

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-723 改 4
提出年月日	平成 30 年 9 月 12 日

V-2-3-4-1-2 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書（その 1）



## 目次

1. 下部鏡板の耐震性についての計算	2
1.1 一般事項	2
1.1.1 形状・寸法・材料	2
1.1.2 考慮する荷重	2
1.1.3 計算結果の概要	2
1.2 計算条件	5
1.2.1 解析範囲	5
1.2.2 運転条件	5
1.2.3 材料	5
1.2.4 物性値及び許容限界	5
1.3 応力計算	5
1.3.1 応力評価点	5
1.3.2 外荷重による応力	5
1.3.2.1 荷重条件 (L12, L13, L18, L19, L14及びL16)	5
1.4 応力強さの評価	5
1.4.1 一次一般膜応力強さの評価	5
1.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	6
1.4.3 一次＋二次応力強さの評価	6
1.5 繰返し荷重の評価	6
1.5.1 疲労解析	6
1.5.1.1 疲労累積係数	6
2. 給水ノズル (N4) の耐震性についての計算	15
2.1 一般事項	15
2.1.1 形状・寸法・材料	15
2.1.2 考慮する荷重	15
2.1.3 計算結果の概要	15
2.2 計算条件	18
2.2.1 解析範囲	18
2.2.2 運転条件	18
2.2.3 材料	18



2.2.4 物性値及び許容限界	18
2.3 応力計算	18
2.3.1 応力評価点	18
2.3.2 外荷重による応力	18
2.3.2.1 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)	18
2.4 応力強さの評価	18
2.4.1 一次一般膜応力強さの評価	18
2.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	18
2.4.3 一次＋二次応力強さの評価	19
2.5 繰返し荷重の評価	19
2.5.1 疲労解析	19
2.5.1.1 疲労累積係数	19
3. スカートの耐震性についての計算	27
3.1 一般事項	27
3.1.1 形状・寸法・材料	27
3.1.2 考慮する荷重	27
3.1.3 計算結果の概要	27
3.2 計算条件	30
3.2.1 解析範囲	30
3.2.2 運転条件	30
3.2.3 材料	30
3.2.4 物性値及び許容限界	30
3.3 応力計算	30
3.3.1 応力評価点	30
3.3.2 外荷重による応力	30
3.3.2.1 荷重条件 (L12, L13, L18, L19, L14及びL16)	30
3.4 応力強さの評価	30
3.4.1 一次一般膜応力強さの評価	30
3.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	30
3.4.3 一次＋二次応力強さの評価	31



3.5 繰返し荷重の評価 .....	31
3.5.1 疲労解析 .....	31
3.5.1.1 疲労累積係数 .....	31
3.6 特別な評価 .....	31
3.6.1 座屈に対する評価 .....	31
3.6.1.1 計算データ .....	31
3.6.1.2 座屈に対する評価 .....	32



## 図表目次

図1-1	形状・寸法・材料・応力評価点（下部鏡板）	3
図2-1	形状・寸法・材料・応力評価点（給水ノズル（N4））	16
図3-1	形状・寸法・材料・応力評価点（スカート）	28
表1-1	下部鏡板の計算結果の概要	4
表1-2	下部鏡板の一次一般膜応力強さの評価のまとめ	7
表1-3	下部鏡板の一次膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	8
表1-4	下部鏡板の一次＋二次応力強さの評価のまとめ	9
表1-5	下部鏡板の疲労累積係数	11
表1-6	下部鏡板の疲労累積係数の評価のまとめ	13
表2-1	給水ノズル（N4）の計算結果の概要	17
表2-2	給水ノズル（N4）の一次一般膜応力強さの評価のまとめ	20
表2-3	給水ノズル（N4）の一次膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	21
表2-4	給水ノズル（N4）の一次＋二次応力強さの評価のまとめ	22
表2-5	給水ノズル（N4）の疲労累積係数	24
表2-6	給水ノズル（N4）の疲労累積係数の評価のまとめ	26
表3-1	スカートの計算結果の概要	29
表3-2	スカートの一次膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	34
表3-3	スカートの一次＋二次応力強さの評価のまとめ	35
表3-4	スカートの疲労累積係数	36
表3-5	スカートの疲労累積係数の評価のまとめ	37
表3-6	スカートの座屈に対する評価に用いる荷重	38
表3-7	スカートの座屈に対する評価	38



本計算書は，原子炉圧力容器（下部鏡板，給水ノズル（N4）及びスカート）の耐震性についての計算書である。



## 1. 下部鏡板の耐震性についての計算

### 1.1 一般事項

本章は、原子炉压力容器下部鏡板の耐震性についての計算である。

#### 1.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所形状・寸法・材料を図1-1に示す。

#### 1.1.2 考慮する荷重

考慮した各荷重を「V-2-3-4-1-1 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。）の4章に示す。

#### 1.1.3 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、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、各部分を代表する評価点として記載している。



