

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
営業秘密又は防護上の観点から  
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1002 改5
提出年月日	平成30年9月14日

V-2-3-4-3-11 中性子計測案内管の耐震性についての計算書

## 目次

1.	一般事項	1
1.1	記号の説明	1
1.2	適用基準	1
1.3	形状・寸法・材料	1
1.4	解析範囲	1
1.5	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	荷重の組合せ及び許容応力状態	4
2.4	材料	4
2.5	物性値	4
2.6	荷重の組合せと応力評価	4
2.7	許容限界	4
2.8	応力の記号と方向	4
3.	外荷重の条件	5
3.1	計算方法	5
3.2	解析モデル及び諸元	5
3.3	死荷重	6
3.4	地震荷重	6
3.4.1	固有周期	6
3.4.2	設計用地震力	6
3.4.3	地震荷重の算出結果	6
4.	応力計算	7
4.1	応力評価点	7
4.2	差圧による応力	7
4.2.1	荷重条件 (L02)	7
4.2.2	計算方法	7
4.3	外荷重による応力	8
4.3.1	荷重条件 (L04, L14 及び L16)	8
4.3.2	計算方法	8
4.4	応力の評価	8
5.	応力強さの評価	9
5.1	一次一般膜応力強さの評価	9
5.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	9

## 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	10
図 3-2	解析モデル（中性子計測案内管スタビライザ）	11
図 3-3	中性子計測案内管と中性子計測案内管スタビライザの配置及びグループ分割	12
図 3-4	振動モード図	17
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	節点座標	13
表 3-2	解析モデルのデータ諸元	14
表 3-3	並進ばね定数	15
表 3-4	回転ばね定数	15
表 3-5	固有周期	16
表 3-6	設計用地震力	21
表 3-7	中性子計測案内管外荷重	22
表 4-1	断面性状	23
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	24
表 5-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	25

## 1. 一般事項

本計算書は、中性子計測案内管の耐震性についての計算書である。

中性子計測案内管は、原子炉压力容器内部構造物であるため、添付書類「V-2-3-4-3-1 原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づくものとする。

### 1.1 記号の説明

記号の説明は、「応力解析の方針」の2章に示す。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm <sup>2</sup>
D <sub>i</sub>	内径	mm
D <sub>o</sub>	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>

### 1.2 適用基準

適用基準は、「応力解析の方針」の1.3節に示す。

### 1.3 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。

### 1.4 解析範囲

解析範囲を図1-1に示す。

### 1.5 計算結果の概要

計算結果の概要を表1-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。

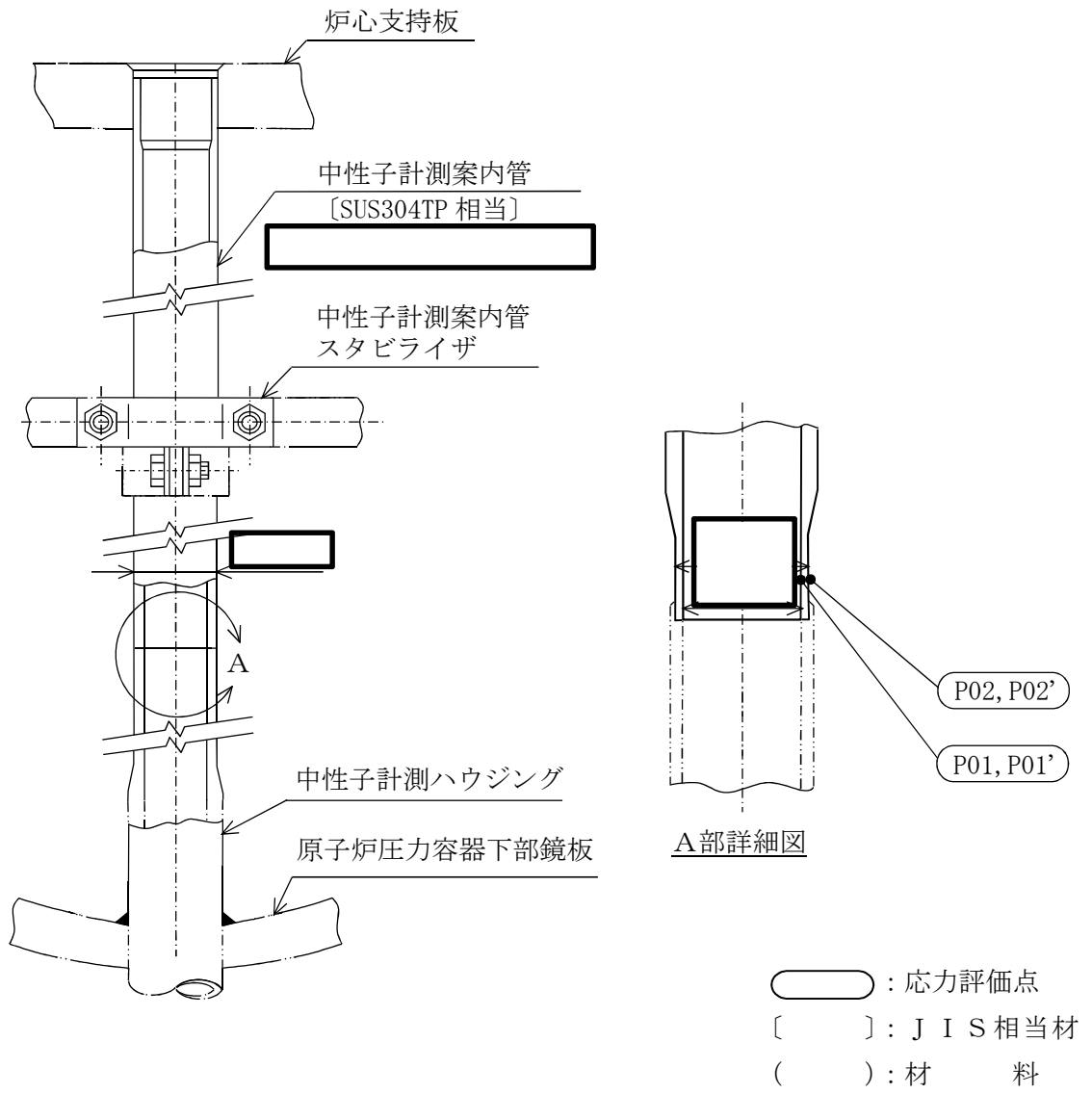


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力強さ	許容値	応力評価面	応力強さ	許容値	応力評価面
中性子計測案内管 SUS304TP	Ⅲ <sub>A</sub> S	3	68	P01'- P02'	62	103	P01'- P02'
	Ⅳ <sub>A</sub> S	4	104	P01'- P02'	102	156	P01'- P02'

