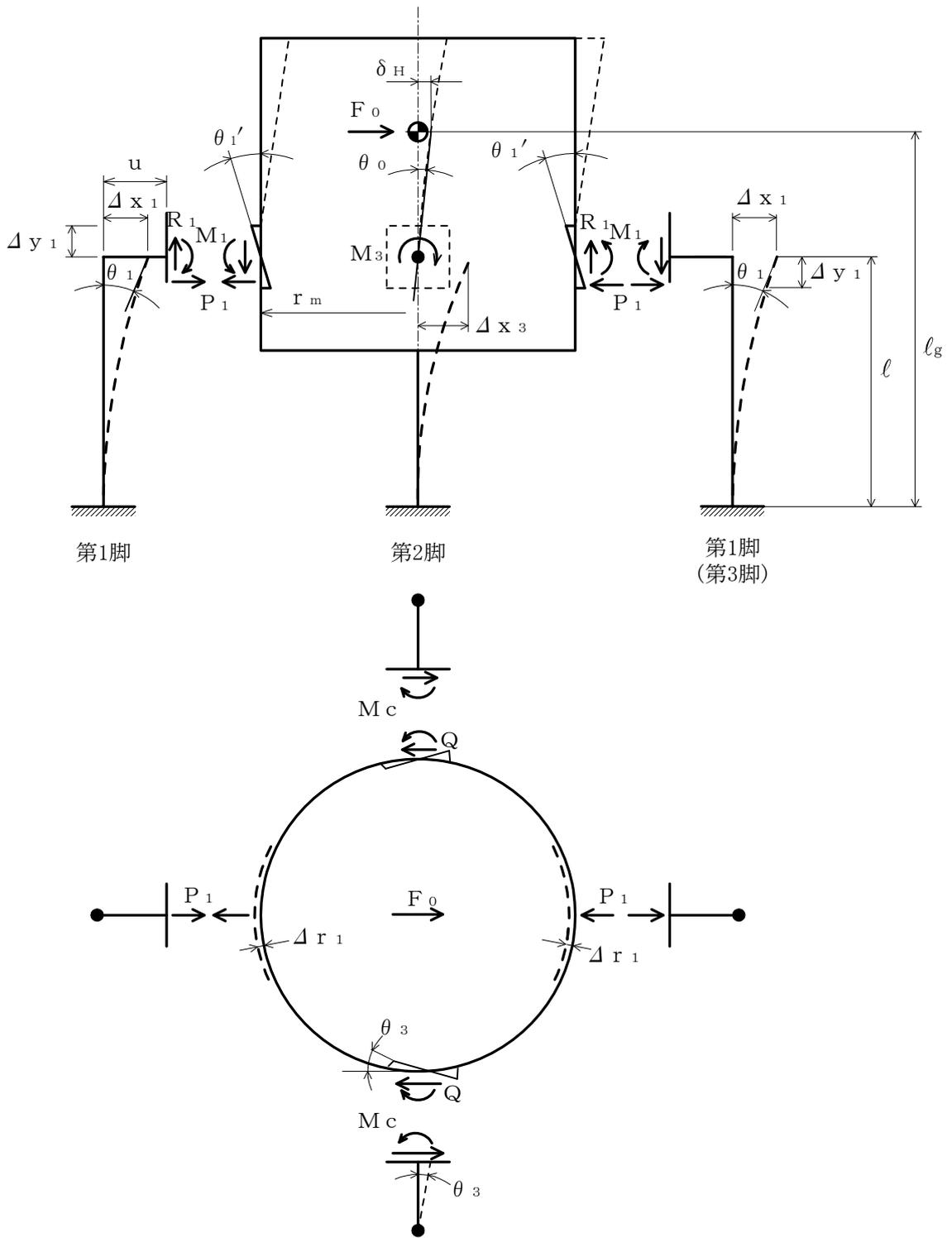


図 4-1 第 1 脚及び第 2 脚とも脚下端が固定されている場合の変形モード

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、「6.1 設計基準対象施設としての評価結果」及び「6.2 重大事故等対処設備としての評価結果」の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の評価結果を、表4-1に示す。計算結果より、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (s)

	水平方向	鉛直方向
逃がし安全弁自動減圧機能用 アキュムレータ		
逃がし安全弁逃がし弁機能用 アキュムレータ		

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 容器及び内容物の質量は、重心に集中するものとする。
- (2) 地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) アキュムレータは胴を 4 個の脚で支持し、脚は溶接で架台に据え付けているため、固定端として評価する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

アキュムレータの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

アキュムレータの許容応力を表 5-3 及び表 5-4 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

アキュムレータの許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-6 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材の循環設備	・逃がし安全弁自動減圧機能用 アキュムレータ ・逃がし安全弁逃がし弁機能用 アキュムレータ	S	クラス3容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 * : クラス3容器の支持構造物を含む。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材の循環設備	・逃がし安全弁自動減圧機能用 アキュムレータ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる)

注記 *1 : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2 : 重大事故等クラス2容器の支持構造物を含む。

*3 : 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため, 評価結果の記載を省略する。

表 5-3 許容応力 (クラス 2, 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器)

許容応力状態	許容限界 *1, *2			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
ⅢAS	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし, オーステナイト系 ステンレス鋼及び高ニッケル 合金については上記の値 と $1.2 \cdot S$ との大きい方	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動 S_d 又は基準地震動 S_s の みによる疲労解析を行い, 疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次+二次応力の変 動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば, 疲労解析は行 わない。	
ⅣAS			左欄の 1.5 倍の値	基準地震動 S_s のみによる疲労解析を行い, 疲 労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次+二次応力の変 動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば, 疲労解析は行 わない。
VAS (VASとしてⅣASの 許容限界を用いる。)		$0.6 \cdot S_u$		

注記 *1: 座屈に対する評価が必要な場合には, クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-4 許容応力（クラス 2， 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物（クラス 2， 3 支持構造物））

許容応力状態	許容限界 [*] (脚)
	一次応力
	組合せ
ⅢAS	$1.5 \cdot f_t$
ⅣAS	$1.5 \cdot f_t^*$
ⅤAS (ⅤASとしてⅣASの許容限界を用いる。)	

注記 * : 当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SUS304	最高使用温度	171	113	150	413	—
脚	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	171	—	201	373	—

表 5-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SUS304	最高使用温度	171	113	150	413	—
脚	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	171	—	201	373	—

5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-7～表 5-9 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

表 5-7 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉格納 容器 EL. 27.432*			C _H =0.88	C _V =0.66	C _H =1.61	C _V =1.25

注記 *：基準床レベルを示す。

表 5-8 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉格納 容器 EL. 27.432*			C _H =0.88	C _V =0.66	C _H =1.61	C _V =1.25

注記 *：基準床レベルを示す。

表 5-9 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉格納 容器 EL. 27.432*			—	—	C _H =1.61	C _V =1.25

注記 *：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

応力計算において、静的地震力を用いるため絶対値和を用いる。

5.4.1.1 胴の応力

(1) 内圧による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 7} = 0 \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{x 2} = \frac{m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

$$\sigma_{x 7} = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

(3) 運転時質量による胴の脚付け根部の応力

脚下端が固定の場合、脚の半径方向変位量と胴の半径方向局部変位量は等しいから

$$\begin{aligned} \Delta_r &= \frac{-P \cdot \ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{-P \cdot \ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(R \cdot u - M\ell) \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \\ &= \frac{K_r \cdot P}{r_m \cdot E} \dots\dots\dots (5.4.1.1.6) \end{aligned}$$

また、脚上端の傾き角と胴の局部傾き角は等しいから

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{(R \cdot u - M\ell) \cdot \ell}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{-P \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \\ &= \frac{K_\ell \cdot M\ell}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \dots\dots\dots (5.4.1.1.7) \end{aligned}$$

ここで、

$$R = \frac{m_0 \cdot g}{4} \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

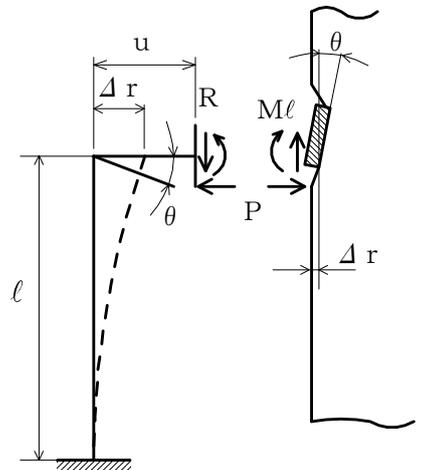


図5-1 脚下端が固定されている場合の運転時質量による脚及び胴の変形

したがって、(5.4.1.1.8) 式を (5.4.1.1.6) 式及び (5.4.1.1.7) 式に代入した式を連立することにより、 $M\ell$ を以下のように求める。

$$M\ell = \left\{ \left(\frac{\ell^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \cdot \frac{m_0 \cdot g \cdot u \cdot \ell}{4 \cdot E_s \cdot I_{st}} \right. \\ \left. \cdot \left(\frac{\ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \cdot \left(\frac{\ell}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_\ell}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \right) - \left(\frac{\ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \right)^2 \right\} \quad (5.4.1.1.9)$$

P は (5.4.1.1.6) 式に (5.4.1.1.8) 式を代入して整理すると

$$P = \frac{\frac{m_0 \cdot g \cdot u - M\ell}{4} \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \cdot \frac{\ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \quad (5.4.1.1.10)$$

となる。

鉛直方向曲げモーメント $M\ell$ により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は引用文献(2)により次のようにして求める。

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β を以下のように定義する。

$$r_m = (D_i + t) / 2 \quad (5.4.1.1.11)$$

$$\gamma = r_m / t \quad (5.4.1.1.12)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad (5.4.1.1.13)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad (5.4.1.1.14)$$

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad (5.4.1.1.15)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の図より値(以下*を付記するもの)を求めることにより、次式で求める。

$$\sigma_{\phi 3} = \left\{ \frac{N_\phi}{M\ell / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M\ell}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{\ell 1} \quad (5.4.1.1.16)$$

$$\sigma_{x 3} = \left\{ \frac{N_x}{M\ell / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M\ell}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{\ell 2} \quad (5.4.1.1.17)$$

半径方向荷重 P により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 4} = \left\{ \frac{N_\phi}{P / r_m} \right\}^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t} \right) \quad (5.4.1.1.18)$$

$$\sigma_{x 4} = \left\{ \frac{N_x}{P / r_m} \right\}^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t} \right) \quad (5.4.1.1.19)$$

ここで、 γ 及び β は (5.4.1.1.11) 式～ (5.4.1.1.15) 式によるが、 (5.4.1.1.15) 式を

$4 \geq \beta_1 / \beta_2 \geq 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{1}{3} \cdot (\beta_1 / \beta_2 - 1) \cdot (1 - K_{1j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.1.20)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

$\frac{1}{4} \leq \beta_1 / \beta_2 < 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{4}{3} \cdot (1 - \beta_1 / \beta_2) \cdot (1 - K_{2j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.1.21)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

に置き換える。

反力 R によるせん断応力は

$$\tau_{\ell 1} = \frac{R}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.1.22)$$

(4) 水平方向地震による胴の曲げ応力

水平方向地震により胴に転倒モーメントが作用するため、脚が取り付く胴の円周上に以下の曲げ応力が発生する。

$$\sigma_{x 5} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot (\ell_g - \ell) \cdot (D_i + 2 \cdot t)}{2 \cdot I} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.1.23)$$

(5) Z 方向地震による胴の脚付け根部の応力

4.1 節の固有周期計算において (4.1.1) 式及び (4.1.2) 式の水平力 F_0 を $C_H \cdot m_0 \cdot g$ に置き換えて得られる数値を使用する。

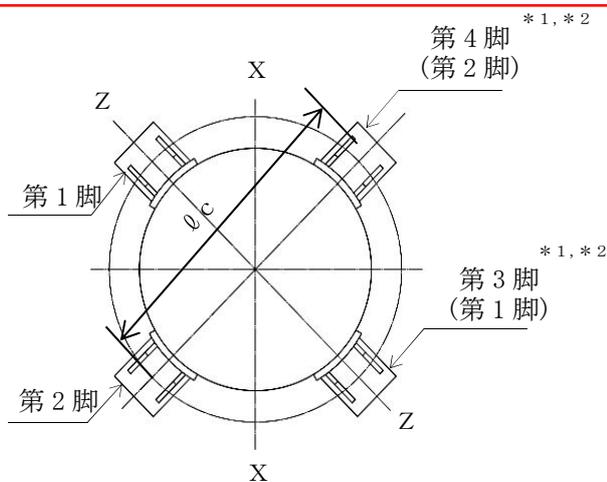


図 5-2 水平地震の方向

注記 *1: 本計算書において地震の方向は X 方向と Z 方向を考慮し、Z 方向地震による応力の計算においては、第 3 脚を第 1 脚に、第 4 脚を第 2 脚に読み替える。
*2: 脚部材については胴の半径方向を r 軸、その直角方向を t 軸とする。

a. 一次応力

半径方向荷重 P_1 により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は
(5.4.1.1.18) 式及び (5.4.1.1.19) 式と同様にして

$$\sigma_{\phi 61} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{P_1 / r_m} \right\}^* \cdot \left(\frac{P_1}{r_m \cdot t} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.24)$$

$$\sigma_{x 61} = \left\{ \frac{N_x}{P_1 / r_m} \right\}^* \cdot \left(\frac{P_1}{r_m \cdot t} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.25)$$

鉛直方向曲げモーメント M_1 により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は
(5.4.1.1.16) 式及び (5.4.1.1.17) 式と同様にして

$$\sigma_{\phi 71} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_1}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{\ell 1} \dots\dots\dots (5.4.1.1.26)$$

$$\sigma_{x 71} = \left\{ \frac{N_x}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_1}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{\ell 2} \dots\dots (5.4.1.1.27)$$

周方向曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は
(5.4.1.1.16) 式及び (5.4.1.1.17) 式と同様にして

$$\sigma_{\phi 81} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{c1} \dots\dots (5.4.1.1.28)$$

$$\sigma_{x 81} = \left\{ \frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{c2} \dots\dots (5.4.1.1.29)$$

ここで、 γ 及び β は (5.4.1.1.11) 式～ (5.4.1.1.15) 式によるが、(5.4.1.1.15) 式を

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.30)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$
に置き換える。

周方向せん断力 Q によるせん断応力は

$$\tau_{c1} = \frac{Q}{4 \cdot C_1 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.31)$$

鉛直方向せん断力 R_1 によるせん断応力は

$$\tau_{\ell 2} = \frac{R_1}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.32)$$

ねじりモーメント M_3 により生じる胴のせん断応力は

$$\tau_3 = \frac{M_3}{2 \cdot \pi \cdot C_1^2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.33)$$

ここで、 $C_1 > C_2$ のとき C_1 を C_2 に置き換える。(図 5-2 参照)

b. 二次応力

半径方向荷重 P_1 により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 62} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{P_1} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_1}{t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.34)$$

$$\sigma_{x 62} = \left\{ \frac{M_x}{P_1} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_1}{t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.35)$$

鉛直方向曲げモーメント M_1 により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 72} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_1}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.36)$$

$$\sigma_{x 72} = \left\{ \frac{M_x}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_1}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.37)$$

周方向曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 82} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.38)$$

$$\sigma_{x 82} = \left\{ \frac{M_x}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.39)$$

(6) X方向地震による胴の脚付け根部の応力

a. 一次応力

半径方向荷重 P_1 により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 91} = \sigma_{\phi 61} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.40)$$

$$\sigma_{x 91} = \sigma_{x 61} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.41)$$

鉛直方向曲げモーメント M_1 により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 101} = \sigma_{\phi 71} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.42)$$

$$\sigma_{x 101} = \sigma_{x 71} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.43)$$

周方向曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 111} = \sigma_{\phi 81} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.44)$$

$$\sigma_{x 111} = \sigma_{x 81} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.45)$$

周方向せん断力 Q によるせん断応力は

$$\tau_{c4} = \tau_{c1} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.46)$$

鉛直方向せん断力 R_1 によるせん断応力は

$$\tau_{l5} = \tau_{l2} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.47)$$

ねじりモーメントM₃により生じる胴のせん断応力は

$$\tau_6 = \tau_3 / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.48)$$

b. 二次応力

半径方向荷重P₁により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 92} = \sigma_{\phi 62} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.49)$$

$$\sigma_{x 92} = \sigma_{x 62} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.50)$$

鉛直方向曲げモーメントM₁により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 102} = \sigma_{\phi 72} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.51)$$

$$\sigma_{x 102} = \sigma_{x 72} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.52)$$

周方向曲げモーメントM_cにより生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 112} = \sigma_{\phi 82} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.53)$$

$$\sigma_{x 112} = \sigma_{x 82} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.54)$$

(7) 鉛直方向地震による胴の脚付け根部の応力

脚下端が固定の場合の軸力、胴の脚付け根部の鉛直方向モーメント及び半径方向荷重を以下のように求める。

$$R_2 = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_v}{4} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.55)$$

$$Ml_2 = \left\{ \left(\frac{l^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{l}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \cdot \frac{R_2 \cdot u \cdot l}{E_s \cdot I_{st}} \right\} / \left\{ \left(\frac{l^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{l}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \cdot \left(\frac{l}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_l}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \right) - \left(\frac{l^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \right)^2 \right\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.56)$$

$$P_2 = \frac{(R_2 \cdot u - Ml_2) \cdot l^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} / \left(\frac{l^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{l}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.57)$$

a. 一次応力

鉛直方向曲げモーメントM_{l2}により生じる胴の周方向及び軸方向応力は次式で求める。

$$\sigma_{\phi 8} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{Ml_2 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{Ml_2}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot Cl_1 \quad \dots\dots (5.4.1.1.58)$$

$$\sigma_{x 8} = \left\{ \frac{N_x}{Ml_2 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{Ml_2}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot Cl_2 \quad \dots\dots (5.4.1.1.59)$$

半径方向荷重 P_2 により生じる胴の周方向及び軸方向応力は次式で求める。

$$\sigma_{\phi 9} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{P_2 / r_m} \right\}^* \cdot \left(\frac{P_2}{r_m \cdot t} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.60)$$

$$\sigma_{x 9} = \left\{ \frac{N_x}{P_2 / r_m} \right\}^* \cdot \left(\frac{P_2}{r_m \cdot t} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.61)$$

b. 二次応力

鉛直方向曲げモーメント $M_{\ell 2}$ により生じる胴の周方向及び軸方向応力は次式で求める。

$$\sigma_{\phi 10} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_{\ell 2} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\ell 2}}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.62)$$

$$\sigma_{x 10} = \left\{ \frac{M_x}{M_{\ell 2} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\ell 2}}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.63)$$

半径方向荷重 P_2 により生じる胴の周方向及び軸方向応力は次式で求める。

$$\sigma_{\phi 11} = \left(\frac{M_{\phi}}{P_2} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_2}{t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.64)$$

$$\sigma_{x 11} = \left(\frac{M_x}{P_2} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_2}{t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.65)$$

せん断応力は次による。

$$\tau_{\ell 3} = \frac{R_2}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.66)$$

(8) 組合せ応力

(1)～(7)によって求めた胴の脚付け根部に生じる応力を以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma_o = \text{Max} \{ \text{周方向応力} (\sigma_{o\phi}), \text{軸方向応力} (\sigma_{ox}) \} \dots\dots\dots (5.4.1.1.67)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{o\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7} \dots\dots\dots (5.4.1.1.68)$$

$$\sigma_{ox} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 5} \dots\dots\dots (5.4.1.1.69)$$

b. Z方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合の組合せ一次応力

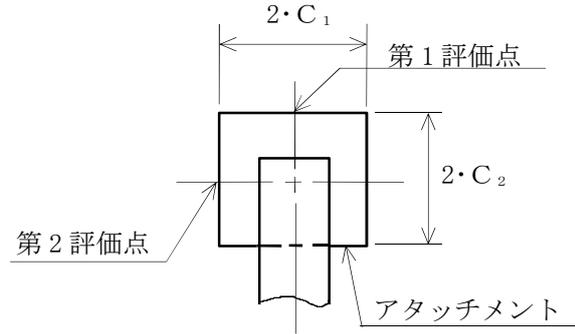


図 5-3 胴の評価点

【絶対値和】

(a) 第1脚付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 61} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} \quad \dots \quad (5.4.1.1.70)$$

$$\sigma_{x z 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 61} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} \quad \dots \quad (5.4.1.1.71)$$

$$\sigma_{11} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{\phi z 1} + \sigma_{x z 1}) + \sqrt{(\sigma_{\phi z 1} - \sigma_{x z 1})^2} \right\} \quad \dots \quad (5.4.1.1.72)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 61} + \sigma_{\phi 9} \quad \dots \quad (5.4.1.1.73)$$

$$\sigma_{x z 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 61} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} \quad \dots \quad (5.4.1.1.74)$$

$$\sigma_{12} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{\phi z 2} + \sigma_{x z 2}) + \sqrt{(\sigma_{\phi z 2} - \sigma_{x z 2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \tau_{\ell 2} + \tau_{\ell 3})^2} \right\} \quad \dots \quad (5.4.1.1.75)$$

(b) 第2脚付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 3} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} \quad \dots \quad (5.4.1.1.76)$$

$$\sigma_{x z 3} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} \quad \dots \quad (5.4.1.1.77)$$

$$\sigma_{13} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{\phi z 3} + \sigma_{x z 3}) + \sqrt{(\sigma_{\phi z 3} - \sigma_{x z 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 1} + \tau_{c 3})^2} \right\} \quad \dots \quad (5.4.1.1.78)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 4} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 81} \quad \dots\dots (5.4.1.1.79)$$

$$\sigma_{x z 4} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 81} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} \quad \dots\dots (5.4.1.1.80)$$

$$\sigma_{14} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{\phi z 4} + \sigma_{x z 4}) + \sqrt{(\sigma_{\phi z 4} - \sigma_{x z 4})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \tau_3 + \tau_{\ell 3})^2} \right\} \quad \dots\dots (5.4.1.1.81)$$

c. X方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合の組合せ一次応力

【絶対値和】

第1評価点については

$$\sigma_{\phi x 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 101} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} \quad \dots\dots (5.4.1.1.82)$$

$$\sigma_{x x 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} + \sigma_{x 101} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} \quad \dots\dots (5.4.1.1.83)$$

$$\sigma_{15} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{\phi x 1} + \sigma_{x x 1}) + \sqrt{(\sigma_{\phi x 1} - \sigma_{x x 1})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \right\} \quad \dots\dots (5.4.1.1.84)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi x 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 111} + \sigma_{\phi 9} \quad \dots\dots (5.4.1.1.85)$$

$$\sigma_{x x 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} + \sigma_{x 111} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} \quad \dots\dots (5.4.1.1.86)$$

$$\sigma_{16} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{\phi x 2} + \sigma_{x x 2}) + \sqrt{(\sigma_{\phi x 2} - \sigma_{x x 2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \tau_{\ell 5} + \tau_6 + \tau_{\ell 3})^2} \right\} \quad \dots\dots (5.4.1.1.87)$$

d. 胴の一次応力の最大値

ここで、b項及びc項により組み合わせた一次応力のうち最大のものを σ_1 とする。

$$\sigma_1 = \text{Max} (\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{14}, \sigma_{15}, \sigma_{16}) \quad \dots\dots (5.4.1.1.88)$$

e. 地震力のみによる一次+二次応力の変動値

【絶対値和】

Z方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

(a) 第1脚付け根部

第1評価点については

$$\begin{aligned} \sigma_{\phi z 5} = & \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 10} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 61} + \sigma_{\phi 62} \\ & + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.89) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{x z 5} = & \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 10} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 61} \\ & + \sigma_{x 62} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 72} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.90) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{21} = & \sigma_{\phi z 5} + \sigma_{x z 5} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 5} - \sigma_{x z 5})^2} \\ & \dots\dots\dots (5.4.1.1.91) \end{aligned}$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 6} = \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 61} + \sigma_{\phi 62} \quad \dots\dots (5.4.1.1.92)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{x z 6} = & \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 61} + \sigma_{x 62} \\ & \dots\dots\dots (5.4.1.1.93) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{22} = & \sigma_{\phi z 6} + \sigma_{x z 6} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 6} - \sigma_{x z 6})^2 + 4(\tau_{\ell 2} + \tau_{\ell 3})^2} \\ & \dots\dots\dots (5.4.1.1.94) \end{aligned}$$

(b) 第2脚付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 7} = \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 10} + \sigma_{\phi 11} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.95)$$

$$\sigma_{x z 7} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 10} + \sigma_{x 11} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.96)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{23} = & \sigma_{\phi z 7} + \sigma_{x z 7} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 7} - \sigma_{x z 7})^2 + 4(\tau_{c1} + \tau_{\ell 3})^2} \\ & \dots\dots\dots (5.4.1.1.97) \end{aligned}$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 8} = \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 81} + \sigma_{\phi 82} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.98)$$

$$\sigma_{x z 8} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 81} + \sigma_{x 82} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.99)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{24} = & \sigma_{\phi z 8} + \sigma_{x z 8} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 8} - \sigma_{x z 8})^2 + 4(\tau_{c3} + \tau_{\ell 3})^2} \\ & \dots\dots\dots (5.4.1.1.100) \end{aligned}$$

f. X方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

第1評価点については

$$\begin{aligned} \sigma_{\phi x 3} = & \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 10} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 101} \\ & + \sigma_{\phi 92} + \sigma_{\phi 102} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.101) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{x x 3} = & \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 10} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} \\ & + \sigma_{x 101} + \sigma_{x 92} + \sigma_{x 102} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.102) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{25} = & \sigma_{\phi x 3} + \sigma_{x x 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 3} - \sigma_{x x 3})^2 + 4(\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \\ & \dots\dots\dots (5.4.1.1.103) \end{aligned}$$

第2評価点については

$$\begin{aligned} \sigma_{\phi x 4} = & \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 92} + \sigma_{\phi 111} + \sigma_{\phi 112} \\ & \dots\dots\dots (5.4.1.1.104) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{x x 4} = & \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} + \sigma_{x 92} \\ & + \sigma_{x 111} + \sigma_{x 112} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.105) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{26} = & \sigma_{\phi x 4} + \sigma_{x x 4} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 4} - \sigma_{x x 4})^2 + 4(\tau_{\ell 5} + \tau_6 + \tau_{\ell 3})^2} \\ & \dots\dots\dots (5.4.1.1.106) \end{aligned}$$

g. 胴の一次＋二次応力の最大値

ここで、e項及びf項により組み合わせた一次＋二次応力のうち最大のものを σ_2 とする。

$$\sigma_2 = \text{Max} (\sigma_{21}, \sigma_{22}, \sigma_{23}, \sigma_{24}, \sigma_{25}, \sigma_{26}) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.107)$$

5.4.1.2 脚の応力

脚にかかる荷重について計算する。

(1) 運転時質量による応力

$$\sigma_{s 1} = \frac{R}{A_s} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

$$\sigma_{s 2} = \frac{\text{Max}(|R \cdot u - M_{\ell} - P \cdot \ell|, |R \cdot u - M_{\ell}|)}{Z_{s t}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

$$\tau_{s 1} = \frac{P}{A_{s 1}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

(2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{s 3} = \frac{R_2}{A_s} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

$$\sigma_{s4} = \frac{\text{Max}(|R_2 \cdot u - M_{\ell 2} - P_2 \cdot \ell|, |R_2 \cdot u - M_{\ell 2}|)}{Z_{st}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.5)$$

$$\tau_{s2} = \frac{P_2}{A_{s1}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.6)$$

(3) Z方向地震による応力

第1脚については

$$\sigma_{s5} = \frac{R_1}{A_s} \dots \dots \dots (5.4.1.2.7)$$

$$\sigma_{s6} = \frac{\text{Max}(|R_1 \cdot u - M_1 - P_1 \cdot \ell|, |R_1 \cdot u - M_1|)}{Z_{st}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.8)$$

$$\tau_{s3} = \frac{P_1}{A_{s1}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.9)$$

第2脚については

$$\sigma_{s7} = \frac{\text{Max}(|Q \cdot \ell - M_3|, |M_3|)}{Z_{sr}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.10)$$

$$\tau_{s4} = \frac{Q}{A_{s2}} + \frac{Q \cdot u - M_c}{Z_{sp}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.11)$$

(4) X方向地震による応力

$$\sigma_{s8} = \frac{R_1}{\sqrt{2} \cdot A_s} \dots \dots \dots (5.4.1.2.12)$$

$$\sigma_{s9} = \frac{\text{Max}(|R_1 \cdot u - M_1 - P_1 \cdot \ell|, |R_1 \cdot u - M_1|)}{\sqrt{2} \cdot Z_{st}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.13)$$

$$\sigma_{s10} = \frac{\text{Max}(|Q \cdot \ell - M_3|, |M_3|)}{\sqrt{2} \cdot Z_{sr}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.14)$$

$$\tau_{s5} = \frac{P_1}{\sqrt{2} \cdot A_{s1}} + \frac{Q}{\sqrt{2} \cdot A_{s2}} + \frac{Q \cdot u - M_c}{\sqrt{2} \cdot Z_{sp}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.15)$$

(5) 組合せ応力

脚の最大応力は次式で求める。

- a. Z方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

【絶対値和】

第1脚については

$$\sigma_{sz1} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s5} + \sigma_{s6})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s3})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.16)$$

第2脚については

$$\sigma_{sz2} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s7})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s4})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.17)$$

- b. X方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

【絶対値和】

$$\sigma_{sx} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s8} + \sigma_{s9} + \sigma_{s10})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s5})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.18)$$

ここで、組み合わせた応力のうち最大のものを σ_s とする。

$$\sigma_s = \text{Max} (\sigma_{sz1}, \sigma_{sz2}, \sigma_{sx}) \dots\dots\dots (5.4.1.2.19)$$

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】及び【逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 脚の応力評価

- (1) 5.4.2項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力 f_t 以下であること。

$$f_t = \frac{F}{1.5} \cdot 1.5 \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

- (2) 圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せは次式を満足すること。(座屈の評価)

$$\frac{\sigma_{s r}}{f_{b r}} + \frac{\sigma_{s t}}{f_{b t}} + \frac{\sigma_{s c}}{f_c} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (5.6.1.2)$$

- a. f_c は次による。

$\lambda \leq \Lambda$ のとき

$$f_c = 1.5 \cdot \left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{v} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.3)$$

$\lambda > \Lambda$ のとき

$$f_c = 1.5 \cdot 0.277 \cdot F \cdot \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (5.6.1.4)$$

ここで、

$$\lambda = \ell_k / i \quad \dots\dots\dots (5.6.1.5)$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E_s}{0.6 \cdot F}} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.6)$$

$$v = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (5.6.1.7)$$

$$i = \sqrt{\frac{\text{Min}(I_{s t}, I_{s r})}{A_s}} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.8)$$

ℓ_k は有効座屈長さで脚下端を固定とする場合は $1.2 \cdot \ell$ とする。

- b. $f_{b r}$, $f_{b t}$ は次による。

- (a) 脚が鋼管の場合

$$f_{b r} = f_{b t} = f_t \quad \dots\dots\dots (5.6.1.9)$$

(b) 脚が形鋼の場合で弱軸が半径方向軸の場合

イ. みぞ形鋼

$$f_{b r} = f_t \quad \dots\dots\dots (5.6.1.10)$$

$f_{b t}$ は次の2つの式より計算した値のうちいずれか大きい値又は f_t のいずれか小さい方の値とする。

$$f_{b t} = \left(1 - 0.4 \cdot \frac{\ell^2}{C \cdot \Lambda^2 \cdot i_f^2} \right) \cdot f_t \quad \dots\dots\dots (5.6.1.11)$$

$$f_{b t} = \left(\frac{0.433 \cdot E_s \cdot A_f}{\ell \cdot h} \right) \cdot 1.5 \quad \dots\dots\dots (5.6.1.12)$$

ここで、 i_f は脚の圧縮フランジとはりのせいの6分の1から成る T 形断面のウェブ軸回りの断面二次半径で次式による。

$$i_f = \sqrt{\frac{I_{s f}}{A_{s f}}} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.13)$$

C は次の計算式より計算した値又は 2.3 のうちいずれか小さい方の値とし、 $M_{s 2}$ 及び $M_{s 1}$ はそれぞれの脚の両端における強軸回りの曲げモーメントとする。

この場合において $M_{s 2}$ と $M_{s 1}$ との比は 1 より小さいものとし、単曲率の場合を正に、複曲率の場合を負とする。

$$C = 1.75 - 1.05 \cdot \left(\frac{M_{s 2}}{M_{s 1}} \right) + 0.3 \cdot \left(\frac{M_{s 2}}{M_{s 1}} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (5.6.1.14)$$

脚が形鋼の場合で強軸が半径方向軸の場合は、(b) と同様にして求めた $f_{b r}$ を $f_{b t}$ に、 $f_{b t}$ を $f_{b r}$ に置き換える。

c. 応力の区分は次のようにする。

(a) Z 方向地震が作用した場合の第1脚及び第3脚について

$$\sigma_{s c} = \sigma_{s 1} + \sigma_{s 3} + \sigma_{s 5} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.15)$$

$$\sigma_{s t} = \sigma_{s 2} + \sigma_{s 4} + \sigma_{s 6} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.16)$$

$$\sigma_{s r} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.6.1.17)$$

脚の強軸が半径方向に直角で脚下端がその軸回りに固定の場合、強軸回りの曲げモーメント $M_{s 1}$ 及び $M_{s 2}$ は次の2つの式より計算し、 $M_{s 2}$ の絶対値が $M_{s 1}$ の絶対値より大きいときは $M_{s 1}$ と $M_{s 2}$ を置き換える。(以下同じ。)

【絶対値和】

$$M_{s 1} = - (M \ell + M_{\ell 2} + M_1) + (R + R_2 + R_1) \cdot u \quad \dots\dots\dots (5.6.1.18)$$

$$M_{s 2} = - (P + P_2 + P_1) \cdot \ell - (M \ell + M_{\ell 2} + M_1) + (R + R_2 + R_1) \cdot u \quad \dots\dots\dots (5.6.1.19)$$

(b) Z方向地震が作用した場合の第2脚及び第4脚について

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.20)$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.21)$$

$$\sigma_{sr} = \sigma_{s7} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.22)$$

脚の強軸が半径方向で脚下端がその軸回りに固定の場合、強軸回りの曲げモーメントは

$$M_{s1} = M_3 \quad \dots\dots\dots (5.6.1.23)$$

$$M_{s2} = M_3 - Q \cdot \ell \quad \dots\dots\dots (5.6.1.24)$$

脚の強軸が半径方向に直角で脚下端がその軸回りに固定の場合、強軸回りの曲げモーメントは

$$M_{s1} = -(M\ell + M\ell_2) + (R + R_2) \cdot u \quad \dots\dots\dots (5.6.1.25)$$

$$M_{s2} = -(P + P_2) \cdot \ell - (M\ell + M\ell_2) + (R + R_2) \cdot u \quad \dots\dots\dots (5.6.1.26)$$

(c) X方向地震が作用した場合について

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3} + \sigma_{s8} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.27)$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4} + \sigma_{s9} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.28)$$

$$\sigma_{sr} = \sigma_{s10} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.29)$$

脚の強軸が半径方向に直角で脚下端がその軸回りに固定の場合、強軸回りの曲げモーメントは

【絶対値和】

$$M_{s1} = -(M\ell + M\ell_2) + (R + R_2) \cdot u + \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (-M_1 + R_1 \cdot u) \quad \dots\dots\dots (5.6.1.30)$$

$$M_{s2} = -(P + P_2) \cdot \ell - (M\ell + M\ell_2) + (R + R_2) \cdot u + \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (-P_1 \cdot \ell - M_1 + R_1 \cdot u) \quad \dots\dots\dots (5.6.1.31)$$

脚の強軸が半径方向で脚下端がその軸回りに固定の場合、強軸回りの曲げモーメントは

$$M_{s1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot M_3 \quad \dots\dots\dots (5.6.1.32)$$

$$M_{s2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (M_3 - Q \cdot \ell) \quad \dots\dots\dots (5.6.1.33)$$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

6.1.1 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ

逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.1.2 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ

逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

6.2.1 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ

逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R3

【逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
			逃がし安全弁 自動減圧機能用 アキュムレータ	S	原子炉格納容器 EL. 27.432 *			C _H =0.88			

注記 *：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m ₀ (kg)	D _i (mm)	t (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)	ℓ (mm)	ℓ _c (mm)	ℓ _g (mm)	K _C	K _ℓ	K _r
	550	12.0	184000 ^{*1}	193000 ^{*2}	70800 ^{*1}	74200 ^{*2}	645	689	860	411	141	968

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{s f} (mm ⁴)	I _{s r} (mm ⁴)	I _{s t} (mm ⁴)	A _f (mm ²)	A _s (mm ²)	A _{s f} (mm ²)	A _{s r} (mm ²)	A _{s t} (mm ²)	A _{s 1} (mm ²)	A _{s 2} (mm ²)	Z _{s p} (mm ³)	Z _{s r} (mm ³)	Z _{s t} (mm ³)
75	90	9.890×10 ⁴	1.880×10 ⁶	2.600×10 ⁵	375.0	1.192×10 ³	420.8	666.7	489.0	536.4	426.4	2.347×10 ³	3.760×10 ⁴	7.520×10 ³

K ₁₁ ^{*3}	K ₁₂ ^{*3}	K ₂₁ ^{*3}	K ₂₂ ^{*3}	K _{ℓ1}	K _{ℓ2}	K _{C1}	K _{C2}	C _{ℓ1}	C _{ℓ2}	C _{C1}	C _{C2}
—	—										
—	—										

J _s (mm ⁴)	h (mm)
1.760×10 ⁴	100

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (脚) (MPa)	S _u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F* (脚) (MPa)
150 ^{*1}	413 ^{*1}	113 ^{*1}	201 ^{*2}	373 ^{*2}	201 ^{*2}	241 ^{*2}

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

*3：表中で上段は一次応力、下段は二次応力の係数とする。

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R1

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度					基準地震動 S _s				
	応力	内圧による応力	運転時質量による応力		組合せ一次一般膜応力	内圧による応力	運転時質量による応力		組合せ一次一般膜応力	
			鉛直地震による応力	水平地震による応力			自重による応力	自重による応力		鉛直地震による応力
周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	—	—	$\sigma_0 = 54$	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	—	—	$\sigma_0 = 54$
軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$		$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X5} = 1$	
せん断	—	—	—	—		—	—	—	—	

(2) 胴に生じる一次応力

(単位：MPa)

地震力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度															
	地震の方向	評価点	応力	内圧による応力	運転時質量による応力			鉛直地震による応力			水平地震による応力				組合せ一次応力	
					自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力		
方 向	側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$	$\sigma_{\phi 71} = 1$	—	$\sigma_{11} = 55$	
			軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X8} = 0$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$	$\sigma_{X71} = 1$	—		
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$	—	—		$\sigma_{12} = 54$
			軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 0$	—	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$	—	—		
			せん断	—	$\tau_{t1} = 1$	—	—	$\tau_{t3} = 1$	—	—	$\tau_{t2} = 1$	—	—	—		
	側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	—	—	—	$\sigma_{13} = 55$	
			軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X8} = 0$	$\sigma_{X9} = 0$	—	—	—	—		
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	$\tau_3 = 1$	$\tau_{c1} = 1$	—	—		
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	—	—	$\sigma_{\phi 81} = 1$	$\sigma_{14} = 54$	
			軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 0$	—	$\sigma_{X9} = 0$	—	—	—	$\sigma_{X81} = 1$		
			せん断	—	$\tau_{t1} = 1$	—	—	$\tau_{t3} = 1$	—	—	$\tau_3 = 1$	—	—	—		
方 向	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$	$\sigma_{\phi 101} = 1$	—	$\sigma_{15} = 55$		
		軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X8} = 0$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$	$\sigma_{X101} = 1$	—			
		せん断	—	—	—	—	—	—	—	$\tau_6 = 1$	$\tau_{c4} = 1$	—	—			
	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$	—	$\sigma_{\phi 111} = 1$	$\sigma_{16} = 54$		
		軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 0$	—	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$	—	$\sigma_{X111} = 1$			
		せん断	—	$\tau_{t1} = 1$	—	—	$\tau_{t3} = 1$	—	—	$\tau_6 = 1$	$\tau_{t5} = 1$	—	—			

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R1

(単位: MPa)

地震力の種類			基準地震動 S _s											組合せ 一次応力		
地震の方向	評価点	応力 内圧による応力	運転時質量による応力			鉛直地震による応力			水平地震による応力							
			自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力				
Z 方 向	第一 脚 側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$	$\sigma_{\phi 71} = 1$	—	$\sigma_{11} = 56$	
		軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$	$\sigma_{X71} = 1$	—			
		せん断	—	—			—			—						
	第二 脚 側	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$	—	—	$\sigma_{12} = 54$	
		軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$	—	—			
		せん断	—	$\tau_{r1} = 1$			$\tau_{r3} = 1$			$\tau_{r2} = 1$						
	第二 脚 側	第一 脚 側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	—	—	—	$\sigma_{13} = 55$
			軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	—	—	—	—		
			せん断	—	—			—			$\tau_3 = 2$		$\tau_{c1} = 1$			
		第二 脚 側	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	—	—	$\sigma_{\phi 81} = 1$	$\sigma_{14} = 55$
			軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$	—	—	—	$\sigma_{X81} = 1$		
			せん断	—	$\tau_{r1} = 1$			$\tau_{r3} = 1$			$\tau_3 = 2$					
X 方 向	第一 脚 側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$	$\sigma_{\phi 101} = 1$	—	$\sigma_{15} = 56$	
		軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$	$\sigma_{X101} = 1$	—			
		せん断	—	—			—			$\tau_6 = 1$		$\tau_{c4} = 1$				
	第二 脚 側	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$	—	$\sigma_{\phi 111} = 1$	$\sigma_{16} = 55$	
		軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$	—	$\sigma_{X111} = 1$			
		せん断	—	$\tau_{r1} = 1$			$\tau_{r3} = 1$			$\tau_6 = 1$		$\tau_{r5} = 1$				

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R0

(3) 胴に生じる地震動のみによる一次+二次応力

(単位: MPa)

地震力の種類			弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度							
地震の方向	評価点	応力	鉛直地震による応力			水平地震による応力				組合せ力
			自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重力による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重力による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
Z 方 向	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$ $\sigma_{\phi 62} = 1$	$\sigma_{\phi 71} = 1$ $\sigma_{\phi 72} = 1$	—	$\sigma_{21} = 6$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X8} = 0$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$ $\sigma_{X62} = 1$	$\sigma_{X71} = 1$ $\sigma_{X72} = 1$	—	
		せん断	—			—				
	第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$ $\sigma_{\phi 62} = 1$	—	—	$\sigma_{22} = 3$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$ $\sigma_{X62} = 1$	—	—	
		せん断	$\tau_{t3} = 1$			$\tau_{t2} = 1$				
	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	—	—	—	$\sigma_{23} = 4$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X8} = 0$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	—	—	—	—	
		せん断	—			$\tau_{t3} = 1$		$\tau_{c1} = 1$		
	第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	—	—	$\sigma_{\phi 81} = 1$ $\sigma_{\phi 82} = 1$	$\sigma_{24} = 7$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	—	—	—	$\sigma_{X81} = 1$ $\sigma_{X82} = 1$	
		せん断	$\tau_{t3} = 1$			$\tau_{t3} = 1$				
X 方 向	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$ $\sigma_{\phi 92} = 1$	$\sigma_{\phi 101} = 1$ $\sigma_{\phi 102} = 1$	—	$\sigma_{25} = 6$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X8} = 0$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$ $\sigma_{X92} = 1$	$\sigma_{X101} = 1$ $\sigma_{X102} = 1$	—	
		せん断	—			$\tau_{t6} = 1$		$\tau_{c4} = 1$		
	第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$ $\sigma_{\phi 92} = 1$	—	$\sigma_{\phi 111} = 1$ $\sigma_{\phi 112} = 1$	$\sigma_{26} = 7$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$ $\sigma_{X92} = 1$	—	$\sigma_{X111} = 1$ $\sigma_{X112} = 1$	
		せん断	$\tau_{t3} = 1$			$\tau_{t6} = 1$		$\tau_{t5} = 1$		

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R1

(単位: MPa)

地震力の種類			基準地震動 S s							組合せ力
地震の方向	評価点	応力	鉛直地震による応力			水平地震による応力				
			自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
Z 方 向	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$ $\sigma_{\phi 62} = 1$	$\sigma_{\phi 71} = 1$ $\sigma_{\phi 72} = 2$	—	$\sigma_{21} = 11$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$ $\sigma_{X62} = 1$	$\sigma_{X71} = 1$ $\sigma_{X72} = 2$	—	
		せん断	—			—				
	第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$ $\sigma_{\phi 62} = 1$	—	—	$\sigma_{22} = 6$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$ $\sigma_{X62} = 1$	—	—	
		せん断	$\tau_{t3} = 1$			$\tau_{t2} = 1$				
	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	—	—	—	$\sigma_{23} = 7$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	—	—	—	—	
		せん断	—			$\tau_{t3} = 2$		$\tau_{c1} = 1$		
	第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	—	—	$\sigma_{\phi 81} = 1$ $\sigma_{\phi 82} = 5$	$\sigma_{24} = 13$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	—	—	—	$\sigma_{X81} = 1$ $\sigma_{X82} = 2$	
		せん断	$\tau_{t3} = 1$			$\tau_{t3} = 2$				
X 方 向	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$ $\sigma_{\phi 92} = 1$	$\sigma_{\phi 101} = 1$ $\sigma_{\phi 102} = 1$	—	$\sigma_{25} = 11$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$ $\sigma_{X92} = 1$	$\sigma_{X101} = 1$ $\sigma_{X102} = 2$	—	
		せん断	—			$\tau_{t6} = 1$		$\tau_{c4} = 1$		
	第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$ $\sigma_{\phi 92} = 1$	—	$\sigma_{\phi 111} = 1$ $\sigma_{\phi 112} = 4$	$\sigma_{26} = 12$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$ $\sigma_{X92} = 1$	—	$\sigma_{X111} = 1$ $\sigma_{X112} = 2$	
		せん断	$\tau_{t3} = 1$			$\tau_{t6} = 1$		$\tau_{t5} = 1$		

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R1

1.3.2 脚に生じる応力

(単位: MPa)

地震力の種類	地震の方向		運転時質量による応力			鉛直地震による応力			水平地震による応力			組合せ応力
			圧縮	曲げ	せん断	圧縮	曲げ	せん断	圧縮	曲げ	せん断	
弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	Z 方向	第 1 脚側	$\sigma_{S1} = 1$	$\sigma_{S2} = 1$	$\tau_{S1} = 0$	$\sigma_{S3} = 1$	$\sigma_{S4} = 1$	$\tau_{S2} = 0$	$\sigma_{S5} = 2$	$\sigma_{S6} = 10$	$\tau_{S3} = 1$	$\sigma_{S21} = 14$
		第 2 脚側	$\sigma_{S1} = 1$	$\sigma_{S2} = 1$	$\tau_{S1} = 0$	$\sigma_{S3} = 1$	$\sigma_{S4} = 1$	$\tau_{S2} = 0$	—	$\sigma_{S7} = 10$	$\tau_{S4} = 3$	$\sigma_{S22} = 13$
	X 方向		$\sigma_{S1} = 1$	$\sigma_{S2} = 1$	$\tau_{S1} = 0$	$\sigma_{S3} = 1$	$\sigma_{S4} = 1$	$\tau_{S2} = 0$	$\sigma_{S8} = 2$	$\sigma_{S9} = 7$	$\sigma_{S10} = 7$	$\tau_{S5} = 3$
基準地震動 S _s	Z 方向	第 1 脚側	$\sigma_{S1} = 1$	$\sigma_{S2} = 1$	$\tau_{S1} = 0$	$\sigma_{S3} = 1$	$\sigma_{S4} = 1$	$\tau_{S2} = 0$	$\sigma_{S5} = 3$	$\sigma_{S6} = 17$	$\tau_{S3} = 1$	$\sigma_{S21} = 24$
		第 2 脚側	$\sigma_{S1} = 1$	$\sigma_{S2} = 1$	$\tau_{S1} = 0$	$\sigma_{S3} = 1$	$\sigma_{S4} = 1$	$\tau_{S2} = 0$	—	$\sigma_{S7} = 18$	$\tau_{S4} = 5$	$\sigma_{S22} = 23$
	X 方向		$\sigma_{S1} = 1$	$\sigma_{S2} = 1$	$\tau_{S1} = 0$	$\sigma_{S3} = 1$	$\sigma_{S4} = 1$	$\tau_{S2} = 0$	$\sigma_{S8} = 3$	$\sigma_{S9} = 12$	$\sigma_{S10} = 13$	$\tau_{S5} = 4$

1.4 結論
1.4.1 固有周期

(単位: s)

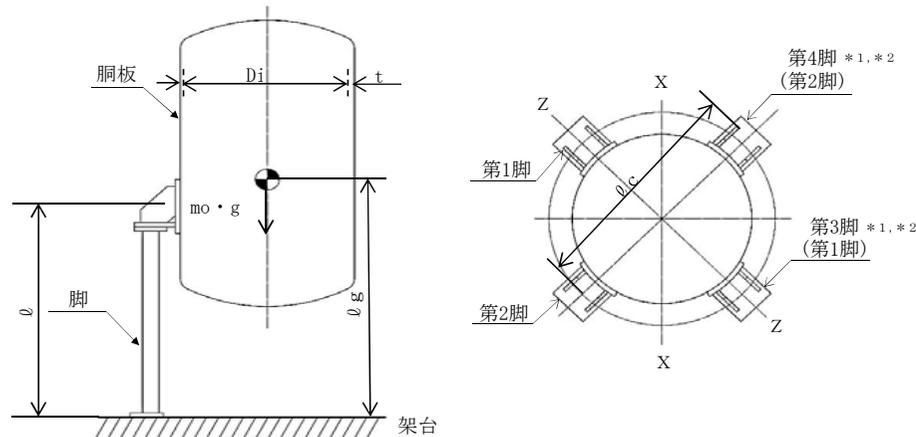
方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS304	一次一般膜	$\sigma_0 = 54$	$S_a = 150$	$\sigma_0 = 54$	$S_a = 248$
		一次	$\sigma_1 = 55$	$S_a = 225$	$\sigma_1 = 56$	$S_a = 372$
		一次+二次	$\sigma_2 = 7$	$S_a = 300$	$\sigma_2 = 13$	$S_a = 300$
脚	SS400	組合せ	$\sigma_s = 18$	$f_t = 201$	$\sigma_s = 31$	$f_t = 241$
		圧縮と曲げの組合せ	$\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}} + \frac{\sigma_{st}}{f_{bt}} + \frac{\sigma_{sc}}{f_c} \leq 1$		$\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}} + \frac{\sigma_{st}}{f_{bt}} + \frac{\sigma_{sc}}{f_c} \leq 1$	
		(圧屈の評価)	0.09		0.13	

すべて許容応力以下である。



注記 *1: 本計算書において地震の方向はX方向とZ方向を考慮し、Z方向地震による応力の計算においては、第3脚を第1脚に、第4脚を第2脚に読み替える。
*2: 脚部材については胴の半径方向を r 軸、その直角方向を t 軸とする。

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R3

【逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】

2. 設計基準対象施設

2.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
			逃がし安全弁 逃がし弁機能用 アキュムレータ	S	原子炉格納容器 EL. 27.432 *			C _H =0.88			

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m ₀ (kg)	D _i (mm)	t (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)	ℓ (mm)	ℓ _c (mm)	ℓ _g (mm)	K _C	K _ℓ	K _r
	400	12.0	184000 *1	193000 *2	70800 *1	74200 *2	577	534	600	199	83.4	615

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{s f} (mm ⁴)	I _{s r} (mm ⁴)	I _{s t} (mm ⁴)	A _f (mm ²)	A _s (mm ²)	A _{s f} (mm ²)	A _{s r} (mm ²)	A _{s t} (mm ²)	A _{s 1} (mm ²)	A _{s 2} (mm ²)	Z _{s p} (mm ³)	Z _{s r} (mm ³)	Z _{s t} (mm ³)
50	75	4.506×10 ⁴	7.530×10 ⁵	1.220×10 ⁵	280.0	881.8	307.5	501.2	366.3	396.6	314.1	1.670×10 ³	2.010×10 ⁴	4.470×10 ³

K ₁₁ *3	K ₁₂ *3	K ₂₁ *3	K ₂₂ *3	K _{ℓ1}	K _{ℓ2}	K _{C1}	K _{C2}	C _{ℓ1}	C _{ℓ2}	C _{C1}	C _{C2}
—	—										
—	—										

J _s (mm ⁴)	h (mm)
1.169×10 ⁴	75

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (脚) (MPa)	S _u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F* (脚) (MPa)
150 *1	413 *1	113 *1	201 *2	373 *2	201 *2	241 *2

注記*1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出

*3: 表中で上段は一次応力、下段は二次応力の係数とする。

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R2

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度					基準地震動 S _s					
	応力	内圧による応力	運転時質量による応力		水平地震による応力		組合せ一次一般膜応力	内圧による応力	鉛直地震による応力		組合せ一次一般膜応力
			自重による応力	自重による応力	転倒モーメントによる応力	自重による応力			自重による応力	転倒モーメントによる応力	
周方向	$\sigma_{\phi 1} = 25$	—	—	—	—	$\sigma_0 = 25$	$\sigma_{\phi 1} = 25$	—	—	—	$\sigma_0 = 25$
軸方向	$\sigma_{X1} = 13$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X5} = 0$	$\sigma_{X1} = 13$		$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X5} = 0$		
せん断	—	—	—	—	—		—	—	—		

(2) 胴に生じる一次応力

(単位：MPa)

地震力の種類		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度												組合せ一次応力
地震の方向	評価点	応力	内圧による応力	運転時質量による応力			鉛直地震による応力			水平地震による応力				
				自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
Z 方 向	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 25$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$	$\sigma_{\phi 71} = 1$	—	$\sigma_{11} = 26$
		軸方向	$\sigma_{X1} = 13$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X8} = 0$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 0$	$\sigma_{X61} = 1$	$\sigma_{X71} = 0$	—	
		せん断	—	—			—			—				
	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 25$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$	—	—	$\sigma_{12} = 26$
		軸方向	$\sigma_{X1} = 13$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 0$	—	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 0$	$\sigma_{X61} = 1$	—	—	
		せん断	—	$\tau_{t1} = 1$			$\tau_{t3} = 0$			$\tau_{t2} = 1$				
	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 25$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	—	—	—	$\sigma_{13} = 26$
		軸方向	$\sigma_{X1} = 13$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X8} = 0$	$\sigma_{X9} = 0$	—	—	—	—	
		せん断	—	—			—			$\tau_3 = 1$		$\tau_{c1} = 1$		
	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 25$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	—	—	$\sigma_{\phi 81} = 1$	$\sigma_{14} = 26$
		軸方向	$\sigma_{X1} = 13$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 0$	—	$\sigma_{X9} = 0$	—	—	—	$\sigma_{X81} = 1$	
		せん断	—	$\tau_{t1} = 1$			$\tau_{t3} = 0$			$\tau_3 = 1$				
X 方 向	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 25$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 0$	$\sigma_{\phi 101} = 1$	—	$\sigma_{15} = 26$
		軸方向	$\sigma_{X1} = 13$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X8} = 0$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 0$	$\sigma_{X91} = 0$	$\sigma_{X101} = 0$	—	
		せん断	—	—			—			$\tau_6 = 1$		$\tau_{c4} = 1$		
	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 25$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 0$	—	$\sigma_{\phi 111} = 1$	$\sigma_{16} = 26$
		軸方向	$\sigma_{X1} = 13$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 0$	—	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 0$	$\sigma_{X91} = 0$	—	$\sigma_{X111} = 1$	
		せん断	—	$\tau_{t1} = 1$			$\tau_{t3} = 0$			$\tau_6 = 1$		$\tau_{t5} = 1$		

