

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1
提出年月日	平成30年8月23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
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 記号の説明	3
2.3 適用基準	4
3. 計算条件	4
3.1 形状及び寸法	4
3.2 解析範囲	4
3.3 材料	4
3.4 物性値	4
3.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
3.6 許容限界	4
3.7 溶接部の継手効率	5
3.8 応力の記号と方向	5
4. 荷重条件	5
4.1 設計条件	5
4.2 運転状態	5
4.2.1 運転状態Ⅰ及びⅡ	5
4.2.2 運転状態Ⅲ	6
4.2.3 運転状態Ⅳ	6
4.3 外荷重の条件	7
4.3.1 死荷重	7
4.3.2 地震荷重	7
4.3.2.1 地震応答解析の基本方針	7
4.3.2.2 解析モデル及び諸元	7
4.3.2.3 固有周期	7
4.3.2.4 設計用地震力	7
4.3.2.5 応答解析結果	8
4.3.2.6 地震荷重の算出結果	8
4.3.3 荷重の組合せと応力評価	8
5. 応力計算	26
5.1 応力解析の手順	26
5.1.1 荷重条件	26
5.1.2 応力計算と応力の分類	26
5.1.3 応力の評価	27
5.2 応力計算	27

5.2.1 外圧による応力 .....	27
5.2.2 外荷重による応力 .....	28
5.3 応力強さの評価 .....	29
5.3.1 一次一般膜応力強さの評価 .....	29
5.3.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価 .....	29

## 図表目次

図 3-1	形状・寸法・材料・応力評価点	9
図 4-1	運転条件	14
図 4-2	解析モデル	19
図 4-3	振動モード（刺激関数モード）	21
図 4-4	動的応答加速度分布図	23
図 5-1	地震荷重による応力の計算モデル	30
図 3-2	地震荷重による応力の計算モデル	31
表 2-1	LPRMの構造計画	2
表 3-1	応力計算に使用する材料の物性値	10
表 3-2	荷重の組合せ及び許容応力状態	11
表 3-3	許容限界	13
表 3-4	溶接部の継手効率	13
表 4-1	LPRMの各許容応力状態における外圧	17
表 4-2	外荷重	18
表 4-3	節点座標	20
表 4-4	解析モデルのデータ諸元	20
表 4-5	固有値解析結果	21
表 4-6	設計用地震力	22
表 4-7	動的応答加速度	25
表 4-8	静的加速度	25
表 4-9	荷重の組合せ	25
表 5-1	応力の分類	31
表 5-2	断面性状	32
表 5-3	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	33
表 5-4	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	33

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の基本方針に基づき、平均出力領域モニタの出力領域計装（以下「LPRM」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。

LPRM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。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

LPRMの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 LPRM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支持，炉心支持板で固定される。	LPRM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。	

## 2.2 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 <sup>2</sup>
D <sub>i</sub>	内径	mm
D <sub>o</sub>	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 <sup>4</sup>
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 <sub>b</sub>	一次曲げ応力	MPa
P <sub>m</sub>	一次一般膜応力	MPa
P <sub>o</sub>	外圧	MPa
S <sub>d</sub> *	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> により定まる地震力又は静的地震力	—
S <sub>m</sub>	設計応力強さ	MPa
S <sub>s</sub>	基準地震動 S <sub>s</sub> により定まる地震力	—
S <sub>u</sub>	設計引張強さ	MPa
S <sub>y</sub>	設計降伏点	MPa
V	鉛直力	N
t	厚さ	mm
δ <sub>D</sub>	設計たわみ量	mm
η	溶接部の継手効率	—
σ <sub>ℓ</sub>	軸方向応力	MPa
σ <sub>r</sub>	半径方向応力	MPa
σ <sub>t</sub>	周方向応力	MPa
τ <sub>tℓ</sub>	せん断応力	MPa

### 2.3 適用基準

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

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

## 3. 計算条件

### 3.1 形状及び寸法

本計算書で解析する箇所の形状・寸法を、図3-1に示す。

### 3.2 解析範囲

応力計算は、図3-1に示す応力評価点について行う。

### 3.3 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)

### 3.4 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) 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3-1に示す。

### 3.5 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3-2に示す。また、各許容応力状態で考慮する荷重は、4章に示すとおりである。

### 3.6 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3-3に示すとおりである。



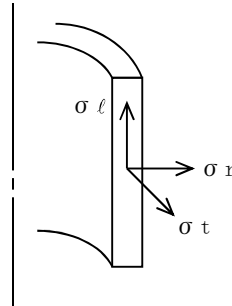
### 3.7 溶接部の継手効率

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3-4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。

### 3.8 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。

- $\sigma_t$  : 周方向応力
- $\sigma_l$  : 軸方向応力
- $\sigma_r$  : 半径方向応力
- $\tau_{tl}$  : せん断応力



