

V-2-3 原子炉本体の耐震性に関する説明書

V-2-3-1 原子炉本体の耐震計算結果

目次

1. 概要	1
2. 耐震評価条件整理	1

1. 概要

本資料は、原子炉本体の設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

原子炉本体の設備に対して、設計基準対象施設の耐震クラス、重大事故等対処施設の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績と差異の有無を整理した。また、重大事故等対処施設のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処施設の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。

原子炉本体の耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績と差異がない施設の耐震計算は、工事計画認可実績を示し、入力条件及び評価結果を示すことを基本とする。

なお、既設の設備における弾性設計用地震動 S_d による耐震計算については、基準地震動 S_s による評価結果が弾性設計用地震動 S_d の許容限界を満足する場合、省略することとし、省略せず耐震評価を実施する場合は、静的地震力についても考慮することとする。

V-2-3-3 炉心の耐震性についての計算書

V-2-3-3-1 燃料集合体の耐震性についての計算書

目 次

1. 概 要	1
2. 基本方針	2
2.1 構造の説明	2
2.2 評価方針	3
3. 燃料集合体の地震応答解析	4
4. 地震時の制御棒挿入性試験検討	7
4.1 検討方法	7
4.2 検討結果	7
5. 地震時の燃料集合体の応力評価	8
5.1 燃料集合体の応力評価に用いる地震加速度	8
5.2 地震時の応力評価の方法	8
5.3 検討内容	9
5.4 検討結果	9

1. 概 要

本計算書は、燃料集合体の耐震性について示すものである。

地震時において燃料集合体に要求されるのは、制御棒の挿入機能の確保及び崩壊熱除去可能な形状の維持である。

制御棒の挿入機能の確保については、原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編（JEAG4601・補-1984）に従って、地震時における制御棒の挿入性についての検討を行い、基準地震動 S_s に対し制御棒の挿入性が確保されることを試験により確認する。

崩壊熱除去可能な形状の維持については、燃料集合体を支持している炉心支持構造物が耐震設計上の重要度分類 S クラスで設計されており、その支持機能は地震時においても維持されるので、崩壊熱除去可能な形状は維持されと考えられる。燃料被覆管自体の損傷は必ずしも崩壊熱除去可能な形状の喪失を意味するわけではないが、ここではさらに、参考として燃料被覆管の地震時応力を簡易弾性解析によって求める。

2. 基本方針

2.1 構造の説明

燃料集合体の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 燃料集合体の構造計画

主要区分	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
燃料集合体	炉心は十字型制御棒とそれを囲む4体の燃料集合体を1ユニットとして構成される。燃料集合体の下部は下部タイププレートの着座面が炉心支持板上の燃料支持金具に嵌合して支持され、上部はユニットを構成する燃料集合体とともに上部炉心格子板内で水平方向に支持される。上下部タイププレート、スペーサ、ウォータロッド及びタイロッドには結合又は支持により骨格を形成する。4体の燃料集合体の外側にはめたチャンネルボックスの外面が制御棒の通路を構成する。	9×9燃料（A型）の燃料集合体は74本の燃料棒と2本のウォータロッドを、9×9燃料（B型）の燃料集合体は72本の燃料棒と1本のウォータチャンネルを、それぞれ9×9の正方格子に配列して7個のスペーサにより束ね、それらの上下端が上部タイププレート及び下部タイププレートと嵌合することにより形成される。燃料集合体を炉心に装荷する際には、外側にはチャンネルボックスをはめる。	

制御棒の構造計画の詳細は「V-2-6-2-1 制御棒の耐震性についての計算書」に示されている。

2.2 評価方針

地震時において燃料集合体に要求されるのは、制御棒の挿入機能の確保及び崩壊熱除去可能な形状の維持である。

制御棒の地震時挿入性の評価については、炉心を模擬した実物大の部分モデルによる加振時制御棒挿入試験結果から挿入機能に支障を与えない最大燃料集合体変位を求め、地震応答解析から求めた燃料集合体変位がその最大燃料集合体変位を下回ることを確認する。

崩壊熱除去可能な形状の維持については、燃料集合体を支持している炉心支持構造物の支持機能が維持されれば、崩壊熱除去可能な形状は維持され则认为される。燃料被覆管自体の損傷は必ずしも崩壊熱除去可能な形状の喪失を意味するわけではないが、参考として燃料被覆管の地震時応力を簡易弾性解析によって求める。燃料被覆管の地震時応力は、運転時（通常運転時又は運転時の異常な過渡変化時）に燃料被覆管に作用している荷重と地震力を組み合わせて評価する。また、運転中に燃料に生じる燃料被覆管の腐食等の照射の影響を考慮して、燃料被覆管の地震時応力を求めている。

燃料集合体の耐震評価の方法は、平成 14 年 7 月 1 日付け平成 14・05・16 原第 3 号にて認可された工事計画の実績に基づいている。

3. 燃料集合体の地震応答解析

燃料集合体の地震応答解析は原子炉压力容器内部構造物の一部として実施されており、この詳細は「V-2-3-2 炉心，原子炉压力容器及び压力容器内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に示されている。燃料集合体の剛性はチャンネルボックスにより支配され，燃料集合体の質量は燃料タイプによらず同等であることから，燃料集合体の地震応答は燃料タイプによらず，この燃料集合体の地震応答解析結果が適用可能である。設計用地震波としては，基準地震動 S_s を採用している。

応答解析は，時刻歴応答解析法を適用して建屋の N S，E W 両方について実施している。

計算された燃料集合体の最大応答相対変位を図 3-1 に示すが，最大応答相対変位は約 11.1 mm となる。また，燃料集合体の最大応答加速度を図 3-2 及び図 3-3 に示すが，最大応答加速度は，水平方向で 13.2 m/s^2 ，鉛直方向で 8.07 m/s^2 となる。

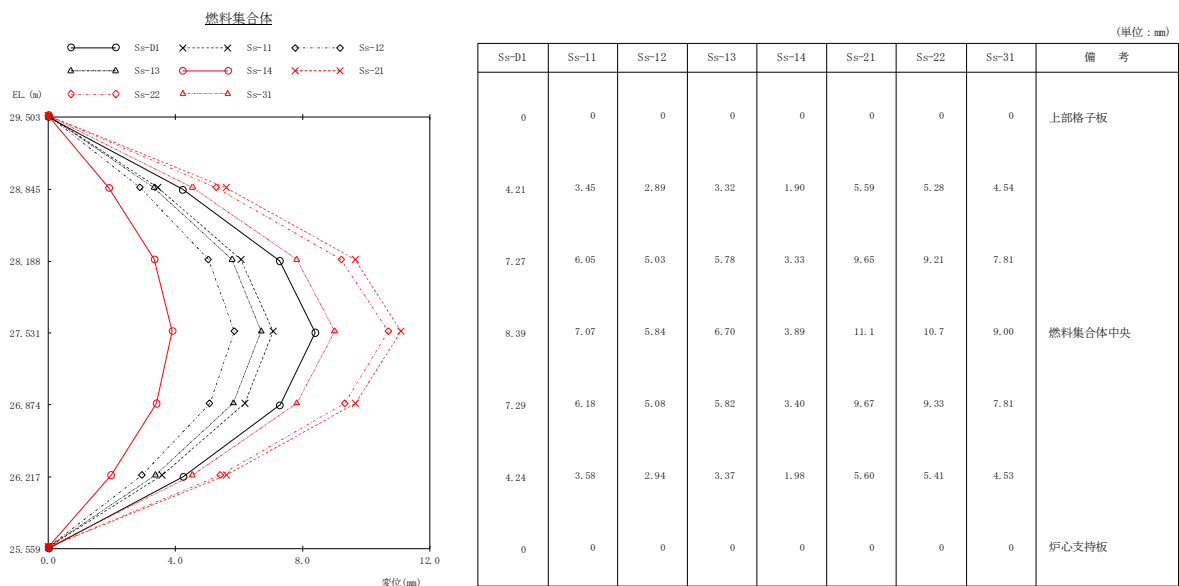
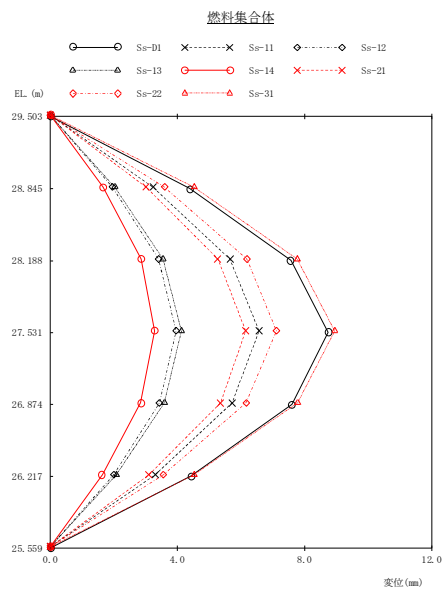


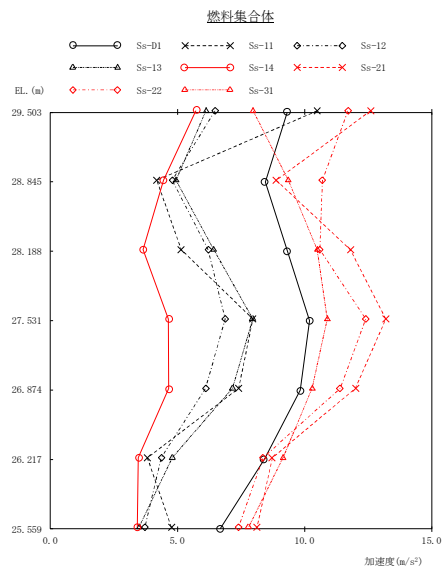
図 3-1(1) 燃料集合体最大応答相対変位（N S 方向）



(単位: mm)

Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31	備 考
0	0	0	0	0	0	0	0	上部格子板
4.38	3.23	1.95	2.03	1.66	3.01	3.59	4.52	
7.57	5.65	3.40	3.55	2.86	5.27	6.19	7.77	
8.74	6.57	3.95	4.13	3.28	6.14	7.12	8.95	燃料集合体中央
7.60	5.72	3.43	3.59	2.84	5.35	6.16	7.78	
4.42	3.30	1.99	2.08	1.64	3.10	3.56	4.52	
0	0	0	0	0	0	0	0	炉心支持板

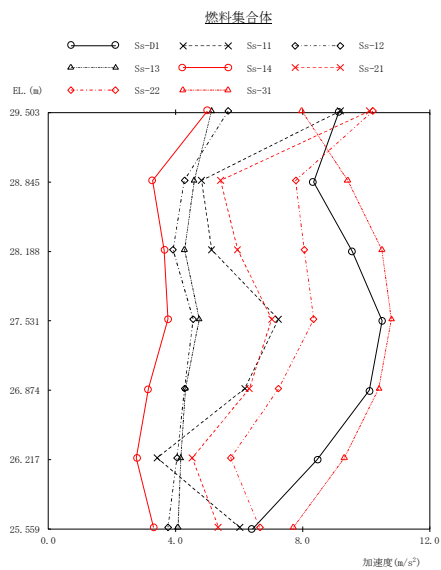
図 3-1(2) 燃料集合体最大応答相対変位 (E W方向)



(単位: m/s²)

Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31	備 考
9.31	10.5	6.48	6.12	5.74	12.6	11.7	7.97	上部格子板
8.45	4.19	4.80	4.95	4.46	8.88	10.7	9.36	
9.32	5.15	6.21	6.43	3.65	11.8	10.6	10.5	
10.2	7.97	6.88	7.96	4.65	13.2	12.4	10.9	燃料集合体中央
9.83	7.41	6.11	7.16	4.66	12.0	11.4	10.3	
8.41	3.82	4.37	4.80	3.47	8.73	8.37	9.15	
6.67	4.76	3.73	3.50	3.43	8.12	7.41	7.79	炉心支持板

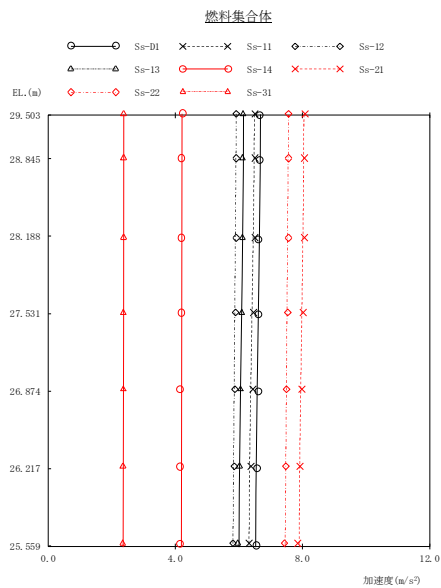
図 3-2(1) 燃料集合体最大応答加速度 (N S 方向)



(単位: m/s²)

Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31	備 考
9.13	9.19	5.66	5.14	5.01	10.1	10.2	7.97	上部格子板
8.34	4.82	4.28	4.59	3.29	5.41	7.78	9.42	
9.56	5.14	3.93	4.28	3.65	5.95	8.05	10.5	
10.5	7.24	4.56	4.75	3.77	7.02	8.35	10.8	燃料集合体中央
10.1	6.18	4.29	4.31	3.15	6.32	7.25	10.4	
8.45	3.42	4.05	4.16	2.77	4.52	5.75	9.31	
6.41	6.02	3.77	4.07	3.32	5.35	6.65	7.70	炉心支持板

図 3-2(2) 燃料集合体最大応答加速度 (E W方向)



(単位: m/s²)

Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31	備 考
6.63	6.51	5.92	6.12	4.21	8.08	7.56	2.37	上部格子板
6.63	6.51	5.92	6.11	4.20	8.07	7.56	2.37	
6.62	6.50	5.91	6.10	4.19	8.05	7.55	2.37	
6.61	6.47	5.90	6.08	4.17	8.01	7.53	2.36	燃料集合体中央
6.59	6.43	5.87	6.04	4.15	7.97	7.50	2.36	
6.57	6.38	5.85	6.01	4.15	7.91	7.46	2.35	
6.54	6.32	5.81	5.96	4.15	7.84	7.42	2.34	炉心支持板

図 3-3 燃料集合体最大応答加速度 (鉛直方向)

4. 地震時の制御棒挿入性試験検討

4.1 検討方法

地震時における制御棒挿入性についての検討方法は、工事計画認可申請書添付書類「V-2-6-2-1 制御棒の耐震性についての計算書」にてその詳細を示す。

4.2 検討結果

工事計画認可申請書添付書類「V-2-6-2-1 制御棒の耐震性についての計算書」に示すとおり、制御棒挿入試験の結果、燃料集合体の相対変位が約 40 mm においても、通常のスクリム仕様値 90 %ストローク 3.5 秒以内であり、検査後において制御棒の外観に優位な変化がないことが確認された。

したがって、基準地震動 S_s による最大相対変位に対し制御棒の挿入性と健全性は確保される。

5. 地震時の燃料集合体の応力評価

5.1 燃料集合体の応力評価に用いる地震加速度

地震時における燃料被覆管の応力評価では、3 章に記載した基準地震動 S_s よりも大きな加速度として、燃料集合体に作用する水平地震加速度は 20 m/s^2 を、鉛直地震加速度は 12 m/s^2 を用いる。

5.2 地震時の応力評価の方法

地震時における燃料被覆管の応力評価は、簡易弾性解析によりせん断歪エネルギー説（von Mises 理論）に基づき相当応力（一次応力の値）を求め、原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1991 追補版）で定められた許容応力 $0.7 S_u$ （ S_u ：引張強さ）に対する相当応力の比（設計比）を評価する。許容応力は、被覆管の温度及び照射の影響を考慮した値を用いる。

本手法は、平成 14 年 7 月 1 日付け平成 14・05・16 原第 3 号にて認可された工事計画の実績に基づいている。

(1) 応力の計算

応力計算は、通常運転時または、過渡時の応力に地震により発生する応力を加え合せて三軸方向（半径方向、円周方向及び軸方向）について解析し、それらより相当応力を計算する。

(2) 発生応力

9 × 9 燃料（A 型）については、
通常運転時及び過渡時に発生する応力として、

- ・内外圧力差に基づく応力
- ・水力振動に基づく応力
- ・楕円度に基づく応力
- ・膨張スプリングの圧縮力に基づく応力

を考慮する。

さらに地震時には、水平地震加速度により発生する応力として、

- ・燃料棒のたわみに基づく応力

鉛直地震加速度により発生する応力として、

- ・鉛直地震加速度に基づく応力

を考慮する。

9 × 9 燃料（B 型）については、

通常運転時及び過渡時に発生する応力として、

- ・冷却材による外圧及び燃料要素内圧によって生じる応力
- ・燃料被覆管楕円度による曲げ応力

- ・流力振動による応力

を考慮する。

さらに地震時には、水平地震加速度及び鉛直地震加速度により発生する応力として、

- ・支持格子間のたわみに基づく応力

を考慮する。

発生する応力の計算式及び計算式で使用した記号の説明を 9 × 9 燃料（A 型）については表 5-1 及び表 5-2 に、9 × 9 燃料（B 型）については表 5-3 及び表 5-4 に示す。

(3) 設計比の評価

設計比の評価では、燃料被覆管温度、燃料棒内圧、炉心条件、燃料棒寸法及び許容応力の統計的分布を考慮し、モンテカルロ法により統計評価を行う。ここで、燃料被覆管温度、燃料棒内圧については、燃料棒熱・機械設計コードによる解析結果を用いる。

モンテカルロ法による評価では、1 回の試行ごとに乱数を用い、統計的分布に従い設定される入力条件から 1 つの設計比が得られる。この試行を繰り返すことにより設計比の統計的分布を求め、設計比の 95 %確率上限値が 1 以下であることをもって、燃料集合体の耐震性を確認する。

5.3 検討内容

燃料集合体を支持している炉心支持構造物は、地震時にもその支持機能は維持されるので、崩壊熱除去可能な形状は維持されと考えられる。ここではさらに、基準地震動 S_s による地震力並びに静的地震力に対し崩壊熱除去可能な形状が維持されることを確認するため、参考として燃料被覆管の地震時応力を簡易弾性解析によって求めたところ、設計比の 95 %確率上限値が 1 を下回る結果を得た。

地震時における水平地震加速度及び鉛直地震加速度を考慮した応力評価の結果を、設計比（95 %確率上限値）が最大となるスペーサ間について表 5-5 に示す。

5.4 検討結果

設計比が最大となるのは寿命初期であり、水平地震加速度及び鉛直地震加速度を考慮した場合でもその値は 0.37 である。

表 5-1 地震時の応力の計算式
(9×9 燃料 (A 型))

応力の種類	応力の成分	内 面	外 面
(1) 内外圧力差に基づく応力	半径方向		
	円周方向		
	軸方向		
(2) 水力振動に基づく応力	半径方向		
	円周方向		
	軸方向		
(3) 楕円度に基づく応力	半径方向		
	円周方向		
	軸方向		
(4) 膨張スプリングの圧縮力に基づく応力	半径方向		
	円周方向		
	軸方向		
(5) 燃料棒のたわみに基づく応力	半径方向		
	円周方向		
	軸方向		
(6) 鉛直地震加速度に基づく応力	半径方向		
	円周方向		
	軸方向		

表 5-2 地震時の応力計算式の記号の説明
(9×9 燃料 (A 型))

記 号	説 明
P_c	冷却材圧力 ^{*1}
P_g	燃料棒内圧 ^{*2}
r_1	被覆管外半径
r_2	被覆管内半径
r_m	被覆管平均半径
t	被覆管肉厚 ^{*3}
d	被覆管楕円度
q_{cr}	被覆管臨界座屈荷重
λ	スペーサ間距離
δ	水力振動による振幅
E	被覆管の縦弾性係数
ν	被覆管のポアソン比
G_h	地震時水平方向最大加速度
W_s	スペーサ間距離当たりの燃料棒質量
Z	被覆管断面係数 ^{*3}
F	膨張スプリングにより燃料棒に作用する力
G_v	地震時鉛直方向最大加速度
W_r	燃料棒全質量

*1: 評価結果が厳しくなる圧力過渡時の冷却材圧力を使用。

*2: 外圧支配条件において評価結果が厳しくなる寿命初期の内圧を使用。

*3: ライナ部を無視し、照射に伴う腐食減肉を考慮。

表 5-3 地震時の応力の計算式
(9×9 燃料 (B 型))

応力の種類	成分	内 面	外 面
(1) 冷却材外圧及び 燃料要素内圧に よって生じる応 力	半径方向		
	円周方向		
	軸方向		
(2) 燃料被覆管楕円 度による曲げ応 力	半径方向		
	円周方向		
	軸方向		
(3) 流力振動による 応力	半径方向		
	円周方向		
	軸方向		
(4) 支持格子間たわ みによる応力	半径方向		
	円周方向		
	軸方向		

表 5-4 地震時の応力計算式の記号の説明
(9×9 燃料 (B 型))

記号	説 明
P_i	燃料要素内圧 (MPa)
P_o	冷却材圧力 (MPa)
r_i	燃料被覆管内半径 (mm)
r_o	燃料被覆管外半径 (mm)
r_m	燃料被覆管平均半径 (mm)
D_o	燃料被覆管外径 (mm)
D_i	燃料被覆管内径 (mm)
$D_{i\max}$	燃料被覆管最大内径 (mm)
$D_{i\min}$	燃料被覆管最小内径 (mm)
t	燃料被覆管肉厚 (mm)
ν	ポアソン比
E	被覆管ヤング率 (MPa)
I	燃料被覆管の断面二次モーメント (mm ⁴) $I = \frac{\pi}{64}(D_o^4 - D_i^4)$
ω	$\omega = \frac{1}{4} \cdot (D_{i\max} - D_{i\min})$
P_{cr}	$P_{cr} = \frac{E}{4 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{r_m}\right)^3$
l	スペーサ間距離 (mm)
A	流力振動振幅 (=0.05 mm)
W_o	燃料要素単位長重量 (kg/mm)
G	地震時加速度 (m/s ²)
C_1	定数

表 5-5 地震時のスペーサ間の設計比

	9 × 9 燃料（A 型）	9 × 9 燃料（B 型）
寿命初期	0.36	0.37
寿命中期	0.22	0.28
寿命末期	0.23	0.26

V-2-3-3-2 炉心支持構造物の耐震性についての計算書

V-2-3-3-2-1 炉心シュラウドの耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-別添 6-2 炉心シュラウドの応力計算書」による。

V-2-3-3-2-2 シュラウドサポートの耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-別添 6-3 シュラウドサポートの応力計算書」による。

V-2-3-3-2-3 上部格子板の耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-別添 6-4 上部格子板の応力計算書」による。

V-2-3-3-2-4 炉心支持板の耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-別添 6-5 炉心支持板の応力計算書」による。

V-2-3-3-2-5 中央燃料支持金具の耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-別添 6-7 中央燃料支持金具の応力計算書」による。

V-2-3-3-2-6 周辺燃料支持金具の耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-別添 6-8 周辺燃料支持金具の応力計算書」による。

V-2-3-3-2-7 制御棒案内管の耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-別添 6-9 制御棒案内管の応力計算書」による。

V-2-3-4 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書

V-2-3-4-1 原子炉圧力容器本体の耐震性についての計算書

V-2-3-4-1-1 胴板の耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-1-2-2-2 原子炉圧力容器の応力計算書（その2）」による。

V-2-3-4-1-2 下部鏡板の耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-1-2-2-1 原子炉圧力容器の応力計算書（その1）」による。

V-2-3-4-1-3 制御棒駆動機構ハウジング貫通孔の耐震性についての
計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-1-2-2-2 原子炉圧力容器の応力計算書（その2）」による。

V-2-3-4-1-4 再循環水出口ノズル（N1）の耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-1-2-2-2 原子炉圧力容器の応力計算書（その2）」による。

V-2-3-4-1-5 再循環水入口ノズル (N2) の耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-1-2-2-2 原子炉圧力容器の応力計算書（その2）」による。

V-2-3-4-1-6 主蒸気ノズル(N3) の耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-1-2-2-2 原子炉圧力容器の応力計算書（その2）」による。

V-2-3-4-1-7 給水ノズル (N4) の耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-1-2-2-1 原子炉圧力容器の応力計算書（その1）」による。

V-2-3-4-1-8 炉心スプレイノズル (N5) の耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-1-2-2-2 原子炉圧力容器の応力計算書（その2）」による。

V-2-3-4-1-9 低圧注水ノズル（N17）の耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-1-2-2-2 原子炉圧力容器の応力計算書（その2）」による。

V-2-3-4-1-10 上鏡スプレイノズル (N6) の耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-1-2-2-2 原子炉圧力容器の応力計算書（その2）」による。

V-2-3-4-1-11 ベントノズル (N7) の耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-1-2-2-2 原子炉圧力容器の応力計算書（その2）」による。

V-2-3-4-1-12 ジェットポンプ計測管貫通部ノズル（N8）の
耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-1-2-2-2 原子炉圧力容器の応力計算書（その2）」による。

V-2-3-4-1-13 差圧検出・ほう酸水注入管ノズル（N10）の
耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-1-2-2-2 原子炉圧力容器の応力計算書（その2）」による。

V-2-3-4-1-14 計装ノズル（N11）の耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-1-2-2-2 原子炉圧力容器の応力計算書（その2）」による。

V-2-3-4-1-15 計装ノズル（N12）の耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-1-2-2-2 原子炉圧力容器の応力計算書（その2）」による。

V-2-3-4-1-16 ドレンノズル (N15) の耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-1-2-2-2 原子炉圧力容器の応力計算書（その2）」による。

V-2-3-4-1-17 計装ノズル（N16）の耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-1-2-2-2 原子炉圧力容器の応力計算書（その2）」による。

V-2-3-4-1-18 ブラケット類の耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-1-2-2-2 原子炉圧力容器の応力計算書（その2）」による。

V-2-3-4-2 原子炉圧力容器支持構造物の耐震性についての計算書

V-2-3-4-2-1 原子炉压力容器スカートの耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-1-2-2-1 原子炉圧力容器の応力計算書（その1）」による。

V-2-3-4-2-2 原子炉圧力容器の基礎ボルトの耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-1-2-2-2 原子炉圧力容器の応力計算書（その2）」による。

V-2-3-4-3 原子炉压力容器附属構造物の耐震性についての計算書

V-2-3-4-3-1 原子炉压力容器スタビライザの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 構造説明	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	3
3. 形状及び主要寸法	4
4. 設計条件	5
4.1 設計荷重	5
4.2 材料及び許容応力	7
5. 応力計算	8
5.1 応力評価点	8
5.2 応力計算方法	9
6. 評価結果	10

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の検討方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉压力容器スタビライザが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価は原子炉压力容器スタビライザの応力評価により行う。

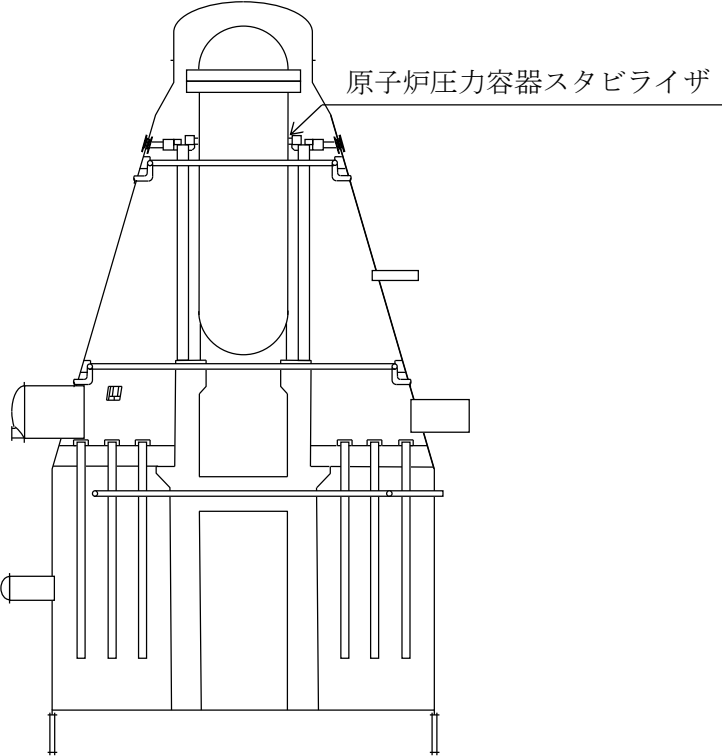
原子炉压力容器スタビライザは設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に分類され、以下、基準地震動の策定に伴う耐震評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

原子炉圧力容器スタビライザの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
原子炉遮蔽壁に設置されたベースプレート上に溶接される。	原子炉圧力容器外周に 8 個等間隔に配置されている。	

2.2 評価方針

原子炉圧力容器スタビライザの応力評価は，東海第二発電所 昭和 50 年 10 月 6 日付け 50 資庁第 8314 号（既工認）にて認可された実績のある手法を適用する。

3. 形状及び主要寸法

原子炉圧力容器スタビライザの形状及び主要寸法を図 3-1 に示す。

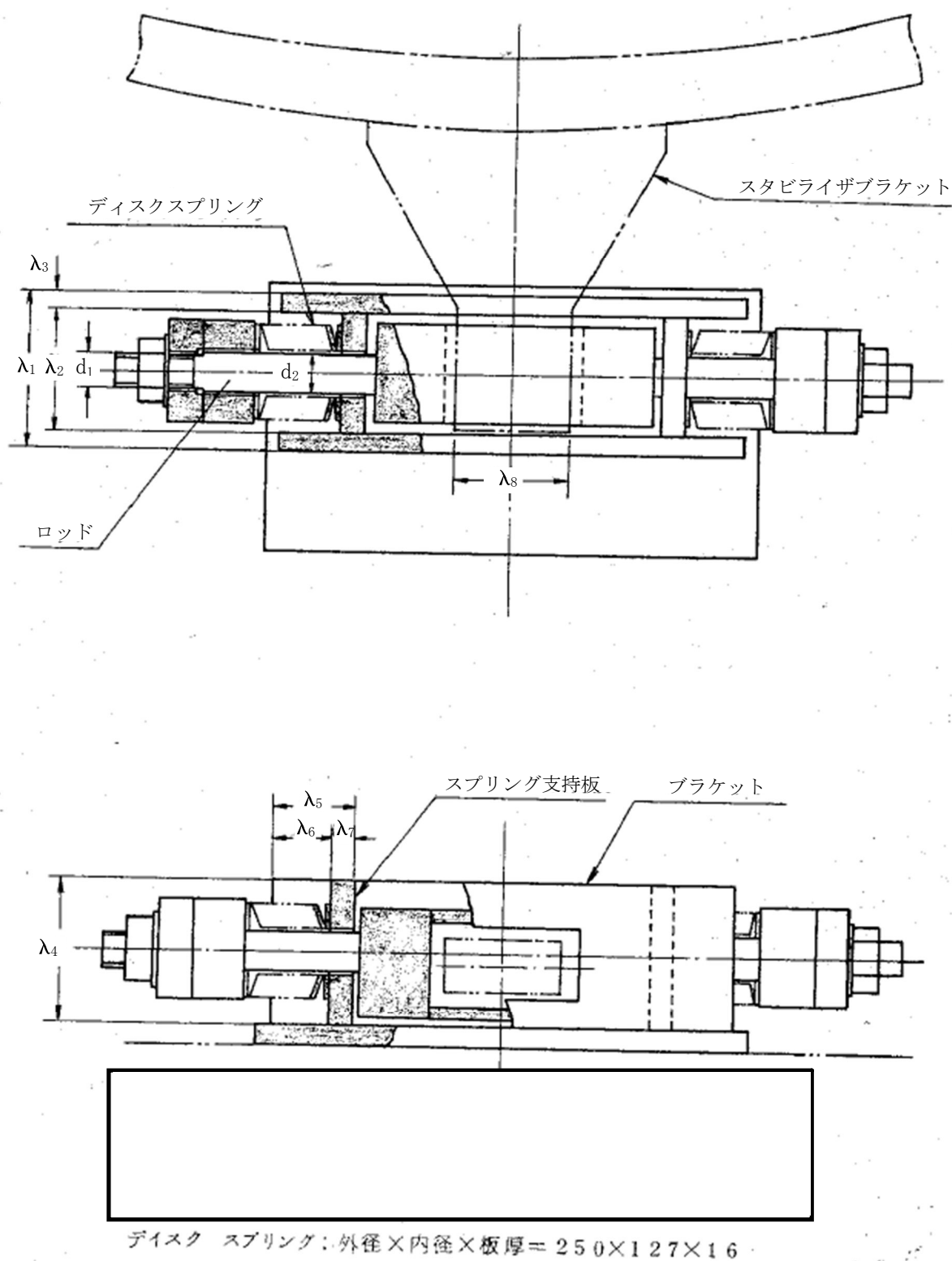


図 3-1 原子炉圧力容器スタビライザの形状及び主要寸法（単位：mm）

4. 設計条件

4.1 設計荷重

(1) 最高使用温度

温度 T_D 302 °C

(2) スタビライザ初期締付荷重

$F_o =$

(3) 地震荷重

スタビライザに加わる地震荷重を表 4-1 に示す。

また、スタビライザ各部における初期締め付け荷重と外力との力の釣合関係は図 4-1 に示すようになる。

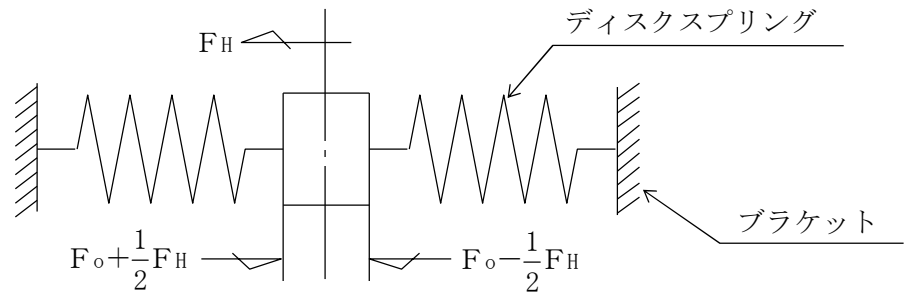


図 4-1 スタビライザに加わる荷重

表 4-1 弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s による水平方向地震荷重

(単位 : N)		
地震荷重	S_d	S_s
水平方向地震荷重 W_H		

(4) スタビライザ各部に加わる荷重

a. スタビライザブラケットに加わる荷重

$$F_H = \frac{1}{4} \cdot W_H$$

b. ロッドに加わる荷重

構造上ロッドには初期締付荷重による引張荷重と水平荷重の 1/2 が加わる。

$$W_R = F_o + \frac{1}{2} \cdot F_H$$

c. スプリング支持板に加わる荷重

構造上スプリング支持板には最大で次の荷重が加わる。

$$W_A = F_o + \frac{1}{2} \cdot F_H$$

荷重の計算結果を表 4-2 に示す。

表 4-2 スタビライザ各部に加わる設計荷重

(単位：N)

設計荷重	S _d	S _s
スタビライザブラケットに 加わる荷重F _H		
ロッドに加わる荷重W _R		
スプリング支持板に 加わる荷重W _A		

4.2 材料及び許容応力

(1) 材料

ロッド

ブラケット



(2) 荷重の組合せ及び許容応力

基準地震動の策定に伴う地震荷重との組合せの評価として、荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4-3 に示す。各材料の許容応力状態に対する許容応力を表 4-4 に示す。

表4-3 荷重の組合せ及び許容応力状態

施設区分		機器名称	耐震重要 度分類	機器等 の区分	荷重の組合せ	許容応力 状態
原子炉 本体	原子炉圧 力容器付 属構造物	原子炉 圧力容器 スタビ ライザ	S	—	$D + P + M + S_d$	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	Ⅳ _A S

表4-4 許容応力

(単位：MPa)

材料	許容応力 状態	基準応力 F	許容応力（一次応力）			
			引張り f_t	曲げ f_b	せん断 f_s	組合せ f_t
SNCM439	Ⅲ _A S	587	440	—	—	—
	Ⅳ _A S	587	440	—	—	—
SM400A	Ⅲ _A S	149	—	172	86	149
	Ⅳ _A S	179	—	207	103	179

5. 応力計算

5.1 応力評価点

応力評価点を表 5-1 に示す。

表 5-1 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	ロッド
P 2	スプリング支持板

5.2 応力計算方法

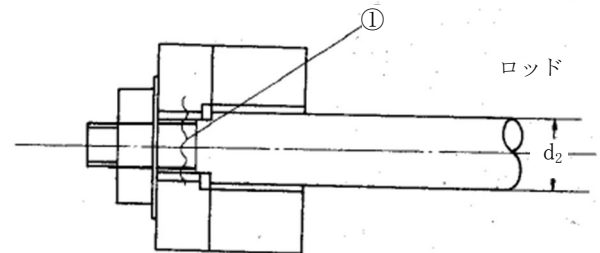
(1) ロッド (応力評価点 P 1)

①点における引張応力

$$\sigma_t = \frac{W_R}{A}$$

ここで,

$$A = \boxed{}$$



(2) スプリング支持板 (応力評価点 P 2)

a. 曲げ応力

①, ②点における曲げ応力

$$\sigma_{①} = \frac{6M_{①}}{\lambda_4 \cdot \lambda_7^2}$$

$$\sigma_{②} = \frac{6M_{②}}{\lambda_2 \cdot \lambda_7^2}$$

ここで,

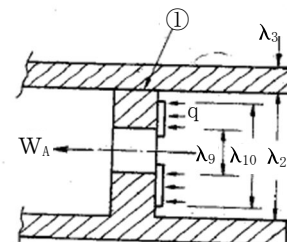
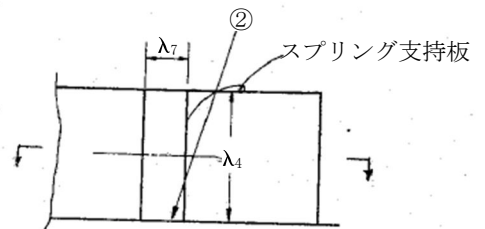
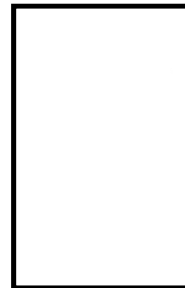
$$M_{①} = \gamma_{①} \cdot q \cdot \lambda_2^2$$

$$M_{②} = \delta_{②} \cdot q \cdot \lambda_2^2$$

$$\gamma_{①} = -0.0818$$

$$\delta_{②} = -0.0567$$

$$q = \frac{W_A}{S_W}$$

 S_W : ワッシャーの側面積 = $\boxed{}$


b. せん断応力

$$\tau = \frac{W_A}{A}$$

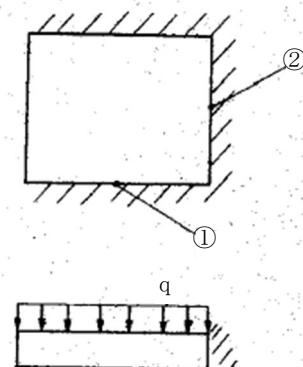
ここで,

$$A = \boxed{}$$

c. 組合せ応力

$$\sigma_{\tau_{①}} = \sqrt{\sigma_{①}^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

$$\sigma_{\tau_{②}} = \sqrt{\sigma_{②}^2 + 3 \cdot \tau^2}$$



6. 評価結果

原子炉圧力容器スタビライザの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅳ_ASに対する応力評価結果を表 6-1 に示す。

表 4-3 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_s$ の評価について記載している。

(2) 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅲ_ASに対する応力評価結果を表 6-2 に示す。

表 4-3 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_d$ の評価について記載している。

表 6-1 許容応力状態ⅣASに対する応力評価結果（D + P + M + S_s）

評価対象設備	評価部位		応力分類	ⅣAS		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
原子炉圧力容器 スタビライザ	P 1	ロッド	引張応力	410	440	○	
	P 2	スプリング支持板	曲げ応力	1	207	○	
			せん断応力	23	103	○	
			組合せ応力	40	179	○	

表 6-2 許容応力状態ⅢA Sに対する応力評価結果 (D + P + M + S_d)

評価対象設備	評価部位		応力分類	ⅢA S		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
原子炉圧力容器 スタビライザ	P 1	ロッド	引張応力	404	440	○	
	P 2	スプリング支持板	曲げ応力	1	172	○	
			せん断応力	23	86	○	
			組合せ応力	40	149	○	

V-2-3-4-3-2 原子炉格納容器スタビライザの耐震性についての
計算書

目次

1. 概要 1

2. 構造説明 2

2.1 構造計画 2

2.2 評価方針 3

3. 形状及び主要寸法 4

4. 設計条件 5

4.1 設計荷重 5

4.2 材料及び許容応力 7

5. 応力計算 8

5.1 応力評価点 8

5.2 応力計算方法 9

6. 評価結果 11

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の検討方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉格納容器スタビライザが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価は原子炉格納容器スタビライザの応力評価により行う。

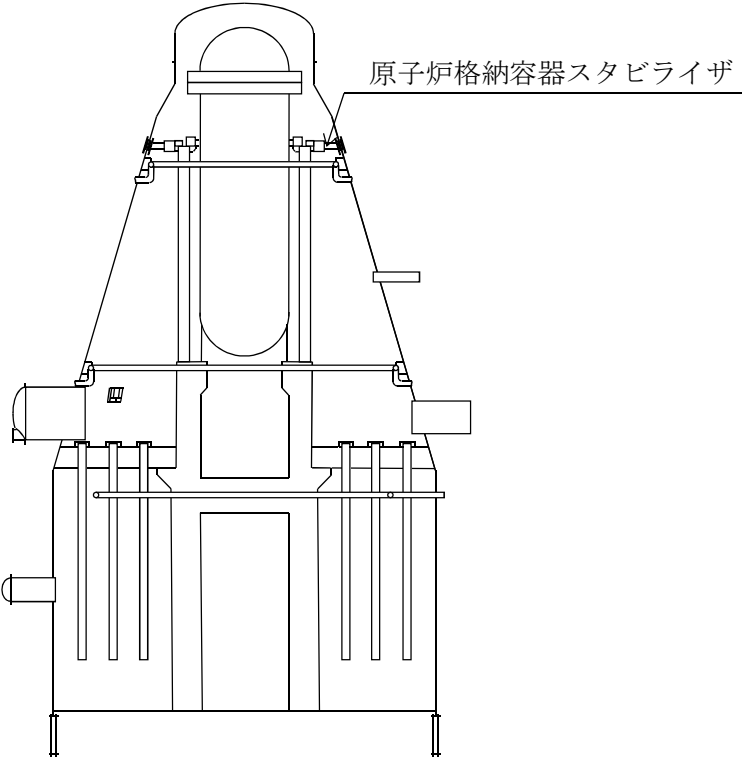
原子炉格納容器スタビライザは設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に分類され、以下、基準地震動の策定に伴う耐震評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

原子炉格納容器スタビライザの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
原子炉遮蔽壁に溶接される。	原子炉遮蔽壁外周に 16 個等間隔に配置されている。	

2.2 評価方針

原子炉格納容器スタビライザの応力評価は，東海第二発電所 昭和 50 年 10 月 6 日付け 50 資庁第 8314 号（既工認）にて認可された実績のある手法を適用する。

3. 形状及び主要寸法

原子炉格納容器スタビライザの形状及び主要寸法を図 3-1 に示す。

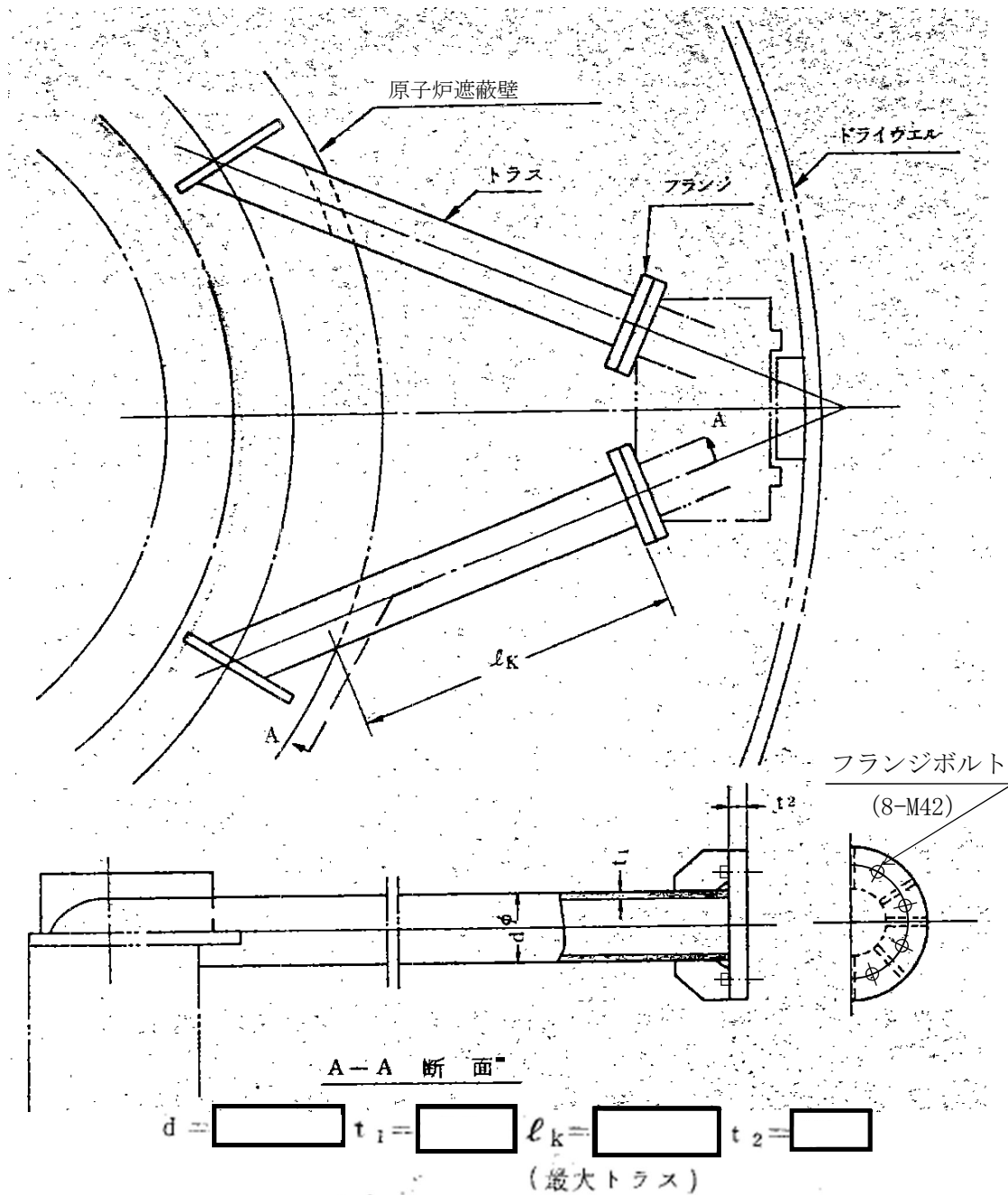


図 3-1 原子炉格納容器スタビライザの形状及び主要寸法 (単位: mm)

4. 設計条件

4.1 設計荷重

(1) 最高使用温度 T_D 171 °C

(2) 死荷重 W_D

(3) 地震荷重

スタビライザに加わる鉛直方向設計震度を表 4-1 に, 水平方向地震荷重を表 4-2 に示す。

表 4-1 鉛直方向設計震度

方向	S_d	S_s
鉛直方向 C_V		

表 4-2 弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s による水平方向地震荷重

(単位 : N)

地震荷重	S_d	S_s
水平方向地震荷重 W_H		

a. 原子炉格納容器スタビライザ 1 本に作用する荷重

スタビライザと水平方向地震荷重の作用方向の関係を図 4-1 に示す。

水平方向地震荷重が加わる場合の各位置における荷重の分配は次式で示される。

$$W_1 = \frac{1}{4} \cdot W_H$$

$$F = F_1 = \frac{1}{4} \cdot \frac{W_H}{2 \sin \theta_1}$$

ここで,

$$\theta_1 = \text{$$

荷重の計算結果を表 4-3 に示す。

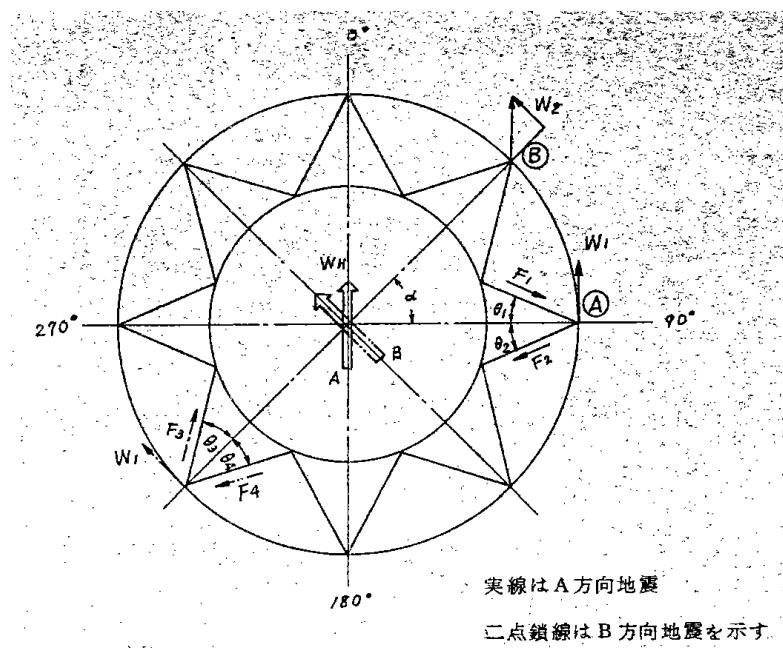


図 4-1 水平荷重の分配

表 4-3 原子炉格納容器スタビライザ 1 本に作用する荷重

(単位 : N)

荷重	S_d	S_s
F		

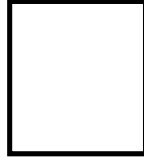
4.2 材料及び許容応力

(1) 材料

フランジ

トラス

フランジボルト



(2) 荷重の組合せ及び許容応力

基準地震動の策定に伴う地震荷重との組合せの評価として、荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4-4 に示す。各材料の許容応力状態に対する許容応力を表 4-5 に示す。

表4-4 荷重の組合せ及び許容応力状態

施設区分		機器名称	耐震重要 度分類	機器等 の区分	荷重の組合せ	許容応力 状態
原子炉 本体	原子炉圧 力容器付 属構造物	原子炉格 納容器 スタビ ライザ	S	—	$D + P + M + S_d$	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	Ⅳ _A S

表4-5 許容応力

(単位：MPa)

材料	許容応力 状態	基準応力 F	許容応力				
			引張り f_t	曲げ f_b	せん断 f_s	圧縮 f_c	組合せ f_t
SM400B	Ⅲ _A S	176	176	—	101	—	176
	Ⅳ _A S	211	211	—	122	—	211
STKS1B	Ⅲ _A S	384	384	384	221	303	384
	Ⅳ _A S	384	384	384	221	303	384
SNB24-1	Ⅲ _A S	713	534	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	713	534	—	—	—	—

5. 応力計算

5.1 応力評価点

応力評価点を表 5-1 に示す。

表 5-1 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	フランジとトラスの取付部
P 2	トラス
P 3	トラスと原子炉遮蔽壁との取付部
P 4	フランジボルト

5.2 応力計算方法

(1) フランジとトラスの取付部 (応力評価点 P 1)

a. 引張応力

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

ここで,

$$A = \boxed{}$$

b. せん断応力

$$\tau = \frac{F}{A}$$

ここで,

$$A = \boxed{}$$

c. 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

(2) トラス (応力評価点 P 2)

a. 引張及び圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{F}{A_p} \quad (\text{引張側})$$

$$\sigma_c = \frac{F}{A_p} \quad (\text{圧縮側})$$

ここで,

$$A_p = \boxed{}$$

b. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z_p} = \frac{(1 + C_v) W_D \cdot \lambda}{Z_p}$$

ここで,

$$\lambda = \boxed{}$$

$$Z_p = \boxed{}$$

c. せん断応力

$$\tau = \frac{F_s}{A_p} = \frac{(1 + C_v) W_D}{A_p}$$

ここで,

$$A_p = \boxed{}$$

d. 組合せ応力

(a) 垂直応力とせん断応力の組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (\text{引張側})$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (\text{圧縮側})$$

- (b) 圧縮力と曲げモーメントを受ける部材の組合せ応力

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_b - \sigma_c}{f_t} \leq 1$$

- (c) 引張力と曲げモーメントを受ける部材の組合せ応力

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_b - \sigma_t}{f_b} \leq 1$$

- (3) トラスと原子炉遮蔽壁との取付部（応力評価点 P 3）

- a. せん断応力

$$\tau = \frac{F}{A}$$

ここで,

$$A = \boxed{}$$

- b. 引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A} = \frac{(1 + C_v) W_D}{A}$$

ここで,

$$A = \boxed{}$$

- c. 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- (4) フランジボルト（応力評価点 P 4）

- a. 引張応力

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

ここで,

n : フランジボルト本数 = 8 本

D : 呼び径 = $\boxed{}$

A : 呼び径断面積 = $\pi / 4 \cdot D^2 \cdot n = \boxed{}$

6. 評価結果

原子炉格納容器スタビライザの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅳ_ASに対する応力評価結果を表 6-1 に示す。

表 4-4 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_s$ の評価について記載している。

(2) 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅲ_ASに対する応力評価結果を表 6-2 に示す。

表 4-4 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_d$ の評価について記載している。

表 6-1(1) 許容応力状態ⅣAS に対する応力評価結果 (D + P + M + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	ⅣAS		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				(MPa)	(MPa)		
原子炉格納容器 スタビライザ	P 1	フランジとトラスの取付部	引張応力	125	211	○	
			せん断応力	54	122	○	
			組合せ応力	157	211	○	
	P 2	トラス	引張応力	158	384	○	
			曲げ応力	155	384	○	
			せん断応力	4	221	○	
			圧縮応力	158	303	○	
			組合せ応力	313	384	○	
	P 3	トラスと原子炉遮蔽壁との 取付部	引張応力	2	384	○	
			せん断応力	79	221	○	
			組合せ応力	137	384	○	
	P 4	フランジボルト	引張応力	509	534	○	

表 6-1(2) 許容応力状態ⅣAS に対する応力評価結果 (D + P + M + S_s)

評価対象設備	評価部位		荷重	評価式*1, *2	計算値		判定	備考
原子炉格納容器 スタビライザ	P 2	トラス	圧縮力と 曲げモーメント	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{c\sigma_b}{f_b}$	0.925	≦1	○	
				$\frac{t\sigma_b - \sigma_c}{f_t}$	-0.008	≦1	○	
			引張力と 曲げモーメント	$\frac{\sigma_t + t\sigma_b}{f_t}$	0.816	≦1	○	
				$\frac{c\sigma_b - \sigma_t}{f_b}$	-0.008	≦1	○	

注記 *1：設計・建設規格 SSB-3121.1(6)項より。

*2：記号は以下のとおり。

f_c：許容圧縮応力

f_b：許容曲げ応力

f_t：許容引張応力

σ_c：平均圧縮応力

cσ_b：圧縮側曲げ応力

tσ_b：引張側曲げ応力

σ_t：平均引張応力

表 6-2(1) 許容応力状態ⅢAS に対する応力評価結果 (D + P + M + S_d)

評価対象設備	評価部位		応力分類	ⅢAS		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				(MPa)	(MPa)		
原子炉格納容器 スタビライザ	P 1	フランジとトラスの取付部	引張応力	107	176	○	
			せん断応力	46	101	○	
			組合せ応力	134	176	○	
	P 2	トラス	引張応力	135	384	○	
			曲げ応力	143	384	○	
			せん断応力	4	221	○	
			圧縮応力	135	303	○	
			組合せ応力	278	384	○	
	P 3	トラスと原子炉遮蔽壁との 取付部	引張応力	2	384	○	
			せん断応力	67	221	○	
			組合せ応力	116	384	○	
	P 4	フランジボルト	引張応力	435	534	○	

表 6-2(2) 許容応力状態ⅢAS に対する応力評価結果 (D + P + M + S_d)

評価対象設備	評価部位		荷重	評価式*1, *2	計算値		判定	備考
原子炉格納容器 スタビライザ	P 2	トラス	圧縮力と 曲げモーメント	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{c\sigma_b}{f_b}$	0.818	≤ 1	○	
				$\frac{t\sigma_b - \sigma_c}{f_t}$	0.021	≤ 1	○	
			引張力と 曲げモーメント	$\frac{\sigma_t + t\sigma_b}{f_t}$	0.724	≤ 1	○	
				$\frac{c\sigma_b - \sigma_t}{f_b}$	0.021	≤ 1	○	

注記 *1：設計・建設規格 SSB-3121.1(6)項より。

*2：記号は以下のとおり。

f_c ：許容圧縮応力

f_b ：許容曲げ応力

f_t ：許容引張応力

σ_c ：平均圧縮応力

$c\sigma_b$ ：圧縮側曲げ応力

$t\sigma_b$ ：引張側曲げ応力

σ_t ：平均引張応力

V-2-3-4-3-3 制御棒駆動機構ハウジング支持金具の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 構造説明	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	3
3. 形状及び主要寸法	4
4. 設計条件	5
4.1 設計荷重	5
4.2 材料及び許容応力	6
5. 応力計算	7
5.1 応力評価点	7
5.2 応力計算方法	8
6. 評価結果	10

1. 概要

本計算書は、添付書類V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、制御棒駆動機構ハウジング（以下「CRDハウジング」という）支持金具が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価はCRDハウジング支持金具の応力評価により行う。

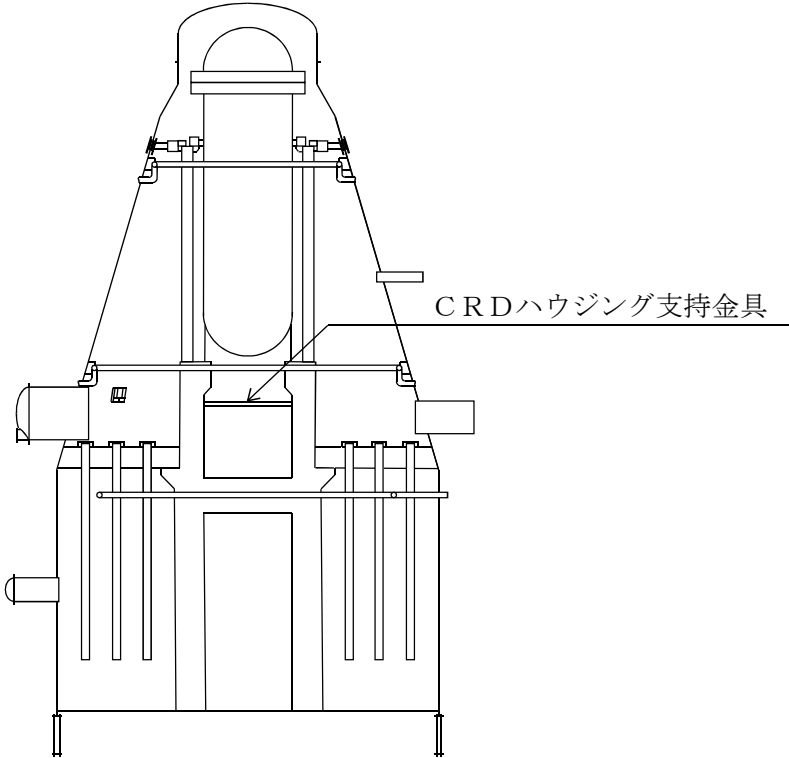
CRDハウジング支持金具は設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に分類され、以下、基準地震動の策定に伴う耐震評価を行う。

2. 構造説明

2.1 構造計画

CRDハウジング支持金具の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
・CRDハウジング支持金具は原子炉本体の基礎に支持される。	・CRDハウジング支持金具は鋼製の支持構造物である。 ・CRDハウジングが完全に破断またはフランジボルトが破断した場合に、制御棒を含めた駆動機構全体の落下を制限する。 ・CRDハウジングの地震時横揺れを防止する。	

2.2 評価方針

CRDハウジング支持金具は、原子炉圧力容器付属構造物として地震荷重に対する機能維持評価を行う。なお、強度評価部位はレストレントビーム及びレストレントビームボルトとする。

また、設計荷重として、地震時の鉛直荷重、水平荷重とし、発生応力が許容応力を下回ることにより、地震荷重に対する機能維持を確認する。許容応力は、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月）による。

4. 設計条件

4.1 設計荷重

(1) 死荷重

レストレントビームの死荷重 W_D

(2) 地震荷重

レストレントビームの設計震度を表 4-1 に，レストレントビームのばね反力による水平方向地震荷重を表 4-2 に示す。

表 4-1 設計震度

方向	S_d	S_s
鉛直方向 C_V		
水平方向 C_H		

表 4-2 弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s によるばね反力による水平方向地震荷重

地震荷重	S_d	S_s
水平方向地震荷重 $H(N)$		

4.2 材料及び許容応力

(1) 材料

レストレントビーム

レストレントビーム結合ボルト



(2) 荷重の組合せ及び許容応力

基準地震動の策定に伴う地震荷重との組合せの評価として、荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4-3 に示す。各材料の許容応力状態に対する許容応力を表 4-4 に示す。

表4-3 荷重の組合せ及び許容応力状態

施設区分		機器名称	耐震重要 度分類	機器等 の区分	荷重の組合せ	許容応力 状態
原子炉 本体	原子炉 圧力容器 付属構造 物	CRDハ ウジング 支持金具	S	—	$D + P + M + S_d$	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	Ⅳ _A S

表4-4 許容応力状態に対する許容応力

(単位：MPa)

材料	許容応力 状態	基準応力 F	許容応力		
			引張応力 f_t	曲げ応力 f_b	せん断応力 f_s
SM400B	Ⅲ _A S	201	—	201	—
	Ⅳ _A S	241	—	241	—
F10T	Ⅲ _A S	700	525	—	404
	Ⅳ _A S		394	—	404

5. 応力計算

5.1 応力評価点

応力評価点を表 5-1 及び図 5-1 に示す。

表 5-1 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
A	レストレントビーム一般部
B	レストレントビーム端部
C	レストレントビームボルト

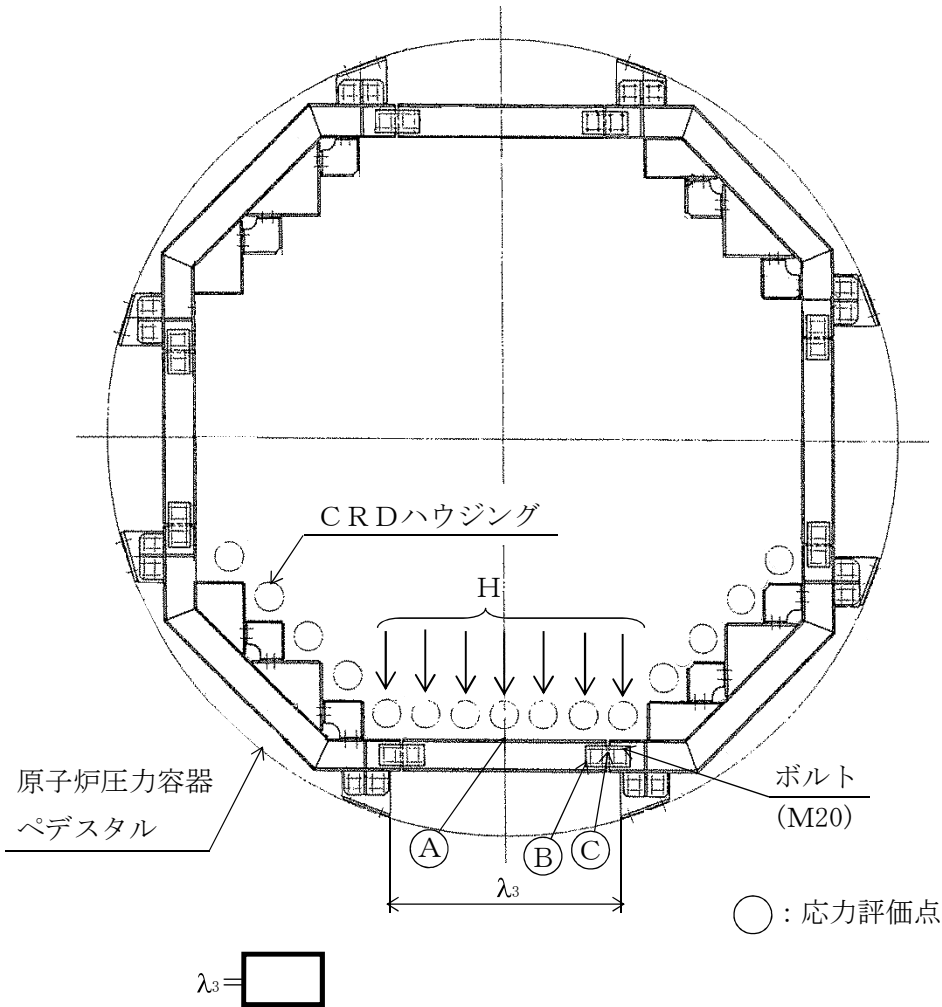


図 5-1 応力評価点 (単位 : mm)

5.2 応力計算方法

4章で示した荷重によりレストレントビームに生じる応力は、次式により計算する。

(1) 荷重

図5-2に示す両端支持ばりとして計算する。自重による鉛直荷重も考慮する。

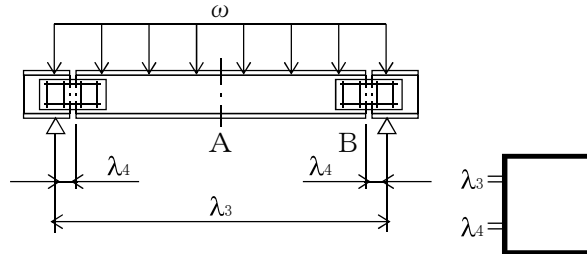


図5-2 計算モデル (単位: mm)

a. 分布荷重

(a) 死荷重 W_D による等分布荷重

$$\omega_D = \frac{W_D}{L}$$

ここで,

L : レストレントビーム全長 =

(b) 水平方向地震による等分布荷重

$$\omega_H = \omega_1$$

ここで,

ω_1 : 水平方向地震荷重 H による等分布荷重

$$\omega_1 = \frac{H}{\lambda_3}$$

(c) 鉛直方向地震による等分布荷重

$$\omega_V = \omega_D \cdot (1 + C_V)$$

b. A点での曲げモーメント

(a) 水平方向地震によるモーメント

$$M_{HA} = \frac{\omega_H \lambda_3^2}{8}$$

(b) 鉛直方向地震によるモーメント

$$M_{VA} = \frac{\omega_V \lambda_3^2}{8}$$

c. B点での曲げモーメント

(a) 水平方向地震によるモーメント

$$M_{HB} = \frac{\omega_H \lambda_4}{2} (\lambda_3 - \lambda_4)$$

(b) 鉛直地震によるモーメント

$$M_{VB} = \frac{\omega_V \lambda_d}{2} (\lambda_3 - \lambda_d)$$

(2) 応力

a. A点での曲げ応力

$$\sigma_{bA} = \frac{M_{HA}}{Z_{HA}} + \frac{M_{VA}}{Z_{VA}}$$

ここで,

$$Z_{HA} =$$

$$Z_{VA} =$$

b. B点での曲げ応力

$$\sigma_{bB} = \frac{M_{HB}}{Z_{HB}} + \frac{M_{VB}}{Z_{VB}}$$

ここで,

$$Z_{HB} =$$

$$Z_{VB} =$$

c. ボルトの引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_1}{n_1 A}$$

ここで,

F_1 : ボルトの引張力

$$F_1 = \omega_V \cdot \lambda_3$$

d : ボルトの呼び径 =

A : ボルト断面積 = $\pi \cdot d^2 / 4 =$

n_1 : 引張を受けるボルト本数 = 8 本

d. ボルトのせん断応力

$$\tau = \frac{F_2}{n_2 A}$$

ここで,

F_2 : ボルトのせん断力

$$F_2 = \omega_H \cdot \lambda_3 / 2$$

n_2 : せん断を受けるボルト本数 = 4 本

6. 評価結果

CRDハウジング支持金具の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅳ_ASに対する応力評価結果を表 6-1 に示す。

表 4-3 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_s$ の評価について記載している。

(2) 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅲ_ASに対する応力評価結果を表 6-2 に示す。

表 4-3 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_d$ の評価について記載している。

表 6-1 許容応力状態ⅣASに対する応力評価結果 (D + P + M + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	ⅣAS		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				(MPa)	(MPa)		
CRDハウジング 支持金具	A	レストレントビーム一般部	曲げ応力	149	241	○	
	B	レストレントビーム端部	曲げ応力	89	241	○	
	C	レストレントビームボルト	引張応力	3	394	○	
			せん断応力	213	404	○	

表 6-2 許容応力状態ⅢASに対する応力評価結果 (D + P + M + S_d)

評価対象設備	評価部位		応力分類	ⅢAS		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				(MPa)	(MPa)		
CRDハウジング 支持金具	A	レストレントビーム一般部	曲げ応力	91	201	○	
	B	レストレントビーム端部	曲げ応力	54	201	○	
	C	レストレントビームボルト	引張応力	2	525	○	
			せん断応力	128	404	○	

V-2-3-4-3-4 差圧検出・ほう酸水注入管（ティーより N10 ノズル
までの外管）の耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-2-3-4-4-10 差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉圧力容器内部及びティーより N10 ノズルまでの外管）の耐震性についての計算書」による。

V-2-3-4-4 原子炉圧力容器内部構造物の耐震性についての計算書

V-2-3-4-4-1 蒸気乾燥器ユニットの耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-1-4-2 蒸気乾燥器の応力計算書」による。

V-2-3-4-4-2 蒸気乾燥器ハウジングの耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については, 添付書類「V-3-1-4-2 蒸気乾燥器の応力計算書」による。

V-2-3-4-4-3 気水分離器及びスタンドパイプの耐震性についての
計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-1-4-3 気水分離器及びスタンドパイプの応力計算書」による。

V-2-3-4-4-4 シュラウドヘッドの耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-3-1-4-4 シュラウドヘッドの応力計算書」による。

V-2-3-4-4-5 ジェットポンプの耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
2. 計算	1
2.1 計算方法	1
2.2 形状・寸法	1
2.3 設計震度	1
3. 計算結果	2
3.1 固有周期	2
3.2 最大応答値	2

図表目次

図 2-1 形状・寸法	3
図 2-2 計算モデル	4
表 2-1 節点座標	5
表 2-2 計算モデルのデータ諸元	6
表 3-1 計算結果（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）	7
表 3-2 計算結果（基準地震動 S_s ）	7

1. 一般事項

本計算書は、ジェットポンプ（耐震設計上の重要度分類Sクラス）の耐震性についての計算書である。

2. 計算

2.1 計算方法

材料及び形状に関するデータから、固有周期を求める。さらに、入力加速度に対する各節点の軸力、せん断力及びモーメントの最大値を求める。

以上の計算は、計算機コード「NASTRAN」を用いて行う。

2.2 形状・寸法

本機器の概略形状を図 2-1 に示し、計算モデルを図 2-2 に示す。

また、各節点の座標及び計算モデルのデータ諸元を表 2-1 及び表 2-2 に示す。



2.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

	設計震度	
	水平方向	鉛直方向
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		
基準地震動 S_s		

3. 計算結果

3.1 固有周期

ジェットポンプの一次固有周期は、であるから十分剛である。

3.2 最大応答値

軸力，せん断力，ねじりモーメント及び曲げモーメントの最大応答値を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

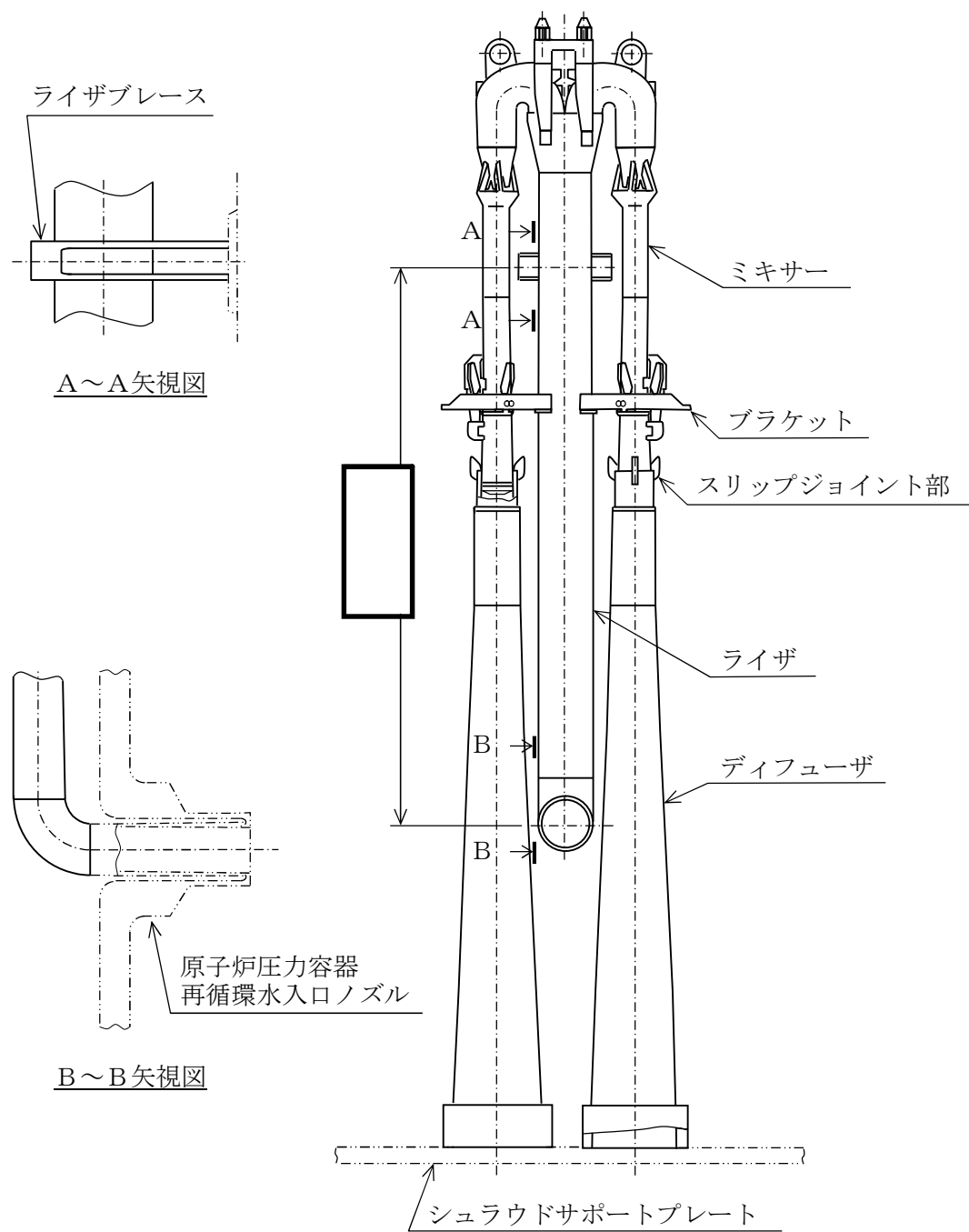


図 2-1 形状・寸法 (単位 : mm)

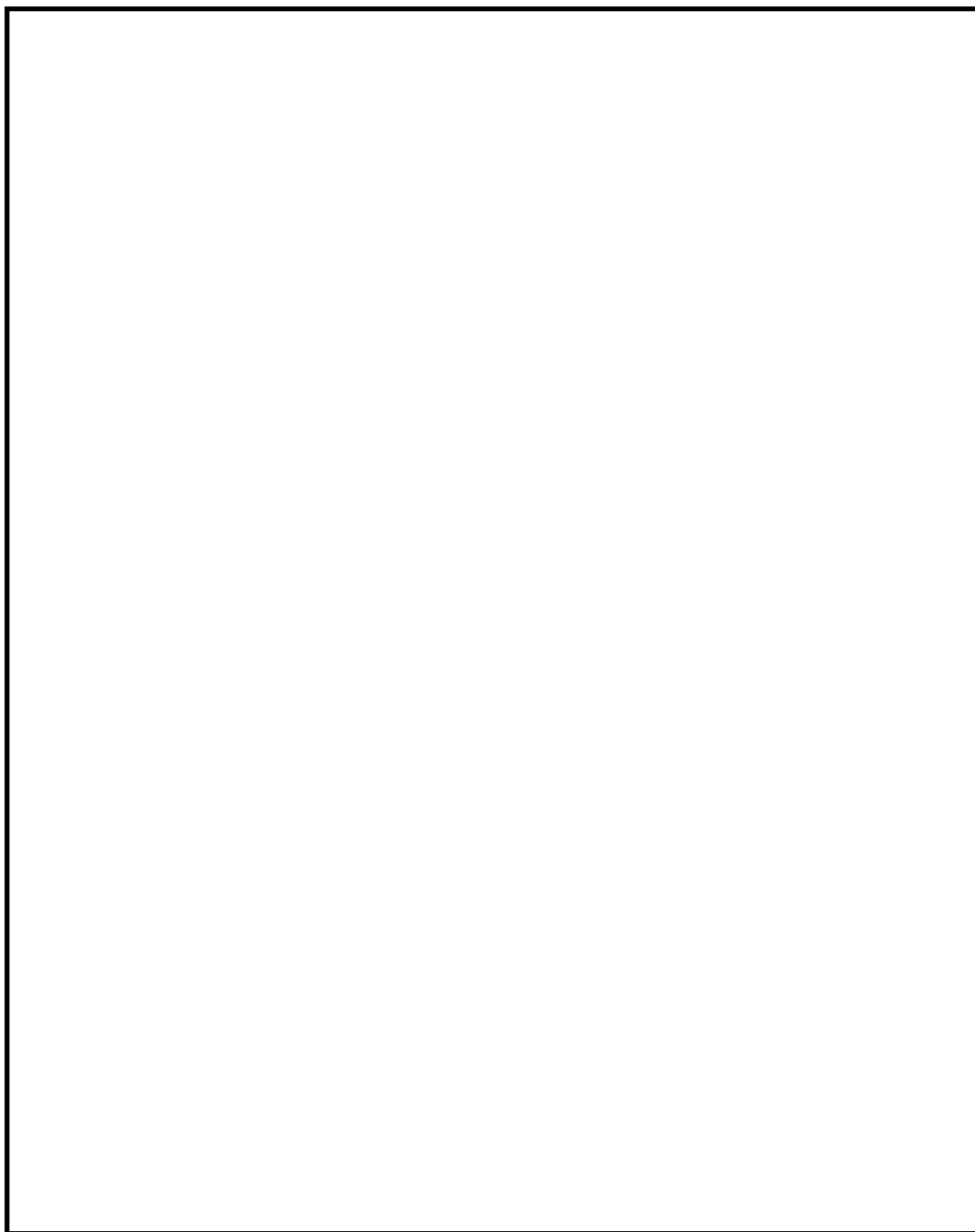


図 2-2 計算モデル

表 2-1 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			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			

表 2-2 計算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/mm³)
	外径	内径			
1～ 2, 35～36					
2～ 3, 36～37					
3～ 4, 37～38					
4～ 5, 38～39					
5～ 6, 39～40					
6～ 7, 40～41					
7～ 8, 41～42					
9～10, 43～44					
10～11, 44～45					
11～12, 45～46					
12～13, 46～47					
13～14, 47～48					
14～21, 48～54, 54～21					
21～22					
22～30					
30～31					
31～34					
55～56, 56～26, 26～57, 57～58					
59～63, 66～70					
63～64, 64～24, 24～65, 65～66					

表 3-1 計算結果（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）

節点番号	軸力	せん断力	ねじりモーメント	曲げモーメント
	F_L (N)	F_s (N)	T (N・mm)	M (N・mm)
1～ 8, 35～42				
9～21, 43～54, 54-21				
21～34, 55～56, 56-26				
26-57, 57～58				
59～63, 66～70				
63～64, 64-24				
24-65, 65～66				

表 3-2 計算結果（基準地震動 S_s ）

節点番号	軸力	せん断力	ねじりモーメント	曲げモーメント
	F_L (N)	F_s (N)	T (N・mm)	M (N・mm)
1～ 8, 35～42				
9～21, 43～54, 54-21				
21～34, 55～56, 56-26				
26-57, 57～58				
59～63, 66～70				
63～64, 64-24				
24-65, 65～66				

V-2-3-4-4-6 給水スパージャの耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
2. 計算	1
2.1 計算方法	1
2.2 形状・寸法	1
2.3 設計震度	1
3. 計算結果	2
3.1 固有周期	2
3.2 最大応答値	2

図表目次

図 2-1 形状・寸法	3
図 2-2 計算モデル	4
表 2-1 節点座標	5
表 2-2 計算モデルのデータ諸元	6
表 3-1 計算結果（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）	7
表 3-2 計算結果（基準地震動 S_s ）	7

1. 一般事項

本計算書は、給水スパージャ（耐震設計上の重要度分類Sクラス）の耐震性についての計算書である。

2. 計算

2.1 計算方法

材料及び形状に関するデータから、固有周期を求める。さらに、入力加速度に対する各節点の軸力、せん断力及びモーメントの最大値を求める。

以上の計算は、計算機コード「NASTRAN」を用いて行う。

2.2 形状・寸法

本機器の概略形状を図 2-1 に示し、計算モデルを図 2-2 に示す。

また、各節点の座標及び計算モデルのデータ諸元を表 2-1 及び表 2-2 に示す。



2.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

	設計震度	
	水平方向	鉛直方向
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		
基準地震動 S_s		

3. 計算結果

3.1 固有周期

給水スパージャの一次固有周期は であるから十分剛である。

3.2 最大応答値

軸力，せん断力，ねじりモーメント及び曲げモーメントの最大応答値を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

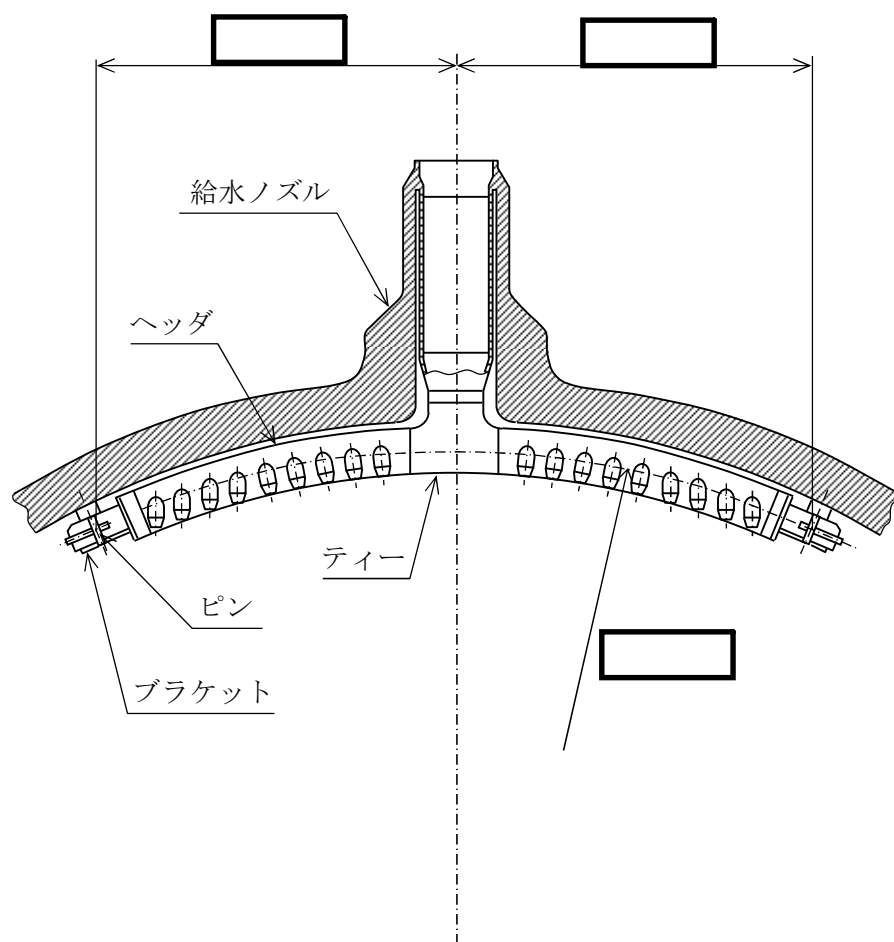


図 2-1 形状・寸法（単位：mm）

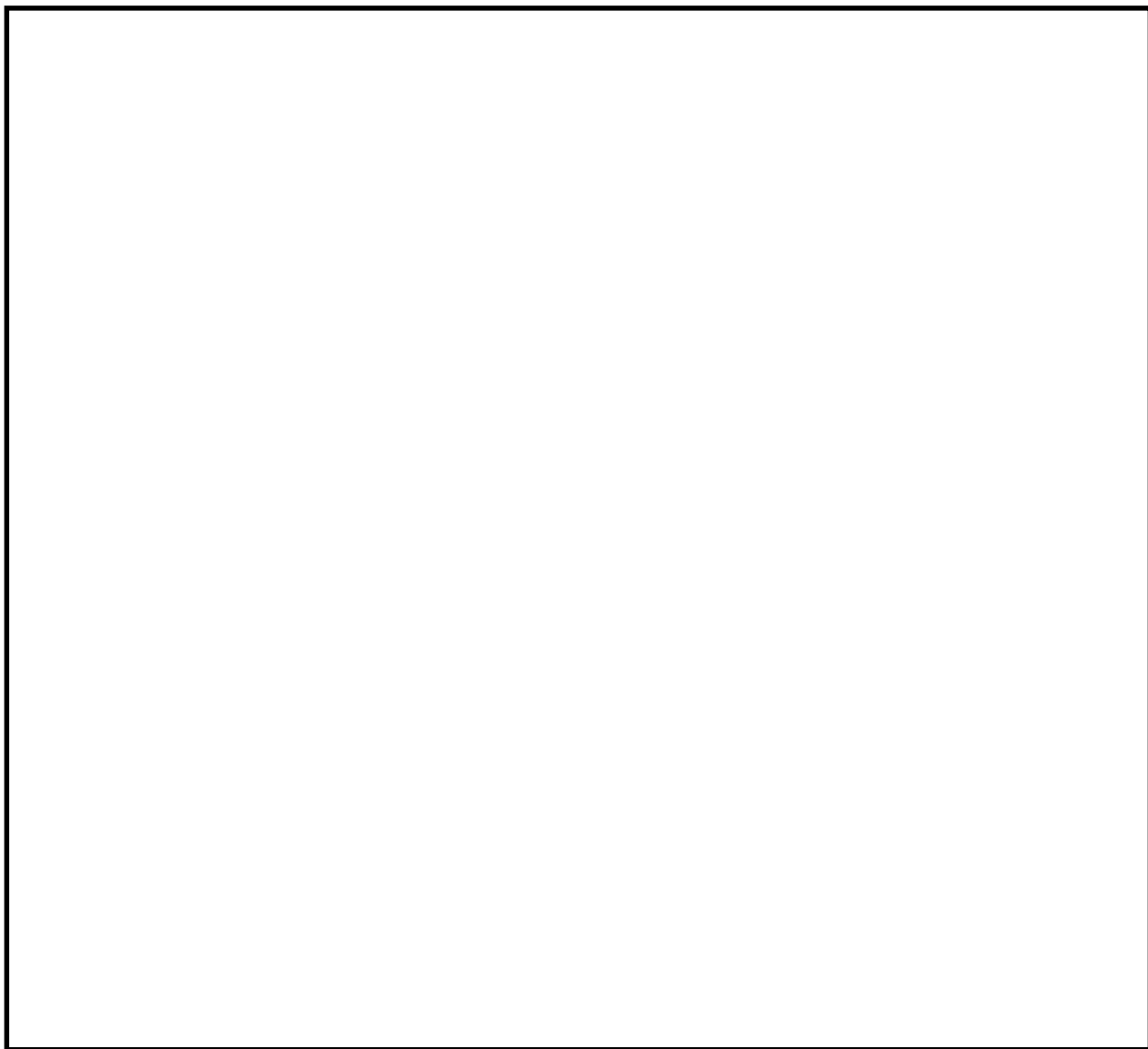


図 2-2 計算モデル

表 2－1 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			

表 2-2 計算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 ³)
	外径	厚さ			
1～ 2					
2～ 3					
3～ 4					
4－15, 15－ 5, 5～ 9, 4－16, 16－10, 10～14					

表 3-1 計算結果（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）

節点番号	軸力	せん断力	ねじりモーメント	曲げモーメント
	F_L (N)	F_S (N)	T (N・mm)	M (N・mm)
1～ 3				
3～ 4				
4-15, 15- 5, 5～ 9, 4-16, 16-10, 10～14				

表 3-2 計算結果（基準地震動 S_s ）

節点番号	軸力	せん断力	ねじりモーメント	曲げモーメント
	F_L (N)	F_S (N)	T (N・mm)	M (N・mm)
1～ 3				
3～ 4				
4-15, 15- 5, 5～ 9, 4-16, 16-10, 10～14				

V-2-3-4-4-7 高圧及び低圧炉心スプレースパー
の耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
2. 計算	1
2.1 計算方法	1
2.2 形状・寸法	1
2.3 設計震度	1
3. 計算結果	2
3.1 固有周期	2
3.2 最大応答値	2

図表目次

図 2-1 形状・寸法	3
図 2-2 計算モデル	4
表 2-1 節点座標	5
表 2-2 計算モデルのデータ諸元	6
表 3-1 計算結果（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）	7
表 3-2 計算結果（基準地震動 S_s ）	7

1. 一般事項

本計算書は、高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ（耐震設計上の重要度分類Sクラス）の耐震性についての計算書である。

2. 計算

2.1 計算方法

材料及び形状に関するデータから、固有周期を求める。さらに、入力加速度に対する各節点の軸力、せん断力及びモーメントの最大値を求める。

以上の計算は、計算機コード「NASTRAN」を用いて行う。

2.2 形状・寸法

本機器の概略形状を図 2-1 に示し、計算モデルを図 2-2 に示す。

また、各節点の座標及び計算モデルのデータ諸元を表 2-1 及び表 2-2 に示す。



2.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

	設計震度	
	水平方向	鉛直方向
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		
基準地震動 S_s		

3. 計算結果

3.1 固有周期

高圧及び低圧炉心スプレイスパージャの一次固有周期は であるから十分剛である。

3.2 最大応答値

軸力，せん断力，ねじりモーメント及び曲げモーメントの最大応答値を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

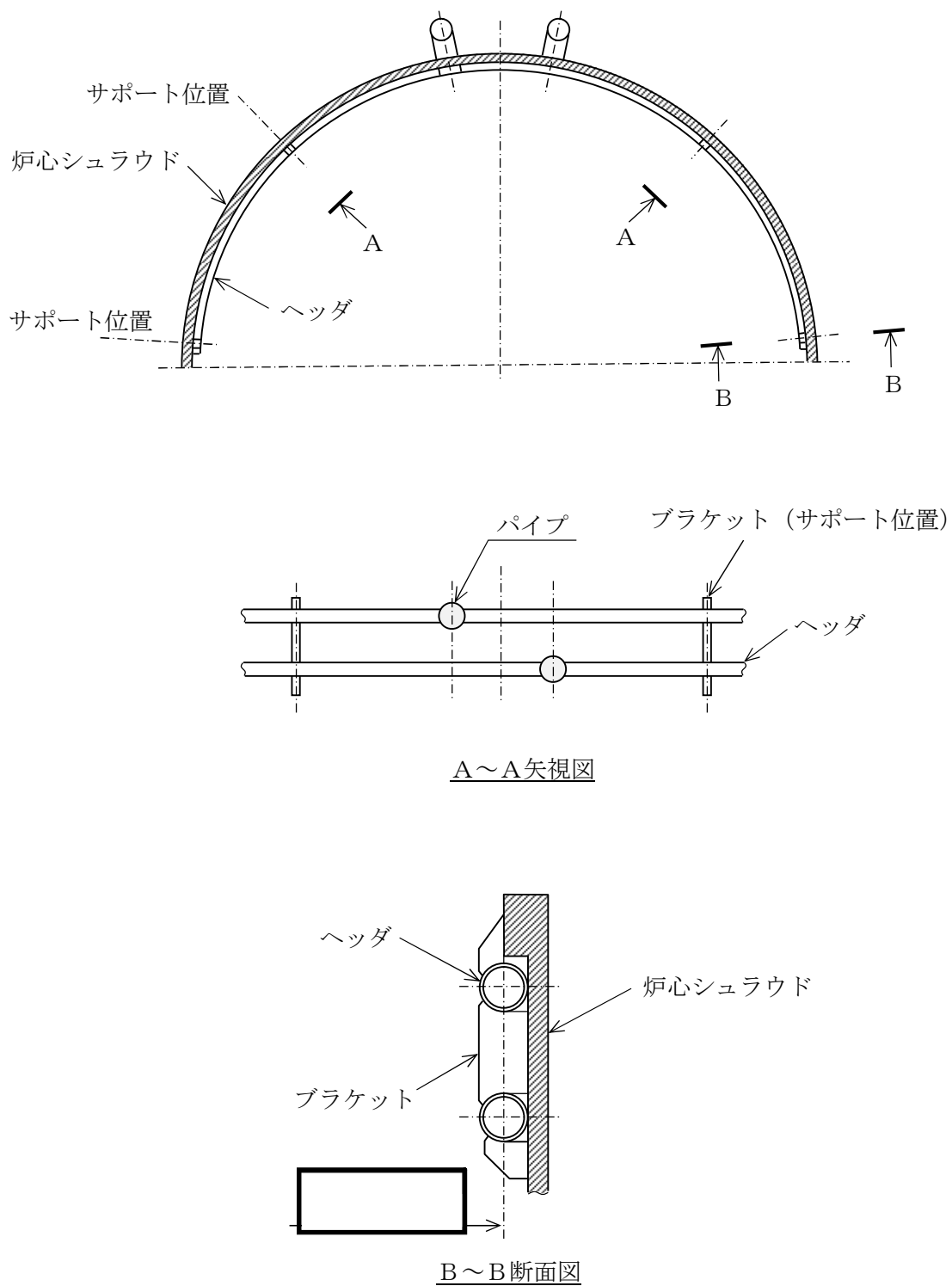


図 2-1 形状・寸法 (単位 : mm)

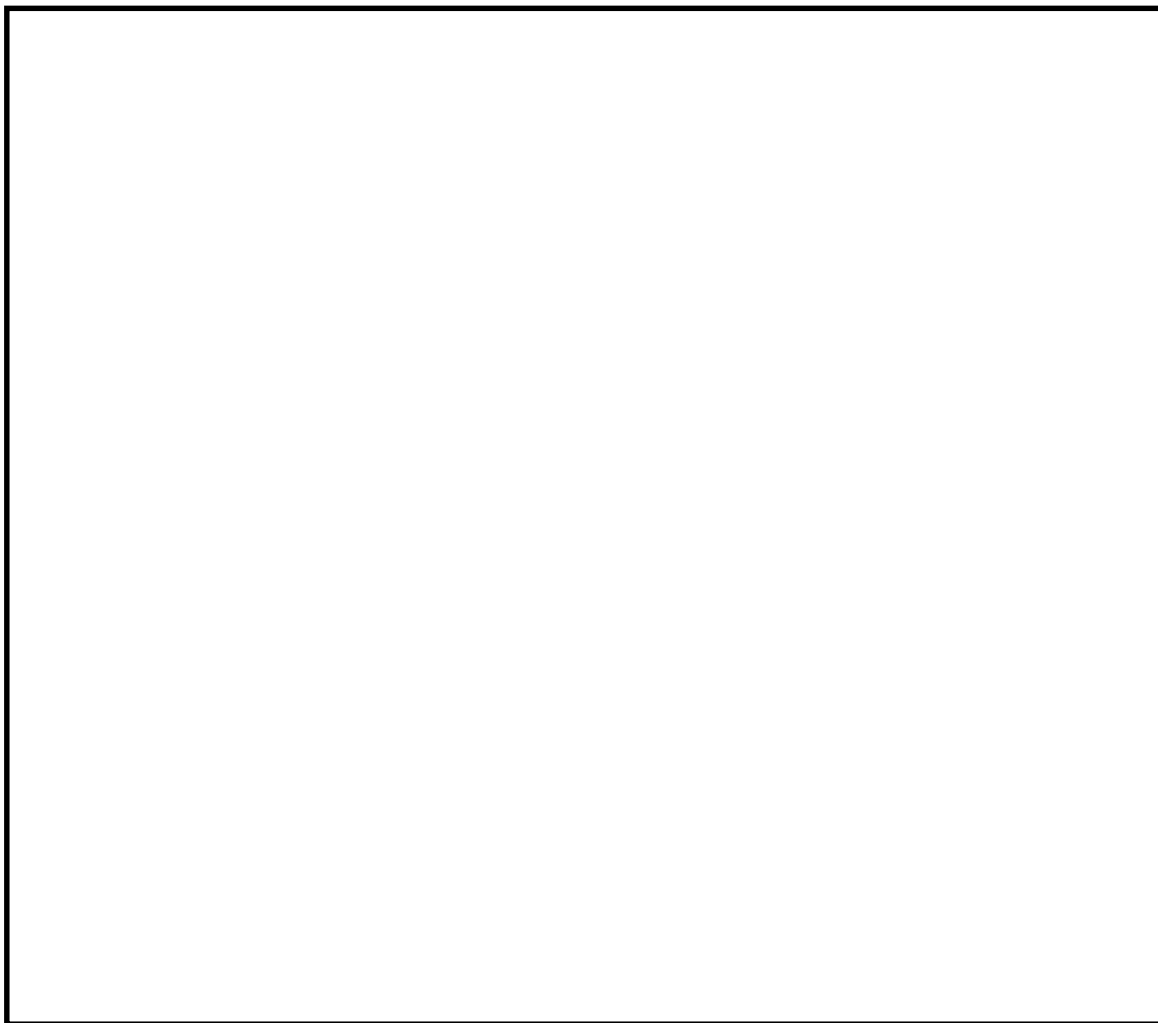


図 2-2 計算モデル

表 2－1 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			

表 2-2 計算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 ³)
	外径	厚さ			
1～ 2					
2～15, 2－16, 16～30					

表 3-1 計算結果（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）

節点番号	軸力	せん断力	ねじりモーメント	曲げモーメント
	F_L (N)	F_S (N)	T (N・mm)	M (N・mm)
1～ 2				
2～15, 2-16, 16～30				

表 3-2 計算結果（基準地震動 S_s ）

節点番号	軸力	せん断力	ねじりモーメント	曲げモーメント
	F_L (N)	F_S (N)	T (N・mm)	M (N・mm)
1～ 2				
2～15, 2-16, 16～30				

V-2-3-4-4-8 残留熱除去系配管（原子炉压力容器内部）
の耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
2. 計算	1
2.1 計算方法	1
2.2 形状・寸法	1
2.3 設計震度	1
3. 計算結果	2
3.1 固有周期	2
3.2 最大応答値	2

図表目次

図 2-1 形状・寸法	3
図 2-2 計算モデル	4
表 2-1 節点座標	5
表 2-2 計算モデルのデータ諸元	6
表 3-1 計算結果（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）	7
表 3-2 計算結果（基準地震動 S_s ）	7

1. 一般事項

本計算書は、残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）（耐震設計上の重要度分類Sクラス）の耐震性についての計算書である。

2. 計算

2.1 計算方法

材料及び形状に関するデータから、固有周期を求める。さらに、入力加速度に対する各節点の軸力、せん断力及びモーメントの最大値を求める。

以上の計算は、計算機コード「NASTRAN」を用いて行う。

2.2 形状・寸法

本機器の概略形状を図 2-1 に示し、計算モデルを図 2-2 に示す。

また、各節点の座標及び計算モデルのデータ諸元を表 2-1 及び表 2-2 に示す。



2.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

	設計震度	
	水平方向	鉛直方向
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		
基準地震動 S_s		

3. 計算結果

3.1 固有周期

残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）の一次固有周期は、 であるから十分剛である。

3.2 最大応答値

軸力，せん断力，ねじりモーメント及び曲げモーメントの最大応答値を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

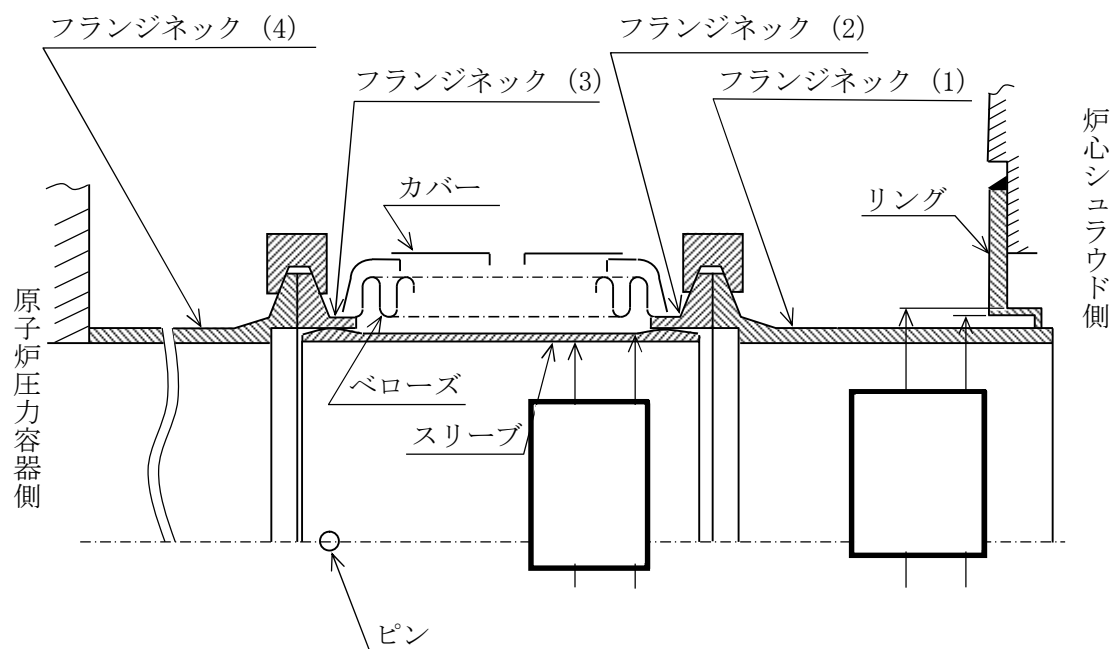


図 2-1 形状・寸法 (単位 : mm)

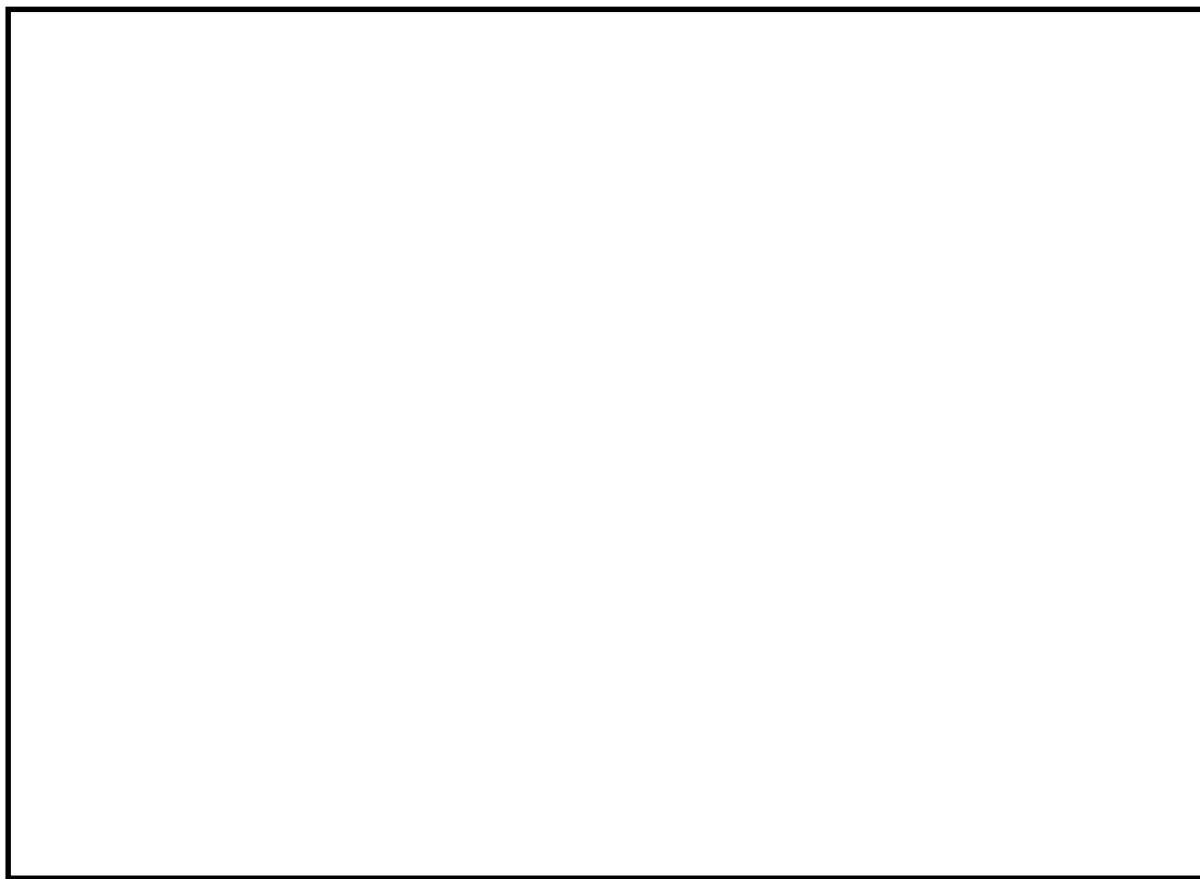


図 2-2 計算モデル

表 2－1 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			

表 2-2 計算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/mm³)
	外径	厚さ			
1～10					
10～13					
13～17					
17～20					
20～21					
21～22					

注：節点 12 に対しては，集中荷重 を付加させる。

節点 18 に対しては，集中荷重 を付加させる。

表 3-1 計算結果（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）

節点番号	軸力	せん断力	ねじりモーメント	曲げモーメント
	F_L (N)	F_s (N)	T (N・mm)	M (N・mm)
1～10				
10～13				
13～17				
17～20				
20～21				
21～22				

表 3-2 計算結果（基準地震動 S_s ）

節点番号	軸力	せん断力	ねじりモーメント	曲げモーメント
	F_L (N)	F_s (N)	T (N・mm)	M (N・mm)
1～10				
10～13				
13～17				
17～20				
20～21				
21～22				

V-2-3-4-4-9 高圧及び低圧炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
2. 計算	1
2.1 計算方法	1
2.2 形状・寸法	1
2.3 設計震度	1
3. 計算結果	2
3.1 固有周期	2
3.2 最大応答値	2

図表目次

図 2-1 形状・寸法	3
図 2-2 計算モデル	4
表 2-1 節点座標	5
表 2-2 計算モデルのデータ諸元	6
表 3-1 計算結果（固有周期）	7
表 3-2 計算結果（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）	8
表 3-3 計算結果（基準地震動 S_s ）	9

1. 一般事項

本計算書は、高圧及び低圧炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）（耐震設計上の重要度分類 S クラス）の耐震性についての計算書である。

2. 計算

2.1 計算方法

材料及び形状に関するデータから、固有周期を求める。さらに、入力加速度に対する各節点の軸力、せん断力及びモーメントの最大値を求める。

以上の計算は、計算機コード「NASTRAN」を用いて行う。

2.2 形状・寸法

本機器の概略形状を図 2-1 に示し、計算モデルを図 2-2 に示す。

また、各節点の座標及び計算モデルのデータ諸元を表 2-1 及び表 2-2 に示す。



2.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

	設計震度	
	水平方向	鉛直方向
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	据付位置における 設計用床応答スペクトル より算定される震度	据付位置における 設計用床応答スペクトル より算定される震度
基準地震動 S_s	据付位置における 設計用床応答スペクトル より算定される震度	据付位置における 設計用床応答スペクトル より算定される震度

3. 計算結果

3.1 固有周期

高圧及び低圧炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）の固有周期を表 3-1 に示す。

3.2 最大応答値

地震力は、動的解析及び静的解析より算出する。

軸力，せん断力，ねじりモーメント及び曲げモーメントの最大応答値を表 3-2 及び表 3-3 に示す。

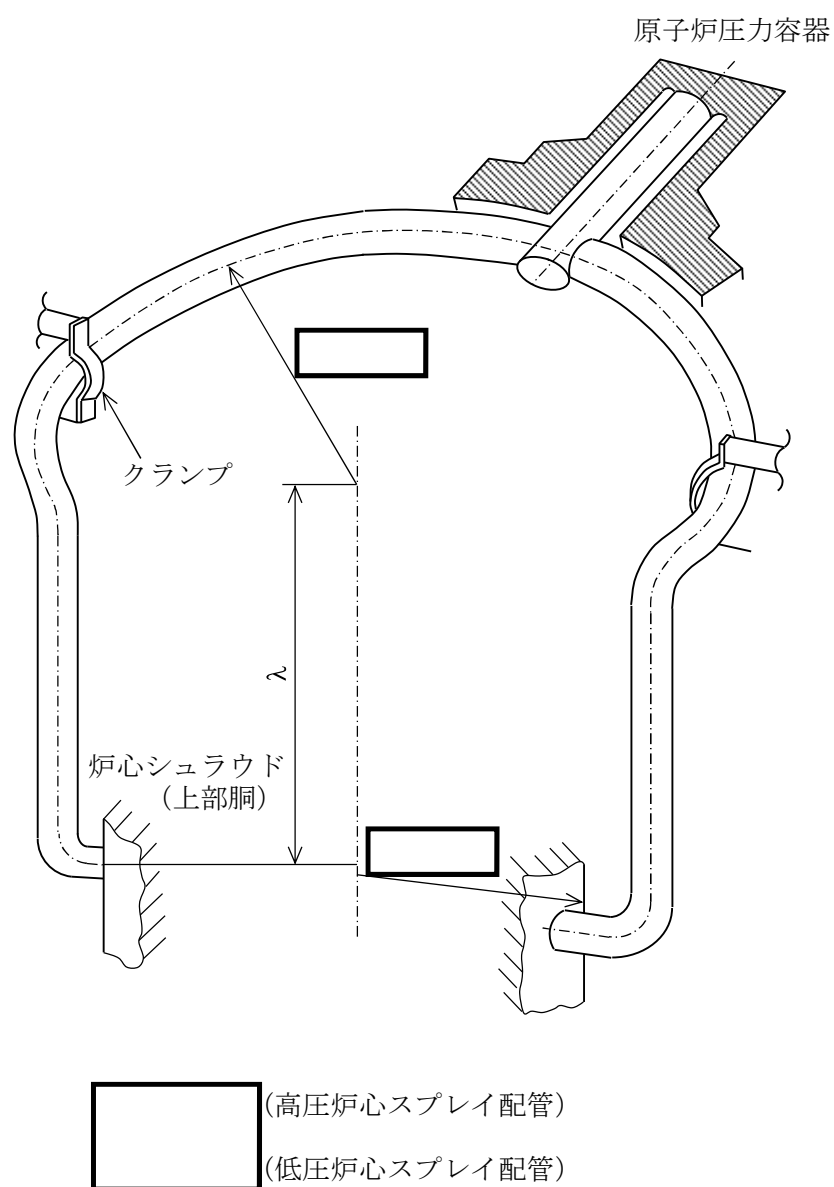


図 2-1 形状・寸法 (単位 : mm)

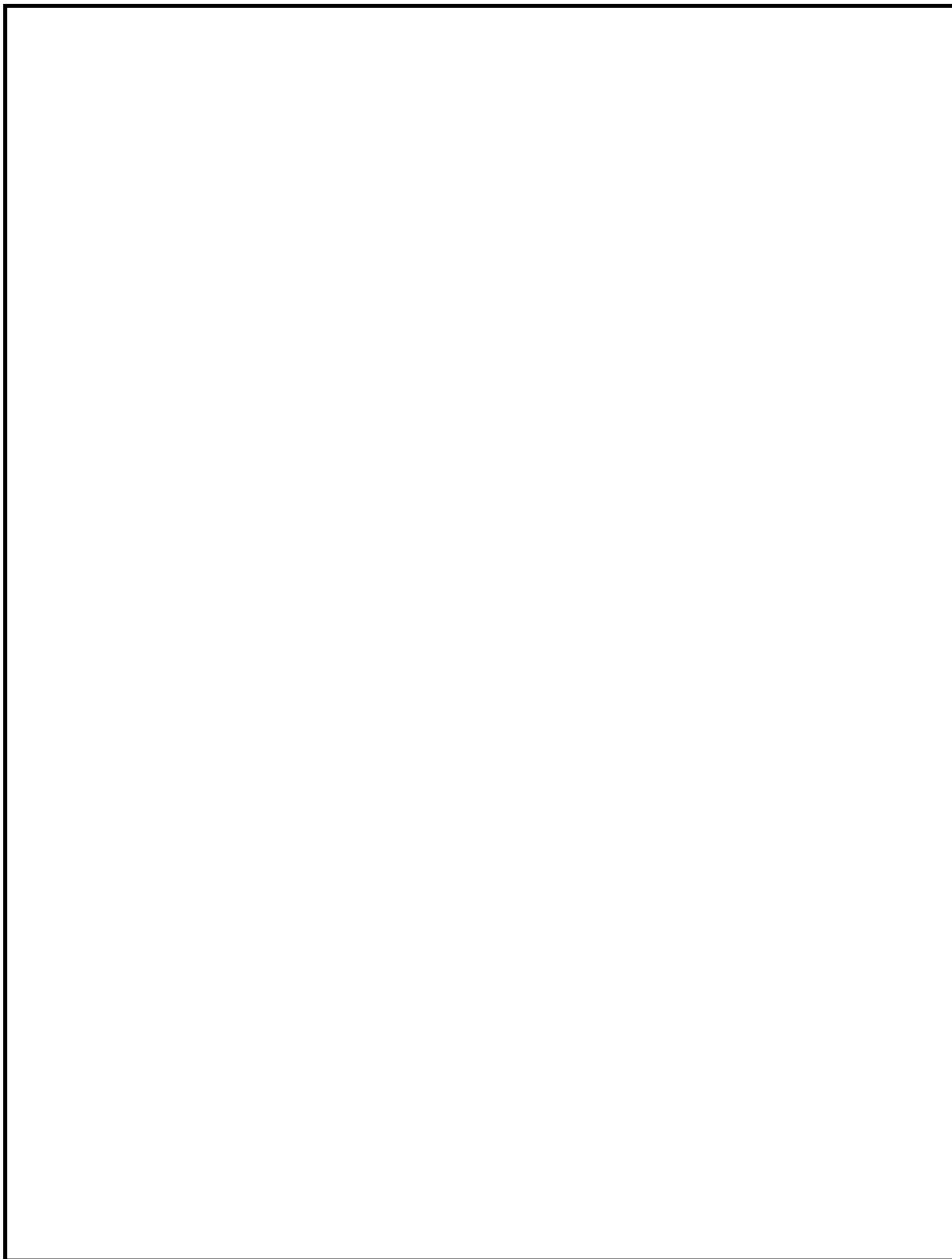


図 2-2 計算モデル

表 2-1 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			

注記 *：（ ）内は，低圧炉心スプレイ配管に適用する。

表 2-2 計算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/mm³)
	外径	厚さ			
1～ 3					
3～ 4					
4～18, 4-20, 20～29					
18～19, 29～30					

表 3-1(1) 計算結果（固有周期）（高圧炉心スプレイ配管）

部分	次数	固有周期	
		(s)	
高圧炉心スプレイ配管	1		
	2		
	3		

表 3-1(2) 計算結果（固有周期）（低圧炉心スプレイ配管）

部分	次数	固有周期	
		(s)	
低圧炉心スプレイ配管	1		
	2		
	3		

表 3-2(1) 計算結果（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）（高圧炉心スプレイ配管）

節点番号	軸力	せん断力	ねじりモーメント	曲げモーメント
	F_L (N)	F_S (N)	T (N・mm)	M (N・mm)
1～ 3				
3～ 4				
4～ 5, 4-20				
5～13, 20～24				
13～17, 24～28				
17～18, 28～29				
18～19, 29～30				

表 3-2(2) 計算結果（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）（低圧炉心スプレイ配管）

節点番号	軸力	せん断力	ねじりモーメント	曲げモーメント
	F_L (N)	F_S (N)	T (N・mm)	M (N・mm)
1～ 3				
3～ 4				
4～ 5, 4-20				
5～13, 20～24				
13～17, 24～28				
17～18, 28～29				
18～19, 29～30				

表 3-3(1) 計算結果（基準地震動 S_s ）（高圧炉心スプレイ配管）

節点番号	軸力	せん断力	ねじりモーメント	曲げモーメント
	F_L (N)	F_S (N)	T (N・mm)	M (N・mm)
1～ 3				
3～ 4				
4～ 5, 4-20				
5～13, 20～24				
13～17, 24～28				
17～18, 28～29				
18～19, 29～30				

表 3-3(2) 計算結果（基準地震動 S_s ）（低圧炉心スプレイ配管）

節点番号	軸力	せん断力	ねじりモーメント	曲げモーメント
	F_L (N)	F_S (N)	T (N・mm)	M (N・mm)
1～ 3				
3～ 4				
4～ 5, 4-20				
5～13, 20～24				
13～17, 24～28				
17～18, 28～29				
18～19, 29～30				

V-2-3-4-4-10 差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉圧力容器
内部及びティーよりN10ノズルまでの外管）
の耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
2. 計算	1
2.1 計算方法	1
2.2 形状・寸法	1
2.3 設計震度	1
3. 計算結果	2
3.1 固有周期	2
3.2 最大応答値	2

図表目次

図 2-1 形状・寸法	3
図 2-2 計算モデル	4
表 2-1 節点座標	5
表 2-2 計算モデルのデータ諸元	6
表 3-1 計算結果（固有周期）	7
表 3-2 計算結果（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）	7
表 3-3 計算結果（基準地震動 S_s ）	8

1. 一般事項

本計算書は、差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉压力容器内部及びティーより N10 ノズルまでの外管）（耐震設計上の重要度分類 S クラス）の耐震性についての計算書である。

2. 計算

2.1 計算方法

材料及び形状に関するデータから、固有周期を求める。さらに、入力加速度に対する各節点の軸力、せん断力及びモーメントの最大値を求める。

以上の計算は、計算機コード「NASTRAN」を用いて行う。

2.2 形状・寸法

本機器の概略形状を図 2-1 に示し、計算モデルを図 2-2 に示す。

また、各節点の座標及び計算モデルのデータ諸元を表 2-1 及び表 2-2 に示す。



2.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

	設計震度	
	水平方向	鉛直方向
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	据付位置における 設計用床応答スペクトル より算定される震度	据付位置における 設計用床応答スペクトル より算定される震度
基準地震動 S_s	据付位置における 設計用床応答スペクトル より算定される震度	据付位置における 設計用床応答スペクトル より算定される震度

3. 計算結果

3.1 固有周期

差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉圧力容器内部及びティーより N10 ノズルまでの外管）の固有周期を表 3-1 に示す。

3.2 最大応答値

地震力は、動的解析及び静的解析より算出する。

軸力，せん断力，ねじりモーメント及び曲げモーメントの最大応答値を表 3-2 及び表 3-3 に示す。

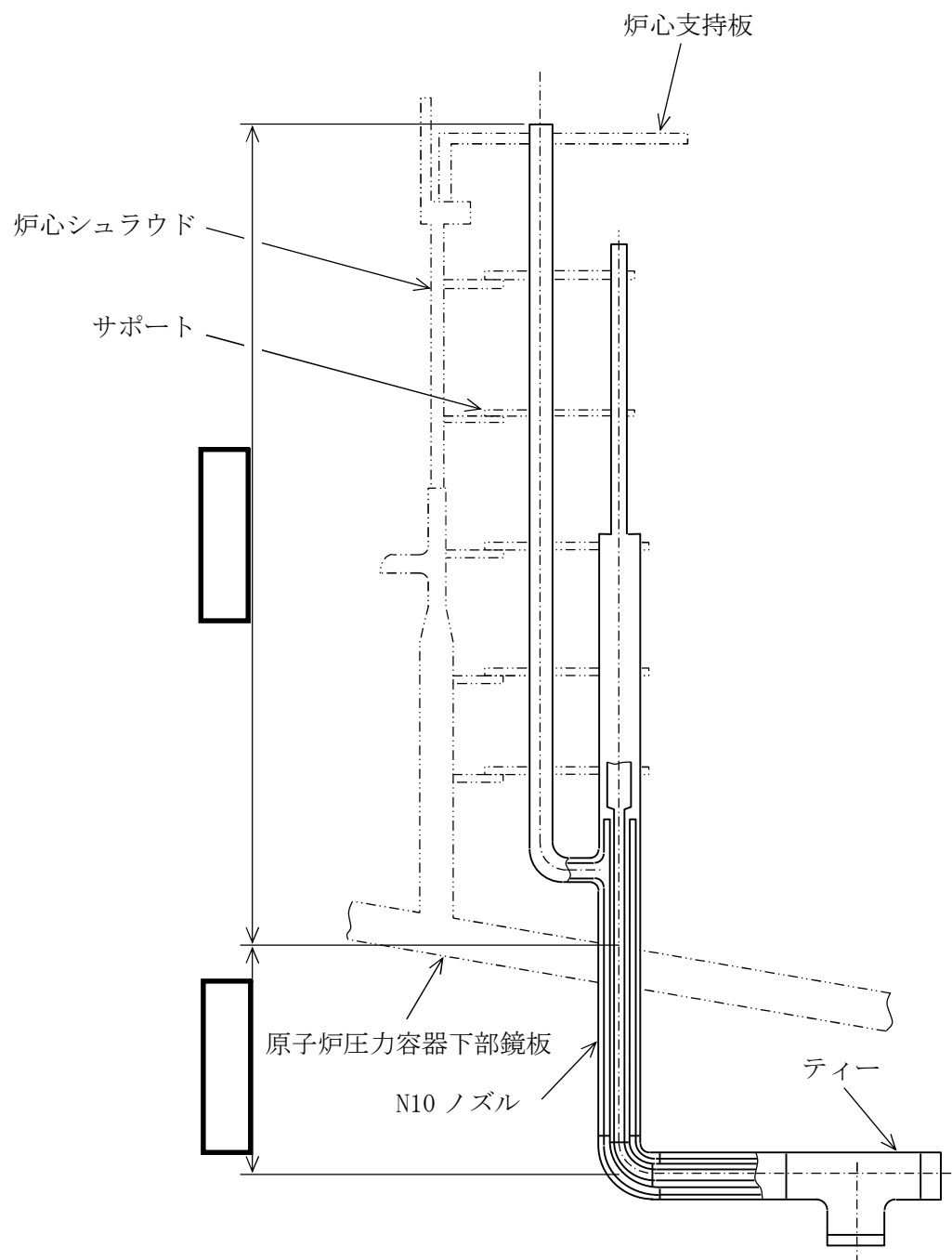


図 2-1 形状・寸法 (単位 : mm)

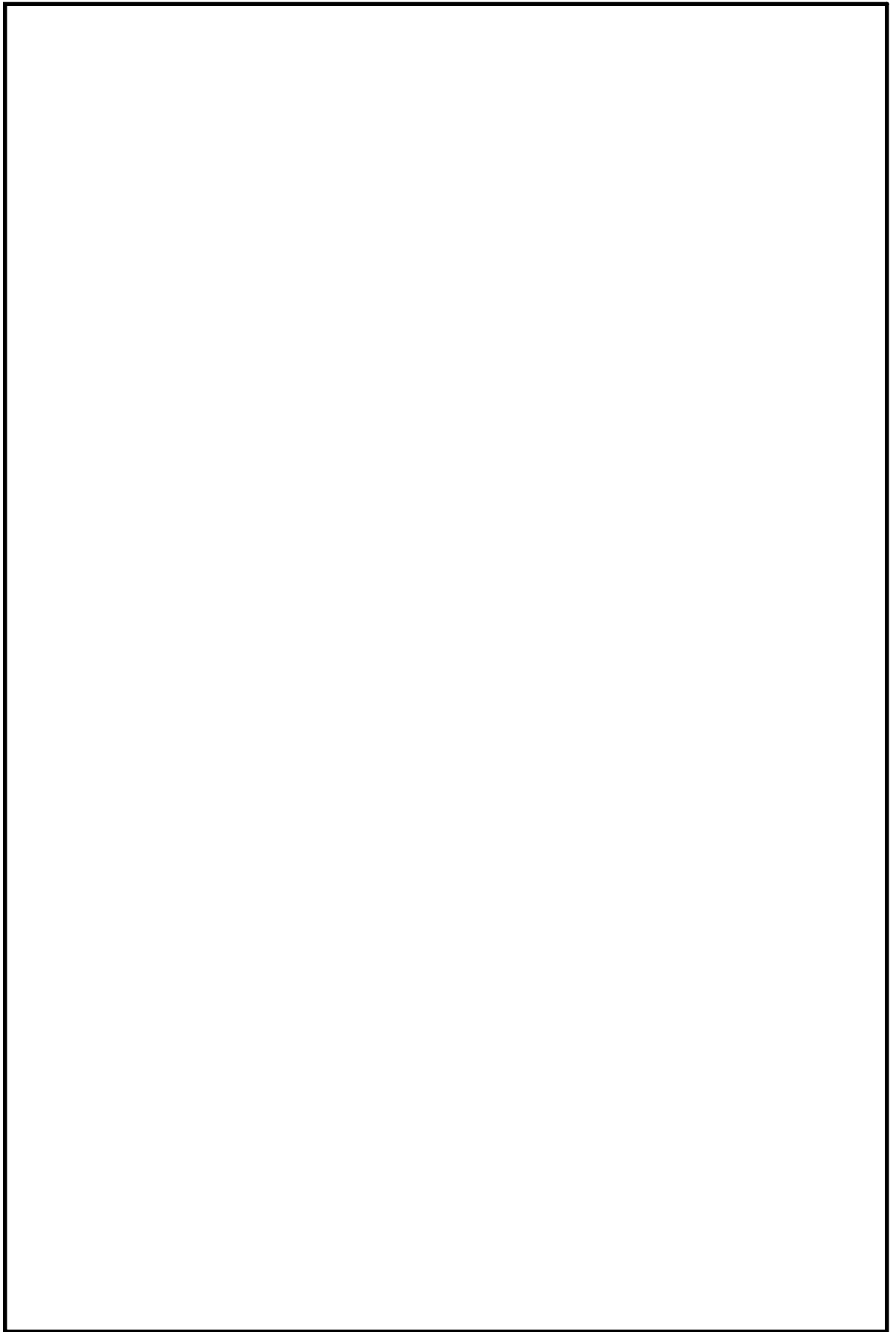


図 2-2 計算モデル

表 2－1 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			

表 2-2 計算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 ³)
	外径	厚さ			
1～ 2					
2～ 3					
3～ 5					
5～ 9					
9～11					
4－12, 12～19					
1－20					
20～21					
21～24					
5－25, 25～29, 29－24					

表 3-1 計算結果（固有周期）

次数	固有周期
	(s)
1	
2	

表 3-2 計算結果（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）

節点番号	軸力	せん断力	ねじりモーメント	曲げモーメント
	F_L (N)	F_s (N)	T (N・mm)	M (N・mm)
1～ 2				
2～ 3				
3～ 5				
5～ 9				
9～11				
4-12, 12～19				
1-20				
20～21				
21～24				
5-25, 25～29, 29-24				

表 3-3 計算結果（基準地震動 S_s ）

節点番号	軸力	せん断力	ねじりモーメント	曲げモーメント
	F_L (N)	F_S (N)	T (N・mm)	M (N・mm)
1～ 2				
2～ 3				
3～ 5				
5～ 9				
9～11				
4-12, 12～19				
1-20				
20～21				
21～24				
5-25, 25～29, 29-24				

V-2-3-4-4-10 差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
2. 計算	1
2.1 計算方法	1
2.2 形状・寸法	1
2.3 設計震度	1
3. 計算結果	2
3.1 固有周期	2
3.2 最大応答値	2

図表目次

図 2-1 形状・寸法	3
図 2-2 計算モデル	4
表 2-1 節点座標	5
表 2-2 計算モデルのデータ諸元	6
表 3-1 計算結果（固有周期）	7
表 3-2 計算結果（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）	7
表 3-3 計算結果（基準地震動 S_s ）	8

1. 一般事項

本計算書は、差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉圧力容器内部及びティーより N10 ノズルまでの外管）（耐震設計上の重要度分類 S クラス）の耐震性についての計算書である。

2. 計算

2.1 計算方法

材料及び形状に関するデータから、固有周期を求める。さらに、入力加速度に対する各節点の軸力、せん断力及びモーメントの最大値を求める。

以上の計算は、計算機コード「NASTRAN」を用いて行う。

2.2 形状・寸法

本機器の概略形状を図 2-1 に示し、計算モデルを図 2-2 に示す。

また、各節点の座標及び計算モデルのデータ諸元を表 2-1 及び表 2-2 に示す。



2.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

	設計震度	
	水平方向	鉛直方向
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	据付位置における 設計用床応答スペクトル より算定される震度	据付位置における 設計用床応答スペクトル より算定される震度
基準地震動 S_s	据付位置における 設計用床応答スペクトル より算定される震度	据付位置における 設計用床応答スペクトル より算定される震度

3. 計算結果

3.1 固有周期

差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉圧力容器内部及びティーより N10 ノズルまでの外管）の固有周期を表 3-1 に示す。

3.2 最大応答値

地震力は、動的解析及び静的解析より算出する。

軸力，せん断力，ねじりモーメント及び曲げモーメントの最大応答値を表 3-2 及び表 3-3 に示す。

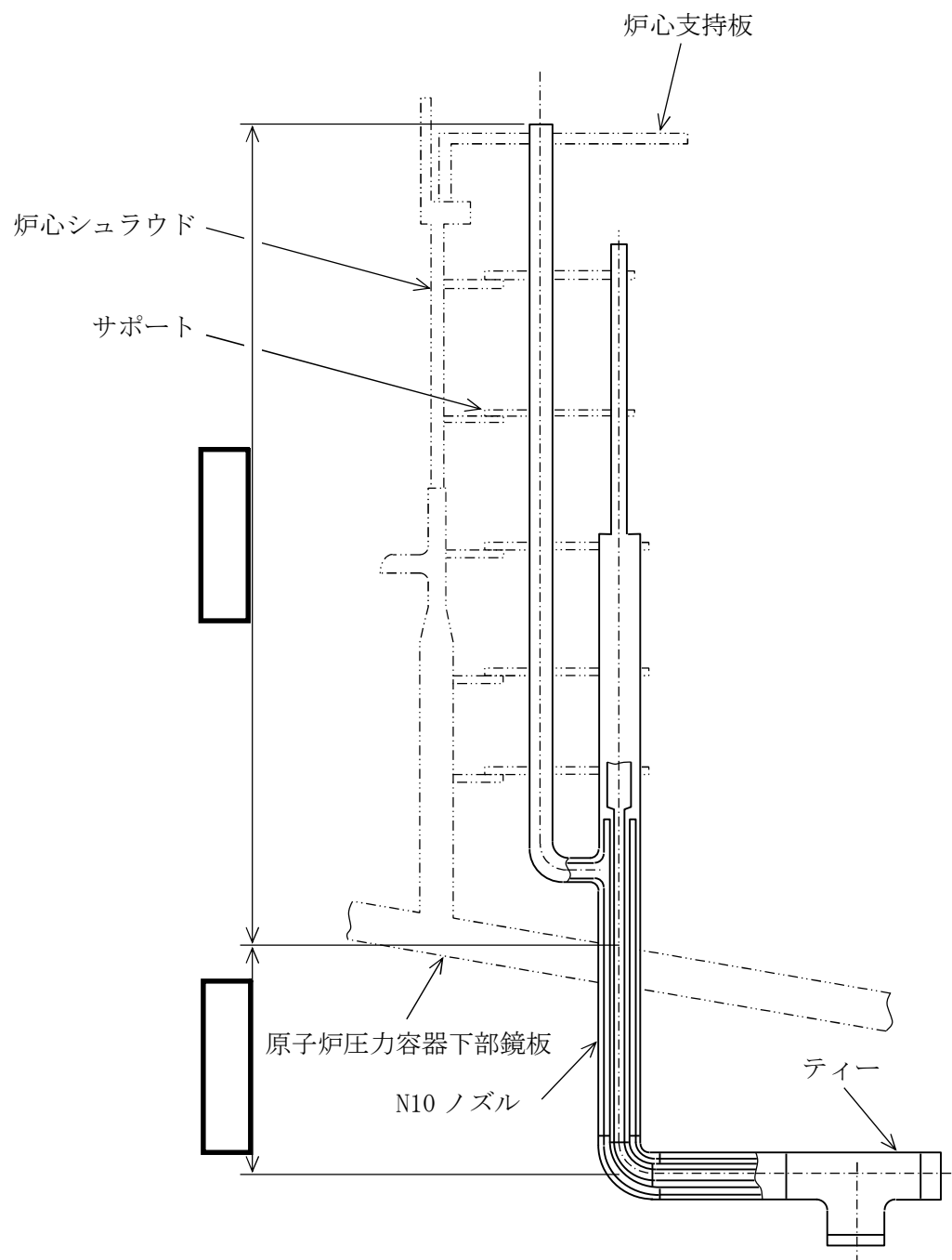


図 2-1 形状・寸法 (単位 : mm)

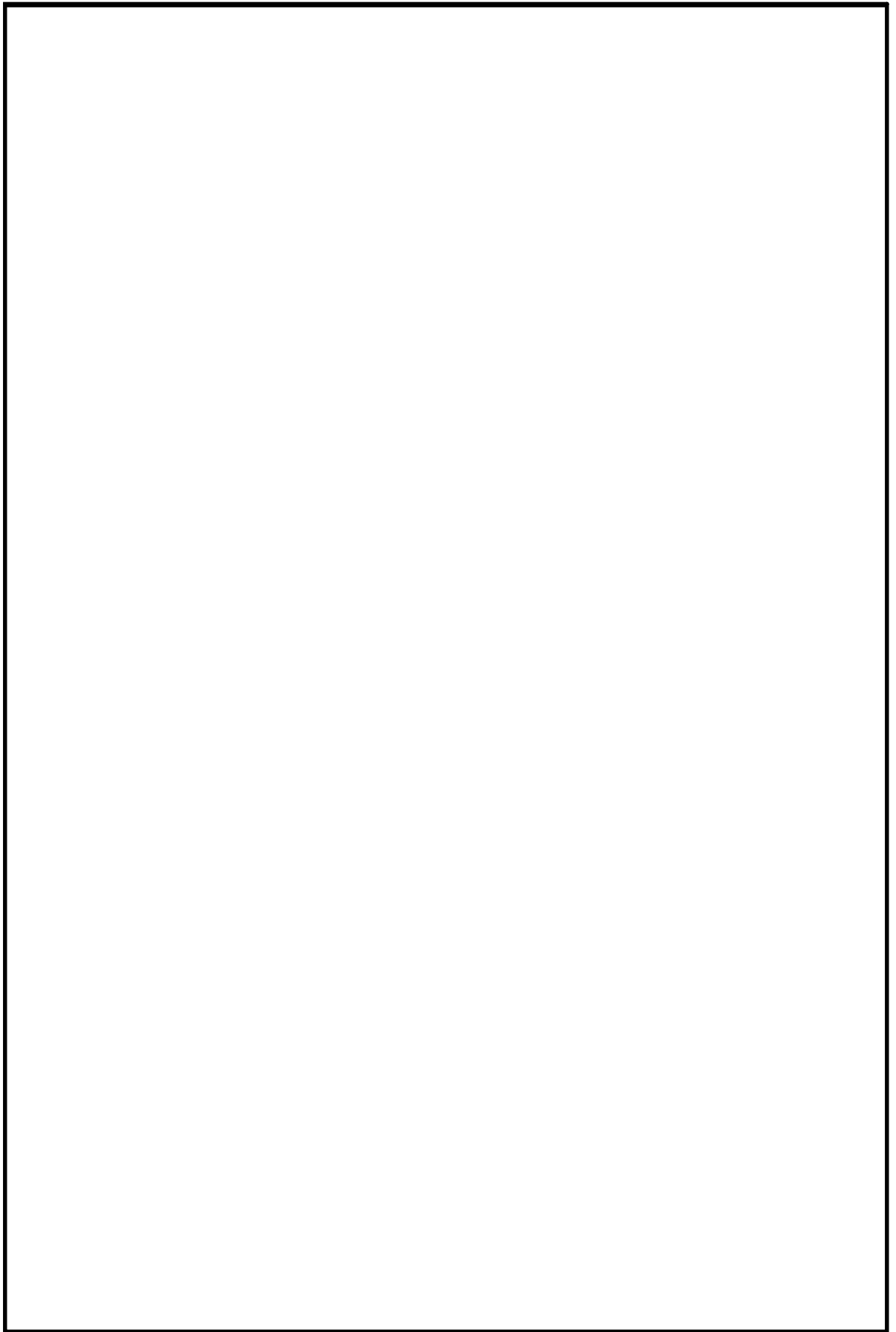


図 2-2 計算モデル

表 2－1 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			

表 2-2 計算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 ³)
	外径	厚さ			
1～ 2					
2～ 3					
3～ 5					
5～ 9					
9～11					
4－12, 12～19					
1－20					
20～21					
21～24					
5－25, 25～29, 29－24					