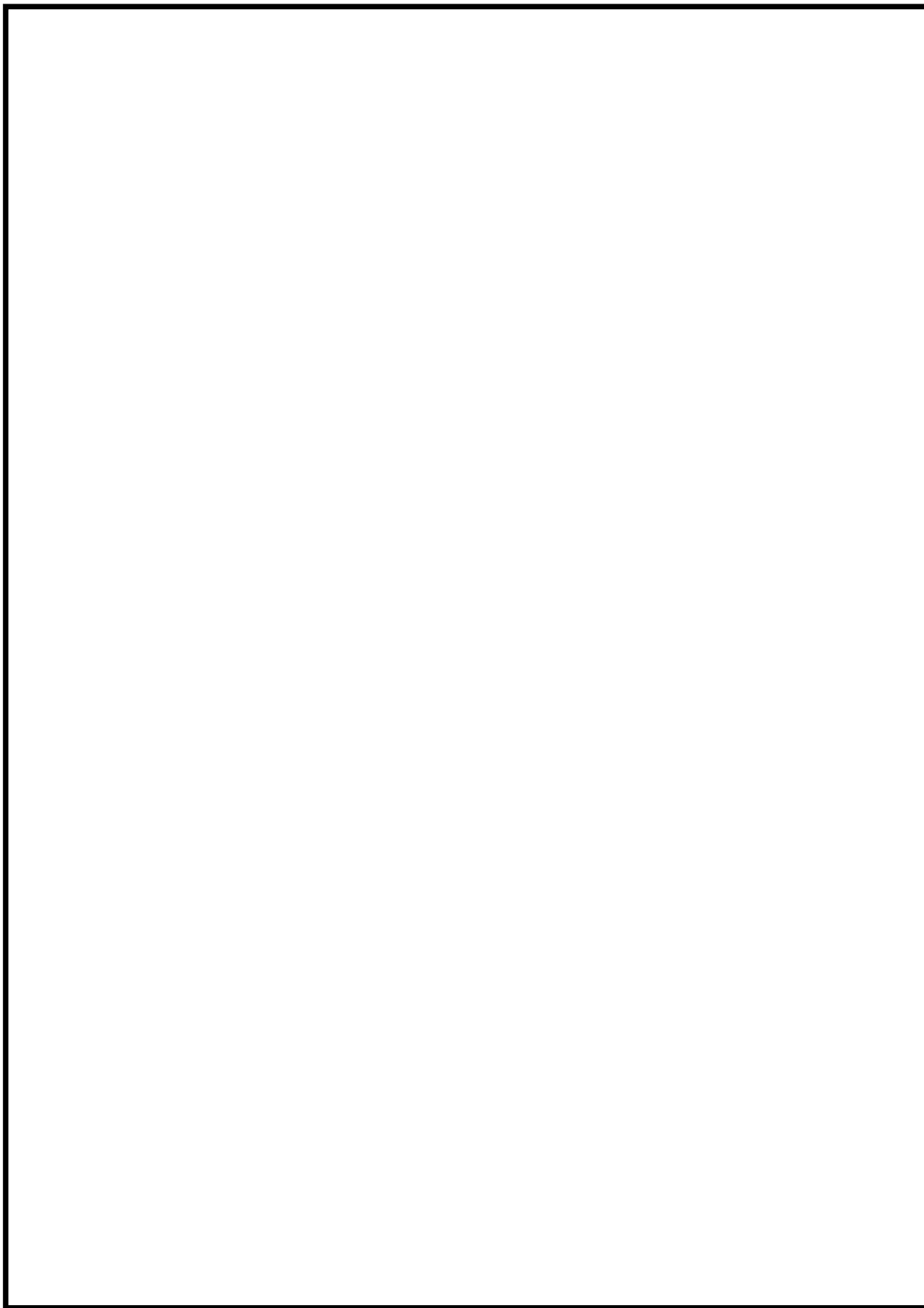


図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点（下部鏡板）（単位：mm）



表1-1 下部鏡板の計算結果の概要

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	許容値	応力評価面	応力 強さ	許容値	応力評価面	応力 強さ	許容値	応力 評価点	疲労 累積係数	許容値	応力 評価点
下部鏡板 SQV2A SQV2A相当	Ⅲ <sub>A</sub> S	172	302	P01 - P02	202	454	P01 - P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ <sub>A</sub> S	172	326	P01 - P02	212	490	P01 - P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ <sub>A</sub> S	—	—	—	—	—	—	27	552	P01	0.0034	1	P04
	Ⅳ <sub>A</sub> S	—	—	—	—	—	—	49	552	P01			
下部鏡板と 胴板の接合部 SQV2A	Ⅲ <sub>A</sub> S	—	—	—	92	454	P11' - P12'	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ <sub>A</sub> S	—	—	—	93	490	P11' - P12'	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ <sub>A</sub> S	—	—	—	—	—	—	19	552	P11	0.0442	1	P11
	Ⅳ <sub>A</sub> S	—	—	—	—	—	—	32	552	P11			
下部鏡板と スカート の接合部 SQV2A	Ⅲ <sub>A</sub> S	—	—	—	90	454	P15 - P16	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ <sub>A</sub> S	—	—	—	94	490	P17 - P18	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ <sub>A</sub> S	—	—	—	—	—	—	66	552	P20	0.6849	1	P19
	Ⅳ <sub>A</sub> S	—	—	—	—	—	—	116	552	P20			

注：疲労累積係数は、供用状態 A 及び B に許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub> S 又は許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub> S のいずれか大きい方を加えた値である。



## 1.2 計算条件

### 1.2.1 解析範囲

解析範囲を図1-1に示す。

### 1.2.2 運転条件

考慮した運転条件とその回数を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

### 1.2.3 材料

各部の材料を図1-1に示す。

### 1.2.4 物性値及び許容限界

物性値及び許容限界は、「応力解析の方針」の3.3節及び3.5節による。

## 1.3 応力計算

### 1.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図1-1に示す。

### 1.3.2 外荷重による応力

#### 1.3.2.1 荷重条件 (L12, L13, L18, L19, L14及びL16)

下部鏡板に作用する外荷重を「応力解析の方針」の4.4節に示す。

## 1.4 応力強さの評価

応力強さの評価は、下部鏡板について行う。

### 1.4.1 一次一般膜応力強さの評価

応力評価面P01-P02及びP01'-P02'について、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S及び許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sにおける評価をまとめて、表1-2に示す。

なお、その他の応力評価面は、一次一般膜応力に分類される応力は存在しない。

表1-2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節に示す許容限界を満足する。



#### 1.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価

許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S 及び許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>S における評価をまとめて、表1-3に示す。

表1-3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節に示す許容限界を満足する。

#### 1.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価をまとめて、表1-4に示す。

表1-4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節に示す許容限界を満足する。

### 1.5 繰返し荷重の評価

#### 1.5.1 疲労解析

下部鏡板の応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

##### 1.5.1.1 疲労累積係数

それぞれの部分で最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表1-5に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数をまとめて、表1-6に示す。

表1-6より、各応力評価点において疲労累積係数は1以下であり、「応力解析の方針」の5.4節の許容限界を満足する。



表1-2 下部鏡板の一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

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	172	302	172	326
P01' P02'	172	302	172	326