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R2

(単位: MPa)

地震力の種類			基準地震動 S _s											組合 せ 力		
地震の 方向	評価点	応力 内圧による応力	運転時質量による応力			鉛直地震による応力			水平地震による応力							
			自重による応力	曲げモーメント による応力	半径方向荷重 による応力	自重による応力	曲げモーメント による応力	半径方向荷重 による応力	転倒モーメント による応力	半径方向荷重 による応力	鉛直方向モーメント による応力	周方向モーメント による応力				
Z 方 向	脚 側	第一 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 25$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$	$\sigma_{\phi 71} = 1$	—	$\sigma_{11} = 26$	
			軸方向	$\sigma_{X1} = 13$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 0$	$\sigma_{X61} = 1$	$\sigma_{X71} = 1$	—		
			せん断	—	—			—			—					
		第二 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 25$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$	—	—		$\sigma_{12} = 26$
			軸方向	$\sigma_{X1} = 13$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 0$	$\sigma_{X61} = 1$	—	—		
			せん断	—	$\tau_{t1} = 1$			$\tau_{t3} = 1$			$\tau_{t2} = 1$					
	脚 側	第一 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 25$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	—	—	—	$\sigma_{13} = 26$	
			軸方向	$\sigma_{X1} = 13$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	—	—	—	—		
			せん断	—	—			—			$\tau_3 = 2$ $\tau_{c1} = 1$					
		第二 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 25$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	—	—	$\sigma_{\phi 81} = 1$	$\sigma_{14} = 26$	
			軸方向	$\sigma_{X1} = 13$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$	—	—	—	$\sigma_{X81} = 1$		
			せん断	—	$\tau_{t1} = 1$			$\tau_{t3} = 1$			$\tau_3 = 2$					
X 方 向	第一 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 25$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$	$\sigma_{\phi 101} = 1$	—	$\sigma_{15} = 27$		
		軸方向	$\sigma_{X1} = 13$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 0$	$\sigma_{X91} = 1$	$\sigma_{X101} = 1$	—			
		せん断	—	—			—			$\tau_6 = 2$ $\tau_{c4} = 1$						
	第二 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 25$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$	—	$\sigma_{\phi 111} = 1$	$\sigma_{16} = 26$		
		軸方向	$\sigma_{X1} = 13$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 0$	$\sigma_{X91} = 1$	—	$\sigma_{X111} = 1$			
		せん断	—	$\tau_{t1} = 1$			$\tau_{t3} = 1$			$\tau_6 = 2$ $\tau_{t5} = 1$						

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R0

(3) 胴に生じる地震動のみによる一次+二次応力

(単位: MPa)

地震力の種類		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度								組合せ力	
地震の方向	評価点	応力	鉛直地震による応力			水平地震による応力					
			自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重力による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重力による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力		
Z 方 向	第一側 脚	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$ $\sigma_{\phi 62} = 1$	$\sigma_{\phi 71} = 1$ $\sigma_{\phi 72} = 1$	—	$\sigma_{21} = 3$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X8} = 0$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 0$	$\sigma_{X61} = 1$ $\sigma_{X62} = 1$	$\sigma_{X71} = 0$ $\sigma_{X72} = 1$	—		
		せん断	—			—					
	第二側 脚	第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$ $\sigma_{\phi 62} = 1$	—	—	$\sigma_{22} = 2$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 0$	$\sigma_{X61} = 1$ $\sigma_{X62} = 1$	—	—		
		せん断	$\tau_{t3} = 0$			$\tau_{t2} = 1$					
	第二側 脚	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	—	—	—	$\sigma_{23} = 4$
			軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X8} = 0$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	—	—	—	—	
			せん断	—			$\tau_{t3} = 1$		$\tau_{c1} = 1$		
		第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	—	—	$\sigma_{\phi 81} = 1$ $\sigma_{\phi 82} = 2$	$\sigma_{24} = 6$
	軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	—	—	—	$\sigma_{X81} = 1$ $\sigma_{X82} = 1$			
	せん断	$\tau_{t3} = 0$			$\tau_{t3} = 1$						
X 方 向	第一側 脚	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 0$ $\sigma_{\phi 92} = 1$	$\sigma_{\phi 101} = 1$ $\sigma_{\phi 102} = 1$	—	$\sigma_{25} = 4$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X8} = 0$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 0$	$\sigma_{X91} = 0$ $\sigma_{X92} = 1$	$\sigma_{X101} = 0$ $\sigma_{X102} = 1$	—		
		せん断	—			$\tau_{t6} = 1$		$\tau_{c4} = 1$			
	第二側 脚	第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 0$ $\sigma_{\phi 92} = 1$	—	$\sigma_{\phi 111} = 1$ $\sigma_{\phi 112} = 2$	$\sigma_{26} = 5$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 0$	$\sigma_{X91} = 0$ $\sigma_{X92} = 1$	—	$\sigma_{X111} = 1$ $\sigma_{X112} = 1$		
		せん断	$\tau_{t3} = 0$			$\tau_{t6} = 1$		$\tau_{t5} = 1$			

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R1

(単位: MPa)

地震力の種類			基準地震動Ss								組合せ力 一次応力
地震の方向	評価点	応力	鉛直地震による応力				水平地震による応力				
			自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力		
Z 方 向	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$ $\sigma_{\phi 62} = 1$	$\sigma_{\phi 71} = 1$ $\sigma_{\phi 72} = 1$	—	$\sigma_{21} = 6$	
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 0$	$\sigma_{X61} = 1$ $\sigma_{X62} = 1$	$\sigma_{X71} = 1$ $\sigma_{X72} = 1$	—		
		せん断	—				—				
	第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$ $\sigma_{\phi 62} = 1$	—	—	$\sigma_{22} = 3$	
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 0$	$\sigma_{X61} = 1$ $\sigma_{X62} = 1$	—	—		
		せん断	$\tau_{t3} = 1$				$\tau_{t2} = 1$				
	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	—	—	—	$\sigma_{23} = 6$	
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	—	—	—	—		
		せん断	—				$\tau_{t3} = 2$ $\tau_{c1} = 1$				
	第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	—	—	$\sigma_{\phi 81} = 1$ $\sigma_{\phi 82} = 4$	$\sigma_{24} = 11$	
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	—	—	—	$\sigma_{X81} = 1$ $\sigma_{X82} = 2$		
		せん断	$\tau_{t3} = 1$				$\tau_{t3} = 2$				
X 方 向	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$ $\sigma_{\phi 92} = 1$	$\sigma_{\phi 101} = 1$ $\sigma_{\phi 102} = 1$	—	$\sigma_{25} = 7$	
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 0$	$\sigma_{X91} = 1$ $\sigma_{X92} = 1$	$\sigma_{X101} = 1$ $\sigma_{X102} = 1$	—		
		せん断	—				$\tau_{t6} = 2$ $\tau_{c4} = 1$				
	第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$ $\sigma_{\phi 92} = 1$	—	$\sigma_{\phi 111} = 1$ $\sigma_{\phi 112} = 3$	$\sigma_{26} = 9$	
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 0$	$\sigma_{X91} = 1$ $\sigma_{X92} = 1$	—	$\sigma_{X111} = 1$ $\sigma_{X112} = 1$		
		せん断	$\tau_{t3} = 1$				$\tau_{t6} = 2$ $\tau_{t5} = 1$				

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R1

2.3.2 脚に生じる応力

(単位: MPa)

地震力の種類	地震の方向		運転時質量による応力			鉛直地震による応力			水平地震による応力			組合せ応力
			圧縮	曲げ	せん断	圧縮	曲げ	せん断	圧縮	曲げ	せん断	
弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	Z方向	第1脚側	$\sigma_{S1} = 1$	$\sigma_{S2} = 1$	$\tau_{S1} = 0$	$\sigma_{S3} = 1$	$\sigma_{S4} = 1$	$\tau_{S2} = 0$	$\sigma_{S5} = 1$	$\sigma_{S6} = 8$	$\tau_{S3} = 1$	$\sigma_{S21} = 11$
		第2脚側	$\sigma_{S1} = 1$	$\sigma_{S2} = 1$	$\tau_{S1} = 0$	$\sigma_{S3} = 1$	$\sigma_{S4} = 1$	$\tau_{S2} = 0$	—	$\sigma_{S7} = 9$	$\tau_{S4} = 2$	$\sigma_{S22} = 12$
	X方向		$\sigma_{S1} = 1$	$\sigma_{S2} = 1$	$\tau_{S1} = 0$	$\sigma_{S3} = 1$	$\sigma_{S4} = 1$	$\tau_{S2} = 0$	$\sigma_{S8} = 1$	$\sigma_{S9} = 6$	$\sigma_{S10} = 7$	$\tau_{S5} = 2$
基準地震動S _s	Z方向	第1脚側	$\sigma_{S1} = 1$	$\sigma_{S2} = 1$	$\tau_{S1} = 0$	$\sigma_{S3} = 1$	$\sigma_{S4} = 1$	$\tau_{S2} = 0$	$\sigma_{S5} = 2$	$\sigma_{S6} = 15$	$\tau_{S3} = 1$	$\sigma_{S21} = 19$
		第2脚側	$\sigma_{S1} = 1$	$\sigma_{S2} = 1$	$\tau_{S1} = 0$	$\sigma_{S3} = 1$	$\sigma_{S4} = 1$	$\tau_{S2} = 0$	—	$\sigma_{S7} = 17$	$\tau_{S4} = 4$	$\sigma_{S22} = 20$
	X方向		$\sigma_{S1} = 1$	$\sigma_{S2} = 1$	$\tau_{S1} = 0$	$\sigma_{S3} = 1$	$\sigma_{S4} = 1$	$\tau_{S2} = 0$	$\sigma_{S8} = 2$	$\sigma_{S9} = 11$	$\sigma_{S10} = 12$	$\tau_{S5} = 3$

2.4 結論
2.4.1 固有周期

(単位: s)

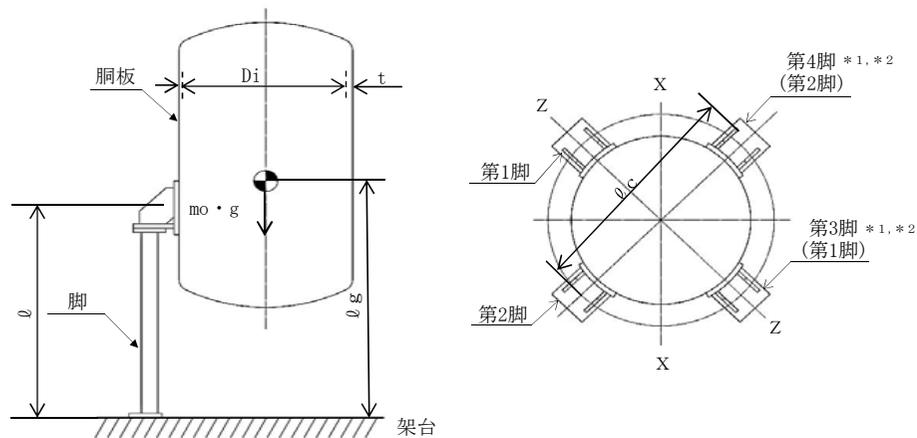
方 向	固 有 周 期
水 平 方 向	
鉛 直 方 向	

2.4.2 応 力

(単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板	SUS304	一次一般膜	$\sigma_0 = 25$	$S_a = 150$	$\sigma_0 = 25$	$S_a = 248$
		一 次	$\sigma_1 = 26$	$S_a = 225$	$\sigma_1 = 27$	$S_a = 372$
		一次+二次	$\sigma_2 = 6$	$S_a = 300$	$\sigma_2 = 11$	$S_a = 300$
脚	SS400	組 合 せ	$\sigma_s = 15$	$f_t = 201$	$\sigma_s = 27$	$f_t = 241$
		圧縮と曲げ の組合せ	$\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}} + \frac{\sigma_{st}}{f_{bt}} + \frac{\sigma_{sc}}{f_c} \leq 1$		$\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}} + \frac{\sigma_{st}}{f_{bt}} + \frac{\sigma_{sc}}{f_c} \leq 1$	
		(座屈の評価)	0.08		0.11	

すべて許容応力以下である。



注記 *1: 本計算書において地震の方向はX方向とZ方向を考慮し、Z方向地震による応力の計算においては、第3脚を第1脚に、第4脚を第2脚に読み替える。
*2: 脚部材については胴の半径方向を r 軸、その直角方向を t 軸とする。

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R3

【逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】

3. 重大事故等対処設備

3.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
逃がし安全弁 自動減圧機能用 アキュムレータ	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉格納容器 EL. 27.432 *			—	—	C _H =1.61	C _V =1.25	2.28	171	

注記 *：基準床レベルを示す。

3.2 機器要目

m ₀ (kg)	D _i (mm)	t (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)	ℓ (mm)	ℓ _c (mm)	ℓ _g (mm)	K _C	K _ℓ	K _r
	550	12.0	184000 *1	193000 *2	70800 *1	74200 *2	645	689	860	411	141	968

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{s f} (mm ⁴)	I _{s r} (mm ⁴)	I _{s t} (mm ⁴)	A _f (mm ²)	A _s (mm ²)	A _{s f} (mm ²)	A _{s r} (mm ²)	A _{s t} (mm ²)	A _{s 1} (mm ²)	A _{s 2} (mm ²)	Z _{s p} (mm ³)	Z _{s r} (mm ³)	Z _{s t} (mm ³)
75	90	9.890×10 ⁴	1.880×10 ⁶	2.600×10 ⁵	375.0	1.192×10 ³	420.8	666.7	489.0	536.4	426.4	2.347×10 ³	3.760×10 ⁴	7.520×10 ³

K ₁₁ *3	K ₁₂ *3	K ₂₁ *3	K ₂₂ *3	K _{ℓ1}	K _{ℓ2}	K _{C1}	K _{C2}	C _{ℓ1}	C _{ℓ2}	C _{C1}	C _{C2}
—											
—	—										

J _s (mm ⁴)	h (mm)
1.760×10 ⁴	100

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (脚) (MPa)	S _u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F* (脚) (MPa)
150 *1	413 *1	113 *1	201 *2	373 *2	—	241 *2

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

*3：表中で上段は一次応力、下段は二次応力の係数とする。

3.3 計算数値

3.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度					基準地震動 S _s					
	応力	内圧による応力	運転時質量による応力		水平地震による応力	組合せ一次一般膜応力	内圧による応力	運転時質量による応力		水平地震による応力	組合せ一次一般膜応力
			自重による応力	自重による応力	転倒モーメントによる応力			自重による応力	自重による応力	転倒モーメントによる応力	
周方向	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	—	—	$\sigma_0 = 54$
軸方向	—	—	—	—	—		$\sigma_{x1} = 27$	$\sigma_{x2} = 1$	$\sigma_{x7} = 1$	$\sigma_{x5} = 1$	
せん断	—	—	—	—	—		—	—	—	—	

(2) 胴に生じる一次応力

(単位：MPa)

地震力の種類			弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度												
地震の方向	評価点	応力	内圧による応力	運転時質量による応力			鉛直地震による応力			水平地震による応力				組合せ一次応力	
				自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力		
方 向	第一側	第一評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	第二側	第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	第一側	第一評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	第二側	第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
方 向	第一側	第一評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	第二側	第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R1

(単位: MPa)

地震力の種類			基準地震動 S s											組合 一次応力		
地震の方向	評価点	応力 内圧による応力	運転時質量による応力			鉛直地震による応力			水平地震による応力							
			自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力				
Z 方 向	脚 側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$	$\sigma_{\phi 71} = 1$	—	$\sigma_{11} = 56$	
			軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$	$\sigma_{X71} = 1$	—		
			せん断	—	—			—			—					
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$	—	—		$\sigma_{12} = 54$
			軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$	—	—		
			せん断	—	$\tau_{t1} = 1$			$\tau_{t3} = 1$			$\tau_{t2} = 1$					
	脚 側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	—	—	—	$\sigma_{13} = 55$	
			軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	—	—	—	—		
			せん断	—	—			—			$\tau_{t3} = 2$ $\tau_{c1} = 1$					
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	—	—	$\sigma_{\phi 81} = 1$		$\sigma_{14} = 55$
			軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$	—	—	—	$\sigma_{X81} = 1$		
			せん断	—	$\tau_{t1} = 1$			$\tau_{t3} = 1$			$\tau_{t3} = 2$					
X 方 向	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$	$\sigma_{\phi 101} = 1$	—	$\sigma_{15} = 56$		
		軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$	$\sigma_{X101} = 1$	—			
		せん断	—	—			—			$\tau_{t6} = 1$ $\tau_{c4} = 1$						
	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$	—	$\sigma_{\phi 111} = 1$		$\sigma_{16} = 55$	
		軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$	—	$\sigma_{X111} = 1$			
		せん断	—	$\tau_{t1} = 1$			$\tau_{t3} = 1$			$\tau_{t6} = 1$ $\tau_{t5} = 1$						

(3) 胴に生じる地震動のみによる一次+二次応力

(単位:MPa)

地震力の種類			弾性設計用地震動 S _a 又は静的震度								
地震の方向	評価点	応力	鉛直地震による応力			水平地震による応力				組合せ力 一次応力	
			自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重力による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重力による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力		
方 向	第一側	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	
		せん断	—			—					
	第二側	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	
		せん断	—			—					
	第一側	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	
		せん断	—			—					
	第二側	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	
		せん断	—			—					
方 向	第一評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	
		軸方向	—	—	—	—	—	—	—		
		せん断	—			—					
	第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	
		軸方向	—	—	—	—	—	—	—		
		せん断	—			—					

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R1

(単位: MPa)

地震力の種類			基準地震動 S s							組合せ力
地震の方向	評価点	応力	鉛直地震による応力			水平地震による応力				
			自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
Z 方 向	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$ $\sigma_{\phi 62} = 1$	$\sigma_{\phi 71} = 1$ $\sigma_{\phi 72} = 2$	—	$\sigma_{21} = 11$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$ $\sigma_{X62} = 1$	$\sigma_{X71} = 1$ $\sigma_{X72} = 2$	—	
		せん断	—			—				
	第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$ $\sigma_{\phi 62} = 1$	—	—	$\sigma_{22} = 6$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$ $\sigma_{X62} = 1$	—	—	
		せん断	$\tau_{t3} = 1$			$\tau_{t2} = 1$				
	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	—	—	—	$\sigma_{23} = 7$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	—	—	—	—	
		せん断	—			$\tau_{t3} = 2$ $\tau_{c1} = 1$				
	第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	—	—	$\sigma_{\phi 81} = 1$ $\sigma_{\phi 82} = 5$	$\sigma_{24} = 13$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	—	—	—	$\sigma_{X81} = 1$ $\sigma_{X82} = 2$	
		せん断	$\tau_{t3} = 1$			$\tau_{t3} = 2$				
X 方 向	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$ $\sigma_{\phi 92} = 1$	$\sigma_{\phi 101} = 1$ $\sigma_{\phi 102} = 1$	—	$\sigma_{25} = 11$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$ $\sigma_{X92} = 1$	$\sigma_{X101} = 1$ $\sigma_{X102} = 2$	—	
		せん断	—			$\tau_{t6} = 1$ $\tau_{c4} = 1$				
	第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$ $\sigma_{\phi 92} = 1$	—	$\sigma_{\phi 111} = 1$ $\sigma_{\phi 112} = 4$	$\sigma_{26} = 12$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$ $\sigma_{X92} = 1$	—	$\sigma_{X111} = 1$ $\sigma_{X112} = 2$	
		せん断	$\tau_{t3} = 1$			$\tau_{t6} = 1$ $\tau_{t5} = 1$				

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R1

3.3.2 脚に生じる応力

(単位: MPa)

地震力の種類	地震の方向		運転時質量による応力			鉛直地震による応力			水平地震による応力			組合せ応力
			圧縮	曲げ	せん断	圧縮	曲げ	せん断	圧縮	曲げ	せん断	
弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	Z方向	第1脚側	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		第2脚側	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	X方向		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
基準地震動S _s	Z方向	第1脚側	$\sigma_{S1} = 1$	$\sigma_{S2} = 1$	$\tau_{S1} = 0$	$\sigma_{S3} = 1$	$\sigma_{S4} = 1$	$\tau_{S2} = 0$	$\sigma_{S5} = 3$	$\sigma_{S6} = 17$	$\tau_{S3} = 1$	$\sigma_{S21} = 24$
		第2脚側	$\sigma_{S1} = 1$	$\sigma_{S2} = 1$	$\tau_{S1} = 0$	$\sigma_{S3} = 1$	$\sigma_{S4} = 1$	$\tau_{S2} = 0$	—	$\sigma_{S7} = 18$	$\tau_{S4} = 5$	$\sigma_{S22} = 23$
	X方向		$\sigma_{S1} = 1$	$\sigma_{S2} = 1$	$\tau_{S1} = 0$	$\sigma_{S3} = 1$	$\sigma_{S4} = 1$	$\tau_{S2} = 0$	$\sigma_{S8} = 3$	$\sigma_{S9} = 12$	$\sigma_{S10} = 13$	$\tau_{S5} = 4$

3.4 結論
3.4.1 固有周期

(単位：s)

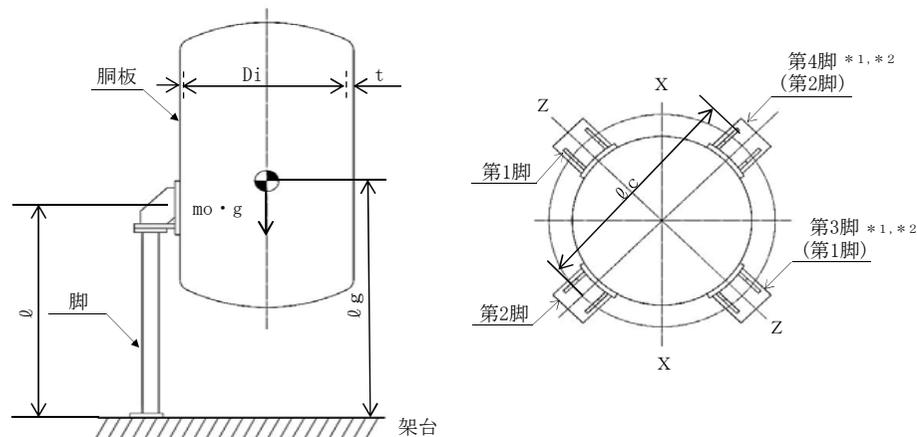
方 向	固 有 周 期
水 平 方 向	
鉛 直 方 向	

3.4.2 応 力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板	SUS304	一次一般膜	—	—	$\sigma_0 = 54$	$S_a = 248$
		一 次	—	—	$\sigma_1 = 56$	$S_a = 372$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 13$	$S_a = 300$
脚	SS400	組 合 せ	—	—	$\sigma_s = 31$	$f_t = 241$
		圧縮と曲げ の組合せ	—		$\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}} + \frac{\sigma_{st}}{f_{bt}} + \frac{\sigma_{sc}}{f_c} \leq 1$	
		(座屈の評価)	—		0.13	

すべて許容応力以下である。



注記 *1：本計算書において地震の方向はX方向とZ方向を考慮し、Z方向地震による応力の計算においては、第3脚を第1脚に、第4脚を第2脚に読み替える。
*2：脚部材については胴の半径方向を r 軸、その直角方向を t 軸とする。

7. 引用文献

- (1) Bijlaard, P.P. : Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, The Welding Journal, 34(12), Research Supplement, 1955.
- (2) Wichman, K.R. et al. : Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 / August 1965.

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-664 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-9-5-4-1 低圧マニホールドの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	12
3. 評価部位	13
4. 固有周期	13
4.1 固有周期の計算方法	13
4.2 固有周期の計算条件	18
4.3 固有周期の計算結果	18
5. 構造強度評価	18
5.1 構造強度評価方法	18
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	18
5.3 設計用地震力	23
5.4 計算方法	24
5.5 計算条件	37
5.6 応力の評価	37
6. 評価結果	40
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	40
7. 引用文献	48

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、低圧マニホールドが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

低圧マニホールドは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

低圧マニホールドの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴を 4 個の脚で支持し，脚を溶接で架台に据え付ける。</p>	<p>上面及び下面に鏡板を有するたて置円筒形</p>	<p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

低圧マニホールドの応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す低圧マニホールドの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

低圧マニホールドの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

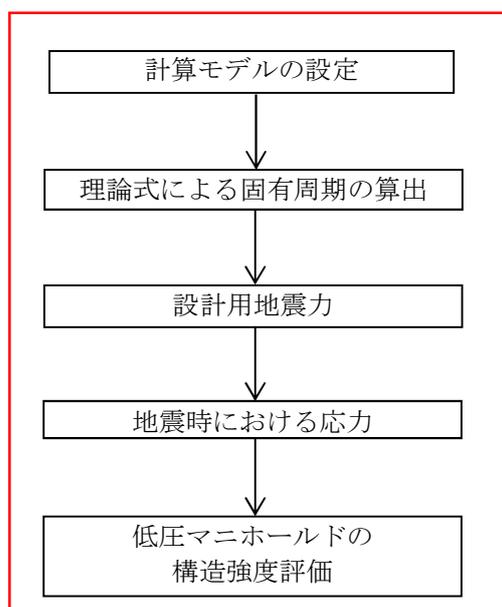


図 2-1 低圧マニホールドの耐震評価フロー

2.3 適用基準

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）に準拠して評価する。

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_e	胴の有効せん断断面積	mm^2
A_f	脚の圧縮フランジの断面積	mm^2
A_s	脚の断面積	mm^2
A_{s1}	脚の半径方向軸に対するせん断断面積	mm^2
A_{s2}	脚の周方向軸に対するせん断断面積	mm^2
A_{sf}	脚の圧縮フランジとせいの6分の1から成るT形断面の断面積	mm^2
A_{sr}	脚の半径方向軸に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{st}	脚の周方向軸に対する有効せん断断面積	mm^2
C	脚の座屈曲げモーメントに対する修正係数	—
C_1	脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の周方向)	mm
C_2	脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の軸方向)	mm
C_{cj}	周方向モーメントによる応力の補正係数 (引用文献(2)より得られる値) ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
C_{lj}	鉛直方向モーメントによる応力の補正係数 (引用文献(2)より得られる値) ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
D_i	胴の内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3に定める値	MPa
F_o	振動モデル系における水平力	N
F_v	鉛直方向荷重	N
f_{br}	脚の半径方向軸回りの許容曲げ応力	MPa
f_{bt}	脚の半径方向に直角な方向の軸回りの許容曲げ応力	MPa
f_c	脚の許容圧縮応力	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
f_t	脚の許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h	脚断面のせい	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm^4
i	脚の弱軸についての断面二次半径	mm
i_f	脚の圧縮フランジとせいの6分の1から成る T 形断面のウェブ軸回りの断面二次半径	mm
$I_{s f}$	脚の圧縮フランジとせいの6分の1から成る T 形断面のウェブ軸回りの断面二次モーメント	mm^4
$I_{s r}$	脚の半径方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
$I_{s t}$	脚の周方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
J_s	脚のねじりモーメント係数	mm^4
K_{1j}, K_{2j}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
K_c	胴の脚付け根部における周方向曲げモーメントに対する局部ばね定数 (引用文献(1)より得られる値)	—
K_H	ばね定数 (水平方向)	N/m
K_ℓ	胴の脚付け根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ばね定数 (引用文献(1)より得られる値)	—
K_r	胴の脚付け根部における半径方向荷重に対する局部ばね定数 (引用文献(1)より得られる値)	—
K_v	ばね定数 (鉛直方向)	N/m
k_c, k_ℓ	引用文献(1)によるアタッチメントパラメータの周方向及び軸方向の補正係数	—
l	脚の長さ	mm
l_c	脚の中立軸間の距離	mm
l_g	架台から容器重心までの距離	mm
l_k	脚の有効座屈長さ	mm
M_1	Z 方向地震による胴の脚付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm

記 号	記 号 の 説 明	単 位
M_3	Z方向地震による胴の脚付け根部のねじりモーメント	N・mm
M_c	Z方向地震による胴の脚付け根部の周方向モーメント	N・mm
M_ℓ	運転時質量による胴の脚付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_{\ell 2}$	鉛直方向地震による胴の脚付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
M_{s1}, M_{s2}	脚の上下両端に作用する曲げモーメント	N・mm
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	N・mm /mm
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント	N・mm /mm
m_0	容器の運転時質量	kg
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
P	運転時質量による胴の脚付け根部の半径方向荷重	N
P_1	Z方向地震による胴の脚付け根部の半径方向荷重	N
P_2	鉛直方向地震による胴の脚付け根部の半径方向荷重	N
P_r	最高使用圧力	MPa
Q	Z方向地震による胴の脚付け根部の周方向荷重	N
R	運転時質量による脚の軸力	N
R_1	Z方向地震により脚に作用する軸力	N
R_2	鉛直方向地震により脚に作用する軸力	N
r_m	胴の平均半径	mm

記号	記号の説明	単位
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
T_H	水平方向の固有周期	s
T_v	鉛直方向の固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
u	脚の中心軸から胴板の厚さの中心までの距離	mm
Z_{sp}	脚のねじり断面係数	mm ³
Z_{sr}	脚の半径方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{st}	脚の周方向軸に対する断面係数	mm ³
β, β_1, β_2	引用文献(2) によるアタッチメントパラメータ	—
γ	引用文献(2) によるシェルパラメータ	—
δ_H	水平力 F_0 による胴重心の水平方向変位量	mm
δ_v	胴重心の鉛直方向変位量	mm
Δ_r	運転時質量による胴の半径方向局部変位量	mm
Δ_{r1}	水平力 F_0 による胴の半径方向局部変位量	mm
Δ_{x1}	水平力 F_0 による第1脚上端の水平方向変位量	mm
Δ_{x3}	水平力 F_0 による第2脚上端の水平方向変位量	mm
Δ_{y1}	水平力 F_0 による第1脚の鉛直方向変位量	mm
Δ_{y2}	鉛直方向荷重 F_v による支持脚の鉛直方向変位量	mm
Δ_{y3}	鉛直方向荷重 F_v による胴の鉛直方向変位量	mm
Δ_{y4}	運転時質量による胴付け根部における局部傾き角による鉛直方向変位量	mm
θ	運転時質量による胴の脚付け根部における局部傾き角	rad
θ_0	水平力 F_0 による胴の中心軸の傾き角	rad
θ_1	水平力 F_0 による第1脚の傾き角	rad
θ_1'	水平力 F_0 による胴の第1脚付け根部における局部傾き角	rad
θ_3	水平力 F_0 による第2脚の傾き角	rad
Λ	脚の限界細長比	—
λ	脚の有効細長比	—
ν	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—

記 号	記 号 の 説 明	単 位
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{0\phi}$	胴の周方向の一次一般膜応力	MPa
σ_{0x}	胴の軸方向の一次一般膜応力	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_2	胴の一次+二次応力の最大値	MPa
σ_{11}, σ_{12}	Z方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
σ_{13}, σ_{14}	Z方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
σ_{15}, σ_{16}	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
σ_{21}, σ_{22}	Z方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次+二次応力	MPa
σ_{23}, σ_{24}	Z方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次+二次応力	MPa
σ_{25}, σ_{26}	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次+二次応力	MPa
σ_s	脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{s1}, σ_{s2}	運転時質量による脚の圧縮及び曲げ応力	MPa
σ_{s3}, σ_{s4}	鉛直方向地震による脚の圧縮及び曲げ応力	MPa
$\sigma_{s5}, \sigma_{s6}, \sigma_{s7}$	Z方向地震による脚の圧縮並びに第1脚及び第2脚の曲げ応力	MPa
$\sigma_{s8}, \sigma_{s9}, \sigma_{s10}$	X方向地震による脚の圧縮並びに半径方向及び周方向の曲げ応力	MPa
σ_{sc}	脚の圧縮応力の和	MPa
σ_{sr}	脚の半径方向軸回りの圧縮側曲げ応力の和	MPa
σ_{st}	脚の半径方向に直角な軸回りの圧縮側曲げ応力の和	MPa
σ_{sx}	X方向地震が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{sz1}, \sigma_{sz2}$	Z方向地震が作用した場合の第1脚及び第2脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{\phi1}, \sigma_{x1}$	内圧による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi3}, \sigma_{x3}$	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi4}, \sigma_{x4}$	運転時質量により生じる半径方向荷重による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
σ_{x5}	水平方向地震が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi7}, \sigma_{x7}$	鉛直方向地震による胴の周方向応力及び軸方向応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{\phi 8}, \sigma_{x 8}$	鉛直方向地震により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 9}, \sigma_{x 9}$	鉛直方向地震により生じる半径方向荷重による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 10}, \sigma_{x 10}$	鉛直方向地震により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 11}, \sigma_{x 11}$	鉛直方向地震により生じる半径方向荷重による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 61}, \sigma_{x 61}$	Z方向地震が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向及び	MPa
$\sigma_{\phi 62}, \sigma_{x 62}$	軸方向応力	
$\sigma_{\phi 71}, \sigma_{x 71}$	Z方向地震が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び	MPa
$\sigma_{\phi 72}, \sigma_{x 72}$	軸方向応力	
$\sigma_{\phi 81}, \sigma_{x 81}$	Z方向地震が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向及び	MPa
$\sigma_{\phi 82}, \sigma_{x 82}$	軸方向応力	
$\sigma_{\phi 91}, \sigma_{x 91}$	X方向地震が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向及び	MPa
$\sigma_{\phi 92}, \sigma_{x 92}$	軸方向応力	
$\sigma_{\phi 101}, \sigma_{x 101}$	X方向地震が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向	MPa
$\sigma_{\phi 102}, \sigma_{x 102}$	及び軸方向応力	
$\sigma_{\phi 111}, \sigma_{x 111}$	X方向地震が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向及	MPa
$\sigma_{\phi 112}, \sigma_{x 112}$	び軸方向応力	
$\sigma_{x x 1}, \sigma_{x x 2}$	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{x x 3}, \sigma_{x x 4}$	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次+二次応力の和	MPa
$\sigma_{x z 1}, \sigma_{x z 2}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{x z 3}, \sigma_{x z 4}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{x z 5}, \sigma_{x z 6}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次+二次応力の和	MPa
$\sigma_{x z 7}, \sigma_{x z 8}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次+二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi x 1}, \sigma_{\phi x 2}$	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi x 3}, \sigma_{\phi x 4}$	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次+二次応力の和	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{\phi z 1}, \sigma_{\phi z 2}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi z 3}, \sigma_{\phi z 4}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi z 5}, \sigma_{\phi z 6}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次＋二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi z 7}, \sigma_{\phi z 8}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次＋二次応力の和	MPa
τ_3	Z方向地震により胴の脚付け根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_6	X方向地震により胴の脚付け根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
$\tau_{c 1}$	Z方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向せん断応力	MPa
$\tau_{c 4}$	X方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向せん断応力	MPa
$\tau_{\ell 1}$	運転時質量により胴の脚付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\ell 2}$	Z方向地震により胴の脚付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\ell 5}$	X方向地震により胴の脚付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\ell 3}$	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{s 1}$	運転時質量による脚のせん断応力	MPa
$\tau_{s 2}$	鉛直方向地震による脚のせん断応力	MPa
$\tau_{s 3}, \tau_{s 4}$	Z方向地震による第1脚及び第2脚のせん断応力	MPa
$\tau_{s 5}$	X方向地震による脚のせん断応力	MPa

注記：「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））J SME S NC 1-2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）をいう。

2.5 計算精度と数値の丸め方
精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度		—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第 2 位
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第 1 位
面積		mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント		N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は，小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

主蒸気隔離弁漏えい抑制系低圧マニホールドは、胴及び脚について評価を実施する。

主蒸気隔離弁漏えい抑制系低圧マニホールドの耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

本容器は、2.1項より脚下端の支持条件を組み合わせることで次の計算モデルができる。

a. 第1脚及び第2脚とも固定の場合

図4-1にa項の変形モードを示す。

(2) 固有周期

それぞれの脚及び胴について、荷重、モーメント及び変形の釣合い条件の方程式を作ることにより、以下のように固有周期を求める。

a. 水平方向の固有周期

第1脚及び第2脚とも固定の場合（図4-1参照），水平力の釣合いより

$$2 \cdot P_1 + 2 \cdot Q = F_0 \quad \dots\dots\dots (4.1.1)$$

転倒モーメントの釣合いより

$$2 \cdot M_1 - 2 \cdot M_3 + 2 \cdot R_1 \cdot r_m = F_0 \cdot (\ell_g - \ell) \quad \dots\dots\dots (4.1.2)$$

ただし、

$$r_m = (D_i + t) / 2 \quad \dots\dots\dots (4.1.3)$$

水平力 F_0 による第1脚の水平方向変位量、傾き角及び鉛直方向変位量は

$$\Delta_{x1} = \frac{P_1 \cdot \ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot \ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \quad \dots\dots\dots (4.1.4)$$

ここで、（図4-1参照）

$$u = \frac{\ell_c}{2} - r_m \quad \dots\dots\dots (4.1.5)$$

$$\theta_1 = \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \ell}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \quad \dots\dots\dots (4.1.6)$$

$$\Delta_{y1} = \frac{R_1 \cdot \ell}{A_s \cdot E_s} \quad \dots\dots\dots (4.1.7)$$

水平力 F_0 による胴の半径方向局部変位量と局部傾き角は

$$\Delta_{r1} = \frac{K_r \cdot P_1}{r_m \cdot E} \quad \dots\dots\dots (4.1.8)$$

$$\theta_{1'} = \frac{K_l \cdot M_1}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \quad \dots\dots\dots (4.1.9)$$

ここで、 K_r 及び K_l は引用文献(1)に基づく胴の半径方向荷重による局部変位と長手方向曲げモーメントによる局部傾き角に対する定数であり、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β は、以下のように定義する。

$$r_m = (D_i + t) / 2 \quad \dots\dots\dots (4.1.10)$$

$$\gamma = r_m / t \quad \dots\dots\dots (4.1.11)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad \dots\dots\dots (4.1.12)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad \dots\dots\dots (4.1.13)$$

$$\beta = k_l \cdot \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \dots\dots\dots (4.1.14)$$

水平力 F_0 による第2脚の傾き角（胴の中心軸の傾き角に同じ。）と水平方向変位量は

$$\theta_0 = \frac{-M_3 \cdot \ell}{E_s \cdot I_{sr}} + \frac{Q \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} \quad \dots\dots\dots (4.1.15)$$

$$\Delta_{x3} = \frac{Q \cdot \ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{sr}} + \frac{Q \cdot \ell}{G_s \cdot A_{st}} - \frac{M_3 \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} \quad \dots\dots (4.1.16)$$

第1脚と胴の傾き角の釣合いより

$$\theta_1 + \theta_{1'} - \theta_0 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.17)$$

水平力 F_0 による第2脚のねじれ角と胴の局部傾き角は等しいから

$$\theta_3 = \frac{(Q \cdot u - M_c) \cdot \ell}{G_s \cdot J_s} = \frac{K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \quad \dots\dots\dots (4.1.18)$$

ここで、 K_c は、引用文献(1)に基づく胴の周方向曲げモーメントによる局部傾き角に対する定数であり、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β は、(4.1.10) 式～ (4.1.14) 式とする。ただし、(4.1.14) 式の k_l を k_c 、 β_1 を β_2 及び β_2 を β_1 に置き換える。

脚と胴の水平方向変位量の釣合いより

$$\Delta_{x1} + \Delta_{r1} = \Delta_{x3} + u \cdot \theta_3 \quad \dots\dots\dots (4.1.19)$$

さらに、鉛直方向の釣合いより

$$\Delta_{y1} - u \cdot \theta_1 - r_m \cdot \theta_0 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.20)$$

(4.1.20) 式へ (4.1.6) 式, (4.1.7) 式及び (4.1.15) 式を代入して

$$\frac{R_1 \cdot \ell}{A_s \cdot E_s} - \frac{u \cdot (M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \ell}{E_s \cdot I_{st}} - \frac{u \cdot P_1 \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{r_m \cdot M_3 \cdot \ell}{E_s \cdot I_{sr}} - \frac{r_m \cdot Q \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.21)$$

(4.1.17) 式へ (4.1.6) 式, (4.1.9) 式及び (4.1.15) 式を代入して

$$\frac{M_3 \cdot \ell}{E_s \cdot I_{sr}} - \frac{Q \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \ell}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{K \ell \cdot M_1}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.22)$$

(4.1.18) 式を変形して

$$\frac{u \cdot Q \cdot \ell}{G_s \cdot J_s} - \frac{M_c \cdot \ell}{G_s \cdot J_s} - \frac{K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.23)$$

(4.1.19) 式へ (4.1.4) 式, (4.1.8) 式, (4.1.16) 式及び (4.1.18) 式を代入して

$$\frac{P_1 \cdot \ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot \ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_r \cdot P_1}{r_m \cdot E} - \frac{Q \cdot \ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{sr}} - \frac{Q \cdot \ell}{G_s \cdot A_{st}} + \frac{M_3 \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} - \frac{u \cdot K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.24)$$

以上より, 6 変数 P_1, Q, R_1, M_1, M_3 及び M_c に対して (4.1.1) 式, (4.1.2) 式及び (4.1.21) 式～ (4.1.24) 式を連立させ, Δ_{x1}, Δ_{r1} 及び θ_0 を求める。

胴重心の変位量 δ_H , ばね定数 K_H 及び固有周期 T_H は次式で求める。

$$\delta_H = \Delta_{x1} + \Delta_{r1} + (\ell_g - \ell) \cdot \theta_0 + \frac{(\ell_g - \ell)^3}{3 \cdot E \cdot I} \cdot F_0 + \frac{(\ell_g - \ell)}{G \cdot A_e} \cdot F_0 \quad \dots\dots\dots (4.1.25)$$

$$K_H = \frac{1000 \cdot F_0}{\delta_H} \quad \dots\dots\dots (4.1.26)$$

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \quad \dots\dots\dots (4.1.27)$$

ここで, 胴の断面性能は次式で求める。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \quad \dots\dots\dots (4.1.28)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \dots\dots\dots (4.1.29)$$

b. 鉛直方向の固有周期

鉛直方向荷重 F_v による支持脚の鉛直方向変位量と胴の鉛直方向変位量は次式で求める。

$$\Delta_{y2} = \frac{F_v \cdot \ell}{4 \cdot A_s \cdot E_s} \dots\dots\dots (4.1.30)$$

$$\Delta_{y3} = \frac{F_v \cdot (\ell_g - \ell)}{A_s \cdot E} \dots\dots\dots (4.1.31)$$

ここで,

$$A_s = \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \dots\dots\dots (4.1.32)$$

運転時質量による胴の脚付け根部における局部傾き角による鉛直方向変位量は次式で求める。

$$\Delta_{y4} = \theta \cdot u \dots\dots\dots (4.1.33)$$

局部傾き角は脚下端の支持条件により, 脚下端が固定の場合

$$\theta = \frac{K\ell \cdot M\ell}{r m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \dots\dots\dots (4.1.34)$$

ここで,

$$M\ell = \left\{ \left(\frac{\ell^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r m \cdot E} \right) \cdot \frac{F_v \cdot u \cdot \ell}{4 \cdot E_s \cdot I_{st}} \right\} \\ \cdot \left\{ \left(\frac{\ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r m \cdot E} \right) \cdot \left(\frac{\ell}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{K\ell}{r m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \right) - \left(\frac{\ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \right)^2 \right\} \\ \dots\dots\dots (4.1.35)$$

以上により, 胴重心の鉛直方向変位量 δ_v , ばね定数 K_v 及び固有周期 T_v は次式で求める。

$$\delta_v = \Delta_{y2} + \Delta_{y3} + \Delta_{y4} \dots\dots\dots (4.1.36)$$

$$K_v = \frac{1000 \cdot F_v}{\delta_v} \dots\dots\dots (4.1.37)$$

$$T_v = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{m_0}{K_v}} \dots\dots\dots (4.1.38)$$

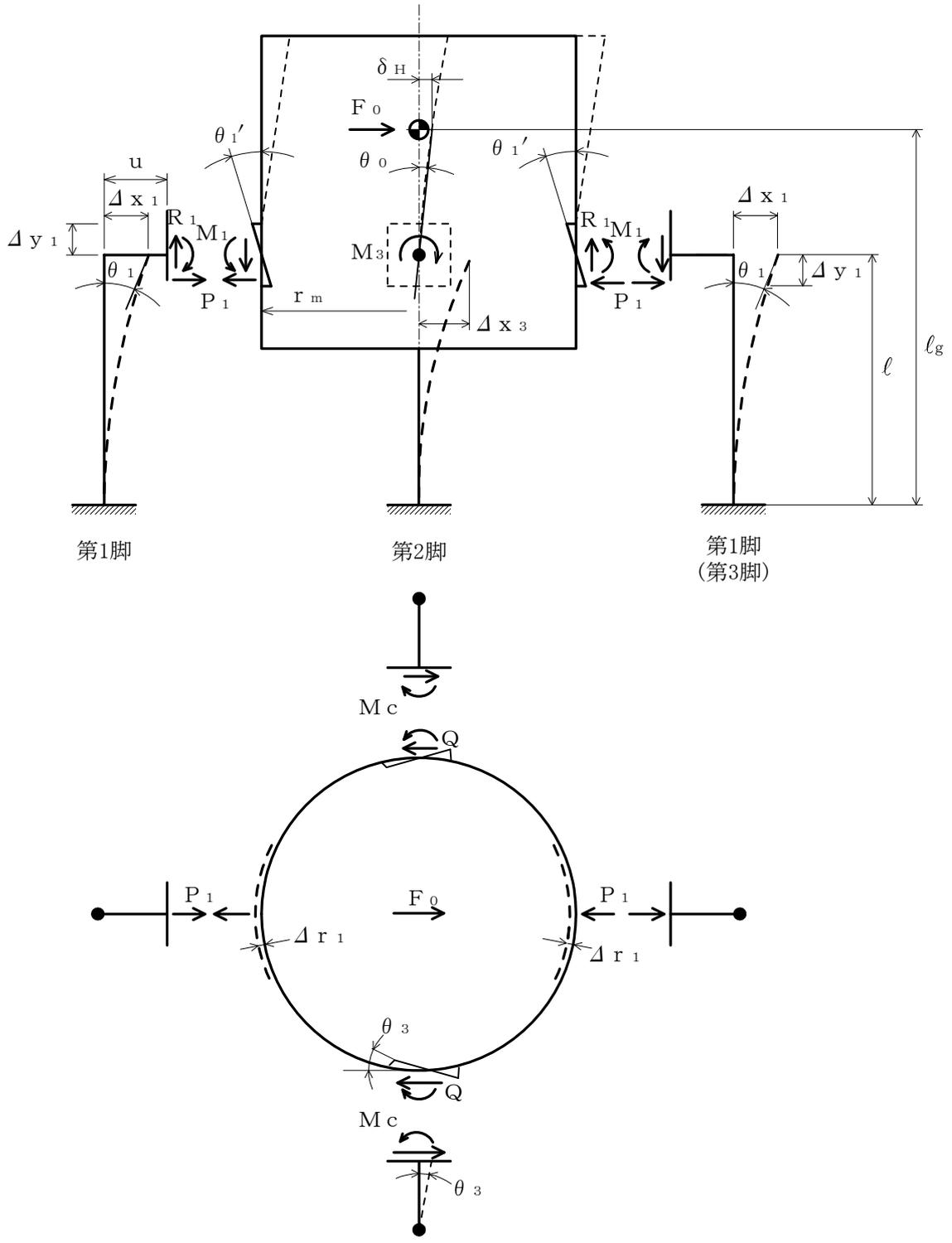


図 4-1 第 1 脚及び第 2 脚とも脚下端が固定されている場合の変形モード

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、「6.1 設計基準対象施設としての評価結果」の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の評価結果を、表4-1に示す。計算結果より、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (s)

水平方向	鉛直方向

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 容器及び内容物の質量は、重心に集中するものとする。
- (2) 地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 低圧マニホールドは胴を4個の脚で支持し、脚は溶接で架台に据え付けているため、固定端として評価する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧マニホールドの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-1に示す。

5.2.2 許容応力

低圧マニホールドの許容応力を表5-2及び表5-3に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

低圧マニホールドの許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-4に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	主蒸気隔離弁漏えい抑制系 低圧マニホールド	S	クラス3容器 [*]	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 * : クラス3容器の支持構造物を含む。

表 5-2 許容応力 (クラス 2, 3 容器)

許容応力状態	許容限界 *1, *2			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と 0.6・S _u の小さい方 ただし, オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記の値と 1.2・S との大きい方	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動 S _d 又は基準地震動 S _s のみによる疲労解析を行い, 疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次+二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば, 疲労解析は行わない。	
Ⅳ _A S	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値		

注記 *1: 座屈に対する評価が必要な場合には, クラス MC 容器の座屈に対する評価式による。

*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3 許容応力 (クラス 2, 3 支持構造物)

許容応力状態	許容限界* (脚)
	一次応力
	組合せ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$

注記 * : 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
胴板	SM400B	最高使用温度	100	—	221	373	—
脚	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	—	241	394	—

5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-5 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

表 5-5 低圧マニホールドの設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 EL. 20.3*			C _H =0.78	C _V =0.54	C _H =1.34	C _V =1.01

注記 * : 基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

応力計算において、静的地震力を用いるため絶対値和を用いる。

5.4.1.1 胴の応力

(1) 内圧による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 7} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{x 2} = \frac{m_o \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

$$\sigma_{x 7} = \frac{m_o \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

(3) 運転時質量による胴の脚付け根部の応力

脚下端が固定の場合、脚の半径方向変位量と胴の半径方向局部変位量は等しいから

$$\begin{aligned} \Delta_r &= \frac{-P \cdot \ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{-P \cdot \ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(R \cdot u - M\ell) \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \\ &= \frac{K_r \cdot P}{r_m \cdot E} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.6) \end{aligned}$$

また、脚上端の傾き角と胴の局部傾き角は等しいから

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{(R \cdot u - M\ell) \cdot \ell}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{-P \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \\ &= \frac{K_\ell \cdot M\ell}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.7) \end{aligned}$$

ここで、

$$R = \frac{m_o \cdot g}{4} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

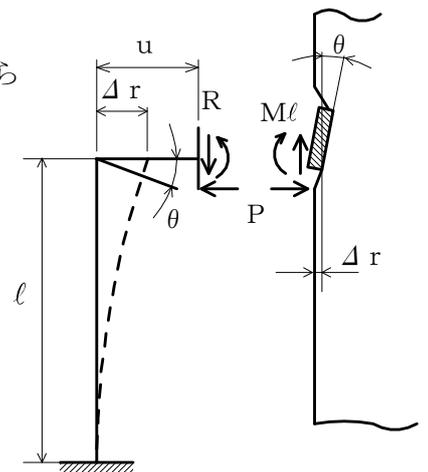


図 5-1 脚下端が固定されている場合の運転時質量による脚及び胴の変形

したがって、(5.4.1.1.8) 式を (5.4.1.1.6) 式及び (5.4.1.1.7) 式に代入し

た式を連立することにより、 $M\ell$ を以下のように求める。

$$M\ell = \left\{ \left(\frac{\ell^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \cdot \frac{m_0 \cdot g \cdot u \cdot \ell}{4 \cdot E_s \cdot I_{st}} \right\} \\ \left/ \left\{ \left(\frac{\ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \right. \right. \\ \left. \left. \cdot \left(\frac{\ell}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_\ell}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \right) - \left(\frac{\ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \right)^2 \right\} \right. \quad (5.4.1.1.9)$$

Pは(5.4.1.1.6)式に(5.4.1.1.8)式を代入して整理すると

$$P = \frac{\frac{m_0 \cdot g \cdot u - M\ell}{4} \cdot \ell^2}{\frac{\ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E}} \quad (5.4.1.1.10)$$

となる。

鉛直方向曲げモーメント $M\ell$ により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は引用文献(2)により次のようにして求める。

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β を以下のように定義する。

$$r_m = (D_i + t) / 2 \quad (5.4.1.1.11)$$

$$\gamma = r_m / t \quad (5.4.1.1.12)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad (5.4.1.1.13)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad (5.4.1.1.14)$$

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad (5.4.1.1.15)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の図より値(以下*を付記するもの)を求めることにより、次式で求める。

$$\sigma_{\phi 3} = \left\{ \frac{N_\phi}{M\ell / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M\ell}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{\ell 1} \quad (5.4.1.1.16)$$

$$\sigma_{x 3} = \left\{ \frac{N_x}{M\ell / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M\ell}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{\ell 2} \quad (5.4.1.1.17)$$

半径方向荷重Pにより生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 4} = \left\{ \frac{N_\phi}{P / r_m} \right\}^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t} \right) \quad (5.4.1.1.18)$$

$$\sigma_{x 4} = \left\{ \frac{N_x}{P / r_m} \right\}^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t} \right) \quad (5.4.1.1.19)$$

ここで、 γ 及び β は(5.4.1.1.11)式～(5.4.1.1.15)式によるが、(5.4.1.1.15)

式を

$4 \geq \beta_1 / \beta_2 \geq 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{1}{3} \cdot (\beta_1 / \beta_2 - 1) \cdot (1 - K_{1j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.1.20)$$

ただし, $\beta \leq 0.5$

$\frac{1}{4} \leq \beta_1 / \beta_2 < 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{4}{3} \cdot (1 - \beta_1 / \beta_2) \cdot (1 - K_{2j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.1.21)$$

ただし, $\beta \leq 0.5$

に置き換える。

反力 R によるせん断応力は

$$\tau_{l1} = \frac{R}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.1.22)$$

(4) 水平方向地震による胴の曲げ応力

水平方向地震により胴に転倒モーメントが作用するため、脚が取り付く胴の円周上に以下の曲げ応力が発生する。

$$\sigma_{x5} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot (l_g - l) \cdot (D_i + 2 \cdot t)}{2 \cdot I} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.1.23)$$

(5) Z 方向地震による胴の脚付け根部の応力

4.1 節の固有周期計算において (4.1.1) 式及び (4.1.2) 式の水平力 F_0 を $C_H \cdot m_0 \cdot g$ に置き換えて得られる数値を使用する。

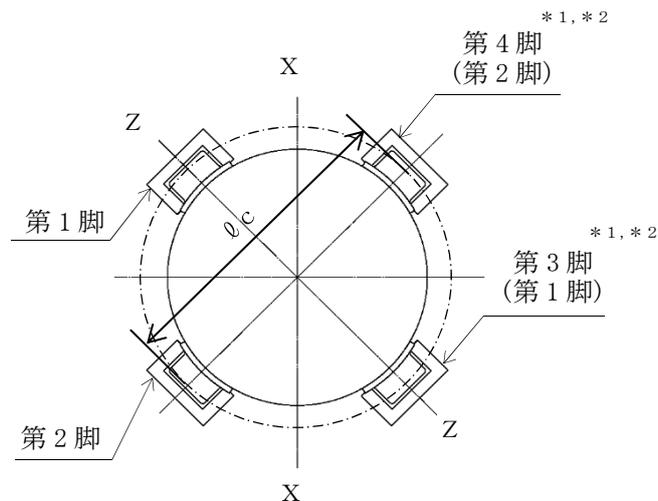


図 5-2 水平地震の方向

注記 *1: 本計算書において地震の方向は X 方向と Z 方向を考慮し、Z 方向地震による応力の計算においては、第 3 脚を第 1 脚に、第 4 脚を第 2 脚に読み替える。
*2: 脚部材については胴の半径方向を r 軸、その直角方向を t 軸とする。

a. 一次応力

半径方向荷重 P_1 により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は (5.4.1.1.18) 式及び (5.4.1.1.19) 式と同様にして

$$\sigma_{\phi 61} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{P_1 / r_m} \right\}^* \cdot \left(\frac{P_1}{r_m \cdot t} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.24)$$

$$\sigma_{x 61} = \left\{ \frac{N_x}{P_1 / r_m} \right\}^* \cdot \left(\frac{P_1}{r_m \cdot t} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.25)$$

