

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-984 改3
提出年月日	平成30年9月12日

V-2-6-5-2 出力領域計装の耐震性についての計算書

目次

1.	概要	1
1.1	一般事項	1
1.2	構造計画	1
1.3	記号の説明	3
1.4	適用基準	4
1.5	形状・寸法・材料	4
1.6	解析範囲	4
2.	計算条件	6
2.1	設計条件	6
2.2	運転条件	6
2.2.1	運転条件Ⅰ及びⅡ	6
2.2.2	運転条件Ⅲ	6
2.2.3	運転条件Ⅳ	7
2.3	重大事故等時の条件	7
2.4	荷重の組合せ及び許容応力状態	7
2.5	材料	7
2.6	物性値	7
2.7	荷重の組合せと応力評価	8
2.8	許容限界	8
2.9	応力の記号と方向	8
3.	外荷重の条件	9
3.1	死荷重	9
3.2	地震荷重	9
3.2.1	地震応答解析の基本方針	9
3.2.2	解析モデル及び諸元	9
3.2.3	固有周期	9
3.2.4	設計用地震力	10
3.2.5	応答解析結果	10
3.2.6	地震荷重の算出結果	10
4.	応力解析	27
4.1	応力解析の手順	27
4.1.1	荷重条件	27
4.1.2	応力計算と応力の分類	27
4.2	応力計算	28
4.2.1	外圧による応力	28
4.2.2	外荷重による応力	29

4.3 応力の評価	31
4.3.1 主応力	31
4.3.2 応力強さ	31
5. 応力強さの評価	31
5.1 一次一般膜応力強さの評価	31
5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	31
6. 引用文献	31

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	5
図 2-1	運転条件	11
図 3-1	解析モデル	20
図 3-2	振動モード	22
図 3-3	動的応答加速度分布図	24
図 4-1	地震荷重による応力の計算モデル	32
表 1-1	L P R M検出器集合体の構造計画	2
表 2-1	L P R M検出器集合体の各許容応力状態における外圧	14
表 2-2	荷重の組合せ及び許容応力状態	15
表 2-3	応力計算に使用する材料の物性値	17
表 2-4	荷重の組合せ	17
表 2-5	許容限界	18
表 2-6	溶接部の継手効率	18
表 3-1	外荷重	19
表 3-2	部材定数	21
表 3-3	節点質量	21
表 3-4	固有値解析結果	22
表 3-5	設計用地震力	23
表 3-6	動的応答加速度	26
表 3-7	静的加速度	26
表 4-1	応力の分類	33
表 4-2	断面性状	33
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	34
表 5-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	34

1. 概要

1.1 一般事項

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の基本方針に基づき、平均出力領域モニタの出力領域計装（以下「L P R M」という。）検出器集合体が設計用地震力に対し十分な構造強度を有していることを説明するものである。

L P R M検出器集合体は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

1.2 構造計画

L P R M検出器集合体の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1 L P R M検出器集合体の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
原子炉压力容器内上部格子板で上方が支持され，炉心支持板で水平方向をが支持される。炉心支持板より下方では，中性子計測案内管及び中性子計測ハウジングでガイドされ，中性子計測ハウジング下端に取り付けられたフランジに固定される。	L P R M検出器集合体は，カバーチューブの内側に校正用導管を内蔵する構造の長尺円筒構造物であり，カバーチューブの直径は [] 校正用導管の直径は， [] である。	

1.3 記号の説明

本計算書において、下記の記号を使用する。ただし、本文中に別途記載ある場合は、この限りではない。

計算書の記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
E	縦弾性係数	MPa
H	水平力	N
I	断面二次モーメント	mm ⁴
L	リングからプランジャ先端までの長さ	mm
	リングからチャンネルボックスに接触する点までの距離	mm
'	リングから応力評価点までの距離	mm
P _b	一次曲げ応力	MPa
P _m	一次一般膜応力	MPa
P _o	外圧	MPa
S _d *	弾性設計用地震動 S _d により定まる地震力又は静的地震力	—
S _m	設計応力強さ	MPa
S _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	—
S _u	設計引張強さ	MPa
S _y	設計降伏点	MPa
V	鉛直力	N
t	厚さ	mm
δ _D	設計たわみ量	mm
η	溶接部の継手効率	—
σ _ℓ	軸方向応力	MPa
σ _r	半径方向応力	MPa
σ _t	周方向応力	MPa
τ _{tℓ}	せん断応力	MPa

1.4 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 (日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 (日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 (日本電気協会)
- (4) 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) (以下「設計・建設規格」という。)