表 3-1 計算結果（固有周期）

次数	固有周期
	(s)
1	
2	

表 3-2 計算結果（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）

節点番号	軸力	せん断力	ねじりモーメント	曲げモーメント
	F_L (N)	F_S (N)	T (N・mm)	M (N・mm)
1～ 2				
2～ 3				
3～ 5				
5～ 9				
9～11				
4-12, 12～19				
1-20				
20～21				
21～24				
5-25, 25～29, 29-24				

表 3-3 計算結果（基準地震動 S_s ）

節点番号	軸力	せん断力	ねじりモーメント	曲げモーメント
	F_L (N)	F_S (N)	T (N・mm)	M (N・mm)
1～ 2				
2～ 3				
3～ 5				
5～ 9				
9～11				
4-12, 12～19				
1-20				
20～21				
21～24				
5-25, 25～29, 29-24				

V-2-3-4-4-11 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
2. 計算	1
2.1 計算方法	1
2.2 形状・寸法	1
2.3 設計震度	1
3. 計算結果	2
3.1 固有周期	2
3.2 最大応答値	2

図表目次

図 2-1 形状・寸法	3
図 2-2 計算モデル	4
図 2-3 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 ..	5
表 2-1 節点座標	6
表 2-2 計算モデルのデータ諸元	7
表 3-1 計算結果（固有周期）	8
表 3-2 計算結果（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）	8
表 3-3 計算結果（基準地震動 S_s ）	8

1. 一般事項

本計算書は、中性子計測案内管（耐震設計上の重要度分類Sクラス）の耐震性についての計算書である。

2. 計算

2.1 計算方法

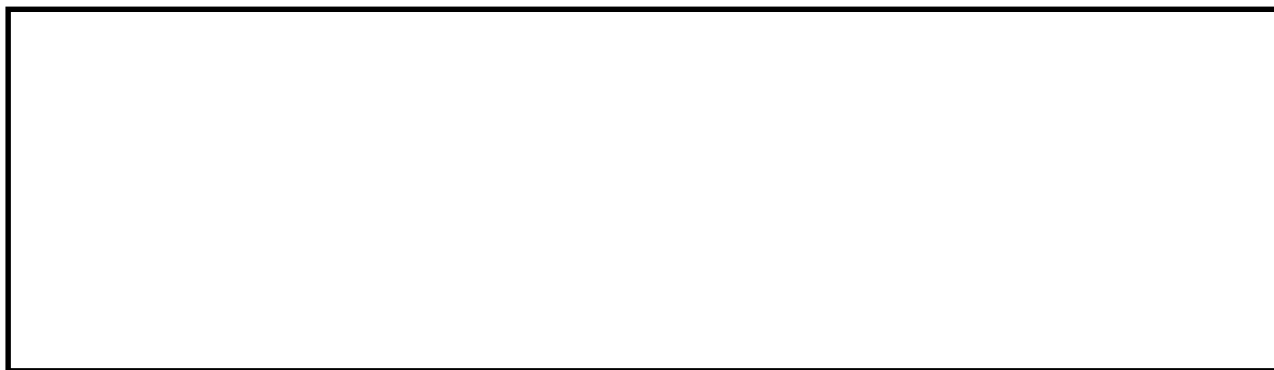
材料及び形状に関するデータから、固有周期を求める。さらに、入力加速度に対する各節点のせん断力及びモーメントの最大値を求める。

以上の計算は、計算機コード「NASTRAN」を用いて行う。

2.2 形状・寸法

本機器の概略形状を図 2-1 に示し、計算モデルを図 2-2 に示す。

また、各節点の座標及び計算モデルのデータ諸元を表 2-1 及び表 2-2 に示す。



2.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

	設計震度	
	水平方向	鉛直方向
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	据付位置における 設計用床応答スペクトル より算出される震度	
		
基準地震動 S_s	据付位置における 設計用床応答スペクトル より算出される震度	
		

3. 計算結果

3.1 固有周期

中性子計測案内管の固有周期を表 3-1 に示す。

3.2 最大応答値

地震力は、動的解析及び静的解析より算出する。

せん断力及び曲げモーメントの最大応答値を表 3-2 及び表 3-3 に示す。

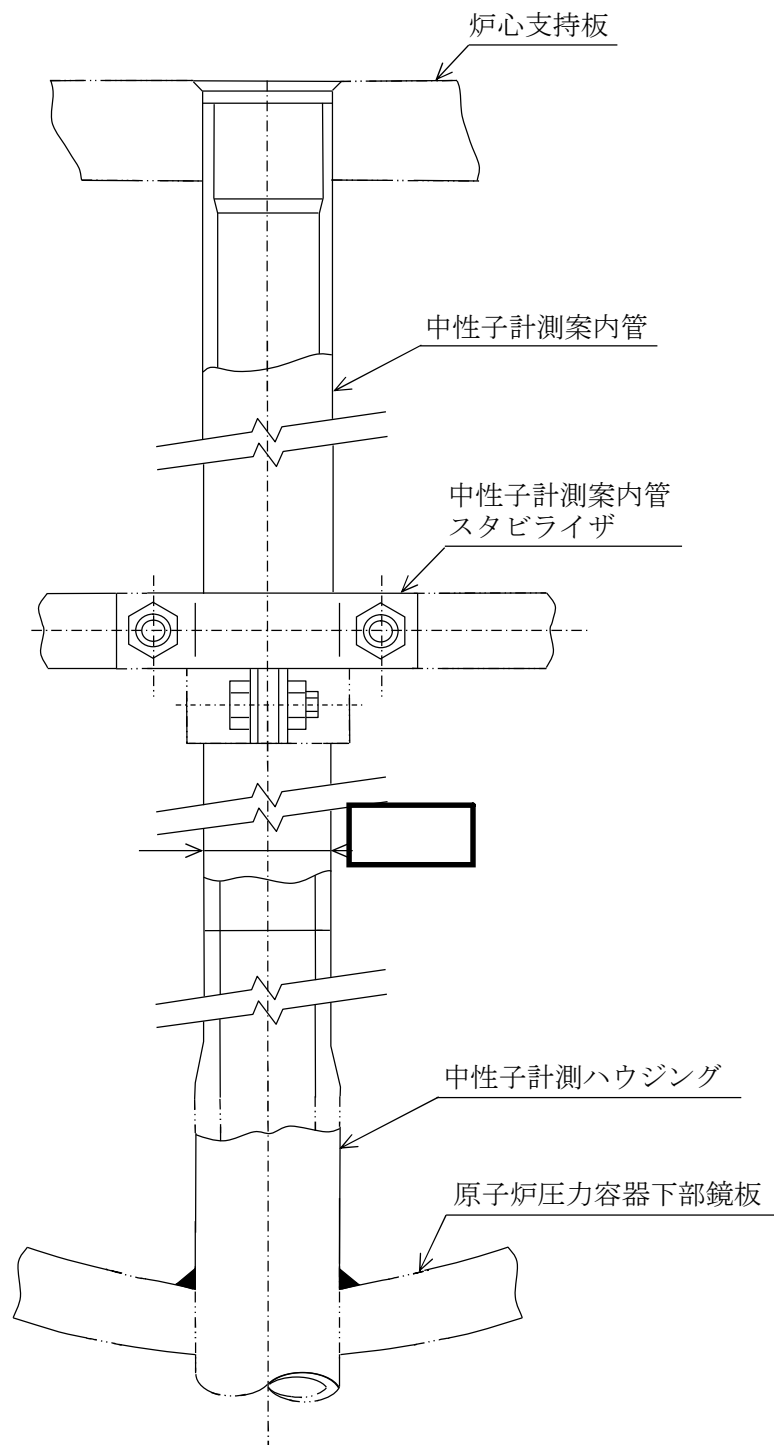


図 2-1 形状・寸法 (単位 : mm)

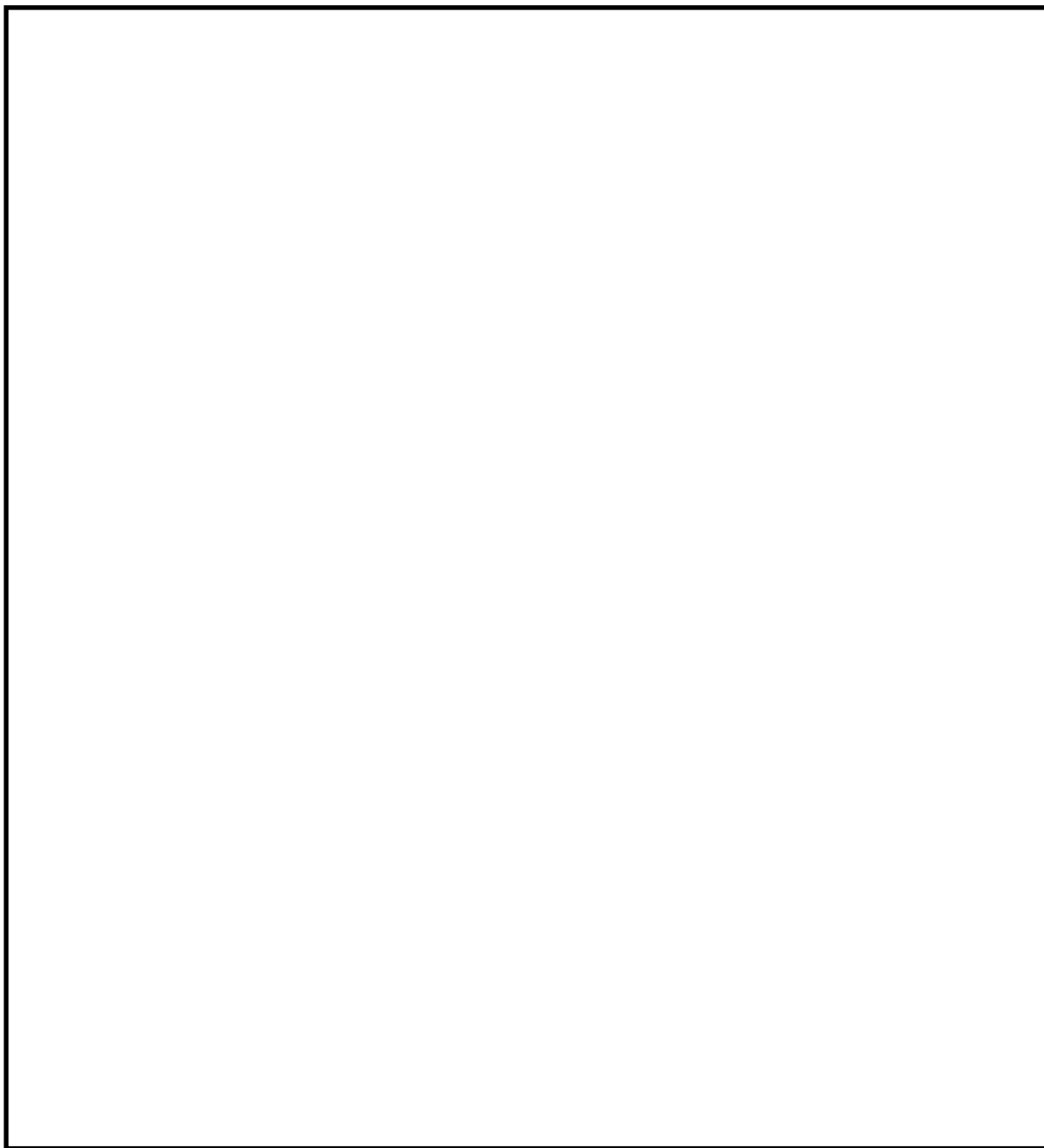


図 2-2 計算モデル

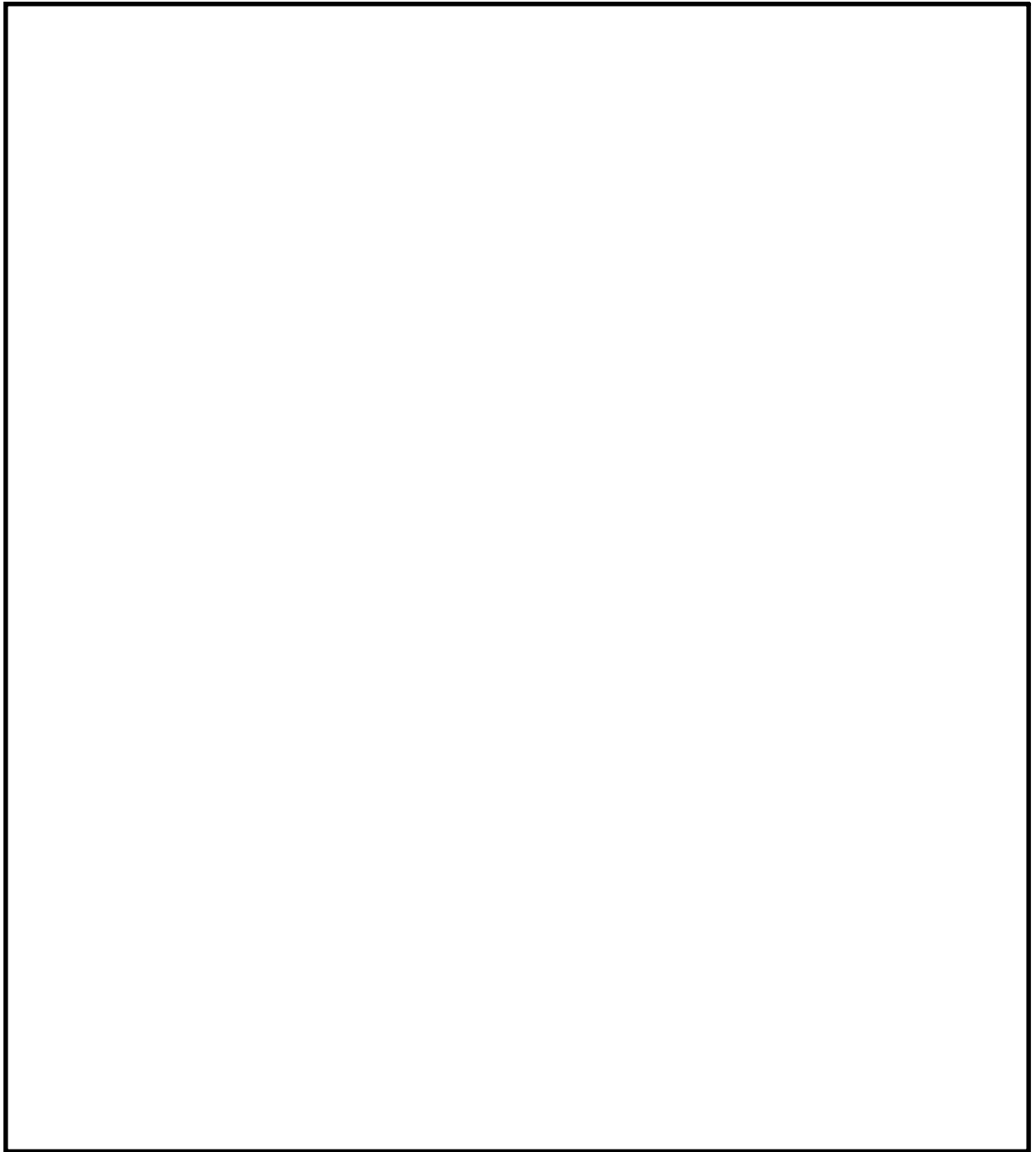


図 2-3 中性子計測案内管と中性子計測案内管スタビライザの
配置及びグループ分割

表 2-1 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 2-2 計算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 ³ ）
	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 3-1 計算結果（固有周期）

（単位：s）

次数	NS 方向	EW 方向
1		
2		
3		
4		
5		

表 3-2 計算結果（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）

節点番号	せん断力	曲げモーメント
	F_s (N)	M (N・mm)
1～ 7, 9～15, 17～23, 25～31, 33～39, 41～47		
7～ 8, 15～16, 23～24, 31～32, 39～40, 47～48		

注：計算結果は，中性子計測案内管 1 本当たりの値である。

表 3-3 計算結果（基準地震動 S_s ）

節点番号	せん断力	曲げモーメント
	F_s (N)	M (N・mm)
1～ 7, 9～15, 17～23, 25～31, 33～39, 41～47		
7～ 8, 15～16, 23～24, 31～32, 39～40, 47～48		

注：計算結果は，中性子計測案内管 1 本当たりの値である。

V-2-4 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震性についての計算書

V-2-4-1 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震計算結果

目次

1. 概要	1
2. 耐震評価条件整理	1

1. 概要

本資料は、核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の設備に対して、設計基準対象施設の耐震クラス、重大事故等対処施設の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績と差異の有無を整理した。また、重大事故等対処施設のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処施設の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。

核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績と差異がない施設の耐震計算は、工事計画認可実績を示し、入力条件及び評価結果を示すことを基本とする。

なお、既設の設備における弾性設計用地震動 S_d による耐震計算については、基準地震動 S_s による評価結果が弾性設計用地震動 S_d の許容限界を満足する場合、省略することとし、省略せず耐震評価を実施する場合は、静的地震力についても考慮することとする。

V-2-4-2 燃料取扱設備及び使用済燃料貯蔵設備の
耐震性についての計算書

V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	6
2.4 適用規格・基準等	8
3. 応力解析による評価方法	9
3.1 評価対象部位及び評価方針	9
3.2 荷重及び荷重の組合せ	11
3.3 許容限界	15
3.4 解析モデル及び諸元	17
3.5 評価方法	22

1. 概要

本資料は、資料V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、使用済燃料プールの地震時の構造強度及び機能維持の確認について説明するものであり、その評価は、応力解析による評価により行う。

使用済燃料プールは、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」に分類される。

以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 位置

使用済燃料プールは原子炉建屋の一部を構成している。使用済燃料プールを含む原子炉建屋の設置位置を図 2-1 に示す。

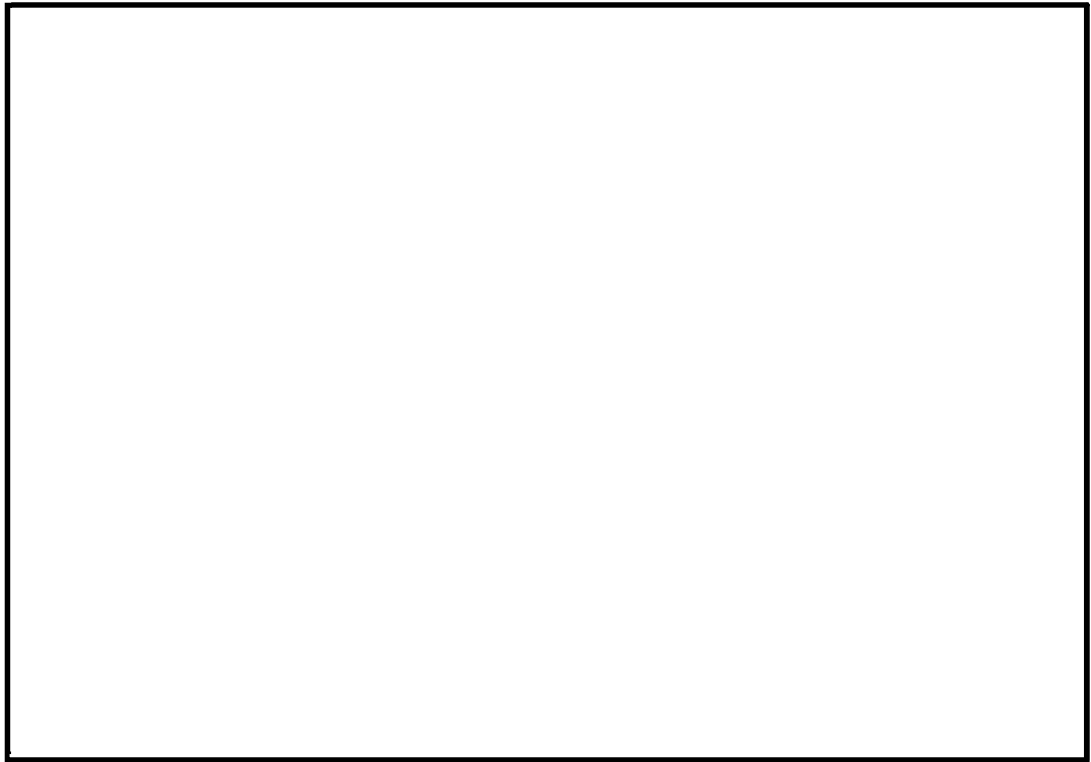


図2-1 使用済燃料プールを含む原子炉建屋の設置位置

2.2 構造概要

原子炉建屋は、大きく区分して原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）、原子炉建屋付属棟（以下「付属棟」という。）及び基礎から構成される。

使用済燃料プールは原子炉棟の燃料取替床（EL. 46.50 m）付近に位置する鉄筋コンクリート構造物で、使用済燃料、制御棒及び使用済燃料輸送容器が収容される。使用済燃料プール内には、収容される機器の遮蔽及び冷却のため常時水が張られている。使用済燃料プール内面はステンレス鋼でライニングされており、漏水を防ぐと共に、保守、点検についても考慮されている。

また、使用済燃料プールの反対側には、原子炉ウェルをはさんで燃料交換時に蒸気乾燥器と気水分離器を仮置きする蒸気乾燥器・気水分離器ピットがある。（以下、使用済燃料プール及び蒸気乾燥器・気水分離器ピットの両方を示す場合は、これを「プール部」という。）

使用済燃料プールはほぼ長方形で、その大きさは、内面寸法で 12.192 m×10.363 m、壁厚 2.154 m、底面スラブ厚 1.599 m である。

使用済燃料プールを含む原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図 2-2 及び図 2-3 に、使用済燃料プール周りの概略平面図及び概略断面図を図 2-4 及び図 2-5 に示す。

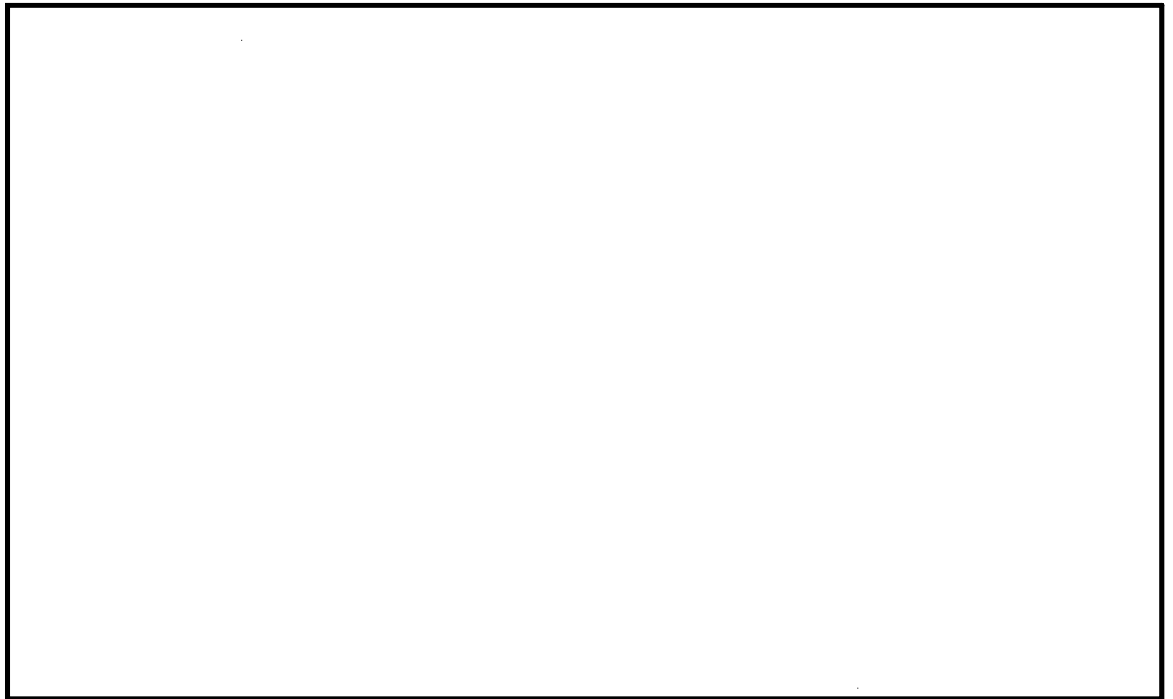


図2-2 使用済燃料プールを含む原子炉建屋の概略平面図 (EL. 46.5 m)

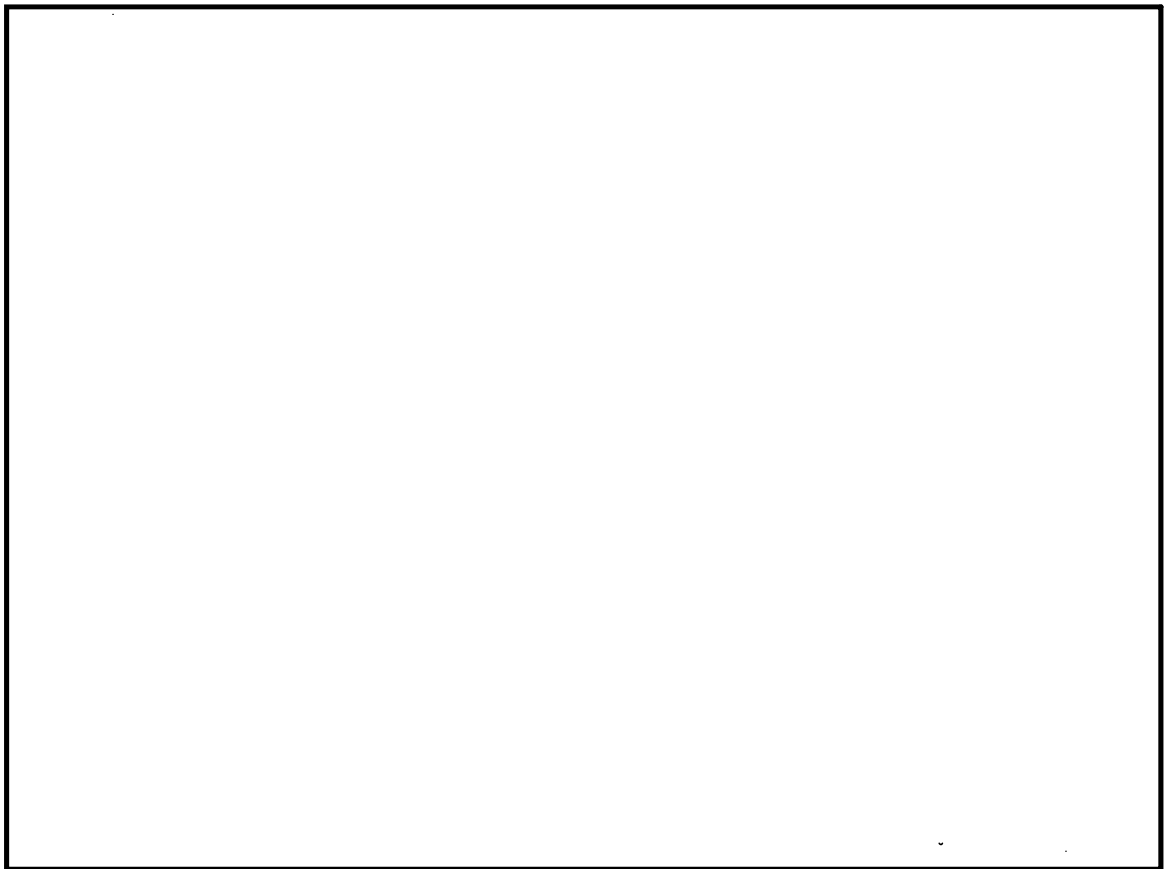


図2-3 使用済燃料プールを含む原子炉建屋の概略断面図 (A-A 断面)

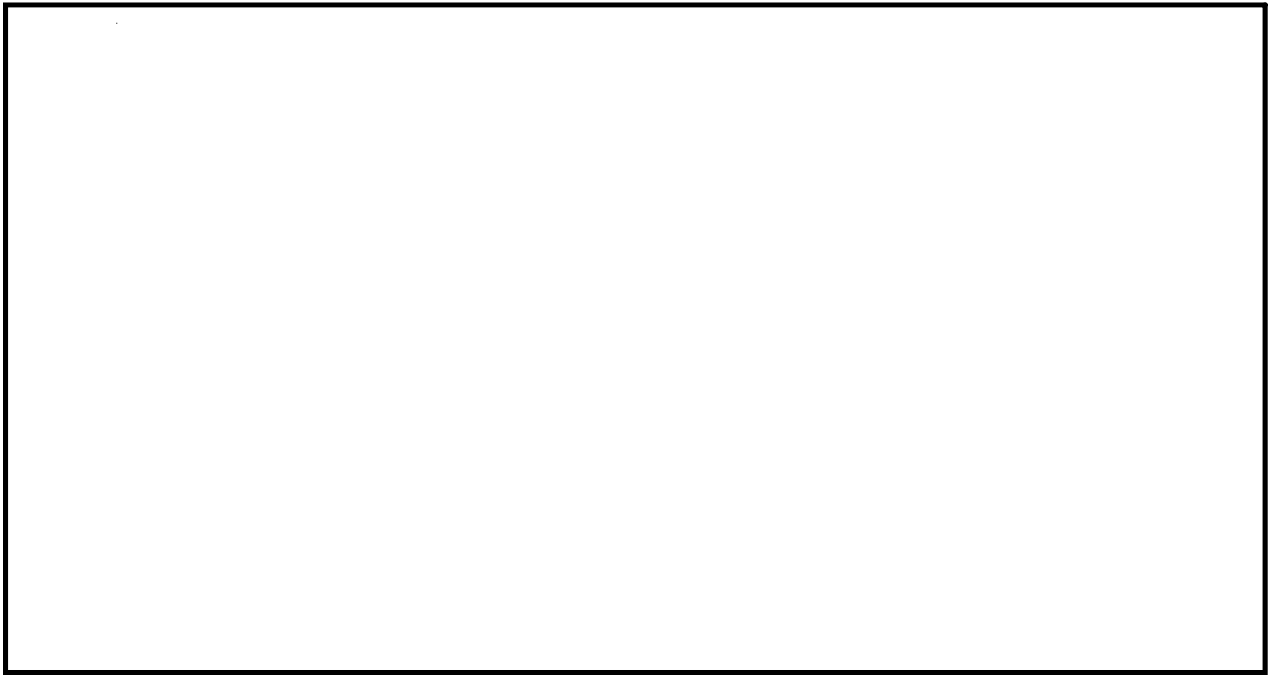


図2-4 使用済燃料プール周りの概略平面図 (EL. 38.80 m)

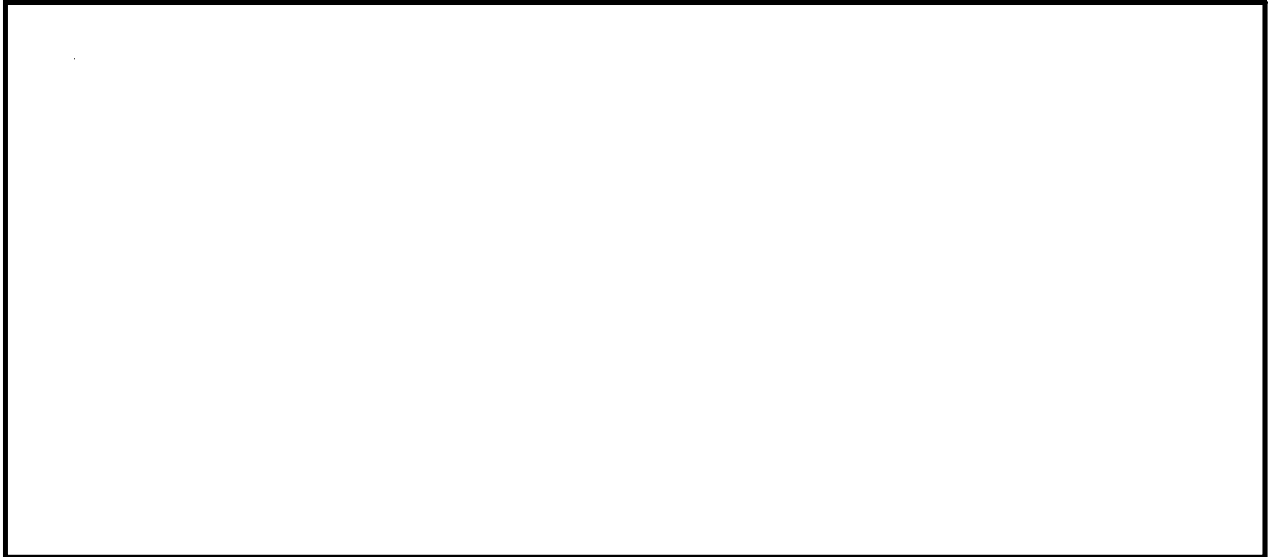


図2-5 使用済燃料プール周りの概略断面図 (A-A 断面)

2.3 評価方針

使用済燃料プールは、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」に分類される。

使用済燃料プールの設計基準対象施設としての評価においては、弾性設計用地震動 S_d による地震力または静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対する評価（以下「 S_d 地震時に対する評価」という。）及び基準地震動 S_s による地震力に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）を行うこととし、それぞれの評価は、資料V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。ただし、常時荷重、運転時荷重及び事故時荷重が設計時と同一であること、また、応答に対して支配的となる水平方向の弾性設計用地震動 S_d による地震力及び静的地震力がいずれも『既工事計画認可申請書第1回 資料Ⅲ-1-4「原子炉建屋の地震応答計算書」（47公第12076号 昭和48年4月9日認可）』の設計用地震力よりも小さいことから、 S_d 地震時に対する評価は行わない。

使用済燃料プールの評価では、資料V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、応力解析による評価において断面の評価を行うことで、使用済燃料プールの地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。なお、使用済燃料プールの地震時の構造強度及び機能維持の確認には、地震応答解析による評価においてせん断ひずみ及び保有水平耐力の評価が必要であるが、使用済燃料プールが原子炉建屋の一部であることから、使用済燃料プールを含む原子炉建屋全体としての評価結果を資料V-2-2-2「原子炉建屋の耐震性についての計算書」に示すこととする。評価に当たっては、地盤物性のばらつきを考慮する。

また、重大事故等対処施設としての評価においては、 S_s 地震時に対する評価を行う。ここで、使用済燃料プールでは、運転時、設計基準事故時及び重大事故等時の状態において、温度の条件が異なるが、コンクリートの温度が上昇した場合においても、コンクリートの圧縮強度の低下は認められず剛性の低下は小さいと考えられること、また、「発電用原子力設備規格コンクリート製原子炉格納容器規格」では部材内の温度差及び拘束力により発生する熱応力は自己拘束的な応力であり十分な塑性変形能力がある場合は終局耐力に影響しないとされていることから、重大事故等対処施設としての評価は、設計基準対象施設としての評価と同一となる。

使用済燃料プールの評価フローを図2-6に示す。

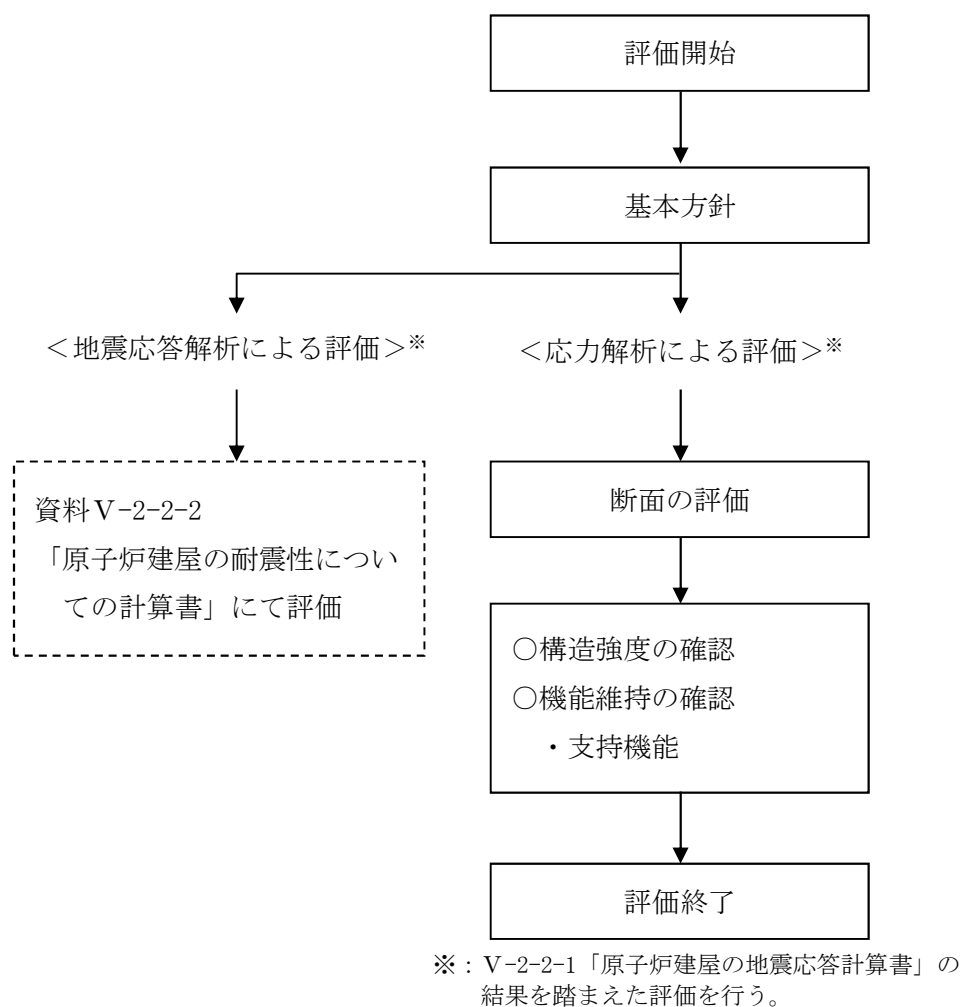


図2-6 使用済燃料プールの評価フロー

2.4 適用規格・基準等

使用済燃料プールの評価において、適用する規格、基準等を以下に示す。

- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1－1987 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補－1984 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1－1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005)
- ・ 発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 ((社) 日本機械学会, 2003) (以下「CCV規格」という。)

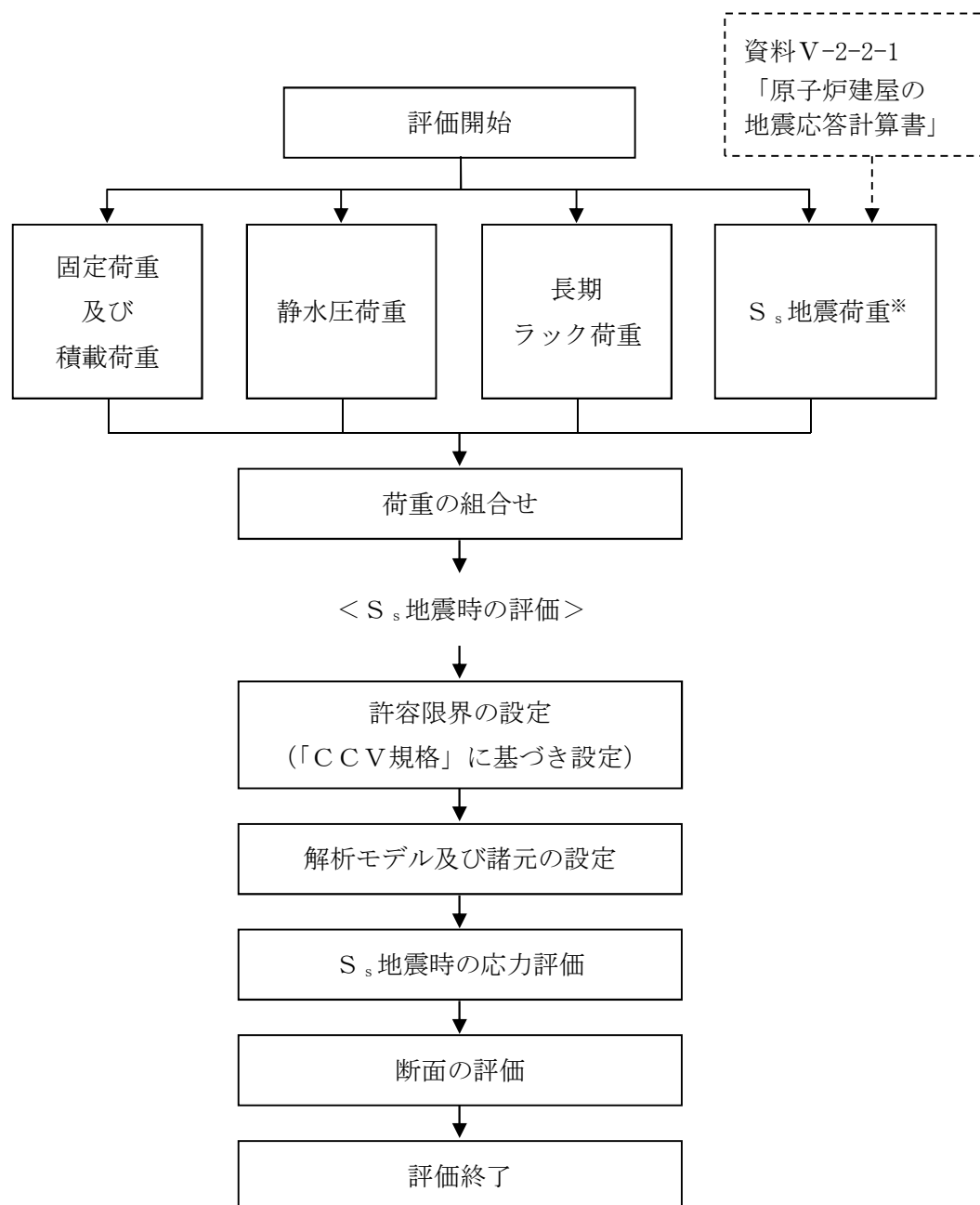
3. 応力解析による評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

使用済燃料プールの応力評価における評価対象部位は、プールを構成する壁及び底版とし、以下の方針に基づき評価を行う。

S。地震時に対する評価は、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析によることとし、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が、「CCV規格」に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析に当たっては、資料V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」により得られた結果を用いて、荷重の組合せを行う。また、断面の評価については、地盤物性のばらつきを考慮した断面力に対して行うこととする。応力解析による評価フローを図3-1に示す。



※：地盤物性のばらつきを考慮する。

図3-1 応力解析による評価フロー

3.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは，資料V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを基本とする。なお，プール部及び原子炉ウエルの水位は炉内点検時の状態を対象とし，プール部が満水で原子炉ウエルには水が無い状態とする。

3.2.1 荷重

(1) 固定荷重 (G) 及び積載荷重 (P)

解析モデルに考慮する固定荷重を表 3-1 に示す。

解析モデルの床に考慮する積載荷重を表 3-2 に示す。これらは、床の F E M 要素に面荷重として与える。また、プール部に連続する床が負担する荷重のうち、プール部に考慮する荷重を表 3-3 に示す。これらは、床が取りつくプール部の要素の一辺に線荷重として与える。

表3-1 固定荷重 (床及び壁)

部位	使用済燃料プール (kN/m ³)	蒸気乾燥器・気水分離器ピット (kN/m ³)
床	24.0	24.0
壁	24.0	24.0

表3-2 積載荷重 (床)

荷重	使用済 燃料プール (kN/m ²)	蒸気乾燥器・ 気水分離器ピット (kN/m ²)	EL. 46.5 m 床 (kN/m ²)	EL. 38.8 m 床 (kN/m ²)
機器荷重	58.4	88.3	48.1 (積載荷重含む)	9.32 (積載荷重含む)
配管荷重	2.94	2.94	2.94	2.94
積載荷重	4.90	4.90	—	—

表3-3 プール部に連続する床に作用する荷重

荷重	EL. 46.5 m 東側床	EL. 46.5 m 西側床	EL. 38.8 m 東側床	EL. 38.8 m 西側床
躯体自重 (kN/m ²)	25.9	16.1	16.8	14.4
機器荷重 (kN/m ²)	48.1	48.1	9.32	9.32
配管荷重 (kN/m ²)	2.94	2.94	2.94	2.94
考慮する床の幅 (m)	2.15	2.30	2.15	2.30

(2) 静水圧荷重 (H_s)

解析モデルに考慮するプール内の静水圧荷重の算定条件を表 3-4 に示す。

表3-4 プールの静水圧荷重の算定条件

荷重	最大水位 (m)	プール底面レベル (m)	最大水深 (m)
使用済燃料プール	EL. +46.500	EL. +34.689	11.811
蒸気乾燥器・ 気水分離器ピット	EL. +46.500	EL. +38.880	7.620

(3) 長期ラック荷重 (R_0)

解析モデルに考慮する使用済燃料プール底版に作用する長期ラック荷重を表 3-5 に示す。

表3-5 長期ラック荷重

部位	鉛直方向荷重
使用済燃料プール	20.7 kN/m ²

(4) S_s 地震荷重 (S_s)

S_s 地震荷重は、水平地震力、鉛直地震力、プール内の水のスロッシングによる動水圧（以下「水平地震力による動水圧荷重」という。）及びプール内の水の鉛直地震力による動水圧（以下「鉛直地震力による動水圧荷重」という。）により構成される。 S_s 地震荷重のうち水平地震力及び鉛直地震力は、基準地震動 S_s に対する地震応答解析より算定される動的地震力に材料物性の不確かさ等を考慮した余裕を踏まえて設定する。

水平地震荷重（水平地震力による動水圧荷重を含む）と鉛直地震荷重（鉛直地震力による動水圧荷重を含む）の組合せは、組合せ係数法を用いて次のとおりとする。

- ① $1.0 \times \text{水平地震荷重} + 0.4 \times \text{鉛直地震荷重}$
- ② $0.4 \times \text{水平地震荷重} + 1.0 \times \text{鉛直地震荷重}$

3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-6 に示す。

表3-6 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	GP+H _s +R ₀ +S _s

GP : 固定荷重及び積載荷重

H_s : 静水圧荷重

R₀ : 長期ラック荷重

S_s : S_s地震荷重

3.3 許容限界

応力解析による評価における使用済燃料プールの許容限界は、資料V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表3-7及び表3-8のとおり設定する。

また、コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表3-9及び表3-10に、コンクリート及び鉄筋の許容ひずみを表3-11に示す。

表3-7 応力解析による評価における許容限界
(設計基準対象施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	使用済燃料プール躯体	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「CCV規格」における荷重状態Ⅳの許容値

表3-8 応力解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	使用済燃料プール躯体	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「CCV規格」における荷重状態Ⅳの許容値

表3-9 コンクリートの許容応力度

荷重状態	$F_c = 22.1 \text{ (N/mm}^2\text{)}$	
	応力状態 1※	
	圧縮 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)
Ⅲ	14.7	1.06
Ⅳ	18.7	—

※：「応力状態 1」とは、各荷重時において温度荷重により生じる応力を除いた応力が生じている状態をいう。

表3-10 鉄筋の許容応力度

荷重状態	SD345※	
	引張及び圧縮 (N/mm^2)	面外せん断 (N/mm^2)
Ⅲ	345	345

※：建設当時の鉄筋の種類は SD35 であるが現在の規格（SD345）に読み替えた応力度を示す。

表3-11 コンクリート及び鉄筋の許容ひずみ

荷重状態	コンクリート	鉄筋
	圧縮ひずみ	圧縮ひずみ及び 引張ひずみ
Ⅳ	0.003	0.005

3.4 解析モデル及び諸元

3.4.1 モデル化の基本方針

(1) 基本方針

応力解析は、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析とする。解析には、解析コード「MSC NASTRAN ver 2016.1.1」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、付録15「計算機プログラム（解析コード）の概要・MSC NASTRAN」に示す。

解析モデルは、使用済燃料プール、原子炉ウェル及び蒸気乾燥器・気水分離器ピットを一体としてモデル化する。また、プール部に連続する壁及び床については、これらのプール部に対する拘束効果を適切に反映した解析モデルとする。

解析モデル概要図を図3-2に示す。

(2) 使用要素

解析モデルに使用するFEM要素は、プール部についてはシェル要素とする。プール部の要素分割展開図を図3-3に示す。有限要素分割は四辺形及び三角形で、この要素は均質等方性な板要素である。各要素には板の曲げと軸力を同時に考えるが、板の曲げには面外せん断変形の影響も考慮する。

プール部に取りつくプール部外側の床及び壁は、プール側壁の面外方向へのはらみ出しに対する拘束効果を評価した梁要素とする。

鉛直方向荷重に対する解析においては、原子炉棟の外壁（以下「内部ボックス壁」という。）については、軸剛性が等価な線材に置換する。

節点数：1028
要素数：1038

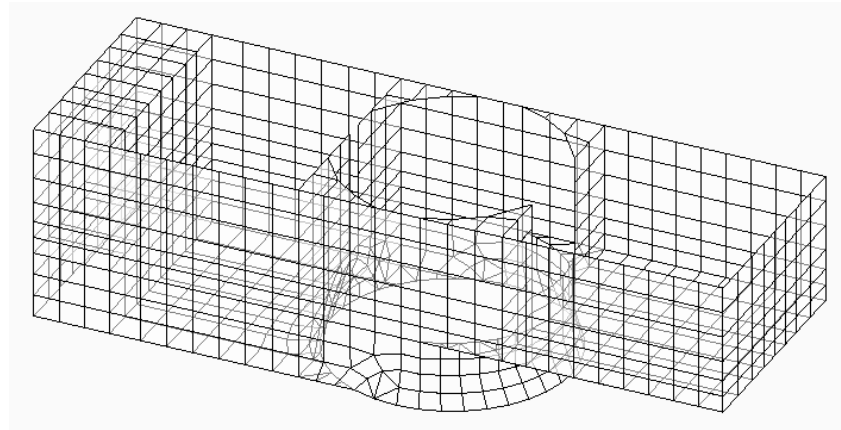


図3-2 解析モデル概要図

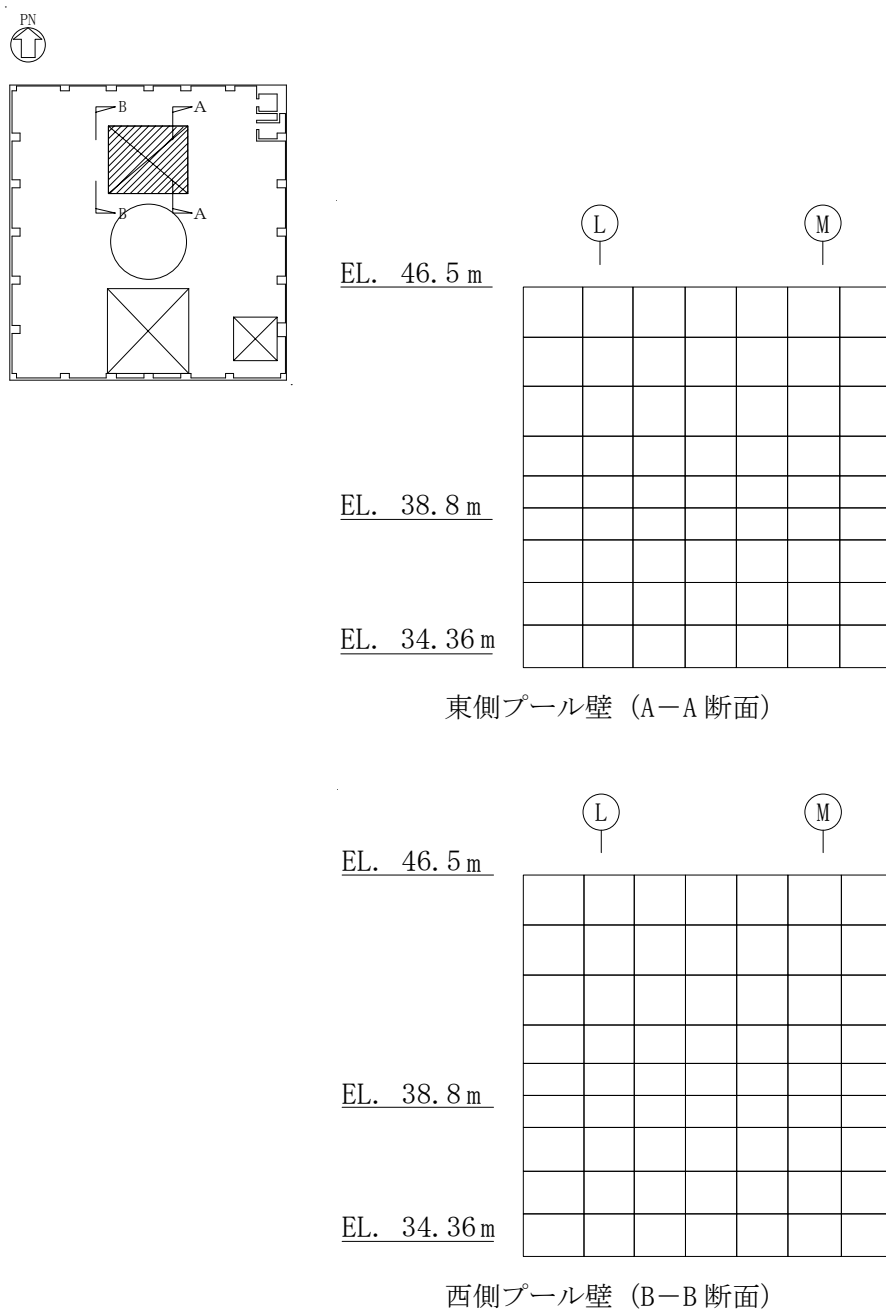


図3-3 (1/2) プール部の要素分割展開図

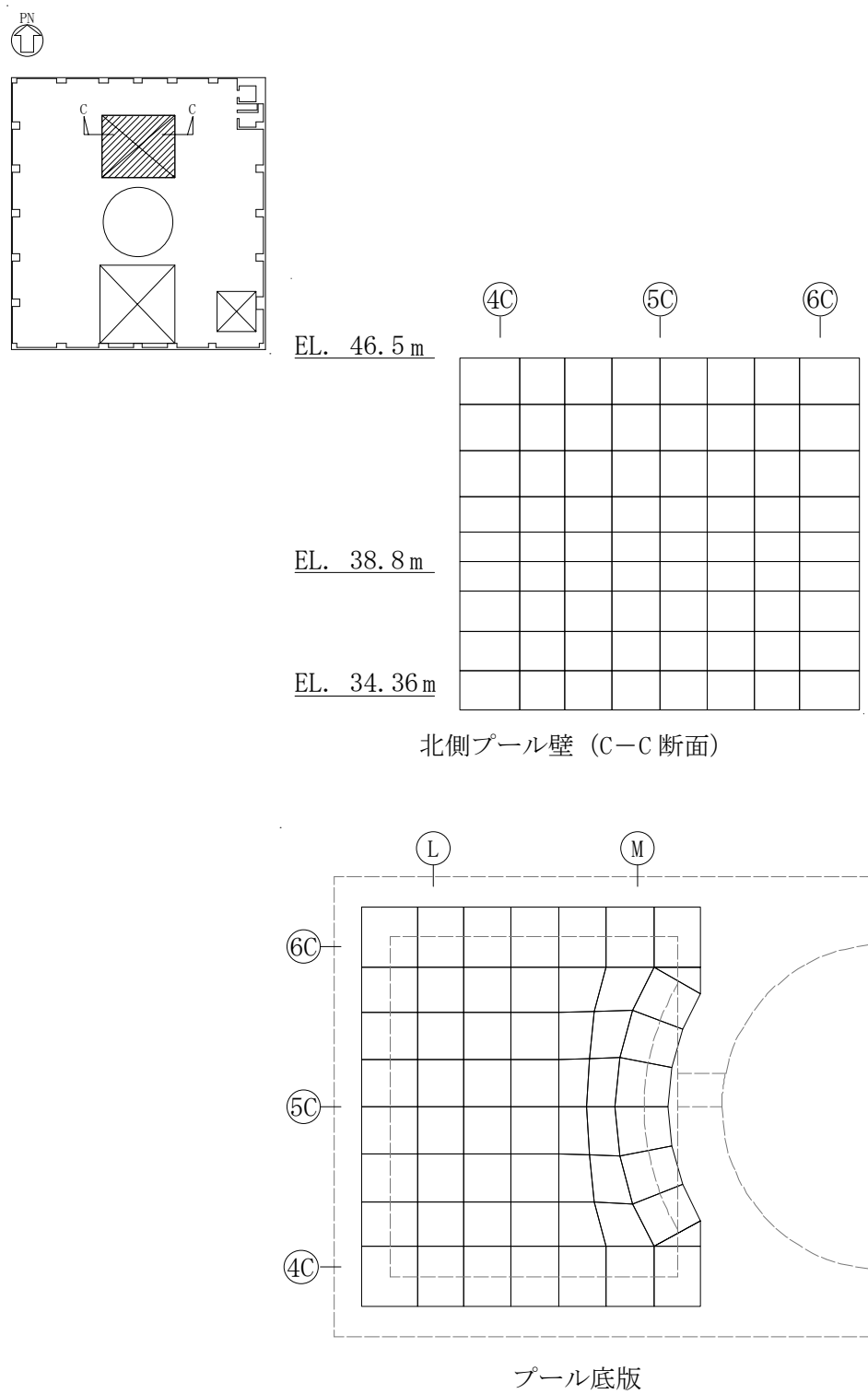


図 3-3 (2/2) プール部の要素分割展開図

3.4.2 解析諸元

コンクリート及び鉄筋の物性値を表 3-12 に示す。なお、鉄筋は SD345 (SD35) を使用しているが、弾性解析において鉄筋はモデル化しない。

表3-12 (1/2) コンクリートの物性値

コンクリートの 設計基準強度 F_c (N/mm ²)	ヤング 係数 E (N/mm ²)	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)
22.1	2.21×10^4	9.21×10^3

表 3-12 (2/2) 鉄筋の物性値

鉄筋の種類	ヤング係数 E (N/mm ²)
SD345 相当 (SD35)	2.05×10^5

3.5 評価方法

3.5.1 応力解析方法

使用済燃料プールについて、 S_s 地震時に対して3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を行う。

(1) 荷重ケース

S_s 地震時の応力は、単独荷重による解析で求まる応力を組合せて求める。
単独荷重の記号を以下に示す。

GP	: 固定荷重及び積載荷重		
H_s	: 静水圧荷重		
R_0	: 長期ラック荷重		
$SS_{WE}^{※}$	: S_s 地震荷重	W→E 方向	GP による慣性力
$SS_{SN}^{※}$	: S_s 地震荷重	S→N 方向	GP による慣性力
$SS_{DU}^{※}$	: S_s 地震荷重	鉛直方向	GP による慣性力
$HS_{WE}^{※}$	: S_s 地震荷重	W→E 方向	水平地震力による動水圧荷重
$HS_{SN}^{※}$	: S_s 地震荷重	S→N 方向	水平地震力による動水圧荷重
$HS_{DU}^{※}$	: S_s 地震荷重	鉛直方向	鉛直地震力による動水圧荷重

※：加力方向により絶対値の差異はないため、計算上の座標軸を基本として、EW 方向は W→E 方向加力、NS 方向は S→N 方向加力、鉛直方向は上向き加力を記載している。

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-13 に示す。

水平地震力と鉛直地震力による応力の組合せは、「原子力発電所耐震設計技術規定 J E A C 4 6 0 1 - 2008 ((社) 日本電気協会) 」を参考に、組合せ係数法 (組合せ係数は 1.0 と 0.4) を用いるものとする。

表3-13 荷重の組合せケース

組合せ 係数	鉛直 方向	水平 方向	ケース No.	荷重の組合せケース
水平 1.0 鉛直 0.4	上	W→E	1-1	$GP + H_s + R_0 + 1.0S_{sWE} + 1.0H_{sWE} + 0.4S_{sDU}$
		E→W	1-2	$GP + H_s + R_0 - 1.0S_{sWE} - 1.0H_{sWE} + 0.4S_{sDU}$
		S→N	1-3	$GP + H_s + R_0 + 1.0S_{sSN} + 1.0H_{sSN} + 0.4S_{sDU}$
		N→S	1-4	$GP + H_s + R_0 - 1.0S_{sSN} - 1.0H_{sSN} + 0.4S_{sDU}$
	下	W→E	1-5	$GP + H_s + R_0 + 1.0S_{sWE} + 1.0H_{sWE} - 0.4S_{sDU}$
		E→W	1-6	$GP + H_s + R_0 - 1.0S_{sWE} - 1.0H_{sWE} - 0.4S_{sDU}$
		S→N	1-7	$GP + H_s + R_0 + 1.0S_{sSN} + 1.0H_{sSN} - 0.4S_{sDU}$
		N→S	1-8	$GP + H_s + R_0 - 1.0S_{sSN} - 1.0H_{sSN} - 0.4S_{sDU}$
水平 0.4 鉛直 1.0	上	W→E	1-9	$GP + H_s + R_0 + 0.4S_{sWE} + 0.4H_{sWE} + 1.0S_{sDU}$
		E→W	1-10	$GP + H_s + R_0 - 0.4S_{sWE} - 0.4H_{sWE} + 1.0S_{sDU}$
		S→N	1-11	$GP + H_s + R_0 + 0.4S_{sSN} + 0.4H_{sSN} + 1.0S_{sDU}$
		N→S	1-12	$GP + H_s + R_0 - 0.4S_{sSN} - 0.4H_{sSN} + 1.0S_{sDU}$
	下	W→E	1-13	$GP + H_s + R_0 + 0.4S_{sWE} + 0.4H_{sWE} - 1.0S_{sDU}$
		E→W	1-14	$GP + H_s + R_0 - 0.4S_{sWE} - 0.4H_{sWE} - 1.0S_{sDU}$
		S→N	1-15	$GP + H_s + R_0 + 0.4S_{sSN} + 0.4H_{sSN} - 1.0S_{sDU}$
		N→S	1-16	$GP + H_s + R_0 - 0.4S_{sSN} - 0.4H_{sSN} - 1.0S_{sDU}$

(3) 荷重の入力方法

a. 固定荷重及び積載荷重

固定荷重は、プール部の要素に作用する物体力として入力する。また、表 3-2 示す積載荷重は面荷重として、表 3-3 に示す連続する床の荷重は線荷重として入力する。

b. 静水圧荷重

表 3-4 に示す静水圧荷重を面荷重として入力する。

c. 長期ラック荷重

表 3-5 に示す長期ラック荷重を使用済燃料プール底版に面荷重として入力する。

d. S_s 地震荷重

(a) 固定・積載荷重による慣性力

水平地震力及び鉛直地震力は、基準地震動 S_s に対する地震応答解析より算定される動的地震力に地盤物性のばらつき等を考慮した余裕を踏まえて設定する。

NS 方向の水平地震力は、プール部の壁が負担するせん断力をプール部の壁の内部ボックス壁端部に線荷重として入力する。EW 方向の水平地震力は、内部ボックス壁の回転変形をプール壁の内部ボックス壁端部の節点に変形量として入力する。

鉛直地震力は、基準地震動 S_s により算出される動的地震力を包絡したプール部における鉛直震度とし、固定荷重及び機器荷重、配管荷重及び積載荷重に乗じて入力する。

(b) 動水圧荷重

水平地震力による動水圧荷重は、各基準地震動 S_s による応答解析結果から衝撃圧及び揺動圧を算定し、それらのうち最大となるケースの評価値に対してばらつきを考慮した割増係数を乗じ、プール部の壁及び床の各要素に面荷重として入力する。水平地震力による動水圧荷重を図3-4に示す。

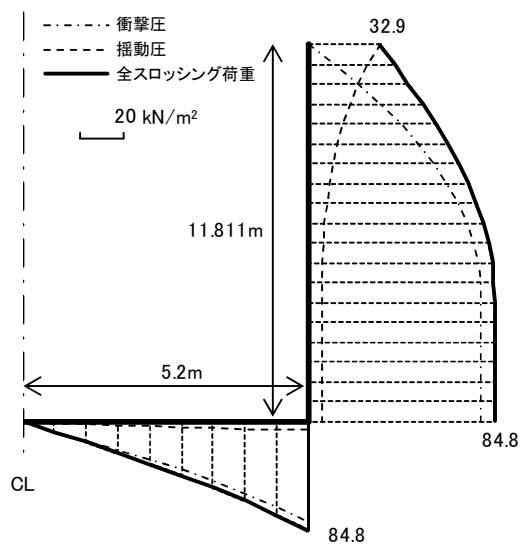
鉛直地震力による動水圧荷重は、基準地震動 S_s により算出される動的地震力を包絡したプール部における鉛直震度とし、静水圧荷重に乘じ面荷重として入力する。鉛直地震力による動水圧荷重の算定に用いる鉛直震度を表3-14に示す。

表3-14 S_s 地震時 鉛直地震力による動水圧荷重の算定に用いる鉛直震度

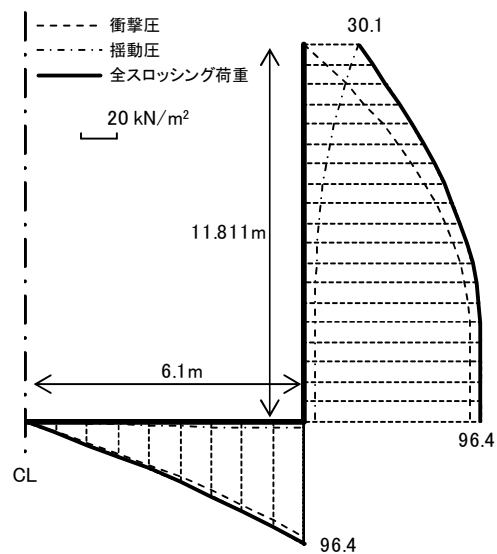
質点番号	基 本 ^{※1} (cm/s ²)	地盤+ σ ^{※2} (cm/s ²)	地盤- σ ^{※2} (cm/s ²)	最大値 (cm/s ²)	鉛直震度
3	823	913	729	913	0.94
4	785	869	693	869	
5	726	799	640	799	

※1： S_s-D1 ， S_s-11 ， S_s-12 ， S_s-13 ， S_s-14 ， S_s-21 ， S_s-22 及び S_s-31 の最大値

※2： S_s-D1 ， S_s-21 ， S_s-22 及び S_s-31 の最大値

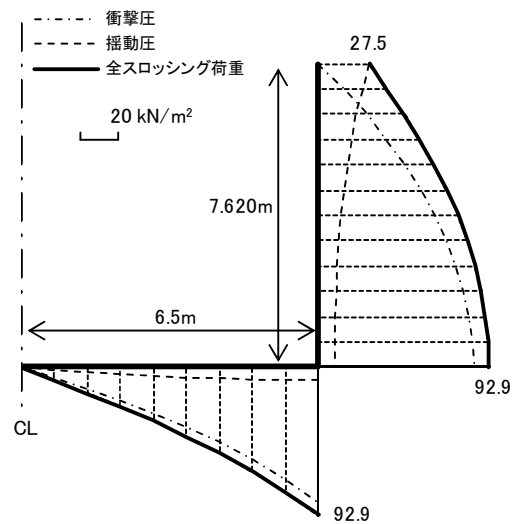


(a) NS 方向

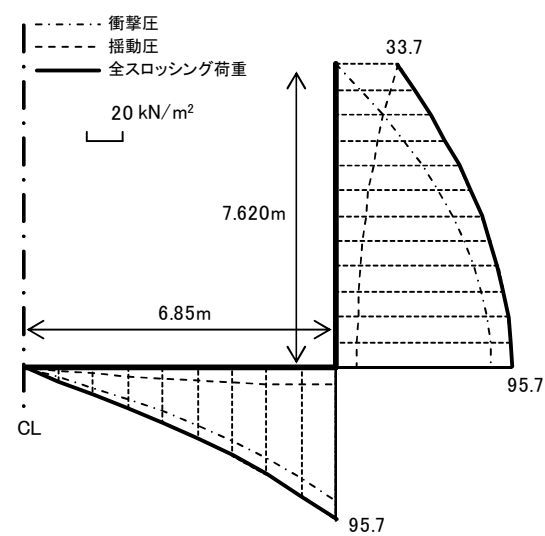


(b) EW 方向

(a) 使用済燃料プール



(a) NS 方向



(b) EW 方向

(b) 蒸気乾燥器・気水分離器ピット

図3-4 S_s地震時 水平地震力による動水压荷重

3.5.2 断面の評価方法

(1) S_s 地震時に対する評価

a. 壁

軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートのひずみ、軸力による圧縮応力度、面内せん断力並びに面外せん断力を算定し、「CCV規格」に準拠して設定した各許容値を超えないことを確認する。

具体的には、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートのひずみの算定においては、CVE-3511に基づき等価膜力を考慮した上で、CVE-3511.2に示す各許容値を超えないことを確認する。ここで、鉄筋のひずみ算定において、発生応力が鉄筋の降伏応力度を超える場合は、エネルギー一定則に基づきひずみを算定する。

軸力による圧縮応力度については、CVE-3511.3に基づきコンクリートの設計基準強度の2/3倍の値を超えないことを確認する。

面内せん断力については、CVE-3512.2に示す許容値を超えないことを確認する。

面外せん断力については、CVE-3513.2に示す許容値を超えないことを確認する。

b. 底版

軸力、曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力を算定し、「CCV規格」に準拠して設定した各許容値を超えないことを確認する。

具体的には、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみについては、CVE-3521.2に示す各許容値を超えないことを確認する。ここで、鉄筋のひずみ算定において、発生応力が鉄筋の降伏応力度を超える場合は、エネルギー一定則に基づきひずみを算定する。

面外せん断力については、CVE-3522に示す許容値を超えないことを確認する。

V-2-4-2-2 使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 適用基準	1
1.2 計算条件	1
1.3 設計条件	5
1.4 記号の説明	8
1.5 計算精度と数値の丸め方	10
2. 構造説明	11
2.1 構造計画	11
3. 計算方法	12
3.1 固有周期の計算方法	12
3.2 応力の計算方法	15
3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	15
3.2.2 部材の応力	18
3.2.3 ラック取付ボルトの応力	19
3.2.4 基礎ボルトの応力	21
4. 評価方法	23
4.1 固有周期の評価	23
4.2 応力の評価	23
4.2.1 部材の応力評価	23
4.2.2 ラック取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価	23
5. 設計条件	24
6. 機器要目	25
6.1 固有周期の算出及び部材の応力評価に用いる要目	25
6.1.1 各部材の材料及び物性値（施設区分共通）	25
6.1.2 各部材の材料及び物性値（設計基準対象施設）	25
6.1.3 各部材の材料及び物性値（重大事故等対処施設）	26
6.2 ラック取付ボルトの応力評価に用いる要目	27
6.3 基礎ボルトの応力評価に用いる要目	28
7. 計算数値	29
7.1 部材に生じる応力	29
7.2 ラック取付ボルトに生じる応力	30
7.3 基礎ボルトに生じる応力	30
8. 結論	31
8.1 固有周期	31
8.2 応力（設計基準対象施設）	32
8.3 応力（重大事故等対処施設）	33

別添 計算モデルの寸法	34

1. 一般事項

本計算書は、使用済燃料貯蔵ラック（以下「ラック」という。）（耐震設計上の重要度分類 S クラス）の耐震性についての計算方法と計算結果を示す。

ラックは、設計基準対象施設においては既設の S クラス施設に、重大事故等対処施設においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、分類に応じた耐震評価を示す。

1.1 適用基準

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補－1984 及び J E A G 4 6 0 1－1987）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月及び昭和 62 年 8 月）に準拠して評価する。

1.2 計算条件

(1) ラックは、原子炉建屋の使用済燃料プールの底部（EL. 34.689 m）に置かれた共通ベース上に設置され、ラック取付ボルトにより固定されるものとする。

(2) ラックの質量には、使用済燃料の質量とラック自身の質量のほか、ラックに含まれる水の質量及びラック外形の排除水質量*を考慮する。

(3) 地震力は、ラックに対して水平方向から作用するものとする。

ここで、水平方向地震力は、ラックの長辺方向に作用する場合と短辺方向に作用する場合を考慮する。

また、鉛直方向地震力は、水平方向地震力と同時に不利な方向に作用するものとする。

(4) 構造説明を 2 章に、構造概念図（110 体ラックの例）を図 1-1 に、各ラックの構造概要図を図 1-2～図 1-3 に示す。

注記 *：排除水質量とは、水中の機器の形状により排除される機器周囲の流体の質量である。

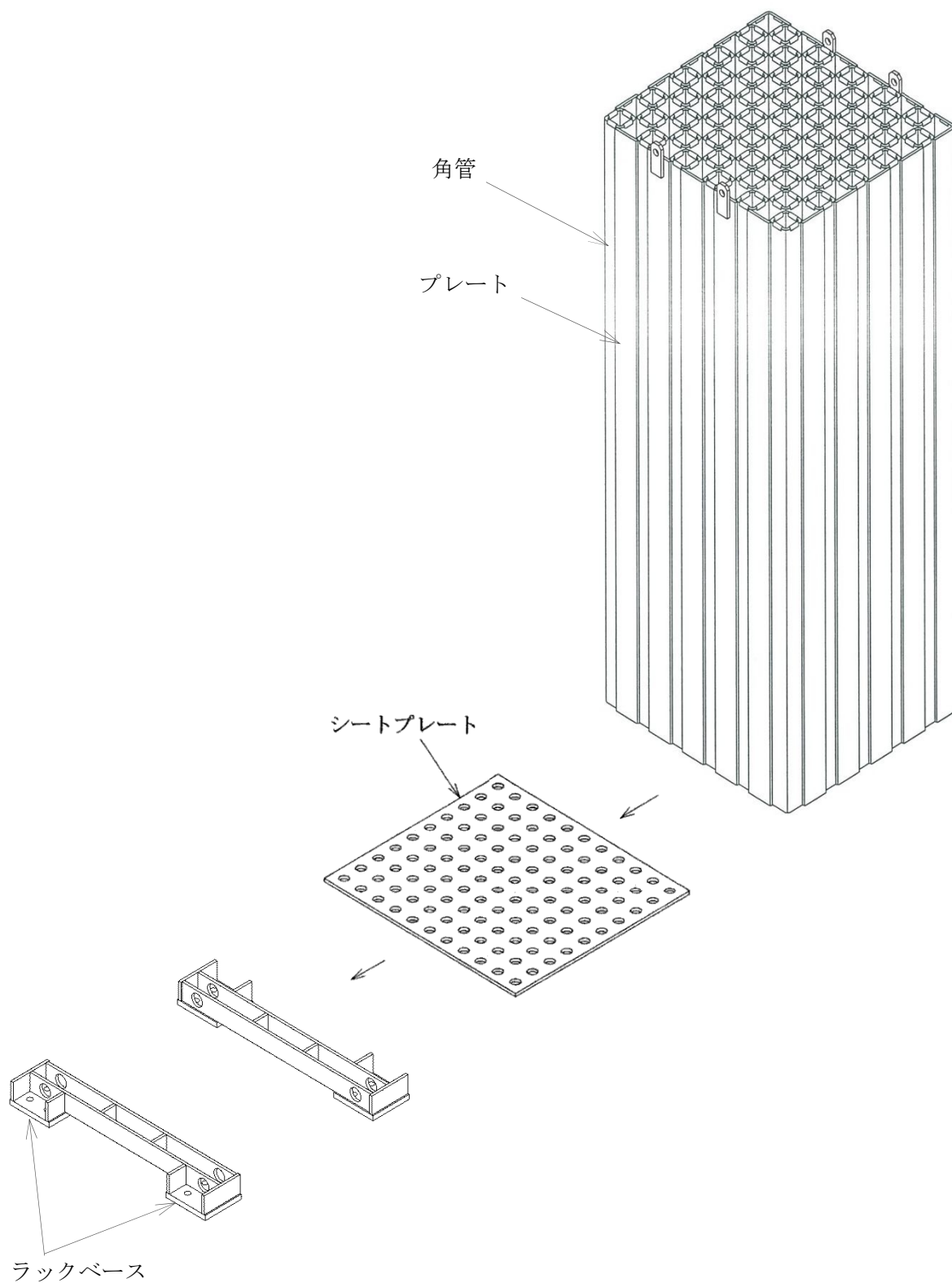


図 1-1 構造概念図 (110 体ラック)

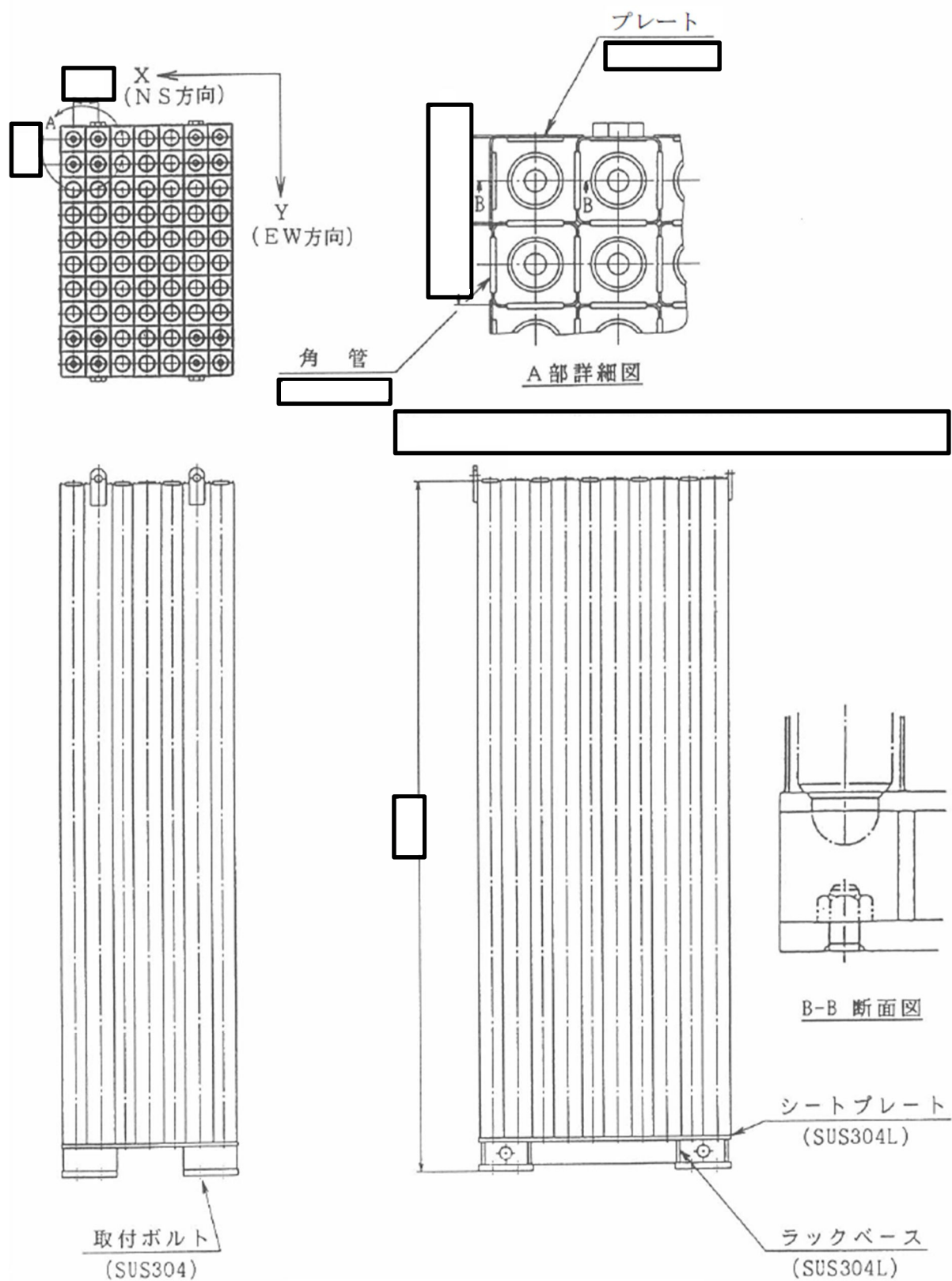


図 1-2 構造概要図 (70 体ラック) (単位 : mm)

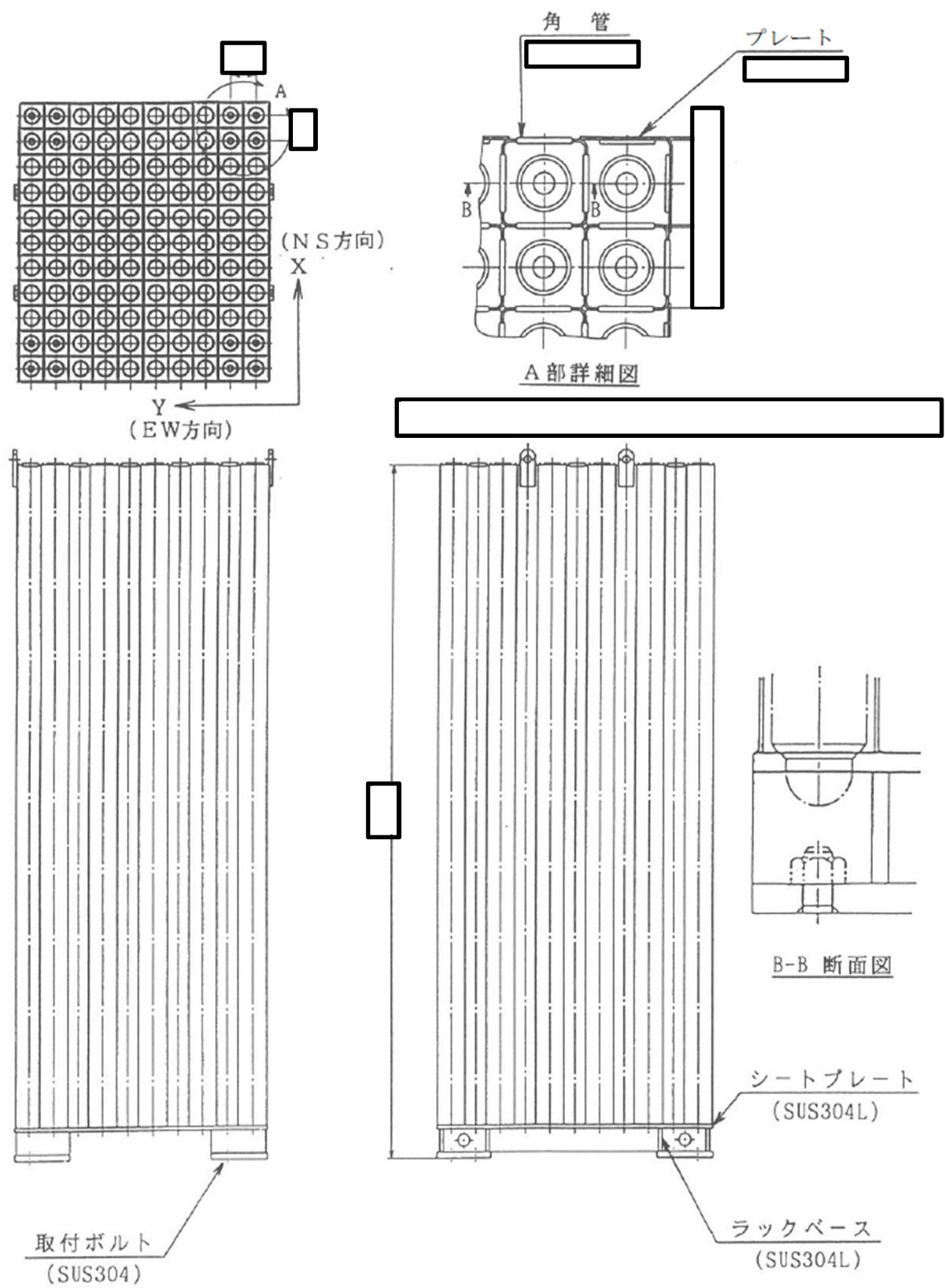


図 1-3 構造概要図 (110 体ラック) (単位 : mm)

1.3 設計条件

(1) 使用材料及び材料定数

部材	使用材料	縦弾性係数 (MPa)
角管及びプレート		213000
シートプレート及び ラックベース	SUS304L	192000
ラック取付ボルト及び 基礎ボルト	SUS304	192000

(2) 荷重及び荷重の組合せ

a. 設計荷重

(a) 圧力及び温度

最高使用圧力	—
最高使用温度	66 °C
周囲環境温度	—

(b) 死荷重

運転時質量 (70 体ラック)		kg
運転時質量 (110 体ラック)		kg

(c) 機械的荷重

無し

b. 荷重の組合せ

耐震クラス	荷重の組合せ	許容応力状態
S	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

記号の説明

D : 死荷重

 P_D : 最高使用圧力による荷重 M_D : 機械的荷重 S_d^* : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又は静的地震力 S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力Ⅲ_AS : 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））

J SME S NC 1-2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）の運転状態Ⅲ相当の許容応力を基準として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態

Ⅳ_AS : 設計・建設規格の運転状態Ⅳ相当の許容応力を基準として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態

(3) 許容応力

部材	応力	許容応力 (MPa)	
		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
角管及びプレート	引張り	205	205
	せん断	118	118
	組合せ	205	205
シートプレート及び ラックベース	引張り	175	175
	せん断	101	101
	組合せ	175	175
ラック取付ボルト	引張り	153	153
	せん断	118	118
基礎ボルト	引張り	150	150
	せん断	118	118

(4) 設計震度

a. 70 体ラック

	固有周期 (s)	設計震度			
		方向	弾性設計用 地震動 S_d	静的震度	基準地震動 S_s
水平方向	1	N S	—	—	1.10 又は*2
		E W	—	—	1.10 又は*2
鉛直方向		—			0.90

注記 *1: 1 次のみを示す。

*2: 基準地震動 S_s に基づく設計用床応答スペクトルより得られる値

b. 110 体ラック

	固有周期 (s)	設計震度			
		方向	弾性設計用 地震動 S_d	静的震度	基準地震動 S_s
水平方向	1	N S	—	—	1.10 又は*2
		E W	—	—	1.10 又は*2
鉛直方向		—			0.90

注記 *1: 1 次のみを示す。

*2: 基準地震動 S_s に基づく設計用床応答スペクトルより得られる値

なお、 S_s^* の方が S_d^* より大きいいため、 S_d^* の応力計算は省略し、許容応力状態Ⅲ_A Sの評価は、 S_s での計算結果値を用いて行う。

1.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A _b	ラック取付ボルト又は基礎ボルトの軸断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 又は SSB-3131 に定める値	MPa
F [*]	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F _i	ラックベース底部に働くせん断力 (70 体又は 110 体)	N
F _{a i}	110 体ラックベース底部に働くせん断力	N
F _{b i}	共通ベース底部に働くせん断力	N
f _{j i}	ラック取付ボルト又は基礎ボルトに働く引張力 (1 本当たり)	N
f _s	部材の許容せん断応力	MPa
f _{s b}	せん断力のみを受けるラック取付ボルト又は基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _t	部材の許容引張応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受けるラック取付ボルト又は基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受けるラック取付ボルト又は基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h ₁	使用済燃料貯蔵時のラック重心高さ	mm
h ₂	共通ベース高さ	mm
λ _{g i}	ラックベース端又は共通ベース端から重心までの距離	mm
λ _{j i}	ラックベース端又は共通ベース端から各ボルトまでの距離	mm
M _i	ラックベース底部の転倒モーメント (70 体又は 110 体)	N・mm
M _{a i}	110 体ラックベース底部の転倒モーメント	N・mm
M _{b i}	共通ベース底部の転倒モーメント	N・mm
M _{c i}	110 体ラックのせん断力による共通ベース底部の転倒モーメント	N・mm
M _{t i}	ラック据付時の全体の転倒モーメント	N・mm
n	ラック取付ボルト又は基礎ボルトの全本数	—
n _{j i}	ラック取付ボルト又は基礎ボルト各部の本数	—

S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
t	部材の板厚	mm
m	使用済燃料貯蔵時のラック全質量 (70 体又は 110 体)	kg
m_a	110 体ラックの全質量	kg
m_b	共通ベースの質量	kg
m_F	燃料の質量	kg
m_R	ラックの質量	kg
m_t	ラック据付時の共通ベースの全質量	kg
m_W	ラックに含まれる水の質量	kg
σ_b	ラック取付ボルト又は基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_x, σ_y	部材に生じる引張応力	MPa
σ_{fa}	部材に生じる組合せ応力	MPa
τ_b	ラック取付ボルト又は基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{xy}	部材に生じるせん断応力	MPa

注 1: $F_i, F_{ai}, F_{bi}, f_{ji}, \lambda_{gi}, \lambda_{ji}, M_i, M_{ai}, M_{bi}, M_{ci}, M_{ti}$ 及び n_{ji} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = N$: NS 方向

$i = E$: EW 方向

注 2: f_{ji}, λ_{ji} 及び n_{ji} の添字 j はボルトの列番号を示す。

1.5 計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 1-1 に示すとおりとする。

表 1-1 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
設計震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
最高使用温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における設計引張強さ及び設計降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

2. 構造説明

2.1 構造計画

使用済燃料貯蔵ラックの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
使用済燃料 貯蔵ラック	ラックは、たて置形で原子炉建屋の使用済燃料プールの床に置かれた共通ベース上に設置されラック取付ボルトで固定している。共通ベースは、使用済燃料プール床に取り付けてある基礎ボルトにより固定している。	角管市松模様配列構造ラック 使用済燃料貯蔵ラックは、70 体ラックが 7 個、110 体ラックが 16 個ある。	

3. 計算方法

3.1 固有周期の計算方法



また，計算に用いる設計条件を 5 章に，固有周期の算出及び部材とラック取付ボルト，基礎ボルトの応力評価に用いる要目を 6 章にそれぞれ示す。

固有周期は，計算機コード を用いて求める。

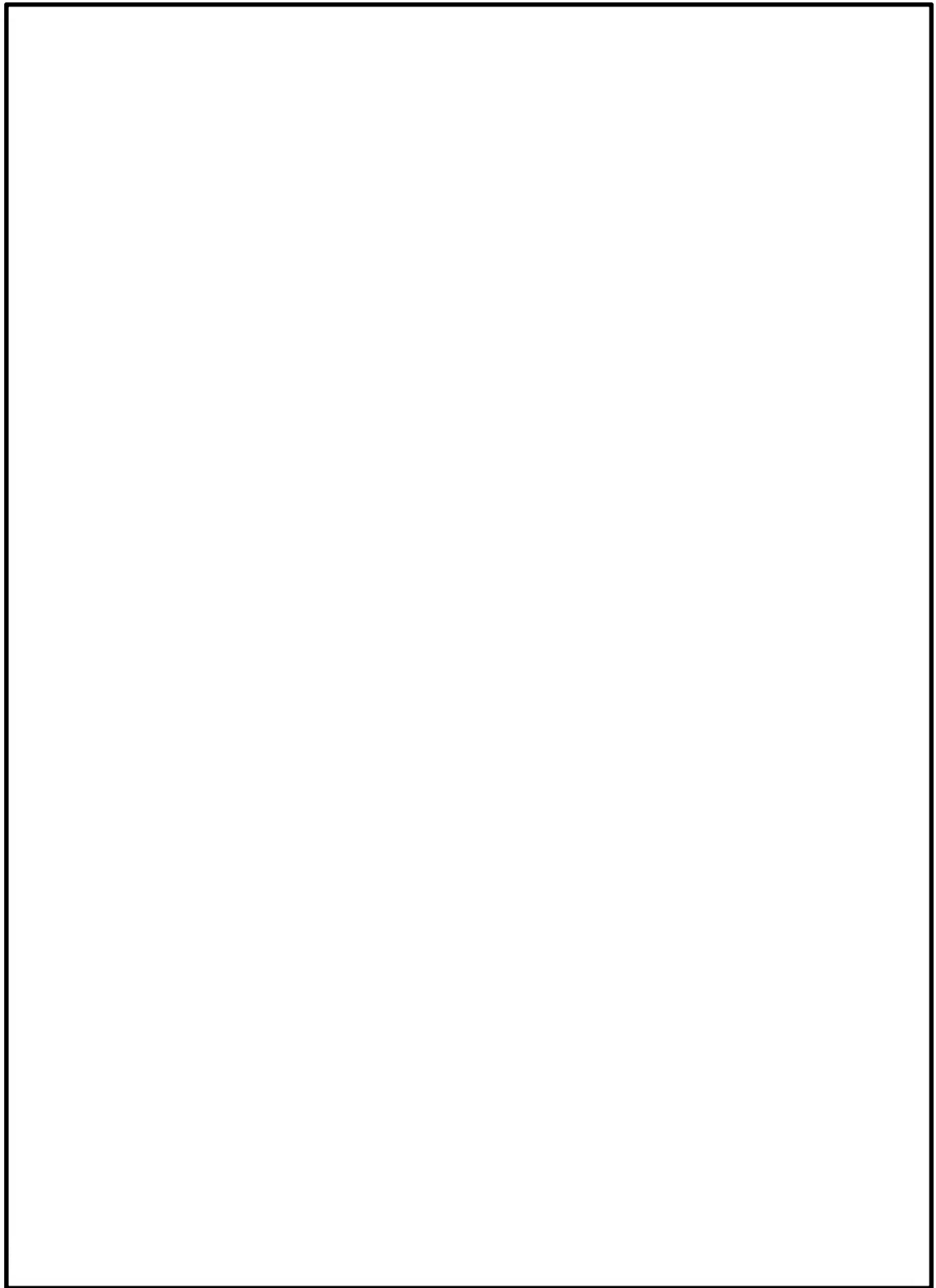


図 3-1 70 体ラック計算モデル

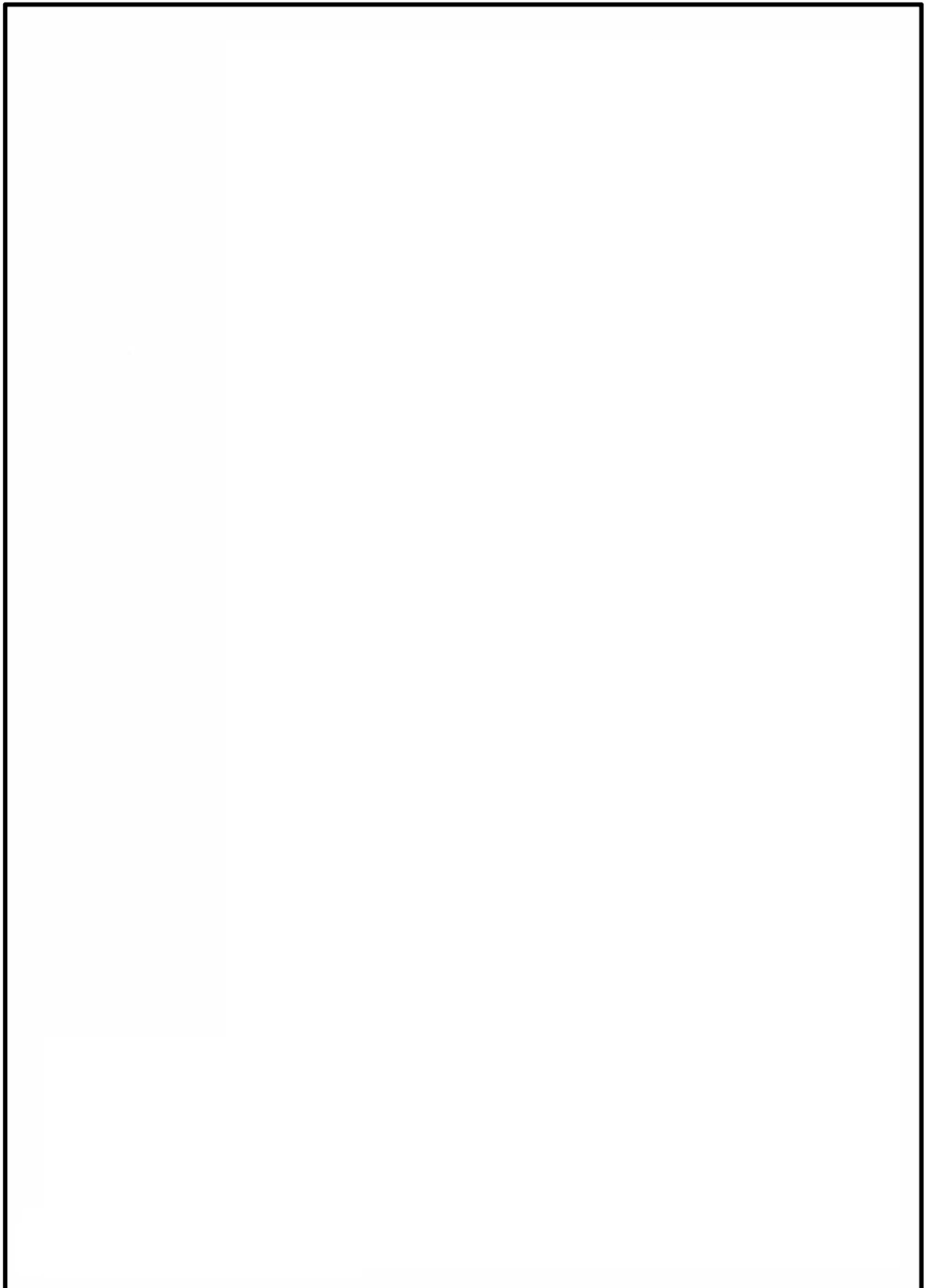


図 3-2 110 体ラック計算モデル

3.2 応力の計算方法

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ラックの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に，重大事故等対処施設の評価に用いるものを表 3-2 に，許容限界を表 3-3 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	使用済燃料 貯蔵設備	使用済燃料 貯蔵ラック	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	使用済燃料 貯蔵設備	使用済燃料 貯蔵ラック	常設耐震／防止 常設／緩和	— ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	$IV_A S$
					$D + P_{SAD}^{*4} + M_{SAD}^{*5} + S_s$	$V_A S$ ^{*6, *7}

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

*4：重大事故等時の状態（運転状態V）における運転状態等を考慮して当該設備に設計上定められた設計圧力による荷重

*5：重大事故等時の状態（運転状態V）における運転状態等を考慮して当該設備に設計上定められた機械的荷重

*6：運転状態V相当の応力評価を行う許容応力状態を基本として，それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態

*7： $V_A S$ として $IV_A S$ の許容限界を用いる。

表 3-3 許容限界

許容応力状態	許容限界（ボルト等以外）			許容限界（ボルト等）	
	一次応力			一次応力	
	引張り	せん断	組合せ	引張り	せん断
$\text{III}_A S$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b)\}$	$1.5 \cdot f_s$
$\text{IV}_A S$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^*, (2.1 \cdot f_t^* - 1.6 \cdot \tau_b)\}$	$1.5 \cdot f_s^*$
$\text{V}_A S^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^*, (2.1 \cdot f_t^* - 1.6 \cdot \tau_b)\}$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記 * : $\text{V}_A S$ として $\text{IV}_A S$ の許容限界を用いる。

3.2.2 部材の応力

部材についての応力計算は、図 3-1～図 3-2 の計算モデルにて、角管及びプレート、シートプレート、ラックベースから成る系全体での応力計算を計算機コード を使用して行い、引張応力、せん断応力を求め、本項に示す計算方法に従って組合せ応力を計算する。

計算機コード内では、各部材の局所座標系及びせん断応力 τ_{xy} 、引張応力 σ_x 、 σ_y の働く向きを図 3-3 に示すように設定している。

各シェル部材の組合せ応力 σ_{fa} は、上述で計算したせん断応力 τ_{xy} 、引張応力 σ_x 、 σ_y を用いて (3.2.1) 式より求める。

$$\sigma_{fa} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \dots \dots \dots (3.2.1)$$

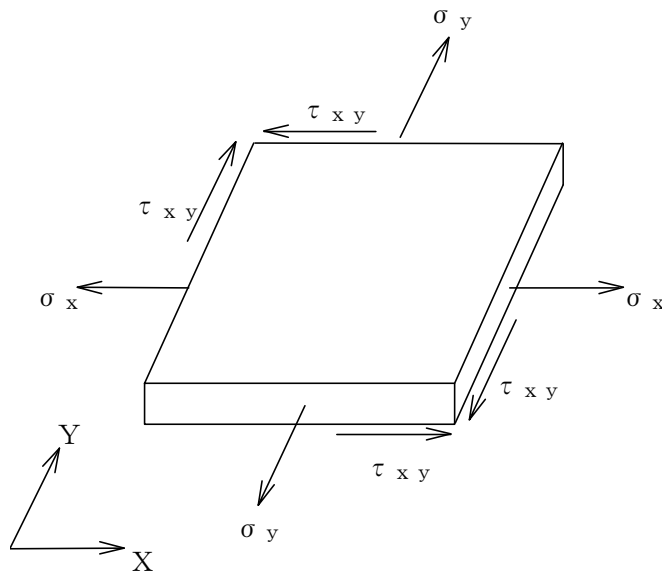


図 3-3 部材の応力計算モデル

3.2.3 ラック取付ボルトの応力

ラックの系全体での荷重計算を計算機コード を使用して行い、求められた地震時のラックに作用する転倒モーメント M_i 及びラックベース底部に作用するせん断力 F_i が、ラックに図 3-4 のように負荷されるものとしてラック取付ボルトの応力を求める。

ラック取付ボルトの荷重状態を図 3-4 に示す。

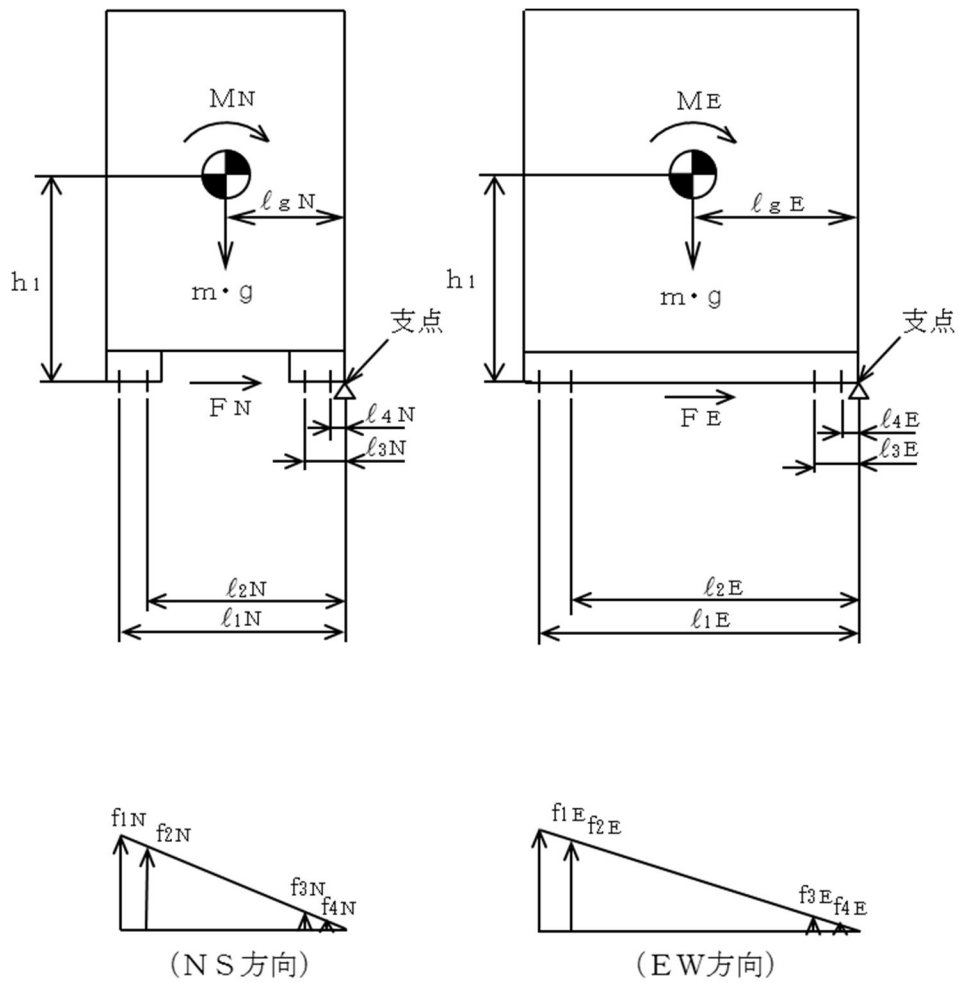


図 3-4 ラック取付ボルトの荷重状態

(1) 引張応力

図 3-4 において支点回りのモーメントの平衡によりラック取付ボルト 1 本当たりの引張力 $f_{1i} \sim f_{ji}$ を求める。

$f_{1i} > f_{2i} > \dots > f_{ji}$ の関係にあるので f_{1i} のみを (3.2.2) 式より求める。

$$f_{1i} = \frac{\lambda_{1i} \cdot \{M_i - (1 - C_v) \cdot m \cdot g \cdot \lambda_{gi}\}}{n_{1i} \cdot \lambda_{1i}^2 + n_{2i} \cdot \lambda_{2i}^2 + \dots + n_{ji} \cdot \lambda_{ji}^2} \quad \dots \quad (3.2.2)$$

したがって、引張力 f_{1i} によりラック取付ボルトに生じる引張応力 σ_b は、(3.2.3) 式より求める。

$$\sigma_b = \frac{f_{1i}}{A_b} \quad \dots \quad (3.2.3)$$

ただし、 f_{1i} の値が負となった場合は、引張力が生じないので以後の引張応力の計算は省略する。

(2) セン断応力

せん断力 F_i によりラック取付ボルトに生じるせん断応力 τ_b は、(3.2.4) 式より求める。

$$\tau_b = \frac{F_i}{n \cdot A_b} \quad \dots \quad (3.2.4)$$

3.2.4 基礎ボルトの応力

共通ベースの種類としては110体ラック1台と70体ラック1台設置用が4台、110体ラック2台設置用が3台、110体ラック2台と70体ラック1台設置用が3台あり、この中で荷重条件が厳しい110体ラック2台設置用について以下に示す。

本ケースのラック及び共通ベースに作用する水平方向の力は合計18本の共通ベース基礎ボルトで固定される。地震時に発生するラック据付時の全体の転倒モーメント M_{ti} 及び共通ベース底部に作用するせん断力 F_{bi} が、ラック及び共通ベースから成る系全体において図3-5のように負荷されるものとして基礎ボルトの応力を求める。

基礎ボルトの荷重状態を図3-5に示す。

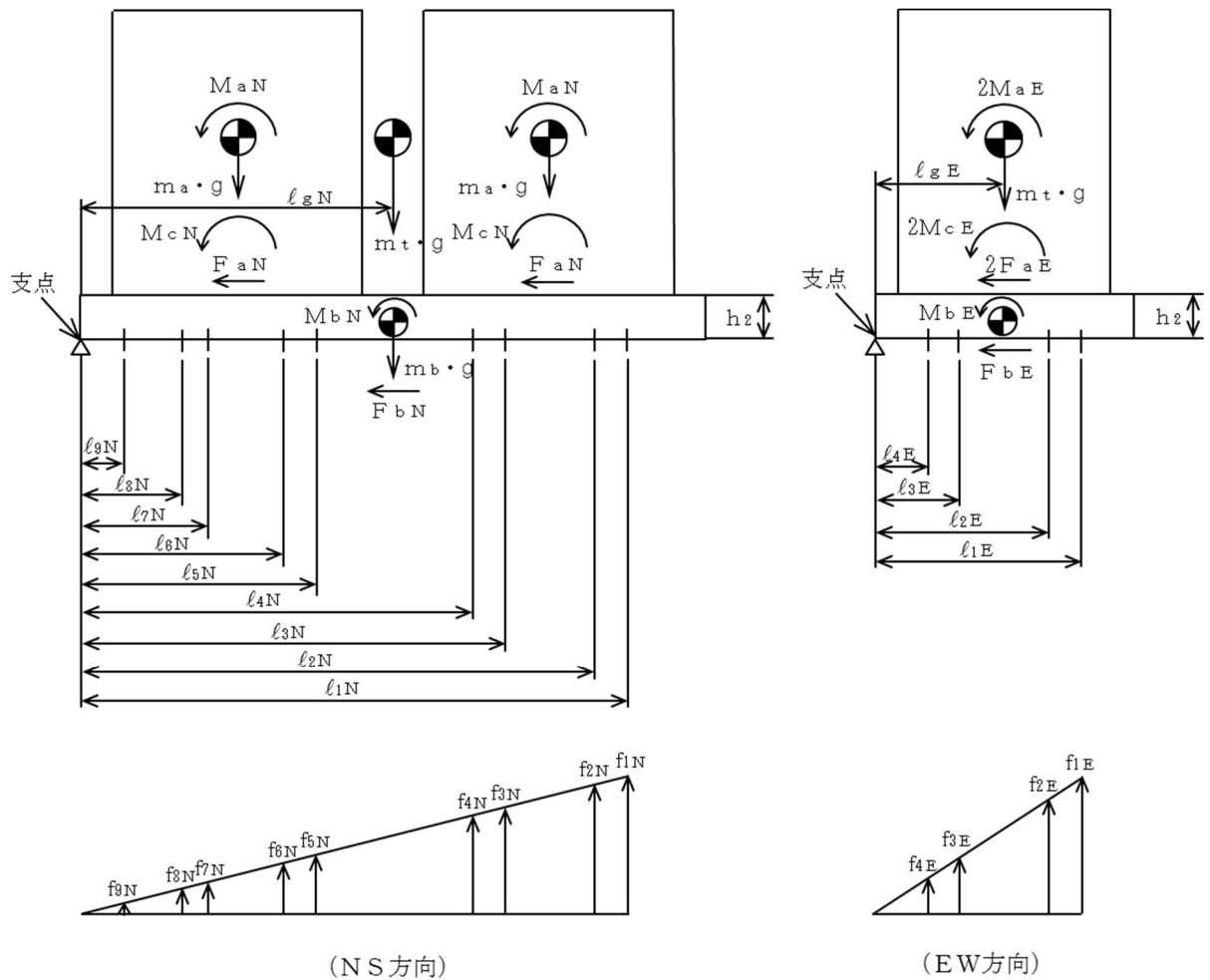


図3-5 基礎ボルトの荷重状態

(1) 引張応力

図 3-5 において支点回りのモーメントの平衡により基礎ボルト 1 本当たりの引張力 $f_{1i} \sim f_{ji}$ を求める。

$f_{1i} > f_{2i} > \dots > f_{ji}$ の関係にあるので f_{1i} のみを (3.2.5) 式より求める。

$$f_{1i} = \frac{\lambda_{1i} \cdot \{M_{ti} - (1 - C_v) \cdot m_t \cdot g \cdot \lambda_{gi}\}}{n_{1i} \cdot \lambda_{1i}^2 + n_{2i} \cdot \lambda_{2i}^2 + \dots + n_{ji} \cdot \lambda_{ji}^2} \quad \dots \quad (3.2.5)$$

ここで,

$$M_{ti} = 2 \cdot M_{ai} + M_{bi} + 2 \cdot M_{ci}$$

$$M_{ci} = F_{ai} \cdot h_2$$

したがって、引張力 f_{1i} により基礎ボルトに生じる引張応力 σ_b は、(3.2.6) 式より求める。

$$\sigma_b = \frac{f_{1i}}{A_b} \quad \dots \quad (3.2.6)$$

ただし、 f_{1i} の値が負となった場合は、引張力が生じないので以後の引張応力の計算は省略する。

(2) せん断応力

せん断力 F_{bi} により基礎ボルトに生じるせん断応力 τ_b は、(3.2.7) 式より求める。

$$\tau_b = \frac{F_{bi}}{n \cdot A_b} \quad \dots \quad (3.2.7)$$

4. 評価方法

4.1 固有周期の評価

3.1 節で求めた固有周期から添付書類「V-2-1 耐震設計の基本方針」に基づき、水平方向設計震度及び鉛直方向設計震度を求める。

4.2 応力の評価

4.2.1 部材の応力評価

3.2.2 項で求めた各部材の引張応力 σ_x 、 σ_y 及び組合せ応力 σ_{fa} が、許容引張応力 f_t 以下であること。

また、3.2.2 項で求めた各部材のせん断応力 τ_{xy} が、許容せん断応力 f_s 以下であること。

ただし、 f_t 及び f_s は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5^*$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5^*$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5^*$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5^*$

注記 * : の引張強さと降伏点 (0.2 %耐力) の値は、SUS304 の規格値を上回っているので安全側の評価とするため、F 値は SUS304 の値を使用する。

4.2.2 ラック取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価

3.2.3 項、3.2.4 項で求めたラック取付ボルト、基礎ボルトの引張応力 σ_b が、次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

また、3.2.3 項、3.2.4 項で求めたラック取付ボルト、基礎ボルトのせん断応力 τ_b が、せん断力のみを受けるラック取付ボルト、基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \dots\dots\dots (4.2.1)$$

かつ、

$$f_{ts} \leq f_{to} \quad \dots\dots\dots (4.2.2)$$

ただし、 f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 設計条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		最高使用温度 (℃)	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		
						弾性設計用地震動 S _d	静的震度					
使用済燃料貯蔵ラック (70 体ラック)	S (設計基準 対象施設) 常設耐震／防止 常設／緩和 (重大事故等 対処施設)	原子炉建屋 EL. 34.7 ^{*1}			N S	—	—	—	C _H =1.10 又は*3	C _V = 0.90	66 (設計基準 対象施設) 80 (重大事故等 対処施設)	
E W					—	—	C _H =1.10 又は*3					
N S					—	—	C _H =1.10 又は*3					
E W					—	—	C _H =1.10 又は*3					

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：1 次のみを示す。2 次以降は 8 章に示す。
*3：基準地震動 S_sに基づく設計用床応答スペクトルより得られる値

6. 機器要目

6.1 固有周期の算出及び部材の応力評価に用いる要目

6.1.1 各部材の材料及び物性値（施設区分共通）

項目 部材	材料	t (mm)	E ^{*1} (MPa)
角管及び プレート			213000 ^{*2}
シート プレート	SUS304L	25.0	192000
ラック ベース	SUS304L	22.0	192000

注記 *1：最高使用温度（66℃）で算出

*2：

6.1.2 各部材の材料及び物性値（設計基準対象施設）

項目 部材	材料	S _y ^{*1} (MPa)	S _y ^{*2} (MPa)	S _u ^{*1} (MPa)	F (MPa)	F [*] (MPa)
角管及び プレート		188 ^{*3}	205 ^{*3}	479 ^{*3}	205 ^{*4}	205 ^{*4}
シート プレート	SUS304L	160	175	443	175	175
ラック ベース	SUS304L	160	175	443	175	175

注記 *1：最高使用温度（66℃）で算出

*2：室温で算出

*3： の S_y、S_u の値は、SUS304 の規格値を上回っているため、安全側の評価とするため、S_y、S_u の値は、SUS304 の値を使用する。*4： の S_y、S_u の値は、SUS304 の規格値を上回っているため、安全側の評価とするため、F、F^{*} の値は、SUS304 の値を使用する。

6.1.3 各部材の材料及び物性値（重大事故等対処施設）

項目 部材	材料	S_y^{*1} (MPa)	S_y^{*2} (MPa)	S_u^{*1} (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
角管及び プレート		180^{*3}	205^{*3}	461^{*3}	205^{*4}	205^{*4}
シート プレート	SUS304L	153	175	426	175	175
ラック ベース	SUS304L	153	175	426	175	175

注記 *1：最高使用温度（80℃）で算出

*2：室温で算出

*3： の S_y 、 S_u の値は、SUS304 の規格値を上回っているので安全側の評価とするため、 S_y 、 S_u の値は、SUS304 の値を使用する。

*4： の S_y 、 S_u の値は、SUS304 の規格値を上回っているので安全側の評価とするため、F、 F^* の値は、SUS304 の値を使用する。

6.2 ラック取付ボルトの応力評価に用いる要目

ラック	m (kg)	m _F (kg)	m _R (kg)	m _W (kg)	h ₁ (mm)	λ ₁ N (mm)	λ ₂ N (mm)	λ ₃ N (mm)	λ ₄ N (mm)	λ ₁ E (mm)	λ ₂ E (mm)	λ ₃ E (mm)	λ ₄ E (mm)	λ _g N (mm)	λ _g E (mm)
70 体ラック					2100	1072	909	257	94	1561	1398	257	94	583	827.5
110 体ラック					2100	1724	1561	257	94	1561	1398	257	94	909	827.5

A _b (mm ²)	n	n ₁ N	n ₂ N	n ₃ N	n ₄ N	n ₁ E	n ₂ E	n ₃ E	n ₄ E
1017.9 (M36)	16	4	4	4	4	4	4	4	4
1017.9 (M36)	16	4	4	4	4	4	4	4	4

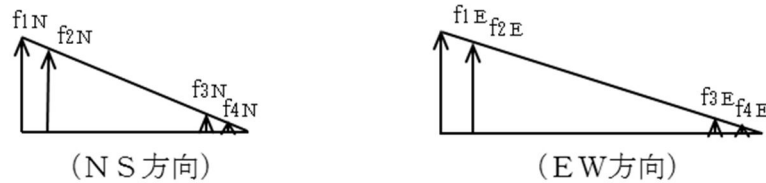
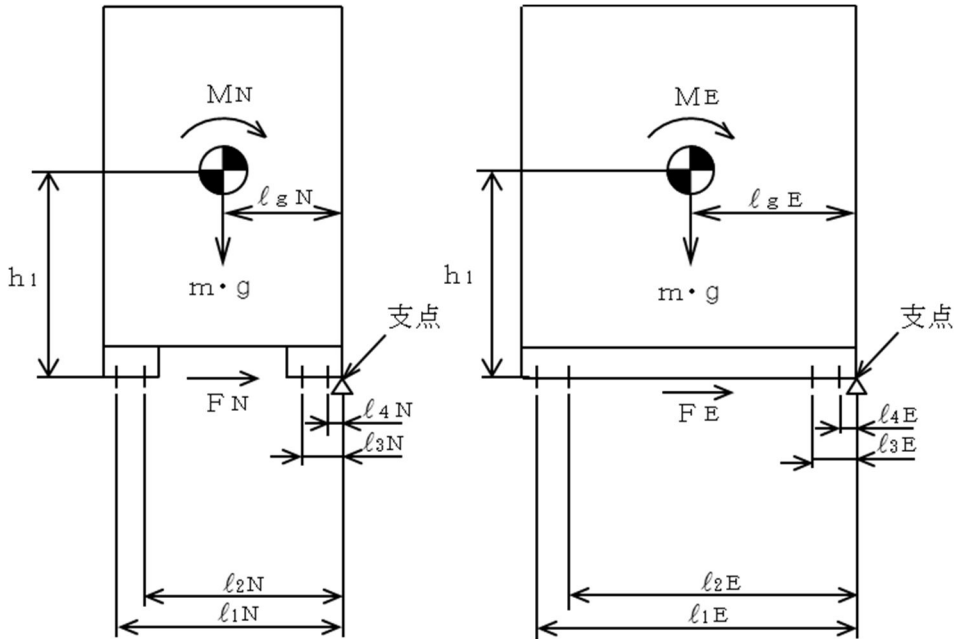
(設計基準対象施設)					
ラック取付 ボルト材料	S _y *1 (MPa)	S _y *2 (MPa)	S _u *1 (MPa)	F (ラック取付ボルト) (MPa)	F* (ラック取付ボルト) (MPa)
SUS304	188	205	479	205	205
SUS304	188	205	479	205	205

注記 *1：最高使用温度（66℃）で算出
*2：室温で算出

(重大事故等対処施設)					
ラック取付 ボルト材料	S _y *1 (MPa)	S _y *2 (MPa)	S _u *1 (MPa)	F (ラック取付ボルト) (MPa)	F* (ラック取付ボルト) (MPa)
SUS304	180	205	461	205	205
SUS304	180	205	461	205	205

注記 *1：最高使用温度（80℃）で算出
*2：室温で算出

ラック	地震力の種類	F _N (N)	F _E (N)	M _N (N・mm)	M _E (N・mm)
70 体ラック	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	—	—	—
	基準地震動 S _s	4.767×10 ⁵	3.465×10 ⁵	1.152×10 ⁹	7.993×10 ⁸
110 体ラック	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	—	—	—
	基準地震動 S _s	5.407×10 ⁵	5.407×10 ⁵	1.263×10 ⁹	1.341×10 ⁹



6.3 基礎ボルトの応力評価に用いる要目

	m_t (kg)	m_b (kg)	h_2 (mm)	$\lambda_1 N$ (mm)	$\lambda_2 N$ (mm)	$\lambda_3 N$ (mm)	$\lambda_4 N$ (mm)	$\lambda_5 N$ (mm)	$\lambda_6 N$ (mm)	$\lambda_7 N$ (mm)	$\lambda_8 N$ (mm)	$\lambda_9 N$ (mm)	$\lambda_1 E$ (mm)	$\lambda_2 E$ (mm)	$\lambda_3 E$ (mm)	$\lambda_4 E$ (mm)
共通ベース			195	3264	3191	2634	2561	1374	1301	744	671	114	1572	1415	270	113

$\lambda_g N$ (mm)	$\lambda_g E$ (mm)	A_b (mm ²)	n	$n_1 N$	$n_2 N$	$n_3 N$	$n_4 N$	$n_5 N$	$n_6 N$	$n_7 N$	$n_8 N$	$n_9 N$	$n_1 E$	$n_2 E$	$n_3 E$	$n_4 E$
1929.75	842.5	1551.8 (1 3/4-5UNC)	18	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	5	4	5

(設計基準対象施設)

基礎ボルト材料	S_y^{*1} (MPa)	S_y^{*2} (MPa)	S_u^{*1} (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
SUS304	188	205	479	205	205

注記 *1：最高使用温度（66℃）で算出

*2：室温で算出

(重大事故等対処施設)

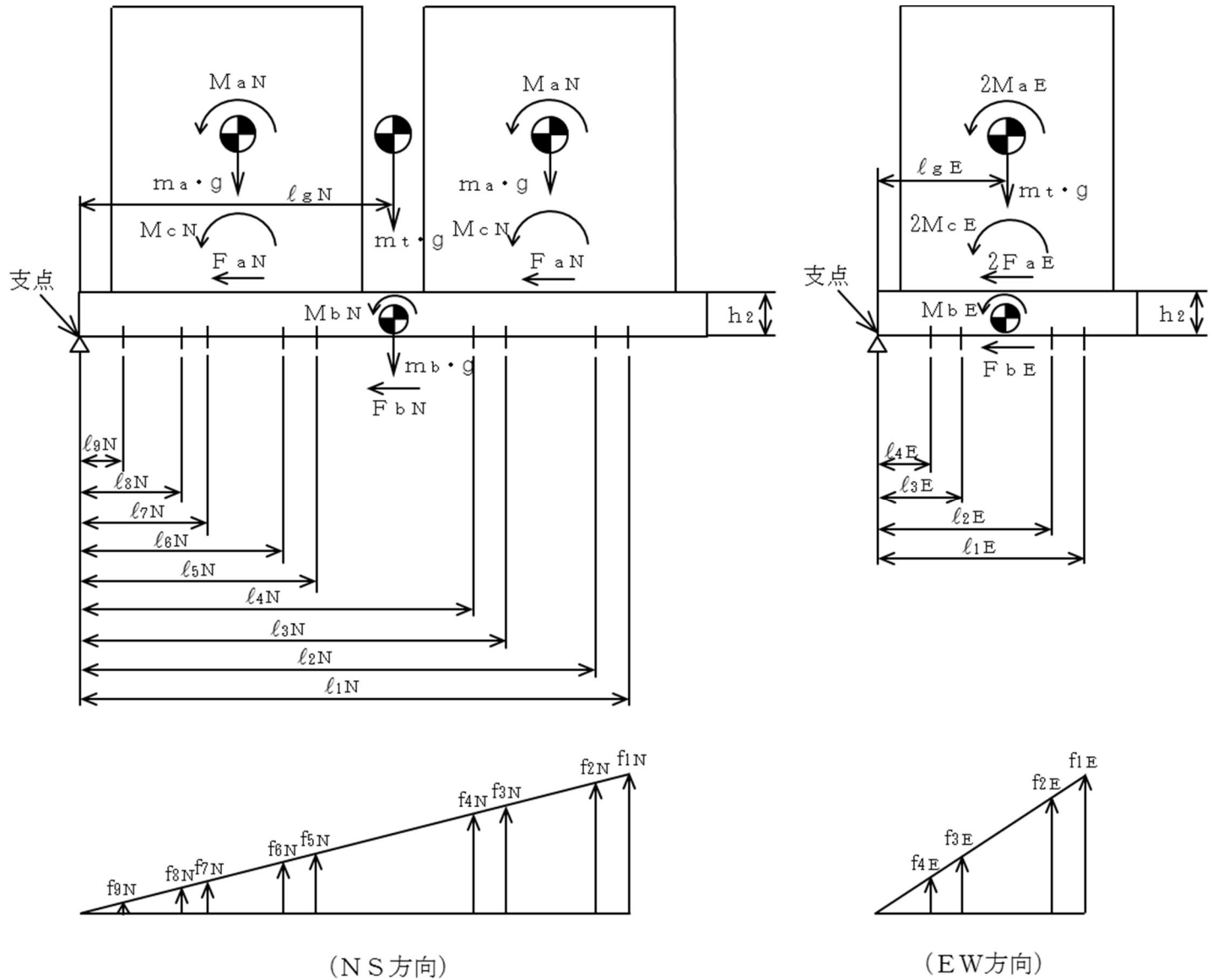
基礎ボルト材料	S_y^{*1} (MPa)	S_y^{*2} (MPa)	S_u^{*1} (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
SUS304	180	205	461	205	205

注記 *1：最高使用温度（80℃）で算出

*2：室温で算出

地震力の種類	F_{aN} (N)	F_{aE} (N)	F_{bN} (N)	F_{bE} (N)
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	—	—	—	—
基準地震動 S_s	5.407×10^5	5.407×10^5	1.103×10^6	1.103×10^6

M_{aN} (N・mm)	M_{aE} (N・mm)	M_{bN} (N・mm)	M_{bE} (N・mm)
—	—	—	—
1.263×10^9	1.341×10^9	2.151×10^6	2.151×10^6



7. 計算数値

7.1 部材に生じる応力

(1) 角管及びプレート

(単位：MPa)

ラック	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			N S 方向	E W 方向	N S 方向	E W 方向
70 体 ラック		引張り σ _x	—	—	5	5
		引張り σ _y	—	—	37	21
		せん断 τ _{x y}	—	—	28	17
		組合せ σ _{f a}	—	—	59	35
110 体 ラック		引張り σ _x	—	—	7	5
		引張り σ _y	—	—	31	36
		せん断 τ _{x y}	—	—	30	19
		組合せ σ _{f a}	—	—	59	47

(2) シートプレート及びラックベース

(単位：MPa)

ラック	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			N S 方向	E W 方向	N S 方向	E W 方向
70 体 ラック	SUS304L	引張り σ _x	—	—	14	5
		引張り σ _y	—	—	55	20
		せん断 τ _{x y}	—	—	10	4
		組合せ σ _{f a}	—	—	52	19
110 体 ラック		引張り σ _x	—	—	14	12
		引張り σ _y	—	—	20	42
		せん断 τ _{x y}	—	—	15	15
		組合せ σ _{f a}	—	—	31	46

7.2 ラック取付ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

ラック取付 ボルト	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			N S 方向	E W 方向	N S 方向	E W 方向
70 体 ラック	SUS304	引張り σ _b	—	—	146	67
		せん断 τ _b	—	—	30	22
110 体 ラック		引張り σ _b	—	—	94	112
		せん断 τ _b	—	—	34	34

7.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

基礎ボルト	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			N S 方向	E W 方向	N S 方向	E W 方向
共通ベース	SUS304	引張り σ_b	—	—	69	141
		せん断 τ_b	—	—	40	40

8. 結論

8.1 固有周期

ラック	次数	固有周期 (s)	方向
70 体 ラック	1		水平方向
	2		
	3		
	4		
	23		鉛直方向
110 体 ラック	1		水平方向
	2		
	3		
	4		
	23		鉛直方向

8.2 応力（設計基準対象施設）

(1) 部材に生じる応力

a. 角管及びプレート

(単位：MPa)

ラック	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
70 体 ラック		引張り	σ _x = 5*	f _t =205	σ _x = 5	f _t =205
		引張り	σ _y =37*	f _t =205	σ _y =37	f _t =205
		せん断	τ _{xy} =28*	f _s =118	τ _{xy} =28	f _s =118
		組合せ	σ _{fa} =59*	f _t =205	σ _{fa} =59	f _t =205
110 体 ラック		引張り	σ _x = 7*	f _t =205	σ _x = 7	f _t =205
		引張り	σ _y =31*	f _t =205	σ _y =31	f _t =205
		せん断	τ _{xy} =30*	f _s =118	τ _{xy} =30	f _s =118
		組合せ	σ _{fa} =59*	f _t =205	σ _{fa} =59	f _t =205

注記 *：基準地震動 S_s による算出応力の値

すべて許容応力以下である。

b. シートプレート及びラックベース

(単位：MPa)

ラック	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
70 体 ラック	SUS304L	引張り	σ _x =14*	f _t =175	σ _x =14	f _t =175
		引張り	σ _y =55*	f _t =175	σ _y =55	f _t =175
		せん断	τ _{xy} =10*	f _s =101	τ _{xy} =10	f _s =101
		組合せ	σ _{fa} =52*	f _t =175	σ _{fa} =52	f _t =175
110 体 ラック		引張り	σ _x =12*	f _t =175	σ _x =12	f _t =175
		引張り	σ _y =42*	f _t =175	σ _y =42	f _t =175
		せん断	τ _{xy} =15*	f _s =101	τ _{xy} =15	f _s =101
		組合せ	σ _{fa} =46*	f _t =175	σ _{fa} =46	f _t =175

注記 *：基準地震動 S_s による算出応力の値

すべて許容応力以下である。

(2) ラック取付ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

ラック取付 ボルト	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
70 体 ラック	SUS304	引張り	σ _b = 146* ¹	f _{t s} = 153* ²	σ _b = 146	f _{t s} = 153* ²
		せん断	τ _b = 30* ¹	f _{s b} = 118	τ _b = 30	f _{s b} = 118
110 体 ラック		引張り	σ _b = 112* ¹	f _{t s} = 153* ²	σ _b = 112	f _{t s} = 153* ²
		せん断	τ _b = 34* ¹	f _{s b} = 118	τ _b = 34	f _{s b} = 118

注記 *1：基準地震動 S_s による算出応力の値

*2：(4.2.2) 式より算出

すべて許容応力以下である。

(3) 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

基礎ボルト	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
共通ベース	SUS304	引張り	$\sigma_b = 141^{*1}$	$f_{ts} = 150^{*2}$	$\sigma_b = 141$	$f_{ts} = 150^{*2}$
		せん断	$\tau_b = 40^{*1}$	$f_{sb} = 118$	$\tau_b = 40$	$f_{sb} = 118$

注記 *1：基準地震動 S_s による算出応力の値

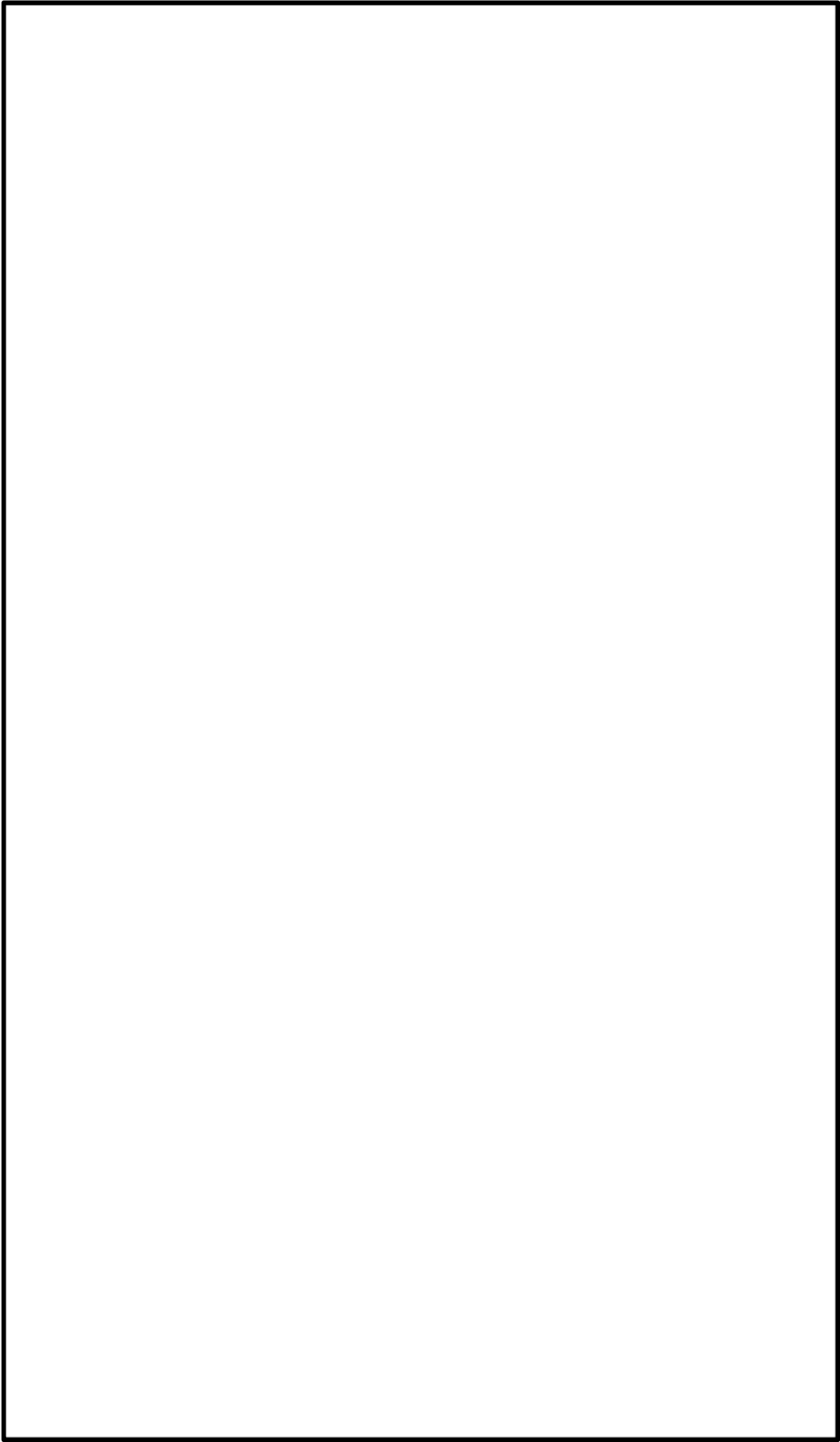
*2：(4.2.2) 式より算出

すべて許容応力以下である。

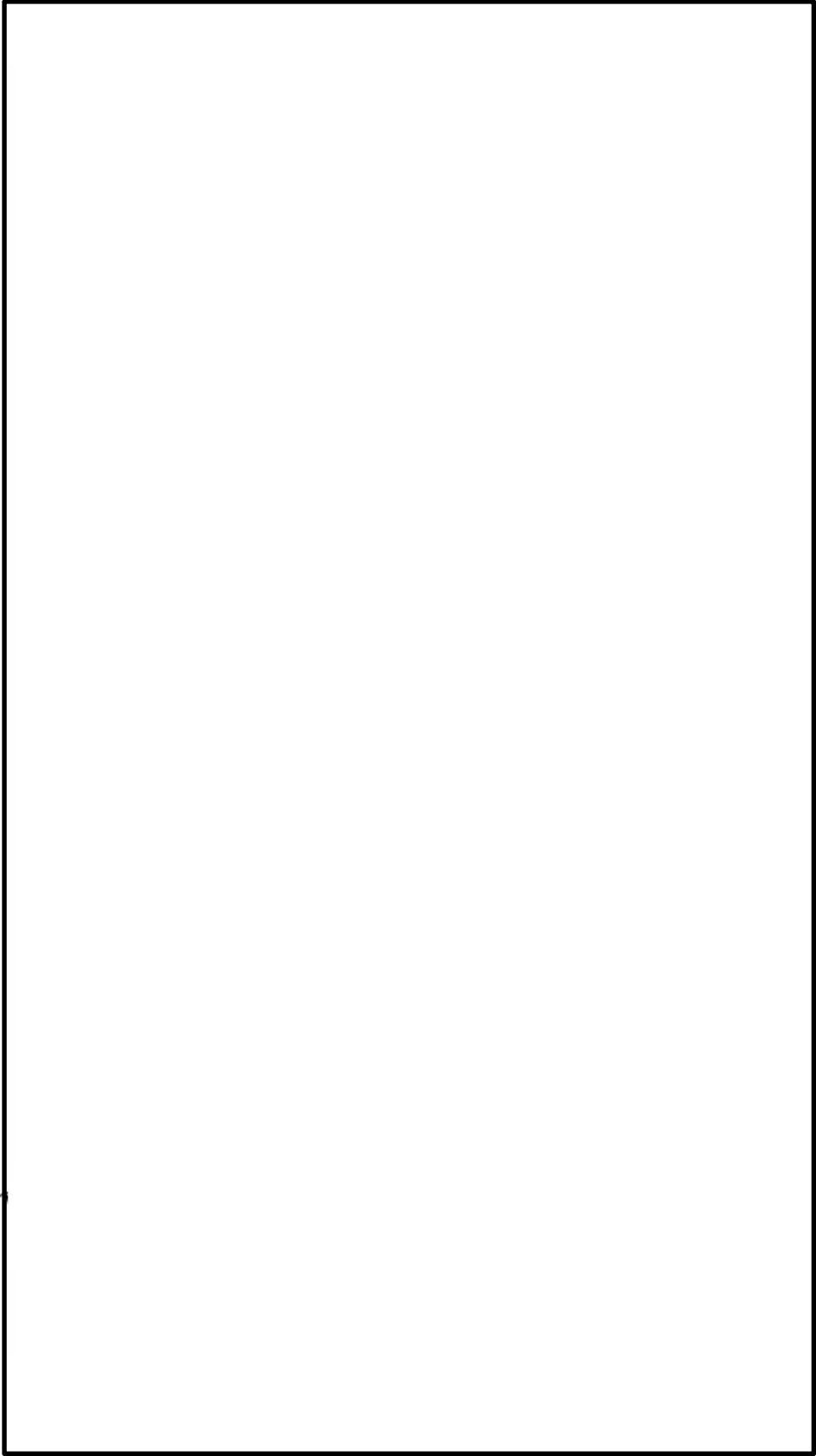
8.3 応力（重大事故等対処施設）

使用済燃料貯蔵ラックの重大事故等時の状態を考慮した場合の許容応力状態Ⅳ_A S の評価は、6.1.2 項、6.2 節、6.3 節に示す F 、 F^* の値より S_s での計算結果値を用いた設計基準対象施設の評価結果と同一であることから記載は省略する。重大事故等対処施設として算出応力はすべて許容応力以下である。