表1-3 下部鏡板の一次膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

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	202	454	212	490
P01' P02'	178	454	168	490
P03 P04	193	454	203	490
P03' P04'	171	454	162	490
P05 P06	97	454	101	490
P05' P06'	91	454	89	490
P07 P08	94	454	99	490
P07' P08'	90	454	89	490
P09 P10	90	454	94	490
P09' P10'	80	454	79	490
P11 P12	90	454	91	490
P11' P12'	92	454	93	490
P13 P14	86	454	86	490
P13' P14'	90	454	92	490
P15 P16	90	454	91	490
P15' P16'	89	454	88	490
P17 P18	90	454	94	490
P17' P18'	78	454	75	490
P19 P20	48	454	60	490
P19' P20'	60	454	69	490
P21 P22	45	454	53	490
P21' P22'	62	454	72	490



表1-4(1) 下部鏡板の一次＋二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

分 類	一次＋二次応力差最大範囲 ( $P_L + P_b + Q$ )		
評価点	*1 $S_n^{\#1}$	*2 $S_n^{\#2}$	許容値 $3 \cdot S_m$
P01	27	49	552
P01'	27	49	552
P02	22	40	552
P02'	22	40	552
P03	19	35	552
P03'	19	35	552
P04	26	48	552
P04'	26	48	552
P05	14	25	552
P05'	14	25	552
P06	8	15	552
P06'	8	15	552
P07	12	22	552
P07'	12	22	552
P08	9	16	552
P08'	9	16	552
P09	12	22	552
P09'	12	22	552
P10	8	14	552
P10'	8	14	552
P11	19	32	552
P11'	19	32	552
P12	16	28	552
P12'	16	28	552
P13	17	29	552
P13'	17	29	552
P14	16	28	552
P14'	16	28	552
P15	19	34	552
P15'	19	34	552
P16	27	47	552
P16'	27	47	552

注記 \*1:  $S_n^{\#1}$  は許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub> Sによる一次＋二次応力差の最大範囲を示す。\*2:  $S_n^{\#2}$  は許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub> Sによる一次＋二次応力差の最大範囲を示す。



表1-4(1) 下部鏡板の一次＋二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

分 類	一次＋二次応力差最大範囲 ( $P_L + P_b + Q$ )		
評価点	*1 $S_n^{\#1}$	*2 $S_n^{\#2}$	許容値 $3 \cdot S_m$
P17	10	17	552
P17'	10	17	552
P18	31	52	552
P18'	31	52	552
P19	40	70	552
P19'	40	70	552
P20	66	116	552
P20'	66	116	552
P21	37	65	552
P21'	37	65	552
P22	61	107	552
P22'	61	107	552

注記 \*1： $S_n^{\#1}$ は許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub> Sによる一次＋二次応力差の最大範囲を示す。

\*2： $S_n^{\#2}$ は許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub> Sによる一次＋二次応力差の最大範囲を示す。



表1-5(1) 下部鏡板の疲労累積係数

応力評価点 — P04

材 料 — SQV2A

No.	$S_n$ (MPa)	$K_e$	$S_p$ (MPa)	*1 $S_\ell$ (MPa)	*2 $S_\ell'$ (MPa)	$N_a$	$N_c$	$N_c / N_a$
1	47							0.0002
疲労累積係数 $U_{ss} =$								0.0002
疲労累積係数 $U_n =$								0.0032
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{ss} =$								0.0034

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.4.1項（疲労解析）に示す。

注記 \*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

\*2： $S_\ell$ に $(E_0/E)$ を乗じた値である。

$$E_0 = 2.07 \times 10^5 \text{ MPa}, E = 1.84 \times 10^5 \text{ MPa}$$

表1-5(2) 下部鏡板の疲労累積係数

応力評価点 — P11

材 料 — SQV2A

No.	$S_n$ (MPa)	$K_e$	$S_p$ (MPa)	*1 $S_\ell$ (MPa)	*2 $S_\ell'$ (MPa)	$N_a$	$N_c$	$N_c / N_a$
1	29							0.0002
疲労累積係数 $U_{ss} =$								0.0002
疲労累積係数 $U_n =$								0.0441
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{ss} =$								0.0442

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.4.1項（疲労解析）に示す。

注記 \*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

\*2： $S_\ell$ に $(E_0/E)$ を乗じた値である。

$$E_0 = 2.07 \times 10^5 \text{ MPa}, E = 1.84 \times 10^5 \text{ MPa}$$



表1-5(2) 下部鏡板の疲労累積係数

応力評価点 — P19  
材 料 — SQV2A

No.	$S_n$ (MPa)	$K_e$	$S_p$ (MPa)	*1 $S_\ell$ (MPa)	*2 $S_{\ell'}$ (MPa)	$N_a$	$N_c$	$N_c / N_a$
1	30							0.0002
疲労累積係数 $U_{ss} =$								0.0002
疲労累積係数 $U_n =$								0.6847
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{ss} =$								0.6849

