

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第6号機 設計及び工事計画審査資料	
資料番号	KK6添-2-034-4-1 改0
提出年月日	2023年11月29日

VI-2-3-3-2-1(1) 原子炉压力容器附属構造物の耐震計算結果

VI-2-3-3-2-1(1) 原子炉压力容器附属構造物の耐震計算結果

目 次 (全体目次)

1. 概要	1-1
2. 原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシングの応力計算	2-1

目 次

(原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング)

2. 原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシングの応力計算	2-1
2.1 一般事項	2-1
2.1.1 記号の説明	2-1
2.1.2 形状・寸法・材料	2-1
2.1.3 解析範囲	2-1
2.1.4 計算結果の概要	2-1
2.2 計算条件	2-4
2.2.1 設計条件	2-4
2.2.2 運転条件	2-4
2.2.3 材料	2-4
2.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	2-4
2.2.5 荷重の組合せ及び応力評価	2-4
2.2.6 許容応力	2-4
2.3 応力計算	2-4
2.3.1 応力評価点	2-4
2.3.2 内圧による応力	2-4
2.3.3 外荷重による応力	2-5
2.3.4 応力の評価	2-5
2.4 応力強さの評価	2-6
2.4.1 一次一般膜応力強さの評価	2-6
2.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	2-6
2.4.3 一次＋二次応力強さの評価	2-6
2.5 繰返し荷重の評価	2-7
2.5.1 疲労解析	2-7
2.6 特別な応力の評価	2-7
2.6.1 支圧応力に対する評価	2-7
2.6.2 座屈に対する評価	2-8

図 表 目 次

(原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング)

図2-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2-2
図2-2	応力計算のモデル	2-10
表2-1	計算結果の概要	2-3
表2-2	機器諸元	2-12
表2-3	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	2-13
表2-4	一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	2-14
表2-5	一次+二次応力強さの評価のまとめ	2-15
表2-6	疲労累積係数の評価のまとめ	2-16
表2-7	支圧応力及び座屈に対する評価に用いる荷重	2-17
表2-8	支圧応力に対する評価	2-17
表2-9	座屈に対する評価	2-17

1. 概要

本計算書は、原子炉压力容器附属構造物の応力計算書である。

なお、本計算書の機器は、VI-2-3-3-1-1「原子炉压力容器の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

本計算書は、原子炉压力容器附属構造物であって、設計基準対象施設に分類される下記の機器について、構造強度評価の結果を示すものである。

- ・原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング

注：本計算書においては、平成5年6月17日付け4資庁第14561号にて認可された工事計画の添付書類（「応力解析の方針」の参照図書(1)）を「既工認」という。

2. 原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシングの応力計算

2.1 一般事項

本章は、原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング（以下「ケーシング」という。）の応力計算について示すものである。

ケーシングは、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。

2.1.1 記号の説明

記号の説明を「応力解析の方針」の2.4節に示す。

さらに、本章において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A_n	応力評価面の断面積	mm^2
I_n	応力評価面の断面二次モーメント	mm^4
D_o	応力評価面の外径	mm
V_1	ストレッチチューブ支圧面に作用する鉛直力	N
R_{i1}	支圧荷重 V_1 が作用する面の内半径	mm
t_1	支圧荷重 V_1 が作用する面の幅	mm
A_1	支圧荷重 V_1 が作用する面積	mm^2
R_i	ケーシングの内半径	mm
t	ケーシングの板厚	mm
A	ケーシングの断面積	mm^2
Z	ケーシングの断面係数	mm^3
σ_{ca}	許容応力	MPa
F	ストレッチチューブからの反力	N

