

東海第二発電所 工事計画認可申請資料 提出リスト(耐震)

No.	資料番号	資料名称	備考
1	工認-788 改1	V-2-6-5-33 格納容器内酸素濃度 (SA) の耐震性についての計算書	
2	工認-840 改1	V-2-6-5-32 格納容器内酸素濃度の耐震性についての計算書	
3	工認-842 改1	V-2-6-7-10 格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置の耐震性についての計算書	
4	工認-367 改1	V-2-6-5-19 原子炉圧力 (SA) の耐震性についての計算書	
5	工認-382 改1	V-2-6-5-4 原子炉圧力容器温度の耐震性についての計算書	
6	工認-423 改1	V-2-6-5-24 原子炉水位 (SA 燃料域) の耐震性についての計算書	
7	工認-424 改2	V-2-4-2-5 使用済燃料プール水位・温度 (SA 広域) の耐震性についての計算書	
8	工認-425 改1	V-2-8-2-5 フィルタ装置出口放射線モニタ (低レンジ) の耐震性についての計算書	
9	工認-426 改1	V-2-8-2-6 フィルタ装置出口放射線モニタ (高レンジ) の耐震性についての計算書	
10	工認-427 改1	V-2-6-5-35 代替淡水貯槽水位の耐震性についての計算書	
11	工認-428 改1	V-2-8-2-7 耐圧強化ベント系放射線モニタの耐震性についての計算書	
12	工認-430 改1	V-2-6-7-17 緊急用海水系流量 (残留熱除去系熱交換器) の耐震性についての計算書	
13	工認-431 改1	V-2-6-7-18 緊急用海水系流量 (残留熱除去系補機) の耐震性についての計算書	
14	工認-517 改1	V-2-6-5-37 低圧代替注水系格納容器スプレイ流量 (常設ライン用) の耐震性についての計算書	
15	工認-520 改1	V-2-6-7-20 常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書	
16	工認-638 改1	V-2-6-7-13 フィルタ装置水位の耐震性についての計算書	
17	工認-639 改1	V-2-6-7-14 フィルタ装置圧力の耐震性についての計算書	
18	工認-640 改1	V-2-6-7-16 残留熱除去系海水系系統流量の耐震性についての計算書	
19	工認-641 改1	V-2-6-7-21 代替循環冷却系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書	
20	工認-642 改1	V-2-6-7-26 非常用窒素供給系供給圧力の耐震性についての計算書	
21	工認-643 改1	V-2-6-7-27 非常用窒素供給系高圧窒素ポンベ圧力の耐震性についての計算書	
22	工認-644 改1	V-2-6-7-28 非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の耐震性についての計算書	
23	工認-645 改1	V-2-6-7-29 非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ポンベ圧力の耐震性についての計算書	
24	工認-647 改1	V-2-8-2-8 使用済燃料プールエリア放射線モニタ (低レンジ) の耐震性についての計算書	
25	工認-648 改1	V-2-8-2-9 使用済燃料プールエリア放射線モニタ (高レンジ) の耐震性についての計算書	
26	工認-649 改2	V-2-6-5-3 主蒸気流量の耐震性についての計算書	

27	工認-650 改1	V-2-6-5-15 高圧炉心スプレイ系系統流量の耐震性についての計算書	
28	工認-651 改1	V-2-6-5-16 低圧炉心スプレイ系系統流量の耐震性についての計算書	
29	工認-654 改1	V-2-6-5-20 原子炉水位の耐震性についての計算書	
30	工認-657 改1	V-2-6-7-22 原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書	
31	工認-658 改1	V-2-6-7-23 高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書	
32	工認-659 改1	V-2-6-7-24 低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書	
33	工認-660 改1	V-2-6-7-25 残留熱除去系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書	
34	工認-661 改1	V-2-6-5-21 原子炉水位（広帯域）の耐震性についての計算書	
35	工認-662 改1	V-2-6-5-22 原子炉水位（燃料域）の耐震性についての計算書	
36	工認-709 改1	V-2-6-5-5 高圧代替注水系系統流量の耐震性についての計算書	
37	工認-784 改2	V-2-8-2-2 格納容器雰囲気放射線モニタ（D/W）の耐震性についての計算書	
38	工認-785 改1	V-2-6-5-18 原子炉圧力の耐震性についての計算書	
39	工認-786 改1	V-2-6-5-30 格納容器内水素濃度の耐震性についての計算書	
40	工認-787 改1	V-2-6-5-31 格納容器内水素濃度（SA）の耐震性についての計算書	
41	工認-789 改1	V-2-6-7-8 再循環系ポンプ遮断器の耐震性についての計算書	
42	工認-790 改1	V-2-6-7-9 再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器の耐震性についての計算書	
43	工認-791 改1	V-2-6-5-11 代替循環冷却系ポンプ入口温度の耐震性についての計算書	
44	工認-792 改2	V-2-6-7-1 計測制御設備の盤の耐震性についての計算書	
45	工認-793 改1	V-2-6-7-15 フィルタ装置スクラビング水温度の耐震性についての計算書	
46	工認-795 改1	V-2-6-5-13 残留熱除去系熱交換器出口温度の耐震性についての計算書	
47	工認-796 改2	V-2-8-2-1 主蒸気管放射線モニタの耐震性についての計算書	
48	工認-797 改1	V-2-6-5-27 サプレッション・プール水温度の耐震性についての計算書	
49	工認-798 改1	V-2-6-5-12 残留熱除去系熱交換器入口温度の耐震性についての計算書	
50	工認-823 改1	V-2-6-5-28 ドライウェル雰囲気温度の耐震性についての計算書	
51	工認-824 改1	V-2-6-5-29 サプレッション・チェンバ雰囲気温度の耐震性についての計算書	
52	工認-825 改2	V-2-6-5-36 西側淡水貯水設備水位の耐震性についての計算書	
53	工認-827 改1	V-2-6-7-19 常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書	
54	工認-829 改1	V-2-6-5-14 原子炉隔離時冷却系系統流量の耐震性についての計算書	
55	工認-841 改1	V-2-6-5-17 残留熱除去系系統流量の耐震性についての計算書	
56	工認-936 改1	V-2-6-7-12 静的触媒式水素再結合器動作監視装置の耐震性についての計算書	

57	工認-937 改1	V-2-6-5-43 原子炉建屋水素濃度の耐震性についての計算書	
58	工認-746 改0	V-2-4-2-3 使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震性についての計算書	
59	補足-60-1 改92	東海第二発電所 工事計画に係る説明資料 (V-1-1-2-2 津波への配慮に関する説明書)	
60	補足-340-8 改34	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-340-8 【屋外重要土木構造物の耐震安全性評価につい	

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-788 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-33 格納容器内酸素濃度（S A）の耐震性についての計算書

格納容器内酸素濃度計（S A）の耐震性についての耐震計算は、添付書類「V-2-6-5-31 格納容器内水素濃度（S A）の耐震性についての計算書」で説明する。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-840 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-32 格納容器内酸素濃度の耐震性についての計算書

格納容器内酸素濃度の耐震計算は、添付書類「V-2-6-5-30 格納容器内水素濃度の耐震性についての計算書」で説明する。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-842 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-7-10 格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置
の耐震性についての計算書

格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置の耐震性についての耐震計算は、添付書類「V-2-6-5-31 格納容器内水素濃度（S A）の耐震性についての計算書」で説明する。

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-367 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-19 原子炉圧力（S A）の耐震性についての計算書

目次

1. 原子炉圧力(PT-B22-N071A, C)	1
1.1 概要	1
1.2 一般事項	1
1.2.1 構造計画	1
1.2.2 評価方針	3
1.2.3 適用基準	4
1.2.4 記号の説明	5
1.2.5 計算精度と数値の丸め方	7
1.3 評価部位	8
1.4 固有周期	9
1.4.1 固有値解析方法	9
1.4.2 解析モデル及び諸元	9
1.4.3 固有値解析結果	11
1.5 構造強度評価	12
1.5.1 構造強度評価方法	12
1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	12
1.5.3 設計地震力	13
1.5.4 計算方法	14
1.5.5 計算条件	16
1.5.6 応力の評価	17
1.6 機能維持評価	18
1.6.1 電氣的機能維持評価方法	18
1.7 評価結果	19
1.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	19
2. 原子炉圧力(PT-B22-N071B, D)	24
2.1 概要	24
2.2 一般事項	24
2.2.1 構造計画	24
2.3 固有周期	26
2.3.1 固有周期の算出方法	26
2.3.2 固有周期の計算条件	26
2.3.3 固有周期の計算結果	26
2.4 構造強度評価	27
2.4.1 構造強度評価方法	27

2.4.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	27
2.5 機能維持評価	30
2.5.1 電氣的機能維持評価方法	30
2.6 評価結果	31
2.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	31

1. 原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071A, C）

1.1 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、原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071A, C）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071A, C）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電氣的機能維持評価を示す。

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071A, C）の構造計画を表 1-2-1 に示す。

表 1-2-1 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>検出器は、計器取付ボルトにより計器ステーションに取り付けられた計器取付板に固定される。</p> <p>計器ステーションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>弾性圧力検出器</p>	<p>【PT-B22-N071A, C】</p> <p>正面</p> <p>側面 (単位: mm)</p>

1.2.2 評価方針

原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071A, C）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、「1.2.1 構造計画」にて示す原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071A, C）の部位を踏まえ「1.3 評価部位」にて設定する箇所において、「1.4 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、「1.5 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、原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071A, C）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 4.3 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、「1.6 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「1.7 評価結果」に示す。

原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071A, C）の耐震評価フローを図 1-2-1 に示す。

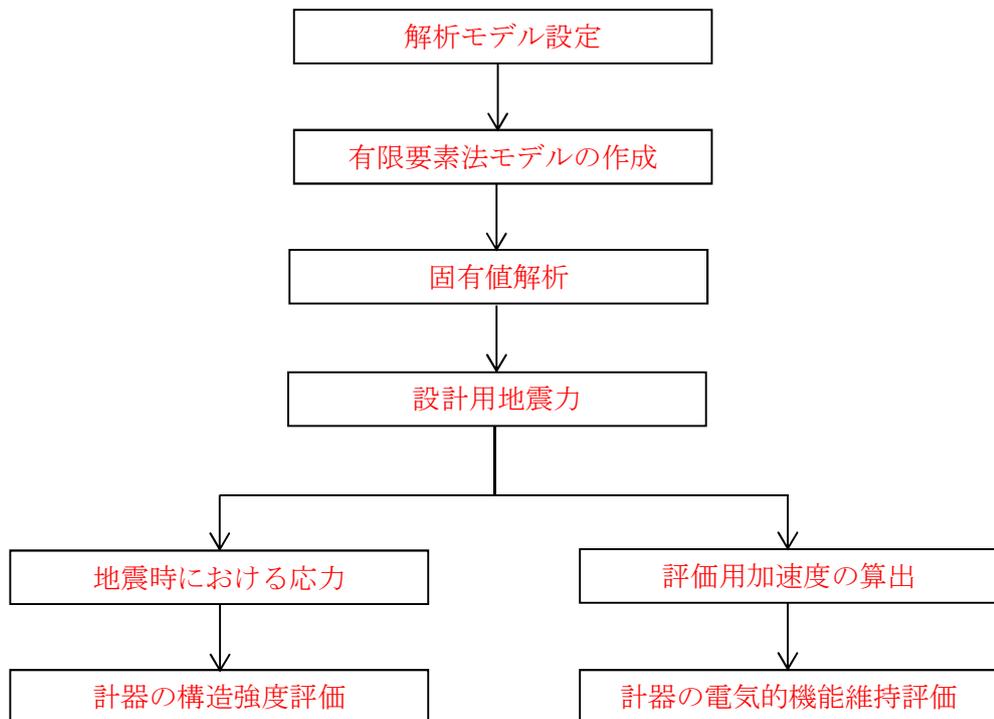


図 1-2-1 原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071A, C）の耐震評価フロー

1.2.3 適用基準

適用基準等を以下に示す。

- (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。）

1.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	サポートの断面積	mm ²
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
E	縦弾性係数	MPa
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本当たり)	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本当たり) (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本当たり) (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 ₂	取付面から重心までの距離 (壁掛形)	mm
I _p	サポートの断面二次極モーメント	mm ⁴
I _y	サポートの断面二次モーメント (y 軸)	mm ⁴
I _z	サポートの断面二次モーメント (z 軸)	mm ⁴
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総質量	kg
m _a	検出器の質量	kg
n	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°Cにおける値	MPa
Z_p	サポートのねじり断面係数	mm ³
Z_y	サポートの断面係数 (y 軸)	mm ³
Z_z	サポートの断面係数 (z 軸)	mm ³
ν	ポアソン比	—
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

1.2.5 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1-2-2に示すとおりとする。

表1-2-2 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*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。

1.3 評価部位

原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071A, C）の耐震評価は、「1.5.1 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部について実施する。

原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071A, C）の耐震評価部位については、表 1-2-1 の概略構造図に示す。

1.4 固有周期

1.4.1 固有値解析方法

原子炉圧力 (S A) (PT-B22-N071A, C) の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 原子炉圧力 (S A) (PT-B22-N071A, C) は、4.2 解析モデル及び諸元に示す 3次元はりモデルとして考える。

1.4.2 解析モデル及び諸元

原子炉圧力 (S A) (PT-B22-N071A, C) の解析モデルを図 1-4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表 1-4-1、部材の機器要目を表 1-4-2 に示す。

- (1) 図 1-4-1 中の○内の数字は部材番号 (要素番号) を示す。
- (2) 図 1-4-1 中の ⊕ は検出器質点を示し、 m_a は 14 kg である。
- (3) 図 1-4-1 中の実線はサポート鋼材、点線は仮想鋼材を示す。
- (4) 拘束条件として、基礎部の X Y Z 方向及び回転方向を固定する。
- (5) 解析コードは、「NSAFE」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、添付書類「V-5-4 計算機プログラム (解析コード) の概要 ・ HISAP 及び NSAFE」に示す。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

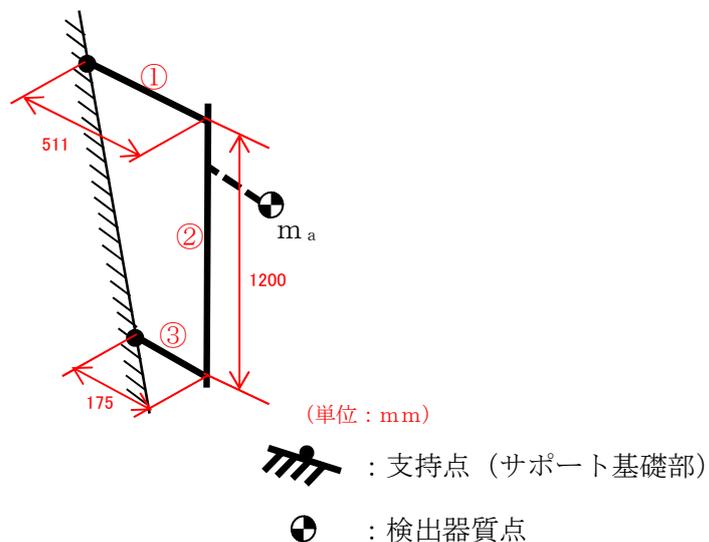


図 1-4-1 原子炉圧力 (S A) (PT-B22-N071A, C) 解析モデル

表1-4-1 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m_a	kg	
温度条件 (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	

表 1-4-2 部材の機器要目

材料	
対象要素	①-③
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	

1.4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 1-4-3 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ため、固有周期の算出は省略した。

表1-4-3 固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1次	<input type="text"/>	水平

1.5 構造強度評価

1.5.1 構造強度評価方法

1.4.2 項(1)～(6)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071A, C）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。

1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

1.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071A, C）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 1-5-1 に示す。

1.5.2.2 許容応力

原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071A, C）の許容応力を表 1-5-2 に示す。

1.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071A, C）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 1-5-3 に示す。

表 1-5-1 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
計測制御 系統施設	計測装置	原子炉圧力（SA）	常設耐震／防止 常設／緩和	—*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，「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 1-5-2 許容応力（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)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t * 1.5・f _s *	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 1-5-3 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		221	373	—

1.5.3 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。耐震評価に用いる設計用地震力を表 1-5-4 に示す。

表 1-5-4 設計用地震力（重大事故等対処設備）

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	
		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
常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建屋 []	[]		—	—	$C_H=1.55$	$C_V=1.17$

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。

1.5.4 計算方法

1.5.4.1 応力の計算方法

1.5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、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。

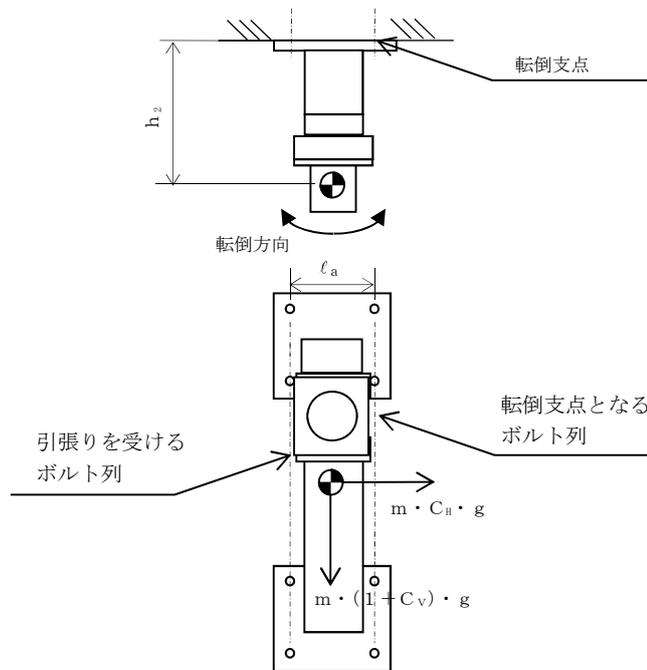


図1-5-1(1) 計算モデル
(壁掛形 水平方向転倒の場合)

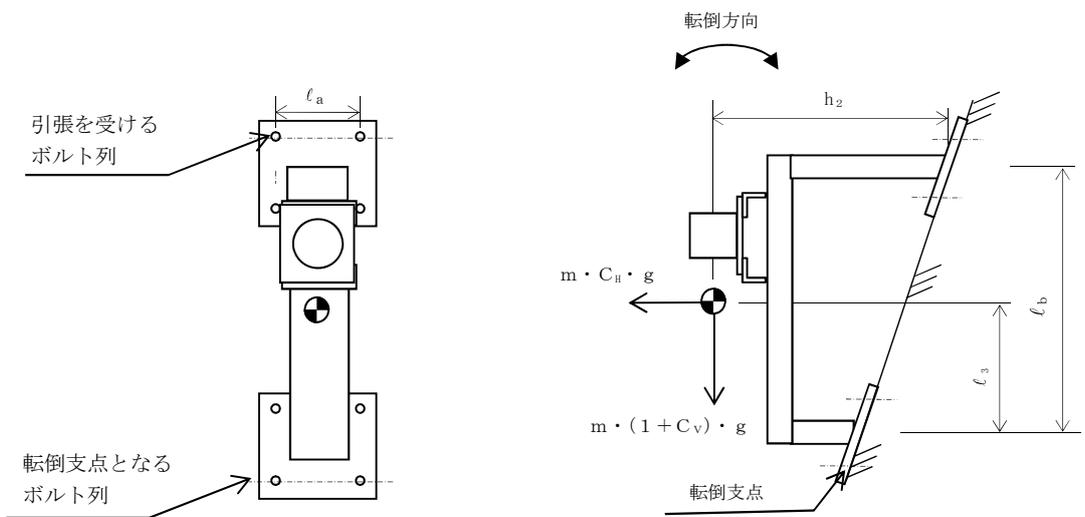


図1-5-1(2) 計算モデル
(壁掛形 鉛直方向転倒の場合)

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図1-5-1で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の基礎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5-1 (1)の場合の引張力

$$F_{b1} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot h_2}{n_{fH} \cdot \ell_a} + \frac{(1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot \ell_b} \right) \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.1)$$

計算モデル図5-1 (2)の場合の引張力

$$F_{b2} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot \ell_3 + (1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot \ell_b} \right) \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.2)$$

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.3)$$

引張応力 (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.4)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎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)

$$Q_{b1} = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V) \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.7)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.8)$$

せん断応力 (τ_b)

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.9)$$

1.5.5 計算条件

1.5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071A, C）の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

1.5.6 応力の評価

1.5.6.1 ボルトの応力評価

1.5.4.1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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots \dots \dots (1.5.6.1.1)$$

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}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

1.6 機能維持評価

1.6.1 電氣的機能維持評価方法

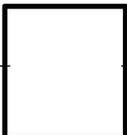
原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071A, C）の電氣的機能維持評価について以下に示す。

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。

原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071A, C）の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、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-6-1 に示す。

表 1-6-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉圧力（S A） （PT-B22-N071A, C）	水平	
	鉛直	

1.7 評価結果

1.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071A, C）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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉圧力 (S A) (PT-B22-N071A, C) の耐震性についての評価結果】

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		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	
原子炉圧力 (S A)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 □	0.043	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。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉圧力 (S A)

部 材	m (kg)	h ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ _a (mm)	ℓ _b (mm)	A _b (mm ²)	n	n _{NV}	n _{TH}
基礎ボルト	□							4	4

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	221	373	—	261	—	水平方向

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		F _{b1}		F _{b2}		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	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	—	—	$\sigma_b=8$	$f_{ts}=156^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=120$

すべて許容応力以下である。

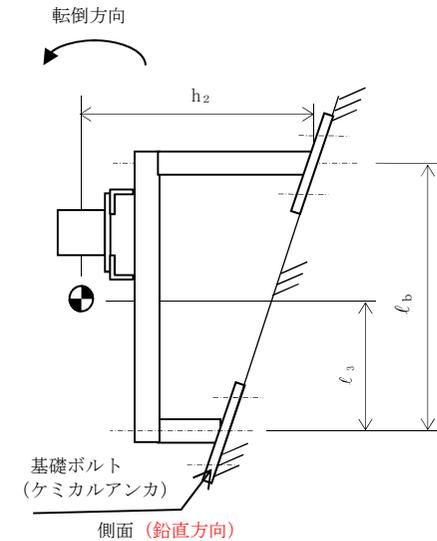
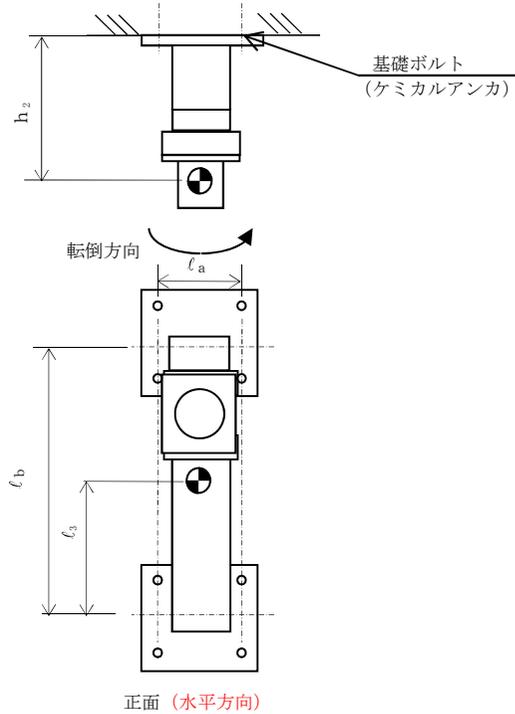
注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

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
原子炉圧力 (S A)	水平方向	1.29	
	鉛直方向	0.98	

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。



2. 原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071B, D）

2.1 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、原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071B, D）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071B, D）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電氣的機能維持評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071B, D）の構造計画を表 2-2-1 に示す。

表 2-2-1 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>検出器は、計器取付ボルトにより計器ステーションに取り付けられた計器取付板に固定される。</p> <p>計器ステーションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>弾性圧力検出器</p>	<p>【PT-B22-071B, D】</p> <p>上面</p> <p>220</p> <p>計器ステーション</p> <p>基礎ボルト ケミカルアンカ</p> <p>基礎 (床面)</p> <p>正面</p>

25

2.3 固有周期

2.3.1 固有周期の算出方法

原子炉圧力 (S A) (PT-B22-N071B, D) の固有周期の計算方法を以下に示す。

2.3.1.1 水平方向

- (1) 原子炉圧力 (S A) (PT-B22-N071B, D) の質量は、重心に集中するものとする。
- (2) 原子炉圧力 (S A) (PT-B22-N071B, D) は、図 2-3-1 に示す床固定の 1 質点系振動モデルとして考える。
- (3) 固有周期は次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \quad \dots (2.3.1.1)$$

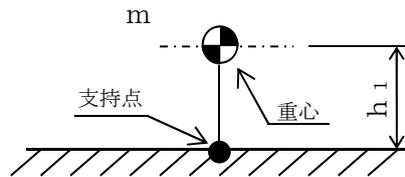


図 2-3-1 固有周期の計算モデル

2.3.1.2 鉛直方向

鉛直方向は十分な剛性を有していることから、固有周期の計算を省略する。

2.3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 2-3-1 に示す。

表 2-3-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
原子炉圧力 (S A) (PT-B22-N071B, D) の質量	m	kg	
取付面から重心までの距離	h 1	mm	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm ⁴	
最小有効せん断断面積	A s	mm ²	
せん断弾性係数	G	MPa	

2.3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 2-3-2 示す。

固有周期の計算の結果から、剛であることを確認した。

表 2-3-2 固有周期 (s)

水平方向	鉛直方向

2.4 構造強度評価

2.4.1 構造強度評価方法

原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071B, D）の構造は直立形計器スタンションであるため、構造強度評価は、添付書類「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」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

2.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071B, D）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 2-4-1 に示す。

2.4.2.2 許容応力

原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071B, D）の許容応力を表 2-4-2 に示す。

2.4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071B, D）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 2-4-3 に示す。

表 2-4-1 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
計測制御 系統施設	計測装置	原子炉圧力（SA）	常設耐震／防止 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 2-4-2 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)	
	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 2-4-3 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		221	373	—

2.5 機能維持評価

2.5.1 電氣的機能維持評価方法

原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071B, D）の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071B, D）の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-5-1 に示す。

表 2-5-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉圧力（S A） （PT-B22-N071B, D）	水平	
	鉛直	

2.6 評価結果

2.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉圧力（S A）（PT-B22-N071B, D）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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉圧力 (S A) (PT-B22-N071B, D) の耐震性についての評価結果】

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		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	
原子炉圧力 (S A)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 []	[]	[]	—	—	C _H =1.55	C _V =1.17	[]

注記 *1: 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉圧力 (S A)

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	[]						2
	[]						2

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	221	373	—	261	—	前後方向

注記 * : 各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は前後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	—	—	$\sigma_b=19$	$f_{ts}=156^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=120$

すべて許容応力以下である。

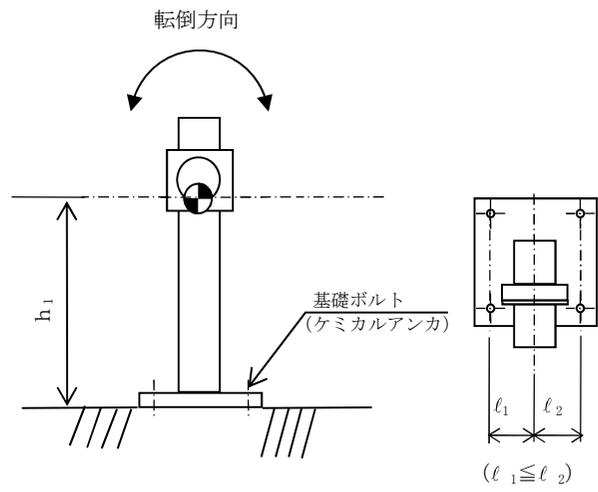
注記* : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

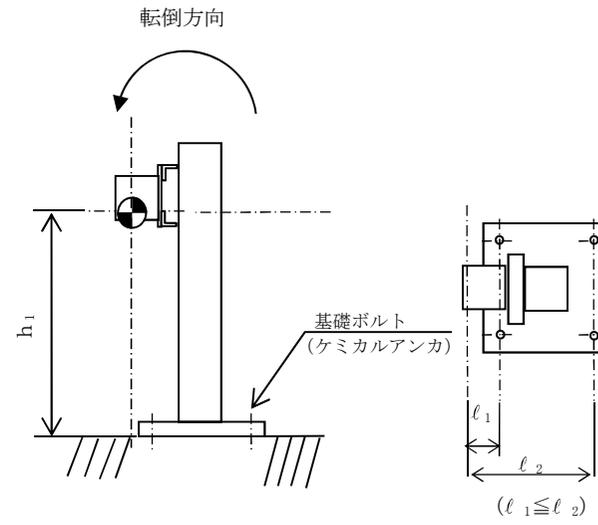
($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉圧力 (S A)	水平方向	1.29	
	鉛直方向	0.98	

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。



正面 (左右方向)



側面 (前後方向)

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-382 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-4 原子炉压力容器温度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
3. 評価部位	3
4. 機能維持評価	4
4.1 評価用加速度	4
4.2 機能確認済加速度	5
5. 評価結果	6
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	6

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」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、原子炉圧力容器温度が設計用地震力に対して十分な電氣的機能を有していることを説明するものである。

原子炉圧力容器温度は、重大事故等対処設備においては常設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電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉圧力容器温度の構造計画を表 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>検出器は原子炉圧力容器に直接取り付けられたエンドパッド及びクランプパッドにより固定する。クランプパッドはボルトを用いて検出器を固定する。</p>	<p>熱電対</p>	<p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

原子炉压力容器温度の機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 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、「4. 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「5. 評価結果」に示す。

原子炉压力容器温度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

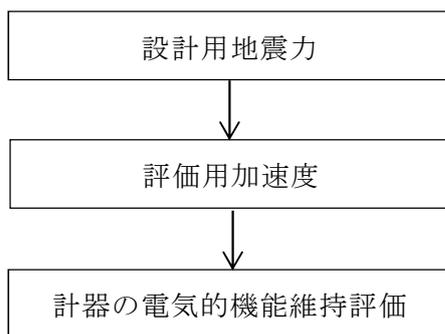


図 2-1 原子炉压力容器温度の耐震評価フロー

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。

3. 評価部位

原子炉压力容器温度は、原子炉压力容器に直接取り付けられたエンドパッド及びクランプパッドに挿入され固定されることから、原子炉压力容器が支持している。原子炉压力容器の構造強度評価は添付書類「V-2-3-4 原子炉压力容器の耐震性についての計算書」にて実施しているため、本計算書では、原子炉压力容器の地震応答解析結果を用いた原子炉压力容器温度の電氣的機能維持評価について示す。

原子炉压力容器温度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. 機能維持評価

4.1 評価用加速度

原子炉圧力容器温度は、原子炉圧力容器に直接取り付けられたエンドパッド及びクランプパッドに挿入され固定されることから、評価用加速度は、基準地震動 S_s による地震力として添付書類「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。評価用加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価用加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	評価用加速度
原子炉圧力容器温度 (TE-B22-N030C)	原子炉格納容器内 	水平	1.56
		鉛直	1.16
原子炉圧力容器温度 (TE-B22-N030G)	原子炉格納容器内 	水平	1.35
		鉛直	1.15
原子炉圧力容器温度 (TE-B22-N030H)	原子炉格納容器内 	水平	1.34
		鉛直	1.10
原子炉圧力容器温度 (TE-B22-N030S)	原子炉格納容器内 	水平	1.35
		鉛直	1.11

注記 * : 基準床レベルを示す。

4.2 機能確認済加速度

原子炉圧力容器温度の機能確認済加速度については以下に示す。

原子炉圧力容器温度の機能確認済加速度には、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-2に示す。

表4-2 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉圧力容器温度	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉圧力容器温度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。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電氣的機能が維持されていることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉压力容器温度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 電氣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	
原子炉压力容器温度 (TE-B22-N030C)	水平方向	1.56		
	鉛直方向	1.16		
原子炉压力容器温度 (TE-B22-N030G)	水平方向	1.35		
	鉛直方向	1.15		
原子炉压力容器温度 (TE-B22-N030H)	水平方向	1.34		
	鉛直方向	1.10		
原子炉压力容器温度 (TE-B22-N030S)	水平方向	1.35		
	鉛直方向	1.11		

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-423 改1
提 出 年 月 日	平成30年8月16日

V-2-6-5-24 原子炉水位（S A燃料域）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. 固有周期	3
3.1 固有周期の算出方法	3
3.2 固有周期の計算条件	3
3.3 固有周期の計算結果	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
5. 機能維持評価	7
5.1 電氣的機能維持評価方法	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、原子炉水位（S A燃料域）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

原子炉水位（S A燃料域）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電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉水位（S A燃料域）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>検出器は、計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。</p> <p>計器スタンションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式水位検出器</p>	<p>上面</p> <p>正面</p> <p>側面</p> <p>1300</p> <p>160</p> <p>約 240</p> <p>検出器</p> <p>計器取付ボルト</p> <p>計器スタンション</p> <p>計器取付板</p> <p>基礎ボルト ケミカルアンカ</p> <p>基礎 (床面)</p> <p>(水平方向)</p> <p>(鉛直方向)</p> <p>(単位: mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

原子炉水位（S A燃料域）の固有周期の計算方法を以下に示す。

3.1.1 水平方向

- (1) 原子炉水位（S A燃料域）の質量は、質点に集中するものとする。
- (2) 原子炉水位(S A燃料域)は, 図 3-1 に示す床固定の 1 質点系振動モデルとして考える。
- (3) 固有周期は次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \dots (3.1.1)$$

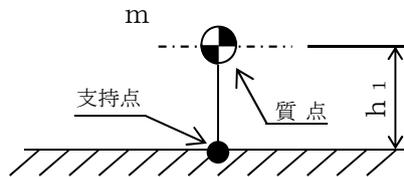


図 3-1 固有周期の計算モデル

3.1.2 鉛直方向

鉛直方向は十分な剛性を有していることから、固有周期の計算を省略する。

3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
原子炉水位（S A燃料域）の質量	m	kg	
取付面から重心までの距離	h ₁	mm	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm ⁴	
最小有効せん断断面積	A _s	mm ²	
せん断弾性係数	G	MPa	

3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-2 示す。

固有周期の計算の結果から、剛であることを確認した。

表 3-2 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

原子炉水位（S A燃料域）の構造は直立形計器スタンションであるため、構造強度評価は、添付書類「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」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

原子炉水位（S A燃料域）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

原子炉水位（S A燃料域）の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力

原子炉水位（S A燃料域）の使用材料の許容応力のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 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	計測装置	原子炉水位 (S A燃料域)	常設耐震／防止 常設／緩和	—*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：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 4-2 許容応力（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)	
	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。)		

の

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 (RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		234	385	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

原子炉水位（S A燃料域）の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉水位（S A燃料域）の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉水位（S A燃料域）	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

原子炉水位（S A燃料域）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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉水位（S A燃料域）の耐震性についての評価結果】

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		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	
原子炉水位（S A燃料域）	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建屋			—	—	C _H =1.13	C _V =0.99	

注記 *1: 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉水位（S A燃料域）

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							2
							2

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	234	385	—	270	—	前後方向

注記 * : 各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は前後方法転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 原子炉水位（S A 燃料域）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 原子炉水位（S A 燃料域）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	—	—	$\sigma_b=15$	$f_{ts}=162^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=124$

すべて許容応力以下である。

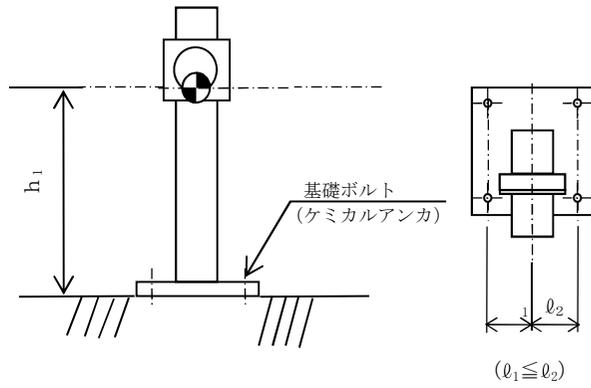
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

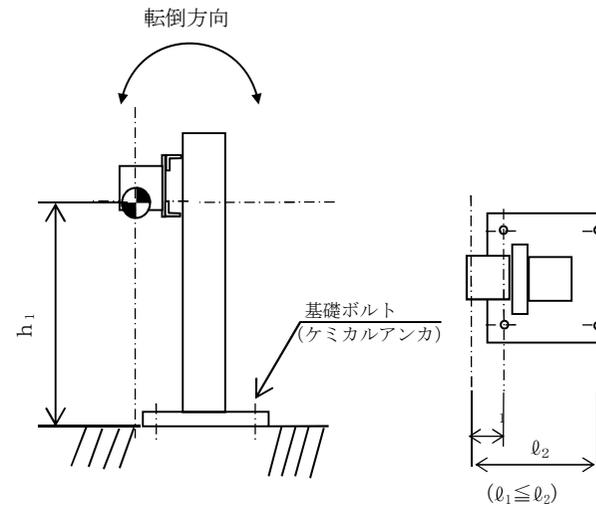
($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉水位計 (S A 燃料域)	水平方向	0.95	
	鉛直方向	0.83	

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。



正面 (左右方向)



側面 (前後方向)

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-424 改2
提出年月日	平成30年8月16日

.V-2-4-2-5 使用済燃料プール水位・温度（S A広域）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.	検出器の評価	8
4.1	検出器の地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1.1	検出器の地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.1.2	検出器の荷重の組合せ及び許容応力	8
4.1.3	検出器の解析モデル及び諸元	10
4.1.4	検出器の固有周期	12
4.1.5	検出器の設計用地震力	13
4.1.6	検出器の計算方法	14
4.1.7	検出器の計算条件	16
4.1.8	検出器の応力の評価	16
5.	検出器架台の評価	17
5.1	検出器架台の固有周期	17
5.1.1	検出器架台の固有値解析方法	17
5.1.2	検出器架台の解析モデル及び諸元	17
5.1.3	検出器架台の固有値解析結果	18
5.2	検出器架台の構造強度評価	19
5.2.1	検出器架台の構造強度評価方法	19
5.2.2	検出器架台の荷重の組合せ及び許容応力	19
5.2.3	検出器架台の設計用地震力	21
5.2.4	検出器架台の計算方法	22
5.2.5	検出器架台の計算条件	26
5.2.6	検出器架台の応力の評価	26
6.	機能維持評価	27
6.1	電氣的機能維持評価方法	27
7.	評価結果	28
7.1	重大事故等対処設備としての評価結果	28

1. 概要

本計算書は、「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、使用済燃料プール水位・温度（S A広域）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

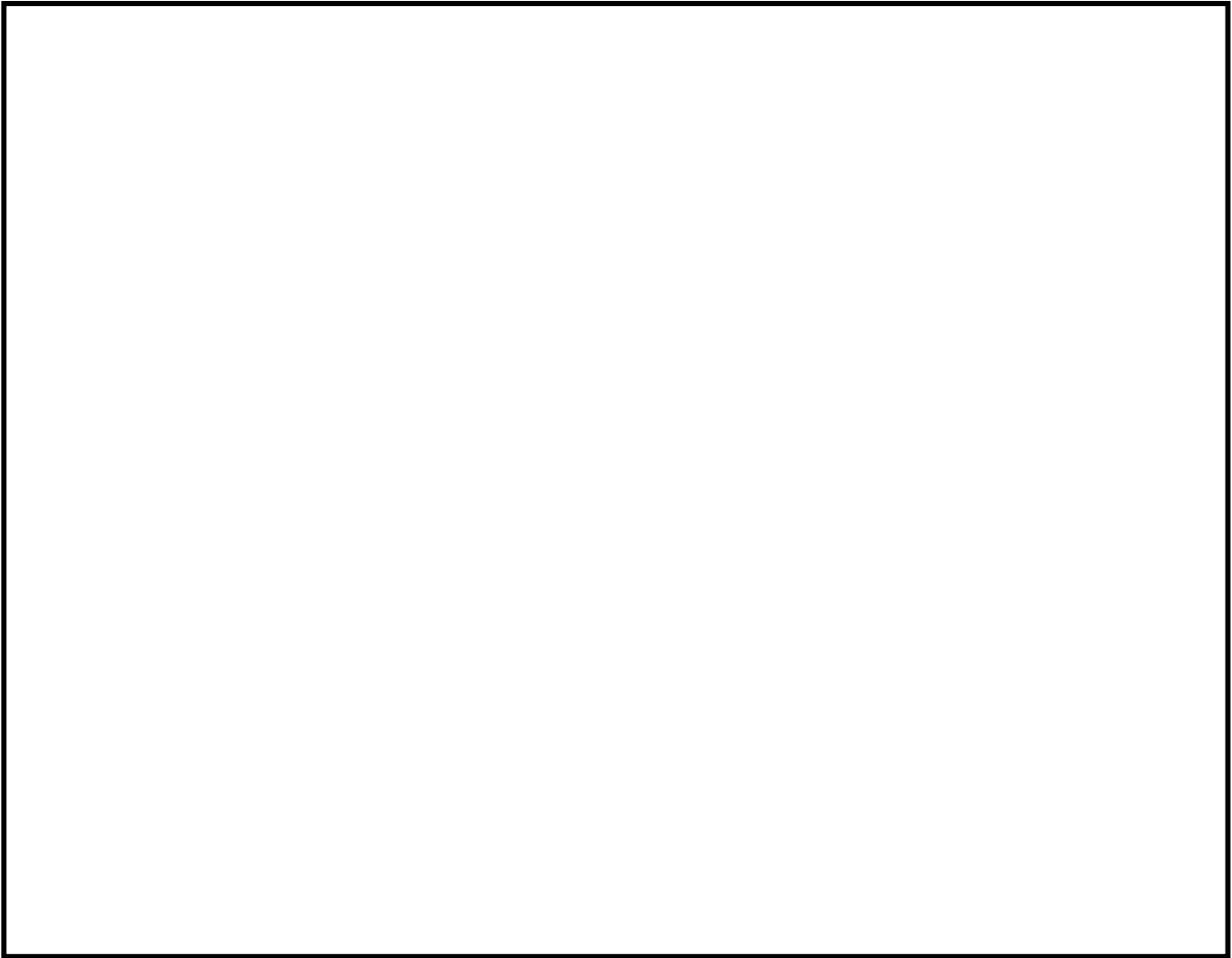
使用済燃料プール水位・温度（S A広域）は、設計基準対象施設においてはCクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）の構造計画を表 2-1 に示す。

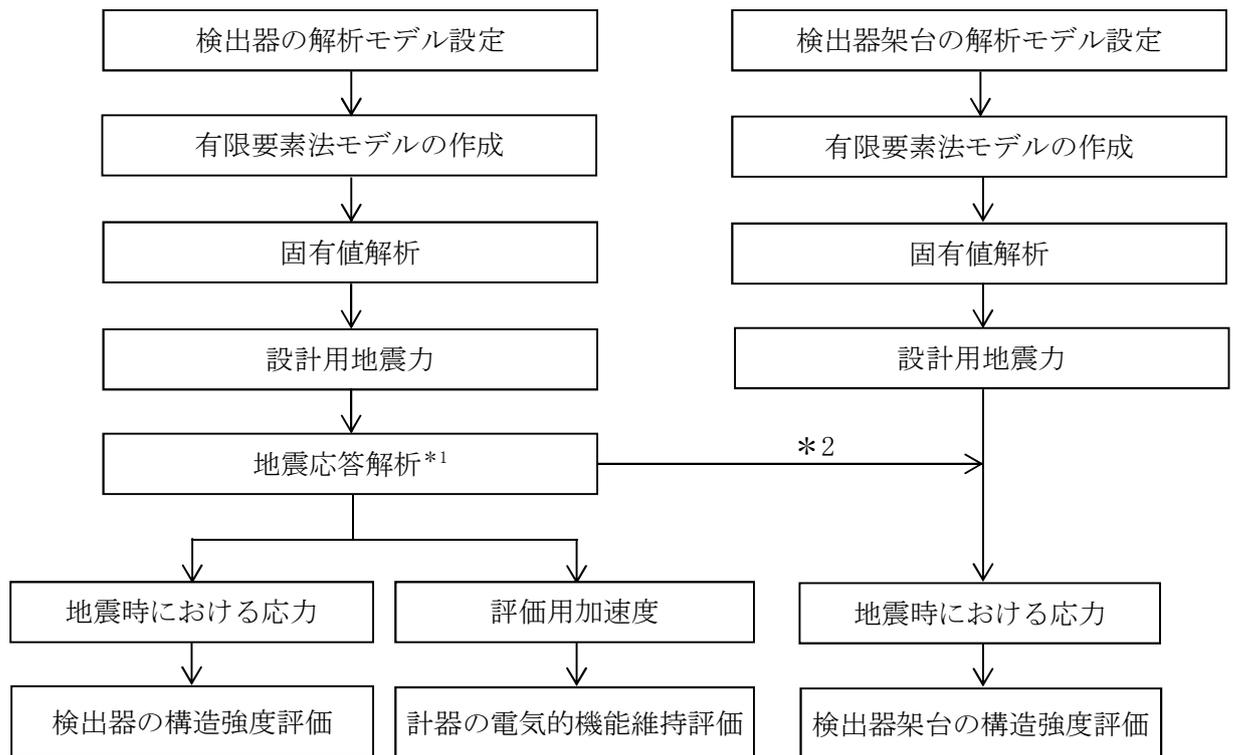
表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、ボール形状の上端部を検出器架台梁先端のソケットに接続する。</p> <p>検出器架台梁及び検出器架台は、検出器架台取付ボルトによりベースプレートに固定され、ベースプレートは、基礎ボルトにより基礎に設置する。</p> <p>また、検出器は使用済燃料プール壁面の埋込金物に検出器サポートで固定する。</p>	<p>測温抵抗体式温度検出器及びガイドパルス式水位検出器</p>	

2.2 評価方針

使用済燃料プール水位・温度計（S A広域）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」にて示す使用済燃料プール水位・温度計（S A広域）の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、検出器については「4.1.3 検出器の解析モデル及び諸元」及び「4.1.4 検出器の固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力が許容限界内に収まることを、「4.1 検出器の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し、検出器架台については「5.1 検出器架台の固有周期」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、「5.2 検出器架台の構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、使用済燃料プール水位・温度計（S A広域）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」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電気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。

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）の耐震評価フローを図2-1に示す。



注記 *1：スロッシングによる流体時刻歴解析を含む

*2：検出器の解析により得られた検出器取付部における荷重を、組み合わせて評価する。

図2-1 使用済燃料プール水位・温度（S A広域）の耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準等を以下に示す。

- (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。)
- (3) 発電用原子力設備規格(材料規格(2012年版) JSME S NJ 1-2012)
(日本機械学会 2012年12月)

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_p	スロッシングにおける検出器の投影面積	mm^2
C_d	検出器の抗力係数	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
d_o	検出器保護管外径	mm
d_i	検出器保護管内径	mm
d_r	検出器芯棒外径	mm
E	縦弾性係数	MPa
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	基礎ボルトに作用する引張力 (1 本当たり)	N
F_s	スロッシングにより検出器に生じる抗力	N
F_x	検出器取付部における水平方向荷重	N
F_{x1}	地震力における水平方向荷重	N
F_{x11}	地震力における X 方向荷重	N
F_{x12}	地震力における Z 方向荷重	N
F_{x2}	スロッシングにおける水平方向荷重	N
F_{x21}	スロッシングにおける X 方向荷重	N
F_{x22}	スロッシングにおける Z 方向荷重	N
F_y	検出器取付部における鉛直方向荷重	N
F_{xB}	検出器取付部に作用する力 (水平方向)	N
F_{yB}	検出器取付部に作用する力 (鉛直方向)	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	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_1	検出器架台の据付面から重心までの距離	mm
h_2	検出器取付部から検出器架台の重心までの鉛直方向距離	mm
l_1	検出器架台の重心と基礎ボルト間の水平方向距離※	mm
l_2	検出器架台の重心と基礎ボルト間の水平方向距離※	mm
l_b	検出器取付部中心から重心までの水平方向距離	mm
l_p	検出器長さ	mm
M_x	検出器架台の重心における検出器取付部から作用するモーメント (X 軸周り)	$\text{N} \cdot \text{mm}$

記号	記号の説明	単位
M_z	検出器架台の重心における検出器取付部から作用するモーメント (Z軸周り)	N・mm
m_{b1}	検出器架台質量	kg
m_{b2}	検出器架台梁質量	kg
m_p	検出器質量	kg
m_w	検出器内包水質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
Q_b	基礎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
V_p	スロッシングにおける流速により生じる検出器の速度	m/s
V_w	スロッシングにおける流速	m/s
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_p	検出器に生じる曲げ応力	MPa
σ_{p1}	地震力における曲げ応力	MPa
σ_{p2}	スロッシングにおける曲げ応力	MPa
σ_{p21}	スロッシングにおけるX方向曲げ応力	MPa
σ_{p22}	スロッシングにおけるZ方向曲げ応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
ρ	水の密度	kg/m ³
ν	ポアソン比	—

注記 ※ : $l_1 \leq l_2$

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2-3に示すとおりとする。

表2-3 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
刺激係数	—	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位*1
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

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）の耐震評価は、検出器の上端部がボール形状であり、回転方向を拘束しない構造であることから、検出器と検出器架台についてそれぞれ評価を行う。検出器については、「4.1 検出器の地震応答解析及び構造強度評価」に示す条件に基づき評価を実施する。また、検出器架台については、「5.2 検出器架台の構造強度評価方法」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. 検出器の評価

4.1 検出器の地震応答解析及び構造強度評価

4.1.1 検出器の地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 地震力は、検出器に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) スロッシングは、検出器に対して、水平方向から作用するものとする。
- (3) 曲げの変形モードを考慮する。
- (4) 計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.1.2 検出器の荷重の組合せ及び許容応力

4.1.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）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。

4.1.2.2 検出器の許容応力

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）検出器の評価に用いる許容応力は、「4.8.1 検出器の応力評価」に示す。

4.1.2.3 検出器の使用材料の許容応力評価条件

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）検出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を表 4-2 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
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 水位・温度（SA広 域）	常設／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_S$ *3, *4	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$ *4	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限 界を用いる。)

注記 *1：「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：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。

*4：地震荷重にはプール水のスロッシングによる荷重を含む。

表 4-2 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		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
		(°C)						
検出器		周囲環境温度		171	—	—	—	—

4.1.3 検出器の解析モデル及び諸元

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）検出器の解析モデルの概要を以下に示す。また、解析モデルを図4-1に、機器の諸元を表4-3に示す。

- (1) 使用済燃料プール水位・温度（S A広域）検出器は、図4-1に示す3次元はりモデルとして考える。
- (2) 拘束条件は、検出器上端の取付部でX Y Z方向を、検出器中部並びに下部サポート点でX Z方向を固定する。
- (3) 円柱形状の検出器に含まれる水の質量及び検出器周囲の流体の付加質量を考慮する。ただし、検出器周囲の流体の付加質量は、検出器の全長における3箇所でのX Z方向にのみ与えられる。
- (4) 検出器周囲の流体の付加質量は各質点に付加する。
- (5) 解析コードは、「ANSYS」を使用し、固有値及び応力を求める。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-5-48 計算機プログラム（解析コード）の概要・ANSYS」に示す。

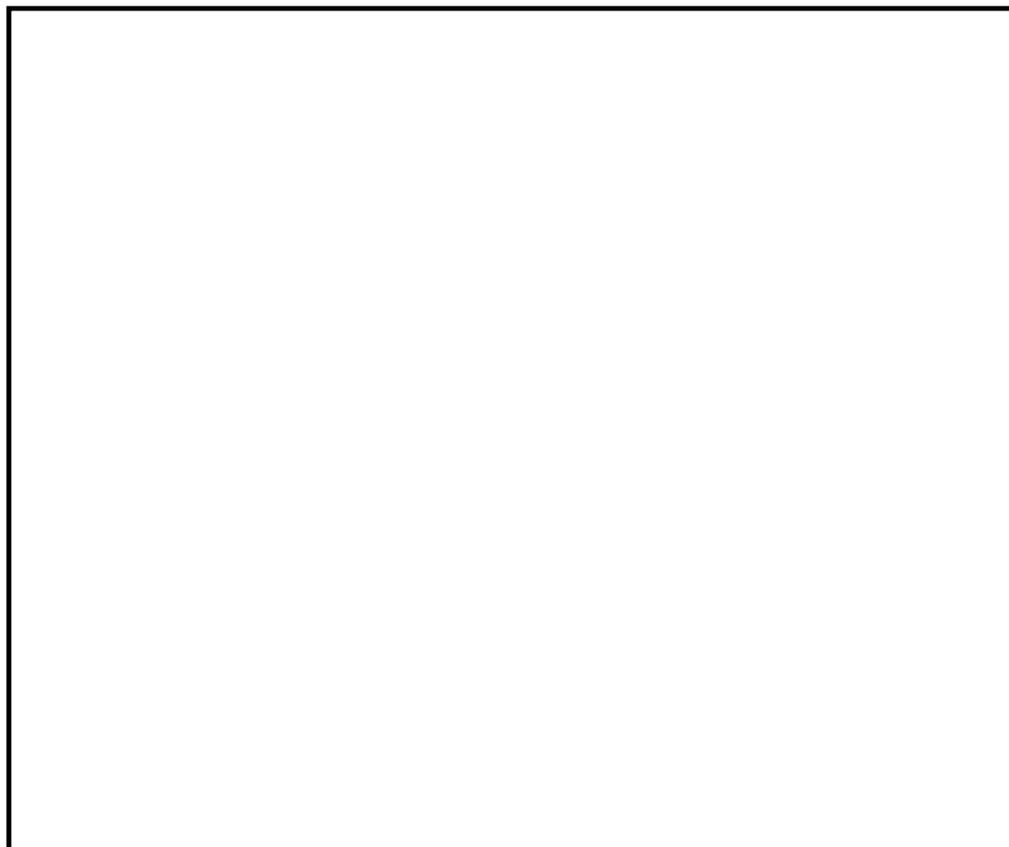


図4-1 検出器の解析モデル

表4-3 検出器の機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
検出器質量	m_p	kg	
検出器内包水質量	m_w	kg	
保護管外径	d_o	mm	
保護管内径	d_i	mm	
検出器芯棒外径	d_r	mm	
検出器長さ	l_p	mm	
温度条件 (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	

4.1.4 検出器の固有周期

検出器の固有値解析の結果を表4-4に、振動モード図を図4-2に示す。固有値解析の結果、鉛直方向は剛であることを確認した。

表4-4 検出器の固有周期

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
			X方向	Y方向	Z方向
1次		水平			
2次		水平			
3次		水平			
4次		水平			
5次		水平			
6次		水平			
7次		鉛直			

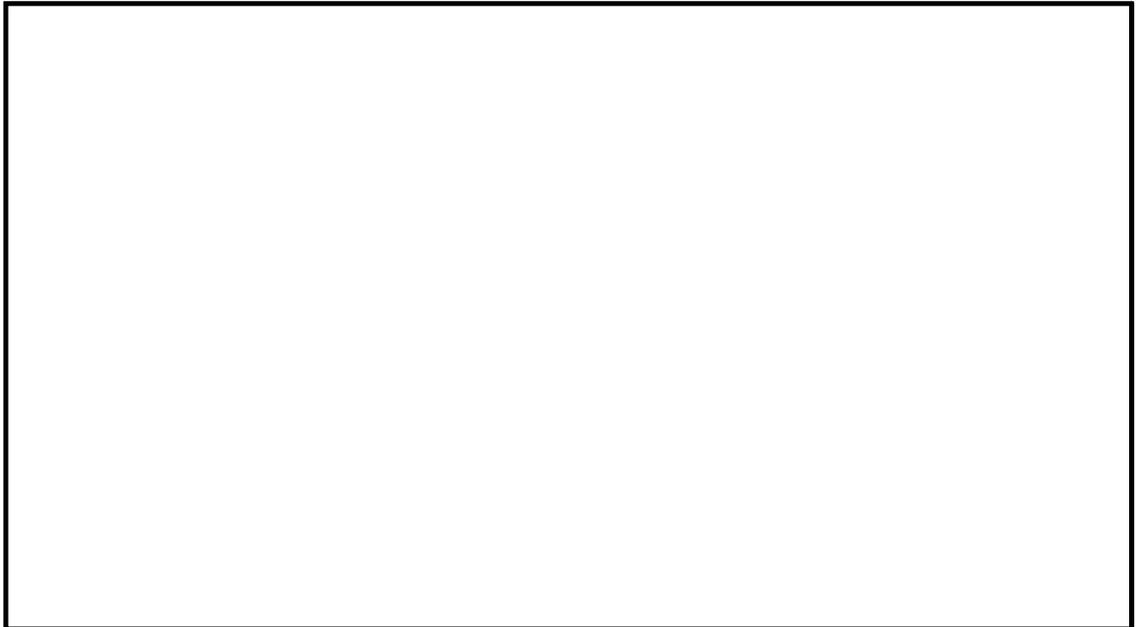


図4-2 検出器振動モード図

4.1.5 検出器の設計用地震力

「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、減衰定数は添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づき設定する。

検出器の評価に用いる設計用地震力を表4-5に示す。

表4-5 検出器の評価に用いる設計用地震力

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
原子炉建屋 []	[]		—	—	$C_H=1.74$ 又は*2	$C_V=1.52$	1.0	—

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線より得られる値

4.1.6 検出器の計算方法

4.1.6.1 地震力における応力の算出

- (1) 図4-1に示す解析モデルによりスペクトルモーダル解析を実施する。
- (2) スペクトルモーダル解析により各節点の曲げモーメントを算出する。また、X及びZ方向の曲げモーメントはS R S S法を用いて組み合わせる。
- (3) 組み合わせた曲げモーメントを用いて、検出器に発生する曲げ応力を算出する。算出結果は表4-6に示す。

表4-6 地震力における曲げ応力

地震力における曲げ応力 σ_{p1} [MPa]
36

4.1.6.2 スロッシングにおける応力の算出

- (1) スロッシングにおける応力の算出においては、添付書類「V-1-1-8-3 溢水評価条件の設定」に示す基準地震動 S_s による使用済燃料プールの3次元流動解析により得られた流体速度時刻歴データを用いる。
- (2) 流体速度時刻歴データを用いた時刻歴応答解析により検出器に生じる抗力及び曲げ応力を算出する。
- (3) 抗力の算出には以下の式を用い、抗力係数は1.2とする。なお、抗力の算出においては、スロッシングにおける流速と、流速により生じる検出器の速度による相対速度を用いる。

$$F_s = \frac{1}{2} C_d \cdot \rho \cdot A_p (V_w - V_p)^2 \dots\dots\dots (4.1.6.2.1)$$

- (4) X及びZ方向の曲げ応力はSRSS法を用いて組み合わせる。各応力の算出結果を表4-7に示す。

表4-7 スロッシングにおける曲げ応力

基準地震動 S_s	X方向曲げ応力 σ_{p21} [MPa]	Z方向曲げ応力 σ_{p22} [MPa]	スロッシングにおける曲げ応力 σ_{p2} [MPa]
Ss-11	0	2	2
Ss-12	0	9	9
Ss-13	0	9	9*
Ss-14	0	7	7
Ss-21	0	3	3
Ss-22	0	4	4
Ss-31	0	1	1
Ss-D1	1	6	6

注記 * : スロッシングにおける曲げ応力の最大値

4.1.6.3 最大曲げ応力の算出

地震力における曲げ応力及びスロッシングにおける曲げ応力の最大値を絶対値和することにより、検出器に生じる曲げ応力を算出する。算出結果を表4-8に示す。

表4-8 検出器に生じる曲げ応力

検出器に生じる曲げ応力 σ_p [MPa]
45

4.1.7 検出器の計算条件

解析に用いる計算条件は、本計算書の【使用済燃料プール水位・温度（S A広域）の耐震性についての評価結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.1.8 検出器の応力の評価

4.1.8.1 検出器の応力評価

4.1.6.3 項で求めた検出器に生じる曲げ応力は設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8 に定める使用材料の設計降伏点 S_y 以下であること。

5. 検出器架台の評価

5.1 検出器架台の固有周期

5.1.1 検出器架台の固有値解析方法

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）検出器架台の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 使用済燃料プール水位・温度（S A広域）検出器架台は、5.1.2項に示すはり要素及びシェル要素として考える。

5.1.2 検出器架台の解析モデル及び諸元

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）検出器架台の解析モデルの概要を以下に示す。

また、解析モデルを図5-1に、機器の諸元を表5-1に示す。

- (1) 拘束条件として、基礎部のXYZ方向及び回転方向を固定する。
- (2) 解析コードは、「ANSYS」を使用し、固有値を求める。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-5-48 計算機プログラム（解析コード）の概要・ANSYS」に示す。

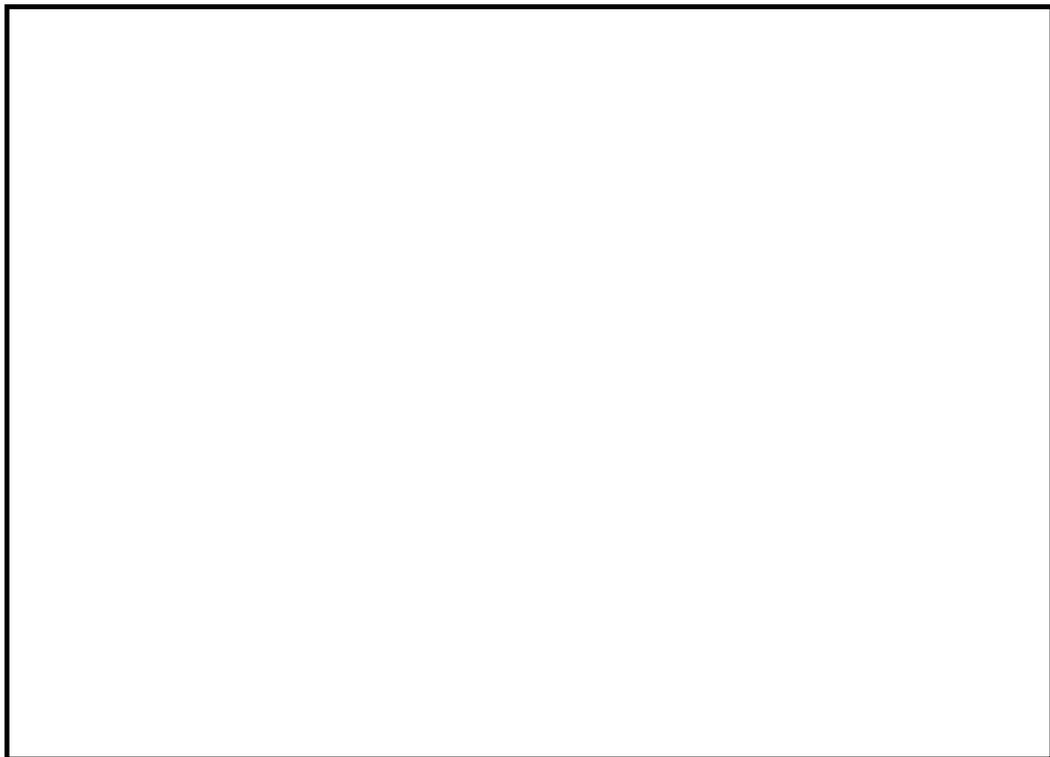


図5-1 検出器架台の解析モデル

表5-1 検出器架台の機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m_{b1}	kg	
温度条件 (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	

5.1.3 検出器架台の固有値解析結果

検出器架台の固有値解析結果を表5-2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5-2 検出器架台の固有周期

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1次		水平

5.2 検出器架台の構造強度評価

5.2.1 検出器架台の構造強度評価方法

- (1) 地震力は、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 「4.1.6 検出器の計算方法」に示す検出器の解析により得られた検出器取付部における荷重を、基礎ボルトの応力計算において組み合せて評価するものとする。
- (3) 検出器架台の質量は、重心に集中するものとする。
- (4) 検出器架台の重心位置については、計算条件が厳しくなる位置に重心を設定するものとする。
- (5) 検出器架台の転倒方向は、図5-2及び図5-3に示す左右方向及び前後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) 計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2.2 検出器架台の荷重の組合せ及び許容応力

5.2.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）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。

5.2.2.2 検出器架台の許容応力

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）検出器架台の許容応力を表5-3に示す。

5.2.2.3 検出器架台の使用材料の許容応力評価条件

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）検出器架台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5-4に示す。

表 5-3 許容応力（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)	
	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。)		

28

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 5-4 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 (RT) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	<input type="text"/>	周囲環境温度	<input type="text"/>	176	476	205	—	246

5.2.3 検出器架台の設計用地震力

「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。

検出器架台の評価に用いる設計用地震力を表5-5に示す。

表5-5 検出器架台の評価に用いる設計用地震力

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 □	□		—	—	$C_H=1.74$	$C_V=1.52$

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

5.2.4 検出器架台の計算方法

5.2.4.1 検出器取付部における荷重の算出

- (1) 「4.1.6 検出器の計算方法」に示す検出器の地震応答解析により得られた検出器取付部におけるX及びZ方向の荷重を用いる。
- (2) 地震力及びスロッシングにおけるそれぞれのX及びZ方向の荷重をS R S S法を用いて水平方向荷重を算出する。算出結果は表5-6及び表5-7に示す。
- (3) 地震力における水平方向荷重及びスロッシングにおける水平方向荷重の最大値を絶対値和することにより、検出器取付部における水平方向荷重を算出する。
- (4) 検出器は鉛直方向において剛構造であることから、取付床面高さにおける鉛直方向設計震度を用いて検出器取付部における鉛直方向荷重を算出する。検出器取付部における荷重の算出結果は表5-8に示す。

表5-6 地震力における水平方向荷重

X方向荷重 F_{x11} [N]	Z方向荷重 F_{x12} [N]	水平方向荷重 F_{x1} [N]
435.9	435.9	616.5

表5-7 スロッシングにおける水平方向荷重

基準地震動 S s	X方向荷重 F_{x21} [N]	Z方向荷重 F_{x22} [N]	水平方向荷重 F_{x2} [N]
Ss-11	0.9341	59.74	59.75
Ss-12	2.269	185.8	185.8
Ss-13	1.735	196.5	196.5*
Ss-14	1.512	173.8	173.8
Ss-21	4.270	71.39	71.52
Ss-22	2.669	120.9	120.9
Ss-31	2.713	32.29	32.41
Ss-D1	6.628	150.1	150.3

注記 * : スロッシングにおける水平方向荷重の最大値

表5-8 検出器取付部における荷重

水平方向荷重 F_x [N]	鉛直方向荷重 F_y [N]
813.0	4.423×10^3

5.2.4.2 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度，検出器が架台の取付部にもたらず荷重から算出された転倒モーメントにより生じる引張力とせん断力について計算する。

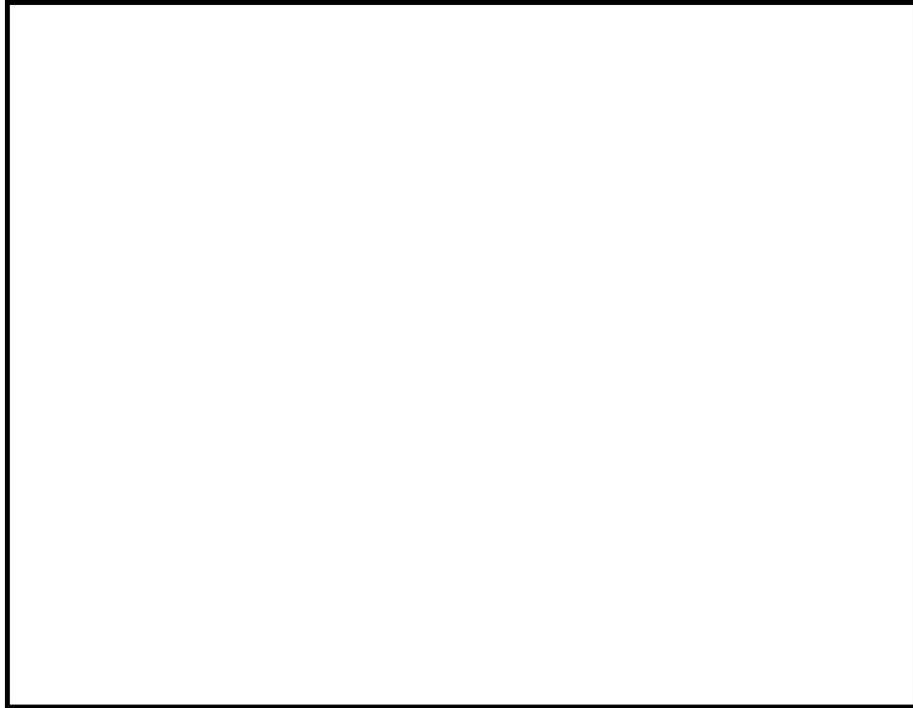


図5-2 計算モデル（左右方向転倒）

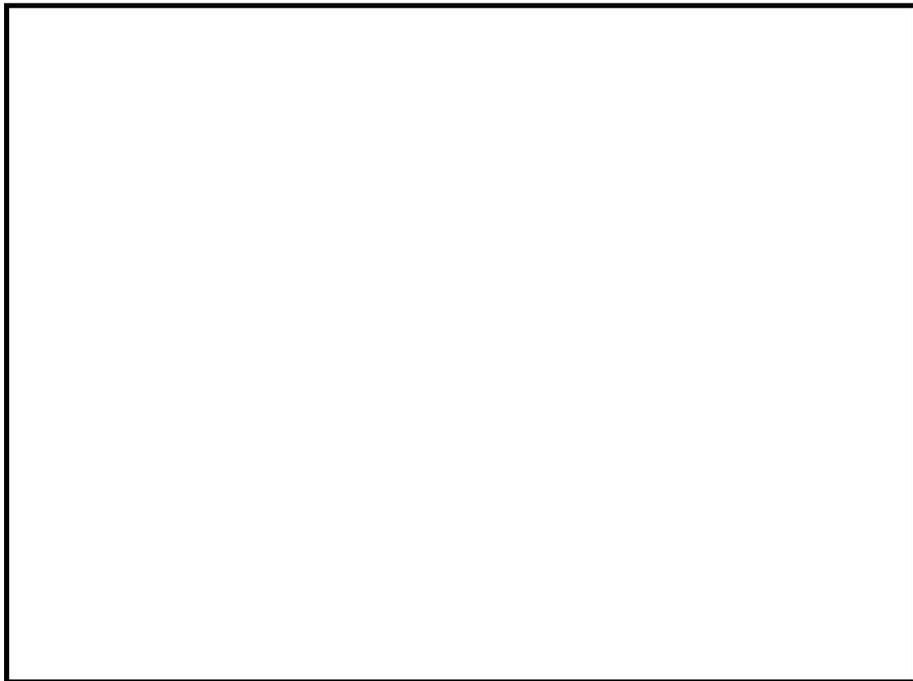


図5-3 計算モデル（前後方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-2 及び図 5-3 で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力 (F_b)

左右方向

$$F_b = \frac{m_{b1} \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m_{b1} \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2 + M_x}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots\dots\dots (5.2.4.2.1)$$

前後方向

$$F_b = \frac{m_{b1} \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m_{b1} \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2 + M_z}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots\dots\dots (5.2.4.2.2)$$

ここで、水平及び鉛直方向の検出器取付部に作用する力 F_{xB} 及び F_{yB} は次式で求める。

$$F_{xB} = C_H \cdot g \cdot m_{b2} + F_x \dots\dots\dots (5.2.4.2.3)$$

$$F_{yB} = (C_V - 1) \cdot g \cdot m_{b2} + F_y \dots\dots\dots (5.2.4.2.4)$$

また、検出器架台の重心における検出器取付部から作用する X 軸及び Z 軸周りのモーメント M_x 及び M_z は次式で求める。

$$M_x = F_{yB} \cdot \ell_2 + F_{xB} \cdot (h_1 + h_2) \dots\dots\dots (5.2.4.2.5)$$

$$M_z = F_{yB} \cdot (\ell_b + \ell_2) + F_{xB} \cdot (h_1 + h_2) \dots\dots\dots (5.2.4.2.6)$$

引張応力 (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.2.4.2.7)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式で求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.2.4.2.8)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎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)

$$Q_b = m_{b1} \cdot g \cdot C_H + F_{xB} \dots\dots\dots (5.2.4.2.9)$$

せん断応力 (τ_b)

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.2.4.2.10)$$

5.2.5 検出器架台の計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【使用済燃料プール水位・温度（S A広域）の耐震性についての評価結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.2.6 検出器架台の応力の評価

5.2.6.1 基礎ボルトの応力評価

5.2.4.2 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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (5.2.6.1.1)$$

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. 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、水平方向については「4.1.6 検出器の計算方法」に示す解析により得られた検出器に生じる最大加速度を用い、鉛直方向については検出器が剛構造であることから添付書類「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。

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）の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、同形式の構成部位の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4-9 に示す。

表 4-9 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
使用済燃料プール水位・温度計 (S A広域)	水平	□
	鉛直	

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）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電氣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ページ以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次ページ以降の表に示す。

【使用済燃料プール水位・温度（S A 広域）の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 検出器

1.1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	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 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	
使用済燃料プール 水位・温度計 (S A 広域)	常設/防止 常設/緩和	原子炉建屋 <input type="text"/>	—	—	$C_H=1.74$ 又は*2	$C_V=1.52$	<input type="text"/>

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 基準地震動 S_s に基づく設計用床応答スペクトルより得られる値

1.1.2 機器要目

部材	m_p (kg)	m_w (kg)	d_o (mm)	d_i (mm)	d_r (mm)	ℓ_p (mm)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
検出器	<input type="text"/>						171	—	—	—

1.1.3 固有周期 (単位: s)

モード	固有周期	卓越方向
1次		水平
2次		水平
3次		水平
4次		水平
5次		水平
6次		水平
7次		鉛直

1.1.4 計算数値

1.1.4.1 検出器に生じる曲げ応力 (単位: MPa)

方向	地震力における曲げ応力	スロッシングにおける曲げ応力*	検出器に生じる曲げ応力
X方向	—	$\sigma_{p21}=0$	—
Z方向	—	$\sigma_{p22}=9$	—
水平方向	$\sigma_{p1}=36$	$\sigma_{p2}=9$	$\sigma_p=45$

注記 * : スロッシングにおける曲げ応力の最大値

1.2 検出器架台

1.2.1 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	
使用済燃料プール 水位・温度計 (SA広域)	常設/防止 常設/緩和	原子炉建屋 <input type="text"/>	<input type="text"/>	0.05 以下*2	—	—	$C_H=1.74$	$C_V=1.52$	<input type="text"/>

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2.2 機器要目

部材	m_{b1} (kg)	m_{b2} (kg)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	ℓ_1^* (mm)	ℓ_2^* (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm ²)	n	n_f^*
基礎ボルト	<input type="text"/>									

注記 *: 基礎ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

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	176	476	—	246	—	<input type="text"/>

1.2.3 計算数値

1.2.3.1 検出器取付部における荷重

(単位：N)

方向	地震における荷重	スロッシングにおける荷重*	検出器取付部における荷重
X方向	$F_{x11}=435.9$	$F_{x21}=1.735$	—
Z方向	$F_{x12}=435.9$	$F_{x22}=196.5$	—
水平方向	$F_{x1}=616.5$	$F_{x2}=196.5$	$F_x=813.0$
鉛直方向	$F_y=4.423 \times 10^3$	—	—

注記 *：スロッシングにおける荷重の最大値

1.2.3.2 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F_{xB}		F_{yB}		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						
基礎ボルト	—	1.571×10^3	—	4.617×10^3	—	5.474×10^3	—	6.604×10^3

1.2.3.3 基礎ボルトに作用するモーメント

(単位：N・mm)

部 材	M_x		M_z	
	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	—	1.129×10^3	—	5.771×10^3

1.3 結論

1.3.1 使用済燃料プール水位・温度（S A 広域）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
検出器	□	曲 げ	—	—	$\sigma_p=45$	$S_y=171$
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b=53$	$f_{ts}=147^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=7$	$f_{sb}=113$

すべて許容応力以下である。

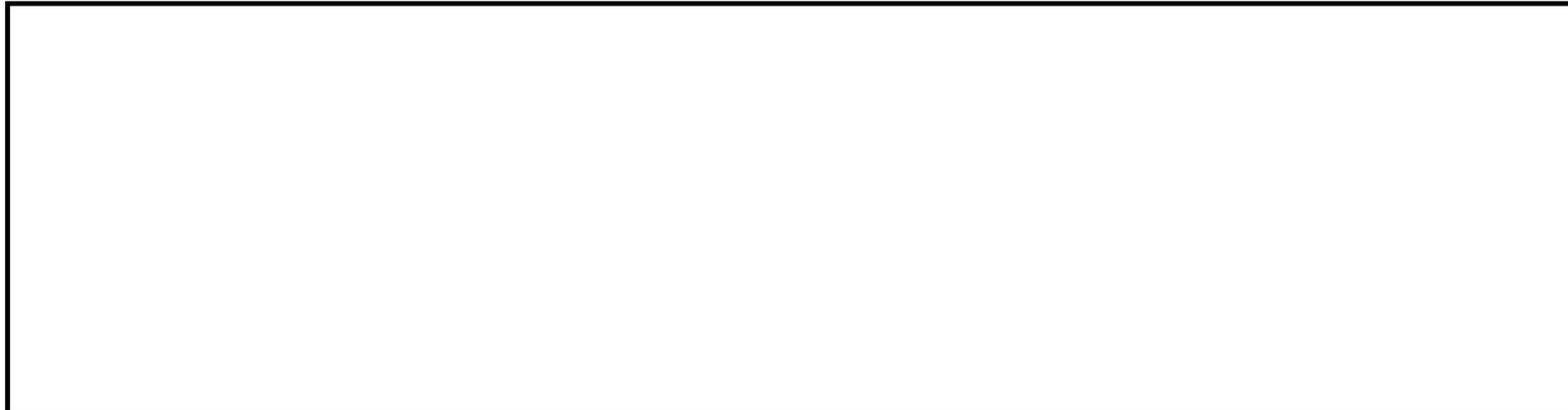
注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.3.2 電氣的機能の評価結果

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

		評価用加速度	機能確認済加速度
使用済燃料プール 水位・温度（S A 広域）	水平方向	□	□
	鉛直方向	1.26	□

評価用加速度（水平：検出器に生じる最大加速度、鉛直：1.0ZPA）は機能確認済加速度以下である。



正面（左右方向）

側面（前後方向）

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-425 改1
提 出 年 月 日	平成30年8月16日

V-2-8-2-5 フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）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. 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
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	3
4.2.2 許容応力	3
4.2.3 使用材料の許容応力	3
5. 機能維持評価	6
5.1 電氣的機能維持評価方法	6
6. 評価結果	7
6.1 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及び機能維持の設計方針に基づき、フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）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、**重大事故対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価**を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）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>検出器は、検出器取付ボルトにより検出器取付台に固定される。</p> <p>検出器取付台は、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>電離箱</p>	<p>平面</p> <p>正面</p> <p>側面</p> <p>検出器</p> <p>検出器取付台</p> <p>検出器取付ボルト</p> <p>基礎ボルト</p> <p>ケミカルアンカ</p> <p>基礎 (壁面)</p> <p>単位：(mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

振動試験装置により固有振動数（共振周波数）を測定した。測定の結果、剛であることを確認した。固有周期を表 3-1 に示す。

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

フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）の構造は検出器取付台であり、壁掛形計器スタンションと類似するため、構造強度評価は添付書類「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」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

フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）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

フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力

フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）の使用材料の許容応力のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 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
放射線管理施設	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	— ^{*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：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，評価計算の記載を省略する。

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等） *1*2	
	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		245	400	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）の電氣的機能維持評価について、以下に示す。電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）の機能確認済加速度には、同型式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の**加速度**を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
フィルタ装置出口放射線 モニタ（低レンジ）	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

フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）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及び電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）の耐震性についての評価結果】

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		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	
フィルタ装置出口放射線 モニタ（低レンジ）	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋付属棟 □	□	□	—	—	$C_H=1.13$	$C_V=0.99$	□

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）

部材	m (kg)	h_2 (mm)	l_3 (mm)	l_a (mm)	l_b (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{LV}	n_{FH}
基礎ボルト	□							2	2

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	245	400	—	280	—	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）に作用する力

(単位：N)

部 材	F _b		F _{b1}		F _{b2}		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						
基礎ボルト								

1.4 結論

1.4.1 フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）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	—	—	$\sigma_b = 2$	$f_{ts} = 168^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 129$

すべて許容応力以下である。

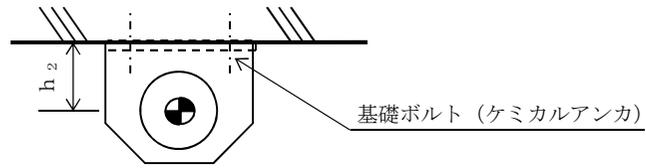
注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

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

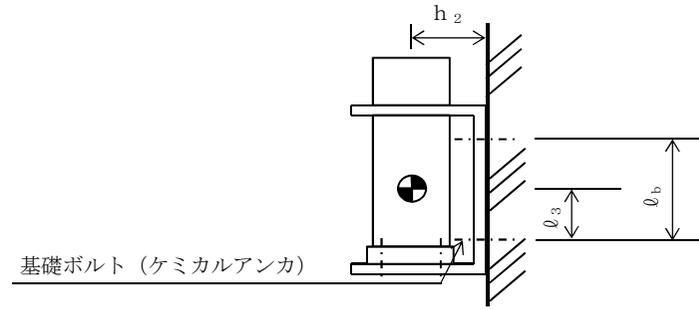
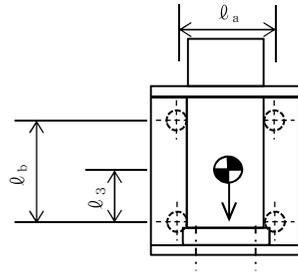
		評価用加速度	機能確認済加速度
フィルタ装置出口放射線 モニタ（低レンジ）	水平方向	0.95	□
	鉛直方向	0.83	

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。



転倒方向

A red curved arrow pointing upwards and to the right, indicating the direction of overturning.



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-426 改1
提 出 年 月 日	平成30年8月16日

V-2-8-2-6 フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）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. 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	6
5.1 電氣的機能維持評価方法	6
6. 評価結果	7
6.1 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及び機能維持の設計方針に基づき、フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）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、**重大事故対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価**を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）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>検出器は、検出器取付ボルトにより検出器取付台に固定される。</p> <p>検出器取付台は、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>電離箱</p>	<p>上面</p> <p>正面</p> <p>検出器 取付台</p> <p>200</p> <p>160</p> <p>(平面方向)</p> <p>側面</p> <p>約 200</p> <p>検出器</p> <p>検出器取付台</p> <p>検出器 取付ボルト</p> <p>基礎 (壁面)</p> <p>基礎ボルト ケミカルアンカ</p> <p>(側面方向)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

振動試験装置により固有振動数（共振周波数）を測定する。測定の結果、剛であることを確認した。固有周期を表 3-1 に示す。

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

フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）の構造は検出器取付台であり，壁掛形計器スタンションと類似するため，構造強度評価は添付書類「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」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

フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）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

フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力

フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）の使用材料の許容応力のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 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
放射線管理施設	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	— ^{*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：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，評価計算の記載を省略する。

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等） *1*2	
	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		245	392	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）の電氣的機能維持評価について、以下に示す。電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）の機能確認済加速度には、同型式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の**加速度**を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
フィルタ装置出口放射線モニタ (高レンジ) (RE-SA14-N500)	水平	
	鉛直	
フィルタ装置出口放射線モニタ (高レンジ) (RE-SA14-N502)	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

フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）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及び電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

NT2 補② V-2-8-2-6 R1

【フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）（RE-SA14-N500）の耐震性についての評価結果】

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		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	
フィルタ装置出口放射線 モニタ（高レンジ）	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋付属棟 □	□	□	—	—	$C_H=1.13$	$C_V=0.99$	□

注記 *：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）

部材	m (kg)	h_2 (mm)	l_3 (mm)	l_a (mm)	l_b (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{LV}	n_{FH}
基礎ボルト	□							2	2

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	245	400	—	280	—	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）に作用する力

(単位：N)

部 材	F_b		F_{b1}		F_{b2}		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						
基礎ボルト								

1.4 結論

1.4.1 フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）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	—	—	$\sigma_b=2$	$f_{ts}=168^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=1$	$f_{sb}=129$

すべて許容応力以下である。

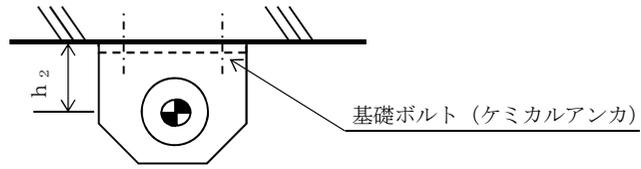
注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

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

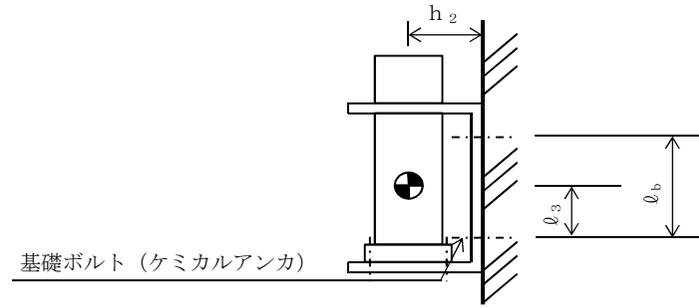
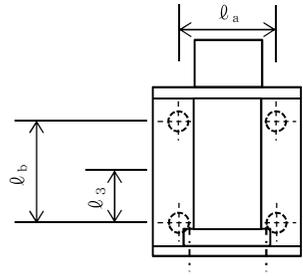
		評価用加速度	機能確認済加速度
フィルタ装置出口放射線 モニタ（高レンジ）	水平方向	0.95	□
	鉛直方向	0.83	

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。



転倒方向

A red curved arrow pointing upwards and to the right, indicating the direction of overturning.



【フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）（RE-SA14-N502）の耐震性についての評価結果】

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		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	
フィルタ装置出口放射線 モニタ（高レンジ）	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建屋付属棟外壁面 □	□	□	—	—	$C_H=1.55$	$C_V=1.17$	□

注記 *：基準レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）

部材	m (kg)	h_2 (mm)	l_3 (mm)	l_a (mm)	l_b (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{LV}	n_{FH}
基礎ボルト	□							2	2

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	245	400	—	280	—	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）に作用する力

(単位：N)

部 材	F _b		F _{b1}		F _{b2}		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	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 フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）(RE-SA14-N502)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	—	—	$\sigma_b=2$	$f_{ts}=168^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=1$	$f_{sb}=129$

すべて許容応力以下である。

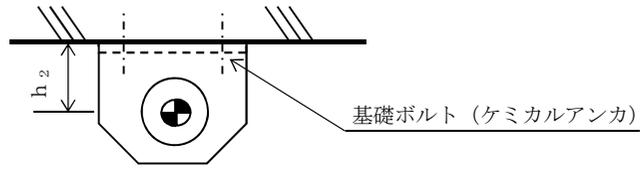
注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

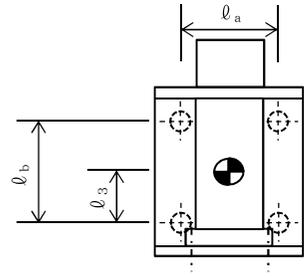
($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
フィルタ装置出口放射線 モニタ（高レンジ）	水平方向	1.29	□
	鉛直方向	0.98	

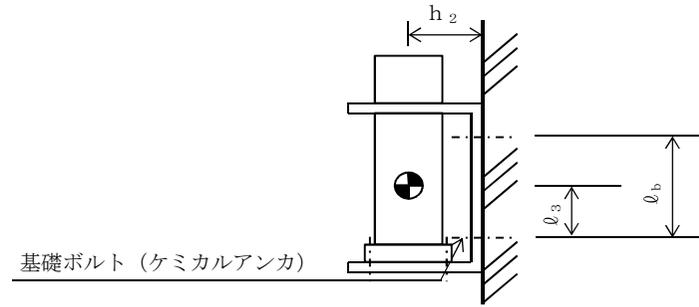
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



転倒方向



正面 (水平方向)



側面 (鉛直方向)

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-427 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-35 代替淡水貯槽水位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. 固有周期	3
3.1 固有周期の算出方法	3
3.2 固有周期の計算条件	3
3.3 固有周期の計算結果	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
5. 機能維持評価	7
5.1 電氣的機能維持評価方法	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、代替淡水貯槽水位が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

代替淡水貯槽水位は、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**構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

代替淡水貯槽水位の構造計画を表 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>検出器は、計器取付ボルトにより計器スタンションに取り付けられた計器取付板に固定される。</p> <p>計器スタンションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式水位検出器</p>	<p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

代替淡水貯槽水位の固有周期の計算方法を以下に示す。

- (1) 代替淡水貯槽水位の質量は、質点に集中するものとする。
- (2) 代替淡水貯槽水位は、図 3-1 に示す壁固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

3.1.1 水平方向（X方向，Z方向）

- (1) X方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_2^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_2}{A_s \cdot G} \right)} \dots (3.1.1)$$

- (2) Z方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

3.1.2 鉛直方向（Y方向）

Y方向に対する固有周期を 1.3.1.1.1 式で求める。

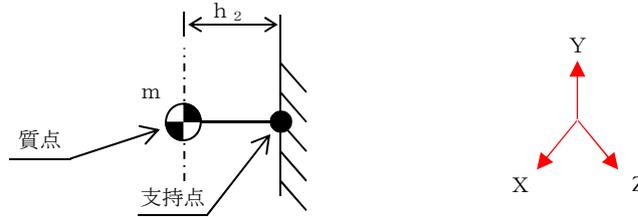


図 3-1 固有周期の計算モデル

3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
代替淡水貯槽水位の質量	m	kg	
取付面から重心までの距離（壁掛形）	h ₂	mm	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm ⁴	
最小有効せん断断面積	A _s	mm ²	
せん断弾性係数	G	MPa	

3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-2 示す。

固有周期の計算の結果から，剛であることを確認した。

表 3-2 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

代替淡水貯槽水位の構造は壁掛形計器スタンションであるため、構造強度評価は「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」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

代替淡水貯槽水位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

代替淡水貯槽水位の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力

代替淡水貯槽水位の使用材料の許容応力のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 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	計測装置	代替淡水貯槽水位計	常設耐震／防止 常設／緩和	— ^{*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：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，評価計算の記載を省略する。

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等） *1*2	
	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		245	400	—

5. 機能維持評価

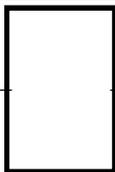
5.1 電氣的機能維持評価方法

代替淡水貯槽水位の電氣的機能維持評価について、以下に示す。電氣的機能維持評価は、「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

代替淡水貯槽水位の機能確認済加速度には、同型式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の**加速度**を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
代替淡水貯槽水位計	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

代替淡水貯槽水位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及び電気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

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【代替淡水貯槽水位の重大事故等対処設備としての評価結果】

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		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	
代替淡水貯槽水位	常設耐震/防止 常設/緩和	常設低圧代替注水系ポンプ室 []	[]	[]	—	—	$C_H=0.56$	$C_V=1.86$	[]

注記 *1: 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 代替淡水貯槽水位

部材	m (kg)	h_2 (mm)	l_3 (mm)	l_a (mm)	l_b (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{LV}	n_{FH}
基礎ボルト	[]							2	2

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	245	400	—	280	—	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 代替淡水貯槽水位に作用する力

(単位：N)

部 材	F_b		F_{b1}		F_{b2}		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						
基礎ボルト								

1.4 結論

1.4.1 代替淡水貯槽水位の応力

(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	—	—	$\sigma_b = 4$	$f_{ts} = 168^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 129$

すべて許容応力以下である。

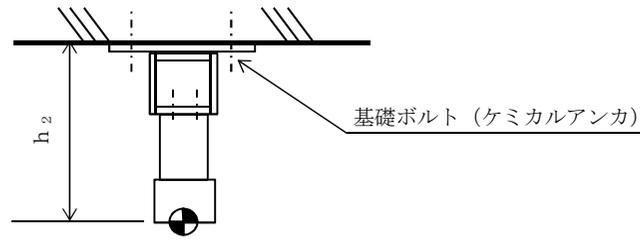
注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

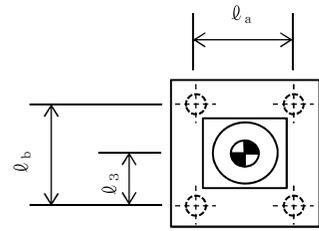
($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
代替淡水貯槽水位	水平方向	0.46	□
	鉛直方向	1.55	□

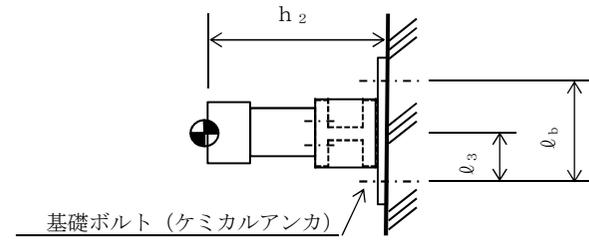
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



転倒方向



正面 (水平方向)



側面 (鉛直方向)

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-428 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-8-2-7 耐圧強化ベント系放射線モニタの
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	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	7
4.1 固有値解析方法	7
4.2 解析モデル及び諸元	7
4.3 固有値解析結果	10
5. 構造強度評価	11
5.1 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	15
5.4 計算方法	16
5.5 計算条件	18
5.6 応力の評価	18
6. 機能維持評価	19
6.1 電氣的機能維持評価方法	19
7. 評価結果	20
7.1 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、耐圧強化ベント系放射線モニタが設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

耐圧強化ベント系放射線モニタは、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分類に応じた構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

耐圧強化ベント系放射線モニタの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより取付金物に取り付けられた計器取付板に固定され、取付金物は取付金物取付ボルトによりチャンネルベースに固定される。</p> <p>チャンネルベースは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>電離箱</p>	<p>The diagram illustrates the construction of an ionization chamber. It includes three views: a top view, a front view, and a side view. The top view shows the chamber's footprint with a width of 550 mm and a height of 740 mm. The front view shows the internal components, including the detector (検出器) and the instrument mounting plate (計器取付板). The side view shows the chamber's depth of 320 mm and its connection to the foundation (基礎) via a channel base (チャンネルベース) and mounting hardware. Labels include: 上面 (top surface), 基礎ボルト (foundation bolt), チャンネルベース (channel base), 取付金物 (mounting hardware), 取付金物取付ボルト (mounting hardware mounting bolt), 計器取付板 (instrument mounting plate), 検出器 (detector), 計器取付ボルト (instrument mounting bolt), and 基礎(壁) (foundation/wall). A note at the bottom right indicates the unit is in mm: (単位: mm).</p>

2.2 評価方針

耐圧強化ベント系放射線モニタの応力評価は、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」にて示す耐圧強化ベント系放射線モニタの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」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。また、耐圧強化ベント系放射線モニタの機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.3 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. 評価結果」に示す。

耐圧強化ベント系放射線モニタの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

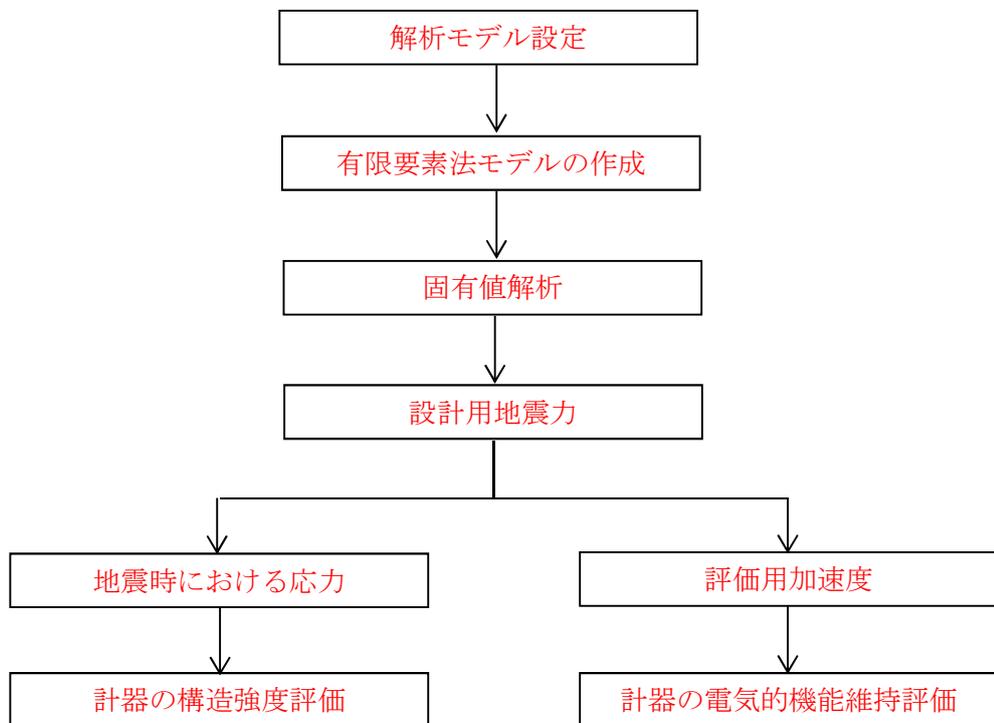


図 2-1 耐圧強化ベント系放射線モニタの耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準等を以下に示す。

- (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	サポートの断面積	mm ²
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
E	縦弾性係数	MPa
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本当たり)	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本当たり) (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本当たり) (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 ₂	取付面から重心までの距離 (壁掛形)	mm
I _p	サポートの断面二次極モーメント	mm ⁴
I _y	サポートの断面二次モーメント (y軸)	mm ⁴
I _z	サポートの断面二次モーメント (z軸)	mm ⁴
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総質量	kg
m _a	検出器の質量	kg
n	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
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

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 Part 5 表8に定める材料の 40℃における値	MPa
Z_p	サポートのねじり断面係数	mm ³
Z_y	サポートの断面係数 (y 軸)	mm ³
Z_z	サポートの断面係数 (z 軸)	mm ³
ν	ポアソン比	—
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

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
質量	kg	—	—	整数位
長さ*1	mm	—	—	整数位
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

耐圧強化ベント系放射線モニタの耐震評価は、「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部について実施する。耐圧強化ベント系放射線モニ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 固有値解析方法

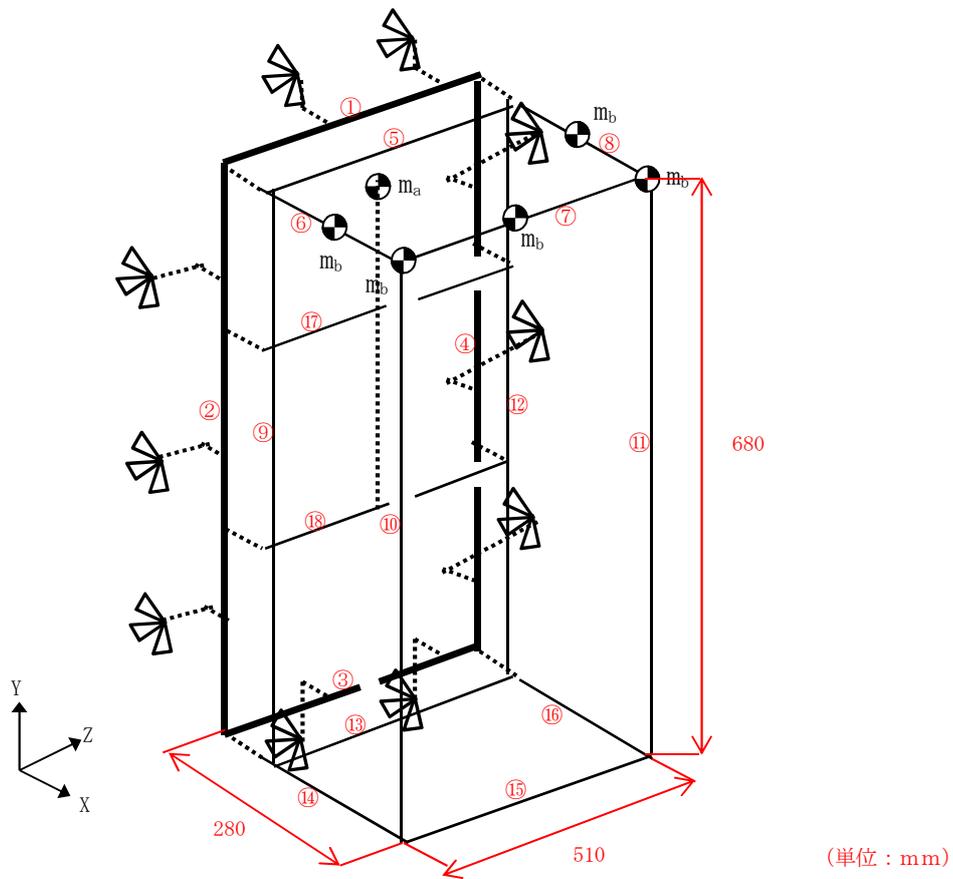
耐圧強化ベント系放射線モニタの固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 耐圧強化ベント系放射線モニタは、4.2 解析モデル及び諸元に示す 3 次元はりモデルとして考える。

4.2 解析モデル及び諸元

耐圧強化ベント系放射線モニタの解析モデルを図 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 4-1、部材の機器要目を表 4-2 に示す。

- (1) 図 4-1 中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。
- (2) 図 4-1 中の●は検出器及び計器収納箱の質点を示し、 m_a は 22 kg、 m_b 14 kg はである。
- (3) 図 4-1 中の実線はサポート鋼材、点線は仮想鋼材を示す。
- (4) 拘束条件として、基礎部の XYZ 方向及び回転方向を固定する。
- (5) 解析コードは、「NSAFE」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、添付書類「V-5-4 計算機プログラム（解析コード）の概要 ・ HISAP 及び NSAFE」に示す。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。



-  : 支持点(サポート基礎部)
-  : 検出器質点

図 4-1 解析モデル

表4-1 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m_a	kg	
	m_b		
温度条件 (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	

表 4-2 部材の機器要目

材料		
対象要素	①-④	⑤-⑱
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		

NT2 補② V-2-8-2-7 R1

4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-3 に示す。

1 次モードは鉛直方向に卓越し、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、水平方向は 2 次モード以降で卓越し、固有周期は 0.05 秒以下であることを確認した。

表4-3 固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1 次	<input type="text"/>	鉛直

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.2 項(1)～(6)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、**耐圧強化ベント系放射線モニタ**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。

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

耐圧強化ベント系放射線モニタ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 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

耐圧強化ベント系放射線モニタの許容応力を表 5-2 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

耐圧強化ベント系放射線モニタ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 5-3 に示す。

表 5-1 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
計測制御 系統施設	計測装置	耐圧強化ベント系 放射線モニタ	常設耐震／防止 常設／緩和	— *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: 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 5-2 許容応力（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)	
	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 5-3 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 (RT) (MPa)
基礎ボルト	<input type="text"/>	周囲環境温度	<input type="text"/>	205	520	—

5.3 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。耐震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（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 □	□		—	—	$C_H=1.74$	$C_V=1.52$

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。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、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。

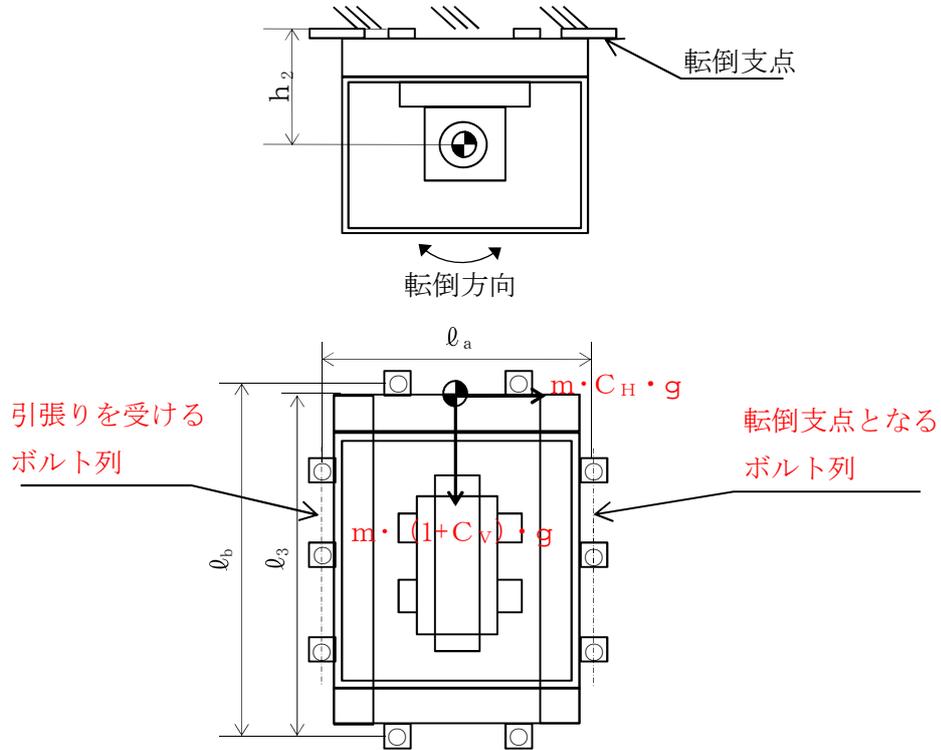


図5-1(1) 計算モデル

(壁掛形 水平方向転倒の場合)

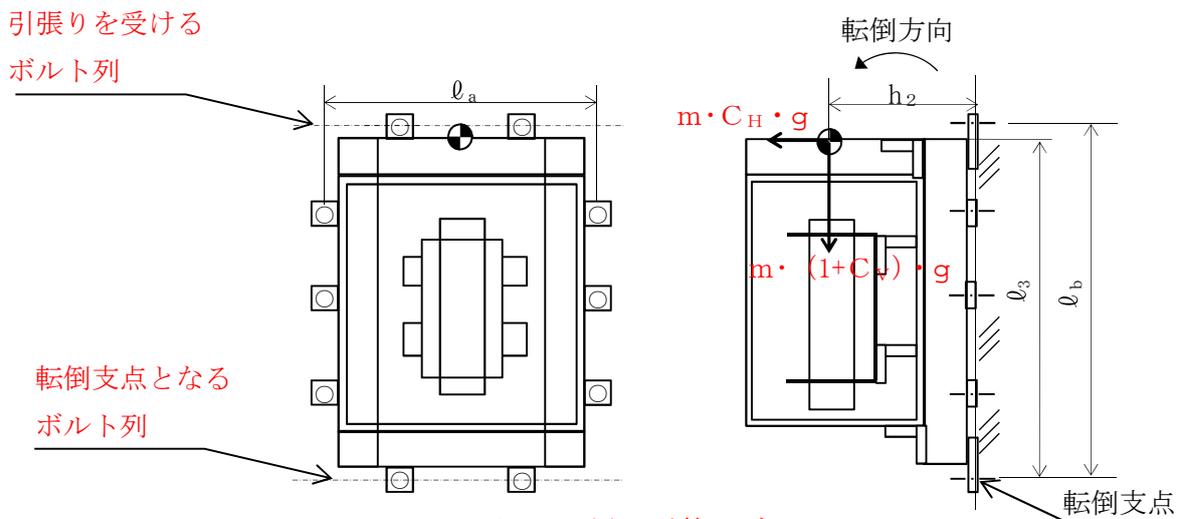


図5-1(2) 計算モデル

(壁掛形 鉛直方向転倒の場合)

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図5-1で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の基礎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5-1 (1)の場合の引張力

$$F_{b1} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot h_2}{n_{fH} \cdot \ell_a} + \frac{(1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot \ell_b} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

計算モデル図5-1 (2)の場合の引張力

$$F_{b2} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot \ell_3 + (1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot \ell_b} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

引張応力 (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎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)

$$Q_{b1} = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V) \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

せん断応力 (τ_b)

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.9)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【耐圧強化ベント系放射線モニタの耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4.1.1 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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots \dots \dots (5.6.1.1)$$

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. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

耐圧強化ベント系放射線モニタの電氣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。

耐圧強化ベント系放射線モニタの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、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

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 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
耐圧強化ベント系 放射線モニタ	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処施設としての評価結果

耐圧強化ベント系放射線モニ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及び電気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

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【耐圧強化ベント系放射線モニタ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		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	
耐圧強化ベント系 放射線モニタ	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 []	[]		—	—	$C_H=1.74^{*3}$	$C_V=1.52^{*3}$	[]

注記 *1: 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 耐圧強化ベント系放射線モニタ

*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。

部材	m (kg)	h_2 (mm)	l_3 (mm)	l_a (mm)	l_b (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{FV}	n_{FH}
基礎ボルト	[]							2	3

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	205	520	—	246	—	鉛直方向

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		F_{b1}		F_{b2}		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						
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_a 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	—	—	$\sigma_b=14$	$f_{ts}=147^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=4$	$f_{sb}=113^*$

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

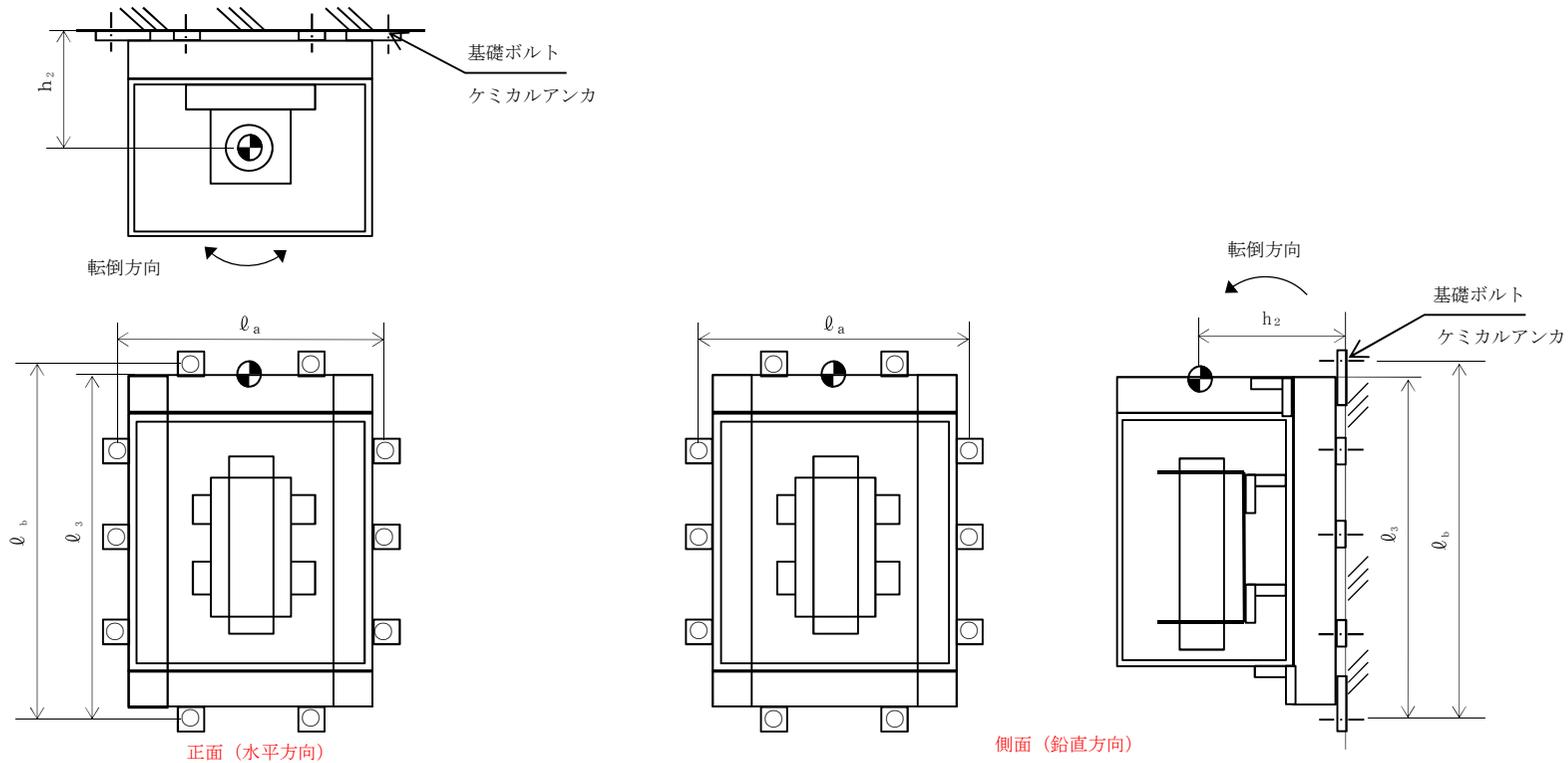
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

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

		評価用加速度	機能確認済加速度
耐圧強化ベント系 放射線モニタ	水平方向	1.46	□
	鉛直方向	1.00	□

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。

22



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-430 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-7-17 緊急用海水系流量（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	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
3.2 固有周期の計算条件	3
3.3 固有周期の計算結果	4
4. 構造強度評価	5
4.1 構造強度評価方法	5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	5
5. 機能維持評価	8
5.1 電氣的機能維持評価方法	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、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、緊急用海水系流量（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及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）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**構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

緊急用海水系流量（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
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより計器ステーションに取付けられた計器取付板に固定される。</p> <p>計器ステーションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器</p>	<p>(単位: mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）の固有周期の計算方法を以下に示す。

- (1) 緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）の質量は、質点に集中するものとする。
- (2) 緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）は、図 3-1 に示す壁固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

3.1.1 水平方向（X方向，Z方向）

- (1) X方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{\ell_b^3}{48 \cdot E \cdot I} + \frac{\ell_b}{4 \cdot A_s \cdot G} \right)} \dots (3.1.1.1)$$

- (2) Z方向に対する固有周期を 3.1.1.1 式で求める。

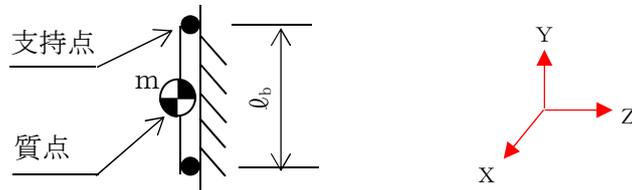


図 3-1 固有周期の計算モデル

3.1.2 鉛直方向

- (1) Y方向は十分な剛性を有していることから、固有周期の計算を省略する。

3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）の質量	m	kg	
上下ボルト間の距離（壁掛形）	ℓ_b	mm	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm ⁴	
最小有効せん断断面積	A s	mm ²	
せん断弾性係数	G	MPa	

3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-2 示す。

固有周期の計算の結果から、剛であることを確認した。

表 3-2 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

緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）の構造は壁掛形計器スタンションであるため、構造強度評価は、添付書類「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」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

緊急用海水系流量（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、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

緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力

緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）の使用材料の許容応力のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 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	計測装置	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	—*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，「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 4-2 許容応力（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)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t * 1.5・f _s *	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 (RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	239	392	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

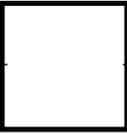
緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
緊急用海水系流量計 (残留熱除去系熱交換器)	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

緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）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及び電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【緊急用海水系流量(残留熱除去系熱交換器)耐震性についての評価結果】

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		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	
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	原子炉建屋 □	□		—	—	C _H =1.10	C _V =0.96	□

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 緊急用海水系流量(残留熱除去系熱交換器)

部材	m (kg)	h ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ _a (mm)	ℓ _b (mm)	A _b (mm ²)	n	n _{FV}	n _{HI}
基礎ボルト	□							2	2

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	239	392	—	275	—	水平方向

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		F_{b1}		F_{b2}		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						
基礎ボルト								837.6

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	—	—	$\sigma_b=3$	$f_{ts}=165^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=126$

すべて許容応力以下である。

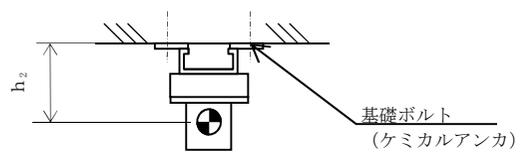
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

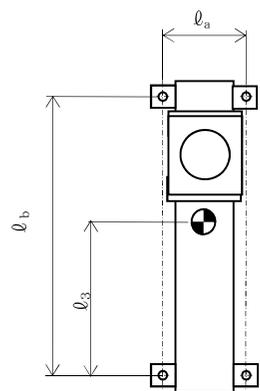
($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
緊急用海水系流量計 (残留熱除去系 熱交換器)	水平方向	0.92	
	鉛直方向	0.80	

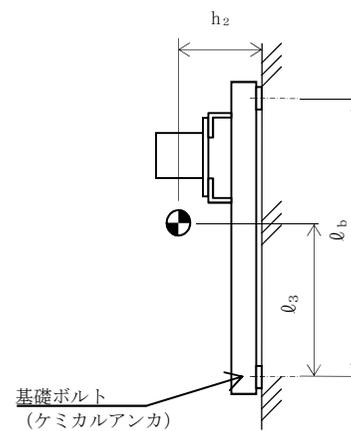
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



転倒方向



正面 (水平方向)



側面 (鉛直方向)

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-431 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-7-18 緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）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 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の算出方法	3
3.2 固有周期の計算条件	3
3.3 固有周期の計算結果	4
4. 構造強度評価	5
4.1 構造強度評価方法	5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	5
5. 機能維持評価	8
5.1 電氣的機能維持評価方法	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、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、緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）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電氣的機能維持評価**を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）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	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより計器ステーションに取付けられた計器取付板に固定される。</p> <p>計器ステーションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器</p>	<p>(単位 : mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）の固有周期の計算方法を以下に示す。

- (1) 緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）の質量は、質点に集中するものとする。
- (2) 緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）は、図 3-1 に示す壁固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

3.1.1 水平方向

- (1) X 方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{\ell_b^3}{48 \cdot E \cdot I} + \frac{\ell_b}{4 \cdot A_s \cdot G} \right)} \dots (3.1.1.1)$$

- (2) Z 方向に対する固有周期を 3.1.1.1 式で求める。

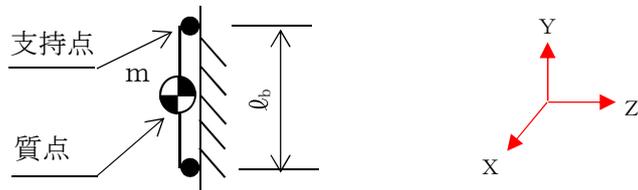


図 3-1 固有周期の計算モデル

3.1.2 鉛直方向

- (1) Y 方向は十分な剛性を有していることから、固有周期の計算を省略する。

3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）の質量	m	kg	
上下ボルト間の距離（壁掛形）	ℓ_b	mm	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm ⁴	
最小有効せん断断面積	A s	mm ²	
せん断弾性係数	G	MPa	

3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-2 示す。

固有周期の計算の結果から、剛であることを確認した。

表 3-2 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

緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）の構造は壁掛形計器スタンションであるため、構造強度評価は、添付書類「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」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

緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）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

緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力

緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）の使用材料の許容応力のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 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	計測装置	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	—* 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：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 4-2 許容応力（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)	
	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	239	392	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

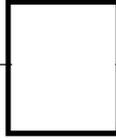
緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
緊急用海水系流量 (残留熱除去系補機)	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

緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）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及び電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【緊急用海水系流量(残留熱除去系補機)の耐震性についての評価結果】

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		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	
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	原子炉建屋 []	[]	[]	—	—	C _H =1.10	C _V =0.96	[]

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 緊急用海水系流量(残留熱除去系補機)

部材	m (kg)	h ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ _a (mm)	ℓ _b (mm)	A _b (mm ²)	n	n _{FV}	n _{HI}
基礎ボルト	[]							2	2

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	239	392	—	275	—	水平方向

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		F_{b1}		F_{b2}		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						
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	—	—	$\sigma_b=3$	$f_{ts}=165^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=127$

すべて許容応力以下である。

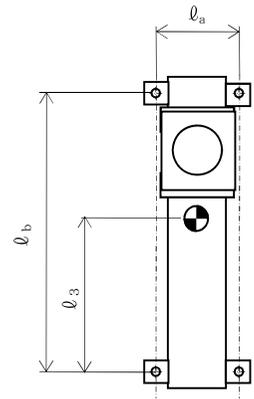
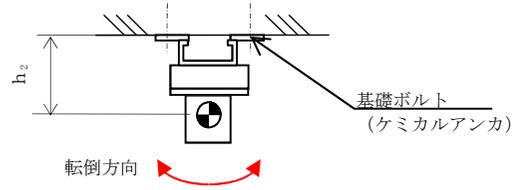
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

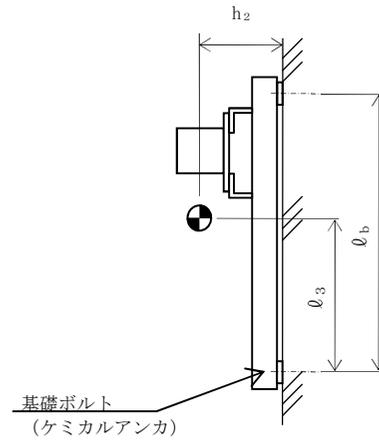
($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
緊急用海水系流量 (残留熱除去系補機)	水平方向	0.92	□
	鉛直方向	0.80	□

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。



正面 (水平方向)



側面 (鉛直方向)

本資料のうち、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-517 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-37 低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）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. 固有周期	3
3.1 固有周期の算出方法	3
3.2 固有周期の計算条件	3
3.3 固有周期の計算結果	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
5. 機能維持評価	7
5.1 電氣的機能維持評価方法	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、低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）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電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）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>検出器は、計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。</p> <p>計器スタンションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器</p>	<p>上面</p> <p>正面</p> <p>側面</p> <p>検出器</p> <p>計器取付ボルト</p> <p>計器スタンション</p> <p>基礎ボルト</p> <p>ケミカルアンカ</p> <p>基礎 (壁面)</p> <p>(単位：mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）の固有周期の計算方法を以下に示す。

- (1) 低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）の質量は、質点に集中するものとする。
- (2) 低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）は、図 3-1 に示す壁固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

3.1.1 水平方向（X方向，Z方向）

- (1) X方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_2^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_2}{A_s \cdot G} \right)} \dots (3.1.1)$$

- (2) Z方向は十分な剛性を有していることから、固有周期の計算を省略する。

3.1.2 鉛直方向（Y方向）

Y方向に対する固有周期を 1.3.1.1.1 式で求める。

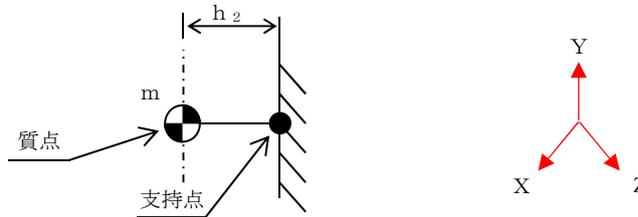


図 3-1 固有周期の計算モデル

3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）の質量	m	kg	
取付面から重心までの距離（壁掛形）	h_2	mm	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm ⁴	
最小有効せん断面積	A_s	mm ²	
せん断弾性係数	G	MPa	

3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-2 示す。

固有周期の計算の結果から、剛であることを確認した。

表 3-2 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

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）の構造は壁掛形計器スタンションであるため、構造強度評価は添付書類「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」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

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）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

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）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

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）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 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	計測装置	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	—*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：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 4-2 許容応力 (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)	
	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 (RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		221	373	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）の電氣的機能維持評価について、以下に示す。電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
低圧代替注水系格納容器 スプレイ流量 (常設ライン用)	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

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）の耐震性についての評価結果】

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		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	
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	原子炉建屋 []	[]	[]	—	—	$C_H=1.10$	$C_V=0.96$	[]

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）

部材	m (kg)	h_2 (mm)	l_3 (mm)	l_a (mm)	l_b (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{LV}	n_{FH}
基礎ボルト	[]								

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
基礎ボルト	221	373	—	261	—	水平方向

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	—	—	σ _b =4	f _{ts} =156*
		せん断	—	—	τ _b =1	f _{sb} =120

すべて許容応力以下である。

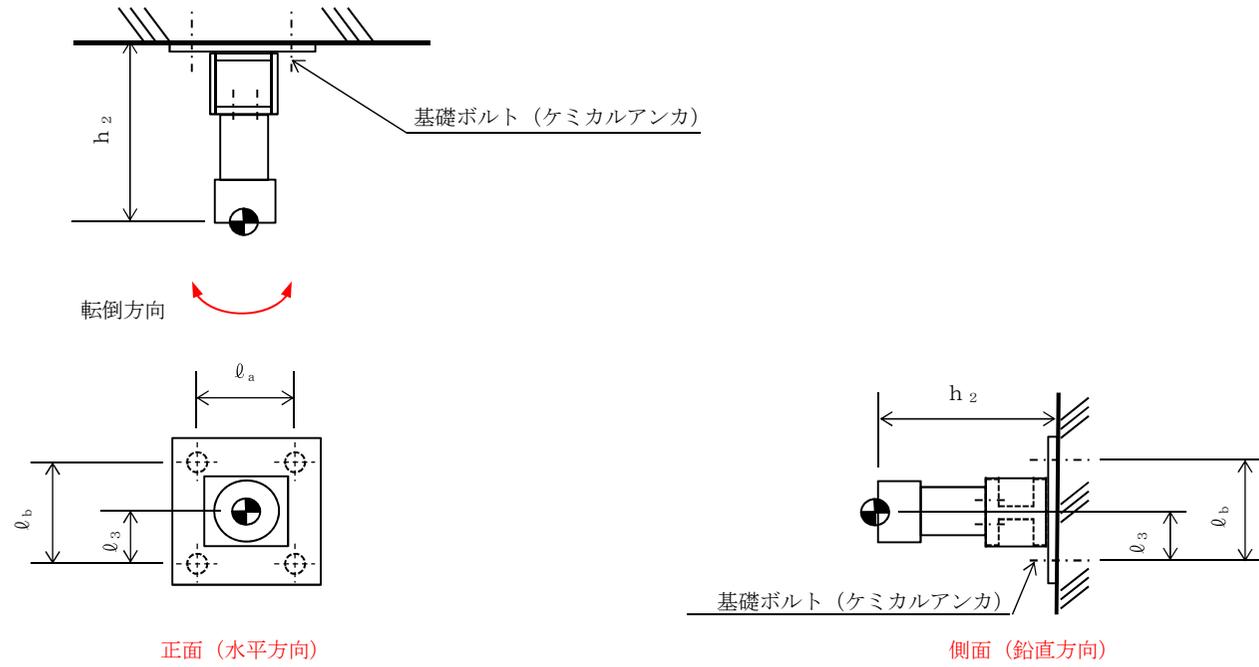
注記 * : f_{ts} = Min[1.4 · f_{to} - 1.6 · τ_b, f_{to}]より算出

1.4.2 電氣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
低圧代替注水系格納容器 スプレイ流量 (常設ライン用)	水平方向	0.92	
	鉛直方向	0.80	

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-520 改 1
提出年月日	平成 30 年 8 月 16 日

V-2-6-7-20 常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力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. 固有周期	3
3.1 固有周期の算出方法	3
3.2 固有周期の計算条件	3
3.3 固有周期の計算結果	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
5. 機能維持評価	7
5.1 電氣的機能維持評価方法	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、常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣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吐出圧力は、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電氣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吐出圧力の構造計画を表 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>検出器は、計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。</p> <p>計器スタンションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>弾性圧力検出器</p>	<p>上面</p> <p>正面</p> <p>側面</p> <p>検出器</p> <p>計器取付ボルト</p> <p>計器スタンション</p> <p>基礎ボルト</p> <p>ケミカルアンカ</p> <p>基礎(壁面)</p> <p>(単位 : mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力の固有周期の計算方法を以下に示す。

- (1) 常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力の質量は、質点に集中するものとする。
- (2) 常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力は、図 3-1 に示す壁固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

3.1.1 水平方向

- (1) X 方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_2^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_2}{A s \cdot G} \right)} \dots (3.1.1)$$

- (2) Z 方向は十分な剛性を有していることから、固有周期の計算を省略する。

3.1.2 鉛直方向 (Y 方向)

Y 方向に対する固有周期を 1.3.1.1.1 式で求める。

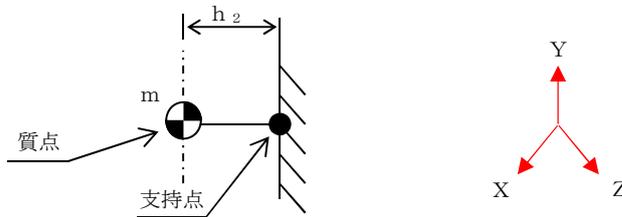


図 3-1 固有周期の計算モデル

3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力の質量	m	kg	
取付面から重心までの距離 (壁掛形)	h ₂	mm	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm ⁴	
最小有効せん断断面積	A s	mm ²	
せん断弾性係数	G	MPa	

3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-2 示す。

固有周期の計算の結果から、剛であることを確認した。

表 3-2 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

常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力の構造は壁掛形計器スタンションであるため、構造強度評価は添付書類「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」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

常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力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

常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力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 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	計測装置	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	— ^{*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：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 4-2 許容応力（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)	
	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 (RT) (MPa)
基礎ボルト	<input type="text"/>	周囲環境温度	<input type="text"/>	245	400	—

5. 機能維持評価

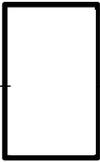
5.1 電氣的機能維持評価方法

常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力の電氣的機能維持評価について、以下に示す。電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
常設低圧代替注水系ポンプ 吐出圧力	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

常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力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電氣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

電氣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吐出圧力の耐震性についての評価結果】

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		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 ポンプ吐出圧力	常設耐震/防止 常設/緩和	常設低圧代替注水系 ポンプ室 []	[]		—	—	$C_H=0.56$	$C_V=1.86$	[]

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力

部 材	m (kg)	h_2 (mm)	l_3 (mm)	l_a (mm)	l_b (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{LV}	n_{FH}
基礎ボルト	[]							2	2

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	245	400	—	280	—	水平方向

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	—	—	σ _b =4	f _{ts} =168*
		せん断	—	—	τ _b =1	f _{sb} =129

すべて許容応力以下である。

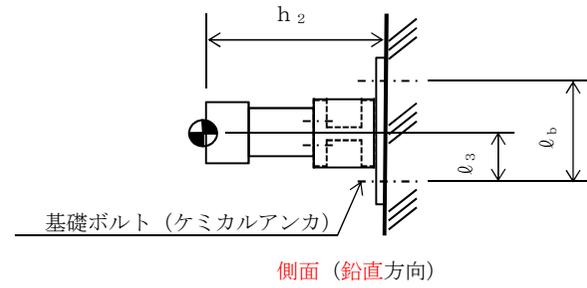
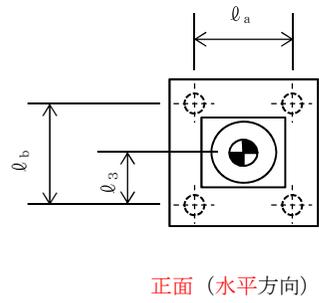
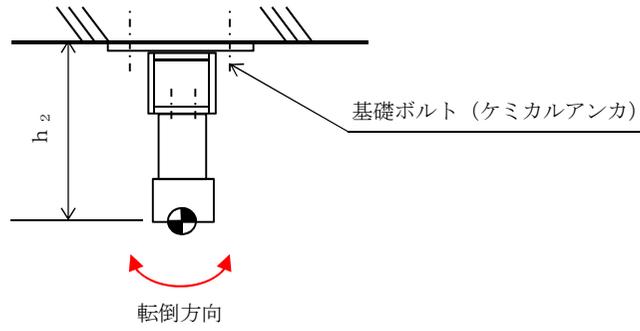
注記 * : f_{ts} = Min[1.4 · f_{to} - 1.6 · τ_b, f_{to}]より算出

1.4.2 電氣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
常設低圧代替注水系 ポンプ吐出圧力	水平方向	0.46	□
	鉛直方向	1.55	

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-638 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-7-13 フィルタ装置水位の耐震性についての計算書

目次

1. フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101A)	
1.1 概要	1
1.2 一般事項	1
1.2.1 構造計画	1
1.2.2 評価方針	4
1.2.3 適用基準	5
1.2.4 記号の説明	6
1.2.5 計算精度と数値の丸め方	8
1.3 評価部位	9
1.4 固有周期	9
1.4.1 固有値解析方法	9
1.4.2 解析モデル及び緒元	9
1.4.3 固有値解析結果	13
1.5 構造強度評価	14
1.5.1 構造強度評価方法	14
1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	14
1.5.3 設計用地震力	18
1.5.4 計算方法	19
1.5.5 計算条件	21
1.5.6 応力の評価	21
1.6 機能維持評価	22
1.6.1 電氣的機能維持評価方法	22
1.7 評価結果	22
1.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	22
2. フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101B)	
2.1 概要	1
2.2 一般事項	1
2.2.1 構造計画	1
2.3 固有周期	9
2.3.1 固有周期の算出方法	9
2.3.2 固有周期の計算条件	9
2.3.3 固有周期の計算結果	13
2.4 構造強度評価	14
2.4.1 構造強度評価方法	14

2.4.2	荷重の組合せ及び許容応力	14
2.5	機能維持評価	22
2.5.1	電氣的機能維持評価方法	22
2.6	評価結果	22
2.6.1	重大事故等対処設備としての評価結果	22

1. フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101A)

1.1 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、フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101A) が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101A) 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電気的機能維持評価を示す。

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101A) の構造計画を表 1-2-1 に示す。

表 1-2-1 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>検出器は、計器取付ボルトにより計器ステーションに取付けられた計器取付板に固定される。</p> <p>計器ステーションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式水位検出器</p>	<p>【LT-SA14-N101A】</p> <p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>

1.2.2 評価方針

フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101A) 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、「1.2.1 構造計画」にて示すフィルタ装置水位 (LT-SA14-N101A) の部位を踏まえ「1.3 評価部位」にて設定する箇所において、「1.4 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、「1.5 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、フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101A) 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 4.3 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、「1.6 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「1.7 評価結果」に示す。

フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101A) の耐震評価フローを図 1-2-1 に示す。

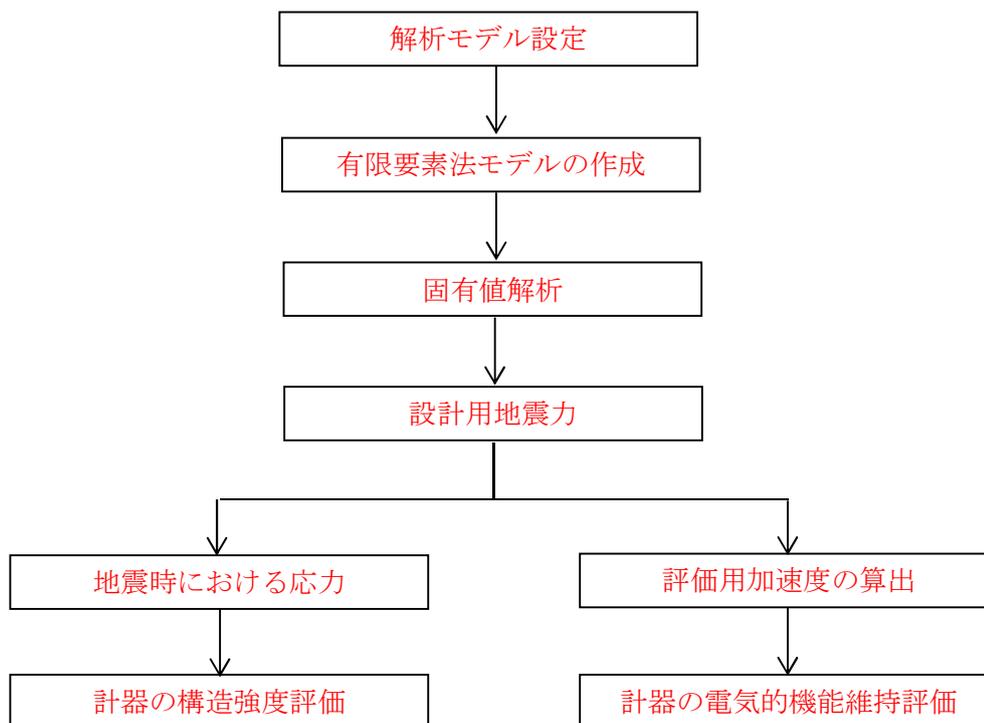


図 1-2-1 フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101A) の耐震評価フロー

1.2.3 適用基準

適用基準等を以下に示す。

- (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・補一 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。）

1.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	サポートの断面積	mm ²
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
E	縦弾性係数	MPa
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本当たり)	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
I _p	サポートの断面二次極モーメント	mm ⁴
I _y	サポートの断面二次モーメント (y 軸)	mm ⁴
I _z	サポートの断面二次モーメント (z 軸)	mm ⁴
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
m	計器スタンションの総質量	kg
m _i	検出器及び弁の質量 (i = a ~ g)	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	—
Q _b	ボルトに作用するせん断力	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°Cにおける値	MPa
Z_p	サポートのねじり断面係数	mm ³
Z_y	サポートの断面係数 (y 軸)	mm ³
Z_z	サポートの断面係数 (z 軸)	mm ³
ν	ポアソン比	—
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 * : $l_1 \leq l_2$

1.2.5 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1-2-2に示すとおりとする。

表1-2-2 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* 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。

1.3 評価部位

フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101A) の耐震評価は、「1.5.1 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部について実施する。フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101A) の耐震評価部位については、表 1-2-1 の概略構造図に示す。

1.4 固有周期

1.4.1 固有値解析方法

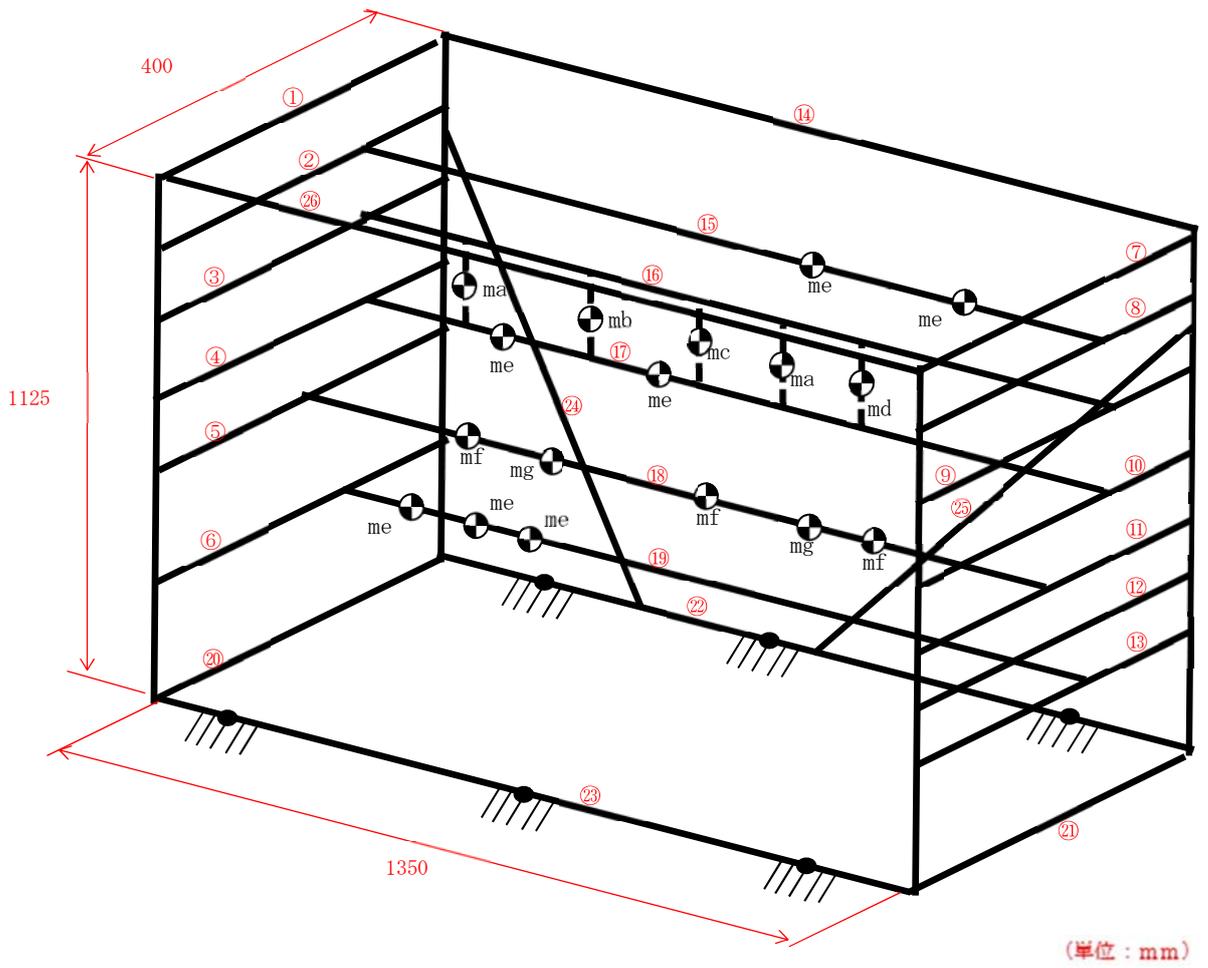
フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101A) の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101A) は、4.2 解析モデル及び諸元に示す 3次元はりモデルとして考える。

1.4.2 解析モデル及び諸元

フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101A) の解析モデルを図 1-4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表 1-4-1、部材の機器要目を表 1-4-2 に示す。

- (1) 図 1-4-1 中の○内の数字は部材番号 (要素番号) を示す。
- (2) 図 1-4-1 中の ⊕ 計器及び弁の質点を示し、 m_a は 8 kg、 m_b は 7 kg、 m_c は 5 kg、 m_d は 7 kg、 m_e は 1 kg、 m_f は 3 kg 及び m_g は 6 kg である。
- (3) 図 1-4-1 中の実線はサポート鋼材、点線は仮想鋼材を示す。
- (4) 拘束条件として、基礎部の XYZ 方向及び回転方向を固定する。
- (5) 解析コードは、「NSAFE」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、添付書類「V-5-4 計算機プログラム (解析コード) の概要 ・ HISAP 及び NSAFE」に示す。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。



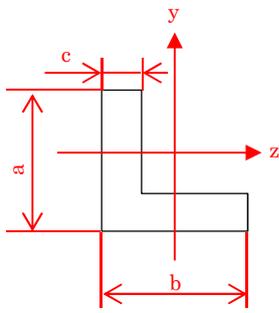
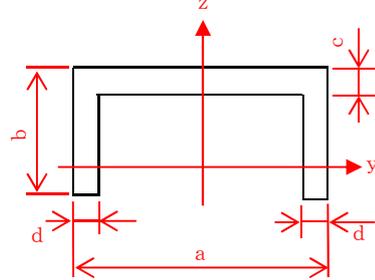
- : 支持点 (サポート基礎部)
- : 計器質点及び弁質点

図 1-4-1 解析モデル

表 1-4-1 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	ma	kg	
	mb	kg	
	mc	kg	
	md	kg	
	me	kg	
	mf	kg	
	mg	kg	
温度条件 (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	

表 1-4-2 部材の機器要目

材料		
対象要素	①-⑱, ⑳	㉑-㉕
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	 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px; text-align: center;"> $50 \times 50 \times 6$ $(a \times b \times c)$ </div>	 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px; text-align: center;"> $100 \times 50 \times 5 \times 7.5$ $(a \times b \times c \times d)$ </div>

1.4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 1-4-3 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 秒以下であることを確認した。

表1-4-3 固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1 次	<input type="text"/>	水平

1.5 構造強度評価

1.5.1 構造強度評価方法

4.2 項(1)～(6)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101A) に対して、水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

1.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101A) 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 1-5-1 に示す。

1.5.2.2 許容応力

フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101A) の許容応力を表 1-5-2 に示す。

1.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101A) 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 1-5-3 に示す。

表 1-5-1 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
計測制御 系統施設	その他の 計測制御 設備	フィルタ装置水位	常設耐震／防止 常設／緩和	—*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，「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 1-5-2 許容応力 (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)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t * 1.5・f _s *	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 1-5-3 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		234	385	—

1.5.3 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。耐震評価に用いる設計用地震力を表 1-5-4 に示す。

表 1-5-4 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
格納容器圧力逃 がし装置格納槽 []	[]		—	—	$C_H=2.15$	$C_V=1.07$

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。

1.5.4 計算方法

1.5.4.1 応力の計算方法

1.5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、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りとせん断力について計算する。

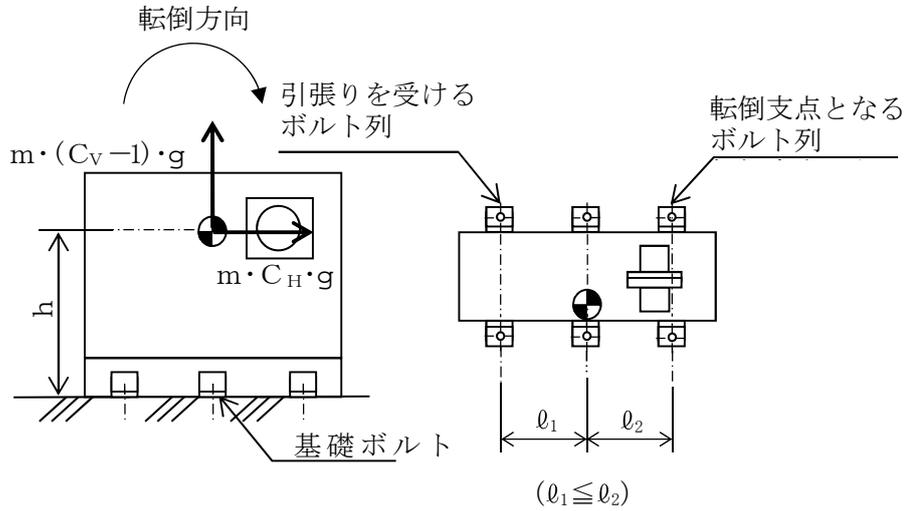


図1-5-1(1) 計算モデル

(直立形 左右方向転倒-2 $(1 - C_V) < 0$ の場合)

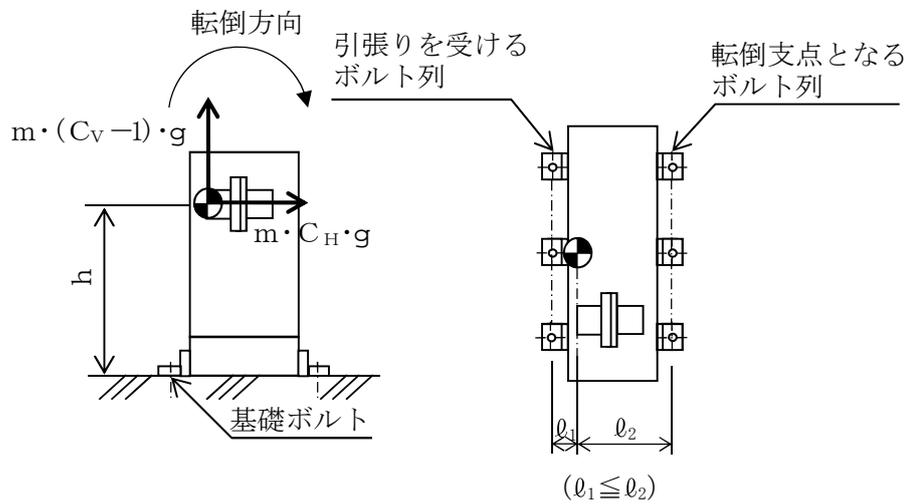


図1-5-1(2) 計算モデル

(直立形 前後方向転倒-1 $(1 - C_V) < 0$ の場合)

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図1-5-1で最外列の基礎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1-5-1(1)及び図1-5-1(2)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot l_1}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \dots\dots\dots (5.3.1.1.1)$$

引張応力 (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.3.1.1.2)$$

ここで、ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.3.1.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎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)

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

せん断応力 (τ_b)

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

1.5.5 計算条件

1.5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【フィルタ装置水位(LT-SA14-N101A)の耐震性についての評価結果】の設計条件および機器要目に示す。

1.5.6 応力の評価

1.5.6.1 ボルトの応力評価

1.5.4.1.1 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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots \dots \dots (1.5.6.1.1)$$

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}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

1.6 機能維持評価

1.6.1 電氣的機能維持評価方法

フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101A) の電氣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。

フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101A) の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、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-6-1 に示す。

表 1-6-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101A)	水平	□
	鉛直	

1.7 評価結果

1.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101A) 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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【フィルタ装置水位(LT-SA14-N101A)の耐震性についての評価結果】

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		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	
フィルタ装置水位	常設耐震/防止 常設/緩和	格納容器圧力 逃がし装置格納槽			—	—	$C_H=2.15^{*2}$	$C_V=1.07^{*2}$	

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。

1.2 機器要目

1.2.1 フィルタ装置水位

部材	m (kg)	h_1 (mm)	ϱ_1^* (mm)	ϱ_2^* (mm)	A_b (mm ²)	n	n_f^*	
基礎ボルト							2	3

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	234	385	—	270	—	前後方向

注記 *: 各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は前後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	—	—	$\sigma_b=16$	$f_{ts}=162^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=5$	$f_{sb}=124^*$

すべて許容応力以下である。

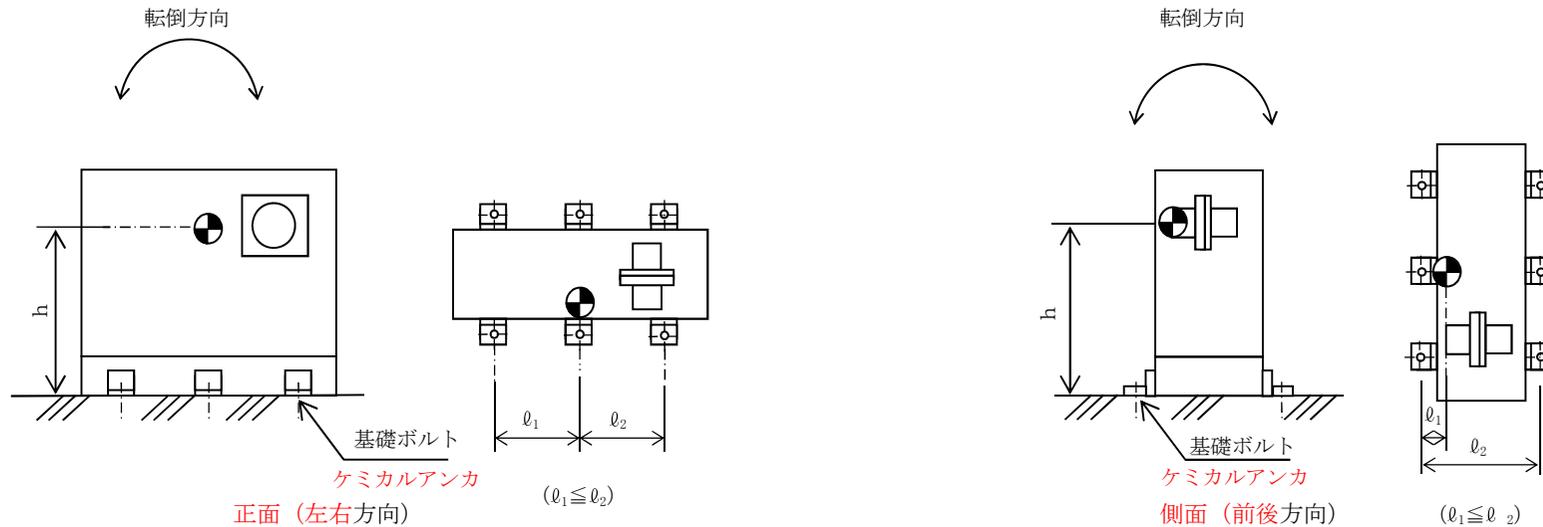
注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能の評価結果

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

		評価用加速度	機能確認済加速度
フィルタ装置水位	水平方向	1.79	
	鉛直方向	0.89	

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。



2. フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101B)

2.1 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、フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101B) が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101B) 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電気的機能維持評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101B) の構造計画を表 2-2-1 に示す。

表 2-2-1 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>検出器は、計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。</p> <p>計器スタンションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式水位検出器</p>	<p>【LT-SA14-N101B】</p>

2.3 固有周期

2.3.1 固有周期の算出方法

フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101B) の固有周期の計算方法を以下に示す。

2.3.1.1 水平方向

- (1) フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101B) の質量は、重心に集中するものとする。
- (2) フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101B) は、図 2-3-1 に示す床固定の 1 質点系振動モデルとして考える。
- (3) 固有周期は次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \quad \dots (2.3.1.1)$$

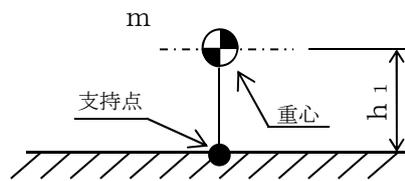


図 2-3-1 固有周期の計算モデル

2.3.1.2 鉛直方向

鉛直方向は十分な剛性を有していることから、固有周期の計算を省略する。

2.3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 2-3-1 に示す。

表 2-3-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101B) の質量	m	kg	
取付面から重心までの距離	h 1	mm	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm ⁴	
最小有効せん断断面積	A s	mm ²	
せん断弾性係数	G	MPa	

2.3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 2-3-2 示す。

固有周期の計算の結果から、剛であることを確認した。

表 2-3-2 固有周期 (s)

水平方向	鉛直方向

2.4 構造強度評価

2.4.1 構造強度評価方法

フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101B) の構造は直立形計器スタンションであるため、構造強度評価は、添付書類「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」に記載の耐震計算方法に基づき評価する

2.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101B) 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 2-4-1 に示す。

2.4.2.2 許容応力

フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101B) の許容応力を表 2-4-2 に示す。

2.4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101B) 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 2-4-3 に示す。

表 2-4-1 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
計測制御 系統施設	その他の 計測制御 設備	フィルタ装置水位	常設耐震／防止 常設／緩和	—*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，「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 2-4-2 許容応力 (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)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t * 1.5・f _s *	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 2-4-3 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		234	385	—

2.5 機能維持評価

2.5.1 電氣的機能維持評価方法

フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101B) の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101B) の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-5-1 に示す。

表 2-5-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101B)	水平	□
	鉛直	

2.6 評価結果

2.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置水位 (LT-SA14-N101B) 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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【フィルタ装置水位(LT-SA14-N101B)の耐震性についての評価結果】

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		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	
フィルタ装置水位	常設耐震/防止 常設/緩和	格納容器圧力 逃がし装置格納槽			—	—	C _H =2.15	C _V =1.07	

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。

1.2 機器要目

1.2.1 フィルタ装置水位

部材	m (kg)	H (mm)	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f *
基礎ボルト							2
							2

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	234	385	—	270	—	前後方向

注記 *: 各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は前後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	—	—	$\sigma_b=23$	$f_{ts}=162^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=3$	$f_{sb}=124^*$

すべて許容応力以下である。

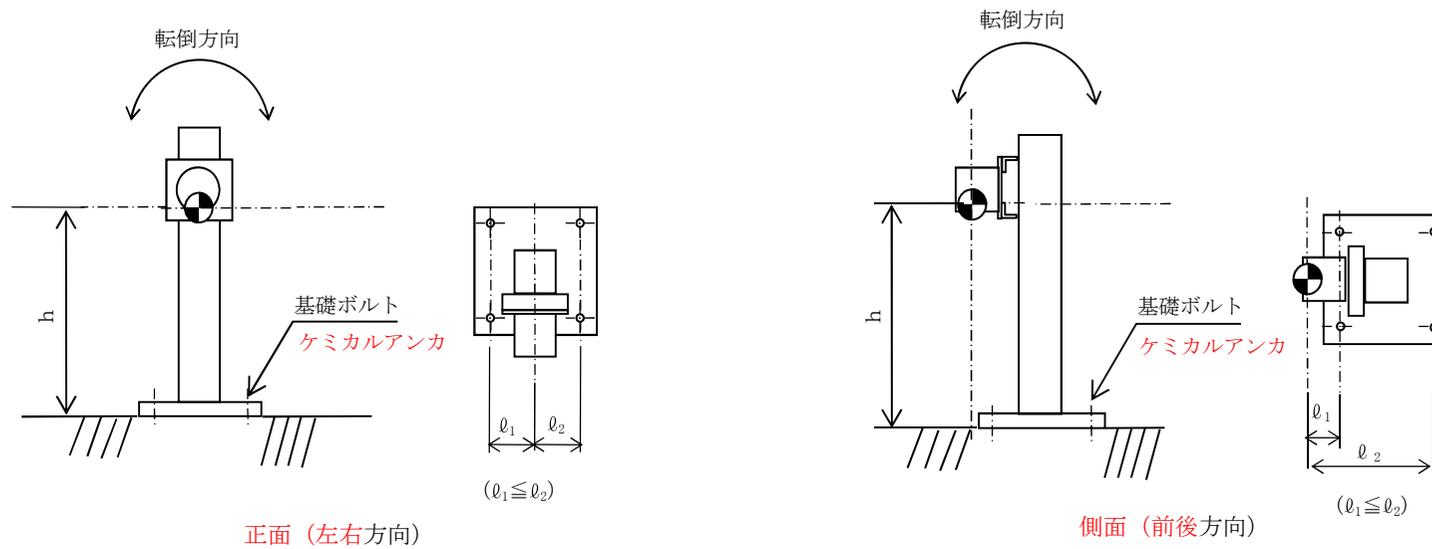
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

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
フィルタ装置水位	水平方向	1.79	
	鉛直方向	0.89	

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-639 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-7-14 フィルタ装置圧力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 固有値解析方法	8
4.2 解析モデル及び緒元	8
4.3 固有値解析結果	12
5. 構造強度評価	13
5.1 構造強度評価方法	13
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	13
5.3 設計用地震力	17
5.4 計算方法	18
5.5 計算条件	20
5.6 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. 評価結果	22
7.1 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及び機能維持の設計方針に基づき、フィルタ装置圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

フィルタ装置圧力は、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電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

フィルタ装置圧力の構造計画を表 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>検出器は、計器取付ボルトにより計器スターションに取付けられた計器取付板に固定される。</p> <p>計器スターションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>弾性圧力検出器</p>	<p>正面</p> <p>側面</p> <p>(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

フィルタ装置圧力の応力評価は、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」にて示すフィルタ装置圧力の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」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。また、フィルタ装置圧力の機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.3 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. 評価結果」に示す。

フィルタ装置の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

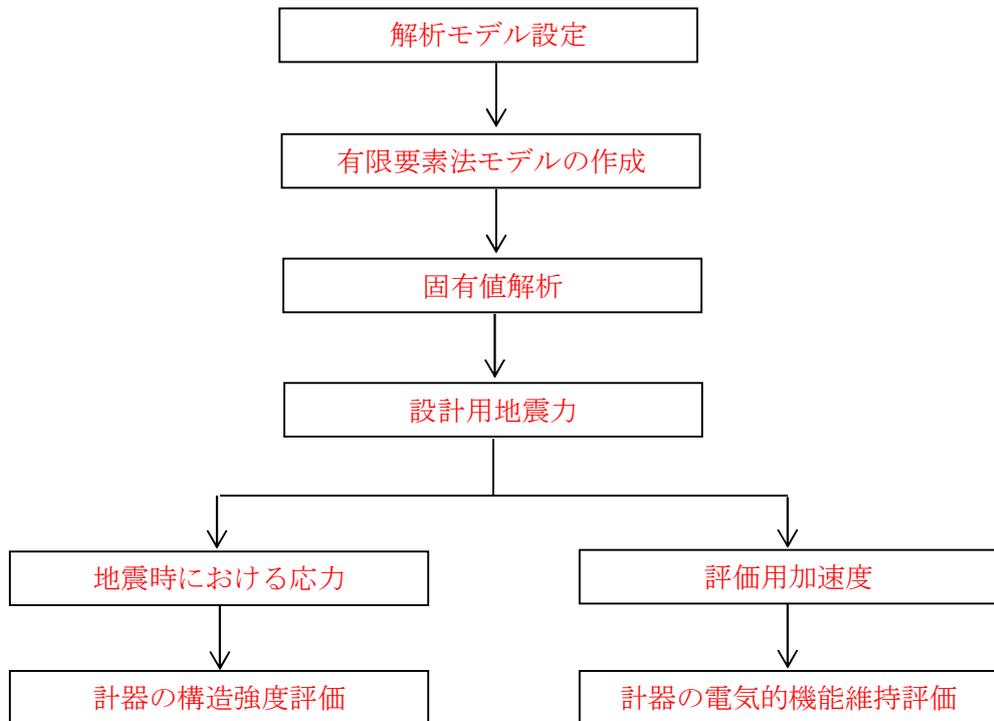


図 2-1 フィルタ装置圧力の耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準等を以下に示す。

- (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	サポートの断面積	mm ²
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
E	縦弾性係数	MPa
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本当たり)	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
I _p	サポートの断面二次極モーメント	mm ⁴
I _y	サポートの断面二次モーメント (y 軸)	mm ⁴
I _z	サポートの断面二次モーメント (z 軸)	mm ⁴
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
m	計器スタンションの総質量	kg
m _i	計器及び弁の質量 (i = a ~ g)	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	—
Q _b	ボルトに作用するせん断力	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°Cにおける値	MPa
Z_p	サポートのねじり断面係数	mm ³
Z_y	サポートの断面係数 (y 軸)	mm ³
Z_z	サポートの断面係数 (z 軸)	mm ³
ν	ポアソン比	—
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 * : $l_1 \leq l_2$

2.5 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
質量	kg	—	—	整数位
長さ* ¹	mm	—	—	整数位
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

フィルタ装置圧力の耐震評価は、「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部について実施する。フィルタ装置圧力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 固有値解析方法

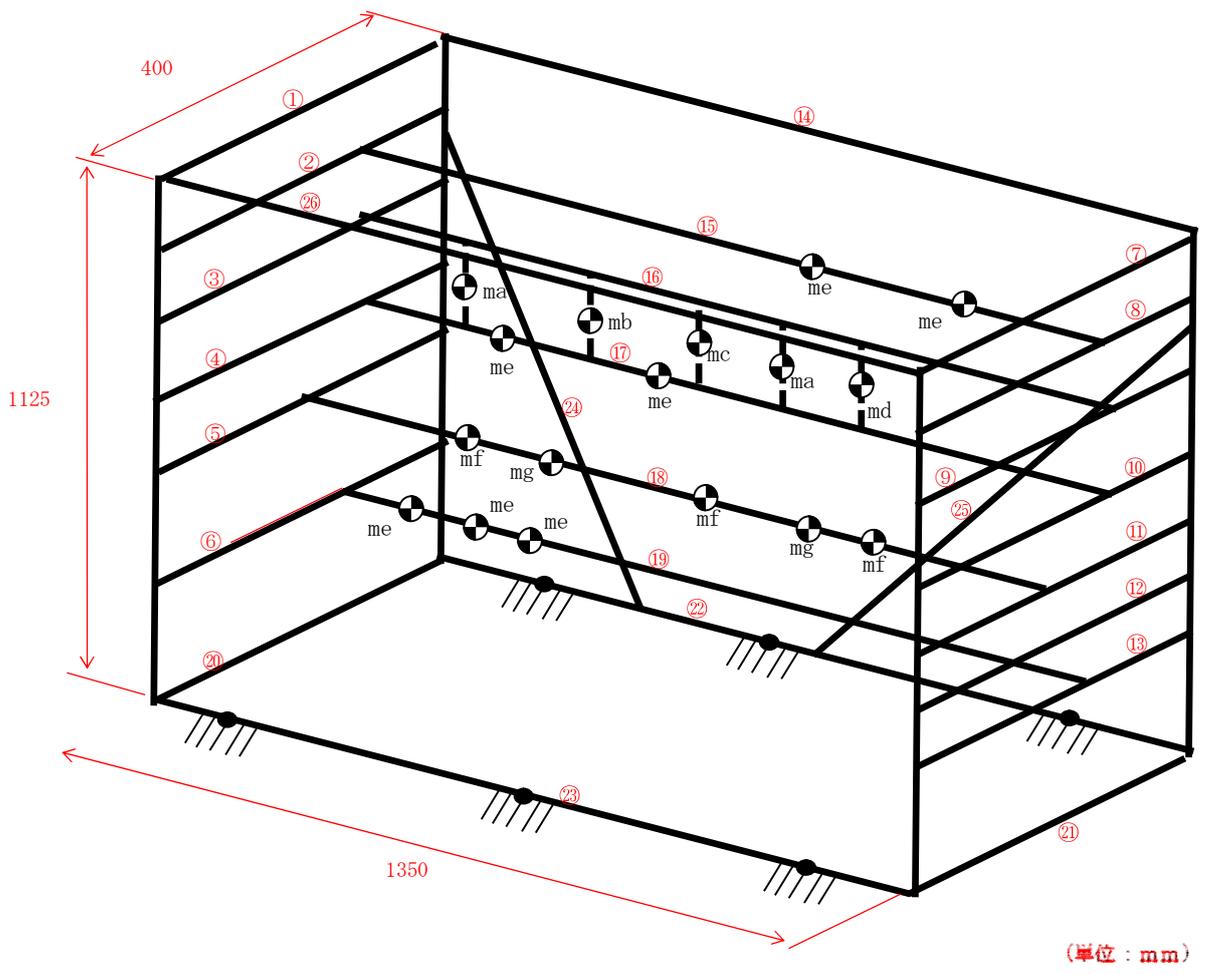
フィルタ装置圧力の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) フィルタ装置圧力は、4.2 解析モデル及び諸元に示す 3次元はりモデルとして考える。

4.2 解析モデル及び諸元

フィルタ装置圧力の解析モデルを図 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 4-1、部材の機器要目を表 4-2 に示す。

- (1) 図 4-1 中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。
- (2) 図 4-1 中の⊕は計器及び弁の質点を示し、 m_a は 8 kg、 m_b は 7 kg、 m_c は 5 kg、 m_d は 7 kg、 m_e は 1 kg、 m_f は 3 kg 及び m_g は 6 kg である。
- (3) 図 4-1 中の実線はサポート鋼材、点線は仮想鋼材を示す。
- (4) 拘束条件として、基礎部の XYZ 方向及び回転方向を固定する。
- (5) 解析コードは、「NSAFE」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、添付書類「V-5-4 計算機プログラム（解析コード）の概要 ・HISAP及びNSAFE」に示す。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。



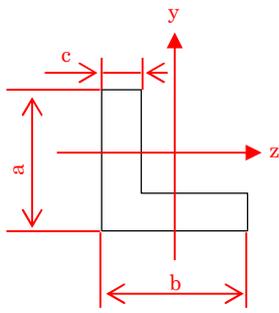
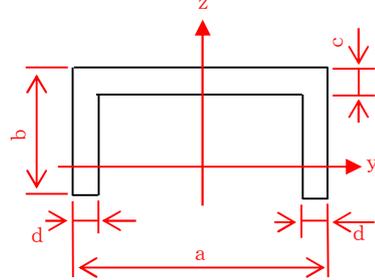
-  : 支持点 (サポート基礎部)
-  : 計器質点及び弁質点

図 4-1 解析モデル

表 4-1 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	ma	kg	
	mb	kg	
	mc	kg	
	md	kg	
	me	kg	
	mf	kg	
	mg	kg	
温度条件 (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	

表 4-2 部材の機器要目

材料				
対象要素	①-⑱, ⑳		㉑-㉕	
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	 <p>50×50×6 (a × b × c)</p>		 <p>100×50×5×7.5 (a × b × c × d)</p>	

NT2 補① V-2-6-5-14 R2

4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-3 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4-3 固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1 次	<input type="text"/>	水平

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.2 項(1)～(6)のほか、次の条件で計算する。

(1) 地震力は、フィルタ装置圧力に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

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

フィルタ装置圧力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 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

フィルタ装置圧力の許容応力を表 5-2 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

フィルタ装置圧力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 5-3 に示す。

表 5-1 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
計測制御 系統施設	その他の 計測制御 設備	フィルタ装置圧力	常設耐震／防止 常設／緩和	—*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，「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 5-2 許容応力（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)	
	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。

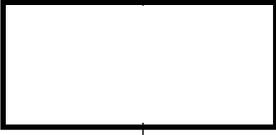
表 5-3 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		基礎ボルト		周囲環境温度		234

5.3 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。耐震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（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
格納容器圧力逃 がし装置格納槽 			—	—	$C_H=2.15$	$C_V=1.07$

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。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、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。

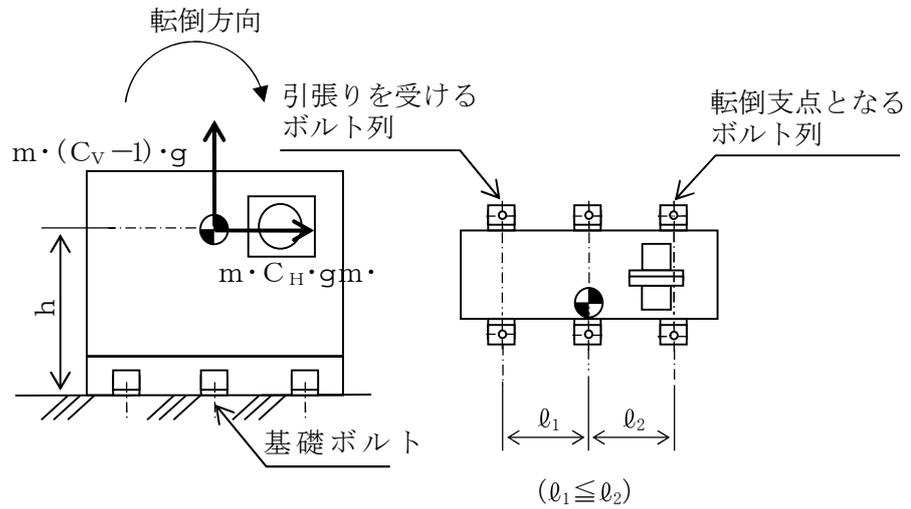


図5-1(1) 計算モデル

(直立形 左右方向転倒-2 ($1 - C_v < 0$ の場合))

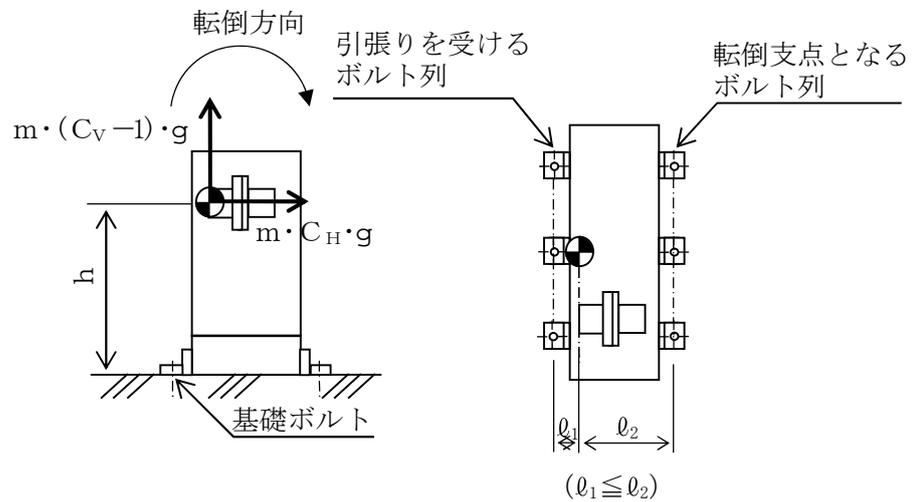


図5-1(2) 計算モデル

(直立形 前後方向転倒-1 ($1 - C_v < 0$ の場合))

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図5-1で最外列の基礎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5-1(2)及び図5-1(2)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots\dots\dots (5.3.1.1.1)$$

引張応力 (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.3.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.3.1.1.3)$$

(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

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【フィルタ装置圧力の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4.1.1 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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots \dots \dots (5.6.1.1)$$

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. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

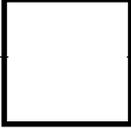
フィルタ装置圧力の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

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。

フィルタ装置圧力の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、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

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 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
フィルタ装置圧力	水平	
	鉛直	

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置圧力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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【フィルタ装置圧力の耐震性についての評価結果】

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		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	
フィルタ装置圧力	常設耐震/防止 常設/緩和	格納容器圧力 逃がし装置格納槽			—	—	$C_H=2.15$	$C_V=1.07$	

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。

1.2 機器要目

1.2.1 フィルタ装置圧力

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							2 3

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	234	385	—	270	—	前後方向

注記 *: 各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は前後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	—	—	$\sigma_b=16$	$f_{ts}=162^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=5$	$f_{sb}=124$

すべて許容応力以下である。

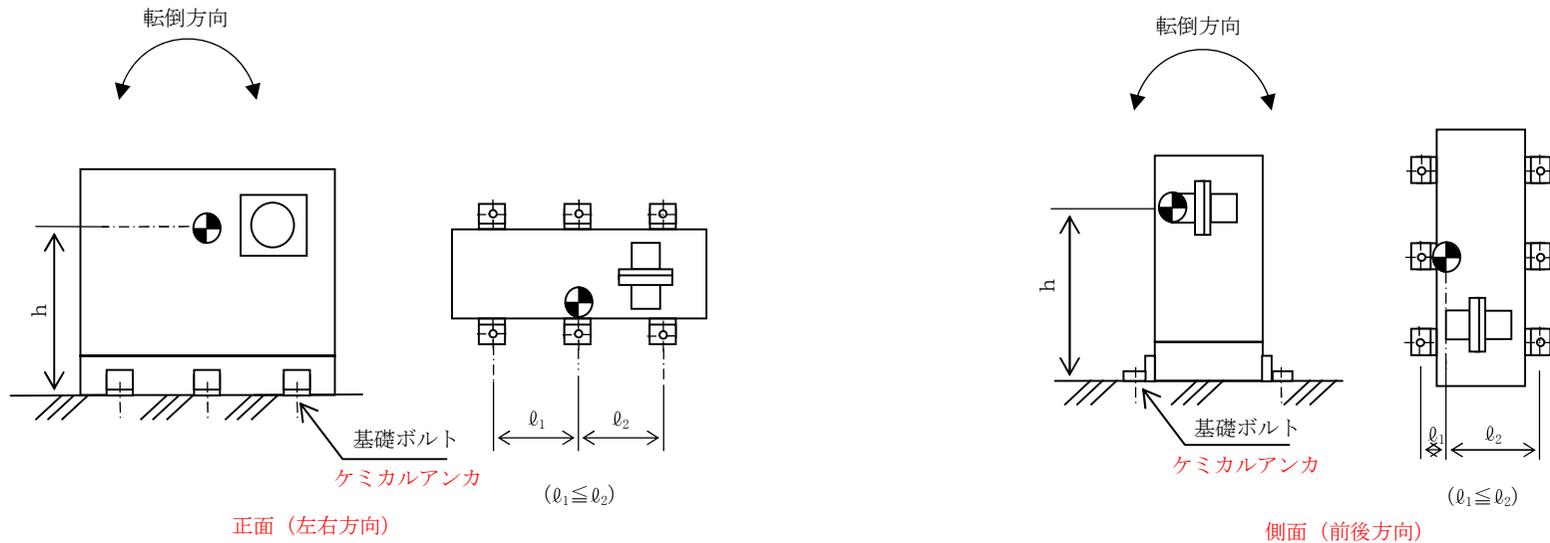
注記* : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

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
フィルタ装置圧力	水平方向	1.79	□
	鉛直方向	0.89	□

