

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0117_改4
提出年月日	2021年10月26日

## VI-2-3-4-3-11 中性子束計測案内管の耐震性についての計算書

## 目次

1.	一般事項	1
1.1	形状・寸法・材料	1
1.2	解析範囲	1
1.3	計算結果の概要	1
2.	計算条件	4
2.1	設計条件	4
2.2	運転条件	4
2.3	材料	4
2.4	荷重の組合せ及び許容応力状態	4
2.5	荷重の組合せ及び応力評価	4
2.6	許容応力	4
3.	外荷重の条件	5
3.1	計算方法	5
3.2	解析モデル	5
3.3	計算結果	5
3.3.1	固有周期	5
3.3.2	設計用地震力	5
3.3.3	地震荷重	5
4.	応力計算	6
4.1	応力評価点	6
4.2	差圧による応力	6
4.2.1	荷重条件	6
4.2.2	計算方法	6
4.3	外荷重による応力	6
4.3.1	荷重条件	6
4.3.2	計算方法	6
4.4	応力の評価	6
5.	応力強さの評価	7
5.1	一次一般膜応力強さの評価	7
5.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	7

## 図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	解析モデル	8
図 3-2	解析モデル(インコアスタビライザ)	9
図 3-3	中性子束計測案内管の配置及びグループ分割	10
図 3-4	振動モード図	11
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	解析モデルのデータ諸元	15
表 3-2	並進ばね定数	16
表 3-3	回転ばね定数	16
表 3-4	固有周期	17
表 3-5	設計用地震力	18
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	19
表 5-2	一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	20

## 1. 一般事項

本計算書は、中性子束計測案内管の応力計算について示すものである。

中性子束計測案内管は、原子炉圧力容器内部構造物であるため、添付書類「VI-2-3-4-3-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

中性子束計測案内管は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。

以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

### 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。

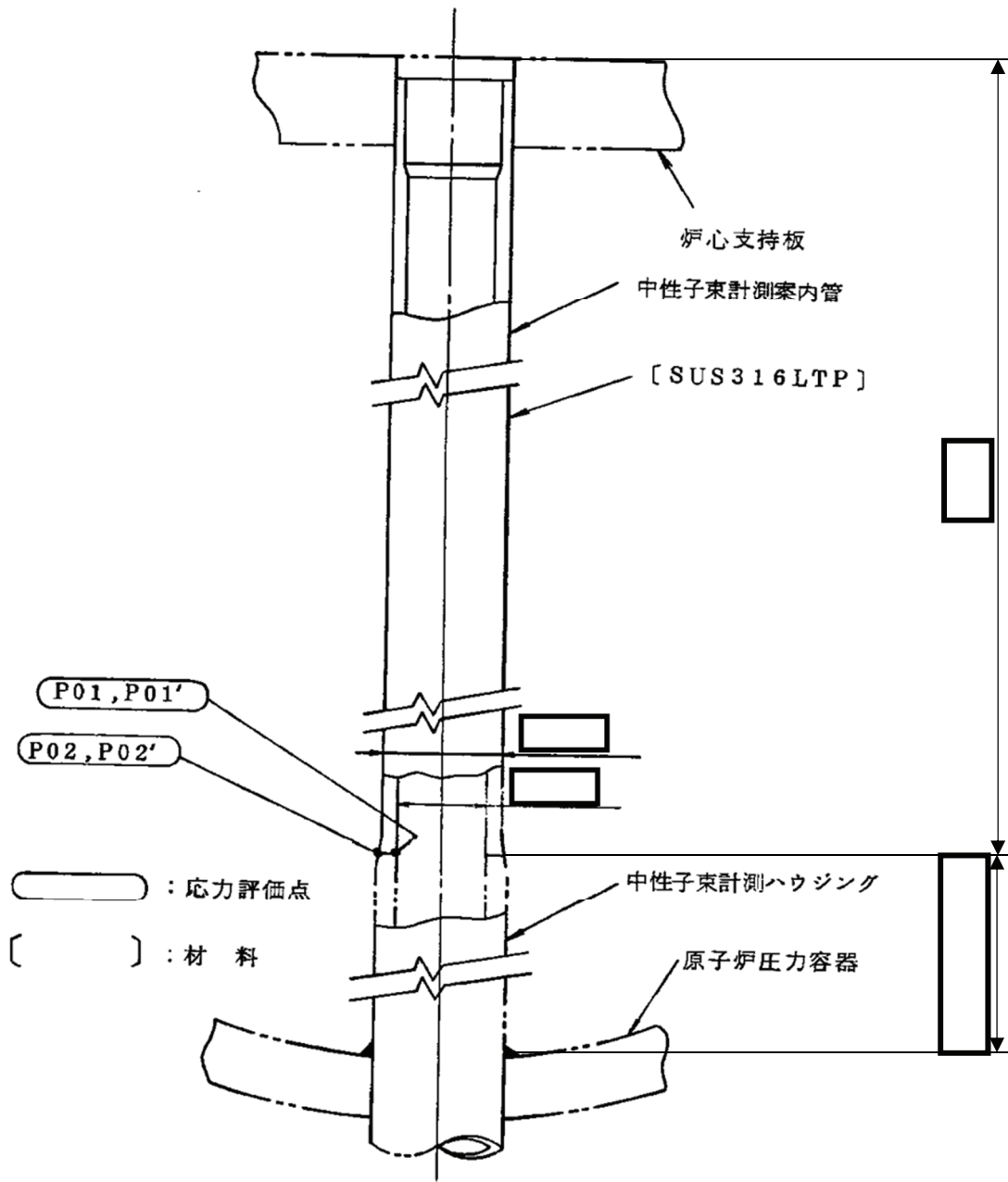
### 1.2 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