注:本計算書において,設計・建設規格の条項は「設計・建設規格 ○○○-△△△△(◇)a. (a)」として示す。

1.5 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。

1.6 解析範囲

応力計算は,図 1-1 に示す応力評価点について行う。

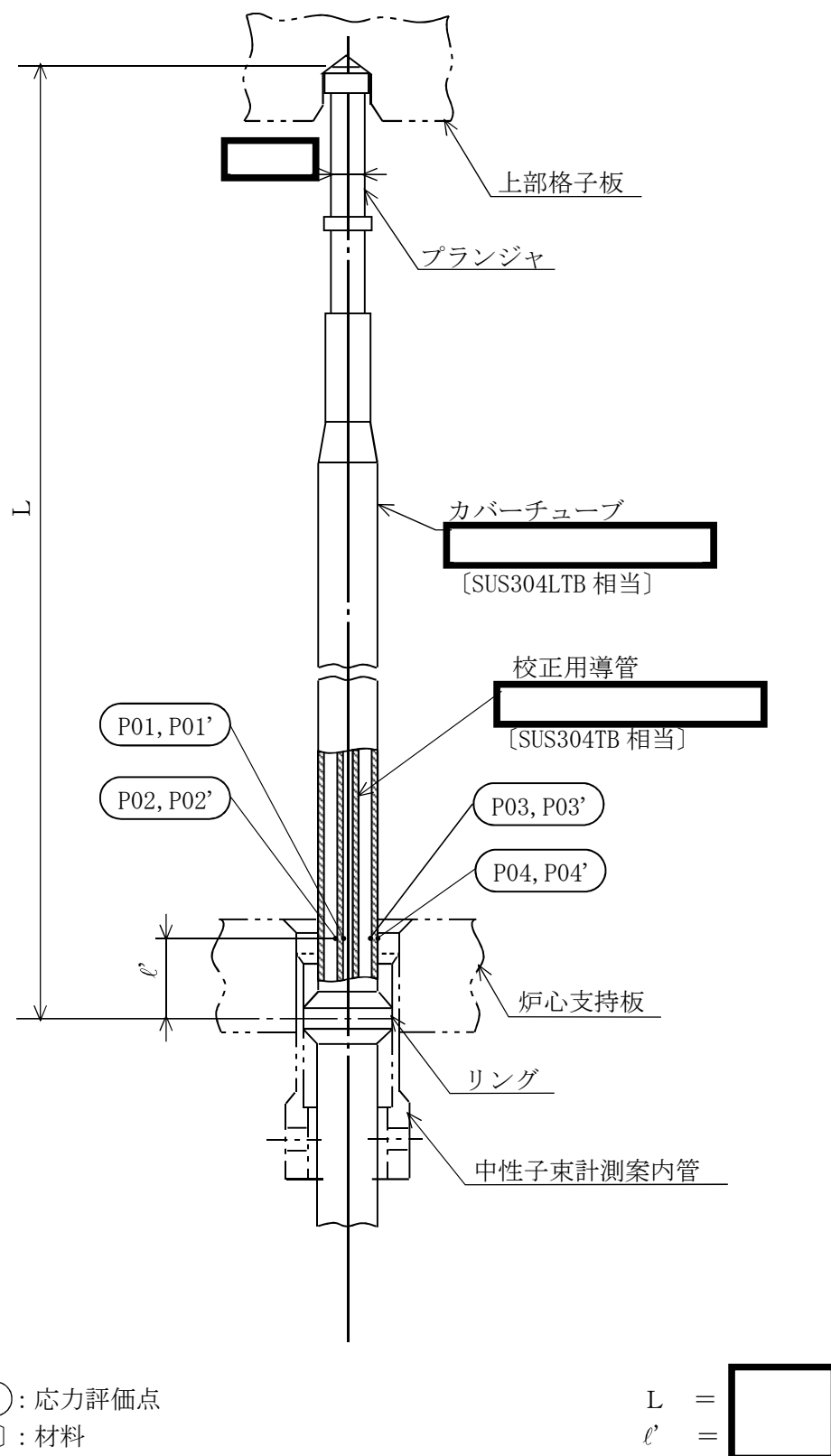


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

2. 計算条件

2.1 設計条件

最高使用圧力（外圧） : 8.62 MPa

最高使用温度 : 302 °C

なお、L P R M検出器集合体の校正用導管の内圧は0 MPa としている。

2.2 運転条件

2.2.1 運転状態Ⅰ及びⅡ

(1) ボルト締付け	{ボルト締付け}	[C01]
(2) 耐圧試験（最高使用圧力以下）	{耐圧試験最高使用圧力以下}	[C02]
(3) 起動（昇温）	{起動昇温}	[C03]
(4) 起動（タービン起動）	{起動タービン起動}	[C04]
(5) 夜間低出力運転（出力 75 %）	{夜間低出力運転出力 75 %}	[C05]
(6) 週末低出力運転（出力 50 %）	{週末低出力運転出力 50 %}	[C06]
(7) 制御棒パターン変更	{制御棒パターン変更}	[C07]
(8) 給水加熱機能喪失（発電機トリップ）	{発電機トリップ}	[C08]
(9) 給水加熱機能喪失（給水加熱器部分バイパス）	{給水加熱器部分バイパス}	[C09]
(10) スクラム（タービントリップ）	{スクラムタービントリップ}	[C10]
(11) スクラム（その他のスクラム）	{スクラムその他のスクラム}	[C11]
(12) 定格出力運転	{定格出力運転}	[C12]
(13) 停止（タービン停止）	{停止タービン停止}	[C13]
(14) 停止（高温待機）	{停止高温待機}	[C14]
(15) 停止（冷却）	{停止冷却}	[C15]
(16) 停止（容器満水）	{停止容器満水}	[C16]
(17) 停止（満水後冷却）	{停止満水後冷却}	[C17]
(18) ボルト取外し	{ボルト取外し}	[C18]
(19) 燃料交換	{燃料交換}	[C19]
(20) スクラム（原子炉給水ポンプ停止）	{スクラム原子炉給水ポンプ停止}	[C20]
(21) スクラム（逃がし安全弁誤作動）	{スクラム逃がし安全弁誤作動}	[C21]

2.2.2 運転状態Ⅲ

(1) スクラム（過大圧力）	{スクラム過大圧力}	[C22]
(2) 冷却材再循環系仕切弁誤作動（冷状態）	{冷再循環系仕切弁誤作動}	[C23]
(3) 冷却材再循環ポンプ誤起動（冷状態）	{冷再循環ポンプ誤起動}	[C24]

2.2.3 運転状態Ⅳ

(1) 冷却材喪失事故

{冷却材喪失事故}

[C25]

各運転条件における，LPRM検出器集合体の校正用導管の外圧（原子炉压力容器の内圧）の変化，周囲の流体の温度変化及びその繰返し回数を図 2-1(1)に示す。

なお，LPRM検出器集合体の校正用導管の外圧は，設置箇所のうち最も厳しい領域C（図 2-1(2)）の値を用いることとし，表 2-1 に示す。

2.3 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件は以下のとおりである。

圧力条件 : 設計条件と同じ

温度条件 : 設計条件と同じ

2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を，表 2-2 に示す。

なお，LPRM検出器集合体は，原子炉压力容器内部に位置するため，炉心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。

また，各許容応力状態で考慮する荷重は，3 章に示すとおりである。

2.5 材料

各部の材料は，次に示すとおりである。

校正用導管 : SUS304TB 相当 (耐圧部)

カバーチューブ : SUS304LTB 相当 (非耐圧部)

2.6 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) 縦弾性係数Eは設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 1 に定められたものによる。
- (2) 応力計算に使用する物性値は，最高使用温度（302 ℃）に対する値を用いる。
- (3) 材料の物性値を，表 2-3 に示す。

2.7 荷重の組合せと応力評価

荷重の組合せと応力評価項目の対応を表 2-4 に示す。

表 2-4 及び本計算書において使用する荷重の種類と記号は、下記のとおりである。

荷重	記 号
(1) LPRM検出器集合体の校正用導管の外圧（原子炉压力容器の内圧）	[L01]
(2) 死荷重（機器の自重により生じる荷重）	[L04]
(3) 機器の地震時の振動による地震荷重 S_d^* （一次荷重）	[L14]
(4) 機器の地震時の振動による地震荷重 S_s （一次荷重）	[L16]

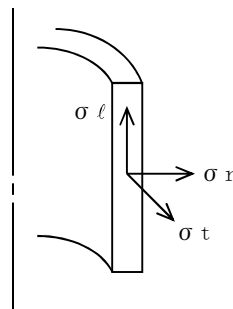
2.8 許容限界

- (1) 設計応力強さ S_m , 設計降伏点 S_y , 設計引張強さ S_u はそれぞれ設計・建設規格 付録 材料図表 Part5 表 1, 表 8 及び表 9 に定められたものを使用する。
- (2) 一次応力強さの評価には、各運転状態における流体の最高温度（運転状態 I 及び II ）に対する許容限界を用いる。
- (3) LPRM検出器集合体の各運転状態の応力強さの評価に用いる許容限界は、表 2-5 に示すとおりである。
- (4) LPRM検出器集合体の応力評価点における溶接部の継手効率は、継手の種類及び適用する検査の種類により定め、表 2-6 に示すとおりとする。LPRM検出器集合体の溶接部でない応力評価点では、 $\eta = 1.00$ を用いる。

