

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-003-27改02
提出年月日	2023年2月9日

VI-2-3-3-3-11 原子炉中性子計装案内管の耐震性についての計算書

S2 補 VI-2-3-3-3-11 R0

2023年2月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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	5
2.1	設計条件	5
2.2	運転条件	5
2.3	外荷重条件	5
2.4	材料	5
2.5	荷重の組合せ及び許容応力状態	5
2.6	荷重の組合せ	5
2.7	許容応力	5
3.	外荷重の条件	6
3.1	計算方法	6
3.2	解析モデル	6
3.3	固有値解析結果	6
3.4	設計用地震力	6
3.5	死荷重及び地震荷重	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	7
4.3.1	荷重条件 (L04, L14 及び L16)	7
4.3.2	計算方法	7
4.4	応力の評価	7
5.	応力強さの評価	8
5.1	一次一般膜応力強さの評価	8
5.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8

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	9
図 3-2	原子炉中性子計装案内管とスタビライザの配置及びグループ分割	10
図 3-3	振動モード図	17
表 1-1	計算結果の概要	4
表 3-1	質量及び部材定数	11
表 3-2	並進ばね定数	14
表 3-3	回転ばね定数	14
表 3-4	固有周期	15
表 3-5	設計用地震力	16
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	21
表 5-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	21

1. 一般事項

本計算書は、原子炉中性子計装案内管の耐震性についての計算書である。

原子炉中性子計装案内管は、設計基準対象施設において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。

なお、原子炉中性子計装案内管は、原子炉圧力容器内部構造物であるため、VI-2-3-3-3-1「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。

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、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