2.1.2 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所形状・寸法・材料を図2-1に示す。

2.1.3 解析範囲

解析範囲を図2-1に示す。

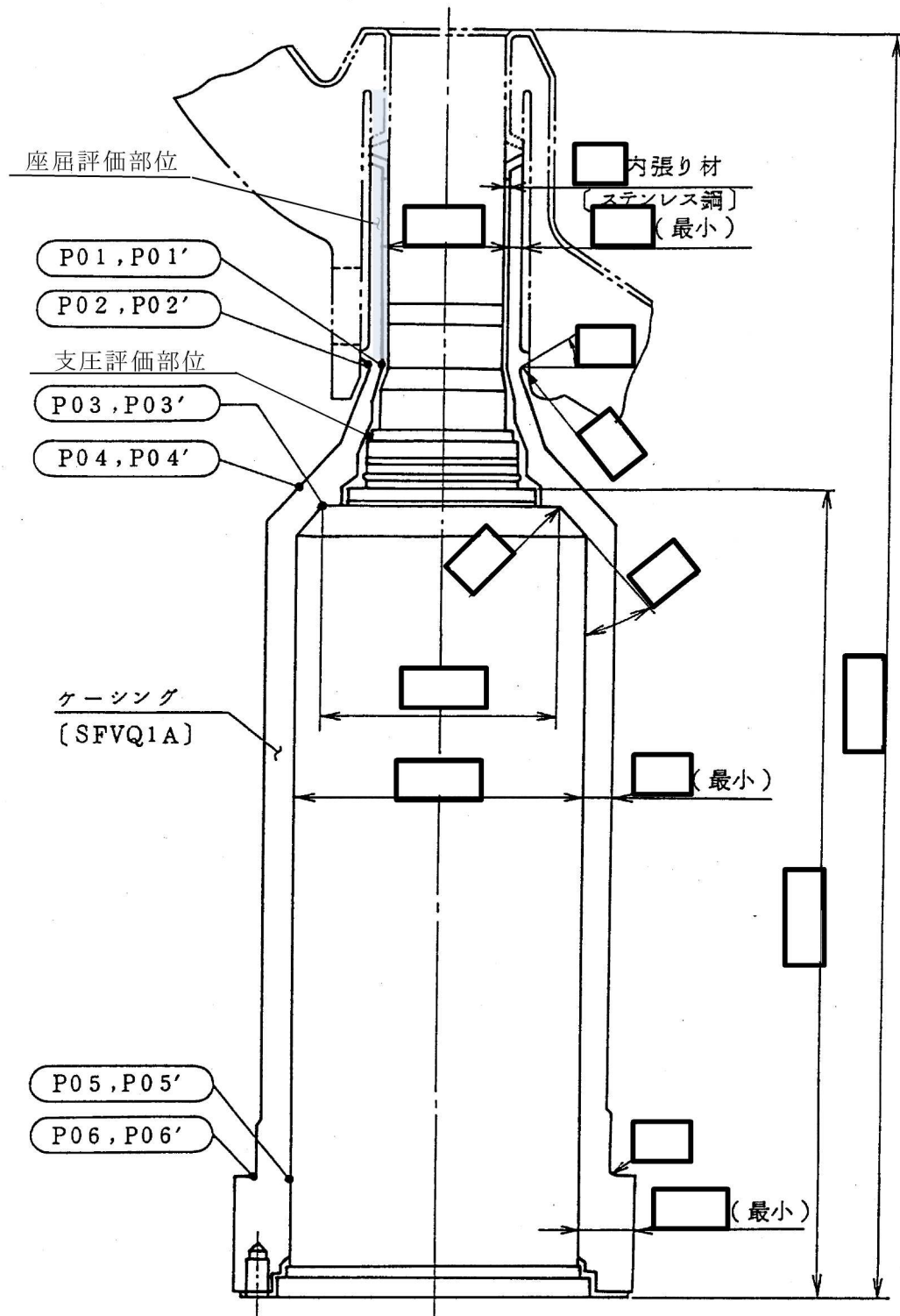
2.1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表2-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部に着目し、各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、疲労累積係数が厳しくなる評価点を記載する。

○ : 応力評価点

[] : 材 料



K6 ① VI-2-3-3-2-1(1) R0

図2-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 2-1(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)			一次膜＋一次曲げ応力強さ (MPa)			一次＋二次応力強さ (MPa)			疲労解析		
		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	応力強さ	許容応力	応力評価点	疲労* 累積係数	許容値	応力評価点
ケーシング SFVQ1A	Ⅲ A S	54	303	P05-P06	134	418	P01-P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ A S	54	320	P05-P06	194	442	P01-P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ A S	—	—	—	—	—	—	247	552	P02	0.435	1.0	P03
	Ⅳ A S	—	—	—	—	—	—	413	552	P02			