鉛直方向曲げモーメント M_1 により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は (5.4.1.1.16) 式及び (5.4.1.1.17) 式と同様にして

$$\sigma_{\phi 71} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_1}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{\ell 1} \dots\dots\dots (5.4.1.1.26)$$

$$\sigma_{x 71} = \left\{ \frac{N_x}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_1}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{\ell 2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.27)$$

周方向曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は (5.4.1.1.16) 式及び (5.4.1.1.17) 式と同様にして

$$\sigma_{\phi 81} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{c 1} \dots\dots (5.4.1.1.28)$$

$$\sigma_{x 81} = \left\{ \frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{c 2} \dots\dots (5.4.1.1.29)$$

ここで、 γ 及び β は (5.4.1.1.11) 式～ (5.4.1.1.15) 式によるが、(5.4.1.1.15) 式を

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.30)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$
に置き換える。

周方向せん断力 Q によるせん断応力は

$$\tau_{c 1} = \frac{Q}{4 \cdot C_1 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.31)$$

鉛直方向せん断力 R_1 によるせん断応力は

$$\tau_{\ell 2} = \frac{R_1}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.32)$$

ねじりモーメント M_3 により生じる胴のせん断応力は

$$\tau_3 = \frac{M_3}{2 \cdot \pi \cdot C_1^2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.33)$$

ここで、 $C_1 > C_2$ のとき C_1 を C_2 に置き換える。(図5-2参照)

b. 二次応力

半径方向荷重 P_1 により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 62} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{P_1} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_1}{t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.34)$$

$$\sigma_{x 62} = \left\{ \frac{M_x}{P_1} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_1}{t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.35)$$

鉛直方向曲げモーメント M_1 により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 72} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_1}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.36)$$

$$\sigma_{x 72} = \left\{ \frac{M_x}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_1}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.37)$$

周方向曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 82} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.38)$$

$$\sigma_{x 82} = \left\{ \frac{M_x}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.39)$$

(6) X方向地震による胴の脚付け根部の応力

a. 一次応力

半径方向荷重 P_1 により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 91} = \sigma_{\phi 61} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.40)$$

$$\sigma_{x 91} = \sigma_{x 61} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.41)$$

鉛直方向曲げモーメント M_1 により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 101} = \sigma_{\phi 71} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.42)$$

$$\sigma_{x 101} = \sigma_{x 71} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.43)$$

周方向曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 111} = \sigma_{\phi 81} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.44)$$

$$\sigma_{x 111} = \sigma_{x 81} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.45)$$

周方向せん断力 Q によるせん断応力は

$$\tau_{c4} = \tau_{c1} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.46)$$

鉛直方向せん断力 R_1 によるせん断応力は

$$\tau_{l5} = \tau_{l2} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.47)$$

ねじりモーメント M_3 により生じる胴のせん断応力は

$$\tau_6 = \tau_3 / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.48)$$

b. 二次応力

半径方向荷重 P_1 により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 92} = \sigma_{\phi 62} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.49)$$

$$\sigma_{x 92} = \sigma_{x 62} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.50)$$

鉛直方向曲げモーメント M_1 により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 102} = \sigma_{\phi 72} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.51)$$

$$\sigma_{x 102} = \sigma_{x 72} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.52)$$

周方向曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 112} = \sigma_{\phi 82} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.53)$$

$$\sigma_{x 112} = \sigma_{x 82} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.54)$$

(7) 鉛直方向地震による胴の脚付け根部の応力

脚下端が固定の場合の軸力，胴の脚付け根部の鉛直方向モーメント及び半径方向荷重を以下のように求める。

$$R_2 = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_v}{4} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.55)$$

$$Ml_2 = \left\{ \left(\frac{l^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{l}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \cdot \frac{R_2 \cdot u \cdot l}{E_s \cdot I_{st}} \right\} / \left\{ \left(\frac{l^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{l}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \cdot \left(\frac{l}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{Kl}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \right) - \left(\frac{l^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \right)^2 \right\} \quad \dots\dots (5.4.1.1.56)$$

$$P_2 = \frac{(R_2 \cdot u - Ml_2) \cdot l^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} / \left(\frac{l^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{l}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.57)$$

a. 一次応力

鉛直方向曲げモーメント Ml_2 により生じる胴の周方向及び軸方向応力は次式で求める。

$$\sigma_{\phi 8} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{Ml_2 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{Ml_2}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot Cl_1 \quad \dots (5.4.1.1.58)$$

$$\sigma_{x 8} = \left\{ \frac{N_x}{Ml_2 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{Ml_2}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot Cl_2 \quad \dots (5.4.1.1.59)$$

半径方向荷重 P_2 により生じる胴の周方向及び軸方向応力は次式で求める。

$$\sigma_{\phi 9} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{P_2 / r_m} \right\}^* \cdot \left(\frac{P_2}{r_m \cdot t} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.60)$$

$$\sigma_{x 9} = \left\{ \frac{N_x}{P_2 / r_m} \right\}^* \cdot \left(\frac{P_2}{r_m \cdot t} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.61)$$

b. 二次応力

鉛直方向曲げモーメント M_{l2} により生じる胴の周方向及び軸方向応力は次式で求める。

$$\sigma_{\phi 10} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_{l2} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{l2}}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \dots\dots (5.4.1.1.62)$$

$$\sigma_{x 10} = \left\{ \frac{M_x}{M_{l2} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{l2}}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \dots\dots (5.4.1.1.63)$$

半径方向荷重 P_2 により生じる胴の周方向及び軸方向応力は次式で求める。

$$\sigma_{\phi 11} = \left(\frac{M_{\phi}}{P_2} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_2}{t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.64)$$

$$\sigma_{x 11} = \left(\frac{M_x}{P_2} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_2}{t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.65)$$

せん断応力は次による。

$$\tau_{l3} = \frac{R_2}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.66)$$

(8) 組合せ応力

(1)～(7)によって求めた胴の脚付け根部に生じる応力を以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma_0 = \text{Max} \{ \text{周方向応力} (\sigma_{0\phi}), \text{軸方向応力} (\sigma_{0x}) \} \dots\dots (5.4.1.1.67)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7} \dots\dots\dots (5.4.1.1.68)$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 5} \dots\dots\dots (5.4.1.1.69)$$

b. Z方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合の組合せ一次応力

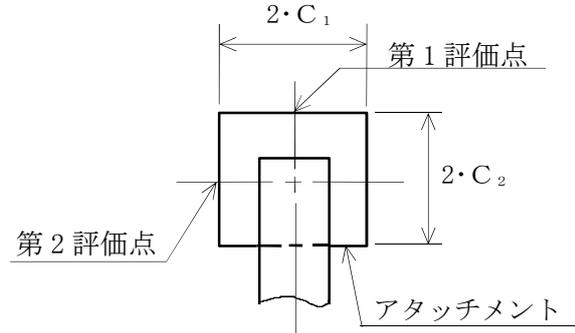


図 5-3 胴の評価点

【絶対値和】

(a) 第1脚付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 61} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} \quad \dots \quad (5.4.1.1.70)$$

$$\sigma_{x z 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 61} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} \quad \dots \quad (5.4.1.1.71)$$

$$\sigma_{11} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{\phi z 1} + \sigma_{x z 1}) + \sqrt{(\sigma_{\phi z 1} - \sigma_{x z 1})^2} \right\} \quad \dots \quad (5.4.1.1.72)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 61} + \sigma_{\phi 9} \quad \dots \quad (5.4.1.1.73)$$

$$\sigma_{x z 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 61} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} \quad \dots \quad (5.4.1.1.74)$$

$$\sigma_{12} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{\phi z 2} + \sigma_{x z 2}) + \sqrt{(\sigma_{\phi z 2} - \sigma_{x z 2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \tau_{\ell 2} + \tau_{\ell 3})^2} \right\} \quad \dots \quad (5.4.1.1.75)$$

(b) 第2脚付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 3} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} \quad \dots \quad (5.4.1.1.76)$$

$$\sigma_{x z 3} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} \quad \dots \quad (5.4.1.1.77)$$

$$\sigma_{13} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{\phi z 3} + \sigma_{x z 3}) + \sqrt{(\sigma_{\phi z 3} - \sigma_{x z 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 1} + \tau_{c 3})^2} \right\} \quad \dots \quad (5.4.1.1.78)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 4} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 81} \quad \dots\dots (5.4.1.1.79)$$

$$\sigma_{x z 4} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 81} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} \quad \dots\dots (5.4.1.1.80)$$

$$\sigma_{14} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{\phi z 4} + \sigma_{x z 4}) + \sqrt{(\sigma_{\phi z 4} - \sigma_{x z 4})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \tau_3 + \tau_{\ell 3})^2} \right\} \quad \dots\dots (5.4.1.1.81)$$

c. X方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合の組合せ一次応力

【絶対値和】

第1評価点については

$$\sigma_{\phi x 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 101} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} \quad \dots\dots (5.4.1.1.82)$$

$$\sigma_{x x 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} + \sigma_{x 101} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} \quad \dots\dots (5.4.1.1.83)$$

$$\sigma_{15} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{\phi x 1} + \sigma_{x x 1}) + \sqrt{(\sigma_{\phi x 1} - \sigma_{x x 1})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \right\} \quad \dots\dots (5.4.1.1.84)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi x 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 111} + \sigma_{\phi 9} \quad \dots\dots (5.4.1.1.85)$$

$$\sigma_{x x 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} + \sigma_{x 111} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} \quad \dots\dots (5.4.1.1.86)$$

$$\sigma_{16} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{\phi x 2} + \sigma_{x x 2}) + \sqrt{(\sigma_{\phi x 2} - \sigma_{x x 2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \tau_{\ell 5} + \tau_6 + \tau_{\ell 3})^2} \right\} \quad \dots\dots (5.4.1.1.87)$$

d. 胴の一次応力の最大値

ここで、b項及びc項により組み合わせた一次応力のうち最大のものを σ_1 とする。

$$\sigma_1 = \text{Max} (\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{14}, \sigma_{15}, \sigma_{16}) \quad \dots\dots (5.4.1.1.88)$$

e. 地震力のみによる一次+二次応力の変動値

【絶対値和】

Z方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

(a) 第1脚付け根部

第1評価点については

$$\begin{aligned} \sigma_{\phi z 5} = & \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 10} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 61} + \sigma_{\phi 62} \\ & + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.89) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{x z 5} = & \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 10} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 61} \\ & + \sigma_{x 62} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 72} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.90) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{21} = & \sigma_{\phi z 5} + \sigma_{x z 5} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 5} - \sigma_{x z 5})^2} \\ & \dots\dots\dots (5.4.1.1.91) \end{aligned}$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 6} = \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 61} + \sigma_{\phi 62} \quad \dots\dots (5.4.1.1.92)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{x z 6} = & \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 61} + \sigma_{x 62} \\ & \dots\dots\dots (5.4.1.1.93) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{22} = & \sigma_{\phi z 6} + \sigma_{x z 6} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 6} - \sigma_{x z 6})^2 + 4(\tau_{\ell 2} + \tau_{\ell 3})^2} \\ & \dots\dots\dots (5.4.1.1.94) \end{aligned}$$

(b) 第2脚付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 7} = \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 10} + \sigma_{\phi 11} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.95)$$

$$\sigma_{x z 7} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 10} + \sigma_{x 11} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.96)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{23} = & \sigma_{\phi z 7} + \sigma_{x z 7} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 7} - \sigma_{x z 7})^2 + 4(\tau_{c1} + \tau_{\ell 3})^2} \\ & \dots\dots\dots (5.4.1.1.97) \end{aligned}$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 8} = \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 81} + \sigma_{\phi 82} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.98)$$

$$\sigma_{x z 8} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 81} + \sigma_{x 82} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.99)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{24} = & \sigma_{\phi z 8} + \sigma_{x z 8} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 8} - \sigma_{x z 8})^2 + 4(\tau_{c3} + \tau_{\ell 3})^2} \\ & \dots\dots\dots (5.4.1.1.100) \end{aligned}$$

f. X方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

第1評価点については

$$\begin{aligned} \sigma_{\phi x 3} = & \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 10} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 101} \\ & + \sigma_{\phi 92} + \sigma_{\phi 102} \quad \dots\dots\dots \end{aligned} \quad (5.4.1.1.101)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{x x 3} = & \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 10} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} \\ & + \sigma_{x 101} + \sigma_{x 92} + \sigma_{x 102} \quad \dots\dots\dots \end{aligned} \quad (5.4.1.1.102)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{25} = & \sigma_{\phi x 3} + \sigma_{x x 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 3} - \sigma_{x x 3})^2 + 4(\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \\ & \dots\dots\dots \end{aligned} \quad (5.4.1.1.103)$$

第2評価点については

$$\begin{aligned} \sigma_{\phi x 4} = & \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 92} + \sigma_{\phi 111} + \sigma_{\phi 112} \\ & \dots\dots\dots \end{aligned} \quad (5.4.1.1.104)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{x x 4} = & \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} + \sigma_{x 92} \\ & + \sigma_{x 111} + \sigma_{x 112} \quad \dots\dots\dots \end{aligned} \quad (5.4.1.1.105)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{26} = & \sigma_{\phi x 4} + \sigma_{x x 4} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 4} - \sigma_{x x 4})^2 + 4(\tau_{\ell 5} + \tau_6 + \tau_{\ell 3})^2} \\ & \dots\dots\dots \end{aligned} \quad (5.4.1.1.106)$$

g. 胴の一次+二次応力の最大値

ここで、e項及びf項により組み合わせた一次+二次応力のうち最大のものを σ_2 とする。

$$\sigma_2 = \text{Max} (\sigma_{21}, \sigma_{22}, \sigma_{23}, \sigma_{24}, \sigma_{25}, \sigma_{26}) \quad \dots\dots \quad (5.4.1.1.107)$$

5.4.1.2 脚の応力

脚にかかる荷重について計算する。

(1) 運転時質量による応力

$$\sigma_{s 1} = \frac{R}{A_s} \quad \dots\dots\dots \quad (5.4.1.2.1)$$

$$\sigma_{s 2} = \frac{\text{Max}(|R \cdot u - M_{\ell} - P \cdot \ell|, |R \cdot u - M_{\ell}|)}{Z_{s t}} \quad \dots\dots\dots \quad (5.4.1.2.2)$$

$$\tau_{s 1} = \frac{P}{A_{s 1}} \quad \dots\dots\dots \quad (5.4.1.2.3)$$

(2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{s 3} = \frac{R_2}{A_s} \quad \dots\dots\dots \quad (5.4.1.2.4)$$

$$\sigma_{s4} = \frac{\text{Max}(|R_2 \cdot u - M_{\ell 2} - P_2 \cdot \ell|, |R_2 \cdot u - M_{\ell 2}|)}{Z_{st}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.5)$$

$$\tau_{s2} = \frac{P_2}{A_{s1}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.6)$$

(3) Z方向地震による応力

第1脚については

$$\sigma_{s5} = \frac{R_1}{A_s} \dots \dots \dots (5.4.1.2.7)$$

$$\sigma_{s6} = \frac{\text{Max}(|R_1 \cdot u - M_1 - P_1 \cdot \ell|, |R_1 \cdot u - M_1|)}{Z_{st}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.8)$$

$$\tau_{s3} = \frac{P_1}{A_{s1}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.9)$$

第2脚については

$$\sigma_{s7} = \frac{\text{Max}(|Q \cdot \ell - M_3|, |M_3|)}{Z_{sr}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.10)$$

$$\tau_{s4} = \frac{Q}{A_{s2}} + \frac{Q \cdot u - M_c}{Z_{sp}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.11)$$

(4) X方向地震による応力

$$\sigma_{s8} = \frac{R_1}{\sqrt{2} \cdot A_s} \dots \dots \dots (5.4.1.2.12)$$

$$\sigma_{s9} = \frac{\text{Max}(|R_1 \cdot u - M_1 - P_1 \cdot \ell|, |R_1 \cdot u - M_1|)}{\sqrt{2} \cdot Z_{st}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.13)$$

$$\sigma_{s10} = \frac{\text{Max}(|Q \cdot \ell - M_3|, |M_3|)}{\sqrt{2} \cdot Z_{sr}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.14)$$

$$\tau_{s5} = \frac{P_1}{\sqrt{2} \cdot A_{s1}} + \frac{Q}{\sqrt{2} \cdot A_{s2}} + \frac{Q \cdot u - M_c}{\sqrt{2} \cdot Z_{sp}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.15)$$

(5) 組合せ応力

脚の最大応力は次式で求める。

a. Z方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

【絶対値和】

第1脚については

$$\sigma_{sz1} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s5} + \sigma_{s6})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s3})^2} \dots \dots \dots (5.4.1.2.16)$$

第2脚については

$$\sigma_{sz2} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s7})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s4})^2} \dots \dots \dots (5.4.1.2.17)$$

b. X方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

【絶対値和】

$$\sigma_{sx} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s8} + \sigma_{s9} + \sigma_{s10})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s5})^2} \dots \dots \dots (5.4.1.2.18)$$

ここで、組み合わせた応力のうち最大のものを σ_s とする。

$$\sigma_s = \text{Max} (\sigma_{sz1}, \sigma_{sz2}, \sigma_{sx}) \dots \dots \dots (5.4.1.2.19)$$

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【主蒸気隔離弁漏えい抑制系低压マニホールドの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 脚の応力評価

- (1) 5.4.2 項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力 f_t 以下であること。

$$f_t = \frac{F}{1.5} \cdot 1.5 \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

- (2) 圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せは次式を満足すること。(座屈の評価)

$$\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}} + \frac{\sigma_{st}}{f_{bt}} + \frac{\sigma_{sc}}{f_c} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (5.6.1.2)$$

- a. f_c は次による。

$\lambda \leq \Lambda$ のとき

$$f_c = 1.5 \cdot \left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{v} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.3)$$

$\lambda > \Lambda$ のとき

$$f_c = 1.5 \cdot 0.277 \cdot F \cdot \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (5.6.1.4)$$

ここで、

$$\lambda = \ell_k / i \quad \dots\dots\dots (5.6.1.5)$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E_s}{0.6 \cdot F}} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.6)$$

$$v = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (5.6.1.7)$$

$$i = \sqrt{\frac{\text{Min}(I_{st}, I_{sr})}{A_s}} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.8)$$

ℓ_k は有効座屈長さで脚下端を固定とする場合は $1.2 \cdot \ell$ とする。

- b. f_{br} , f_{bt} は次による。

- (a) 脚が鋼管の場合

$$f_{br} = f_{bt} = f_t \quad \dots\dots\dots (5.6.1.9)$$

(b) 脚が形鋼の場合で弱軸が半径方向軸の場合

イ. みぞ形鋼

$$f_{b r} = f_t \quad \dots\dots\dots (5.6.1.10)$$

$f_{b t}$ は次の2つの式より計算した値のうちいずれか大きい値又は f_t のいずれか小さい方の値とする。

$$f_{b t} = \left(1 - 0.4 \cdot \frac{\ell^2}{C \cdot \Lambda^2 \cdot i_f^2} \right) \cdot f_t \quad \dots\dots\dots (5.6.1.11)$$

$$f_{b t} = \left(\frac{0.433 \cdot E_s \cdot A_f}{\ell \cdot h} \right) \cdot 1.5 \quad \dots\dots\dots (5.6.1.12)$$

ここで、 i_f は脚の圧縮フランジとはりのせいの6分の1から成る T 形断面のウェッブ軸回りの断面二次半径で次式による。

$$i_f = \sqrt{\frac{I_{s f}}{A_{s f}}} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.13)$$

C は次の計算式より計算した値又は 2.3 のうちいずれか小さい方の値とし、 $M_{s 2}$ 及び $M_{s 1}$ はそれぞれの脚の両端における強軸回りの曲げモーメントとする。この場合において $M_{s 2}$ と $M_{s 1}$ との比は 1 より小さいものとし、単曲率の場合を正に、複曲率の場合を負とする。

$$C = 1.75 - 1.05 \cdot \left(\frac{M_{s 2}}{M_{s 1}} \right) + 0.3 \cdot \left(\frac{M_{s 2}}{M_{s 1}} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (5.6.1.14)$$

脚が形鋼の場合で強軸が半径方向軸の場合は、(b) と同様にして求めた $f_{b r}$ を $f_{b t}$ に、 $f_{b t}$ を $f_{b r}$ に置き換える。

c. 応力の区分は次のようにする。

(a) Z 方向地震が作用した場合の第1脚及び第3脚について

$$\sigma_{s c} = \sigma_{s 1} + \sigma_{s 3} + \sigma_{s 5} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.15)$$

$$\sigma_{s t} = \sigma_{s 2} + \sigma_{s 4} + \sigma_{s 6} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.16)$$

$$\sigma_{s r} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.6.1.17)$$

脚の強軸が半径方向に直角で脚下端がその軸回りに固定の場合、強軸回りの曲げモーメント $M_{s 1}$ 及び $M_{s 2}$ は次の2つの式より計算し、 $M_{s 2}$ の絶対値が $M_{s 1}$ の絶対値より大きいときは $M_{s 1}$ と $M_{s 2}$ を置き換える。(以下同じ。)

【絶対値和】

$$M_{s 1} = - (M_{\ell} + M_{\ell 2} + M_1) + (R + R_2 + R_1) \cdot u \quad \dots\dots\dots (5.6.1.18)$$

$$M_{s 2} = - (P + P_2 + P_1) \cdot \ell - (M_{\ell} + M_{\ell 2} + M_1) + (R + R_2 + R_1) \cdot u \quad \dots\dots\dots (5.6.1.19)$$

(b) Z方向地震が作用した場合の第2脚及び第4脚について

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.20)$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.21)$$

$$\sigma_{sr} = \sigma_{s7} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.22)$$

脚の強軸が半径方向で脚下端がその軸回りに固定の場合，強軸回りの曲げモーメントは

$$M_{s1} = M_3 \quad \dots\dots\dots (5.6.1.23)$$

$$M_{s2} = M_3 - Q \cdot \ell \quad \dots\dots\dots (5.6.1.24)$$

脚の強軸が半径方向に直角で脚下端がその軸回りに固定の場合，強軸回りの曲げモーメントは

$$M_{s1} = -(M\ell + M\ell_2) + (R + R_2) \cdot u \quad \dots\dots\dots (5.6.1.25)$$

$$M_{s2} = -(P + P_2) \cdot \ell - (M\ell + M\ell_2) + (R + R_2) \cdot u \quad \dots\dots\dots (5.6.1.26)$$

(c) X方向地震が作用した場合について

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3} + \sigma_{s8} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.27)$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4} + \sigma_{s9} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.28)$$

$$\sigma_{sr} = \sigma_{s10} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.29)$$

脚の強軸が半径方向に直角で脚下端がその軸回りに固定の場合，強軸回りの曲げモーメントは

【絶対値和】

$$M_{s1} = -(M\ell + M\ell_2) + (R + R_2) \cdot u + \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (-M_1 + R_1 \cdot u) \quad \dots\dots\dots (5.6.1.30)$$

$$M_{s2} = -(P + P_2) \cdot \ell - (M\ell + M\ell_2) + (R + R_2) \cdot u + \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (-P_1 \cdot \ell - M_1 + R_1 \cdot u) \quad \dots\dots\dots (5.6.1.31)$$

脚の強軸が半径方向で脚下端がその軸回りに固定の場合，強軸回りの曲げモーメントは

$$M_{s1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot M_3 \quad \dots\dots\dots (5.6.1.32)$$

$$M_{s2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (M_3 - Q \cdot \ell) \quad \dots\dots\dots (5.6.1.33)$$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

低圧マニホールドの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【低圧マニホールドの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
主蒸気隔離弁漏えい抑制系 低圧マニホールド	S	原子炉建屋 EL 20.3 *			C _H = 0.78	C _V = 0.54	C _H = 1.34	C _V = 1.01	0.35	100	

注記 * : 基準床レベルを示す。

2. 機器要目

m ₀ (kg)	D _i (mm)	t (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)	ℓ (mm)	ℓ _C (mm)	ℓ _g (mm)	H (mm)	K _C	K _ℓ	K _r
	750	12.0	198000 *1	201000 *2	76200 *1	77300 *2	730	888	970	—	816	237	1520

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{s f} (mm ⁴)	I _{s r} (mm ⁴)	I _{s t} (mm ⁴)	A _f (mm ²)	A _s (mm ²)	A _{s f} (mm ²)	A _{s r} (mm ²)	A _{s t} (mm ²)	A _{s 1} (mm ²)	A _{s 2} (mm ²)	Z _{s p} (mm ³)	Z _{s r} (mm ³)	Z _{s t} (mm ³)
100	125	4.531×10 ⁵	8.610×10 ⁶	1.170×10 ⁶	750.0	2.371×10 ³	847.5	1.329×10 ³	954.8	1.079×10 ³	839.4	6.190×10 ³	1.150×10 ⁵	2.240×10 ⁴

K ₁₁ *3	K ₁₂ *3	K ₂₁ *3	K ₂₂ *3	K _{ℓ1}	K _{ℓ2}	K _{C1}	K _{C2}	C _{ℓ1}	C _{ℓ2}	C _{C1}	C _{C2}
—	—										
—											

J _s (mm ⁴)	h (mm)
6.190×10 ⁴	150

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (脚) (MPa)	S _u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F* (脚) (MPa)
221 *1	373 *1	—	241 *2	394 *2	241	276

注記 *1 : 最高使用温度で算出

*2 : 周囲環境温度で算出

*3 : 表中で上段は一次応力、下段は二次応力の係数とする。

3. 計算数値

3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度					基準地震動 S _s							
	内圧による応力	運転時質量による応力		鉛直地震による応力		水平地震による応力	組合せ一次一般膜応力	内圧による応力	運転時質量による応力		鉛直地震による応力	水平地震による応力	組合せ一次一般膜応力
		自重による応力	自重による応力	転倒モーメントによる応力	自重による応力				自重による応力	転倒モーメントによる応力			
周方向	$\sigma_{\phi 1} = 12$	—	—	—	—	$\sigma_0 = 12$	$\sigma_{\phi 1} = 12$	—	—	—	—	$\sigma_0 = 12$	
軸方向	$\sigma_{X1} = 6$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X1} = 6$			$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X5} = 1$			
せん断	—	—	—	—	—			—	—	—	—		

(2) 胴に生じる一次応力

(単位：MPa)

地震力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度															
	評価点	応力	内圧による応力	運転時質量による応力			鉛直地震による応力			水平地震による応力				組合せ一次応力		
				自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力			
方 向	脚 側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 12$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$	$\sigma_{\phi 71} = 1$	—	$\sigma_{11} = 12$	
			軸方向	$\sigma_{X1} = 6$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X8} = 0$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$	$\sigma_{X71} = 0$	—		
			せん断	—	—			—			—					
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 12$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$	—	—		$\sigma_{12} = 12$
			軸方向	$\sigma_{X1} = 6$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 0$	—	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$	—	—		
			せん断	—	$\tau_{\phi 1} = 1$			$\tau_{\phi 3} = 1$			$\tau_{\phi 2} = 1$					
	脚 側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 12$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	—	—	—	$\sigma_{13} = 12$	
			軸方向	$\sigma_{X1} = 6$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X8} = 0$	$\sigma_{X9} = 0$	—	—	—	—		
			せん断	—	—			—			$\tau_3 = 1$		$\tau_{c1} = 1$			
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 12$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	—	—	$\sigma_{\phi 81} = 1$		$\sigma_{14} = 12$
			軸方向	$\sigma_{X1} = 6$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 0$	—	$\sigma_{X9} = 0$	—	—	—	$\sigma_{X81} = 1$		
			せん断	—	$\tau_{\phi 1} = 1$			$\tau_{\phi 3} = 1$			$\tau_3 = 1$					
方 向	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 12$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$	$\sigma_{\phi 101} = 1$	—	$\sigma_{15} = 12$		
		軸方向	$\sigma_{X1} = 6$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X8} = 0$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$	$\sigma_{X101} = 0$	—			
		せん断	—	—			—			$\tau_6 = 1$		$\tau_{c4} = 1$				
	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 12$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$	—	$\sigma_{\phi 111} = 1$		$\sigma_{16} = 12$	
		軸方向	$\sigma_{X1} = 6$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 0$	—	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$	—	$\sigma_{X111} = 1$			
		せん断	—	$\tau_{\phi 1} = 1$			$\tau_{\phi 3} = 1$			$\tau_6 = 1$		$\tau_{\phi 5} = 1$				

(単位: MPa)

地震力の種類			基準地震動 S _s											組合せ 一次応力	
地震の方向	評価点	応力	内圧による応力	運転時質量による応力			鉛直地震による応力			水平地震による応力					
				自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力		
Z 方 向	第一 脚側 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 12$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$	$\sigma_{\phi 71} = 1$	—	$\sigma_{11} = 13$	
		軸方向	$\sigma_{X1} = 6$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$	$\sigma_{X71} = 1$	—		
		せん断	—	—			—			—					
	第二 脚側 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 12$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$	—	—	$\sigma_{12} = 12$	
		軸方向	$\sigma_{X1} = 6$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$	—	—		
		せん断	—	$\tau_{\phi 1} = 1$			$\tau_{\phi 3} = 1$			$\tau_{\phi 2} = 1$					
	第二 脚側 評価点	第一 脚側 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 12$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	—	—	—	$\sigma_{13} = 13$
			軸方向	$\sigma_{X1} = 6$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	—	—	—	—	
			せん断	—	—			—			$\tau_3 = 2$		$\tau_{c1} = 1$		
		第二 脚側 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 12$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	—	—	$\sigma_{\phi 81} = 1$	$\sigma_{14} = 13$
			軸方向	$\sigma_{X1} = 6$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$	—	—	—	$\sigma_{X81} = 1$	
			せん断	—	$\tau_{\phi 1} = 1$			$\tau_{\phi 3} = 1$			$\tau_3 = 2$				
X 方 向	第一 脚側 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 12$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$	$\sigma_{\phi 101} = 1$	—	$\sigma_{15} = 13$	
		軸方向	$\sigma_{X1} = 6$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$	$\sigma_{X101} = 1$	—		
		せん断	—	—			—			$\tau_6 = 1$		$\tau_{c4} = 1$			
	第二 脚側 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 12$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$	—	$\sigma_{\phi 111} = 1$	$\sigma_{16} = 13$	
		軸方向	$\sigma_{X1} = 6$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$	—	$\sigma_{X111} = 1$		
		せん断	—	$\tau_{\phi 1} = 1$			$\tau_{\phi 3} = 1$			$\tau_6 = 1$		$\tau_{\phi 5} = 1$			

(3) 胴に生じる地震動のみによる一次+二次応力

(単位: MPa)

地震力の種類			弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度							
地震の方向	評価点	応力	鉛直地震による応力			水平地震による応力				組合せ一次応力
			自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
Z 方 向	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$ $\sigma_{\phi 62} = 1$	$\sigma_{\phi 71} = 1$ $\sigma_{\phi 72} = 1$	—	$\sigma_{21} = 5$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X8} = 0$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$ $\sigma_{X62} = 1$	$\sigma_{X71} = 0$ $\sigma_{X72} = 1$	—	
		せん断	—			—				
	第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$ $\sigma_{\phi 62} = 1$	—	—	$\sigma_{22} = 4$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$ $\sigma_{X62} = 1$	—	—	
		せん断	$\tau_{\theta 3} = 1$			$\tau_{\theta 2} = 1$				
	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	—	—	—	$\sigma_{23} = 4$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X8} = 0$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	—	—	—	—	
		せん断	—			$\tau_3 = 1$		$\tau_{c1} = 1$		
	第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	—	—	$\sigma_{\phi 81} = 1$ $\sigma_{\phi 82} = 3$	$\sigma_{24} = 7$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	—	—	—	$\sigma_{X81} = 1$ $\sigma_{X82} = 1$	
		せん断	$\tau_{\theta 3} = 1$			$\tau_3 = 1$				
X 方 向	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$ $\sigma_{\phi 92} = 1$	$\sigma_{\phi 101} = 1$ $\sigma_{\phi 102} = 1$	—	$\sigma_{25} = 5$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X8} = 0$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$ $\sigma_{X92} = 1$	$\sigma_{X101} = 0$ $\sigma_{X102} = 1$	—	
		せん断	—			$\tau_6 = 1$		$\tau_{c4} = 1$		
	第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$ $\sigma_{\phi 92} = 1$	—	$\sigma_{\phi 111} = 1$ $\sigma_{\phi 112} = 2$	$\sigma_{26} = 8$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$ $\sigma_{X92} = 1$	—	$\sigma_{X111} = 1$ $\sigma_{X112} = 1$	
		せん断	$\tau_{\theta 3} = 1$			$\tau_6 = 1$		$\tau_{\theta 5} = 1$		

(単位：MPa)

地震力の種類			基準地震動Ss								組合せ 一次応力
地震の方向	評価点	応力	鉛直地震による応力			水平地震による応力					
			自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力		
Z 方 向	第一側	第一評価点	周方向	-	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 1$	-	$\sigma_{\phi 61} = 1$ $\sigma_{\phi 62} = 2$	$\sigma_{\phi 71} = 1$ $\sigma_{\phi 72} = 1$	-	$\sigma_{21} = 8$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$ $\sigma_{X62} = 1$	$\sigma_{X71} = 1$ $\sigma_{X72} = 1$	-		
		せん断	-			-					
	第二側	第二評価点	周方向	-	-	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 1$	-	$\sigma_{\phi 61} = 1$ $\sigma_{\phi 62} = 2$	-	-	$\sigma_{22} = 7$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	-	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$ $\sigma_{X62} = 1$	-	-		
		せん断	$\tau_{\theta 3} = 1$			$\tau_{\theta 2} = 1$					
	第一側	第一評価点	周方向	-	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 1$	-	-	-	-	$\sigma_{23} = 6$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	-	-	-	-		
		せん断	-			$\tau_3 = 2$		$\tau_{c1} = 1$			
	第二側	第二評価点	周方向	-	-	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 1$	-	-	-	$\sigma_{\phi 81} = 1$ $\sigma_{\phi 82} = 5$	$\sigma_{24} = 12$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	-	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	-	-	-	$\sigma_{X81} = 1$ $\sigma_{X82} = 2$		
		せん断	$\tau_{\theta 3} = 1$			$\tau_3 = 2$					
X 方 向	第一側	第一評価点	周方向	-	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 1$	-	$\sigma_{\phi 91} = 1$ $\sigma_{\phi 92} = 2$	$\sigma_{\phi 101} = 1$ $\sigma_{\phi 102} = 1$	-	$\sigma_{25} = 9$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$ $\sigma_{X92} = 1$	$\sigma_{X101} = 1$ $\sigma_{X102} = 1$	-		
		せん断	-			$\tau_6 = 1$		$\tau_{c4} = 1$			
	第二側	第二評価点	周方向	-	-	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 1$	-	$\sigma_{\phi 91} = 1$ $\sigma_{\phi 92} = 2$	-	$\sigma_{\phi 111} = 1$ $\sigma_{\phi 112} = 4$	$\sigma_{26} = 13$
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	-	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$ $\sigma_{X92} = 1$	-	$\sigma_{X111} = 1$ $\sigma_{X112} = 2$		
		せん断	$\tau_{\theta 3} = 1$			$\tau_6 = 1$		$\tau_{\theta 5} = 1$			

3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震力の種類	地震の方向		運転時質量による応力			鉛直地震による応力			水平地震による応力			組合せ応力	
			圧縮	曲げ	せん断	圧縮	曲げ	せん断	圧縮	曲げ	せん断		
弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	Z方向	第1脚側	$\sigma_{S1} = 1$	$\sigma_{S2} = 1$	$\tau_{S1} = 0$	$\sigma_{S3} = 1$	$\sigma_{S4} = 1$	$\tau_{S2} = 0$	$\sigma_{S5} = 2$	$\sigma_{S6} = 6$		$\tau_{S3} = 1$	$\sigma_{sz1} = 10$
		第2脚側	$\sigma_{S1} = 1$	$\sigma_{S2} = 1$	$\tau_{S1} = 0$	$\sigma_{S3} = 1$	$\sigma_{S4} = 1$	$\tau_{S2} = 0$	—	$\sigma_{S7} = 6$		$\tau_{S4} = 2$	$\sigma_{sz2} = 9$
	X方向		$\sigma_{S1} = 1$	$\sigma_{S2} = 1$	$\tau_{S1} = 0$	$\sigma_{S3} = 1$	$\sigma_{S4} = 1$	$\tau_{S2} = 0$	$\sigma_{S8} = 1$	$\sigma_{S9} = 5$	$\sigma_{S10} = 4$	$\tau_{S5} = 2$	$\sigma_{sx} = 12$
基準地震動S _s	Z方向	第1脚側	$\sigma_{S1} = 1$	$\sigma_{S2} = 1$	$\tau_{S1} = 0$	$\sigma_{S3} = 1$	$\sigma_{S4} = 1$	$\tau_{S2} = 0$	$\sigma_{S5} = 2$	$\sigma_{S6} = 10$		$\tau_{S3} = 1$	$\sigma_{sz1} = 16$
		第2脚側	$\sigma_{S1} = 1$	$\sigma_{S2} = 1$	$\tau_{S1} = 0$	$\sigma_{S3} = 1$	$\sigma_{S4} = 1$	$\tau_{S2} = 0$	—	$\sigma_{S7} = 10$		$\tau_{S4} = 4$	$\sigma_{sz2} = 14$
	X方向		$\sigma_{S1} = 1$	$\sigma_{S2} = 1$	$\tau_{S1} = 0$	$\sigma_{S3} = 1$	$\sigma_{S4} = 1$	$\tau_{S2} = 0$	$\sigma_{S8} = 2$	$\sigma_{S9} = 7$	$\sigma_{S10} = 7$	$\tau_{S5} = 3$	$\sigma_{sx} = 19$

4. 結論

4.1 固有周期

(単位: s)

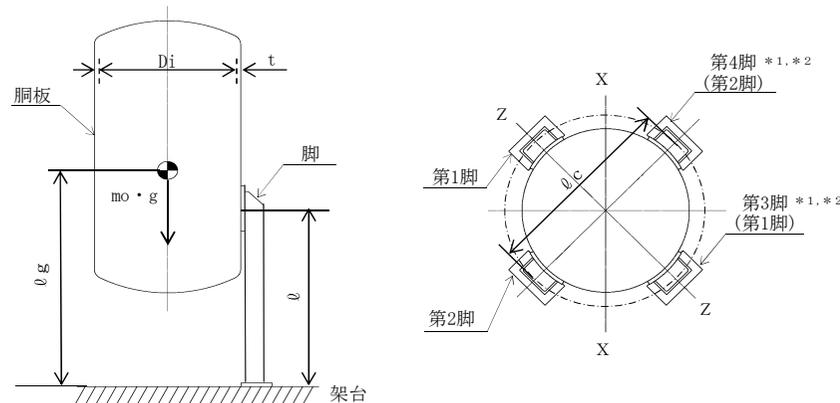
方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SM400B	一次一般膜	$\sigma_0 = 12$	$S_a = 221$	$\sigma_0 = 12$	$S_a = 223$
		一次	$\sigma_1 = 12$	$S_a = 331$	$\sigma_1 = 13$	$S_a = 335$
		一次+二次	$\sigma_2 = 8$	$S_a = 442$	$\sigma_2 = 13$	$S_a = 442$
脚	SS400	組合せ	$\sigma_s = 12$	$f_t = 241$	$\sigma_s = 19$	$f_t = 276$
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}} + \frac{\sigma_{st}}{f_{bt}} + \frac{\sigma_{sc}}{f_c} \leq 1$		$\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}} + \frac{\sigma_{st}}{f_{bt}} + \frac{\sigma_{sc}}{f_c} \leq 1$	
			0.05 (無次元)		0.07 (無次元)	

すべて許容応力以下である。



注記 *1: 本計算書において地震の方向はX方向とZ方向を考慮し、Z方向地震による応力の計算においては、第3脚を第1脚に、第4脚を第2脚に読み替える。
 *2: 脚部材については胴の半径方向を r 軸、その直角方向を t 軸とする。

7. 引用文献

- (1) Bijlaard, P.P. : Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, The Welding Journal, 34(12), Research Supplement, 1955.
- (2) Wichman, K.R. et al. : Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 / August 1965.

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-697 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-9-7-1-2 フィルタ装置の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4. 評価結果	7
4.1 重大事故等対処設備としての評価結果	7

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、フィルタ装置が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

フィルタ装置は、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

フィルタ装置の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図*
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴をスカートで支持し、スカートを基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>上面及び下面に鏡板を有するたて置円筒形</p>	<p>(単位: mm)</p>

注記 *: フィルタ装置の内部構造物 (金属フィルタ, 銀ゼオライトフィルタ, ベンチュリノズル等) は溶接等により容器に固定される構造であり, 水平・鉛直ともに変位は拘束されることから容器と一体として評価する。

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

フィルタ装置の構造はスカート支持たて置円筒形容器であるため、構造強度評価は、「**V-2-1-13-1** スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

フィルタ装置の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

フィルタ装置の許容応力を表 3-2～表 3-3 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

フィルタ装置の使用材料の許容応力評価条件のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-4 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納 施設	圧力逃がし 装置	フィルタ装置	常設／緩和	重大事故等 ^{*2} クラス 2 容器	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限 界を用いる。)

注記 *1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-2 許容応力（重大事故等クラス 2 容器）

許容応力状態	許容限界*1, *2			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
IV _A S	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値	基準地震動 S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば、疲労解析は行わない。	
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)				

注記 *1：座屈に対する評価は、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-3 許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (スカート)	許容限界*1, *2 (基礎ボルト)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)			

9

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SUS316L	最高使用温度	200	—	120	407	—
スカート	SUS304	最高使用温度	200	—	144	402	205
基礎ボルト (H1075)	SUS630	周囲環境温度	<input type="text"/>	—	829	932	—

4. 評価結果

4.1 重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【フィルタ装置の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
フィルタ装置	常設/緩和	格納容器圧力逃がし 装置格納槽 EL. -12.8*			—	—	C _H =2.15	C _V =1.07	0.62	200	

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m ₀ (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
		4600	30.0	4600	30.0	183000*1	183000*1	70400*1	70400*1

ℓ (mm)	ℓ _s (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	D ₄ (mm)	D ₅ (mm)	s	n	D _c (mm)	D _{b0} (mm)
	1790									

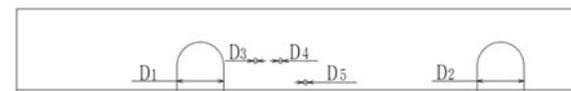
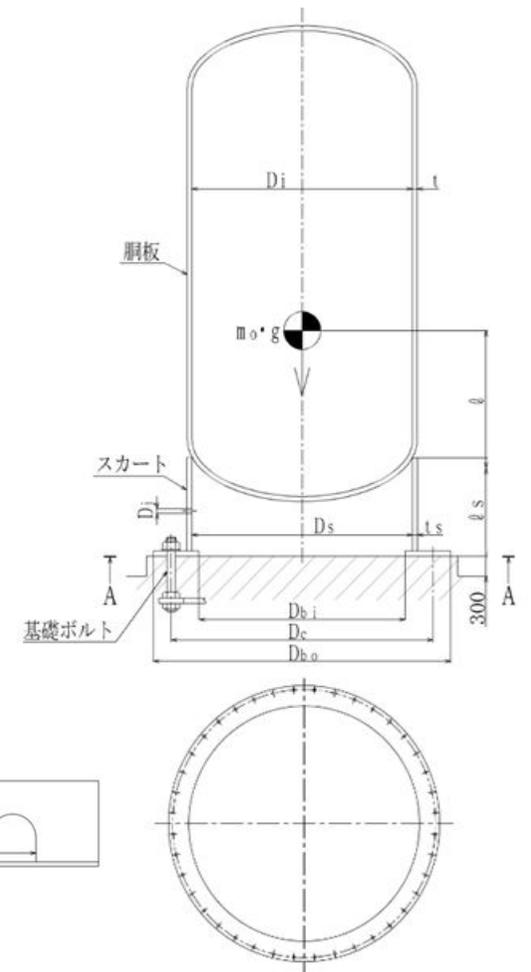
D _{b1} (mm)	A _b (mm ²)	Y (mm)	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			M _s (N・mm)		M _s (N・mm)	
			—		1.334×10 ¹⁰	

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S(胴板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	F(スカート) (MPa)	F*(スカート) (MPa)
120*1	407*1	—	144*1	402*1	—	194

S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F(基礎ボルト) (MPa)	F*(基礎ボルト) (MPa)
829*2 (H1075)	932*2 (H1075)	—	652

注記 *1 : 最高使用温度で算出

*2 : 周囲環境温度で算出



スカート開口部の形状を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=48$	$\sigma_{x1}=24$	—
運転時質量による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x2}=2$	—
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x5}=2$	—
空質量による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x3}=2$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=2$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x4}=17$	$\tau=14$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{\phi}=48$	$\sigma_{xt}=43$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{\phi}=-48$	$\sigma_{xc}=-4$	—
組合せ応力	引張り	—	—	$\sigma_{0t}=59$		
	圧縮	—	—	—		

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x5}=2$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=2$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x4}=17$	$\tau=14$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2xt}=18$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2xc}=19$	—
組合せ応力 (変動値)	引張り	—	—	$\sigma_{2t}=50$		
	圧縮	—	—	$\sigma_{2c}=51$		

1.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力	—	—	$\sigma_{s1}=4$	$\sigma_s=50$
鉛直方向地震による応力	—		$\sigma_{s3}=4$	
水平方向地震による応力	曲げ		$\sigma_{s2}=35$	
	せん断		$\tau_s=15$	

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
引張応力	—	$\sigma_b=118$
せん断応力	—	$\tau_b=40$

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

方 向	固有周期
水平方向	$T_H = \boxed{}$
鉛直方向	$T_V = \boxed{}$

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴 板	SUS316L	一次一般膜	—	—	$\sigma_0=59$	Sa=244
		一次+二次	—	—	$\sigma_2=51$	Sa=240
スカート	$\boxed{}$	組 合 せ	—	—	$\sigma_s=50$	$f_t=194$
		圧縮と曲げ の組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	
			—		0.23 (無次元)	
基礎ボルト	$\boxed{}$	引 張 り	—	—	$\sigma_b=118$	$f_{ts}=489^*$
		せ ん 断	—	—	$\tau_b=40$	$f_{sb}=376$

すべて許容応力以下である。

注記* : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-741 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-7-2-2-1 管の耐震性についての計算書

目次

1.	概要	1
2.	概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1	概略系統図	2
2.2	鳥瞰図	7
3.	計算条件	18
3.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	18
3.2	設計条件	19
3.3	材料及び許容応力	25
3.4	設計用地震力	26
4.	解析結果及び評価	27
4.1	固有周期及び設計震度	27
4.2	評価結果	33
4.2.1	管の応力評価結果	33
4.2.2	弁の動的機能維持評価結果	34
4.2.3	代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	35

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」及び「V-2-1-14-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき、管が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していること説明するものである。

評価結果記載方法は以下に示す通りとする。

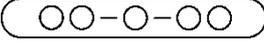
(1) 管

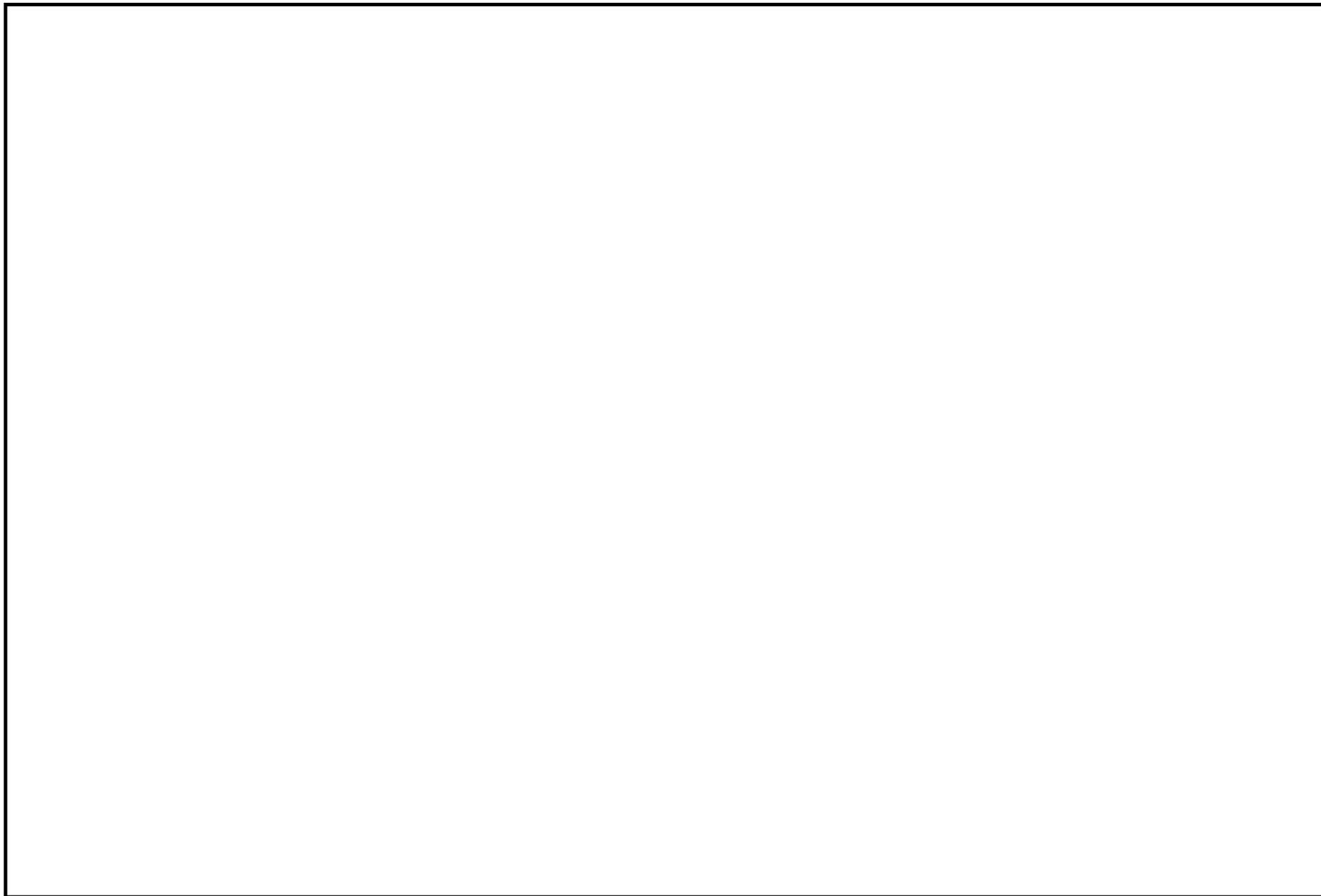
工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、**全3モデルのうち**、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として**鳥瞰図、計算条件及び評価結果**を記載する。**代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果**を4.2.3に記載する。