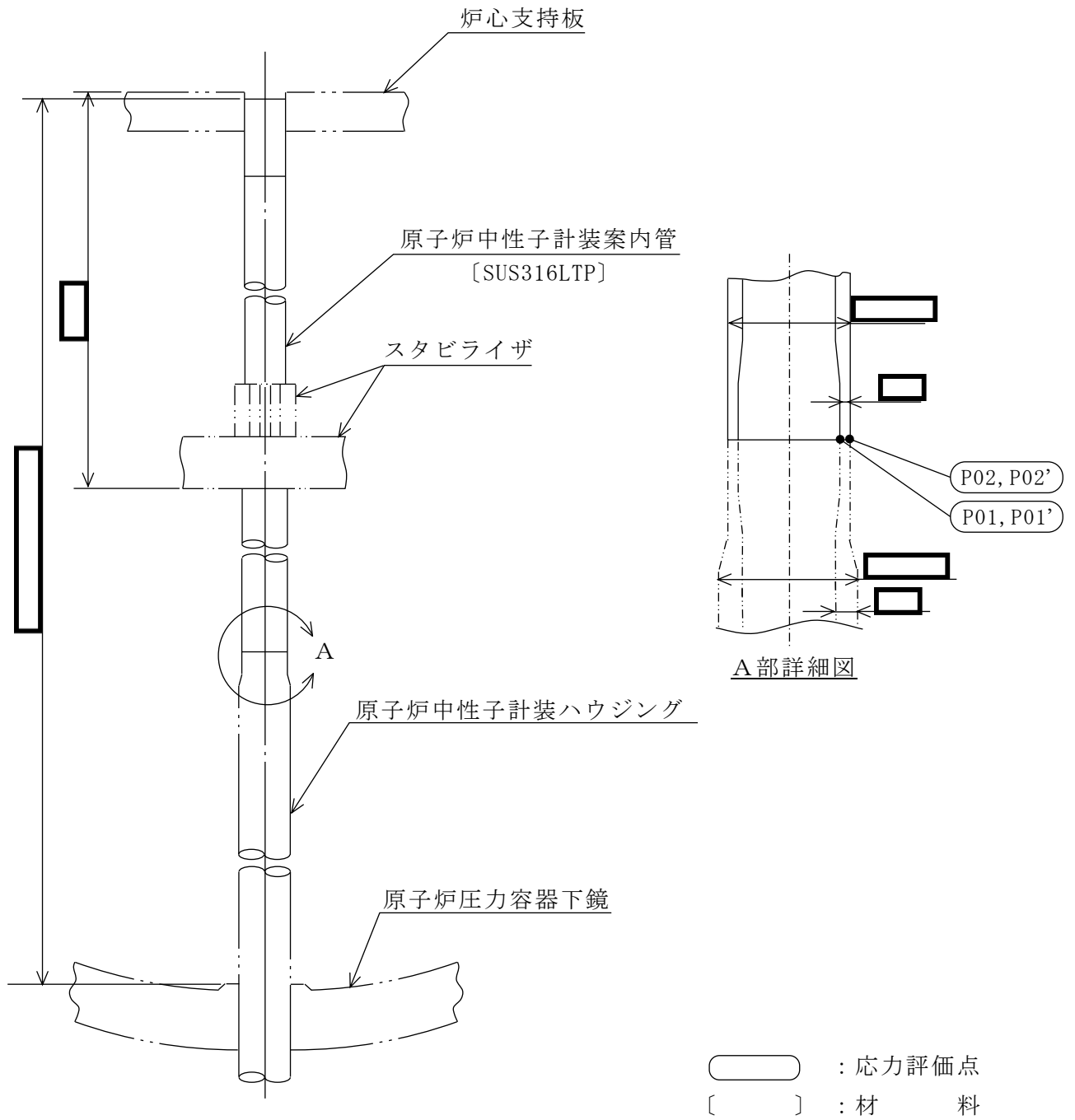


図 1-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

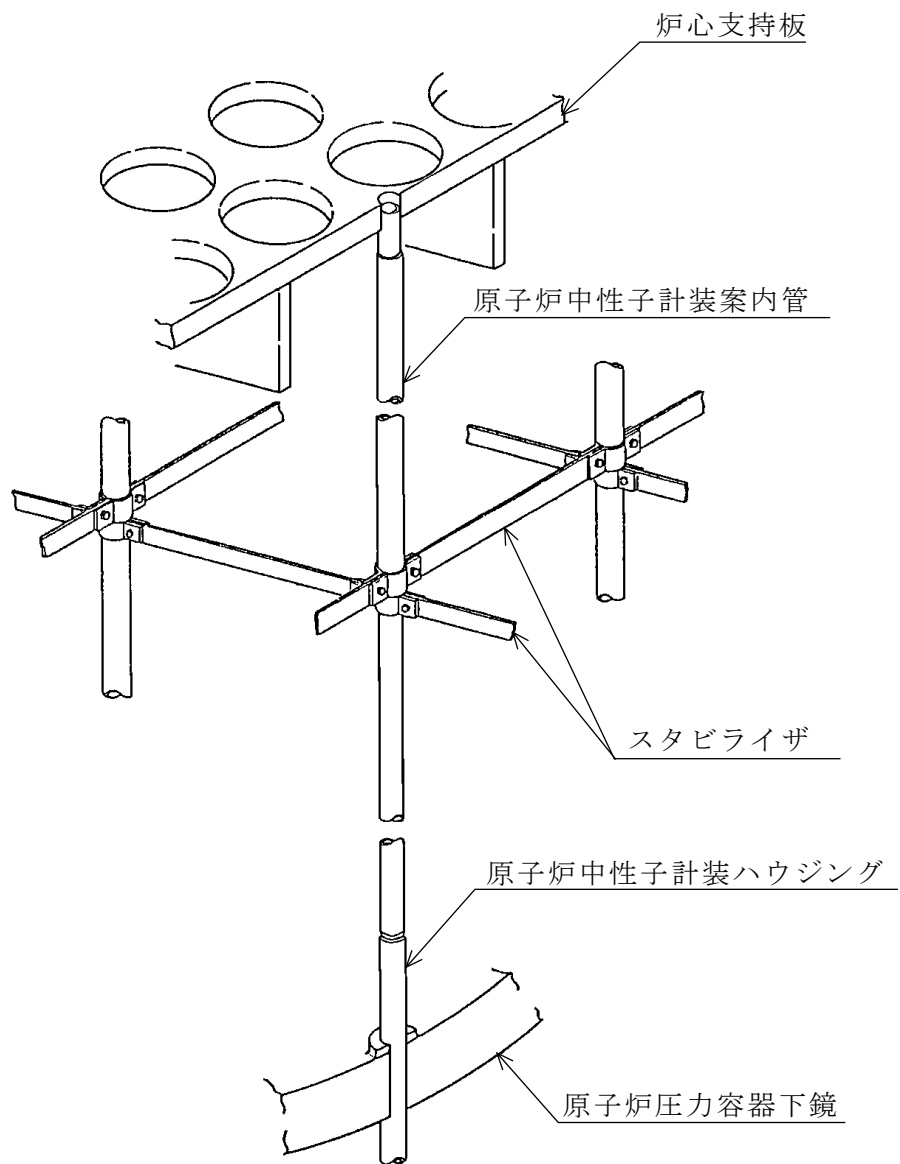


図 1-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点

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
原子炉中性子 計装案内管 SUS316LTP	Ⅲ A S	3	92*	P01-P02	107	139*	P01-P02
	Ⅳ A S	4	148*	P01-P02	158	222*	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」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 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 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「応力解析の方針」の 3.3 節に示す。