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.4.1項（疲労解析）に示す。

注記 \*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

\*2： $S_\ell$ に $(E_0 / E)$ を乗じた値である。

$$E_0 = 2.07 \times 10^5 \text{ MPa}, \quad E = 1.84 \times 10^5 \text{ MPa}$$



表1-6(1) 下部鏡板の疲労累積係数の評価のまとめ

分類	疲労累積係数				
評価点	$U_n$	$U_{S_d}$	$U_{S_s}$	$U_f$	許容値
P01	0.0021	0.0002	0.0002	0.0023	1
P01'	0.0021	0.0002	0.0002	0.0023	1
P02	0.0010	0.0002	0.0002	0.0012	1
P02'	0.0010	0.0002	0.0002	0.0012	1
P03	0.0018	0.0002	0.0002	0.0020	1
P03'	0.0018	0.0002	0.0002	0.0020	1
P04	0.0032	0.0002	0.0002	0.0034	1
P04'	0.0032	0.0002	0.0002	0.0034	1
P05	0.0031	0.0002	0.0002	0.0033	1
P05'	0.0031	0.0002	0.0002	0.0033	1
P06	0.0007	0.0002	0.0002	0.0008	1
P06'	0.0007	0.0002	0.0002	0.0008	1
P07	0.0018	0.0002	0.0002	0.0020	1
P07'	0.0018	0.0002	0.0002	0.0020	1
P08	0.0011	0.0002	0.0002	0.0012	1
P08'	0.0011	0.0002	0.0002	0.0012	1
P09	0.0015	0.0002	0.0002	0.0016	1
P09'	0.0015	0.0002	0.0002	0.0016	1
P10	0.0002	0.0002	0.0002	0.0003	1
P10'	0.0002	0.0002	0.0002	0.0003	1
P11	0.0441	0.0002	0.0002	0.0442	1
P11'	0.0441	0.0002	0.0002	0.0442	1
P12	0.0002	0.0002	0.0002	0.0004	1
P12'	0.0002	0.0002	0.0002	0.0004	1
P13	0.0305	0.0002	0.0002	0.0307	1
P13'	0.0305	0.0002	0.0002	0.0307	1
P14	0.0002	0.0002	0.0002	0.0004	1
P14'	0.0002	0.0002	0.0002	0.0004	1
P15	0.0010	0.0002	0.0002	0.0012	1
P15'	0.0010	0.0002	0.0002	0.0012	1
P16	0.0020	0.0002	0.0002	0.0022	1
P16'	0.0020	0.0002	0.0002	0.0022	1
P17	0.0002	0.0002	0.0002	0.0004	1
P17'	0.0002	0.0002	0.0002	0.0004	1
P18	0.0080	0.0002	0.0002	0.0082	1
P18'	0.0080	0.0002	0.0002	0.0082	1



表1-6(2) 下部鏡板の疲労累積係数の評価のまとめ

分類	疲労累積係数				
評価点	$U_n$	$U_{S_d}$	$U_{S_s}$	$U_f$	許容値
P19	0.6847	0.0002	0.0002	0.6849	1
P19'	0.6847	0.0002	0.0002	0.6849	1
P20	0.0546	0.0002	0.0002	0.0547	1
P20'	0.0546	0.0002	0.0002	0.0547	1
P21	0.6307	0.0002	0.0002	0.6309	1
P21'	0.6307	0.0002	0.0002	0.6309	1
P22	0.0409	0.0002	0.0002	0.0411	1
P22'	0.0409	0.0002	0.0002	0.0411	1



## 2. 給水ノズル（N4）の耐震性についての計算

### 2.1 一般事項

本章は、原子炉圧力容器給水ノズル（N4）の耐震性についての計算である。

#### 2.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図2-1に示す。

#### 2.1.2 考慮する荷重

考慮した各荷重を「応力解析の方針」の4章に示す。

#### 2.1.3 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、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、各部分を代表する評価点として記載している。