注記*：疲労累積係数は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

表 2-1(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	支圧応力に対する評価		座屈に対する評価	
		支圧応力	許容応力	圧縮応力	許容応力
ケーシング SFVQ1A	Ⅲ A S	64	303	123	165
	Ⅳ A S	70	481	183	207

2.2 計算条件

2.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

2.2.2 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。

2.2.3 材料

各部の材料を図2-1に示す。

2.2.4 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」の3.4節に示す。

2.2.5 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」の4.3節に示す。

2.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5節に示す。

2.3 応力計算

2.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図2-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)u.に定めるとおりである。

2.3.2 内圧による応力

(1) 荷重条件 (L01)

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

(2) 計算方法

内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)u.に定めるとおりである。

2.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L07, L11, L12, L14及びL16)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(8)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による応力の計算は，二次元軸対称の有限要素でモデル化し，「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「STAX」及び「ASHSD2」により行う。

解析においては原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔に溶接されるため，原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔及び下部鏡板の一部を含めてモデル化している。拘束条件は，下部鏡板端部の変位を拘束した条件とする。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図2-2に示す。また，地震による評価に用いる機器の諸元について表2-2に示す。

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力は，外荷重と各応力評価断面の断面形状により次式で求める。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma t = \frac{V}{A_n}$$

$$\tau t = \frac{H}{A_n}$$

b. 一次膜＋一次曲げ応力

$$\sigma t = \frac{V}{A_n} + \frac{M}{I_n} \cdot \frac{D_o}{2}$$

$$\tau t = \frac{H}{A_n}$$

c. 一次＋二次応力及び一次＋二次＋ピーク応力の水平力によるせん断応力

$$\tau t = \frac{H}{A_n}$$

2.3.4 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」の5.2.2項に定めるとおりである。

2.4 応力強さの評価

2.4.1 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2-3に示す。

表2-3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節に示す許容応力を満足する。

2.4.2 一次膜+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2-4に示す。

表2-4より、各許容応力状態の一次膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

2.4.3 一次+二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表2-5に示す。

表2-5より、すべての評価点において $S_n^{\#1}$ 及び $S_n^{\#2}$ は、 $3 \cdot S_m$ 以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

2.5 繰返し荷重の評価

2.5.1 疲労解析

ケーシングの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

各応力評価点における疲労累積係数を表2-6に示す。

表2-6より、各応力評価点において疲労累積係数は1.0以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容値を満足する。

2.6 特別な応力の評価

2.6.1 支圧応力に対する評価

ケーシングに作用する支圧荷重として、ストレッチチューブ支圧面に作用する鉛直力 (V_1) がある。したがって、この支圧荷重により発生する支圧応力の評価を行う。

なお、支圧荷重は母材に直接作用するものとして計算する。

(1) 計算データ

支圧荷重 V_1 が作用する面の内半径 $R_{i1} =$ mm

支圧荷重 V_1 が作用する面の幅 $t_1 =$ mm

支圧荷重 V_1 が作用する面積

$$A_1 = \pi \cdot \{(R_{i1} + t_1)^2 - R_{i1}^2\} = \pi \times \text{}$$

$$= \text{} \text{ mm}^2$$

(2) 荷重

ケーシングに作用する鉛直力を「応力解析の方針」の表4-1(8)に示す。

(3) 支圧応力

計算データ（断面性状）を基に、表2-7に示す各許容応力状態での鉛直力により生じる支圧応力を表2-8に示す。

(4) 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5節に示す。

(5) 支圧応力に対する評価

各許容応力状態における支圧応力に対する評価を表2-8に示す。

表2-8より、各許容応力状態における支圧応力は、許容応力を満足する。

2.6.2 座屈に対する評価

ケーシングには、作用する鉛直力及びモーメントにより、圧縮応力が生じる。したがって、これらの荷重の組合せにより発生する圧縮応力の評価を行う。

(1) 計算データ

ケーシングの内半径 $R_i = \boxed{}$ mm

ケーシングの板厚 $t = \boxed{}$ mm (くされ代を除いた値)

ケーシングの断面積

$$A = \pi \cdot \{(R_i + t)^2 - R_i^2\} = \pi \times \boxed{} \boxed{} \text{ mm}^2$$