## 2. 計算条件

### 2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」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」の 4.2 節に示す。

### 2.3 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は、「応力解析の方針」の 3.4 節に示す。

### 2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

### 2.5 物性値

物性値は、「応力解析の方針」の 3.3 節による。

### 2.6 荷重の組合せと応力評価

荷重の組合せと応力評価は、「応力解析の方針」の 4.5 節に示す。

### 2.7 許容限界

許容限界は、「応力解析の方針」の 3.5 節に示す。

### 2.8 応力の記号と方向

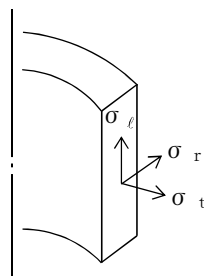
応力の記号と方向は、以下のとおりとする。

$\sigma_t$  : 周方向応力

$\sigma_\ell$  : 軸方向応力

$\sigma_r$  : 半径方向応力

$\tau_{t\ell}$  : せん断応力



### 3. 外荷重の条件

#### 3.1 計算方法

材料及び形状に関するデータから、3.2 節に示すはり要素でモデル化した中性子計測案内管の FEM モデルにより死荷重及び固有周期を求める。さらに、入力加速度に対する各節点のせん断力及びモーメントの最大値を求める。ここで、中性子計測案内管の質量は、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 3.4.2 項に示す設計震度及び応答曲線（減衰定数 1.0%）を包絡して入力加速度とする。

以上の計算は、解析コード「MSC NASTRAN」を用いて行う。

#### 3.2 解析モデル及び諸元

本機器の形状を図 1-1 に示し、解析モデルを図 3-1、図 3-2 及び図 3-3 に示す。

また、各節点の座標及び解析モデルのデータ諸元を表 3-1 及び表 3-2 に、中性子計測案内管スタビライザのばね定数を表 3-3 及び表 3-4 に示す。

中性子計測案内管は、上端を炉心支持板により支持され、下端を中性子計測ハウジングに溶接された全長約 4m の管であり、原子炉圧力容器内に 55 本設置されている。また、高さ方向の中央部においてスタビライザにより互いに連結されている構成である。

中性子計測案内管の下端を支持する中性子計測ハウジングは、原子炉圧力容器下鏡に溶接されており、その炉内部分の長さは中央部から外周になるに従って短くなり、全体としては長さの異なる 55 本の中性子計測案内管-ハウジングが、スタビライザにより互いに連結されることにより独立な振動を防止する構造である。

本解析モデルは、図 3-1、図 3-2 及び図 3-3 に示すように

とする。

支持条件は、

とする。



### 3.3 死荷重

中性子計測案内管の評価に用いる死荷重を表 3-5 に示す。

### 3.4 地震荷重

#### 3.4.1 固有周期

中性子計測案内管の固有周期を表 3-5 に、振動モード図を図 3-4 に示す。

鉛直方向については、0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

#### 3.4.2 設計用地震力

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

評価に用いる設計用地震力を表 3-6 に示す。

#### 3.4.3 地震荷重の算出結果

図 3-1 に示す解析モデルに 3.4.2 節で設定した地震力を入力とし、静的解析及びスペクトルモーダル解析により、中性子計測案内管の評価位置に発生する荷重の包絡値を地震荷重とする。

算出された地震荷重を表 3-7 に示す。

## 4. 応力計算

### 4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

また、各応力評価点の断面性状を表 4-1 に示す。

### 4.2 差圧による応力

#### 4.2.1 荷重条件 (L02)

各運転条件における差圧を「応力解析の方針」の 4 章の図 4-1 に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、各許容応力状態での応力は、比例計算により求める。

#### 4.2.2 計算方法

##### (1) 一次一般膜応力

差圧  $P_{110}$  による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = -\frac{Y}{Y-1} \cdot P_{110}$$

$$\sigma_\ell = 0$$

$$\sigma_r = -\frac{Y}{Y+1} \cdot P_{110}$$

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

##### (2) 一次一般膜+一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜+一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

### 4.3 外荷重による応力

#### 4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

中性子計測案内管に働く外荷重を表 3-7 に示す。

#### 4.3.2 計算方法

##### (1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

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

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot r_m$$

ここで, 
$$r_m = \frac{D_i + D_o}{4}$$

##### (2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次一般膜＋一次曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A} \pm \frac{M}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

### 4.4 応力の評価

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

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の 5.4 節に示す。

## 5. 応力強さの評価

### 5.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 5-1 に示す。

表 5-1 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.5 節に示す許容値を満足する。

### 5.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 5-2 に示す。

表 5-2 より、各許容応力状態の一次一般膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.5 節に示す許容値を満足する。