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-640 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-7-16 残留熱除去系海水系系統流量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
4.1 固有値解析方法	7
4.2 解析モデル及び諸元	7
4.3 固有値解析結果	9
5. 構造強度評価	10
5.1 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	14
5.4 計算方法	15
5.5 計算条件	17
5.6 応力の評価	17
6. 機能維持評価	18
6.1 電氣的機能維持評価方法	18
7. 評価結果	19
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	19

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、残留熱除去系海水系系統流量が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

残留熱除去系海水系系統流量は、設計基準対象施設においてはCクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設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電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系海水系系統流量の構造計画を表 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>検出器は、計器取付ボルトにより計器スターションに取付けられた計器取付板に固定される。</p> <p>計器スターションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器</p>	<p>計器 スターション</p> <p>正面</p> <p>側面</p> <p>取付板</p> <p>検出器</p> <p>計器取付ボルト</p> <p>基礎ボルト</p> <p>メカニカルアンカ</p> <p>基礎 (壁面)</p> <p>250</p> <p>350</p> <p>528</p> <p>上面</p>

(単位 : mm)

2.2 評価方針

残留熱除去系海水系系統流量の応力評価は、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海水系系統流量の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」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。また、残留熱除去系海水系系統流量の機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.3 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. 評価結果」に示す。

残留熱除去系海水系系統流量の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

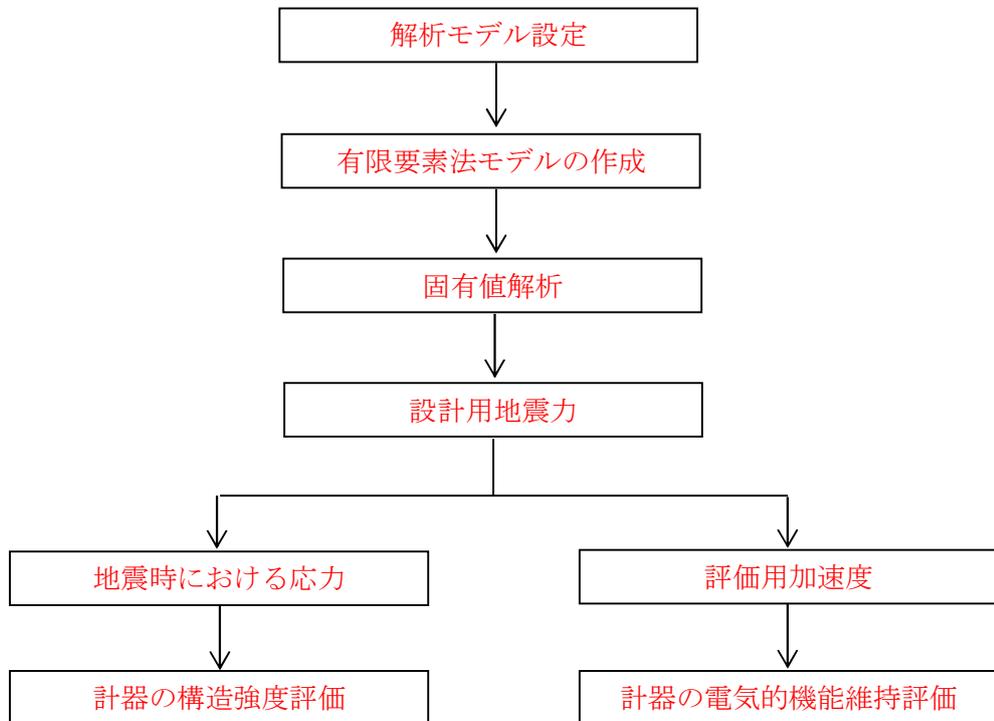


図 2-1 残留熱除去系海水系系統流量の耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準等を以下に示す。

- (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	サポート断面積	mm ²
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
E	縦弾性係数	MPa
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 ₂	取付面から重心までの距離(壁掛形)	mm
I _p	サポートの断面二次極モーメント	mm ⁴
I _y	サポートの断面二次モーメント (y軸)	mm ⁴
I _z	サポートの断面二次モーメント (z軸)	mm ⁴
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総質量	kg
m _a	検出器の質量	kg
n	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
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

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 Part 5 表8に定める材料の 40℃における値	MPa MPa
Z_p	サポートのねじり断面係数	mm ³
Z_y	サポートの断面係数 (y 軸)	mm ³
Z_z	サポートの断面係数 (z 軸)	mm ³
ν	ポアソン比	—
π	円周率	MPa
σ_b	ボルトに生じる引張応力	
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	—

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
質量	kg	—	—	整数位
長さ*1	mm	—	—	整数位
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

残留熱除去系海水系系統流量の耐震評価は、「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部について実施する。残留熱除去系海水系系統流量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 固有値解析方法

残留熱除去系海水系系統流量の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 残留熱除去系海水系系統流量は、4.2 解析モデル及び諸元に示す 3 次元はりモデルとして考える。

4.2 解析モデル及び諸元

残留熱除去系海水系系統流量の解析モデルを図 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 4-1、部材の機器要目を表 4-2 に示す。

- (1) 図 4-1 中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。
- (2) 図 4-1 中の ⊕ は検出器質点を示し、 m_a は 9 kg である。
- (3) 図 4-1 中の実線はサポート鋼材，点線は仮想鋼材を示す。
- (4) 拘束条件として，基礎部の X Y Z 方向及び回転方向を固定する。
- (5) 解析コードは，「NSAFE」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，添付書類「V-5-4 計算機プログラム（解析コード）の概要 ・ HISAP 及び NSAFE」に示す。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

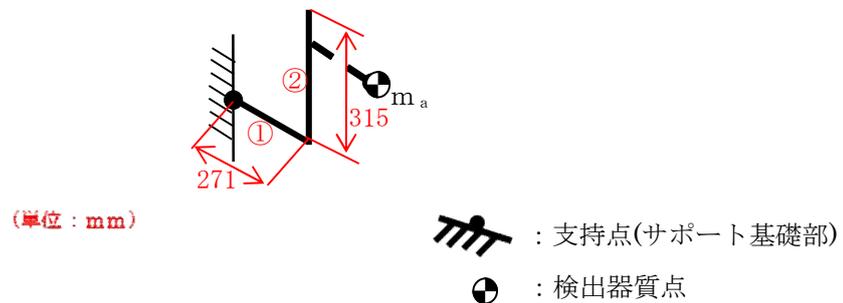


図 4-1 解析モデル

表 4-1 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m_a	kg	
温度条件 (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	

表 4-2 部材の機器要目

材料	
対象要素	①-②
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	

4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-3 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4-3 固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1 次		水平

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.2 項(1)～(6)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、残留熱除去系海水系系統流量に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

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

残留熱除去系海水系系統流量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 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

残留熱除去系海水系系統流量の許容応力を表 5-2 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去系海水系系統流量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 5-3 に示す。

表 5-1 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
計測制御 系統施設	その他の 計測制御 設備	残留熱除去系海水系 系統流量	常設／防止	—*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／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。

*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 5-2 許容応力（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)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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 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 (FT-E12-N007A)		周囲環境温度		234	385	—
基礎ボルト (FT-E12-N007B)		周囲環境温度		239	392	—

5.3 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。耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-4, 5 に示す。

表 5-4 残留熱除去系海水系系統流量 (FT-E12-N007A) 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
原子炉建屋 □	□		—	—	$C_H=0.96$	$C_V=0.92$

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 5-5 残留熱除去系海水系系統流量 (FT-E12-N007B) 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
原子炉建屋 □	□		—	—	$C_H=1.10$	$C_V=0.96$

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。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、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。

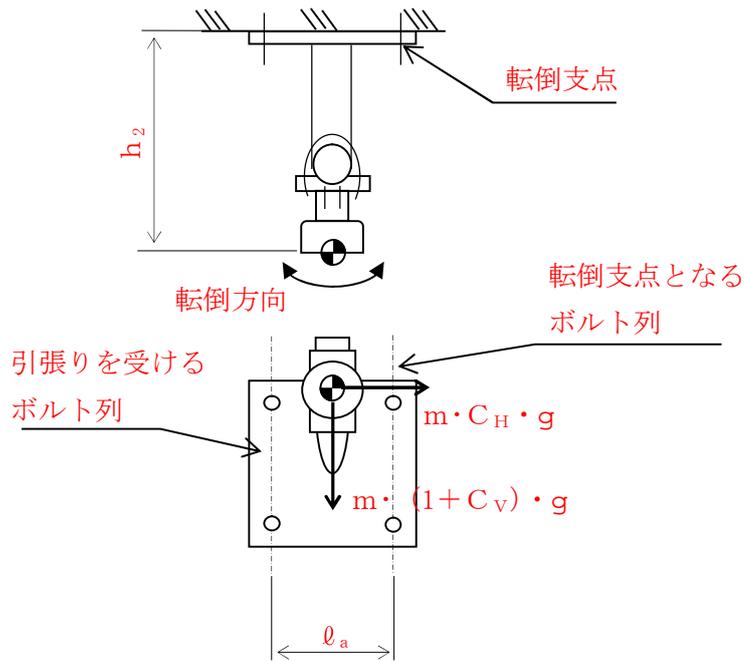


図5-1(1) 計算モデル
(壁掛形 水平方向転倒の場合)

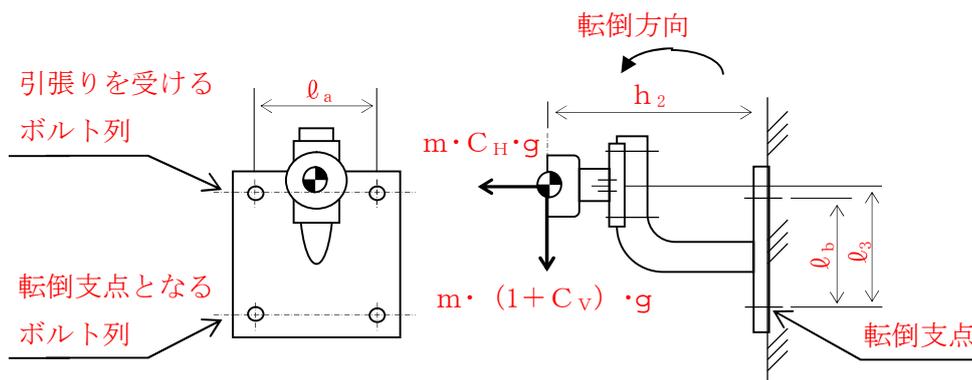


図5-1(2) 計算モデル
(壁掛形 鉛直方向転倒の場合)

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図5-1で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の基礎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5-1 (1)の場合の引張力

$$F_{b1} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot h_2}{n_{fH} \cdot \ell_a} + \frac{(1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot \ell_b} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

計算モデル図5-1 (2)の場合の引張力

$$F_{b2} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot \ell_3 + (1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot \ell_b} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

引張応力 (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

(1) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎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)

$$Q_{b1} = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V) \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

せん断応力 (τ_b)

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.9)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【フィルタ装置圧力の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4.1.1 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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots \dots \dots (5.6.1.1)$$

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. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

残留熱除去系海水系系統流量の電氣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。

残留熱除去系海水系系統流量の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、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

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

評価部位	方向	機能確認済加速度
残留熱除去系海水系 系統流量	水平	
	鉛直	

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系海水系系統流量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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱除去系海水系系統流量(FT-E12-N007A)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		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	
残留熱除去系海水系 系統流量	常設/防止 (設計基準拡張)				-	-	$C_H=0.96$	$C_V=0.92$	

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。

1.2 機器要目

1.2.1 残留熱除去系海水系系統流量計

部材	m (kg)	h_2 (mm)	l_3 (mm)	l_a (mm)	l_b (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{LV}	n_{FH}
基礎ボルト								2	2

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	234	385	-	270	-	水平方向

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)

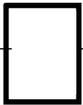
部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b=6$	$f_{ts}=162^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=124^*$

すべて許容応力以下である。

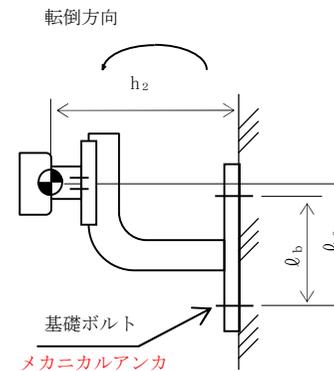
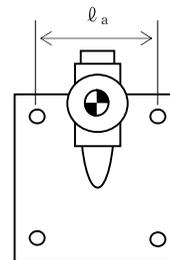
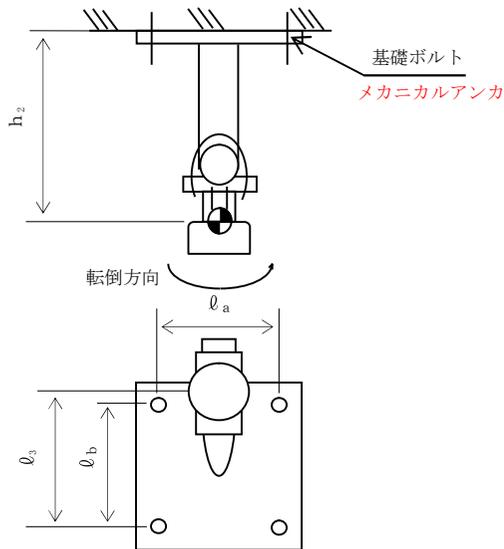
注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能の評価結果

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

		評価用加速度	機能確認済加速度
残留熱除去系海水系 系統流量計	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

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。



【残留熱除去系海水系系統流量(FT-E12-N007B)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		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	
残留熱除去系海水系 系統流量	常設/防止 (設計基準拡張)				-	-	$C_H=1.10$	$C_V=0.96$	

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。

2.2 機器要目

2.2.1 残留熱除去系海水系系統流量計

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{LV}	n_{FH}
基礎ボルト								2	2

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	239	392	-	275	-	水平方向

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	—	—	$\sigma_b=6$	$f_{ts}=165^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=127^*$

すべて許容応力以下である。

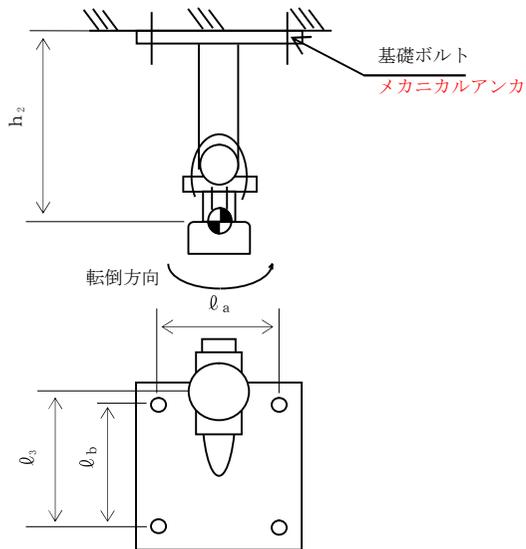
注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

2.4.2 電氣的機能の評価結果

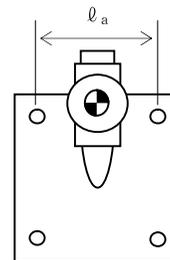
($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
残留熱除去系海水系 系統流量計	水平方向	0.92	□
	鉛直方向	0.80	□

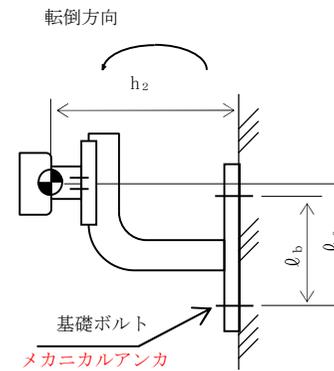
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



正面 (水平方向)



側面 (鉛直方向)



基礎ボルト
メカニカルアンカ

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-641 改 1
提出年月日	平成 30 年 8 月 16 日

V-2-6-7-21 代替循環冷却系ポンプ吐出圧力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. 固有周期	3
3.1 固有周期の算出方法	3
3.2 固有周期の計算条件	3
3.3 固有周期の計算結果	4
4. 構造強度評価	5
4.1 構造強度評価方法	5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	5
5. 機能維持評価	8
5.1 電氣的機能維持評価方法	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、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、代替循環冷却系ポンプ吐出圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

代替循環冷却系ポンプ吐出圧力は、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電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

代替循環冷却系ポンプ吐出圧力の構造計画を表 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>検出器は、計器取付ボルトにより計器ステーションに取付けられた計器取付板に固定される。</p> <p>計器ステーションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>弾性圧力検出器</p>	<p>(単位:mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

代替循環冷却系ポンプ吐出圧力の固有周期の計算方法を以下に示す。

- (1) 代替循環冷却系ポンプ吐出圧力の質量は、質点に集中するものとする。
- (2) 代替循環冷却系ポンプ吐出圧力は、図 3-1 に示す壁固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

3.1.1 水平方向

- (1) X 方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{\ell_b^3}{48 \cdot E \cdot I} + \frac{\ell_b}{4 \cdot A_s \cdot G} \right)} \dots (3.1.1.1)$$

- (2) Z 方向に対する固有周期を 3.1.1.1 式で求める。

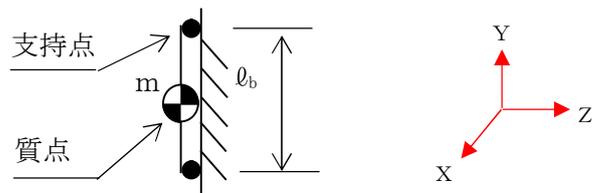


図 3-1 固有周期の計算モデル

3.1.2 鉛直方向

- (1) Y 方向は十分な剛性を有していることから、固有周期の計算を省略する。

3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
代替循環冷却系ポンプ吐出圧力の質量	m	kg	
上下ボルト間の距離（壁掛形）	ℓ_b	mm	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm ⁴	
最小有効せん断断面積	A _s	mm ²	
せん断弾性係数	G	MPa	

3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-2 示す。

固有周期の計算の結果から、剛であることを確認した。

表 3-2 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

代替循環冷却系ポンプ吐出圧力の構造は壁掛形計器スタンションであるため、構造強度評価は、添付書類「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」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

代替循環冷却系ポンプ吐出圧力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

代替循環冷却系ポンプ吐出圧力の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

代替循環冷却系ポンプ吐出圧力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 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	その他の 計測制御 設備	代替循環冷却系 ポンプ吐出圧力	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。

*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 4-2 許容応力（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)	
	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		234	385	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

代替循環冷却系ポンプ吐出圧力の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

代替循環冷却系ポンプ吐出圧力の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
代替循環冷却系 ポンプ吐出圧力	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

代替循環冷却系ポンプ吐出圧力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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【代替循環冷却系ポンプ吐出圧力の耐震性についての評価結果】

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		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	
代替循環冷却系 ポンプ吐出圧力	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 □	□		—	—	$C_H=0.96$	$C_V=0.92$	□

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 代替循環冷却系ポンプ吐出圧力

部材	m (kg)	h (mm)	l_3 (mm)	l_a (mm)	l_b (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{LV}	n_{RH}
基礎ボルト	□							2	2

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	234	385	—	270	—	水平方向

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		F _{b1}		F _{b2}		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						
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	—	—	σ _b =2	f _{ts} =162*
		せん断	—	—	τ _b =2	f _{sb} =124

すべて許容応力以下である。

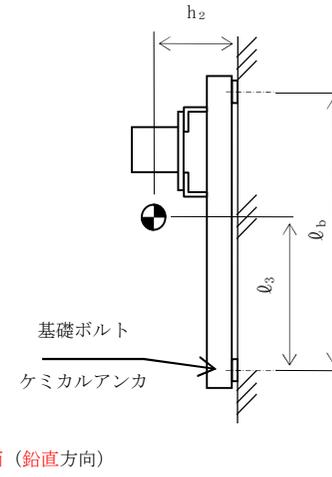
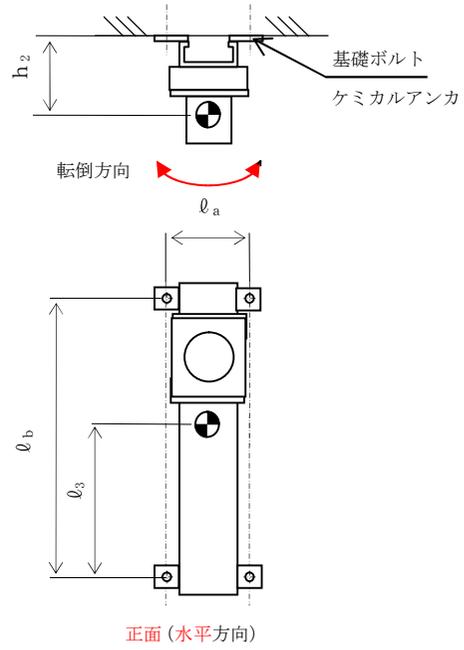
注記 * : f_{tsi} = Min[1.4 · f_{toi} - 1.6 · τ_{bi}, f_{toi}]より算出

1.4.2 電氣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
代替循環冷却系 ポンプ吐出圧力	水平方向	0.80	□
	鉛直方向	0.77	□

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-642 改 1
提出年月日	平成 30 年 8 月 16 日

V-2-6-7-26 非常用窒素供給系供給圧力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. 固有周期	3
3.1 固有周期の算出方法	3
3.2 固有周期の計算条件	3
3.3 固有周期の計算結果	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
5. 機能維持評価	7
5.1 電氣的機能維持評価方法	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、非常用窒素供給系供給圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

非常用窒素供給系供給圧力は、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電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

非常用窒素供給系供給圧力の構造計画を表 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>検出器は、計器取付ボルトにより計器ステーションに取付けられた計器取付板に固定される。</p> <p>計器ステーションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>弾性圧力検出器</p>	<p>The diagram illustrates the assembly of an elastic pressure detector. It includes three views: a top view showing a square base with four mounting holes; a front view showing a vertical post of height 900 mm mounted on a base with a diameter of 160 mm. The base is secured to a foundation (基礎) with chemical anchors (ケミカルアンカ) and foundation bolts (基礎ボルト). The detector station (計器ステーション) is mounted on top of the post. A side view shows the detector (検出器) mounted on a detector mounting plate (計器取付板) which is attached to the detector station with detector mounting bolts (計器取付ボルト). The width of the detector mounting plate is 300 mm. The entire unit is mounted on a foundation (基礎) which sits on a floor surface (床面). All dimensions are in millimeters (mm).</p> <p>(正面方向) (側面方向) (単位: mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

非常用窒素供給系供給圧力の固有周期の計算方法を以下に示す。

3.1.1 水平方向

- (1) 非常用窒素供給系供給圧力の質量は、質点に集中するものとする。
- (2) 非常用窒素供給系供給圧力は、図 3-1 に示す床固定の 1 質点系振動モデルとして考える。
- (3) 固有周期は次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \dots (3.1.1)$$

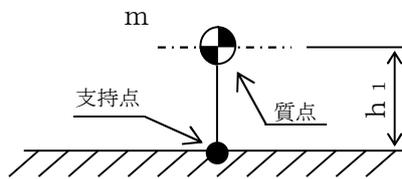


図 3-1 固有周期の計算モデル

3.1.2 鉛直方向

鉛直方向は十分な剛性を有していることから、固有周期の計算を省略する。

3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
非常用窒素供給系供給圧力の質量	m	kg	
取面から重心までの距離	h ₁	mm	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm ⁴	
最小有効せん断断面積	A _s	mm ²	
せん断弾性係数	G	MPa	

3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-2 示す。

固有周期の計算の結果から、剛であることを確認した。

表 3-2 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

非常用窒素供給系供給圧力の構造は直立形計器スタンションであるため、構造強度評価は、添付書類「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」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

非常用窒素供給系供給圧力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

非常用窒素供給系供給圧力の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用窒素供給系供給圧力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 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	その他の 計測制御 設備	非常用窒素供給系 供給圧力	常設耐震／防止	—*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 4-2 許容応力（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)	
	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	221	373	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

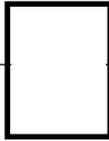
非常用窒素供給系供給圧力の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

非常用窒素供給系供給圧力の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
非常用窒素供給系 供給圧力	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

非常用窒素供給系供給圧力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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用窒素供給系供給圧力の耐震性についての評価結果】

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		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	
非常用窒素供給系 供給圧力	常設耐震/防止	原子炉建屋 []	[]		—	—	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$	[]

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 非常用窒素供給系供給圧力

部材	m (kg)	h_1 (mm)	l_1^* (mm)	l_2^* (mm)	A_b (mm ²)	n	nf^*
基礎ボルト	[]						2
	[]						2

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	221	373	—	261	—	前後方向

注記 * : 各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に
対する評価時の要目を示し、下段は前後方法転倒に
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	—	—	σ _b =10	f _{ts} =156*
		せん断	—	—	τ _b =1	f _{sb} =120*

すべて許容応力以下である。

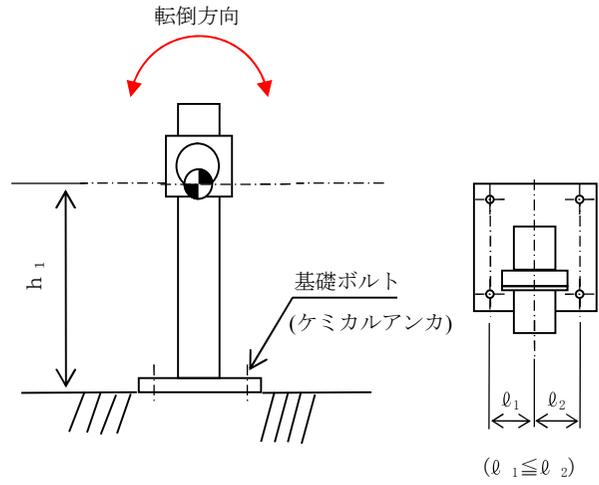
注記* : f_{ts} = Min[1.4 · f_{to} - 1.6 · τ_b, f_{to}]より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

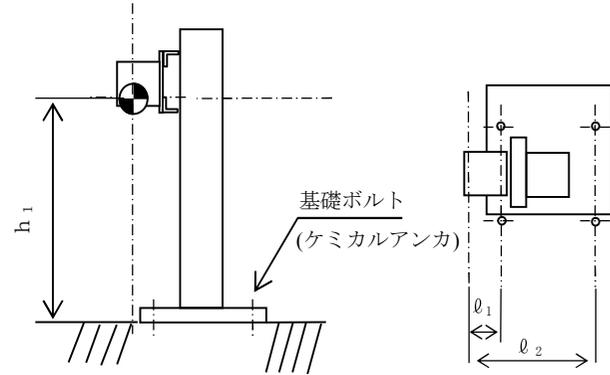
(×9.8m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
非常用室素供給系 供給圧力	水平方向	1.11	□
	鉛直方向	0.84	□

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。



正面 (左右方向)



側面 (前後方向)

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-643 改 1
提出年月日	平成 30 年 8 月 16 日

V-2-6-7-27 非常用窒素供給系高圧窒素ポンベ圧力の耐震性につ
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. 固有周期	3
3.1 固有周期の算出方法	3
3.2 固有周期の計算条件	3
3.3 固有周期の計算結果	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
5. 機能維持評価	7
5.1 電氣的機能維持評価方法	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、非常用窒素供給系高圧窒素ポンベ圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

非常用窒素供給系高圧窒素ポンベ圧力は、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電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

非常用窒素供給系高圧窒素ポンベ圧力の構造計画を表 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>検出器は、計器取付ボルトにより計器ステーションに取付けられた計器取付板に固定される。</p> <p>計器ステーションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>弾性圧力検出器</p>	<p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

非常用窒素供給系高圧窒素ポンベ圧力の固有周期の計算方法を以下に示す。

3.1.1 水平方向

- (1) 非常用窒素供給系高圧窒素ポンベ圧力の質量は、質点に集中するものとする。
- (2) 非常用窒素供給系高圧窒素ポンベ圧力は、図 3-1 に示す床固定の 1 質点系振動モデルとして考える。
- (3) 固有周期は次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \dots (3.1.1)$$

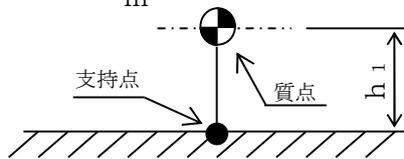


図 3-1 固有周期の計算モデル

3.1.2 鉛直方向

鉛直方向は十分な剛性を有していることから、固有周期の計算を省略する。

3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
非常用窒素供給系高圧窒素ポンベ圧力の質量	m	kg	
取付面から重心までの距離	h 1	mm	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm ⁴	
最小有効せん断断面積	A s	mm ²	
せん断弾性係数	G	MPa	

3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-2 示す。

固有周期の計算の結果から、剛であることを確認した。

表 3-2 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

非常用窒素供給系高圧窒素ポンベ圧力の構造は直立形計器スタンションであるため、構造強度評価は、添付書類「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」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

非常用窒素供給系高圧窒素ポンベ圧力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

非常用窒素供給系高圧窒素ポンベ圧力の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用窒素供給系高圧窒素ポンベ圧力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 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	その他の 計測制御 設備	非常用窒素供給系 高圧窒素ボンベ圧力	常設耐震／防止	—*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 4-2 許容応力（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)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t * 1.5・f _s *	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	221	373	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

非常用窒素供給系高圧窒素ポンベ圧力の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「V-2-1-13-9 計器スタクションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

非常用窒素供給系高圧窒素ポンベ圧力の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
非常用窒素供給系 高圧窒素ポンベ圧力	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

非常用窒素供給系高圧窒素ポンベ圧力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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用窒素供給系高圧窒素ポンベ圧力の耐震性についての評価結果】

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		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	
非常用窒素供給系 高圧窒素ポンベ圧力	常設耐震/防止	原子炉建屋 []	[]	[]	—	—	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$	[]

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 非常用窒素供給系高圧窒素ポンベ圧力

部材	m (kg)	h_1 (mm)	l_1^* (mm)	l_2^* (mm)	A_b (mm ²)	n	nf^*
基礎ボルト	[]						2
	[]						2

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	221	373	—	261	—	前後方向

注記 * : 各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は前後方法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	—	—	σ _b =10	f _{ts} =156*
		せん断	—	—	τ _b =1	f _{sb} =120

すべて許容応力以下である。

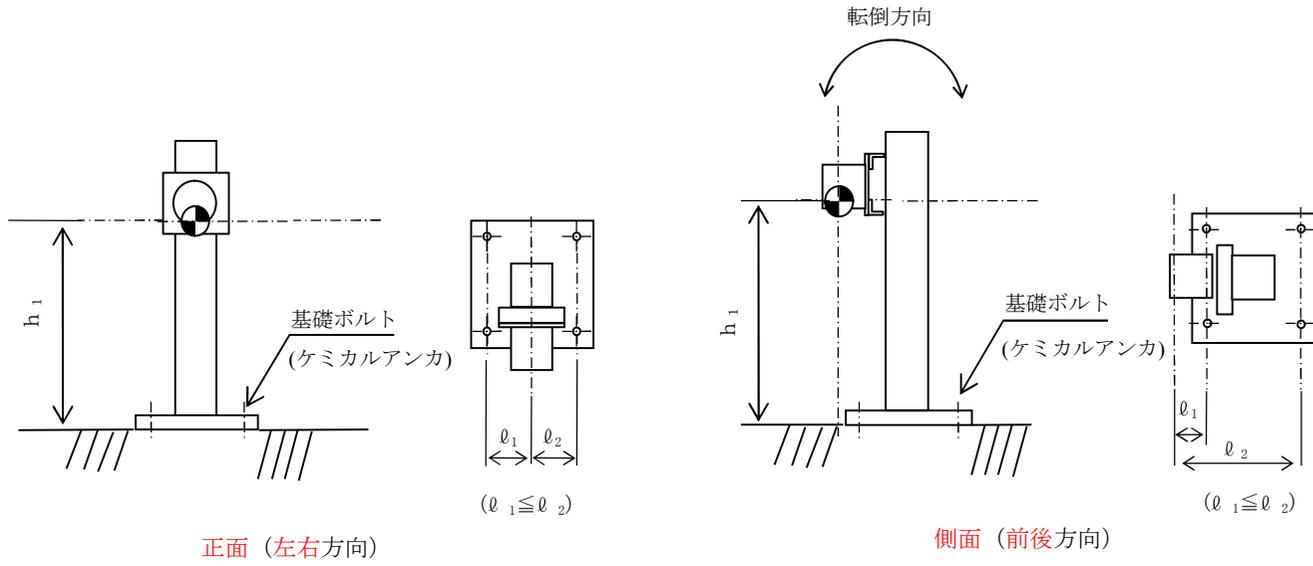
注記* : f_{ts} = Min[1.4 · f_{to} - 1.6 · τ_b, f_{to}]より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
非常用窒素供給系 高圧窒素ポンベ出口圧力	水平方向	1.11	□
	鉛直方向	0.84	□

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-644 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-7-28 非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の耐震性について
の計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の算出方法	3
3.2 固有周期の計算条件	3
3.3 固有周期の計算結果	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
5. 機能維持評価	7
5.1 電氣的機能維持評価方法	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、非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力は、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電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の構造計画を表 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>検出器は、計器取付ボルトにより計器ステーションに取付けられた計器取付板に固定される。</p> <p>計器ステーションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>弾性圧力検出器</p>	<p>The diagram illustrates the assembly of an elastic pressure detector. It includes three views: a top view, a front view, and a side view. The top view shows a rectangular plate with four mounting holes. The front view shows a vertical post (計器ステーション) mounted on a base (基礎) with a height of 900 mm. The detector (検出器) is mounted on top of the post with a diameter of 160 mm. The side view shows the detector is secured to the post by a mounting plate (計器取付板) and a mounting bolt (計器取付ボルト), with a distance of approximately 300 mm between the detector and the mounting point. The base is secured to the ground (基礎床面) using a foundation bolt (基礎ボルト) and a chemical anchor (ケミカルアンカ).</p> <p>単位：(mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の固有周期の計算方法を以下に示す。

3.1.1 水平方向

- (1) 非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の質量は、質点に集中するものとする。
- (2) 非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力は、図 3-1 に示す床固定の 1 質点系振動モデルとして考える。
- (3) 固有周期は次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \dots (3.1.1)$$

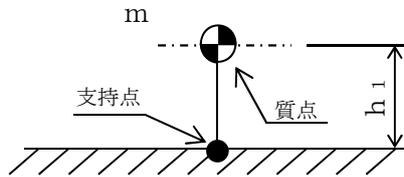


図 3-1 固有周期の計算モデル

3.1.2 鉛直方向

鉛直方向は十分な剛性を有していることから、固有周期の計算を省略する。

3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の質量	m	kg	
取付面から重心までの距離	h ₁	mm	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm ⁴	
最小有効せん断断面積	A _s	mm ²	
せん断弾性係数	G	MPa	

3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-2 示す。

固有周期の計算の結果から、剛であることを確認した。

表 3-2 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

非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の構造は直立形計器スタンションであるため、構造強度評価は、添付書類「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」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

非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力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

非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力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 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	その他の 計測制御 設備	非常用逃がし安全弁駆動 系供給圧力	常設耐震／防止	—*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 4-2 許容応力（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)	
	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 (RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	221	373	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
非常用逃がし安全弁 駆動系供給圧力	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

非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の耐震性についての評価結果】

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		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	
非常用逃がし安全弁 駆動系供給圧力	常設耐震/防止	原子炉建屋 []	[]	[]	—	—	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$	[]

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力

部材	m (kg)	h_1 (mm)	l_1^* (mm)	l_2^* (mm)	A_b (mm ²)	n	nf^*
基礎ボルト	[]						2
	[]						2

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	221	373	—	261	—	前後方向

注記 *：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に
対する評価時の要目を示し、下段は前後方法転倒に
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	—	—	σ _b =10	f _{ts} =156*
		せん断	—	—	τ _b =1	f _{sb} =120

すべて許容応力以下である。

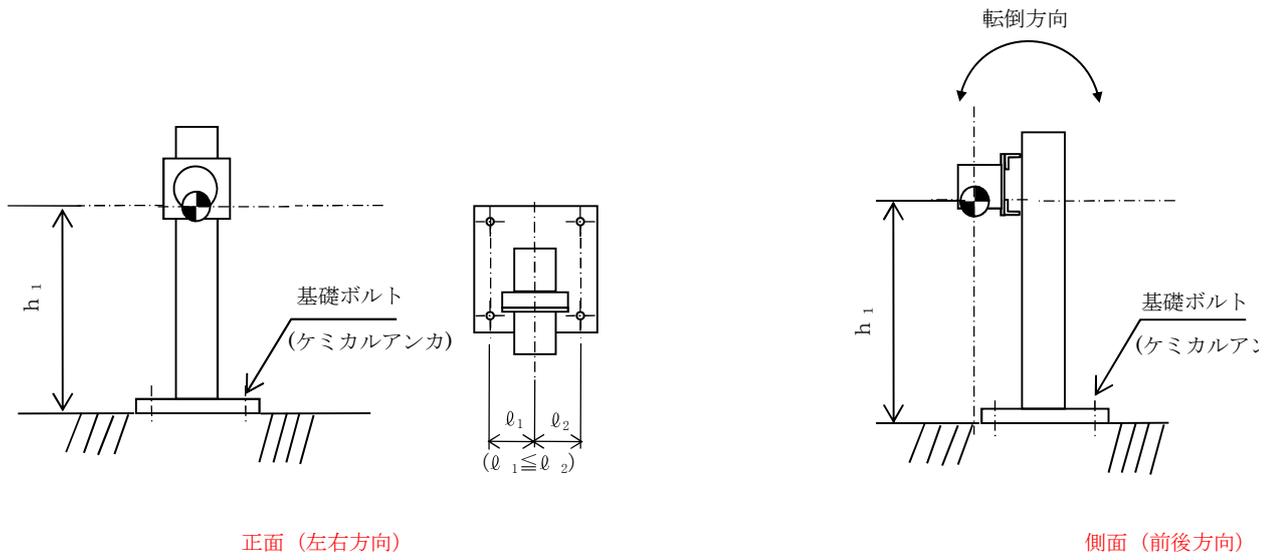
注記* : f_{ts} = Min[1.4 · f_{to} - 1.6 · τ_b, f_{to}]より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
非常用逃がし安全弁 駆動系供給圧力	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

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-645 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-7-29 非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ポンベ圧力
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. 固有周期	3
3.1 固有周期の算出方法	3
3.2 固有周期の計算条件	3
3.3 固有周期の計算結果	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
5. 機能維持評価	7
5.1 電氣的機能維持評価方法	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、非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ポンベ圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ポンベ圧力は、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電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ポンベ圧力の構造計画を表 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>検出器は、計器取付ボルトにより計器スターションに取付けられた計器取付板に固定される。</p> <p>計器スターションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>弾性圧力検出器</p>	<p>The diagram illustrates the construction plan for the detector assembly. It includes three views: a top view, a front view, and a side view. The top view shows a square base with four mounting holes. The front view shows a vertical post (計器スターション) mounted on a base (基礎) with a height of 900 mm. The post has a diameter of 160 mm. The base is secured with a chemical anchor (ケミカルアンカ) and a foundation bolt (基礎ボルト). The side view shows the detector (検出器) mounted on the post with a height of approximately 300 mm. The detector is secured to the post with a detector mounting bolt (計器取付ボルト). The detector is mounted on a detector mounting plate (計器取付板).</p> <p>単位：(mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ポンベ圧力の固有周期の計算方法を以下に示す。

3.1.1 水平方向

- (1) 非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ポンベ圧力の質量は、質点に集中するものとする。
- (2) 非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ポンベ圧力は、図 3-1 に示す床固定の 1 質点系振動モデルとして考える。
- (3) 固有周期は次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \dots (3.1.1)$$

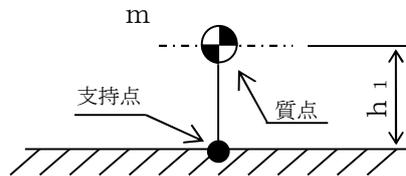


図 3-1 固有周期の計算モデル

3.1.2 鉛直方向

鉛直方向は十分な剛性を有していることから、固有周期の計算を省略する。

3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ポンベ圧力の質量	m	kg	
取付面から重心までの距離	h ₁	mm	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm ⁴	
最小有効せん断断面積	A _s	mm ²	
せん断弾性係数	G	MPa	

3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-2 示す。

固有周期の計算の結果から、剛であることを確認した。

表 3-2 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

非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力の構造は直立形計器スタンションであるため、構造強度評価は、添付書類「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」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

非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力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

非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力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 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	その他の 計測制御 設備	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	—*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 4-2 許容応力（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)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t * 1.5・f _s *	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	221	373	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
非常用逃がし安全弁駆動系 高圧窒素ボンベ圧力	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

非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ポンベ圧力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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ポンペ圧力の耐震性についての評価結果】

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		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	
非常用逃がし安全弁駆動系 高圧窒素ポンペ圧力	常設耐震/防止	原子炉建屋 []	[]	[]	—	—	$C_H=1.10$	$C_V=0.96$	[]

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ポンペ圧力

部材	m (kg)	h_1 (mm)	l_1^* (mm)	l_2^* (mm)	A_b (mm ²)	n	nf^*
基礎ボルト	[]						2
	[]						2

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	221	373	—	261	—	前後方向

注記 *：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は前後方法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	—	—	σ _b =14	f _{ts} =156*
		せん断	—	—	τ _b =2	f _{sb} =120

すべて許容応力以下である。

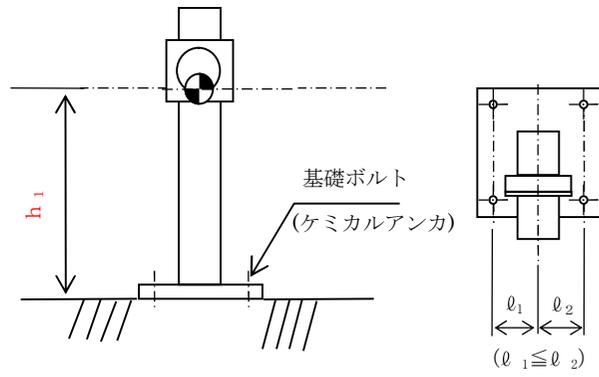
注記* : f_{ts} = Min[1.4 · f_{to} - 1.6 · τ_b, f_{to}]より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

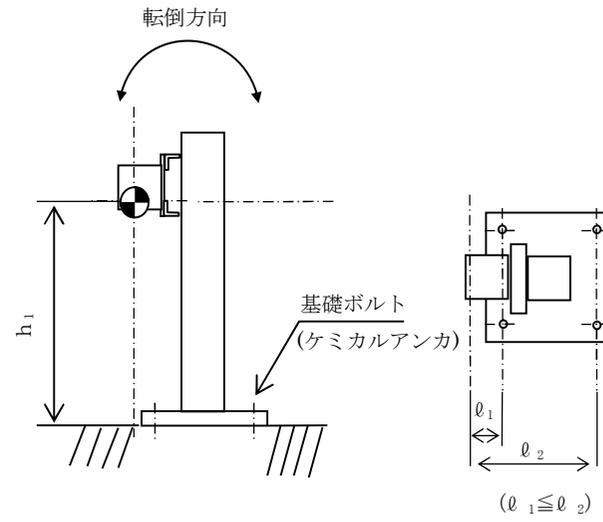
(×9.8m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
非常用逃がし安全弁 駆動系高圧窒素ポンベ圧力	水平方向	1.11	□
	鉛直方向	0.84	□

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。



正面 (左右方向)



側面 (前後方向)

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-647 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-8-2-8 使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）
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
3. 評価部位	3
4. 機能維持評価	4
4.1 評価用加速度	4
4.2 機能確認済加速度	5
5. 評価結果	6
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	6

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、使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）が設計用地震力に対して十分な電氣的機能を有していることを説明するものである。

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）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電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）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>検出器は、取付ボルトで壁に設置する。</p>	<p>電離箱</p>	<p>正面</p> <p>側面</p> <p>(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）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 4.2 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、「4. 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「5. 評価結果」に示す。

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

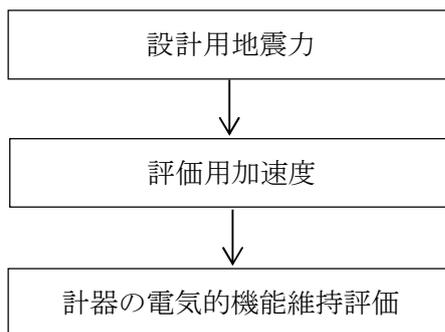


図 2-1 使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）の耐震評価フロー

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。

3. 評価部位

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）は、原子炉建屋に直接取り付けられた取付台に固定されることから、原子炉建屋が支持している。原子炉建屋の構造強度評価は添付書類「V-2-2-2 原子炉建屋の耐震性についての計算書」にて実施しているため、本計算書では、原子炉建屋の地震応答解析結果を用いた使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）の電氣的機能維持評価について示す。

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）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. 機能維持評価

4.1 評価用加速度

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）は、原子炉建屋に直接取り付けられた取付台に固定されることから、評価用加速度は、基準地震動 S_s による地震力として添付書類「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。評価用加速度を表4-1に示す。

表 4-1 評価用加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	評価用加速度
使用済燃料プールエリア 放射線モニタ（低レンジ）	原子炉建屋 	水平	1.74
		鉛直	1.47

注記 * : 基準床レベルを示す。

4.2 機能確認済加速度

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）の機能確認済加速度については以下に示す。

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）の機能確認済加速度には、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2 機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
使用済燃料プールエリア放射線 モニタ（低レンジ）	水平	
	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

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）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電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）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 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
使用済燃料プールエリア 放射線モニタ（低レンジ）	水平方向	1.74	
	鉛直方向	1.47	

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-648 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-8-2-9 使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）
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
3. 評価部位	3
4. 機能維持評価	4
4.1 評価用加速度	4
4.2 機能確認済加速度	5
5. 評価結果	6
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	6

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、使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）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、分類に応じた構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）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	
検出器は、取付ボルトで壁に設置する。	電離箱	<p>正面</p> <p>側面</p> <p>(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）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 4.2 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、「4. 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「5. 評価結果」に示す。

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）の耐震評価フローを図2-1に示す。

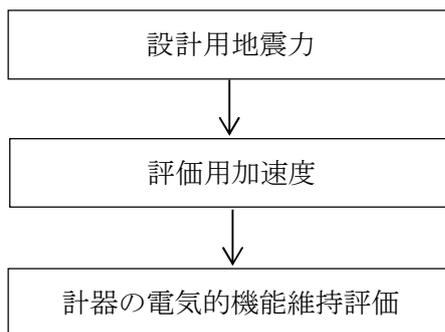


図2-1 使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）の耐震評価フロー

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。

3. 評価部位

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）は、原子炉建屋に直接取り付けられた取付台に固定されることから、原子炉建屋が支持している。原子炉建屋の構造強度評価は添付書類「V-2-2-2 原子炉建屋の耐震性についての計算書」にて実施しているため、本計算書では、原子炉建屋の地震応答解析結果を用いた使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）の電氣的機能維持評価について示す。

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）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. 機能維持評価

4.1 評価用加速度

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）は、原子炉建屋に直接取り付けられた取付台に固定されることから、評価用加速度は、基準地震動 S_s による地震力として添付書類「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。評価用加速度を表4-1に示す。

表 4-1 評価用加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	評価用加速度
使用済燃料プールエリア 放射線モニタ（高レンジ）	原子炉建屋 	水平	1.74
		鉛直	1.47

注記 * : 基準床レベルを示す。

4.2 機能確認済加速度

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）の機能確認済加速度については以下に示す。

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）の機能確認済加速度には、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度	
使用済燃料プールエリア放射線 モニタ（高レンジ）	水平		
	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

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）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電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）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 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
使用済燃料プールエリア 放射線モニタ（高レンジ）	水平方向	1.74	
	鉛直方向	1.47	

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-649 改2
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-3 主蒸気流量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. 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	6
5.1 電氣的機能維持評価方法	6
6. 評価結果	7
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	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及び機能維持の設計方針に基づき、主蒸気流量が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

主蒸気流量は、設計基準対象施設においては既設の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電氣的機能維持評価を示す。

なお、本計算書については、取付ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。評価対象を表1-1に示す。

表1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
DPT-E31-N086A (代表)	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	表2-1 構造計画
DPT-E31-N087A (代表)		
DPT-E31-N088A (代表)		
DPT-E31-N089A (代表)		
DPT-E31-N086B		
DPT-E31-N087B		
DPT-E31-N088B		
DPT-E31-N089B		
DPT-E31-N086C		
DPT-E31-N087C		
DPT-E31-N088C		
DPT-E31-N089C		
DPT-E31-N086D		
DPT-E31-N087D		
DPT-E31-N088D		
DPT-E31-N089D		

2. 一般事項

2.1 構造計画

主蒸気流量の構造計画を表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>検出器は、計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。</p> <p>計装ラックは、基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器</p>	<p>【H22-P015 (DPT-E31-N086A, DPT-E31-N087A, DPT-E31-N088A, DPT-E31-N089A)】</p> <p>(単位：mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

主蒸気流量の固有周期は、構造が同様な計装ラックに対する打振試験の結果から、剛とする。固有周期を表 3-1 示す。

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

主蒸気流量の構造は直立形計装ラックのため、構造強度評価は、添付書類「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」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

主蒸気流量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 に示す。

4.2.2 許容応力

主蒸気流量の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

主蒸気流量の使用材料の許容応力評価条件を表 4-3 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
計測制御 系統施設	計測装置	主蒸気流量 (DPT-E31-N086A DPT-E31-N087A DPT-E31-N088A DPT-E31-N089A)	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	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状態を適用する。

表 4-2 許容応力（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)	
	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	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _{y<i>i</i>} (MPa)	S _{u<i>i</i>} (MPa)	S _{y<i>i</i>} (RT) (MPa)
取付ボルト (<i>i</i> =2)		周囲環境温度		235	400	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

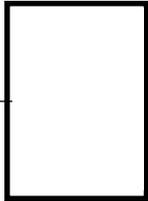
主蒸気流量の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

主蒸気流量の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
主蒸気流量 (DPT-E31-N086A DPT-E31-N087A DPT-E31-N088A DPT-E31-N089A)	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

主蒸気流量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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【主蒸気流量(H22-P015(DPT-E31-N086A, DPT-E31-N087A, DPT-E31-N088A, DPT-E31-N089A))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	
主蒸気流量	S	原子炉建屋			$C_H=0.69$	$C_V=0.53$	$C_H=1.13$	$C_V=0.99$	

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 主蒸気流量

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}^* (mm)	ℓ_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^*
取付ボルト (i=2)							4
							2

8

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
取付ボルト (i=2)	235	400	235	280	長辺方向	長辺方向

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
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
取付ボルト ($i=2$)		引張り	$\sigma_{b2}=9$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=18$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

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

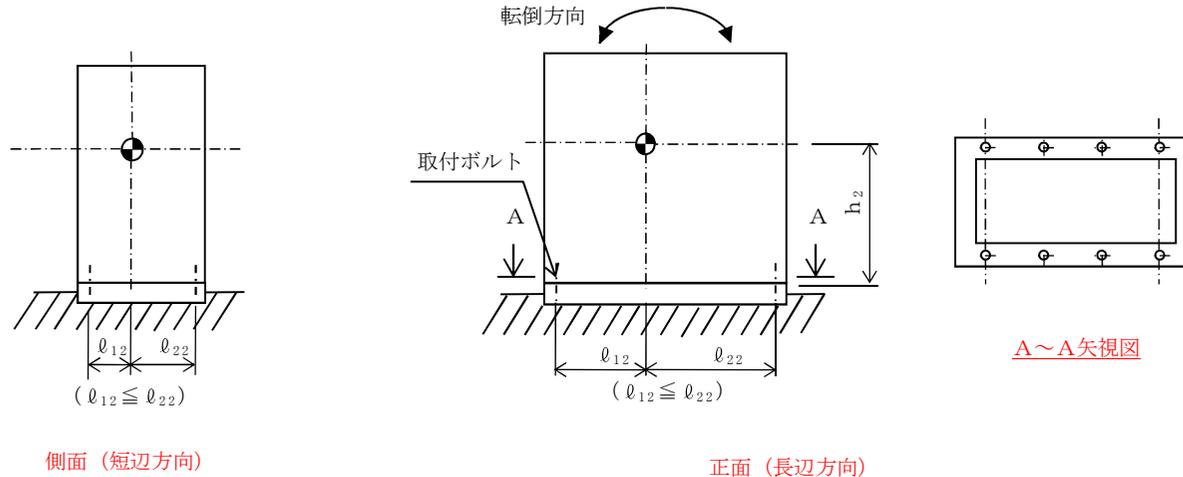
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

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

		評価用加速度	機能確認済加速度
主蒸気流量	水平方向	0.95	
	鉛直方向	0.83	

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。

6



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-650 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-15 高圧炉心スプレイ系系統流量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. 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	6
5.1 電氣的機能維持評価方法	6
6. 評価結果	7
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	7
6.2 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及び機能維持の設計方針に基づき、高圧炉心スプレイ系系統流量が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能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系統流量は、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及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ系系統流量の構造計画を表 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>検出器は、計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。</p> <p>計装ラックは、基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器</p>	<p>(単位：mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

高圧炉心スプレイ系系統流量の固有周期は、構造が同様な計器ラックに対する打振試験の結果から、剛とする。固有周期を表 3-1 に示す。

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

高圧炉心スプレイ系系統流量の構造は直立形計装ラックであるため、構造強度評価は、添付書類「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」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

高圧炉心スプレイ系系統流量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

高圧炉心スプレイ系系統流量の許容応力を表 4-3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイ系系統流量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 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
計測制御 系統施設	計測装置	高圧炉心スプレイ系 系統流量	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	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状態を適用する。

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* 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	計測装置	高圧炉心スプレイ系 系統流量	常設耐震／防止	—* 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以外の常設重大事故防止設備を示す。

*² : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*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)	
	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 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 _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (R T) (MPa)
取付ボルト (i=2)		周囲環境温度	235	400	—

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 _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (R T) (MPa)
取付ボルト (i=2)		周囲環境温度	225	385	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

高圧炉心スプレイ系系統流量の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

高圧炉心スプレイ系系統流量の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度	
高圧炉心スプレイ系系統流量	水平		
	鉛直		

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系統流量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電氣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

電氣的機能維持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

高圧炉心スプレイ系系統流量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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧炉心スプレイ系系統流量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	
高圧炉心スプレイ系 系統流量	S	原子炉建屋 []	[]	[]	$C_H=0.58$	$C_V=0.48$	$C_H=0.96$	$C_V=0.92$	[]

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 高圧炉心スプレイ系系統流量

部 材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i}^* (mm)	l_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^*
取付ボルト (i=2)	[]						4
							2

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
取付ボルト (i=2)	235	400	235	280	長辺方向	長辺方向

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
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
取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=7$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=14$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

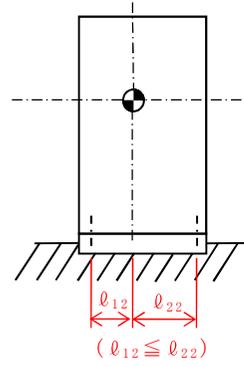
* : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

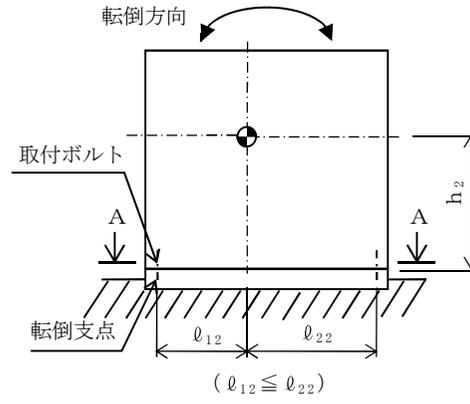
(単位：×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
高圧炉心スプレイ系系統流量	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

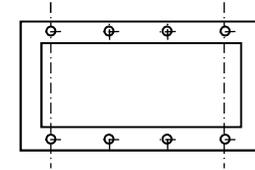
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



側面 (短辺方向)



正面 (長辺方向)



A~A矢視図

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	
高圧炉心スプレイ系 系統流量	常設耐震/防止	原子炉建屋 []	[]	[]	—	—	$C_H=0.96$	$C_V=0.92$	[]

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 高圧炉心スプレイ系系統流量

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	\varnothing_{1i}^* (mm)	\varnothing_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^*
取付ボルト (i=2)	[]						4
	[]						2

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
取付ボルト (i=2)	225	385	—	270	—	長辺方向

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
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
取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	σ _{b2} =14	f _{ts2} =202*
		せん断	—	—	τ _{b2} =3	f _{sb2} =155

すべて許容応力以下である。

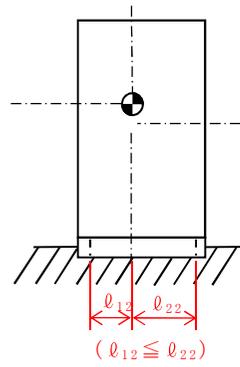
注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

2.4.2 電氣的機能維持の評価結果

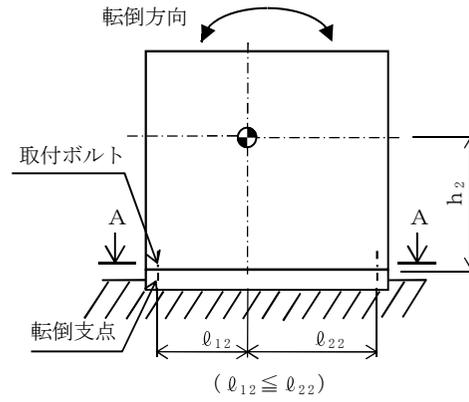
(×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済 加速度
高圧炉心スプレイ系系統流量	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

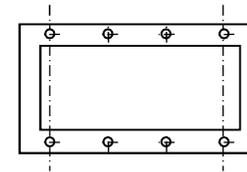
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



側面 (短辺方向)



正面 (長辺方向)



A~A矢视图

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-651 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-16 低圧炉心スプレイ系系統流量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. 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 電氣的機能維持評価方法	7
6. 評価結果	8
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
6.2 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、低圧炉心スプレイ系系統流量が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

低圧炉心スプレイ系系統流量は、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及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

低圧炉心スプレイ系系統流量の構造計画を表 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>検出器は、計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。</p> <p>計装ラックは、基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器</p>	
		<p>(単位 : mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

低圧炉心スプレイ系系統流量の固有周期は、構造が同様な計装ラックに対する打振試験の結果から、剛とする。固有周期を表 3-1 に示す。

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

低圧炉心スプレイ系系統流量の構造は直立形計装ラックであるため、構造強度評価は、添付書類「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」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

低圧炉心スプレイ系系統流量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

低圧炉心スプレイ系系統流量の許容応力を表 4-3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

低圧炉心スプレイ系系統流量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 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
計測制御 系統施設	計測装置	低圧炉心スプレイ系 系統流量	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	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状態を適用する。

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*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	計測装置	低圧炉心スプレイ系 系統流量	常設耐震／防止	—*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以外の常設重大事故防止設備を示す。

*2 : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*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)	
	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 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_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	$S_{yi}(RT)$ (MPa)
取付ボルト ($i=2$)		周囲環境温度		235	400	—

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_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	$S_{yi}(RT)$ (MPa)
取付ボルト ($i=2$)		周囲環境温度		225	385	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

低圧炉心スプレイ系系統流量の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

低圧炉心スプレイ系系統流量の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
低圧炉心スプレイ系 系統流量	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

低圧炉心スプレイ系系統流量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電氣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

電氣的機能維持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

低圧炉心スプレイ系系統流量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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【低圧炉心スプレイ系系統流量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	
低圧炉心スプレイ系 系統流量	S	原子炉建屋			$C_H=0.58$	$C_V=0.48$	$C_H=0.96$	$C_V=0.92$	

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 低圧炉心スプレイ系系統流量

部 材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i}^* (mm)	l_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^*
取付ボルト (i=2)							4
							2

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
取付ボルト (i=2)	235	400	235	280	長辺方向	長辺方向

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
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
取付ボルト (i=2)	□	引張り	σ _{b2} =6	f _{ts2} =176*	σ _{b2} =14	f _{ts2} =210*
		せん断	τ _{b2} =2	f _{sb2} =135	τ _{b2} =3	f _{sb2} =161

すべて許容応力以下である。

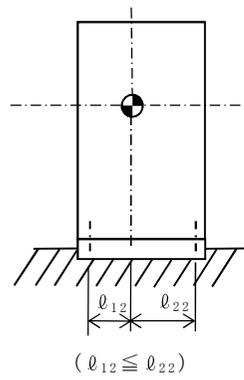
* : f_{t si} = Min[1.4 · f_{t oi} - 1.6 · τ_{bi}, f_{t oi}]より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

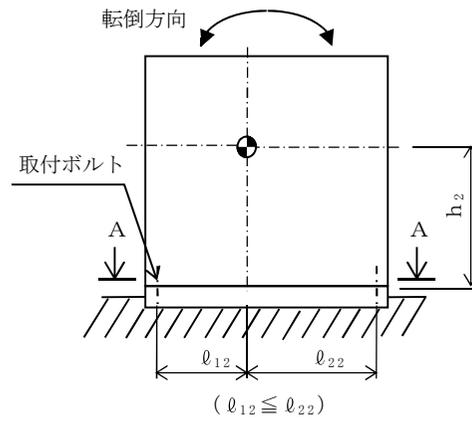
(×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度	
低圧炉心スプレイ系 系統流量	水平方向	0.80	□	□
	鉛直方向	0.77	□	□

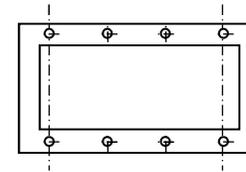
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



側面 (短辺方向)



正面 (長辺方向)



A~A矢视图

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	
低圧炉心スプレイ系 系統流量	常設耐震/防止	原子炉建屋 []	[]	[]	—	—	$C_H=0.96$	$C_V=0.92$	[]

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 低圧炉心スプレイ系系統流量

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i}^* (mm)	l_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^*
取付ボルト (i=2)	[]						4
	[]						2

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
取付ボルト (i=2)	225	385	—	270	—	長辺方向

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
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
取付ボルト (i=2)	□	引張り	—	—	σ _{b2} =14	f _{ts2} =202*
		せん断	—	—	τ _{b2} =3	f _{sb2} =155

すべて許容応力以下である。

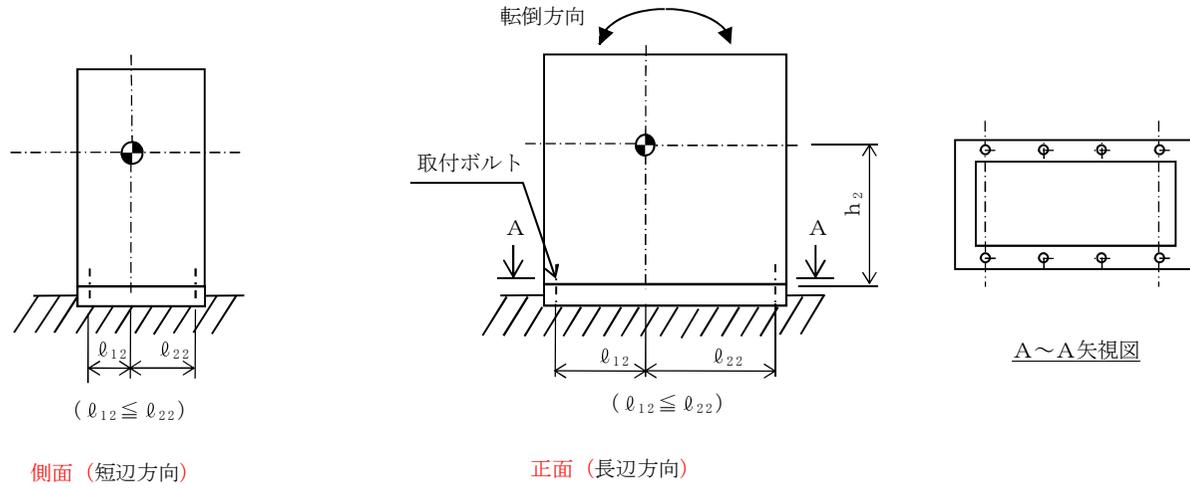
注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

2.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
低圧炉心スプレイ系 系統流量	水平方向	0.80	□
	鉛直方向	0.77	□

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-654 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-20 原子炉水位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.	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	5
5.1	電氣的機能維持評価方法	5
6.	評価結果	5
6.1	設計基準対象施設としての評価結果	5

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、原子炉水位が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

原子炉水位は、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電気的機能維持評価を示す。

なお、本計算書については、取付ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表して評価する。評価対象を表1-1に示す。

表1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
LT-B22-N073A (代表)	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	表2-1 構造計画
LT-B22-N073B		
LT-B22-N073C (代表)		
LT-B22-N073D		
LT-B22-N080A (代表)		
LT-B22-N080B		
LT-B22-N080C		
LT-B22-N080D		
LT-B22-N081A (代表)		
LT-B22-N081B		
LT-B22-N081C		
LT-B22-N081D		
LT-B22-N095A		
LT-B22-N095B		

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉水位の構造計画を表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>検出器は、計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。</p> <p>計装ラックは、基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式水位検出器</p>	<p>【H22-P004A(LT-B22-N073A, LT-B22-N073C, LT-B22-N080A, LT-B22-N081A)】</p> <p>(単位：mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

プラスチックハンマ等により，当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ，振動計，分析器）により固有振動数を測定する。測定の結果、剛であることを確認した。固有周期を表 3-1 に示す。

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

原子炉水位の構造は直立形計装ラックであるため，構造強度評価は，添付書類「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」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

原子炉水位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 に示す。

4.2.2 許容応力

原子炉水位の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉水位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 4-3 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
計測制御 系統施設	計測装置	原子炉水位	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	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状態を適用する。

表 4-2 許容応力（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)	
	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	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	$S_{yi}(RT)$ (MPa)
取付ボルト (i=2)		周囲環境温度	235	400	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

原子炉水位の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉水位の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉水位 (LT-B22-N073A LT-B22-N073C LT-B22-N080A LT-B22-N081A)	水平	□
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉水位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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉水位の耐震性 (H22-P004A(LT-B22-N073A, LT-B22-N073C, LT-B22-N080A, LT-B22-N081A))】

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	
原子炉水位	S	原子炉建屋 <input type="text"/>	<input type="text"/>		$C_H=0.78$	$C_V=0.54$	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$	<input type="text"/>

注記 *1 : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉水位

部 材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i}^* (mm)	l_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^*
取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>						6
							2

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
取付ボルト (i=2)	235	400	235	280	長辺方向	長辺方向

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
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
取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=7$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=17$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

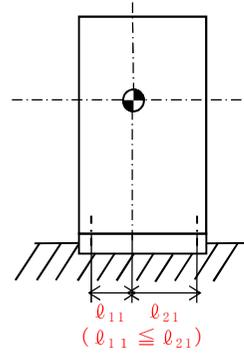
注記 * : $f_{t_{si}} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t_{oi}} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t_{oi}}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

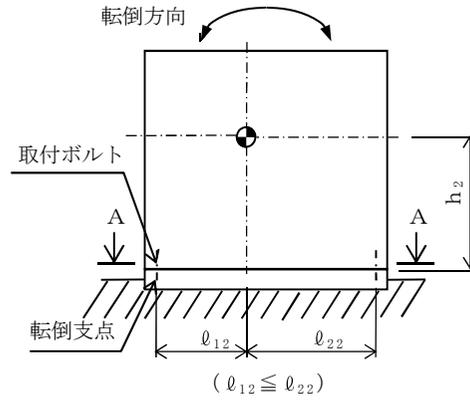
($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉水位	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

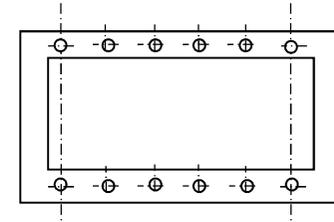
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



側面 (短辺方向)



正面 (長辺方向)



A~A矢視図

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-657 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-7-22 原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力の耐震性について
の計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 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	6
5.1 電氣的機能維持評価方法	6
6. 評価結果	6
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	6

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吐出圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣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吐出圧力は、重大事故等対処設備においては常設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電氣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吐出圧力の構造計画を表 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>検出器は、計器 取付ボルトにより 計装ラックに取付 けられた取付板に 固定される。</p> <p>計装ラックは、 基礎に埋め込まれ たチャンネルベー スに取付ボルトで 設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器</p>	<p>(単位：mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力の固有周期は、構造が同様な計装ラックに対する打診試験の結果から、剛とする。固有周期を表 3-1 に示す。

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

原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力の構造は直立形計装ラックであるため、構造強度評価は、添付書類「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」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

原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力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

原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力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 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	その他の 計測制御 設備	原子炉隔離時冷却系 ポンプ吐出圧力	常設／防止	— *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／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。

*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 4-2 許容応力（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)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t * 1.5・f _s *	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_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	$S_{yi}(RT)$ (MPa)
取付ボルト ($i=2$)		周囲環境温度	225	385	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉隔離時冷却系ポンプ 吐出圧力	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

原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力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電氣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

電氣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吐出圧力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		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 ポンプ吐出圧力	常設/防止	原子炉建屋			—	—	$C_H=0.96$	$C_V=0.92$	

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}^* (mm)	ℓ_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^*
取付ボルト (i=2)							6
							2

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
取付ボルト (i=2)	225	385	—	270	—	長辺方向

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
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
取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	σ _{b2} =9	f _{ts2} =202*
		せん断	—	—	τ _{b2} =2	f _{sb2} =155

すべて許容応力以下である。

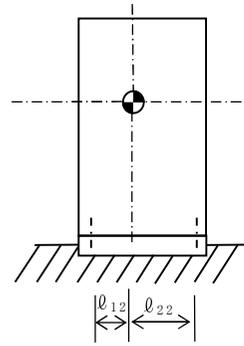
注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s²)

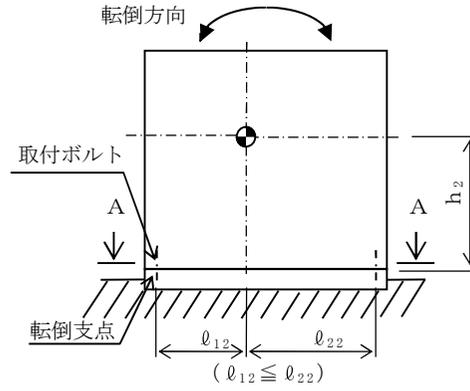
		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉隔離時冷却系 ポンプ吐出圧力	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

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。

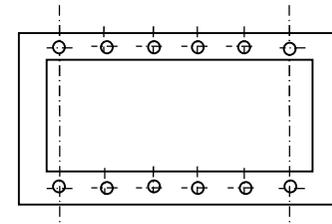


$(l_{12} \leq l_{22})$

側面 (短辺方向)



正面 (長辺方向)



A~A 矢视图

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-658 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-7-23 高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の
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.	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	電氣的機能維持評価方法	7
6.	評価結果	7
6.1	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及び機能維持の設計方針に基づき、高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能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ポンプ吐出圧力は、重大事故等対処設備においては常設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電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の構造計画を表 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>検出器は、計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。</p> <p>計装ラックは、基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器</p>	

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の固有周期は、構造が同様な計装ラックに対する打診試験の結果から、剛とする。固有周期を表 3-1 に示す。

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

高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の構造は直立形計装ラックであるため、構造強度評価は、添付書類「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」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

高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力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

高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力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 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	その他 計測装置	高圧炉心スプレイ系 ポンプ吐出圧力	常設／防止	— *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／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。

*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 4-2 許容応力（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)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t * 1.5・f _s *	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_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	$S_{yi}(RT)$ (MPa)
取付ボルト ($i=2$)		周囲環境温度		225	385	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
高圧炉心スプレイ系ポンプ 吐出圧力	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

高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力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

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		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 ポンプ吐出圧力	常設/防止	原子炉建屋 []	[]		—	—	$C_H=0.96$	$C_V=0.92$	[]

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i}^* (mm)	l_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^*
取付ボルト (i=2)	[]						4
	[]						2

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
取付ボルト (i=2)	225	385	—	270	—	長辺方向

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
取付ボルト (i=2)	[Redacted]			

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
取付ボルト (i=2)	[Redacted]	引張り	—	—	σ _{b2} =14	f _{ts2} =202*
		せん断	—	—	τ _{b2} =3	f _{sb2} =155

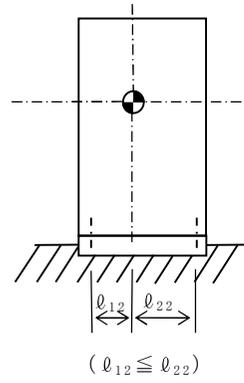
すべて許容応力以下である。

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

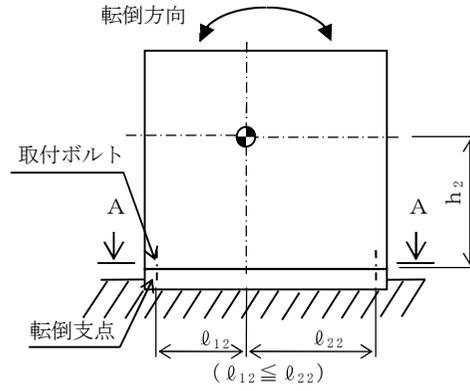
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
高圧炉心スプレイ系 ポンプ吐出圧力	水平方向	0.80	[Redacted]
	鉛直方向	0.77	[Redacted]

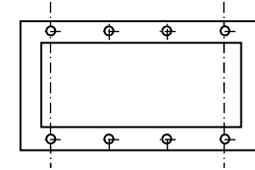
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



側面 (短辺方向)



正面 (長辺方向)



A~A矢视图

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-659 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-7-24 低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の
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.	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	電氣的機能維持評価方法	7
6.	評価結果	7
6.1	設計基準対象施設としての評価結果	7
6.2	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及び機能維持の設計方針に基づき、低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力は、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、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の構造計画を表 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>検出器は、計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。</p> <p>計装ラックは、基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器</p>	

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の固有周期は、構造が同様な計装ラックに対する打診試験の結果から、剛とする。固有周期を表 3-1 に示す。

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

低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の構造は直立形計装ラックであるため、構造強度評価は、添付書類「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」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

低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力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

低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の許容応力を表 4-3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力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 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
計測制御 系統施設	その他の 計測制御 設備	低圧炉心スプレイ系 ポンプ吐出圧力	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	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状態を適用する。

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* 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	その他の 計測制御 設備	低圧炉心スプレイ系 ポンプ吐出圧力	常設耐震／防止	—* 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状態を適用する。

*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)	
	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 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_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	$S_{yi}(RT)$ (MPa)
取付ボルト (i=2)		周囲環境温度		235	400	—

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_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	$S_{yi}(RT)$ (MPa)
取付ボルト (i=2)		周囲環境温度		225	385	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度	
低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力	水平		
	鉛直		

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力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電氣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

電氣的機能維持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

低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力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	
低圧炉心スプレイ系 ポンプ吐出圧力	S	原子炉建屋 []	[]	[]	$C_H=0.58$	$C_V=0.48$	$C_H=0.96$	$C_V=0.92$	[]

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出系圧力

部 材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i}^* (mm)	l_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^*
取付ボルト (i=2)	[]						4
	[]						2

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
取付ボルト (i=2)	235	400	235	280	長辺方向	長辺方向

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
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
取付ボルト ($i=2$)	□	引張り	$\sigma_{b2}=6$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=14$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

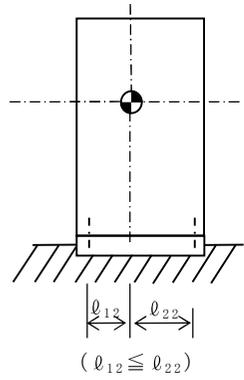
* : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t0i} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t0i}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

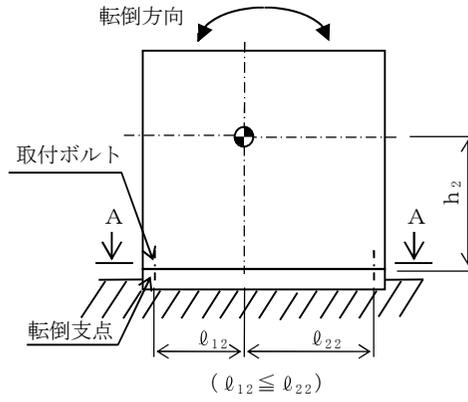
($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済 加速度
低圧炉心スプレイ系 ポンプ吐出圧力	水平方向	0.80	□
	鉛直方向	0.77	

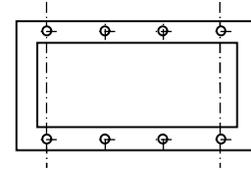
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



側面 (短辺方向)



正面 (長辺方向)



A~A 矢視図

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	
低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力	常設耐震/防止	原子炉建屋 □	□		—	—	$C_H=0.96$	$C_V=0.92$	□

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}^* (mm)	ℓ_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i (-)	n_{fi}^* (-)
取付ボルト (i=2)	□						4
							2

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
取付ボルト (i=2)	225	385	—	270	—	長辺方向

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
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
取付ボルト (i=2)	□	引張り	—	—	σ _{b2} =14	f _{ts2} =202*
		せん断	—	—	τ _{b2} =3	f _{sb2} =155

すべて許容応力以下である。

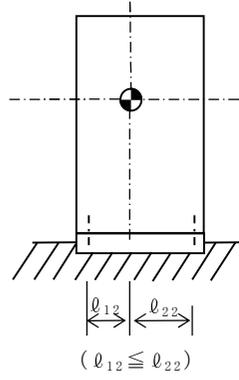
注記 * : f_{tsi} = Min[1.4 · f_{toi} - 1.6 · τ_{bi}, f_{toi}] より算出

2.4.2 電氣的機能維持の評価結果

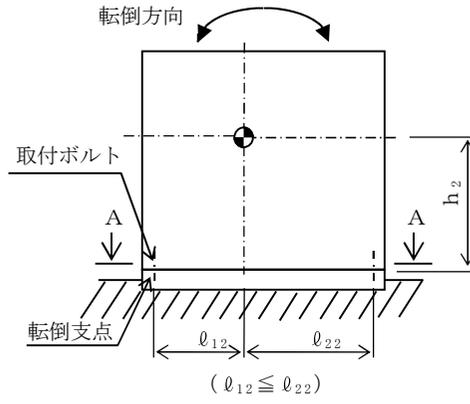
(×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済 加速度
低圧炉心スプレイ系 ポンプ吐出圧力	水平方向	0.80	□
	鉛直方向	0.77	

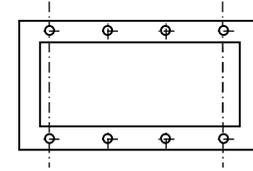
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



側面 (短辺方向)



正面 (長辺方向)



A~A 矢視図

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-660 改1
提出年月日	平成30年8月16日

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。

V-2-6-7-25 残留熱除去系ポンプ吐出圧力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.	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	電氣的機能維持評価方法	7
6.	評価結果	7
6.1	設計基準対象施設としての評価結果	7
6.2	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及び機能維持の設計方針に基づき、残留熱除去系ポンプ吐出圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

残留熱除去系ポンプ吐出圧力は、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電気的機能維持評価を示す。

なお、本計算書については、取付ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。評価対象を表1-1に示す。

表1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
FT-E12-N056A FT-E12-N056B FT-E12-N056C（代表）	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	表2-1 構造計画

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系ポンプ吐出圧力の構造計画を表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>検出器は、計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板により固定される。</p> <p>計装ラックは、基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器</p> <p>【H22-P021(B) (FT-E12-N056C)】</p>	<p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

残留熱除去系ポンプ吐出圧力の固有周期は、構造が同様な計装ラックに対する打診試験の結果から、剛とする。固有周期を表 3-1 に示す。

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

残留熱除去系ポンプ吐出圧力の構造は直立形計装ラックであるため、構造強度評価は、添付書類「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」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

残留熱除去系ポンプ吐出圧力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

残留熱除去系ポンプ吐出圧力の許容応力を表 4-3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去系ポンプ吐出圧力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 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
計測制御 系統施設	その他の 計測制御 設備	残留熱除去系 ポンプ吐出圧力	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	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状態を適用する。

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* 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	その他の 計測制御 設備	残留熱除去系 ポンプ吐出圧力* ²	常設耐震／防止 常設／緩和	—* 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 : 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。

*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)	
	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 4-4 使用材料の許容応力（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	$S_{yi}(RT)$ (MPa)
取付ボルト ($i=2$)		周囲環境温度	235	400	—

表 4-5 使用材料の許容応力（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	$S_{yi}(RT)$ (MPa)
取付ボルト ($i=2$)		周囲環境温度	225	385	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

残留熱除去系ポンプ吐出圧力の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

残留熱除去系ポンプ吐出圧力の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
残留熱除去系ポンプ吐出圧力	水平	□
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

残留熱除去系ポンプ吐出圧力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電氣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

電氣的機能維持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

残留熱除去系ポンプ吐出圧力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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱除去系ポンプ吐出圧力 (H22-P021(B) (FT-E12-N056C)) 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	
残留熱除去系ポンプ吐出圧力	S	原子炉建屋 []	[]	[]	$C_H=0.58$	$C_V=0.48$	$C_H=0.96$	$C_V=0.92$	[]

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 残留熱除去系ポンプ吐出圧力

部 材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i}^* (mm)	l_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^*
取付ボルト (i=2)	[]						4
	[]						2

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
取付ボルト (i=2)	235	400	235	280	長辺方向	長辺方向

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
取付ボルト ($i=2$)	[Redacted]			

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
取付ボルト ($i=2$)	[Redacted]	引張り	$\sigma_{b2}=6$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=14$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

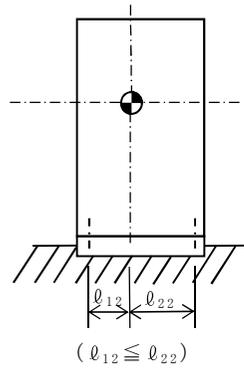
注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

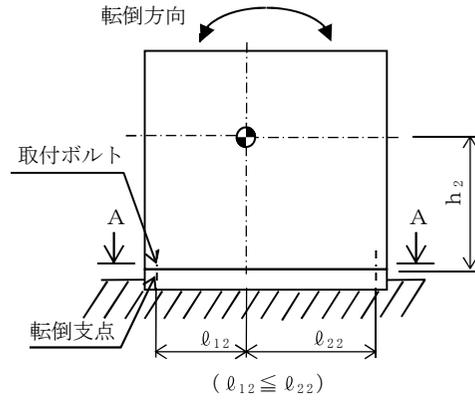
($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
残留熱除去系ポンプ吐出圧力	水平方向	0.80	[Redacted]
	鉛直方向	0.77	

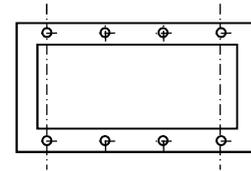
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



側面 (短辺方向)



正面 (長辺方向)



A~A 矢视图

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	
残留熱除去系ポンプ 吐出圧力	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 □	□		—	—	$C_H=0.96$	$C_V=0.92$	□

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 残留熱除去系ポンプ吐出圧力

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i}^* (mm)	l_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^*
取付ボルト (i=2)	□						4
	□						2

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
取付ボルト (i=2)	225	385	—	270	—	長辺方向

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
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
取付ボルト ($i=2$)		引張り	—	—	$\sigma_b=14$	$f_{ts}=202^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=3$	$f_{sb}=155$

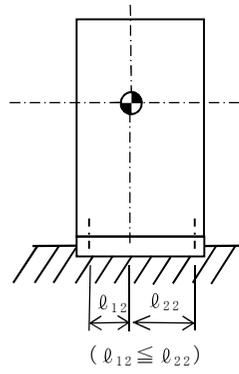
すべて許容応力以下である。

2.4.2 電氣的機能維持の評価結果

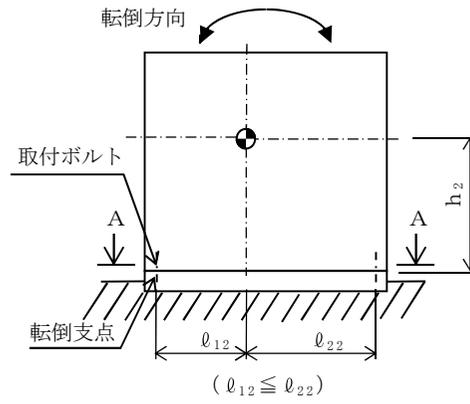
($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
残留熱除去系ポンプ 吐出圧力	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

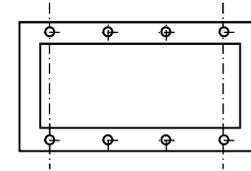
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



側面 (短辺方向)



正面 (長辺方向)



A~A矢视图

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-661 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-21 原子炉水位（広帯域）の耐震性についての計算書

目次

1. 原子炉水位（広帯域）（計装ラック）	1
1.1 概要	1
1.2 一般事項	1
1.2.1 構造計画	1
1.3 固有周期	3
1.3.1 固有周期の算出方法	3
1.4 構造強度評価	3
1.4.1 構造強度評価方法	3
1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
1.5 機能維持評価	7
1.5.1 電氣的機能維持評価方法	7
1.6 評価結果	8
1.6.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
1.6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	8
2. 原子炉水位（広帯域）（計器スターション）	15
2.1 概要	15
2.2 一般事項	15
2.2.1 構造計画	15
2.3 固有周期	17
2.3.1 固有周期の算出方法	17
2.4 構造強度評価	17
2.4.1 構造強度評価方法	17
2.4.2 荷重の組合せ及び許容応力	17
2.5 機能維持評価	21
2.5.1 電氣的機能維持評価方法	21
2.6 評価結果	22
2.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	22

1. 原子炉水位（広帯域）（計装ラック）

1.1 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、原子炉水位（広帯域）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

原子炉水位（広帯域）（計装ラック）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電気的機能維持評価を示す。

なお、本計算書については、取付ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表して評価する。評価対象を表1-1-1に示す。

表 1-1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
LT-B22-N091A LT-B22-N091B（代表） LT-B22-N091C LT-B22-N091D（代表）	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	表 1-2-1 構造計画

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

原子炉水位（広帯域）（計装ラック）の構造計画を表1-2-1に示す。

表 1-2-1 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>検出器は、計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。</p> <p>計装ラックは、基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式水位検出器</p> <p>【H22-P027B (LT-B22-091B, LT-B22-091D)】</p>	<p>(単位：mm)</p>

1.3 固有周期

1.3.1 固有周期の算出方法

プラスチックハンマ等により、当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器）により固有振動数を測定する。測定の結果、剛であることを確認した。固有周期を表 1-3-1 に示す。

表 1-3-1 固有周期 (s)

水平方向	鉛直方向

1.4 構造強度評価

1.4.1 構造強度評価方法

原子炉水位（広帯域）（計装ラック）の構造強度評価は、添付書類「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」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉水位（広帯域）（計装ラック）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 1-4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-4-2 に示す。

(2) 許容応力

原子炉水位（広帯域）（計装ラック）の許容応力を表 1-4-3 に示す。

(3) 使用材料の許容応力評価条件

原子炉水位（広帯域）（計装ラック）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 1-4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-4-5 に示す。

表 1-4-1 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
計測制御 系統施設	計測装置	原子炉水位 (広帯域) (LT-B22-091B LT-B22-091D)	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	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状態を適用する。

表 1-4-2 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	計測装置	原子炉水位 (広帯域) (LT-B22-N091B LT-B22-N091D)	常設耐震／防止 常設／緩和	—*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：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。

*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 1-4-3 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)	
	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 1-4-4 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)		$S_{y i}$ (MPa)	$S_{u i}$ (MPa)	$S_{y i}$ (R T) (MPa)
取付ボルト (i=2)		周囲環境温度		235	400	—

表 1-4-5 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)		$S_{y i}$ (MPa)	$S_{u i}$ (MPa)	$S_{y i}$ (R T) (MPa)
取付ボルト (i=2)		周囲環境温度		225	385	—

1.5 機能維持評価

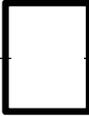
1.5.1 電氣的機能維持評価方法

原子炉水位（広帯域）（計装ラック）の電氣的機能維持評価について、以下に示す。電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉水位（広帯域）（計装ラック）の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-5-1 に示す。

表 1-5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉水位（広帯域） (LT-B22-N091B LT-B22-N091D)	水平	
	鉛直	

1.6 評価結果

1.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉水位（広帯域）（計装ラック）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及び電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

1.6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉水位（広帯域）（計装ラック）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及び電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉水位（広帯域）（計装ラック）（H22-P027B(LT-B22-N091B, D)）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	
原子炉水位(広帯域)	S	原子炉建屋 []	[]		$C_H=0.78$	$C_V=0.54$	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$	[]

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉水位（広帯域）

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i}^* (mm)	l_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{f1}^*
取付ボルト(i=2)	[]						4
	[]						2

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
取付ボルト(i=2)	235	400	235	280	長辺方向	長辺方向

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
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
取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=10$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=20$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

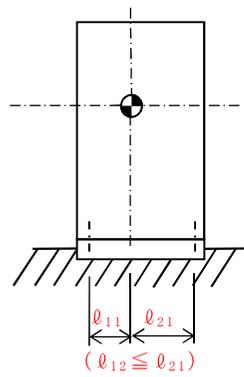
注記 * : $f_{t_{si}} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t_{oi}} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t_{oi}}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

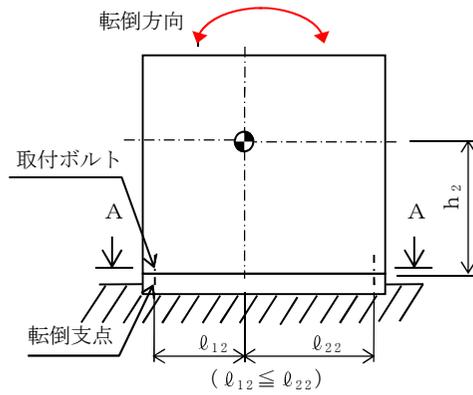
($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉水位 (広帯域)	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

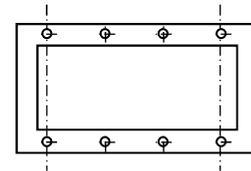
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



側面 (短辺方向)



正面 (長辺方向)



A~A矢視図

【原子炉水位（広帯域）（計装ラック）（H22-P027B(LT-B22-N091B, D)）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		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	
原子炉水位 (広帯域)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 []	[]		—	—	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$	[]

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 原子炉水位（広帯域）

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i} (mm)	l_{2i} (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i (-)	n_{fi} (-)
取付ボルト (i=2)	[]						4
	[]						2

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
取付ボルト (i=2)	225	385	—	270	—	長辺方向

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
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
取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=20$	$f_{ts2}=202^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=155$

すべて許容応力以下である。

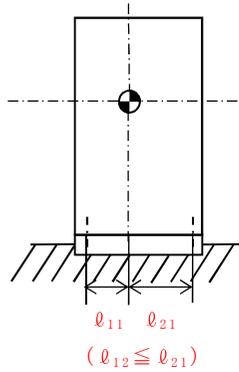
注記 * : $f_{t_{si}} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t_{oi}} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t_{oi}}]$ より算出

2.4.2 電氣的機能維持の評価結果

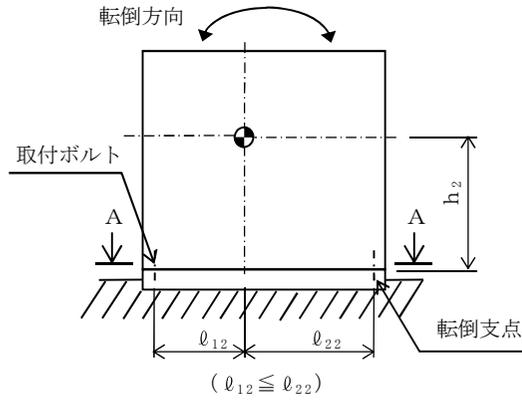
($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉水位 (広帯域)	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

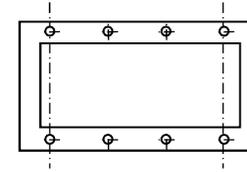
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



側面 (短辺方向)



正面 (長辺方向)



A~A矢视图

2. 原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）

2.1 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、原子炉水位（広帯域）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）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電気的機能維持評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）の構造計画を表 2-2-1 に示す。

表 2-2-1 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>検出器は、計器取付ボルトにより計器スターションに取付けられた取付板に固定される。</p> <p>計器スターションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式水位検出器</p>	<p style="text-align: right;">(単位: mm)</p>

2.3 固有周期

2.3.1 固有周期の算出方法

原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）の固有周期の計算方法を以下に示す。

2.3.1.1 水平方向

- (1) 原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）の質量は、重心に集中するものとする。
- (2) 原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）は、図 2-3-1 に示す床固定の 1 質点系振動モデルとして考える。
- (3) 固有周期は次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \dots (2.3.1.1)$$

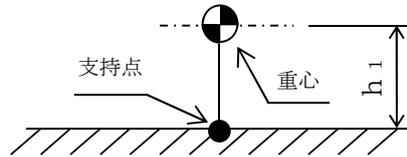


図 2-3-1 固有周期の計算モデル

2.3.1.2 鉛直方向

鉛直方向は十分な剛性を有していることから、固有周期の計算を省略する。

2.3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 2-3-1 に示す。

表 2-3-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）の質量	m	kg	
取付面から重心までの距離	h ₁	mm	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm ⁴	
最小有効せん断面積	A _s	mm ²	
せん断弾性係数	G	MPa	

2.3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 2-3-2 示す。

固有周期の計算の結果から、剛であることを確認した。

表 2-3-2 固有周期 (s)

水平方向	鉛直方向

2.4 構造強度評価

2.4.1 構造強度評価方法

原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）の構造強度評価は、添付書類「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」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

2.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）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 2-4-1 に示す。

(2) 許容応力

原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）の許容応力を表 2-4-2 に示す。

(3) 使用材料の許容応力評価条件

原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）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 2-4-3 に示す。

表 2-4-1 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
計測制御 系統施設	計測装置	原子炉水位 (広帯域)	常設耐震／防止 常設／緩和	—*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状態を適用する。

*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 2-4-2 許容応力 (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)	
	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 2-4-3 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)	$S_y(RT)$ (MPa)
基礎ボルト	<input type="text"/>	周囲環境温度	<input type="text"/>	234	385	—

2.5 機能維持評価

2.5.1 電氣的機能維持評価方法

原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）の電氣的機能維持評価について、以下に示す。
電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 2-5-1 に示す。

表 2-5-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉水位（広帯域）	水平	<input type="text"/>
	鉛直	

2.6 評価結果

2.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉水位 (広帯域) (計器スターション) の耐震性についての評価結果】

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		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	
原子炉水位 (広帯域)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建物 []	[]		—	—	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$	[]

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉水位 (広帯域)

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ_1^* (mm)	ℓ_2^* (mm)	A_b (mm ²)	n	n_f^*
基礎ボルト	[]						2
							2

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	234	385	—	270	前後方向	前後方向

注記 * : 各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は前後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	—	—	$\sigma_b=16$	$f_{ts}=162^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=124$

すべて許容応力以下である。

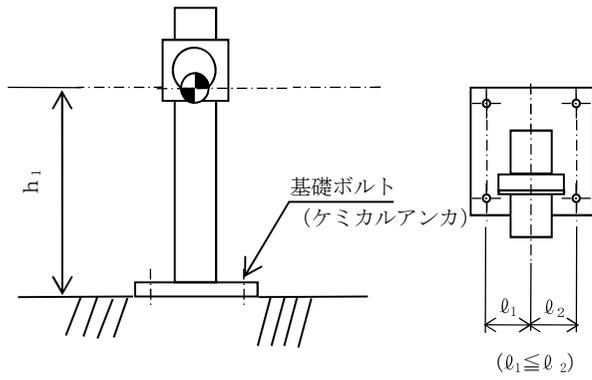
注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

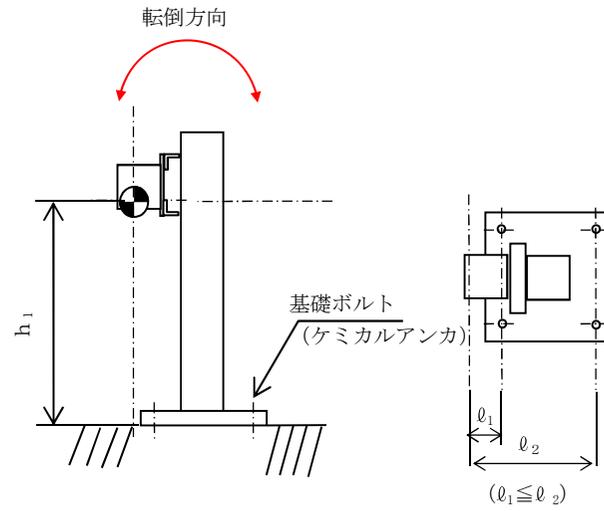
($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉水位 (広帯域)	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

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。



正面 (左右方向)



側面 (前後方向)

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-662 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-22 原子炉水位（燃料域）の耐震性についての計算書

目次

1. 原子炉水位（燃料域）（計装ラック）	1
1.1 概要	1
1.2 一般事項	1
1.2.1 構造計画	1
1.3 固有周期	4
1.3.1 固有周期の算出方法	4
1.4 構造強度評価	4
1.4.1 構造強度評価方法	4
1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
1.5 機能維持評価	8
1.5.1 電氣的機能維持評価方法	8
1.6 評価結果	9
1.6.1 設計基準対象施設としての評価結果	9
1.6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	9
2. 原子炉水位（燃料域）（LT-B22-N044B）	15
2.1 概要	15
2.2 一般事項	15
2.2.1 構造計画	15
2.3 固有周期	17
2.3.1 固有周期の算出方法	17
2.4 構造強度評価	18
2.4.1 構造強度評価方法	18
2.4.2 荷重の組合せ及び許容応力	18
2.5 機能維持評価	22
2.5.1 電氣的機能維持評価方法	22
2.6 評価結果	23
2.6.1 設計基準対象施設としての評価結果	23
2.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	23

1. 原子炉水位（燃料域）（計装ラック）

1.1 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、原子炉水位（燃料域）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

原子炉水位（燃料域）（計装ラック）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、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電気的機能維持評価を示す。

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

原子炉水位（燃料域）（計装ラック）の構造計画を表 1-2-1 に示す。

表 1-2-1 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>検出器は、計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。</p> <p>計装ラックは、基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器</p>	<p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

1.3 固有周期

1.3.1 固有周期の算出方法

プラスチックハンマ等により、当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器）により固有振動数を測定する。測定の結果、剛であることを確認した。固有周期を表 1-3-1 に示す。

表 1-3-1 固有周期 (s)

水平方向	鉛直方向

1.4 構造強度評価

1.4.1 構造強度評価方法

原子炉水位（燃料域）（計装ラック）の構造は直立形計装ラックであるため、構造強度評価は、添付書類「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」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉水位（燃料域）（計装ラック）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 1-4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-4-2 に示す。

1.4.2.2 許容応力

原子炉水位（燃料域）（計装ラック）の許容応力を表 1-4-3 に示す。

1.4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉水位（燃料域）（計装ラック）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 1-4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-4-5 に示す。

表 1-4-1 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
計測制御 系統施設	計測装置	原子炉水位 (燃料域)	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	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状態を適用する。

表 1-4-2 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	計測装置	原子炉水位 (燃料域)	常設耐震／防止 常設／緩和	—* 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 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状態を適用する。

*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 1-4-3 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)	
	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 1-4-4 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_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	$S_{yi}(RT)$ (MPa)
取付ボルト (i=2)		周囲環境温度		235	400	—

表 1-4-5 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_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	$S_{yi}(RT)$ (MPa)
取付ボルト (i=2)		周囲環境温度		225	385	—

1.5. 機能維持評価

1.5.1 電氣的機能維持評価方法

原子炉水位（燃料域）（計装ラック）の地震後の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉水位（燃料域）（計装ラック）の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-5-1 に示す。

表 1-5-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉水位(燃料域)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	

1.6. 評価結果

1.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉水位（燃料域）（計装ラック）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電氣的機能を有することを確認した。

(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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

1.6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉水位（燃料域）（計装ラック）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及び電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉水位（燃料域）（計装ラック）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)	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	
原子炉水位 (燃料域)	S	原子炉建屋 []	[]	[]	$C_H=0.69$	$C_V=0.53$	$C_H=1.13$	$C_V=0.99$	[]

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉水位（燃料域）

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i}^* (mm)	l_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^*
取付ボルト (i=2)	[]						6
							2

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
取付ボルト (i=2)	235	400	235	280	長辺方向	長辺方向

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
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
取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=6$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=14$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

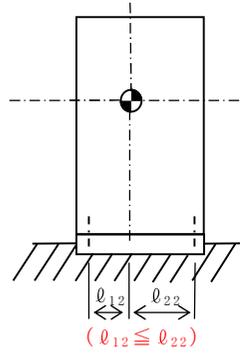
注記*： $f_{t si} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t oi} - 1.6 \cdot \tau_{b i}, f_{t oi}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

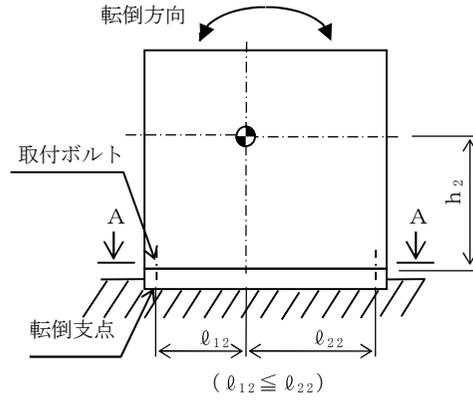
($\times 9.8 \text{m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉水位（燃料域）	水平方向	0.95	
	鉛直方向	0.83	

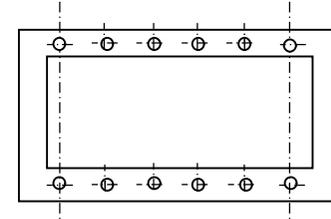
加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



側面 (短辺方向)



正面 (長辺方向)



A~A矢視図

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	
原子炉水位 (燃料域)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 []	[]		—	—	$C_H=1.13$	$C_V=0.99$	[]

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 原子炉水位 (燃料域)

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i}^* (mm)	l_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^*
取付ボルト ($i=2$)	[]						6
	[]						2

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
取付ボルト ($i=2$)	225	385	—	270	—	長辺方向

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
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
取付ボルト ($i=2$)		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=14$	$f_{ts2}=202^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=155$

すべて許容応力以下である。

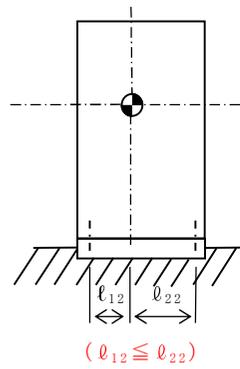
注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

2.4.2 電気的機能維持の評価結果

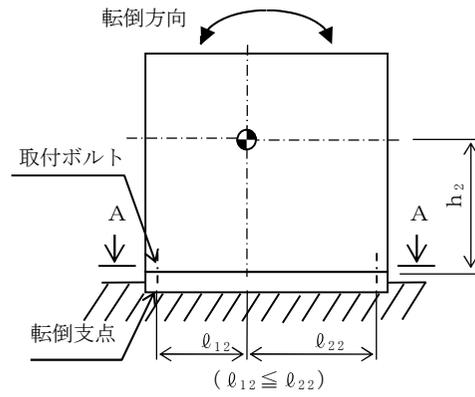
($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉水位 (燃料域)	水平方向	0.95	
	鉛直方向	0.83	

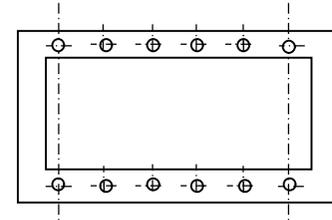
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



側面 (短辺方向)



正面 (長辺方向)



A~A矢視図

2. 原子炉水位（燃料域）（計器スタンション）

2.1 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、原子炉水位（燃料域）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

原子炉水位（燃料域）（計器スタンション）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、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電氣的機能維持評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

原子炉水位（燃料域）（計器スタンション）の構造計画を表2-2-1に示す。

表 2-2-1 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>検出器は、計器取付ボルトにより計器ステーションに取付けられた取付板に固定される。</p> <p>計器ステーションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器</p>	<p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>

2.3 固有周期

2.3.1 固有周期の算出方法

原子炉水位（燃料域）（計器スタンション）の固有周期の計算方法を以下に示す。

2.3.1.1 水平方向

- (1) 原子炉水位（燃料域）（計器スタンション）の質量は、重心に集中するものとする。
- (2) 原子炉水位（燃料域）（計器スタンション）は、図 2-3-1 に示す床固定の 1 質点系振動モデルとして考える。
- (3) 固有周期は次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \dots (2.3.1.1)$$

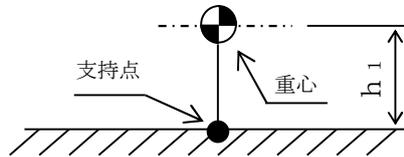


図 2-3-1 固有周期の計算モデル

2.3.1.2 鉛直方向

鉛直方向は十分な剛性を有していることから、固有周期の計算を省略する。

2.3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 2-3-1 に示す。

表 2-3-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）の質量	m	kg	
据付面から重心までの距離	h ₁	mm	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm ⁴	
最小有効せん断面積	A _s	mm ²	
せん断弾性係数	G	MPa	

2.3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 2-3-2 示す。

固有周期の計算の結果から、剛であることを確認した。

表 2-3-2 固有周期 (s)

水平方向	鉛直方向

2.4 構造強度評価

2.4.1 構造強度評価方法

原子炉水位（燃料域）（計器スタンション）の構造強度評価は、添付書類「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」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

2.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉水位（燃料域）（計器スタンション）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 2-4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-4-2 に示す。

(2) 許容応力

原子炉水位（燃料域）（計器スタンション）の許容応力を表 2-4-3 に示す。

(3) 使用材料の許容応力評価条件

原子炉水位（燃料域）（計器スタンション）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 2-4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-4-5 に示す。

表 2-4-1 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
計測制御 系統施設	計測装置	原子炉水位 (燃料域)	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	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状態を適用する。

表 2-4-2 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	計測装置	原子炉水位 (燃料域)	常設耐震／防止 常設／緩和	—* 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 : 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。

*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 2-4-3 許容応力 (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)	
	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 2-4-4 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_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	$S_{yi}(RT)$ (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		245	400	—

表 2-4-5 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_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	$S_{yi}(RT)$ (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		225	385	—

2.5 機能維持評価

2.5.1 電氣的機能維持評価方法

原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）の電氣的機能維持評価について、以下に示す。電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 2-5-1 に示す。

表 2-5-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉水位（燃料域）	水平	□
	鉛直	

2.6 評価結果

2.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉水位（燃料域）（計器スタンション）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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

2.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉水位（燃料域）（計器スタンション）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象設備

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	
原子炉水位(燃料域)	S	原子炉建屋 []	[]	[]	$C_H=0.69$	$C_V=0.53$	$C_H=1.13$	$C_V=0.99$	[]

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉水位(燃料域)

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	[]						2
	[]						2

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	245	400	245	280	前後方向	前後方向

注記 *：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は前後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 原子炉水位(燃料域)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 原子炉水位(燃料域)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 _b =9	f _{ts} =147*	σ _b =15	f _{ts} =168*
		せん断	τ _b =1	f _{sb} =113	τ _b =2	f _{sb} =129

すべて許容応力以下である。

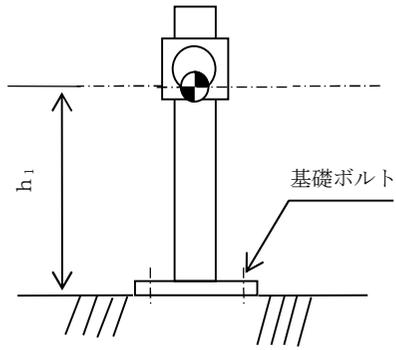
注記 * : f_{ts} = Min[1.4 · f_{to} - 1.6 · τ_b, f_{to}]より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

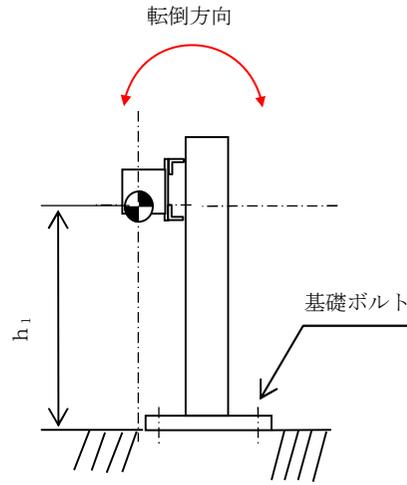
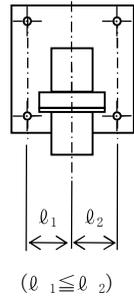
(×9.8m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉水位(燃料域)	水平方向	0.95	□
	鉛直方向	0.83	

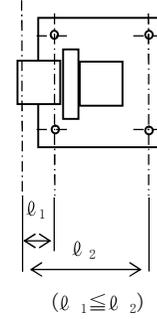
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



正面 (左右方向)



側面 (前後方向)



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	
原子炉水位(燃料域)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 □	□		—	—	$C_H=1.13$	$C_V=0.99$	□

注記* : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 原子炉水位(燃料域)

部 材	m (kg)	h_1 (mm)	ϱ_1^* (mm)	ϱ_2^* (mm)	A_b (mm ²)	n	n_f^*
基礎ボルト	□						2
	□						2

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	225	385	—	270	側面方向	側面方向

注記 * : 各ボルトの機器要目における上段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は左右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 原子炉水位(燃料域)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 原子炉水位(燃料域)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 _b =15	f _{ts} =162*
		せん断	—	—	τ _b =2	f _{sb} =124*

すべて許容応力以下である。

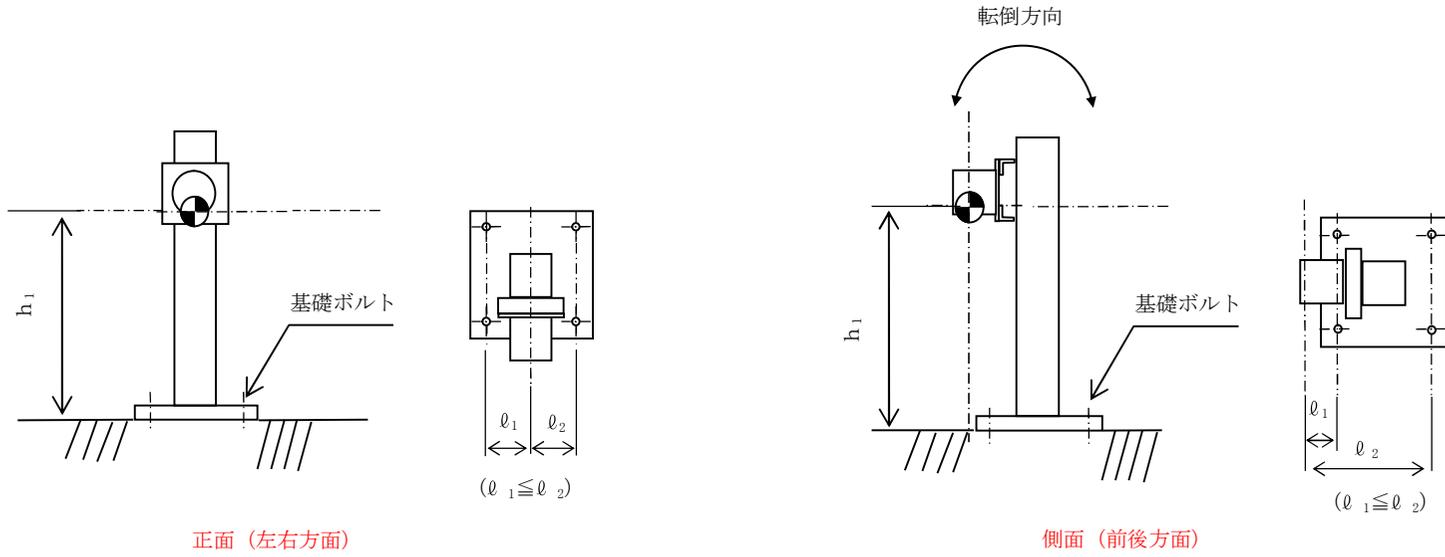
注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

2.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉水位(燃料域)	水平方向	0.95	□
	鉛直方向	0.83	

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-709 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-5 高圧代替注水系系統流量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. 固有周期	3
3.1 固有周期の算出方法	3
3.2 固有周期の計算条件	3
3.3 固有周期の計算結果	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
5. 機能維持評価	7
5.1 電氣的機能維持評価方法	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、高圧代替注水系系統流量が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

高圧代替注水系系統流量は、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電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧代替注水系系統流量の構造計画を表 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>検出器は、計器取付ボルトにより計器ステーションに取付けられた計器取付板に固定される。</p> <p>計器ステーションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器</p>	<p>上面</p> <p>正面</p> <p>側面</p> <p>基礎 (壁面)</p> <p>計器取付ボルト</p> <p>計器ステーション</p> <p>基礎ボルト (ケミカルアンカ)</p> <p>(水平方向)</p> <p>(鉛直方向)</p> <p>(単位: mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

高圧代替注水系系統流量の固有周期の計算方法を以下に示す。

- (1) 高圧代替注水系系統流量の質量は、質点に集中するものとする。
- (2) 高圧代替注水系系統流量は、図3-1に示す壁固定の1質点系振動モデルとして考える。

3.1.1 水平方向（X方向，Z方向）

- (1) X方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_2^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_2}{A_s \cdot G} \right)} \dots (3.1.1)$$

- (2) Z方向は十分な剛性を有していることから、固有周期の計算を省略する。

3.1.2 鉛直方向（Y方向）

Y方向に対する固有周期を1.3.1.1.1式で求める。

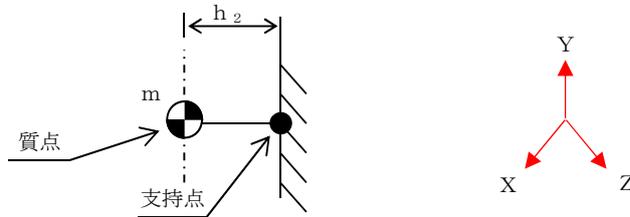


図3-1 固有周期の計算モデル

3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表3-1に示す。

表3-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
高圧代替注水系系統流量の質量	m	kg	
取付面から重心までの距離（壁掛形）	h ₂	mm	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm ⁴	
最小有効せん断断面積	A _s	mm ²	
せん断弾性係数	G	MPa	

3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表3-2示す。

固有周期の計算の結果から、剛であることを確認した。

表3-2 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

高圧代替注水系系統流量の構造は壁掛形計器スタンションであるため、構造強度評価は、添付書類「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」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

高圧代替注水系系統流量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

高圧代替注水系系統流量の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧代替注水系系統流量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 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	計測装置	高圧代替注水系系統流量	常設／緩和	—*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：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 4-2 許容応力（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)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5 · f _t * 1.5 · f _s *	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 (RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		234	385	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

高圧代替注水系系統流量の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

高圧代替注水系系統流量の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
高圧代替注水系系統流量	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

高圧代替注水系系統流量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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧代替注水系系統流量の耐震性についての評価結果】

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		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	
高圧代替注水系系統 流量	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 <input type="text"/>	<input type="text"/>		—	—	$C_H=0.96$	$C_V=0.92$	<input type="text"/>

注記 * : 基準床レベルを示す。

- 1.2 機器要目

1.2.1 高圧代替注水系系統流量

部材	m (kg)	h_2 (mm)	l_3 (mm)	l_a (mm)	l_b (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{FV}	n_{FH}
基礎ボルト	<input type="text"/>							2	2

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	234	385	—	270	—	水平方向

1.3 計算結果

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	—	—	σ _b =4	f _{ts} =162*
		せん断	—	—	τ _b =1	f _{sb} =124

すべて許容応力以下である。

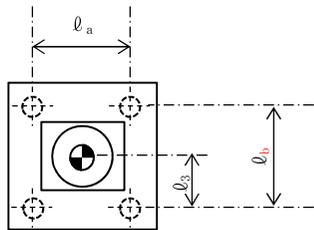
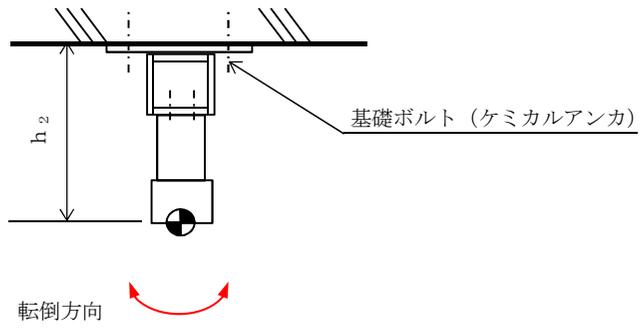
注記* : f_{ts} = Min[1.4 · f_{to} - 1.6 · τ_b, f_{to}]より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

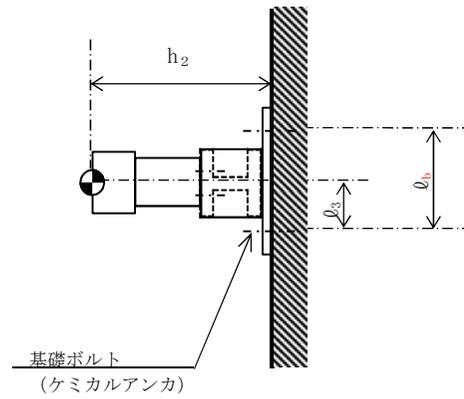
(×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
高圧代替注水系系統流量	水平方向	0.80	□
	鉛直方向	0.77	

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。



正面 (水平方向)



側面 (鉛直方向)

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-784 改2
提 出 年 月 日	平成30年8月16日

V-2-8-2-2 格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W) 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
4.1 固有値解析方法	7
4.2 解析モデル及び諸元	7
4.3 固有値解析結果	9
5. 構造強度評価	10
5.1 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	14
5.4 計算方法	15
5.5 計算条件	17
5.6 応力の評価	18
6. 機能維持評価	19
6.1 電氣的機能維持評価方法	19
7. 評価結果	20
7.1 設計基準対象施設としての評価結果	20
7.2 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、格納容器雰囲気放射線モニタ（D/W）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

格納容器雰囲気放射線モニタ（D/W）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及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

格納容器雰囲気放射線モニタ（D/W）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>検出器は、保持金具に固定され取付ボルトで格納容器貫通部のスリーブに固定する。</p> <p>保持金具のボルト固定部分は格納容器貫通部のスリーブにより半径方向は固定される。</p>	<p>電離箱</p>	<p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

格納容器雰囲気放射線モニタ（D/W）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」にて示す格納容器雰囲気放射線モニタ（D/W）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」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。また、格納容器雰囲気放射線モニタ（D/W）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 4.2 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. 評価結果」に示す。

格納容器雰囲気放射線モニタ（D/W）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

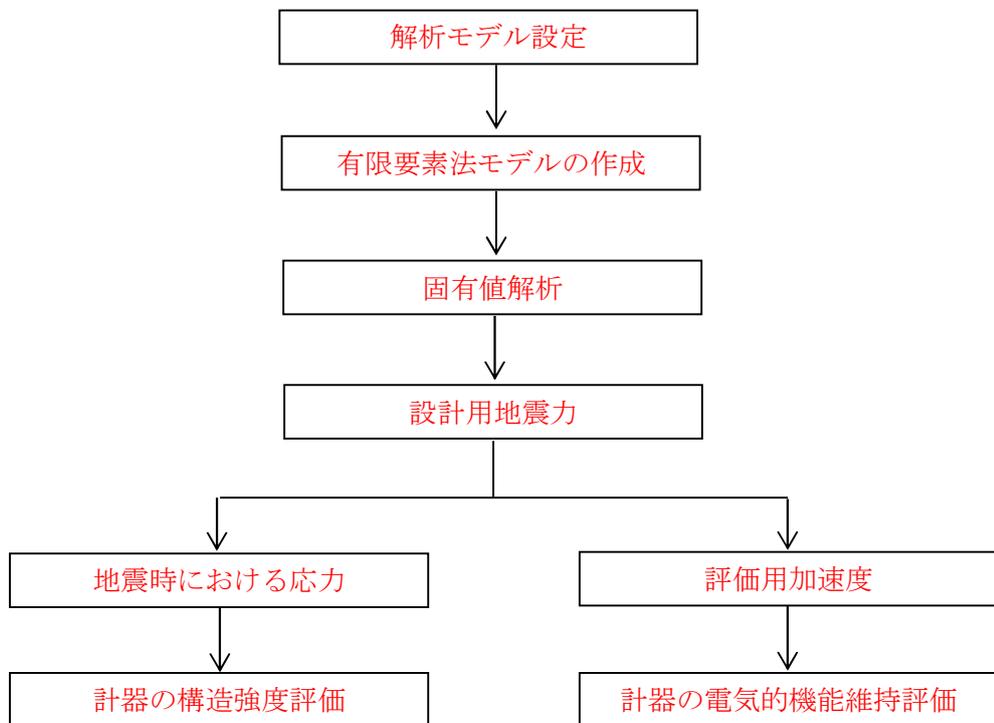


図 2-1 格納容器雰囲気放射線モニタ（D/W）の耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準等を以下に示す。

- (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	サポートの断面積	mm²
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
E	縦弾性係数	MPa
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	取付ボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
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
I_p	サポートの断面二次極モーメント	mm⁴
I_y	サポートの断面二次モーメント (y 軸)	mm⁴
I_z	サポートの断面二次モーメント (z 軸)	mm⁴
m	格納容器貫通部のスリーブ及び検出器の総質量	kg
m_a	検出器及び保持金具の質量	kg
n	取付ボルトの本数	—
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
Z_p	サポートのねじり断面係数	mm³
Z_y	サポートの断面係数 (y 軸)	mm³
Z_z	サポートの断面係数 (z 軸)	mm³
ν	ポアソン比	—
π	円周率	—
σ _b	取付ボルトに生じる引張応力	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
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

格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W) 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取付ボルトについて実施する。

格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W) 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 固有値解析方法

格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W) の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W) は、4.2 解析モデル及び諸元に示す 3 次元はりモデルとして考える。

4.2 解析モデル及び諸元

格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W) 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 4-1、部材の機器要目を表 4-2 に示す。

- (1) 図 4-1 中の○内の数字は部材番号 (要素番号) を示す。
- (2) 図 4-1 中の⊕ は検出器及び保持金具の質点を示し、 m_a は 33 kg である。
- (3) 図 4-1 中の実線はサポート鋼材を示す。
- (4) 拘束条件として、原子炉格納容器貫通部にて X Y Z 方向及び回転方向を固定する。
- (5) 解析コードは、「NSAFE」を使用し、固有値を求める。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-5-4 計算機プログラム (解析コード) の概要・HISAP及びNSAFE」に示す。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

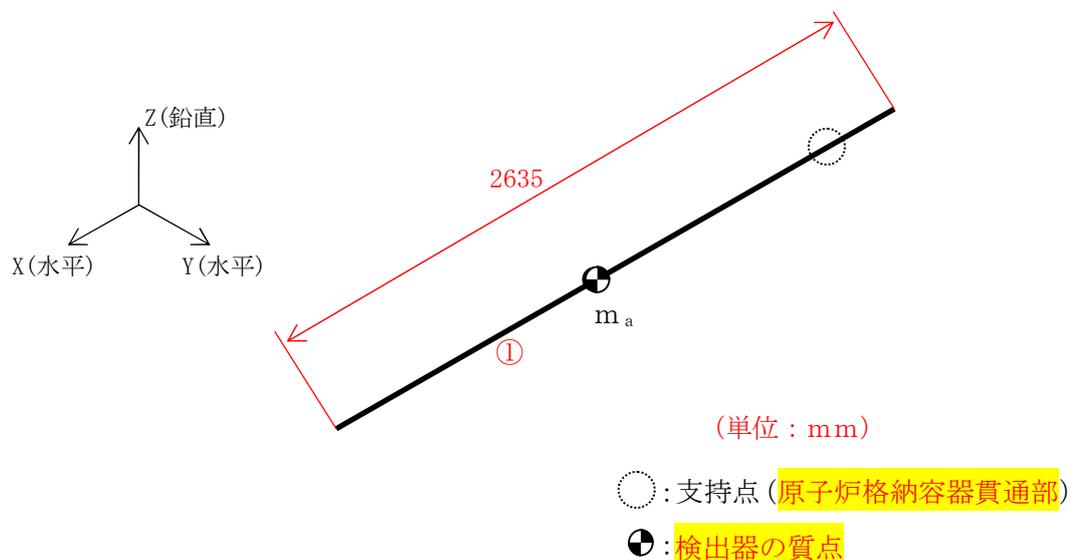
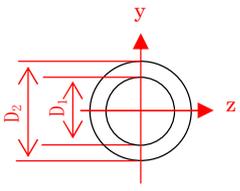


図 4-1 解析モデル

表 4-1 格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W) 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m_a	kg	
温度条件 (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	

表 4-2 部材の機器要目

材料	SA-333Gr. 6 (GSTPL相当)
対象要素	①
A (mm ²)	1.197×10^4
I _y (mm ⁴)	9.557×10^7
I _z (mm ⁴)	9.557×10^7
I _p (mm ⁴)	1.911×10^8
Z _y (mm ³)	7.148×10^5
Z _z (mm ³)	7.148×10^5
Z _p (mm ³)	1.430×10^6
断面形状	 <p style="text-align: center;">D₁=237.2, D₂=267.4</p>

4.3 固有値解析結果

格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W) の固有値解析の結果を表 4-3 に、振動モード図を図 4-2, 3 に示す。なお、水平 (X 方向) については剛であることを確認した。

表4-3 固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
			X 方向	Y 方向	Z 方向
1次		水平	0.00	0.44	0.00
2次		鉛直	0.00	0.00	0.44
3次		水平	—	—	—

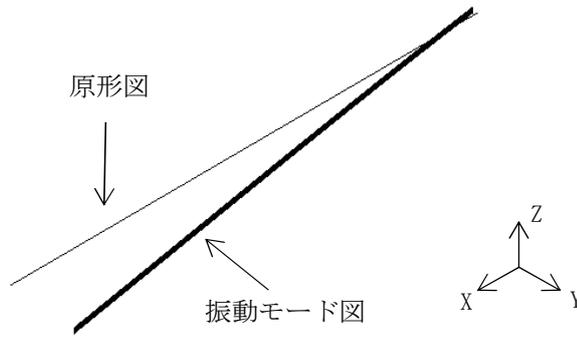


図4-2 振動モード (水平方向)

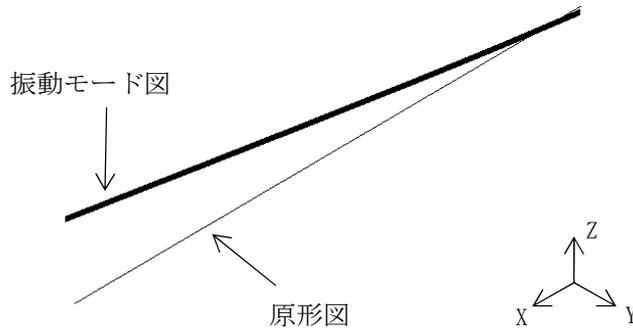


図4-3 振動モード (鉛直方向)

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.2 項(1)～(6)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W) は格納容器貫通部のスリーブにより固定されているため、鉛直方向の計算は行わない。格納容器貫通部スリーブの長手方向のみ計算を行う。

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

格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W) 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

格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W) 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

格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W) 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
放射線管理施設	放射線管理用計測装置	格納容器雰囲気放射線モニタ（D/W）	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	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 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
放射線管理施設	放射線管理用計測装置	格納容器雰囲気放射線モニタ（D/W）	常設耐震／防止 常設／緩和	—*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：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 5-3 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)	
	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 5-4 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 (R T) (MPa)
取付ボルト		周囲環境温度		192	373	—

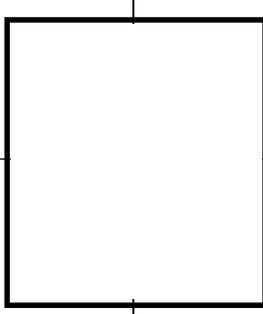
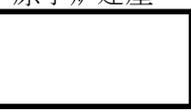
表 5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
取付ボルト		周囲環境温度		185	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-2-3-2 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 5-6，表 5-7 に示す。

表 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

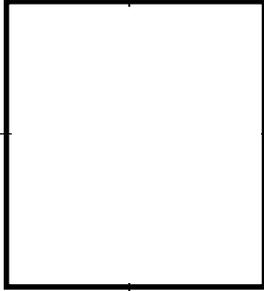
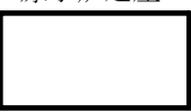
据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 			$C_H=0.88$ 又は*2	$C_V=0.66$ 又は*2	$C_H=1.61$ 又は*3	$C_V=1.25$ 又は*3
原子炉建屋 			$C_H=0.88$ 又は*2	$C_V=0.64$ 又は*2	$C_H=1.54$ 又は*3	$C_V=1.21$ 又は*3

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

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)	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 			—	—	$C_H=1.61$ 又は*2	$C_V=1.25$ 又は*2
原子炉建屋 			—	—	$C_H=1.54$ 又は*2	$C_V=1.21$ 又は*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

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 取付ボルトの計算方法

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について計算する。なお、せん断力は格納容器貫通部のスリーブと保持金具が固定されており、取付ボルトに対するせん断力は生じないため、計算しない。

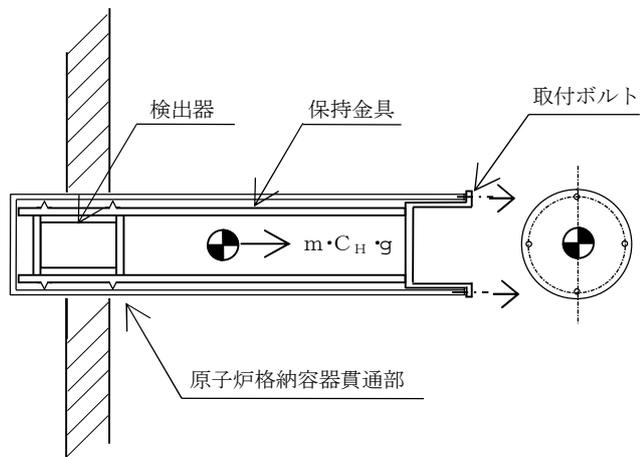


図5-1 計算モデル

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は、図5-1で示すように取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

引張力 (F_b)

$$F_b = \frac{m \cdot C_H \cdot g}{n} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力 (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、取付ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

5.5 計算条件

5.5.1 取付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【格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W) 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

5.5.1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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

f_{to}	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}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W) の電氣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。

格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W) の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、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

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 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W)	水平	
	鉛直	

7. 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

格納容器雰囲気放射線モニタ（D/W）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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

7.2 重大事故等対処設備としての評価結果

格納容器雰囲気放射線モニタ（D/W）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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W) (D23-N003A) 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	
格納容器雰囲気 放射線モニタ (D/W)	S	原子炉建屋 []	[]	[]	$C_H=0.88$	$C_V=0.66$	$C_H=1.61$	$C_V=1.25$	[]

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W)

部 材	m (kg)	A_b (mm ²)	n	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
取 付 ボ ル ト	[]	[]	[]	192	373	192	231

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	
	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

1.4.1 固有周期

(単位: s)

モード	固有周期	卓越方向
1次		水平
2次		鉛直

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
取 付 ボ ル ト		引張り	$\sigma_b=2$	$f_{ts}=144^*$	$\sigma_b=4$	$f_{ts}=173^*$

すべて許容応力以下である。

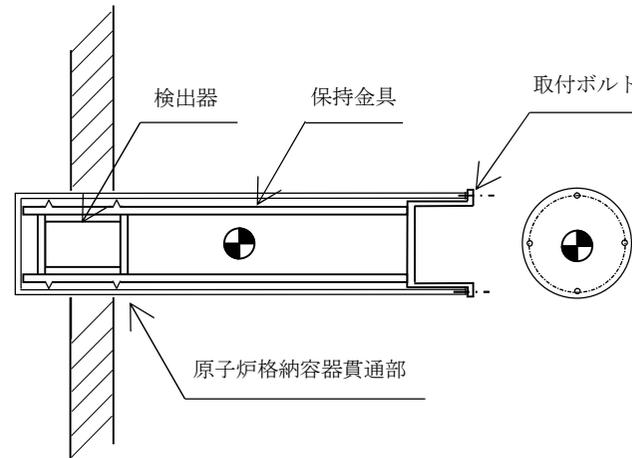
注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.4.3 電気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
格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W)	水平方向	1.31	
	鉛直方向	4.42	

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。



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	
格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 []	[]	[]	—	—	$C_H=1.61$	$C_V=1.25$	[]

注記* : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W)

部材	m (kg)	A_b (mm ²)	n	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
取付ボルト	[]	[]	[]	185	373	222

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	
	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	—	[]

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
1次		水平
2次		鉛直

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
取 付 ボ ル ト		引張り	—	—	$\sigma_b=4$	$f_{ts}=166^*$

すべて許容応力以下である。

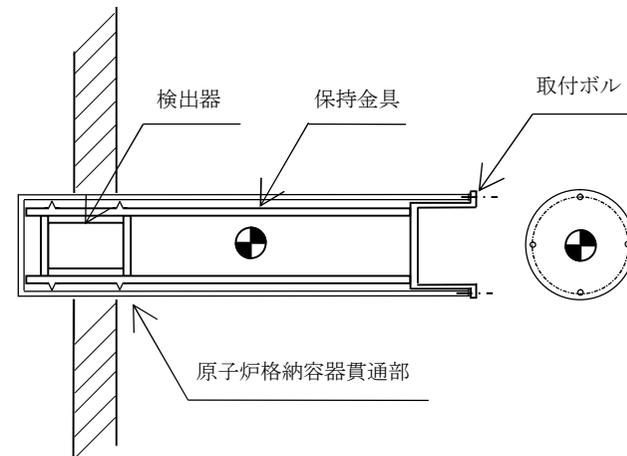
注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

2.4.3 電気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
格納容器雰囲気 放射線モニタ (D/W)	水平方向	1.31	
	鉛直方向	4.42	

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。



【格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W) (D23-N003B) の耐震性についての計算結果】

3. 設計基準対象施設

3.1 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	
格納容器雰囲気 放射線モニタ (D/W)	S	原子炉建屋 []	[]	[]	$C_H=0.88$	$C_V=0.64$	$C_H=1.54$	$C_V=1.21$	[]

注記* : 基準床レベルを示す。

3.2 機器要目

3.2.1 格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W)

部 材	m (kg)	A_b (mm ²)	n	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
取 付 ボ ル ト	[]	[]	[]	192	373	192	231

3.3 計算数値

3.3.1 ボルトに作用する力

(単位 : N)

部 材	F_b	
	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	[]	[]

3.4 結論

3.4.1 固有周期

(単位: s)

モード	固有周期	卓越方向
1次		水平
2次		鉛直

3.4.2 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
取付ボルト		引張り	$\sigma_b=2$	$f_{ts}=144^*$	$\sigma_b=4$	$f_{ts}=173^*$

すべて許容応力以下である。

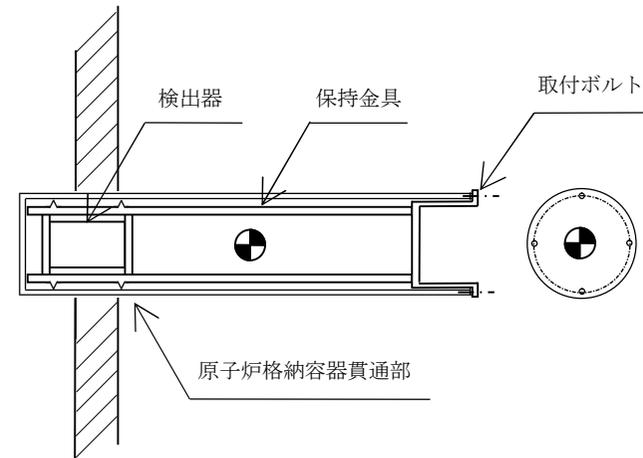
注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

3.4.3 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
格納容器雰囲気 放射線モニタ (D/W)	水平方向	1.13	
	鉛直方向	4.25	

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。



4. 重大事故等対処設備

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		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	
格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 []	[]	[]	—	—	$C_H=1.54$	$C_V=1.21$	[]

注記* : 基準床レベルを示す。

4.2 機器要目

4.2.1 格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W) (D23-N003B)

部材	m (kg)	A_b (mm ²)	n	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
取付ボルト	[]	[]	[]	185	373	222

4.3 計算数値

4.3.1 ボルトに作用する力 (単位: N)

部材	F_b	
	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	—	[]

4.4 結論

4.4.1 固有周期

(単位: s)

モード	固有周期	卓越方向
1次		水平
2次		鉛直

4.4.2 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
取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b = 4$	$f_{ts} = 166^*$

すべて許容応力以下である。

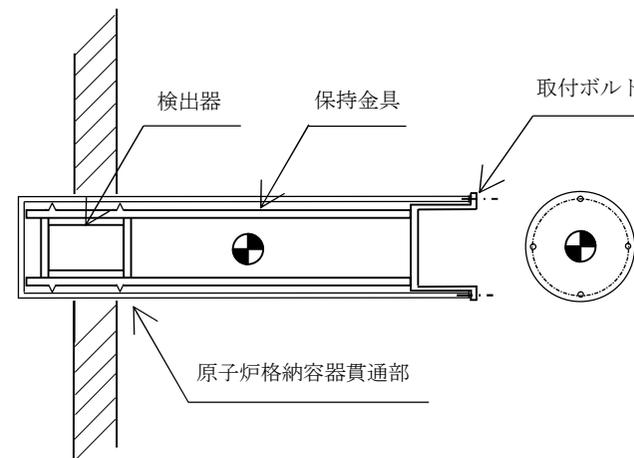
注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

4.4.3 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
格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W)	水平方向	1.13	
	鉛直方向	4.25	

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-785 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-18 原子炉圧力の耐震性についての計算書

目 次

1. 原子炉圧力 (PT-B22-N078A, B, C, D)	1
1.1 概要	1
1.2 一般事項	1
1.2.1 構造計画	1
1.3 固有周期	3
1.3.1 固有周期の算出方法	3
1.4 構造強度評価	3
1.4.1 構造強度評価方法	3
1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
1.5 機能維持評価	7
1.5.1 電氣的機能維持評価方法	7
1.6 評価結果	8
1.6.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
2. 原子炉圧力 (PT-B22-N051A, B)	12
2.1 概要	12
2.2 一般事項	12
2.2.1 構造計画	12
2.3 固有周期	14
2.3.1 固有周期の算出方法	14
2.4 構造強度評価	14
2.4.1 構造強度評価方法	14
2.4.2 荷重の組合せ及び許容応力	14
2.5 機能維持評価	18
2.5.1 電氣的機能維持評価方法	18
2.6 評価結果	19
2.6.1 設計基準対象施設としての評価結果	19
2.6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	19

1. 原子炉圧力 (PT-B22-N078A, B, C, D)

1.1 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、原子炉圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

原子炉圧力は、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電気的機能維持評価を示す。

なお、本計算書については、取付ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表して評価する。評価対象を表 1-1-1 に示す。

表 1-1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
PT-B22-N078A (代表) PT-B22-N078B PT-B22-N078C PT-B22-N078D	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	表 1-2-1 構造計画

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

原子炉圧力の構造計画を表 1-2-1 に示す。

表 1-2-1 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>検出器は、計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。</p> <p>計装ラックは、基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。</p>	<p>弾性圧力検出器</p> <p>【H22-P004A (PT-B22-N078A)】</p>	<p>(単位：mm)</p>

1.3 固有周期

1.3.1 固有周期の算出方法

プラスチックハンマ等により、当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器）により固有振動数を測定する。測定の結果、剛であることを確認した。固有周期を表 3-1 に示す。

表 1-3-1 固有周期 (s)

水平方向	鉛直方向

1.4 構造強度評価

1.4.1 構造強度評価方法

原子炉圧力の構造は直立形計装ラックであるため、構造強度評価は、添付書類「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」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉圧力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 1-4-1 に示す。

(2) 許容応力

原子炉圧力の許容応力を表 1-4-2 に示す。

(3) 使用材料の許容応力評価条件

原子炉圧力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 1-4-3 に示す。

表 1-4-1 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
計測制御 系統施設	計測装置	原子炉圧力	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	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 1-4-2 許容応力（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)	
	一次応力	
	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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 1-4-3 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_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	$S_{yi} (RT)$ (MPa)
取付ボルト (i=2)		周囲環境温度	235	400	—

1.5 機能維持評価

1.5.1 電氣的機能維持評価方法

原子炉圧力の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉圧力の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-5-1 に示す。

表 1-5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉圧力	水平	□
	鉛直	

1.6 評価結果

1.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉圧力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、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有することを確認した。

(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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉圧力 (H22-P004A (PT-B22-N078A)) 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	
原子炉圧力	S	原子炉建屋			$C_H=0.78$	$C_V=0.54$	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$	

注記 *: 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉圧力

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ϱ_{1i}^* (mm)	ϱ_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^*
取付ボルト (i=2)							6
							2

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
取付ボルト (i=2)	235	400	235	280	長辺方向	長辺方向

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
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
取付ボルト (i=2)	□	引張り	σ _{b2} =7	f _{ts2} =176*	σ _{b2} =17	f _{ts2} =210*
		せん断	τ _{b2} =2	f _{sb2} =135	τ _{b2} =4	f _{sb2} =161

すべて許容応力以下である。

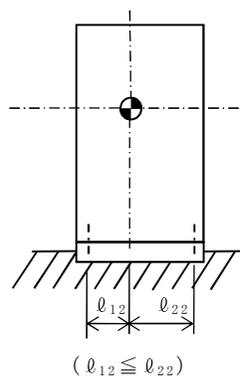
注記 *: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

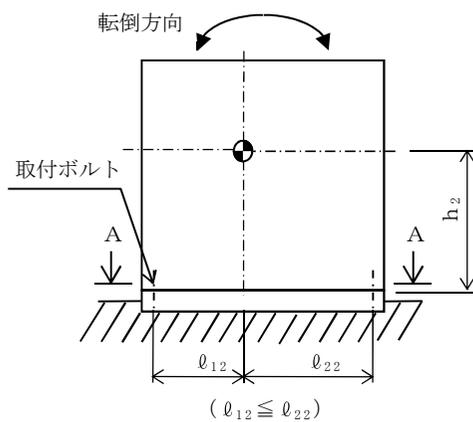
(×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉圧力	水平方向	1.11	□
	鉛直方向	0.84	□

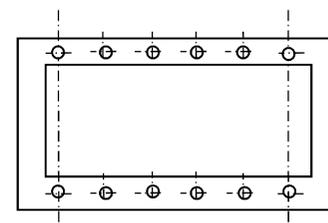
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



側面 (短辺方向)



正面 (長辺方向)



A~A 矢视图

2. 原子炉圧力 (PT-B22-N051A, B)

2.1 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、原子炉圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

原子炉圧力は、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電氣的機能維持評価を示す。

なお、構造強度評価については、取付ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表して評価する。電氣的機能維持評価については、評価用加速度が厳しい条件となるものを代表として評価する。

表 2-1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
PT-B22-N051A (代表) PT-B22-N051B	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	表 2-2-1 構造計画

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

原子炉圧力の構造計画を表 2-2-1 に示す。

表 2-2-1 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>検出器は、計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。</p> <p>計装ラックは、基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。</p>	<p>弾性圧力検出器</p>	<p>【H22-P026B (PT-B22-N051A)】</p> <p>(長辺方向) (短辺方向)</p> <p>(単位：mm)</p>

2.3 固有周期

2.3.1 固有周期の算出方法

プラスチックハンマ等により、当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器）により固有振動数を測定する。測定の結果、剛であることを確認した。固有周期を表 1-3-1 に示す。

表 1-3-1 固有周期 (s)

水平方向	鉛直方向

2.4 構造強度評価

2.4.1 構造強度評価方法

原子炉圧力の構造は直立形計装ラックであるため、構造強度評価は、添付書類「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」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

2.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉圧力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 2-4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-4-2 に示す。

(2) 許容応力

原子炉圧力の許容応力を表 2-4-3 に示す。

(3) 使用材料の許容応力評価条件

原子炉圧力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 2-4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-4-5 に示す。

表 2-4-1 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
計測制御 系統施設	計測装置	原子炉圧力	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	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 2-4-2 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	計測装置	原子炉圧力	常設耐震／防止 常設／緩和	—*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 : 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。

*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 2-4-3 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)	
	一次応力	
	引張	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 2-4-4 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_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi} (RT) (MPa)
取付ボルト ($i=2$)		周囲環境温度	<input type="text"/>	235	400	—

表 3-4-5 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_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi} (RT) (MPa)
取付ボルト ($i=2$)		周囲環境温度	<input type="text"/>	225	385	—

2.5 機能維持評価

2.5.1 電氣的機能維持評価方法

原子炉圧力の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉圧力の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-5-1 に示す。

表 2-5-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉圧力	水平	
	鉛直	

2.6 評価結果

2.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉圧力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、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有することを確認した。

(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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

3.6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉圧力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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉圧力 (H22-P026B (PT-B22-N051A)) 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	
原子炉圧力	S	原子炉建屋 □	□		$C_H=0.78$	$C_V=0.54$	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$	□

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉圧力

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}^* (mm)	ℓ_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i (-)	n_{f1}^* (-)
取付ボルト ($i=2$)	□						6
	□						2

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
取付ボルト ($i=2$)	235	400	235	280	長辺方向	長辺方向

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
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
取付ボルト ($i=2$)		引張り	$\sigma_{b2}=6$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=16$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

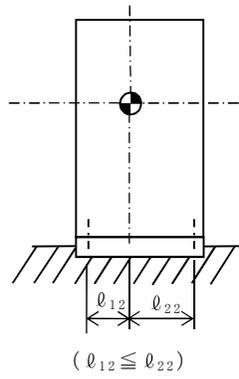
注記 *: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

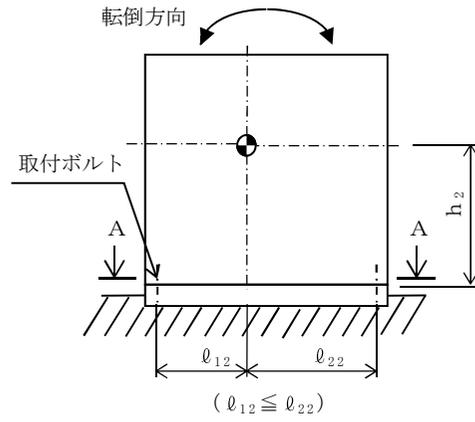
($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉圧力	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

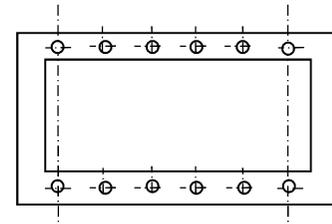
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



側面 (短辺方向)



正面 (長辺方向)



A~A矢视图

2. 重大事故等対象施設

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		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	
原子炉圧力	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 □	□		—	—	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$	□

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉圧力

部 材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}^* (mm)	ℓ_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{F1}^*
取付ボルト ($i=2$)	□						6
	□						2

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
取付ボルト ($i=2$)	225	385	—	270	—	長辺方向

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
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
取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=16$	$f_{ts2}=202^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=155$

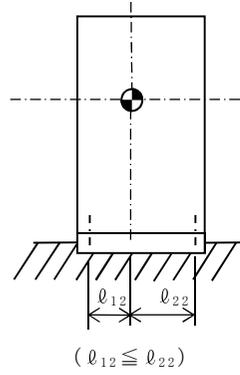
すべて許容応力以下である。

注記 *: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t0i} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t0i}]$ より算出

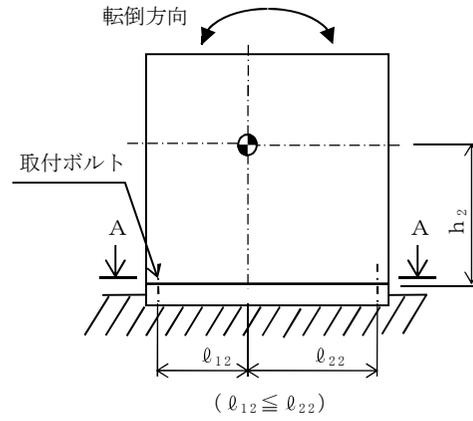
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉圧力	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

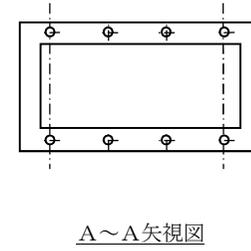
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



側面 (短辺方向)



正面 (長辺方向)



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-786 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-30 格納容器内水素濃度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. 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 電氣的機能維持評価方法	7
6. 評価結果	7
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	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及び機能維持の設計方針に基づき、格納容器内水素濃度及び格納容器内酸素濃度が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

格納容器内水素濃度及び格納容器内酸素濃度は、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電気的機能維持評価を示す。

なお、本計算書では、添付書類「V-2-6-5-32 格納容器内酸素濃度の耐震性についての計算書」の評価も併せて説明する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

格納容器内水素濃度及び格納容器内酸素濃度の構造計画を表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	正面	側面
<p>検出器は、計器取付ボルトにより計装ラックに固定される。</p> <p>計装ラックは、チャンネルベースに取付ボルトで設置され、チャンネルベースは基礎ボルトで固定される。</p>	<p>熱伝導式水素検出器</p> <p>磁気風式酸素検出器</p>	<p>正面</p> <p>計装ラック 3150</p> <p>取付ボルト</p> <p>基礎ボルト</p> <p>ケミカルアンカ</p> <p>チャンネルベース</p> <p>床</p> <p>2100</p>	<p>側面</p> <p>検出器</p> <p>計器取付ボルト</p> <p>600</p>
		(単位: mm)	

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

プラスチックハンマ等により、当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器）により記録解析する。測定の結果、剛であることを確認した。固有周期を表 3-1 に示す。

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

格納容器内水素濃度及び格納容器内酸素濃度の構造は直立形計装ラックであるため、構造強度評価は、添付書類「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」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

格納容器内水素濃度及び格納容器内酸素濃度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 に示す。

4.2.2 許容応力

格納容器内水素濃度及び格納容器内酸素濃度の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

格納容器内水素濃度及び格納容器内酸素濃度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 4-3 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
計測制御 系統施設	計測装置	格納容器内水素濃度	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III _A S
		格納容器内酸素濃度			$D + P_D + M_D + S_s$	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 許容応力（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)	
	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	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	$S_{yi}(RT)$ (MPa)
基礎ボルト (i=1)		周囲環境温度	235	400	—
取付ボルト (i=2)		周囲環境温度	235	400	—

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

格納容器内水素濃度及び格納容器内酸素濃度の電気的機能維持評価について、以下に示す。

電気的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

格納容器内水素濃度及び格納容器内酸素濃度の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
格納容器内水素濃度 格納容器内酸素濃度	水平	□
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

格納容器内水素濃度及び格納容器内酸素濃度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電気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

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【格納容器内水素濃度 (D23-H2E-N002A), 格納容器内酸素濃度 (D23-O2E-N001A) 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	
格納容器内水素濃度 格納容器内酸素濃度	S	原子炉建屋			$C_H=0.78$	$C_V=0.54$	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$	

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 格納容器内水素濃度, 格納容器内酸素濃度

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}^{*2} (mm)	ℓ_{2i}^{*2} (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^{*2}
基礎ボルト (i=1)							6
							2
取付ボルト (i=2)							12
							2

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)	235	400	235	280	短辺方向	短辺方向
取付ボルト (i=2)	235	400	235	280	短辺方向	長辺方向

注記*1 : 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2 : 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 (i=1)		引張り	σ _{b1} =14	f _{ts1} =141*	σ _{b1} =30	f _{ts1} =168*
		せん断	τ _{b1} =3	f _{sb1} =108	τ _{b1} =5	f _{sb1} =129
取付ボルト (i=2)		引張り	σ _{b2} =9	f _{ts2} =176*	σ _{b2} =18	f _{ts2} =210*
		せん断	τ _{b2} =2	f _{sb2} =135	τ _{b2} =4	f _{sb2} =161

すべて許容応力以下である。

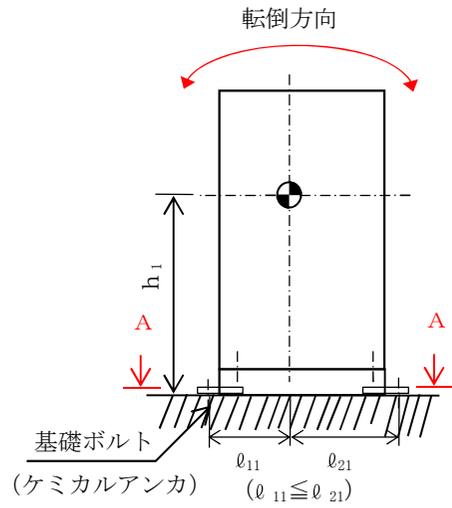
注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

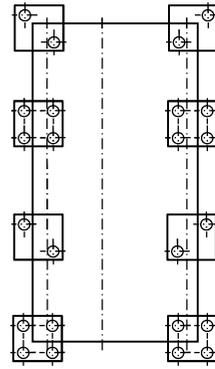
(×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
格納容器内水素濃度	水平方向	1.11	
格納容器内酸素濃度	鉛直方向	0.84	

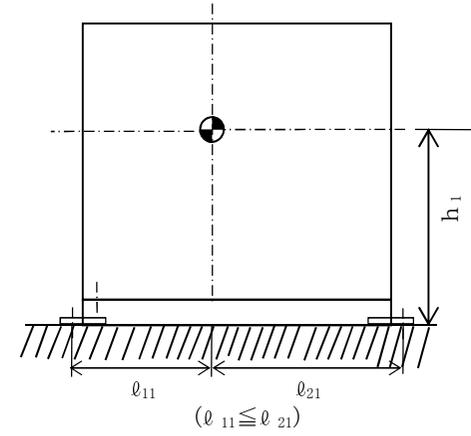
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



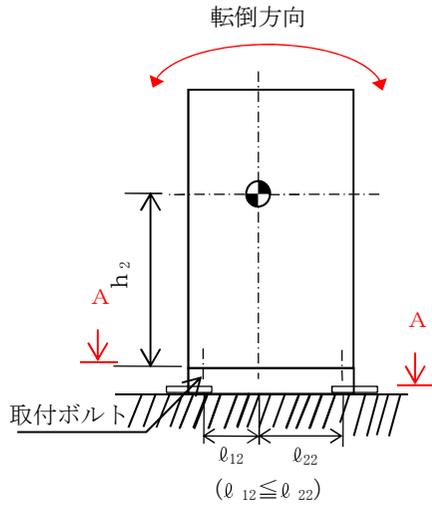
側面 (短辺方向)



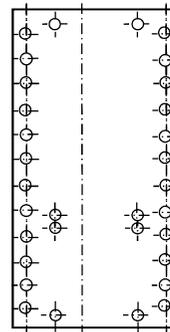
A~A矢視図



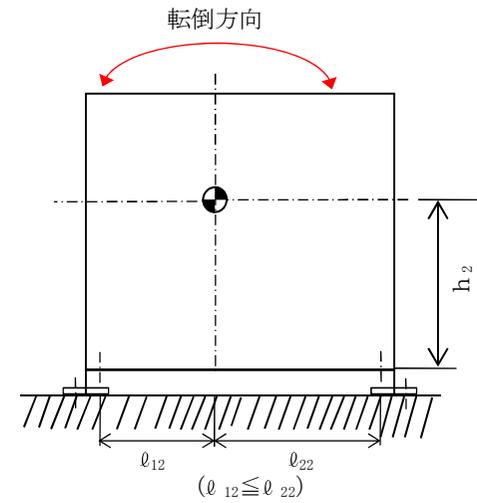
正面 (長辺方向)



側面 (短辺方向)



A~A矢視図



正面 (長辺方向)

【格納容器内水素濃度 (D23-H2E-N002B), 格納容器内酸素濃度 (D23-O2E-N001B) 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	
格納容器内水素濃度 格納容器内酸素濃度	S	原子炉建屋			$C_H=0.88$	$C_V=0.62$	$C_H=1.55$	$C_V=1.17$	

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 格納容器内水素濃度, 格納容器内酸素濃度

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}^{*2} (mm)	ℓ_{2i}^{*2} (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{i1}^{*2}
基礎ボルト (i=1)							5
							2
取付ボルト (i=2)							12
							2

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)	235	400	235	280	短辺方向	短辺方向
取付ボルト (i=2)	235	400	235	280	短辺方向	長辺方向

注記 *1 : 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2 : 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 (i=1)		引張り	$\sigma_{b1}=19$	$f_{ts1}=141$	$\sigma_{b1}=40$	$f_{ts1}=168^*$
		せん断	$\tau_{b1}=4$	$f_{sb1}=108$	$\tau_{b1}=7$	$f_{sb1}=129$
取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=10$	$f_{ts2}=176$	$\sigma_{b2}=24$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

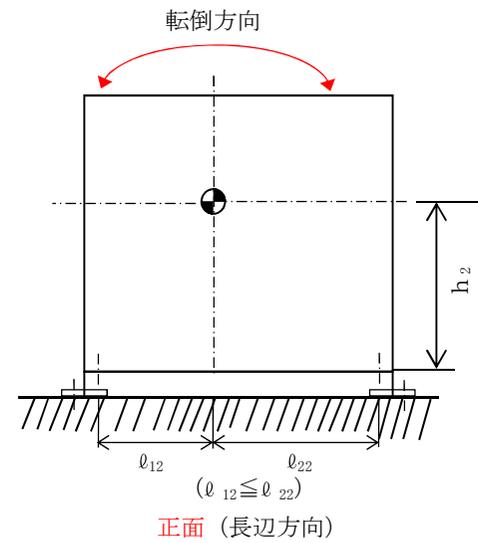
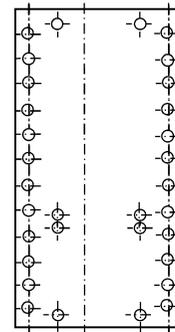
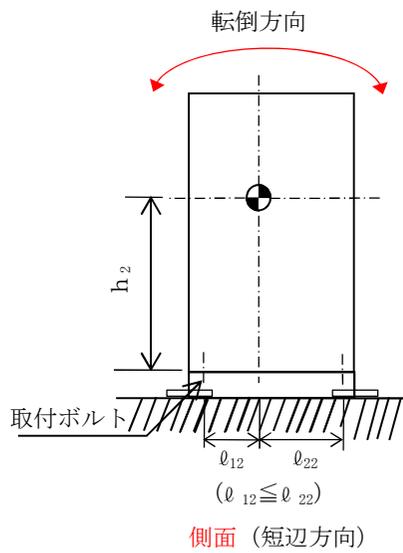
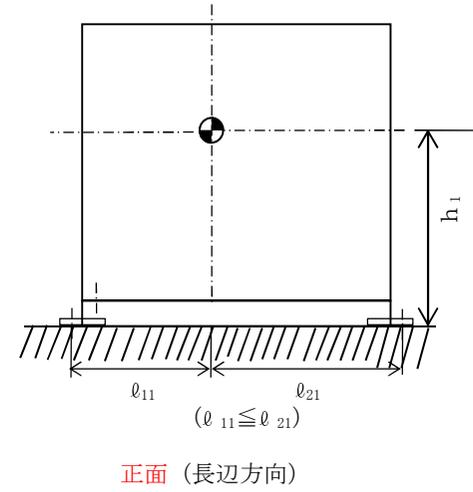
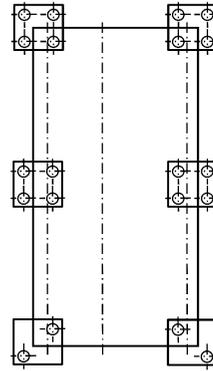
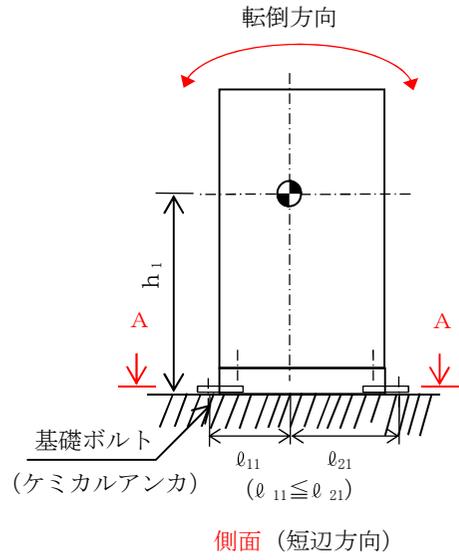
注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t0i} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t0i}]$ より算出

1.4.2 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
格納容器内水素濃度	水平方向	1.29	
格納容器内酸素濃度	鉛直方向	0.98	

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-787 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-31 格納容器内水素濃度（S A）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. 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 電氣的機能維持評価方法	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、格納容器内水素濃度（S A）、格納容器内酸素濃度（S A）及び格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

格納容器内水素濃度（S A）、格納容器内酸素濃度（S A）及び格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置は、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電氣的機能維持評価を示す。

なお、本計算書では、添付書類「V-2-6-5-33 格納容器内酸素濃度（S A）の耐震性についての計算書」及び添付書類「V-2-6-7-10 格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置の耐震性についての計算書」の評価も併せて説明する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

格納容器内水素濃度（S A）、格納容器内酸素濃度（S A）及び格納容器内雰囲気ガスサンプリング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>検出器は、計器取付ボルトによりガスサンプリング装置に取付けられた取付板に固定される。</p> <p>格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置は、取付ボルトによりチャンネルベースに固定する。</p> <p>チャンネルベースは床面に設置された後打プレートに固定する。</p> <p>後打プレートは基礎ボルトにより床面に設置する。</p>	<p>熱伝導式水素検出器 磁気風式酸素検出器 格納容器内ガスサンプリング装置</p>	

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

振動試験装置により固有振動数（共振周波数）を測定する。測定の結果、剛であることを確認した。固有周期を表 3-1 に示す。

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

格納容器内水素濃度 (S A)、格納容器内酸素濃度 (S A) 及び格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置の構造は直立形計装ラックであるため、構造強度評価は、添付書類「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」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

格納容器内水素濃度 (S A)、格納容器内酸素濃度 (S A) 及び格納容器内雰囲気ガスサンプリング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 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

格納容器内水素濃度 (S A)、格納容器内酸素濃度 (S A) 及び格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

格納容器内水素濃度 (S A)、格納容器内酸素濃度 (S A) 及び格納容器内雰囲気ガスサンプリング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 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	計測装置	格納容器内水素濃度（S A）	常設耐震／ 緩和 常設／緩和	— *2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV _A S
		格納容器内酸素濃度（S A） 格納容器内雰囲気 ガスサンプリング装置			$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	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 4-2 許容応力（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)	
	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 _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	S _{yi} (RT) (MPa)
基礎ボルト (i=1)		周囲環境温度		212	373	—
取付ボルト (i=2)		周囲環境温度		221	373	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

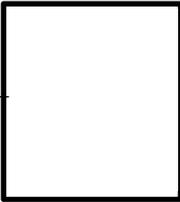
格納容器内水素濃度（S A）及び格納容器内酸素濃度（S A）の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

格納容器内水素濃度（S A）及び格納容器内酸素濃度（S A）の機能確認済加速度には、格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置一式で行った加振試験により、電氣的機能の健全性を確認した加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
格納容器内雰囲気 ガスサンプリング装置	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

格納容器内水素濃度（S A）、格納容器内酸素濃度（S A）及び格納容器内雰囲気ガスサンプリング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及び電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【格納容器内水素濃度計（S A）（H2E-SA19-N002A），格納容器内酸素濃度計（S A）（O2E-SA19-N001A）及び格納容器内雰囲気ガスサンプリング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		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	
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	原子炉建屋 []	[]	[]	—	—	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$	[]

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置

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)	[]						4
							4
取付ボルト (i=2)							4
							4

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)	212	373	—	254	—	短辺方向
取付ボルト (i=2)	221	373	—	261	—	短辺方向

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 (i=1)	□	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=17$	$f_{ts1}=152^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=4$	$f_{sb1}=117$
取付ボルト (i=2)	□	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=30$	$f_{ts2}=195^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=6$	$f_{sb2}=150$

すべて許容応力以下である。

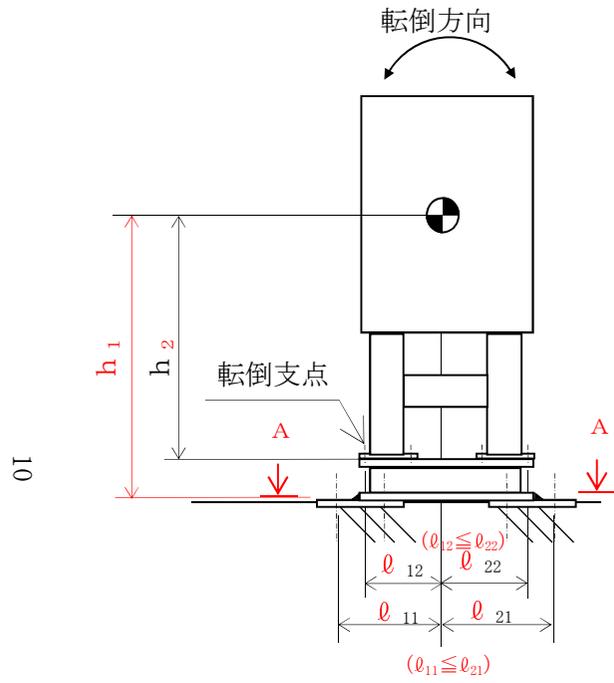
注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

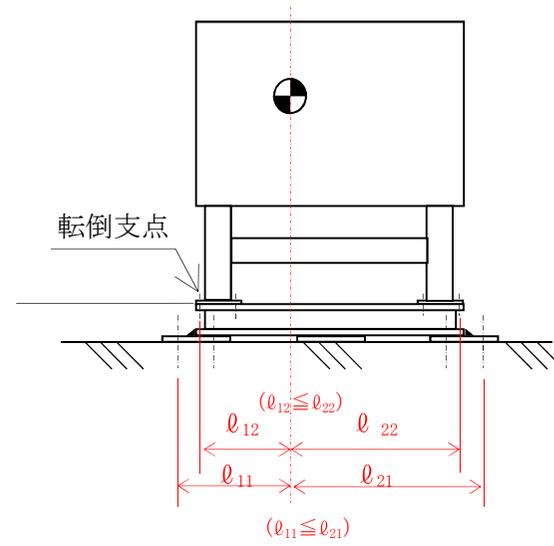
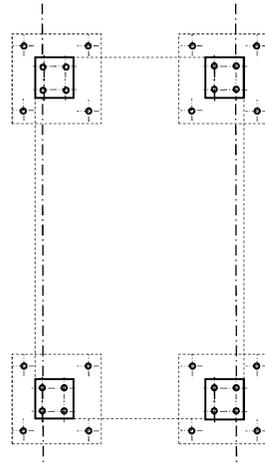
($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
格納容器内雰囲気 ガスサンプリング装置	水平方向	1.11	□
	鉛直方向	0.84	

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。



側面 (短辺方向)



正面 (長辺方向)

【格納容器内水素濃度計（S A）（H2E-SA19-N002B），格納容器内酸素濃度計（S A）（O2E-SA19-N001B）及び格納容器内雰囲気ガスサンプリング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		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	
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	原子炉建屋 []	[]		—	—	$C_H=1.13$	$C_V=0.99$	[]

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置

部 材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i} (mm)	l_{2i} (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_f
基礎ボルト (i=1)	[]						4
	[]						4
取付ボルト (i=2)	[]						4
	[]						4

11

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)	212	373	—	254	—	短辺方向
取付ボルト (i=2)	221	373	—	261	—	短辺方向

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 (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1}=14$	$f_{ts1}=152^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=3$	$f_{sb1}=117$
取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=25$	$f_{ts2}=195^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=6$	$f_{sb2}=150$

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

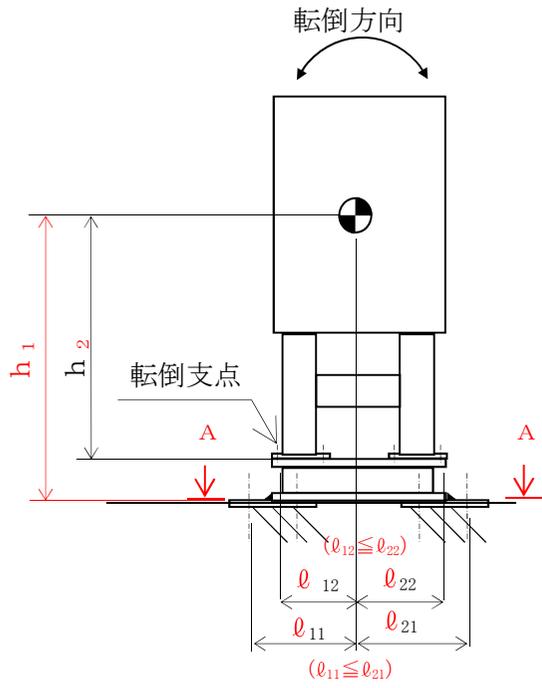
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

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

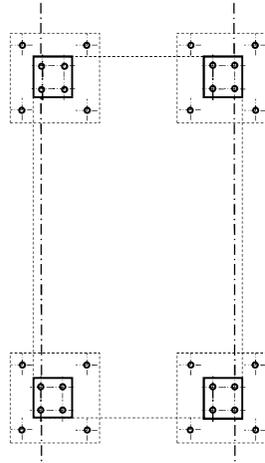
		評価用加速度	機能確認済加速度
格納容器内雰囲気 ガスサンプリング装置	水平方向	0.95	
	鉛直方向	0.83	

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。

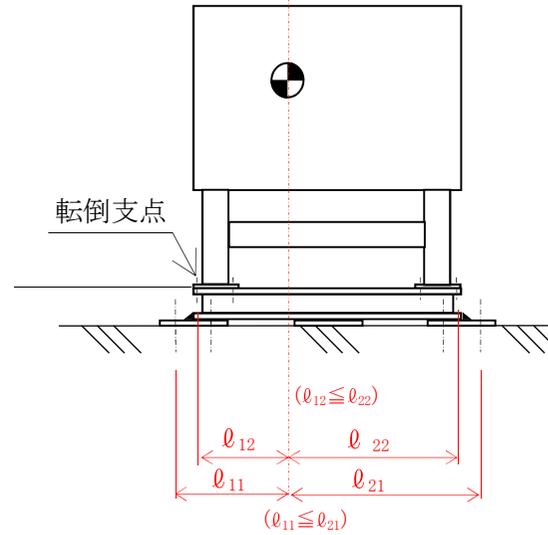
13



側面 (短辺方向)



A~A矢视图



正面 (長辺方向)

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-789 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-7-8 再循環系ポンプ遮断器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. 固有周期	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 電氣的機能維持評価方法	7
6. 評価結果	8
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
6.2 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、再循環系ポンプ遮断器が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

再循環系ポンプ遮断器は、設計基準対象施設においては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電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

再循環系ポンプ遮断器の構造計画を表 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									
再循環系ポンプ遮断器は、基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	直立形	<p>【再循環系ポンプ遮断器(A), 再循環系ポンプ遮断器(B)】</p> <p>正面</p> <p>側面</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">再循環系ポンプ遮断器</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td>約 2740 mm</td> </tr> <tr> <td>横</td> <td>約 2000 mm</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>約 2300 mm</td> </tr> </tbody> </table>	再循環系ポンプ遮断器		たて	約 2740 mm	横	約 2000 mm	高さ	約 2300 mm
再循環系ポンプ遮断器										
たて	約 2740 mm									
横	約 2000 mm									
高さ	約 2300 mm									

3. 固有周期

再循環系ポンプ遮断器の固有周期は、構造が同様な盤に対する打振試験の測定結果から、剛とする。固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期 (s)

機器名称	水平方向	鉛直方向
再循環系ポンプ遮断器		

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

再循環系ポンプ遮断器の構造は直立形盤であるため、構造強度評価は、添付書類「V-2-1-14-7 盤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

再循環系ポンプ遮断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

再循環系ポンプ遮断器の許容応力を表 4-3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

再循環系ポンプ遮断器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 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
計測制御 系統施設	その他の 計測制御設備	再循環系ポンプ遮断器	S	-*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	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*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	その他の 計測制御設備	再循環系ポンプ遮断器	常設耐震／防止	- *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状態を適用する。

*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 (その他の指示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)	
	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	*	*
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの 許容限界を用いる。)	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
取付ボルト		周囲環境温度		235	400	—

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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
取付ボルト		周囲環境温度		235	400	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

再循環系ポンプ遮断器の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「V-2-1-14-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

再循環系ポンプ遮断器の機能確認済加速度には、当該器具と類似の器具の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した器具の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
再循環系ポンプ遮断器	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

再循環系ポンプ遮断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及び電気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

電気的機能維持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

再循環系ポンプ遮断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及び電気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

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【再循環系ポンプ遮断器(A)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

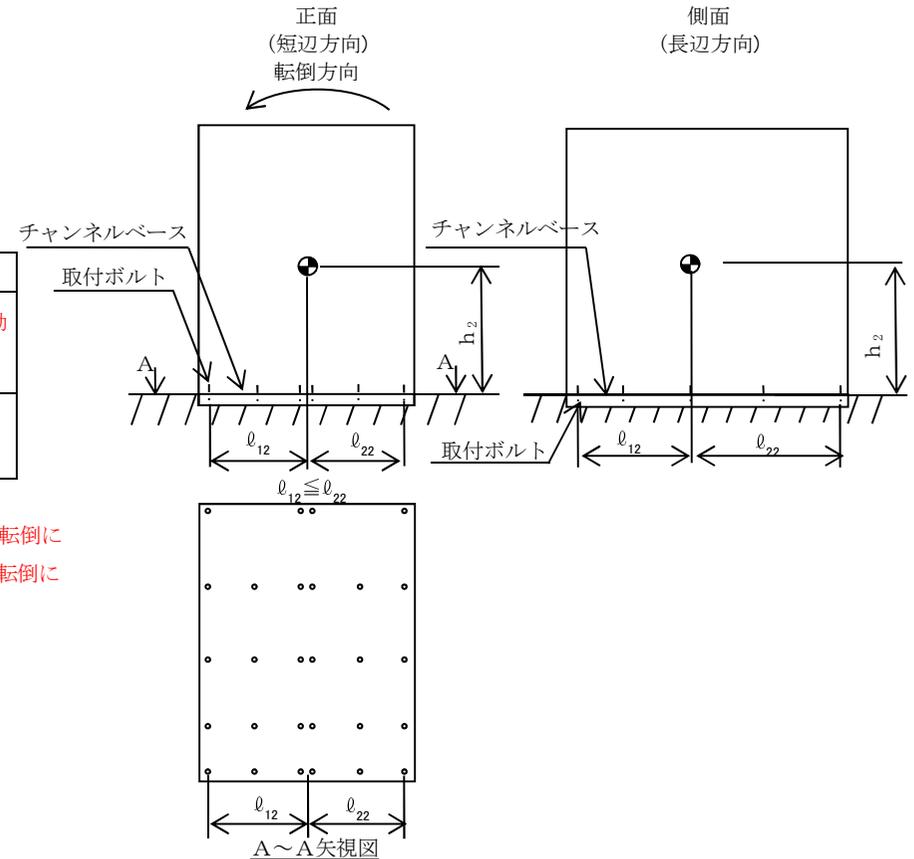
機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
再循環系ポンプ 遮断器(A)	S	原子炉建屋 []	[]	[]	$C_H=0.58$	$C_V=0.48$	$C_H=0.87$	$C_V=0.90$	[]