## 4. 荷重条件

LPRM検出器集合体は、以下の荷重条件に耐えるよう設計する。

### 4.1 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、LPRM検出器集合体の校正用導管の内圧は0 MPaとしている。

### 4.2 運転条件

#### 4.2.1 運転状態 I 及び II

(1) ボルト締付け	{ボルト締付け}	[C01]
(2) 耐圧試験（最高使用圧力以下）	{耐圧試験最高使用圧力以下}	[C02]
(3) 起動（昇温）	{起動昇温}	[C03]
(4) 起動（タービン起動）	{起動タービン起動}	[C04]
(5) 夜間低出力運転（出力 75 %）	{夜間低出力運転出力 75 %}	[C05]
(6) 週末低出力運転（出力 50 %）	{週末低出力運転出力 50 %}	[C06]
(7) 制御棒パターン変更	{制御棒パターン変更}	[C07]
(8) 給水加熱機能喪失（発電機トリップ）	{発電機トリップ}	[C08]
(9) 給水加熱機能喪失（給水加熱器部分バイパス）	{給水加熱器部分バイパス}	[C09]
(10) スクラム（タービントリップ）	{スクラムタービントリップ}	[C10]
(11) スクラム（その他のスクラム）	{スクラムその他のスクラム}	[C11]

(12)	定格出力運転	{定格出力運転}	[C12]
(13)	停止 (タービン停止)	{停止タービン停止}	[C13]
(14)	停止 (高温待機)	{停止高温待機}	[C14]
(15)	停止 (冷却)	{停止冷却}	[C15]
(16)	停止 (容器満水)	{停止容器満水}	[C16]
(17)	停止 (満水後冷却)	{停止満水後冷却}	[C17]
(18)	ボルト取外し	{ボルト取外し}	[C18]
(19)	燃料交換	{燃料交換}	[C19]
(20)	スクラム (原子炉給水ポンプ停止)	{スクラム原子炉給水ポンプ停止}	[C20]
(21)	スクラム (逃がし安全弁誤作動)	{スクラム逃がし安全弁誤作動}	[C21]

#### 4.2.2 運転状態Ⅲ

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

#### 4.2.3 運転状態Ⅳ

(1)	冷却材喪失事故	{冷却材喪失事故}	[C25]
-----	---------	-----------	-------

各運転条件における，LPRM検出器集合体の校正用導管の外圧（原子炉圧力容器の内圧）の変化，周囲の流体の温度変化及びその繰返し回数を図4-1(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4-1(2)）の値を用いることとし，表4-1に示す。

### 4.3 外荷重の条件

#### 4.3.1 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 4-2 に示す。

#### 4.3.2 地震荷重

##### 4.3.2.1 地震応答解析の基本方針

- (1) LPRM 検出器集合体に対する地震荷重は、動的応答加速度及び静的加速度の両方について考慮する。
- (2) LPRM 検出器集合体の固有値解析は、計算機コード「SAP-IV」により実施する。さらに、固有値解析結果より、モード解析法に基づき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・SAP-IV」に示す。
- (3) 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 LPRM 検出器集合体をモデル化する。
- (4) LPRM 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\*1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  \*1, \*2 を包絡して LPRM 検出器集合体に対する入力とする。

注記 \*1：添付書類「V-2-3-2 炉心、原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づく。

\*2：添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」及び「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

##### 4.3.2.2 解析モデル及び諸元

LPRM 検出器集合体の解析モデルを図 4-2 に、解析モデルの諸元を表 4-3 及び表 4-4 に示す。また、LPRM 検出器集合体の支持条件は、  
とする。

なお、考慮する。

##### 4.3.2.3 固有周期

固有値解析により得られた固有周期を表 4-5 に、振動モード図を図 4-3 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。

##### 4.3.2.4 設計用地震力

地震荷重の算出に用いる設計用地震力を表 4-6 に示す。

#### 4.3.2.5 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応答加速度を図4-4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4-7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を表4-8に示す。