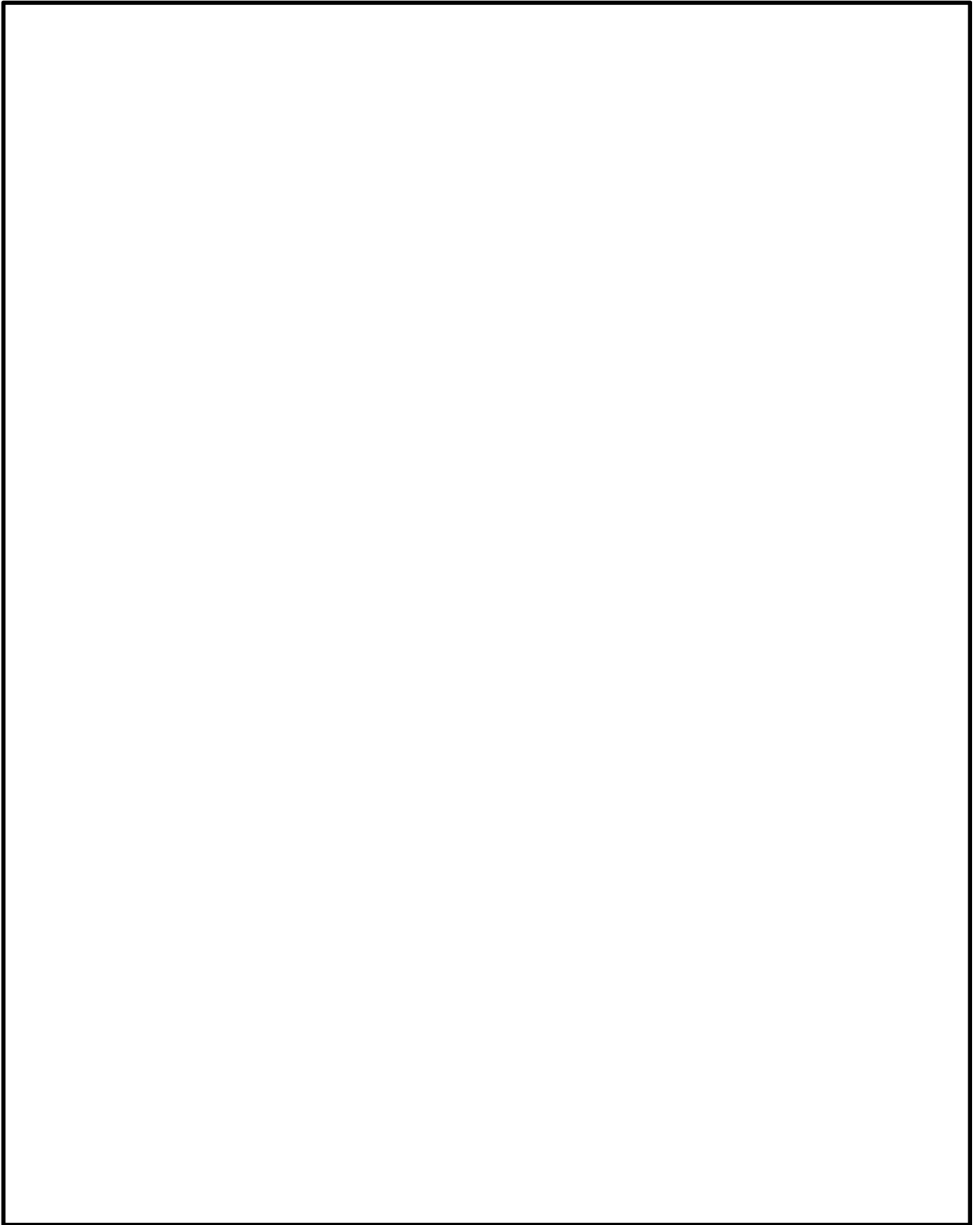
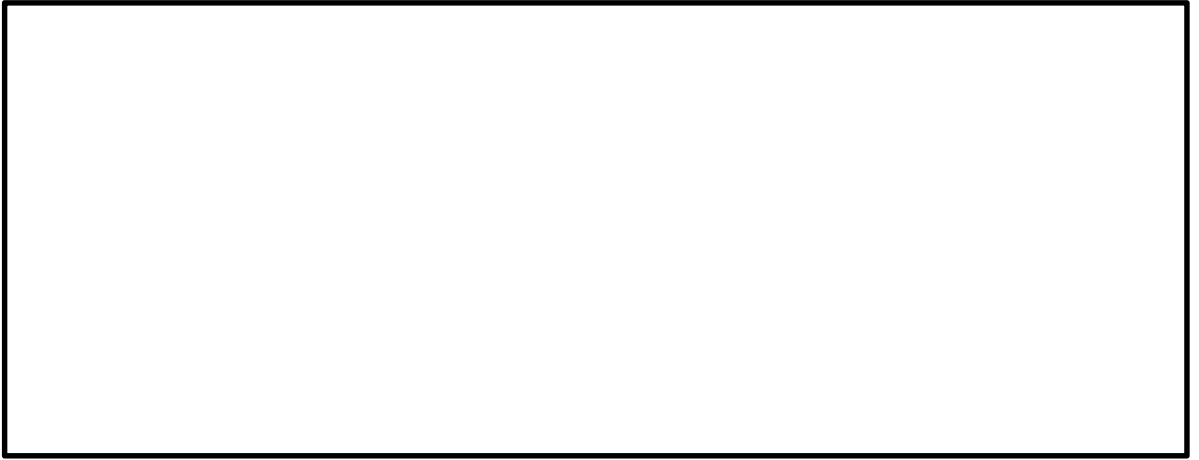


図 3-1 解析モデル



$K_n$  : 並進ばね定数,  $K_{\theta n}$  : 回転ばね定数 ( $n : 1 \sim 9$ )

図 3-2 解析モデル (中性子計測案内管スタビライザ)