### 1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。



グループ番号	中性子束計測案内管長さ	中性子束計測ハウジング長さ (原子炉圧力容器内部) *	
		最大	最小
G1			
G2			
G3			
G4			
G5			

注記\* : 中性子束計測案内管の炉内配置と原子炉圧力容器下鏡（球形）の位置関係から、中性子束計測ハウジング長さ（原子炉圧力容器内部）は最大1013.6mmから最小234.8mmまでの値となる。

図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点（単位：mm）

表 1-1 計算結果の概要

(単位 : MPa)

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
中性子束計測 案内管下部 SUS316LTP	Ⅲ <sub>A</sub> S	2	92*	P01-P02	67	139*	P01-P02
	Ⅳ <sub>A</sub> S	3	148*	P01-P02	102	223*	P01-P02

注記\* : 継手効率  を乗じた値を示す。

## 2. 計算条件

### 2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.1 節に示す。

### 2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.2 節に示す。

### 2.3 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

### 2.4 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「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.3 節に示す。

### 2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.4 節に示す。

### 2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.6 節に示す。

### 3. 外荷重の条件

#### 3.1 計算方法

固有周期，地震荷重は「3.2 解析モデル」に示す解析モデルを用いて，スペクトルモーダル法により求める。

解析コードは，「MSC NASTRAN」を使用し，解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

#### 3.2 解析モデル

解析モデルを図 3-1，図 3-2 及び図 3-3 に示す。

また，解析モデルのデータ諸元を表 3-1 に，インコアスタビライザのばね定数を表 3-2 及び表 3-3 に示す。

本解析モデルは，図 3-1，図 3-2 及び図 3-3 に示すように [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED] なお，

図 3-3 に示すように [REDACTED]

[REDACTED]

支持条件は， [REDACTED]

[REDACTED] とする。

[REDACTED]

[REDACTED]

#### 3.3 計算結果

##### 3.3.1 固有周期

固有周期を表 3-4 に，振動モード図を図 3-4 に示す。固有周期は，0.05 秒を超えており，柔構造であることを確認した。また，鉛直方向は 5 次モード以降に卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であることを確認した。