#### 4.3.2.6 地震荷重の算出結果

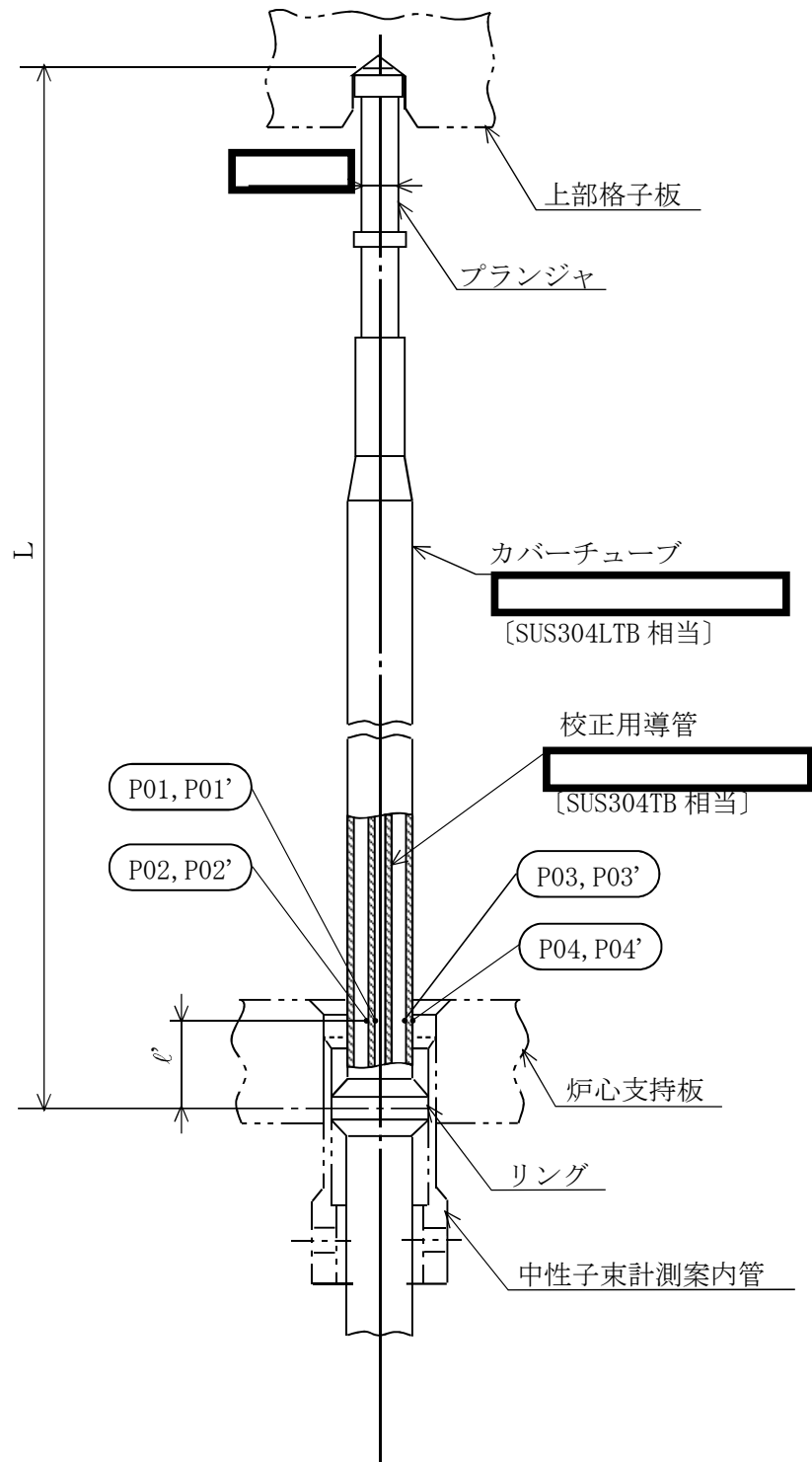
LPRM検出器集合体に対する地震荷重を表4-2に示す。なお、地震荷重 $S_d^*$ については、表4-7(1)及び表4-8に示すように静的加速度より動的応答加速度の方が大きいので、動的応答加速度を用いて求めた結果を示す。

#### 4.3.3 荷重の組合せと応力評価

荷重の組合せと応力評価項目の対応を表4-9に示す。

表4-9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]



○ : 応力評価点  
 [ ] : 材料

L =   
 ℓ =

図 3-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 3-1 応力計算に使用する材料の物性値

分類	材料	温度 (°C)	E × 10 <sup>5</sup> (MPa)
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304TB 相当 <input type="text"/>	302	<input type="text"/>
	SUS304LTB 相当 <input type="text"/>	302	

表 3-2(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 <sub>A</sub> S	D + P + S <sub>d</sub> *
					Ⅳ <sub>A</sub> S	D + P + S <sub>s</sub>

[記号の説明]

- P : 各許容応力状態における外圧
- D : 死荷重
- S<sub>d</sub>\* : 弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> により定まる地震力又は静的地震力
- S<sub>s</sub> : 基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる地震力

0

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限界を適用する。

表 3-2(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 <sub>A</sub> S*3	D + P <sub>SAL</sub> + S <sub>d</sub> **4
						D + P <sub>SALL</sub> + S <sub>s</sub> **4

[記号の説明]

- P<sub>SAL</sub> : 重大事故等時の状態で長期的に作用する圧力荷重
- P<sub>SALL</sub> : 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<sub>d</sub>\* : 弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>により定まる地震力又は静的地震力
- S<sub>s</sub> : 基準地震動 S<sub>s</sub>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を適用する。  
 \*3: V<sub>A</sub>Sとして、IV<sub>A</sub>Sの許容限界を用いる。  
 \*4: 「D + P + S<sub>s</sub>」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<sub>A</sub>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<sub>SAL</sub>及び P<sub>SALL</sub>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<sub>A</sub>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 3-3(1) 許容限界

(単位：MPa)

応力分類	一次一般膜応力強さ ( $P_m$ )	
	Ⅲ <sub>A</sub> S	Ⅳ <sub>A</sub> S
許容応力状態		
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 3-3(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 ( $P_m + P_b$ )	
	Ⅲ <sub>A</sub> S	Ⅳ <sub>A</sub> S
許容応力状態		
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 3-4 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*1	継手効率
管と管の周継手				