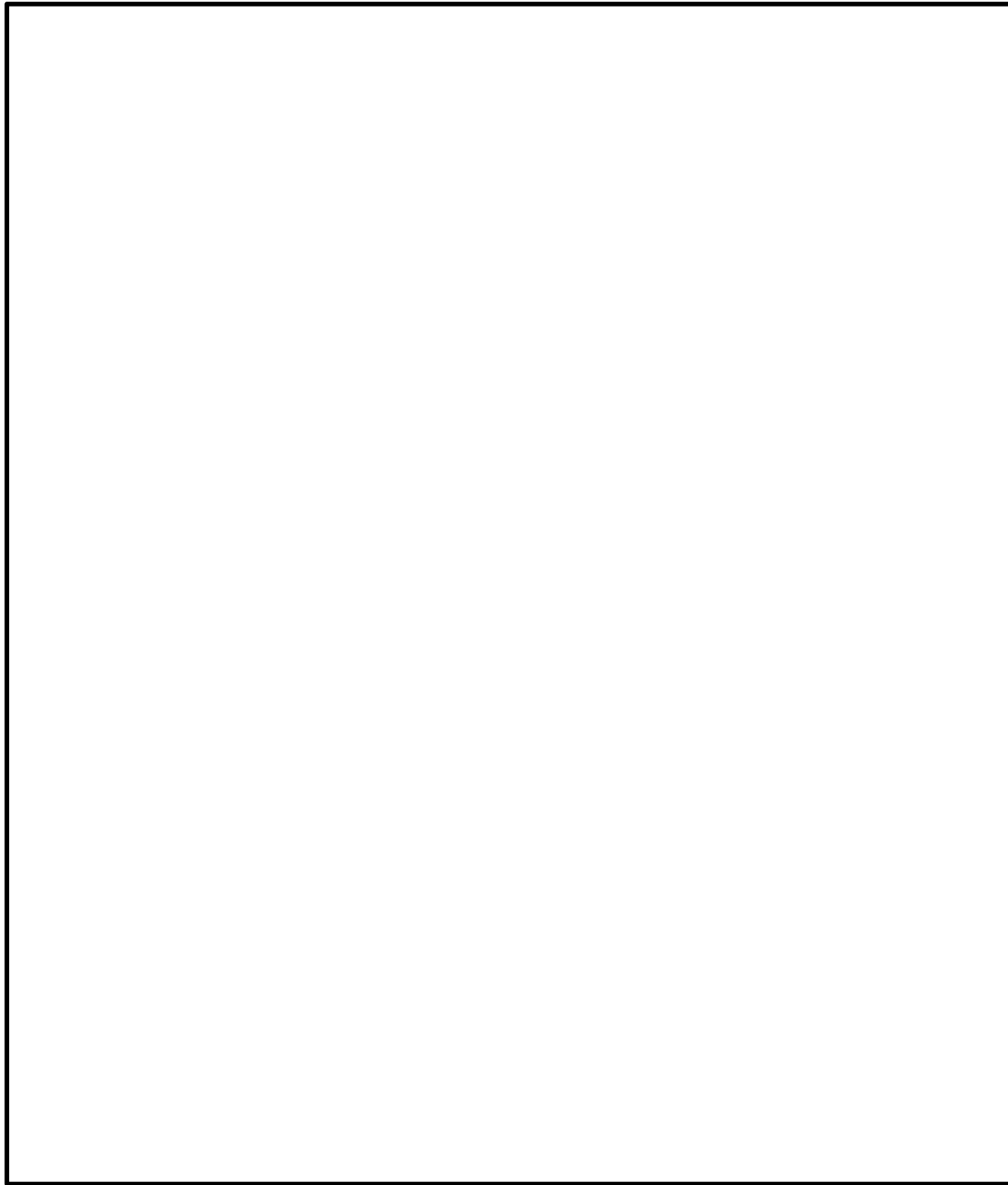


図 3-3 中性子計測案内管と中性子計測案内管スタビライザの配置及びグループ分割

表 3-1 節点座標

(単位：mm)

節点番号	座標		
	X	Y	Z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			



表 3-2 解析モデルのデータ諸元

部材端の節点番号	断面寸法 (mm)		縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比	密度 (kg/mm <sup>3</sup> )
	外径	厚さ			
1～7					
7～8					
9～15					
15～16					
17～23					
23～24					
25～31					
31～32					
33～38					
38～39					
39～40					
41～47					
47～48					
4-12					
12-20					
12-28					
20-28					
20-36					
20-44					
28-36					
28-44					
36-44					

注記 \* : ( ) 内は, G5 グループ中の取り替えた中性子計測ハウジングの寸法を示す。

表 3-3 並進ばね定数

(単位 : N/mm)

記号	
K <sub>1</sub>	
K <sub>2</sub>	
K <sub>3</sub>	
K <sub>4</sub>	
K <sub>5</sub>	
K <sub>6</sub>	
K <sub>7</sub>	
K <sub>8</sub>	
K <sub>9</sub>	

表 3-4 回転ばね定数

(単位 : N・mm/rad)

記号	
K <sub>θ1</sub>	
K <sub>θ2</sub>	
K <sub>θ3</sub>	
K <sub>θ4</sub>	
K <sub>θ5</sub>	
K <sub>θ6</sub>	
K <sub>θ7</sub>	
K <sub>θ8</sub>	
K <sub>θ9</sub>	

表 3-5 固有周期

モード	固有周期	卓越方向	刺激係数		
	(s)		X	Y	Z
1次					
2次					
3次					
4次					
5次					
6次					
7次					
8次					
9次					