##### 3.3.2 設計用地震力

設計用地震力を表 3-5 に示す。

なお，減衰定数は，工事計画認可申請書添付書類「IV-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。

##### 3.3.3 地震荷重

解析により求めた地震荷重を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の表 4-1(11)に示す。



#### 4. 応力計算

##### 4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)r.に定めるとおりである。

##### 4.2 差圧による応力

###### 4.2.1 荷重条件 (L02)

各運転状態による差圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)r.に定めるとおりである。

###### 4.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)r.に定めるとおりである。

なお、各許容応力状態での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

##### 4.3 外荷重による応力

###### 4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

外荷重を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の表 4-1(11)に示す。

###### 4.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)r.に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

##### 4.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 5.2.2 項に定めるとおりである。

## 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表 5-1 に示す。

表 5-1 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

### 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表 5-2 に示す。

表 5-2 より、各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

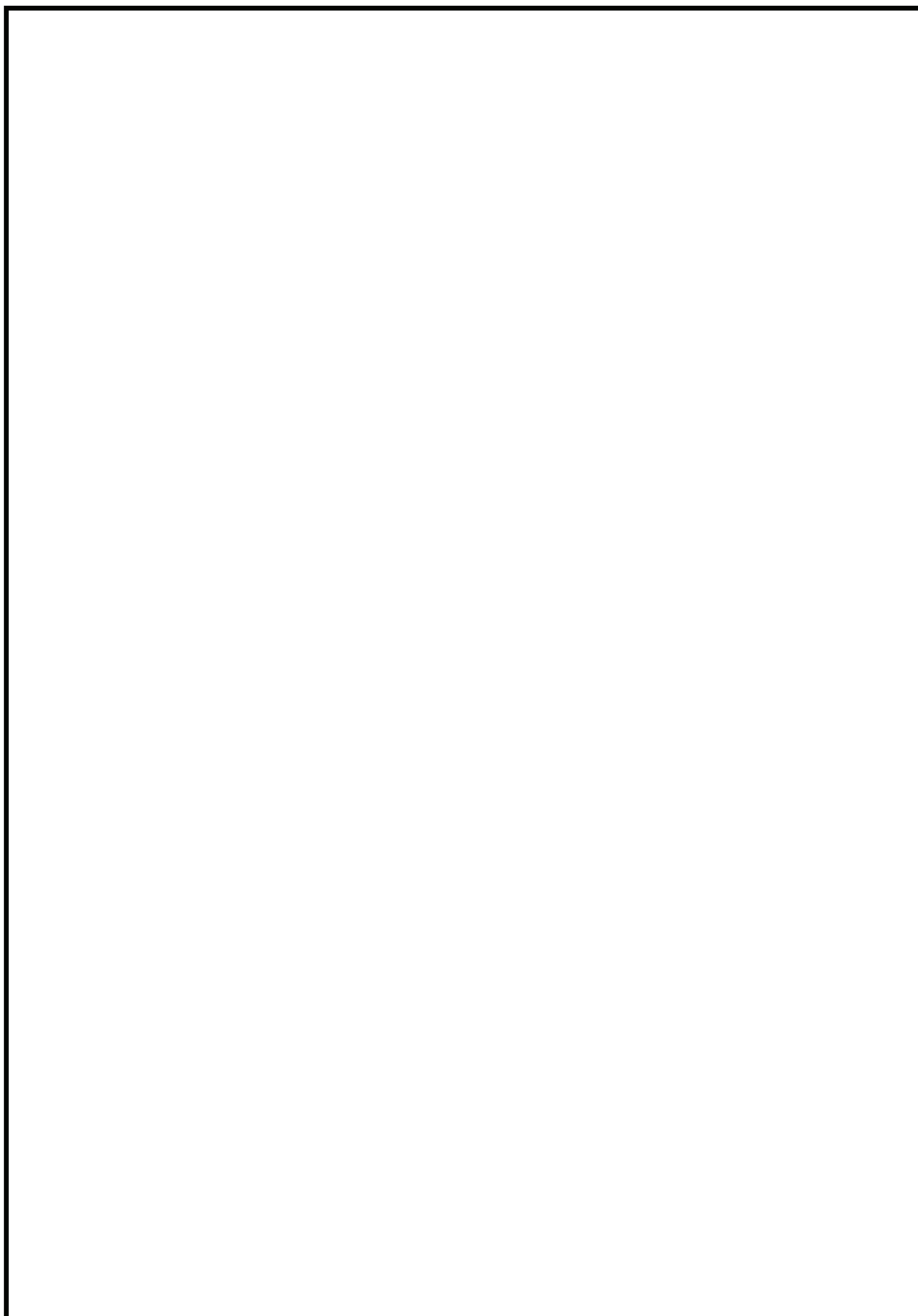


図 3-1 解析モデル

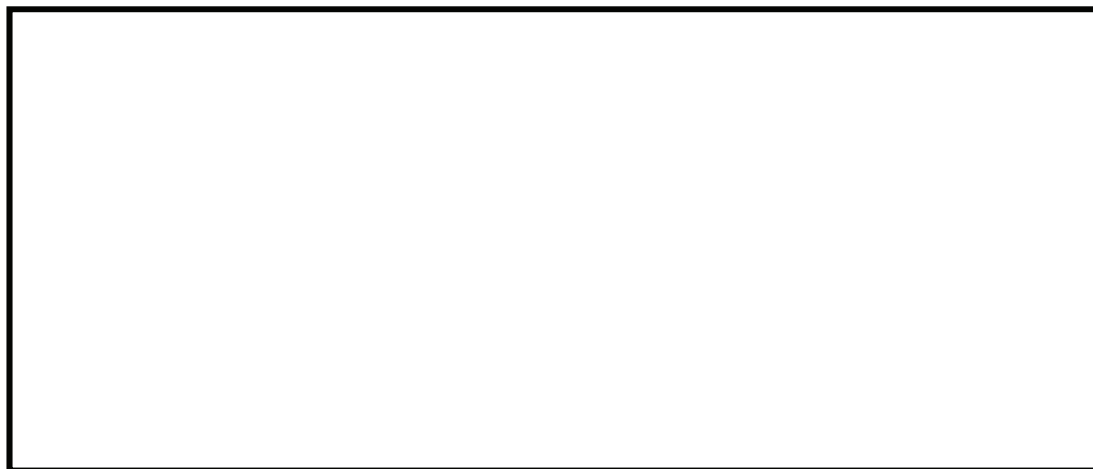


図 3-2 解析モデル(インコアスタビライザ)