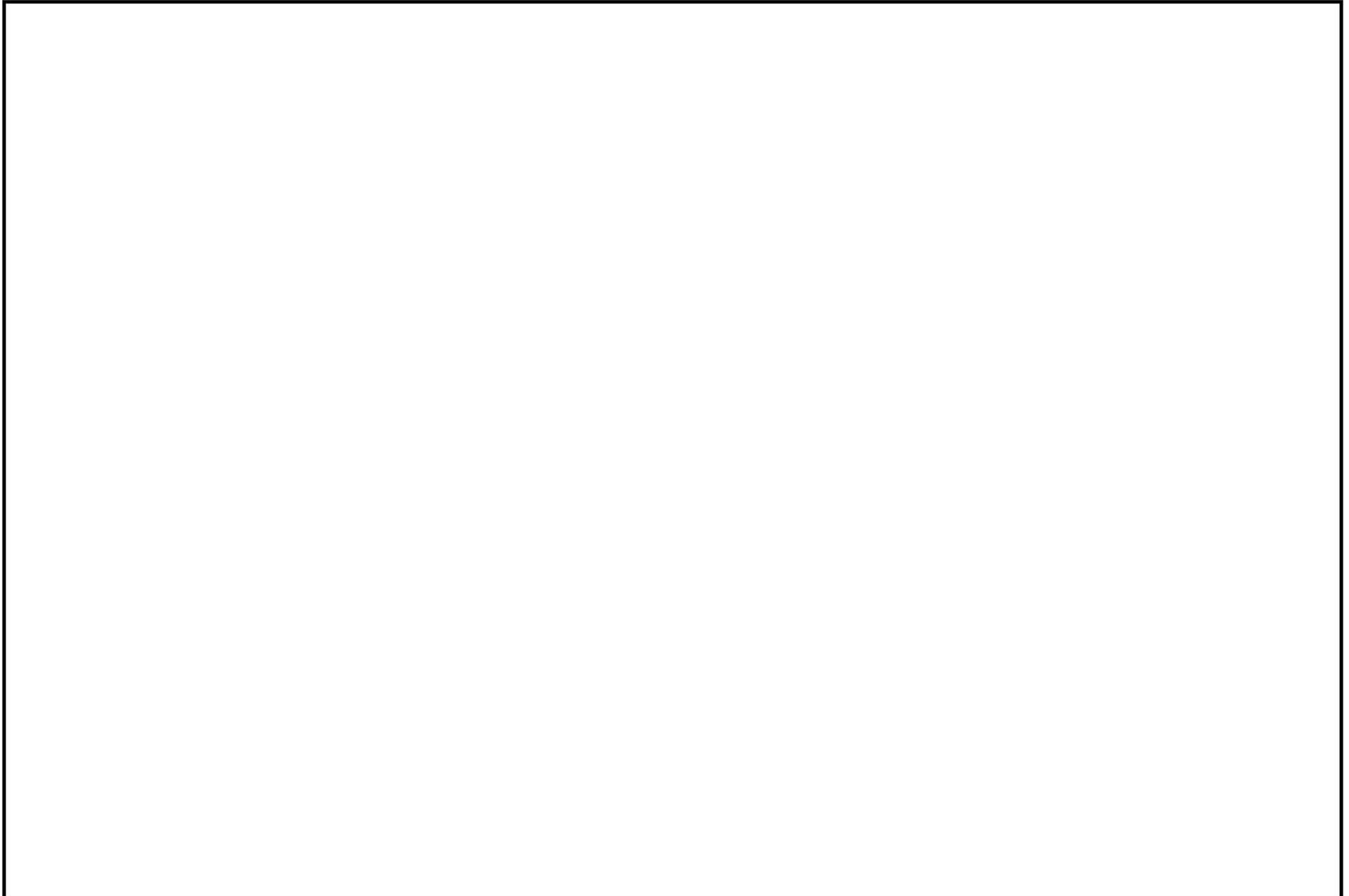
2. 概略系統図及び鳥瞰図

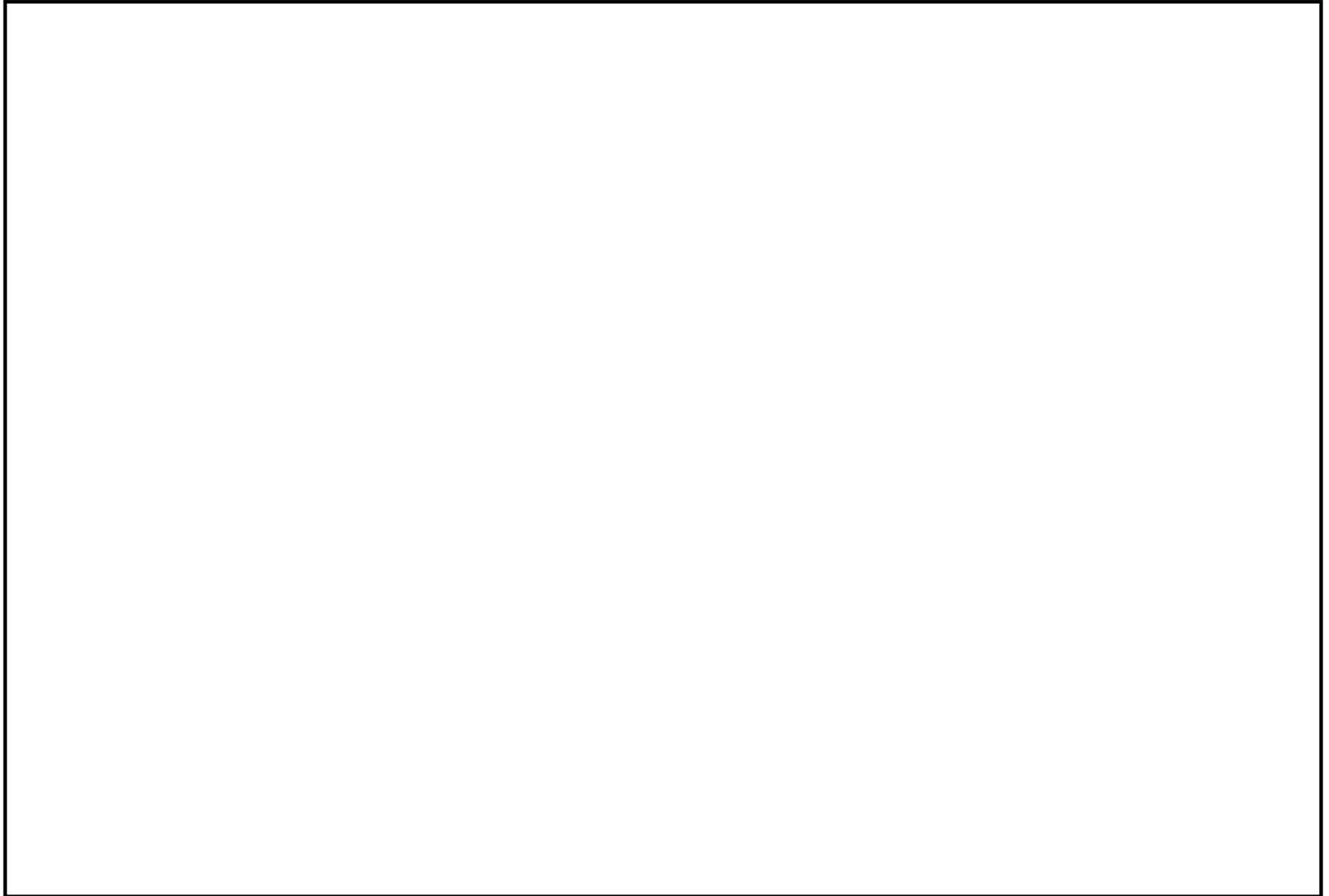
2.1 概略系統図

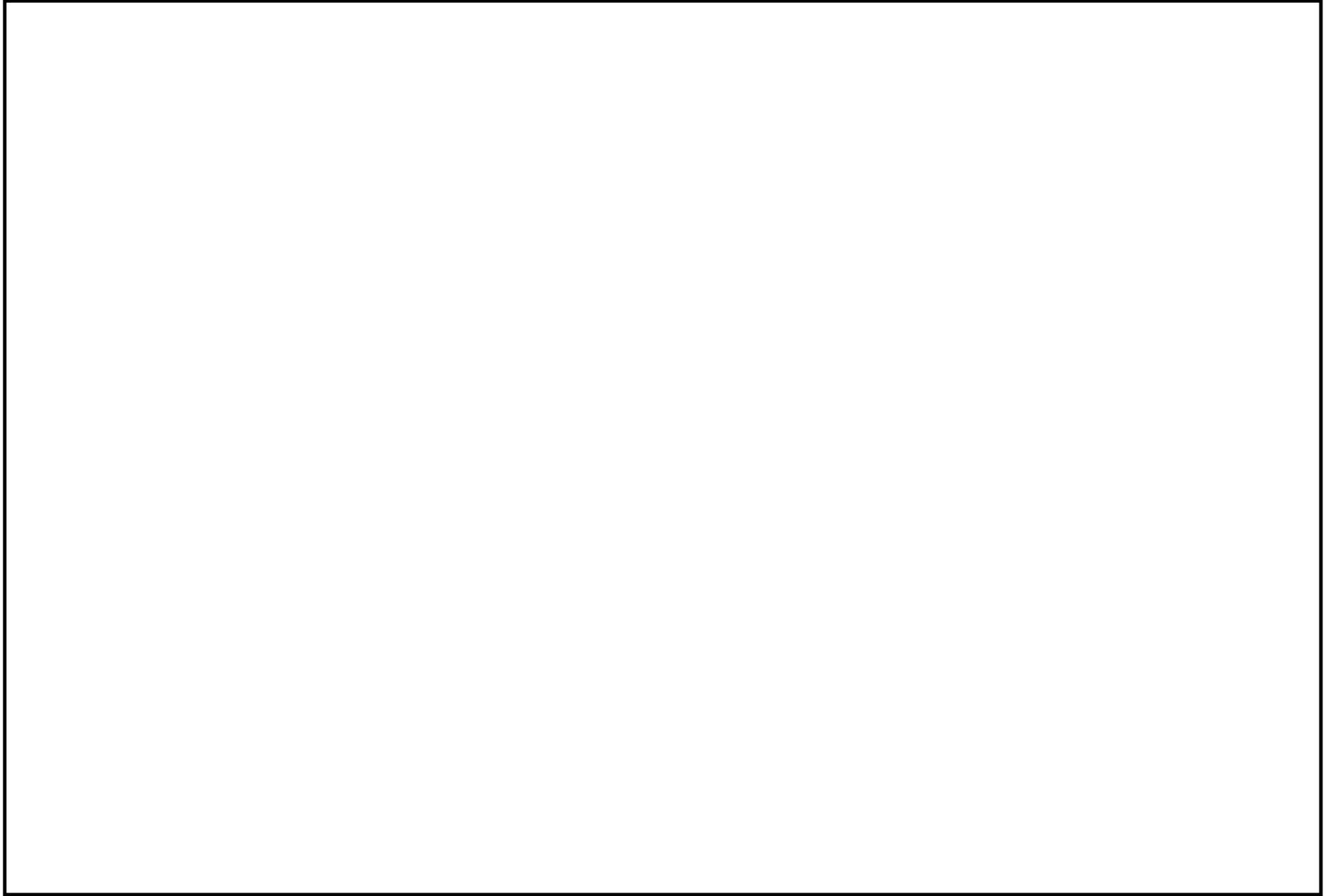
概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲外の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の 管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために 表記する管
	鳥瞰図番号 (鳥瞰図, 計算条件及び評価結果を記載する範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果のみ記載する範囲)
	アンカ
[管クラス] クラス3	クラス3管



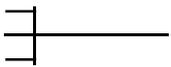




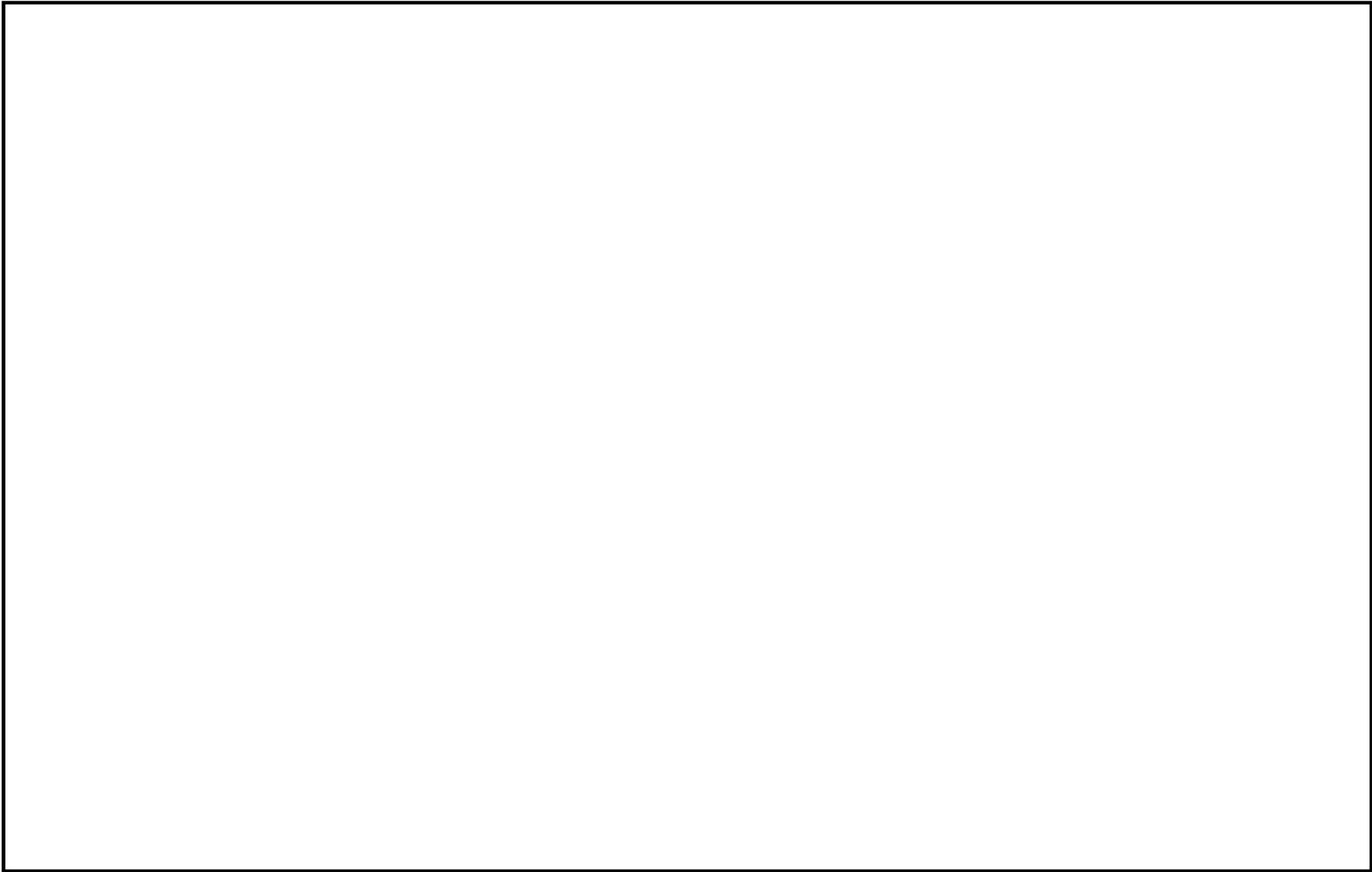


2.2 鳥瞰図

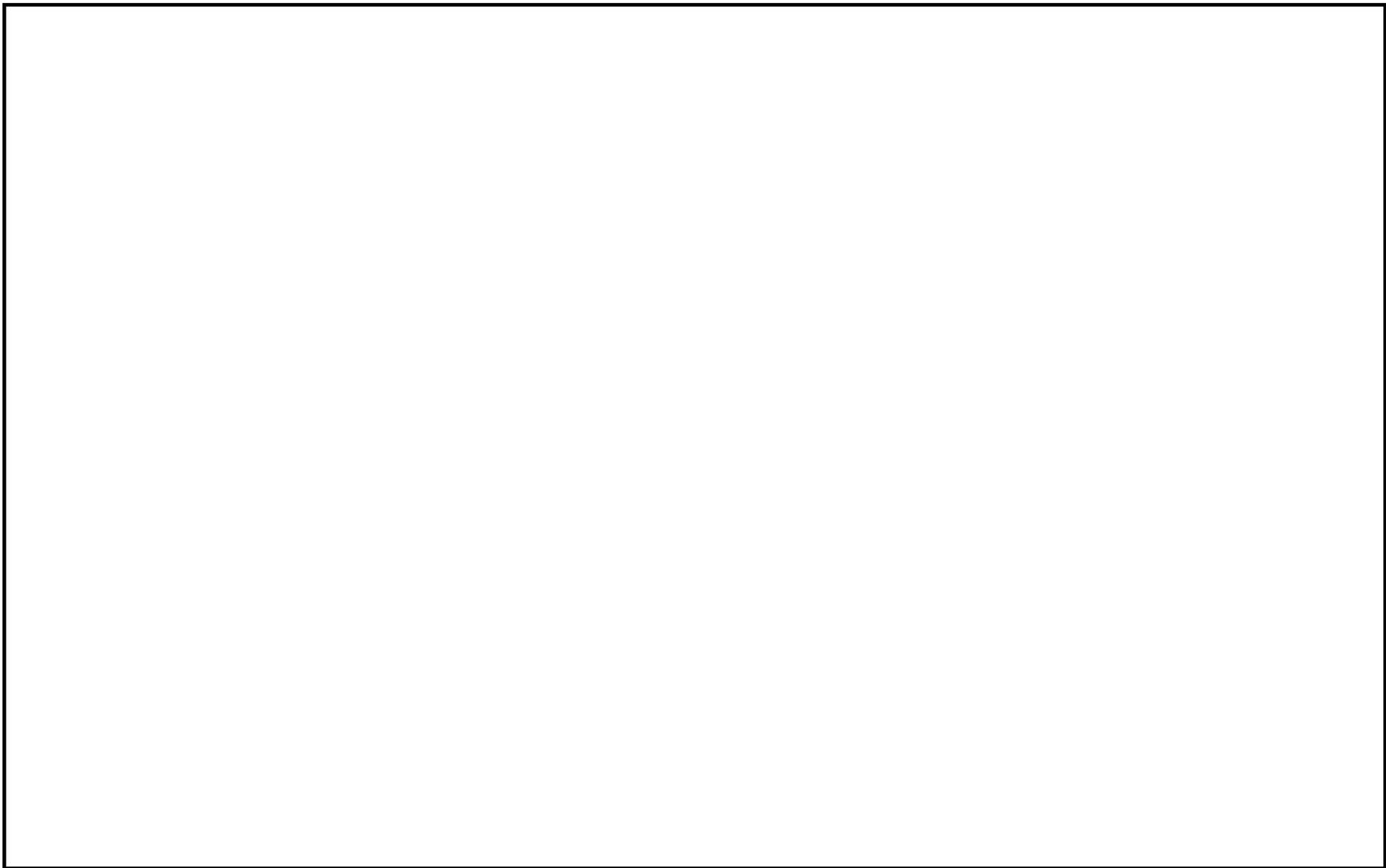
鳥瞰図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「SA」、設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「DB」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲外の管のうち、本計算書記載範囲の管
	質 点
	ア ン カ
	レストレイント
注： 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。	

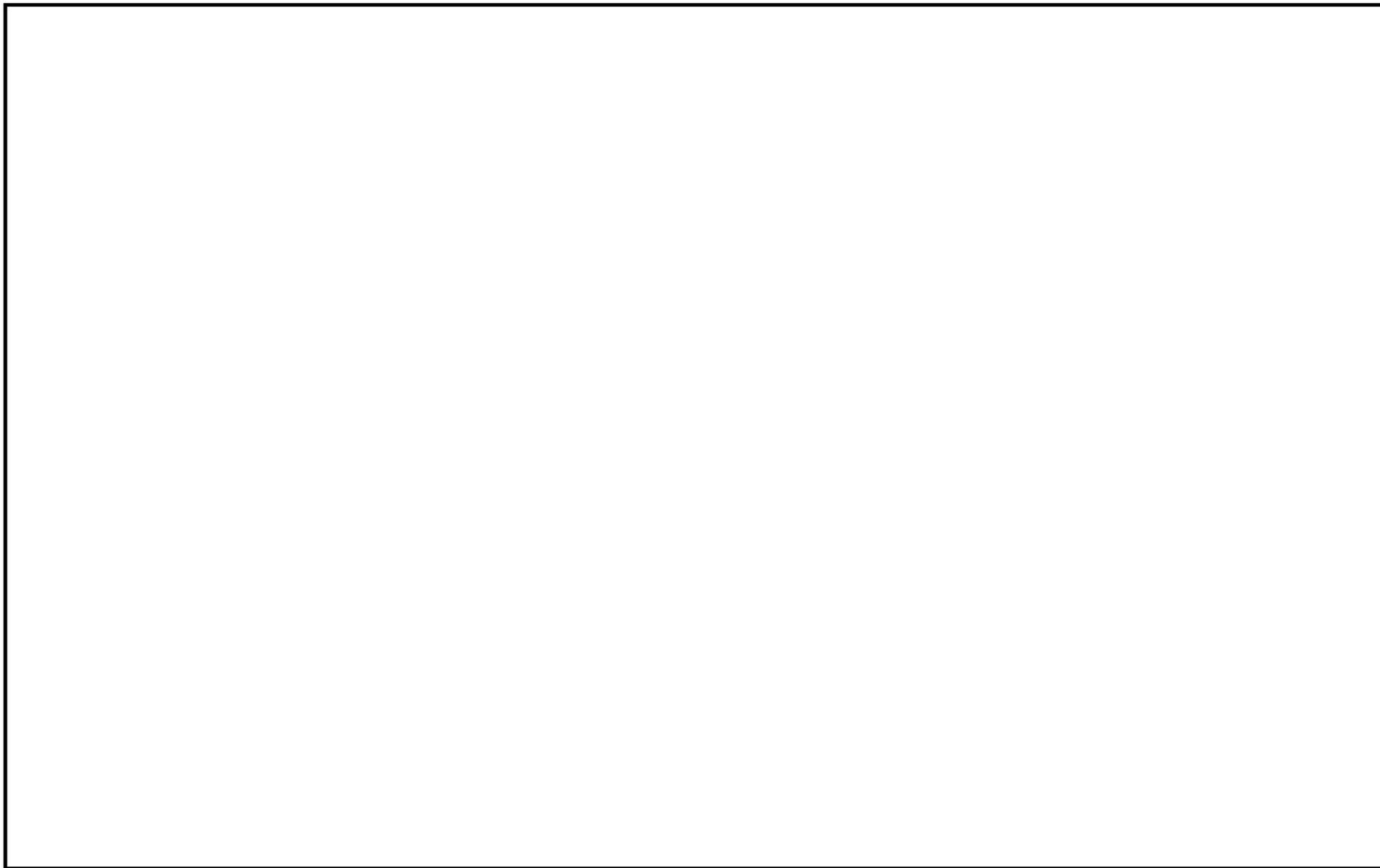
8

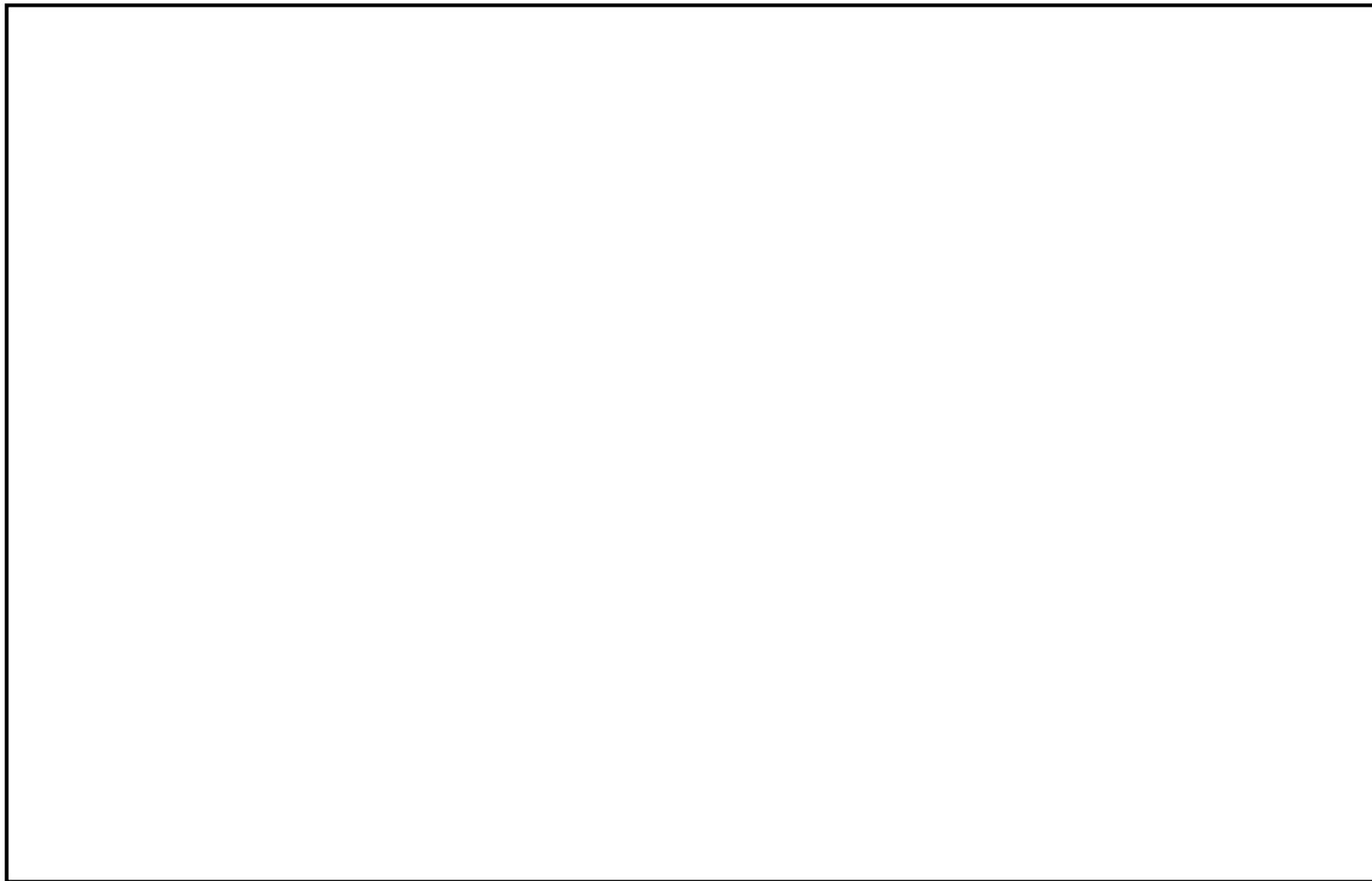


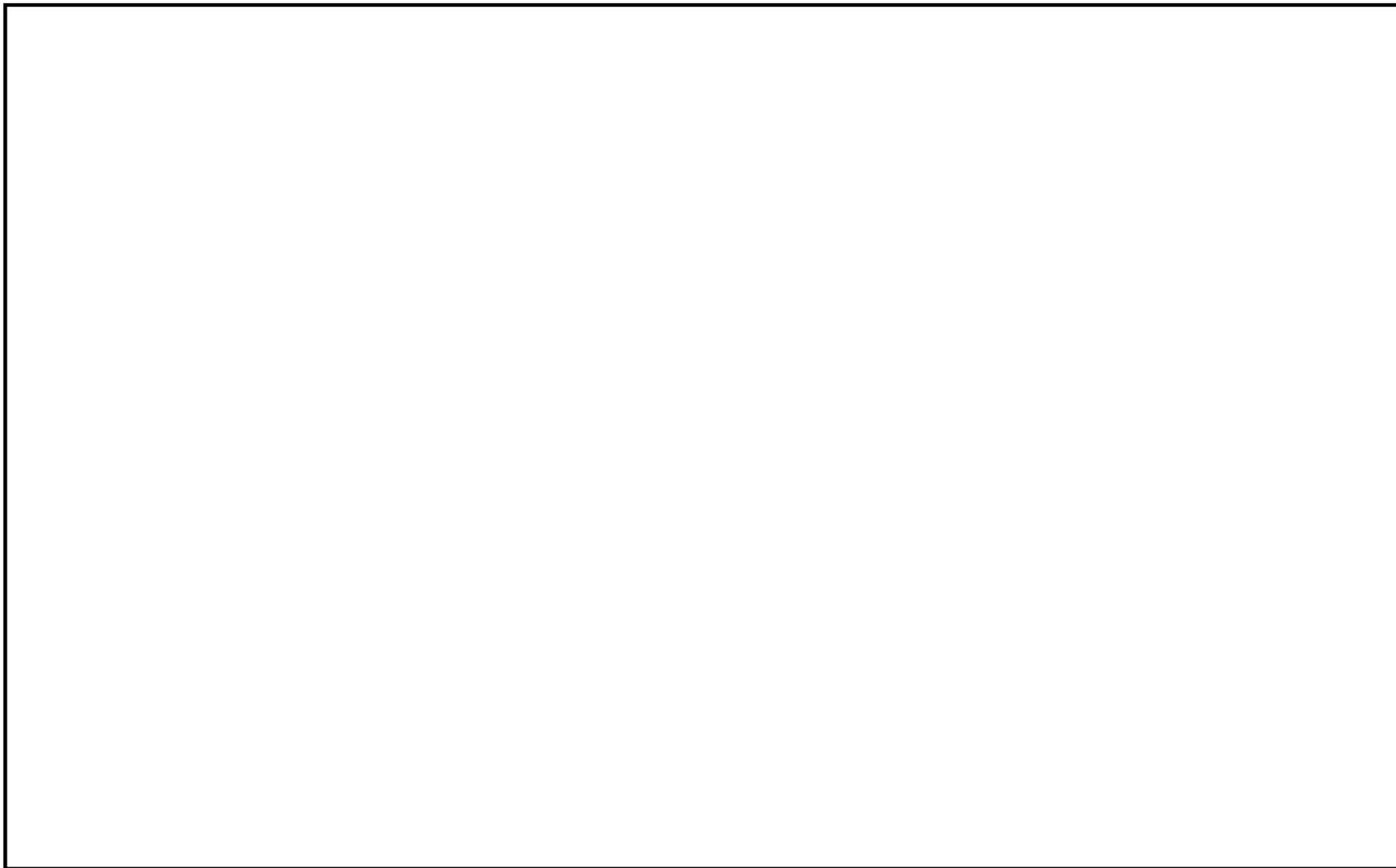
6

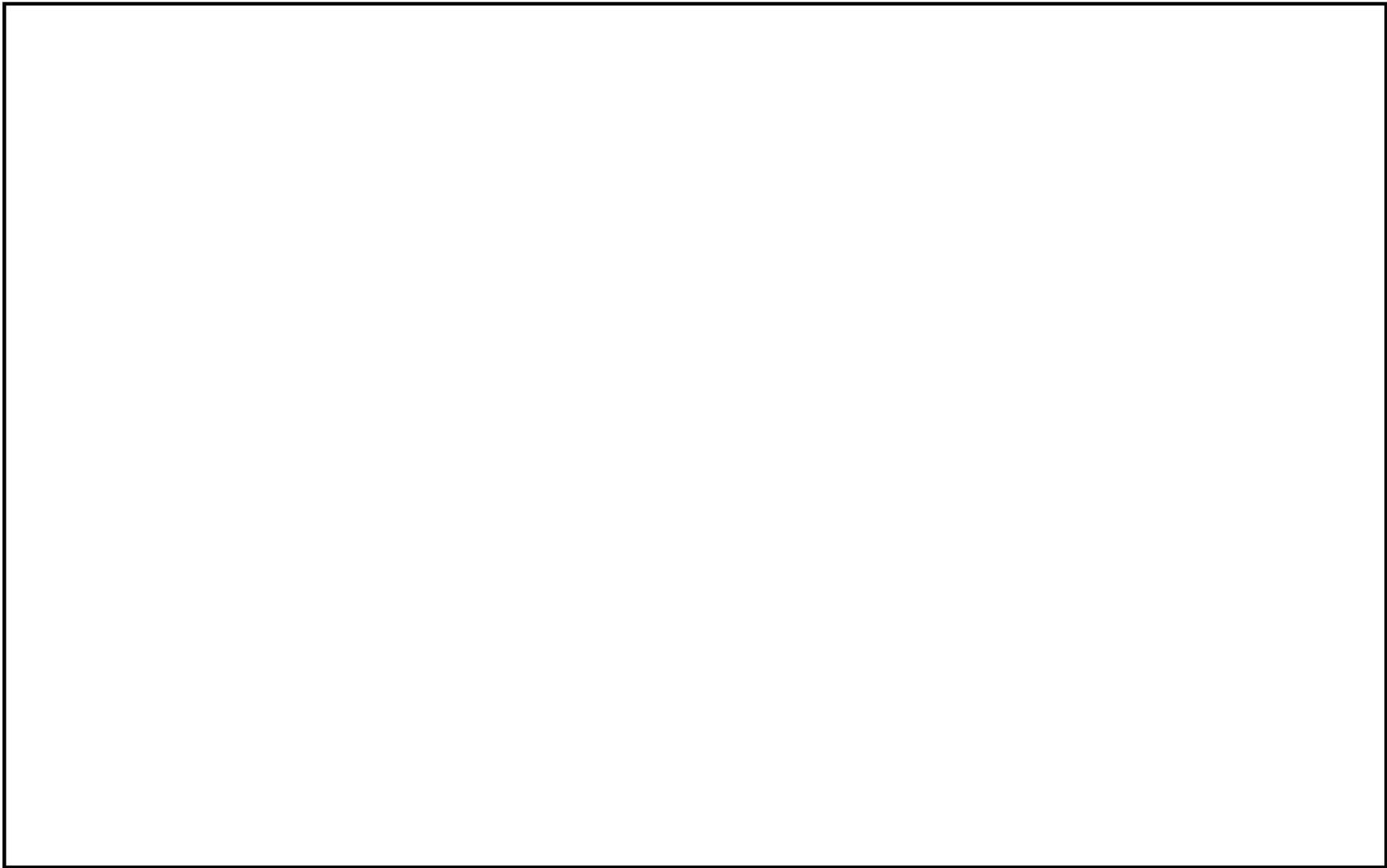




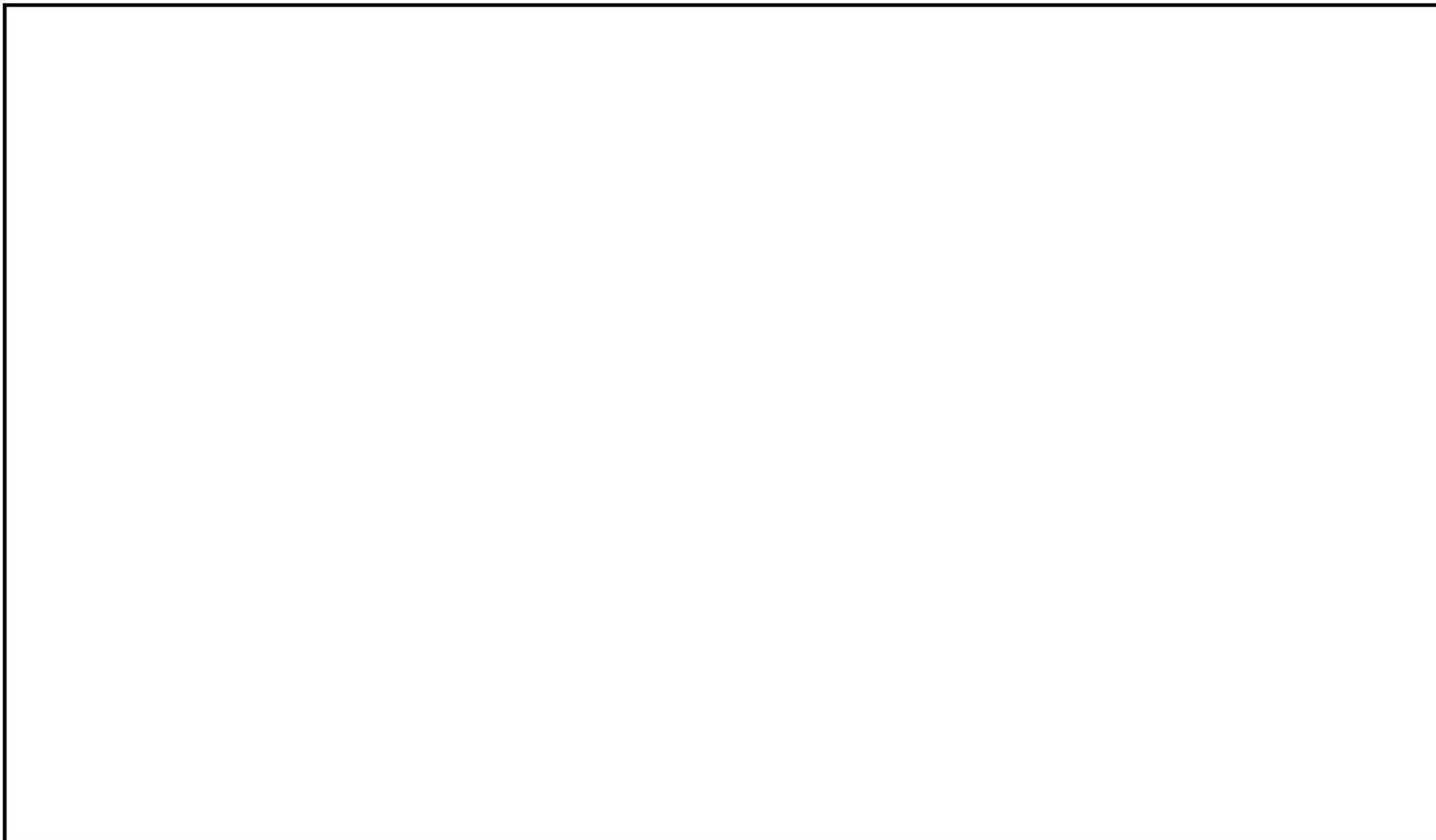


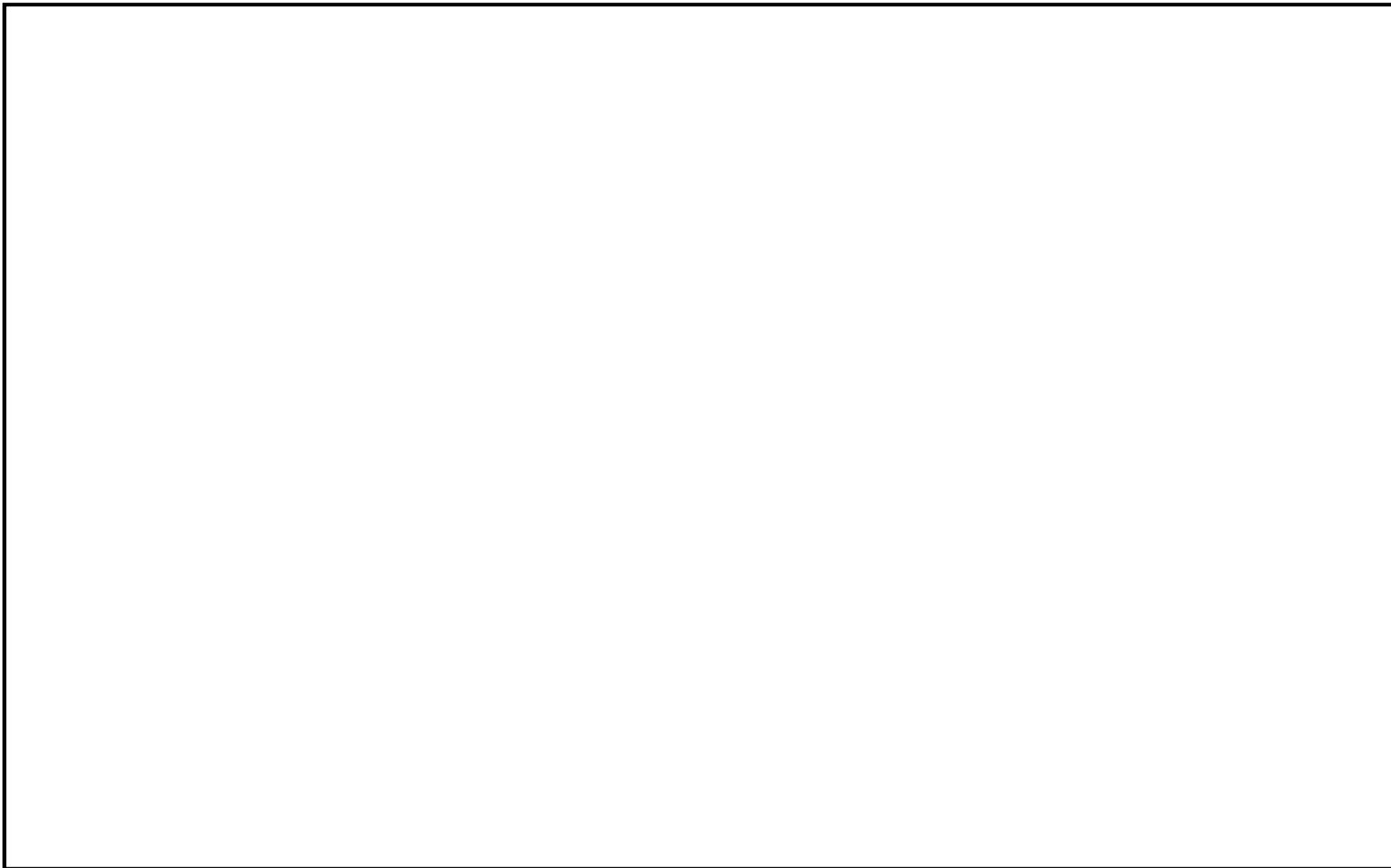


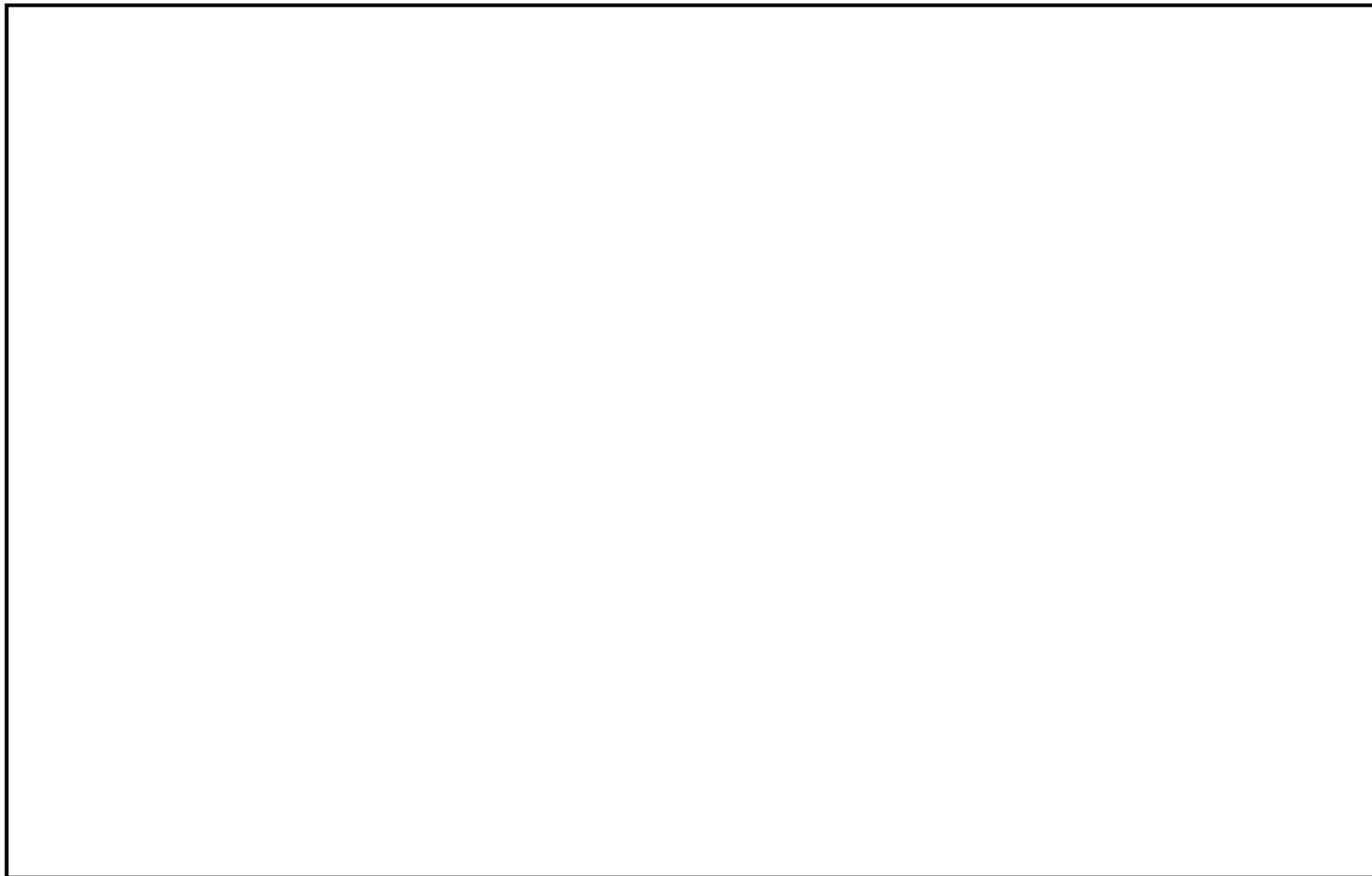




15







3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設 分類*1	設備分類	機器等 の区分	耐震設計上の 重要度分類	荷重の組合せ *2,3	許容応力 状態
放射性廃棄物 の廃棄施設	液体廃棄物処理系	機器ドレン処理系 床ドレン処理系	D B	—	クラス3管	B	$I_{L+1/2S_d}$ $II_{L+1/2S_d}$	B _A S

注記 *1: D Bは設計基準対象施設, S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2: 運転状態の添字Lは荷重を示す。

*3: 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図番号 C-02-1360-002

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
P1	A00～A04N	1.42	65	114.3	6.0	STPT42	B	
P11	A04N～B02 B05～C06 C00～C12 D13～I00	1.42	65	114.3	6.0	STPT410	B	
P2	B05～B09	1.32	65	114.3	6.0	STPT42	B	
P12	C12～D05	1.32	65	114.3	6.0	STPT410	B	
S1	D00～D10	1.32	65	114.3	4.0	SUS304TP	B	
S6	D10～D19 D17～E04 E01～H04	1.42	65	114.3	4.0	SUS304TP	B	
P13	D19～D24 E04～E11 E08～F01F	1.03	65	114.3	6.0	STPT410	B	
P15	C08～K03	1.42	65	27.2	3.9	STPT410	B	
P3	F01F～F03	1.03	65	114.3	6.0	STPT42	B	
P6	F02～G01	1.03	65	27.2	3.9	STPT42	B	
S2	D09～J08	1.32	65	114.3	6.0	SUS304TP	B	

配管の付加質量

鳥瞰図番号 C-02-1360-002

質量	対応する評価点
1 kg	C13, G01
5 kg	K03

フランジ部の質量

鳥瞰図番号 C-02-1360-002

質量	対応する評価点
5 kg	C13, C13

弁部の質量

鳥瞰図番号 C-02-1360-002

質量	対応する評価点
4 kg	K02～K03
42 kg	B05～B06, J04～J05
45 kg	D15～D16
80 kg	C11～C12
145 kg	D07～D08, D10～D11, D19～D20, E04～E05

弁部の寸法

鳥瞰図番号 C-02-1360-002

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
K02～K03	27.2	3.9	117
D15～D16	114.3	4.0	292
D07～D08, D10～D11	114.3	4.0	305
B05～B06, C11～C12, D19～D20, E04～E05, J04～J05	114.3	6.0	305

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図番号 C-02-1360-002

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
A00	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A01	1.8×10^9	—	1.8×10^9	—	—	—
A03	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A06	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A07	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
A08	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
A09	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
B03	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
B07	1.8×10^9	—	1.8×10^9	—	—	—
B09	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
C00	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	1.4×10^{10}	1.4×10^{10}	1.4×10^{10}
C01	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
C04	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
C05	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
C10	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
C14	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
C16	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
D00	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
D04	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
D06	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
D12	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
D14	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
D18	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
D21	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
D24	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
E03	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
E06	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
E11	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
F03	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
* H03 *	—	1.8×10^9	—	—	—	—
H04	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
I00	1.8×10^9	1.8×10^9	1.8×10^9	1.4×10^{10}	1.4×10^{10}	1.4×10^{10}
I01	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—	—
J02	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—
J06	1.8×10^9	—	1.8×10^9	—	—	—
J08	—	1.8×10^9	1.8×10^9	—	—	—

*印のY軸方向のばね定数はマイナス側にとする。

3.3 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa) *			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STPT410	65	—	232	—	103
STPT42	65	—	232	—	103
SUS304TP	65	—	189	—	126

注記 * : 評価に使用しない許容応力については「—」と記載する。

3.4 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお、設備評価用床応答曲線は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また、減衰定数は「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数(%)
C-02-1360-002	原子炉建屋付属棟		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図番号 C-02-1360-002

耐震設計上の重要度分類		B					
適用する地震動等		静的震度*5			1/2 S _d		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
		—	—	—	0.65	0.65	1.10
		—	—	—	0.65	0.65	0.93
		—	—	—	0.65	0.65	0.56
		—	—	—	0.56	0.56	0.50
		—	—	—	0.53	0.53	0.45
		—	—	—	0.52	0.52	0.42
		—	—	—	0.29	0.29	0.36
動的震度*2		—	—	—	2.05	2.05	2.72
静的震度*3		0.44	0.44	—	—	—	—

注記 *1： 各モードの固有周期に対し，設備評価用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2： S_d地震動に基づく最大設備評価用床応答加速度より定めた震度を示す。

*3： 1.8C_Iより定めた震度を示す。

*4： 固有周期が0.050s以下であることを示す。

*5： 静的震度を示す為，応答震度については「—」と記載する。

各モードに対応する刺激係数

鳥瞰図番号 C-02-1360-002

モード	固有周期 (s)	刺激係数 ^{*1}		
		X方向	Y方向	Z方向

注記 *1: 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリクス積から算出した値を示す。

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を赤線で図示し、次ページ以降に示す。

30



32

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおりの最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス3管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{prm} (S_d)$	許容応力 S_y	計算応力 $S_n (S_d)$	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
C-02-1360-002	B A S	H01N	$S_{prm} (S_d)$		189	—	—	—

4.2.2 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.3 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス3範囲）

No	配管 モデル	許容応力状態 B _A S				
		一次応力				
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表
1	C-01-1360-001	A15N	12	232	19.33	—
2	C-02-1360-001	A32	18	232	12.88	—
3	C-02-1360-002	H01N	39	189	4.84	○

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料

資料番号 工認-761 改1

提出年月日 平成30年8月16日

V-2-9-7-1-3 移送ポンプの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、移送ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

移送ポンプは、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

移送ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>うず巻形横軸ポンプ</p>	<p>(単位 : mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

移送ポンプの構造は横軸ポンプであるため、構造強度評価は、「V-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

移送ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

移送ポンプの許容応力を表 3-2～表 3-3 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

移送ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-4 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納 施設	圧力逃がし 装置	移送ポンプ	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限 界を用いる。)

注記 *1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-2 許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t *	1.5・f _s *
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)		

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		—	188	479	205
ポンプ取付ボルト（下）		最高使用温度	200	—	633	759	—
ポンプ取付ボルト（上）		最高使用温度	200	—	633	759	—

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

移送ポンプの地震後の動的機能維持評価について、以下に示す。

移送ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度

(単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	横形単段遠心式	水平	
	ポンプ	鉛直	

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

移送ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【移送ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
移送ポンプ	常設/緩和	格納槽内 EL. -12.8*1	—*2	—*2	—	—	$C_H=0.47$	$C_V=0.55$	$C_P=0.21$	200	<input type="text"/>

注記 *1: 基準床レベルを示す。
*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i} (mm)	l_{2i} (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}	
							弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	4	—	2				
ポンプ取付ボルト (下) (i=2)						6	—	2
ポンプ取付ボルト (上) (i=3)						6	—	2

6

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向		M_p (N・mm)	
					弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)	188*1	479*1	—	246	—	軸直角	—	—
ポンプ取付ボルト (下) (i=2)	633*2 (径≤63mm)	759*2 (径≤63mm)	—	531	—	軸直角	—	—
ポンプ取付ボルト (上) (i=3)	633*2 (径≤63mm)	759*2 (径≤63mm)	—	531	—	軸直角	—	—

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)
$H_p = \text{$	$N = \text{$

注記 *1: 周囲環境温度で算出
*2: 最高使用温度で算出
*3: 各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	1.375×10 ³	—	3.801×10 ³
ポンプ取付ボルト (下) (i=2)	—	1.762×10 ³	—	3.374×10 ³
ポンプ取付ボルト (上) (i=3)	—	955.7	—	3.288×10 ³

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	□	引張り	—	—	$\sigma_{b1} = 7$	$f_{ts1} = 184^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = 5$	$f_{sb1} = 142$
ポンプ取付ボルト (下)	□	引張り	—	—	$\sigma_{b2} = 9$	$f_{ts2} = 398^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = 3$	$f_{sb2} = 306$
ポンプ取付ボルト (上)	□	引張り	—	—	$\sigma_{b3} = 5$	$f_{ts3} = 398^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} = 3$	$f_{sb3} = 306$

すべて許容応力以下である。

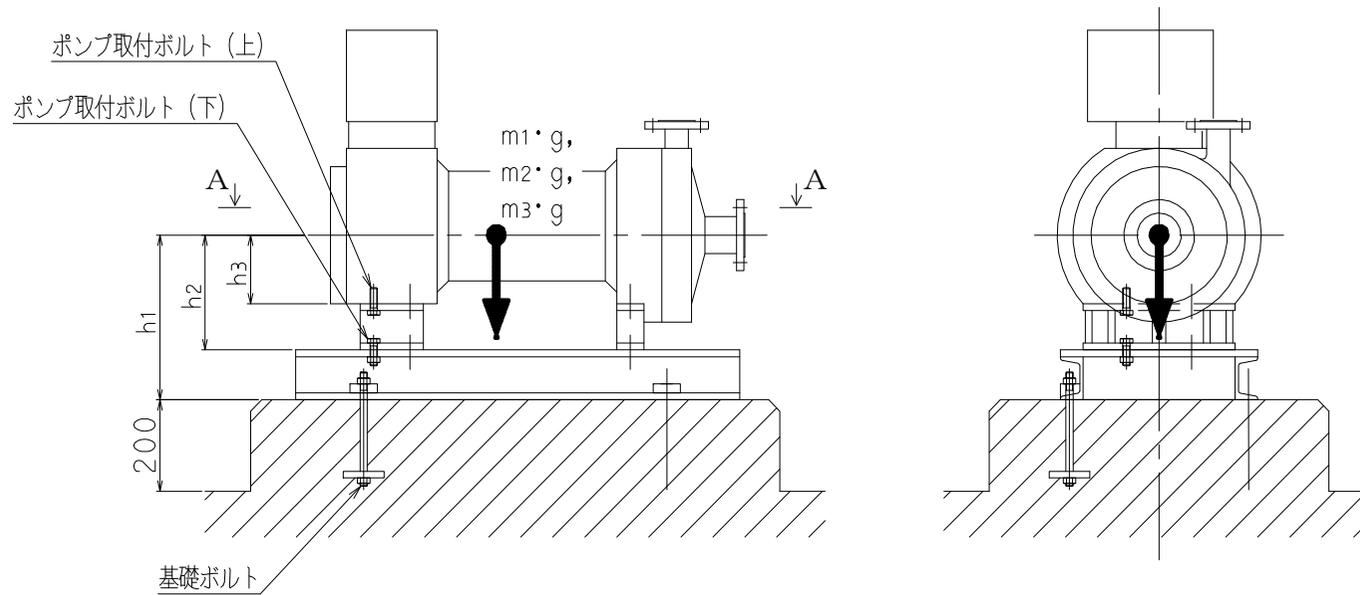
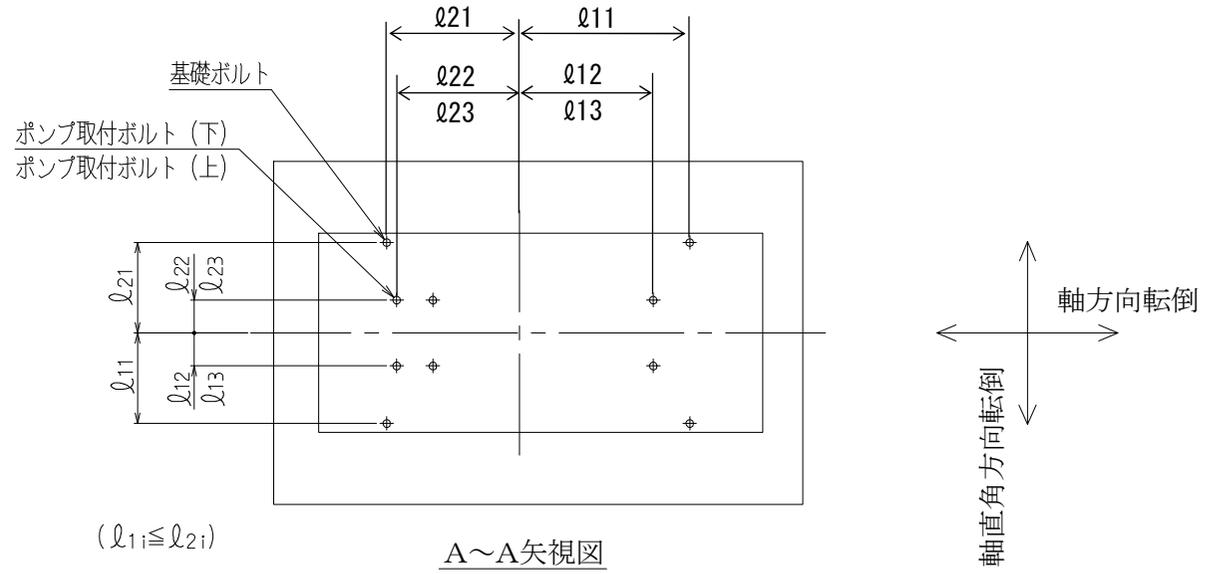
注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 動的機能の評価結果

(単位：×9.8m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.44	□
	鉛直方向	0.50	□

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



本資料のうち、枠囲みの内容は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-859 改2
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-11-2-4 チャンネル着脱機の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用基準	4
2.5 記号の説明	5
2.6 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
4.3 解析モデル及び諸元	14
4.4 固有周期	16
4.5 設計用地震力	20
4.6 計算方法	21
4.7 計算条件	26
4.8 応力及び荷重の評価	26
5. 評価結果	27
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	27
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	27

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-11-1 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラスであるチャンネル着脱機（以下「着脱機」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラスである使用済燃料プールに対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。その耐震評価は着脱機の地震応答解析、応力評価、及び荷重評価により行う。