注 : 鉛直方向については, 0.05 秒以下であり, 剛であることを確認した。

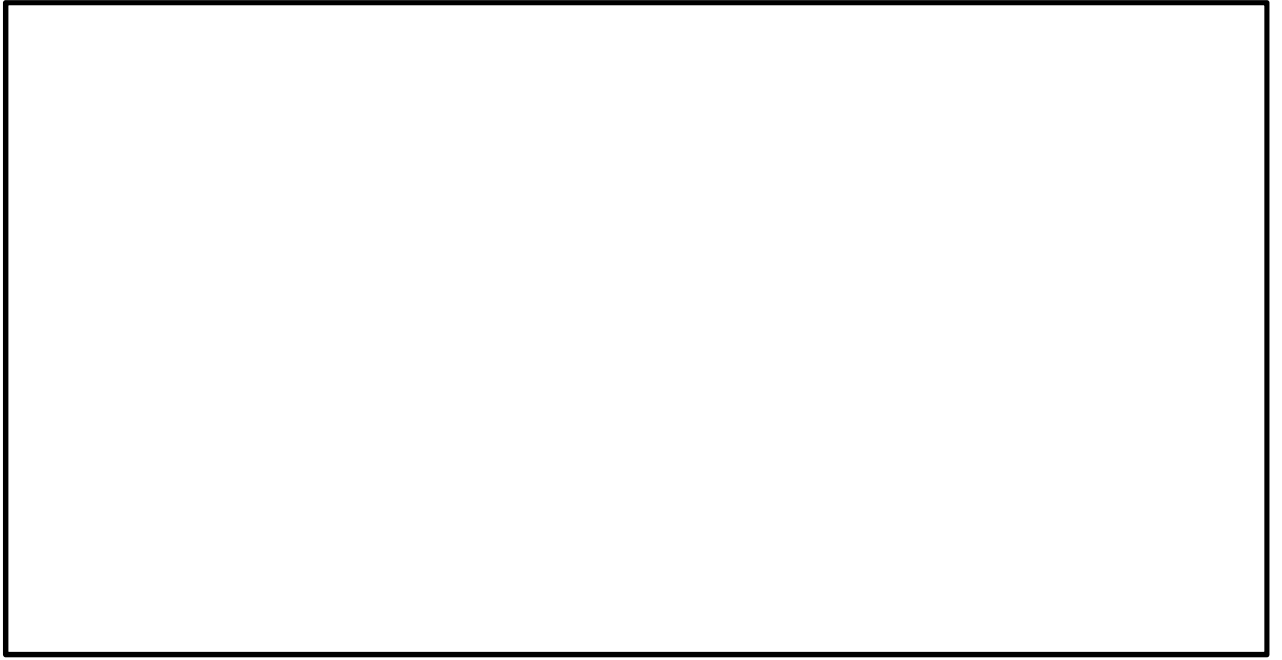


図 3-4(1) 振動モード図 (1 次  s)

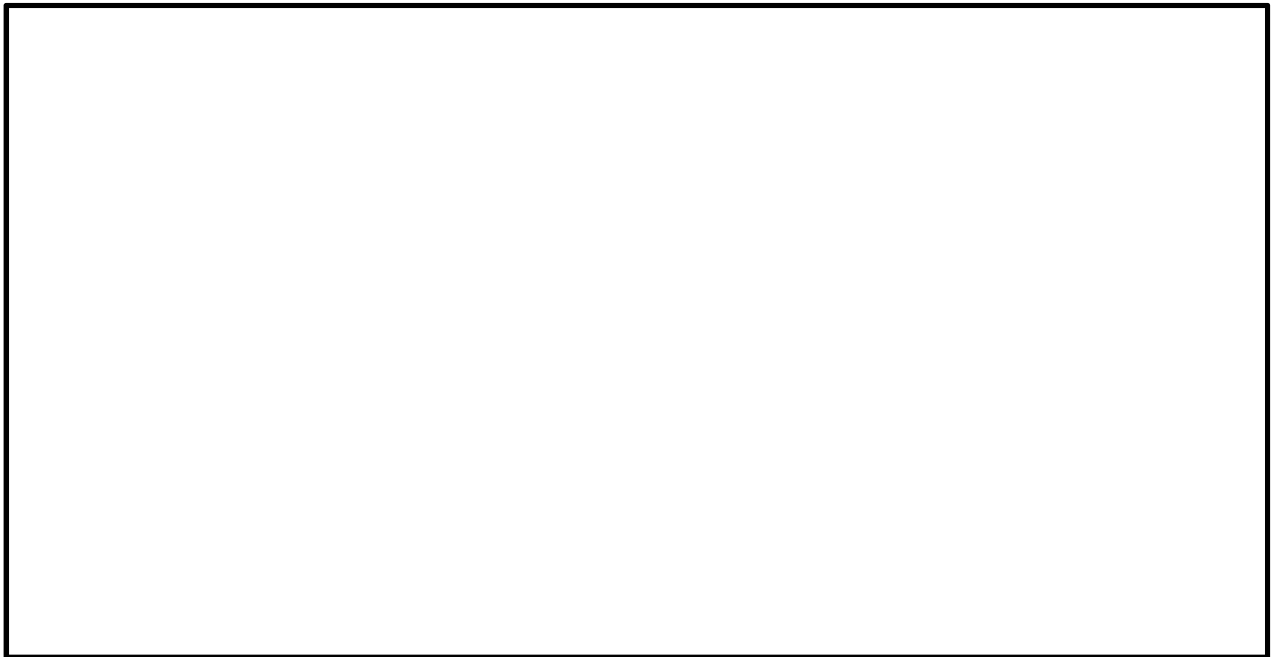


図 3-4(2) 振動モード図 (2 次  s)

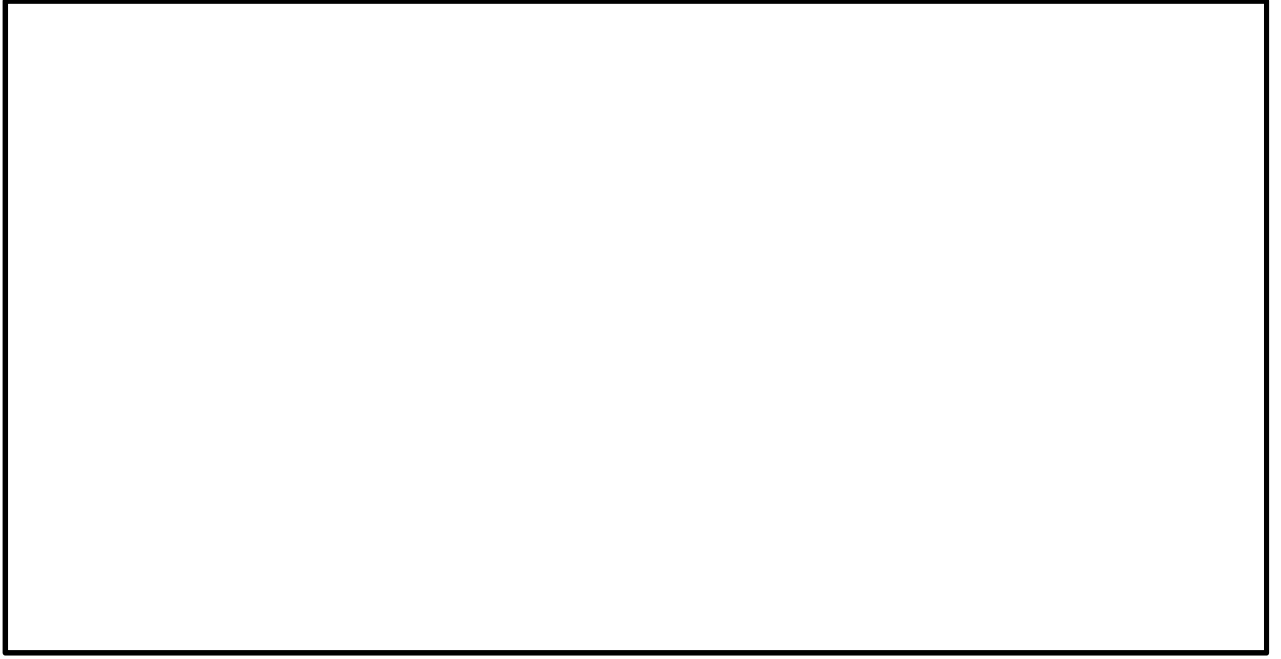


図 3-4(3) 振動モード図 (3 次  s)