2.9 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、下記のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
 σ_ℓ : 軸方向応力
 σ_r : 半径方向応力
 $\tau_{t\ell}$: せん断応力



3. 外荷重の条件

3.1 死荷重

機器の自重及びばね荷重を考慮する。評価に適用する死荷重を表 3-1 に示す。

3.2 地震荷重

3.2.1 地震応答解析の基本方針

- (1) L P R M検出器集合体の地震応答解析は、3.2.2 項に示すはり要素でモデル化した F E Mモデルにより実施する。
- (2) 強度上重要で、耐震計算上評価が厳しくなる炉心支持板と上部格子板間の L P R M検出器集合体する。
- (3) L P R M検出器集合体の質量は、炉心、原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物の全質量と比して小さいことから、これらとの連成系としては考えず、これらの構造物の地震応答解析により得られた炉心支持板及び上部格子板における応答曲線（減衰 ）を包絡して L P R M検出器集合体に対する入力とする。
- (4) 解析コードは「S A P - I V」を使用し、固有値及び動的応答加速度を求める。
 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-5-3 計算機プログラム（解析コード）の概要・S A P - I V」に示す。

3.2.2 解析モデル及び諸元

L P R M検出器集合体の解析モデルを図 3-1 に、解析モデルの諸元を表 3-2 及び表 3-3 に示す。

- (1) L P R M検出器集合体の上方は、上部格子板の溝に入って支持される構造であるため、上部格子板位置での支持条件は とする。

 とする。
- (2) 考慮する。

3.2.3 固有周期

固有値解析の結果を表 3-4 に、振動モード図を図 3-2 に示す。

なお、鉛直方向については、3 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。

3.2.4 設計用地震力

「弾性設計用地震力 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「V-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」及び「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また，減衰定数は添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

地震荷重の算出に用いる設計用地震力を表 3-5 に示す。

3.2.5 応答解析結果

(1) 動的震度による応答加速度

LPRM検出器集合体の節点位置における動的震度による応答加速度（以下「動的応答加速度」という。）を図 3-3 に示す。また，LPRM検出器集合体に作用する動的応答加速度の最大値を表 3-6 に示す。

(2) 静的震度による加速度

LPRM検出器集合体に作用する静的震度による加速度（以下「静的加速度」という。）を表 3-7 に示す。

3.2.6 地震荷重の算出結果

LPRM検出器集合体に対する地震荷重を表 3-1 に示す。なお，地震荷重 S_d^* については，表 3-6 (1) 及び表 3-7 に示すように静的加速度より動的応答加速度の方が大きいので，動的応答加速度を用いて求めた結果を示す。

運 転 状 態	Ⅰ 及 び Ⅱ																				Ⅲ			Ⅳ		
運 転 条 件	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	
運 転 名 称	ボルト 締付け	耐圧試験 最高使用 圧力以下	起動		夜間 低出力 運転 (出力 75%)	週末 低出力 運転 (出力 50%)	制御棒 パター ン変 更	給水加熱機能喪失		スクラム		定格 出力 運転	タービン 停止	高温 待機	停止		容器 満水	満水後 冷却	ボルト 取外し	燃料 交換	スクラム		過大圧力	冷却材 再循環系 仕切弁 誤作動 (冷状態)	冷却材 再循環 ポンプ 誤起動 (冷状態)	冷却材 喪失事故
			昇温	タービン 起動				発電機 トリップ	給水加熱 器部分 バイパス	タービン トリップ	その他の スクラム				冷却						原子炉給水ポンプ停止	逃がし 安全弁 誤作動				