2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の 4.4 節に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 節に示す。

3. 外荷重の条件

3.1 計算方法

固有周期，死荷重及び地震荷重は，「3.2 解析モデル」に示す解析モデルにより求める。

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，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

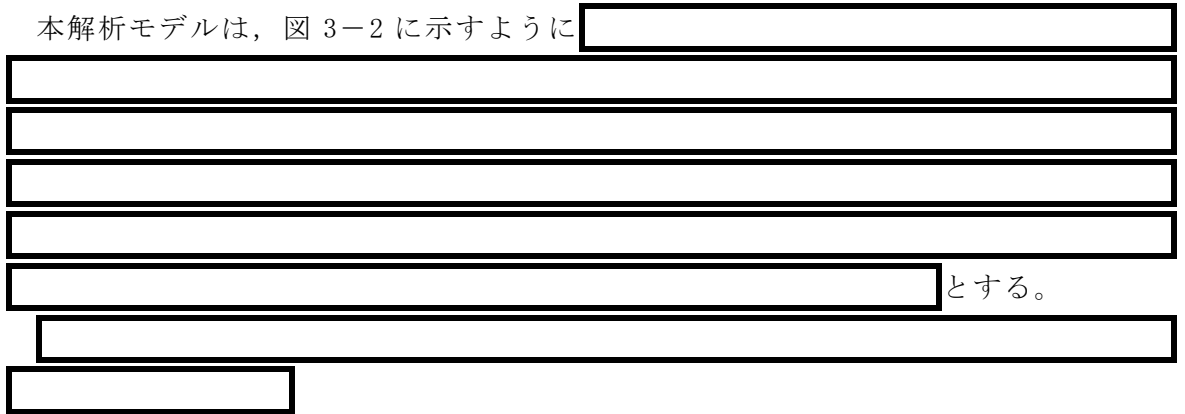
3.2 解析モデル

解析モデルは，既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)g.に定めるとおりである。

「応力解析の方針」の参照図書(1)g.に定める解析モデルを図3-1に示す。

また，各節点の質量及び部材定数を表3-1に，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3-2に示すように



3.3 固有値解析結果

固有周期を表3-4に，振動モード図を図3-3に示す。

また，鉛直方向の固有周期は0.05秒以下であり，剛構造であることを確認した。

なお，「3.2 解析モデル」に示すとおり，本解析モデルにおいて各グループは同一平面上に配置しているが，図3-3では各グループのモード図を並べて示す。

3.4 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表3-5に示す。

「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，VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また，減衰定数は，VI-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。

3.5 死荷重及び地震荷重

解析により求めた死荷重及び地震荷重を「応力解析の方針」の表4-1(10)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」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」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」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」の表 4-1(10)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」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

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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 5.2.2 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」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」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