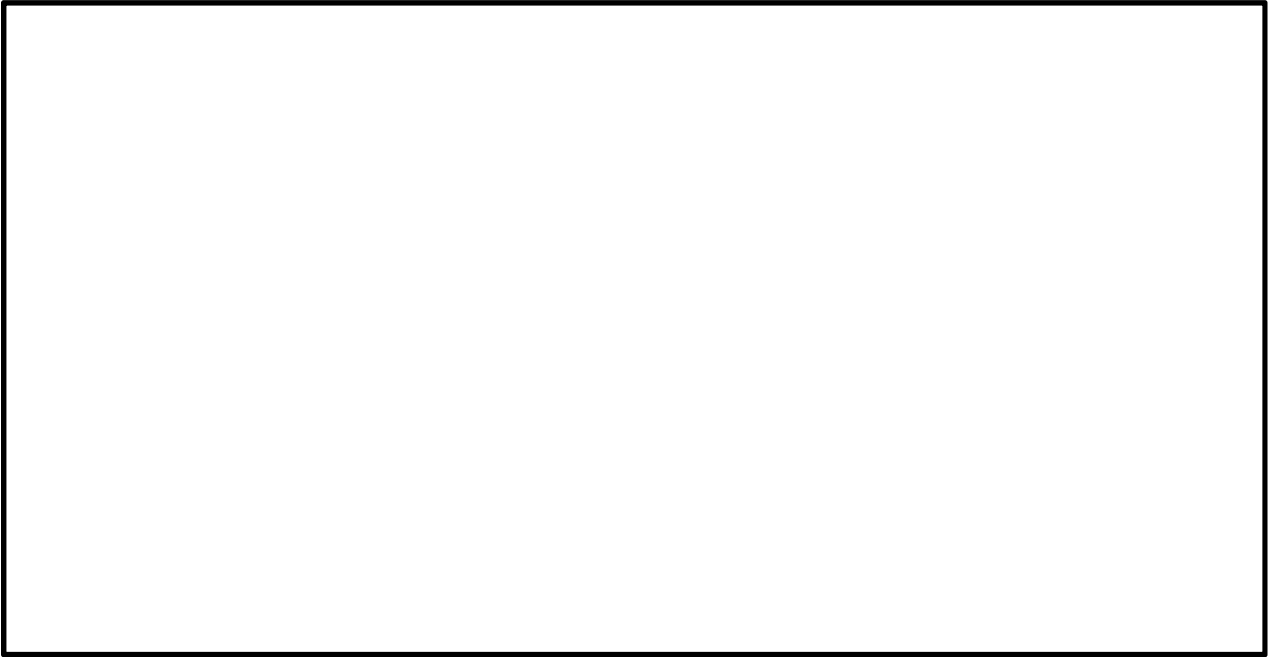


図 3-4(4) 振動モード図 (4 次  s)

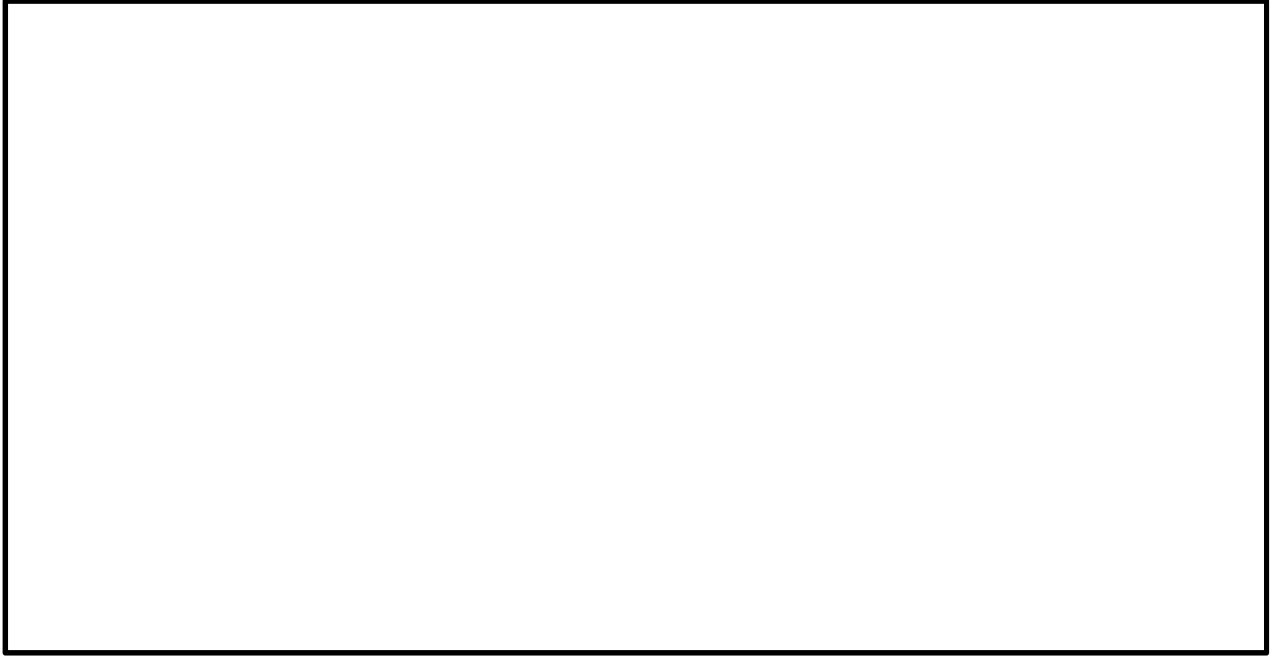


図 3-4(5) 振動モード図 (5 次  s)