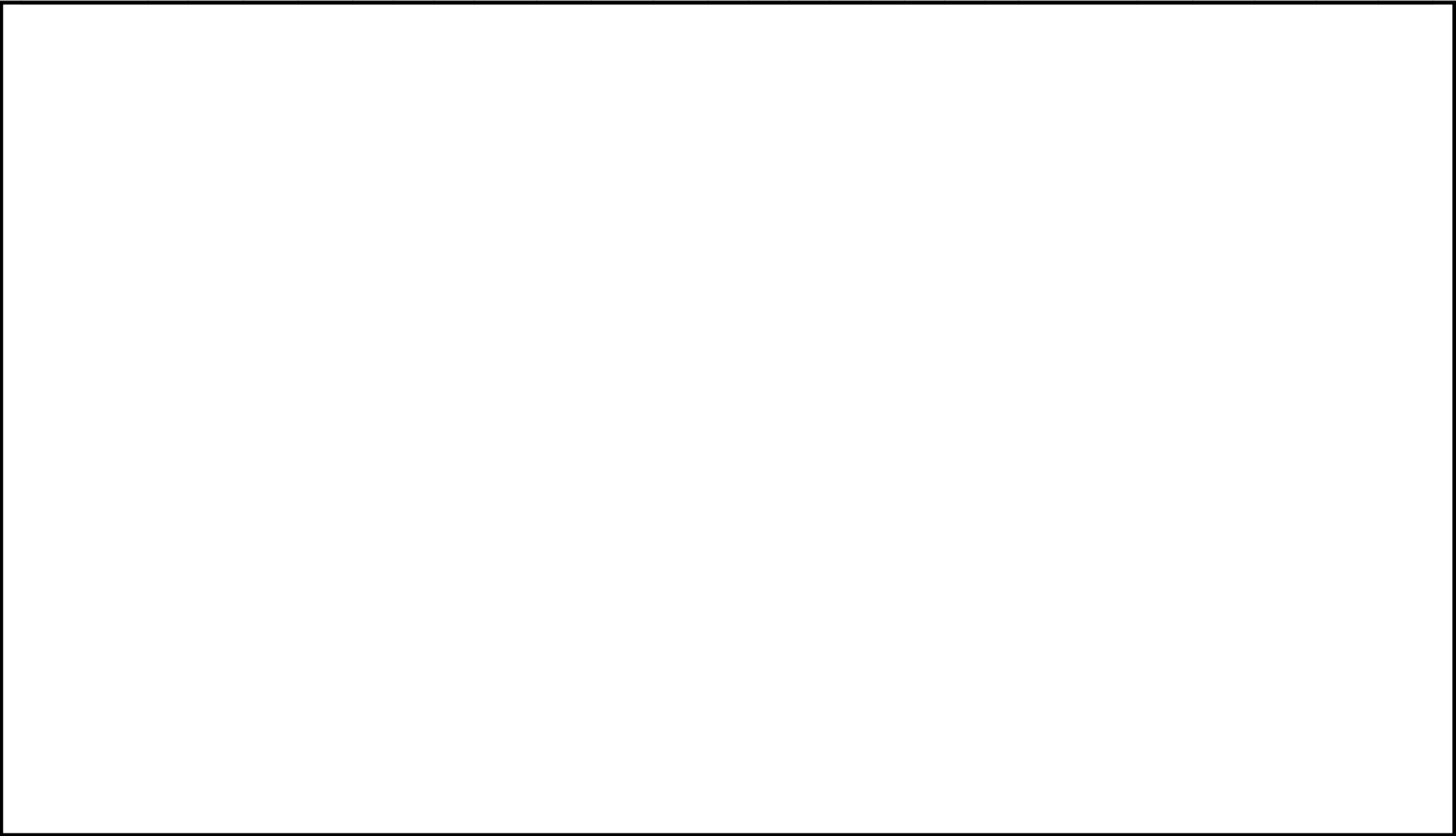


図2-1(1) 運転条件

注記 *1

*2

注 1

注 2

注 3

注 4

注 5

注 6

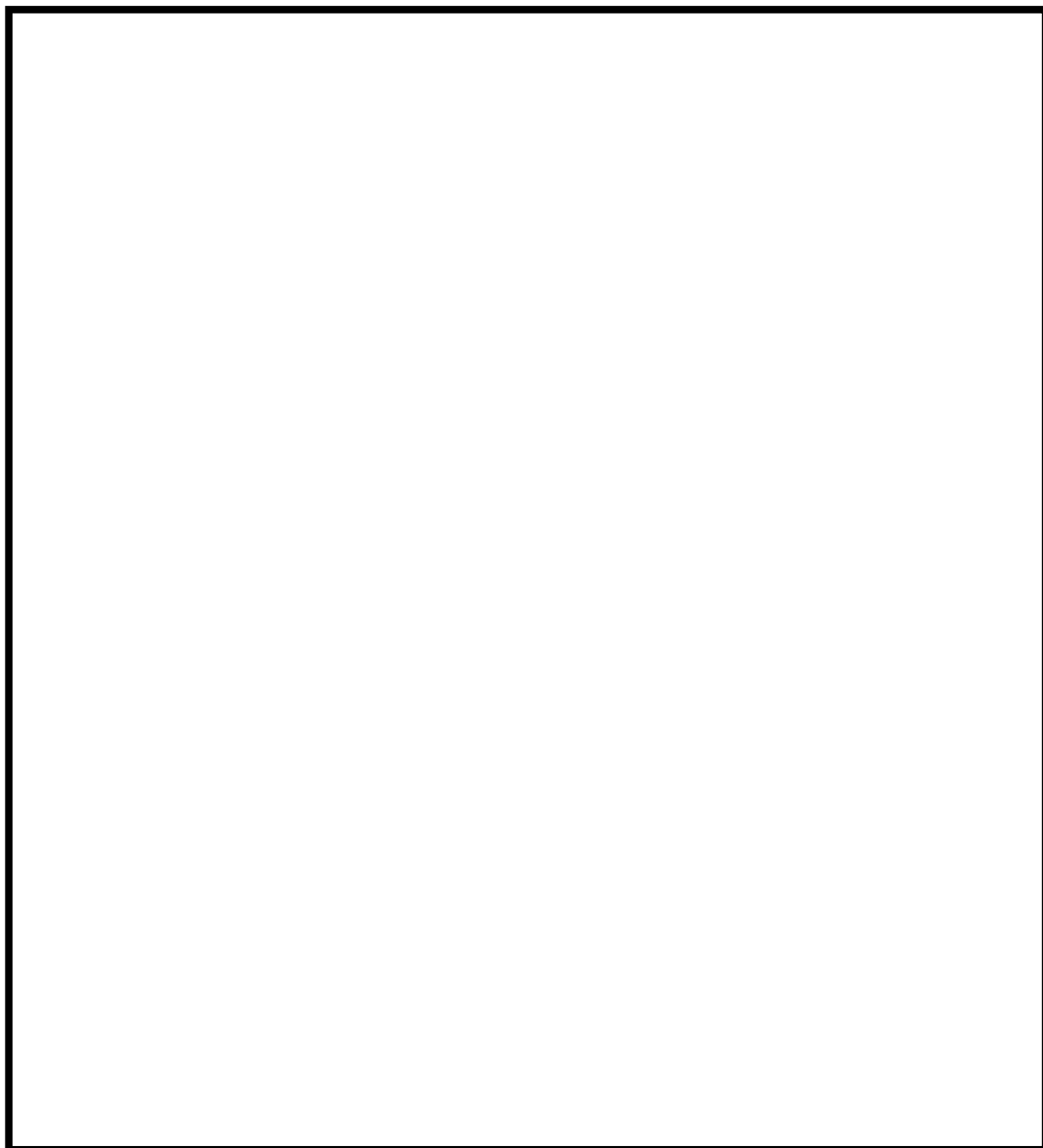


図 2-1(2) 運転条件
(原子炉压力容器内領域図)

表 2-1 L P R M検出器集合体の各許容応力状態における外圧
(単位：MPa)

許容応力状態	外圧	
Ⅲ _A S		
Ⅳ _A S		

表 2-2(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	許容応力状態	荷重の組合せ
計測制御 系統設備	核計測 装置	出力領域計装／ 出力領域計装集合体	S	—*	Ⅲ _A S	$D + P + S_d^*$
					Ⅳ _A S	$D + P + S_s$

[記号の説明]

- P : 各許容応力状態における外圧
 D : 死荷重
 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

注記 * : 原子炉圧力容器内部に位置するため、炉心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 2-2(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	許容応力状態	荷重の組合せ
計装制御 系統設備	核計測 装置	出力領域計装／ 出力領域計装集合体	常設耐震 ／防止	— ^{*2}	$V_A S^{*3}$	$D + P_{SAL} + S_d^{**4}$
						$D + P_{SALL} + S_s^{*4}$

[記号の説明]

- P_{SAL} : 重大事故等時の状態で長期的に作用する圧力荷重
 P_{SALL} : 重大事故等時の状態で超長期的に作用する圧力荷重
 D : 死荷重
 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

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: 原子炉圧力容器内部に位置するため、炉心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: $V_A S$ として、 $IV_A S$ の許容限界を用いる。

*4:「 $D + P + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

注: 許容応力状態 $V_A S$ における荷重の組合せで、重大事故後の状態における圧力荷重 P_{SAL} 及び P_{SALL} は、設計基準対象施設で想定される圧力と比べて小さいため、許容応力状態 $V_A S$ における荷重の組合せによる評価は、設計基準対象施設の評価に包絡される。

表 2-3 応力計算に使用する材料の物性値

分類	材料	温度 (°C)	E $\times 10^5$ (MPa)
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304TB 相当 <div></div>	302	<div></div>
	SUS304LTB 相当 <div></div>	302	

注：以降，材料は新 J I S 相当材で記す。

表 2-4 荷重の組合せ

許容応力状態	荷重の組合せ	応力評価
Ⅲ _A S	L01+L04+L14	P_m $P_m + P_b$
Ⅳ _A S	L01+L04+L16	P_m $P_m + P_b$

表 2-5(1) 許容限界

(単位：MPa)

応力分類	一次一般膜応力強さ (P_m)	
許容応力状態	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
温度 (°C)		
SUS304TB	172	260
SUS304LTB	94	150
許容応力の算出式	$1.5 \cdot S_m$	Min ($2.4 \cdot S_m, 2/3 \cdot S_u$)