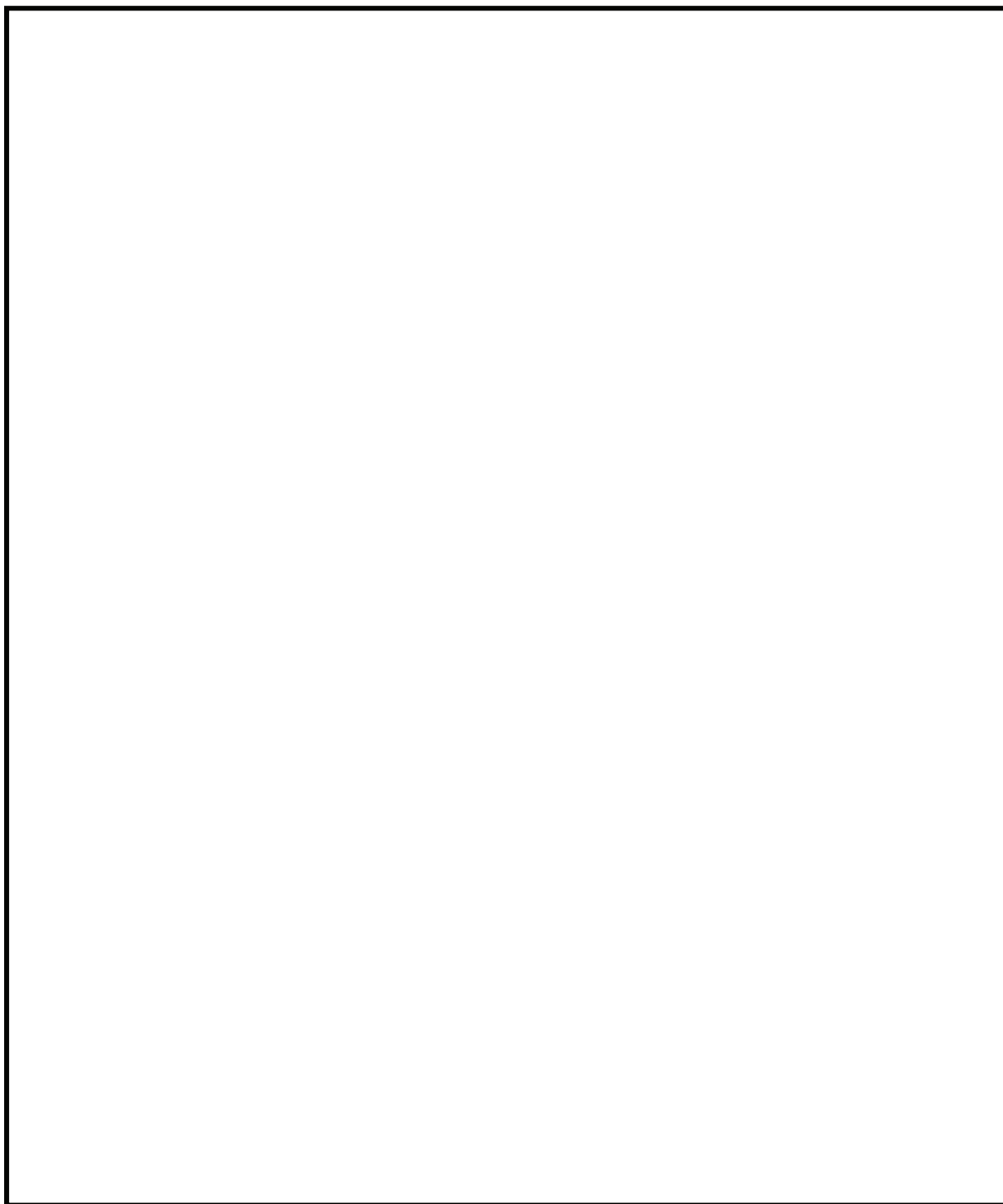


図 3-3 中性子束計測案内管の配置及びグループ分割