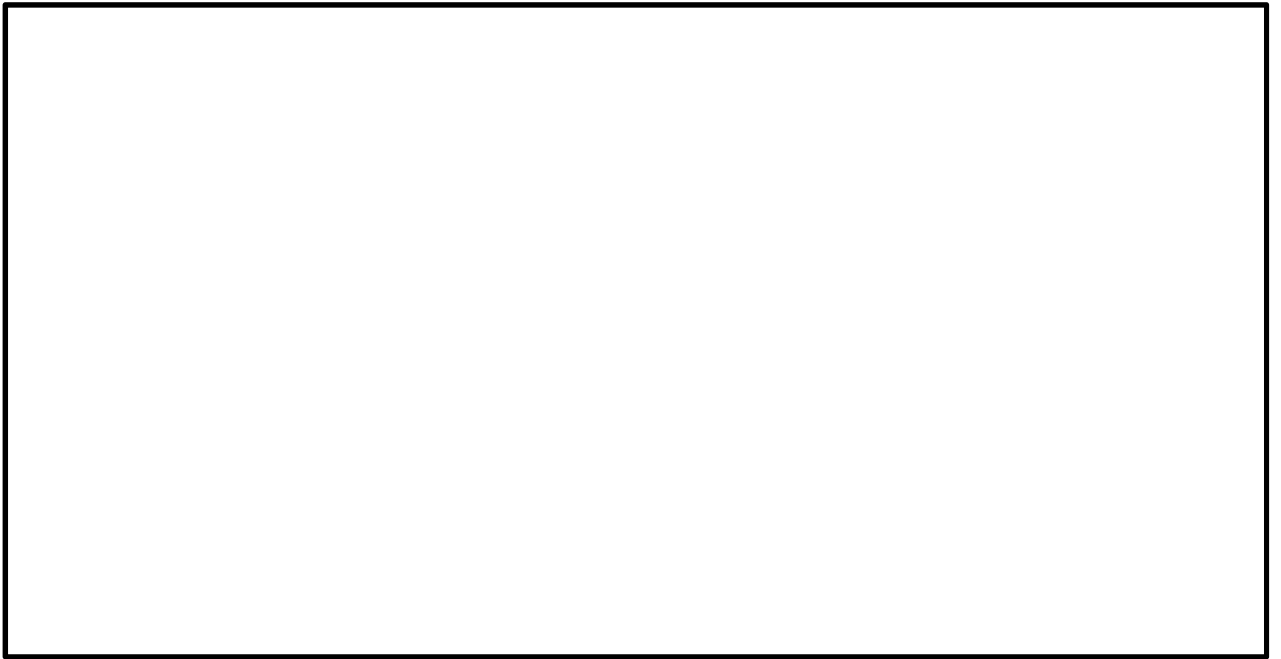


図 3-4(6) 振動モード図 (6 次  s)

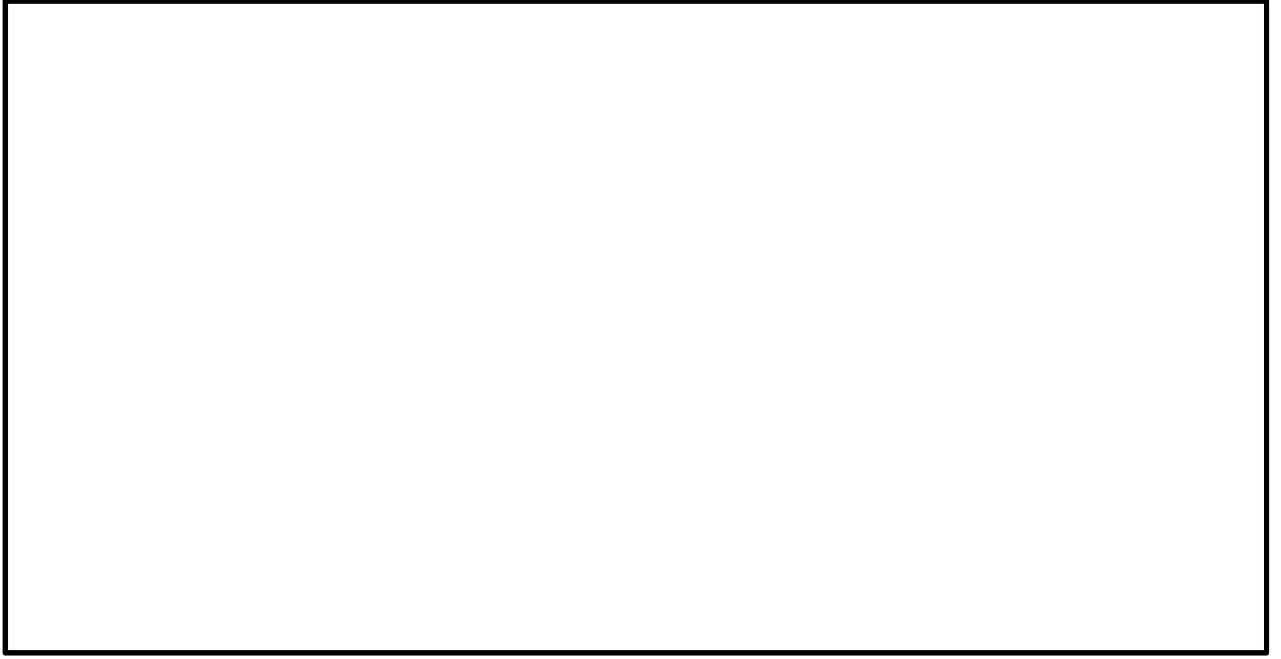


図 3-4(7) 振動モード図 (7 次  s)