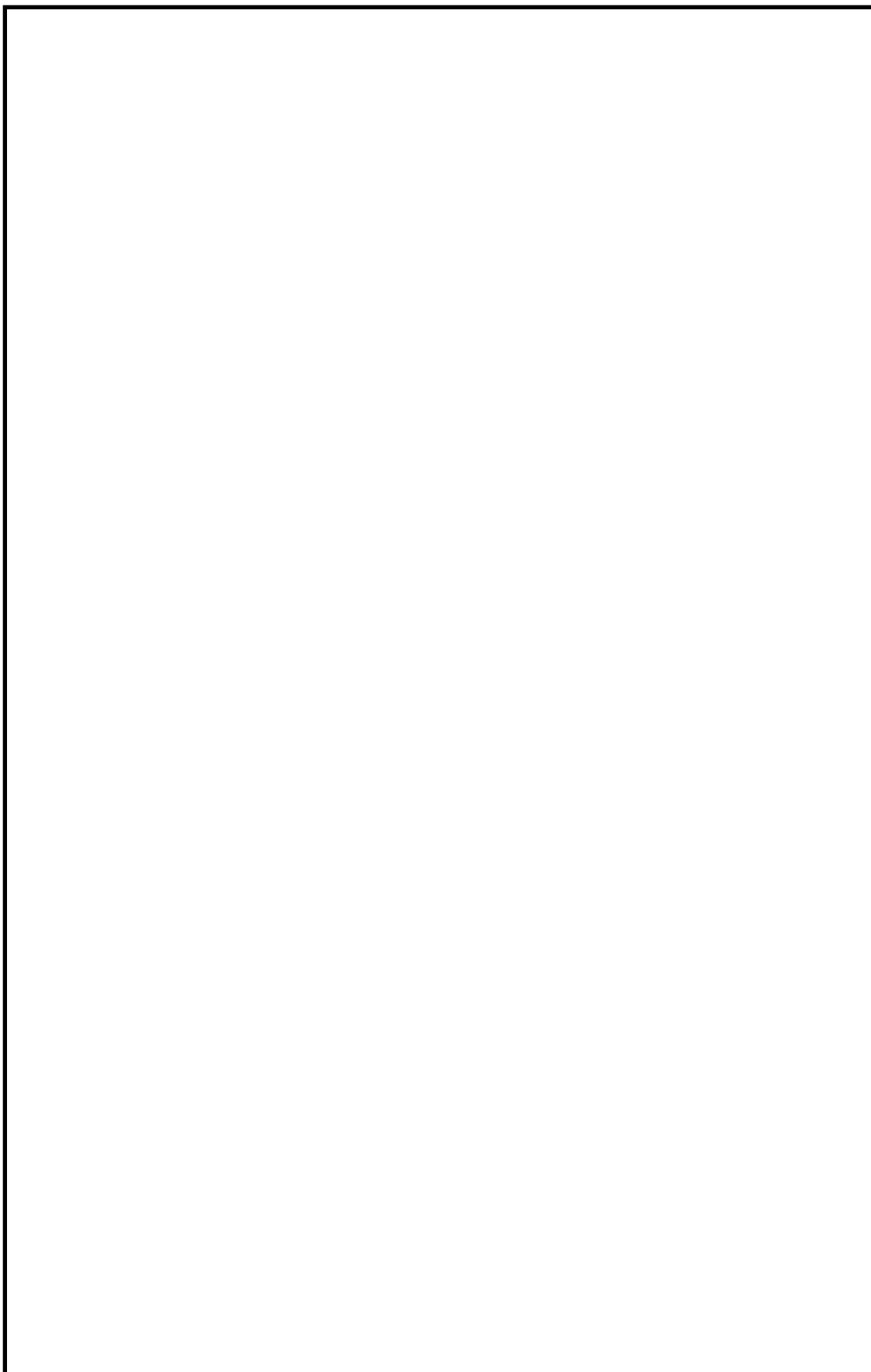


図 3-1 解析モデル

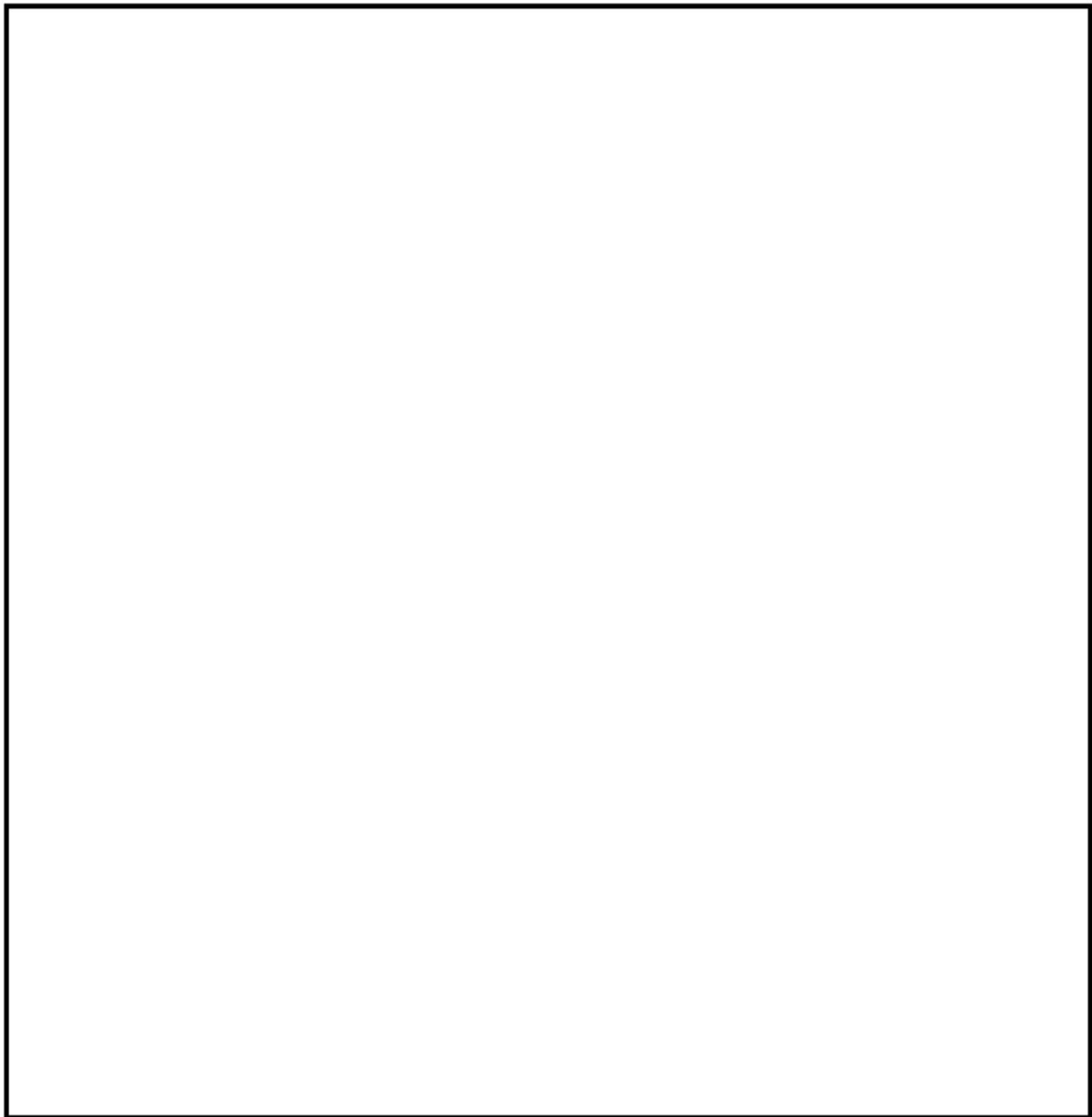


図 3-2 原子炉中性子計装案内管とスタビライザの配置及びグループ分割

表 3-1(1) 質量及び部材定数

節点 番号	EL (m)	質量 (kg)	部材長 (mm)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	有効せん断 断面積 (mm ²)	摘要
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						

S2 補 VI-2-3-3-11 R0

表 3-1(2) 質量及び部材定数

節点 番号	EL (m)	質量 (kg)	部材長 (mm)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	有効せん断 断面積 (mm ²)	摘要
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						

S2 補 VI-2-3-3-11 R0

表 3-1(3) 質量及び部材定数

節点 番号	EL (m)	質量 (kg)	部材長 (mm)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	有効せん断 断面積 (mm ²)	摘要
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						
42						
43						
44						
45						
46						
47						
48						

S2 補 VI-2-3-3-11 R0

表 3-2 並進ばね定数

(単位 : N/mm)

記号	X 方向	Z 方向
K_1		
K_2		
K_3		
K_4		
K_5		
K_6		
K_7		
K_8		
K_9		
K_{10}		

表 3-3 回転ばね定数

(単位 : N · mm/rad)

記号	X 方向	Z 方向
$K_{\theta 1}$		
$K_{\theta 2}$		
$K_{\theta 3}$		
$K_{\theta 4}$		
$K_{\theta 5}$		