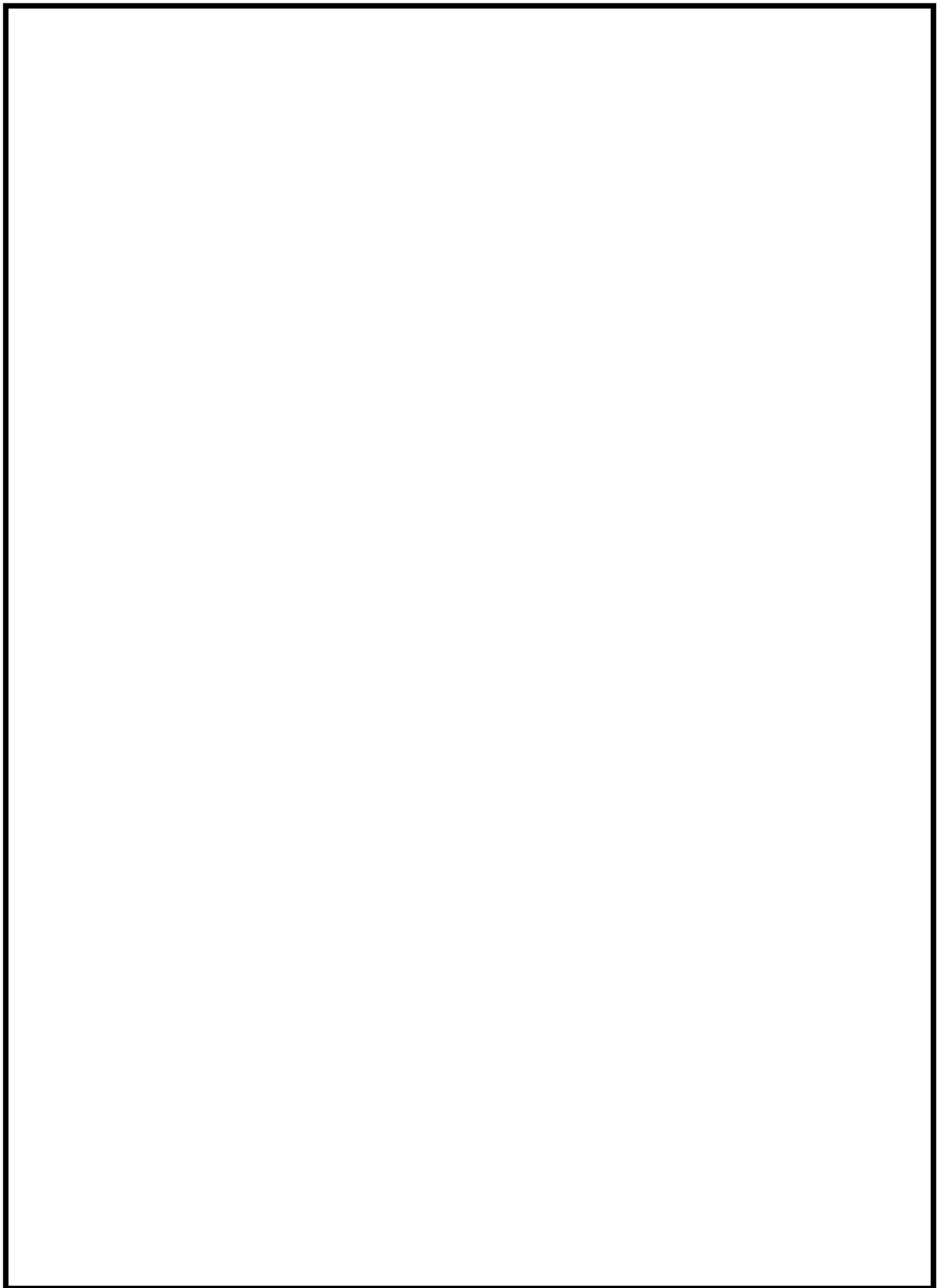


図2-1 形状・寸法・材料・応力評価点（給水ノズル（N4））（単位：mm）



表2-1 給水ノズル（N4）の計算結果の概要

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	許容値	応力評価面	応力 強さ	許容値	応力評価面	応力 強さ	許容値	応力 評価点	疲労 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズル セーフエンド SFVC2B	Ⅲ <sub>A</sub> S	147	187	P01' - P02'	196	251	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ <sub>A</sub> S	147	292	P01' - P02'	196	391	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ <sub>A</sub> S	—	—	—	—	—	—	380	383	P02	0.1169	1	P05'
	Ⅳ <sub>A</sub> S	—	—	—	—	—	—	380	383	P02			
ノズルエンド SFVQ2A	Ⅲ <sub>A</sub> S	95	302	P11 - P12	155	409	P11' - P12'	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ <sub>A</sub> S	95	320	P11 - P12	155	433	P11' - P12'	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ <sub>A</sub> S	—	—	—	—	—	—	293	552	P12	0.0062	1	P12'
	Ⅳ <sub>A</sub> S	—	—	—	—	—	—	293	552	P12			
サーマル スリーブ NCF600相当 SUS304LTP	Ⅲ <sub>A</sub> S	4	116	P15' - P16'	17	154	P15' - P16'	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ <sub>A</sub> S	4	232	P15' - P16'	17	308	P15' - P16'	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ <sub>A</sub> S	—	—	—	—	—	—	47	294	P16	0.0257	1	P18'
	Ⅳ <sub>A</sub> S	—	—	—	—	—	—	47	294	P16			

注1：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により，応力評価は不要である。

注2：疲労累積係数は，供用状態A及びBに許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S又は許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sのいずれか大きい方を加えた値である。



## 2.2 計算条件

### 2.2.1 解析範囲

解析範囲を図2-1に示す。

### 2.2.2 運転条件

考慮した運転条件とその回数を「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 物性値及び許容限界

物性値及び許容応力は、「応力解析の方針」の3.3節及び3.5節による。

## 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。

### 2.3.2 外荷重による応力

#### 2.3.2.1 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

給水ノズル (N4) に作用する外荷重を「応力解析の方針」の4.4節に示す。

## 2.4 応力強さの評価

応力強さの評価は、給水ノズル (N4) について行う。

### 2.4.1 一次一般膜応力強さの評価

許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S 及び許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>S における評価をまとめて、表2-2に示す。

表2-2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節に示す許容限界を満足する。

### 2.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価

許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S 及び許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>S における評価をまとめて、表2-3に示す。

表2-3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節に示す許容限界を満足する。



### 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まとめて、表2-4に示す。

表2-4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節に示す許容限界を満足する。

## 2.5 繰返し荷重の評価

### 2.5.1 疲労解析

ノズルセーフエンド、ノズルエンド及びサーマルスリーブの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

#### 2.5.1.1 疲労累積係数

それぞれの部分で最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表2-5に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数をまとめて、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以下であり、「応力解析の方針」の5.4節の許容限界を満足する。



表2-2 給水ノズル (N4) の一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

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	145	187	145	292
P01' P02'	147	187	147	292
P03 P04	81	187	81	292
P03' P04'	83	187	83	292
P05 P06	95	187	95	292
P05' P06'	93	187	93	292
P07 P08	2	187	2	292
P07' P08'	2	187	2	292
P09 P10	4	187	4	292
P09' P10'	6	187	6	292
P11 P12	95	302	95	320
P11' P12'	93	302	93	320
P13 P14	3	196	3	334
P13' P14'	4	196	4	334
P15 P16	3	116	3	232
P15' P16'	4	116	4	232
P17 P18	3	116	3	232
P17' P18'	4	116	4	232



表2-3 給水ノズル (N4) の一次膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

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	183	251	183	391
P01' P02'	196	251	196	391
P03 P04	107	259	107	403
P03' P04'	113	259	113	403
P05 P06	132	253	132	394
P05' P06'	135	253	135	394
P07 P08	7	258	7	401
P07' P08'	8	258	8	401
P09 P10	21	245	21	382
P09' P10'	26	245	26	382
P11 P12	151	409	151	433
P11' P12'	155	409	155	433
P13 P14	14	260	14	442
P13' P14'	17	260	17	442
P15 P16	14	154	14	308
P15' P16'	17	154	17	308
P17 P18	10	154	10	308
P17' P18'	13	154	13	308



表2-4(1) 給水ノズル (N4) の一次＋二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

分 類	一次＋二次応力差最大範囲 ( $P_L + P_b + Q$ )		
評価点	*1 $S_n^{\#1}$	*2 $S_n^{\#2}$	許容値 $3 \cdot S_m$
P01	285	285	383
P01'	285	285	383
P02	380	380	383
P02'	380	380	383
P03	168	168	383
P03'	168	168	383
P04	217	217	383
P04'	217	217	383
P05	238	238	383
P05'	238	238	383
P06	231	231	383
P06'	231	231	383
P07	67	67	383
P07'	67	67	383
P08	48	48	383
P08'	48	48	383
P09	51	51	383
P09'	51	51	383
P10	89	89	383
P10'	89	89	383
P11	191	191	552
P11'	191	191	552
P12	293	293	552
P12'	293	293	552
P13	44	44	492
P13'	44	44	492
P14	49	49	492
P14'	49	49	492
P15	42	42	294
P15'	42	42	294
P16	47	47	294
P16'	47	47	294