別添 計算モデルの寸法



付図1 70 体ラック計算モデルの寸法



付図 2 110 体ラック計算モデルの寸法

V-2-4-2-3 使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震性についての計算書

V-2-4-2-3 ①キャスク容器及び中間胴の応力計算書

目次

1. 概要	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 計算結果の概要	1
2. 温度分布計算	2
2.1 計算方法	2
2.2 温度分布図	2
3. 応力計算	3
3.1 応力評価点	3
3.2 貯蔵時（ S_d^* 及び S_s 地震力が作用する場合）	3
3.2.1 荷重条件	3
3.2.2 計算方法	3
3.2.3 計算結果	3
4. 応力の評価	4
4.1 キヤスク容器（ボルトを除く）の応力評価	4
4.2 ボルトの応力評価	4
4.3 中間胴の応力評価	4
4.4 特別な応力の評価	4
5. 繰返し荷重の評価	5
5.1 キヤスク容器（ボルトを除く）の評価	5
5.2 ボルトの評価	5
5.2.1 設計・建設規格 PVB-3122 及び添付 4-2 3.4 に対する検討	5
5.2.2 一次蓋締付けボルトの疲労解析	5
5.2.3 バルブカバー締付けボルトの疲労解析	7
6. 穴の補強	8

補足資料－1

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料	9
図 2-1	温度分布計算モデル	10
図 2-2	温度分布図（貯蔵時）	11
図 3-1	キャスク容器及び中間胴の応力評価点（面）	12
図 3-2	キャスク容器及び中間胴の解析モデル（地震時）	13
図 6-1	応力差の変動（一次蓋締付けボルト）	14
図 6-2	応力差の変動（バルブカバー締付けボルト）	15
表 1-1	計算結果の概要	16
表 2-1(1)	貯蔵時における熱伝達率の計算	19
表 2-1(2)	運搬時における熱伝達率の計算	20
表 2-2	温度分布計算の評価条件	21
表 3-1	キャスク容器及び中間胴の応力計算結果（貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合）	22
表 3-2	キャスク容器及び中間胴の応力計算結果（貯蔵時： S_s 地震力が作用する場合）	27
表 4-1	キャスク容器及び中間胴の応力評価（貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合）	32
表 4-2	キャスク容器及び中間胴の応力評価（貯蔵時： S_s 地震力が作用する場合）	35
表 5-1	キャスク容器(ボルトを除く)の疲労解析不要の評価結果	
表 5-2	各事象の繰返し回数と許容繰返し回数（一次蓋締付けボルト）	41
表 5-3	各事象の繰返し回数と許容繰返し回数（バルブカバー締付けボルト）	41
表 6-1	貫通孔部の応力強さ	42

1. 概要

本計算書は、キャスク容器及び中間胴に関する応力計算書である。

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 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、応力評価上厳しくなる代表的な評価点（面）を本計算書に記載している。

2. 温度分布計算

2.1 計算方法

温度分布計算は、解析コード A B A Q U S により行う。軸対称固体(連続体)要素による解析モデルを図 2-1 に示す。

温度分布計算に使用する外表面の熱伝達率を表 2-1 に示す。

2.2 温度分布図

2.1 項の計算により得られた温度分布を図 2-2 に示す。

3. 応力計算

3.1 応力評価点

キャスク容器及び中間胴の応力評価点（面）を図 3-1 に示す。

3.2 貯蔵時（ S_d^* 及び S_s 地震力が作用する場合）

3.2.1 荷重条件

貯蔵時において S_d^* 及び S_s 地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。

キャスク容器内圧力（ -0.1MPa ）＋蓋間圧力（ 0.4MPa ）＋ボルト初期締付け力
＋熱荷重＋地震力＋自重

3.2.2 計算方法

(1) 一次応力及び一次＋二次応力

a. 一次蓋，一次蓋締付けボルト，内胴，上部フランジ，底板及び中間胴

解析コード A B A Q U S の三次元固体(連続体)要素による解析モデルを図 3-2 に示す。

熱荷重として，貯蔵時での熱解析の結果から得られたキャスク容器，中間胴及びガンマ線遮へい体に生じる温度変化，温度勾配による荷重を用いる。

加速度として次の値を用いる。

$$G_1 = \alpha_H, \quad G_2 = 9.81 - \alpha_V$$

ここで， α_H ：水平方向設計加速度（ $= C_H G = 11.48\text{m/s}^2$ ）

α_V ：鉛直方向設計加速度（ $= C_V G = 6.38\text{m/s}^2$ ）

(2) 支圧応力

バスケット底面との接触部の底板に発生する平均支圧応力（ σ_p ）は次式で表わされる。

$$\sigma_p = W_G \cdot G_Z / A$$

ここで， W_G ：バスケット及び燃料の質量（ $=25200\text{kg}$ ）

G_Z ：鉛直方向加速度（ $=9.81 + \alpha_V = 16.19\text{m/s}^2$ ）

A ：接触面積（ $=1.17 \times 10^6 \text{ mm}^2$ ）

(3) 座屈応力

中間胴に生じる圧縮応力（ σ_b ）は（1）a. の計算方法と同様である。

3.2.3 計算結果

応力計算結果を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

4. 応力の評価

4.1 キヤスク容器（ボルトを除く）の応力評価

各設計事象における評価を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より，各設計事象の一次一般膜応力強さ（ P_m ），一次局部膜応力強さ（ P_L ），一次膜＋一次曲げ応力強さ（ $P_L + P_b$ ）及び一次応力と二次応力を加えて求めた応力強さ（ $P_L + P_b + Q$ ）は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

4.2 ボルトの応力評価

各設計事象における評価を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より，各設計事象の平均引張応力及び平均引張応力＋曲げ応力は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

4.3 中間胴の応力評価

各設計事象における評価を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より，キヤスク容器との溶接部近接部分における各設計事象の一次一般膜応力強さ（ P_m ），一次局部膜応力強さ（ P_L ），一次膜＋一次曲げ応力強さ（ $P_L + P_b$ ）及び一次応力と二次応力を加えて求めた応力強さ（ $P_L + P_b + Q$ ）は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

また，上記以外の範囲における各設計事象の引張応力，せん断応力，圧縮応力，曲げ応力，支圧応力及び座屈応力並びに地震時の組合せ応力は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

4.4 特別な応力の評価

(1) 純せん断応力

各設計事象において純せん断応力（ σ_s ）に該当する評価箇所がないため，評価を省略する。

(2) 支圧応力

各設計事象における評価を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より，各設計事象の平均支圧応力（ σ_p ）は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

(3) 圧縮応力

各設計事象における評価を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より，各設計事象の圧縮応力（ σ_b ）は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

5. 繰返し荷重の評価

5.1 キャスク容器（ボルトを除く）の評価

設計・建設規格 PVB-3140 により、疲労解析が不要となる条件を満足する評価の詳細を示す。地震力により発生する応力の全振幅を表 4-1 及び表 4-2 に示した応力強さ（一次＋二次応力：地震力のみによる全振幅を示す）の最大値（ $S_{\max}=62\text{MPa}$ ）とすると、この応力値は設計・建設規格 添付 4-2 3.2 において 10 の 11 乗を許容繰返し数としたときにこれに対応する繰返しピーク応力強さの値の 114MPa （設計・建設規格 添付 4-2-2 曲線 B に相当）以下となる（表 5-1）。したがって、地震力による応力は設計・建設規格 PVB-3140 の規定を満足しているため、疲労評価を必要としない。

5.2 ボルトの評価

「応力解析の方針」5.5 項の規定にしたがって疲労解析を行う。なお、本項において燃料装荷・取出しサイクルの回数を 100 回に想定しても規定を十分満足することを示す。

5.2.1 設計・建設規格 PVB-3122 及び添付 4-2 3.4 に対する検討

- (1) 一次蓋締付けボルト及びバルブカバー締付けボルトの最小引張強さは 1000 MPa であり、設計・建設規格 PVB-3122(2)に従い、設計疲労曲線として設計・建設規格 添付 4-2 3.4 を使用する。
- (2) ねじは三角ねじであり、ねじ底部の半径は一次蓋締付けボルトが 0.375 mm 、バルブカバー締付けボルトが 0.25 mm であって 0.07 mm より大である。
- (3) シャンク部の直径に対するシャンク部の端の丸みの半径の比は、

$$\text{一次蓋締付けボルト} : \frac{2.2}{31} = 0.071$$

$$\text{バルブカバー締付けボルト} : \frac{1.0}{13} = 0.077$$

であって、 0.06 以上である。

5.2.2 一次蓋締付けボルトの疲労解析

疲労解析で考慮する事象とその繰返し回数は以下とする。

- ① 運搬時（前後方向）……………各 800 回
- ② 吊上げ時……………2000 回
- ③ 支持構造物への衝突（下部トラニオンの衝突）……………3 回
- ④ 支持構造物への衝突（底部脚部の衝突）……………3 回
- ⑤ 地震時（ S_d ・地震力及び S_s ・地震力が作用する場合）……………各 60 回
- ⑥ 一次蓋締付けボルトの取付け（ゼロ応力状態）……………100 回

①から⑤の事象において、一次蓋締付けボルトに生じる繰返しピーク応力強さは、次式で計算する。

$$S_p = K \cdot \frac{W_i \cdot G_1}{A} \dots\dots\dots (5.1)$$

ただし、①から④の事象においては⑥の一次蓋締付けボルト締付けによるピーク

応力強さが付加される。

- S_p : 繰返しピーク応力強さ (MPa)
 K : 一次蓋締付けボルトのねじ部の応力集中係数 (=4)
 W_λ : 運搬時においては (一次蓋+バスケット+燃料) の質量
 (=30600kg) , 運搬時以外は一次蓋の質量 (=5400kg)
 G_1 : 軸方向の加速度
 運搬時 (前後方向) 19.62 m/s²
 吊上げ時 12.95 m/s²
 支持構造物への衝突 (下部トラニオンの衝突) ... 29.42 m/s²
 支持構造物への衝突 (底部脚部の衝突) 68.85 m/s²
 地震時 (S_d 地震力が作用する場合) 6.38 m/s²
 地震時 (S_s 地震力が作用する場合) 6.38 m/s²
 A : 全数のボルト最小断面積 (=3.01×10⁴mm²)

⑥の一次蓋締付けボルトの締付けによるピーク応力強さは、次式で計算する。

$$\left. \begin{aligned} S_p &= K \cdot S_b \\ S_b &= \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau^2} \\ \tau &= \frac{T}{\pi \cdot d_s^3 / 16} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.2)$$

ここで、

- S_p, K : (5.1) 式と同じ。
 S_b : ボルト締付け時に発生する応力強さ (=385.6MPa)
 σ : 設計時を除く全事象のうち一次蓋締付けボルトに発生する平均
 引張応力の最大値 (213MPa)
 τ : ねじり応力 (MPa)
 T : ボルト締付けトルク (=9.4×10⁵ N・mm)
 d_s : 一次蓋締付けボルトの最小径 (=31 mm)

以上から、ピーク応力強さの範囲は図 5-1 に示すとおりとなる。

また、繰返しピーク応力強さは次式で計算する。ただし、 S_p はピーク応力強さの変動範囲である。

$$S_\lambda = \frac{1}{2} \cdot S_p \dots\dots\dots (5.3)$$

設計・建設規格 添付 4-2 3.4 (4) のとおり、(2.07×10⁵) と材料の使用温度における縦弾性係数 ($E=1.83 \times 10^5$ MPa) の比を繰返しピーク応力強さに乗じて補正する。

$$S_{\lambda}' = S_{\lambda} \cdot \frac{2.07 \times 10^5}{E} \dots\dots\dots (5.4)$$

設計・建設規格 添付 4-2 3.4により，補正した繰返しピーク応力強さ（ S_{λ}' ）に対する許容繰返し回数を求める。各応力サイクルの繰返し回数と許容繰返し回数との比は表 5-2 に示すとおりとなり，疲労累積係数は次式で計算する。

$$U = \sum \left(\frac{N_c}{N_a} \right) \dots\dots\dots (5.5)$$

ここで，

U : 疲労累積係数（－）

N_c : 繰返し回数（回）

N_a : 許容繰返し回数（回）

したがって，表 5-2 に示すとおり設計事象Ⅰ及び設計事象Ⅱによる疲労累積係数は 1.0 以下であり，地震時における疲労累積係数との和も 1.0 以下となるため「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

5.2.3 バルブカバー締付けボルトの疲労解析

バルブカバー締付けボルトの疲労解析は一次蓋締付けボルトの場合と同様である。

ただし，

W_{λ} : バルブカバーの質量（＝8kg）

A : 全数のボルト最小断面積（＝ $1.06 \times 10^3 \text{ mm}^2$ ）

T : ボルト締付けトルク（＝ $8.0 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{mm}$ ）

d_s : バルブカバー締付けボルトの最小径（＝13 mm）

である。

ピーク応力の範囲は図 5-2 に示すとおりであり，各応力サイクルの繰返しサイクルと許容繰返し回数との比は表 5-3 に示すとおりである。

したがって，表 5-3 に示すとおり設計事象Ⅰ及び設計事象Ⅱによる疲労累積係数は 1.0 以下であり，地震時における疲労累積係数との和も 1.0 以下となるため「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

6. 穴の補強

設計・建設規格 PVB-3520 により貫通孔の補強が不要となることを示す。

貫通孔部の応力強さは、応力集中係数を用いて次式で表わされる。

$$S_e = K \cdot S \cdots \cdots \cdots (7.1)$$

ここで、 S_e : 貫通孔部の応力強さ (MPa)

K : 応力集中係数 (=3.0) (参考文献 (2) 参照)

S : 貫通孔を無視した場合の一次蓋の応力強さ (MPa)

貫通孔を無視した場合の一次蓋の応力強さ (S) は表 4-1 及び表 4-2 より求められる。

したがって、貫通孔部の応力強さ (S_e) は表 6-1 に示すとおりとなり、すべて許容応力を満足するため、貫通孔の補強は不要となる。

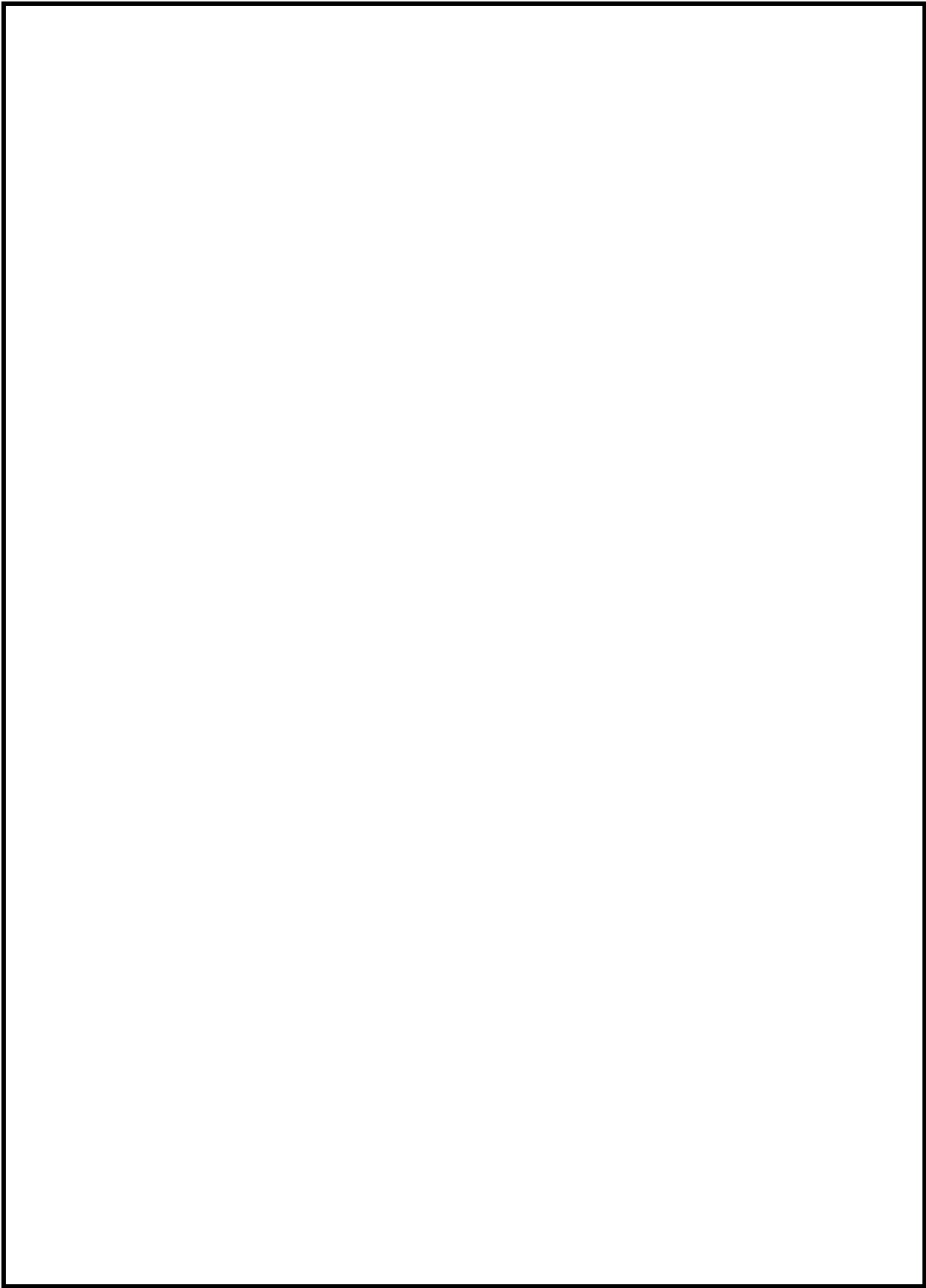


図 1-1 形状・寸法・材料

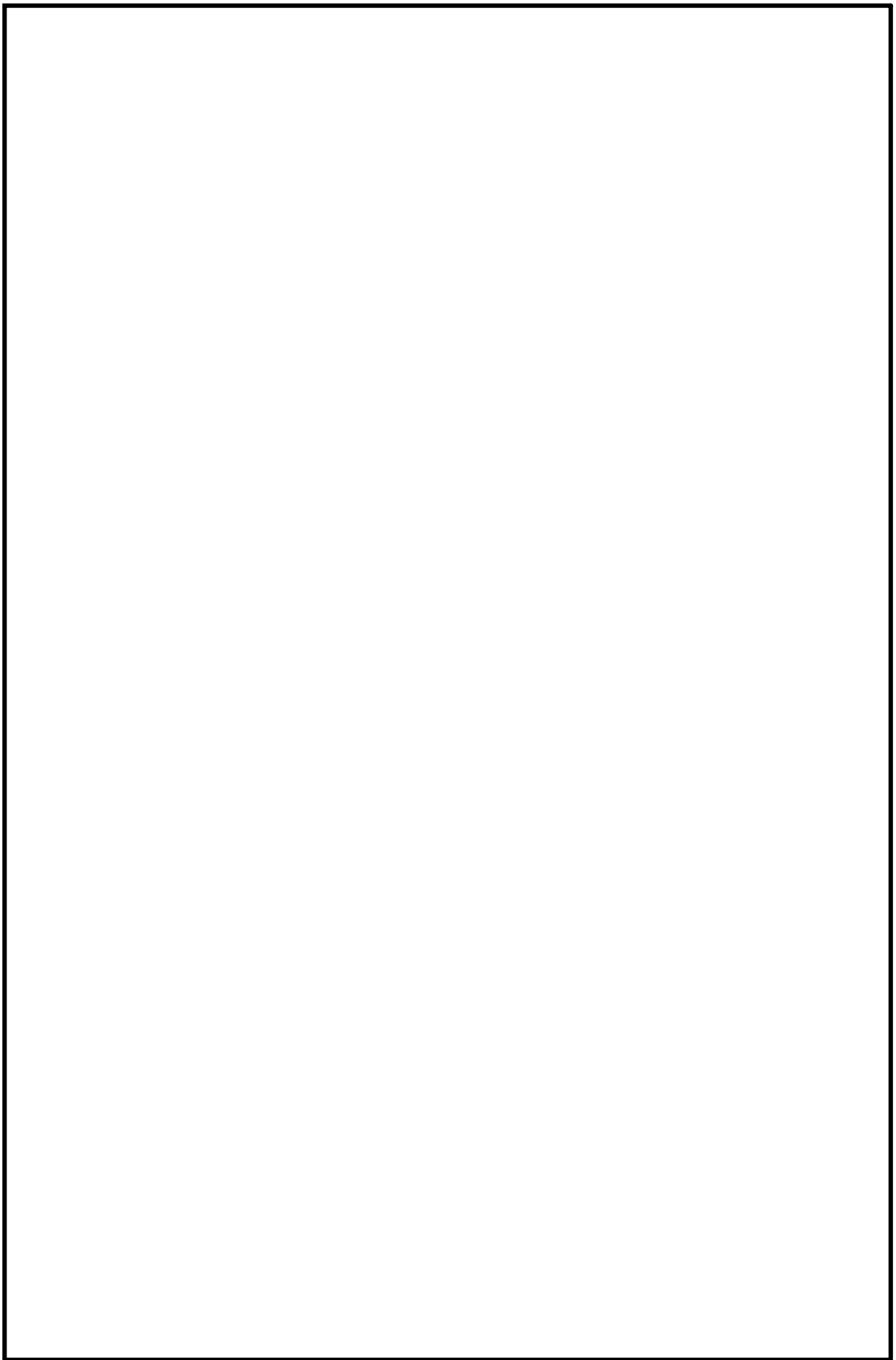


図 2-1 温度分布計算モデル

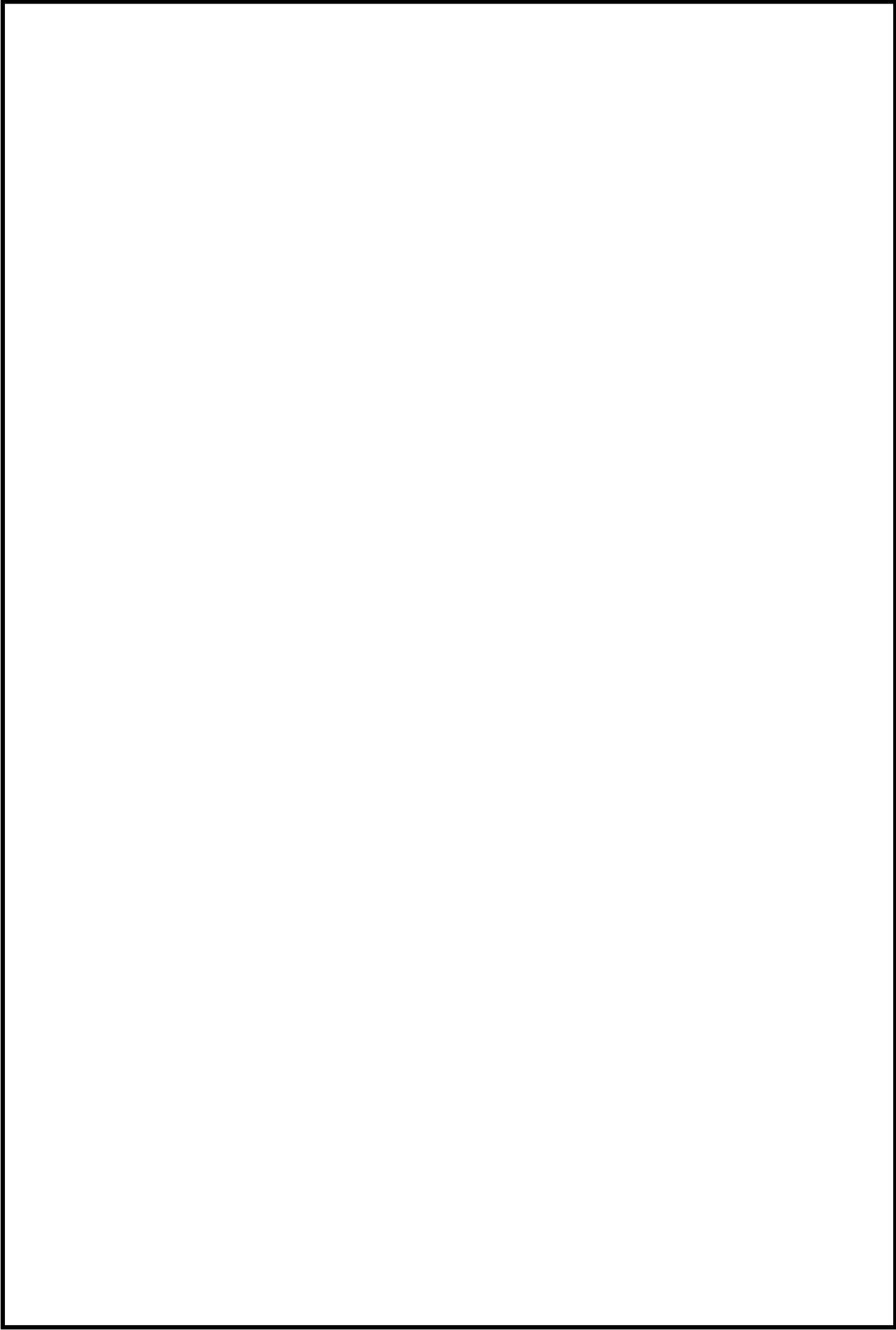


図 2-2 温度分布図（貯蔵時）

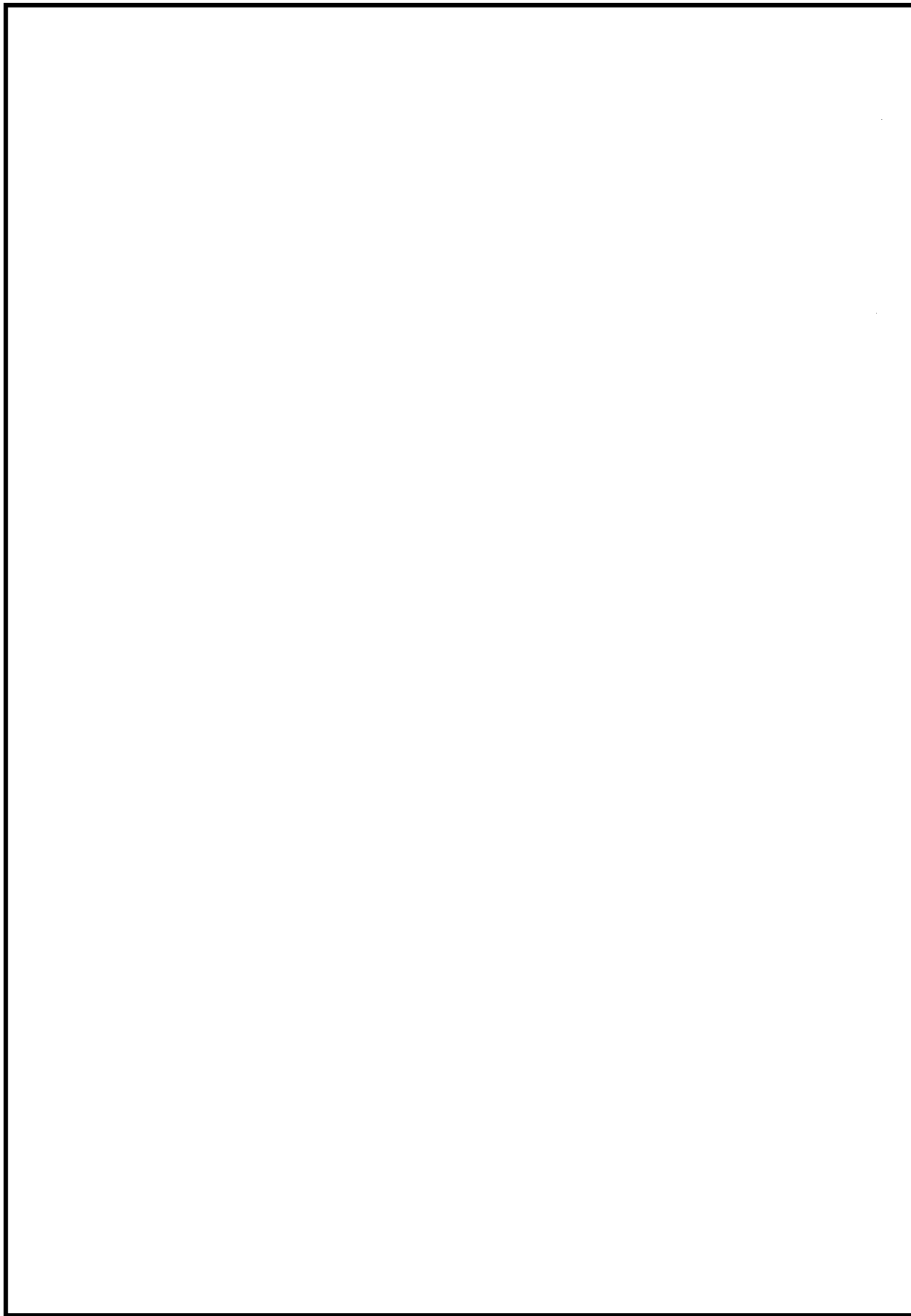


図 3-1 キャスク容器及び中間胴の応力評価点（面）

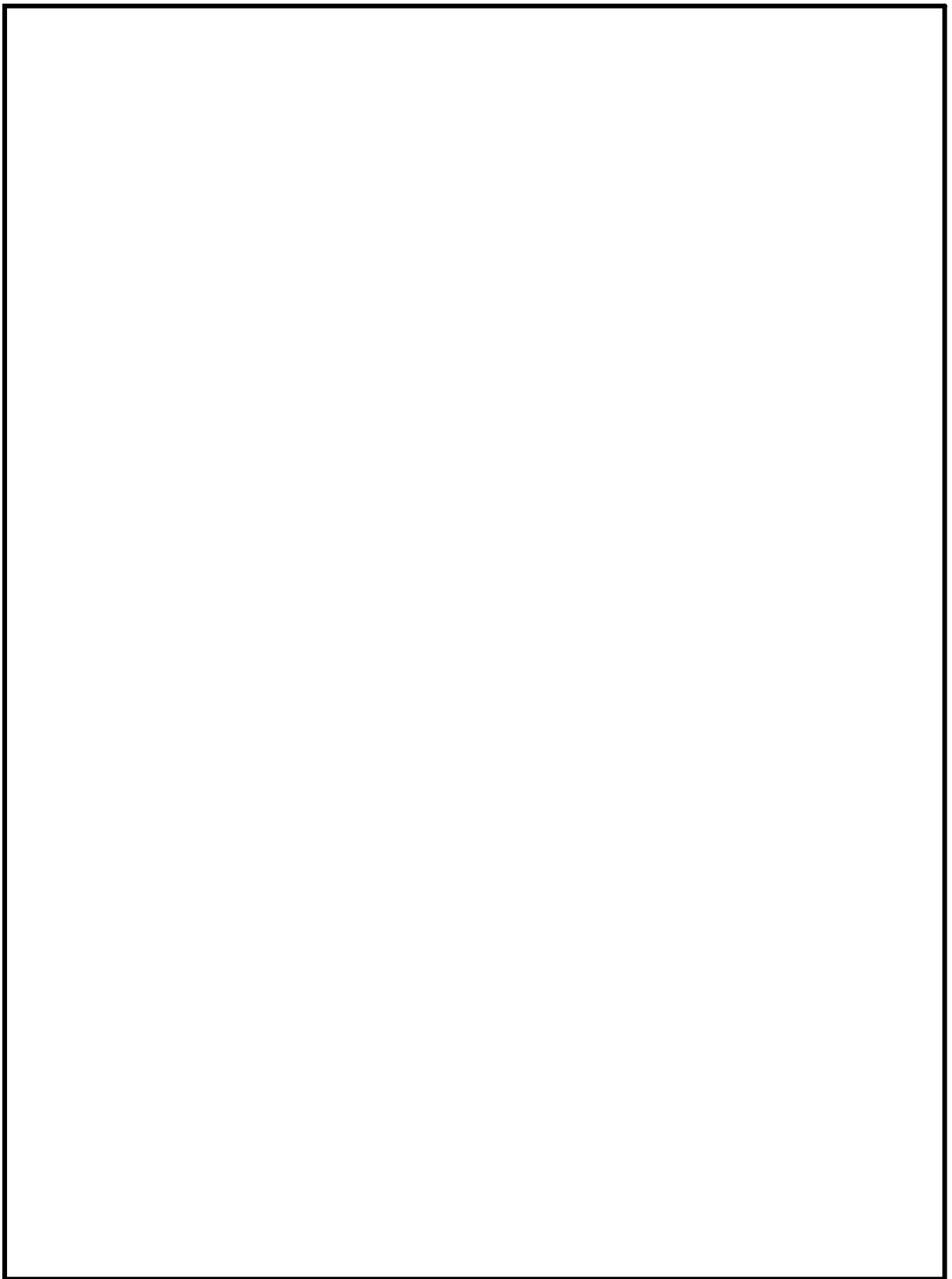
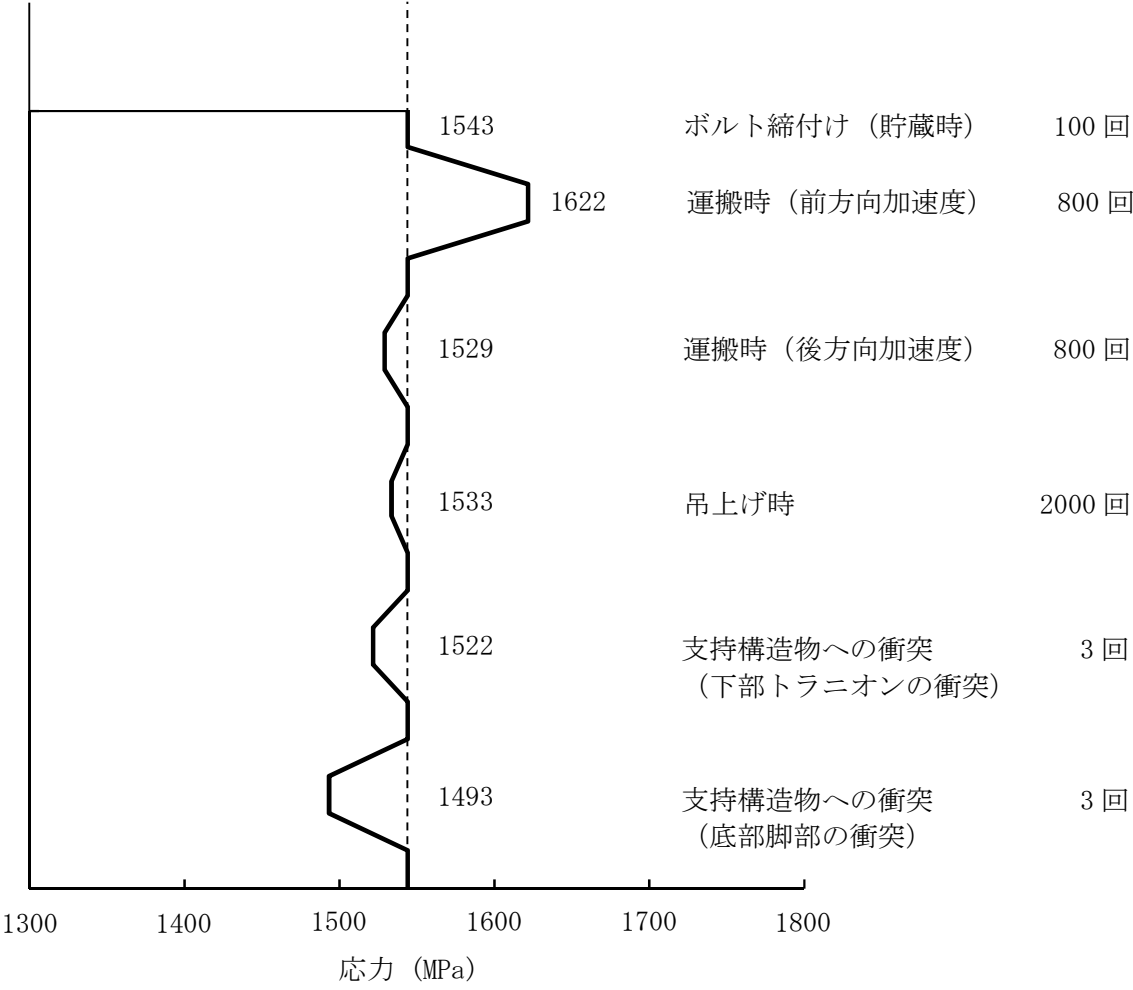


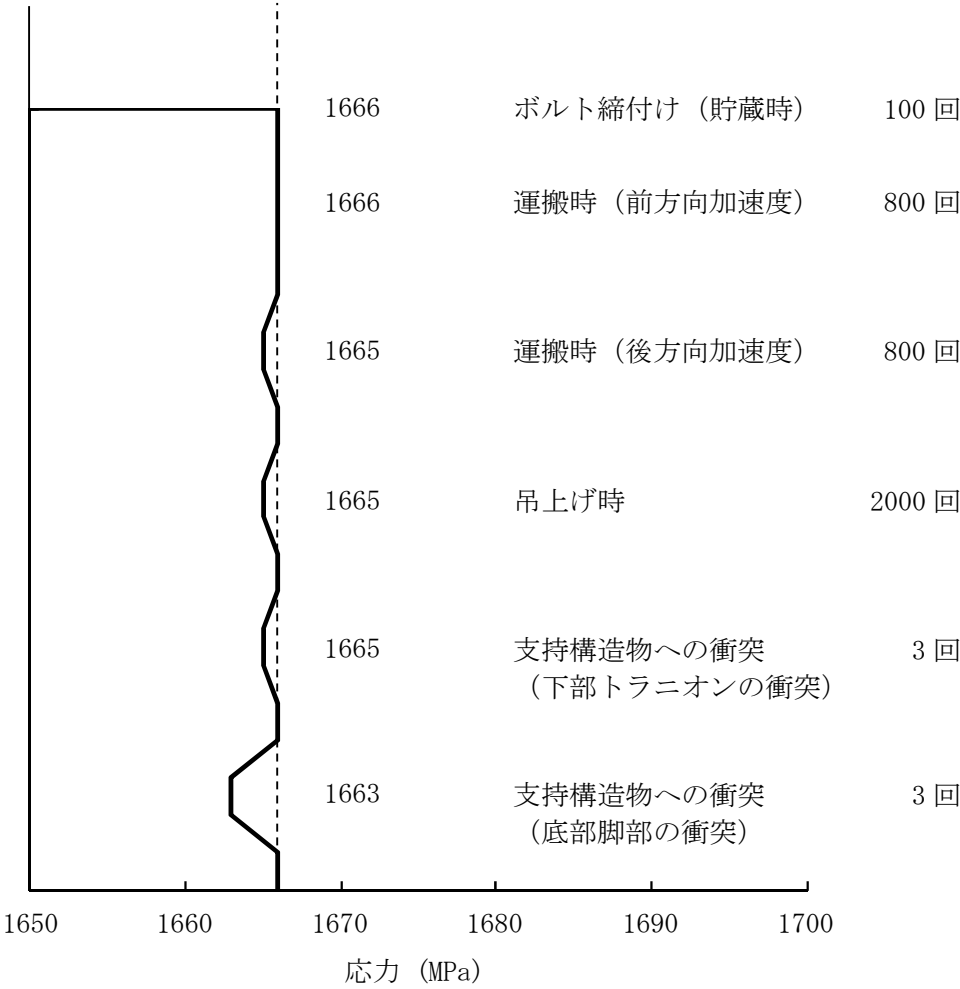
図 3-2 キャスク容器及び中間胴の解析モデル（地震時）



(単位 : MPa)

No.	運転条件	運転条件	S _p
1	運搬時 (前方向加速度)	ゼロ応力状態	1622
2	運搬時 (前方向加速度)	支持構造物への衝突 (底部脚部の衝突)	129
3	運搬時 (前方向加速度)	支持構造物への衝突 (下部トラニオンの衝突)	101
4	運搬時 (前方向加速度)	運搬時 (後方向加速度)	94
5	貯蔵時	運搬時 (後方向加速度)	14
6	貯蔵時	吊上げ時	10

図 6-1 応力差の変動 (一次蓋締付けボルト)



(単位 : MPa)

No.	運転条件	運転条件	S _p
1	運搬時 (前方向加速度)	ゼロ応力状態	1666
2	運搬時 (前方向加速度)	支持構造物への衝突 (底部脚部の衝突)	3
3	運搬時 (前方向加速度)	支持構造物への衝突 (下部トラニオンの衝突)	2
4	運搬時 (前方向加速度)	運搬時 (後方向加速度)	2
5	貯蔵時	運搬時 (後方向加速度)	1
6	貯蔵時	吊上げ時	1

図 6-2 応力差の変動 (バルブカバー締付けボルト)

表 1-1(1) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材 料	設計事象	一次一般膜応力強さ			一次局部膜応力強さ			一次膜＋一次曲げ応力強さ			一次＋二次応力強さ		
			計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点
一 次 蓋	SUSF304	$I + S_d^*$	17	162	①－①'	－	－	－	27	243	①'	2	405	②
		$I + S_s$	17	278	①－①'	－	－	－	27	418	①'	2	405	②
内 胴	SUS304	$I + S_d^*$	62	162	⑤－⑤'	72	243	⑥－⑥'	－	－	－	62	405	⑥'
		$I + S_s$	62	278	⑤－⑤'	72	418	⑥－⑥'	－	－	－	62	405	⑥'
上部フランジ	SUSF304	$I + S_d^*$	－	－	－	32	243	⑨－⑨'	－	－	－	4	405	⑩
		$I + S_s$	－	－	－	32	418	⑨－⑨'	－	－	－	4	405	⑩
底 板	SUSF304	$I + S_d^*$	30	162	⑪－⑪'	－	－	－	39	243	⑪	34	405	⑫
		$I + S_s$	30	278	⑪－⑪'	－	－	－	39	418	⑪	34	405	⑫
密 封 シール部	SUSF304	$I + S_d^*$	29	152	⑬	－	－	－	48	152	⑬	2	152	⑬
		$I + S_s$	29	152	⑬	－	－	－	48	152	⑬	2	152	⑬

表 1-1(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材 料	設計事象	一次一般膜応力強さ			一次局部膜応力強さ			一次膜＋一次曲げ応力強さ			一次＋二次応力強さ		
			計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点
バルブカバー	SUS304	$I + S_d^*$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		$I + S_s$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
中間胴（キャスク容器との溶接部近接部分）	SUS304	$I + S_d^*$	—	—	—	113	243	⑧－⑧'	—	—	—	116	405	⑧
		$I + S_s$	—	—	—	113	418	⑧－⑧'	—	—	—	116	405	⑧
底部プラグ溶接部	SUSF304	$I + S_d^*$	68	81	⑬	—	—	—	—	—	—	94	202	⑬
		$I + S_s$	68	139	⑬	—	—	—	—	—	—	94	202	⑬

(単位：MPa)

部 位	材 料	設 計 事 象		引張応力 (引張・圧縮応力 ¹⁾)			圧縮応力			せん断応力			曲げ応力			座屈応力		
				計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点
中間胴 (キャスク容器との溶接部近接部分を除く)	SUS304	$I + S_d^*$	一次応力	125	204	⑬	—	—	—	7	117	⑬	107	204	⑬			
			一次＋二次応力	71	408	⑬				14	234	⑬	71	408	⑬	—	—	—
		$I + S_s$	一次応力	125	204	⑬	—	—	—	7	117	⑬	107	204	⑬			
			一次＋二次応力	71	408	⑬				14	234	⑬	71	408	⑬	—	—	—

注記 1) : 一次＋二次応力に対する評価に用いる。

表 1-1 (3) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材料	設 計 事 象		垂直応力+せん断応力			圧縮又は引張応力+曲げ応力 (引張・圧縮応力+曲げ応力 ¹⁾)		
				計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点
中間胴 (キャスク容器との溶接 部近接部分を除く)	SUS304	I + S _d ＊	一次応力	110	204 ²⁾	⑰	107	204 ²⁾	⑱
			一次+二次応力	65	408 ²⁾	⑱	71	408 ²⁾	⑱
		I + S _s	一次応力	110	204 ²⁾	⑰	107	204 ²⁾	⑱
			一次+二次応力	65	408 ²⁾	⑱	71	408 ²⁾	⑱

注記 1) : 一次+二次応力に対する評価に用いる。

2) : $f_t=f_c=f_b$ 及び $f_t^*=f_c^*=f_b^*$ であるので、組合せ応力が引張応力に対する許容値以下であれば規定を満足する。

(単位：MPa)

部 位	材 料	設計事象	平 均 引 張 応 力			平 均 引 張 応 力 + 曲 げ 応 力		
			計算値	許容応力	評価点 (面)	計算値	許容応力	評価点 (面)
一次蓋締付けボルト	SNB23-3	I + S _d *	211	550	③	218	825	③
		I + S _s	211	825	③	218	825	③
バルブカバー 締付けボルト	SNB23-3	I + S _d *	—	—	—	—	—	—
		I + S _s	—	—	—	—	—	—

表 2-1(1) 貯蔵時における熱伝達率の計算

熱伝達の形式：空気(45℃)の自然対流による乱流熱伝達

領域 ¹⁾	部 位	形状	熱伝導率 ²⁾ λ (W/m・K)	プラントル数 ²⁾ P r (－)	レイレー数 ^{3) 4)} R a (－)	熱伝達率 ⁴⁾ h (W/m ² ・K)
①	貯蔵容器 側面	垂直円筒	27.45×10^{-3}	0.719	1.33×10^{10}	$1.48 \times \Delta T^{1/3}$
②	二次蓋 表面	上向き 水平平板	27.45×10^{-3}	0.719	6.22×10^8	$1.59 \times \Delta T^{1/3}$
③	底板表面	下向き 水平平板	27.45×10^{-3}	0.719	2.31×10^8	$0.133 \times \Delta T^{1/3}$

注記 1) : 図 2-1 参照

2) : 参考文献 (1) 参照

3) : 温度差 $\Delta T = 1.0^\circ\text{C}$ に対する値を示す。

4) : レイレー数及び熱伝達率は下記の式を用いて計算する。

$$Ra = \frac{G \beta \Delta T D^3 Pr}{\nu^2}$$

$$h = 0.13 \sqrt[3]{Ra} \frac{\lambda}{D} \quad (\text{垂直円筒})^5)$$

$$h = 0.14 \sqrt[3]{Ra} \frac{\lambda}{D} \quad (\text{上向き水平平板})^5)$$

$$h = 1.17 \times 10^{-2} \sqrt[3]{Ra} \frac{\lambda}{D} \quad (\text{下向き水平平板})^2)$$

ここで G : 重力加速度 ($= 9.81 \text{ m/s}^2$)

β : 体膨張係数 ($= 1/318 \text{ 1/K}$)

ΔT : 周囲空気と表面の温度差 ($^\circ\text{C}$)

D : 代表長さ (m)

ν : 動粘性係数 ($= 17.66 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)

5) : 参考文献 (4) 参照

表 2-1(2) 運搬時における熱伝達率の計算

熱伝達の形式：空気(38℃)の自然対流による乱流熱伝達

領域 ¹⁾	部 位	形状	熱伝導率 ²⁾ λ (W/m・K)	プラントル数 ²⁾ P r (－)	レイレー数 ^{3) 4)} R a (－)	熱伝達率 ⁴⁾ h (W/m ² ・K)
①	貯蔵容器 側面	水平円筒	26.94×10^{-3}	0.718	1.08×10^9	$1.16 \times \Delta T^{1/3}$
②	二次蓋 表面	垂直平板	26.94×10^{-3}	0.718	6.89×10^8	$1.50 \times \Delta T^{1/3}$
③'	底板表面					

注記 1) : 図 2-1 参照

2) : 参考文献 (1) 参照

3) : 温度差 $\Delta T = 1.0^\circ\text{C}$ に対する値を示す。

4) : レイレー数及び熱伝達率は下記の式を用いて計算する。

$$Ra = \frac{G \beta \Delta T D^3 Pr}{\nu^2}$$

$$h = 0.1 \sqrt[3]{Ra} \frac{\lambda}{D} \quad (\text{水平円筒})^{2)}$$

$$h = 0.13 \sqrt[3]{Ra} \frac{\lambda}{D} \quad (\text{垂直平板})^{5)}$$

ここで G : 重力加速度 ($= 9.81 \text{ m/s}^2$) β : 体膨張係数 ($= 1/311 \text{ 1/K}$) ΔT : 周囲空気と表面の温度差 ($^\circ\text{C}$) D : 代表長さ (m) ν : 動粘性係数 ($= 16.95 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)

5) : 参考文献 (4) 参照

表 2-2 温度分布計算の評価条件

項 目	評 価 条 件	
対象燃料	高燃焼度燃料 ¹⁾	
収納体数 (体)	61	
発 熱 量 (kW)	17.1 ²⁾	
姿 勢	縦置き	横置き ³⁾
周囲温度 (°C)	45	38

注記 1) : 8×8 燃料, 新型 8×8 燃料, 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料
及び高燃焼度 8×8 燃料のうち最も厳しい発熱量となる高燃焼度
8×8 燃料について行う。

2) : O R I G E N 2 コードにより求めた。

3) : 運搬時における貯蔵容器姿勢及び周囲温度

表 3-1 キヤスク容器及び中間胴の応力計算結果 (1/5)
(貯蔵時： S_d^* 地震力が作用する場合)

(単位：MPa)

部位	評価点 (面)	応力分類	応力成分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{n\theta}$		
一次 蓋	①	P_m							17	162
		P_L+P_b							7	243
		$P_L+P_b+Q^{(2)}$							1	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	①'	P_m							17	162
		P_L+P_b							27	243
		$P_L+P_b+Q^{(2)}$							1	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	②	P_m							—	—
		P_L+P_b							20	243
		$P_L+P_b+Q^{(2)}$							2	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	②'	P_m							—	—
		P_L+P_b							10	243
		$P_L+P_b+Q^{(2)}$							1	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
ボルト 締め 一次 蓋	③	平均引張応力							211	550
		平均引張応力 +曲げ応力							218	825
内 胴	④	P_m							—	—
		P_L							45	243
		$P_L+P_b+Q^{(2)}$							6	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	④'	P_m							—	—
		P_L							45	243
		$P_L+P_b+Q^{(2)}$							6	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力
 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力
 2) : S_d^* 地震力のみによる全振幅について示す。

表 3-1 キヤスク容器及び中間胴の応力計算結果 (2/5)
(貯蔵時：S_d*地震力が作用する場合)

(単位：MPa)

部位	評価点 (面)	応力分類	応 力 成 分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{n\theta}$		
内 胴	⑤	P _m							62	162
		P _L							—	—
		P _L +P _b +Q ²⁾							15	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑤'	P _m							62	162
		P _L							—	—
		P _L +P _b +Q ²⁾							11	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑥	P _m							—	—
		P _L							72	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							48	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑥'	P _m							—	—
		P _L							72	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							62	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
上 部 フ ラ ン ジ	⑨	P _m							—	—
		P _L							32	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							2	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑨'	P _m							—	—
		P _L							32	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							2	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力
 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力
 2) : S_d*地震力のみによる全振幅について示す。

表 3-1 キャスク容器及び中間胴の応力計算結果 (3/5)
(貯蔵時：S_d*地震力が作用する場合)

(単位：MPa)

部位	評価点 (面)	応力分類	応 力 成 分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{n\theta}$		
上部 フランジ	⑩	P _m							—	—
		P _L							19	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							4	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑩'	P _m							—	—
		P _L							19	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							2	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
底 板	⑪	P _m							30	162
		P _L +P _b							39	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							9	405
		σ_s							—	—
		σ_p							1	152
	⑪'	P _m							30	162
		P _L +P _b							23	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							14	405
		σ_s							—	—
		σ_p							1	152
	⑫	P _m							—	—
		P _L +P _b							36	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							34	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑫'	P _m							—	—
		P _L +P _b							29	243
		P _L +P _b +Q ²⁾							31	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
シール 部	⑬	P _m							29	152
		P _L +P _b							48	152
		P _L +P _b +Q ²⁾							2	152

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力
 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 τ_{nt} , $\tau_{t\theta}$, $\tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力
2) : S_d*地震力のみによる全振幅について示す。

表 3-1 キャスク容器及び中間胴の応力計算結果 (4/5)

(貯蔵時: S_d *地震力が作用する場合)

(単位: MPa)

部位	評価点 (面)	応 力 分 類	応 力 成 分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{n\theta}$		
中間胴 (キャスク容器との溶接部近接部分を除く)	⑬	一次応力	引張応力						105	204
			圧縮応力						—	—
			せん断応力						2	117
			曲げ応力						79	204
			支圧応力						—	—
			垂直+せん断応力						93	204 ³⁾
			圧縮+曲げ応力						—	—
			引張+曲げ応力						79	204 ³⁾
		一次+二次応力	引張・圧縮応力 ²⁾						3	408
			せん断応力 ²⁾						3	234
			曲げ応力 ²⁾						3	408
			支圧応力						—	—
			座屈応力						—	—
			垂直+せん断応力 ²⁾						5	408 ³⁾
			引張・圧縮+曲げ ²⁾						3	408 ³⁾
	⑭	一次応力	引張応力						125	204
			圧縮応力						—	—
			せん断応力						3	117
			曲げ応力						77	204
			支圧応力						—	—
			垂直+せん断応力						110	204 ³⁾
			圧縮+曲げ応力						—	—
			引張+曲げ応力						77	204 ³⁾
		一次+二次応力	引張・圧縮応力 ²⁾						10	408
			せん断応力 ²⁾						6	234
			曲げ応力 ²⁾						10	408
			支圧応力						—	—
			座屈応力						—	—
			垂直+せん断応力 ²⁾						12	408 ³⁾
			引張・圧縮+曲げ ²⁾						10	408 ³⁾
	⑮	一次応力	引張応力						113	204
			圧縮応力						—	—
			せん断応力						7	117
			曲げ応力						107	204
			支圧応力						—	—
			垂直+せん断応力						110	204 ³⁾
			圧縮+曲げ応力						—	—
			引張+曲げ応力						107	204 ³⁾
		一次+二次応力	引張・圧縮応力 ²⁾						71	408
			せん断応力 ²⁾						14	234
			曲げ応力 ²⁾						71	408
			支圧応力						—	—
			座屈応力						—	—
			垂直+せん断応力 ²⁾						65	408 ³⁾
			引張・圧縮+曲げ ²⁾						71	408 ³⁾

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力2) : S_d *地震力のみによる全振幅について示す。3) : $f_t = f_c = f_b$ であるので組合せ応力が引張応力に対する許容値以下であれば規定を満足する。

表 3-1 キヤスク容器及び中間胴の応力計算結果 (5/5)
(貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合)

(単位：MPa)

部位	評価点 (面)	応力分類	応 力 成 分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	τ_t	$\tau_{n\theta}$		
中間胴(キヤスク容器との溶接部近接部分)	⑦	P_m							—	—
		P_L							65	243
		$P_L+P_b+Q^{(2)}$							5	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑦'	P_m							—	—
		P_L							65	243
		$P_L+P_b+Q^{(2)}$							4	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑧	P_m							—	—
		P_L							113	243
		$P_L+P_b+Q^{(2)}$							116	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑧'	P_m							—	—
		P_L							113	243
		$P_L+P_b+Q^{(2)}$							36	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
底部プラグ溶接部	⑱	P_m							68	81
		P_L							—	—
		$P_L+P_b+Q^{(2)}$							94	202
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力
 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力
2) : S_d *地震力のみによる全振幅について示す。

表 3-2 キヤスク容器及び中間胴の応力計算結果 (1/5)
(貯蔵時：S_s地震力が作用する場合)

(単位：MPa)

部位	評価点 (面)	応力分類	応 力 成 分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{n\theta}$		
一 次 蓋	①	P _m							17	278
		P _L +P _b							7	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							1	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	①'	P _m							17	278
		P _L +P _b							27	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							1	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	②	P _m							—	—
		P _L +P _b							20	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							2	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	②'	P _m							—	—
		P _L +P _b							10	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							1	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
ボルト 締め 一次蓋	③	平均引張応力							211	825
		平均引張応力 +曲げ応力							218	825
内 胴	④	P _m							—	—
		P _L							45	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							6	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	④'	P _m							—	—
		P _L							45	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							6	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力
 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力
 2) : S_s地震力のみによる全振幅について示す。

表 3-2 キャスク容器及び中間胴の応力計算結果 (2/5)
(貯蔵時：S_s地震力が作用する場合)

(単位：MPa)

部位	評価点 (面)	応力分類	応 力 成 分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{n\theta}$		
内 胴	⑤	P _m							62	278
		P _L							—	—
		P _L +P _b +Q ²⁾							15	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑤'	P _m							62	278
		P _L							—	—
		P _L +P _b +Q ²⁾							11	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑥	P _m							—	—
		P _L							72	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							48	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑥'	P _m							—	—
		P _L							72	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							62	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
上 部 フ ラ ン ジ	⑨	P _m							—	—
		P _L							32	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							2	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑨'	P _m							—	—
		P _L							32	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							2	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力
 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力
 2) : S_s地震力のみによる全振幅について示す。

表 3-2 キャスク容器及び中間胴の応力計算結果 (3/5)
(貯蔵時：S_s地震力が作用する場合)

(単位：MPa)

部位	評価点 (面)	応力分類	応 力 成 分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{n\theta}$		
上部 フランジ	⑩	P _m							—	—
		P _L							19	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							4	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑩'	P _m							—	—
		P _L							19	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							2	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
底 板	⑪	P _m							30	278
		P _L +P _b							39	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							9	405
		σ_s							—	—
		σ_p							1	418
	⑪'	P _m							30	278
		P _L +P _b							23	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							14	405
		σ_s							—	—
		σ_p							1	418
	⑫	P _m							—	—
		P _L +P _b							36	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							34	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑫'	P _m							—	—
		P _L +P _b							29	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							31	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
シ ー ル 部	⑬	P _m							29	152
		P _L +P _b							48	152
		P _L +P _b +Q ²⁾							2	152

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力
 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力
 2) : S_s地震力のみによる全振幅について示す。

表 3-2 キャスク容器及び中間胴の応力計算結果 (4/5)
(貯蔵時：S_s地震力が作用する場合)

(単位：MPa)

部位	評価点 (面)	応 力 分 類	応 力 成 分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{n\theta}$		
中間胴 (キャスク容器との溶接部近接部分を除く)	⑬	一次応力	引張応力						105	204
			圧縮応力						—	—
			せん断応力						2	117
			曲げ応力						79	204
			支圧応力						—	—
			垂直+せん断応力						93	204 ³⁾
			圧縮+曲げ応力						—	—
			引張+曲げ応力						79	204 ³⁾
		一次+二次応力	引張・圧縮応力 ²⁾						3	408
			せん断応力 ²⁾						3	234
			曲げ応力 ²⁾						3	408
			支圧応力						—	—
			座屈応力						—	—
			垂直+せん断応力 ²⁾						5	408 ³⁾
			引張・圧縮+曲げ ²⁾						3	408 ³⁾
	⑭	一次応力	引張応力						125	204
			圧縮応力						—	—
			せん断応力						3	117
			曲げ応力						77	204
			支圧応力						—	—
			垂直+せん断応力						110	204 ³⁾
			圧縮+曲げ応力						—	—
			引張+曲げ応力						77	204 ³⁾
		一次+二次応力	引張・圧縮応力 ²⁾						10	408
			せん断応力 ²⁾						6	234
			曲げ応力 ²⁾						10	408
			支圧応力						—	—
			座屈応力						—	—
			垂直+せん断応力 ²⁾						12	408 ³⁾
			引張・圧縮+曲げ ²⁾						10	408 ³⁾
	⑮	一次応力	引張応力						113	204
			圧縮応力						—	—
			せん断応力						7	117
			曲げ応力						107	204
			支圧応力						—	—
			垂直+せん断応力						110	204 ³⁾
			圧縮+曲げ応力						—	—
			引張+曲げ応力						107	204 ³⁾
		一次+二次応力	引張・圧縮応力 ²⁾						71	408
			せん断応力 ²⁾						14	234
			曲げ応力 ²⁾						71	408
			支圧応力						—	—
			座屈応力						—	—
			垂直+せん断応力 ²⁾						65	408 ³⁾
			引張・圧縮+曲げ ²⁾						71	408 ³⁾

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力
 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 τ_{nt} , $\tau_{t\theta}$, $\tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力
 2) : S_s地震力のみによる全振幅について示す。
 3) : $f_t = f_c = f_b$ 及び $f_t^* = f_c^* = f_b^*$ であるので組合せ応力が引張応力に対する許容値以下であれば規定を満足する。

表 3-2 キヤスク容器及び中間胴の応力計算結果 (5/5)
(貯蔵時：S_s地震力が作用する場合)

(単位：MPa)

部位	評価点 (面)	応力分類	応 力 成 分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	τ_t	$\tau_{n\theta}$		
中間胴(キヤスク容器との溶接部近接部分)	⑦	P _m							—	—
		P _L							65	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							5	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑦'	P _m							—	—
		P _L							65	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							4	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑧	P _m							—	—
		P _L							113	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							116	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
	⑧'	P _m							—	—
		P _L							113	418
		P _L +P _b +Q ²⁾							36	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—
底部プラグ溶接部	⑱	P _m							68	139
		P _L							—	—
		P _L +P _b +Q ²⁾							94	405
		σ_s							—	—
		σ_p							—	—

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力
 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力
 2) : S_s地震力のみによる全振幅について示す。

表 4-1 キャスク容器及び中間胴の応力評価（貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合）（1/3）

（単位：MPa）

部 位	評価点（面）	応力分類	計算値 ¹⁾	許容応力
一 次 蓋	①－①’	P_m	17	162
	①	P_L+P_b	7	243
	①’		27	243
	①	P_L+P_b+Q	1	405
	①’		1	405
	②	P_L+P_b	20	243
	②’		10	243
	②	P_L+P_b+Q	2	405
	②’		1	405
一次蓋締付け ボルト	③	平均引張応力	211	550
		平均引張応力+ 曲げ応力	218	825
内 胴	④－④’	P_L	45	243
	④	P_L+P_b+Q	6	405
	④’		6	405
	⑤－⑤’	P_m	62	162
	⑤	P_L+P_b+Q	15	405
	⑤’		11	405
	⑥－⑥’	P_L	72	243
	⑥	P_L+P_b+Q	48	405
	⑥’		62	405

注記 1) : P_L+P_b+Q は S_d *地震力のみによる全振幅について評価する。

表 4-1 キャスク容器及び中間胴の応力評価（貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合）（2/3）

（単位：MPa）

部 位	評価点（面）	応力分類	計算値 ¹⁾	許容応力
上部フランジ	⑨－⑨’	P_L	32	243
	⑨	P_L+P_b+Q	2	405
	⑨’		2	405
	⑩－⑩’	P_L	19	243
	⑩	P_L+P_b+Q	4	405
	⑩’		2	405
底 板	⑪－⑪’	P_m	30	162
		σ_P	1	152
	⑪	P_L+P_b	39	243
	⑪’		23	243
	⑪	P_L+P_b+Q	9	405
	⑪’		14	405
	⑫	P_L+P_b	36	243
	⑫’		29	243
	⑫	P_L+P_b+Q	34	405
	⑫’		31	405
密封シール部	⑬	P_m	29	152
		P_L+P_b	48	152
		P_L+P_b+Q	2	152
中間胴 （キャスク容器との 溶接部近接部分）	⑦－⑦’	P_L	65	243
	⑦	P_L+P_b+Q	5	405
	⑦’		4	405
	⑧－⑧’	P_L	113	243
	⑧	P_L+P_b+Q	116	405
	⑧’		36	405
底部プラグ溶接部	⑭	P_m	68	81
		P_L+P_b+Q	94	202

注記 1）： P_L+P_b+Q は S_d *地震力のみによる全振幅について評価する。（密封シール部を除く）

表 4-1 キャスク容器及び中間胴の応力評価（貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合）（3/3）

（単位：MPa）

部位	評価点 (面)	応 力 分 類		計 算 値	許容応力
中間胴（キャスク容器との溶接部近接部分を除く）	⑬	一次応力	引張応力	105	204
			圧縮応力	－	－
			せん断応力	2	117
			曲げ応力	79	204
			垂直応力+せん断応力	93	204 ²⁾
			圧縮応力+曲げ応力	－	－
			引張応力+曲げ応力	79	204 ²⁾
		一次十二次応力	引張・圧縮応力 ¹⁾	3	408
			せん断応力 ¹⁾	3	234
			曲げ応力 ¹⁾	3	408
			座屈応力	－	－
			垂直応力+せん断応力 ¹⁾	5	408 ²⁾
			引張・圧縮応力+曲げ応力 ¹⁾	3	408 ²⁾
			⑭	一次応力	引張応力
	圧縮応力	－			－
	せん断応力	3			117
	曲げ応力	77			204
	垂直応力+せん断応力	110			204 ²⁾
	圧縮応力+曲げ応力	－			－
	引張応力+曲げ応力	77			204 ²⁾
	一次十二次応力	引張・圧縮応力 ¹⁾		10	408
		せん断応力 ¹⁾		6	234
		曲げ応力 ¹⁾		10	408
		座屈応力		－	－
		垂直応力+せん断応力 ¹⁾		12	408 ²⁾
		引張・圧縮応力+曲げ応力 ¹⁾		10	408 ²⁾
		⑮		一次応力	引張応力
	圧縮応力		－		－
	せん断応力		7		117
	曲げ応力		107		204
	垂直応力+せん断応力		110		204 ²⁾
	圧縮応力+曲げ応力		－		－
	引張応力+曲げ応力		107		204 ²⁾
	一次十二次応力		引張・圧縮応力 ¹⁾	71	408
			せん断応力 ¹⁾	14	234
			曲げ応力 ¹⁾	71	408
			座屈応力	－	－
			垂直応力+せん断応力 ¹⁾	65	408 ²⁾
			引張・圧縮応力+曲げ応力 ¹⁾	71	408 ²⁾

注記 1) : S_d *地震力のみによる全振幅について示す。2) : $f_t=f_c=f_b$ であるので、組合せ応力が引張応力に対する許容値以下であれば規定を満足する。

表 4-2 キャスク容器及び中間胴の応力評価（貯蔵時：S_s地震力が作用する場合）（1/3）

（単位：MPa）

部 位	評価点（面）	応力分類	計算値 ¹⁾	許容応力
一 次 蓋	①－①’	P _m	17	278
	①	P _L +P _b	7	418
	①’		27	418
	①	P _L +P _b +Q	1	405
	①’		1	405
	②	P _L +P _b	20	418
	②’		10	418
	②	P _L +P _b +Q	2	405
	②’		1	405
一次蓋締付け ボルト	③	平均引張応力	211	825
		平均引張応力+ 曲げ応力	218	825
内 胴	④－④’	P _L	45	418
	④	P _L +P _b +Q	6	405
	④’		6	405
	⑤－⑤’	P _m	62	278
	⑤	P _L +P _b +Q	15	405
	⑤’		11	405
	⑥－⑥’	P _L	72	418
	⑥	P _L +P _b +Q	48	405
	⑥’		62	405

注記 1) : P_L+P_b+Q は S_s地震力のみによる全振幅について評価する。

表 4-2 キャスク容器及び中間胴の応力評価（貯蔵時： S_s 地震力が作用する場合）（2/3）

（単位：MPa）

部 位	評価点（面）	応力分類	計算値 ¹⁾	許容応力
上部フランジ	⑨－⑨’	P_L	32	418
	⑨	P_L+P_b+Q	2	405
	⑨’		2	405
	⑩－⑩’	P_L	19	418
	⑩	P_L+P_b+Q	4	405
	⑩’		2	405
底 板	⑪－⑪’	P_m	30	278
		σ_P	1	418
	⑪	P_L+P_b	39	418
	⑪’		23	418
	⑪	P_L+P_b+Q	9	405
	⑪’		14	405
	⑫	P_L+P_b	36	418
	⑫’		29	418
	⑫	P_L+P_b+Q	34	405
	⑫’		31	405
密封シール部	⑬	P_m	29	152
		P_L+P_b	48	152
		P_L+P_b+Q	2	152
中間胴 （キャスク容器との 溶接部近接部分）	⑦－⑦’	P_L	65	418
	⑦	P_L+P_b+Q	5	405
	⑦’		4	405
	⑧－⑧’	P_L	113	418
	⑧	P_L+P_b+Q	116	405
	⑧’		36	405
底部プラグ溶接部	⑲	P_m	68	139
		P_L+P_b+Q	94	202

注記 1）： P_L+P_b+Q は S_s 地震力のみによる全振幅について評価する。（密封シール部を除く）

表 4-2 キャスク容器及び中間胴の応力評価（貯蔵時： S_s 地震力が作用する場合）（3/3）
（単位：MPa）

部位	評価点 (面)	応 力 分 類		計 算 値	許容応力
中間胴（キャスク容器との溶接部近接部分を除く）	⑬	一次応力	引張応力	105	204
			圧縮応力	－	－
			せん断応力	2	117
			曲げ応力	79	204
			垂直応力+せん断応力	93	204 ²⁾
			圧縮応力+曲げ応力	－	－
			引張応力+曲げ応力	79	204 ²⁾
		一次十二次応力	引張・圧縮応力 ¹⁾	3	408
			せん断応力 ¹⁾	3	234
			曲げ応力 ¹⁾	3	408
			座屈応力	－	－
			垂直応力+せん断応力 ¹⁾	5	408 ²⁾
			引張・圧縮応力+曲げ応力 ¹⁾	3	408 ²⁾
			⑭	一次応力	引張応力
	圧縮応力	－			－
	せん断応力	3			117
	曲げ応力	77			204
	垂直応力+せん断応力	110			204 ²⁾
	圧縮応力+曲げ応力	－			－
	引張応力+曲げ応力	77			204 ²⁾
	一次十二次応力	引張・圧縮応力 ¹⁾		10	408
		せん断応力 ¹⁾		6	234
		曲げ応力 ¹⁾		10	408
		座屈応力		－	－
		垂直応力+せん断応力 ¹⁾		12	408 ²⁾
		引張・圧縮応力+曲げ応力 ¹⁾		10	408 ²⁾
		⑮		一次応力	引張応力
	圧縮応力		－		－
	せん断応力		7		117
	曲げ応力		107		204
	垂直応力+せん断応力		110		204 ²⁾
	圧縮応力+曲げ応力		－		－
	引張応力+曲げ応力		107		204 ²⁾
	一次十二次応力		引張・圧縮応力 ¹⁾	71	408
			せん断応力 ¹⁾	14	234
			曲げ応力 ¹⁾	71	408
			座屈応力	－	－
			垂直応力+せん断応力 ¹⁾	65	408 ²⁾
			引張・圧縮応力+曲げ応力 ¹⁾	71	408 ²⁾

注記 1) : S_s 地震力のみによる全振幅について示す。

2) : $f_t=f_c=f_b$ 及び $f_t^*=f_c^*=f_b^*$ であるので、組合せ応力が引張応力に対する許容値以下であれば規定を満足する。

表 5-1 キャスク容器(ボルトを除く)の疲労解析不要の評価結果

設計・建設規格 PVB-3140	繰返し荷重		設定繰返 し回数	評価値	許容値	評価
(6)	機械的荷重の変動	地震力	120	応力振幅, S=62 MPa	1×10^{11} 回に対する許容 繰返しピーク応力強さ, $S_a=114$ MPa	$S < S_a$ であるので本 条件に対する評価に考 慮する必要がない。

表 5-2 各事象の繰返し回数と許容繰返し回数（一次蓋締付けボルト）

事 象		繰返し数 N_c (回)	繰返しピーク 応力強さ S_λ (MPa)	縦弾性係数を補正 した繰返しピーク 応力強さ S_λ' (MPa)	許容繰返 し回数 N_a (回)	繰返し回数と許容 繰返し回数の比 N_c/N_a (—)
No. 1		100	811	918	574	1.74×10^{-1}
No. 2		3	65	73	1.00×10^6	3.00×10^{-6}
No. 3		3	51	58	1.00×10^6	3.00×10^{-6}
No. 4		694	47	54	1.00×10^6	6.94×10^{-4}
No. 5		106	7	8	1.00×10^6	1.06×10^{-4}
No. 6		2000	5	6	1.00×10^6	2.00×10^{-3}
U（設計事象Ⅰ及び設計事象Ⅱ）						0.18
地震時	S_d^*	60	5	6	1.00×10^6	6.00×10^{-5}
	S_s	60	5	6	1.00×10^6	6.00×10^{-5}
U（地震時）						1.20×10^{-4}
U（設計事象Ⅰ及び設計事象Ⅱと地震時の和）						0.18

表 5-3 各事象の繰返し回数と許容繰返し回数（バルブカバー締付けボルト）

事 象		繰返し数 N_c (回)	繰返しピーク 応力強さ S_λ (MPa)	縦弾性係数を補正 した繰返しピーク 応力強さ S_λ' (MPa)	許容繰返 し回数 N_a (回)	繰返し回数と許容 繰返し回数の比 N_c/N_a (—)
No. 1		100	833	943	545	1.83×10^{-1}
No. 2		3	2	2	1.00×10^6	3.00×10^{-6}
No. 3		3	1	2	1.00×10^6	3.00×10^{-6}
No. 4		694	1	2	1.00×10^6	6.94×10^{-4}
No. 5		106	1	1	1.00×10^6	1.06×10^{-4}
No. 6		2000	1	1	1.00×10^6	2.00×10^{-3}
U（設計事象Ⅰ及び設計事象Ⅱ）						0.19
地震時	S_d^*	60	1	1	1.00×10^6	6.00×10^{-5}
	S_s	60	1	1	1.00×10^6	6.00×10^{-5}
U（地震時）						1.20×10^{-4}
U（設計事象Ⅰ及び設計事象Ⅱと地震時の和）						0.19

表 6-1 貫通孔部の応力強さ

(単位：MPa)

設計事象	応力分類	貫通孔を無視した 場合の応力強さ (S)	貫通孔部の応力 (S _c)	許容応力
I + S _d *	P _L +P _b	27	81	243
	P _L +P _b +Q	2	6	405
I + S _s	P _L +P _b	27	81	418
	P _L +P _b +Q	2	6	405

補足資料－ 1

キャスク容器及び中間胴の応力解析の方針

目次

1. 概要	1
2. 適用基準	2
3. 記号	3
3.1 記号の説明	3
4. 設計条件	5
4.1 基本仕様	5
4.2 燃料条件	5
4.3 設計事象	5
4.4 荷重の種類とその組合せ	5
5. 計算条件	6
5.1 解析対象とする事象	6
5.2 解析箇所	6
5.3 形状及び寸法	6
5.4 物性値	6
5.5 許容応力	7
6. 応力解析の手順	10
6.1 解析手順の概要	10
6.2 荷重条件の選定	10
6.3 温度分布計算	10
6.3.1 温度分布計算の方法	10
6.4 応力計算と評価	11
6.4.1 応力計算の方法	11
6.4.2 応力評価	12
6.4.3 数値の丸め方	13
7. 参考文献	14

図表目次

図 5-1	キャスク容器及び中間胴の応力解析箇所	15
図 6-1	キャスク容器及び中間胴の応力解析フロー図	17
表 4-1	使用済燃料の条件	18
表 4-2	貯蔵容器の設計事象	19
表 4-3	キャスク容器の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ	19
表 4-4	中間胴の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ	20
表 5-1	代表事象	21
表 5-2	温度分布計算に使用する材料の物性値	22
表 5-3	温度分布計算に使用するふく射率	23
表 5-4	熱応力計算に使用する材料の物性値	23
表 6-1	キャスク容器用材料の許容応力値	24
表 6-2	キャスク容器用材料（ボルト用材料）の許容応力値	25
表 6-3	中間胴（キャスク容器との溶接部近接部分）用材料の許容応力値	25
表 6-4	中間胴（キャスク容器との溶接部近接部分を除く）用材料の許容応力値	26
表 6-5	数値の丸め方一覧表	28

1. 概要

本書は、使用済燃料乾式貯蔵容器のキャスク容器及び中間胴に関する応力解析の方針を述べるものである。

注：図表は、一括して巻末に示す。

2. 適用基準

(1) キャスク容器

使用済燃料乾式貯蔵容器において、放射性物質を閉じ込める圧力バウンダリ境界を構成しているキャスク容器は、貯蔵時において、放射性物質を貯蔵するという観点から、使用済燃料プールや使用済樹脂貯蔵タンク等と同様に「発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む））JSME S NC1-2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）」（以下、「設計・建設規格」という。）のクラス3容器相当に区分される。

したがって、圧力荷重に関してはクラス3容器における規格計算式に基づく手法で構造強度を評価することができる。しかし、熱荷重や取扱い時の衝撃荷重等の各種の荷重の作用が想定されることから、これらの荷重に対する強度評価に当たっては、圧力荷重も含め、応力解析により発生応力を求めて評価することが必要であり、同様な「解析による設計」の考え方が採用されているクラス1容器に準じて設計する。

ここで、設計事象とその許容応力状態は下記のとおりとする。

- ・設計事象 $I + S_d^*$ は、地震力として基準地震動 S_s を考慮し、
許容応力状態Ⅲ_ASで評価する。
- ・設計事象 $I + S_s$ は、地震力として基準地震動 S_s を考慮し、
許容応力状態Ⅳ_ASで評価する。

(2) 中間胴

中間胴は、キャスク容器胴部を支持する部材であることから、キャスク容器の評価手法との整合性をとり、設計・建設規格のクラス1支持構造物に準じて設計する。

ここで、設計事象とその許容応力状態はキャスク容器と同じとする。

注：本書及び応力計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格〇〇〇ー〇〇〇〇」として示す。

3. 記 号

3.1 記号の説明

本書及び応力計算書において、応力評価に関する以下の記号を使用する。ただし、本文中に特記ある場合は、この限りでない。

なお、応力計算書の字体及び大きさについては、本書と異なる場合がある。

計算書の記号	記 号 の 説 明	単 位
A	断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D	直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
G	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
P _b	一次曲げ応力	MPa
P _L	一次局部膜応力	MPa
P _m	一次一般膜応力	MPa
Q	二次応力	MPa
S _d *	弾性設計用地震動 S _d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方	—
S _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	—
S ₁₂	主応力差 $\sigma_1 - \sigma_2$	MPa
S ₂₃	主応力差 $\sigma_2 - \sigma_3$	MPa
S ₃₁	主応力差 $\sigma_3 - \sigma_1$	MPa
S _m	設計応力強さ	MPa
S _u	設計引張強さ	MPa
S _y	設計降伏点	MPa
S _ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S _ℓ '	縦弾性係数を補正した繰返しピーク応力強さ	MPa
K	応力集中係数	—
U	疲労累積係数	—
T	締付けトルク	N・mm
N	許容繰返し回数	回
W	質量	kg
α	熱膨張係数	mm/mm℃
f _t	許容引張応力	MPa

計算書の記号	記 号 の 説 明	単 位
f_s	許容せん断応力	MPa
f_c	許容圧縮応力	MPa
f_b	許容曲げ応力	MPa
f_p	許容支圧応力	MPa
$f_t^{*1)}$	許容引張応力	MPa
$f_s^{*1)}$	許容せん断応力	MPa
$f_c^{*1)}$	許容圧縮応力	MPa
$f_b^{*1)}$	許容曲げ応力	MPa
$f_p^{*1)}$	許容支圧応力	MPa
σ_1	主応力	MPa
σ_2	主応力	MPa
σ_3	主応力	MPa
σ_b	圧縮応力	MPa
σ_{bb}	曲げ応力	MPa
${}_c\sigma_{bb}$	圧縮側曲げ応力	MPa
${}_t\sigma_{bb}$	引張側曲げ応力	MPa
σ_{cc}	圧縮応力	MPa
σ_p	平均支圧応力	MPa
σ_s	平均せん断応力	MPa
σ_{tt}	引張応力	MPa
σ_n	評価断面に垂直な方向の応力	MPa
σ_t	評価断面に平行な方向の応力	MPa
σ_θ	円周方向応力	MPa
τ_{nt}	せん断応力	MPa
$\tau_{t\theta}$	せん断応力	MPa
$\tau_{n\theta}$	せん断応力	MPa
α_H	水平方向設計加速度	m/s^2
α_V	鉛直方向設計加速度	m/s^2
$I + S_d^*$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用した場合の許容応力区分	—
$I + S_s$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用した場合の許容応力区分	—

注記 1) : f_t^* , f_s^* , f_c^* , f_b^* , f_p^* : f_t , f_s , f_c , f_b , f_p の値を算出する際に設計・建設規格 SSB-3121.1(1)における「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点」とあるのを「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点の 1.2 倍の値」と読み替えて算出した値。

4. 設計条件

キャスク容器及び中間胴は以下の設計条件に耐えるように設計する。

4.1 基本仕様

最高使用圧力 1.0MPa

最高使用温度 160℃

4.2 燃料条件

使用済燃料乾式貯蔵容器の収納物である使用済燃料の条件を表 4-1 に示す。

4.3 設計事象

設計上考慮する事象については表 4-2 に示す。

4.4 荷重の種類とその組合せ

キャスク容器及び中間胴の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 4-3 及び表 4-4 に示す。応力解析に用いる荷重は応力計算書に記載する。

5. 計算条件

5.1 解析対象とする事象

表 5-1 に示すように解析対象とする設計事象は $I + S_d^*$ 及び $I + S_s$ とし, 解析を実施する。

5.2 解析箇所

キャスク容器及び中間胴の応力解析を行う箇所は, 次のとおりである(図 5-1 参照)。

- (1) 内胴
- (2) 中間胴
- (3) 上部フランジ
- (4) 底板
- (5) 一次蓋
- (6) 一次蓋締付けボルト
- (7) バルブカバー
- (8) バルブカバー締付けボルト
- (9) 密封シール部
- (10) 底部プラグ

5.3 形状及び寸法

応力解析を行う部位の形状及び寸法は, 応力計算書に示す。

5.4 物性値

温度分布計算, 応力計算及び疲労解析の必要性検討に使用する材料の物性値は以下のとおりである。

- (1) 温度分布計算に使用する物性値を表 5-2 及び表 5-3 に示す。
なお, 熱伝導率はその温度依存性を考慮する。
- (2) 熱応力計算に使用する物性値を表 5-4 に示す。
なお, 熱応力計算に使用する物性値はその温度依存性を考慮する。
- (3) 内圧及び機械的荷重による応力計算に使用する物性値は, 最高使用温度に対する値を用いる。なお, 常温は 20℃とする。
- (4) 物性値を温度補正して使用する場合には, 補正方法を応力計算書に示す。

5.5 許容応力

材料の応力強さ限界及び許容応力は、次の各号に掲げるとおりとする。

I キャスク容器

- (1) キャスク容器（穴の周辺部及びボルトを除く。）にあっては、次によること。
この場合において、キャスク容器に直接溶接されるブラケット等（バスケット及び中間胴を除く）を取り付けるすみ肉溶接部にあっては、次の値の2分の1とする。
 - a. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_d *地震力が作用して生じる応力の応力解析による一次応力強さは、設計・建設規格 PVB-3111(2)a. 及び d. の規定を満足すること。
 - b. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる応力の応力解析による一次応力強さは、設計・建設規格 PVB-3111(3)a. 及び c. の規定を満足すること。
 - c. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_d *又は S_s 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力を加えて求めた応力解析による応力強さのサイクルにおいて、その最大値と最小値との差は、設計・建設規格 PVB-3112 の規定を満足すること。
 - d. 設計事象Ⅰ及び設計事象Ⅱにおいて生じる応力の疲労解析は、設計・建設規格 PVB-3114 の規定を満足すること。
 - e. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_d *又は S_s 地震動のみによる応力の疲労解析を行い、疲労累積係数を求め、d. で求めた疲労累積係数との和が1.0を超えないこと。
 - f. 純せん断荷重を受ける部分にあっては、a. 及び b. の規定にかかわらず、平均せん断応力は、次の規定を満足すること。
 - (a) 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において S_d *地震力が作用する場合においては、設計・建設規格 PVB-3115(1)の規定
 - (b) 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において S_s 地震力が作用する場合においては、設計・建設規格 PVB-3115(2)の規定
 - g. 支圧荷重を受ける部分にあっては、平均支圧応力は、次の規定を満足すること。
 - (a) 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において S_d *地震力が作用して生じる場合においては、設計・建設規格 PVB-3116(1)又は(2)の規定。
 - (b) 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において S_s 地震力が作用して生じる場合で、支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の平均支圧応力は、設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に規定する値の1.5倍の値を超えないこと。
 - (c) 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において S_s 地震力が作用して生じる場合で、(b)以外の場合の平均支圧応力は、設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に規定する値を超えないこと。

h. 密封シール部にあっては、次によること。

- (a) 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において S_d *地震力が作用する場合において生じる応力の応力解析による一次一般膜応力強さ及び一次膜応力と一次曲げ応力を加えて求めた応力強さ、並びに一次応力と二次応力を加えて求めた応力解析による応力強さのサイクルにおいて、その最大値と最小値との差は、いずれも設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に規定する値を超えないこと。
- (b) 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において S_s 地震力が作用する場合において生じる応力の応力解析による一次一般膜応力強さ及び一次膜応力と一次曲げ応力を加えて求めた応力強さ、並びに一次応力と二次応力を加えて求めた応力解析による応力強さのサイクルにおいて、その最大値と最小値との差は、いずれも設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に規定する値を超えないこと。

(2) ボルトにあっては、次によること。

- a. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において S_d *地震力が作用する場合において生じる応力は、設計・建設規格 PVB-3121(2)の規定を満足すること。
- b. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において S_s 地震力が作用する場合において生じる応力は、次の規定を満足すること。
- (a) 軸方向に垂直な断面の平均引張応力は、設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 にて規定される値を超えないこと。
- (b) (a) に規定する平均引張応力と曲げ応力の和は、ボルトの断面の外周において、設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 にて規定される値を超えないこと。
- c. 設計事象Ⅰ及び設計事象Ⅱにおいて生じる応力の疲労解析は、設計・建設規格 PVB-3122 の規定を満足すること。
- d. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_d *又は S_s 地震動のみによる応力の疲労解析を行い、疲労累積係数を求め、c. で求めた疲労累積係数との和が 1.0 を超えないこと。
- (3) 疲労解析において使用する疲労強度減少係数及び応力集中係数は設計・建設規格 PVB-3130 の規定によること。
- (4) (1)及び(2)において、繰返し荷重が設計・建設規格 PVB-3140(1)から(6)の規定に適合するときは、疲労解析を行うことを要しない。
- (5) (1), (2), (3)及び(4)の場合において、設計・建設規格の“供用状態A, 供用状態B”はそれぞれ“設計事象Ⅰ, 設計事象Ⅱ”と読み替える。
- (6) キャスク容器に穴を設ける場合は、設計・建設規格 PVB-3500 の規定を満足すること。

許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

II 中間胴

- (1) 中間胴(キャスク容器との溶接部近接部分)にあつては、5.5 項 I (1)の規定による。
- (2) 中間胴（前号に掲げる範囲を除く）にあつては、次によること。
 - a. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d *地震力が作用して生じる一次応力は、設計・建設規格 SSB-3121.2 の規定を満足すること。
 - b. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる一次応力は、設計・建設規格 SSB-3121.3 の規定を満足すること。
 - c. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d *地震動のみによって生じる一次応力と二次応力（キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。）は、次の値を超えないこと。
 - (a) 引張応力と圧縮応力（引張応力の符号は正とし、圧縮応力の符号は負として計算する。）、せん断応力及び曲げ応力のサイクルにおける最大値と最小値との差、並びに支圧応力については、設計・建設規格 SSB-3122.1(1), (2), (3)及び(4)に定める値
 - (b) 座屈応力については、設計・建設規格 SSB-3121.1(2), (3)又は(4)に定める値の 1.5 倍の値
 - d. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力（キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。）は、次の値を超えないこと。
 - (a) 引張応力と圧縮応力（引張応力の符号は正とし、圧縮応力の符号は負として計算する。）、せん断応力及び曲げ応力のサイクルにおける最大値と最小値との差は、設計・建設規格 SSB-3122.1(1), (2)及び(3)に定める値
 - (b) 支圧応力については、設計・建設規格 SSB-3122.1(4)の規定を満足すること。
この場合において、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.本文中「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点」とあるのは、「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点の 1.2 倍の値」に読み替えるものとする。
 - (c) 座屈応力については、設計・建設規格 SSB-3121.1(2), (3)又は(4)に定める値の 1.5 倍の値
 - e. a., b., c., 及び d.において応力の組合せが考えられる場合は、組合せ応力に対する評価は、設計・建設規格 SSB-3121.1(6)の規定による。
- (3) (2)の場合において、設計・建設規格の“供用状態 A, 供用状態 B”はそれぞれ“設計事象 I, 設計事象 II”と読み替える。

許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

6. 応力解析の手順

応力解析を行う場合の手順について一般的な事項を述べる。

6.1 解析手順の概要

キャスク容器及び中間胴の応力解析フローを図 6-1 に示す。

キャスク容器及び中間胴の応力解析は、想定される圧力荷重、機械的荷重及び熱荷重を基に、キャスク容器及び中間胴の実形状をモデル化し、汎用解析コードである A B A Q U S 及び応力評価式を用いて行う。

A B A Q U S とは、有限要素法に基づく、伝熱解析、応力解析等の汎用解析コードである。温度分布計算及び応力計算は、解析しようとする箇所を形状、材料等の不連続部を小さなメッシュに分割し、各メッシュについて計算を実施することによって行う。

6.2 荷重条件の選定

荷重条件は 4. 項に示されているが、各部の計算においては、その部分についての重要な荷重条件を選定して計算を行う。それぞれの部分について考慮した荷重は応力計算書に示す。

6.3 温度分布計算

6.3.1 温度分布計算の方法

(1) 計算を行う設計事象は、貯蔵容器姿勢が縦置き時の貯蔵時及び横置き時の運搬時とする。

(2) 計算モデルは次の方針に従う。

- a. 温度分布計算では、軸対称要素による解析モデル（以下「軸対称モデル」という）を用いる。軸対称モデルは、キャスク容器、中間胴、ガンマ線遮へい体、二次蓋及び外筒の形状について対称性を考慮する。また、キャスク容器内面に伝わる熱流束の周方向変化は熱伝導のよいアルミニウム合金のバスケットにより小さくなるので、バスケット、使用済燃料及びヘリウムを均質化して燃料有効長で発熱させ、その発熱量をキャスク容器内面に与える。

中性子遮へい体及び伝熱フィンについては均質体として扱うため、二次元平面要素によるモデルにより中間胴外面と外筒内面との温度を求め伝熱抵抗と等価な熱伝導率を与える。

- b. 形状及び材料の不連続性を考慮して、温度計算のためのメッシュ分割を行う。
- c. 外表面からの放熱は自然対流及びふく射とする。
- d. モデル図及び境界条件を応力計算書に示す。

なお、境界には計算で求めた熱伝達率を考慮する。

- (3) 計算機コードを用いて、温度分布を計算する。
- (4) 温度分布の計算結果を応力計算書に示す。

6.4 応力計算と評価

6.4.1 応力計算の方法

- (1) 応力計算は代表事象毎に行う。荷重条件として与えられるものは次の3つである。
 - a. 内圧
 - b. 機械的荷重

自重(燃料集合体を含む貯蔵容器(二次蓋を含む)の貯蔵時の設計重量を用いる。)、衝撃荷重及びその他の負荷荷重をいう。
 - c. 熱荷重

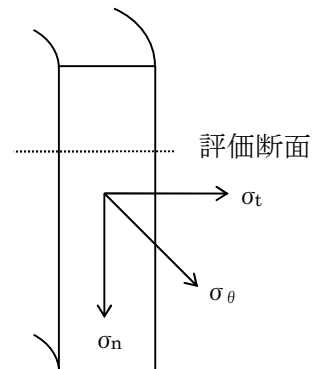
キャスク容器に生じる温度変化、温度勾配による荷重であって、温度分布計算の結果から得られるものをいう。
- (2) 計算モデルは次の方針に従う。
 - a. モデル化に当たっては、キャスク容器、中間胴、ガンマ線遮へい体の形状の対称性及び荷重の対称性を考慮する。
 - b. 解析モデルは、1/2 対称の三次元固体(連続体)要素による解析モデルとする。また、モデル化に当たり対称性を考慮して境界条件を設定する。モデル図及び境界条件を応力計算書に示す。
- (3) 構造及び材料の不連続性を考慮して、応力評価点(面)をとる。評価点(面)は、応力計算書に示す。応力評価は、この応力評価点(面)について行う。
- (4) 溶接部については、母材と同等の物性値及び機械的性質を用いる。

6.4.2 応力評価

応力の計算結果は、設計・建設規格 GNR-2130 による定義に従い、応力の種類毎に分類し、以下の評価を応力計算書に示す。

なお、応力の記号とその方向は次のとおりである。

- σ_θ : 円周方向応力
- σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力
- σ_t : 評価断面に平行な方向の応力
- $\tau_{n\theta}$: せん断応力
- τ_{nt} : せん断応力
- $\tau_{t\theta}$: せん断応力



キャスク容器用材料の許容応力値を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

また、中間胴用材料の許容応力値を表 6-3 及び表 6-4 に示す。

(1) キャスク容器（ボルトを除く）及び中間胴（キャスク容器との溶接部近接部分）の応力評価

キャスク容器及び中間胴（キャスク容器との溶接部近接部分）の応力評価は、設計・建設規格 PVB-3110 に従い以下の項目を実施する。

- a. 一次応力強さ
- b. 一次＋二次応力強さ
- c. 繰返し荷重の評価
- d. 特別な応力の検討
 - (a) 純せん断応力の評価
 - (b) 支圧応力の評価
 - (c) 圧縮応力の評価

(2) ボルトの応力評価

ボルトの応力評価は、設計・建設規格 PVB-3120 に従い実施する。

(3) 中間胴（キャスク容器との溶接部近接部分を除く）の応力評価

中間胴の応力評価は、設計・建設規格 SSB-3010 に従い以下の項目を実施する。

- a. 一次応力強さ
- b. 一次＋二次応力強さ
- c. 組合せ応力

6.4.3 数値の丸め方

数値は、原則として四捨五入とする。また、評価に用いる許容応力及び算出応力等については、安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については丸めないことを原則とし、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を表 6-5 に示す。

7. 参考文献

文献番号は、本書及び応力計算書において共通である。

- (1) 伝熱工学資料 第4版, 日本機械学会 (1986)
- (2) 機械工学便覧 新版, 日本機械学会 (1987)
- (3) 伝熱工学資料 第3版, 日本機械学会 (1975)
- (4) Mc Adams, W.H., " Heat Transmission" , Third Edition, Mc Graw Hill.
- (5) 鉛ハンドブック, 日本鉛亜鉛需要研究会 (1975)
- (6) 使用済核燃料輸送容器の構造解析プログラムの開発・整備に関する調査報告書(Ⅲ),
日本機械学会 (1985)
- (7)

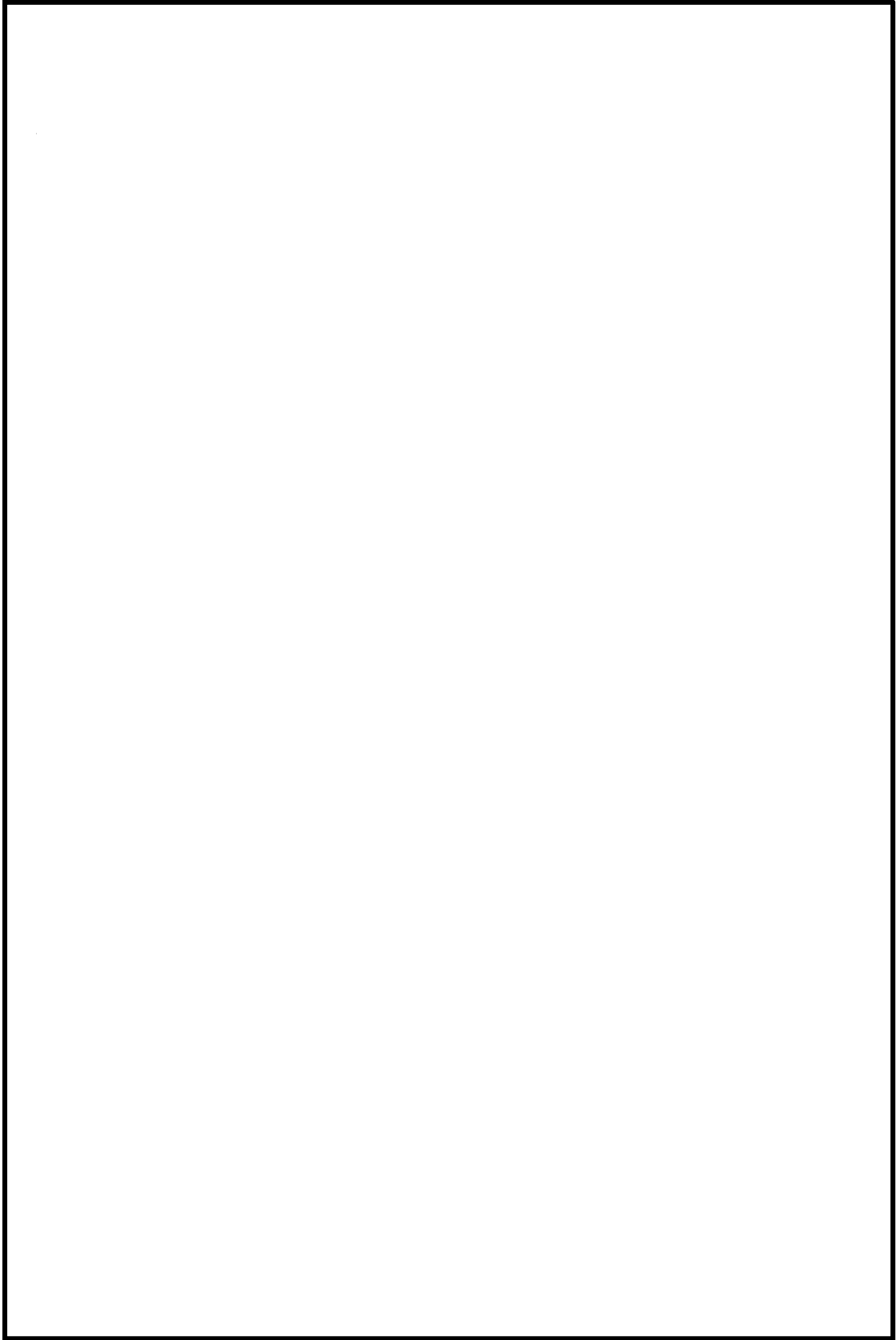


図 5-1(1) キャスク容器及び中間胴の応力解析箇所（全体断面図）

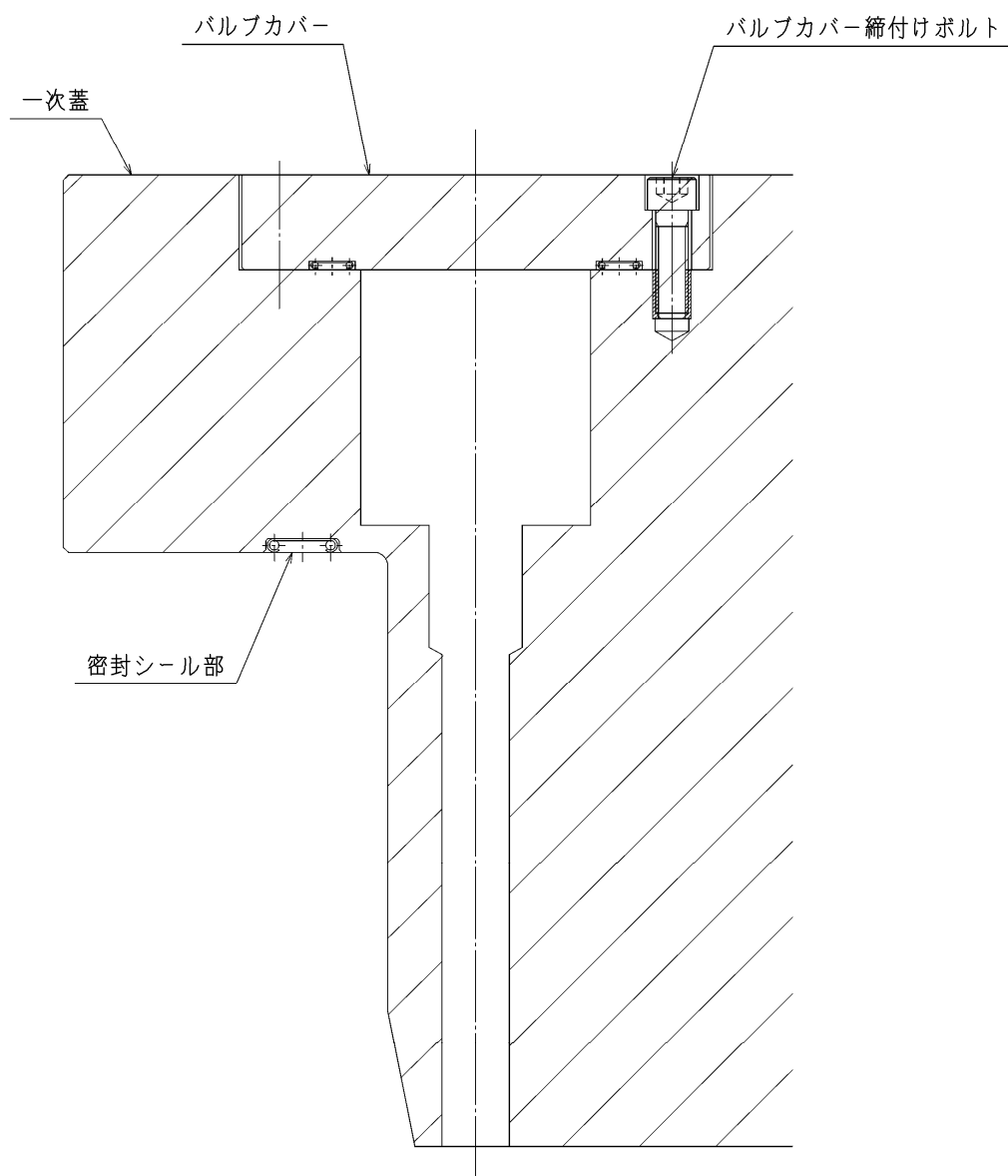


図 5-1 (2) キヤスク容器及び中間胴の応力解析箇所（一次蓋貫通部）

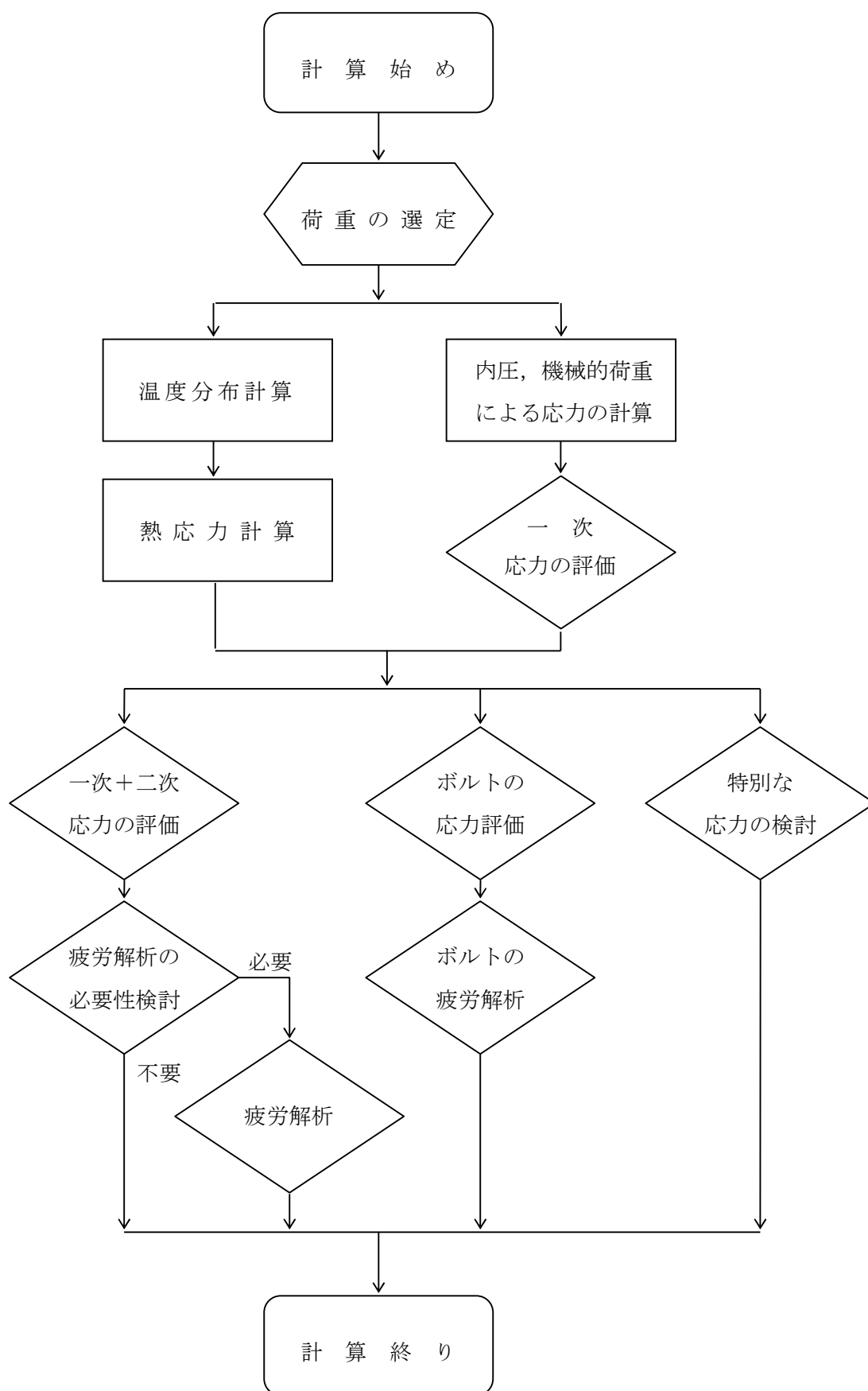


図 6-1 キヤスク容器及び中間胴の応力解析フロー図

表 4-1 使用済燃料の条件

項 目	燃料条件
対象燃料	高燃焼度 8 × 8 燃料 ¹⁾
貯蔵容器 1 基当たりの収納体数(体)	61
貯蔵容器 1 基当たりの発熱量(kW)	17.1 ²⁾
姿勢	縦置き／横置き ³⁾
周囲温度(℃)	45／38 ³⁾

注記 1)：8 × 8 燃料，新型 8 × 8 燃料，新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8 × 8 燃料のうち最も厳しい発熱量となる高燃焼度 8 × 8 燃料について行う。

2)：O R I G E N 2 コードにより求めた。

3)：貯蔵時／運搬時における貯蔵容器姿勢及び周囲温度

表 4-2 貯蔵容器の設計事象

設計事象	定 義	解 説	事象の例	選定事象
I	貯蔵容器の通常の取扱い時及び貯蔵時の状態をいう。	貯蔵状態及び計画的な取扱い状態。	・貯蔵 ・貯蔵容器の吊上げ，吊下げ，移動 ・事業所内運搬	・貯蔵

表 4-3 キャスク容器の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象	荷 重 荷 重 時	圧力による荷重	自重による荷重	ボルト初期締付け力	運搬時荷重	吊上げ荷重	衝撃荷重	熱荷重	備 考
							異常着床・支持構造物への衝突		
I	貯 蔵 時	○	○	○				○	(1)

(1) S_d *地震力及び S_s 地震力は，設計事象 I の貯蔵時における荷重と組み合わせるものとする。

表 4-4 中間胴の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象	荷 重 荷 重 時	自重 による荷重	運搬時 荷重	吊上げ 荷重	衝撃荷重	熱荷重 (1)	備 考
					異常着床・ 支持構造物への衝突		
I	貯 蔵 時	○				○	(2)

- (1) キャスク容器の熱膨張により生ずる応力に限る。
- (2) S_d *地震力及び S_s 地震力は、設計事象 I の貯蔵時における荷重と組み合わせるものとする。

表 5-1 代 表 事 象

設計事象	代表事象 ¹⁾	包絡される事象	荷重条件	備 考
$I + S_d^*$	貯 蔵 時 (S_d^* 地震力が 作用する場合)	—————	キヤスク容器内圧：-0.1MPa 蓋間圧力：0.4MPa 自 重：1G(=9.81m/s ²) ボルト初期締付け力 地震力 水平方向： $C_H G = 1.17G (=11.48m/s^2)$ 鉛直方向： $C_V G = 0.65G (= 6.38m/s^2)$ 熱荷重	—————
$I + S_s$	貯 蔵 時 (S_s 地震力が 作用する場合)	—————	キヤスク容器内圧：-0.1MPa 蓋間圧力：0.4MPa 自 重：1G(=9.81m/s ²) ボルト初期締付け力 地震力 水平方向： $C_H G = 1.17G (=11.48m/s^2)$ 鉛直方向： $C_V G = 0.65G (= 6.38m/s^2)$ 熱荷重	—————

注記 1)：本事象について応力解析を行う。

表 5-2 温度分布計算に使用する材料の物性値

構 成 部 材	材 料	温 度 (°C)	熱伝導率 ¹⁾ (W/m・K)
内 胴	ステンレス鋼 (SUS304 又は SUSF304)	27 127 327	16.0 16.5 19.0
上部フランジ			
底 板			
底部プラグ			
中 間 胴			
外 筒			
一 次 蓋			
バルブカバー			
二 次 蓋			
ガンマ線遮へい体	鉛	27	35.2
伝熱フィン	銅 (C1020)	27	398
		327	383
中性子遮へい体	レジン	—	
内部気体	ヘリウム	27	0.1527
		127	0.1882
		227	0.2212
		327	0.2523
周囲環境	空気	27	0.02614
		127	0.03305
		227	0.03951
		327	0.0456

注記 1) : 参考文献 (1) 参照。ただし, レジンは参考文献 (7) 参照。

表 5-3 温度分布計算に使用するふく射率

構成部材	材 料	ふ く 射 率 ¹⁾
外 筒 二 次 蓋 内 胴 中 間 胴 上部フランジ 一次蓋 バルブカバー 底 板 底部プラグ	ステンレス鋼 (SUS304 又は SUSF304)	0.15
ガンマ線遮へい材	鉛	0.28

注記 1) : 参考文献 (3) 参照

表 5-4 熱応力計算に使用する材料の物性値

構成部材	材 料	温 度 (°C)	縦弾性係数 ¹⁾ (MPa)	熱膨張係数 ¹⁾ ($\times 10^{-6}$ mm/mm°C)	ポアソン比 (—)
内 胴 上部フランジ 底 板 底部プラグ 一 次 蓋 中 間 胴	ステンレス鋼 (SUS304 又は SUSF304)	20 50 75 100 125 150 175 200	195000 193000 191000 190000 188000 186000 184000 183000	15.21 15.49 15.68 15.87 16.05 16.21 16.37 16.52	0.3
一次蓋締付け ボルト バルブカバー 締付けボルト	合金鋼 (SNB23-3)	20 50 75 100 125 150 175 200	192000 189000 188000 186000 185000 184000 182000 180000	11.14 11.40 11.62 11.82 12.00 12.21 12.37 12.54	—
ガンマ線遮へ い材	鉛	20 100 200	1370 1280 1170	28.8 29.0 29.6	0.44 0.45 0.45

注記 1) : 鉛については、参考文献 (5) 及び (6) 参照。

表 6-1 キャスク容器用材料の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力 区 分	応 力 の 種 類	許容応力値			
		オーステナイト系ステンレス鋼			
		密封シール部 以外の部位 ¹⁾		密封シール部	
		SUS 304 SUS F304	許容値 基準	SUS F304	許容値 基準
設計事象 I + S _d [*]	一次一般膜応力強さ P _m	162	1.2S _m	152	Min{S _y , 1.2S _m }
	一次膜＋一次曲げ応力強さ P _L ＋P _b ⁴⁾	243	1.8S _m	152	S _y
	一次＋二次応力強さ P _L ＋P _b ＋Q ³⁾	405	3S _m	152	S _y
	純せん断応力 σ _s	81	0.6S _m		
	支圧応力 σ _p ²⁾	152 (228)	S _y (1.5S _y)		
設計事象 I + S _s	一次一般膜応力強さ P _m	278	Min{2.4S _m , 2/3S _u }	152	S _y
	一次膜＋一次曲げ応力強さ P _L ＋P _b ⁴⁾	418	Min{3.6S _m , S _u }	152	S _y
	一次＋二次応力強さ P _L ＋P _b ＋Q ³⁾	405	3S _m	152	S _y
	純せん断応力 σ _s	167	0.4S _u		
	支圧応力 σ _p ²⁾	418 (627)	S _u (1.5S _u)		

注記 1) : 底部プラグ溶接部の許容応力値は表に示される値の 1/2 とする。

2) : () 内は支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値

3) : S_d^{*}又は S_s地震力のみによる全振幅について評価する。

4) : P_Lの許容応力は P_L＋P_bの許容応力と同一とする。

表 6-2 キヤスク容器用材料（ボルト用材料）の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力 区 分	応 力 の 種 類	許 容 応 力 値	
		合金鋼 SNB23-3	許 容 値 基 準
設計事象 $I + S_d^*$	平均引張応力	550	$2 S_m$
	平均引張応力+曲げ応力	825	$3 S_m$
設計事象 $I + S_s$	平均引張応力	825	S_y
	平均引張応力+曲げ応力	825	S_y

表 6-3 中間胴（キヤスク容器との溶接部近接部分）用材料の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力 区 分	応 力 の 種 類	許容応力値	
		オーステナイト系ステンレス鋼	
		SUS 304	許容値基準
設計事象 $I + S_d^*$	一次一般膜応力強さ P_m	162	$1.2 S_m$
	一次膜+一次曲げ応力強さ $P_L + P_b^{3)}$	243	$1.8 S_m$
	一次+二次応力強さ $P_L + P_b + Q^{2)}$	405	$3 S_m$
	純せん断応力 σ_s	81	$0.6 S_m$
	支圧応力 $\sigma_p^{1)}$	152 (228)	$S_y (1.5 S_y)$
設計事象 $I + S_s$	一次一般膜応力強さ P_m	278	$\text{Min} \{2.4 S_m, 2/3 S_u\}$
	一次膜+一次曲げ応力強さ $P_L + P_b^{3)}$	418	$\text{Min} \{3.6 S_m, S_u\}$
	一次+二次応力強さ $P_L + P_b + Q^{2)}$	405	$3 S_m$
	純せん断応力 σ_s	167	$0.4 S_u$
	支圧応力 $\sigma_p^{1)}$	418 (627)	$S_u (1.5 S_u)$

注記 1) : () 内は支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値

2) : S_d^* 又は S_s 地震力のみによる全振幅について評価する。

3) : P_L の許容応力は $P_L + P_b$ の許容応力と同一とする。

表 6-4(1) 中間胴（キャスク容器との溶接部近接部分を除く）用材料の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力 区 分	応 力 の 種 類		許 容 応 力 値	
			オーステナイト系ステンレス鋼	
			SUS304	許 容 値 基 準
設計事象 I + S _d * ¹⁾	一次 応力	引張応力	204	1.5 f _t
		圧縮応力	204	1.5 f _c
		せん断応力	117	1.5 f _s
		曲げ応力	204	1.5 f _b
		支圧応力	279	1.5 f _p
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力 ²⁾	408	3 f _t
		せん断応力 ²⁾	234	3 f _s
		曲げ応力 ²⁾	408	3 f _b
		支圧応力	279	1.5 f _p
		座屈応力	117	1.5 f _b , 1.5 f _s 又は 1.5 f _c

注記 1)：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は以下による。

- ①次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力とせん断応力を組み合わせた応力 (σ_T) は、引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_t^2 + \sigma_\theta^2 - \sigma_n \cdot \sigma_t - \sigma_t \cdot \sigma_\theta - \sigma_\theta \cdot \sigma_n + 3\tau_{nt}^2 + 3\tau_{t\theta}^2 + 3\tau_{n\theta}^2}$$

- ②圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_{cc}|}{1.5f_c} + \frac{|c\sigma_{bb}|}{1.5f_b} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|t\sigma_{bb}| - |\sigma_{cc}|}{1.5f_t} \leq 1$$

- ③引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_{tt}| + |t\sigma_{bb}|}{1.5f_t} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|c\sigma_{bb}| - |\sigma_{tt}|}{1.5f_b} \leq 1$$

ただし、②及び③において、一次応力については上式による。一次+二次応力の場合、分母の 1.5 f_c, 1.5 f_b, 1.5 f_t は、3 f_c, 3 f_b, 3 f_t とする。

- 2)：S_d*地震力のみによる応力振幅について評価する。

表 6-4(2) 中間胴（キャスク容器との溶接部近接部分を除く）用材料の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力 区 分	応 力 の 種 類		許 容 応 力 値	
			オーステナイト系ステンレス鋼	
			SUS304	許 容 値 基 準
設計事象 I + S _s ¹⁾	一次 応力	引張応力	204	1.5 f _t [*]
		圧縮応力	204	1.5 f _c [*]
		せん断応力	117	1.5 f _s [*]
		曲げ応力	204	1.5 f _b [*]
		支圧応力	279	1.5 f _p [*]
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力 ²⁾	408	3 f _t
		せん断応力 ²⁾	234	3 f _s
		曲げ応力 ²⁾	408	3 f _b
		支圧応力	279	1.5 f _p [*]
		座屈応力	117	1.5 f _b , 1.5 f _s 又は 1.5 f _c

注記 1)：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は以下による。

- ①次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力とせん断応力を組み合わせた応力 (σ_T) は、引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_t^2 + \sigma_\theta^2 - \sigma_n \cdot \sigma_t - \sigma_t \cdot \sigma_\theta - \sigma_\theta \cdot \sigma_n + 3\tau_{nt}^2 + 3\tau_{t\theta}^2 + 3\tau_{n\theta}^2}$$

- ②圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_{cc}|}{1.5f_c} + \frac{|c\sigma_{bb}|}{1.5f_b} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|t\sigma_{bb}| - |\sigma_{cc}|}{1.5f_t} \leq 1$$

- ③引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_{tt}| + |t\sigma_{bb}|}{1.5f_t} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|c\sigma_{bb}| - |\sigma_{tt}|}{1.5f_b} \leq 1$$

ただし、②及び③において、一次応力については上式による。一次+二次応力の場合、分母の 1.5 f_c, 1.5 f_b, 1.5 f_t は、3 f_c, 3 f_b, 3 f_t とする。

- 2)：S_s地震力のみによる応力振幅について評価する。

表 6-5 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単 位	処 理 桁	処 理 法	表示最小桁
最高使用圧力	MPa	—	—	設 計 値
最高使用温度	℃	—	—	設 計 値
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
許容応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切 捨 て	整 数 値 位
計算応力値 ¹⁾	MPa	小数点以下第 1 位	切 上 げ	整 数 値 位
長 さ	mm	—	—	設 計 値
設 計 震 度	—	小数点以下第 3 位	切 上 げ	小数点以下第 2 位
面 積	mm ²	有効数字 4 桁目	安全側に処理する	有効数字 3 桁
角 度	°	—	—	設 計 値
質 量	kg	—	—	設 計 値
力	N	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁

注記 1) : 応力成分は、小数点以下第 2 位を四捨五入し、小数点以下第 1 位までの値を記載する。

V-2-4-2-3 ②二次蓋の強度計算書

目次

1. 概要	1
2. 適用基準	1
3. 記号	2
3.1 記号の説明	2
4. 設計条件及び構造	3
4.1 設計条件	3
4.2 数値の丸め方	3
4.3 二次蓋の構造	3
5. 応力計算（ S_d^* 及び S_s 地震時）	4
5.1 荷重条件	4
5.2 計算方法	4
5.3 評価方法	5
5.4 計算結果	5
6. 応力評価（ S_d^* 及び S_s 地震時）	6

図表目次

図 4-1 二次蓋の構造…………… 7

図 5-1 応力評価点（面）…………… 8

図 5-2 計算モデル…………… 9

表 4-1 設計条件…………… 10

表 4-2 数値の丸め方一覧表…………… 10

表 5-1 応力計算に使用する材料の物性値…………… 11

表 5-2 二次蓋の許容応力値…………… 11

表 5-3 二次蓋締付けボルトの許容応力値…………… 11

表 5-4 二次蓋の応力計算結果…………… 12

表 6-1 二次蓋の応力評価…………… 14

1. 概要

本計算書は、使用済燃料乾式貯蔵容器の二次蓋に関する応力計算書である。

2. 適用基準

二次蓋は、貯蔵時の密封監視のために圧力空間を保持するための部材であり、二次蓋及び一次蓋の蓋間内が正圧となることから、構造強度評価手法としては「発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む））JSME S NC1-2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）」（以下、「設計・建設規格」という。）のクラス3容器に従って設計する。

また、地震時における荷重の組合せ及び許容応力については設計・建設規格 GNR-2200に従い、「日本電気協会 原子力発電所耐震設計技術指針・補 許容応力・重要度分類編」（JEAG 4601・補-1984）に準ずる。

ここで、設計事象とその許容応力状態は下記のとおりとする。

- ・設計事象 $I + S_d^*$ は、地震力として基準地震動 S_s を考慮し、許容応力状態 $III_A S$ で評価する。
- ・設計事象 $I + S_s$ は、地震力として基準地震動 S_s を考慮し、許容応力状態 $IV_A S$ で評価する。

3. 記 号

3.1 記号の説明

本計算書において、応力評価に関する以下の記号を使用する。ただし、本文中に特記ある場合は、この限りでない。

計算書の記号	記 号 の 説 明	単 位
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
G	重力加速度(=9.80665)	m/s ²
M_d	当該設備に設計上定められた機械的荷重	—
P_d	当該設備に設計上定められた最高使用圧力による機械的荷重	MPa
P_b	一次曲げ応力	MPa
P_m	一次一般膜応力	MPa
P_L	一次局部膜応力	MPa
Q	二次応力	MPa
S	最高使用温度における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に規定する材料の許容引張応力	MPa
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方	—
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
S_{12}	主応力差 $ \sigma_1 - \sigma_2 $	MPa
S_{23}	主応力差 $ \sigma_2 - \sigma_3 $	MPa
S_{31}	主応力差 $ \sigma_3 - \sigma_1 $	MPa
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
σ_1	主応力	MPa
σ_2	主応力	MPa
σ_3	主応力	MPa
σ_n	評価断面に垂直な方向の応力	MPa
σ_t	評価断面に平行な方向の応力	MPa
σ_θ	円周方向応力	MPa
τ_{nt}	せん断応力	MPa
$\tau_{t\theta}$	せん断応力	MPa
$\tau_{n\theta}$	せん断応力	MPa
α_H	水平方向設計加速度	m/s ²
α_V	鉛直方向設計加速度	m/s ²
$I + S_d^*$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用した場合の許容応力区分	—
$I + S_s$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用した場合の許容応力区分	—

4. 設計条件及び構造

4.1 設計条件

最高使用圧力及び最高使用温度を表 4-1 に示す。

4.2 数値の丸め方

数値は、原則として四捨五入とする。また、評価に用いる許容応力及び算出応力等については、安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については丸めないことを原則とし、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を表 4-2 に示す。

4.3 二次蓋の構造

二次蓋の構造を図 4-1 に示す。

5. 応力計算（ S_d^* 及び S_s 地震時）

5.1 荷重条件

応力計算は荷重毎に行う。荷重条件として与えられるものは次の3つである。

- 最高使用圧力（0.4MPa）
- ボルト初期締付け力（ $4.6 \times 10^6 \text{N}$ ）
- 地震力

5.2 計算方法

(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 4-1 に示す。

(2) 物性値

応力計算に使用する材料の物性値を表 5-1 に示す。

(3) 計算モデル

二次蓋の応力計算は、二次蓋の実形状をモデル化し、汎用解析コードである ABAQUS を用いて行う。

ABAQUS とは、有限要素法に基づく、伝熱解析、応力解析等の汎用解析コードである。応力計算は、解析しようとする箇所を形状、材料等の不連続部を小さなメッシュに分割し、各メッシュについて計算を実施することによって行う。

計算モデルは次の方針に従う。

- モデル化に当たっては、二次蓋の形状の対称性及び荷重の対称性を考慮する。
- 解析モデルは三次元固体（連続体）要素による解析モデルとする。

加速度として次の値を用いる。

$$S_d^* \text{地震力が作用する場合：} \alpha_H = C_H G = 11.48 \text{m/s}^2, \quad \alpha_V = C_V G = 6.38 \text{ m/s}^2$$

$$S_s \text{地震力が作用する場合：} \alpha_H = C_H G = 11.48 \text{m/s}^2, \quad \alpha_V = C_V G = 6.38 \text{ m/s}^2$$

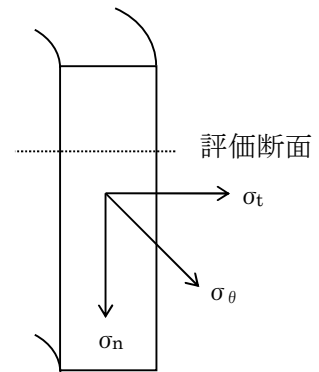
二次蓋の応力評価点（面）を図 5-1 に示す。解析コード ABAQUS の三次元固体（連続体）要素による解析モデルを図 5-2 に示す。

5.3 評価方法

応力の計算結果は、設計・建設規格 GNR-2130 による定義に従い、応力の種類毎に分類し、以下の評価を応力計算書に示す。

なお、応力の記号とその方向は下記のとおりである。

- σ_{θ} : 円周方向応力
- σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力
- σ_t : 評価断面に平行な方向の応力
- $\tau_{n\theta}$: せん断応力
- τ_{nt} : せん断応力
- $\tau_{t\theta}$: せん断応力



二次蓋用材料の許容応力値を表 5-2 に示す。

二次蓋締付けボルトの許容応力値を表 5-3 に示す。

(1) 二次蓋の応力評価

二次蓋の応力評価は、以下の項目を実施する。

- a. 一次応力強さ
- b. 一次＋二次応力強さ（地震力のみによる応力振幅）

(2) 二次蓋締付けボルトの応力評価

二次蓋締付けボルトの応力評価は一次応力強さについて実施する。

5.4 計算結果

評価対象として応力評価点（面）についての応力評価を表 5-4 に示す。

6. 応力評価（ S_d^* 及び S_s 地震時）

各設計事象における二次蓋及び二次蓋締付けボルトの評価を表 6-1 に示す。

表 6-1 より各部の一次応力は許容値を満足する。また，二次蓋の一次＋二次応力は $2 S_y$ 以下となり，疲労評価不要の条件を満足する。

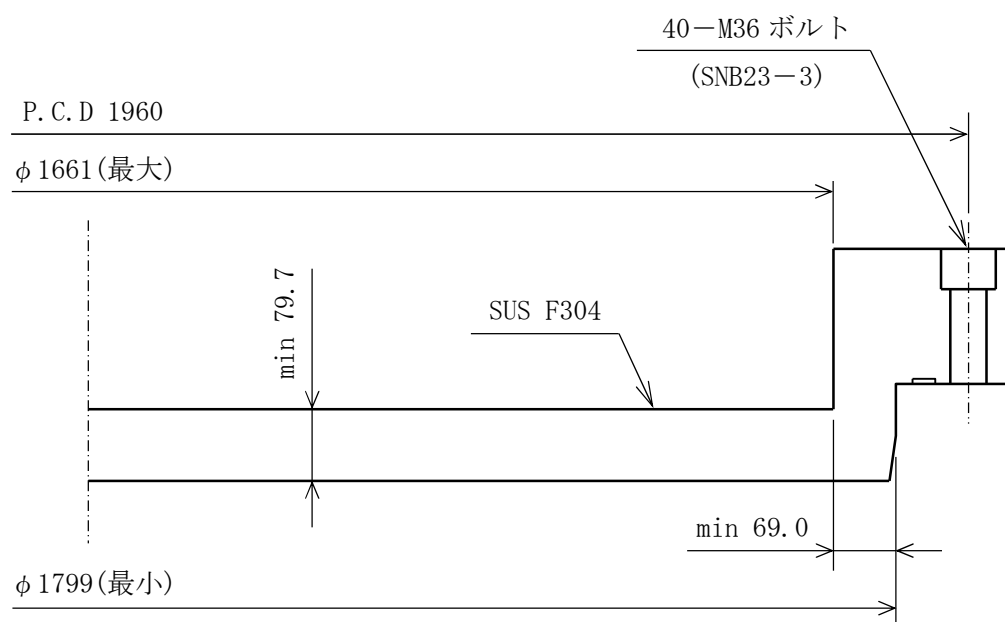


図 4-1 二次蓋の構造



図 5-1 応力評価点（面）

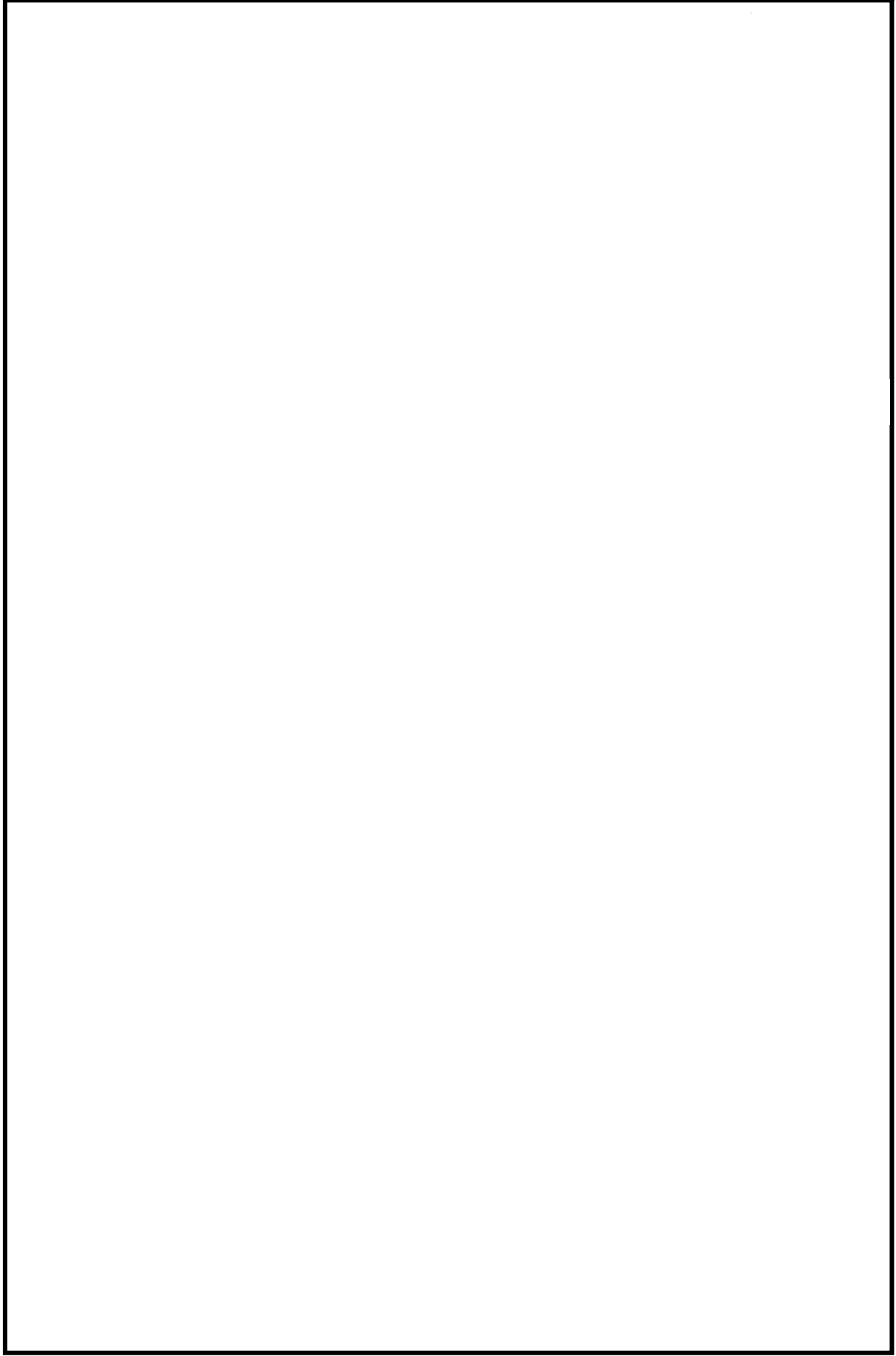


図 5-2 計算モデル

表 4-1 設 計 条 件

項 目		設 計 値
最高使用圧力	MPa	0.4
最高使用温度	℃	160

表 4-2 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単 位	処 理 桁	処 理 法	表示最小桁
最高使用圧力	MPa	—	—	設 計 値
最高使用温度	℃	—	—	設 計 値
許 容 応 力 値	MPa	小数点以下第 1 位	切 捨 て	整 数 値 位
計 算 応 力 値 ¹⁾	MPa	小数点以下第 1 位	切 上 げ	整 数 値 位
必 要 厚 さ	mm	小数点以下第 2 位	切 上 げ	小数点以下第 1 位
最 小 厚 さ	mm	小数点以下第 2 位	切 捨 て	小数点以下第 1 位
長 さ	mm	—	—	設 計 値
面 積	mm ²	有効数字 4 桁目	安全側に処理する	有効数字 3 桁
力	N	有効数字 4 桁目	切 上 げ	有効数字 3 桁

注記 1) : 応力成分は、小数点以下第 2 位を四捨五入し、小数点以下第 1 位までの値を記載する。

表 5-1 応力計算に使用する材料の物性値

部位	材料	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比 (-)
二次蓋	ステンレス鋼 (SUSF304)	160	185000	0.3
二次蓋締め付けボルト	合金鋼 (SNB23-3)	160	183000	—

表 5-2 二次蓋の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力 区分	荷重の 組合せ	応力の種類	許容応力値	
			オーステナイト系ステンレス鋼	
			SUSF304	許容値基準
I + S _d *	D+P _d +M _d +S _d *	一次一般膜応力 (P _m)	152	Min{S _y , 0.6S _u } と 1.2S の大きい方
		一次膜＋一次曲げ応力 (P _L +P _b)	228	上記の 1.5 倍
		一次＋二次応力 ¹⁾ (P _L +P _b +Q)	304	2S _y
I + S _s	D+P _d +M _d +S _s	一次一般膜応力 (P _m)	250	0.6S _u
		一次膜＋一次曲げ応力 (P _L +P _b)	376	0.9S _u
		一次＋二次応力 ¹⁾ (P _L +P _b +Q)	304	2S _y

注記 1) : S_d*又はS_s地震動のみによる応力振幅について評価する。

表 5-3 二次蓋締め付けボルトの許容応力値

(単位：MPa)

許容応力 区分	荷重の 組合せ	応力の種類	許容応力値	
			合金鋼 SNB23-3	許容値基準
I + S _d *	D+P _d +M _d +S _d *	平均引張応力	300	1.5S
I + S _s	D+P _d +M _d +S _s	平均引張応力	400	2S