注記 * : 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}^* (mm)	l_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^*
取付ボルト ($i=2$)	[]						5
	[]						6

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
取付ボルト ($i=2$)	235	400	235	280	短辺方向	短辺方向



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
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
取付ボルト		引張り	$\sigma_{b2}=6$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=36$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=8$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=13$	$f_{sb2}=161$

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
再循環系ポンプ遮断器 (A)	水平方向	0.72	
	鉛直方向	0.75	

評価用加速度 (1.0ZPA) すべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

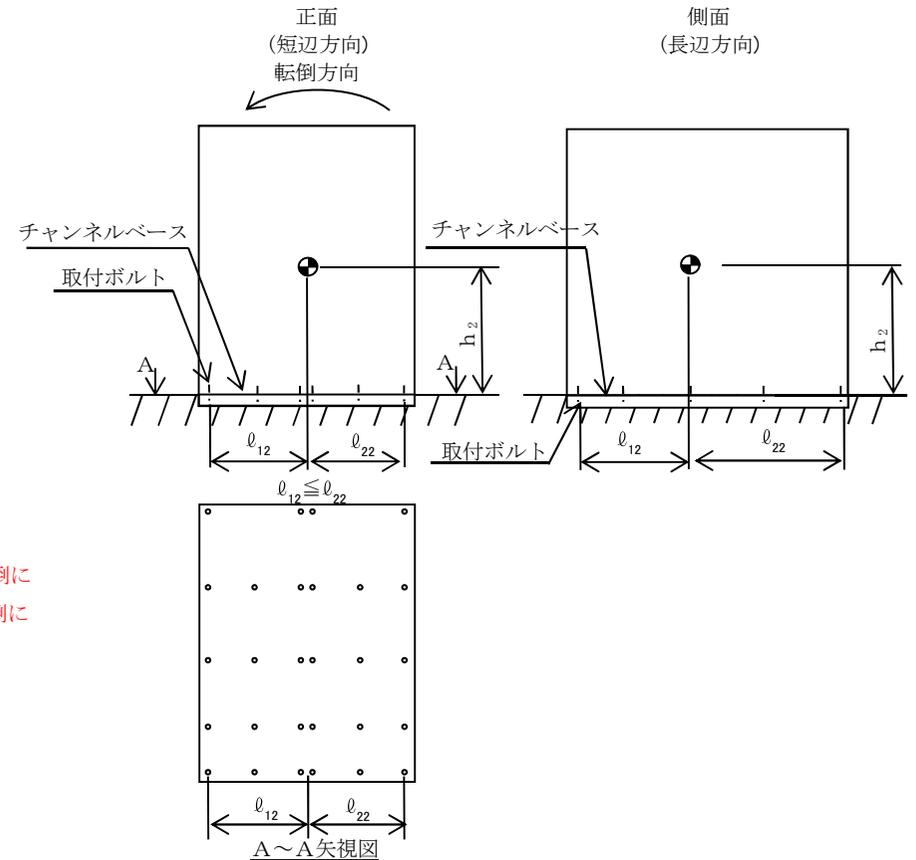
機 器 名 称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
原再循環系ポンプ 遮断器 (A)	常設耐震/防止	原子炉建屋 []	[]	[]	-	-	$C_H=0.87$	$C_V=0.90$	[]

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部 材	m_2 (kg)	h_2 (mm)	l_1^* (mm)	l_2^* (mm)	A_{b2} (mm ²)	n_2	n_f^*
取付ボルト ($i=2$)	[]						5
	[]						6

部 材	S_{y2} (MPa)	S_{u2} (MPa)	F_2 (MPa)	F_2^* (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 ($i=2$)	235	400	-	280	-	短辺方向



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 _{b2}		Q _{b2}	
	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 (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
取付ボルト		引張り	—	—	σ _{b2} =36	f _{ts2} =205*
		せん断	—	—	τ _{b2} =13	f _{sb2} =161

すべて許容応力以下である。

注記 * : f_{tsi} = Min[1.4 · f_{toi} - 1.6 · τ_{bi}, f_{toi}]より算出

2.4.2 電氣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
再循環系ポンプ遮断器(A)	水平方向	0.72	
	鉛直方向	0.75	

評価用加速度 (1.0ZPA) すべて機能確認済加速度以下である。

【再循環系ポンプ遮断器(B)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

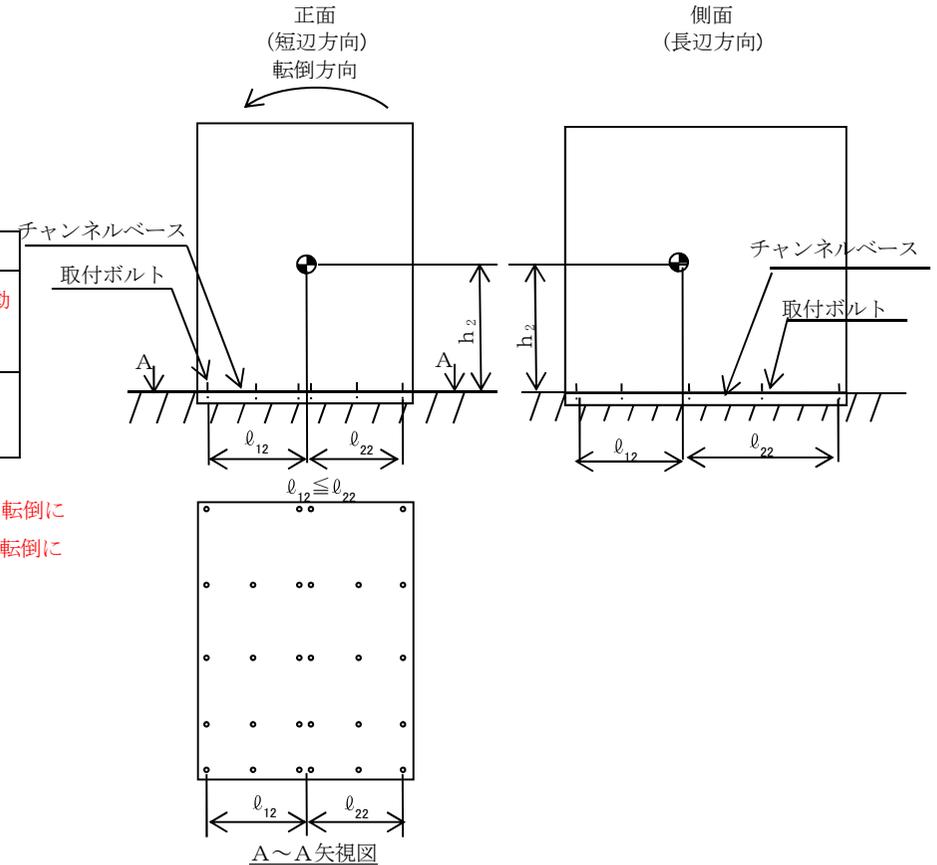
機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
再循環系ポンプ 遮断器(B)	S	原子炉建屋 []	[]	[]	$C_H=0.63$	$C_V=0.50$	$C_H=1.10$	$C_V=0.96$	[]

注記 * : 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}^* (mm)	l_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^*
取付ボルト ($i=2$)	[]						5
	[]						6

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
取付ボルト ($i=2$)	235	400	235	280	短辺方向	短辺方向



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
取付ボルト ($i = 2$)	1.800×10^3	9.679×10^3	4.943×10^4	8.630×10^4

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
取付ボルト		引張り	$\sigma_{b2} = 9$	$f_{ts2} = 176^*$	$\sigma_{b2} = 49$	$f_{ts2} = 210^*$
		せん断	$\tau_{b2} = 9$	$f_{sb2} = 135$	$\tau_{b2} = 16$	$f_{sb2} = 161$

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 (×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
再循環系ポンプ遮断器(B)	水平方向	0.92	
	鉛直方向	0.80	

評価用加速度 (1.0ZPA) すべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

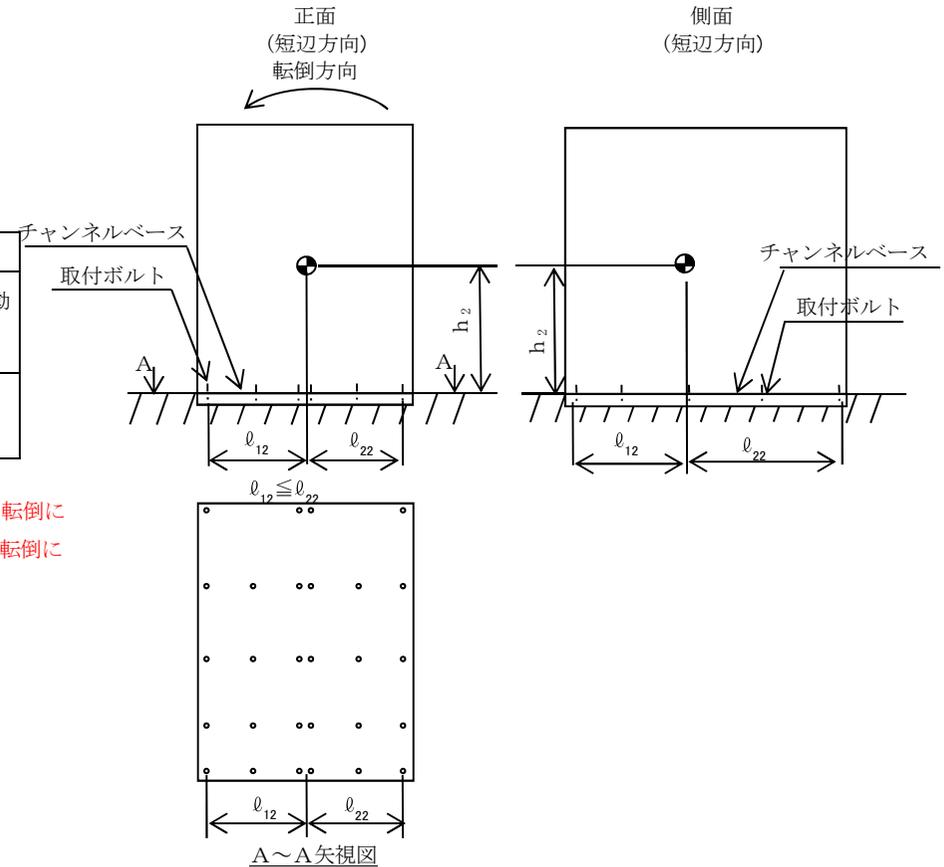
機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
再循環系ポンプ 遮断器(B)	常設耐震/防止	原子炉建屋 []	[]	[]	-	-	$C_H=1.10$	$C_V=0.96$	[]

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i}^* (mm)	l_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	nfi^*
取付ボルト ($i=2$)	[]						5
	[]						6

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
取付ボルト ($i=2$)	235	400	-	280	-	短辺方向



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
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
取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{t2}=49$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{t2}=16$	$f_{sb2}=161$

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 電気の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
再循環系ポンプ遮断器(B)	水平方向	0.92	
	鉛直方向	0.80	

評価用加速度 (1.0ZPA) 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-790 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-7-9 再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器の耐震性
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. 固有周期	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 電氣的機能維持評価方法	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、再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器は、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電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器の構造計画を表 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									
再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器は、基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	直立形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤)	<p>正面</p> <p>側面</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td>約 2540 mm</td> </tr> <tr> <td>横</td> <td>約 1000 mm</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>約 2300 mm</td> </tr> </tbody> </table>		再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器	たて	約 2540 mm	横	約 1000 mm	高さ	約 2300 mm
	再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器									
たて	約 2540 mm									
横	約 1000 mm									
高さ	約 2300 mm									

3. 固有周期

再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器の固有周期は、構造が同様な盤に対する打振試験の測定結果から、剛とする。固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期 (s)

機器名称	水平方向	鉛直方向
再循環系ポンプ低速度用 電源装置遮断器		

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器の構造は直立形盤であるため、構造強度評価は、添付書類「V-2-1-13-7 盤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

再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断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

再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断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を表 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	その他の 計測制御設備	再循環系ポンプ低速度用 電源装置遮断器	常設耐震／防止	—*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状態を適用する。

*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 4-2 許容応力（その他の指示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)	
	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（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)
取付ボルト		周囲環境温度	225	385	-

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「V-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器の機能確認済加速度には、当該器具と類似の器具の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した器具の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
再循環系ポンプ低速度用 電源装置遮断器	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

再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断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及び電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断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	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		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	
再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器	常設耐震/防止	原子炉建屋 []	[]	[]	-	-	$C_H=1.55$	$C_V=1.17$	[]

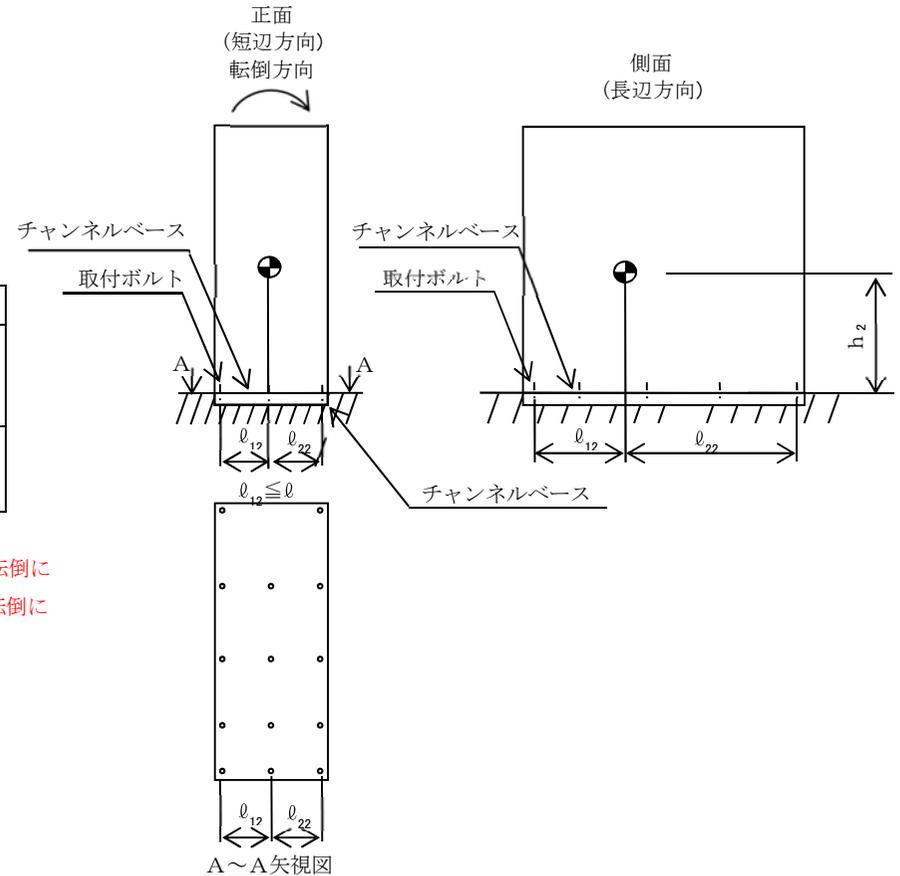
注記 *1: 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i}^* (mm)	l_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^*
取付ボルト ($i=2$)	[]						5
	[]						3

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
取付ボルト ($i=2$)	225	385	-	269	-	短辺方向

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
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
取付ボルト		引張り	—	—	σ _{t2} =63	f _{ts2} =202*
		せん断	—	—	τ _{t2} =18	f _{sb2} =155

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 (×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
再循環系ポンプ低速度用 電源装置遮断器	水平方向	1.29	
	鉛直方向	0.98	

評価用加速度 (1.0ZPA) 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-791 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-11 代替循環冷却系ポンプ入口温度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
3. 評価部位	3
4. 機能維持評価	4
4.1 評価用加速度	4
4.2 機能確認済加速度	5
5. 評価結果	6
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	6

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」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、代替循環冷却系ポンプ入口温度が設計用地震力に対して十分な電氣的機能を有していることを説明するものである。

代替循環冷却系ポンプ入口温度は、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電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

代替循環冷却系ポンプ入口温度の構造計画を表 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>検出器は、代替循環冷却系管に溶接された保護管に固定する。</p>	<p>熱電対</p>	

2.2 評価方針

代替循環冷却系ポンプ入口温度の機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 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、「4. 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「5. 評価結果」に示す。

代替循環冷却系ポンプ入口温度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

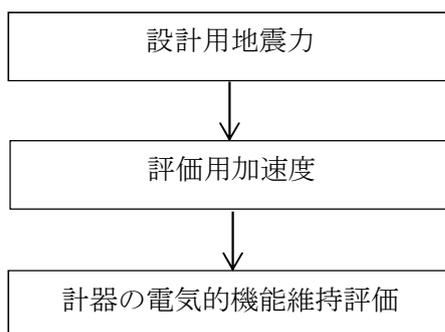


図 2-1 代替循環冷却系ポンプ入口温度の耐震評価フロー

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。

3. 評価部位

代替循環冷却系ポンプ入口温度は、代替循環冷却系管に直接取り付けられた保護管に挿入され固定されることから、代替循環冷却系管が支持している。代替循環冷却系管の構造強度評価は添付書類「V-2-5-5-6-2 管の耐震性についての計算書」にて実施しているため、本計算書では、代替循環冷却系管の地震応答解析結果を用いた代替循環冷却系ポンプ入口温度の電氣的機能維持評価について示す。

代替循環冷却系ポンプ入口温度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. 機能維持評価

4.1 評価用加速度

代替循環冷却系ポンプ入口温度は代替循環冷却系管に直接取り付けられた保護管に挿入されることから、評価用加速度は、基準地震動 S_s による地震力として添付書類「V-2-5-5-6-2 管の耐震性についての計算書」に示す重大事故等対処設備の地震応答解析で評価した代替循環冷却系ポンプ入口温度取付部に相当する質点に生じる加速度及び添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく基準床レベルの加速度のうち厳しいほうを選択する。評価用加速度を表 4-1, 2 に示す。

表 4-1 評価用加速度 (質点に生じる加速度) ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	評価用加速度
代替循環冷却系ポンプ 入口温度 (TE-SA17-N001A)	原子炉建屋 	水平	0.62
		鉛直	0.11
代替循環冷却系ポンプ 入口温度 (TE-SA17-N001B)	原子炉建屋 	水平	0.11
		鉛直	0.41

表 4-2 評価用加速度 (基準床レベルの加速度) ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	評価用加速度
代替循環冷却系ポンプ 入口温度	原子炉建屋 	水平	0.96
		鉛直	0.92

注記 * : 基準床レベルを示す。

4.2 機能確認済加速度

代替循環冷却系ポンプ入口温度の機能確認済加速度については以下に示す。

代替循環冷却系ポンプ入口温度の機能確認済加速度には、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-3 に示す。

表 4-3 機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
代替循環冷却系 ポンプ入口温度	水平	
	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

代替循環冷却系ポンプ入口温度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。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり、設計用地震力に対して電氣的機能が維持されていることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【代替循環冷却系ポンプ入口温度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 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
代替循環冷却系ポンプ入口温度	水平方向	0.96	<input type="text"/>
	鉛直方向	0.92	

評価用加速度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-792 改2
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-7-1 計測制御設備の盤の耐震性についての計算書

目次

1.	計測制御設備の盤（ベンチ形）	1
1.1	概要	1
1.2	一般事項	1
1.2.1	構造計画	1
1.3	固有周期	3
1.3.1	固有周期の算出方法	3
1.4	構造強度評価	3
1.4.1	構造強度評価方法	3
1.4.2	荷重の組合せ及び許容応力	3
1.4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	3
1.4.2.2	許容応力	3
1.4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	3
1.5	機能維持評価	8
1.5.1	電氣的機能維持評価方法	8
1.6	評価結果	9
1.6.1	設計基準対象施設としての評価結果	9
1.6.2	重大事故等対処設備としての評価結果	9
2.	計測制御設備の盤（直立形）	18
2.1	概要	18
2.2	一般事項	19
2.2.1	構造計画	19
2.3	固有周期	20
2.3.1	固有周期の算出方法	20
2.4	構造強度評価	20
2.4.1	構造強度評価方法	20
2.4.2	荷重の組合せ及び許容応力	20
2.4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	20
2.4.2.2	許容応力	20
2.4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	20
2.5	機能維持評価	24
2.5.1	電氣的機能維持評価方法	24
2.6	評価結果	25
2.6.1	設計基準対象施設としての評価結果	25
3.	計測制御設備の盤（壁掛形）	28

3.1	概要	28
3.2	一般事項	28
3.2.1	構造計画	28
3.3	固有周期	30
3.3.1	固有周期の算出方法	30
3.4	構造強度評価	30
3.4.1	構造強度評価方法	30
3.4.2	荷重の組合せ及び許容応力	30
3.4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	30
3.4.2.2	許容応力	30
3.4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	30
3.5	機能維持評価	34
3.5.1	電氣的機能維持評価方法	34
3.6	評価結果	35
3.6.1	設計基準対象施設としての評価結果	35
3.6.2	重大事故等対処設備としての評価結果	35

1. 計測制御設備の盤（ベンチ形）

1.1 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、計測制御設備の盤（ベンチ形）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

計測制御設備の盤（ベンチ形）のうち緊急時炉心冷却系操作盤は、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。計測制御設備の盤（ベンチ形）のうち原子炉制御操作盤は、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及び電氣的機能維持評価を示す。

なお、構造強度評価については、裕度（許容値／発生値）が厳しい条件となるものを代表として評価する。電氣的機能維持評価については機能確認済加速度が最も低い器具を代表として評価する。

表 1-1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
緊急時炉心冷却系操作盤（代表）	V-2-1-13-7 盤の耐震性 についての計算書作成の 基本方針	表 1-2-1 構造計画
所内電気操作盤		
原子炉補機操作盤		
原子炉制御操作盤（代表）		

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

緊急時炉心冷却系操作盤及び原子炉制御操作盤の構造計画を表 1-2-1 に示す。

表 1-2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図												
基礎・支持構造	主体構造													
緊急時炉心冷却系操作盤は、基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	ベンチ形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤)													
		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>緊急時炉心冷却系操作盤</th> <th>原子炉制御操作盤</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td>約 1525 mm</td> <td>約 1525 mm</td> </tr> <tr> <td>横</td> <td>約 6100 mm</td> <td>約 4410 mm</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>約 2286 mm</td> <td>約 2286 mm</td> </tr> </tbody> </table>		緊急時炉心冷却系操作盤	原子炉制御操作盤	たて	約 1525 mm	約 1525 mm	横	約 6100 mm	約 4410 mm	高さ	約 2286 mm	約 2286 mm
	緊急時炉心冷却系操作盤	原子炉制御操作盤												
たて	約 1525 mm	約 1525 mm												
横	約 6100 mm	約 4410 mm												
高さ	約 2286 mm	約 2286 mm												

1.3 固有周期

1.3.1 固有周期の算出方法

プラスチックハンマ等により、当該盤に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器）により記録する。試験の結果、剛であることを確認した。固有周期を表 1-3-1 に示す。

表 1-3-1 固有周期 (s)

機器名称	水平方向	鉛直方向
緊急時炉心冷却系操作盤	0.025	0.017
原子炉制御操作盤	0.033	0.007

1.4 構造強度評価

1.4.1 構造強度評価方法

緊急時炉心冷却系操作盤及び原子炉制御操作盤の構造はベンチ形であるため、構造強度評価は、添付書類「V-2-1-13-7 盤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。

1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

緊急時炉心冷却系操作盤及び原子炉制御操作盤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 1-4-1 に、重大事故等対処設備としての評価に用いるものを表 1-4-2 に示す。

1.4.2.2 許容応力

緊急時炉心冷却系操作盤及び原子炉制御操作盤の許容応力を表 1-4-3 に示す。

1.4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

緊急時炉心冷却系操作盤及び原子炉制御操作盤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 1-4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-4-5 に示す。

表 1-4-1 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
計測制御 系統施設	その他の計測 制御設備	緊急時炉心冷却系 操作盤	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
		原子炉制御操作盤			$D + P_D + M_D + S_s$	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 1-4-2 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	その他の計 測制御設備	緊急時炉心冷却系 操作盤	常設耐震／防止 常設／緩和	—*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。)
		原子炉制御操作盤	常設耐震／防止	—*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：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 1-4-3 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)	
	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 1-4-4 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
取付ボルト		周囲環境温度		235	400	—

表 1-4-5 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
取付ボルト		周囲環境温度		235	400	—

1.5 機能維持評価

1.5.1 電氣的機能維持評価方法

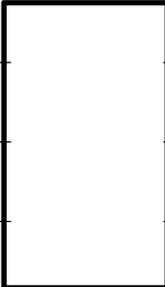
緊急時炉心冷却系操作盤及び原子炉制御操作盤の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「V-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

緊急時炉心冷却系操作盤及び原子炉制御操作盤に設置される器具の機能確認済加速度には、同形式の器具の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した器具の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-5-1 に示す。

表 1-5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
緊急時炉心冷却系操作盤	水平	
	鉛直	
原子炉制御操作盤	水平	
	鉛直	

1.6 評価結果

1.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

緊急時炉心冷却系操作盤及び原子炉制御操作盤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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

1.6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

緊急時炉心冷却系操作盤及び原子炉制御操作盤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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【緊急時炉心冷却系操作盤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	
緊急時炉心冷却系操作盤	S				$C_H=0.78$	$C_V=0.54$	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$	

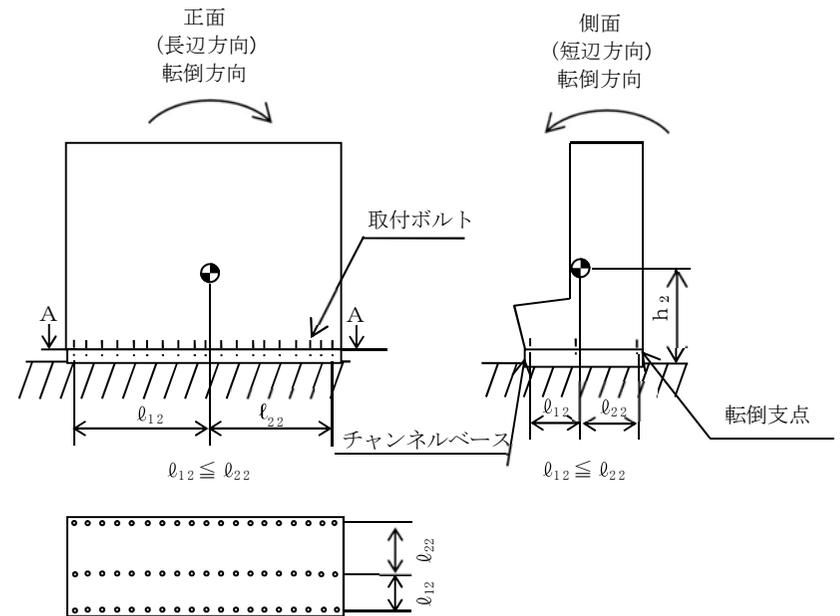
注記 * : 基準床レベルを示す。

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}
取付ボルト (i=2)							19
							3

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。

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
取付ボルト (i=2)	235 (16mm<径≤40mm)	400	235	280	短辺方向	長辺方向



A~A矢視図

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
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
取付ボルト	[]	引張り	$\sigma_{b2}=4$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=15$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

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
緊急時炉心冷却系 操作盤	水平方向	1.11	[]
	鉛直方向	0.84	

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。

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	
緊急時炉心冷却系 操作盤	常設耐震/防止 常設/緩和				-	-	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$	

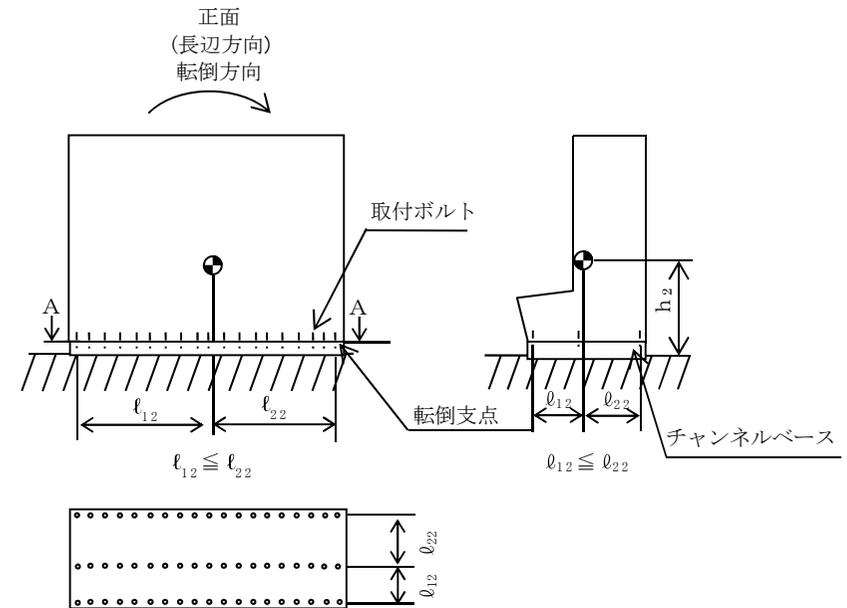
注記 *1: 基準床レベルを示す。

2.2 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}
取付ボルト ($i=2$)							19
							3

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。

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
取付ボルト ($i=2$)	235 (16mm<径≤40mm)	400	-	280	-	長辺方向



A~A 矢視図

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
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
取付ボルト	[]	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=15$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

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 電氣的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
緊急時炉心冷却系 操作盤	水平方向	1.11	[]
	鉛直方向	0.84	

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。

【原子炉制御操作盤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	
原子炉制御操作盤	S				$C_H=0.78$	$C_V=0.54$	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$	

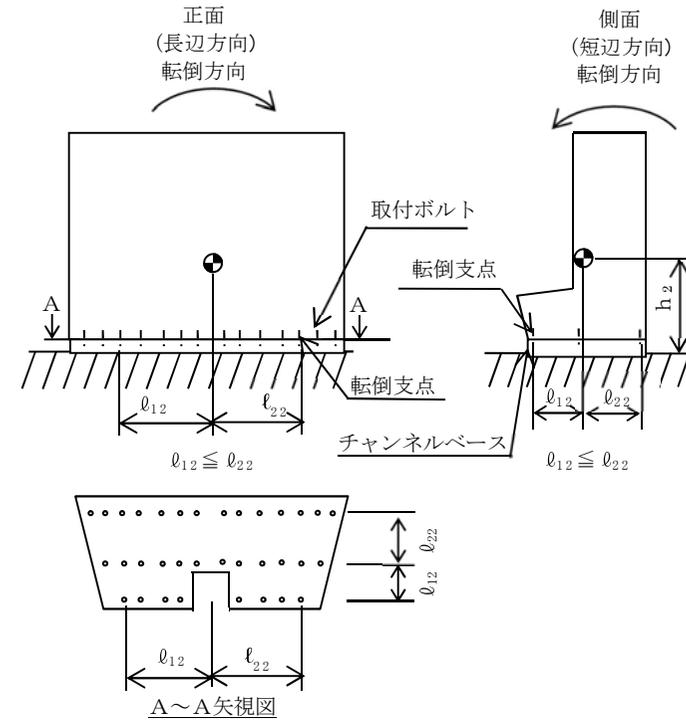
注記 * : 基準床レベルを示す。

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}
取付ボルト (i=2)							8
							3

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。

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
取付ボルト (i=2)	235 (16mm<径≤40mm)	400	235	280	短辺方向	長辺方向



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
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
取付ボルト	[]	引張り	$\sigma_{b2}=9$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=31$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=6$	$f_{sb2}=161$

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
原子炉制御操作盤	水平方向	1.11	[]
	鉛直方向	0.84	

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。

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	
原子炉制御操作盤	常設耐震/防止				-	-	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$	

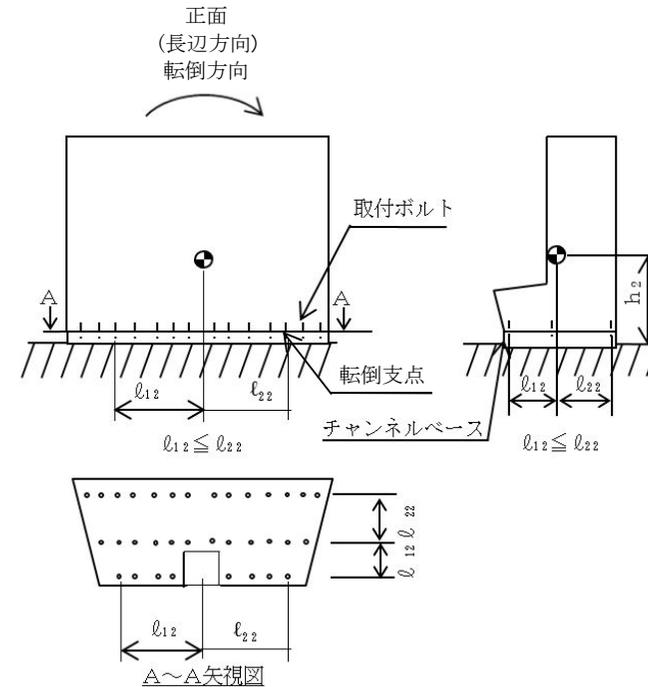
注記 *1: 基準床レベルを示す。

2.2 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}
取付ボルト ($i=2$)							8
							3

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。

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
取付ボルト ($i=2$)	235 (16mm<径 \leq 40mm)	400	-	280	-	長辺方向



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
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
取付ボルト	□	引張り	-	-	$\sigma_{b2}=31$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	-	-	$\tau_{b2}=6$	$f_{sb2}=161$

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 電氣的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉制御操作盤	水平方向	1.11	□
	鉛直方向	0.84	

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。

2. 計測制御設備の盤（直立形）

2.1 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、計測制御設備の盤（直立形）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

計測制御設備の盤（直立形）のうち格納容器雰囲気監視系操作盤は、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電氣的機能維持評価を示す。

なお、構造強度評価については、裕度（許容値／発生値）が厳しい条件となるものを代表として評価する。電氣的機能維持評価については機能確認済加速度が最も低い器具を代表として評価する。

表 2-1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
プロセス計装盤	V-2-1-13-7 盤の耐震性 についての計算書作成の 基本方針	表 1-2-1 構造計画
タービン補機盤		
窒素置換－空調換気制御盤		
非常用ガス処理系, 非常用ガス循環系 操作盤		
タービン補機補助継電器盤		
プロセス放射線モニタ計装盤		
出力領域モニタ計装盤		
原子炉保護系継電器盤		
残留熱除去系 (B), (C) 補助継電器盤		
原子炉隔離時冷却系継電器盤		
原子炉格納容器隔離系継電器盤		
高圧炉心スプレイ系継電器盤		
自動減圧系継電器盤		
低圧炉心スプレイ系, 残留熱除去系 (A) 補助継電器盤		
漏えい検出系操作盤		
プロセス放射線モニタ, 起動時領域モ ニタ操作盤		
格納容器雰囲気監視系操作盤 (代表)		
サプレッション・プール温度記録計盤		
原子炉保護系トリップユニット盤		

評価部位	評価方法	構造計画
緊急時炉心冷却系トリップユニット 盤	V-2-1-13-7 盤の耐震性 についての計算書作成の 基本方針	表 2-2-1 構造計画
高圧炉心スプレイ系トリップユニッ ト盤		
R C I Cタービン制御盤		
原子炉遠隔停止操作盤		
S A設備新設盤		
安全パラメータ表示システム(S P D S) 新設盤		

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

格納容器雰囲気監視系操作盤の構造計画を表 2-2-1 に示す。

表 2-2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図								
基礎・支持構造	主体構造									
格納容器雰囲気監視系 操作盤は、基礎に埋め 込まれたチャンネルベ ースに取付ボルトで設 置する。	直立形 (鋼材及び鋼板を組 み合わせた自立閉鎖 型の盤)	<p>(長辺方向)</p> <p>(短辺方向)</p> <table border="1" data-bbox="1473 1002 1995 1201"> <thead> <tr> <th colspan="2">格納容器雰囲気監視系操作盤</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td>約 914 mm</td> </tr> <tr> <td>横</td> <td>約 792 mm</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>約 2286 mm</td> </tr> </tbody> </table>	格納容器雰囲気監視系操作盤		たて	約 914 mm	横	約 792 mm	高さ	約 2286 mm
格納容器雰囲気監視系操作盤										
たて	約 914 mm									
横	約 792 mm									
高さ	約 2286 mm									

2.3 固有周期

2.3.1 固有周期の算出方法

格納容器雰囲気監視系操作盤の固有周期は、構造が同様な盤に対する打診試験の結果から、剛とする。固有周期を表 2-3-1 に示す。

表 2-3-1 固有周期 (s)

機器名称	水平方向	鉛直方向
格納容器雰囲気監視系操作盤	0.05 以下	0.05 以下

2.4 構造強度評価

2.4.1 構造強度評価方法

格納容器雰囲気監視系操作盤の構造はベンチ形であるため、構造強度評価は、添付書類「V-2-1-13-7 盤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。

2.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

格納容器雰囲気監視系操作盤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 2-4-1 に示す。

2.4.2.2 許容応力

格納容器雰囲気監視系操作盤の許容応力を表 2-4-2 に示す。

2.4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

格納容器雰囲気監視系操作盤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 2-4-3 に示す。

表 2-4-1 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
計測制御 系統施設	その他の計測 制御設備	格納容器雰囲気監視系 操作盤	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	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 2-4-2 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)	
	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	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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 2-4-3 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 (R T) (MPa)
		取付ボルト		周囲環境温度		235

2.5 機能維持評価

2.5.1 電氣的機能維持評価方法

格納容器雰囲気監視系操作盤の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「V-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

格納容器雰囲気監視系操作盤に設置される器具の機能確認済加速度には、同形式の器具の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した器具の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-5-1 に示す。

表 2-5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
格納容器雰囲気監視系 操作盤	水平	
	鉛直	

2.6 評価結果

2.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

格納容器雰囲気監視系操作盤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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【格納容器雰囲気監視系操作盤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	
格納容器雰囲気監視系操作盤	S				$C_H=0.78$	$C_V=0.54$	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$	

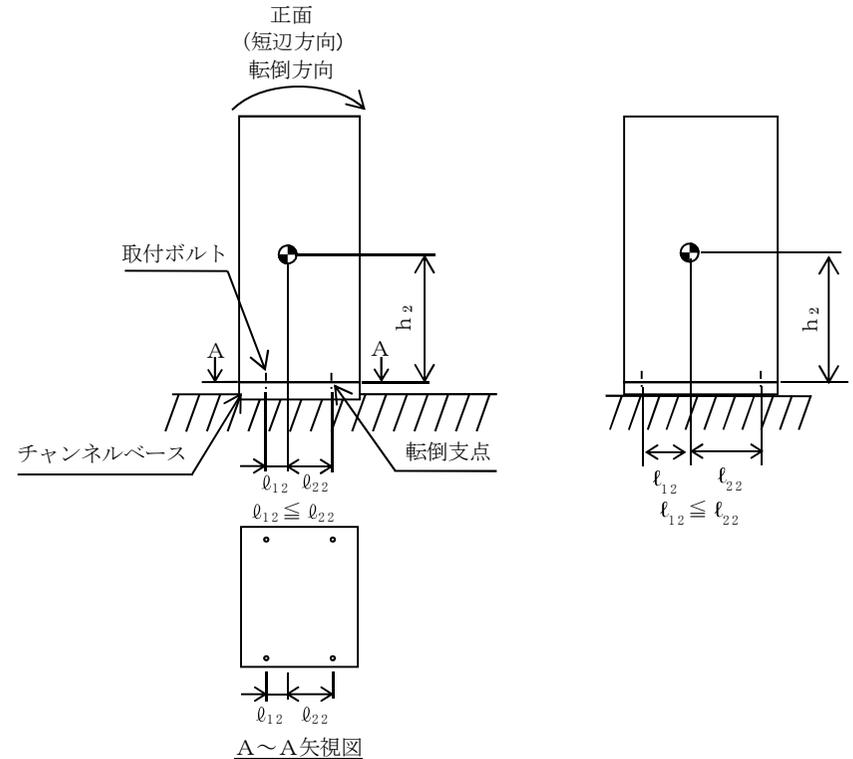
注記 * : 基準床レベルを示す。

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}
取付ボルト (i=2)							2
							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。

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
取付ボルト (i=2)	235 (16mm<径≤40mm)	400	235	280	短辺方向	短辺方向



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
取付ボルト (i=2)	[Redacted]			

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
取付ボルト	[Redacted]	引張り	σ _{b2} =43	f _{ts2} =176	σ _{b2} =82	f _{ts2} =210
		せん断	τ _{b2} =10	f _{sb2} =135	τ _{b2} =17	f _{sb2} =161

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
格納容器雰囲気監視系操作盤	水平方向	1.11	[Redacted]
	鉛直方向	0.84	[Redacted]

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。

3. 計測制御設備の盤（壁掛形）

3.1 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、計測制御設備の盤（壁掛形）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

計測制御設備の盤（壁掛形）のうちほう酸水注入ポンプ操作盤は、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及び電氣的機能維持評価を示す。

なお、構造強度評価については、裕度（許容値／発生値）が厳しい条件となるものを代表として評価する。電氣的機能維持評価については機能確認済加速度が最も低い器具を代表として評価する。

表 3-1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
ほう酸水注入ポンプ操作盤 (代表)	V-2-1-13-7 盤の耐震性 についての計算書作成の 基本方針	表 3-2-1 構造計画
S A設備新設盤		

3.2 一般事項

3.2.1 構造計画

ほう酸水注入ポンプ操作盤の構造計画を表 3-2-1 に示す。

表 3-2-1 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>ほう酸水注入ポンプ操作盤は、壁に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>壁掛形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤)</p>									
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ほう酸水注入ポンプ操作盤</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td>約 350 mm</td> </tr> <tr> <td>横</td> <td>約 500 mm</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>約 340 mm</td> </tr> </tbody> </table>	ほう酸水注入ポンプ操作盤		たて	約 350 mm	横	約 500 mm	高さ	約 340 mm
ほう酸水注入ポンプ操作盤										
たて	約 350 mm									
横	約 500 mm									
高さ	約 340 mm									

3.3 固有周期

3.3.1 固有周期の算出方法

プラスチックハンマ等により、当該盤に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器）により記録する。試験の結果、剛であることを確認した。固有周期を表 3-3-1 に示す。

表 3-3-1 固有周期 (s)

機器名称	水平方向	鉛直方向
ほう酸水注入ポンプ操作盤	0.016	0.005

3.4 構造強度評価

3.4.1 構造強度評価方法

ほう酸水注入ポンプ操作盤の構造はベンチ形であるため、構造強度評価は、添付書類「V-2-1-13-7 盤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。

3.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ほう酸水注入ポンプ操作盤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 3-4-1 に、重大事故等対処設備としての評価に用いるものを表 3-4-2 に示す。

3.4.2.2 許容応力

ほう酸水注入ポンプ操作盤の許容応力を表 3-4-3 に示す。

3.4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ほう酸水注入ポンプ操作盤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 3-4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-4-5 に示す。

表 3-4-1 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
計測制御 系統施設	その他の計測 制御設備	ほう酸水注入ポンプ 操作盤	S	-*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	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 3-4-2 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	その他の計 測制御設備	ほう酸水注入ポンプ 操作盤	常設耐震／防止	- * 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 3-4-3 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)	
	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 3-4-4 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 (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		245	400	—

表 3-4-5 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		234	385	—

3.5 機能維持評価

3.5.1 電氣的機能維持評価方法

ほう酸水注入ポンプ操作盤の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「V-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

ほう酸水注入ポンプ操作盤に設置される器具の機能確認済加速度には、同形式の器具の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した器具の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 3-5-1 に示す。

表 3-5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
緊急時炉心冷却操作盤	水平	
	鉛直	

3.6 評価結果

3.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

ほう酸水注入ポンプ操作盤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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

3.6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ほう酸水注入ポンプ操作盤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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【ほう酸水注入ポンプ操作盤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

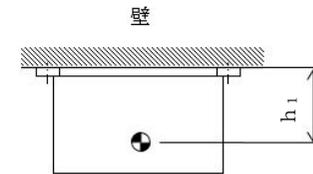
機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度*4		基準地震動 S_s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
ほう酸水注入ポンプ操作盤	S				$C_H=1.17$	$C_V=0.80$	$C_H=1.74$	$C_V=1.52$	

注記 *1: 基準床レベルを示す。

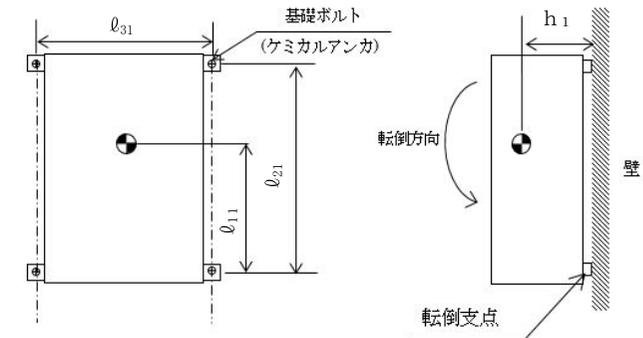
*2: 壁掛形の盤なので、設置床上階の設計用地震力を使用する。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i}^* (mm)	l_{2i}^* (mm)	l_{3i} (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{Fi}	n_{Mi}
基礎ボルト (i=1)								2	2



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)	245 (径 ≤ 16 mm)	400	245	280	鉛直方向	鉛直方向



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)	[Redacted]			

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	[Redacted]	引張り	σ _{b1} =3	f _{ts1} =147*	σ _{b1} =5	f _{ts1} =168*
		せん断	τ _{b1} =2	f _{sb1} =113	τ _{b1} =3	f _{sb1} =129

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

(×9.8m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ほう酸水注入ポンプ 操作盤	水平方向	1.10	[Redacted]
	鉛直方向	0.94	

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。

【ほう酸水注入ポンプ操作盤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

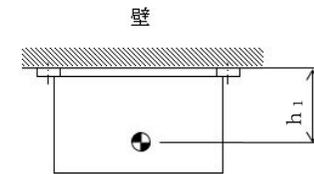
機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
ほう酸水注入ポンプ 操作盤	常設耐震/防止				—	—	$C_H=1.74$	$C_V=1.52$	

注記 *1: 基準床レベルを示す。

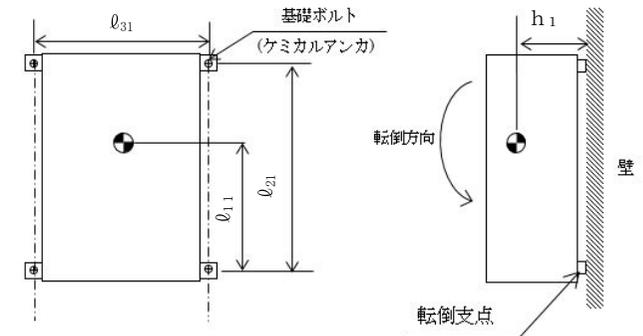
*2: 壁掛形の盤なので、設置床上階の設計用地震力を使用する。

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i} (mm)	l_{2i} (mm)	l_{3i} (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{Fi}	n_{Mi}
基礎ボルト ($i=1$)								2	2



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 ($i=1$)	234 (径 ≤ 16 mm)	385	—	270	—	鉛直方向



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)	[Redacted]			

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	[Redacted]	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=5$	$f_{ts1}=161^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=3$	$f_{sb1}=124$

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 (×9.8m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ほう酸水注入ポンプ 操作盤	水平方向	1.10	[Redacted]
	鉛直方向	0.94	[Redacted]

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	工認-793 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-7-15 フィルタ装置スクラビング水温度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
3. 評価部位	3
4. 機能維持評価	4
4.1 評価用加速度	4
4.2 機能確認済加速度	5
5. 評価結果	6
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	6

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」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、フィルタ装置スクラビング水温度が設計用地震力に対して十分な電氣的機能を有していることを説明するものである。

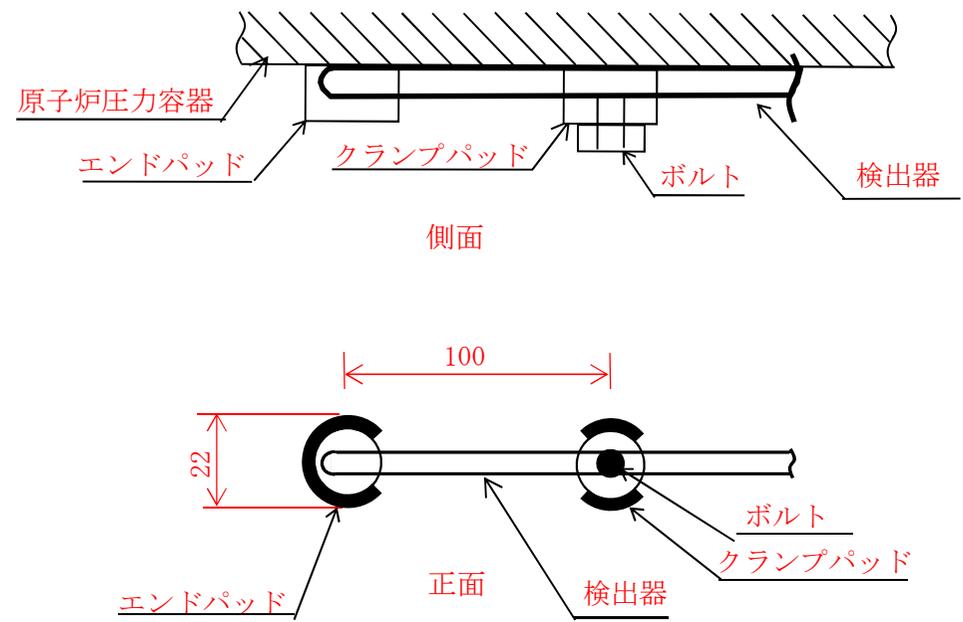
フィルタ装置スクラビング水温度は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

フィルタ装置スクラビング水温度の構造計画を表 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>検出器はフィルタ装置に直接取り付けられたエンドパッド及びクランプパッドにより固定する。クランプパッドはボルトを用いて検出器を固定する。</p>	<p>熱電対</p>	 <p>The diagram illustrates the detector assembly in two views. The side view (側面) shows a horizontal tube (検出器) attached to a hatched surface (原子炉圧力容器). The tube is secured by an end pad (エンドパッド) at the left end and a clamp pad (クランプパッド) at the right end. The clamp pad is fastened to the tube with a bolt (ボルト). The front view (正面) shows the end pad (エンドパッド) on the left, which has a diameter of 22 mm. The detector (検出器) is positioned 100 mm from the end pad. The clamp pad (クランプパッド) is secured to the detector with a bolt (ボルト).</p> <p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

フィルタ装置スクラビング水温度の機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 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、「4. 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「5. 評価結果」に示す。

フィルタ装置スクラビング水温度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

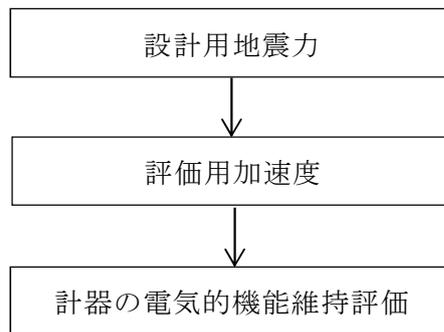


図 2-1 フィルタ装置スクラビング水温度の耐震評価フロー

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。

3. 評価部位

フィルタ装置スクラビング水温度は、フィルタ装置に直接取り付けられた**エンドパッド及びクランプパッド**に挿入され固定されることから、フィルタ装置が支持している。フィルタ装置の構造強度評価は添付書類「V-2-9-7-1-2 フィルタ装置の耐震性についての計算書」にて実施しているため、本計算書では、フィルタ装置の地震応答解析結果を用いたフィルタ装置スクラビング水温度の電氣的機能維持評価について示す。

フィルタ装置スクラビング水温度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. 機能維持評価

4.1 評価用加速度

フィルタ装置スクラビング水温度はフィルタ装置に直接取り付けられたエンドパッド及びクランプパッドに挿入されることから、評価用加速度は、基準地震動 S_s による地震力として添付書類「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。評価用加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価用加速度

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

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	評価用加速度
フィルタ装置 スクラビング水温度	原子炉建屋 	水平	1.79
		鉛直	0.89

注記 * : 基準床レベルを示す。

4.2 機能確認済加速度

フィルタ装置スクラビング水温度の機能確認済加速度については以下に示す。

フィルタ装置スクラビング水温度の機能確認済加速度には、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
フィルタ装置 スクラビング水温度	水平	
	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

フィルタ装置スクラビング水温度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。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電氣的機能が維持されていることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【フィルタ装置スクラビング水温度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 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
フィルタ装置スクラビング水温度	水平方向	1.79	
	鉛直方向	0.89	

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	工認-795 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-13 残留熱除去系熱交換器出口温度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
3. 評価部位	3
4. 機能維持評価	4
4.1 評価用加速度	4
4.2 機能確認済加速度	5
5. 評価結果	6
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	6

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」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、残留熱除去系熱交換器出口温度が設計用地震力に対して十分な電氣的機能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出口温度は、設計基準対象施設においてはCクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設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電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系熱交換器出口温度の構造計画を表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>検出器は、残留熱除去系管に溶接された保護管に固定する。</p>	<p>熱電対</p>	

2.2 評価方針

残留熱除去系熱交換器出口温度の機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 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、「4. 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。

残留熱除去系熱交換器出口温度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

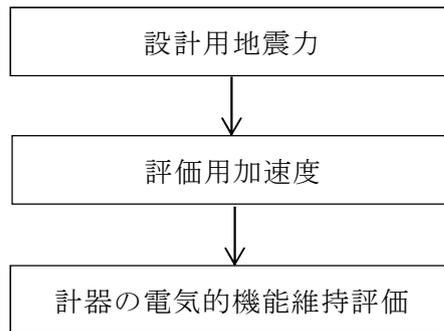


図 2-1 残留熱除去系熱交換器出口温度の耐震評価フロー

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。

3. 評価部位

残留熱除去系熱交換器出口温度は、残留熱除去系管に直接取り付けられた保護管に挿入され固定されることから、残留熱除去系管が支持している。残留熱除去系管の構造強度評価は添付書類「V-2-5-4-1-4 管の耐震性についての計算書」にて実施しているため、本計算書では、残留熱除去系管の地震応答解析結果を用いた残留熱除去系熱交換器出口温度の電氣的機能維持評価について示す。

残留熱除去系熱交換器出口温度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. 機能維持評価

4.1 評価用加速度

残留熱除去系熱交換器出口温度は残留熱除去系管に直接取り付けられた保護管に挿入されることから、評価用加速度は、基準地震動 S_s による地震力として添付書類「V-2-5-4-1-4 管の耐震性についての計算書」に示す重大事故等対処設備の地震応答解析で評価した残留熱除去系熱交換器出口温度取付部に相当する質点に生じる加速度及び添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく基準床レベルの加速度のうち厳しいほうを選択する。評価用加速度を表 4-1, 2 に示す。

表 4-1 評価用加速度（質点に生じる加速度） $(\times 9.8 \text{ m/s}^2)$

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	評価用加速度
残留熱除去系熱交換器 出口温度 (TE-E12-N027A)	原子炉建屋 	水平	1.02
		鉛直	0.62
残留熱除去系熱交換器 出口温度 (TE-E12-N027B)	原子炉建屋 	水平	0.92
		鉛直	0.82

表 4-2 評価用加速度（基準床レベルの加速度） $(\times 9.8 \text{ m/s}^2)$

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	評価用加速度
残留熱除去系熱交換器 出口温度	原子炉建屋 	水平	1.10
		鉛直	0.96

注記 * : 基準床レベルを示す。

4.2 機能確認済加速度

残留熱除去系熱交換器出口温度の機能確認済加速度については以下に示す。

残留熱除去系熱交換器出口温度の機能確認済加速度には、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-3 に示す。

表 4-3 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
残留熱除去系熱交換器 出口温度	水平	
	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

残留熱除去系熱交換器出口温度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。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり、設計用地震力に対して電氣的機能が維持されていることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱除去系熱交換器出口温度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 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
残留熱除去系熱交換器出口温度	水平方向	1.10	
	鉛直方向	0.96	

評価用加速度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-796 改2
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-8-2-1 主蒸気管放射線モニ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	6
3.	評価部位	7
4.	地震応答解析及び構造強度評価	7
4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	7
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	7
4.3	解析モデル及び諸元	10
4.4	固有周期	12
4.5	設計用地震力	13
4.6	計算方法	14
4.7	計算条件	16
4.8	応力の評価	16
5.	機能維持評価	17
5.1	電氣的機能維持評価方法	17
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

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、主蒸気管放射線モニタが設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

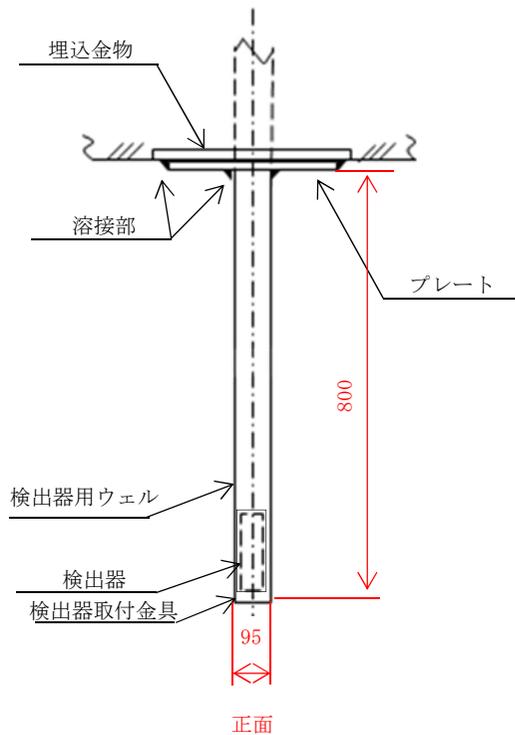
主蒸気管放射線モニタは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

主蒸気管放射線モニタの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、検出器取付金具により、検出器用ウェルに固定され、検出器用ウェルはプレートを紹介し、埋込金物に溶接で設置する。</p>	<p>電離箱</p>	 <p>正面 (単位: mm)</p>

2.2 評価方針

主蒸気管放射線モニタの応力評価は、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」にて示す主蒸気管放射線モニタの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.4 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。

主蒸気管放射線モニタの耐震評価フローを図2-1に示す。

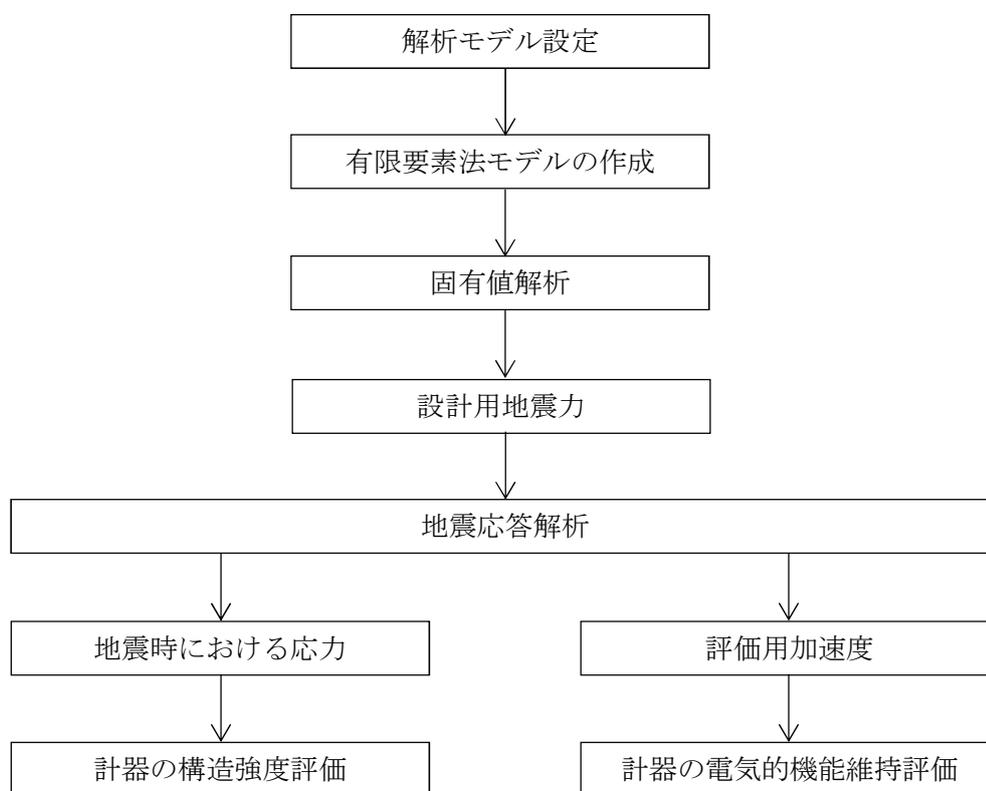


図2-1 主蒸気管放射線モニタの耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準等を以下に示す。

- (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	溶接部の有効のど厚	mm
A	サポートの断面積	mm ²
A _w	溶接部の有効断面積	mm ²
A _{wX}	溶接部の F _X に対する有効断面積	mm ²
A _{wZ}	溶接部の F _Z に対する有効断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D	検出器用ウェルの外径	mm
E	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-3121.1に定める値	MPa
F _X	溶接部に作用する力 (X方向)	N
F _Y	溶接部に作用する力 (Y方向)	N
F _Z	溶接部に作用する力 (Z方向)	N
f _s	溶接部の許容せん断応力	MPa
I _p	サポートの断面二次極モーメント	mm ⁴
I _y	サポートの断面二次モーメント (y軸)	mm ⁴
I _p	サポートの断面二次モーメント (z軸)	mm ⁴
ℓ	据付面から検出器及び検出器取付金具の重心までの距離	mm
m _a	検出器, 検出器取付金具の質量	kg
M _X	溶接部に作用するモーメント (X軸周り)	N・m
M _Y	溶接部に作用するモーメント (Y軸周り)	N・m
M _Z	溶接部に作用するモーメント (Z軸周り)	N・m
s	溶接脚長	mm
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
Z _X	溶接全断面におけるX軸方向の断面係数	mm ³
Z _Z	溶接全断面におけるZ軸方向の断面係数	mm ³
Z _p	溶接全断面におけるねじり断面係数	mm ³
Z _{p1}	サポートのねじり断面係数	mm ⁴
Z _{y1}	サポートの断面係数 (y軸)	mm ⁴
Z _{z1}	サポートの断面係数 (z軸)	mm ⁴
v	ポアソン比	—
π	円周率	—

記号	記号の説明	単位
σ_t	溶接部に生じる引張応力	MPa
σ_b	溶接部に生じる曲げ応力	MPa
σ_w	溶接部に生じる組合せ応力	MPa
τ	溶接部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
質量*1	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
断面係数	mm ³	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
断面二次 モーメント	mm ⁴	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

主蒸気管放射線モニタの耐震評価は、「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溶接部を選定して実施する。主蒸気管放射線モニ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. 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) 地震力は主蒸気管放射線モニタに対して、水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (2) 主蒸気管モニタは、溶接により天井の埋込金物に固定されるものとする。
- (3) 主蒸気管モニタの質量は、検出器、検出器取付金具、検出器用ウェル及びプレートを考慮する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

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

主蒸気管放射線モニ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 2-3 に示す。

4.2.2 許容応力

主蒸気管放射線モニタの許容応力を表 2-4 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

主蒸気管放射線モニタ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 2-5 に示す。

表 2-3 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
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	-*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	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 2-4 許容応力 (その他の支持構造物)

許容応力状態	許 容 限 界 ^{*1, *2} (ボルト以外)			
	一次応力			
	引張り	せん断	圧縮	曲げ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$

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 2-5 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		溶接部	<input type="text"/>	周囲環境温度	<input type="text"/>	170

4.3 解析モデル及び諸元

主蒸気管放射線モニタの解析モデルを図 2-2 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表 2-6、部材の機器要目を表 2-7 に示す。

- (1) 主蒸気管放射線モニタは、図 4-1 に示す 3 次元はりモデルとして考える。
- (2) 図 2-2 中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。
- (3) 図 2-2 中の ⊕ は検出器及び検出器取付金具の質量を示し、 m_a は 32kg である。
- (4) 図 2-2 中の実線は検出器用ウェルを示す。
- (5) 拘束条件として、基礎部の XYZ 方向及び回転方向を固定する。
- (6) 解析コードは、「NSAFE」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、添付書類「V-5-4 計算機プログラム（解析コード）の概要・HISAP及びNSAFE」に示す。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

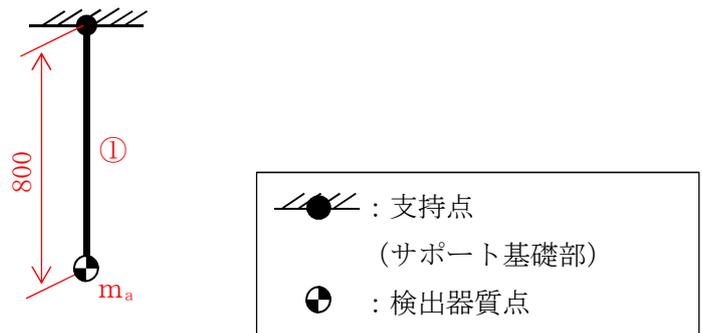


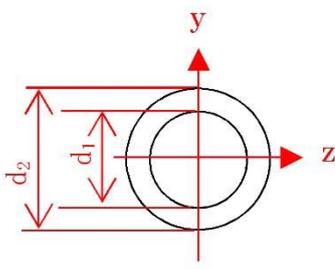
図 2-2 解析モデル

(単位：mm)

表 2-6 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m	kg	
温度条件 (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	

表 2-7 部材の機器要目

材料	STKR400
対象要素	①
A (mm ²)	1552
I _y (mm ⁴)	2.340 × 10 ⁵
I _z (mm ⁴)	2.340 × 10 ⁵
I _p (mm ⁴)	4.680 × 10 ⁵
Z _y (mm ³)	4.100 × 10 ³
Z _z (mm ³)	4.100 × 10 ³
Z _p (mm ³)	8.200 × 10 ³
断面形状	 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $d_1=105.3, d_2=114.3$ </div>

4.4 固有周期

固有値解析結果を表 2-8 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。

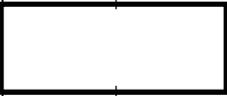
表2-8 固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1 次		水平

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。耐震評価に用いる設計用地震力を表 2-9 に示す。

表 2-9 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	鉛直	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 			$C_H=0.78$	$C_V=0.54$	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$

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 溶接部の応力

3次元はりモデルによる地震応答解析から溶接部の荷重を算出し、その結果を用いて手計算にて溶接部を評価する。

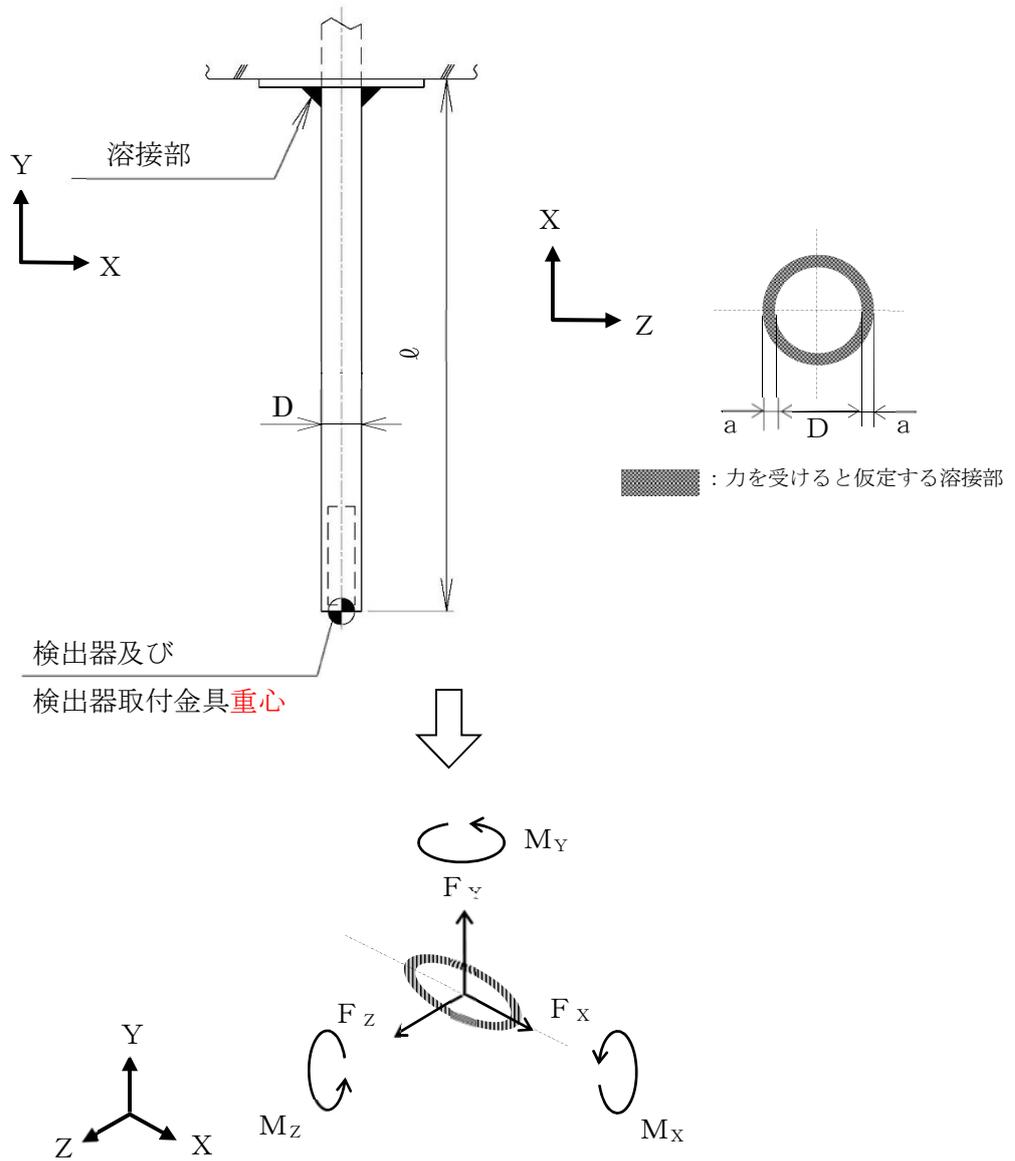


図 2-3 計算モデル (溶接部)

地震対応答解析によって得られた溶接部評価点の反力とモーメントを表 2-10 に示す。

表2-10 溶接部発生反力, モーメント

対象計器	反力(N)			モーメント(N・m)		
	F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
D17-N003A						
D17-N003B						
D17-N003C						
D17-N003D						

(1) 引張応力

溶接部に対する引張応力は、全溶接断面積で受けるものとして計算する。

引張応力 (σ_t)

$$\sigma_t = \frac{F_y}{A_w} \dots\dots\dots (4.6.1.1)$$

ここで、引張り力を受ける溶接部の有効断面積A_wは、次式により求める。

$$A_w = \frac{\pi}{4} \{(D+2 \cdot a)^2 - D^2\} \dots\dots\dots (4.6.1.2)$$

ただし、溶接部の有効のど厚 a は、

$$a = 0.7 \cdot s \dots\dots\dots (4.6.1.3)$$

(2) せん断応力

溶接部に対するせん断応力は、各方向の有効せん断面積で受けるものとして計算する。

せん断応力 (τ)

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{F_x}{A_{wx}} + \frac{M_y}{Z_p}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{A_{wz}} + \frac{M_y}{Z_p}\right)^2} \dots\dots\dots (4.6.1.4)$$

ここで、A_{wx}、A_{wz}はせん断力を受ける各方向の有効断面積、Z_pは溶接断面におけるねじり断面係数を示す。

A_{wx}、A_{wz}は、次式により求める。

$$A_{wx} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{4} \{(D+2 \cdot a)^2 - D^2\} \dots\dots\dots (4.6.1.5)$$

$$A_{wz} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{4} \{(D+2 \cdot a)^2 - D^2\} \dots\dots\dots (4.6.1.6)$$

(3) 曲げ応力

溶接部に対する曲げモーメントは、図4-2でX軸方向、Z軸方向に対する曲げモーメントを最も外側の溶接部で受けるものとして計算する。

曲げ応力 (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{M_x}{Z_x} + \frac{M_z}{Z_z} \dots\dots\dots (4.6.1.7)$$

Z_x , Z_z は溶接断面のX軸及びZ軸に関する断面係数を示す。

(4) 組合せ応力

溶接に対する組合せ応力は、各応力を足し合わせたものとして計算する。

$$\sigma_w = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + \tau^2} \dots\dots\dots (4.6.1.8)$$

4.7 計算条件

4.7.1 溶接部の応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【主蒸気管放射線モニタの耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 溶接部の応力評価

4.6.1項で求めた溶接部に発生する応力は、許容応力 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	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

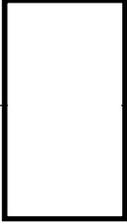
主蒸気管放射線モニタの電氣的機能維持評価について、以下に示す。

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。

主蒸気管放射線モニタの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、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-11 に示す。

表 2-11 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
主蒸気管放射線モニタ	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

主蒸気管放射線モニ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及び電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【主蒸気管放射線モニタの耐震性についての評価結果】

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	
主蒸気管放射線モニタ	S	原子炉建屋 []	[]		$C_H=0.78$	$C_V=0.54$	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$	[]

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。

1.2 機器要目

1.2.1 主蒸気管放射線モニタ

部材	ℓ (mm)	s (mm)	a (mm)	D (mm)	A_w (mm ²)	A_{wx} (mm ²)	A_{wz} (mm ²)	Z_x (mm ³)	Z_z (mm ³)	Z_p (mm ³)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
溶接部	[]										170	373	170	204

1.3 計算数値

1.3.1 溶接部に作用する力

(単位: N)

部材	F_x		F_y		F_z	
	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
溶接部	[]					

1.3.2 溶接部に作用するモーメント

(単位: N・m)

部材	M_x		M_y		M_z	
	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
溶接部	[]					

1.4 結論

1.4.1 溶接部の応力

(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
溶接部		引張り	$\sigma_t = 1$	$f_s = 98$	$\sigma_t = 2$	$f_s = 117$
		せん断	$\tau = 2$	$f_s = 98$	$\tau = 3$	$f_s = 117$
		曲げ	$\sigma_b = 22$	$f_s = 98$	$\sigma_b = 37$	$f_s = 117$
		組合せ	$\sigma_w = 23$	$f_s = 98$	$\sigma_w = 39$	$f_s = 117$

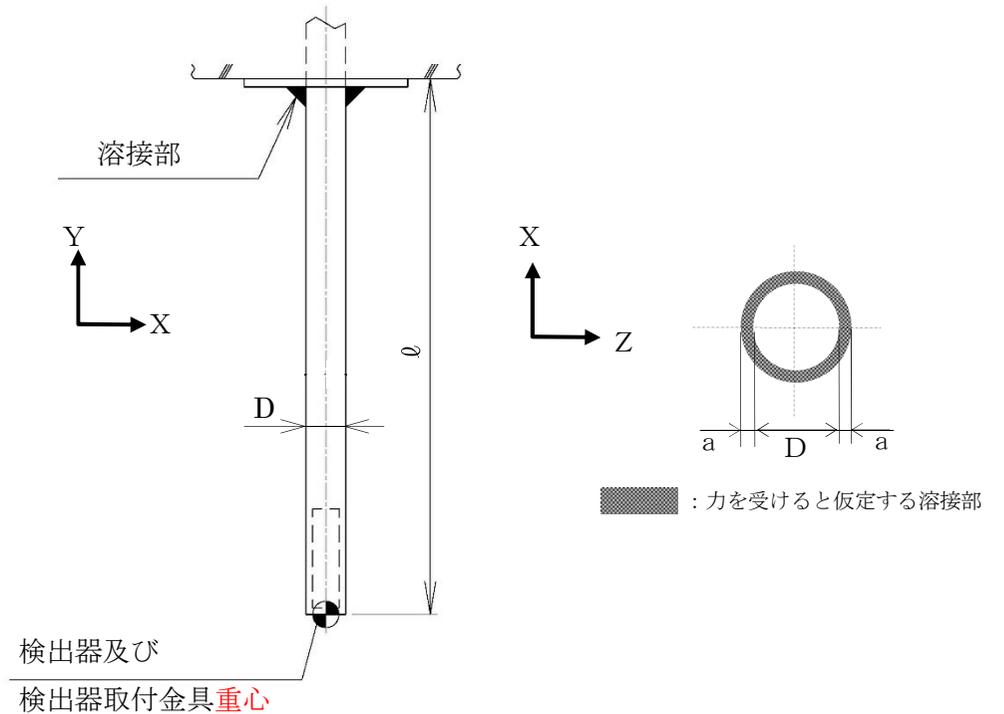
すべて許容応力以下である。

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
主蒸気管放射線モニタ	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

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-797 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-27 サプレッション・プール水温度の
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	4
2.3 適用基準	4
3. 評価部位	4
4. 機能維持評価	5
4.1 評価用加速度	5
4.2 機能確認済加速度	6
5. 評価結果	7
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	7
5.2 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」**にて設定している機能維持の設計方針に基づき、サプレッション・プール水温度が設計用地震力に対して十分な電氣的機能を有していることを説明するものである。

サプレッション・プール水温度は、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電氣的機能維持評価**を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

サプレッション・プール水温度の構造計画を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

表 2-1 構造計画（設計基準対象施設）

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>温度計は、温度計保護管内に設置し、温度計保護管は、温度計サポートを介して、溶接によりサブプレッショ</p> <p>ン・チェンバ内の壁に設置する。</p>	<p>測温抵抗体</p>	<p>【TE-T23-N001B, N001C, N002B, N002C, N003B, N003C, N007, N009, N011, N012, N013, N014】</p> <p>正面</p> <p>側面</p> <p>上面</p> <p>溶接部</p> <p>溶接部</p> <p>温度計サポート</p> <p>壁</p> <p>7700</p> <p>(単位：mm)</p>

表 2-2 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>温度計は、温度計保護管内に設置し、温度計保護管は、温度計サポートを介して、溶接によりコラムサポートに設置する。</p>	<p>測温抵抗体</p>	<p>【TE-T23- N004B, N004C, N005B, N005C, N006B, N006C, N015, N017, N019, N020, N021, N022, N030, N040, N050】</p> <p>正面</p> <p>側面</p> <p>上面</p> <p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

サプレッション・プール水温度の機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 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、「4. 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「5. 評価結果」に示す。

サプレッション・プール水温度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

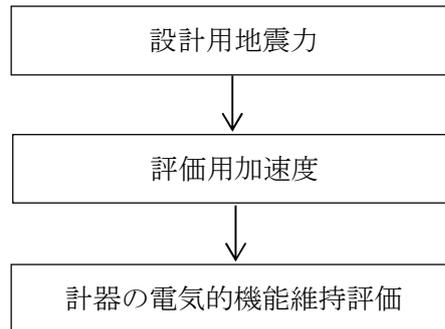


図 2-1 サプレッション・プール水温度の耐震評価フロー

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。

3. 評価部位

サプレッション・プール水温度は、サプレッション・チェンバ内の壁もしくはコラムサポートに直接取り付けられた温度計サポートに挿入され固定されることから、サプレッション・チェンバが支持している。サプレッション・チェンバの構造強度評価は添付書類「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」にて実施しているため、本計算書では、原子炉格納容器本体の地震応答解析結果を用いたサプレッション・プール水温度の電氣的機能維持評価について示す。

サプレッション・プール水温度の耐震評価箇所については、表 2-1 及び表 2-2 の概略構造図に示す。

4. 機能維持評価

4.1 評価用加速度

サブプレッション・プール水温度はサブプレッション・チェンバの壁もしくはコラムサポートに直接取り付けられた温度計サポートに挿入され固定されることから、評価用加速度は、基準地震動 S_s による地震力として添付書類「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格納容器及び原子炉本体基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。評価用加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価用加速度

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

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	評価用加速度
サブプレッション・プール水 温度	原子炉建屋 	水平	1.00
		鉛直	0.93

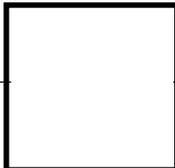
注記 * : 基準床レベルを示す。

4.2 機能確認済加速度

サプレッション・プール水温度の機能確認済加速度については以下に示す。

サプレッション・プール水温度の機能確認済加速度には、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
サプレッション・プール水温度	水平	
	鉛直	

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

サプレッション・プール水温度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。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり、設計用地震力に対して電氣的機能が維持されていることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電氣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

サプレッション・プール水温度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。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり、設計用地震力に対して電氣的機能が維持されていることを確認した。

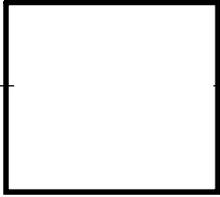
(1) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【サブプレッション・プール水温度の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象設備
 - 1.1 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
サブプレッション・プール水温度 (TE-T23-N001B~N006B) (TE-T23-N001C~N006C) (TE-T23-N007, N009) (TE-T23-N011~N015) (TE-T23-N017) (TE-T23-N019~N022)	水平方向	1.00	
	鉛直方向	0.93	

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。

∞

2. 重大事故等対処設備
 - 2.1 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
サブプレッション・プール水温度 (TE-T23-N030) (TE-T23-N040) (TE-T23-N050)	水平方向	1.00	
	鉛直方向	0.93	

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-798 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-12 残留熱除去系熱交換器入口温度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
3. 評価部位	3
4. 機能維持評価	4
4.1 評価用加速度	4
4.2 機能確認済加速度	5
5. 評価結果	6
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	6

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」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、残留熱除去系熱交換器入口温度が設計用地震力に対して十分な電氣的機能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入口温度は、設計基準対象施設においてはCクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設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電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系熱交換器入口温度の構造計画を表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>検出器は、残留熱除去系管に溶接された保護管に固定する。</p>	<p>熱電対</p>	

2.2 評価方針

残留熱除去系熱交換器入口温度の機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 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、「4. 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「5. 評価結果」に示す。

残留熱除去系熱交換器入口温度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

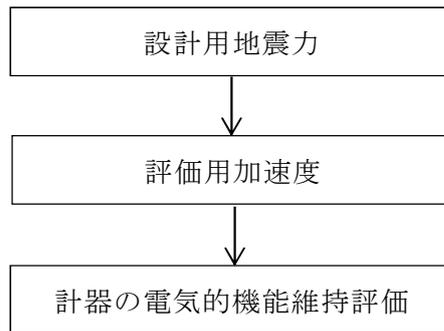


図 2-1 残留熱除去系熱交換器入口温度の耐震評価フロー

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。

3. 評価部位

残留熱除去系熱交換器入口温度は、残留熱除去系管に直接取り付けられた保護管に挿入され固定されることから、残留熱除去系管が支持している。残留熱除去系管の構造強度評価は添付書類「V-2-5-4-1-4 管の耐震性についての計算書」にて実施しているため、本計算書では、残留熱除去系管の地震応答解析結果を用いた残留熱除去系熱交換器入口温度の電氣的機能維持評価について示す。

残留熱除去系熱交換器入口温度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. 機能維持評価

4.1 評価用加速度

残留熱除去系熱交換器入口温度は残留熱除去系管に直接取り付けられた保護管に挿入されることから、評価用加速度は、基準地震動 S_s による地震力として添付書類「V-2-5-4-1-4 管の耐震性についての計算書」に示す重大事故等対処設備の地震応答解析で評価した残留熱除去系熱交換器入口温度取付部に相当する質点に生じる加速度及び添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく基準床レベルの加速度のうち厳しいほうを選択する。評価用加速度を表 4-1, 2 に示す。

表 4-1 評価用加速度（質点に生じる加速度）（ $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ ）

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	評価用加速度
残留熱除去系熱交換器 入口温度 (TE-E12-N004A)	原子炉建屋 []	水平	0.92
		鉛直	0.11
残留熱除去系熱交換器 入口温度 (TE-E12-N004B)	原子炉建屋 []	水平	0.31
		鉛直	0.21

表 4-2 評価用加速度（基準床レベルの加速度）（ $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ ）

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	評価用加速度
残留熱除去系熱交換器 入口温度	原子炉建屋 []	水平	1.13
		鉛直	0.99

注記 * : 基準床レベルを示す。

4.2 機能確認済加速度

残留熱除去系熱交換器入口温度の機能確認済加速度については以下に示す。

残留熱除去系熱交換器入口温度の機能確認済加速度には、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-3 に示す。

表 4-3 機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
残留熱除去系 熱交換器入口温度	水平	
	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

残留熱除去系熱交換器入口温度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。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり、設計用地震力に対して電氣的機能が維持されていることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱除去系熱交換器入口温度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 電氣的機能維持の評価結果

		(×9.8 m/s ²)	
		評価用加速度	機能確認済加速度
残留熱除去系熱交換器入口温度	水平方向	1.13	
	鉛直方向	0.99	

評価用加速度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-823 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-28 ドライウェル雰気温度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	5
2.3 適用基準	5
3. 評価部位	5
4. 機能維持評価	6
4.1 評価用加速度	6
4.2 機能確認済加速度	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」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、ドライウエル雰囲気温度が設計用地震力に対して十分な電氣的機能を有していることを説明するものである。

ドライウエル雰囲気温度は、重大事故等対処設備においては**常設重大事故防止設備**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電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ドライウエル雰囲気温度の構造計画を表 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>温度計は、計器固定金具に圧縮継手により固定する。</p> <p>計器固定金具は、溶接により原子炉本体の基礎（以下「ペDESTAL」という）に設置する。</p>	<p>熱電対</p>	<p>【TE-26-79.61A, B】</p> <p>(単位：mm)</p>

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>温度計は、計器固定金具に圧縮継手により固定する。</p> <p>計器固定金具は、溶接によりドライウェル内の架構に設置する。</p>	<p>熱電対</p>	<p>【TE-26-79.63A, B, TE-26-79.64A, B】</p> <p>(単位：mm)</p>

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>温度計は、計器固定金具に圧縮継手により固定する。</p> <p>計器固定金具は、溶接によりドライウェル内の架構に設置する。</p>	<p>熱電対</p>	<p>【TE-26-79.62A, B】</p> <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

ドライウエル雰囲気温度の機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 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、「4. 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「5. 評価結果」に示す。

ドライウエル雰囲気温度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

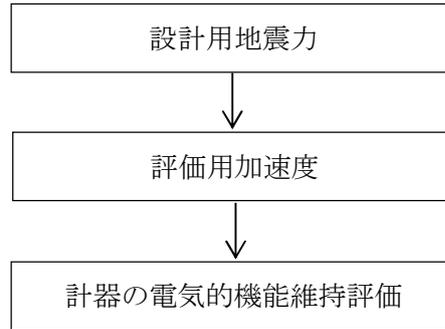


図 2-1 ドライウエル雰囲気温度の耐震評価フロー

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。

3. 評価部位

ドライウエル雰囲気温度は、計器固定金具に圧縮継手により固定され、計器固定金具は溶接によりドライウエル内の架構またはペDESTAL壁面に設置することから、ドライウエルまたはペDESTALが支持している。ドライウエル、ペDESTALの構造強度評価は添付書類「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」にて実施しているため、本計算書では、原子炉格納容器本体の地震応答解析結果を用いたドライウエル雰囲気温度の電氣的機能維持評価について示す。

ドライウエル雰囲気温度の耐震評価箇所については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 機能維持評価

4.1 評価用加速度

ドライウエル雰囲気温度はドライウエル内の架構またはペDESTAL壁面に直接取り付けられた計器固定金具に固定されることから、評価用加速度は、基準地震動 S_s による地震力として添付書類「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格納容器及び原子炉本体基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。評価用加速度を表4-1に示す。

表 4-1 評価用加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	評価用加速度
ドライウエル雰囲気温度 (TE-26-79. 61A, B)	原子炉建屋 	水平	1.17
		鉛直	0.98
ドライウエル雰囲気温度 (TE-26-79. 62A, B TE-26-79. 63A, B TE-26-79. 64A, B)	原子炉建屋 	水平	1.77
		鉛直	1.17

注記 * : 基準床レベルを示す。

4.2 機能確認済加速度

ドライウエル雰囲気温度の機能確認済加速度については以下に示す。

ドライウエル雰囲気温度の機能確認済加速度には、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
ドライウエル雰囲気温度 (TE-26-79. 61A, B TE-26-79. 62A, B TE-26-79. 63A, B TE-26-79. 64A, B)	水平	
	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

ドライウェル雰囲気温度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。
評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電氣的機能が維持されていることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【ドライウエル雰囲気温度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 電氣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
ドライウエル雰囲気温度 (TE-26-79.61A, B)	水平方向	1.17	
	鉛直方向	0.98	
ドライウエル雰囲気温度 (TE-26-79.62A, B TE-26-79.63A, B TE-26-79.64A, B)	水平方向	1.77	
	鉛直方向	1.17	

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-824 改1
提 出 年 月 日	平成30年8月16日

V-2-6-5-29 サプレッション・チェンバ雰囲気温度の
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
3.	評価部位	3
4.	機能維持評価	4
4.1	評価用加速度	4
4.2	機能確認済加速度	5
5.	評価結果	6
5.1	重大事故等対処設備としての評価結果	6

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・チェンバ雰囲気温度が設計用地震力に対して十分な電氣的機能を有していることを説明するものである。

サプレッション・チェンバ雰囲気温度は、重大事故等対処設備においては**常設重大事故防止設備**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電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

サプレッション・チェンバ雰囲気温度の構造計画を表 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>温度計は、計器固定金具に圧縮継手により固定する。</p> <p>計器固定金具は、溶接によりサプレッション・チェンバ内上部架構に設置する。</p>	<p>熱電対</p>	<p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

サプレッション・チェンバ雰囲気温度の機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを、「4. 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「5. 評価結果」に示す。

サプレッション・チェンバ雰囲気温度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

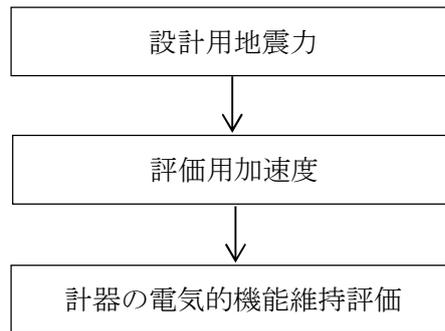


図 2-1 サプレッション・チェンバ雰囲気温度の耐震評価フロー

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 - 1 9 8 4 , J E A G 4 6 0 1 - 1 9 8 7 及び J E A G 4 6 0 1 - 1 9 9 1 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。

3. 評価部位

サプレッション・チェンバ雰囲気温度は、計器固定金具に圧縮継手により固定され、計器固定金具は溶接によりサプレッション・チェンバ内上部架構に設置することから、サプレッション・チェンバが支持している。サプレッション・チェンバの構造強度評価は添付書類「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」にて実施しているため、本計算書では、原子炉格納容器本体の地震応答解析結果を用いたサプレッション・チェンバ雰囲気温度の電気的機能維持評価について示す。

サプレッション・チェンバ雰囲気温度の耐震評価箇所については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 機能維持評価

4.1 評価用加速度

サプレッション・チェンバ雰囲気温度はサプレッション・チェンバ内上部架構に設置することから、評価用加速度は、基準地震動 S_s による地震力として添付書類「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格納容器及び原子炉本体基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。評価用加速度を表4-1に示す。

表4-1 評価用地震力 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	評価用加速度
サプレッション・チェンバ 雰囲気温度	原子炉建屋 	水平	1.00
		鉛直	0.93

注記 * : 基準床レベルを示す。

4.2 機能確認済加速度

サプレッション・チェンバ雰囲気温度の機能確認済加速度については以下に示す。

サプレッション・チェンバ雰囲気温度の機能確認済加速度には、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
サプレッション・チェンバ雰囲気温度	水平	
	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

サプレッション・チェンバ雰囲気温度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。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電氣的機能が維持されていることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【サプレッション・チェンバ雰囲気温度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 電氣的機能維持の評価結果

		評価用加速度	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
サプレッション・チェンバ雰囲気温度	水平方向	1.00	
	鉛直方向	0.93	

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-825 改2
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-36 西側淡水貯水設備水位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
4.1	基本方針	7
4.2	固有周期の算出方法	7
4.3	固有周期の算出結果	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
5.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	8
5.2.2	許容応力	8
5.2.3	使用材料の許容応力評価条件	8
5.3	設計用地震力	12
5.4	計算方法	13
5.4.1	応力の計算方法	13
5.4.1.1	基礎ボルトの計算方法	13
5.4.1.2	取付ボルトの計算方法	15
5.5	計算条件	17
5.5.1	基礎ボルトの応力計算条件	17
5.5.2	取付ボルトの応力計算条件	18
5.6	応力の評価	19
5.6.1	ボルトの応力評価	19
6.	機能維持評価	20
6.1	電氣的機能維持評価方法	20
7.	評価結果	21
7.1	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及び機能維持の設計方針に基づき、西側淡水貯水設備水位が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

西側淡水貯水設備水位は、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。重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

西側淡水貯水設備水位の構造計画を表 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>検出器は、計器取付ボルトによりベースに固定され、ベースは基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>電波式水位検出器</p>	<p>(単位:mm)</p>

2.2 評価方針

西側淡水貯水設備水位の応力評価は、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」にて示す西側淡水貯水設備水位の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で測定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。また、西側淡水貯水設備水位の機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 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. 評価結果」に示す。

西側淡水貯水設備水位の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

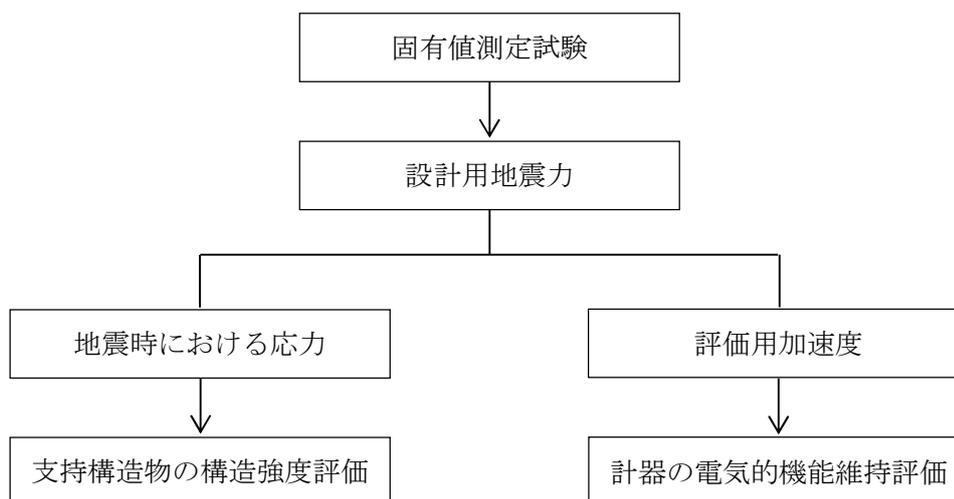


図 2-1 西側淡水貯水設備水位の耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準等を以下に示す。

- (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・補一1984, 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_{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	取付ボルトのピッチ円直径	mm
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
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_{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	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
L	支点としている基礎ボルトより最大引張応力がかかるボルトまでの距離	mm
l	重心と基礎ボルト間の水平方向距離	mm
m_i	検出器又は検出器+ベースの質量* ²	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	—
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°C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_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , h_i , n_i , n_{fi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , σ_{bi} , τ_{bi} の添え字 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: m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 検出器+ベース

$i = 2$: 検出器

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*2	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

西側淡水貯水設備水位の耐震評価は、「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実施する。

西側淡水貯水設備水位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 基本方針

西側淡水貯水設備水位の固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。

4.2 固有周期の算出方法

振動試験装置により固有振動数を測定する。西側淡水貯水設備水位の外形図を表 2-1 の構造計画に示す。

4.3 固有周期の算出結果

固有周期の算出結果を表 4-1 に示す。鉛直方向は固有周期が 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。また、水平方向は柔な領域に固有周期がないことから、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期(s)

水平	鉛直

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 西側淡水貯水設備水位の質量は、重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は西側淡水貯水設備水位に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 西側淡水貯水設備水位は取付ボルトでベースに固定されており、ベースは基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- (4) ボルトの配置については取付ボルトは円形配置とし、基礎ボルトは矩形配置とする。
- (5) 重心位置については、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。

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

西側淡水貯水設備水位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 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

西側淡水貯水設備水位の許容応力を表 5-2 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

西側淡水貯水設備水位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 5-3 に示す。

表 5-1 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
計測制御 系統施設	計測装置	西側淡水貯水設備水位	常設耐震／防止 常設／緩和	—*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：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 5-2 許容応力（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)	
	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 5-3 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 (i=1)		周囲環境温度		205	520	—
取付ボルト (i=2)		周囲環境温度		205	520	—

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

「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 5-4 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
常設代替高圧 電源装置置場 □	□		—	—	$C_H=0.81$	$C_V=0.71$

注記 *1：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

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、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。

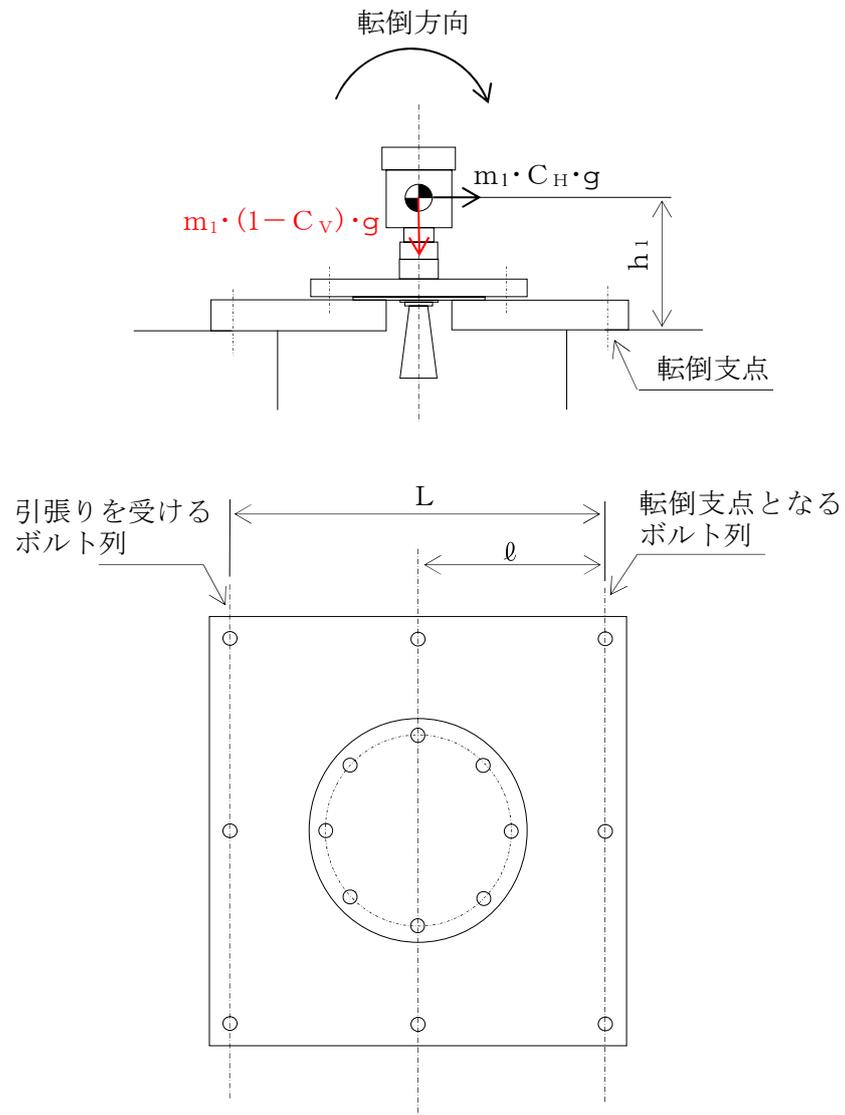


図 5-1 計算モデル

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図5-1に示すボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b1} = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g + m_1 \cdot (C_V - 1) \cdot \ell \cdot g}{n_{f1} \cdot L} \dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_{b1} は次式により求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots (5.4.1.1.3)$$

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

基礎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

$$Q_{b1} = m_1 \cdot C_H \cdot g \dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \dots (5.4.1.1.5)$$

5.4.1.2 取付ボルトの計算方法

取付ボルトの応力は、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。

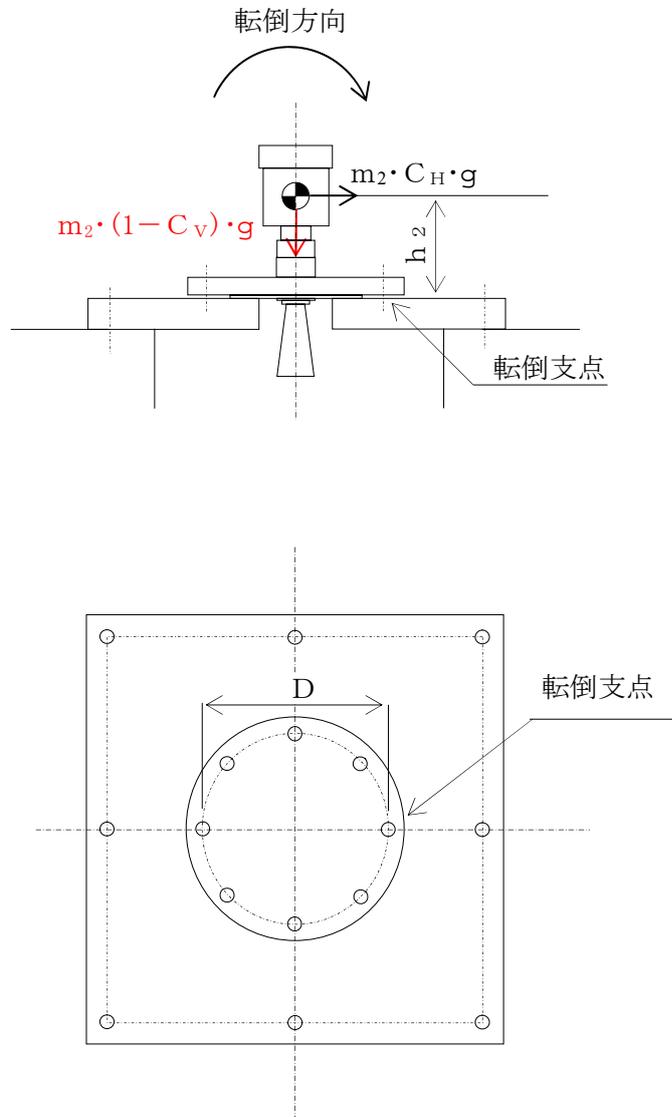


図 5-2 計算モデル

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は、図5-2に示すボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b2} = \frac{8}{3D} \cdot \frac{m_2 \cdot C_H \cdot h_2 \cdot g + m_2 \cdot (C_V - 1) \cdot 0.5 \cdot D \cdot g}{n_{f2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

ここで、取付ボルトの軸断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

(2) せん断応力

取付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

$$Q_{b2} = m_2 \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる数値を表 5-5 に示す。

表 5-5 基礎ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	—	—	
温度条件（周囲環境温度）	—	℃	
ボルトの呼び径	d_1	mm	
検出器+ベースの質量	m_1	kg	
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
据付面から重心までの距離	h_1	mm	
重心とボルト間の水平方向距離	ℓ	mm	
支点としているボルトより最大引張応力がかかるボルトまでの距離	L	mm	
ボルトの本数	n_1	—	
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	n_{f1}	—	3

5.5.2 取付ボルトの応力計算条件

取付ボルトの応力計算に用いる数値を表 5-6 に示す。

表 5-6 取付ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	—	—	
温度条件（周囲環境温度）	—	℃	
ボルトの呼び径	d_2	mm	
検出器の質量	m_2	kg	
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
取付面から重心までの距離	h_2	mm	
取付ボルトのピッチ円直径	D	mm	
ボルトの本数	n_2	—	
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	n_{f2}	—	8

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。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

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。

	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}	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

西側淡水貯水設備水位計の電氣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。

西側淡水貯水設備水位計の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、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

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 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
西側淡水貯水設備水位	水平	□
	鉛直	

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

西側淡水貯水設備水位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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【西側淡水貯水設備水位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		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	
西側淡水貯水設備水位	常設耐震/防止 常設/緩和	常設代替高压電源 装置置場			-	-	$C_H=0.81$	$C_V=0.71$	

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 西側淡水貯水設備水位

部 材	m_i (kg)	h_i (mm)	ϕ (mm)	L (mm)	D (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (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)								3	205	520	246	-	-
取付ボルト (i=2)								8	205	520	246	-	-

1.3 計算数値

1.3.1 基礎ボルト, 取付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	—	—	—	$f_{ts1}^* = 147$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = 1$	$f_{sb1} = 113$
取付ボルト	[]	引張り	—	—	$\sigma_{b2} = 0$	$f_{ts2}^* = 184$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = 0$	$f_{sb2} = 142$

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

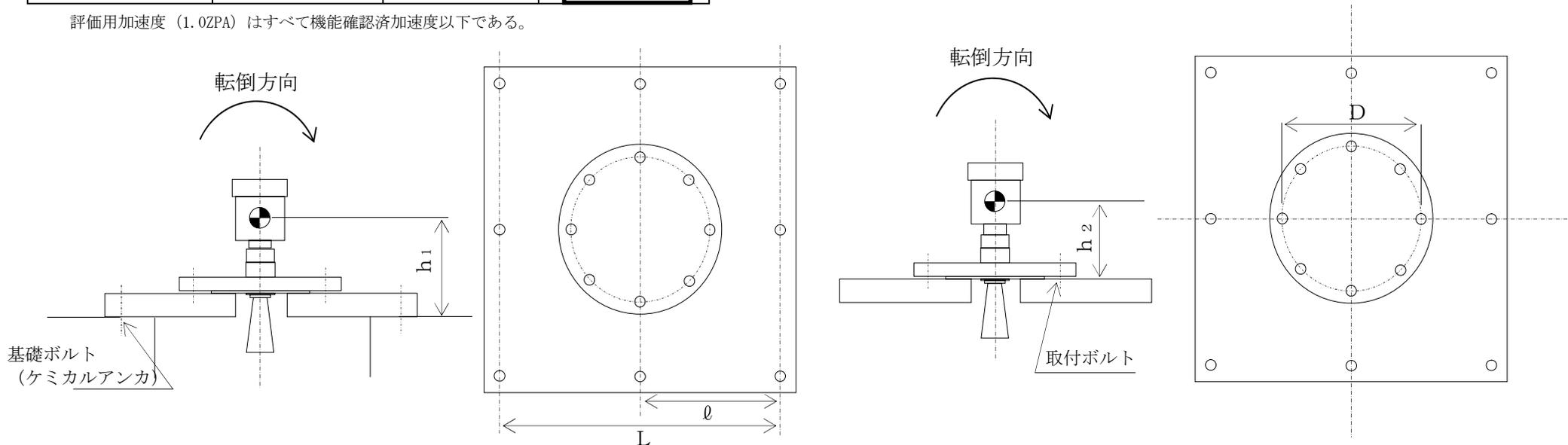
1.4.2 電気的機能維持の評価結果

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

		評価用加速度	機能確認済加速度
西側淡水貯水設備水位	水平方向	0.68	[]
	鉛直方向	0.59	[]

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。

23



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-827 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-7-19 常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力の耐震性
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
3.	固有周期	3
3.1	固有周期	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	電氣的機能維持評価方法	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吐出圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣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吐出圧力は、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電氣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吐出圧力の構造計画を表 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>検出器は、計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。</p> <p>計装ラックは、基礎に埋め込まれたチャンネルベースにラック取付ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器</p>	<p>(単位：mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力の固有周期は、構造が同様な計装ラックに対する打診試験の結果から、剛とする。固有周期を表 3-1 に示す。

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吐出圧力の構造は直立形計装ラックであるため、構造強度評価は、添付書類「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」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吐出圧力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

常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力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 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	その他の 計測制御 設備	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	— *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：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 4-2 許容応力（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)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t * 1.5・f _s *	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_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	$S_{yi}(RT)$ (MPa)
取付ボルト ($i=2$)		周囲環境温度	225	385	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

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吐出圧力	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吐出圧力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電氣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

電氣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吐出圧力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		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 ポンプ吐出圧力	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 []	[]	[]	—	—	$C_H=0.96$	$C_V=0.92$	[]

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i}^* (mm)	l_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^*
取付ボルト ($i=2$)	[]						6
	[]						2

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
取付ボルト ($i=2$)	225	385	—	270	—	長辺方向

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
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	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
取付ボルト ($i=2$)	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=9$	$f_{ts2}=202^*$
	せん断	—	—	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=155$

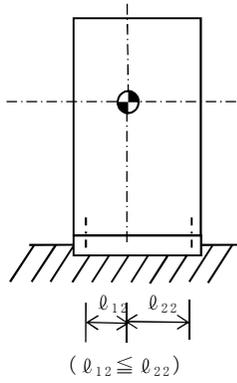
すべて許容応力以下である。

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

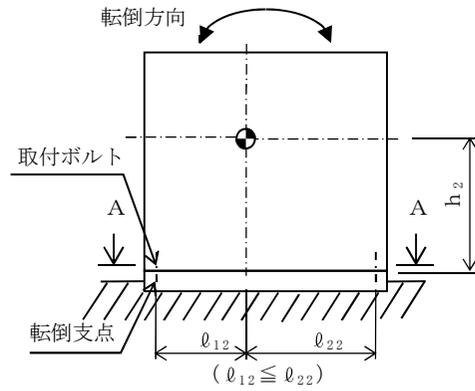
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s²)

		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吐出圧力	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

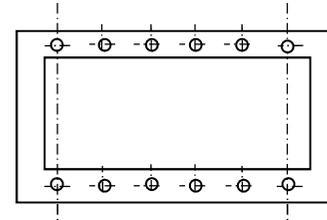
評価用加速度 (1.0ZPA) は機能確認済加速度以下である。



側面 (短辺方向)



正面 (長辺方向)



A~A矢视图

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-829 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-14 原子炉隔離時冷却系系統流量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
4.1 固有値解析方法	7
4.2 解析モデル及び諸元	7
4.3 固有値解析結果	9
5. 構造強度評価	10
5.1 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	14
5.4 計算方法	15
5.5 計算条件	17
5.6 応力の評価	18
6. 機能維持評価	19
6.1 電氣的機能維持評価方法	19
7. 評価結果	20
7.1 設計基準対象施設としての評価結果	20
7.2 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、原子炉隔離時冷却系系統流量が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣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系統流量は、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及び電氣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系統流量の構造計画を表 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>検出器は、計器取付ボルトにより計器スターションに取り付けられた計器取付板に固定される。</p> <p>計器スターションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器</p>	<p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

原子炉隔離時冷却系系統流量の応力評価は、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」にて示す原子炉隔離時冷却系系統流量の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」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。また、原子炉隔離時冷却系系統流量の機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.3 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. 評価結果」に示す。

原子炉隔離時冷却系系統流量の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

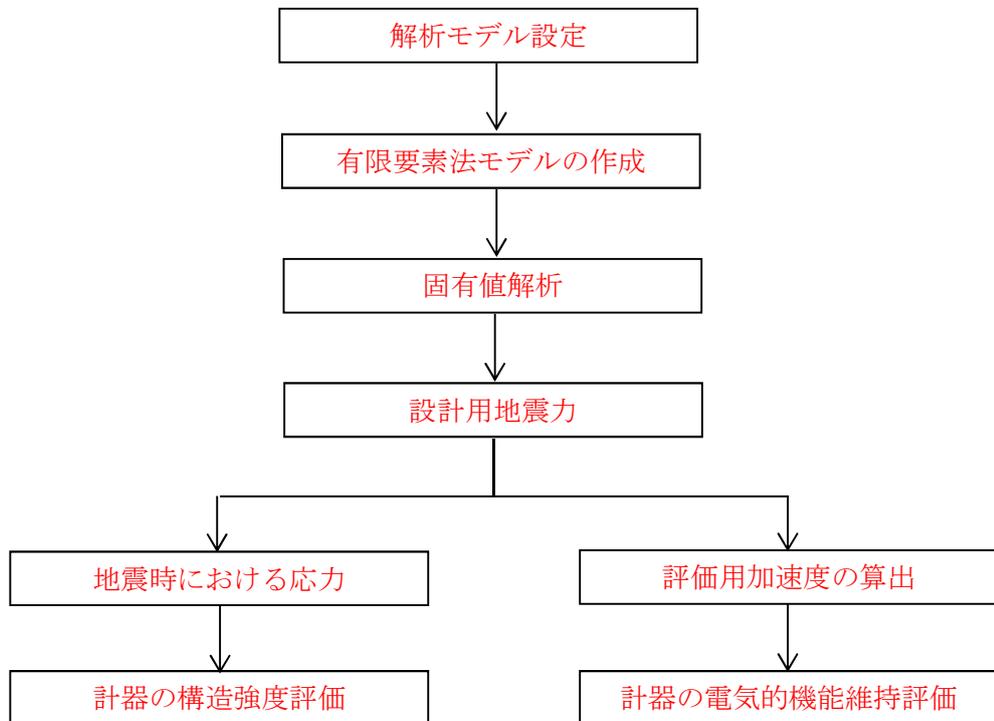


図 2-1 原子炉隔離時冷却系系統流量の耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準等を以下に示す。

- (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	サポート断面積	mm ²
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
E	縦弾性係数	MPa
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本当たり)	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本当たり) (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本当たり) (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 ₂	取付面から重心までの距離 (壁掛形)	mm
I _p	サポートの断面二次極モーメント	mm ⁴
I _y	サポートの断面二次モーメント (y 軸)	mm ⁴
I _z	サポートの断面二次モーメント (z 軸)	mm ⁴
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	検出器及びサポート鋼材の総質量	kg
m _a	検出器の質量	kg
n	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
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	—

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 Part 5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
Z_p	サポートのねじり断面係数	mm ³
Z_y	サポートの断面係数 (y 軸)	mm ³
Z_z	サポートの断面係数 (z 軸)	mm ³
ν	ポアソン比	—
π	円周率	MPa
σ_b	ボルトに生じる引張応力	
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	—

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*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

原子炉隔離時冷却系系統流量の耐震評価は、「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部について実施する。原子炉隔離時冷却系系統流量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 固有値解析方法

原子炉隔離時冷却系系統流量の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 原子炉隔離時冷却系系統流量は、4.2 解析モデル及び諸元に示す 3 次元はりモデルとして考える。

4.2 解析モデル及び諸元

原子炉隔離時冷却系系統流量の解析モデルを図 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 4-1、部材の機器要目を表 4-2 に示す。

- (1) 図 4-1 中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。
- (2) 図 4-1 中の ⊕ は検出器質点を示し、 m_a は 10 kg である。
- (3) 図 4-1 中の実線はサポート鋼材，点線は仮想鋼材を示す。
- (4) 拘束条件として、基礎部の X Y Z 方向及び回転方向を固定する。
- (5) 解析コードは、「NSAFE」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、添付書類「V-5-4 計算機プログラム（解析コード）の概要 ・ HISAP 及び NSAFE」に示す。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

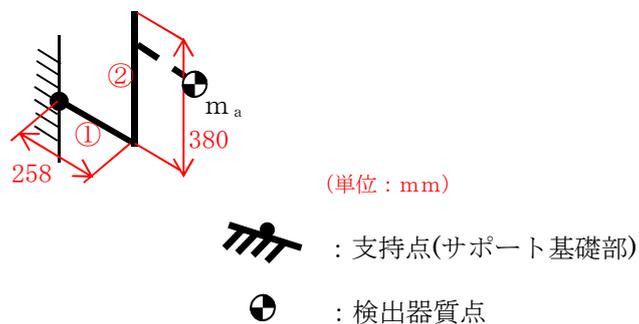


図 4-1 解析モデル

表4-1 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m_a	kg	
温度条件 (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	

表 4-2 部材の機器要目

材料	
対象要素	①-②
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	

NT2 補① V-2-6-5-14 R1

4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-3 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ため、固有周期の算出は省略した。

表4-3 固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1 次	<input type="text"/>	水平

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.2 項(1)～(6)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、原子炉隔離時冷却系系統流量に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

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

原子炉隔離時冷却系系統流量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

原子炉隔離時冷却系系統流量の許容応力を表 5-3 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉隔離時冷却系系統流量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 系統施設	計測装置	原子炉隔離時冷却系 系統流量	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 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	計測装置	原子炉隔離時冷却系 系統流量	常設耐震／防止	—*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 5-3 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)	
	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 5-4 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 (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト		周囲環境温度		234	385	—

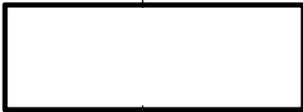
表 5-5 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		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		234	385	—

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。耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

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)	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 			$C_H=0.52$	$C_V=0.48$	$C_H=0.96$	$C_V=0.92$

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 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)	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 			—	—	$C_H=0.96$	$C_V=0.92$

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。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、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。

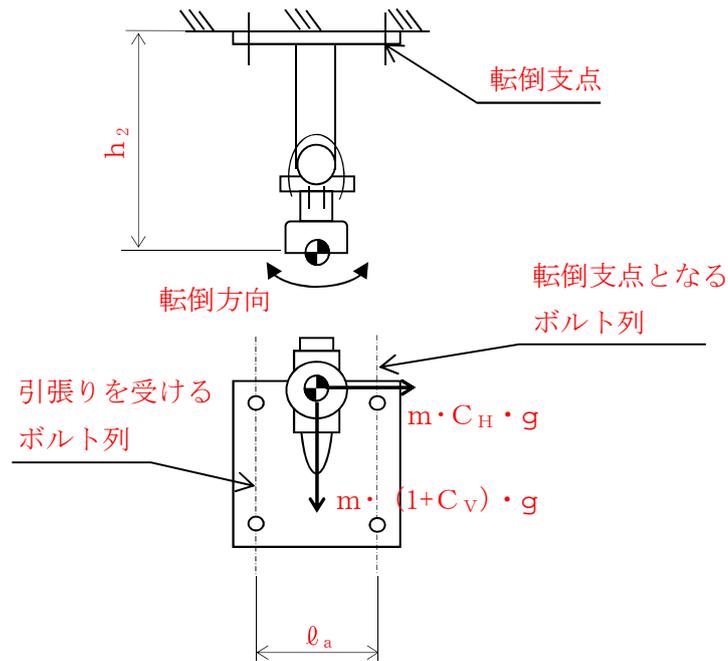


図5-1(1) 計算モデル
(壁掛形 水平方向転倒の場合)

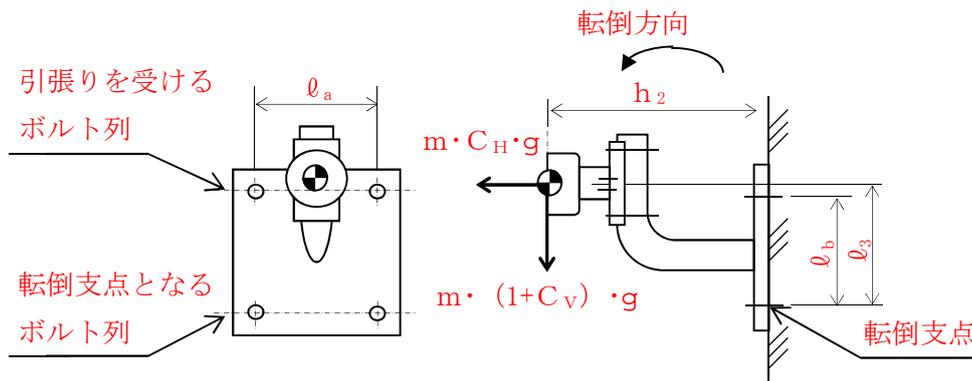


図5-1(2) 計算モデル
(壁掛形 鉛直方向転倒の場合)

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図5-1で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の基礎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5-1 (1)の場合の引張力

$$F_{b1} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot h_2}{n_{fH} \cdot \ell_a} + \frac{(1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot \ell_b} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

計算モデル図5-1 (2)の場合の引張力

$$F_{b2} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot \ell_3 + (1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot \ell_b} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

引張応力 (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎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)

$$Q_{b1} = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V) \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

せん断応力 (τ_b)

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.9)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉隔離時冷却系系統流量の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4.1.1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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots \dots \dots (5.6.1.1)$$

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. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

原子炉隔離時冷却系系統流量の電氣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。

原子炉隔離時冷却系系統流量の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、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

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 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉隔離時冷却系 系統流量	水平	□
	鉛直	

7. 評価結果

7.1 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系統流量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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

7.2 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系統流量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電氣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

電氣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系統流量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	
原子炉隔離時冷却系 系統流量	S	原子炉建屋 <input type="text"/>	<input type="text"/>		$C_H=0.52$	$C_V=0.48$	$C_H=0.96$	$C_V=0.92$	<input type="text"/>

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。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉隔離時冷却系系統流量

部 材	m (kg)	h_2 (mm)	l_3 (mm)	l_a (mm)	l_b (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{FV}	n_{FH}
基礎ボルト	<input type="text"/>							2	2

21

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	234	385	234	269	水平方向	水平方向

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	<input type="text"/>			

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	$\sigma_b=5$	$f_{ts}=140^*$	$\sigma_b=6$	$f_{ts}=161^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=108$	$\tau_b=2$	$f_{sb}=124$

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

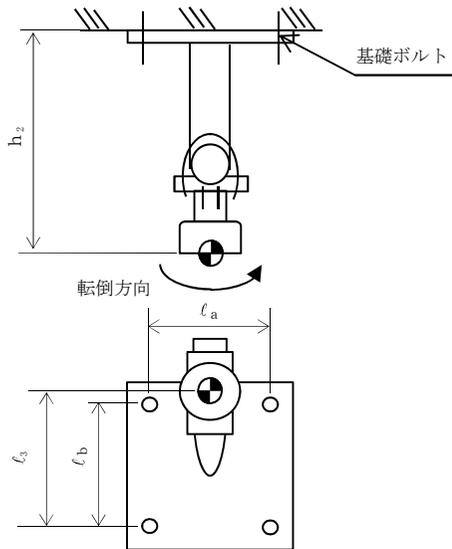
1.4.2 電気的機能維持の評価結果

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

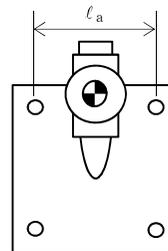
		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉隔離時冷却系 系統流量	水平方向	0.80	[]
	鉛直方向	0.77	[]

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。

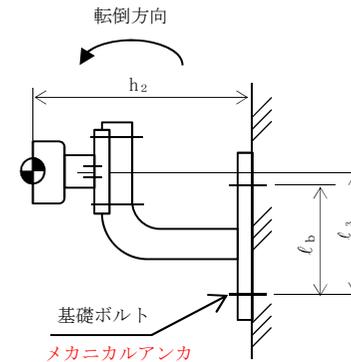
22



正面 (水平方向)



側面 (鉛直方向)



【原子炉隔離時冷却系系統流量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		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 系統流量	常設/耐震	原子炉建屋 []	[]		-	-	$C_H=0.96$	$C_V=0.92$	[]

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。

2.2 機器要目

2.2.1 原子炉隔離時冷却系系統流量

部材	m (kg)	h_2 (mm)	l_3 (mm)	l_a (mm)	l_b (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{FV}	n_{FH}
基礎ボルト	[]							2	2

23

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	234	385	-	269	-	水平方向

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	—	—	$\sigma_b=6$	$f_{ts}=161^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=124$

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

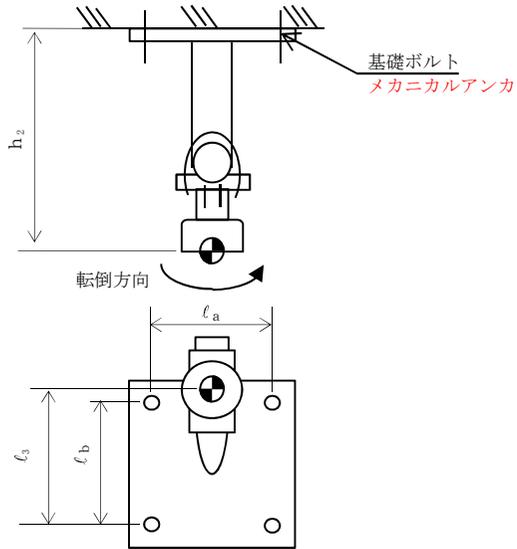
2.4.2 電氣的機能維持の評価結果

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

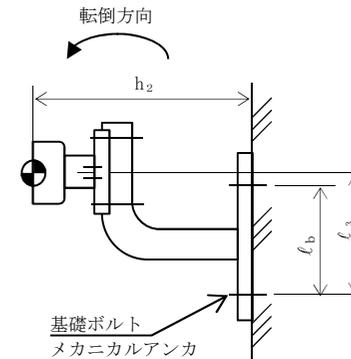
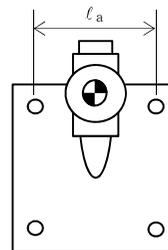
		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉隔離時冷却系 系統流量	水平方向	0.80	□
	鉛直方向	0.77	

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。

24



正面 (水平方向)



側面 (鉛直方向)

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-841 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-17 残留熱除去系系統流量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. 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 電氣的機能維持評価方法	7
6. 評価結果	8
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
6.2 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、残留熱除去系系統流量が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

残留熱除去系系統流量は、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及び電氣的機能維持評価を示す。

なお、本計算書については、取付ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。評価対象を表1-1に示す。

表1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
FT-E12-N015A FT-E12-N015B FT-E12-N015C（代表）	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	表2-1 構造計画

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系系統流量の構造計画を表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>検出器は、計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。</p> <p>計装ラックは、基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器</p>	<p>【H22-P021B (FT-E12-N015C)】</p> <p>計装ラック</p> <p>取付ボルト</p> <p>基礎</p> <p>正面</p> <p>チャンネルベース</p> <p>検出器</p> <p>取付板</p> <p>計器取付ボルト</p> <p>側面</p> <p>(単位：mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

残留熱除去系系統流量の固有周期は、構造が同様な計装ラックに対する打振試験の結果から、剛とする。固有周期を表 3-1 に示す。

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

残留熱除去系系統流量の構造は直立形計装ラックであるため、構造強度評価は、添付書類「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」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

残留熱除去系系統流量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

残留熱除去系系統流量の許容応力を表 4-3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去系系統流量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 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	計測装置	残留熱除去系 系統流量	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	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* 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	計測装置	残留熱除去系 系統流量	常設／防止	—* 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／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。

*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)	
	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 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_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	$S_{yi}(RT)$ (MPa)
取付ボルト (i=2)		周囲環境温度		235	400	—

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_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	$S_{yi}(RT)$ (MPa)
取付ボルト (i=2)		周囲環境温度		225	385	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

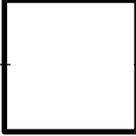
残留熱除去系系統流量の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「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」に記載の評価方法に基づき評価する。

残留熱除去系系統流量の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
残留熱除去系 系統流量	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

残留熱除去系系統流量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電氣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

電氣的機能維持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

残留熱除去系系統流量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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱除去系系統流量計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	
残留熱除去系 系統流量	S	原子炉建屋 []	[]		$C_H=0.58$	$C_V=0.48$	$C_H=0.96$	$C_V=0.92$	[]

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 残留熱除去系系統流量

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i}^* (mm)	l_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^*
取付ボルト ($i=2$)	[]						4
	[]						2

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
取付ボルト ($i=2$)	235	400	235	280	長辺方向	長辺方向

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
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
取付ボルト ($i=2$)		引張り	$\sigma_{b2}=6$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=14$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

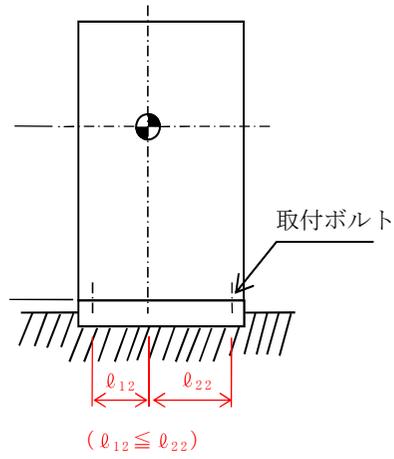
注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

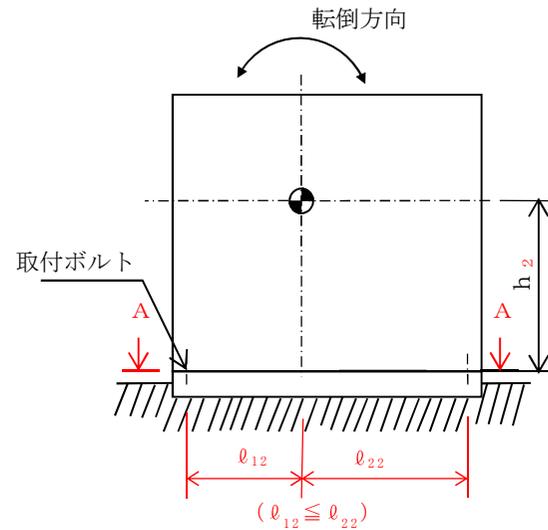
($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
残留熱除去系 系統流量	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

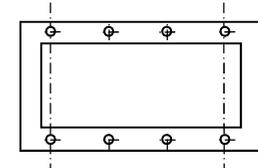
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



側面 (短辺方向)



正面 (長辺方向)



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	
残留熱除去系 系統流量	常設/防止	原子炉建屋			—	—	$C_H=0.96$	$C_V=0.92$	

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 残留熱除去系系統流量

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i}^* (mm)	l_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^*
取付ボルト ($i=2$)							4
							2

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
取付ボルト ($i=2$)	225	385	—	270	—	長辺方向

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
取付ボルト ($i=2$)				

NT2 補② V-2-6-5-17 R1

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
取付ボルト (i=2)	□	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=14$	$f_{ts2}=202^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=155$

すべて許容応力以下である。

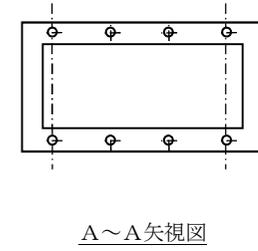
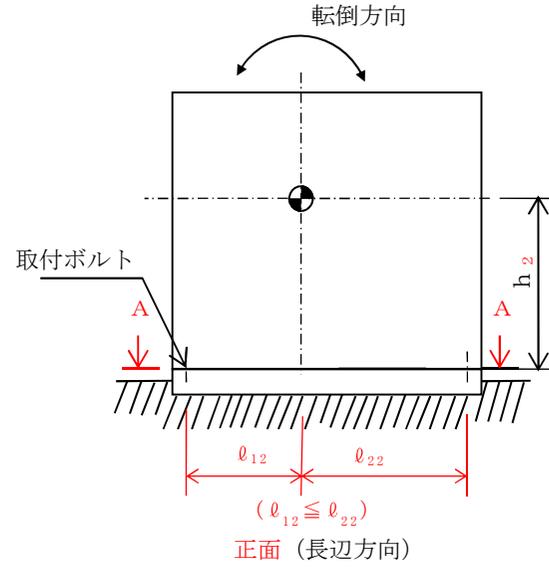
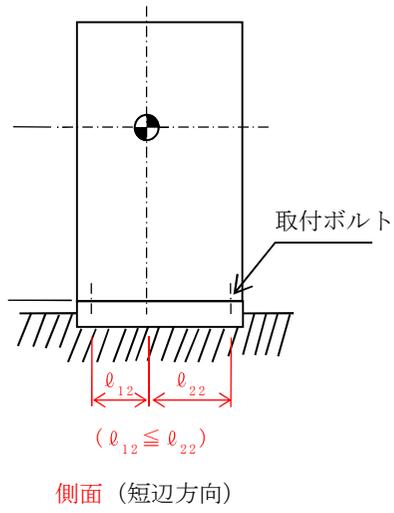
注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t_{oi}} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t_{oi}}]$ より算出

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
残留熱除去系 系統流量	水平方向	0.80	□
	鉛直方向	0.77	

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-936 改1
提 出 年 月 日	平成30年8月16日

V-2-6-7-12 静的触媒式水素再結合器動作監視装置の
耐震性についての計算書

目 次

1. 静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）	1
1.1 概要	1
1.2 一般事項	1
1.2.1 構造計画	1
1.2.2 評価方針	3
1.2.3 適用基準	4
1.2.4 記号の説明	5
1.2.5 計算精度と数値の丸め方	6
1.3 評価部位	7
1.4 地震応答解析及び構造強度評価	7
1.4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	7
1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力	7
1.4.3 解析モデル及び諸元	11
1.4.4 固有周期	14
1.4.5 設計用地震力	15
1.4.6 計算方法	16
1.4.7 計算条件	18
1.4.8 応力の評価	18
1.5 機能維持評価	19
1.5.1 静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の電氣的機能維持評価方法	19
1.6 評価結果	20
1.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	20
2. 静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）	23
2.1 概要	23
2.2 一般事項	23
2.2.1 構造計画	23
2.2.2 評価方針	25
2.2.3 適用基準	26
2.3 評価部位	27
2.4 機能維持評価	28
2.4.1 評価用加速度	28
2.4.2 機能確認済加速度	29
2.5 評価結果	30
2.5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	30

1. 静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）

1.1 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、静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能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動作監視装置（入口温度）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、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1 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>検出器は、検出器固定金具にて圧縮継手によりサポート鋼材に固定する。</p> <p>サポート鋼材は、基礎ボルトにより壁面に設置する。</p>	<p>測温抵抗体</p>	<p>【TE-SA16-N001A, N001B】</p> <p>(単位：mm)</p>

1.2.2 評価方針

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）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、「1.2.1 構造計画」にて示す静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の部位を踏まえ「1.3 評価部位」にて設定する箇所において、「1.4.3 解析モデル及び諸元」及び「1.4.4 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、「1.4 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「1.6 評価結果」に示す。

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の耐震評価フローを図1-1に示す。

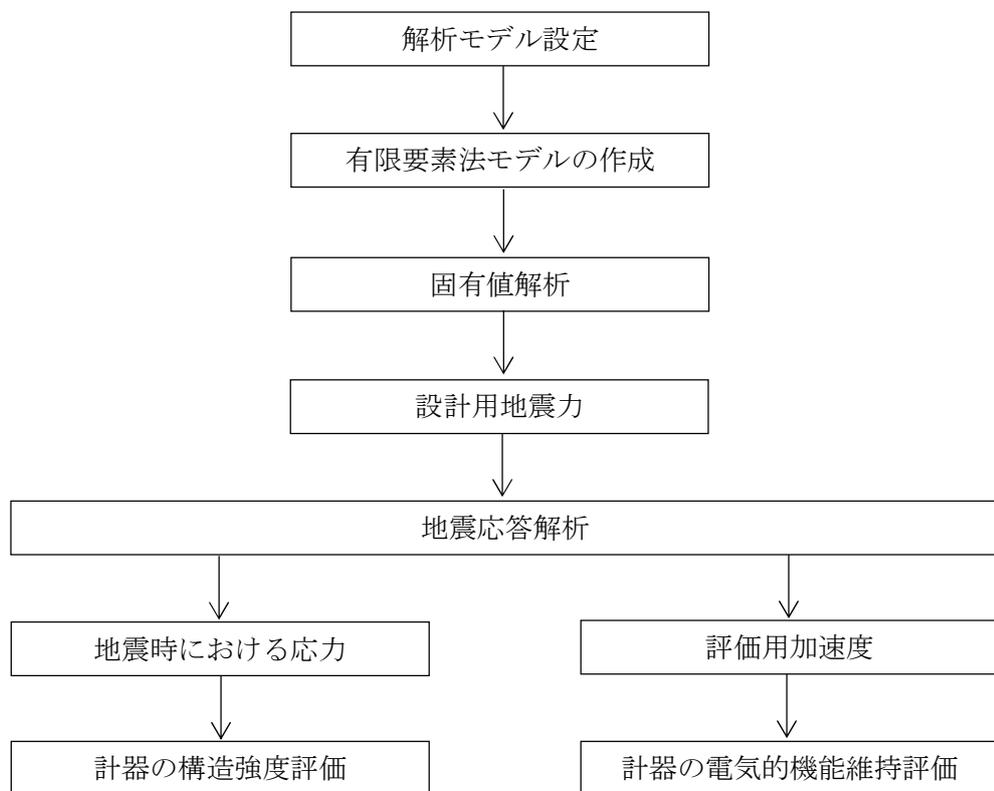


図1-1 静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の耐震評価フロー

1.2.3 適用基準

適応基準等を以下に示す。

- (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。）

1.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	サポートの断面積	mm²
A _b	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	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F [*]	設計・建設規格 SSB-3131 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 (1本当たり)	N
F _X	サポート基礎部に作用する力 (X方向)	N
F _Y	サポート基礎部に作用する力 (Y方向)	N
F _Z	サポート基礎部に作用する力 (Z方向)	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
I_p	サポートの断面二次極モーメント	mm⁴
I_y	サポートの断面二次モーメント (y 軸)	mm⁴
I_z	サポートの断面二次モーメント (z 軸)	mm⁴
ℓ	検出器及び検出器固定金具の 重心 までの距離	mm
ℓ ₁	ボルト間距離 (水平方向)	mm
ℓ ₂	ボルト間距離 (鉛直方向)	mm
ℓ ₃	ボルト間距離 (水平方向と鉛直方向の小さい方)	mm
m_a	検出器及び検出器固定金具の質量	kg
M _X	サポート基礎部に作用するモーメント (X軸周り)	N・m
M _Y	サポート基礎部に作用するモーメント (Y軸周り)	N・m
M _Z	サポート基礎部に作用するモーメント (Z軸周り)	N・m
n	基礎ボルトの本数	—
n _Y	M _Y の引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	—
n _Z	M _Z の引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	—
Q _b	基礎ボルトに作用するせん断力 (1本当たり)	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
Z_p	サポートのねじり断面係数	mm⁴
Z_y	サポートの断面係数 (y 軸)	mm⁴
Z_z	サポートの断面係数 (z 軸)	mm⁴
ν	ポアソン比	—
π	円周率	—
σ _b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ _b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

1.2.5 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1-2に示すとおりとする。

表1-2 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*1	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。

1.3 評価部位

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の耐震評価は、「1.4.1 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基礎ボルトについて実施する。静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の耐震評価箇所については、表 1-1 の概略構造図に示す。

1.4 地震応答解析及び構造強度評価

1.4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 地震力は静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）に対して、水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (2) 静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）は、壁面に基礎ボルトで固定されるものとする。
- (3) 静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の質量は、検出器、検出器固定金具、圧縮継手及びサポート鋼材を考慮する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を用いる。

1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1 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動作監視装置（入口温度）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 1-3 に示す。

1.4.2.2 許容応力

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の許容応力を表 1-4 に示す。

1.4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）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 1-5 に示す。

表 1-3 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	その他の 計測制御設備	静的触媒式水素再結合器 動作監視装置（入口温度）	常設／緩和	—*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：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 1-4 許容応力（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)	
	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 1-5 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 (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		221	373	—

1.4.3 解析モデル及び緒元

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の解析モデルを図1-2に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表1-5、部材の機器要目を表1-6に示す。

- (1) 静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）は、図1-2に示す3次元はりモデルとして考える。
- (2) 図1-2中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。
- (3) 図1-2中の⊙は検出器及び検出器固定金具の質点を示し、 m_a は1kgである。
- (4) 図1-2中の実線はサポート鋼材、点線は仮想鋼材を示す。
- (5) 拘束条件として、基礎部のXYZ方向及び回転方向を固定する。
- (6) 解析コードは、「NSAFE」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-5-4 計算機プログラム（解析コード）の概要・HISAP及びNSAFE」に示す。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

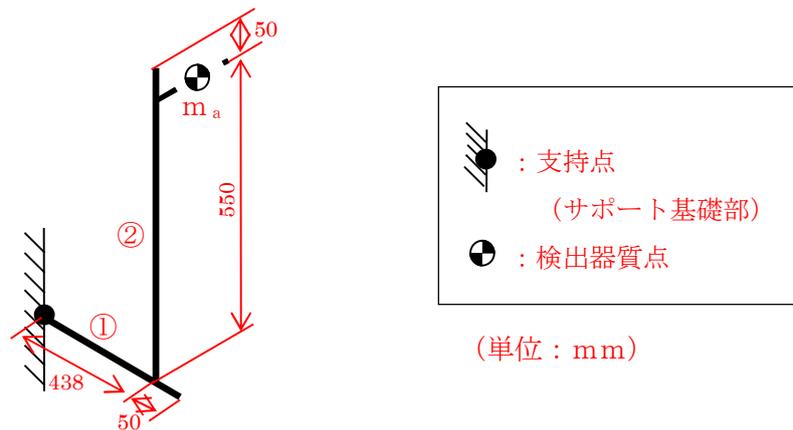
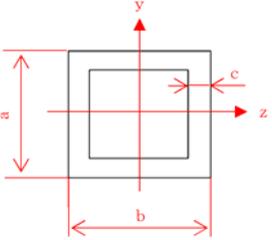
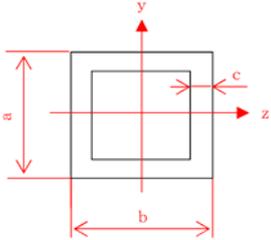


図1-2 静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）解析モデル

表1-5 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

表 1-6 部材の機器要目

材料		
対象要素	①	②
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	 <p data-bbox="756 1122 1005 1205">100×100×6 (a × b × c)</p>	 <p data-bbox="1099 1122 1348 1205">75×75×4.5 (a × b × c)</p>

1.4.4 固有周期

固有値解析結果を表 1-7 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。

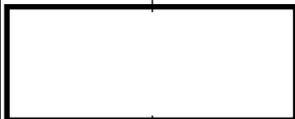
表1-7 固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1 次		水平

1.4.5 設計用地震力

「基準地震動 S_s 」による地震力については、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表1-8に示す。

表1-8 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 			—	—	$C_H=2.09$	$C_V=1.77$

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。

1.4.6 計算方法

1.4.6.1 基礎ボルトの応力

3次元はりモデルによる地震応答解析からサポート基礎部の荷重を算出し、その結果を用いて手計算にて基礎ボルトを評価する。

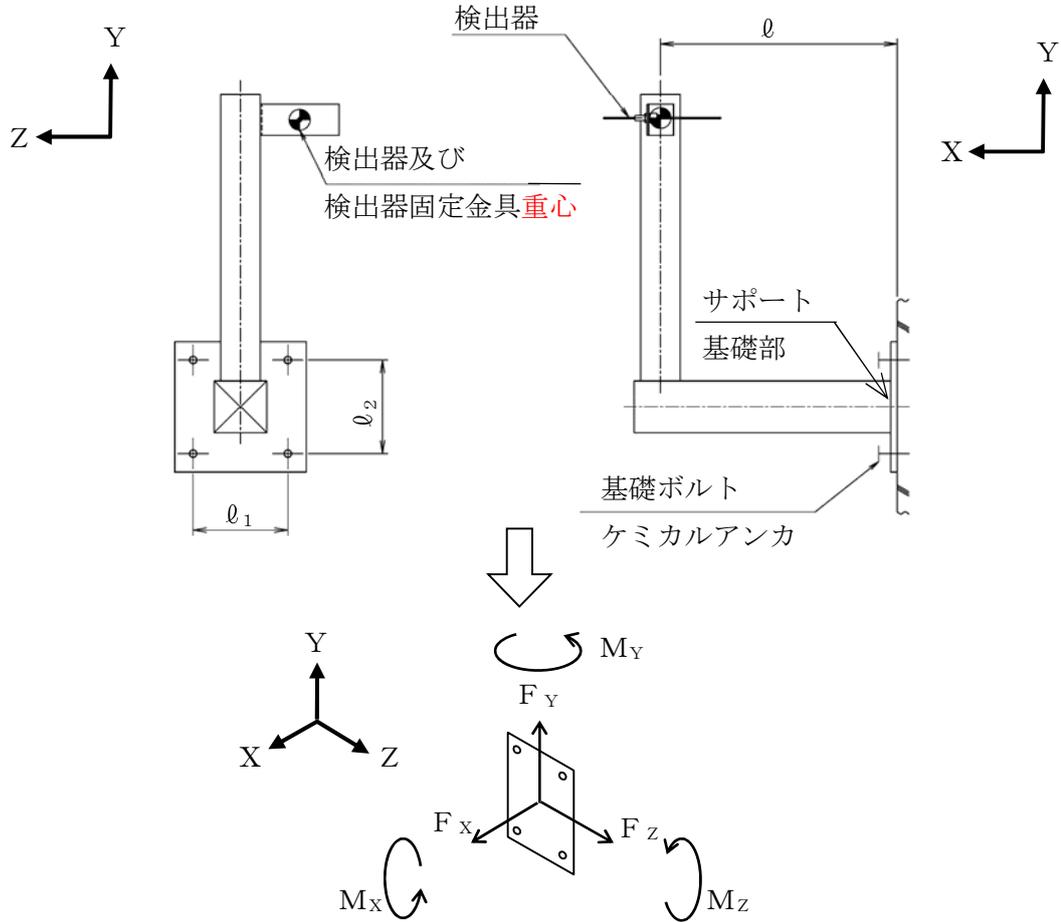


図1-3 計算モデル (サポート基礎部, 基礎ボルト)

地震応答解析によって得られたサポート基礎部の評価点の反力とモーメントを表1-9に示す。

表1-9 サポート発生反力, モーメント

対象計器	反力(N)			モーメント(N・m)		
	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z
TE-SA16-N001A, B						

(1) 引張応力

基礎ボルト（1本当たり）に対する引張応力は，下式により計算する。

引張力（ F_b ）

$$F_b = \frac{F_x}{n} + \frac{M_y}{\ell_1 \cdot n_y} + \frac{M_z}{\ell_2 \cdot n_z} \dots\dots\dots (1.4.6.1.1)$$

引張応力（ σ_b ）

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (1.4.6.1.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (1.4.6.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルト（1本当たり）に対するせん断応力は，下式により計算する。

せん断力（ Q_b ）

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{n} + \frac{M_x}{n \cdot \ell_3} \dots\dots\dots (1.4.6.1.4)$$

ここで，ボルト間距離 ℓ_3 は次式により求める。

$$\ell_3 = \text{Min}(\ell_1, \ell_2) \dots\dots\dots (1.4.6.1.5)$$

せん断応力（ τ_b ）

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (1.4.6.1.6)$$

1.4.7 計算条件

1.4.7.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算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動作監視装置（入口温度）の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

1.4.8 応力の評価

1.4.8.1 基礎ボルトの応力評価

1.4.6.1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_{t0} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t0}] \dots\dots\dots (1.4.8.1.1)$$

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。

	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_{t0}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

1.5 機能維持評価

1.5.1 静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の機能維持評価方法

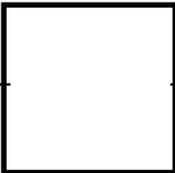
静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の機能維持評価について以下に示す。

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。

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の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、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-10 に示す。

表 1-10 機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
静的触媒式水素再結合器 動作監視装置（入口温度） （TE-SA16-N001A, B）	水平	
	鉛直	

1.6 評価結果

1.6.1 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動作監視装置（入口温度）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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

NT2 補② V-2-6-7-12 R1

【静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）（TE-SA16-N001A, B）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		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動作監視装置	常設/緩和	原子炉建屋 []	[]	[]	—	—	C _H =2.09	C _V =1.77	[]

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。

1.2 機器要目

1.2.1 静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）

部 材	φ (mm)	φ ₁ (mm)	φ ₂ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _Y	n _Z	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	[]	[]	[]	[]	[]	[]	2	2	221	373	261

20

1.3 計算数値

1.3.1 サポートに作用する力

(単位: N)

部 材	F _X		F _Y		F _Z	
	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
サポート部	[]	[]	[]	[]	[]	[]

1.3.2 サポートに作用するモーメント

(単位: N・m)

部 材	M _X		M _Y		M _Z	
	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
サポート部	[]	[]	[]	[]	[]	[]

1.3.3 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	—	—	$\sigma_b=8$	$f_{ts}=156^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=120$

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

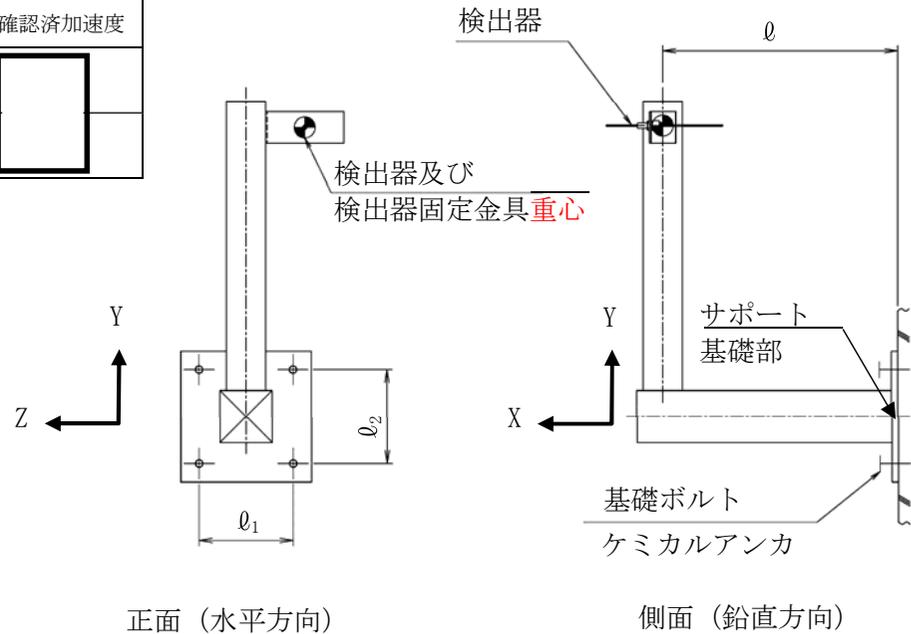
1.4.2 電気的機能維持の評価結果

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

		評価用加速度	機能確認済加速度
静的触媒式水素再結合器動作監視装置	水平方向	1.74	□
	鉛直方向	1.47	

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。

22



正面 (水平方向)

側面 (鉛直方向)

2. 静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）

2.1 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、静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能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動作監視装置（出口温度）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、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）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>検出器は、圧縮継手にて、静的触媒式水素再結合器に固定する。</p>	<p>測温抵抗体</p>	<p>【TE-SA16-N002A, N002B】</p>

2.2.2 評価方針

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）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 4.2 電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを、「2.4 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「2.5 評価結果」に示す。

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

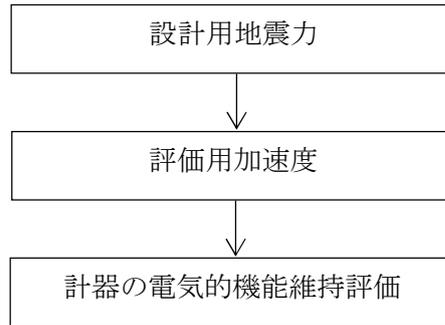


図 2-1 静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）の耐震評価フロー

2.2.3 適用基準

適応基準等を以下に示す。

- (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 評価部位

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）は、静的触媒式水素再結合器に挿入され固定されることから、静的触媒式水素再結合器が支持している。静的触媒式水素再結合器の構造強度評価は添付書類「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」にて実施しているため、本計算書では、静的触媒式水素再結合器に生じる加速度を用いて静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）の電氣的機能維持評価について示す。

2.4 機能維持評価

2.4.1 評価用加速度

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）は、静的触媒式水素再結合器に挿入され固定されることから評価用加速度は基準地震動 S_s による地震力として、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定し、評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。評価用加速度を表 2-2 に示す。

表 2-2 評価用加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

機器名称	対象機器設置箇所	方向	評価用加速度
静的触媒式水素再結合器 動作監視装置（出口温度） （TE-SA16-N002A, B）	原子炉建屋	水平	1.74
	<div style="border: 2px solid black; width: 100px; height: 30px;"></div>	鉛直	1.47

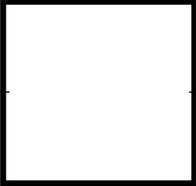
注記 * : 基準床レベルを示す。

2.4.2 機能確認済加速度

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）の機能確認済加速度については以下に示す。

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）の機能確認済加速度には、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表2-3に示す。

表 2-3 機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
静的触媒式水素再結合器 動作監視装置（出口温度） （TE-SA16-N002A, B）	水平	
	鉛直	

2.5 評価結果

2.5.1 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動作監視装置（出口温度）については、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。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり、設計用地震力に対して電氣的機能が維持されていることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

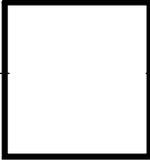
電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）（TE-SA16-N002A, B）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 電氣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
静的触媒式水素再結合器動作監視装置	水平方向	1.74	
	鉛直方向	1.47	

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-937 改1
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-6-5-43 原子炉建屋水素濃度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	4
2.3	適用基準	5
2.4	記号の説明	6
2.5	計算精度と数値の丸め方	8
3.	評価部位	9
4.	地震応答解析及び構造強度評価	9
4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	9
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	16
4.5	設計用地震力	17
4.6	計算方法	18
4.7	計算条件	21
4.8	応力の評価	21
5.	機能維持評価	22
5.1	電氣的機能維持評価方法	22
6.	評価結果	23
6.1	重大事故等対処設備としての評価結果	23

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、原子炉建屋水素濃度が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

原子炉建屋水素濃度は、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電気的機能維持評価を示す。

なお、構造強度評価については、基礎ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。電気的機能維持評価については、評価用加速度が厳しい条件となるものを代表として評価する。

表 1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
H2E-SA16-N001 H2E-SA16-N002（代表） H2E-SA16-N003（代表）	V-2-1-9 機能維持の基本方針	表 2-1 構造計画
H2E-SA16-N004（代表） H2E-SA16-N005（代表）	V-2-1-9 機能維持の基本方針	表 2-2 構造計画

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉建屋水素濃度の構造計画を表 2-1、表 2-2 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>検出器は、サポート鋼材に計器取付ボルトにより固定する。</p> <p>サポート鋼材は、基礎ボルトにより壁面に設置する。</p>	<p>熱伝導式水素検出器</p>	<p>【H2E-SA16-N002, N003】</p> <p>サポート鋼材 (L字鋼)</p> <p>計器取付ボルト</p> <p>検出器</p> <p>上面</p> <p>基礎ボルト</p> <p>ケミカルアンカ</p> <p>150</p> <p>150</p> <p>正面</p> <p>241</p> <p>側面</p> <p>(単位: mm)</p>

表 2-2 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>検出器は、サポート鋼材に計器取付ボルトにより固定する。</p> <p>サポート鋼材は、基礎ボルトにより壁面に設置する。</p>	<p>触媒式水素検出器</p>	<p>【H2E-SA16-N004, N005】</p> <p>正面</p> <p>側面</p>

2.2 評価方針

原子炉建屋水素濃度の応力評価は、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」にて示す原子炉建屋水素濃度の部位を踏まえ「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。

原子炉建屋水素濃度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

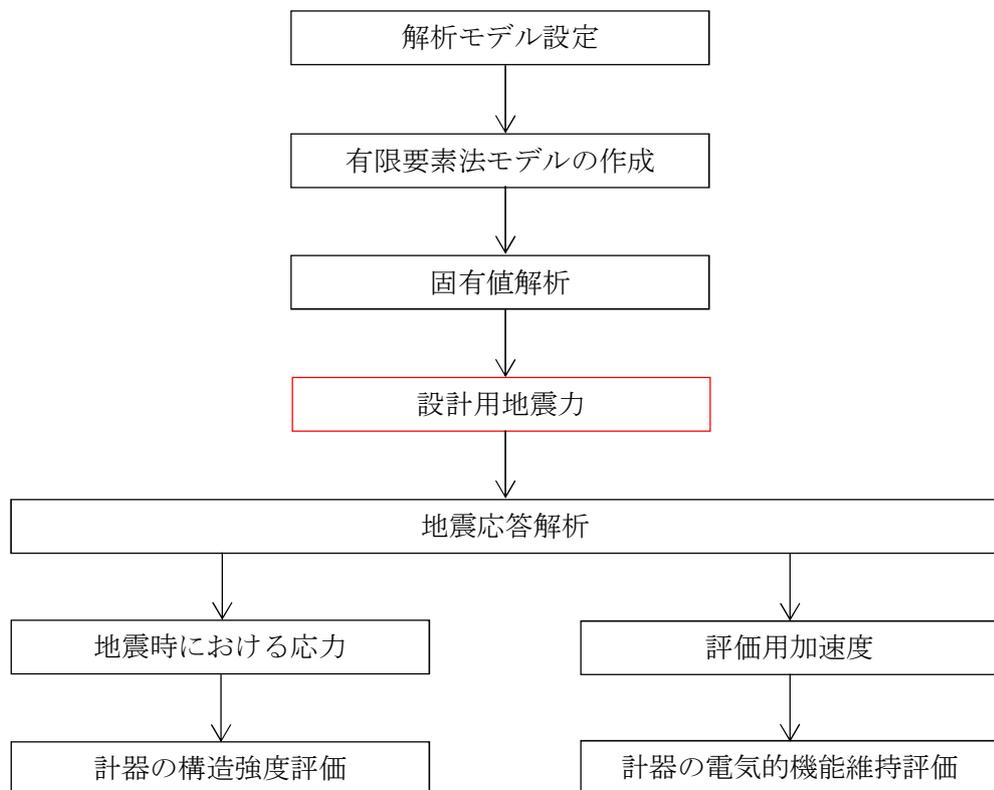


図 2-1 原子炉建屋水素濃度の耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準等を以下に示す。

- (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	サポートの断面積	mm²
A _b	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	—
d	基礎ボルトの呼び径	Mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 又は SSB-3133に定める値	MPa
F [*]	設計・建設規格 SSB-3131 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 (1本当たり)	N
F _X	サポート基礎部に作用する力 (X方向)	N
F _Y	サポート基礎部に作用する力 (Y方向)	N
F _Z	サポート基礎部に作用する力 (Z方向)	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
I_p	サポートの断面二次極モーメント	mm⁴
I_y	サポートの断面二次モーメント (y軸)	mm⁴
I_z	サポートの断面二次モーメント (z軸)	mm⁴
ℓ	検出器及び防滴カバーの重心までの距離	mm
ℓ ₁	ボルト間距離 (水平方向)	mm
ℓ ₂	ボルト間距離 (鉛直方向)	mm
ℓ ₃	ボルト間距離 (水平方向と鉛直方向の小さい方)	mm
m_a	H2E-SA16-N002, N003の検出器の質量	kg
m_b	H2E-SA16-N004, N005の検出器及び防滴カバーの質量	kg
M _X	サポート基礎部に作用するモーメント (X軸周り)	N・m
M _Y	サポート基礎部に作用するモーメント (Y軸周り)	N・m
M _Z	サポート基礎部に作用するモーメント (Z軸周り)	N・m
n	基礎ボルトの本数	—
n _Y	M _Y の引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	—
n _Z	M _Z の引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	—
Q _b	基礎ボルトに作用するせん断力 (1本当たり)	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
Z_p	サポートのねじり断面係数	mm^3
Z_y	サポートの断面係数 (y 軸)	mm^3
Z_z	サポートの断面係数 (z 軸)	mm^3
ν	ポアソン比	—
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎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2-3に示す通りとする。

表2-3 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*1	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

原子炉建屋水素濃度の耐震評価は、「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基礎ボルトについて実施する。原子炉建屋水素濃度の耐震評価部位については、表 2-1、表 2-2 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) 地震力は原子炉建屋水素濃度に対して、水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (2) 原子炉建屋水素濃度は、基礎ボルトにより壁面に固定されるものとする。
- (3) 原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N002, N003) の質量は、検出器、サポート鋼材を考慮する。
- (4) 原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N004, N005) の質量は、検出器、防滴カバー、サポート鋼材を考慮する。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

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

原子炉建屋水素濃度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 2-4 に示す。

4.2.2 許容応力

原子炉建屋水素濃度の許容応力を表 2-5 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉建屋水素濃度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 2-6 に示す。

表 2-4 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
計測制御 系統施設	計測装置	原子炉建屋水素濃度	常設／緩和	—*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：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 2-5 許容応力（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)	
	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 2-6 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト	□	周囲環境温度	□	221	373	—

4.3 解析モデル及び諸元

原子炉建屋水素濃度の解析モデルを図 2-3、図 2-4 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表 2-7 及び表 2-9、部材の機器要目を表 2-8 及び表 2-10 に示す。

- (1) 原子炉建屋水素濃度は、図 2-3、図 2-4 に示す 3 次元はりモデルとして考える
- (2) 図 4-2 中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。
- (3) 図 4-2 中の ⊕ は検出器の質点を示し、 m は 12kg である。
- (4) 図 4-2 中の実線はサポート鋼材、点線は仮想鋼材を示す。
- (5) 拘束条件として、基礎部の XYZ 方向及び回転方向を固定する。
- (6) 解析コードは、「NSAFE」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、添付書類「V-5-4 計算機プログラム（解析コード）の概要 ・HISAP及びNSAFE」に示す。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

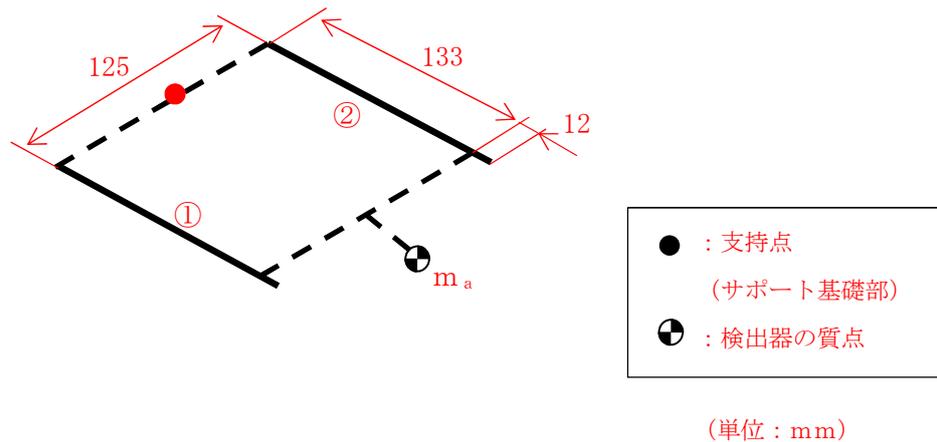


図 2-3 原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N002, N003) 解析モデル

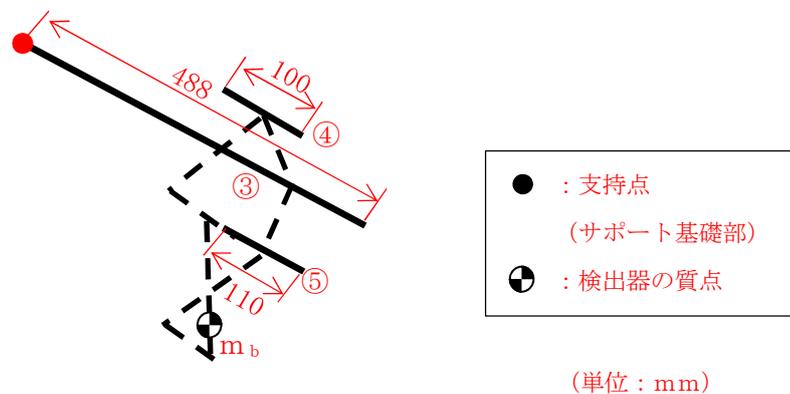


図 2-4 原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N004, N005) 解析モデル

表 2-7 原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N002, N003) 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m_a	kg	
温度条件 (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	

表 2-8 原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N002, N003) 部材の機器要目

材料	
対象要素	④-⑤
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	

表 2-9 原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N004, N005) 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m_b	kg	
温度条件 (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	

表 2-10 原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N004, N005) 部材の機器要目

材料		
対象要素	①	②-③
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		

4.4 固有周期

原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N002, N003) の固有値解析結果を表 2-11 に, 原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N004, N005) の固有値解析結果を表 2-12 に示す。

1 次モードは鉛直方向に卓越し, 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, 水平方向は 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 2-11 原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N002, N003) 固有値解析結果 (s)

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1 次		鉛直

表 2-12 原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N004, N005) 固有値解析結果 (s)

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1 次		鉛直

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。耐震評価に用いる設計用地震力を表 2-13 に示す。

表 2-13 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
H2E-SA16-N002 H2E-SA16-N003 原子炉建屋 	0.05 以下*2		—	—	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$
H2E-SA16-N004 H2E-SA16-N005 原子炉建屋 	0.05 以下*2		—	—	$C_H=2.45$	$C_V=1.88$

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 基礎ボルトの応力

3次元はりモデルによる地震応答解析からサポート基礎部荷重を算出し、その結果を用いて手計算にて基礎ボルトを評価する。

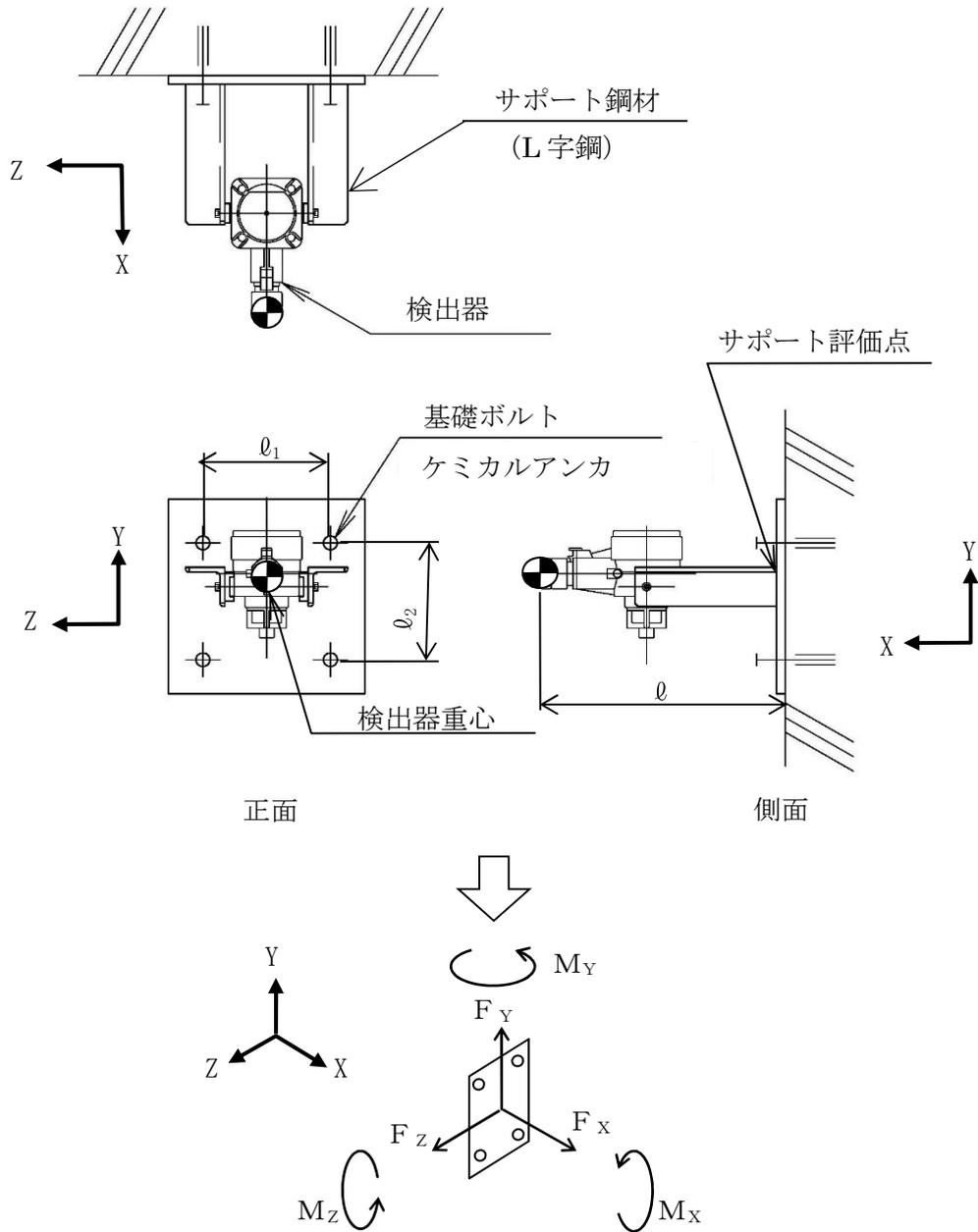


図 2-5 原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N002, N003) 計算モデル
(サポート基礎部, 基礎ボルト)

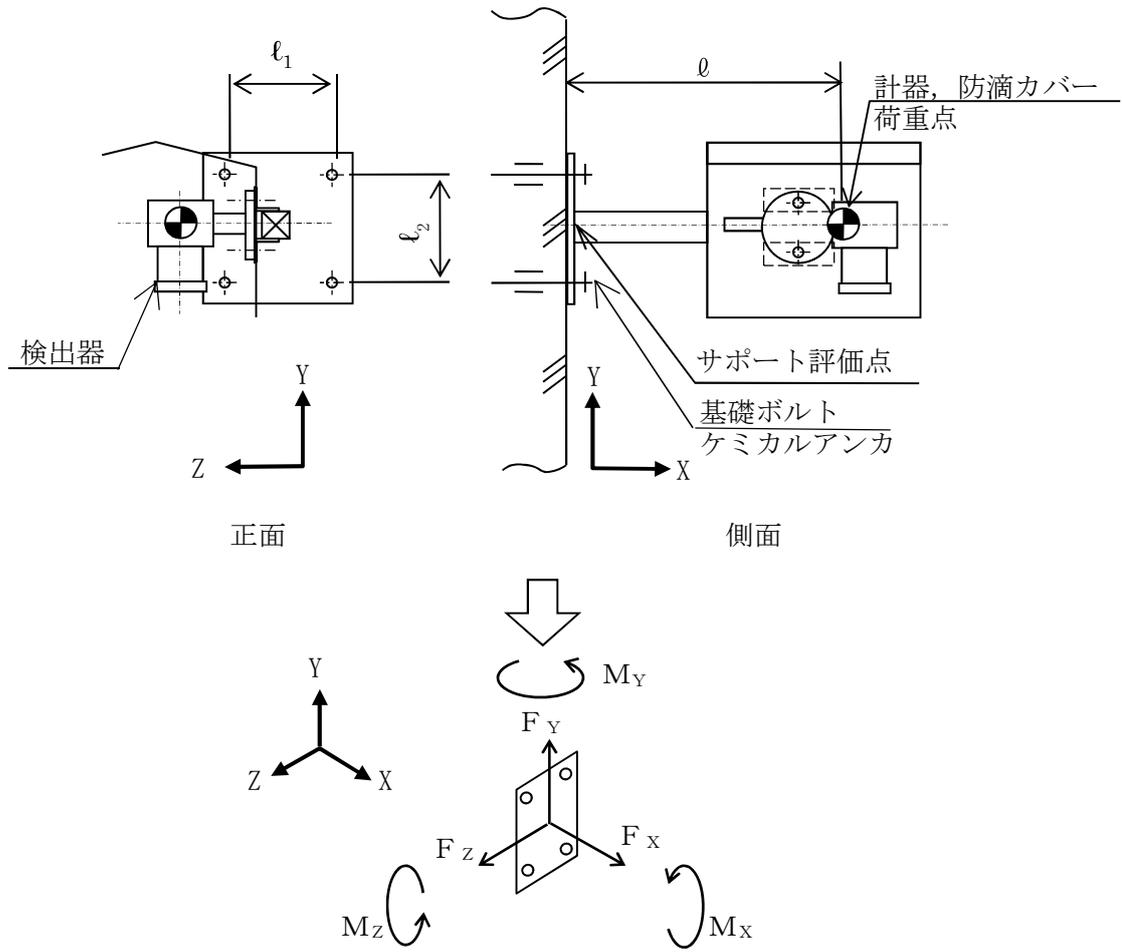


図 2-6 原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N004, N005) 計算モデル
(サポート基礎部, 基礎ボルト)

地震応答解析によって得られたサポート基礎部の評価点の最大反力とモーメントを表 2-14 に示す。

表2-14 サポート発生反力，モーメント

対象計器	反力(N)			モーメント(N・m)		
	F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
H2E-SA16-N002 H2E-SA16-N003						
H2E-SA16-N004 H2E-SA16-N005						

(1) 引張応力

基礎ボルト（1本当たり）に対する引張応力は，下式により計算する。

引張力（F_b）

$$F_b = \frac{F_x}{n} + \frac{M_y}{l_1 \cdot n_y} + \frac{M_z}{l_2 \cdot n_z} \dots\dots\dots (4.6.1.1)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (4.6.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルト（1本当たり）に対するせん断応力は，下式により計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{n} + \frac{M_x}{l_3 \cdot n} \dots\dots\dots (4.6.1.4)$$

ここで，ボルト間距離l₃は次式により求める。

$$l_3 = \min(l_1, l_2) \dots\dots\dots (4.6.1.5)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.6)$$

4.7 計算条件

4.7.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉建屋水素濃度の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 基礎ボルトの応力評価

4.6.1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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots(4.8.1.1)$$

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。

	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}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

原子炉建屋水素濃度の地震後の電氣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。

原子炉建屋水素濃度の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，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-15 に示す。

表 2-15 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N002) (H2E-SA16-N003)	水平	<div style="border: 2px solid black; width: 80px; height: 150px; margin: 0 auto;"></div>
	鉛直	
原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N004) (H2E-SA16-N005)	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

原子炉建屋水素濃度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電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉建屋水素濃度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		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	
原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N002) (H2E-SA16-N003)	常設/緩和	原子炉建屋 []	[]	[]	-	-	C _H =1.34	C _V =1.01	[]
原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N004) (H2E-SA16-N005)	常設/緩和	原子炉建屋 []	[]	[]	-	-	C _H =2.45	C _V =1.88	[]

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。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉建屋水素濃度

部材	φ (mm)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n ₁	n ₂	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト (H2E-SA16-N002) (H2E-SA16-N003)	[]	[]	[]	[]	[]	[]	2	2	221	373	261
基礎ボルト (H2E-SA16-N004) (H2E-SA16-N005)	[]	[]	[]	[]	[]	[]	2	2	221	373	261

1.3 計算数値

1.3.1 サポートに作用する力

(単位：N)

部 材	F _x		F _y		F _z	
	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
サポート部 (H2E-SA16-N002)						
(H2E-SA16-N003)						
サポート部 (H2E-SA16-N004)						
(H2E-SA16-N005)						

1.3.2 サポートに作用するモーメント

(単位：N・m)

部 材	M _x		M _y		M _z	
	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
サポート部 (H2E-SA16-N002)						
(H2E-SA16-N003)						
サポート部 (H2E-SA16-N004)						
(H2E-SA16-N005)						

1.3.3 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
サポート部 (H2E-SA16-N002) (H2E-SA16-N003)	[Redacted]			
サポート部 (H2E-SA16-N004) (H2E-SA16-N005)	[Redacted]			

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 (H2E-SA16-N002) (H2E-SA16-N003)	[Redacted]	引張り	—	—	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=156^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=1$	$f_{sb}=120$
基礎ボルト (H2E-SA16-N004) (H2E-SA16-N005)	[Redacted]	引張り	—	—	$\sigma_b=11$	$f_{ts}=156^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=3$	$f_{sb}=120$