注記 \*1:  $S_n^{\#1}$  は許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub> Sによる一次＋二次応力差の最大範囲を示す。\*2:  $S_n^{\#2}$  は許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub> Sによる一次＋二次応力差の最大範囲を示す。



表2-4(2) 給水ノズル (N4) の一次＋二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

分 類	一次＋二次応力差最大範囲 ( $P_L + P_b + Q$ )		
評価点	*1 $S_n^{\#1}$	*2 $S_n^{\#2}$	許容値 $3 \cdot S_m$
P17	20	20	294
P17'	20	20	294
P18	42	42	294
P18'	42	42	294

注記 \*1 :  $S_n^{\#1}$  は許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub> S による一次＋二次応力差の最大範囲を示す。

\*2 :  $S_n^{\#2}$  は許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub> S による一次＋二次応力差の最大範囲を示す。



表2-5(1) 給水ノズル (N4) の疲労累積係数

応力評価点 — P05'

材 料 — SFVC2B

No.	$S_n$ (MPa)	$K_e$	$S_p$ (MPa)	*1 $S_\ell$ (MPa)	*2 $S_\ell'$ (MPa)	$N_a$	$N_c$	$N_c / N_a$
1	237							0.0054
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.0054
疲労累積係数 $U_n =$								0.1115
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_d} =$								0.1169

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.4.1項（疲労解析）に示す。

注記 \*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

\*2： $S_\ell$ に $(E_0/E)$ を乗じた値である。

$$E_0 = 2.07 \times 10^5 \text{ MPa}, E = 1.86 \times 10^5 \text{ MPa}$$

表2-5(2) 給水ノズル (N4) の疲労累積係数

応力評価点 — P12'

材 料 — SFVQ2A

No.	$S_n$ (MPa)	$K_e$	$S_p$ (MPa)	*1 $S_\ell$ (MPa)	*2 $S_\ell'$ (MPa)	$N_a$	$N_c$	$N_c / N_a$
1	293							0.0061
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.0061
疲労累積係数 $U_n =$								0.0002
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_d} =$								0.0062

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.4.1項（疲労解析）に示す。

注記 \*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

\*2： $S_\ell$ に $(E_0/E)$ を乗じた値である。

$$E_0 = 2.07 \times 10^5 \text{ MPa}, E = 1.76 \times 10^5 \text{ MPa}$$



表2-5(3) 給水ノズル (N4) の疲労累積係数

応力評価点 — P18’  
材 料 — SUS304LTP

No.	S <sub>n</sub> (MPa)	K <sub>e</sub>	S <sub>p</sub> (MPa)	*1 S <sub>ℓ</sub> (MPa)	*2 S <sub>ℓ</sub> ’ (MPa)	N <sub>a</sub>	N <sub>c</sub>	N <sub>c</sub> / N <sub>a</sub>
1	42							0.0000
疲労累積係数 U <sub>S d</sub> =								0.0000
疲労累積係数 U <sub>n</sub> =								0.0257
疲労累積係数 U <sub>f</sub> = U <sub>n</sub> + U <sub>S d</sub> =								0.0257

注：疲労累積係数の求め方は，「応力解析の方針」の5.4.1項（疲労解析）に示す。

注記 \*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

\*2：S<sub>ℓ</sub>に（E<sub>0</sub>／E）を乗じた値である。

$$E_0 = 1.95 \times 10^5 \text{ MPa}, \quad E = 1.76 \times 10^5 \text{ MPa}$$



表2-6 給水ノズル（N4）の疲労累積係数の評価のまとめ

分類	疲労累積係数				
評価点	$U_n$	$U_{S_d}$	$U_{S_s}$	$U_f$	許容値
P01	0.0033	0.0032	0.0032	0.0065	1
P01'	0.0028	0.0032	0.0032	0.0060	1
P02	0.0047	0.0103	0.0103	0.0150	1
P02'	0.0043	0.0103	0.0103	0.0145	1
P03	0.0027	0.0006	0.0006	0.0032	1
P03'	0.0026	0.0006	0.0006	0.0031	1
P04	0.0001	0.0011	0.0011	0.0011	1
P04'	0.0002	0.0011	0.0011	0.0012	1
P05	0.0891	0.0054	0.0054	0.0944	1
P05'	0.1115	0.0054	0.0054	0.1169	1
P06	0.0042	0.0013	0.0013	0.0055	1
P06'	0.0038	0.0013	0.0013	0.0050	1
P07	0.0723	0.0002	0.0002	0.0725	1
P07'	0.0722	0.0002	0.0002	0.0724	1
P08	0.0304	0.0002	0.0002	0.0305	1
P08'	0.0295	0.0002	0.0002	0.0297	1
P09	0.0021	0.0002	0.0002	0.0022	1
P09'	0.0018	0.0002	0.0002	0.0020	1
P10	0.0032	0.0002	0.0002	0.0034	1
P10'	0.0034	0.0002	0.0002	0.0036	1
P11	0.0002	0.0008	0.0008	0.0009	1
P11'	0.0002	0.0008	0.0008	0.0009	1
P12	0.0002	0.0061	0.0061	0.0062	1
P12'	0.0002	0.0061	0.0061	0.0062	1
P13	0.0003	0.0000	0.0000	0.0003	1
P13'	0.0003	0.0000	0.0000	0.0003	1
P14	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	1
P14'	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	1
P15	0.0004	0.0000	0.0000	0.0004	1
P15'	0.0004	0.0000	0.0000	0.0004	1
P16	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002	1
P16'	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002	1
P17	0.0114	0.0000	0.0000	0.0114	1
P17'	0.0114	0.0000	0.0000	0.0114	1
P18	0.0257	0.0000	0.0000	0.0257	1
P18'	0.0257	0.0000	0.0000	0.0257	1