2. 一般事項

2.1 配置概要

着脱機は、原子炉建屋原子炉棟 6 階に設置される。着脱機は、図 2-1 の位置関係図に示すように、上位クラス施設である使用済燃料プールの壁面に設置されており、落下により使用済燃料プールに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

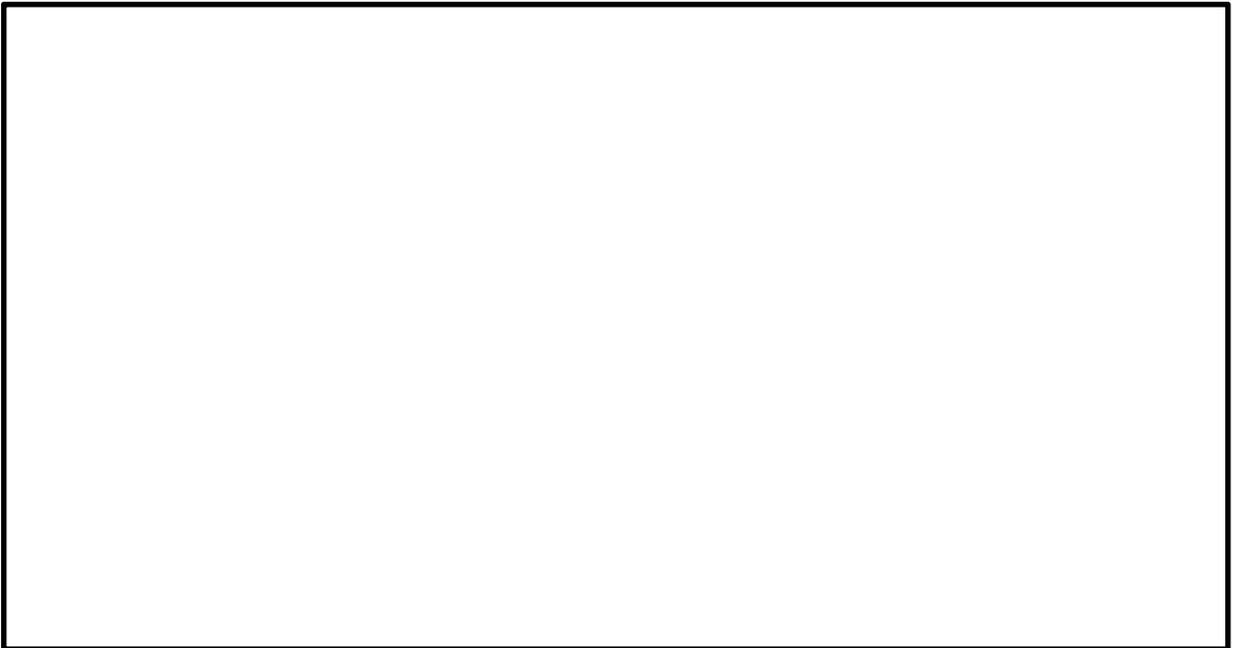


図 2-1 チャンネル着脱機と使用済燃料プール等の位置関係図

2.2 構造計画

着脱機の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計 画 の 概 要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	

2.3 評価方針

着脱機の応力評価は、添付書類「V-2-11-1 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の「3. 耐震評価方針」に従い実施する。

評価については、「2.2 構造計画」にて示す着脱機の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

着脱機の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

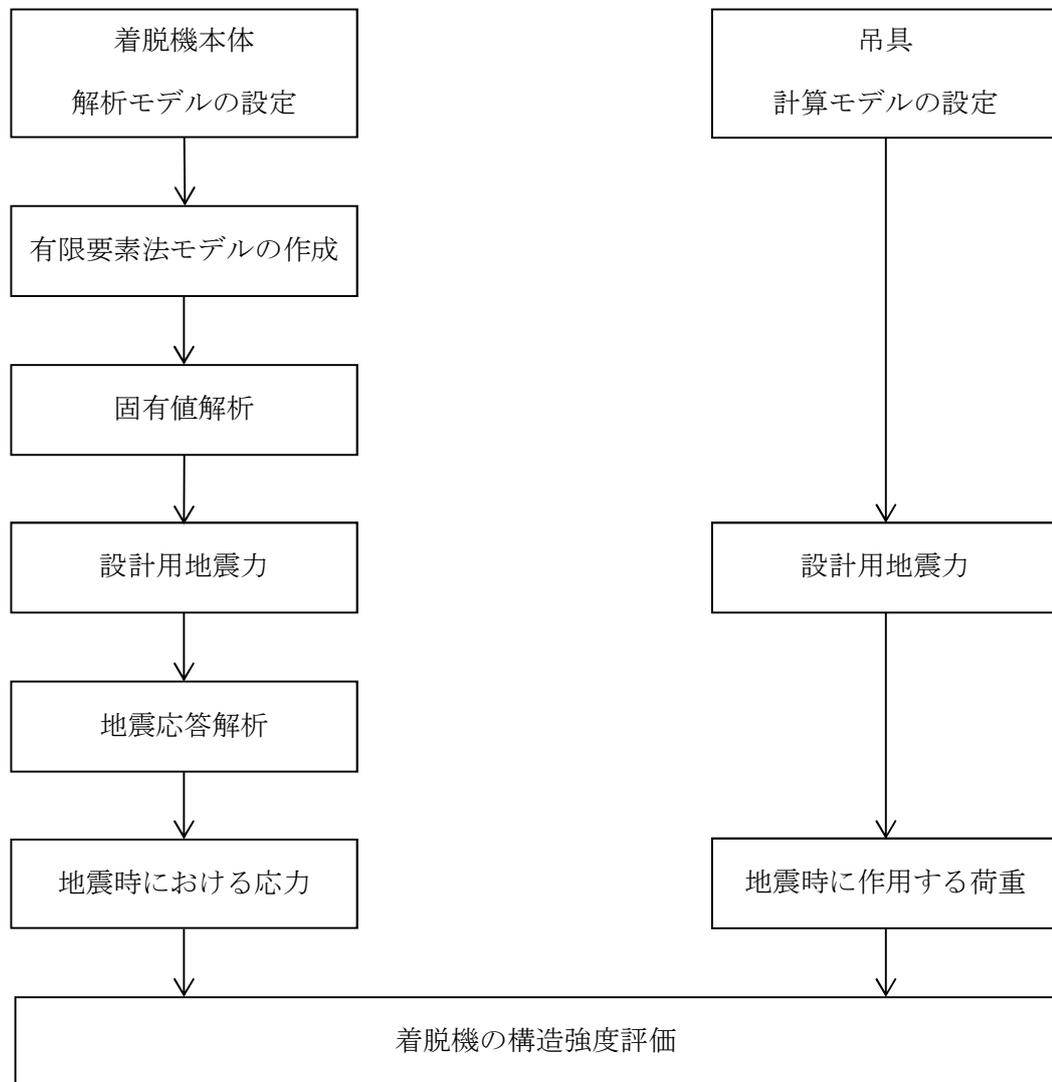


図 2-2 着脱機の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補一
1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協
会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））
J S M E S N C 1 -2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建
設規格」という。）

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{1G}	ガイドレールの断面積	mm^2
A_L	ローラチェーンの許容荷重	N
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	ガイドレール及びカートの縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F_{xG}	ガイドレールに作用する軸力	N
F_{yG}	ガイドレールに作用するせん断力 (y 方向)	N
F_{zG}	ガイドレールに作用するせん断力 (z 方向)	N
F_C	ローラチェーンに作用する荷重	N
f_c	許容組合せ応力	MPa
f_s	許容せん断応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける固定ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける固定ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける固定ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
M_{xG}	ガイドレールのねじりモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{yG}	ガイドレールの y 軸周り曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{zG}	ガイドレールの z 軸周り曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_G	ガイドレールの質量	kg
m_F	カートの質量	kg
m_m	吊荷の質量	kg
m_{wH}	水平方向の排除水質量	kg
m_{wN}	鉛直方向の排除水質量	kg
S_u	ガイドレール及びカート：日本工業規格 JIS B 8265 (2017) に定める値 固定ボルト：設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	ガイドレール及びカート：日本工業規格 JIS B 8265 (2017) に定める値 固定ボルト：設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa

記号	記号の説明	単位
Z_{pG}	ガイドレールのねじり断面係数	mm^3
Z_{yG}	ガイドレールの y 軸周り断面係数	mm^3
Z_{zG}	ガイドレールの z 軸周り断面係数	mm^3
ν	ポアソン比	—
θ	最外郭固定ボルト角度	rad
σ_{1G}	ガイドレールの曲げ応力	MPa
σ_{c1G}	ガイドレールの組合せ応力	MPa
σ_{xG}	x 方向の荷重によるガイドレールの曲げ応力	MPa
σ_{yG}	y 方向のモーメントによるガイドレールの曲げ応力	MPa
σ_{zG}	z 方向のモーメントによるガイドレールの曲げ応力	MPa
σ_{1B}	固定ボルトの引張応力	MPa
σ_{xB}	x 方向の荷重による固定ボルトの引張応力	MPa
σ_{yB}	y 方向のモーメントによる固定ボルトの引張応力	MPa
σ_{zB}	z 方向のモーメントによる固定ボルトの引張応力	MPa
τ_{1G}	ガイドレールのせん断応力	MPa
τ_{xG}	x 方向のモーメントによるガイドレールのせん断応力	MPa
τ_{yG}	y 方向の荷重によるガイドレールのせん断応力	MPa
τ_{zG}	z 方向の荷重によるガイドレールのせん断応力	MPa

注： 記号右端添え字に_Gが付くものは、ガイドレール評価用を代表で示したものであり、カート評価用については_G→_F、固定ボルト評価用については_G→_Bに置き換えるものとする。

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位*1
	厚さ	mm	—	小数点以下第1位
断面積*2	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
角度	rad	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位

注記*1： 設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2： 絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

*3： 設計・建設規格 付録材料図表及び日本工業規格 JIS B 8265 (2017) に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

着脱機の耐震評価は、本体及び吊荷の落下により、使用済燃料プールが損傷することを防止するために、主要構造物であるガイドレール、カート、固定ボルト及び吊具（ローラチェーン）について実施する。着脱機の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 着脱機を構成する部材をはり要素にてモデル化した有限要素法モデルによるスペクトルモーダル解析を適用する。
- (2) 地震力は、ガイドレール及びカートに対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、強度評価において組合せるものとする。
- (3) ガイドレールは、使用済燃料プール壁面の固定ボルト及び金物により荷重を支持する構造であるため、該当部位の変位を拘束する。
- (4) カートに設置される使用済燃料は、集中質量として設定する。
- (5) カートはガイドレールに対して鉛直方向にスライド可能とし、鉛直方向はローラチェーンにより支持される。
- (6) カートの位置については、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の条件に対する評価条件としてカート位置が上端、中間及び下端のうち最も厳しい場合について評価する。
- (7) 吊具については、ローラチェーンの鉛直方向を剛とみなし、鉛直方向の設計震度に対応した荷重を算出する。
- (8) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

着脱機の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

着脱機の許容応力を表 4-3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件

着脱機の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

着脱機の許容荷重評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-7 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱 施設及び貯蔵施設	燃料取扱設備	チャンネル 着脱機	B-2	-*	$D + P_d + M_d + S_s$	$IV_A S$

注記*： その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱 施設及び貯蔵施設	燃料取扱設備	チャンネル 着脱機	-	-*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限界を 用いる。)

注記*： その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物（設計基準対象施設としての評価及び重大事故等対処設備としての評価））

許容応力状態	許容限界* (ボルト等以外)			許容限界* (ボルト等)	
	一次応力			一次応力	
	引張り	せん断	組合せ	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]	1.5・f _t [*]	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
V _A S (V _A Sとして、IV _A Sの許容限界を用いる。)					

注記*： 当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
ガイドレール	[]	周囲環境温度	[]	—	[]		
カート		周囲環境温度		—			
固定ボルト		周囲環境温度		—			

表 4-5 使用材料の許容荷重評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		許容荷重 (N)
ローラチェーン	[]	周囲環境温度	[]	[]

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
ガイドレール	[]	周囲環境温度	[]	—	[]	
カート		周囲環境温度		—		
固定ボルト		周囲環境温度		—		

表 4-7 使用材料の許容荷重評価条件（重大事故等対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)	許容荷重 (N)
ローラチェーン	[]	周囲環境温度	[]

4.3 解析モデル及び諸元

着脱機の解析モデルを図4-1に、解析モデル概要を以下に示す。また、機器の諸元を表4-8に示す。

- (1) ガイドレール及びカートをはり要素でモデル化した有限要素法モデルによって求める。
- (2) 拘束条件は、固定ボルト部を完全拘束とする。また、金物の水平方向及び鉛直軸まわりの回転方向を拘束する。カートについては、ローラチェーン接続部の鉛直方向を拘束する。結合条件として、カート及びガイドレール間の水平方向及び鉛直軸まわりの回転方向のみを結合する。
- (3) 解析コードは「SAP-IV」を使用し、固有値及び荷重を求める。
なお、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「V-5-3 計算機プログラム（解析コード）の概要・SAP-IV」に示す。
- (4) 質量には着脱機自身の質量、使用済燃料の質量及び排除水質量を考慮する。



図4-1 解析モデル

表 4-8 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質	ガイドレール	—		
	カート	—		
	固定ボルト	—		
	ローラチェーン	—		
質量	ガイドレール	m_G		
	カート	m_F		
温度条件 (周囲環境温度, 設計基準対象施設)		—		
温度条件 (周囲環境温度, 重大事故等対処設備)		—		
縦弾性係数	ガイドレール	E		
	カート	E		
ポアソン比		ν		
要素数		—		
節点数		—		



図 4-3 振動モード図 (2 次)

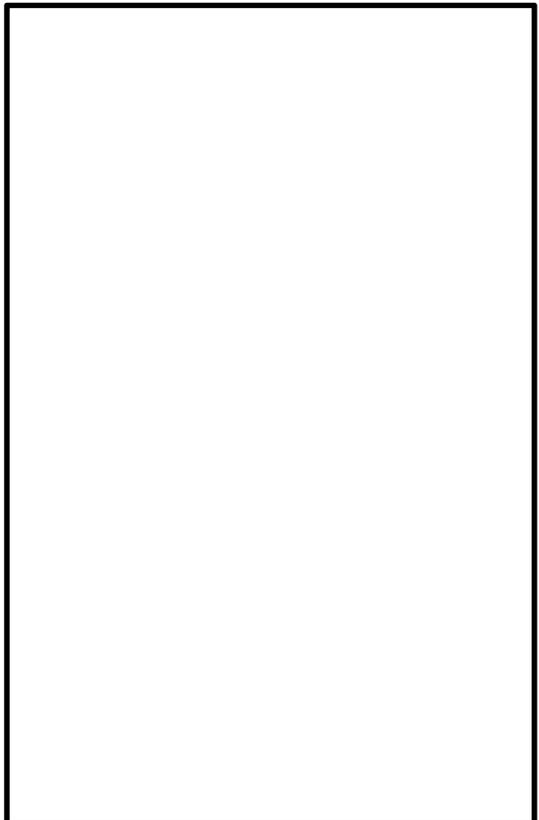


図 4-4 振動モード図 (3 次)

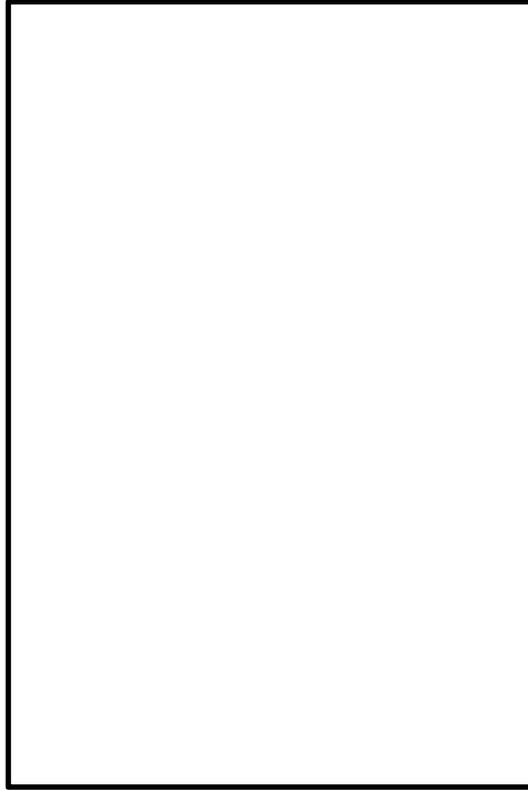


図 4-5 振動モード図 (4 次)



図 4-6 振動モード図 (5 次)

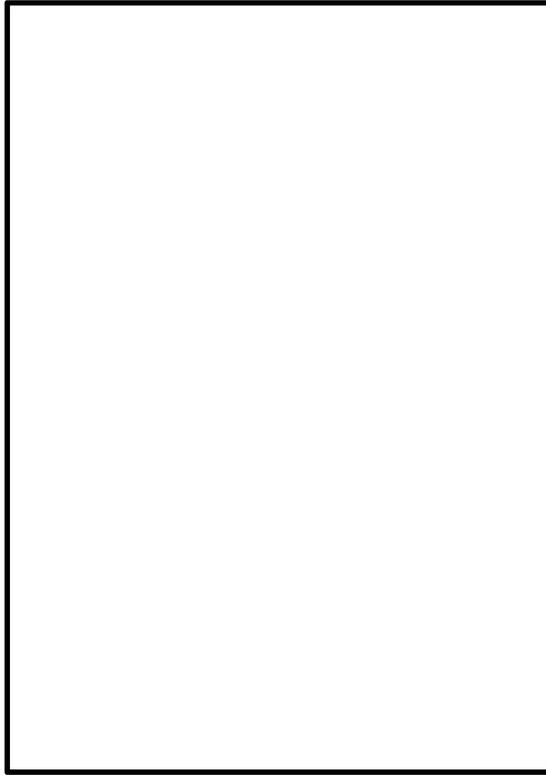


図 4-7 振動モード図 (6 次)

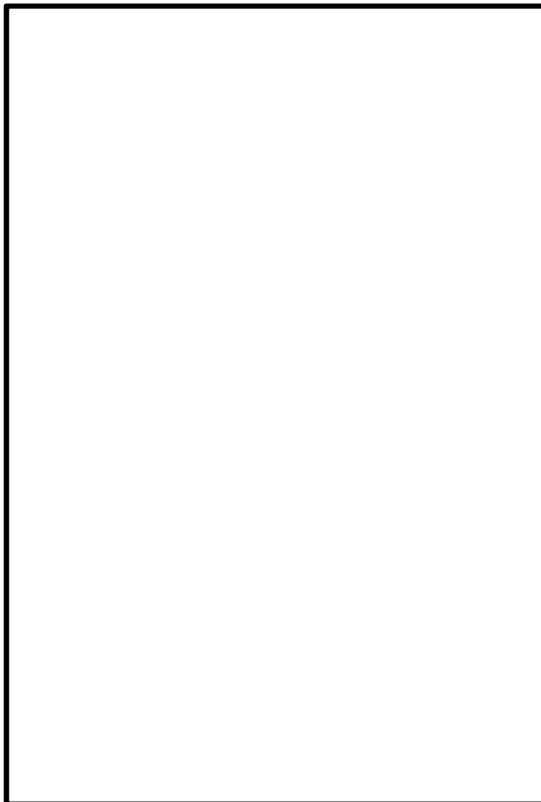


図 4-8 振動モード図 (7 次)

4.5 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-10 及び表 4-11 に示す。

表 4-10 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		減衰定数 (%)	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平	鉛直

注記*1： 基準床レベルを示す。

*2： 基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*3： 全体的にボルト締結による構造であるため、ボルト及びリベット構造物の減衰定数を使用する

表 4-11 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		減衰定数 (%)	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平	鉛直

注記*1： 基準床レベルを示す。

*2： 基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*3： 全体的にボルト締結による構造であるため、ボルト及びリベット構造物の減衰定数を使用する

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

(1) ガイドレールの応力

ガイドレールに加わる荷重を図4-1の解析モデルにより計算機コード「SAP-IV」を用いて、スペクトルモーダル解析及び静解析により求め、応力を図4-9を用いて計算する。負担力は、並進力 F_{xG} 、 F_{yG} 、 F_{zG} 、モーメント力 M_{xG} 、 M_{yG} 、 M_{zG} とする。

a. 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_{xG} = \frac{F_{xG}}{A_{1G}}, \quad \sigma_{yG} = \frac{M_{yG}}{Z_{yG}}, \quad \sigma_{zG} = \frac{M_{zG}}{Z_{zG}} \quad \dots \quad (4.6.1.1)$$

$$\tau_{xG} = \frac{M_{xG}}{Z_{pG}}, \quad \tau_{yG} = \frac{F_{yG}}{A_{1G}}, \quad \tau_{zG} = \frac{F_{zG}}{A_{1G}} \quad \dots \quad (4.6.1.2)$$

b. 曲げ応力

曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1G} = \sigma_{xG} + \sigma_{yG} + \sigma_{zG} \quad \dots \quad (4.6.1.3)$$

c. せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau_{1G} = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(\tau_{xG} + \tau_{yG})^2 + \tau_{zG}^2} \\ \sqrt{\tau_{yG}^2 + (\tau_{xG} + \tau_{zG})^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \quad \dots \quad (4.6.1.4)$$

d. 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1G} = \sqrt{\sigma_{1G}^2 + 3 \cdot \tau_{1G}^2} \quad \dots \quad (4.6.1.5)$$

(2) カートの応力

カートに加わる荷重を図 4-1 の解析モデルにより計算機コード「SAP-IV」を用いて、スペクトルモーダル解析及び静解析により求め、応力を図 4-9 を用いて計算する。負担力は、並進力 F_{xF} , F_{yF} , F_{zF} , モーメント力 M_{xF} , M_{yF} , M_{zF} とする。

a. 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_{xF} = \frac{F_{xF}}{A_{1F}}, \quad \sigma_{yF} = \frac{M_{yF}}{Z_{yF}}, \quad \sigma_{zF} = \frac{M_{zF}}{Z_{zF}} \quad \dots \quad (4.6.1.6)$$

$$\tau_{xF} = \frac{M_{xF}}{Z_{pF}}, \quad \tau_{yF} = \frac{F_{yF}}{A_{1F}}, \quad \tau_{zF} = \frac{F_{zF}}{A_{1F}} \quad \dots \quad (4.6.1.7)$$

b. 曲げ応力

曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1F} = \sigma_{xF} + \sigma_{yF} + \sigma_{zF} \quad \dots \quad (4.6.1.8)$$

c. せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau_{1F} = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(\tau_{xF} + \tau_{yF})^2 + \tau_{zF}^2} \\ \sqrt{\tau_{yF}^2 + (\tau_{xF} + \tau_{zF})^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \quad \dots \quad (4.6.1.9)$$

d. 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1F} = \sqrt{\sigma_{1F}^2 + 3 \cdot \tau_{1F}^2} \quad \dots \quad (4.6.1.10)$$

(3) 固定ボルトの応力

固定ボルトに加わる荷重を図 4-1 の解析モデルにより計算機コード「SAP-IV」を用いて、スペクトルモーダル解析及び静解析により求め、応力を図 4-9 を用いて計算する。負担力は、並進力 F_{xB} , F_{yB} , F_{zB} , モーメント力 M_{xB} , M_{yB} , M_{zB} とする。

a. 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_{xB} = \frac{F_{xB}}{A_{1B}}, \quad \sigma_{yB} = \frac{M_{yB}}{Z_{yB}}, \quad \sigma_{zB} = \frac{M_{zB}}{Z_{zB}} \quad \dots \quad (4.6.1.11)$$

$$\tau_{xB} = \frac{M_{xB}}{Z_{pB}}, \quad \tau_{yB} = \frac{F_{yB}}{A_{1B}}, \quad \tau_{zB} = \frac{F_{zB}}{A_{1B}} \quad \dots \quad (4.6.1.12)$$

b. 引張応力

引張応力は次式となる。

$$\sigma_{1B} = \sigma_{xB} + \sigma_{yB} + \sigma_{zB} \quad \dots \quad (4.6.1.13)$$

c. せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau_{1B} = \sqrt{(\tau_{yB} + \tau_{xB} \cdot \sin \theta)^2 + (\tau_{zB} + \tau_{xB} \cdot \cos \theta)^2} \quad \dots \quad (4.6.1.14)$$

ガイドレールの最大応力発生部材を図4-1の①，カートの最大応力発生部位を図4-1の②に示す。

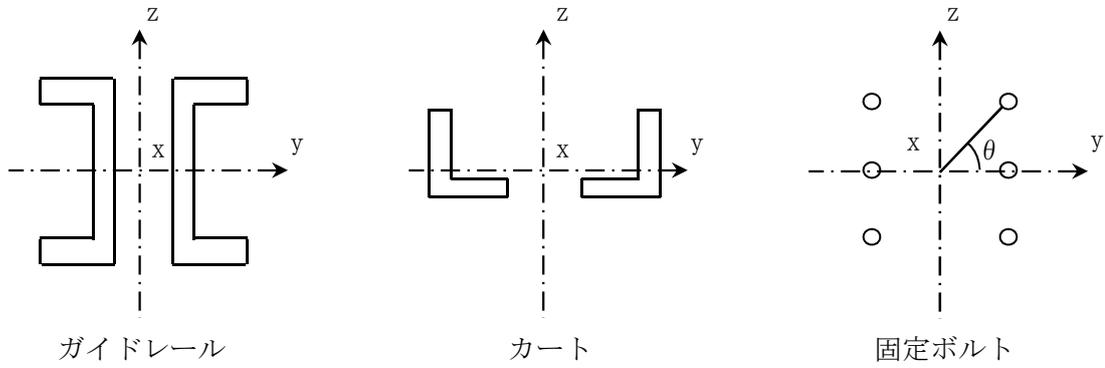


図4-9 部材断面

注： x, y, z は要素に与えられた座標軸で，x 軸は常に要素の長手方向にとる。

4.6.2 荷重の計算方法

(1) 吊り具の荷重

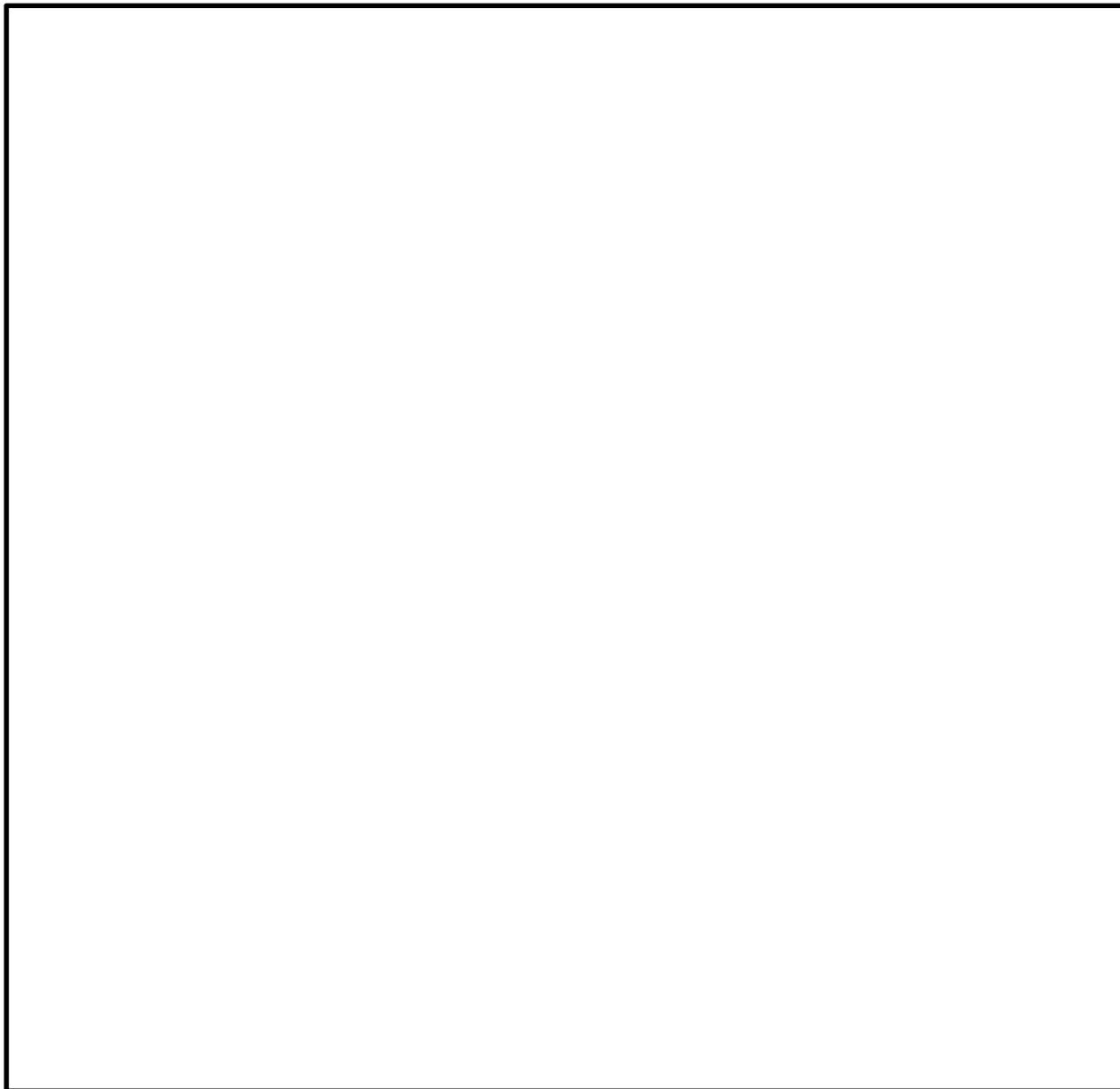


図 4-10 ローラチェーン

4.7 計算条件

耐震解析に用いる自重（着脱機）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【着脱機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力及び荷重の評価

4.8.1 ガイドレール及びカートの応力評価

4.6.1 項で求めたガイドレール及びカートの各応力が各許容応力以下であること。ただし、各許容応力は下表による。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容組合せ応力 f_c	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

4.8.2 固定ボルトの応力評価

4.6.1 項で求めた固定ボルトの引張応力 σ_{1B} は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{1B}, f_{to}] \quad \dots \dots \dots (4.8.2.1)$$

せん断応力 τ_{1B} は、せん断力のみを受ける固定ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、各許容応力は下表による。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.8.3 吊具の荷重評価

4.6.2 項で求めたローラチェーンの荷重が許容荷重以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

着脱機の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

着脱機の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【着脱機の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
			水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
チャンネル 着脱機	B-2									

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

1.2 機器要目

m_G (kg)	m_F (kg)	m_m (kg)	m_{wH} (kg)	m_{wN} (kg)	E (MPa)	A_{1G} (mm ²)	Z_{pG} (mm ³)	Z_{yG} (mm ³)	Z_{zG} (mm ³)

A_{1F} (mm ²)	Z_{pF} (mm ³)	Z_{yF} (mm ³)	Z_{zF} (mm ³)	A_{1B} (mm ²)	Z_{pB} (mm ³)	Z_{yB} (mm ³)	Z_{zB} (mm ³)	θ (rad)

S_y (ガイドレール) (MPa)	S_u (ガイドレール) (MPa)	F^* (ガイドレール) (MPa)	S_y (カート) (MPa)	S_u (カート) (MPa)	F^* (カート) (MPa)

S_y (固定ボルト) (MPa)	S_u (固定ボルト) (MPa)	S_y (RT) (固定ボルト) (MPa)	F^* (固定ボルト) (MPa)

A_L (ローラチェーン) (N)

1.3 計算数値

1.3.1 ガイドレールの荷重及びモーメント

部 材	基準地震動 S_s					
	荷重			モーメント		
	F_{xG} (N)	F_{yG} (N)	F_{zG} (N)	M_{xG} (N・mm)	M_{yG} (N・mm)	M_{zG} (N・mm)
ガイドレール						

1.3.2 カートの荷重及びモーメント

部 材	基準地震動 S_s					
	荷重			モーメント		
	F_{xF} (N)	F_{yF} (N)	F_{zF} (N)	M_{xF} (N・mm)	M_{yF} (N・mm)	M_{zF} (N・mm)
カート						

1.3.3 固定ボルトの荷重及びモーメント

部 材	基準地震動 S_s					
	荷重			モーメント		
	F_{xB} (N)	F_{yB} (N)	F_{zB} (N)	M_{xB} (N・mm)	M_{yB} (N・mm)	M_{zB} (N・mm)
固定ボルト						

1.4 結 論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

モ ー ド	固 有 周 期	卓 越 方 向

1.4.2 応 力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
ガイドレール		曲 げ	—	—	$\sigma_{1G} =$	$f_t =$
		せ ん 断	—	—	$\tau_{1G} =$	$f_s =$
		組 合 せ	—	—	$\sigma_{c1G} =$	$f_c =$
カート		曲 げ	—	—	$\sigma_{1F} =$	$f_t =$
		せ ん 断	—	—	$\tau_{1F} =$	$f_s =$
		組 合 せ	—	—	$\sigma_{c1F} =$	$f_c =$
固定ボルト		引 張 り	—	—	$\sigma_{1B} =$	$f_{ts} =$
		せ ん 断	—	—	$\tau_{1B} =$	$f_{sb} =$

注記*1： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{1B}, f_{to}]$ より算出。

すべて許容応力以下である。

1.4.3 荷 重

(単位：N)

部 材	材 料	荷 重	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算 出 荷 重	許 容 荷 重	算 出 荷 重	許 容 荷 重
ローラチェーン		吊荷荷重	—	—		

すべて許容荷重以下である。

S_y (ガイドレール) (MPa)	S_u (ガイドレール) (MPa)	F^* (ガイドレール) (MPa)	S_y (カート) (MPa)	S_u (カート) (MPa)	F^* (カート) (MPa)

S_y (固定ボルト) (MPa)	S_u (固定ボルト) (MPa)	S_y (RT) (固定ボルト) (MPa)	F^* (固定ボルト) (MPa)

A_L (ローラチェーン) (N)

2.3 計算数値

2.3.1 ガイドレールの荷重及びモーメント

部 材	基準地震動 S_s					
	荷重			モーメント		
	F_{xG} (N)	F_{yG} (N)	F_{zG} (N)	M_{xG} (N・mm)	M_{yG} (N・mm)	M_{zG} (N・mm)
ガイドレール						

2.3.2 カートの荷重及びモーメント

部 材	基準地震動 S_s					
	荷重			モーメント		
	F_{xF} (N)	F_{yF} (N)	F_{zF} (N)	M_{xF} (N・mm)	M_{yF} (N・mm)	M_{zF} (N・mm)
カート						

2.3.3 固定ボルトの荷重及びモーメント

部 材	基準地震動 S_s					
	荷重			モーメント		
	F_{xB} (N)	F_{yB} (N)	F_{zB} (N)	M_{xB} (N・mm)	M_{yB} (N・mm)	M_{zB} (N・mm)
固定ボルト						

2.4 結 論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

モード	固有周期	卓越方向

2.4.2 応 力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
ガイドレール		曲 げ	—	—	$\sigma_{1G} =$	$f_t =$
		せ ん 断	—	—	$\tau_{1G} =$	$f_s =$
		組 合 せ	—	—	$\sigma_{c1G} =$	$f_c =$
カート		曲 げ	—	—	$\sigma_{1F} =$	$f_t =$
		せ ん 断	—	—	$\tau_{1F} =$	$f_s =$
		組 合 せ	—	—	$\sigma_{c1F} =$	$f_c =$
固定ボルト		引 張 り	—	—	$\sigma_{1B} =$	$f_{ts} =$
		せ ん 断	—	—	$\tau_{1B} =$	$f_{sb} =$

注記*1： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{1B}, f_{to}]$ より算出。

すべて許容応力以下である。

2.4.3 荷 重

(単位：N)

部 材	材 料	荷 重	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算 出 荷 重	許 容 荷 重	算 出 荷 重	許 容 荷 重
ローラチェーン		吊荷荷重	—	—		

すべて許容荷重以下である。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-383 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-5-6-1-1 原子炉隔離時冷却系ポンプの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉隔離時冷却系ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

原子炉隔離時冷却系ポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却系ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形横軸ポンプ</p>	

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

原子炉隔離時冷却系ポンプの構造は横軸ポンプであるため、構造強度評価は、添付書類「V-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉隔離時冷却系ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

原子炉隔離時冷却系ポンプの許容応力を表 3-3 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉隔離時冷却系ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心 冷却設備そ の他原子炉 注水設備	原子炉隔離時冷却系ポンプ	S	クラス 2 ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *：クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心 冷却設備そ の他原子炉 注水設備	原子炉隔離時冷却系ポンプ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備、「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力 (クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記 *1: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
基礎ボルト		周囲環境温度		—	730	868	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	66*2	—	330	535	—

注記

*2 : ポンプの最高使用温度は 60 °C である。

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
基礎ボルト		周囲環境温度		—	730	868	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	106	—	313	524	—

注記

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

原子炉隔離時冷却系ポンプの地震後の動的機能維持評価について、以下に示す。

原子炉隔離時冷却系ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	横形多段遠心式 ポンプ	水平	1.4
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉隔離時冷却系ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉隔離時冷却系ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉隔離時冷却系ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
原子炉隔離時冷却系ポンプ	S	原子炉建屋 EL. -4.0*1	-*2	-*2	$C_H=0.58$	$C_V=0.48$	$C_H=0.87$	$C_V=0.90$	$C_P=0.46$	66*3	□

注記 *1: 基準床レベルを示す。
 *2: 固有周期は十分に小さく, 計算は省略する。
 *3: ポンプの最高使用温度は 60 °Cである。

1.2 機器要目

部 材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i}^{*3} (mm)	l_{2i}^{*3} (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{i1}^{*3}	
							弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)	□					4	2	2
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)	□					4	2	2
								2

部 材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向		M_P (N・mm)	
					弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)	730*2	868*2	607	607	軸	軸	-	-
ポンプ取付ボルト (i=2)	330*1	535*1	330	375	軸直角	軸	1.148×10^6	-

注記 *1: 最高使用温度で算出
 *2: 周囲環境温度で算出
 *3: 各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し, 下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
$H_p = \square$	$N = \square$

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	1.060×10 ⁴	1.678×10 ⁴	3.039×10 ⁴	3.887×10 ⁴
ポンプ取付ボルト (i=2)	333.4	4.274×10 ³	2.438×10 ⁴	3.117×10 ⁴

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_{b1}=17$	$f_{ts1}=455^{*2}$	$\sigma_{b1}=27$	$f_{ts1}=455^{*}$
		せん断	$\tau_{b1}=12$	$f_{sb1}=350$	$\tau_{b1}=16$	$f_{sb1}=350$
ポンプ取付ボルト		引張り	$\sigma_{b2}= 1$	$f_{ts2}=247^{*2}$	$\sigma_{b2}= 6$	$f_{ts2}=281^{*}$
		せん断	$\tau_{b2}= 8$	$f_{sb2}=190$	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=216$

すべて許容応力以下である。

注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 動的機能維持の評価結果

(単位：×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.72	1.4
	鉛直方向	0.75	1.0

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

【原子炉隔離時冷却系ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
原子炉隔離時冷却系ポンプ	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 EL. -4.0*1	-*2	-*2	-	-	$C_H=0.87$	$C_V=0.90$	$C_P=0.46$	106	

注記 *1: 基準床レベルを示す。
*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i}^{*3} (mm)	l_{2i}^{*3} (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^{*3}	
							弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)						4	-	2
ポンプ取付ボルト (i=2)						4	-	2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^{*3} (MPa)	転倒方向		M_p (N・mm)	
					弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)	730*2	868*2	-	607	-	軸	-	-
ポンプ取付ボルト (i=2)	313*1	524*1	-	366	-	軸	-	-

注記 *1: 最高使用温度で算出
*2: 周囲環境温度で算出
*3: 各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
$H_p = \square$	$N = \square$

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	1.678×10 ⁴	—	3.887×10 ⁴
ポンプ取付ボルト (i=2)	—	4.274×10 ³	—	3.117×10 ⁴

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	σ _{b1} =27	f _{t s1} =455*
		せん断	—	—	τ _{b1} =16	f _{s b1} =350
ポンプ取付ボルト		引張り	—	—	σ _{b2} = 6	f _{t s2} =275*
		せん断	—	—	τ _{b2} =10	f _{s b2} =211

すべて許容応力以下である。

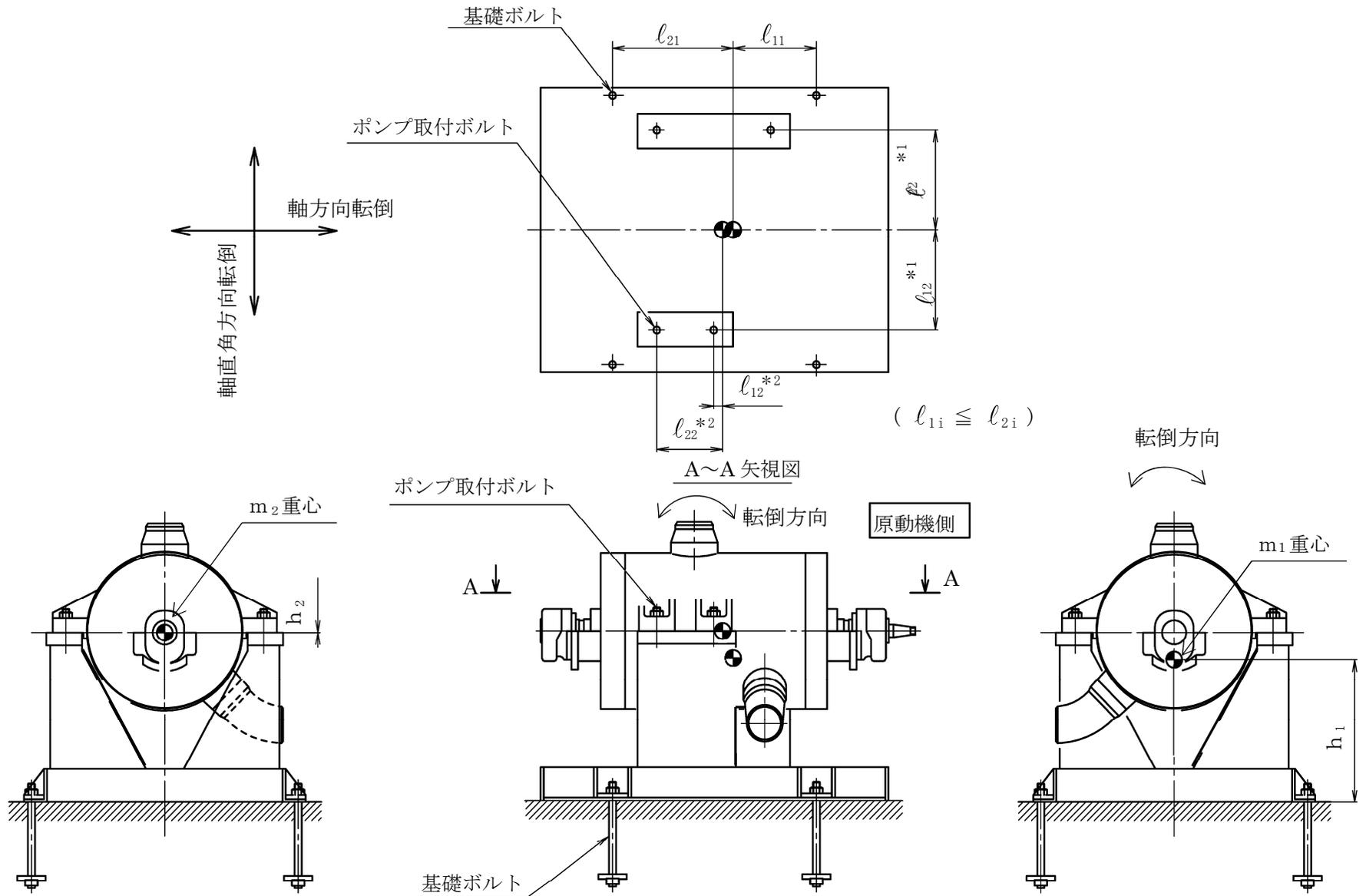
注記 * : f_{t s i} = Min[1.4 · f_{t o i} - 1.6 · τ_{b i}, f_{t o i}]より算出

2.4.2 動的機能の評価結果

(単位：×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.72	1.4
	鉛直方向	0.75	1.0

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



注記 *1: ポンプ取付ボルトの弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価時の寸法を示す。
 *2: ポンプ取付ボルトの基準地震動 S_s に対する評価時の寸法を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-384 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-5-6-1-2 原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用蒸気タービンの耐震性について
の計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
3.	構造強度評価	3
3.1	構造強度評価方法	3
3.2	荷重の組合せ及び許容応力	3
4.	機能維持評価	7
4.1	動的機能維持評価方法	7
5.	評価結果	8
5.1	設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2	重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の検討方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉隔離時冷却系タービンが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能^①を有していることを説明するものである。

原子炉隔離時冷却系タービンは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却系タービンの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
タービンはタービンベースに固定され、タービンベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	衝動螺旋流背圧式蒸気タービン	<p>(単位: mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

原子炉隔離時冷却系タービンの構造は衝動螺旋流背圧式蒸気タービンであり、構造強度評価は、添付書類「V-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉隔離時冷却系タービンの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

原子炉隔離時冷却系タービンの許容応力を表 3-3 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉隔離時冷却系タービンの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却システム施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系タービン	S	クラス 2 ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 * : クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却システム施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系タービン	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)

注記 *¹ : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*² : 重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*³ : 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため, 評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力（クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1*2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記 *1: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	[Redacted]	周囲環境温度	[Redacted]	320	507	—
タービン取付ボルト		最高使用温度	302	591	847	—

注記* : [Redacted]

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	[Redacted]	周囲環境温度	[Redacted]	320	507	—
タービン取付ボルト		最高使用温度	302	591	847	—

注記* : [Redacted]

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

原子炉隔離時冷却系タービンの地震後の動的機能維持評価について、以下に示す。

原子炉隔離時冷却系タービンは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
タービン	原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービン	水平	2.4
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉隔離時冷却系タービンの地震後の動的機能維持評価について、以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉隔離時冷却系タービンの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉隔離時冷却系タービンの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
原子炉隔離時冷却系タービン	S	原子炉建屋 EL. -4.0*1	-*2	$C_H=0.58$	$C_V=0.48$	$C_H=0.87$	$C_V=0.90$	$C_p=0.46$	302	

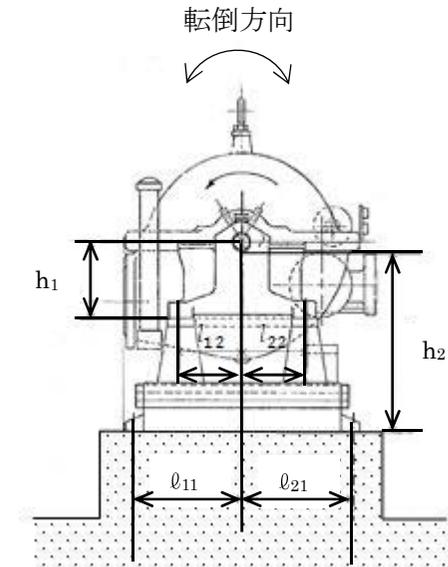
注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i} *3 (mm)	l_{2i} *3 (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi} *3	
							弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)								
タービン取付ボルト (i=2)								

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)		転倒方向		M_p (N·mm)	
			弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)	320*2	507*2	320	354	軸直角	軸直角	1.148×10^6	1.148×10^6
タービン取付ボルト (i=2)	591*1	847*1	591	592	軸直角	軸直角	1.148×10^6	1.148×10^6



注記 *1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出

*3: 各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
$H_p =$ 	$N =$

1.3 計算数値

ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	6.496×10 ³	9.712×10 ³	2.183×10 ⁴	2.791×10 ⁴
タービン取付ボルト (i=2)	1.132×10 ⁴	1.760×10 ⁴	1.764×10 ⁴	2.256×10 ⁴

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	□	引張り	σ _{b1} =15	f _{t s1} =240* ²	σ _{b1} =22	f _{t s1} =266* ¹
		せん断	τ _{b1} =8	f _{s b1} =184	τ _{b1} =11	f _{s b1} =204
タービン取付ボルト	□	引張り	σ _{b2} =58	f _{t s2} =443* ²	σ _{b2} =89	f _{t s2} =444* ¹
		せん断	τ _{b2} =45	f _{s b2} =341	τ _{b2} =57	f _{s b2} =342

すべて許容応力以下である。

注記*1: f_{t s i} = Min[1.4・f_{t o i} - 1.6・τ_{b i}, f_{t o i}]より算出

1.4.2 動的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉隔離時冷却ポンプ 駆動用蒸気タービン	水平方向	0.72	2.4
	鉛直方向	0.75	1.0

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

【原子炉隔離時冷却系タービンの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
原子炉隔離時冷却系 タービン	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建屋 EL. -4.0*1	—*2	—	—	$C_H=0.87$	$C_V=0.90$	$C_P=0.46$	302	<input type="text"/>

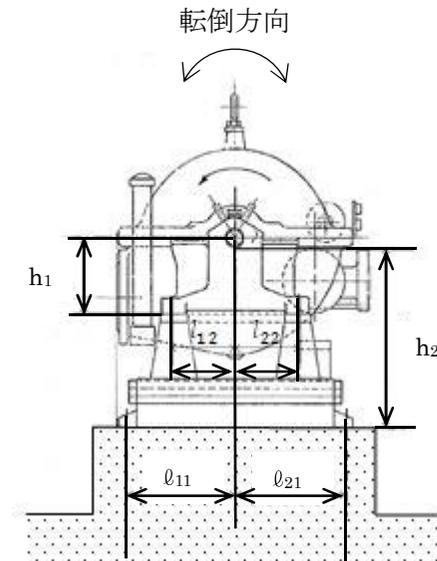
注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i} (mm) ^{*3}	l_{2i} (mm) ^{*3}	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi} ^{*3}	
							弾性設計用 地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト ($i=1$)								
タービン取付ボルト ($i=2$)								

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)		転倒方向		M_p (N·mm)	
			弾性設計用 地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用 地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用 地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト ($i=1$)	320*2	507*2	—	354	—	軸直角	—	1.148×10^6
タービン取付ボルト ($i=2$)	591*1	847*1	—	592	—	軸直角	—	1.148×10^6



注記 *1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出

*3: 各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
$H_p = \text{$	$N = \text{$

2.3 計算数値

ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	9.712×10 ³	—	2.791×10 ⁴
ポンプ取付ボルト (i=2)	—	9.964×10 ³	—	2.256×10 ⁴

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	σ _{b1} =22	f _{t s1} =266 *
		せん断	—	—	τ _{b1} =11	f _{s b1} =204
ポンプ取付ボルト		引張り	—	—	σ _{b2} =89	f _{t s2} =444 *
		せん断	—	—	τ _{b2} =57	f _{s b2} =342

すべて許容応力以下である。

注記* : f_{t s i} = Min[1.4 · f_{t o i} - 1.6 · τ_{b i}, f_{t o i}]より算出

2.4.2 動的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉隔離時冷却ポンプ 駆動用蒸気タービン	水平方向	0.72	2.4
	鉛直方向	0.75	1.0

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-433 改3
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-4-2-2 使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	12
4.3 解析モデル及び諸元	17
4.4 固有周期	21
4.5 設計用地震力	25
4.6 計算方法	27
4.7 計算条件	32
4.8 応力の評価	32
5. 評価結果	33
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	33
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	33

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、使用済燃料貯蔵ラック（以下「ラック」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

ラックは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処施設においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ラックの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ラックは、たて置形で原子炉建屋の使用済燃料プールの床に置かれた共通ベース上に設置されラック取付ボルトで固定している。共通ベースは、使用済燃料プール床に取り付けてある基礎ボルトにより固定している。</p>	<p>角管市松模様配列構造ラック</p> <p>使用済燃料貯蔵ラックは、70 体ラックが 7 個、110 体ラックが 16 個ある。</p>	<p>ラック</p> <p>シートプレート</p> <p>ラック取付ボルト</p> <p>ラックベース</p> <p>基礎ボルト</p> <p>プール底部</p> <p>共通ベース</p> <p>基礎固定部</p> <p>寸法は 110 体ラックの値 (単位: mm)</p>

2.2 評価方針

ラックの応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すラックの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することを実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

ラックの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

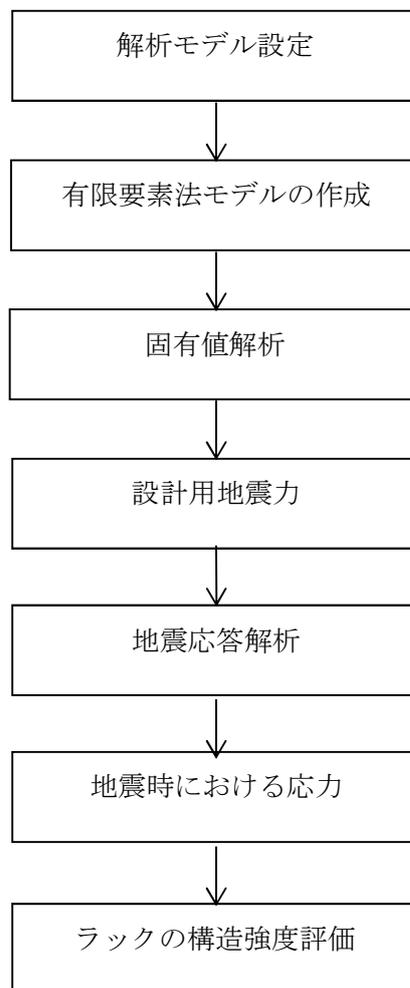


図 2-1 ラックの耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補一1984, J E A G 4 6 0 1 -1987及びJ E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会電気技術基準調査委員会 昭和59年9月, 昭和62年8月及び平成3年6月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。）） J S M E S N C 1 -2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A b	ラック取付ボルト又は基礎ボルトの軸断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 又は SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F _i	ラックベース底部に働くせん断力 (70 体又は 110 体)	N
F _{a i}	110 体ラックベース底部に働くせん断力	N
F _{b i}	共通ベース底部に働くせん断力	N
f _{j i}	ラック取付ボルト又は基礎ボルトに働く引張力 (1 本当たり)	N
f _s	部材の許容せん断応力	MPa
f _{s b}	せん断力のみを受けるラック取付ボルト又は基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _t	部材の許容引張応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受けるラック取付ボルト又は基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受けるラック取付ボルト又は基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h ₁	使用済燃料貯蔵時のラック重心高さ	mm
h ₂	共通ベース高さ	mm
ℓ _{g i}	ラックベース端又は共通ベース端から重心までの距離	mm
ℓ _{j i}	ラックベース端又は共通ベース端から各ボルトまでの距離	mm
M _i	ラックベース底部の転倒モーメント (70 体又は 110 体)	N・mm
M _{a i}	110 体ラックベース底部の転倒モーメント	N・mm
M _{b i}	共通ベース底部の転倒モーメント	N・mm
M _{c i}	110 体ラックのせん断力による共通ベース底部の転倒モーメント	N・mm
M _{t i}	ラック据付時の全体の転倒モーメント	N・mm
n	ラック取付ボルト又は基礎ボルトの全本数	—
n _{j i}	ラック取付ボルト又は基礎ボルト各部の本数	—