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

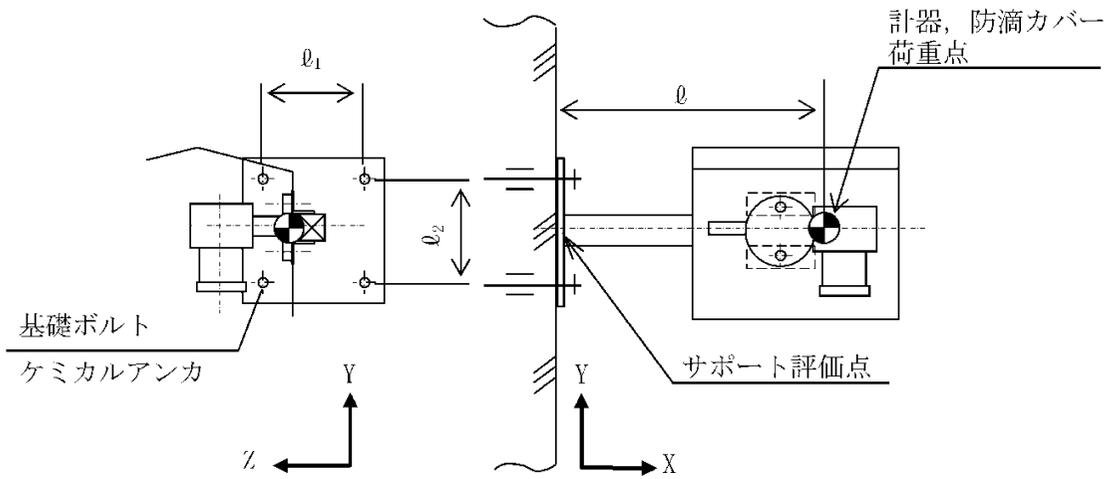
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

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

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N002) (H2E-SA16-N003)	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	
原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N004) (H2E-SA16-N005)	水平方向	2.04	
	鉛直方向	1.56	

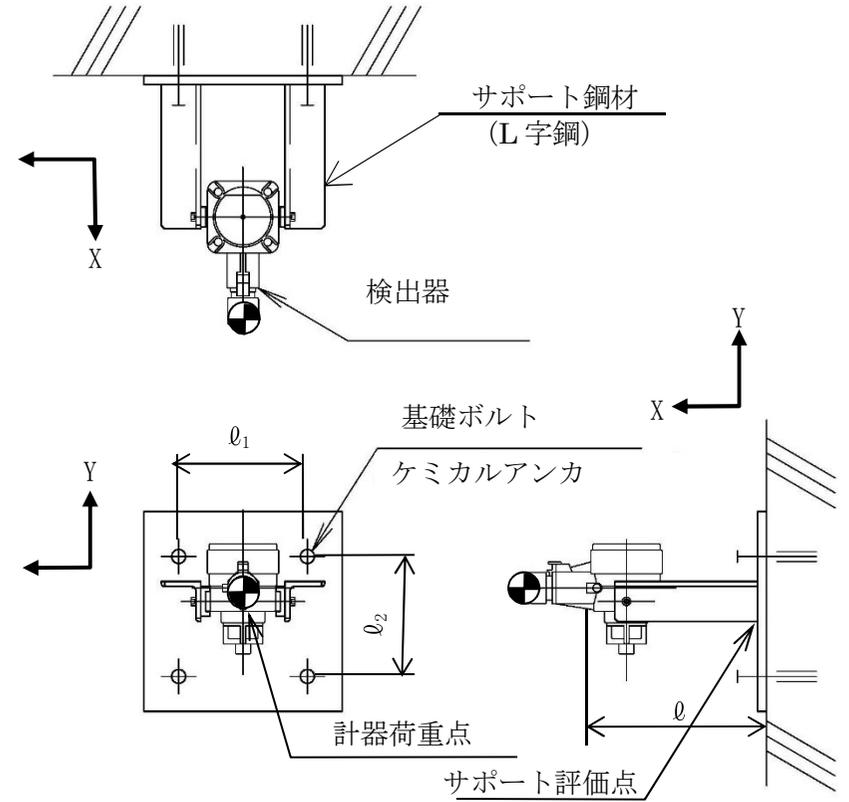
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

27



正面 (水平方向)

側面 (鉛直方向)



正面 (水平方向)

側面 (鉛直方向)

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-746 改0
提出年月日	平成30年8月16日

V-2-4-2-3 使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震性についての計算書

V-2-4-2-3-1 キャスク容器の応力解析の方針①
(タイプ I)

目次

1. 概 要	1
2. 適用基準	2
3. 記 号	3
3.1 記号の説明	3
4. 設計条件	5
4.1 基本仕様	5
4.2 燃料条件	5
4.3 設計事象	5
4.4 荷重の種類とその組合せ	5
5. 計算条件	6
5.1 解析対象とする事象	6
5.2 解析箇所	6
5.3 形状及び寸法	6
5.4 物性値	6
5.5 許容応力	7
6. 応力解析の手順	10
6.1 解析手順の概要	10
6.2 荷重条件の選定	10
6.3 温度分布計算	10
6.3.1 温度分布計算の方法	10
6.4 応力計算と評価	11
6.4.1 応力計算の方法	11
6.4.2 応力評価	12
6.4.3 数値の丸め方	13
7. 参考文献	14

図表目次

図 5-1	キャスク容器及び中間胴の応力解析箇所	15
図 6-1	キャスク容器及び中間胴の応力解析フロー図	17
表 4-1	使用済燃料の条件	18
表 4-2	貯蔵容器の設計事象	19
表 4-3	キャスク容器の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ	20
表 4-4	中間胴の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ	21
表 5-1	代表事象	22
表 5-2	温度分布計算に使用する材料の物性値	23
表 5-3	温度分布計算に使用するふく射率	24
表 5-4	熱応力計算に使用する材料の物性値	24
表 6-1	キャスク容器用材料の許容応力値	25
表 6-2	キャスク容器用材料（ボルト用材料）の許容応力値	26
表 6-3	中間胴（キャスク容器との溶接部近接部分）用材料の許容応力値	26
表 6-4	中間胴（キャスク容器との溶接部近接部分を除く）用材料の許容応力値	27
表 6-5	数値の丸め方一覧表	29

1. 概 要

本書は、使用済燃料乾式貯蔵容器のキャスク容器及び中間胴に関する応力解析の方針を述べるものである。

注：図表は、一括して巻末に示す。

2. 適用基準

(1) キャスク容器

使用済燃料乾式貯蔵容器において、放射性物質を閉じ込める圧力バウンダリ境界を構成しているキャスク容器は、貯蔵時において、放射性物質を貯蔵するという観点から、使用済燃料プールや使用済樹脂貯蔵タンク等と同様に「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））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。）のクラス3容器相当に区分される。

したがって、圧力荷重に関してはクラス3容器における規格計算式に基づく手法で構造強度を評価することができる。しかし、熱荷重や取扱い時の衝撃荷重等の各種の荷重の作用が想定されることから、これらの荷重に対する強度評価に当たっては、圧力荷重も含め、応力解析により発生応力を求めて評価することが必要であり、同様な「解析による設計」の考え方が採用されているクラス1容器に準じて設計する。

(2) 中間胴

中間胴は、キャスク容器胴部を支持する部材であることから、キャスク容器の評価手法との整合性をとり、設計・建設規格のクラス1支持構造物に準じて設計する。

ここで、設計事象とその許容応力状態はキャスク容器と同じとする。

注：本書及び応力計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格〇〇〇－〇〇〇〇」として示す。

3. 記号

3.1 記号の説明

本書及び応力計算書において、応力評価に関する以下の記号を使用する。ただし、本文中に特記ある場合は、この限りでない。

なお、応力計算書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
A	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	直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
G	重力加速度(=9.80665)	m/s ²
P _b	一次曲げ応力	MPa
P _L	一次局部膜応力	MPa
P _m	一次一般膜応力	MPa
Q	二次応力	MPa
S _d *	弾性設計用地震動S _d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方	—
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
S _ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S _ℓ '	縦弾性係数を補正した繰返しピーク応力強さ	MPa
K	応力集中係数	—
U	疲労累積係数	—
T	締付けトルク	N・mm
N	許容繰返し回数	回
W	質量	kg
α	熱膨張係数	mm/mm℃
f _t	許容引張応力	MPa

計算書の記号	記号の説明	単位
f_s	許容せん断応力	MPa
f_c	許容圧縮応力	MPa
f_b	許容曲げ応力	MPa
f_p	許容支圧応力	MPa
$f_t^{*1)}$	許容引張応力	MPa
$f_s^{*1)}$	許容せん断応力	MPa
$f_c^{*1)}$	許容圧縮応力	MPa
$f_b^{*1)}$	許容曲げ応力	MPa
$f_p^{*1)}$	許容支圧応力	MPa
σ_1	主応力	MPa
σ_2	主応力	MPa
σ_3	主応力	MPa
σ_b	圧縮応力	MPa
σ_{bb}	曲げ応力	MPa
$c\sigma_{bb}$	圧縮側曲げ応力	MPa
$t\sigma_{bb}$	引張側曲げ応力	MPa
σ_{cc}	圧縮応力	MPa
σ_p	平均支圧応力	MPa
σ_s	平均せん断応力	MPa
σ_{tt}	引張応力	MPa
σ_n	評価断面に垂直な方向の応力	MPa
σ_t	評価断面に平行な方向の応力	MPa
σ_θ	円周方向応力	MPa
τ_{nt}	せん断応力	MPa
$\tau_{t\theta}$	せん断応力	MPa
$\tau_{n\theta}$	せん断応力	MPa
α_H	水平方向設計加速度	m/s^2
α_V	鉛直方向設計加速度	m/s^2
$I + S_d^*$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用した場合の許容応力区分	—
$I + S_s$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用した場合の許容応力区分	—

注記 1) : f_t^* , f_s^* , f_c^* , f_b^* , f_p^* : f_t , f_s , f_c , f_b , f_p の値を算出する際に設計・建設規格 SSB-3121.1(1)における「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点」とあるのを「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点の 1.2 倍の値」と読み替えて算出した値。

4. 設計条件

キャスク容器及び中間胴は以下の設計条件に耐えるように設計する。

4.1 基本仕様

最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	160℃

4.2 燃料条件

使用済燃料乾式貯蔵容器の収納物である使用済燃料の条件を表 4-1 に示す。

4.3 設計事象

設計上考慮する事象については表 4-2 に示す。

4.4 荷重の種類とその組合せ

キャスク容器及び中間胴の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 4-3 及び表 4-4 に示す。応力解析に用いる荷重は応力計算書に記載する。

5. 計算条件

5.1 解析対象とする事象

表 5-1 に示すように解析対象とする設計事象は $I + S_d^*$ 及び $I + S_s$ とし、解析を実施する。

5.2 解析箇所

キャスク容器及び中間胴の応力解析を行う箇所は、次のとおりである(図 5-1 参照)。

- (1) 内胴
- (2) 中間胴
- (3) 上部フランジ
- (4) 底板
- (5) 一次蓋
- (6) 一次蓋締付けボルト
- (7) バルブカバー
- (8) バルブカバー締付けボルト
- (9) 密封シール部
- (10) 底部プラグ

5.3 形状及び寸法

応力解析を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。

5.4 物性値

温度分布計算、応力計算及び疲労解析の必要性検討に使用する材料の物性値は以下のとおりである。

- (1) 温度分布計算に使用する物性値を表 5-2 及び表 5-3 に示す。
なお、熱伝導率はその温度依存性を考慮する。
- (2) 熱応力計算に使用する物性値を表 5-4 に示す。
なお、熱応力計算に使用する物性値はその温度依存性を考慮する。
- (3) 内圧及び機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、最高使用温度に対する値を用いる。なお、常温は 20℃とする。
- (4) 物性値を温度補正して使用する場合には、補正方法を応力計算書に示す。

5.5 許容応力

材料の応力強さ限界及び許容応力は、次の各号に掲げるとおりとする。

I キャスク容器

- (1) キャスク容器（穴の周辺部及びボルトを除く。）にあつては、次によること。
この場合において、キャスク容器に直接溶接されるブラケット等（バスケット及び中間胴を除く）を取り付けるすみ肉溶接部にあつては、次の値の2分の1とする。
 - a. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d *地震力が作用して生じる応力の応力解析による一次応力強さは、設計・建設規格 PVB-3111(2)a. 及び d. の規定を満足すること。
 - b. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる応力の応力解析による一次応力強さは、設計・建設規格 PVB-3111(3)a. 及び c. の規定を満足すること。
 - c. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d *又は S_s 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力を加えて求めた応力解析による応力強さのサイクルにおいて、その最大値と最小値との差は、設計・建設規格 PVB-3112 の規定を満足すること。
 - d. 設計事象 I 及び設計事象 II において生じる応力の疲労解析は、設計・建設規格 PVB-3114 の規定を満足すること。
 - e. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d *又は S_s 地震動のみによる応力の疲労解析を行い、疲労累積係数を求め、d. で求めた疲労累積係数との和が 1.0 を超えないこと。
 - f. 純せん断荷重を受ける部分にあつては、a. 及び b. の規定にかかわらず、平均せん断応力は、次の規定を満足すること。
 - (a) 設計事象 I の貯蔵時の状態において S_d *地震力が作用する場合においては、設計・建設規格 PVB-3115(1) の規定
 - (b) 設計事象 I の貯蔵時の状態において S_s 地震力が作用する場合においては、設計・建設規格 PVB-3115(2) の規定
 - g. 支圧荷重を受ける部分にあつては、平均支圧応力は、次の規定を満足すること。
 - (a) 設計事象 I の貯蔵時の状態において S_d *地震力が作用して生じる場合においては、設計・建設規格 PVB-3116(1) 又は(2) の規定。
 - (b) 設計事象 I の貯蔵時の状態において S_s 地震力が作用して生じる場合で、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平均支圧応力は、設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に規定する値の 1.5 倍の値を超えないこと。
 - (c) 設計事象 I の貯蔵時の状態において S_s 地震力が作用して生じる場合で、(b) 以外の場合の平均支圧応力は、設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に規定する値を超えないこと。

- h. 密封シール部にあつては、次によること。
- (a) 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において S_d *地震力が作用する場合において生じる応力の応力解析による一次一般膜応力強さ及び一次膜応力と一次曲げ応力を加えて求めた応力強さ，並びに一次応力と二次応力を加えて求めた応力解析による応力強さのサイクルにおいて，その最大値と最小値との差は，いずれも設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に規定する値を超えないこと。
 - (b) 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において S_s 地震力が作用する場合において生じる応力の応力解析による一次一般膜応力強さ及び一次膜応力と一次曲げ応力を加えて求めた応力強さ，並びに一次応力と二次応力を加えて求めた応力解析による応力強さのサイクルにおいて，その最大値と最小値との差は，いずれも設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に規定する値を超えないこと。
- (2) ボルトにあつては，次によること。
- a. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において S_d *地震力が作用する場合において生じる応力は，設計・建設規格 PVB-3121(2)の規定を満足すること。
 - b. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において S_s 地震力が作用する場合において生じる応力は，次の規定を満足すること。
 - (a) 軸方向に垂直な断面の平均引張応力は，設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 にて規定される値を超えないこと。
 - (b) (a) に規定する平均引張応力と曲げ応力の和は，ボルトの断面の外周において，設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 にて規定される値を超えないこと。 - c. 設計事象Ⅰ及び設計事象Ⅱにおいて生じる応力の疲労解析は，設計・建設規格 PVB-3122 の規定を満足すること。
 - d. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において， S_d *又は S_s 地震動のみによる応力の疲労解析を行い，疲労累積係数を求め，c. で求めた疲労累積係数との和が 1.0 を超えないこと。
- (3) 疲労解析において使用する疲労強度減少係数及び応力集中係数は設計・建設規格 PVB-3130 の規定によること。
- (4) (1)及び(2)において，繰返し荷重が設計・建設規格 PVB-3140(1)から(6)の規定に適合するときは，疲労解析を行うことを要しない。
- (5) (1)，(2)，(3)及び(4)の場合において，設計・建設規格の“供用状態A，供用状態B”はそれぞれ“設計事象Ⅰ，設計事象Ⅱ”と読み替える。
- (6) キャスク容器に穴を設ける場合は，設計・建設規格 PVB-3500 の規定を満足すること。

許容応力は，最高使用温度に対する値を用いる。

II 中間胴

- (1) 中間胴(キャスク容器との溶接部近接部分)にあつては、5.5項 I (1)の規定による。
- (2) 中間胴(前号に掲げる範囲を除く)にあつては、次によること。
 - a. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d *地震力が作用して生じる一次応力は、設計・建設規格 SSB-3121.2 の規定を満足すること。
 - b. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる一次応力は、設計・建設規格 SSB-3121.3 の規定を満足すること。
 - c. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d *地震動のみによって生じる一次応力と二次応力(キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。)は、次の値を超えないこと。
 - (a) 引張応力と圧縮応力(引張応力の符号は正とし、圧縮応力の符号は負として計算する。)、せん断応力及び曲げ応力のサイクルにおける最大値と最小値との差、並びに支圧応力については、設計・建設規格 SSB-3122.1(1), (2), (3)及び(4)に定める値
 - (b) 座屈応力については、設計・建設規格 SSB-3121.1(2), (3)又は(4)に定める値の 1.5 倍の値
 - d. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力(キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。)は、次の値を超えないこと。
 - (a) 引張応力と圧縮応力(引張応力の符号は正とし、圧縮応力の符号は負として計算する。)、せん断応力及び曲げ応力のサイクルにおける最大値と最小値との差は、設計・建設規格 SSB-3122.1(1), (2)及び(3)に定める値
 - (b) 支圧応力については、設計・建設規格 SSB-3122.1(4)の規定を満足すること。
この場合において、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.本文中「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点」とあるのは、「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点の 1.2 倍の値」に読み替えるものとする。
 - (c) 座屈応力については、設計・建設規格 SSB-3121.1(2), (3)又は(4)に定める値の 1.5 倍の値
 - e. a., b., c., 及び d.において応力の組合せが考えられる場合は、組合せ応力に対する評価は、設計・建設規格 SSB-3121.1(6)の規定による。
- (3) (2)の場合において、設計・建設規格の“供用状態 A, 供用状態 B”はそれぞれ“設計事象 I, 設計事象 II”と読み替える。

許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

6. 応力解析の手順

応力解析を行う場合の手順について一般的な事項を述べる。

6.1 解析手順の概要

キャスク容器及び中間胴の応力解析フローを図 6-1 に示す。

キャスク容器及び中間胴の応力解析は、想定される圧力荷重、機械的荷重及び熱荷重を基に、キャスク容器及び中間胴の実形状をモデル化し、汎用解析コードである ABAQUS 及び応力評価式を用いて行う。

ABAQUS とは、有限要素法に基づく、伝熱解析、応力解析等の汎用解析コードである。温度分布計算及び応力計算は、解析しようとする箇所を形状、材料等の不連続部を小さなメッシュに分割し、各メッシュについて計算を実施することによって行う。

6.2 荷重条件の選定

荷重条件は 4. 項に示されているが、各部の計算においては、その部分についての重要な荷重条件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は応力計算書に示す。

6.3 温度分布計算

6.3.1 温度分布計算の方法

(1) 計算を行う設計事象は、貯蔵容器姿勢が縦置き貯蔵時及び横置き運搬時とする。

(2) 計算モデルは次の方針に従う。

- a. 温度分布計算では、軸対称要素による解析モデル（以下「軸対称モデル」という）を用いる。軸対称モデルは、キャスク容器、中間胴、ガンマ線遮へい体、二次蓋及び外筒の形状について対称性を考慮する。また、キャスク容器内面に伝わる熱流束の周方向変化は熱伝導のよいアルミニウム合金のバスケットにより小さくなるので、バスケット、使用済燃料及びヘリウムを均質化して燃料有効長で発熱させ、その発熱量をキャスク容器内面に与える。

中性子遮へい体及び伝熱フィンについては均質体として扱うため、二次元平面要素によるモデルにより中間胴外面と外筒内面との温度を求め伝熱抵抗と等価な熱伝導率を与える。

- b. 形状及び材料の不連続性を考慮して、温度計算のためのメッシュ分割を行う。
- c. 外表面からの放熱は自然対流及びふく射とする。
- d. モデル図及び境界条件を応力計算書に示す。

なお、境界には計算で求めた熱伝達率を考慮する。

- (3) 計算機コードを用いて、温度分布を計算する。
- (4) 温度分布の計算結果を応力計算書に示す。

6.4 応力計算と評価

6.4.1 応力計算の方法

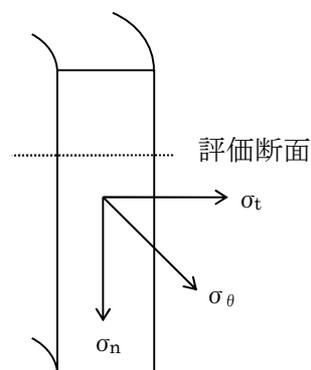
- (1) 応力計算は代表事象毎に行う。荷重条件として与えられるものは次の3つである。
 - a. 内圧
 - b. 機械的荷重
自重(燃料集合体を含む貯蔵容器(二次蓋を含む)の貯蔵時の設計重量を用いる。)、衝撃荷重及びその他の負荷荷重をいう。
 - c. 熱荷重
キャスク容器に生じる温度変化、温度勾配による荷重であって、温度分布計算の結果から得られるものをいう。
- (2) 計算モデルは次の方針に従う。
 - a. モデル化に当たっては、キャスク容器、中間胴、ガンマ線遮へい体の形状の対称性及び荷重の対称性を考慮する。
 - b. 解析モデルは、1/2対称の三次元固体(連続体)要素による解析モデルとする。また、モデル化に当たり対称性を考慮して境界条件を設定する。モデル図及び境界条件を応力計算書に示す。
- (3) 構造及び材料の不連続性を考慮して、応力評価点(面)をとる。評価点(面)は、応力計算書に示す。応力評価は、この応力評価点(面)について行う。
- (4) 溶接部については、母材と同等の物性値及び機械的性質を用いる。

6.4.2 応力評価

応力の計算結果は、設計・建設規格 GNR-2130 による定義に従い、応力の種類毎に分類し、以下の評価を応力計算書に示す。

なお、応力の記号とその方向は次のとおりである。

- σ_{θ} : 円周方向応力
- σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力
- σ_t : 評価断面に平行な方向の応力
- $\tau_{n\theta}$: せん断応力
- τ_{nt} : せん断応力
- $\tau_{t\theta}$: せん断応力



キャスク容器用材料の許容応力値を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

また、中間胴用材料の許容応力値を表 6-3 及び表 6-4 に示す。

(1) キャスク容器（ボルトを除く）及び中間胴（キャスク容器との溶接部近接部分）の応力評価

キャスク容器及び中間胴（キャスク容器との溶接部近接部分）の応力評価は、設計・建設規格 PVB-3110 に従い以下の項目を実施する。

- a. 一次応力強さ
- b. 一次＋二次応力強さ
- c. 繰返し荷重の評価
- d. 特別な応力の検討
 - (a) 純せん断応力の評価
 - (b) 支圧応力の評価
 - (c) 圧縮応力の評価

(2) ボルトの応力評価

ボルトの応力評価は、設計・建設規格 PVB-3120 に従い実施する。

(3) 中間胴（キャスク容器との溶接部近接部分を除く）の応力評価

中間胴の応力評価は、設計・建設規格 SSB-3010 に従い以下の項目を実施する。

- a. 一次応力強さ
- b. 一次＋二次応力強さ
- c. 組合せ応力

6.4.3 数値の丸め方

数値は、原則として四捨五入とする。また、評価に用いる許容応力及び算出応力等については、安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については丸めないことを原則とし、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を表 6-5 に示す。

7. 参考文献

文献番号は、本書及び応力計算書において共通である。

- (1) 伝熱工学資料 第4版, 日本機械学会 (1986)
- (2) 機械工学便覧 新版, 日本機械学会 (1987)
- (3) 伝熱工学資料 第3版, 日本機械学会 (1975)
- (4) Mc Adams, W.H., "Heat Transmission", Third Edition, Mc Graw Hill.
- (5) 鉛ハンドブック, 日本鉛亜鉛需要研究会 (1975)
- (6) 使用済核燃料輸送容器の構造解析プログラムの開発・整備に関する調査報告書(Ⅲ), 日本機械学会 (1985)

(7)

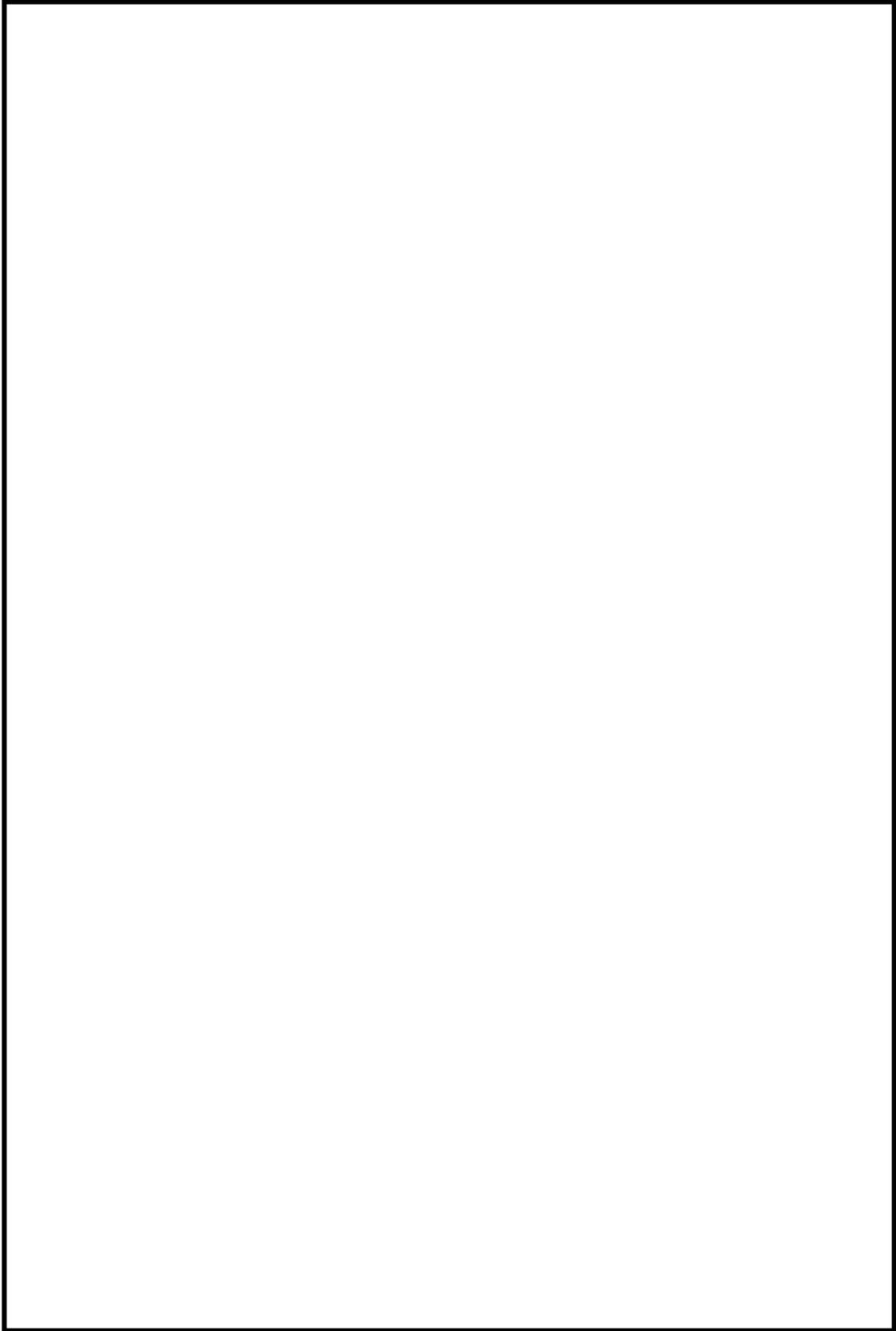


図 5-1(1) キャスク容器及び中間胴の応力解析箇所（全体断面図）

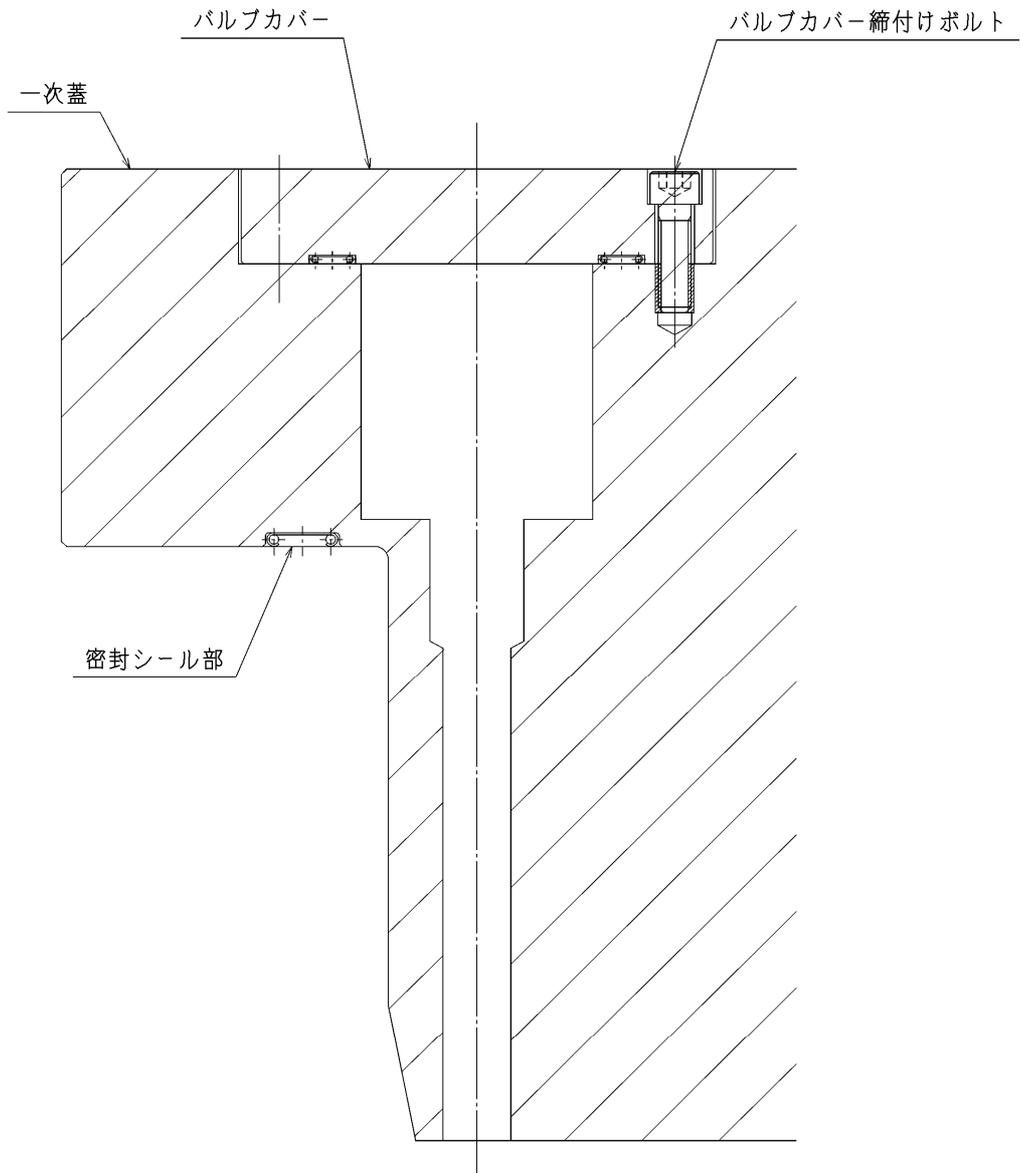


図 5-1(2) キャスク容器及び中間胴の応力解析箇所（一次蓋貫通部）

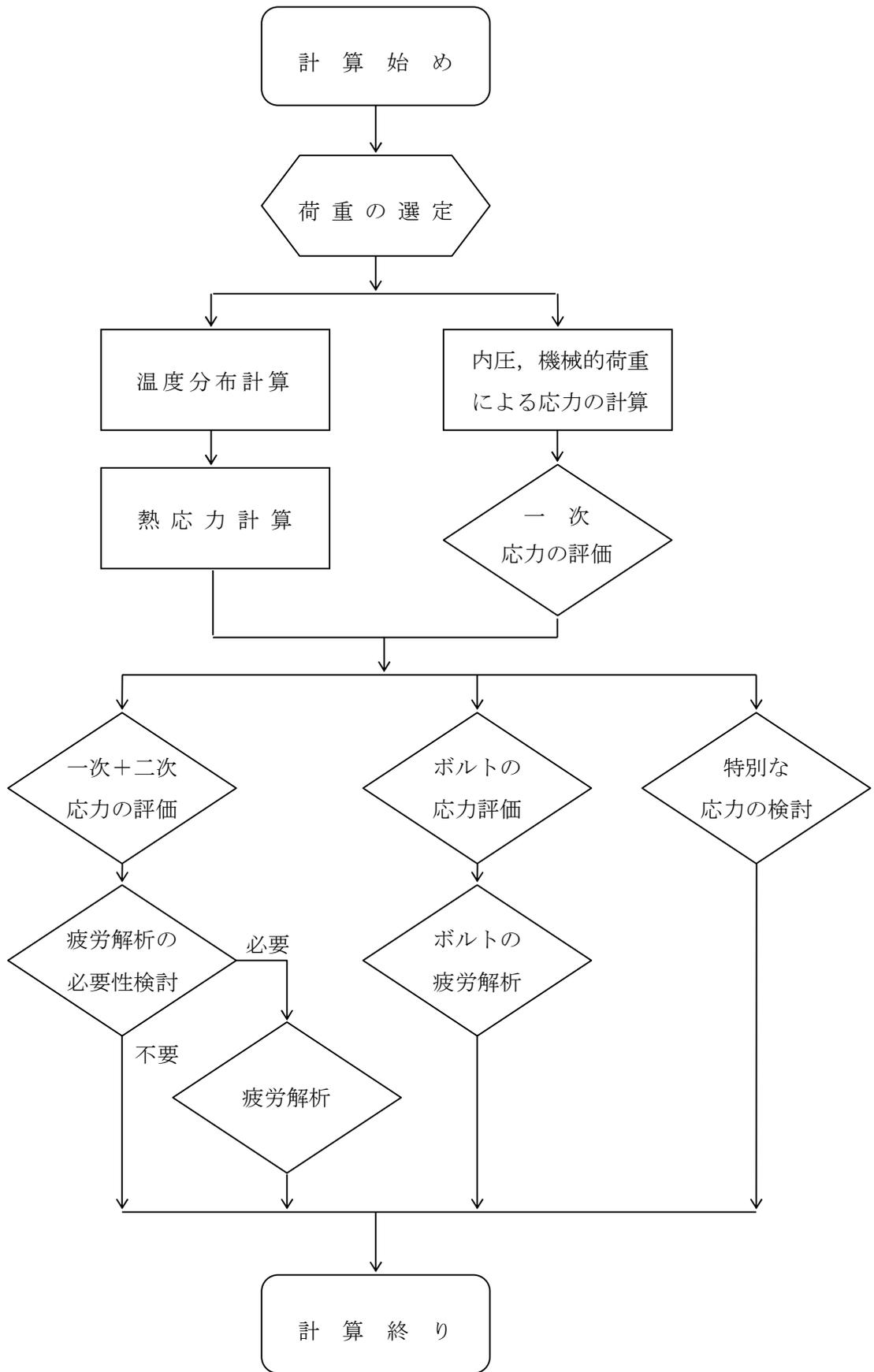


図 6-1 キヤスク容器及び中間胴の応力解析フロー図

表 4-1 使用済燃料の条件

項 目	燃料条件
対象燃料	高燃焼度 8 × 8 燃料 ¹⁾
貯蔵容器 1 基当たりの収納体数(体)	61
貯蔵容器 1 基当たりの発熱量(kW)	17.1 ²⁾
姿勢	縦置き／横置き ³⁾
周囲温度(℃)	45／38 ³⁾

注記 1) : 8 × 8 燃料, 新型 8 × 8 燃料, 新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8 × 8 燃料のうち最も厳しい発熱量となる高燃焼度 8 × 8 燃料について行う。

2) : O R I G E N 2 コードにより求めた。

3) : 貯蔵時／運搬時における貯蔵容器姿勢及び周囲温度

表 4-2 貯蔵容器の設計事象

設計事象	定義	解説	事象の例	東海第二発電所における選定事象
I	貯蔵容器の通常 の取扱い時及び 貯蔵時の状態を いう。	貯蔵状態及び計画的な取扱 い状態。	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵 貯蔵容器の吊上 げ, 吊下げ, 移動 事業所内運搬 	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵
II	設計事象 I, 設 計事象 III, 設 計事象 IV 及び試験 状態以外の状態 をいう。	貯蔵容器の寿命程度の期間 中に予想される取扱い機器 の単一故障, 単一誤動作等の 事象によって, 貯蔵容器が通 常貯蔵状態あるいは通常取 扱い状態から外れるような 状態をいう。	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵容器の異常 着床 取扱い機器の単 一故障, 誤動作 	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵容器の異常 着床 貯蔵容器の支持 構造物への衝突
III	貯蔵容器又はそ の取扱い機器等 の故障, 異常な 作動等により, 貯蔵又は計画さ れた取扱いの停 止が緊急に必要 とされる状態を いう。	発生頻度が十分低い事象に よって引き起こされる状態 をいう。すなわち, 設計事象 II でいう機器の単一故障, 運 転員の単一誤操作等によっ て引き起こされるもののう ち, その発生頻度が十分に低 いと考えられるものを分類 する。		
IV	貯蔵容器の安全 設計上想定され る異常な事態が 生じている状態 をいう。	発生頻度が極めて低く, 貯蔵 容器の寿命中に起こるとは 考えられない事象によって 引き起こされる状態をいう が, 万一発生した場合の設計 の妥当性を確保するために 特に設けたものをいう。	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵容器の落下 	<ul style="list-style-type: none"> 該当なし*

注記* : 東海第二発電所においては, 以下の防止措置が施されており, 設計事象 IV (落下・転倒)
が発生しないため, 事象として選定していない。

- ・ 貯蔵容器吊上げ装置の多重化, インターロック等の防護設備設置による防止
- ・ 貯蔵容器運搬装置については, 貯蔵容器の固縛・固定機構の適切化による防止
- ・ 確定された貯蔵容器の取扱い手順, 作業手順による防止
- ・ 運用機材の適切な保守管理による防止

表 4-3 キャスク容器の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象	荷重時	荷 重		ボルト初期締付力	運搬時荷重	吊上げ荷重	衝撃荷重	熱荷重	備考
		圧力による荷重	自重による荷重				異常着床・支持構造物への衝突		
I	貯蔵時	○	○	○				○	*1
	運搬時	○	*2	○	○			○	
	吊上げ時	○	*2	○		○		○	
	搬出前作業及び燃料取出し作業時	○	○	○				○	
II	衝撃荷重作用時	○	*2	○			○	○	

注記 *1: S_d *地震力及び S_s 地震力は、設計事象 I の貯蔵時における荷重と組み合わせるものとする。

*2: 本状態での自重による荷重は、運搬時荷重、吊上げ荷重又は衝撃荷重に含まれる。

表 4-4 中間胴の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象	荷 重 荷重時	自重による荷重	運搬時荷重	吊上げ荷重	衝撃荷重	熱荷重 [*]	備考
					異常着床・ 支持構造物への衝突		
I	貯 蔵 時	○				○	*2
	運 搬 時	*1	○			○	
	吊 上 げ 時	*1		○		○	
	搬出前作業及び 燃料取出し作業時	○				○	
II	衝撃荷重作用時	*1			○	○	

注記 *1: キャスク容器の熱膨張により生ずる応力に限る。

2: S_d^ 地震力及び S_s 地震力は、設計事象 I の貯蔵時における荷重と組み合わせるものとする。

表 5-1 代 表 事 象

設計事象	代表事象 ¹⁾	包絡される事象	荷重条件	備 考
I + S _d *	貯 蔵 時 (S _d *地震力が 作用する場合)	—————	キヤスク容器内圧：-0.1MPa 蓋間圧力：0.4MPa 自 重：1G(=9.81m/s ²) ボルト初期締付け力 地震力 水平方向： C _H G=1.17G(=11.48m/s ²) 鉛直方向： C _V G=0.65G(= 6.38m/s ²) 熱荷重	—————
I + S _s	貯 蔵 時 (S _s 地震力が 作用する場合)	—————	キヤスク容器内圧：-0.1MPa 蓋間圧力：0.4MPa 自 重：1G(=9.81m/s ²) ボルト初期締付け力 地震力 水平方向： C _H G=1.17G(=11.48m/s ²) 鉛直方向： C _V G=0.65G(= 6.38m/s ²) 熱荷重	—————

注記 1)：本事象について応力解析を行う。

表 5-2 温度分布計算に使用する材料の物性値

構成部材	材 料	温 度 (°C)	熱伝導率 ¹⁾ (W/m・K)
内 洞 上部フランジ 底 板 底部プラグ 中 間 洞 外 筒 一 次 蓋 バルブカバー 二 次 蓋	ステンレス鋼 (SUS304 又は SUSF304)	27 127 327	16.0 16.5 19.0
ガンマ線遮へい体	鉛	27	35.2
伝熱フィン	銅 (C1020)	27	398
		327	383
中性子遮へい体	レジン	—	
内部気体	ヘリウム	27	0.1527
		127	0.1882
		227	0.2212
		327	0.2523
周囲環境	空気	27	0.02614
		127	0.03305
		227	0.03951
		327	0.0456

注記 1) : 参考文献 (1) 参照。ただし, レジンは参考文献 (7) 参照。

表 5-3 温度分布計算に使用するふく射率

構成部材	材 料	ふ く 射 率 ¹⁾
外 筒 二 次 蓋 内 胴 中 間 胴 上部フランジ 一 次 蓋 バルブカバー 底 板 底部プラグ	ステンレス鋼 (SUS304 又は SUSF304)	0.15
ガンマ線遮へい材	鉛	0.28

注記 1) : 参考文献 (3) 参照

表 5-4 熱応力計算に使用する材料の物性値

構成部材	材 料	温 度 (°C)	縦弾性係数 ¹⁾ (MPa)	熱膨張係数 ¹⁾ ($\times 10^{-6}$ mm/mm°C)	ポアソン比 (-)
内 胴 上部フランジ 底 板 底部プラグ 一 次 蓋 中 間 胴	ステンレス鋼 (SUS304 又は SUSF304)	20	195000	15.21	0.3
		50	193000	15.49	
		75	191000	15.68	
		100	190000	15.87	
		125	188000	16.05	
		150	186000	16.21	
		175	184000	16.37	
一 次 蓋 締 付 け ボルト バルブカバー 締付けボルト	合金鋼 (SNB23-3)	20	192000	11.14	—
		50	189000	11.40	
		75	188000	11.62	
		100	186000	11.82	
		125	185000	12.00	
		150	184000	12.21	
		175	182000	12.37	
ガンマ線遮へ い材	鉛	20	1370	28.8	0.44
		100	1280	29.0	0.45
		200	1170	29.6	0.45

注記 1) : 鉛については, 参考文献 (5) 及び (6) 参照。

表 6-1 キャスク容器用材料の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力区分	応力の種類	許容応力値			
		オーステナイト系ステンレス鋼			
		密封シール部以外の部位 ¹⁾		密封シール部	
		SUS 304 SUS F304	許容値 基準	SUS F304	許容値 基準
設計事象 I + S _d *	一次一般膜応力強さ P _m	162	1.2S _m	152	Min{S _y , 1.2S _m }
	一次膜＋一次曲げ応力強さ P _L +P _b ⁴⁾	243	1.8S _m	152	S _y
	一次＋二次応力強さ P _L +P _b +Q ³⁾	405	3S _m	152	S _y
	純せん断応力 σ _s	81	0.6S _m		
	支圧応力 σ _p ²⁾	152(228)	S _y (1.5S _y)		
設計事象 I + S _s	一次一般膜応力強さ P _m	278	Min{2.4S _m , 2/3S _u }	152	S _y
	一次膜＋一次曲げ応力強さ P _L +P _b ⁴⁾	418	Min{3.6S _m , S _u }	152	S _y
	一次＋二次応力強さ P _L +P _b +Q ³⁾	405	3S _m	152	S _y
	純せん断応力 σ _s	167	0.4S _u		
	支圧応力 σ _p ²⁾	418(627)	S _u (1.5S _u)		

注記 1) : 底部プラグ溶接部の許容応力値は表に示される値の 1/2 とする。

2) : () 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

3) : S_d*又はS_s地震力のみによる全振幅について評価する。

4) : P_Lの許容応力はP_L+P_bの許容応力と同一とする。

表 6-2 キャスク容器用材料（ボルト用材料）の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力区分	応力の種類	許容応力値	
		合金鋼 SNB23-3	許容値基準
設計事象 I + S _d *	平均引張応力	550	2 S _m
	平均引張応力+曲げ応力	825	3 S _m
設計事象 I + S _s	平均引張応力	825	S _y
	平均引張応力+曲げ応力	825	S _y

表 6-3 中間胴（キャスク容器との溶接部近接部分）用材料の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力区分	応力の種類	許容応力値	
		オーステナイト系ステンレス鋼	
		SUS 304	許容値基準
設計事象 I + S _d *	一次一般膜応力強さ P _m	162	1.2 S _m
	一次膜+一次曲げ応力強さ P _L +P _b ³⁾	243	1.8 S _m
	一次+二次応力強さ P _L +P _b +Q ²⁾	405	3 S _m
	純せん断応力 σ _s	81	0.6 S _m
	支圧応力 σ _p ¹⁾	152(228)	S _y (1.5S _y)
設計事象 I + S _s	一次一般膜応力強さ P _m	278	Min {2.4S _m , 2/3S _u }
	一次膜+一次曲げ応力強さ P _L +P _b ³⁾	418	Min {3.6S _m , S _u }
	一次+二次応力強さ P _L +P _b +Q ²⁾	405	3 S _m
	純せん断応力 σ _s	167	0.4 S _u
	支圧応力 σ _p ¹⁾	418(627)	S _u (1.5S _u)

注記 1) : () 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

2) : S_d*又はS_s地震力のみによる全振幅について評価する。

3) : P_Lの許容応力はP_L+P_bの許容応力と同一とする。

表 6-4(1) 中間胴（キャスク容器との溶接部近接部分を除く）用材料の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力 区 分	応 力 の 種 類		許 容 応 力 値	
			オーステナイト系ステンレス鋼	
			SUS304	許 容 値 基 準
設計事象 I + S _d * ¹⁾	一次 応力	引張応力	204	1.5 f _t
		圧縮応力	204	1.5 f _c
		せん断応力	117	1.5 f _s
		曲げ応力	204	1.5 f _b
		支圧応力	279	1.5 f _p
	一 次 + 二 次 応力	引張・圧縮応力 ²⁾	408	3 f _t
		せん断応力 ²⁾	234	3 f _s
		曲げ応力 ²⁾	408	3 f _b
		支圧応力	279	1.5 f _p
		座屈応力	117	1.5 f _b , 1.5 f _s 又は 1.5 f _c

注記 1) : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は以下による。

- ① 次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力とせん断応力を組み合わせた応力 (σ_T) は、引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_t^2 + \sigma_\theta^2 - \sigma_n \cdot \sigma_t - \sigma_t \cdot \sigma_\theta - \sigma_\theta \cdot \sigma_n + 3\tau_{nt}^2 + 3\tau_{t\theta}^2 + 3\tau_{n\theta}^2}$$

- ② 圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_{cc}|}{1.5f_c} + \frac{|c\sigma_{bb}|}{1.5f_b} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|t\sigma_{bb}| - |\sigma_{cc}|}{1.5f_t} \leq 1$$

- ③ 引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_{tt}| + |t\sigma_{bb}|}{1.5f_t} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|c\sigma_{bb}| - |\sigma_{tt}|}{1.5f_b} \leq 1$$

ただし、②及び③において、一次応力については上式による。一次+二次応力の場合、分母の 1.5 f_c、1.5 f_b、1.5 f_t は、3 f_c、3 f_b、3 f_t とする。

- 2) : S_d*地震力のみによる応力振幅について評価する。

表 6-4(2) 中間胴（キャスク容器との溶接部近接部分を除く）用材料の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力 区 分	応 力 の 種 類		許 容 応 力 値	
			オーステナイト系ステンレス鋼	
			SUS304	許 容 値 基 準
設計事象 I + S _s ¹⁾	一次 応力	引張応力	204	1.5 f _t *
		圧縮応力	204	1.5 f _c *
		せん断応力	117	1.5 f _s *
		曲げ応力	204	1.5 f _b *
		支圧応力	279	1.5 f _p *
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力 ²⁾	408	3 f _t
		せん断応力 ²⁾	234	3 f _s
		曲げ応力 ²⁾	408	3 f _b
		支圧応力	279	1.5 f _p *
		座屈応力	117	1.5 f _b , 1.5 f _s 又は 1.5 f _c

注記 1) : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は以下による。

- ① 次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力とせん断応力を組み合わせた応力 (σ_T) は、引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_t^2 + \sigma_\theta^2 - \sigma_n \cdot \sigma_t - \sigma_t \cdot \sigma_\theta - \sigma_\theta \cdot \sigma_n + 3\tau_{nt}^2 + 3\tau_{t\theta}^2 + 3\tau_{n\theta}^2}$$

- ② 圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_{cc}|}{1.5f_c} + \frac{|c\sigma_{bb}|}{1.5f_b} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|t\sigma_{bb}| - |\sigma_{cc}|}{1.5f_t} \leq 1$$

- ③ 引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_{tt}| + |t\sigma_{bb}|}{1.5f_t} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|c\sigma_{bb}| - |\sigma_{tt}|}{1.5f_b} \leq 1$$

ただし、②及び③において、一次応力については上式による。一次+二次応力の場合、分母の 1.5 f_c、1.5 f_b、1.5 f_t は、3 f_c、3 f_b、3 f_t とする。

- 2) : S_s地震力のみによる応力振幅について評価する。

表 6-5 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単 位	処 理 桁	処 理 法	表示最小桁
最高使用圧力	MPa	—	—	設 計 値
最高使用温度	℃	—	—	設 計 値
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
許容応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切 捨 て	整 数 値 位
計算応力値 ¹⁾	MPa	小数点以下第 1 位	切 上 げ	整 数 値 位
長 さ	mm	—	—	設 計 値
設 計 震 度	—	小数点以下第 3 位	切 上 げ	小数点以下第 2 位
面 積	mm ²	有効数字 4 桁目	安全側に処理する	有効数字 3 桁
角 度	°	—	—	設 計 値
質 量	kg	—	—	設 計 値
力	N	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁

注記 1) : 応力成分は、小数点以下第 2 位を四捨五入し、小数点以下第 1 位までの値を記載する。

V-2-4-2-3-1 キャスク容器の応力解析の方針②
(タイプⅡ)

目次

1. 概 要	1
2. 適用基準	1
3. 記 号	2
3.1 記号の説明	2
4. 設計条件	4
4.1 基本仕様	4
4.2 燃料条件	4
4.3 設計事象	4
4.4 荷重の種類とその組合せ	4
5. 計算条件	5
5.1 解析対象とする事象	5
5.2 解析箇所	5
5.3 形状及び寸法	5
5.4 物性値	5
5.5 許容応力	5
6. 応力解析の手順	8
6.1 解析手順の概要	8
6.2 荷重条件の選定	8
6.3 温度分布計算	8
6.3.1 温度分布計算の方法	8
6.4 応力計算と評価	8
6.4.1 応力計算の方法	8
6.4.2 応力評価	9
6.4.3 数値の丸め方	10
7. 引用文献	11

図表目次

図 5-1	キャスク容器の応力解析箇所	12
図 6-1	キャスク容器の応力解析フロー図	14
表 4-1	使用済燃料の条件	15
表 4-2	貯蔵容器の設計事象	16
表 4-3	キャスク容器の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ	17
表 5-1	代表事象	18
表 5-2	温度分布計算に使用する材料の物性値	19
表 5-3	温度分布計算に使用するふく射率	20
表 5-4	熱応力計算に使用する材料の物性値	21
表 6-1	キャスク容器用材料の許容応力値	22
表 6-2	キャスク容器用材料（ボルト用材料）の許容応力値	24
表 6-3	数値の丸め方一覧表	25

1. 概 要

本書は、使用済燃料乾式貯蔵容器のキャスク容器に関する応力解析の方針を述べるものである。

注：図表は一括して巻末に示す。

2. 適用基準

使用済燃料乾式貯蔵容器において、放射性物質を閉じ込める圧力バウンダリ境界を構成しているキャスク容器は、貯蔵時において、放射性物質を貯蔵するという観点から、使用済燃料プールや使用済樹脂貯蔵タンク等と同様に、「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。）のクラス3容器相当に区分される。

したがって、圧力荷重に関してはクラス3容器における規格計算式に基づく手法で構造強度を評価することができる。しかし、熱荷重や取扱い時の衝撃荷重等の各種の荷重の作用が想定されることから、これらの荷重に対する強度評価に当たっては、圧力荷重も含め、応力解析により発生応力を求めて評価することが必要であり、同様な「解析による設計」の考え方が採用されているクラス1容器に準じて設計する。

注：本書及び応力計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格〇〇〇-〇〇〇〇〇」として示す。

3. 記 号

3.1 記号の説明

本書及び応力計算書において、応力評価に関する下記の記号を使用する。ただし、本文中に特記のある場合は、この限りでない。

なお、応力計算書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
A	断面積	mm ²
B	「設計・建設規格」付録材料図表 Part7 図2の縦軸のB値	—
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
G	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
G ₁	水平方向加速度	m/s ²
G ₂	鉛直方向加速度	m/s ²
K	応力集中係数	—
m	質量	kg
N _a	許容繰返し回数	回
N _c	繰返し回数	回
P _b	一次曲げ応力	MPa
P _{d o}	最高使用圧力 (外圧)	MPa
P _L	一次局部膜応力	MPa
P _m	一次一般膜応力	MPa
Q	二次応力	MPa
S _d *	弾性設計用地震動S _d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方	—
S _s	基準地震動S _s による地震力	—
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
S _ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S _ℓ '	縦弾性係数を補正した繰返しピーク応力強さ	MPa
T _r	締付けトルク	N・mm
U _f	疲れ累積係数	—

計算書の記号	記号の説明	単位
α	熱膨張係数	mm/(mm \cdot °C)
σ_1	主応力	MPa
σ_2	主応力	MPa
σ_3	主応力	MPa
σ_p	平均支圧応力	MPa
σ_s	平均せん断応力	MPa
σ_n	評価断面に垂直な方向の応力	MPa
σ_t	評価断面に平行な方向の応力	MPa
σ_θ	円周方向応力	MPa
τ_{nt}	せん断応力	MPa
$\tau_{t\theta}$	せん断応力	MPa
$\tau_{\theta n}$	せん断応力	MPa
$I + S_d^*$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用した場合の許容応力状態	—
$I + S_s$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用した場合の許容応力状態	—

4. 設計条件

キャスク容器は以下の設計条件に耐えるように設計する。

4.1 基本仕様

最高使用圧力 1.0 MPa

最高使用温度 170 °C

4.2 燃料条件

使用済燃料乾式貯蔵容器の収納物である使用済燃料の条件を表 4-1 に示す。

4.3 設計事象

設計上考慮する事象については表 4-2 に示す。

4.4 荷重の種類とその組合せ

キャスク容器の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 4-3 に示す。応力解析に用いる荷重は応力計算書に記載する。

5. 計算条件

5.1 解析対象とする事象

表 5-1 に示すように解析対象とする設計事象は $I + S_d^*$ 及び $I + S_s$ とし、解析を実施する。

5.2 解析箇所

キャスク容器の応力解析を行う箇所は、次の通りである（図 5-1 参照）。

- (1) 胴
- (2) 底板
- (3) 一次蓋
- (4) 一次蓋締付けボルト
- (5) バルブカバー
- (6) バルブカバー締付けボルト
- (7) 密封シール部

5.3 形状及び寸法

応力解析を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。

5.4 物性値

温度分布計算、応力計算及び疲れ解析の必要性検討に使用する材料の物性値は以下の通りである。

- (1) 温度分布計算に使用する物性値を表 5-2 及び表 5-3 に示す。
なお、熱伝導率はその温度依存性を考慮する。
- (2) 熱応力計算に使用する物性値を表 5-4 に示す。
なお、熱応力計算に使用する物性値はその温度依存性を考慮する。
- (3) 内圧及び機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、最高使用温度に対する値を用いる。なお、常温は 20 °C とする。
- (4) 物性値を温度補正して使用する場合には、補正方法を応力計算書に示す。

5.5 許容応力

材料の応力強さの限界及び許容応力は、次の各号に掲げるとおりとする。

- (1) キャスク容器（穴の周辺部及びボルトを除く。）にあつては、次によること。
 - a. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用して生じる応力の応力解析による一次応力強さは、「設計・建設規格」 PVB-3111(2)a. 及び d. に定める値を超えないこと。
 - b. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる応力の応力解析による一次応力強さは、「設計・建設規格」 PVB-3111(3)a. 及び c. に定める値を超えないこと。

- c. 設計事象 I の貯蔵時において、 S_d^* 又は S_s 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力を加えて求めた応力解析による応力強さのサイクルにおいて、その最大値と最小値の差は、「設計・建設規格」 PVB-3112 に定める値を超えないこと。
 - d. キャスク容器の胴にあつては設計事象 I 及び設計事象 II において生じる応力解析による熱応力のサイクルにおいて、その最大値と最小値との差は「設計・建設規格」 PVB-3112 に定める値を超えないこと。
 - e. 設計事象 I 及び設計事象 II において生じる応力の疲れ解析は、「設計・建設規格」 PVB-3114 に定める値を超えないこと。
 - f. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 又は S_s 地震動のみによる応力の疲れ解析を行い、疲れ累積係数を求め、e. で求めた疲れ累積係数との和が 1.0 を超えないこと。
 - g. 純せん断荷重を受ける部分にあつては、a. 及び b. の規定にかかわらず、平均せん断応力は、次の値を超えないこと。
 - (a) 設計事象 I の貯蔵時の状態において S_d^* 地震力が作用する場合においては、「設計・建設規格」 付録材料図表 Part5 表 1 に定める値の 0.6 倍の値
 - (b) 設計事象 I の貯蔵時の状態において S_s 地震力が作用する場合においては、「設計・建設規格」 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値の 0.4 倍の値
 - h. 支圧荷重を受ける部分にあつては、平均支圧応力は、次の値を超えないこと。
 - (a) 設計事象 I の貯蔵時の状態において S_d^* 地震力が作用する場合においては、「設計・建設規格」 PVB-3116(1) 及び(2) に定める値
 - (b) 設計事象 I の貯蔵時の状態において S_s 地震力が作用して生じる場合で、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は、「設計・建設規格」 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値の 1.5 倍の値
 - (c) 設計事象 I の貯蔵時の状態において S_s 地震力が作用して生じる場合で、(b) 以外の場合は、「設計・建設規格」 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値
 - i. 密封シール部にあつては、次によること。
 - (a) 設計事象 I の貯蔵時の状態において S_d^* 地震力が作用する場合において生じる応力の応力解析による一次一般膜応力強さは、「設計・建設規格」 PVB-3111(2)a. に定める値を超えないこと。また、一次膜応力と一次曲げ応力を加えて求めた応力強さ、並びに一次応力と二次応力を加えて求めた応力解析による応力強さは、いずれも「設計・建設規格」 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値を超えないこと。
 - (b) 設計事象 I の貯蔵時の状態において S_s 地震力が作用する場合において生じる応力の応力解析による一次一般膜応力強さ及び一次膜応力と一次曲げ応力を加えて求めた応力強さ、並びに一次応力と二次応力を加えて求めた応力解析による応力強さは、いずれも「設計・建設規格」 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値を超えないこと。
- (2) ボルトにあつては、次によること。
- a. 設計事象 I の貯蔵時の状態において S_d^* 地震力が作用する場合において生じる応力は、「設計・建設規格」 PVB-3121(2) に定める値を超えないこと。

- b. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において S_s 地震力が作用する場合において生じる応力は、次に定める値を超えないこと。
- (a) 軸方向に垂直な断面の平均引張応力は、「設計・建設規格」 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値
 - (b) (a)に規定する平均引張応力と曲げ応力の和は、ボルトの断面の外周において、「設計・建設規格」 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値
- c. 設計事象Ⅰ及び設計事象Ⅱにおいて生じる応力の疲れ解析は、「設計・建設規格」 PVB-3122 によること。
- d. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_d^* 又は S_s 地震動のみによる応力の疲れ解析を行い、疲れ累積係数を求め、c. で求めた疲れ累積係数との和が 1.0 を超えないこと。
- (3) 疲れ解析において使用する疲れ強度減少係数及び応力集中係数は「設計・建設規格」 PVB-3130 に定めるものによる。
- (4) (1)及び(2)において、繰返し荷重が「設計・建設規格」 PVB-3140(1)から(6)までの規定に適合するときは、疲れ解析を行うことを要しない。
- (5) (1)から(4)において、「設計・建設規格」の「供用状態A」,「供用状態B」,「供用状態C」及び「供用状態D」は、それぞれ「設計事象Ⅰ」,「設計事象Ⅱ」,「設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用して生じる場合」及び「設計事象Ⅰの状態において、 S_s 地震力が作用して生じる場合」と読み替える。
- (6) キャスク容器に穴を設ける場合は、「設計・建設規格」 PVB-3500 の規定による。

許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

6. 応力解析の手順

応力解析を行う場合の手順について一般的な事項を述べる。

6.1 解析手順の概要

キャスク容器の応力解析フローを図 6-1 に示す。

キャスク容器の応力解析は、想定される圧力荷重、機械的荷重及び熱荷重を基に、キャスク容器の実形状をモデル化し、解析コードである ABAQUS 及び応力評価式を用いて行う。

ABAQUS とは、有限要素法に基づく伝熱解析、応力解析の汎用解析コードである。

温度分布計算は、領域を小さなメッシュに分割し、各メッシュについての熱平衡方程式を立て、微小時間でステップごとの温度分布を順次求める方式によっている。

応力計算は、解析しようとする箇所を形状、材料等の不連続部で小さなメッシュに分割することによって行う。

6.2 荷重条件の選定

荷重条件は 4 章に示されているが、各部の計算においては、その部分について重要な荷重条件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は応力計算書に示す。

6.3 温度分布計算

6.3.1 温度分布計算の方法

(1) 計算を行う設計事象は、貯蔵容器の姿勢が縦置き貯蔵時とする。

(2) 計算モデルは次の方針に従う。

a. 温度分布計算では、軸対称要素による解析モデル（以下「軸対称モデル」という。）を用いる。軸対称モデルは、キャスク容器、底部中性子遮へい体カバー（底部レジンカバー）、二次蓋及び外筒の形状について対称性を考慮する。キャスク容器内面に伝わる熱流束の対称性を考慮し、バスケット及び使用済燃料を均質化して燃料有効長の部分を発熱させる。

レジン及び伝熱フィンについては均質体として扱うため、二次元平面要素によるモデルによりキャスク容器外面と外筒内面との温度を求め伝熱抵抗と等価な熱伝導率を与える。

b. 形状及び材料の不連続性を考慮して、温度計算のためメッシュ分割を行う。

c. 外表面からの放熱は自然対流及びふく射とする。

d. モデル図及び境界条件を応力計算書に示す。

なお、境界には計算で求めた熱伝達率を考慮する。

(3) 計算コードを用いて、温度分布を計算する。

(4) 境界における熱伝達率、温度分布の計算結果を応力計算書に示す。

6.4 応力計算と評価

6.4.1 応力計算の方法

(1) 応力計算は荷重ごとに行う。荷重条件として与えるものは次の 3 つである。

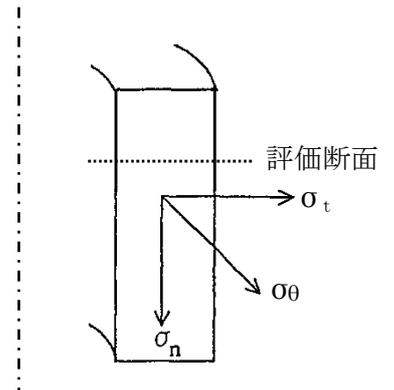
- a. 内圧
 - b. 機械的荷重
自重（燃料集合体含む貯蔵容器（二次蓋含む。）の貯蔵時の設計質量を用いる。）、衝撃荷重及びその他の付加荷重をいう。
 - c. 熱荷重
キャスク容器に生じる温度変化，温度勾配による荷重であって，温度分布計算の結果から得られるものをいう。
- (2) 計算モデルは次の方針に従う。
- a. モデル化に当たっては，キャスク容器及び底部中性子遮へい体カバーの形状の対称性及び荷重の対称性を考慮する。
 - b. 解析モデルは原則として軸対称固体（連続体）要素による解析モデルとするが，荷重が局部的に作用する事象については，その局部的荷重による発生応力を評価するため三次元固体（連続体）要素による解析モデルとする。
また，モデル化に当たり，対称性を考慮して境界条件を設定する。モデル図及び境界条件を応力計算書に示す。
- (3) 構造及び材料の不連続性を考慮して，応力評価点（面）をとる。評価点（面）は，計算書の形状図中に，番号〔例①〕で示す。
- (4) 応力評価は，この応力評価点（面）について行う。
- (5) 溶接部については，母材と同等の物性値及び機械的性質を用いる。

6.4.2 応力評価

応力の計算結果は，「設計・建設規格」GNR-2130 による定義に従い，応力種類ごとに分類し，以下の評価を応力計算書に示す。

なお，応力の記号とその方向は下記の通りである。

- σ_{θ} : 円周方向応力
- σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力
- σ_t : 評価断面に平行な方向の応力
- $\tau_{\theta n}$: せん断応力
- $\tau_{n t}$: せん断応力
- $\tau_{t \theta}$: せん断応力



キャスク容器用材料の許容応力を表 6-1～表 6-2 に示す。

- (1) キャスク容器（ボルトを除く。）の応力評価
キャスク容器の応力評価は，「設計・建設規格」PVB-3110 に従い，以下の項目を評価する。
- a. 一次応力強さ
 - b. 一次＋二次応力強さ

- c. 繰返し荷重の評価
- d. 特別な応力の検討
- (a) 純せん断応力の評価
- (b) 支圧応力の評価
- (c) 軸圧縮応力の評価
- (2) ボルトの応力評価
ボルトの応力評価は、「設計・建設規格」PVB-3120 に従い評価する。

6.4.3 数値の丸め方

数値は原則として安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を表 6-3 に示す。

7. 引用文献

文献番号は、本書及び応力計算書において共通である。

- (1) 伝熱工学資料 改訂第4版, 日本機械学会 (1986)
- (2) 機械工学便覧 新版, 日本機械学会 (1987)
- (3) 伝熱工学資料 改訂第3版, 日本機械学会 (1975)
- (4) 平成12年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術確証試験 (金属キャスク貯蔵技術確証試験) 報告書, (財)原子力発電技術機構
- (5) Siegel, R., and Howell, J.R., "THERMAL RADIATION HEAT TRANSFER", Second Edition, Hemisphere Publishing Corporation, New York, (1980)
- (6) Jakob, M., "Heat Transfer", Volume I, John Wiley & Sons, Inc., New York, (1962)
- (7)
- (8) 化学工学便覧 第5版, 化学工学協会 (1988)
- (9) 応力集中 増補版, 西田正孝, 森北出版 (1973)

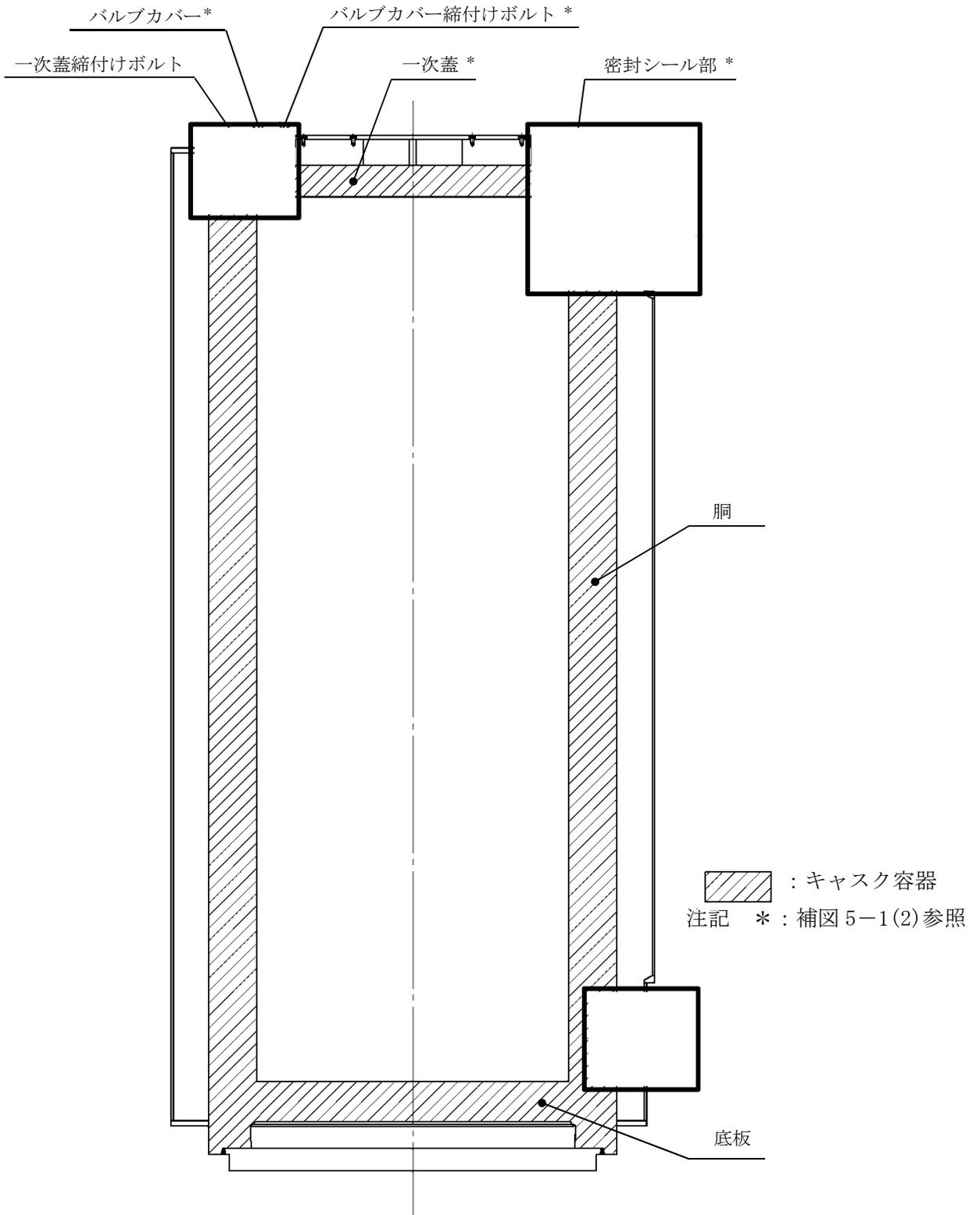


図 5-1 キャスク容器の応力解析箇所（全体断面図）（1/2）

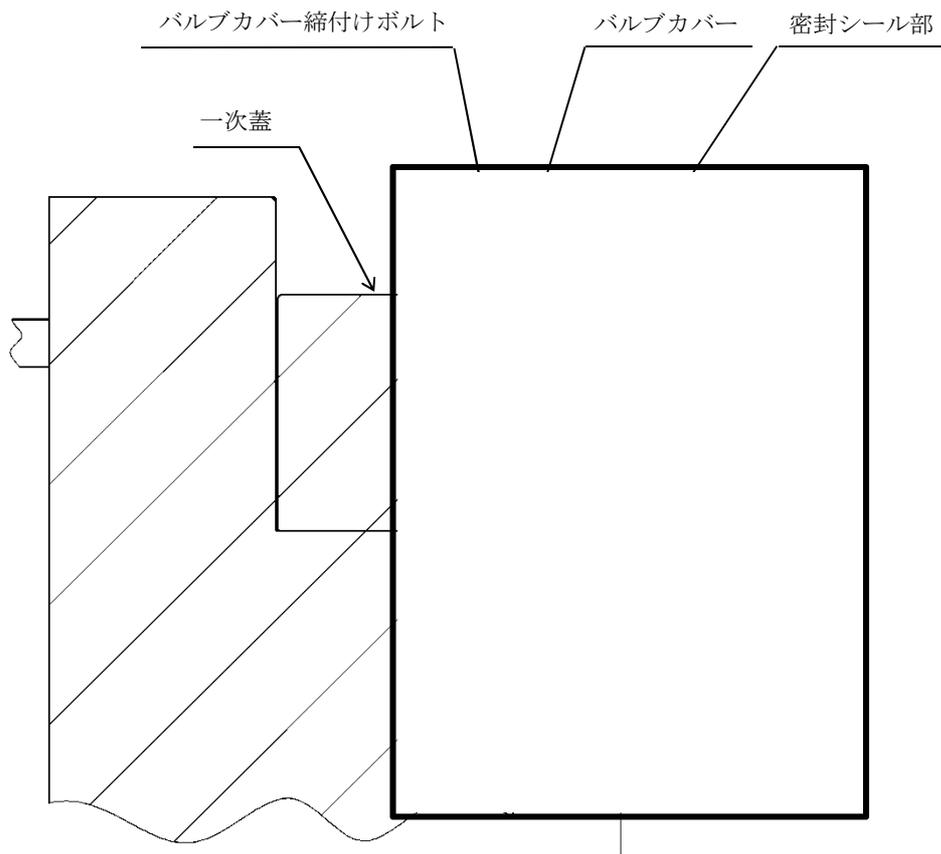


図 5-1 キャスク容器の応力解析箇所（一次蓋貫通部）（2/2）

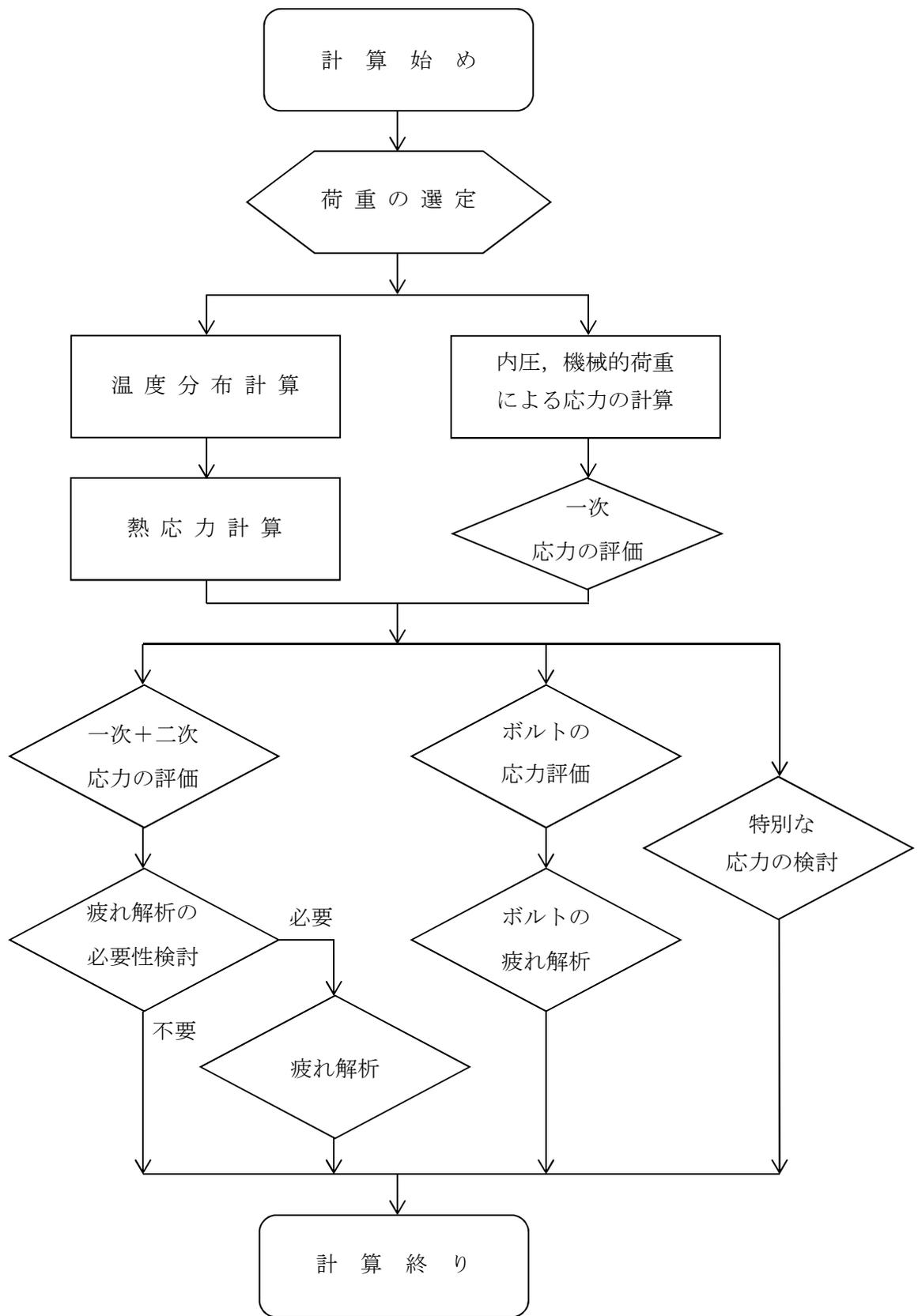


図 6-1 キャスク容器の応力解析フロー図

表 4-1 使用済燃料の条件

項目	燃料条件
対象燃料	高燃焼度 8×8 燃料 ^{*1}
収納対数 (体)	61
発熱量 (kW)	17.1 ^{*2}
姿勢	縦置き
周囲温度 (°C)	45

注記 *1: 8×8 燃料, 新型 8×8 燃料, 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料のうち最も厳しい発熱量となる高燃焼度 8×8 燃料について行う。

*2: ORIGEN 2 コードより求めた。

表 4-2 貯蔵容器の設計事象

設計事象	定義	解説	事象の例	東海第二発電所における選定事象
I	貯蔵容器の通常 の取扱い時及び 貯蔵時の状態を いう。	貯蔵状態及び計画的な取扱 い状態。	・貯蔵 ・貯蔵容器の吊上 げ, 吊下げ, 移動 ・事業所内運搬	・貯蔵
II	設計事象 I, 設 計事象 III, 設計 事象 IV 及び試験 状態以外の状態 をいう。	貯蔵容器の寿命程度の期間 中に予想される取扱い機器 の単一故障, 単一誤動作等の 事象によって, 貯蔵容器が通 常貯蔵状態あるいは通常取 扱い状態から外れるような 状態をいう。	・貯蔵容器の異常 着床 ・取扱い機器の単 一故障, 誤動作	・貯蔵容器の異常 着床 ・貯蔵容器の支持 構造物への衝突
III	貯蔵容器又はそ の取扱い機器等 の故障, 異常な 作動等により, 貯蔵又は計画さ れた取扱いの停 止が緊急に必要 とされる状態を いう。	発生頻度が十分低い事象に よって引き起こされる状態 をいう。すなわち, 設計事象 II でいう機器の単一故障, 運 転員の単一誤操作等によっ て引き起こされるもののう ち, その発生頻度が十分に低 いと考えられるものを分類 する。		
IV	貯蔵容器の安全 設計上想定され る異常な事態が 生じている状態 をいう。	発生頻度が極めて低く, 貯蔵 容器の寿命中に起こるとは 考えられない事象によって 引き起こされる状態をいう が, 万一発生した場合の設計 の妥当性を確保するために 特に設けたものをいう。	・貯蔵容器の落下	・該当なし*

注記* : 東海第二発電所においては, 以下の防止措置が施されており, 設計事象 IV (落下・転倒) が発生しないため, 事象として選定していない。

- ・ 貯蔵容器吊上げ装置の多重化, インターロック等の防護設備設置による防止
- ・ 貯蔵容器運搬装置については, 貯蔵容器の固縛・固定機構の適切化による防止
- ・ 確定された貯蔵容器の取扱い手順, 作業手順による防止
- ・ 運用機材の適切な保守管理による防止

表 4-3 キャスク容器の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象	荷重時	荷重	圧力による荷重	自重による荷重	ボルト初期締付け力	運搬時荷重	吊上げ荷重	衝撃荷重	熱荷重	備考
								異常着床 支持構造物への衝突		
I	貯蔵時	○	○	○	—	—	—	—	○	*1
	運搬時	○	*2	○	○				○	
	吊上げ時	○	*2	○			○		○	
	搬出前作業及び 燃料取出し作業時	○	○	○					○	
II	衝撃荷重作用時	○	*2	○				○	○	

注記 *1: 支持構造物であるトラニオン固定ボルトの初期締付け力, S_d *地震力及び S_s 地震力は, 設計事象 I の貯蔵時における荷重と組み合わせるものとする。

*2: 本状態での自重による荷重は, 運搬時荷重, 吊上げ荷重又は衝撃荷重に含まれる。

表 5-1 代表事象

設計事象	代表事象*1	包絡される事象	荷重条件	備考
I + S _d *	貯蔵時 (S _d *地震力が 作用する場合)	—	キャスク容器内圧：-0.1 MPa 蓋間圧力：□ MPa 自重 ボルト初期締付け力 地震力 水平方向：1.17G(=11.48 m/s ²) 鉛直方向：0.65G(=6.38 m/s ²) 熱荷重	—
I + S _s	貯蔵時 (S _s 地震力が 作用する場合)	—	キャスク容器内圧：-0.1 MPa 蓋間圧力：□ MPa 自重 ボルト初期締付け力 地震力 水平方向：1.17G(=11.48 m/s ²) 鉛直方向：0.65G(=6.38 m/s ²) 熱荷重	—

注記 *1：本事象について応力解析を行う。

表 5-2 温度分布計算に使用する材料の物性値

構成部材	材料	温度 (°C)	熱伝導率* (W/(m・K))
銅 一次蓋 二次蓋	炭素鋼(GLF1)		
底部中性子遮へい体カバー 一次蓋リブ	炭素鋼(SGV480)	27 227	43.0 38.6
外筒 一次蓋中性子遮へい体カバー 外筒端板 伝熱フィン	炭素鋼(SM400B)		
伝熱フィン	銅(C1020)	27 327	398 383
中性子遮へい体	レジン(NS-4-FR)	—	0.98
内部気体	ヘリウム	27 127 227 327	0.1527 0.1882 0.2212 0.2523
周囲気体	空気	27 127 227	0.02614 0.03305 0.03951

注記 * : 引用文献(1)参照。ただし、レジン は引用文献(4)参照。

表 5-3 温度分布計算に使用するふく射率

構成部材	材料	ふく射率*
胴(内面溶射)	アルミニウム(粗面)	0.055
一次蓋(内面溶射)	アルミニウム(酸化面)	0.33
サポートシリンダ	ステンレス鋼(SUS304)	0.15
一次蓋(外面) 二次蓋(内面)	炭素鋼(SM400B, GLF1)	0.17
外筒(外面) 胴(外面) 二次蓋(外面) 底部中性子遮へい体カバー(外面)	塗装	0.8

注記 * : 引用文献(3)参照。ただし、塗装面は引用文献(1)参照。一次蓋の溶射面では保守的に酸化を考慮、値は引用文献(5)参照。

表 5-4 熱応力計算に使用する材料の物性値

構成部材	材料	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	熱膨張係数 ($\times 10^{-6}$ mm/(mm \cdot °C))	ポアソン比 (-)
胴 一次蓋	炭素鋼 (GLF1)	20	203000	9.73	0.3
		50	201000	10.10	
		75	200000	10.39	
		100	198000	10.69	
		125	196000	11.00	
		150	195000	11.28	
		175	193000	11.56	
		200	191000	11.85	
バルブカバー	ステンレス鋼 (SUS304)	20	195000	15.21	0.3
		50	193000	15.49	
		75	191000	15.68	
		100	190000	15.87	
		125	188000	16.05	
		150	186000	16.21	
		175	184000	16.37	
		200	183000	16.52	
一次蓋締付け ボルト バルブカバー 締付けボルト	低合金鋼 (SNB23-3)	20	192000	11.14	0.3
		50	189000	11.40	
		75	188000	11.62	
		100	186000	11.82	
		125	185000	12.00	
		150	184000	12.21	
		175	182000	12.37	
		200	180000	12.54	

表 6-1 キヤスク容器用材料の許容応力値 (1/2)

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類	許容応力値			
		炭素鋼			
		密封シール部以外		密封シール部	
		GLF1	許容値基準	GLF1	許容値基準
I + S _d *	一次一般膜応力強さ P _m	181	Min {S _y , 2/3 S _u }	181	Min {S _y , 2/3 S _u }
	一次膜+一次曲げ応力強さ P _L + P _b	271	Min {1.5 S _y , S _u }	181	S _y
	一次+二次応力強さ P _L + P _b + Q* ²	362	3 S _m	181	S _y
	平均せん断応力 σ _s	72	0.6 S _m		
	平均支圧応力 σ _p * ¹	181 (271)	S _y (1.5 S _y)		
I + S _s	一次一般膜応力強さ P _m	251	2/3 S _u	181	S _y
	一次膜+一次曲げ応力強さ P _L + P _b	377	S _u	181	S _y
	一次+二次応力強さ P _L + P _b + Q* ²	362	3 S _m	181	S _y
	平均せん断応力 σ _s	150	0.4 S _u		
	平均支圧応力 σ _p * ¹	377 (565)	S _u (1.5 S _u)		

注記 *1：() 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

*2：S_d*又はS_s地震力のみによる全振幅について評価する。

表 6-1 キャスク容器用材料の許容応力値 (2/2)

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類	許容応力値	
		ステンレス鋼	
		密封シール部以外	
		SUS304	許容値基準
I + S _d *	一次一般膜応力強さ P _m	160	1.2 S _m
	一次膜+一次曲げ応力強さ P _L + P _b	240	1.8 S _m
	一次+二次応力強さ P _L + P _b + Q* ²	401	3 S _m
	平均せん断応力 σ _s	80	0.6 S _m
	平均支圧応力 σ _p * ¹	150 (225)	S _y (1.5 S _y)
I + S _s	一次一般膜応力強さ P _m	276	Min {2.4 S _m , 2/3 S _u }
	一次膜+一次曲げ応力強さ P _L + P _b	414	Min {3.6 S _m , S _u }
	一次+二次応力強さ P _L + P _b + Q* ²	401	3 S _m
	平均せん断応力 σ _s	165	0.4 S _u
	平均支圧応力 σ _p * ¹	414 (621)	S _u (1.5 S _u)

注記 *1 : () 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

*2 : S_d*又はS_s地震力のみによる全振幅について評価する。

表 6-2 キャスク容器用材料（ボルト用材料）の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類	許容応力値	
		低合金鋼	
		一次蓋締付けボルト バルブカバー締付けボルト	
		SNB23-3	許容値基準
I + S _d *	平均引張応力	547	2 S _m
	平均引張応力+曲げ応力	821	3 S _m
I + S _s	平均引張応力	820	S _y
	平均引張応力+曲げ応力	820	S _y

表 6-3 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単位	処理桁	処理法	表示最小桁
最高使用圧力	MPa	—	—	設計値
最高使用温度	℃	—	—	設計値
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
許容応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数
計算応力値*	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数
長さ	mm	—	—	設計値
設計震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
角度	°	—	—	設計値
質量	kg	—	—	設計値
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁

注記 * : 応力成分は、小数点以下第 2 位を四捨五入し、小数点以下第 1 位までの値を記載する。

V-2-4-2-3-1 キャスク容器の応力解析の方針③
(タイプⅢ)

目次

1. 概 要	1
2. 適用基準	2
3. 記 号	3
3.1 記号の説明	3
4. 設計条件	5
4.1 基本仕様	5
4.2 燃料条件	5
4.3 設計事象	5
4.4 荷重の種類とその組合せ	5
5. 計算条件	6
5.1 解析対象とする事象	6
5.2 解析箇所	6
5.3 形状及び寸法	6
5.4 物性値	6
5.5 許容応力	6
6. 応力解析の手順	9
6.1 解析手順の概要	9
6.2 荷重条件の選定	9
6.3 温度分布計算	9
6.3.1 温度分布計算の方法	9
6.4 応力計算と応力の分類	9
6.4.1 応力計算の方法	9
6.4.2 応力評価	10
6.4.3 数値の丸め方	11
7. 引用文献	12

図表目次

図 5-1	キャスク容器の応力解析箇所	13
図 6-1	キャスク容器の応力解析フロー図	15
表 4-1	使用済燃料の条件	16
表 4-2	貯蔵容器の設計事象	17
表 4-3	キャスク容器の設計上考慮すべき荷重の種類と組合せ	18
表 5-1	代表事象	19
表 5-2	温度分布計算に使用する材料の物性値	20
表 5-3	温度分布計算に使用するふく射率	20
表 5-4	熱応力計算に使用する材料の物性値	21
表 6-1	キャスク容器用材料の許容応力値	22
表 6-2	キャスク容器用材料（ボルト用材料）の許容応力値	24
表 6-3	数値の丸め方一覧表	25

1. 概 要

本書は,使用済燃料乾式貯蔵容器のキャスク容器に関する応力解析の方針を述べるものである。

注：図表は一括して巻末に示す。

2. 適用基準

使用済燃料乾式貯蔵容器において、放射性物質を閉じ込める圧力バウンダリ境界を構成しているキャスク容器は、貯蔵時において、放射性物質を貯蔵するという観点から、使用済燃料プールや使用済樹脂貯蔵タンク等と同様に、「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。）のクラス3容器相当に区分される。

したがって、圧力荷重に関してはクラス3容器における規格計算式に基づく手法で構造強度を評価することができる。しかし、熱荷重や取扱い時の衝撃荷重等の各種の荷重の作用が想定されることから、これらの荷重に対する強度評価に当たっては、圧力荷重も含め、応力解析により発生応力を求めて評価することが必要であり、同様な「解析による設計」の考え方が採用されているクラス1容器に準じて設計する。

注：本書及び応力計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格〇〇〇-〇〇〇〇」
〇」として示す。

3. 記号

3.1 記号の説明

本書及び応力計算書において、応力評価に関する以下の記号を使用する。ただし、本文中に特記ある場合は、この限りでない。

なお、応力計算書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
A	断面積	mm ²
B	設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図2 の縦軸のB 値	—
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
G	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
G ₁	水平方向加速度	m/s ²
G ₂	鉛直方向加速度	m/s ²
K	応力集中係数	—
m	質量	kg
N	許容繰返し回数	回
n	繰返し回数	回
P _a	許容外圧	MPa
P _b	一次曲げ応力	MPa
P _{do}	最高使用圧力 (外圧)	MPa
P _L	一次局部膜応力強さ	MPa
P _m	一次一般膜応力強さ	MPa
Q	二次応力	MPa
R	キャスク容器の平均半径	mm
r	半径	mm
S	許容繰返し回数に対する繰返しピーク応力強さ	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の大きい方	—
S _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	—

計算書の記号	記号の説明	単 位
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
S_ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S_ℓ'	縦弾性係数を補正した繰返しピーク応力強さ	MPa
T	温度	°C
T_r	締付けトルク	N・mm
t	板厚	mm
U	疲労累積係数	—
W	荷重	N
α	熱膨張係数	mm/mm°C
σ_b	圧縮応力	MPa
σ_p	平均支圧応力	MPa
σ_s	平均せん断応力	MPa
σ_n	評価断面に垂直な方向の応力	MPa
σ_t	評価断面に平行な方向の応力	MPa
σ_θ	円周方向応力	MPa
τ_{nt}	せん断応力	MPa
$\tau_{t\theta}$	せん断応力	MPa
$\tau_{\theta n}$	せん断応力	MPa
$I + S_d^*$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用した場合の許容応力区分	—
$I + S_s$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用した場合の許容応力区分	—

4. 設計条件

キャスク容器は以下の設計条件に耐えるように設計する。

4.1 基本仕様

最高使用圧力 1.0 MPa

最高使用温度 160 °C

4.2 燃料条件

使用済燃料乾式貯蔵容器の収納物である使用済燃料の条件を表 4-1 に示す。

4.3 設計事象

設計上考慮する事象については表 4-2 に示す。

4.4 荷重の種類とその組合せ

キャスク容器の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 4-3 に示す。応力解析に用いる荷重は応力計算書に記載する。

5. 計算条件

5.1 解析対象とする事象

表 5-1 に示すように解析対象とする設計事象は $I + S_d^*$ 及び $I + S_s$ とし、解析を実施する。

5.2 解析箇所

キャスク容器の応力解析を行う箇所は、次のとおりである（図 5-1 参照）。

- (1) 胴
- (2) 底板
- (3) 一次蓋
- (4) 一次蓋締付けボルト
- (5) バルブカバー
- (6) バルブカバー締付けボルト
- (7) 密封シール部

5.3 形状及び寸法

応力解析を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。

5.4 物性値

温度分布計算、応力計算及び疲労解析の必要性検討に使用する材料の物性値は以下のとおりである。

- (1) 温度分布計算に使用する物性値を表 5-2 及び表 5-3 に示す。
なお、熱伝導率はその温度依存性を考慮する。
- (2) 熱応力計算に使用する物性値を表 5-4 に示す。
なお、熱応力計算に使用する物性値はその温度依存性を考慮する。
- (3) 内圧及び機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、最高使用温度に対する値を用いる。なお、常温は 20°C とする。
- (4) 物性値を温度補正して使用する場合には、補正方法を応力計算書に示す。

5.5 許容応力

材料の応力強さの限界及び許容応力は、次の各号に掲げるとおりとする。

- (1) キャスク容器（穴の周辺部及びボルトを除く。）にあつては、次によること。
 - a. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用して生じる応力の応力解析による一次応力強さは、設計・建設規格 PVB-3111(2)a. 及び d. の規定を満足すること。
 - b. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる応力の応力解析による一次応力強さは、設計・建設規格 PVB-3111(3)a. 及び c. の規定を満足すること。
 - c. 設計事象 I 及び設計事象 II において生じる一次応力と二次応力を加えて求めた応

力解析による応力強さのサイクルにおいて、その最大値と最小値の差は、設計・建設規格 PVB-3112 の規定を満足すること。

- d. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 又は S_s 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力を加えて求めた応力解析による応力強さのサイクルにおいて、その最大値と最小値との差は、設計・建設規格 PVB-3112 の規定を満足すること。
- e. 設計事象 I 及び設計事象 II において生じる応力の疲労解析は、設計・建設規格 PVB-3114 の規定を満足すること。
- f. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 又は S_s 地震動のみによる応力の疲労解析を行い、疲労累積係数を求め、e. で求めた疲労累積係数との和が 1.0 を超えないこと。
- g. 純せん断荷重を受ける部分にあつては、平均せん断応力は、次の規定を満足すること。
 - (a) 設計事象 I，設計事象 I の貯蔵時の状態において S_d^* 地震力が作用する場合においては、設計・建設規格 PVB-3115(1) の規定
 - (b) 設計事象 I の貯蔵時の状態において S_s 地震力が作用する場合においては、設計・建設規格 PVB-3115(2) の規定
- h. 支圧荷重を受ける部分にあつては、平均支圧応力は、次の規定を満足すること。
 - (a) 設計事象 I，設計事象 I の貯蔵時の状態において S_d^* 地震力が作用する場合においては、設計・建設規格 PVB-3116(1) 又は(2) の規定
 - (b) 設計事象 I の貯蔵時の状態において S_s 地震力が作用して生じる場合で、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平均支圧応力は、設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 9 にて規定する値の 1.5 倍の値を超えないこと。
 - (c) 設計事象 I の貯蔵時の状態において S_s 地震力が作用して生じる場合で、(b) 以外の場合の平均支圧応力は、設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 9 にて規定する値を超えないこと。
- i. 密封シール部にあつては、次によること。
 - (a) 設計事象 I において生じる応力の応力解析による一次応力と二次応力を加えて求めた応力解析による応力強さのサイクルにおいて、その最大値と最小値との差は、いずれも設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 にて規定される値を超えないこと。
 - (b) 設計事象 I の貯蔵時の状態において S_d^* 地震力が作用する場合において生じる応力の応力解析による一次一般膜応力強さは、設計・建設規格 PVB-3111(2)a. の規定又は設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 にて規定される値のいずれか小さい方の値を超えないこと。また、一次膜応力と一次曲げ応力を加えて求めた応力強さ、並びに一次応力と二次応力を加えて求めた応力解析による応力強さのサイクルにおいて、その最大値と最小値との差は、いずれも設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 にて規定される値を超えないこと。
 - (c) 設計事象 I の貯蔵時の状態において S_s 地震力が作用する場合において生じる応力の応力解析による一次一般膜応力強さ及び一次膜応力と一次曲げ応力を加えて求め

た応力強さ、並びに一次応力と二次応力を加えて求めた応力解析による応力強さのサイクルにおいて、その最大値と最小値との差は、いずれも設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 にて規定される値を超えないこと。

- (2) ボルトにあつては、次によること。
- a. 設計事象 I，設計事象 I の貯蔵時の状態において S_d *地震力が作用する場合において生じる応力は、設計・建設規格 PVB-3121 (2) の規定を満足すること。
 - b. 設計事象 I の貯蔵時の状態において S_s 地震力が作用する場合において生じる応力は、次の規定を満足すること。
 - (a) 軸方向に垂直な断面の平均引張応力は、設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 にて規定される値を超えないこと。
 - (b) (a) に規定する平均引張応力と曲げ応力の和は、ボルトの断面の外周において、設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 にて規定される値を超えないこと。
 - c. 設計事象 I 及び設計事象 II において生じる応力の疲労解析は、設計・建設規格 PVB-3122 の規定を満足すること。
 - d. 設計事象 I の貯蔵時の状態において S_d *又は S_s 地震動のみによる応力の疲労解析を行い、疲労累積係数を求め、c. で求めた疲労累積係数との和が 1.0 を超えないこと。
- (3) 疲労解析において使用する疲労強度減少係数及び応力集中係数は設計・建設規格 PVB-3130 の規定によること。
- (4) (1) 及び(2)において、繰返し荷重が設計・建設規格 PVB-3140 (1) から(6)までの規定に適合するときは、疲労解析を行うことを要しない。
- (5) 外面に圧力を受けるキャスク容器の胴にあつては、設計事象 I において外面に受ける圧力は、設計・建設規格 PVB-3210 (1) の規定を満足すること。
- (6) (1), (2), (3), (4) 及び(5)の場合において、設計・建設規格の“供用状態 A, 供用状態 B”はそれぞれ“設計事象 I, 設計事象 II”と読み替える。
- (7) キャスク容器に穴を設ける場合は、設計・建設規格 PVB-3500 の規定を満足すること。
- (8) キャスク容器の胴の形状は、設計・建設規格 PVB-4110 (1) 及び(3)の規定を満足すること。

許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

6. 応力解析の手順

応力解析を行う場合の手順について一般的な事項を述べる。

6.1 解析手順の概要

キャスク容器の応力解析フローを図6-1に示す。

キャスク容器の応力解析は、想定される圧力荷重、機械的荷重及び熱荷重を基に、キャスク容器の実形状をモデル化し、汎用解析コードである「ABAQUS」及び応力評価式を用いて行う。

「ABAQUS」とは、有限要素法に基づく、伝熱解析、応力解析等の汎用解析コードである。温度分布計算及び応力計算は、解析しようとする箇所を形状、材料等の不連続部を小さなメッシュに分割し、各メッシュについて計算を実施することによって行う。

6.2 荷重条件の選定

荷重条件は4.項に示されているが、各部の計算においては、その部分についての重要な荷重条件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は応力計算書に示す。

6.3 温度分布計算

6.3.1 温度分布計算の方法

- (1) 計算を行う設計事象は、貯蔵容器の姿勢が縦置き貯蔵時とする。
- (2) 計算モデルは次の方針に従う。
 - a. 温度分布計算では、軸対称要素による解析モデル(以下、「軸対称モデル」という。),を用いる。軸対称モデルは、胴、底板、中性子遮蔽体、一次蓋、二次蓋及び外筒の形状について対称性を考慮する。レジン及び伝熱フィン、バスケット及び使用済燃料についてはそれぞれ均質化し、燃料の有効発熱部を発熱させる。
レジン及び伝熱フィンについては均質体として扱うため、二次元平面要素によるモデルによりキャスク容器外面と外筒内面との温度を求め伝熱抵抗と等価な熱伝導率を与える。
 - b. 形状及び材料の不連続性を考慮して、温度計算のためのメッシュ分割を行う。
 - c. 外表面からの放熱は自然対流及びふく射とする。
 - d. モデル図及び境界条件を応力計算書に示す。
なお、境界には計算で求めた熱伝達率を考慮する。
- (3) 計算機コードを用いて、温度分布を計算する。
- (4) 温度分布の計算結果を応力計算書に示す。

6.4 応力計算と応力の分類

6.4.1 応力計算の方法

- (1) 応力計算は荷重ごとに行う。荷重条件として与えられるものは次の3つである。

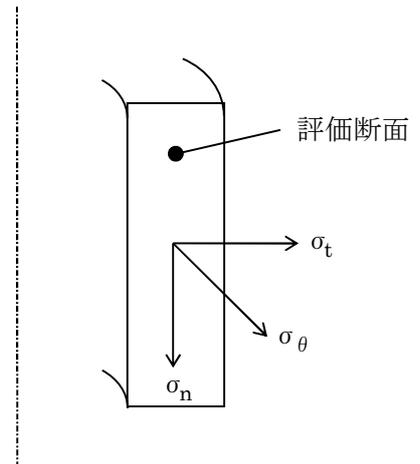
- a. 内圧
 - b. 機械的荷重
自重（燃料集合体を含む貯蔵容器（二次蓋を含む）の貯蔵時の設計重量を用いる。）、衝撃荷重及びその他の負荷荷重をいう。
 - c. 熱荷重
キャスク容器に生じる温度変化、温度勾配による荷重であって、温度分布計算の結果から得られるものをいう。
- (2) 計算モデルは次の方針に従う。
- a. モデル化に当たっては、キャスク容器及び底部中性子遮蔽体カバーの形状の対称性及び荷重の対称性を考慮する。
 - b. 解析モデルは原則として軸対称固体（連続体）要素による解析モデルとするが、荷重が局部的に作用する事象については、その局部的荷重による発生応力を評価するため三次元固体（連続体）要素による解析モデルとする。
また、モデル化に当たり対称性を考慮して境界条件を設定する。モデル図及び境界条件を応力計算書に示す。
- (3) 構造の不連続性を考慮して、応力評価点（面）をとる。評価点（面）は、応力計算書に示す。応力評価は、この応力評価点（面）について行う。
- (4) 溶接部については、母材と同等の物性値及び機械的性質を用いる。

6.4.2 応力評価

応力の計算結果は、設計・建設規格 GNR-2130 による定義に従い、応力の種類毎に分類し、以下の評価を応力計算書に示す。

なお、応力の記号とその方向は次のとおりである。

- σ_{θ} : 円周方向応力
- σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力
- σ_t : 評価断面に平行な方向の応力
- $\tau_{\theta n}$: せん断応力
- τ_{nt} : せん断応力
- $\tau_{t\theta}$: せん断応力



キャスク容器用材料の許容応力値を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

- (1) キャスク容器（ボルトを除く）の応力評価
キャスク容器の応力評価は設計・建設規格 PVB-3110 に従い以下の項目を実施する。
 - a. 一次応力強さ
 - b. 一次+二次応力強さ

- c. 繰返し荷重の評価
- d. 特別な応力の検討
 - (a) 純せん断応力の評価
 - (b) 支圧応力の評価
 - (c) 圧縮応力の評価
- (2) ボルトの応力評価

ボルトの応力評価は設計・建設規格 PVB-3120 に従い評価する。

6.4.3 数値の丸め方

数値は、原則として四捨五入とする。また、評価に用いる許容応力及び算出応力等については、安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については丸めないことを原則とし、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を表 6-3 に示す。

7. 引用文献

文献番号は、本書及び応力計算書において共通である。

- (1) 伝熱工学資料 第4版, 日本機械学会(1986)
- (2) 機械工学便覧 新版 日本機械学会 (1987)
- (3) 伝熱工学資料 第3版, 日本機械学会(1975)

(4)

- (5) 応力集中 増補版, 西田正孝, 森北出版(1973)
- (6) HEAT TRANSMISSION THIRD EDITION, KOGAKUSHA

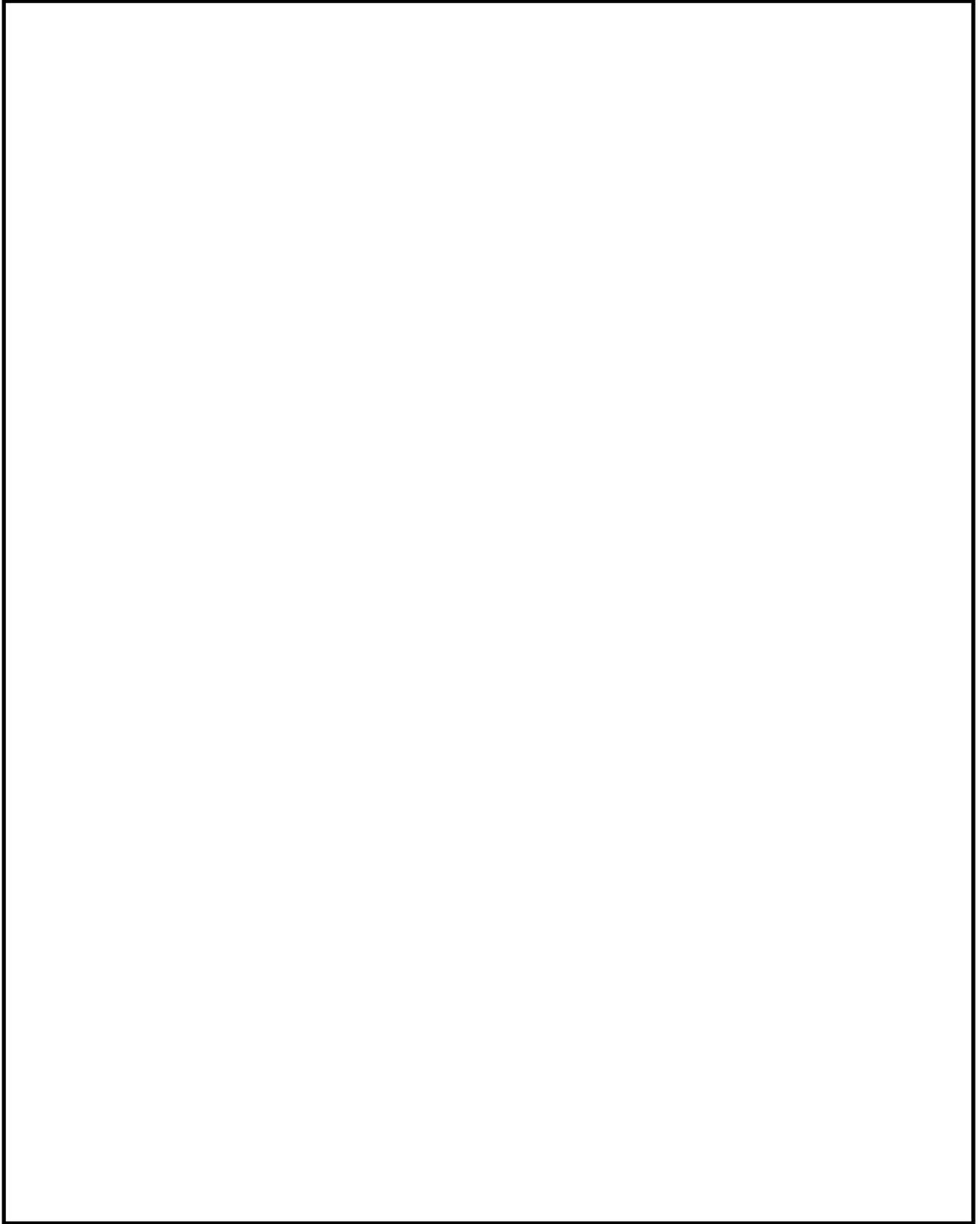


図 5-1 キャスク容器の応力解析箇所(1/2)

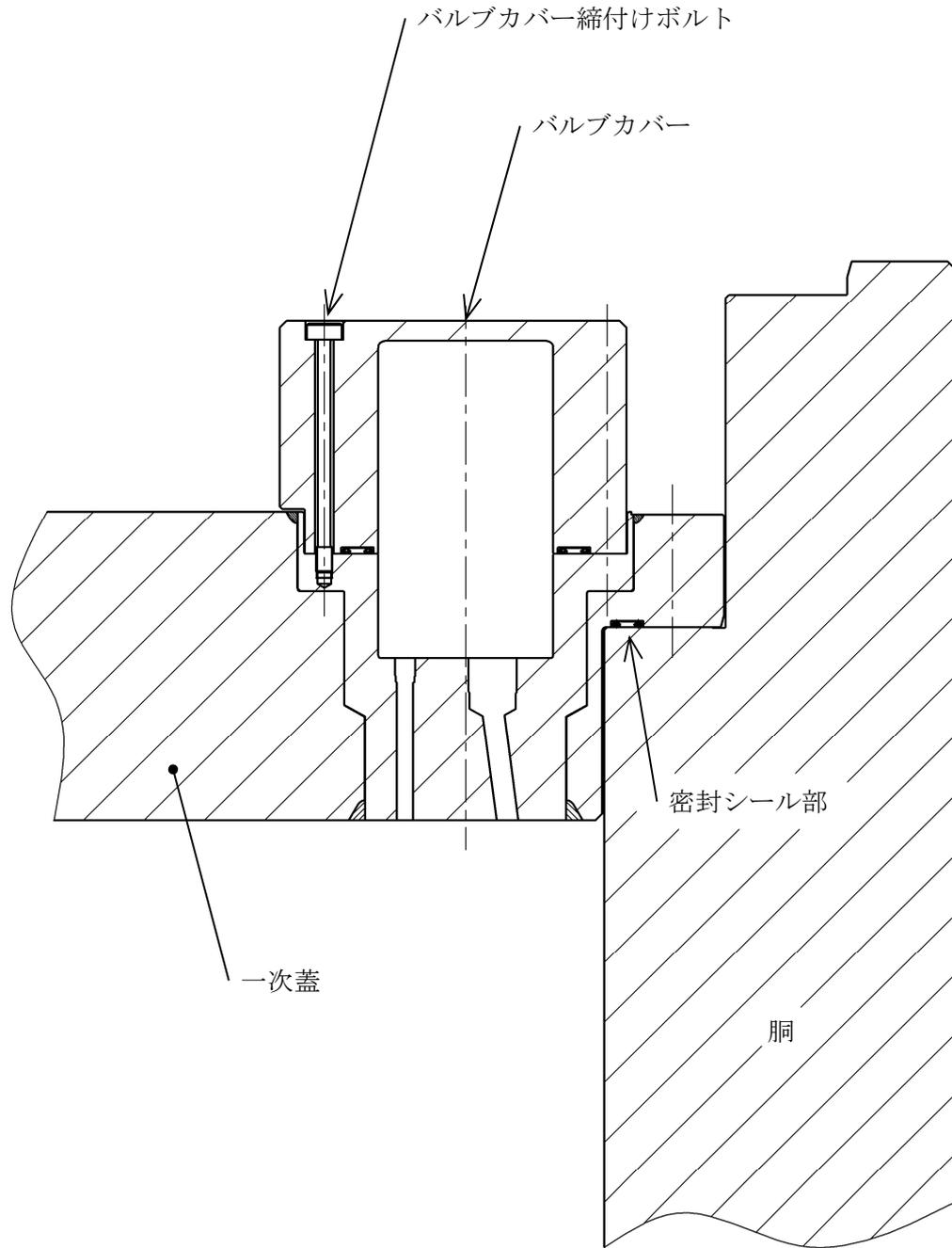


図 5-1 キャスク容器の応力解析箇所(2/2)

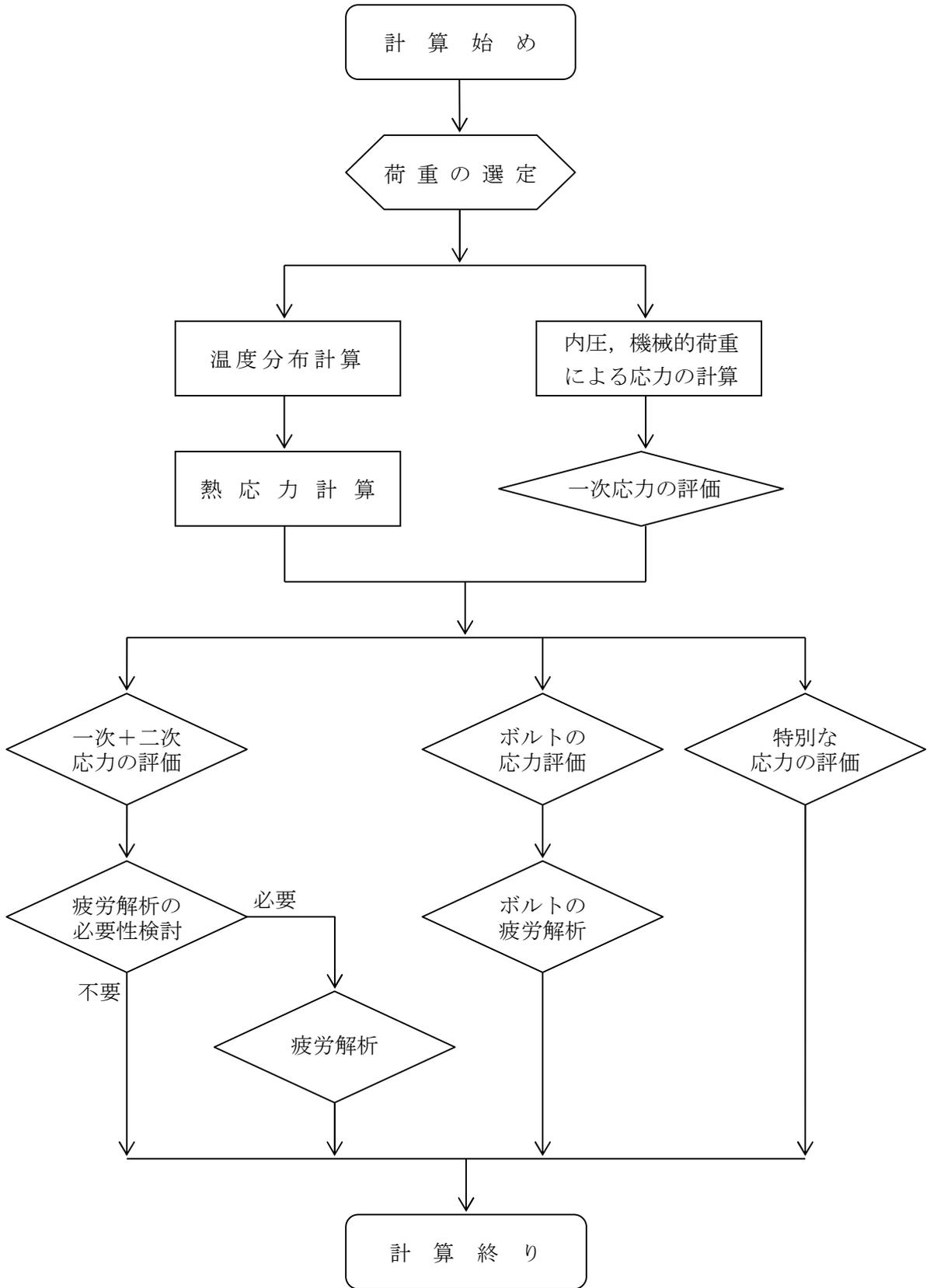


図 6-1 キャスク容器の応力解析フロー図

表 4-1 使用済燃料の条件

項目	燃料条件
対象燃料	高燃焼度 8 × 8 燃料 *1
貯蔵容器 1 基当たりの収納体数 (体)	61
貯蔵容器 1 基当たりの発熱量 (kW)	17.1 *2
姿勢	縦置き / 横置き *3
周囲温度 (°C)	45 / 38 *3

注記 *1 : 8 × 8 燃料, 新型 8 × 8 燃料, 新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8 × 8 燃料のうち最も厳しい発熱量となる高燃焼度 8 × 8 燃料について行う。

*2 : ORIGEN 2 コードにより求めた。

*3 : 貯蔵時 / 運搬時における貯蔵容器姿勢及び周囲温度

表 4-2 貯蔵容器の設計事象

設計事象	定義	解説	事象の例	東海第二発電所における選定事象
I	貯蔵容器の通常 の取扱い時及び 貯蔵時の状態を いう。	貯蔵状態及び計画的な取扱 い状態。	・貯蔵 ・貯蔵容器の吊上 げ, 吊下げ, 移動 ・事業所内運搬	・貯蔵
II	設計事象 I, 設 計事象 III, 設計 事象 IV 及び試験 状態以外の状態 をいう。	貯蔵容器の寿命程度の期間 中に予想される取扱い機器 の単一故障, 単一誤動作等の 事象によって, 貯蔵容器が通 常貯蔵状態あるいは通常取 扱い状態から外れるような 状態をいう。	・貯蔵容器の異常 着床 ・取扱い機器の単 一故障, 誤動作	・貯蔵容器の異常 着床 ・貯蔵容器の支持 構造物への衝突
III	貯蔵容器又はそ の取扱い機器等 の故障, 異常な 作動等により, 貯蔵又は計画さ れた取扱いの停 止が緊急に必要 とされる状態を いう。	発生頻度が十分低い事象に よって引き起こされる状態 をいう。すなわち, 設計事象 II でいう機器の単一故障, 運 転員の単一誤操作等によっ て引き起こされるもののう ち, その発生頻度が十分に低 いと考えられるものを分類 する。		
IV	貯蔵容器の安全 設計上想定され る異常な事態が 生じている状態 をいう。	発生頻度が極めて低く, 貯蔵 容器の寿命中に起こるとは 考えられない事象によつて 引き起こされる状態をいう が, 万一発生した場合の設計 の妥当性を確保するために 特に設けたものをいう。	・貯蔵容器の落下	・該当なし*

注記* : 東海第二発電所においては, 以下の防止措置が施されており, 設計事象 IV (落下・転倒) が発生しないため, 事象として選定していない。

- ・ 貯蔵容器吊上げ装置の多重化, インターロック等の防護設備設置による防止
- ・ 貯蔵容器運搬装置については, 貯蔵容器の固縛・固定機構の適切化による防止
- ・ 確定された貯蔵容器の取扱い手順, 作業手順による防止
- ・ 運用機材の適切な保守管理による防止

表 4-3 キャスク容器の設計上考慮すべき荷重の種類と組合せ

設計事象	荷重時	荷 重		圧力による荷重	自重による荷重	ボルト初期締付力	運搬時荷重	吊上げ荷重	衝撃荷重	熱荷重	備考
		異常着床・支持構造物への衝突									
I	貯蔵時	○	○	○					○	*1	
	運搬時	○	*2	○	○				○		
	吊上げ時	○	*2	○		○			○		
	搬出前作業及び燃料取出し作業時	○	○	○					○		
II	衝撃荷重作用時	○	*2	○				○	○		

注記 *1: S_d *地震力及び S_s 地震力は、設計事象 I の貯蔵時における荷重と組み合わせるものとする。

*2: 本状態での自重による荷重は、運搬時荷重、吊上げ荷重又は衝撃荷重に含まれる。

表 5-1 代表事象

設計事象	代表事象 *1	包絡される事象	荷重条件	備 考
I + S _d *	貯蔵時 〔S _d *地震力が作用する場合〕	—	キャスク容器内圧：-0.1 MPa 蓋間圧力：0.4 MPa 自重：1 G (=9.81 m/s ²) ボルト初期締付け力 地震力 水平方向：0.72 G (=7.06 m/s ²) 鉛直方向：0.36 G (=3.53 m/s ²) 熱荷重	—
I + S _s	貯蔵時 〔S _s 地震力が作用する場合〕	—	キャスク容器内圧：-0.1 MPa 蓋間圧力：0.4 MPa 自重：1 G (=9.81 m/s ²) ボルト初期締付け力 地震力 水平方向：1.17 G (=11.48 m/s ²) 鉛直方向：0.65 G (=6.38 m/s ²) 熱荷重	—

注記 *1：本事象について応力解析を行う。

表 5-2 温度分布計算に使用する材料の物性値

構成部材	材 料	温度 (°C)	熱伝導率 *1 (W/(m・K))
胴, 底板, 一次蓋	炭素鋼 (GLF1)	27	43.0
外筒, 二次蓋	炭素鋼 (SM400A)	227	38.6
s	銅合金 (C1020)	27 327	398 383
中性子遮蔽体	レジン (NS-4-FR)	—	
内部気体	ヘリウム	27	0.1527
		127	0.1882
		227	0.2212
		327	0.2523
周囲環境	空 気	27	0.02614
		127	0.03305
		227	0.03951

注記 *1: 引用文献(1)参照。ただし、レジン は引用文献(4)参照。

表 5-3 温度分布計算に使用するふく射率

構成部材	材 料	ふく射率 *2
胴 (内面溶射)	アルミ亜鉛	0.23
一次蓋 (内面溶射)		
一次蓋 (外面溶射)		
中性子遮蔽体カバー (蓋部) (外面溶射)		
二次蓋 (内面溶射)		
胴 (外面)	塗料(緑色)	0.85
二次蓋 (外面)		
外筒 (外面)		
中性子遮蔽体カバー (底部) (外面)		

注記 *2: 引用文献(1), (3)参照

表 5-4 熱応力計算に使用する材料の物性値

構成部材	材 料	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	熱膨張係数 ($\times 10^{-6}$ mm/mm°C)	ポアソン比 (-)
胴 底 板 一 次 蓋	炭素鋼 (GLF1)	20	203000	9.73	0.3
		50	201000	10.10	
		75	200000	10.39	
		100	198000	10.69	
		125	196000	11.00	
		150	195000	11.28	
		175	193000	11.56	
		200	191000	11.85	
バルブカバー	ステンレス鋼 (SUSF304)	20	195000	15.21	0.3
		50	193000	15.49	
		75	191000	15.68	
		100	190000	15.87	
		125	188000	16.05	
		150	186000	16.21	
		175	184000	16.37	
		200	183000	16.52	
一次蓋締付けボルト バルブカバー締付けボルト	低合金鋼 (SNB23-3)	20	192000	11.14	0.3
		50	189000	11.40	
		75	188000	11.62	
		100	186000	11.82	
		125	185000	12.00	
		150	184000	12.21	
		175	182000	12.37	
		200	180000	12.54	

表 6-1 キャスク容器用材料の許容応力値 (1/2)

(単位：MPa)

許容 応力 区分	応力の種類	許容応力値			
		炭素鋼			
		密封シール部以外		密封シール部	
		GLF1	許容値基準	GLF1	許容値基準
I + S _d *	一次一般膜応力強さ P _m	182	Min. {S _y , 2/3・S _u }	182	Min. {S _y , 2/3・S _u }
	一次膜+一次曲げ応力強さ P _L +P _b	273	Min. {1.5・S _y , S _u }	182	S _y
	一次+二次応力強さ P _L +P _b +Q *2	364	3・S _m	182	S _y
	純せん断応力 σ _s	72	0.6・S _m		
	支圧応力 σ _p *1	182 (273)	S _y (1.5・S _y)		
I + S _s	一次一般膜応力強さ P _m	251	2/3・S _u	182	S _y
	一次膜+一次曲げ応力強さ P _L +P _b	377	S _u	182	S _y
	一次+二次応力強さ P _L +P _b +Q *2	364	3・S _m	182	S _y
	純せん断応力 σ _s	150	0.4・S _u		
	支圧応力 σ _p *1	377 (565)	S _u (1.5・S _u)		

注記 *1：() 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

*2：S_d*又はS_s地震力のみによる全振幅について評価する。

表 6-1 キャスク容器用材料の許容応力値 (2/2)

(単位：MPa)

許容 応力 区分	応力の種類	許容応力値			
		ステンレス鋼			
		密封シール部以外		密封シール部	
		SUS304, SUSF304	許容値基準	SUS304, SUSF304	許容値基準
I + S _d *	一次一般膜応力強さ P _m	162	1.2・S _m	152	Min. {1.2・S _m , S _y }
	一次膜+一次曲げ応力強さ P _L +P _b	243	1.8・S _m	152	S _y
	一次+二次応力強さ P _L +P _b +Q *2	406	3・S _m	152	S _y
	純せん断応力 σ _s	81	0.6・S _m		
	支圧応力 σ _p *1	152 (229)	S _y (1.5・S _y)		
I + S _s	一次一般膜応力強さ P _m	278	Min. {2.4・S _m , 2/3・S _u }	152	S _y
	一次膜+一次曲げ応力強さ P _L +P _b	417	Min. {3.6・S _m , S _u }	152	S _y
	一次+二次応力強さ P _L +P _b +Q *2	406	3・S _m	152	S _y
	純せん断応力 σ _s	167	0.4・S _u		
	支圧応力 σ _p *1	418 (627)	S _u (1.5・S _u)		

注記 *1：() 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

*2：S_d*又はS_s地震力のみによる全振幅について評価する。

表 6-2 キャスク容器用材料（ボルト用材料）の許容応力値

(単位：MPa)

許容 応力 区分	応力の種類	許容応力値	
		低合金鋼	
		一次蓋締付けボルト バルブカバー締付けボルト	
		SNB23-3	許容値基準
I + S _d *	平均引張応力	550	2・S _m
	平均引張+曲げ応力	826	3・S _m
I + S _s	平均引張応力	825	S _y
	平均引張+曲げ応力	825	S _y

表 6-3 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単 位	処 理 桁	処 理 法	表示最小桁
最高使用圧力	MPa	—	—	設 計 値
最高使用温度	℃	—	—	設 計 値
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
許容応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整 数
計算応力値 *	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整 数
長 さ	mm	—	—	設 計 値
設 計 震 度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
面 積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
角 度	°	—	—	設 計 値
質 量	kg	—	—	設 計 値
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁

注記 * : 応力成分は, 小数点以下第 2 位を四捨五入し, 小数点以下第 1 位までの値を記載する。

V-2-4-2-3-2 バスケットの応力解析の方針①
(タイプ I)

目次

1. 概 要	1
2. 適用基準	2
3. 記 号	3
3.1 記号の説明	3
4. 設計条件	5
4.1 基本仕様	5
4.2 温度分布計算条件	5
4.3 設計事象	5
4.4 荷重の種類とその組合せ	5
5. 計算条件	6
5.1 解析対象とする事象	6
5.2 解析箇所	6
5.3 形状及び寸法	6
5.4 物性値	6
5.5 許容応力	7
6. 応力解析の手順	8
6.1 解析手順の概要	8
6.2 荷重条件の選定	8
6.3 温度分布計算	8
6.3.1 温度分布計算の方法	8
6.4 応力計算と評価	9
6.4.1 応力計算の方法	9
6.4.2 応力評価	9
6.4.3 数値の丸め方	10
7. 参考文献	11

図 表 目 次

図 5-1	バスケットの応力解析箇所	12
図 6-1	バスケットの応力解析フロー図	13
表 4-1	使用済燃料の条件	14
表 4-2	貯蔵容器の設計事象	15
表 4-3	バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ	16
表 5-1	代表事象	17
表 5-2	温度分布計算に使用する材料の物性値	18
表 5-3	温度分布計算に使用するふく射率	19
表 5-4	熱応力計算に使用する材料の物性値	19
表 6-1	バスケット用材料の許容応力値	20
表 6-2	数値の丸め方一覧表	21

1. 概 要

本書は、使用済燃料乾式貯蔵容器のバスケットに関する応力解析の方針を述べるものである。

注：図表は、一括して巻末に示す。

2. 適用基準

使用済燃料乾式貯蔵容器において、バスケットは、貯蔵時において、使用済燃料貯蔵ラックと同様に「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））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。）の機器等の区分に当てはまらなると考えられるが、使用済燃料集合体を直接支持する部材であるため、炉心支持構造物に準じて設計する。

注：本書及び応力計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格〇〇〇—〇〇〇〇」として示す。

3. 記号

3.1 記号の説明

本書及び応力計算書において、応力評価に関する以下の記号を使用する。ただし、本文中に特記ある場合は、この限りでない。

なお、応力計算書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
A	断面積または接触面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
F _X	単位長さあたりの X 方向荷重	N/mm
F _Y	単位長さあたりの Y 方向荷重	N/mm
f _s	許容せん断応力	MPa
f _c	許容圧縮応力	MPa
f _b	許容曲げ応力	MPa
G	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
G ₁	Z 方向加速度	m/s ²
G ₂	X 方向加速度	m/s ²
G ₃	Y 方向加速度	m/s ²
L	バスケット全長	mm
L _S	サポートガイドの長さ	mm
P _b	一次曲げ応力	MPa
P _m	一次一般膜応力	MPa
Q	二次応力	MPa
S _d *	弾性設計用地震動 S _d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方	—
S _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	—
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
W	質量	kg
Z	断面係数	mm ³
α _H	水平方向設計加速度	m/s ²
α _V	鉛直方向設計加速度	m/s ²
ρ	密度	kg/mm ³
σ ₁	主応力	MPa
σ ₂	主応力	MPa
σ ₃	主応力	MPa

計算書の記号	記号の説明	単位
σ_b	座屈応力	MPa
σ_p	平均支圧応力	MPa
σ_s	平均せん断応力	MPa
σ_x	評価断面に垂直な方向の応力(x方向)	MPa
σ_y	評価断面に平行な方向の応力(y方向)	MPa
σ_z	評価断面に平行な方向の応力(z方向)	MPa
τ_{xy}	せん断応力	MPa
τ_{yz}	せん断応力	MPa
τ_{zx}	せん断応力	MPa
$I + S_d^*$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用した場合の許容応力区分	—
$I + S_s$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用した場合の許容応力区分	—

4. 設計条件

バスケット及びサポートガイドは、以下の設計条件に耐えるように設計する。

4.1 基本仕様

最高使用温度（バスケット） : 210 °C

最高使用温度（サポートガイド） : 160 °C

4.2 温度分布計算条件

温度分布計算条件として、使用済燃料乾式貯蔵容器の収納物(使用済燃料)、姿勢及び周囲温度の条件を表 4-1 に示す。

4.3 設計事象

設計上考慮する事象を表 4-2 に示す。

4.4 荷重の種類とその組合せ

バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 4-3 に示す。応力解析に用いる荷重は応力計算書に記載する。

5. 計算条件

5.1 解析対象とする事象

表 5-1 に示すように、設計事象は $I + S_d^*$ 及び $I + S_s$ とし、解析を実施する。

5.2 解析箇所

バスケットの応力解析を行う箇所は次のとおりである(図 5-1 参照)。

- (1) チャンネル
- (2) サポートブロック
- (3) 補強板①
- (4) 補強板②
- (5) 仕切板
- (6) 底板
- (7) サポートガイド
- (8) サポートガイド溶接部

5.3 形状及び寸法

応力解析を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。

5.4 物性値

温度分布計算及び応力計算に使用する材料の物性値は下記のとおりである。

- (1) 温度分布計算に使用する物性値を表 5-2 及び表 5-3 に示す。
なお、熱伝導率はその温度依存性を考慮する。
- (2) 熱応力計算に使用する物性値を表 5-4 に示す。
なお、熱応力計算に使用する物性値はその温度依存性を考慮する。
- (3) 機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、最高使用温度に対する値を用いる。
なお、常温は 20℃とする。

5.5 許容応力

材料の応力強さの限界及び許容応力は、次に各号に掲げるとおりとする。

(1) バスケットにあつては、次によること。

- a. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_d *地震力が作用して生じる応力の応力解析による一次応力強さは、設計・建設規格 CSS-3111(3)の規定を満足すること。
- b. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる応力の応力解析による一次応力強さは、設計・建設規格 CSS-3111(4)の規定を満足すること。
- c. 純せん断荷重を受ける部分にあつては、a.及びb.の規定にかかわらず、平均せん断応力は、次の規定を満足すること。
 - (a) 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_d *地震力が作用して生じる場合においては、設計・建設規格 CSS-3114(2)に定める値を超えないこと。
 - (b) 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる場合においては、設計・建設規格 CSS-3114(3)に定める値を超えないこと。
- d. 支圧荷重を受ける部分にあつては、平均支圧応力は、次の規定を満足すること。
 - (a) 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_d *地震力が作用して生じる場合においては、設計・建設規格 CSS-3115(2)に定める値を超えないこと。
 - (b) 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる場合においては、設計・建設規格 CSS-3115(3)に定める値を超えないこと。
- e. 圧縮荷重を受ける部分にあつては、座屈応力は、次の規定を満足すること。
 - (a) 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_d *地震力又は S_s 地震力が作用して生じる場合においては、設計・建設規格 SSB-3121.1(2)、(3)又は(4)に定める値の1.5倍の値を超えないこと。
- f. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用してバスケットに塑性変形が生じる場合には、臨界防止評価のため変形量の評価を行う。
- g. 溶接部にあつては、設計・建設規格 CSS-3150 に規定される継手効率を考慮すること。

(2) (1)において、設計・建設規格の「供用状態A」及び「供用状態B」は、それぞれ「設計事象Ⅰ」及び「設計事象Ⅱ」と読み替える。

許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

6. 応力解析の手順

応力解析を行う場合の手順について一般的な事項を述べる。

6.1 解析手順の概要

バスケット及びサポートガイドの応力解析フローを図 6-1 に示す。

バスケット及びサポートガイドの応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基にバスケット及びサポートガイドの実形状をモデル化し、汎用解析コードである A B A Q U S 及び応力評価式を用いて行う。

A B A Q U S とは、有限要素法に基づく、伝熱解析、応力解析等の汎用解析コードである。温度分布計算及び応力計算は、解析しようとする箇所を形状、材料等の不連続部を小さなメッシュに分割し、各メッシュについて計算を実施することによって行う。

6.2 荷重条件の選定

荷重条件は 4. 項に示されているが、各部の計算においては、その部分についての重要な荷重条件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は応力計算書に示す。

6.3 温度分布計算

6.3.1 温度分布計算の方法

- (1) 計算を行う設計事象は、貯蔵容器姿勢が縦置き貯蔵時及び横置き運搬時とする。
- (2) 計算モデルは次の方針に従う。
 - a. チャンネル、中性子吸収板、補強板、仕切板、サポートブロック、内胴、ガンマ線遮へい体、中間胴、中性子遮へい体、伝熱フィン及び外筒は形状の対称性を考慮し、二次元 1/4 断面モデルとする。

なお、使用済燃料はチャンネル内面に伝わる熱流束の対称性を考慮し集合体毎に均質化してこの領域の発熱量をチャンネル内面に与える。
 - b. 形状及び材料の不連続性を考慮して、温度計算のためのメッシュ分割を行う。
 - c. バスケット各部の温度差が最も大きくなる貯蔵容器中央部の半径方向断面についてモデル化し、軸方向の熱の流れはないと仮定する。
 - d. 外表面からの放熱は自然対流及びふく射とする。
 - e. モデル図及び境界条件を応力計算書に示す。

なお、境界には計算で求めた熱伝達率を考慮する。
- (3) 計算機コードを用いて、温度分布を計算する。
- (4) 温度分布の計算結果を応力計算書に示す。

6.4 応力計算と評価

6.4.1 応力計算の方法

(1) 応力計算は代表事象毎に行う。荷重条件として与えられるものは次の2つである。

a. 機械的荷重

自重（燃料集合体を含む貯蔵容器の貯蔵時の設計重量を用いる。）、衝撃荷重及びその他の負荷荷重をいう。

b. 熱荷重

バスケットに生じる温度変化、温度勾配による荷重であって、温度分布計算の結果から得られるものをいう。

(2) 計算モデルは次の方針に従う。

a. モデル化にあたっては、バスケットの形状の対称性及び荷重の対称性を考慮し、1/2形状の2次元平面固体要素及びはり要素による解析モデルとする。ただし、熱荷重に対しては、対称性を考慮し、1/4形状の解析モデルとする。

b. 中性子吸収板は非構造強度部材としてモデルより除外する。

(3) 構造の不連続性を考慮して、応力評価点(面)をとる。評価点(面)は、計算書に示す。

応力評価は、この応力評価点(面)について行う。

6.4.2 応力評価

応力の計算結果は、設計・建設規格 GNR-2130 による定義に従い、応力の種類毎に分類し、以下の評価を応力計算書に示す。

なお、応力の記号とその方向は次のとおりである。

σ_x : 評価断面に垂直な方向の応力(x方向)

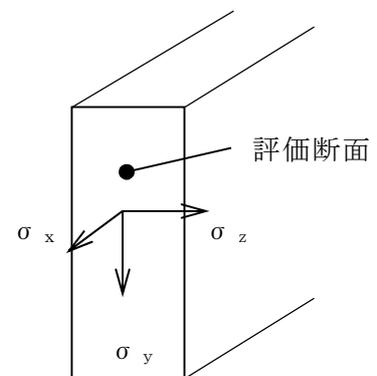
σ_y : 評価断面に平行な方向の応力(y方向)

σ_z : 評価断面に平行な方向の応力(z方向)

τ_{xy} : せん断応力

τ_{yz} : せん断応力

τ_{zx} : せん断応力



バスケット用材料の許容応力値を表 6-1 に示す。

(1) バスケット及びサポートガイドの応力評価

バスケット及びサポートガイドの応力評価は、設計・建設規格 CSS-3110 及び SSB-3120 に従い以下の項目を実施する。

a. 一次応力強さ

b. 特別な応力の検討

(a) 純せん断応力の評価

- (b) 支圧応力の評価
- (c) 座屈応力の評価

6.4.3 数値の丸め方

数値は、原則として四捨五入とする。また、評価に用いる許容応力及び算出応力等については、安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については丸めないことを原則とし、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を表 6-2 に示す。

7. 参考文献

文献番号は、本書及び応力計算書において共通である。

(1) 伝熱工学資料 第4版, 日本機械学会 (1986)

(2) 伝熱工学資料 第3版, 日本機械学会 (1975)

(3) 機械工学便覧 新版, 日本機械学会 (1987)

(4)



(5) McAdams, W.H., "Heat Transmission", Third Edition McGraw Hill.

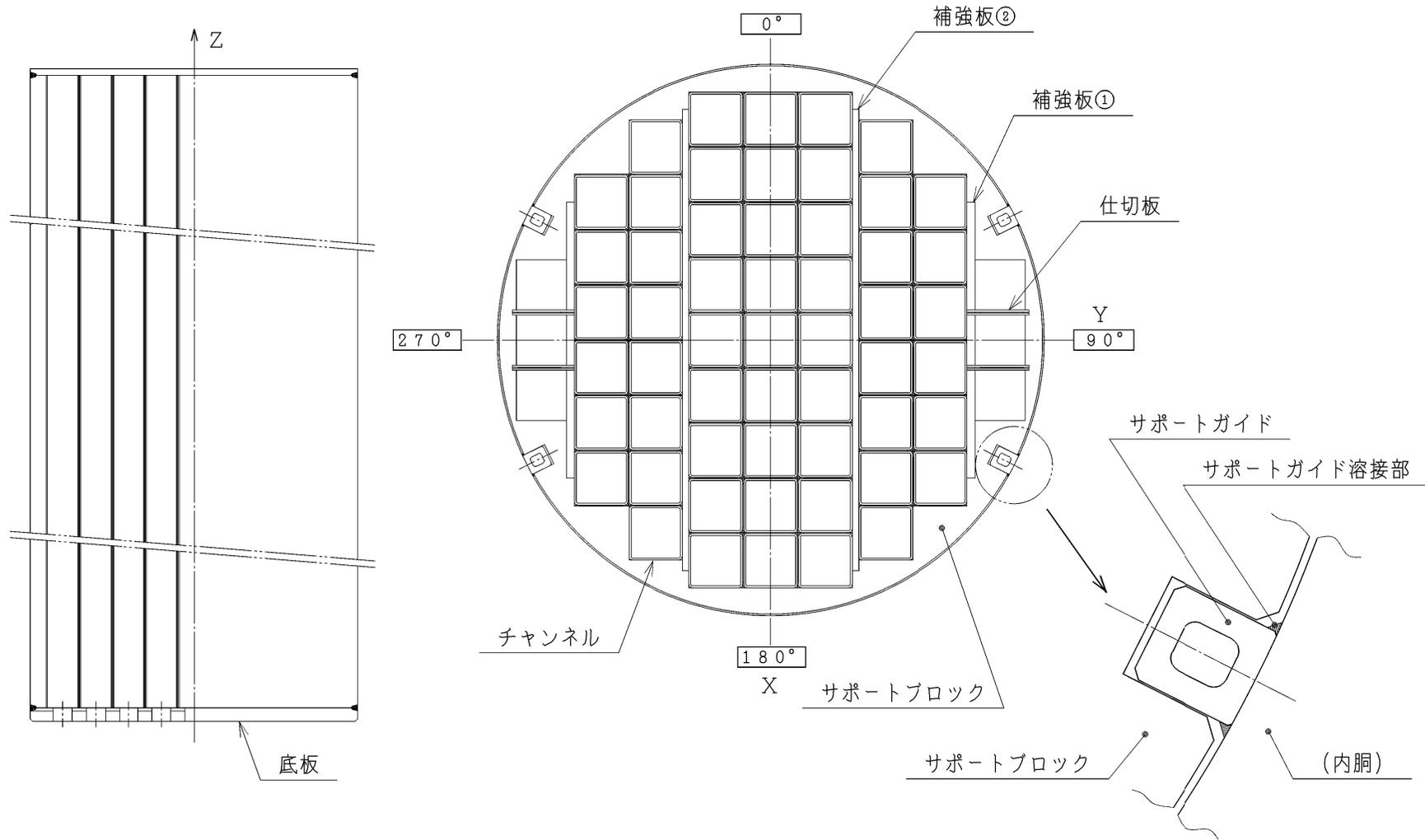


図 5-1 バスケットの応力解析箇所

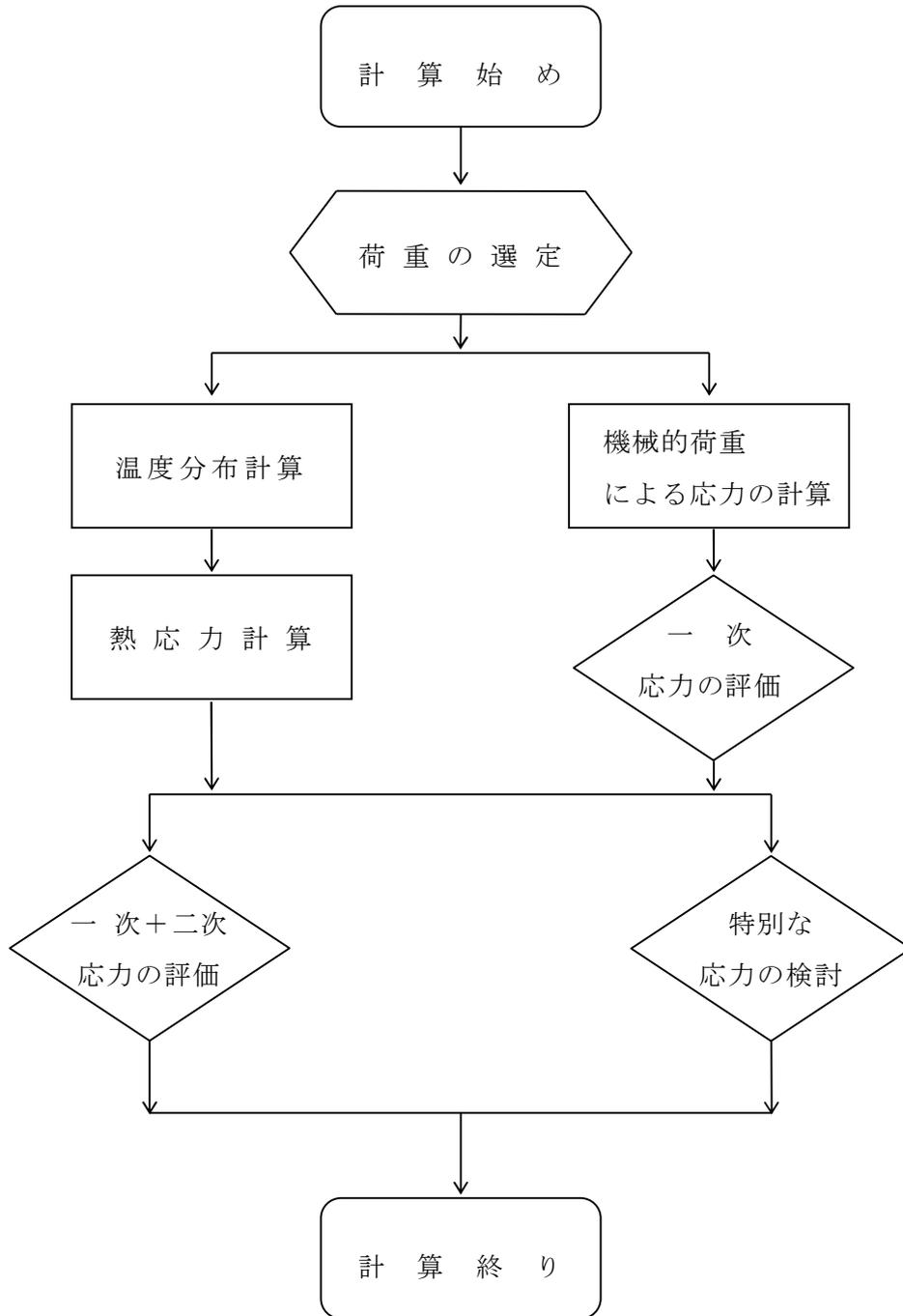


図 6-1 バスケットの応力解析フロー図

表 4-1 使用済燃料の条件

項目	燃料条件
対象燃料	高燃焼度 8 × 8 燃料 ¹⁾
貯蔵容器 1 基当たりの収納体数(体)	61
貯蔵容器 1 基当たりの発熱量(kW)	17.1 ²⁾
姿勢	縦置き／横置き ³⁾
周囲温度(°C)	45／38 ³⁾

注記 1) : 8 × 8 燃料, 新型 8 × 8 燃料, 新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8 × 8 燃料のうち最も厳しい発熱量となる高燃焼度 8 × 8 燃料について行う。

2) : ORIGEN 2 コードにより求めた。

3) : 貯蔵時／運搬時における貯蔵容器姿勢及び周囲温度

表 4-2 貯蔵容器の設計事象

設計事象	定義	解説	事象の例	東海第二発電所における選定事象
I	貯蔵容器の通常の取扱い時及び貯蔵時の状態をいう。	貯蔵状態及び計画的な取扱い状態。	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵 貯蔵容器の吊上げ, 吊下げ, 移動 事業所内運搬 	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵
II	設計事象 I, 設計事象 III, 設計事象 IV 及び試験状態以外の状態をいう。	貯蔵容器の寿命程度の期間中に予想される取扱い機器の単一故障, 単一誤動作等の事象によって, 貯蔵容器が通常貯蔵状態あるいは通常取扱い状態から外れるような状態をいう。	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵容器の異常着床 取扱い機器の単一故障, 誤動作 	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵容器の異常着床 貯蔵容器の支持構造物への衝突
III	貯蔵容器又はその取扱い機器等の故障, 異常な作動等により, 貯蔵又は計画された取扱いの停止が緊急に必要とされる状態をいう。	発生頻度が十分低い事象によって引き起こされる状態をいう。すなわち, 設計事象 II でいう機器の単一故障, 運転員の単一誤操作等によって引き起こされるものうち, その発生頻度が十分に低いと考えられるものを分類する。		
IV	貯蔵容器の安全設計上想定される異常な事態が生じている状態をいう。	発生頻度が極めて低く, 貯蔵容器の寿命中に起こるとは考えられない事象によって引き起こされる状態をいうが, 万一発生した場合の設計の妥当性を確保するために特に設けたものをいう。	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵容器の落下 	<ul style="list-style-type: none"> 該当なし*

注記*: 東海第二発電所においては, 以下の防止措置が施されており, 設計事象 IV (落下・転倒) が発生しないため, 事象として選定していない。

- ・ 貯蔵容器吊上げ装置の多重化, インターロック等の防護設備設置による防止
- ・ 貯蔵容器運搬装置については, 貯蔵容器の固縛・固定機構の適切化による防止
- ・ 確定された貯蔵容器の取扱い手順, 作業手順による防止
- ・ 運用機材の適切な保守管理による防止

表 4-3 バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象	荷 重 荷重時	自重による荷重	運搬時荷重	吊上げ荷重	衝撃荷重	熱荷重 [*]	備考
					異常着床・ 支持構造物への衝突		
I	貯 蔵 時	○				○	*2
	運 搬 時	*1	○			○	
	吊 上 げ 時	*1		○		○	
	搬出前作業及び 燃料取出し作業時	○				○	
II	衝撃荷重作用時	*1			○	○	

注記 *1: キャスク容器の熱膨張により生ずる応力に限る。

*2: S_d 地震力及び S_s 地震力は，設計事象 I の貯蔵時における荷重と組み合わせるものとする。

表 5-1 代 表 事 象

設計事象	代表事象 ¹⁾	包絡される事象	荷重条件	備 考
I + S _d *	貯 蔵 時 (S _d *地震力が 作用する場合)	—————	自 重:1G(=9.81m/s ²) 地震力 水平方向: C _H G=1.17G(=11.48m/s ²) 鉛直方向: C _V G=0.65G(= 6.38m/s ²) 熱荷重	—————
I + S _s	貯 蔵 時 (S _s 地震力が 作用する場合)	—————	自 重:1G(=9.81m/s ²) 地震力 水平方向: C _H G=1.17G(=11.48m/s ²) 鉛直方向: C _V G=0.65G(= 6.38m/s ²) 熱荷重	—————

注記 1) : 本事象について応力解析を行う。

表 5-2 温度分布計算に使用する材料の物性値

構成部材	材 料	温 度 (°C)	熱伝導率 ¹⁾ (W/m・K)
内 洞 中 間 洞 外 筒	ステンレス鋼 (SUS304 又は SUSF304)	27	16.0
		127	16.5
		327	19.0
ガンマ線遮へい体	鉛	27	35.2
中性子遮へい体	レジン	—	
伝熱フィン	銅 (C1020)	27	398
		327	383
チャンネル	アルミニウム合金 (A5052TD-H34 相当)	20	
		50	
		100	
		150	
		200	
		250	
補強板 仕切板 サポートブロック 底板	アルミニウム合金 (A5083FH-0 又は A5083P-0)	20	
		50	
		100	
		150	
		200	
中性子吸収板	ボロン添加アルミ ニウム合金及び アルミニウム合金	20	
		100	
		200	
内部気体	ヘリウム	27	0.1527
		127	0.1882
		227	0.2212
		327	0.2523
周囲気体	空気	27	0.02614
		127	0.03305
		227	0.03951
		327	0.0456

注記 1) : 参考文献 (1) 参照。ただし、レジンは参考文献 (4) 参照。

表 5-3 温度分布計算に使用するふく射率

構成部材	材 料	ふ く 射 率 ¹⁾
外 筒 内 胴 中 間 胴	ステンレス鋼 (SUS304 又は SUSF304)	0.15
ガンマ線遮へい体	鉛	0.28
チャンネル, 補強板, 仕切板, サポートブ ロック, 底板	アルミニウム合金 (A5052TD-H34, A5083FH-0 又は A5083P-0)	0.04

注記 1) : 参考文献 (2) 参照。

表 5-4 熱応力計算に使用する材料の物性値

構成部材	材 料	温 度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	熱膨張係数 ($\times 10^{-6}$ mm/mm°C)	ポアソン比 (-)
チャンネル	アルミニウ ム合金 (A5052TD -H34)	20			
		50			
		100			
		150			
		200			
		250			
サポートブロック 補強板 仕切板 底板	アルミニウ ム合金 (A5083FH-0 又は A5083P-0)	20			
		50			
		100			
		150			
		200			
		250			
サポートガイド	ステンレス 鋼 (SUS304)	20	195000	15.21	0.3
		50	193000	15.49	
		75	191000	15.68	
		100	190000	15.87	
		125	188000	16.05	
		150	186000	16.21	
		175	184000	16.37	
		200	183000	16.52	

表 6-1 バスケット用材料の許容応力値

許容応力区分	応力の種類	許容応力値 (MPa)				
		アルミニウム合金 ²⁾		オーステナイト系ステンレス鋼		
		A5052TD -H34	A5083FH-0 ²⁾ 及び A5083P-0	許容値 基準	SUS304 ²⁾	許容値 基準
設計事象 I + S _d *	一次一般膜応力強さ P _m			1.5 S _m	202	1.5 S _m
	一次膜+一次曲げ応力強さ P _m +P _b			2.25 S _m	303	2.25 S _m
	純せん断応力 σ _s			0.9 S _m	121	0.9 S _m
	支圧応力 σ _p ¹⁾			1.5 S _y (2.25 S _y)	228 (342)	1.5 S _y (2.25 S _y)
	座屈応力 σ _b			1.5f _b , 1.5f _s 又は 1.5 f _c	117	1.5f _b , 1.5f _s 又は 1.5 f _c
設計事象 I + S _s	一次一般膜応力強さ P _m			2/3 S _u	278	Min {2.4S _m , 2/3S _u }
	一次膜+一次曲げ応力強さ P _m +P _b			S _u	418	Min {3.6S _m , S _u }
	純せん断応力 σ _s			1.2 S _m	162	1.2 S _m
	支圧応力 σ _p ¹⁾			2 S _y (3 S _y)	304 (456)	2 S _y (3 S _y)
	座屈応力 σ _b			1.5f _b , 1.5f _s 又は 1.5 f _c	117	1.5f _b , 1.5f _s 又は 1.5 f _c

注記 1) : ()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。

2) : サポートブロック内の周溶接は完全溶込み溶接とし、設計・建設規格 CSS-3150 に定められる検査の種類を A とするため、溶接効率は 1.0 である。また、サポートガイドと内胴との溶接は片側すみ肉溶接とし、設計・建設規格 CSS-3150 に定められる検査の種類を E とするため、溶接効率は 0.4 である。

表 6-2 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単 位	処 理 桁	処 理 法	表示最小桁
最高使用温度	℃	—	—	設 計 値
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
許容応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切 捨 て	整 数 値 位
計算応力値 ¹⁾	MPa	小数点以下第 1 位	切 上 げ	整 数 値 位
長 さ	mm	—	—	設 計 値
設 計 震 度	—	小数点以下第 3 位	切 上 げ	小数点以下第 2 位
面 積	mm ²	有効数字 4 桁目	安全側に処理する	有効数字 3 桁
力	N	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
角 度	°	—	—	設 計 値
質 量	kg	—	—	設 計 値

注記 1) : 応力成分は、小数点以下第 2 位を四捨五入し、小数点以下第 1 位までの値を記載する。

V-2-4-2-3-2 バスケットの応力解析の方針②
(タイプⅡ)

目次

1. 概 要	1
2. 適用基準	2
3. 記 号	3
3.1 記号の説明	3
4. 荷重条件	4
4.1 設計条件	4
4.2 設計事象	4
4.3 荷重の種類とその組合せ	4
5. 計算条件	5
5.1 解析対象とする事象	5
5.2 解析箇所	5
5.3 形状及び寸法	5
5.4 物性値	5
5.5 許容応力	5
6. 応力解析の手順	7
6.1 解析手順の概要	7
6.2 荷重条件の選定	7
6.3 応力計算と応力の分類	7
6.3.1 応力計算の方法	7
6.3.2 応力の分類	7
6.4 応力の評価	8
6.4.1 主応力	8
6.4.2 応力強さ	8
6.4.3 一次応力強さ	8
6.5 特別な応力の検討	8
6.5.1 純せん断応力の評価	8
6.5.2 支圧応力の評価	8
6.5.3 軸圧縮応力の評価	8
6.5.4 座屈応力の評価	8
7. 解析及び評価結果の添付	9
7.1 応力解析結果	9
7.2 応力評価結果	9
8. 引用文献	9

図表目次

図 5-1	バスケットの応力解析箇所	10
図 6-1	バスケットの応力解析フロー図	11
表 4-1	乾式貯蔵キャスクの設計事象	12
表 4-2	バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ	13
表 5-1	代表事象	14
表 5-2	バスケット用材料の許容応力値	15
表 6-1	数値の丸め方一覧表	16

1. 概 要

本書は、使用済燃料乾式貯蔵容器のバスケットに関する応力解析の方針を述べるものである。

注：図表は、一括して巻末に示す。

2. 適用基準

使用済燃料乾式貯蔵容器において、バスケットは、貯蔵時において、使用済燃料貯蔵ラックと同様に「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。）の機器等の区分に当てはまらなると考えられるが、使用済燃料集合体を直接支持する部材であるため、炉心支持構造物に準じて設計する。

注：本書及び応力計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格〇〇〇-〇〇〇〇」として示す。

3. 記号

3.1 記号の説明

本書及び応力計算書において、応力評価に関する下記の記号を使用する。ただし、本文中に特記のある場合は、この限りでない。

計算書の記号	記号の説明	単位
A	断面積，又は接触面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
f _s	許容せん断応力	MPa
f _c	許容圧縮応力	MPa
f _b	許容曲げ応力	MPa
G	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
G ₁	水平方向加速度	m/s ²
G ₂	鉛直方向加速度	m/s ²
ℓ	バスケットプレート長さ	mm
M	曲げモーメント	N・mm
m	質量	kg
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 による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方	—
S _s	基準地震動 S _s による地震力	—
S ₁₂	主応力差 σ ₁ - σ ₂	MPa
S ₂₃	主応力差 σ ₂ - σ ₃	MPa
S ₃₁	主応力差 σ ₃ - σ 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
Z	断面係数	mm ³
ρ	密度	kg/mm ³
σ	主応力	MPa
σ ₁	主応力	MPa
σ ₂	主応力	MPa
σ ₃	主応力	MPa
σ _b	座屈応力	MPa
σ _p	平均支圧応力	MPa
σ _s	平均せん断応力	MPa
σ _c	胴部軸方向に受ける圧縮応力	MPa
σ _x	評価断面に垂直な方向の応力 (x 方向)	MPa
σ _y	評価断面に平行な方向の応力 (y 方向)	MPa
σ _z	評価断面に平行な方向の応力 (z 方向)	MPa
τ _{xy}	せん断応力	MPa
τ _{yz}	せん断応力	MPa
τ _{zx}	せん断応力	MPa
I + S _d [*]	設計事象 I の貯蔵時の状態において、S _d [*] 地震力が作用した場合の許容応力状態	—
I + S _s	設計事象 I の貯蔵時の状態において、S _s 地震力が作用した場合の許容応力状態	—

4. 荷重条件

バスケットは、以下の荷重条件に耐えるように設計する。

各部の応力解析は、本章に示す荷重を考慮する。応力解析に用いる荷重は、応力計算書に記載する。

4.1 設計条件

最高使用温度 : 260 °C

機械的荷重 : 自重及び地震力による荷重をいう。

熱荷重 : バスケットに生じる温度変化、温度勾配による荷重をいう。

4.2 設計事象

考慮する設計事象を表 4-1 に示す。

4.3 荷重の種類とその組合せ

バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 4-2 に示す。

5. 計算条件

5.1 解析対象とする事象

表 5-1 に示すように荷重条件等を考慮して代表事象を選定し、代表事象について解析を実施する。

5.2 解析箇所

応力解析を行う箇所の形状を補図 5-1 に示す。

5.3 形状及び寸法

応力解析を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。

5.4 物性値

機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、最高使用温度に対する値を用いる。
なお、常温は、20℃とする。

5.5 許容応力

材料の応力強さの限界及び許容応力は、次に掲げる通りとする。

- (1) バスケットにあつては、次によること。
 - a. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d *地震力が作用して生じる応力の応力解析による一次応力強さは、設計・建設規格 CSS-3111(3)に定める値を超えないこと。
 - b. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる応力の応力解析による一次応力強さは、設計・建設規格 CSS-3111(4)に定める値を超えないこと。
 - c. 純せん断荷重を受ける部分にあつては、a. 及び b. の規定にかかわらず、平均せん断応力は、次の値を超えないこと。
 - (a) 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d *地震力が作用して生じる場合においては、設計・建設規格 CSS-3114(2)に定める値
 - (b) 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる場合においては、設計・建設規格 CSS-3114(3)に定める値
 - d. 支圧荷重を受ける部分にあつては、平均支圧応力は、次の値を超えないこと。
 - (a) 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d *地震力が作用して生じる場合においては、設計・建設規格 CSS-3115(2)に定める値
 - (b) 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる場合においては、設計・建設規格 CSS-3115(3)に定める値
 - e. 軸方向に圧縮荷重を受ける円筒形の胴にあつては、圧縮応力は、次の値を超えないこと。
 - (a) 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d *地震力が作用して生じる場合においては、設計・建設規格 CSS-3116.1(2)に定める値
 - (b) 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる場合においては、設計・建設規格 CSS-3116.1(3)に定める値

- f. 圧縮荷重を受ける部分にあつては、座屈応力は、次の値を超えないこと。
- (a) 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力、又は S_s 地震力が作用して生じる場合においては、設計・建設規格 SSB-3121.1(2)，(3)，又は(4)に定める値の 1.5 倍の値
- g. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用してバスケットに塑性変形が生じる場合には、臨界防止評価のため変形量の評価を行う。

(2) (1)において、設計・建設規格の「供用状態C」及び「供用状態D」は、それぞれ「設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用して生じる場合」及び「設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる場合」と読み替える。

許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

バスケット用材料の許容応力値を表 5-2 に示す。

6. 応力解析の手順

応力解析を行う場合の手順について一般的な事項を述べる。

6.1 解析手順の概要

バスケットの応力解析フローを図 6-1 に示す。

バスケットの応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に応力評価式を用いて行う。

6.2 荷重条件の選定

荷重条件は 4 章に示されているが、各部の計算においては、その部分について重要な荷重条件を選定して計算を行う。

6.3 応力計算と応力の分類

6.3.1 応力計算の方法

(1) 応力計算は荷重ごとに行う。荷重条件として与えられるものは、次の 2 つである。

- a. 機械的荷重
- b. 熱荷重

(2) 伝熱プレートは、非構造強度部材として評価対象より除外する。

(3) 構造の不連続性を考慮して、応力評価点（面）をとる。評価点（面）は、計算書の形状図中に、番号〔例①〕で示す。

応力評価は、この応力評価点（面）について行う。

(4) 数値の丸め方

数値は原則として安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については、丸めないことを原則とし、規格、基準等を内挿して使用する場合は、原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を補表 6-1 に示す。

6.3.2 応力の分類

応力の計算結果は、表 5-2 に示すように応力の種類ごとに分類して、応力計算書に示す。このときの応力の定義と分類は、設計・建設規格 GNR-2130 による。

なお、応力の記号とその方向は以下の通りである。

σ_x : 評価断面に垂直な方向の応力 (x 方向)

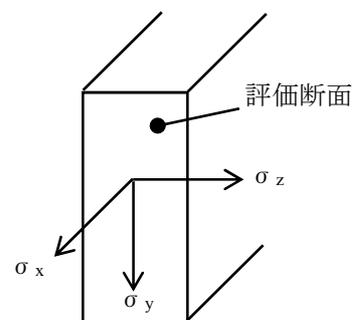
σ_y : 評価断面に平行な方向の応力 (y 方向)

σ_z : 評価断面に平行な方向の応力 (z 方向)

τ_{xy} : せん断応力

τ_{yz} : せん断応力

τ_{zx} : せん断応力



6.4 応力の評価

6.4.1 主応力

計算された各種の荷重による応力を重ね合わせ、各応力評価点（面）の組合せ応力を求める。

組合せ応力は、一般に σ_x , σ_y , σ_z , τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{zx} の 6 成分をもち、応力評価点（面）の主応力は、引用文献(補-1)の A4 編 1.4.1 項により次式を満足する 3 根として計算する。

$$\begin{aligned} & \sigma^3 - (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) \cdot \sigma^2 + (\sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y \cdot \sigma_z + \sigma_z \cdot \sigma_x - \tau_{xy}^2 \\ & \quad - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2) \cdot \sigma - \sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z + \sigma_x \cdot \tau_{yz}^2 + \sigma_y \cdot \tau_{zx}^2 \\ & \quad + \sigma_z \cdot \tau_{xy}^2 - 2 \cdot \tau_{xy} \cdot \tau_{yz} \cdot \tau_{zx} = 0 \end{aligned}$$

上式により主応力 σ_1 , σ_2 , σ_3 が求まる。

6.4.2 応力強さ

下記の 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。

$$S_{12} = \sigma_1 - \sigma_2$$

$$S_{23} = \sigma_2 - \sigma_3$$

$$S_{31} = \sigma_3 - \sigma_1$$

6.4.3 一次応力強さ

機械的荷重により発生する一次一般膜応力強さ及び一次膜応力と一次曲げ応力を加えて求めた応力強さが、5.5(1)a. 及び b. に示す許容応力値を満足することを示す。

6.5 特別な応力の検討

6.5.1 純せん断応力の評価

純せん断荷重を受ける部分は、5.5(1)c. に示す許容応力値を満足することを示す。

6.5.2 支圧応力の評価

支圧荷重を受ける部分は、5.5(1)d. に示す許容応力値を満足することを示す。

6.5.3 軸圧縮応力の評価

軸方向に圧縮荷重を受ける円筒形の胴の部分は、5.5(1)e. に示す許容応力値を満足することを示す。

6.5.4 座屈応力の評価

圧縮荷重を受ける部分は、5.5(1)f. に示す許容応力値を満足することを示す。

7. 解析及び評価結果の添付

応力計算書では、以下に示すように解析結果を添付する。

7.1 応力解析結果

考慮した荷重ごとに評価対象とした応力評価点（面）について、応力の種類ごとに解析結果を示す。

7.2 応力評価結果

次の応力評価結果を、評価対象とした応力評価点（面）について添付する。

- (1) 一次一般膜応力強さ
- (2) 一次一般膜＋一次曲げ応力強さ
- (3) 純せん断応力
- (4) 支圧応力
- (5) 軸圧縮応力
- (6) 座屈応力

8. 引用文献

(補-1) 機械工学便覧 新版, 日本機械学会 (1987)

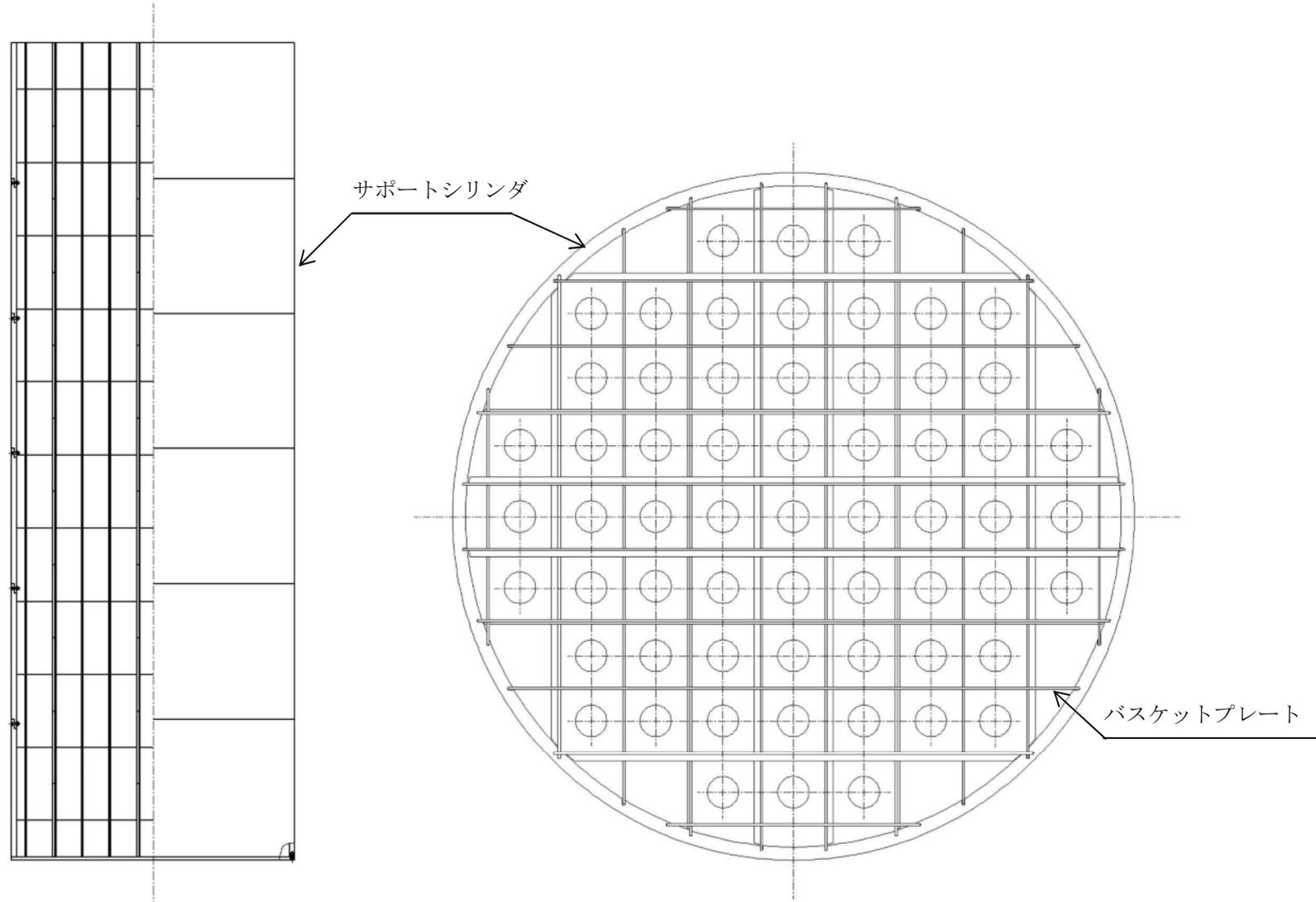


図 5-1 バスケットの応力解析箇所

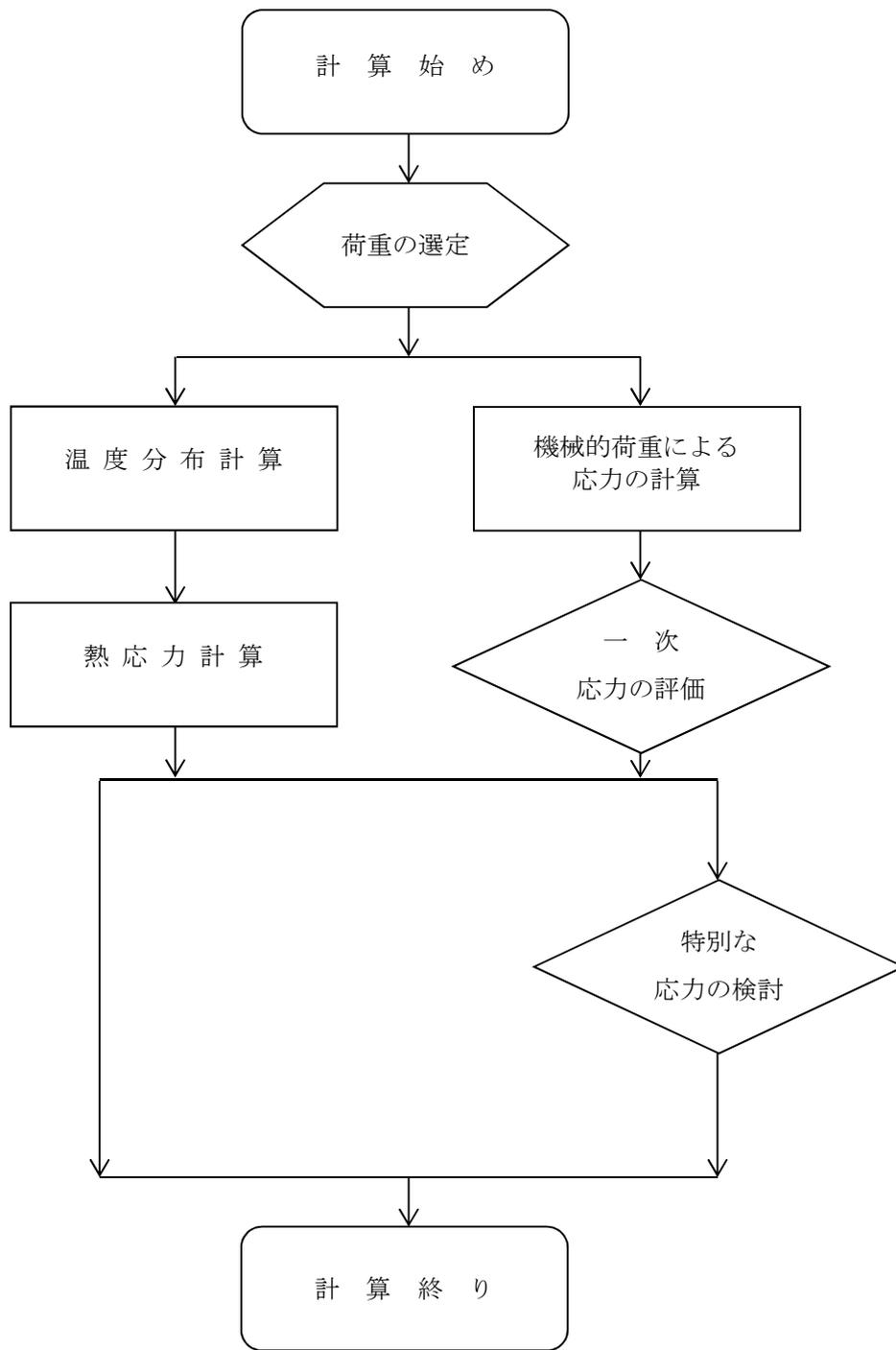


図 6-1 バスケットの応力解析フロー図

表 4-1 乾式貯蔵キャスクの設計事象

設計事象	定義	解説	事象の例	東海第二発電所における選定事象
I	貯蔵容器の通常 の取扱い時及び 貯蔵時の状態を いう。	貯蔵状態及び計画的な取扱い 状態。	・貯蔵 ・貯蔵容器の吊上 げ, 吊下げ, 移動 ・事業所内運搬	・貯蔵
II	設計事象 I, 設 計事象 III, 設計 事象 IV 及び試験 状態以外の状態 をいう。	貯蔵容器の寿命程度の期間中 に予想される取扱い機器の単 一故障, 単一誤動作等の事象 によって, 貯蔵容器が通常貯 蔵状態あるいは通常取扱い状 態から外れるような状態をい う。	・貯蔵容器の異常 着床 ・取扱い機器の単 一故障, 誤動作	・貯蔵容器の異常 着床 ・貯蔵容器の支持 構造物への衝突
III	貯蔵容器又はそ の取扱い機器等 の故障, 異常な 作動等により, 貯蔵又は計画さ れた取扱いの停 止が緊急に必要 とされる状態を いう。	発生頻度が十分低い事象によ って引き起こされる状態をい う。すなわち, 設計事象 II で いう機器の単一故障, 運転員 の単一誤操作等によって引き 起こされるもののうち, その 発生頻度が十分に低いと考え られるものを分類する。		
IV	貯蔵容器の安全 設計上想定され る異常な事態が 生じている状態 をいう。	発生頻度が極めて低く, 貯蔵 容器の寿命中に起こるとは考 えられない事象によって引き 起こされる状態をいうが, 万 一発生した場合の設計の妥当 性を確保するために特に設け たものをいう。	・貯蔵容器の落下	・該当なし*