$K_{\theta 6}$		
$K_{\theta 7}$		
$K_{\theta 8}$		
$K_{\theta 9}$		
$K_{\theta 10}$		

表 3-4 固有周期

モード*1	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*2		鉛直方向*2 刺激係数
			X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	水平				

注記*1：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。

*2：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

表 3-5 設計用地震力

据付場所及び 床面高さ(m)		炉心シュラウド (EL 21.571) 原子炉压力容器下鏡 (EL 18.250 ~ 16.508) *1					
固有周期(s)		水平： *2 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		水平：1.0 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*3	固有周期 (s)	応答水平震度*4		応答鉛直 震度*4	応答水平震度*5		応答鉛直 震度*5
		X方向	Z方向		X方向	Z方向	
1次		2.71	—	—	4.08	—	—
2次		—	4.24	—	—	6.29	—
3次		—	5.95	—	—	16.33	—
4次		4.48	—	—	9.57	—	—
5次		—	5.51	—	—	14.67	—
6次		2.55	—	—	7.75	—	—
7次		—	4.26	—	—	12.03	—
動的震度*6,7		0.98	0.97	0.65	2.58	2.36	1.83
静的震度*8		0.75	0.76	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：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお、0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトルⅠ（弾性設計用地震動 S d）により得られる震度