S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
t	部材の板厚	mm
m	使用済燃料貯蔵時のラック全質量 (70 体又は 110 体)	kg
m_a	110 体ラックの全質量	kg
m_b	共通ベースの質量	kg
m_F	燃料の質量	kg
m_R	ラックの質量	kg
m_t	ラック据付時の共通ベースの全質量	kg
m_W	ラックに含まれる水の質量	kg
σ_b	ラック取付ボルト又は基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_x, σ_y	部材に生じる引張応力	MPa
σ_{fa}	部材に生じる組合せ応力	MPa
τ_b	ラック取付ボルト又は基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{xy}	部材に生じるせん断応力	MPa

注1: $F_i, F_{ai}, F_{bi}, f_{ji}, l_{gi}, l_{ji}, M_i, M_{ai}, M_{bi}, M_{ci}, M_{ti}$ 及び n_{ji} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = N$: NS 方向

$i = E$: EW 方向

注2: f_{ji}, l_{ji} 及び n_{ji} の添字 j はボルトの列番号を示す。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
設計震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
最高使用温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* ¹
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ²
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ²
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ²
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力* ³	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における設計引張強さ及び設計降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

ラックの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる角管及びプレート、シートプレート及びラックベース、ラック取付ボルト、基礎ボルトについて実施する。ラックの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

(1)ラックは、原子炉建屋の使用済燃料プールの底部 (EL. 34.69 m) に置かれた共通ベース上に設置され、ラック取付ボルトにより固定されるものとする。

(2)ラックの質量には、使用済燃料の質量とラック自身の質量のほか、ラックに含まれる水の質量及びラック外形の排除水質量*を考慮する。

(3)地震力は、ラックに対して水平方向から作用するものとする。

ここで、水平方向地震力は、ラックの長辺方向に作用する場合と短辺方向に作用する場合を考慮する。

また、鉛直方向地震力は、水平方向地震力と同時に不利な方向に作用するものとする。

(4)構造概念図 (110 体ラックの例) を図 4-1 に、各ラックの構造概要図を図 4-2～図 4-3 に示す。

注記 * : 排除水質量とは、水中の機器の形状により排除される機器周囲の流体の質量である。

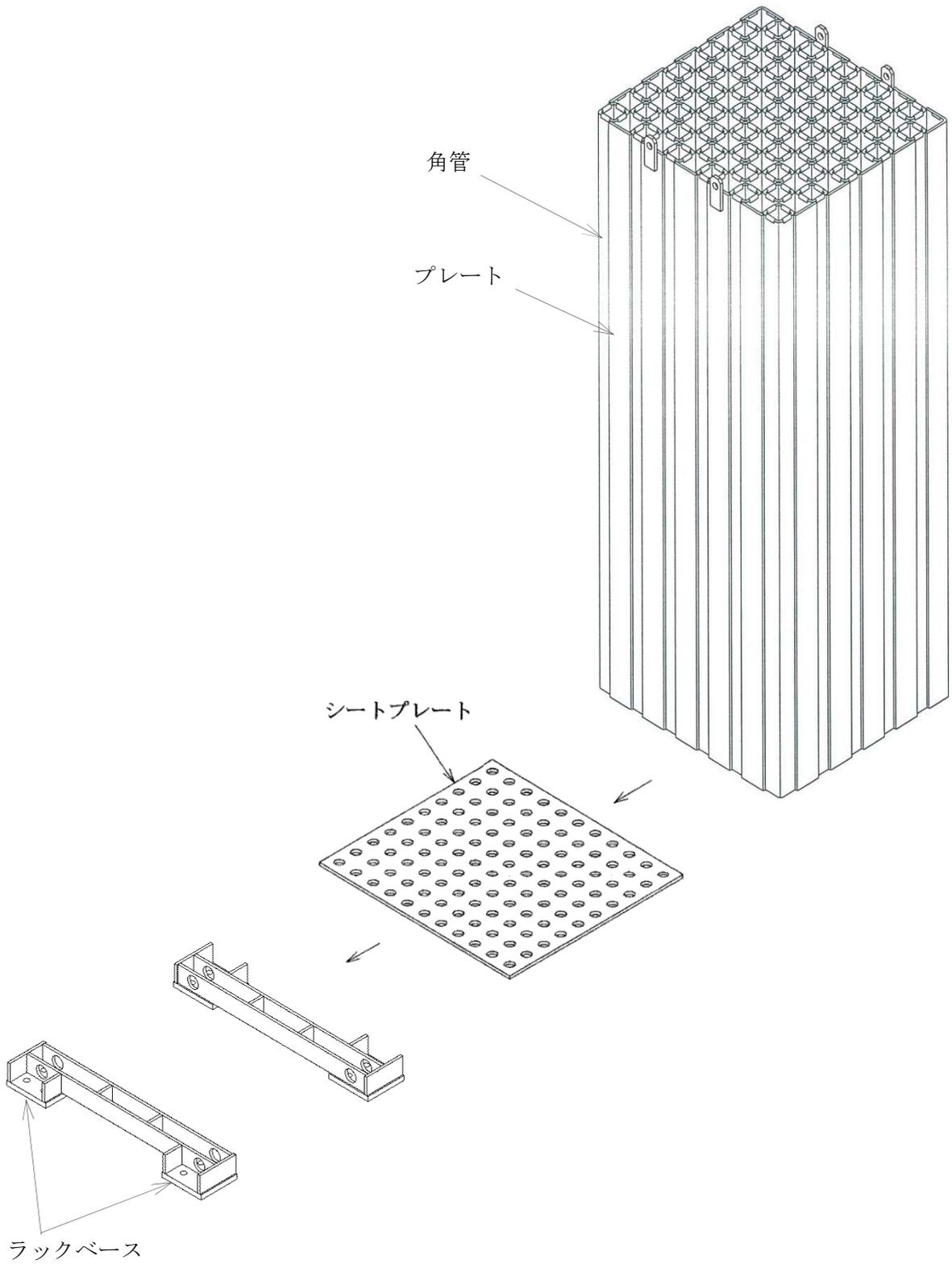


図 4-1 構造概念図 (110 体ラック)

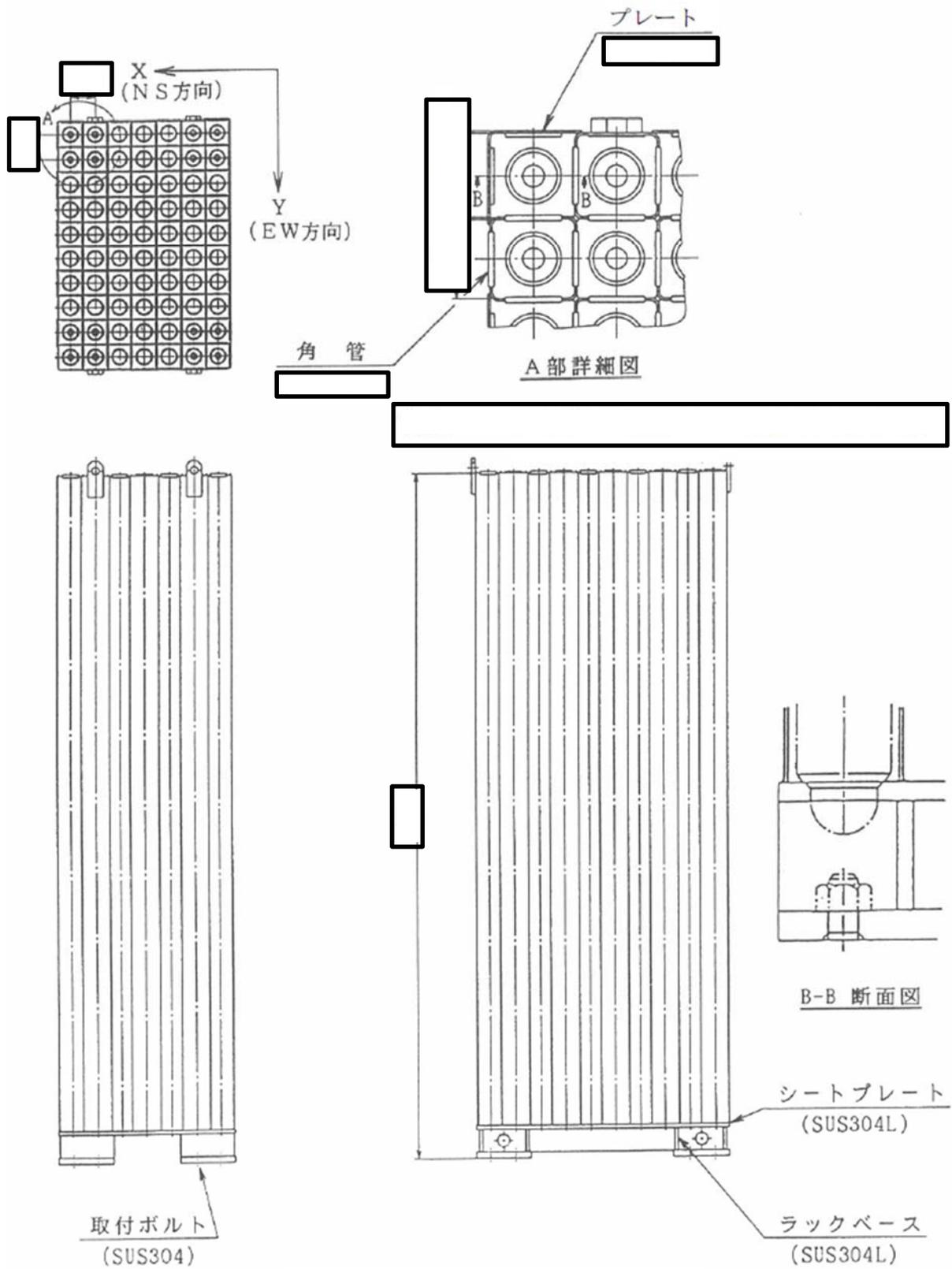


図 4-2 構造概要図 (70 体ラック) (単位 : mm)

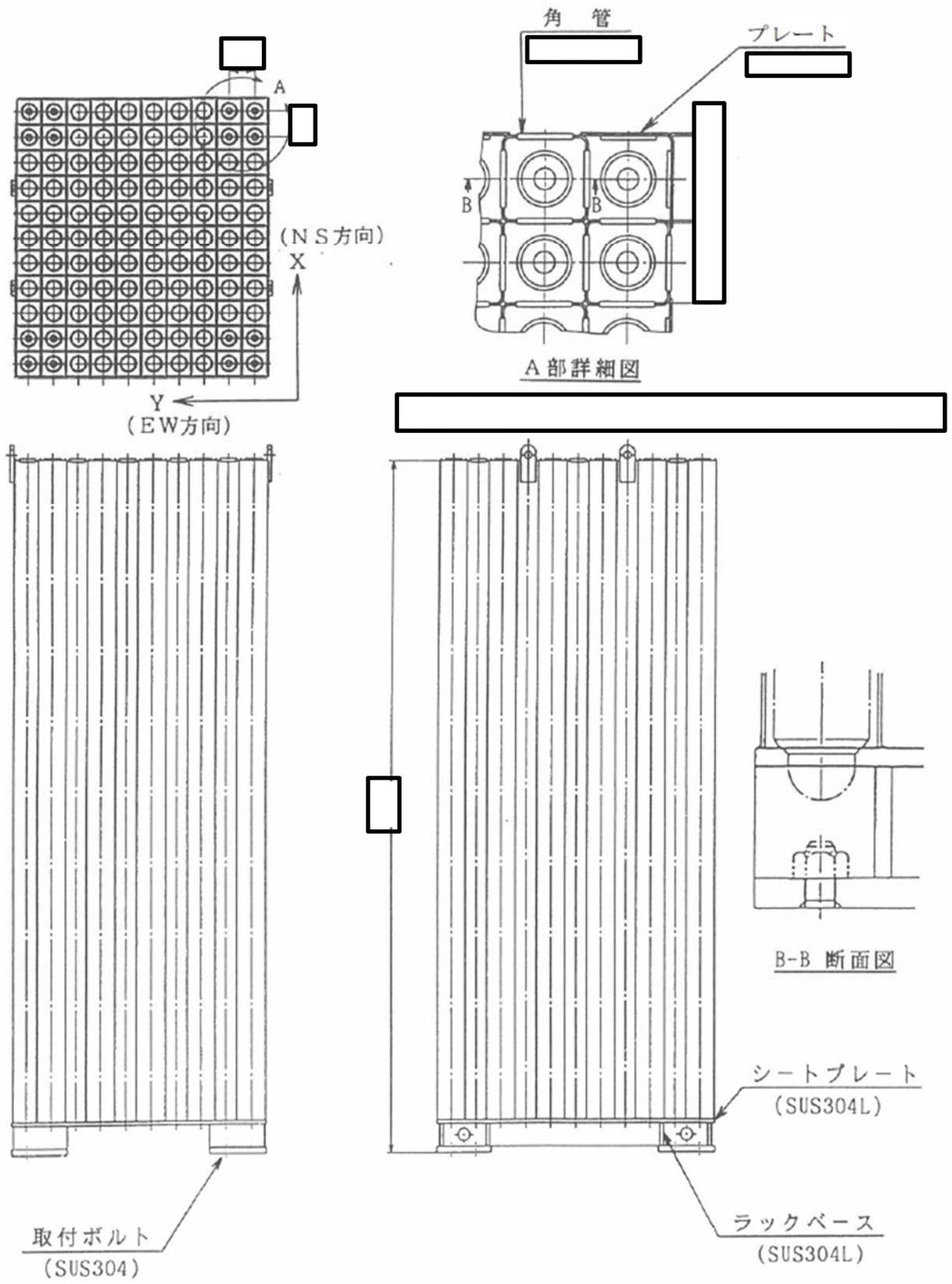


図4-3 構造概要図 (110体ラック) (単位: mm)

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ラックの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に, 重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-2に示す。

4.2.2 許容応力

ラックの許容応力を表4-3に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ラックの許容応力**評価条件**のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-4に, 重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-5に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	使用済燃料 貯蔵設備	使用済燃料 貯蔵ラック	S	—*1	$D + P_D + M_D + S_d^* \quad *2$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*2： S_s と組合せ、Ⅲ_ASの評価を実施する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	使用済燃料 貯蔵設備	使用済燃料 貯蔵ラック	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s \quad *3$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界を 用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表4-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)		許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力		一次応力	
	引張り	せん断	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる)				

注記 *1: 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2: 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y ^{*1} (MPa)	S _u ^{*1} (MPa)	S _y (RT) ^{*2} (MPa)
		最高使用温度					
角管及び プレート		最高使用温度	66	—	188 ^{*3}	479 ^{*3}	205 ^{*3}
シート プレート	SUS304L	最高使用温度	66	—	160	443	175
ラック ベース	SUS304L	最高使用温度	66	—	160	443	175
ラック取付 ボルト	SUS304	最高使用温度	66	—	188	479	205
基礎ボルト	SUS304	最高使用温度	66	—	188	479	205

注記 *1：最高使用温度 (66 °C) で算出

*2：室温で算出

*3：の S_y、S_uの値は、SUS304 の規格値を上回っているので安全側の評価とするため、S_y、S_uの値は、SUS304 の値を使用する。

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y ^{*1} (MPa)	S _u ^{*1} (MPa)	S _y (RT) ^{*2} (MPa)
角管及び プレート		最高使用温度	100	—	171 ^{*3}	441 ^{*3}	205 ^{*3}
シート プレート	SUS304L	最高使用温度	100	—	145	408	175
ラック ベース	SUS304L	最高使用温度	100	—	145	408	175
ラック取付 ボルト	SUS304	最高使用温度	100	—	171	441	205
基礎ボルト	SUS304	最高使用温度	100	—	171	441	205

注記 *1：最高使用温度（100 °C）で算出

*2：室温で算出

*3：の S_y、S_uの値は、SUS304 の規格値を上回っているので安全側の評価とするため、S_y、S_uの値は、SUS304 の値を使用する。

4.3 解析モデル及び諸元

ラックの解析モデルを図 4-4, 図 4-5 に, 解析モデルの概要を以下に示す。また, 機器の諸元を表 4-6 に示す。

ラックは, 70 体, 110 体ラック各々について, シェル要素を用いた有限要素モデルとする。

ラックは, ラックベース底部で取付ボルトを介し共通ベースに固定されている。共通ベースは剛構造であるため, ラックはそれぞれ独立した系として計算する。

また, ラックの質量には使用済燃料の質量, ラック自身の質量, ラックに含まれる水の質量及び排除水質量を考慮し, これら使用済燃料, ラックに含まれる水の質量及び排除水質量は角管及びプレート全長にわたって等分布に与える。

本ラックに使用する [] であり, [] 縦弾性係数は [] を用いるものとする。

また, 計算に用いる設計条件, 固有周期の算出及び部材とラック取付ボルト, 基礎ボルトの応力評価に用いる要目を 4 章及び 5 章に示す。

解析コードは, 「SAP-IV」を使用し, 解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については, 「V-5-3 計算機プログラム (解析コード) の概要 SAP-IV」に示す。



図 4-4 70 体ラック解析モデル

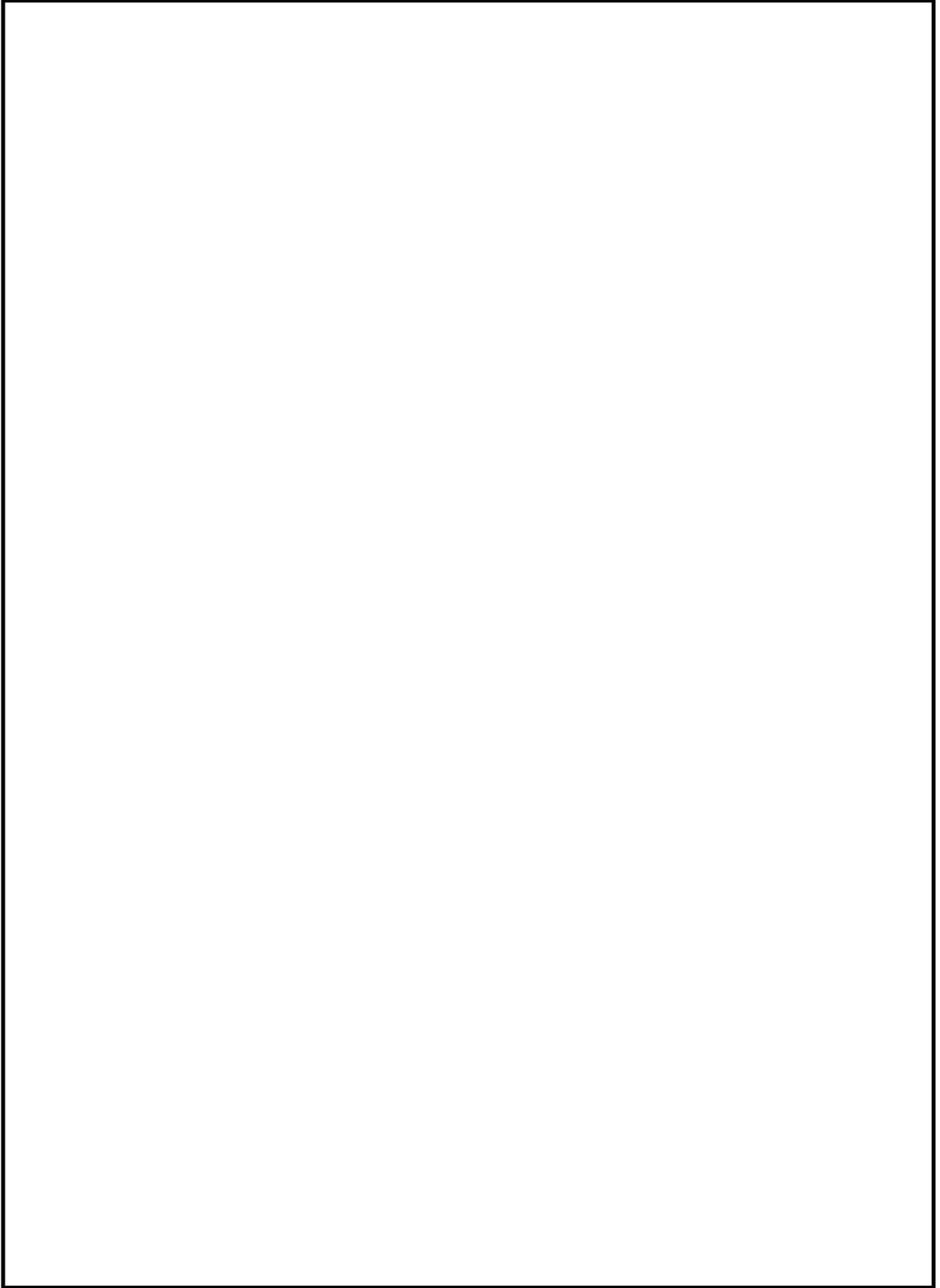


図 4-5 110 体ラック解析モデル

表4-6 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SUS304L (シートプレート及びラックベース), SUS304(ラック取付ボルト及び基礎ボルト)
質量	m	kg	
温度条件 (最高使用温度)	T	℃	66
縦弾性係数	E*1	MPa	192000(シートプレート及びラックベース), 192000(ラック取付ボルト及び基礎ボルト)
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

注記 *1 : 最高使用温度 (66 °C) で算出

*2 :

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-7 に、振動モード図を図 4-6～図 4-11 に示す。鉛直方向は、5 次モード以降で卓越し、固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 4-7 固有値解析結果

ラック	モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
				X	Y	Z
70 体 ラック	1					
	2					
	3					
	4					
110 体 ラック	1					
	2					
	3					
	4					



図 4-6 振動モード (70 体ラック 1 次モード)



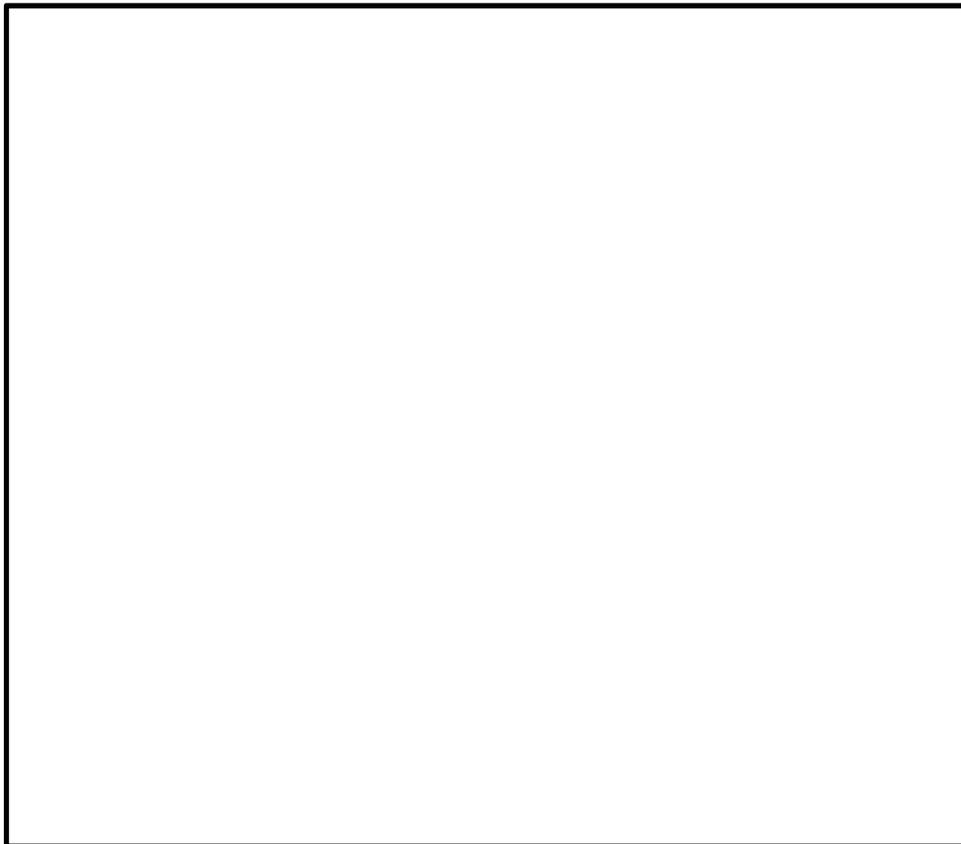


図 4-7 振動モード (70 体ラック 2 次モード)

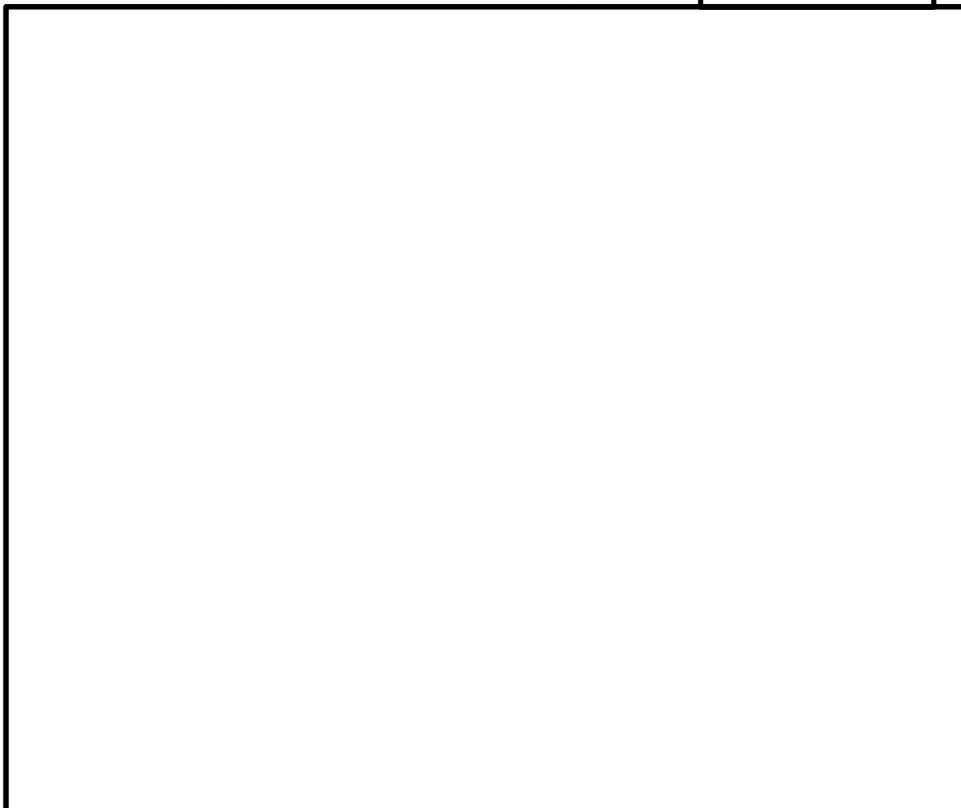


図 4-8 振動モード (70 体ラック 3 次モード)

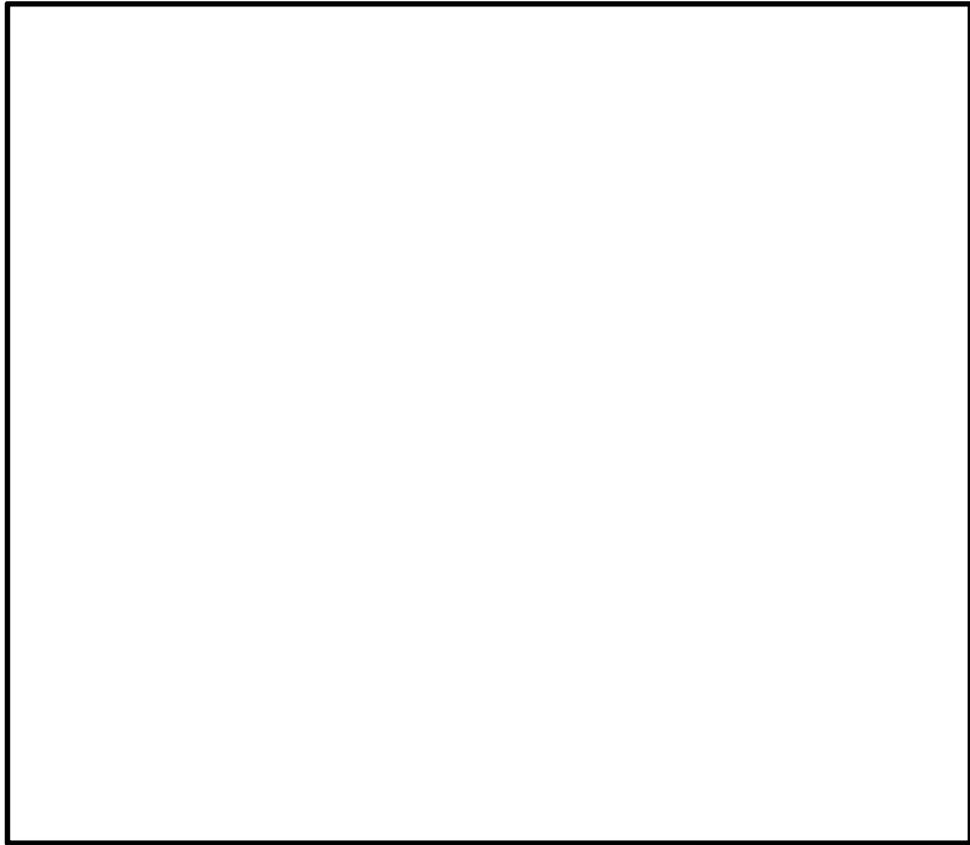


図 4-9 振動モード (110 体ラック 1 次モード)

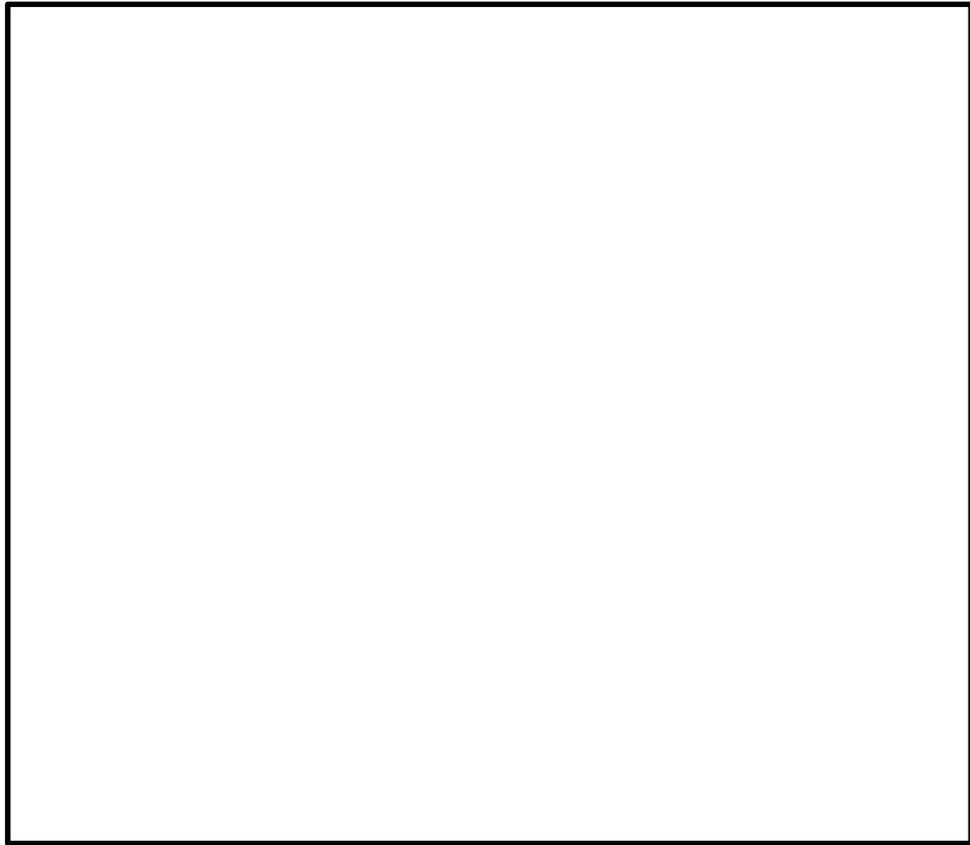


図 4-10 振動モード (110 体ラック 2 次モード)

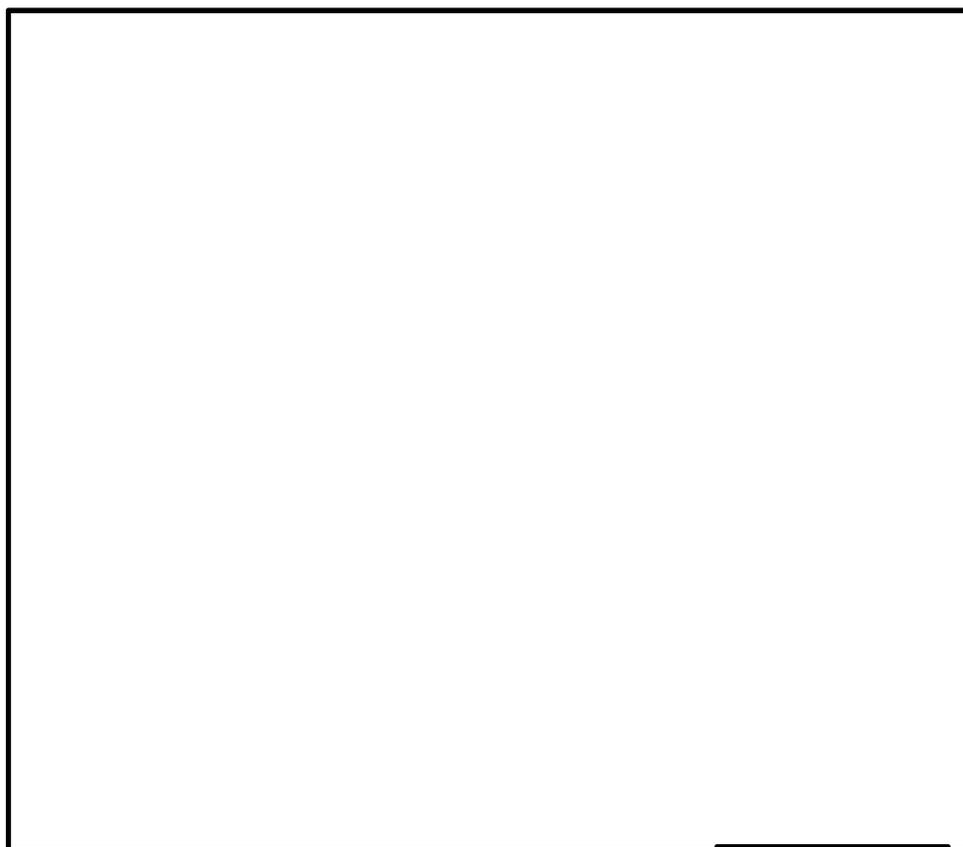


図 4-11 振動モード (110 体ラック 3 次モード)



4.5 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

評価に用いる設計用地震力を表4-8及び表4-9に示す。

表4-8 設計用地震力（設計基準対象施設）

a. 70体ラック

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		減衰定数(%)	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平 方向	鉛直 方向
原子炉建屋 EL. 34.7* ¹		0.05 以下* ²	—* ³	—* ³	$C_H =$ 1.10 又は* ⁴	$C_V = 0.90$	1.0* ⁵	—

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析より0.05秒以下であり剛であることを確認した。

*3：Ⅲ_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。

*4：基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

*5：溶接構造物に適用される減衰定数の値。

b. 110体ラック

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		減衰定数(%)	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平 方向	鉛直 方向
原子炉建屋 EL. 34.7* ¹		0.05 以下* ²	—* ³	—* ³	$C_H =$ 1.10 又は* ⁴	$C_V = 0.90$	1.0* ⁵	—

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析より0.05秒以下であり剛であることを確認した。

*3：Ⅲ_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。

*4：基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

*5：溶接構造物に適用される減衰定数の値。

表 4-9 設計用地震力（重大事故等対処設備）

a. 70 体ラック

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		減衰定数(%)	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平 方向	鉛直 方向
原子炉建屋 EL. 34.7* ¹		0.05* ² 以下	—	—	$C_H =$ 1.10 又は* ³	$C_V = 0.90$	1.0* ⁴	—

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

*3：基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

*4：溶接構造物に適用される減衰定数の値。

b. 110 体ラック

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		減衰定数(%)	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平 方向	鉛直 方向
原子炉建屋 EL. 34.7* ¹		0.05* ³ 以下	—	—	$C_H =$ 1.10 又は* ³	$C_V = 0.90$	1.0* ⁴	—

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

*3：基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

*4：溶接構造物に適用される減衰定数の値。

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

4.6.1.1 部材の応力

部材についての応力計算は，図 4-4，図 4-5 の解析モデルにて，角管及びプレート，シートプレート，ラックベースから成る系全体での応力計算を解析コード「SAP-IV」を使用して行い，引張応力，せん断応力を求め，本項に示す計算方法に従って組合せ応力を計算する。

計算機コード内では，各部材の局所座標系及びせん断応力 τ_{xy} ，引張応力 σ_x ， σ_y の働く向きを図 4-6 に示すように設定している。

各シェル部材の組合せ応力 σ_{fa} は，上述で計算したせん断応力 τ_{xy} ，引張応力 σ_x ， σ_y を用いて (4.6.1) 式より求める。

$$\sigma_{fa} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \dots \dots \dots (4.6.1)$$

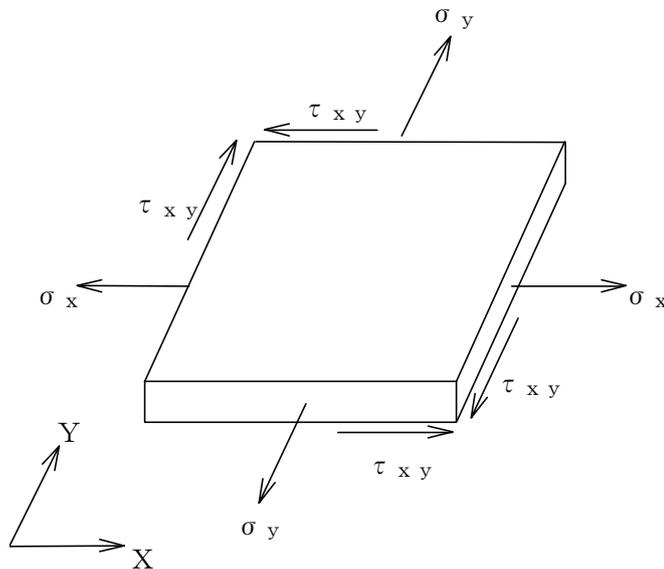


図 4-6 部材の応力計算モデル

4.6.1.2 ラック取付ボルトの応力

ラックの系全体での荷重計算を解析コード「SAP-IV」を使用して行い、求められた地震時のラックに作用する転倒モーメント M_i 及びラックベース底部に作用するせん断力 F_i が、ラックに図4-7のように負荷されるものとしてラック取付ボルトの応力を求める。

ラック取付ボルトの荷重状態を図4-7に示す。

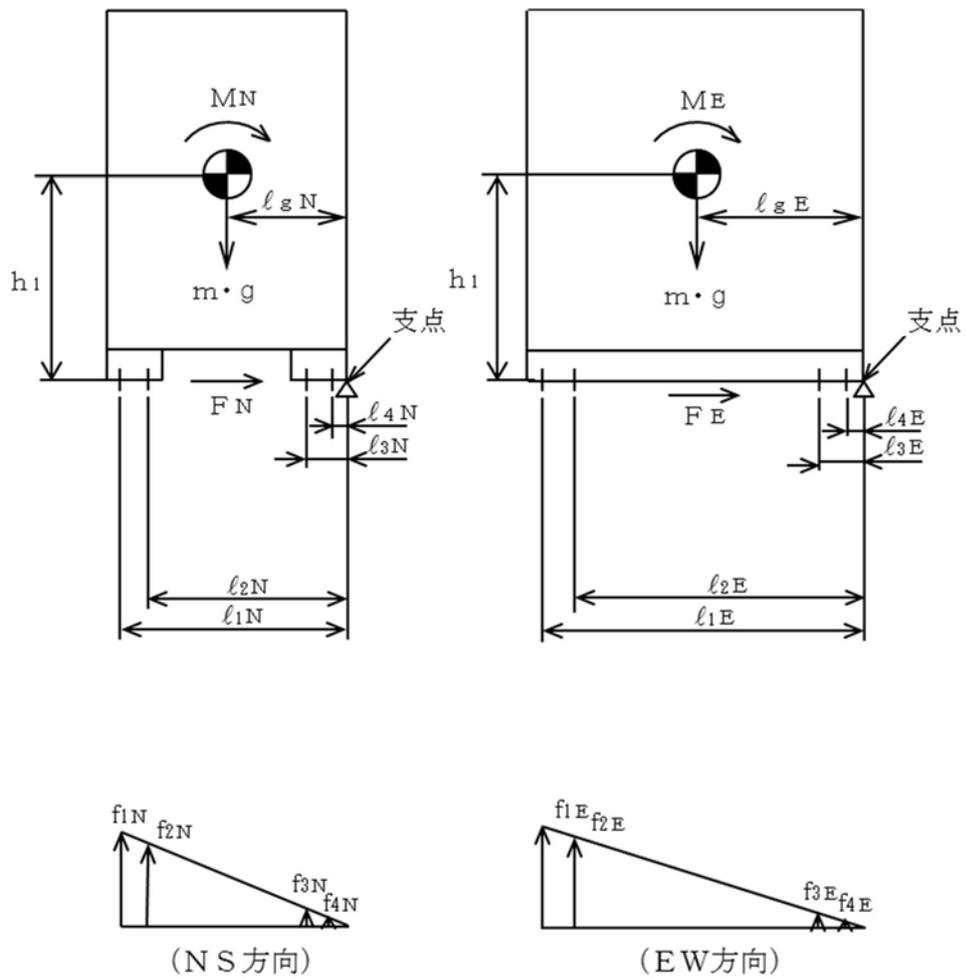


図4-7 ラック取付ボルトの荷重状態

(1) 引張応力

図 4-7 において支点回りのモーメントの平衡によりラック取付ボルト 1 本当たりの引張力 $f_{1i} \sim f_{ji}$ を求める。

$f_{1i} > f_{2i} > \dots > f_{ji}$ の関係にあるので f_{1i} のみを (4.6.2) 式より求める。

$$f_{1i} = \frac{l_{1i} \cdot \{M_i - (1 - C_v) \cdot m \cdot g \cdot l_{gi}\}}{n_{1i} \cdot l_{1i}^2 + n_{2i} \cdot l_{2i}^2 + \dots + n_{ji} \cdot l_{ji}^2} \quad \dots \quad (4.6.2)$$

したがって、引張力 f_{1i} によりラック取付ボルトに生じる引張応力 σ_b は、(4.6.3) 式より求める。

$$\sigma_b = \frac{f_{1i}}{A_b} \quad \dots \quad (4.6.3)$$

ただし、 f_{1i} の値が負となった場合は、引張力が生じないので以後の引張応力の計算は省略する。

(2) せん断応力

せん断力 F_i によりラック取付ボルトに生じるせん断応力 τ_b は、(4.6.4) 式より求める。

$$\tau_b = \frac{F_i}{n \cdot A_b} \quad \dots \quad (4.6.4)$$

4.6.1.3 基礎ボルトの応力

共通ベースの種類としては110体ラック1台と70体ラック1台設置用が4台、110体ラック2台設置用が3台、110体ラック2台と70体ラック1台設置用が3台あり、この中で荷重条件が厳しい110体ラック2台設置用について以下に示す。

本ケースのラック及び共通ベースに作用する水平方向の力は合計18本の共通ベース基礎ボルトで固定される。地震時に発生するラック据付時の全体の転倒モーメント M_{ti} 及び共通ベース底部に作用するせん断力 F_{bi} が、ラック及び共通ベースから成る系全体において図4-8のように負荷されるものとして基礎ボルトの応力を求める。

基礎ボルトの荷重状態を図4-8に示す。

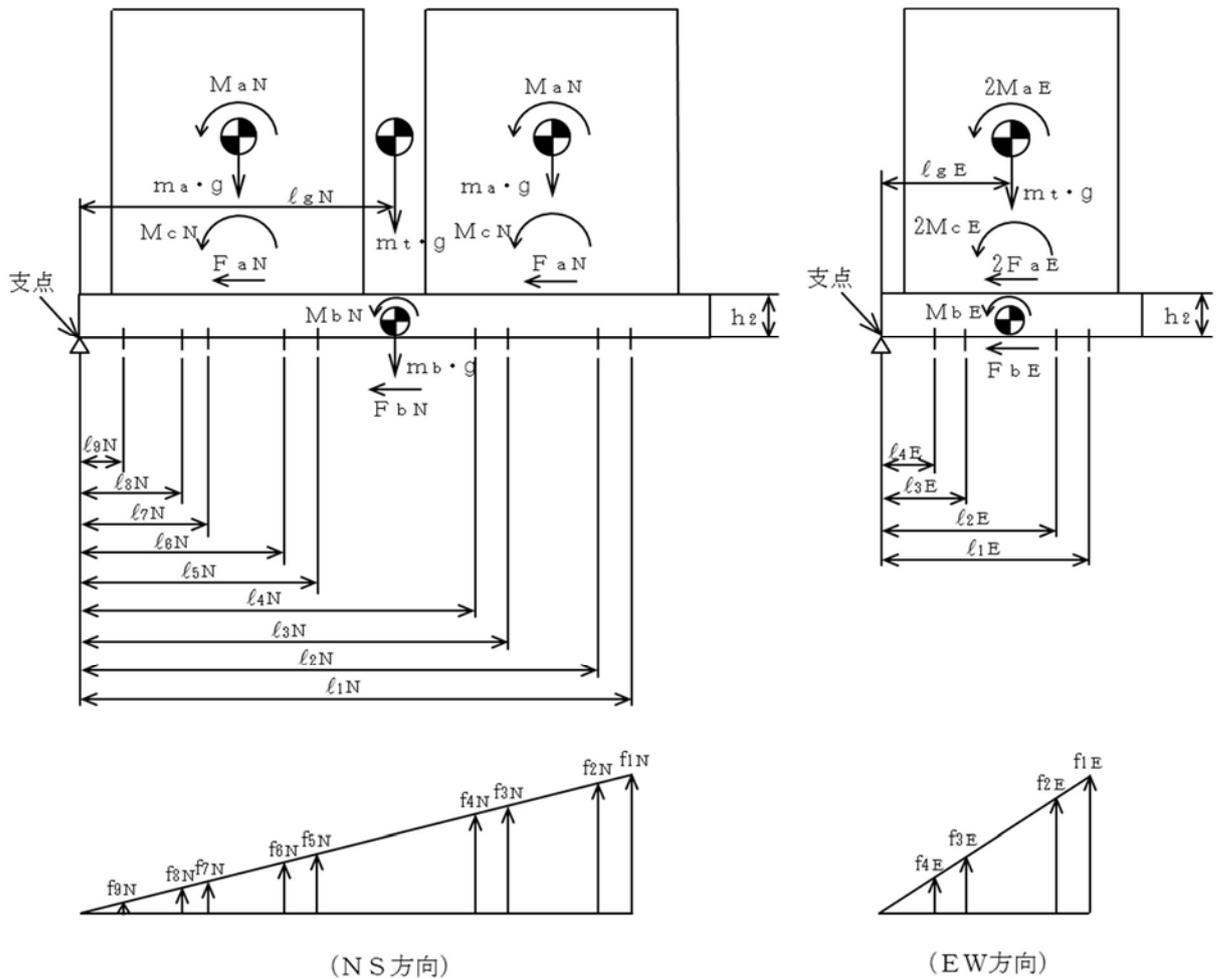


図4-8 基礎ボルトの荷重状態

(1) 引張応力

図4-8において支点回りのモーメントの平衡により基礎ボルト1本当たりの引張力 $f_{1i} \sim f_{ji}$ を求める。

$f_{1i} > f_{2i} > \dots > f_{ji}$ の関係にあるので f_{1i} のみを(4.6.5)式より求める。

$$f_{1i} = \frac{l_{1i} \cdot \{M_{ti} - (1 - C_v) \cdot m_t \cdot g \cdot l_{gi}\}}{n_{1i} \cdot l_{1i}^2 + n_{2i} \cdot l_{2i}^2 + \dots + n_{ji} \cdot l_{ji}^2} \quad \dots \quad (4.6.5)$$

ここで、

$$M_{ti} = 2 \cdot M_{ai} + M_{bi} + 2 \cdot M_{ci}$$

$$M_{ci} = F_{ai} \cdot h_2$$

$$m_t = 2 \cdot m_a + m_b$$

したがって、引張力 f_{1i} により基礎ボルトに生じる引張応力 σ_b は、(4.6.6)式より求める。

$$\sigma_b = \frac{f_{1i}}{A_b} \quad \dots \quad (4.6.6)$$

ただし、 f_{1i} の値が負となった場合は、引張力が生じないので以後の引張応力の計算は省略する。

(2) せん断応力

せん断力 F_{bi} により基礎ボルトに生じるせん断応力 τ_b は、(4.6.7)式より求める。

$$\tau_b = \frac{F_{bi}}{n \cdot A_b} \quad \dots \quad (4.6.7)$$

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は、本計算書の【使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 部材の応力評価

4.6.1.1 項で求めた各部材の引張応力 σ_x 、 σ_y 及び組合せ応力 σ_{fa} が、許容引張応力 f_t 以下であること。

また、4.6.1.1 項で求めた各部材のせん断応力 τ_{xy} が、許容せん断応力 f_s 以下であること。

ただし、 f_t 及び f_s は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5^*$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5^*$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5^*$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5^*$

注記 * : の引張強さと降伏点 (0.2 %耐力) の値は、SUS304 の規格値を上回っているので安全側の評価とするため、F 値は SUS304 の値を使用する。

4.8.2 ラック取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価

4.6.1.2 項、4.6.1.3 項で求めたラック取付ボルト、基礎ボルトの引張応力 σ_b が、次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

また、4.6.1.2 項、4.6.1.3 項で求めたラック取付ボルト、基礎ボルトのせん断応力 τ_b が、せん断力のみを受けるラック取付ボルト、基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \dots \dots \dots (4.8.1)$$

かつ、

$$f_{ts} \leq f_{to} \quad \dots \dots \dots (4.8.2)$$

ただし、 f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ラックの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。なお、弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ラックの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	ラック	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			
使用済燃料貯蔵ラック	S	原子炉建屋 EL. 34.7*1	70体ラック	□	0.05以下	—*2	—*2	$C_H=1.10$ 又は*3	$C_V=0.90$	—	66	—
			110体ラック		0.05以下	—*2	—*2	$C_H=1.10$ 又は*3	$C_V=0.90$			

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: III_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。

*3: 基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

1.2 ラック取付ボルトの応力評価に用いる要目

ラック	m (kg)	m_F (kg)	m_R (kg)	m_w (kg)	h_1 (mm)	l_{1N} (mm)	l_{2N} (mm)	l_{3N} (mm)	l_{4N} (mm)	l_{1E} (mm)	l_{2E} (mm)	l_{3E} (mm)	l_{4E} (mm)	l_{gN} (mm)	l_{gE} (mm)
70体ラック	□				2100	1072	909	257	94	1561	1398	257	94	583	827.5
110体ラック	□				2100	1724	1561	257	94	1561	1398	257	94	909	827.5

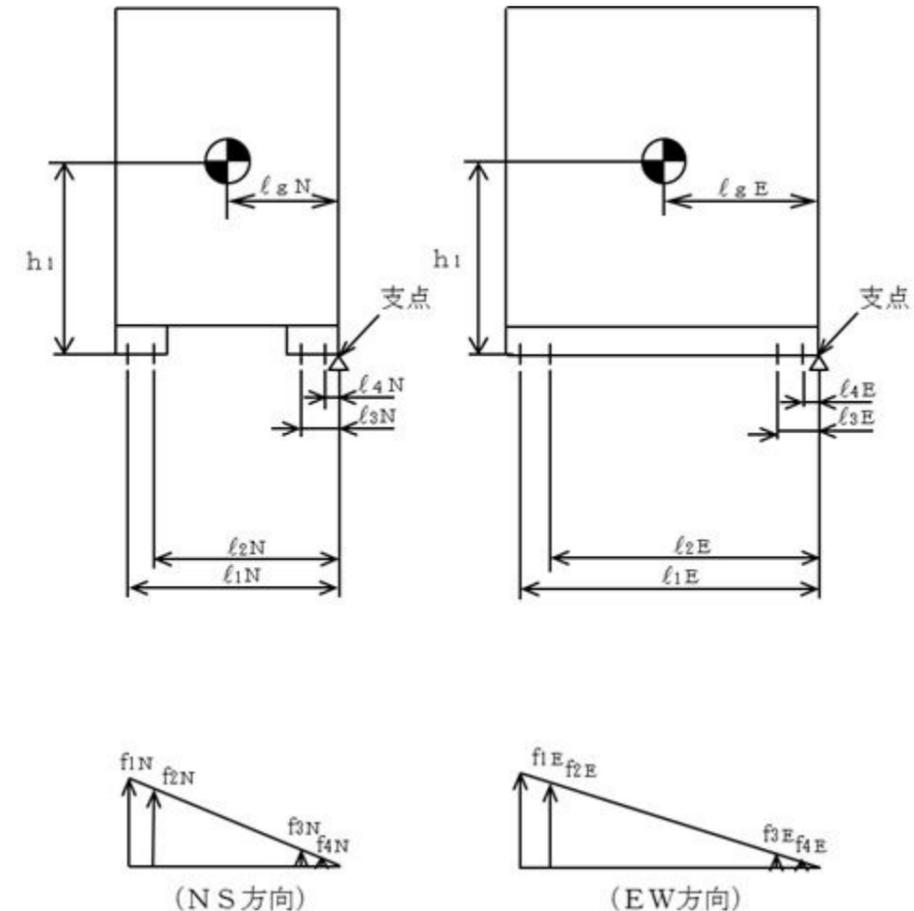
A_b (mm ²)	n	n_{1N}	n_{2N}	n_{3N}	n_{4N}	n_{1E}	n_{2E}	n_{3E}	n_{4E}
1017.9 (M36)	16	4	4	4	4	4	4	4	4
1017.9 (M36)	16	4	4	4	4	4	4	4	4

ラック取付ボルト材料	S_y *1 (MPa)	S_y (RT)*2 (MPa)	S_u *1 (MPa)	F (ラック取付ボルト) (MPa)	F* (ラック取付ボルト) (MPa)
SUS304	188	205	479	205	205
SUS304	188	205	479	205	205

注記 *1: 最高使用温度 (66 °C) で算出

*2: 室温で算出

ラック	地震力の種類	F_N (N)	F_E (N)	M_N (N・mm)	M_E (N・mm)
70体ラック	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	—	—	—	—
	基準地震動 S_s	4.767×10^5	3.465×10^5	1.152×10^9	7.993×10^8
110体ラック	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	—	—	—	—
	基準地震動 S_s	5.407×10^5	5.407×10^5	1.263×10^9	1.341×10^9



1.3 基礎ボルトの応力評価に用いる要目

	m_t (kg)	m_b (kg)	h_2 (mm)	l_{1N} (mm)	l_{2N} (mm)	l_{3N} (mm)	l_{4N} (mm)	l_{5N} (mm)	l_{6N} (mm)	l_{7N} (mm)	l_{8N} (mm)	l_{9N} (mm)	l_{1E} (mm)	l_{2E} (mm)	l_{3E} (mm)	l_{4E} (mm)
共通ベース			195	3264	3191	2634	2561	1374	1301	744	671	114	1572	1415	270	113

l_{gN} (mm)	l_{gE} (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{1N}	n_{2N}	n_{3N}	n_{4N}	n_{5N}	n_{6N}	n_{7N}	n_{8N}	n_{9N}	n_{1E}	n_{2E}	n_{3E}	n_{4E}
1929.75	842.5	1551.8 (1 3/4-5UNC)	18	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	5	4	5