注記 \*1：検査の種類を示す記号は次のとおりである。

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

図 4-1(1) 運転条件

注記 \*1  
\*2

注 1  
注 2  
注 3  
  
注 4  
  
注 5  
  
注 6

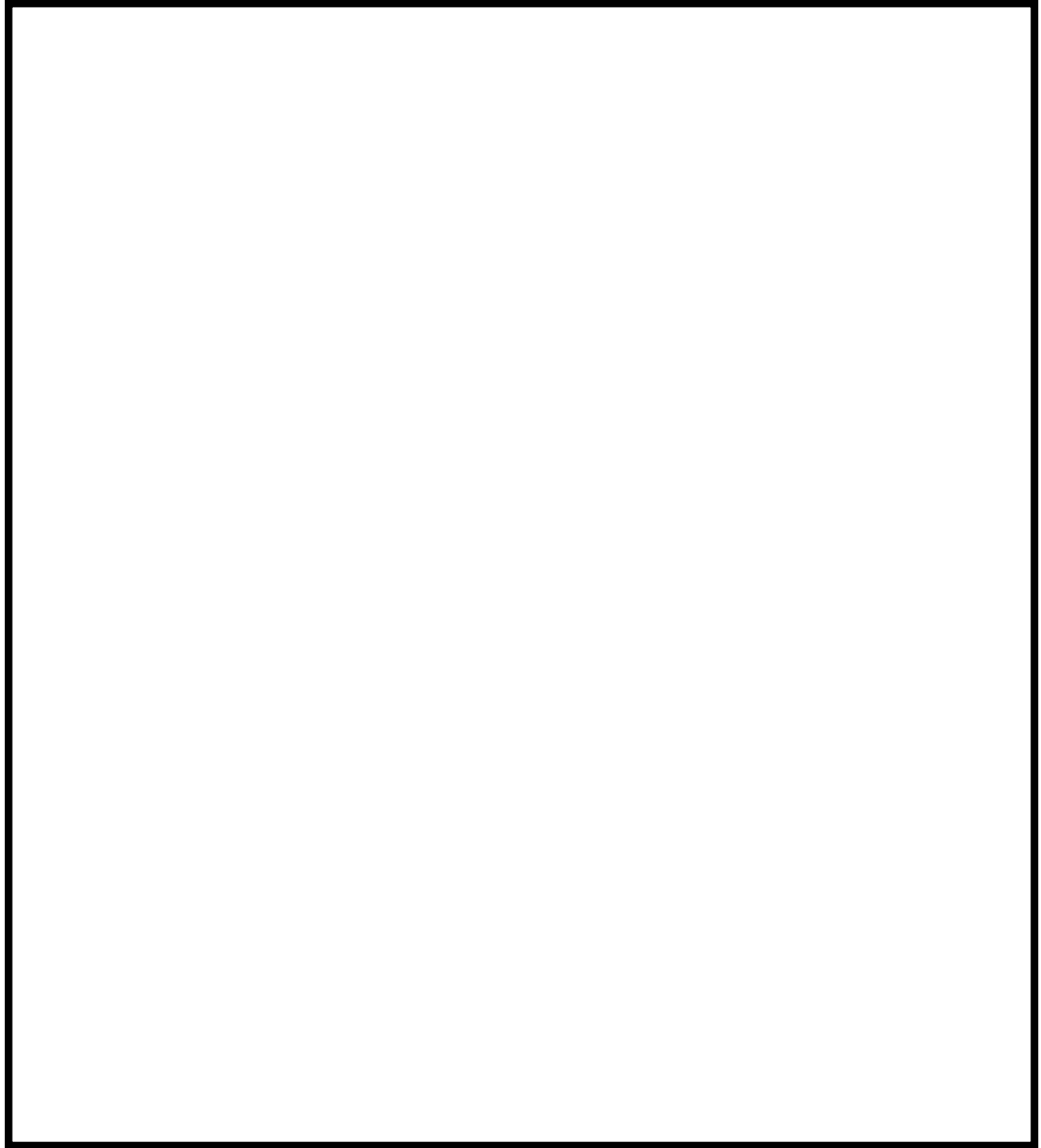


図 4-1(2) 運転条件  
(原子炉压力容器内領域図)

表 4-1 LPRM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 <sub>A</sub> S		
Ⅳ <sub>A</sub> S		

表 4-2 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)	$\delta_D$ (mm)
L04	死荷重				
L14	地震荷重 $S_d^*$				
L16	地震荷重 $S_s$				