表 2-5(2) 許容限界

(単位：MPa)

応力分類	一次一般膜＋一次曲げ応力強さ ($P_m + P_b$)	
許容応力状態	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
温度 (°C)		
SUS304TB	258	391
SUS304LTB	141	226
許容応力の算出式	$2.25 \cdot S_m$	Min ($3.6 \cdot S_m, S_u$)

表 2-6 溶接部の継手効率

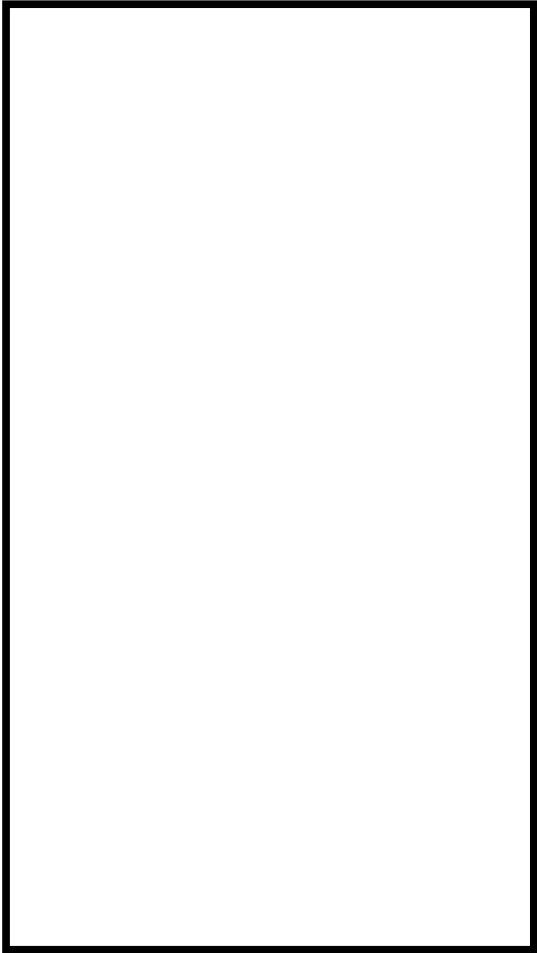
継手の分類	対応する 応力評価面	継手の種類	検査の種類*	継手効率
管と管の周継手				

注記 *：検査の種類を示す記号は次のとおりである。

表 3-1 外荷重

記号	荷重名称	鉛直力		水平力	地震時 L P R M 設計たわみ量
		校正用導管	カバーチューブ		
		V (N)		H (N)	δ_D (mm)
L04	死荷重				
L14	地震荷重 S_d^*				
L16	地震荷重 S_s				

注 1 :
注 2 :



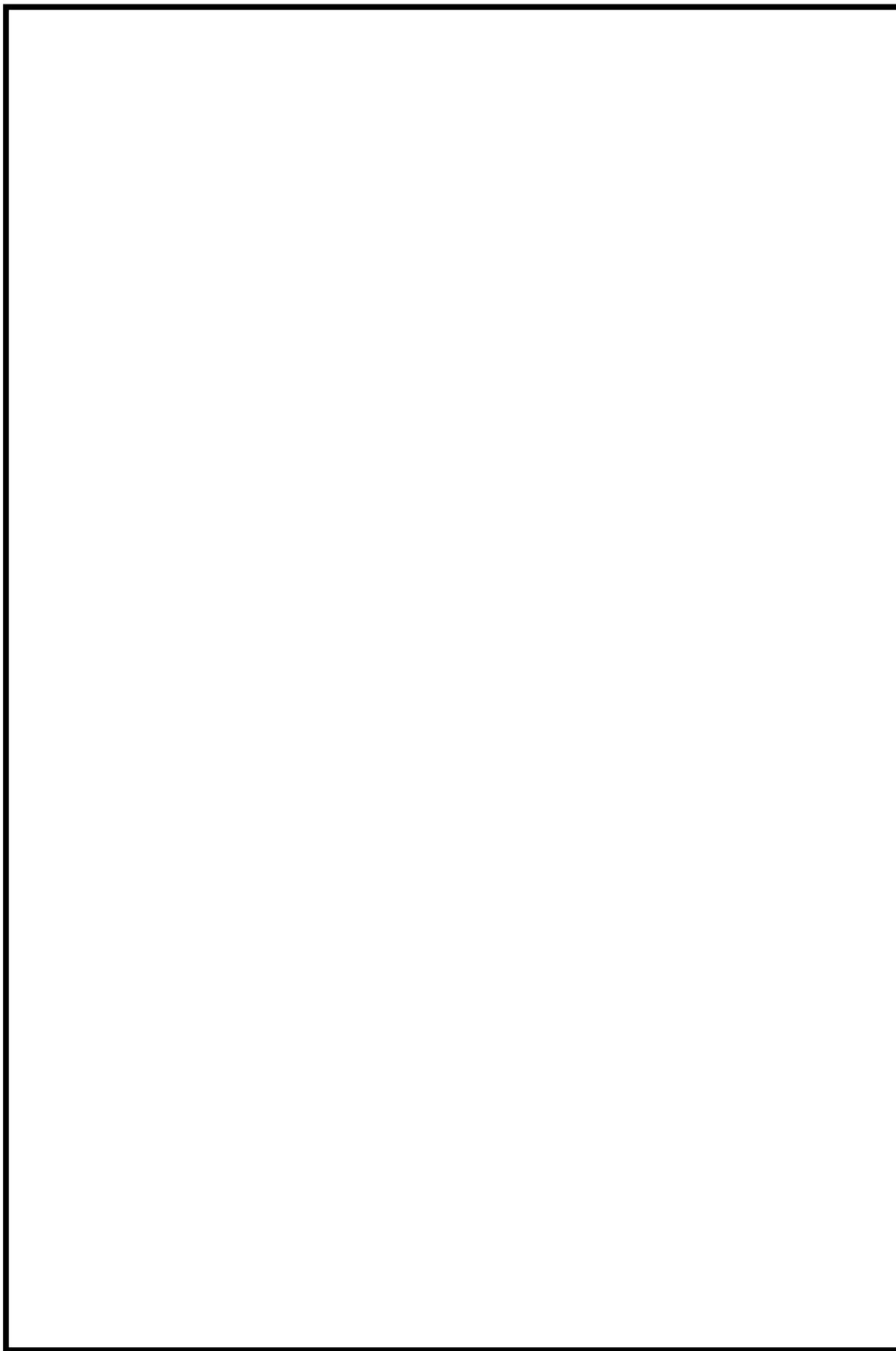


図 3-1 解析モデル

表 3-2 部材定数

部材番号	長さ (mm)	断面二次モーメント (mm ⁴)	せん断断面積 (mm ²)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					

表 3-3 節点質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	

表 3-4 固有値解析結果

次数	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数	
			水平	鉛直
1 次				
2 次				
3 次				