ケーシングの断面係数

$$Z = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{(R_i + t)^4 - R_i^4}{R_i + t} = \frac{\pi}{4} \times \frac{\boxed{}}{\boxed{}} \\ = \boxed{} \text{ mm}^3$$

(2) 荷重

ケーシングに作用する鉛直力及びモーメントを「応力解析の方針」の表4-1(8)に示す。

(3) 圧縮応力

計算データ（断面性状）を基に、表2-7に示す各許容応力状態の荷重によってケーシングに発生する圧縮応力を表2-9に示す。

(4) 許容応力

各許容応力状態における許容応力の計算は、設計・建設規格 PVB-3117を準用して計算する。

a. 許容応力状態ⅢAS

許容応力状態ⅢASにおける許容応力 σ_{ca} は、次のように得られる。

$$\sigma_{ca} = 1.2 \text{MIN}[S_m, B]$$

ここで、

$$S_m = 184 \text{ MPa}$$

$$B = 138 \text{ MPa}$$

$\boxed{}$ °C における値)

このうちB値は、設計・建設規格 PVB-3117より、次のようにして求める。

設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1より

$$A = \frac{0.125}{R_i / t} = \frac{0.125}{\boxed{}} = 0.0248047$$

を用いて，設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図6より

$$B = 138 \text{ MPa}$$

よって，許容応力 σ_{ca} は，

$$\sigma_{ca} = 1.2 \cdot B = 1.2 \times 138 = 165 \text{ MPa}$$

b. 許容応力状態IVAS

許容応力状態IVASにおける許容応力 σ_{ca} は，次のように得られる。

$$\sigma_{ca} = 1.5 \text{MIN}[S_m, B]$$

よって，許容応力 σ_{ca} は，

$$\sigma_{ca} = 1.5 \cdot B = 1.5 \times 138 = 207 \text{ MPa}$$