*5：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）により得られる震度

*6：設計用震度Ⅰ（弾性設計用地震動 S d）及び設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*7：最大応答加速度を1.2倍した震度

*8： $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

(単位 : Hz)

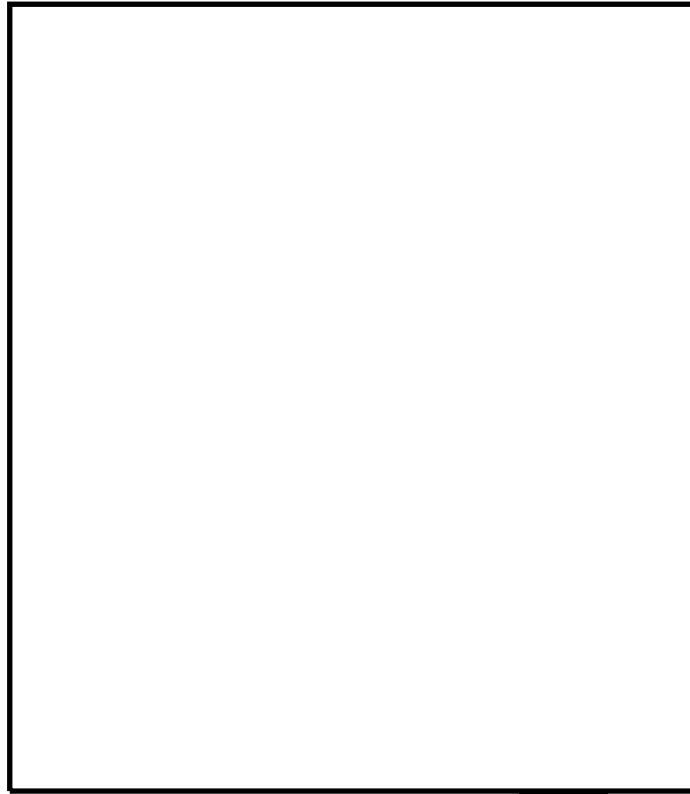


図 3-3(1) 振動モード図 (1次 s)

(単位 : Hz)

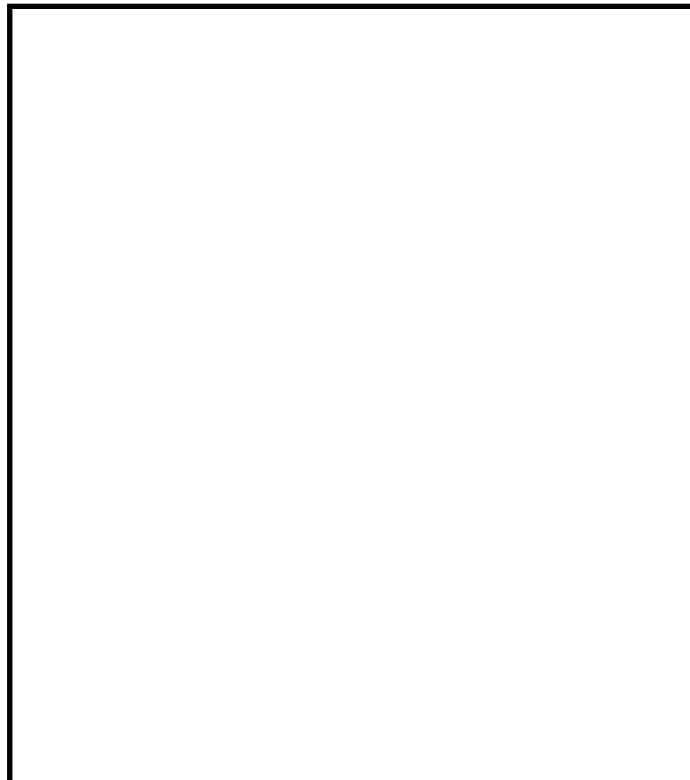


図 3-3(2) 振動モード図 (2次 s)

(単位 : Hz)