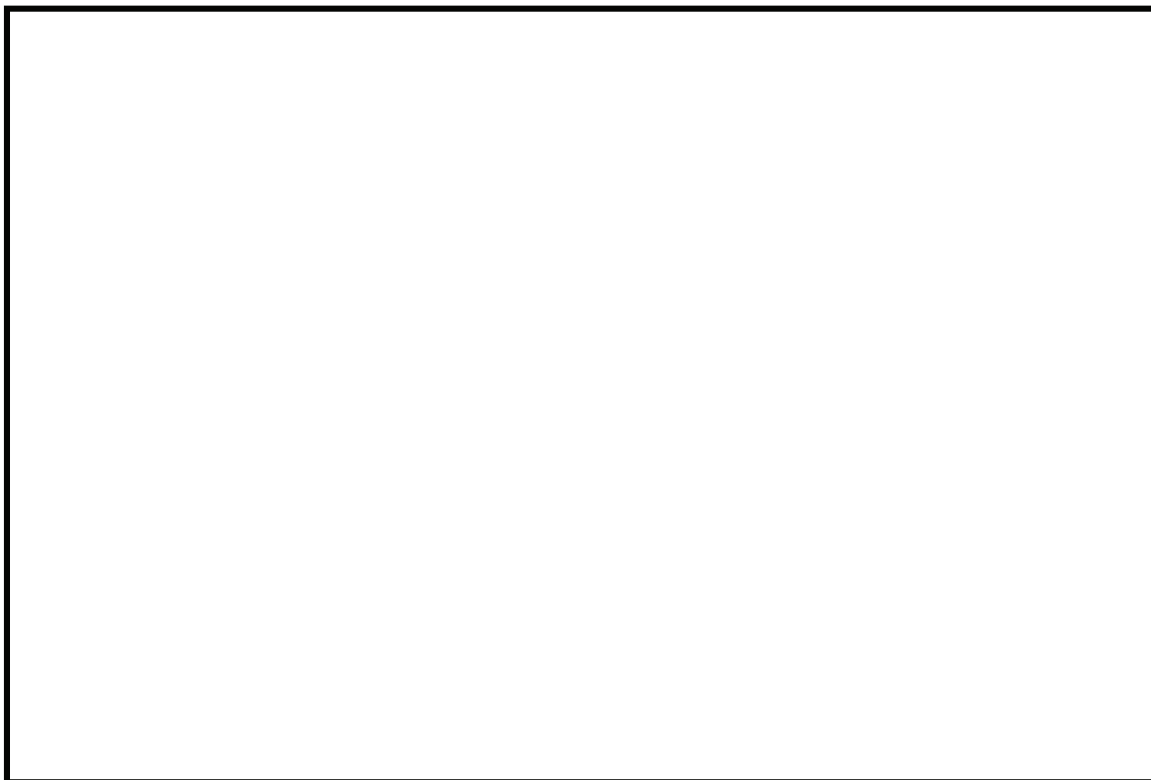


図 3-4(1) 振動モード図 (NS 方向, 1 次)



図 3-4(2) 振動モード図 (NS 方向, 2 次)