注記* : 東海第二発電所においては, 以下の防止措置が施されており, 設計事象 IV (落下・転倒) が発生しないため, 事象として選定していない。

- ・ 貯蔵容器吊上げ装置の多重化, インターロック等の防護設備設置による防止
- ・ 貯蔵容器運搬装置については, 貯蔵容器の固縛・固定機構の適切化による防止
- ・ 確定された貯蔵容器の取扱い手順, 作業手順による防止
- ・ 運用機材の適切な保守管理による防止

表 4-2 バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象	荷 重 荷 重 時	自重による荷重	運搬時荷重	吊上げ荷重	衝撃荷重	熱荷重 [*]	備考
					異常着床・ 支持構造物への衝突		
I	貯 蔵 時	○				○	*2
	運 搬 時	*1	○			○	
	吊 上 げ 時	*1		○		○	
	搬出前作業及び 燃料取出し作業時	○				○	
II	衝撃荷重作用時	*1			○	○	

注記 *1：キャスク容器の熱膨張により生ずる応力に限る。

*2： S_d 地震力及び S_s 地震力は、設計事象 I の貯蔵時における荷重と組み合わせるものとする。

表 5-1 代表事象

設計事象	代表事象*1	包絡される事象	荷重条件	備考
$I + S_d^*$	貯蔵時 $\left(S_d^* \text{地震力が} \right)$ $\left(\text{作用する場合} \right)$	—	自重 地震力 水平方向：1.17G (=11.48m/s ²) 鉛直方向：0.65G (=6.38m/s ²) 熱荷重	—
$I + S_s$	貯蔵時 $\left(S_s \text{地震力が} \right)$ $\left(\text{作用する場合} \right)$	—	自重 地震力 水平方向：1.17G (=11.48 m/s ²) 鉛直方向：0.65G (=6.38 m/s ²) 熱荷重	—

注記 *1：本事象について応力解析を行う。

表 5-2 バスケット用材料の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類	許容応力値			
		バスケットプレート		サポートシリンダ	
		B-SUS	許容値基準	SUS304	許容値基準
I + S _d *	一次一般膜応力強さ P _m	201	1.5 S _m	180	1.5 S _m
	一次一般膜+一次曲げ応力強さ P _m +P _b	301	2.25 S _m	270	2.25 S _m
	平均せん断応力 σ _s	120	0.9 S _m	108	0.9 S _m
	平均支圧応力 σ _p * ¹	311 (467)	1.5 S _y (2.25 S _y)	200 (300)	1.5 S _y (2.25 S _y)
	軸圧縮応力* ² σ _c	—	—	92	1.5×Min{S _m , B* ³ }
	座屈応力 σ _b	180	1.5 f _b , 1.5 f _s 又は 1.5 f _c	—	—
I + S _s	一次一般膜応力強さ P _m	269	Min{2.4 S _m , 2/3 S _u }	263	Min{2.4 S _m , 2/3 S _u }
	一次一般膜+一次曲げ応力強さ P _m +P _b	404	Min{3.6 S _m , S _u }	395	Min{3.6 S _m , S _u }
	平均せん断応力 σ _s	160	1.2 S _m	144	1.2 S _m
	平均支圧応力 σ _p * ¹	415(622)	2 S _y (3 S _y)	266(400)	2 S _y (3 S _y)
	軸圧縮応力* ² σ _c	—	—	123	2×Min{S _m , B* ³ }
	座屈応力 σ _b	180	1.5 f _b , 1.5 f _s 又は 1.5 f _c	—	—

注記 *1: ()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。

*2: 円筒形の軸方向の圧縮に対して適用する。

*3: B値は、設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1から図20までにより求められた値。

表 6-1 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単位	処理桁	処理法	表示最小桁
最高使用温度	℃	—	—	設計値
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
許容応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
計算応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
長さ	mm	—	—	設計値
設計震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
質量	kg	—	—	設計値

V-2-4-2-3-2 バスケットの応力解析の方針③
(タイプⅢ)

目次

1. 概 要	1
2. 適用基準	2
3. 記 号	3
3.1 記号の説明	3
4. 設計条件	5
4.1 基本仕様	5
4.2 温度分布計算条件	5
4.3 設計事象	5
4.4 荷重の種類とその組合せ	5
5. 計算条件	6
5.1 解析対象とする事象	6
5.2 解析箇所	6
5.3 形状及び寸法	6
5.4 物性値	6
5.5 許容応力	6
6. 応力解析の手順	8
6.1 解析手順の概要	8
6.2 荷重条件の選定	8
6.3 温度分布計算	8
6.3.1 温度分布計算の方法	8
6.4 応力計算と評価	9
6.4.1 応力計算の方法	9
6.4.2 応力評価	9
6.4.3 数値の丸め方	10
7. 引用文献	10

図表目次

図 5-1	バスケットの応力解析箇所	11
図 6-1	バスケットの応力解析フロー図	12
表 4-1	使用済燃料の条件	13
表 4-2	貯蔵容器の設計事象	14
表 4-3	バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ	15
表 5-1	代表事象	15
表 5-2	温度分布計算に使用する材料の物性値	16
表 5-3	温度分布計算に使用するふく射率	16
表 5-4	熱応力計算に使用する材料の物性値	17
表 6-1	バスケット用材料の許容応力値	18
表 6-2	バスケット用材料（ボルト用材料）の許容応力値	19
表 6-3	数値の丸め方一覧表	20

1. 概 要

本書は、使用済燃料乾式貯蔵容器のバスケットに関する応力解析の方針を述べるものである。

注：図表は、一括して巻末に示す。

2. 適用基準

使用済燃料乾式貯蔵容器において、バスケットは、貯蔵時において、使用済燃料貯蔵ラックと同様に「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。）の機器等の区分に当てはまらなないと考えられるが、使用済燃料集合体を直接支持する部材であるため、炉心支持構造物に準じて設計する。

注：本書及び応力計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格〇〇〇-〇〇〇〇」
〇」として示す。

3. 記号

3.1 記号の説明

本書及び応力計算書において、応力評価に関する以下の記号を使用する。ただし、本文中に特記ある場合は、この限りでない。

なお、応力計算書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
A	断面積又は接触面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
F _b	軸力	N/mm
F _f	ボルトの締付け力	N
f _s	許容せん断応力	MPa
f _c	許容圧縮応力	MPa
f _b	許容曲げ応力	MPa
G	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
G ₁	加速度 (前後方向)	m/s ²
G ₂	加速度 (左右方向)	m/s ²
G ₃	加速度 (下方向)	m/s ²
ℓ	バスケットプレート長さ (バスケット全長)	mm
M	曲げモーメント	N・mm
m	質量	kg
P _b	一次曲げ応力	MPa
P _m	一次一般膜応力強さ	MPa
Q	二次応力	MPa
Q _b	二次曲げ応力	MPa
Q _m	二次膜応力	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の大きい方	—
S _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	—
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	板厚	mm
Z	断面係数	mm ³

計算書の記号	記号の説明	単位
θ	角度	°
σ	主応力	MPa
σ_b	座屈応力	MPa
σ_f	ボルトの締付け応力	MPa
σ_p	支圧応力	MPa
σ_s	純せん断応力	MPa
σ_x	評価断面に垂直な方向の応力(x方向)	MPa
σ_y	評価断面に平行な方向の応力(y方向)	MPa
σ_z	評価断面に平行な方向の応力(z方向)	MPa
τ_{xy}	せん断応力	MPa
τ_{yz}	せん断応力	MPa
τ_{zx}	せん断応力	MPa
$I + S_d^*$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用した場合の許容応力区分	—
$I + S_s$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用した場合の許容応力区分	—

4. 設計条件

バスケットは以下の設計条件に耐えるように設計する。

4.1 基本仕様

最高使用温度： 230 ℃

4.2 温度分布計算条件

温度分布計算条件として、使用済燃料乾式貯蔵容器の収納物（使用済燃料）、姿勢及び周囲温度の条件を表 4-1 に示す。

4.3 設計事象

設計上考慮する事象については表 4-2 に示す。

4.4 荷重の種類とその組合せ

バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 4-3 に示す。応力解析に用いる荷重は応力計算書に記載する。

5. 計算条件

5.1 解析対象とする事象

設計事象Ⅰ及び設計事象Ⅱにおける事象のうち、表5-1に示すように荷重条件等を考慮して代表事象を選定し、代表事象について解析を実施する。

5.2 解析箇所

バスケットの応力解析を行う箇所は次のとおりである（図5-1参照）。

- (1) 枠板（大）
- (2) 枠板（小）
- (3) 燃料支持板
- (4) 拘束リング
- (5) 拘束リングボルト
- (6) 枠板固定ボルト

5.3 形状及び寸法

応力解析を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。

5.4 物性値

温度分布計算及び応力計算に使用する材料の物性値は下記のとおりである。

- (1) 温度分布計算に使用する物性値を表5-2及び表5-3に示す。
なお、熱伝導率はその温度依存性を考慮する。
- (2) 熱応力計算に使用する物性値を表5-4に示す。
なお、熱応力計算に使用する物性値はその温度依存性を考慮する。
- (3) 機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、最高使用温度に対する値を用いる。
なお、常温は20℃とする。

5.5 許容応力

材料の応力強さの限界及び許容応力は、次の各号に掲げるとおりとする。

- (1) バスケット（ボルトを除く。）にあつては、次によること。
 - a. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_d *地震力が作用して生じる応力の応力解析による一次応力強さは、設計・建設規格 CSS-3111(3)の規定を満足すること。
 - b. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる応力の応力解析による一次応力強さは、設計・建設規格 CSS-3111(4)の規定を満足すること。
 - c. 純せん断荷重を受ける部分にあつては、a.及びb.の規定にかかわらず、平均せん断応力は次の規定を満足すること。
 - (a) 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_d *地震力が作用して生じる場合においては、設計・建設規格 CSS-3114(2)に定める値を超えないこと。
 - (b) 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる場合においては、

設計・建設規格 CSS-3114(3)に定める値を超えないこと。

- d. 支圧荷重を受ける部分にあつては、平均支圧応力は、次の規定を満足すること。
 - (a) 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d *地震力が作用して生じる場合においては、設計・建設規格 CSS-3115(2)に定める値を超えないこと。
 - (b) 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる場合においては、設計・建設規格 CSS-3115(3)に定める値を超えないこと。
 - e. 圧縮荷重を受ける部分にあつては、座屈応力は、次の規定を満足すること。
 - (a) 設計事象 I においては、設計・建設規格 SSB-3121.1(3)及び SSB-3122.1(5)に定める値を超えないこと。
 - (b) 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d *地震力又は S_s 地震力が作用して生じる場合においては、設計・建設規格 SSB-3121.1(2)、(3)又は(4)に定める値の 1.5 倍の値を超えないこと。
 - f. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用してバスケットに塑性変形が生じる場合には、臨界防止評価のため変形量の評価を行う。
 - g. 溶接部にあつては、設計・建設規格 CSS-3150 に規定される継手効率を考慮すること。
- (2) ボルトにあつては、次によるものとする。
- a. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d *地震力が作用して生じる応力の応力解析による応力強さは、設計・建設規格 CSS-3121.3 の規定を満足すること。
 - b. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる応力の応力解析による応力強さは、設計・建設規格 CSS-3121.4 の規定を満足すること。
- (3) (1)及び(2)において、設計・建設規格の「供用状態 A」及び「供用状態 B」は、それぞれ「設計事象 I」及び「設計事象 II」と読み替える。

許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

6. 応力解析の手順

応力解析を行う場合の手順について一般的な事項を述べる。

6.1 解析手順の概要

バスケットの応力解析フローを図 6-1 に示す。

バスケットの応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基にバスケットの実形状をモデル化し、汎用解析コードである「ABAQUS」及び応力評価式を用いて行う。

「ABAQUS」とは、有限要素法に基づく、伝熱解析、応力解析等の汎用解析コードである。温度分布計算及び応力計算は、解析しようとする箇所を形状、材料等の不連続部を小さなメッシュに分割し、各メッシュについて計算を実施することによって行う。

6.2 荷重条件の選定

荷重条件は 4. 項に示されているが、各部の計算においては、その部分についての重要な荷重条件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は応力計算書に示す。

6.3 温度分布計算

6.3.1 温度分布計算の方法

- (1) 計算を行う設計事象は、貯蔵容器姿勢が縦置き貯蔵時及び横置き運搬時とする。
- (2) 計算モデルは次の方針に従う。
 - a. 枠板、伝熱ブロック、本体胴、中性子遮蔽体、伝熱フィン及び外筒は形状の対称性を考慮し、二次元 1/4 断面モデルとする。
なお、使用済燃料は燃料集合体中央と表面の温度が等価となる熱伝導率で均質化し、その領域に発熱量を与える。
 - b. 形状及び材料の不連続性を考慮して、温度計算のためのメッシュ分割を行う。
 - c. バスケット各部の温度差が最も大きくなる貯蔵容器中央部の半径方向断面についてモデル化する。
 - d. 外表面からの放熱は自然対流及びふく射とする。
 - e. モデル図及び境界条件を応力計算書に示す。
なお、境界には計算で求めた熱伝達率を考慮する。
- (3) 計算機コードを用いて、温度分布を計算する。
- (4) 温度分布の計算結果を応力計算書に示す。

6.4 応力計算と評価

6.4.1 応力計算の方法

(1) 応力計算は荷重毎に行う。荷重条件として与えられるものは次の2つである。

a. 機械的荷重

自重（燃料集合体を含む貯蔵容器の貯蔵時の設計重量を用いる。）、衝撃荷重及びその他の負荷荷重をいう。

b. 熱荷重

バスケットに生じる温度変化，温度勾配による荷重であって，温度分布計算の結果から得られるものをいう。

(2) 伝熱プレートは非構造強度部材として評価対象より除外する。

(3) 構造の不連続性を考慮して，応力評価点(面)をとる。評価点(面)は，応力計算書に示す。応力評価は，この応力評価点(面)について行う。

6.4.2 応力評価

応力の計算結果は，設計・建設規格 GNR-2130 による定義に従い，応力の種類毎に分類し，以下の評価を応力計算書に示す。

なお，応力の記号とその方向は次のとおりである。

σ_x : 評価断面に垂直な方向の応力 (x 方向)

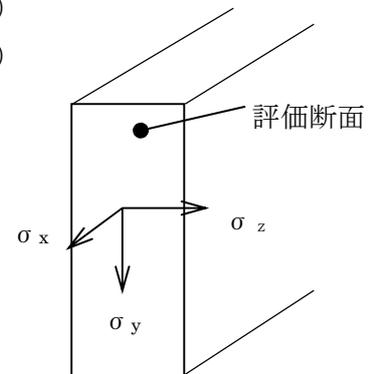
σ_y : 評価断面に平行な方向の応力 (y 方向)

σ_z : 評価断面に平行な方向の応力 (z 方向)

τ_{xy} : せん断応力

τ_{yz} : せん断応力

τ_{zx} : せん断応力



バスケット用材料の許容応力値を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

(1) バスケット（ボルトは除く。）の応力評価

バスケットの応力評価は，設計・建設規格 CSS-3110 及び SSB-3120 に従い以下の項目を実施する。

a. 一次応力強さ

b. 一次+二次応力強さ

c. 特別な応力の検討

(a) 純せん断応力の評価

(b) 支圧応力の評価

(c) 座屈応力の評価

(2) ボルトの応力評価

ボルトの応力評価は，設計・建設規格 CSS-3120 に従い評価する。

6.4.3 数値の丸め方

数値は，原則として四捨五入とする。また，評価に用いる許容応力及び算出応力等については，安全側に丸めて使用する。

また，規格，基準等により決まる数値については丸めないことを原則とし，規格，基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を表 6-3 に示す。

7. 引用文献

文献番号は，本書及び応力計算書において共通である。

(1) 伝熱工学資料 第4版，日本機械学会（1986）

(2) 伝熱工学資料 第3版，日本機械学会（1975）

(3)

(4) HEAT TRANSMISSION THIRD EDITION, KOGAKUSHA

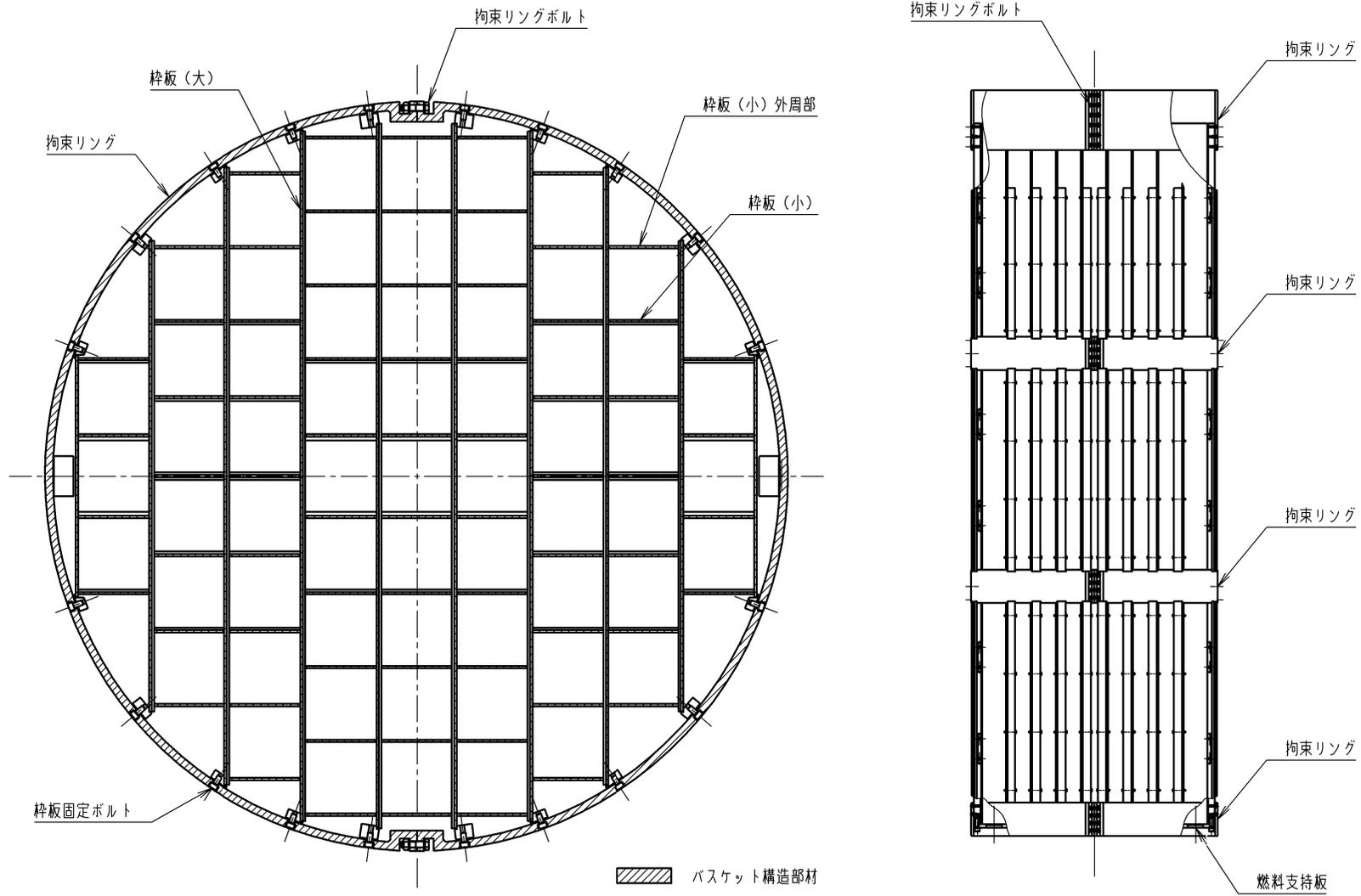


図 5-1 バスケットの応力解析箇所

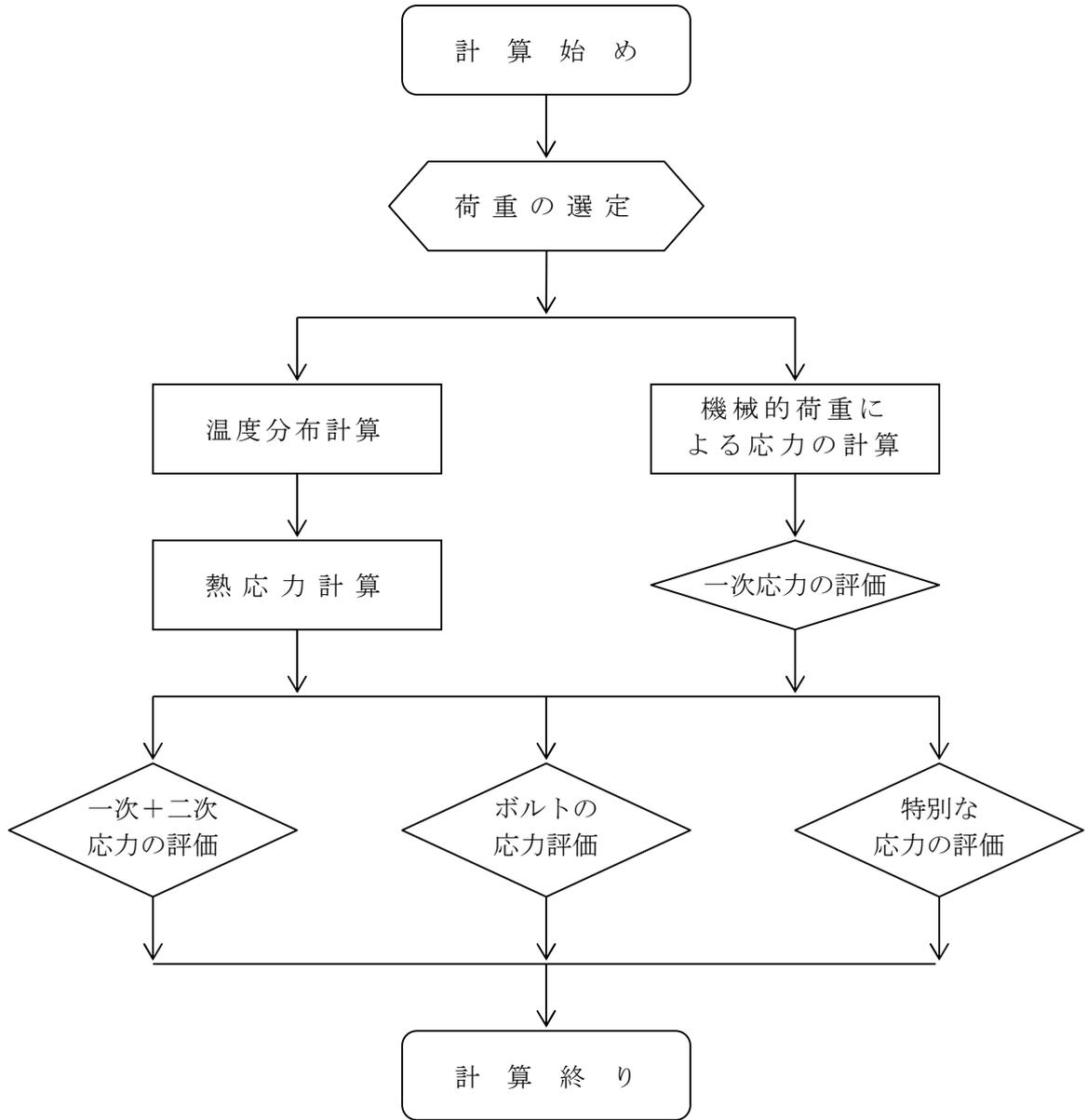


図 6-1 バスケットの応力解析フロー図

表 4-1 使用済燃料の条件

項目	燃料条件
対象燃料	高燃焼度 8 × 8 燃料 *1
貯蔵容器 1 基当たりの収納体数 (体)	61
貯蔵容器 1 基当たりの発熱量 (kW)	17.1 *2
姿勢	縦置き / 横置き *3
周囲温度 (°C)	45 / 38 *3

注記 *1 : 8 × 8 燃料, 新型 8 × 8 燃料, 新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8 × 8 燃料のうち最も厳しい発熱量となる高燃焼度 8 × 8 燃料について行う。

*2 : ORIGEN2 コードにより求めた。

*3 : 貯蔵時における貯蔵容器姿勢及び周囲温度

表 4-2 貯蔵容器の設計事象

設計事象	定義	解説	事象の例	東海第二発電所における選定事象
I	貯蔵容器の通常 の取扱い時及び 貯蔵時の状態を いう。	貯蔵状態及び計画的な取扱い 状態。	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵 貯蔵容器の吊上 げ, 吊下げ, 移動 事業所内運搬 	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵
II	設計事象 I, 設計 事象 III, 設計事象 IV 及び試験状態 以外の状態をい う。	貯蔵容器の寿命程度の期間中 に予想される取扱い機器の単 一故障, 単一誤動作等の事象 によって, 貯蔵容器が通常貯 蔵状態あるいは通常取扱い状 態から外れるような状態をい う。	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵容器の異常 着床 取扱い機器の単 一故障, 誤動作 	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵容器の異常 着床 貯蔵容器の支持 構造物への衝突
III	貯蔵容器又はそ の取扱い機器等 の故障, 異常な作 動等により, 貯蔵 又は計画された 取扱いの停止が 緊急に必要とさ れる状態をいう。	発生頻度が十分低い事象によ って引き起こされる状態をい う。すなわち, 設計事象 II で いう機器の単一故障, 運転員 の単一誤操作等によって引き 起こされるもののうち, その 発生頻度が十分に低いと考え られるものを分類する。		
IV	貯蔵容器の安全 設計上想定され る異常な事態が 生じている状態 をいう。	発生頻度が極めて低く, 貯蔵 容器の寿命中に起こるとは考 えられない事象によって引き 起こされる状態をいうが, 万 一発生した場合の設計の妥当 性を確保するために特に設け たものをいう。	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵容器の落下 	<ul style="list-style-type: none"> 該当なし*

注記* : 東海第二発電所においては, 以下の防止措置が施されており, 設計事象IV (落下・転倒) が発生しないため, 事象として選定していない。

- ・ 貯蔵容器吊上げ装置の多重化, インターロック等の防護設備設置による防止
- ・ 貯蔵容器運搬装置については, 貯蔵容器の固縛・固定機構の適切化による防止
- ・ 確定された貯蔵容器の取扱い手順, 作業手順による防止
- ・ 運用機材の適切な保守管理による防止

表 4-3 バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象	荷 重	自重 による 荷重	運 搬 時 荷 重	吊 上 げ 荷 重	衝撃荷重	熱 荷 重	備 考
					構造物への衝突 異常着床・支持		
I	貯 蔵 時	○				○	*1
	運 搬 時	○	○			○	
	吊 上 げ 時	○		○		○	
	搬出前作業及び 燃料取出し作業時	○				○	
II	衝撃荷重作用時	○			○	○	

注記 *1: S_d^* 地震力及び S_s 地震力は、設計事象 I の貯蔵時における荷重と組み合わせるものとする。

表 5-1 代表事象

設計事象	代表事象*1	包絡される事象	荷重条件	備考
I + S_d^*	貯 蔵 時 (S_d^* 地震力が作用する場合)	—	自重: 1 G (=9.81 m/s ²) 地震力 水平方向: 0.72 G (=7.06 m/s ²) 鉛直方向: 0.36 G (=3.53 m/s ²) 熱荷重	—
I + S_s	貯 蔵 時 (S_s 地震力が作用する場合)	—	自重: 1 G (=9.81 m/s ²) 地震力 水平方向: 1.17 G (=11.48 m/s ²) 鉛直方向: 0.65 G (=6.38 m/s ²) 熱荷重	—

注記 *1: 本事象について応力解析を行う。

表 5-2 温度分布計算に使用する材料の物性値

構成部材	材 料	温度 (°C)	熱伝導率 ^{*1} (W/m・K)
胴	炭素鋼 (GLF1)	27	43.0
		227	38.6
外 筒	炭素鋼 (SM400A)	27	43.0
		227	38.6
中性子遮蔽体	レジン (NS-4-FR)	—	
伝熱フィン	銅合金 (C1020)	27	398
		327	383
枠板	ボロン添加 ステンレス鋼板 (B-SUS)	27	
		127	
		327	
枠板	ステンレス鋼 (SUS304)	27	16.0
		127	16.5
		327	19.0
伝熱プレート 伝熱ブロック	アルミニウム合金 (A1050)	27	222
内部気体	ヘリウム	27	0.1527
		127	0.1882
		227	0.2212
		327	0.2523
周囲環境	空 気	27	0.02614
		127	0.03305
		227	0.03951

注記 *1: 引用文献(1)参照。ただし、レジン は引用文献(3)参照。

表 5-3 温度分布計算に使用するふく射率

構成部材	材 料	ふく射率 ^{*2}
外筒 (外面)	塗料 (緑色)	0.85
胴 (内面溶射)	アルミ亜鉛	0.23
伝熱プレート (表面) 伝熱ブロック (表面)	アルミニウム合金 (A1050)	0.36
枠板 (表面), 拘束リング (表面)	ステンレス鋼 (SUS304)	0.36

注記 *2: 引用文献(1), (2)参照

表 5-4 熱応力計算に使用する材料の物性値

構成部材	材料	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	熱膨張係数 ($\times 10^{-6}$ mm/mm°C)	ポアソン比 (-)
枠板	ボロン添加 ステンレス鋼板 (B-SUS)	20			
		50			
		75			
		100			
		125			
		150			
		175			
		200			
		225			
		250			
		275			
		300			
枠板 拘束リング	ステンレス鋼 (SUS304)	20	195000	15.21	0.3
		50	193000	15.49	
		75	191000	15.68	
		100	190000	15.87	
		125	188000	16.05	
		150	186000	16.21	
		175	184000	16.37	
		200	183000	16.52	
		225	180000	16.66	
		250	178000	16.81	
		275	177000	16.94	
		300	176000	17.07	

表 6-1 バスケット用材料の許容応力値

(単位：MPa)

許容 応力 区分	応力の種類	許容応力値		
		枠板	枠板 拘束リング 燃料支持板	許容値基準
		B-SUS	SUS304	
I + S _d *	一次一般膜応力強さ P_m		187	$1.5 \cdot S_m$
	一次膜+一次曲げ応力強さ P_m+P_b		281	$2.25 \cdot S_m$
	純せん断応力 σ_s		112	$0.9 \cdot S_m$
	支圧応力 σ_p^*		207 (310)	$1.5 \cdot S_y$ ($2.25 \cdot S_y$)
	座屈応力 (一次+二次) σ_b		105	$1.5 \cdot f_b$, $1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$
I + S _s	一次一般膜応力強さ P_m		266	Min. { $2.4 \cdot S_m$, $2/3 \cdot S_u$ }
	一次膜+一次曲げ応力強さ P_m+P_b		399	Min. { $3.6 \cdot S_m$, S_u }
	純せん断応力 σ_s		150	$1.2 \cdot S_m$
	支圧応力 σ_p^*		276 (414)	$2 \cdot S_y$ ($3 \cdot S_y$)
	座屈応力 (一次+二次) σ_b		105	$1.5 \cdot f_b$, $1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$

注記 * : () 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 6-2 バスケット用材料（ボルト用材料）の許容応力値

(単位：MPa)

許容 応力 区分	応力の種類	許容応力値		
		拘束リング ボルト	枠板 固定ボルト	許容値基準
		SUS630 H1150	SUS304	
I + S _d *	一次一般膜応力強さ P_m		187	$1.5 \cdot S_m$
	一次膜+一次曲げ応力強さ $P_m + P_b$		281	$2.25 \cdot S_m$
	一次膜応力+二次膜応力 $P_m + Q_m$		/	Min. { $0.9 \cdot S_y, 2/3 \cdot S_u$ }
	一次応力+二次応力 $P_m + Q_m + P_b + Q_b$		/	$0.9 \cdot S_y$
I + S _s	一次一般膜応力強さ P_m		/	$2/3 \cdot S_u$
	一次膜+一次曲げ応力強さ $P_m + P_b$		266	Min. { $2.4 \cdot S_m, 2/3 \cdot S_u$ }
	一次膜+一次曲げ応力強さ $P_m + P_b$		/	S_u
	一次膜+一次曲げ応力強さ $P_m + P_b$		399	Min. { $3.6 \cdot S_m, S_u$ }

表 6-3 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単 位	処 理 桁	処 理 法	表示最小桁
最高使用温度	℃	—	—	設 計 値
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
許容応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整 数
計算応力値*	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整 数
長 さ	mm	—	—	設 計 値
設 計 震 度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
面 積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
角 度	°	—	—	設 計 値
質 量	kg	—	—	設 計 値

注記 * : 応力成分は、小数点以下第 2 位を四捨五入し、小数点以下第 1 位までの値を記載する。

V-2-4-2-3-3 トラニオンの応力解析の方針①
(タイプ I)

目次

1. 概 要	1
2. 適用基準	2
3. 記 号	3
3.1 記号の説明	3
4. 設計条件	5
4.1 基本仕様	5
4.2 設計事象	5
4.3 荷重の種類とその組合せ	5
5. 計算条件	6
5.1 解析対象とする事象	6
5.2 解析箇所	6
5.3 形状及び寸法	6
5.4 物性値	6
5.5 許容応力	6
6. 応力解析の手順	8
6.1 解析手順の概要	8
6.2 荷重条件の選定	8
6.3 応力計算と評価	8
6.3.1 応力計算の方法	8
6.3.2 応力評価	8
6.3.3 数値の丸め方	9

図表目次

図 5-1	トラニオンの応力解析箇所	10
図 6-1	トラニオンの応力解析フロー図	11
表 4-1	貯蔵容器の設計事象	12
表 4-2	トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ	13
表 5-1	代表事象	14
表 5-2	熱応力計算に使用する材料の物性値	14
表 6-1	トラニオン用材料の許容応力値	15
表 6-2	数値の丸め方一覧表	16

1. 概 要

本書は、使用済燃料乾式貯蔵容器のトラニオンに関する応力解析の方針を述べるものである。

注：図表は、一括して巻末に示す。

2. 適用基準

使用済燃料乾式貯蔵容器において、トラニオンは、貯蔵容器の取扱時及び貯蔵時の支持のための部品であり、貯蔵容器全体を支持する。したがって、キャスク容器の評価方法と整合をとり、「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））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。）のクラス1支持構造物に従って設計する。

注：本書及び応力計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格〇〇〇－〇〇〇〇」として示す。

3. 記号

3.1 記号の説明

本書及び応力計算書において、応力評価に関する以下の記号を使用する。ただし、本文中に特記ある場合は、この限りでない。

なお、応力計算書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
A	断面積	mm ²
a ₁	地震時の貯蔵容器回転支点Oから支持台①のトラニオン固定金具中心までの距離	mm
a ₂	地震時の貯蔵容器回転支点Oから支持台②のトラニオン固定金具中心評価位置までの距離	mm
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
F _w	トラニオンに作用する荷重	N
G	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
f _t	許容引張応力	MPa
f _s	許容せん断応力	MPa
f _c	許容圧縮応力	MPa
f _b	許容曲げ応力	MPa
f _p	許容支圧応力	MPa
f _t ^{* 1)}	許容引張応力	MPa
f _s ^{* 1)}	許容せん断応力	MPa
f _c ^{* 1)}	許容圧縮応力	MPa
f _b ^{* 1)}	許容曲げ応力	MPa
f _p ^{* 1)}	許容支圧応力	MPa
G ₁	貯蔵容器軸に直角方向の加速度	m/s ²
G ₃	貯蔵容器軸方向の加速度	m/s ²
h _{CG}	貯蔵容器底面から重心までの高さ	mm
L	荷重位置と評価点との距離	mm
M	曲げモーメント	N・mm
S _d [*]	弾性設計用地震動 S _d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方	—

注記 1) : f_t^{*}, f_s^{*}, f_c^{*}, f_b^{*}, f_p^{*} : f_t, f_s, f_c, f_b, f_p の値を算出する際に設計・建設規格 SSB-3121.1(1)における「付録材料図表 Part5 表8に規定する材料の設計降伏点」とあるのを「付録材料図表 Part5 表8に規定する材料の設計降伏点の1.2倍の値」と読み替えて算出した値。

計算書の記号	記号の説明	単位
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
W	質量	kg
Z	断面係数	mm^3
σ	評価断面に垂直な方向の応力	MPa
σ_b	曲げ応力	MPa
${}_c\sigma_b$	圧縮側曲げ応力	MPa
${}_t\sigma_b$	引張側曲げ応力	MPa
σ_c	圧縮応力	MPa
σ_T	組合せ応力	MPa
σ_t	引張応力	MPa
τ	せん断応力	MPa
α_H	水平方向設計加速度	m/s^2
α_V	鉛直方向設計加速度	m/s^2
$I + S_d^*$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用した場合の許容応力区分	—
$I + S_s$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用した場合の許容応力区分	—

4. 設計条件

トラニオンは以下の設計条件に耐えるように設計する。

4.1 基本仕様

最高使用温度：160 °C

注：トラニオンはキャスク容器に取り付けられており一体であることから、トラニオンの最高使用温度は、キャスク容器と同じ 160°Cとする。

4.2 設計事象

設計上考慮する事象を表 4-1 に示す。

4.3 荷重の種類とその組合せ

トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 4-2 に示す。応力解析に用いる荷重は応力計算書に記載する。

5. 計算条件

5.1 解析対象とする事象

設計事象 I における事象のうち、表 5-1 に示すように荷重条件等を考慮して代表事象を選定し、代表事象について解析を実施する。

5.2 解析箇所

トラニオンの応力解析を行う箇所は、次のとおりである(図 5-1 参照)。

- (1) トラニオン

5.3 形状及び寸法

応力解析を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。

5.4 物性値

温度分布計算及び応力計算に使用する材料の物性値は下記のとおりである。

- (1) 熱応力計算に使用する物性値を表 5-2 に示す。
- (2) 機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、最高使用温度 (160°C) に対する値を用いる。
なお、常温は 20°C とする。

5.5 許容応力

材料の応力強さの限界及び許容応力は、次の各号に掲げるとおりとする。

- (1) トラニオンにあつては、次によること。
 - a. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用して生じる一次応力は、設計・建設規格 SSB-3121.2 の規定を満足すること。
 - b. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる一次応力は、設計・建設規格 SSB-3121.3 の規定を満足すること。
 - c. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力(キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。)を加えて求めた応力は、次の値を超えないこと。
 - (a) 引張応力及び圧縮応力のサイクルにおける最大値と最小値との差(引張応力の符号は正とし、圧縮応力の符号は負として計算する。)については、設計・建設規格 SSB-3122.1(1)の規定を満足すること。
 - (b) せん断応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(2)の規定を満足すること。
 - (c) 曲げ応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(3)の規定を満足すること。
 - (d) 支圧応力については、設計・建設規格 SSB-3122.1(4)の規定を満足すること。
 - (e) 座屈応力については、設計・建設規格 SSB-3121.1(2), (3)又は(4)に定める

値の 1.5 倍を超えないこと。

- d. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_s 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力（キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。）を加えて求めた応力は、次の規定を満足すること。
- (a) 引張応力及び圧縮応力のサイクルにおける最大値と最小値との差（引張応力の符号は正とし、圧縮応力の符号は負として計算する。）については、設計・建設規格 SSB-3122.1(1)の規定を満足すること。
 - (b) せん断応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(2)の規定を満足すること。
 - (c) 曲げ応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(3)の規定を満足すること。
 - (d) 支圧応力については、設計・建設規格 SSB-3122.1(4)の規定を満足すること。
この場合において、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.本文中「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点」とあるのは、「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点の 1.2 倍の値」に読み替えるものとする。
 - (e) 座屈応力については、設計・建設規格 SSB-3121.1(2), (3)又は(4)に定める値の 1.5 倍を超えないこと。
- e. c. 及び d. において応力の組合せが考えられる場合は、組合せ応力に対する評価は設計・建設規格 SSB-3121.1(6)の規定による。
- (2) (1)において、設計・建設規格の「供用状態 A」及び「供用状態 B」は、それぞれ「設計事象Ⅰ」及び「設計事象Ⅱ」と読み替える。

許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

6. 応力解析の手順

応力解析を行う場合の手順について一般的な事項を述べる。

6.1 解析手順の概要

トラニオンの応力解析フローを図 6-1 に示す。

トラニオンの応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に応力評価式を用いて行う。

6.2 荷重条件の選定

荷重条件は 4. 項に示されているが、各部の計算においては、その部分についての重要な荷重条件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は応力計算書に示す。

6.3 応力計算と評価

6.3.1 応力計算の方法

(1) 応力計算は荷重毎に行う。荷重条件として与えられるものは次の 2 つである。

- a. 機械的荷重
- b. 熱荷重

(2) 貯蔵時においては、地震力が作用する場合の鉛直方向及び水平方向荷重は、下部トラニオン 4 個で支持する。

なお、荷重作用点位置は荷重支持面の中央点とする。

(3) 構造の不連続性を考慮して、応力評価点（面）をとる。評価点（面）は、応力計算書に示す。

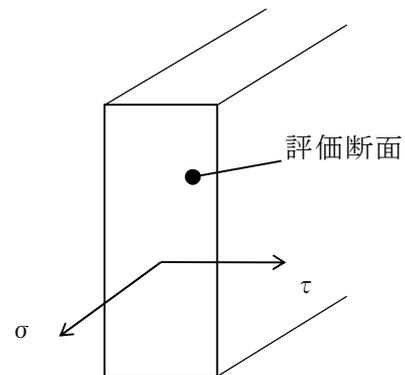
応力評価は、この応力評価点（面）について行う。

6.3.2 応力評価

応力の計算結果は、設計・建設規格 GNR-2130 による定義に従い、応力の種類毎に分類し、以下の評価を応力計算書に示す。

なお、応力の記号とその方向は次のとおりである。

- σ : 評価断面に垂直な方向の応力
- τ : せん断応力



トラニオン用材料の許容応力値を表 6-1 に示す。

(1) トラニオンの応力評価

トラニオンの応力評価は、設計・建設規格 SSB-3120 に従い以下の項目を実施する。

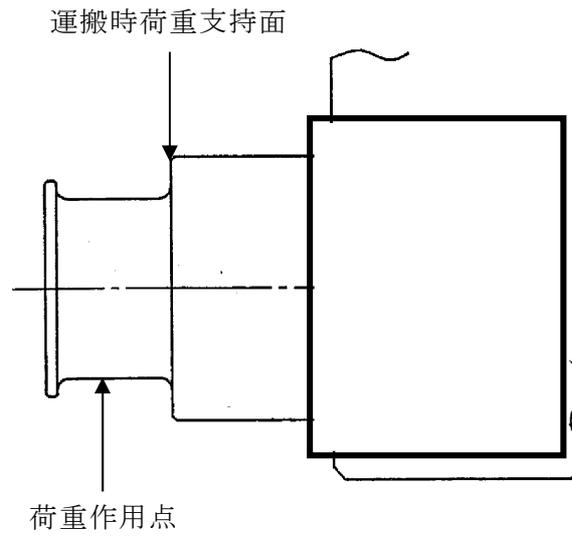
- a. 一次応力
- b. 一次+二次応力
- c. 組合せ応力

6.3.3 数値の丸め方

数値は、原則として四捨五入とする。また、評価に用いる許容応力及び算出応力等については、安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を表 6-2 に示す。



下部トラニオン

注記) 貯蔵時に地震力が作用する場合は、
下部トラニオンのみで荷重を支持する。

図 5-1 トラニオンの応力解析箇所

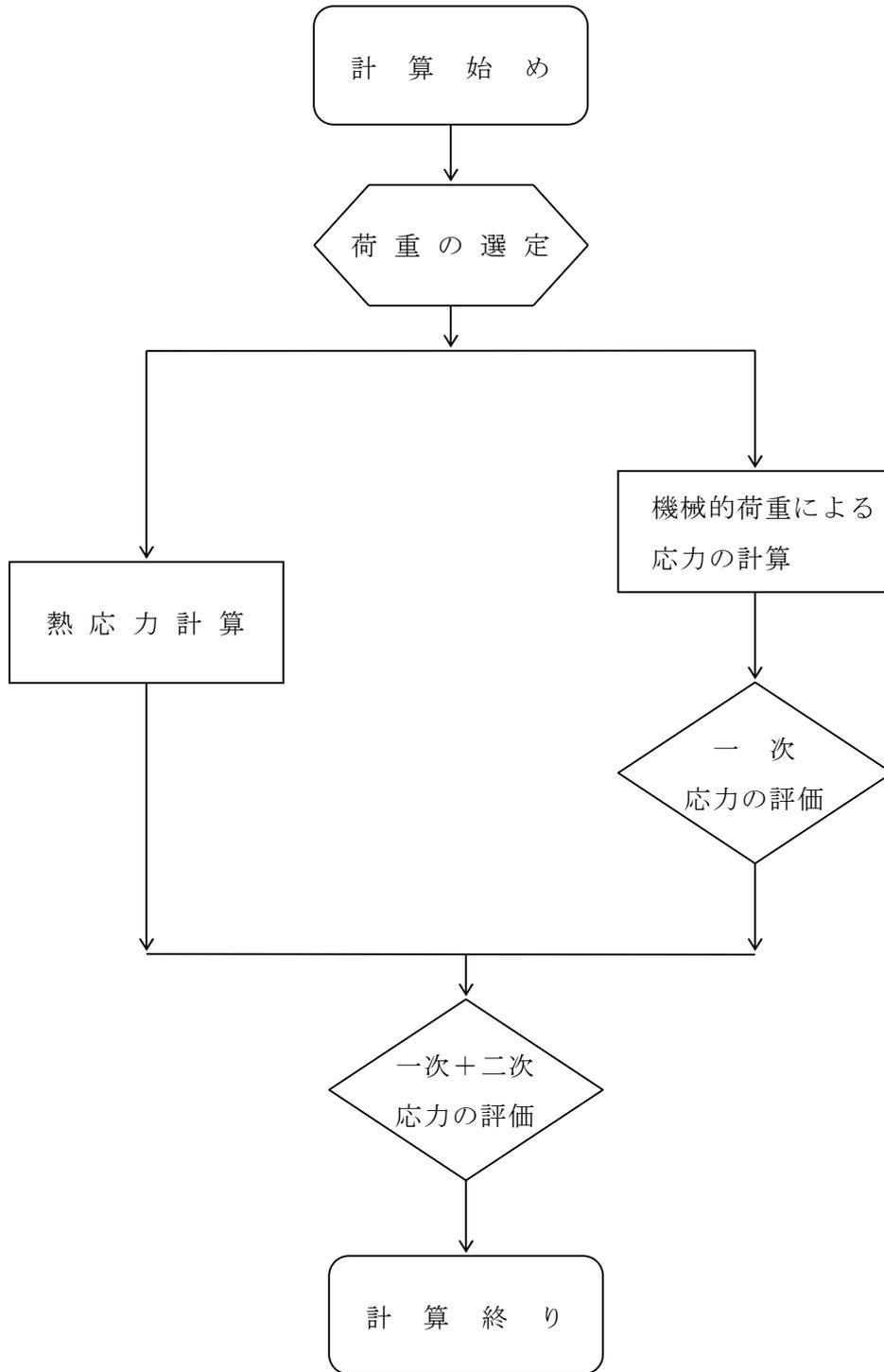


図 6-1 トラニオンの応力解析フロー図

表 4-1 貯蔵容器の設計事象

設計事象	定義	解説	事象の例	東海第二発電所における選定事象
I	貯蔵容器の通常 の取扱い時及び 貯蔵時の状態を いう。	貯蔵状態及び計画的な取扱 い状態。	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵 貯蔵容器の吊上 げ, 吊下げ, 移動 事業所内運搬 	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵
II	設計事象 I, 設 計事象 III, 設 計事象 IV 及び試験 状態以外の状態 をいう。	貯蔵容器の寿命程度の期間 中に予想される取扱い機器 の単一故障, 単一誤動作等の 事象によって, 貯蔵容器が通 常貯蔵状態あるいは通常取 扱い状態から外れるような 状態をいう。	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵容器の異常 着床 取扱い機器の単 一故障, 誤動作 	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵容器の異常 着床 貯蔵容器の支持 構造物への衝突
III	貯蔵容器又はそ の取扱い機器等 の故障, 異常な 作動等により, 貯蔵又は計画さ れた取扱いの停 止が緊急に必要 とされる状態を いう。	発生頻度が十分低い事象に よって引き起こされる状態 をいう。すなわち, 設計事象 II でいう機器の単一故障, 運 転員の単一誤操作等によっ て引き起こされるものう ち, その発生頻度が十分に低 いと考えられるものを分類 する。		
IV	貯蔵容器の安全 設計上想定され る異常な事態が 生じている状態 をいう。	発生頻度が極めて低く, 貯蔵 容器の寿命中に起こるとは 考えられない事象によっ て引き起こされる状態をい うが, 万一発生した場合の設 計の妥当性を確保するため に特に設けたものをいう。	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵容器の落下 	<ul style="list-style-type: none"> 該当なし*

注記* : 東海第二発電所においては, 以下の防止措置が施されており, 設計事象 IV (落下・
転倒) が発生しないため, 事象として選定していない。

- ・ 貯蔵容器吊上げ装置の多重化, インターロック等の防護設備設置による防止
- ・ 貯蔵容器運搬装置については, 貯蔵容器の固縛・固定機構の適切化による防止
- ・ 確定された貯蔵容器の取扱い手順, 作業手順による防止
- ・ 運用機材の適切な保守管理による防止

表 4-2 トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象	荷 重 荷 重 時	自重 による荷重	運 搬時荷重	吊 上 げ 荷 重	衝 撃 荷 重	熱 荷 重 *	備 考
					支持構造物への衝突 異常着床・		
I	貯 蔵 時	○				○	*2
	運 搬 時	*1	○			○	
	吊 上 げ 時	*1		○		○	
	搬出前作業及び 燃料取出し作業時	○				○	
II	衝撃荷重作用時	*1			○	○	

注記 *1: キャスク容器の熱膨張により生ずる応力に限る。

*2: S_d *地震力及び S_s 地震力は、設計事象 I の貯蔵時における荷重と組み合わせるものとする。

表 5-1 代 表 事 象

設計事象	代表事象 ¹⁾	包絡される事象	荷重条件	備 考
I + S _d *	貯 蔵 時 (S _d *地震力が 作用する場合)	—————	自 重:1G(=9.81m/s ²) 地震力 水平方向: C _H G=1.17G(=11.48m/s ²) 鉛直方向: C _V G=0.65G(= 6.38m/s ²) 熱荷重	許容応力状態 Ⅲ _A Sで評価
I + S _s	貯 蔵 時 (S _s 地震力が 作用する場合)	—————	自 重:1G(=9.81m/s ²) 地震力 水平方向: C _H G=1.17G(=11.48m/s ²) 鉛直方向: C _V G=0.65G(= 6.38m/s ²) 熱荷重	許容応力状態 Ⅳ _A Sで評価

注記 1) : 本事象について応力解析を行う。

表 5-2 熱応力計算に使用する材料の物性値

構成部材	材 料	温 度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	熱膨張係数 (×10 ⁻⁶ mm/mm°C)
上部トラニオン 下部トラニオン	析出硬化 ステンレス鋼 (SUS630 H1150)	160	185000	11.37

表 6-1 トラニオン用材料の許容応力値

許容応力 区 分	応 力 の 種 類		許容応力値 (MPa)	
			析出硬化ステンレス鋼	
			SUS630 H1150	許 容 値 基 準
I + S _d * ¹⁾	一 次 応 力	引張応力	588	1.5 f _t
		圧縮応力	570	1.5 f _c
		せん断応力	339	1.5 f _s
		曲げ応力	588	1.5 f _b
		支圧応力	801	1.5 f _p
	一 次 + 二 次 応 力	引張・圧縮応力 ²⁾	1176	3 f _t
		せん断応力 ²⁾	678	3 f _s
		曲げ応力 ²⁾	1176	3 f _b
		支圧応力	801	1.5 f _p
		座屈応力	339	1.5 f _b , 1.5 f _s 又は 1.5 f _c
I + S _s ¹⁾	一 次 応 力	引張応力	588	1.5 f _t *
		圧縮応力	570	1.5 f _c *
		せん断応力	339	1.5 f _s *
		曲げ応力	588	1.5 f _b *
		支圧応力	801	1.5 f _p *
	一 次 + 二 次 応 力	引張・圧縮応力 ²⁾	1176	3 f _t
		せん断応力 ²⁾	678	3 f _s
		曲げ応力 ²⁾	1176	3 f _b
		支圧応力	801	1.5 f _p *
		座屈応力	339	1.5 f _b , 1.5 f _s 又は 1.5 f _c

注記 1) : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は以下による。

- ① 次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力(σ)とせん断応力(τ)を組み合わせた応力(σ_T)は、引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ② 圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_c|}{1.5f_c} + \frac{|c\sigma_b|}{1.5f_b} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|t\sigma_b| - |\sigma_c|}{1.5f_t} \leq 1$$

- ③ 引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_t| + |t\sigma_b|}{1.5f_t} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|c\sigma_b| - |\sigma_t|}{1.5f_b} \leq 1$$

ただし、②及び③において、I + S_d* の一次応力については上式による。

I + S_s の一次応力の場合、分母の 1.5 f_c、1.5 f_b、1.5 f_t は、1.5 f_c*、1.5 f_b*、1.5 f_t* とする。一次+二次応力の場合、分母の 1.5 f_c、1.5 f_b、1.5 f_t は、3 f_c、3 f_b、3 f_t とする。

- 2) : S_d* 地震力及び S_s 地震力のみによる全振幅について評価する。

表 6-2 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単 位	処 理 桁	処 理 法	表示最小桁
最高使用温度	℃	—	—	設 計 値
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
許容応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切 捨 て	整 数 値 位
計算応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切 上 げ	整 数 値 位
長 さ	mm	—	—	設 計 値
設 計 震 度	—	小数点以下第 3 位	切 上 げ	小数点以下第 2 位
面 積	mm ²	有効数字 4 桁目	安全側に処理する	有効数字 3 桁
力	N	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 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
質 量	kg	—	—	設 計 値

V-2-4-2-3-3 トラニオンの応力解析の方針②
(タイプⅡ)

目次

1. 概 要	1
2. 適用基準	2
3. 記 号	3
3.1 記号の説明	3
4. 荷重条件	5
4.1 設計条件	5
4.2 設計事象	5
4.3 荷重の種類とその組合せ	5
5. 計算条件	6
5.1 解析対象とする事象	6
5.2 解析箇所	6
5.3 形状及び寸法	6
5.4 物性値	6
5.5 許容応力	6
6. 応力解析の手順	8
6.1 解析手順の概要	8
6.2 荷重条件の選定	8
6.3 応力計算と応力の分類	8
6.3.1 応力計算の方法	8
6.3.2 応力の分類	9
6.4 応力の評価（ボルトを除く）	9
6.4.1 一次応力	9
6.4.2 一次＋二次応力	9
6.4.3 組合せ応力	9
6.5 ボルトの応力評価	9
7. 解析及び評価結果の添付	10
7.1 応力解析結果	10
7.2 応力評価結果	10

図表目次

図 5-1	トラニオンの応力解析箇所	11
図 6-1	トラニオンの応力解析フロー図	12
表 4-1	乾式貯蔵キャスクの設計事象	13
表 4-2	トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ	14
表 5-1	代表事象	15
表 5-2	熱応力計算に使用する材料の物性値	15
表 5-3	トラニオン用材料の許容応力値	16
表 5-4	トラニオン用材料（ボルト用材料）の許容応力値	17
表 6-1	数値の丸め方一覧表	18

1. 概 要

本書は、使用済燃料乾式貯蔵容器のトラニオンに関する応力解析の方針を述べるものである。

注：図表は一括して巻末に示す。

2. 適用基準

使用済燃料乾式貯蔵容器において、トラニオンは、貯蔵容器の取扱時及び貯蔵時の支持のための部品であり、貯蔵容器全体を支持する。したがって、キャスク容器の評価方法と整合をとり、「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 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。）のクラス1支持構造物に従って設計する。

注：本書及び応力計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格〇〇〇-〇〇〇〇〇」として示す。

3. 記号

3.1 記号の説明

本書及び応力計算書において、応力評価に関する下記の記号を使用する。ただし、本文中に特記のある場合は、この限りでない。

計算書の記号	記号の説明	単位
A	トラニオンの断面積	mm ²
A _b	トラニオンボルトの断面積	mm ²
a ₁	地震時の乾式貯蔵キャスク回転支点Oから支持台①のトラニオン固定金具中心までの距離	mm
a ₂	地震時の乾式貯蔵キャスク回転支点Oから支持台②のトラニオン固定金具中心までの距離	mm
C _c	トラニオンボルト計算における係数	—
C _H	水平方向設計震度	—
C _t	トラニオンボルト計算における係数	—
C _v	鉛直方向設計震度	—
D _{b i}	トラニオンボルト取付部の内径	mm
D _{b o}	トラニオンボルト取付部の外径	mm
D _c	トラニオンボルトのピッチ円直径	mm
e	トラニオンボルト計算における係数	—
F _{c c}	キャスク容器に作用する圧縮力	N
F _m	トラニオンに作用する荷重	N
F _{t b}	トラニオンボルトに作用する引張力	N
F ₁	トラニオン固定ボルトの初期締付け力	N
f _T	せん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
f _t	許容引張応力	MPa
f _s	許容せん断応力	MPa
f _b	許容曲げ応力	MPa
f _t *	許容引張応力 *	MPa
f _s *	許容せん断応力 *	MPa
f _b *	許容曲げ応力 *	MPa
G	重力加速度(=9.80665)	m/s ²
G ₁	乾式貯蔵キャスク軸に直角方向(上下方向)の加速度	m/s ²
G ₂	乾式貯蔵キャスク軸方向(前後方向)の加速度	m/s ²
h _{c G}	乾式貯蔵キャスク底面から重心までの高さ	mm

注記 * : f_t*, f_s*, f_b*は、各々 f_t, f_s, f_bの値を算出する際に設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.の本文中「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点」とあるのを「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点の 1.2 倍の値」と読み替えて算出した値。

計算書の記号	記号の説明	単位
k	トラニオンボルト計算における中立軸の荷重係数	—
L	荷重位置と評価点との距離	mm
M	曲げモーメント	N・mm
m	質量	kg
n	トラニオンボルト本数	—
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方	—
S_s	基準地震動 S_s による地震力	—
t_1	トラニオンボルト面積相当幅	mm
t_2	圧縮側相当幅	mm
Z	トラニオンの断面係数	mm ³
z	トラニオンボルト計算における係数	—
α	トラニオンボルト計算における中立軸を定める角度	rad
σ	トラニオンの評価断面に垂直な方向の応力	MPa
σ_b	トラニオンの曲げ応力	MPa
σ_{cc}	キャスク容器の圧縮応力	MPa
σ_T	トラニオンの組合せ応力	MPa
σ_{tb}	トラニオンボルトの引張応力	MPa
τ	トラニオンのせん断応力	MPa
$I + S_d^*$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用した場合の許容応力状態	—
$I + S_s$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用した場合の許容応力状態	—

4. 荷重条件

トラニオンは以下の設計条件に耐えるように設計する。

4.1 設計条件

最高使用温度： 140 °C

4.2 設計事象

考慮する設計事象を表 4-1 に示す。

4.3 荷重の種類とその組合せ

トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 4-2 に示す。

5. 計算条件

5.1 解析対象とする事象

表 5-1 に示すように荷重条件等を考慮して代表事象を選定し、代表事象について解析を実施する。

5.2 解析箇所

応力解析を行う箇所の形状を図 5-1 に示す。

5.3 形状及び寸法

応力解析を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。

5.4 物性値

応力計算に使用する材料の物性値は以下の通りである。

- (1) 熱応力計算に使用する物性値を表 5-2 に示す。
- (2) 機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、最高使用温度に対する値を用いる。なお、常温は 20 °C とする。

5.5 許容応力

材料の応力強さの限界及び許容応力は、次に掲げる通りとする。

- (1) トラニオン（ボルトを除く）にあつては、次によること。
 - a. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用して生じる一次応力は、設計・建設規格 SSB-3121.2 に定める値を超えないこと。
 - b. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる一次応力は、設計・建設規格 SSB-3121.3 に定める値を超えないこと。
 - c. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力のみによって生じる一次応力と二次応力（キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。）を加えて求めた応力は、次の値を超えないこと。
 - (a) せん断応力及び曲げ応力のサイクルにおける最大値と最小値の差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(2)及び(3)に定める値
 - d. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力のみによって生じる一次応力と二次応力（キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。）を加えて求めた応力は、次の値を超えないこと。
 - (a) せん断応力及び曲げ応力のサイクルにおける最大値と最小値の差は、設計・建設規格 SSB-3122.1(2)及び(3)に定める値
- e. c. 及び d. において応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は設計・建設規格 SSB-3121.1(6)による。この場合において、それぞれの式中の各許容応力は 3 倍した値とする。

- (2) ボルトにあっては、次によること。
- a. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用して呼び径断面に生じる応力は、設計・建設規格 SSB-3132 に定める値を超えないこと。
 - b. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して呼び径断面に生じる応力は、設計・建設規格 SSB-3133 に定める値を超えないこと。
- (3) (1)及び(2)において、設計・建設規格の「供用状態C」及び「供用状態D」は、それぞれ「設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用して生じる場合」及び「設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる場合」と読み替える。

許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

トラニオン用材料の許容応力値を表 5-3 及び表 5-4 に示す。

6. 応力解析の手順

応力解析を行う場合の手順について一般的な事項を述べる。

6.1 解析手順の概要

トラニオンの応力解析フローを図 6-1 に示す。

トラニオンの応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に応力評価式を用いて行う。

6.2 荷重条件の選定

荷重条件は 4 章に示されているが、各部の計算においては、その部分について重要な荷重条件を選定して計算を行う。

6.3 応力計算と応力の分類

6.3.1 応力計算の方法

(1) 応力計算は荷重ごとに行う。荷重条件として与えられるものは次の 2 つである。

- a. 機械的荷重
- b. 熱荷重

(2) 貯蔵時において、地震力が作用する場合の鉛直方向及び水平方向荷重は、下部トラニオン 4 個で支持する。

なお、荷重作用点位置は荷重支持面の中央部とする。

(3) 構造の不連続性を考慮して、応力評価点（面）をとる。評価点（面）は、計算書の形状図中に、番号〔例①〕で示す。

応力評価は、この応力評価点（面）について行う。

(4) 数値の丸め方

数値は原則として安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については丸めないことを原則とし、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を表 6-1 に示す。

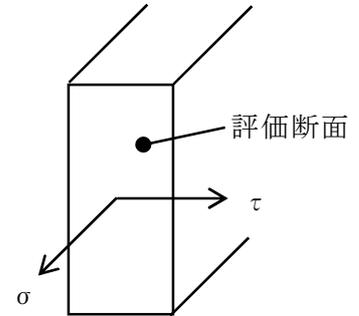
6.3.2 応力の分類

応力の計算結果は補表 5-3 及び補表 5-4 に示すように応力の種類ごとに分類して、応力計算書に示す。このときの応力の定義と分類は設計・建設規格 GNR-2130 による。

なお、応力の記号とその方向は、以下の通りである。

σ : 評価断面に垂直な方向の応力

τ : せん断応力



6.4 応力の評価（ボルトを除く）

6.4.1 一次応力

機械的荷重により発生する一次応力が、5.5(1)a. 及び b. に示す許容応力値を満足することを示す。

6.4.2 一次+二次応力

設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力及び S_s 地震力のみによって発生する一次応力と二次応力（キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。）を加えて求めた応力が、5.5(1) c. 及び d. に示す許容応力値を満足することを示す。

6.4.3 組合せ応力

応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は、5.5(1)a. , b. 及び e. により行う。

6.5 ボルトの応力評価

ボルトの応力評価として、5.5(2)に示す許容応力値を満足することを示す。また、応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は 5.5(2)により行う。

7. 解析及び評価結果の添付

応力計算書では，以下に示すように解析結果を添付する。

7.1 応力解析結果

考慮した荷重ごとに評価対象とした応力評価点（面）について，応力の種類ごとに解析結果を示す。

7.2 応力評価結果

次の応力評価結果を，評価対象とした応力評価点（面）について添付する。

- (1) 一次応力
- (2) 一次＋二次応力
- (3) 組合せ応力

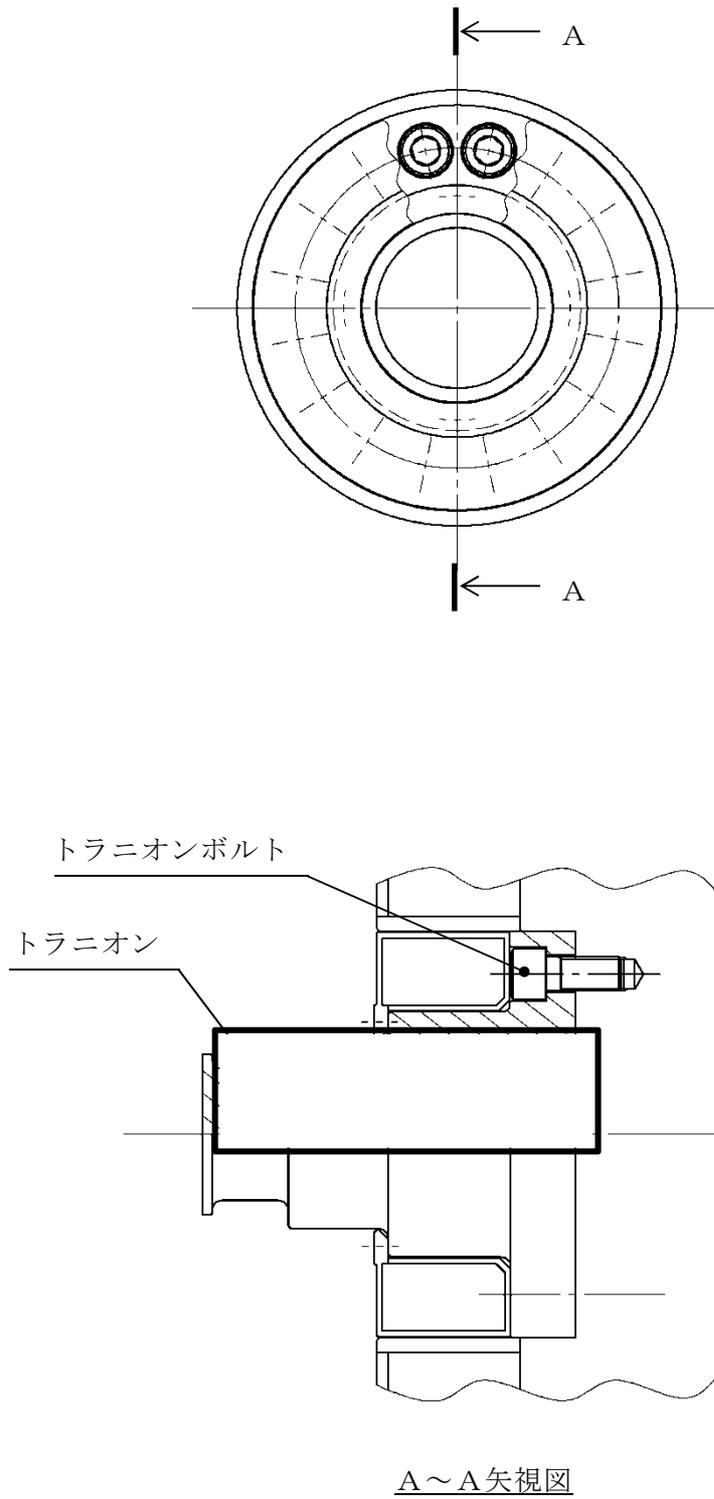


図 5-1 トランニオンの応力解析箇所

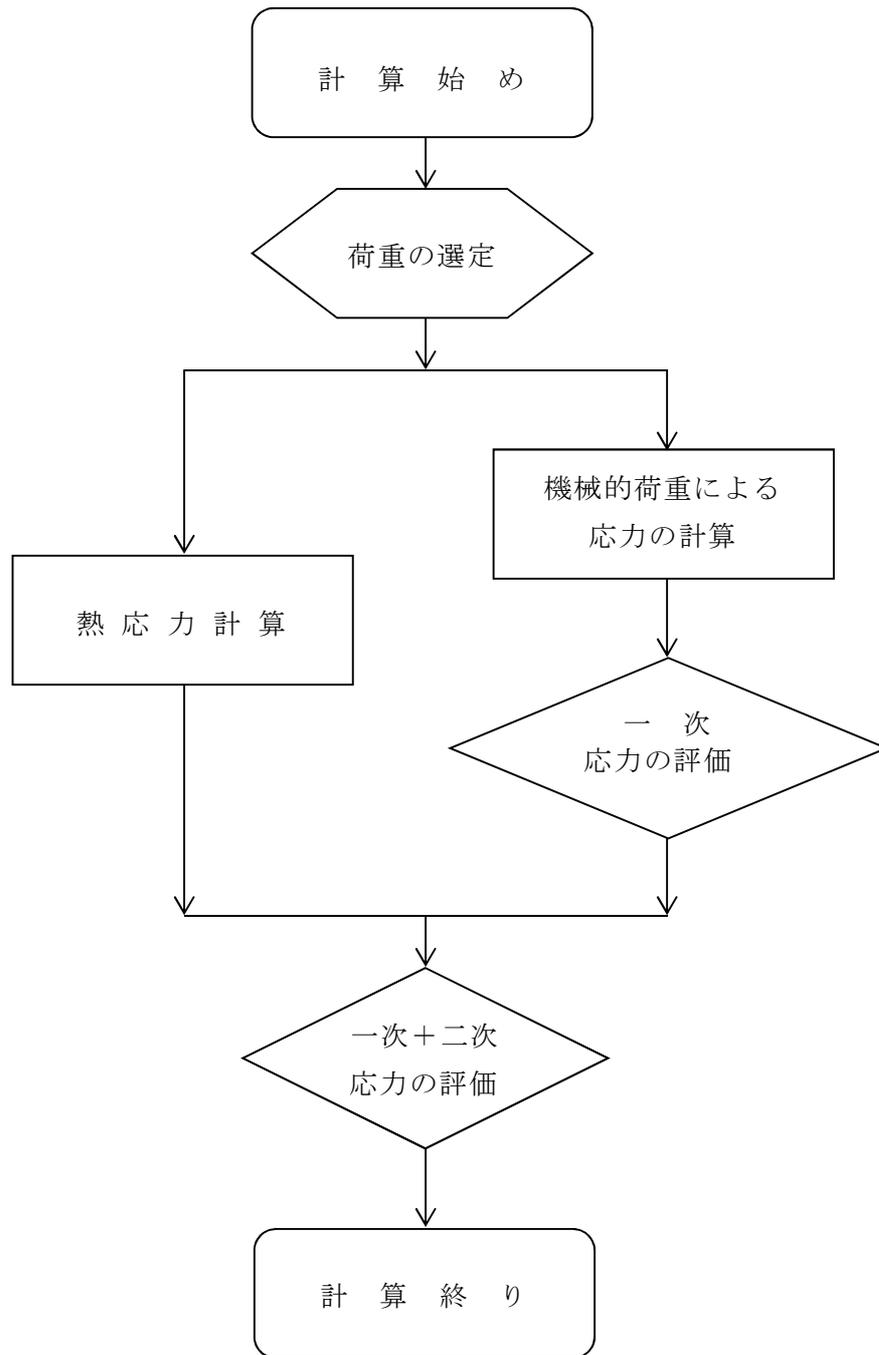


図 6-1 トラニオンの応力解析フロー図

表 4-1 乾式貯蔵キャスクの設計事象

設計事象	定義	解説	事象の例	東海第二発電所における選定事象
I	貯蔵容器の通常 の取扱い時及び 貯蔵時の状態を いう。	貯蔵状態及び計画的な取扱 い状態。	・貯蔵 ・貯蔵容器の吊上 げ, 吊下げ, 移動 ・事業所内運搬	・貯蔵
II	設計事象 I, 設 計事象 III, 設計 事象 IV 及び試験 状態以外の状態 をいう。	貯蔵容器の寿命程度の期間 中に予想される取扱い機器 の単一故障, 単一誤動作等の 事象によって, 貯蔵容器が通 常貯蔵状態あるいは通常取 扱い状態から外れるような 状態をいう。	・貯蔵容器の異常 着床 ・取扱い機器の単 一故障, 誤動作	・貯蔵容器の異常 着床 ・貯蔵容器の支持 構造物への衝突
III	貯蔵容器又はそ の取扱い機器等 の故障, 異常な 作動等により, 貯蔵又は計画さ れた取扱いの停 止が緊急に必要 とされる状態を いう。	発生頻度が十分低い事象に よって引き起こされる状態 をいう。すなわち, 設計事象 II でいう機器の単一故障, 運 転員の単一誤操作等によっ て引き起こされるもののう ち, その発生頻度が十分に低 いと考えられるものを分類 する。		
IV	貯蔵容器の安全 設計上想定され る異常な事態が 生じている状態 をいう。	発生頻度が極めて低く, 貯蔵 容器の寿命中に起こるとは 考えられない事象によつて 引き起こされる状態をいう が, 万一発生した場合の設計 の妥当性を確保するために 特に設けたものをいう。	・貯蔵容器の落下	・該当なし*

注記* : 東海第二発電所においては, 以下の防止措置が施されており, 設計事象 IV (落下・転倒) が発生しないため, 事象として選定していない。

- ・ 貯蔵容器吊上げ装置の多重化, インターロック等の防護設備設置による防止
- ・ 貯蔵容器運搬装置については, 貯蔵容器の固縛・固定機構の適切化による防止
- ・ 確定された貯蔵容器の取扱い手順, 作業手順による防止
- ・ 運用機材の適切な保守管理による防止

表 4-2 トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象	荷 重 荷 重 時	自重 による荷重	運搬時 荷重	吊上げ 荷重	衝撃荷重	熱荷重 *	備 考
					支持構造物 への衝突 異常着床・	*	
I	貯 蔵 時	○				○	*2
	運 搬 時	*1	○			○	
	吊 上 げ 時	*1		○		○	
	搬出前作業及び 燃料取出し作業時	○				○	
II	衝撃荷重作用時	*1			○	○	

注記 *1：キャスク容器の熱膨張により生ずる応力に限る。

*2： S_d *地震力及び S_s 地震力は，設計事象 I の貯蔵時における荷重と組み合わせるものとする。

表 5-1 代表事象

設計事象	代表事象 *	包絡される事象	荷重条件	備考
$I + S_d^*$	貯蔵時 $\left(S_d^* \text{地震力が} \right)$ 作用する場合	—	自重 トラニオン固定ボルトの初期締付け力 地震力 水平方向：1.17 G (=11.48 m/s ²) 鉛直方向：0.65 G (=6.38 m/s ²) 熱荷重	—
$I + S_s$	貯蔵時 $\left(S_s \text{地震力が} \right)$ 作用する場合	—	自重 トラニオン固定ボルトの初期締付け力 地震力 水平方向：1.17 G (=11.48 m/s ²) 鉛直方向：0.65 G (=6.38 m/s ²) 熱荷重	—

注記 * : 本事象について応力解析を行う。

表 5-2 熱応力計算に使用する材料の物性値

構成部材	材料	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	熱膨張係数 ($\times 10^{-6}$ mm/(mm·°C))
トラニオン	SUS630 H1150	140	187000	11.30
トラニオン ボルト	SNB23-3	140	184000	12.13

表 5-3 トラニオン用材料の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類		許容応力値	
			トラニオン	許容値基準
			SUS630 H1150	
I + S _d * *1	一次 応力	せん断応力 曲げ応力	341 591	1.5 f _s 1.5 f _b
	一次+ 二次応力	せん断応力 *2 曲げ応力 *2	682 1182	3 f _s 3 f _b
I + S _s * *1	一次 応力	せん断応力 曲げ応力	341 591	1.5 f _s * 1.5 f _b *
	一次+ 二次応力	せん断応力*2 曲げ応力*2	682 1182	3 f _s 3 f _b

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対する評価は以下による。

①次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力（σ）とせん断応力（τ）を組み合わせた応力（σ_T）は，引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

*2：地震力のみによる全振幅について評価する。

表 5-4 トラニオン用材料（ボルト用材料）の許容応力値

(単位：MPa)

設計応力 区分	応力の種類	許容応力値	
		トラニオン ボルト	許容値基準
		SNB23-3	
I + S _d * *	引張応力	475	1.5 f _t
	せん断応力	366	1.5 f _s
I + S _s * *	引張応力	475	1.5 f _t * *
	せん断応力	366	1.5 f _s * *

注記 * : 組合せ応力が考えられる場合の許容引張応力値は、次の2つの計算式により計算した値のいずれか小さい方の値とする。

$$f_T = 1.4 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau$$

$$f_T \leq f_t$$

ここで、 τ : ボルトに発生するせん断応力 (MPa)

ただし、

I + S_d* * の場合、 f_t は 1.5 f_t とする。

I + S_s の場合、 f_t は 1.5 f_t* * とする。

表 6-1 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単位	処理桁	処理法	表示最小桁
最高使用温度	℃	—	—	設計値
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
許容応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
計算応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
長さ	mm	—	—	設計値
設計震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
質量	kg	—	—	設計値

V-2-4-2-3-3 トラニオンの応力解析の方針③

(タイプⅢ)

目次

1. 概 要	1
2. 適用基準	2
3. 記 号	3
3.1 記号の説明	3
4. 設計条件	5
4.1 基本仕様	5
4.2 設計事象	5
4.3 荷重の種類とその組合せ	5
5. 計算条件	6
5.1 解析対象とする事象	6
5.2 解析箇所	6
5.3 形状及び寸法	6
5.4 物性値	6
5.5 許容応力	6
6. 応力解析の手順	8
6.1 解析手順の概要	8
6.2 荷重条件の選定	8
6.3 応力計算と評価	8
6.3.1 応力計算の方法	8
6.3.2 応力評価	8
6.3.3 数値の丸め方	9

図表目次

図 5-1	トランニオンの応力解析箇所	10
図 6-1	トランニオンの応力解析フロー図	11
表 4-1	貯蔵容器の設計事象	12
表 4-2	トランニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ	13
表 5-1	代表事象	14
表 5-2	熱応力計算に使用する材料の物性値	14
表 6-1	トランニオン用材料の許容応力値	15
表 6-2	数値の丸め方一覧表	16

1. 概 要

本書は、使用済燃料乾式貯蔵容器のトラニオンに関する応力解析の方針を述べるものである。

注：図表は、一括して巻末に示す。

2. 適用基準

使用済燃料乾式貯蔵容器において、トラニオンは、貯蔵容器の取扱時及び貯蔵時の支持のための部品であり、貯蔵容器全体を支持する。したがって、キャスク容器の評価方法と整合をとり、「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 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。）のクラス1支持構造物に従って設計する。

注：本書及び応力計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格〇〇〇-〇〇〇〇〇」として示す。

3. 記号

3.1 記号の説明

本書及び応力計算書において、応力評価に関する以下の記号を使用する。ただし、本文中に特記ある場合は、この限りでない。

なお、応力計算書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
A	断面積	mm ²
a ₁	地震時の貯蔵容器回転支点Oから支持台④のトラニオン固定金具中心までの距離	mm
a ₂	地震時の貯蔵容器回転支点Oから支持台⑤のトラニオン固定金具中心評価位置までの距離	mm
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
F _m	トラニオンに作用する荷重	N
f _t	許容引張応力	MPa
f _s	許容せん断応力	MPa
f _c	許容圧縮応力	MPa
f _b	許容曲げ応力	MPa
f _p	許容支圧応力	MPa
f _t [*]	許容引張応力	MPa
f _s [*]	許容せん断応力	MPa
f _c [*]	許容圧縮応力	MPa
f _b [*]	許容曲げ応力	MPa
f _p [*]	許容支圧応力	MPa
G	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
G ₁	貯蔵容器軸に直角方向 (上下方向) の加速度	m/s ²
G ₂	貯蔵容器軸に直角方向 (左右方向) の加速度	m/s ²
G ₃	貯蔵容器軸方向の加速度	m/s ²
h _{CG}	貯蔵容器底面から重心までの高さ	mm

注記 * : f_t^{*}, f_s^{*}, f_c^{*}, f_b^{*}, f_p^{*} : f_t, f_s, f_c, f_b, f_p の値を算出する際に設計・建設規格 SSB-3121.1(1)における「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点」とあるのを「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点の 1.2 倍の値」と読み替えて算出した値。

計算書の記号	記号の説明	単位
L	荷重位置と評価点との距離	mm
M	曲げモーメント	N・mm
m	質量	kg
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の大きい方	—
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
Z	トラニオン断面係数	mm ³
σ	トラニオンの評価断面に垂直な方向の応力	MPa
σ_B	トラニオン取付けボルトの引張応力	MPa
σ_b	トラニオンの曲げ応力	MPa
${}_c\sigma_b$	トラニオンの圧縮側曲げ応力	MPa
${}_t\sigma_b$	トラニオンの引張側曲げ応力	MPa
σ_c	トラニオンの圧縮応力	MPa
σ_T	トラニオンの組合せ応力	MPa
σ_t	トラニオンの引張応力	MPa
τ	トラニオンのせん断応力	MPa
$I + S_d^*$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用した場合の許容応力区分	—
$I + S_s$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用した場合の許容応力区分	—

4. 設計条件

トラニオンは以下の設計条件に耐えるように設計する。

4.1 基本仕様

最高使用温度： 160 °C

4.2 設計事象

設計上考慮する事象については表 4-1 に示す。

4.3 荷重の種類とその組合せ

トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 4-2 に示す。応力解析に用いる荷重は応力計算書に記載する。

5. 計算条件

5.1 解析対象とする事象

表 5-1 に示すように荷重条件等を考慮して代表事象を選定し、代表事象について解析を実施する。

5.2 解析箇所

トラニオンの応力解析を行う箇所は、次のとおりである（図 5-1 参照）。

- (1) トラニオン
- (2) トラニオン取付けボルト

5.3 形状及び寸法

応力解析を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。

5.4 物性値

温度分布計算及び応力計算に使用する材料の物性値は下記のとおりである。

- (1) 熱応力計算に使用する物性値を表 5-2 に示す。
- (2) 機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、最高使用温度に対する値を用いる。なお、常温は 20°C とする。

5.5 許容応力

材料の応力強さの限界及び許容応力は、次の各号に掲げるとおりとする。

- (1) トラニオンにあつては、次によること。
 - a. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d *地震力が作用して生じる一次応力は、設計・建設規格 SSB-3121.2 の規定を満足すること。
 - b. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる一次応力は、設計・建設規格 SSB-3121.3 の規定を満足すること。
 - c. 設計事象 I の貯蔵時において、 S_d *地震動のみによって生じる一次応力と二次応力（キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。）を加えて求めた応力は、次の値を超えないこと。
 - (a) 引張応力と圧縮応力のサイクルにおける最大値と最小値との差（引張応力の符号は正とし、圧縮応力の符号は負として計算する。）については、設計・建設規格 SSB-3122.1(1)の規定を満足すること。
 - (b) せん断応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(2)の規定を満足すること。
 - (c) 曲げ応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(3)の規定を満足すること。
 - (d) 支圧応力については、設計・建設規格 SSB-3122.1(4)の規定を満足すること。
 - (e) 座屈応力については、設計・建設規格 SSB-3121.1(2)，(3)又は(4)に定める値の 1.5 倍を超えないこと。

- d. 設計事象 I の貯蔵時において、 S_s 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力（キヤスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。）を加えて求めた応力は、次の規定を満足すること。
- (a) 引張応力及び圧縮応力のサイクルにおける最大値と最小値との差（引張応力の符号は正とし、圧縮応力の符号は負として計算する。）については、設計・建設規格 SSB-3122.1(1)の規定を満足すること。
 - (b) せん断応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(2)の規定を満足すること。
 - (c) 曲げ応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(3)の規定を満足すること。
 - (d) 支圧応力については、設計・建設規格 SSB-3122.1(4)の規定を満足すること。この場合において、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.本文中「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点」とあるのは、「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点の 1.2 倍の値」に読み替えるものとする。
 - (e) 座屈応力については、設計・建設規格 SSB-3121.1(2)、(3)又は(4)に定める値の 1.5 倍を超えないこと。
- e. c. 及び d. において応力の組合せが考えられる場合は、組合せ応力に対する評価は設計・建設規格 SSB-3121.1(6)の規定による。
- (2) トラニオン取付けボルトにあつては、次によること。
- a. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d *地震力が作用して呼び径断面に生じる応力は、設計・建設規格 SSB-3132 の規定を満足すること。
 - b. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して呼び径断面に生じる応力は、設計・建設規格 SSB-3133 の規定を満足すること。
- (3) (1)及び(2)において、設計・建設規格の「供用状態 A」は、「設計事象 I」と読み替える。

許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

6. 応力解析の手順

応力解析を行う場合の手順について一般的な事項を述べる。

6.1 解析手順の概要

トラニオンの応力解析フローを図 6-1 に示す。

トラニオンの応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に応力評価式を用いて行う。

6.2 荷重条件の選定

荷重条件は 4. 項に示されているが、各部の計算においては、その部分についての重要な荷重条件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は応力計算書に示す。

6.3 応力計算と評価

6.3.1 応力計算の方法

(1) 応力計算は荷重毎に行う。荷重条件として与えられるものは次の 2 つである。

- a. 機械的荷重
- b. 熱荷重

(2) 貯蔵時においては、地震力が作用する場合の鉛直方向及び水平方向荷重は、下部トラニオン 4 個で支持する。

なお、荷重作用点位置は荷重支持面の中央点とする。

(3) 構造の不連続性を考慮して、応力評価点（面）をとる。評価点（面）は、応力計算書に示す。

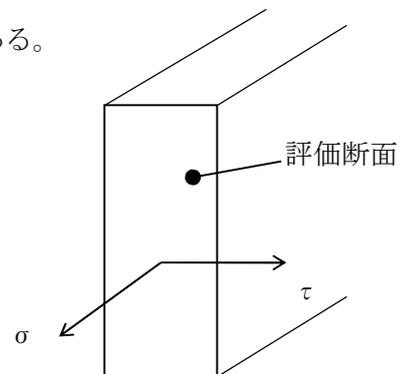
応力評価は、この応力評価点（面）について行う。

6.3.2 応力評価

応力の計算結果は、設計・建設規格 GNR-2130 による定義に従い、応力の種類ごとに分類し、以下の評価を応力計算書に示す。

なお、応力の記号とその方向は次のとおりである。

- σ : 評価断面に垂直な方向の応力
- τ : せん断応力



トラニオン用材料の許容応力値を表 6-1 に示す。

(1) トラニオン（ボルトを除く。）の応力評価

トラニオンの応力評価は，設計・建設規格 SSB-3120 に従い以下の項目を評価する。

- a. 一次応力
- b. 一次＋二次応力
- c. 組合せ応力

(2) トラニオン取付けボルトの応力評価

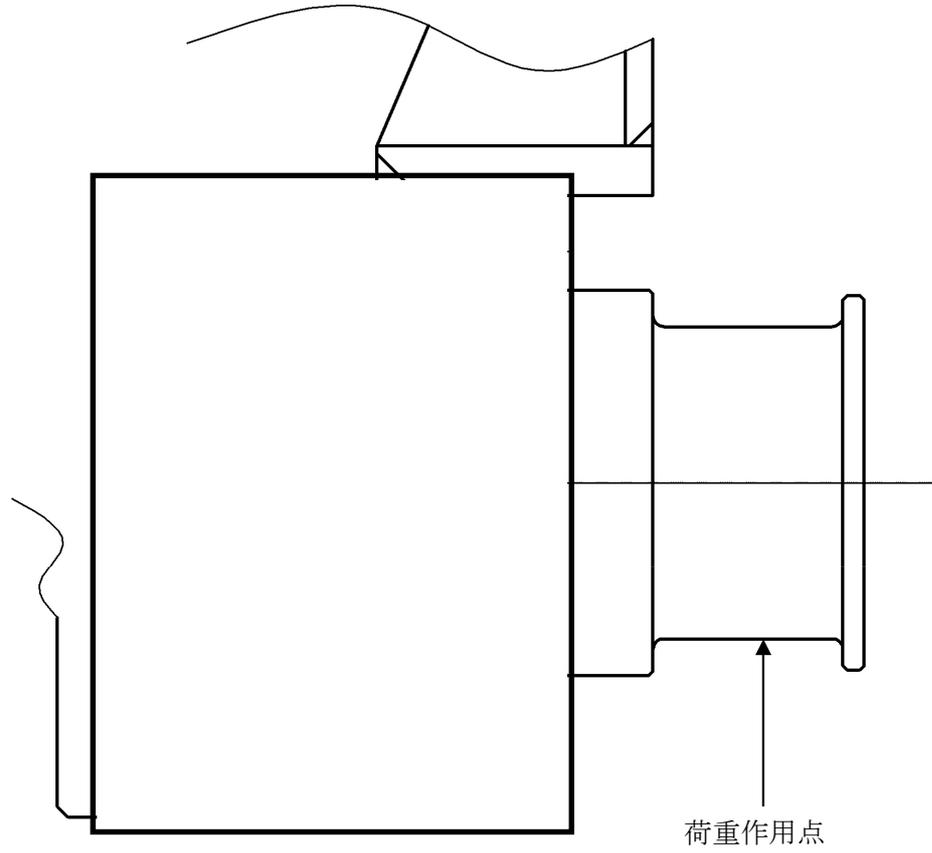
ボルトの応力評価は，設計・建設規格 SSB-3130 に従い評価する。

6.3.3 数値の丸め方

数値は，原則として四捨五入とする。また，評価に用いる許容応力及び算出応力等については，安全側に丸めて使用する。

また，規格，基準等により決まる数値については丸めず，規格，基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を表 6-2 に示す。



下部トラニオン

図 5-1 トラニオンの応力解析箇所

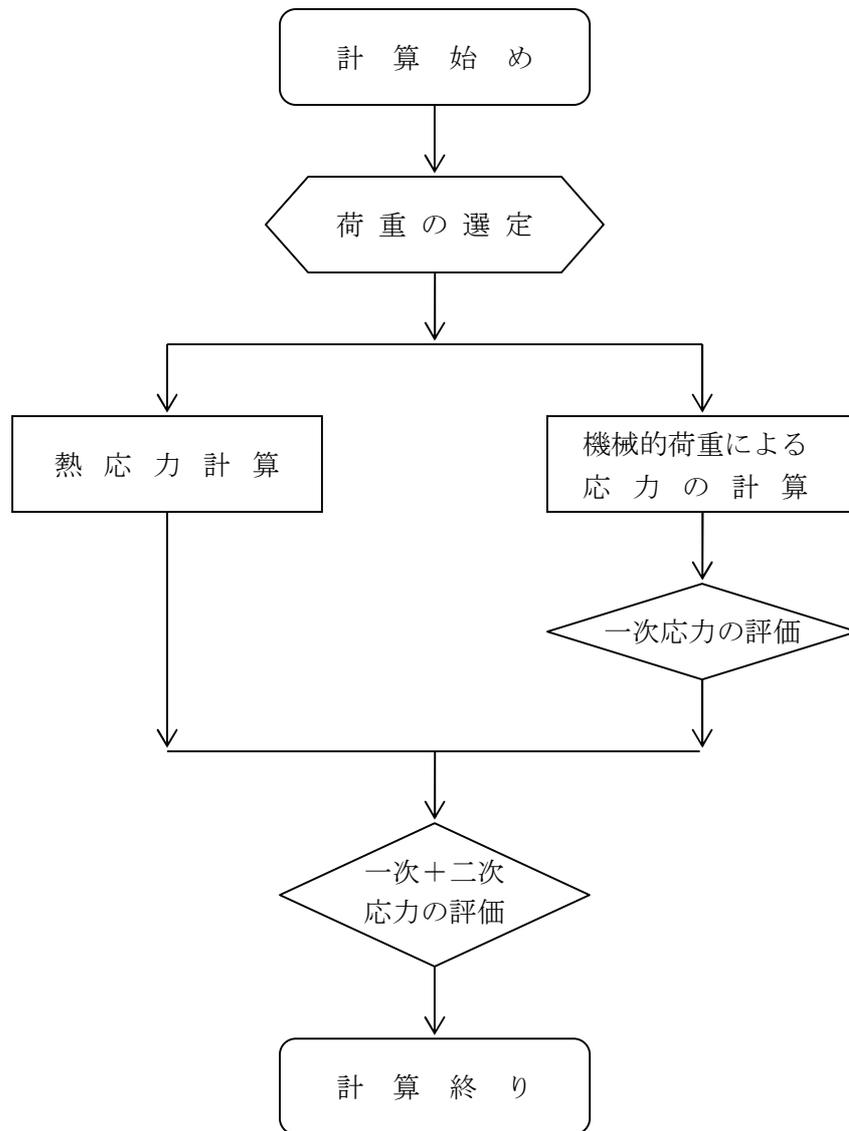


図6-1 トラニオンの応力解析フロー図

表 4-1 貯蔵容器の設計事象

設計事象	定義	解説	事象の例	東海第二発電所における選定事象
I	貯蔵容器の通常 の取扱い時及び 貯蔵時の状態を いう。	貯蔵状態及び計画的な取扱い 状態。	・貯蔵 ・貯蔵容器の吊上 げ, 吊下げ, 移動 ・事業所内運搬	・貯蔵
II	設計事象 I, 設 計事象 III, 設 計事象 IV 及び試験 状態以外の状態 をいう。	貯蔵容器の寿命程度の期間 中に予想される取扱い機器 の単一故障, 単一誤動作等の 事象によって, 貯蔵容器が通 常貯蔵状態あるいは通常取 扱い状態から外れるような 状態をいう。	・貯蔵容器の異常 着床 ・取扱い機器の単 一故障, 誤動作	・貯蔵容器の異常 着床 ・貯蔵容器の支持 構造物への衝突
III	貯蔵容器又はそ の取扱い機器等 の故障, 異常な 作動等により, 貯蔵又は計画さ れた取扱いの停 止が緊急に必要 とされる状態を いう。	発生頻度が十分低い事象に よって引き起こされる状態 をいう。すなわち, 設計事象 II でいう機器の単一故障, 運 転員の単一誤操作等によっ て引き起こされるもののう ち, その発生頻度が十分に低 いと考えられるものを分類 する。		
IV	貯蔵容器の安全 設計上想定され る異常な事態が 生じている状態 をいう。	発生頻度が極めて低く, 貯蔵 容器の寿命中に起こるとは 考えられない事象によつて 引き起こされる状態をいう が, 万一発生した場合の設計 の妥当性を確保するために 特に設けたものをいう。	・貯蔵容器の落下	・該当なし*

注記* : 東海第二発電所においては, 以下の防止措置が施されており, 設計事象 IV (落下・転倒) が発生しないため, 事象として選定していない。

- ・ 貯蔵容器吊上げ装置の多重化, インターロック等の防護設備設置による防止
- ・ 貯蔵容器運搬装置については, 貯蔵容器の固縛・固定機構の適切化による防止
- ・ 確定された貯蔵容器の取扱い手順, 作業手順による防止
- ・ 運用機材の適切な保守管理による防止

表 4-2 トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象	荷 重 荷重時	自重 による 荷重	運 搬 時 荷 重	吊 上 げ 荷 重	衝撃荷重	熱 荷 重	備 考
					異常着床・支持 構造物への衝突		
I	貯 蔵 時	○				○	*1
	運 搬 時	○	○			○	
	吊 上 げ 時	○		○		○	
	搬出前作業及び 燃料取出し作業時	○				○	
II	衝撃荷重作用時	○			○	○	

注記 *1: S_d *地震力及び S_s 地震力は、設計事象 I の貯蔵時における荷重と組み合わせるものとする。

表 5-1 代表事象

設計事象	代表事象 *1	包絡される事象	荷重条件	備考
I + S _d *	貯蔵時 〔S _d *地震力が作用する場合〕	—	自重: 1 G (=9.81 m/s ²) 地震力 水平方向: 0.72 G (=7.06 m/s ²) 鉛直方向: 0.36 G (=3.53 m/s ²) 熱荷重	—
I + S _s	貯蔵時 〔S _s 地震力が作用する場合〕	—	自重: 1 G (=9.81 m/s ²) 地震力 水平方向: 1.17 G (=11.48 m/s ²) 鉛直方向: 0.65 G (=6.38 m/s ²) 熱荷重	—

注記 *1: 本事象について応力解析を行う。

表 5-2 熱応力計算に使用する材料の物性値

構成部材	材 料	温 度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	熱膨張係数 (×10 ⁻⁶ mm/mm°C)
トラニオン	ステンレス鋼 (SUS630 H1150)	160	185000	11.37
トラニオン 取付けボルト	低合金鋼 (SNB23-3)	160	183000	12.27

表 6-1 トラニオン用材料の許容応力値

(単位：MPa)

許容 応力 区分	応力の種類		許容応力値	
			ステンレス鋼	許容値基準
			SUS630 H1150	
I +	一 次 応 力	引張応力	588	$1.5 \cdot f_t$
		圧縮応力	587	$1.5 \cdot f_c$
		せん断応力	339	$1.5 \cdot f_s$
		曲げ応力	801	$1.5 \cdot f_b$
		支圧応力	801	$1.5 \cdot f_p$
S _d * *1	一 次 + 二 次 応 力	引張・圧縮応力 *2	1176	$3 \cdot f_t$
		せん断応力 *2	678	$3 \cdot f_s$
		曲げ応力 *2	1603	$3 \cdot f_b$
		支圧応力	801	$1.5 \cdot f_p$
		座屈応力	339	$1.5 \cdot f_b, 1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$
I +	一 次 応 力	引張応力	588	$1.5 \cdot f_t^*$
		圧縮応力	587	$1.5 \cdot f_c^*$
		せん断応力	339	$1.5 \cdot f_s^*$
		曲げ応力	801	$1.5 \cdot f_b^*$
		支圧応力	801	$1.5 \cdot f_p^*$
S _s *1	一 次 + 二 次 応 力	引張・圧縮応力 *2	1176	$3 \cdot f_t$
		せん断応力 *2	678	$3 \cdot f_s$
		曲げ応力 *2	1603	$3 \cdot f_b$
		支圧応力	801	$1.5 \cdot f_p^*$
		座屈応力	339	$1.5 \cdot f_b, 1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は以下による。

- ① 次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力(σ)とせん断応力(τ)を組み合わせた応力(σ_T)は、引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ② 圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_c|}{1.5 \cdot f_c^*} + \frac{|c\sigma_b|}{1.5 \cdot f_b^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|t\sigma_b| - |\sigma_c|}{1.5 \cdot f_t^*} \leq 1$$

- ③ 引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_t| + |t\sigma_b|}{1.5 \cdot f_t^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|c\sigma_b| - |\sigma_t|}{1.5 \cdot f_b^*} \leq 1$$

ただし、②及び③において、一次応力については上式による。一次+二次応力の場合、分母の $1.5 \cdot f_c^*$ 、 $1.5 \cdot f_b^*$ 、 $1.5 \cdot f_t^*$ は $3 \cdot f_c$ 、 $3 \cdot f_b$ 、 $3 \cdot f_t$ とする。

*2：S_s地震力のみによる全振幅について評価する。

表 6-2 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単 位	処 理 桁	処 理 法	表示最小桁
最高使用温度	℃	—	—	設 計 値
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
許容応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整 数
計算応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整 数
長 さ	mm	—	—	設 計 値
設 計 震 度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
面 積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
断 面 係 数	mm ³	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
質 量	kg	—	—	設 計 値

V2-4-2-3-4 支持構造物の応力解析の方針①
(タイプ I)

目 次

1.	概 要	1
2.	適用基準	2
3.	記 号	3
3.1	記号の説明	3
4.	設計条件	5
4.1	基本仕様	5
4.2	設計事象	5
4.3	荷重の種類とその組合せ	5
5.	計算条件	6
5.1	解析対象とする事象	6
5.2	解析箇所	6
5.3	形状及び寸法	6
5.4	物性値	6
5.5	許容応力	6
6.	応力解析の手順	8
6.1	解析手順の概要	8
6.2	荷重条件の選定	8
6.3	応力計算と評価	8
6.3.1	応力計算の方法	8
6.3.2	応力評価	8
6.3.3	数値の丸め方	8

図 表 目 次

図 5-1	支持構造物の応力解析箇所	10
図 6-1	支持構造物の応力解析フロー図	11
表 4-1	貯蔵容器の設計事象	12
表 4-2	支持構造物の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ	13
表 5-1	代表事象	14
表 5-2	熱応力計算に使用する材料の物性値	14
表 6-1	支持構造物用材料の許容応力値	15
表 6-2	支持構造物用材料（ボルト用材料）の許容応力値	17
表 6-3	数値の丸め方一覧表	18

1. 概 要

本書は、使用済燃料乾式貯蔵容器の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。

注：図表は、一括して巻末に示す。

2. 適用基準

使用済燃料乾式貯蔵容器において、支持構造物は、貯蔵時における貯蔵容器を固縛する構造物であり、キャスク容器の評価方法との整合をとり、「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））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。）のクラス1支持構造物に従って設計する。

注：本書及び応力計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格〇〇〇－〇〇〇〇」として示す。

3. 記 号

3.1 記号の説明

本書及び応力計算書において、応力評価に関する以下の記号を使用する。ただし、本文中に特記ある場合は、この限りでない。

なお、応力計算書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
A	断面積	mm ²
a ₁	地震時の貯蔵容器回転支点Oから支持台①のトラニオン固定金具中心までの距離	mm
a ₂	地震時の貯蔵容器回転支点Oから支持台②のトラニオン固定金具中心評価位置までの距離	mm
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 _c	圧縮力	N
F ₁	支持台①の引張力	N
F ₂	支持台②の引張力	N
f _T	せん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
f _t	許容引張応力	MPa
f _s	許容せん断応力	MPa
f _c	許容圧縮応力	MPa
f _b	許容曲げ応力	MPa
f _p	許容支圧応力	MPa
f _t ^{* 1)}	許容引張応力	MPa
f _s ^{* 1)}	許容せん断応力	MPa
f _c ^{* 1)}	許容圧縮応力	MPa
f _b ^{* 1)}	許容曲げ応力	MPa
f _p ^{* 1)}	許容支圧応力	MPa
G ₁	水平方向加速度	m/s ²
G ₂	鉛直方向加速度	m/s ²
G	重力加速度(=9.80665)	m/s ²
h _{CG}	貯蔵容器底面から重心までの高さ	mm

注記 1) : f_t^{*}, f_s^{*}, f_c^{*}, f_b^{*}, f_p^{*} : f_t, f_s, f_c, f_b, f_p の値を算出する際に設計・建設規格 SSB-3121.1(1)における「付録材料図表 Part5 表8に規定する材料の設計降伏点」とあるのを「付録材料図表 Part5 表8に規定する材料の設計降伏点の1.2倍の値」と読み替えて算出した値。

計算書の記号	記号の説明	単位
L	トラニオン固定ボルト間距離	mm
N	部材の数	—
S_{d^*}	弾性設計用地震動 S_{d^*} による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方	—
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
W_c	貯蔵容器質量	kg
W_s	支持台 1 個の質量	kg
Z	断面係数	mm ³
σ	評価断面に垂直な方向の応力	MPa
σ_b	曲げ応力	MPa
${}_c\sigma_b$	圧縮側曲げ応力	MPa
${}_t\sigma_b$	引張側曲げ応力	MPa
σ_c	圧縮応力	MPa
σ_p	支圧応力	MPa
σ_T	組合せ応力	MPa
σ_t	引張応力	MPa
τ	せん断応力	MPa
α_H	水平方向設計加速度	m/s ²
α_V	鉛直方向設計加速度	m/s ²
$I + S_{d^*}$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_{d^*} 地震力が作用した場合の許容応力区分	—
$I + S_s$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用した場合の許容応力区分	—

4. 設計条件

支持構造物は以下の設計条件に耐えるように設計する。

4.1 基本仕様

最高使用温度： 130 ℃

4.2 設計事象

設計上考慮する事象を表 4-1 に示す。

4.3 荷重の種類とその組合せ

支持構造物の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 4-2 に示す。応力解析に用いる荷重は応力計算書に記載する。

5. 計算条件

5.1 解析対象とする事象

設計事象 I における事象のうち、表 5-1 に示すように荷重条件等を考慮して代表事象を選定し、代表事象について解析を実施する。

5.2 解析箇所

支持構造物の応力解析を行う箇所は次のとおりである。(図 5-1 参照)

- (1) 支持台座
- (2) トラニオン固定金具
- (3) 容器押え金具
- (4) トラニオン固定ボルト
- (5) リブ
- (6) アンカーボルト

5.3 形状及び寸法

応力解析を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。

5.4 物性値

応力計算に使用する材料の物性値は下記のとおりである。

- (1) 熱応力計算に使用する物性値を表 5-2 に示す。
- (2) 機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、最高使用温度（130℃）に対する値を用いる。
なお、常温は 20℃とする。

5.5 許容応力

材料の応力強さの限界及び許容応力は、次の各号に掲げるとおりとする。

- (1) 支持構造物（ボルトを除く）にあつては、次によること。
 - a. 設計事象 I において生じる一次応力は、設計・建設規格 SSB-3121.1 の規定を満足すること。
 - b. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用して生じる一次応力は、設計・建設規格 SSB-3121.2 の規定を満足すること。
 - c. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる一次応力は、設計・建設規格 SSB-3121.3 の規定を満足すること。
 - d. 設計事象 I において生じる一次応力と二次応力（キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。）を加えて求めた応力は、設計・建設規格 SSB-3122.1 の規定を満足すること。
 - e. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力（キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。）を加えて

求めた応力は、次の値を超えないこと。

- (a) 引張応力と圧縮応力のサイクルにおける最大値と最小値との差（引張応力の符号は正とし、圧縮応力の符号は負として計算する。）については、設計・建設規格 SSB-3122.1(1)の規定を満足すること。
 - (b) せん断応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(2)の規定を満足すること。
 - (c) 曲げ応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(3)の規定を満足すること。
 - (d) 支圧応力については、設計・建設規格 SSB-3122.1(4)の規定を満足すること。
 - (e) 座屈応力については、設計・建設規格 SSB-3121.1(2)、(3)又は(4)に定める値の1.5倍を超えないこと。
- f. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力（キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。）を加えて求めた応力は、次の規定を満足すること。
- (a) 引張応力及び圧縮応力のサイクルにおける最大値と最小値との差（引張応力の符号は正とし、圧縮応力の符号は負として計算する。）については、設計・建設規格 SSB-3122.1(1)の規定を満足すること。
 - (b) せん断応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(2)の規定を満足すること。
 - (c) 曲げ応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(3)の規定を満足すること。
 - (d) 支圧応力については、設計・建設規格 SSB-3122.1(4)の規定を満足すること。
この場合において、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.本文中「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点」とあるのは、「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点の 1.2 倍の値」に読み替えるものとする。
 - (e) 座屈応力については、設計・建設規格 SSB-3121.1(2)、(3)又は(4)に定める値の1.5倍を超えないこと。
- g. e. 及び f. において応力の組合せが考えられる場合は、組合せ応力に対する評価は設計・建設規格 SSB-3121.1(6)の規定による。
- (2) ボルトにあつては、次によること。
- a. 設計事象 I において呼び径断面に生じる応力は、設計・建設規格 SSB-3131 の規定を満足すること。
 - b. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用して呼び径断面に生じる応力は、設計・建設規格 SSB-3132 の規定を満足すること。
 - c. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して呼び径断面に生じる応力は、設計・建設規格 SSB-3133 の規定を満足すること。
- (3) (1)及び(2)において、設計・建設規格の「供用状態 A」及び「供用状態 B」は、

それぞれ「設計事象Ⅰ」及び「設計事象Ⅱ」と読み替える。
許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

6. 応力解析の手順

応力解析を行う場合の手順について一般的な事項を述べる。

6.1 解析手順の概要

支持構造物の応力解析フローを図 6-1 に示す。

支持構造物の応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に応力評価式を用いて行う。

6.2 荷重条件の選定

荷重条件は 4. 項に示されているが、各部の計算においては、その部分についての重要な荷重条件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は応力計算書に示す。

6.3 応力計算と評価

6.3.1 応力計算の方法

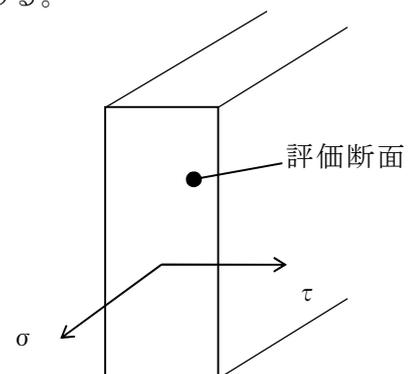
- (1) 応力計算は荷重毎に行う。荷重条件として与えられるものは次の 2 つである。
 - a. 機械的荷重
 - b. 熱荷重
- (2) 貯蔵時に貯蔵容器に地震力が作用する場合の上方向、下方向、水平方向荷重は、それぞれトラニオン固定金具、支持台座、容器押え金具で支持する。
なお、荷重作用点位置は荷重支持面の中央点とする。
- (3) 構造の不連続性を考慮して応力評価点(面)をとる。評価点(面)は、応力計算書に示す。
応力評価は、この応力評価点(面)について行う。

6.3.2 応力評価

応力の計算結果は、設計・建設規格 GNR-2130 による定義に従い、応力の種類毎に分類し、以下の評価を応力計算書に示す。

なお、応力の記号とその方向は次のとおりである。

- σ : 評価断面に垂直な方向の応力
- τ : せん断応力



支持構造物用材料の許容応力値を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

(1) 支持構造物（ボルトを除く）の応力評価

支持構造物の応力評価は，設計・建設規格 SSB-3120 に従い以下の項目を実施する。

- a. 一次応力
- b. 一次＋二次応力
- c. 組合せ応力

(2) ボルトの応力評価

ボルトの応力評価は，設計・建設規格 SSB-3130 に従い実施する。

6.3.3 数値の丸め方

数値は，原則として四捨五入とする。また，評価に用いる許容応力及び算出応力等については，安全側に丸めて使用する。

また，規格，基準等により決まる数値については丸めず，規格，基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を表 6-3 に示す。

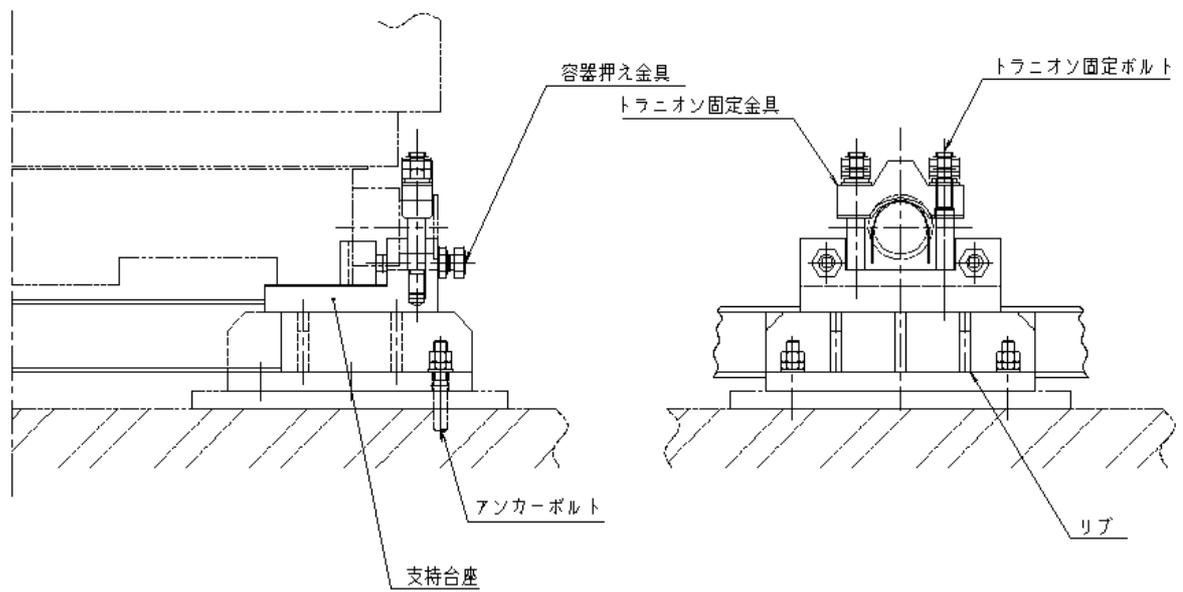


図 5-1 支持構造物の応力解析箇所

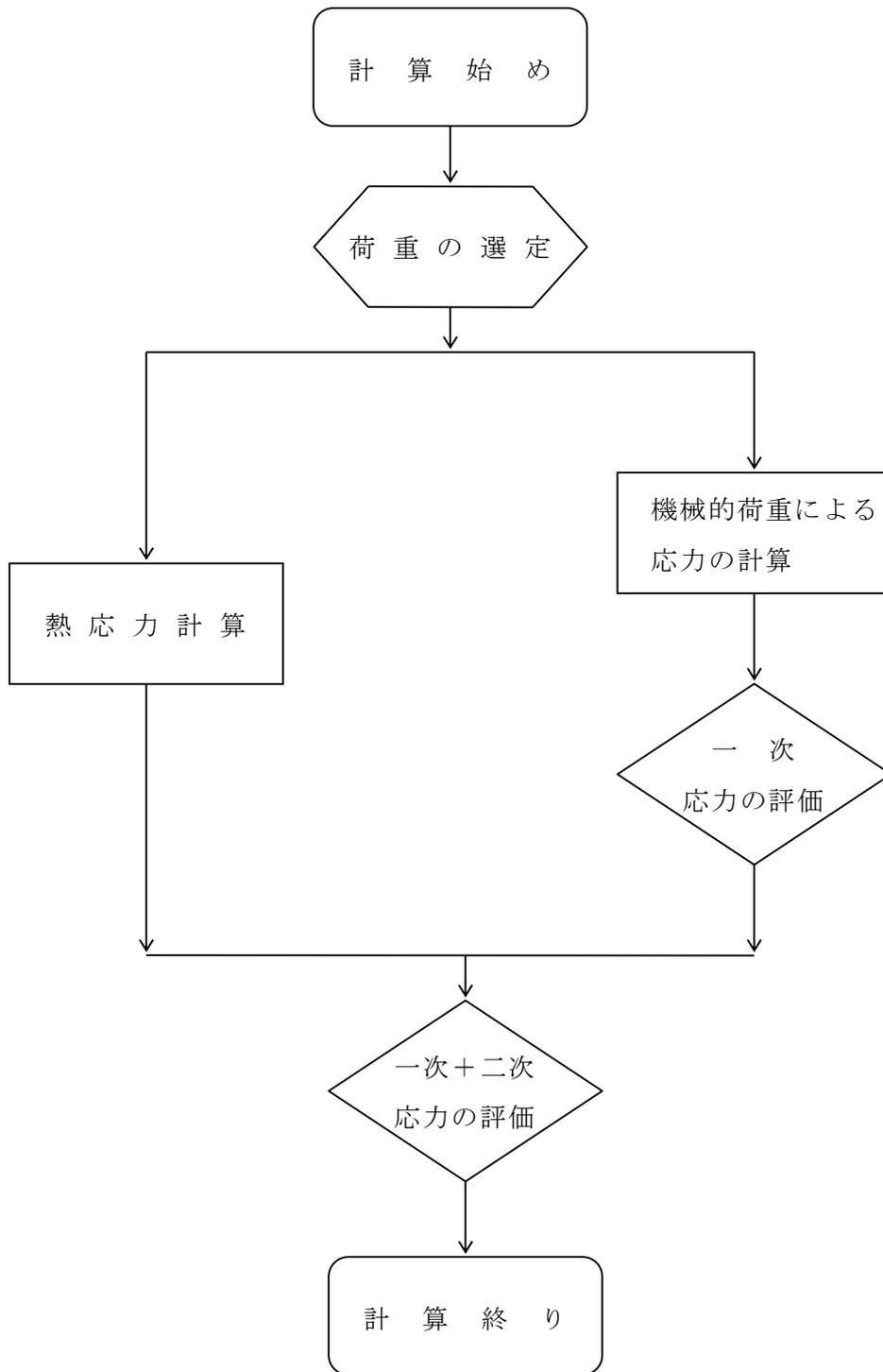


図 6-1 支持構造物の応力解析フロー図

表 4-1 貯蔵容器の設計事象

設計事象	定義	解説	事象の例	東海第二発電所における選定事象
I	貯蔵容器の通常の取扱い時及び貯蔵時の状態をいう。	貯蔵状態及び計画的な取扱い状態。	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵 貯蔵容器の吊上げ, 吊下げ, 移動 事業所内運搬 	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵
II	設計事象 I, 設計事象 III, 設計事象 IV 及び試験状態以外の状態をいう。	貯蔵容器の寿命程度の期間中に予想される取扱い機器の単一故障, 単一誤動作等の事象によって, 貯蔵容器が通常貯蔵状態あるいは通常取扱い状態から外れるような状態をいう。	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵容器の異常着床 取扱い機器の単一故障, 誤動作 	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵容器の異常着床 貯蔵容器の支持構造物への衝突
III	貯蔵容器又はその取扱い機器等の故障, 異常な作動等により, 貯蔵又は計画された取扱いの停止が緊急に必要とされる状態をいう。	発生頻度が十分低い事象によって引き起こされる状態をいう。すなわち, 設計事象 II でいう機器の単一故障, 運転員の単一誤操作等によって引き起こされるもののうち, その発生頻度が十分に低いと考えられるものを分類する。		
IV	貯蔵容器の安全設計上想定される異常な事態が生じている状態をいう。	発生頻度が極めて低く, 貯蔵容器の寿命中に起こるとは考えられない事象によって引き起こされる状態をいうが, 万一発生した場合の設計の妥当性を確保するために特に設けたものをいう。	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵容器の落下 	<ul style="list-style-type: none"> 該当なし*

注記*: 東海第二発電所においては, 以下の防止措置が施されており, 設計事象 IV (落下・転倒) が発生しないため, 事象として選定していない。

- ・貯蔵容器吊上げ装置の多重化, インターロック等の防護設備設置による防止
- ・貯蔵容器運搬装置については, 貯蔵容器の固縛・固定機構の適切化による防止
- ・確定された貯蔵容器の取扱い手順, 作業手順による防止
- ・運用機材の適切な保守管理による防止

表 4-2 支持構造物の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象	荷 重	自重による荷重	運搬時荷重	吊上げ荷重	衝撃荷重	熱荷重 [*]	備考
	荷重時				支持構造物への衝突 異常着床 [*]		
I	貯 蔵 時	○				○	*2
	運 搬 時	*1	○			○	
	吊 上 げ 時	*1		○		○	
	搬出前作業及び 燃料取出し作業時	○				○	
II	衝撃荷重作用時	*1			○	○	

注記 *1：キャスク容器の熱膨張により生ずる応力に限る。

2： S_d^ 地震力及び S_s 地震力は，設計事象 I の貯蔵時における荷重と組み合わせるものとする。

表 5-1 代 表 事 象

設計事象	代表事象 ¹⁾	包絡される事象	荷重条件	備 考
I	貯 蔵 時	————	自 重: 1G (=9.81m/s ²) 熱荷重	設計事象 I のうち大半の期間を占める代表事象。
I + S _d *	貯 蔵 時 (S _d *地震力が作用する場合)	————	自 重: 1G (=9.81m/s ²) 地震力 水平方向: C _H G=1.17G (=11.48m/s ²) 鉛直方向: C _V G=0.65G (=6.38m/s ²) 熱荷重	許容応力状態 III _A S で評価
I + S _s	貯 蔵 時 (S _s 地震力が作用する場合)	————	自 重: 1G (=9.81m/s ²) 地震力 水平方向: C _H G=1.17G (=11.48m/s ²) 鉛直方向: C _V G=0.65G (=6.38m/s ²) 熱荷重	許容応力状態 IV _A S で評価

注記 1) : 本事象について応力解析を行う。

表 5-2 熱応力計算に使用する材料の物性値

構成部材	材 料	温 度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	熱膨張係数 (×10 ⁻⁶ mm/mm°C)
リ ブ	炭素鋼 (SM490B)	130	196000	11.38
支持台座	炭素鋼 (SFVC2B)	130	196000	11.38
アンカーボルト	低合金鋼 (SCM435)	130	198000	11.38
トラニオン固定ボルト 容器押え金具	合金鋼 (SNB23-3)	130	185000	12.04
トラニオン固定金具	合金鋼 (SNB23-3)	130	185000	12.04

表 6-1 (1) 支持構造物用材料の許容応力値

許容応力 区 分	応 力 の 種 類		許 容 応 力 値 (MPa)				許容値基準
			炭素鋼		合金鋼	合金鋼	
			リブ	支持台座	トラン オン 固定金具	容器押え 金具	
			SM490B	SFVC2B	SNB23-3	SNB23-3	
設計事象 I ¹⁾	一次 応力	引張応力	181	148	425	425	f _t
		圧縮応力	181	147	421	362	f _c
		せん断応力	104	85	245	245	f _s
		曲げ応力	181	148	425	425	f _b
		支圧応力	247	201	580	580	f _p
	一次 + 二次 応 力	引張・圧縮応力	543	444	1275	1275	3 f _t
		せん断応力	312	255	735	735	3 f _s
		曲げ応力	543	444	1275	1275	3 f _b
		支圧応力	370	301	870	870	1.5 f _p
		座屈応力	156	127	367	367	1.5 f _s 又は 1.5 f _c
I + S _d [*] 1)	一次 応力	引張応力	271	222	637	637	1.5 f _t
		圧縮応力	271	220	631	543	1.5 f _c
		せん断応力	156	127	367	367	1.5 f _s
		曲げ応力	271	222	637	637	1.5 f _b
		支圧応力	370	301	870	870	1.5 f _p
	一次 + 二次 応 力	引張・圧縮応力 ²⁾	543	444	1275	1275	3 f _t
		せん断応力 ²⁾	312	255	735	735	3 f _s
		曲げ応力 ²⁾	543	444	1275	1275	3 f _b
		支圧応力	370	301	870	870	1.5 f _p
		座屈応力	156	127	367	367	1.5 f _b , 1.5 f _s 又は 1.5 f _c

注記 1) : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は以下による。

- ①次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力(σ)とせん断応力(τ)を組み合わせた応力(σ_T)は、引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ②圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_c|}{f_c} + \frac{|\sigma_b|}{f_b} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|\sigma_b| - |\sigma_c|}{f_t} \leq 1$$

- ③引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_t| + |\sigma_b|}{f_t} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|\sigma_b| - |\sigma_t|}{f_b} \leq 1$$

ただし、②及び③において、設計事象 I の一次応力については上式による。

I + S_d^{*} の一次応力の場合、分母の f_c, f_b, f_t は、1.5 f_c, 1.5 f_b, 1.5 f_t とする。

I + S_d^{*} の一次+二次応力の場合、分母の f_c, f_b, f_t は、3 f_c, 3 f_b, 3 f_t とする。

- 2) : S_d^{*} 地震力のみによる全振幅について評価する。

表 6-1 (2) 支持構造物用材料の許容応力値

許容応力 区 分	応 力 の 種 類		許 容 応 力 値 (MPa)				許容値基準
			炭素鋼		合金鋼	合金鋼	
			リブ	支持台座	トラス 固定金具	容器押え 金具	
		SM490B	SFVC2B	SNB23-3	SNB23-3		
I + S _s ¹⁾	一 次 応 力	引張応力	307	265	637	637	1.5 f _t *
		圧縮応力	307	265	631	543	1.5 f _c *
		せん断応力	177	153	367	367	1.5 f _s *
		曲げ応力	307	265	637	637	1.5 f _b *
		支圧応力	420	361	870	870	1.5 f _p *
	一 次 + 二 次 応 力	引張・圧縮 応力 ²⁾	543	444	1275	1275	3 f _t
		せん断応力 ²⁾	312	255	735	735	3 f _s
		曲げ応力 ²⁾	543	444	1275	1275	3 f _b
		支圧応力	420	361	870	870	1.5 f _p *
		座屈応力	156	127	367	367	1.5 f _b , 1.5 f _s 又は 1.5 f _c

注記 1) : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は以下による。

- ① 次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力(σ)とせん断応力(τ)を組み合わせた応力(σ_T)は、引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ② 圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_c|}{1.5f_c^*} + \frac{|c\sigma_b|}{1.5f_b^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|t\sigma_b| - |\sigma_c|}{1.5f_t^*} \leq 1$$

- ③ 引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_t| + |t\sigma_b|}{1.5f_t^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|c\sigma_b| - |\sigma_t|}{1.5f_b^*} \leq 1$$

ただし、②及び③において、一次応力については上式による。一次+二次応力の場合、分母の 1.5 f_c*、1.5 f_b*、1.5 f_t*は、3 f_c、3 f_b、3 f_tとする。

- 2) : S_s地震力のみによる全振幅について評価する。

表 6-2 支持構造物用材料（ボルト用材料）の許容応力値

許容応力 区 分	応 力 の 種 類	許 容 応 力 値 (MPa)		
		合金鋼	低合金鋼	許容値基準
		トロンロン固定ボルト	アンカーボルト	
		SNB23-3	SCM435	
設計事象 I ¹⁾	引張応力	319 ¹⁾	296 ¹⁾	f_t
	せん断応力	245	227	f_s
I + S _d * ¹⁾	引張応力	478 ¹⁾	261 ¹⁾	$1.5 f_t$
	せん断応力	367	340	$1.5 f_s$
I + S _s ¹⁾	引張応力	478 ¹⁾	261 ¹⁾	$1.5 f_t^*$
	せん断応力	367	340	$1.5 f_s^*$

注記 1) : 組合せ応力が考えられる場合の許容引張応力値は、次の 2 つの計算式により計算した値のいずれか小さい方の値とする。

$$f_T = 1.4 f_t - 1.6 \tau$$

$$f_T = f_t$$

ここで、 τ : ボルトに発生するせん断応力 (MPa)

ただし、設計事象 I の一次応力については上式による。

I + S_d* の場合、 f_t は $1.5 f_t$ とする。

I + S_s の場合、 f_t は $1.5 f_t^*$ とする。

表 6-3 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単 位	処 理 桁	処 理 法	表示最小桁
最高使用温度	℃	—	—	設 計 値
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
許容応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切 捨 て	整 数 値 位
計算応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切 上 げ	整 数 値 位
長 さ	mm	—	—	設 計 値
設 計 震 度	—	小数点以下第 3 位	切 上 げ	小数点以下第 2 位
面 積	mm ²	有効数字 4 桁目	安全側に処理する	有効数字 3 桁
力	N	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 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
質 量	kg	—	—	設 計 値

V-2-4-2-3-4 支持構造物の応力解析の方針②
(タイプⅡ)

目次

1. 概 要	1
2. 適用基準	2
3. 記 号	3
3.1 記号の説明	3
4. 設計条件	5
4.1 基本仕様	5
4.2 設計事象	5
4.3 荷重の種類とその組合せ	5
5. 計算条件	6
5.1 解析対象とする事象	6
5.2 解析箇所	6
5.3 形状及び寸法	6
5.4 物性値	6
5.5 許容応力	6
6. 応力解析の手順	8
6.1 解析手順の概要	8
6.2 荷重条件の選定	8
6.3 応力計算と評価	8
6.3.1 応力計算の方法	8
6.3.2 応力評価	8
6.3.3 数値の丸め方	9

図表目次

図 5-1	支持構造物の応力解析箇所	10
図 6-1	支持構造物の応力解析フロー図	11
表 4-1	貯蔵容器の設計事象	12
表 4-2	支持構造物の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ	13
表 5-1	代表事象	14
表 5-2	熱応力計算に使用する材料の物性値	15
表 6-1	支持構造物用材料の許容応力値	16
表 6-2	支持構造物用材料（ボルト用材料）の許容応力値	18
表 6-3	数値の丸め方一覧表	19

1. 概 要

本書は、使用済燃料乾式貯蔵容器の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。

注：図表は一括して巻末に示す。

2. 適用基準

使用済燃料乾式貯蔵容器において、支持構造物は、貯蔵時における貯蔵容器を固縛する構造物であり、トラニオンの評価方法との整合をとり、「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)」(以下、「設計・建設規格」という。)のクラス1支持構造物に従って設計する。

注：本書及び応力計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格○○○-○○○
○」として示す。

3. 記号

3.1 記号の説明

本書及び応力計算書において、応力評価に関する下記の記号を使用する。ただし、本文中に特記のある場合は、この限りでない。

なお、応力計算書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
A	断面積	mm ²
a ₁	地震時の貯蔵容器回転支点Oから支持台①のトラニオン固定金具中心までの距離	mm
a ₂	地震時の貯蔵容器回転支点Oから支持台②のトラニオン固定金具中心までの距離	mm
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
F _c	圧縮力	N
F ₁	支持台①の引張力	N
F ₂	支持台②の引張力	N
F ₃	トラニオン固定ボルトの初期締付け力	N
F _H	水平力	N
f _T	せん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
f _t	許容引張応力	MPa
f _s	許容せん断応力	MPa
f _c	許容圧縮応力	MPa
f _b	許容曲げ応力	MPa
f _p	許容支圧応力	MPa
f _t *	許容引張応力 *	MPa
f _s *	許容せん断応力 *	MPa
f _c *	許容圧縮応力 *	MPa
f _b *	許容曲げ応力 *	MPa
f _p *	許容支圧応力 *	MPa
G	重力加速度(=9.80665)	m/s ²
G ₁	水平方向加速度	m/s ²
G ₂	鉛直方向加速度	m/s ²
h _{CG}	貯蔵容器底面から重心までの高さ	mm
L	トラニオン固定ボルト間距離	mm
m _c	貯蔵容器質量	kg

注記 * : f_t*, f_s*, f_c*, f_b*, f_p*: f_t, f_s, f_c, f_b, f_pの値を算出する際に「設計・建設規格」 SSB-3121.1(1)a.の本文中「付録材料図表 Part5 表8に規定する材料の設計降伏点」とあるのを「付録材料図表 Part5 表8に規定する材料の設計降伏点の1.2倍の値」と読み替えて算出した値

計算書の記号	記号の説明	単位
m_s	支持台 1 個の質量	kg
n	部材の数	—
n_1	支持台の数	—
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方	—
S_s	基準地震動 S_s による地震力	—
Z	断面係数	mm^3
σ	評価断面に垂直な方向の応力	MPa
σ_b	曲げ応力	MPa
$c \sigma_b$	圧縮側曲げ応力	MPa
$t \sigma_b$	引張側曲げ応力	MPa
σ_c	圧縮応力	MPa
σ_p	支圧応力	MPa
σ_T	組合せ応力	MPa
σ_t	引張応力	MPa
τ	せん断応力	MPa
$I + S_d^*$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用した場合の許容応力状態	—
$I + S_s$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用した場合の許容応力状態	—

4. 設計条件

支持構造物は以下の荷重条件に耐えるように設計する。

4.1 基本仕様

最高使用温度： 130 °C

4.2 設計事象

設計上考慮する事象については表 4-1 に示す。

4.3 荷重の種類とその組合せ

支持構造物の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 4-2 に示す。

5. 計算条件

5.1 解析対象とする事象

設計事象 I における事象のうち, 表 5-1 に示すように荷重条件等を考慮して代表事象を選定し, 代表事象について解析を実施する。

5.2 解析箇所

支持構造物の応力解析を行う箇所は, 次のとおりである。(図 5-1 参照)

- (1) 支持台座
- (2) トラニオン固定金具
- (3) 容器押えボルト
- (4) トラニオン固定ボルト
- (5) リブ
- (6) 支持台用フレーム
- (7) アンカーボルト

5.3 形状及び寸法

応力解析を行う部位の形状及び寸法は, 応力計算書に示す。

5.4 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。

- (1) 熱応力計算に使用する物性値を表 5-2 に示す。
- (2) 機械的荷重による応力計算に使用する物性値は, 最高使用温度に対する値を用いる。なお, 常温は 20 °C とする。

5.5 許容応力

材料の応力強さの限界及び許容応力は, 次に掲げるとおりとする。

- (1) 支持構造物 (ボルトを除く) にあつては, 次によること。
 - a. 設計事象 I において生じる一次応力は, 「設計・建設規格」 SSB-3121.1 に定める値を超えないこと。
 - b. 設計事象 I の貯蔵時の状態において, S_d^* 地震力が作用して生じる一次応力は, 「設計・建設規格」 SSB-3121.2 に定める値を超えないこと。
 - c. 設計事象 I の貯蔵時の状態において, S_s 地震力が作用して生じる一次応力は, 「設計・建設規格」 SSB-3121.3 に定める値を超えないこと。
 - d. 設計事象 I において生じる一次応力と二次応力 (キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。) を加えて求めた応力は, 「設計・建設規格」 SSB-3122.1 に定める値を超えないこと。
 - e. 設計事象 I の貯蔵時の状態において, S_d^* 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力 (キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。) を加えて求めた応力は, 次の値を

超えないこと。

- (a) 引張応力と圧縮応力(引張応力の符号は正とし, 圧縮応力の符号は負として計算する。), せん断応力及び曲げ応力のサイクルにおける最大値と最小値の差, 並びに支圧応力については, 「設計・建設規格」 SSB-3122.1(1), (2), (3)及び(4)に定める値。
 - (b) 座屈応力については, 「設計・建設規格」 SSB-3121.1(2), (3)又は(4)に定める値の1.5倍の値。
- f. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において, S_s 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力(キヤスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。)を加えて求めた応力は, 次の値を超えないこと。
- (a) 引張応力と圧縮応力(引張応力の符号は正とし, 圧縮応力の符号は負として計算する。), せん断応力及び曲げ応力のサイクルにおける最大値と最小値の差は, 「設計・建設規格」 SSB-3122.1(1), (2)及び(3)に定める値。
 - (b) 支圧応力については, 「設計・建設規格」 SSB-3122.1(4)に定める値。この場合において, 「設計・建設規格」 SSB-3121.1(1)a.本文中「付録材料図表 Part5 表8に規定する材料の設計降伏点」とあるのは, 「付録材料図表 Part5 表8に規定する材料の設計降伏点の1.2倍の値」に読み替える。
 - (c) 座屈応力については, 「設計・建設規格」 SSB-3121.1(2), (3)又は(4)に定める値の1.5倍の値。
- g. e.及びf.において応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対する評価は「設計・建設規格」 SSB-3121.1(6)による。
- (2) ボルトにあつては, 次によること。
- a. 設計事象Ⅰにおいて呼び径断面に生じる応力は, 「設計・建設規格」 SSB-3131に定める値を超えないこと。
 - b. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において, S_d^* 地震力が作用して呼び径断面に生じる応力は, 「設計・建設規格」 SSB-3132に定める値を超えないこと。
 - c. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において, S_s 地震力が作用して呼び径断面に生じる応力は, 「設計・建設規格」 SSB-3133に定める値を超えないこと。
- (3) (1)及び(2)において, 「設計・建設規格」の「供用状態A」, 「供用状態B」, 「供用状態C」及び「供用状態D」は, それぞれ「設計事象Ⅰ」, 「設計事象Ⅱ」, 「設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において, S_d^* 地震力が作用して生じる場合」及び「設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において, S_s 地震力が作用して生じる場合」と読み替える。

許容応力は, 最高使用温度に対する値を用いる。

6. 応力解析の手順

応力解析を行う場合の手順について一般的な事項を述べる。

6.1 解析手順の概要

支持構造物の応力解析フローを図 6-1 に示す。

支持構造物の応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に応力評価式を用いて行う。

6.2 荷重条件の選定

荷重条件は 4 章に示されているが、各部の計算においては、その部分について重要な荷重条件を選定して計算を行う。

6.3 応力計算と評価

6.3.1 応力計算の方法

(1) 応力計算は荷重ごとに行う。荷重条件として与えられるものは次の 2 つである。

- a. 機械的荷重
- b. 熱荷重

(2) 貯蔵時に貯蔵容器に地震力が作用する場合の上方向、下方向、水平方向荷重は、それぞれトランニオン固定金具、支持台座、容器押えボルト及び支持台用フレームで支持する。
なお、荷重作用点位置は荷重支持面の中央部とする。

(3) 構造の不連続性を考慮して、応力評価点（面）をとる。評価点（面）は、計算書の形状図中に、番号〔例①〕で示す。

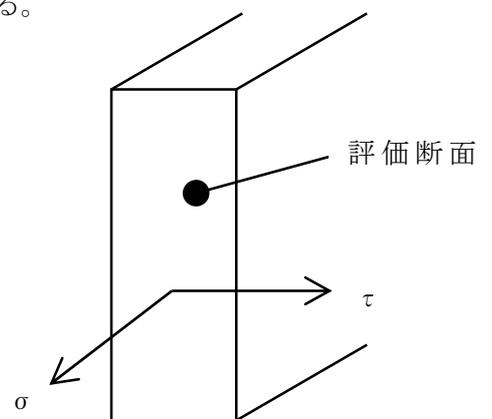
(4) 応力評価は、この応力評価点（面）について行う。

6.3.2 応力評価

応力の計算結果は、「設計・建設規格」GNR-2130 による定義に従い、応力の種類ごとに分類し、以下の評価を応力計算書に示す。

なお、応力の記号とその方向は以下のとおりである。

- σ : 評価断面に垂直な方向の応力
- τ : せん断応力



支持構造物用材料の許容応力値を表 6-1 及び 6-2 に示す。

- (1) 支持構造物（ボルトを除く。）の応力評価
支持構造物の応力評価は、「設計・建設規格」SSB-3120 に従い以下の項目を評価する。
 - a. 一次応力
 - b. 一次＋二次応力
 - c. 組合せ応力
- (2) ボルトの応力評価
ボルトの応力評価は、「設計・建設規格」SSB-3130 に従い評価する。

6.3.3 数値の丸め方

数値は原則として安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を表 6-3 に示す。

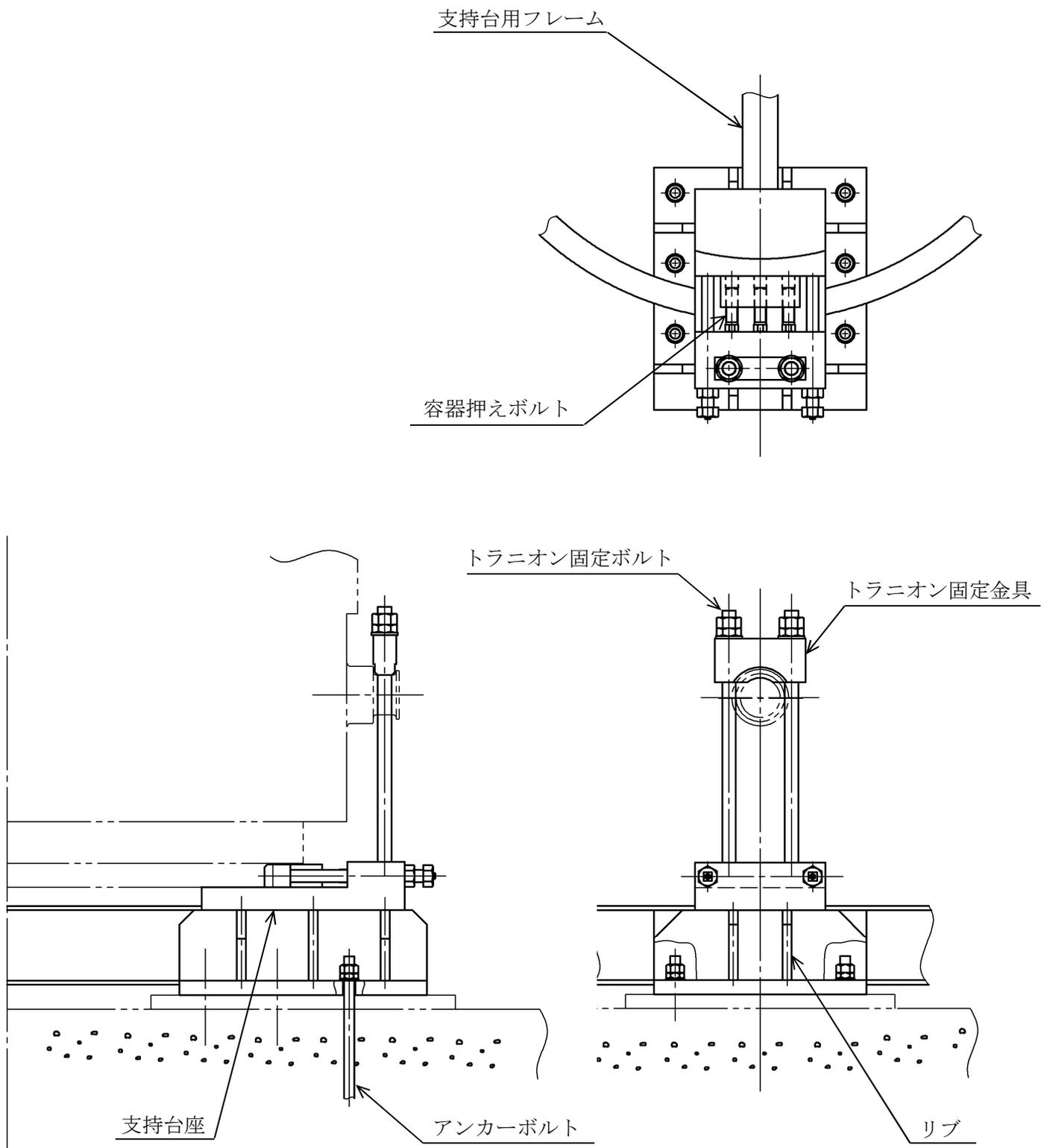


図 5-1 支持構造物の応力解析箇所

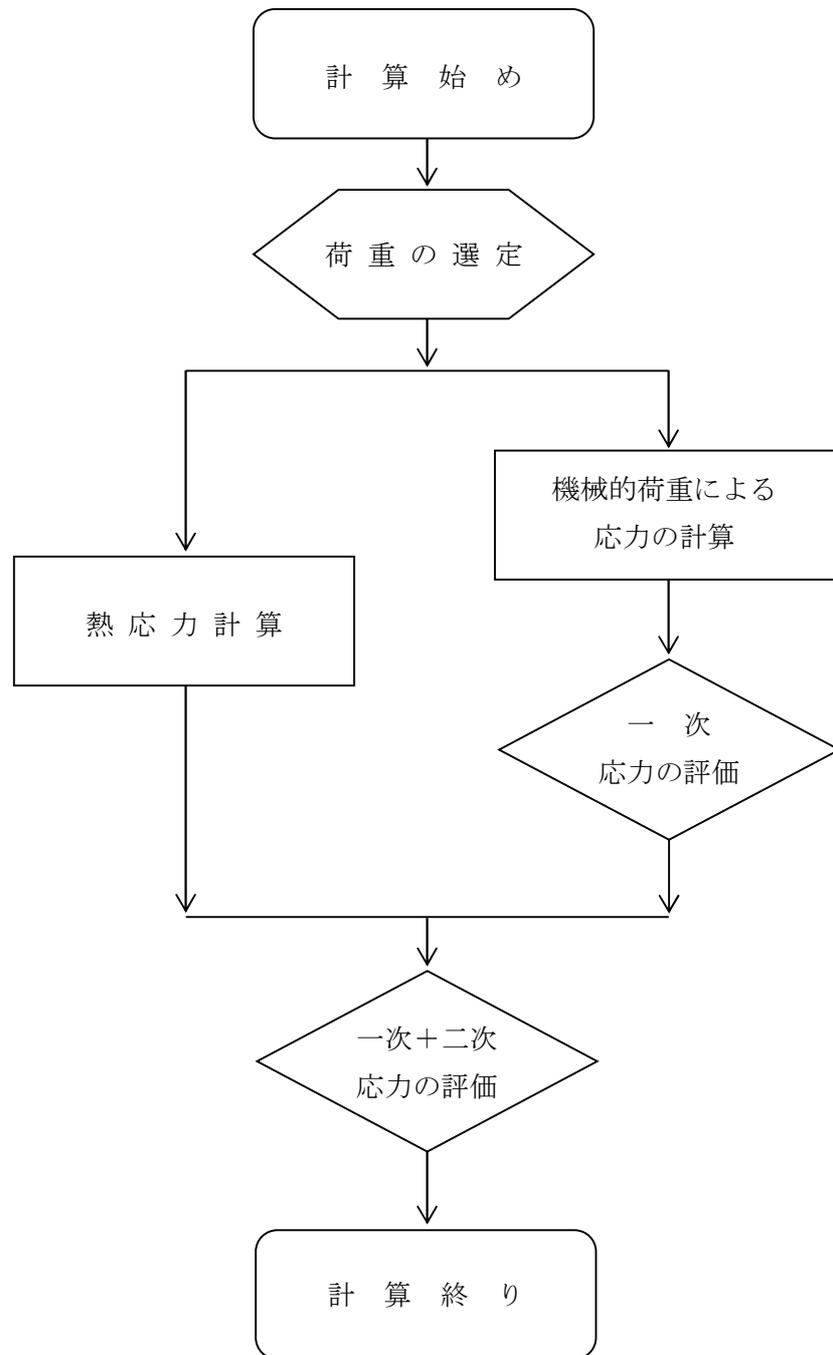


図6-1 支持構造物の応力解析フロー図

表 4-1 貯蔵容器の設計事象

設計事象	定義	解説	事象の例	東海第二発電所における選定事象
I	貯蔵容器の通常 の取扱い時及び 貯蔵時の状態を いう。	貯蔵状態及び計画的な取扱 い状態。	・貯蔵 ・貯蔵容器の吊上 げ, 吊下げ, 移動 ・事業所内運搬	・貯蔵
II	設計事象 I, 設 計事象 III, 設計 事象 IV 及び試験 状態以外の状態 をいう。	貯蔵容器の寿命程度の期間 中に予想される取扱い機器 の単一故障, 単一誤動作等の 事象によって, 貯蔵容器が通 常貯蔵状態あるいは通常取 扱い状態から外れるような 状態をいう。	・貯蔵容器の異常 着床 ・取扱い機器の単 一故障, 誤動作	・貯蔵容器の異常 着床 ・貯蔵容器の支持 構造物への衝突
III	貯蔵容器又はそ の取扱い機器等 の故障, 異常な 作動等により, 貯蔵又は計画さ れた取扱いの停 止が緊急に必要 とされる状態を いう。	発生頻度が十分低い事象に よって引き起こされる状態 をいう。すなわち, 設計事象 II でいう機器の単一故障, 運 転員の単一誤操作等によっ て引き起こされるもののう ち, その発生頻度が十分に低 いと考えられるものを分類 する。		
IV	貯蔵容器の安全 設計上想定され る異常な事態が 生じている状態 をいう。	発生頻度が極めて低く, 貯蔵 容器の寿命中に起こるとは 考えられない事象によって 引き起こされる状態をいう が, 万一発生した場合の設計 の妥当性を確保するために 特に設けたものをいう。	・貯蔵容器の落下	・該当なし*

注記* : 東海第二発電所においては, 以下の防止措置が施されており, 設計事象 IV (落下・転倒) が発生しないため, 事象として選定していない。

- ・ 貯蔵容器吊上げ装置の多重化, インターロック等の防護設備設置による防止
- ・ 貯蔵容器運搬装置については, 貯蔵容器の固縛・固定機構の適切化による防止
- ・ 確定された貯蔵容器の取扱い手順, 作業手順による防止
- ・ 運用機材の適切な保守管理による防止

表 4-2 支持構造物の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象	荷 重 荷 重 時	自重 による 荷重	運搬時 荷重	吊上げ 荷重	衝撃荷重	熱荷重 * ₂	備 考
					支持構造物への衝突 異常着床・		
I	貯 蔵 時	○				○	*2
	運 搬 時	*1	○			○	
	吊 上 げ 時	*1		○		○	
	搬出前作業及び 燃料取出し作業時	○				○	
II	衝撃荷重作用時	*1			○	○	

注記 *1：キャスク容器の熱膨張により生ずる応力に限る。

2： S_d^ 地震力及び S_s 地震力は、設計事象 I の貯蔵時における荷重と組み合わせるものとする。

表 5-1 代表事象

設計事象	代表事象 *	包絡される事象	荷重条件	備考
I	貯蔵時	—	自重 熱荷重	設計事象 I のうち 大半の期間を占め る代表事象。
$I + S_d^*$	貯蔵時 $\left(S_d^* \text{地震力が} \right)$ 作用する場合	—	自重 トランニオン固定ボルトの初期締 付け力 地震力 水平方向 : $1.17G (= 11.48m/s^2)$ 鉛直方向 : $0.65G (= 6.38m/s^2)$ 熱荷重	—
$I + S_s$	貯蔵時 $\left(S_s \text{地震力が} \right)$ 作用する場合	—	自重 トランニオン固定ボルトの初期締 付け力 地震力 水平方向 : $1.17G (= 11.48m/s^2)$ 鉛直方向 : $0.65G (= 6.38m/s^2)$ 熱荷重	—

注記 * : 本事象について応力解析を行う。

表 5-2 熱応力計算に使用する材料の物性値

構成部材	材料	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	熱膨張係数 ($\times 10^{-6}$ mm/(mm \cdot °C))
リブ	炭素鋼 (SM520C)	130	196000	11.38
支持台座	炭素鋼 (SFVC2B)	130	196000	11.38
トラニオン固定ボルト 容器押えボルト	低合金鋼 (SNB23-3)	130	185000	12.04
トラニオン固定金具	ステンレス鋼 (SUS630 H1150)	130	188000	11.25
アンカーボルト	低合金鋼 (SCM435)	130	198000	11.38
支持台用フレーム	炭素鋼 (SS400)	130	195000	12.24

表 6-1 支持構造物用材料の許容応力値 (1/2)

(単位：MPa)

許容応力区分	応力の種類		許容応力値					許容値基準
			炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	低合金鋼	炭素鋼	
			リブ	支持台座	トラニオン固定金具	容器押えボルト	支持台用フレーム	
		SM520C	SFVC2B	SUS630 H1150	SNB23-3	SS400		
設計事象 I	*1 一次応力	引張応力	203	148	394	425	141	f_t
		圧縮応力	189	148	394	421	141	f_c
		せん断応力	117	85	227	245	81	f_s
		曲げ応力	203	148	394	425	141	f_b
		支圧応力	277	201	537	580	192	f_p
	一次+二次応力	引張・圧縮応力	610	444	1182	1276	424	$3 f_t$
		せん断応力	352	256	682	736	244	$3 f_s$
		曲げ応力	610	444	1182	1276	424	$3 f_b$
		支圧応力	415	302	805	870	289	$1.5 f_p$
		座屈応力	176	128	341	631	122	$1.5 f_s$ 又は $1.5 f_c$
I + S _d * *1	一次応力	引張応力	305	222	591	638	212	$1.5 f_t$
		圧縮応力	284	222	591	631	212	$1.5 f_c$
		せん断応力	176	128	341	368	122	$1.5 f_s$
		曲げ応力	305	222	591	638	212	$1.5 f_b$
		支圧応力	415	302	805	870	289	$1.5 f_p$
	一次+二次応力	引張・圧縮応力 *2	610	444	1182	1276	424	$3 f_t$
		せん断応力 *2	352	256	682	736	244	$3 f_s$
		曲げ応力 *2	610	444	1182	1276	424	$3 f_b$
		支圧応力	415	302	805	870	289	$1.5 f_p$
		座屈応力	176	128	341	631	122	$1.5 f_b, 1.5 f_s$ 又は $1.5 f_c$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は以下による。

- ① 次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力 (σ) とせん断応力 (τ) を組合わせた応力 (σ_T) は、引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ② 圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_c| + |\sigma_b|}{f_c} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|\sigma_b| - |\sigma_c|}{f_t} \leq 1$$

- ③ 引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_t + |\sigma_b|}{f_t} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|\sigma_b| - \sigma_t}{f_b} \leq 1$$

ただし、②及び③において、設計事象 I の一次応力については上式による。

I + S_d* の一次応力の場合、分母の f_c 、 f_b 、 f_t は $1.5 f_c$ 、 $1.5 f_b$ 、 $1.5 f_t$ とする。

I + S_d* の一次+二次応力の場合、分母の f_c 、 f_b 、 f_t は $3 f_c$ 、 $3 f_b$ 、 $3 f_t$ とする。

*2：S_d*地震力のみによる全振幅について評価する。

表 6-1 支持構造物用材料の許容応力値 (2/2)

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類		許容応力値					許容値基準
			炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	低合金鋼	炭素鋼	
			リブ	支持 台座	トラニオン 固定金具	容器押え ボルト	支持台用 フレーム	
		SM520C	SFVC2B	SUS630 H1150	SNB23-3	SS400		
I + S _s *1	一次 応力	引張応力	340	266	591	638	254	1.5 f _t *
		圧縮応力	314	266	591	631	254	1.5 f _c *
		せん断応力	196	153	341	368	146	1.5 f _s *
		曲げ応力	340	266	591	638	254	1.5 f _b *
		支圧応力	463	362	805	870	346	1.5 f _p *
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力 *2	610	444	1182	1276	424	3 f _t
		せん断応力 *2	352	256	682	736	244	3 f _s
		曲げ応力 *2	610	444	1182	1276	424	3 f _b
		支圧応力	463	362	805	870	346	1.5 f _p *
		座屈応力	176	128	341	631	122	1.5 f _b , 1.5 f _s 又は 1.5 f _c

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は以下による。

- ① 次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力 (σ) とせん断応力 (τ) を組合わせた応力 (σ_T) は、引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ② 圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_c|}{1.5f_c^*} + \frac{|c \sigma_b|}{1.5f_b^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{t \sigma_b - |\sigma_c|}{1.5f_t^*} \leq 1$$

- ③ 引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_t + t \sigma_b}{1.5f_t^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|c \sigma_b| - \sigma_t}{1.5f_b^*} \leq 1$$

ただし、②及び③において、一次応力については上式による。一次+二次応力の場合、分母の 1.5 f_c *, 1.5 f_b *, 1.5 f_t * は 3 f_c, 3 f_b, 3 f_t とする。

*2：S_s地震力のみによる全振幅について評価する。

表 6-2 支持構造物用材料（ボルト用材料）の許容応力値

(単位：MPa)

設計応力 区分	応力の種類	許容応力値		
		低合金鋼	低合金鋼	許容値基準
		トラニオン 固定ボルト	アンカー ボルト	
		SNB23-3	SCM435	
設計事象 I *	引張応力	319	296	f_t
	せん断応力	245	227	f_s
I + S _d **	引張応力	478	444	$1.5 f_t$
	せん断応力	368	341	$1.5 f_s$
I + S _s *	引張応力	478	444	$1.5 f_t^*$
	せん断応力	368	341	$1.5 f_s^*$

注記 *：組合せ応力が考えられる場合の許容引張応力値は、次の2つの計算式により計算した値のいずれか小さい方の値とする。

$$f_T = 1.4 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau$$

$$f_T \leq f_t$$

ここで、 τ ：ボルトに発生するせん断応力 (MPa)

ただし、設計事象 I については上式による。I + S_d* の場合、 f_t は $1.5 f_t$ とする。

I + S_s の場合、 f_t は $1.5 f_t^*$ とする。

表 6-3 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単位	処理桁	処理法	表示最小桁
最高使用温度	℃	—	—	設計値
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
許容応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数
計算応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数
長さ	mm	—	—	設計値
設計震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
断面係数	mm ³	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
質量	kg	—	—	設計値

V-2-4-2-3-4 支持構造物の応力解析の方針③

(タイプⅢ)

目次

1. 概 要	1
2. 適用基準	2
3. 記 号	3
3.1 記号の説明	3
4. 設計条件	5
4.1 基本仕様	5
4.2 設計事象	5
4.3 荷重の種類とその組合せ	5
5. 計算条件	6
5.1 解析対象とする事象	6
5.2 解析箇所	6
5.3 形状及び寸法	6
5.4 物性値	6
5.5 許容応力	6
6. 応力解析の手順	8
6.1 解析手順の概要	8
6.2 荷重条件の選定	8
6.3 応力計算と評価	8
6.3.1 応力計算の方法	8
6.3.2 応力評価	9
6.3.3 数値の丸め方	9

図表目次

図 5-1	支持構造物の応力解析箇所	10
図 6-1	支持構造物の応力解析フロー図	11
表 4-1	貯蔵容器の設計事象	12
表 4-2	支持構造物の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ	13
表 5-1	代表事象	14
表 5-2	熱応力計算に使用する材料の物性値	14
表 6-1	支持構造物用材料の許容応力値	15
表 6-2	支持構造物用材料（ボルト用材料）の許容応力値	17
表 6-3	数値の丸め方一覧表	18

1. 概 要

本書は、使用済燃料乾式貯蔵容器の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。

注：図表は、一括して巻末に示す。

2. 適用基準

使用済燃料乾式貯蔵容器において、支持構造物は、貯蔵時における貯蔵容器を固縛する構造物であり、トラニオンの評価方法との整合をとり、「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。）のクラス1支持構造物に従って設計する。

注：本書及び応力計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格〇〇〇-〇〇〇〇」として示す。

3. 記 号

3.1 記号の説明

本書及び応力計算書において、応力評価に関する以下の記号を使用する。ただし、本文中に特記ある場合は、この限りでない。

なお、応力計算書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
A	断面積	mm ²
a ₁	地震時の貯蔵容器回転支点Oから支持台①のトラニオン固定金具中心までの距離	mm
a ₂	地震時の貯蔵容器回転支点Oから支持台②のトラニオン固定金具中心評価位置までの距離	mm
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
F ₁	引張力	N
F ₂	支持台②での引張力	N
F _c	圧縮力	N
F _H	水平力	N
f _T	せん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
f _t	許容引張応力	MPa
f _s	許容せん断応力	MPa
f _c	許容圧縮応力	MPa
f _b	許容曲げ応力	MPa
f _p	許容支圧応力	MPa
f _t [*] *	許容引張応力	MPa
f _s [*] *	許容せん断応力	MPa
f _c [*] *	許容圧縮応力	MPa
f _b [*] *	許容曲げ応力	MPa
f _p [*] *	許容支圧応力	MPa
G	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
G ₁	水平方向加速度	m/s ²
G ₂	鉛直方向加速度	m/s ²

注記 * : f_t^{*}, f_s^{*}, f_c^{*}, f_b^{*}, f_p^{*}: f_t, f_s, f_c, f_b, f_pの値を算出する際に設計・建設規格 SSB-3121.1(1)における「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点」とあるのを「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点の 1.2 倍の値」と読み替えて算出した値。

計算書の記号	記号の説明	単位
h_{CG}	貯蔵容器底面から重心までの高さ	mm
L	トラニオン固定ボルト間距離	mm
m_c	貯蔵容器質量	kg
n	部材の数	—
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の大きい方	—
S_S	基準地震動 S_S により定まる地震力	—
Z	断面係数	mm ³
σ	評価断面に垂直な方向の応力	MPa
σ_b	曲げ応力	MPa
$c\sigma_b$	圧縮側曲げ応力	MPa
$t\sigma_b$	引張側曲げ応力	MPa
σ_c	圧縮応力	MPa
σ_p	支圧応力	MPa
σ_T	組合せ応力	MPa
σ_t	引張応力	MPa
τ	せん断応力	MPa
$I + S_d^*$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用した場合の許容応力区分	—
$I + S_S$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_S 地震力が作用した場合の許容応力区分	—

4. 設計条件

支持構造物は以下の設計条件に耐えるように設計する。

4.1 基本仕様

最高使用温度： 130 °C

4.2 設計事象

設計上考慮する事象については表 4-1 に示す。

4.3 荷重の種類とその組合せ

支持構造物の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 4-2 に示す。応力解析に用いる荷重は応力計算書に記載する。

5. 計算条件

5.1 解析対象とする事象

設計事象 I における事象のうち, 表 5-1 に示すように荷重条件等を考慮して代表事象を選定し, 代表事象について解析を実施する。

5.2 解析箇所

支持構造物の応力解析を行う箇所は次のとおりである (図 5-1 参照)。

- (1) 支持台座
- (2) トラニオン固定金具
- (3) 容器押え金具
- (4) トラニオン固定ボルト
- (5) リブ
- (6) アンカーボルト

5.3 形状及び寸法

応力解析を行う部位の形状及び寸法は, 応力計算書に示す。

5.4 物性値

応力計算に使用する材料の物性値は下記のとおりである。

- (1) 熱応力計算に使用する物性値を表 5-2 に示す。
- (2) 機械的荷重による応力計算に使用する物性値は, 最高使用温度に対する値を用いる。
なお, 常温は 20℃とする。

5.5 許容応力

材料の応力強さの限界及び許容応力は, 次の各号に掲げるとおりとする。

- (1) 支持構造物 (ボルトを除く。) にあつては, 次によること。
 - a. 設計事象 I において生じる一次応力は, 設計・建設規格 SSB-3121.1 の規定を満足すること。
 - b. 設計事象 I の貯蔵時の状態において, S_d *地震力が作用して生じる一次応力は, 設計・建設規格 SSB-3121.2 の規定を満足すること。
 - c. 設計事象 I の貯蔵時の状態において, S_S 地震力が作用して生じる一次応力は, 設計・建設規格 SSB-3121.3 の規定を満足すること。
 - d. 設計事象 I において生じる一次応力と二次応力 (キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。) を加えて求めた応力は, 設計・建設規格 SSB-3122.1 の規定を満足すること。

- e. 設計事象 I の貯蔵時において、 S_d *地震動のみによって生じる一次応力と二次応力(キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。)を加えて求めた応力は、次の値を超えないこと。
- 引張応力と圧縮応力のサイクルにおける最大値と最小値との差(引張応力の符号は正とし、圧縮応力の符号は負として計算する。)については、設計・建設規格 SSB-3122.1(1)の規定を満足すること。
 - せん断応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(2)の規定を満足すること。
 - 曲げ応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(3)の規定を満足すること。
 - 支圧応力については、設計・建設規格 SSB-3122.1(4)の規定を満足すること。
 - 座屈応力については、設計・建設規格 SSB-3121.1(2)、(3)又は(4)に定める値の 1.5 倍を超えないこと。
- f. 設計事象 I の貯蔵時において、 S_o 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力(キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。)を加えて求めた応力は、次の規定を満足すること。
- 引張応力及び圧縮応力のサイクルにおける最大値と最小値との差(引張応力の符号は正とし、圧縮応力の符号は負として計算する。)については、設計・建設規格 SSB-3122.1(1)の規定を満足すること。
 - せん断応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(2)の規定を満足すること。
 - 曲げ応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(3)の規定を満足すること。
 - 支圧応力については、設計・建設規格 SSB-3122.1(4)の規定を満足すること。この場合において、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.本文中「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点」とあるのは、「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点の 1.2 倍の値」に読み替えるものとする。
 - 座屈応力については、設計・建設規格 SSB-3121.1(2)、(3)又は(4)に定める値の 1.5 倍を超えないこと。
- g. e. 及び f. において応力の組合せが考えられる場合は、組合せ応力に対する評価は設計・建設規格 SSB-3121.1(6)の規定による。
- (2) ボルトにあつては、次によること。
- 設計事象 I において呼び径断面に生じる応力は、設計・建設規格 SSB-3131 の規定を満足すること。
 - 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d *地震力が作用して呼び径断面に生じる応力は、設計・建設規格 SSB-3132 の規定を満足すること。
 - 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_o 地震力が作用して呼び径断面に生じる応力は、設計・建設規格 SSB-3133 の規定を満足すること。

- (3) (1)及び(2)において、設計・建設規格の「供用状態A」及び「供用状態B」は、それぞれ「設計事象Ⅰ」及び「設計事象Ⅱ」と読み替える。

許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

6. 応力解析の手順

応力解析を行う場合の手順について一般的な事項を述べる。

6.1 解析手順の概要

支持構造物の応力解析フローを図6-1に示す。

支持構造物の応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に応力評価式を用いて行う。

6.2 荷重条件の選定

荷重条件は4.項に示されているが、各部の計算においては、その部分についての重要な荷重条件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は応力計算書に示す。

6.3 応力計算と評価

6.3.1 応力計算の方法

- (1) 応力計算は荷重毎に行う。荷重条件として与えられるものは次の2つである。

- a. 機械的荷重
- b. 熱荷重

- (2) 貯蔵時に貯蔵容器に地震力が作用する場合の上方向、下方向、水平方向荷重は、それぞれトランオン固定金具、支持台座、容器押え金具で支持する。

なお、荷重作用点位置は荷重支持面の中央点とする。

- (3) 構造の不連続性を考慮して、応力評価点（面）をとる。評価点（面）は、応力計算書に示す。

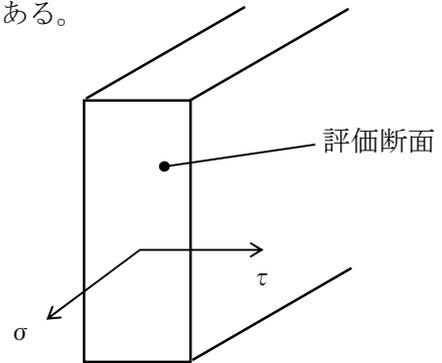
応力評価は、この応力評価点（面）について行う。

6.3.2 応力評価

応力の計算結果は、設計・建設規格 GNR-2130 による定義に従い、応力の種類毎に分類し、以下の評価を応力計算書に示す。

なお、応力の記号とその方向は次のとおりである。

- σ : 評価断面に垂直な方向の応力
- τ : せん断応力



支持構造物用材料の許容応力値を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

(1) 支持構造物（ボルトを除く）の応力評価

支持構造物の応力評価は、設計・建設規格 SSB-3120 に従い以下の項目を評価する。

- a. 一次応力
- b. 一次+二次応力
- c. 組合せ応力

(2) ボルトの応力評価

ボルトの応力評価は、設計・建設規格 SSB-3130 に従い評価する。

6.3.3 数値の丸め方

数値は、原則として四捨五入とする。また、評価に用いる許容応力及び算出応力等については、安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を表 6-3 に示す。

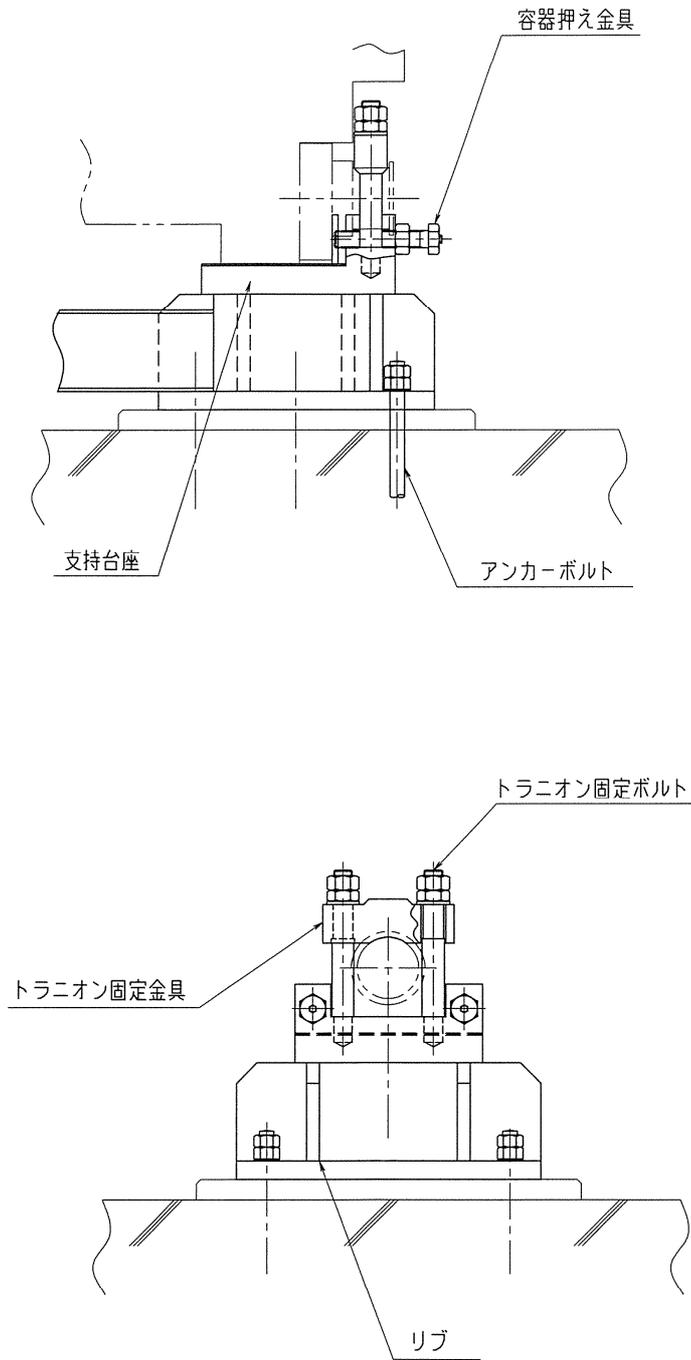


図 5-1 支持構造物の応力解析箇所

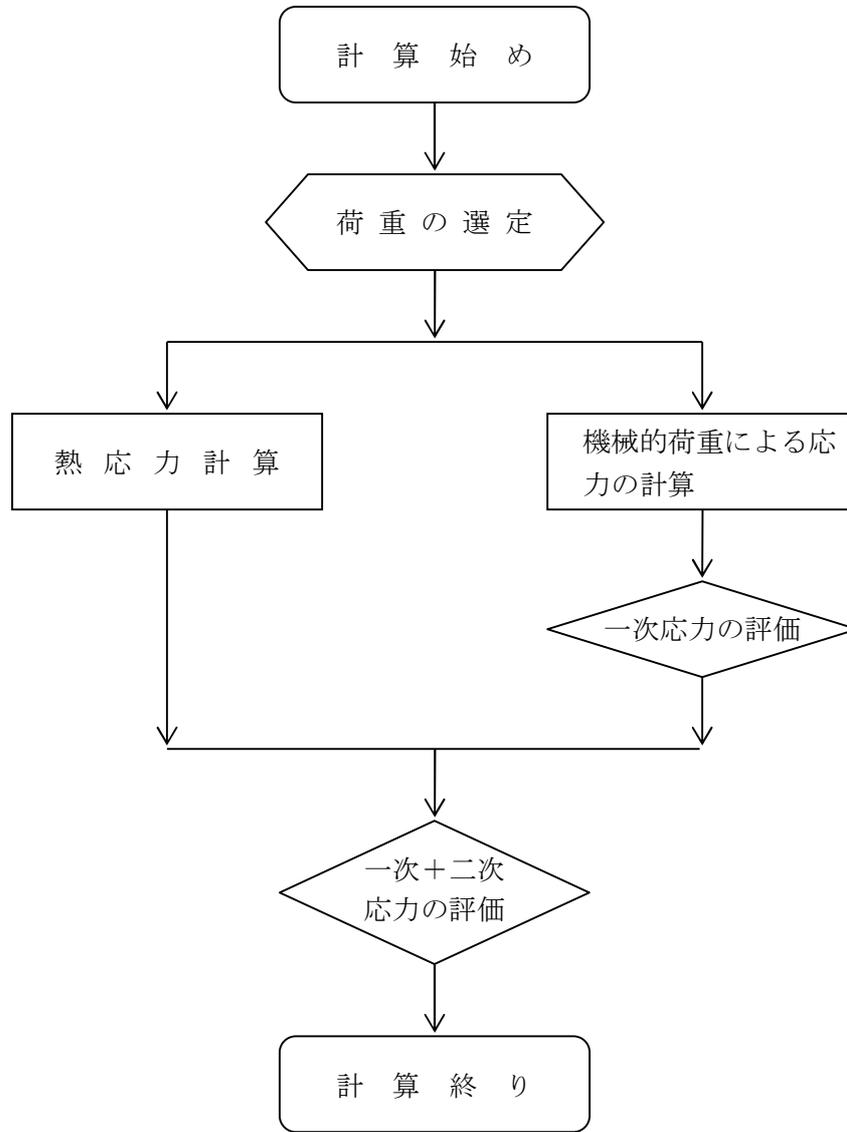


図 6-1 支持構造物の応力解析フロー図

表 4-1 貯蔵容器の設計事象

設計事象	定義	解説	事象の例	東海第二発電所における選定事象
I	貯蔵容器の通常 の取扱い時及び 貯蔵時の状態を いう。	貯蔵状態及び計画的な取扱 い状態。	・貯蔵 ・貯蔵容器の吊上 げ, 吊下げ, 移動 ・事業所内運搬	・貯蔵
II	設計事象 I, 設 計事象 III, 設 計事象 IV 及び試験 状態以外の状態 をいう。	貯蔵容器の寿命程度の期間 中に予想される取扱い機器 の単一故障, 単一誤動作等の 事象によって, 貯蔵容器が通 常貯蔵状態あるいは通常取 扱い状態から外れるような 状態をいう。	・貯蔵容器の異常 着床 ・取扱い機器の単 一故障, 誤動作	・貯蔵容器の異常 着床 ・貯蔵容器の支持 構造物への衝突
III	貯蔵容器又はそ の取扱い機器等 の故障, 異常な 作動等により, 貯蔵又は計画さ れた取扱いの停 止が緊急に必要 とされる状態を いう。	発生頻度が十分低い事象に よって引き起こされる状態 をいう。すなわち, 設計事象 II でいう機器の単一故障, 運 転員の単一誤操作等によっ て引き起こされるもののう ち, その発生頻度が十分に低 いと考えられるものを分類 する。		
IV	貯蔵容器の安全 設計上想定され る異常な事態が 生じている状態 をいう。	発生頻度が極めて低く, 貯蔵 容器の寿命中に起こるとは 考えられない事象によって 引き起こされる状態をいう が, 万一発生した場合の設計 の妥当性を確保するために 特に設けたものをいう。	・貯蔵容器の落下	・該当なし*

注記* : 東海第二発電所においては, 以下の防止措置が施されており, 設計事象 IV (落下・転倒) が発生しないため, 事象として選定していない。

- ・ 貯蔵容器吊上げ装置の多重化, インターロック等の防護設備設置による防止
- ・ 貯蔵容器運搬装置については, 貯蔵容器の固縛・固定機構の適切化による防止
- ・ 確定された貯蔵容器の取扱い手順, 作業手順による防止
- ・ 運用機材の適切な保守管理による防止

表 4-2 支持構造物の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象	荷 重 荷重時	自重 による 荷重	運 搬 時 荷 重	吊 上 げ 荷 重	衝撃荷重	熱 荷 重	備 考
					異常着床・支持 構造物への衝突		
I	貯 蔵 時	○				○	*1
	運 搬 時	○	○			○	
	吊 上 げ 時	○		○		○	
	搬出前作業及び 燃料取出し作業時	○				○	
II	衝撃荷重作用時	○			○	○ ^{*1}	

注記 *1: S_d *地震力及び S_s 地震力は、設計事象 I の貯蔵時における荷重と組み合わせるものとする。

表 5-1 代表事象

設計事象	代表事象 *1	包絡される事象	荷重条件	備考
I	貯蔵時	—	自重:1 G(=9.81 m/s ²) 熱荷重	設計事象 I のうち大半の期間を占める代表事例
I + S _d *	貯蔵時 (S _d *地震力が作用する場合)	—	自重:1 G(=9.81 m/s ²) 地震力 水平方向:0.72 G(=7.06 m/s ²) 鉛直方向:0.36 G(=3.53 m/s ²) 熱荷重	—
I + S _s	貯蔵時 (S _s 地震力が作用する場合)	—	自重:1 G(=9.81 m/s ²) 地震力 水平方向:1.17 G(=11.48 m/s ²) 鉛直方向:0.65 G(=6.38 m/s ²) 熱荷重	—

注記 *1: 本事象について応力解析を行う。

表 5-2 熱応力計算に使用する材料の物性値

構成部材	材 料	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	熱膨張係数 (×10 ⁻⁶ mm/mm°C)
リブ	炭素鋼 (SM490B)	130	196000	11.38
支持台座	炭素鋼 (SF490A)	130	195000	11.38
トランニオン固定ボルト 容器押え金具	低合金鋼 (SNB23-1)	130	185000	12.04
トランニオン固定金具	低合金鋼 (SNB24-1)	130	185000	12.04
アンカーボルト	低合金鋼 (SCM435)	130	198000	11.38

表 6-1(1) 支持構造物用材料の許容応力値

(単位：MPa)