表 5-4(1) 二次蓋の応力計算結果（荷重組合せ：D+P_d+M_d+S_d*の場合）

（単位：MPa）

部位	評価点 (面)	応力分類	応 力 成 分 ¹⁾						計算値	許容応力
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{n\theta}$		
二次蓋	①-①'	P _L +P _b							23	228
	①	P _L +P _b +Q ²⁾							1	304
	①'								1	304
	②-②'	P _L +P _b							22	228
	②	P _L +P _b +Q ²⁾							1	304
	②'								1	304
	③-③'	P _L +P _b							18	228
	③	P _L +P _b +Q ²⁾							1	304
	③'								1	304
	④-④'	P _m							5	152
	④	P _L +P _b							34	228
		P _L +P _b +Q ²⁾							1	304
	④'	P _L +P _b							25	228
		P _L +P _b +Q ²⁾							1	304
ボルト	⑤	平均引張 応力	146	300						

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力 σ_θ : 円周方向応力
 σ_t : 評価断面に平行な方向の応力 $\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力
 2) : S_d*地震力のみによる全振幅について評価する。

表 5-4(2) 二次蓋の応力計算結果（荷重組合せ：D+P_d+M_d+S_s の場合）

（単位：MPa）

部位	評価点 (面)	応力分類	応 力 成 分 ¹⁾						計算値	許容応力
			σ_n	σ_t	σ_θ	τ_{nt}	$\tau_{t\theta}$	$\tau_{n\theta}$		
二次蓋	①-①'	P _L +P _b							23	376
	①	P _L +P _b +Q ²⁾							1	304
	①'								1	304
	②-②'	P _L +P _b							22	376
	②	P _L +P _b +Q ²⁾							1	304
	②'								1	304
	③-③'	P _L +P _b							18	376
	③	P _L +P _b +Q ²⁾							1	304
	③'								1	304
	④-④'	P _m							5	250
	④	P _L +P _b							34	376
		P _L +P _b +Q ²⁾							1	304
	④'	P _L +P _b							25	376
		P _L +P _b +Q ²⁾							1	304
ボルト	⑤	平均引張 応力							146	400

注記 1) : σ_n : 評価断面に垂直な方向の応力

σ_θ : 円周方向応力

σ_t : 評価断面に平行な方向の応力

$\tau_{nt}, \tau_{t\theta}, \tau_{n\theta}$: 評価断面上のせん断応力

2) : S_s地震力のみによる全振幅について評価する。

表 6-1 二次蓋の応力評価

(単位：MPa)

許容応力 区分	荷重の組合せ	部 位	応力分類	評価点	計算値	許容 応力値
$I + S_d^*$	$D + P_d + M_d + S_d^*$	二次蓋	P_m	④－④'	5	152
			$P_L + P_b$	④	34	228
			$P_L + P_b + Q^{1)}$	②	1	304
		二次蓋 締付けボルト	平均引張応力	⑤	146	300
$I + S_s$	$D + P_d + M_d + S_s$	二次蓋	P_m	④－④'	5	250
			$P_L + P_b$	④	34	376
			$P_L + P_b + Q^{1)}$	②	1	304
		二次蓋 締付けボルト	平均引張応力	⑤	146	400

注記 1) : S_d^* 及び S_s 地震動のみによる応力振幅について評価する。

V-2-4-2-3 ③バスケットの応力計算書

目次

1. 概要	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 計算結果の概要	1
2. 温度分布計算	2
2.1 計算方法	2
2.2 温度分布図	2
3. 応力計算	3
3.1 応力評価点	3
3.2 貯蔵時（ S_d^* 及び S_s 地震力が作用する場合）	3
3.2.1 荷重条件	3
3.2.2 計算方法	3
3.2.3 計算結果	5
4. 応力の評価	6
4.1 応力強さの評価	6
4.2 特別な応力の評価	6
4.2.1 純せん断応力	6
4.2.2 支圧応力	6
4.2.3 座屈応力	6

補足資料 バスケットの応力解析の方針

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料	7
図 2-1	温度分布計算モデル	8
図 2-2	温度分布図	9
図 3-1	バスケットの応力評価点(面)	10
図 3-2	バスケットの解析モデル	11
図 3-3	サポートガイドの解析モデル	14
表 1-1	計算結果の概要	15
表 2-1	熱伝達率の計算	16
表 2-2	温度分布計算の評価条件	17
表 3-1	S_d 地震力が作用する場合のバスケットの応力計算結果	18
表 3-2	S_s 地震力が作用する場合のバスケットの応力計算結果	20
表 4-1	バスケットの応力評価（貯蔵時： S_d 地震力が作用する場合）	22
表 4-2	バスケットの応力評価（貯蔵時： S_s 地震力が作用する場合）	23

1. 概 要

本計算書は、使用済乾式貯蔵容器のバスケットに関する応力計算書である。

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 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、応力評価上厳しくなる代表的な評価点(面)を本計算書に記載している。

表中の「－」は、評価すべき応力が発生しない又は評価上厳しくないため評価を省略している。以下、本計算書において同様である。

2. 温度分布計算

2.1 計算方法

温度分布計算は、解析コード A B A Q U S により行う。計算のためのモデル図を図 2-1 に示す。

温度分布計算に使用する外表面の熱伝達率の計算条件と計算結果を表 2-1 に示す。

2.2 温度分布図

2.1 項の計算により得られた温度分布図を図 2-2 に示す。

3. 応力計算

3.1 応力評価点

バスケットの応力評価点(面)を図 3-1 に示す。

3.2 貯蔵時（ S_d^* 及び S_s 地震力が作用する場合）

3.2.1 荷重条件

貯蔵時において S_d^* 及び S_s 地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。

地震力＋自重＋熱荷重

3.2.2 計算方法

(1) チャンネル，サポートブロック，補強板及び仕切板

a. 一次応力強さ

(a) 鉛直方向(Z 方向)の加速度による応力

鉛直方向加速度により発生するバスケット軸方向の応力(σ_y)は次式で表される。

$$\sigma_y = -\rho \cdot G_1 \cdot L$$

ここで， ρ ：材料の密度（ $=2.70 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ ）

G_1 ：鉛直方向加速度（ m/s^2 ）

L ：バスケット全長（ $=4495 \text{ mm}$ ）

他の応力成分は零である。

ただし， $G_1 = 9.81 + \alpha_v$

α_v ：鉛直方向設計加速度（ $=C_v G = 6.38 \text{ m/s}^2$ ）

(b) 水平方向（X 方向または Y 方向）の加速度による応力

解析コード A B A Q U S の二次元平面固体(連続体)要素及びはり要素による解析モデルを図 3-2(1)及び図 3-2(2)に示す。

各部材間は相互の接触を考慮し，サポートブロックは内胴に設置されているサポートガイド接触面と接触境界を設けている。加速度は X 方向または Y 方向に作用されるものとし，その大きさは以下の通りとする。

X 方向加速度： G_2 （ $=\alpha_H$ ）

Y 方向加速度： G_3 （ $=\alpha_H$ ）

ただし， α_H ：水平方向設計加速度（ $=C_H G = 11.48 \text{ m/s}^2$ ）

b. 支圧応力

水平方向加速度によりサポートブロックにおいてサポートガイドとの接触部に発生する平均支圧応力(σ_p)は次式で表される。

$$\sigma_p = \frac{W \cdot \alpha_H}{4 \cdot A}$$

ここで, W : バスケット+使用済燃料(61 体)の質量 (=25200kg)

A : サポートガイドとの接触面積 ($=1.76 \times 10^5 \text{ mm}^2$)

α_H : a. と同じ

c. 座屈応力

チャンネル及び仕切板に発生する圧縮応力は a. と同様にして求められる。ただし, 熱荷重は, 2.2 項の結果から得られた貯蔵時(縦置き姿勢)での温度分布による。

(2) サポートガイド

a. 一次応力強さ

解析コードABAQUSの二次元平面固体(連続体)要素による解析モデルを図 3-3 に示す。

水平方向(X 方向または Y 方向)に加速度がバスケットに作用する場合, サポートガイド 1 個に作用する貯蔵容器軸方向単位長さ当たりの荷重は次式で与えられる。

$$F_X = \frac{W \cdot G_2}{4 \cdot L_S}$$

$$F_Y = \frac{W \cdot G_3}{4 \cdot L_S}$$

ここで, F_X : X 方向荷重 (N/mm)

F_Y : Y 方向荷重 (N/mm)

W : バスケット+使用済燃料(61 体)の質量 (=25200kg)

G_2 : X 方向加速度 ($= \alpha_H = 11.48 \text{ m/s}^2$)

G_3 : Y 方向加速度 ($= \alpha_H = 11.48 \text{ m/s}^2$)

L_S : サポートガイドの長さ ($=4350 \text{ mm}$)

したがって,

$$F_X = 16.6 \text{ N/mm}, \quad F_Y = 16.6 \text{ N/mm}$$

内胴との溶接部(コーナー)を拘束する。

(3) サポートガイド溶接部

a. 平均せん断応力

サポートガイド溶接部において発生する平均せん断応力(σ_s)は次式で表される。

$$\sigma_s = \frac{W \cdot G_2}{4 \cdot A} \quad \text{または}$$

$$\sigma_s = \frac{W \cdot G_3}{4 \cdot A}$$

ここで, W, G_2, G_3 : (2)と同じ

A : サポートガイド溶接部の断面積 ($=4.31 \times 10^4 \text{mm}^2$)

(4) 底板

a. 支圧応力

底板底面に発生する平均支圧応力(σ_p)は次式で表される。

$$\sigma_p = \frac{W \cdot G_1}{A}$$

ここで, W : (2)と同じ

G_1 : (1)と同じ

A : 底板底面のキャスク容器との接触面積 ($=1.17 \times 10^6 \text{mm}^2$)

3.2.3 計算結果

応力計算結果を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

4. 応力の評価

4.1 応力強さの評価

各設計事象における応力計算結果と許容応力を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より，各設計事象の一次一般膜応力強さ(P_m)及び一次膜＋一次曲げ応力強さ($P_m + P_b$)は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

4.2 特別な応力の評価

4.2.1 純せん断応力

各設計事象における応力計算結果と許容応力を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より，各設計事象の平均せん断応力(σ_s)は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

4.2.2 支圧応力

各設計事象における応力計算結果と許容応力を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より，各設計事象の平均支圧応力(σ_p)は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

4.2.3 座屈応力

各設計事象における応力計算結果と許容応力を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 より，各設計事象の座屈応力(σ_b)は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

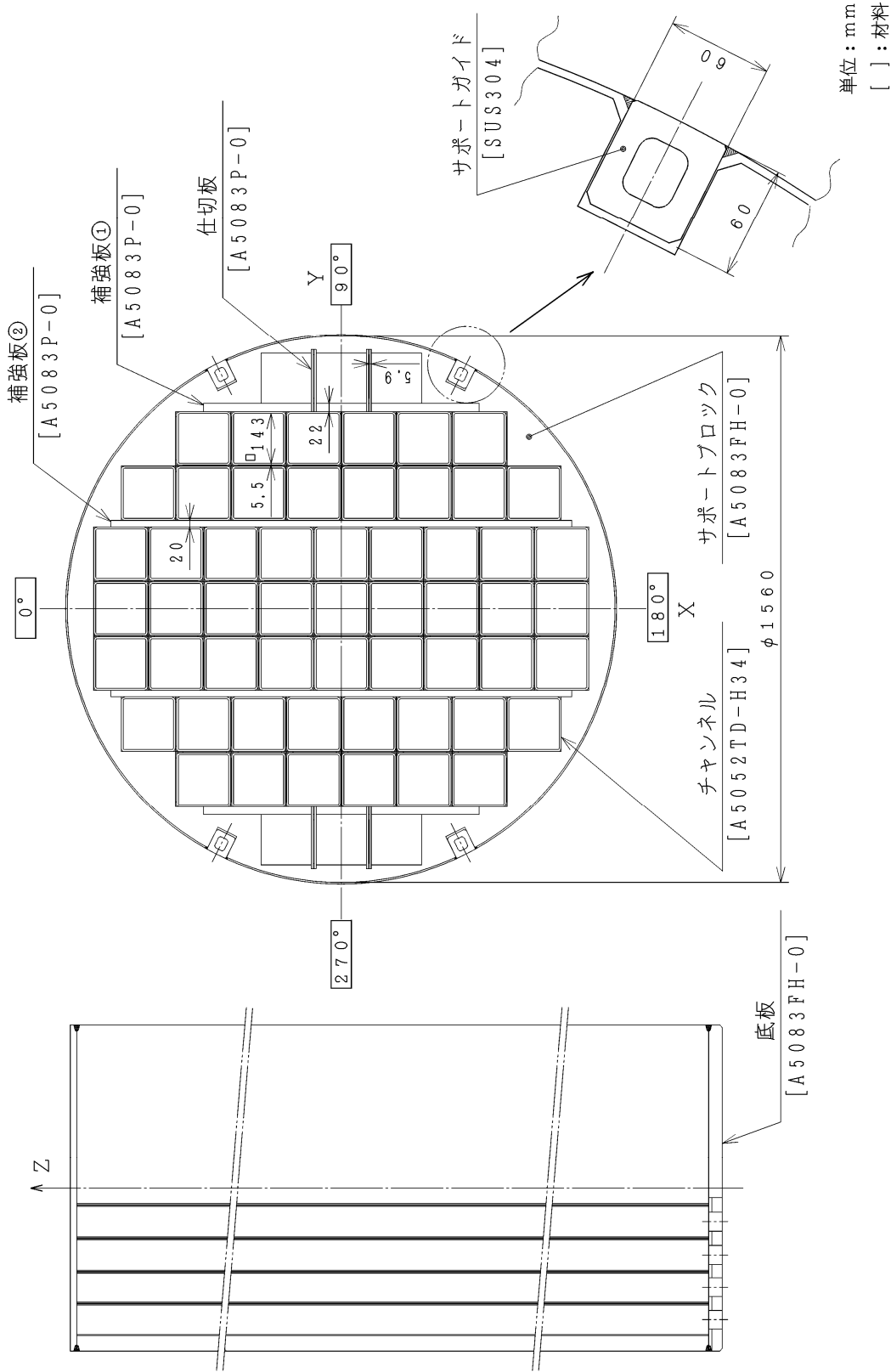


図 1-1 形状・寸法・材料

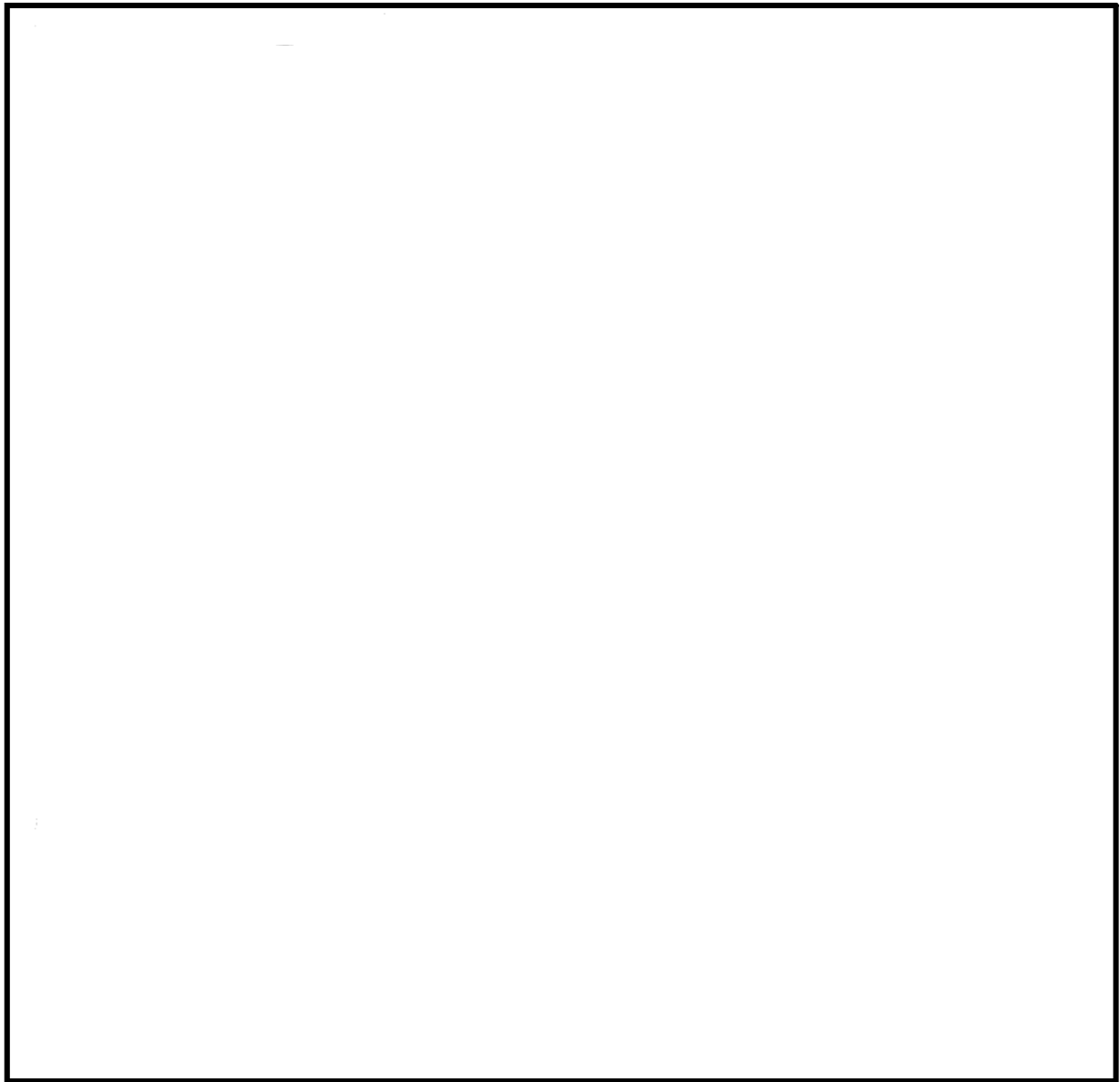


図 2-1 温度分布計算モデル

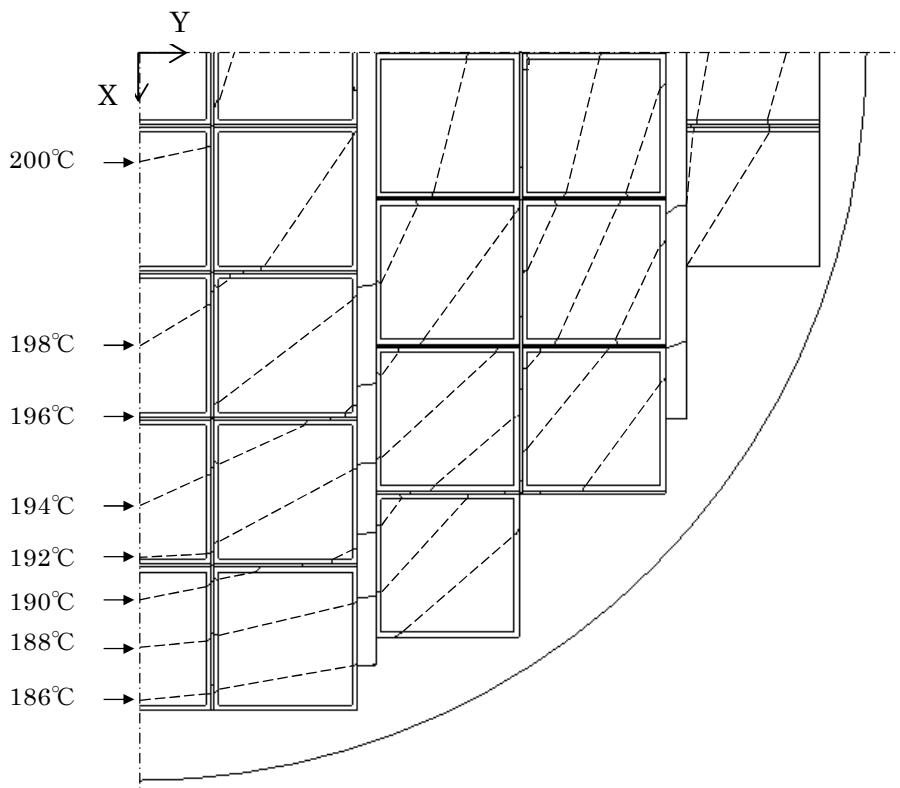


图 2-2 温度分布图（貯蔵時）

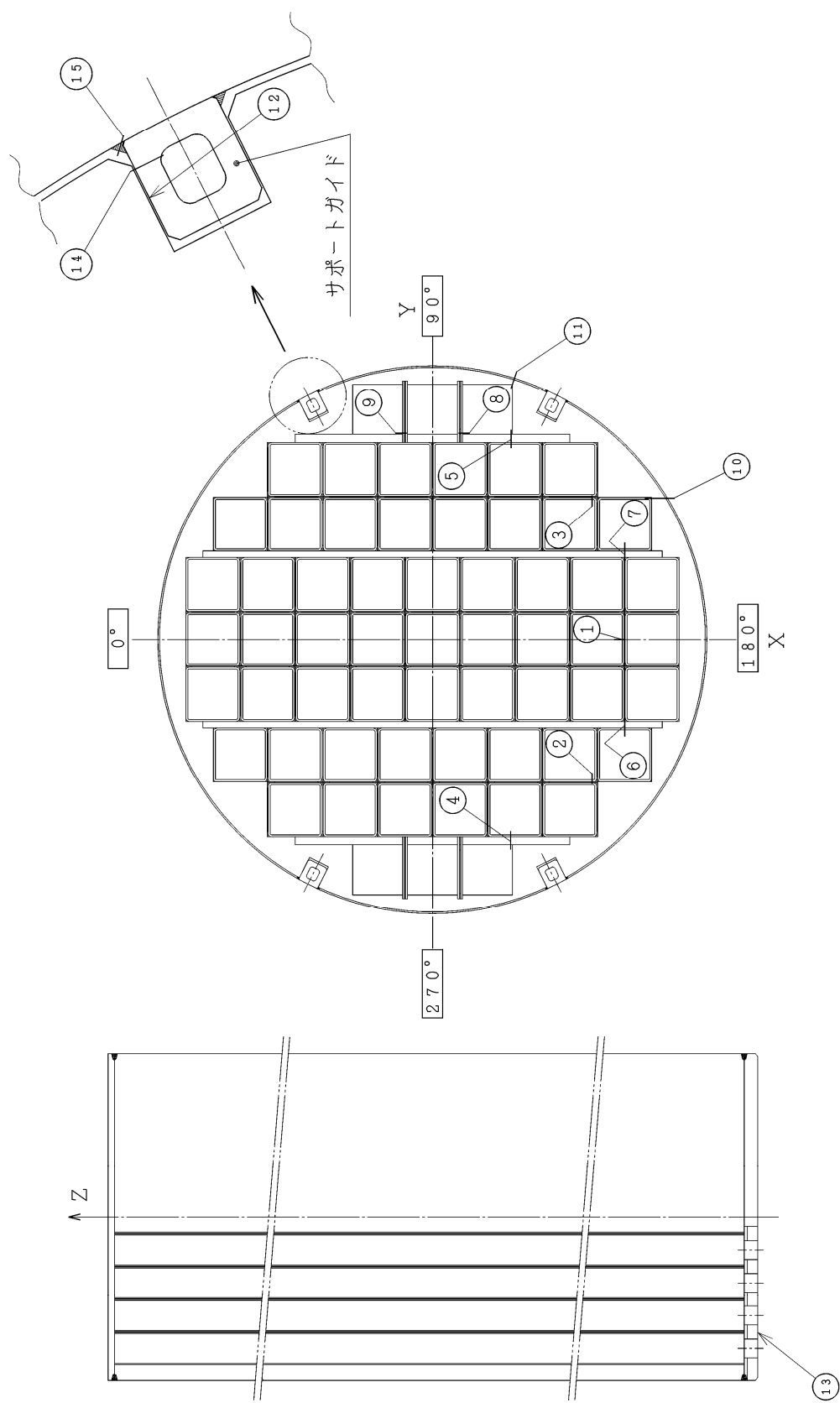
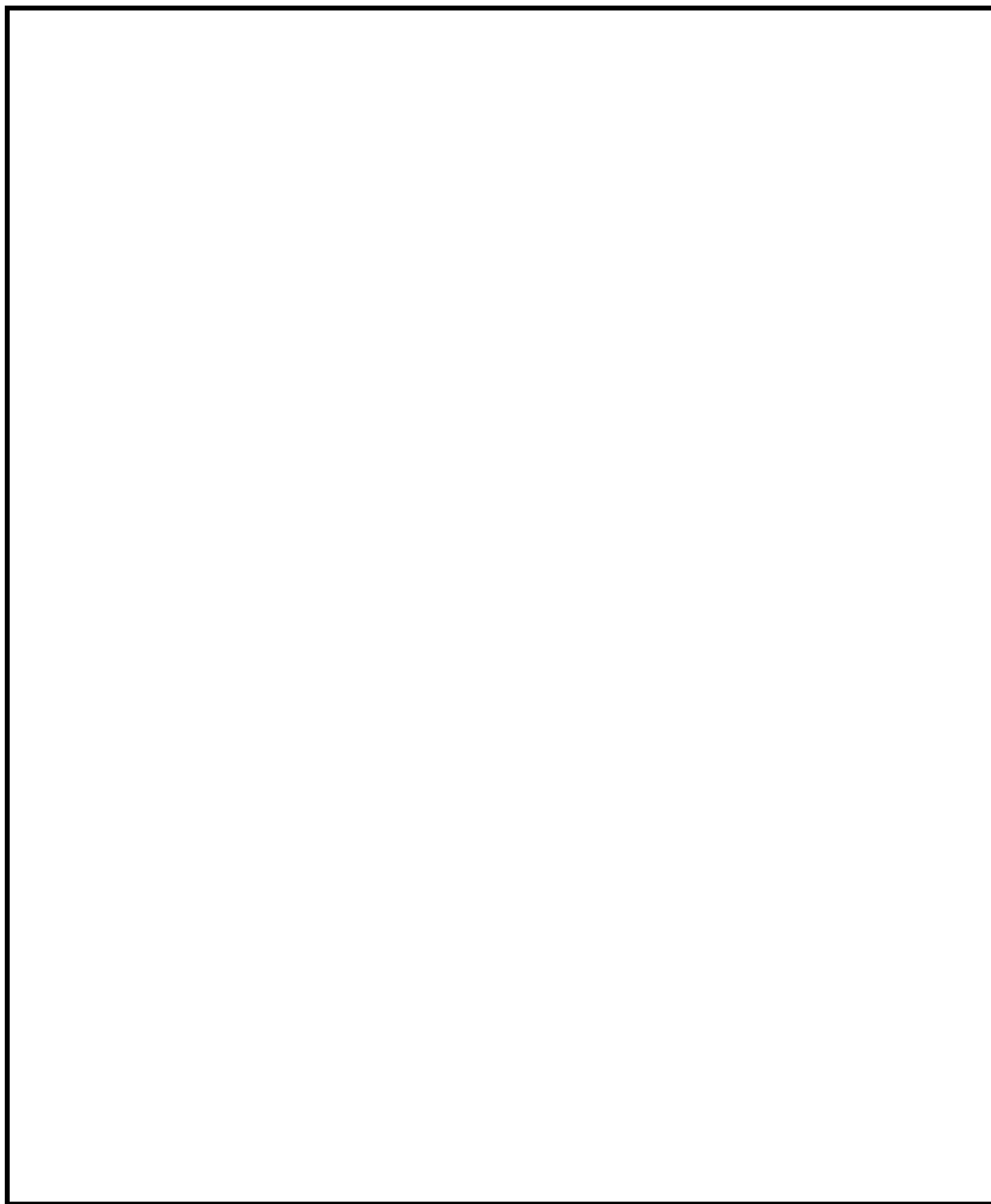
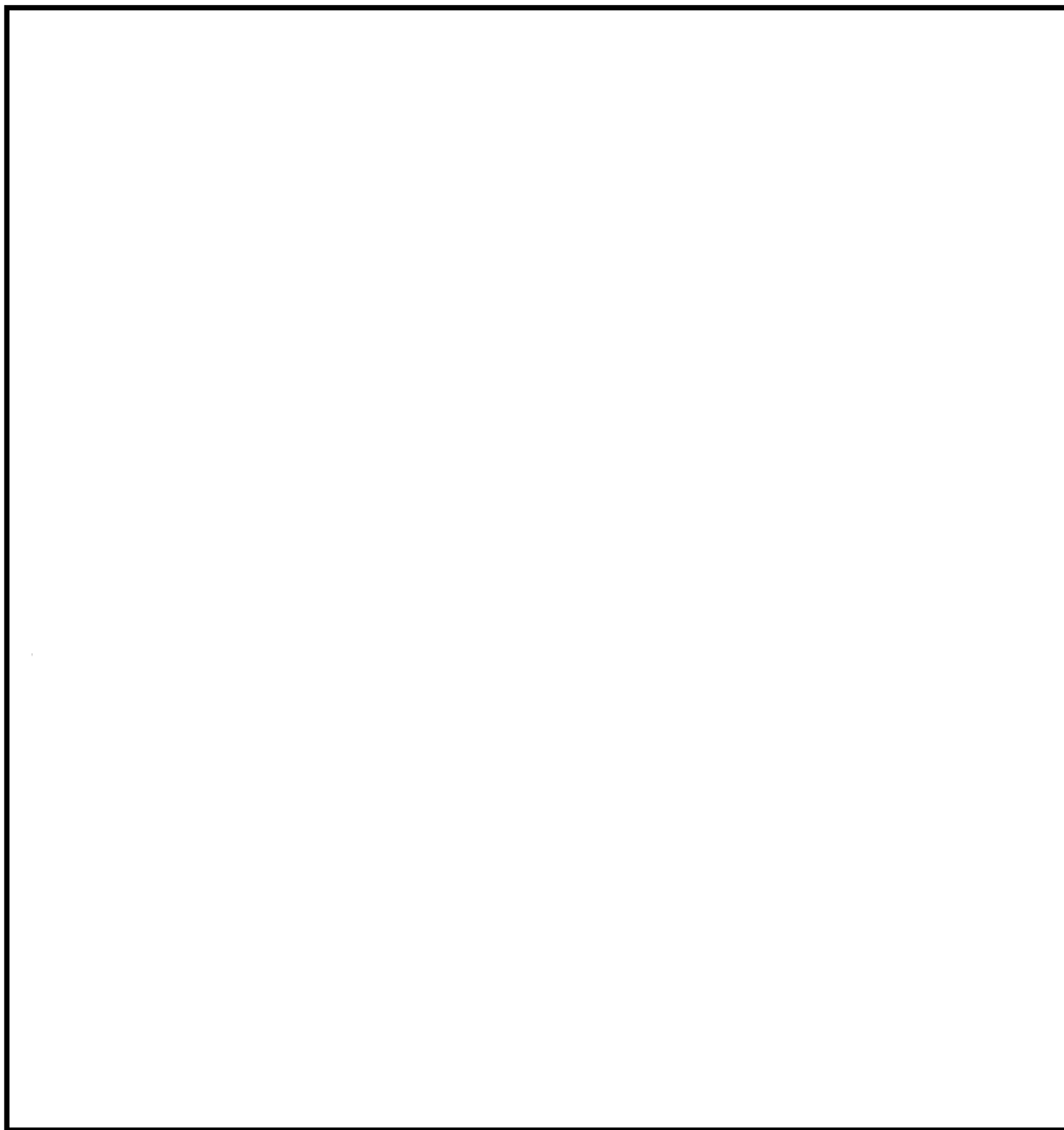


図 3-1 バスケットの応力評価点 (面)



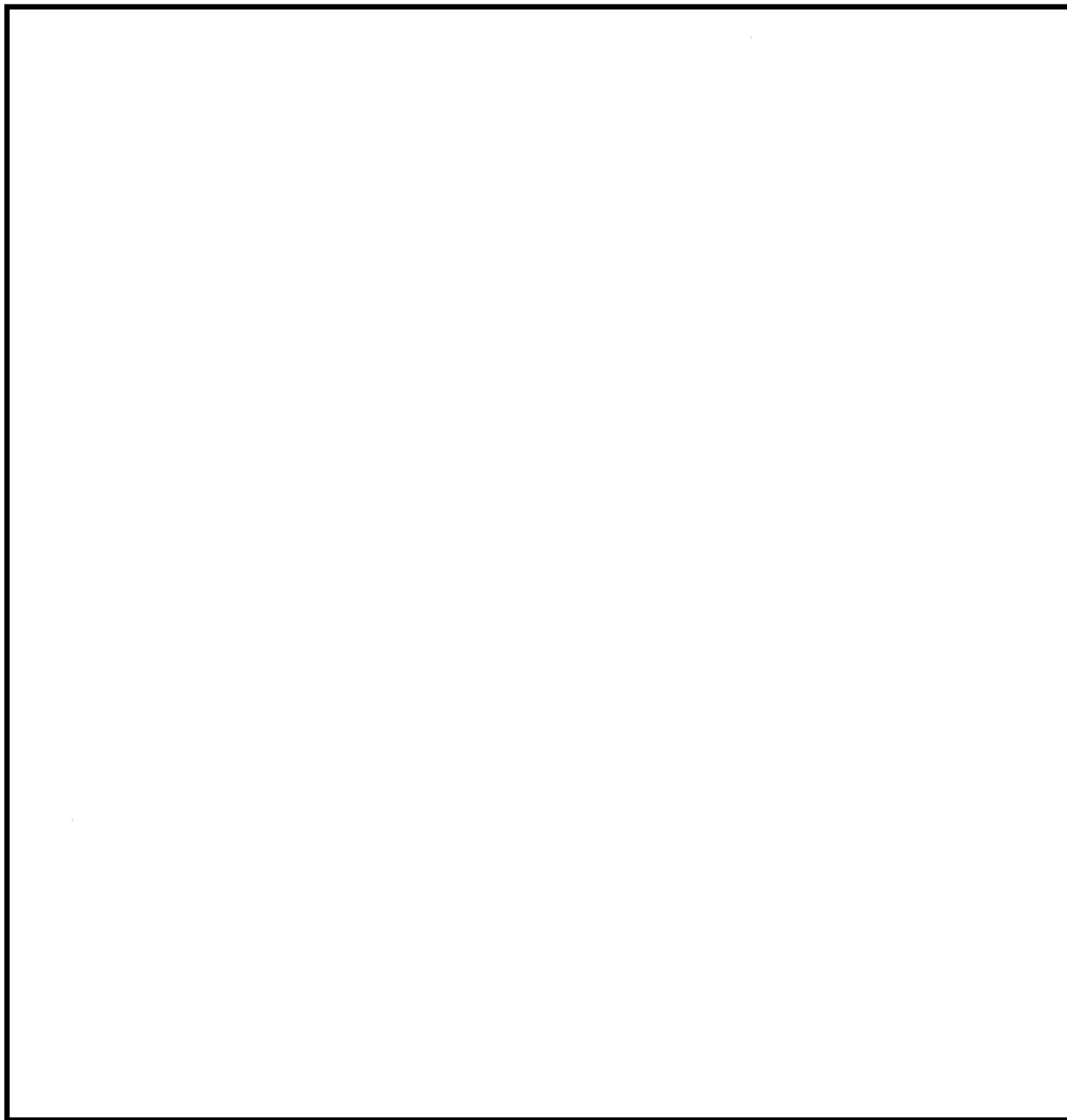
(単位：mm)

図 3-2(1) バスケットの解析モデル
(X方向の加速度が作用する場合)



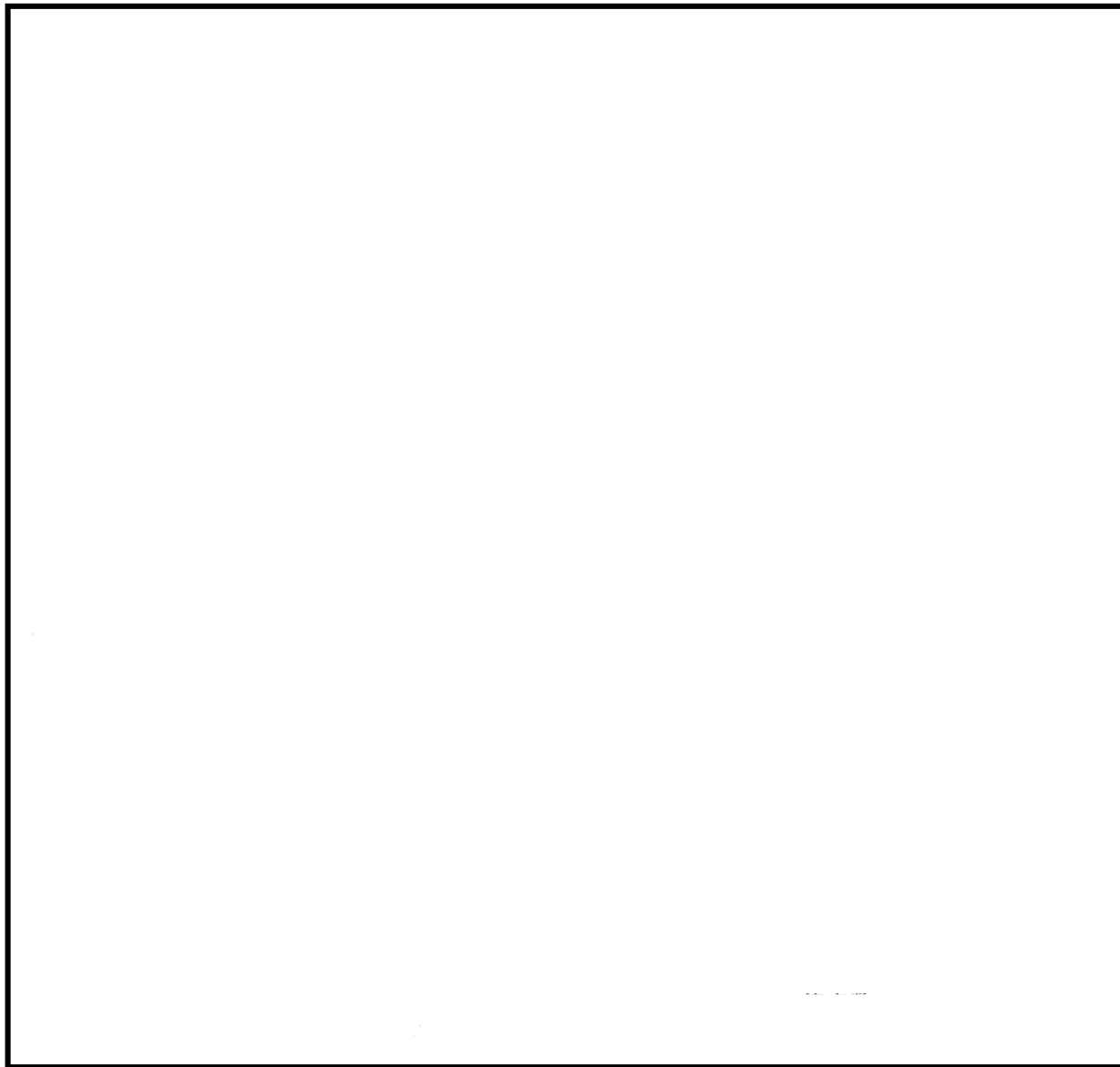
(単位：mm)

図 3-2 (2) バスケットの解析モデル
(Y 方向の加速度が作用する場合)



(単位：mm)

図 3-2(3) バスケットの解析モデル
(熱荷重作用時)



(単位：mm)

図 3-3 サポートガイドの解析モデル

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

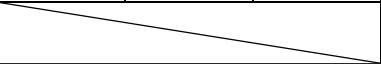
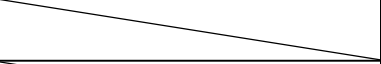
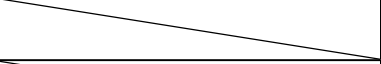
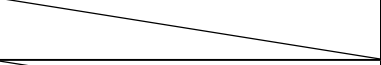
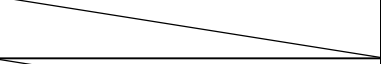
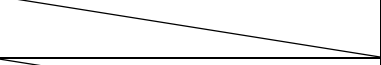
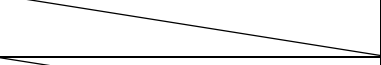
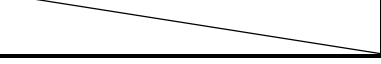
部 位	材 料	設 計 事 象	一次一般膜応力強さ			一次膜＋一次曲げ応力強さ			一次＋二次応力強さ		
			計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点
チャンネル	A5052TD－H34 相当	I＋S _d [★]	1		①	3		①			
		I＋S _s	1		①	3		①			
補強板	A5083P－0	I＋S _d [★]	1		⑤	4		⑥			
		I＋S _s	1		⑤	4		⑥			
仕切板	A5083P－0	I＋S _d [★]	1		⑨	3		⑨			
		I＋S _s	1		⑨	3		⑨			
サポートブロック	A5083FH－0	I＋S _d [★]	3		⑪	6		⑪			
		I＋S _s	3		⑪	6		⑪			
サポートガイド	SUS304	I＋S _d [★]	4	202	⑭	6	303	⑭			
		I＋S _s	4	278	⑭	6	418	⑭			

表 2-1 熱伝達率の計算

熱伝達の形式：空気自然対流による乱流熱伝達

事 象	領域 ¹⁾	部 位	形 状	空気 温度 (℃)	熱伝導率 ²⁾ λ (W/m・K)	プラントル数 ²⁾ P r (－)	レイレー数 ^{3) 4)} R a (－)	熱伝達率 ⁴⁾ h (W/m ² ・K)
貯蔵時	①	貯蔵容器 側面	垂直 円筒	45	27.45×10^{-3}	0.719	1.33×10^{10}	$1.48 \times \Delta T^{1/3}$
運搬時			水平 円筒	38	26.94×10^{-3}	0.718	1.08×10^9	$1.16 \times \Delta T^{1/3}$

注記 1)：図 3-1 参照

2)：参考文献（1）参照

3)：温度差 $\Delta T = 1.0^\circ\text{C}$ に対する値を示す。

4)：レイレー数及び熱伝達率は下記の式を用いて計算する。

$$R a = \frac{G \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot D^3 \cdot P r}{\nu^2}$$

$$h = 0.13 \cdot \sqrt[3]{R a} \cdot \frac{\lambda}{D} \quad (\text{垂直円筒}) \quad 5)$$

$$h = 0.1 \cdot \sqrt[3]{R a} \cdot \frac{\lambda}{D} \quad (\text{水平円筒}) \quad 2)$$

ここで G : 重力加速度 ($= 9.81 \text{ m/s}^2$)

β : 熱膨張係数 ($= 1/318 \text{ mm/mm}^\circ\text{C}$: 貯蔵時)
($= 1/311 \text{ mm/mm}^\circ\text{C}$: 運搬時)

ΔT : 周囲空気と表面の温度差 ($^\circ\text{C}$)

D : 代表長さ (m)

ν : 動粘性係数 ($= 17.66 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$: 貯蔵時)
($= 16.95 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$: 運搬時)

5)：参考文献（5）参照

表 2-2 温度分布計算の評価条件

項 目	評 価 条 件
対象燃料	高燃焼度 8 × 8 燃料 ¹⁾
収納体数 (体)	61
発 熱 量 (kW)	17.1 ²⁾
姿 勢	縦置き／横置き ³⁾
周囲温度 (°C)	45／38 ³⁾

注記 1) : 8 × 8 燃料, 新型 8 × 8 燃料, 新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料
及び高燃焼度 8 × 8 燃料のうち最も厳しい発熱量となる高燃焼度
8 × 8 燃料について行う。

2) : O R I G E N 2 コードにより求めた。

3) : 貯蔵時／運搬時における貯蔵容器姿勢及び周囲温度

表 3-1 S_d*地震力が作用する場合のバスケットの応力計算結果 (1/2)

(単位：MPa)

部位	応力分類	評価点 (面)	応力成分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{yz}	τ_{xz}		
チ ャ ン ネ ル	P _m	①							1	
		②							1	
		③							1	
	P _m +P _b	①							3	
		②							2	
		③							3	
	σ_s	—							—	
	σ_p	—							—	
	σ_b	①							1	
補 強 板 ①	P _m	④							1	
		⑤							1	
	P _m +P _b	④							2	
		⑤							3	
	σ_s								—	
	σ_p								—	
	σ_b								—	
補 強 板 ②	P _m	⑥							1	
		⑦							1	
	P _m +P _b	⑥							4	
		⑦							4	
	σ_s								—	
	σ_p								—	
	σ_b								—	
仕 切 板	P _m	⑧							1	
		⑨							1	
	P _m +P _b	⑧							2	
		⑨							3	
	σ_s								—	
	σ_p								—	
	σ_b	⑨							1	

注記 1) σ_x : 評価断面に垂直な方向の応力
 σ_y : 評価断面に平行な方向の応力
 σ_z : 評価断面に平行な方向の応力
 $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$: 評価断面上のせん断応力

表 3-1 S_d*地震力が作用する場合のバスケットの応力計算結果 (2/2)

(単位：MPa)

部位	応力分類	評価点 (面)	応力成分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{yz}	τ_{xz}		
サ ポ ー ト ブ ロ ッ ク	P_m	⑩							2	
		⑪							3	
	P_m+P_b	⑩							3	
		⑪							6	
	σ_s	—							—	
	σ_p	⑫							1	
	σ_b	—							—	
サ ポ ー ト ガ イ ド	P_m	⑭							4	202
	P_m+P_b	⑭							6	303
	σ_s	—							—	—
	σ_p	—							—	—
	σ_b	—							—	—
サ ポ ー ト ガ イ ド 溶 接 部	P_m	—							—	—
	P_m+P_b	—							—	—
	σ_s	⑮							2	48
	σ_p	—							—	—
	σ_b	—							—	—
底 板	P_m	—							—	—
	P_m+P_b	—							—	—
	σ_s	—							—	—
	σ_p	⑬							1	150
	σ_b	—							—	—

注記 1) σ_x : 評価断面に垂直な方向の応力
 σ_y : 評価断面に平行な方向の応力
 σ_z : 評価断面に平行な方向の応力
 τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{zx} : 評価断面上のせん断応力

表 3-2 S_s地震力が作用する場合のバスケットの応力計算結果 (1/2)

(単位：MPa)

部位	応力分類	評価点 (面)	応力成分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{yz}	τ_{xz}		
チ ャ ン ネ ル	P_m	①							1	
		②							1	
		③							1	
	P_m+P_b	①							3	
		②							2	
		③							3	
	σ_s	—							—	
	σ_p	—							—	
	σ_b	①							1	
補 強 板 ①	P_m	④							1	
		⑤							1	
	P_m+P_b	④							2	
		⑤							3	
	σ_s	—							—	
	σ_p	—							—	
	σ_b	—							—	
補 強 板 ②	P_m	⑥							1	
		⑦							1	
	P_m+P_b	⑥							4	
		⑦							4	
	σ_s	—							—	
	σ_p	—							—	
	σ_b	—							—	
仕 切 板	P_m	⑧							1	
		⑨							1	
	P_m+P_b	⑧							2	
		⑨							3	
	σ_s	—							—	
	σ_p	—							—	
	σ_b	⑨							1	

注記 1) σ_x : 評価断面に垂直な方向の応力
 σ_y : 評価断面に平行な方向の応力
 σ_z : 評価断面に平行な方向の応力
 τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{zx} : 評価断面上のせん断応力

表 3-2 S_s地震力が作用する場合のバスケットの応力計算結果 (2/2)

(単位：MPa)

部位	応力分類	評価点 (面)	応力成分 ¹⁾						計算値	許容 応力
			σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{yz}	τ_{xz}		
サ ポ ー ト ブ ロ ッ ク	P _m	⑩							2	
		⑪							3	
	P _m +P _b	⑩							3	
		⑪							6	
	σ_s	—							—	
	σ_p	⑫							1	
	σ_b	—							—	
サ ポ ー ト ガ イ ド	P _m	⑭							4	278
	P _m +P _b	⑭							6	418
	σ_s	—							—	—
	σ_p	—							—	—
	σ_b	—							—	—
サ ポ ー ト ガ イ ド 溶 接 部	P _m	—							—	—
	P _m +P _b	—							—	—
	σ_s	⑮							2	64
	σ_p	—							—	—
	σ_b	—							—	—
底 板	P _m	—							—	—
	P _m +P _b	—							—	—
	σ_s	—							—	—
	σ_p	⑬							1	200
	σ_b	—							—	—

注記 1) σ_x : 評価断面に垂直な方向の応力
 σ_y : 評価断面に平行な方向の応力
 σ_z : 評価断面に平行な方向の応力
 τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{zx} : 評価断面上のせん断応力

表 4-1 バスケットの応力評価（貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合）

（単位：MPa）

部位	応力の種類	評価点（面）	計算値	許容応力
チャンネル	P_m	①	1	
	P_m+P_b	①		
	σ_s	—		
	σ_p	—		
	σ_b	①		
補強板①	P_m	⑤		
	P_m+P_b	⑤		
	σ_s	—		
	σ_p	—		
	σ_b	—		
補強板②	P_m	⑥		
	P_m+P_b	⑥		
	σ_s	—		
	σ_p	—		
	σ_b	—		
仕切板	P_m	⑨		
	P_m+P_b	⑨		
	σ_s	—		
	σ_p	—		
	σ_b	⑨		
サポートブロック	P_m	⑪		
	P_m+P_b	⑪		
	σ_s	—		
	σ_p	⑫	1	
	σ_b	—		
サポートガイド	P_m	⑭	4	202
	P_m+P_b	⑭	6	303
	σ_s	—	—	—
	σ_p	—	—	—
	σ_b	—	—	—
サポートガイド 溶接部	P_m	—	—	—
	P_m+P_b	—	—	—
	σ_s	⑮	2	48
	σ_p	—	—	—
	σ_b	—	—	—
底板	P_m	—	—	—
	P_m+P_b	—	—	—
	σ_s	—	—	—
	σ_p	⑬	1	150
	σ_b	—	—	—

表 4-2 バスケットの応力評価（貯蔵時：S_s地震力が作用する場合）

(単位：MPa)

部位	応力の種類	評価点（面）	計算値	許容応力
チャンネル	P_m	①	1	
	P_m+P_b	①	3	
	σ_s	—	—	
	σ_p	—	—	
	σ_b	①		
補強板①	P_m	⑤	1	
	P_m+P_b	⑤	3	
	σ_s	—	—	
	σ_p	—	—	
	σ_b	—	—	
補強板②	P_m	⑥	1	
	P_m+P_b	⑥	4	
	σ_s	—	—	
	σ_p	—	—	
	σ_b	—	—	
仕切板	P_m	⑨	1	
	P_m+P_b	⑨	3	
	σ_s	—	—	
	σ_p	—	—	
	σ_b	⑨		
サポートブロック	P_m	⑪	3	
	P_m+P_b	⑪	6	
	σ_s	—	—	
	σ_p	⑫	1	
	σ_b	—	—	
サポートガイド	P_m	⑭	4	278
	P_m+P_b	⑭	6	418
	σ_s	—	—	—
	σ_p	—	—	—
	σ_b	—	—	—
サポートガイド 溶接部	P_m	—	—	—
	P_m+P_b	—	—	—
	σ_s	⑮	2	64
	σ_p	—	—	—
	σ_b	—	—	—
底 板	P_m	—	—	—
	P_m+P_b	—	—	—
	σ_s	—	—	—
	σ_p	⑬	1	200
	σ_b	—	—	—

補足資料

バスケットの応力解析の方針

目次

1. 概要	1
2. 適用基準	2
3. 記号	3
3.1 記号の説明	3
4. 設計条件	5
4.1 基本仕様	5
4.2 温度分布計算条件	5
4.3 設計事象	5
4.4 荷重の種類とその組合せ	5
5. 計算条件	6
5.1 解析対象とする事象	6
5.2 解析箇所	6
5.3 形状及び寸法	6
5.4 物性値	6
5.5 許容応力	7
6. 応力解析の手順	8
6.1 解析手順の概要	8
6.2 荷重条件の選定	8
6.3 温度分布計算	8
6.3.1 温度分布計算の方法	8
6.4 応力計算と評価	9
6.4.1 応力計算の方法	9
6.4.2 応力評価	9
6.4.3 数値の丸め方	10
7. 参考文献	11

図 表 目 次

図 5-1	バスケットの応力解析箇所……………	12
図 6-1	バスケットの応力解析フロー図……………	13
表 4-1	使用済燃料の条件……………	14
表 4-2	貯蔵容器の設計事象……………	15
表 4-3	バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ……………	15
表 5-1	代表事象……………	16
表 5-2	温度分布計算に使用する材料の物性値……………	17
表 5-3	温度分布計算に使用するふく射率……………	18
表 5-4	熱応力計算に使用する材料の物性値……………	18
表 6-1	バスケット用材料の許容応力値……………	19
表 6-2	数値の丸め方一覧表……………	20

1. 概 要

本書は、使用済燃料乾式貯蔵容器のバスケットに関する応力解析の方針を述べるものである。

注：図表は、一括して巻末に示す。

2. 適用基準

使用済燃料乾式貯蔵容器において、バスケットは、貯蔵時において、使用済燃料貯蔵ラックと同様に「発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む））JSME S NC1-2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）」（以下、「設計・建設規格」という。）の機器等の区分に当てはまらなれないと考えられるが、使用済燃料集合体を直接支持する部材であるため、炉心支持構造物に準じて設計する。

ここで、設計事象とその許容応力状態は下記のとおりとする。

- ・設計事象 $I + S_d^*$ は、地震力として基準地震動 S_s を考慮し、許容応力状態 $III_A S$ で評価する。
- ・設計事象 $I + S_s$ は、地震力として基準地震動 S_s を考慮し、許容応力状態 IV_{AS} で評価する。

注：本書及び応力計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格〇〇〇ー〇〇〇〇」として示す。

3. 記 号

3.1 記号の説明

本書及び応力計算書において、応力評価に関する以下の記号を使用する。ただし、本文中に特記ある場合は、この限りでない。

なお、応力計算書の字体及び大きさについては、本書と異なる場合がある。

計算書の記号	記 号 の 説 明	単 位
A	断面積または接触面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
F_X	単位長さあたりの X 方向荷重	N/mm
F_Y	単位長さあたりの Y 方向荷重	N/mm
f_s	許容せん断応力	MPa
f_c	許容圧縮応力	MPa
f_b	許容曲げ応力	MPa
G	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
G_1	Z 方向加速度	m/s^2
G_2	X 方向加速度	m/s^2
G_3	Y 方向加速度	m/s^2
L	バスケット全長	mm
L_S	サポートガイドの長さ	mm
P_b	一次曲げ応力	MPa
P_m	一次一般膜応力	MPa
Q	二次応力	MPa
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方	—
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
S_m	設計応力強さ	MPa
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
W	質量	kg
Z	断面係数	mm^3
α_H	水平方向設計加速度	m/s^2
α_V	鉛直方向設計加速度	m/s^2
ρ	密度	kg/mm^3
σ_1	主応力	MPa
σ_2	主応力	MPa
σ_3	主応力	MPa

計算書の記号	記 号 の 説 明	単 位
σ_b	座屈応力	MPa
σ_p	平均支圧応力	MPa
σ_s	平均せん断応力	MPa
σ_x	評価断面に垂直な方向の応力(x 方向)	MPa
σ_y	評価断面に平行な方向の応力(y 方向)	MPa
σ_z	評価断面に平行な方向の応力(z 方向)	MPa
τ_{xy}	せん断応力	MPa
τ_{yz}	せん断応力	MPa
τ_{zx}	せん断応力	MPa
$I + S_d^*$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用した場合の許容応力区分	—
$I + S_s$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用した場合の許容応力区分	—

4. 設計条件

バスケット及びサポートガイドは、以下の設計条件に耐えるように設計する。

4.1 基本仕様

最高使用温度（バスケット） ： 210 ℃

最高使用温度（サポートガイド） ： 160 ℃

4.2 温度分布計算条件

温度分布計算条件として、使用済燃料乾式貯蔵容器の収納物(使用済燃料)、姿勢及び周囲温度の条件を表 4-1 に示す。

4.3 設計事象

設計上考慮する事象を表 4-2 に示す。

4.4 荷重の種類とその組合せ

バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 4-3 に示す。応力解析に用いる荷重は応力計算書に記載する。

5. 計算条件

5.1 解析対象とする事象

表 5-1 に示すように、設計事象は $I + S_d^*$ 及び $I + S_s$ とし、解析を実施する。

5.2 解析箇所

バスケットの応力解析を行う箇所は次のとおりである(図 5-1 参照)。

- (1) チャンネル
- (2) サポートブロック
- (3) 補強板①
- (4) 補強板②
- (5) 仕切板
- (6) 底板
- (7) サポートガイド
- (8) サポートガイド溶接部

5.3 形状及び寸法

応力解析を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。

5.4 物性値

温度分布計算及び応力計算に使用する材料の物性値は下記のとおりである。

- (1) 温度分布計算に使用する物性値を表 5-2 及び表 5-3 に示す。
なお、熱伝導率はその温度依存性を考慮する。
- (2) 熱応力計算に使用する物性値を表 5-4 に示す。
なお、熱応力計算に使用する物性値はその温度依存性を考慮する。
- (3) 機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、最高使用温度に対する値を用いる。
なお、常温は 20℃とする。

5.5 許容応力

材料の応力強さの限界及び許容応力は、次に各号に掲げるとおりとする。

(1) バスケットにあつては、次によること。

- a. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用して生じる応力の応力解析による一次応力強さは、設計・建設規格 CSS-3111(3)の規定を満足すること。
- b. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる応力の応力解析による一次応力強さは、設計・建設規格 CSS-3111(4)の規定を満足すること。
- c. 純せん断荷重を受ける部分にあつては、a.及びb.の規定にかかわらず、平均せん断応力は、次の規定を満足すること。
 - (a) 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用して生じる場合においては、設計・建設規格 CSS-3114(2)に定める値を超えないこと。
 - (b) 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる場合においては、設計・建設規格 CSS-3114(3)に定める値を超えないこと。
- d. 支圧荷重を受ける部分にあつては、平均支圧応力は、次の規定を満足すること。
 - (a) 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用して生じる場合においては、設計・建設規格 CSS-3115(2)に定める値を超えないこと。
 - (b) 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる場合においては、設計・建設規格 CSS-3115(3)に定める値を超えないこと。
- e. 圧縮荷重を受ける部分にあつては、座屈応力は、次の規定を満足すること。
 - (a) 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力又は S_s 地震力が作用して生じる場合においては、設計・建設規格 SSB-3121.1(2)、(3)又は(4)に定める値の1.5倍の値を超えないこと。
- f. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用してバスケットに塑性変形が生じる場合には、臨界防止評価のため変形量の評価を行う。
- g. 溶接部にあつては、設計・建設規格 CSS-3150 に規定される継手効率を考慮すること。

(2) (1)において、設計・建設規格の「供用状態A」及び「供用状態B」は、それぞれ「設計事象Ⅰ」及び「設計事象Ⅱ」と読み替える。

許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

6. 応力解析の手順

応力解析を行う場合の手順について一般的な事項を述べる。

6.1 解析手順の概要

バスケット及びサポートガイドの応力解析フローを図 6-1 に示す。

バスケット及びサポートガイドの応力解析は，想定される機械的荷重及び熱荷重を基にバスケット及びサポートガイドの実形状をモデル化し，汎用解析コードである ABAQUS 及び応力評価式を用いて行う。

ABAQUS とは，有限要素法に基づく，伝熱解析，応力解析等の汎用解析コードである。温度分布計算及び応力計算は，解析しようとする箇所を形状，材料等の不連続部を小さなメッシュに分割し，各メッシュについて計算を実施することによって行う。

6.2 荷重条件の選定

荷重条件は 4. 項に示されているが，各部の計算においては，その部分についての重要な荷重条件を選定して計算を行う。それぞれの部分について考慮した荷重は応力計算書に示す。

6.3 温度分布計算

6.3.1 温度分布計算の方法

(1) 計算を行う設計事象は，貯蔵容器姿勢が縦置き時の貯蔵時及び横置き時の運搬時とする。

(2) 計算モデルは次の方針に従う。

a. チャンネル，中性子吸収板，補強板，仕切板，サポートブロック，内胴，ガンマ線遮へい体，中間胴，中性子遮へい体，伝熱フィン及び外筒は形状の対称性を考慮し，二次元 1/4 断面モデルとする。

なお，使用済燃料はチャンネル内面に伝わる熱流束の対称性を考慮し集合体毎に均質化してこの領域の発熱量をチャンネル内面に与える。

b. 形状及び材料の不連続性を考慮して，温度計算のためのメッシュ分割を行う。

c. バスケット各部の温度差が最も大きくなる貯蔵容器中央部の半径方向断面についてモデル化し，軸方向の熱の流れはないと仮定する。

d. 外表面からの放熱は自然対流及びふく射とする。

e. モデル図及び境界条件を応力計算書に示す。

なお，境界には計算で求めた熱伝達率を考慮する。

(3) 計算機コードを用いて，温度分布を計算する。

(4) 温度分布の計算結果を応力計算書に示す。

6.4 応力計算と評価

6.4.1 応力計算の方法

(1) 応力計算は代表事象毎に行う。荷重条件として与えられるものは次の2つである。

a. 機械的荷重

自重（燃料集合体を含む貯蔵容器の貯蔵時の設計重量を用いる。）、衝撃荷重及びその他の負荷荷重をいう。

b. 熱荷重

バスケットに生じる温度変化、温度勾配による荷重であって、温度分布計算の結果から得られるものをいう。

(2) 計算モデルは次の方針に従う。

a. モデル化にあたっては、バスケットの形状の対称性及び荷重の対称性を考慮し、1/2形状の2次元平面固体要素及びはり要素による解析モデルとする。ただし、熱荷重に対しては、対称性を考慮し、1/4形状の解析モデルとする。

b. 中性子吸収板は非構造強度部材としてモデルより除外する。

(3) 構造の不連続性を考慮して、応力評価点(面)をとる。評価点(面)は、計算書に示す。

応力評価は、この応力評価点(面)について行う。

6.4.2 応力評価

応力の計算結果は、設計・建設規格 GNR-2130 による定義に従い、応力の種類毎に分類し、以下の評価を応力計算書に示す。

なお、応力の記号とその方向は次のとおりである。

σ_x : 評価断面に垂直な方向の応力(x方向)

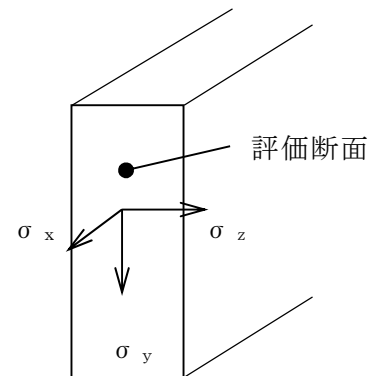
σ_y : 評価断面に平行な方向の応力(y方向)

σ_z : 評価断面に平行な方向の応力(z方向)

τ_{xy} : せん断応力

τ_{yz} : せん断応力

τ_{zx} : せん断応力



バスケット用材料の許容応力値を表 6-1 に示す。

(1) バスケット及びサポートガイドの応力評価

バスケット及びサポートガイドの応力評価は、設計・建設規格 CSS-3110 及び SSB-3120 に従い以下の項目を実施する。

a. 一次応力強さ

b. 特別な応力の検討

(a) 純せん断応力の評価

(b) 支圧応力の評価

(c) 座屈応力の評価

6.4.3 数値の丸め方

数値は、原則として四捨五入とする。また、評価に用いる許容応力及び算出応力等については、安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については丸めないことを原則とし、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を表 6-2 に示す。

7. 参考文献

文献番号は、本書及び応力計算書において共通である。

(1) 伝熱工学資料 第4版, 日本機械学会 (1986)

(2) 伝熱工学資料 第3版, 日本機械学会 (1975)

(3) 機械工学便覧 新版, 日本機械学会 (1987)

(4)

(5) McAdams, W.H., "Heat Transmission", Third Edition McGraw Hill.

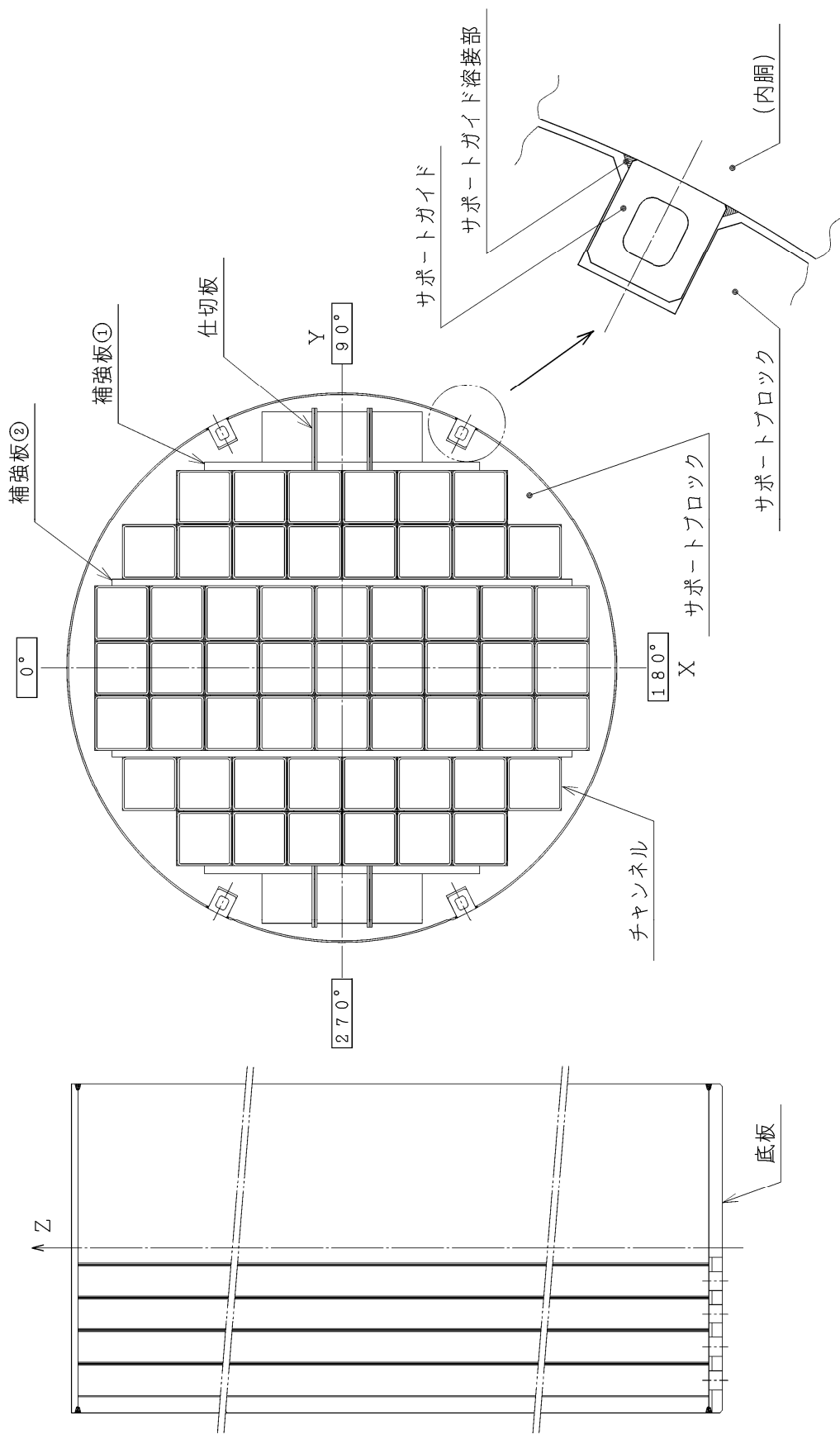


図 5-1 バスケットの応力解析箇所

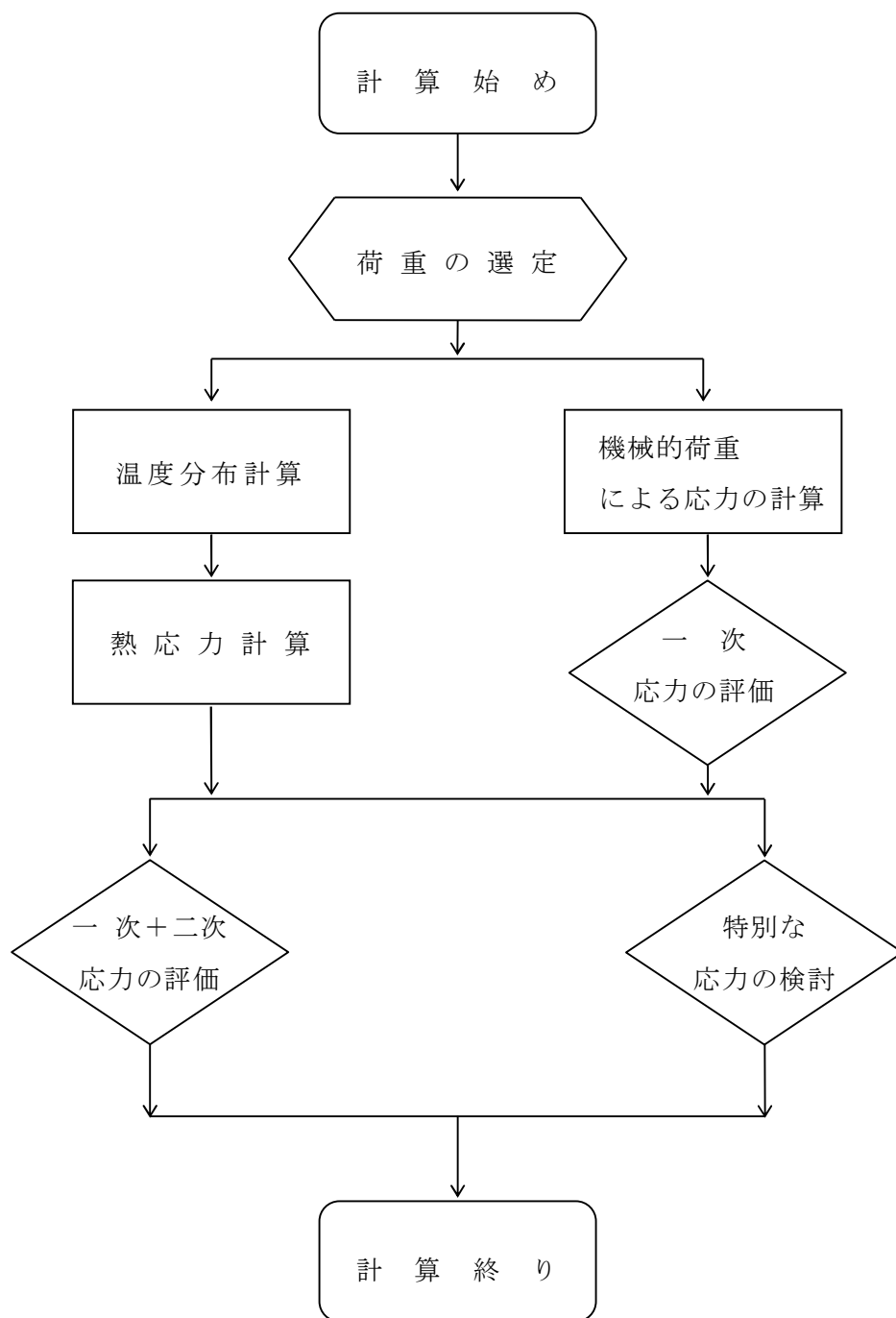


図 6-1 バスケットの応力解析フロー図

表 4-1 使用済燃料の条件

項 目	燃料条件
対象燃料	高燃焼度 8 × 8 燃料 ¹⁾
貯蔵容器 1 基当たりの収納体数 (体)	61
貯蔵容器 1 基当たりの発熱量 (kW)	17.1 ²⁾
姿勢	縦置き／横置き ³⁾
周囲温度 (°C)	45／38 ³⁾

注記 1) : 8 × 8 燃料, 新型 8 × 8 燃料, 新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8 × 8 燃料のうち最も厳しい発熱量となる高燃焼度 8 × 8 燃料について行う。

2) : O R I G E N 2 コードにより求めた。

3) : 貯蔵時／運搬時における貯蔵容器姿勢及び周囲温度

表 4-2 貯蔵容器の設計事象

設計事象	定 義	解 説	事象の例	選定事象
I	貯蔵容器の通常の取扱い時及び貯蔵時の状態をいう。	貯蔵状態及び計画的な取扱い状態。	・貯蔵 ・貯蔵容器の吊上げ，吊下げ，移動 ・事業所内運搬	・貯蔵

表 4-3 バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象	荷 重 荷 重 時	自重 による荷重	運搬時 荷重	吊上げ 荷重	衝撃荷重	熱荷重	備 考
					異常着床・ 支持構造物への衝突		
I	貯 蔵 時	○				○	(1)

- (1) S_d *地震力及び S_s 地震力は，設計事象 I の貯蔵時における荷重と組み合わせるものとする。

表 5-1 代 表 事 象

設計事象	代表事象 ¹⁾	包絡される事象	荷重条件	備 考
I + S _d *	貯 蔵 時 (S _d *地震力が 作用する場合)	_____	自 重:1G(=9.81m/s ²) 地震力 水平方向: C _H G=1.17G(=11.48m/s ²) 鉛直方向: C _V G=0.65G(= 6.38m/s ²) 熱荷重	_____
I + S _s	貯 蔵 時 (S _s 地震力が 作用する場合)	_____	自 重:1G(=9.81m/s ²) 地震力 水平方向: C _H G=1.17G(=11.48m/s ²) 鉛直方向: C _V G=0.65G(= 6.38m/s ²) 熱荷重	_____

注記 1) : 本事象について応力解析を行う。

表 5-2 温度分布計算に使用する材料の物性値

構 成 部 材	材 料	温 度 (°C)	熱伝導率 ¹⁾ (W/m・K)
内 洞 中 間 洞 外 筒	ステンレス鋼 (SUS304 又は SUSF304)	27	16.0
		127	16.5
		327	19.0
ガンマ線遮へい体	鉛	27	35.2
中性子遮へい体	レジン	—	
伝熱フィン	銅 (C1020)	27	398
		327	383
チャンネル	アルミニウム合金 (A5052TD-H34 相当)	20	
		50	
		100	
		150	
		200	
		250	
補強板 仕切板 サポートブロック 底板	アルミニウム合金 (A5083FH-0 又は A5083P-0)	20	
		50	
		100	
		150	
		200	
		250	
中性子吸収板	ボロン添加アルミ ニウム合金及び アルミニウム合金	20	
		100	
		200	
内部気体	ヘリウム	27	0.1527
		127	0.1882
		227	0.2212
		327	0.2523
周囲気体	空気	27	0.02614
		127	0.03305
		227	0.03951
		327	0.0456

注記 1) : 参考文献 (1) 参照。ただし, レジンは参考文献 (4) 参照。

表 5-3 温度分布計算に使用するふく射率

構成部材	材 料	ふ く 射 率 ¹⁾
外 筒 内 胴 中 間 胴	ステンレス鋼 (SUS304 又は SUSF304)	0.15
ガンマ線遮へい体	鉛	0.28
チャンネル, 補強板, 仕切板, サポートブ ロック, 底板	アルミニウム合金 (A5052TD-H34, A5083FH-0 又は A5083P-0)	0.04

注記 1) : 参考文献 (2) 参照。

表 5-4 熱応力計算に使用する材料の物性値

構成部材	材 料	温 度 (℃)	縦弾性係数 (MPa)	熱膨張係数 ($\times 10^{-6}$ mm/mm℃)	ポアソン比 (-)
チャンネル	アルミニウ ム合金 (A5052TD -H34)	20 50 100 150 200 250			
サポートブロック 補 強 板 仕 切 板 底 板	アルミニウ ム合金 (A5083FH-0 又は A5083P-0)	20 50 100 150 200 250			
サポートガイド	ステンレス 鋼 (SUS304)	20	195000	15.21	0.3
		50	193000	15.49	
		75	191000	15.68	
		100	190000	15.87	
		125	188000	16.05	
		150	186000	16.21	
		175	184000	16.37	
		200	183000	16.52	

表 6-1 バスケット用材料の許容応力値

許容応力 区 分	応 力 の 種 類	許容応力値 (MPa)				
		アルミニウム合金 ²⁾		オーステナイト系ステンレス鋼		
		A5052TD -H34	A5083FH-0 ²⁾ 及び A5083P-0	許容値 基 準	SUS304 ²⁾	許容値 基 準
設計事象 I + S _d *	一次一般膜応力強さ P_m			1.5 S_m	202	1.5 S_m
	一次膜＋一次曲げ応力強さ $P_m + P_b$			2.25 S_m	303	2.25 S_m
	純せん断応力 σ_s			0.9 S_m	121	0.9 S_m
	支圧応力 $\sigma_p^{1)}$			1.5 S_y (2.25 S_y)	228 (342)	1.5 S_y (2.25 S_y)
	座屈応力 σ_b			1.5 f_b , 1.5 f_s 又は 1.5 f_c	117	1.5 f_b , 1.5 f_s 又は 1.5 f_c
設計事象 I + S _s	一次一般膜応力強さ P_m			2/3 S_u	278	Min{2.4 S_m , 2/3 S_u }
	一次膜＋一次曲げ応力強さ $P_m + P_b$			S_u	418	Min{3.6 S_m , S_u }
	純せん断応力 σ_s			1.2 S_m	162	1.2 S_m
	支圧応力 $\sigma_p^{1)}$			2 S_y (3 S_y)	304 (456)	2 S_y (3 S_y)
	座屈応力 σ_b			1.5 f_b , 1.5 f_s 又は 1.5 f_c	117	1.5 f_b , 1.5 f_s 又は 1.5 f_c

注記 1) : ()内は支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

2) : サポートブロック内の周溶接は完全溶込み溶接とし、設計・建設規格 CSS-3150 に定められる検査の種類を A とするため、溶接効率は 1.0 である。また、サポートガイドと内胴との溶接は片側すみ肉溶接とし、設計・建設規格 CSS-3150 に定められる検査の種類を E とするため、溶接効率は 0.4 である。

表 6-2 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単 位	処 理 桁	処 理 法	表示最小桁
最高使用温度	℃	—	—	設 計 値
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
許容応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切 捨 て	整 数 値 位
計算応力値 ¹⁾	MPa	小数点以下第 1 位	切 上 げ	整 数 値 位
長 さ	mm	—	—	設 計 値
設 計 震 度	—	小数点以下第 3 位	切 上 げ	小数点以下第 2 位
面 積	mm ²	有効数字 4 桁目	安全側に処理する	有効数字 3 桁
力	N	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
角 度	°	—	—	設 計 値
質 量	kg	—	—	設 計 値

注記 1) : 応力成分は、小数点以下第 2 位を四捨五入し、小数点以下第 1 位までの値を記載する。

V-2-4-2-3 ④トラニオンの応力計算書

目次

1. 概要	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 計算結果の概要	1
2. 応力計算	2
2.1 応力評価点	2
2.2 貯蔵時（ S_d^* 及び S_s 地震力が作用する場合）	2
2.2.1 荷重条件	2
2.2.2 計算方法	2
2.2.3 計算結果	3
3. 応力の評価	4
3.1 一次応力の評価	4
3.2 一次＋二次応力の評価	4
3.3 組合せ応力の評価	4

補足資料 トラニオンの応力解析の方針

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点（面）	5
図 2-1	地震時に作用する荷重の計算モデル	6
表 1-1	計算結果の概要	7
表 2-1	トラニオンの応力評価 （貯蔵時： S_d^* 地震力及び S_s 地震力が作用する場合）	8

1. 概要

本計算書は、使用済燃料乾式貯蔵容器のトラニオンに関する応力計算書である。

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 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、応力評価上厳しくなる代表的な評価点(面)を本計算書に記載している。

表中の「－」は、評価すべき応力が発生しない又は評価上厳しくないため評価を省略している。以下、本計算書において同様である。

2. 応力計算

2.1 応力評価点

トラニオンの応力評価点(面)を図 1-1 に示す。

2.2 貯蔵時（ S_d^* 及び S_s 地震力が作用する場合）

2.2.1 荷重条件

貯蔵時において S_d^* 及び S_s 地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。

地震力＋自重＋熱荷重

2.2.2 計算方法

(1) 一次応力

a. セン断応力

最大応力が発生する箇所は、図 1-1 に示す下部トラニオンの評価点①である。

水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生するせん断応力(τ)は、次式で表わされる(図 2-1 参照)。

$$\left. \begin{aligned} \tau &= \frac{F_W}{A} \\ F_W &= \frac{W \cdot (G_1 \cdot h_{CG} - G_3 \cdot a_2)}{\frac{2a_2^2}{a_1} + a_1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2. 1)$$

ここで、 $G_1 = \alpha_H$ 、 $G_3 = 9.81 - \alpha_V$

h_{CG} : 貯蔵容器底面から重心までの高さ (=2870mm)

a_1 : 支点Oから支持台①のトラニオン固定金具中心までの距離
(=2077.5mm)

a_2 : 支点Oから支持台②のトラニオン固定金具中心評価位置までの
距離 (=949.5mm)

F_W : 地震力によりトラニオンに作用する荷重 (=1.19×10⁶N)

W : 貯蔵容器の質量(=118000 kg)

A : 図 1-1 の評価点①の断面積(=1.75×10⁴ mm²)

α_H : 水平方向設計加速度(=C_HG=11.48m/s²)

α_V : 鉛直方向設計加速度(=C_VG=6.38m/s²)

b. 曲げ応力

最大応力が発生する箇所は、図 1-1 に示す下部トラニオンの評価点④である。水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生する曲げ応力(σ_b)は、次式で表わされる。

$$\sigma_b = \frac{F_w \cdot L}{Z} \dots\dots\dots (2. 2)$$

ここで, F_w : (2. 1) 式と同じ

Z : 図 1-1 の評価点④の断面係数(=1.04×10⁶ mm³)

L : 図 1-1 の評価点④と荷重作用位置との距離(=184.5 mm)

c. 支圧応力

応力が発生する箇所は, 図 1-1 の下部トラニオンの評価点⑤である。トラニオン固定金具によって生じる支圧応力は (σ_p) は, 次式で表される。

$$\sigma_p = \frac{F_w}{A_5} \dots\dots\dots (2. 3)$$

ここで,

F_w : (2. 1) 式と同じ

A_5 : 評価点⑤に接触するトラニオン固定金具の投影面積 (=1.94×10³ mm²)

d. 組合せ応力

せん断応力 (τ) と曲げ応力 (σ_b) との組合せ応力 (σ_T) は, 次式で表される。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (2. 4)$$

ここで,

σ_b : (2. 2) 式と同じ

τ : (2. 1) 式と同じ

(2) 一次+二次応力

a. せん断応力

せん断応力の全振幅(τ)は, (2. 1) 式と同様に与えられる。

b. 曲げ応力

曲げ応力の全振幅(σ_b)は, (2. 2) 式と同様に与えられる。

c. 支圧応力

支圧応力の全振幅 (σ_p) は, (2. 3) 式と同様に与えられる。

d. 組合せ応力

せん断応力 (τ) と曲げ応力 (σ_b) との組合せ応力 (σ_T) は, (2. 4) 式と同様に与えられる。

2.2.3 計算結果

応力計算結果を表 2-1 に示す。

3. 応力の評価

3.1 一次応力の評価

各設計事象における評価を表 2-1 に示す。

表 2-1 より，各設計事象の一次応力は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

3.2 一次＋二次応力の評価

各設計事象における評価を表 2-1 に示す。

表 2-1 より，各設計事象の一次＋二次応力は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

3.3 組合せ応力の評価

各設計事象における評価を表 2-1 に示す。

表 2-1 より，地震時における組合せ応力は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

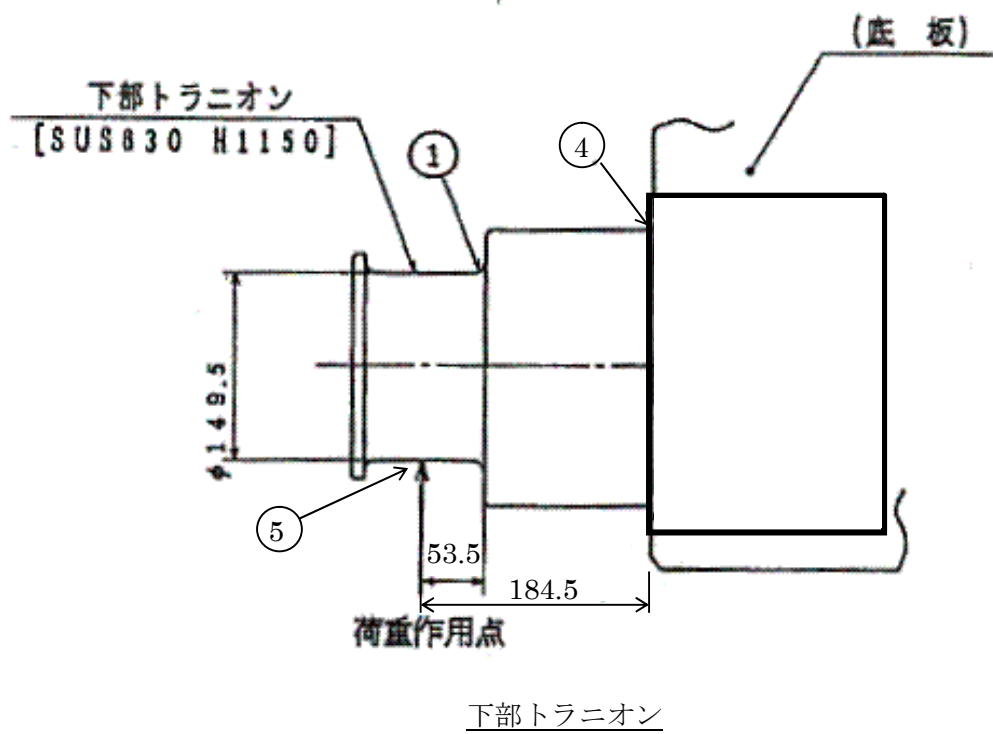
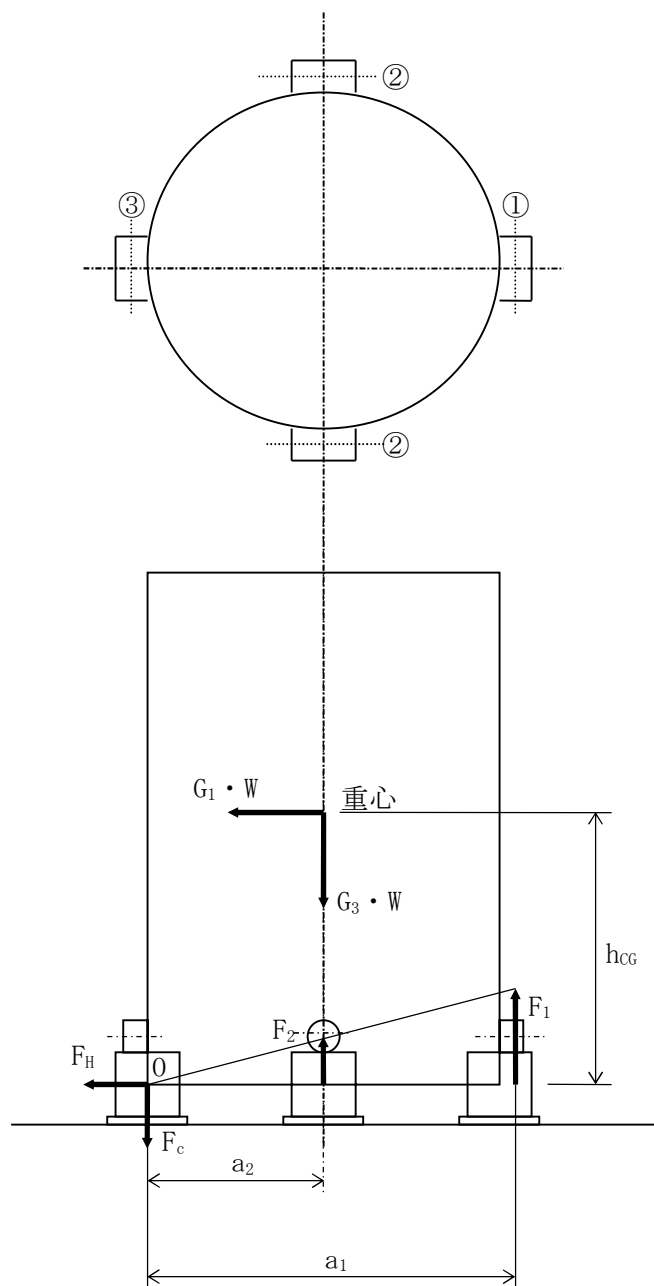


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点（面）



① ～③：支持台番号

図 2-1 地震時に作用する荷重の計算モデル

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材 料	設 計 事 象	一次応力									
			せん断応力		曲げ応力		支圧応力		圧縮応力		組合せ応力	
			計算値	許容 応力	計算値	許容 応力	計算値	許容 応力	計算値	許容 応力	計算値	許容 応力
トラニ オン	SUS630 H1150	$I + S_d^*$	68	339	212	588	614	801	—	—	243	588
		$I + S_s$	68	339	212	588	614	801	—	—	243	588

注 1：各設計事象において、既存設備により荷重作用点がずれた場合でも評価結果は許容応力を満足する。また、一次＋二次応力の計算値は一次応力と等しく、許容応力は大きくなるため問題ない。

(単位：MPa)

部 位	材 料	設 計 事 象	一次応力＋二次応力									
			せん断応力		曲げ応力		支圧応力		座屈応力		組合せ応力	
			計算値	許容 応力	計算値	許容 応力	計算値	許容 応力	計算値	許容 応力	計算値	許容 応力
トラニ オン	SUS630 H1150	$I + S_d^*$	68	678	212	1176	614	801	—	—	243	1176
		$I + S_s$	68	678	212	1176	614	801	—	—	243	1176

表 2-1 トラニオンの応力評価（貯蔵時： S_d^* 地震力及び S_s 地震力が作用する場合）

（単位：MPa）

部 位	応力の種類		S_d^* 地震力		S_s 地震力		許容応力
			計算値	評価点 (面)	計算値	評価点 (面)	
下 部 ト ラ ニ オ ン	一 次 応 力	せん断応力	68	①	68	①	339
		曲げ応力	212	④	212	④	588
		支圧応力	614	⑤	614	⑤	801
		組合せ応力	243	④	243	④	588
	1) 一 次 ＋ 二 次 応 力	せん断応力	68	①	68	①	678
		曲げ応力	212	④	212	④	1176
		支圧応力	614	⑤	614	⑤	801
		組合せ応力	243	④	243	④	1176

注記 1)：地震力のみによる全振幅について評価する。

補足資料

トラニオンの応力解析の方針

目次

1. 概要	1
2. 適用基準	2
3. 記号	3
3.1 記号の説明	3
4. 設計条件	5
4.1 基本仕様	5
4.2 設計事象	5
4.3 荷重の種類とその組合せ	5
5. 計算条件	6
5.1 解析対象とする事象	6
5.2 解析箇所	6
5.3 形状及び寸法	6
5.4 物性値	6
5.5 許容応力	6
6. 応力解析の手順	8
6.1 解析手順の概要	8
6.2 荷重条件の選定	8
6.3 応力計算と評価	8
6.3.1 応力計算の方法	8
6.3.2 応力評価	8
6.3.3 数値の丸め方	9

図表目次

図 5-1	トラニオンの応力解析箇所……………	10
図 6-1	トラニオンの応力解析フロー図……………	11
表 4-1	貯蔵容器の設計事象……………	12
表 4-2	トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ……………	12
表 5-1	代表事象……………	13
表 5-2	熱応力計算に使用する材料の物性値……………	13
表 6-1	トラニオン用材料の許容応力値……………	14
表 6-2	数値の丸め方一覧表……………	15

1. 概 要

本書は、使用済燃料乾式貯蔵容器のトラニオンに関する応力解析の方針を述べるものである。

注：図表は、一括して巻末に示す。

2. 適用基準

使用済燃料乾式貯蔵容器において、トラニオンは、貯蔵容器の取扱時及び貯蔵時の支持のための部品であり、貯蔵容器全体を支持する。したがって、キャスク容器の評価方法と整合をとり、「発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む））JSME S NC1-2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）」（以下、「設計・建設規格」という。）のクラス1支持構造物に従って設計する。

ここで、設計事象とその許容応力状態は下記のとおりとする。

- ・設計事象 $I + S_d^*$ は、地震力として基準地震動 S_s を考慮し、許容応力状態を $III_A S$ で評価する。
- ・設計事象 $I + S_s$ は、地震力として基準地震動 S_s を考慮し、許容応力状態を $IV_A S$ で評価する。

注：本書及び応力計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格〇〇〇－〇〇〇〇」として示す。

3. 記 号

3.1 記号の説明

本書及び応力計算書において、応力評価に関する以下の記号を使用する。ただし、本文中に特記ある場合は、この限りでない。

なお、応力計算書の字体及び大きさについては、本書と異なる場合がある。

計算書の記号	記 号 の 説 明	単 位
A	断面積	mm^2
a_1	地震時の貯蔵容器回転支点Oから支持台①のトラニオン固定金具中心までの距離	mm
a_2	地震時の貯蔵容器回転支点Oから支持台②のトラニオン固定金具中心評価位置までの距離	mm
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
F_W	トラニオンに作用する荷重	N
G	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
f_t	許容引張応力	MPa
f_s	許容せん断応力	MPa
f_c	許容圧縮応力	MPa
f_b	許容曲げ応力	MPa
f_p	許容支圧応力	MPa
$f_t^{*1)}$	許容引張応力	MPa
$f_s^{*1)}$	許容せん断応力	MPa
$f_c^{*1)}$	許容圧縮応力	MPa
$f_b^{*1)}$	許容曲げ応力	MPa
$f_p^{*1)}$	許容支圧応力	MPa
G_1	貯蔵容器軸に直角方向の加速度	m/s^2
G_3	貯蔵容器軸方向の加速度	m/s^2
h_{CG}	貯蔵容器底面から重心までの高さ	mm
L	荷重位置と評価点との距離	mm
M	曲げモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方	—

注記 1) : f_t^* , f_s^* , f_c^* , f_b^* , f_p^* : f_t , f_s , f_c , f_b , f_p の値を算出する際に設計・建設規格 SSB-3121.1(1)における「付録材料図表 Part5 表8に規定する材料の設計降伏点」とあるのを「付録材料図表 Part5 表8に規定する材料の設計降伏点の1.2倍の値」と読み替えて算出した値。

計算書の記号	記 号 の 説 明	単 位
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
W	質量	kg
Z	断面係数	mm^3
σ	評価断面に垂直な方向の応力	MPa
σ_b	曲げ応力	MPa
${}_c\sigma_b$	圧縮側曲げ応力	MPa
${}_t\sigma_b$	引張側曲げ応力	MPa
σ_c	圧縮応力	MPa
σ_T	組合せ応力	MPa
σ_t	引張応力	MPa
τ	せん断応力	MPa
α_H	水平方向設計加速度	m/s^2
α_V	鉛直方向設計加速度	m/s^2
$I + S_d^*$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用した場合の許容応力区分	—
$I + S_s$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用した場合の許容応力区分	—

4. 設計条件

トラニオンは以下の設計条件に耐えるように設計する。

4.1 基本仕様

最高使用温度：160 ℃

注：トラニオンはキャスク容器に取り付けられており一体であることから，トラニオンの最高使用温度は，キャスク容器と同じ 160℃とする。

4.2 設計事象

設計上考慮する事象を表 4-1 に示す。

4.3 荷重の種類とその組合せ

トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 4-2 に示す。応力解析に用いる荷重は応力計算書に記載する。

5. 計算条件

5.1 解析対象とする事象

設計事象Ⅰにおける事象のうち、表 5-1 に示すように荷重条件等を考慮して代表事象を選定し、代表事象について解析を実施する。

5.2 解析箇所

トラニオンの応力解析を行う箇所は、次のとおりである(図 5-1 参照)。

- (1) トラニオン

5.3 形状及び寸法

応力解析を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。

5.4 物性値

温度分布計算及び応力計算に使用する材料の物性値は下記のとおりである。

- (1) 熱応力計算に使用する物性値を表 5-2 に示す。
- (2) 機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、最高使用温度（160℃）に対する値を用いる。
なお、常温は 20℃とする。

5.5 許容応力

材料の応力強さの限界及び許容応力は、次の各号に掲げるとおりとする。

- (1) トラニオンにあっては、次によること。
 - a. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用して生じる一次応力は、設計・建設規格 SSB-3121.2 の規定を満足すること。
 - b. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる一次応力は、設計・建設規格 SSB-3121.3 の規定を満足すること。
 - c. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力（キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。）を加えて求めた応力は、次の値を超えないこと。
 - (a) 引張応力及び圧縮応力のサイクルにおける最大値と最小値との差（引張応力の符号は正とし、圧縮応力の符号は負として計算する。）については、設計・建設規格 SSB-3122.1(1)の規定を満足すること。
 - (b) せん断応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(2)の規定を満足すること。
 - (c) 曲げ応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(3)の規定を満足すること。
 - (d) 支圧応力については、設計・建設規格 SSB-3122.1(4)の規定を満足すること。
 - (e) 座屈応力については、設計・建設規格 SSB-3121.1(2)，(3)又は(4)に定める

値の 1.5 倍を超えないこと。

- d. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_s 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力（キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。）を加えて求めた応力は、次の規定を満足すること。
- (a) 引張応力及び圧縮応力のサイクルにおける最大値と最小値との差（引張応力の符号は正とし、圧縮応力の符号は負として計算する。）については、設計・建設規格 SSB-3122.1(1)の規定を満足すること。
 - (b) せん断応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(2)の規定を満足すること。
 - (c) 曲げ応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(3)の規定を満足すること。
 - (d) 支圧応力については、設計・建設規格 SSB-3122.1(4)の規定を満足すること。
この場合において、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.本文中「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点」とあるのは、「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点の 1.2 倍の値」に読み替えるものとする。
 - (e) 座屈応力については、設計・建設規格 SSB-3121.1(2), (3)又は(4)に定める値の 1.5 倍を超えないこと。
- e. c. 及び d. において応力の組合せが考えられる場合は、組合せ応力に対する評価は設計・建設規格 SSB-3121.1(6)の規定による。
- (2) (1)において、設計・建設規格の「供用状態 A」及び「供用状態 B」は、それぞれ「設計事象Ⅰ」及び「設計事象Ⅱ」と読み替える。

許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

6. 応力解析の手順

応力解析を行う場合の手順について一般的な事項を述べる。

6.1 解析手順の概要

トラニオンの応力解析フローを図 6-1 に示す。

トラニオンの応力解析は，想定される機械的荷重及び熱荷重を基に応力評価式を用いて行う。

6.2 荷重条件の選定

荷重条件は 4. 項に示されているが，各部の計算においては，その部分についての重要な荷重条件を選定して計算を行う。それぞれの部分について考慮した荷重は応力計算書に示す。

6.3 応力計算と評価

6.3.1 応力計算の方法

(1) 応力計算は荷重毎に行う。荷重条件として与えられるものは次の 2 つである。

- a. 機械的荷重
- b. 熱荷重

(2) 貯蔵時においては，地震力が作用する場合の鉛直方向及び水平方向荷重は，下部トラニオン 4 個で支持する。

なお，荷重作用点位置は荷重支持面の中央点とする。

(3) 構造の不連続性を考慮して，応力評価点（面）をとる。評価点（面）は，応力計算書に示す。

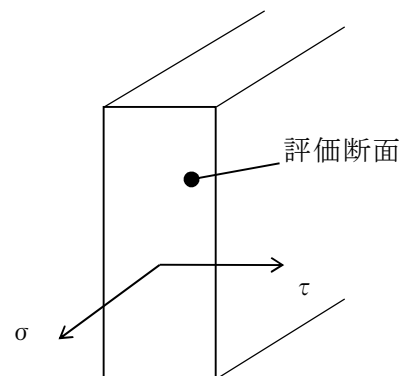
応力評価は，この応力評価点（面）について行う。

6.3.2 応力評価

応力の計算結果は，設計・建設規格 GNR-2130 による定義に従い，応力の種類毎に分類し，以下の評価を応力計算書に示す。

なお，応力の記号とその方向は次のとおりである。

- σ : 評価断面に垂直な方向の応力
- τ : せん断応力



トラニオン用材料の許容応力値を表 6-1 に示す。

(1) トラニオンの応力評価

トラニオンの応力評価は、設計・建設規格 SSB-3120 に従い以下の項目を実施する。

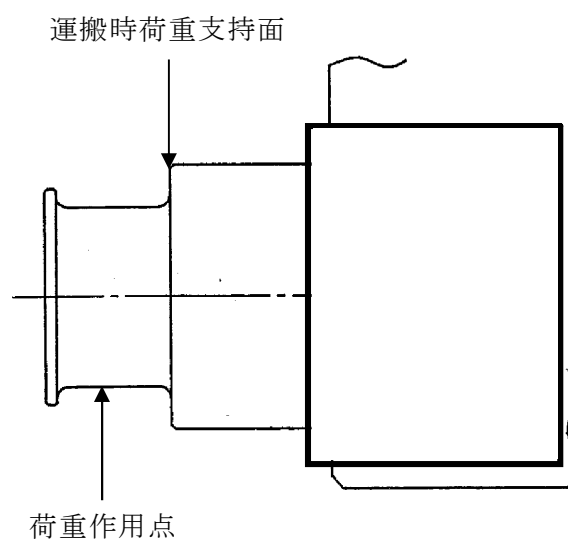
- a. 一次応力
- b. 一次＋二次応力
- c. 組合せ応力

6.3.3 数値の丸め方

数値は、原則として四捨五入とする。また、評価に用いる許容応力及び算出応力等については、安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を表 6-2 に示す。



下部トラニオン

注記) 貯蔵時に地震力が作用する場合は、
下部トラニオンのみで荷重を支持する。

図 5-1 トラニオンの応力解析箇所

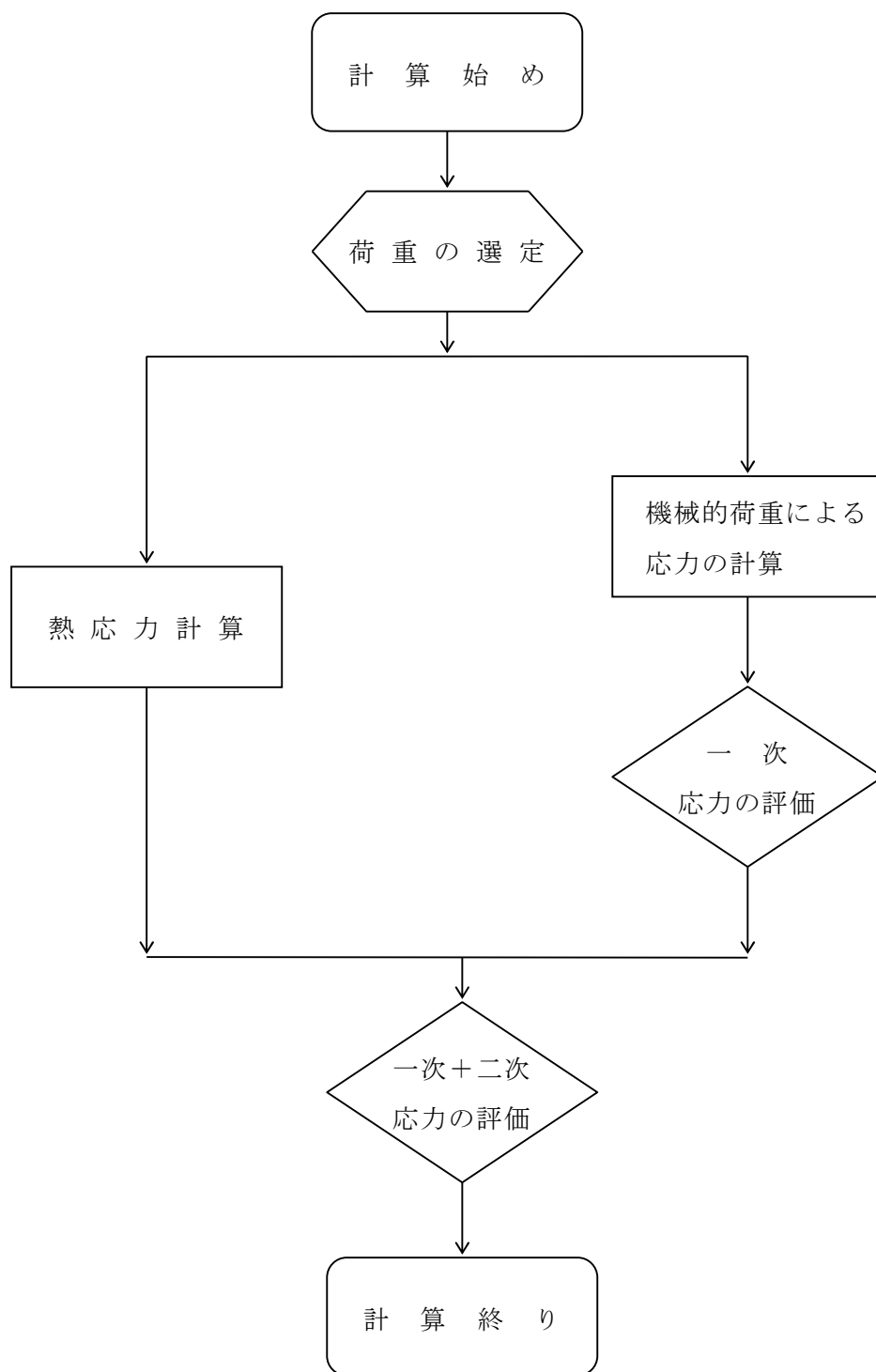


図 6-1 トラニオンの応力解析フロー図

表 4-1 貯蔵容器の設計事象

設計事象	定 義	解 説	事象の例	選定事象
I	貯蔵容器の通常の手扱い時及び貯蔵時の状態をいう。	貯蔵状態及び計画的な取扱い状態。	・貯蔵 ・貯蔵容器の吊上げ、吊下げ、移動 ・事業所内運搬	・貯蔵

表 4-2 トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象	荷 重 荷 重 時	自重 による荷重	運搬時 荷重	吊上げ 荷重	衝撃荷重	熱荷重 (1)	備 考
					異常着床・ 支持構造物への衝突		
I	貯 蔵 時	○				○	(2)

(1) キヤスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。

(2) S_d^* 地震力及び S_s 地震力は、設計事象 I の貯蔵時における荷重と組み合わせるものとする。

表 5-1 代 表 事 象

設計事象	代表事象 ¹⁾	包絡される事象	荷重条件	備 考
I + S _d *	貯 蔵 時 (S _d *地震力が 作用する場合)	—————	自 重:1G(=9.81m/s ²) 地震力 水平方向: C _H G=1.17G(=11.48m/s ²) 鉛直方向: C _V G=0.65G(= 6.38m/s ²) 熱荷重	許容応力状態 Ⅲ _A Sで評価
I + S _s	貯 蔵 時 (S _s 地震力が 作用する場合)	—————	自 重:1G(=9.81m/s ²) 地震力 水平方向: C _H G=1.17G(=11.48m/s ²) 鉛直方向: C _V G=0.65G(= 6.38m/s ²) 熱荷重	許容応力状態 Ⅳ _A Sで評価

注記 1) : 本事象について応力解析を行う。

表 5-2 熱応力計算に使用する材料の物性値

構成部材	材 料	温 度 (℃)	縦弾性係数 (MPa)	熱膨張係数 (×10 ⁻⁶ mm/mm℃)
上部トラニオン 下部トラニオン	析出硬化 ステンレス鋼 (SUS630 H1150)	160	185000	11.37

表 6-1 トラニオン用材料の許容応力値

許容応力 区 分	応 力 の 種 類		許容応力値 (MPa)	
			析出硬化ステンレス鋼	
			SUS630 H1150	許 容 値 基 準
I + S _d * ¹⁾	一 次 応 力	引張応力	588	1.5 f _t
		圧縮応力	570	1.5 f _c
		せん断応力	339	1.5 f _s
		曲げ応力	588	1.5 f _b
		支圧応力	801	1.5 f _p
	一 次 + 二 次 応 力	引張・圧縮応力 ²⁾	1176	3 f _t
		せん断応力 ²⁾	678	3 f _s
		曲げ応力 ²⁾	1176	3 f _b
		支圧応力	801	1.5 f _p
		座屈応力	339	1.5 f _b , 1.5 f _s 又は 1.5 f _c
I + S _s ¹⁾	一 次 応 力	引張応力	588	1.5 f _t *
		圧縮応力	570	1.5 f _c *
		せん断応力	339	1.5 f _s *
		曲げ応力	588	1.5 f _b *
		支圧応力	801	1.5 f _p *
	一 次 + 二 次 応 力	引張・圧縮応力 ²⁾	1176	3 f _t
		せん断応力 ²⁾	678	3 f _s
		曲げ応力 ²⁾	1176	3 f _b
		支圧応力	801	1.5 f _p *
		座屈応力	339	1.5 f _b , 1.5 f _s 又は 1.5 f _c

注記 1) : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は以下による。

- ①次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力(σ)とせん断応力(τ)を組み合わせた応力(σ_T)は、引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ②圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_c|}{1.5f_c} + \frac{| \sigma_b |}{1.5f_b} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{| \sigma_b | - |\sigma_c|}{1.5f_t} \leq 1$$

- ③引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_t| + | \sigma_b |}{1.5f_t} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{| \sigma_b | - |\sigma_t|}{1.5f_b} \leq 1$$

ただし、②及び③において、I + S_d* の一次応力については上式による。

I + S_s の一次応力の場合、分母の 1.5 f_c、1.5 f_b、1.5 f_t は、1.5 f_c*, 1.5 f_b*, 1.5 f_t* とする。一次+二次応力の場合、分母の 1.5 f_c、1.5 f_b、1.5 f_t は、3 f_c、3 f_b、3 f_t とする。

- 2) : S_d* 地震力及び S_s 地震力のみによる全振幅について評価する。

表 6-2 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単 位	処 理 桁	処 理 法	表示最小桁
最高使用温度	℃	—	—	設 計 値
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
許容応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切 捨 て	整 数 値 位
計算応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切 上 げ	整 数 値 位
長 さ	mm	—	—	設 計 値
設 計 震 度	—	小数点以下第 3 位	切 上 げ	小数点以下第 2 位
面 積	mm ²	有効数字 4 桁目	安全側に処理する	有効数字 3 桁
力	N	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
断 面 係 数	mm ³	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
質 量	kg	—	—	設 計 値

V-2-4-2-4 使用済燃料プール温度計（S A）の耐震性についての
計算書

目 次

1. 一般事項	1
1.1 適用基準	1
2. 構造説明	2
2.1 使用済燃料プール温度計（S A）の構造計画	2
3. 計算方法	3
3.1 固有周期の計算方法	3
3.2 応力の計算方法	3
3.2.1 計算条件	3

1. 一般事項

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、使用済燃料プール温度計（S A）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

使用済燃料プール温度計（S A）は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

1.1 適用基準

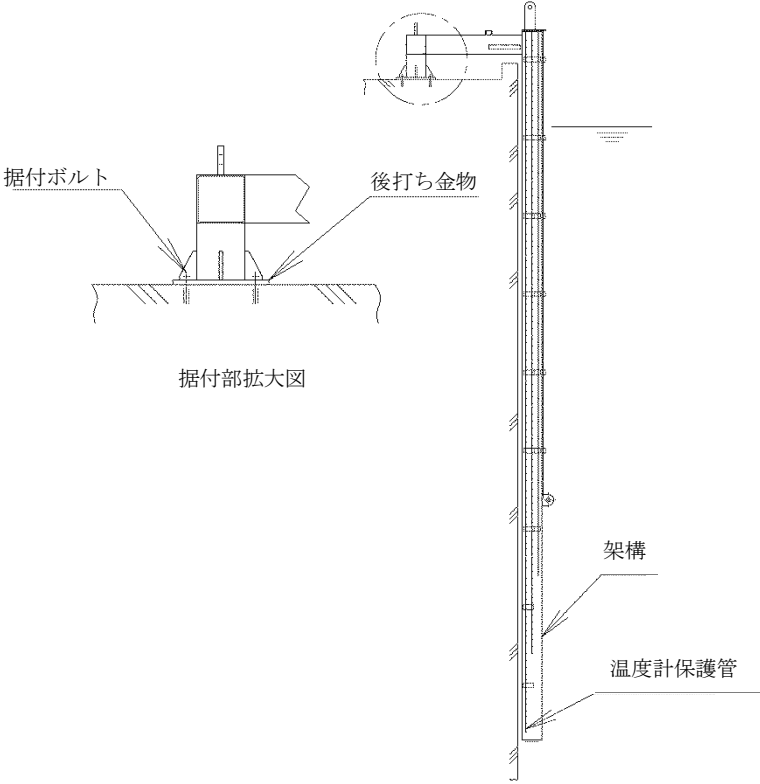
本計算書における計算方法は、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補－1984 及び J E A G 4 6 0 1 －1987）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月及び昭和 62 年 8 月）に準拠して評価する。

2. 構造説明

2.1 使用済燃料プール温度計（S A）の構造計画

使用済燃料プール温度計（S A）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
(1)使用済燃料プール温度計（S A）	使用済燃料プール温度計（S A）は架構に固定された保護管に収納されている。架構は床に据付ボルトで固定されている。	架構	

3. 計算方法

3.1 固有周期の計算方法

使用済燃料プール温度計（S A）架構の固有周期は，解析モデルにより確認する。

3.2 応力の計算方法

3.2.1 計算条件

- (1) 使用済燃料プール温度計（S A）架構の応力評価は，計算機プログラムを使用し，最大応力を算出する。

V-2-4-2-5 使用済燃料プール水位・温度計（S A広域）の耐震性
についての計算書

目 次

1. 一般事項	1
1.1 適用基準	1
1.2 計算条件	1
1.3 記号の説明	2
1.4 計算精度と数値の丸め方	3
2. 計算方法	4
2.1 固有周期の計算方法	4
2.2 応力の計算方法	4
2.2.1 基礎ボルトの応力	4
3. 評価方法	7
3.1 応力の評価	7
3.1.1 基礎ボルトの応力評価	7
4. 使用済燃料プール水位・温度計（S A広域）の計算	9
4.1 設計条件	9
4.2 機器要目	9
4.3 計算数値	9
4.4 結 論	9

1. 一般事項

本計算書は、使用済燃料プール水位・温度計（S A広域）の耐震性についての計算方法と計算結果を示す。本計算書では、表 1-1 に示す使用済燃料プール水位・温度計（S A広域）に対して耐震計算を行う。

表 1-1 耐震計算対象水位検出器

NO	機器名称
1	使用済燃料プール水位・温度計（S A広域）

1.1 適用基準

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 及び J E A G 4 6 0 1 -1987）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月及び昭和 63 年 8 月）に準拠して評価する。

1.2 計算条件

- (1) 検出器の質量は重心に集中するものとする。
- (2) 検出器架台は検出器架台取付ボルトでベースプレートに固定し、検出器架台及びベースプレートは基礎ボルトにて床に固定する。
- (3) ボルトの計算は、条件の厳しい基礎ボルトについて行う。
- (4) 地震力は、検出器に対し水平方向及び鉛直方向から作用する。
- (5) 転倒方向は、図 1-1 により検討し、両転倒方向の耐震性について計算を行う。



図 1-1

1.3 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A_{bi}	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
F_x	検出器取付部における水平方向荷重	N
F_y	検出器取付部における鉛直方向荷重	N
L_b	検出器取付部中心から重心までの水平方向距離	mm
W_b	検出器取付部梁質量	kg
d_i	基礎ボルトの呼び径	mm
F_i	設計・建設規格※ ¹ SSB-3131 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F_{bi}	基礎ボルトに作用する引張力 (1 本当たり)	N
f_{sbi}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{toi}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度(=9.80665)	m/s^2
h_1	ベースプレート据付面から重心までの距離	mm
H_1	検出器取付部から重心までの鉛直方向距離	mm
ℓ_{i1}	重心と基礎ボルト間の水平方向距離※ ³	mm
ℓ_{i2}	重心と基礎ボルト間の水平方向距離※ ³	mm
m_1	検出器取付架台及びベースプレート質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
Q_{bi}	基礎ボルトに作用するせん断力	N
S_{ui}	設計・建設規格※ ¹ 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_{yi}	設計・建設規格※ ¹ 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_{bi}	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記※1：「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 J S M E S N C 1－2005（2007 年追補版含む。））（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）をいう。

※2: A_{bi} , d_i , F_i , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , ℓ_{i1} , ℓ_{i2} , n_{fi} , Q_{bi} ,
 S_{ui} , S_{yi} , σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。
 $i=1$: 長辺方向基礎ボルト
 $i=2$: 短辺方向基礎ボルト

※3: $\ell_{i1} \leq \ell_{i2}$

1.4 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表1-2に示すとおりとする。

表1-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ*1	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*2	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1: 設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2: 設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

*3: 絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

2. 計算方法

2.1 固有周期の計算方法

検出器架台及びベースプレートは構造的に1個の大きなブロック状をしており、重心の位置がブロック状のほぼ中心にあり、かつ、下面が基礎ボルトにて固定されている。

したがって、全体的に一つの剛体と見なせるため、固有周期は十分に小さく、固有周期の計算は省略する。

2.2 応力の計算方法

2.2.1 基礎ボルトの応力

基礎ボルトの応力は地震による震度、検出器が架台の取り付け部にもたらす地震による荷重から算出された転倒モーメントにより生じる引張力とせん断力について計算する。

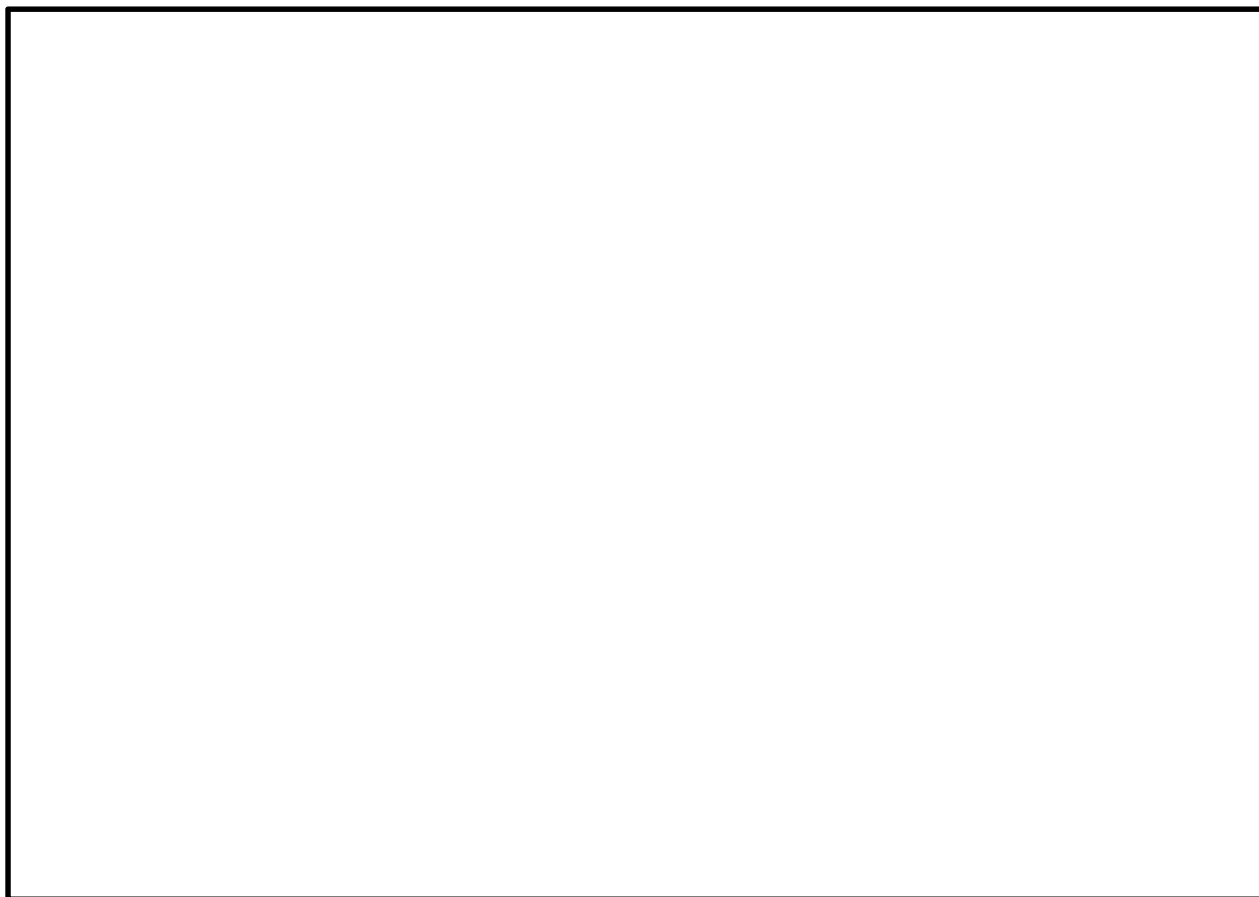


図 2-1 計算モデル（長辺方向転倒）

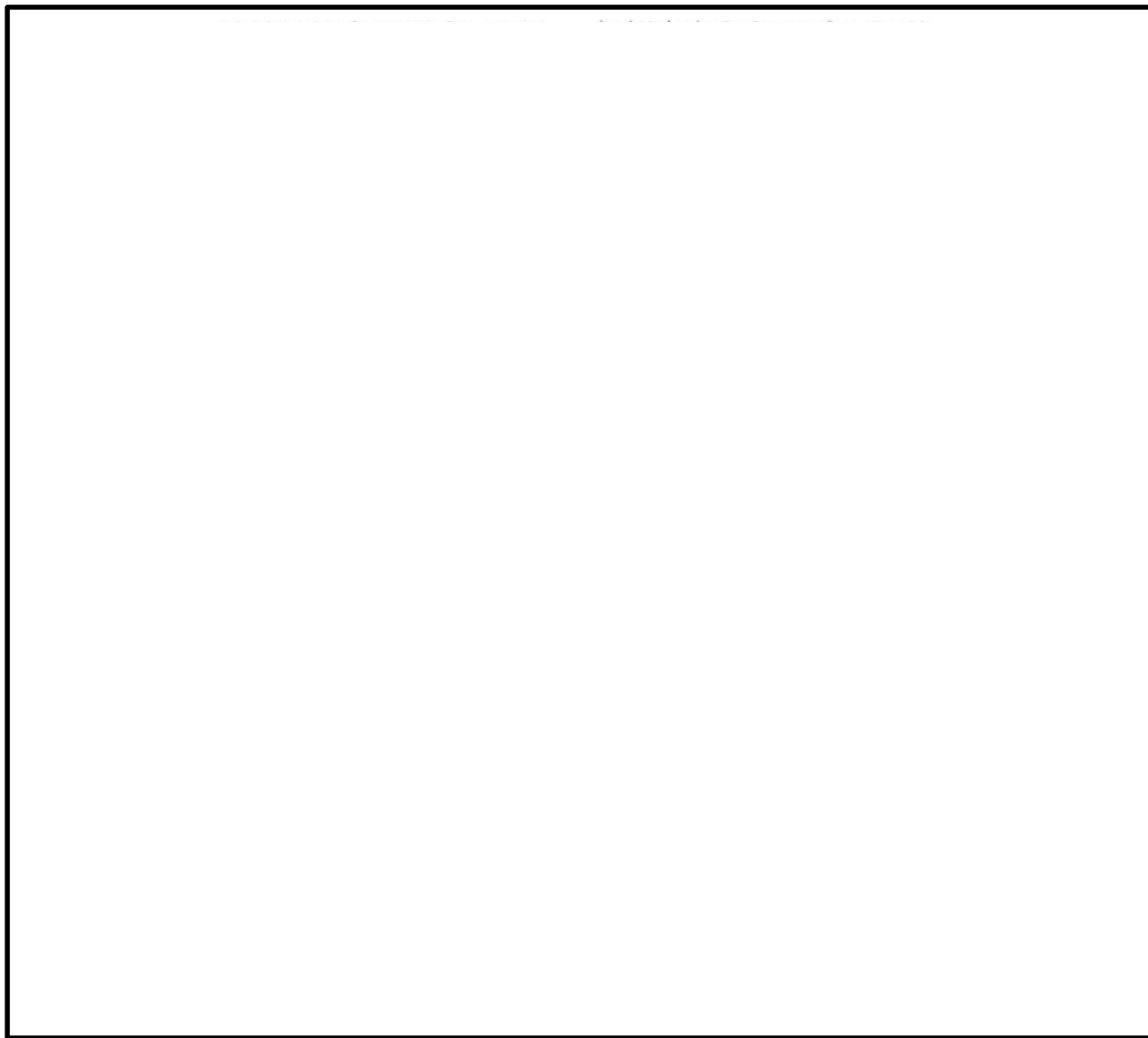


図 2-2 計算モデル（短辺方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 2-1 及び図 2-2 で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

【絶対値和】

長辺方向

$$F_{b1} = \frac{m_1 \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m_1 \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_{i2} + M_Z}{n_{fi} \cdot (\ell_{i1} + \ell_{i2})} \dots\dots\dots (2.2.1)$$

短辺方向

$$F_{b2} = \frac{m_1 \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m_1 \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_{i2} + M_X}{n_{fi} \cdot (\ell_{i1} + \ell_{i2})} \dots\dots\dots (2.2.2)$$

ここで、検出器架台及びベースプレート全体の重心における各水平及び鉛直方向の検出器からの作用力 F_{XB} 及び F_{YB} は次式で求める。

$$F_{XB} = C_H \cdot 9.80665 \cdot W_b + F_X \dots\dots\dots (2.2.3)$$

$$F_{YB} = (C_V - 1) \cdot 9.80665 \cdot W_b + F_Y \dots\dots\dots (2.2.4)$$

また、検出器架台及びベースプレート全体の重心における水平横軸及び水平縦軸回りの検出器からのモーメント M_Z 及び M_X は次式で求める。

$$M_Z = F_{YB} \cdot (L_b + \ell_{i2}) + F_{XB} \cdot (H_1 + h_1) \dots\dots\dots (2.2.5)$$

$$M_X = F_{YB} \cdot \ell_{i2} + F_{XB} \cdot (H_1 + h_1) \dots\dots\dots (2.2.6)$$

引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \dots\dots\dots (2.2.7)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_{bi} は

$$A_{bi} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (2.2.8)$$

ただし、 F_{bi} が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) セン断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{bi} = m_i \cdot g \cdot C_H + F_{XB} \dots\dots\dots (2.2.9)$$

せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n \cdot A_{bi}} \dots\dots\dots (2.2.10)$$

3. 評価方法

3.1 応力の評価

3.1.1 基礎ボルトの応力評価

2.2.1 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。

せん断応力 τ_{bi} はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。

$$f_{tsi} = 1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi} \dots\dots\dots (3.1.1)$$

かつ、

$$f_{tsi} \leq f_{toi} \dots\dots\dots (3.1.2)$$

ただし、 f_{toi} 及び f_{sbi} は下表による。

	許容引張応力 $f_{t o i}$	許容せん断応力 $f_{s b i}$
計算式	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

ここで、 F_i は日本機械学会 設計・建設規格 付属図表 Part 5 表 8 及び表 9 より、設計温度における S_y 値、 S_u 値を用い、下記式にて設定した。

$$F_i = \min (1.35 \times 1.2 S_{y i}, 0.7 S_{u i}, 1.2 S_{y i})$$

4. 使用済燃料プール水位・温度計（S A 広域）の計算

4.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度 分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)	基準地震動 S_s		周囲環境温度 (°C)
				水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
使用済燃料プール水位・温度計 (SA広域)	— (計算はSで実施)	原子炉建屋 EL46.50*	0.05 以下	1.74	1.52	105

注記 *：基準床レベルを示す。

4.2 機器要目

m_1 (kg)	H_1 (mm)	h_1 (mm)	ℓ_{i1} (mm)	ℓ_{i2} (mm)	A_{bi} (mm ²)	n	n_{fi}	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	転倒方向
					113.1	9	3	174.5	472.6	246	長辺
					113.1	9	3	174.5	472.6	246	短辺

F_x (N)	F_y (N)	L_b (mm)	W_b (kg)

4.3 計算数値

(単位：N)

部 材	基準地震動 S_s	
	F_{bi}	Q_{bi}
基礎ボルト (長辺方向)	5.920×10^3	6.633×10^3
基礎ボルト (短辺方向)	1.901×10^3	6.633×10^3

4.4 結 論

応 力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力
基礎ボルト (長辺方向)	SUS316	引張り	53	147*
		せん断	7	113
基礎ボルト (短辺方向)	SUS316	引張り	17	147*
		せん断	7	113

全て許容応力以下である。

注記 *：(3.1.1) 式より算出

V-2-4-2-6 使用済燃料プール監視カメラの
耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）	2
2.1 基本方針	2
2.1.1 位置	2
2.1.2 構造概要	2
2.1.3 評価方針	3
2.1.4 適用規格	3
2.2 耐震評価箇所	4
2.3 固有値解析	4
2.3.1 基本方針	4
2.3.2 固有振動数の計算方法	4
2.3.2.1 記号の説明	4
2.3.2.2 固有振動数の算出方法	4
2.3.2.3 固有振動数の計算条件	5
2.3.3 モデル	5
2.3.4 固有値解析結果	5
2.4 応力評価	6
2.4.1 基本方針	6
2.4.2 評価対象部位	6
2.4.3 荷重の組合せ及び許容応力状態	6
2.4.4 許容応力	6
2.4.5 設計用地震力	9
2.4.6 応力評価方法	10
2.4.6.1 個記号の説明	10
2.4.6.2 応力計算	12
2.4.6.3 応力評価条件	19
2.5 機能維持評価	20
2.5.1 基本方針	20
2.5.2 機能維持評価方法	20
2.6 評価条件	20
2.7 評価結果	22
2.7.1 重大事故等対処施設としての評価結果	22
3. 使用済燃料プール監視カメラ制御盤	24
3.1 基本方針	24
3.1.1 位置	24
3.1.2 構造概要	24
3.1.3 評価方針	25

3.1.4	適用規格	25
3.2	耐震評価箇所	26
3.3	固有値解析	26
3.3.1	基本方針	26
3.3.2	固有振動数の計算方法	26
3.3.3	固有値解析結果	26
3.4	応力評価	27
3.4.1	基本方針	27
3.4.2	評価対象部位	27
3.4.3	荷重の組合せ及び許容応力	27
3.4.4	許容応力	27
3.4.5	設計用地震力	29
3.4.6	応力評価方法	30
3.4.6.1	記号の説明	31
3.4.6.2	基礎ボルトの応力計算	33
3.4.7	応力評価条件	34
3.4.7.1	支持構造物の応力評価条件	34
3.5	機能維持評価	35
3.5.1	基本方針	35
3.5.2	機能維持評価方法	35
3.6	評価条件	35
3.7	評価結果	38
3.7.1	重大事故等対処施設としての評価結果	38
4.	使用済燃料プール監視カメラ用機器収納箱	40
4.1	基本方針	40
4.1.1	位置	40
4.1.2	構造概要	40
4.1.3	評価方針	41
4.1.4	適用規格	41
4.2	耐震評価箇所	42
4.3	固有値解析	42
4.3.1	基本方針	42
4.3.2	固有振動数の計算方法	42
4.3.3	固有値解析結果	42
4.4	応力評価	43
4.4.1	基本方針	43
4.4.2	評価対象部位	43
4.4.3	荷重の組合せ及び許容応力	43
4.4.4	許容応力	43

4.4.5	設計用地震力	45
4.4.6	応力評価方法	46
4.4.6.1	記号の説明	47
4.4.6.2	基礎ボルトの応力計算	49
4.4.7	応力評価条件	50
4.4.7.1	支持構造物の応力評価条件	50
4.5	機能維持評価	51
4.5.1	基本方針	51
4.5.2	機能維持評価方法	51
4.6	評価条件	51
4.7	評価結果	54
4.7.1	重大事故等対処施設としての評価結果	54
5.	使用済燃料プール監視カメラ表示モニタ	56
5.1	基本方針	56
5.1.1	位置	56
5.1.2	構造概要	56
5.1.3	評価方針	57
5.1.4	適用規格	57
5.2	耐震評価箇所	58
5.3	機能維持評価	58
5.3.1	基本方針	58
5.3.2	機能維持評価方法	58
5.4	加振試験	59
5.4.1	基本事項	59
5.4.2	設計用地震力	59
5.5	評価結果	60
5.5.1	設計基準対象施設としての評価結果	60

1. 概要

本計算書は、添付書類V-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すとおり、使用済燃料プール監視カメラが基準地震動S₀による地震力に対しても電氣的機能を維持するために、耐震性を有することを確認するものである。

2. 使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）

2.1 基本方針

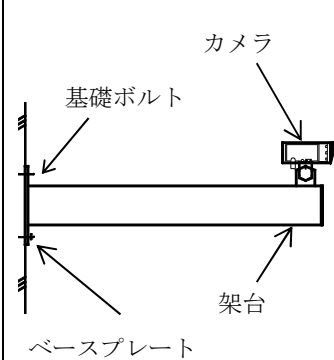
2.1.1 位置

使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）は原子炉建屋6階壁面に1台設置する。

2.1.2 構造概要

使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）の構造計画を第2.1-1表に示す。

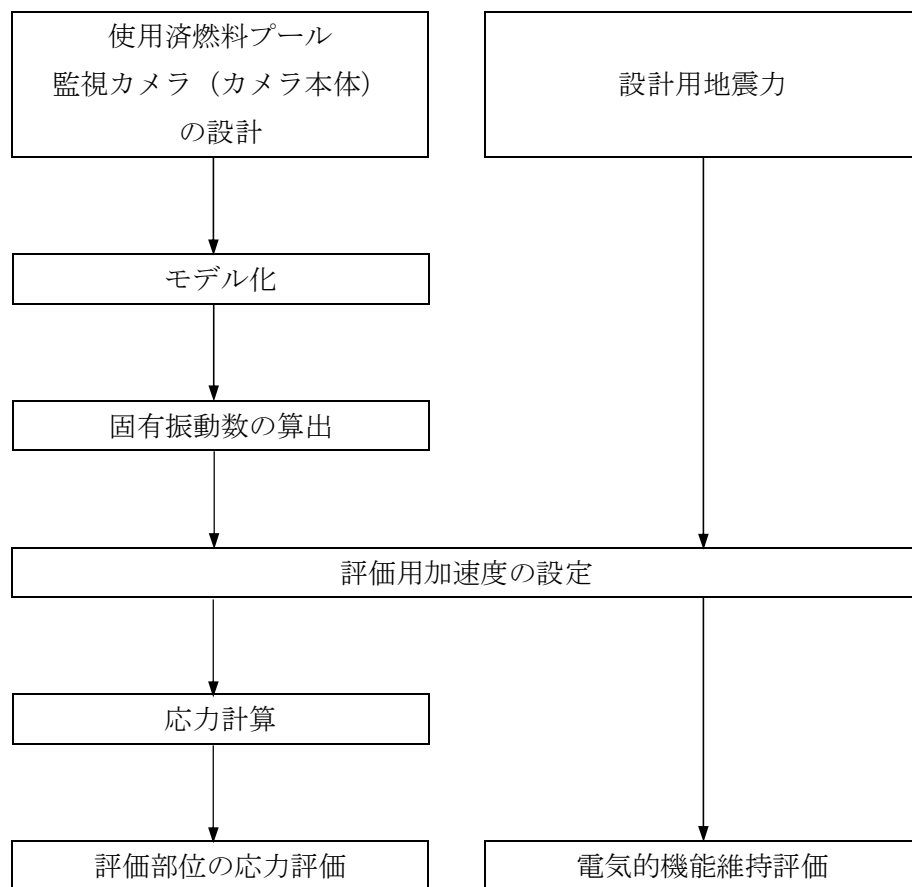
第2.1-1表 使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
使用済燃料プール監視カメラ （カメラ本体）	監視カメラ	カメラを取付治具を介して、壁面に基礎ボルトにて固定された架台に据え付ける。	

2.1.3 評価方針

使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）の応力評価は、添付書類V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1.2 構造概要」にて示すカメラ本体の部位を踏まえ「2.2 耐震評価箇所」にて設定する箇所に作用する応力等が許容限界内に収まることを、「2.4 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、カメラ本体の機能維持評価は、添付書類V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「2.5 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.7 評価結果」に示す。

使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）の耐震評価フローを第2.1-1図に示す。



第2.1-1図 使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）の耐震評価フロー

2.1.4 適用規格

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補 - 1984, J E A G 4 6 0 1 - 1987 及び J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年, 昭和 62 年及び平成 3 年）に準拠して評価する。

2.2 耐震評価箇所

使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）の耐震評価は，耐震評価上厳しくなる架台，ベースプレート，基礎ボルトを選定して実施する。カメラ本体の耐震評価箇所については，第2.1-1表の説明図に示す。

2.3 固有値解析

2.3.1 基本方針

- (1) 固有振動数計算モデルは1質点系モデルとし，使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）の重心位置に地震荷重が作用するものとする。なお，保守的な評価とするため，重心位置は使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）の先端とする。
- (2) 固有振動数の計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