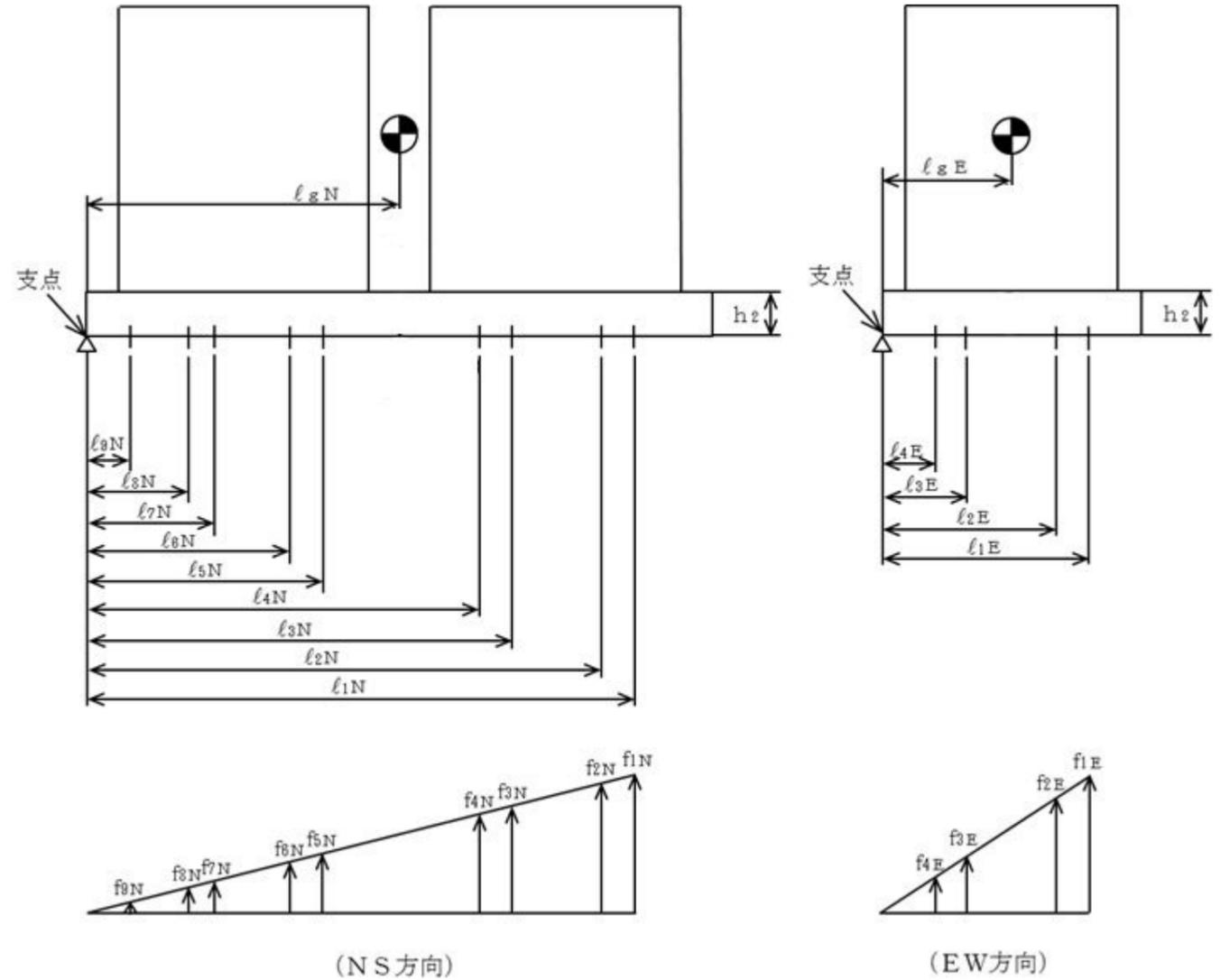
基礎ボルト材料	S_y^{*1} (MPa)	$S_y(RT)^{*2}$ (MPa)	S_u^{*1} (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
SUS304	188	205	479	205	205

注記 *1: 最高使用温度 (66 °C) で算出

*2: 室温で算出

地震力の種類	F_{aN} (N)	F_{aE} (N)	F_{bN} (N)	F_{bE} (N)
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	—	—	—	—
基準地震動 S_s	5.407×10^5	5.407×10^5	1.103×10^6	1.103×10^6

M_{aN} (N・mm)	M_{aE} (N・mm)	M_{bN} (N・mm)	M_{bE} (N・mm)
—	—	—	—
1.263×10^9	1.341×10^9	2.151×10^6	2.151×10^6



1.4 計算数値

1.4.1 部材に生じる応力

(1) 角管及びプレート

(単位：MPa)

ラック	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			N S 方向	E W 方向	N S 方向	E W 方向
70 体 ラック		引張り σ_x	—	—	5	5
		引張り σ_y	—	—	37	21
		せん断 τ_{xy}	—	—	28	17
		組合せ σ_{fa}	—	—	59	35
110 体 ラック		引張り σ_x	—	—	7	5
		引張り σ_y	—	—	31	36
		せん断 τ_{xy}	—	—	30	19
		組合せ σ_{fa}	—	—	59	47

(2) シートプレート及びラックベース

(単位：MPa)

ラック	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			N S 方向	E W 方向	N S 方向	E W 方向
70 体 ラック	SUS304L	引張り σ_x	—	—	14	5
		引張り σ_y	—	—	55	20
		せん断 τ_{xy}	—	—	10	4
		組合せ σ_{fa}	—	—	52	19
110 体 ラック		引張り σ_x	—	—	14	12
		引張り σ_y	—	—	20	42
		せん断 τ_{xy}	—	—	15	15
		組合せ σ_{fa}	—	—	31	46

1.4.2 ラック取付ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

ラック取付 ボルト	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
70 体 ラック	SUS304	引張り σ_b	—	—	146	67
		せん断 τ_b	—	—	30	22
110 体 ラック		引張り σ_b	—	—	94	112
		せん断 τ_b	—	—	34	34

1.4.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

基礎ボルト	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
共通ベース	SUS304	引張り σ_b	—	—	69	141
		せん断 τ_b	—	—	40	40

1.5 応力

(1) 部材に生じる応力

a. 角管及びプレート

(単位：MPa)

ラック	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
70 体 ラック		引張り	$\sigma_x = 5^*$	$f_t = 205$	$\sigma_x = 5$	$f_t = 205$
		引張り	$\sigma_y = 37^*$	$f_t = 205$	$\sigma_y = 37$	$f_t = 205$
		せん断	$\tau_{xy} = 28^*$	$f_s = 118$	$\tau_{xy} = 28$	$f_s = 118$
		組合せ	$\sigma_{fa} = 59^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 59$	$f_t = 205$
110 体 ラック		引張り	$\sigma_x = 7^*$	$f_t = 205$	$\sigma_x = 7$	$f_t = 205$
		引張り	$\sigma_y = 31^*$	$f_t = 205$	$\sigma_y = 31$	$f_t = 205$
		せん断	$\tau_{xy} = 30^*$	$f_s = 118$	$\tau_{xy} = 30$	$f_s = 118$
		組合せ	$\sigma_{fa} = 59^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 59$	$f_t = 205$

注記 *：基準地震動 S_s による算出応力の値

すべて許容応力以下である。

b. シートプレート及びラックベース

(単位：MPa)

ラック	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
70 体 ラック	SUS304L	引張り	$\sigma_x = 14^*$	$f_t = 175$	$\sigma_x = 14$	$f_t = 175$
		引張り	$\sigma_y = 55^*$	$f_t = 175$	$\sigma_y = 55$	$f_t = 175$
		せん断	$\tau_{xy} = 10^*$	$f_s = 101$	$\tau_{xy} = 10$	$f_s = 101$
		組合せ	$\sigma_{fa} = 52^*$	$f_t = 175$	$\sigma_{fa} = 52$	$f_t = 175$
110 体 ラック	SUS304L	引張り	$\sigma_x = 12^*$	$f_t = 175$	$\sigma_x = 12$	$f_t = 175$
		引張り	$\sigma_y = 42^*$	$f_t = 175$	$\sigma_y = 42$	$f_t = 175$
		せん断	$\tau_{xy} = 15^*$	$f_s = 101$	$\tau_{xy} = 15$	$f_s = 101$
		組合せ	$\sigma_{fa} = 46^*$	$f_t = 175$	$\sigma_{fa} = 46$	$f_t = 175$

注記 *：基準地震動 S_s による算出応力の値

すべて許容応力以下である。

(2) ラック取付ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

ラック取付ボルト	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
70 体 ラック	SUS304	引張り	$\sigma_b = 146^{*1}$	$f_{ts} = 153^{*2}$	$\sigma_b = 146$	$f_{ts} = 153^{*2}$
		せん断	$\tau_b = 30^{*1}$	$f_{sb} = 118$	$\tau_b = 30$	$f_{sb} = 118$
引張り		$\sigma_b = 112^{*1}$	$f_{ts} = 153^{*2}$	$\sigma_b = 112$	$f_{ts} = 153^{*2}$	
せん断		$\tau_b = 34^{*1}$	$f_{sb} = 118$	$\tau_b = 34$	$f_{sb} = 118$	

注記 *1：基準地震動 S_s による算出応力の値*2： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出
すべて許容応力以下である。

(3) 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

基礎ボルト	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
共通ベース	SUS304	引張り	$\sigma_b = 141^{*1}$	$f_{ts} = 150^{*2}$	$\sigma_b = 141$	$f_{ts} = 150^{*2}$
		せん断	$\tau_b = 40^{*1}$	$f_{sb} = 118$	$\tau_b = 40$	$f_{sb} = 118$

注記 *1：基準地震動 S_s による算出応力の値*2： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出
すべて許容応力以下である。

【使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	ラック	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			
使用済燃料貯蔵ラック	S	原子炉建屋 EL. 34.7*1	70体ラック	□	0.05以下	—	—	$C_H=1.10$ 又は*2	$C_V=0.90$	—	100	—
			110体ラック		0.05以下	—	—	$C_H=1.10$ 又は*2	$C_V=0.90$			

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

2.2 ラック取付ボルトの応力評価に用いる要目

ラック	m (kg)	m_F (kg)	m_R (kg)	m_w (kg)	h_1 (mm)	l_{1N} (mm)	l_{2N} (mm)	l_{3N} (mm)	l_{4N} (mm)	l_{1E} (mm)	l_{2E} (mm)	l_{3E} (mm)	l_{4E} (mm)	l_{gN} (mm)	l_{gE} (mm)
70体ラック	□	□	□	□	2100	1072	909	257	94	1561	1398	257	94	583	827.5
110体ラック					2100	1724	1561	257	94	1561	1398	257	94	909	827.5

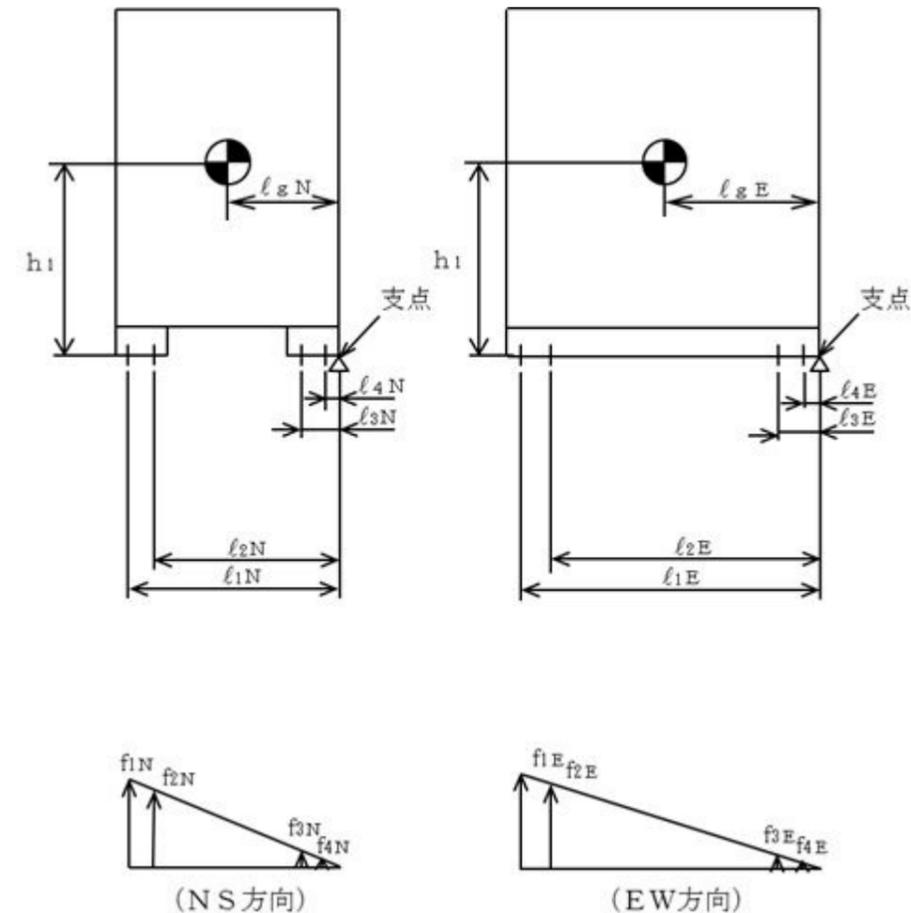
A_b (mm ²)	n	n_{1N}	n_{2N}	n_{3N}	n_{4N}	n_{1E}	n_{2E}	n_{3E}	n_{4E}
1017.9 (M36)	16	4	4	4	4	4	4	4	4
1017.9 (M36)	16	4	4	4	4	4	4	4	4

ラック取付ボルト材料	S_y *1 (MPa)	S_y (RT)*2 (MPa)	S_u *1 (MPa)	F (ラック取付ボルト) (MPa)	F* (ラック取付ボルト) (MPa)
SUS304	171	205	441	205	205
SUS304	171	205	441	205	205

注記 *1: 最高使用温度 (100 °C) で算出

*2: 室温で算出

ラック	地震力の種類	F_N (N)	F_E (N)	M_N (N・mm)	M_E (N・mm)
70体ラック	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	—	—	—	—
	基準地震動 S_s	4.767×10^5	3.465×10^5	1.152×10^9	7.993×10^8
110体ラック	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	—	—	—	—
	基準地震動 S_s	5.407×10^5	5.407×10^5	1.263×10^9	1.341×10^9



2.3 基礎ボルトの応力評価に用いる要目

	m_t (kg)	m_b (kg)	h_2 (mm)	l_{1N} (mm)	l_{2N} (mm)	l_{3N} (mm)	l_{4N} (mm)	l_{5N} (mm)	l_{6N} (mm)	l_{7N} (mm)	l_{8N} (mm)	l_{9N} (mm)	l_{1E} (mm)	l_{2E} (mm)	l_{3E} (mm)	l_{4E} (mm)
共通ベース			195	3264	3191	2634	2561	1374	1301	744	671	114	1572	1415	270	113

l_{gN} (mm)	l_{gE} (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{1N}	n_{2N}	n_{3N}	n_{4N}	n_{5N}	n_{6N}	n_{7N}	n_{8N}	n_{9N}	n_{1E}	n_{2E}	n_{3E}	n_{4E}
1929.75	842.5	1551.8 (1 3/4-5UNC)	18	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	5	4	5

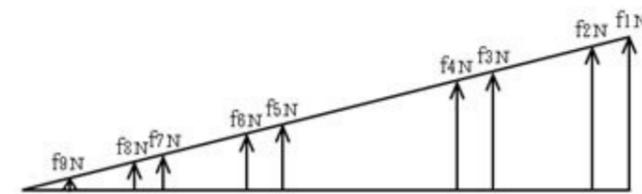
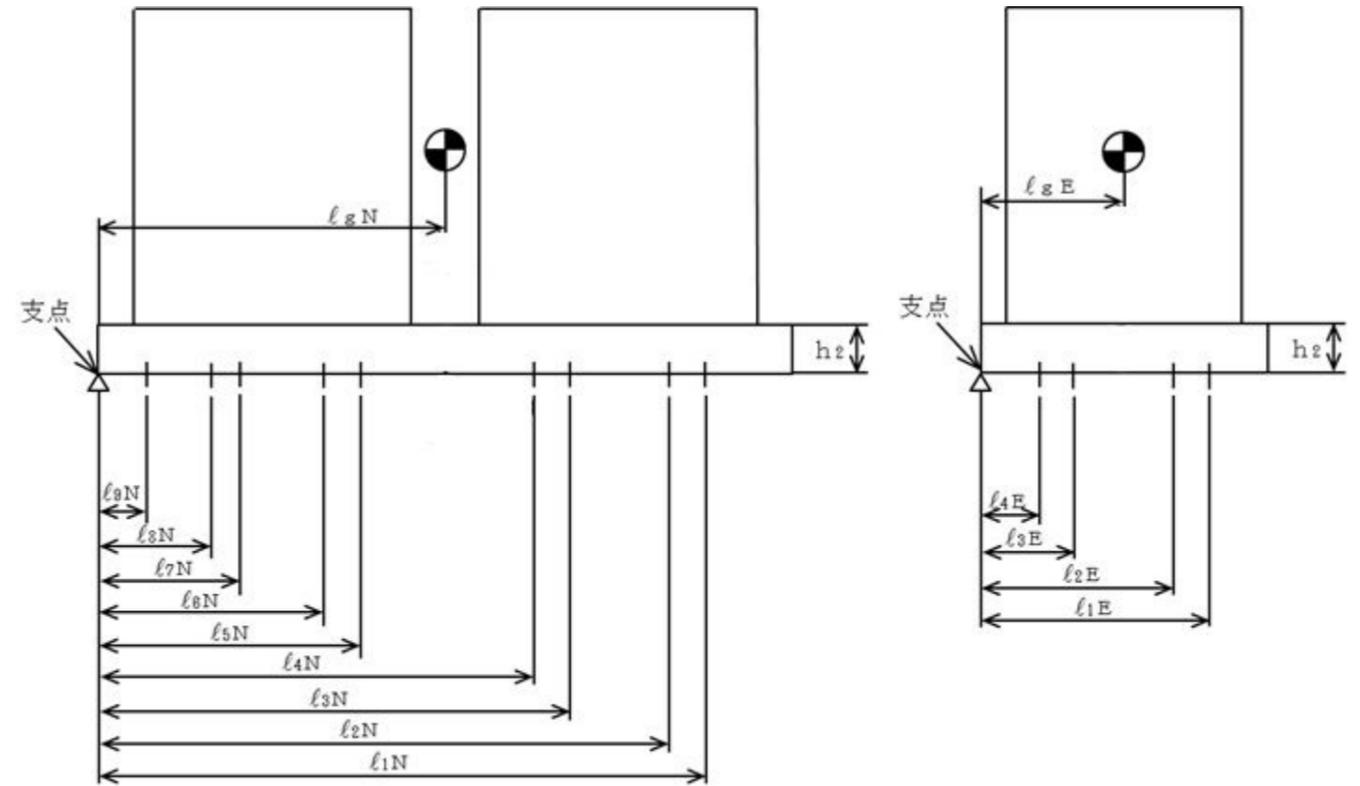
基礎ボルト材料	S_y^{*1} (MPa)	$S_y(RT)^{*2}$ (MPa)	S_u^{*1} (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
SUS304	171	205	441	205	205

注記 *1: 最高使用温度 (100 °C) で算出

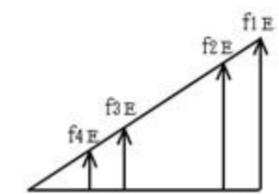
*2: 室温で算出

地震力の種類	F_{aN} (N)	F_{aE} (N)	F_{bN} (N)	F_{bE} (N)
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	—	—	—	—
基準地震動 S_s	5.407×10^5	5.407×10^5	1.103×10^6	1.103×10^6

M_{aN} (N・mm)	M_{aE} (N・mm)	M_{bN} (N・mm)	M_{bE} (N・mm)
—	—	—	—
1.263×10^9	1.341×10^9	2.151×10^6	2.151×10^6



(NS方向)



(EW方向)

2.4 計算数値

2.4.1 部材に生じる応力

(1) 角管及びプレート

(単位：MPa)

ラック	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			N S 方向	E W 方向	N S 方向	E W 方向
70 体 ラック		引張り σ_x	—	—	5	5
		引張り σ_y	—	—	37	21
		せん断 τ_{xy}	—	—	28	17
		組合せ σ_{fa}	—	—	59	35
110 体 ラック		引張り σ_x	—	—	7	5
		引張り σ_y	—	—	31	36
		せん断 τ_{xy}	—	—	30	19
		組合せ σ_{fa}	—	—	59	47

(2) シートプレート及びラックベース

(単位：MPa)

ラック	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			N S 方向	E W 方向	N S 方向	E W 方向
70 体 ラック	SUS304L	引張り σ_x	—	—	14	5
		引張り σ_y	—	—	55	20
		せん断 τ_{xy}	—	—	10	4
		組合せ σ_{fa}	—	—	52	19
110 体 ラック		引張り σ_x	—	—	14	12
		引張り σ_y	—	—	20	42
		せん断 τ_{xy}	—	—	15	15
		組合せ σ_{fa}	—	—	31	46

2.4.2 ラック取付ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

ラック取付 ボルト	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
70 体 ラック	SUS304	引張り σ_b	—	—	146	67
		せん断 τ_b	—	—	30	22
110 体 ラック		引張り σ_b	—	—	94	112
		せん断 τ_b	—	—	34	34

2.4.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

基礎ボルト	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
共通ベース	SUS304	引張り σ_b	—	—	69	141
		せん断 τ_b	—	—	40	40

2.5 応力

(1) 部材に生じる応力

a. 角管及びプレート

(単位：MPa)

ラック	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
70 体 ラック		引張り	—	—	$\sigma_x = 5$	$f_t = 205$
		引張り	—	—	$\sigma_y = 37$	$f_t = 205$
		せん断	—	—	$\tau_{xy} = 28$	$f_s = 118$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 59$	$f_t = 205$
110 体 ラック		引張り	—	—	$\sigma_x = 7$	$f_t = 205$
		引張り	—	—	$\sigma_y = 31$	$f_t = 205$
		せん断	—	—	$\tau_{xy} = 30$	$f_s = 118$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 59$	$f_t = 205$

すべて許容応力以下である。

b. シートプレート及びラックベース

(単位：MPa)

ラック	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
70 体 ラック	SUS304L	引張り	—	—	$\sigma_x = 14$	$f_t = 175$
		引張り	—	—	$\sigma_y = 55$	$f_t = 175$
		せん断	—	—	$\tau_{xy} = 10$	$f_s = 101$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 52$	$f_t = 175$
110 体 ラック		引張り	—	—	$\sigma_x = 12$	$f_t = 175$
		引張り	—	—	$\sigma_y = 42$	$f_t = 175$
		せん断	—	—	$\tau_{xy} = 15$	$f_s = 101$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 46$	$f_t = 175$

すべて許容応力以下である。

(2) ラック取付ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

ラック取付ボルト	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
70 体 ラック	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_b = 146$	$f_{ts} = 153^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 30$	$f_{sb} = 118$
110 体 ラック		引張り	—	—	$\sigma_b = 112$	$f_{ts} = 153^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 34$	$f_{sb} = 118$

注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出
すべて許容応力以下である。

(3) 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

基礎ボルト	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
共通ベース	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_b = 141$	$f_{ts} = 150^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 40$	$f_{sb} = 118$

注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出
すべて許容応力以下である。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-461 改3
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-3-2-1 水圧制御ユニットの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.3 解析モデル及び諸元	12
4.4 固有周期	14
4.5 設計用地震力	15
4.6 計算方法	16
4.7 計算条件	18
4.8 応力の評価	18
5. 評価結果	20
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	20
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	20

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、水圧制御ユニットが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

水圧制御ユニットは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

水圧制御ユニットの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>水圧制御ユニットのフレームは、十分剛な支持架構に取付ボルトにより固定されている。</p>	<p>配管ユニット、スクラム弁、セレクト弁、スクラムパイロット弁、端子箱、アキュムレータ、窒素容器、計装ユニット等の水圧制御ユニット構成部品がフレームに固定された構造。</p>	<p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

水圧制御ユニットの応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す水圧制御ユニットの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

水圧制御ユニットの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

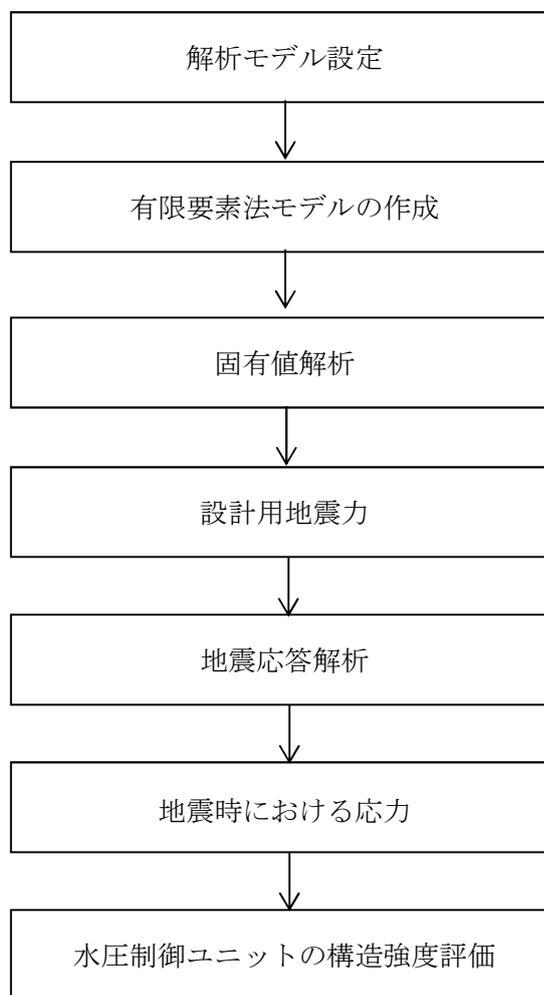


図 2-1 水圧制御ユニットの耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補一
1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会
電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））
J S M E S N C 1 -2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建
設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	フレームの断面積	mm ²
A _b	取付ボルトの軸断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D _o	外径	mm
D _i	内径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F*	F値を求める際において、設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F _b	取付ボルトに作用する引張力	N
F _x	フレームの軸力 (x方向)	N
F _y	フレームのせん断力 (y方向)	N
F _z	フレームのせん断力 (z方向)	N
f _b	フレームの許容曲げ応力	MPa
f _c	フレームの許容圧縮応力	MPa
f _s	フレームの許容せん断応力	MPa
f _{s b}	せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力	MPa
f _t	フレームの許容引張応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
I _p	フレームの断面二次極モーメント	mm ⁴
I _y	フレームの断面二次モーメント (y軸)	mm ⁴
I _z	フレームの断面二次モーメント (z軸)	mm ⁴
i	断面二次半径	mm
ℓ	取付ボルト間の距離	mm
ℓ _k	座屈長さ	mm
M _x	フレームのねじりモーメント (x軸)	N・mm
M _y	フレームの曲げモーメント (y軸)	N・mm
M _z	フレームの曲げモーメント (z軸)	N・mm
m _i	荷重位置の質量 (i = a, b, c, d, e)	kg
Q _b	取付ボルトに作用するせん断力	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa

記号	記号の説明	単位
S _y (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40 °Cにおける値	MPa
X, Y, Z	絶対 (節点) 座標軸	—
x, y, z	局所 (要素) 座標軸	—
Z _p	フレームのねじり断面係数	mm ³
Z _y	フレームの断面係数 (y 軸)	mm ³
Z _z	フレームの断面係数 (z 軸)	mm ³
Λ	フレームの限界細長比	—
λ	フレームの有効細長比	—
ν	座屈に対する安全率	—
σ _b	フレームに生じる曲げ応力	MPa
σ _c	フレームに生じる圧縮応力	MPa
σ _f	フレームに生じる組合せ応力	MPa
σ _{fa}	フレームに生じる引張応力又は圧縮応力と曲げ応力の和	MPa
σ _t	フレームに生じる引張応力	MPa
σ _{tb}	取付ボルトに生じる引張応力	MPa
τ	フレームに生じるせん断応力	MPa
τ _b	取付ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位 ^{*1}
質量		kg	—	—	整数位又は 小数点以下第1位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	部材断面寸法	mm	小数点以下第2位 又は第3位	四捨五入	小数点以下第1位 又は第2位
面積		mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
縦弾性係数		MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
座屈の評価		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

水圧制御ユニットの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、フレーム及び取付ボルトについて実施する。なお、水圧制御ユニットは、構造物として十分な剛性を有しており、支持構造物であるフレーム及び取付ボルトが健全であればスクラム機能を維持できるため、フレーム及び取付ボルトを評価対象とする。水圧制御ユニットの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 水圧制御ユニットのフレームは、十分剛な水圧制御ユニット支持架構に取付ボルトにより固定されるものとする。
- (2) 水圧制御ユニットの質量には、フレーム自身の質量のほか、配管ユニット、スクラム弁、セレクト弁、スクラムパイロット弁、端子箱、アキュムレータ、窒素容器、計装ユニット及びそれらに内包する水の質量を考慮する。
- (3) 地震力は、水圧制御ユニットに対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

水圧制御ユニットの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

水圧制御ユニットの許容応力を表 4-3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

水圧制御ユニットの許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統 施設	制御材駆動 装置	水圧制御ユニット	S	クラス 2 支持構造物	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統 施設	制御材駆動 装置	水圧制御ユニット	常設耐震/防止	重大事故等 クラス 2 支持構造物	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界を 用いる。)

注記 *1:「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*2:「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力（クラス 2 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等以外)		許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力		一次応力	
	引張り	せん断	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる)				

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
フレーム		周囲環境温度		—	205	365	—
		周囲環境温度		—	241	394	—
取付ボルト		周囲環境温度		—	231	394	—



表 4-5 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
フレーム		周囲環境温度		—	189	357	—
		周囲環境温度		—	234	385	—
取付ボルト		周囲環境温度		—	225	385	—



4.3 解析モデル及び諸元

水圧制御ユニットの解析モデルを図4-1に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表4-6に示す。

- (1) 図4-1中○内の数字は部材番号（要素番号）、数字は節点番号を示す。
- (2) 図4-1中の⊕は荷重位置を示し、 m_a 、 m_b は□ kg、 m_c は□ kg、 m_d は□ kg、 m_e は□ kgであり、総質量は□ kgである。
- (3) 図4-1中実線はフレーム部材、点線はフレーム部と荷重位置の質量 m_a ～ m_e とを結ぶ要素を示す。
- (4) 拘束条件は、HCUフレーム下端と上端を固定（ボルトによる固定）とする。HCUフレーム中段をフレーム軸方向自由、フレーム軸直角方向固定（Uボルトによる固定）とする。
- (5) 部材の応力算出に必要な機器要目を表4-6に示す。
- (6) 解析コードは、「SAP-IV」を使用し、固有値及び荷重を求める。
なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「V-5-3 計算機プログラム（解析コード）の概要・SAP-IV」に示す。

表4-6 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
	—	—	
質量	m_a	kg	
	m_b	kg	
	m_c	kg	
	m_d	kg	
	m_e	kg	
温度条件	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

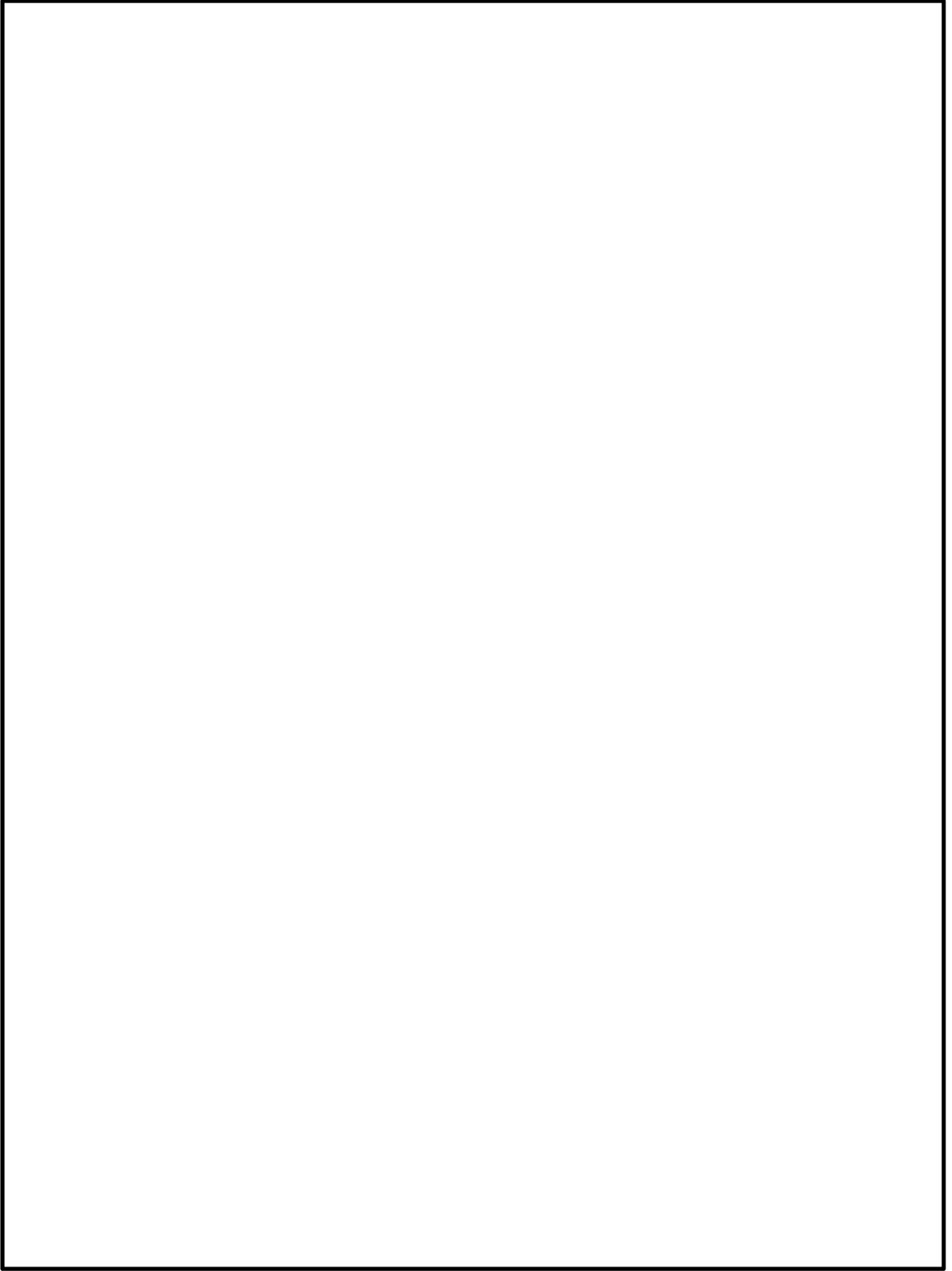


図 4-1 水圧制御ユニット解析モデル (単位 : mm)

表 4-7 部材の機器要目

材料				
対象要素	①—⑭	⑮—⑰	⑱—⑳	㉑—㉓
A (mm ²)				
I _y (mm ⁴)				
I _z (mm ⁴)				
I _p (mm ⁴)				
Z _y (mm ³)				
Z _z (mm ³)				
Z _p (mm ³)				
断面形状 (mm)				

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-8 に示す。

1 次モードは水平方向に卓越し、固有周期が 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。また、鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し、固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 4-8 固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1 次	0.009	水平

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-9 及び表 4-10 に示す。

- 「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

表 4-9 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 EL. 20.3 ^{*1}	0.009	0.05 以下 ^{*2}	C _H =0.79	C _V =0.62	C _H =1.55	C _V =1.17

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-10 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 EL. 20.3 ^{*1}	0.009	0.05 以下 ^{*2}	—	—	C _H =1.55	C _V =1.17

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

4.6.1.1 フレームの応力

解析による計算で得られる各要素端での軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z より各応力を次のように求める。

- (1) 引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{|F_x|}{A} \dots\dots\dots (4.6.1.1.1)$$

$$\sigma_c = -\frac{|F_x|}{A} \dots\dots\dots (4.6.1.1.2)$$

- (2) せん断応力

$$\tau = \text{Max} \left\{ \sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A} + \frac{|M_x|}{Z_p}\right)^2 + \left(\frac{|F_z|}{A}\right)^2}, \sqrt{\left(\frac{|F_z|}{A} + \frac{|M_x|}{Z_p}\right)^2 + \left(\frac{|F_y|}{A}\right)^2} \right\} \dots\dots (4.6.1.1.3)$$

- (3) 曲げ応力

鋼管の場合は,

$$\sigma_b = \sqrt{\left(\frac{M_y}{Z_y}\right)^2 + \left(\frac{M_z}{Z_z}\right)^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.4)$$

形鋼の場合は,

$$\sigma_b = \frac{|M_y|}{Z_y} + \frac{|M_z|}{Z_z} \dots\dots\dots (4.6.1.1.5)$$

- (4) 組合せ応力

$$\sigma_f = \sqrt{\sigma_{fa}^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.6)$$

ここで,

$$\sigma_{fa} = \frac{|F_x|}{A} + \sigma_b \dots\dots\dots (4.6.1.1.7)$$

4.6.1.2 取付ボルトの応力

取付ボルトに生じる応力は、地震による引張応力とせん断応力について計算する。

(1) ボルト取付要領

水圧制御ユニットの取付ボルトの取付図を図4-2に示す。

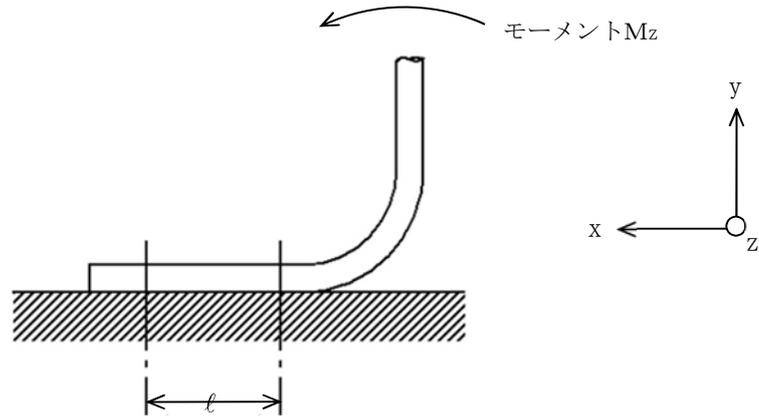


図4-2 取付ボルトの取付図

(2) 引張応力

取付ボルトに対する引張応力は、ボルトの軸方向引張力 F_y とモーメント M_z を考え、これを保守的にボルトで受けるものとして計算する。

a. 引張力

$$F_b = |F_y| + \frac{|M_z|}{\ell} \quad \dots \quad (4.6.1.2.1)$$

b. 引張応力

$$\sigma_{tb} = \frac{F_b}{A_b} \quad \dots \quad (4.6.1.2.2)$$

(3) せん断応力

a. せん断力

$$Q_b = \sqrt{|F_x|^2 + \left(|F_z| + \frac{|M_x|}{D_i} + \frac{|M_y|}{\ell} \right)^2} \quad \dots \quad (4.6.1.2.3)$$

b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{2 \cdot A_b} \quad \dots \quad (4.6.1.2.4)$$

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（水圧制御ユニット）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【水圧制御ユニットの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 フレームの応力評価

- (1) 4.6.1.1 項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、許容組合せ応力は f_t 以下であること。

		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t		$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_c	STPG38 ($\lambda \leq \Lambda$)	$\left\{1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\} \cdot \frac{F}{\nu} \cdot 1.5$	$\left\{1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\} \cdot \frac{F^*}{\nu} \cdot 1.5$
	SS41 ($\lambda > \Lambda$)	$0.277 \cdot F \cdot \left(\frac{\Lambda}{\lambda}\right)^2 \cdot 1.5$	$0.277 \cdot F^* \cdot \left(\frac{\Lambda}{\lambda}\right)^2 \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s		$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b		$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i} \quad \dots \dots \dots (4.8.1.1)$$

弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による荷重との組合せの場合

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} \quad \dots \dots \dots (4.8.1.2)$$

基準地震動 S s による荷重との組合せの場合

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \quad \dots \dots \dots (4.8.1.3)$$

$$\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2 \quad \dots \dots \dots (4.8.1.4)$$

(2) 圧縮力と曲げモーメントを受ける部材の応力は次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_c|}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{\sigma_b - |\sigma_c|}{f_t} \leq 1 \dots\dots\dots (4.8.1.5)$$

4.8.2 取付ボルトの応力評価

4.6.1.2項で求めた取付ボルトの引張応力 σ_{tb} は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表によること。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (4.8.2.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

水圧制御ユニットの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

水圧制御ユニットの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【水圧制御ユニットの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	設計上の耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
水圧制御ユニット	S	原子炉建屋 EL. 20.3*1	0.009	0.05以下*2	C _H =0.79	C _V =0.62	C _H =1.55	C _V =1.17	-	-	

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有値解析より 0.05 秒以下であることを確認した。

1.2 機器要目

ℓ (mm)	Ab (mm ²)	Di (mm)

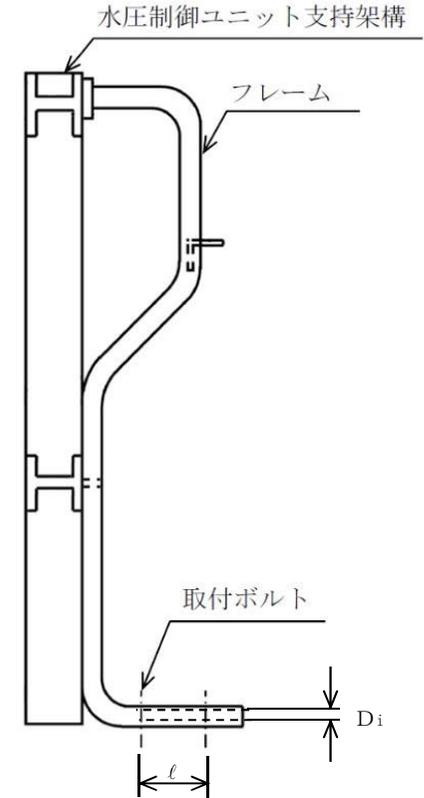
材料	要素番号	E (MPa)	ℓ _k (mm)	i (mm)	λ	Λ	ν
STPG38	⑧						
	⑫						
SS41	⑳						

	要素番号	
	⑧ ⑩ ⑫	⑳
A (mm ²)		
Z _y (mm ³)		
Z _z (mm ³)		
Z _p (mm ³)		
材料		

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
フレーム		205	365	205	246
		241	394	241	276
取付ボルト		231	394	231	276

注記 *1: 弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による荷重との組合せの場合

*2: 基準地震動 S s による荷重との組合せの場合



1.3 計算数値

1.3.1 フレームの荷重及びモーメント

要素 番号	節点 番号	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F x (N)	F y (N)	F z (N)	Mx (N・mm)	My (N・mm)	Mz (N・mm)
⑧	10						
⑩	10						
⑫	12						
⑳	20						

注：添え字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

要素 番号	節点 番号	基準地震動 S s					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F x (N)	F y (N)	F z (N)	Mx (N・mm)	My (N・mm)	Mz (N・mm)
⑧	10						
⑩	10						
⑫	12						
⑳	20						

注：添え字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2 取付ボルトの荷重及びモーメント

要素 番号	節点 番号	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	M _x (N・mm)	M _y (N・mm)	M _z (N・mm)
⑭	14						

注：添え字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

要素 番号	節点 番号	基準地震動 S s					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	M _x (N・mm)	M _y (N・mm)	M _z (N・mm)
⑬	13						
⑭	14						

注：添え字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.4 結論
1.4.1 応力

(単位:MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
			要素番号	節点番号	算出応力	許容応力	要素番号	節点番号	算出応力	許容応力
フレーム		引張り	⑫	12	$\sigma t = 1$	$f t = 205$	⑫	12	$\sigma t = 1$	$f t = 246$
		圧縮	⑫	12	$\sigma c = 1^{*1}$	$f c = 183$	⑫	12	$\sigma c = 1^{*1}$	$f c = 214$
		せん断	⑩	10	$\tau = 1$	$f s = 118$	⑩	10	$\tau = 2$	$f s = 142$
		曲げ	⑧	10	$\sigma b = 2$	$f b = 205$	⑧	10	$\sigma b = 3$	$f b = 246$
		組合せ	⑧	10	$\sigma f = 2$	$f t = 205$	⑧	10	$\sigma f = 3$	$f t = 246$
		圧縮と曲げの 組合せ (座屈の評価)	⑧	10	$\frac{ \sigma c + \sigma b}{f_c} + \frac{\sigma b - \sigma c }{f_t} \leq 1$ かつ $\frac{\sigma b - \sigma c }{f_t} \leq 1$		⑧	10	$\frac{ \sigma c + \sigma b}{f_c} + \frac{\sigma b - \sigma c }{f_t} \leq 1$ かつ $\frac{\sigma b - \sigma c }{f_t} \leq 1$	
					0.01 (無次元)				0.01 (無次元)	
		引張り	⑳	20	$\sigma t = 2$	$f t = 241$	⑳	20	$\sigma t = 4$	$f t = 276$
		圧縮	⑳	20	$\sigma c = 2^{*1}$	$f c = 43$	⑳	20	$\sigma c = 4^{*1}$	$f c = 43$
		せん断	⑳	20	$\tau = 6$	$f s = 139$	⑳	20	$\tau = 9$	$f s = 159$
		曲げ	⑳	20	$\sigma b = 40$	$f b = 241$	⑳	20	$\sigma b = 69$	$f b = 276$
		組合せ	⑳	20	$\sigma f = 43$	$f t = 241$	⑳	20	$\sigma f = 74$	$f t = 276$
圧縮と曲げの 組合せ (座屈の評価)	⑳	20	$\frac{ \sigma c + \sigma b}{f_c} + \frac{\sigma b - \sigma c }{f_t} \leq 1$ かつ $\frac{\sigma b - \sigma c }{f_t} \leq 1$		⑳	20	$\frac{ \sigma c + \sigma b}{f_c} + \frac{\sigma b - \sigma c }{f_t} \leq 1$ かつ $\frac{\sigma b - \sigma c }{f_t} \leq 1$			
			0.22 (無次元)				0.34 (無次元)			
取付ボルト		引張り	⑭	14	$\sigma tb = 1$	$f ts = 173^{*2}$	⑬	13	$\sigma tb = 1$	$f ts = 207^{*2}$
		せん断	⑭	14	$\tau b = 1$	$f sb = 133$	⑭	14	$\tau b = 1$	$f sb = 159$

すべて許容応力以下である。

注記 *1: 絶対値を記載

*2: $f t s = \text{Min}[1.4 \cdot f t o - 1.6 \cdot \tau b, f t o]$ より算出

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
水圧制御ユニット	-(S s)	原子炉建屋 EL. 20.3*1	0.009	0.05 以下*2	-	-	C _H =1.55	C _V =1.17	-	-	

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有値解析より 0.05 秒以下であることを確認した。

2.2 機器要目

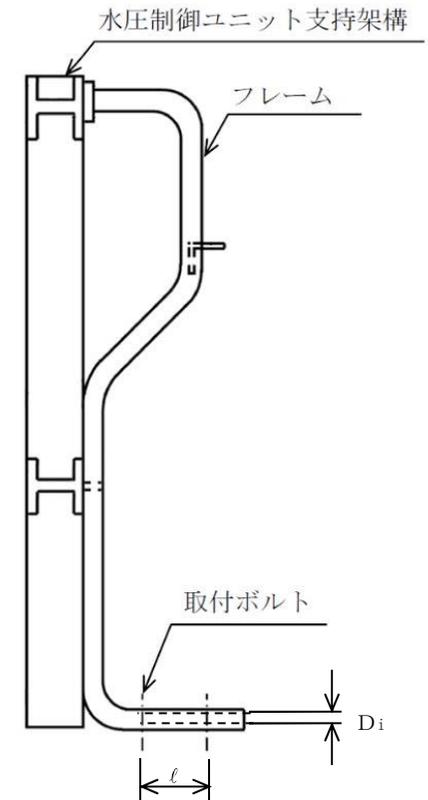
ℓ (mm)	Ab (mm ²)	Di (mm)

材料	要素番号	E (MPa)	ℓ _k (mm)	i (mm)	λ	Λ	ν
STPG38	⑧						
	⑫						
SS41	⑳						

	要素番号	
	⑧ ⑩ ⑫	⑳
A (mm ²)		
Z _y (mm ³)		
Z _z (mm ³)		
Z _p (mm ³)		
材料		

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
フレーム		189	357	-	227
		234	385	-	270
取付ボルト		225	385	-	270

注記 *: 基準地震動 S s による荷重との組合せの場合



2.3 計算数値

2.3.1 フレームの荷重及びモーメント

要素 番号	節点 番号	基準地震動 S s					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	M _x (N・mm)	M _y (N・mm)	M _z (N・mm)
⑧	10						
⑩	10						
⑫	12						
⑳	20						

注：添え字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で、x 軸は常に要素の長手方向にとる。

2.3.2 取付ボルトの荷重及びモーメント

要素 番号	節点 番号	基準地震動 S s					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	M _x (N・mm)	M _y (N・mm)	M _z (N・mm)
⑬	13						
⑭	14						

注：添え字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

2.4 結論
2.4.1 応力

(単位:MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S s				
			要素番号	節点番号	算出応力	許容応力	
フレーム		引張り	⑫	12	$\sigma_t = 1$	$f_t = 227$	
		圧縮	⑫	12	$\sigma_c = 1^{*1}$	$f_c = 200$	
		せん断	⑩	10	$\tau = 2$	$f_s = 131$	
		曲げ	⑧	10	$\sigma_b = 3$	$f_b = 227$	
		組合せ	⑧	10	$\sigma_f = 3$	$f_t = 227$	
		圧縮と曲げの 組合せ (座屈の評価)	⑧	10	$\frac{ \sigma_c + \sigma_b}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1$ かつ $\frac{\sigma_b - \sigma_c }{f_t} \leq 1$		
					0.02 (無次元)		
		引張り	⑳	20	$\sigma_t = 4$	$f_t = 270$	
		圧縮	⑳	20	$\sigma_c = 4^{*1}$	$f_c = 43$	
		せん断	⑳	20	$\tau = 9$	$f_s = 155$	
		曲げ	⑳	20	$\sigma_b = 69$	$f_b = 270$	
		組合せ	⑳	20	$\sigma_f = 74$	$f_t = 270$	
圧縮と曲げの 組合せ (座屈の評価)	⑳	20	$\frac{ \sigma_c + \sigma_b}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1$ かつ $\frac{\sigma_b - \sigma_c }{f_t} \leq 1$				
			0.34 (無次元)				
取付ボルト		引張り	⑬	13	$\sigma_{tb} = 1$	$f_{ts} = 202^{*2}$	
		せん断	⑭	14	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 155$	

すべて許容応力以下である。

注記 *1: 絶対値を記載

*2: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-462 改3
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-9-5-3-2 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワの
耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 固有周期	6
5. 構造強度評価	6
5.1 構造強度評価方法	6
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	6
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	6
5.2.2 許容応力	6
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	6
5.3 設計用地震力	9
5.4 計算方法	9
5.4.1 応力の計算方法	9
5.5 計算条件	11
5.5.1 ブレース及びベース取付溶接部の応力評価条件	11
5.6 応力の評価	12
5.6.1 ブレースの応力評価	12
5.6.2 ベース取付溶接部の応力評価	13
6. 機能維持評価	14
6.1 機能維持評価方法	14
7. 評価結果	14
7.1 設計基準対象施設としての評価結果	14

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ（以下「ブロワ」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

ブロワは設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価及び機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ブロワの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
溶接でベースを架台に固定する。	キャンド形遠心式ブロワ	<p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

ブロワの構造強度評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すブロワの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、ブロワの機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.1 動的機能維持 (2) 回転機器及び弁」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が動的機能維持確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

ブロワの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

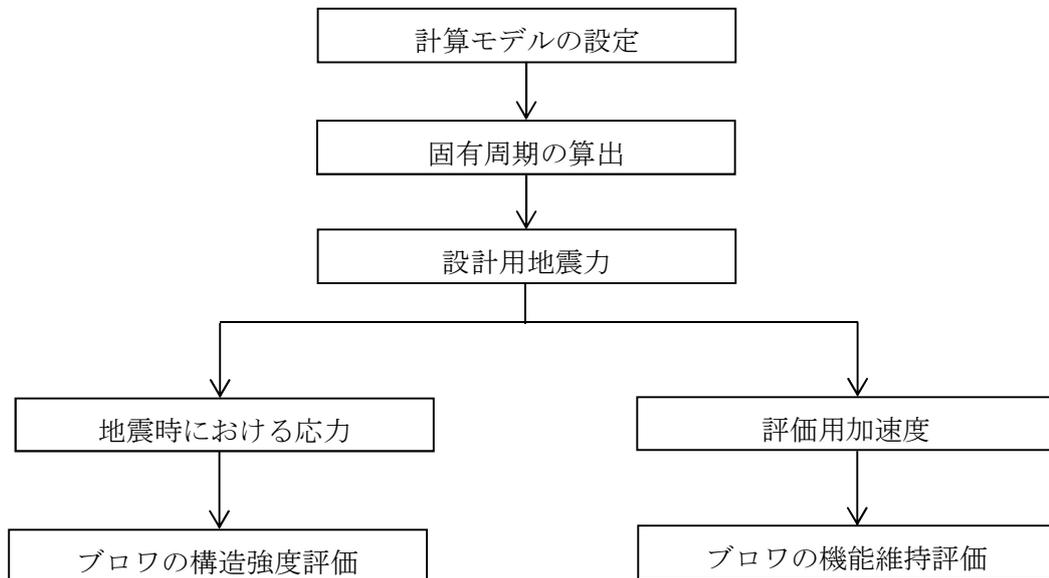


図 2-1 ブロワの耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補一 1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1 -2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	ブレースの断面積	mm^2
A_{HW}	水平方向荷重を受ける溶接部の有効断面積	mm^2
A_{VW}	鉛直方向荷重を受ける溶接部の有効断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
C_P	ブロワ振動による震度	—
E	支持構造物の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3 に定める値	MPa
F_C	ブレースに作用する圧縮力	N
F_H	ブレースに作用する水平方向反力	N
F_{HW}	ベース取付溶接部に作用する水平方向せん断荷重	N
F_{VW}	ベース取付溶接部に作用する鉛直方向せん断荷重	N
F_V	ブレースに作用する鉛直方向反力	N
f_c	ブレースの許容圧縮応力	MPa
f_s	ベース取付溶接部の許容せん断応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
H_P	予想最大両振幅	μm
h	ブロワ重心位置	mm
i	座屈軸についての断面二次半径	mm
L	ブロワ重心高さ	mm
l	ブロワベース長さ	mm
l_b	ブレース水平方向投影長さ	mm
l_k	ブレース長さ	mm
m	ブロワ質量	kg
N	回転速度 (原動機の同期回転速度)	min^{-1}
P	ブレースに作用する水平方向荷重	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8 に定める値	MPa