許容 応力 区分	応力の種類		許容応力値				許容値基準
			炭素鋼	炭素鋼	低合金鋼	低合金鋼	
			リブ	支持台座	トラニオン 固定金具	容器 押え金具	
			SM490B	SF490A	SNB24-1	SNB23-1	
設計 事象 I *1	一次 応力	引張応力	181	148	484	484	f_t
		圧縮応力	172	147	482	475	f_c
		せん断応力	104	85	279	279	f_s
		曲げ応力	209	170	558	558	f_b
		支圧応力	247	201	660	660	f_p
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力	544	444	1452	1452	$3 \cdot f_t$
		せん断応力	314	256	838	838	$3 \cdot f_s$
		曲げ応力	627	512	1675	1675	$3 \cdot f_b$
		支圧応力	370	302	990	990	$1.5 \cdot f_p$
		座屈応力	157	128	419	419	$1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$
I + S _d * *1	一次 応力	引張応力	272	222	726	726	$1.5 \cdot f_t$
		圧縮応力	259	221	723	713	$1.5 \cdot f_c$
		せん断応力	157	128	419	419	$1.5 \cdot f_s$
		曲げ応力	313	256	837	837	$1.5 \cdot f_b$
		支圧応力	370	302	990	990	$1.5 \cdot f_p$
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力 *2	544	444	1452	1452	$3 \cdot f_t$
		せん断応力*2	314	256	838	838	$3 \cdot f_s$
		曲げ応力*2	627	512	1675	1675	$3 \cdot f_b$
		支圧応力	370	302	990	990	$1.5 \cdot f_p$
		座屈応力	157	128	419	419	$1.5 \cdot f_b, 1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は以下による。

①次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力(σ)とせん断応力(τ)を組み合わせた応力(σ_T)は、引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

②圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_c|}{f_c} + \frac{|c\sigma_b|}{f_b} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|t\sigma_b| - |\sigma_c|}{f_t} \leq 1$$

③引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_t| + |t\sigma_b|}{f_t} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|c\sigma_b| - |\sigma_t|}{f_b} \leq 1$$

ただし、②及び③において、設計事象 I の一次応力については上式による。

I+S_d*の一次応力の場合、分母の f_c, f_b, f_t は、 $1.5 \cdot f_c, 1.5 \cdot f_b, 1.5 \cdot f_t$ とする。

I+S_d*の一次+二次応力の場合、分母の f_c, f_b, f_t は、 $3 \cdot f_c, 3 \cdot f_b, 3 \cdot f_t$ とする。

*2：S_d*地震力のみによる全振幅について評価する。

表 6-1(2) 支持構造物用材料の許容応力値

(単位：MPa)

許容 応力 区分	応力の種類		許容応力値				
			リブ	支持台座	トランニオン 固定金具	容器 押え金具	許容値基準
			SM490B	SF490A	SNB24-1	SNB23-1	
I + S _s *1	一次 応力	引張応力	308	266	726	726	1.5・f _t *
		圧縮応力	291	265	723	713	1.5・f _c *
		せん断応力	177	153	419	419	1.5・f _S *
		曲げ応力	355	306	837	837	1.5・f _b *
		支圧応力	420	362	990	990	1.5・f _P *
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力 *2	544	444	1452	1452	3・f _t
		せん断応力 *2	314	256	838	838	3・f _S
		曲げ応力 *2	627	512	1675	1675	3・f _b
		支圧応力	420	362	990	990	1.5・f _P *
		座屈応力	157	128	419	419	1.5・f _b , 1.5・f _S 又 は 1.5・f _c

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対する評価は以下による。

①次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力(σ)とせん断応力(τ)を組み合わせた応力(σ_T)は，引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

②圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は，次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_c|}{1.5 \cdot f_c^*} + \frac{|c\sigma_b|}{1.5 \cdot f_b^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|t\sigma_b| - |\sigma_c|}{1.5 \cdot f_t^*} \leq 1$$

③引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は，次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_t| + |t\sigma_b|}{1.5 \cdot f_t^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|c\sigma_b| - |\sigma_t|}{1.5 \cdot f_b^*} \leq 1$$

ただし，②及び③において，一次応力については上式による。一次+二次応力の場合，分母の1.5・f_c*，1.5・f_b*，1.5・f_t*は3・f_c，3・f_b，3・f_tとする。

*2：S_s地震力のみによる全振幅について評価する。

表 6-2 支持構造物用材料（ボルト用材料）の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力区分	応力の種類	許容応力値		
		低合金鋼	低合金鋼	許容値基準
		トラニオン固定ボルト	アンカーボルト	
		SNB23-1	SCM435	
設計事象 I	引張応力	363	296	f_t
	せん断応力	279	227	f_s
I + S _d * *	引張応力	544	444 *	$1.5 \cdot f_t$
	せん断応力	419	341	$1.5 \cdot f_s$
I + S _s *	引張応力	544	444 *	$1.5 \cdot f_t^*$
	せん断応力	419	341	$1.5 \cdot f_s^*$

注記 * : 組合せ応力が考えられる場合の許容引張値(f_t)は、次の2つの計算式により計算した値のいずれか小さい方の値とする。

$$f_T = 1.4 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau$$

$$f_T = f_t$$

ここで、 τ : ボルトに発生するせん断応力 (MPa)。

ただし、設計事象 I の一次応力については上式による。I + S_d* の場合、 f_t は、 $1.5 \cdot f_t$ とする。I + S_s の場合、 f_t は、 $1.5 \cdot f_t^*$ とする。

表 6-3 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単 位	処 理 桁	処 理 法	表示最小桁
最高使用温度	℃	—	—	設 計 値
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
許容応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整 数
計算応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整 数
長 さ	mm	—	—	設 計 値
設 計 震 度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
面 積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
断 面 係 数	mm ³	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
質 量	kg	—	—	設 計 値

V-2-4-2-3-5 キャスク容器の耐震性についての計算書①
(タイプ I)

目次

1. 概 要	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 計算結果の概要	1
2. 温度分布計算	2
2.1 計算方法	2
2.2 温度分布図	2
3. 応力計算	3
3.1 応力評価点	3
3.2 貯蔵時（ S_d^* 及び S_s 地震力が作用する場合）	3
3.2.1 荷重条件	3
3.2.2 計算方法	3
3.2.3 計算結果	3
4. 応力の評価	4
4.1 キャスク容器（ボルトを除く）の応力評価	4
4.2 ボルトの応力評価	4
4.3 中間胴の応力評価	4
4.4 特別な応力の評価	4
5. 繰返し荷重の評価	5
5.1 キャスク容器（ボルトを除く）の評価	5
5.2 ボルトの評価	5
5.2.1 設計・建設規格 PVB-3122 及び添付 4-2 3.4 に対する検討	5
5.2.2 一次蓋締付けボルトの疲労解析	5
5.2.3 バルブカバー締付けボルトの疲労解析	7
6. 穴の補強	8

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料	9
図 2-1	温度分布計算モデル	10
図 2-2	温度分布図（貯蔵時）	11
図 3-1	キャスク容器及び中間胴の応力評価点（面）	12
図 3-2	キャスク容器及び中間胴の解析モデル（地震時）	13
図 6-1	応力差の変動（一次蓋締付けボルト）	14
図 6-2	応力差の変動（バルブカバー締付けボルト）	15
表 1-1	計算結果の概要	16
表 2-1(1)	貯蔵時における熱伝達率の計算	19
表 2-1(2)	運搬時における熱伝達率の計算	20
表 2-2	温度分布計算の評価条件	21
表 3-1	キャスク容器及び中間胴の応力計算結果（貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合）	22
表 3-2	キャスク容器及び中間胴の応力計算結果（貯蔵時： S_s 地震力が作用する場合）	27
表 4-1	キャスク容器及び中間胴の応力評価（貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合）	32
表 4-2	キャスク容器及び中間胴の応力評価（貯蔵時： S_s 地震力が作用する場合）	35
表 5-1	キャスク容器(ボルトを除く)の疲労解析不要の評価結果	38
表 5-2	各事象の繰返し回数と許容繰返し回数（一次蓋締付けボルト）	39
表 5-3	各事象の繰返し回数と許容繰返し回数（バルブカバー締付けボルト）	39
表 6-1	貫通孔部の応力強さ	40

1. 概 要

本計算書は、キャスク容器及び中間胴に関する応力計算書である。

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 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、応力評価上厳しくなる代表的な評価点（面）を本計算書に記載している。

2. 温度分布計算

2.1 計算方法

温度分布計算は、解析コードABAQUSにより行う。軸対称固体(連続体)要素による解析モデルを図 2-1 に示す。

温度分布計算に使用する外表面の熱伝達率を表 2-1 に示す。

2.2 温度分布図

2.1 項の計算により得られた温度分布を図 2-2 に示す。

3. 応力計算

3.1 応力評価点

キャスク容器及び中間胴の応力評価点（面）を図 3-1 に示す。

3.2 貯蔵時（ S_d^* 及び S_s 地震力が作用する場合）

3.2.1 荷重条件

貯蔵時において S_d^* 及び S_s 地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。

キャスク容器内圧力（ -0.1MPa ）＋蓋間圧力（ 0.4MPa ）＋ボルト初期締付け力
＋熱荷重＋地震力＋自重

3.2.2 計算方法

(1) 一次応力及び一次＋二次応力

a. 一次蓋，一次蓋締付けボルト，内胴，上部フランジ，底板及び中間胴

解析コード A B A Q U S の三次元固体(連続体)要素による解析モデルを図 3-2 に示す。

熱荷重として，貯蔵時での熱解析の結果から得られたキャスク容器，中間胴及びガンマ線遮へい体に生じる温度変化，温度勾配による荷重を用いる。

加速度として次の値を用いる。

$$G_1 = \alpha_H, G_2 = 9.81 - \alpha_V$$

ここで， α_H ：水平方向設計加速度（ $= C_H G = 11.48\text{m/s}^2$ ）

α_V ：鉛直方向設計加速度（ $= C_V G = 6.38\text{m/s}^2$ ）

(2) 支圧応力

バスケット底面との接触部の底板に発生する平均支圧応力（ σ_p ）は次式で表わされる。

$$\sigma_p = W_G \cdot G_Z / A$$

ここで， W_G ：バスケット及び燃料の質量（ $=25200\text{kg}$ ）

G_Z ：鉛直方向加速度（ $=9.81 + \alpha_V = 16.19\text{m/s}^2$ ）

A ：接触面積（ $=1.17 \times 10^6 \text{mm}^2$ ）

(3) 座屈応力

中間胴に生じる圧縮応力（ σ_b ）は（1）a. の計算方法と同様である。

3.2.3 計算結果

応力計算結果を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

4. 応力の評価

4.1 キヤスク容器（ボルトを除く）の応力評価

各設計事象における評価を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より，各設計事象の一次一般膜応力強さ（ P_m ），一次局部膜応力強さ（ P_L ），一次膜＋一次曲げ応力強さ（ P_L+P_b ）及び一次応力と二次応力を加えて求めた応力強さ（ P_L+P_b+Q ）は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

4.2 ボルトの応力評価

各設計事象における評価を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より，各設計事象の平均引張応力及び平均引張応力＋曲げ応力は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

4.3 中間胴の応力評価

各設計事象における評価を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より，キヤスク容器との溶接部近接部分における各設計事象の一次一般膜応力強さ（ P_m ），一次局部膜応力強さ（ P_L ），一次膜＋一次曲げ応力強さ（ P_L+P_b ）及び一次応力と二次応力を加えて求めた応力強さ（ P_L+P_b+Q ）は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

また，上記以外の範囲における各設計事象の引張応力，せん断応力，圧縮応力，曲げ応力，支圧応力及び座屈応力並びに地震時の組合せ応力は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

4.4 特別な応力の評価

(1) 純せん断応力

各設計事象において純せん断応力（ σ_s ）に該当する評価箇所がないため，評価を省略する。

(2) 支圧応力

各設計事象における評価を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より，各設計事象の平均支圧応力（ σ_p ）は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

(3) 圧縮応力

各設計事象における評価を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より，各設計事象の圧縮応力（ σ_b ）は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

5. 繰返し荷重の評価

5.1 キャスク容器（ボルトを除く）の評価

設計・建設規格 PVB-3140 により、疲労解析が不要となる条件を満足する評価の詳細を示す。地震力により発生する応力の全振幅を表 4-1 及び表 4-2 に示した応力強さ（一次＋二次応力：地震力のみによる全振幅を示す）の最大値 ($S_{\max}=62\text{MPa}$) とすると、この応力値は設計・建設規格 添付 4-2 3.2 において 10 の 11 乗を許容繰返し数としたときにこれに対応する繰返しピーク応力強さの値の 114MPa（設計・建設規格 添付 4-2-2 曲線 B に相当）以下となる（表 5-1）。したがって、地震力による応力は設計・建設規格 PVB-3140 の規定を満足しているため、疲労評価を必要としない。

5.2 ボルトの評価

「応力解析の方針」5.5 項の規定にしたがって疲労解析を行う。なお、本項において燃料装荷・取出しサイクルの回数を 100 回に想定しても規定を十分満足することを示す。

5.2.1 設計・建設規格 PVB-3122 及び添付 4-2 3.4 に対する検討

- (1) 一次蓋締付けボルト及びバルブカバー締付けボルトの最小引張強さは 1000 MPa であり、設計・建設規格 PVB-3122 (2) に従い、設計疲労曲線として設計・建設規格 添付 4-2 3.4 を使用する。
- (2) ねじは三角ねじであり、ねじ底部の半径は一次蓋締付けボルトが 0.375 mm、バルブカバー締付けボルトが 0.25 mm であって 0.07 mm より大である。
- (3) シャンク部の直径に対するシャンク部の端の丸みの半径の比は、

$$\text{一次蓋締付けボルト} : \frac{2.2}{31} = 0.071$$

$$\text{バルブカバー締付けボルト} : \frac{1.0}{13} = 0.077$$

であって、0.06 以上である。

5.2.2 一次蓋締付けボルトの疲労解析

疲労解析で考慮する事象とその繰返し回数は以下とする。

- ① 運搬時（前後方向）…………… 各 800 回
- ② 吊上げ時…………… 2000 回
- ③ 支持構造物への衝突（下部トラニオンの衝突）…………… 3 回
- ④ 支持構造物への衝突（底部脚部の衝突）…………… 3 回
- ⑤ 地震時（ S_d *地震力及び S_s 地震力が作用する場合）…………… 各 60 回
- ⑥ 一次蓋締付けボルトの取付け（ゼロ応力状態）…………… 100 回

①から⑤の事象において、一次蓋締付けボルトに生じる繰返しピーク応力強さは、次式で計算する。

$$S_p = K \cdot \frac{W_t \cdot G_1}{A} \dots\dots\dots (5.1)$$

ただし、①から④の事象においては⑥の一次蓋締付けボルト締付けによるピーク

応力強さが付加される。

- S_p : 繰返しピーク応力強さ (MPa)
- K : 一次蓋締付けボルトのねじ部の応力集中係数 (=4)
- W_ℓ : 運搬時においては (一次蓋+バスケット+燃料) の質量 (=30600kg) , 運搬時以外は一次蓋の質量 (=5400kg)
- G_1 : 軸方向の加速度
 - 運搬時 (前後方向) 19.62 m/s²
 - 吊上げ時 12.95 m/s²
 - 支持構造物への衝突 (下部トラニオンの衝突) .. 29.42 m/s²
 - 支持構造物への衝突 (底部脚部の衝突) 68.85 m/s²
 - 地震時 (S_d 地震力が作用する場合) 6.38 m/s²
 - 地震時 (S_s 地震力が作用する場合) 6.38 m/s²
- A : 全数のボルト最小断面積 (=3.01×10⁴mm²)

⑥の一次蓋締付けボルトの締付けによるピーク応力強さは、次式で計算する。

$$\left. \begin{aligned} S_p &= K \cdot S_b \\ S_b &= \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau^2} \\ \tau &= \frac{T}{\pi \cdot d_s^3 / 16} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.2)$$

ここで、

- S_p, K : (5.1) 式と同じ。
- S_b : ボルト締付け時に発生する応力強さ (=385.6MPa)
- σ : 設計時を除く全事象のうち一次蓋締付けボルトに発生する平均引張応力の最大値 (213MPa)
- τ : ねじり応力 (MPa)
- T : ボルト締付けトルク (=9.4×10⁵ N・mm)
- d_s : 一次蓋締付けボルトの最小径 (=31 mm)

以上から、ピーク応力強さの範囲は図 5-1 に示すとおりとなる。

また、繰返しピーク応力強さは次式で計算する。ただし、 S_p はピーク応力強さの変動範囲である。

$$S_\ell = \frac{1}{2} \cdot S_p \dots\dots\dots (5.3)$$

設計・建設規格 添付 4-2 3.4 (4) のとおり、(2.07×10⁵) と材料の使用温度における縦弾性係数 (E=1.83×10⁵MPa) の比を繰返しピーク応力強さに乗じて補正する。

$$S_{\ell}' = S_{\ell} \cdot \frac{2.07 \times 10^5}{E} \dots\dots\dots (5.4)$$

設計・建設規格 添付 4-2 3.4により、補正した繰返しピーク応力強さ (S_{ℓ}') に対する許容繰返し回数を求める。各応力サイクルの繰返し回数と許容繰返し回数との比は表 5-2 に示すとおりとなり、疲労累積係数は次式で計算する。

$$U = \sum \left(\frac{N_c}{N_a} \right) \dots\dots\dots (5.5)$$

ここで、

U : 疲労累積係数 (—)

N_c : 繰返し回数 (回)

N_a : 許容繰返し回数 (回)

したがって、表 5-2 に示すとおり設計事象 I 及び設計事象 II による疲労累積係数は 1.0 以下であり、地震時における疲労累積係数との和も 1.0 以下となるため「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

5.2.3 バルブカバー締付けボルトの疲労解析

バルブカバー締付けボルトの疲労解析は一次蓋締付けボルトの場合と同様である。

ただし、

W_{ℓ} : バルブカバーの質量 (=8kg)

A : 全数のボルト最小断面積 (=1.06×10³ mm²)

T : ボルト締付けトルク (=8.0×10⁴ N・mm)

d_s : バルブカバー締付けボルトの最小径 (=13 mm)

である。

ピーク応力の範囲は図 5-2 に示すとおりであり、各応力サイクルの繰返しサイクルと許容繰返し回数との比は表 5-3 に示すとおりである。

したがって、表 5-3 に示すとおり設計事象 I 及び設計事象 II による疲労累積係数は 1.0 以下であり、地震時における疲労累積係数との和も 1.0 以下となるため「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

6. 穴の補強

設計・建設規格 PVB-3520 により貫通孔の補強が不要となることを示す。

貫通孔部の応力強さは、応力集中係数を用いて次式で表わされる。

$$S_c = K \cdot S \dots\dots\dots (6.1)$$

ここで、 S_c : 貫通孔部の応力強さ (MPa)

K : 応力集中係数 (=3.0) (参考文献 (2) 参照)

S : 貫通孔を無視した場合の一次蓋の応力強さ (MPa)

貫通孔を無視した場合の一次蓋の応力強さ (S) は表 4-1 及び表 4-2 より求められる。

したがって、貫通孔部の応力強さ (S_c) は表 6-1 に示すとおりとなり、すべて許容応力を満足するため、貫通孔の補強は不要となる。



图 1-1 形状・寸法・材料

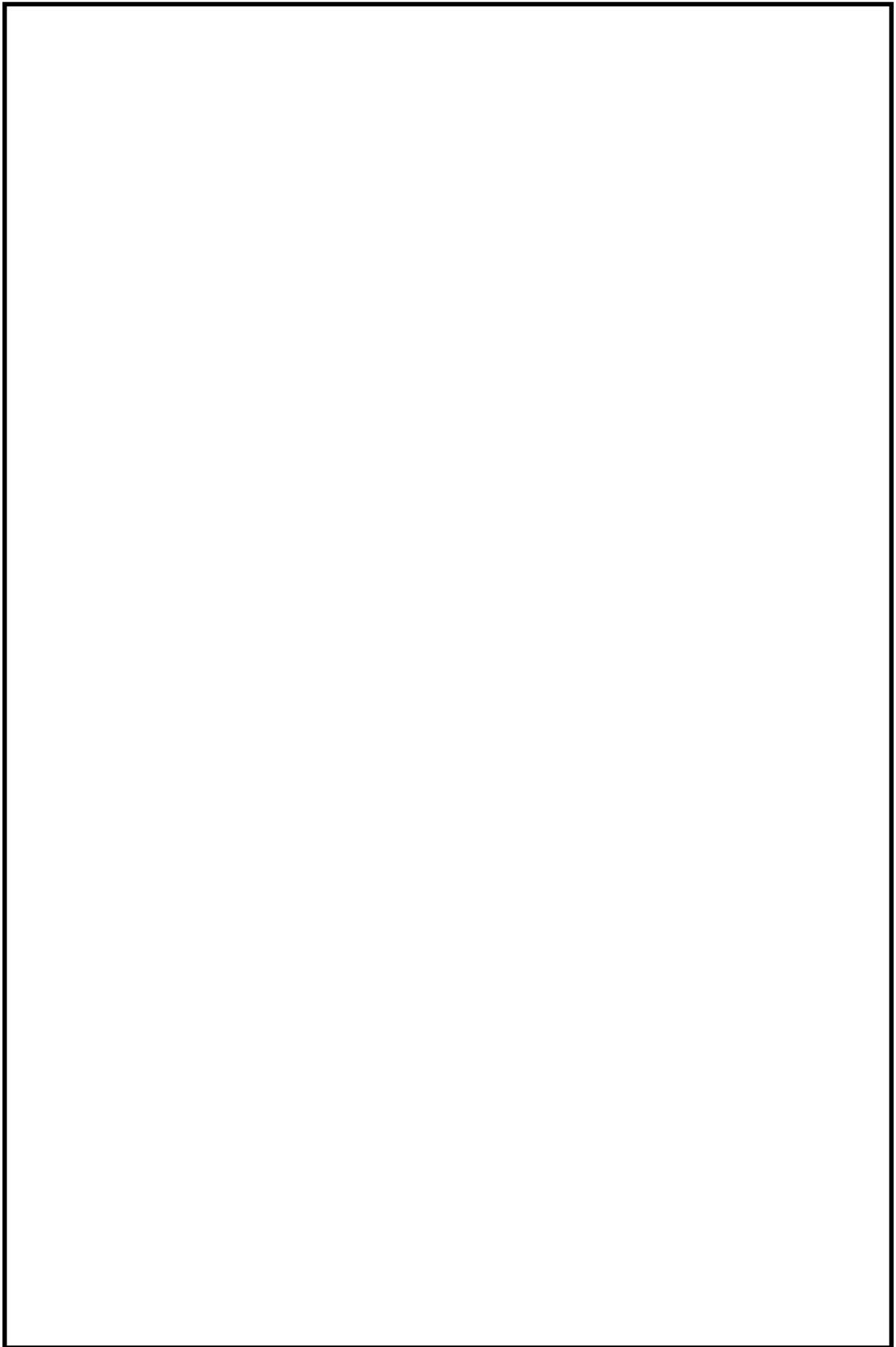


図 2-1 温度分布計算モデル



図 2-2 温度分布図（貯蔵時）

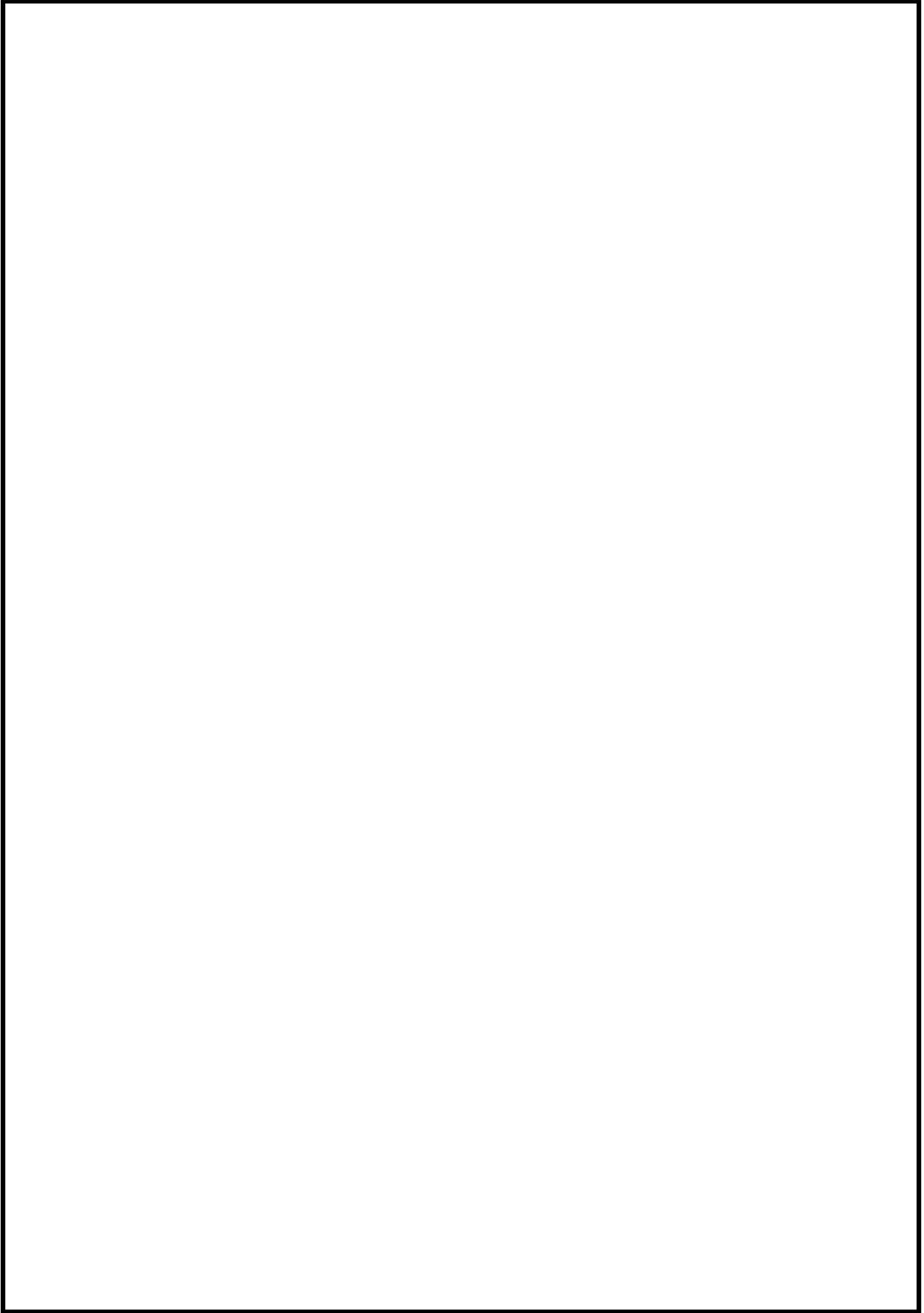


図 3-1 キャスク容器及び中間胴の応力評価点（面）

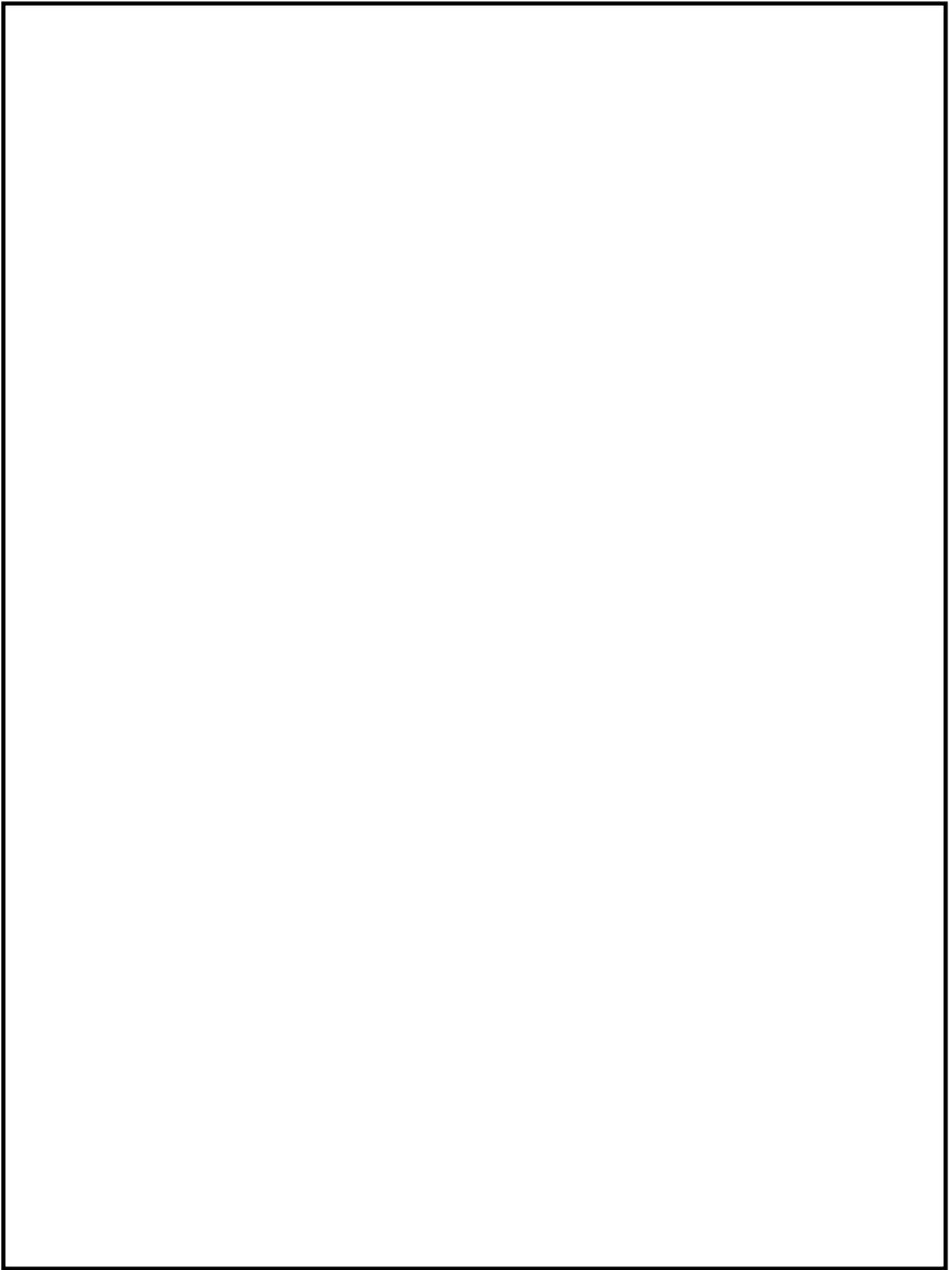
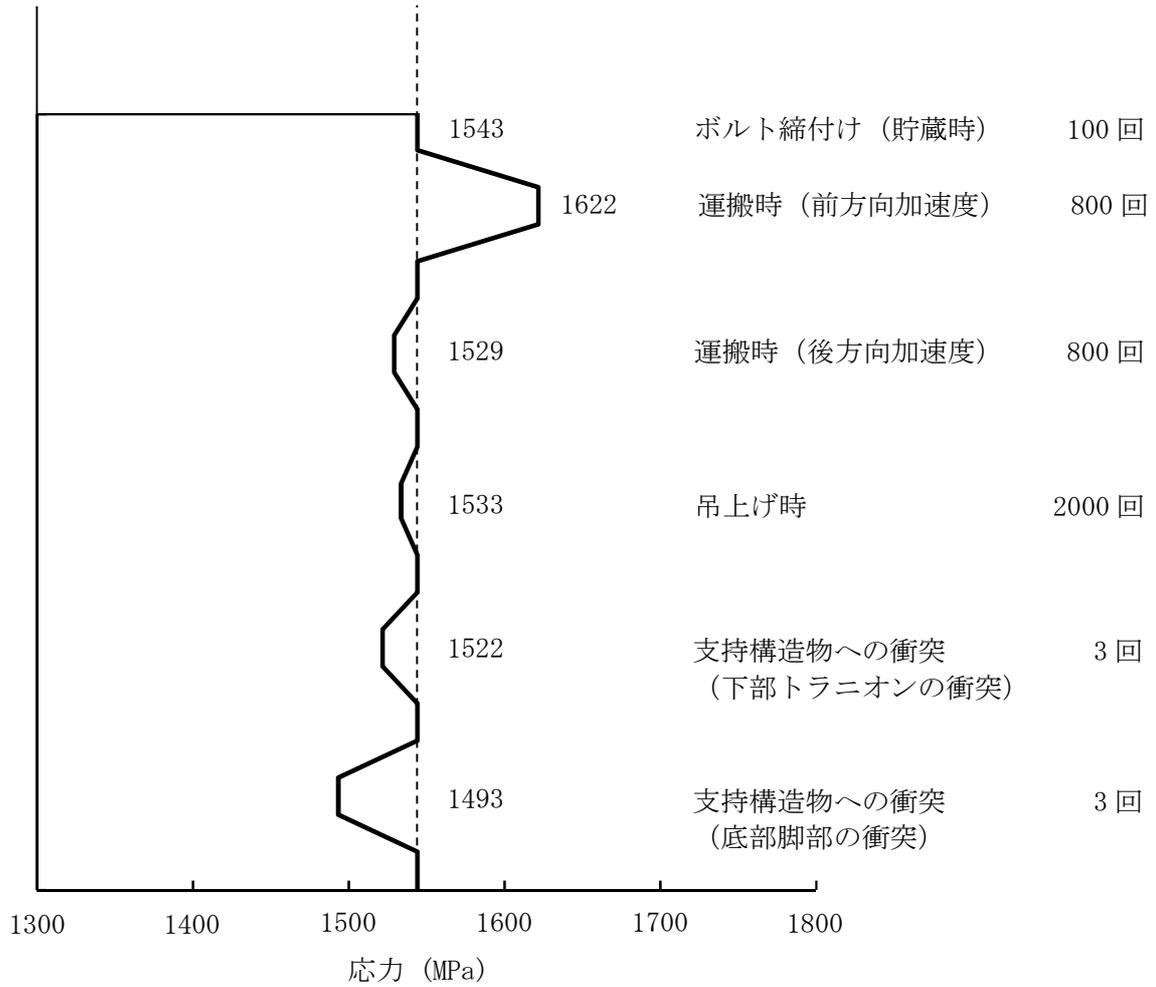


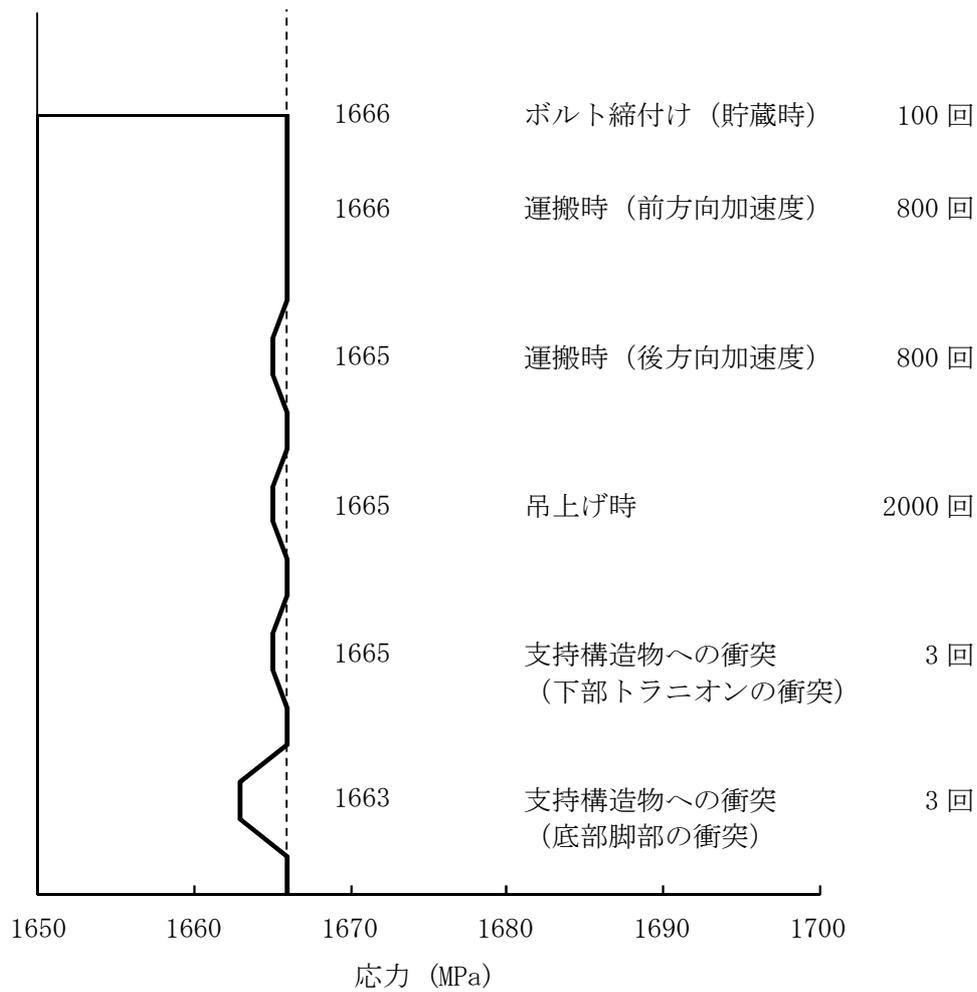
図 3-2 キャスク容器及び中間胴の解析モデル（地震時）



(単位：MPa)

No.	運転条件	運転条件	S _p
1	運搬時 (前方向加速度)	ゼロ応力状態	1622
2	運搬時 (前方向加速度)	支持構造物への衝突 (底部脚部の衝突)	129
3	運搬時 (前方向加速度)	支持構造物への衝突 (下部トラニオンの衝突)	101
4	運搬時 (前方向加速度)	運搬時 (後方向加速度)	94
5	貯蔵時	運搬時 (後方向加速度)	14
6	貯蔵時	吊上げ時	10

図 6-1 応力差の変動 (一次蓋締付けボルト)



(単位：MPa)

No.	運転条件	運転条件	S _p
1	運搬時 (前方向加速度)	ゼロ応力状態	1666
2	運搬時 (前方向加速度)	支持構造物への衝突 (底部脚部の衝突)	3
3	運搬時 (前方向加速度)	支持構造物への衝突 (下部トラニオンの衝突)	2
4	運搬時 (前方向加速度)	運搬時 (後方向加速度)	2
5	貯蔵時	運搬時 (後方向加速度)	1
6	貯蔵時	吊上げ時	1

図 6-2 応力差の変動 (バルブカバー締付けボルト)

表 1-1(1) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材 料	設計事象	一次一般膜応力強さ			一次局部膜応力強さ			一次膜+一次曲げ応力強さ			一次+二次応力強さ		
			計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点
一次蓋	SUSF304	I + S _d *	17	162	①-①'	-	-	-	27	243	①'	2	405	②
		I + S _s	17	278	①-①'	-	-	-	27	418	①'	2	405	②
内 胴	SUS304	I + S _d *	62	162	⑤-⑤'	72	243	⑥-⑥'	-	-	-	62	405	⑥'
		I + S _s	62	278	⑤-⑤'	72	418	⑥-⑥'	-	-	-	62	405	⑥'
上部フランジ	SUSF304	I + S _d *	-	-	-	32	243	⑨-⑨'	-	-	-	4	405	⑩
		I + S _s	-	-	-	32	418	⑨-⑨'	-	-	-	4	405	⑩
底 板	SUSF304	I + S _d *	30	162	⑪-⑪'	-	-	-	39	243	⑪	34	405	⑫
		I + S _s	30	278	⑪-⑪'	-	-	-	39	418	⑪	34	405	⑫
密 封 シール部	SUSF304	I + S _d *	29	152	⑬	-	-	-	48	152	⑬	2	152	⑬
		I + S _s	29	152	⑬	-	-	-	48	152	⑬	2	152	⑬

表 1-1(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材 料	設計事象	一次一般膜応力強さ			一次局部膜応力強さ			一次膜+一次曲げ応力強さ			一次+二次応力強さ		
			計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点
バルブカバー	SUS304	I + S _d *	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		I + S _s	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
中間胴 (キヤスク容器との溶接部近接部分)	SUS304	I + S _d *	—	—	—	113	243	⑧-⑧'	—	—	—	116	405	⑧
		I + S _s	—	—	—	113	418	⑧-⑧'	—	—	—	116	405	⑧
底部プラグ溶接部	SUSF304	I + S _d *	68	81	⑱	—	—	—	—	—	—	94	202	⑱
		I + S _s	68	139	⑱	—	—	—	—	—	—	94	202	⑱

17

(単位：MPa)

部 位	材 料	設計事象	引張応力 (引張・圧縮応力 ¹⁾)			圧縮応力			せん断応力			曲げ応力			座屈応力			
			計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	
中間胴 (キヤスク容器との溶接部近接部分を除く)	SUS304	I + S _d *	一次応力	125	204	⑰	—	—	—	7	117	⑱	107	204	⑱			
			一次+二次応力	71	408	⑱				14	234	⑱	71	408	⑱			
		I + S _s	一次応力	125	204	⑰				—	—	—	7	117	⑱	107	204	⑱
			一次+二次応力	71	408	⑱				14	234	⑱	71	408	⑱	—	—	—

注記 1) : 一次+二次応力に対する評価に用いる。

表 1-1 (3) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材 料	設 計 事 象		垂直応力+せん断応力			圧縮又は引張応力+曲げ応力 (引張・圧縮応力+曲げ応力 ¹⁾)		
				計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点
中間胴 (キャスク容器との溶接 部近接部分を除く)	SUS304	I + S _d *	一次応力	110	204 ²⁾	⑰	107	204 ²⁾	⑱
			一次+二次応力	65	408 ²⁾	⑱	71	408 ²⁾	⑱
		I + S _s	一次応力	110	204 ²⁾	⑰	107	204 ²⁾	⑱
			一次+二次応力	65	408 ²⁾	⑱	71	408 ²⁾	⑱

注記 1) : 一次+二次応力に対する評価に用いる。

2) : $f_t=f_c=f_b$ 及び $f_t^*=f_c^*=f_b^*$ であるので、組合せ応力が引張応力に対する許容値以下であれば規定を満足する。

(単位：MPa)

部 位	材 料	設 計 事 象	平 均 引 張 応 力			平 均 引 張 応 力 + 曲 げ 応 力		
			計算値	許容応力	評価点 (面)	計算値	許容応力	評価点 (面)
一次蓋締付けボルト	SNB23-3	I + S _d *	211	550	③	218	825	③
		I + S _s	211	825	③	218	825	③
バルブカバー 締付けボルト	SNB23-3	I + S _d *	—	—	—	—	—	—
		I + S _s	—	—	—	—	—	—

表 2-1(1) 貯蔵時における熱伝達率の計算

熱伝達の形式：空気(45℃)の自然対流による乱流熱伝達

領域 ¹⁾	部 位	形状	熱伝導率 ²⁾ λ (W/m・K)	プラントル数 ²⁾ P r (-)	レイレー数 ^{3) 4)} R a (-)	熱伝達率 ⁴⁾ h (W/m ² ・K)
①	貯蔵容器 側面	垂直円筒	27.45×10^{-3}	0.719	1.33×10^{10}	$1.48 \times \Delta T^{1/3}$
②	二次蓋 表面	上向き 水平平板	27.45×10^{-3}	0.719	6.22×10^8	$1.59 \times \Delta T^{1/3}$
③	底板表面	下向き 水平平板	27.45×10^{-3}	0.719	2.31×10^8	$0.133 \times \Delta T^{1/3}$

注記 1) : 図 2-1 参照

2) : 参考文献 (1) 参照

3) : 温度差 $\Delta T = 1.0^\circ\text{C}$ に対する値を示す。

4) : レイレー数及び熱伝達率は下記の式を用いて計算する。

$$Ra = \frac{G \beta \Delta T D^3 Pr}{\nu^2}$$

$$h = 0.13 \sqrt[3]{Ra} \frac{\lambda}{D} \quad (\text{垂直円筒})^5$$

$$h = 0.14 \sqrt[3]{Ra} \frac{\lambda}{D} \quad (\text{上向き水平平板})^5$$

$$h = 1.17 \times 10^{-2} \sqrt[3]{Ra} \frac{\lambda}{D} \quad (\text{下向き水平平板})^2$$

ここで G : 重力加速度 (=9.81 m/s²)

β : 体膨張係数 (= 1/318 1/K)

ΔT : 周囲空気と表面の温度差 (°C)

D : 代表長さ (m)

ν : 動粘性係数 (=17.66 × 10⁻⁶ m²/s)

5) : 参考文献 (4) 参照

表 2-1(2) 運搬時における熱伝達率の計算

熱伝達の形式：空気(38℃)の自然対流による乱流熱伝達

領域 ¹⁾	部 位	形状	熱伝導率 ²⁾ λ (W/m・K)	プラントル数 ²⁾ P r (-)	レイレー数 ^{3) 4)} R a (-)	熱伝達率 ⁴⁾ h (W/m ² ・K)
①	貯蔵容器 側面	水平円筒	26.94×10^{-3}	0.718	1.08×10^9	$1.16 \times \Delta T^{1/3}$
②	二次蓋 表面	垂直平板	26.94×10^{-3}	0.718	6.89×10^8	$1.50 \times \Delta T^{1/3}$
③'	底板表面					

注記 1) : 図 2-1 参照

2) : 参考文献 (1) 参照

3) : 温度差 $\Delta T = 1.0^\circ\text{C}$ に対する値を示す。

4) : レイレー数及び熱伝達率は下記の式を用いて計算する。

$$Ra = \frac{G \beta \Delta T D^3 Pr}{\nu^2}$$

$$h = 0.1 \sqrt[3]{Ra} \frac{\lambda}{D} \quad (\text{水平円筒})^2)$$

$$h = 0.13 \sqrt[3]{Ra} \frac{\lambda}{D} \quad (\text{垂直平板})^5)$$

ここで G : 重力加速度 (=9.81 m/s²)

β : 体膨張係数 (= 1/311 1/K)

ΔT : 周囲空気と表面の温度差 (°C)

D : 代表長さ (m)

ν : 動粘性係数 (=16.95 × 10⁻⁶ m²/s)

5) : 参考文献 (4) 参照

表 2-2 温度分布計算の評価条件

項 目	評 価 条 件	
対象燃料	高燃焼度燃料 ¹⁾	
収納体数 (体)	61	
発 熱 量 (kW)	17.1 ²⁾	
姿 勢	縦置き	横置き ³⁾
周囲温度 (°C)	45	38

注記 1) : 8×8 燃料, 新型 8×8 燃料, 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料
及び高燃焼度 8×8 燃料のうち最も厳しい発熱量となる高燃焼度
8×8 燃料について行う。

2) : O R I G E N 2 コードにより求めた。

3) : 運搬時における貯蔵容器姿勢及び周囲温度

表 3-1 キャスク容器及び中間胴の応力計算結果 (1/5)
(貯蔵時：S_d*地震力が作用する場合)

(単位：MPa)

部位	評価点 (面)	応力分類	応力成分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{n\theta}$		
一次蓋	①	P _m							17	162
		P _L +P _b							7	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							1	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	①'	P _m							17	162
		P _L +P _b							27	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							1	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	②	P _m							—	—
		P _L +P _b							20	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							2	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	②'	P _m							—	—
P _L +P _b								10	243	
P _L +P _b +Q ²⁾								1	405	
σ_s								—	—	
σ_p								—	—	
ボルト 締め 一次蓋	③	平均引張応力							211	550
		平均引張応力 +曲げ応力							218	825
内 胴	④	P _m							—	—
		P _L							45	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							6	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	④'	P _m							—	—
		P _L							45	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							6	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力
 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力
 2) : S_d*地震力のみによる全振幅について示す。

表 3-1 キャスク容器及び中間胴の応力計算結果 (2/5)
(貯蔵時：S_d*地震力が作用する場合)

(単位：MPa)

部位	評価点 (面)	応力分類	応力成分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{n\theta}$		
内 胴	⑤	P _m							62	162
		P _L							—	—
		P _L +P _b +Q ²⁾							15	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑤'	P _m							62	162
		P _L							—	—
		P _L +P _b +Q ²⁾							11	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑥	P _m							—	—
		P _L							72	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							48	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑥'	P _m							—	—
		P _L							72	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							62	405
σ_s								—	—	
σ_p								—	—	
上 部 フ ラ ン ジ	⑨	P _m							—	—
		P _L							32	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							2	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑨'	P _m							—	—
		P _L							32	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							2	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力
 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力
 2) : S_d*地震力のみによる全振幅について示す。

表 3-1 キャスク容器及び中間胴の応力計算結果 (3/5)
(貯蔵時：S_d*地震力が作用する場合)

(単位：MPa)

部位	評価点 (面)	応力分類	応力成分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{n\theta}$		
上部 フランジ	⑩	P _m							—	—
		P _L							19	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							4	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑩'	P _m							—	—
		P _L							19	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							2	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
底 板	⑪	P _m							30	162
		P _L +P _b							39	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							9	405
		σ_s							—	—
		σ_p							1	152
	⑪'	P _m							30	162
		P _L +P _b							23	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							14	405
		σ_s							—	—
		σ_p							1	152
	⑫	P _m							—	—
		P _L +P _b							36	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							34	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑫'	P _m							—	—
		P _L +P _b							29	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							31	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
シール 部	⑬	P _m							29	152
		P _L +P _b							48	152
		P _L +P _b +Q ²⁾							2	152

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力
 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力
 2) : S_d*地震力のみによる全振幅について示す。

表 3-1 キャスク容器及び中間胴の応力計算結果 (4/5)

(貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合)

(単位：MPa)

部位	評価点 (面)	応力分類	応力成分 ¹⁾						計算値	許容 応力	
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{n\theta}$			
中間胴 (キャスク容器との溶接部近接部分を除く)	⑬	一次応力	引張応力						105	204	
			圧縮応力						—	—	
			せん断応力						2	117	
			曲げ応力						79	204	
			支圧応力						—	—	
			垂直+せん断応力						93	204 ³⁾	
		一次+二次応力	圧縮+曲げ応力						—	—	
			引張+曲げ応力						79	204 ³⁾	
			引張・圧縮応力 ²⁾						3	408	
			せん断応力 ²⁾						3	234	
			曲げ応力 ²⁾						3	408	
			支圧応力						—	—	
		⑭	一次応力	座屈応力						—	—
				垂直+せん断応力 ²⁾						5	408 ³⁾
				引張+曲げ応力						3	408 ³⁾
				引張応力						125	204
				圧縮応力						—	—
				せん断応力						3	117
	一次+二次応力		曲げ応力						77	204	
			支圧応力						—	—	
			垂直+せん断応力						110	204 ³⁾	
			圧縮+曲げ応力						—	—	
			引張+曲げ応力						77	204 ³⁾	
			引張・圧縮応力 ²⁾						10	408	
	⑮	一次応力	せん断応力 ²⁾						6	234	
			曲げ応力 ²⁾						10	408	
			支圧応力						—	—	
			座屈応力						—	—	
			垂直+せん断応力 ²⁾						12	408 ³⁾	
			引張+曲げ応力						10	408 ³⁾	
		一次+二次応力	引張応力						113	204	
			圧縮応力						—	—	
			せん断応力						7	117	
			曲げ応力						107	204	
			支圧応力						—	—	
			垂直+せん断応力						110	204 ³⁾	
	⑯	一次応力	圧縮+曲げ応力						—	—	
			引張+曲げ応力						107	204 ³⁾	
			引張・圧縮応力 ²⁾						71	408	
			せん断応力 ²⁾						14	234	
			曲げ応力 ²⁾						71	408	
			支圧応力						—	—	
		一次+二次応力	座屈応力						—	—	
			垂直+せん断応力 ²⁾						65	408 ³⁾	
			引張+曲げ応力						71	408 ³⁾	
			引張・圧縮+曲げ ²⁾						—	—	
			せん断+曲げ ²⁾						—	—	
			引張+せん断+曲げ ²⁾						—	—	

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力
 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力

2) : S_d *地震力のみによる全振幅について示す。

3) : $f_t = f_c = f_b$ であるので組合せ応力が引張応力に対する許容値以下であれば規定を満足する。

表 3-1 キヤスク容器及び中間胴の応力計算結果 (5/5)
 (貯蔵時：S_d*地震力が作用する場合)

(単位：MPa)

部位	評価点 (面)	応力分類	応力成分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	τ_t	$\tau_{n\theta}$		
中間胴 (キヤスク容器との溶接部近接部分)	⑦	P _m							—	—
		P _L							65	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							5	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑦'	P _m							—	—
		P _L							65	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							4	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑧	P _m							—	—
		P _L							113	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							116	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑧'	P _m							—	—
		P _L							113	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							36	405
		σ_s							—	—
σ_p								—	—	
底部プラグ溶接部	⑱	P _m							68	81
		P _L							—	—
		P _L +P _b +Q ²⁾							94	202
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力
 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力
 2) : S_d*地震力のみによる全振幅について示す。

表 3-2 キャスク容器及び中間胴の応力計算結果 (1/5)
(貯蔵時：S_s地震力が作用する場合)

(単位：MPa)

部位	評価点 (面)	応力分類	応力成分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{n\theta}$		
一次蓋	①	P _m							17	278
		P _L +P _b							7	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							1	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	①'	P _m							17	278
		P _L +P _b							27	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							1	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	②	P _m							—	—
		P _L +P _b							20	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							2	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	②'	P _m							—	—
P _L +P _b								10	418	
P _L +P _b +Q ²⁾								1	405	
σ_s								—	—	
σ_p								—	—	
ボルト 締め 一次蓋	③	平均引張応力							211	825
		平均引張応力 +曲げ応力							218	825
内 胴	④	P _m							—	—
		P _L							45	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							6	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	④'	P _m							—	—
		P _L							45	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							6	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力
 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力
 2) : S_s地震力のみによる全振幅について示す。

表 3-2 キャスク容器及び中間胴の応力計算結果 (2/5)
(貯蔵時：S_s地震力が作用する場合)

(単位：MPa)

部位	評価点 (面)	応力分類	応力成分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{n\theta}$		
内 胴	⑤	P _m							62	278
		P _L							—	—
		P _L +P _b +Q ²⁾							15	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑤'	P _m							62	278
		P _L							—	—
		P _L +P _b +Q ²⁾							11	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑥	P _m							—	—
		P _L							72	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							48	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑥'	P _m							—	—
P _L								72	418	
P _L +P _b +Q ²⁾								62	405	
σ_s								—	—	
σ_p								—	—	
上 部 フ ラ ン ジ	⑨	P _m							—	—
		P _L							32	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							2	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑨'	P _m							—	—
		P _L							32	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							2	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力
 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力
 2) : S_s地震力のみによる全振幅について示す。

表 3-2 キャスク容器及び中間胴の応力計算結果 (3/5)
(貯蔵時：S_s地震力が作用する場合)

(単位：MPa)

部位	評価点 (面)	応力分類	応力成分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{n\theta}$		
上部 フランジ	⑩	P _m							—	—
		P _L							19	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							4	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑩'	P _m							—	—
		P _L							19	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							2	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
底 板	⑪	P _m							30	278
		P _L +P _b							39	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							9	405
		σ_s							—	—
		σ_p							1	418
	⑪'	P _m							30	278
		P _L +P _b							23	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							14	405
		σ_s							—	—
		σ_p							1	418
	⑫	P _m							—	—
		P _L +P _b							36	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							34	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
⑫'	P _m							—	—	
	P _L +P _b							29	418	
	P _L +P _b +Q ²⁾							31	405	
	σ_s							—	—	
	σ_p							—	—	
シール部	⑬	P _m							29	152
		P _L +P _b							48	152
		P _L +P _b +Q ²⁾							2	152

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力
 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力
 2) : S_s地震力のみによる全振幅について示す。

表 3-2 キャスク容器及び中間胴の応力計算結果 (4/5)

(貯蔵時：S_s地震力が作用する場合)

(単位：MPa)

部位	評価点 (面)	応力分類	応力成分 ¹⁾						計算値	許容 応力	
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{n\theta}$			
中間胴 (キャスク容器との溶接部近接部分を除く)	⑬	一次応力	引張応力						105	204	
			圧縮応力						—	—	
			せん断応力						2	117	
			曲げ応力						79	204	
			支圧応力						—	—	
			垂直+せん断応力						93	204 ³⁾	
		一次+二次応力	圧縮+曲げ応力						—	—	
			引張+曲げ応力						79	204 ³⁾	
			引張・圧縮応力 ²⁾						3	408	
			せん断応力 ²⁾						3	234	
			曲げ応力 ²⁾						3	408	
			支圧応力						—	—	
		⑭	一次応力	座屈応力						—	—
				垂直+せん断応力 ²⁾						5	408 ³⁾
				引張+曲げ応力						3	408 ³⁾
				引張・圧縮応力 ²⁾						125	204
				圧縮応力						—	—
				せん断応力						3	117
	一次+二次応力		曲げ応力						77	204	
			支圧応力						—	—	
			垂直+せん断応力						110	204 ³⁾	
			圧縮+曲げ応力						—	—	
			引張+曲げ応力						77	204 ³⁾	
			引張・圧縮応力 ²⁾						10	408	
	⑮	一次応力	せん断応力 ²⁾						6	234	
			曲げ応力 ²⁾						10	408	
			支圧応力						—	—	
			座屈応力						—	—	
			垂直+せん断応力 ²⁾						12	408 ³⁾	
			引張+曲げ応力						10	408 ³⁾	
		一次+二次応力	引張・圧縮応力 ²⁾						113	204	
			圧縮応力						—	—	
			せん断応力						7	117	
			曲げ応力						107	204	
			支圧応力						—	—	
			垂直+せん断応力						110	204 ³⁾	
	⑯	一次応力	圧縮+曲げ応力						—	—	
			引張+曲げ応力						107	204 ³⁾	
			引張・圧縮応力 ²⁾						71	408	
			せん断応力 ²⁾						14	234	
			曲げ応力 ²⁾						71	408	
			支圧応力						—	—	
		一次+二次応力	座屈応力						—	—	
			垂直+せん断応力 ²⁾						65	408 ³⁾	
			引張+曲げ応力						71	408 ³⁾	
			引張・圧縮応力 ²⁾						—	—	
			圧縮応力						—	—	
			せん断応力						—	—	

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力
 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力
 2) : S_s地震力のみによる全振幅について示す。
 3) : $f_t=f_c=f_b$ 及び $f_t^*=f_c^*=f_b^*$ であるので組合せ応力が引張応力に対する許容値以下であれば規定を満足する。

表 3-2 キヤスク容器及び中間胴の応力計算結果 (5/5)
(貯蔵時：S_s地震力が作用する場合)

(単位：MPa)

部位	評価点 (面)	応力分類	応力成分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	τ_t	$\tau_{n\theta}$		
中間胴 (キヤスク容器との溶接部近接部分)	⑦	P _m							—	—
		P _L							65	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							5	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑦'	P _m							—	—
		P _L							65	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							4	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑧	P _m							—	—
		P _L							113	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							116	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑧'	P _m							—	—
		P _L							113	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							36	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
底部 プラグ溶接部	⑱	P _m							68	139
		P _L							—	—
		P _L +P _b +Q ²⁾							94	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力
 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力
 2) : S_s地震力のみによる全振幅について示す。

表 4-1 キャスク容器及び中間胴の応力評価（貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合）（1/3）

（単位：MPa）

部 位	評価点（面）	応力分類	計算値 ¹⁾	許容応力
一 次 蓋	①－①’	P_m	17	162
	①	P_L+P_b	7	243
	①’		27	243
	①	P_L+P_b+Q	1	405
	①’		1	405
	②	P_L+P_b	20	243
	②’		10	243
	②	P_L+P_b+Q	2	405
	②’		1	405
一次蓋締付け ボルト	③	平均引張応力	211	550
		平均引張応力+ 曲げ応力	218	825
内 胴	④－④’	P_L	45	243
	④	P_L+P_b+Q	6	405
	④’		6	405
	⑤－⑤’	P_m	62	162
	⑤	P_L+P_b+Q	15	405
	⑤’		11	405
	⑥－⑥’	P_L	72	243
	⑥	P_L+P_b+Q	48	405
	⑥’		62	405

注記1) : P_L+P_b+Q は S_d *地震力のみによる全振幅について評価する。

表 4-1 キャスク容器及び中間胴の応力評価（貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合）（2/3）

（単位：MPa）

部 位	評価点（面）	応力分類	計算値 ¹⁾	許容応力
上部フランジ	⑨-⑨'	P_L	32	243
	⑨	P_L+P_b+Q	2	405
	⑨'		2	405
	⑩-⑩'	P_L	19	243
	⑩	P_L+P_b+Q	4	405
	⑩'		2	405
底 板	⑪-⑪'	P_m	30	162
		σ_P	1	152
	⑪	P_L+P_b	39	243
	⑪'		23	243
	⑪	P_L+P_b+Q	9	405
	⑪'		14	405
	⑫	P_L+P_b	36	243
	⑫'		29	243
	⑫	P_L+P_b+Q	34	405
⑫'	31		405	
密封シール部	⑬	P_m	29	152
		P_L+P_b	48	152
		P_L+P_b+Q	2	152
中間胴 (キャスク容器との 溶接部近接部分)	⑦-⑦'	P_L	65	243
	⑦	P_L+P_b+Q	5	405
	⑦'		4	405
	⑧-⑧'	P_L	113	243
	⑧	P_L+P_b+Q	116	405
	⑧'		36	405
底部プラグ溶接部	⑰	P_m	68	81
		P_L+P_b+Q	94	202

注記 1) : P_L+P_b+Q は S_d *地震力のみによる全振幅について評価する。（密封シール部を除く）

表 4-1 キャスク容器及び中間胴の応力評価（貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合）（3/3）

（単位：MPa）

部位	評価点 (面)	応力分類	計 算 値	許容応力	
中間胴 (キャスク容器との溶接部近接部分を除く)	⑬	一次応力	引張応力	105	204
			圧縮応力	-	-
			せん断応力	2	117
			曲げ応力	79	204
			垂直応力+せん断応力	93	204 ²⁾
			圧縮応力+曲げ応力	-	-
			引張応力+曲げ応力	79	204 ²⁾
		一次+二次応力	引張・圧縮応力 ¹⁾	3	408
			せん断応力 ¹⁾	3	234
			曲げ応力 ¹⁾	3	408
			座屈応力	-	-
			垂直応力+せん断応力 ¹⁾	5	408 ²⁾
			引張・圧縮応力+曲げ応力 ¹⁾	3	408 ²⁾
			⑭	一次応力	引張応力
	圧縮応力	-			-
	せん断応力	3			117
	曲げ応力	77			204
	垂直応力+せん断応力	110			204 ²⁾
	圧縮応力+曲げ応力	-			-
	引張応力+曲げ応力	77			204 ²⁾
	一次+二次応力	引張・圧縮応力 ¹⁾		10	408
		せん断応力 ¹⁾		6	234
		曲げ応力 ¹⁾		10	408
		座屈応力		-	-
		垂直応力+せん断応力 ¹⁾		12	408 ²⁾
		引張・圧縮応力+曲げ応力 ¹⁾		10	408 ²⁾
		⑮		一次応力	引張応力
	圧縮応力		-		-
	せん断応力		7		117
	曲げ応力		107		204
垂直応力+せん断応力	110		204 ²⁾		
圧縮応力+曲げ応力	-		-		
引張応力+曲げ応力	107		204 ²⁾		
一次+二次応力	引張・圧縮応力 ¹⁾		71	408	
	せん断応力 ¹⁾		14	234	
	曲げ応力 ¹⁾		71	408	
	座屈応力		-	-	
	垂直応力+せん断応力 ¹⁾		65	408 ²⁾	
	引張・圧縮応力+曲げ応力 ¹⁾		71	408 ²⁾	

注記 1) : S_d *地震力のみによる全振幅について示す。

2) : $f_t=f_c=f_b$ であるので、組合せ応力が引張応力に対する許容値以下であれば規定を満足する。

表 4-2 キャスク容器及び中間胴の応力評価（貯蔵時： S_s 地震力が作用する場合）（1/3）

（単位：MPa）

部 位	評価点（面）	応力分類	計算値 ¹⁾	許容応力
一 次 蓋	①－①’	P_m	17	278
	①	P_L+P_b	7	418
	①’		27	418
	①	P_L+P_b+Q	1	405
	①’		1	405
	②	P_L+P_b	20	418
	②’		10	418
	②	P_L+P_b+Q	2	405
	②’		1	405
一次蓋締付け ボルト	③	平均引張応力	211	825
		平均引張応力+ 曲げ応力	218	825
内 胴	④－④’	P_L	45	418
	④	P_L+P_b+Q	6	405
	④’		6	405
	⑤－⑤’	P_m	62	278
	⑤	P_L+P_b+Q	15	405
	⑤’		11	405
	⑥－⑥’	P_L	72	418
	⑥	P_L+P_b+Q	48	405
	⑥’		62	405

注記 1) : P_L+P_b+Q は S_s 地震力のみによる全振幅について評価する。

表 4-2 キャスク容器及び中間胴の応力評価（貯蔵時： S_s 地震力が作用する場合）（2/3）

（単位：MPa）

部 位	評価点（面）	応力分類	計算値 ¹⁾	許容応力
上部フランジ	⑨-⑨'	P_L	32	418
	⑨	P_L+P_b+Q	2	405
	⑨'		2	405
	⑩-⑩'	P_L	19	418
	⑩	P_L+P_b+Q	4	405
	⑩'		2	405
底 板	⑪-⑪'	P_m	30	278
		σ_P	1	418
	⑪	P_L+P_b	39	418
	⑪'		23	418
	⑪	P_L+P_b+Q	9	405
	⑪'		14	405
	⑫	P_L+P_b	36	418
	⑫'		29	418
	⑫	P_L+P_b+Q	34	405
⑫'	31		405	
密封シール部	⑬	P_m	29	152
		P_L+P_b	48	152
		P_L+P_b+Q	2	152
中間胴 (キャスク容器との 溶接部近接部分)	⑦-⑦'	P_L	65	418
	⑦	P_L+P_b+Q	5	405
	⑦'		4	405
	⑧-⑧'	P_L	113	418
	⑧	P_L+P_b+Q	116	405
	⑧'		36	405
底部プラグ溶接部	⑰	P_m	68	139
		P_L+P_b+Q	94	202

注記 1) : P_L+P_b+Q は S_s 地震力のみによる全振幅について評価する。（密封シール部を除く）

表 4-2 キャスク容器及び中間胴の応力評価（貯蔵時：S_s地震力が作用する場合）（3/3）

（単位：MPa）

部位	評価点 (面)	応力分類	計 算 値	許容応力	
中間胴 (キャスク容器との溶接部近接部分を除く)	⑬	一次応力	引張応力	105	204
			圧縮応力	-	-
			せん断応力	2	117
			曲げ応力	79	204
			垂直応力+せん断応力	93	204 ²⁾
			圧縮応力+曲げ応力	-	-
			引張応力+曲げ応力	79	204 ²⁾
		一次+二次応力	引張・圧縮応力 ¹⁾	3	408
			せん断応力 ¹⁾	3	234
			曲げ応力 ¹⁾	3	408
			座屈応力	-	-
			垂直応力+せん断応力 ¹⁾	5	408 ²⁾
			引張・圧縮応力+曲げ応力 ¹⁾	3	408 ²⁾
			⑭	一次応力	引張応力
	圧縮応力	-			-
	せん断応力	3			117
	曲げ応力	77			204
	垂直応力+せん断応力	110			204 ²⁾
	圧縮応力+曲げ応力	-			-
	引張応力+曲げ応力	77			204 ²⁾
	一次+二次応力	引張・圧縮応力 ¹⁾		10	408
		せん断応力 ¹⁾		6	234
		曲げ応力 ¹⁾		10	408
		座屈応力		-	-
		垂直応力+せん断応力 ¹⁾		12	408 ²⁾
		引張・圧縮応力+曲げ応力 ¹⁾		10	408 ²⁾
		⑮		一次応力	引張応力
	圧縮応力		-		-
	せん断応力		7		117
	曲げ応力		107		204
垂直応力+せん断応力	110		204 ²⁾		
圧縮応力+曲げ応力	-		-		
引張応力+曲げ応力	107		204 ²⁾		
一次+二次応力	引張・圧縮応力 ¹⁾		71	408	
	せん断応力 ¹⁾		14	234	
	曲げ応力 ¹⁾		71	408	
	座屈応力		-	-	
	垂直応力+せん断応力 ¹⁾		65	408 ²⁾	
	引張・圧縮応力+曲げ応力 ¹⁾		71	408 ²⁾	

注記 1) : S_s地震力のみによる全振幅について示す。

2) : $f_t=f_c=f_b$ 及び $f_t^*=f_c^*=f_b^*$ であるので、組合せ応力が引張応力に対する許容値以下であれば規定を満足する。

表 5-1 キャスク容器(ボルトを除く)の疲労解析不要の評価結果

設計・建設規格 PVB-3140	繰返し荷重		設定繰返 し回数	評価値	許容値	評価
(6)	機械的荷重の変動	地震力	120	応力振幅, S=62 MPa	1×10 ¹¹ 回に対する許容 繰返しピーク応力強さ, S _a =114 MPa	S < S _a であるので本 条件に対する評価に考 慮する必要がない。

表 5-2 各事象の繰返し回数と許容繰返し回数（一次蓋締付けボルト）

事 象		繰返し数 N _c (回)	繰返しピーク 応力強さ S _ℓ (MPa)	縦弾性係数を補正 した繰返しピーク 応力強さ S _ℓ ' (MPa)	許容繰返 し回数 N _a (回)	繰返し回数と許容 繰返し回数の比 N _c /N _a (-)
No. 1		100	811	918	574	1.74×10 ⁻¹
No. 2		3	65	73	1.00×10 ⁶	3.00×10 ⁻⁶
No. 3		3	51	58	1.00×10 ⁶	3.00×10 ⁻⁶
No. 4		694	47	54	1.00×10 ⁶	6.94×10 ⁻⁴
No. 5		106	7	8	1.00×10 ⁶	1.06×10 ⁻⁴
No. 6		2000	5	6	1.00×10 ⁶	2.00×10 ⁻³
U (設計事象 I 及び設計事象 II)						0.18
地震時	S _d *	60	5	6	1.00×10 ⁶	6.00×10 ⁻⁵
	S _s	60	5	6	1.00×10 ⁶	6.00×10 ⁻⁵
U (地震時)						1.20×10 ⁻⁴
U (設計事象 I 及び設計事象 II と地震時の和)						0.18

表 5-3 各事象の繰返し回数と許容繰返し回数（バルブカバー締付けボルト）

事 象		繰返し数 N _c (回)	繰返しピーク 応力強さ S _ℓ (MPa)	縦弾性係数を補正 した繰返しピーク 応力強さ S _ℓ ' (MPa)	許容繰返 し回数 N _a (回)	繰返し回数と許容 繰返し回数の比 N _c /N _a (-)
No. 1		100	833	943	545	1.83×10 ⁻¹
No. 2		3	2	2	1.00×10 ⁶	3.00×10 ⁻⁶
No. 3		3	1	2	1.00×10 ⁶	3.00×10 ⁻⁶
No. 4		694	1	2	1.00×10 ⁶	6.94×10 ⁻⁴
No. 5		106	1	1	1.00×10 ⁶	1.06×10 ⁻⁴
No. 6		2000	1	1	1.00×10 ⁶	2.00×10 ⁻³
U (設計事象 I 及び設計事象 II)						0.19
地震時	S _d *	60	1	1	1.00×10 ⁶	6.00×10 ⁻⁵
	S _s	60	1	1	1.00×10 ⁶	6.00×10 ⁻⁵
U (地震時)						1.20×10 ⁻⁴
U (設計事象 I 及び設計事象 II と地震時の和)						0.19

表 6-1 貫通孔部の応力強さ

(単位：MPa)

設計事象	応力分類	貫通孔を無視した 場合の応力強さ (S)	貫通孔部の応力 (S _c)	許容応力
I + S _d *	P _L +P _b	27	81	243
	P _L +P _b +Q	2	6	405
I + S _s	P _L +P _b	27	81	418
	P _L +P _b +Q	2	6	405

V-2-4-2-3-5 キャスク容器の耐震性についての計算書②

(タイプⅡ)

目次

1. 概 要	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 計算結果の概要	1
2. 温度分布計算	2
2.1 計算方法	2
2.2 温度分布図	2
3. 応力計算	3
3.1 応力評価点	3
3.2 貯蔵時 (S_d^* 地震力及び S_s 地震力が作用する場合)	3
3.2.1 荷重条件	3
3.2.2 計算方法	3
3.2.3 計算結果	4
4. 応力の評価	5
4.1 キャスク容器 (ボルトを除く。) の応力評価	5
4.2 ボルトの応力評価	5
4.3 特別な応力の評価	5
5. 繰返し荷重の評価	6
5.1 キャスク容器 (ボルトを除く。) の評価	6
5.2 ボルトの評価	6
5.2.1 「設計・建設規格」 PVB-3122 及び「設計・建設規格」 付録材料図表 Part8 図4の備考に対する検討	6
5.2.2 一次蓋締付けボルトの疲れ解析	7
5.2.3 バルブカバー締付けボルトの疲れ解析	8
6. 穴の補強	10

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料	11
図 2-1	温度分布計算モデル	12
図 2-2	温度分布図（貯蔵時）	13
図 3-1	キャスク容器の応力評価点（面）	14
図 3-2	キャスク容器の解析モデル（圧力+ボルト初期締付け力作用時）	15
図 3-3	キャスク容器の解析モデル（地震時）	16
図 3-4	キャスク容器の解析モデル（熱荷重作用時）	17
表 1-1	計算結果の概要	18
表 2-1	熱伝達率の計算	20
表 3-1	キャスク容器の応力計算結果（貯蔵時： S_d^* 地震力が作用する場合）	21
表 3-2	キャスク容器の応力計算結果（貯蔵時： S_s 地震力が作用する場合）	24
表 4-1	キャスク容器の応力評価（貯蔵時： S_d^* 地震力が作用する場合）	27
表 4-2	キャスク容器の応力評価（貯蔵時： S_s 地震力が作用する場合）	29
表 5-1	キャスク容器（ボルトを除く。）の疲労解析不要の評価結果	31
表 5-2	応力差の変動（一次蓋締付けボルト）	32
表 5-3	疲れ累積係数（一次蓋締付けボルト）	33
表 5-4	応力差の変動（バルブカバー締付けボルト）	34
表 5-5	疲れ累積係数（バルブカバー締付けボルト）	35
表 6-1	貫通孔部の応力強さ	36

1. 概 要

本計算書は、キャスク容器に関する応力計算書である。

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 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点については解析上最も厳しい部位を選定し、代表評価点（面）として本計算書に記載している。

表中の「－」は、評価すべき応力が発生しない又は、評価上厳しくないため評価を省略している。以下、本計算書において同様である。

2. 温度分布計算

2.1 計算方法

温度分布計算は、解析コードABAQUSにより行う。軸対称固体（連続体）要素による解析モデルを図2-1に示す。

温度分布計算に使用する外表面の熱伝達率の計算条件と計算結果を表2-1に示す。

2.2 温度分布図

2.1節の計算により得られた温度分布を図2-2に示す。

3. 応力計算

3.1 応力評価点

キャスク容器の応力評価点（面）を図 3-1 に示す。

3.2 貯蔵時（ S_d^* 地震力及び S_s 地震力が作用する場合）

3.2.1 荷重条件

貯蔵時において S_d^* 地震力及び S_s 地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。

なお、地震力には S_s 地震力を適用する。

キャスク容器内圧力（-0.1 MPa）+ 蓋間圧力（0.4 MPa）+ ボルト初期締付け力
+ 熱荷重 + 地震力 + 自重

3.2.2 計算方法

(1) 一次応力及び一次+二次応力

a. 一次蓋，一次蓋締付けボルト，胴及び底板

(a) 圧力及びボルト初期締付け力が作用する場合

解析コード ABAQUS の軸対称固体（連続体）要素による解析モデルを図 3-2 に示す。

(b) 地震力が作用する場合

解析コード ABAQUS の三次元固体（連続体）要素による解析モデルを図 3-3 に示す。

加速度として次の値を用いる。

$$G_1 = C_H \cdot G, \quad G_2 = (1 - C_V) \cdot G \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

ここで、 C_H ：水平方向設計震度（=1.17）

C_V ：鉛直方向設計震度（=0.65）

(c) 熱荷重が作用する場合

解析コード ABAQUS の軸対称固体（連続体）要素による解析モデルを図 3-4 に示す。

熱荷重として、貯蔵時での熱解析の結果から得られたキャスク容器に生じる温度変化，温度勾配による荷重を用いる。

(2) 支圧応力

バスケット底面との接触部である底板に発生する平均支圧応力（ σ_p ）は次式で計算する。

$$\sigma_p = \frac{m_G \cdot G_2}{A} \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

ここで、 $G_2 = (1 + C_V) \cdot G$

m_G ：バスケット及び燃料の質量（= kg）

A ：接触面積（= mm²）

C_v : (1)a. (b) と同じ

3.2.3 計算結果

応力計算結果を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

4. 応力の評価

4.1 キャスク容器（ボルトを除く。）の応力評価

地震時における評価を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より, 地震時の一次一般膜応力強さ (P_m), 一次局部膜応力強さ (P_L), 一次膜+一次曲げ応力強さ ($P_L + P_b$) 及び一次応力と二次応力を加えて求めた応力強さ ($P_L + P_b + Q$) は補足資料「キャスク容器の応力解析の方針」5.5 節の各規定を満足する。

4.2 ボルトの応力評価

地震時における評価を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より, 地震時の平均引張応力及び平均引張応力+曲げ応力は補足資料「キャスク容器の応力解析の方針」5.5 節の各規定を満足する。

4.3 特別な応力の評価

(1) 純せん断応力

地震時において純せん断応力を評価すべき箇所がないため, 評価を省略する。

(2) 支圧応力

地震時における評価を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より, 地震時の平均支圧応力 (σ_p) は補足資料「キャスク容器の応力解析の方針」5.5 節の規定を満足する。

(3) 軸圧縮応力

地震時において軸圧縮応力を評価すべき箇所がないため, 評価を省略する。

5. 繰返し荷重の評価

5.1 キャスク容器（ボルトを除く。）の評価

「設計・建設規格」 PVB-3140 により、疲れ解析が不要となる条件を満足する評価の詳細を示す。地震力により発生する応力の変動回数は、貯蔵時（ S_d^* 地震力及び S_s 地震力が作用する場合）の最大回数である 10^4 回であると想定する。

この回数に対応する繰返しピーク応力強さ S は、「設計・建設規格」付録図表 Part8 図 1 より、

$$S = 262 \text{ MPa}$$

となる。

地震力により発生する応力の全振幅最大値を表 4-1 及び表 4-2 に示した応力強さの最大値（ $\Delta \sigma_2 = 123 \text{ MPa}$ ）とすると、

$$\Delta \sigma_2 < S$$

であり、条件を満足する。

したがって、地震力により発生する応力は「設計・建設規格」PVB-3140 の規定に適合しているので、疲れ解析を必要としない。

5.2 ボルトの評価

補足資料「キャスク容器の応力解析の方針」5.5 節の規定に従って疲れ解析を行う。なお、本項においても燃料装荷・取出しサイクルの回数を 100 回に想定しても規定を満足することを示す。

5.2.1 「設計・建設規格」PVB-3122 及び「設計・建設規格」付録材料図表 Part8 図 4 の備考に対する検討

- (1) 一次蓋締付けボルト及びバルブカバー締付けボルトの最小引張強さは 1000 MPa であり、「設計・建設規格」 PVB-3122 (2) に従い、設計疲れ曲線として「設計・建設規格」付録材料図表 Part8 図 4 を使用する。
- (2) 一次蓋締付けボルト及びバルブカバー締付けボルトの平均引張応力+曲げ応力の許容値を $3S_m$ としたので、設計疲れ曲線として、「設計・建設規格」付録材料図表 Part8 図 4 の“曲線 2”を使用する。
- (3) ねじは三角ねじであり、ねじ底部の半径は一次蓋締付けボルトが mm, バルブカバー締付けボルトが mm であって 0.07 mm より大である。
- (4) シャンク部の直径に対するシャンク部の端の丸みの半径の比は、

$$\text{一次蓋締付けボルト} : \text{} = 0.062$$

$$\text{バルブカバー締付けボルト} : \text{} = 0.072$$

であって、0.06 以上である。

5.2.2 一次蓋締付けボルトの疲れ解析

疲れ解析で考慮する事象は以下とする。

- ① 一次蓋締付けボルトの取付け・取外し
- ② 運搬時（前方向加速度及び後方向加速度が作用する場合）
- ③ 吊上げ時
- ④ 衝突時（輸送架台及び支持構造物への衝突）
- ⑤ 地震時（ S_d^* 地震力及び S_s 地震力が作用する場合）

①の事象において、一次蓋締付けボルトの取付け・取外しにおけるボルト締付け力によるボルトのピーク応力強さは、次式で計算する。

$$\left. \begin{aligned}
 S &= K \cdot S_b \\
 S_b &= \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau^2} \\
 \tau &= \frac{T_r}{\frac{\pi \cdot d_s^3}{16}}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.1)$$

- ここで、
- S : ボルトのピーク応力強さ (MPa)
 - K : 一次蓋締付けボルトのねじ部の応力集中係数 (=4)
 - S_b : ボルト締付け時に発生する応力強さ (MPa)
 - σ : ボルト初期締付け時の応力 (=265 MPa)
 - τ : ねじり応力 (MPa)
 - T_r : ボルト締付けトルク (= N・mm)
 - d_s : 一次蓋締付けボルトの最小径 (= mm)

②③④の事象において、一次蓋締付けボルトのピーク応力強さは、次式により計算する。

$$S = K \cdot \left(S_b + \frac{m_0 \cdot G_1}{A} \right) \dots\dots\dots (5.2)$$

- ここで、S, S_b , K : (5.1) 式に同じ
- m_0 : 運搬時で後方向加速度が生じる場合においては、一次蓋+バスケット+燃料の質量 (= kg)
 - 運搬時で前方向加速度が生じる場合、吊上げ時及び衝突時においては、一次蓋の質量 (= kg)

G_1 : 軸方向の加速度

運 搬	$\pm 19.62 \text{ m/s}^2$
吊上げ	-12.95 m/s^2
輸送架台への衝突	-29.42 m/s^2
支持構造物への衝突	-58.84 m/s^2

A : 全数のボルト最小断面積 (= mm²)

⑤事象においては、地震動のみによる疲れ解析を行うため、一次蓋締付けボルトのピーク応力強さは、次式により計算する。

$$S = K \cdot \left(\pm \frac{m_0 \cdot G_1}{A} \right) \dots\dots\dots (5.3)$$

ここで、 S, K : (5.1) 式に同じ

A : (5.2) 式に同じ

m₀ : 一次蓋の質量 (=4900 kg)

G₁ : 軸方向の加速度

地 震	S _d [*]	6.38 m/s ²
	S _s	6.38 m/s ²

(5.1) 式, (5.2) 式及び (5.3) 式で求めたボルトのピーク応力強さと各事象の回数を考慮して定めた応力サイクル及びそれに対応するピーク応力強さの範囲 (S_P) 並びに各事象の繰返し回数を表 5-2 に示す。

各応力サイクルに対応したピーク応力強さの範囲 (S_P) から、次式により繰返しピーク応力強さ (S₀, S₀') を求める。ここで、繰返しピーク応力強さ (S₀) は、「設計・建設規格」 付録材料図表 Part8 図 4 に使用されている縦弾性係数 (E₀=2.07×10⁵ MPa) と解析に用いる縦弾性係数 (E=1.82×10⁵ MPa) との比を考慮し補正する。

$$\left. \begin{aligned} S_0 &= \frac{1}{2} \cdot S_P \\ S_0' &= S_0 \cdot \frac{E_0}{E} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.4)$$

「設計・建設規格」 付録材料図表 Part8 図 4 より、補正した繰返しピーク応力強さ (S₀') に対する許容繰返し回数 (N) を求める。各サイクルの繰返し回数 (N_C) と許容繰返し回数 (N_a) との比は表 5-3 に示す通りとなり、設計事象 I 及び設計事象 II による疲れ累積係数は 1.0 以下であり、地震時における疲れ累積係数との和も 1.0 以下となるため、補足資料「キャスク容器の応力解析の方針」 5.5 節の規定を満足する。

5.2.3 バルブカバー締付けボルトの疲れ解析

疲れ解析で考慮する事象は以下とする。

- ① バルブカバー締付けボルトの取付け・取外し
- ② 運搬時 (前方向加速度及び後方向加速度が作用する場合)
- ③ 吊上げ時
- ④ 衝突時 (輸送架台及び支持構造物への衝突)
- ⑤ 地震時 (S_d^{*}地震力及びS_s地震力が作用する場合)

①の事象において、バルブカバー締付けボルトの取付け・取外しにおけるボルト締付け力によるボルトのピーク応力強さは(5.1)式により同様に求める。また、②③④の事象におけるボルトのピーク応力強さの計算は(5.2)式、⑤の事象におけるボルトのピーク応力強さの計算は(5.3)式により同様に求める。

なお、 m_ℓ は m_r に読み替える。

ここで、 S 、 K 、 S_b 、 τ ：(5.1)式と同じ

G_1 ：(5.2)、(5.3)式と同じ

σ ：ボルト初期締付け時の応力(=209 MPa)

T_r ：ボルト締付けトルク(= N・mm)

d_s ：バルブカバー締付けボルトの最小径(= mm)

m_r ：バルブカバーの質量(=6 kg)

A ：全数のボルト最小断面積(= mm²)

ボルトのピーク応力強さと各事象の回数を考慮して定めた応力サイクル及びそれに対応するピーク応力強さの範囲(S_p)並びに各事象の繰返し回数を表5-4に示す。

繰返しピーク応力強さ(S_ℓ 、 S_ℓ')は、(5.4)式により同様に求める。

各サイクルの繰返し回数(N_c)と許容繰返し回数(N_a)との比は表5-5に示す通りとなり、設計事象Ⅰ及び設計事象Ⅱによる疲れ累積係数は1.0以下であり、地震時における疲れ累積係数との和も1.0以下となるため、補足資料「キャスク容器の応力解析の方針」5.5節の規定を満足する。

6. 穴の補強

「設計・建設規格」 PVB-3520 により貫通孔の補強が不要となることを示す。
貫通孔部の応力強さは、応力集中係数を用いて次式で計算する。

$$S_c = K \cdot S \quad \dots\dots\dots (6.1)$$

ここで、 S_c : 貫通孔部の応力強さ (MPa)

K : 応力集中係数 (=4.0 (引用文献(9)参照))

S : 貫通孔を無視した場合の一次蓋の応力強さ (MPa)

貫通孔を無視した場合の一次蓋の応力強さ (S) と貫通孔部の応力強さ (S_c) は表 6-1 に示す通りとなり、すべて許容応力を満足するため、貫通孔の補強は不要となる。

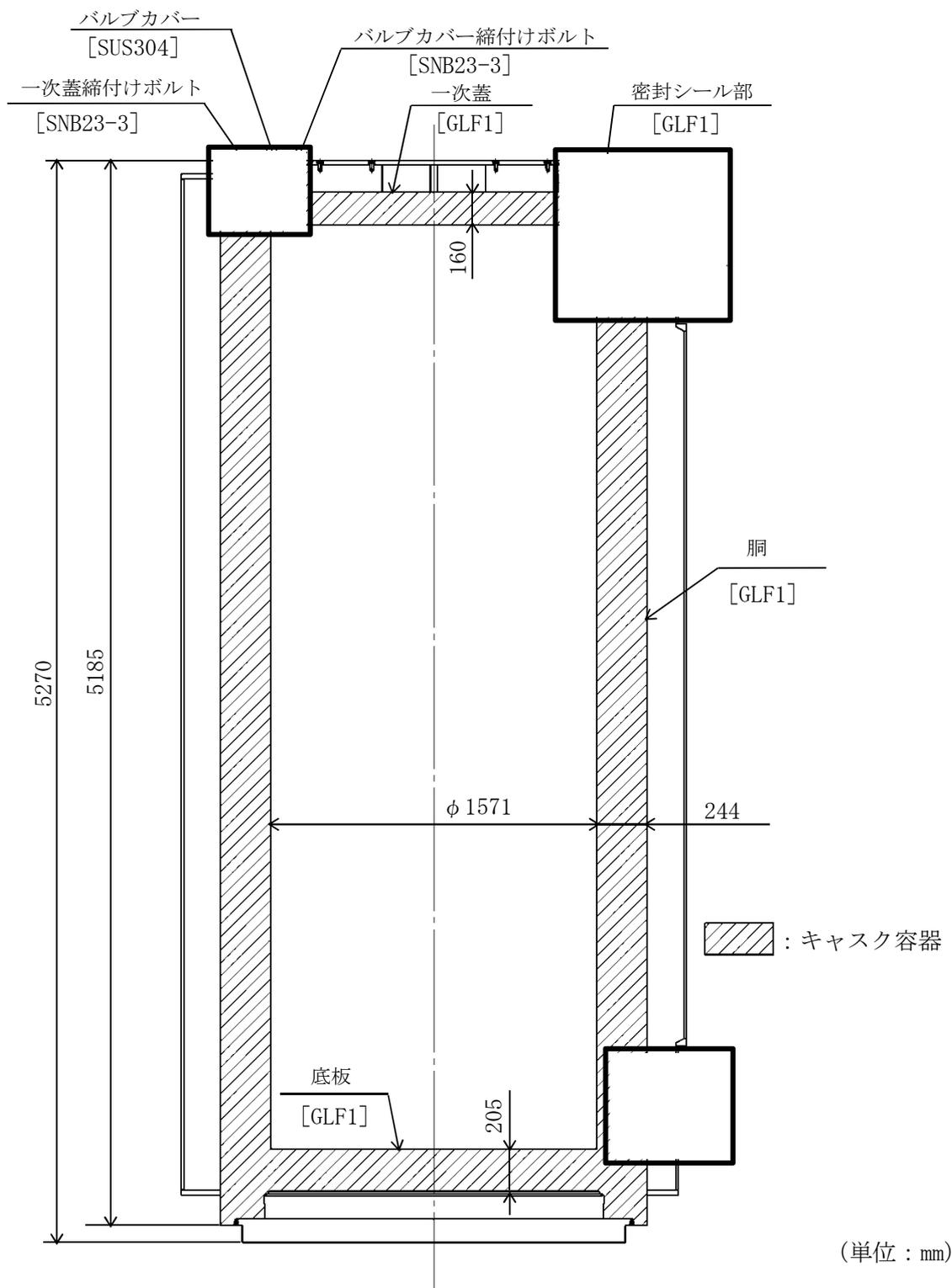


図 1-1 形状・寸法・材料

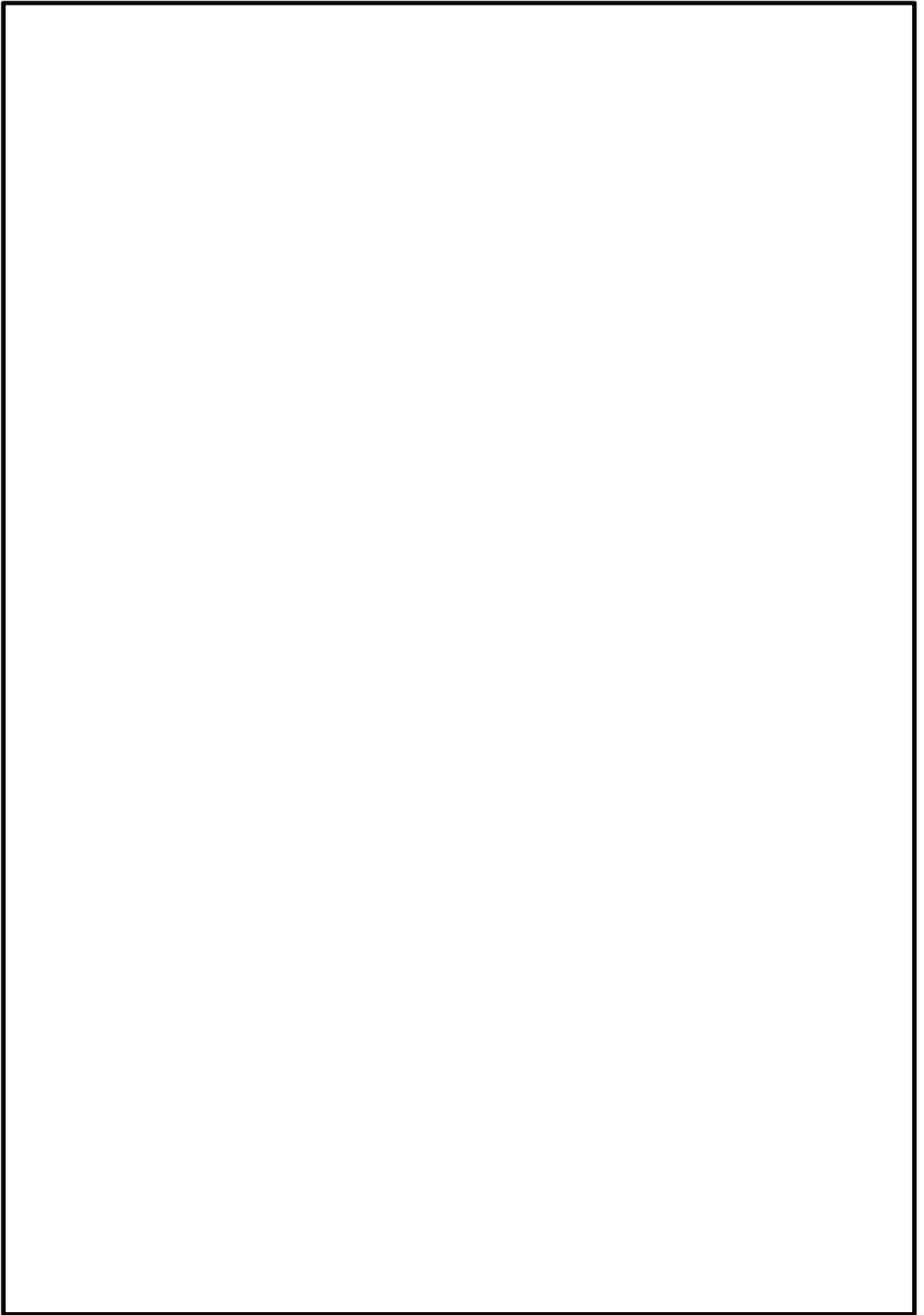
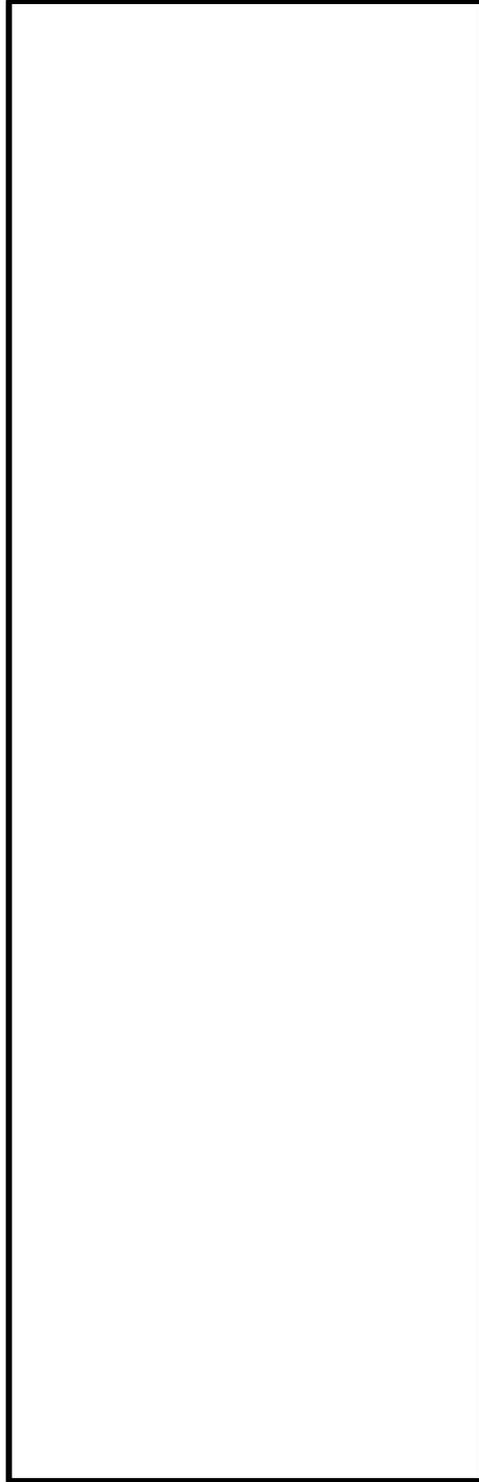
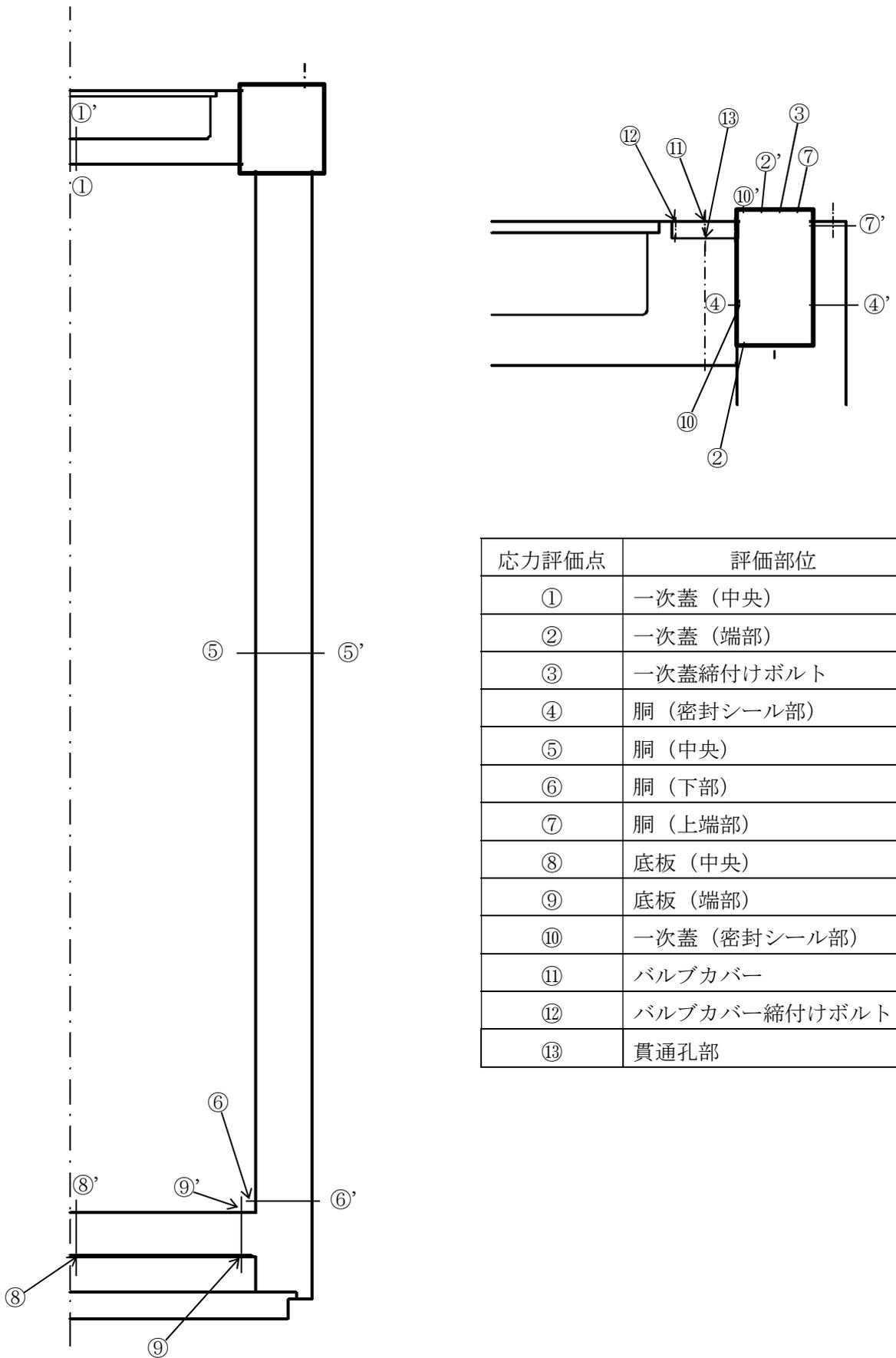


図 2-1 温度分布計算モデル



(单位：℃)

图 2-2 温度分布图 (貯蔵時)



応力評価点	評価部位
①	一次蓋（中央）
②	一次蓋（端部）
③	一次蓋締付けボルト
④	胴（密封シール部）
⑤	胴（中央）
⑥	胴（下部）
⑦	胴（上端部）
⑧	底板（中央）
⑨	底板（端部）
⑩	一次蓋（密封シール部）
⑪	バルブカバー
⑫	バルブカバー締付けボルト
⑬	貫通孔部

図 3-1 キャスク容器の応力評価点（面）

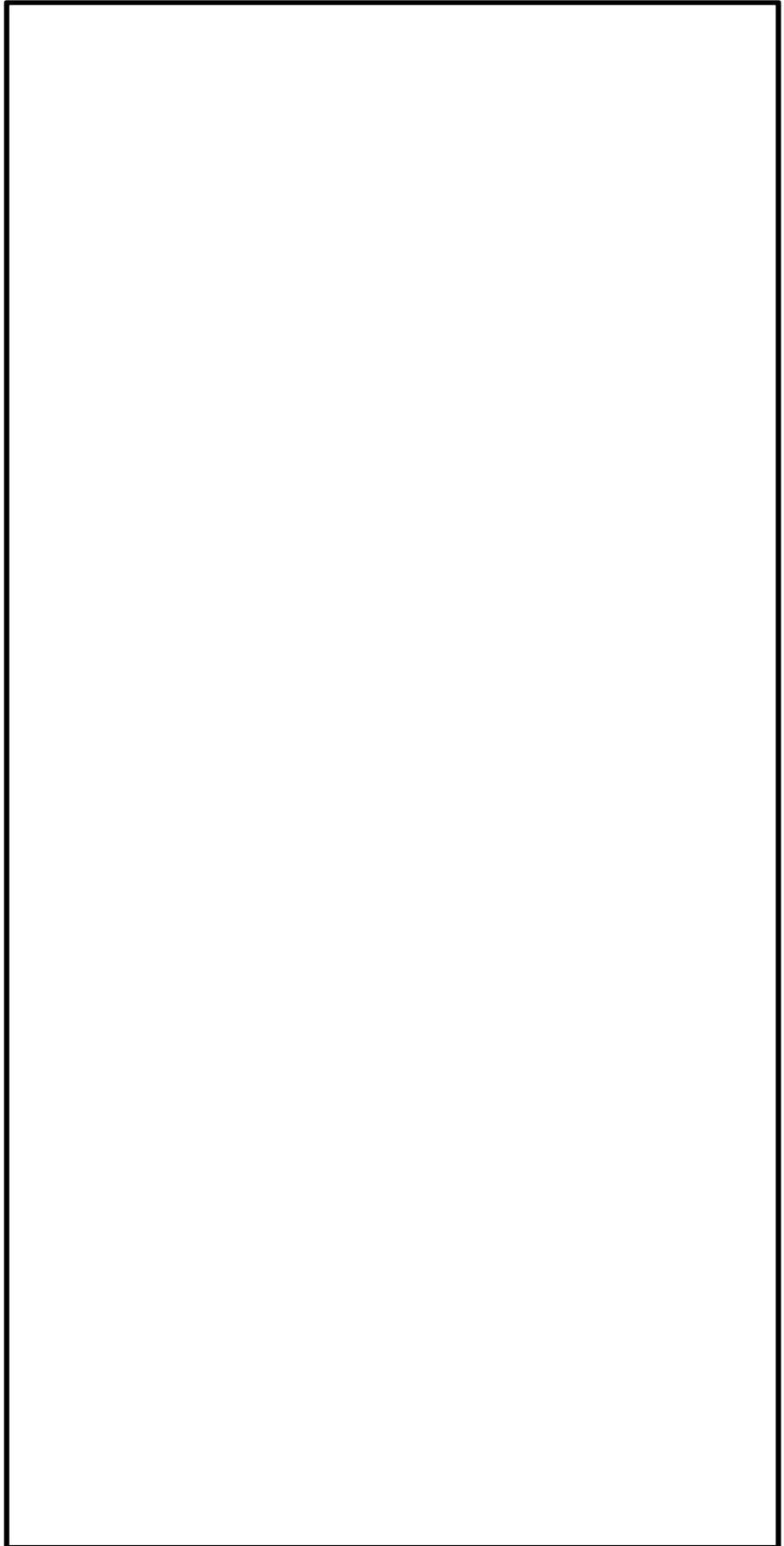


図 3-2 キヤスク容器の解析モデル
(圧力+ボルト初期締付け力作用時)

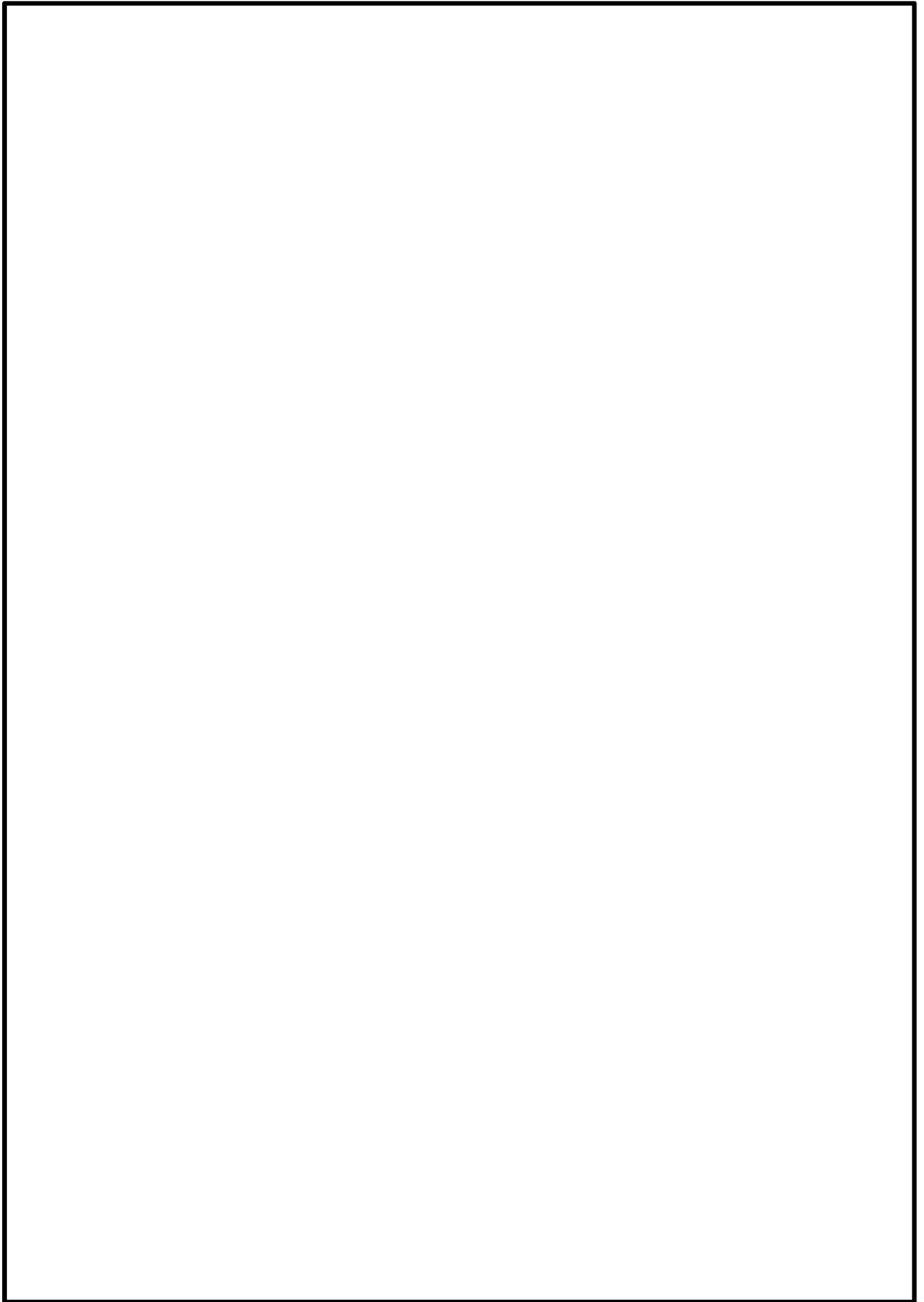
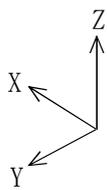


図 3-3 キャスク容器の解析モデル（地震時）

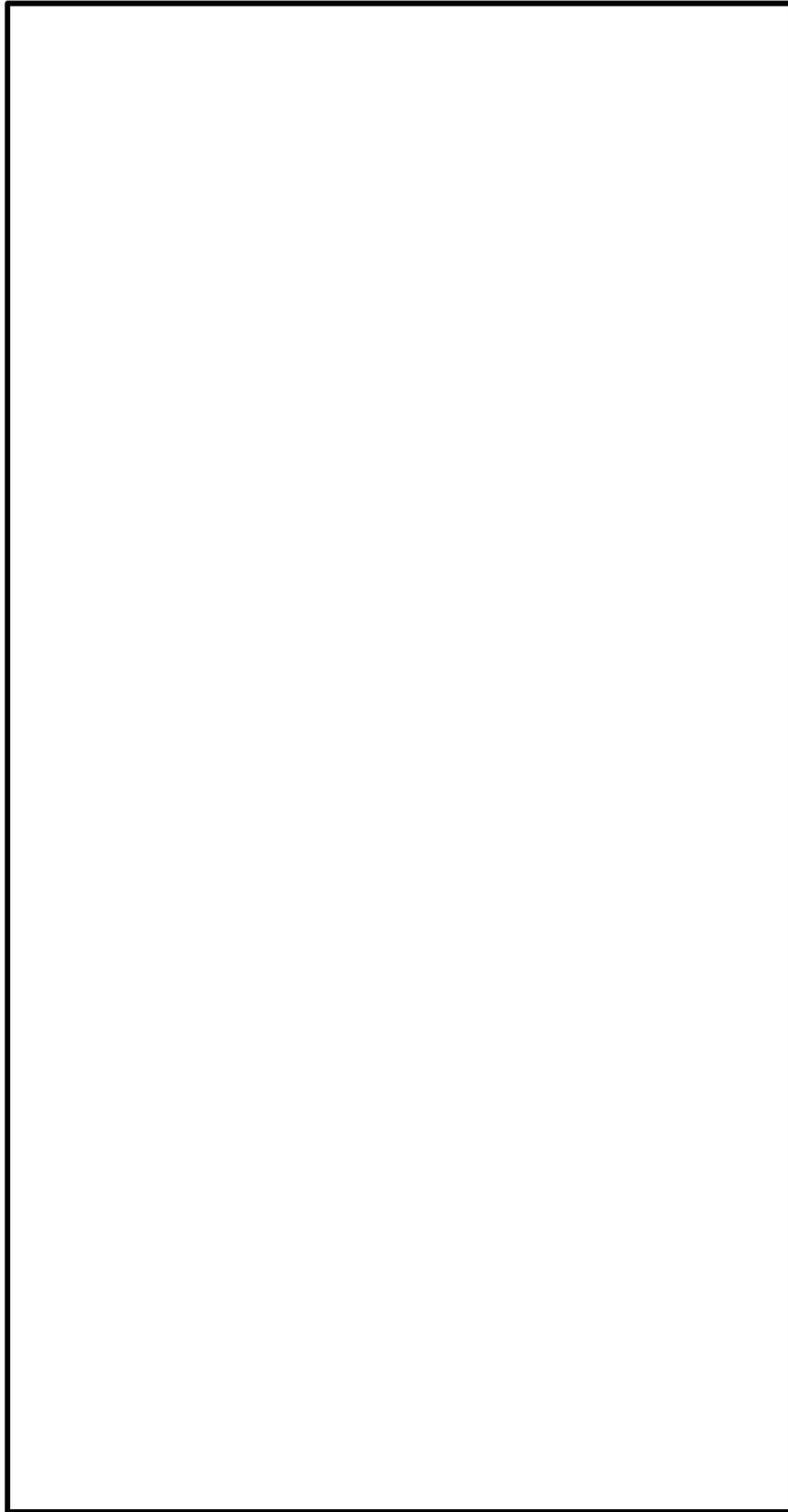


図 3-4 キャスク容器の解析モデル (熱荷重作用時)

表 1-1(1) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材 料	設計事象	一次一般膜応力強さ			一次局部膜応力強さ			一次膜+一次曲げ応力強さ			一次+二次応力強さ		
			計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点
一次 蓋	炭素鋼 (GLF1)	$I + S_d^*$	3	181	①-①'				42	271	②	28	362	②
		$I + S_s$	3	251	①-①'				42	377	②	28	362	②
胴	炭素鋼 (GLF1)	$I + S_d^*$	4	181	⑤-⑤'				27	271	⑥	123	362	⑥'
		$I + S_s$	4	251	⑤-⑤'				27	377	⑥	123	362	⑥'
底板	炭素鋼 (GLF1)	$I + S_d^*$	3	181	⑧-⑧'				11	271	⑨	45	362	⑨'
		$I + S_s$	3	251	⑧-⑧'				11	377	⑨	45	362	⑨'
密 封 シール部	炭素鋼 (GLF1)	$I + S_d^*$	10	181	⑩-⑩'				26	181	⑩	23	181	⑩
		$I + S_s$	10	181	⑩-⑩'				26	181	⑩	23	181	⑩

表 1-1(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材 料	設計事象	支圧応力		
			計算値	許容応力	評価点
底板	炭素鋼 (GLF1)	$I + S_d^*$	1	181	⑧'
		$I + S_s$	1	377	⑧'

表 1-1(3) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材 料	設計事象	平均引張応力			平均引張応力 + 曲げ応力		
			計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点
一次蓋締付けボルト	低合金鋼 (SNB23-3)	$I + S_d^*$	272	547	③	335	821	③
		$I + S_s$	272	820	③	335	820	③

表 2-1 熱伝達率の計算

ケース：貯蔵時

領域 *1	部 位	形状	温度 (K)	温度 (°C)	熱伝達率 *2 (W/(m ² ·K))
①	貯蔵容器 側面	垂直円筒	293	20	$1.55 \times \Delta T^{1/3}$
			373	100	$1.31 \times \Delta T^{1/3}$
			473	200	$1.11 \times \Delta T^{1/3}$
②	貯蔵容器 上面	上向き 水平平板	293	20	$1.57 \times \Delta T^{1/3}$
			373	100	$1.32 \times \Delta T^{1/3}$
			473	200	$1.12 \times \Delta T^{1/3}$
③	貯蔵容器 底面	下向き 水平平板	293	20	$0.546 \times \Delta T^{1/5}$
			373	100	$0.534 \times \Delta T^{1/5}$
			473	200	$0.523 \times \Delta T^{1/5}$
④	貯蔵容器 下部外筒端板	下向き 水平平板	293	20	$0.907 \times \Delta T^{1/5}$
			373	100	$0.888 \times \Delta T^{1/5}$
			473	200	$0.869 \times \Delta T^{1/5}$

注記 *1： 図 2-1 参照

*2： 熱伝達率は下記の式を用いて計算する。

$$R_a = \frac{G \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot D^3 \cdot P_r}{\nu^2}$$

$$h = 0.129 \cdot \sqrt[3]{R_a} \cdot \frac{\lambda}{D} \quad (\text{垂直円筒}) \quad *3$$

$$h = 0.13 \cdot \sqrt[3]{R_a} \cdot \frac{\lambda}{D} \quad (\text{上向き水平平板}) \quad *4$$

$$h = 0.6 \cdot \sqrt[5]{R_a} \cdot \frac{\lambda}{D} \quad (\text{下向き水平平板}) \quad *4$$

ここで R_a : レーレー数
 G : 重力加速度 (=9.80665 m/s²)
 β : 熱膨張係数 (mm/(mm·°C))
 ΔT : 周囲空気と表面の温度差 (°C)
 D : 代表長さ (m)
 P_r : プラントル数*4
 ν : 動粘性係数 (m²/s) *4
 h : 熱伝達率 (W/(m²·K))
 λ : 熱伝導率 (W/(m·K)) *4

*3： 引用文献(6)参照

*4： 引用文献(1)参照

表 3-1 キャスク容器の応力計算結果（貯蔵時：S_d*地震力が作用する場合）（1/3）

（単位：MPa）

部位	応力 評価点	応力分類	応力成分*1						計算値
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{\theta n}$	
一次蓋 (中央)	①	P _m	0.8	-0.2	0.7	1.3	0.0	0.0	3
		P _L +P _b	9.3	0.0	8.8	1.0	0.0	0.0	10
		P _L +P _b +Q*2	-1.6	0.0	-1.9	0.2	0.0	0.0	2
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
	①'	P _m	0.8	-0.2	0.7	1.3	0.0	0.0	3
		P _L +P _b	-7.7	-0.4	-7.2	1.0	0.0	0.0	8
		P _L +P _b +Q*2	1.2	0.1	1.2	0.2	0.0	0.0	2
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
一次蓋 (端部)	②	P _L	—	—	—	—	—	—	—
		P _L +P _b	4.8	-33.9	-13.5	7.4	-2.8	0.1	42
		P _L +P _b +Q*2	10.9	-8.2	-5.6	8.1	-4.7	0.2	28
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
	②'	P _L	—	—	—	—	—	—	—
		P _L +P _b	-1.8	-21.9	-8.2	-13.0	-0.3	-0.6	33
		P _L +P _b +Q*2	7.0	0.2	2.6	7.7	1.2	-0.6	17
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
一次蓋締付け ボルト	③	平均引張 応力	271.9	—	—	—	—	—	272
		平均引張応力 +曲げ応力	335.0	—	—	—	—	—	335
胴 (密封シール部)	④	P _m	-1.1	4.0	-0.2	0.8	0.0	0.1	6
		P _L +P _b	-9.1	6.4	-2.7	2.9	0.0	0.2	17
		P _L +P _b +Q	5.3	11.9	8.8	5.1	0.4	-0.3	12
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
	④'	P _m	-1.1	4.0	-0.2	0.8	0.0	0.1	6
		P _L +P _b	6.9	1.7	2.3	-1.3	0.0	-0.1	6
		P _L +P _b +Q	5.7	-0.9	3.5	-3.1	-0.4	0.0	10
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—

注記 *1： σ_n ：評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ ：周方向応力

σ_t ：評価断面に平行な方向の応力 τ_{nt} ， $\tau_{t\theta}$ ， $\tau_{\theta n}$ ：せん断応力

*2：S_d*地震力のみによる全振幅について示す。

表 3-1 キャスク容器の応力計算結果（貯蔵時： S_d^* 地震力が作用する場合）（2/3）

（単位：MPa）

部位	応力 評価点	応力分類	応力成分*1						計算値
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{\theta n}$	
胴 (中央)	⑤	P_m	0.4	-0.1	-3.2	-0.1	0.1	0.0	4
		$P_L + P_b$	—	—	—	—	—	—	—
		$P_L + P_b + Q^{*2}$	1.9	-0.3	-4.6	-0.2	0.1	-0.1	7
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
	⑤'	P_m	0.4	-0.1	-3.2	-0.1	0.1	0.0	4
		$P_L + P_b$	—	—	—	—	—	—	—
		$P_L + P_b + Q^{*2}$	4.3	-0.1	1.8	-0.1	0.1	0.0	5
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
胴 (下部)	⑥	P_L	—	—	—	—	—	—	—
		$P_L + P_b$	-10.0	-7.4	-0.2	-13.2	-1.7	-1.4	27
		$P_L + P_b + Q^{*2}$	48.6	-35.2	12.1	-19.2	-1.3	0.6	93
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
	⑥'	P_L	—	—	—	—	—	—	—
		$P_L + P_b$	-10.0	-7.4	-0.2	-13.2	-1.7	-1.4	27
		$P_L + P_b + Q^{*2}$	-92.2	2.4	-12.5	-38.2	-6.2	-6.7	123
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
胴 (上端部)	⑦	P_L	—	—	—	—	—	—	—
		$P_L + P_b$	1.4	0.6	-0.6	-0.1	-0.1	0.0	2
		$P_L + P_b + Q^{*2}$	0.2	-0.3	-0.8	-0.1	-0.1	-0.1	1
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
	⑦'	P_L	—	—	—	—	—	—	—
		$P_L + P_b$	1.4	0.6	-0.6	-0.1	-0.1	0.0	2
		$P_L + P_b + Q^{*2}$	0.2	-0.3	1.2	0.3	-0.2	0.0	2
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—

注記 *1： σ_n ：評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ ：周方向応力

σ_t ：評価断面に平行な方向の応力 τ_{nt} ， $\tau_{t\theta}$ ， $\tau_{\theta n}$ ：せん断応力

2： S_d^ 地震力のみによる全振幅について示す。

表3-1 キャスク容器の応力計算結果（貯蔵時： S_d^* 地震力が作用する場合）（3/3）

（単位：MPa）

部位	応力評価点	応力分類	応力成分*1						計算値
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{\theta n}$	
底板 (中央)	⑧	P_m	-1.4	0.0	0.8	-0.3	0.0	0.0	3
		$P_L + P_b$	-3.8	-0.1	-2.3	0.0	0.0	0.0	4
		$P_L + P_b + Q^{*2}$	-8.3	-0.3	-6.5	0.3	0.0	0.0	8
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
	⑧'	P_m	-1.4	0.0	0.8	-0.3	0.0	0.0	3
		$P_L + P_b$	0.7	0.2	2.5	0.0	0.0	0.0	3
		$P_L + P_b + Q^{*2}$	1.8	0.7	5.0	0.3	0.0	0.1	5
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	0.2	—	—	—	—	—	1
底板 (端部)	⑨	P_L	—	—	—	—	—	—	—
		$P_L + P_b$	-6.5	3.0	1.7	-2.7	-0.3	-0.4	11
		$P_L + P_b + Q^{*2}$	-26.3	-21.6	-9.4	18.5	-1.0	0.5	38
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
	⑨'	P_L	—	—	—	—	—	—	—
		$P_L + P_b$	-6.5	3.0	1.7	-2.7	-0.3	-0.4	11
		$P_L + P_b + Q^{*2}$	-36.1	7.6	-2.6	-4.0	-0.9	-1.4	45
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	0.2	—	—	—	—	—	1
一次蓋 (密封シール部)	⑩	P_m	-0.5	-9.1	-6.8	0.7	-1.1	-0.1	10
		$P_L + P_b$	2.4	-21.6	-9.1	3.6	-1.6	-0.5	26
		$P_L + P_b + Q$	-0.7	-23.2	-5.5	1.4	-0.7	0.1	23
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
	⑩'	P_m	-0.5	-9.1	-6.8	0.7	-1.1	-0.1	10
		$P_L + P_b$	9.6	7.8	2.5	-2.3	-0.5	0.3	9
		$P_L + P_b + Q$	10.7	9.9	1.6	-3.0	-1.1	0.8	12
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—

注記 *1： σ_n ：評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ ：周方向応力

σ_t ：評価断面に平行な方向の応力 τ_{nt} ， $\tau_{t\theta}$ ， $\tau_{\theta n}$ ：せん断応力

2： S_d^ 地震力のみによる全振幅について示す。

表 3-2 キャスク容器の応力計算結果（貯蔵時：S_s地震力が作用する場合）（1/3）

（単位：MPa）

部位	応力評価点	応力分類	応力成分*1						計算値
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{\theta n}$	
一次蓋 (中央)	①	P _m	0.8	-0.2	0.7	1.3	0.0	0.0	3
		P _L +P _b	9.3	0.0	8.8	1.0	0.0	0.0	10
		P _L +P _b +Q*2	-1.6	0.0	-1.9	0.2	0.0	0.0	2
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
	①'	P _m	0.8	-0.2	0.7	1.3	0.0	0.0	3
		P _L +P _b	-7.7	-0.4	-7.2	1.0	0.0	0.0	8
		P _L +P _b +Q*2	1.2	0.1	1.2	0.2	0.0	0.0	2
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
一次蓋 (端部)	②	P _L	—	—	—	—	—	—	—
		P _L +P _b	4.8	-33.9	-13.5	7.4	-2.8	0.1	42
		P _L +P _b +Q*2	10.9	-8.2	-5.6	8.1	-4.7	0.2	28
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
	②'	P _L	—	—	—	—	—	—	—
		P _L +P _b	-1.8	-21.9	-8.2	-13.0	-0.3	-0.6	33
		P _L +P _b +Q*2	7.0	0.2	2.6	7.7	1.2	-0.6	17
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
一次蓋締付け ボルト	③	平均引張 応力	271.9	—	—	—	—	—	272
		平均引張応力 +曲げ応力	335.0	—	—	—	—	—	335
胴 (密封シール部)	④	P _m	-1.1	4.0	-0.2	0.8	0.0	0.1	6
		P _L +P _b	-9.1	6.4	-2.7	2.9	0.0	0.2	17
		P _L +P _b +Q	5.3	11.9	8.8	5.1	0.4	-0.3	12
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
	④'	P _m	-1.1	4.0	-0.2	0.8	0.0	0.1	6
		P _L +P _b	6.9	1.7	2.3	-1.3	0.0	-0.1	6
		P _L +P _b +Q	5.7	-0.9	3.5	-3.1	-0.4	0.0	10
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—

注記 *1： σ_n ：評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ ：周方向応力

σ_t ：評価断面に平行な方向の応力 τ_{nt} ， $\tau_{t\theta}$ ， $\tau_{\theta n}$ ：せん断応力

*2：S_s地震力のみによる全振幅について示す。

表 3-2 キャスク容器の応力計算結果（貯蔵時：S_s地震力が作用する場合）（2/3）

（単位：MPa）

部位	応力評価点	応力分類	応力成分*1						計算値
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{\theta n}$	
胴 (中央)	⑤	P _m	0.4	-0.1	-3.2	-0.1	0.1	0.0	4
		P _L +P _b	—	—	—	—	—	—	—
		P _L +P _b +Q*2	1.9	-0.3	-4.6	-0.2	0.1	-0.1	7
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
	⑤'	P _m	0.4	-0.1	-3.2	-0.1	0.1	0.0	4
		P _L +P _b	—	—	—	—	—	—	—
		P _L +P _b +Q*2	4.3	-0.1	1.8	-0.1	0.1	0.0	5
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
胴 (下部)	⑥	P _L	—	—	—	—	—	—	—
		P _L +P _b	-10.0	-7.4	-0.2	-13.2	-1.7	-1.4	27
		P _L +P _b +Q*2	48.6	-35.2	12.1	-19.2	-1.3	0.6	93
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
	⑥'	P _L	—	—	—	—	—	—	—
		P _L +P _b	-10.0	-7.4	-0.2	-13.2	-1.7	-1.4	27
		P _L +P _b +Q*2	-92.2	2.4	-12.5	-38.2	-6.2	-6.7	123
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
胴 (上端部)	⑦	P _L	—	—	—	—	—	—	—
		P _L +P _b	1.4	0.6	-0.6	-0.1	-0.1	0.0	2
		P _L +P _b +Q*2	0.2	-0.3	-0.8	-0.1	-0.1	-0.1	1
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
	⑦'	P _L	—	—	—	—	—	—	—
		P _L +P _b	1.4	0.6	-0.6	-0.1	-0.1	0.0	2
		P _L +P _b +Q*2	0.2	-0.3	1.2	0.3	-0.2	0.0	2
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—

注記 *1： σ_n ：評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ ：周方向応力

σ_t ：評価断面に平行な方向の応力 τ_{nt} ， $\tau_{t\theta}$ ， $\tau_{\theta n}$ ：せん断応力

*2：S_s地震力のみによる全振幅について示す。

表 3-2 キャスク容器の応力計算結果（貯蔵時：S_s地震力が作用する場合）（3/3）

（単位：MPa）

部位	応力 評価点	応力分類	応力成分*1						計算値
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{\theta n}$	
底板 (中央)	⑧	P _m	-1.4	0.0	0.8	-0.3	0.0	0.0	3
		P _L +P _b	-3.8	-0.1	-2.3	0.0	0.0	0.0	4
		P _L +P _b +Q*2	-8.3	-0.3	-6.5	0.3	0.0	0.0	8
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
	⑧'	P _m	-1.4	0.0	0.8	-0.3	0.0	0.0	3
		P _L +P _b	0.7	0.2	2.5	0.0	0.0	0.0	3
		P _L +P _b +Q*2	1.8	0.7	5.0	0.3	0.0	0.1	5
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	0.2	—	—	—	—	—	1
底板 (端部)	⑨	P _L	—	—	—	—	—	—	—
		P _L +P _b	-6.5	3.0	1.7	-2.7	-0.3	-0.4	11
		P _L +P _b +Q*2	-26.3	-21.6	-9.4	18.5	-1.0	0.5	38
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
	⑨'	P _L	—	—	—	—	—	—	—
		P _L +P _b	-6.5	3.0	1.7	-2.7	-0.3	-0.4	11
		P _L +P _b +Q*2	-36.1	7.6	-2.6	-4.0	-0.9	-1.4	45
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	0.2	—	—	—	—	—	1
一次蓋 (密封シール部)	⑩	P _m	-0.5	-9.1	-6.8	0.7	-1.1	-0.1	10
		P _L +P _b	2.4	-21.6	-9.1	3.6	-1.6	-0.5	26
		P _L +P _b +Q	-0.7	-23.2	-5.5	1.4	-0.7	0.1	23
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—
	⑩'	P _m	-0.5	-9.1	-6.8	0.7	-1.1	-0.1	10
		P _L +P _b	9.6	7.8	2.5	-2.3	-0.5	0.3	9
		P _L +P _b +Q	10.7	9.9	1.6	-3.0	-1.1	0.8	12
		σ_s	—	—	—	—	—	—	—
		σ_p	—	—	—	—	—	—	—

注記 *1： σ_n ：評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ ：周方向応力

σ_t ：評価断面に平行な方向の応力 τ_{nt} ， $\tau_{t\theta}$ ， $\tau_{\theta n}$ ：せん断応力

*2：S_s地震力のみによる全振幅について示す。

表 4-1 キヤスク容器の応力評価（貯蔵時： S_d^* 地震力が作用する場合）（1/2）

（単位：MPa）

部 位	応力評価点	応力分類	計算値	許容応力
一次蓋 (中央)	①-①'	P_m	3	251
	①	$P_L + P_b$	10	271
	①'	$P_L + P_b$	8	271
	①	$P_L + P_b + Q^*$	2	362
	①'	$P_L + P_b + Q^*$	2	362
一次蓋 (端部)	②	$P_L + P_b$	42	271
	②'	$P_L + P_b$	33	271
	②	$P_L + P_b + Q^*$	28	362
	②'	$P_L + P_b + Q^*$	17	362
一次蓋締付け ボルト	③	平均引張応力	272	547
		平均引張応力+ 曲げ応力	335	821
胴 (密封シール部)	④-④'	P_m	6	181
	④	$P_L + P_b$	17	181
	④'	$P_L + P_b$	6	181
	④	$P_L + P_b + Q$	12	181
	④'	$P_L + P_b + Q$	10	181
胴 (中央)	⑤-⑤'	P_m	4	181
	⑤	$P_L + P_b + Q^*$	7	362
	⑤'	$P_L + P_b + Q^*$	5	362

注記 * : S_d^* 地震力のみによる全振幅について評価する。

表 4-1 キャスク容器の応力評価（貯蔵時： S_d^* 地震力が作用する場合）（2/2）

（単位：MPa）

部 位	応力評価点	応力分類	計算値	許容応力
胴 (下部)	⑥	$P_L + P_b$	27	271
	⑥'	$P_L + P_b$	27	271
	⑥	$P_L + P_b + Q^*$	93	362
	⑥'	$P_L + P_b + Q^*$	123	362
胴 (上端部)	⑦	$P_L + P_b$	2	271
	⑦'	$P_L + P_b$	2	271
	⑦	$P_L + P_b + Q^*$	1	362
	⑦'	$P_L + P_b + Q^*$	2	362
底板 (中央)	⑧-⑧'	P_m	3	181
	⑧'	σ_p	1	181
	⑧	$P_L + P_b$	4	271
	⑧'	$P_L + P_b$	3	271
	⑧	$P_L + P_b + Q^*$	8	362
	⑧'	$P_L + P_b + Q^*$	5	362
底板 (端部)	⑨'	σ_p	1	181
	⑨	$P_L + P_b$	11	271
	⑨'	$P_L + P_b$	11	271
	⑨	$P_L + P_b + Q^*$	38	362
	⑨'	$P_L + P_b + Q^*$	45	362
一次蓋 (密封シール部)	⑩-⑩'	P_m	10	181
	⑩	$P_L + P_b$	26	181
	⑩'	$P_L + P_b$	9	181
	⑩	$P_L + P_b + Q$	23	181
	⑩'	$P_L + P_b + Q$	12	181

注記 * : S_d^* 地震力のみによる全振幅について評価する。

表 4-2 キャスク容器の応力評価（貯蔵時：S_s地震力が作用する場合）（1/2）

（単位：MPa）

部 位	応力評価点	応力分類	計算値	許容応力
一次蓋 (中央)	①-①'	P _m	3	251
	①	P _L +P _b	10	377
	①'	P _L +P _b	8	377
	①	P _L +P _b +Q*	2	362
	①'	P _L +P _b +Q*	2	362
一次蓋 (端部)	②	P _L +P _b	42	377
	②'	P _L +P _b	33	377
	②	P _L +P _b +Q*	28	362
	②'	P _L +P _b +Q*	17	362
一次蓋締付け ボルト	③	平均引張応力	272	820
		平均引張応力+ 曲げ応力	335	820
胴 (密封シール部)	④-④'	P _m	6	181
	④	P _L +P _b	17	181
	④'	P _L +P _b	6	181
	④	P _L +P _b +Q	12	181
	④'	P _L +P _b +Q	10	181
胴 (中央)	⑤-⑤'	P _m	4	251
	⑤	P _L +P _b +Q*	7	362
	⑤'	P _L +P _b +Q*	5	362

注記 *：S_s地震力のみによる全振幅について評価する。

表 4-2 キャスク容器の応力評価（貯蔵時： S_s 地震力が作用する場合）（2/2）

（単位：MPa）

部 位	応力評価点	応力分類	計算値	許容応力
胴 (下部)	⑥	$P_L + P_b$	27	377
	⑥'	$P_L + P_b$	27	377
	⑥	$P_L + P_b + Q^*$	93	362
	⑥'	$P_L + P_b + Q^*$	123	362
胴 (上端部)	⑦	$P_L + P_b$	2	377
	⑦'	$P_L + P_b$	2	377
	⑦	$P_L + P_b + Q^*$	1	362
	⑦'	$P_L + P_b + Q^*$	2	362
底板 (中央)	⑧-⑧'	P_m	3	251
	⑧'	σ_p	1	377
	⑧	$P_L + P_b$	4	377
	⑧'	$P_L + P_b$	3	377
	⑧	$P_L + P_b + Q^*$	8	362
	⑧'	$P_L + P_b + Q^*$	5	362
底板 (端部)	⑨'	σ_p	1	377
	⑨	$P_L + P_b$	11	377
	⑨'	$P_L + P_b$	11	377
	⑨	$P_L + P_b + Q^*$	38	362
	⑨'	$P_L + P_b + Q^*$	45	362
一次蓋 (密封シール部)	⑩-⑩'	P_m	10	181
	⑩	$P_L + P_b$	26	181
	⑩'	$P_L + P_b$	9	181
	⑩	$P_L + P_b + Q$	23	181
	⑩'	$P_L + P_b + Q$	12	181

注記 * : S_s 地震力のみによる全振幅について評価する。

表 5-1 キャスク容器（ボルトを除く。）の疲労解析不要の評価結果

「設計・建設規格」 PVB-3140	繰返し荷重		設定繰返し回数	評価値	許容値	評価
(6)	機械的荷重の変動	地震力	—	応力の全振幅 $\Delta \sigma_2 = 123 \text{ MPa}$	1×10^4 回に対する許容繰返しピーク応力強さ $S = 262 \text{ MPa}$	$\Delta \sigma_2 < S$ であるので本条件に対する評価で考慮する必要がない。

表 5-2 応力差の変動 (一次蓋締付けボルト)

No.	運転条件	運転条件	S _P (MPa)
1	C02-01	C00	2240
2	C02-01	C05-01	74
3	C02-01	C04-01	63
4	CSd	—	5
5	CS _s	—	5

NT2 補② V-2-4-2-3 R0

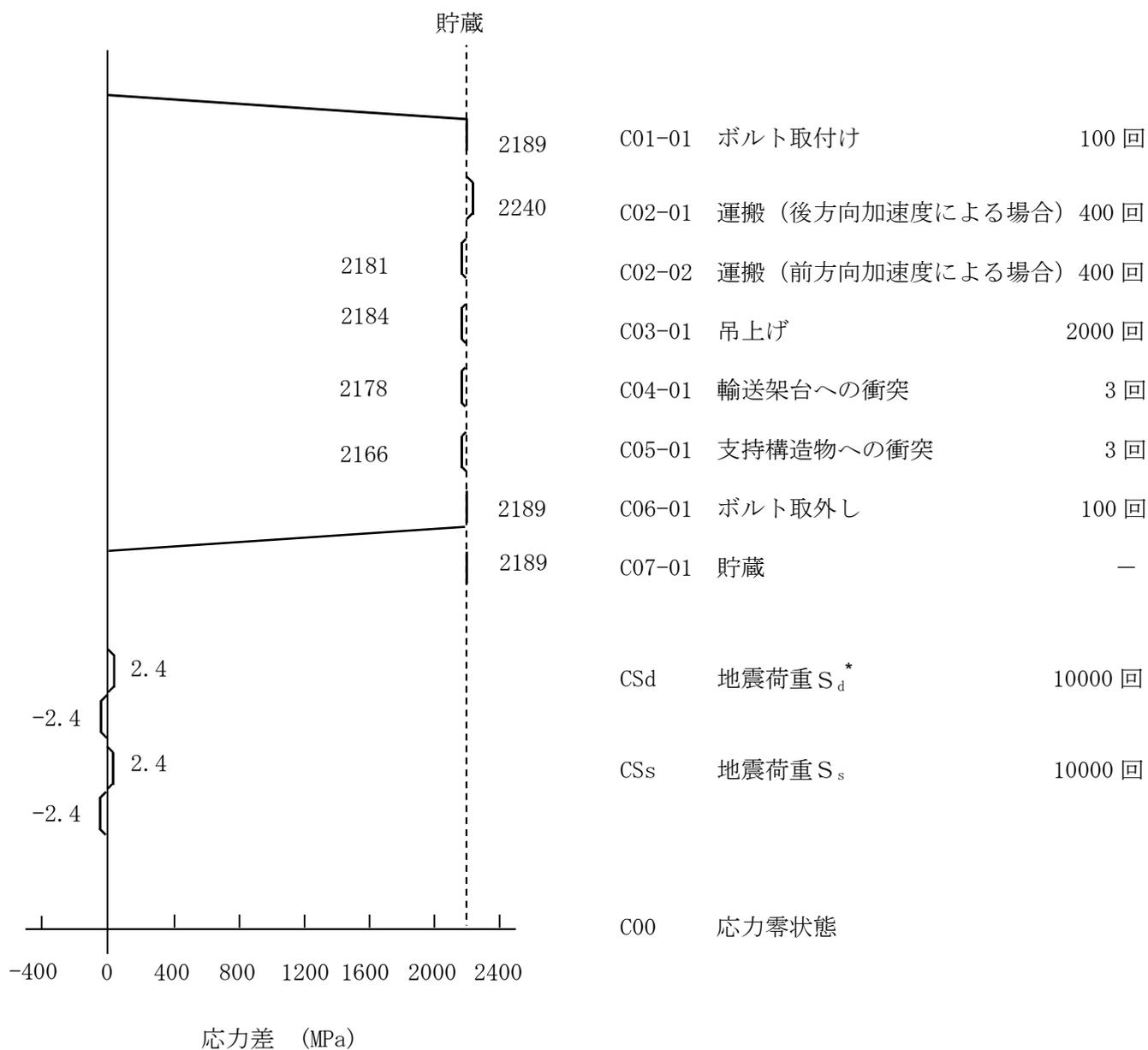


表 5-3 疲れ累積係数 (一次蓋締付けボルト)

No.	S_P^* (MPa)	S_ℓ (MPa)	S_ℓ' (MPa)	N_a	N_c	N_c/N_a
1	2240	1120	1274	240	100	0.4169
2	74	37	42	457725	3	0.0000
3	63	31	36	1000000	3	0.0000
疲れ累積係数 $U_n=0.4169$						
4	5	2	3	1000000	10000	0.0100
疲れ累積係数 $U_{Sd}=0.0100$						
5	5	2	3	1000000	10000	0.0100
疲れ累積係数 $U_{Ss}=0.0100$						
疲れ累積係数 $U_f=U_n+U_{Ss}=0.4269$						

注記 * : S_P は表 5-2 による。

表 5-4 応力差の変動 (バルブカバー締付けボルト)

No.	運転条件	運転条件	S _P (MPa)
1	C02-01	C00	1762
2	C02-01	C05-01	2
3	CSd	—	0
4	CSs	—	0

NT2 補② V-2-4-2-3 R0

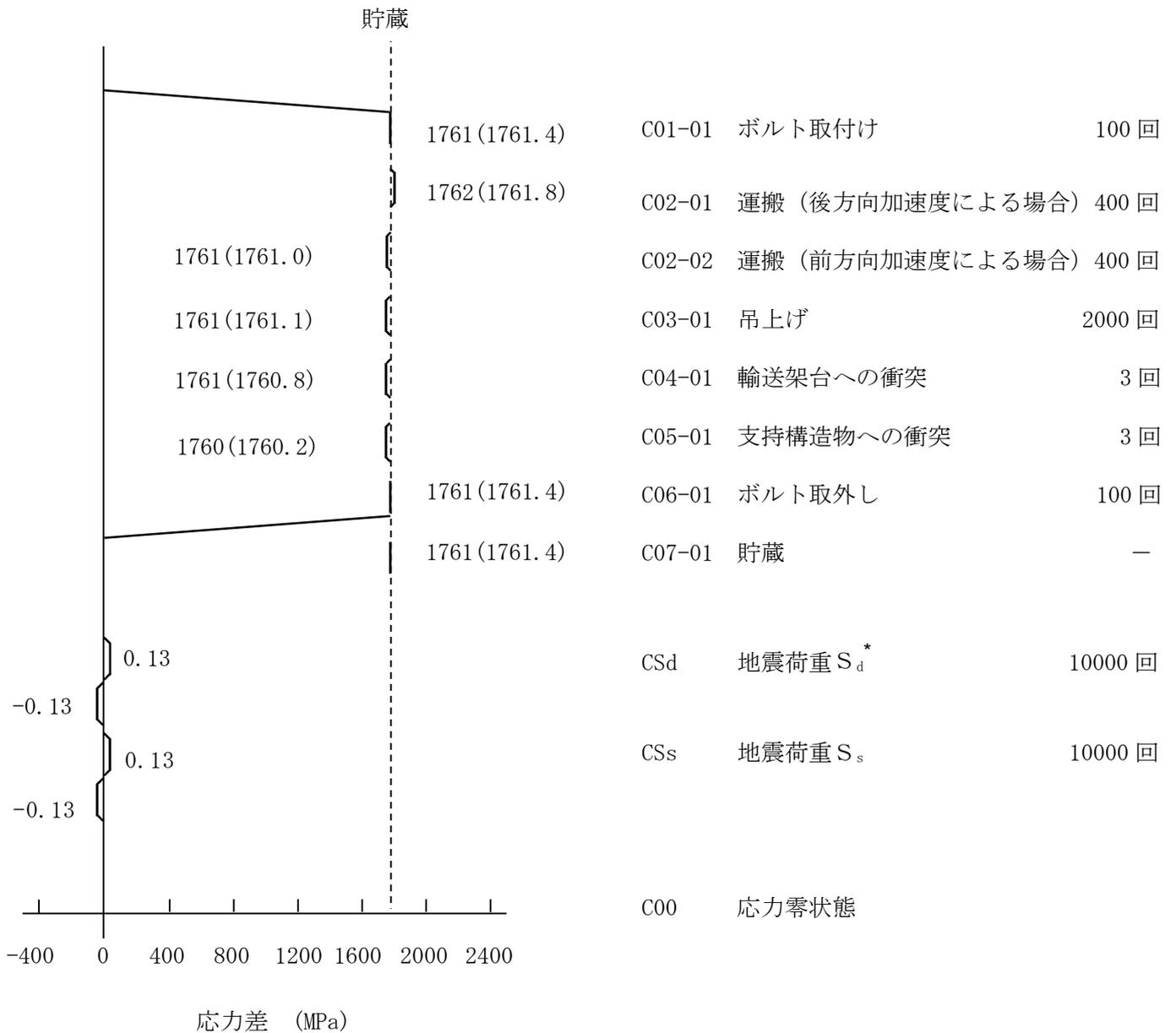


表 5-5 疲れ累積係数 (バルブカバー締付けボルト)

No.	S_P^* (MPa)	S_ℓ (MPa)	S_ℓ' (MPa)	N_a	N_c	N_c/N_a
1	1762	881	1002	367	100	0.2728
2	2	1	1	100000	3	0.0000
疲れ累積係数 $U_n=0.2728$						
3	0	0	0	1000000	10000	0.0100
疲れ累積係数 $U_{Sd}=0.0100$						
4	0	0	0	1000000	10000	0.0100
疲れ累積係数 $U_{Ss}=0.0100$						
疲れ累積係数 $U_f=U_n+U_{Ss}=0.2828$						

注記 * : S_P は表 5-4 による。

表 6-1 貫通孔部の応力強さ

(単位：MPa)

設計事象	応力評価点	応力分類	貫通孔を無視した場合の応力強さ (S)	貫通孔部の応力 (S _c)	許容応力
I + S _d *	⑬	P _L + P _b	7	29	271
	⑬	P _L + P _b + Q	7	27	362
I + S _s	⑬	P _L + P _b	7	29	377
	⑬	P _L + P _b + Q	7	27	362

V-2-4-2-3-5 キャスク容器の耐震性についての計算書③

(タイプⅢ)

目次

1. 概 要	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 計算結果の概要	1
2. 温度分布計算	2
2.1 計算方法	2
2.2 温度分布図	2
3. 応力計算	3
3.1 応力評価点	3
3.2 貯蔵時（S d * 地震力が作用する場合）	3
3.2.1 荷重条件	3
3.2.2 計算方法	3
3.2.3 計算結果	4
3.3 貯蔵時（S s 地震力が作用する場合）	4
3.3.1 荷重条件	4
3.3.2 計算方法	4
3.3.3 計算結果	4
4. 応力の評価	4
4.1 キャスク容器（ボルトを除く）の応力評価	4
4.2 ボルトの応力評価	4
4.3 特別な応力の評価	5
5. 繰返し荷重の評価	5
5.1 キャスク容器（ボルトを除く）の評価	5
5.2 ボルトの評価	9
5.2.1 設計・建設規格 PVB-3122 及び添付 4-2 3.4 に対する検討	9
5.2.2 一次蓋締付けボルトの疲労解析	9
5.2.3 バルブカバー締付けボルトの疲労解析	12
6. 穴の補強	12

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料	13
図 2-1	温度分布計算モデル	14
図 2-2	温度分布図（貯蔵時）	15
図 3-1	キャスク容器の応力評価点（面）	16
図 3-2	キャスク容器の解析モデル（圧力+ボルト初期締付け力作用時）	17
図 3-3	キャスク容器の解析モデル（地震時）	18
図 3-4	キャスク容器の解析モデル（自重作用時）	19
図 3-5	キャスク容器の解析モデル（熱荷重作用時）	20
図 5-1	応力差の変動（一次蓋締付けボルト）	21
図 5-2	応力差の変動（バルブカバー締付けボルト）	22
表 1-1	計算結果の概要	23
表 2-1	温度分布計算に用いる熱伝達率	26
表 3-1	キャスク容器の応力計算結果（貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合）	27
表 3-2	キャスク容器の応力計算結果（貯蔵時： S_s 地震力が作用する場合）	31
表 4-1	キャスク容器の応力評価（貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合）	35
表 4-2	キャスク容器の応力評価（貯蔵時： S_s 地震力が作用する場合）	37
表 5-1	キャスク容器（ボルトを除く）の疲労解析不要の評価結果	39
表 5-2	各事象の繰返し回数と許容繰返し回数（一次蓋締付けボルト）	42
表 5-3	各事象の繰返し回数と許容繰返し回数（バルブカバー締付けボルト）	42
表 6-1	貫通孔部の応力強さ	43

1. 概 要

本計算書は、キャスク容器に関する応力計算書である。

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 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、応力評価上厳しくなる代表的な評価点（面）を本計算書に記載している。

2. 温度分布計算

2.1 計算方法

温度分布計算は、解析コード A B A Q U S により行う。軸対称固体（連続体）要素による解析モデルを図 2-1 に示す。

温度分布計算に使用する外表面の熱伝達率を表 2-1 に示す。

2.2 温度分布図

2.1 項の計算により得られた温度分布を図 2-2 に示す。

3. 応力計算

3.1 応力評価点

キャスク容器の応力評価点（面）を図 3-1 に示す。

3.2 貯蔵時（ S_d^* 地震力が作用する場合）

3.2.1 荷重条件

貯蔵時において S_d^* 地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。

キャスク容器内圧（ -0.1 MPa）+ 蓋間圧力（ 0.4 MPa）+ ボルト初期締付け力 + 熱荷重 + 地震力 + 自重

3.2.2 計算方法

(1) 一次応力及び一次+二次応力

a. 胴，底板，一次蓋及び一次蓋締付けボルト

(a) 圧力及びボルト初期締付け力が作用する場合

解析コード「ABAQUS」の三次元固体（連続体）要素による解析モデルを図 3-2 に示す。

(b) 地震力が作用する場合

解析コード ABAQUS の三次元固体（連続体）要素による解析モデルを図 3-3 に示す。

加速度として次の値を用いる。

$$G_1 = 0.72 G (=7.06 \text{ m/s}^2)$$

$$G_2 = 0.36 G (=3.53 \text{ m/s}^2) \dots\dots\dots (3.1)$$

(c) 自重が作用する場合

解析コード ABAQUS の三次元固体（連続体）要素による解析モデルを図 3-4 に示す。なお，解析モデル形状は(a)と同一である。

(d) 熱荷重が作用する場合

解析コード ABAQUS の軸対称固体（連続体）要素による解析モデルを図 3-5 に示す。

熱荷重として，貯蔵時での熱解析の結果から得られたキャスク容器に生じる温度勾配による荷重を用いる。

(2) 支圧応力

バスケット底面との接触部の底板に発生する平均支圧応力（ σ_p ）は次式で計算する。

$$\sigma_p = \frac{m_G \cdot G_2}{A} \dots\dots\dots (3.2)$$

ここで，

m_G : バスケット及び燃料の質量 (= kg)

G_2 : 鉛直方向加速度 (= 1 G + 0.36 G (= 13.34 m/s²))

A : 接触面積 (= mm²)

3.2.3 計算結果

応力計算結果を表 3-1 に示す。

3.3 貯蔵時 (S_s 地震力が作用する場合)

3.3.1 荷重条件

貯蔵時において S_s 地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。

キャスク容器内圧 (-0.1 MPa) + 蓋間圧力 (0.4 MPa) + ボルト初期締付け力 + 熱荷重 + 地震力 + 自重

3.3.2 計算方法

計算方法は 3.3.2 と同様である。

ただし、

$$G_1 = 1.17 G (= 11.48 \text{ m/s}^2)$$

$$G_2 = 0.65 G (= 6.38 \text{ m/s}^2) \dots\dots\dots (3.3)$$

また、平均支圧応力算出時の加速度は $G_2 = 1 G + 0.65 G (= 16.19 \text{ m/s}^2)$ である。

3.3.3 計算結果

応力計算結果を表 3-2 に示す。

4. 応力の評価

4.1 キャスク容器 (ボルトを除く) の応力評価

各設計事象における評価を表 4-1 から表 4-5 に示す。

表 4-1 から表 4-5 より、各設計事象の一次一般膜応力強さ (P_m)、一次局部膜応力強さ (P_L)、一次膜 + 一次曲げ応力強さ ($P_L + P_b$) 及び一次応力と二次応力を加えて求めた応力解析による応力強さ ($P_L + P_b + Q$) は「応力解析の方針」5.5 項の各規定を満足する。

4.2 ボルトの応力評価

各設計事象における評価を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より、各設計事象の平均引張応力及び平均引張応力 + 曲げ応力は「応力解析の方針」5.5 項の各規定を満足する。

4.3 特別な応力の評価

(1) 純せん断応力

各設計事象において平均せん断応力 (σ_s) に該当する評価箇所がないため、評価を省略する。

(2) 支圧応力

各設計事象における評価を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より、各設計事象の平均支圧応力 (σ_p) は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

(3) 圧縮応力

各設計事象における評価を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より、各設計事象の圧縮応力 (σ_b) は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

5. 繰返し荷重の評価

5.1 キャスク容器（ボルトを除く）の評価

設計・建設規格 PVB-3140 により、疲労解析が不要となる条件を満足する評価の詳細を以下の(1)から(7)に示し、表 5-1 にその評価結果のまとめを示す。なお、燃料装荷・取出しサイクルは通常 1 回であるが、本評価においては 100 回と想定しても条件を満足することを示す。

(1) 設計・建設規格 PVB-3140(1)（大気圧－使用圧力－大気圧の変動）

大気圧から使用圧力になり、再び大気圧に戻る繰返し回数 (N_1) は、燃料装荷・取出し想定回数である 100 回として評価する。

$$N_1 = 100 \text{ (回)}$$

設計・建設規格 添付 4-2 3.1 において、設計温度における設計応力強さ $3 \cdot S_m$ (364 MPa) を繰返しピーク応力強さとした場合に、これに対応する許容繰返し回数 (N_a) は、

$$N_a = 3691 \text{ (回)}$$

である。したがって、

$$N_1 < N_a$$

であり、条件を満足する。

(2) 設計・建設規格 PVB-3140(2)（燃料装荷・取出し及び耐圧試験等を除く設計事象 I 及び設計事象 II における圧力変動）

燃料装荷、燃料取出しを除く設計事象 I 及び II における圧力変動の全振幅の許容値

(A_{m1}) は次式で計算する。

$$A_{m1} = \frac{1}{3} \cdot P \cdot \frac{S}{S_m} = 0.23 \text{ MPa} \dots\dots\dots (5.1)$$

ここで、

P : 最高使用圧力 (=1.0 MPa)

S_m : 設計応力強さ (=121 MPa)

S : 設計・建設規格 添付 4-2 3.1 において 10⁶ を許容繰返し回数とした場合に、これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (=86 MPa)

また、(5.1) 式で計算される値を超えるものにあつては、許容値 (A_{m2}) は次式で計算する。

$$A_{m2} = \frac{1}{3} \cdot P \cdot \frac{S_a}{S_m} \dots\dots\dots (5.2)$$

ここで、

S_a : 設計・建設規格 添付 4-2 3.1 において、(5.1) 式による値を超える実際の圧力変動の回数を許容繰返し回数とした場合に、これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)

(5.1) 式より、圧力変動の全振幅の許容値 (A_{m1}) は、0.23 MPa となる。設計事象 I、設計事象 II 及び地震力が作用する場合における実際の圧力は密封容器のため (5.1) 式による値の 0.23 MPa を超える変動は生じないと考えられるが、変動回数を安全側に燃料装荷・取出しサイクルにおいて 1 回とし、計 100 回として (5.2) 式を用いて評価すると、

$$S_a = 1413 \text{ MPa}$$

$$A_{m2} = 3.8 \text{ MPa}$$

となる。

したがって、燃料装荷、燃料取出しを除く設計事象 I、設計事象 II 及び地震力が作用する場合における圧力変動の全振幅を最高使用圧力 (P (=1.0 MPa)) と仮定しても、

$$P < A_{m2}$$

であり、条件を満足する。

(3) 設計・建設規格 PVB-3140(3) (燃料装荷・取出し時の温度差)

キャスク容器の任意の 2 点間の距離 (p) は次式で計算する。

$$p = 2 \sqrt{R \cdot t} = 956 \text{ mm} \dots\dots\dots (5.3)$$

ここで、

R : キャスク容器の平均半径 (=882.5 mm)

t : キャスク容器の板厚 (=259 mm)

キャスク容器の燃料装荷時及び燃料取出し時において、相互の距離が p を超えない任意の 2 点間の温度差の許容値 T は次式で計算する。なお、2 点間の平均温

度はキャスク容器の最高使用温度 ($T_{\max}=160^{\circ}\text{C}$) とする。

$$T = \frac{S_a}{2 \cdot E \cdot \alpha} = 282^{\circ}\text{C} \dots \dots \dots (5.4)$$

ここで、

E : 2点間の平均温度における縦弾性係数 ($=1.94 \times 10^5$ MPa)

α : 2点間の平均温度における瞬時熱膨張係数 ($=12.88 \times 10^{-6}$ mm/
(mm $^{\circ}\text{C}$))

S_a : 設計・建設規格 添付 4-2 3.1 において、燃料装荷・取出しの回数
(100回)を許容繰返し回数とした場合に、これに対応する繰返し
ピーク応力強さの値 ($=1413$ MPa)

したがって、任意の2点間において生じる温度差を最高使用温度 (T_{\max}) と常
温との差 ($\Delta T=140^{\circ}\text{C}$) と仮定しても、

$$\Delta T < T$$

であり、条件を満足する。

(4) 設計・建設規格 PVB-3140(4) (燃料装荷・取出し時を除く設計事象 I 及び設計事
象 II の温度差変動)

燃料装荷、燃料取出しを除く設計事象 I 及び設計事象 II において、相互の距離が
 p を超えない任意の2点間の温度差の変動の全振幅の許容値 (T) は、次式で計算
する。

$$T = \frac{S_a}{2 \cdot E \cdot \alpha} \dots \dots \dots (5.5)$$

ここで、

E, α : 5.1 (3) と同じ

S_a : 設計・建設規格 添付 4-2 3.1 において、(5.6) 式により計算し
た値を超える温度差の変動回数を許容繰返し回数とした場合に、こ
れに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)

$$T' = \frac{S}{2 \cdot E \cdot \alpha} = 17.2^{\circ}\text{C} \dots \dots \dots (5.6)$$

ここで、

T' : 温度差変動の全振幅 ($^{\circ}\text{C}$)

S : 5.1 (2) と同じ

設計事象 I, 設計事象 II 及び地震力が作用する場合においてキャスク容器は密
封容器でありかつ温度変動する加熱源を収納していないので、任意の2点間の温
度差の変動が (5.6) 式により計算した値の 17.2°C を超えることはないと考え
られるが、変動回数を安全側に燃料装荷・取出しサイクルにおいて1回とし、計100
回として (5.5) 式を用いて評価すると、

$$S_a = 1413 \text{ MPa}$$

$$T = 282 \text{ }^\circ\text{C}$$

したがって、キャスク容器の任意の 2 点間の温度差の変動の全振幅を最高使用温度 (T_{\max}) と常温との差 ($\Delta T = 140^\circ\text{C}$) と仮定しても、

$$\Delta T < T$$

であり、条件を満足する。

(5) 設計・建設規格 PVB-3140(5) (異なる材料で作られた部分の温度変動)

縦弾性係数又は熱膨張係数の値が異なる材料で作られた部分は、一次蓋と一次蓋排水バルブ部 (一次蓋ボス) の部分である。

一次蓋と一次蓋ボスの温度変動の許容値 T は次式で計算する。なお、縦弾性係数及び熱膨張係数はキャスク容器の最高使用温度 ($T_{\max} = 160^\circ\text{C}$) に対する値とする。

$$T = \frac{S}{2 \cdot (E_1 \cdot \alpha_1 - E_2 \cdot \alpha_2)} = 63 \text{ }^\circ\text{C} \dots\dots\dots (5.7)$$

ここで、

S : 設計・建設規格 添付 4-2 3.1 において、 10^6 を許容繰返し回数とした場合に、これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (= 86 MPa)

E_1 : 一次蓋の縦弾性係数 (= 1.94×10^5 MPa)

E_2 : 一次蓋ボスの縦弾性係数 (= 1.85×10^5 MPa)

α_1 : 一次蓋の瞬時熱膨張係数 (= 12.88×10^{-6} mm / (mm°C))

α_2 : 一次蓋ボスの瞬時熱膨張係数 (= 17.16×10^{-6} mm / (mm°C))

また、(5.7) 式で計算される値を超えるものにあつては、許容値 (T) は次式で計算する。

$$T = \frac{S_a}{2 \cdot (E_1 \cdot \alpha_1 - E_2 \cdot \alpha_2)} \dots\dots\dots (5.8)$$

ここで、

S_a : 設計・建設規格 添付 4-2 3.1 において、(5.7) 式により計算した値を超える温度差の変動回数を許容繰返し回数とした場合に、これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)

設計事象 I, 設計事象 II 及び地震力が作用する場合においてキャスク容器は密封容器でありかつ温度変動する加熱源を収納していないので、温度変動は、気温変動によるものと考えると、(5.7) 式により計算した値の 63°C を超えることはないと考えられるが、変動回数を安全側に燃料装荷・取出しサイクルにおいて 1 回とし、計 100 回として評価すると、

$$S_a = 1413 \text{ MPa}$$

$$T = 1045 \text{ }^\circ\text{C}$$

したがって、設計事象 I, 設計事象 II 及び地震力が作用する場合において生じる温度の変動を最高使用温度 (T_{\max}) と常温との差 ($\Delta T = 140 \text{ }^\circ\text{C}$) と仮定しても、

$$\Delta T < T$$

であり，条件を満足する。

(6) 設計・建設規格 PVB-3140(6) (機械荷重変動)

表 5-1 に示す機械的荷重による応力の全振幅は，5.2.2 項に示すすべての事象の発生回数の合計値 (3706 回) に対する許容繰返しピーク応力強さ (363 MPa) を下回っている。

なお，地震力により発生する応力についても表 5-1 に示すとおり機械的荷重により発生する応力の全振幅は， S_d^* 及び S_s 地震による繰返し回数 60 回に対する許容繰返しピーク応力強さ (1754 MPa) を下回っている。また，地震力による疲労累積係数は 1.0 を下回っていることから，

$$\Delta \sigma \leq S$$

である。

(7) 検討結果

以上の(1)から(6)より，設計・建設規格 PVB-3140 の規定を全て満足しているの
で，疲労解析を必要としない。

5.2 ボルトの評価

「応力解析の方針」5.5 項の規定に従って疲労解析を行う。なお，本項においても燃料装荷・取出しサイクルの回数を 100 回に想定しても規定を満足することを示す。

5.2.1 設計・建設規格 PVB-3122 及び添付 4-2 3.4 に対する検討

- (1) 一次蓋締付けボルト及びバルブカバー締付けボルトの最小引張強さは 1000 MPa であり，設計・建設規格 PVB-3122(2)に従い，設計疲労線図として設計・建設規格 添付 4-2 3.4 に示されるものを使用する。
- (2) ねじは三角ねじであり，ねじ底部の半径は一次蓋締付けボルトが 0.4 mm，バルブカバー締付けボルトが 0.2mm であって 0.07mm より大である。
- (3) シャンク部の直径に対するシャンク部の端の丸みの半径の比は，

$$\text{一次蓋締付けボルト：} \quad \frac{2.0}{25.5} = 0.078$$

$$\text{バルブカバー締付けボルト：} \quad \frac{1.0}{9.5} = 0.105$$

であって，0.06 以上である。

5.2.2 一次蓋締付けボルトの疲労解析

疲労解析で考慮する事象とその繰返し回数は以下とする。

- ① 運搬時（前後方向）…………… 各 800 回
- ② 吊上げ時…………… 2000 回
- ③ 支持構造物への衝突（下部トラニオンの衝突）…………… 3 回
- ④ 支持構造物への衝突（底部脚部の衝突）…………… 3 回
- ⑤ 地震時（ S_d *地震力及び S_s 地震力が作用する場合）…………… 各 60 回
- ⑥ 一次蓋締付けボルトの締付け（ゼロ応力状態→貯蔵時）…………… 100 回

①から⑤の事象において，一次蓋締付けボルトに生じる繰返しピーク応力強さは次式で計算する。

$$S_p = K \cdot \frac{m_\ell \cdot G_2}{A} \dots\dots\dots (5.9)$$

ただし，①から④の事象においては⑥の一次蓋締付けボルト締付けによるピーク応力強さが付加される。

S_p : ピーク応力強さ (MPa)

K : 一次蓋締付けボルトのねじ部の応力集中係数 (=4)

m_ℓ : 運搬時（前方向加速度時）においては（一次蓋+バスケット+燃料）の質量 (=28100 kg)
 運搬時（前方向加速度時）以外の場合は一次蓋の質量 (= kg)

G_2 : 鉛直方向加速度

- 運搬時（前後方向）…………… 19.62 m/s²
- 吊上げ時…………… 12.95 m/s²
- 支持構造物への衝突（下部トラニオンの衝突）…………… 29.42 m/s²
- 支持構造物への衝突（底部脚部の衝突）…………… 58.84 m/s²
- 地震時： S_d *…………… 3.53 m/s²
- S_s …………… 6.38 m/s²

A : 全数のボルト最小断面積 (= mm²)

⑥の一次蓋締付けボルトの締付けによるピーク応力強さは，次式で計算する。

$$\left. \begin{aligned} S_p &= K \cdot S_b \\ S_b &= \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau^2} \\ \tau &= \frac{T_r}{\pi \cdot \frac{d_s^3}{16}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.10)$$

ここで，

S_p , K : (5.9) 式と同じ。

S_b : ボルト締付け時に発生する応力強さ (=569.6 MPa)

σ : 表 4-2(3) より得られる平均引張応力の最大値 (=268 MPa)

τ : ねじり応力 (=251.3 MPa)

T_r : ボルト締付けトルク (= N・mm)

d_s : 一次蓋締付けボルトの最小径 (= mm)

以上から、ピーク応力強さの範囲は図 5-1 に示すとおりとなる。

また、繰返しピーク応力強さは次式で計算する。ただし S_p はピーク応力強さの変動範囲である。

$$S_{\ell} = \frac{1}{2} \cdot S_p \dots\dots\dots (5.11)$$

設計・建設規格 添付 4-2 3.4 (4) のとおり、 (2.07×10^5) と材料の使用温度における縦弾性係数 ($E = 1.83 \times 10^5$ MPa) の比を繰返しピーク応力強さに乗じて補正する。

$$S_{\ell}' = S_{\ell} \cdot \frac{2.07 \times 10^5}{E} \dots\dots\dots (5.12)$$

設計・建設規格 添付 4-2 3.4 により、補正した繰返しピーク応力強さ (S_{ℓ}') に対する許容繰返し回数を求める。各応力サイクルの繰返し回数と許容繰返し回数との比は表 5-2 に示すとおりとなり、疲労累積係数は次式で計算する。

$$U = \sum \left(\frac{N_c}{N_a} \right) \dots\dots\dots (5.13)$$

ここで、

U : 疲労累積係数 (—)

N_c : 繰返し回数 (回)

N_a : 許容繰返し回数 (回)

したがって、表 5-2 に示すとおり設計事象 I 及び設計事象 II による疲労累積係数は 1.0 以下であり、地震時における疲労累積係数との和も 1.0 以下となるため「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

5.2.3 バルブカバー締付けボルトの疲労解析

バルブカバー締付けボルトの疲労解析は一次蓋締付けボルトの場合と同様である。

ただし、

m_ℓ : バルブカバーの質量 (= kg)

A : 全数のボルト最小断面積 (= mm²)

d_s : バルブカバー締付けボルトの最小径 (= mm)

である。

ピーク応力強さの範囲は図 5-2 に示すとおりであり、各応力サイクルの繰返し回数と許容繰返し回数との比は表 5-3 に示すとおりである。

したがって、表 5-3 に示すとおり設計事象 I 及び設計事象 II による疲労累積係数は 1.0 以下であり、地震時における疲労累積係数との和も 1.0 以下となるため「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

6. 穴の補強

設計・建設規格 PVB-3520 により貫通孔の補強が不要となることを示す。

貫通孔部の応力強さは、応力集中係数を用いて次式で計算する。

$$S_c = K \cdot S \dots\dots\dots (6.1)$$

ここで、

S_c : 貫通孔部の応力強さ (MPa)

K : 応力集中係数 (= 4.0 (引用文献(5)参照)) (-)

S : 貫通孔を無視した場合の一次蓋の応力強さ (MPa)