2.3.2 固有振動数の計算方法

2.3.2.1 記号の説明

使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）の固有振動数算出に用いる記号を第2.3-1表に示す。

第2.3-1表 使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）の
固有振動数算出に用いる記号

記号	記号の説明	単位
f	固有振動数	Hz
T	固有周期	s
E	縦弾性係数	MPa
I	断面二次モーメント	mm ⁴
m ₁	使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）質量	kg
B	取付面から重心までの距離	mm

2.3.2.2 固有振動数の算出方法

- (1) 使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）

- a. 1次固有振動数 f の算出式

$$f = \frac{1}{T}$$

$$T = \frac{1}{\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot E \cdot I \cdot 10^3}{m_1 \cdot B^3}}}$$

2.3.2.3 固有振動数の計算条件

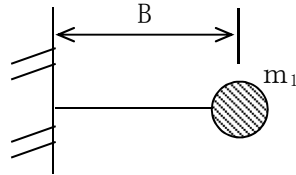
第 2.3-2 表に使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）の固有振動数の計算条件を示す。

第 2.3-2 表 使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）の固有振動数の計算条件

モデル材質	縦弾性係数 E (MPa)	断面二次 モーメント I (mm ⁴)	総質量 m ₁ (kg)	全長 B (mm)
STKR400	1.98×10^5	8.09×10^7		

2.3.3 モデル

使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）は，芯材にて荷重を負担する第 2.3-1 図の片持ち支持梁モデルとする。



第 2.3-1 図 使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）のモデル化の概略

2.3.4 固有値解析結果

上記計算の結果，使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）の固有振動数は 26Hz であり，固有振動数が，20Hz 以上であることから剛構造であることを確認した。

2.4 応力評価

2.4.1 基本方針

- (1) 耐震計算モデルは1質点系モデルとし，使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）の重心位置に地震荷重が作用するものとする。なお，保守的な評価とするため，重心位置は使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）の先端とする。
- (2) 各部位の発生応力と許容応力を比較し，発生応力が許容応力以下であることを確認する。
- (3) 許容応力について，J S M E S N C 1－2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に，温度が付録材料図表記載値の中間の値の場合は，比例法を用いて計算する。ただし，比例法を用いる場合の端数処理は，小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (4) 耐震評価に用いる寸法は，公称値を使用する。

2.4.2 評価対象部位

使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）の耐震評価は，耐震評価上厳しくなる架台，ベースプレート，基礎ボルトを選定して実施する。

2.4.3 荷重の組合せ及び許容応力状態

使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）にて考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を第2.4-1表に示す。

2.4.4 許容応力

使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）の許容応力を第2.4-2表に示す。また，評価部位に応じた使用材料の許容応力を第2.4-3表に示す。

第 2.4-1 表 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処施設）

施設区分		機器名称	設備分類 ^(注1)	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	燃料取扱設 備及び使用 済燃料貯蔵 設備	使用済燃料プール 監視カメラ (カメラ本体)	常設／防止 常設／緩和	— ^(注2)	$D + P_D + M_D + S_s$ ^(注3)	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限界を用 いる。)

(注 1) 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

(注 2) その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

(注 3) 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるために，評価結果の記載を省略する。

第 2.4-2 表 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力 状態	許容限界 ^(注1) ^(注2) (ボルト以外)				許容限界 ^(注2) (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
IV_{AS}	$1.5 f_t^*$	$1.5 f_s^*$	$1.5 f_c^*$	$1.5 f_b^*$	$1.5 f_t^*$	$1.5 f_s^*$
V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の 許容限界を用いる。)						

(注 1) 「鋼構造設計規準 SI 単位版」(2002 年日本建築学会) 等の幅厚比の制限を満足させる。

(注 2) 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

第 2.4-3 表 使用材料の許容応力（重大事故等対処施設）

評価部位	材料	温度条件 (℃)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
架台	STKR400		194	373	—	232
ベースプレート	SS400		219	373	—	261
基礎ボルト (M16)	SNB7		670	759	—	531

2.4.5 設計用地震力

耐震計算に用いる入力地震力には、添付書類V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき、第2.4-4表にて示す条件を用いて作成した設計用床応答曲線を用いる。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。

第2.4-4表 設計用地震力

地震動	設置場所 及び 床面高さ (m)	設計用床応答曲線			備 考
		建屋及び 高さ ^(注) (m)	方向	減衰定数 (%)	
基準 地震動 S _s	原子炉建屋 EL. 51.3	原子炉建屋 EL. 57.0	水平	1.0	水平方向，鉛直方向ともに S _s 1～8 の包絡曲線を用い る。
			鉛直	1.0	

(注) 壁掛形なので，設置フロア上階の設計用床応答曲線を使用する。

2.4.6 応力評価方法

2.4.6.1 個記号の説明

耐震評価に用いる記号を第2.4-5表に示す。

第2.4-5表 耐震評価に用いる記号

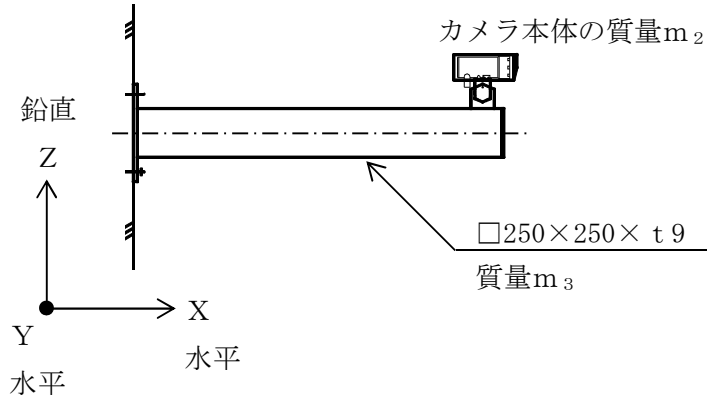
記号	記号の説明	単位
σ_t	引張応力	MPa
σ_c	圧縮応力	MPa
τ	せん断応力	MPa
σ_b	曲げ応力	MPa
N_K	架台軸方向合計荷重	N
P_{X1}	カメラ本体に作用する基準地震動 S_s による水平X方向の地震慣性力	N
P_{X2}	架台に作用する基準地震動 S_s による水平X方向の地震慣性力	N
Q_K	せん断合計荷重	N
M_{TK}	基準地震動 S_s によるねじりモーメント合計荷重	N・mm
M_{YK}	基準地震動 S_s による水平Y方向の曲げモーメント合計荷重	N・mm
M_{ZK}	基準地震動 S_s による鉛直Z方向の曲げモーメント合計荷重	N・mm
P_{Y1}	カメラ本体に作用する基準地震動 S_s による水平Y方向の地震慣性力	N
P_{Y2}	架台に作用する基準地震動 S_s による水平Y方向の地震慣性力	N
P_{Z1}	カメラ本体に作用する基準地震動 S_s による鉛直Z方向の地震慣性力	N
P_{Z2}	架台に作用する基準地震動 S_s による鉛直Z方向の地震慣性力	N
P_{G1}	カメラ本体に作用する基準地震動 S_s による固定荷重	N
P_{G2}	架台に作用する基準地震動 S_s による固定荷重	N

記号	記号の説明	単位
α_X	基準地震動 S_s による水平 X 方向の評価用加速度	$\times 9.8\text{m/s}^2$
α_Y	基準地震動 S_s による水平 Y 方向の評価用加速度	$\times 9.8\text{m/s}^2$
α_Z	基準地震動 S_s による鉛直 Z 方向の評価用加速度	$\times 9.8\text{m/s}^2$
g	重力加速度 ($=9.80665$)	m/s^2
m_2	カメラ本体の質量	kg
m_3	架台の質量	kg
H	カメラ本体の架台からの高さ	mm
B	架台全長	mm
B_2	壁面からカメラ本体までの長さ	mm
a	ボルト間距離 (左右)	mm
b	ボルト間距離 (上下)	mm
A_a	架台の断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの断面積	mm^2
Z_a	架台の断面係数	mm^3
Z_B	ベースプレートの断面係数	mm^3
A_S	せん断断面積	mm^2
Z_P	ねじり断面係数	mm^3
L_K	カメラの長さ	mm
L_B	モーメントアーム	mm
L_t	トルクレバー	mm
n	ボルト本数	—
n_t	引張力を負担するボルト本数	—

2.4.6.2 応力計算

(1) 架台

a. 引張応力



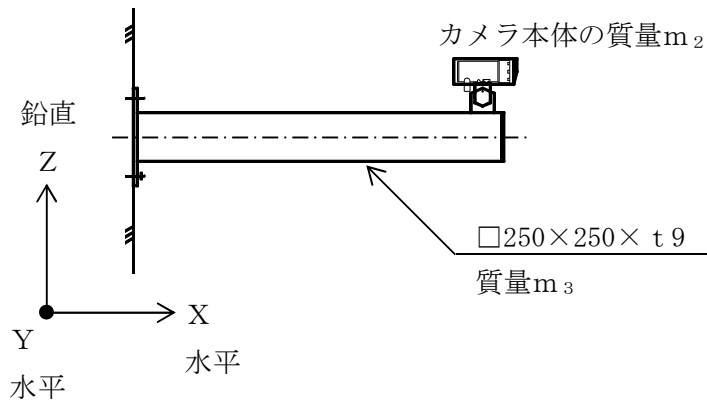
$$\sigma_t = \frac{N_K}{A_a}$$

$$N_K = P_{X1} + P_{X2}$$

$$P_{X1} = \alpha_X \cdot m_2 \cdot g$$

$$P_{X2} = \alpha_X \cdot m_3 \cdot g$$

b. 圧縮応力



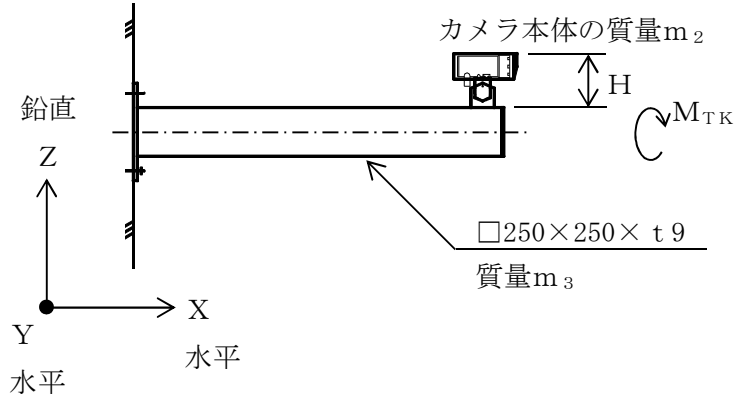
$$\sigma_c = \frac{N_K}{A_a}$$

$$N_K = (-P_{X1}) + (-P_{X2})$$

$$P_{X1} = \alpha_X \cdot m_2 \cdot g$$

$$P_{X2} = \alpha_X \cdot m_3 \cdot g$$

c. せん断応力



$$\tau = \frac{Q_K}{A_S} + \frac{M_{TK}}{Z_P}$$

$$Q_K = \sqrt{P_{Y1}^2 + (P_{Z1} + |P_{G1}|)^2} + \sqrt{P_{Y2}^2 + (P_{Z2} + |P_{G2}|)^2}$$

$$M_{TK} = P_{Y1} \cdot \left(\frac{250}{2} + H \right)$$

$$P_{Y1} = \alpha_Y \cdot m_2 \cdot g$$

$$P_{Z1} = \alpha_Z \cdot m_2 \cdot g$$

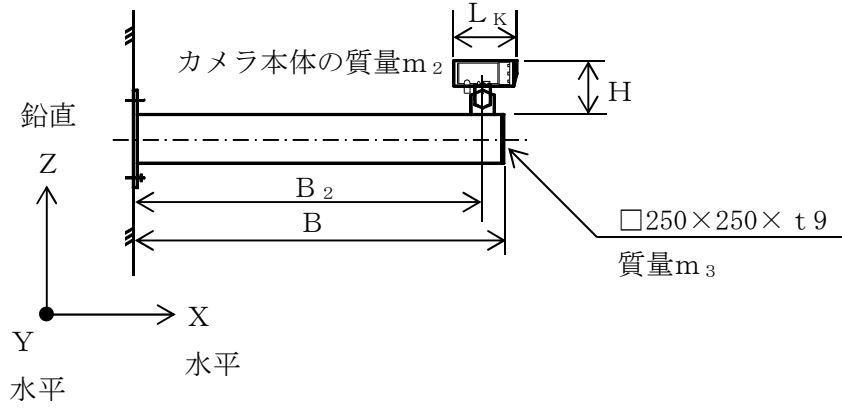
$$P_{G1} = m_2 \cdot -g$$

$$P_{Y2} = \alpha_Y \cdot m_3 \cdot g$$

$$P_{Z2} = \alpha_Z \cdot m_3 \cdot g$$

$$P_{G2} = m_3 \cdot -g$$

d. 曲げ応力



$$\sigma_b = \frac{M_{YK} + M_{ZK}}{Z_a}$$

$$M_{YK} = \{P_{Y1} \cdot (B_2 + L_K)\} + (P_{Y2} \cdot B)$$

$$M_{ZK} = \left\{(|P_{G1}| + P_{Z1}) \cdot (B_2 + L_K) + P_{X1} \cdot \left(\frac{250}{2} + H\right)\right\} \\ + (|P_{G2}| \cdot B + P_{Z2} \cdot B)$$

$$P_{Y1} = \alpha_Y \cdot m_2 \cdot g$$

$$P_{Y2} = \alpha_Y \cdot m_3 \cdot g$$

$$P_{G1} = m_2 \cdot -g$$

$$P_{Z1} = \alpha_Z \cdot m_2 \cdot g$$

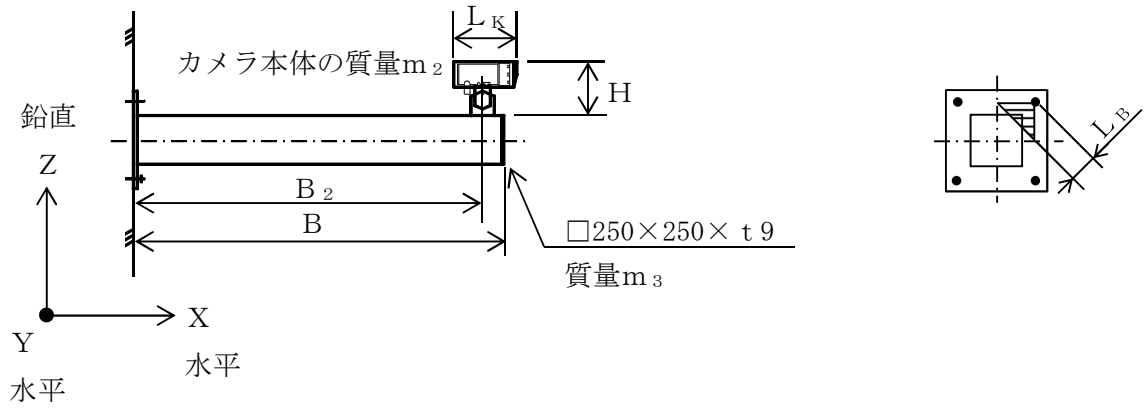
$$P_{X1} = \alpha_X \cdot m_2 \cdot g$$

$$P_{G2} = m_3 \cdot -g$$

$$P_{Z2} = \alpha_Z \cdot m_3 \cdot g$$

(2) ベースプレート

a. 曲げ応力



$$\sigma_b = \frac{\left(\frac{N_K}{n} + \frac{\frac{M_{YK}}{a}}{n_t} + \frac{\frac{M_{ZK}}{b}}{n_t} \right) \cdot L_B}{Z_B}$$

$$N_K = |P_{X1}| + |P_{X2}|$$

$$M_{YK} = P_{Y1} \cdot (B_2 + L_K) + P_{Y2} \cdot B$$

$$M_{ZK} = (|P_{G1}| + P_{Z1}) \cdot (B_2 + L_B) + P_{X1} \cdot \left(\frac{250}{2} + H \right) + (|P_{G2}| \cdot B + P_{Z2} \cdot B)$$

$$P_{X1} = \alpha_X \cdot m_2 \cdot g$$

$$P_{X2} = \alpha_X \cdot m_3 \cdot g$$

$$P_{Y1} = \alpha_Y \cdot m_2 \cdot g$$

$$P_{Y2} = \alpha_Y \cdot m_3 \cdot g$$

$$P_{G1} = m_2 \cdot -g$$

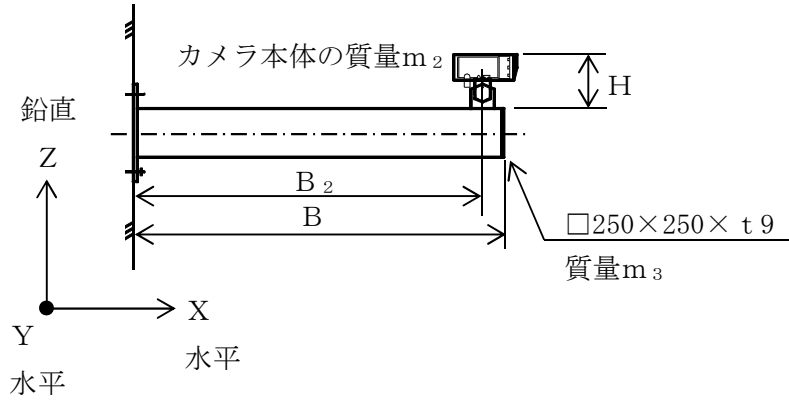
$$P_{Z1} = \alpha_Z \cdot m_2 \cdot g$$

$$P_{G2} = m_3 \cdot -g$$

$$P_{z2} = \alpha_z \cdot m_3 \cdot g$$

(3) 基礎ボルト

a. 引張応力



$$\sigma_t = \frac{\left(\frac{N_K}{n} + \frac{\frac{M_{YK}}{a}}{n_t} + \frac{\frac{M_{ZK}}{b}}{n_t} \right)}{A_b}$$

$$N_K = |P_{X1}| + |P_{X2}|$$

$$M_{YK} = P_{Y1} \cdot (B_2 + L_B) + P_{Y2} \cdot B$$

$$M_{ZK} = (|P_{G1}| + P_{Z1}) \cdot (B_2 + L_B) + P_{X1} \cdot \left(\frac{250}{2} + H \right) + (|P_{G2}| \cdot B + P_{Z2} \cdot B)$$

$$P_{X1} = \alpha_X \cdot m_2 \cdot g$$

$$P_{X2} = \alpha_X \cdot m_3 \cdot g$$

$$P_{Y1} = \alpha_Y \cdot m_2 \cdot g$$

$$P_{Y2} = \alpha_Y \cdot m_3 \cdot g$$

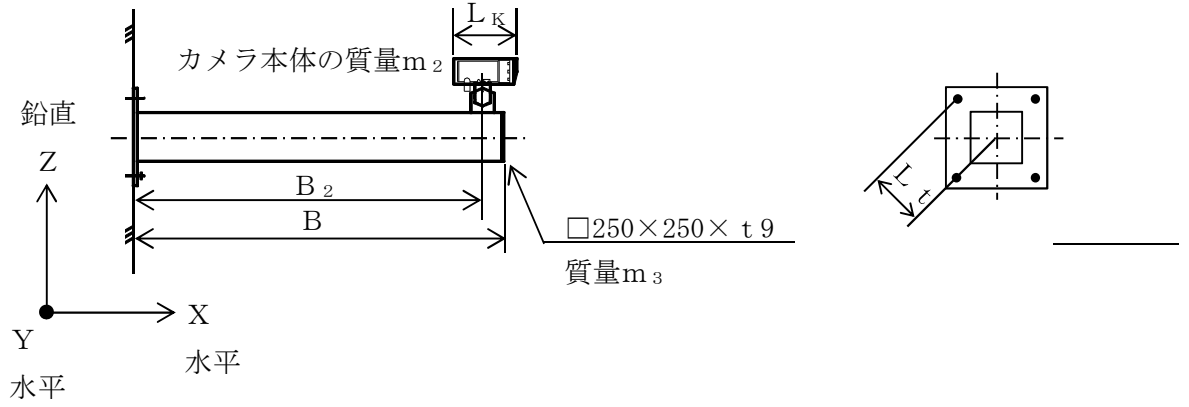
$$P_{G1} = m_2 \cdot -g$$

$$P_{Z1} = \alpha_Z \cdot m_2 \cdot g$$

$$P_{G2} = m_3 \cdot -g$$

$$P_{Z2} = \alpha_Z \cdot m_3 \cdot g$$

b. セン断応力



$$\tau = \frac{\frac{Q_K}{n} + \frac{\frac{P_{Y1} \cdot L_K}{L_t}}{4}}{A_b}$$

$$Q_K = \sqrt{P_{Y1}^2 + (P_{Z1} + |P_{G1}|)^2} + \sqrt{P_{Y2}^2 + (P_{Z2} + |P_{G2}|)^2}$$

$$P_{Y1} = \alpha_Y \cdot m_2 \cdot g$$

$$P_{Z1} = \alpha_Z \cdot m_2 \cdot g$$

$$P_{G1} = m_2 \cdot -g$$

$$P_{Y2} = \alpha_Y \cdot m_3 \cdot g$$

$$P_{Z2} = \alpha_Z \cdot m_3 \cdot g$$

$$P_{G2} = m_3 \cdot -g$$

2.4.6.3 応力評価条件

第 2.4-6 表に使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）の応力評価条件を示す。

第 2.4-6 表 使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）の応力評価条件

架台の材質	架台の断面積 A (mm^2)	監視カメラの 質量 m_2 (kg)	架台の質量 m_3 (kg)
STKR400	8467		

重力加速度 g (m/s^2)	カメラ本体の架台 からの高さ H (mm)	架台全長 B (mm)
9.80665	277	1929

モーメントアーム L_B (mm)	トルクレバー L_t (mm)	ボルト本数 n (本)	引張力を負担する ボルト本数 n_t (本)
106	283	4	2

基準地震動 S_s による 水平 X 方向の評価用加速度 α_x ($\times 9.8 \text{m/s}^2$)	基準地震動 S_s による 水平 Y 方向の評価用加速度 α_y ($\times 9.8 \text{m/s}^2$)	基準地震動 S_s による 鉛直 Z 方向の評価用加速度 α_z ($\times 9.8 \text{m/s}^2$)
2.09	2.09	1.77

2.5 機能維持評価

2.5.1 基本方針

使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）は、地震時及び地震後に電氣的機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その機能が維持されていることを示す。

2.5.2 機能維持評価方法

使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）の固有振動数から応答加速度を求め、機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、器具単体の正弦波加振試験（掃引試験及び正弦波加振試験）において、電氣的機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。機能確認済加速度については、第 2.5-1 表に示す。

なお、使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）の加振試験の結果から、固有振動数は水平及び鉛直方向ともに 20Hz 以上であることを確認したことから、評価用加速度は使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）設置床の応答加速度とする。

第 2.5-1 表 機能確認済加速度

項 目	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
水 平	
鉛 直	

2.6 評価条件

評価結果の妥当性を確認する上で必要となる、設計条件及び評価用加速度について第 2.6-1 表及び第 2.6-2 表に記載する。

第 2.6-1 表 設計条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び 床面高さ (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		周辺環境温度 (℃)
			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	
使用済燃料 プール監視 カメラ (カメラ本 体)	— (S_s 機能維 持)	原子炉建屋 EL. 46.5 (EL. 57.0) *	0.05 以下	0.05 以下	—	—	2.09	1.77	105

注記 * : 評価に用いる基準床レベルを示す。

21 第 2.6-2 表 評価用加速度

項 目	評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
水 平	2.09
鉛 直	1.77

2.7 評価結果

2.7.1 重大事故等対処施設としての評価結果

使用済燃料プール監視カメラ（カメラ本体）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており，耐震性を有することを確認した。また，評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，基準地震動 S_s に対して電氣的機能が維持されることを確認した。

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を第 2.7-1 表に示す。また，電氣的機能維持評価結果を第 2.7-2 表に示す。

第 2.7-1 表 基準地震動 S_s による評価結果 ($D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$)

評価対象設備			評価部位	応力の種類	最大発生応力	評価基準値
					MPa	MPa
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	その他	使用済燃料プール 監視カメラ (カメラ本体)	架台	組合せ 応力		174
			ベース プレート	曲げ応力		301
			基礎 ボルト	引張応力		398
				せん断 応力		306

第 2.7-2 表 電氣的機能維持評価結果 (重大事故等対処施設)

評価対象設備			機能確認済加速度との比較					詳細評価
			加速度確認 部位	水平加速度 (×9.8m/s ²)		鉛直加速度 (×9.8m/s ²)		
				評価用 加速度	機能確認済 加速度	評価用 加速度	機能確認済 加速度	
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	その他	使用済燃料プール 監視カメラ (カメラ本体)	—	2.09		1.77		—

3. 使用済燃料プール監視カメラ制御盤

3.1 基本方針

3.1.1 位置

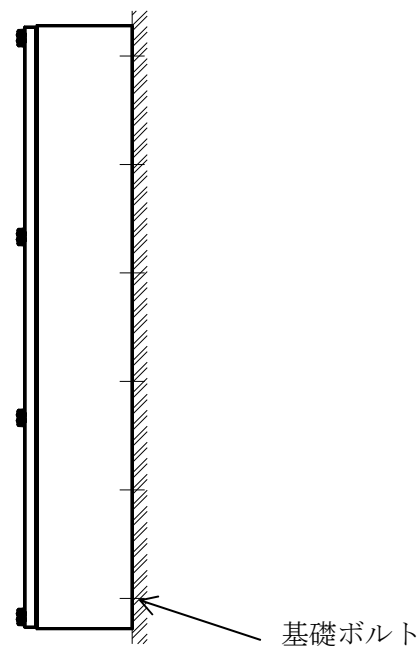
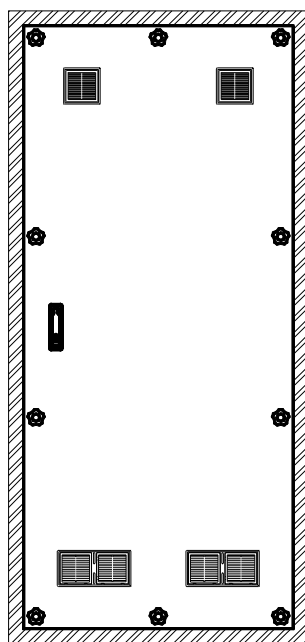
使用済燃料プール監視カメラ用制御盤は中央制御室に 1 台設置する。

3.1.2 構造概要

使用済燃料プール監視カメラ用制御盤の構造計画を第 3.1-1 表に示す。

第 3.1-1 表 使用済燃料プール監視カメラ制御盤の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
使用済燃料プール 監視カメラ制御盤	壁掛閉鎖型	壁に盤を基礎ボルトにて据え付ける。	第 3.1-1 図

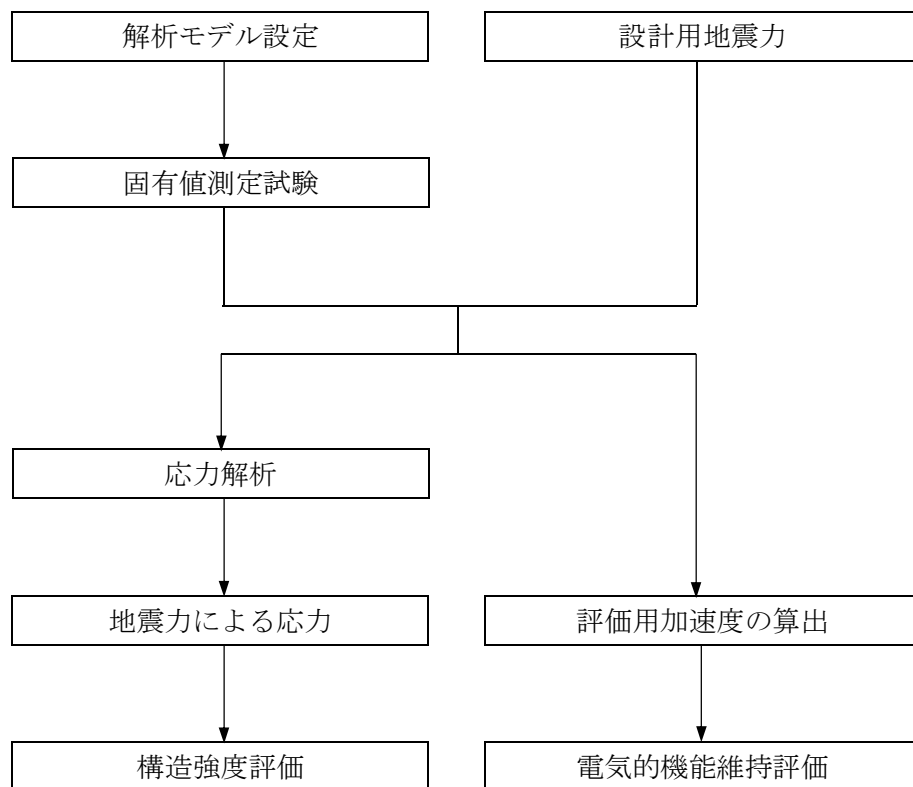


第 3.1-1 図 使用済燃料プール監視カメラ制御盤の外形図

3.1.3 評価方針

使用済燃料プール監視カメラ制御盤の応力評価は、添付書類V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3.1.2 構造概要」にて示す使用済燃料プール監視カメラ制御盤の部位を踏まえ「3.2 耐震評価箇所」にて設定する箇所に発生する応力等が許容限界内に収まることを、「3.4 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、使用済燃料プール監視カメラ制御盤の機能維持評価は、添付書類V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「3.5 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「3.7 評価結果」に示す。

使用済燃料プール監視カメラ制御盤の耐震評価フローを第3.1-2図に示す



第3.1-2図 使用済燃料プール監視カメラ制御盤の耐震評価フロー

3.1.4 適用規格

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年, 昭和 62 年及び平成 3 年）に準拠して評価する。

3.2 耐震評価箇所

使用済燃料プール監視カメラ制御盤の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトを選定して実施する。使用済燃料プール監視カメラ制御盤の耐震評価箇所については、第 3.1-1 図に示す。

3.3 固有値解析

3.3.1 基本方針

振動特性試験にて盤の固有振動数を求める。

3.3.2 固有振動数の計算方法

振動試験装置にて1～35Hzの範囲について加速度0.1Gで掃引し、盤の応答を測定する。

3.3.3 固有値解析結果

固有振動数の計算結果を以下に示す。

方向	盤の固有振動数 (Hz)
水平	20 以上
鉛直	20 以上

3.4 応力評価

3.4.1 基本方針

- (1) 耐震計算モデルは 1 質点系モデルとし、盤の重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- (2) 許容応力について、J SME S NC 1-2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に、温度が付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

3.4.2 評価対象部位

使用済燃料プール監視カメラ制御盤の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトを選定して実施する。

3.4.3 荷重の組合せ及び許容応力

使用済燃料プール監視カメラ制御盤の荷重の組合せ及び許容応力状態について、重大事故等対処施設の評価に用いるものを第 3.4-1 表に示す。

3.4.4 許容応力

使用済燃料プール監視カメラ制御盤の許容応力を第 3.4-2 表に示す。また、評価部位に応じた使用材料の許容応力を第 3.4-3 表に示す。

第 3.4-1 表 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処施設）

施設区分		機器名称	設備分類 ^(注1)	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	燃料取扱設備及び使用済燃料貯蔵設備	使用済燃料プール 監視カメラ制御盤	常設／防止 常設／緩和	— ^(注2)	$D + P_D + M_D + S_s$ ^(注3)	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限界を用いる。)

(注1) 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

(注2) その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

(注3) 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

第 3.4-2 表 許容応力（その他の支持構造物（重大事故等対処施設））

許容応力状態	許容限界（ボルト等） ^(注)	
	一次応力	
	引張	せん断
$IV_A S$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限界を用いる。)		

(注) 応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

第 3.4-3 表 使用材料の許容応力（重大事故等対処施設）

評価部位	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F [*] (MPa)
基礎ボルト	SUS304		205	520	—	246

3.4.5 設計用地震力

耐震計算に用いる入力地震力には、添付書類 V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき、第 3.4-4 表にて示す条件を用いて作成した設計用床応答曲線を用いる。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」第 3-1 表に記載の減衰定数を用いる。

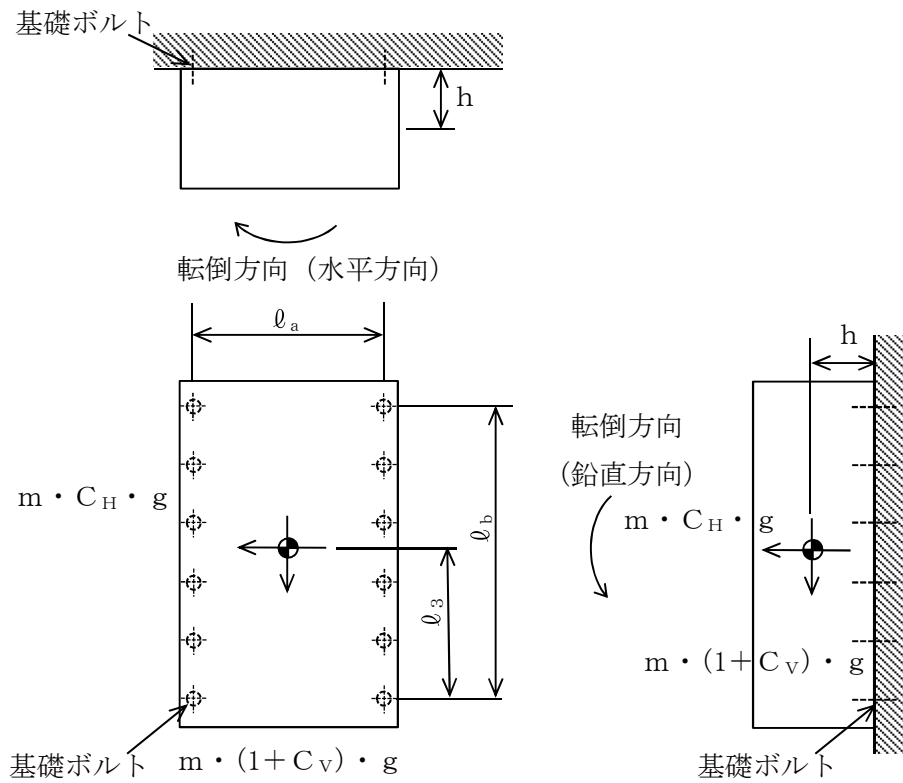
第 3.4-4 表 設計用地震力

地震動	設置場所 及び 床面高さ (m)	設計用床応答曲線			備 考
		建屋及び 高さ ^(注) (m)	方 向	減衰 定数 (%)	
基準 地震動 S _s	原子炉 建屋 EL. 20.3	原子炉 建屋 EL. 29.0	水 平	4.0	水平方向，鉛直方向と もに S _s 1～8 の包絡曲 線を用いる。
			鉛 直	1.0	

(注) 制御盤は壁掛形であるため，設置フロア上階の設計用床応答曲線を使用する。

3.4.6 応力評価方法

基礎ボルトの応力算出概念図を第 3.4-1 図に示す。



第 3.4-1 図 基礎ボルトの応力算出概念図

3.4.6.1 記号の説明

耐震評価に用いる記号を第3.4-5表に示す。

第3.4-5表 耐震評価に用いる記号

記号	記 号 の 説 明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格*SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格*SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1本当たり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1本当たり）（壁掛形）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
h	取付面から重心までの距離	mm
ℓ_3	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）	mm
ℓ_a	左側取付ボルトと右側取付ボルト間の水平方向距離（壁掛形）	mm
ℓ_b	上側取付ボルトと下側取付ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）	mm
m	盤の質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（水平方向）（壁掛形）	—
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（鉛直方向）（壁掛形）	—

記号	記号の説明	単位
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
S_u	設計・建設規格*1 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格*1 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

* 1 : 「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1－2005/2007（日本機械学会 2007 年）（以下「設計・建設規格」という。）をいう。

3.4.6.2 基礎ボルトの応力計算

(1) 基礎ボルトの引張応力計算

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、第 3.4-1 図で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

a. 引張力

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2})$$

$$F_{b1} = \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_b} + \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g}{n_{fH} \cdot \ell_a}$$

$$F_{b2} = \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h \cdot g + m \cdot C_H \cdot \ell_3 \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_b}$$

b. 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

(2) 基礎ボルトのせん断応力

ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

a. せん断力

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2}$$

$$Q_{b1} = m \cdot C_H \cdot g$$

$$Q_{b2} = m \cdot (1 + C_V) \cdot g$$

b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b}$$

3.4.7 応力評価条件

3.4.7.1 支持構造物の応力評価条件

(1) 盤関係

項 目	記 号	単 位	入力値
機器（盤）質量	m	kg	
重力加速度	g	m/s ²	9.80665
取付面から重心までの距離	h	mm	165
左側取付ボルトと右側取付ボルト間の 水平方向距離（壁掛形）	ℓ_a	mm	820
上側取付ボルトと下側取付ボルト間の 鉛直方向距離（壁掛形）	ℓ_b	mm	1800
重心と下側ボルト間の鉛直方向距離 （壁掛形）	ℓ_3	mm	879

(2) 設計用加速度

項 目	記 号	設計用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
水平	C_H	1.55
鉛直	C_V	1.17

3.5 機能維持評価

3.5.1 基本方針

使用済燃料プール監視カメラ制御盤は、地震時及び地震後に電氣的機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その機能が維持されていることを示す。

3.5.2 機能維持評価方法

使用済燃料プール監視カメラ制御盤の固有振動数から応答加速度を求め、機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、器具を実装した制御盤の正弦波加振試験（掃引試験及びビート試験）において、電氣的機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を第 3.5-1 表に示す。

なお、使用済燃料プール監視カメラ制御盤の加振試験の結果から、固有振動数は水平及び鉛直方向ともに 20Hz 以上であることを確認したことから、評価用加速度には最大床加速度を使用する。

第 3.5-1 表 機能確認済加速度

項 目	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
水 平		
鉛 直		

3.6 評価条件

評価結果の妥当性を確認する上で必要となる、設計条件、評価用加速度及び機器要目について第 3.6-1 表、第 3.6-2 表及び第 3.6-3 表に記載する。

第 3.6-1 表 設計条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及 び床面高さ (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		周辺環境温度 (℃)
			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	
使用済燃料 プール監視 カメラ制御 盤	— (S_s 機能維持)	EL. 29.0	0.05 以下	0.05 以下	—	—	1.55	1.17	40

注記 * : 固有周期は掃引試験により求めた使用済燃料プール監視カメラ制御盤の固有振動数 f の逆数である。

第 3.6-2 表 評価用加速度

項 目	評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
水 平	1.55
鉛 直	1.17

第 3.6－3 表 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト						201.1	12	2	6

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用 地震動 S_d 又は静的震度	弾性設計用 地震動 S_s
基礎ボルト	205	520	—	246	—	鉛直

3.7 評価結果

3.7.1 重大事故等対処施設としての評価結果

使用済燃料プール監視カメラ制御盤の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。また、評価用加速度は機能確認済加速度以下であり、基準地震動 S_s に対して電氣的機能が維持されることを確認した。

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を第 3.7-1 表及び第 3.7-2 表に示す。また、電氣的機能維持評価結果を第 3.7-3 表に示す。

第 3.7-1 表 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	1420	—	7924

第 3.7-2 表 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SUS304	引張	—	—		184
		せん断	—	—		141

第 3.7-3 表 電氣的機能維持の評価結果 (単位：×9.8m/s²)

	評価用加速度	機能確認済加速度
水平方向	1.55	
鉛直方向	1.17	

4. 使用済燃料プール監視カメラ用機器収納箱

4.1 基本方針

4.1.1 位置

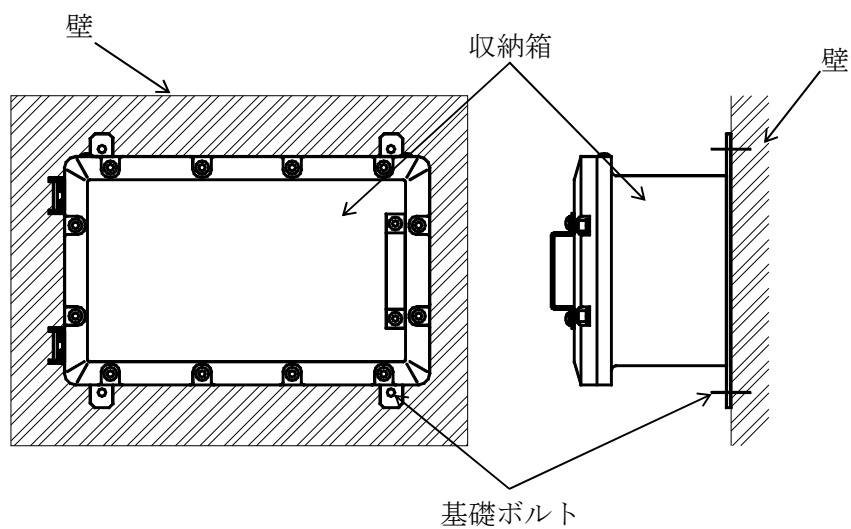
使用済燃料プール監視カメラ用機器収納箱は空調機械室に1台設置する。

4.1.2 構造概要

使用済燃料プール監視カメラ用機器収納箱の構造計画を第4.1-1表に示す。

第4.1-1表 使用済燃料プール監視カメラ用機器収納箱の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
使用済燃料プール 監視カメラ用 機器収納箱	壁掛形	収納箱を壁面に基礎ボルトにて据え付ける。	第4.1-1図

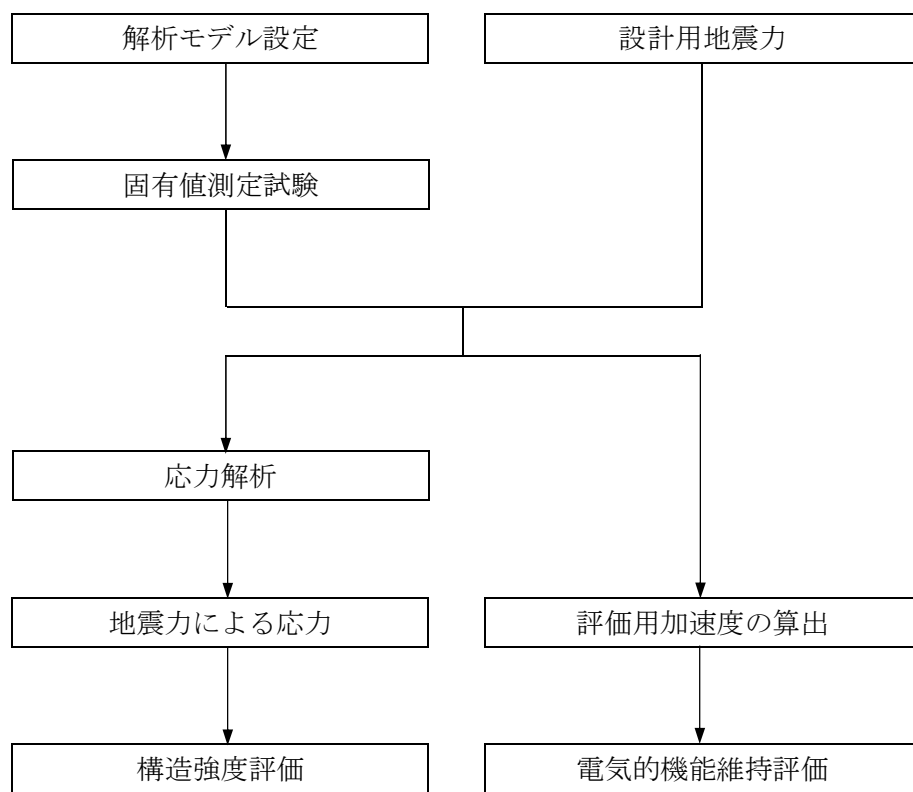


第4.1-1図 使用済燃料プール監視カメラ用機器収納箱 外形図

4.1.3 評価方針

使用済燃料プール監視カメラ用機器収納箱の応力評価は、添付書類V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「4.1.2 構造概要」にて示す収納箱の部位を踏まえ、「4.2 耐震評価箇所」にて設定する箇所に発生する応力等が許容限界内に収まることを、「4.4 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、使用済燃料プール監視カメラ用機器収納箱の機能維持評価は、添付書類V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「4.5 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「4.7 評価結果」に示す。

使用済燃料プール監視カメラ用機器収納箱の耐震評価フローを第4.1-2図に示す。



第4.1-2図 使用済燃料プール監視カメラ用機器収納箱の耐震評価フロー

4.1.4 適用規格

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984, J E A G 4 6 0 1-1987 及び J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年, 昭和 62 年及び平成 3 年）に準拠して評価する。

4.2 耐震評価箇所

使用済燃料プール監視カメラ用機器収納箱の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトを選定して実施する。使用済燃料プール監視カメラ用機器収納箱の耐震評価箇所については、第4.1-1図に示す。

4.3 固有値解析

4.3.1 基本方針

振動特性試験にて使用済燃料プール監視カメラ用機器収納箱の固有振動数を求める。

4.3.2 固有振動数の計算方法

振動試験装置にて1～35Hzの範囲について加速度0.1Gで掃引し、使用済燃料プール監視カメラ用機器収納箱の応答を測定する。

4.3.3 固有値解析結果

固有振動数の計算結果を以下に示す。

方向	固有振動数 (Hz)
水平	20 以上
鉛直	20 以上

4.4 応力評価

4.4.1 基本方針

- (1) 耐震計算モデルは 1 質点系モデルとし、盤の重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- (2) 許容応力について、J SME S NC 1-2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に、温度が付録材料図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.4.2 評価対象部位

使用済燃料プール監視カメラ用機器収納箱の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトを選定して実施する。

4.4.3 荷重の組合せ及び許容応力

使用済燃料プール監視カメラ用機器収納箱の荷重の組合せ及び許容応力状態について、重大事故等対処施設の評価に用いるものを第 4.4-1 表に示す。

4.4.4 許容応力

使用済燃料プール監視カメラ用機器収納箱の許容応力を第 4.4-2 表に示す。また、評価部位に応じた使用材料の許容応力を第 4.4-3 表に示す。

第 4.4-1 表 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処施設）

施設区分		機器名称	設備分類 ^(注1)	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	燃料取扱設備及び使用済燃料貯蔵設備	使用済燃料プール 監視カメラ用 機器収納箱	常設／防止 常設／緩和	— ^(注2)	$D + P_D + M_D + S_s$ ^(注3)	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の 許容限界を用いる。)

(注1) 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

(注2) その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

(注3) 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

第 4.4-2 表 許容応力（その他の支持構造物（重大事故等対処施設））

許容応力状態	許容限界（ボルト等） ^(注)	
	一次応力	
	引張	せん断
$IV_A S$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限界を用いる。)		

(注) 応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

第 4.4-3 表 使用材料の許容応力（重大事故等対処施設）

評価部位	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F [*] (MPa)
基礎ボルト	SUS304		201	510	—	241

4.4.5 設計用地震力

耐震計算に用いる入力地震力には、添付書類 V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき、第 4.4-4 表にて示す条件を用いて作成した設計用床応答曲線を用いる。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」第 3-1 表に記載の減衰定数を用いる。

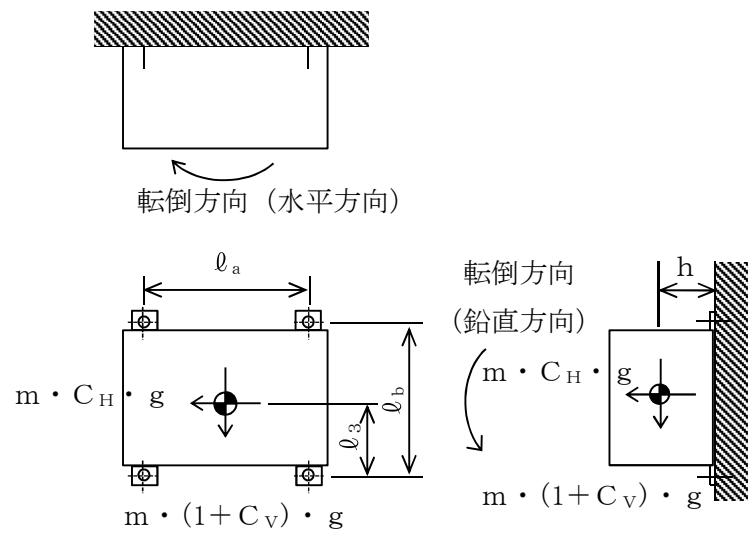
第 4.4-4 表 設計用地震力

地震動	設置場所 及び 床面高さ (m)	設計用床応答曲線			備 考
		建屋及び 高さ ^(注) (m)	方 向	減衰 定数 (%)	
基準 地震動 S _s	原子炉 建屋 EL. 23.0	原子炉 建屋 EL. 29.0	水 平	4.0	水平方向，鉛直方向と もに S _s 1～8 の包絡曲 線を用いる。
			鉛 直	1.0	

(注) 収納箱は壁掛形であるため，設置フロア上階の設計用床応答曲線を使用する。

4.4.6 応力評価方法

以下の基礎ボルトの応力算出概念図及び計算式を第 4.4-1 図に示す。



第 4.4-1 図 応力計算モデル

4.4.6.1 記号の説明

耐震評価に用いる記号を第 4.4-5 表に示す。

第 4.4-5 表 耐震評価に用いる記号

記号	記 号 の 説 明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格*1SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格*1SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1 本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）（壁掛形）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
h	取付面から重心までの距離	mm
ℓ_3	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）	mm
ℓ_a	左側取付ボルトと右側取付ボルト間の水平方向距離（壁掛形）	mm
ℓ_b	上側取付ボルトと下側取付ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）	mm
m	盤の質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（水平方向）（壁掛形）	—
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（鉛直方向）（壁掛形）	—

記号	記号の説明	単位
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
S_u	設計・建設規格*1 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格*1 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

* 1 : 「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J SME S NC 1－2005/2007（日本機械学会 2007 年）（以下「設計・建設規格」という。）をいう。

4.4.6.2 基礎ボルトの応力計算

(1) 基礎ボルトの引張応力計算

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、第 3.4-1 図で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

a. 引張力

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2})$$

$$F_{b1} = \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_b} + \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g}{n_{fH} \cdot \ell_a}$$

$$F_{b2} = \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h \cdot g + m \cdot C_H \cdot \ell_3 \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_b}$$

b. 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

(2) 基礎ボルトのせん断応力

ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

a. せん断力

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2}$$

$$Q_{b1} = m \cdot C_H \cdot g$$

$$Q_{b2} = m \cdot (1 + C_V) \cdot g$$

b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b}$$

4.4.7 応力評価条件

4.4.7.1 支持構造物の応力評価条件

(1) 機器収納箱関係

項 目	記 号	単 位	入力値
機器（機器収納箱）質量	m	kg	
重力加速度	g	m/s ²	9.80665
取付面から重心までの距離	h	mm	95
左側取付ボルトと右側取付ボルト間の 水平方向距離（壁掛形）	ℓ_a	mm	380
上側取付ボルトと下側取付ボルト間の 鉛直方向距離（壁掛形）	ℓ_b	mm	320
重心と下側ボルト間の鉛直方向距離 （壁掛形）	ℓ_3	mm	163

(2) 設計用加速度

項 目	記 号	設計用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
水平	C_H	1.55
鉛直	C_V	1.17

4.5 機能維持評価

4.5.1 基本方針

使用済燃料プール監視カメラ用機器収納箱は，地震時及び地震後に電氣的機能が要求されており，地震時及び地震後においても，その機能が維持されていることを示す。

4.5.2 機能維持評価方法

使用済燃料プール監視カメラ用機器収納箱の固有振動数から応答加速度を求め，機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には，器具を実装した収納箱の正弦波加振試験（掃引試験及びビート試験）において，電氣的機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を第 4.5－1 表に示す。

なお，使用済燃料プール監視カメラ用機器収納箱の加振試験の結果から，固有振動数は水平及び鉛直方向ともに 20Hz 以上であることを確認したことから，評価用加速度には最大床加速度を使用する。

第 4.5－1 表 機能確認済加速度

項 目	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
	水 平	鉛 直

4.6 評価条件

評価結果の妥当性を確認する上で必要となる，設計条件，評価用加速度及び機器要目について第 4.6－1 表，第 4.6－2 表及び第 4.6－3 表に記載する。

第 4.6-1 表 設計条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及 び床面高さ (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		周辺環境温度 (℃)
			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	
使用済燃料 プール監視 カメラ用 機器収納箱	— (S_s 機能維持)	EL. 29.0	0.05 以下	0.05 以下	—	—	1.55	1.17	46

注記 * : 固有周期は掃引試験により求めた使用済燃料プール監視カメラ制御盤の固有振動数 f の逆数である。

第 4.6-2 表 評価用加速度

項 目	評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
水 平	1.55
鉛 直	1.17

第 4.6-3 表 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト						50.27	4	2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用 地震動 S_d 又は静的震度	弾性設計用 地震動 S_s
基礎ボルト	201	510	—	241	—	鉛直

4.7 評価結果

4.7.1 重大事故等対処施設としての評価結果

使用済燃料プール監視カメラ用機器収納箱の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。また、評価用加速度は機能確認済加速度以下であり、基準地震動 S_s に対して電氣的機能が維持されることを確認した。

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を第 4.7-1 表及び第 4.7-2 表に示す。また、電氣的機能維持評価結果を第 4.7-3 表に示す。

第 4.7-1 表 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	189.8	—	706.1

第 4.7-2 表 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SUS304	引張	—	—		180
		せん断	—	—		138

第 4.7-3 表 電氣的機能維持の評価結果 (単位：×9.8m/s²)

	評価用加速度	機能確認済加速度
水平方向	1.55	
鉛直方向	1.17	

5. 使用済燃料プール監視カメラ表示モニタ

5.1 基本方針

5.1.1 位置

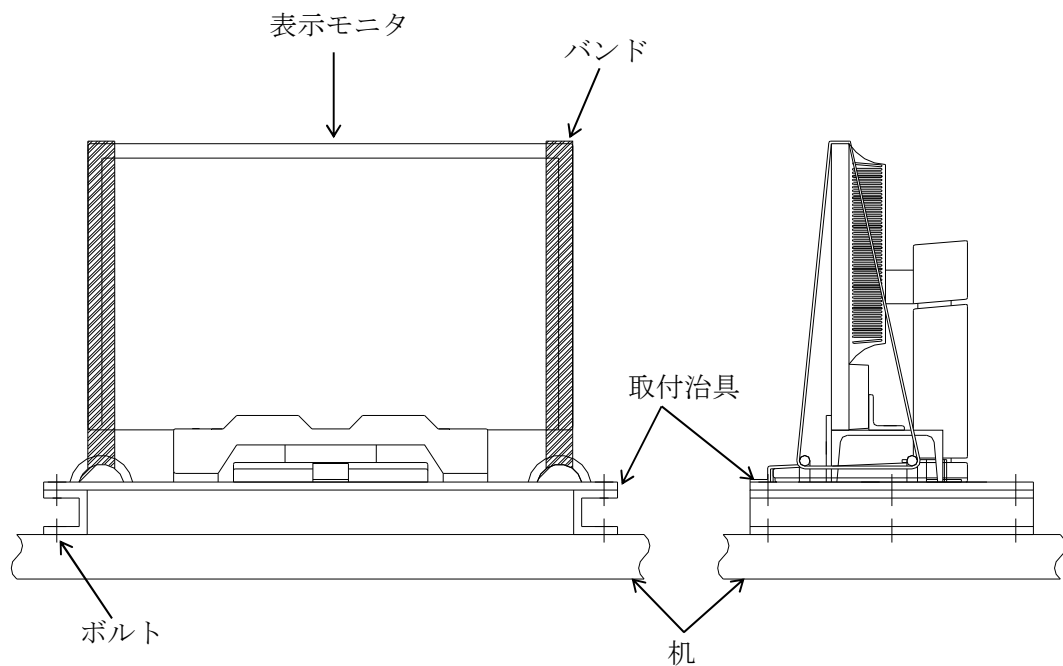
使用済燃料プール監視カメラ表示モニタは中央制御室に1台設置する。

5.1.2 構造概要

使用済燃料プール監視カメラ表示モニタの構造計画を第5.1-1表に示す。

第5.1-1表 使用済燃料プール監視カメラ表示モニタの構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
使用済燃料プール 監視カメラ 表示モニタ	据付型	表示モニタを机にボルトにて取付けた取付治具を介してバンドにて固定する。	第5.1-1図

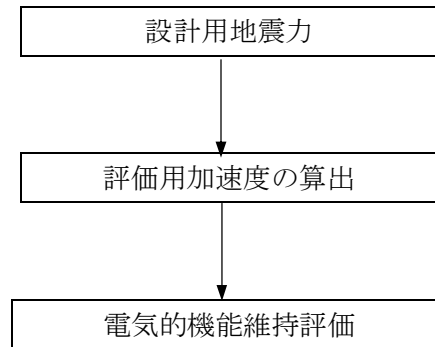


第5.1-1図 使用済燃料プール監視カメラ表示モニタ 外形図

5.1.3 評価方針

使用済燃料プール監視カメラ表示モニタは、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「5.5 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.7 評価結果」に示す。

使用済燃料プール監視カメラ表示モニタの耐震評価フローを第 5.1-2 図に示す。



第 5.1-2 図 使用済燃料プール監視カメラ表示モニタの耐震評価フロー

5.1.4 適用規格

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984, J E A G 4 6 0 1-1987 及び J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年, 昭和 62 年及び平成 3 年）に準拠して評価する。

5.2 耐震評価箇所

評価部位は使用済燃料プール監視カメラ表示モニタ本体である。本計算書では、加振試験結果を用いた使用済燃料プール監視カメラ表示モニタの電氣的機能維持評価について示す。

使用済燃料プール監視カメラ表示モニタの機能維持評価は、津使用済燃料プール監視カメラ表示モニタ設置床の加速度により実施する。使用済燃料プール監視カメラ表示モニタの耐震評価部位については、第 5.1-1 図に示す。

5.3 機能維持評価

5.3.1 基本方針

使用済燃料プール監視カメラ表示モニタは、地震時及び地震後に電氣的機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その機能が維持されていることを示す。

5.3.2 機能維持評価方法

使用済燃料プール監視カメラ表示モニタの電氣的機能維持評価について、以下に示す。

使用済燃料プール監視カメラ表示モニタは原子炉建屋付属棟（中央制御室）内に設置されることから、評価用加速度は V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に示す原子炉建屋の地震応答解析で評価した使用済燃料プール監視カメラ表示モニタを設置する床に生じる加速度とし、評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、表示モニタの加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を第 5.3-1 表に示す。

第 5.3-1 表 機能確認済加速度

項 目	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水 平	
鉛 直	

5.4 加振試験

5.4.1 基本事項

使用済燃料プール監視カメラ表示モニタについて実際の設置状態を模擬して加振試験を行い、基準地震動 S_s による地震力に対して要求される機能が維持されることを確認する。

5.4.2 設計用地震力

以下の加振波の最大床加速度を上回る加速度で加振を行う。

- ・加振波：対象機器設置床における基準地震動 S_s に対する設計用床応答曲線を上回るように設定
- ・加振方向：水平 2 方向と鉛直方向の 3 方向単軸加振

(単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

対象機器設置箇所	加振方向	評価用加速度 (G)
原子炉建屋 EL. 18.0m (EL. 29.00m) *1	水平*2	1.55
	鉛直	1.17

注記 *1：設置場所は中間階のため、1 つ上階の最大床加速度を用いて保守的に評価する。

*2：水平方向は X 方向及び Y 方向の包絡曲線を用いる。

5.5 評価結果

5.5.1 設計基準対象施設としての評価結果

使用済燃料プール監視カメラ表示モニタの設計基準対象施設としての状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり、基準地震動 S_s に対して電氣的機能が維持されることを確認した。

基準地震動 S_s に対する電氣的機能維持評価結果を第 5.5-1 表に示す。

第 5.5－1 表 電氣的機能維持の評価結果 (単位：×9.8 m/s²)

	評価用加速度	機能確認済加速度
水平方向	1.55	
鉛直方向	1.17	

V-2-4-2-7 使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置の
耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置空気圧縮機	2
2.1 基本方針	2
2.1.1 位置	2
2.1.2 構造概要	2
2.1.3 評価方針	3
2.1.4 適用規格	3
3. 使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置除湿器	4
3.1 基本方針	4
3.1.1 位置	4
3.1.2 構造概要	4
3.1.3 評価方針	5
3.1.4 適用規格	5
4. 使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置冷却器	6
4.1 基本方針	6
4.1.1 位置	6
4.1.2 構造概要	6
4.1.3 評価方針	7
4.1.4 適用規格	7

1. 概要

本計算書は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すとおり、使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置が基準地震動 S_s による地震力に対しても機能を維持するために、耐震性を有することを確認するものである。

2. 使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置空気圧縮機

2.1 基本方針

2.1.1 位置

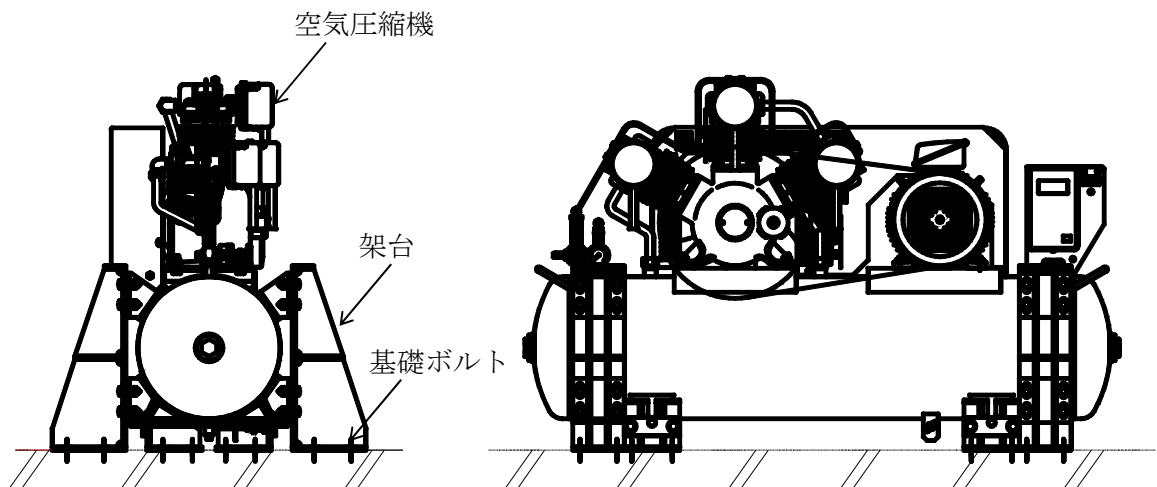
使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置空気圧縮機は、原子炉建屋付属棟に2台設置する。

2.1.2 構造概要

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置空気圧縮機の構造計画を第2.1-1表に示す。

第2.1-1表 使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置空気圧縮機の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
使用済燃料プール 監視カメラ用 空冷装置空気圧縮機	空気圧縮機	空気圧縮機を床面に基礎ボルトにて固定された架台に据え付ける。	第2.1-1図



第2.1-1図 使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置空気圧縮機 外形図

2.1.3 評価方針

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置空気圧縮機は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、実施する。また、使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置空気圧縮機の機能維持評価は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した機能維持の方針に基づき実施する。

2.1.4 適用規格

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年，昭和 62 年及び平成 3 年）に準拠して評価する。

3. 使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置除湿器

3.1 基本方針

3.1.1 位置

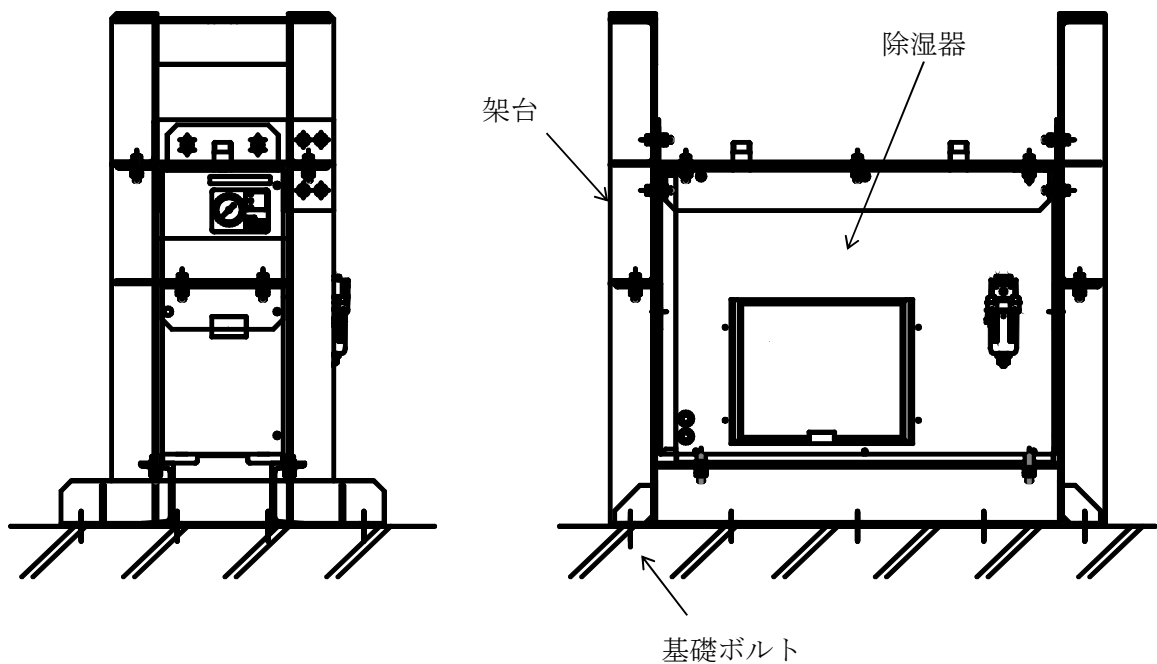
使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置除湿器は、原子炉建屋付属棟に2台設置する。

3.1.2 構造概要

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置除湿器の構造計画を第3.1-1表に示す。

第3.1-1表 使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置除湿器の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
使用済燃料プール 監視カメラ用 空冷装置除湿器	除湿器	除湿器を床面に基礎ボルトにて固定された架台に据え付ける。	第3.1-1図



第3.1-1図 使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置除湿器 外形図

3.1.3 評価方針

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置除湿器は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき実施する。また、使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置除湿器の機能維持評価は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した機能維持の方針に基づき実施する。

3.1.4 適用規格

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年, 昭和 62 年及び平成 3 年）に準拠して評価する。

4. 使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置冷却器

4.1 基本方針

4.1.1 位置

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置冷却器は、原子炉建屋原子炉棟に1台設置する。

4.1.2 構造概要

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置冷却器の構造計画を第4.1-1表に示す。

第4.1-1表 使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置冷却器の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
使用済燃料プール 監視カメラ用 空冷装置冷却器	冷却器	冷却器を取付 架台を介し て、壁面に基 礎ボルトにて 固定された架 台に据え付け る。	

4.1.3 評価方針

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置冷却器は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき実施する。また、使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置冷却器の機能維持評価は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した機能維持の方針に基づき実施する。

4.1.4 適用規格

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年, 昭和 62 年及び平成 3 年）に準拠して評価する。

V-2-4-3 使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備の耐震性についての計算書

V-2-4-3-1 燃料プール冷却浄化系の耐震性についての計算書

V-2-4-3-1-1 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図	2

1. 概要

本計算書は、「付録6 管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針」及び「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」に基づき、管、支持構造物及び弁の耐震性についての計算を実施した結果を示したものである。

評価結果記載方法は以下に示す通りとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

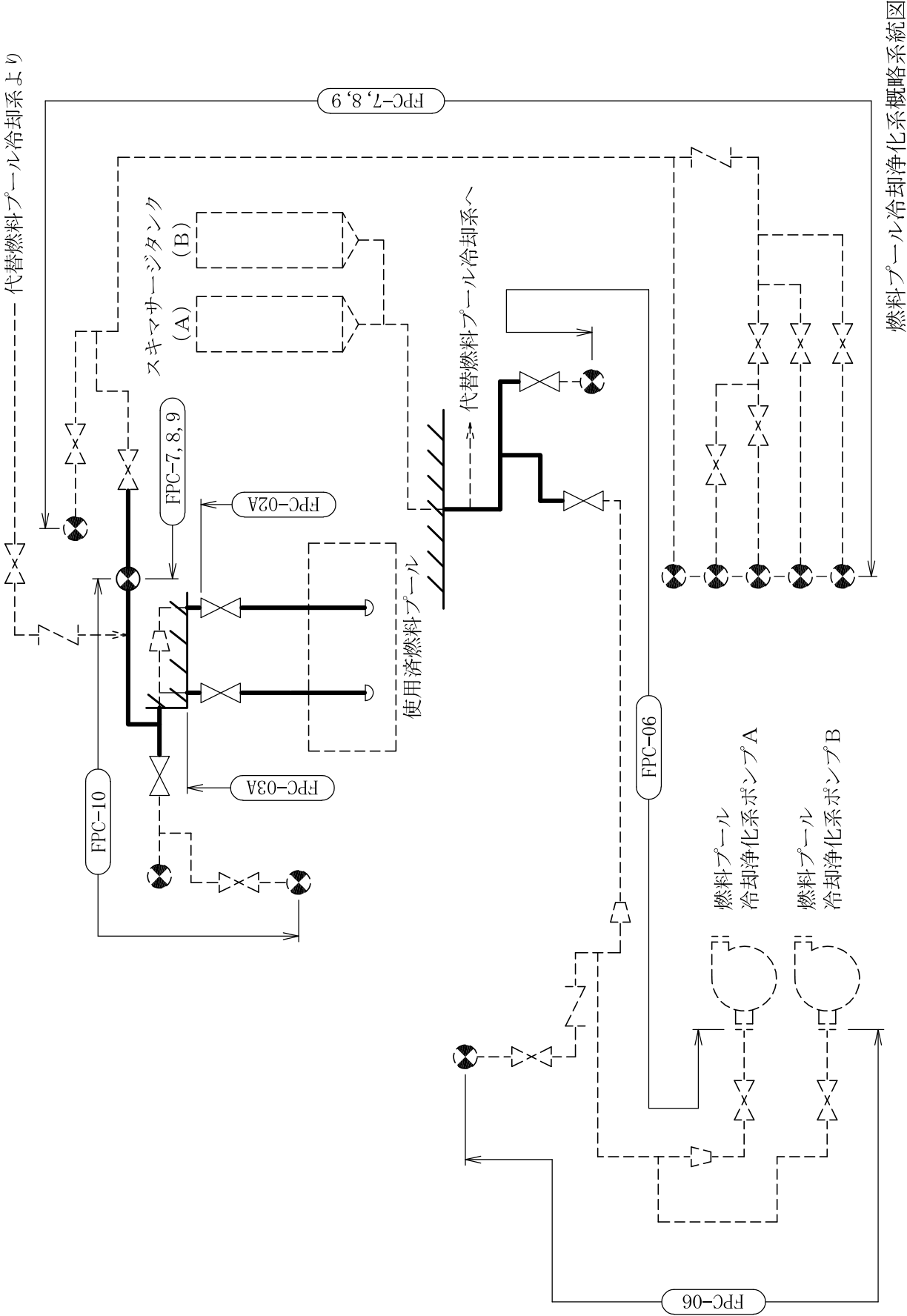
(3) 弁

機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (評価結果を記載する範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果の記載を省略する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



V-2-4-3-2 代替燃料プール注水系の耐震性についての計算書

V-2-4-3-2-1 管の耐震性についての計算書

1. 概要

本計算書は、「付録6 管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき、管の耐震性についての計算を実施した結果を示したものである。

重大事故等クラス2管の耐震性についての計算は、「V-3-2-2-2-1-2 管の応力計算書」に含まれている。

V-2-4-3-3 代替燃料プール冷却系の耐震性についての計算書

V-2-4-3-3-1 代替燃料プール冷却系熱交換器の耐震性についての
計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	9
3. 評価部位	10
4. 固有周期	11
4.1 固有周期の計算方法	11
4.2 固有周期の計算条件	14
5. 構造強度評価	14
5.1 構造強度評価方法	14
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	14
5.3 計算方法	18
5.4 計算条件	26
5.5 応力の評価	26
6. 引用文献	28

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、代替燃料プール冷却系熱交換器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

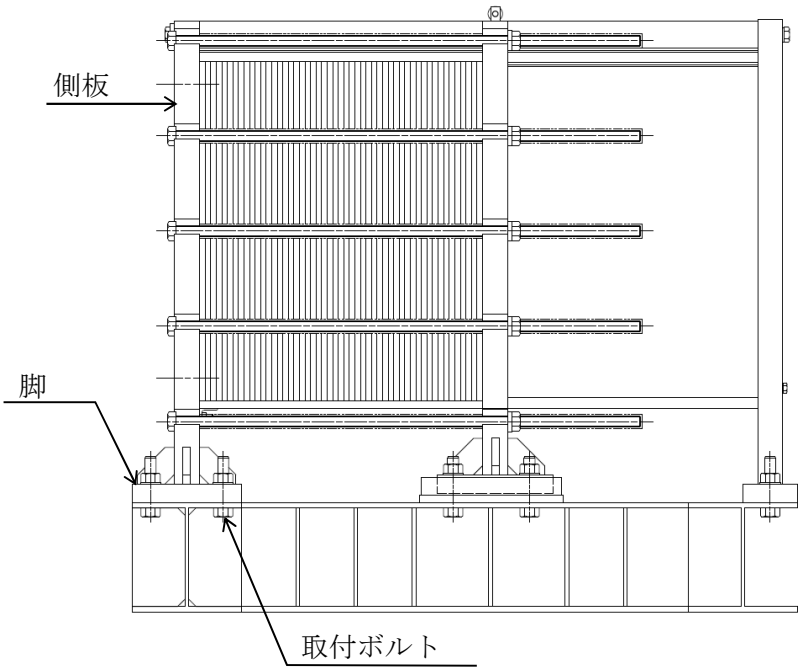
代替燃料プール冷却系熱交換器は、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

代替燃料プール冷却系熱交換器の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
支持構造	主体構造	
代替燃料プール冷却系熱交換器は取付ボルトで架台に取り付ける。	伝熱板，側板，脚を有するプレート式熱交換器	

2.2 評価方針

代替燃料プール冷却系熱交換器の応力評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す代替燃料プール冷却系熱交換器の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

代替燃料プール冷却系熱交換器の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

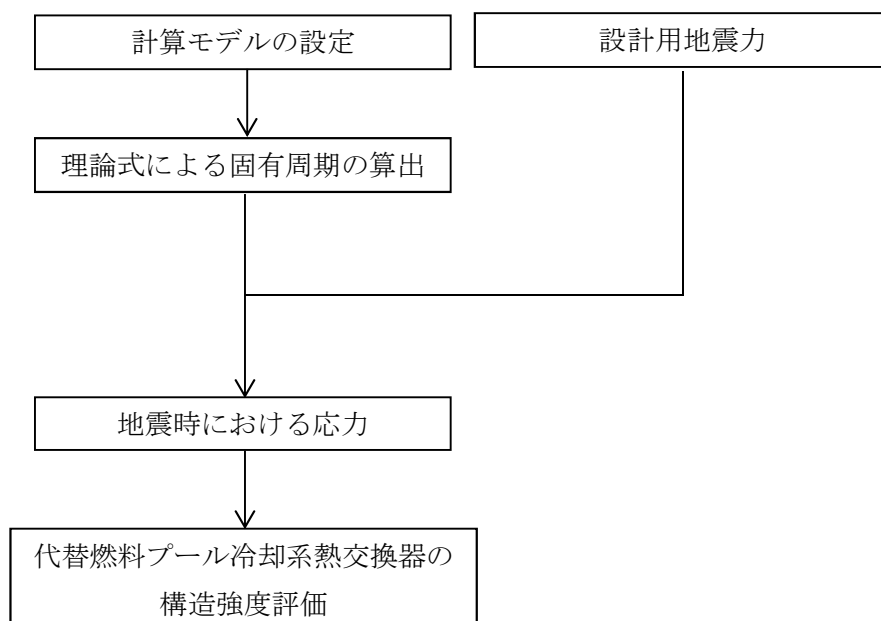


図 2-1 代替燃料プール冷却系熱交換器の耐震評価フロー

2.3 適用基準

本計算書においては，原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984，J E A G 4 6 0 1 －1987 及び J E A G 4 6 0 1 －1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月，昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）に準拠して評価する。

2.4 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
a_p	内圧に対する側板の有効幅	mm
$A_{,F,j}$	側板の断面積	mm ²
$A_{b,j}$	取付ボルトの断面積	mm ²
$A_{e,BP1,j}$	脚の有効せん断断面積	mm ²
$A_{s,F,j}$	側板の有効せん断断面積	mm ²
$A_{s,BPx,j}$	長手方向地震に対する脚の有効せん断断面積	mm ²
$A_{s,BPy,j}$	横方向振動に対する脚の有効せん断断面積	mm ²
b_p	内圧に対する側板の有効長さ	mm
C_v	鉛直方向設計震度	—
C_H	水平方向設計震度	—
d_N	側板の開口部直径	mm
$E_{,b,j}$	取付ボルト材の縦弾性係数	MPa
$E_{,BP,j}$	脚材の縦弾性係数	MPa
$E_{,F,j}$	側板材の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
$F_{,bzi,j}$	取付ボルトの引張力	N
$F_{,BPx,j}$	長手方向地震により脚に作用するせん断力	N
$F_{,BPy,j}$	横方向地震により脚に作用するせん断力	N
$F_{,BPz,j}$	運転時質量による脚のせん断力	N
$F_{,Fgv,j}$	運転時質量による側板の軸力	N
$F_{,Fv,j}$	鉛直方向地震による側板の軸力	N
$F_{,Fx,j}$	長手方向地震により重心位置に作用するせん断力	N
$F_{,Fy,j}$	横方向地震により重心位置に作用するせん断力	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	脚の許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
$G_{,BP,j}$	脚のせん断弾性係数	MPa
$G_{,F,j}$	側板のせん断弾性係数	MPa
H	機器の重心高さ	mm
$I_{,BPx,j}$	長手方向振動に対する脚の断面二次モーメント	mm ⁴
$I_{,BPy,j}$	横方向振動に対する脚の断面二次モーメント	mm ⁴
$I_{,Fi,j}$	側板の断面二次モーメント	mm ⁴

記 号	記 号 の 説 明	単 位
$k_{b,j}$	取付ボルトの締結部剛性	N/mm
$k_{b\theta, BPx,j}$	長手方向振動に対する脚の曲げによる回転剛性	N・mm/rad
$k_{Fi,j}$	側板の剛性	N/mm
$k_{BPy,j}$	横方向振動に対する脚のせん断/曲げ剛性	N/mm
$k_{s, BPx,j}$	長手方向振動に対する脚のせん断剛性	N/mm
$k_{\theta, bi,j}$	取付ボルト締結部の回転剛性	N・mm/rad
$k_{\theta, Bi,j}$	脚の剛性	N・mm/rad
$k_{\theta, BPi,j}$	脚の回転剛性	N・mm/rad
K_i	固定側及び可動側の並列剛性	N/mm
$K_{i,j}$	固定側，若しくは可動側の全体剛性	N/mm
$\lambda_{b,j}$	取付ボルトの伸びに有効な長さ	mm
$\lambda_{x,j}$	長手方向振動に対する取付ボルト締付幅	mm
$\lambda_{x, BP1,j}$	側板中心から外側取付ボルトまでの長手方向距離	mm
$\lambda_{x, BP2,j}$	側板中心から内側取付ボルトまでの長手方向距離	mm
$\lambda_{y, BP1,j}$	横方向振動に対する外側取付ボルト締付幅の 1/2	mm
$\lambda_{y, BP2,j}$	横方向振動に対する内側取付ボルト締付幅の 1/2	mm
m_0	機器の運転時質量	kg
$M_{Fx,j}$	長手方向地震による重心位置の曲げモーメント	N・mm
$M_{Fy,j}$	横方向地震による重心位置の曲げモーメント	N・mm
$M_{Fz,j}$	運転時質量により脚に作用する曲げモーメント	N・mm
n_N	側板開口部の数	—
$n_{x, BP,j}$	長手方向の荷重に寄与する脚片側の取付ボルト本数	—
$n_{y, BP1,j}$	$\lambda_{y, BP1,j}$ の位置の取付ボルト本数	—
$n_{y, BP2,j}$	$\lambda_{y, BP2,j}$ の位置の取付ボルト本数	—
P	機器に作用する内圧	MPa
S_a	側板の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$t_{F,j}$	側板の板厚	mm
T_i	機器の固有周期	s
$Z_{Fx,j}$	長手方向地震に対する側板の断面係数	mm ³
$Z_{Fy,j}$	横方向地震に対する側板の断面係数	mm ³
$Z_{BP2,j}$	長手方向地震に対する脚の総断面係数	mm ³
$Z_{e, BP1,j}$	脚の有効断面係数	mm ³
β_i	応力係数	—
π	円周率	—

記 号	記 号 の 説 明	単 位
$\sigma_{a, BPz, j}$	鉛直方向地震による脚の曲げ応力	MPa
$\sigma_{a, Fz, j}$	鉛直方向地震による側板の応力	MPa
$\sigma_{ab, BPx, j}$	鉛直方向地震と長手方向地震による脚の長手方向の組合せ応力	MPa
$\sigma_{ab, BPy, j}$	鉛直方向地震と横方向地震による脚の横方向の組合せ応力	MPa
$\sigma_{, b}$	取付ボルトの最大引張応力	MPa
$\sigma_{, bi, j}$	取付ボルトの引張応力	MPa
$\sigma_{b, Fx, j}$	長手方向地震による側板の曲げ応力	MPa
$\sigma_{b, Fy, j}$	横方向地震による側板の曲げ応力	MPa
$\sigma_{b, BPx, j}$	長手方向地震による脚の曲げ応力	MPa
$\sigma_{b, BPy, j}$	横方向地震による脚の曲げ応力	MPa
σ_m	側板の一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{m1, j}$	側板軸方向の一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{m2, j}$	側板水平方向の一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{(m+b)}$	側板の一次応力の最大値	MPa
$\sigma_{(m+b)x, j}$	長手方向地震が作用した場合の側板の一次応力	MPa
$\sigma_{(m+b)x1, j}$	長手方向地震が作用した場合の側板軸方向の一次応力	MPa
$\sigma_{(m+b)x2, j}$	長手方向地震が作用した場合の側板水平方向の一次応力	MPa
$\sigma_{(m+b)y, j}$	横方向地震が作用した場合の側板の一次応力	MPa
$\sigma_{(m+b)y1, j}$	横方向地震が作用した場合の側板軸方向の一次応力	MPa
$\sigma_{(m+b)y2, j}$	横方向地震が作用した場合の側板水平方向の一次応力	MPa
$\sigma_{p, Fi, j}$	内圧による側板の応力	MPa
$\sigma_{r(m+b)}$	側板の一次＋二次応力の変動値の最大値	MPa
$\sigma_{r(m+b)x, j}$	長手方向地震による側板の一次＋二次応力の変動値	MPa
$\sigma_{r(m+b)x1, j}$	長手方向地震による側板軸方向の一次＋二次応力の変動値	MPa
$\sigma_{r(m+b)x2, j}$	長手方向地震による側板水平方向の一次＋二次応力の変動値	MPa
$\sigma_{r(m+b)y, j}$	横方向地震による側板の一次＋二次応力の変動値	MPa
$\sigma_{r(m+b)y1, j}$	横方向地震による側板軸方向の一次＋二次応力の変動値	MPa
$\sigma_{r(m+b)y2, j}$	横方向地震による側板水平方向の一次＋二次応力の変動値	MPa
$\sigma_{, BP}$	脚の組合せ応力の最大値	MPa
$\sigma_{, BPx, j}$	鉛直方向地震と長手方向地震による脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{, BPy, j}$	鉛直方向地震と横方向地震による脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{w, BPz, j}$	運転時質量による脚の曲げ応力	MPa
$\sigma_{w, Fz, j}$	運転時質量による側板の応力	MPa
$\tau_{ab, BPx, j}$	鉛直方向地震と長手方向地震による脚長手方向の組合せせん断応力	MPa
$\tau_{ab, BPy, j}$	鉛直方向地震と横方向地震による脚横方向の組合せせん断応力	MPa
$\tau_{a, BPz, j}$	鉛直方向地震による脚のせん断応力	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
$\tau_{,b}$	取付ボルトの最大せん断応力	MPa
$\tau_{,bi,j}$	取付ボルトのせん断応力	MPa
$\tau_{b,BPx,j}$	長手方向地震による脚のせん断応力	MPa
$\tau_{b,BPy,j}$	横方向地震による脚のせん断応力	MPa
$\tau_{w,BPz,j}$	運転時質量による脚のせん断応力	MPa
$\tau_{,Fx,j}$	長手方向地震による側板のせん断応力	MPa
$\tau_{,Fy,j}$	横方向地震による側板のせん断応力	MPa

注 1：添字の意味は、以下のとおりとする。

x：長手方向，y：横方向

i：1＝長手方向，2＝横方向

j：1＝固定側，2＝可動側

注 2：「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1－2005／2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）をいう。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
最高使用圧力	MPa	—	—	小数点以下第2位
温度*1	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ*1	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

代替燃料プール冷却系熱交換器の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、地震荷重を受け持つ主要な部材である側板、脚、取付ボルトについて実施する。代替燃料プール冷却系熱交換器の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

代替燃料プール冷却系熱交換器の固有周期の計算方法を以下に示す。

4.1.1 水平方向

- (1) 代替燃料プール冷却系熱交換器の質量は、重心に集中するものとする。
- (2) 代替燃料プール冷却系熱交換器は、固定側板と可動側板の並列結合により 1 質点を支持するものとし、図 4-1 に示す計算モデルとして考える。
- (3) 各側板は、脚及び取付ボルト締結部の剛性からなる回転ばねと側板の剛性からなる曲げせん断ばねの直列結合と考える。長手方向の振動モデルを図 4-2、横方向の振動モデルを図 4-3 に示す。

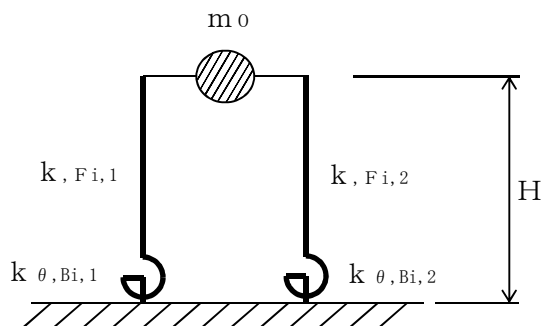


図 4-1 固有周期の計算モデル

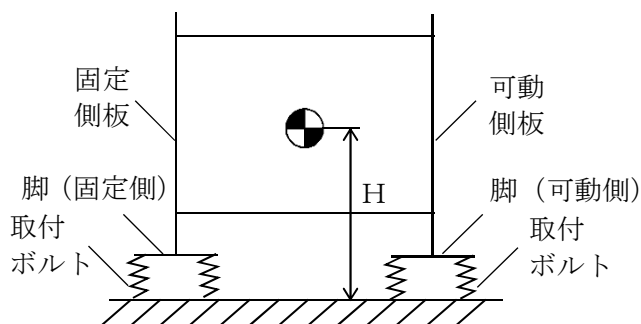


図 4-2 長手方向の振動モデル

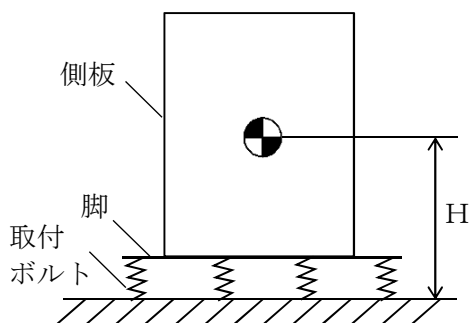


図 4-3 横方向の振動モデル

(4) 固有周期は次式で求める。

$$T_i = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_i \times 10^3}} \quad \dots\dots\dots (4.1.1.1)$$

$$K_i = K_{i,1} + K_{i,2} \quad \dots\dots\dots (4.1.1.2)$$

$$K_{i,j} = \frac{1}{\frac{1}{k_{,Fi,j}} + \frac{H^2}{k_{\theta,Bi,j}}} \quad \dots\dots\dots (4.1.1.3)$$

ここに、添字： $i = 1, 2$ (1：長手方向，2：横方向)

$j = 1, 2$ (1：固定側，2：可動側)

1) 側板の剛性

$$k_{,Fi,j} = \frac{1}{\frac{1}{\left(\frac{G_{,F,j} \cdot A_{s,F,j}}{H}\right)} + \frac{1}{\left(\frac{3 \cdot E_{,F,j} \cdot I_{,Fi,j}}{H^3}\right)}} \quad \dots\dots\dots (4.1.1.4)$$

2) 脚の剛性

$$k_{\theta,Bi,j} = \frac{1}{\frac{1}{k_{\theta,BPi,j}} + \frac{1}{k_{\theta,bi,j}}} \quad \dots\dots\dots (4.1.1.5)$$

a. 長手方向に対する脚の剛性

(a) 脚の回転剛性

$$k_{\theta,BP1,j} = \frac{1}{\frac{1}{k_{s,BPx,j} \cdot \lambda_{x,j}^2} + \frac{1}{k_{b\theta,BPx,j}}} \quad \dots\dots\dots (4.1.1.6)$$

イ. せん断剛性

$$k_{s,BPx,j} = \frac{G_{,BP,j} \cdot A_{s,BPx,j}}{\lambda_{x,j}} \quad \dots\dots\dots (4.1.1.7)$$

ロ. 曲げによる回転剛性

$$k_{b\theta,BPx,j} = -\frac{3 \cdot E_{,BP,j} \cdot I_{,BPx,j} \cdot \lambda_{x,j}}{\lambda_{x,BP1,j} \cdot \lambda_{x,BP2,j} - \lambda_{x,BP1,j}^2 - \lambda_{x,BP2,j}^2} \quad \dots\dots\dots (4.1.1.8)$$

(b) 取付ボルト締結部の回転剛性

$$k_{\theta, b1, j} = \sum_1^{n_{x,j}} k_{b,j} \cdot \lambda_{x, BP1, j}^2 + \sum_1^{n_{x,j}} k_{b,j} \cdot \lambda_{x, BP2, j}^2 \quad \dots\dots\dots (4. 1. 1. 9)$$

ここに, $n_{x,j} = n_{x, BP, j}$

b. 横方向に対する脚の剛性

(a) 脚の回転剛性

$$k_{\theta, BP2, j} = 2 \cdot (k_{BPY, j} \cdot \lambda_{y, BP1, j}^2 + k_{BPY, j} \cdot \lambda_{y, BP2, j}^2) \quad \dots\dots\dots (4. 1. 1. 10)$$

イ. 固定脚の面外剛性

$$k_{BPY, 1} = \frac{1}{\frac{1}{\left(\frac{G_{BP, 1} \cdot A_{s, BPY, 1}}{\lambda_{x, 1}} \right)} + \frac{1}{\left(\frac{48 \cdot E_{BP, 1} \cdot I_{BPY, 1}}{\lambda_{x, 1}^3} \right)}} \quad \dots\dots\dots (4. 1. 1. 11)$$

ロ. 可動脚の面外剛性

$$k_{BPY, 2} = \frac{1}{\frac{1}{\left(\frac{G_{BP, 2} \cdot A_{s, BPY, 2}}{\lambda_{x, 2}} \right)} + \frac{1}{\left(\frac{3 \cdot E_{BP, 2} \cdot I_{BPY, 2}}{\left(\frac{\lambda_{x, BP1, 2}^2 \cdot \lambda_{x, BP2, 2}^2}{\lambda_{x, 2}} \right)} \right)}} \quad \dots\dots\dots (4. 1. 1. 12)$$

(b) 取付ボルト締結部の回転剛性

$$k_{\theta, b2, j} = 2 \cdot \left(\sum_1^{n_{y1,j}} k_{b,j} \cdot \lambda_{y, BP1, j}^2 + \sum_1^{n_{y2,j}} k_{b,j} \cdot \lambda_{y, BP2, j}^2 \right) \quad \dots\dots\dots (4. 1. 1. 13)$$

ここに, $n_{y1,j} = n_{y, BP1, j}$, $n_{y2,j} = n_{y, BP2, j}$

c. 取付ボルト締結部の剛性

$$k_{b, j} = \frac{E_{b,j} \cdot A_{b, j}}{\lambda_{b, j}} \quad \dots\dots\dots (4. 1. 1. 14)$$

4. 1. 2 鉛直方向

鉛直方向は十分な剛性を有していることから、固有周期の計算を省略する。

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【代替燃料プール冷却系熱交換器の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 計算方法は既往研究「BWRプラントへのプレート式熱交換器適用化に関する研究」(引用文献(1))に準拠する。
- (2) 代替燃料プール冷却系熱交換器の質量は、重心に集中するものとする。
- (3) 地震力は、代替燃料プール冷却系熱交換器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (4) 代替燃料プール冷却系熱交換器は2個の脚で支持され、脚は1個につき取付ボルトが2列以上になっている。このため、脚は固定支持として扱う。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

代替燃料プール冷却系熱交換器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-1に示す。

5.2.2 許容応力

代替燃料プール冷却系熱交換器の許容応力を表5-2及び表5-3に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質 の取扱施設 及び 貯蔵施設	使用済燃料 貯蔵槽冷却 浄化設備	代替燃料プール冷却系熱交換器	常設/防止 常設/緩和	重大事故等 クラス 2 容器 ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_S$ ^{*3}	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限 界を用いる。)

注記 *1：「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表5-2 許容応力（重大事故等クラス2容器（クラス2，3容器））

許容応力状態	許容限界 ^{*1}			
	一次一般膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋ 二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力
IV _A S	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値	S _s 地震動のみによる疲労解析 ^{*2} を行い，疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば，疲労解析 ^{*2} は不要。	
V _A S （V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。）				

注記 *1：座屈に対する評価が必要な場合には，クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*2：2・S_yを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合，設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313を除く。S_mは2/3・S_yと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

表 5-3 許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物（クラス 2， 3 支持構造物））

許容応力状態	許容限界*1, *2 (脚)	許容限界*1, *2 (取付ボルト)		
	一次応力	一次応力		
	組合せ	引張り	せん断	組合せ
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$\text{Min}\{1.5 \cdot f_t^*, 2.1 \cdot f_t^* - 1.6 \cdot \tau_b\}$
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許 容限界を用いる。)				

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

5.3.1.1 部材力の算定

水平地震時に固定側及び可動側の各部材に作用する部材力は，1 質点系の重心位置に作用した地震応答力を固定側と可動側の剛性比で案分して求める。また，地震応答力に基づくモーメントは，案分した部材力と重心高さより求める。

(1) 運転時質量による軸力

$$F_{,Fgv,j} = \frac{m_0 \cdot g}{2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.1)$$

添字： j=1,2 (1：固定側，2：可動側)

(2) 鉛直方向地震力

$$F_{,Fv,j} = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_v}{2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.2)$$

(3) 長手方向地震力

1) 側板のせん断力

a. 固定側

$$F_{,Fx,1} = \frac{K_{1,1}}{K_1} \cdot m_0 \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (5.3.1.1.3)$$

b. 可動側

$$F_{,Fx,2} = m_0 \cdot g \cdot C_H - F_{,Fx,1} \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

2) 側板の曲げモーメント

$$M_{,Fx,j} = F_{,Fx,j} \cdot H \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

(4) 横方向地震力

1) 側板のせん断力

a. 固定側

$$F_{,Fy,1} = \frac{K_{2,1}}{K_2} \cdot m_0 \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (5.3.1.1.6)$$

b. 可動側

$$F_{,Fy,2} = m_0 \cdot g \cdot C_H - F_{,Fy,1} \dots\dots\dots (5.3.1.1.7)$$

2) 側板の曲げモーメント

$$M_{,Fy,j} = F_{,Fy,j} \cdot H \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

5.3.1.2 側板の計算方法

(1) 内圧による応力

側板の内圧による応力は、等分布荷重が作用する a_p 、 b_p の長方形板の応力として求める。なお、 β_i は長方形板の支持条件及び b_p / a_p より、引用文献(2)を用いて求められる。

$$\sigma_{p,Fi,j} = 6 \cdot \beta_i \cdot \frac{b_p}{\left(a_p \cdot b_p - \frac{\pi}{4} \cdot d_N^2 \cdot n_N \right)} \cdot \frac{P \cdot a_p^3}{t_{,F,j}^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.1)$$

ここに、添字 $i=1$: 長方形板の長辺方向、 $i=2$: 長方形板の短辺方向

$\beta_1 = \beta'_1$ 、 $\beta_2 = \beta'$ (β'_1 、 β' は引用文献(2)による。)

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{w,Fz,j} = \frac{F_{,Fgv,j}}{A_{,F,j}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.2)$$

$$\sigma_{a,Fz,j} = \frac{F_{,Fv,j}}{A_{,F,j}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.3)$$

(3) 長手方向地震による応力

a. 曲げ応力

$$\sigma_{b,Fx,j} = \frac{M_{,Fx,j}}{Z_{,Fx,j}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.4)$$

b. せん断応力

$$\tau_{,Fx,j} = \frac{F_{,Fx,j}}{A_{s,F,j}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.5)$$

(4) 横方向地震による応力

a. 曲げ応力

$$\sigma_{b,Fy,j} = \frac{M_{,Fy,j}}{Z_{,Fy,j}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.6)$$

b. せん断応力

$$\tau_{,Fy,j} = \frac{F_{,Fy,j}}{A_{s,F,j}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.7)$$

(5) 組合せ応力

a. 一次一般膜応力

長手方向地震力及び横方向地震力がそれぞれ単独で側板に作用した場合、側板には曲げ及びせん断応力のみが発生する。このため、鉛直方向地震と長手方向地震が作用した場合及び鉛直方向地震と横方向地震が作用した場合の側板の一次一般膜応力は、内圧による応力、運転時質量及び鉛直方向地震による応力のみとなり、水平地震の方向に依らず以下となる。ここで、内圧により側板に発生する応力は曲げ応力が支配的となるが、保守側の評価結果を得るために膜応力として扱う。

$$\sigma_m = \text{Max}(\sigma_{m1,j}, \sigma_{m2,j}) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.8)$$

$$\sigma_{m1,j} = \sigma_{p,F1,j} + \sigma_{w,Fz,j} + \sigma_{a,Fz,j} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.9)$$

$$\sigma_{m2,j} = \sigma_{p,F2,j} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.10)$$

b. 一次応力

(a) 長手方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

$$\sigma_{(m+b)x,j} = \text{Max}\left\{\frac{1}{2}\left(\sigma_{(m+b)x1,j} + \sqrt{\sigma_{(m+b)x1,j}^2 + 4 \cdot \tau_{Fx,j}^2}\right), \sigma_{(m+b)x2,j}\right\} \quad (5.3.1.2.11)$$

$$\sigma_{(m+b)x1,j} = \sigma_{p,F1,j} + \sigma_{w,Fz,j} + \sigma_{a,Fz,j} + \sigma_{b,Fx,j} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.12)$$

$$\sigma_{(m+b)x2,j} = \sigma_{p,F2,j} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.13)$$

(b) 横方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

$$\sigma_{(m+b)y,j} = \frac{1}{2}\left\{\left(\sigma_{(m+b)y1,j} + \sigma_{(m+b)y2,j}\right) + \sqrt{\left(\sigma_{(m+b)y1,j} - \sigma_{(m+b)y2,j}\right)^2 + 4 \cdot \tau_{Fy,j}^2}\right\} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.14)$$

$$\sigma_{(m+b)y1,j} = \sigma_{p,F1,j} + \sigma_{w,Fz,j} + \sigma_{a,Fz,j} + \sigma_{b,Fy,j} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.15)$$

$$\sigma_{(m+b)y2,j} = \sigma_{p,F2,j} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.16)$$

(c) 一次応力の最大値

$$\sigma_{(m+b)} = \text{Max}(\sigma_{(m+b)x,j}, \sigma_{(m+b)y,j}) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.17)$$

c. 地震力のみによる一次＋二次応力の変動値

(a) 長手方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

$$\sigma_{r(m+b)x,j} = \sigma_{r(m+b)x1,j} + \sqrt{\sigma_{r(m+b)x1,j}^2 + 4 \cdot \tau_{Fx,j}^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.18)$$

$$\sigma_{r(m+b)x1,j} = \sigma_{a,Fz,j} + \sigma_{b,Fx,j} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.19)$$

$$\sigma_{r(m+b)x2,j} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.20)$$

(b) 横方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

$$\sigma_{r(m+b)y,j} = \sigma_{r(m+b)y1,j} + \sqrt{\sigma_{r(m+b)y1,j}^2 + 4 \cdot \tau_{Fy,j}^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.21)$$

$$\sigma_{r(m+b)y1,j} = \sigma_{a,Fz,j} + \sigma_{b,Fy,j} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.22)$$

$$\sigma_{r(m+b)y2,j} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.23)$$

(c) 一次＋二次応力の変動値の最大値

$$\sigma_{r(m+b)} = \text{Max}(\sigma_{r(m+b)x,j}, \sigma_{r(m+b)y,j}) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.24)$$

5.3.1.3 脚の計算方法

(1) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

a. 曲げモーメント

$$M_{,Fz,j} = F_{,BPz,j} \cdot \lambda_{x,BP1,j} \dots\dots\dots (5.3.1.3.1)$$

$$F_{,BPz,j} = F_{,Fgv,j} \cdot \frac{\lambda_{x,BP2,j}}{\lambda_{x,BP1,j} + \lambda_{x,BP2,j}} \dots\dots\dots (5.3.1.3.2)$$

$$\text{ただし, } \lambda_{x,BP1,j} \leq \lambda_{x,BP2,j}$$

b. 運転時質量により脚に作用する応力

(a) 曲げ応力

$$\sigma_{w,BPz,j} = \frac{M_{,Fz,j}}{Z_{e,BP1,j}} \dots\dots\dots (5.3.1.3.3)$$

(b) せん断応力

$$\tau_{w,BPz,j} = \frac{F_{,BPz,j}}{A_{e,BP1,j}} \dots\dots\dots (5.3.1.3.4)$$

c. 鉛直方向地震により脚に作用する応力

(a) 曲げ応力

$$\sigma_{a,BPz,j} = C_v \cdot \frac{M_{,Fz,j}}{Z_{e,BP1,j}} \dots\dots\dots (5.3.1.3.5)$$

(b) せん断応力

$$\tau_{a,BPz,j} = C_v \cdot \frac{F_{,BPz,j}}{A_{e,BP1,j}} \dots\dots\dots (5.3.1.3.6)$$

(2) 長手方向地震による応力

a. 曲げ応力

$$\sigma_{b,BPx,j} = \frac{M_{,Fx,j}}{Z_{,BP2,j}} \dots\dots\dots (5.3.1.3.7)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b,BPx,j} = \frac{F_{,BPx,j}}{A_{s,BPx,j}} \dots\dots\dots (5.3.1.3.8)$$

$$F_{,BPx,j} = \frac{M_{,Fx,j}}{\lambda_{x,BP1,j} + \lambda_{x,BP2,j}} \dots\dots\dots (5.3.1.3.9)$$

(3) 横方向地震による応力

a. 曲げ応力

$$\sigma_{b,BPy,j} = F_{,BPy,j} \cdot \frac{\lambda_{x,BP1,j} \cdot \lambda_{x,BP2,j}}{(\lambda_{x,BP1,j} + \lambda_{x,BP2,j})} \cdot \frac{1}{(Z_{e,BP1,j} / n_{x,BP,j})} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.10)$$

ただし, $\lambda_{x,BP1,j} \leq \lambda_{x,BP2,j}$

$$F_{,BPy,j} = \frac{M_{,Fy,j}}{2 \cdot \lambda_{y,BP1,j}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.11)$$

b. セン断応力

$$\tau_{b,BPy,j} = F_{,BPy,j} \cdot \frac{\lambda_{x,BP2,j}}{(\lambda_{x,BP1,j} + \lambda_{x,BP2,j})} \cdot \frac{1}{(A_{e,BP1,j} / n_{x,BP,j})} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.12)$$

ただし, $\lambda_{x,BP1,j} \leq \lambda_{x,BP2,j}$

(4) 組合せ応力

a. 長手方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

$$\sigma_{,BPx,j} = \sqrt{\sigma_{ab,BPx,j}^2 + 3 \cdot \tau_{ab,BPx,j}^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.13)$$

$$\sigma_{ab,BPx,j} = \sigma_{w,BPz,j} + \sigma_{a,BPz,j} + \sigma_{b,BPx,j} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.14)$$

$$\tau_{ab,BPx,j} = \tau_{w,BPz,j} + \tau_{a,BPz,j} + \tau_{b,BPx,j} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.15)$$

b. 横方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

$$\sigma_{,BPy,j} = \sqrt{\sigma_{ab,BPy,j}^2 + 3 \cdot \tau_{ab,BPy,j}^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.16)$$

$$\sigma_{ab,BPy,j} = \sigma_{w,BPz,j} + \sigma_{a,BPz,j} + \sigma_{b,BPy,j} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.17)$$

$$\tau_{ab,BPy,j} = \tau_{w,BPz,j} + \tau_{a,BPz,j} + \tau_{b,BPy,j} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.18)$$

c. 組合せ応力の最大値

$$\sigma_{,BP} = \text{Max}(\sigma_{,BPx,j}, \sigma_{,BPy,j}) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.19)$$

5.3.1.4 取付ボルトの計算方法

取付ボルトの応力は、運転時質量による軸力と水平方向（長手方向，横方向）及び鉛直方向地震の組合せによる引張力，水平方向地震によるせん断力に基づき計算する。

(1) 取付ボルトの引張応力

最も厳しい条件として、取付ボルトを支点とした転倒モーメントを考え、これを片側最外列の取付ボルトで受けるものとする。

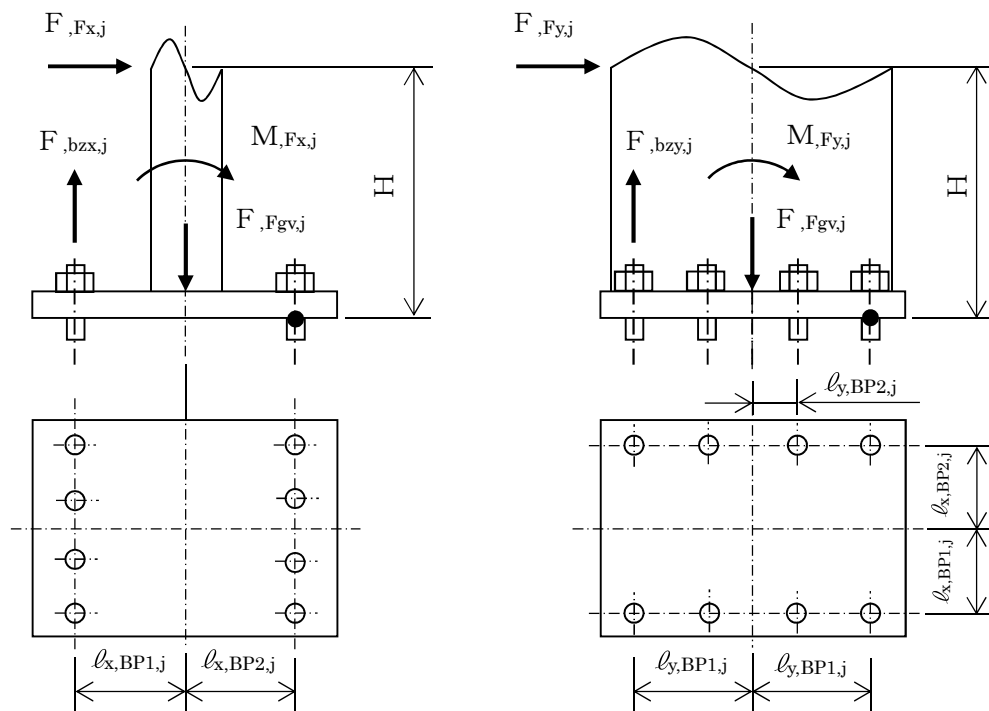
ただし、 $F_{bzi,j} \leq 0$ の場合、取付ボルトに引張力は作用しないので、取付ボルトの引張応力の評価は行わない。

a. 取付ボルトに作用する引張力

$$F_{bzi,j} = F_{BPi,j} - F_{Fgv,j} \cdot (1 - C_v) \cdot \frac{\lambda_{x,BP1,j}}{\lambda_{x,BP1,j} + \lambda_{x,BP2,j}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.4.1)$$

ただし、 $\lambda_{x,BP1,j} \leq \lambda_{x,BP2,j}$

ここに、添字 i : x=長手方向, y=横方向, j : 1=固定側, 2=可動側



長手方向地震と鉛直方向地震が作用する場合

横方向地震と鉛直方向地震が作用する場合

図 5-1 脚部に作用する外荷重と取付ボルトの引張力の関係

b. 鉛直方向地震及び水平方向地震による引張応力

引張力は、片側最外列に設置された取付ボルトで受け持つものとする。

$$\sigma_{,bi,j} = \frac{F_{,bzi,j}}{n_{tbi,j} \cdot A_{b,j}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.4.2)$$

ただし、 $n_{tbx,j} = n_{x,BP,j}$ 、 $n_{tby,j} = n_{y,BP1,j}$

(2) 取付ボルトのせん断応力

取付ボルトに対するせん断力は、それぞれの脚に設置された全取付ボルト本数で受け持つものとする。

$$\tau_{,bi,j} = \frac{F_{,Fi,j}}{2 \cdot A_{bj} \cdot n_{x,BP,j}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.4.3)$$

(3) 最大応力

a. 引張応力

$$\sigma_{,b} = \text{Max}(\sigma_{,bx,j}, \sigma_{,by,j}) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.4.4)$$

b. せん断応力

$$\tau_{,b} = \text{Max}(\tau_{,bx,j}, \tau_{,by,j}) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.4.5)$$

5.4 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【代替燃料プール冷却系熱交換器の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5 応力の評価

5.5.1 側板の応力評価

5.3.1.2 項で求めた側板の組合せ応力 $\sigma_{(m+b)}$ は許容応力 S_a 以下であること。

	許 容 応 力 S_a	
応力の種類	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	S_y と S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。 ただし, ASS 及び HNA については上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方。	$0.6 \cdot S_u$
一 次 応 力	上記の1.5倍の値	上記の1.5倍の値
一次+二次応力	地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば, 疲労解析は不要。	

5.5.2 脚の応力評価

5.3.1.3 項で求めた脚の組合せ応力 σ_{BP} は許容引張応力 f_t 以下であること。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との 組合せの場合
許 容 引 張 応 力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5.5.3 取付ボルトの応力評価

5.3.1.4 項で求めた取付ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \dots\dots\dots (5.5.3.1)$$

かつ,

$$f_{ts} \leq f_{to} \quad \dots\dots\dots (5.5.3.2)$$

ただし、 f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による荷重との 組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 引用文献

- (1) 大山 ほか, BWRプラントへのプレート式熱交換器適用化に関する研究, 火力原子力発電, 第576号, Vol. 55, No. 9, 2004年, pp.962-969.
- (2) チモシェンコ・ヴォアノフスキー・リーガー共著, 板とシェルの理論<上> (長谷川 節訳), ブレイン図書出版, 1994年5月
- (3) Warren C. Young, Richard G. Budynas: Roark's Formulas for Stress and Strain, 7th Edition, 2002, McGraw-Hill, pp.194-196.

V-2-4-3-3-2 代替燃料プール冷却系ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 構造説明	1
2.1 構造計画	1
3. 応力評価	2
3.1 基本方針	2
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	2
4. 機能維持評価	4
4.1 機能維持評価方法	4

1. 概要

本計算書は、添付書類 V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、代替燃料プール冷却系ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

代替燃料プール冷却系ポンプは、重大事故等対処設備においては Ⅱ に分類される。以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

代替燃料プール冷却系ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

3. 応力評価

3.1 基本方針

応力評価は、付録4「横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

代替燃料プール冷却系ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-1に示す。

3.2.2 許容応力

代替燃料プール冷却系ポンプの許容応力を表3-2に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力

代替燃料プール冷却系ポンプの使用材料の許容応力を表3-3に示す。

表 3-2 許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物（クラス 2， 3 支持構造物））

許容応力状態	許 容 限 界* ¹ (ボ ル ト 等)		
	一 次 応 力		
	引張り	せん断	組合せ
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^{*2}$	$1.5 \cdot f_s^{*2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{*2}, (2.1 \cdot f_t^{*2} - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
V _A S * ³	$1.5 \cdot f_t^{*2}$	$1.5 \cdot f_s^{*2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{*2}, (2.1 \cdot f_t^{*2} - 1.6 \cdot \tau_b)\}$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

ω

*2：クラス 2 支持構造物において F 値の算出時，S_y 及び S_y (RT) をそれぞれ 1.2・S_y 及び 1.2・S_y (RT) と読み替える。

クラス 3 支持構造物においては S_y を 1.2・S_y と読み替える。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については，本読み替えを行わない。

*3：V_A S として，IV_A S の許容限界を用いる。

4. 機能維持評価

代替燃料プール冷却系ポンプの地震後の動的機能維持評価について、以下に示す。

4.1 機能維持評価方法

代替燃料プール冷却系ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性を持っているため、添付書類 V-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

V-2-4-3-3-3 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2

1. 概要

本計算書は、「付録 6 管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき、管の耐震性についての計算を実施した結果を示したものである。

評価結果記載方法は以下に示す通りとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として記載する。

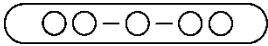
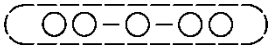
(2) 支持装置

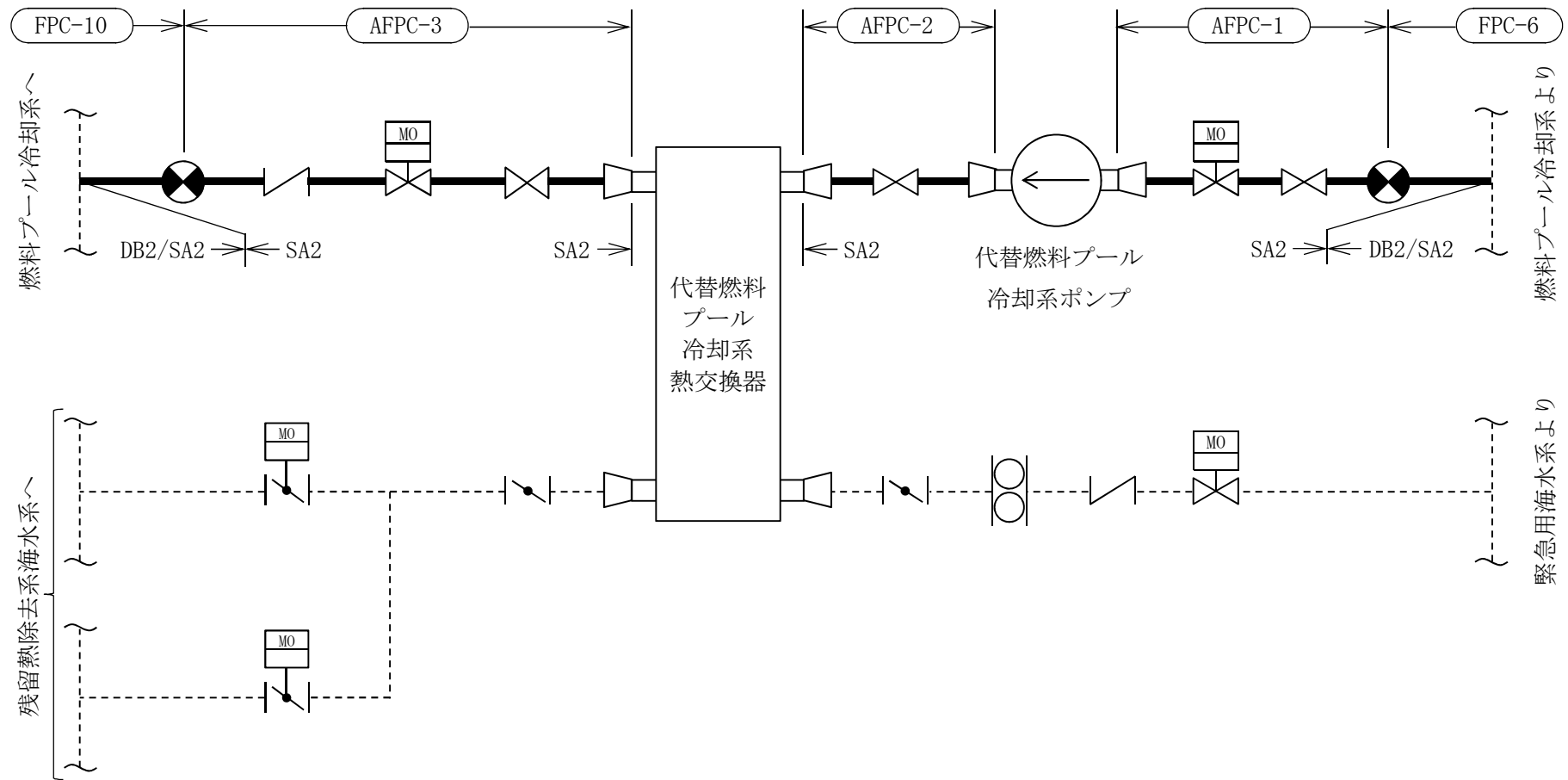
工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算 書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のう ち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する 管
	鳥瞰図番号 (評価結果を記載する範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果の記載を省略する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



代替燃料プール冷却系概略系統図

V-2-5 原子炉冷却系統施設の耐震性についての計算書

V-2-5-1 原子炉冷却系統施設の耐震計算結果

目次

1. 概要	1
2. 耐震評価条件整理	1

1. 概要

本資料は、原子炉冷却系統施設の設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

原子炉冷却系統施設の設備に対して、設計基準対象施設の耐震クラス、重大事故等対処施設の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績と差異の有無を整理した。また、重大事故等対処施設のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処施設の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。

原子炉冷却系統施設の耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績と差異がない施設の耐震計算は、工事計画認可実績を示し、入力条件及び評価結果を示すことを基本とする。

なお、既設の設備における弾性設計用地震動 S_d による耐震計算については、基準地震動 S_s による評価結果が弾性設計用地震動 S_d の許容限界を満足する場合、省略することとし、省略せず耐震評価を実施する場合は、静的地震力についても考慮することとする。

V-2-5-3 原子炉冷却材の循環設備の耐震性についての計算書

V-2-5-3-1 主蒸気系の耐震性についての計算書

V-2-5-3-1-1 アキュムレータの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	4
2.4 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 固有周期	7
4.1 固有周期の計算条件	7
4.2 固有周期の計算結果	7
5. 構造強度評価	7
5.1 構造強度評価方法	7
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	7
5.3 設計用地震力	12
5.4 計算条件	14
6. 評価結果	15
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	15
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	15
7. 引用文献	37

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、アキュムレータが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

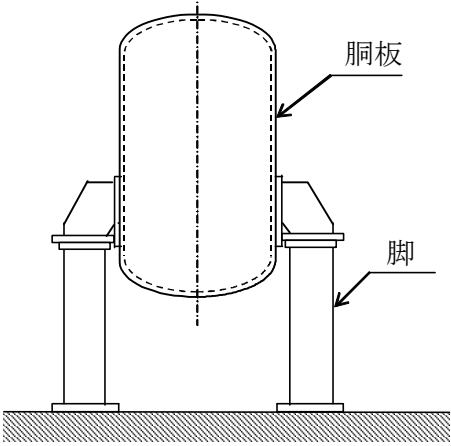
アキュムレータは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

アキュムレータの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図	備考
基礎・支持構造	主体構造		
胴を 4 個の脚で支持し，脚を溶接で架台に据え付ける。	上面及び下面に鏡板を有するたて置円筒形		・逃がし安全弁 自動減圧機能用 アキュムレータ
胴を 4 個の脚で支持し，脚を溶接で架台に据え付ける。	上面及び下面に鏡板を有するたて置円筒形		・逃がし安全弁 逃がし弁機能用 アキュムレータ

2.2 評価方針

アキュムレータの応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すアキュムレータの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

アキュムレータの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

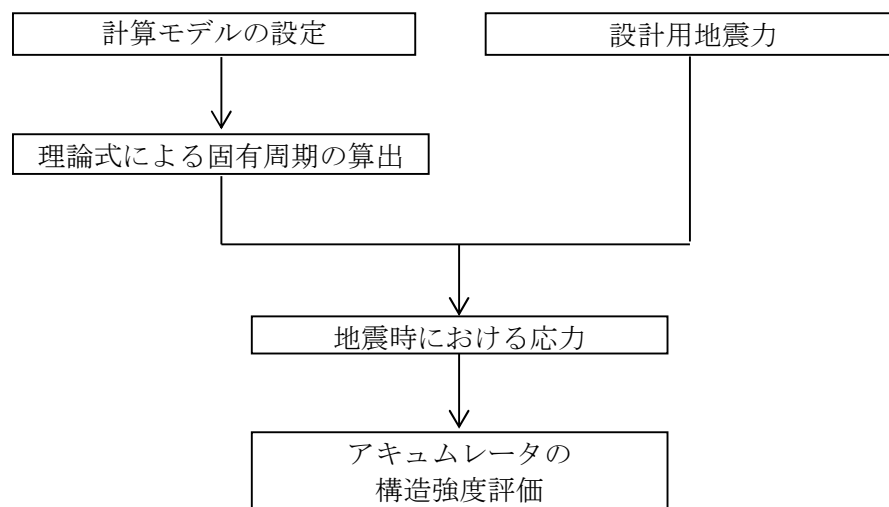


図 2-1 アキュムレータの耐震評価フロー

2.3 適用基準

本計算書においては，原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984，J E A G 4 6 0 1 －1987 及び J E A G 4 6 0 1 －1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月，昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）に準拠して評価する。

2.4 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
最高使用圧力	MPa	—	—	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ*1	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は，小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ及び逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータは、胴及び脚について評価を実施する。

逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ及び逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、6.1 設計基準対象施設としての評価結果及び6.2 重大事故等対処設備としての評価結果の機器要目に示す。

4.2 固有周期の計算結果

6. 項の評価結果に示す。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 容器及び内容物の質量は、重心に集中するものとする。
- (2) 地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) アキュムレータは胴を 4 個の脚で支持し、脚は溶接で架台に据え付けているため、固定端として評価する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

アキュムレータの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

アキュムレータの許容応力を表 5-3 及び表 5-4 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力

アキュムレータの許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-6 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉冷却材 の循環設備	・逃がし安全弁自動減圧機能用 アキュムレータ ・逃がし安全弁逃がし弁機能用 アキュムレータ	S	* クラス 3 容器	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *：クラス 3 容器の支持構造物を含む。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉冷却材 の循環設備	・逃がし安全弁自動減圧機能用 アキュムレータ	常設耐震／防止 常設／緩和	*2 重大事故等 クラス 2 容器	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A S とし てⅣ _A S の許 容限界を用い る。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，
「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-3 許容応力（クラス 2，3 容器及び重大事故等クラス 2 容器）

許容応力状態	許容限界 *1, *2			
	一次一般膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と 0.6・S _u の小さい方 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記の値と 1.2・S との大きい方	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動 S _d 又は基準地震動 S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば、疲労解析は行わない。	
Ⅳ _A S	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値		
V _A S (V _A S としてⅣ _A S の許容限界を用いる。)			基準地震動 S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば、疲労解析は行わない。	

注記 *1：座屈に対する評価が必要な場合には，クラス MC 容器の座屈に対する評価式による。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-4 許容応力（クラス 2， 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物（クラス 2， 3 支持構造物））

許容応力状態	許容限界 * (脚)
	一 次 応 力
	組合せ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$
V _A S (V _A S としてⅣ _A S の許容限界を用いる。)	

注記 *：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5－5 使用材料の許容応力（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
胴板	SUS304	最高使用温度	171	113	150	413	—
脚	SS400	周囲環境温度	171	—	201	373	—

表 5－6 使用材料の許容応力（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
胴板	SUS304	最高使用温度	171	113	150	413	—
脚	SS400	周囲環境温度	171	—	201	373	—

5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-7～表 5-9 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「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

表 5-7 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの設計用地震力（設計基準対象施設）

耐震 重要度分類	据付場所 及び 床面高さ (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	
		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
S	原子炉格納 容器 EL. 27.432 ^{*1}			$C_H=0.88^{*2}$	$C_V=0.66^{*2}$	$C_H=1.61^{*3}$	$C_V=1.25^{*3}$

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度と同等以上の設計震度

*3：基準地震動 S_s の震度と同等以上の設計震度

表 5-8 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの設計用地震力（設計基準対象施設）

耐震 重要度分類	据付場所 及び 床面高さ (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	
		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
S	原子炉格納 容器 EL. 27.432 ^{*1}			$C_H=0.88^{*2}$	$C_V=0.66^{*2}$	$C_H=1.61^{*3}$	$C_V=1.25^{*3}$

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度と同等以上の設計震度

*3：基準地震動 S_s の震度と同等以上の設計震度

表 5-9 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの設計用地震力（重大事故等対処設備）

耐震 重要度分類	据付場所 及び 床面高さ (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	
		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
S	原子炉格納 容器 EL. 27.432 ^{*1}			—	—	C _H =1.61 ^{*2}	C _V =1.25 ^{*2}

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動 S_s の震度と同等以上の設計震度

5.4 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】及び【逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

6.1.1 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ

逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次ページ以降の表に示す。

6.1.2 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ

逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次ページ以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

6.2.1 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ

逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次ページ以降の表に示す。

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R0

【逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機 器 名 称	耐震重要度分類	据 付 場 所 及 び 床 面 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		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周 围 環 境 温 度 (℃)
			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			
逃がし安全弁 自動減圧機能用 アキュムレータ	S	原子炉格納容器 EL. 27. 432 *1			C _H =0. 88 *2	C _V =0. 66 *2	C _H =1. 61 *3	C _V =1. 25 *3	2. 28	171	171

注記 *1：基準床レベルを示す。 *2：弾性設計用地震動S_d又は静的震度と同等以上の設計震度 *3：基準地震動S_sの震度と同等以上の設計震度

1.2 機器要目

m ₀ (kg)	D _i (mm)	t (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)	λ (mm)	λ _c (mm)	λ _g (mm)	H (mm)	K _C	Kλ	K _r
	550	12. 0	184000 *1	193000 *2	70800 *1	74200 *2	645	689	860	—	411	141	968

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{s f} (mm ⁴)	I _{s r} (mm ⁴)	I _{s t} (mm ⁴)	A _f (mm ²)	A _s (mm ²)	A _{s f} (mm ²)	A _{s r} (mm ²)	A _{s t} (mm ²)	A _{s 1} (mm ²)	A _{s 2} (mm ²)	Z _{s p} (mm ³)	Z _{s r} (mm ³)	Z _{s t} (mm ³)
75	90	9. 890×10 ⁴	1. 880×10 ⁶	2. 600×10 ⁵	375. 0	1. 192×10 ³	420. 8	666. 7	489. 0	536. 4	426. 4	2. 347×10 ³	3. 760×10 ⁴	7. 520×10 ³

K ₁₁ *3	K ₁₂ *3	K ₂₁ *3	K ₂₂ *3	K _{λ1}	K _{λ2}	K _{C1}	K _{C2}	C _{λ1}	C _{λ2}	C _{C1}	C _{C2}
—	—										
—	—										

J _s (mm ⁴)	h (mm)
1. 760×10 ⁴	100

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (脚) (MPa)	S _u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F* (脚) (MPa)
150 *1	413 *1	113 *1	201 *2 (厚さ≦16mm)	373 *2	201 *2	201 *2

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

*3：表中で上段は一次応力、下段は二次応力の係数とする。

(单位: MPa)

														(単位：MPa)		
地震力の種類				弾性設計用地震動S _d 又は静的震度												
地震の方向	評価点		応力 内圧による応力	運 転 時 重 量 に よ る 応 力			鉛 直 地 震 に よ る 応 力			水 平 地 震 に よ る 応 力				組 合 せ 力 一 次 応 力		
				自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力			
Z方 向	側脚	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=54$	—	$\sigma_{\phi 3}=1$	$\sigma_{\phi 4}=0$	—	$\sigma_{\phi 8}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$	—	$\sigma_{\phi 61}=1$	$\sigma_{\phi 71}=1$	—	$\sigma_{11}=55$	
			軸方向	$\sigma_{X1}=27$	$\sigma_{X2}=1$	$\sigma_{X3}=1$	$\sigma_{X4}=0$	$\sigma_{X7}=0$	$\sigma_{X8}=0$	$\sigma_{X9}=0$	$\sigma_{X5}=1$	$\sigma_{X61}=1$	$\sigma_{X71}=1$	—		
			せん断	—	—			—			—					
		周方向	$\sigma_{\phi 1}=54$	—	—	$\sigma_{\phi 4}=0$	—	—	$\sigma_{\phi 9}=0$	—	$\sigma_{\phi 61}=1$	—	—	$\sigma_{12}=54$		
		軸方向	$\sigma_{X1}=27$	$\sigma_{X2}=1$	—	$\sigma_{X4}=0$	$\sigma_{X7}=0$	—	$\sigma_{X9}=0$	$\sigma_{X5}=1$	$\sigma_{X61}=1$	—	—			
		せん断	—	$\tau_{\lambda 1}=1$			$\tau_{\lambda 3}=1$			$\tau_{\lambda 2}=1$						
	側脚	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=54$	—	$\sigma_{\phi 3}=1$	$\sigma_{\phi 4}=0$	—	$\sigma_{\phi 8}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$	—	—	—	—	—	$\sigma_{13}=55$
			軸方向	$\sigma_{X1}=27$	$\sigma_{X2}=1$	$\sigma_{X3}=1$	$\sigma_{X4}=0$	$\sigma_{X7}=0$	$\sigma_{X8}=0$	$\sigma_{X9}=0$	—	—	—	—		
			せん断	—	—			—			$\tau_3=1 \qquad \tau_{c1}=1$					
		周方向	$\sigma_{\phi 1}=54$	—	—	$\sigma_{\phi 4}=0$	—	—	$\sigma_{\phi 9}=0$	—	—	—	$\sigma_{\phi 81}=1$	$\sigma_{14}=54$		
		軸方向	$\sigma_{X1}=27$	$\sigma_{X2}=1$	—	$\sigma_{X4}=0$	$\sigma_{X7}=0$	—	$\sigma_{X9}=0$	—	—	—	$\sigma_{X81}=1$			
		せん断	—	$\tau_{\lambda 1}=1$			$\tau_{\lambda 3}=1$			$\tau_3=1$						
X方 向	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=54$	—	$\sigma_{\phi 3}=1$	$\sigma_{\phi 4}=0$	—	$\sigma_{\phi 8}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$	—	$\sigma_{\phi 91}=1$	$\sigma_{\phi 101}=1$	—	$\sigma_{15}=55$		
		軸方向	$\sigma_{X1}=27$	$\sigma_{X2}=1$	$\sigma_{X3}=1$	$\sigma_{X4}=0$	$\sigma_{X7}=0$	$\sigma_{X8}=0$	$\sigma_{X9}=0$	$\sigma_{X6}=1$	$\sigma_{X91}=1$	$\sigma_{X101}=1$	—			
		せん断	—	—			—			$\tau_6=1 \qquad \tau_{c4}=1$						
	周方向	$\sigma_{\phi 1}=54$	—	—	$\sigma_{\phi 4}=0$	—	—	$\sigma_{\phi 9}=0$	—	$\sigma_{\phi 91}=1$	—	$\sigma_{\phi 111}=1$	$\sigma_{16}=54$			
	軸方向	$\sigma_{X1}=27$	$\sigma_{X2}=1$	—	$\sigma_{X4}=0$	$\sigma_{X7}=0$	—	$\sigma_{X9}=0$	$\sigma_{X6}=1$	$\sigma_{X91}=1$	—	$\sigma_{X111}=1$				
	せん断	—	$\tau_{\lambda 1}=1$			$\tau_{\lambda 3}=1$			$\tau_6=1 \qquad \tau_{\lambda 5}=1$							

(単位：MPa)

地震力の種類			基準地震動 S s												
地震の方向	評価点		応 力	内圧による応力	運 転 時 重 量 に よ る 応 力			鉛 直 地 震 に よ る 応 力			水 平 地 震 に よ る 応 力				組 合 せ 力 一 次 応 力
					自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
Z 方 向	第一側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$	$\sigma_{\phi 71} = 1$	—	$\sigma_{11} = 56$
		軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$	$\sigma_{X71} = 1$	—		
		せん断	—	—			—			—					
	第二側	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$	—	—	$\sigma_{12} = 54$
		軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$	—	—		
		せん断	—	$\tau_{\lambda 1} = 1$			$\tau_{\lambda 3} = 1$			$\tau_{\lambda 2} = 1$					
	第一側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	—	—	—	$\sigma_{13} = 55$
		軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	—	—	—	—		
		せん断	—	—			—			$\tau_3 = 2$ $\tau_{c1} = 1$					
	第二側	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	—	—	$\sigma_{\phi 81} = 1$	$\sigma_{14} = 55$
		軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$	—	—	—	$\sigma_{X81} = 1$		
		せん断	—	$\tau_{\lambda 1} = 1$			$\tau_{\lambda 3} = 1$			$\tau_3 = 2$					
X 方 向	第一側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$	$\sigma_{\phi 101} = 1$	—	$\sigma_{15} = 56$
			軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$	$\sigma_{X101} = 1$	—	
			せん断	—	—			—			$\tau_6 = 1$ $\tau_{c4} = 1$				
	第二側	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$	—	$\sigma_{\phi 111} = 1$	$\sigma_{16} = 55$
			軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$	—	$\sigma_{X111} = 1$	
			せん断	—	$\tau_{\lambda 1} = 1$			$\tau_{\lambda 3} = 1$			$\tau_6 = 1$ $\tau_{\lambda 5} = 1$				

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R0

(3) 胴に生じる地震動のみによる一次＋二次応力

(単位：MPa)

地震力の種類			弾性設計用地震動S _d 又は静的震度									
地震の方向	評価点		応力	鉛直地震による応力			水平地震による応力					組合せ力 一次応力
				自重による応力	曲げによる モーメント 応力	半径方向 荷重 応力	転倒モーメント による応力	半径方向 荷重 応力	鉛直方向 モーメント による応力	周方向 モーメント による応力		
Z 方 向	側	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$ $\sigma_{\phi 62} = 1$	$\sigma_{\phi 71} = 1$ $\sigma_{\phi 72} = 1$	—	$\sigma_{21} = 6$	
			軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X8} = 0$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$ $\sigma_{X62} = 1$	$\sigma_{X71} = 1$ $\sigma_{X72} = 1$	—		
			せん断	—			—					
		第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$ $\sigma_{\phi 62} = 1$	—	—	$\sigma_{22} = 3$	
			軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$ $\sigma_{X62} = 1$	—	—		
			せん断	$\tau_{\lambda 3} = 1$			$\tau_{\lambda 2} = 1$					
	側	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	—	—	—	$\sigma_{23} = 4$	
			軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X8} = 0$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	—	—	—	—		
			せん断	—			$\tau_3 = 1$		$\tau_{c1} = 1$			
		第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	—	—	$\sigma_{\phi 81} = 1$ $\sigma_{\phi 82} = 3$	$\sigma_{24} = 7$	
			軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	—	—	—	$\sigma_{X81} = 1$ $\sigma_{X82} = 1$		
			せん断	$\tau_{\lambda 3} = 1$			$\tau_3 = 1$					
X 方 向	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$ $\sigma_{\phi 92} = 1$	$\sigma_{\phi 101} = 1$ $\sigma_{\phi 102} = 1$	—	$\sigma_{25} = 6$		
		軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	$\sigma_{X8} = 0$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$ $\sigma_{X92} = 1$	$\sigma_{X101} = 1$ $\sigma_{X102} = 1$	—			
		せん断	—			$\tau_6 = 1$		$\tau_{c4} = 1$				
	第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$ $\sigma_{\phi 92} = 1$	—	$\sigma_{\phi 111} = 1$ $\sigma_{\phi 112} = 2$	$\sigma_{26} = 7$		
		軸方向	$\sigma_{X7} = 0$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$ $\sigma_{X92} = 1$	—	$\sigma_{X111} = 1$ $\sigma_{X112} = 1$			
		せん断	$\tau_{\lambda 3} = 1$			$\tau_6 = 1$		$\tau_{\lambda 5} = 1$				

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R0

(単位：MPa)