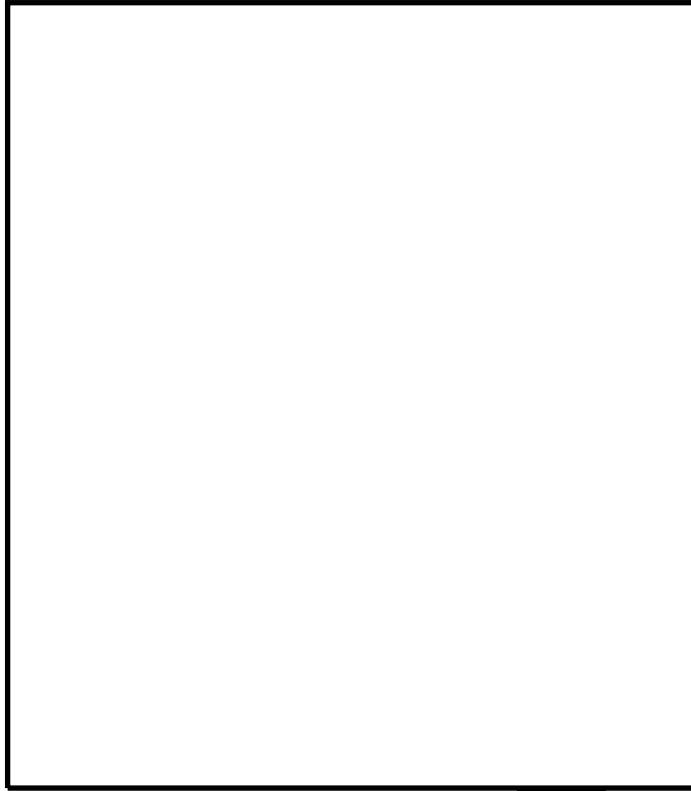


図 3-3(3) 振動モード図 (3次 s)

(単位 : Hz)

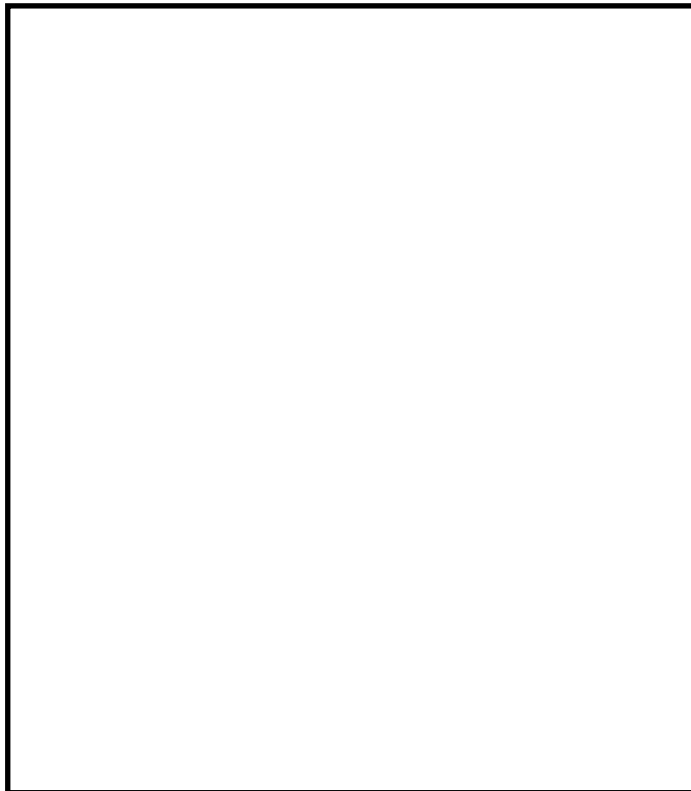


図 3-3(4) 振動モード図 (4次 s)

(単位 : Hz)

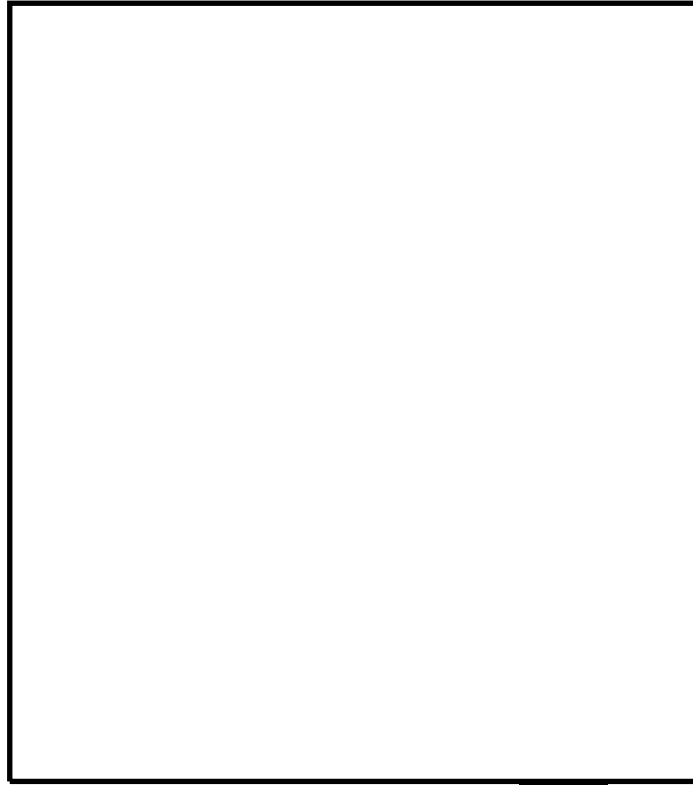


図 3-3(5) 振動モード図 (5次 s)