(5) 座屈に対する評価

各許容応力状態における座屈に対する評価を表2-9に示す。

表2-9より，各許容応力状態における圧縮応力は，許容応力を満足するため，座屈は発生しない。

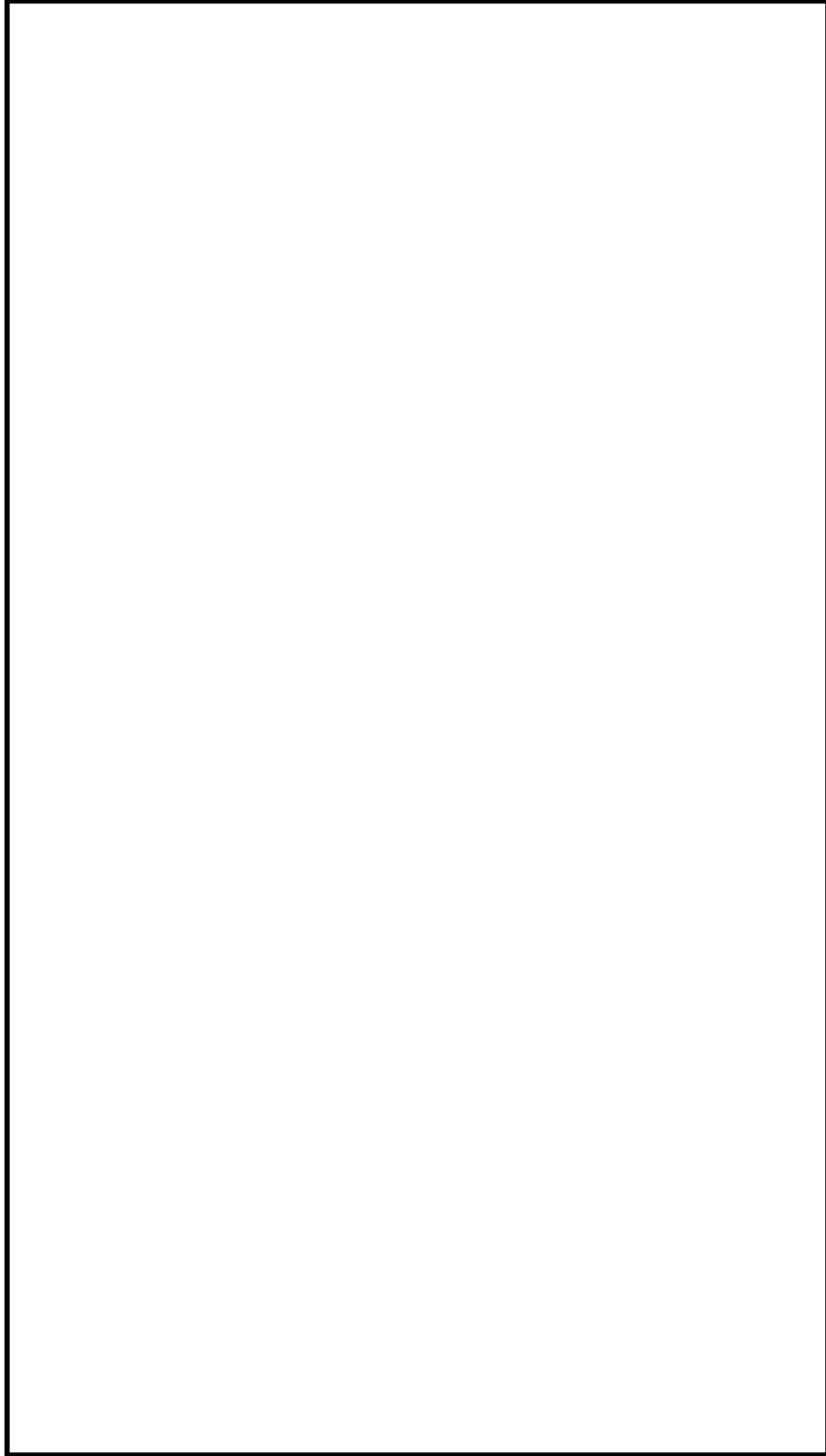


図 2-2 (1) 応力計算のモデル

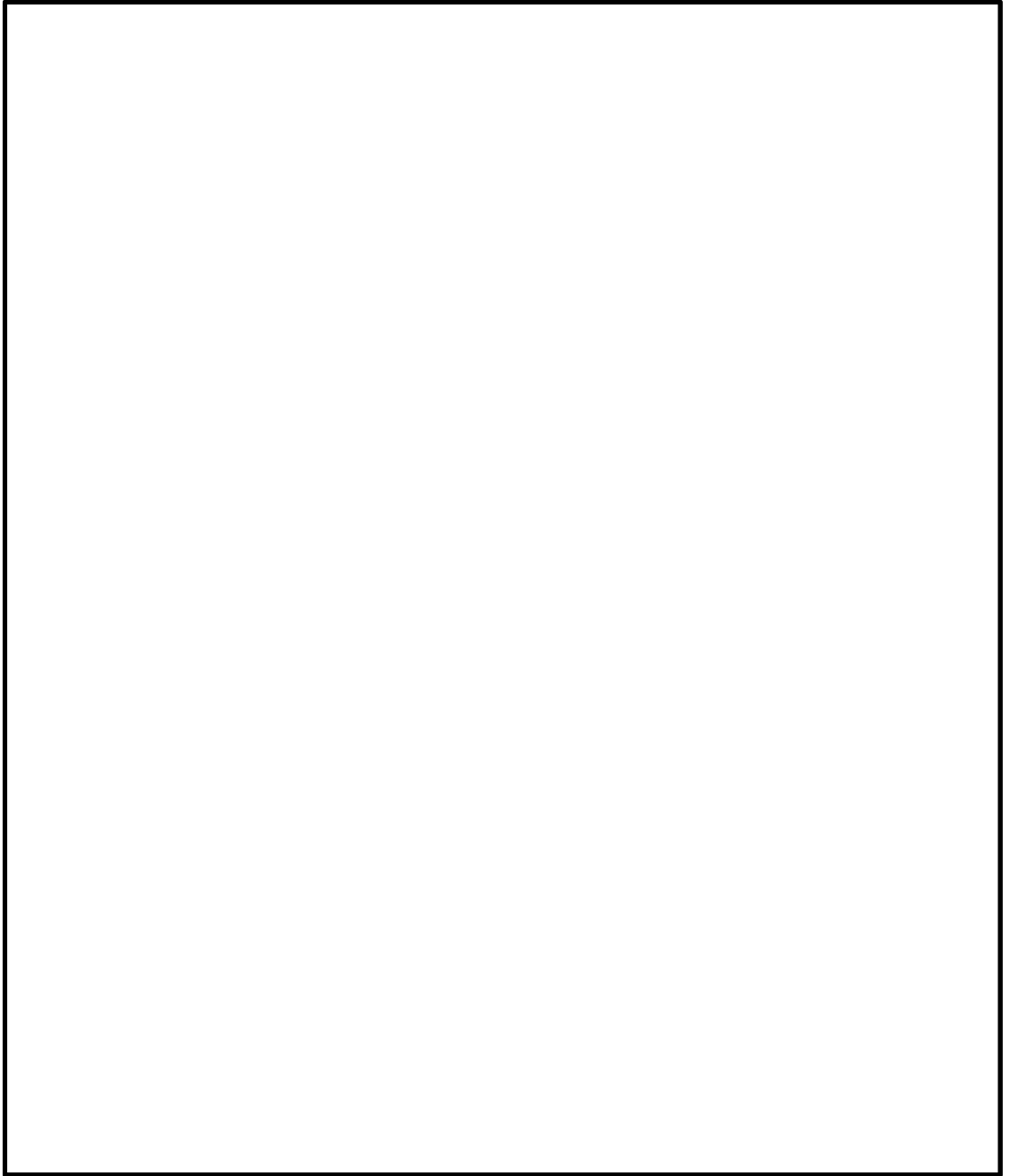


図 2-2 (2) 応力計算のモデル

表 2-2 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質		—	—	SFVQ1A
温度条件		T	℃	302
縦弾性係数	SFVQ1A	E	MPa	
ポアソン比		ν	—	
要素数		—	—	
節点数		—	—	

表2-3 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	51	303	53	320
P01' P02'	51	303	52	320
P05 P06	54	303	54	320
P05' P06'	54	303	54	320

表2-4 一次膜+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 _{AS}		許容応力状態Ⅳ _{AS}	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	134	418	194	442
P01' P02'	132	418	192	442
P03 P04	67	421	67	445
P03' P04'	67	421	67	445
P05 P06	71	415	71	439
P05' P06'	72	415	73	439

表2-5 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位 : MPa)

応力評価点	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容応力 $3 \cdot S_m$
P01	88	147	552
P01'	88	147	552
P02	247	413	552
P02'	247	413	552
P03	34	58	552
P03'	34	58	552