地 震 力 の 種 類			基準地震動 S s													
地震の方向	評価点		応 力	鉛 直 地 震 に よ る 応 力			水 平 地 震 に よ る 応 力					組 合 せ 力 一 次 応 力				
				自重による応力	曲 げ モ ー メ ン ト に よ る 応 力	半 径 方 向 荷 重 に よ る 応 力	転倒モーメント による応力	半 径 方 向 荷 重 に よ る 応 力	鉛 直 方 向 モ ー メ ン ト に よ る 応 力	周 方 向 モ ー メ ン ト に よ る 応 力						
Z 方 向	一 脚 側	第一 評価 点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	$\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$	$\sigma_{\phi 62} = 1$	$\sigma_{\phi 71} = 1$	$\sigma_{\phi 72} = 1$	—	$\sigma_{21} = 11$	
			軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$	$\sigma_{X62} = 1$	$\sigma_{X71} = 1$	$\sigma_{X72} = 2$	—		
			せん断	—			—									
		第二 評価 点	周方向	—	—		$\sigma_{\phi 9} = 0$	$\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$	$\sigma_{\phi 62} = 1$	—		—	$\sigma_{22} = 6$	
			軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	—		$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$	$\sigma_{X62} = 1$	—		—		
			せん断	$\tau_{\lambda 3} = 1$			$\tau_{\lambda 2} = 1$									
	二 脚 側	第一 評価 点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	$\sigma_{\phi 11} = 0$	—	—		—		—	$\sigma_{23} = 7$	
			軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X11} = 0$	—	—		—		—		
			せん断	—			$\tau_3 = 2$						$\tau_{c1} = 1$			
		第二 評価 点	周方向	—	—		$\sigma_{\phi 9} = 0$	$\sigma_{\phi 11} = 0$	—	—		—		$\sigma_{\phi 81} = 1$	$\sigma_{\phi 82} = 5$	$\sigma_{24} = 13$
			軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	—		$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X11} = 0$	—	—		—		$\sigma_{X81} = 1$	$\sigma_{X82} = 2$	
			せん断	$\tau_{\lambda 3} = 1$			$\tau_3 = 2$									
X 方 向	第一 評価 点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	$\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$	$\sigma_{\phi 92} = 1$	$\sigma_{\phi 101} = 1$	$\sigma_{\phi 102} = 1$	—	$\sigma_{25} = 11$		
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$	$\sigma_{X92} = 1$	$\sigma_{X101} = 1$	$\sigma_{X102} = 2$	—			
		せん断	—			$\tau_6 = 1$						$\tau_{c4} = 1$				
	第二 評価 点	周方向	—	—		$\sigma_{\phi 9} = 0$	$\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$	$\sigma_{\phi 92} = 1$	—		$\sigma_{\phi 111} = 1$	$\sigma_{\phi 112} = 4$	$\sigma_{26} = 12$	
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	—		$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$	$\sigma_{X92} = 1$	—		$\sigma_{X111} = 1$	$\sigma_{X112} = 2$		
		せん断	$\tau_{\lambda 3} = 1$			$\tau_6 = 1$						$\tau_{\lambda 5} = 1$				

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向		運 転 時 重 量 に よ る 応 力			鉛 直 地 震 に よ る 応 力			水 平 地 震 に よ る 応 力				組合せ応力
			圧 縮	曲 げ	せ ん 断	圧 縮	曲 げ	せ ん 断	圧 縮	曲 げ		せ ん 断	
S d	Z 方 向	第 1 脚 側	$\sigma_{S1}=1$	$\sigma_{S2}=1$	$\tau_{S1}=0$	$\sigma_{S3}=1$	$\sigma_{S4}=1$	$\tau_{S2}=0$	$\sigma_{S5}=2$	$\sigma_{S6}=10$		$\tau_{S3}=1$	$\sigma_{SZ1}=14$
		第 2 脚 側	$\sigma_{S1}=1$	$\sigma_{S2}=1$	$\tau_{S1}=0$	$\sigma_{S3}=1$	$\sigma_{S4}=1$	$\tau_{S2}=0$	—	$\sigma_{S7}=10$		$\tau_{S4}=3$	$\sigma_{SZ2}=13$
	X 方 向		$\sigma_{S1}=1$	$\sigma_{S2}=1$	$\tau_{S1}=0$	$\sigma_{S3}=1$	$\sigma_{S4}=1$	$\tau_{S2}=0$	$\sigma_{S8}=2$	$\sigma_{S9}=7$	$\sigma_{S10}=7$	$\tau_{S5}=3$	$\sigma_{SX}=18$
S s	Z 方 向	第 1 脚 側	$\sigma_{S1}=1$	$\sigma_{S2}=1$	$\tau_{S1}=0$	$\sigma_{S3}=1$	$\sigma_{S4}=1$	$\tau_{S2}=0$	$\sigma_{S5}=3$	$\sigma_{S6}=17$		$\tau_{S3}=1$	$\sigma_{SZ1}=24$
		第 2 脚 側	$\sigma_{S1}=1$	$\sigma_{S2}=1$	$\tau_{S1}=0$	$\sigma_{S3}=1$	$\sigma_{S4}=1$	$\tau_{S2}=0$	—	$\sigma_{S7}=18$		$\tau_{S4}=5$	$\sigma_{SZ2}=23$
	X 方 向		$\sigma_{S1}=1$	$\sigma_{S2}=1$	$\tau_{S1}=0$	$\sigma_{S3}=1$	$\sigma_{S4}=1$	$\tau_{S2}=0$	$\sigma_{S8}=3$	$\sigma_{S9}=12$	$\sigma_{S10}=13$	$\tau_{S5}=4$	$\sigma_{SX}=31$

1.4 結 論
1.4.1 固有周期

(単位：s)	
方 向	固 有 周 期
水 平 方 向	
鉛 直 方 向	

1.4.2 応 力

(単位：MPa)						
部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板	SUS304	一次一般膜	$\sigma_0 = 54$	$S_a = 150$	$\sigma_0 = 54$	$S_a = 248$
		一 次	$\sigma_1 = 55$	$S_a = 225$	$\sigma_1 = 56$	$S_a = 372$
		一次＋二次	$\sigma_2 = 7$	$S_a = 300$	$\sigma_2 = 13$	$S_a = 300$
脚	SS400	組 合 せ	$\sigma_s = 18$	$f_t = 201$	$\sigma_s = 31$	$f_t = 241$
		圧縮と曲げ の組合せ	$\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}} + \frac{\sigma_{st}}{f_{bt}} + \frac{\sigma_{sc}}{f_c} \leq 1$		$\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}} + \frac{\sigma_{st}}{f_{bt}} + \frac{\sigma_{sc}}{f_c} \leq 1$	
		(座屈の評価)	0.09		0.13	

すべて許容応力以下である。

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R0

【逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】

2. 設計基準対象施設

2.1 設 計 条 件

機 器 名 称	耐震重要度分類	据 付 場 所 及 び 床 面 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		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周 围 環 境 温 度 (℃)
			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			
逃がし安全弁 逃がし弁機能用 アキュムレータ	S	原子炉格納容器 EL. 27. 432 *1			C _H =0. 88 *2	C _V =0. 66 *2	C _H =1. 61 *3	C _V =1. 25 *3	1. 46	171	171

注記 *1：基準床レベルを示す。 *2：弾性設計用地震動S_d又は静的震度と同等以上の設計震度 *3：基準地震動S_sの震度と同等以上の設計震度

2.2 機 器 要 目

m ₀ (kg)	D _i (mm)	t (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)	λ (mm)	λ _c (mm)	λ _g (mm)	H (mm)	K _C	Kλ	K _r
	400	12. 0	184000 *1	193000 *2	70800 *1	74200 *2	577	534	600	—	199	83. 4	615

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{s f} (mm ⁴)	I _{s r} (mm ⁴)	I _{s t} (mm ⁴)	A _f (mm ²)	A _s (mm ²)	A _{s f} (mm ²)	A _{s r} (mm ²)	A _{s t} (mm ²)	A _{s 1} (mm ²)	A _{s 2} (mm ²)	Z _{s p} (mm ³)	Z _{s r} (mm ³)	Z _{s t} (mm ³)
50	75	4. 506×10 ⁴	7. 530×10 ⁵	1. 220×10 ⁵	280. 0	881. 8	307. 5	501. 2	366. 3	396. 6	314. 1	1. 670×10 ³	2. 010×10 ⁴	4. 470×10 ³

K ₁₁ *3	K ₁₂ *3	K ₂₁ *3	K ₂₂ *3	K _{λ1}	K _{λ2}	K _{C1}	K _{C2}	C _{λ1}	C _{λ2}	C _{C1}	C _{C2}
—	—										
—	—										

J _s (mm ⁴)	h (mm)
1. 169×10 ⁴	75

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (脚) (MPa)	S _u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F* (脚) (MPa)
150 *1	413 *1	113 *1	201 *2 (厚さ≦16mm)	373 *2	201 *2	201 *2

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

*3：表中で上段は一次応力、下段は二次応力の係数とする。

(単位：MPa)

地 震 力 の 種 類			基準地震動 S s												組 合 せ 力 一 次 応 力
地震の方向	評価点		応 力 内圧による応力	運 転 時 重 量 に よ る 応 力			鉛 直 地 震 に よ る 応 力			水 平 地 震 に よ る 応 力					
				自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力		
Z 方 向	第一側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=26$	—	$\sigma_{\phi 3}=1$	$\sigma_{\phi 4}=0$	—	$\sigma_{\phi 8}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$	—	$\sigma_{\phi 61}=1$	$\sigma_{\phi 71}=1$	—	$\sigma_{11}=27$
			軸方向	$\sigma_{X1}=13$	$\sigma_{X2}=1$	$\sigma_{X3}=0$	$\sigma_{X4}=0$	$\sigma_{X7}=1$	$\sigma_{X8}=1$	$\sigma_{X9}=0$	$\sigma_{X5}=0$	$\sigma_{X61}=1$	$\sigma_{X71}=1$	—	
			せん断	—	—			—			—				
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=26$	—	—	$\sigma_{\phi 4}=0$	—	—	$\sigma_{\phi 9}=0$	—	$\sigma_{\phi 61}=1$	—	—	$\sigma_{12}=26$
			軸方向	$\sigma_{X1}=13$	$\sigma_{X2}=1$	—	$\sigma_{X4}=0$	$\sigma_{X7}=1$	—	$\sigma_{X9}=0$	$\sigma_{X5}=0$	$\sigma_{X61}=1$	—	—	
			せん断	—	$\tau_{\lambda 1}=1$			$\tau_{\lambda 3}=1$			$\tau_{\lambda 2}=1$				
	第二側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=26$	—	$\sigma_{\phi 3}=1$	$\sigma_{\phi 4}=0$	—	$\sigma_{\phi 8}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$	—	—	—	—	$\sigma_{13}=26$
			軸方向	$\sigma_{X1}=13$	$\sigma_{X2}=1$	$\sigma_{X3}=0$	$\sigma_{X4}=0$	$\sigma_{X7}=1$	$\sigma_{X8}=1$	$\sigma_{X9}=0$	—	—	—	—	
			せん断	—	—			—			$\tau_3=2$ $\tau_{c1}=1$				
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=26$	—	—	$\sigma_{\phi 4}=0$	—	—	$\sigma_{\phi 9}=0$	—	—	—	$\sigma_{\phi 81}=1$	$\sigma_{14}=26$
			軸方向	$\sigma_{X1}=13$	$\sigma_{X2}=1$	—	$\sigma_{X4}=0$	$\sigma_{X7}=1$	—	$\sigma_{X9}=0$	—	—	—	$\sigma_{X81}=1$	
			せん断	—	$\tau_{\lambda 1}=1$			$\tau_{\lambda 3}=1$			$\tau_3=2$				
X 方 向	第一側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=26$	—	$\sigma_{\phi 3}=1$	$\sigma_{\phi 4}=0$	—	$\sigma_{\phi 8}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$	—	$\sigma_{\phi 91}=1$	$\sigma_{\phi 101}=1$	—	$\sigma_{15}=27$
			軸方向	$\sigma_{X1}=13$	$\sigma_{X2}=1$	$\sigma_{X3}=0$	$\sigma_{X4}=0$	$\sigma_{X7}=1$	$\sigma_{X8}=1$	$\sigma_{X9}=0$	$\sigma_{X5}=0$	$\sigma_{X91}=1$	$\sigma_{X101}=0$	—	
			せん断	—	—			—			$\tau_6=2$ $\tau_{c4}=1$				
	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=26$	—	—	$\sigma_{\phi 4}=0$	—	—	$\sigma_{\phi 9}=0$	—	$\sigma_{\phi 91}=1$	—	$\sigma_{\phi 111}=1$	$\sigma_{16}=26$	
		軸方向	$\sigma_{X1}=13$	$\sigma_{X2}=1$	—	$\sigma_{X4}=0$	$\sigma_{X7}=1$	—	$\sigma_{X9}=0$	$\sigma_{X5}=0$	$\sigma_{X91}=1$	—	$\sigma_{X111}=1$		
		せん断	—	$\tau_{\lambda 1}=1$			$\tau_{\lambda 3}=1$			$\tau_6=2$ $\tau_{\lambda 5}=1$					

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R0

(3) 胴に生じる地震動のみによる一次＋二次応力

(単位：MPa)

地震力の種類			弾性設計用地震動S _d 又は静的震度													
地震の方向	評価点		応力	鉛直地震による応力				水平地震による応力					組合せ力 一次応力			
				自重による応力	曲げによる モーメント 応力	半径方向 荷重 応力	転倒モーメント による応力	半径方向 荷重 応力	鉛直方向 モーメント による応力	周方向 モーメント による応力						
Z 方 向	第一側	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8}=1$	$\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$	$\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 61}=1$	$\sigma_{\phi 62}=1$	$\sigma_{\phi 71}=1$	$\sigma_{\phi 72}=1$	—	$\sigma_{21}=3$	
			軸方向	$\sigma_{X7}=0$	$\sigma_{X8}=0$	$\sigma_{X10}=1$	$\sigma_{X9}=0$	$\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=0$	$\sigma_{X61}=1$	$\sigma_{X62}=1$	$\sigma_{X71}=0$	$\sigma_{X72}=1$	—		
			せん断	—				—								
		周方向	—	—		$\sigma_{\phi 9}=0$	$\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 61}=1$	$\sigma_{\phi 62}=1$	—	—	$\sigma_{22}=2$			
		軸方向	$\sigma_{X7}=0$	—		$\sigma_{X9}=0$	$\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=0$	$\sigma_{X61}=1$	$\sigma_{X62}=1$	—	—				
		せん断	$\tau_{23}=0$				$\tau_{22}=1$									
	第二側	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8}=1$	$\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$	$\sigma_{\phi 11}=0$	—	—		—		—	$\sigma_{23}=4$	
			軸方向	$\sigma_{X7}=0$	$\sigma_{X8}=0$	$\sigma_{X10}=1$	$\sigma_{X9}=0$	$\sigma_{X11}=0$	—	—		—				
			せん断	—				$\tau_3=1$					$\tau_{c1}=1$			
		第二評価点	周方向	—	—		$\sigma_{\phi 9}=0$	$\sigma_{\phi 11}=0$	—	—		—		$\sigma_{\phi 81}=1$	$\sigma_{\phi 82}=2$	$\sigma_{24}=6$
			軸方向	$\sigma_{X7}=0$	—		$\sigma_{X9}=0$	$\sigma_{X11}=0$	—	—		—		$\sigma_{X81}=1$	$\sigma_{X82}=1$	
			せん断	$\tau_{23}=0$				$\tau_3=1$								
X 方 向	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8}=1$	$\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$	$\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 91}=0$	$\sigma_{\phi 92}=1$	$\sigma_{\phi 101}=1$	$\sigma_{\phi 102}=1$	—	$\sigma_{25}=4$		
		軸方向	$\sigma_{X7}=0$	$\sigma_{X8}=0$	$\sigma_{X10}=1$	$\sigma_{X9}=0$	$\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=0$	$\sigma_{X91}=0$	$\sigma_{X92}=1$	$\sigma_{X101}=0$	$\sigma_{X102}=1$	—			
		せん断	—				$\tau_6=1$					$\tau_{c4}=1$				
	第二評価点	周方向	—	—		$\sigma_{\phi 9}=0$	$\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 91}=0$	$\sigma_{\phi 92}=1$	—		$\sigma_{\phi 111}=1$	$\sigma_{\phi 112}=2$	$\sigma_{26}=5$	
		軸方向	$\sigma_{X7}=0$	—		$\sigma_{X9}=0$	$\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=0$	$\sigma_{X91}=0$	$\sigma_{X92}=1$	—		$\sigma_{X111}=1$	$\sigma_{X112}=1$		
		せん断	$\tau_{23}=0$				$\tau_6=1$					$\tau_{25}=1$				

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R0

(単位 : MPa)

地震力の種類			基準地震動 S s									
地震の方向	評価点		応力	鉛直地震による応力				水平地震による応力				組合せ力 一次応力
				自重による応力	曲げによる モーメント 応力	半径方向 荷重 応力	転倒モーメント による応力	半径方向 荷重 応力	鉛直方向 モーメント による応力	周方向 モーメント による応力		
Z 方 向	第一側	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$ $\sigma_{\phi 62} = 1$	$\sigma_{\phi 71} = 1$ $\sigma_{\phi 72} = 1$	—	$\sigma_{21} = 6$	
			軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 0$	$\sigma_{X61} = 1$ $\sigma_{X62} = 1$	$\sigma_{X71} = 1$ $\sigma_{X72} = 1$	—		
			せん断	—				—				
	第二側	第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$ $\sigma_{\phi 62} = 1$	—	—	$\sigma_{22} = 3$	
			軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 0$	$\sigma_{X61} = 1$ $\sigma_{X62} = 1$	—	—		
			せん断	$\tau_{\lambda 3} = 1$				$\tau_{\lambda 2} = 1$				
	第一側	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	—	—	—	$\sigma_{23} = 6$	
			軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	—	—	—	—		
			せん断	—				$\tau_3 = 2$ $\tau_{c1} = 1$				
	第二側	第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	—	—	$\sigma_{\phi 81} = 1$ $\sigma_{\phi 82} = 4$	$\sigma_{24} = 11$	
			軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	—	—	—	$\sigma_{X81} = 1$ $\sigma_{X82} = 2$		
			せん断	$\tau_{\lambda 3} = 1$				$\tau_3 = 2$				
X 方 向	第一側	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$ $\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$ $\sigma_{\phi 92} = 1$	$\sigma_{\phi 101} = 1$ $\sigma_{\phi 102} = 1$	—	$\sigma_{25} = 7$	
			軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$ $\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 0$	$\sigma_{X91} = 1$ $\sigma_{X92} = 1$	$\sigma_{X101} = 0$ $\sigma_{X102} = 1$	—		
			せん断	—				$\tau_6 = 2$ $\tau_{c4} = 1$				
	第二側	第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$ $\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$ $\sigma_{\phi 92} = 1$	—	$\sigma_{\phi 111} = 1$ $\sigma_{\phi 112} = 3$	$\sigma_{26} = 9$	
			軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$ $\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 0$	$\sigma_{X91} = 1$ $\sigma_{X92} = 1$	—	$\sigma_{X111} = 1$ $\sigma_{X112} = 1$		
			せん断	$\tau_{\lambda 3} = 1$				$\tau_6 = 2$ $\tau_{\lambda 5} = 1$				

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R0

2.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震力の種類	地震の方向		運転時重量による応力			鉛直地震による応力			水平地震による応力				組合せ応力
			圧縮	曲げ	せん断	圧縮	曲げ	せん断	圧縮	曲げ		せん断	
S d	Z 方向	第 1 脚 側	$\sigma_{S1}=1$	$\sigma_{S2}=1$	$\tau_{S1}=0$	$\sigma_{S3}=1$	$\sigma_{S4}=1$	$\tau_{S2}=0$	$\sigma_{S5}=1$	$\sigma_{S6}=8$		$\tau_{S3}=1$	$\sigma_{sz1}=11$
		第 2 脚 側	$\sigma_{S1}=1$	$\sigma_{S2}=1$	$\tau_{S1}=0$	$\sigma_{S3}=1$	$\sigma_{S4}=1$	$\tau_{S2}=0$	—	$\sigma_{S7}=9$		$\tau_{S4}=2$	$\sigma_{sz2}=12$
	X 方 向		$\sigma_{S1}=1$	$\sigma_{S2}=1$	$\tau_{S1}=0$	$\sigma_{S3}=1$	$\sigma_{S4}=1$	$\tau_{S2}=0$	$\sigma_{S8}=1$	$\sigma_{S9}=6$	$\sigma_{S10}=7$	$\tau_{S5}=2$	$\sigma_{sx}=15$
S s	Z 方向	第 1 脚 側	$\sigma_{S1}=1$	$\sigma_{S2}=1$	$\tau_{S1}=0$	$\sigma_{S3}=1$	$\sigma_{S4}=1$	$\tau_{S2}=0$	$\sigma_{S5}=2$	$\sigma_{S6}=15$		$\tau_{S3}=1$	$\sigma_{sz1}=19$
		第 2 脚 側	$\sigma_{S1}=1$	$\sigma_{S2}=1$	$\tau_{S1}=0$	$\sigma_{S3}=1$	$\sigma_{S4}=1$	$\tau_{S2}=0$	—	$\sigma_{S7}=17$		$\tau_{S4}=4$	$\sigma_{sz2}=20$
	X 方 向		$\sigma_{S1}=1$	$\sigma_{S2}=1$	$\tau_{S1}=0$	$\sigma_{S3}=1$	$\sigma_{S4}=1$	$\tau_{S2}=0$	$\sigma_{S8}=2$	$\sigma_{S9}=11$	$\sigma_{S10}=12$	$\tau_{S5}=3$	$\sigma_{sx}=27$

2.4 結 論
2.4.1 固有周期

		(単位：s)	
方 向		固 有 周 期	
水 平 方 向			
鉛 直 方 向			

2.4.2 応 力

		(単位：MPa)				
部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板	SUS304	一次一般膜	$\sigma_0 = 26$	$S_a = 150$	$\sigma_0 = 26$	$S_a = 248$
		一 次	$\sigma_1 = 26$	$S_a = 225$	$\sigma_1 = 27$	$S_a = 372$
		一次＋二次	$\sigma_2 = 6$	$S_a = 300$	$\sigma_2 = 11$	$S_a = 300$
脚	SS400	組 合 せ	$\sigma_s = 15$	$f_t = 201$	$\sigma_s = 27$	$f_t = 241$
		圧縮と曲げ の組合せ	$\frac{\sigma_{s r}}{f_{b r}} + \frac{\sigma_{s t}}{f_{b t}} + \frac{\sigma_{s c}}{f_c} \leq 1$		$\frac{\sigma_{s r}}{f_{b r}} + \frac{\sigma_{s t}}{f_{b t}} + \frac{\sigma_{s c}}{f_c} \leq 1$	
		(座屈の評価)	0.08		0.11	

すべて許容応力以下である。

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R0

【逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】

3. 重大事故等対処設備

3.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (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		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			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			
逃がし安全弁 自動減圧機能用 アキュムレータ	S	原子炉格納容器 EL. 27. 432 *1			—	—	C _H =1. 61 *2	C _V =1. 25 *2	2. 28	171	171

注記 *1：基準床レベルを示す。 *2：基準地震動S_sの震度と同等以上の設計震度

3.2 機器要目

m ₀ (kg)	D _i (mm)	t (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)	λ (mm)	λ _c (mm)	λ _g (mm)	H (mm)	K _C	Kλ	K _r
	550	12. 0	184000 *1	193000 *2	70800 *1	74200 *2	645	689	860	—	411	141	968

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{s f} (mm ⁴)	I _{s r} (mm ⁴)	I _{s t} (mm ⁴)	A _f (mm ²)	A _s (mm ²)	A _{s f} (mm ²)	A _{s r} (mm ²)	A _{s t} (mm ²)	A _{s 1} (mm ²)	A _{s 2} (mm ²)	Z _{s p} (mm ³)	Z _{s r} (mm ³)	Z _{s t} (mm ³)
75	90	9. 890×10 ⁴	1. 880×10 ⁶	2. 600×10 ⁵	375. 0	1. 192×10 ³	420. 8	666. 7	489. 0	536. 4	426. 4	2. 347×10 ³	3. 760×10 ⁴	7. 520×10 ³

K ₁₁ *3	K ₁₂ *3	K ₂₁ *3	K ₂₂ *3	K _{λ1}	K _{λ2}	K _{C1}	K _{C2}	C _{λ1}	C _{λ2}	C _{C1}	C _{C2}
—	—										
—	—										

J _s (mm ⁴)	h (mm)
1. 760×10 ⁴	100

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (脚) (MPa)	S _u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F* (脚) (MPa)
150 *1	413 *1	113 *1	201 *2 (厚さ≦16mm)	373 *2	—	201 *2

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

*3：表中で上段は一次応力、下段は二次応力の係数とする。

3.3 計算数値

3.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震力の種類	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度					基準地震動S _s				
	内圧による応力	運転時質量による応力	鉛直地震による応力	水平地震による応力	組合せ一次一般膜応力	内圧による応力	運転時質量による応力	鉛直地震による応力	水平地震による応力	組合せ一次一般膜応力
		自重による応力	自重による応力	転倒モーメントによる応力			自重による応力	自重による応力	転倒モーメントによる応力	
周方向	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	—	—	$\sigma_0 = 54$
軸方向	—	—	—	—		$\sigma_{x1} = 27$	$\sigma_{x2} = 1$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x5} = 1$	
せん断	—	—	—	—		—	—	—	—	

(2) 胴に生じる一次応力

(単位：MPa)

地 震 力 の 種 類			弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度											
地震の方向	評価点		応 力 内圧による応力	運 転 時 重 量 に よ る 応 力			鉛 直 地 震 に よ る 応 力			水 平 地 震 に よ る 応 力				組 合 せ 力 一 次 応 力
				自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
Z 方 向	第一側	第一評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—			—			—			
		第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—			—			—			
	第二側	第一評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—			—			—			
		第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—			—			—			
X 方 向	第一評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
		せん断	—	—			—			—				
	第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
		せん断	—	—			—			—				

(単位：MPa)

地震力の種類			基準地震動 S s												
地震の方向	評価点		応 力	内圧による応力	運 転 時 重 量 に よ る 応 力			鉛 直 地 震 に よ る 応 力			水 平 地 震 に よ る 応 力				組 合 せ 一 次 応 力
					自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
Z 方 向	一 脚 側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$	$\sigma_{\phi 71} = 1$	—	$\sigma_{11} = 56$
			軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$	$\sigma_{X71} = 1$	—	
			せん断	—	—			—			—				
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$	—	—	$\sigma_{12} = 54$
			軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$	—	—	
			せん断	—	$\tau_{\lambda 1} = 1$			$\tau_{\lambda 3} = 1$			$\tau_{\lambda 2} = 1$				
	二 脚 側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	—	—	—	$\sigma_{13} = 55$
			軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	—	—	—	—	
			せん断	—	—			—			$\tau_3 = 2$ $\tau_{c1} = 1$				
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	—	—	$\sigma_{\phi 81} = 1$	$\sigma_{14} = 55$
			軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$	—	—	—	$\sigma_{X81} = 1$	
			せん断	—	$\tau_{\lambda 1} = 1$			$\tau_{\lambda 3} = 1$			$\tau_3 = 2$				
X 方 向	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$	$\sigma_{\phi 101} = 1$	—	$\sigma_{15} = 56$	
		軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	$\sigma_{X3} = 1$	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$	$\sigma_{X101} = 1$	—		
		せん断	—	—			—			$\tau_6 = 1$ $\tau_{c4} = 1$					
	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 54$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 0$	—	—	$\sigma_{\phi 9} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$	—	$\sigma_{\phi 111} = 1$	$\sigma_{16} = 55$	
		軸方向	$\sigma_{X1} = 27$	$\sigma_{X2} = 1$	—	$\sigma_{X4} = 0$	$\sigma_{X7} = 1$	—	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$	—	$\sigma_{X111} = 1$		
		せん断	—	$\tau_{\lambda 1} = 1$			$\tau_{\lambda 3} = 1$			$\tau_6 = 1$ $\tau_{\lambda 5} = 1$					

(3) 胴に生じる地震動のみによる一次+二次応力 (単位: MPa)

地震力の種類			弾性設計用地震動S _d 又は静的震度								
地震の方向	評価点		応力	鉛直地震による応力			水平地震による応力				組合せ力 一次応力
				自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
Z 方 向	一側	第一評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—			—				
	脚側	第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—			—				
	第二側	第一評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—			—				
	脚側	第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—			—				
X 方 向	第一側	第一評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	
			軸方向	—	—	—	—	—	—		—
			せん断	—			—				
	第二側	第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—			—				

NT2 補② V-2-5-3-1-1 R0

(単位：MPa)

地 震 力 の 種 類			基準地震動 S s													
地震の方向	評価点		応 力	鉛 直 地 震 に よ る 応 力			水 平 地 震 に よ る 応 力					組 合 せ 力 一 次 応 力				
				自重による応力	曲 げ モ ー メ ン ト に よ る 応 力	半 径 方 向 荷 重 に よ る 応 力	転倒モーメント による応力	半 径 方 向 荷 重 に よ る 応 力	鉛 直 方 向 モ ー メ ン ト に よ る 応 力	周 方 向 モ ー メ ン ト に よ る 応 力						
Z 方 向	一 脚 側	第一 評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	$\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$	$\sigma_{\phi 62} = 1$	$\sigma_{\phi 71} = 1$	$\sigma_{\phi 72} = 1$	—	$\sigma_{21} = 11$	
			軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$	$\sigma_{X62} = 1$	$\sigma_{X71} = 1$	$\sigma_{X72} = 2$	—		
			せん断	—			—									
		第二 評価点	周方向	—	—		$\sigma_{\phi 9} = 0$	$\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 61} = 1$	$\sigma_{\phi 62} = 1$	—		—	$\sigma_{22} = 6$	
			軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	—		$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X61} = 1$	$\sigma_{X62} = 1$	—		—		
			せん断	$\tau_{\lambda 3} = 1$			$\tau_{\lambda 2} = 1$									
	二 脚 側	第一 評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	$\sigma_{\phi 11} = 0$	—	—		—		—	$\sigma_{23} = 7$	
			軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X11} = 0$	—	—		—		—		
			せん断	—			$\tau_3 = 2$						$\tau_{c1} = 1$			
		第二 評価点	周方向	—	—		$\sigma_{\phi 9} = 0$	$\sigma_{\phi 11} = 0$	—	—		—		$\sigma_{\phi 81} = 1$	$\sigma_{\phi 82} = 5$	$\sigma_{24} = 13$
			軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	—		$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X11} = 0$	—	—		—		$\sigma_{X81} = 1$	$\sigma_{X82} = 2$	
			せん断	$\tau_{\lambda 3} = 1$			$\tau_3 = 2$									
X 方 向	第一 評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{\phi 10} = 1$	$\sigma_{\phi 9} = 0$	$\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$	$\sigma_{\phi 92} = 1$	$\sigma_{\phi 101} = 1$	$\sigma_{\phi 102} = 1$	—	$\sigma_{25} = 11$		
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	$\sigma_{X8} = 1$	$\sigma_{X10} = 1$	$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$	$\sigma_{X92} = 1$	$\sigma_{X101} = 1$	$\sigma_{X102} = 2$	—			
		せん断	—			$\tau_6 = 1$						$\tau_{c4} = 1$				
	第二 評価点	周方向	—	—		$\sigma_{\phi 9} = 0$	$\sigma_{\phi 11} = 0$	—	$\sigma_{\phi 91} = 1$	$\sigma_{\phi 92} = 1$	—		$\sigma_{\phi 111} = 1$	$\sigma_{\phi 112} = 4$	$\sigma_{26} = 12$	
		軸方向	$\sigma_{X7} = 1$	—		$\sigma_{X9} = 0$	$\sigma_{X11} = 0$	$\sigma_{X5} = 1$	$\sigma_{X91} = 1$	$\sigma_{X92} = 1$	—		$\sigma_{X111} = 1$	$\sigma_{X112} = 2$		
		せん断	$\tau_{\lambda 3} = 1$			$\tau_6 = 1$						$\tau_{\lambda 5} = 1$				

3.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向		運 転 時 重 量 に よ る 応 力			鉛 直 地 震 に よ る 応 力			水 平 地 震 に よ る 応 力				組合せ応力
			圧 縮	曲 げ	せ ん 断	圧 縮	曲 げ	せ ん 断	圧 縮	曲 げ		せ ん 断	
S d	Z 方 向	第 1 脚 側	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—
		第 2 脚 側	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—
	X 方 向		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S s	Z 方 向	第 1 脚 側	$\sigma_{S1}=1$	$\sigma_{S2}=1$	$\tau_{S1}=0$	$\sigma_{S3}=1$	$\sigma_{S4}=1$	$\tau_{S2}=0$	$\sigma_{S5}=3$	$\sigma_{S6}=17$		$\tau_{S3}=1$	$\sigma_{sz1}=24$
		第 2 脚 側	$\sigma_{S1}=1$	$\sigma_{S2}=1$	$\tau_{S1}=0$	$\sigma_{S3}=1$	$\sigma_{S4}=1$	$\tau_{S2}=0$	—	$\sigma_{S7}=18$		$\tau_{S4}=5$	$\sigma_{sz2}=23$
	X 方 向		$\sigma_{S1}=1$	$\sigma_{S2}=1$	$\tau_{S1}=0$	$\sigma_{S3}=1$	$\sigma_{S4}=1$	$\tau_{S2}=0$	$\sigma_{S8}=3$	$\sigma_{S9}=12$	$\sigma_{S10}=13$	$\tau_{S5}=4$	$\sigma_{sx}=31$

3.4 結 論
3.4.1 固有周期

(単位：s)	
方 向	固 有 周 期
水 平 方 向	
鉛 直 方 向	

3.4.2 応 力

(単位：MPa)						
部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板	SUS304	一次一般膜	—	—	$\sigma_0 = 54$	$S_a = 248$
		一 次	—	—	$\sigma_1 = 56$	$S_a = 372$
		一次＋二次	—	—	$\sigma_2 = 13$	$S_a = 300$
脚	SS400	組 合 せ	—	—	$\sigma_s = 31$	$f_t = 241$
		圧縮と曲げ の組合せ	—		$\frac{\sigma_{s r}}{f_{b r}} + \frac{\sigma_{s t}}{f_{b t}} + \frac{\sigma_{s c}}{f_c} \leq 1$	
		(座屈の評価)	—		0.13	

すべて許容応力以下である。

7. 引用文献

- (1) Wichman, K.R. et al.: Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 / August 1965.

V-2-5-3-1-2 流出制限器の耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については，添付書類「V-2-5-3-1-3 管の耐震性についての計算書」による。

V-2-5-4 残留熱除去設備の耐震性についての計算書

V-2-5-4-1 残留熱除去系の耐震性についての計算書

V-2-5-4-1-3 残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 適用基準	3
3. 評価部位	4
4. 地震応答解析及び構造強度評価	7
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	7
4.2 計算条件	8
4.3 材料及び許容応力	13
4.4 計算方法	16
5. 評価結果	20
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	20
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	23
6. 引用文献	25

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の検討方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、残留熱除去系ストレーナが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価は残留熱除去系ストレーナの地震応答解析、応力評価により行う。

残留熱除去系ストレーナは、設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

なお、残留熱除去系ストレーナ、高圧炉心スプレイ系ストレーナ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナは同形状のストレーナを使用することから、本計算書においては代表して残留熱除去系ストレーナに残留熱除去系ストレーナ、高圧炉心スプレイ系ストレーナ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナの荷重条件で最大となる値を用いて評価している。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系ストレーナ、高圧炉心スプレイ系ストレーナ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図	適用
基礎・支持構造	主体構造		
原子炉格納容器貫通部に取り付けられたティーに据え付ける。	円錐支持ディスク形		・残留熱除去系ストレーナ ・高圧炉心スプレイ系ストレーナ ・低圧炉心スプレイ系ストレーナ

2.2 適用基準

非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規），
平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定）

3. 評価部位

残留熱除去系ストレーナの取付け状況，形状及び主要寸法を図 3-1，図 3-2 に示し，ディスクセット幅，スぺーサ内径，ロングフィンガ長さ及びショートフィンガ長さを表 3-1 に示す。

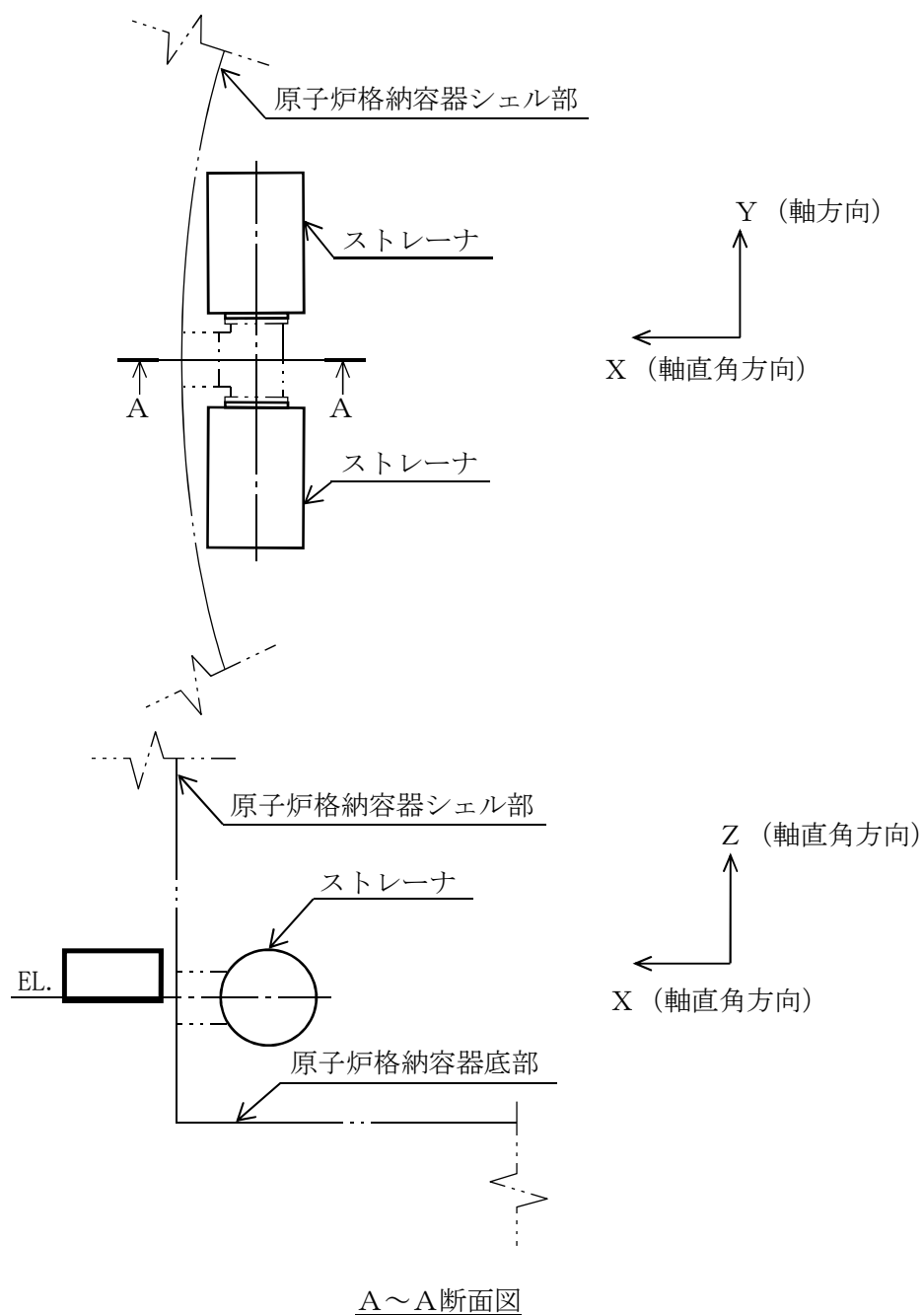
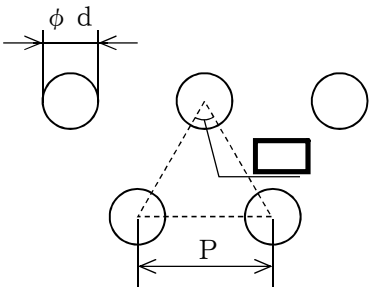
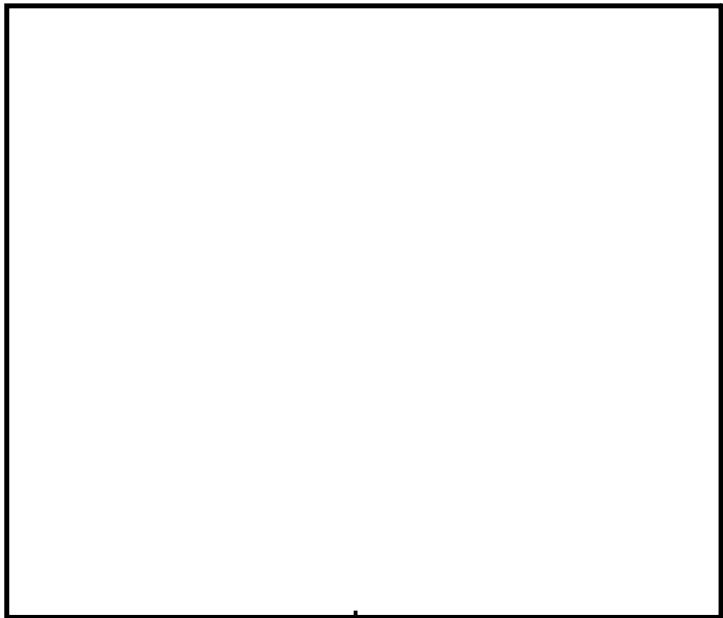
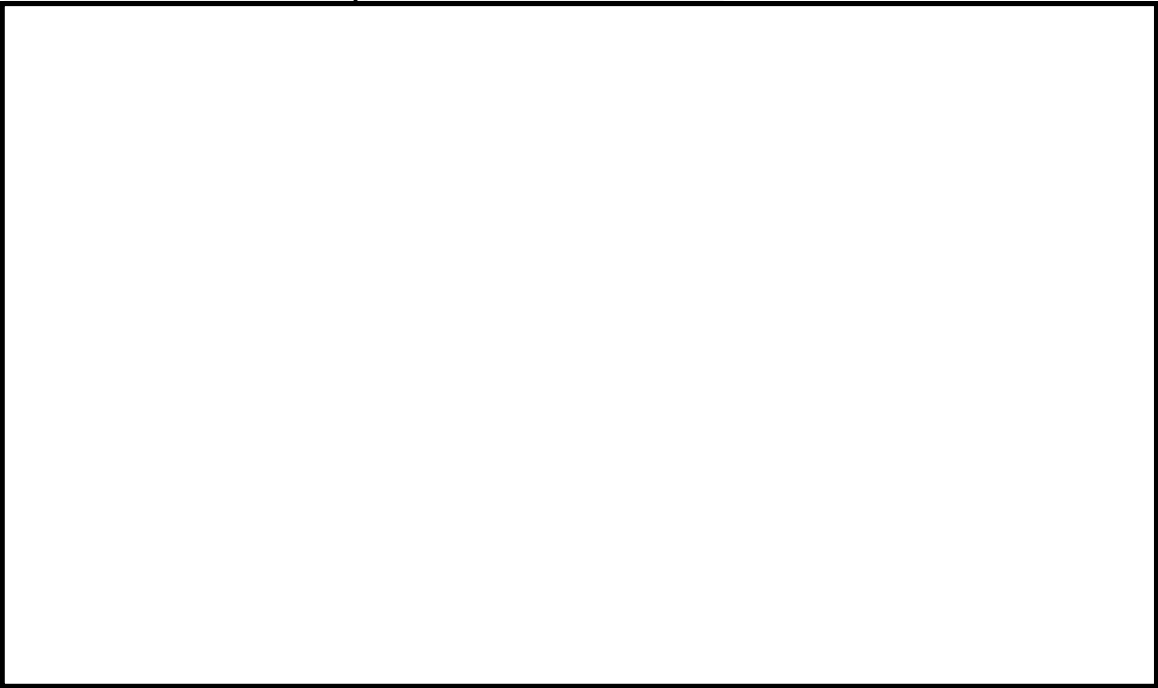


図 3-1 残留熱除去系ストレーナの取付け状況



多孔プレート詳細図



A～A矢視図



①ディスクセット		②中間ディスクセット	
③ディスクセット		④スペーサ	
⑤リブ	(厚さ)	⑥コンプレッションプレート	(厚さ)
⑦ロングフィンガ*	(厚さ)	⑧ショートフィンガ	(厚さ)
⑨ディスクサポートリング	(厚さ)	⑩ストラップ	(厚さ)
⑪ボトムスペーサ		⑫フランジ	
- (①～④及び⑪は多孔プレート形状であり、多孔プレートの厚さは である。)
- 注記 *：ディスクセット におけるロングフィンガの厚さは である。

図 3-2 残留熱除去系ストレーナの形状及び主要寸法 (単位：mm)

表 3-1 ディスクセット幅，スペーサ内径，ロングフィンガ長さ及び
ショートフィンガ長さ

(単位：mm)

ディスク セット番号	ディスク セット幅	スペーサ内径	ロング フィンガ長さ	ショート フィンガ長さ
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
1 0				
1 1				
1 2				
1 3				
1 4				
1 5				
1 6				
1 7				
1 8				

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 残留熱除去系ストレーナの応力評価は、東海第二発電所 平成 20 年 4 月 7 日付け平成 20・02・29 原第 41 号（既工認）にて認可された実績のある手法を適用する。各荷重による応力は、実績のある 3 次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。
- (2) 解析コードは N A S T R A N を用いる。なお、評価に用いる解析コード N A S T R A N の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

4.2 計算条件

4.2.1 温度

- (1) 設計基準対象施設としての最高使用温度

温度 T_D 104.5 °C

- (2) 重大事故等対処施設としての評価温度

温度 T_{SA} 148 °C

4.2.2 設計荷重

残留熱除去系ストレーナの設計荷重のうち、地震荷重、水力学的動荷重及びフランジの設計荷重は、ストレーナ、貫通部、原子炉格納容器及び原子炉格納容器外側の配管系を接続した影響を考慮（ストレーナから外側配管までの連成モデルを用いて解析を行い、各部の反力を算出）して設定する。また、ストレーナは水中に設置されるため、付加質量を考慮する。

- (1) 死荷重

残留熱除去系ストレーナの自重による荷重及び残留熱除去系ストレーナに付着する異物の自重による異物荷重^{*1}の2つの死荷重を考慮する。

死荷重及び異物荷重は、各部材の密度として設定する。

残留熱除去系ストレーナの自重 =

異物荷重 =

注記 *1：異物荷重は運転状態Ⅳ（プールスウェル時は除く。）及び運転状態Ⅴの荷重の組合せ時に考慮する。

- (2) 差圧

差圧荷重^{*2}は、異物付着時の残留熱除去系ストレーナを通しての最大設計差圧より設定し、以下のとおりとする。

差圧荷重の作用方向を図4-1に示す。

差圧荷重 =

注記 *2：差圧荷重は運転状態Ⅳ（プールスウェル時は除く。）及び運転状態Ⅴの荷重の組合せ時に考慮する。

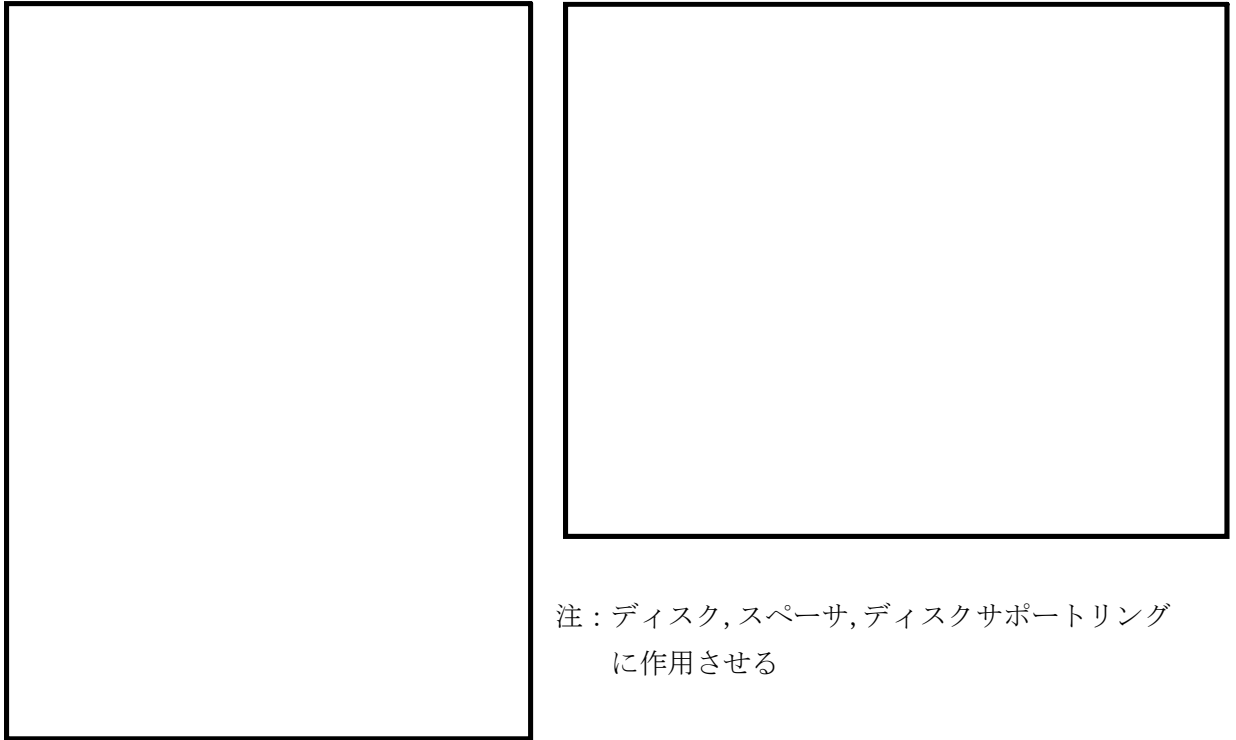


図 4-1 差圧荷重の作用方向

(3) 地震荷重

残留熱除去系ストレーナの設計震度を表 4-1 に示す。
地震荷重は表 4-1 に示す設計震度により計算する。
地震荷重は、各部材に設定した密度に対し、設計震度を各方向に作用させる。

表4-1 設計震度

取付け位置 EL 		
地震荷重	軸方向	軸直角方向
S _d		
S _s		

注：方向は図3-1参照。ただし、軸直角方向
（X方向及びZ方向）については、二乗和
平方根としている。

(4) 水力学的動荷重（逃がし安全弁作動時荷重及び原子炉冷却材喪失時荷重）

逃がし安全弁作動時及び原子炉冷却材喪失時には、サプレッションチェンバ内の水中構造物に様々な荷重が水力学的動荷重として作用する。これらの荷重については、原子力安全委員会が策定した評価指針(MARK II動荷重指針)に準じて荷重の評価を実施する。

MARK II動荷重指針に基づき、残留熱除去系ストレーナに加わる水力学的動荷重を算出した結果を表 4-2 に示す。表 4-2 に示した荷重は、考慮すべき水力学的動荷重が最大となる位置を選定して算出した値である。なお、地震荷重と組み合わせる逃がし安全弁作動時荷重のみ記載する。

なお、残留熱除去系ストレーナは、プールスウェル荷重の内のプールスウェル、ブレイクスルー及びフォールバックによる荷重は十分小さいため評価対象としない。また、逃がし安全弁作動時荷重の内の水ジェット及び蒸気凝縮過程による荷重についても十分小さいため評価対象としない。

水力学的動荷重の作用方向を図 4-2 に示す。

軸方向の荷重は、引用文献(1)の考え方に基づき、最前列のディスクと最後列のディスクで軸方向荷重の 1 / 2 ずつを受け持つとし、この荷重を最前列と最後列のディスクの投影面積で除算し、軸方向の圧力荷重として作用させる。

軸直角方向の荷重は、ストレーナの片面のみで荷重を受け持つとし、ストレーナの片面の投影面積で軸直角方向荷重を除算し、軸直角方向の圧力荷重として作用させる。

表4-2 水力的動的荷重（逃がし安全弁作動時荷重）

（単位：N）

荷重名称	軸方向	軸直角方向
S R V 荷重（運転時，中小破断時）＊		

注記 ＊：方向は図 3-1 参照。ただし，軸直角方向（X 方向及び Z 方向）については，二乗和平方根としている。
定常ドラッグ荷重と圧力荷重との二乗和平方根とする。

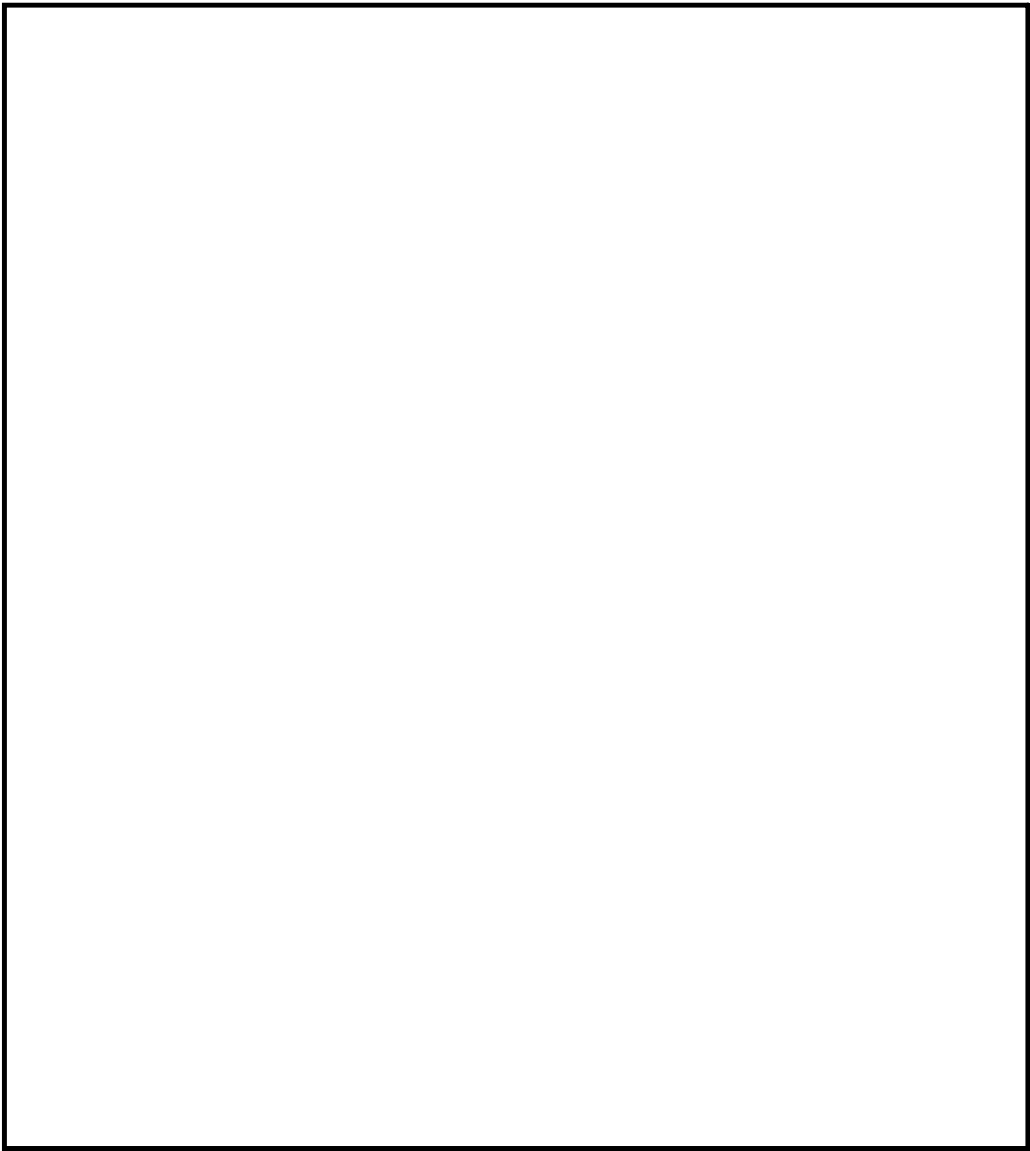


図 4-2 水力的動的荷重の作用方向

(5) フランジの設計荷重

ストレーナ取付部フランジの設計荷重は、ストレーナに作用する荷重から算出したフランジ部のモーメントを用いる。ここでのモーメントとは、図 4-3 に示すように、ストレーナ重心に作用する荷重とその作用点からフランジまでのモーメントアームから計算したモーメントであり、フランジに対して面外方向の曲げモーメント（2 方向ある面外方向曲げモーメントの二乗和平方根の合成値）とする。ストレーナ重心がフランジ中心軸上に位置することから、フランジ面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は発生しないため、ここでは評価対象としない。

フランジの設計荷重を表 4-3 に示す。

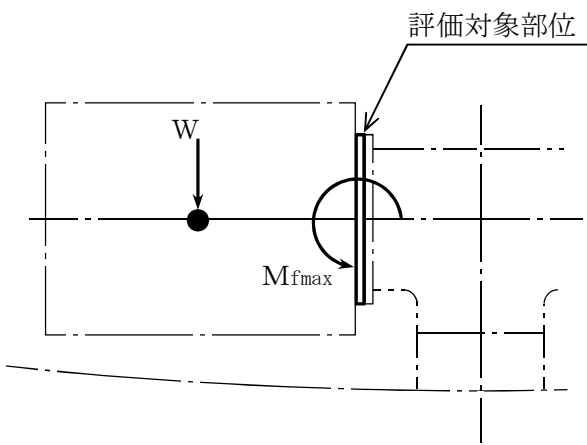


図 4-3 フランジに作用するモーメント

表 4-3 フランジの設計荷重

(単位：N・mm)

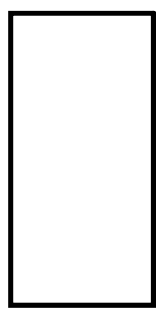
荷重		モーメント
1	死荷重	
2	異物荷重*1	
3	差圧（DBA）	
4	SRV荷重	
5	ストレーナSd地震荷重	
6	ストレーナSs地震荷重	
7	異物Sd地震荷重*2	
8	差圧（SA）	
9	異物Ss地震荷重*2	

注記 *1：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。
*2：異物による地震荷重はストレーナの地震荷重に含めて計算している。

4.3 材料及び許容応力

4.3.1 材料

- 多孔プレート
- リブ
- コンプレッションプレート
- フィンガ
- ストラップ
- フランジ



4.3.2 荷重の組合せ及び許容応力

残留熱除去系ストレーナに生じる荷重のうち、地震荷重以外については従来から変更がないことから、地震荷重との組合せ以外の強度に関わる評価については変更がなく、既工認での結果を引用する。よって、基準地震動の策定に伴う地震荷重との組合せの評価として、荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。各材料の許容応力状態に対する許容応力のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-6 に、重大事故等対処施設の評価に用いるものを表 4-7 に示す。

表 4-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要 度分類	機器等 の区分	荷重の組合せ	許容応力 状態
原子炉 冷却系統 施設	残留熱 除去設備	残留熱除去系 ストレーナ	S	— (クラス 2 相当)	$D + P_D + M_D + S_d$	Ⅲ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S
	非常用 炉心冷却 設備その 他原子炉 注水設備	残留熱除去系 ストレーナ	S	— (クラス 2 相当)	$D + P_D + M_D + S_d$	Ⅲ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S
		高压炉心 スプレイ系 ストレーナ	S	— (クラス 2 相当)	$D + P_D + M_D + S_d$	Ⅲ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S
		低压炉心 スプレイ系 ストレーナ	S	— (クラス 2 相当)	$D + P_D + M_D + S_d$	Ⅲ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

表4-5(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系ストレーナ	常設／防止	— (重大事故等クラス2相当)	$D + P_{SA} + M_{SA} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる)

注記 * : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

表4-5(2) 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	残留熱除去系ストレーナ	常設／防止 常設／緩和	— (重大事故等クラス2相当)	$D + P_{SA} + M_{SA} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる)
		高圧炉心スプレイ系ストレーナ	常設耐震／防止 常設／防止	— (重大事故等クラス2相当)	$D + P_{SA} + M_{SA} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる)
		低圧炉心スプレイ系ストレーナ	常設／防止	— (重大事故等クラス2相当)	$D + P_{SA} + M_{SA} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる)

注記 * : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

表4-6 許容応力（設計基準対象施設）

（単位：MPa）

材料	許容応力 状態	許容応力		
		一次応力		一次＋二次応力*
		P_m	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SUS304L	ⅢA S	143	143	287
	ⅣA S	243	365	
SUS304	ⅢA S	169	169	339
	ⅣA S	263	395	

注記 *：二次応力が発生する場合のみ考慮する。（今回の計算においては、二次応力（通常運転時温度による応力を含む。）は発生しない。）

表4-7 許容応力（重大事故等対処設備）

（単位：MPa）

材料	許容応力 状態	許容応力		
		一次応力		一次＋二次応力*
		P_m	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SUS304L	ⅣA S	234	351	263
SUS304	ⅣA S	253	380	311

注記 *：二次応力が発生する場合のみ考慮する。（今回の計算においては、二次応力（通常運転時温度による応力を含む。）は発生しない。）

4.4 計算方法

ストレーナの形状が同一であること及び考慮すべき荷重として最大となる値を使用して計算することから、応力評価は代表して1つの残留熱除去系ストレーナにつき実施する。

4.4.1 応力評価点

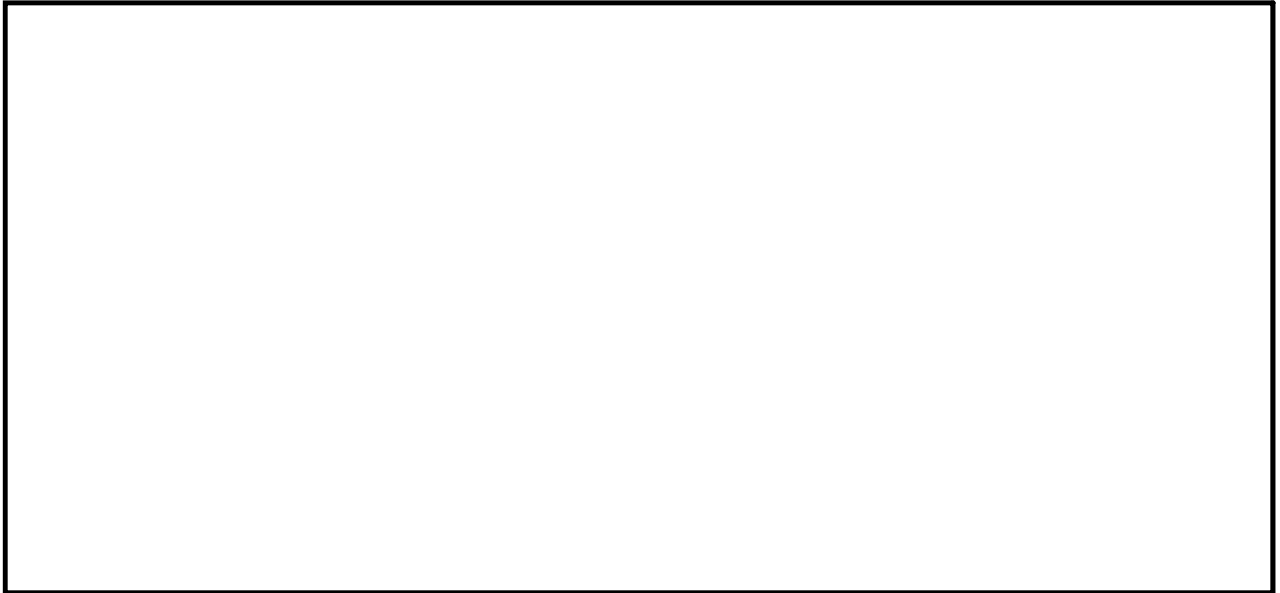
残留熱除去系ストレーナの構造は、図 3-2 に示すように、リブ及びフィンガが主強度部材となり各ディスクを支える構造になっている。各ディスクの表面は多孔プレートとなっており、ろ過装置としての機能を果たしている。4.2 項で設定した設計荷重の大部分は、フィンガにより支えられた各ディスクの多孔プレート表面に加わり、負荷された荷重は最終的にはリブに伝達される。したがって、ここではストレーナの主要構成部材である多孔プレート、リブ、コンプレッションプレート、フィンガ、ストラップ及びフランジの構造、形状を考慮した応力評価点を選定し、評価を実施する。

応力評価点を表 4-8 及び図 4-4 に示す。

表 4-8 応力評価点

名称		応力評価点番号	応力評価点
多孔 プレート	ディスク	P 1	全ディスクセットの多孔プレート
	スペーサ*	P 2	ディスクセット間の円筒形多孔プレート
リブ		P 3	リブ
コンプレッションプレート		P 4	コンプレッションプレート
フィンガ		P 5	フィンガ
ストラップ		P 6	ストラップ
フランジ		P 7	フランジ

注記 * : ボトムスペーサを含む。



注 : 各応力評価点 (P 1 ~ P 6) は, 許容応力に対する発生応力が, すべての許容応力状態を通じて最も厳しくなる点を代表で記載している。

なお, 図中の矢印は応力評価部位を示す。

図 4-4 応力評価点

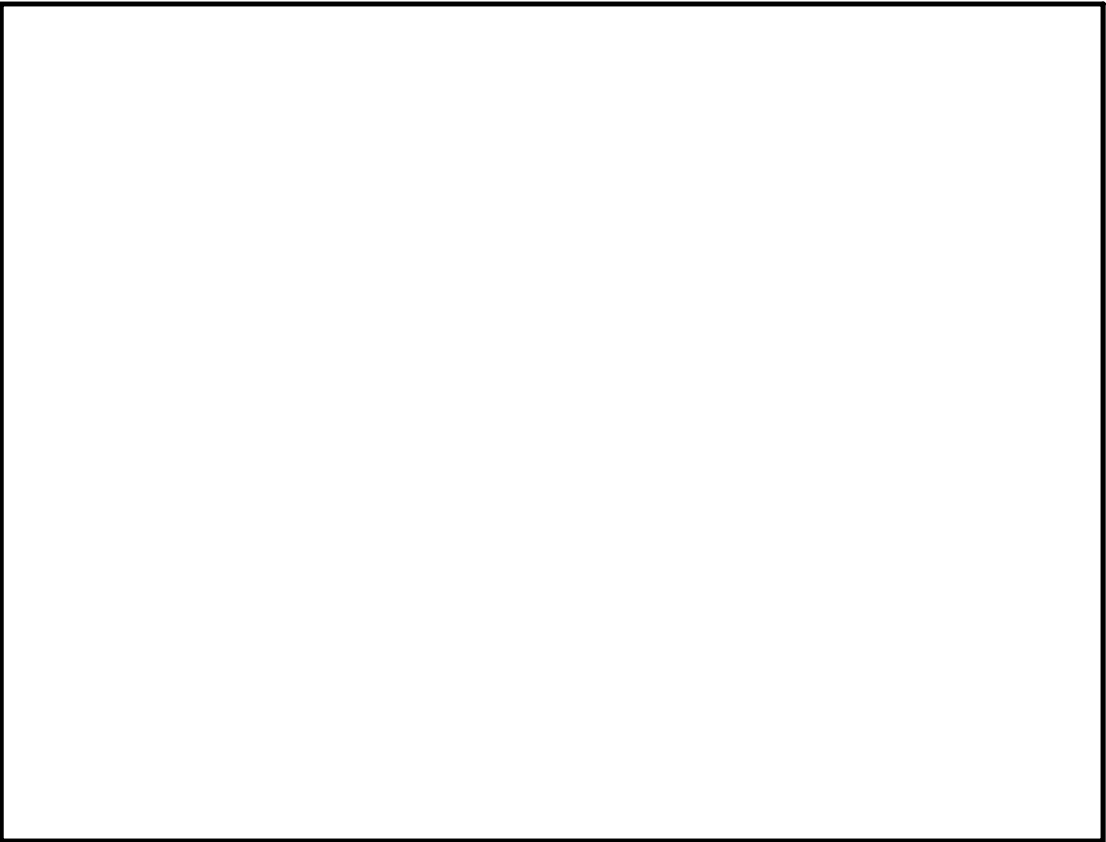
4.4.2 応力計算方法

(1) ストレーナ（応力評価点 P 1 ～ P 6）

各荷重により残留熱除去系ストレーナに生じる応力は、解析コード N A S T R A N を使用して計算する。

残留熱除去系ストレーナの計算モデルを図 4-5 に示す。また、計算モデルの各部材は溶接により接合されており、溶接部は健全性が確保されるよう設計する。

なお、多孔プレートの等価縦弾性係数、等価ポアソン比及び応力増倍率は、引用文献(2)の考え方に基づき設定した。



注：フランジ部のボルト締結部を固定する。



図 4-5 残留熱除去系ストレーナの計算モデル

(2) フランジ（応力評価点 P 7）

ストレーナ取付部のフランジは、一般的なフランジとは異なりガスケットを使用しない。そこで、フランジを以下のようにモデル化し、応力評価を行う。

フランジを外周（ボルト穴中心円直径）が固定された平板と考え、表 4-3 に示すモーメントが中心部に作用すると考える。この場合の発生応力は、引用文献(3)より、図 4-6 に示す計算モデルで下記の計算式より求める。

$$\sigma_r = \frac{\beta \cdot M_{fmax}}{a \cdot t^2}$$

ここに、

σ_r : 曲げ応力 (MPa)

M_{fmax} : 表 4-3 に示すモーメント (N・mm)

a : ボルト穴中心円半径 =

b : フランジ内半径 =

t : フランジ板厚 =

β : b/a (=0.800) から決まる計算上の係数=0.471

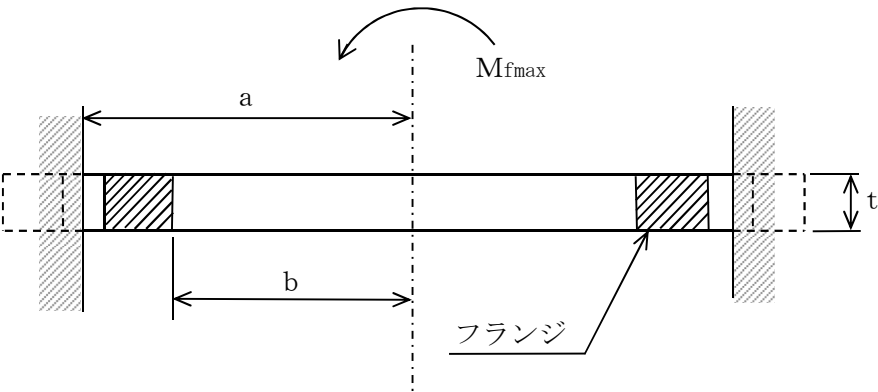


図 4-6 フランジ断面の計算モデル

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

残留熱除去系ストレーナの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態ⅣASに対する評価

許容応力状態ⅣASに対する応力評価結果を表 5-1 に示す。

表 4-4 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_D + M_D + S_s$ について評価を記載している。

(2) 許容応力状態ⅢASに対する評価

許容応力状態ⅢASに対する応力評価結果を表 5-2 に示す。

表 4-4 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_D + M_D + S_d$ 及び $D + P_L + M_L + S_d$ の評価について、それぞれ発生値が高い方の評価を記載している。

表 5-1 許容応力状態Ⅳ_AS に対する応力評価結果 (D + P_D + M_D + S_S)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
残留熱除去系 ストレーナ	P 1	全ディスクセットの 多孔プレート	膜応力+曲げ応力	18	365	○	
	P 2	ディスクセット間の 円筒形多孔プレート	膜応力+曲げ応力	36	365	○	
	P 3	リブ	膜応力+曲げ応力	48	395	○	
	P 4	コンプレッションプレート	膜応力+曲げ応力	20	395	○	
	P 5	フィンガ	膜応力+曲げ応力	43	395	○	
	P 6	ストラップ	膜応力+曲げ応力	27	395	○	
	P 7	フランジ	曲げ応力	85	395	○	

表 5-2 許容応力状態Ⅲ_AS に対する応力評価結果 (D + P_D + M_D + S_d 及び D + P_L + M_L + S_d)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
残留熱除去系 ストレーナ	P 1	全ディスクセットの 多孔プレート	膜応力+曲げ応力	116	143	○	②*
	P 2	ディスクセット間の 円筒形多孔プレート	膜応力+曲げ応力	43	143	○	②*
	P 3	リブ	膜応力+曲げ応力	38	169	○	①*
	P 4	コンプレッションプレート	膜応力+曲げ応力	17	169	○	①, ②*
	P 5	フィンガ	膜応力+曲げ応力	34	169	○	①*
	P 6	ストラップ	膜応力+曲げ応力	21	169	○	①*
	P 7	フランジ	曲げ応力	68	169	○	①*

注記 * : ①D + P_D + M_D + S_d / ②D + P_L + M_L + S_d における結果を示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系ストレーナの重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態ⅣASに対する評価

許容応力状態ⅣASに対する応力評価結果を表 5-3 に示す。

表 4-5 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_{SA} + M_{SA} + S_S$ について評価を記載している。

表 5-3 許容応力状態Ⅳ_AS に対する応力評価結果 (D + P_{SA} + M_{SA} + S_S)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	備考
				発生値	評価基準値		
				MPa	MPa		
残留熱除去系 ストレーナ	P 1	全ディスクセットの 多孔プレート	膜応力+曲げ応力	118	351	○	
	P 2	ディスクセット間の 円筒形多孔プレート	膜応力+曲げ応力	49	351	○	
	P 3	リブ	膜応力+曲げ応力	43	380	○	
	P 4	コンプレッションプレート	膜応力+曲げ応力	21	380	○	
	P 5	フィンガ	膜応力+曲げ応力	37	380	○	
	P 6	ストラップ	膜応力+曲げ応力	23	380	○	
	P 7	フランジ	曲げ応力	60	380	○	

6. 引用文献

- (1) NED0-32721, “Application Methodology for the General Electric Stacked Disk ECCS Suction Strainer” Licensing Topical Report, General Electric, March 2003.
- (2) ASME B&PV CODE, Section III, Division 1, Appendices, Article A-8000, “Stresses in Perforated Flat Plates,” 1989 Edition, No Addenda.
- (3) WARREN C. YOUNG
“ROARK’S FORMULAS for Stress and Strain” 7th Edition

V-2-5-4-1-4 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図	2

1. 概要

本計算書は、「付録6 管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針」及び「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」に基づき、管、支持構造物及び弁の耐震性についての計算を実施した結果を示したものである。

評価結果記載方法は以下に示す通りとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として記載する。

(2) 支持構造物

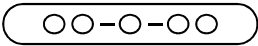
工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3) 弁

機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (評価結果を記載する範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果の記載を省略する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管





残留熱除去系統図(その2)

V-2-5-4-2 耐圧強化ベント系の耐震性についての計算書

V-2-5-4-2-1 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図	2

1. 概要

本計算書は、「付録6 管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針」及び「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」に基づき、管、支持構造物及び弁の耐震性についての計算を実施した結果を示したものである。

評価結果記載方法は以下に示す通りとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最少となる解析モデルを代表として記載する。

(2) 支持構造物

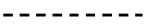
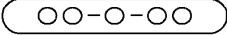
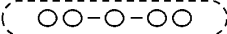
工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3) 弁

機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最少となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (評価結果を記載する範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果の記載を省略する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



V-2-5-5 非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備の耐震性についての
計算書

V-2-5-5-1 高圧炉心スプレイ系の耐震性についての計算書

V-2-5-5-1-2 高圧炉心スプレイ系ストレーナの耐震性についての 計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-2-5-4-1-3 残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」による。

V-2-5-5-1-3 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図	2

1. 概要

本計算書は、「付録6 管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針」及び「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」に基づき、管、支持構造物及び弁の耐震性についての計算を実施した結果を示したものである。

評価結果記載方法は以下に示す通りとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

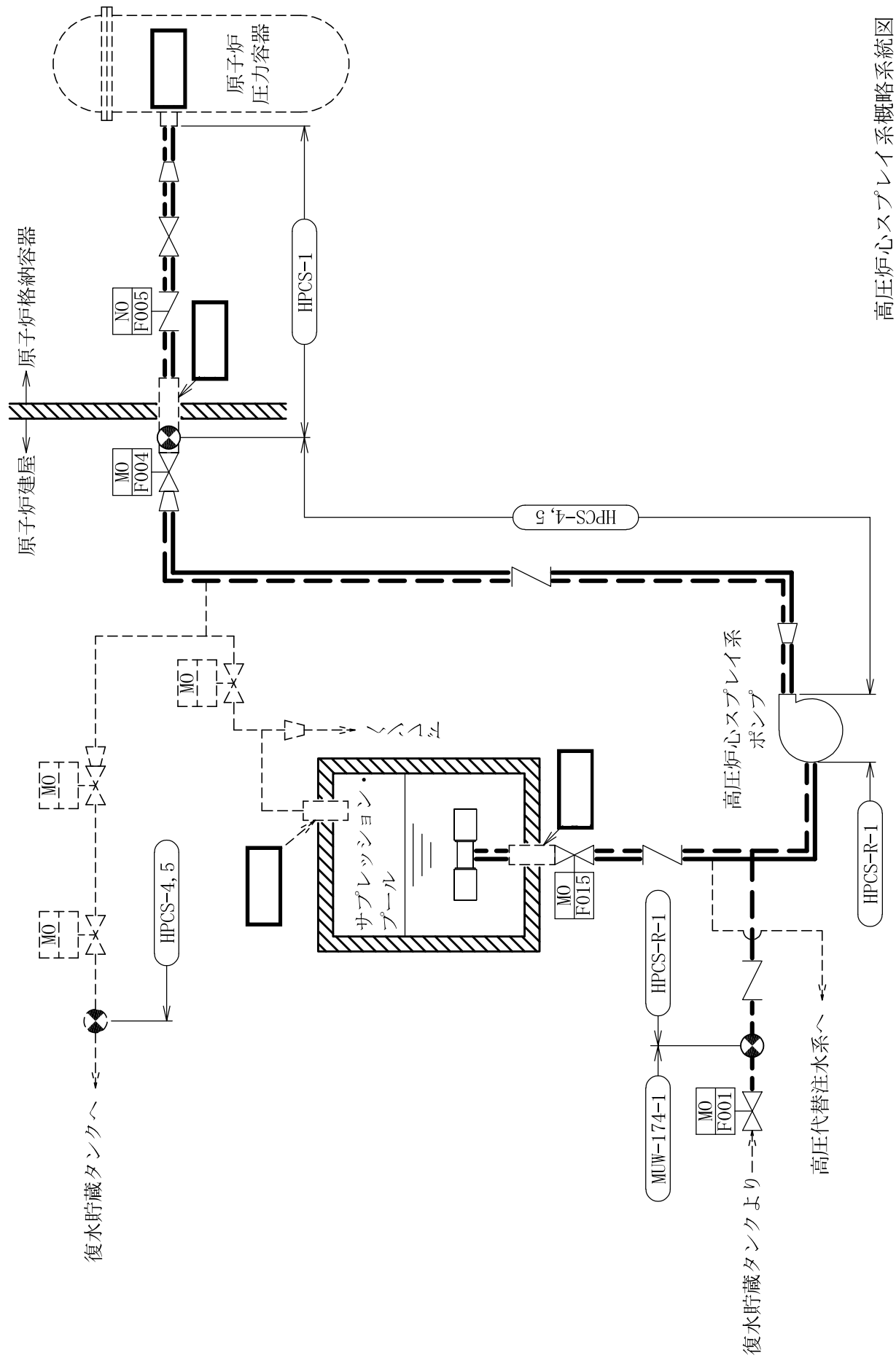
(3) 弁

機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (評価結果を記載する範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果の記載を省略する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



高圧炉心スプレイ系概略系統図

V-2-5-5-2 低圧炉心スプレイ系の耐震性についての計算書

V-2-5-5-2-2 低圧炉心スプレイ系ストレーナの耐震性についての 計算書

本計算書の評価結果については、添付書類「V-2-5-4-1-3 残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」による。

V-2-5-5-2-3 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図	2

1. 概要

本計算書は、「付録6 管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針」及び「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」に基づき、管、支持構造物及び弁の耐震性についての計算を実施した結果を示したものである。

評価結果記載方法は以下に示す通りとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

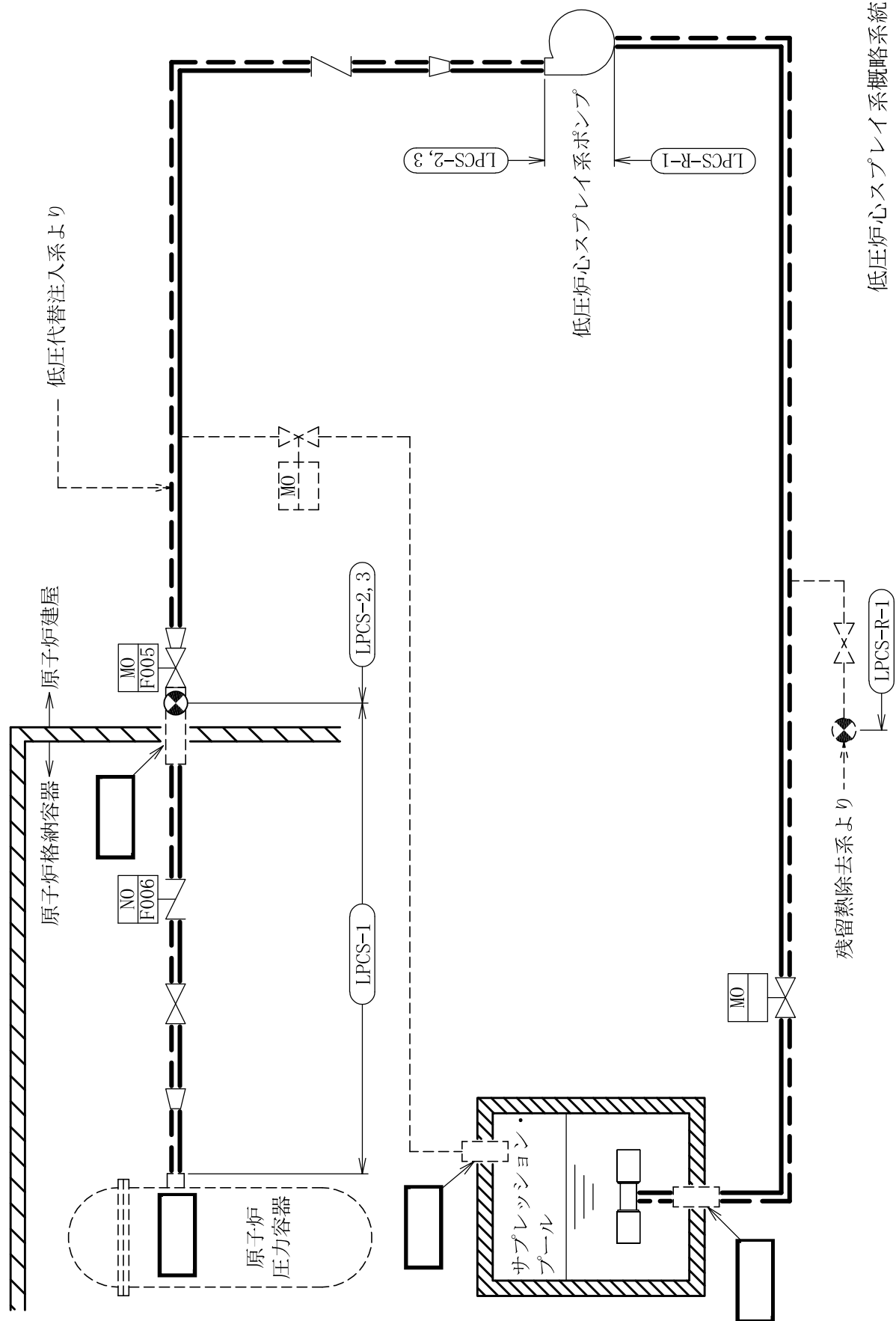
(3) 弁

機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (評価結果を記載する範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果の記載を省略する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



低圧炉心スプレイ系概略系統図

V-2-5-5-3 高圧代替注水系の耐震性についての計算書

V-2-5-5-3-1-2 常設高圧代替注水系ポンプの
耐震性についての計算書【動的機能維持評価】

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	3
3. 評価部位	3
4. 機能維持評価	4
4.1 動的機能維持評価方法	4
4.2 加振試験	4

1. 概要

本計算書は、「V-2-9 機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、常設高圧代替注水系ポンプが設計用地震力に対して十分な動的機能を有していることを説明するものである。

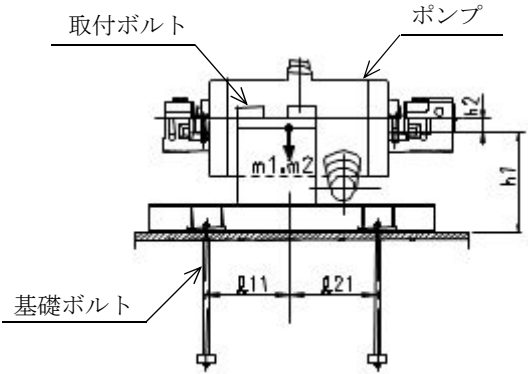
常設高圧代替注水系ポンプは、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

常設高圧代替注水系ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	ターボ形	

2.2 評価方針

常設高圧代替注水系ポンプの機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.1 動的機能維持」にて設定した動的機能維持の方針に基づき、地震動を模擬した加振試験により、「4. 機能維持評価」にて示す方法にて機能維持を確認する。

常設高圧代替注水系ポンプの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

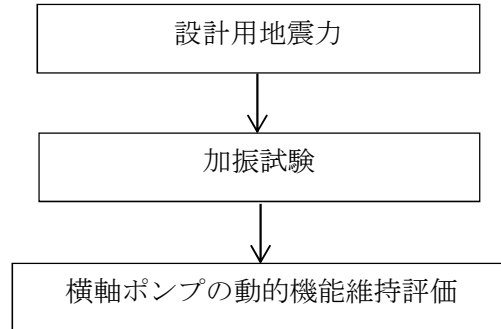


図 2-1 横軸ポンプの耐震評価フロー

2.3 適用基準

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）に準拠して評価する。

3. 評価部位

常設高圧代替注水系ポンプは、ポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付けられている。常設高圧代替注水系ポンプの構造強度評価は「V-2-5-5-3-1-1 常設高圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算書」にて実施しているため、本計算書では、加振試験を用いた常設高圧代替注水系ポンプの動的機能維持評価について示す。

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

常設高圧代替注水系ポンプの動的機能維持評価について、以下に示す。

常設高圧代替注水系ポンプは実験による機能維持評価として、地震を模擬した加振試験により、機能維持の確認をする。

4.2 加振試験

4.2.1 基本事項

常設高圧代替注水系ポンプについて実際の設置状態を模擬して加振試験を行い、基準地震動 S_s による地震力に対して要求される機能が維持されることを確認する。

4.2.2 設計用地震力

以下の加振波の最大加速度を上回る加速度で加振を行う。

- ・加振波：対象機器設置箇所における基準地震動 S_s に対する設計用床応答スペクトルを上回るように設定
- ・加振方向：水平（前後）＋鉛直，水平（左右）＋鉛直

（単位： $\times 9.8\text{m/s}^2$ ）

対象機器設置箇所	加振方向		最大加速度
			S_s
原子炉建屋 EL. -4.0 (m)	水平	NS	0.73
		EW	0.73
	鉛直		0.76

V-2-5-5-3-2 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要 1

2. 概略系統図及び鳥瞰図 2

2.1 概略系統図 2

2.2 鳥瞰図 4

1. 概要

本計算書は、「付録 6 管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき、管の耐震性についての計算を実施した結果を示したものである。

評価結果記載方法は以下に示す通りとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位の記載する。また、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として記載する。

(2) 支持装置

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

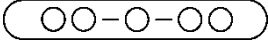
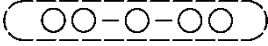
(3) 弁

機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

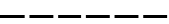
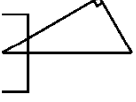
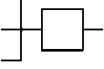
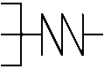
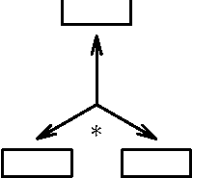
2.1 概略系統図

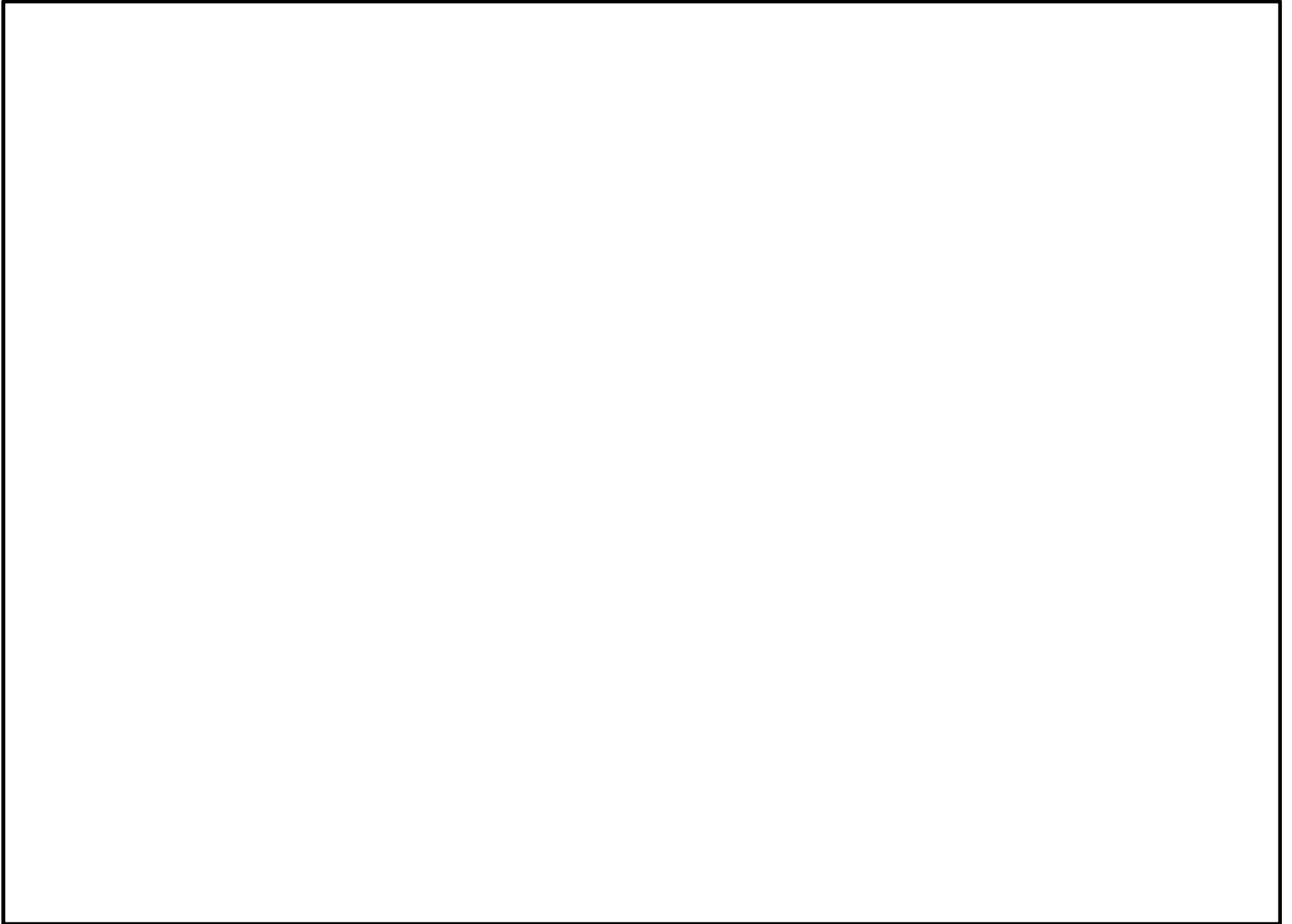
概略系統図記号凡例

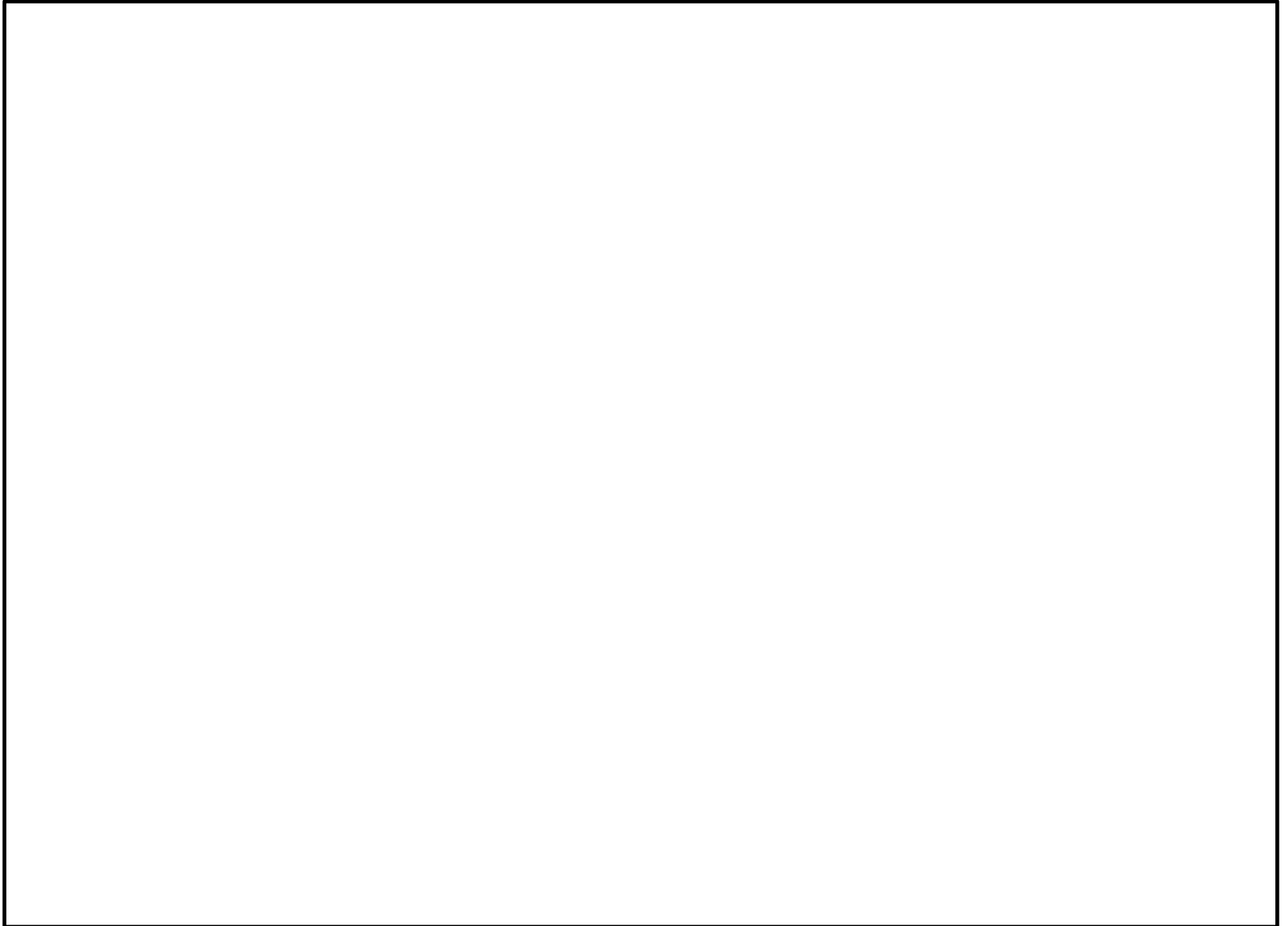
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計 算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のう ち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記す る管
	鳥瞰図番号 (評価結果を記載する範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果の記載を省略する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(S A)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(D B)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	節 点
	質 点
	ア ン カ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	拘束点の地震による相対変位量 (mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, □内に変位量を記載する。)
注： 鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。	





V-2-5-5-4 低圧代替注水系の耐震性についての計算書

V-2-5-5-4-1 常設低圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 応力評価	2
2.1 基本方針	2
3. 機能維持評価	3
3.1 機能維持評価方法	3

1. 概要

本計算書は、添付書類 V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、常設低圧代替注水系ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

2. 応力評価

2.1 基本方針

応力評価は、付録 4「横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3. 機能維持評価

常設低圧代替注水系ポンプの地震後の動的機能維持評価について、以下に示す。

3.1 機能維持評価方法

常設低圧代替注水系ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性を持っているため、添付書類 V-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。

V-2-5-5-4-2 管の耐震性についての計算書

1. 概要

本計算書は、「付録6 管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき、管の耐震性についての計算を実施した結果を示したものである。

重大事故等クラス2管の耐震性についての計算は、「V-3-3-3-4-4-2 管の応力計算書」に含まれている。

V-2-5-5-5 代替循環冷却系の耐震性についての計算書

V-2-5-5-5-1 代替循環冷却系ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 応力評価	2
2.1 基本方針	2
3. 機能維持評価	3
3.1 機能維持評価方法	3

1. 概要

本計算書は、添付書類 V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、代替循環冷却系ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

2. 応力評価

2.1 基本方針

応力評価は，付録 4「横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3. 機能維持評価

代替循環冷却系ポンプの地震後の動的機能維持評価について、以下に示す。

3.1 機能維持評価方法

代替循環冷却系ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性を持っているため、添付書類 V-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。

V-2-5-5-5-2 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	8
3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
3.2 設計条件	9
3.3 材料及び許容応力	18
3.4 設計用地震力	19
4. 解析結果及び評価	20
4.1 固有周期及び設計震度	20
4.2 評価結果	26
4.2.1 管の応力評価結果	26
4.2.2 支持構造物評価結果	27

1. 概要

本計算書は、「付録 6 管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき、管の耐震性についての計算を実施した結果を示したものである。

評価結果記載方法は以下に示す通りとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として記載する。

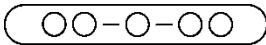
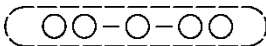
(2) 支持装置

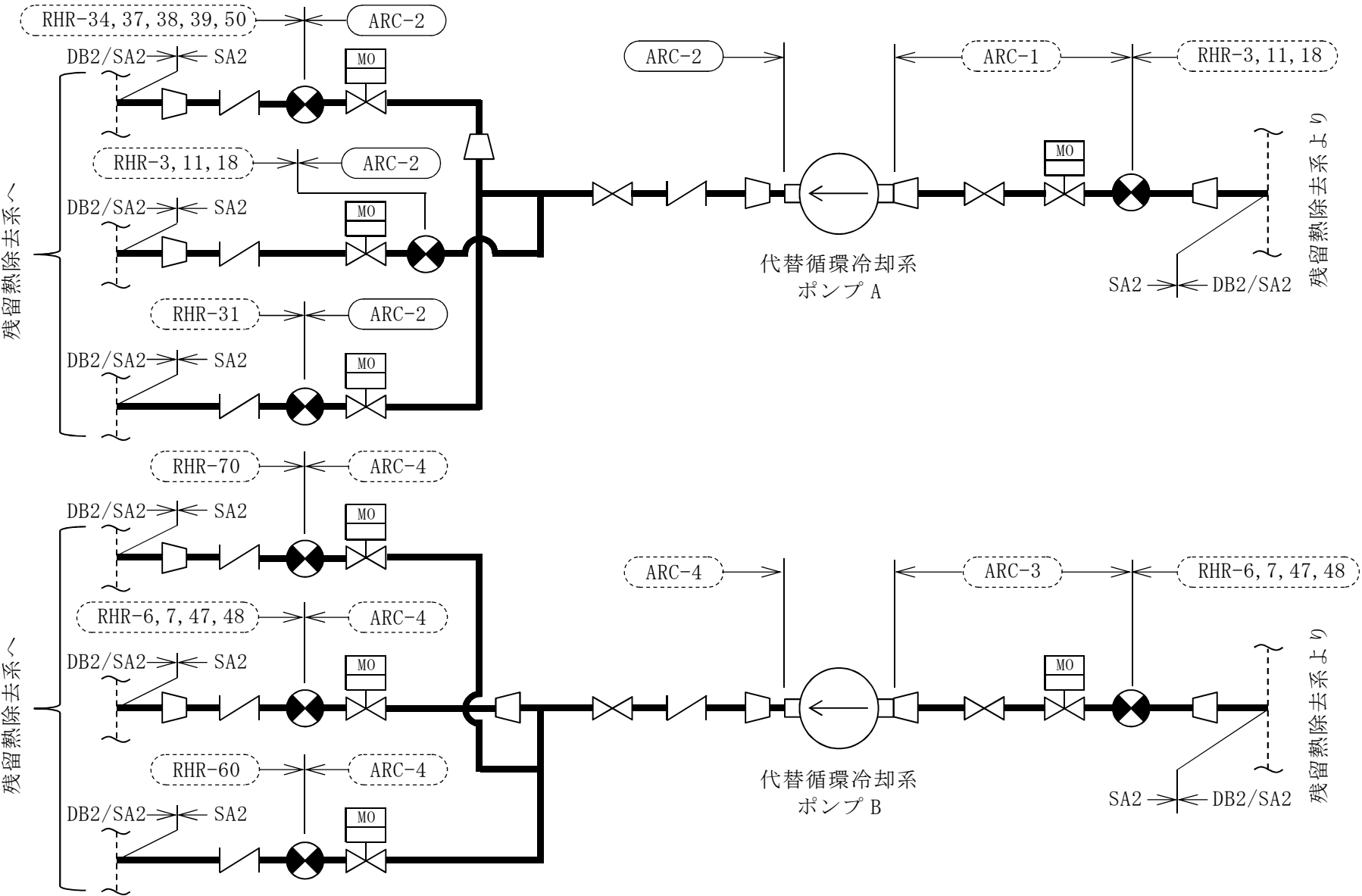
工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

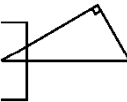
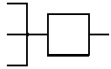
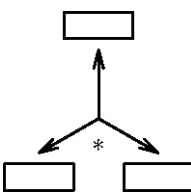
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算 書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のう ち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する 管
	鳥瞰図番号 (評価結果を記載する範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果の記載を省略する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

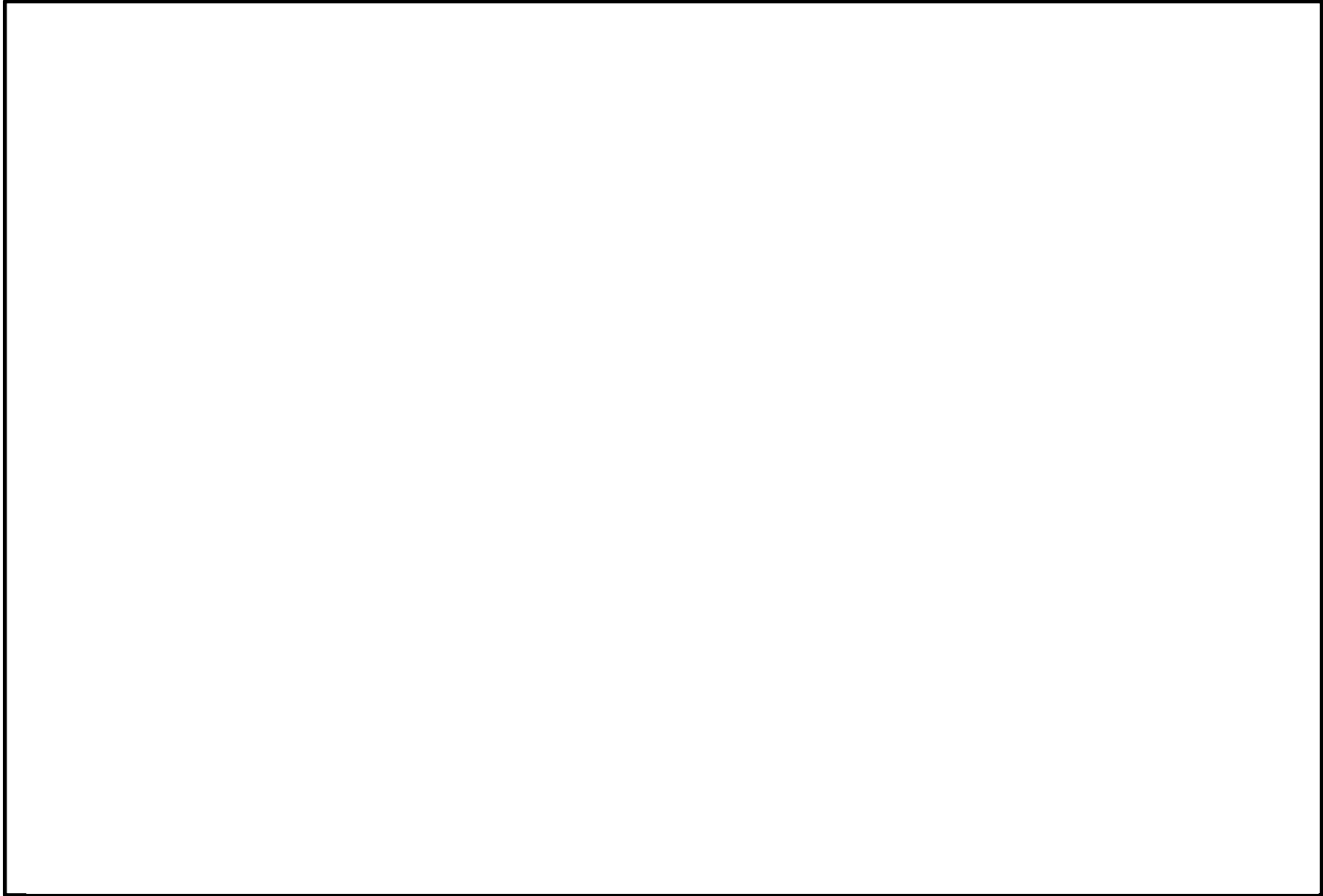


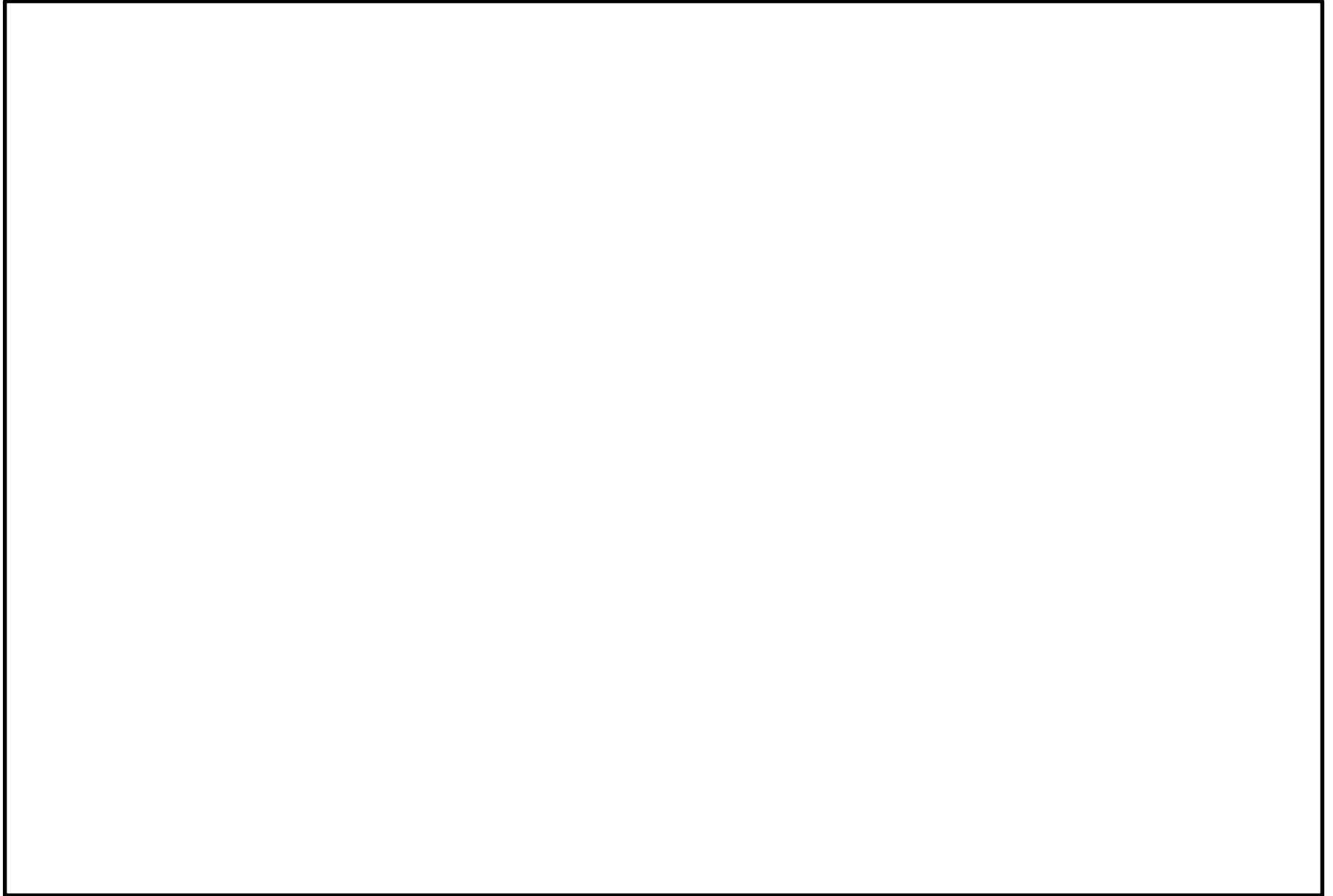
代替循環冷却系概略系統図

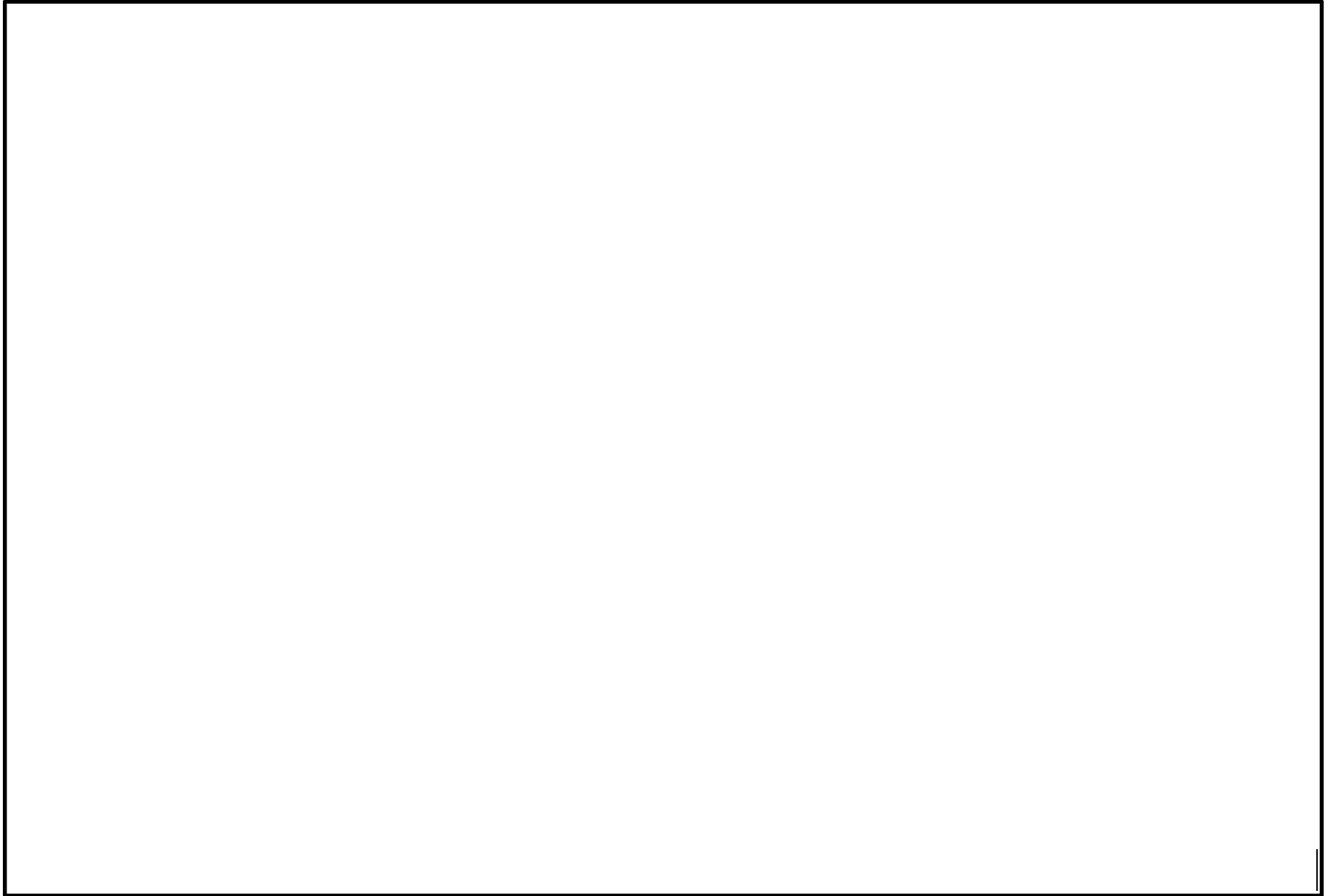
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(S A)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を 「(D B)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計 算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のう ち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために 表記する管
	節 点
	質 点
	ア ン カ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向 成分を示す。スナッパについても同様とする。)
	スナッパ
	ハンガ
	拘束点の地震による相対変位量 (mm) (*は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□内 に変位量を記載する。)
注： 鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。	







3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設 分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等 の区分	耐震 クラス	荷重の組合せ ^{*3,4}	許容応力 状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	代替循環冷却系	S A	常設／緩和	重大事故等 クラス2管	－	$V_L(L) + S_d^{*6,7}$	$V_A S$
							$V_L(L) + S_s^{*6}$	

注記 *1: D Bは設計基準対象施設, S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2: 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

∞ *3: 運転状態の添字 L は荷重, (L) は荷重が長期間作用している状態を示す。

*4: 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5: 許容応力状態 $V_A S$ は許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界を使用し, 許容応力状態 $IV_A S$ として評価を実施する。

*6: 重大事故時の原子炉格納容器バウンダリ閉じ込め機能維持要求として, 原子炉格納容器バウンダリにおいて考慮する荷重の組合せを示す。

*7: 荷重の組合せ $V_L(L) + S_d$ は $V_L(L) + S_s$ に包絡されるため, 評価を省略する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図番号 ARC-2

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震クラス	縦弾性係数 (MPa)
1	212, 502, 2, 4, 600, 311 901, 312, 6, 801, 503, 7 601, 9, 802, 321, 902, 322 11, 803, 504, 12, 14, 602 15, 17, 505, 804, 603, 506 805, 412, 411, 413, 421, 221 423, 621, 829, 622, 96, 98 830, 99, 623, 101, 102, 104 831, 105, 624, 107, 832, 341 904	3.45	80	216.3	8.2	STPT410	—	
2	904, 342, 108, 625, 110, 833 111, 113, 114, 626, 116, 834	0.86	80	216.3	8.2	STPT410	—	

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図番号 ARC-2

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震クラス	縦弾性係数 (MPa)
3	1001, 501, 211, 411, 414, 604 806, 18, 20, 21, 23, 605 807, 507, 606, 24, 26, 808 27, 29, 701, 30, 32, 809 607, 33, 35, 810, 36, 38 39, 41, 811	3.45	80	165.2	7.1	STPT410	—	

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図番号 ARC-2

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震クラス	縦弾性係数 (MPa)
4	222, 812, 42, 44, 608, 45 47, 813, 48, 50, 609, 814 610, 815, 611, 51, 53, 816 54, 56, 612, 57, 59, 60 62, 817, 63, 65, 66, 68 613, 69, 71, 72, 74, 818 75, 77, 819, 78, 80, 81 614, 83, 820, 615, 821, 616 508, 822, 84, 86, 823, 87 89, 824, 617, 825, 618, 826 619, 331, 903, 332, 827, 90 92, 620, 93, 95, 828	3.45	80	114.3	6.0	STPT410	—	

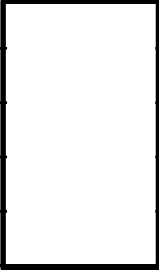
配管の付加質量

鳥瞰図番号 ARC-2

質量	対応する評価点
	212, 502, 2, 4, 600, 311, 901, 312, 6, 801, 503, 7, 601, 9 802, 321, 902, 322, 11, 803, 504, 12, 14, 602, 15, 17, 505, 804 603, 506, 805, 412, 411, 413, 421, 221, 423, 621, 829, 622, 96, 98 830, 99, 623, 101, 102, 104, 831, 105, 624, 107, 832, 341, 904, 342 108, 625, 110, 833, 111, 113, 114, 626, 116, 834
	1001, 501, 211, 411, 414, 604, 806, 18, 20, 21, 23, 605, 807, 507 606, 24, 26, 808, 27, 29, 701, 30, 32, 809, 607, 33, 35, 810 36, 38, 39, 41, 811
	222, 812, 42, 44, 608, 45, 47, 813, 48, 50, 609, 814, 610, 815 611, 51, 53, 816, 54, 56, 612, 57, 59, 60, 62, 817, 63, 65 66, 68, 613, 69, 71, 72, 74, 818, 75, 77, 819, 78, 80, 81 614, 83, 820, 615, 821, 616, 508, 822, 84, 86, 823, 87, 89, 824 617, 825, 618, 826, 619, 331, 903, 332, 827, 90, 92, 620, 93, 95 828

フランジ部の質量

鳥瞰図番号 ARC-2

質量	対応する評価点
	501
	502, 503, 504, 505
	506
	507
	508

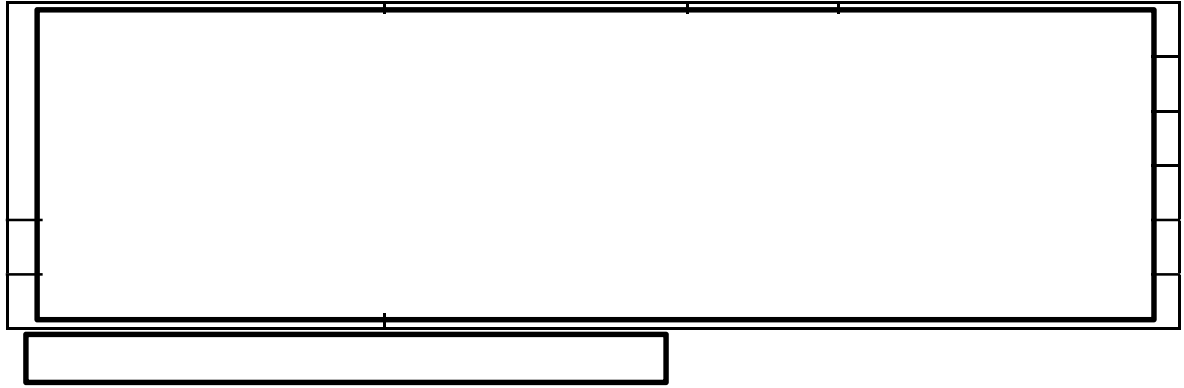
弁部の質量

鳥瞰図番号 ARC-2

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	901		902
	903		953
	904		954

弁部の寸法

鳥瞰図番号 ARC-2



NT2 補② V-2-5-5-5-2 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図番号 ARC-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1001						
801						
802						
803						
804						
805						
806						
807						
808						
809						
810						
811						
812						
813						
814						
815						
816						
817						
818						
819						
820						
821						
822						
823						
824						
825						
826						
827						
828						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図番号 ARC-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
829						
830						
831						
832						
833						
834						

3.3 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (℃)	許容応力 (MPa)			
		S _m	S _y	S _u	S _h
STPT410	80	—	225	406	103

3.4 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトルを下
表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基
づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は「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。

鳥瞰図	建物・構築物	標高		減衰定数(%)	
ARC-2	原子炉建屋				

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図番号 ARC-2

耐震クラス		—			
適用する地震動等		S _s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	
		X 方向	Z 方向	Y 方向	
		4.48	4.48	8.41	
		4.48	4.48	8.41	
		4.20	4.20	7.42	
		4.20	4.20	7.42	
		3.31	3.31	4.77	
		3.05	3.05	4.74	
		2.44	2.44	3.81	
		1.95	1.95	3.66	
		1.11	1.11	0.84	
		1.11	1.11	0.84	
動的震度		1.34	1.34	1.01	

NT2 補② V-2-5-5-5-2 R0

[illegible]

代表的振動モード図

振動モード図は、3 次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すごとく最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次＋二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{\text{prm}}(S_s)$	許容応力 $0.9 S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2 S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
ARC-2	$V_A S$	68	$S_{\text{prm}}(S_s)$	186	365	—	—	—
ARC-2	$V_A S$	68	$S_n(S_s)$	—	—	316	450	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すごとく計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果(荷重評価)

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度	評価結果	
					支持点荷重 (kN)	許容荷重 (kN)
SNO-ARC-1-002	オイルスナッパ	SN-3	「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」参照		20	45
RO-ARC-1-003	ロッドレストレイント	RSA-3			40	54

27

支持構造物評価結果(応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (℃)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-ARC-2-032	レストレイント	U ボルト	SS400	80	—	6.8	33	—	—	—	組合せ	125	277
AN-ARC-2-004	アンカ	ラグ	STKR400	80	15.8	22	42	46	11.2	15.6	組合せ	110	141

V-2-5-5-6 原子炉隔離時冷却系の耐震性についての計算書

V-2-5-5-6-1 原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震性についての
計算書

目次

1. 概要	1
2. 構造説明	1
2.1 構造計画	1
2.2 適用基準	3
3. 評価部位	4
4. 引用文献	6

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の検討方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉隔離時冷却系ストレーナが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価は原子炉隔離時冷却系ストレーナの地震応答解析、応力評価により行う。

原子炉隔離時冷却系ストレーナは、重大事故等対処施設においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備に分類される。以下、耐震評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却系ストレーナの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図	適用
基礎・支持構造	主体構造		
原子炉格納容器貫通部に取り付けられたティーに据え付ける。	円筒形		・原子炉隔離時冷却系ストレーナ

2.2 適用基準

非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について(内規),
平成 20・02・12 原院第 5 号 (平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定)

3. 評価部位

原子炉隔離時冷却系ストレーナの取付け状況, 形状及び主要寸法を図3-1及び図3-2に示す。

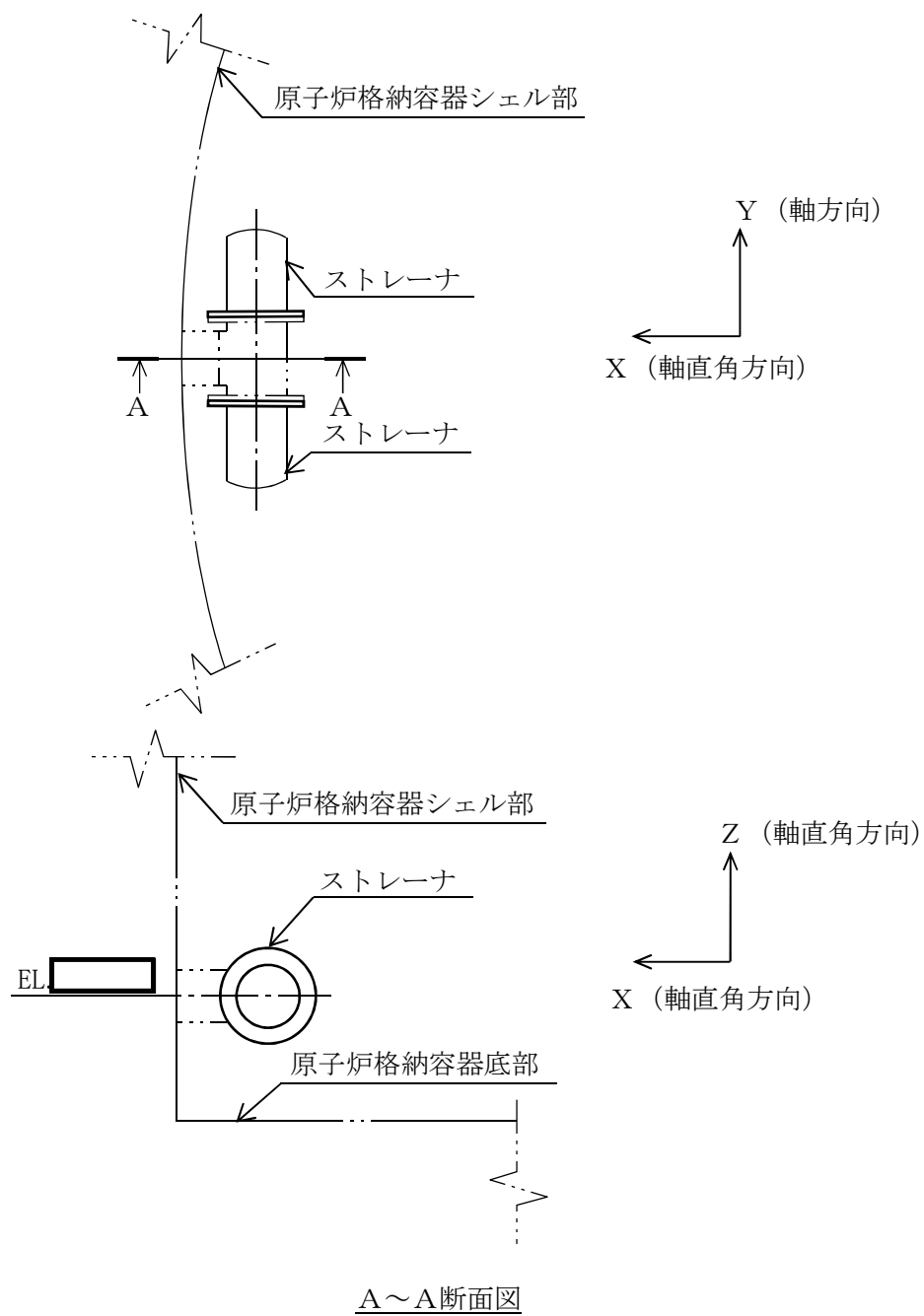


図3-1 原子炉隔離時冷却系ストレーナの取付け状況

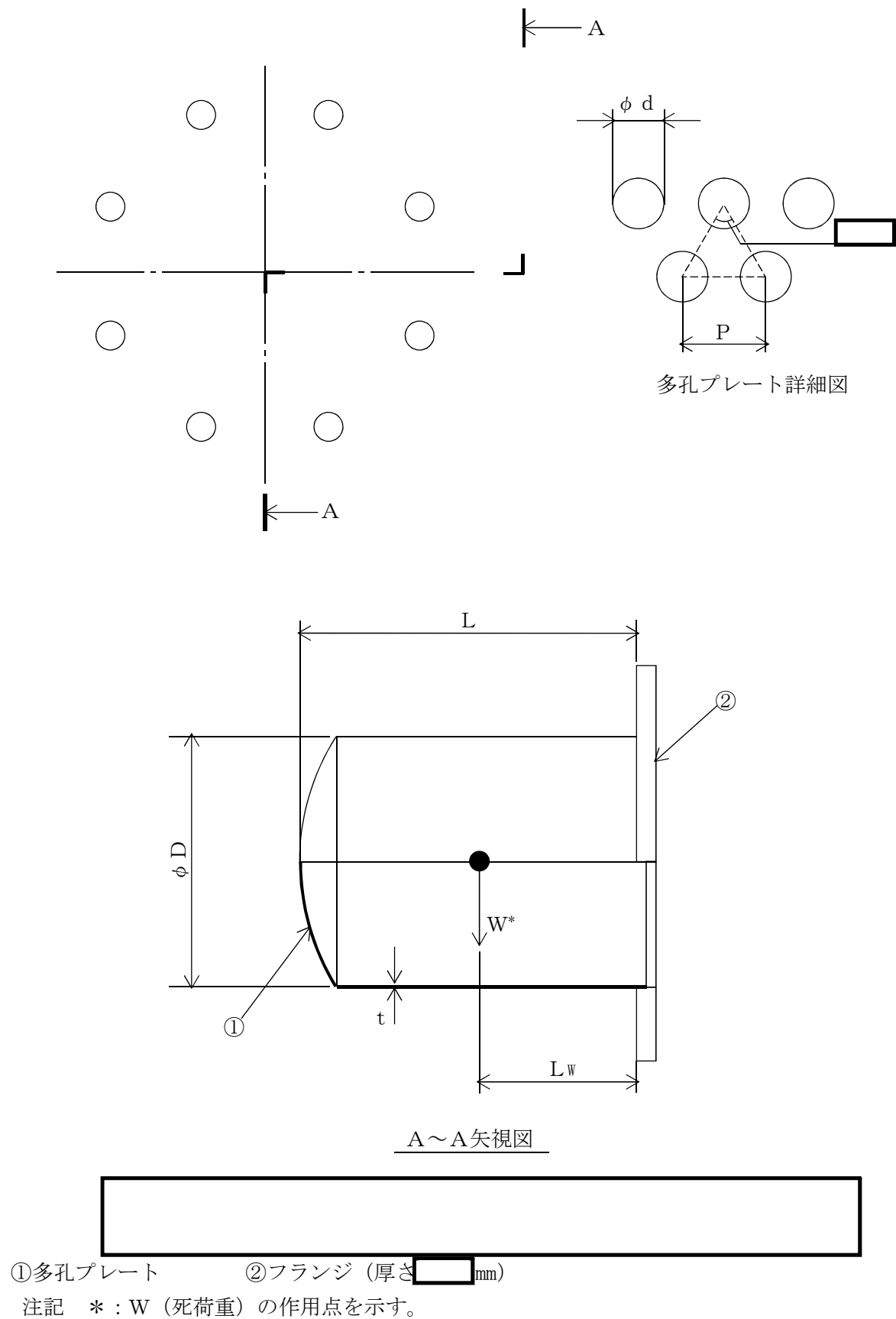


図 3-2 原子炉隔離時冷却系ストレーナの形状及び主要寸法 (単位 : mm)

4. 引用文献

(1) WARREN C. YOUNG

“ROARK’S FORMULAS for Stress and Strain” 7th Edition

V-2-5-6 原子炉冷却材補給設備の耐震性についての計算書

V-2-5-6-1 原子炉隔離時冷却系の耐震性についての計算書

V-2-5-6-1-4 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図	2

1. 概要

本計算書は、「付録6 管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針」及び「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」に基づき、管、支持構造物及び弁の耐震性についての計算を実施した結果を示したものである。

評価結果記載方法は以下に示す通りとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

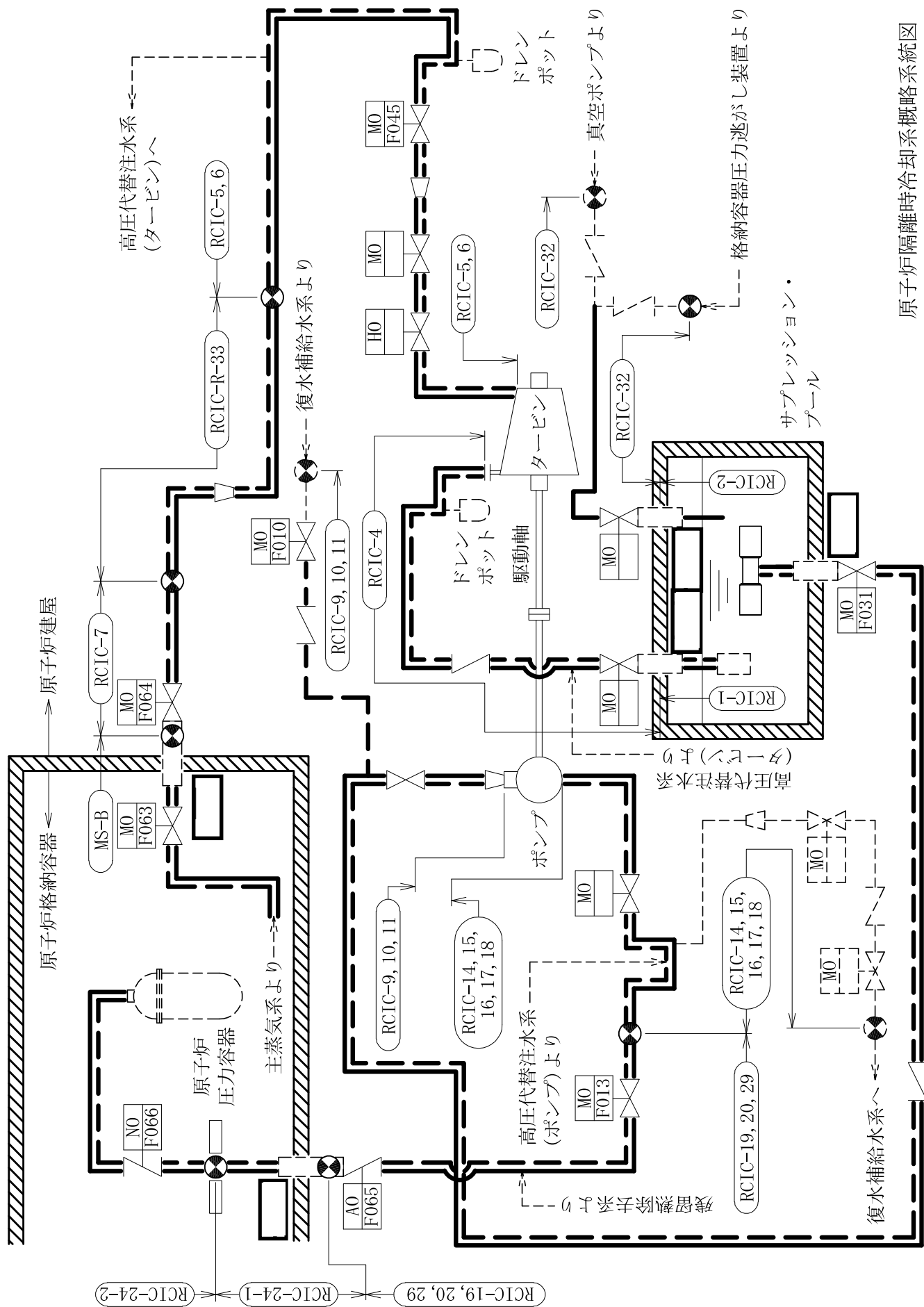
(3) 弁

機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (評価結果を記載する範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果の記載を省略する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



原子炉隔離時冷却系概略系統図

V-2-5-7 原子炉補機冷却設備の耐震性についての計算書

V-2-5-7-2 残留熱除去系海水系の耐震性についての計算書

V-2-5-7-2-3 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図	2

1. 概要

本計算書は、「付録6 管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針」及び「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」に基づき、管、支持構造物及び弁の耐震性についての計算を実施した結果を示したものである。

評価結果記載方法は以下に示す通りとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として記載する。

(2) 支持構造物

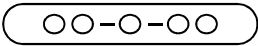
工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3) 弁

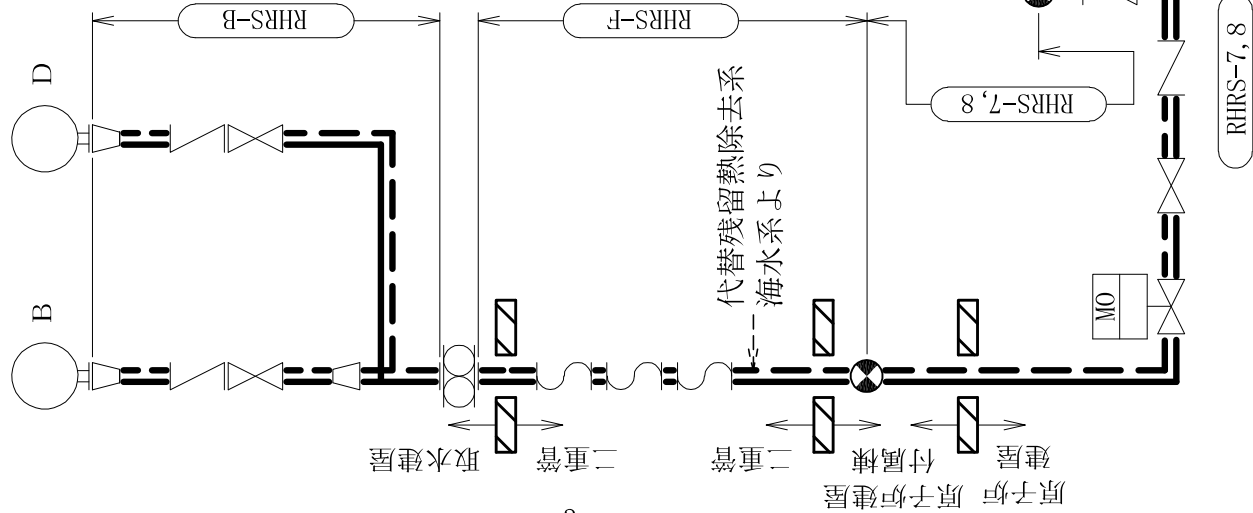
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図

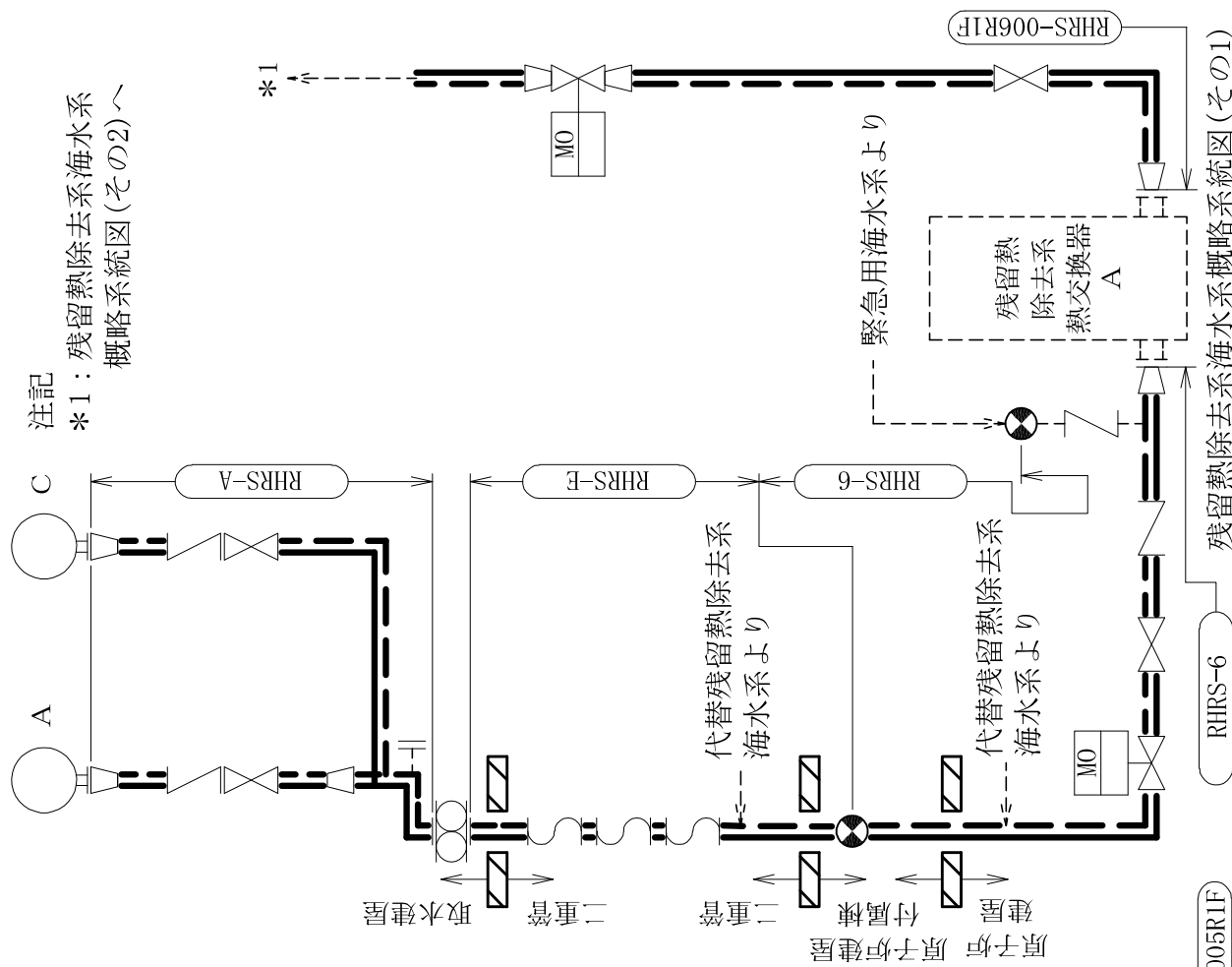
概略系統図記号凡例

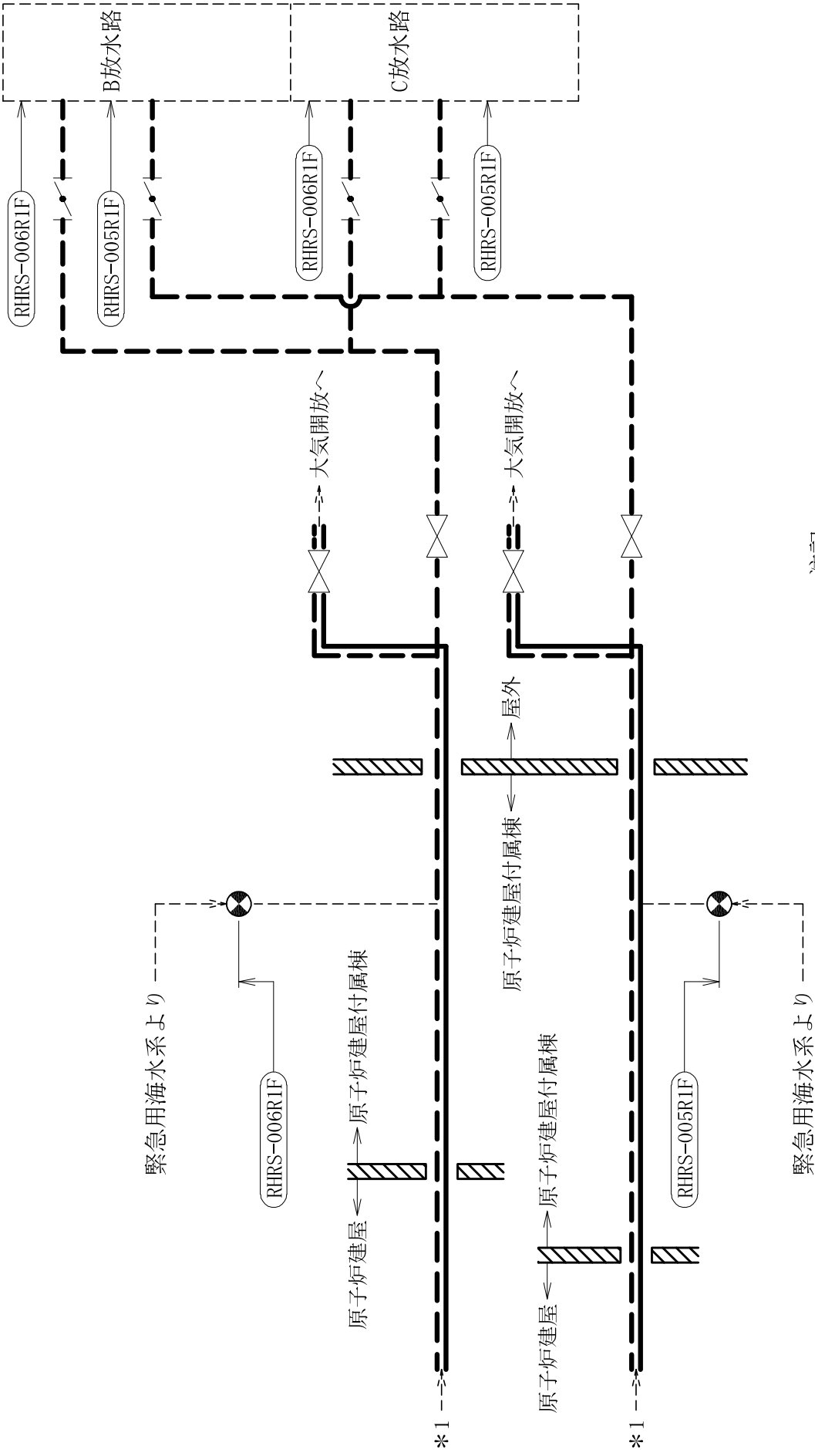
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (評価結果を記載する範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果の記載を省略する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

残留熱除去系海水系ポンプ



残留熱除去系海水系ポンプ





*1：残留熱除去系海水系概略系統図 (その1) より

残留熱除去系海水系概略系統図 (その2)

V-2-5-7-3 緊急用海水系の耐震性についての計算書

V-2-5-7-3-1 緊急用海水ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 応力評価	2
2.1 基本方針	2
3. 機能維持評価	3
3.1 機能維持評価方法	3

1. 概要

本計算書は、添付書類 V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、緊急用海水ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

2. 応力評価

2.1 基本方針

応力評価は、付録5「たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3. 機能維持評価

緊急用海水ポンプの地震後の動的機能維持評価について、以下に示す。

3.1 機能維持評価方法

緊急用海水ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性を持っているため、添付書類 V-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。

V-2-5-7-3-2 緊急用海水系ストレーナの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 固有周期	6
5. 構造強度評価	6
5.1 構造強度評価方法	6
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	7
5.3 設計用地震力	11
5.4 計算方法	12
5.5 計算条件	14
5.6 応力の評価	15
6. 評価結果	15
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	15

1. 概要

本計算書は、緊急用海水系ストレーナが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

緊急用海水系ストレーナは、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

緊急用海水系ストレーナの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ストレーナは胴と一体の脚で支持し、脚を基礎ボルトで支持する。	容器	The diagram illustrates the structural design of a strainer assembly. It consists of two views: a side view labeled '(長辺方向)' (Long side direction) and a front view labeled '(短辺方向)' (Short side direction). The strainer body, labeled 'ストレーナ胴体', is shown as a cylindrical component with a hemispherical top and bottom. The bottom of the body is supported by four legs, labeled '脚'. These legs are anchored into a base plate, which is secured by four foundation bolts, labeled '基礎ボルト'. The entire assembly is mounted on a concrete foundation, indicated by hatching at the base of the diagram.