記号	記号の説明	単位
T	固有周期	s
Λ	圧縮材の限界細長比	—
λ	圧縮材の有効細長比	—
ν	設計・建設規格* SSB-3121.1(3)に定める値	—
π	円周率	—
τ_w	ベース取付溶接部に作用する最大せん断応力	MPa
τ_{w1}	ベース取付溶接部に作用する水平方向せん断応力	MPa
τ_{w2}	ベース取付溶接部に作用する鉛直方向せん断応力	MPa
σ_c	ブレースに生じる圧縮応力	MPa

注記 * : 「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））J S M E S N C 1 - 2005 / 2007）（日本機械学会 2007年9月）をいう。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりである。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ* ¹	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ²
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ²
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力* ³	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *¹ : 設計上定める値が小数点以下の場合、小数点以下表示とする。

*² : 絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

*³ : 設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

ブロワの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなるブレース及びベース取付溶接部について実施する。ブロワの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

ブロワは、サポートプレート及びベースに支持されており、ベースは架台に溶接にて固定されている。サポートプレート及びベースはブレースによって強固な構造であり、全体的に剛体とみなせるため、固有周期の計算は省略する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) ブロワの質量は重心に集中するものとする。
- (2) 地震力はブロワに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) ブロワは溶接により架台に固定された固定端とする。
- (4) ブレース
 - a. ブロワの質量は、2 本のブレースに均等にかかるため、1 本のブレースについて計算する。
 - b. 転倒方向はブレースの応力が最も厳しい方向として図 5-1 の方向を計算する。
- (5) ベース取付溶接部
 - a. 荷重がベース取付溶接部に水平方向せん断荷重として作用する場合と、転倒モーメントによる鉛直方向せん断荷重として作用する場合について計算する。
 - b. 水平方向せん断荷重はベース取付溶接部に作用するものとして計算する。
 - c. 転倒方向はベース取付溶接部に対する鉛直方向せん断荷重が最も厳しい方向として図 5-2 の転倒支点を支点とする方向を計算する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ブロワの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

ブロワの許容応力を表 5-2 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ブロワの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 格納施設	可燃性ガス濃 度制御設備	可燃性ガス濃度 制御系再結合装置 ブロワ	S	—*1	$D + P_D + M_D + S_d^* \text{ *2}$	III _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	IV _A S

注記 *1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*2：S_sと組合せ，III_ASの評価を実施する。

表 5-2 許容応力 (その他支持構造物)

許容応力状態	許 容 限 界*1, *2 (ボ ル ト 等 以 外)	
	一 次 応 力	
	圧 縮	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記 *1: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準等で省略可能とされている場合及びその他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		(°C)				
ブレース	[]	最高使用温度	171	201	373	-
ベース取付溶接部						

[]

5.3 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定される。
 評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

表 5-4 設計用地震力 (設計基準対象施設)

耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
S	原子炉建屋 EL. 20.30* ¹	—* ²	—* ²	—* ³	—* ³	C _H =1.34	C _V =1.01

注記 *¹: 基準床レベルを示す。

*²: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*³: III_AS については、基準地震動 S_s で評価する。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 ブレースの応力

(1) 圧縮応力

ブレースに作用する水平方向反力は

$$F_H = P = \frac{1}{2} \cdot (C_H + C_p) \cdot m \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

ここで、C_p はブロワ振動による振幅及び原動機の同期回転速度を考慮して定める値で、次式で求める。

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_p}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

ブレースに作用する鉛直方向反力は

$$F_V = \frac{\frac{1}{2} \cdot (1 + C_V + C_p) \cdot m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot (C_H + C_p) \cdot m \cdot g \cdot L}{l_b} \quad \dots\dots (5.4.1.3)$$

ブレースに作用する圧縮力は

$$F_C = \sqrt{F_H^2 + F_V^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4)$$

圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.5)$$

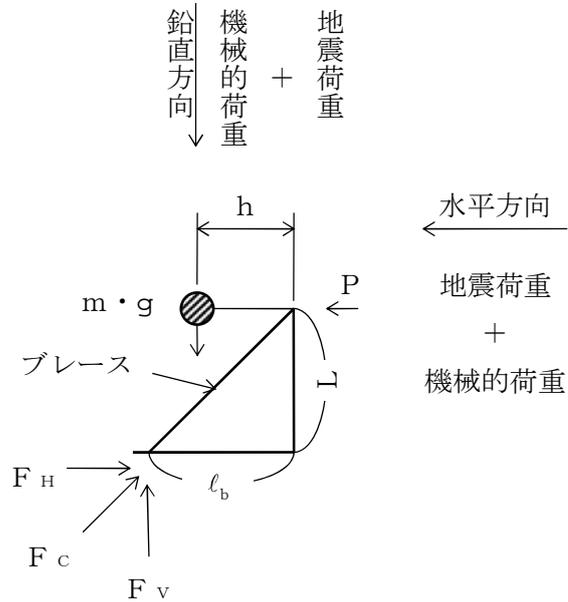


図 5-1 ブレースに作用する荷重

5.4.1.2 ベース取付溶接部の応力

(1) 水平方向せん断応力

水平方向せん断荷重

$$F_{HW} = (C_H + C_P) \cdot m \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.6)$$

水平方向せん断応力

$$\tau_{w1} = \frac{F_{HW}}{A_{HW}} \dots\dots\dots (5.4.1.7)$$

(2) 鉛直方向せん断応力

鉛直方向せん断荷重

$$F_{VW} = \frac{(C_V + C_P - 1) \cdot m \cdot g \cdot h + (C_H + C_P) \cdot m \cdot g \cdot L}{\ell} \dots\dots (5.4.1.8)$$

鉛直方向せん断応力

$$\tau_{w2} = \frac{F_{VW}}{A_{VW}} \dots\dots\dots (5.4.1.9)$$

(3) ベース取付溶接部の応力

$$\tau_w = \text{Max} \{ \text{水平方向せん断応力} (\tau_{w1}), \text{鉛直方向せん断応力} (\tau_{w2}) \}$$

(5.4.1.10)

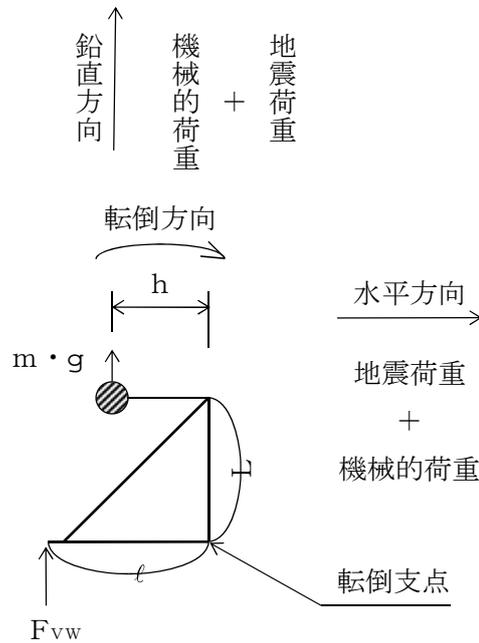


図 5-2 ベース取付溶接部に作用する荷重

5.5 計算条件

5.5.1 ブレース及びベース取付溶接部の応力計算条件

ブレース及びベース取付溶接部の応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ブレースの応力評価

5.4.1.1 項で求めたブレースの圧縮応力 σ_c は許容圧縮応力 f_c 以下であること。ただし、 f_c は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との 組合せの場合
許容圧縮応力 f_c	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{\nu} \cdot 1.5$	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{\nu} \cdot 1.5$

ここで、 λ は圧縮材の有効細長比で、次の計算式による。

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i} \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

Λ は、限界細長比で、次の計算式による。

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} \dots\dots\dots (5.6.1.2)$$

注：基準地震動 S_s 評価の場合は、 F を F^* に置き換える

ν は、次の計算式による。

$$\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (5.6.1.3)$$

5.6.2 ベース取付溶接部の応力評価

5.4.1.2項で求めたベース取付溶接部のせん断応力 τ_w は許容せん断応力 f_s 以下であること。

ただし, f_s は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との 組合せの場合
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 機能維持評価方法

ブロワの地震後の動的機能維持評価について以下に示す。

なお、評価用加速度は添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

ブロワは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
ブロワ	遠心直動型ファン	水平	2.6
		鉛直	1.0
原動機	横形ころがり 軸受電動機	水平	4.7
		鉛直	1.0

7. 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

ブロワの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。なお、弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

(2) 機能維持評価結果

機能維持評価結果を次頁以降の表に示す。

【可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		ブロワ震動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	S	原子炉建屋 EL. 20.30*1	—*2	—*3	—*3	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$		171	—

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3: IIIA Sについては、基準地震動 S_s で評価する。

1.2 機器要目

機器名称	m (kg)	L (mm)	h (mm)	ℓ (mm)	ℓ_b (mm)	ℓ_k (mm)	E^{*1} (MPa)	A_b (mm ²)	A_{HW} (mm ²)	A_{VW} (mm ²)	i (mm)
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ											

機器名称	S_y^{*} (MPa)	S_u^{*} (MPa)	F (MPa)		F* (MPa)		転倒方向	
			ブレース	ベース取付溶接部	ブレース	ベース取付溶接部	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	201	373	201	90	241	108	—	ブロワ軸方向

予想最大両振幅 (μ m)	回転速度 (min ⁻¹)

1.3 計算数値

1.3.1 ブレースに作用する力

(単位：N)

部 材	F_H		F_V		F_C	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
ブレース	-	<input type="text"/>	-	<input type="text"/>	-	<input type="text"/>

1.3.2 ベース取付溶接部に作用する力

(単位：N)

部 材	F_{HW}		F_{VW}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
ベース取付溶接部	-	<input type="text"/>	-	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力*	許容応力	算出応力	許容応力
ブレース	<input type="text"/>	圧縮	$\sigma_c=11$	$f_c=162$	$\sigma_c=11$	$f_c=187$
ベース取付溶接部	<input type="text"/>	せん断	$\tau_v=32$	$f_s=52$	$\tau_v=32$	$f_s=62$

すべて許容応力以下である。

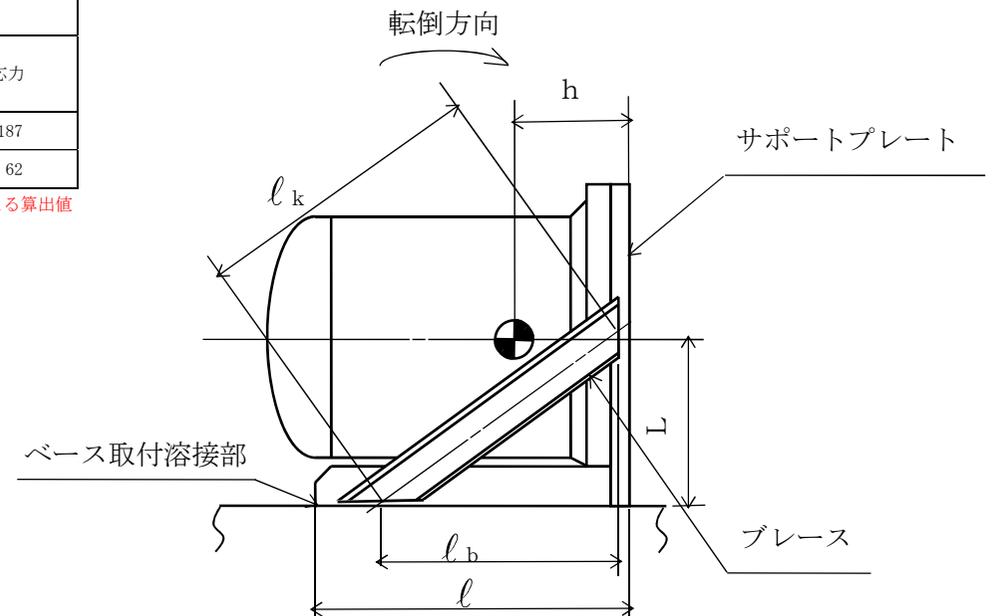
注記 *：基準地震動 S_s による算出値

1.4.2 動的機能維持の評価結果

(単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ブロー	水平方向	1.11	2.6
	鉛直方向	0.84	1.0
原動機	水平方向	1.11	4.7
	鉛直方向	0.84	1.0

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-463 改3
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-9-5-3-3 可燃性ガス濃度制御系再結合装置の
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と記号の丸め方	5
3. 評価部位	5
4. 固有周期	5
5. 構造強度評価	6
5.1 構造強度評価方法	6
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	6
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	6
5.2.2 許容応力	6
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	6
5.3 設計用地震力	9
5.4 計算方法	10
5.4.1 応力の計算方法	10
5.5 計算条件	13
5.5.1 ボルトの応力計算条件	13
5.6 応力の評価	13
5.6.1 ボルトの応力評価	13
6. 評価結果	14
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	14

1. 概要

本計算書は、**添付書類**「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、可燃性ガス濃度制御系再結合装置（以下「再結合装置」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

再結合装置は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

再結合装置の構造計画を表2-1に示す。

表2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ブロウ、配管、再結合器及び加熱器を一体化し、スキッド内に組み込み取付ボルトで基礎架台に据え付ける。	熱反応式再結合装置	<p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

再結合装置の構造強度評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す再結合装置の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

再結合装置の耐震評価フローを図2-1に示す。

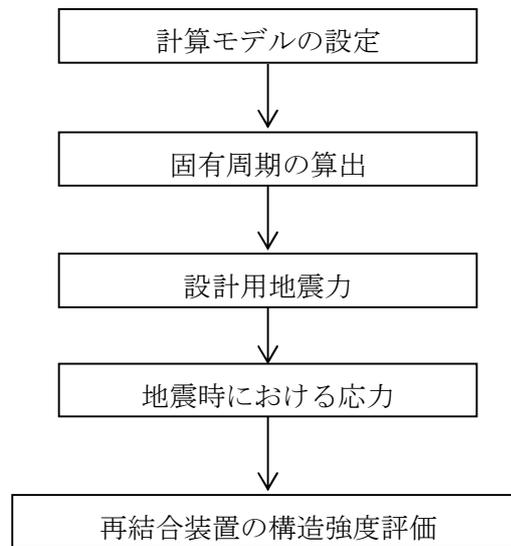


図 2-1 再結合装置の耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984, JEAG 4601-1987 及び JEAG 4601-1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） JSME S NC1-2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	取付ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	取付ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格*1 SSB-3131に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格*1 SSB-3133に定める値	MPa
F_b	取付ボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
l_1	重心と取付ボルト間の水平方向距離*2	mm
	重心と取付ボルト間の水平方向距離*2	mm
l_2	再結合装置の質量	kg
	取付ボルトの本数	—
m	評価上引張力を受けるとして期待する取付ボルトの本数	—
n	取付ボルトに作用するせん断力	N
n_f	設計・建設規格*1 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
Q_b	設計・建設規格*1 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
S_u	固有周期	s
S_y	円周率	—
T	取付ボルトに生じる引張応力	MPa
π	取付ボルトに生じるせん断応力	MPa
σ_b		
τ_b		

注記 *1:「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））J SME S NC 1-2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）をいう。

*2: $l_1 \leq l_2$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりである。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ*1	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

再結合装置の耐震評価は、取付ボルトについて実施する。再結合装置の耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 固有周期

再結合装置は、十分な剛性を有しているスキッドにブロー、再結合器等の構成部品を取付ボルト又は溶接にて取付けた構造である。装置全体の重心位置は低く、下面が取付ボルトで基礎架台に固定されており、全体的に剛体とみなせるため、固有周期の計算は省略する。

5. 構造強度評価部位

5.1 構造強度評価方法

- (1) 再結合装置の質量は重心に集中するものとする。
- (2) 地震力は再結合装置に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 再結合装置全体の構造強度評価に対するブロワの運転による影響は微小であるためブロワの質量は考慮してあるが、ブロワの運転は考慮しないものとする。
- (4) 再結合装置は取付ボルトで基礎架台に固定された固定端とする。ここで、基礎架台については剛となるように設計する。
- (5) 転倒方向は図5-1及び図5-2における長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方を記載する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

再結合装置の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-1に示す。

5.2.2 許容応力

再結合装置の許容応力を表5-2に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

再結合装置の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-3に示す。

表5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 格納施設	可燃性ガス濃 度制御設備	可燃性ガス濃度 制御系再結合装置	S	—*1	$D + P_D + M_D + S_d^{*2}$	III _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	IV _A S

注記 *1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*2：S_sと組合せ、III_ASの評価を実施する。

表5-2 許容応力（その他支持構造物）

許容応力状態	許 容 限 界 ^{*1, *2} (ボ ル ト 等)	
	一 次 応 力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^{* *2}$	$1.5 \cdot f_s^{* *2}$

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準等で省略可能とされている場合及びその他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表5-3 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
取付ボルト		周囲環境温度		194	373	—

5.3 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。
 評価に用いる設計用地震力を表5-4に示す。

表 5-4 設計用地震力 (設計基準対象施設)

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 EL. 20.30 ^{*1}	— ^{*2}	— ^{*2}	— ^{*3}	— ^{*3}	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：Ⅲ_ASについては，基準地震動 S_s で評価する。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

取付ボルトの応力は地震による震度によって生じる引張力とせん断力について計算する。

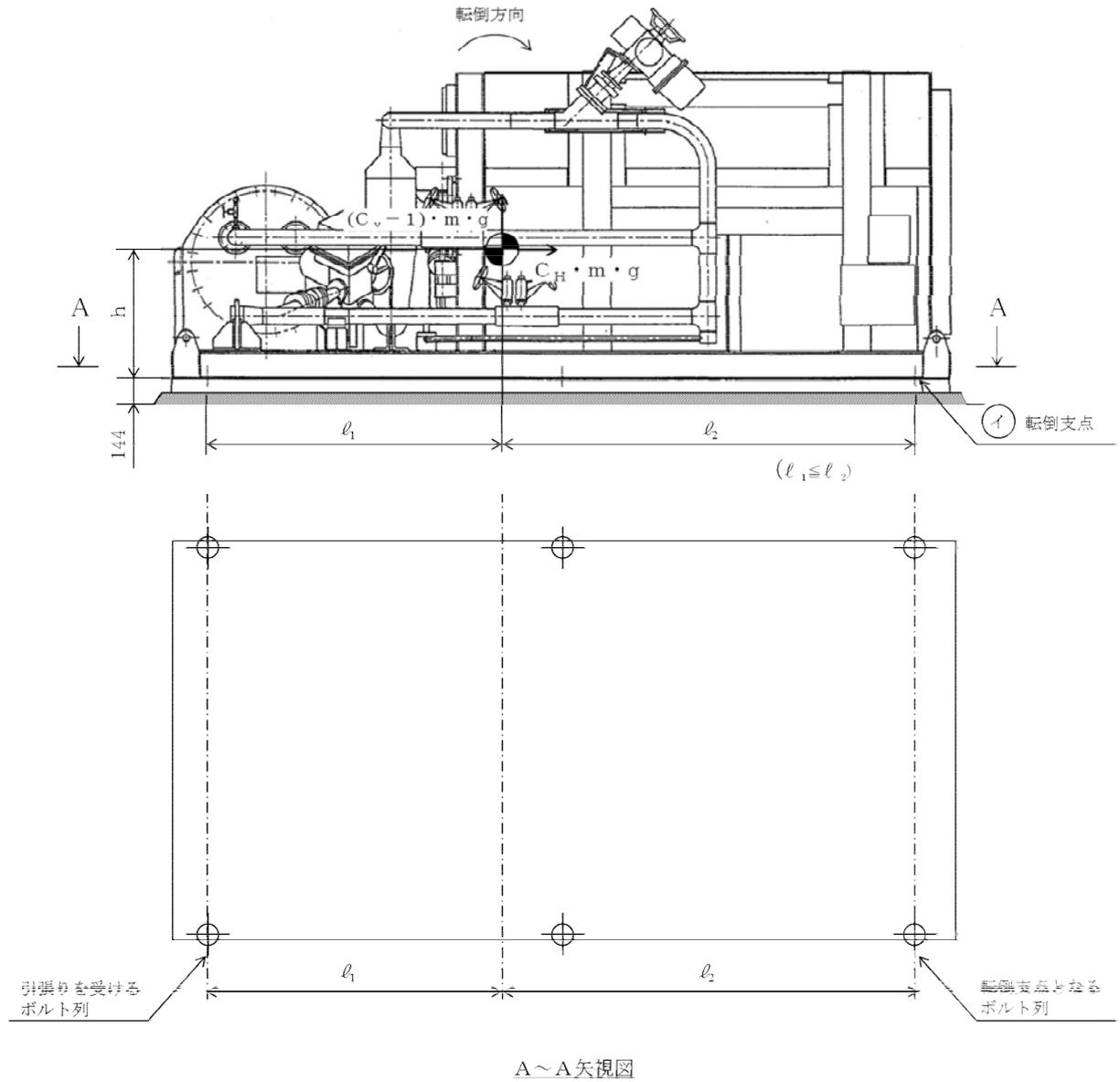


図 5-1 計算モデル (長辺方向転倒)

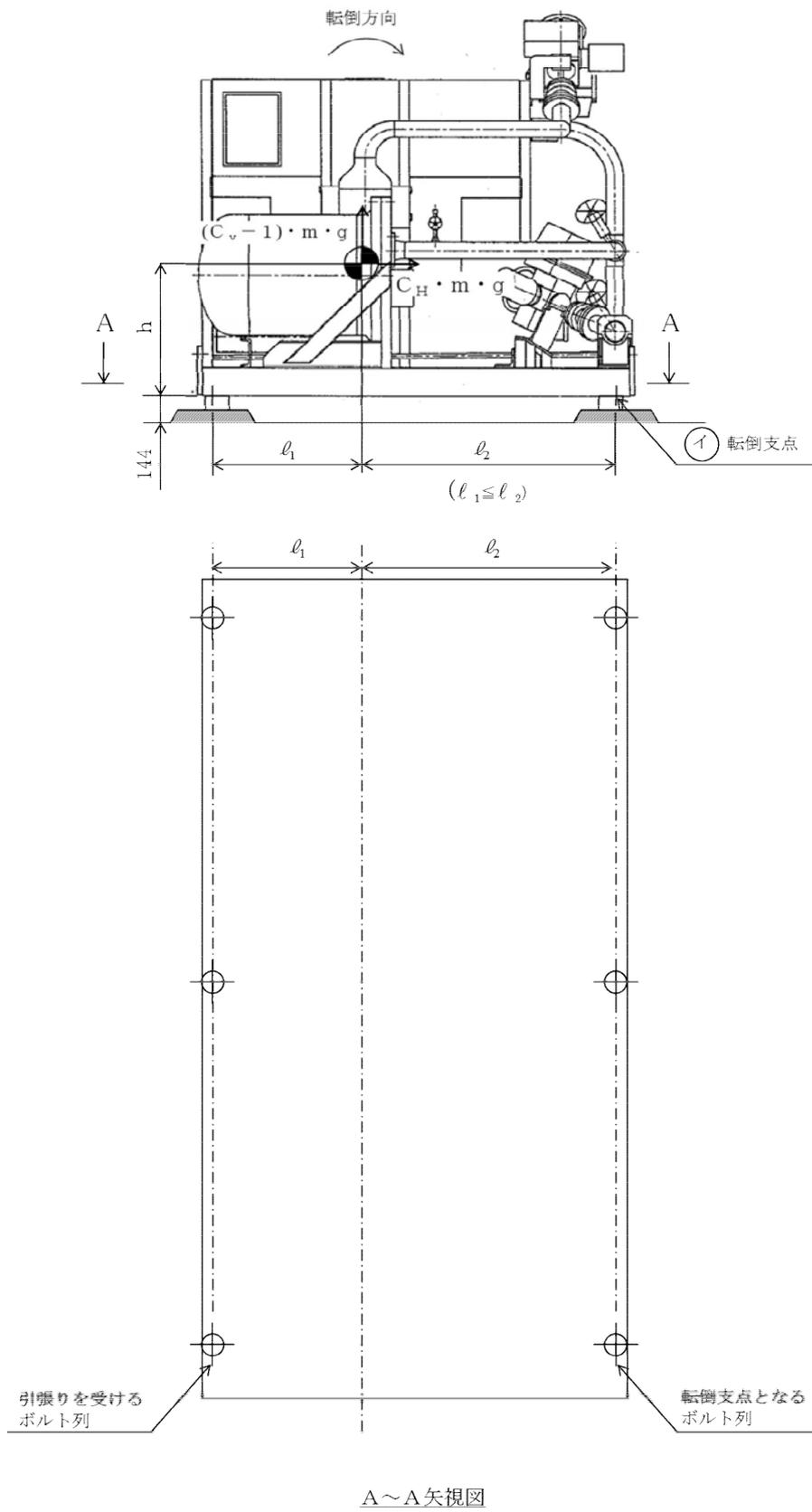


図 5-2 計算モデル (短辺方向転倒)

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図5-1及び図5-2に示すモデルにより (イ) 点を支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の取付ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_b = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - (1 - C_V) \cdot m \cdot g \cdot l_2}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2)$$

ここで、取付ボルトの軸断面積 A_b は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3)$$

(2) せん断応力

取付ボルトに対するせん断力は、取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = C_H \cdot m \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 ボルトの応力計算条件

取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4.1項で求めた取付ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

かつ,

$$f_{ts} \leq f_{to} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.2)$$

ただし、 f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との 組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

再結合装置の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。なお、弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

【可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
可燃性ガス濃度制御系再結合装置	S	原子炉建屋 EL. 20.30*1	—*2	—*3	—*3	C _H =1.34	C _V =1.01	—	

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3: III_AS については、基準地震動 S_s で評価する。

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f	
							弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト								

部材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト	194	373	194	232	—	短辺

注記 *: 取付ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト	—		—	

1.4 結 論

ボルトの応力

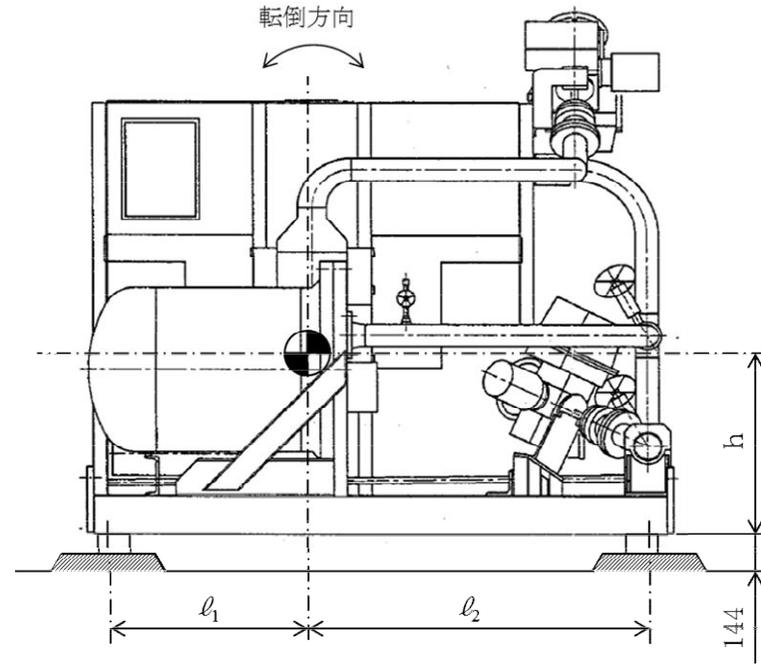
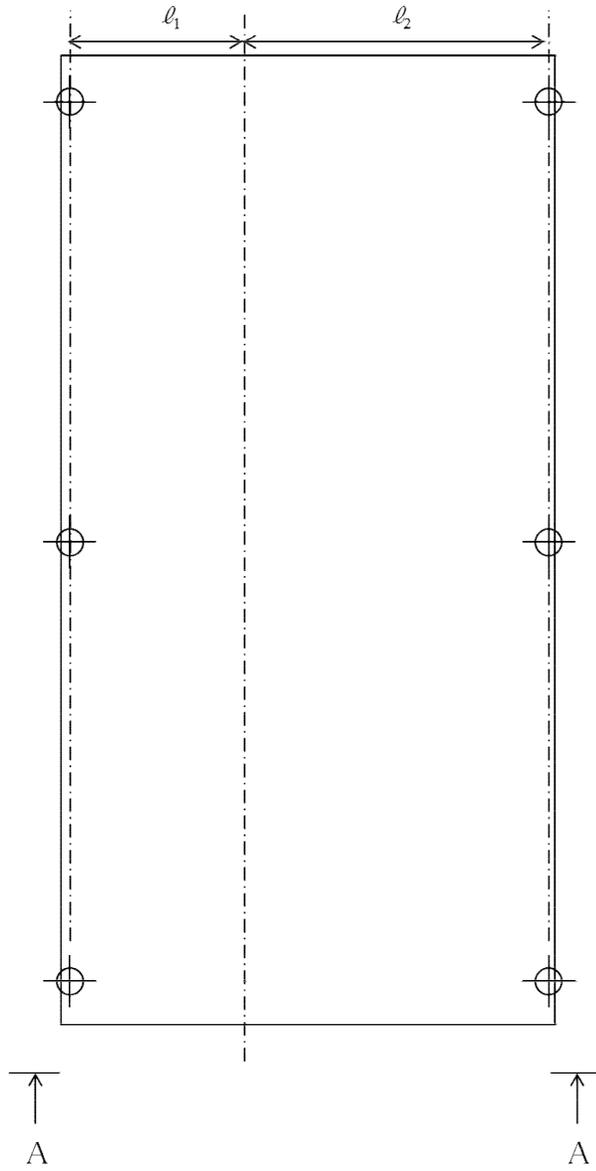
(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力*1	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト		引張り	$\sigma_b=31$	$f_{ts}=142^{*2}$	$\sigma_b=31$	$f_{ts}=174^{*2}$
		せん断	$\tau_b=38$	$f_{sb}=112$	$\tau_b=38$	$f_{sb}=134$

すべて許容応力以下である。

注記 *1：基準地震動 S_s による算出値

*2： $\text{Min}[1.4 \cdot f_{t\sigma i} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t\sigma i}]$ より算出



A~A 矢視図
(取付ボルト) 単位: mm

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-575 改2
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-3-1 制御棒駆動機構の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	7
5. 構造強度評価	8
5.1 構造強度評価方法	8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
5.3 設計用地震力	11
5.4 計算方法	12
5.5 計算条件	14
5.6 応力の評価	15
6. 評価結果	15
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	15
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	15

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、制御棒駆動機構が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

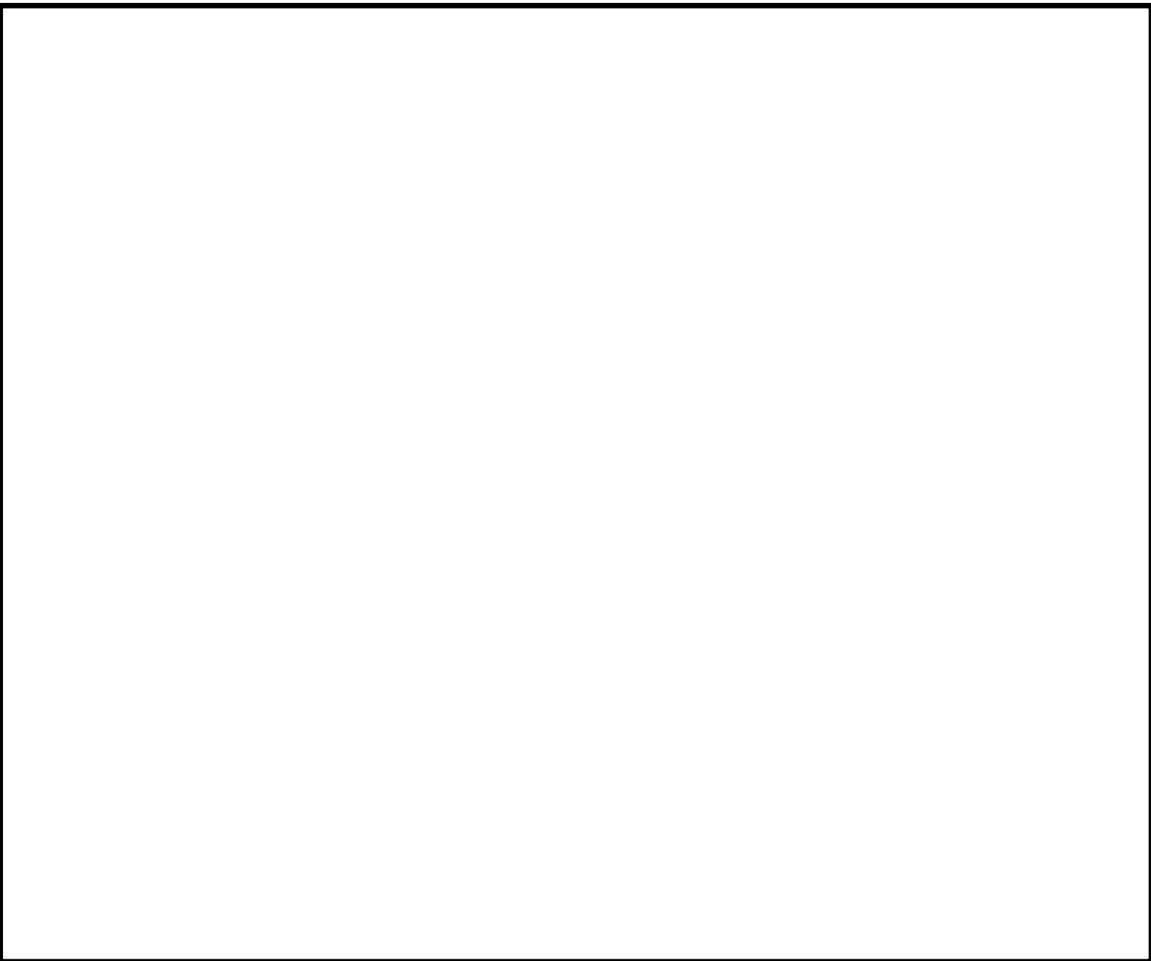
制御棒駆動機構は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

制御棒駆動機構の構造計画を表 2-1 に示す。

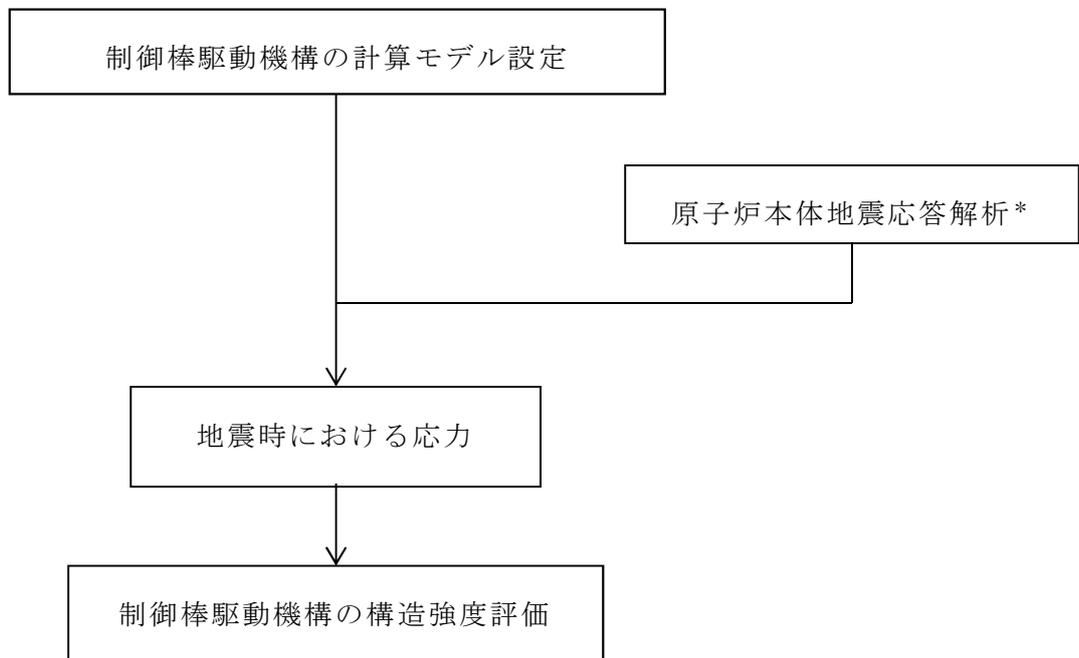
表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>制御棒駆動機構は、圧力容器下部から延長している制御棒駆動機構ハウジング内に収容する一体構造物で、制御棒駆動機構ハウジングの下端フランジに締付ボルトで接合される。</p>	<p>ラッチ機構を備えた水圧ピストンシリンダ構造。水圧ピストンシリンダは、ピストンチューブ、インデックスチューブ、シリンダーチューブ等から構成される。また、ラッチ機構は、コレットフィンガー、コレットスプリング等から構成される。</p>	

2.2 評価方針

制御棒駆動機構の応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す制御棒駆動機構の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、添付書類「V-2-3-2 炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づく発生荷重による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

制御棒駆動機構の耐震評価フローを図 2-1 に示す。



注記 *：発生荷重は、添付書類「V-2-3-2 炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」における原子炉本体地震応答解析より得られる値。

図 2-1 制御棒駆動機構の耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補－1984， J E A G 4 6 0 1－1987 及び J E A G 4 6 0 1－1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月，昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1－2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
B_1, B_2	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数 (一次応力の計算に使用するもの)	—
C_2	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数 (一次+二次応力の計算に使用するもの)	—
D_0	管の外径	mm
E	設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1 に規定する縦弾性係数	MPa
F_w	制御棒駆動機構の自重	N
F_{scr}	スクラム反力により制御棒駆動機構に生じる荷重	N
F_v	鉛直方向震度により制御棒駆動機構に生じる地震荷重	N
K_2	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数 (ピーク応力の計算に使用するもの)	—
K_e	設計・建設規格 PPB-3536 に規定する係数 (繰返しピーク応力強さの計算に使用するもの)	—
M_{hsg}	水平方向震度により制御棒駆動機構ハウジングに生じるモーメント	N・mm
M_{ip}	管の機械的荷重(地震による慣性力を含む。)により生じるモーメント	N・mm
M_{is}	管の地震動の慣性力と相対変位により生じるモーメントの全振幅	N・mm
n_i	繰返し荷重 i の実際の繰返し回数	回
N_i	設計・建設規格 PPB-3534 による繰返し荷重 i の許容繰返し回数	回
P	地震と組合せるべき運転状態における圧力	MPa
S_ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S_m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1 に規定する材料の設計応力強さ	MPa
S_n	一次+二次応力	MPa
S_p	ピーク応力	MPa
S_{prm}	一次応力	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8 に規定する材料の設計降伏点	MPa
t	管の厚さ	mm
U	疲労累積係数	—
Z_i	管の断面係数	mm ³

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりである。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁	
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁	
断面係数	mm ³	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ¹	
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ¹	
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ¹	
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位	
許容応力* ²	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位	
設計震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位	
圧力	MPa	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位	
長さ	下記以外の長さ	mm	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
	計算上必要な厚さ	mm	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
	最小厚さ	mm	小数点以下第3位	切捨て	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位	
疲労累積係数	—	小数点以下第5位	切上げ	小数点以下第4位	

注記 *1：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における設計応力強さ、許容引張応力及び設計降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

制御棒駆動機構の要求機能は、クラス1の耐圧バウンダリとスクラム機能である。本計算書では、クラス1の耐圧バウンダリであるフランジについて耐震評価を実施する。また、スクラム機能の耐震評価については、添付書類「V-2-6-2-1 制御棒の耐震性についての計算書」にて確認している。

4. 固有周期

表2-1の概略構造図に示すように、制御棒駆動機構は制御棒駆動機構ハウジングに据付部材を介さずに、締付ボルトにて直接接続される構造である。固有周期は、添付書類「V-2-3-2 炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」において、原子炉本体地震応答解析により確認する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 制御棒駆動機構ハウジングの下端フランジとの接合部品である制御棒駆動機構フランジを評価部位とし，フランジの最小板厚部を管とみなして評価を実施する。

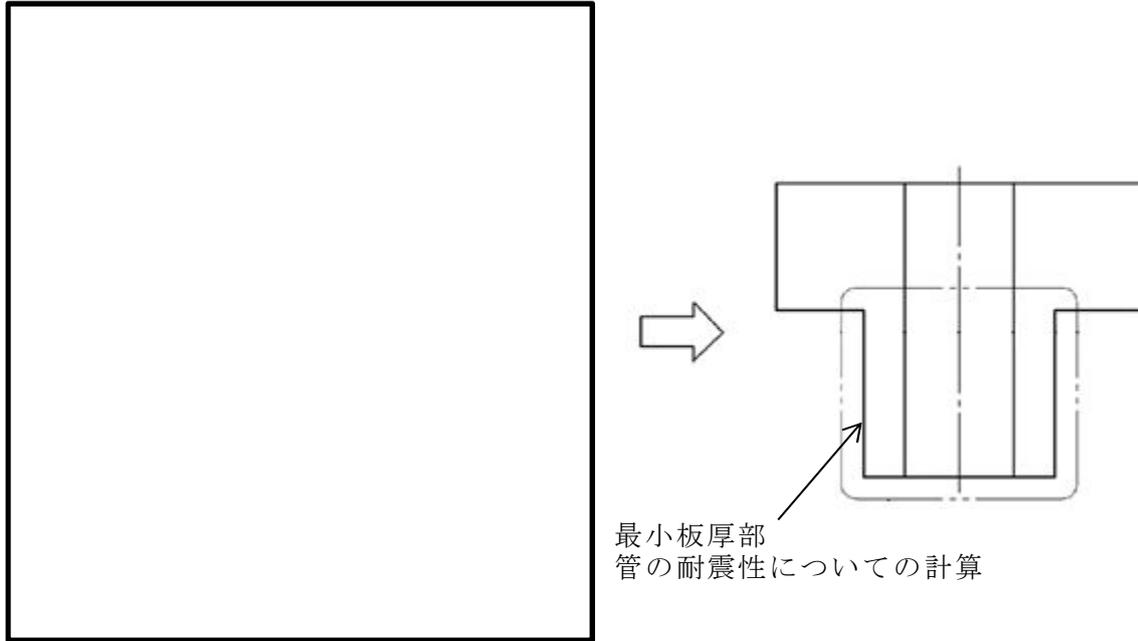


図 5-1 評価モデル

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

制御棒駆動機構の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

制御棒駆動機構の許容応力を表 5-3 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

制御棒駆動機構の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統 設備	制御材駆動 装置	制御棒駆動機構	S	—*	$D + P + M + S_d^*$	III _A S
					$D + P + M + S_s$	IV _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^*$	

注記 *：クラス 1 管の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統 設備	制御材駆動 装置	制御棒駆動機構	常設耐震／防止	—* ²	$D + P + M + S_s$	IV _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^*$	
					—* ³	V _A S* ³

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 管（クラス 1 管）の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲は重大事故等発生時の環境条件が設計条件（圧力・温度等）を超える時間が短期（10⁻¹年未満）であるため、運転状態 V において S_d 又は S_s 地震力との組合せは考慮不要とする。

表 5-3 許容応力（クラス 1 管及び重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管）

許容応力状態	許容限界		
	一次応力	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
Ⅲ _A S	$\text{Min}(2.25 \cdot S_m, 1.8 \cdot S_y)$	$3 \cdot S_m$	S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。
Ⅳ _A S	$\text{Min}(3 \cdot S_m, 2 \cdot S_y)$	S _d 又はS _s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
SUSF304	302	114	126	—	—
SUSF304 相当 	302	114	126	—	—

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
SUSF304	302	114	126	—	—
SUSF304 相当 	302	114	126	—	—

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、添付書類「V-2-3-2 炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。

表 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び 床面高さ (m)	弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度		基準地震動 S _s	
	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 EL. 17.142* ¹	—* ²	C _v =0.73	—* ²	C _v =1.34

注記 *1：制御棒駆動機構ハウジングの取付面のレベルを示す。

*2：発生する荷重は原子炉本体地震応答解析より得られる値。

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び 床面高さ (m)	弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度		基準地震動 S _s	
	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 EL. 17.142* ¹	—	—	—* ²	C _v =1.34

注記 *1：制御棒駆動機構ハウジングの取付面のレベルを示す。

*2：発生する荷重は原子炉本体地震応答解析より得られる値。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 管の計算方法

地震荷重として制御棒駆動機構ハウジングの応答の最大値が作用するものとして実施する。

耐震評価モデルを図5-2に示す。

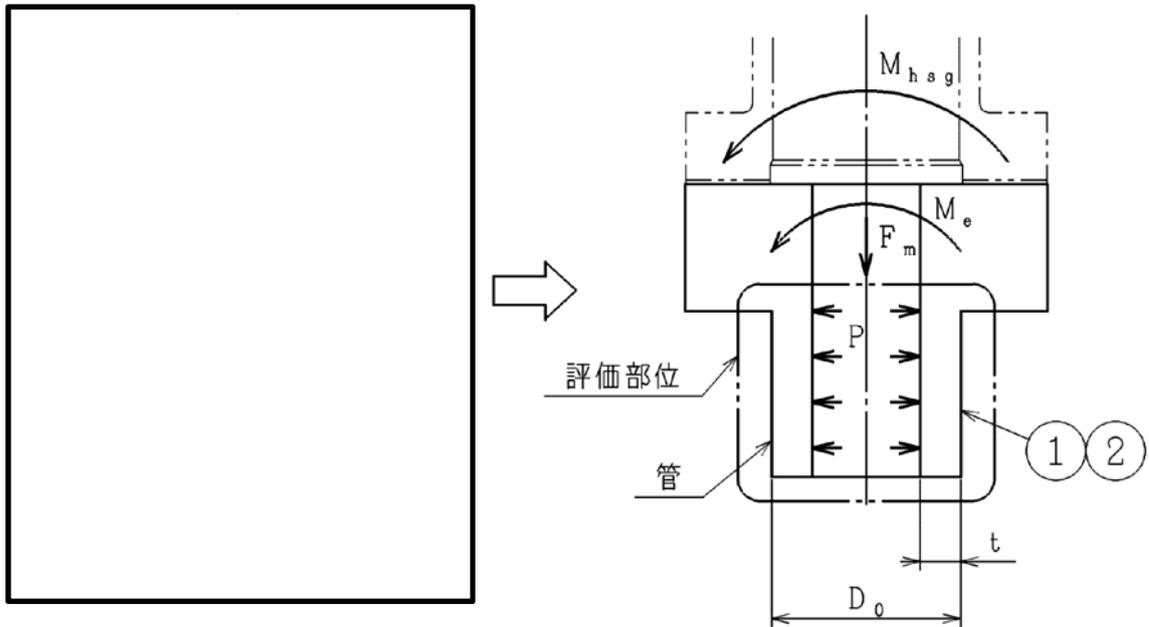


図5-2 耐震評価モデル

a. 管に作用するモーメント

(a) 管の機械的荷重（地震による慣性力を含む）により生じるモーメント

機械的荷重として自重とスクラム反力による荷重，地震による慣性力として地震動による鉛直荷重と応答モーメントを考慮すると以下となる。

$$\begin{aligned}
 M_{ip} &= M_{hsg} + M_e \\
 &= M_{hsg} + \frac{D_0^2 + (D_0 - 2 \cdot t)^2}{8 \cdot D_0} \cdot F_m \quad \dots \dots \dots (5.4.1)
 \end{aligned}$$

ここで、

$$F_m = F_w + F_{scr} + F_v \quad \dots \dots \dots (5.4.2)$$

- (b) 管の地震動の慣性力と相対変位により生じるモーメントの全振幅
 相対変位は生じないことから、地震動の慣性力として地震動による鉛直荷重と応答
 モーメントを考慮すると以下となる。

$$M_{i s} = \left\{ M_{h s g} + \frac{D_0^2 + (D_0 - 2 \cdot t)^2}{8 \cdot D_0} \cdot F_v \right\} \times 2 \quad \dots \dots \dots (5.4.3)$$

b. 耐震性についての計算

- (a) 一次応力

$$S_{p r m} = \frac{B_1 \cdot P \cdot D_0}{2 \cdot t} + \frac{B_2 \cdot M_{i p}}{Z_i} \quad \dots \dots \dots (5.4.4)$$

ここで、

$$Z_i = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_0^4 - (D_0 - 2 \cdot t)^4}{D_0} \quad \dots \dots \dots (5.4.5)$$

とする。

- (b) 一次+二次応力

$$S_n = \frac{C_2 \cdot M_{i s}}{Z_i} \quad \dots \dots \dots (5.4.6)$$

- (c) ピーク応力

$$S_p = \frac{K_2 \cdot C_2 \cdot M_{i s}}{Z_i} \quad \dots \dots \dots (5.4.7)$$

- (d) 繰返しピーク応力強さ

$$S_\theta = \frac{K_e \cdot S_p}{2} \quad \dots \dots \dots (5.4.8)$$

- (e) 疲労累積係数

$$\sum \left(\frac{n_i}{N_i} \right) \leq 1.0 \quad \dots \dots \dots (5.4.9)$$

5.5 計算条件

表 5-8 計算条件

項目	記号	単位	数値等	
			管NO. 1	管NO. 2
材料	—	—	SUSF304	SUSF304 相当
設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数	B_1	—		
設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数	B_2	—		
設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数	C_2	—		
管の外径	D_o	mm		
使用温度における材料の縦弾性係数	E	MPa		
自重	F_w	N		
スクラム反力により生じる荷重	F_{scr}	N		
鉛直方向震度 (S_d) により生じる地震荷重	F_v	N		
鉛直方向震度 (S_s) により生じる地震荷重	F_v	N		
設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数	K_2	—		
設計・建設規格 PPB-3536 に規定する係数	K_e	—		
水平方向震度 (S_d 又は静的震度) により制御棒駆動機構ハウジングに生じるモーメントの最大値*	M_{hsg}	N・mm		
水平方向震度 (S_s) により制御棒駆動機構ハウジングに生じるモーメントの最大値*	M_{hsg}	N・mm		
地震と組合せるべき運転状態における圧力	P	MPa		
管の厚さ	t	mm		

注記 * : 添付書類「V-2-3-2 炉心, 原子炉压力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」の原子炉本体地震応答解析により得られた値。

5.6 応力の評価

5.6.1 管の応力評価

5.4.1項で求めた応力が許容応力以下であること。許容応力は5.5.2項 表5-3による。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

制御棒駆動機構の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

制御棒駆動機構の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【制御棒駆動機構の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
制御棒駆動機構	S	原子炉建屋 EL. 17.142*1	—*2	—*2	CV=0.73	—*2	CV=1.34	302	—

注記 *1: 制御棒駆動機構ハウジングの取付面のレベルを示す。

*2: 発生する荷重は原子炉本体地震応答解析より得られる値。

1.2 機器要目

部材	D_o (mm)	t (mm)	$M_{hs g}$ (N・mm)		F_w (N)	$F_{s c r}$ (N)	F_v (N)		P (MPa)	n_i (回)
			弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s			弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s		
管NO. 1										
管NO. 2										

部材	Z_i (mm ³)	B_1	B_2	C_2	K_2	K_e	S_m (MPa)	S_y (MPa)	縦弾性係数 E (MPa)
管NO. 1							114	126	176000*2
管NO. 2							114	126	176000*2

注記 *1: 運転条件の回数に設計用地震応力繰返し回数 を加えた回数

*2: 最高使用温度で算出

1.3 計算数値

管に作用するモーメント

部 材	$M_{i p}$ (N・mm)		$M_{i s}$ (N・mm)	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
管NO. 1				
管NO. 2				

許容繰返し回数

部 材	S_p (MPa)		S_1 (MPa)		N_i (回)	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
管NO. 1						
管NO. 2						

1.4 結論

1.4.1 応力

許容応力状態	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価(MPa)		一次+二次応力評価(MPa)		疲労評価
			一次応力 $S_{pr m} (S_d)$ $S_{pr m} (S_s)$	許容応力 $\text{Min}(2.25 \cdot S_m, 1.8 \cdot S_y)$ $\text{Min}(3 \cdot S_m, 2 \cdot S_y)$	一次+二次応力 $S_n (S_d)$ $S_n (S_s)$	許容応力 $3 \cdot S_m$ $3 \cdot S_m$	疲労累積係数 $U+US_d$ $U+US_s$
Ⅲ _A S	管NO. 1 最小断面	$S_{pr m} (S_d)$	21	226	—	—	—
Ⅲ _A S		$S_n (S_d)$	—	—	14	342	—
Ⅲ _A S		$U+US_d$	—	—	—	—	0.0000
Ⅳ _A S		$S_{pr m} (S_s)$	22	252	—	—	—
Ⅳ _A S		$S_n (S_s)$	—	—	15	342	—
Ⅳ _A S		$U+US_s$	—	—	—	—	0.0000
Ⅲ _A S	管NO. 2 最小断面	$S_{pr m} (S_d)$	21	226	—	—	—
Ⅲ _A S		$S_n (S_d)$	—	—	14	342	—
Ⅲ _A S		$U+US_d$	—	—	—	—	0.0000
Ⅳ _A S		$S_{pr m} (S_s)$	22	252	—	—	—
Ⅳ _A S		$S_n (S_s)$	—	—	15	342	—
Ⅳ _A S		$U+US_s$	—	—	—	—	0.0000

すべて許容応力以下である。

【制御棒駆動機構の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
制御棒駆動機構	常設耐震/防止	原子炉建屋 EL. 17.142*1	—*2	—	—	—*2	CV=1.34	302	—

注記 *1: 制御棒駆動機構ハウジングの取付面のレベルを示す。

*2: 発生する荷重は原子炉本体地震応答解析より得られる値。

2.2 機器要目

部材	D_o (mm)	t (mm)	$M_{hs g}$ (N・mm)		F_w (N)	$F_{s c r}$ (N)	F_v (N)		P (MPa)	n_i (回)
			弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s			弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s		
管NO. 1			—				—			
管NO. 2			—				—			

部材	Z_i (mm ³)	B_1	B_2	C_2	K_2	K_e	S_m (MPa)	S_y (MPa)	縦弾性係数 E (MPa)
管NO. 1							114	126	176000*2
管NO. 2							114	126	176000*2

注記 *1: 運転条件の回数に設計用地震応力繰返し回数 を加えた回数

*2: 最高使用温度で算出

2.3 計算数値

管に作用するモーメント

部 材	$M_{i p}$ (N・mm)		$M_{i s}$ (N・mm)	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
管NO. 1	—		—	
管NO. 2	—		—	

許容繰返し回数

部 材	S_p (MPa)		S_1 (MPa)		N_i (回)	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
管NO. 1	—		—		—	
管NO. 2	—		—		—	

2.4 結論

2.4.1 応力

許容応力状態	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価(MPa)		一次+二次応力評価(MPa)		疲労評価
			一次応力 $S_{pr m} (S_s)$	許容応力 $\text{Min}(3 \cdot S_m, 2 \cdot S_y)$	一次+二次応力 $S_n (S_s)$	許容応力 $3 \cdot S_m$	疲労累積係数 $U + U S_s$
IVAS	管NO. 1 最小断面	$S_{pr m} (S_s)$	22	252	—	—	—
IVAS		$S_n (S_s)$	—	—	15	342	—
IVAS		$U + U S_s$	—	—	—	—	0.0000
IVAS	管NO. 2 最小断面	$S_{pr m} (S_s)$	22	252	—	—	—
IVAS		$S_n (S_s)$	—	—	15	342	—
IVAS		$U + U S_s$	—	—	—	—	0.0000

すべて許容応力以下である。