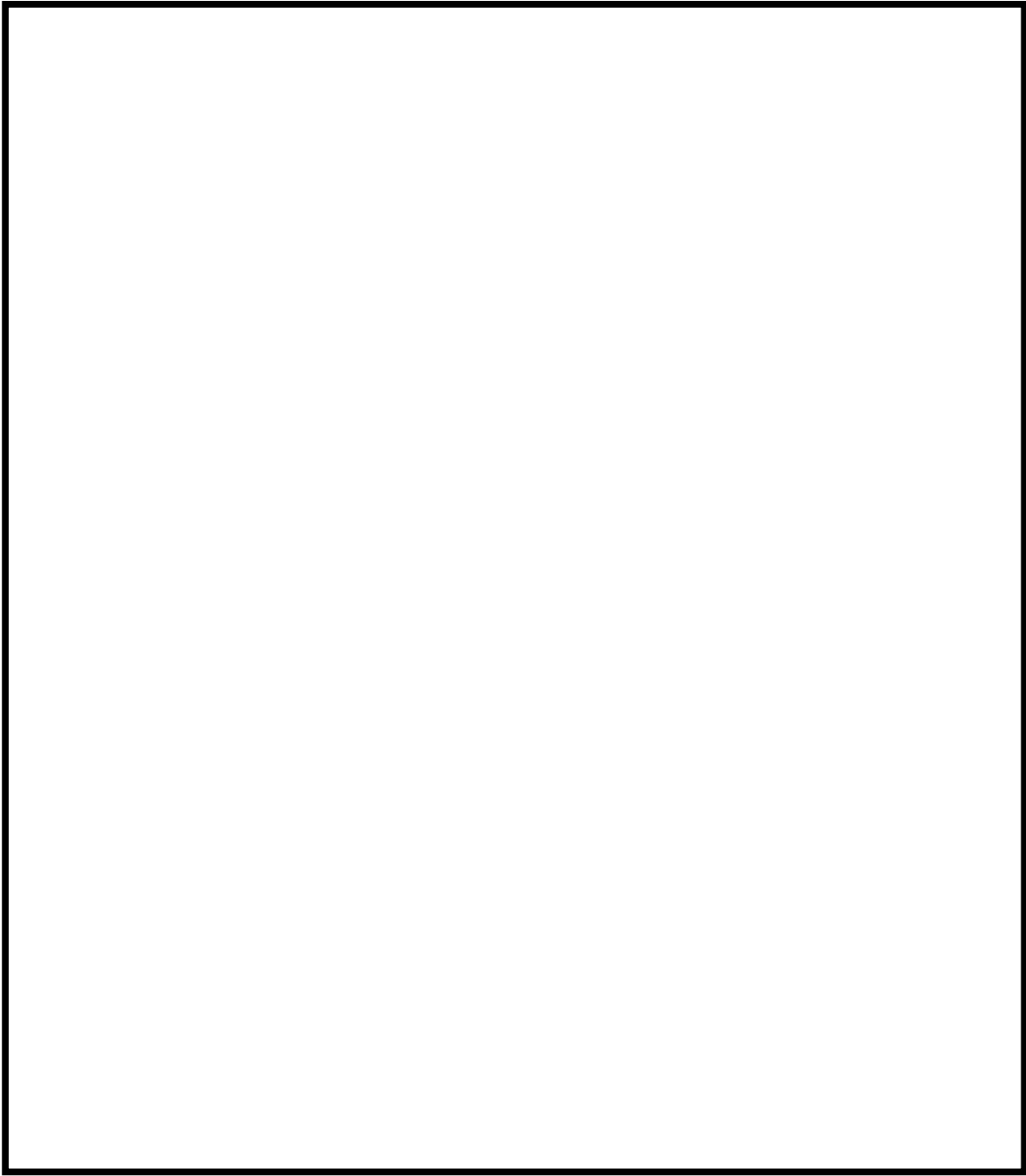


図 3-2 振動モード

表 3-5(1) 設計用地震力

建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	
		水平	
		鉛直	

表 3-5(2) 設計用地震力

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
モード	固有周期（s）	応答水平震度	鉛直震度	応答水平震度	鉛直震度
1 次					
2 次					
3 次					
動的震度					
静的震度					

注

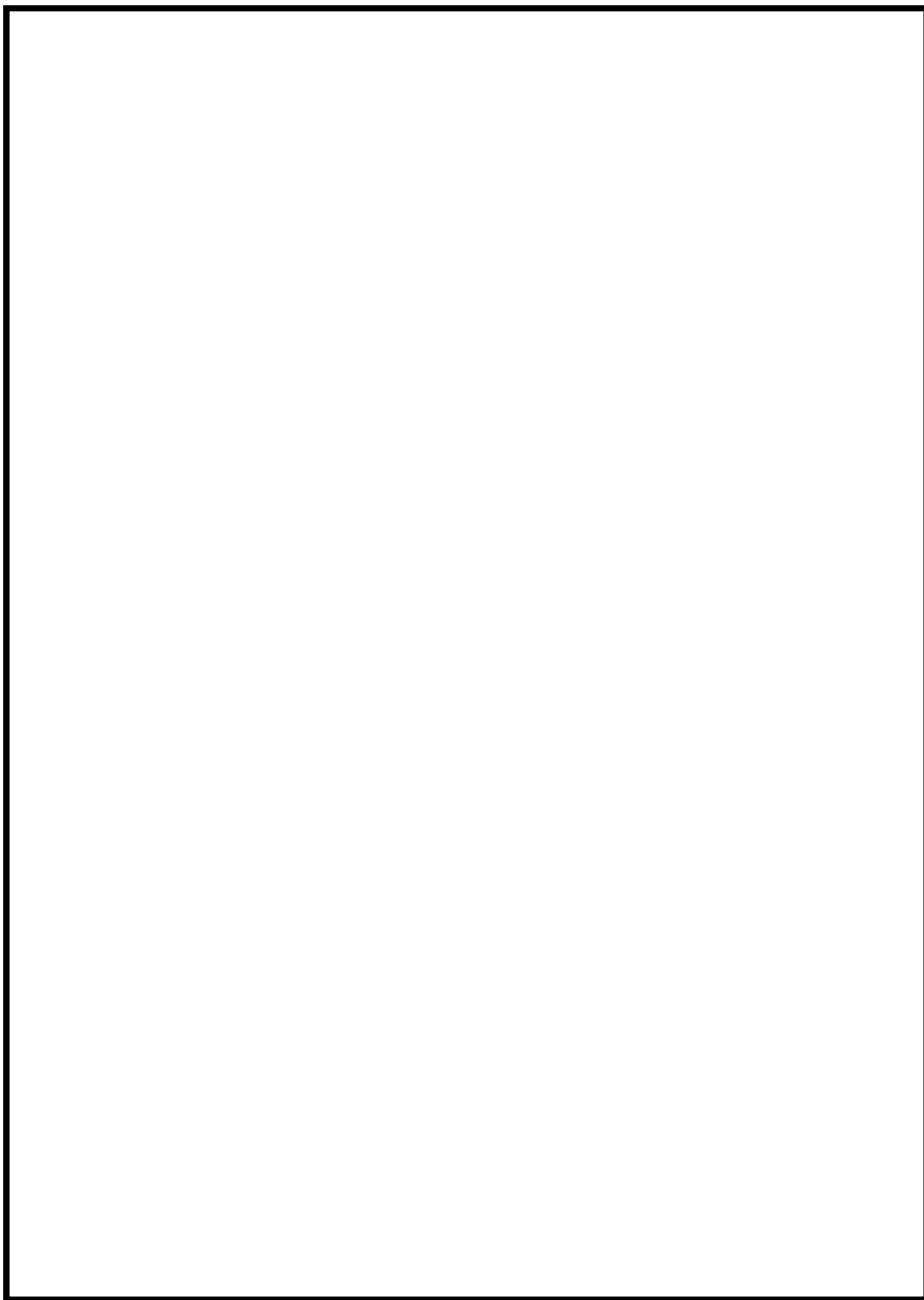


図 3-3(1) 動的応答加速度分布図
(弾性設計用地震動 S_d)