貫通孔を無視した場合の一次蓋の応力強さ (S) は表 4-1 及び表 4-2 より求められる。

したがって、貫通孔部の応力強さ (S_c) は表 6-1 に示すとおりとなり、すべて許容応力を満足するため、貫通孔の補強は不要となる。

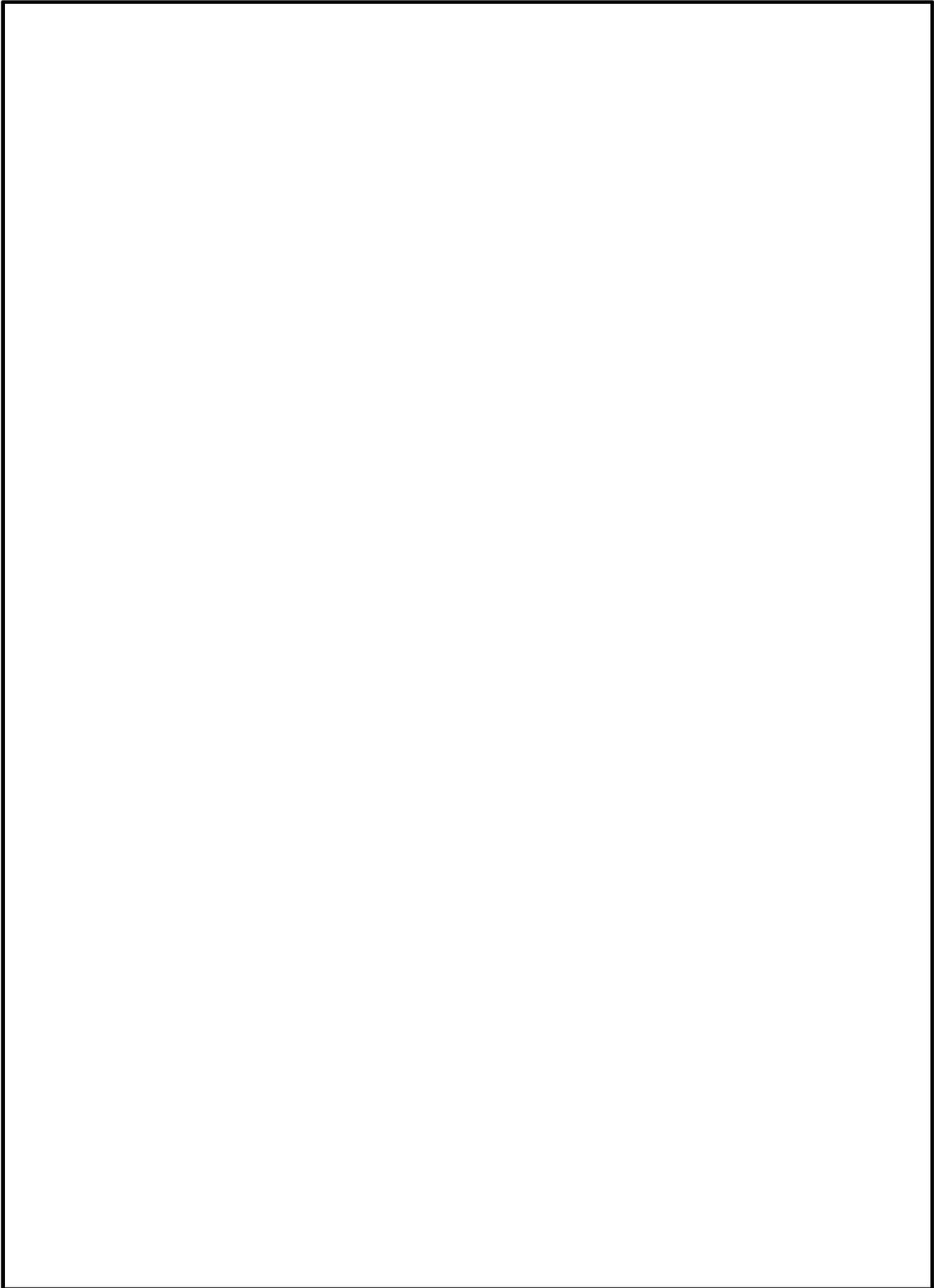


図 1-1 形状・寸法・材料

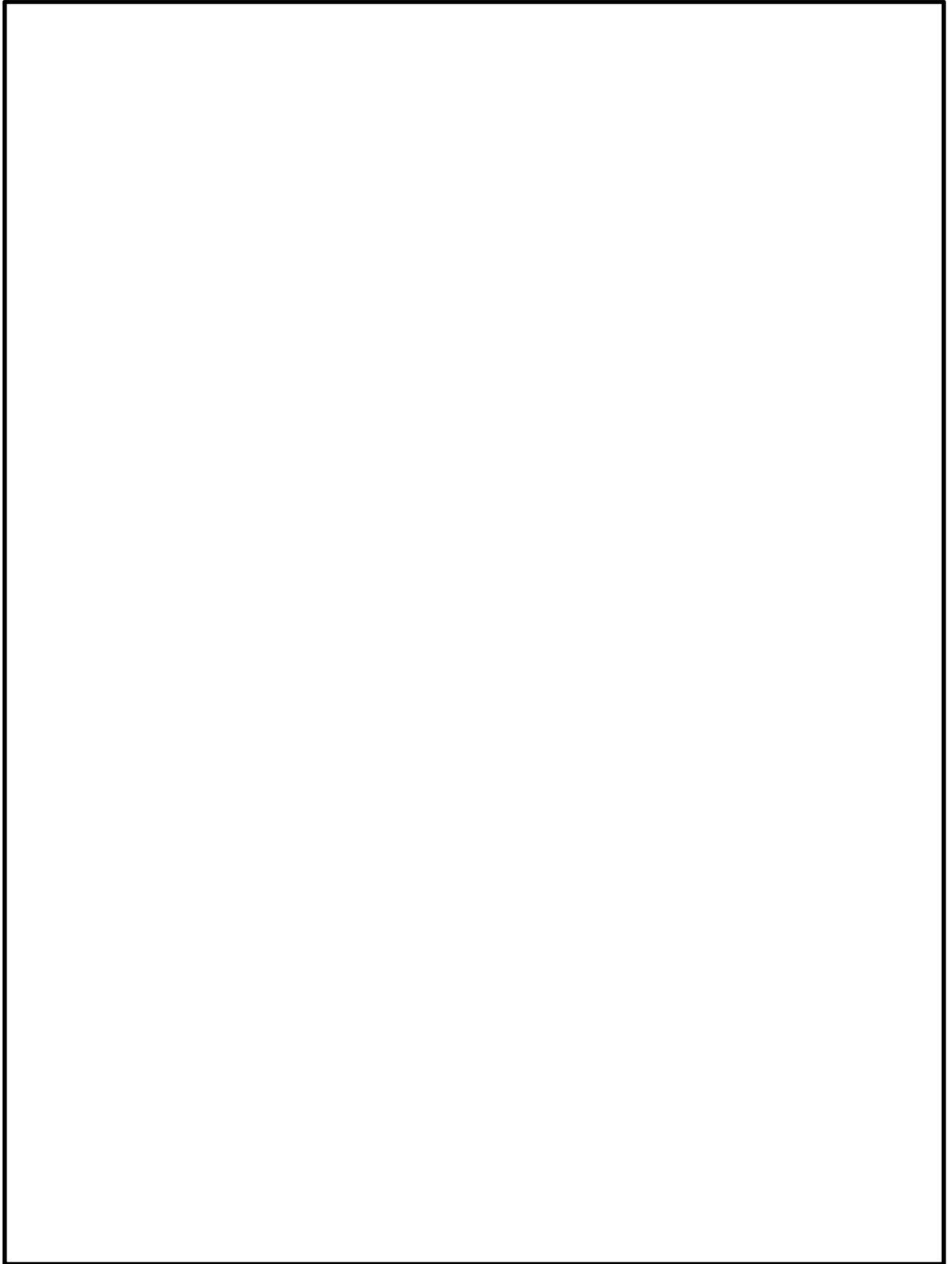


図 2-1 温度分布計算モデル

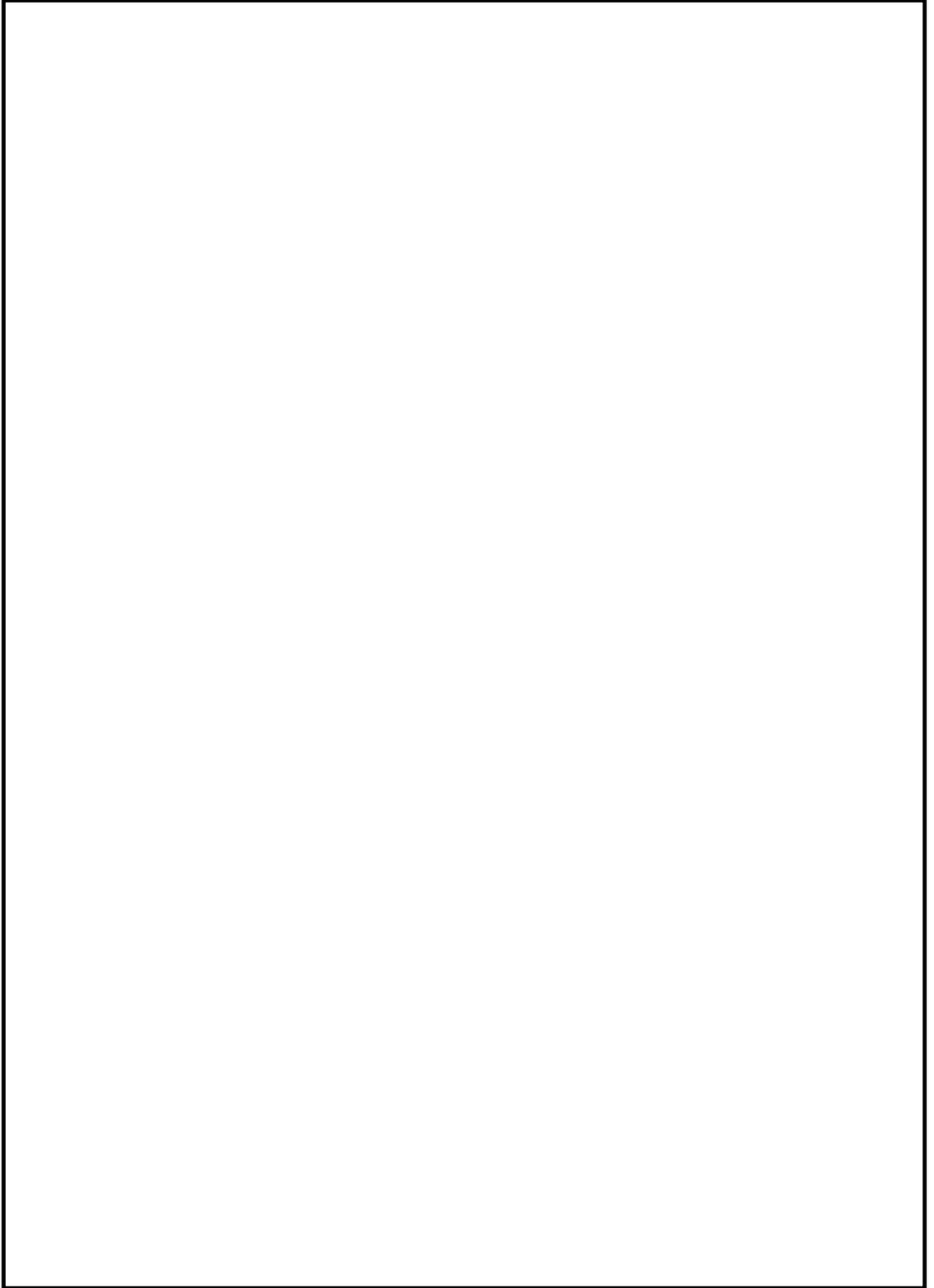


図 2-2 温度分布図（貯蔵時）

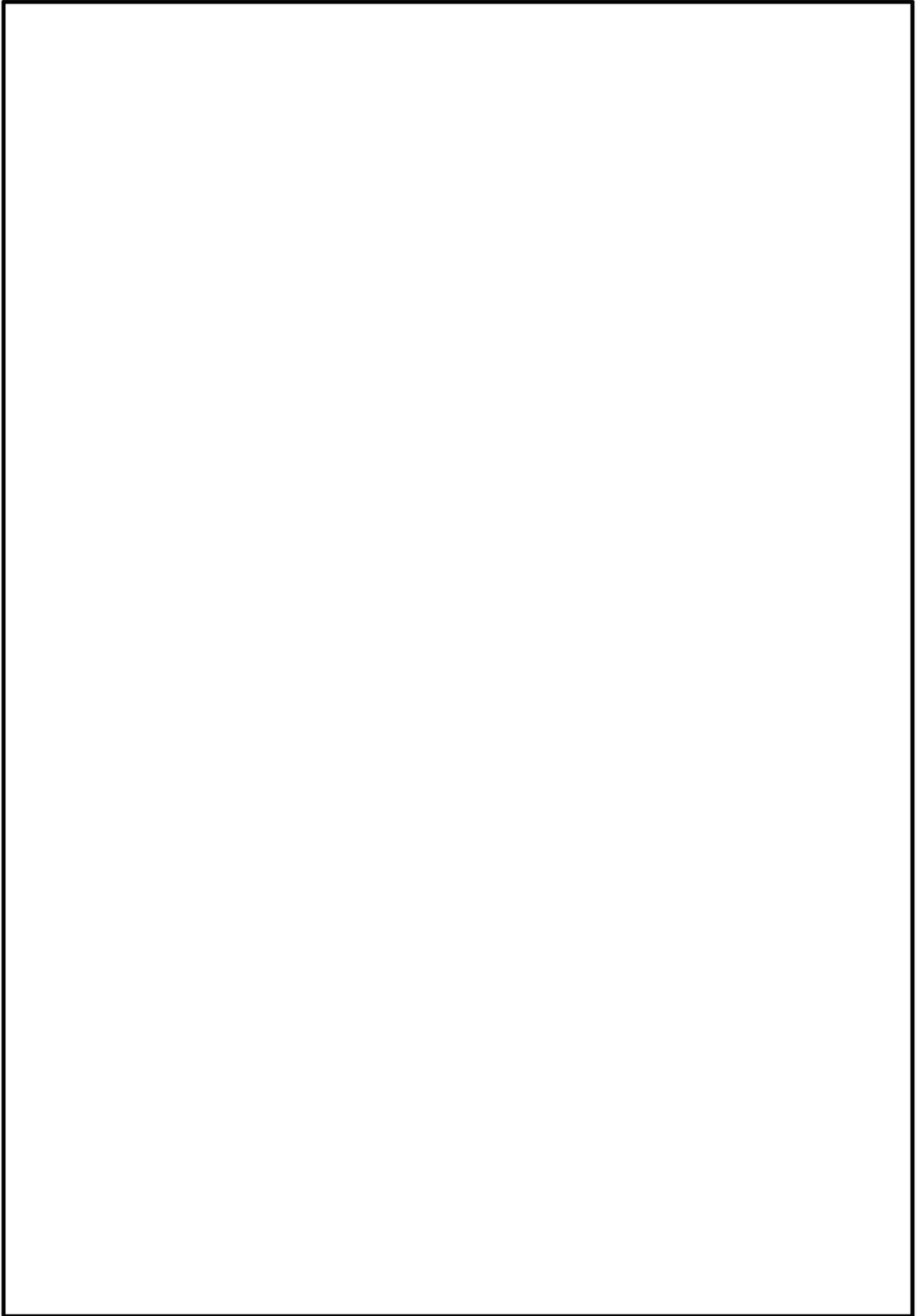


図 3-1 キャスク容器の応力評価点（面）

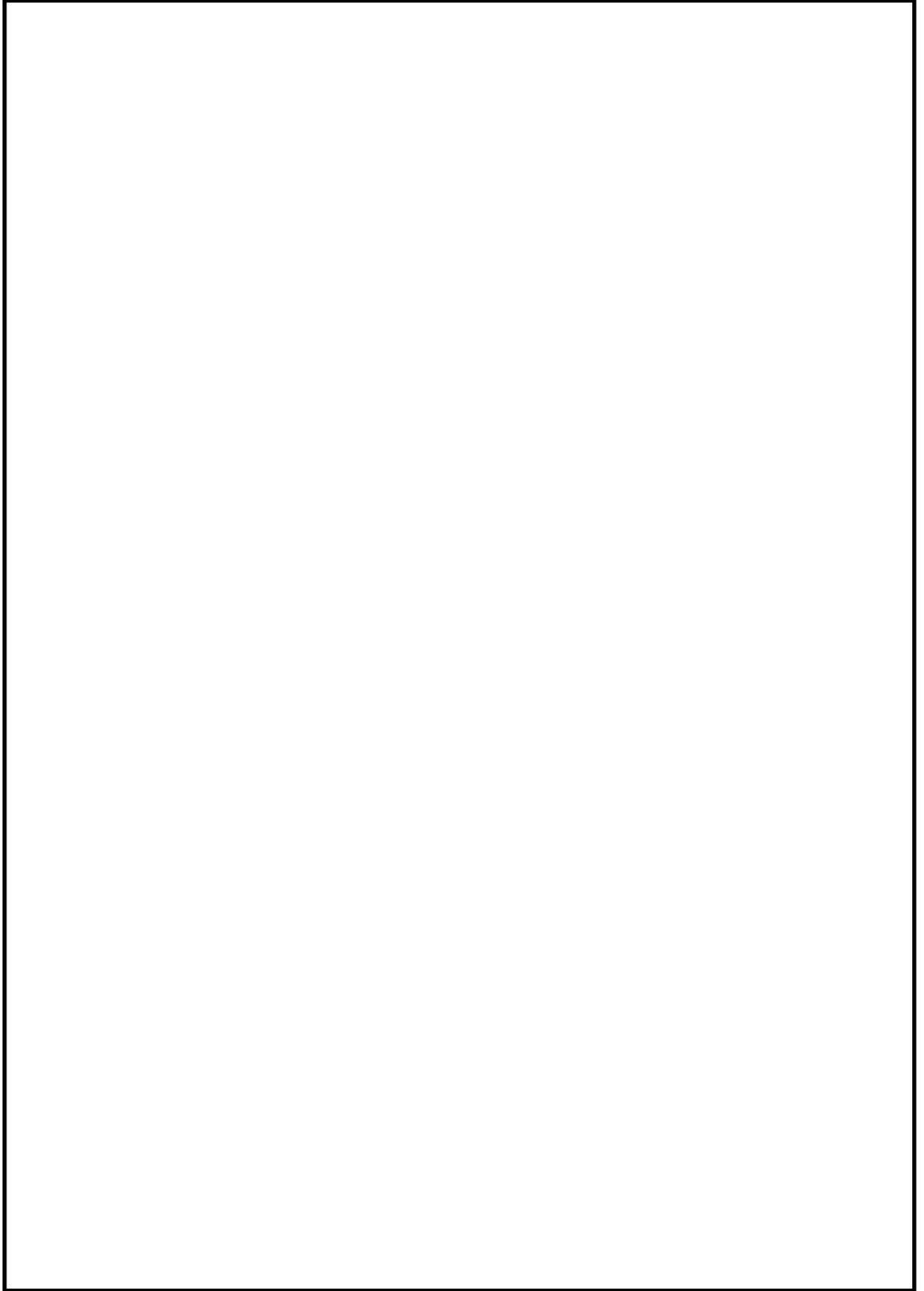


図 3-2 キャスク容器の解析モデル（圧力+ボルト初期締付け力作用時）

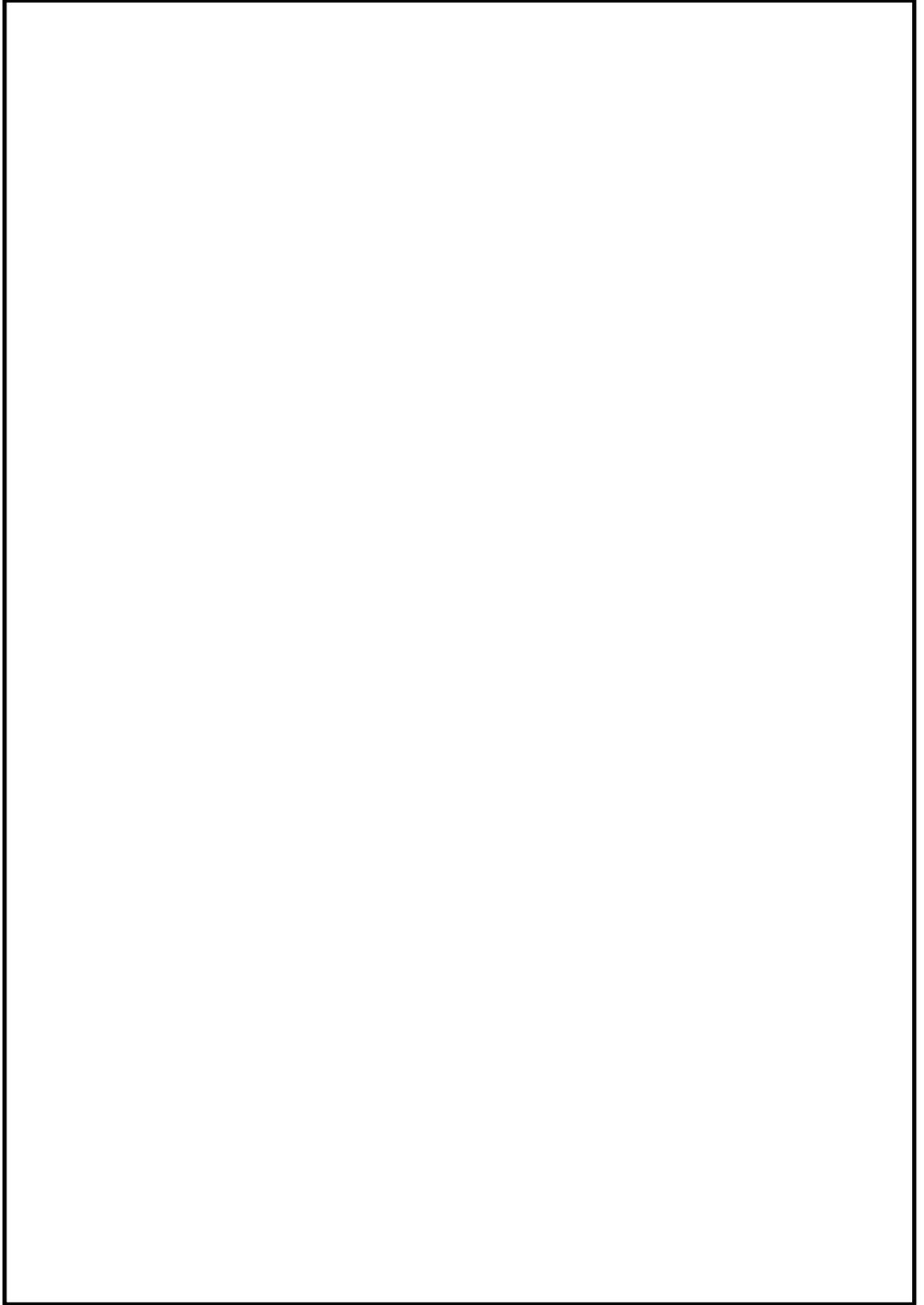


図 3-3 キャスク容器の解析モデル（地震時）

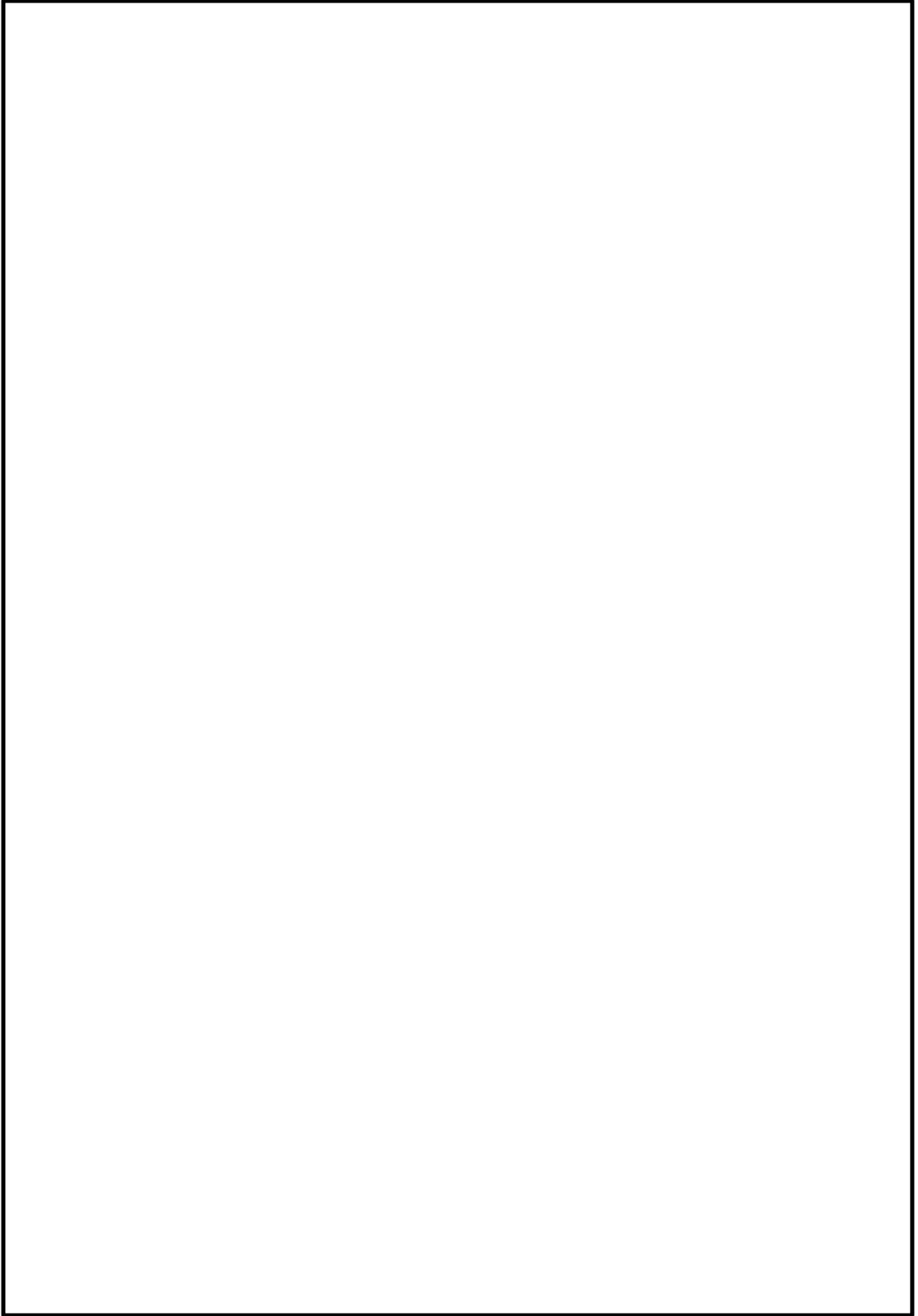


図 3-4 キャスク容器の解析モデル（自重作用時）

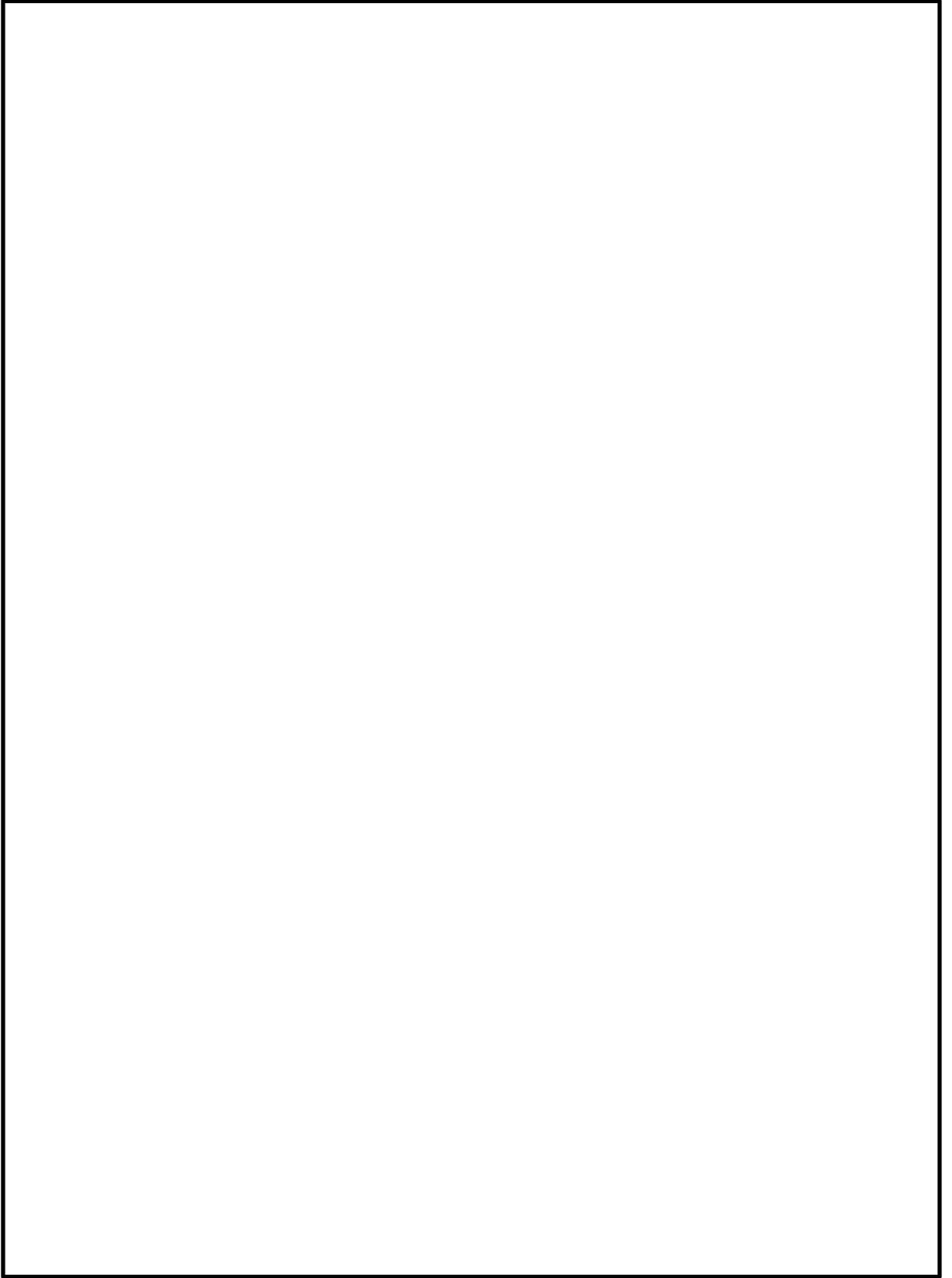
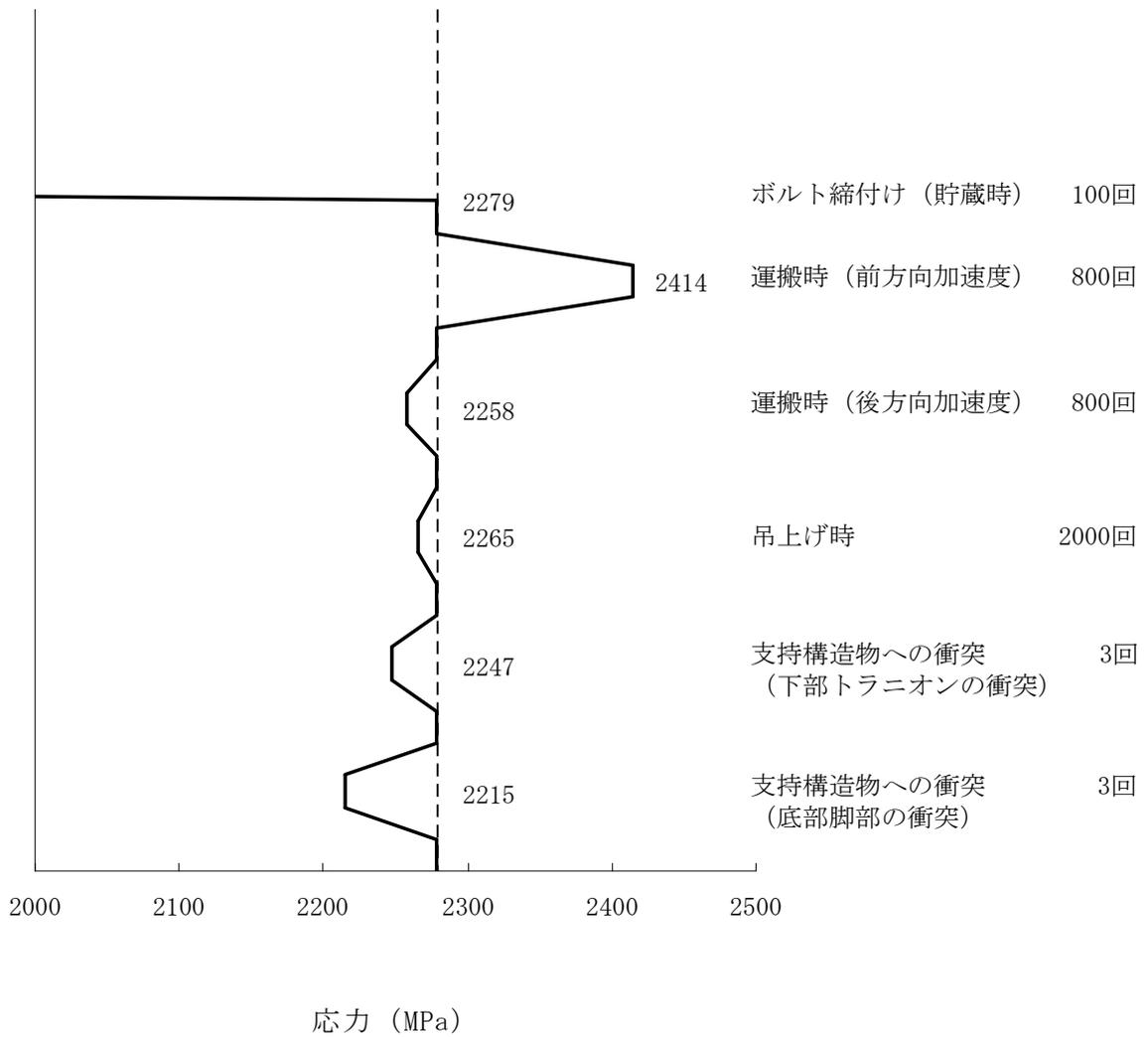


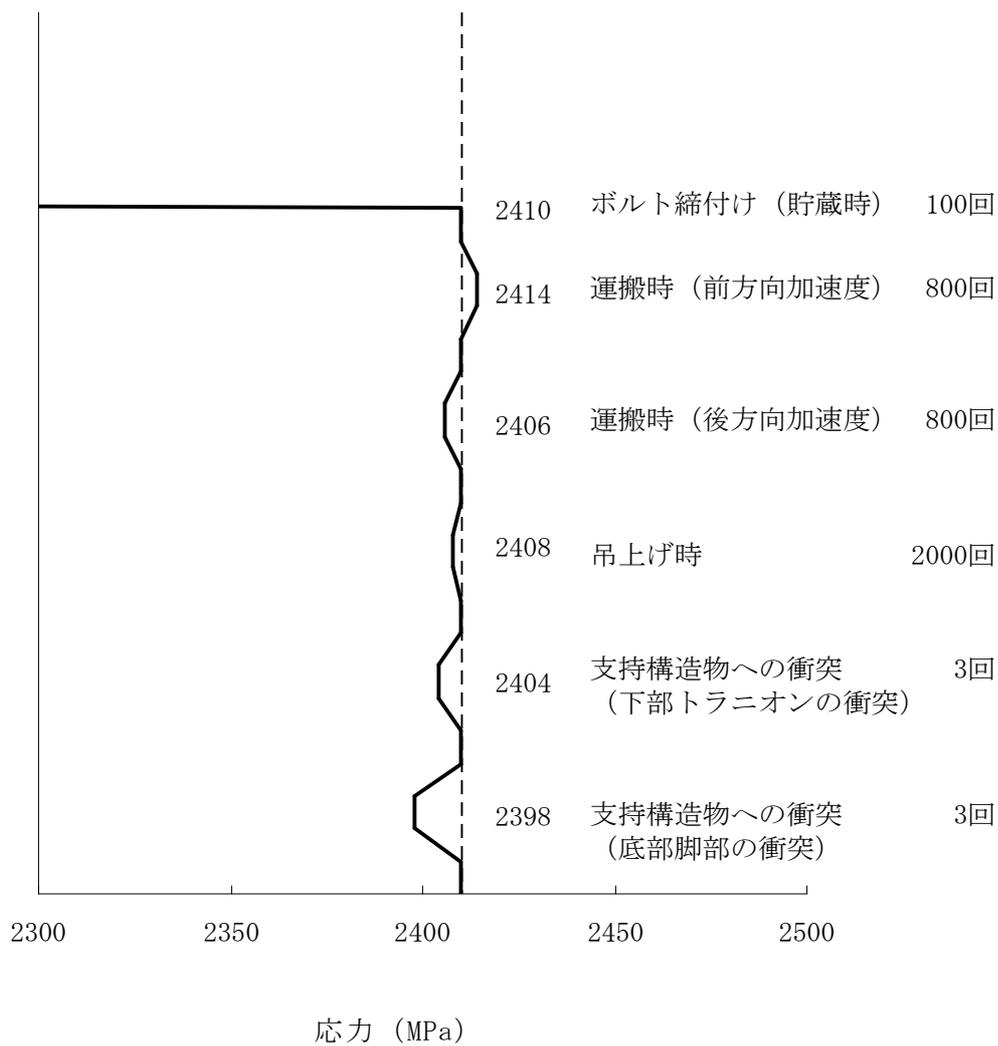
図 3-5 キャスク容器の解析モデル（熱荷重作用時）



(単位 : MPa)

No.	運転条件	運転条件	S _p
1	運搬時 (前方向加速度)	ゼロ応力状態	2414
2	運搬時 (前方向加速度)	支持構造物への衝突 (底部脚部の衝突)	199
3	運搬時 (前方向加速度)	支持構造物への衝突 (下部トラニオンの衝突)	167
4	運搬時 (前方向加速度)	運搬時 (後方向加速度)	156
5	貯蔵時	運搬時 (後方向加速度)	21
6	貯蔵時	吊上げ時	14

図 5-1 応力差の変動 (一次蓋締付けボルト)



(単位 : MPa)

No.	運転条件	運転条件	S_p
1	運搬時 (前方向加速度)	ゼロ応力状態	2414
2	運搬時 (前方向加速度)	支持構造物への衝突 (底部脚部の衝突)	16
3	運搬時 (前方向加速度)	支持構造物への衝突 (下部トラニオンの衝突)	10
4	運搬時 (前方向加速度)	運搬時 (後方向加速度)	8
5	貯蔵時	運搬時 (後方向加速度)	4
6	貯蔵時	吊上げ時	2

図 5-2 応力差の変動 (バルブカバー締付けボルト)

表 1-1(1) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材 料	設計事象	一次一般膜応力強さ			一次局部膜応力強さ			一次膜+一次曲げ応力強さ			一次+二次応力強さ		
			計算値	許容 応力	評価点 (面)	計算値	許容 応力	評価点 (面)	計算値	許容 応力	評価点 (面)	計算値	許容 応力	評価点 (面)
一次蓋	GLF1	I + S _d [*]	2	182	①-①'		7	273	①	1 [*]	364	①		
		I + S _s	2	251	①-①'		7	377	①	1 [*]	364	②'		
胴	GLF1	I + S _d [*]	3	182	④'		13	273	⑤'	29 [*]	364	⑤'		
		I + S _s	3	251	④'		22	377	⑤'	48 [*]	364	⑤'		
底 板	GLF1	I + S _d [*]	2	182	⑥-⑥'		33	273	⑦'	62 [*]	364	⑦'		
		I + S _s	3	251	⑥-⑥'		53	377	⑦'	102 [*]	364	⑦'		
密 封 シール部	GLF1	I + S _d [*]	4	182	⑧		9	182	⑧	1 [*]	182	⑧		
		I + S _s	4	182	⑧		9	182	⑧	1 [*]	182	⑧		

注記 *：地震力のみによる全振幅を示す。

表 1-1(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材 料	設計事象	一次一般膜応力強さ			一次局部膜応力強さ			一次膜+一次曲げ応力強さ			一次+二次応力強さ		
			計算値	許容 応力	評価点 (面)	計算値	許容 応力	評価点 (面)	計算値	許容 応力	評価点 (面)	計算値	許容 応力	評価点 (面)
バルブカバー	SUSF304	$I + S_d^*$												
		$I + S_s$												

部 位	材 料	設計事象	平均引張応力			平均引張応力+曲げ応力		
			計算値	許容応力	評価点 (面)	計算値	許容応力	評価点 (面)
一次蓋締付け ボルト	SNB23-3	$I + S_d^*$	267	550	③	276	826	③
		$I + S_s$	267	825	③	279	825	③
バルブカバー 締付けボルト	SNB23-3	$I + S_d^*$						
		$I + S_s$						

表 1-1 (3) 計算結果の概要

(単位 : MPa)

部 位	材 料	設計事象	支 圧 応 力			圧 縮 応 力		
			計算値	許容応力	評価点 (面)	計算値	許容応力	評価点 (面)
一次蓋	GLF1	$I + S_d^*$						
		$I + S_s$						
胴	GLF1	$I + S_d^*$						
		$I + S_s$						
底板	GLF1	$I + S_d^*$	7	182	⑥			
		$I + S_s$	9	377	⑥			

表 2-1 温度分布計算に用いる熱伝達率

適用条件	対象部位	熱伝達率
垂直平板	貯蔵時：胴部 運搬時：二次蓋, 底板	$h_1 = 0.13 \sqrt[3]{R_a} \cdot \frac{\lambda}{D}$ *1
水平平板	貯蔵時：二次蓋 運搬時：－	$h_2 = 0.14 \sqrt[3]{R_a} \cdot \frac{\lambda}{D}$ *1
水平円筒	貯蔵時：－ 運搬時：胴部	$h_3 = 0.10 \sqrt[3]{R_a} \cdot \frac{\lambda}{D}$ *2
水平平板 (加熱下向)	貯蔵時：底板 運搬時：－	$h_4 = 0.0117 \sqrt[3]{R_a} \cdot \frac{\lambda}{D}$ *2

ここで

R_a : レーレー数

$$R_a = \frac{G \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot D^3}{\nu^2} \cdot P_r$$

P_r : プラントル数 (－)

G : 重力加速度 (=9.80665 m/s²)

β : 体膨張係数 (1/K)

ΔT : 周囲空気と表面の温度差 (K)

D : 代表長さ (m)

ν : 動粘性係数 (m²/s)

λ : 熱伝導率 (w/(m・K))

注記 *1: 「応力解析の方針」7. 引用文献(6)参照

*2: 「応力解析の方針」7. 引用文献(1)参照

表 3-1 キヤスク容器の応力計算結果（貯蔵時：S_d*地震力が作用する場合）（1/4）

（単位：MPa）

部 位	評価点 (面)	応力分類	応力成分 *1						計算値
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{\theta n}$	
一次蓋	①	P _m							2
		P _L +P _b							7
		P _L +P _b +Q *2							1
		σ_p							—
	①'	P _m							2
		P _L +P _b							6
		P _L +P _b +Q *2							1
		σ_p							—
	②	P _m							—
		P _L +P _b							6
		P _L +P _b +Q *2							1
		σ_p							—
	②'	P _m							—
		P _L +P _b							7
		P _L +P _b +Q *2							1
		σ_p							—
一次蓋 締め付けボルト	③	平均引張応力							267
		平均引張応力 + 曲げ応力							276
胴	④	P _m							2
		P _L +P _b							—
		P _L +P _b +Q *2							2
		σ_p							—
	④'	P _m							3
		P _L +P _b							—
		P _L +P _b +Q *2							3
		σ_p							—

注記 *1： σ_n ：評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ ：円周方向応力
 σ_t ：評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{\theta n}$ ：評価断面上のせん断応力
 *2： S_d*地震力のみによる全振幅について示す

表 3-1 キヤスク容器の応力計算結果（貯蔵時：S_d*地震力が作用する場合）（2/4）

（単位：MPa）

部 位	評価点 (面)	応力分類	応力成分 *1						計算値
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{\theta n}$	
胴	⑤	P _m							—
		P _L +P _b							6
		P _L +P _b +Q *2							15
		σ_p							—
	⑤'	P _m							—
		P _L +P _b							13
		P _L +P _b +Q *2							29
		σ_p							—
底板	⑥	P _m							2
		P _L +P _b							2
		P _L +P _b +Q *2							5
		σ_p							7
	⑥'	P _m							2
		P _L +P _b							3
		P _L +P _b +Q *2							6
		σ_p							—
	⑦	P _m	—						
		P _L +P _b	20						
		P _L +P _b +Q *2	38						
		σ_p	—						
	⑦'	P _m	—						
		P _L +P _b	33						
		P _L +P _b +Q *2	62						
		σ_p	—						

注記 *1： σ_n ：評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ ：円周方向応力
 σ_t ：評価断面に平行な方向の応力 τ_{nt} , $\tau_{t\theta}$, $\tau_{\theta n}$ ：評価断面上のせん断応力
 *2：S_d*地震力のみによる全振幅について示す

表 3-1 キヤスク容器の応力計算結果（貯蔵時：S_d*地震力が作用する場合）（3/4）

（単位：MPa）

部 位	評価点 (面)	応力分類	応力成分 *1					計算値
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	
密封 シール部	⑧	P _m						4
		P _L +P _b						9
		P _L +P _b +Q *2						1
上部 トラニオン 取付部 (下側)	⑪	P _m						—
		P _L +P _b						1
		P _L +P _b +Q *2						1
		σ_p						—
	⑪'	P _m						—
		P _L +P _b						1
		P _L +P _b +Q *2						1
		σ_p						—
上部 トラニオン 取付部 (上側)	⑫	P _m						—
		P _L +P _b						1
		P _L +P _b +Q *2						1
		σ_p						—
	⑫'	P _m						—
		P _L +P _b						1
		P _L +P _b +Q *2						1
		σ_p						—
下部 トラニオン 取付部 (上側)	⑬	P _m						—
		P _L +P _b						25
		P _L +P _b +Q *2						44
		σ_p						—
	⑬'	P _m						—
		P _L +P _b						62
		P _L +P _b +Q *2						126
		σ_p						—

注記 *1： σ_n ：評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ ：円周方向応力
 σ_t ：評価断面に平行な方向の応力 τ_{nt} , $\tau_{t\theta}$, $\tau_{\theta n}$ ：評価断面上のせん断応力
 *2：S_d*地震力のみによる全振幅について示す

表 3-1 キャスク容器の応力計算結果（貯蔵時：S_d*地震力が作用する場合）（4/4）

（単位：MPa）

部 位	評価点 (面)	応力分類	応力成分 *1					計算値
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	
下部 トラニオン 取付部 (下側)	⑭	P _m						—
		P _L +P _b						10
		P _L +P _b +Q *2						17
		σ_p						—
	⑭'	P _m						—
		P _L +P _b						50
		P _L +P _b +Q *2						100
		σ_p						—
上部 トラニオン 取付部 (側面)	⑮	P _m						—
		P _L +P _b						1
		P _L +P _b +Q *2						1
		σ_p						—
	⑮'	P _m						—
		P _L +P _b						1
		P _L +P _b +Q *2						1
		σ_p						—
下部 トラニオン 取付部 (側面)	⑯	P _m						—
		P _L +P _b						52
		P _L +P _b +Q *2						98
		σ_p						—
	⑯'	P _m						—
		P _L +P _b						51
		P _L +P _b +Q *2						114
		σ_p						—

注記 *1： σ_n ：評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ ：円周方向応力
 σ_t ：評価断面に平行な方向の応力 τ_{nt} , $\tau_{t\theta}$, $\tau_{\theta n}$ ：評価断面上のせん断応力
 *2：S_d*地震力のみによる全振幅について示す

表 3-2 キャスク容器の応力計算結果（貯蔵時：S_s地震力が作用する場合）（1/4）

（単位：MPa）

部 位	評価点 (面)	応力分類	応力成分 *1					計算値
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	
一次蓋	①	P _m						2
		P _L +P _b						7
		P _L +P _b +Q *2						1
		σ_p						—
	①'	P _m						2
		P _L +P _b						6
		P _L +P _b +Q *2						1
		σ_p						—
	②	P _m						—
		P _L +P _b						6
		P _L +P _b +Q *2						1
		σ_p						—
	②'	P _m						—
		P _L +P _b						7
		P _L +P _b +Q *2						1
		σ_p						—
一次蓋 締めボルト	③	平均引張応力						267
		平均引張応力 + 曲げ応力						279
胴	④	P _m						3
		P _L +P _b						—
		P _L +P _b +Q *2						3
		σ_p						—
	④'	P _m						3
		P _L +P _b						—
		P _L +P _b +Q *2						5
		σ_p						—

注記 *1: σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力
 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{\theta n}$: 評価断面上のせん断応力
 *2: S_s地震力のみによる全振幅について示す

表 3-2 キャスク容器の応力計算結果（貯蔵時：S_s地震力が作用する場合）（2/4）

（単位：MPa）

部 位	評価点 (面)	応力分類	応力成分 *1						計算値
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{\theta n}$	
胴	⑤	P _m							—
		P _L +P _b							11
		P _L +P _b +Q *2							24
		σ_p							—
	⑤'	P _m							—
		P _L +P _b							22
		P _L +P _b +Q *2							48
		σ_p							—
底板	⑥	P _m							3
		P _L +P _b							4
		P _L +P _b +Q *2							7
		σ_p							9
	⑥'	P _m							3
		P _L +P _b							5
		P _L +P _b +Q *2							10
		σ_p							—
	⑦	P _m							—
		P _L +P _b							32
		P _L +P _b +Q *2							63
		σ_p							—
	⑦'	P _m							—
		P _L +P _b							53
		P _L +P _b +Q *2							102
		σ_p							—

注記 *1： σ_n ：評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ ：円周方向応力
 σ_t ：評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{\theta n}$ ：評価断面上のせん断応力
 *2：S_s地震力のみによる全振幅について示す

表 3-2 キャスク容器の応力計算結果（貯蔵時：S_s地震力が作用する場合）（3/4）

（単位：MPa）

部 位	評価点 (面)	応力分類	応力成分 *1						計算値
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{\theta n}$	
密封 シール部	⑧	P _m							4
		P _L +P _b							9
		P _L +P _b +Q *2							1
上部 トラニオン 取付部 (下側)	⑪	P _m							—
		P _L +P _b							1
		P _L +P _b +Q *2							1
		σ_p							—
	⑪'	P _m							—
		P _L +P _b							1
		P _L +P _b +Q *2							2
		σ_p							—
上部 トラニオン 取付部 (上側)	⑫	P _m							—
		P _L +P _b							1
		P _L +P _b +Q *2							2
		σ_p							—
	⑫'	P _m							—
		P _L +P _b							1
		P _L +P _b +Q *2							2
		σ_p							—
下部 トラニオン 取付部 (上側)	⑬	P _m							—
		P _L +P _b							39
		P _L +P _b +Q *2							72
		σ_p							—
	⑬'	P _m							—
		P _L +P _b							103
		P _L +P _b +Q *2							207
		σ_p							—

注記 *1： σ_n ：評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ ：円周方向応力
 σ_t ：評価断面に平行な方向の応力 τ_{nt} , $\tau_{t\theta}$, $\tau_{\theta n}$ ：評価断面上のせん断応力
 *2：S_s地震力のみによる全振幅について示す

表 3-2 キャスク容器の応力計算結果（貯蔵時：S_s地震力が作用する場合）（4/4）

（単位：MPa）

部 位	評価点 (面)	応力分類	応力成分 *1					計算値
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	
下部 トラニオン 取付部 (下側)	⑭	P _m						—
		P _L +P _b						13
		P _L +P _b +Q *2						27
		σ_p						—
	⑭'	P _m						—
		P _L +P _b						80
		P _L +P _b +Q *2						160
		σ_p						—
上部 トラニオン 取付部 (側面)	⑮	P _m						—
		P _L +P _b						1
		P _L +P _b +Q *2						1
		σ_p						—
	⑮'	P _m						—
		P _L +P _b						1
		P _L +P _b +Q *2						1
		σ_p						—
下部 トラニオン 取付部 (側面)	⑯	P _m						—
		P _L +P _b						84
		P _L +P _b +Q *2						162
		σ_p						—
	⑯'	P _m						—
		P _L +P _b						88
		P _L +P _b +Q *2						188
		σ_p						—

注記 *1： σ_n ：評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ ：円周方向応力
 σ_t ：評価断面に平行な方向の応力 τ_{nt} , $\tau_{t\theta}$, $\tau_{\theta n}$ ：評価断面上のせん断応力
 *2：S_s地震力のみによる全振幅について示す

表 4-1 キヤスク容器の応力評価（貯蔵時：S_d*地震力が作用する場合）（1/2）
（単位：MPa）

部 位	評価点 (面)	応力分類	計算値	許容応力
一次蓋	①-①'	P _m	2	182
	①	P _L +P _b	7	273
	①'		6	273
	①	P _L +P _b +Q*	1	364
	①'		1	364
	②	P _L +P _b	6	273
	②'		7	273
	②	P _L +P _b +Q*	1	364
②'	1		364	
一次蓋 締めボルト	③	平均引張応力	267	550
		平均引張応力 + 曲げ応力	276	826
胴	④	P _m	2	182
	④'		3	182
	④	P _L +P _b +Q*	2	364
	④'		3	364
	⑤	P _L +P _b	6	273
	⑤'		13	273
	⑤	P _L +P _b +Q*	15	364
	⑤'		29	364
底板	⑥-⑥'	P _m	2	182
	⑥	σ _p	7	182
	⑥	P _L +P _b	2	273
	⑥'		3	273
	⑥	P _L +P _b +Q*	5	364
	⑥'		6	364
	⑦	P _L +P _b	20	273
	⑦'		33	273
	⑦	P _L +P _b +Q*	38	364
	⑦'		62	364

注記 * : S_d*地震力のみによる全振幅について評価する

表 4-1 キヤスク容器の応力評価（貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合）(2/2)
 (単位：MPa)

部 位	評価点 (面)	応力分類	計算値	許容応力
密封 シール部	⑧	P_m	4	182
		P_L+P_b	9	182
		$P_L+P_b+Q^*$	1	182
上部 トラニオン 取付部 (下側)	⑪	P_L+P_b	1	273
	⑪'		1	273
	⑪	$P_L+P_b+Q^*$	1	364
	⑪'		1	364
上部 トラニオン 取付部 (上側)	⑫	P_L+P_b	1	273
	⑫'		1	273
	⑫	$P_L+P_b+Q^*$	1	364
	⑫'		1	364
下部 トラニオン 取付部 (上側)	⑬	P_L+P_b	25	273
	⑬'		62	273
	⑬	$P_L+P_b+Q^*$	44	364
	⑬'		126	364
下部 トラニオン 取付部 (下側)	⑭	P_L+P_b	10	273
	⑭'		50	273
	⑭	$P_L+P_b+Q^*$	17	364
	⑭'		100	364
上部 トラニオン 取付部 (側面)	⑮	P_L+P_b	1	273
	⑮'		1	273
	⑮	$P_L+P_b+Q^*$	1	364
	⑮'		1	364
下部 トラニオン 取付部 (側面)	⑯	P_L+P_b	52	273
	⑯'		51	273
	⑯	$P_L+P_b+Q^*$	98	364
	⑯'		114	364

注記 * : S_d *地震力のみによる全振幅について評価する

表 4-2 キャスク容器の応力評価（貯蔵時：S_s地震力が作用する場合）（1/2）
（単位：MPa）

部 位	評価点 (面)	応力分類	計算値	許容応力
一次蓋	①-①'	P _m	2	251
	①	P _L +P _b	7	377
	①'		6	377
	①	P _L +P _b +Q *	1	364
	①'		1	364
	②	P _L +P _b	6	377
	②'		7	377
	②	P _L +P _b +Q *	1	364
	②'		1	364
一次蓋 締めボルト	③	平均引張応力	267	825
		平均引張応力 + 曲げ応力	279	825
胴	④	P _m	3	251
	④'		3	251
	④	P _L +P _b +Q *	3	364
	④'		5	364
	⑤	P _L +P _b	11	377
	⑤'		22	377
	⑤	P _L +P _b +Q *	24	364
	⑤'		48	364
底板	⑥-⑥'	P _m	3	251
	⑥	σ _p	9	377
	⑥	P _L +P _b	4	377
	⑥'		5	377
	⑥	P _L +P _b +Q *	7	364
	⑥'		10	364
	⑦	P _L +P _b	32	377
	⑦'		53	377
	⑦	P _L +P _b +Q *	63	364
	⑦'		102	364

注記 * : S_s地震力のみによる全振幅について評価する

表 4-2 キャスク容器の応力評価（貯蔵時：S_s地震力が作用する場合）（2/2）
（単位：MPa）

部 位	評価点 (面)	応力分類	計算値	許容応力
密封 シール部	⑧	P _m	4	182
		P _L +P _b	9	182
		P _L +P _b +Q *	1	182
上部 トラニオン 取付部 (下側)	⑪	P _L +P _b	1	377
	⑪'		1	377
	⑪	P _L +P _b +Q *	1	364
	⑪'		2	364
上部 トラニオン 取付部 (上側)	⑫	P _L +P _b	1	377
	⑫'		1	377
	⑫	P _L +P _b +Q *	2	364
	⑫'		2	364
下部 トラニオン 取付部 (上側)	⑬	P _L +P _b	39	377
	⑬'		103	377
	⑬	P _L +P _b +Q *	72	364
	⑬'		207	364
下部 トラニオン 取付部 (下側)	⑭	P _L +P _b	13	377
	⑭'		80	377
	⑭	P _L +P _b +Q *	27	364
	⑭'		160	364
上部 トラニオン 取付部 (側面)	⑮	P _L +P _b	1	377
	⑮'		1	377
	⑮	P _L +P _b +Q *	1	364
	⑮'		1	364
下部 トラニオン 取付部 (側面)	⑯	P _L +P _b	84	377
	⑯'		88	377
	⑯	P _L +P _b +Q *	162	364
	⑯'		188	364

注記 * : S_s地震力のみによる全振幅について評価する

表 5-1 キャスク容器（ボルトを除く）の疲労解析不要の評価結果（1/3）
（単位：MPa）

部 位	評価点(面)	応力分類	最大値
一次蓋	①	P_L+P_b+Q	5
	①'	P_L+P_b+Q	6
	②	P_L+P_b+Q	4
	②'	P_L+P_b+Q	5
胴	④	P_L+P_b+Q	7
	④'	P_L+P_b+Q	8
	⑤	P_L+P_b+Q	9
	⑤'	P_L+P_b+Q	19
底板	⑥	P_L+P_b+Q	4
	⑥'	P_L+P_b+Q	5
	⑦	P_L+P_b+Q	25
	⑦'	P_L+P_b+Q	39
密封 シール部	⑧	P_L+P_b+Q	19
上部トラニ オン取付部 (下側)	⑪	P_L+P_b+Q	18
	⑪'	P_L+P_b+Q	47
上部トラニ オン取付部 (上側)	⑫	P_L+P_b+Q	27
	⑫'	P_L+P_b+Q	34
下部トラニ オン取付部 (上側)	⑬	P_L+P_b+Q	27
	⑬'	P_L+P_b+Q	78
下部トラニ オン取付部 (下側)	⑭	P_L+P_b+Q	31
	⑭'	P_L+P_b+Q	48
上部トラニ オン取付部 (側面)	⑮	P_L+P_b+Q	27
	⑮'	P_L+P_b+Q	27
下部トラニ オン取付部 (側面)	⑯	P_L+P_b+Q	63
	⑯'	P_L+P_b+Q	72

注 1：機械的荷重により生じる応力の全振幅はゼロ応力状態を基準とする

注 2：機械的荷重により生じる応力の全振幅 ($\Delta \sigma$) が全事象発生回数の合計 (3706 回) に対する繰返しピーク応力強さ (363 MPa) を下回っていることを確認する

表5-1 キャスク容器（ボルトを除く）の疲労解析不要の評価結果（2/3）
（単位：MPa）

部 位	評価点 (面)	応力分類	計算値	
			S _d *	S _s
一次蓋	①	P _L +P _b +Q *	1	1
	①'	P _L +P _b +Q *	1	1
	②	P _L +P _b +Q *	1	1
	②'	P _L +P _b +Q *	1	1
胴	④	P _L +P _b +Q *	2	3
	④'	P _L +P _b +Q *	3	5
	⑤	P _L +P _b +Q *	15	24
	⑤'	P _L +P _b +Q *	29	48
底板	⑥	P _L +P _b +Q *	5	7
	⑥'	P _L +P _b +Q *	6	10
	⑦	P _L +P _b +Q *	38	63
	⑦'	P _L +P _b +Q *	62	102
密封 シール部	⑧	P _L +P _b +Q *	1	1
上部トラニ オン取付部 (下側)	⑪	P _L +P _b +Q *	1	1
	⑪'	P _L +P _b +Q *	1	2
上部トラニ オン取付部 (上側)	⑫	P _L +P _b +Q *	1	2
	⑫'	P _L +P _b +Q *	1	2
下部トラニ オン取付部 (上側)	⑬	P _L +P _b +Q *	44	72
	⑬'	P _L +P _b +Q *	126	207
下部トラニ オン取付部 (下側)	⑭	P _L +P _b +Q *	17	27
	⑭'	P _L +P _b +Q *	100	160
上部トラニ オン取付部 (側面)	⑮	P _L +P _b +Q *	1	1
	⑮'	P _L +P _b +Q *	1	1
下部トラニ オン取付部 (側面)	⑯	P _L +P _b +Q *	98	162
	⑯'	P _L +P _b +Q *	114	188
繰返し回数 (N _c)			60	60
繰返し回数 (N _c) に対する許容応力 S			1754	1754
ピーク応力強さに対する許容繰返し 回数 (N _a)			139103	22160
N _c /N _a			4.31×10 ⁻⁴	2.71×10 ⁻³
疲労累積係数 (U)			3.14×10 ⁻³	

注記 * : 地震力のみによる全振幅を示す

表 5-1 キャスク容器（ボルトを除く）の疲労解析不要の評価結果（3/3）

設計・建設規格 PVB-3140	繰返し荷重		設定 繰返し回数	評価値	許容値	評価
(1)	大気圧→使用圧力→大気圧		100	繰返し数 $N_1=100$	$3 \cdot S_m$ に対する許容繰返し数 $N_a=3691$	$N_1 < N_a$ であるので本条件を満足
(2)	燃料装荷及び燃料取出しを除く設計事象 I, II における圧力変動		100	圧力変動振幅 $P=1.0 \text{ MPa}$	圧力変動許容値 $A_{m2}=3.8 \text{ MPa}$	$P < A_{m2}$ であるので本条件を満足
(3)	燃料装荷及び燃料取出しでの 2 点間の温度差		100	温度差 $\Delta T=140 \text{ }^\circ\text{C}$	温度差許容値 $T=282 \text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta T < T$ であるので本条件を満足
(4)	燃料装荷及び燃料取出しを除く設計事象 I, II における 2 点間の温度差変動		100	温度差変動振幅 $\Delta T=140 \text{ }^\circ\text{C}$	温度差変動許容値 $T=282 \text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta T < T$ であるので本条件を満足
(5)	異種材結合部の温度変動		100	温度変動振幅 $\Delta T=140 \text{ }^\circ\text{C}$	温度変動許容値 $T=1045 \text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta T < T$ であるので本条件を満足
(6)	機械的荷重の変動	地震力以外	表 5-1 (1/3) に記載			$\Delta \sigma \leq S$ であるので本条件を満足
		地震力	表 5-1 (2/3) に記載			$\Delta \sigma \leq S, U \leq 1.0$ であるので本条件を満足

表 5-2 各事象の繰返し回数と許容繰返し回数（一次蓋締付けボルト）

事象	繰返し数 N_c (回)	繰返しピーク 応力強さ S_ℓ (MPa)	縦弾性係数を補正 した繰返しピーク 応力強さ S_ℓ' (MPa)	許容繰返 し回数 N_a (回)	繰返し回数と許容 繰返し回数の比 N_c/N_a (-)	
No. 1	100	1207	1366	258	3.88×10^{-1}	
No. 2	3	100	114	241066	1.24×10^{-5}	
No. 3	3	84	95	865534	3.47×10^{-6}	
No. 4	694	78	89	1.00×10^6	6.94×10^{-4}	
No. 5	106	11	13	1.00×10^6	1.06×10^{-4}	
No. 6	2000	7	8	1.00×10^6	2.00×10^{-3}	
U（設計事象 I 及び設計事象 II）					0.39	
地震時	S_d^*	60	4	5	1.00×10^6	6.00×10^{-5}
	S_s	60	7	8	1.00×10^6	6.00×10^{-5}
U（地震時）					1.20×10^{-4}	
U（設計事象 I 及び設計事象 II と地震時の和）					0.39	

表 5-3 各事象の繰返し回数と許容繰返し回数（バルブカバー締付けボルト）

事象	繰返し数 N_c (回)	繰返しピーク 応力強さ S_ℓ (MPa)	縦弾性係数を補正 した繰返しピーク 応力強さ S_ℓ' (MPa)	許容繰返 し回数 N_a (回)	繰返し回数と許容 繰返し回数の比 N_c/N_a (-)	
No. 1	100	1207	1366	258	3.88×10^{-1}	
No. 2	3	8	9	1.00×10^6	3.00×10^{-6}	
No. 3	3	5	6	1.00×10^6	3.00×10^{-6}	
No. 4	694	4	5	1.00×10^6	6.94×10^{-4}	
No. 5	106	2	3	1.00×10^6	1.06×10^{-4}	
No. 6	2000	1	2	1.00×10^6	2.00×10^{-3}	
U（設計事象 I 及び設計事象 II）					0.39	
地震時	S_d^*	60	1	2	1.00×10^6	6.00×10^{-5}
	S_s	60	2	3	1.00×10^6	6.00×10^{-5}
U（地震時）					1.20×10^{-4}	
U（設計事象 I 及び設計事象 II と地震時の和）					0.39	

表 6-1 貫通孔部の応力強さ

(単位：MPa)

設計事象	応力分類	貫通孔を無視した 場合の応力強さ (S)	貫通孔部の応力 (S_c)	許容応力
I + S _d *	P _L +P _b	7	28	273
	P _L +P _b +Q*	1	4	364
I + S _s	P _L +P _b	7	28	377
	P _L +P _b +Q*	1	4	364

注記 *：地震力のみによる全振幅を示す。

V-2-4-2-3-6 バスケットの耐震性についての計算書①
(タイプ I)

目次

1. 概 要	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 計算結果の概要	1
2. 温度分布計算	2
2.1 計算方法	2
2.2 温度分布図	2
3. 応力計算	3
3.1 応力評価点	3
3.2 貯蔵時（ S_d^* 及び S_s 地震力が作用する場合）	3
3.2.1 荷重条件	3
3.2.2 計算方法	3
3.2.3 計算結果	5
4. 応力の評価	6
4.1 応力強さの評価	6
4.2 特別な応力の評価	6
4.2.1 純せん断応力	6
4.2.2 支圧応力	6
4.2.3 座屈応力	6

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料	7
図 2-1	温度分布計算モデル	8
図 2-2	温度分布図	9
図 3-1	バスケットの応力評価点(面)	10
図 3-2	バスケットの解析モデル	11
図 3-3	サポートガイドの解析モデル	14
表 1-1	計算結果の概要	15
表 2-1	熱伝達率の計算	16
表 2-2	温度分布計算の評価条件	17
表 3-1	S_d 地震力が作用する場合のバスケットの応力計算結果	18
表 3-2	S_s 地震力が作用する場合のバスケットの応力計算結果	20
表 4-1	バスケットの応力評価（貯蔵時： S_d 地震力が作用する場合）	22
表 4-2	バスケットの応力評価（貯蔵時： S_s 地震力が作用する場合）	23

1. 概 要

本計算書は、使用済乾式貯蔵容器のバスケットに関する応力計算書である。

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 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、応力評価上厳しくなる代表的な評価点(面)を本計算書に記載している。

表中の「-」は、評価すべき応力が発生しない又は評価上厳しくないため評価を省略している。以下、本計算書において同様である。

2. 温度分布計算

2.1 計算方法

温度分布計算は、解析コードABAQUSにより行う。計算のためのモデル図を図 2-1 に示す。

温度分布計算に使用する外表面の熱伝達率の計算条件と計算結果を表 2-1 に示す。

2.2 温度分布図

2.1 項の計算により得られた温度分布図を図 2-2 に示す。

3. 応力計算

3.1 応力評価点

バスケットの応力評価点(面)を図 3-1 に示す。

3.2 貯蔵時 (S_d*及びS_s地震力が作用する場合)

3.2.1 荷重条件

貯蔵時においてS_d*及びS_s地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。

地震力+自重+熱荷重

3.2.2 計算方法

(1) チャンネル, サポートブロック, 補強板及び仕切板

a. 一次応力強さ

(a) 鉛直方向(Z方向)の加速度による応力

鉛直方向加速度により発生するバスケット軸方向の応力(σ_y)は次式で表される。

$$\sigma_y = -\rho \cdot G_1 \cdot L$$

ここで, ρ : 材料の密度 ($=2.70 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$)

G_1 : 鉛直方向加速度 (m/s^2)

L : バスケット全長 ($=4495 \text{ mm}$)

他の応力成分は零である。

ただし, $G_1 = 9.81 + \alpha_v$

α_v : 鉛直方向設計加速度 ($=C_v G = 6.38 \text{ m/s}^2$)

(b) 水平方向(X方向またはY方向)の加速度による応力

解析コードABAQUSの二次元平面固体(連続体)要素及びはり要素による解析モデルを図 3-2(1)及び図 3-2(2)に示す。

各部材間は相互の接触を考慮し, サポートブロックは内胴に設置されているサポートガイド接触面と接触境界を設けている。加速度はX方向またはY方向に作用されるものとし, その大きさは以下の通りとする。

X方向加速度: $G_2 (= \alpha_H)$

Y方向加速度: $G_3 (= \alpha_H)$

ただし, α_H : 水平方向設計加速度 ($=C_H G = 11.48 \text{ m/s}^2$)

b. 支圧応力

水平方向加速度によりサポートブロックにおいてサポートガイドとの接触部に発生する平均支圧応力 (σ_p) は次式で表される。

$$\sigma_p = \frac{W \cdot \alpha_H}{4 \cdot A}$$

ここで、W : バスケット+使用済燃料(61体)の質量 (=25200kg)

A : サポートガイドとの接触面積 (=1.76×10⁵ mm²)

α_H : a. と同じ

c. 座屈応力

チャンネル及び仕切板に発生する圧縮応力は a. と同様に求められる。ただし、熱荷重は、2.2 項の結果から得られた貯蔵時(縦置き姿勢)での温度分布による。

(2) サポートガイド

a. 一次応力強さ

解析コード ABAQUS の二次元平面固体(連続体)要素による解析モデルを図 3-3 に示す。

水平方向 (X 方向または Y 方向) に加速度がバスケットに作用する場合、サポートガイド 1 個に作用する貯蔵容器軸方向単位長さ当たりの荷重は次式で与えられる。

$$F_X = \frac{W \cdot G_2}{4 \cdot L_S}$$

$$F_Y = \frac{W \cdot G_3}{4 \cdot L_S}$$

ここで、 F_X : X 方向荷重 (N/mm)

F_Y : Y 方向荷重 (N/mm)

W : バスケット+使用済燃料(61体)の質量 (=25200kg)

G_2 : X 方向加速度 (= $\alpha_H = 11.48 \text{ m/s}^2$)

G_3 : Y 方向加速度 (= $\alpha_H = 11.48 \text{ m/s}^2$)

L_S : サポートガイドの長さ (=4350 mm)

したがって、

$$F_X = 16.6 \text{ N/mm}, \quad F_Y = 16.6 \text{ N/mm}$$

内胴との溶接部(コーナー)を拘束する。

(3) サポートガイド溶接部

a. 平均せん断応力

サポートガイド溶接部において発生する平均せん断応力(σ_s)は次式で表される。

$$\sigma_s = \frac{W \cdot G_2}{4 \cdot A} \quad \text{または}$$

$$\sigma_s = \frac{W \cdot G_3}{4 \cdot A}$$

ここで, W, G_2, G_3 : (2)と同じ

A : サポートガイド溶接部の断面積 ($=4.31 \times 10^4 \text{mm}^2$)

(4) 底板

a. 支圧応力

底板底面に発生する平均支圧応力(σ_p)は次式で表される。

$$\sigma_p = \frac{W \cdot G_1}{A}$$

ここで, W : (2)と同じ

G_1 : (1)と同じ

A : 底板底面のキャスク容器との接触面積 ($=1.17 \times 10^6 \text{mm}^2$)

3.2.3 計算結果

応力計算結果を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

4. 応力の評価

4.1 応力強さの評価

各設計事象における応力計算結果と許容応力を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より、各設計事象の一次一般膜応力強さ (P_m) 及び一次膜＋一次曲げ応力強さ ($P_m + P_b$) は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

4.2 特別な応力の評価

4.2.1 純せん断応力

各設計事象における応力計算結果と許容応力を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より、各設計事象の平均せん断応力 (σ_s) は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

4.2.2 支圧応力

各設計事象における応力計算結果と許容応力を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より、各設計事象の平均支圧応力 (σ_p) は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

4.2.3 座屈応力

各設計事象における応力計算結果と許容応力を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より、各設計事象の座屈応力 (σ_b) は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

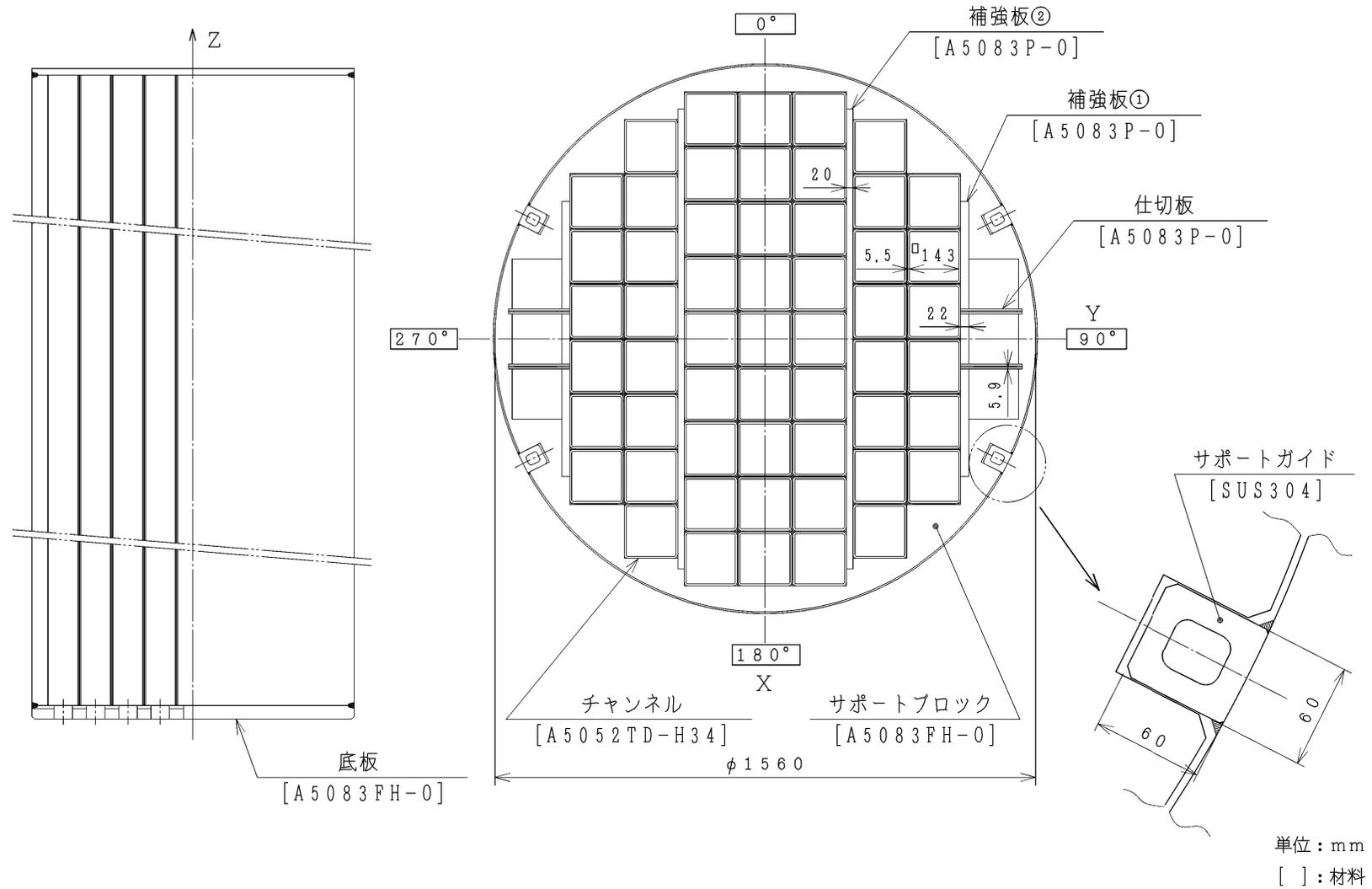


図 1-1 形状・寸法・材料

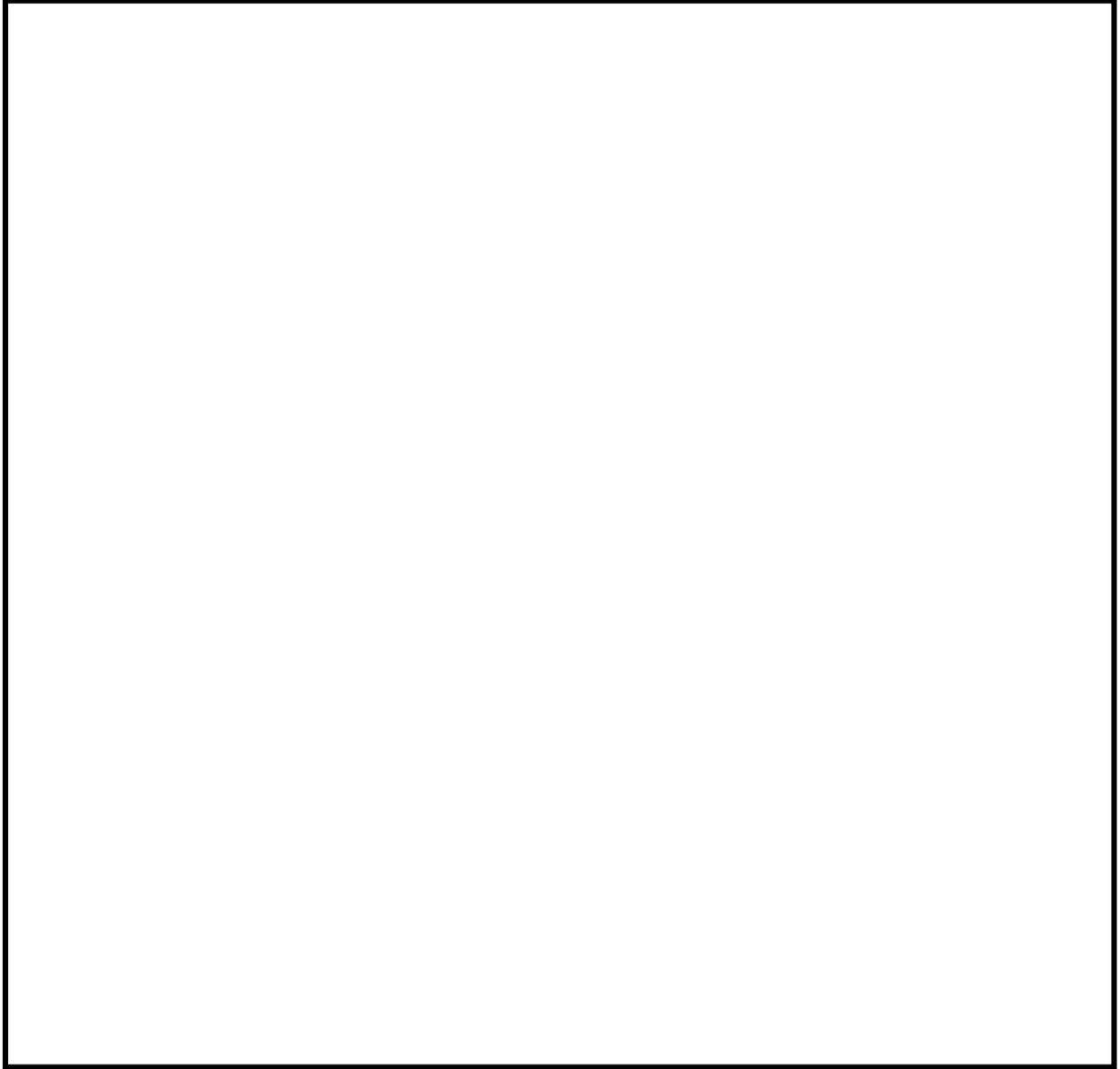


図 2-1 温度分布計算モデル

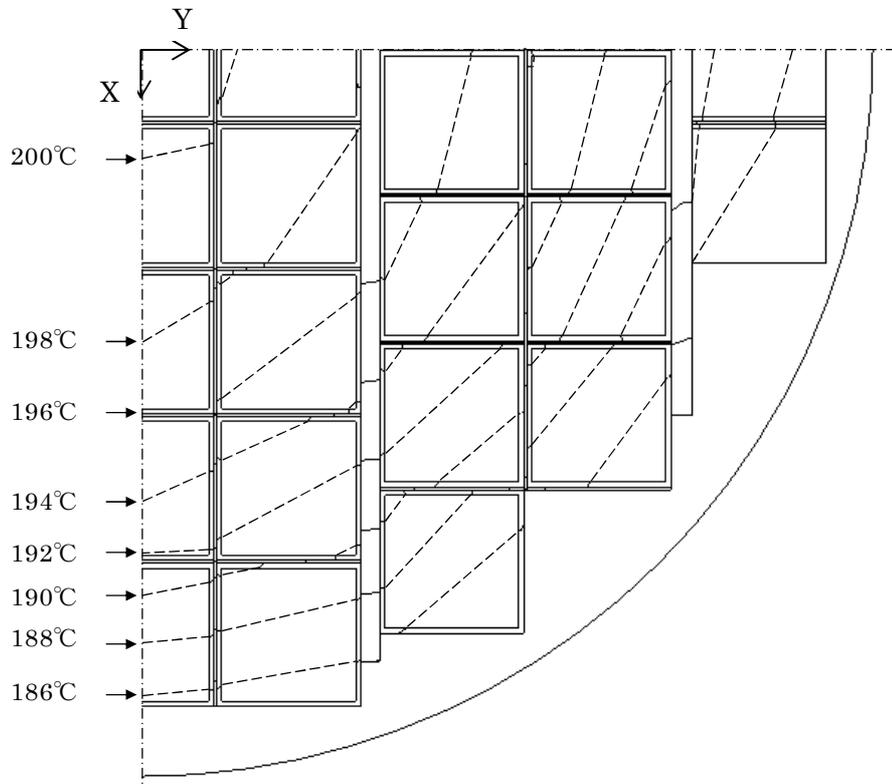


图 2-2 温度分布图 (貯蔵時)

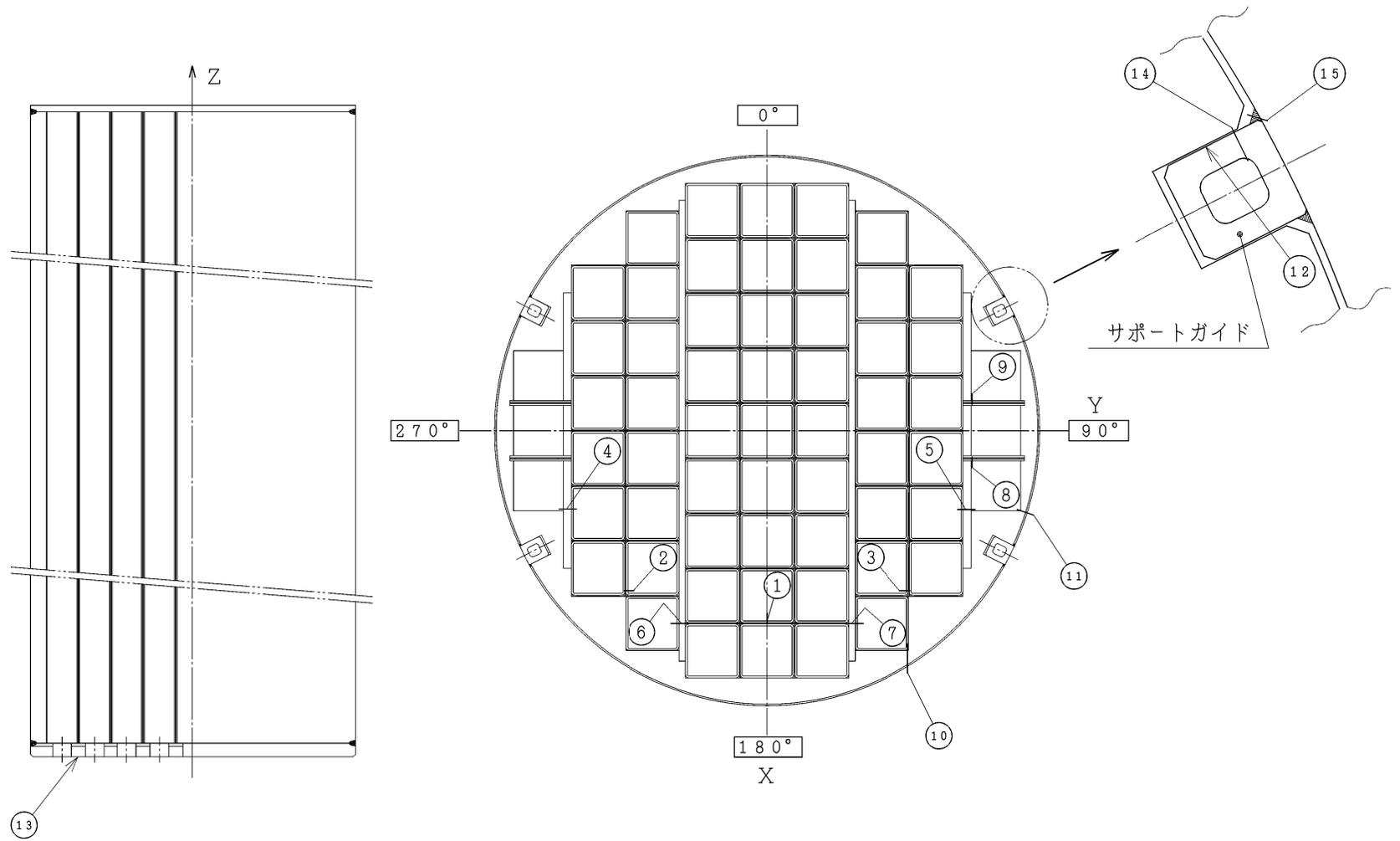
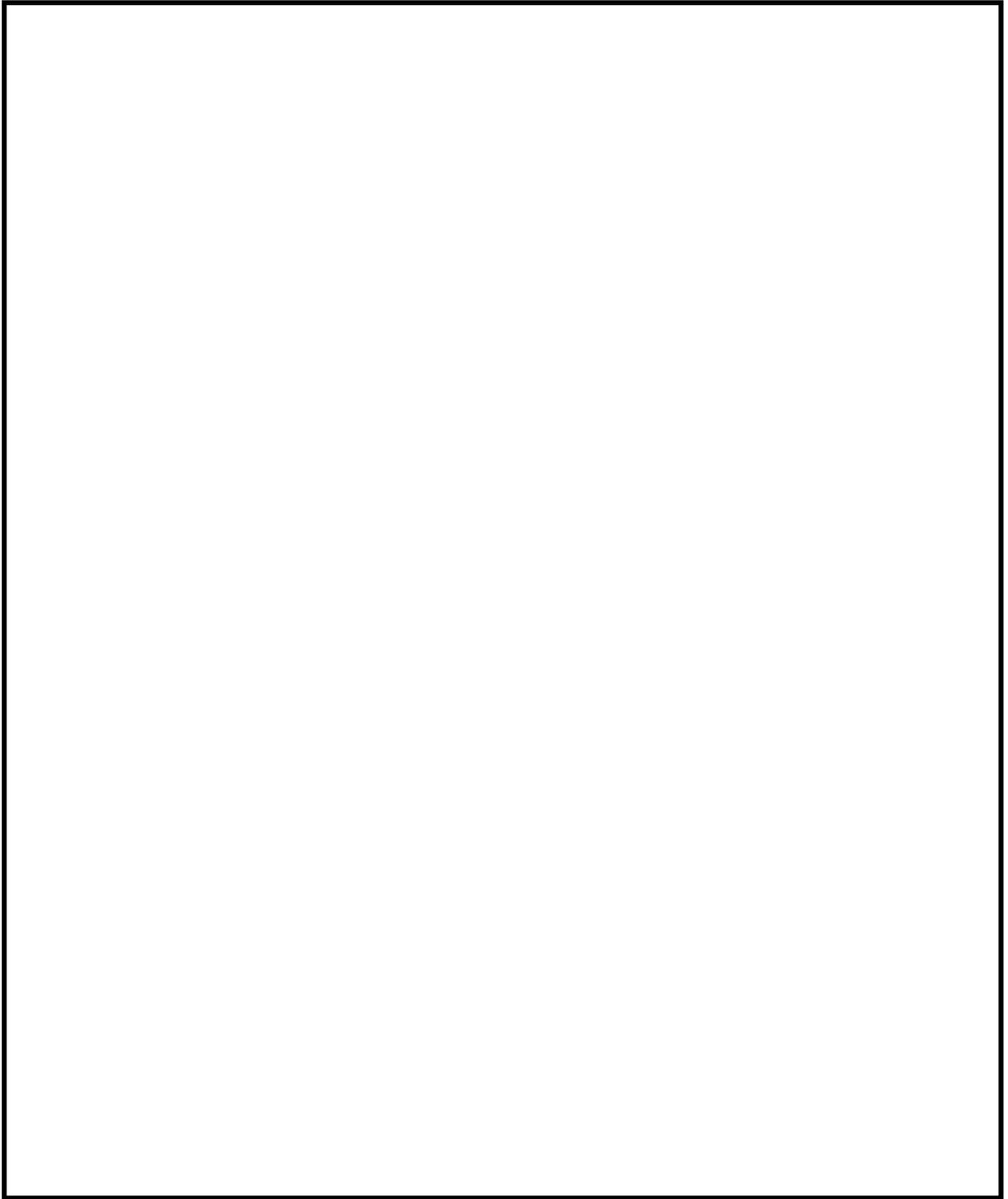
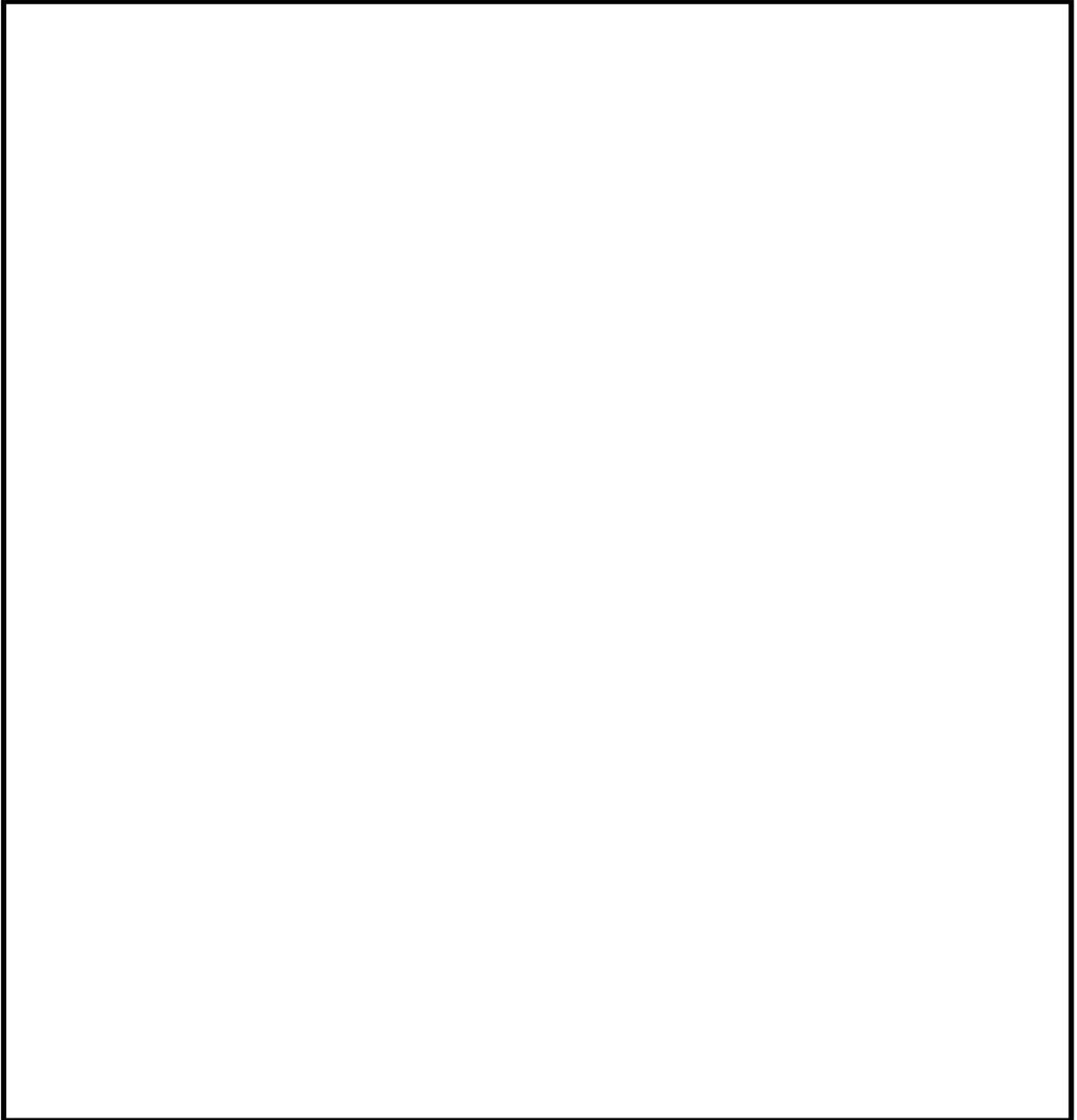


図 3-1 バスケットの応力評価点 (面)



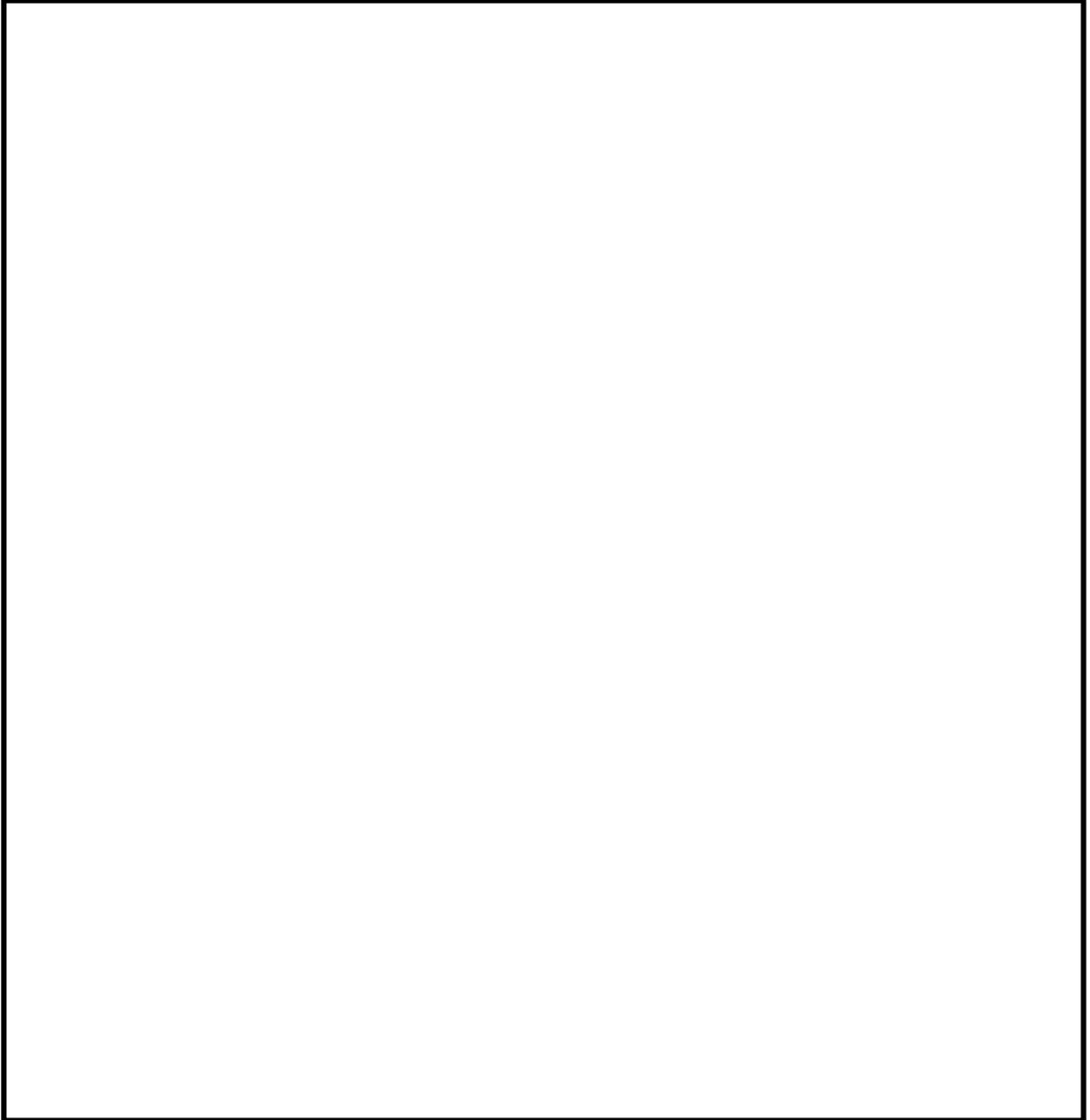
(単位：mm)

図 3-2(1) バスケットの解析モデル
(X方向の加速度が作用する場合)



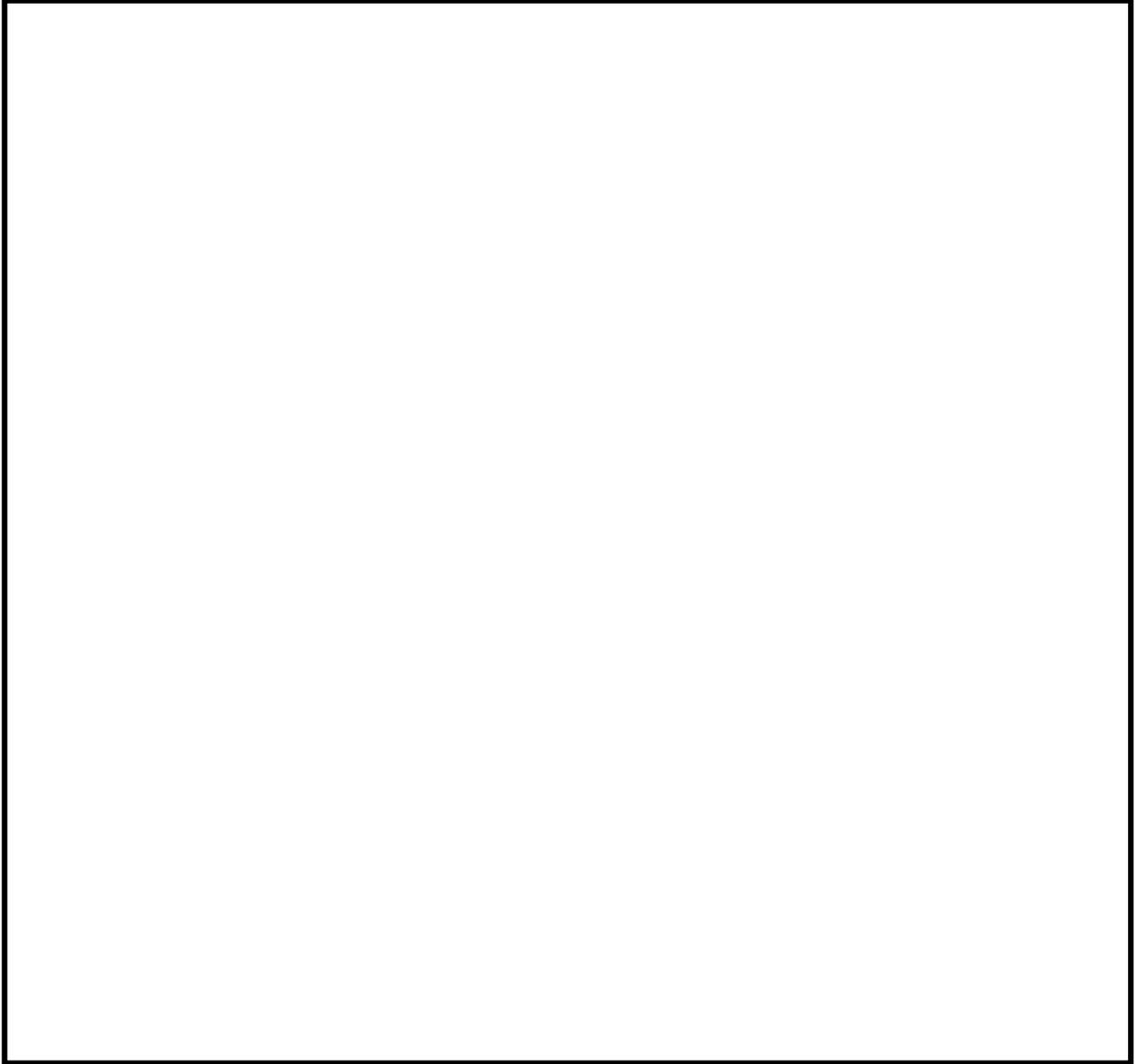
(単位 : mm)

図 3-2 (2) バスケットの解析モデル
(Y方向の加速度が作用する場合)



(単位：mm)

図 3-2(3) バスケットの解析モデル
(熱荷重作用時)



(単位 : mm)

図 3-3 サポートガイドの解析モデル

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材 料	設計事象	一次一般膜応力強さ			一次膜+一次曲げ応力強さ			一次+二次応力強さ																
			計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点														
チャンネル	A5052TD-H34 相当	I + S _d *	1	202	①	3	303	①																	
		I + S _s	1		①	3		①																	
補強板	A5083P-0	I + S _d *	1		⑤	4		⑥																	
		I + S _s	1		⑤	4		⑥																	
仕切板	A5083P-0	I + S _d *	1		⑨	3		⑨																	
		I + S _s	1		⑨	3		⑨																	
サポートブロック	A5083FH-0	I + S _d *	3		⑪	6		⑪																	
		I + S _s	3		⑪	6		⑪																	
サポートガイド	SUS304	I + S _d *	4		202	⑭		6													303	⑭			
		I + S _s	4		278	⑭		6													418	⑭			

表 2-1 熱伝達率の計算

熱伝達の形式：空気自然対流による乱流熱伝達

事象	領域 ¹⁾	部位	形状	空気温度 (°C)	熱伝導率 ²⁾ λ (W/m・K)	プラントル数 ²⁾ Pr (—)	レイレー数 ^{3) 4)} Ra (—)	熱伝達率 ⁴⁾ h (W/m ² ・K)
貯蔵時	①	貯蔵容器側面	垂直円筒	45	27.45×10 ⁻³	0.719	1.33×10 ¹⁰	1.48×ΔT ^{1/3}
運搬時			水平円筒	38	26.94×10 ⁻³	0.718	1.08×10 ⁹	1.16×ΔT ^{1/3}

注記 1) : 図 3-1 参照

2) : 参考文献 (1) 参照

3) : 温度差 ΔT=1.0°C に対する値を示す。

4) : レイレー数及び熱伝達率は下記の式を用いて計算する。

$$Ra = \frac{G \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot D^3 \cdot Pr}{\nu^2}$$

$$h = 0.13 \cdot \sqrt[3]{Ra} \cdot \frac{\lambda}{D} \quad (\text{垂直円筒})^5$$

$$h = 0.1 \cdot \sqrt[3]{Ra} \cdot \frac{\lambda}{D} \quad (\text{水平円筒})^2$$

ここで G : 重力加速度 (=9.81 m/s²)

β : 熱膨張係数 (= 1/318 mm/mm°C : 貯蔵時)
(= 1/311 mm/mm°C : 運搬時)

ΔT : 周囲空気と表面の温度差 (°C)

D : 代表長さ (m)

ν : 動粘性係数 (=17.66×10⁻⁶ m²/s : 貯蔵時)
(=16.95×10⁻⁶ m²/s : 運搬時)

5) : 参考文献 (5) 参照

表 2-2 温度分布計算の評価条件

項 目	評 価 条 件
対象燃料	高燃焼度 8 × 8 燃料 ¹⁾
収納体数 (体)	61
発 熱 量 (kW)	17.1 ²⁾
姿 勢	縦置き／横置き ³⁾
周囲温度 (°C)	45／38 ³⁾

注記 1) : 8 × 8 燃料, 新型 8 × 8 燃料, 新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料
及び高燃焼度 8 × 8 燃料のうち最も厳しい発熱量となる高燃焼度
8 × 8 燃料について行う。

2) : O R I G E N 2 コードにより求めた。

3) : 貯蔵時／運搬時における貯蔵容器姿勢及び周囲温度

表 3-1 S_d*地震力が作用する場合のバスケットの応力計算結果 (1/2)

(単位：MPa)

部位	応力分類	評価点 (面)	応力成分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{yz}	τ_{xz}		
チ ヤ ン ネ ル	P _m	①							1	
		②							1	
		③							1	
	P _m +P _b	①							3	
		②							2	
		③							3	
	σ_s	—							—	
σ_p	—							—		
σ_b	①							1		
補 強 板 ①	P _m	④							1	
		⑤							1	
	P _m +P _b	④							2	
		⑤							3	
	σ_s	—							—	
	σ_p	—							—	
σ_b	—							—		
補 強 板 ②	P _m	⑥							1	
		⑦							1	
	P _m +P _b	⑥							4	
		⑦							4	
	σ_s	—							—	
	σ_p	—							—	
σ_b	—							—		
仕 切 板	P _m	⑧							1	
		⑨							1	
	P _m +P _b	⑧							2	
		⑨							3	
	σ_s	—							—	
	σ_p	—							—	
σ_b	⑨							1		

注記 1) σ_x : 評価断面に垂直な方向の応力
 σ_y : 評価断面に平行な方向の応力
 σ_z : 評価断面に平行な方向の応力
 $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$: 評価断面上のせん断応力

表 3-1 S_d*地震力が作用する場合のバスケットの応力計算結果 (2/2)

(単位：MPa)

部位	応力分類	評価点 (面)	応力成分 ¹⁾						計算値	許容 応力	
			σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{yz}	τ_{xz}			
サポ ート ブ ロ ック	P _m	⑩								2	
		⑪								3	
	P _m +P _b	⑩								3	
		⑪								6	
	σ_s	—								—	
	σ_p	⑫								1	
	σ_b	—								—	
サポ ート ガ イ ド	P _m	⑭								4	202
	P _m +P _b	⑭								6	303
	σ_s	—								—	—
	σ_p	—								—	—
	σ_b	—								—	—
サポ ート ガ イ ド 溶 接 部	P _m	—								—	—
	P _m +P _b	—								—	—
	σ_s	⑮	2	48							
	σ_p	—	—	—							
	σ_b	—	—	—							
底 板	P _m	—	—	—							
	P _m +P _b	—	—	—							
	σ_s	—	—	—							
	σ_p	⑬	1	150							
	σ_b	—	—	—							

注記 1) σ_x : 評価断面に垂直な方向の応力
 σ_y : 評価断面に平行な方向の応力
 σ_z : 評価断面に平行な方向の応力
 $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$: 評価断面上のせん断応力

表 3-2 S_s地震力が作用する場合のバスケットの応力計算結果 (1/2)

(単位：MPa)

部位	応力分類	評価点 (面)	応力成分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{yz}	τ_{xz}		
チ ャ ン ネ ル	P _m	①								1
		②								1
		③								1
	P _m +P _b	①								3
		②								2
		③								3
	σ_s	—								—
σ_p	—	—								
σ_b	①	1								
補 強 板 ①	P _m	④								1
		⑤								1
	P _m +P _b	④								2
		⑤								3
	σ_s	—								—
	σ_p	—								—
σ_b	—	—								
補 強 板 ②	P _m	⑥								1
		⑦								1
	P _m +P _b	⑥								4
		⑦								4
	σ_s	—								—
	σ_p	—	—							
σ_b	—	—								
仕 切 板	P _m	⑧	1							
		⑨	1							
	P _m +P _b	⑧	2							
		⑨	3							
	σ_s	—	—							
	σ_p	—	—							
σ_b	⑨	1								

注記 1) σ_x : 評価断面に垂直な方向の応力
 σ_y : 評価断面に平行な方向の応力
 σ_z : 評価断面に平行な方向の応力
 τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{zx} : 評価断面上のせん断応力

表 3-2 S_s地震力が作用する場合のバスケットの応力計算結果 (2/2)

(単位：MPa)

部位	応力分類	評価点 (面)	応力成分 ¹⁾						計算値	許容 応力	
			σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{yz}	τ_{xz}			
サポ ート ブ ロ ック	P _m	⑩								2	
		⑪								3	
	P _m +P _b	⑩								3	
		⑪								6	
	σ_s	—								—	
	σ_p	⑫								1	
	σ_b	—								—	
サポ ート ガ イ ド	P _m	⑭								4	278
	P _m +P _b	⑭								6	418
	σ_s	—								—	—
	σ_p	—								—	—
	σ_b	—								—	—
サポ ート ガ イ ド 溶 接 部	P _m	—								—	—
	P _m +P _b	—								—	—
	σ_s	⑮	2	64							
	σ_p	—	—	—							
	σ_b	—	—	—							
底 板	P _m	—	—	—							
	P _m +P _b	—	—	—							
	σ_s	—	—	—							
	σ_p	⑬	1	200							
	σ_b	—	—	—							

注記 1) σ_x : 評価断面に垂直な方向の応力
 σ_y : 評価断面に平行な方向の応力
 σ_z : 評価断面に平行な方向の応力
 $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$: 評価断面上のせん断応力

表 4-1 バスケットの応力評価（貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合）

（単位：MPa）

部位	応力の種類	評価点（面）	計算値	許容応力
チャンネル	P_m	①	1	
	P_m+P_b	①	3	
	σ_s	—	—	
	σ_p	—	—	
	σ_b	①	1	
補強板①	P_m	⑤	1	
	P_m+P_b	⑤	3	
	σ_s	—	—	
	σ_p	—	—	
	σ_b	—	—	
補強板②	P_m	⑥	1	
	P_m+P_b	⑥	4	
	σ_s	—	—	
	σ_p	—	—	
	σ_b	—	—	
仕切板	P_m	⑨	1	
	P_m+P_b	⑨	3	
	σ_s	—	—	
	σ_p	—	—	
	σ_b	⑨	1	
サポートブロック	P_m	⑪	3	
	P_m+P_b	⑪	6	
	σ_s	—	—	
	σ_p	⑫	1	
	σ_b	—	—	
サポートガイド	P_m	⑭	4	202
	P_m+P_b	⑭	6	303
	σ_s	—	—	—
	σ_p	—	—	—
	σ_b	—	—	—
サポートガイド 溶接部	P_m	—	—	—
	P_m+P_b	—	—	—
	σ_s	⑮	2	48
	σ_p	—	—	—
	σ_b	—	—	—
底 板	P_m	—	—	—
	P_m+P_b	—	—	—
	σ_s	—	—	—
	σ_p	⑬	1	150
	σ_b	—	—	—

表 4-2 バスケットの応力評価（貯蔵時：S_s地震力が作用する場合）

（単位：MPa）

部位	応力の種類	評価点（面）	計算値	許容応力
チャンネル	P_m	①	1	
	P_m+P_b	①	3	
	σ_s	—	—	
	σ_p	—	—	
	σ_b	①	1	
補強板①	P_m	⑤	1	
	P_m+P_b	⑤	3	
	σ_s	—	—	
	σ_p	—	—	
	σ_b	—	—	
補強板②	P_m	⑥	1	
	P_m+P_b	⑥	4	
	σ_s	—	—	
	σ_p	—	—	
	σ_b	—	—	
仕切板	P_m	⑨	1	
	P_m+P_b	⑨	3	
	σ_s	—	—	
	σ_p	—	—	
	σ_b	⑨	1	
サポートブロック	P_m	⑪	3	
	P_m+P_b	⑪	6	
	σ_s	—	—	
	σ_p	⑫	1	
	σ_b	—	—	
サポートガイド	P_m	⑭	4	278
	P_m+P_b	⑭	6	418
	σ_s	—	—	—
	σ_p	—	—	—
	σ_b	—	—	—
サポートガイド 溶接部	P_m	—	—	—
	P_m+P_b	—	—	—
	σ_s	⑮	2	64
	σ_p	—	—	—
	σ_b	—	—	—
底 板	P_m	—	—	—
	P_m+P_b	—	—	—
	σ_s	—	—	—
	σ_p	⑬	1	200
	σ_b	—	—	—

V-2-4-2-3-6 バスケットの耐震性についての計算書②
(タイプⅡ)

目次

1. 概 要	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 計算結果の概要	1
2. 応力計算	2
2.1 応力評価点	2
2.2 貯蔵時（ S_d^* 地震力及び S_s 地震力が作用する場合）	2
2.2.1 荷重条件	2
2.2.2 計算方法	2
2.2.3 計算結果	4
3. 応力の評価	5
3.1 応力強さの評価	5
3.2 特別な応力の評価	5
3.2.1 純せん断応力	5
3.2.2 支圧応力	5
3.2.3 軸圧縮応力	5
3.2.4 座屈応力	5

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料	6
図 2-1	バスケットの応力評価点（面）	7
図 2-2	地震時におけるバスケットの姿勢と荷重方向	8
表 1-1	計算結果の概要	9
表 2-1	バスケットの応力評価（貯蔵時： S_d^* 地震力が作用する場合）	10
表 2-2	バスケットの応力評価（貯蔵時： S_s 地震力が作用する場合）	11

1. 概 要

本計算書は、バスケットに関する応力計算書である。

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 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、応力評価上厳しくなる代表的な評価点（面）を本計算書に記載している。

2. 応力計算

2.1 応力評価点

バスケットの応力評価点（面）を図 2-1 に示す。

2.2 貯蔵時（ S_d^* 地震力及び S_s 地震力が作用する場合）

2.2.1 荷重条件

貯蔵時において、 S_d^* 地震力及び S_s 地震力が作用する場合の荷重は、次に示す組合せとする。
荷重の方向を図 2-2 に示す。なお、地震力には、 S_s 地震力を適用する。

地震力+自重+熱荷重

2.2.2 計算方法

(1) バスケットプレート

a. 一次一般膜応力

最大応力が発生するのは、バスケットプレート端部（図 2-1①部）である。
水平方向加速度により発生する応力（ σ_x ）は、次式で計算する。

$$\sigma_x = \frac{m_A \cdot G_1}{A_1} \dots\dots\dots (2.1)$$

ここで、 $G_1 = C_H \cdot G$

m_A : 図 2-1 に示す斜線部 A に含まれる使用済燃料とバスケットプレート等の合計質量（= kg）

A_1 : バスケットプレートの断面積（= mm²）

C_H : 水平方向設計震度（=1.17）

G : 重力加速度（=9.80665 m/s²）

下方向加速度により発生する応力（ σ_y ）は、次式で計算する。

$$\sigma_y = \frac{m_b \cdot G_2}{A_b} \dots\dots\dots (2.2)$$

ここで、 $G_2 = (1 + C_V) \cdot G$

m_b : バスケットプレートの全質量（= kg）

C_V : 鉛直方向設計震度（=0.65）

A_b : バスケットプレート底部の全面積（= mm²）

他の応力成分は、零である。

b. 一次一般膜+一次曲げ応力

最大応力が発生するのは、バスケットプレート格子端部（図 2-1②部）である。
水平方向加速度により発生する応力（ σ_x, τ_{zx} ）は、次式で計算する。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{M}{Z} \\ M &= \frac{m_B \cdot G_1 \cdot \ell_p}{12 \cdot \frac{\ell_w}{2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\tau_{zx} = \frac{m_B \cdot G_1}{2 \cdot \frac{A_1}{2}} \dots\dots\dots (2.4)$$

ここで、M : バスケットプレート格子中央部の単位幅当たりの曲げモーメント (N・mm/mm)

Z : バスケットプレートの単位幅当たりの断面係数 (= mm³/mm)

m_B : 図 2-1 に示す斜線部 B に含まれる使用済燃料、伝熱プレート及びバスケットプレートの合計質量 (= kg)

ℓ_p : バスケットプレートの内り (= mm)

ℓ_w : バスケットプレートのキャスク容器軸方向長さ (燃料集合体の荷重面の軸方向長さ) (= mm)

ただし、バスケットプレート同士の嵌合のための切欠きがあるため実際の荷重荷重面の長さをℓ_w/2 とする。

G₁ : a. と同じ

下方向加速度により発生する応力 (σ_y) は、一次一般膜応力と同様である。

ここで、G₂ : a. と同じ

他の応力成分は、零である。

c. 純せん断応力

バスケットプレート格子端部 (図 2-1②部) に発生する平均せん断応力 (σ_s) は、(2.4) 式で計算する。

なお、熱応力については、バスケットプレート間及びバスケットプレートとサポートシリンダ間の嵌合部には、ギャップを設けており、熱膨張による拘束が生じず、著しい熱応力は生じないため、考慮しない。以下本項において同様である。

d. 支圧応力

バスケットプレート端部 (図 2-1①部) に発生する平均支圧応力 (σ_p) は、(2.1) 式で計算する。

e. 座屈応力

バスケットプレート下端部 (図 2-1③部) に発生する座屈応力 (σ_b) は、(2.2) 式で計算する。

(2) サポートシリンダ

a. 一次一般膜応力

最大応力が発生するのは、サポートシリンダ下端部 (図 2-1④部) であり、下方向加速度により発生する応力 (σ_x) は、次式で計算する。

$$\sigma_x = \frac{m_s \cdot G_2}{A_s} \dots\dots\dots (2.5)$$

ここで、G₂ : (1)a. と同じ

A_s : サポートシリンダの断面積 (= mm²)

m_s : サポートシリンダの質量 (= kg)

b. 一次一般膜+一次曲げ応力

サポートシリンダには、曲げ応力は発生しないので、一次一般膜応力と同様である。

c. 支圧応力

サポートシリンダのバスケットプレート支持部（図 2-1⑤部）に発生する平均支圧応力（ σ_p ）は、（2.1）式で計算する。

d. 軸圧縮応力

サポートシリンダ下端部（図 2-1④部）に発生する軸圧縮応力（ σ_c ）は、（2.5）式で計算する。

2.2.3 計算結果

応力計算結果を表 2-2 及び表 2-3 に示す。

3. 応力の評価

3.1 応力強さの評価

地震時における応力強さの計算結果と許容応力を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

表 2-1 及び表 2-2 より，地震時の一次一般膜応力強さ (P_m) 及び一次一般膜+一次曲げ応力強さ ($P_m + P_b$) は，補足資料「バスケットの応力解析の方針」5.5 節の各規定を満足する。

3.2 特別な応力の評価

3.2.1 純せん断応力

地震時における応力計算結果と許容応力を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

表 2-1 及び表 2-2 より，地震時の平均せん断応力 (σ_s) は，補足資料「バスケットの応力解析の方針」5.5 節の規定を満足する。

3.2.2 支圧応力

地震時における応力計算結果と許容応力を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

表 2-1 及び表 2-2 より，地震時の平均支圧応力 (σ_p) は，補足資料「バスケットの応力解析の方針」5.5 節の規定を満足する。

3.2.3 軸圧縮応力

地震時における応力計算結果と許容応力を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

表 2-1 及び表 2-2 より，地震時の軸圧縮応力 (σ_c) は，補足資料「バスケットの応力解析の方針」5.5 節の規定を満足する。

3.2.4 座屈応力

地震時における応力計算結果と許容応力を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

表 2-1 及び表 2-2 より，地震時の座屈応力 (σ_b) は，補足資料「バスケットの応力解析の方針」5.5 節の規定を満足する。

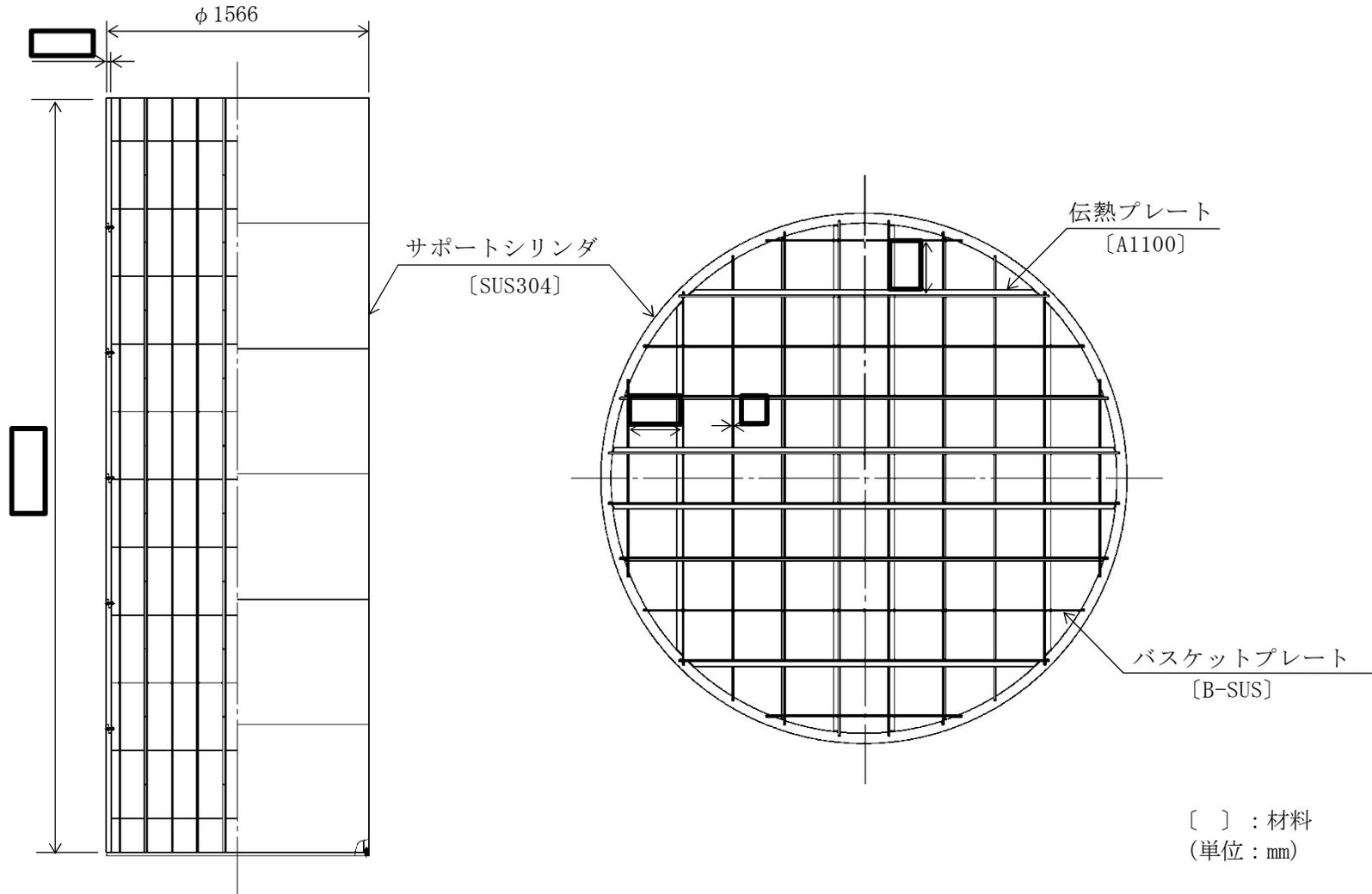


図 1-1 形状・寸法・材料

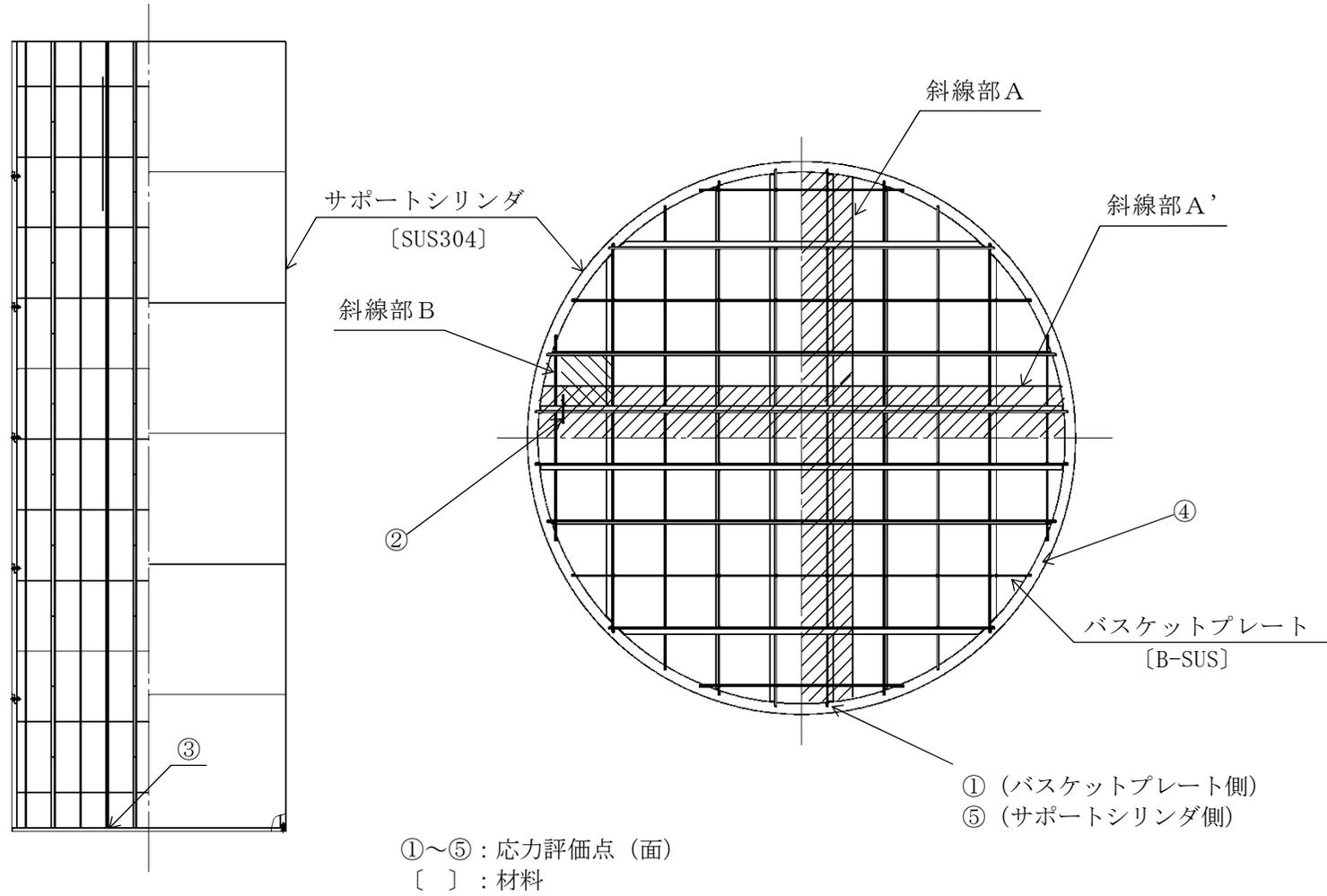


図 2-1 バスケットの応力評価点 (面)

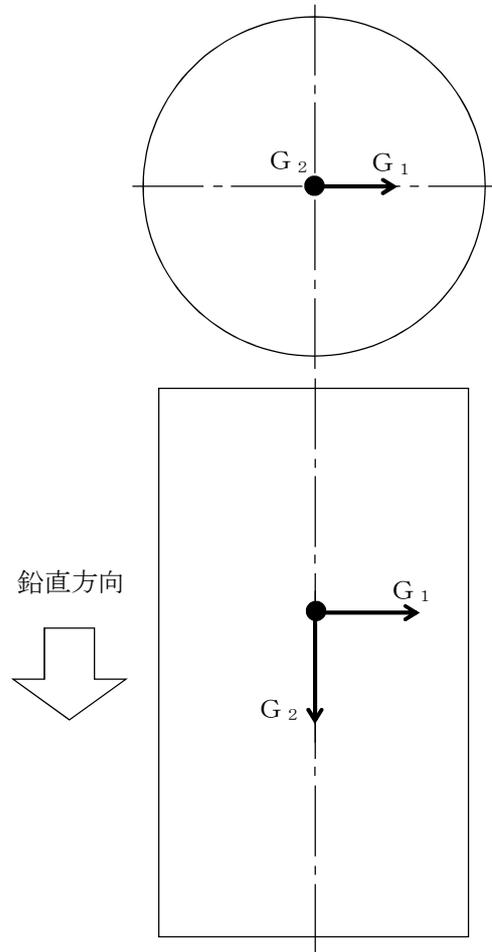


図 2-2 地震時におけるバスケットの姿勢と荷重方向

表 1-1(1) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材 料	設計事象	一次一般膜応力強さ			一次一般膜+一次曲げ応力強さ		
			計算値	許容応力	評価点 (面)	計算値	許容応力	評価点 (面)
バスケット プレート	ボロン添 加ステン レス鋼板 (B-SUS)	I + S _d [*]	2	201	①	7	301	②
		I + S _s	2	269	①	7	404	②
サポート シリンダ	ステンレ ス鋼 (SUS304)	I + S _d [*]	1	180	④	1	270	④
		I + S _s	1	263	④	1	395	④

表 1-1(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材 料	設計事象	平均せん断応力			平均支圧応力			軸圧縮応力			座屈応力		
			計算値	許容 応力	評価面	計算値	許容 応力	評価面	計算値	許容 応力	評価面	計算値	許容 応力	評価面
バスケット プレート	ボロン添 加ステン レス鋼板 (B-SUS)	I + S _d [*]	1	120	②	2	311	①				1	180	③
		I + S _s	1	160	②	2	415	①				1	180	③
サポート シリンダ	ステンレ ス鋼 (SUS304)	I + S _d [*]				2	200	⑤	1	92	④			
		I + S _s				2	266	⑤	1	123	④			

表 2-1 バスケットの応力評価（貯蔵時： S_d^* 地震力が作用する場合）

（単位：MPa）

部位	応力の種類	評価点 (面)	計算値	許容応力
バスケット プレート	P_m	①	2	201
	$P_m + P_b$	②	7	301
	σ_s	②	1	120
	σ_p	①	2	311
	σ_b	③	1	180
サポート シリンダ	P_m	④	1	180
	$P_m + P_b$	④	1	270
	σ_s	—	—	108
	σ_p	⑤	2	200
	σ_c	④	1	92

表 2-2 バスケットの応力評価（貯蔵時：S_s地震力が作用する場合）

（単位：MPa）

部位	応力の種類	評価点 (面)	計算値	許容応力
バスケット プレート	P_m	①	2	269
	$P_m + P_b$	②	7	404
	σ_s	②	1	160
	σ_p	①	2	415
	σ_b	③	1	180
サポート シリンダ	P_m	④	1	263
	$P_m + P_b$	④	1	395
	σ_s	—	—	144
	σ_p	⑤	2	266
	σ_c	④	1	123

V-2-4-2-6 バスケットの耐震性についての計算書③
(タイプⅢ)

目次

1. 概 要	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 計算結果の概要	1
2. 温度分布計算	2
2.1 計算方法	2
2.2 温度分布図	2
3. 応力計算	3
3.1 応力評価点	3
3.2 貯蔵時 (S_d *地震力が作用する場合)	4
3.2.1 荷重条件	4
3.2.2 計算方法	4
3.2.3 計算結果	10
3.3 貯蔵時 (S_S 地震力が作用する場合)	11
3.3.1 荷重条件	11
3.3.2 計算方法	11
3.3.3 計算結果	11
4. 応力の評価	12
4.1 応力強さの評価	12
4.2 特別な応力の評価	12
4.2.1 純せん断応力	12
4.2.2 支圧応力	12
4.2.3 座屈応力	12

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料	13
図 2-1	温度分布計算モデル	14
図 2-2	温度分布図（貯蔵時）	15
図 3-1	バスケットの応力評価点（面）	16
図 3-2(1)	枠板の応力評価で考慮する質量	17
図 3-2(2)	拘束リングの応力評価で考慮する質量	18
図 3-3	熱応力解析モデル	19
表 1-1(1)	計算結果の概要（枠板，燃料支持板，拘束リング）	20
表 1-1(2)	計算結果の概要（拘束リングボルト，枠板固定ボルト）	21
表 2-1	熱伝達率の計算	22
表 3-1	バスケットの応力計算結果（貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合）	23
表 3-2	バスケットの応力計算結果（貯蔵時： S_S 地震力が作用する場合）	24
表 4-1	バスケットの応力評価（貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合）	25
表 4-2	バスケットの応力評価（貯蔵時： S_S 地震力が作用する場合）	26

1. 概 要

本計算書は、使用済燃料乾式貯蔵容器のバスケットに関する応力計算書である。

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 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、応力評価上厳しくなる代表的な評価点（面）を本計算書に記載している。

表中の「－」は、評価すべき応力が発生しない又は、評価上厳しくないため評価を省略している。

2. 温度分布計算

2.1 計算方法

温度分布計算は、解析コードABAQUSにより行う。

計算のためのモデル図を図 2-1 に示す。

温度分布計算に使用する外表面の熱伝達率の計算条件と計算結果を表 2-1 に示す。

2.2 温度分布図

2.1 項の計算により得られた温度分布図を図 2-2 に示す。

3. 応力計算

3.1 応力評価点

バスケットの応力評価点（面）を図 3-1 に示す。

3.2 貯蔵時（ S_d *地震力が作用する場合）

3.2.1 荷重条件

貯蔵時において S_d *地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。
ボルト初期締付け力+地震力+自重+熱荷重

3.2.2 計算方法

(1) 枠板（大）

a. 一次一般膜応力強さ

最大応力が発生するのは、枠板（大）の①部（図3-1の①部）である。
下方向加速度により発生する圧縮応力（ σ_z ）は次式で表される。

$$\sigma_z = \frac{m_A \cdot G_1}{A_A} \dots \dots \dots (3.1)$$

ここで、

m_A : 全バスケット質量（= kg）

G_1 : 加速度（前後方向）（=19.62 m/s²）

A_A : 枠板（大）及び枠板（小）の総断面積（= mm²）

他の応力成分は零である。

水平方向加速度により発生する圧縮応力（ σ_x ）は次式で表される。

$$\sigma_x = \frac{m_1 \cdot G_3}{A_1} \dots \dots \dots (3.2)$$

ここで、

m_1 : 図3-2(1)に示す斜線部①に含まれる使用済燃料とバスケット構造部材の合計質量（= kg）の1/3の質量

G_3 : 加速度（下方向）（=29.42 m/s²）

A_1 : 拘束リング幅に相当する長さにおける枠板（大）の断面積（=1000 mm²）

他の応力成分は零である。ただし、 $G_1 = C_V + 9.81$ m/s²、 $G_3 = C_H$ である。

ここで、

C_H : 水平方向加速度（=7.06 m/s²）

C_V : 鉛直方向加速度（=3.53 m/s²）

他の応力成分は零である。

b. 一次膜+一次曲げ応力強さ

最大応力が発生するのは、枠板（大）の③部（図3-1の③部）である。

下方向加速度により発生する圧縮応力（ σ_z ）は、（3.1）式で、水平方向加速度により発生する曲げ応力（ σ_x ）は次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{\text{Max. } (|M_2|, |M_3|)}{Z} \\ M_2 &= -\frac{m_3' \cdot G_2 \cdot l_1 \cdot l_2}{2 \cdot (l_1 + l_2)^2} \cdot (2 \cdot l_1 + l_2) \\ M_3 &= \frac{m_3' \cdot G_2 \cdot l_1 \cdot l_2^2}{2 \cdot (l_1 + l_2)^3} \cdot (3 \cdot l_1 + 2 \cdot l_2) \\ Z &= \frac{l_3 \cdot t^2}{6} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3. 3)$$

ここで、

- m_3' : 図 3-2(1)に示す斜線部③'に含まれる使用済燃料とバスケット構造部材の合計質量 (= kg) の 1/3 の質量
- G_2 : 加速度 (左右方向) (=9.81 m/s²)
- l_1 : 枳板により構成される格子の内寸 (= mm)
- l_2 : 枳板により構成される格子の内寸の 1/2 の寸法 (= mm)
- l_3 : 拘束リング間長さから枳板 (大) と枳板 (小) の組合せ部を除いた長さ (= mm)
- t : 枳板板厚 (= mm)

他の応力成分は零である。

水平方向加速度により発生する圧縮応力(σ_x)は次式で表される。

$$\sigma_x = \frac{m_3 \cdot G_3}{A_3} \dots\dots\dots (3. 4)$$

ここで、

- m_3 : 図 3-2(1)に示す斜線部③に含まれる使用済燃料とバスケット構造部材の合計質量 (= kg) の 1/3 の質量
- G_3 : 加速度 (下方向) (=29.42 m/s²)
- A_3 : 拘束リング間長さにおける枳板 (大) の断面積 (= mm²)

他の応力成分は零である。ただし、 $G_1 = C_V + 9.81 \text{ m/s}^2$, $G_2 = C_H$, $G_3 = C_H$ であり、 C_H , C_V は 3.5.2(1)a. と同等である。

c. せん断応力

せん断応力(σ_s)の最大値は枳板 (大) の②部 (図 3-1 の②部) に発生し、次式で表される。

$$\sigma_s = \frac{m_2' \cdot G_2}{A_2} \dots\dots\dots (3. 5)$$

ここで、

- m_2' : 枳板 (大) と枳板 (小) の組合せ部の間にある使用済燃料とバスケット構造部材の合計質量 (= kg)
- G_2 : 左右方向加速度 (=9.81 m/s²)

A_2' : 杵板 (大) と杵板 (小) の組合せ部間の断面積 (= mm²)
 ただし, $G_2 = C_H$ であり, C_H は 3.2.2(1)a. と同等である。

d. 支圧応力

支圧応力 (σ_p) の最大値は杵板 (大) の①部 (図 3-1 の①部) に発生し, (3. 2) 式で表される。ただし, $G_3 = C_H$ であり, C_H は 3.2.2(1)a. と同等である。

e. 座屈応力

座屈応力 (一次+二次応力) ($\sigma_{b(一次+二次)}$) の最大値は杵板 (大) の②部 (図 3-1 の②部) に発生し, 一次応力は次式で表される。

$$\sigma_{b(一次)} = \frac{m_2 \cdot G_3}{A_2} \dots\dots\dots (3. 6)$$

ここで,

m_2 : 図 3-2(1) に示す斜線部②に含まれる使用済燃料とバスケット構造部材の合計質量 (= kg) の 1/3 の質量

G_3 : 加速度 (下方向) (= 29.42 m/s²)

A_2 : 拘束リング間長さにおける杵板 (大) の断面積 (= mm²)

ただし, $G_3 = C_H$ であり, C_H は 3.2.2(1)a. と同等である。また, 二次応力は, 解析コード ABAQUS の二次元平面固体 (連続体) 要素及びはり要素による解析モデル (図 3-3) から求められる。

荷重は, 2.2 項の結果から得られた運搬時 (横置き姿勢) での温度分布による。

(2) 杵板 (小)

a. 一次一般膜応力強さ

最大応力が発生するのは, 杵板 (小) の⑥部 (図 3-1 の⑥部) である。

下方向加速度により発生する圧縮応力 (σ_z) は, (3. 1) 式で, 水平方向加速度により発生する圧縮応力 (σ_x) は, 次式で表される。

$$\sigma_x = \frac{m_6' \cdot G_2}{A_6} \dots\dots\dots (3. 7)$$

ここで,

m_6' : 図 3-2(1) に示す斜線部⑥' に含まれる使用済燃料とバスケット構造部材の合計質量 (= kg) の 1/3 の質量

G_2 : 加速度 (左右方向) (= 9.81 m/s²)

A_6 : 拘束リング幅に相当する長さにおける杵板 (小) の断面積 (= mm²)

他の応力成分は零である。ただし, $G_1 = C_V + 9.81 \text{ m/s}^2$, $G_2 = C_H$ であり, C_H , C_V は 3.2.2(1)a. と同等である。

他の応力成分は零である。

b. 一次膜+一次曲げ応力強さ

最大応力が発生するのは、枳板（小）の⑥部（図3-1の⑥部）である。

下方向加速度により発生する圧縮応力(σ_z)は、(3.1)式で、水平方向加速度により発生する圧縮応力(σ_x)及び曲げ応力(σ_x)、(σ_z)は、(3.7)式及び次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_z &= \frac{M_{\max}}{Z} \\ M_{\max} &= \frac{m_6 \cdot G_3 \cdot \ell_5^2}{12} \\ Z &= \frac{\ell_1 \cdot t^2}{6} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.8)$$

ここで、

m_6 : 枳板（大）と枳板（小）の組合せ部の間にある使用済燃料とバスケット構造部材の合計質量 (= kg)

G_3 : 加速度（下方向） (=29.42 m/s²)

ℓ_1 : 枳板により構成される格子の内寸 (= mm)

ℓ_5 : 枳板（大）と枳板（小）の組合せ部の間の長さ (= mm)

t : 枳板板厚 (= mm)

他の応力成分は零である。ただし、 $G_1 = C_V + 9.81 \text{ m/s}^2$ 、 $G_2 = C_H$ 、 $G_3 = C_H$ であり、 C_H 、 C_V は3.2.2(1)a.と同等である。

c. せん断応力

せん断応力(σ_s)の最大値は枳板（小）の⑤部（図3-1の⑤部）に発生し、3.3.2(2)b.と同様な式で表される。ただし、 $G_3 = C_H$ であり、 C_H は3.5.2(1)a.と同等である。

d. 支圧応力

支圧応力(σ_p)の最大値は枳板（小）の⑥部（図3-1の⑥部）に発生し、(3.7)式で表される。ただし、 $G_2 = C_H$ であり、 C_H は3.2.2(1)a.と同等である。

e. 座屈応力

座屈応力（一次+二次応力）($\sigma_{b(\text{一次+二次})}$)の最大値は枳板（小）の⑤部（図3-1の⑤部）に発生し、一次応力は(3.1)式で求められる。ただし、 $G_2 = C_H$ であり、 C_H は3.2.2(1)a.と同等である。また、二次応力は、3.2.2(1)e.と同等である。

(3) 燃料支持板

a. 一次一般膜応力強さ

最大応力が発生するのは、燃料支持板の脚部（図3-1の⑦部）である。

下方向加速度により発生する圧縮応力(σ_x)は、次式で表される。

$$\sigma_x = \frac{m_T \cdot G_1}{A_L} \dots\dots\dots (3. 8)$$

ここで、

m_T : バスケット総質量+全使用済燃料質量 (= kg)

G_1 : 加速度 (前後方向) (=19.62 m/s²)

A_L : 燃料支持板脚部断面積 (= mm²)

他の応力成分は零である。ただし、 $G_1 = C_V + 9.81$ m/s²であり、 C_V は3.2.2(1)a.と同等である。

他の応力成分は零である。

b. 一次膜+一次曲げ応力強さ

最大応力が発生するのは、燃料支持板の脚部 (図3-1の⑦部) であり、一次膜+一次曲げ応力強さ(σ_x)は、a.項の一次一般膜応力強さと同等である。

(4) 拘束リング

a. 一次一般膜応力強さ

最大応力が発生するのは、拘束リングの⑧部 (図3-1の⑧部) である。

水平方向加速度により発生する応力(σ_x)は、次式で表される。

$$\sigma_x = \sum_{i=1}^5 m_{Si} \cdot G_3 \cdot \sin \theta_{Si} / A_S \dots\dots\dots (3. 9)$$

ここで、

m_{S1} : 図3-2(2)の斜線部①の使用済燃料と枠板の質量 (= kg) の1/3の質量

θ_{S1} : ボルト1の取付け角度 (=69.5°)

m_{S2} : 図3-2(2)の斜線部②の使用済燃料と枠板の質量 (= kg) の1/3の質量

θ_{S2} : ボルト2の取付け角度 (=50.0°)

m_{S3} : 図3-2(2)の斜線部③の使用済燃料と枠板の質量 (= kg) の1/3の質量

θ_{S3} : ボルト3の取付け角度 (=33.5°)

m_{S4} : 図3-2(2)の斜線部④の使用済燃料と枠板の質量 (= kg) の1/3の質量

θ_{S4} : ボルト4の取付け角度 (=20.0°)

m_{S5} : 図3-2(2)の斜線部⑤の使用済燃料と枠板の質量 (= kg) の1/3の質量

θ_{S5} : ボルト5の取付け角度 (=7.5°)

G_3 : 加速度 (下方向) (=29.42 m/s²)

A_S : 拘束リングの断面積 (= mm²)

ただし、 $G_3 = C_H$ であり、 C_H は 3.2.2(1)a. と同等である。

他の応力成分は零である。

b. 一次膜＋一次曲げ応力強さ

最大応力が発生するのは、拘束リングの⑧部 (図 3-1 の⑧部) であり、一次膜＋一次曲げ応力強さは、a. 項の一次一般膜応力と同等である。

(5) 拘束リングボルト

a. 一次一般膜応力強さ

拘束リングボルト (図 3-1 の⑨部) の一次一般膜応力強さは、次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \sigma_f \\ \sigma_f &= \frac{F_f}{A_{R1}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3. 10)$$

ここで、

σ_f : 拘束リングボルトの締付け応力

F_f : 拘束リングボルトの初期締付け力 (=4800 N)

A_{R1} : 拘束リングボルト (M12) の断面積 (= mm²) で表される。

他の応力成分は零である。

b. 一次膜＋一次曲げ応力強さ

拘束リングボルト (図 3-1 の⑨部) の一次膜＋一次曲げ応力強さは、a. 項の一次一般膜応力強さと同等である。

c. 一次膜＋二次膜応力強さ

拘束リングボルト (図 3-1 の⑨部) の一次膜＋二次膜応力強さは、a. 項の一次一般膜応力強さと同等である。

d. (一次＋二次) 膜応力＋曲げ応力強さ

拘束リングボルト (図 3-1 の⑨部) の (一次＋二次) 膜応力＋曲げ応力強さは、a. 項の一次一般膜応力強さと同等である。

(6) 枠板固定ボルト

a. 一次一般膜応力強さ

最大応力が発生するのは、33.5° 位置の枠板固定ボルト (図 3-1 の⑩部) である。

初期締付け力による引張応力 (σ_x) は、次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \sigma_f \\ \sigma_f &= \frac{F_f}{A_{R2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3. 11)$$

ここで、

σ_f : 桢板固定ボルトの締付け応力

F_f : 桢板固定ボルトの初期締付け力 (=4800 N)

A_{R2} : 桢板固定ボルト (M10) の断面積 (= mm²) 水平方向加速度により発生するせん断応力(σ_s)は、次式で表わせる。

$$\sigma_s = \frac{m_{S3} \cdot G_3 \cdot \sin \theta_{S3}}{n_2 \cdot A_{R2}} \dots\dots\dots (3. 1 2)$$

ここで、

m_{S3} : 図 3-2(2)の斜線部③の使用済燃料と桢板の質量 (= kg) の 1/3 の質量

θ_{S3} : 桢板固定ボルト⑩部の位置の角度 (=33.5 °)

G_3 : 加速度 (下方向) (=29.42 m/s²)

A_{R2} : 桢板固定ボルト (M10) の断面積 (= mm²)

n_2 : 桢板固定ボルト本数 (=4 本) ただし、 $G_3 = C_H$ であり、 C_H は 3.2.2(1)a. と同等である。

他の応力成分は零である。

b. 一次膜+一次曲げ応力強さ

一次膜+一次曲げ応力強さは、a. 項の一次一般膜応力強さと同等である。

3.2.3 計算結果

応力計算結果を表 3-1 に示す。

3.3 貯蔵時（S_S地震力が作用する場合）

3.3.1 荷重条件

貯蔵時においてS_S地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。
ボルト初期締付け力+地震力+自重+熱荷重

3.3.2 計算方法

枠板（大），枠板（小），燃料支持板，拘束リング及び枠板固定ボルトの応力計算は3.2.2項と同様である。

拘束リングボルトの応力計算は3.2.2項(5)a.及びb.と同様である。

ただし，

C_H : 水平方向加速度（=11.48 m/s²）

C_V : 鉛直方向加速度（=6.38 m/s²）

3.3.3 計算結果

応力計算結果を表3-2に示す。

4. 応力の評価

4.1 応力強さの評価

各設計事象における応力計算結果と許容応力を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より、各設計事象の一次一般膜応力強さ(P_m)、一次膜+一次曲げ応力強さ($P_m + P_b$)及び一次応力と二次応力を加えて求めた応力強さ($P_m + P_b + Q$)は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

4.2 特別な応力の評価

4.2.1 純せん断応力

各設計事象における応力計算結果と許容応力を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より、各設計事象の平均せん断応力(σ_s)は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

4.2.2 支圧応力

各設計事象における応力計算結果と許容応力を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より、各設計事象の平均支圧応力(σ_p)は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

4.2.3 座屈応力

各設計事象における応力計算結果と許容応力を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より、各設計事象の座屈応力(σ_b)は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

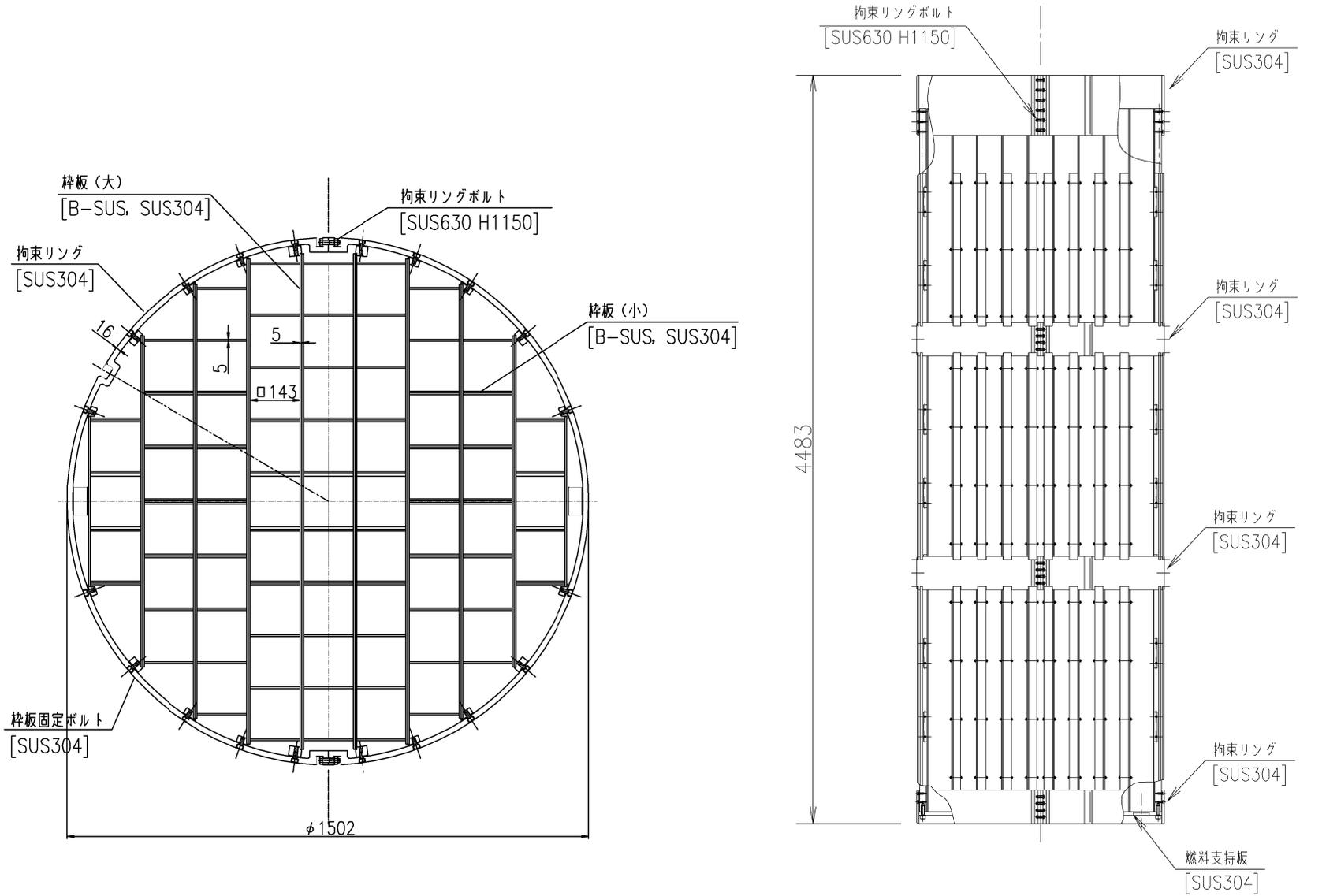


図 1-1 形状・寸法・材料

(単位：mm)

[] 材料

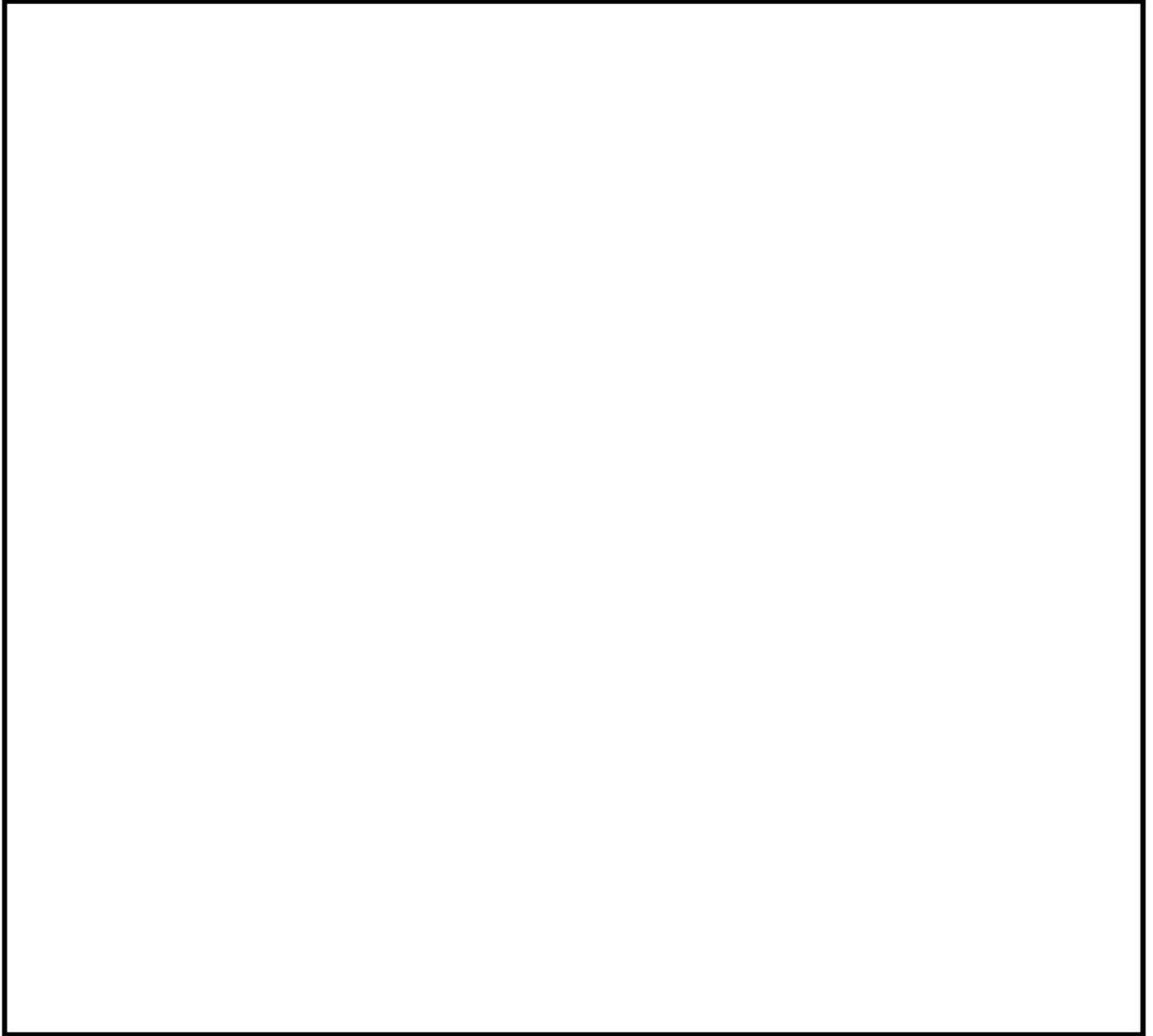


図 2-1 温度分布計算モデル

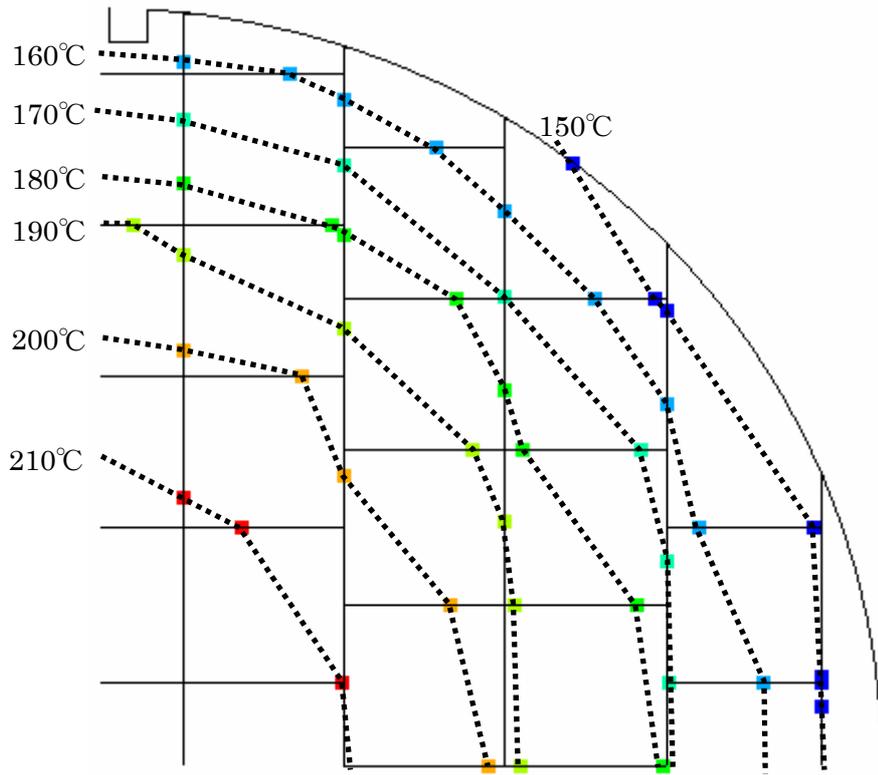


图 2-2 温度分布图 (貯蔵時)

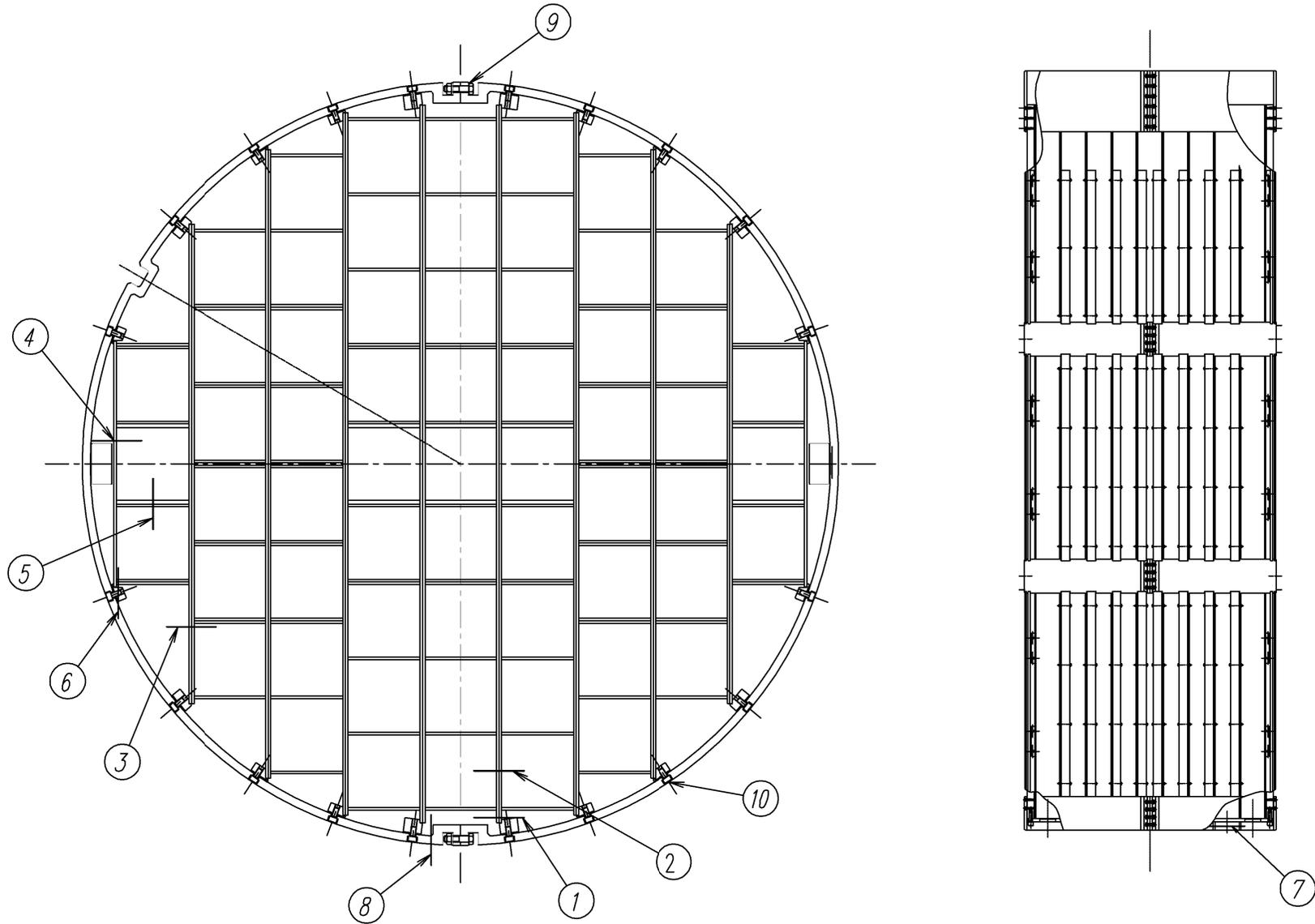


図 3-1 バスケットの応力評価点 (面)

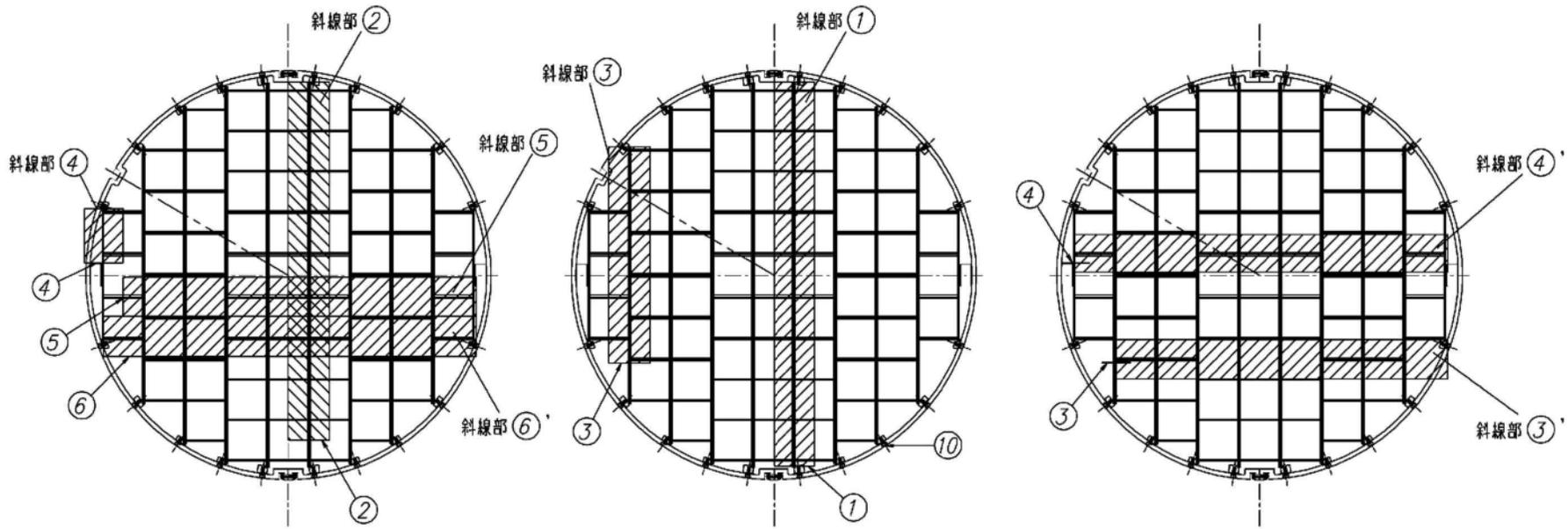


図 3-2(1) 枠板の応力評価で考慮する質量

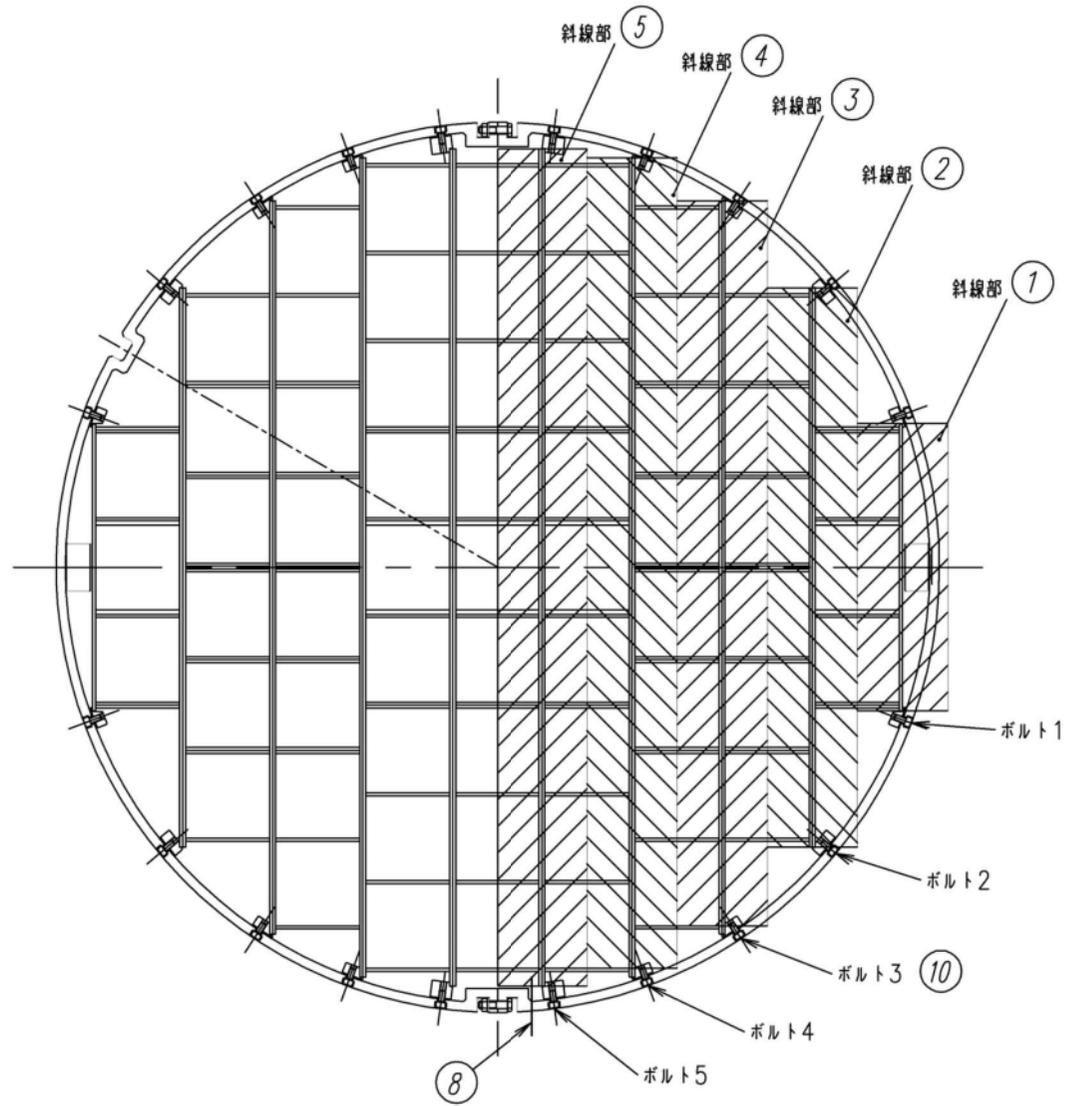


図 3-2(2) 拘束リングの応力評価で考慮する質量

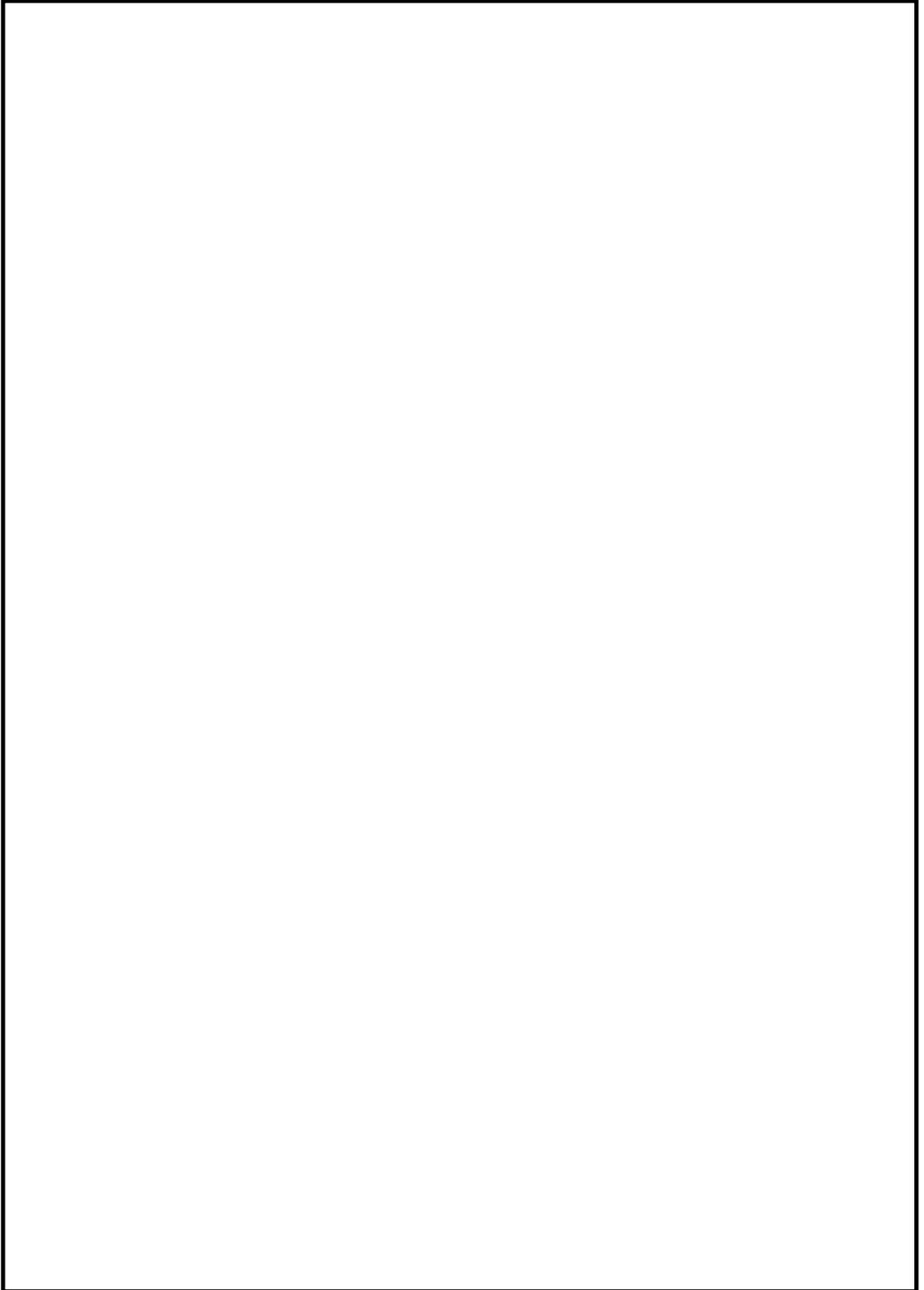


図 3-3 熱応力解析モデル

表 1-1(1) 計算結果の概要 (粹板, 燃料支持板, 拘束リング)

(単位 : MPa)

部 位	材 料	設計事象	一次一般膜応力強さ			一次膜+一次曲げ応力強さ			一次+二次応力強さ		
			計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点
粹板 (大)	B-SUS, SUS304	I + S _d [*]	8	187	①	61	281	③			
		I + S _s	12	266	①	98	399	③			
粹板 (小)	B-SUS, SUS304	I + S _d [*]	7	187	⑥	29	281	⑥			
		I + S _s	11	266	⑥	47	399	⑥			
燃料支持板	SUS304	I + S _d [*]	8	187	⑦	8	281	⑦			
		I + S _s	9	266	⑦	9	399	⑦			
拘束リング	SUS304	I + S _d [*]	4	121*	⑧	4	182*	⑧			
		I + S _s	6	172*	⑧	6	259*	⑧			

注記 * : 溶接継手効率を考慮

表 1-1(2) 計算結果の概要 (拘束リングボルト, 桢板固定ボルト)

(単位: MPa)

部 位	材 料	設計事象	一次一般膜応力強さ			一次膜+一次曲げ応力強さ			一次膜応力+二次膜応力			一次応力+二次応力		
			計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点
拘束 リング ボルト	SUS630	I + S _d *	43		⑨	43		⑨	43		⑨	43		⑨
	H1150	I + S _s	43		⑨	43		⑨						
桢板 固定 ボルト	SUS304	I + S _d *	65		⑩	65		⑩						
		I + S _s	70		⑩	70		⑩						

表 2-1 熱伝達率の計算

適用条件	対象部位	熱伝達率
垂直平板	貯蔵時：胴部 運搬時：二次蓋, 底板	$h_1 = 0.13 \sqrt[3]{Ra} \cdot \frac{\lambda}{D}$ *1
水平平板	貯蔵時：二次蓋 運搬時：-	$h_2 = 0.14 \sqrt[3]{Ra} \cdot \frac{\lambda}{D}$ *1
水平円筒	貯蔵時：- 運搬時：胴部	$h_3 = 0.10 \sqrt[3]{Ra} \cdot \frac{\lambda}{D}$ *2
水平平板 (加熱下向)	貯蔵時：底板 運搬時：-	$h_4 = 0.0117 \sqrt[3]{Ra} \cdot \frac{\lambda}{D}$ *2

ここで,

R_a : レーレー数

$$R_a = \frac{G \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot D^3}{\nu^2} \cdot P_r$$

P_r : プラントル数*2

G : 重力加速度 (=9.80665 m/s²)

β : 体膨張係数 (1/K)

ΔT : 周囲空気と表面の温度差 (K)

D : 代表長さ (m)

ν : 動粘性係数 (m²/s)

λ : 熱伝導率 (W/(m・K))

注記 *1 : 「応力解析の方針」7. 引用文献(4)参照

*2 : 「応力解析の方針」7. 引用文献(1)参照

表 3-1 バスケットの応力計算結果（貯蔵時：S_d*地震力が作用する場合）

（単位：MPa）

部位	応力分類	評価点 (面)	応力成分 *1						応力 強さ	許容 応力
			σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{yz}	τ_{zx}		
杵板 (大)	P _m	①							8	
	P _m +P _b	③							61	
	σ_s	②							1	
	σ_p	①							8	
	σ_b (一次+二次)	②							45	
杵板 (小)	P _m	⑥							7	
	P _m +P _b	⑥							29	
	σ_s	⑤							1	
	σ_p	⑥							7	
	σ_b (一次+二次)	⑤							2	
燃料 支持板	P _m	⑦	8							
	P _m +P _b	⑦	8							
	σ_s	—	—							
	σ_p	—	—							
	σ_b (一次+二次)	—	—							
拘束 リング	P _m	⑧	4							
	P _m +P _b	⑧	4							
	σ_s	—	—							
	σ_p	—	—							
	σ_b (一次+二次)	—	—							
拘束 リング ボルト	P _m	⑨	43							
	P _m +P _b	⑨	43							
	P _m +Q _m	⑨	43							
	P _m +Q _m +P _b +Q _b	⑨	43							
	杵板 固定 ボルト	P _m	⑩	65						
P _m +P _b		⑩	65							

注記 *1： σ_x ：評価断面に垂直な方向の応力 σ_z ：評価断面に平行な方向の応力
 σ_y ：評価断面に平行な方向の応力 τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{zx} ：評価断面上のせん断応力
 *2：溶接継手効率を考慮

表 3-2 バスケットの応力計算結果 (貯蔵時：S_S地震力が作用する場合)

(単位：MPa)

部位	応力分類	評価点 (面)	応力成分 *1						応力 強さ	許容 応力
			σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{yz}	τ_{zx}		
杵板 (大)	P _m	①							12	
	P _m +P _b	③							98	
	σ_s	②							1	
	σ_p	①							12	
	σ_b (一次+二次)	②							45	
杵板 (小)	P _m	⑥							11	
	P _m +P _b	⑥							47	
	σ_s	⑤							1	
	σ_p	⑥							11	
	σ_b (一次+二次)	⑤							2	
燃料 支持板	P _m	⑦							9	
	P _m +P _b	⑦							9	
	σ_s	—							—	
	σ_p	—							—	
	σ_b (一次+二次)	—							—	
拘束 リング	P _m	⑧							6	
	P _m +P _b	⑧							6	
	σ_s	—							—	
	σ_p	—							—	
	σ_b (一次+二次)	—							—	
拘束 リング ボルト	P _m	⑨							43	
	P _m +P _b	⑨							43	
杵板 固定 ボルト	P _m	⑩							70	
	P _m +P _b	⑩							70	

注記 *1： σ_x ：評価断面に垂直な方向の応力 σ_z ：評価断面に平行な方向の応力

σ_y ：評価断面に平行な方向の応力 τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{zx} ：評価断面上のせん断応力

*2：溶接継手効率を考慮

表 4-1 バスケットの応力評価（貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合）

（単位：MPa）

部位	応力の種類	評価点（面）	計算値	許容応力
杵板（大）	P_m	①	8	
	P_m+P_b	③	61	
	σ_s	②	1	
	σ_p	①	8	
	σ_b (一次+二次)	②	45	
杵板（小）	P_m	⑥	7	
	P_m+P_b	⑥	29	
	σ_s	⑤	1	
	σ_p	⑥	7	
	σ_b (一次+二次)	⑤	2	
燃料支持板	P_m	⑦	8	
	P_m+P_b	⑦	8	
	σ_s	—	—	
	σ_p	—	—	
	σ_b (一次+二次)	—	—	
拘束リング	P_m	⑧	4	
	P_m+P_b	⑧	4	
	σ_s	—	—	
	σ_p	—	—	
	σ_b (一次+二次)	—	—	
拘束リングボルト	P_m	⑨	43	
	P_m+P_b	⑨	43	
	P_m+Q_m	⑨	43	
	$P_m+Q_m+P_b+Q_b$	⑨	43	
杵板固定ボルト	P_m	⑩	65	
	P_m+P_b	⑩	65	

注記 *：溶接継手効率を考慮

表 4-2 バスケットの応力評価（貯蔵時：S_S地震力が作用する場合）

（単位：MPa）

部位	応力の種類	評価点（面）	計算値	許容応力
枠板（大）	P _m	①	12	
	P _m +P _b	③	98	
	σ _s	②	1	
	σ _p	①	12	
	σ _b (一次+二次)	②	45	
枠板（小）	P _m	⑥	11	
	P _m +P _b	⑥	47	
	σ _s	⑤	1	
	σ _p	⑥	11	
	σ _b (一次+二次)	⑤	2	
燃料支持板	P _m	⑦	9	
	P _m +P _b	⑦	9	
	σ _s	—	—	
	σ _p	—	—	
	σ _b (一次+二次)	—	—	
拘束リング	P _m	⑧	6	
	P _m +P _b	⑧	6	
	σ _s	—	—	
	σ _p	—	—	
	σ _b (一次+二次)	—	—	
拘束リングボルト	P _m	⑨	43	
	P _m +P _b	⑨	43	
枠板固定ボルト	P _m	⑩	70	
	P _m +P _b	⑩	70	

注記 *：溶接継手効率を考慮

V-2-4-2-3-7 トラニオンの耐震性についての計算書①
(タイプ I)

目次

1. 概 要	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 計算結果の概要	1
2. 応力計算	2
2.1 応力評価点	2
2.2 貯蔵時（ S_d^* 及び S_s 地震力が作用する場合）	2
2.2.1 荷重条件	2
2.2.2 計算方法	2
2.2.3 計算結果	3
3. 応力の評価	4
3.1 一次応力の評価	4
3.2 一次＋二次応力の評価	4
3.3 組合せ応力の評価	4

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点（面）	5
図 2-1	地震時に作用する荷重の計算モデル	6
表 1-1	計算結果の概要	7
表 2-1	トラニオンの応力評価 （貯蔵時： S_d^* 地震力及び S_s 地震力が作用する場合）	8