2.2 評価方針

緊急用海水系ストレーナの応力評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す緊急用海水系ストレーナの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

2.3 適用基準

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984，J E A G 4 6 0 1－1987 及び J E A G 4 6 0 1－1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月，昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）に準拠して評価する。

2.4 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F^*	設計・建設規格 ^{*1} SSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（ $=9.80665$ ）	m/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
λ_1	重心と基礎ボルト間の水平方向距離 ^{*2}	mm
λ_2	重心と基礎ボルト間の水平方向距離 ^{*2}	mm
m	運転時質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 ^{*1} 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 ^{*1} 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記 *1：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。）） J S M E S N C 1－2005／2007）（日本機械学会 2007年9月）をいう。

*2： $\lambda_{1i} \leq \lambda_{2i}$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示す通りとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ* ¹	mm	—	—	整数位
面積* ²	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ³	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

緊急用海水系ストレーナの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び取付ボルトについて実施する。

緊急用海水系ストレーナの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナは1個の大きなブロック状をしており、重心の位置がブロック状のほぼ中心にあり、かつ、下面が基礎ボルトにて固定されている。したがって全体を一つの剛体とみなせるため、固有周期は十分に小さく、固有周期の計算は省略する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) ストレーナ及び内容物の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力はストレーナに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) ストレーナは基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。ここで、基礎については剛となるよう設計する。
- (4) 転倒方向は図 5-1 により検討し、計算書には結果の厳しい方を記載する。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

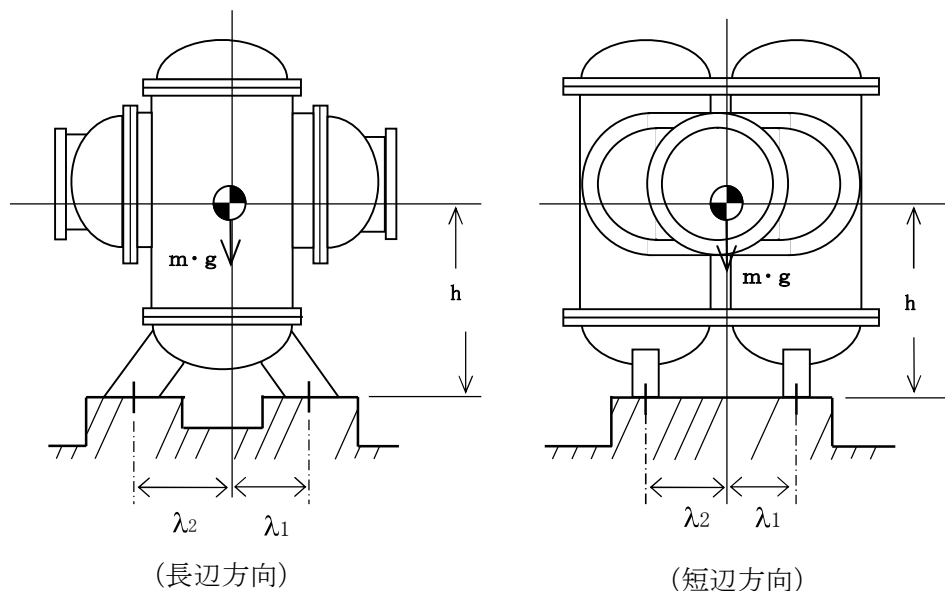


図 5-1 概要図

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

緊急用海水系ストレーナの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

緊急用海水系ストレーナの許容応力を表 5-2 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力

緊急用海水系ストレーナの使用材料の許容応力のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	緊急用海水系ストレーナ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 容器 ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限 界を用いる。)

注記 *1:「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備,「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備,
「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2: 重大事故等クラス 2 容器の支持構造物を含む。

*3:「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため, 評価結果の記載を省略する。

表 5－2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)		

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。
 *2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5－3 使用材料の許容応力（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S y (MPa)	S u (MPa)	S y (R T) (MPa)
基礎ボルト	SUS316	周囲環境温度	66	191	496	205

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

表 5-4 設計用地震力（重大事故等対処設備）

耐震 重要度分類	据付場所 及び 床面高さ (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	
		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
— (S_s)	緊急用海水 ポンプピット EL. 0.8 ^{*1}	— ^{*2}	— ^{*2}	—	—	$C_H=2.37$ ^{*3}	$C_V=1.09$ ^{*3}

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：基準地震動 S_s の震度と同等以上の設計震度。

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図5-2及び図5-3でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_b = \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g + m \cdot (C_V - 1) \cdot \lambda_2 \cdot g}{n_f \cdot (\lambda_1 + \lambda_2)} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = m \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる数値を表 5-5 に示す。

表 5-5 基礎ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	—	—	SUS316
温度条件（周囲環境温度）	—	℃	66
ボルトの呼び径	d	mm	36
運転時質量	m	kg	5600
重力加速度	g	m/s ²	9.80665
据付面から重心までの距離	h	mm	779
重心とボルト間の水平方向距離（長辺方向）	λ_1	mm	428
重心とボルト間の水平方向距離（長辺方向）	λ_2	mm	432
重心とボルト間の水平方向距離（短辺方向）	λ_1	mm	377
重心とボルト間の水平方向距離（短辺方向）	λ_2	mm	463
ボルトの本数	n	—	4
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 （長辺方向）	n_f	—	2
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 （短辺方向）	n_f	—	2

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

せん断応力 τ_b は，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

かつ，

$$f_{ts} \leq f_{to} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.2)$$

ただし， f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

緊急用海水系ストレーナの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。
発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次ページ以降の表に示す。

【緊急用海水系ストレーナの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機 器 名 称	耐震重要度分類	据付場所及び 床面高さ (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		周囲環境温度 (℃)
			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	
緊急用海水系ストレーナ	－ (S _s)	緊急用海水 ポンプピット EL. 0.8* ¹	0.05 以下	0.05 以下	－	－	$C_H=2.37^{*2}$	$C_V=1.09^{*2}$	66

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：基準地震動 S_s の震度と同等以上の設計震度

1.2 機器要目

1.2.1 基礎ボルト

部 材	m (kg)	h (mm)	$\varnothing_1$ (mm)	$\varnothing_2$ (mm)	A_b (mm ²)	n	n _f	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	転倒方向	
											弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	5600	779	377	463	1.018×10^3 (M36)	4	2	191	496	246	－	短辺方向

1.3 計算数値

1.3.1 基礎ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	－	6.171×10^4	－	1.302×10^5

1.4 結 論

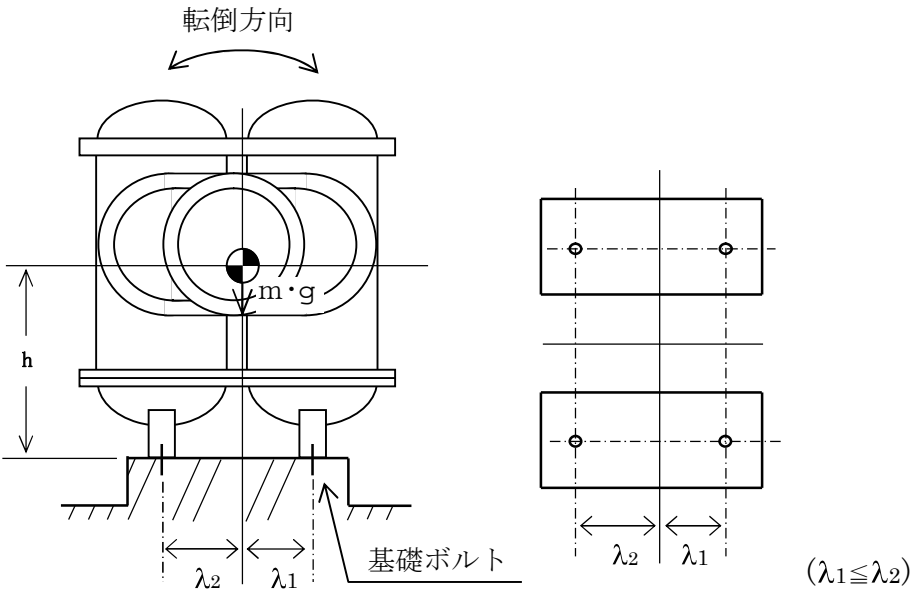
1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SUS316	引張り	—	—	$\sigma_b=61$	$f_{ts}=184^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=32$	$f_{sb}=142$

注記 *：(5.6.1.2) 式により算出

すべて許容応力以下である。



V-2-5-7-3-3 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図	2

1. 概要

本計算書は、「付録6 管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針」及び「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」に基づき、管、支持構造物及び弁の耐震性についての計算を実施した結果を示したものである。

評価結果記載方法は以下に示す通りとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

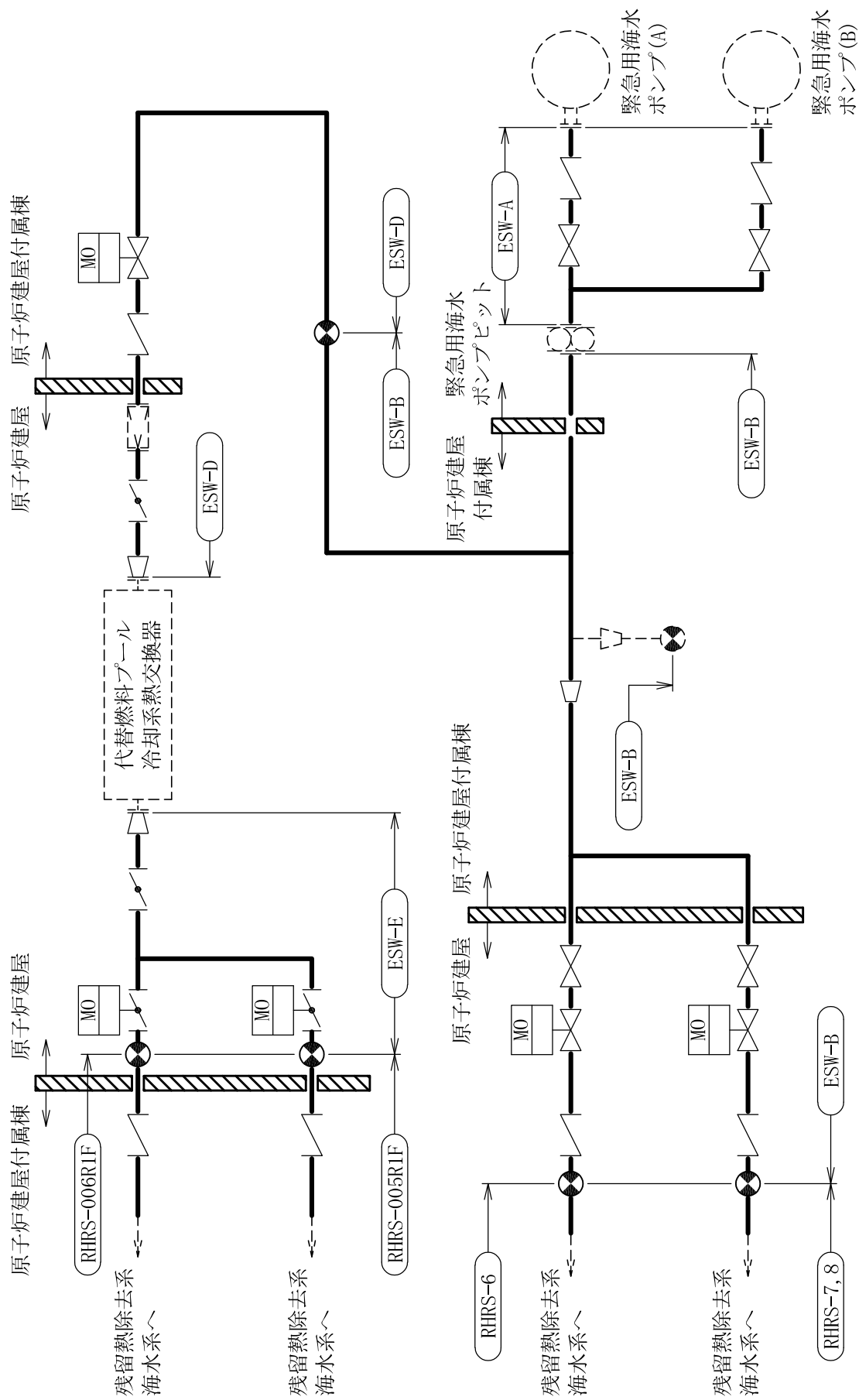
(3) 弁

機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (評価結果を記載する範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果の記載を省略する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



緊急用海水系概略系統図

V-2-5-8 原子炉冷却材浄化設備の耐震性についての計算書

V-2-5-8-1 原子炉冷却材浄化系の耐震性についての計算書

V-2-5-8-1-1 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図	2

1. 概要

本計算書は、「付録6 管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針」及び「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」に基づき、管、支持構造物及び弁の耐震性についての計算を実施した結果を示したものである。

評価結果記載方法は以下に示す通りとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

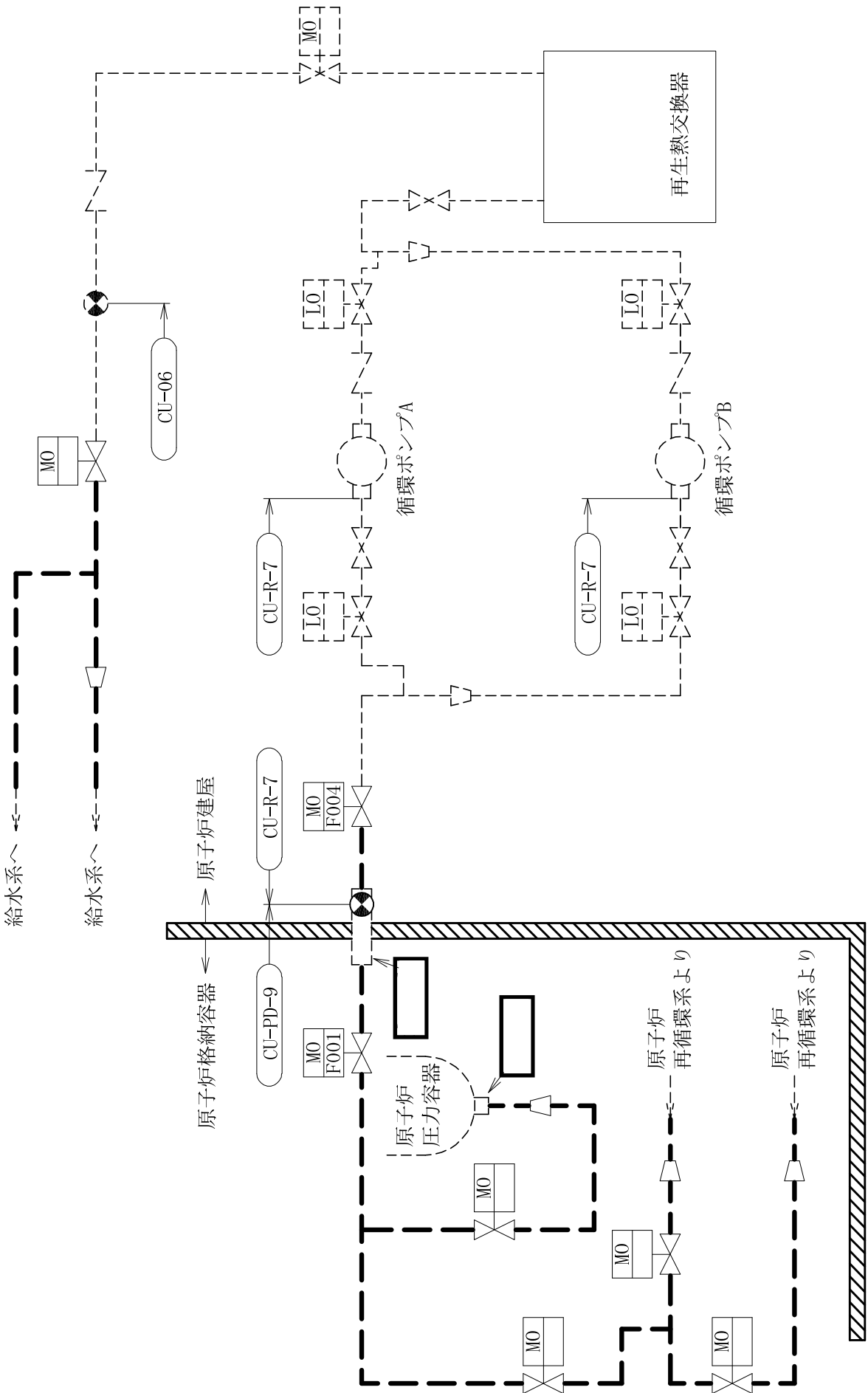
(3) 弁

機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (評価結果を記載する範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果の記載を省略する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



原子炉冷却材浄化系概略系統図

V-2-6 計測制御系統施設の耐震性についての計算書

V-2-6-1 計測制御系統施設の耐震計算結果

目次

1. 概要	1
2. 耐震評価条件整理	1

1. 概要

本資料は、計測制御系統施設の設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

計測制御系統施設の設備に対して、設計基準対象施設の耐震クラス、重大事故等対処施設の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績と差異の有無を整理した。また、重大事故等対処施設のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処施設の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。

計測制御系統施設の耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績と差異がない施設の耐震計算は、工事計画認可実績を示し、入力条件及び評価結果を示すことを基本とする。

なお、既設の設備における弾性設計用地震動 S_d による耐震計算については、基準地震動 S_s による評価結果が弾性設計用地震動 S_d の許容限界を満足する場合、省略することとし、省略せず耐震評価を実施する場合は、静的地震力についても考慮することとする。

V-2-6-3 制御棒駆動装置の耐震性についての計算書

V-2-6-3-1 制御棒駆動機構の耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 適用基準	1
1.2 計算条件	1
1.3 記号の説明	2
1.4 計算精度と数値の丸め方	5
2. 構造説明	5
2.1 構造計画	5
3. 計算方法	7
3.1 固有周期の計算方法	7
3.2 応力の計算方法	8
3.2.1 管の強度計算	8
3.2.2 フランジの強度計算	8
3.2.3 管の応力計算	15
3.2.4 管の耐震性についての計算	19
3.3 運転条件	25
4. 評価方法	29
4.1 固有周期の評価	29
4.2 応力の評価	29
4.2.1 管の強度評価	29
4.2.2 フランジの強度評価	29
4.2.3 管の応力評価	30
4.2.4 管の耐震性についての評価	30
5. 評価結果	31
5.1 管の強度評価結果	31
5.2 フランジの強度評価結果	31
5.3 管の応力評価結果	37
5.4 管の耐震性についての評価結果	39

1. 一般事項

1.1 適用基準

- (1) 強度計算は、発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版を含む。））J S M E S N C 1－2005/2007）（日本機械学会 2007 年）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。
- (2) フランジの強度計算は、設計・建設規格 PPB-3414(2)により、以下に掲げる日本工業規格（以下「J I S」という。）を適用して行う。
J I S B 8 2 6 5（2003）「压力容器の構造—一般事項」（以下「J I S B 8 2 6 5」という。）附属書 3（規定）「压力容器のボルト締めフランジ」
- (3) 耐震性についての計算は、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補－1984，J E A G 4 6 0 1－1987 及び J E A G 4 6 0 1－1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年，昭和 62 年及び平成 3 年）（以下「指針」という。）に準拠する。

1.2 計算条件

- (1) 制御棒駆動機構は、設計基準対象施設においては既設の S クラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備以外の常設重大事故等対処設備に分類される。
- (2) 設計基準対象施設としての耐震条件に、重大事故等対処設備としての耐震条件が包絡されることから、重大事故等対処設備の耐震評価は省略する。
- (3) 評価対象を、制御棒駆動機構ハウジングの下端フランジとの接合部品である制御棒駆動機構フランジとし、フランジ部の強度計算と、フランジの最小板厚部を管とみなしての強度計算と耐震計算により評価を実施する。評価モデルを図 1-1 に示す。

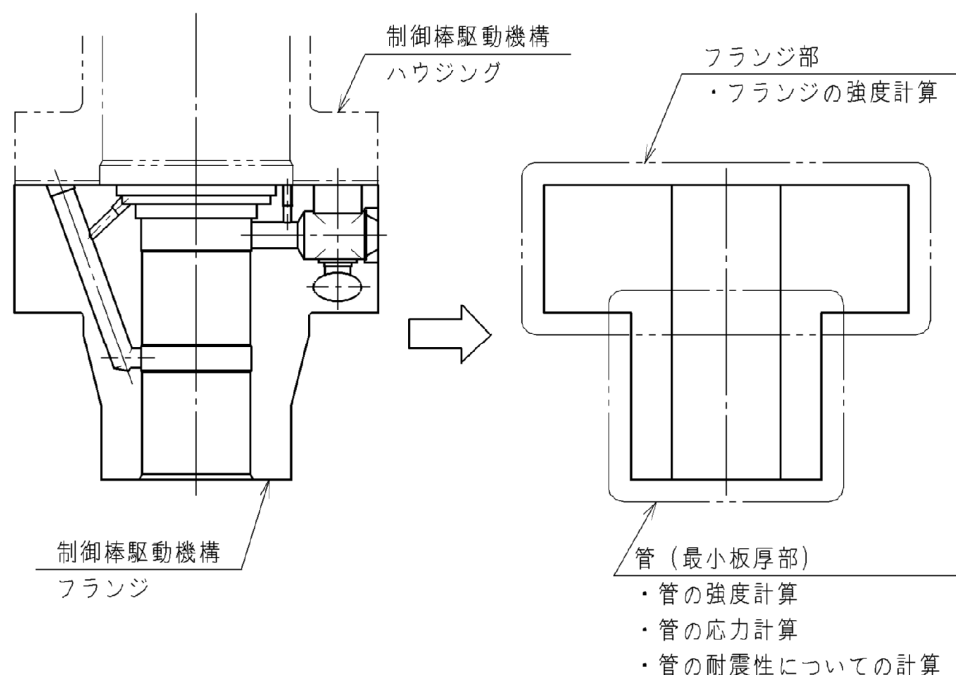


図 1-1 評価モデル

1.3 記号の説明

各計算に用いる記号を以下に示す。

それぞれに示す記号のうち、各計算において説明しているものはそれに従う。

(1) 共通

記号	記号の説明	単位
NO.	管及びフランジの番号 数字のみ：管 F：フランジ	—
P	最高使用圧力（内圧）	MPa

(2) フランジの強度計算

記号	記号の説明	単位
A_n	フランジ断面 (0) 並びに穴断面 (1) から (5) の断面積 ($n : 0 \sim 5$)	mm^2
I_G	フランジリングの断面二次モーメント（流水口を含まない。）	mm^4
I_n	流水口の断面二次モーメント ($n : 1 \sim 5$)	mm^4
I_T	フランジリングの断面二次モーメント	mm^4
J	ガスケットの円周単位長さ当たりの設計締付荷重	N/mm
ℓ_n	フランジ断面 (0) 並びに穴断面 (1) から (5) における X軸方向の長さ ($n : 0 \sim 5$)	mm
$\bar{\lambda}$	断面減少を考慮した場合の壁の厚さ	mm
M_g'	ガスケット締付時でのフランジに生じる単位長さ当たりの モーメント	N・mm/mm
M_o'	使用状態でのフランジに生じる単位長さ当たりのモーメント	N・mm/mm
$\bar{R}$	フランジリングの平均半径	mm
t_n	フランジ断面 (0) 並びに穴断面 (1) から (5) における Y軸方向の長さ ($n : 0 \sim 5$)	mm
y_n	フランジ断面 (0) 並びに穴断面 (1) から (5) における 図心のX軸からの距離 ($n : 0 \sim 5$)	mm
$\bar{y}$	フランジリング図心のX軸からの距離（流水口を考慮した場合。）	mm
Y'^2	係数	—
Z'^2	係数	—

(3) 管の応力計算及び耐震性についての計算

記号	記号の説明	単位
B_1, B_2	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数 (一次応力の計算に使用するもの)	—
C_1, C_2, C_3	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数 (一次+二次応力の計算に使用するもの)	—
D_0	管の外径	mm
E	設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 1 に規定する縦弾性係数	MPa
E_{ab}	構造上の不連続部分のうち応力集中度が最も高いと推定した点又は材質を異にする点を境とするそれぞれの側の室温における設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 1 に規定する縦弾性係数の平均値	MPa
F_w	制御棒駆動機構の自重	N
F_{scr}	スクラム反力により制御棒駆動機構に生じる荷重	N
F_v	鉛直方向震度により制御棒駆動機構に生じる地震荷重	N
K_1, K_2, K_3, K_e	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数 (ピーク応力の計算に使用するもの)	—
M_{hsg}	水平方向震度により制御棒駆動機構ハウジングに生じるモーメント	N・mm
M_{ip}	・ 応力計算：管の機械的荷重により生じるモーメント ・ 耐震性についての計算：管の機械的荷重（地震による慣性力を含む。）により生じるモーメント	N・mm
M_{is}	・ 応力計算：管の熱膨張，支持点の変位及び機械的荷重（自重を除く。）により生じるモーメント ・ 耐震性についての計算：管の地震動の慣性力と相対変位により生じるモーメントの全振幅	N・mm
n_i	繰返し荷重 i の実際の繰返し回数	回
N_i	設計・建設規格 PPB-3534 による繰返し荷重 i の許容繰返し回数	回
P	・ 応力計算：最高使用圧力 ・ 耐震性についての計算：地震と組合せるべき運転状態における圧力	MPa
P_0	供用状態 A 及び B において生じる圧力	MPa
S_ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S_m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に規定する材料の設計応力強さ	MPa
S_n	一次+二次応力	MPa
S_p	ピーク応力	MPa
S_{prm}	一次応力	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点	MPa

記号	記号の説明	単位
t	管の厚さ	mm
T _a , T _b	構造上の不連続部のうち応力集中度が最も高いと推定した点又は材質を異にする点を境とするそれぞれの側における次の計算式により計算した範囲 a, b 内の平均温度 $\ell_a = \sqrt{d_a \cdot t_a}, \ell_b = \sqrt{d_b \cdot t_b}$ d _a 及びd _b : 構造上の不連続部のうち応力集中度が最も高いと推定した点を境とするそれぞれの側における管の内径(mm) t _a 及びt _b : a 及び b の範囲内における管の平均厚さ(mm)	℃
ΔT ₁	線形化した厚さ方向の温度分布における管の内外面温度差	℃
ΔT ₂	管の内面又は外面において生じる温度とそれに対応する線形化した温度との差のうちいずれか大きい方の温度 (負の場合は0とする。)	℃
U	疲労累積係数	—
Z _i	管の断面係数	mm ³
α	室温における設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 2 に規定する熱膨張係数	mm/mm℃
α _a , α _b	構造上の不連続部分のうち応力集中度が最も高いと推定した点を境とするそれぞれの側の室温における設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 2 に規定する熱膨張係数	mm/mm℃

1.4 計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 1-1 に示すとおりである。

表 1-1 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
縦弾性係数		MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
断面積		mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*1}
ボルト断面積		mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
断面二次モーメント		mm ⁴	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*1}
断面係数		mm ³	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*1}
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*1}
モーメント		N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*1}
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*2}		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
設計震度		—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力		MPa	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
長さ	下記以外の長さ	mm	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
	計算上必要な厚さ	mm	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
	最小厚さ	mm	小数点以下第 3 位	切捨て	小数点以下第 2 位
温度		℃	—	—	整数位
疲労累積係数		—	小数点以下第 5 位	切上げ	小数点以下第 4 位

注記 *1：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における設計応力強さ，許容引張応力及び設計降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

2. 構造説明

2.1 構造計画

制御棒駆動機構の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
制御棒駆動機構	制御棒駆動機構は、圧力容器下部から延長している制御棒駆動機構ハウジング内に収容する一体構造物で、制御棒駆動機構ハウジングの下端フランジに締付ボルトで接合される。	管	制御棒駆動機構ハウジング (下端フランジ) 制御棒駆動機構 (フランジ) 締付ボルト 管 制御棒駆動機構 (アウターチューブ)

3. 計算方法

3.1 固有周期の計算方法

表 2-1 の概略構造図に示すように、制御棒駆動機構は制御棒駆動機構ハウジングに据付部材を介さずに、締付ボルトにて直接接続される構造である。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本体の基礎の地震応答計算書」において，制御棒駆動機構ハウジングの固有周期は 0.050 秒以下であることが確認できるため，固有周期の計算は省略する。

3.2 応力の計算方法

3.2.1 管の強度計算

管の強度計算は、添付書類「付録 10 管の基本板厚計算書の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき計算した結果を表にまとめて示すものである。

なお、本計算においては、基本方針で定義された記号を使用する。

3.2.2 フランジの強度計算

フランジの強度計算は、設計・建設規格 PPB-3414 を適用する。

計算は、J I S B 8 2 6 5 附属書 3 を適用する。

ただし、ボルトにかかる荷重は、ガスケットの締付荷重を考慮し、(1)項 a の計算式に従う。また、フランジ部の半径方向応力及び周方向応力の評価は、穴の影響を考慮し、(3)項 a, b 及び c の計算式に従う。

(1) ボルトにかかる荷重

a. 計算上必要なボルト荷重

(使用状態)

$$W_{m1} = H + H_p \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

ここで、

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

$$H_p = J \cdot \pi \cdot G \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

(ガスケット締付時)

$$W_{m2} = J \cdot \pi \cdot G \quad \dots \dots \dots (3.4)$$

b. ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

(a) 使用状態及びガスケット締付時の両方に対して必要なボルトの総有効断面積

$$A_m = \text{M a x} (A_{m1}, A_{m2}) \quad \dots \dots \dots (3.5)$$

(使用状態)

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_b} \quad \dots \dots \dots (3.6)$$

(ガスケット締付時)

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a} \quad \dots \dots \dots (3.7)$$

(b) 実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot (d_b^2 - d_i^2) \cdot n \quad \dots \dots \dots (3.8)$$

c. フランジの計算に用いるボルト荷重
(使用状態)

$$W_o = W_{m1} \quad \dots \dots \dots (3.9)$$

(ガスケット締付時)

$$W_g = \frac{A_m + A_b}{2} \cdot \sigma_a \quad \dots \dots \dots (3.10)$$

(2) フランジに作用するモーメント
(使用状態)

$$M_o = M_D + M_G + M_T \quad \dots \dots \dots (3.11)$$

ここで,

$$M_D = H_D \cdot h_D \quad \dots \dots \dots (3.12)$$

$$M_G = H_G \cdot h_G \quad \dots \dots \dots (3.13)$$

$$M_T = H_T \cdot h_T \quad \dots \dots \dots (3.14)$$

$$H_D = \frac{\pi}{4} \cdot B^2 \cdot P \quad \dots \dots \dots (3.15)$$

$$H_G = W_O - H \quad \dots \dots \dots (3.16)$$

$$H_T = H - H_D \quad \dots \dots \dots (3.17)$$

$$h_D = R + 0.5 \cdot g_1 \quad \dots \dots \dots (3.18)$$

$$h_G = \frac{C - G}{2} \quad \dots \dots \dots (3.19)$$

$$h_T = \frac{R + g_1 + h_G}{2} \quad \dots \dots \dots (3.20)$$

$$R = \frac{C - B}{2} - g_1 \quad \dots \dots \dots (3.21)$$

(ガスケット締付時)

$$M_g = W_g \cdot h_G \quad \dots \dots \dots (3.22)$$

(3) フランジの応力

a. ハブの軸方向応力

(使用状態)

$$\sigma_{H_o} = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} + \frac{P_o \cdot B}{4 \cdot g_o} \quad \dots \dots \dots (3.23)$$

(ガスケット締付時)

$$\sigma_{H_g} = \frac{f \cdot M_g}{L \cdot g_1^2 \cdot B} \quad \dots \dots \dots (3.24)$$

ここで,

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} \quad \dots \dots \dots (3.25)$$

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_o} \quad \dots \dots \dots (3.26)$$

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_o^2 \quad \dots \dots \dots (3.27)$$

$$e = \frac{F}{h_o} \quad \dots \dots \dots (3.28)$$

b. フランジの半径方向応力

(使用状態)

$$\sigma_{R_o} = \frac{P \cdot \left(1 - Z'^2\right)}{Y'^2 - 1} \quad \dots \dots \dots (3.29)$$

(ガスケット締付時)

$$\sigma_{R_g} = 0 \quad \dots \dots \dots (3.30)$$

ここで,

$$Y'^2 = Z'^2 = \left(\frac{\frac{B}{2} + \bar{\ell}}{\frac{B}{2}} \right)^2 \quad \dots \dots \dots (3.31)$$

c. フランジの周方向応力
(使用状態)

$$\text{引張り : } \sigma_{T_o} = \frac{P \cdot (1 + Z'^2)}{Y'^2 - 1} + \frac{M_o' \cdot \bar{R}^2 \cdot (t - \bar{y})}{\frac{B}{2} \cdot I_G} \quad \dots \dots (3.32)$$

$$\text{圧縮 : } \sigma_{T_o} = \frac{P \cdot (1 + Z'^2)}{Y'^2 - 1} + \frac{M_o' \cdot \bar{R}^2 \cdot (-\bar{y})}{\frac{B}{2} \cdot I_G} \quad \dots \dots (3.33)$$

(ガスケット締付時)

$$\text{引張り : } \sigma_{T_g} = \frac{M_g' \cdot \bar{R}^2 \cdot (t - \bar{y})}{\frac{B}{2} \cdot I_G} \quad \dots \dots \dots (3.34)$$

$$\text{圧縮 : } \sigma_{T_g} = \frac{M_g' \cdot \bar{R}^2 \cdot (-\bar{y})}{\frac{B}{2} \cdot I_G} \quad \dots \dots \dots (3.35)$$

ここで,

$$M_o' = \frac{M_o}{2 \cdot \pi \cdot R} \quad \dots \dots \dots (3.36)$$

$$M_g' = \frac{M_g}{2 \cdot \pi \cdot R} \quad \dots \dots \dots (3.37)$$

$$I_G = \sum_{n=0}^5 I_n + \sum_{n=0}^5 A_n \cdot y_n^2 - \bar{y} \cdot \sum_{n=0}^5 A_n \cdot y_n \quad \dots \dots \dots (3.38)$$

$$\bar{R} = \frac{A + B}{4} \quad \dots \dots \dots (3.39)$$

$$\frac{\sum_{n=0}^5 A_n \cdot y_n}{\sum_{n=0}^5 A_n} \quad \dots \quad (3.40)$$

$$\frac{\sum_{n=0}^5 A_n}{t} \quad \dots \quad (3.41)$$

$$I_o = I_T = \overline{R} \cdot \frac{t_o^3}{12} \cdot \ln\left(\frac{A}{B}\right) \quad \dots \quad (3.42)$$

$$I_n = -\frac{1}{12} \cdot \ell_n \cdot t_n^3 \quad : n = 1 \sim 5 \quad \dots \quad (3.43)$$

$$A_o = \ell_o \cdot t_o = \frac{A - B}{2} \cdot t \quad \dots \quad (3.44)$$

$$A_n = -\ell_n \cdot t_n \quad : n = 1 \sim 5 \quad \dots \quad (3.45)$$

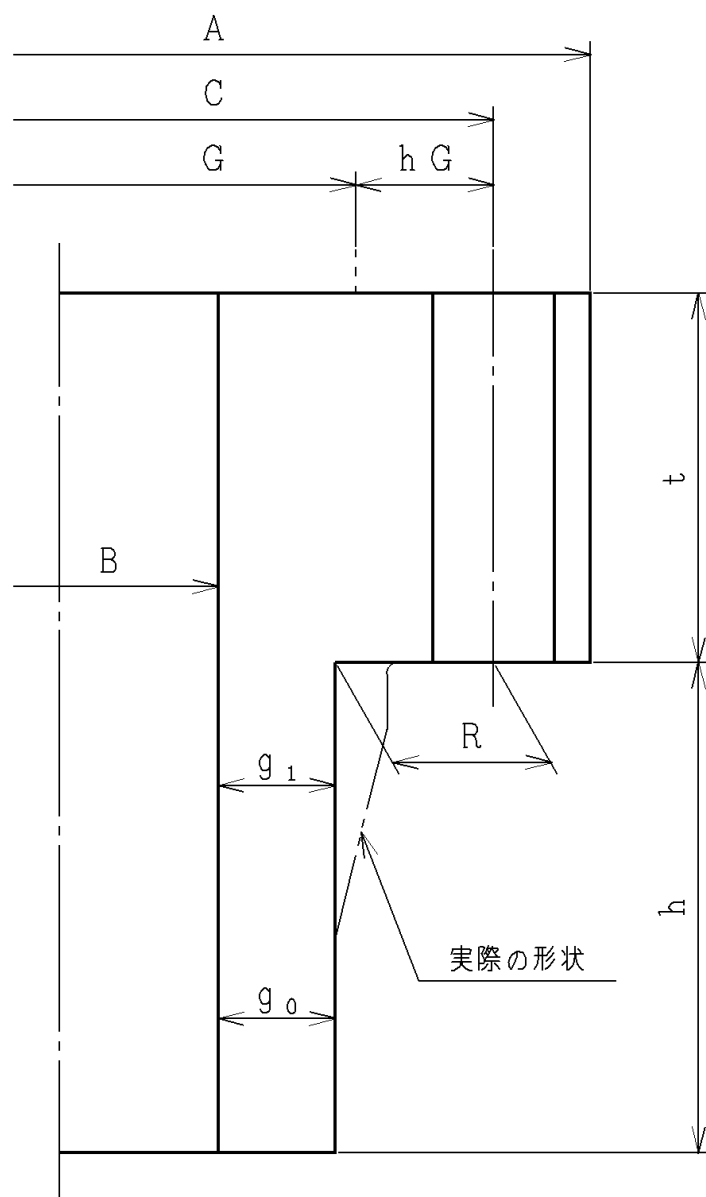


図 3-1 フランジ NO. F 1, F 2 (制御棒駆動機構フランジ)

3.2.3 管の応力計算

管の応力計算は、設計・建設規格 PPB-3500 を適用する。

(1) 算式

荷重として自重とスクラム反力による荷重が作用するものとして実施する。

評価モデルを図 3-3 に示す。

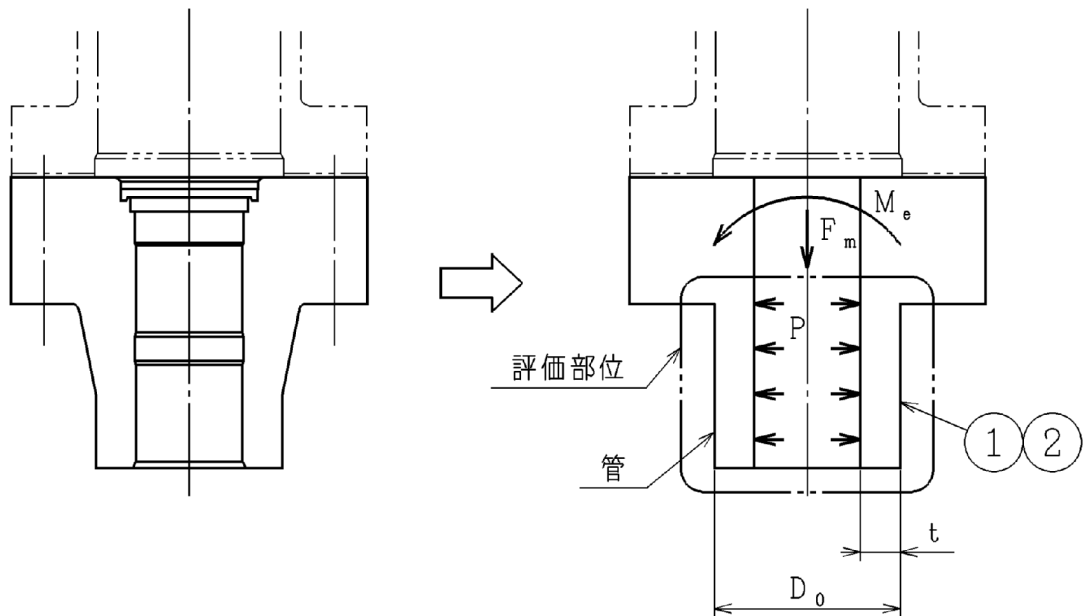


図 3-3 評価モデル

a. 管に作用するモーメント

図 3-3 の評価部位において、鉛直方向に作用する荷重 F_m を管に作用するモーメント M_e へ換算する換算式は以下となる。

$$M_e = \frac{D_0^2 + (D_0 - 2 \cdot t)^2}{8 \cdot D_0} \cdot F_m \quad \dots \dots \dots (3.46)$$

(a) 管の機械的荷重により生じるモーメント

機械的荷重として自重とスクラム反力による荷重を考慮すると以下となる。

$$M_{ip} = \frac{D_0^2 + (D_0 - 2 \cdot t)^2}{8 \cdot D_0} \cdot (F_w + F_{scr}) \quad \dots \dots \dots (3.47)$$

(b) 管の熱膨張，支持点の変位及び機械的荷重（自重を除く）により生じるモーメント 熱膨張と支持点の変位によるモーメントは生じないことから，以下とする。

$$M_{is} = M_{ip} \quad \dots \dots \dots (3.48)$$

b. 応力計算

(a) 一次応力

$$S_{\text{pr m}} = \frac{B_1 \cdot P \cdot D_0}{2 \cdot t} + \frac{B_2 \cdot M_{i p}}{Z_i} \quad \dots \quad (3.49)$$

ここで,

$$Z_i = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_0^4 - (D_0 - 2 \cdot t)^4}{D_0} \quad \dots \quad (3.50)$$

とする。

(b) 一次+二次応力

$$S_n = \frac{C_1 \cdot P_0 \cdot D_0}{2 \cdot t} + \frac{C_2 \cdot M_{i s}}{Z_i} + C_3 \cdot E_{a b} \cdot \left| \alpha_a \cdot T_a - \alpha_b \cdot T_b \right| \quad \dots \quad (3.51)$$

(c) ピーク応力

$$S_p = \frac{K_1 \cdot C_1 \cdot P_0 \cdot D_0}{2 \cdot t} + \frac{K_2 \cdot C_2 \cdot M_{i s}}{Z_i} + \frac{K_3 \cdot E \cdot \alpha \cdot \left| \Delta T_1 \right|}{1.4} \\ + K_3 \cdot C_3 \cdot E_{a b} \cdot \left| \alpha_a \cdot T_a - \alpha_b \cdot T_b \right| + \frac{E \cdot \alpha \cdot \left| \Delta T_2 \right|}{0.7} \quad \dots \quad (3.52)$$

(d) 繰返しピーク応力強さ

$$S_\ell = \frac{S_p}{2} \quad \dots \quad (3.53)$$

(e) 疲労累積係数

$$\sum \left(\frac{n_i}{N_i} \right) \leq 1.0 \quad \dots \quad (3.54)$$

(2) 計算条件

a. 設計条件

表 3-1 設計条件

管番号	対応する 評価点	最高 使用圧力 (MPa)	最高 使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 クラス
NO. 1	最小断面						S
NO. 2	最小断面						S

b. 材料及び許容応力

表 3-2 使用材料の許容応力

材料	最高使用温度(℃)	許容応力(MPa)	
		S _m	S _y
		114	126
		114	126

c. 管の応力計算の計算条件

表 3-3 計算条件

項目	記号	単位	数値等	
			管 NO. 1	管 NO. 2
設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数	B_1	—		
設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数	B_2	—		
設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数	C_1	—		
設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数	C_2	—		
設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数	C_3	—		
管の外径	D_o	mm		
室温における材料の縦弾性係数	E	MPa		
構造上の不連続部分のうち応力集中度が最も高いと推定した点又は材質を異にする点を境とするそれぞれの側の室温における設計・建設規格付録材料図表 Part6 表 1 に規定する縦弾性係数の平均値	$E_{a b}$	MPa		
自重	F_w	N		
スクラム反力により生じる荷重	$F_{s c r}$	N		
設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数	K_1	—		
設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数	K_2	—		
設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数	K_3	—		
供用状態 A 及び B において生じる圧力	P_o	MPa		
管の厚さ	t	mm		
室温における設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 2 に規定する熱膨張係数	α	mm/mm℃		
構造上の不連続部分のうち応力集中度が最も高いと推定した点を境とするそれぞれの側の室温における設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 2 に規定する熱膨張係数	α_a	mm/mm℃		
構造上の不連続部分のうち応力集中度が最も高いと推定した点を境とするそれぞれの側の室温における設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 2 に規定する熱膨張係数	α_b	mm/mm℃		

3.2.4 管の耐震性についての計算

耐震性についての計算は添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、制御棒駆動機構が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価は、応力評価により行う。

(1) 荷重の組合せ及び許容応力

a. 荷重の組合せ及び許容応力状態

制御棒駆動機構の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

b. 許容応力

制御棒駆動機構の許容応力を表 3-6 に示す。

c. 使用材料の許容応力

制御棒駆動機構の使用材料の許容応力を表 3-7～表 3-8 に示す。

表 3-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統 設備	制御材駆動 装置	制御棒駆動機構	S	クラス 1 管	$D + P + M + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	Ⅳ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^*$	

表 3-5 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統 設備	制御材駆動 装置	制御棒駆動機構	常設／その他	重大事項等 クラス 2 管	$D + P_{SAS} + M_{SAS} + S_s$	V _A S ^{*2}

注記 *1：「常設／その他」は常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備以外の常設重大事故等対処設備を示す。

*2：V_A Sとして、Ⅳ_A Sの許容限界を用いる。

表 3-6 許容応力（クラス 1 管及び重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管）

許容応力状態	許容限界	
	一次応力	一次＋二次応力
Ⅲ _A S	$\text{Min}(2.25 \cdot S_m, 1.8 \cdot S_y)$	$3 \cdot S_m$ S_d 又は S_s 地震動のみによる応力振幅について評価する。
Ⅳ _A S V _A S [*]	$\text{Min}(3 \cdot S_m, 2 \cdot S_y)$	

注記 *：V_A Sとして、Ⅳ_A Sの許容限界を用いる。

表 3-7 使用材料の許容応力（設計基準対象施設）

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S _m	S _y	S _u	S _h
		114	126	—	—
		114	126	—	—

表 3-8 使用材料の許容応力（重大事故等対処設備）

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S _m	S _y	S _u	S _h
		114	126	—	—
		114	126	—	—

(2) 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 3-9 に示す。

表 3-9 設計用地震力（設計基準対象施設）

耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び 床面高さ (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	
			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
S	原子炉建屋 EL. 17.142 ^{*1}	— ^{*2}	—	C _v =0.73 ^{*3}	—	C _v =1.34 ^{*4}

注記 *1：制御棒駆動機構ハウジングの取付面のレベルを示す。

*2：制御棒駆動機構ハウジングの解析結果を用いるため、計算は省略する。

*3：弾性設計用地震動 S_d の震度と同等以上の設計震度又は静的震度

*4：基準地震動 S_s の震度と同等以上の設計震度

(3) 算式

地震荷重として制御棒駆動機構ハウジングの応答の最大値が作用するものとして実施する。

耐震評価モデルを図 3-4 に示す。

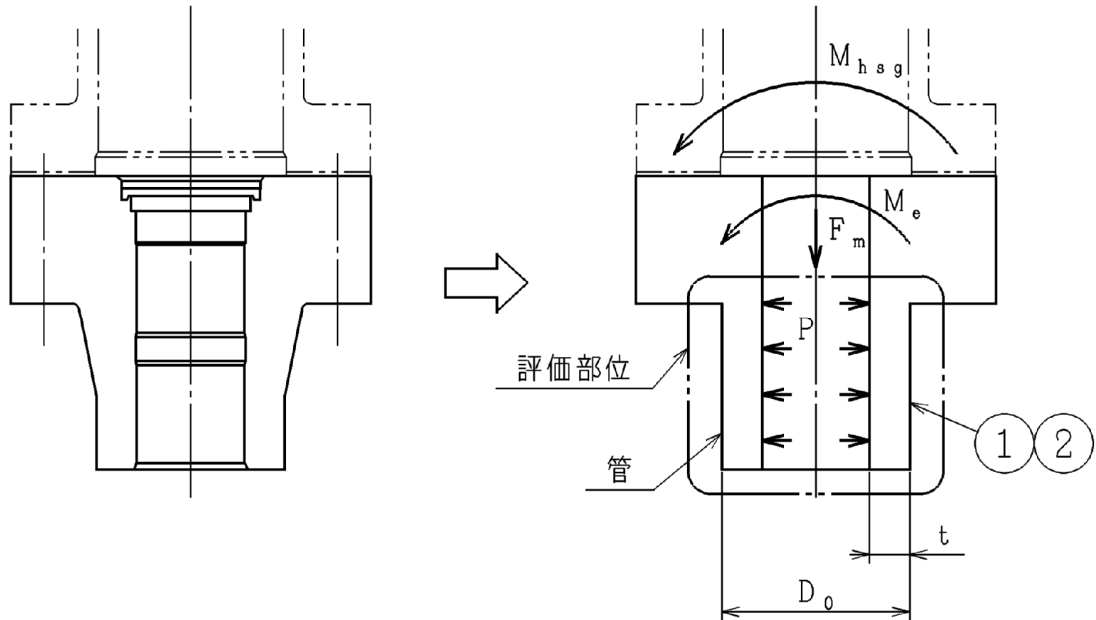


図 3-4 耐震評価モデル

a. 管に作用するモーメント

図 3-4 の評価部位において、鉛直方向に作用する荷重 F_m を管に作用するモーメント M_e へ換算する換算式は式 (3.46) となる。

(a) 管の機械的荷重（地震による慣性力を含む）により生じるモーメント

機械的荷重として自重とスクラム反力による荷重，地震による慣性力として地震動による鉛直荷重と応答モーメントを考慮すると以下となる。

$$M_{ip} = M_{hsg} + \frac{D_0^2 + (D_0 - 2 \cdot t)^2}{8 \cdot D_0} \cdot (F_w + F_{scr} + F_v) \quad \dots \dots \dots (3.55)$$

(b) 管の地震動の慣性力と相対変位により生じるモーメントの全振幅

相対変位は生じないことから，地震動の慣性力として地震動による鉛直荷重と応答モーメントを考慮すると以下となる。

$$M_{is} = \left\{ M_{hsg} + \frac{D_0^2 + (D_0 - 2 \cdot t)^2}{8 \cdot D_0} \cdot F_v \right\} \times 2 \quad \dots \dots \dots (3.56)$$

b. 耐震性についての計算

(a) 一次応力

$$S_{pr m} = \frac{B_1 \cdot P \cdot D_0}{2 \cdot t} + \frac{B_2 \cdot M_{ip}}{Z_i} \quad \dots \quad (3.57)$$

ここで,

$$Z_i = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_0^4 - (D_0 - 2 \cdot t)^4}{D_0} \quad \dots \quad (3.58)$$

とする。

(b) 一次+二次応力

$$S_n = \frac{C_2 \cdot M_{is}}{Z_i} \quad \dots \quad (3.59)$$

(c) ピーク応力

$$\begin{aligned} S_p \\ = \frac{K_2 \cdot C_2 \cdot M_{is}}{Z_i} \quad \dots \quad (3.60) \end{aligned}$$

(d) 繰返しピーク応力強さ

$$S_\ell = \frac{K_e \cdot S_p}{2} \quad \dots \quad (3.61)$$

(e) 疲労累積係数

$$\sum \left(\frac{n_i}{N_i} \right) \leq 1.0 \quad \dots \quad (3.62)$$

(4) 計算条件

a. 設計条件

表 3-10 設計条件

管番号	対応する 評価点	最高 使用圧力 (MPa)	最高 使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 クラス
NO. 1	最小断面						S
NO. 2	最小断面						S

b. 耐震評価の計算条件

表 3-11 計算条件

項目	記号	単位	数値等	
			管 NO. 1	管 NO. 2
設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数	B ₁	—		
設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数	B ₂	—		
設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数	C ₂	—		
管の外径	D _o	mm		
使用温度における材料の縦弾性係数	E	MPa		
自重	F _w	N		
スクラム反力により生じる荷重	F _{s c r}	N		
鉛直方向震度 (S _d) により生じる地震荷重	F _v	N		
鉛直方向震度 (S _s) により生じる地震荷重	F _v	N		
設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数	K ₂	—		
設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数	K _e	—		
水平方向震度 (S _d) により制御棒駆動機構ハウジングに生じるモーメントの最大値	M _{h s g}	N・mm		
水平方向震度 (S _s) により制御棒駆動機構ハウジングに生じるモーメントの最大値	M _{h s g}	N・mm		
地震と組合せるべき運転状態における圧力	P	MPa		
管の厚さ	t	mm		

3.3 運転条件

表 3-12 に運転条件を，図 3-5 に運転条件図を示す。

表 3-12 運転条件

運転状態	運転条件	回数	
I 及び II	耐圧試験（最高使用圧力以下）		
	起動（昇温）		
	タービントリップ及びその他のスクラム		
	定格出力運転（制御棒駆動機構隔離）		
	定格出力運転（単一制御棒スクラム）		
	燃料交換（スクラム）		
	原子炉給水ポンプ停止		
	逃がし安全弁誤作動		
III	過大圧力		
	自動減圧系誤作動		
	誤起動		
IV	冷却材喪失事故		

運転条件領域区分：制御棒駆動機構ハウジング面より下の領域

運転状態Ⅰ及びⅡ				
運転状態区分	C02	C03, C04	C10, C11	C12
運転条件				
運転名称	耐圧試験 (最高使用圧力以下)	起動	タービントリップ及びその他スクラム	定格出力運転
温度 (℃)				
圧力 (MPa)				

図 3-5(1) 運転条件図

運転状態区分	運転状態 I 及び II		
	C13, C14, C15, C16, C17	C19	C20
	停止	燃料交換	原子炉給水ポンプ停止
温度 (℃)			
圧力 (MPa)			

図 3-5(2) 運転条件図

運転状態区分	運転状態Ⅰ及びⅡ	運転状態Ⅲ		運転状態Ⅳ
運転条件	C21	C22	C23	C27
運転名称	逃がし安全弁誤作動	過大圧力	自動減圧系誤作動	冷却材喪失事故
温度 (℃)				
圧力 (MPa)				

図 3-5 (3) 運転条件図

4. 評価方法

4.1 固有周期の評価

制御棒駆動機構ハウジングの固有周期は 0.050 秒以下であることが確認でき、剛とみなすことができるため、制御棒駆動機構も剛とみなす。

4.2 応力の評価

4.2.1 管の強度評価

3.2.1 項で求めた管の最小厚さが以下の条件を満足し、かつ、許容応力状態における最高圧力が許容圧力以下であること。

(1) 管の最小厚さ	$t_s \geq t_s$
(2) 許容応力状態Ⅲ _A S の最高圧力	$P_C \leq P_{aC}$
(3) 許容応力状態Ⅳ _A S の最高圧力	$P_D \leq P_{aD}$

許容圧力は下表による。

許容圧力	
許容応力状態Ⅲ _A S	許容応力状態Ⅳ _A S
最高使用圧力の 1.5 倍	最高使用圧力の 2 倍

4.2.2 フランジの強度評価

3.2.2 項で求めたボルトの総有効断面積とフランジの応力が以下の条件を満足すること。

(1) ボルトの総有効断面積	$A_m < A_b$
(2) ハブの軸方向応力	
使用状態にあつては	$\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$
ガスケット締付時にあつては	$\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$
(3) フランジの径方向応力	
使用状態にあつては	$\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$
ガスケット締付時にあつては	$\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$
(4) フランジの周方向応力	
使用状態にあつては	$\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$
ガスケット締付時にあつては	$\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

4.2.3 管の応力評価

3.2.3 項で求めた組合せ応力が最高使用温度における許容応力以下であること。
許容応力は下表による。

応力の種類	許容応力
	供用状態 A, B
一次応力	設計応力強さ S_m の 1.5 倍
一次＋二次 応力	設計応力強さ S_m の 3 倍

4.2.4 管の耐震性についての評価

3.2.4 項で求めた組合せ応力が最高使用温度における許容応力以下であること。
許容応力は下表による。

応力の種類	許容応力	
	許容応力状態Ⅲ _A S	許容応力状態Ⅳ _A S
一次応力	設計応力強さ S_m の 2.25 倍と 設計降伏点 S_y の 1.8 倍の いずれか小さい方の値	設計応力強さ S_m の 3 倍と 設計降伏点 S_y の 2 倍の いずれか小さい方の値
一次＋二次 応力	設計応力強さ S_m の 3 倍 ただし、弾性設計用地震動 S_d 又は基準地震動 S_s のみによる応力 振幅について評価する。	

5. 評価結果

5.1 管の強度評価結果

管の強度計算の結果を表 5-1 に示す。

評価条件を満足しており，強度は十分であることを確認した。

5.2 フランジの強度評価結果

フランジの強度計算の結果を表 5-2～表 5-3 に示す。

評価条件を満足しており，強度は十分であることを確認した。

表 5-1 管の強度計算書（クラス 1 配管）

設計・建設規格 PPB-3411, PPB-3551 及び PPB-3561

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温度 (℃)	外径 D o (mm)	公称厚さ (mm)	材料	製 法	管 種	S m (MPa)	Q	t s (mm)	t (mm)	算 式	t r (mm)	最高圧力 P c P D (MPa)	許容圧力 P a c P a D (MPa)
1							1	114							
2							1	114							

評価： $t_s \geq t_r$, $P_c \leq P_{ac}$, $P_D \leq P_{aD}$, よって十分である。

表 5-2 フランジの強度計算書

設計・建設規格 PPB-3414

(J I S B 8 2 6 5 附属書3 適用)

設計条件			ボルトの計算			
NO.	F 1		H	(N)		
形 式	一体形		H _P	(N)		
設計圧力 P	(MPa)		W _{m1}	(N)		
最高使用圧力 P _o	(MPa)		W _{m2}	(N)		
最高使用温度	(°C)		A _{m1}	(mm ²)		
フランジ			m ₂	(mm ²)		
			A _m	(mm ²)		
材料			A _b	(mm ²)		
			W _o	(N)		
σ _{fa}	常温(ガスケット締付時) (20°C)	(MPa)		W _g	(N)	
σ _{fb}	最高使用温度(使用状態)	(MPa)		評価: A _m < A _b		
A	(mm)			よって十分である。		
B	(mm)			モーメントの計算		
C	(mm)			H _D	(N)	
g ₀	(mm)		h _D	(mm)		
g ₁	(mm)		M _D	(N・mm)		
R	(mm)		H _G	(N)		
ボルト			G	(mm)		
			M _G	(N・mm)		
材料			H _T	(N)		
σ _a	常温(ガスケット締付時) (20°C)	(MPa)	h _T	(mm)		
σ _b	最高使用温度(使用状態)	(MPa)	M _T	(N・mm)		
d _b	(mm)		M _o	(N・mm)		
d _i	(mm)		M _g	(N・mm)		
n			M _o '	(N・mm/mm)		
			g'	(N・mm/mm)		
ガスケット						
材料						
G	(mm)					
J	(N/mm)					

フランジの厚さと係数			応力の計算			
h _o	(mm)		σ _{Ho}	(MPa)	38	
f			σ _{Ro} ^{*1}	(MPa)	引張り	— ^{*2}
F					圧縮	16
V			σ _{To} ^{*1}	(MPa)	引張り	76
K					圧縮	42
T			σ _{Hg}	(MPa)	31	
U			σ _{Rg} ^{*1}	(MPa)	引張り	— ^{*2}
d	(mm ³)				圧縮	0
e	(mm ⁻¹)		σ _{Tg} ^{*1}	(MPa)	引張り	51
t	(mm)				圧縮	63
L		応力の評価 σ _{Ho} ≤ 1.5・σ _{fb} σ _{Hg} ≤ 1.5・σ _{fa} σ _{Ro} ≤ 1.5・σ _{fb} σ _{Rg} ≤ 1.5・σ _{fa} σ _{To} ≤ 1.5・σ _{fb} σ _{Tg} ≤ 1.5・σ _{fa} 以上より十分である。				
$\overline{R}$	(mm)					
I _T	(mm ⁴)					
$\overline{y}$	(mm)					
I _G	(mm ⁴)					
$\overline{\lambda}$	(mm)					
Y' ²						
Z' ²						

注記 *1：圧縮応力については絶対値を記載した。

*2：引張応力は発生しない。

断面 (n)	ℓ_n (mm)	t _n (mm)	y _n (mm)
断面 (0)			
断面 (1)			
断面 (2)			
断面 (3)			
断面 (4)			
断面 (5)			

表 5-3 フランジの強度計算書

設計・建設規格 PPB-3414

(J I S B 8 2 6 5 附属書3 適用)

設計条件			ボルトの計算		
NO.	F 2		H	(N)	
形 式	一体形		H _P	(N)	
設計圧力 P	(MPa)		W _{m1}	(N)	
最高使用圧力 P _o	(MPa)		W _{m2}	(N)	
最高使用温度	(°C)		A _{m1}	(mm ²)	
フランジ			A _{m2}	(mm ²)	
			A _m	(mm ²)	
			材料		
W _o	(N)				
σ _{fa}	常温(ガスケット締付時) (20°C) (MPa)		W _g	(N)	
σ _{fb}	最高使用温度(使用状態) (MPa)		評価: A _m < A _b		
A	(mm)		よって十分である。		
B	(mm)		モーメントの計算		
C	(mm)		H _D	(N)	
g ₀	(mm)	h _D	(mm)		
g ₁	(mm)	M _D	(N・mm)		
R	(mm)	H _G	(N)		
ボルト		G	(mm)		
		M _G	(N・mm)		
材料		H _T	(N)		
σ _a	常温(ガスケット締付時) (20°C) (MPa)	h _T	(mm)		
σ _b	最高使用温度(使用状態) (MPa)	M _T	(N・mm)		
d _b	(mm)	M _o	(N・mm)		
d _i	(mm)	M _g	(N・mm)		
n		M _{o'}	(N・mm/mm)		
ガスケット		g'	(N・mm/mm)		
材料					
G	(mm)				
J	(mm)				

フランジの厚さと係数		応力の計算				
h _o	(mm)		σ _{Ho}	(MPa)	38	
f			σ _{Ro} ^{*1}	(MPa)	引張り	— ^{*2}
F					圧縮	16
V			σ _{To} ^{*1}	(MPa)	引張り	76
K					圧縮	42
T			σ _{Hg}	(MPa)	31	
U			σ _{Rg} ^{*1}	(MPa)	引張り	— ^{*2}
d	(mm ³)				圧縮	0
e	(mm ⁻¹)		σ _{Tg} ^{*1}	(MPa)	引張り	51
t	(mm)				圧縮	63
L		応力の評価 σ _{Ho} ≤ 1.5・σ _{fb} σ _{Hg} ≤ 1.5・σ _{fa} σ _{Ro} ≤ 1.5・σ _{fb} σ _{Rg} ≤ 1.5・σ _{fa} σ _{To} ≤ 1.5・σ _{fb} σ _{Tg} ≤ 1.5・σ _{fa} 以上より十分である。				
$\overline{R}$	(mm)					
I _T	(mm ⁴)					
$\overline{y}$	(mm)					
I _G	(mm ⁴)					
$\overline{\lambda}$	(mm)					
Y' ²						
Z' ²						

注記 *1：圧縮応力については絶対値を記載した。

*2：引張応力は発生しない。

断面 (n)	ℓ_n (mm)	t_n (mm)	y_n (mm)
断面 (0)			
断面 (1)			
断面 (2)			
断面 (3)			
断面 (4)			
断面 (5)			

5.3 管の応力評価結果

管の応力計算の結果を表 5-4 に示す。

表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

表 5-4 管の応力計算書

設計・建設規格 PPB-3500

供用 状態	最大 応力 評価点	最大 応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次＋二次応力評 価 (MPa)				熱応力評価 (℃)		疲労評価
			一次応力	許容応力	一次＋ 二次応力	熱膨張 応力	熱を 除いた 一次＋ 二次応力	許容応力	温度差 の 変動範囲	許容 温度差	疲労 累積係数
			$S_{pr m}$	$1.5 \cdot S_m$	S_n	S_e	S_n'	$3 \cdot S_m$	ΔT		U
A, B	管NO. 1 最小断面	$S_{pr m}$	15	171	—	—	—	—	—	—	—
A, B		S_n	—	—	36	—	—	342	—	—	—
A, B		S_e	—	—	—	—	—	—	—	—	—
A, B		S_n'	—	—	—	—	—	—	—	—	—
A, B		U	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0000
A, B	管NO. 2 最小断面	$S_{pr m}$	15	171	—	—	—	—	—	—	—
A, B		S_n	—	—	36	—	—	342	—	—	—
A, B		S_e	—	—	—	—	—	—	—	—	—
A, B		S_n'	—	—	—	—	—	—	—	—	—
A, B		U	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0000

すべて許容応力以下である。

5.4 管の耐震性についての評価結果

制御棒駆動機構の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

(2) 弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

【制御棒駆動機構の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機 器 名 称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び 床面高さ (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		最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				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		
制御棒駆動機構	S	原子炉建屋 EL. 17.142 ^{*1}	— ^{*2}	—	CV=0.73 ^{*3}	—	CV=1.34 ^{*4}		—

注記 *1：制御棒駆動機構ハウジングの取付面のレベルを示す。
*2：制御棒駆動機構ハウジングの解析結果を用いるため、計算は省略する。
*3：弾性設計用地震動 S_d の震度と同等以上の設計震度又は静的震度
*4：基準地震動 S_s の震度と同等以上の設計震度

1.2 機器要目

部 材	D ₀ (mm)	t (mm)	M _{h s g} (N・mm)		F _w (N)	F _{s c r} (N)	F _v (N)		P (MP _a)	n _i (回)
			弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s			弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s		
管 NO. 1			7.099×10 ⁵	1.183×10 ⁶			2.847×10 ³	5.226×10 ³		
管 NO. 2			7.099×10 ⁵	1.183×10 ⁶			2.847×10 ³	5.226×10 ³		

部 材	Z_i (mm ³)	B_1	B_2	C_2	K_2	K_e	S_m (MP _a)	S_y (MP _a)	縦弾性係数 E (MP _a)
管NO. 1									
管NO. 2									

注記 *1：運転条件の回数に設計用地震応力繰返し回数（110 回）を加えた回数
*2：最高使用温度で算出

1.3 計算数値
管に作用するモーメント

部 材	M _{i p} (N・mm)		M _{i s} (N・mm)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
管NO. 1				
管NO. 2				

許容繰返し回数

部 材	S _p (MPa)		S ₁ (MPa)		N _i (回)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
管NO. 1						
管NO. 2						

1.4 結論
1.4.1 応力

許容応力状態	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価(MPa)		一次＋二次応力評価(MPa)		疲労評価
			一次応力 $S_{pr m}(S_d)$ $S_{pr m}(S_s)$	許容応力 $\text{Min}(2.25 \cdot S_m, 1.8 \cdot S_y)$ $\text{Min}(3 \cdot S_m, 2 \cdot S_y)$	一次＋二次応力 $S_n(S_d)$ $S_n(S_s)$	許容応力 $3 \cdot S_m$ $3 \cdot S_m$	疲労累積係数 $U+U S_d$ $U+U S_s$
ⅢAS	管NO. 1 最小断面	$S_{pr m}(S_d)$	19	226	—	—	—
ⅢAS		$S_n(S_d)$	—	—	9	342	—
ⅢAS		$U+U S_d$	—	—	—	—	0.0000
ⅣAS		$S_{pr m}(S_s)$	22	252	—	—	—
ⅣAS		$S_n(S_s)$	—	—	15	342	—
ⅣAS		$U+U S_s$	—	—	—	—	0.0000
ⅢAS	管NO. 2 最小断面	$S_{pr m}(S_d)$	19	226	—	—	—
ⅢAS		$S_n(S_d)$	—	—	9	342	—
ⅢAS		$U+U S_d$	—	—	—	—	0.0000
ⅣAS		$S_{pr m}(S_s)$	22	252	—	—	—
ⅣAS		$S_n(S_s)$	—	—	15	342	—
ⅣAS		$U+U S_s$	—	—	—	—	0.0000

すべて許容応力以下である。

V-2-6-3-2 制御棒駆動水圧系の耐震性についての計算書

V-2-6-3-2-1 制御ユニットの耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 適用基準	1
1.2 記号の説明	2
1.3 計算精度と数値の丸め方	4
2. 構造説明	4
3. 計算方法	6
3.1 解析モデル	6
3.2 機器要目	6
3.3 固有周期の計算方法	6
3.4 応力の計算方法	6
3.5 荷重の組合せ及び許容応力	6
3.5.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	6
3.5.2 許容応力	6
3.5.3 使用材料の許容応力	6
3.5.4 フレームの応力	12
3.5.5 取付ボルトの応力	13
4. 評価方法	14
4.1 固有周期の評価	14
4.2 フレームの応力評価	14
4.3 取付ボルトの応力評価	15
5. 評価結果	16
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	16
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	16

1. 一般事項

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、水圧制御ユニットが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価は、応力評価により行う。

水圧制御ユニットは、設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

1.1 適用基準

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 62 年 8 月）に準拠して評価する。

1.2 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A	フレームの断面積	mm ²
A _b	取付ボルトの軸断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D _o	外径	mm
D _i	内径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F [*]	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F _b	取付ボルトに作用する引張力	N
F _x	フレームの軸力 (x 方向)	N
F _y	フレームのせん断力 (y 方向)	N
F _z	フレームのせん断力 (z 方向)	N
f _b	フレームの許容曲げ応力	MPa
f _c	フレームの許容圧縮応力	MPa
f _s	フレームの許容せん断応力	MPa
f _{sb}	せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力	MPa
f _t	フレームの許容引張応力	MPa
f _{to}	引張力のみを受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
f _{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
I _y	フレームの断面二次モーメント (y 軸)	mm ⁴
I _z	フレームの断面二次モーメント (z 軸)	mm ⁴
I _p	フレームの断面二次極モーメント	mm ⁴
i	断面二次半径	mm
ℓ	取付ボルト間の距離	mm
ℓ _k	座屈長さ	mm
M _x	フレームのねじりモーメント (x 軸)	N・mm
M _y	フレームの曲げモーメント (y 軸)	N・mm
M _z	フレームの曲げモーメント (z 軸)	N・mm
m _i	荷重位置の質量 (i = a, b, c, d, e)	kg
Q _b	取付ボルトに作用するせん断力	N
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
S _y (RT)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40 °Cにおける値	MPa
X, Y, Z	絶対 (節点) 座標軸	—

記 号	記 号 の 説 明	単 位
x, y, z	局所（要素）座標軸	—
Z_p	フレームのねじり断面係数	mm^3
Z_y	フレームの断面係数（ y 軸）	mm^3
Z_z	フレームの断面係数（ z 軸）	mm^3
Λ	フレームの限界細長比	—
λ	フレームの有効細長比	—
ν	座屈に対する安全率	—
σ_b	フレームに生じる曲げ応力	MPa
σ_c	フレームに生じる圧縮応力	MPa
σ_f	フレームに生じる組合せ応力	MPa
σ_{fa}	フレームに生じる引張応力又は圧縮応力と曲げ応力の和	MPa
σ_t	フレームに生じる引張応力	MPa
σ_{tb}	取付ボルトに生じる引張応力	MPa
τ	フレームに生じるせん断応力	MPa
τ_b	取付ボルトに生じるせん断応力	MPa

注：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））J SME S NC 1－2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）をいう。

1.3 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表1-1に示すとおりである。

表1-1 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位 ^{*1}
質量		kg	—	—	整数位又は 小数点以下第1位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	部材断面寸法	mm	小数点以下第2位 又は第3位	四捨五入	小数点以下第1位 又は第2位
面積		mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
縦弾性係数		MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は，小数点以下第1位表示とする。

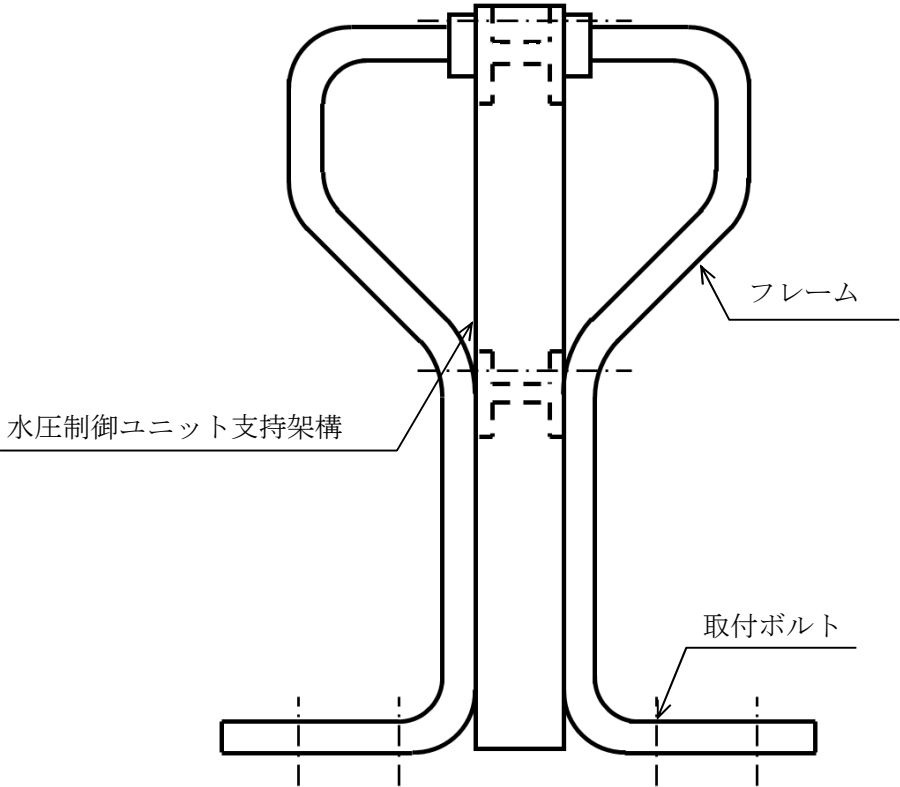
*2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

2. 構造説明

水圧制御ユニットの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
水圧制御ユニット	水圧制御ユニットのフレームは、十分剛な支持架構に取付ボルトにより固定されている。	支持構造物	

3. 計算方法

3.1 解析モデル

図 3-1 に解析モデルを示す。フレームの支持架構への取付け部分は固定とする。図 3-1 中 ○内の数字は要素番号，数字は節点番号を示す。また図 3-1 中の  は荷重位置を示し，実線はフレーム部材，点線はフレーム部と荷重位置の質量 $m_a \sim m_e$ とを結ぶ要素を示す。 m_a ， m_b は kg， m_c は kg， m_d は kg， m_e は kg であり，総質量は kg である。

3.2 機器要目

部材の応力算出に必要な機器要目を表 3-1 に示す。

3.3 固有周期の計算方法

図 3-1 に示されるように水圧制御ユニット全体についての振動解析を計算機コード「SAP-IV」を使用して行い，固有周期を求める。

3.4 応力の計算方法

図 3-1 に示した解析モデルについて，有限要素法（計算機コード「SAP-IV」）を用い各要素に発生する荷重及びモーメントを計算する。

作用する地震荷重は，基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による水平方向地震荷重と鉛直方向地震荷重とを同時に組み合わせるものとする。

3.5 荷重の組合せ及び許容応力

3.5.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

水圧制御ユニットの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-2 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-3 に示す。

3.5.2 許容応力

水圧制御ユニットの許容応力を表 3-4 に示す。

3.5.3 使用材料の許容応力

水圧制御ユニットの使用材料の許容応力を表 3-5～表 3-6 に示す。



図 3-1 水圧制御ユニット解析モデル（単位：mm）

表 3-1 部材の機器要目

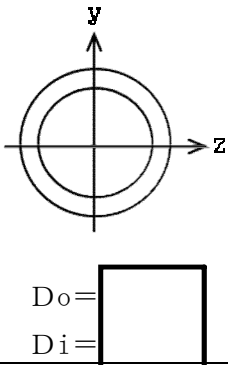
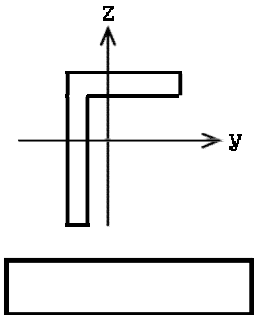
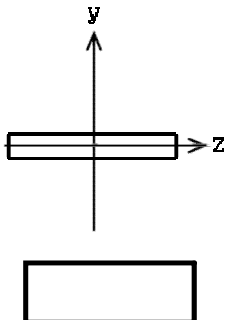
材料			
対象要素	①—⑭	⑮—⑰	⑱—⑳
A (mm ²)			
I _y (mm ⁴)			
I _z (mm ⁴)			
I _p (mm ⁴)			
断面形状 (mm)			

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の 組合せ	許容応力状態
計測制御系統 施設	制御材駆動 装置	水圧制御ユニット	S	クラス 2 支持構造物	$D + P_D + M_D + S_d^{*}$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

表 3-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の 組合せ	許容応力状態
計測制御系統 施設	制御材駆動 装置	水圧制御ユニット	常設耐震/防止	重大事故等 クラス 2 支持構造物	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S ^{*3}

注記 *1:「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*2:「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

*3: V_A Sとして、Ⅳ_A Sの許容限界を用いる。

表 3-4 許容応力（クラス 2 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物(クラス 2 支持構造物)）

許容応力 状 態	許 容 限 界 ^{*1} (ボ ル ト 等)	
	一 次 応 力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$ ^{*2}	$1.5 \cdot f_s^*$ ^{*2}
V _A S ^{*3}	$1.5 \cdot f_t^*$ ^{*2}	$1.5 \cdot f_s^*$ ^{*2}

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：F 値の算出時，S_yを $1.2 \cdot S_y$ と読み替える。

*3：V_AS として，Ⅳ_AS の許容限界を用いる。

表 3-5 使用材料の許容応力（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
フレーム		周囲環境温度		205	365	—
		周囲環境温度		241	394	—
取付ボルト		周囲環境温度		231	394	—

表 3-6 使用材料の許容応力（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
フレーム		周囲環境温度		190	357	—
		周囲環境温度		234	386	—
取付ボルト		周囲環境温度		225	386	—

3.5.4 フレームの応力

解析による計算で得られる各要素端での軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z より各応力を次のように求める。

- (1) 引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{|F_x|}{A} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\sigma_c = -\frac{|F_x|}{A} \dots\dots\dots (3.2)$$

- (2) せん断応力

$$\tau = \text{Max} \left\{ \sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A} + \frac{|M_x|}{Z_p}\right)^2 + \left(\frac{|F_z|}{A}\right)^2}, \sqrt{\left(\frac{|F_z|}{A} + \frac{|M_x|}{Z_p}\right)^2 + \left(\frac{|F_y|}{A}\right)^2} \right\} \dots\dots (3.3)$$

- (3) 曲げ応力

鋼管の場合は,

$$\sigma_b = \sqrt{\left(\frac{M_y}{Z_y}\right)^2 + \left(\frac{M_z}{Z_z}\right)^2} \dots\dots\dots (3.4)$$

形鋼の場合は,

$$\sigma_b = \frac{|M_y|}{Z_y} + \frac{|M_z|}{Z_z} \dots\dots\dots (3.5)$$

- (4) 組合せ応力

$$\sigma_f = \sqrt{\sigma_{fa}^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (3.6)$$

ここで,

$$\sigma_{fa} = \frac{|F_x|}{A} + \sigma_b \dots\dots\dots (3.7)$$

3.5.5 取付ボルトの応力

取付ボルトに生じる応力は，地震による引張応力とせん断応力について計算する。

(1) ボルト取付要領

水圧制御ユニットの取付ボルトの取付図を図 3-2 に示す。

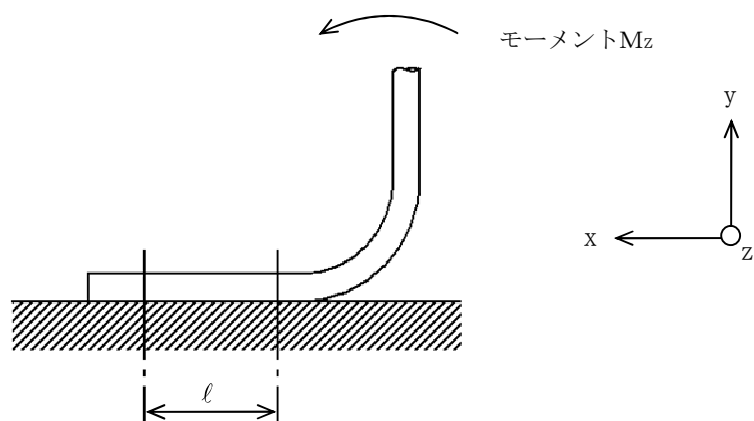


図 3-2 取付ボルトの取付図

(2) 引張応力

取付ボルトに対する引張応力は，ボルトの軸方向引張力 F_y とモーメント M_z を考え，これを保守的にボルトで受けるものとして計算する。

a. 引張力

$$F_b = |F_y| + \frac{|M_z|}{\ell} \dots\dots\dots (3.8)$$

b. 引張応力

$$\sigma_{tb} = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (3.9)$$

(3) せん断応力

a. せん断力

$$Q_b = \sqrt{|F_x|^2 + \left(|F_z| + \frac{|M_x|}{D_i} + \frac{|M_y|}{\ell} \right)^2} \dots\dots\dots (3.10)$$

b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{2 \cdot A_b} \dots\dots\dots (3.11)$$

4. 評価方法

4.1 固有周期の評価

3.3 節で求めた固有周期から添付書類「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、水平方向設計震度及び鉛直方向設計震度を求める。

4.2 フレームの応力評価

3.5.4 項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、許容組合せ応力は f_t 以下であること。

		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容応力状態		Ⅲ _A S	Ⅳ _A S, V _A S*
許容引張応力 f_t		$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_c	STPG370 ($\lambda \leq \Lambda$)	$\left\{1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\} \cdot \frac{F}{v} \cdot 1.5$	$\left\{1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\} \cdot \frac{F^*}{v} \cdot 1.5$
	SS400 ($\lambda > \Lambda$)	$0.277 \cdot F \cdot \left(\frac{\Lambda}{\lambda}\right)^2 \cdot 1.5$	$0.277 \cdot F^* \cdot \left(\frac{\Lambda}{\lambda}\right)^2 \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s		$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b		$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

注記 * : V_ASとして、Ⅳ_ASの許容限界を用いる。

ただし、

$$\lambda = \frac{\ell k}{i} \dots\dots\dots (4.1)$$

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} \dots\dots\dots (4.2)$$

基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \dots\dots\dots (4.3)$$

$$v = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2 \dots\dots\dots (4.4)$$

4.3 取付ボルトの応力評価

3.5.5 項で求めた取付ボルトの引張応力 σ_{tb} は、次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力は f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

かつ、

$$f_{ts} \leq f_{to} \quad \dots\dots\dots (4.6)$$

ただし、 f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容応力状態	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S, V _A S [*]
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

注記 * : V_A S として、Ⅳ_A S の許容限界を用いる。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

水圧制御ユニットの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

(2) 弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

水圧制御ユニットの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

【水圧制御ユニットの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機 器 名 称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び床面高さ (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		最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				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		
水圧制御ユニット	S	原子炉建屋 EL. 20.3 ^{*1}	0.009	$C_H=0.79^{*2}$	$C_V=0.62^{*2}$	$C_H=1.55^{*3}$	$C_V=1.17^{*3}$	—	

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：弾性設計用地震動 S_d の震度と同等以上の設計震度又は静的震度
*3：基準地震動 S_s の震度と同等以上の設計震度

1.2 機器要目

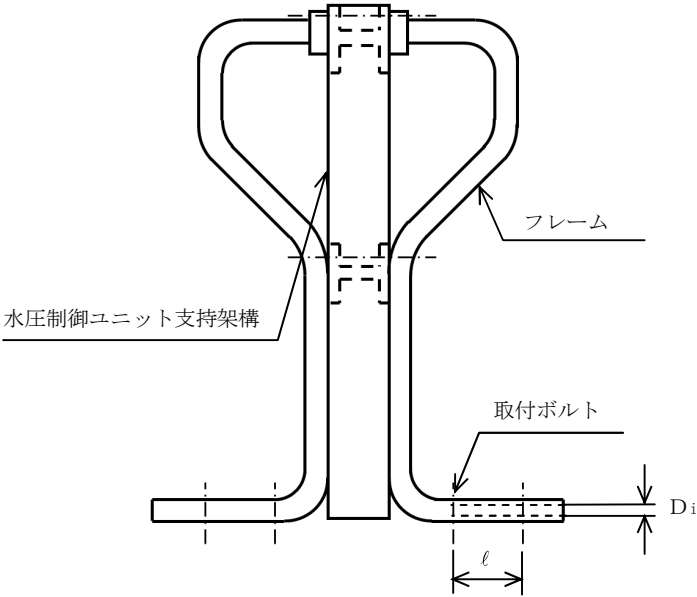
ℓ (mm)	Ab (mm ²)	Di (mm)

材料	E (MPa)	ℓ/k (mm)	i (mm)	λ	Λ	ν
STPG370						
SS400						

	要素番号	
	⑧ ⑩ ⑫	⑳
A (mm ²)		
Zy (mm ³)		
Zz (mm ³)		
Zp (mm ³)		
材料		

部材	材料	Sy (MPa)	Su (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
フレーム		205	365	205	246
		241 (厚さ ≤ 16 mm)	394	241	276
取付ボルト		231 (16 mm $<$ 径 ≤ 40 mm)	394	231	276

注記 *1：弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合
*2：基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合



1.3 計算数値

1.3.1 フレームの荷重及びモーメント

要素 番号	節点 番号	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	M _x (N・mm)	M _y (N・mm)	M _z (N・mm)
⑧	10						
⑩	10						
⑫	12						
⑳	20						

注：添え字 x， y， z は要素に与えられた座標軸で， x 軸は常に要素の長手方向にとる。

要素 番号	節点 番号	基準地震動S _s					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	M _x (N・mm)	M _y (N・mm)	M _z (N・mm)
⑧	10						
⑩	10						
⑫	12						
⑳	20						

注：添え字 x， y， z は要素に与えられた座標軸で， x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2 取付ボルトの荷重及びモーメント

要素 番号	節点 番号	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F x (N)	F y (N)	F z (N)	Mx (N・mm)	My (N・mm)	Mz (N・mm)
⑭	14						

注：添え字 x， y， z は要素に与えられた座標軸で， x 軸は常に要素の長手方向にとる。

要素 番号	節点 番号	基準地震動S _s					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F x (N)	F y (N)	F z (N)	Mx (N・mm)	My (N・mm)	Mz (N・mm)
⑬	13						
⑭	14						

注：添え字 x， y， z は要素に与えられた座標軸で， x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.4 結論

1.4.1 応力 (単位:MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度				基準地震動S _s			
			要素 番号	節点 番号	算出応力	許容応力	要素 番号	節点 番号	算出応力	許容応力
フレーム	STPG370	引張り	⑫	12	$\sigma_t=1$	$f_t=205$	⑫	12	$\sigma_t=1$	$f_t=246$
		圧縮	⑫	12	$\sigma_c=1^{*1}$	$f_c=183$	⑫	12	$\sigma_c=1^{*1}$	$f_c=214$
		せん断	⑩	10	$\tau=1$	$f_s=118$	⑩	10	$\tau=2$	$f_s=142$
		曲げ	⑧	10	$\sigma_b=2$	$f_b=205$	⑧	10	$\sigma_b=3$	$f_b=246$
		組合せ	⑧	10	$\sigma_f=2$	$f_t=205$	⑧	10	$\sigma_f=3$	$f_t=246$
	SS400	引張り	⑳	20	$\sigma_t=2$	$f_t=241$	⑳	20	$\sigma_t=4$	$f_t=276$
		圧縮	⑳	20	$\sigma_c=2^{*1}$	$f_c=18$	⑳	20	$\sigma_c=4^{*1}$	$f_c=18$
		せん断	⑳	20	$\tau=6$	$f_s=139$	⑳	20	$\tau=9$	$f_s=159$
		曲げ	⑳	20	$\sigma_b=40$	$f_b=241$	⑳	20	$\sigma_b=69$	$f_b=276$
		組合せ	⑳	20	$\sigma_f=43$	$f_t=241$	⑳	20	$\sigma_f=74$	$f_t=276$
取付ボルト	SS400	引張り	⑭	14	$\sigma_{tb}=1$	$f_{ts}=173^{*2}$	⑬	13	$\sigma_{tb}=1$	$f_{ts}=207^{*2}$
		せん断	⑭	14	$\tau_b=1$	$f_{sb}=133$	⑭	14	$\tau_b=1$	$f_{sb}=159$

すべて許容応力以下である。

注記 *1：絶対値を記載
 *2：(4.6)式より算出

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機 器 名 称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び床面高さ (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		最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				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		
水圧制御ユニット	－(S _s 機能維持)	原子炉建屋 EL. 20.3 ^{*1}	0.009	－	－	C _H =1.55 ^{*2}	C _V =1.17 ^{*2}	－	

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：基準地震動 S_s の震度と同等以上の設計震度

2.2 機器要目

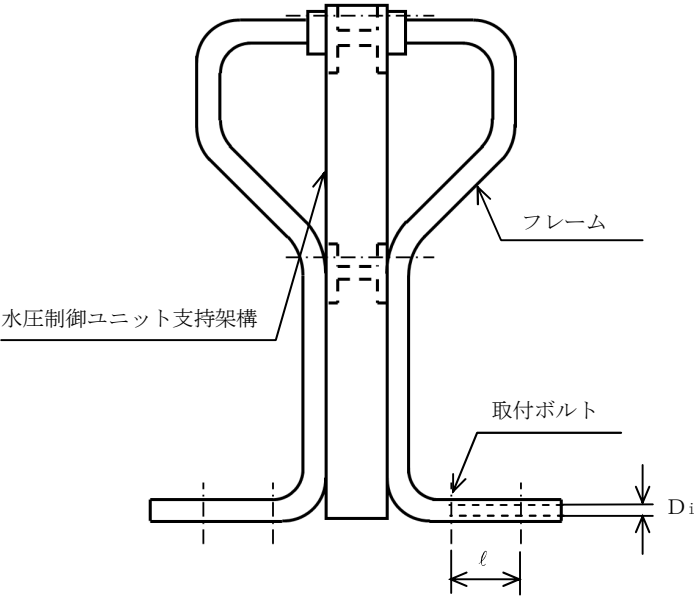
ℓ (mm)	Ab (mm ²)	Di (mm)

材料	E (MPa)	ℓ _k (mm)	i (mm)	λ	Λ	ν

	要素番号	
	⑧ ⑩ ⑫	⑳
A (mm ²)		
Z _y (mm ³)		
Z _z (mm ³)		
Z _p (mm ³)		
材料		

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F [*] (MPa)
フレーム		190	357	－	228
		234 (厚さ ≤ 16 mm)	386	－	270
取付ボルト		225 (16 mm < 径 ≤ 40 mm)	386	－	270

注記 *：基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合



2.3 計算数値

2.3.1 フレームの荷重及びモーメント

要素 番号	節点 番号	基準地震動 S _s					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	M _x (N・mm)	M _y (N・mm)	M _z (N・mm)
⑧	10						
⑩	10						
⑫	12						
⑳	20						

注：添え字 x， y， z は要素に与えられた座標軸で， x 軸は常に要素の長手方向にとる。

2.3.2 取付ボルトの荷重及びモーメント

要素 番号	節点 番号	基準地震動 S_g					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
⑬	13						
⑭	14						

注：添え字 x ， y ， z は要素に与えられた座標軸で， x 軸は常に要素の長手方向にとる。

2.4 結論

2.4.1 応力

(単位:MPa)

部材	材料	応力	基準地震動S _s			
			要素 番号	節点 番号	算出応力	許容応力
フレーム	STPG370	引張り	⑫	12	$\sigma_t=1$	$f_t=228$
		圧縮	⑫	12	$\sigma_c=1^{*1}$	$f_c=201$
		せん断	⑩	10	$\tau=2$	$f_s=131$
		曲げ	⑧	10	$\sigma_b=3$	$f_b=228$
		組合せ	⑧	10	$\sigma_f=3$	$f_t=228$
	SS400	引張り	⑳	20	$\sigma_t=4$	$f_t=270$
		圧縮	⑳	20	$\sigma_c=4^{*1}$	$f_c=18$
		せん断	⑳	20	$\tau=9$	$f_s=155$
		曲げ	⑳	20	$\sigma_b=69$	$f_b=270$
		組合せ	⑳	20	$\sigma_f=74$	$f_t=270$
取付ボルト	SS400	引張り	⑬	13	$\sigma_{tb}=1$	$f_{ts}=202^{*2}$
		せん断	⑭	14	$\tau_b=1$	$f_{sb}=155$

すべて許容応力以下である。

注記 *1：絶対値を記載
*2：(4.6)式より算出

V-2-6-3-2-2 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図	2

1. 概要

本計算書は、「付録6 管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針」及び「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」に基づき、管、支持構造物及び弁の耐震性についての計算を実施した結果を示したものである。

評価結果記載方法は以下に示す通りとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

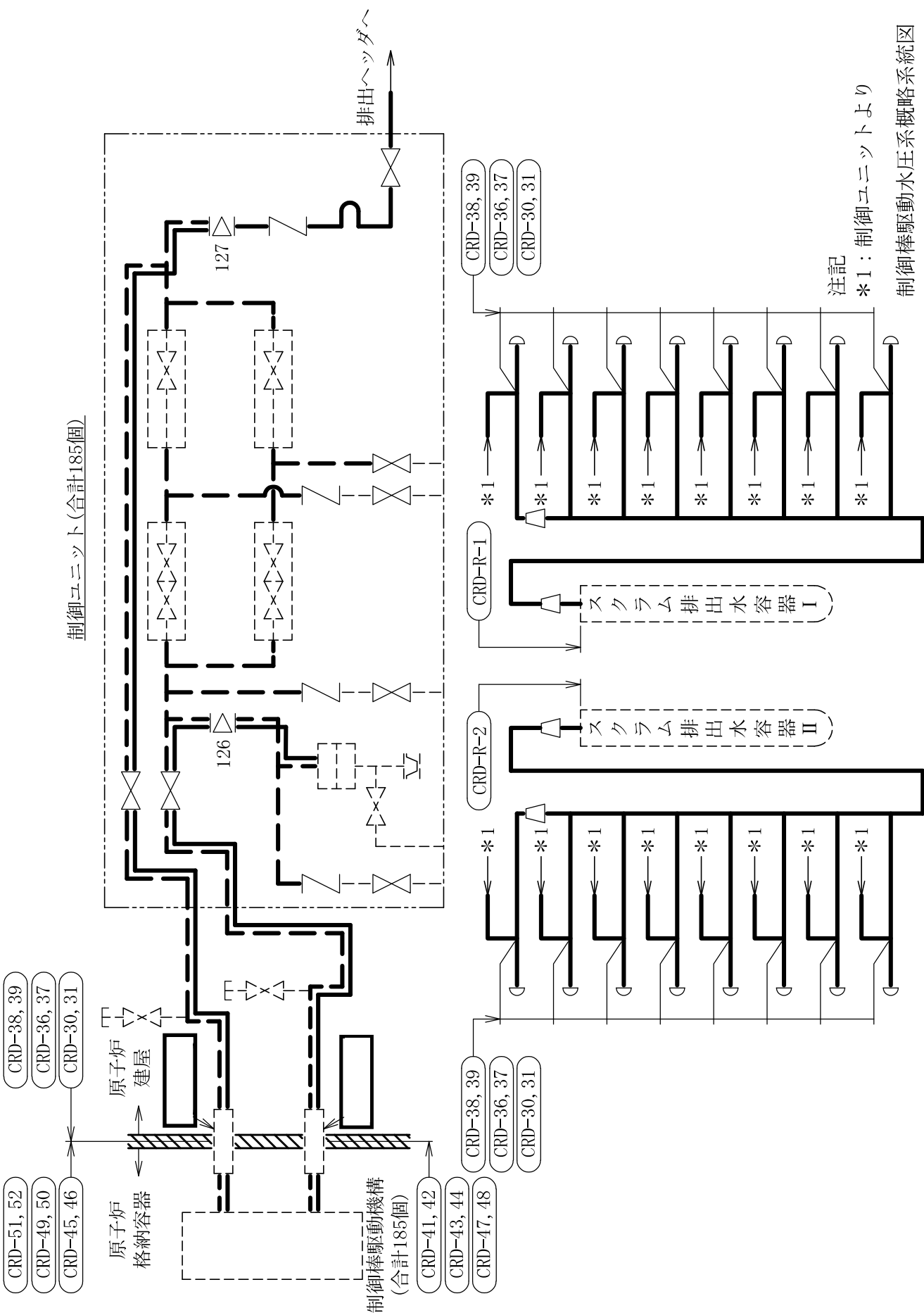
(3) 弁

機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (評価結果を記載する範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果の記載を省略する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



V-2-6-4 ほう酸水注入設備の耐震性についての計算書

V-2-6-4-1 ほう酸水注入系の耐震性についての計算書

V-2-6-4-1-3 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図	2

1. 概要

本計算書は、「付録6 管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針」及び「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」に基づき、管、支持構造物及び弁の耐震性についての計算を実施した結果を示したものである。

評価結果記載方法は以下に示す通りとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として記載する。

(2) 支持構造物

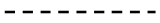
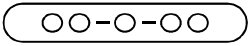
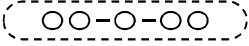
工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

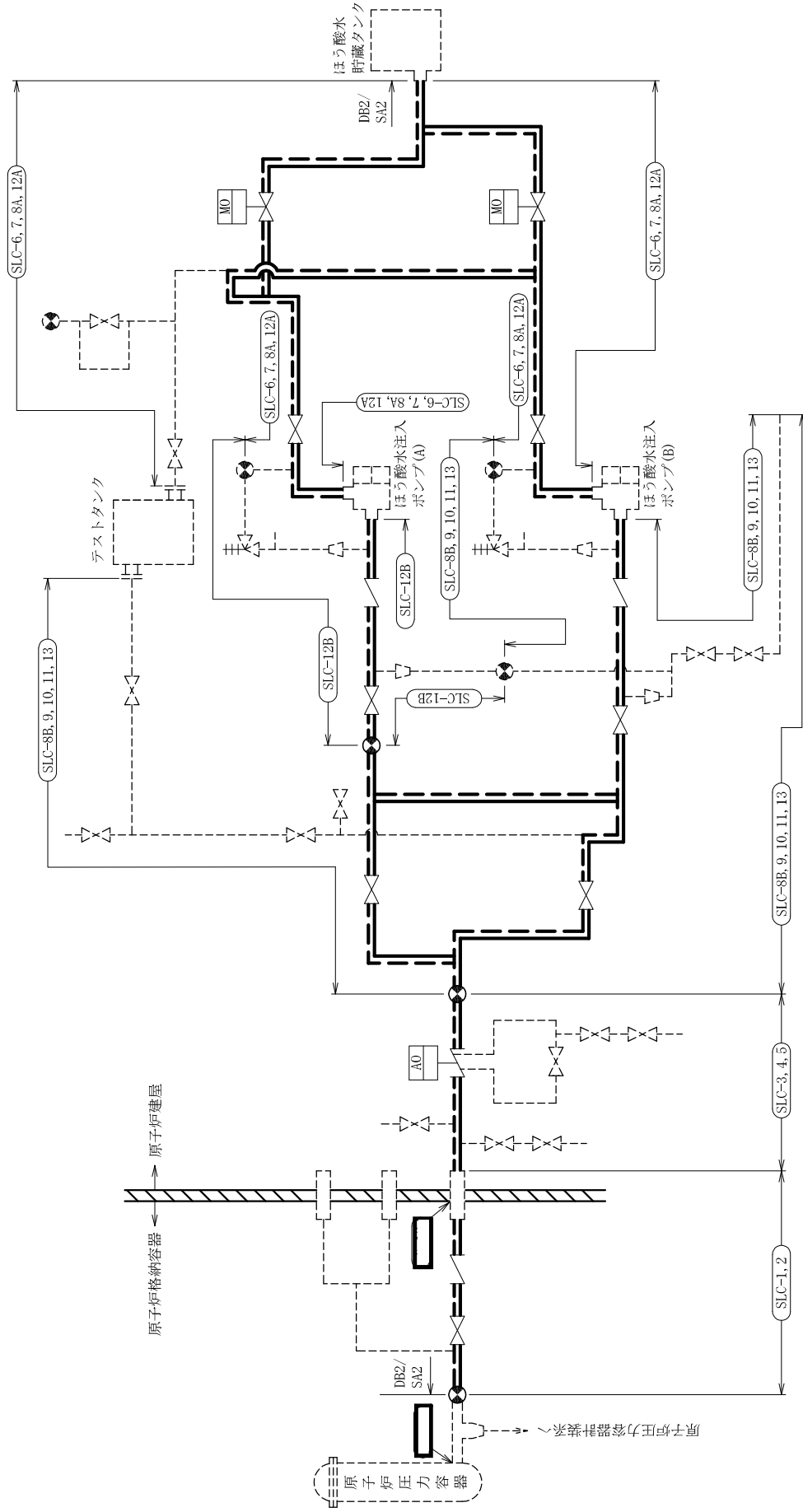
(3) 弁

機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (評価結果を記載する範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果の記載を省略する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



ほう酸水注入系概略系統図

V-2-6-5 計測装置の耐震性についての計算書

V-2-6-5-1 起動領域計装の耐震性についての計算書

目次

1.	概要	1
1.1	構造の説明	1
1.2	記号の説明	3
1.3	適用基準	4
1.4	形状・寸法・材料	4
1.5	解析範囲	4
1.6	計算条件	4
1.6.1	設計条件	4
1.6.2	運転条件	4
1.6.3	荷重の組合せと応力評価	4
1.6.4	材料	5
1.6.5	物性値	5
1.6.6	荷重の組合せ及び許容応力状態	5
1.6.7	許容応力	5
1.6.8	溶接部の継手効率	5
1.6.9	応力の記号と方向	5
2.	耐震計算	12
2.1	計算方法	12
2.2	形状・寸法	12
2.3	設計震度	12
2.4	計算結果	13
2.4.1	固有値解析結果	13
2.4.2	動的応答加速度	13
2.4.3	静的加速度	13
2.5	地震荷重	13
3.	応力計算	20
3.1	応力解析の手順	20
3.1.1	荷重条件	20
3.1.2	応力計算と応力の分類	20
3.1.3	応力の評価	21
3.2	応力計算	21
3.2.1	外圧による応力	21
3.2.2	外荷重による応力	21
3.3	応力強さの評価	23
3.3.1	一次一般膜応力強さの評価	23
3.3.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	23

4. 結論	28
4.1 固有周期	28
4.2 応力評価のまとめ	28
5. 参照図書	28

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	6
図 2-1	計算モデル	14
図 2-2	振動モード（刺激関数モード）	16
図 2-3	動的応答加速度分布図	17
図 3-1	地震荷重による応力の計算モデル	24
表 1-1	ドライチューブの構造計画	2
表 1-2	外荷重	7
表 1-3	ドライチューブの各許容応力状態における外圧	8
表 1-4	荷重の組合せ	8
表 1-5	応力計算に使用する材料の物性値	8
表 1-6	荷重の組合せ及び許容応力状態	9
表 1-7	許容応力	11
表 2-1	部材定数	15
表 2-2	節点質量	15
表 2-3	固有値解析結果	16
表 2-4	動的応答加速度	19
表 2-5	静的加速度	19
表 3-1	応力の分類	25
表 3-2	断面性状	26
表 3-3	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	27
表 3-4	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	27
表 4-1	計算結果の概要	29

1. 概要

本計算書は、起動領域計装ドライチューブ（以下「ドライチューブ」という。）（耐震設計上の重要度分類Sクラス）の耐震性についての計算書である。

なお、ドライチューブの設計用地震力を除く応力評価は、5章に示す平成4年6月3日付け発管業発第58号にて届出した起動領域計装設置工事 工事計画届出書 添付書類（以下、本書において「既工認」という。）による。

また、ドライチューブは、耐震Sクラスの設計基準対象施設であり、重大事故等対処設備に該当するが、重大事故等時の運転条件は、設計基準の運転条件に包絡されるため、設計基準対象施設としての評価のみを実施する。

1.1 構造の説明

ドライチューブの構造計画を表1-1に示す。

表 1-1 ドライチューブの構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
起動領域計装 (起動領域計装ドライチューブ)	原子炉圧力容器内上部格子板で支持，炉心支持板で固定される。	起動領域計装ドライチューブは，外径 の長尺円筒構造物である。	

1.2 記号の説明

本計算書において、下記の記号を使用する。ただし、本文中に別途記載ある場合は、この限りではない。

計算書の記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
E	縦弾性係数	MPa
H	水平力	N
I	断面二次モーメント	mm ⁴
L	リングからプランジャ先端までの長さ	mm
ℓ	リングからチャンネルボックスに接触する点までの距離	mm
ℓ'	リングから応力評価点までの距離	mm
P _b	一次曲げ応力	MPa
P _m	一次一般膜応力	MPa
P _o	外圧	MPa
S _d *	弾性設計用地震動 S _d により定まる地震力又は静的地震力	—
S _m	設計応力強さ	MPa
S _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	—
S _u	設計引張強さ	MPa
S _y	設計降伏点	MPa
V	鉛直力	N
t	厚さ	mm
δ_D	設計たわみ量	mm
η	溶接部の継手効率	—
σ_ℓ	軸方向応力	MPa
σ_r	半径方向応力	MPa
σ_t	周方向応力	MPa
$\tau_{t\ell}$	せん断応力	MPa

1.3 適用基準

発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））J S M E S N C 1-2005/2007）（日本機械学会 2007 年）（以下「設計・建設規格」という。）及び原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984）（日本電気協会電気技術基準調査委員会 昭和 59 年）を適用する。

注：本計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格 ○○○-△△△△(◇)a. (a)」として示す。

1.4 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。

1.5 解析範囲

応力計算は、図 1-1 に示す応力評価点について行う。

1.6 計算条件

1.6.1 設計条件

設計条件（最高使用圧力（外圧）、最高使用温度及び設計機械的荷重）は、既工認に示すとおりである。

1.6.2 運転条件

運転条件及び記号は、既工認に示すとおりである。

各運転条件における外荷重を、表 1-2 に示す。

各運転条件における、ドライチューブの外圧（原子炉圧力容器の内圧）の変化、周囲の流体の温度変化及びその繰返し回数は、既工認に示すとおりである。

なお、ドライチューブの外圧は、既工認より表 1-3 に示すとおりである。

1.6.3 荷重の組合せと応力評価

荷重の組合せと応力評価項目の対応を表 1-4 に示す。

表 1-4 及び本計算書において使用する荷重の種類と記号は、下記のとおりである。

荷 重	記 号
(1) ドライチューブの外圧（原子炉圧力容器の内圧）	[L01]
(2) 死荷重（機器の自重により生じる荷重）	[L04]
(3) 機器の地震時の振動による地震荷重 S_d^* （一次荷重）	[L14]
(4) 機器の地震時の振動による地震荷重 S_s （一次荷重）	[L16]

1.6.4 材料

材料は、次に示すとおりである。

パイプ：SUS304TB 相当（ASME SA-213）

1.6.5 物性値

応力計算に使用する材料の物性値は、下記のとおりである。

- (1) 縦弾性係数 E は、設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 1 に定められたものによる。
- (2) 応力計算に使用する物性値は、最高使用温度（302 °C）に対する値を用いる。
- (3) 材料の物性値を、表 1-5 に示す。

1.6.6 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、表 1-6 に示すとおりである。また、各許容応力状態で考慮する荷重は、1.6.2 項に示すとおりである。

1.6.7 許容応力

- (1) 設計応力強さ S_m 、設計降伏点 S_y 、設計引張強さ S_u は、それぞれ設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1、表 8 及び表 9 に定められたものを使用する。
- (2) 一次応力の評価には、各運転状態における流体の最高温度（運転状態 I 及び II : ）に対する許容応力を用いる。
- (3) ドライチューブの各運転状態の応力評価に用いる許容応力は、設計・建設規格 CSS-3110 により表 1-7 に示すとおりである。

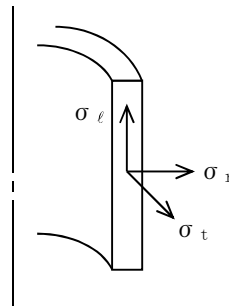
1.6.8 溶接部の継手効率

ドライチューブの応力評価点は、溶接部でないため $\eta = 1.00$ を用いる。

1.6.9 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、下記のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
 σ_ℓ : 軸方向応力
 σ_r : 半径方向応力
 $\tau_{t\ell}$: せん断応力



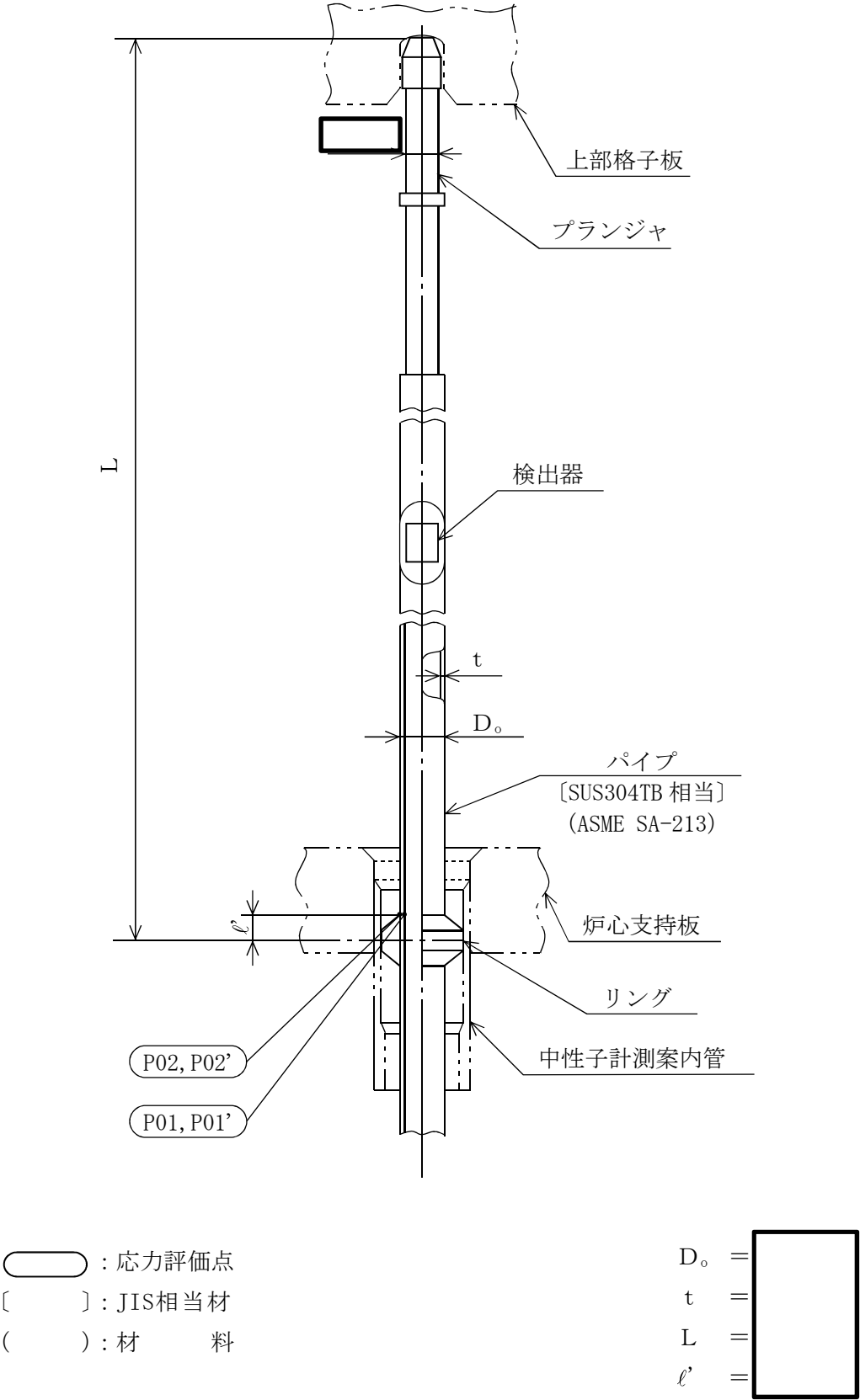


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位 : mm)

表 1-2 外荷重

記号	荷重名称	鉛直力	水平力	地震時ドライチューブ 設計たわみ量
		V (N)	H (N)	δ_D (mm)
L04	死荷重			
L14	地震荷重 S_d *			
L16	地震荷重 S_s			
注：				

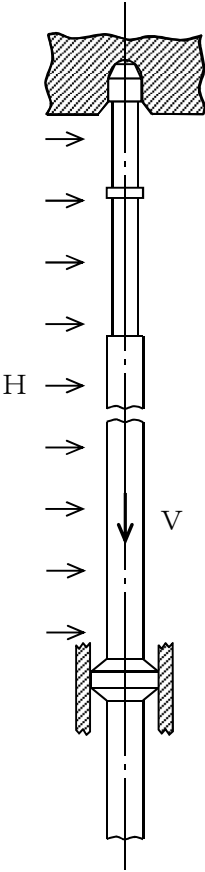


表 1-3 ドライチューブの各許容応力状態における外圧

(単位：MPa)

許容応力状態	外圧
Ⅲ _A S	
Ⅳ _A S	

表 1-4 荷重の組合せ

許容応力状態	荷重の組合せ	応力評価
Ⅲ _A S	L01+L04+L14	P_m $P_m + P_b$
Ⅳ _A S	L01+L04+L16	P_m $P_m + P_b$

表 1-5 応力計算に使用する材料の物性値

材料	温度 (°C)	E $\times 10^5$ (MPa)
オーステナイト系ステンレス鋼	302	

表 1-6(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	各運転状態による荷重	許容応力状態	荷重の組合せ
計測制御 系統設備	計測 装置	起動領域計装 ドライチューブ*	S	—	運転状態Ⅰによる荷重	Ⅲ _A S	P + D + S _d *
					運転状態Ⅱによる荷重		
					運転状態Ⅰによる荷重	Ⅳ _A S	P + D + S _s
					運転状態Ⅱによる荷重		

注：

P : 各運転状態における外圧

D : 死荷重

S_d * : 弾性設計用地震動 S_dにより定まる地震力又は静的地震力S_s : 基準地震動 S_sにより定まる地震力

注記 * : 炉心支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 1-6(2) 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	各運転状態による荷重	許容応力状態	荷重の組合せ
計装制御 系統設備	計測 装置	起動領域計装 ドライチューブ*2	常設耐震 ／防止	—	運転状態Ⅰによる荷重	$IV_A S$	$P + D + S_s$
					運転状態Ⅱによる荷重		
					運転状態Ⅴによる荷重	$V_A S^{*3}$	$P_{SAL} + D + S_d^{*}^{*4}$ $P_{SALL} + D + S_s^{*4}$

注：

- P : 各運転状態における外圧
 P_{SAL} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）で長期的に作用する圧力荷重
 P_{SALL} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）で超長期的に作用する圧力荷重
 D : 死荷重
 S_d^{*} : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又は静的地震力
 S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*2：炉心支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3： $V_A S$ として、 $IV_A S$ の許容限界を用いる。

*4：「 $P + D + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 1-7(1) 許容応力

(単位：MPa)

応力分類	一次一般膜応力 (P _m)	
許容応力状態	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
温度(℃)		
SUS304TB	172	260
許容応力の算出式	$1.5 \cdot S_m$	Min ($2.4 \cdot S_m$, $2/3 \cdot S_u$)

表 1-7(2) 許容応力

(単位：MPa)

応力分類	一次一般膜＋一次曲げ応力 (P _m ＋P _b)	
許容応力状態	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
温度(℃)		
SUS304TB	258	391
許容応力の算出式	$2.25 \cdot S_m$	Min ($3.6 \cdot S_m$, S_u)

2. 耐震計算

2.1 計算方法

- (1) 材料及び形状に関するデータから、電子計算機により、固有周期を求める。さらに、固有値解析結果より、モード解析法に基づき動的応答加速度を求める。

固有周期の計算は、計算機コード「SAP-IV」を用いて行う。

- (2) ドライチューブに対する地震荷重は、動的応答加速度及び静的加速度の両方について考慮する。

- (3) 動的解析において、ドライチューブの質量は、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*1により得られた炉心支持板及び上部格子板における応答スペクトル（減衰定数 1.0 %）*2を包絡してドライチューブに対する入力とする。

注記 *1：「V-2-3-2 炉心、原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」参照。

*2：「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」参照。

2.2 形状・寸法

ドライチューブの動的解析計算モデルを、図 2-1 に示す。



また、各部材の長さ、断面二次モーメント、せん断断面積及び各節点の質量を、表 2-1 及び表 2-2 に示す。



2.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

適用する地震動等		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	鉛直震度	応答水平震度	鉛直震度
1 次					
2 次					
3 次					
動的震度					
静的震度					

2.4 計算結果

2.4.1 固有値解析結果

固有値解析結果を，表 2-3 に示す。また，振動モードを図 2-2 に示す。

2.4.2 動的応答加速度

ドライチューブ節点位置における動的応答加速度を図 2-3 に示す。また，ドライチューブに作用する動的応答加速度の最大値を表 2-4 に示す。

2.4.3 静的加速度

ドライチューブに作用する静的加速度を，表 2-5 に示す。

2.5 地震荷重

ドライチューブに対する地震荷重を表 1-2 に示す。ここで，地震荷重 S_d^* については，表 2-4(1)及び表 2-5 に示すように静的加速度より動的応答加速度の方が大きいので，動的応答加速度を用いて求めた結果を示す。

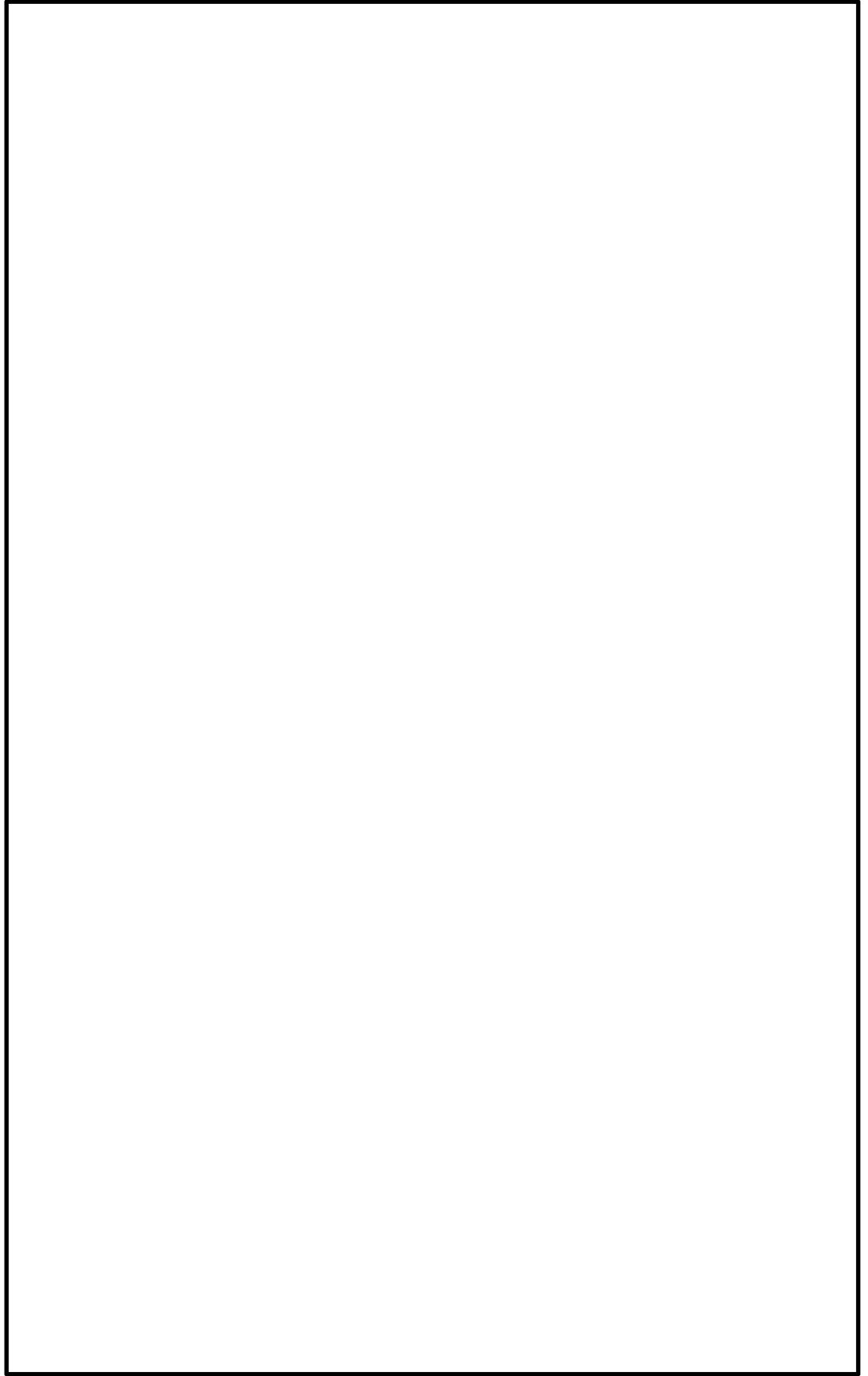


図 2-1 計算モデル

表 2-1 部材定数

部材番号	長さ (mm)	断面二次モーメント (mm ⁴)	せん断断面積 (mm ²)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

表 2-2 節点質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	

表 2-3 固有値解析結果

次数	固有周期（s）	刺激係数
1 次		
2 次		

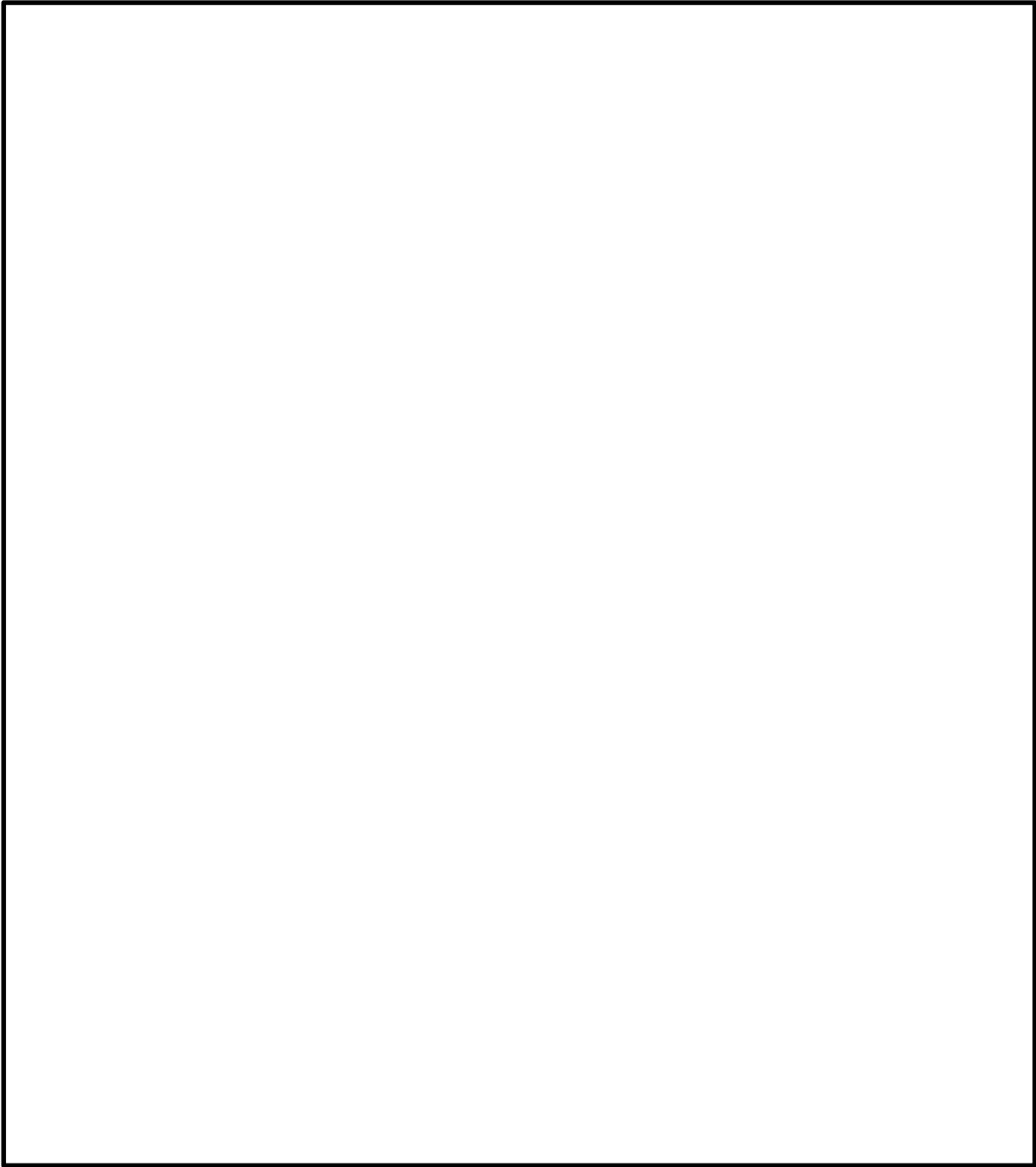


図 2-2 振動モード（刺激関数モード）

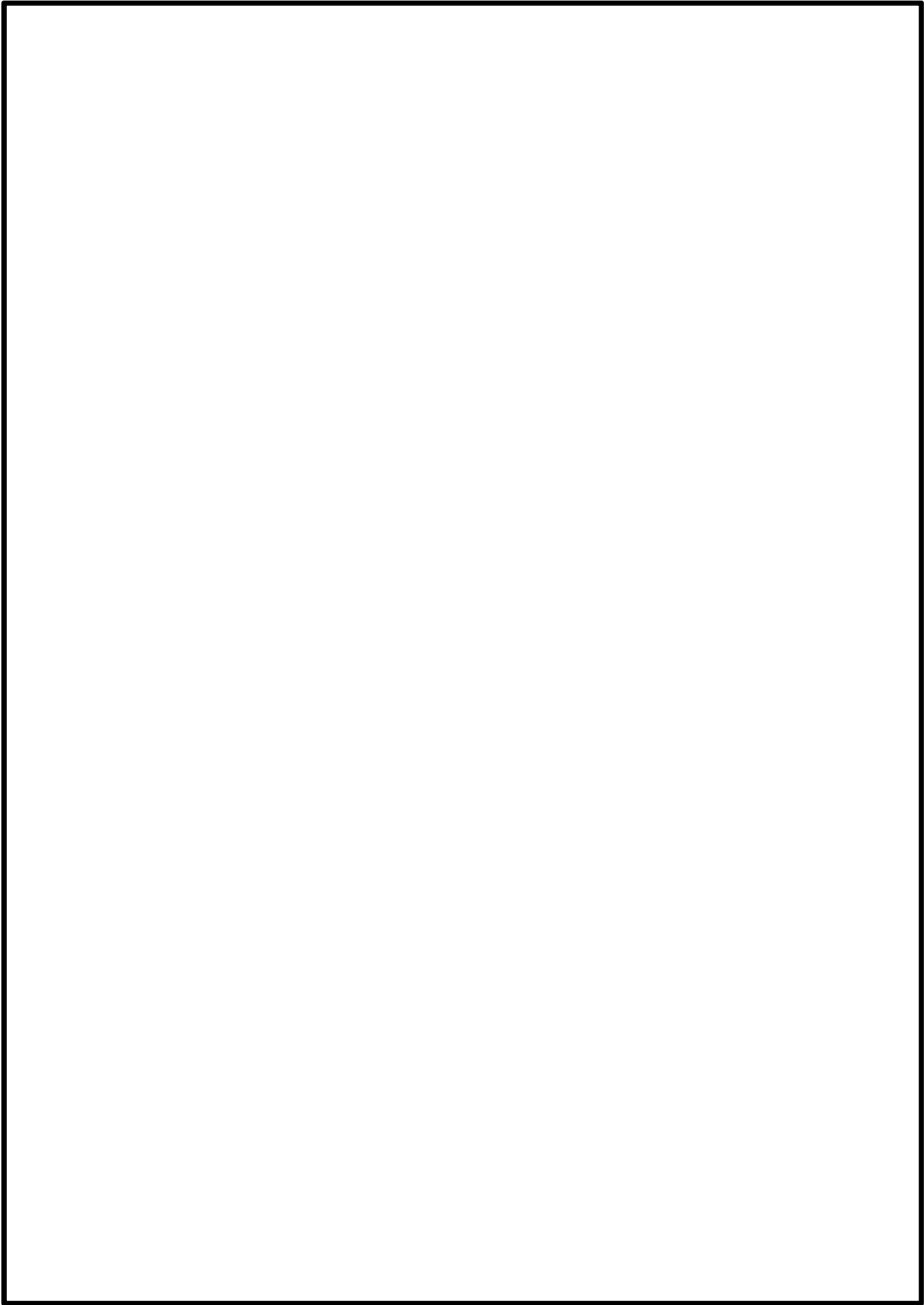


図 2-3(1) 動的応答加速度分布図
(弾性設計用地震動 S_d)