### 3. スカートの耐震性についての計算

#### 3.1 一般事項

本章は、原子炉圧力容器スカート（以下「スカート」という。）の耐震性についての計算である。

##### 3.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図3-1に示す。

##### 3.1.2 考慮する荷重

考慮した各荷重を「応力解析の方針」の4章に示す。

##### 3.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表3-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、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、スカートを代表する評価点として記載している。



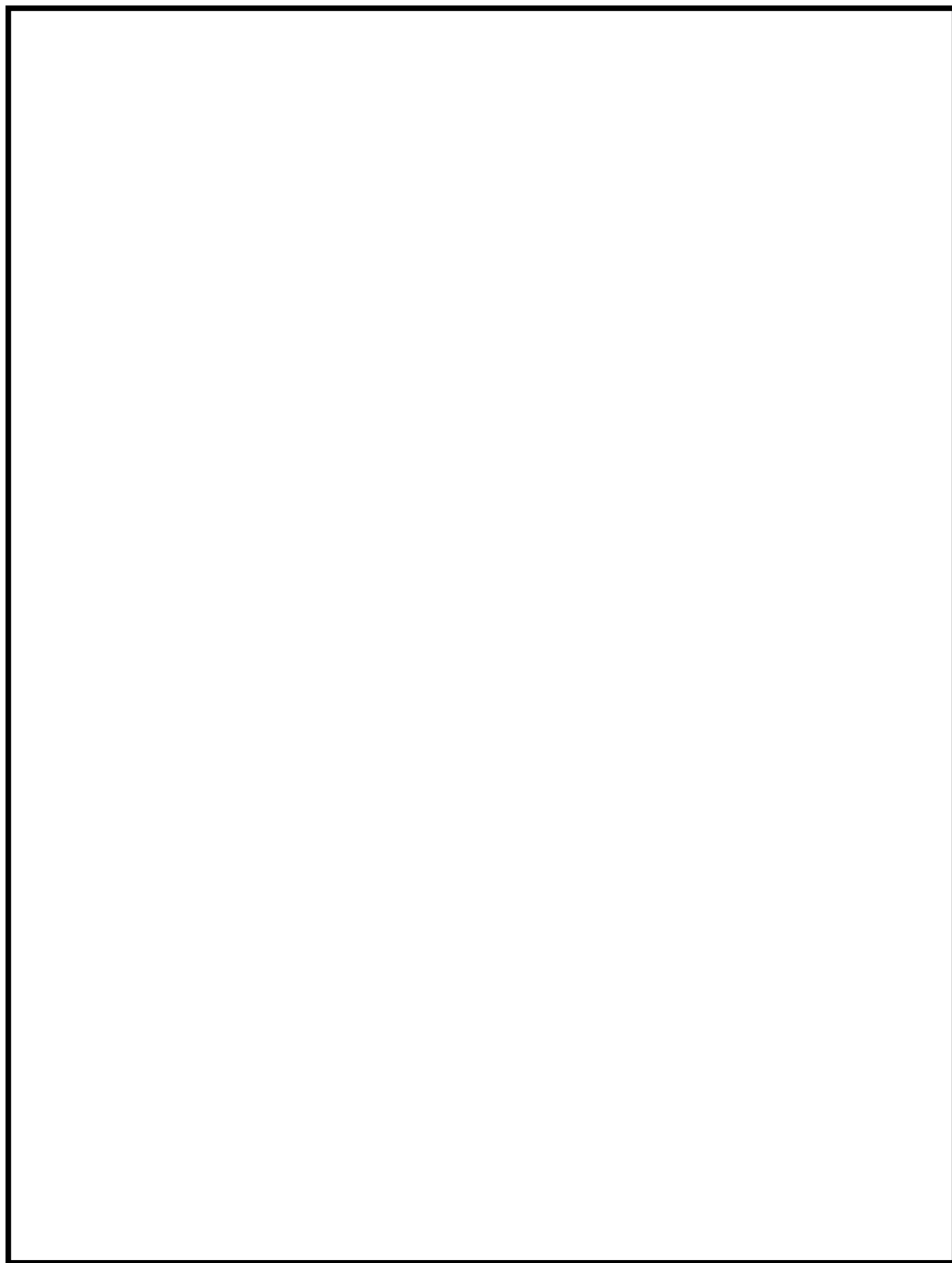


図3-1 形状・寸法・材料・応力評価点（スカート）（単位：mm）



表3-1 スカートの計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	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	許容値	応力評価面	応力 強さ	許容値	応力 評価点	疲労 累積係数	許容値	応力 評価点
スカート SQV2A	Ⅲ <sub>A</sub> S	44	454	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ <sub>A</sub> S	65	490	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ <sub>A</sub> S	—	—	—	142	552	P02	0.0144	1	P02
	Ⅳ <sub>A</sub> S	—	—	—	255	552	P02			

注：疲労累積係数は、供用状態A及びBに許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub> S又は許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub> Sのいずれか大きい方を加えた値である。



### 3.2 計算条件

#### 3.2.1 解析範囲

解析範囲を図3-1に示す。

#### 3.2.2 運転条件

考慮した運転条件とその回数を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

#### 3.2.3 材料

各部の材料を図3-1に示す。

#### 3.2.4 物性値及び許容限界

物性値及び許容限界は、「応力解析の方針」の3.3節及び3.5節による。

### 3.3 応力計算

#### 3.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図3-1に示す。

#### 3.3.2 外荷重による応力

##### 3.3.2.1 荷重条件 (L12, L13, L18, L19, L14及びL16)

スカートに作用する外荷重を「応力解析の方針」の4.4節に示す。

### 3.4 応力強さの評価

応力強さの評価は、スカートについて行う。

#### 3.4.1 一次一般膜応力強さの評価

応力評価面P01-P02及びP01'-P02'は、構造不連続部であるため、一次一般膜応力に分類される応力は存在しない。

#### 3.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価

許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S及び許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sにおける評価をまとめて、表3-2に示す。