1. 概 要

本計算書は、使用済燃料乾式貯蔵容器のトラニオンに関する応力計算書である。

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 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、応力評価上厳しくなる代表的な評価点(面)を本計算書に記載している。

表中の「-」は、評価すべき応力が発生しない又は評価上厳しくないため評価を省略している。以下、本計算書において同様である。

2. 応力計算

2.1 応力評価点

トラニオンの応力評価点(面)を図 1-1 に示す。

2.2 貯蔵時 (S_d* 及び S_s地震力が作用する場合)

2.2.1 荷重条件

貯蔵時において S_d* 及び S_s地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。
地震力+自重+熱荷重

2.2.2 計算方法

(1) 一次応力

a. せん断応力

最大応力が発生する箇所は、図 1-1 に示す下部トラニオンの評価点①である。

水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生するせん断応力(τ)は、次式で表わされる(図 2-1 参照)。

$$\left. \begin{aligned} \tau &= \frac{F_W}{A} \\ F_W &= \frac{W \cdot (G_1 \cdot h_{CG} - G_3 \cdot a_2)}{\frac{2a_2^2}{a_1} + a_1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2. 1)$$

ここで、G₁=α_H、G₃=9.81-α_V

h_{CG} : 貯蔵容器底面から重心までの高さ (=2870mm)

a₁ : 支点Oから支持台①のトラニオン固定金具中心までの距離
(=2077.5mm)

a₂ : 支点Oから支持台②のトラニオン固定金具中心評価位置までの
距離 (=949.5mm)

F_W : 地震力によりトラニオンに作用する荷重 (=1.19×10⁶N)

W : 貯蔵容器の質量 (=118000 kg)

A : 図 1-1 の評価点①の断面積 (=1.75×10⁴ mm²)

α_H : 水平方向設計加速度 (=C_HG=11.48m/s²)

α_V : 鉛直方向設計加速度 (=C_VG=6.38m/s²)

b. 曲げ応力

最大応力が発生する箇所は、図 1-1 に示す下部トラニオンの評価点④である。水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生する曲げ応力(σ_b)は、次式で表わされる。

$$\sigma_b = \frac{F_w \cdot L}{Z} \dots\dots\dots (2. 2)$$

ここで、 F_w : (2. 1) 式と同じ

Z : 図 1-1 の評価点④の断面係数(=1.04×10⁶ mm³)

L : 図 1-1 の評価点④と荷重作用位置との距離(=184.5 mm)

c. 支圧応力

応力が発生する箇所は、図 1-1 の下部トラニオンの評価点⑤である。トラニオン固定金具によって生じる支圧応力は (σ_p) は、次式で表される。

$$\sigma_p = \frac{F_w}{A_5} \dots\dots\dots (2. 3)$$

ここで、

F_w : (2. 1) 式と同じ

A_5 : 評価点⑤に接触するトラニオン固定金具の投影面積 (=1.94×10³ mm²)

d. 組合せ応力

せん断応力 (τ) と曲げ応力 (σ_b) との組合せ応力 (σ_T) は、次式で表される。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (2. 4)$$

ここで、

σ_b : (2. 2) 式と同じ

τ : (2. 1) 式と同じ

(2) 一次+二次応力

a. せん断応力

せん断応力の全振幅(τ)は、(2. 1) 式と同様に与えられる。

b. 曲げ応力

曲げ応力の全振幅(σ_b)は、(2. 2) 式と同様に与えられる。

c. 支圧応力

支圧応力の全振幅 (σ_p) は、(2. 3) 式と同様に与えられる。

d. 組合せ応力

せん断応力 (τ) と曲げ応力 (σ_b) との組合せ応力 (σ_T) は、(2. 4) 式と同様に与えられる。

2.2.3 計算結果

応力計算結果を表 2-1 に示す。

3. 応力の評価

3.1 一次応力の評価

各設計事象における評価を表 2-1 に示す。

表 2-1 より、各設計事象の一次応力は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

3.2 一次＋二次応力の評価

各設計事象における評価を表 2-1 に示す。

表 2-1 より、各設計事象の一次＋二次応力は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

3.3 組合せ応力の評価

各設計事象における評価を表 2-1 に示す。

表 2-1 より、地震時における組合せ応力は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

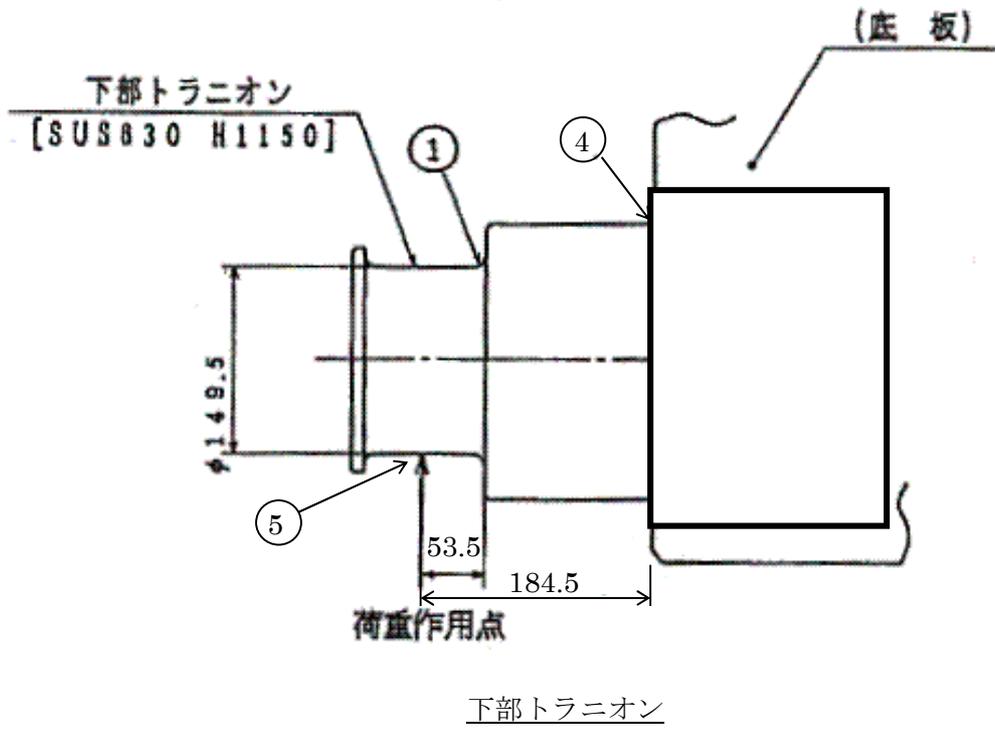
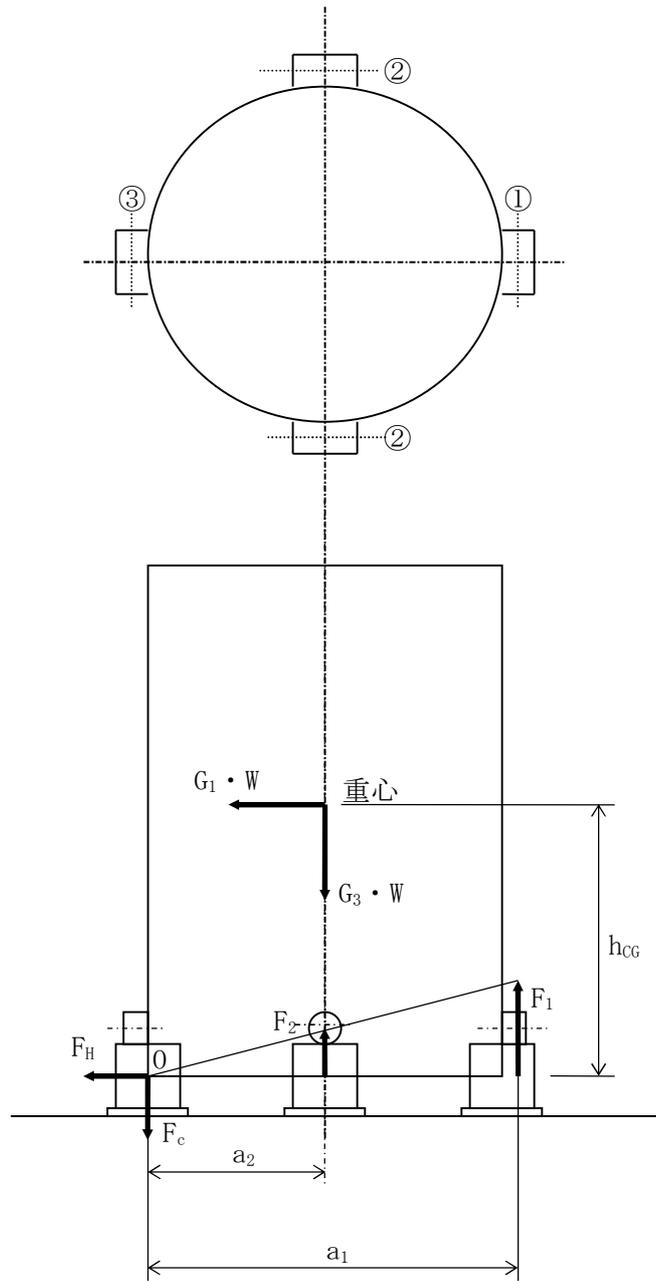


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (面)



① ~③ : 支持台番号

図 2-1 地震時に作用する荷重の計算モデル

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材 料	設 計 事 象	一次応力									
			せん断応力		曲げ応力		支圧応力		圧縮応力		組合せ応力	
			計算値	許容 応力	計算値	許容 応力	計算値	許容 応力	計算値	許容 応力	計算値	許容 応力
トラニ オン	SUS630 H1150	I + S _d *	68	339	212	588	614	801	—	—	243	588
		I + S _s	68	339	212	588	614	801	—	—	243	588

注1：各設計事象において、既存設備により荷重作用点がずれた場合でも評価結果は許容応力を満足する。また、一次+二次応力の計算値は一次応力と等しく、許容応力は大きくなるため問題ない。

(単位：MPa)

部 位	材 料	設 計 事 象	一次応力+二次応力									
			せん断応力		曲げ応力		支圧応力		座屈応力		組合せ応力	
			計算値	許容 応力	計算値	許容 応力	計算値	許容 応力	計算値	許容 応力	計算値	許容 応力
トラニ オン	SUS630 H1150	I + S _d *	68	678	212	1176	614	801	—	—	243	1176
		I + S _s	68	678	212	1176	614	801	—	—	243	1176

表 2-1 トラニオンの応力評価（貯蔵時： S_d^* 地震力及び S_s 地震力が作用する場合）

（単位：MPa）

部位	応力の種類	S_d^* 地震力		S_s 地震力		許容応力	
		計算値	評価点 (面)	計算値	評価点 (面)		
下部 トラニオン	一次 応力	せん断応力	68	①	68	①	339
		曲げ応力	212	④	212	④	588
		支圧応力	614	⑤	614	⑤	801
		組合せ応力	243	④	243	④	588
	1) 一次+ 二次 応力	せん断応力	68	①	68	①	678
		曲げ応力	212	④	212	④	1176
		支圧応力	614	⑤	614	⑤	801
		組合せ応力	243	④	243	④	1176

注記 1)：地震力のみによる全振幅について評価する。

V-2-4-2-3-7 トラニオンの耐震性についての計算書②
(タイプⅡ)

目次

1. 概 要	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 計算結果の概要	1
2. 応力計算	2
2.1 応力評価点	2
2.2 貯蔵時 (S_d^* 地震力及び S_s 地震力が作用する場合)	2
2.2.1 荷重条件	2
2.2.2 計算方法	2
2.2.3 計算結果	5
3. 応力の評価	6
3.1 一次応力の評価	6
3.2 一次＋二次応力の評価	6
3.3 組合せ応力の評価	6

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点（面）	7
図 2-1	トラニオンボルトの荷重説明図	8
図 2-2	地震時に作用する荷重の計算モデル	9
表 1-1	計算結果の概要	10
表 2-1	トラニオンの応力評価 (貯蔵時： S_d^* 地震力及び S_s 地震力が作用する場合)	12

1. 概 要

本計算書は、トラニオンに関する応力計算書である。

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 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、応力評価上厳しくなる代表的な評価点（面）を本計算書に記載している。

2. 応力計算

2.1 応力評価点

トラニオンの応力評価点（面）を図1-1に示す。

2.2 貯蔵時（ S_d^* 地震力及び S_s 地震力が作用する場合）

2.2.1 荷重条件

貯蔵時において、 S_d^* 地震力及び S_s 地震力が作用する場合の荷重は、次に示す組合せとする。なお、地震力には、 S_s 地震力を適用する。

地震力+自重+熱荷重+トラニオン固定ボルトの初期締付け力

2.2.2 計算方法

(1) トラニオン

a. 一次応力

(a) せん断応力

最大応力が発生する箇所は、図1-1に示す下部トラニオンの評価点①である。

水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生するせん断応力(τ)は、次式で計算する(図2-2参照)。

$$\left. \begin{aligned} \tau &= \frac{(F_m + F_1)}{A} \\ F_m &= \frac{m \cdot (G_1 \cdot h_{CG} - G_2 \cdot a_2)}{\frac{2 \cdot a_2^2}{a_1} + a_1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1)$$

ここで、 $G_1 = C_H \cdot G$ 、 $G_2 = (1 - C_V) \cdot G$

G_1 : 水平方向加速度 (m/s^2)

G_2 : 鉛直方向加速度 (m/s^2)

h_{CG} : 貯蔵容器底面から重心までの高さ (=2720 mm)

a_1 : 支点Oから支持台①のトラニオン固定金具中心までの距離
(=2238 mm)

a_2 : 支点Oから支持台②のトラニオン固定金具中心評価位置までの距離
(=924.5 mm)

F_m : 地震力によりトラニオンに作用する荷重 (N)

m : 貯蔵容器の質量 (= kg)

A : 図1-1の評価点①の断面積 (= mm^2)

C_H : 水平方向設計震度 (=1.17)

C_V : 鉛直方向設計震度 (=0.65)

F_1 : トラニオン固定ボルトの初期締付け力 (= N)

G : 重力加速度 (=9.80665 m/s^2)

(b) 曲げ応力

最大応力が発生する箇所は、図 1-1 に示す下部トラニオンの評価点②である。

水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生する曲げ応力(σ_b)は、次式で計算する。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_b &= \frac{M}{Z} \\ M &= (F_m + F_1) \cdot L \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.2)$$

ここで、 F_m : (2.1)式と同じ

F_1 : (a)と同じ

Z : 図 1-1 の評価点②の断面係数(= mm³)

L : 図 1-1 の評価点②と荷重作用位置との距離(=274 mm)

(c) 組合せ応力

イ. せん断応力と曲げ応力

最大応力が発生する箇所は、図 1-1 に示す下部トラニオンの評価点②である。

せん断応力(τ)と曲げ応力(σ_b)との組合せ応力(σ_T)は、次式で計算する。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (2.3)$$

ここで、 σ_b : (2.2)式と同じ

τ : (2.1)式と同じ

A : 図 1-1 の評価点②の断面積(= mm²)

b. 一次+二次応力

(a) せん断応力

せん断応力(τ)の全振幅は、(2.1)式で計算する。

(b) 曲げ応力

曲げ応力(σ_b)の全振幅は、(2.2)式で計算する。

(c) 組合せ応力

せん断応力(τ)と曲げ応力(σ_b)との組合せ応力(σ_T)は、(2.3)式で計算する。

ここで、 σ_b : (2.2)式と同じ

τ : (2.1)式と同じ

A : a. (c). と同じ

(2) トラニオンボルト

トラニオンボルトに発生する引張応力(σ_{tb})は、次のように求める。

曲げモーメントが作用した場合に生じるトラニオンボルトの引張荷重とキャスク容器の圧縮荷重については、図 2-1 に示すように荷重の釣合い条件を考慮することにより求める。以下にその手順を示す。

- a. σ_{tb} 及び σ_{cc} を仮定してトラニオン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。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_{tb}}{\sigma_{cc}}} \dots\dots\dots (2.4)$$

ここで、 k : トラニオンボルト計算における中立軸の荷重係数(-)
 σ_{tb} : トラニオンボルトの引張応力(MPa)
 σ_{cc} : キヤスク容器の圧縮応力(MPa)

b. トラニオン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。

$$\alpha = \cos^{-1} (1 - 2 \cdot k) \dots\dots\dots (2.5)$$

ここで、 α : トラニオンボルト計算における中立軸を定める角度(rad)

c. 各定数 e , z , C_t 及び C_c を求める。

$$e = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cdot \cos^2 \alpha + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right\} \dots\dots (2.6)$$

$$z = \frac{1}{2} \cdot \left(\cos \alpha + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right) \dots\dots\dots (2.7)$$

$$C_t = \frac{2 \cdot \{(\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha\}}{1 + \cos \alpha} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$C_c = \frac{2 \cdot (\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha} \dots\dots\dots (2.9)$$

ここで、 e , z , C_t , C_c : トラニオンボルト計算における係数(-)

d. 各定数を用いて F_{tb} 及び F_{cc} を求める。

$$F_{tb} = \frac{M}{e \cdot D_c} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$F_{cc} = F_{tb} \dots\dots\dots (2.11)$$

ここで、 F_{tb} : トラニオンボルトに作用する引張力(N)
 M : (2.2) 式と同じ
 L : 図 1-1 のトラニオンボルトと荷重作用点との距離(=342 mm)
 D_c : トラニオンボルトのピッチ円直径(=340 mm)
 F_{cc} : キヤスク容器に作用する圧縮力(N)

e. σ_{tb} 及び σ_{cc} を求める。

$$\sigma_{tb} = \frac{2 \cdot F_{tb}}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$\sigma_{cc} = \frac{2 \cdot F_{cc}}{(t_2 + t_1) \cdot D_c \cdot C_c} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{bo} - D_{bi}) - t_1 \dots\dots\dots (2.15)$$

- ここで、 t_1 : トラニオンボルト面積相当板幅 (mm)
 t_2 : 圧縮側相当幅 (mm)
 n : トラニオンボルト本数 (=16)
 A_b : トラニオンボルト (M36) の断面積 (=1.018×10³ mm²)
 D_{bo} : トラニオンボルト取付部の外径 (=419.2 mm)
 D_{bi} : トラニオンボルト取付部の内径 (=200.5 mm)

2.2.3 計算結果

応力計算結果を表 2-1 に示す。

3. 応力の評価

3.1 一次応力の評価

地震時における評価を表 2-1 に示す。

表 2-1 より，地震時の一次応力は，補足資料「トラニオンの応力解析の方針」5.5 節の各規定を満足する。

3.2 一次+二次応力の評価

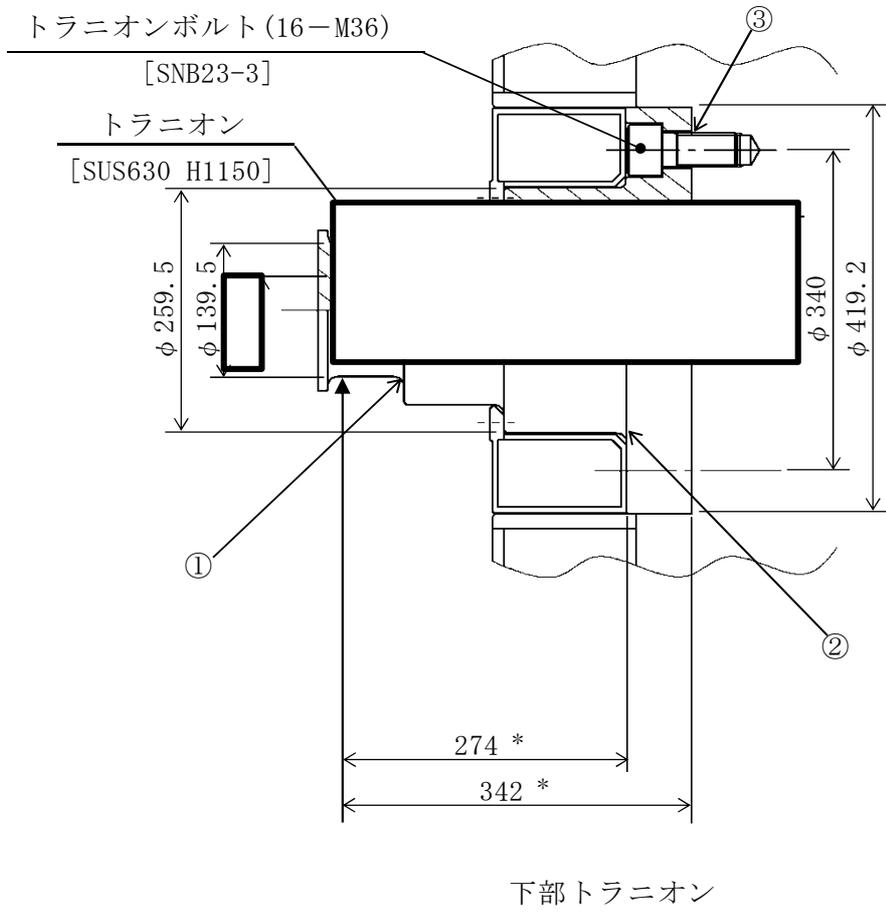
地震時における評価を表 2-1 に示す。

表 2-1 より，地震時の一次+二次応力は，補足資料「トラニオンの応力解析の方針」5.5 節の各規定を満足する。

3.3 組合せ応力の評価

地震時における評価を表 2-1 に示す。

表 2-1 より，地震時における組合せ応力は，補足資料「トラニオンの応力解析の方針」5.5 節の各規定を満足する。



注記 * : 貯蔵時の荷重作用点
までの距離

(単位 : mm)

[] : 材料

①~③ : 応力評価点 (面)

図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (面)

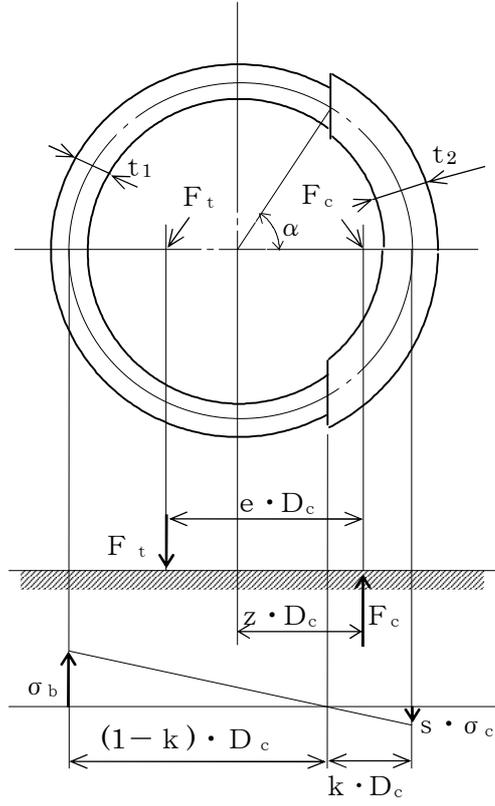
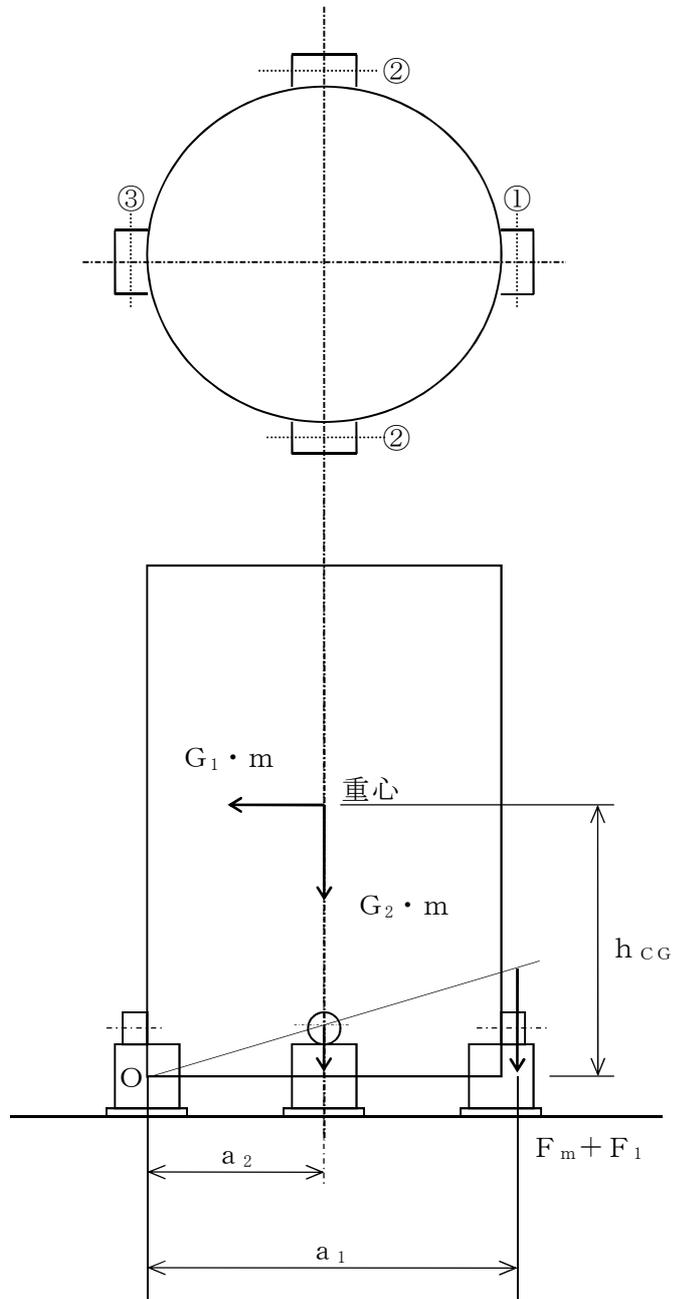


図2-1 トラニオンボルトの荷重説明図



①～③：支持台番号

図 2-2 地震時に作用する荷重の計算モデル

表 1-1(1) 計算結果の概要

部 位	材 料	設計事象	一次応力					
			せん断応力 (MPa)		曲げ応力 (MPa)		垂直応力とせん断 応力の組合せ (MPa)	
			計算値	許容 応力	計算値	許容 応力	計算値	許容 応力
トラニオン	ステンレス鋼 (SUS630 H1150)	$I + S_d^*$	148	341	419	591	441	591
		$I + S_s$	148	341	419	591	441	591

部 位	材 料	設計事象	一次+二次応力					
			せん断応力 (MPa)		曲げ応力 (MPa)		垂直応力とせん断 応力の組合せ (MPa)	
			計算値	許容 応力	計算値	許容 応力	計算値	許容 応力
トラニオン	ステンレス鋼 (SUS630 H1150)	$I + S_d^*$	148	682	419	1182	441	1182
		$I + S_s$	148	682	419	1182	441	1182

表 1-1(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材 料	設計事象	引張応力	
			計算値	許容応力
トラニオンボルト	低合金鋼 (SNB23-3)	$I + S_d^*$	323	475
		$I + S_s$	323	475

表 2-1 トラニオンの応力評価（貯蔵時： S_d^* 地震力及び S_s 地震力が作用する場合）

（単位：MPa）

部位	応力の種類	S_d^* 地震力		S_s 地震力		許容応力	
		計算値	評価点 (面)	計算値	評価点 (面)		
下部 トラニオン	一次 応力	せん断応力	148	①	148	①	341
		曲げ応力	419	②	419	②	591
		垂直応力と せん断応力 の組合せ	441	②	441	②	591
	一 次 + 二 次 応 力	せん断応力	148	①	148	①	682
		曲げ応力	419	②	419	②	1182
		垂直応力と せん断応力 の組合せ	441	②	441	②	1182
トラ ニオン ボルト	—	引張応力	323	③	323	③	475

注記 *：地震力のみによる全振幅について評価する。

V-2-4-2-3-7 トラニオンの耐震性についての計算書③
(タイプⅢ)

目次

1. 概 要	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 計算結果の概要	1
2. 応力計算	2
2.1 応力評価点	2
2.2 貯蔵時 (S_d^* 及び S_s 地震力が作用する場合)	2
2.2.1 荷重条件	2
2.2.2 計算方法	2
2.2.3 計算結果	3
3. 応力の評価	4
3.1 一次応力の評価	4
3.2 一次+二次応力の評価	4
3.3 組合せ応力の評価	4

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点（面）	5
図 2-1	地震時に作用する荷重の計算モデル	6
表 1-1	計算結果の概要	7
表 2-1	トラニオンの応力評価（貯蔵時： S_d *地震力及び S_s 地震力が作用する場合）	8

1. 概 要

本計算書は、トラニオンに関する応力計算書である。

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 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、応力評価上厳しくなる代表的な評価点（面）を本計算書に記載している。

表中の「－」は、評価すべき応力が発生しない又は、評価上厳しくないため評価を省略している。以下、本計算書において同様である。

2. 応力計算

2.1 応力評価点

トラニオンの応力評価点（面）を図 1-1 に示す。

2.2 貯蔵時（ S_d^* 及び S_s 地震力が作用する場合）

2.2.1 荷重条件

貯蔵時において S_d^* 及び S_s 地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。

地震力+自重+熱荷重

2.2.2 計算方法

(1) 一次応力

a. せん断応力

最大応力が発生する箇所は、図 1-1 に示す下部トラニオンの評価点③である。水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生するせん断応力（ τ ）は、次式で表される（図 2-1 参照）。

$$\tau = \frac{F_m}{A_3} \left. \begin{aligned} F_m &= \frac{m \cdot (G_1 \cdot h_{CG} - G_3 \cdot a_2)}{\frac{2 \cdot a_2^2}{a_1} + a_1} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2. 1)$$

ここで、

- $G_1 = C_H$
- $G_3 = 9.81 - C_V$
- h_{CG} : 貯蔵容器底面から重心までの高さ（=2820 mm）
- a_1 : 支点Oから支持台④のトラニオン固定金具中心までの距離（=2074.5 mm）
- a_2 : 支点Oから支持台⑤のトラニオン固定金具中心までの距離（=949.5 mm）
- F_m : 地震力によりトラニオンに作用する荷重（= N）
- m : 貯蔵容器の質量（= kg）
- A_3 : 図 1-1 の評価点③の断面積（= mm²）
- C_H : 水平方向設計震度（=11.48 m/s²）
- C_V : 鉛直方向設計震度（=6.38 m/s²）

b. 曲げ応力

最大応力が発生する箇所は、図 1-1 の下部トラニオンの評価点④である。水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生する曲げ応力（ σ_{b4} ）は、次式で表される。

$$\sigma_{b4} = \frac{F_m \cdot L_4}{Z_4} \dots \dots \dots (2. 2)$$

ここで、

- F_m : 地震力によりトラニオンに作用する荷重（= N）
- L_4 : 地震力が作用する場合の図 1-1 の評価点④と荷重作用位置との距離（=94.5 mm）

Z_4 : 図 1-1 の評価点④の断面係数 (= mm³)

c. 支圧応力

応力が発生する箇所は、図 1-1 の下部トラニオンの評価点⑤である。トラニオン固定金具によって生じる支圧応力 (σ_p) は、次式で表される。

$$\sigma_p = \frac{F_m}{A_5} \dots\dots\dots (2. 3)$$

ここで、

F_m : 地震力によりトラニオンに作用する荷重 (= N)

A_5 : 評価点⑤に接触するトラニオン固定金具の投影面積 (= mm²)

d. 組合せ応力

せん断応力 (τ) と曲げ応力 (σ_{b4}) との組合せ応力 (σ_T) は、次式で表される。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_{b4}^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (2. 4)$$

ここで、

σ_{b4} : (2. 2) 式と同じ

τ : (2. 1) 式と同じ

(2) 一次+二次応力

a. せん断応力

せん断応力の全振幅 (τ) は、(2. 1) 式と同様に与えられる。

b. 曲げ応力

曲げ応力の全振幅 (σ_b) は、(2. 2) 式と同様に与えられる。

c. 支圧応力

支圧応力の全振幅 (σ_p) は、(2. 3) 式と同様に与えられる。

d. 組合せ応力

せん断応力 (τ) と曲げ応力 (σ_b) との組合せ応力 (σ_T) は、(2. 4) 式と同様に与えられる。

2.2.3 計算結果

応力計算結果を表 2-1 に示す。

3. 応力の評価

3.1 一次応力の評価

各設計事象における評価を表 2-1 に示す。

表 2-1 より、各設計事象の一次応力は「応力解析の方針」5.5 項の各規定を満足する。

3.2 一次+二次応力の評価

各設計事象における評価を表 2-1 に示す。

表 2-1 より、各設計事象の一次+二次応力は「応力解析の方針」5.5 項の各規定を満足する。

3.3 組合せ応力の評価

各設計事象における評価を表 2-1 に示す。

表 2-1 より、地震時における組合せ応力は「応力解析の方針」5.5 項の各規定を満足する。

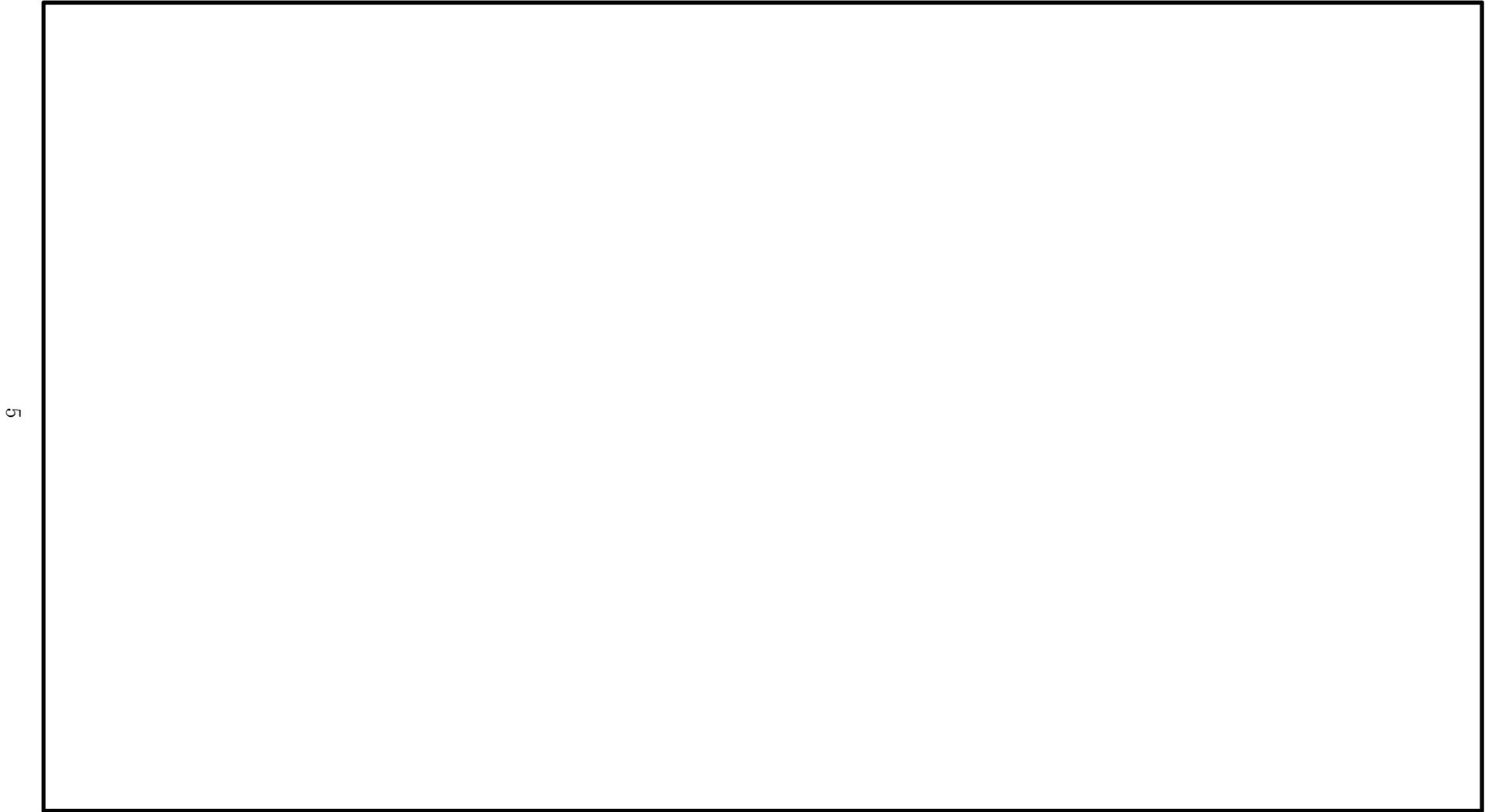
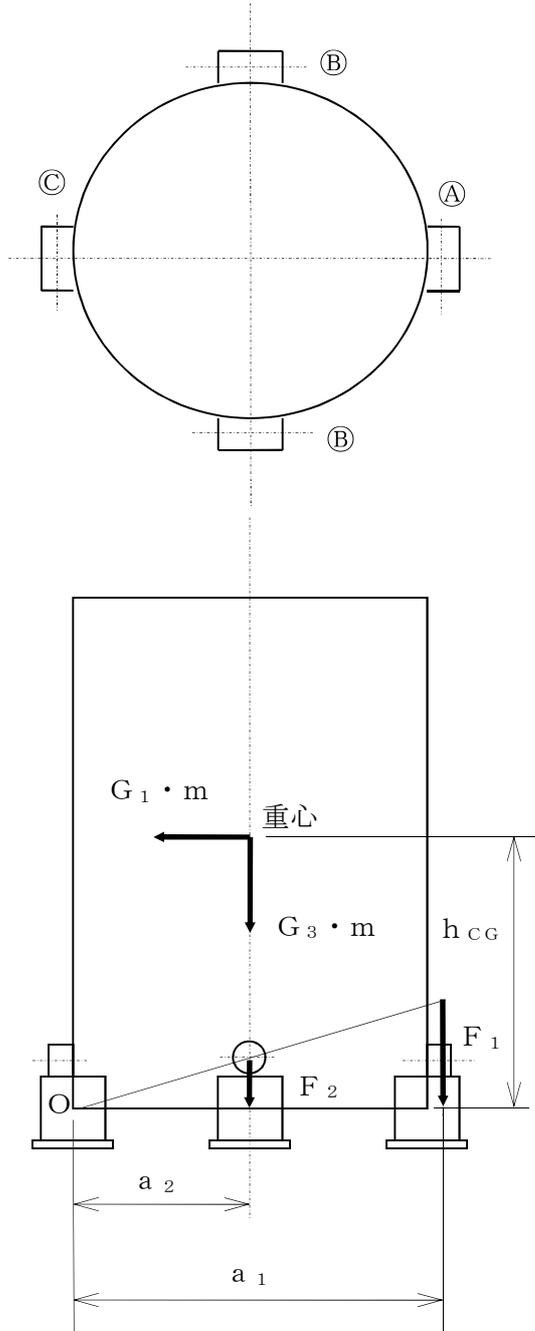


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点（面）



(A), (B), (C) : 支持台番号

図 2-1 地震時に作用する荷重の計算モデル

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部位	材料	設計 事象	一次応力									
			せん断応力		曲げ応力		支圧応力		圧縮応力		組合せ応力	
			計算値	許容 応力	計算値	許容 応力	計算値	許容 応力	計算値	許容 応力	計算値	許容 応力
トラ ニ オン	SUS630	$I+S_d^*$	31	339	91	801	112	801	—	—	104	588
	H1150	$I+S_s$	65	339	190	801	232	801	—	—	217	588

注：設計事象 I，II において，既存設備により荷重作用点がずれた場合でも評価結果は許容応力を満足する。また，一次+二次応力の計算値は一次応力と等しく，許容応力は大きくなるため問題ない。

なお，地震時（ $I+S_d^*$ ， $I+S_s$ ）においては，許容応力に対し計算値が小さいことから問題ない。

(単位：MPa)

部位	材料	設計 事象	一次+二次応力									
			せん断応力		曲げ応力		支圧応力		座屈応力		組合せ応力	
			計算値	許容 応力	計算値	許容 応力	計算値	許容 応力	計算値	許容 応力	計算値	許容 応力
トラ ニ オン	SUS630	$I+S_d^*$	31	678	91	1603	112	801	—	—	104	1176
	H1150	$I+S_s$	65	678	190	1603	232	801	—	—	217	1176

表 2-1 トラニオンの応力評価（貯蔵時：S_d*地震力及びS_s地震力が作用する場合）

（単位：MPa）

部位	応力の種類	S _d *地震力		S _s 地震力		許容応力	
		計算値	評価点 (面)	計算値	評価点 (面)		
下部トラニオン	一次応力	せん断応力	31	③	65	③	339
		曲げ応力	91	④	190	④	801
		支圧応力	112	⑤	232	⑤	801
		組合せ応力	104	④	217	④	588
	*一次+二次応力	せん断応力	31	③	65	③	678
		曲げ応力	91	④	190	④	1603
		支圧応力	112	⑤	232	⑤	801
		組合せ応力	104	④	217	④	1176

注記 *：地震力のみによる全振幅について評価する。

V-2-4-2-3-8 支持構造物の耐震性についての計算書①
(タイプ I)

目 次

1. 概 要	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 計算結果の概要	1
2. 応力計算	2
2.1 応力評価点	2
2.2 貯蔵時	2
2.2.1 荷重条件	2
2.2.2 計算方法	2
2.2.3 計算結果	3
2.3 貯蔵時 (S_d^* 及び S_s 地震力が作用する場合)	4
2.3.1 荷重条件	4
2.3.2 計算方法	4
2.3.3 計算結果	7
3. 応力の評価	8
3.1 一次応力の評価	8
3.2 一次+二次応力の評価	8
3.3 組合せ応力の評価	8

図 表 目 次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点(面)·····	9
図 2-1	地震時に作用する荷重の計算モデル·····	10
表 1-1	計算結果の概要·····	11
表 2-1	支持構造物の応力評価（設計事象 I）·····	12
表 2-2	支持構造物の応力評価（貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合）·····	13
表 2-3	支持構造物の応力評価（貯蔵時： S_s 地震力が作用する場合）·····	14

1. 概 要

本計算書は、使用済燃料乾式貯蔵容器の支持構造物に関する応力計算書である。

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 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、応力評価上厳しくなる評価点(面)を本計算書に記載している。

2. 応力計算

2.1 応力評価点

支持構造物の応力評価点（面）を図 1-1 に示す。

2.2 貯蔵時

2.2.1 荷重条件

貯蔵時における荷重は次に示す組合せとする。

自重＋熱荷重

2.2.2 計算方法

リブ及び支持台座の応力計算は以下に示すとおりである。なお、トラニオン固定ボルト、容器押え金具、アンカーボルト及びトラニオン固定金具については、(自重＋熱荷重)により発生する応力は無視できるため評価を省略する。

(1) リブ

a. 一次応力

(a) 圧縮応力

自重によりリブに生じる圧縮応力(σ_c)は次式により与えられる。

$$\sigma_c = (W_c + n \cdot W_s) \cdot G / (n \cdot A) \dots\dots\dots (2. 1)$$

ここで、 W_c : 貯蔵容器質量 (=118000 kg)

n : 支持台の数 (=4)

W_s : 支持台 1 個の質量 (=700kg)

G : 重力加速度 (=9.81 m/s²)

A : 断面積 (=5.29×10⁴ mm²)

b. 一次＋二次応力

(a) 引張・圧縮応力

キャスク容器の熱膨張による応力は無視できるので、リブに発生する応力は(2. 1)式と同様に与えられる。

(2) 支持台座

a. 一次応力

(a) 支圧応力

自重により支持台座に生じる支圧応力(σ_p)は次式により与えられる。

$$\sigma_p = W_c \cdot G / (n \cdot A) \dots\dots\dots (2. 2)$$

ここで、 W_c , G , n : 2.2.2 項(1)a. (a)と同じ

A : 支持台座のキャスク容器底面接触面積 (=1.18×10⁵ mm²)

b. 一次＋二次応力

(a) 支圧応力

キャスク容器の熱膨張による応力は無視できるので，支持台座に発生する支圧応力は，(2. 2)式と同様に与えられる。

2.2.3 計算結果

応力計算結果を表 2-1 に示す。

2.3 貯蔵時（ S_d^* 及び S_s 地震力が作用する場合）

2.3.1 荷重条件

貯蔵時において S_d^* 及び S_s 地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。

地震力 + 自重 + 熱荷重

2.3.2 計算方法

トラニオン固定ボルト，トラニオン固定金具，リブ，アンカーボルト，容器押え金具及び支持台座の応力計算は以下に示すとおりである。

(1) トラニオン固定ボルト

a. 引張応力

トラニオン固定ボルトに作用する最大引張力 (F_1) は，図 2-1 に示す支持台①に生じ，次式により与えられる。

$$F_1 = \frac{G_1 \cdot h_{CG} - G_2 \cdot a_2}{\frac{2a_2^2}{a_1} + a_1} W_c \dots\dots\dots (2. 3)$$

ここで， $G_1 = \alpha_H$ ， $G_2 = 9.81 - \alpha_V$

α_H : 水平方向設計加速度 ($=C_H G = 11.48 \text{m/s}^2$)

α_V : 鉛直方向設計加速度 ($=C_V G = 6.38 \text{m/s}^2$)

h_{CG} : 貯蔵容器底面から重心までの高さ ($=2870 \text{mm}$)

a_1 : 支点 O から支持台①のトラニオン固定金具中心までの距離
($=2077.5 \text{mm}$)

a_2 : 支点 O から支持台②のトラニオン固定金具中心までの距離
($=949.5 \text{mm}$)

W_c : 2.2.2 項 (1) a. (a) と同じ

この引張力 (F_1) によりトラニオン固定ボルトに発生する引張応力 (σ_t) は次式で表わされる。

$$\sigma_t = F_1 / (n \cdot A) \dots\dots\dots (2. 4)$$

ここで， F_1 : 引張力 ($=1.19 \times 10^6 \text{N}$)

n : トラニオン固定金具 1 組当たりのボルトの本数 ($=2$)

A : トラニオン固定ボルト (M45) の断面積 ($=1.59 \times 10^3 \text{mm}^2$)

(2) トラニオン固定金具

a. 一次応力

(a) 曲げ応力

トラニオン固定金具にはトラニオン固定ボルトの引張力 (F_1) により曲げ応力 (σ_b) が発生し，次式により与えられる。

$$\sigma_b = \frac{L}{4 \cdot Z} F_1 \dots\dots\dots (2. 5)$$

ここで、 F_1 : 引張力 (= 1.19×10^6 N)

L : トラニオン固定ボルト間距離 (= 245 mm)

Z : トラニオン固定金具の断面係数 (= 1.53×10^5 mm³)

b. 一次+二次応力

(a) 曲げ応力

トラニオン固定ボルトの引張力 (F_1) による曲げ応力の全振幅 (σ_b) は、(2. 5) 式と同様に与えられる。

(3) リブ

a. 一次応力

(a) 引張応力

トラニオン固定ボルトの引張力 (F_1) によりリブに発生する引張応力 (σ_t) は、次式により与えられる。

$$\sigma_t = F_1 / A \dots\dots\dots (2. 6)$$

ここで、 F_1 : 引張力 (= 1.19×10^6 N)

A : 2.2.2 項(1)a.(a)と同じ

(b) 圧縮応力

リブに作用する最大圧縮力 (F_c) は支持台③に生じ、次式により与えられる。

$$F_c = G_2 \times (W_c + W_s) + 2F_2 + F_1 \dots\dots\dots (2. 7)$$

ここで、 $G_1 = \alpha_H$, $G_2 = 9.81 + \alpha_V$

α_H, α_V : 2.3.2 項(1)a.と同じ

W_c, W_s : 2.2.2 項(1)a.(a)と同じ

F_1 : (2. 3)式と同じ (= 1.19×10^6 N)

F_2 : 支持台②での引張力 (= $\frac{a_2}{a_1} F_1 = 5.44 \times 10^5$ N)

a_1, a_2 : 2.3.2 項(1)a.と同じ

この圧縮力 (F_c) によりリブに発生する圧縮応力 (σ_c) は次式で表わされる。

$$\sigma_c = F_c / A \dots\dots\dots (2. 8)$$

ここで、 F_c : 圧縮力 (= 4.20×10^6 N)

A : 2.2.2 項(1)a.(a)と同じ

b. 一次+二次応力

(a) 引張・圧縮応力

地震力のみによる応力の全振幅 (σ) は、次式で表わされる。

$$\sigma = \sigma_t + \sigma_c \dots\dots\dots (2. 9)$$

ここで、 σ_t : 2.3.2 項(3)a.(a)と同じ

σ_c : 2.3.2項(3)a.(b)と同じ

(4) アンカーボルト

a. 引張応力

(2.3)式により与えられる引張力(F_1)によりアンカーボルトに生じる引張応力(σ_t)は次式により与えられる。

$$\sigma_t = F_1 / (n \cdot A) \dots\dots\dots (2.10)$$

ここで, F_1 : 引張力 ($=1.19 \times 10^6$ N)

n : 支持台1個当たりのアンカーボルトの本数 (=6)

A : アンカーボルト(M36)の断面積 ($=1.01 \times 10^3$ mm²)

b. せん断応力

アンカーボルトに作用する最大水平力(F_H)は支持台③に生じ, 次式により与えられる。

$$F_H = \alpha_H \cdot (W_c + W_s) \dots\dots\dots (2.11)$$

ここで, α_H : 2.3.2項(1)a.と同じ

W_c, W_s : 2.2.2項(1)a.(a)と同じ

この水平力(F_H)によりアンカーボルトに発生するせん断応力(τ)は, 次式で表わされる。

$$\tau = F_H / (n \cdot A) \dots\dots\dots (2.12)$$

ここで, F_H : 水平力 ($=1.36 \times 10^6$ N)

n, A : 2.3.2項(4)a.と同じ

(5) 容器押え金具

a. 一次応力

(a) 圧縮応力

容器押え金具に作用する最大水平力(F_H)は支持台③に生じ, 次式により与えられる。

$$F_H = \alpha_H \cdot W_c \dots\dots\dots (2.13)$$

ここで, α_H : 2.3.2項(1)a.と同じ

W_c : 2.2.2項(1)a.(a)と同じ

水平力(F_H)より容器押え金具に発生する圧縮応力(σ_c)は次式で表わされる。

$$\sigma_c = F_H / (n \cdot A) \dots\dots\dots (2.14)$$

ここで, F_H : 水平力 ($=1.35 \times 10^6$ N)

n : 支持台1個当たりの容器押え金具の本数 (=2)

A : 容器押え金具の断面積 ($=1.78 \times 10^3$ mm²)

b. 一次+二次応力

(a) 引張・圧縮応力

地震力のみによる応力の全振幅(σ)は、(2. 1 4)式と同様に与えられる。

(6) 支持台座

a. 一次応力

(a) 支圧応力

支持台座に作用する最大圧縮力(F_c)は支持台③に生じ、次式により与えられる。

$$F_c = G_2 \times W_c + 2F_2 + F_1 \dots \dots \dots (2. 1 5)$$

ここで、 $G_1 = \alpha_H$, $G_2 = 9.81 + \alpha_v$

α_H, α_v : 2.3.2 項(1)a. と同じ

W_c : 2.2.2 項(1)a. (a) と同じ

F_1, F_2 : 2.3.2 項(3)a. (b) と同じ

圧縮力(F_c)により発生する支圧応力(σ_p)は次式で表わされる。

$$\sigma_p = F_c / A \dots \dots \dots (2. 1 6)$$

ここで、 F_c : 圧縮力 ($=4.19 \times 10^6$ N)

A : 2.2.2 項(2)a. (a) と同じ

b. 一次+二次応力

(a) 支圧応力

地震力のみによる支圧応力の全振幅(σ_p)は(2. 1 6)式と同様に与えられる。

2.3.3 計算結果

応力計算結果を表 2-2 及び表 2-3 に示す。

3. 応力の評価

3.1 一次応力の評価

各設計事象における評価を表 2-1, 表 2-2 及び表 2-3 に示す。

表 2-1, 表 2-2 及び表 2-3 より, 各設計事象の一次応力は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

3.2 一次＋二次応力の評価

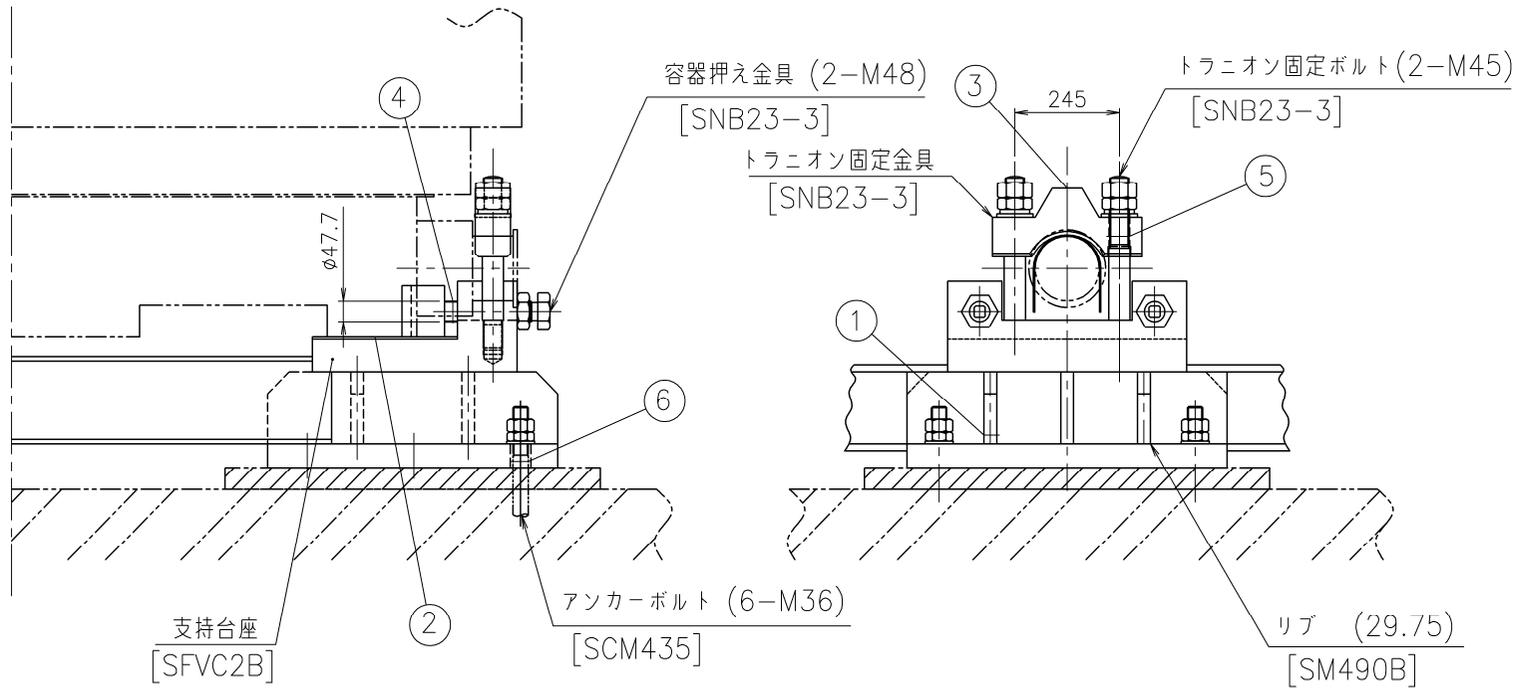
各設計事象における評価を表 2-1, 表 2-2 及び表 2-3 に示す。

表 2-1, 表 2-2 及び表 2-3 より, 各設計事象の一次＋二次応力は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

3.3 組合せ応力の評価

各設計事象において, 組合せ応力の評価はない。

6

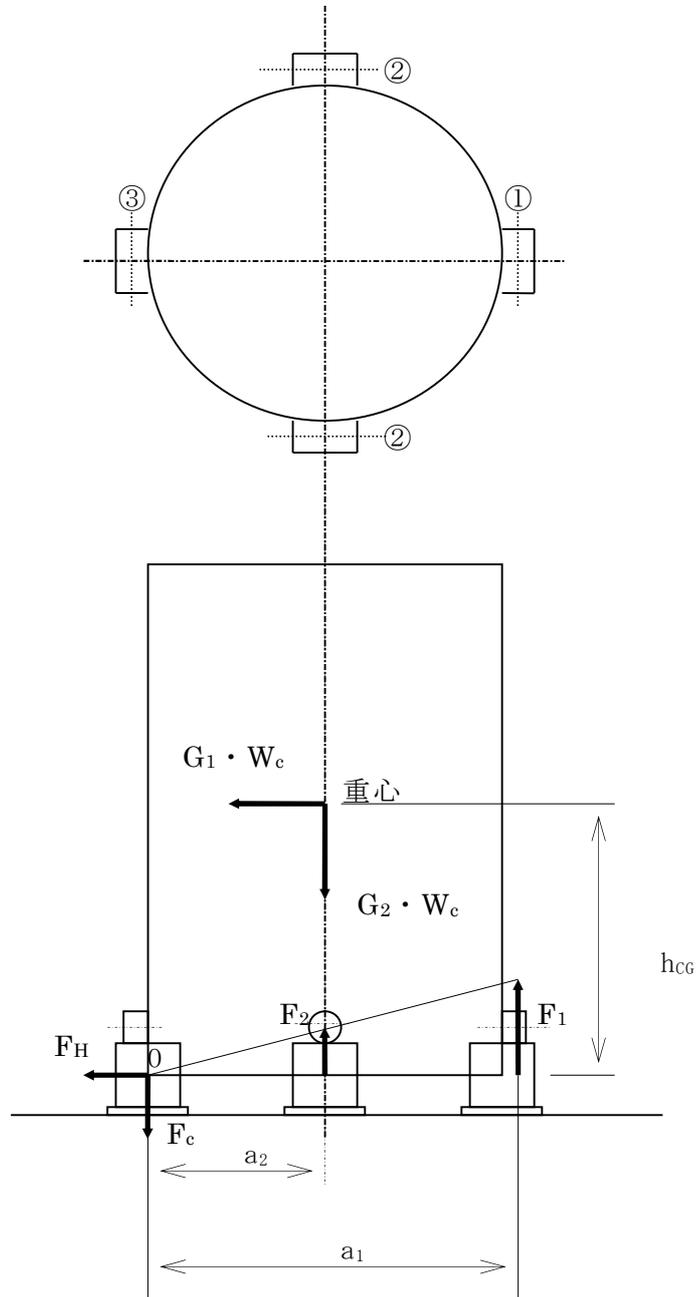


(単位 : mm)

[] : 材料

① ~ ⑥ : 応力評価点

図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点(面)



○ : 支持台番号

図 2-1 地震時に作用する荷重の計算モデル

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材 料	設計事象	一次応力		一次+二次応力	
			計算値	許容応力	計算値	許容応力
リブ	SM490B	I	6	181	6	543
		I + S _d *	80	271	103	543
		I + S _s	80	307	103	543
支持台座	SFVC2B	I	3	201	3	301
		I + S _d *	36	301	36	301
		I + S _s	36	361	36	361
トラニオン 固定金具	SNB23-3	I + S _d *	477	637	477	1275
		I + S _s	477	637	477	1275
容器押え 金具	SNB23-3	I + S _d *	380	543	380	1275
		I + S _s	380	543	380	1275

(単位：MPa)

部 位	材 料	設計事象	引張応力		せん断応力	
			計算値	許容応力	計算値	許容応力
トラニオン 固定ボルト	SNB23-3	I + S _d *	375	478		
		I + S _s	375	478		
アンカー ボルト	SCM435	I + S _d *	197	261	225	340
		I + S _s	197	261	225	340

表 2-1 支持構造物の応力評価（設計事象 I）

（単位：MPa）

部 位	応力の種類		貯蔵時		許容応力
			計算値	評価点 (面)	
リ ブ	一次応力	圧縮応力	6	①	181
	一次+二次応力	圧縮応力	6	①	543
支持台座	一次応力	支圧応力	3	②	201
	一次+二次応力	支圧応力	3	②	301

表 2-2 支持構造物の応力評価（貯蔵時： S_d^* 地震力が作用する場合）

（単位：MPa）

部 位	応力の種類		計算値	評価点 (面)	許容応力 ²⁾
トラニオン 固定金具	一次応力	曲げ応力	477	③	637
	一次+二次応力 ¹⁾	曲げ応力	477	③	1275
リ ブ	一次応力	引張応力	23	①	271
		圧縮応力	80	①	271
	一次+二次応力 ¹⁾	引張・圧縮 応力	103	①	543
容器押え金具	一次応力	圧縮応力	380	④	543
	一次+二次応力 ¹⁾	引張・圧縮 応力	380	④	1275
支持台座	一次応力	支圧応力	36	②	301
	一次+二次応力 ¹⁾	支圧応力	36	②	301
トラニオン 固定ボルト	—	引張応力	375	⑤	478
アンカーボルト	—	引張応力	197	⑥	261
		せん断応力	225	⑥	340

注記 1)：地震力のみによる全振幅について評価する。

2)：許容応力状態Ⅲ_ASの許容応力にて評価を行う。

表 2-3 支持構造物の応力評価（貯蔵時：S_s地震力が作用する場合）

（単位：MPa）

部 位	応力の種類		計算値	評価点 (面)	許容応力 ²⁾
トラニオン 固定金具	一次応力	曲げ応力	477	③	637
	一次+二次応力 ¹⁾	曲げ応力	477	③	1275
リ ブ	一次応力	引張応力	23	①	307
		圧縮応力	80	①	307
	一次+二次応力 ¹⁾	引張・圧縮 応力	103	①	543
容器押え金具	一次応力	圧縮応力	380	④	543
	一次+二次応力 ¹⁾	引張・圧縮 応力	380	④	1275
支持台座	一次応力	支圧応力	36	②	361
	一次+二次応力 ¹⁾	支圧応力	36	②	361
トラニオン 固定ボルト	—	引張応力	375	⑤	478
アンカーボルト	—	引張応力	197	⑥	261
		せん断応力	225	⑥	340

注記 1)：地震力のみによる全振幅について評価する。

2)：許容応力状態IV_ASの許容応力にて評価を行う。

V-2-4-2-3-8 支持構造物の耐震性についての計算書②
(タイプⅡ)

目次

1. 概 要	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 計算結果の概要	1
2. 応力計算	2
2.1 応力評価点	2
2.2 貯蔵時	2
2.2.1 荷重条件	2
2.2.2 計算方法	2
2.2.3 計算結果	3
2.3 貯蔵時 (S_d^* 地震力が作用する場合)	3
2.3.1 荷重条件	3
2.3.2 計算方法	3
2.3.3 計算結果	7
2.4 貯蔵時 (S_s 地震力が作用する場合)	7
2.4.1 荷重条件	7
2.4.2 計算方法	7
2.4.3 計算結果	7
3. 応力の評価	8
3.1 一次応力の評価	8
3.2 一次+二次応力の評価	8
3.3 組合せ応力の評価	8

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点（面）	9
図 1-2	形状・寸法・材料・応力評価点（面）	10
図 2-1	地震時に作用する荷重の計算モデル	11
表 1-1	計算結果の概要	12
表 2-1	支持構造物の応力評価（設計事象 I）	13
表 2-2	支持構造物の応力評価（貯蔵時： S_d^* 地震力が作用する場合）	14
表 2-3	支持構造物の応力評価（貯蔵時： S_s 地震力が作用する場合）	15

1. 概 要

本計算書は、支持構造物に関する応力計算書である。

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 及び図 1-2 に示す。

1.2 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1(1), (2)に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、応力評価上厳しくなる代表的な評価点（面）を本計算書に記載している。

2. 応力計算

2.1 応力評価点

支持構造物の応力評価点（面）を図 1-1 及び図 1-2 に示す。

2.2 貯蔵時

2.2.1 荷重条件

貯蔵時における荷重は次に示す組合せとする。

自重+熱荷重

2.2.2 計算方法

リブ及び支持台座の応力計算は以下に示すとおりである。なお、トラニオン固定ボルト、容器押えボルト、アンカーボルト、トラニオン固定金具及び支持台用フレームについては、(自重+熱荷重)により発生する応力は無視できるため評価を省略する。

(1) リブ

a. 一次応力

(a) 圧縮応力

自重によりリブに生じる圧縮応力(σ_c)は次式で計算する。

$$\sigma_c = (m_c + n \cdot m_s) \cdot G / (n \cdot A) \dots\dots\dots (2.1)$$

- ここで、 m_c : 貯蔵容器質量 (= kg)
- n : 支持台の数 (=)
- m_s : 支持台 1 個の質量 (= kg)
- G : 重力加速度 (= 9.80665m/s²)
- A : 断面積 (= mm²)

b. 一次+二次応力

(a) 引張・圧縮応力

キャスク容器の熱膨張による応力は無視できるので、リブに発生する応力は(2.1)式と同様に計算する。

(2) 支持台座

a. 一次応力

(a) 支圧応力

自重により支持台座に生じる支圧応力(σ_p)は次式で計算する。

$$\sigma_p = m_c \cdot G / (n \cdot A) \dots\dots\dots (2.2)$$

- ここで、 m_c , G , n : (1)a.(a)と同じ
- A : 支持台座の貯蔵容器底面接触面積
(= mm²)

b. 一次+二次応力

(a) 支圧応力

キャスク容器の熱膨張による応力は無視できるので、支持台座に発生する支圧応力は、(2.2)式と同様に計算する。

2.2.3 計算結果

応力計算結果を表 2-1 に示す。

2.3 貯蔵時 (S_d*地震力が作用する場合)

2.3.1 荷重条件

貯蔵時において S_d*地震力が作用する場合の荷重は、次に示す組合せとする。なお、地震力には S_s地震力を適用する。

地震力+自重+熱荷重+トラニオン固定ボルトの初期締付け力

2.3.2 計算方法

トラニオン固定ボルト、トラニオン固定金具、リブ、アンカーボルト、容器押えボルト、支持台座及び支持台用フレームの応力計算は以下に示すとおりである。

(1) トラニオン固定ボルト

a. 引張応力

トラニオン固定ボルトに作用する最大引張力(F₁)は、図 2-1 に示す支持台①に生じ、次式で計算する。

$$F_1 = \frac{G_1 \cdot h_{CG} - G_2 \cdot a_2}{\frac{2 \cdot a_2^2}{a_1} + a_1} \cdot m_c \dots\dots\dots (2.3)$$

ここで、G₁ = C_H・G、G₂ = (1 - C_V)・G

G₁ : 水平方向加速度 (m/s²)

G₂ : 鉛直方向加速度 (m/s²)

C_H : 水平方向設計震度 (=1.17)

C_V : 鉛直方向設計震度 (=0.65)

G : 2.2.2(1)a.(a)と同じ

h_{CG} : 貯蔵容器底面から重心までの高さ (= mm)

a₁ : 支点Oから支持台①のトラニオン固定金具中心までの距離
(= mm)

a₂ : 支点Oから支持台②のトラニオン固定金具中心までの距離
(= mm)

m_c : 2.2.2(1)a.(a)と同じ

この引張力(F₁)によりトラニオン固定ボルトに発生する引張応力(σ_t)は次式で計算する。

$$\sigma_t = F_1 / (n \cdot A) \dots\dots\dots (2.4)$$

ここで、 F_1 : (2.3)式と同じ

n : トラニオン固定金具1組当たりのボルトの本数 (=)

A : トラニオン固定ボルト の断面積 (= mm²)

(2) トラニオン固定金具

a. 一次応力

(a) 曲げ応力

トラニオン固定金具にはトラニオン固定ボルトの引張力(F_1)及びトラニオン固定ボルトの初期締付け力(F_3)により曲げ応力(σ_b)が発生し、次式で計算する。

$$\sigma_b = \frac{L}{4 \cdot Z} \cdot (F_1 + F_3) \dots \dots \dots (2.5)$$

ここで、 F_1 : (2.3)式と同じ

F_3 : トラニオン固定ボルトの初期締付け力 (= N)

L : トラニオン固定ボルト間距離 (= mm)

Z : トラニオン固定金具の断面係数 (= mm³)

b. 一次+二次応力

(a) 曲げ応力

トラニオン固定ボルトの引張力(F_1)による曲げ応力の全振幅(σ_b)は、(2.5)式と同様に計算する。

(3) リブ

a. 一次応力

(a) 引張応力

トラニオン固定ボルトの引張力(F_1)によりリブに発生する引張応力(σ_t)は、次式で計算する。

$$\sigma_t = F_1 / A \dots \dots \dots (2.6)$$

ここで、 F_1 : (2.3)式と同じ

A : 2.2.2(1)a.(a)と同じ

(b) 圧縮応力

リブに作用する最大圧縮力(F_c)は図2-1に示す支持台③に生じ、次式で計算する。

$$F_c = G_2 \cdot (m_c + m_s) + 2 \cdot F_2 + F_1 \dots \dots \dots (2.7)$$

ここで、 $G_1 = C_H \cdot G$, $G_2 = (1 + C_V) \cdot G$

G_1 : 水平方向加速度 (m/s²)

G_2 : 鉛直方向加速度 (m/s²)

C_H, C_V : (1)a.と同じ

m_c, m_s, G : 2.2.2(1)a.(a)と同じ

F_1 : (2.3)式と同じ

F_2 : 支持台②での引張力 (= $\frac{a_2}{a_1} \cdot F_1$) (N)

a_1, a_2 : (1)a.と同じ

この圧縮力(F_c)によりリブに発生する圧縮応力(σ_c)は次式で計算する。

$$\sigma_c = F_c / A \cdots \cdots \cdots (2.8)$$

ここで, F_c : (2.7)式と同じ

A : 2.2.2(1)a. (a)と同じ

b. 一次+二次応力

(a) 引張・圧縮応力

地震力のみによる応力の全振幅(σ)は, 次式で計算する。

$$\sigma = \sigma_t + \sigma_c \cdots \cdots \cdots (2.9)$$

ここで, σ_t : (2.6)式と同じ

σ_c : (2.8)式と同じ

(4) アンカーボルト

支持台は図1-2に示すように形鋼で互いに接合されている。荷重がA部に加わりと支持台用フレームを介してB部の支持台でも荷重を受ける。

a. 引張応力

(2.3)式により計算する引張力(F_1)によりアンカーボルトに生じる引張応力(σ_t)は次式で計算する。

$$\sigma_t = F_1 / (n \cdot A) \cdots \cdots \cdots (2.10)$$

ここで, F_1 : (2.3)式と同じ

n : 支持台1個当たりのアンカーボルトの本数 (=)

A : アンカーボルト の断面積 (= mm²)

b. せん断応力

アンカーボルトに作用する最大水平力(F_H)は図2-1に示す支持台③に生じ, 次式で計算する。

$$F_H = C_H \cdot G \cdot (m_c + n_1 \cdot m_s) \cdots \cdots \cdots (2.11)$$

ここで, C_H : (1)a.と同じ

m_c, m_s, G : 2.2.2(1)a. (a)と同じ

n_1 : 支持台の数 (=)

この水平力(F_H)は支持台2箇所を受けることから, アンカーボルトに発生するせん断応力(τ)は, 次式で計算する。

$$\tau = F_H / (2 \cdot n \cdot A) \cdots \cdots \cdots (2.12)$$

ここで, F_H : (2.11)式と同じ

n, A : a.と同じ

(5) 容器押えボルト

a. 一次応力

(a) 圧縮応力

容器押えボルトに作用する最大水平力(F_H)は図2-1に示す支持台③に生じ, 次式で計算する。

$$F_H = C_H \cdot G \cdot m_c \cdots \cdots \cdots (2.13)$$

ここで、 C_H : (1)a. と同じ

m_c, G : 2.2.2(1)a. (a) と同じ

水平力(F_H)により容器押えボルトに発生する圧縮応力(σ_c)は次式で計算する。

$$\sigma_c = F_H / (n \cdot A) \dots \dots \dots (2.14)$$

ここで、 F_H : (2.13)式と同じ

n : 支持台 1 個当たりの容器押えボルトの本数 (=)

A : 容器押えボルトの断面積 (= mm²)

b. 一次+二次応力

(a) 座屈応力

容器押えボルトには地震時以外に外荷重が作用しないので、地震力による座屈応力の最大値(σ)は、(2.14)式と同様に計算する。

(6) 支持台座

a. 一次応力

(a) 支圧応力

支持台座に作用する最大圧縮力(F_c)は図 2-1 に示す支持台③に生じ、次式で計算する。

$$F_c = G_2 \cdot m_c + 2 \cdot F_2 + F_1 + F_3 \dots \dots \dots (2.15)$$

ここで、 $G_1 = C_H \cdot G$, $G_2 = (1 + C_V) \cdot G$

G_1 : 水平方向加速度 (m/s²)

G_2 : 鉛直方向加速度 (m/s²)

C_H, C_V : (1)a. と同じ

m_c, G : 2.2.2(1)a. (a) と同じ

F_1 : (2.3)式と同じ

F_2 : (3)a. (b)と同じ

F_3 : (2)a. (a)と同じ

圧縮力(F_c)により発生する支圧応力(σ_p)は次式で計算する。

$$\sigma_p = F_c / A \dots \dots \dots (2.16)$$

ここで、 F_c : (2.15)式と同じ

A : 2.2.2(2)a. (a)と同じ

b. 一次+二次応力

(a) 支圧応力

支圧応力(σ_p)は(2.16)式と同様に計算する。

(7) 支持台用フレーム

a. 一次応力

(a) 引張応力

支持台用フレームには、(2.11)式により計算する最大水平力(F_H)の 1/2 の荷重が加わり、このときの引張応力 (σ_t)は次式で計算する。

$$\sigma_t = F_H / (2 \cdot A) \dots \dots \dots (2.17)$$

ここで、 F_H ：(2.11)式と同じ

A ：支持台用フレームの断面積（= mm²）

b. 一次+二次応力

(a) 引張応力

最大水平荷重による引張応力の全振幅(σ_t)は、(2.17)式と同様に計算する。

2.3.3 計算結果

応力計算結果を表 2-2 に示す。

2.4 貯蔵時 (S_s 地震力が作用する場合)

2.4.1 荷重条件

貯蔵時において S_s 地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。

地震力+自重+熱荷重+トラニオン固定ボルトの初期締付け力

2.4.2 計算方法

トラニオン固定ボルト、トラニオン固定金具、リブ、アンカーボルト、容器押えボルト、支持台座及び支持台用フレームの応力計算は 2.3.2 項と同様である。

ただし、 C_H ：水平方向設計震度（=1.17）

C_V ：鉛直方向設計震度（=0.65）

2.4.3 計算結果

応力計算結果を表 2-3 に示す。

3. 応力の評価

3.1 一次応力の評価

各設計事象における評価を表 2-1, 表 2-2 及び表 2-3 に示す。

表 2-1, 表 2-2 及び表 2-3 より, 各設計事象の一次応力は補足資料-1「支持構造物の応力解析の方針」5.5 節の各規定を満足する。

3.2 一次+二次応力の評価

各設計事象における評価を表 2-1, 表 2-2 及び表 2-3 に示す。

表 2-1, 表 2-2 及び表 2-3 より, 各設計事象の一次+二次応力は補足資料-1「支持構造物の応力解析の方針」5.5 節の各規定を満足する。

3.3 組合せ応力の評価

各設計事象における評価を表 2-2 及び表 2-3 に示す。

表 2-2 及び表 2-3 より, 各設計事象における組合せ応力は補足資料-1「支持構造物の応力解析の方針」5.5 節の各規定を満足する。

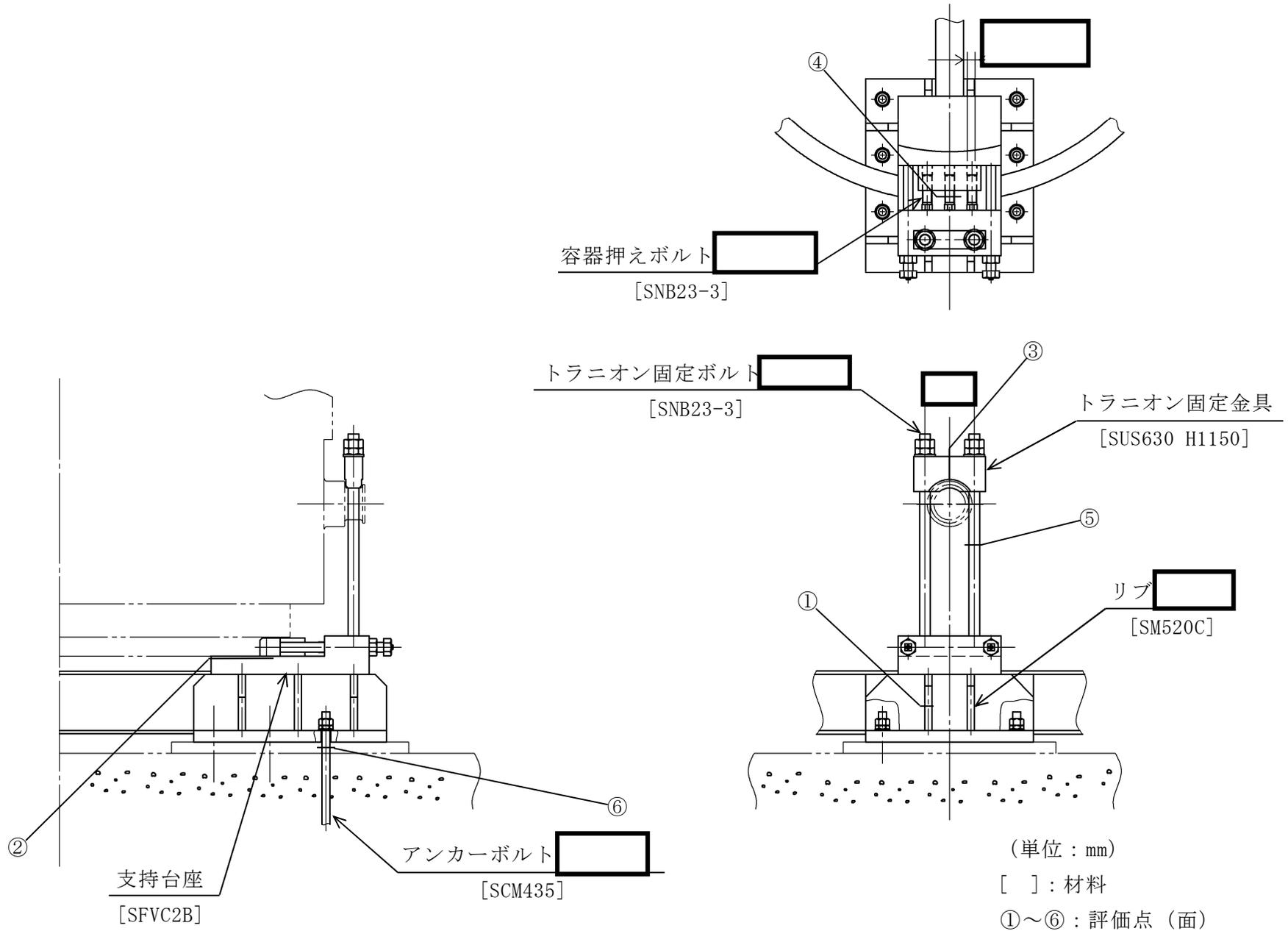
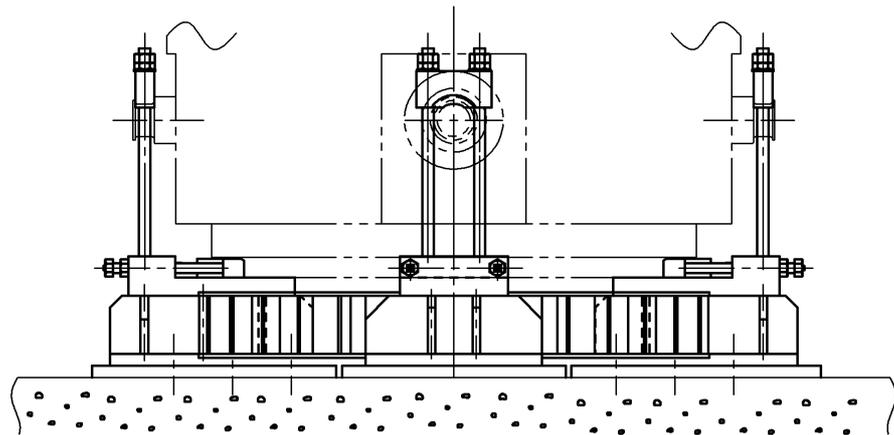
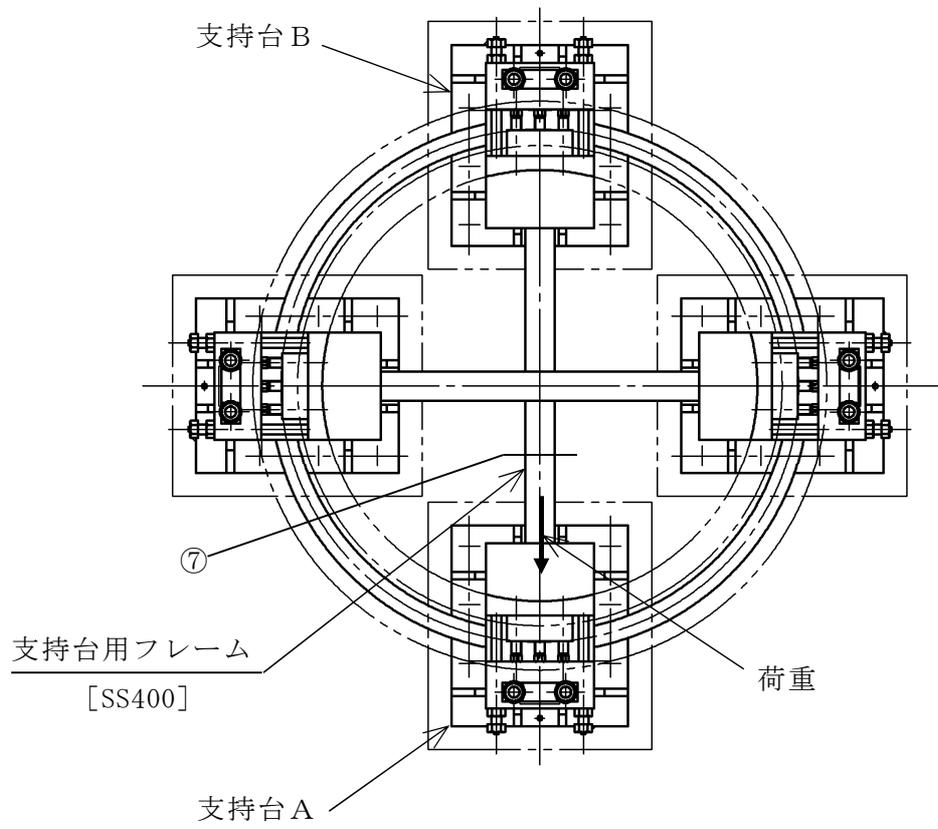
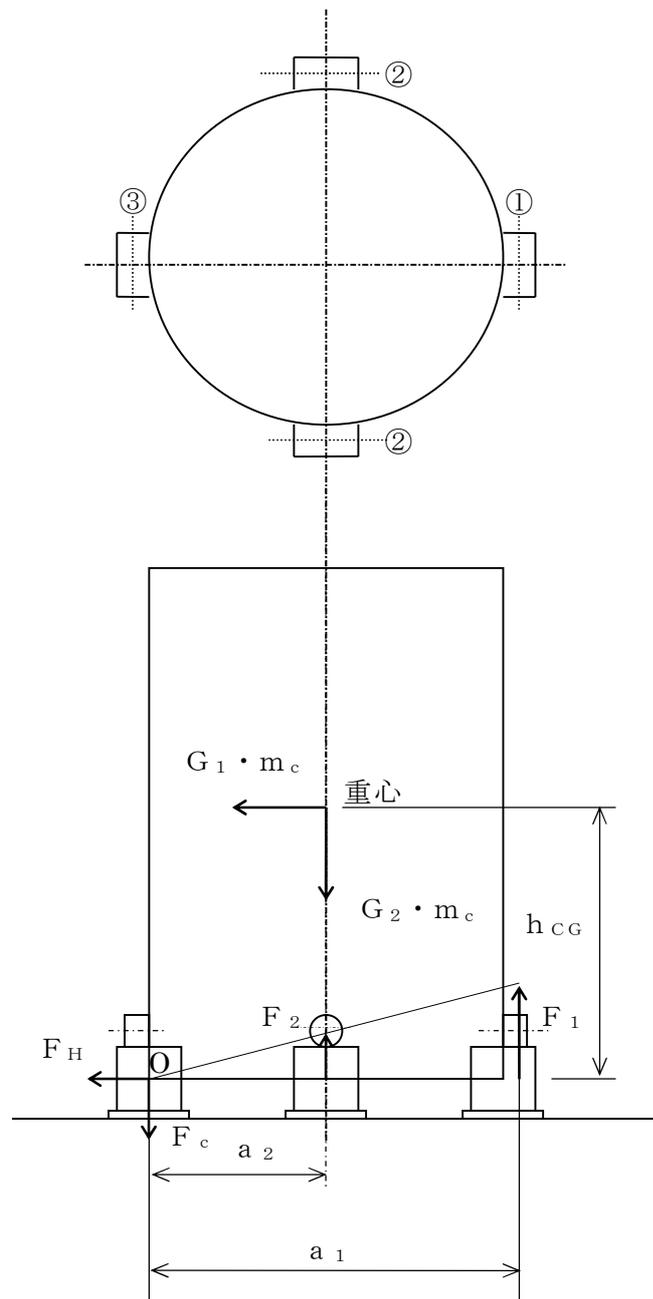


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点(面)



[] : 材料
 ⑦ : 応力評価点 (面)

図 1-2 形状・寸法・材料・応力評価点 (面)



①～③：支持台番号

図 2-1 地震時に作用する荷重の計算モデル

表 1-1(1) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材 料	設計事象	一次応力		一次+二次応力	
			計算値	許容応力	計算値	許容応力
リブ	炭素鋼 (SM520C)	I	5		5	
		$I + S_d^*$	64		81	
		$I + S_s$	64		81	
支持台座	炭素鋼 (SFVC2B)	I	3		3	
		$I + S_d^*$	41		41	
		$I + S_s$	41		41	
トラニオン 固定金具	ステンレス鋼 (SUS630 H1150)	$I + S_d^*$	401		401	
		$I + S_s$	401		401	
容器押え ボルト	低合金鋼 (SNB23-3)	$I + S_d^*$	417		417	
		$I + S_s$	417	417		
支持台用 フレーム	炭素鋼 (SS400)	$I + S_d^*$	99	99		
		$I + S_s$	99	99		

表 1-1(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材 料	設計事象	引張応力		せん断応力		組合せ応力	
			計算値	許容応力	計算値	許容応力	計算値	許容応力
トラニオン 固定ボルト	低合金鋼 (SNB23-3)	$I + S_d^*$	305		—	—	—	—
		$I + S_s$	305		—	—	—	—
アンカー ボルト	低合金鋼 (SCM435)	$I + S_d^*$	181		113		181	
		$I + S_s$	181		113		181	

表 2-1 支持構造物の応力評価 (設計事象 I)

(単位 : MPa)

部 位	応力の種類		貯蔵時		許容応力
			計算値	評価点 (面)	
リ ブ	一次応力	圧縮応力	5	①	
	一次+二次応力	引張・圧縮応力	5	①	
支持台座	一次応力	支圧応力	3	②	
	一次+二次応力	支圧応力	3	②	

表 2-2 支持構造物の応力評価（貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合）

(単位：MPa)

部 位	応力の種類		計算値	評価点 (面)	許容応力
トラニオン 固定金具	一次応力	曲げ応力	401	③	
	一次+二次応力 *	曲げ応力	401	③	
リ ブ	一次応力	引張応力	18	①	
		圧縮応力	64	①	
	一次+二次応力 *	引張・圧縮 応力	81	①	
容器押えボルト	一次応力	圧縮応力	417	④	
	一次+二次応力	座屈応力	417	④	
支持台座	一次応力	支圧応力	41	②	
	一次+二次応力	支圧応力	41	②	
支持台用 フレーム	一次応力	引張応力	99	⑦	
	一次+二次応力*	引張応力	99	⑦	
トラニオン 固定ボルト	—	引張応力	305	⑤	
アンカーボルト	—	引張応力	181	⑥	
		せん断応力	113	⑥	
		組合せ応力	181	⑥	

注記 *：地震力のみによる全振幅について評価する。

表 2-3 支持構造物の応力評価（貯蔵時：S_s地震力が作用する場合）

(単位：MPa)

部 位	応力の種類		計算値	評価点 (面)	許容応力
トラニオン 固定金具	一次応力	曲げ応力	401	③	
	一次+二次応力*	曲げ応力	401	③	
リ ブ	一次応力	引張応力	18	①	
		圧縮応力	64	①	
	一次+二次応力*	引張・圧縮 応力	81	①	
容器押えボルト	一次応力	圧縮応力	417	④	
	一次+二次応力	座屈応力	417	④	
支持台座	一次応力	支圧応力	41	②	
	一次+二次応力	支圧応力	41	②	
支持台用 フレーム	一次応力	引張応力	99	⑦	
	一次+二次応力*	引張応力	99	⑦	
トラニオン 固定ボルト	—	引張応力	305	⑤	
アンカーボルト	—	引張応力	181	⑥	
		せん断応力	113	⑥	
		組合せ応力	181	⑥	

注記 *：地震力のみによる全振幅について評価する。

V-2-4-2-3-8 支持構造物の耐震性についての計算書③

(タイプⅢ)

目 次

1. 概 要	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 計算結果の概要	1
2. 応力計算	2
2.1 応力評価点	2
2.2 貯蔵時	2
2.2.1 荷重条件	2
2.2.2 計算方法	2
2.2.3 計算結果	3
2.3 貯蔵時 (S_d 地震力が作用する場合)	4
2.3.1 荷重条件	4
2.3.2 計算方法	4
2.3.3 計算結果	8
2.4 貯蔵時 (S_S 地震力が作用する場合)	9
2.4.1 荷重条件	9
2.4.2 計算方法	9
2.4.3 計算結果	9
3. 応力の評価	10
3.1 一次応力の評価	10
3.2 一次+二次応力の評価	10
3.3 組合せ応力の評価	10

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点（面）	11
図 2-1	地震時に作用する荷重の計算モデル	12
表 1-1	計算結果の概要	13
表 2-1	支持構造物の応力評価（設計事象 I）	14
表 2-2	支持構造物の応力評価（貯蔵時： S_d^* 地震力が作用する場合）	15
表 2-3	支持構造物の応力評価（貯蔵時： S_s 地震力が作用する場合）	16

1. 概 要

本計算書は、使用済燃料乾式貯蔵容器の支持構造物に関する応力計算書である。

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 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点は応力評価上厳しくなる評価点(面)を本計算書に記載している。

2. 応力計算

2.1 応力評価点

支持構造物の応力評価点(面)を図 1-1 に示す。

2.2 貯蔵時

2.2.1 荷重条件

貯蔵時における荷重は次に示す組合せとする。

自重+熱荷重

2.2.2 計算方法

リブ及び支持台座の応力計算は以下に示すとおりである。なお、トラニオン固定ボルト、容器押え金具、アンカーボルト及びトラニオン固定金具については、(自重+熱荷重)により発生する応力は無視できるため評価を省略する。

(1) リブ

a. 一次応力

(a) 圧縮応力

自重によりリブに生じる圧縮応力 (σ_c) は次式により与えられる。

$$\sigma_c = \frac{(m_c + n_2 \cdot m_s) \cdot G_2}{n_2 \cdot A_1} \dots\dots\dots (2. 1)$$

ここで、

m_c : 貯蔵容器質量 (= kg)

n_2 : 支持台の数 (=)

m_s : 支持台 1 個の質量 (= kg)

G_2 : 下方向加速度 (=9.81 m/s²)

A_1 : リブの支持台座接触断面積 (= mm²)

b. 一次+二次応力

(a) 引張・圧縮応力

キャスク容器の熱膨張による応力は無視できるので、リブに発生する応力は(2. 1)式と同様に与えられる。

(2) 支持台座

a. 一次応力

(a) 支圧応力

自重により支持台座に生じる支圧応力 (σ_p) は次式により与えられる。

$$\sigma_p = \frac{m_c \cdot G_2}{n_2 \cdot A_2} \dots\dots\dots (2. 2)$$

ここで、

m_c : 貯蔵容器質量 (= kg)

G_2 : 下方向加速度 (=9.81 m/s²)

n_2 : 支持台の数 (=)

A_2 : 支持台座のキャスク容器底面接触面積 (= mm²)

b. 一次+二次応力

(a) 支圧応力

キャスク容器の熱膨張による応力は無視できるので、支持台座に発生する支圧応力は、(2. 2) 式と同様に与えられる。

2.2.3 計算結果

応力計算結果を表 2-1 に示す。

2.3 貯蔵時 (S_d*地震力が作用する場合)

2.3.1 荷重条件

貯蔵時において S_d*地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。

地震力+自重+熱荷重

2.3.2 計算方法

トラニオン固定ボルト，トラニオン固定金具，リブ，アンカーボルト，容器押え金具及び支持台座の応力計算は以下に示すとおりである。

(1) トラニオン固定ボルト

a. 引張応力

トラニオン固定ボルトに作用する最大引張力 (F₁) は図 2-1 に示す支持台④に生じ、次式により与えられる。

$$F_1 = \frac{G_1 \cdot h_{CG} - G_2 \cdot a_2}{\frac{2 \cdot a_2^2}{a_1} + a_1} \cdot m_c \dots\dots\dots (2.3)$$

ここで、

$$G_1 = C_H, \quad G_2 = 9.81 - C_V$$

C_H : 水平方向加速度 (=7.06 m/s²)

C_V : 鉛直方向加速度 (=3.53 m/s²)

h_{CG} : 貯蔵容器底面から重心までの高さ (=2820 mm)

a₁ : 支点Oから支持台④のトラニオン固定金具中心までの距離 (=2074.5 mm)

a₂ : 支点Oから支持台⑤のトラニオン固定金具中心までの距離 (=949.5 mm)

m_c : 貯蔵容器質量 (= kg)

この引張力 (F₁) によりトラニオン固定ボルトに発生する引張応力 (σ_t) は次式で表わされる。

$$\sigma_t = \frac{F_1}{n_5 \cdot A_5} \dots\dots\dots (2.4)$$

ここで、

F₁ : 引張力 (= N)

n₅ : トラニオン固定金具 1 組当たりのボルトの本数 (=)

A₅ : トラニオン固定ボルト (M45) の断面積 (= mm²)

(2) トラニオン固定金具

a. 一次応力

(a) 曲げ応力

トラニオン固定金具にはトラニオン固定ボルトの引張力 (F₁) により曲げ応力 (σ_b) が発生し、次式により与えられる。

$$\sigma_b = \frac{L}{4 \cdot Z} \cdot F_1 \dots\dots\dots (2. 5)$$

ここで、

- F_1 : 引張力 (= N)
- L : トラニオン固定ボルト間距離 (=220 mm)
- Z : トラニオン固定金具の断面係数 (= mm³)

b. 一次+二次応力

(a) 曲げ応力

トラニオン固定ボルトの引張力(F_1)による曲げ応力の全振幅(σ_b)は、(2. 5)式と同様に与えられる。

(3) リブ

a. 一次応力

(a) 引張応力

トラニオン固定ボルトの引張力(F_1)によりリブに発生する引張応力(σ_t)は、次式により与えられる。

$$\sigma_t = \frac{F_1}{A_1} \dots\dots\dots (2. 6)$$

ここで、

- F_1 : 引張力 (= N)
- A_1 : リブの支持台座接触断面積 (= mm²)

(b) 圧縮応力

リブに作用する最大圧縮力(F_c)は支持台◎に生じ、次式により与えられる。

$$\left. \begin{aligned} F_c &= G_2 \cdot (m_c + m_s) + 2 \cdot F_2 + F_1 \\ F_1 &= \frac{G_1 \cdot h_{CG} - G_2 \cdot a_2 \cdot m_c}{\frac{2 \cdot a_2^2}{a_1} + a_1} \\ F_2 &= \frac{a_2}{a_1} \cdot F_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2. 7)$$

ここで、

- $G_1 = C_H$, $G_2 = 9.81 + C_V$
- C_H : 水平方向加速度 (=7.06 m/s²)
- C_V : 鉛直方向加速度 (=3.53 m/s²)
- h_{CG} : 貯蔵容器底面から重心までの高さ (=2820 mm)
- m_c : 貯蔵容器質量 (= kg)
- m_s : 支持台1個の質量 (= kg)

F_1 : 支持台④での引張力 (= N)

F_2 : 支持台⑤での引張力 (= N)

a_1 : 支点Oから支持台④のトラニオン固定金具中心までの距離
(=2074.5 mm)

a_2 : 支点Oから支持台⑤のトラニオン固定金具中心までの距離 (=949.5 mm)

この圧縮力(F_c)によりリブに発生する圧縮応力(σ_c)は次式で表わされる。

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A_1} \dots\dots\dots (2.8)$$

ここで,

F_c : 圧縮力 (= N)

A_1 : リブの支持台座接触断面積 (= mm²)

b. 一次+二次応力

(a) 引張・圧縮応力

地震のみによる応力の全振幅(σ)は、次式で表わされる。

$$\sigma = \sigma_t + \sigma_c \dots\dots\dots (2.9)$$

ここで,

σ_t : a. (a)にて求めた引張応力

σ_c : a. (b)にて求めた圧縮応力

(4) アンカーボルト

a. 引張応力

(2.3)式により与えられる引張力(F_1)によりアンカーボルトに生じる引張応力(σ_t)は次式により与えられる。

$$\sigma_t = \frac{F_1}{n_6 \cdot A_6} \dots\dots\dots (2.10)$$

ここで,

F_1 : (1)a.にて求めた引張力 (= N)

n_6 : 支持台1個当たりのアンカーボルト本数 (=)

A_6 : アンカーボルト(M36)の断面積 (= mm²)

b. せん断応力

アンカーボルトに作用する最大水平力(F_H)は支持台④, ⑤に生じ、次式により与えられる。

$$F_H = C_H \cdot (m_c + 4 \cdot m_s) \dots\dots\dots (2.11)$$

ここで,

C_H : 水平方向加速度 (=7.06 m/s²)

m_c : 貯蔵容器質量 (= kg)

m_s : 支持台 1 個の質量 (= kg)

この水平力(F_H)によりアンカーボルトに生じるせん断応力(τ)は、次式で表される。

$$\tau = \frac{F_H}{2 \cdot n_6 \cdot A_6} \dots\dots\dots (2.12)$$

ここで、

F_H : 水平力 (= N)

n_6 : 支持台 1 個当たりのアンカーボルト本数 (=)

A_6 : アンカーボルト(M36)の断面積 (= mm²)

(5) 容器押え金具

a. 一次応力

(a) 圧縮応力

容器押え金具に作用する最大水平力(F_H)は支持台◎に生じ、次式により与えられる。

$$F_H = C_H \cdot m_c \dots\dots\dots (2.13)$$

ここで、

C_H : 水平方向加速度 (=7.06 m/s²)

m_c : 貯蔵容器質量 (= kg)

水平力(F_H)より容器押え金具に発生する圧縮応力(σ_c)は次式で表される。

$$\sigma_c = \frac{F_H}{n_4 \cdot A_4} \dots\dots\dots (2.14)$$

ここで、

F_H : 水平力 (= N)

n_4 : 支持台 1 個当たりの容器押え金具の本数 (=)

A_4 : 容器押え金具(M42)の断面積 (= mm²)

b. 一次+二次応力

(a) 引張・圧縮応力

地震力のみによる応力の全振幅(σ)は、(2.14)式と同様に与えられる。

(6) 支持台座

a. 一次応力

(a) 支圧応力

支持台座に作用する最大圧縮力(F_c)は支持台◎に生じ、次式により与えられる。

$$F_c = G_2 \cdot m_c + 2 \cdot F_2 + F_1 \dots\dots\dots (2.15)$$

ここで、

$$G_2 = 9.81 + C_V$$

C_V : 鉛直方向加速度 (=3.53 m/s²)

m_c : 貯蔵容器質量 (= kg)

F_1 : 支持台①での引張力 (= N)

F_2 : 支持台②での引張力 (= N)

圧縮力(F_c)により発生する支圧応力(σ_p)は次式で表わされる。

$$\sigma_p = \frac{F_c}{A_2} \dots\dots\dots (2.16)$$

ここで,

F_c : 圧縮力 (= N)

A_2 : 支持台座のキャスク容器底面接触面積 (= mm²)

b. 一次+二次応力

(a) 支圧応力

支圧応力(σ_p)は(2.16)式と同様に与えられる。

2.3.3 計算結果

応力計算結果を表2-2に示す。

2.4 貯蔵時（ S_s 地震力が作用する場合）

2.4.1 荷重条件

貯蔵時において S_s 地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。

地震力+自重+熱荷重

2.4.2 計算方法

トラニオン固定ボルト，トラニオン固定金具，リブ，アンカーボルト，容器押え金具及び支持台座の応力計算は2.3.2項と同様である。

ただし，

C_H : 水平方向加速度（=11.48 m/s²）

C_V : 鉛直方向加速度（=6.38 m/s²）

2.4.3 計算結果

応力計算結果を表2-3に示す。

3. 応力の評価

3.1 一次応力の評価

各設計事象における評価を表 2-1, 表 2-2 及び表 2-3 に示す。

表 2-1, 表 2-2 及び表 2-3 より, 各設計事象の一次応力は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

3.2 一次+二次応力の評価

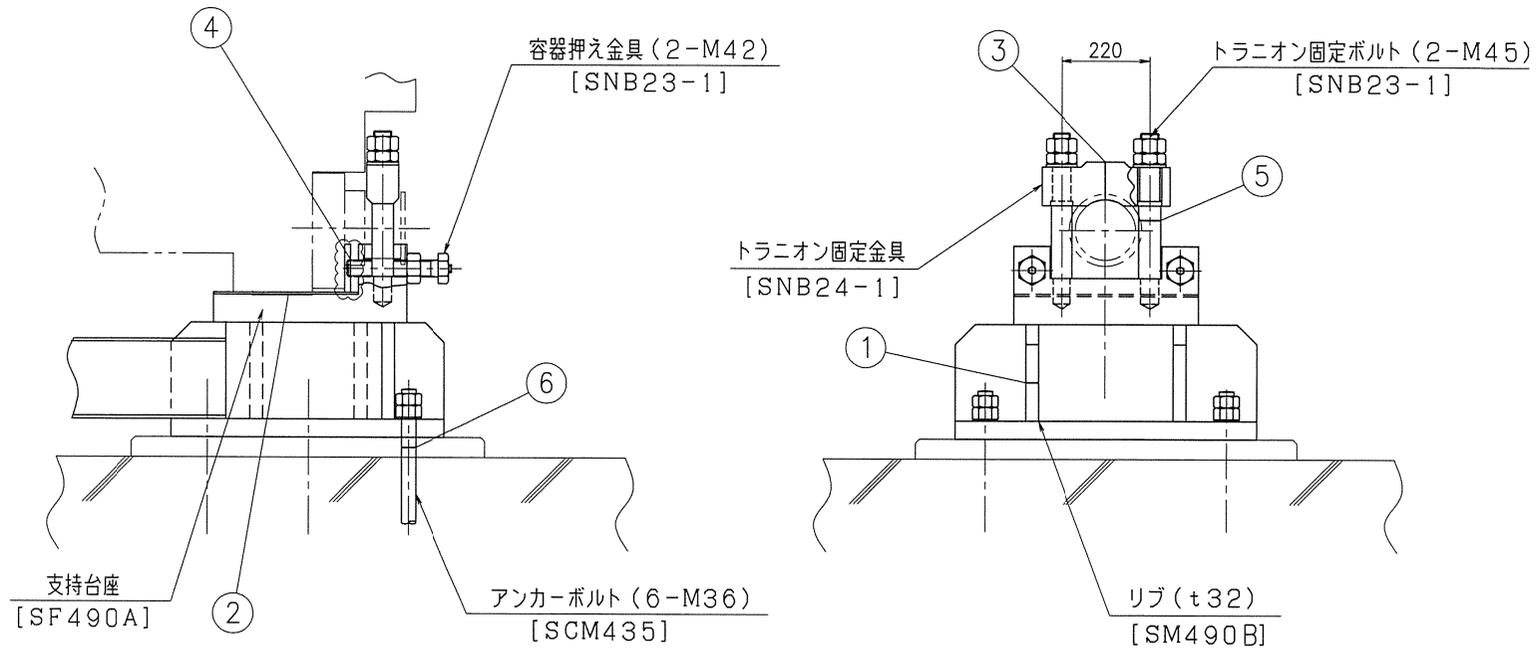
各設計事象における評価を表 2-1, 表 2-2 及び表 2-3 に示す。

表 2-1, 表 2-2 及び表 2-3 より, 各設計事象の一次+二次応力は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

3.3 組合せ応力の評価

地震時における評価を表 2-2 及び表 2-3 に示す。

表 2-2 及び表 2-3 より, 地震時における組合せ応力は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

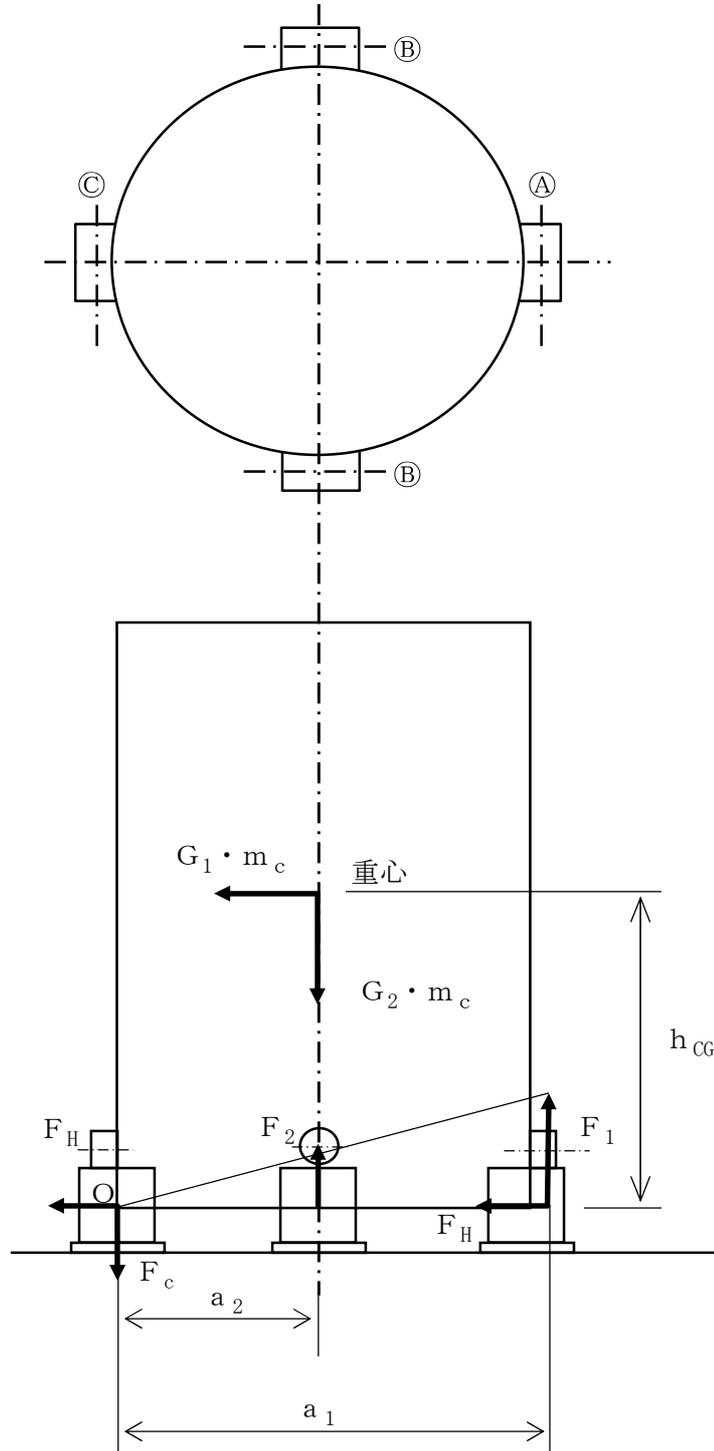


(単位 : mm)

[] : 材料

① ~ ⑥ : 応力評価点

図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (面)



Ⓐ, Ⓑ, Ⓒ : 支持台番号

図 2-1 地震時に作用する荷重の計算モデル

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材料	設計事象	一次応力		一次+二次応力	
			計算値	許容応力	計算値	許容応力
リブ	炭素鋼 (SM490B)	I	5	172	5	544
		I + S _d *	37	259	47	544
		I + S _s	56	291	77	544
支持台座	炭素鋼 (SF490A)	I	4	201	4	302
		I + S _d *	30	302	30	302
		I + S _s	44	362	44	362
トラニオン固定金具	低合金鋼 (SNB24-1)	I + S _d *	280	837	280	1675
		I + S _s	583	837	583	1675
容器押え金具	低合金鋼 (SNB23-1)	I + S _d *	291	713	291	1452
		I + S _s	473	713	473	1452

(単位：MPa)

部位	材料	設計事象	引張応力		せん断応力		組合せ応力	
			計算値	許容応力	計算値	許容応力	計算値	許容応力
トラニオン 固定ボルト	低合金鋼 (SNB23-1)	I + S _d *	170	544				
		I + S _s	355	544				
アンカー ボルト	低合金鋼 (SCM435)	I + S _d *	89	444	68	341	89	444
		I + S _s	185	444	110	341	185	444

表 2-1 支持構造物の応力評価（設計事象 I）

（単位：MPa）

部 位	応力の種類		貯蔵時		許容応力
			評価点 (面)	計算値	
リブ	一次応力	圧縮応力	①	5	172
	一次+二次応力	引張・圧縮応力	①	5	544
支持台座	一次応力	支圧応力	②	4	201
	一次+二次応力	支圧応力	②	4	302

表 2-2 支持構造物の応力評価（貯蔵時： S_d^* 地震力が作用する場合）

（単位：MPa）

部 位	応力の種類		貯蔵時		許容応力
			評価点 (面)	計算値	
リブ	一次応力	引張応力	①	10	272
		圧縮応力	①	37	259
	一次＋二次応力*	引張・圧縮応力	①	47	544
支持台座	一次応力	支圧応力	②	30	302
	一次＋二次応力*	支圧応力	②	30	302
トラニオン 固定金具	一次応力	曲げ応力	③	280	837
	一次＋二次応力*	曲げ応力	③	280	1675
容器押え金具	一次応力	圧縮応力	④	291	713
	一次＋二次応力*	引張・圧縮応力	④	291	1452
トラニオン 固定ボルト	—	引張応力	⑤	170	544
アンカー ボルト	—	引張応力	⑥	89	444
		せん断応力	⑥	68	341
		組合せ応力	⑥	89	444

注記 *：地震力のみによる全振幅について評価する。

表 2-3 支持構造物の応力評価（貯蔵時：S_S地震力が作用する場合）

（単位：MPa）

部 位	応力の種類		貯蔵時		許容応力
			評価点 (面)	計算値	
リブ	一次応力	引張応力	①	21	308
		圧縮応力	①	56	291
	一次+二次応力*	引張・圧縮応力	①	77	544
支持台座	一次応力	支圧応力	②	44	362
	一次+二次応力*	支圧応力	②	44	362
トラニオン 固定金具	一次応力	曲げ応力	③	583	837
	一次+二次応力*	曲げ応力	③	583	1675
容器押え金具	一次応力	圧縮応力	④	473	713
	一次+二次応力*	引張・圧縮応力	④	473	1452
トラニオン 固定ボルト	—	引張応力	⑤	355	544
アンカー ボルト	—	引張応力	⑥	185	444
		せん断応力	⑥	110	341
		組合せ応力	⑥	185	444

注記 *：地震力のみによる全振幅について評価する。

V-2-4-2-3-9 二次蓋の耐震性についての計算書①
(タイプ I)

目次

1. 概 要	1
2. 適用基準	1
3. 記 号	2
3.1 記号の説明	2
4. 設計条件及び構造	3
4.1 設計条件	3
4.2 数値の丸め方	3
4.3 二次蓋の構造	3
5. 応力計算 (S_d^* 及び S_s 地震時)	4
5.1 荷重条件	4
5.2 計算方法	4
5.3 評価方法	5
5.4 計算結果	5
6. 応力評価 (S_d^* 及び S_s 地震時)	6

図表目次

図 4-1	二次蓋の構造	7
図 5-1	応力評価点（面）	8
図 5-2	計算モデル	9
表 4-1	設計条件	10
表 4-2	数値の丸め方一覧表	10
表 5-1	応力計算に使用する材料の物性値	11
表 5-2	二次蓋の許容応力値	11
表 5-3	二次蓋締付けボルトの許容応力値	11
表 5-4	二次蓋の応力計算結果	12
表 6-1	二次蓋の応力評価	14

1. 概 要

本計算書は、使用済燃料乾式貯蔵容器の二次蓋に関する応力計算書である。

2. 適用基準

二次蓋は、貯蔵時の密封監視のために圧力空間を保持するための部材であり、二次蓋及び一次蓋の蓋間内が正圧となることから、構造強度評価手法としては「発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版(2007年追補版を含む)）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。）のクラス3容器に従って設計する。

また、地震時における荷重の組合せ及び許容応力については設計・建設規格 GNR-2200に従い、「日本電気協会 原子力発電所耐震設計技術指針・補 許容応力・重要度分類編」（JEAG 4601・補-1984）に準ずる。

3. 記号

3.1 記号の説明

本計算書において、応力評価に関する以下の記号を使用する。ただし、本文中に特記ある場合は、この限りでない。

計算書の記号	記号の説明	単位
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
G	重力加速度(=9.80665)	m/s ²
M_d	当該設備に設計上定められた機械的荷重	—
P_d	当該設備に設計上定められた最高使用圧力による機械的荷重	MPa
P_b	一次曲げ応力	MPa
P_m	一次一般膜応力	MPa
P_L	一次局部膜応力	MPa
Q	二次応力	MPa
S	最高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	MPa
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方	—
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_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
σ_1	主応力	MPa
σ_2	主応力	MPa
σ_3	主応力	MPa
σ_n	評価断面に垂直な方向の応力	MPa
σ_t	評価断面に平行な方向の応力	MPa
σ_θ	円周方向応力	MPa
τ_{nt}	せん断応力	MPa
$\tau_{t\theta}$	せん断応力	MPa
$\tau_{n\theta}$	せん断応力	MPa
α_H	水平方向設計加速度	m/s ²
α_V	鉛直方向設計加速度	m/s ²
$I + S_d^*$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用した場合の許容応力区分	—
$I + S_s$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用した場合の許容応力区分	—

4. 設計条件及び構造

4.1 設計条件

最高使用圧力及び最高使用温度を表 4-1 に示す。

4.2 数値の丸め方

数値は、原則として四捨五入とする。また、評価に用いる許容応力及び算出応力等については、安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については丸めないことを原則とし、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を表 4-2 に示す。

4.3 二次蓋の構造

二次蓋の構造を図 4-1 に示す。

5. 応力計算（ S_d^* 及び S_s 地震時）

5.1 荷重条件

応力計算は荷重毎に行う。荷重条件として与えられるものは次の3つである。

- a. 最高使用圧力 (0.4MPa)
- b. ボルト初期締付け力 ($4.6 \times 10^6 \text{N}$)
- c. 地震力

5.2 計算方法

(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 4-1 に示す。

(2) 物性値

応力計算に使用する材料の物性値を表 5-1 に示す。

(3) 計算モデル

二次蓋の応力計算は、二次蓋の実形状をモデル化し、汎用解析コードである ABAQUS を用いて行う。

ABAQUS とは、有限要素法に基づく、伝熱解析、応力解析等の汎用解析コードである。応力計算は、解析しようとする箇所を形状、材料等の不連続部を小さなメッシュに分割し、各メッシュについて計算を実施することによって行う。

計算モデルは次の方針に従う。

- a. モデル化に当たっては、二次蓋の形状の対称性及び荷重の対称性を考慮する。
- b. 解析モデルは三次元固体（連続体）要素による解析モデルとする。

加速度として次の値を用いる。

$$S_d^* \text{地震力が作用する場合： } \alpha_H = C_H G = 11.48 \text{m/s}^2, \quad \alpha_V = C_V G = 6.38 \text{ m/s}^2$$

$$S_s \text{地震力が作用する場合： } \alpha_H = C_H G = 11.48 \text{m/s}^2, \quad \alpha_V = C_V G = 6.38 \text{ m/s}^2$$

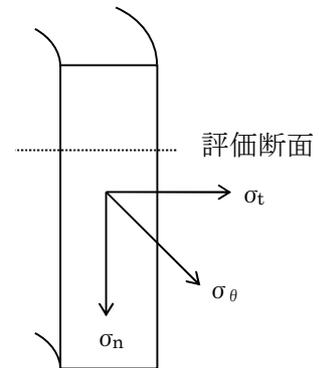
二次蓋の応力評価点（面）を図 5-1 に示す。解析コード ABAQUS の三次元固体（連続体）要素による解析モデルを図 5-2 に示す。

5.3 評価方法

応力の計算結果は、設計・建設規格 GNR-2130 による定義に従い、応力の種類毎に分類し、以下の評価を応力計算書に示す。

なお、応力の記号とその方向は下記のとおりである。

- σ_{θ} : 円周方向応力
- σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力
- σ_t : 評価断面に平行な方向の応力
- $\tau_{n\theta}$: せん断応力
- τ_{nt} : せん断応力
- $\tau_{t\theta}$: せん断応力



二次蓋用材料の許容応力値を表 5-2 に示す。

二次蓋締付けボルトの許容応力値を表 5-3 に示す。

(1) 二次蓋の応力評価

二次蓋の応力評価は、以下の項目を実施する。

- a. 一次応力強さ
- b. 一次+二次応力強さ（地震力のみによる応力振幅）

(2) 二次蓋締付けボルトの応力評価

二次蓋締付けボルトの応力評価は一次応力強さについて実施する。

5.4 計算結果

評価対象として応力評価点（面）についての応力評価を表 5-4 に示す。

6. 応力評価 (S_d^* 及び S_s 地震時)

各設計事象における二次蓋及び二次蓋締付けボルトの評価を表 6-1 に示す。

表 6-1 より各部の一次応力は許容値を満足する。また、二次蓋の一次+二次応力は $2 S_y$ 以下となり、疲労評価不要の条件を満足する。

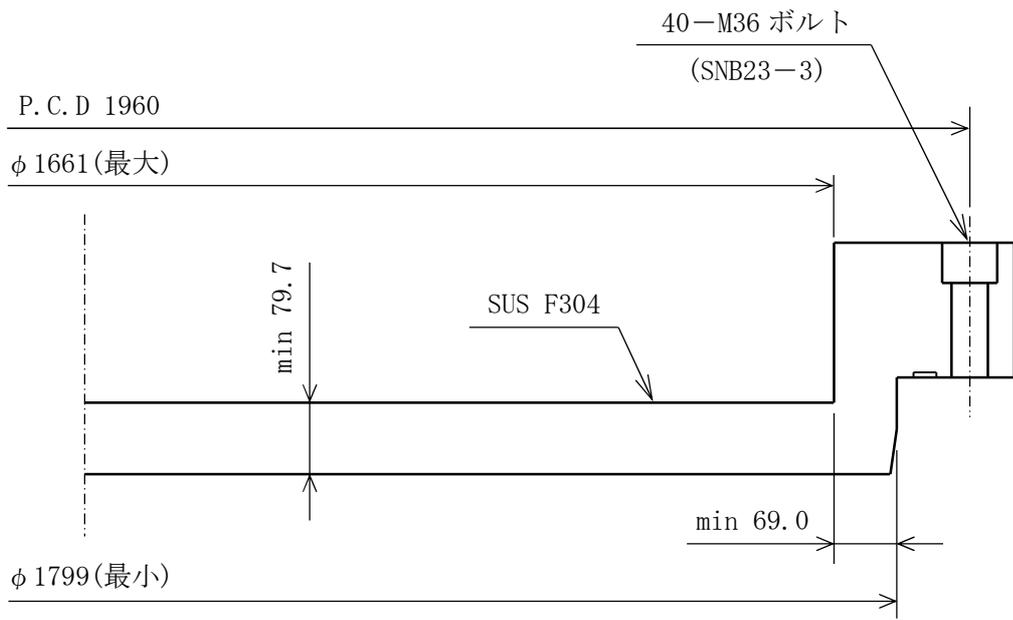


図 4-1 二次蓋の構造

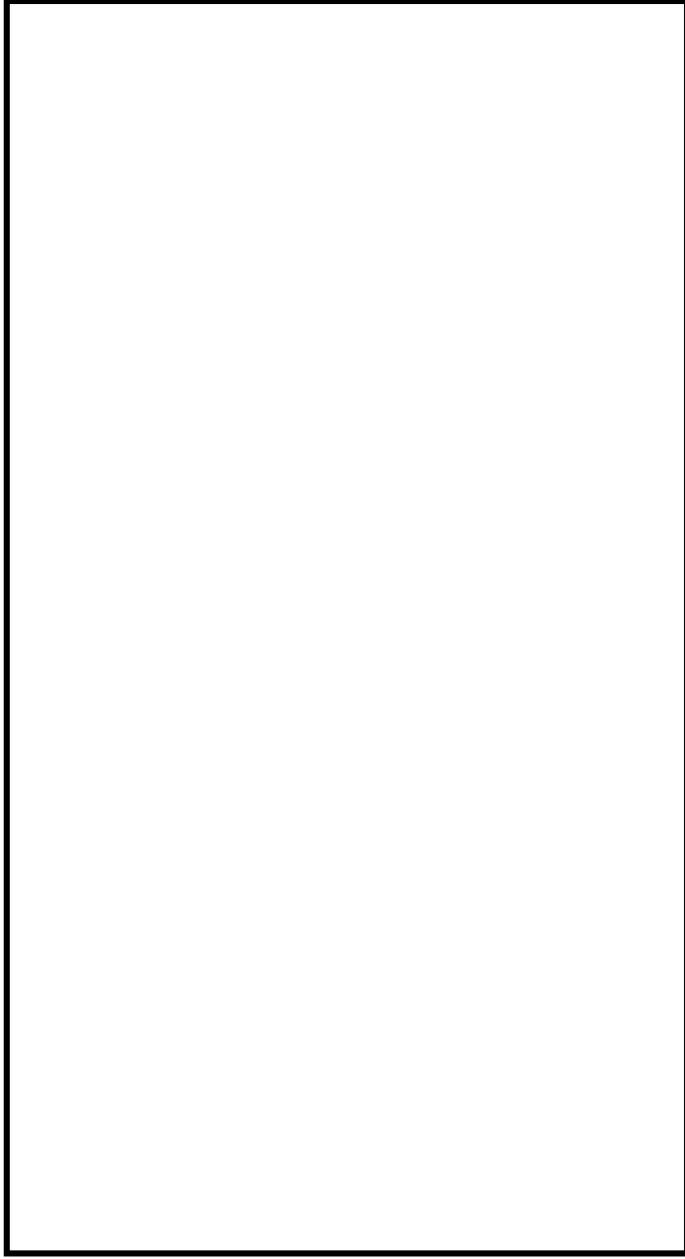


图 5-1 応力評価点 (面)

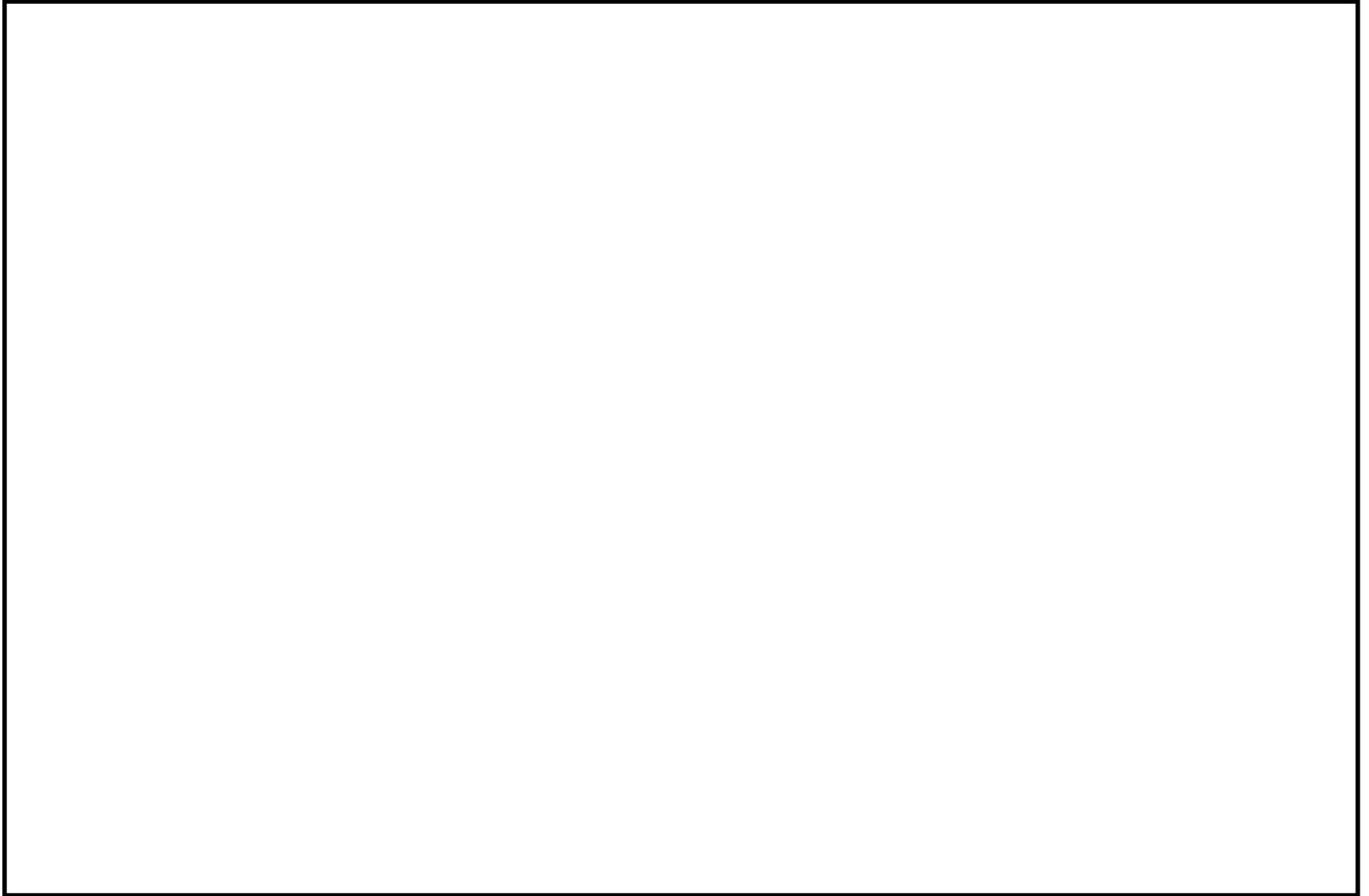


図 5-2 計算モデル

表 4-1 設 計 条 件

項 目		設 計 値
最高使用圧力	MPa	0.4
最高使用温度	℃	160

表 4-2 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単 位	処 理 桁	処 理 法	表示最小桁
最高使用圧力	MPa	—	—	設 計 値
最高使用温度	℃	—	—	設 計 値
許容応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切 捨 て	整 数 値 位
計算応力値 ¹⁾	MPa	小数点以下第 1 位	切 上 げ	整 数 値 位
必 要 厚 さ	mm	小数点以下第 2 位	切 上 げ	小数点以下第 1 位
最 小 厚 さ	mm	小数点以下第 2 位	切 捨 て	小数点以下第 1 位
長 さ	mm	—	—	設 計 値
面 積	mm ²	有効数字 4 桁目	安全側に処理する	有効数字 3 桁
力	N	有効数字 4 桁目	切 上 げ	有効数字 3 桁

注記 1) : 応力成分は、小数点以下第 2 位を四捨五入し、小数点以下第 1 位までの値を記載する。

表 5-1 応力計算に使用する材料の物性値

部位	材料	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比 (-)
二次蓋	ステンレス鋼 (SUSF304)	160	185000	0.3
二次蓋締め付けボルト	合金鋼 (SNB23-3)	160	183000	-

表 5-2 二次蓋の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力 区分	荷重の 組合せ	応力の種類	許容応力値	
			オーステナイト系ステンレス鋼	
			SUSF304	許容値基準
I + S _d *	D+P _d +M _d +S _d *	一次一般膜応力 (P _m)	152	Min{S _y , 0.6S _u }と 1.2Sの大きい方
		一次膜+一次曲げ応力 (P _L +P _b)	228	上記の 1.5 倍
		一次+二次応力 ¹⁾ (P _L +P _b +Q)	304	2S _y
I + S _s	D+P _d +M _d +S _s	一次一般膜応力 (P _m)	250	0.6S _u
		一次膜+一次曲げ応力 (P _L +P _b)	376	0.9S _u
		一次+二次応力 ¹⁾ (P _L +P _b +Q)	304	2S _y

注記 1) : 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 5-3 二次蓋締め付けボルトの許容応力値

(単位：MPa)

許容応力 区分	荷重の 組合せ	応力の種類	許容応力値	
			合金鋼 SNB23-3	許容値基準
I + S _d *	D+P _d +M _d +S _d *	平均引張応力	300	1.5S
I + S _s	D+P _d +M _d +S _s	平均引張応力	400	2S

表 5-4(1) 二次蓋の応力計算結果 (荷重組合せ : D+P_d+M_d+S_d*の場合)

(単位 : MPa)

部位	評価点 (面)	応力分類	応力成分 ¹⁾					計算値	許容応力		
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$			$\tau_{n\theta}$	
二次蓋	①-①'	P _L +P _b							23	228	
	①	P _L +P _b +Q ²⁾							1	304	
	①'								1	304	
	②-②'	P _L +P _b							22	228	
	②	P _L +P _b +Q ²⁾							1	304	
	②'								1	304	
	③-③'	P _L +P _b							18	228	
	③	P _L +P _b +Q ²⁾							1	304	
	③'								1	304	
	④-④'	P _m							5	152	
	④	P _L +P _b								34	228
		P _L +P _b +Q ²⁾								1	304
	④'	P _L +P _b								25	228
P _L +P _b +Q ²⁾									1	304	
ボルト	⑤	平均引張 応力							146	300	

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力
 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力
 2) : S_d*地震力のみによる全振幅について評価する。

表 5-4(2) 二次蓋の応力計算結果 (荷重組合せ : D+P_d+M_d+S_s の場合)

(単位 : MPa)

部位	評価点 (面)	応力分類	応力成分 ¹⁾						計算値	許容応力
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{n\theta}$		
二次蓋	①-①'	P _L +P _b							23	376
	①	P _L +P _b +Q ²⁾							1	304
	①'								1	304
	②-②'	P _L +P _b							22	376
	②	P _L +P _b +Q ²⁾							1	304
	②'								1	304
	③-③'	P _L +P _b							18	376
	③	P _L +P _b +Q ²⁾							1	304
	③'								1	304
	④-④'	P _m							5	250
	④	P _L +P _b							34	376
		P _L +P _b +Q ²⁾							1	304
	④'	P _L +P _b							25	376
		P _L +P _b +Q ²⁾							1	304
ボルト	⑤	平均引張 応力							146	400

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力
 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力

2) : S_s地震力のみによる全振幅について評価する。

表 6-1 二次蓋の応力評価

(単位：MPa)

許容応力区分	荷重の組合せ	部 位	応力分類	評価点	計算値	許容 応力値
I + S _d *	D+P _d +M _d +S _d *	二次蓋	P _m	④-④'	5	152
			P _L +P _b	④	34	228
			P _L +P _b +Q ¹⁾	②	1	304
		二次蓋 締付けボルト	平均引張応力	⑤	146	300
I + S _s	D+P _d +M _d +S _s	二次蓋	P _m	④-④'	5	250
			P _L +P _b	④	34	376
			P _L +P _b +Q ¹⁾	②	1	304
		二次蓋 締付けボルト	平均引張応力	⑤	146	400

注記 1) : S_d*及びS_s地震動のみによる応力振幅について評価する。

V-2-4-2-3-9 二次蓋の耐震性についての計算書②
(タイプⅡ)

目次

1. 概 要	1
1.1 計算条件	1
1.2 記号の説明	3
1.3 数値の丸め方	4
2. 計算方法	5
2.1 固有周期の計算方法	5
2.2 応力の計算方法	5
3. 評価方法	9
3.1 設計震度の評価	9
3.2 応力の評価	9
4. 設計条件	11
5. 機器要目	11
6. 評価結果	12
7. 結論	15
7.1 固有周期	15
7.2 応力	15

図表目次

図 1-1	貯蔵容器の概略構造図	2
図 2-1	二次蓋の形状・寸法・材料と応力評価点（面）	7
図 2-2	計算モデル	8
表 1-1	数値の丸め方一覧表	4
表 2-1	応力計算に使用する材料の物性値	5
表 3-1	二次蓋の許容応力値	10
表 3-2	二次蓋締付けボルトの許容応力値	10
表 6-1	二次蓋の応力計算結果（荷重組合せ： $D + P_d + M_d + S_d^*$ の場合）	13
表 6-2	二次蓋の応力計算結果（荷重組合せ： $D + P_d + M_d + S_s$ の場合）	14

1. 概 要

本計算書は、貯蔵容器のうち二次蓋の耐震性についての計算方法と計算結果を示す。

なお、二次蓋は、設計上、蓋方向への遮へい及び密封機能を有する部品であり、キャスク容器に取付けられる構造部材である。

1.1 計算条件

- (1) 貯蔵容器は縦置きで支持する。
- (2) 貯蔵容器の自重（内部を含む）を4個の下部トラニオンを介して支持構造物に固定する。
- (3) 支持構造物はアンカーボルトで基礎に固定する。
- (4) 二次蓋は二次蓋締付けボルトでキャスク容器に固定する。
- (5) 概略構造図を図1-1に示す。

なお、キャスク容器とは、バスケット、二次蓋（ボルトを含む）、トラニオン、支持構造物及びアンカーボルトを除く部材をいう。

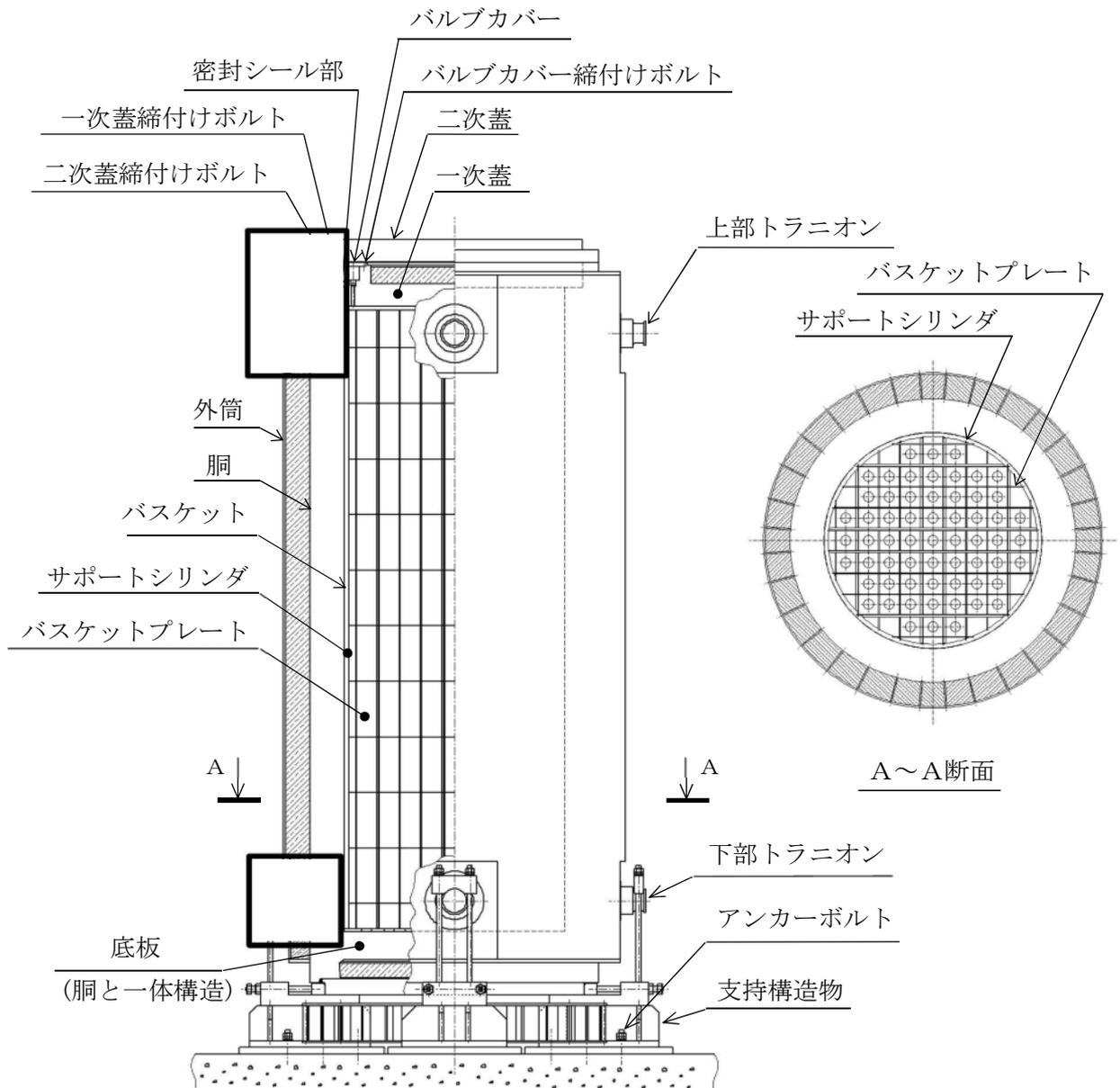


図 1-1 貯蔵容器の概略構造図

1.2 記号の説明

本書において、応力評価に関する下記の記号を使用する。ただし、本文中に特記ある場合は、この限りでない。なお、記号の字体及び大きさについては、異なる場合がある。

記号	記号の説明	単位
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
d_o	胴の外径	mm
d_i	胴の内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
I	胴の断面二次モーメント	mm ⁴
L	貯蔵容器の全長	mm
M	貯蔵容器（内部も含む）の総質量	kg
M_d	当該設備に設計上定められた機械的荷重	—
m	単位長さ当たりの質量	kg/mm
P_d	当該設備に設計上定められた最高使用圧力による機械的荷重	—
P_b	一次曲げ応力強さ	MPa
P_m	一次一般膜応力強さ	MPa
P_L	一次局部膜応力強さ	MPa
Q	二次応力	MPa
S	許容引張応力	MPa
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方	—
S_s	基準地震動 S_s による地震力	—
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
T	貯蔵容器の固有周期	s
σ_n	評価断面に垂直な方向の応力	MPa
σ_t	評価断面に平行な方向の応力	MPa
σ_θ	円周方向応力	MPa
τ_{nt}	せん断応力	MPa
$\tau_{t\theta}$	せん断応力	MPa
$\tau_{\theta n}$	せん断応力	MPa
$I + S_d^*$	設計事象 I の貯蔵時の状態において S_d^* 地震力が作用した場合の許容応力状態	—
$I + S_s$	設計事象 I の貯蔵時の状態において S_s 地震力が作用した場合の許容応力状態	—

1.3 数値の丸め方

数値は原則として安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

本計算書に表示する数値の丸め方を表 1-1 に示す。

表 1-1 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単 位	処 理 桁	処 理 法	表示最小桁
最高使用温度	℃	—	—	設計値
最高使用圧力	MPa	—	—	設計値
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
許容応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数
計算応力値*	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数
長さ	mm	—	—	設計値
設計震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
質量	kg	—	—	設計値

注記 *：応力成分は、小数点以下第 2 位を四捨五入し、小数点以下第 1 位までの値を記載する。

2. 計算方法

2.1 固有周期の計算方法

貯蔵容器を上端自由及び下端固定のはりでモデル化するものとして、固有周期（T）を次式で計算する。

$$T = \frac{2 \cdot \pi \cdot L^2}{1.875^2} \cdot \sqrt{\frac{m}{1000 \cdot E \cdot I}}$$

$$m = \frac{M}{L}$$

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot (d_o^4 - d_i^4)$$

ここで、

L : 貯蔵容器の全長 (mm)

E : 胴の縦弾性係数 (MPa)

I : 胴の断面二次モーメント (mm⁴)

M : 貯蔵容器 (内部も含む) の総質量 (kg)

m : 単位長さ当たりの質量 (kg/mm)

d_o : 胴の外径 (mm)

d_i : 胴の内径 (mm)

2.2 応力の計算方法

二次蓋及び二次蓋締付けボルトの応力の計算方法を以下に示す。

(1) 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料と応力評価点（面）を図 2-1 に示す。

(2) 物性値

応力計算に使用する材料の物性値を表 2-1 に示す。

表 2-1 応力計算に使用する材料の物性値

部 位	材 料	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比 (-)
二次蓋	GLF1	100	198000	0.3
二次蓋締付けボルト	SNB23-3	100	186000	0.3

(3) 荷重

応力計算は荷重ごとに行う。荷重条件として与えられるものは次の4つである。

- a. 最高使用圧力
- b. ボルト初期締付け力
- c. 死荷重
- d. 地震力（水平方向設計震度（ C_H ），鉛直方向設計震度（ C_v ））

(4) 計算モデル

計算モデルは次の方針に従う。図2-2に計算モデルを示す。

- a. モデル化に当たっては，荷重の対称性，二次蓋の形状の対称性を考慮する。
- b. 解析モデルは三次元固体（連続体）要素による解析モデルとする。

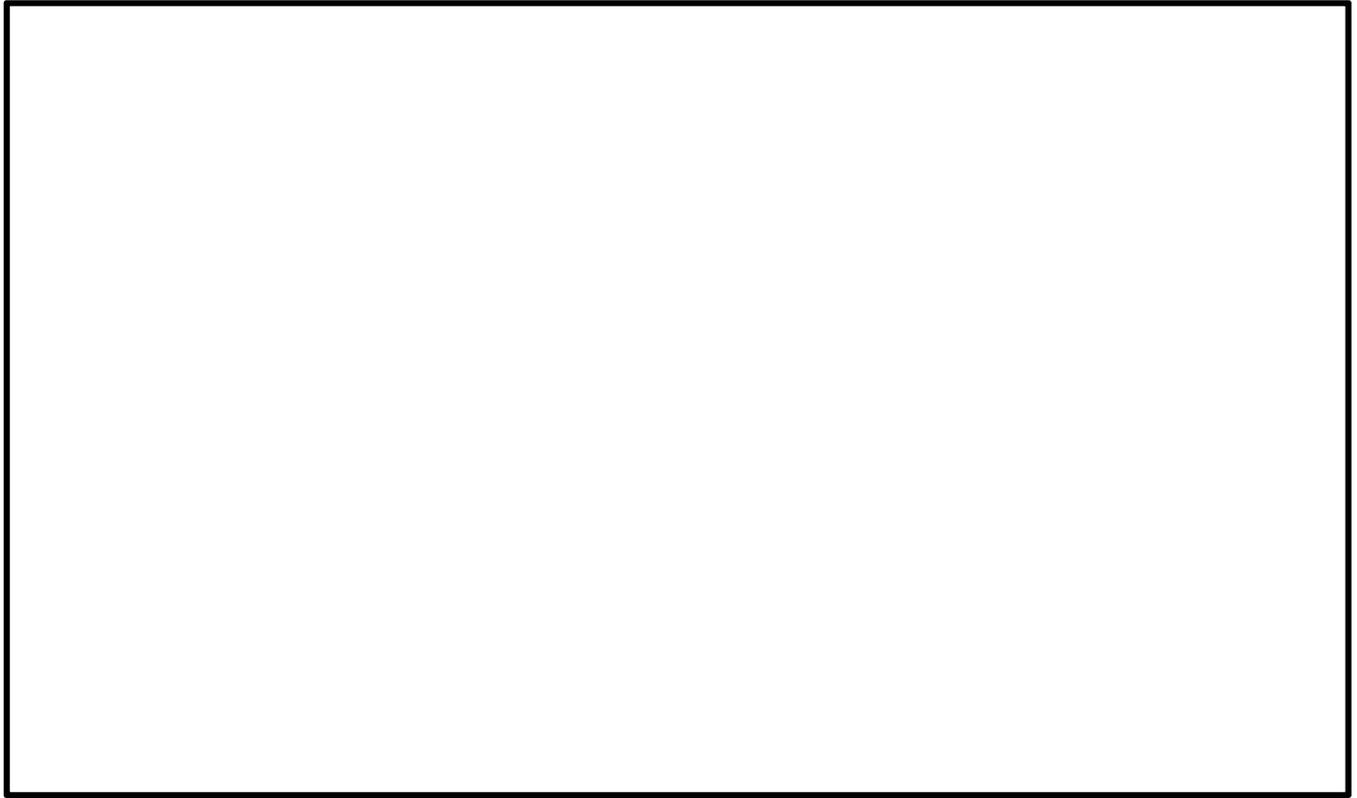
(5) 応力計算に使用する計算機コード

- a. ABAQUS

有限要素法に基づく伝熱解析，応力解析の汎用解析コードである。

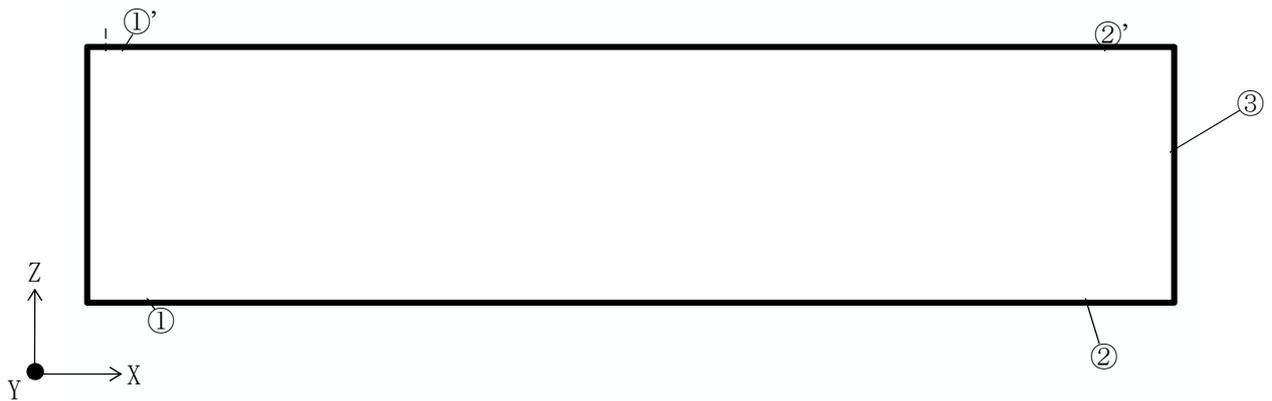
圧力荷重，機械的荷重及び熱荷重によって生じる形状の不連続部を含む応力の解析に使用する。

応力計算は，解析しようとする箇所を形状，材料等の不連続部で小さなメッシュに分割することによって行う。



寸法・形状・材料

- ① : 二次蓋中央部
- ② : 二次蓋端部
- ③ : 二次蓋締付けボルト



応力評価断面

図 2-1 二次蓋の形状・寸法・材料と応力評価点（面）

8

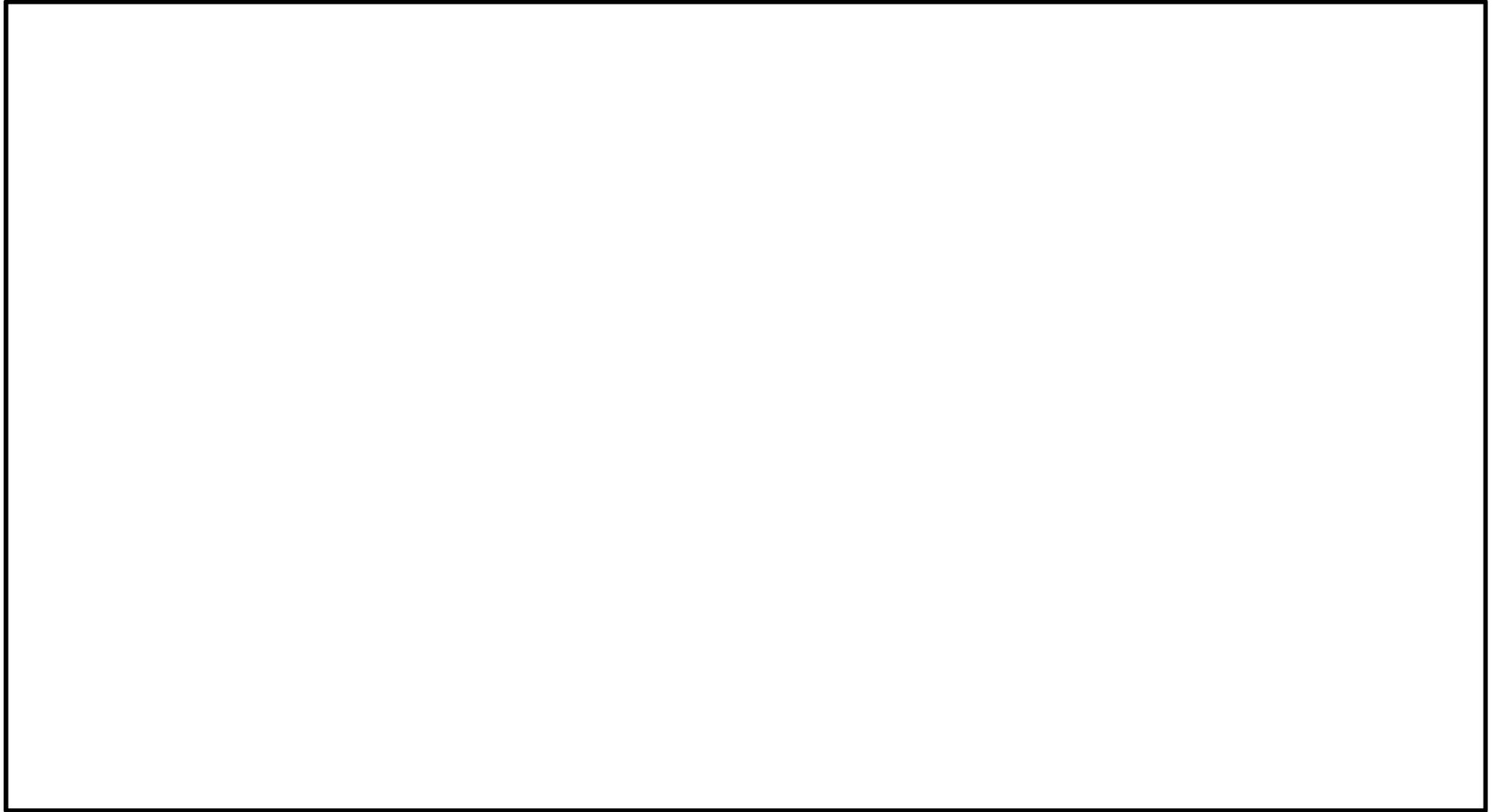


図 2-2 計算モデル

3. 評価方法

3.1 設計震度の評価

2章で求めた固有周期から添付書類「V-2-1 耐震設計の基本方針」に基づき、設計震度を定める。

3.2 応力の評価

二次蓋及び二次蓋締付けボルトの応力の評価方法を以下に示す。

(1) 二次蓋の応力評価

a. 一次応力強さ

内圧及び機械的荷重により発生する一次一般膜応力として求めた応力強さ及び一次膜応力と一次曲げ応力を加えて求めた応力強さが、表 3-1 に示す許容応力値以下であることを示す。

b. 一次＋二次応力強さ

地震力のみによる応力振幅により評価した一次＋二次応力として求めた応力強さが、表 3-1 に示す許容応力値以下であることを示す。

(2) 二次蓋締付けボルトの応力評価

ボルトの応力評価は表 3-2 に示す許容応力値以下であることを示す。

表 3-1 二次蓋の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力 状態	荷重の組合せ	応力の種類	許容応力値	
			炭素鋼	
			二次蓋	
			GLF1	許容値基準
I + S _d *	D + P _d + M _d + S _d *	一次一般膜応力 (P _m)	187	Min (S _y , 0.6S _u)
		一次膜+一次曲げ応力 (P _L + P _b)	280	上記の 1.5 倍
		一次+二次応力* (P _L + P _b + Q)	374	2S _y
I + S _s	D + P _d + M _d + S _s	一次一般膜応力 (P _m)	226	0.6S _u
		一次膜+一次曲げ応力 (P _L + P _b)	339	0.9S _u
		一次+二次応力* (P _L + P _b + Q)	374	2S _y

注記 * : S_d*又はS_s地震動のみによる全振幅について評価する。

表 3-2 二次蓋締付けボルトの許容応力値

(単位：MPa)

許容応力 状態	荷重の組合せ	応力の種類	許容応力値	
			低合金鋼	
			二次蓋締付けボルト	
			SNB23-3	許容値基準
I + S _d *	D + P _d + M _d + S _d *	平均引張応力	300	1.5S
I + S _s	D + P _d + M _d + S _s	平均引張応力	400	2S

4. 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)	ボルト荷重(N)	最高使用温度(°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			
貯蔵容器 (二次蓋を除く)	A s	使用済燃料 乾式貯蔵建屋 EL. 8.3 *1	□	$C_H=1.17$	$C_V=0.65$	$C_H=1.17$	$C_V=0.65$	1.0	—	170
二次蓋								□	□	100

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: □(s)は二次蓋を含んだ値である。

5. 機器要目

d_o (mm)	d_i (mm)	L (mm)	M (kg)	E (MPa)
2059	1571	5435	□	193000

6. 評価結果

二次蓋及び二次蓋締付けボルトにおける応力評価点（面）についての応力計算結果を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

表 6-1 及び表 6-2 より，二次蓋における一次一般膜応力 (P_m)，一次膜+一次曲げ応力 ($P_L + P_b$)，一次+二次応力 ($P_L + P_b + Q$) 及び二次蓋締付けボルトの平均引張応力は，表 3-1 及び表 3-2 に示す許容応力値以下である。

表 6-1 二次蓋の応力計算結果 (荷重組合せ : $D + P_d + M_d + S_d^*$ の場合)

(単位 : MPa)

部位	応力 評価点	応力分類	応力成分*1						計算 値	許容 応力
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{\theta n}$		
二次 蓋	①-①'	P_m	0.8	-0.2	0.8	-0.1	0.0	0.0	1	187
	①	$P_L + P_b$	-14.1	-0.9	-14.1	0.0	0.0	0.0	14	280
		$P_L + P_b + Q^{*2}$	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	1	374
	①'	$P_L + P_b$	15.6	0.6	15.6	-0.2	0.0	0.0	15	280
		$P_L + P_b + Q^{*2}$	-0.5	0.0	-0.5	0.0	0.0	0.0	1	374
	②	$P_L + P_b$	17.6	-14.7	-13.1	-13.7	-7.2	-1.0	47	280
		$P_L + P_b + Q^{*2}$	0.8	0.0	0.1	-0.1	0.0	0.0	1	374
	②'	$P_L + P_b$	3.4	-3.3	3.5	2.9	1.5	-0.9	10	280
$P_L + P_b + Q^{*2}$		0.2	0.0	0.0	-0.3	0.0	0.0	1	374	
二次蓋 締付け ボルト	③	平均引張応力	107.5	—	—	—	—	—	108	300

注記 *1 : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力

σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{\theta n}$: 評価断面上のせん断応力

2 : S_d^ 地震力のみによる全振幅について評価する。

表 6-2 二次蓋の応力計算結果（荷重組合せ：D + P_d + M_d + S_sの場合）

（単位：MPa）

部位	応力 評価点	応力分類	応力成分*1						計算 値	許容 応力
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{\theta n}$		
二次 蓋	①-①'	P _m	0.8	-0.2	0.8	-0.1	0.0	0.0	1	226
	①	P _L + P _b	-14.1	-0.9	-14.1	0.0	0.0	0.0	14	339
		P _L + P _b + Q*2	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	1	374
	①'	P _L + P _b	15.6	0.6	15.6	-0.2	0.0	0.0	15	339
		P _L + P _b + Q*2	-0.5	0.0	-0.5	0.0	0.0	0.0	1	374
	②	P _L + P _b	17.6	-14.7	-13.1	-13.7	-7.2	-1.0	47	339
		P _L + P _b + Q*2	0.8	0.0	0.1	-0.1	0.0	0.0	1	374
	②'	P _L + P _b	3.4	-3.3	3.5	2.9	1.5	-0.9	10	339
P _L + P _b + Q*2		0.2	0.0	0.0	-0.3	0.0	0.0	1	374	
二次蓋 締付け ボルト	③	平均引張応力	107.5	—	—	—	—	—	108	400

注記 *1： σ_n ：評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ ：円周方向応力
 σ_t ：評価断面に平行な方向の応力 τ_{nt} , $\tau_{t\theta}$, $\tau_{\theta n}$ ：評価断面上のせん断応力
 *2：S_s地震力のみによる全振幅について評価する。

7. 結論

7.1 固有周期

(単位：s)

固有周期
T = <input type="text"/>

7.2 応力

二次蓋の応力は、以下に示す通り、すべて許容応力値以下である。

(単位：MPa)

許容応力 区 分	荷重の組合せ	部 位	応力分類	応力 評価点	計算値	許容 応力値
I + S _d [*]	D + P _d + M _d + S _d [*]	二次蓋	P _m	①-①'	1	187
			P _L + P _b	②	47	280
			P _L + P _b + Q [*]	①	1	374
		二次蓋締 付けボルト	平均引張応力	③	108	300
I + S _s	D + P _d + M _d + S _s	二次蓋	P _m	①-①'	1	226
			P _L + P _b	②	47	339
			P _L + P _b + Q [*]	①	1	374
		二次蓋締 付けボルト	平均引張応力	③	108	400

注記 * : S_d^{*}又はS_s地震力のみによる全振幅について評価する。

V-2-4-2-3-9 二次蓋の耐震性についての計算書③
(タイプⅢ)

目次

1. 概 要	1
2. 適用基準	1
3. 記 号	2
3.1 記号の説明	2
4. 設計条件及び構造	3
4.1 設計条件	3
4.2 数値の丸め方	3
4.3 二次蓋の構造	3
5. 応力計算	4
5.1 二次蓋の計算上必要な厚さ	4
5.1.1 計算方法	4
5.1.2 計算結果	4
5.2 地震時 (S_d^*) の応力計算	4
5.2.1 荷重条件	4
5.2.2 計算方法	5
5.2.3 計算結果	6
5.3 地震時 (S_g) の応力計算	6
5.3.1 荷重条件	6
5.3.2 計算方法	6
5.3.3 計算結果	7
5.4 二次蓋締付けボルトの応力計算	7
5.4.1 荷重条件	7
5.4.2 計算方法	7
5.4.3 計算結果	9
6. 応力の評価	10
6.1 二次蓋最小板厚の評価	10
6.2 地震時の二次蓋応力評価	10
6.3 地震時の二次蓋締付けボルト応力評価	10

図表目次

図 4-1	形状・寸法・材料	11
表 4-1	設計条件	12
表 4-2	数値の丸め方	12
表 5-1	二次蓋の応力計算結果	13
表 5-2	二次蓋締付けボルトの応力計算結果	13
表 6-1	地震時 (S_d^*) の応力評価	13
表 6-2	地震時 (S_S) の応力評価	13
表 6-3	二次蓋締付けボルトの応力評価	13

1. 概 要

本計算書は、二次蓋に関する応力計算書である。

2. 適用基準

二次蓋は、貯蔵時の密封監視のために圧力空間を保持するための部材であり、二次蓋及び一次蓋の蓋間内が正圧となることから、構造強度評価手法としては「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））（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。）のクラス3容器に従って設計する。

なお、地震時における荷重の組合せ及び許容応力については設計・建設規格 GNR-2200 に従い、「日本電気協会 原子力発電所耐震設計技術指針・補 許容応力・重要度分類編」（JEAG 4601・補-1984）に準ずる。

3. 記 号

3.1 記号の説明

本計算書において、応力評価に関する以下の記号を使用する。ただし、本文中に特記ある場合は、この限りでない。

計算書の記号	記 号 の 説 明	単 位
A	面積	mm ²
A _B	ボルト全数の最小断面積	mm ²
d	直径	mm
D	死荷重	—
d _G	ガスケットの平均径	mm
f	ガスケット1本当たりの線荷重	N/mm
F _G	ガスケット反力	N
G	重力加速度又は地震力による加速度	m/s ²
K	平板の取付方法による係数	—
m	質量	kg
M _D	機械的荷重	—
P	最高使用圧力又は等分布荷重	MPa
P _D	最高使用圧力による機械的荷重	—
r	ボルトピッチ円の半径	mm
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又は静的地震力	—
t	板厚	mm
σ _D	死荷重による応力	MPa
σ _P	最高使用圧力による応力	MPa
σ _M	機械的荷重による応力	MPa
σ _S	地震力による応力	MPa

4. 設計条件及び構造

4.1 設計条件

最高使用圧力及び最高使用温度を表 4-1 に示す。

4.2 数値の丸め方

数値は原則として安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を表 4-2 に示す。

4.3 二次蓋の構造

二次蓋の形状・寸法・材料を図 4-1 に示す。

5. 応力計算

5.1 二次蓋の計算上必要な厚さ

5.1.1 計算方法

二次蓋の計算上必要な厚さは設計・建設規格 PVD-3310 の規定中 (PVD-5) 式から、次式で表される。

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}} \dots\dots\dots (5. 1)$$

ここで、

t : 二次蓋の計算上必要な厚さ (mm)

d : 二次蓋締付けボルトピッチ円の直径 (= mm)

P : 最高使用圧力 (=0.4 MPa)

S : 最高使用温度における付録材料図表 Part5 表5又は表6に規定する材料の許容引張応力 (=100 MPa)

K : 平板の取付方法による係数 (=0.17, 表 PVD-3310-1 (a) に相当)

であり、計算上必要な厚さは t= である。

設計・建設規格 PVD-3322 による、直径が 1/2d 以下の穴を設けた場合の計算上必要な厚さは (PVD-6) 式から、

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot P}{S}} \dots\dots\dots (5. 2)$$

であり、計算上必要な厚さは t= である。

5.1.2 計算結果

以上の計算から二次蓋の計算上必要な厚さは t= mm である。

5.2 地震時 (S_d^{*}) の応力計算

5.2.1 荷重条件

地震時 (S_d^{*}) 時における荷重は次に示す組合せとする。

$$D+P_D+M_D+ S_d^*$$

ここで、

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, 又は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による機械的荷重

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, 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静的地震力である。

本計算書においては、 D は二次蓋の自重による荷重、 P_D は最高使用圧力による荷重、 M_D は設計事象 I 及び II において作用する加速度による荷重のうち最大のもの（支持構造物への衝突：底部脚部の衝突）とする。

5.2.2 計算方法

(1) 二次蓋の自重による荷重 (D)

二次蓋の自重による応力は次式で計算する。

$$\sigma_D = \frac{1.24 \cdot P \cdot r^2}{t^2} \dots \dots \dots (5.3)$$

ここで、

P : 等分布荷重 (= 8.595×10^{-3} MPa)

$$P = m \cdot G / A$$

m : 二次蓋の質量 (= kg)

G : 重力加速度 (= 9.81 m/s²)

A : 荷重負荷面積 (= $\pi \cdot r^2 =$ mm²)

r : 二次蓋締付けボルトピッチ円の半径 (= mm)

t : 二次蓋製作上の最小厚さ (= mm)

(2) 最高使用圧力による荷重 (P_D)

二次蓋の最高使用圧力による応力は次式で計算する。

$$\sigma_P = \frac{1.24 \cdot P \cdot r^2}{t^2} \dots \dots \dots (5.4)$$

ここで、

P : 最高使用圧力 (= 0.4 MPa)

r : 二次蓋締付けボルトピッチ円の半径 (= mm)

t : 二次蓋製作上の最小厚さ (= mm)

(3) 機械的荷重 (M_D)

二次蓋の機械的荷重による応力は次式で計算する。

$$\sigma_M = \frac{1.24 \cdot P \cdot r^2}{t^2} \dots \dots \dots (5.5)$$

ここで、

P : 等分布荷重 (= 5.155×10^{-2} MPa)

$$P = m \cdot G / A$$

m : 二次蓋の質量 (= kg)

G : 加速度 (= 58.84 m/s²)

A : 荷重負荷面積 (= $\pi \cdot r^2 =$ mm²)

r : 二次蓋締付けボルトピッチ円の半径 (= mm)

t : 二次蓋製作上の最小厚さ (= mm)

(4) 地震力による荷重 (S_d^*)

二次蓋の地震力による応力については、二次蓋はインロー構造によりキャスク本体に設置されるため水平方向の荷重は無視できる。

よって、二次蓋の地震力による応力は次式で計算する。

$$\sigma_s = \frac{1.24 \cdot P \cdot r^2}{t^2} \dots\dots\dots (5.6)$$

ここで、

P : 等分布荷重 ($=3.093 \times 10^{-3}$ MPa)

$$P = m \cdot G / A$$

m : 二次蓋の質量 ($= \square$ kg)

G : S_d^* 地震力による鉛直方向加速度 ($=3.53$ m/s²)

A : 荷重負荷面積 ($= \pi \cdot r^2 = \square$ mm²)

r : 二次蓋締付けボルトピッチ円の半径 ($= \square$ mm)

t : 二次蓋製作上の最小厚さ ($= \square$ mm)

5.2.3 計算結果

応力計算結果を表 5-1 に示す。

5.3 地震時 (S_G) の応力計算

5.3.1 荷重条件

地震時 (S_G) 時における荷重は次に示す組合せとする。

$$D + P_D + M_D + S_G$$

ここで、D、 P_D 及び M_D は 5.2.1 項と同様である。

ただし、

S_G : 基準地震動 S_G により定まる地震力

である。

5.3.2 計算方法

(1) 二次蓋の自重による荷重

二次蓋の自重による応力は 5.2.2(1) 項に示す計算方法により計算する。

(2) 最高使用圧力による荷重

二次蓋の最高使用圧力による応力は 5.2.2(2) 項に示す計算方法により計算する。

(3) 機械的荷重

二次蓋の機械的荷重による応力は 5.2.2(3) 項に示す計算方法により計算する。

(4) 地震力による荷重

二次蓋の地震力による応力については、5.2.2(4)項に示す計算方法により計算する。
ただし、

P : 等分布荷重 (= MPa)

$$P = m \cdot G / A$$

G : S_S 地震力による鉛直方向加速度 (=6.38 m/s²)

5.3.3 計算結果

応力計算結果を表 5-1 に示す。

5.4 二次蓋締付けボルトの応力計算

5.4.1 荷重条件

地震時における荷重は次に示す組合せとする。

$$D + P_D + M_D + S_d^* \text{ 又は } D + P_D + M_D + S_S$$

ここで、

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、又は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による機械的荷重

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、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静的地震力

S_S : 基準地震動 S_S により定まる地震力

である。

本計算書において、D は二次蓋のガスケット反力、 P_D は最高使用圧力による荷重とし、 M_D は設計事象 I 及び II において作用する加速度による荷重のうち最大のもの（支持構造物への衝突：底部脚部の衝突）とする。

5.4.2 計算方法

(1) 二次蓋のガスケット反力による荷重 (D)

二次蓋締付けボルトのガスケット反力による応力は次式で計算する。

$$\sigma_D = \frac{F_G}{A_B} \dots \dots \dots (5.7)$$

ここで、

F_G : ガスケット反力 (= N)

$$F_G = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot d_G$$

f : ガスケット 1 本当たりの線荷重 (= N/mm)

d_G : ガasketの平均径 (= mm)
 A_B : ボルト全数の最小断面積 (= mm²)
 (二次蓋締付けボルトの最小径 : mm)
 (二次蓋締付けボルトの本数 : 本)

(2) 最高使用圧力による荷重 (P_D)

二次蓋締付けボルトの最高使用圧力による応力は次式で計算する。

$$\sigma_P = \frac{P \cdot \pi \cdot r^2}{A_B} \dots\dots\dots (5.8)$$

ここで,

P : 最高使用圧力 (=0.4 MPa)
 r : 二次蓋締付けボルトピッチ円の半径 (= mm)
 A_B : ボルト全数の最小断面積 (= mm²)

(3) 機械的荷重 (M_D)

二次蓋締付けボルトの機械的荷重による応力は次式で計算する。

$$\sigma_M = \frac{m \cdot G}{A_B} \dots\dots\dots (5.9)$$

ここで,

m : 二次蓋の質量 (= kg)
 G : 加速度 (=58.84 m/s²)
 A_B : ボルト全数の最小断面積 (= mm²)

(4) 地震力による荷重 (S_d^* 及び S_S)

二次蓋締付けボルトの地震力による応力は二次蓋に作用する慣性力により発生する。二次蓋はインロー構造によりキャスク本体に取り付けられるため水平方向の荷重は無視でき、鉛直方向の荷重のみを考慮すればよい。

二次蓋締付けボルトの地震力による応力は次式で計算する。

$$\sigma_S = \frac{m \cdot G}{A_B} \dots\dots\dots (5.10)$$

ここで,

m : 二次蓋の質量 (= kg)
 G : S_d^* 地震力による鉛直方向加速度 (=3.53 m/s²)
 G : S_S 地震力による鉛直方向加速度 (=6.38 m/s²)
 A_B : ボルト全数の最小断面積 (= mm²)

5.4.3 計算結果

応力計算結果を表 5-2 に示す。

6. 応力の評価

6.1 二次蓋最小板厚の評価

二次蓋の製作上の最小厚さ（= mm：フランジ部の最小厚さ）は，二次蓋の計算上必要な厚さ（= mm）を上回っており，設計・建設規格 PVD-3310 の規定を満足する。

6.2 地震時の二次蓋応力評価

各事象における評価を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

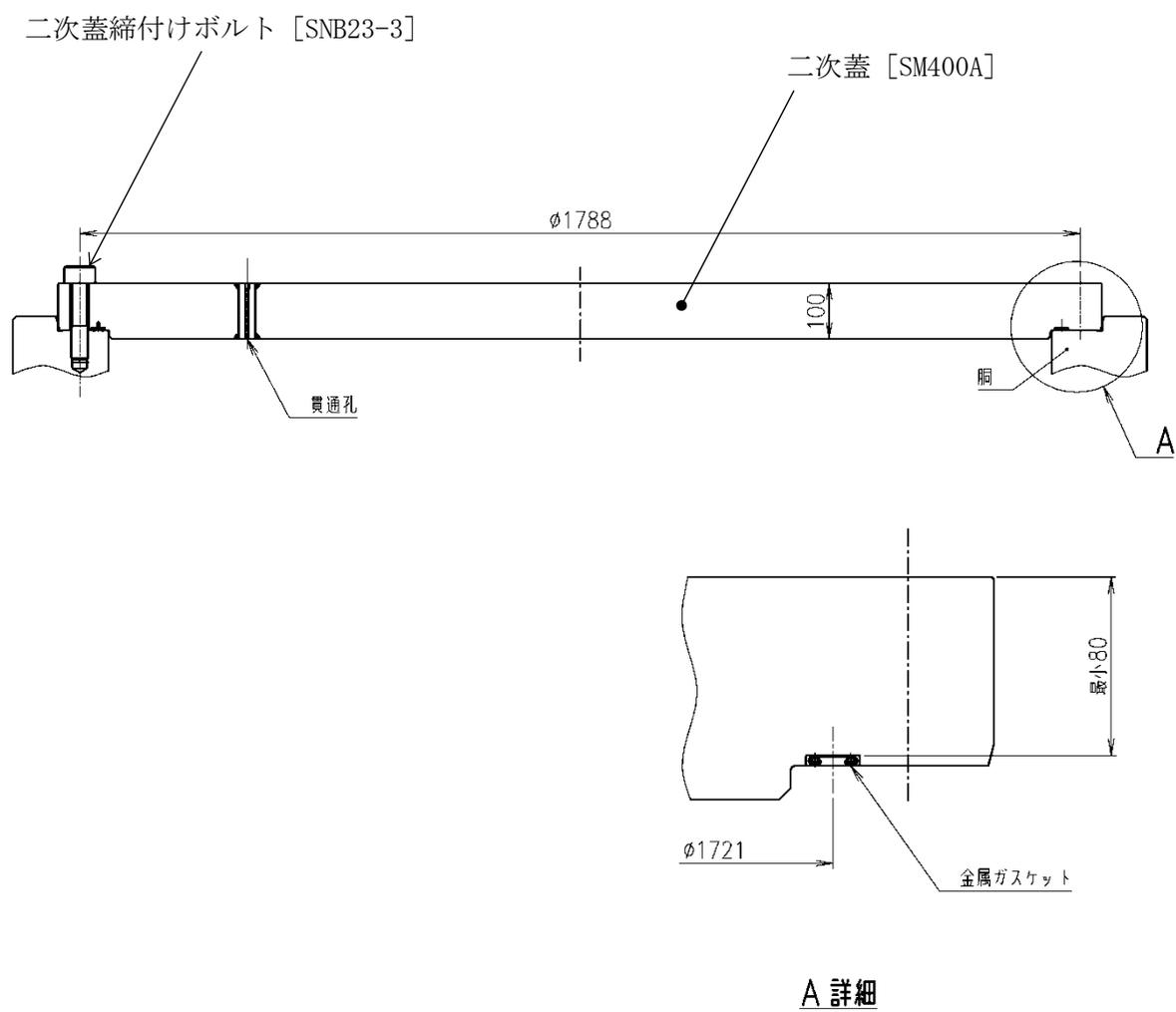
表 6-1 及び表 6-2 より，一次膜応力＋一次曲げ応力は許容値を満足する。

また，一次＋二次応力は疲労評価不要の条件を満足する。

6.3 地震時の二次蓋締付けボルト応力評価

各事象における評価を表 6-3 に示す。

表 6-3 より，平均引張応力は許容値を満足する。



(単位：mm)

図 4-1 形状・寸法・材料

表 4-1 設計条件

項目		設計値
最高使用圧力	MPa	0.4
最高使用温度	℃	100

表 4-2 数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理法	表示最小桁
最高使用圧力	MPa	—	—	設計値
最高使用温度	℃	—	—	設計値
許容応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数
計算応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数
必要厚さ	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
長さ	mm	—	—	設計値
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁

表 5-1 二次蓋の応力計算結果

(単位：MPa)

応力分類	σ_D	σ_P	σ_M	σ_S	σ
S_d^*					
S_S					

表 5-2 二次蓋締付けボルトの応力計算結果

(単位：MPa)

応力分類	σ_D	σ_P	σ_M	σ_S	σ
S_d^*					
S_S					

表 6-1 地震時 (S_d^*) の応力評価

(単位：MPa)

応力分類	計算値	許容値	備考
一次一般膜応力	—	194	Min. [S_y , $0.6 \cdot S_u$]
一次膜応力+一次曲げ応力	73	291	上記の 1.5 倍
一次+二次応力 *	2	388	$2 \cdot S_y$: 疲労解析不要の条件

注記 * : 地震力のみによる応力振幅

表 6-2 地震時 (S_S) の応力評価

(単位：MPa)

応力分類	計算値	許容値	備考
一次一般膜応力	—	223	$0.6 \cdot S_u$
一次膜応力+一次曲げ応力	73	334	上記の 1.5 倍
一次+二次応力 *	2	388	$2 \cdot S_y$: 疲労解析不要の条件

注記 * : 地震力のみによる応力振幅

表 6-3 二次蓋締付けボルトの応力評価

(単位：MPa)

地震力	平均引張応力	許容値	備考
S_d^*	194	300	$1.5 \cdot S$
S_S	194	400	$2 \cdot S$