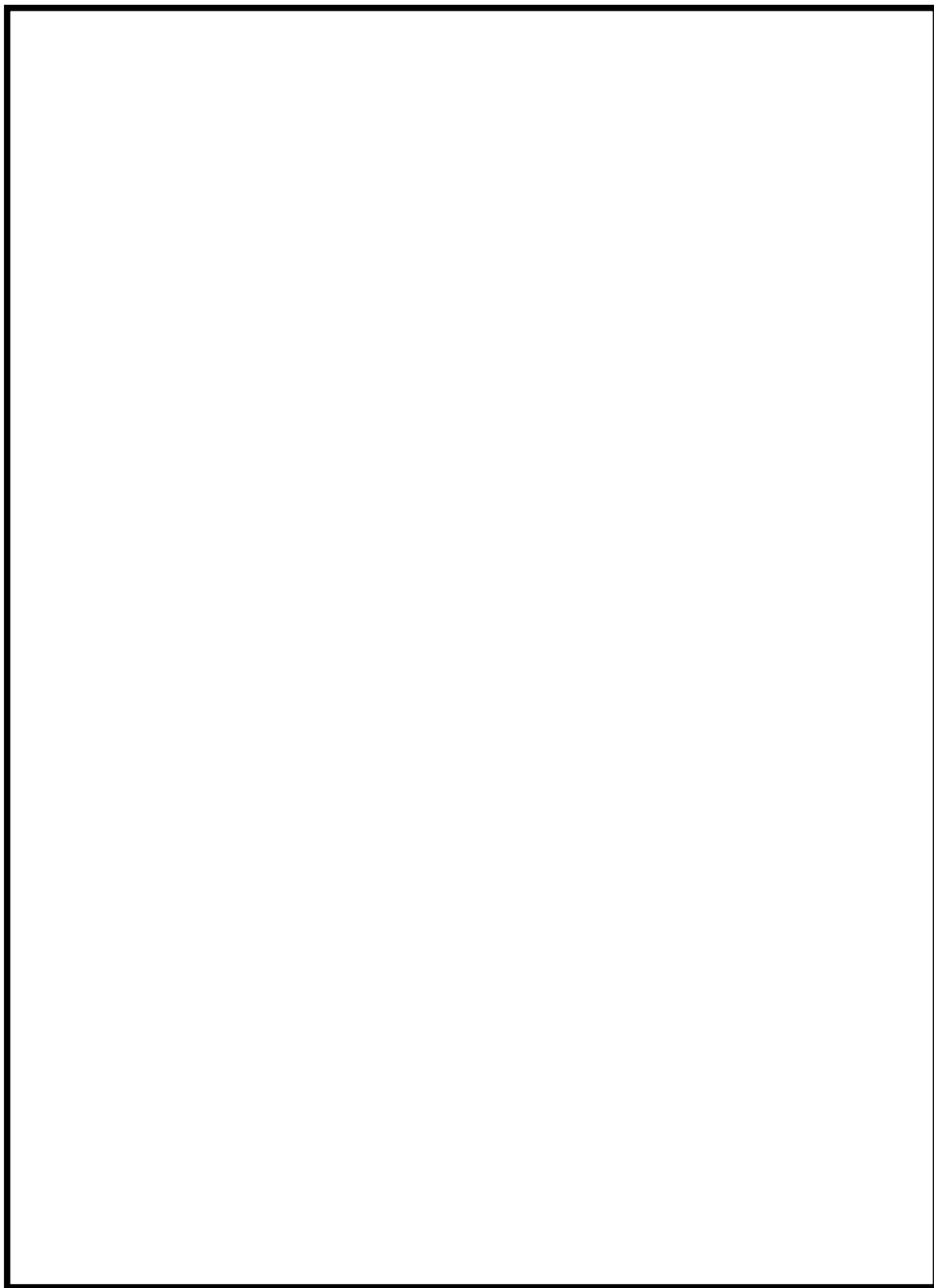


図 3-3(2) 動的応答加速度分布図
(基準地震動 S_s)

表 3-6(1) 動的応答加速度

(弾性設計用地震動 S_d)

(単位 : m/s^2)

位置	加速度
節点番号 6	

表 3-6(2) 動的応答加速度

(基準地震動 S_s)

(単位 : m/s^2)

位置	加速度
節点番号 6	

表 3-7 静的加速度

(単位 : m/s^2)

位置	加速度
炉心支持板	
上部格子板	

4. 応力解析

4.1 応力解析の手順

応力解析を行う手順について述べる。

4.1.1 荷重条件

荷重条件は2章及び3章に示す。

4.1.2 応力計算と応力の分類

(1) 応力計算の方法

- a. 応力計算は荷重の種類ごとに行う。荷重として与えられるものは次の2つである。
 - (a) 外圧
 - (b) 外荷重
- b. 解析する箇所の形状は、次の方針に従ってモデル化する。
 - (a) 構造の不連続を考慮して応力の最も厳しい箇所に応力評価点（面）を選ぶ。なお、軸対称モデル解析において、非軸対称な外荷重による応力評価を行った場合、荷重の入力方位と応力評価点の方位の関係により応力に極大値と極小値が生じる。外荷重による応力が極大となる方位の応力評価点は〔例 P01〕と表し、極小となる方位の応力評価点には、プライム（'）を付けて〔例 P01'〕と表す。
一次応力の評価は、内外面の応力評価点を含む断面（応力評価面）について行う。

(2) 応力の分類

応力の計算結果は、表 4-1 の応力の分類方法に従って分類し、計算を行う。

4.2 応力計算

4.2.1 外圧による応力

(1) 荷重条件 (L01)