注 1

注 2

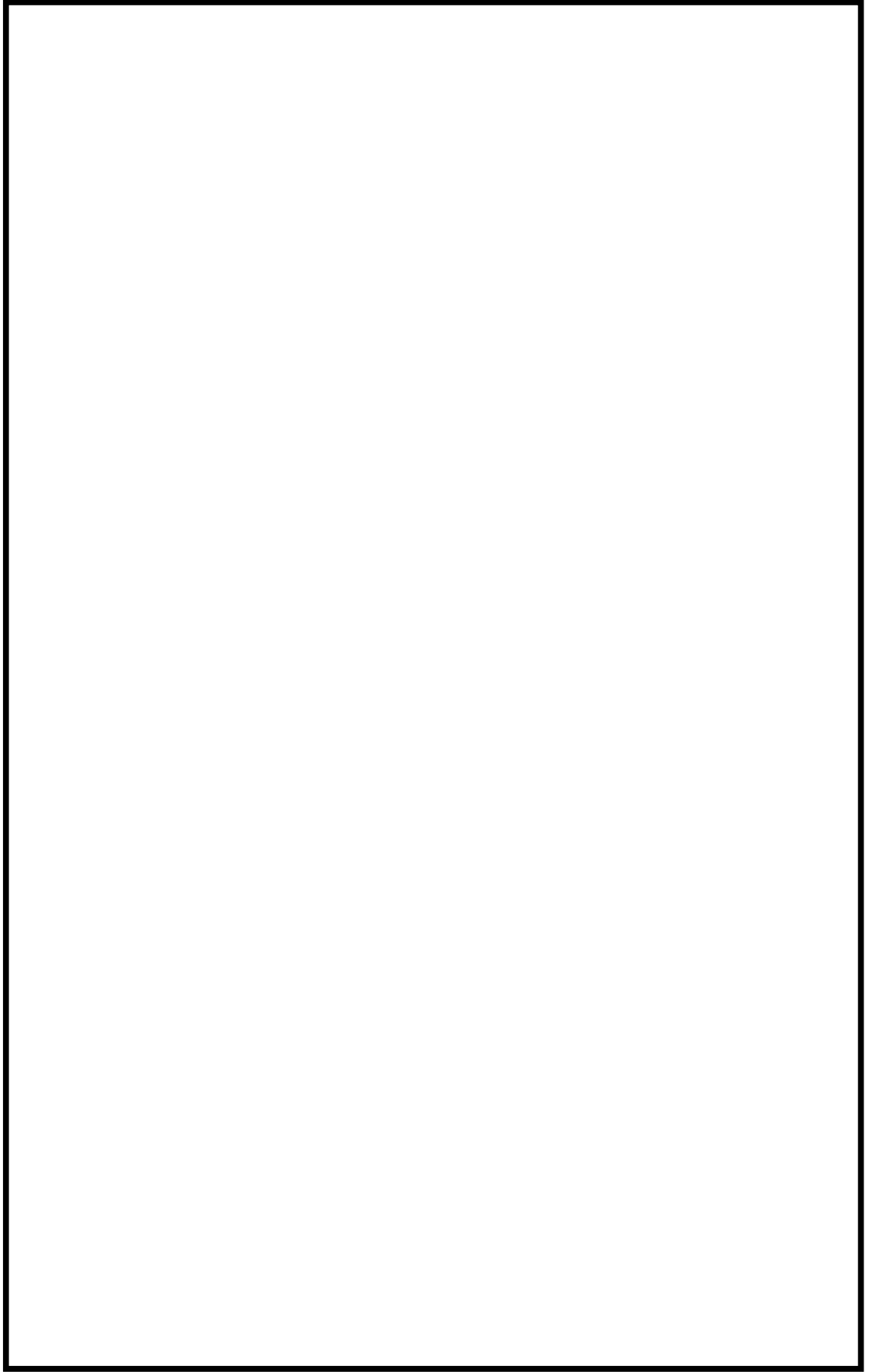


図 4-2 解析モデル

表 4-3 節点座標

(単位 : mm)

節点 番号	座標		
	X	Y	Z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

表 4-4 解析モデルのデータ諸元

部材端の節点番号	断面寸法 (mm)		縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比	密度 (kg/mm <sup>3</sup> )
	外径	厚さ			
1~ 2					
2~ 3					
3~ 4					
4~ 5					
5~ 6					
6~ 7					
7~ 8					
8~ 9					
9~10					
10~11					
11~12					