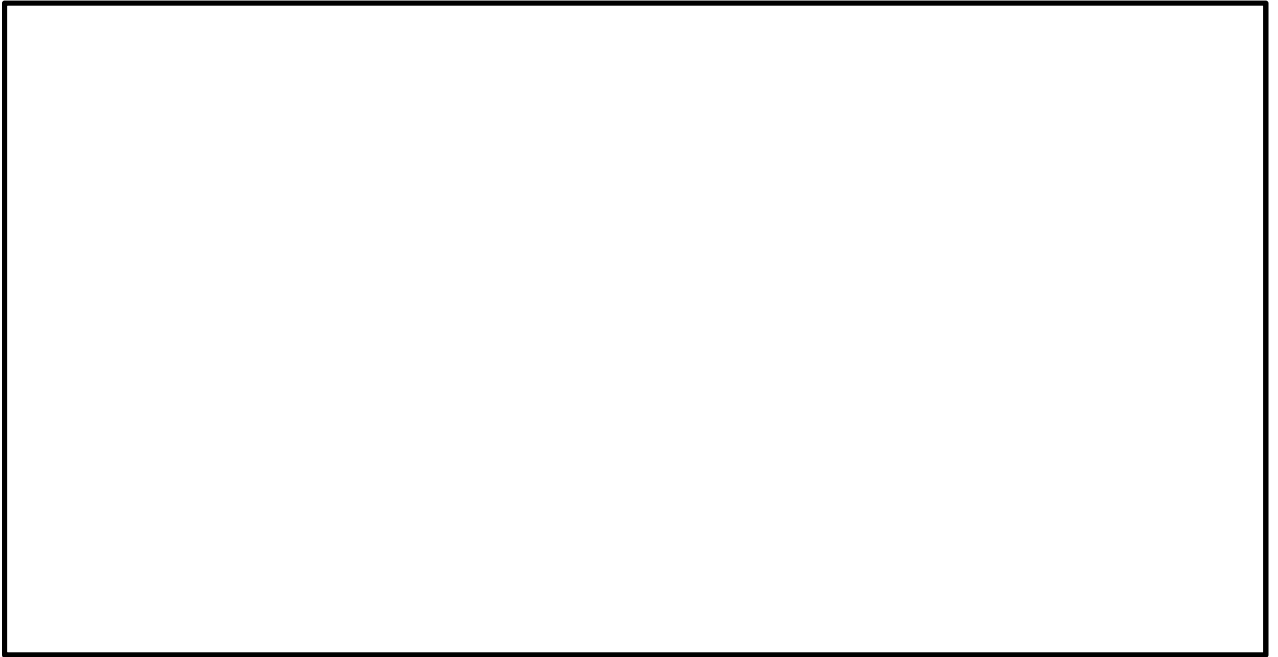


図 3-4(8) 振動モード図 (8 次  s)

表 3-6 設計用地震力

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度		基準地震動 $S_s$		減衰定数 (%)	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平 方向	鉛直 方向
原子炉压力容器内 EL. <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 50px; height: 15px;"></span>	<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 50px; height: 15px;"></span>	0.05 以下*1	$C_H=0.97$ 又は*2	$C_V=0.74$	$C_H=1.62$ 又は*3	$C_V=1.37$	1.0*4	—

注記 \*1：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

\*2：基準地震動  $S_d$  に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

\*3：基準地震動  $S_s$  に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

\*4：溶接構造物に適用される減衰定数の値



表 3-7 中性子計測案内管外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	曲げ モーメント
			$F_L$ (N)	$F_s$ (N)	M (N·m)
L04	死荷重	A			
L14	地震荷重 $S_d^*$	A			
L16	地震荷重 $S_s$	A			

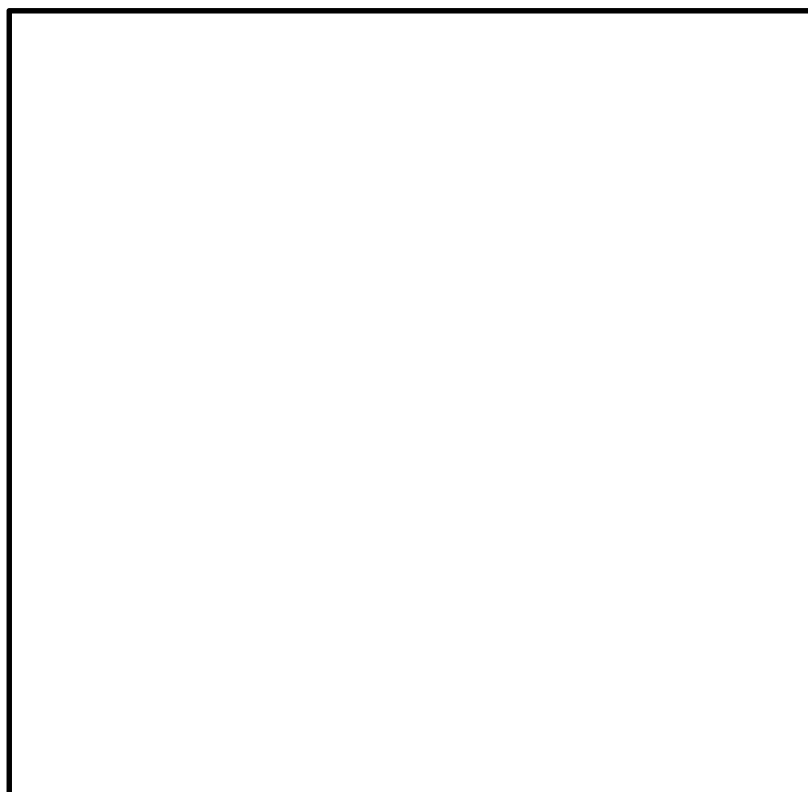


表 4-1 断面性状

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

表 5-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ <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
P01 P02	2	68*	3	104*
P01' P02'	3	68*	4	104*

注記 \*：継手効率  を乗じた値を示す。

表 5-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	許容応力状態 Ⅲ <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
P01 P02	61	103*	102	156*
P01' P02'	62	103*	102	156*

注記 \*：継手効率  を乗じた値を示す。