LPRM検出器集合体の各許容応力状態における外圧を表 2-1 に示す。

なお，カバーチューブ及びプランジャでは，内外面の圧力差がないので，応力は発生しない。

(2) 計算方法

a. 一次一般膜応力

外圧 P_o による一次一般膜応力は，次式で求める。

$$\sigma_t = -\frac{Y}{Y-1} \cdot P_o$$

$$\sigma_\ell = -\frac{Y^2}{Y^2-1} \cdot P_o$$

$$\sigma_r = -\frac{Y}{Y+1} \cdot P_o$$

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

なお，各応力評価点での D_o ， D_i は表 4-2 に示す。

b. 一次一般膜＋一次曲げ応力

外圧 P_o による一次曲げ応力は，存在しない。したがって，一次一般膜＋一次曲げ応力は，一次一般膜応力と同じである。

4.2.2 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

L P R M検出器集合体に働く外荷重を，表 3-1 に示す。

(2) 計算方法

外荷重による応力は，以下により求める。

a. 死荷重 (L04)

死荷重による応力は次式で求める。

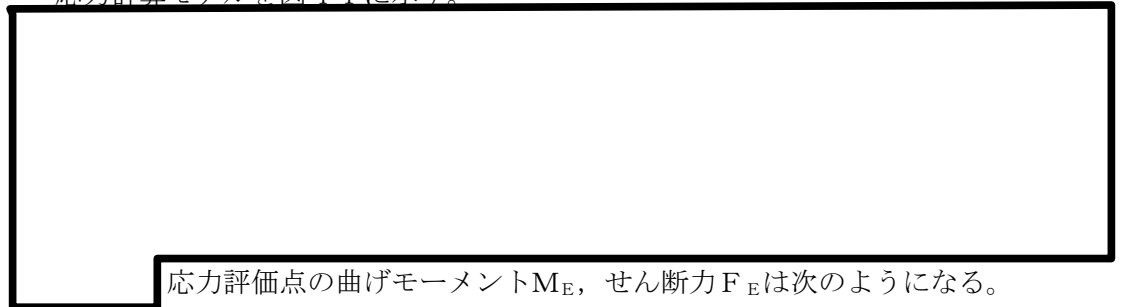
$$\sigma_{\ell} = -\frac{V}{A}$$

b. 地震荷重 (L14 及び L16)

(a) 水平方向地震荷重による応力



応力計算モデルを図 4-1 に示す。



応力評価点の曲げモーメント M_E ，せん断力 F_E は次のようになる。

$$M_E = P_B \cdot (\ell - \ell') - \frac{1}{2} \cdot w \cdot (\ell - \ell')^2$$

$$F_E = w \cdot (\ell - \ell') - P_B$$

ここで,

$$P_B = \frac{w \cdot \ell}{3}$$

$$w = \frac{H}{L}$$

$$\ell = \left(\frac{72 \cdot \delta_D \cdot E \cdot I}{w} \right)^{\frac{1}{4}}$$

なお, I はカバーチューブ母材に対する値を用い, 校正用導管の H の値ではその断面二次モーメントを考慮する。

したがって, 応力評価点に生じる一次曲げ応力は次のようになる。

$$\sigma_{\ell} = \pm \frac{M_E}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

また, 各応力評価点で生じる一次一般膜応力は

$$\sigma_{\ell} = \pm \frac{M_E}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

また, 各応力評価点で生じる一次一般膜応力は

$$\tau_{\ell} = \pm \frac{F_E}{A}$$

ただし, 各応力評価点の D_o , A , I は表 4-2 による。

(b) 鉛直方向地震荷重による応力

鉛直方向地震による応力は次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{V}{A}$$

4.3 応力の評価

4.3.1 主応力

4.2 節で計算された応力は、応力の分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求める。

組合せ応力は、一般に σ_t , σ_ℓ , σ_r , $\tau_{t\ell}$, $\tau_{\ell r}$, τ_{rt} の 6 成分をもつが、主応力 σ

は、引用文献(1)の 1.3.6 項により、次式を満足する 3 根 σ_1 , σ_2 , σ_3 として計算する。

$$\begin{aligned} \sigma^3 - (\sigma_t + \sigma_\ell + \sigma_r) \cdot \sigma^2 + (\sigma_t \cdot \sigma_\ell + \sigma_\ell \cdot \sigma_r + \sigma_r \cdot \sigma_t - \tau_{t\ell}^2 \\ - \tau_{\ell r}^2 - \tau_{rt}^2) \cdot \sigma - \sigma_t \cdot \sigma_\ell \cdot \sigma_r + \sigma_t \cdot \tau_{\ell r}^2 + \sigma_\ell \cdot \tau_{rt}^2 + \sigma_r \cdot \tau_{t\ell}^2 \\ - 2 \cdot \tau_{t\ell} \cdot \tau_{\ell r} \cdot \tau_{rt} = 0 \end{aligned}$$

上式により主応力を求める。

4.3.2 応力強さ

以下の 3 つの主応力差の絶対値で最大のものを応力強さとする。

$$S_{12} = \sigma_1 - \sigma_2$$

$$S_{23} = \sigma_2 - \sigma_3$$

$$S_{31} = \sigma_3 - \sigma_1$$

5. 応力強さの評価

5.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 5-1 に示す。

表 5-1 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、2.7 節に示す許容限界を満足する。

5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 5-2 に示す。

表 5-2 より、各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、2.7 節に示す許容限界を満足する。

6. 引用文献

- (1) 機械工学便覧 基礎編 α 3



図 4-1 地震荷重による応力の計算モデル（単位：mm）

表 4-1 応力の分類

	位 置	荷重の種類	応力の分類	
管状構造物	不連続部より遠い部分	圧力差	一般膜応力	P_m
		外荷重又はモーメント	全断面について平均した一般膜応力 曲げ応力	P_m P_b

注：

P_m ：圧力差又は機械的荷重によって生じる膜応力であって、構造上の不連続性及び局部的形状の変化によって生じる膜応力は除く。ただし、実際の応力評価では、応力評価面を構造上の不連続部にとることが多いので、内径、板厚がその応力評価面での値に等しい単純な殻を仮定し、シェル理論又ははり理論を用いて計算した応力を、その応力評価面における P_m とする。

P_b ：外力、内力及びモーメントに対して、単純な平衡の法則を満足する曲げ応力をいう。

表 4-2 断面性状

応力評価点	D_o (mm)	D_i (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
P01, P02				
P03, P04				

表 5-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

部分及び材料	応力 評価面	許容応力状態Ⅲ _A S		許容応力状態Ⅳ _A S	
		応力強さ	許容値	応力強さ	許容値
校正用導管 SUS304TB	P01	27	172	27	260
	P02				
	P01'	27	172	27	260
	P02'				
カバーチューブ SUS304LTB	P03	4	94*	6	150*
	P04				
	P03'	4	94*	6	150*
	P04'				

注記 *

表 5-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

部分及び材料	応力 評価面	許容応力状態Ⅲ _A S		許容応力状態Ⅳ _A S	
		応力強さ	許容値	応力強さ	許容値
校正用導管 SUS304TB	P01	60	258	85	391
	P02				
	P01'	61	258	86	391
	P02'				
カバーチューブ SUS304LTB	P03	122	141*	188	226*
	P04				
	P03'	125	141*	191	226*
	P04'				

注記 *