表 4-5 固有値解析結果

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

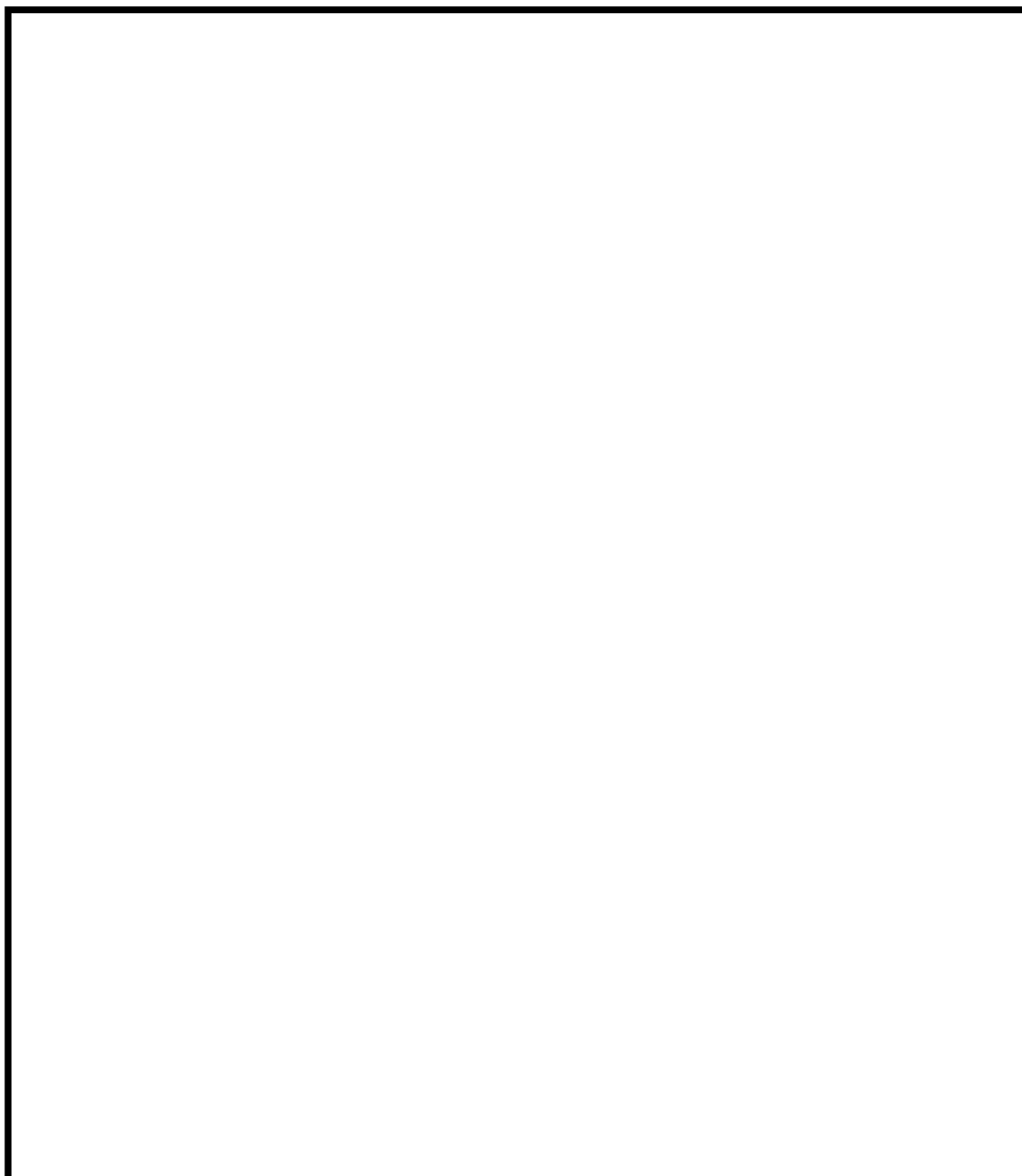


図 4-3 振動モード (刺激関数モード)