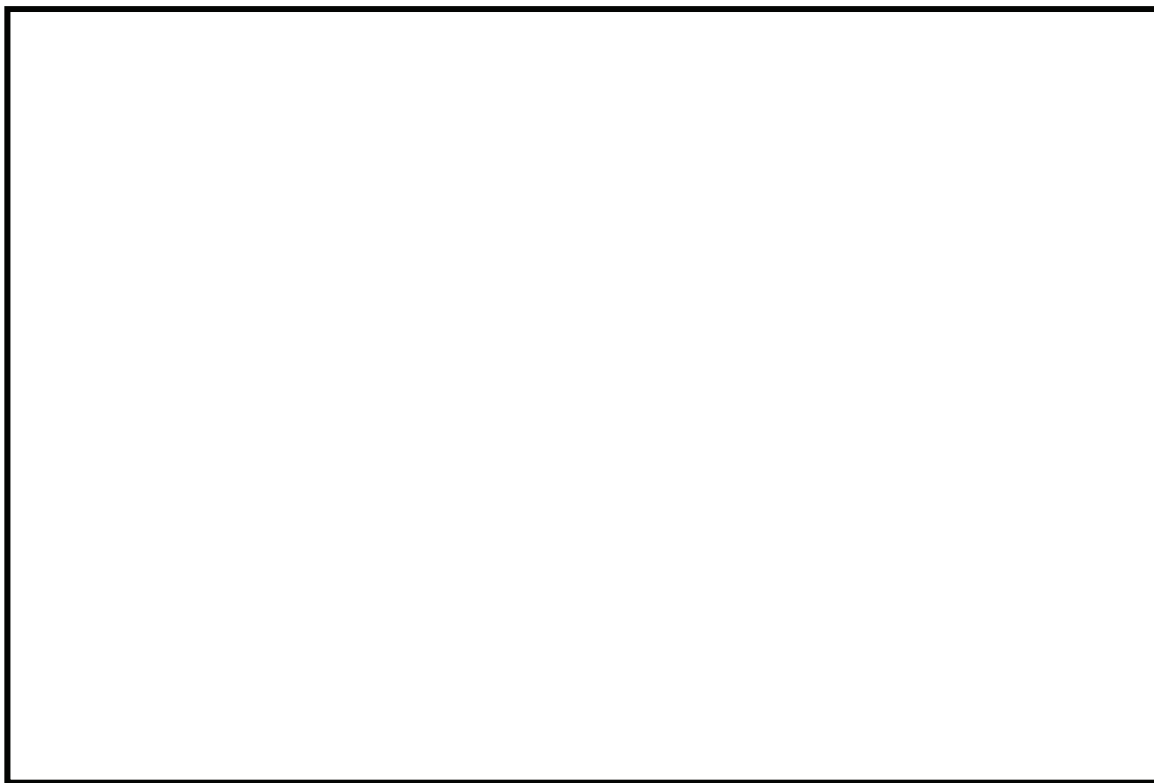


図 3-4(3) 振動モード図 (NS 方向, 3 次)

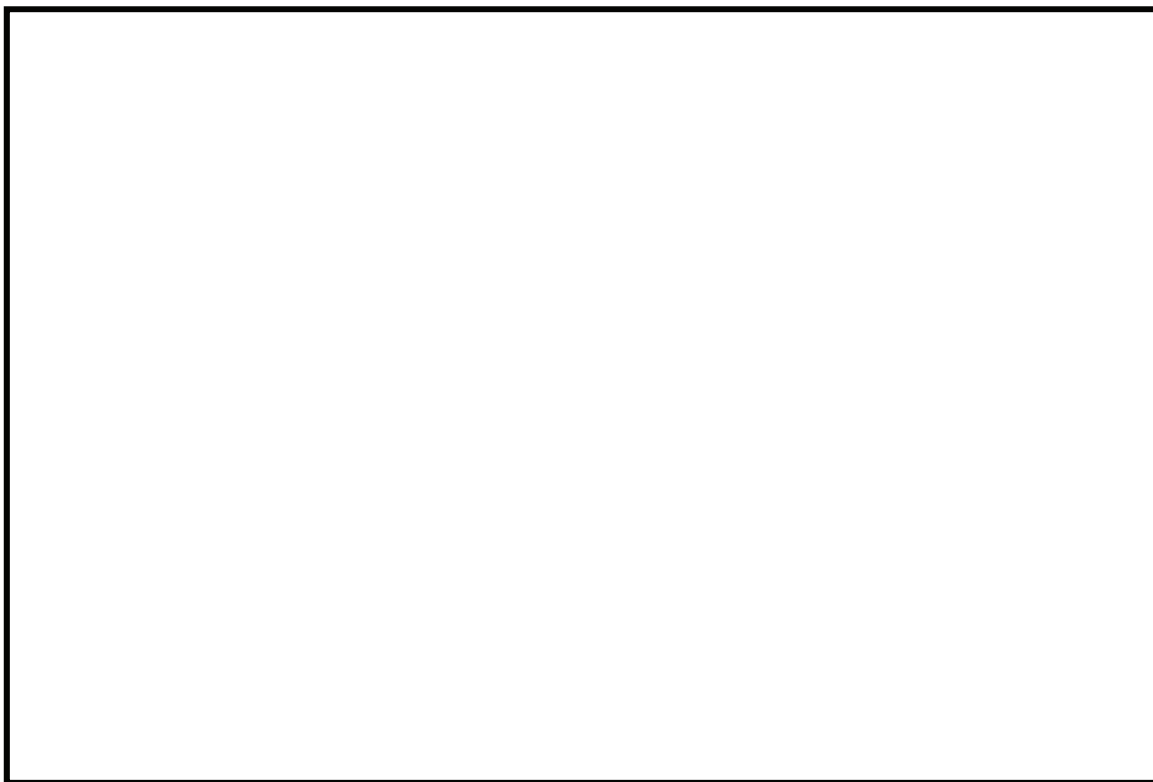


図 3-4(4) 振動モード図 (NS 方向, 4 次)