P04	24	39	552
P04'	24	39	552
P05	7	12	552
P05'	7	12	552
P06	17	29	552
P06'	17	29	552

表2-6 疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数				許容値
	U_n	$U_{s d}$	$U_{s s}$	U_f^*	
P01	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P01'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P02	0.000	0.011	0.056	0.056	1.0
P02'	0.000	0.011	0.056	0.056	1.0
P03	0.435	0.000	0.000	0.435	1.0
P03'	0.435	0.000	0.000	0.435	1.0
P04	0.012	0.000	0.000	0.012	1.0
P04'	0.012	0.000	0.000	0.012	1.0
P05	0.204	0.000	0.000	0.204	1.0
P05'	0.204	0.000	0.000	0.204	1.0
P06	0.225	0.000	0.000	0.225	1.0
P06'	0.226	0.000	0.000	0.226	1.0

注記*：疲労累積係数 U_f は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

表2-7 支圧応力及び座屈に対する評価に用いる荷重

許容応力状態	支圧	座屈	
	鉛直力*1 V ₁ (kN)	鉛直力*2 V (kN)	モーメント M (kN・m)
Ⅲ _A S			
Ⅳ _A S			

注記*1 : V₁はストレッチチューブ支圧面に作用する鉛直力を示す。

*2 : Vはケーシングに作用する鉛直力を示す。

ストレッチチューブからの反力Fを考慮した値。

表2-8 支圧応力に対する評価

(単位 : MPa)

許容応力状態	支圧応力	許容応力
Ⅲ _A S	64	303
Ⅳ _A S	70	481

表2-9 座屈に対する評価

(単位 : MPa)

許容応力状態	圧縮応力	許容応力
Ⅲ _A S	123	165
Ⅳ _A S	183	207