表3-2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節に示す許容限界を満足する。



### 3.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価をまとめて、表3-3に示す。

表3-3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節に示す許容限界を満足する。

## 3.5 繰返し荷重の評価

### 3.5.1 疲労解析

スカートの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

#### 3.5.1.1 疲労累積係数

それぞれの部分で最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表3-4に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数をまとめて、表3-5に示す。

表3-5より、各応力評価点において疲労累積係数は1以下であり、「応力解析の方針」の5.4節の許容値を満足する。

## 3.6 特別な評価

### 3.6.1 座屈に対する評価

#### 3.6.1.1 計算データ

スカートの平均半径  $R_m =$

スカートの板厚  $t =$

スカートの断面積

$$\begin{aligned} A &= \pi \cdot \left\{ (R_m + t/2)^2 - (R_m - t/2)^2 \right\} \\ &= \pi \times \left\{ \text{} - \text{} / 2)^2 \right\} \\ &= \text{} \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

スカートの断面係数

$$\begin{aligned} Z &= \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\left\{ (R_m + t/2)^4 - (R_m - t/2)^4 \right\}}{R_m + t/2} \\ &= \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\left\{ \text{} / 2)^4 - \text{} \right\}}{\text{} / 2} \\ &= \text{} \text{ mm}^3 \end{aligned}$$



## 3. 6. 1. 2 座屈に対する評価

許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S及び許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sにおいてスカートに圧縮応力を生じさせる荷重は、表3-6に示す鉛直力及びモーメントである。これらの組合せにより発生する圧縮応力の評価を行う。

$$\frac{\alpha \cdot (V_1 + V_2) / A}{f_c} + \frac{\alpha \cdot (M / Z)}{f_b} \leq 1$$

ここで、

$f_c$  : 鉛直方向荷重に対する座屈応力

$$\begin{aligned} &= F \cdot \left[ 1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \{ F - \phi_c(\eta_2) \} \cdot (\eta - \eta_1) \right] \\ &= 302 \times \left[ 1 - \frac{1}{6800 \times 9.80665} \times \boxed{\phantom{000000}} \right] \\ &= 295 \text{ MPa} \end{aligned}$$

なお、

$$\begin{aligned} \phi_c(\eta_2) &= 0.6 \cdot \frac{E}{\eta_2} \left[ 1 - 0.901 \times \left\{ 1 - \exp \left( -1 / 16 \cdot \sqrt{\eta_2} \right) \right\} \right] \\ &= 0.6 \times \boxed{\phantom{000000}} \left[ 1 - 0.901 \times \left\{ 1 - \exp \left( -1 / 16 \cdot \boxed{\phantom{000000}} \right) \right\} \right] \\ &= 180.89 \end{aligned}$$

$f_b$  : モーメントに対する座屈応力

$$\begin{aligned} &= F \cdot \left[ 1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \{ F - \phi_b(\eta_3) \} \cdot (\eta - \eta_1) \right] \\ &= \boxed{\phantom{000000}} \times \left[ 1 - \frac{1}{8400 \times 9.80665} \times \boxed{\phantom{000000}} \right] \\ &= 296 \text{ MPa} \end{aligned}$$

なお、

$$\begin{aligned} \phi_b(\eta_3) &= 0.6 \cdot \frac{E}{\eta_3} \left[ 1 - 0.731 \times \left\{ 1 - \exp \left( -1 / 16 \cdot \sqrt{\eta_3} \right) \right\} \right] \\ &= 0.6 \times \boxed{\phantom{000000}} \left[ 1 - 0.731 \times \left\{ 1 - \exp \left( -1 / 16 \cdot \boxed{\phantom{000000}} \right) \right\} \right] \\ &= 180.18 \end{aligned}$$







表3-2 スカートの一次膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

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	22	454	42	490
P01' P02'	44	454	65	490



表3-3 スカートの一次＋二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

分 類	一次＋二次応力差最大範囲 ( $P_L + P_b + Q$ )		
評価点	*1 $S_n^{\#1}$	*2 $S_n^{\#2}$	許容値 $3 \cdot S_m$
P01	72	130	552
P01'	72	130	552
P02	142	255	552
P02'	142	255	552

注記   \*1：  $S_n^{\#1}$  は許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub> S による一次＋二次応力差の最大範囲を示す。  
          \*2：  $S_n^{\#2}$  は許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub> S による一次＋二次応力差の最大範囲を示す。



表3-4 スカートの疲労累積係数

応力評価点 — P02  
材 料 — SQV2A

No.	$S_n$ (MPa)	$K_e$	$S_p$ (MPa)	*1 $S_\ell$ (MPa)	*2 $S_{\ell'}$ (MPa)	$N_a$	$N_c$	$N_c / N_a$
1	254							0.0058
疲労累積係数 $U_{ss} =$								0.0059
疲労累積係数 $U_n =$								0.0086
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{ss} =$								0.0144

注：疲労累積係数の求め方は，「応力解析の方針」の5.4.1項（疲労解析）に示す。

注記 \*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

\*2： $S_\ell$ に $(E_0 / E)$ を乗じた値である。

$$E_0 = 2.07 \times 10^5 \text{ MPa}, \quad E = 1.84 \times 10^5 \text{ MPa}$$



表3-5 スカートの疲労累積係数の評価のまとめ

分類	疲労累積係数				
評価点	$U_n$	$U_{S_d}$	$U_{S_s}$	$U_f$	許容値
P01	0.0117	0.0002	0.0002	0.0119	1
P01'	0.0117	0.0002	0.0002	0.0119	1
P02	0.0086	0.0007	0.0059	0.0144	1
P02'	0.0086	0.0007	0.0059	0.0144	1



表3-6 スカートの座屈に対する評価に用いる荷重

許容応力状態	鉛直力		モーメント M (kN・m)
	V <sub>1</sub> (kN)	V <sub>2</sub> (kN)	
Ⅲ <sub>A</sub> S			
Ⅳ <sub>A</sub> S			

表3-7 スカートの座屈に対する評価

許容応力状態	計算結果	許容値
Ⅲ <sub>A</sub> S	0.2	1
Ⅳ <sub>A</sub> S	0.3	1