図 3-4(5) 振動モード図 (EW 方向, 1 次)



図 3-4(6) 振動モード図 (EW 方向, 2 次)





図 3-4(7) 振動モード図 (EW 方向, 3 次)



図 3-4(8) 振動モード図 (EW 方向, 4 次)

表 3-1 解析モデルのデータ諸元

部材端の節 点番号	断面寸法(mm)		長さ (mm)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	断面二次モーメント (mm <sup>4</sup> )	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比	密度 (kg/mm <sup>3</sup> )
	外径	厚さ						
101-102 *1								
102~110 *1								
201-202 *1								
202~210 *1								
301-302 *1								
302~310 *1								
401-402 *1								
402~410 *1								
501-502 *1								
502~510 *1								
106-206 *2								
106-306 *2								
206-306 *2								
206-406 *2								
306-406 *2								
306-506 *2								
406-506 *2								

注記\*1：当該要素は複数の中性子束計測案内管及び中性子束計測ハウジングにより構成される要素であり、断面寸法には中性子束計測案内管及び中性子束計測ハウジング 1 本の断面寸法を示す。

注記\*2：当該要素はインコアスタビライザによるばね要素であり、断面寸法にはインコアスタビライザ 1 体の断面寸法を示す。

表 3-2 並進ばね定数

(単位：N/mm)

記号	
$K_1$	
$K_2$	
$K_3$	
$K_4$	
$K_5$	
$K_6$	
$K_7$	

表 3-3 回転ばね定数

(単位：N/mm)

記号	
$K_{\theta 1}$	
$K_{\theta 2}$	
$K_{\theta 3}$	
$K_{\theta 4}$	
$K_{\theta 5}$	
$K_{\theta 6}$	
$K_{\theta 7}$	

表 3-4(1) 固有周期 (NS 方向)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*
1 次			
2 次			
3 次			
4 次			
5 次			

注記\* : 刺激係数は, 固有ベクトルを正規化し, 質量マトリックスとの積から算出した値を示す。

表 3-4(2) 固有周期 (EW 方向)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*
1 次			
2 次			
3 次			
4 次			
5 次			

注記\* : 刺激係数は, 固有ベクトルを正規化し, 質量マトリックスとの積から算出した値を示す。

表 3-5 設計用地震力

設置場所及び床面高さ (m)		原子炉压力容器内部 0. P. <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">                    </span> <sup>*1</sup>			
固有周期 (s)		水平 : <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">          </span> <sup>*2</sup> 鉛直 : 0.05 以下			
減衰定数 (%)		水平 : 2.0 鉛直 : -			
地震力		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 <sup>*3</sup>	応答鉛直震度	応答水平震度 <sup>*4</sup>	応答鉛直震度
1 次			-		
2 次					
3 次					
4 次					
5 次					
動的地震力 <sup>*5</sup>		1.04	0.96	1.96	1.65
静的地震力 <sup>*6</sup>		0.96	0.29	-	-

注記 \*1 : 基準床レベルを示す。

\*2 : 1 次固有周期について記載

\*3 : 各モードの固有周期に対し弾性設計用地震動 S d より得られる震度を示す。

\*4 : 各モードの固有周期に対し基準地震動 S s より得られる震度を示す。

\*5 : S s 又は S d に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

\*6 : 静的震度 (3.6 · C i 及び 1.2 · C v) を示す。

表 5-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S		許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	2	92*	3	148*
P01' P02'	2	92*	3	148*

注記\*：継手効率  を乗じた値を示す。

表 5-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S		許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	67	139*	102	223*
P01' P02'	66	139*	101	223*

注記\*：継手効率  を乗じた値を示す。