表 4-6(1) 設計用地震力

建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	
		水平	
		鉛直	

表 4-6(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									

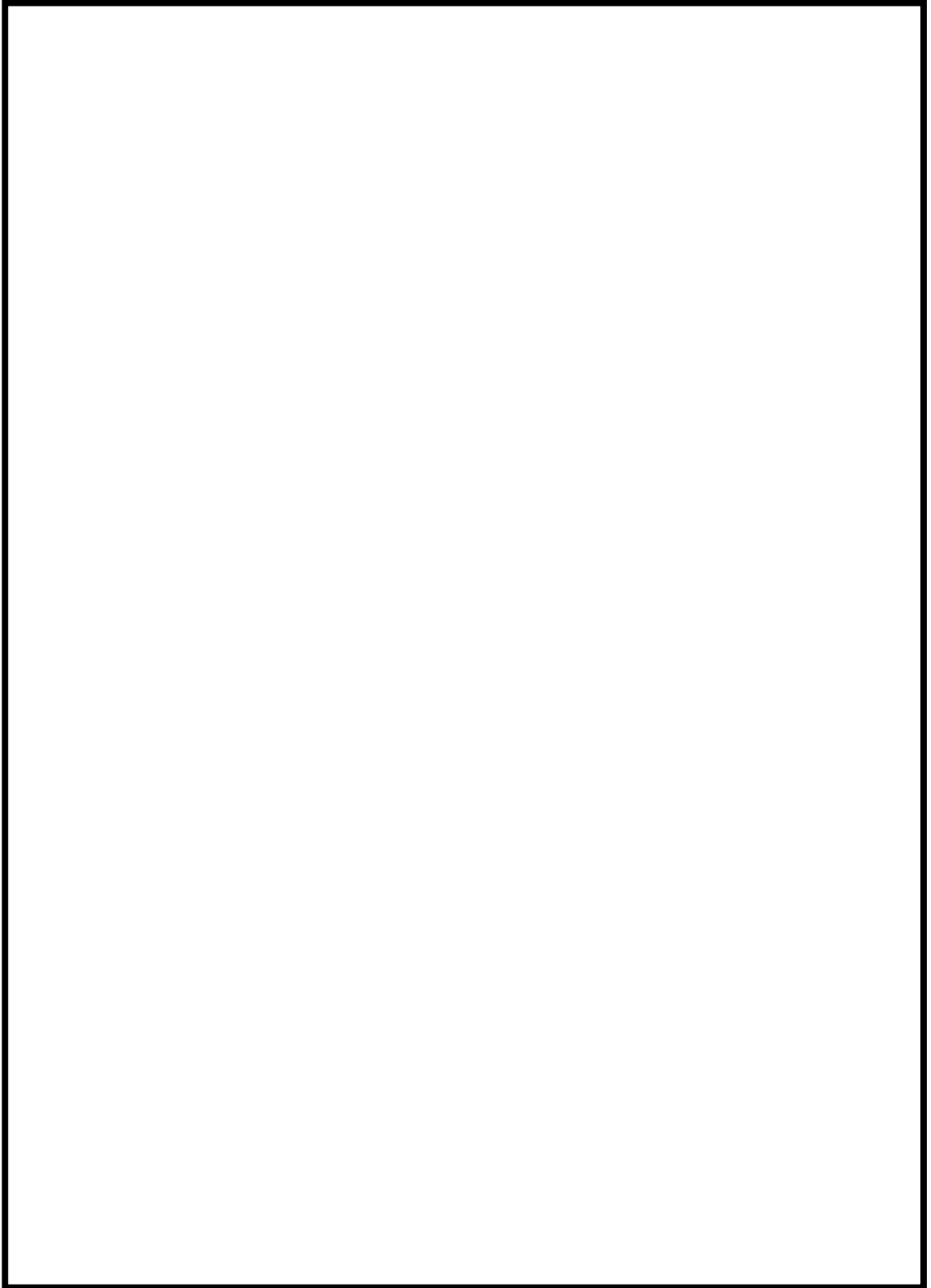


図 4-4(1) 動的応答加速度分布図  
(弾性設計用地震動 S d)

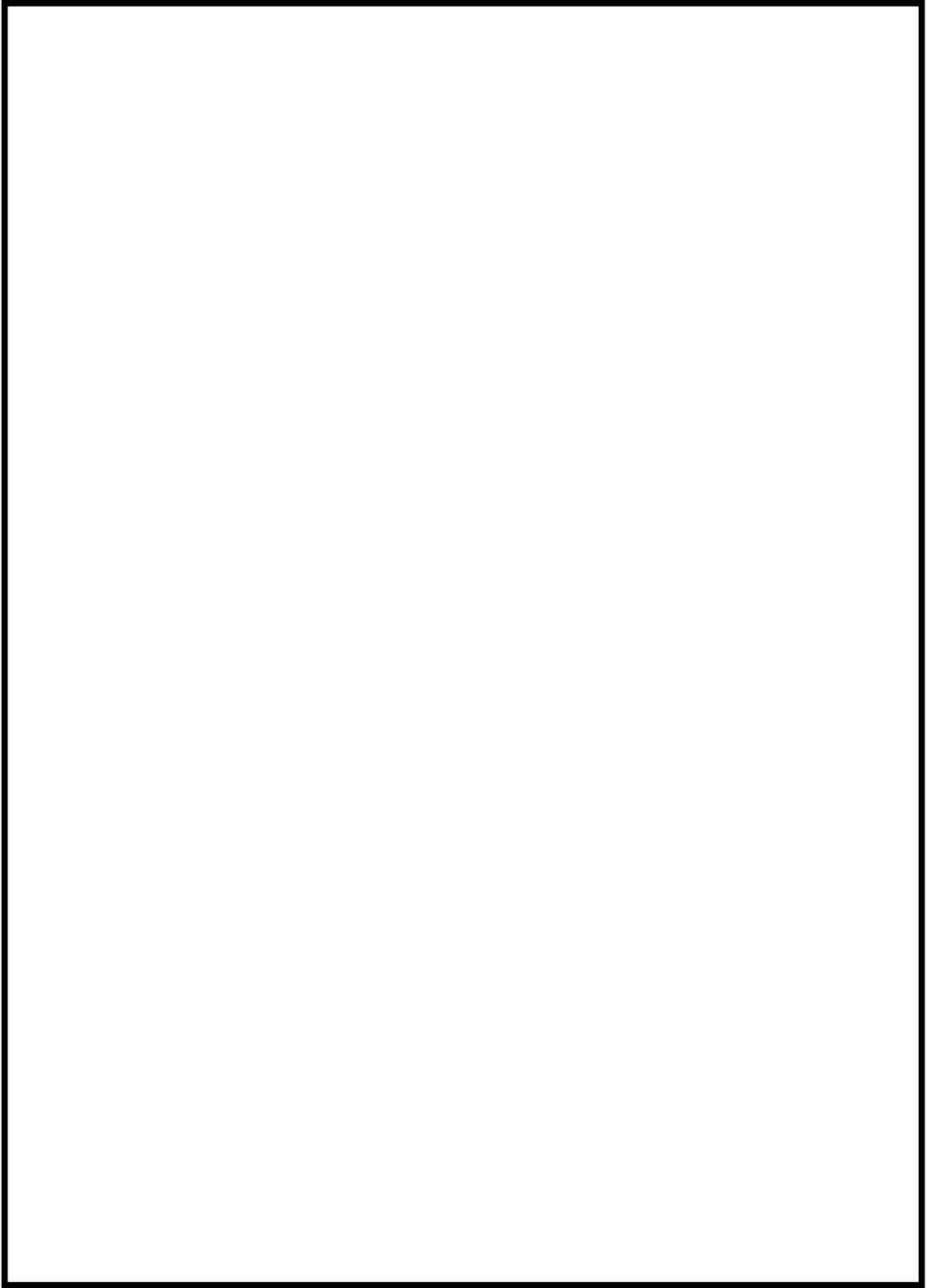


図 4-4(2) 動的応答加速度分布図  
(基準地震動 S s)