(単位 : Hz)

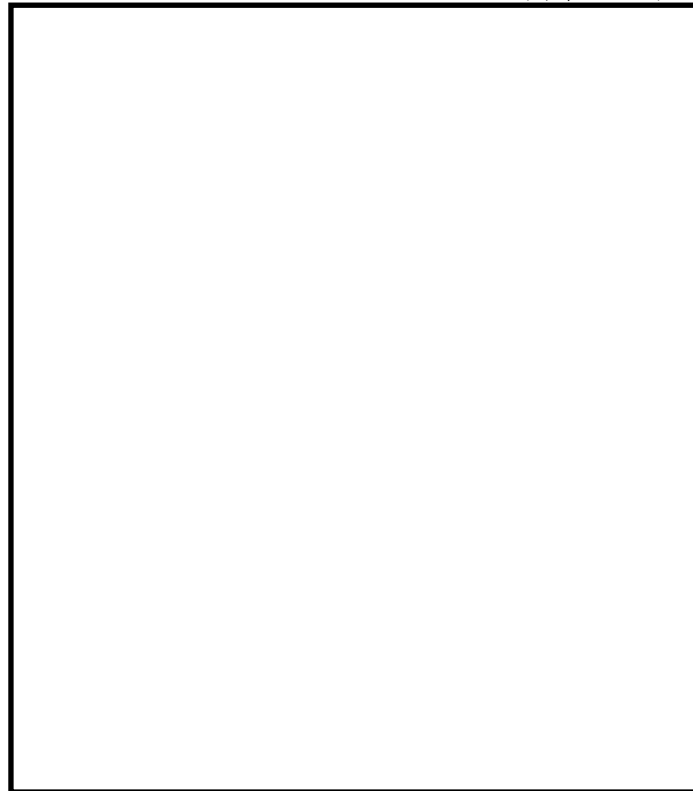


図 3-3(6) 振動モード図 (6次 s)

(単位 : Hz)

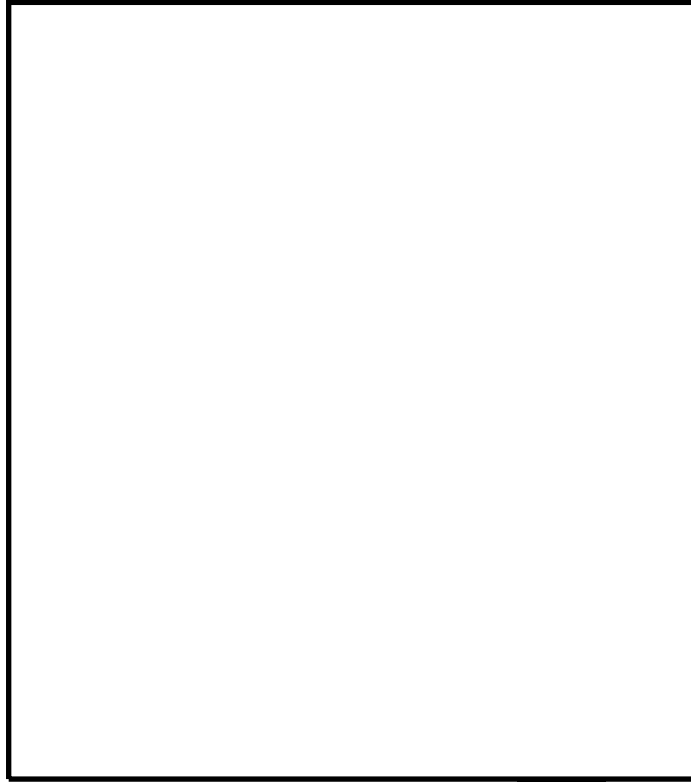


図 3-3(7) 振動モード図 (7 次 s)

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 A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	3	92*	4	148*
P01' P02'	3	92*	4	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 A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	107	139*	158	222*
P01' P02'	106	139*	158	222*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。