表 4-7(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 4-7(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 4-8 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	

表 4-9 荷重の組合せ

許容応力状態	荷重の組合せ	応力評価
Ⅲ <sub>A</sub> S	L01+L04+L14	$P_m$ $P_m + P_b$
Ⅳ <sub>A</sub> S	L01+L04+L16	$P_m$ $P_m + P_b$

## 5. 応力計算

### 5.1 応力解析の手順

応力解析を行う手順について述べる。

#### 5.1.1 荷重条件

荷重条件は4章に示す。

#### 5.1.2 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5-1の応力の分類方法に従って分類し、計算を行う。

### 5.1.3 応力の評価

#### (1) 一次応力強さ

許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S及び許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sにおいて生じる一次一般膜応力及び一次一般膜＋一次曲げ応力の応力強さが、3.6節に示す許容限界を満足することを示す。

## 5.2 応力計算

### 5.2.1 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4-1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 $P_0$ による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = -\frac{Y}{Y-1} \cdot P_0$$

$$\sigma_\ell = -\frac{Y^2}{Y^2-1} \cdot P_0$$

$$\sigma_r = -\frac{Y}{Y+1} \cdot P_0$$

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

なお、各応力評価点での $D_o$ 、 $D_i$ は表5-2に示す。

##### b. 一次一般膜＋一次曲げ応力

外圧 $P_0$ 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。

## 5.2.2 外荷重による応力

## (1) 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

LPRM検出器集合体に働く外荷重を，表 4-2 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。

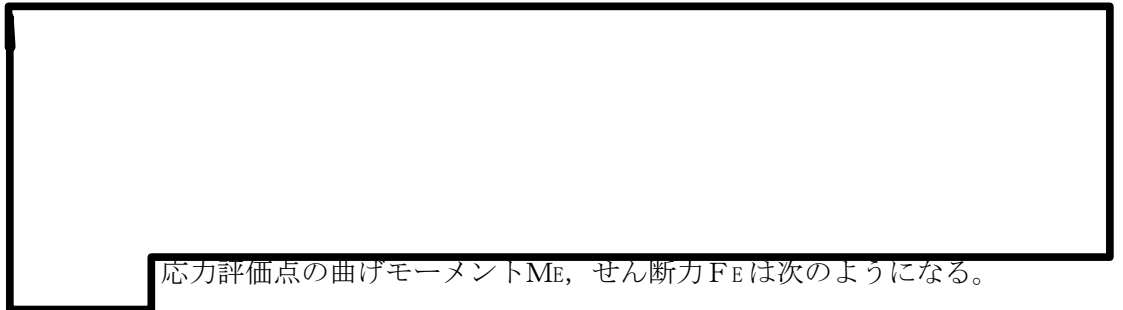
$$\sigma_{\ell} = -\frac{V}{A}$$

## 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 5-1 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

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

ただし、各応力評価点の $D_o$ 、 $A$ 、 $I$ は表5-2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。

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

### 5.3 応力強さの評価

応力強さの評価は、図3-1に示す応力評価点に対して行う。

#### 5.3.1 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5-3に示す。

表5-3より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、3.6節に示す許容限界を満足する。

#### 5.3.2 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5-4に示す。

表5-4より、各許容応力状態の一次一般膜+一次曲げ応力強さは、3.6節に示す許容限界を満足する。



図 5-1 地震荷重による応力の計算モデル (単位 : mm)

表 5-1 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 5-2 断面性状

応力評価点	D <sub>o</sub> (mm)	D <sub>i</sub> (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	I (mm <sup>4</sup> )
P01, P02				
P03, P04				

表 5-3 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 <sub>A</sub> S		許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S	
		応力強さ	許容値	応力強さ	許容値
校正用導管 SUS304TB 相当	P01	27	172	27	260
	P02				
	P01'	27	172	27	260
	P02'				
カバーチューブ SUS304LTB 相当	P03	4	94	6	150
	P04				
	P03'	4	94	6	150
	P04'				

表 5-4 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 <sub>A</sub> S		許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S	
		応力強さ	許容値	応力強さ	許容値
校正用導管 SUS304TB 相当	P01	60	258	85	391
	P02				
	P01'	61	258	86	391
	P02'				
カバーチューブ SUS304LTB 相当	P03	122	141	188	226
	P04				
	P03'	125	141	191	226
	P04'				