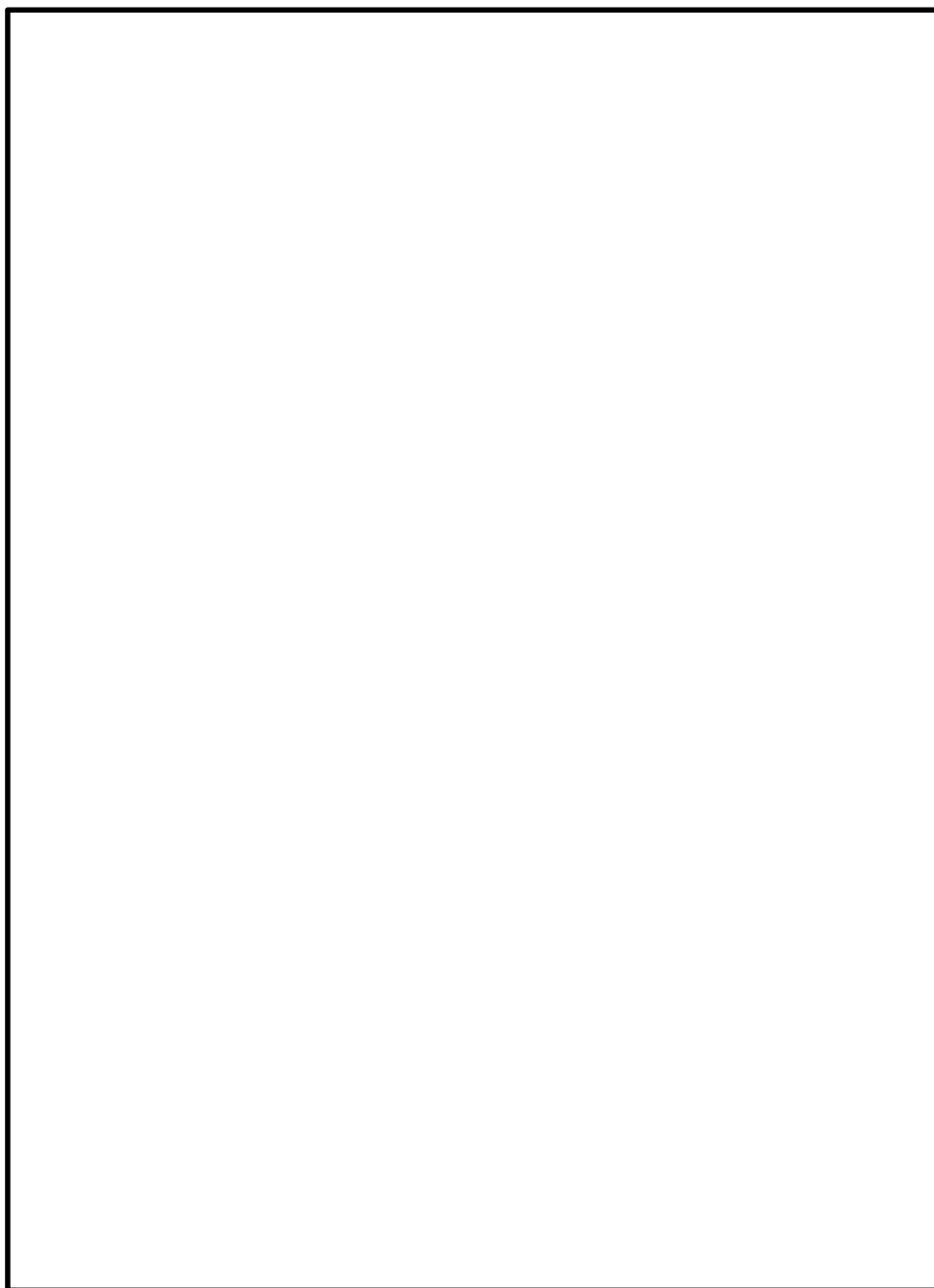


図 2-3(2) 動的応答加速度分布図
(基準地震動 S_s)

表 2-4(1) 動的応答加速度

(弾性設計用地震動 S_d)

(単位 : m/s^2)

位置	加速度
節点番号 6	

表 2-4(2) 動的応答加速度

(基準地震動 S_s)

(単位 : m/s^2)

位置	加速度
節点番号 6	

表 2-5 静的加速度

(単位 : m/s^2)

位置	加速度
炉心支持板	
上部格子板	

3. 応力計算

3.1 応力解析の手順

応力解析を行う手順について述べる。

3.1.1 荷重条件

荷重条件は 1 章に示す。

3.1.2 応力計算と応力の分類

(1) 応力計算の方法

- a. 応力計算は荷重の種類ごとに行う。荷重として与えられるものは次の 2 つである。
 - (a) 外圧
 - (b) 外荷重
- b. 解析する箇所の形状は、次の方針に従ってモデル化する。
 - (a) 構造の不連続を考慮して応力の最も厳しい箇所に応力評価点（面）を選ぶ。なお、軸対称モデル解析において、非軸対称な外荷重による応力評価を行った場合、荷重の入力方位と応力評価点の方位の関係により応力に極大値と極小値が生じる。外荷重による応力が極大となる方位の応力評価点は〔例 P01〕と表し、極小となる方位の応力評価点には、プライム（'）を付けて〔例 P01'〕と表す。
一次応力の評価は、内外面の応力評価点を含む断面（応力評価面）について行う。

(2) 応力の分類

応力の計算結果は、表 3-1 の応力の分類方法に従って分類し、計算を行う。

3.1.3 応力の評価

(1) 一次応力強さ

許容応力状態Ⅲ_AS 及び許容応力状態Ⅳ_AS において生じる一次一般膜応力及び一次一般膜＋一次曲げ応力の応力強さが，1.6.7 項及び 1.6.8 項に示す許容値を満足することを示す。

3.2 応力計算

3.2.1 外圧による応力

(1) 荷重条件 (L01)

ドライチューブの各許容応力状態における外圧を，表 1-3 に示す。

(2) 計算方法

a. 一次一般膜応力

外圧 P_o による一次一般膜応力は，次式で求める。

$$\sigma_t = -\frac{Y}{Y-1} \cdot P_o$$

$$\sigma_\lambda = -\frac{Y^2}{Y^2-1} \cdot P_o$$

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

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

なお，各応力評価点での D_o ， t は表 3-2 に示す。

b. 一次一般膜＋一次曲げ応力

外圧 P_o 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。

3.2.2 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

ドライチューブに働く外荷重を，表 1-2 に示す。

(2) 計算方法

外荷重による応力は，以下により求める。

a. 死荷重 (L04)

死荷重による応力は次式で求める。

$$\sigma_{\lambda} = -\frac{V}{A}$$

b. 地震荷重 (L14 及び L16)

(a) 水平方向地震荷重による応力



応力計算モデルを図 3-1 に示す。



応力評価点の曲げモーメント M_E 、せん断力 F_E は次のようになる。

$$M_E = P_B \cdot (\lambda - \lambda') - \frac{1}{2} \cdot w \cdot (\lambda - \lambda')^2$$

$$F_E = w \cdot (\lambda - \lambda') - P_B$$

ここで,

$$P_B = \frac{w \cdot \lambda}{3}$$

$$w = \frac{H}{L}$$

$$\lambda = \left(\frac{72 \cdot \delta_D \cdot E \cdot I}{w} \right)^{\frac{1}{4}}$$

なお、 I はパイプ母材に対する値を用いる。

したがって、応力評価点に生じる一次曲げ応力は次のようになる。

$$\sigma_{\lambda} = \pm \frac{M_E}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

また，各応力評価点で生じる一次一般膜応力は

$$\tau_{t\lambda} = \pm \frac{F_E}{A}$$

ただし，各応力評価点の D_0 ， A ， I は表 3-2 による。

(b) 鉛直方向地震荷重による応力

鉛直方向地震による応力は次式で求める。

$$\sigma_{\lambda} = \frac{V}{A}$$

3.3 応力強さの評価

応力強さの評価は，図 1-1 に示す応力評価点に対して行う。

3.3.1 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 3-3 に示す。

表 3-3 より，各許容応力状態の一次一般膜応力強さは，設計・建設規格 CSS-3111 を満足する。

3.3.2 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 3-4 に示す。

表 3-4 より，各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，設計・建設規格 CSS-3111 を満足する。

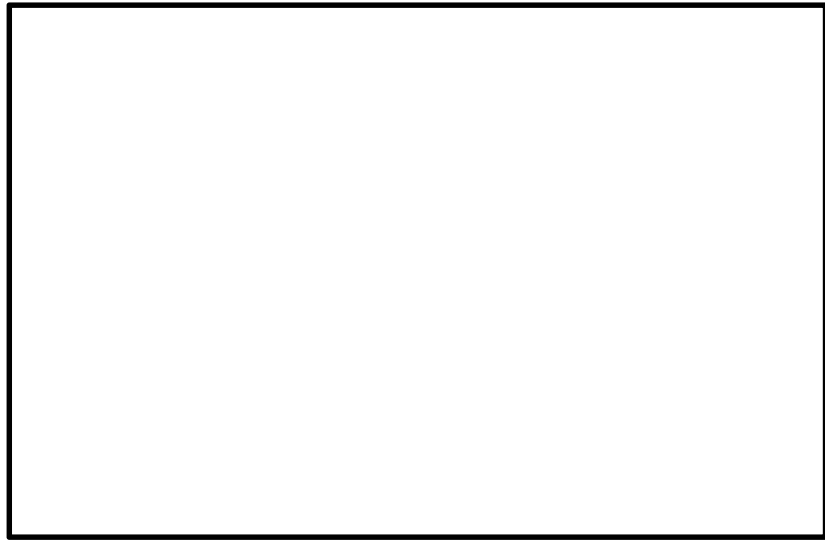


図 3-1 地震荷重による応力の計算モデル（単位：mm）

表 3-1 応力の分類

	位 置	荷重の種類	応力の分類	
管状構造物	不連続部より遠い部分	圧力差	一般膜応力	P_m
		外荷重又はモーメント	全断面について平均した一般膜応力 曲げ応力	P_m P_b

注：

- P_m ：圧力差又は機械的荷重によって生じる膜応力であって，構造上の不連続性及び局部的形状の変化によって生じる膜応力は除く。ただし，実際の応力評価では，応力評価面を構造上の不連続部にとることが多いので，内径，板厚がその応力評価面での値に等しい単純な殻を仮定し，シェル理論又ははり理論を用いて計算した応力を，その応力評価面における P_m とする。
- P_b ：外力，内力及びモーメントに対して，単純な平衡の法則を満足する曲げ応力をいう。

表 3-2 断面性状

応力評価点	t (mm)	D _o (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
P01, P02				

表 3-3 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	許容値	応力強さ	許容値
P01 P02	33	172	33	260
P01' P02'	33	172	33	260

表 3-4 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	許容値	応力強さ	許容値
P01 P02	130	258	187	391
P01' P02'	132	258	189	391

4. 結論

4.1 固有周期

次数	固有周期 (s)
1 次	
2 次	
3 次	

4.2 応力評価のまとめ

ドライチューブに生じる応力は、表 4-1 に示すようにすべて許容応力以下である。

5. 参照図書

東海第二発電所 起動領域計装設置工事 工事計画届出書 添付書類

(1) 1-2-1 起動領域計装ドライチューブの耐震性についての計算書

表 4-1 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 (MPa)			一次一般膜＋一次曲げ応力 (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
パイプ SUS304TB	Ⅲ _A S	33	172	P01'－P02'	132	258	P01'－P02'
	Ⅳ _A S	33	260	P01'－P02'	189	391	P01'－P02'

V-2-6-5-2 出力領域計装の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
1.1 構造の説明	1
1.2 記号の説明	3
1.3 適用基準	4
1.4 形状・寸法・材料	4
1.5 解析範囲	4
1.6 計算条件	4
1.6.1 荷重の組合せ及び供用状態	4
1.6.2 許容応力	4
1.6.3 応力の記号と方向	4
2. 耐震計算	8
2.1 計算方法	8
2.2 形状・寸法	8
3. 応力計算	10
3.1 応力解析の手順	10
3.1.1 解析手順の概要	10
3.1.2 荷重の選定	10
3.1.3 熱膨張差計算	10

1. 概要

本計算書は、平均出力領域モニタの出力領域計装（以下「L P R M」という。）検出器集合体（耐震設計上の重要度分類 S クラス）の耐震性についての計算書である。

なお、L P R M検出器集合体は、耐震 S クラスの設計基準対象施設であり、重大事故等対処設備に該当するが、重大事故等時の運転条件は、設計基準の運転条件に包絡されるため、設計基準対象施設としての評価のみを実施する。

1.1 構造の説明

L P R M検出器集合体の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1 L P R Mの構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
平均出力領域モニタ (出力領域計装検出器集合体)	原子炉圧力容器内上部格子板で支持，炉心支持板で固定される。	出力領域計装検出器集合体は，カバーチューブの内側に校正用導管を内蔵する構造の長尺円筒構造物である。	

1.2 記号の説明

本計算書において、下記の記号を使用する。ただし、本文中に別途記載ある場合は、この限りではない。

計算書の記号	記号の説明	単位
L	リングからプランジャ先端までの長さ	mm
ℓ	リングからチャンネルボックスに接触する点までの距離	mm
ℓ'	リングから応力評価点までの距離	mm
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又は静的地震力	—
S_m	設計応力強さ	MPa
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	MPa
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa

1.3 適用基準

発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））J S M E S N C 1-2005/2007）（日本機械学会 2007 年）（以下「設計・建設規格」という。）及び原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年）を適用する。

1.4 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。

1.5 解析範囲

応力計算は、図 1-1 に示す応力評価点について行う。

1.6 計算条件

1.6.1 荷重の組合せ及び供用状態

荷重の組合せ及び供用状態は、表 1-2 及び表 1-3 に示すとおりである。

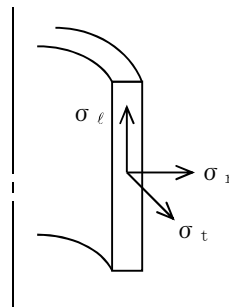
1.6.2 許容応力

- (1) 設計応力強さ S_m ，設計降伏点 S_y ，設計引張強さ S_u はそれぞれ設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1，表 8 及び表 9 に定められたものを使用する。
- (2) 設計条件の評価には，最高使用温度（302℃）に対する許容応力を用いる。供用状態 A 及び B，供用状態 C 並びに D の一次応力の評価には，各供用状態を定義する運転状態における流体の最高温度（運転状態Ⅰ及びⅡ： ，運転状態Ⅲ： ，運転状態Ⅳ： ）に対する許容応力を用いる。供用状態 A 及び B の一次＋二次応力及び繰返し荷重の評価には，運転温度 ：定格出力運転時の蒸気温度）に対する許容応力を用いる。
- (3) 許容外圧は，設計・建設規格 CSS-3220 による。

1.6.3 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は，下記のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
 σ_ℓ : 軸方向応力
 σ_r : 半径方向応力
 $\tau_{t\ell}$: せん断応力



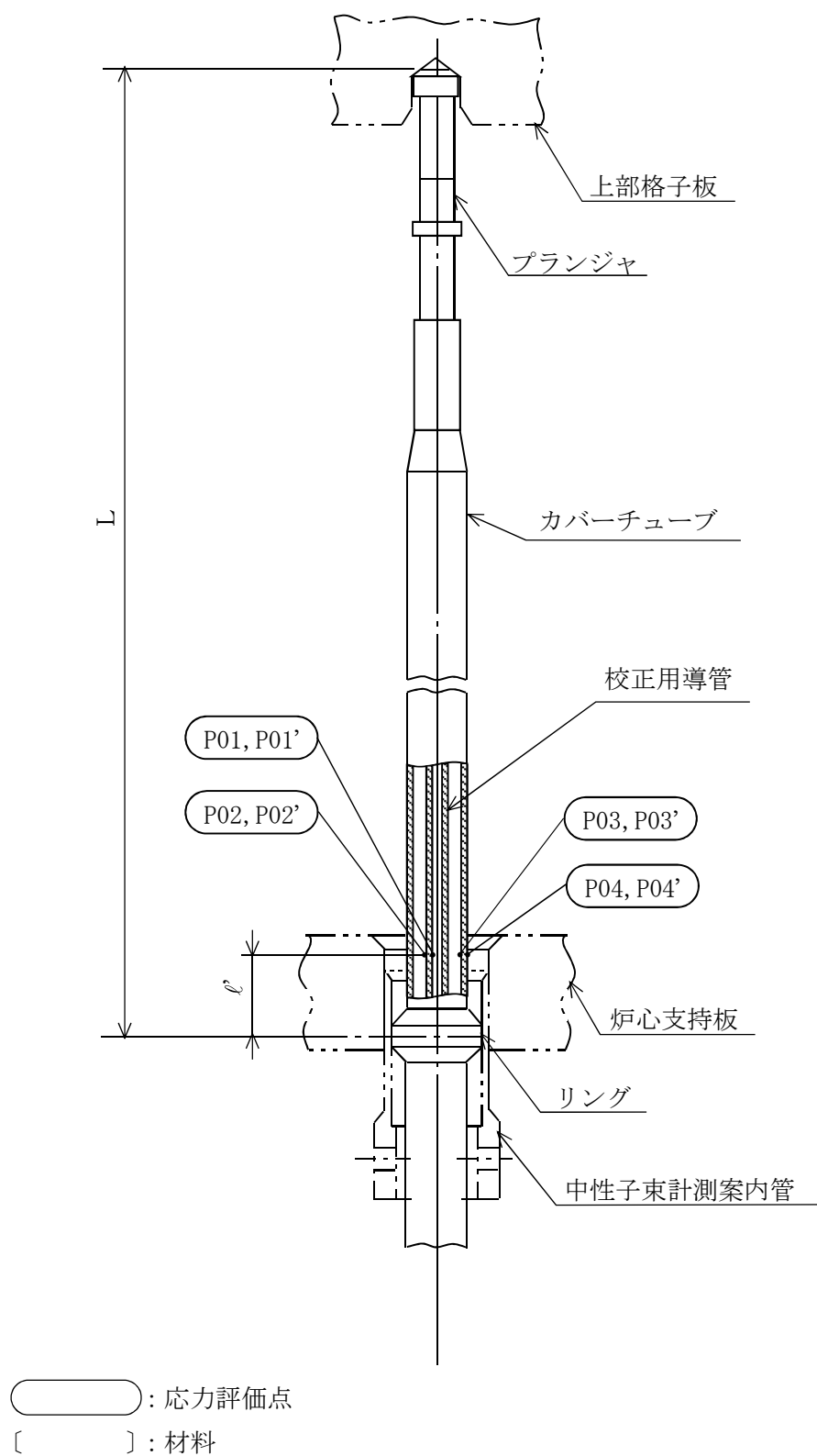


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-2 荷重の組合せ及び供用状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	各運転状態による荷重	供用状態	荷重の組合せ
計測制御 系統設備	計測 装置	平均出力領域モニタ L P R M	S	—	設計条件による荷重	設計条件	$P_D + M$
					運転状態Ⅰによる荷重	A	$P + D$
					運転状態Ⅱによる荷重	B	
					運転状態Ⅲによる荷重	C	$P + D$
					運転状態Ⅳ(L)による荷重 ^{*1}	D	$P + D$
					運転状態Ⅳ(S)による荷重 ^{*2}		
					運転状態Ⅰによる荷重	Ⅲ _A S	$P + D + S_d^*$
					運転状態Ⅱによる荷重		
					運転状態Ⅰによる荷重	Ⅳ _A S	$P + D + S_s$
					運転状態Ⅱによる荷重		

注：

 P_D : 最高使用圧力（外圧）

M : 設計機械的荷重

P : 各運転状態における外圧

D : 死荷重

 S_d^* : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又は静的地震力 S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

注記 *1：運転状態Ⅳ(L)による荷重とは、運転状態Ⅳによる荷重のうち長期荷重を表す。

*2：運転状態Ⅳ(S)による荷重とは、運転状態Ⅳによる荷重のうち短期荷重を表す。

表 1-3 荷重の組合せ及び供用状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	各運転状態による荷重	供用状態	荷重の組合せ
計装制御 系統設備	計測 装置	平均出力領域モニタ L P R M	常設耐震 ／防止	—	運転状態Ⅰによる荷重	IV _A S	P + D + S _s
					運転状態Ⅱによる荷重		
					運転状態Ⅴによる荷重	V _A S *3	$P_{SAL} + D + S_d^{*4}$ $P_{SALL} + D + S_s^{*4}$

注：

- P : 各運転状態における外圧
 P_{SAL} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）で長期的に作用する圧力荷重
 P_{SALL} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）で超長期的に作用する圧力荷重
 D : 死荷重
 S_d^{*} : 弾性設計用地震動 S_dにより定まる地震力又は静的地震力
 S_s : 基準地震動 S_sにより定まる地震力

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：炉心支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：V_A S として，IV_A S の許容限界を用いる。

*4：「P + D + S_s」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

2. 耐震計算

2.1 計算方法

- (1) 材料及び形状に関するデータから，電子計算機により，固有周期を求める。さらに，固有値解析結果より，モード解析法に基づき動的応答加速度を求める。

固有周期の計算は，計算機コード「SAP-IV」を用いて行う。

- (2) LPRM検出器集合体に対する地震荷重は動的応答加速度及び静的加速度の両方について考慮する。

- (3) 動的解析においてLPRM検出器集合体の質量は，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^{*1}により得られた炉心支持板及び上部格子板における応答スペクトル(減衰定数 1.0%)^{*2}を包絡してLPRM検出器集合体に対する入力とする。

注記 *1:「V-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」参照。

*2:「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」参照。

2.2 形状・寸法

LPRM検出器集合体の動的解析計算モデルを，図2-1に示す。



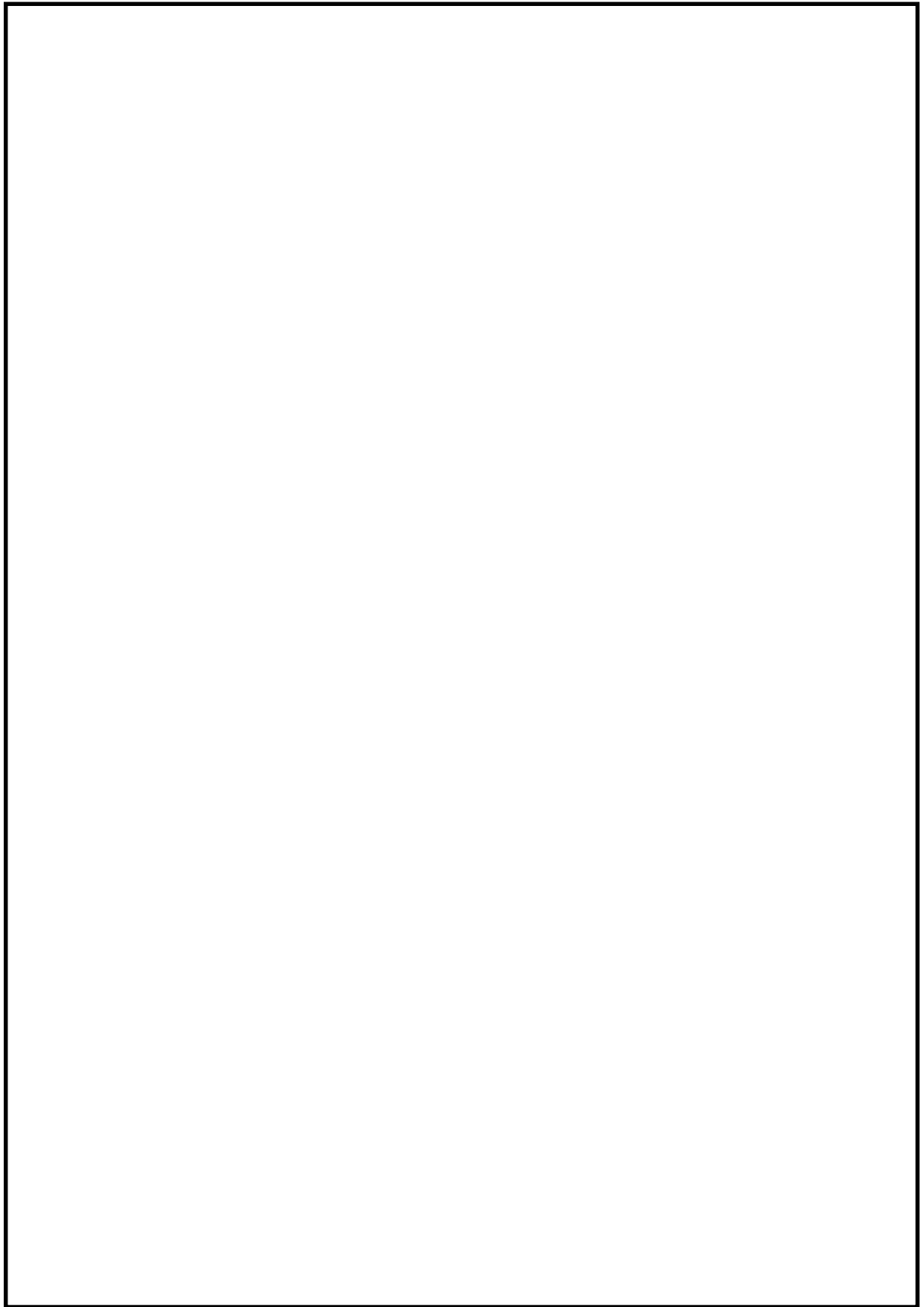


図 2-1 計算モデル

3. 応力計算

3.1 応力解析の手順

応力解析を行う手順について述べる。

3.1.1 解析手順の概要

解析手順の概要を，図 3-1 に示す。

3.1.2 荷重の選定

各部の計算においては，その部分について作用する荷重を選定して計算を行う。

3.1.3 熱膨張差計算

LPRM検出器集合体では，図 1-1 のプランジャが内部のバネにより伸縮可能であり，熱膨張差による支持点あるいは，拘束点の相対変位は発生しない。

したがって，熱膨張差計算は行わない。

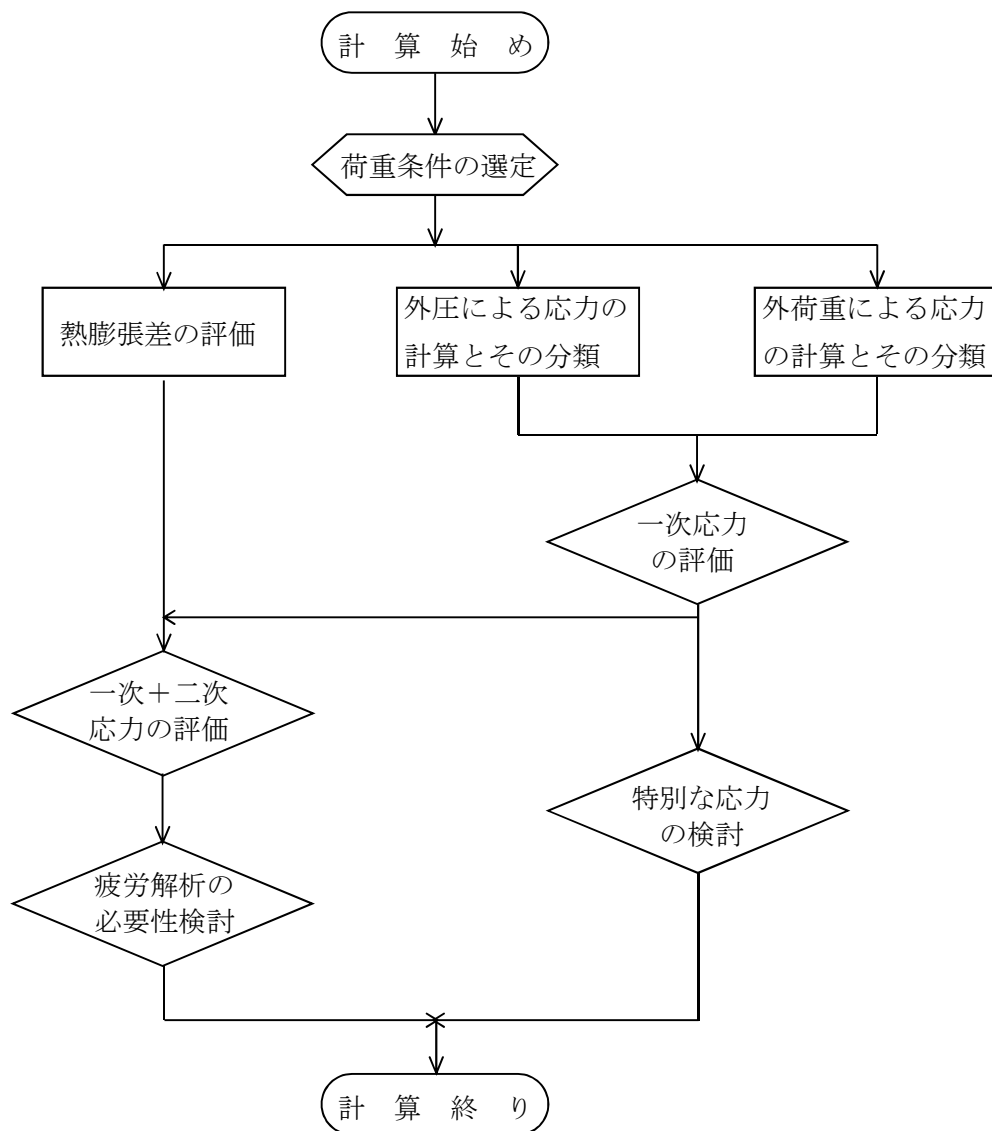


図 3-1 応力解析の手順

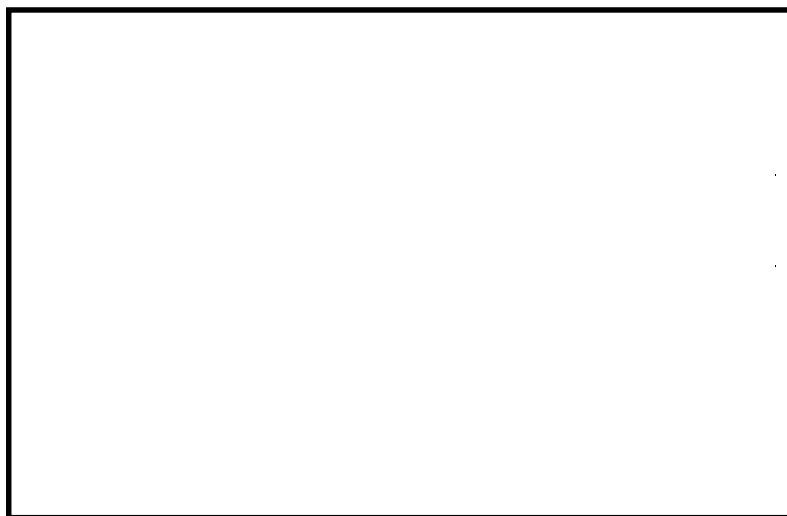


図 3-2 地震荷重による応力の計算モデル（単位：mm）

V-2-6-5-3 主蒸気流量計の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1

2. 一般事項 1

 2.1 構造計画 1

3. 構造強度評価 3

 3.1 構造強度評価方法 3

 3.2 荷重の組合せ及び許容応力 3

4. 機能維持評価 7

 4.1 電氣的機能維持評価方法 7

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、主蒸気流量計が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

主蒸気流量計は、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。

2. 一般事項

2.1 構造計画

主蒸気流量計の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は、計器取付ボルトにより計器取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器ラックに固定される。 計器ラックは、チャンネルベースにラック取付ボルトで設置する。	計器ラック	

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

主蒸気流量計の構造は垂直自立型計装ラックであるため、構造強度評価は、添付書類「付録 8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

主蒸気流量計の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

主蒸気流量計の許容応力を表 3-2 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力

主蒸気流量計の使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-3 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	主蒸気流量計	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d$ *	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 3-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。
*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3－3 使用材料の許容応力（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
ラック取付ボルト		周囲環境温度		245	400	—

4. 機能維持評価

4.1 電氣的機能維持評価方法

主蒸気流量計の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「付録8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

主蒸気流量計に設置される検出器の機能確認済加速度には、同形式の検出器の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

V-2-6-5-4 原子炉圧力容器温度計の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、原子炉圧力容器温度計が設計用地震力に対して十分な電氣的機能を有していることを説明するものである。

原子炉圧力容器温度計は、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、分類に応じた電氣的機能維持評価を示す。

V-2-6-5-5 高圧代替注水系系統流量計の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造の概要	1
2.3 評価方針	2
2.4 適用規格	2
3. 固有値解析	3
3.1 基本方針	3
3.2 固有振動数の計算方法	3
3.2.1 計器スタンションの固有振動数の計算	3
3.2.2 記号の説明	4
3.2.3 固有値解析結果	4
3.2.3.1 計器スタンションの固有振動数の計算条件	4
3.2.3.2 固有振動数の計算結果	4
4. 応力評価	5
4.1 基本方針	5
4.2 耐震評価箇所	5
4.3 荷重の組合せ及び許容応力	5
4.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	5
4.3.2 許容応力	5
4.3.3 使用材料の許容応力	5
4.4 設計用地震力	8
4.5 応力計算方法	9
4.5.1 記号の説明	9
4.5.2 応力計算	10
4.5.3 計器スタンションの応力計算条件	12
5. 電氣的機能維持評価	13
5.1 機能維持評価方法	13
6. 評価結果	13
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	13
6.1.1 基準地震動 S_g に対する評価	13
6.1.2 機能維持に対する評価	13

1. 概要

本計算書は、高圧代替注水系系統流量計の耐震計算について、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、固有値解析及び応力評価並びに電氣的機能維持について説明するものである。高圧代替注水系系統流量計は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下に、この分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

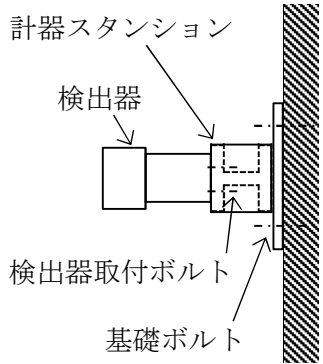
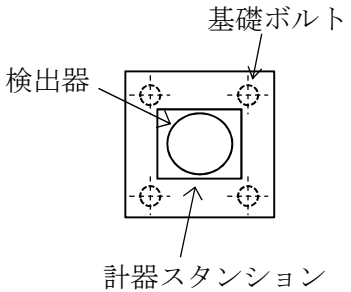
2.1 位置

高圧代替注水系系統流量計は、原子炉建屋 EL. -4.0 m に 1 台を設置する。

2.2 構造の概要

高圧代替注水系系統流量計の構造計画を第 2-1 表に示す。

第 2-1 表 高圧代替注水系系統流量計の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
高圧代替注水系 系統流量計	差圧式流量 検出器	検出器を壁面に基礎ボルトにて固定された計器ステーションに検出器取付ボルトにより取付ける。	計器ステーション（壁掛形） <側面図>  <正面図> 

2.3 評価方針

高圧代替注水系系統流量計の応力評価は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」で設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造の概要」にて示す高圧代替注水系系統流量計の部位を踏まえて「4.2 耐震評価箇所」にて設定する箇所において、「3. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく応力等が許容値限界内に収まることを付録 9「計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」で示す計算方法に基づき、「4. 応力評価」にて確認することで実施する。また、高圧代替注水系系統流量計の機能維持評価は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを「5. 電氣的機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

2.4 適用規格

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984, J E A G 4 6 0 1-1987 及び J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年，昭和 62 年及び平成 3 年）に準拠して評価する。

3. 固有値解析

高圧代替注水系統流量計の固有振動数算定方法について以下に示す。

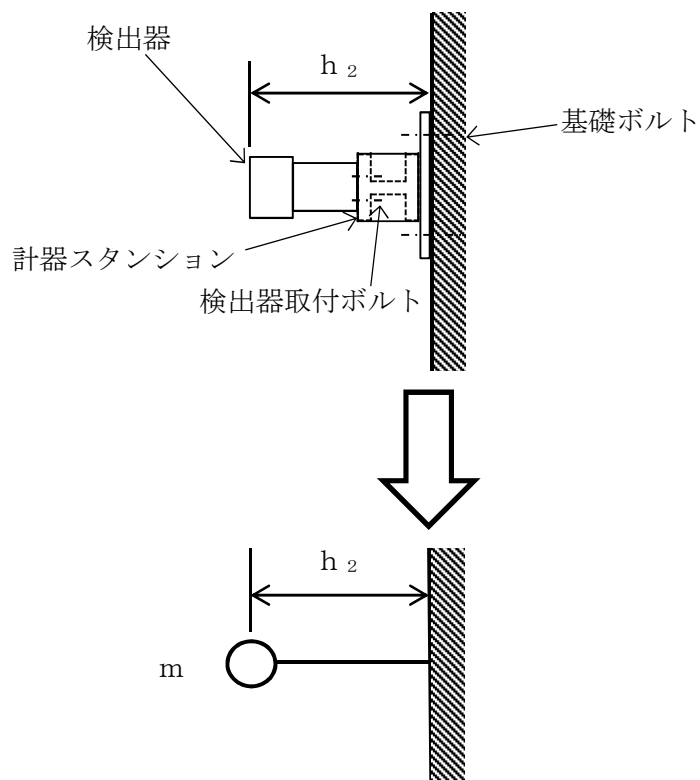
3.1 基本方針

- (1) 固有振動数計算モデルは1質点系モデルとし、検出器の重心位置に地震荷重が作用するものとする。なお、保守的な評価とするため、重心位置は検出器の先端とする。
- (2) 固有振動数の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

3.2 固有振動数の計算方法

検出器及び検出器取付ボルトは製造者による加振試験により、固有振動数が20 Hz以上であることを確認しているため、検出器及び検出器取付ボルトは剛とし、計器スタンションの脚部に質量が均等にかかるとして、以下の固有振動数計算モデルにて算出する。

3.2.1 計器スタンションの固有振動数の計算



固有振動数計算モデル

計器スタンションの固有振動数は以下による。

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot E \cdot I \cdot 10^3}{m \cdot h_2^3}} \dots \dots \dots (3.2.1)$$

3.2.2 記号の説明

記号	記 号 の 説 明	単位
m	計器スタンション（検出器含む）の質量	kg
h ₂	取付面から重心までの距離（壁掛形）	mm
E	計器スタンションの縦弾性係数	MPa
I	計器スタンションの断面二次モーメント	mm ⁴
f	計器スタンションの固有振動数	Hz

3.2.3 固有値解析結果

3.2.3.1 計器スタンションの固有振動数の計算条件

項目	記号	単位	入力値
材質（計器スタンション）	—	—	SS400
計器スタンション（検出器含む）の質量	m	kg	16
取付面から重心までの距離（壁掛形）	h ₂	mm	298
計器スタンションの縦弾性係数	E	MPa	2.01×10 ⁵
計器スタンションの断面二次モーメント	I	mm ⁴	7.31×10 ⁵
雰囲気温度条件	—	℃	56

3.2.3.2 固有振動数の計算結果

固有振動数の計算結果を以下に示す。

据付方法	計器スタンションの固有振動数（Hz）
壁掛形	162

4. 応力評価

4.1 基本方針

- (1) 耐震計算モデルは1質点系モデルとし、検出器の重心位置に地震荷重が作用するものとする。なお、保守的な評価とするため、重心位置は検出器の先端とする。
- (2) 許容応力について、J S M E S N C 1-2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に、温度が付録材料図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
- (3) 耐震評価に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 耐震評価箇所

高圧代替注水系系統流量計の耐震評価は、応力集中箇所である計器スタンションの基礎ボルトを選定して実施する。高圧代替注水系系統流量計の耐震評価箇所については、第2-1表の説明図に示す。

4.3 荷重の組合せ及び許容応力

4.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧代替注水系系統流量計の荷重の組合せ及び許容応力状態について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを第4-1表に示す。

4.3.2 許容応力

高圧代替注水系系統流量計の許容応力を第4-2表に示す。

4.3.3 使用材料の許容応力

高圧代替注水系系統流量計の使用材料の許容応力について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを第4-3表に示す。

第4-1表 荷重の組合せ及び許容応力

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	高圧代替注水系 系統流量計	常設耐震／防止 常設／緩和	— ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S^{*3}$

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*3： $V_A S$ として， $IV_A S$ の許容限界を用いる。

9

第4-2表 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等） ^{*1}		
	一次応力		
	引張	せん断	組合せ
$IV_A S$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^*, (2.1 \cdot f_t^* - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
$V_A S^{*2}$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^*, (2.1 \cdot f_t^* - 1.6 \cdot \tau_b)\}$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2： $V_A S$ として， $IV_A S$ の許容限界を用いる。

第 4-3 表 使用材料の許容応力

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	SS400	周囲環境温度	56	238	391	—	273

4.4 設計用地震力

耐震計算に用いる入力地震力には、V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき、第4-4表にて示す条件を用いて作成した設計用床応答曲線を用いる。また、減衰定数は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。

第4-4表 設計用地震力

地震動	据付場所 及び 床面高さ (m)	設計用床応答曲線			備考
		建屋* 及び高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	
基準地震動 S_s	原子炉建屋 EL. -4.0	原子炉建屋 EL. 2.0	水平方向 鉛直方向	1.0 1.0	水平方向，鉛 直方向ともに S_s -1～8 の包 絡曲線を用い る。

注記 *：検出器は壁面取付であるため、据付フロア上階の設計用床応答曲線を使用する。

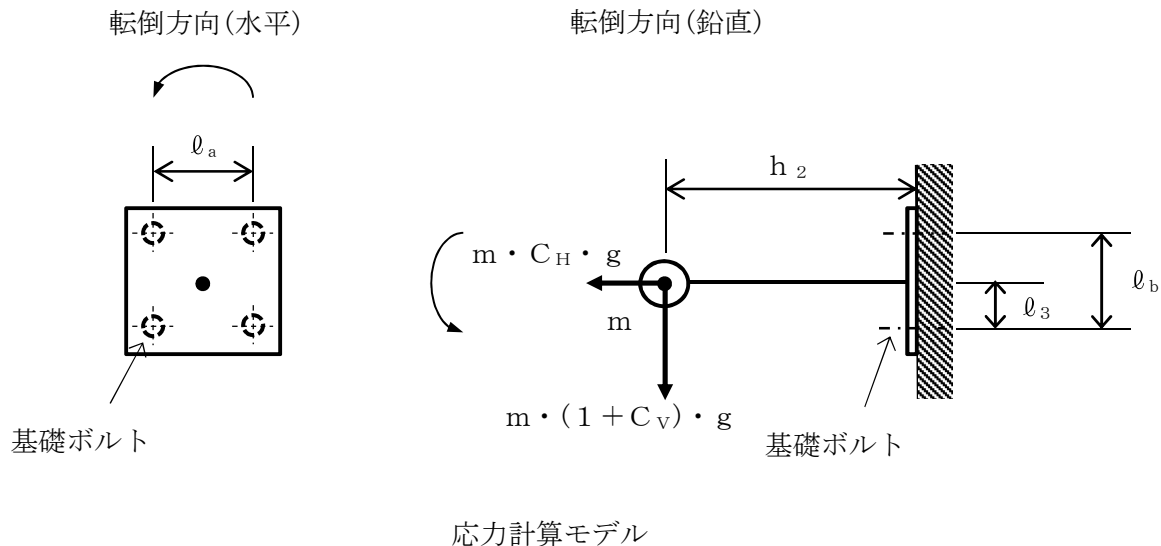
4.5 応力計算方法

4.5.1 記号の説明

記号	記 号 の 説 明	単位
m	計器スタンション（検出器含む）の質量	kg
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
A_b	ボルトの軸断面積	mm ²
F_b	ボルトに作用する引張力（1本あたり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び計器スタンション取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1本あたり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び計器スタンション取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1本あたり）（壁掛形）	N
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
h_2	取付面から重心までの距離（壁掛形）	mm
ℓ_3	重心と下側基礎ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）	mm
ℓ_a	左側基礎ボルトと右側基礎ボルト間の距離（壁掛形）	mm
ℓ_b	上側基礎ボルトと下側基礎ボルト間の距離（壁掛形）	mm
n	ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（水平方向）（壁掛形）	—
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（鉛直方向）（壁掛形）	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

4.5.2 応力計算

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。



(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、応力計算モデルで片側の列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを他方の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

・引張力 F_b の算出

左右方向の引張力 F_{b1}

$$F_{b1} = \frac{m \cdot C_H \cdot h_2 \cdot g}{n_{fH} \cdot \ell_a} + \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h_2 \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_b} \quad \dots (4.5.2.1)$$

前後方向の引張力 F_{b2}

$$F_{b2} = \frac{m \cdot C_H \cdot \ell_3 \cdot g + m \cdot (1 + C_V) \cdot h_2 \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_b} \quad \dots (4.5.2.2)$$

より、引張力 F_b は

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \quad \dots (4.5.2.3)$$

・引張応力 σ_b の算出

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \dots (4.5.2.4)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots \dots \dots (4.5.2.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

・せん断力 Q_b の算出

左右方向のせん断力 Q_{b1}

$$Q_{b1} = m \cdot C_H \cdot g \quad \dots \dots \dots (4.5.2.6)$$

前後方向のせん断力 Q_{b2}

$$Q_{b2} = m \cdot (1 + C_V) \cdot g \quad \dots \dots \dots (4.5.2.7)$$

より、せん断力 Q_b は

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \quad \dots \dots \dots (4.5.2.8)$$

・せん断応力 τ_b の算出

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \dots \dots \dots (4.5.2.9)$$

4.5.3 計器スタンションの応力計算条件

(1) 検出器関係

項目	記号	単位	入力値
計器スタンション(検出器含む)の質量	m	kg	16
重力加速度	g	m/s ²	9.80665
取付面から重心までの距離(壁掛形)	h_2	mm	298
重心と下側基礎ボルト間の鉛直方向距離(壁掛形)	l_3	mm	90
左側基礎ボルトと右側基礎ボルト間の距離(壁掛形)	l_a	mm	180
上側基礎ボルトと下側基礎ボルト間の距離(壁掛形)	l_b	mm	180

(2) 基礎ボルト関係

項目	記号	単位	入力値
ボルトの呼び径	d	mm	12
ボルトの軸断面積	A_b	mm ²	113.1
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(水平方向)(壁掛形)	n_{fH}	—	2
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(鉛直方向)(壁掛形)	n_{fV}	—	2
ボルトの本数	n	—	4

(3) 設計用加速度

項目	記号	設計用加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水平震度	C_H	0.96
鉛直震度	C_V	0.92

注) 固有値解析結果より, 計器スタンションの固有振動数が 20 Hz 以上であることを確認したため, 設計用加速度には最大床加速度の 1.2 倍を使用する。

5. 電氣的機能維持評価

高圧代替注水系系統流量計は、地震時及び地震後に電氣的機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その機能が維持されていることを示す。

5.1 機能維持評価方法

高圧代替注水系系統流量計の固有振動数から応答加速度を求め、機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を第5-1表に示す。

第5-1表 機能確認済加速度

項目	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水平	4
鉛直	3.5

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧代替注水系系統流量計の重大事故時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準を満足しており、耐震性を有することを確認した。

6.1.1 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

6.1.2 機能維持に対する評価

機能維持評価結果を次ページ以降に示す。

【高压代替注水系系統流量計の耐震性についての計算結果】

1. 設計条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び 床面高さ (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		周囲環境温度 (℃)
				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	
高压代替注水 系系統流量計	－ (S _s 機能維持)	原子炉建屋 EL. －4.0 (EL. 2.0) *	0.006	－	－	0.96	0.92	56

注記 *：評価に用いる基準床レベルを示す。

2. 機器要目

部材	m (kg)	h ₂ (mm)	ℓ _a (mm)		ℓ _b (mm)		A _b (mm ²)	n	n _f	
			弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s			弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	16	298	－	180	－	180	113.1	4	－	2

部材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F [*] (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	238	391	－	273	－	水平

3. 計算結果

ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	374.1	—	336.8

4. 結論

4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	4	204
		せん断	—	—	1	157

すべて許容応力以下である。

4.2 電氣的機能維持の評価結果

(単位：×9.8m/s²)

	評価用加速度	機能確認済加速度
水平方向	0.96	4
鉛直方向	0.92	3.5

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

V-2-6-5-6 低圧代替注水系原子炉注水流量計の耐震性について
の計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造の概要	1
2.3 評価方針	2
2.4 適用規格	2
3. 固有値解析	3
3.1 基本方針	3
3.2 固有振動数の計算方法	3
3.2.1 計器スタンションの固有振動数の計算	3
3.2.2 記号の説明	4
3.2.3 固有値解析結果	4
3.2.3.1 計器スタンションの固有振動数の計算条件	4
3.2.3.2 固有振動数の計算結果	4
4. 応力評価	5
4.1 基本方針	5
4.2 耐震評価箇所	5
4.3 荷重の組合せ及び許容応力	5
4.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	5
4.3.2 許容応力	5
4.3.3 使用材料の許容応力	5
4.4 設計用地震力	8
4.5 応力計算方法	9
4.5.1 記号の説明	9
4.5.2 応力計算	10
4.5.3 計器スタンションの応力計算条件	12
5. 電氣的機能維持評価	13
5.1 機能維持評価方法	13
6. 評価結果	13
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	13
6.1.1 基準地震動 S_s に対する評価	13
6.1.2 機能維持に対する評価	13

1. 概要

本計算書は、低圧代替注水系原子炉注水流量計の耐震計算について、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、固有値解析及び応力評価並びに電氣的機能維持について説明するものである。低圧代替注水系原子炉注水流量計は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下に、この分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 位置

低圧代替注水系原子炉注水流量計は、原子炉建屋 EL. 14.0 m 及び EL. 20.3 m に各 2 台ずつ計 4 台を設置する。

2.2 構造の概要

低圧代替注水系原子炉注水流量計の構造計画を第 2-1 表に示す。なお、構造は設置する 4 台とも全て同様である。

第 2-1 表 低圧代替注水系原子炉注水流量計の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
低圧代替注水系 原子炉注水流量計	差圧式流量 検出器	検出器を壁面に基礎ボルトにて固定された計器ステーションに検出器取付ボルトにより取付ける。	計器ステーション（壁掛形） <側面図> <正面図>

2.3 評価方針

低圧代替注水系原子炉注水流量計の応力評価は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」で設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造の概要」にて示す低圧代替注水系原子炉注水流量計の部位を踏まえて「4.2 耐震評価箇所」にて設定する箇所において、「3. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく応力等が許容値限界内に収まることを付録 9「計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」で示す計算方法に基づき、「4. 応力評価」にて確認することで実施する。また、低圧代替注水系原子炉注水流量計の機能維持評価は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを「5. 電氣的機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

2.4 適用規格

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984, J E A G 4 6 0 1-1987 及び J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年, 昭和 62 年及び平成 3 年）に準拠して評価する。

3. 固有値解析

低圧代替注水系原子炉注水流量計の固有振動数算定方法について以下に示す。

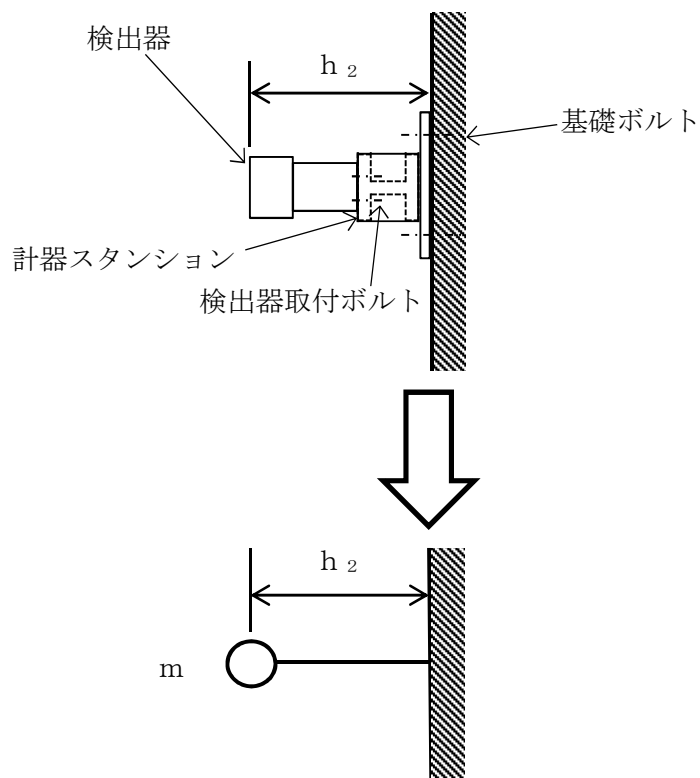
3.1 基本方針

- (1) 固有振動数計算モデルは1質点系モデルとし、検出器の重心位置に地震荷重が作用するものとする。なお、保守的な評価とするため、重心位置は検出器の先端とする。
- (2) 固有振動数の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

3.2 固有振動数の計算方法

検出器及び検出器取付ボルトは製造者による加振試験により、固有振動数が20 Hz以上であることを確認しているため、検出器及び検出器取付ボルトは剛とし、計器スタンションの脚部に質量が均等にかかるとして、以下の固有振動数計算モデルにて算出する。

3.2.1 計器スタンションの固有振動数の計算



固有振動数計算モデル

計器スタンションの固有振動数は以下による。

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot E \cdot I \cdot 10^3}{m \cdot h_2^3}} \dots \dots \dots (3.2.1)$$

3.2.2 記号の説明

記号	記 号 の 説 明	単位
m	計器スタンション（検出器含む）の質量	kg
h ₂	取付面から重心までの距離（壁掛形）	mm
E	計器スタンションの縦弾性係数	MPa
I	計器スタンションの断面二次モーメント	mm ⁴
f	計器スタンションの固有振動数	Hz

3.2.3 固有値解析結果

3.2.3.1 計器スタンションの固有振動数の計算条件

項目	記号	単位	入力値
材質（計器スタンション）	—	—	SS400
計器スタンション（検出器含む）の質量	m	kg	16
取付面から重心までの距離（壁掛形）	h ₂	mm	298
計器スタンションの縦弾性係数	E	MPa	2.01×10 ⁵
計器スタンションの断面二次モーメント	I	mm ⁴	7.31×10 ⁵
雰囲気温度条件	—	℃	56

3.2.3.2 固有振動数の計算結果

固有振動数の計算結果を以下に示す。

据付方法	計器スタンションの固有振動数（Hz）
壁掛形	162

4. 応力評価

4.1 基本方針

- (1) 耐震計算モデルは1質点系モデルとし、検出器の重心位置に地震荷重が作用するものとする。なお、保守的な評価とするため、重心位置は検出器の先端とする。
- (2) 許容応力について、J S M E S N C 1-2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に、温度が付録材料図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
- (3) 耐震評価に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 耐震評価箇所

低圧代替注水系原子炉注水流量計の耐震評価は、応力集中箇所である計器スタンションの基礎ボルトを選定して実施する。低圧代替注水系原子炉注水流量計の耐震評価箇所については、第2-1表の説明図に示す。

4.3 荷重の組合せ及び許容応力

4.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧代替注水系原子炉注水流量計の荷重の組合せ及び許容応力状態について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを第4-1表に示す。

4.3.2 許容応力

低圧代替注水系原子炉注水流量計の許容応力を第4-2表に示す。

4.3.3 使用材料の許容応力

低圧代替注水系原子炉注水流量計の使用材料の許容応力について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを第4-3表に示す。

第4-1表 荷重の組合せ及び許容応力

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	低圧代替 注水設備	低圧代替注水系 原子炉注水流量計	常設耐震／防止 常設／緩和	— ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S^{*3}$

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*3： $V_A S$ として， $IV_A S$ の許容限界を用いる。

9

第4-2表 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等） ^{*1}		
	一次応力		
	引張	せん断	組合せ
$IV_A S$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^*, (2.1 \cdot f_t^* - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
$V_A S^{*2}$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^*, (2.1 \cdot f_t^* - 1.6 \cdot \tau_b)\}$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2： $V_A S$ として， $IV_A S$ の許容限界を用いる。

第 4-3 表 使用材料の許容応力

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	SS400	周囲環境温度	56	238	391	—	273

4.4 設計用地震力

耐震計算に用いる入力地震力には、V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき、第4-4表にて示す条件を用いて作成した設計用床応答曲線を用いる。また、減衰定数は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。なお、応力評価は基準地震動が卓越する原子炉建屋床面高さ EL. 20.3 m に据付ける検出器についてのみ行う。

第4-4表 設計用地震力

地震動	据付場所 及び 床面高さ (m)	設計用床応答曲線			備考
		建屋* 及び高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	
基準地震動 S_s	原子炉建屋 EL. 14.0	原子炉建屋 EL. 20.3	水平方向 鉛直方向	1.0 1.0	水平方向，鉛 直方向ともに S_s -1～8 の包 絡曲線を用い る。
基準地震動 S_s	原子炉建屋 EL. 20.3	原子炉建屋 EL. 29.0	水平方向 鉛直方向	1.0 1.0	

注記 *：検出器は壁面取付であるため、据付フロア上階の設計用床応答曲線を使用する。

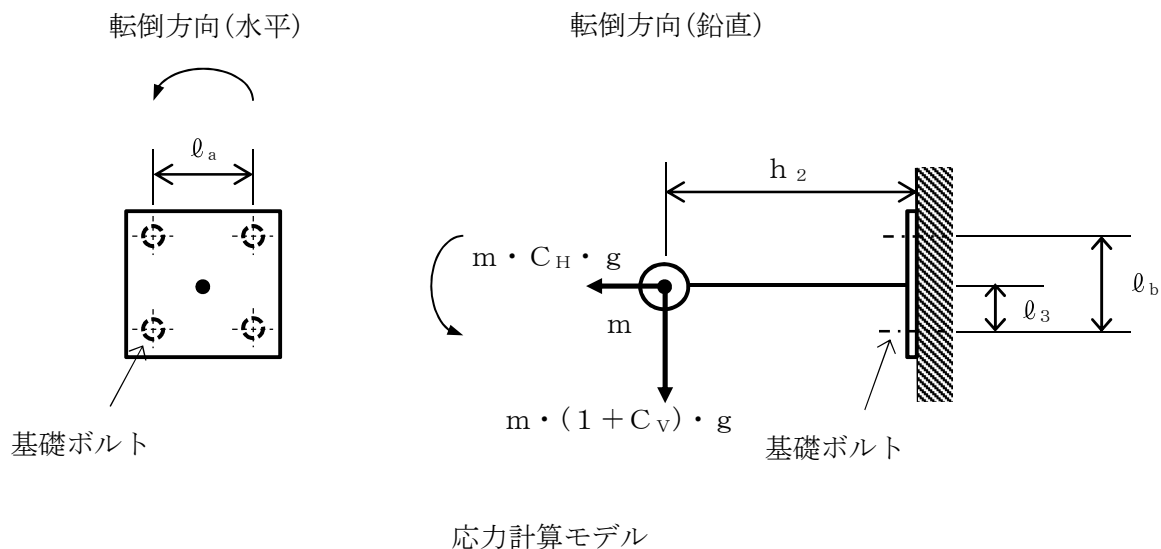
4.5 応力計算方法

4.5.1 記号の説明

記号	記 号 の 説 明	単位
m	計器スタンション（検出器含む）の質量	kg
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
A_b	ボルトの軸断面積	mm ²
F_b	ボルトに作用する引張力（1本あたり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び計器スタンション取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1本あたり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び計器スタンション取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1本あたり）（壁掛形）	N
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
h_2	取付面から重心までの距離（壁掛形）	mm
ℓ_3	重心と下側基礎ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）	mm
ℓ_a	左側基礎ボルトと右側基礎ボルト間の距離（壁掛形）	mm
ℓ_b	上側基礎ボルトと下側基礎ボルト間の距離（壁掛形）	mm
n	ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（水平方向）（壁掛形）	—
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（鉛直方向）（壁掛形）	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

4.5.2 応力計算

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。



(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、応力計算モデルで片側の列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを他方の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

・引張力 F_b の算出

左右方向の引張力 F_{b1}

$$F_{b1} = \frac{m \cdot C_H \cdot h_2 \cdot g}{n_{fH} \cdot \ell_a} + \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h_2 \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_b} \quad \dots (4.5.2.1)$$

前後方向の引張力 F_{b2}

$$F_{b2} = \frac{m \cdot C_H \cdot \ell_3 \cdot g + m \cdot (1 + C_V) \cdot h_2 \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_b} \quad \dots (4.5.2.2)$$

より、引張力 F_b は

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \quad \dots (4.5.2.3)$$

・引張応力 σ_b の算出

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \dots (4.5.2.4)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots \dots \dots (4.5.2.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

・せん断力 Q_b の算出

左右方向のせん断力 Q_{b1}

$$Q_{b1} = m \cdot C_H \cdot g \quad \dots \dots \dots (4.5.2.6)$$

前後方向のせん断力 Q_{b2}

$$Q_{b2} = m \cdot (1 + C_V) \cdot g \quad \dots \dots \dots (4.5.2.7)$$

より、せん断力 Q_b は

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \quad \dots \dots \dots (4.5.2.8)$$

・せん断応力 τ_b の算出

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \dots \dots \dots (4.5.2.9)$$

4.5.3 計器スタンションの応力計算条件

(1) 検出器関係

項目	記号	単位	入力値
計器スタンション(検出器含む)の質量	m	kg	16
重力加速度	g	m/s ²	9.80665
取付面から重心までの距離(壁掛形)	h_2	mm	298
重心と下側基礎ボルト間の鉛直方向距離(壁掛形)	l_3	mm	90
左側基礎ボルトと右側基礎ボルト間の距離(壁掛形)	l_a	mm	180
上側基礎ボルトと下側基礎ボルト間の距離(壁掛形)	l_b	mm	180

(2) 基礎ボルト関係

項目	記号	単位	入力値
ボルトの呼び径	d	mm	12
ボルトの軸断面積	A_b	mm ²	113.1
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(水平方向)(壁掛形)	n_{fH}	—	2
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(鉛直方向)(壁掛形)	n_{fV}	—	2
ボルトの本数	n	—	4

(3) 設計用加速度

項目	記号	設計用加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水平震度	C_H	1.55
鉛直震度	C_V	1.17

注) 固有値解析結果より, 計器スタンションの固有振動数が 20 Hz 以上であることを確認したため, 設計用加速度には最大床加速度の 1.2 倍を使用する。

5. 電氣的機能維持評価

低圧代替注水系原子炉注水流量計は、地震時及び地震後に電氣的機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その機能が維持されていることを示す。

5.1 機能維持評価方法

低圧代替注水系原子炉注水流量計の固有振動数から応答加速度を求め、機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を第 5-1 表に示す。

第 5-1 表 機能確認済加速度

項目	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水平	4
鉛直	3.5

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

低圧代替注水系原子炉注水流量計の重大事故時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準を満足しており、耐震性を有することを確認した。

6.1.1 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

6.1.2 機能維持に対する評価

機能維持評価結果を次ページ以降に示す。

【低圧代替注水系原子炉注水流量計の耐震性についての計算結果】

1. 設計条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び 床面高さ (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		周囲環境温度 (℃)
				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	
低圧代替注水系原子炉注水流量計	－ (S_s 機能維持)	原子炉建屋 EL. 20.3 (EL. 29.0) *	0.006	－	－	1.55	1.17	56

注記 *：評価に用いる基準床レベルを示す。

2. 機器要目

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_a (mm)		ℓ_b (mm)		A_b (mm ²)	n	n_f	
			弾性設計用 地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用 地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s			弾性設計用 地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	16	298	－	180	－	180	113.1	4	－	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用 地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	238	391	－	273	－	水平

3. 計算結果

ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	483.2	—	418.4

4. 結論

4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	5	204
		せん断	—	—	1	157

すべて許容応力以下である。

4.2 電氣的機能維持の評価結果

(単位：×9.8m/s²)

	評価用加速度	機能確認済加速度
水平方向	1.55	4
鉛直方向	1.17	3.5

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

V-2-6-5-7 代替循環冷却系原子炉注水流量計の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1

2. 一般事項 1

2.1 構造計画 1

3. 構造強度評価 3

3.1 構造強度評価方法 3

3.2 荷重の組合せ及び許容応力 3

4. 機能維持評価 6

4.1 電氣的機能維持評価方法 6

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、代替循環冷却系原子炉注水流量計が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

代替循環冷却系原子炉注水流量計は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

代替循環冷却系原子炉注水流量計の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器取付板に固定され，取付板は，取付板取付ボルトにより計器スタンションに固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	計器スタンション	The diagram illustrates the structural assembly of the detector. It includes three views: a top view (平面) showing the detector mounted on a plate; a front view (正面) showing the detector, mounting plate, and meter station (計器スタンション) assembly; and a side view (側面) showing the entire assembly mounted on a base (基礎) with foundation bolts (基礎ボルト). Labels in the side view include: 検出器 (Detector), 計器取付ボルト (Meter mounting bolt), 取付板取付ボルト (Mounting plate mounting bolt), 取付板 (Mounting plate), 基礎ボルト (Foundation bolt), and 基礎 (壁面) (Base/Wall). The front view is labeled (平面方向) and the side view is labeled (側面方向).

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

代替循環冷却系原子炉注水流量計の構造は壁掛形計器スタンションであるため、構造強度評価は、「付録9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

代替循環冷却系原子炉注水流量計の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、重大事故等対処設備評価に用いるものを表3-1に示す。

3.2.2 許容応力

代替循環冷却系原子炉注水流量計の許容応力を表3-2に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	代替循環冷却系原子炉 注水流量計	常設耐震／防止 常設／緩和	— ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限 界を用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，
「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
$IV_A S$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の 許容限界を用いる。)		

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

4. 機能維持評価

4.1 電氣的機能維持評価方法

代替循環冷却系原子炉注水流量計の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、「付録 9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

代替循環冷却系原子炉注水流量計に設置される検出器の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度

($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
代替循環冷却系 原子炉注水流量計 (FT-SA17-N013A)	差圧伝送器 (流量) (EDR-N6P)	水平	
		鉛直	

V-2-6-5-8 代替循環冷却系ポンプ入口温度計の耐震性についての
計算書

目次

1. 概要 1

2. 一般事項 1

 2.1 構造計画 1

 2.2 評価方針 3

 2.3 適用基準 3

3. 評価部位 3

4. 機能維持評価 4

 4.1 電気の機能維持評価方法 4

 4.2 加振試験 5

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、代替循環冷却系ポンプ入口温度計が設計用地震力に対して十分な電氣的機能を有していることを説明するものである。

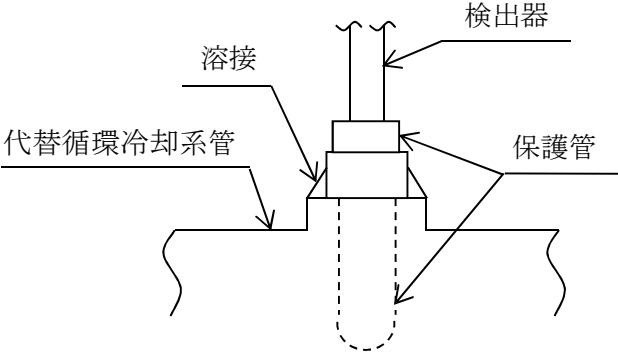
代替循環冷却系ポンプ入口温度計は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、分類に応じた電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

代替循環冷却系ポンプ入口温度計の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は、代替循環冷却系管に溶接された保護管に固定する。	熱電対	

2.2 評価方針

代替循環冷却系ポンプ入口温度計の機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「4. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

代替循環冷却系ポンプ入口温度計の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

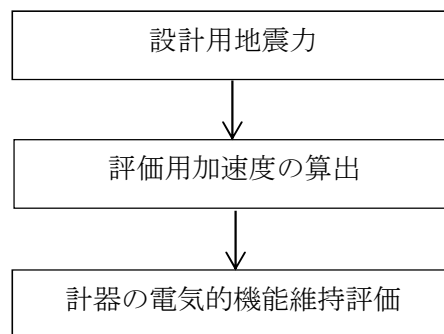


図 2-1 代替循環冷却系ポンプ入口温度計の耐震評価フロー

2.3 適用基準

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984, J E A G 4 6 0 1-1987 及び J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月、昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）に準拠して評価する。

3. 評価部位

代替循環冷却系ポンプ入口温度計は、代替循環冷却系管に直接取り付けられた保護管に挿入され固定されることから、代替循環冷却系管が支持している。代替循環冷却系管の構造強度評価は「V-2-5-5-5-2 管の耐震性についての計算書」にて実施しているため、本計算書では、代替循環冷却系管の地震応答解析結果を用いた代替循環冷却系ポンプ入口温度計の電氣的機能維持評価について示す。

代替循環冷却系ポンプ入口温度計の機能維持評価は、検出器取付位置の加速度により実施する。代替循環冷却系ポンプ入口温度計の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 機能維持評価

4.1 電氣的機能維持評価方法

代替循環冷却系ポンプ入口温度計の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

代替循環冷却系ポンプ入口温度計は代替循環冷却系管に直接取り付けられた保護管に挿入されることから、評価用加速度は、「V-2-5-5-2 管の耐震性についての計算書」に示す重大事故等対処設備の地震応答解析で評価した代替循環冷却系ポンプ入口温度計取付部の質点に生じる加速度とし、評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、検出器単体の加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (単位：×9.8m/s²)

形式	評価部位	方向	機能確認済加速度
熱電対	本体	水平	
熱電対	本体	鉛直	

4.2 加振試験

4.2.1 基本事項

代替循環冷却系ポンプ入口温度計について実際の設置状態を模擬して加振試験を行い、基準地震動 S_s による地震力に対して要求される機能が維持されることを確認する。

4.2.2 設計用地震力

以下の加振波の最大加速度を上回る加速度で加振を行う。

- ・加振波：正弦波
- ・加振方向：水平（前後）＋鉛直，水平（左右）＋鉛直

V-2-6-5-9 残留熱除去系熱交換器入口温度計の耐震性についての
計算書

目次

1. 概要 1

2. 一般事項 1

2.1 構造計画 1

2.2 評価方針 3

2.3 適用基準 3

3. 評価部位 3

4. 機能維持評価 4

4.1 電気の機能維持評価方法 4

4.2 加振試験 5

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、残留熱除去系熱交換器入口温度計が設計用地震力に対して十分な電氣的機能を有していることを説明するものである。

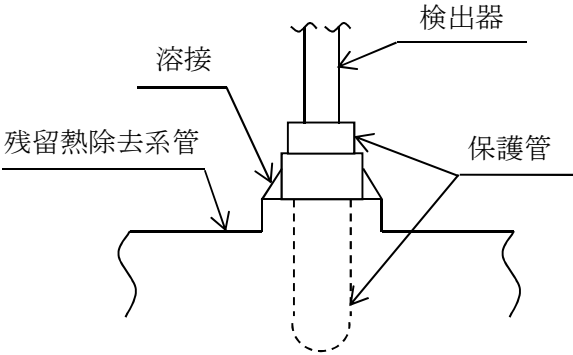
残留熱除去系熱交換器入口温度計は、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備に分類される。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系熱交換器入口温度計の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は、残留熱除去系管に溶接された保護管に固定する。	熱電対	

2.2 評価方針

残留熱除去系熱交換器入口温度計の機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、実施する。

2.3 適用基準

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月，昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）に準拠して評価する。

3. 評価部位

残留熱除去系熱交換器入口温度計は、残留熱除去系管に直接取り付けられた保護管に挿入され固定されることから、残留熱除去系管が支持している。残留熱除去系管の構造強度評価は「V-2-5-4-1-4 管の耐震性についての計算書」にて実施しているため、本計算書では、残留熱除去系管の地震応答解析結果を用いた残留熱除去系熱交換器入口温度計の電氣的機能維持評価について示す。

残留熱除去系熱交換器入口温度計の機能維持評価は、検出器取付位置の加速度により実施する。残留熱除去系熱交換器入口温度計の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 機能維持評価

4.1 電氣的機能維持評価方法

残留熱除去系熱交換器入口温度計の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

残留熱除去系熱交換器入口温度計は残留熱除去系管に直接取り付けられた保護管に挿入されることから、評価用加速度は、「V-2-5-4-1-4 管の耐震性についての計算書」に示す重大事故等対処設備の地震応答解析で評価した残留熱除去系熱交換器入口温度計取付部の質点に生じる加速度とし、評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、検出器単体の加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

形式	評価部位	方向	機能確認済加速度
熱電対	本体	水平	
熱電対	本体	鉛直	

4.2 加振試験

4.2.1 基本事項

残留熱除去系熱交換器入口温度計について実際の設置状態を模擬して加振試験を行い、基準地震動 S_s による地震力に対して要求される機能が維持されることを確認する。

4.2.2 設計用地震力

以下の加振波の最大加速度を上回る加速度で加振を行う。

- ・加振波：正弦波
- ・加振方向：水平（前後）＋鉛直，水平（左右）＋鉛直

V-2-6-5-10 残留熱除去系熱交換器出口温度計の耐震性についての
計算書

目次

1. 概要 1

2. 一般事項 1

2.1 構造計画 1

2.2 評価方針 3

2.3 適用基準 3

3. 評価部位 3

4. 機能維持評価 4

4.1 電気の機能維持評価方法 4

4.2 加振試験 5

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、残留熱除去系熱交換器出口温度計が設計用地震力に対して十分な電氣的機能を有していることを説明するものである。

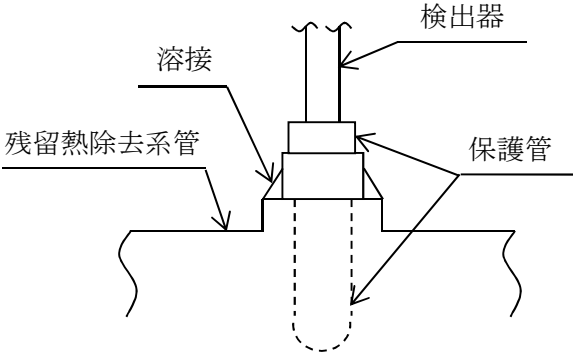
残留熱除去系熱交換器出口温度計は、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備に分類される。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系熱交換器出口温度計の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は、残留熱除去系管に溶接された保護管に固定する。	熱電対	

2.2 評価方針

残留熱除去系熱交換器出口温度計の機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針
4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、実施する。

2.3 適用基準

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E
A G 4 6 0 1 ・補-1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）
（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月、昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6
月）に準拠して評価する。

3. 評価部位

残留熱除去系熱交換器出口温度計は、残留熱除去系管に直接取り付けられた保護管に挿入さ
れ固定されることから、残留熱除去系管が支持している。残留熱除去系管の構造強度評価は
「V-2-5-4-1-4 管の耐震性についての計算書」にて実施しているため、本計算書では、残留
熱除去系管の地震応答解析結果を用いた残留熱除去系熱交換器出口温度計の電氣的機能維持評
価について示す。

残留熱除去系熱交換器出口温度計の機能維持評価は、検出器取付位置の加速度により実施す
る。残留熱除去系熱交換器出口温度計の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示
す。

4. 機能維持評価

4.1 電氣的機能維持評価方法

残留熱除去系熱交換器出口温度計の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

残留熱除去系熱交換器出口温度計は残留熱除去系管に直接取り付けられた保護管に挿入されることから、評価用加速度は、「V-2-5-4-1-4 管の耐震性についての計算書」に示す重大事故等対処設備の地震応答解析で評価した残留熱除去系熱交換器出口温度計取付部の質点に生じる加速度とし、評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、検出器単体の加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

形式	評価部位	方向	機能確認済加速度
熱電対	本体	水平	
熱電対	本体	鉛直	

4.2 加振試験

4.2.1 基本事項

残留熱除去系熱交換器出口温度計について実際の設置状態を模擬して加振試験を行い、基準地震動 S_s による地震力に対して要求される機能が維持されることを確認する。

4.2.2 設計用地震力

以下の加振波の最大加速度を上回る加速度で加振を行う。

- ・加振波：正弦波
- ・加振方向：水平（前後）＋鉛直，水平（左右）＋鉛直

V-2-6-5-11 原子炉隔離時冷却系系統流量計の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4. 機能維持評価	6
4.1 電氣的機能維持評価方法	6

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉隔離時冷却系系統流量計が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

原子炉隔離時冷却系系統流量計は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）及び常設重大事故防止設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却系系統流量計の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は、計器取付ボルトにより計器取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器スタンションに固定される。 計器スタンションは、基礎に基礎ボルトで設置する。	計器スタンション	The diagram illustrates the structural assembly of a detector. It includes three views: a top plan view (平面), a front view (正面), and a side view (側面). The front view shows the detector (検出器) mounted on a detector mounting plate (計器取付板) using detector mounting bolts (計器取付ボルト). The side view shows the mounting plate attached to a detector station (計器スタンション) using mounting plate mounting bolts (取付板取付ボルト). The detector station is anchored into a foundation (基礎/壁面) using foundation bolts (基礎ボルト). Labels indicate the 'plan direction' (平面方向) and 'side direction' (側面方向).

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

原子炉隔離時冷却系系統流量計の構造は壁掛形計器スタンションであるため、構造強度評価は、「付録9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉隔離時冷却系系統流量計の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-2に示す。

3.2.2 許容応力

原子炉隔離時冷却系系統流量計の許容応力を表3-3に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	原子炉隔離時冷却系 系統流量計	S	— *	$D + P_D + M_D + S_d$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	原子炉隔離時冷却系 系統流量計	常設／防止 (設計基準拡張)	— * ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

注記 *¹：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*²：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*³：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの 許容限界を用いる。)		

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

4. 機能維持評価

4.1 電氣的機能維持評価方法

原子炉隔離時冷却系系統流量計の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、「付録 9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉隔離時冷却系系統流量計に設置される検出器の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度

($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
原子炉隔離時冷却系 系統流量計 (FT-E51-N003)	差圧伝送器（流量） (EDR-N6PL)	水平	
		鉛直	

V-2-6-5-12 高圧炉心スプレイ系系統流量計の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1

2. 構造説明 2

 2.1 構造計画 2

3. 応力評価 3

 3.1 基本方針 3

 3.2 荷重の組合せ及び許容応力 3

4. 機能維持評価 6

 4.1 機能維持評価方法 6

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、高圧炉心スプレイ系系統流量計が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

高圧炉心スプレイ系系統流量計は、設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ系系統流量計の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
計装ラック	計装ラックは基礎に埋め込まれた埋込金物に固定したチャンネルベースに取付ボルトで固定する。	垂直自立形	正面 側面

3. 応力評価

3.1 基本方針

応力評価は添付書類「付録 8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイ系系統流量計の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

高圧炉心スプレイ系系統流量計の許容応力を表 3-3 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	高圧炉心スプレイ系 系統流量計*	S	—	$D + P_D + M_D + S_d^*$	$III_A S$
					$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$

注記 * : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	高圧炉心スプレイ系 系統流量計* ²	常設／防止 (設計基準拡張)	—	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S^{*4}$

注記 *¹ : 「常設／防止（設計基準拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*² : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*³ : 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

*⁴ : $V_A S$ として $IV_A S$ の許容限界を用いる。

表 3-3 許容応力（その他の支持構造物（設計基準対象施設及び重大事故等対処設備））

許容応力状態	許容限界* ¹ (ボルト等)		
	一次応力		
	引張り	せん断	組合せ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau b)\}$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau b)\}$
V _A S* ³	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau b)\}$

注記 *1 : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2 : その他の支持構造物においてはS_yを1.2・S_yと読み替える。

*3 : V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

4. 機能維持評価

高圧炉心スプレイ系系統流量計の地震後の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

4.1 機能維持評価方法

高圧炉心スプレイ系系統流量計の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、器具単体の正弦波加振試験（掃引試験及びビート試験）において、電氣的機能の健全性を確認した加速度の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度

方向	機能確認済 加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水平	
鉛直	

V-2-6-5-13 低圧炉心スプレイ系系統流量計の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1

2. 構造説明 2

2.1 構造計画 2

3. 応力評価 3

3.1 基本方針 3

3.2 荷重の組合せ及び許容応力 3

4. 機能維持評価 6

4.1 機能維持評価方法 6

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、低圧炉心スプレイ系系統流量計が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

低圧炉心スプレイ系系統流量計は、設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

低圧炉心スプレイ系系統流量計の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
計装ラック	計装ラックは基礎に埋め込まれた埋込金物に固定したチャンネルベースに取付ボルトで固定する。	垂直自立形	正面 側面

3. 応力評価

3.1 基本方針

応力評価は添付書類「付録 8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧炉心スプレイ系系統流量計の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

低圧炉心スプレイ系系統流量計の許容応力を表 3-3 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	低圧炉心スプレイ系 系統流量計*	S	—	$D + P_D + M_D + S_d^*$	$III_A S$
					$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$

注記 * : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	低圧炉心スプレイ系 系統流量計* ²	常設／防止 (設計基準拡張)	—	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S^{*4}$

注記 *¹ : 「常設／防止（設計基準拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*² : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*³ : 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

*⁴ : $V_A S$ として $IV_A S$ の許容限界を用いる。

表 3-3 許容応力（その他の支持構造物（設計基準対象施設及び重大事故等対処設備））

許容応力状態	許容限界* ¹ (ボルト等)		
	一次応力		
	引張り	せん断	組合せ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau b)\}$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau b)\}$
V _A S* ³	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau b)\}$

注記 *1 : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2 : その他の支持構造物においてはS_yを1.2・S_yと読み替える。

*3 : V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

4. 機能維持評価

低圧炉心スプレイ系系統流量計の地震後の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

4.1 機能維持評価方法

低圧炉心スプレイ系系統流量計の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、器具単体の正弦波加振試験（掃引試験及びビート試験）において、電氣的機能の健全性を確認した加速度の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度

方向	機能確認済 加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水平	
鉛直	

V-2-6-5-14 残留熱除去系系統流量計の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1

2. 構造説明 2

 2.1 構造計画 2

3. 応力評価 3

 3.1 基本方針 3

 3.2 荷重の組合せ及び許容応力 3

4. 機能維持評価 6

 4.1 機能維持評価方法 6

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、残留熱除去系系統流量計が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

残留熱除去系系統流量計は、設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備に分類される。以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

残留熱除去系系統流量計の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
計装ラック	計装ラックは基礎に埋め込まれた埋込金物に固定したチャンネルベースに取付ボルトで固定する。	垂直自立形	正面 側面

3. 応力評価

3.1 基本方針

応力評価は添付書類「付録 8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

残留熱除去系系統流量計の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

残留熱除去系系統流量計の許容応力を表 3-3 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	残留熱除去系 系統流量計*	S	—	$D + P_D + M_D + S_d$ *	$III_A S$
					$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$

注記 * : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	残留熱除去系 系統流量計* ²	常設／防止	—	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ * ⁴

注記 *¹ : 「常設／防止」は常設重大事故防止設備を示す。

*² : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*³ : 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

*⁴ : $V_A S$ として $IV_A S$ の許容限界を用いる。

表 3-3 許容応力（その他の支持構造物（設計基準対象施設及び重大事故等対処設備））

許容応力状態	許容限界* ¹ (ボルト等)		
	一次応力		
	引張り	せん断	組合せ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
V _A S* ³	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau_b)\}$

注記 *1 : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2 : その他の支持構造物においては S_y を $1.2 \cdot S_y$ と読み替える。

*3 : V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

4. 機能維持評価

残留熱除去系系統流量計の地震後の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

4.1 機能維持評価方法

残留熱除去系系統流量計の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、器具単体の正弦波加振試験（掃引試験及びビート試験）において、電氣的機能の健全性を確認した加速度の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度

方向	機能確認済 加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水平	
鉛直	

V-2-6-5-15 原子炉圧力計の耐震性についての計算書

目次

- 1. 概要 1
- 2. 構造説明 2
 - 2.1 構造計画 2
- 3. 応力評価 3
 - 3.1 基本方針 3
 - 3.2 荷重の組合せ及び許容応力 3
- 4. 機能維持評価 6
 - 4.1 機能維持評価方法 6

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉圧力計が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

原子炉圧力計は、設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

原子炉圧力計の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
計装ラック	計装ラックは基礎に埋め込まれた埋込金物に固定したチャンネルベースに取付ボルトで固定する。	垂直自立形	正面 側面

3. 応力評価

3.1 基本方針

応力評価は添付書類「付録 8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉圧力計の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

原子炉圧力計の許容応力を表 3-3 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	原子炉圧力計*	S	—	$D + P_D + M_D + S_d$ *	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 * : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	原子炉圧力計* ²	常設耐震／防止 常設／緩和	—	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S * ⁴

注記 *¹ : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*² : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*³ : 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため, 評価結果の記載を省略する。

*⁴ : V_A S としてⅣ_A S の許容限界を用いる。

表 3-3 許容応力（その他の支持構造物（設計基準対象施設及び重大事故等対処設備））

許容応力状態	許容限界* ¹ (ボルト等)		
	一次応力		
	引張り	せん断	組合せ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
V _A S* ³	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau_b)\}$

注記 *1 : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2 : その他の支持構造物においては S_y を $1.2 \cdot S_y$ と読み替える。

*3 : V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

4. 機能維持評価

原子炉圧力計の地震後の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

4.1 機能維持評価方法

原子炉圧力計の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、器具単体の正弦波加振試験（掃引試験及びビート試験）において、電氣的機能の健全性を確認した加速度の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度

方向	機能確認済 加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水平	☐
鉛直	☐

V-2-6-5-16 原子炉圧力計（S A）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	4
3.1 構造強度評価方法	4
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
3.2.2 許容応力	4
3.2.3 使用材料の許容応力	4
4. 機能維持評価	7
4.1 電氣的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉圧力計（S A）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

原子炉圧力計（S A）は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉圧力計（S A）の構造計画を表 2-1，表 2-2 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器取付板に固定され，取付板は，取付板取付ボルトにより計器スタンションに固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	計器スタンション	The diagram illustrates the structural assembly of a detector. It includes three views: a top view (平面) showing the detector mounted on a plate; a front view (正面) showing the detector, mounting plate, and meter station (計器スタンション) assembly; and a side view (側面) showing the entire assembly mounted on a foundation (基礎) using foundation bolts (基礎ボルト). Labels in the side view include: 検出器 (Detector), 取付板取付ボルト (Mounting plate mounting bolt), 取付板 (Mounting plate), 基礎ボルト (Foundation bolt), 側面 (Side view), and 基礎 (壁面) (Foundation (Wall)). The bottom of the front view is labeled (平面方向) (Top view direction) and the bottom of the side view is labeled (側面方向) (Side view direction).

表 2-2 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は、計器取付ボルトにより計器取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器スタンションに固定される。 計器スタンションは、基礎に基礎ボルトで設置する。	計器スタンション	The diagram illustrates the assembly of a detector. It includes three views: a top view (平面) showing the detector's footprint and mounting points; a front view (正面) showing the detector mounted on a vertical post (計器スタンション), which is secured to a base (基礎) with base bolts (基礎ボルト). The base is labeled as the bed surface (床面). A side view (側面) shows the detector (検出器) attached to a mounting plate (取付板) using detector mounting bolts (計器取付ボルト). The mounting plate is then attached to the vertical post using mounting plate mounting bolts (取付板取付ボルト). The side view also shows the base (基礎) and the bed surface (床面).

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

原子炉圧力計（S A）の構造は壁掛形及び直立形計器スタンションであるため、構造強度評価は、「付録9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉圧力計（S A）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

原子炉圧力計（S A）の許容応力を表 3-2 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力

原子炉圧力計（S A）の使用材料の許容応力のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-3 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	原子炉圧力計（S A）	常設耐震／防止 常設／緩和	— ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ （ $V_A S$ として $IV_A S$ の許容限 界を用いる。）

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，
「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t * 	1.5・f _s *
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)		

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。
*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-3 使用材料の許容応力（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト	SS400	周囲環境温度		238	391	—

4. 機能維持評価

4.1 電氣的機能維持評価方法

原子炉圧力計（S A）の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、「付録9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉圧力計（S A）に設置される検出器の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
原子炉圧力計（S A） （PT-B22-N071A）	圧力伝送器 （EPR-N6L）	水平	
		鉛直	
原子炉圧力計（S A） （PT-B22-N071B）	圧力伝送器 （EPR-N6L）	水平	
		鉛直	
原子炉圧力計（S A） （PT-B22-N071C）	圧力伝送器 （EPR-N6L）	水平	
		鉛直	
原子炉圧力計（S A） （PT-B22-N071D）	圧力伝送器 （EPR-N6L）	水平	
		鉛直	

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉圧力計（S A）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。
発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次ページ以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次ページ以降の表に示す。

【原子炉圧力計（S A）の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件（PT-B22-N071A, C）

機 器 名 称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (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		周囲環境温度 (℃)
			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	
原子炉圧力計（S A）	S	原子炉建屋 EL. 20.30 ^{*1} (EL. 29.00 ^{*2})	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C _H =1.55 ^{*3}	C _V =1.17 ^{*3}	

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：壁掛形の計器スタンションなので、設置床上階の設計用地震力を使用する。
*3：基準地震動 S_sの震度と同等以上の設計震度

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉圧力計（S A）（PT-B22-N071A, C）

部 材	m (kg)	h ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ _a (mm)	ℓ _b (mm)	A _b (mm ²)	n	n _{LV}	n _{TH}
基礎ボルト		667.2	875	180	1150	113.1 (M12)	8	4	4

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F [*] (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	238	391	—	273	—	平面方向

1.3 計算数値

1.3.1 原子炉圧力計（S A）（PT-B22-N071A, C）に作用する力 (単位：N)

部 材	F _b		F _{b1}		F _{b2}		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト								

1.4 結論

1.4.1 原子炉圧力計（S A）（PT-B22-N071A, C）の応力（単位：MPa）

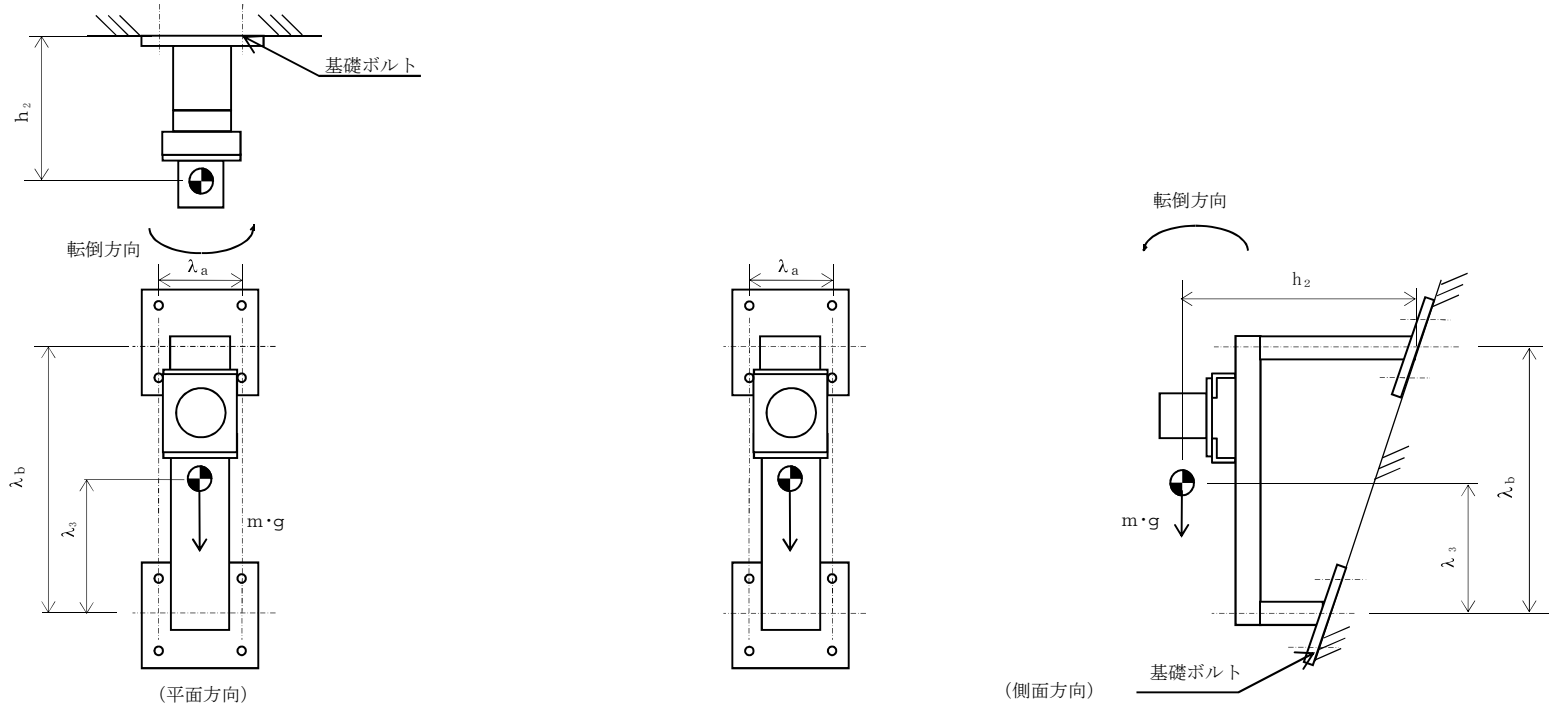
部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=8$	$f_{ts}=164^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=126^*$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 電気的機能の評価結果（単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ ）

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉圧力計（S A） （PT-B22-N071A, C）	水平方向	1.29	☐
	鉛直方向	0.98	☐

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



【原子炉圧力計（S A）の耐震性についての評価結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件（PT-B22-N071B, D）

機 器 名 称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (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		周囲環境温度 (℃)
			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	
原子炉圧力計（S A）	S	原子炉建屋 EL. 20.30 ^{*1} (EL. 29.00 ^{*2})	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C _H =1.55 ^{*3}	C _V =1.17 ^{*3}	

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：中間床に設置された計器スタンションなので、設置床上階の設計用地震力を使用する。
*3：基準地震動 S_sの震度と同等以上の設計震度

2.2 機器要目

2.2.1 原子炉圧力計（S A）（PT-B22-N071B, D）

部 材	m (kg)	h ₁ (mm)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f
基礎ボルト		1100	69.2	269.2	113.1 (M12)	4	2

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	238	391	—	273	—	側面方向

2.3 計算数値

2.3.1 原子炉圧力計（S A）（PT-B22-N071B, D）に作用する力（単位：N）

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト				

2.4 結論

2.4.1 原子炉圧力計（S A）（PT-B22-N071B, D）の応力 (単位：MPa)

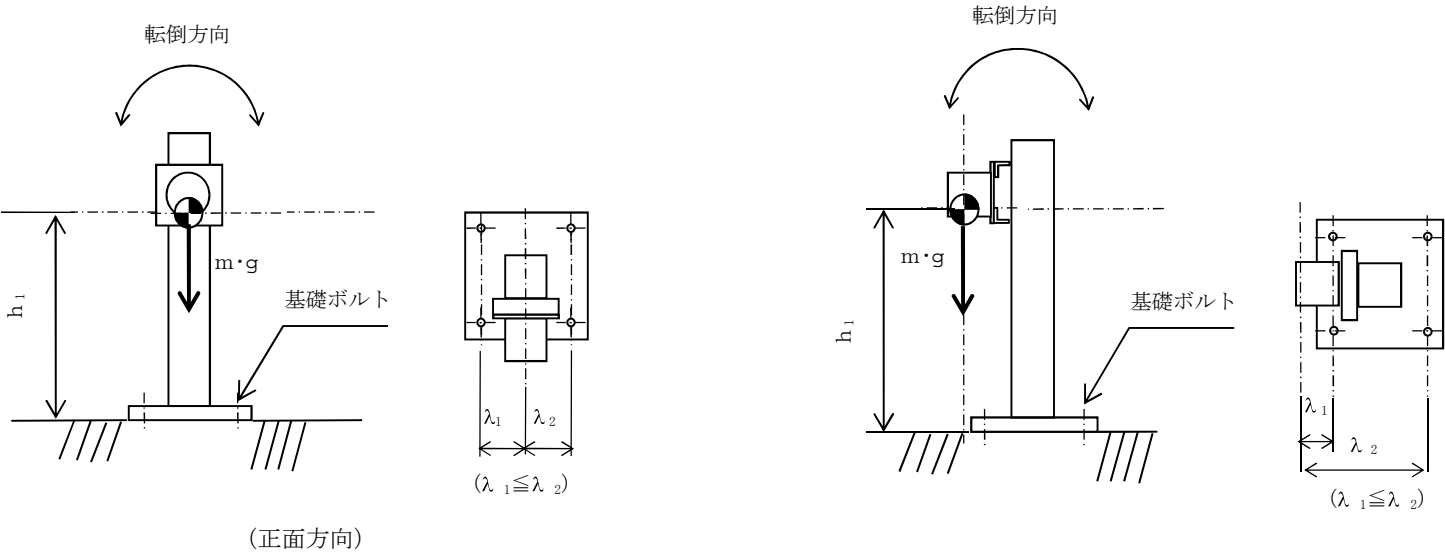
部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=19$	$f_{ts}=164^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=126^*$

すべて許容応力以下である。

2.4.2 電気的機能の評価結果 (単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉圧力計（S A） （PT-B22-N071B, D）	水平方向	1.29	
	鉛直方向	0.98	

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



V-2-6-5-17 原子炉水位計の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1

2. 構造説明 2

2.1 構造計画 2

3. 応力評価 3

3.1 基本方針 3

3.2 荷重の組合せ及び許容応力 3

4. 機能維持評価 6

4.1 機能維持評価方法 6

5. 評価結果 6

5.1 設計基準対象施設としての評価結果..... 6

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉水位計が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

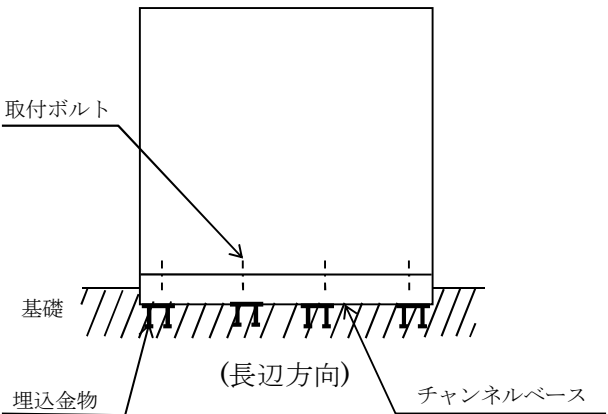
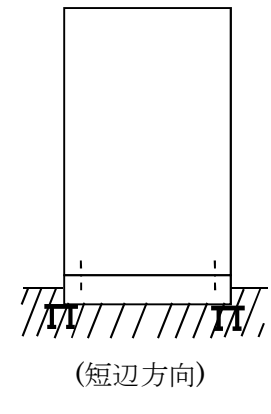
原子炉水位計は、設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に分類される。以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

原子炉水位計の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
計装ラック	計装ラックは基礎に埋め込まれた埋込金物に固定したチャンネルベースに取付ボルトで固定する。	垂直自立形	正面  側面 

3. 応力評価

3.1 基本方針

応力評価は添付書類「付録 8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉水位計の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

原子炉水位計の許容応力を表 3-2 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力

原子炉水位計の使用材料の許容応力を表 3-3 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	原子炉水位計*	S	—	$D + P_D + M_D + S_d$ *	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 * : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 3-2 許容応力（その他の支持構造物（設計基準対象施設及び重大事故等対処設備））

許容応力状態	許容限界*1 (ボルト等)		
	一次応力		
	引張り	せん断	組合せ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
V _A S*3	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau_b)\}$

注記 *1 : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2 : その他の支持構造物においてはS_yを1.2・S_yと読み替える。

*3 : V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表 3-3 使用材料の許容応力（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S _y (MPa)	S _u (MPa)
取付ボルト	SS400	周囲環境温度		212	373

4. 機能維持評価

原子炉水位計の地震後の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

4.1 機能維持評価方法

原子炉水位計の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、器具単体の正弦波加振試験（掃引試験及びビート試験）において、電氣的機能の健全性を確認した加速度の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度

方向	機能確認済 加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水平	☐
鉛直	☐

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉水位計の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

(2) 弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

(3) 機能維持に対する評価

機能維持評価結果を次ページ以降に示す。

【原子炉水位計の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

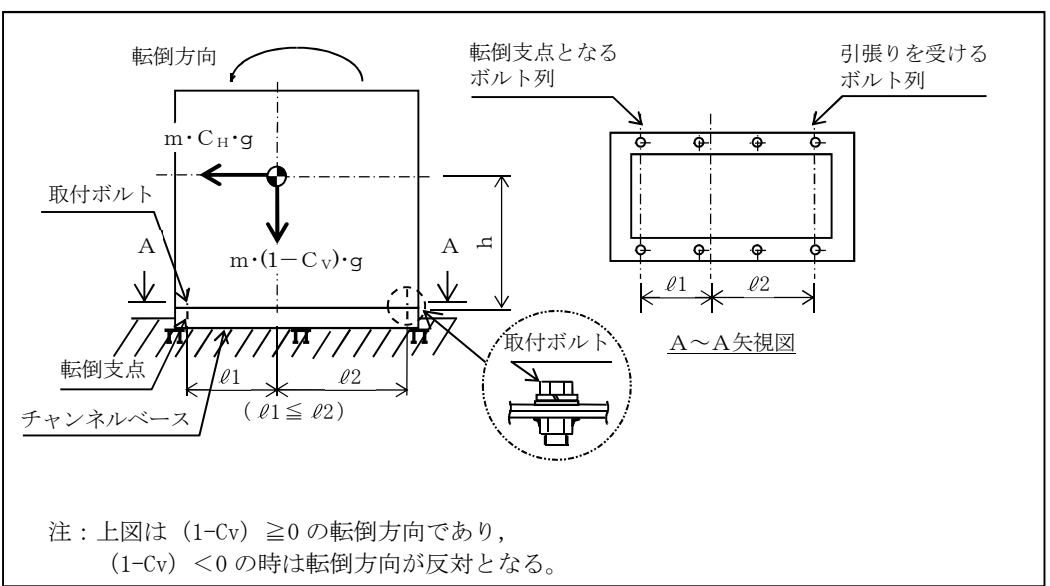
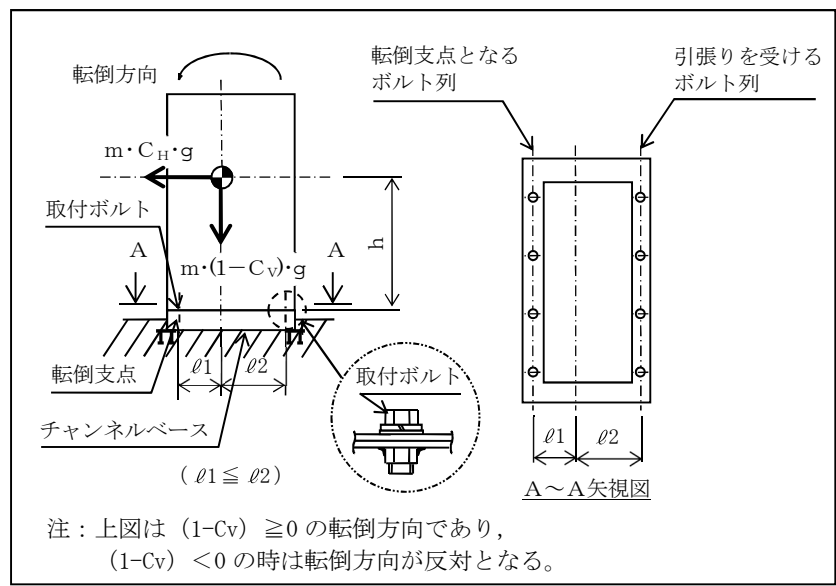
1.1 設計条件

機 器 名 称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び 床面高さ (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		周囲環境温度 (℃)
				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	
原子炉水位計	S	原子炉建屋 EL. 20.30 ^{*1}	0.05 以下	C _H =0.70 ^{*2}	C _V =0.54 ^{*2}	C _H =1.34 ^{*3}	C _V =1.01 ^{*3}	

注記 *1 : 基準床レベルを示す。
 *2 : 弾性設計用地震動 S_d の震度と同等以上の設計震度又は静的震度
 *3 : 基準地震動 S_s の震度と同等以上の設計震度

部 材	m (kg)	h (mm)	短辺方向		長辺方向		A _b (mm ²)	n (-)	n _f (-)	
			ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)			弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト		1200	—	—	676	848	201.1 (M16)	12	2	2

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
			弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト	212	373	212	254	長辺	長辺



1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b=6$	$f_{ts}=159$	$\sigma_b=17$	$f_{ts}=190$
		せん断	$\tau_b=2$	$f_{sb}=122$	$\tau_b=4$	$f_{sb}=146$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(単位：×9.8 m/s²)

	評価用加速度	機能確認済 加速度
水平方向	1.11	
鉛直方向	0.84	

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

V-2-6-5-18 原子炉水位計（広帯域）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	4
3.1 構造強度評価方法	4
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	4

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉水位計（広帯域）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

原子炉水位計（広帯域）のうち、機器番号 LT-B22-N091A, LT-B22-N091B, LT-B22-N091C 及び LT-B22-N091D は、設計基準対象施設においては S クラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に、機器番号 LT-B22-N079A, LT-B22-N079B, LT-B22-N079C 及び LT-B22-N079D は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉水位計（広帯域）の構造計画を表 2-1, 表 2-2 に示す。

表 2-1 構造計画 (LT-B22-N091A, LT-B22-N091B, LT-B22-N091C 及び LT-B22-N091D)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
計装ラックは基礎に埋め込まれた埋込金物に固定したチャンネルベースに取付ボルトで固定する。	垂直自立形	正面 取付ボルト 基礎 埋込金物 (長辺方向) チャンネルベース 側面 (短辺方向)

表 2-2 構造計画 LT-B22-N079A, LT-B22-N079B, LT-B22-N079C 及び LT-B22-N079D

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は、計器取付ボルトにより計器取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器スタンションに固定される。 計器スタンションは、基礎に基礎ボルトで設置する。	計器スタンション	

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

原子炉水位計（広帯域）のうち，機器番号 LT-B22-N091A, LT-B22-N091B, LT-B22-N091C 及び LT-B22-N091D の構造は垂直自立型計装ラックであるため，構造強度評価は，添付書類「付録 8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に，機器番号 LT-B22-N079A, LT-B22-N079B, LT-B22-N079C 及び LT-B22-N079D の構造は直立形計器スタンションであるため，添付書類「付録 9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉水位計（広帯域）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

原子炉水位計（広帯域）の許容応力を表 3-3 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	原子炉水位計（広帯域）	S	— *	$D + P_D + M_D + S_d$ *	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	原子炉水位計（広帯域）	常設耐震／防止 常設／緩和	— * ²	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

注記 *¹：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*²：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*³：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの 許容限界を用いる。)		

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

V-2-6-5-19 原子炉水位計（燃料域）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉水位計（燃料域）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

原子炉水位計（燃料域）は、設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

V-2-6-5-20 原子炉水位計（S A広帯域）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	3
3.2.2 許容応力	3
3.2.3 使用材料の許容応力	3
4. 機能維持評価	6
4.1 電氣的機能維持評価方法	6
5. 評価結果	7
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	7

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉水位計（S A広帯域）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

原子炉水位計（S A広帯域）は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉水位計（S A広帯域）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は、計器取付ボルトにより計器取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器スタンションに固定される。 計器スタンションは、基礎に基礎ボルトで設置する。	計器スタンション	The diagram illustrates the assembly of a detector. It includes three views: a top view (平面) showing the detector's footprint, a front view (正面) showing the detector mounted on a vertical post (計器スタンション) which is anchored into a base (基礎) with base bolts (基礎ボルト), and a side view (側面) showing the detector (検出器) secured to a mounting plate (取付板) with mounting bolts (計器取付ボルト), which is then attached to the post with plate mounting bolts (取付板取付ボルト). The base is identified as the bed surface (床面).

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

原子炉水位計（S A広帯域）の構造は直立形計器スタンションであるため、構造強度評価は、「付録9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉水位計（S A広帯域）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

原子炉水位計（S A広帯域）の許容応力を表 3-2 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力

原子炉水位計（S A広帯域）の使用材料の許容応力のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-3 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	原子炉水位計（S A広帯域）	常設耐震／防止 常設／緩和	— ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ （ $V_A S$ として $IV_A S$ の許容限 界を用いる。）

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，
「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。
*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。
*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
$IV_A S$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の 許容限界を用いる。)		

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-3 使用材料の許容応力（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)
基礎ボルト	SS400	周囲環境温度		238	391	—

4. 機能維持評価

4.1 電氣的機能維持評価方法

原子炉水位計（S A広帯域）の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、「付録9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉水位計（S A広帯域）に設置される検出器の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
原子炉水位計（S A広帯域） （LT-B22-N010）	差圧伝送器（流量） （EDR-N6）	水平	☐
		鉛直	☐

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉水位計（S A広帯域）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次ページ以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次ページ以降の表に示す。

【原子炉水位計（S A広帯域）の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機 器 名 称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (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		周囲環境温度 (℃)
			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	
原子炉水位計（S A広帯域）	－（S _s ）	原子炉建屋 EL. 20.3*1	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C _H =1.34*2	C _V =1.01*2	

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：基準地震動S_sの震度と同等以上の設計震度

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉水位計（S A広帯域）（LT-B22-N010）

部 材	m (kg)	h ₁ (mm)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	A _b (mm ²)	n	n _r
基礎ボルト		950	61.2	261.2	113.1 (M12)	4	2

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	238	391	—	273	—	側面方向

1.3 計算数値

1.3.1 原子炉水位計（S A広帯域）（LT-B22-N010）に作用する力（単位：N）

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 原子炉水位計（S A 広帯域）（LT-B22-N010）の応力 (単位：MPa)

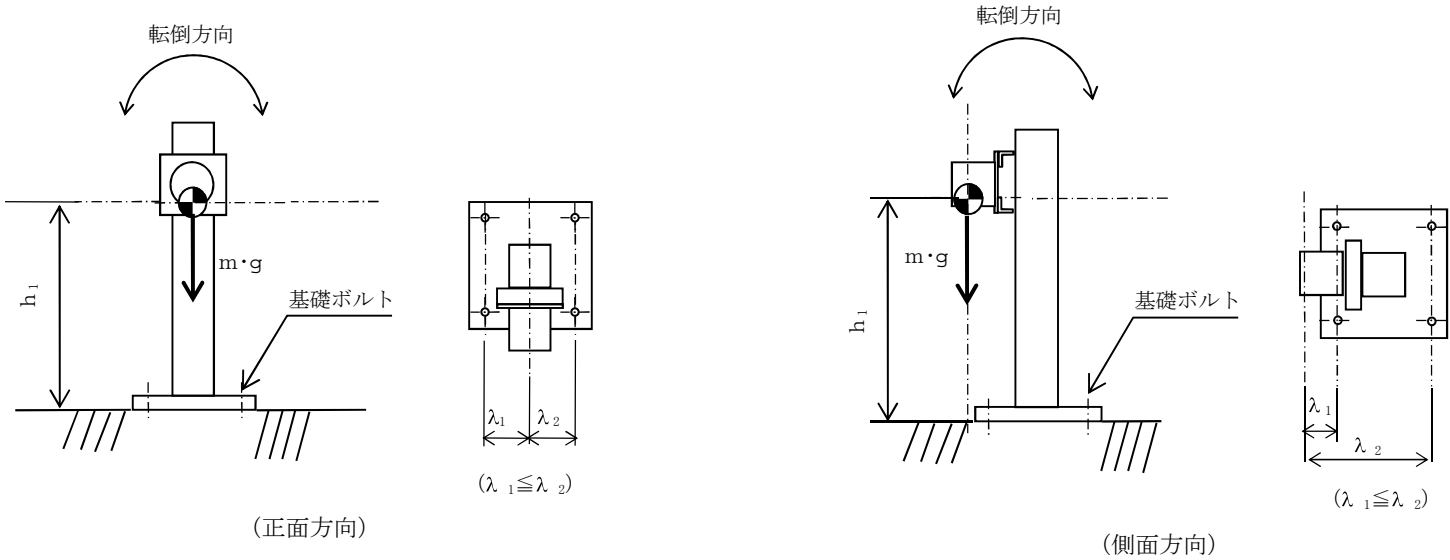
部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=16$	$f_{ts}=164^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=126^*$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能の評価結果 (単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉水位計 (S A 広 帯 域) (LT-B22-N010)	水平方向	1.11	☐
	鉛直方向	0.84	☐

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



V-2-6-5-21 原子炉水位計（S A燃料域）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	3
3.2.2 許容応力	3
3.2.3 使用材料の許容応力	3
4. 機能維持評価	6
4.1 電氣的機能維持評価方法	6
5. 評価結果	7
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	7

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉水位計（S A燃料域）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

原子炉水位計（S A燃料域）は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉水位計（S A燃料域）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は、計器取付ボルトにより計器取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器スタンションに固定される。 計器スタンションは、基礎に基礎ボルトで設置する。	計器スタンション	The diagram illustrates the assembly of a detector. It includes three views: a top view (平面) showing the detector mounted on a plate with four screws; a front view (正面) showing the detector mounted on a vertical post (計器スタンション) which is secured to a base (基礎) with base bolts (基礎ボルト); and a side view (側面) showing the detector mounted on a vertical post with a mounting plate (取付板) secured by mounting plate bolts (取付板取付ボルト) and the detector itself secured by detector mounting bolts (計器取付ボルト). The base is labeled as the bed surface (床面).

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

原子炉水位計（S A燃料域）の構造は直立形計器スタンションであるため、構造強度評価は、「付録9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉水位計（S A燃料域）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

原子炉水位計（S A燃料域）の許容応力を表 3-2 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力

原子炉水位計（S A燃料域）の使用材料の許容応力のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-3 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	原子炉水位計 (S A燃料域)	常設耐震／防止 常設／緩和	— *2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限 界を用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，
「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)		

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。
*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-3 使用材料の許容応力（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト	SS400	周囲環境温度		238	391	—

4. 機能維持評価

4.1 電氣的機能維持評価方法

原子炉水位計（S A燃料域）の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、「付録9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉水位計（S A燃料域）に設置される検出器の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
原子炉水位計（S A燃料域） （LT-B22-N020）	差圧伝送器（流量） （EDR-N6）	水平	☐
		鉛直	☐

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉水位計（S A燃料域）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次ページ以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次ページ以降の表に示す。

【原子炉水位計（S A燃料域）の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機 器 名 称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (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		周囲環境温度 (℃)
			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	
原子炉水位計（S A燃料域）	－（S _s ）	原子炉建屋 EL. 14. 00*1	0. 05 以下	0. 05 以下	—	—	C _H =1. 13*2	C _V =0. 99*2	

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：基準地震動S_sの震度と同等以上の設計震度

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉水位計（S A燃料域）（LT-B22-N020）

部 材	m (kg)	h ₁ (mm)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f
基礎ボルト	53	1000	61. 2	261. 2	113. 1 (M12)	4	2

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト		391	—	273	—	側面方向

1.3 計算数値

1.3.1 原子炉水位計（S A燃料域）（LT-B22-N020）に作用する力（単位：N）

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 原子炉水位計（S A 燃料域）（LT-B22-N020）の応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=15$	$f_{ts}=164^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=126^*$

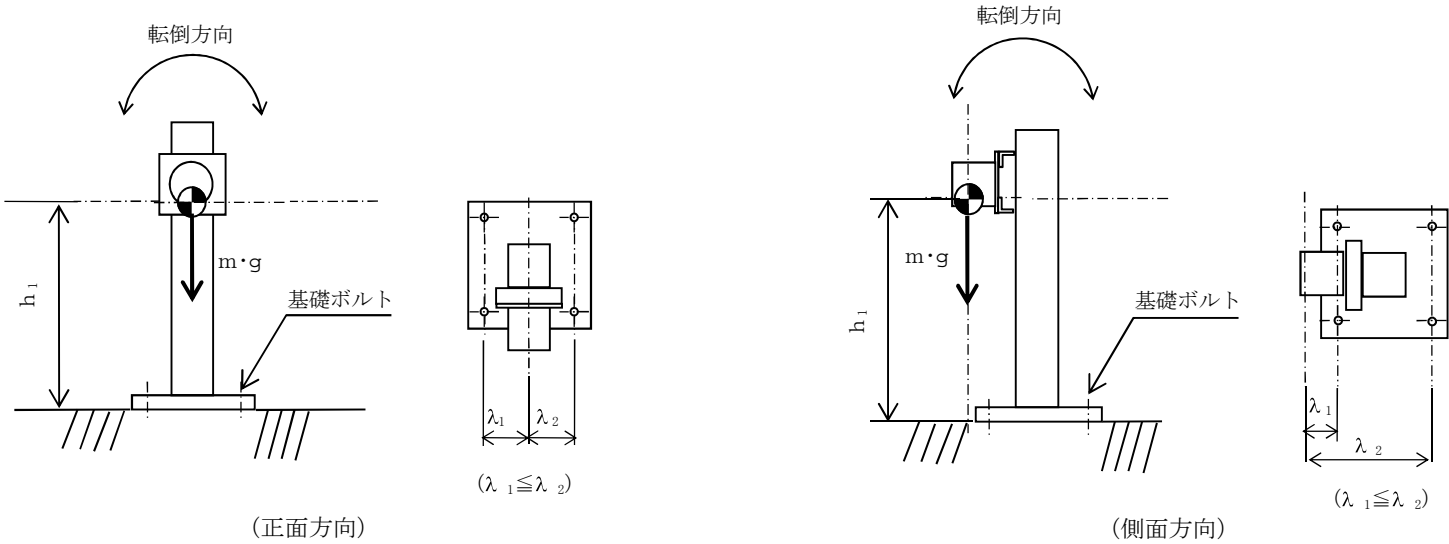
すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能の評価結果 (単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉水位計 (S A 燃 料 域) (LT-B22-N020)	水平方向	0.95	
	鉛直方向	0.83	

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

6



V-2-6-5-22 ドライウェル圧力計の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、ドライウェル圧力計が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

ドライウェル圧力計は、設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

V-2-6-5-23 サプレッション・チェンバ圧力計の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、サプレッション・チェンバ圧力計が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

サプレッション・チェンバ圧力計は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

V-2-6-5-24 サプレッション・プール水温度計の耐震性についての計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	4
2.3	適用基準	5
2.4	記号の説明	6
2.5	計算精度と数値の丸め方	7
3.	評価部位	8
4.	構造強度評価	9
4.1	構造強度評価方法	9
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	9

1. 概要

本計算書は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、サプレッション・プール水温度計が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

サプレッション・プール水温度計は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

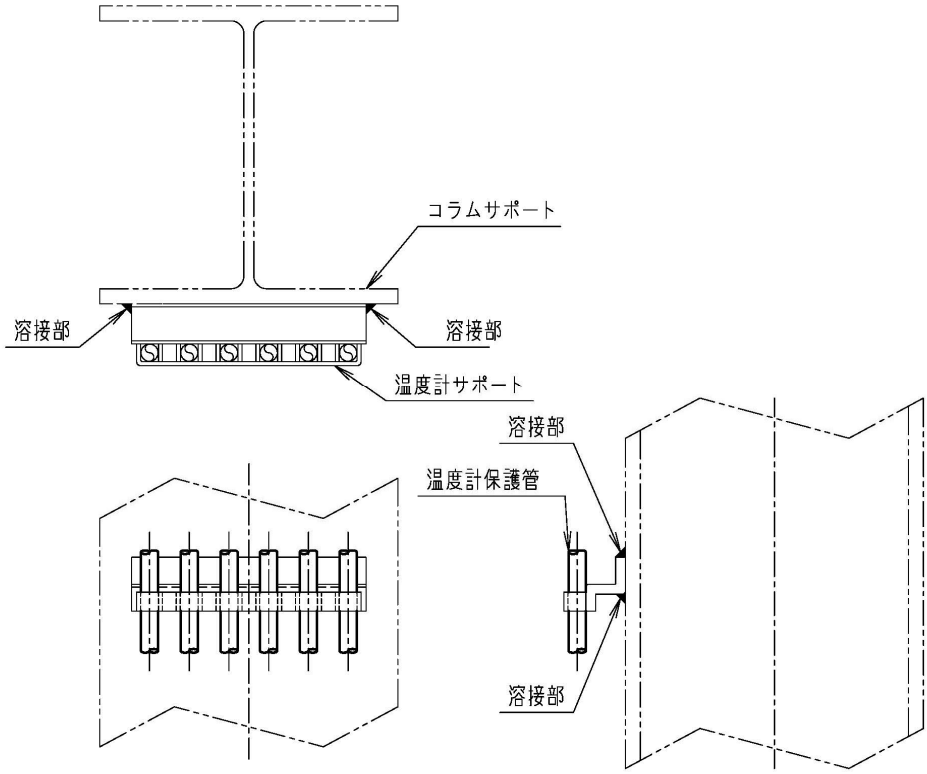
2.1 構造計画

サプレッション・プール水温度計の構造計画を表2-1及び表2-2に示す。

表 2-1 構造計画（設計基準対象施設）

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
温度計は、保護管内に設置し、保護管は、サポートを介して、溶接により架構に設置する。	温度計	

表 2-2 構造計画（重大事故等対処設備）

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
温度計は、保護管内に設置し、保護管は、サポートを介して、溶接によりコラムサポートに設置する。	温度計	

2.2 評価方針

サプレッション・プール水温度計の応力評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すサプレッション・プール水温度計の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、算出した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、サプレッション・プール水温度計の機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを確認することで実施する。

サプレッション・プール水温度計の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

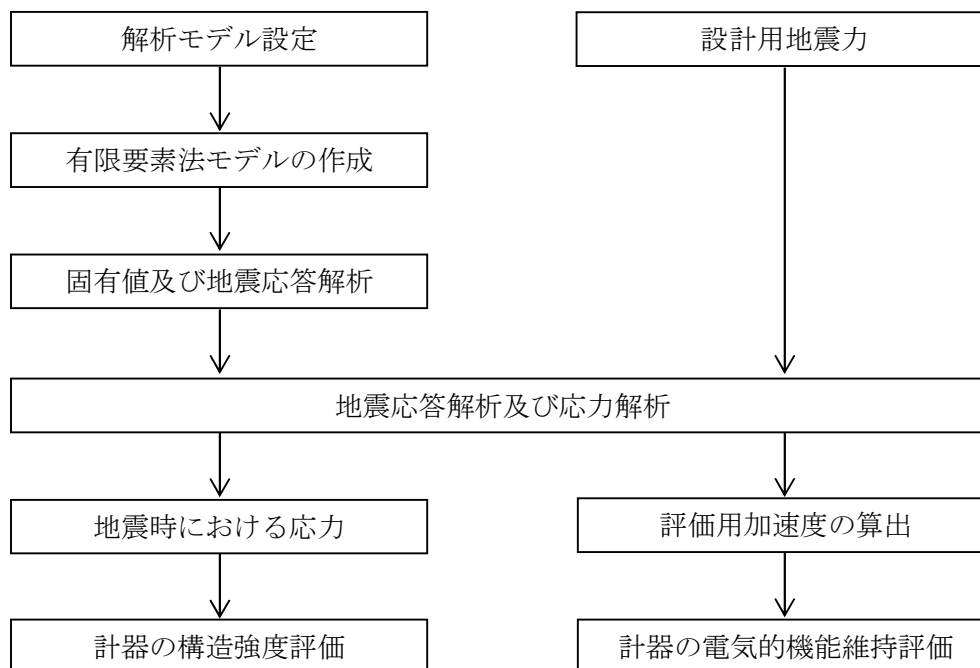


図 2-1 サプレッション・プール水温度計の耐震評価フロー

2.3 適用基準

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984，J E A G 4 6 0 1 －1987 及び J E A G 4 6 0 1 －1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月，昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）に準拠して評価する。

2.4 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
a	溶接部の有効のど厚	mm
A_w	溶接部の有効断面積	mm^2
b_1, b_2	溶接の有効長さ (z 方向)	mm
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
F	設計・建設規格 ^{*1} SSB-3131 又は SSB-3133に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 ^{*1} SSB-3131 又は SSB-3133に定める値	MPa
F_x	溶接部に作用する力 (x 方向)	N
F_y	溶接部に作用する力 (y 方向)	N
F_z	溶接部に作用する力 (z 方向)	N
f_s	溶接部の許容せん断応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_1, h_2	溶接の有効長さ (y 方向)	mm
Z_y	溶接全断面における y 軸方向の断面係数	mm^3
Z_z	溶接全断面における z 軸方向の断面係数	mm^3
Z_p	溶接全断面におけるねじり断面係数	mm^3
ℓ	据付面から計器荷重点, 計器固定金具荷重点までの距離	mm
M_x	溶接部に作用するモーメント (x 軸周り)	$\text{N} \cdot \text{m}$
M_y	溶接部に作用するモーメント (y 軸周り)	$\text{N} \cdot \text{m}$
M_z	溶接部に作用するモーメント (z 軸周り)	$\text{N} \cdot \text{m}$
s	溶接脚長	mm
S_u	設計・建設規格 ^{*1} 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 ^{*1} 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
W	保護管の荷重	N
π	円周率	—
σ_t	溶接部に生じる引張応力	MPa
σ_b	溶接部に生じる曲げ応力	MPa
σ_w	溶接部に生じる組合せ応力	MPa
τ	溶接部に生じるせん断応力	MPa

注記 *1:「設計・建設規格」とは, 発電用原子力設備規格 (設計・建設規格 (2005 年版 (2007 年追補版含む。)) J S M E S N C 1-2005/2007) (日本機械学会 2007 年 9 月) をいう。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は、表 2-3 に示す通りとする。

表 2-3 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量 ^{*1}	kg	—	—	整数位
長さ ^{*1}	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
断面係数	mm ³	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

サプレッション・プール水温度計の耐震評価は、「4.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる溶接部を選定して実施する。サプレッション・プール水温度計の耐震評価箇所については、表 2-1 及び表 2-2 の概略構造図に示す。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) 保護管の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は保護管に対して、水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (3) 保護管は、サポートを介して溶接によりコラムサポートまたは架構に固定された固定端とする。ここで、基礎については、剛となるように設計する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

サプレッション・プール水温度計の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

サプレッション・プール水温度計の使用材料の許容応力を表 4-3 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	サプレッション・ プール水温度計	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d$ *	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	サプレッション・ プール水温度計	常設耐震／防止 常設／緩和	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

注記 *¹：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，
「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*²：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*³：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許 容 限 界*1, *2 (ボ ル ト 以 外)			
	一次応力			
	引張り	せん断	圧縮	曲げ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$
V _A S (V _A S としてⅣ _A S の 許容限界を用いる。)				

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

V-2-6-5-25 ドライウェル雰囲気温度計の耐震性についての 計算書

目次

1. 概要	1

1. 概要

本計算書は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、ドライウェル雰囲気温度計が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

ドライウェル雰囲気温度計は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

V-2-6-5-26 サプレッション・チェンバ雰囲気温度計の耐震性についての
計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	3
2.3	適用基準	4
2.4	記号の説明	5
2.5	計算精度と数値の丸め方	6
3.	評価部位	7
4.	構造強度評価	8
4.1	構造強度評価方法	8
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	8

1. 概要

本計算書は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、サプレッション・チェンバ雰囲気温度計が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

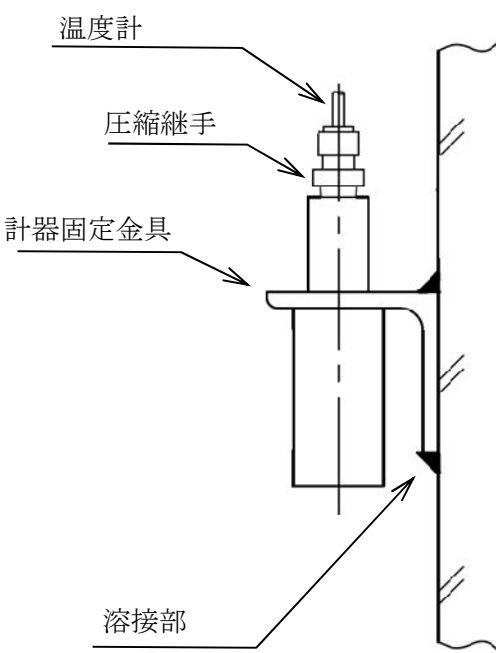
サプレッション・チェンバ雰囲気温度計は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

サプレッション・チェンバ雰囲気温度計の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
温度計は、計器固定金具に圧縮継手により固定する。 計器固定金具は、溶接により壁面に設置する。	温度計	

2.2 評価方針

サプレッション・チェンバ雰囲気温度計の応力評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すサプレッション・チェンバ雰囲気温度計の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、算出した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、サプレッション・チェンバ雰囲気温度計の機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを確認することで実施する。

サプレッション・チェンバ雰囲気温度計の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

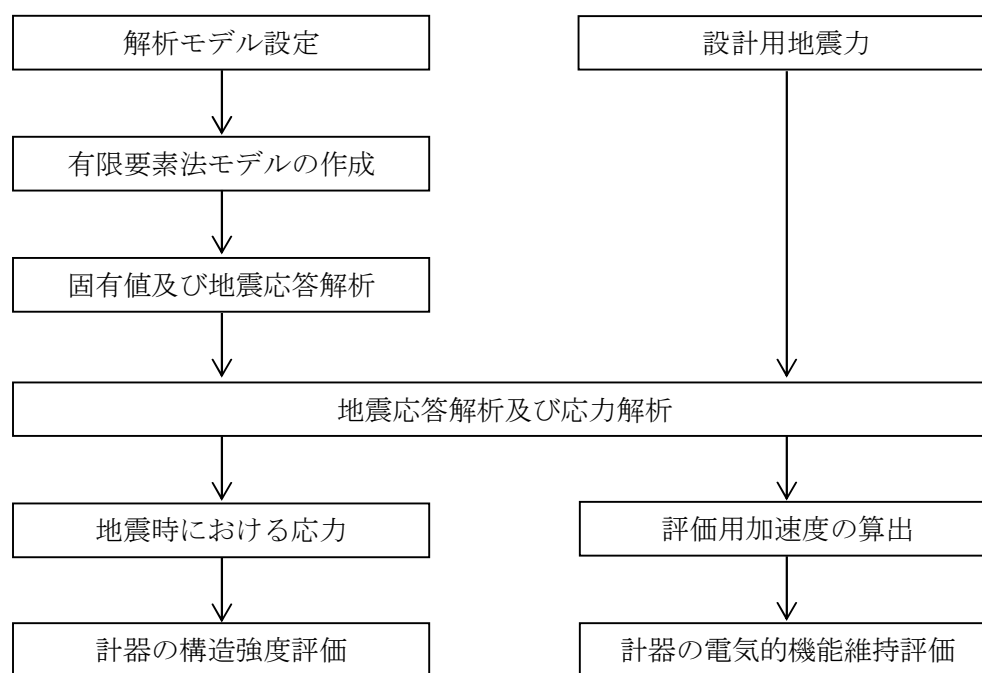


図 2-1 サプレッション・チェンバ雰囲気温度計の耐震評価フロー

2.3 適用基準

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984, J E A G 4 6 0 1 －1987 及び J E A G 4 6 0 1 －1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月 及び平成 3 年 6 月）に準拠して評価する。

2.4 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
a	溶接部の有効のど厚	mm
A_w	溶接部の有効断面積	mm ²
b_1, b_2	溶接の有効長さ (y 方向)	mm
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
F^*	設計・建設規格 ^{*1} SSB-3131 又は SSB-3133に定める値	MPa
F_x	溶接部に作用する力 (x 方向)	N
F_y	溶接部に作用する力 (y 方向)	N
F_z	溶接部に作用する力 (z 方向)	N
f_s	溶接部の許容せん断応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h_1, h_2	溶接の有効長さ (z 方向)	mm
Z_y	溶接全断面における y 軸方向の断面係数	mm ³
Z_z	溶接全断面における z 軸方向の断面係数	mm ³
Z_p	溶接全断面におけるねじり断面係数	mm ³
ℓ	据付面から計器荷重点, 計器固定金具荷重点までの距離	mm
M_x	溶接部に作用するモーメント (x 軸周り)	N・m
M_y	溶接部に作用するモーメント (y 軸周り)	N・m
M_z	溶接部に作用するモーメント (z 軸周り)	N・m
s	溶接脚長	mm
S_u	設計・建設規格 ^{*1} 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 ^{*1} 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
W_1	計器の荷重	N
W_2	計器固定金具の荷重	N
π	円周率	—
σ_t	溶接部に生じる引張応力	MPa
σ_b	溶接部に生じる曲げ応力	MPa
σ_w	溶接部に生じる組合せ応力	MPa
τ	溶接部に生じるせん断応力	MPa

注記 *1:「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J SME S NC 1－2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）をいう。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示す通りとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量 ^{*1}	kg	—	—	整数位
長さ ^{*1}	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
断面係数	mm ³	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 *1:設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2:絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3:設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

サプレッション・チェンバ雰囲気温度計の耐震評価は、「4.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる溶接部を選定して実施する。サプレッション・チェンバ雰囲気温度計の耐震評価箇所については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) 温度計及び計器固定金具の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は温度計及び計器固定金具に対して、水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (3) 温度計及び計器固定金具は、溶接及び圧縮継手により壁面に固定された固定端とする。ここで、基礎については、剛となるように設計する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

サプレッション・チェンバ霧囲気温度計の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

サプレッション・チェンバ霧囲気温度計の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力

サプレッション・チェンバ霧囲気温度計の使用材料の許容応力のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	サプレッション・ チェンバ雰囲気温度計	常設耐震／防止 常設／緩和	— *2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限 界を用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，
「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許 容 限 界 ^{*1, *2} (ボ ル ト 以 外)			
	一次応力			
	引張り	せん断	圧縮	曲げ
$IV_A S$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$
$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の 許容限界を用いる。)				

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3 使用材料の許容応力（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト	SUS304	周囲環境温度		148	410	205

V-2-6-5-27 格納容器内水素濃度計の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1

2. 一般事項 1

2.1 構造計画 1

3. 構造強度評価 3

3.1 構造強度評価方法 3

3.2 荷重の組合せ及び許容応力 3

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、格納容器内水素濃度計が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

格納容器内水素濃度計は、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、分類に応じた構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

格納容器内水素濃度計の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
格納容器内水素濃度計は計装ラック内に収納し、計装ラックはチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	垂直自立形	

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

格納容器内水素濃度計を収納する計装ラックの構造は垂直自立形であるため、構造強度評価は、添付書類「付録 8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

格納容器内水素濃度計を収納する計装ラックの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

格納容器内水素濃度計を収納する計装ラックの許容応力を表 3-2 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	格納容器内水素濃度計	S	— *	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 3-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

V-2-6-5-28 格納容器内水素濃度計（S A）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1

2. 構造説明 2

 2.1 構造計画 2

3. 応力評価 3

 3.1 基本方針 3

 3.2 荷重の組合せ及び許容応力 3

1. 概要

本計算書は、添付書類V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、格納容器内水素濃度計（S A）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

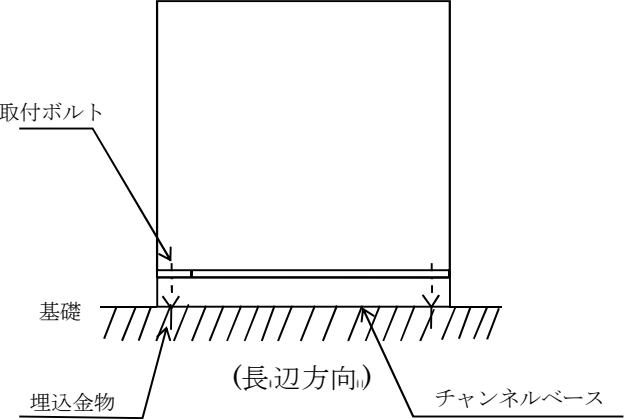
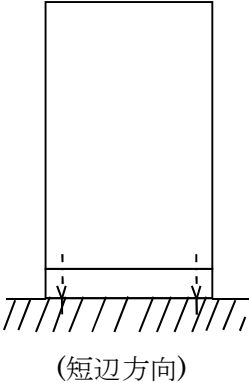
格納容器内水素濃度計（S A）は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

格納容器内水素濃度計（S A）の構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1 構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
現場盤	現場盤は基礎にアンカーボルトで固定したチャンネルベースに取付ボルトで固定する。	垂直自立形	正面  側面 

3. 応力評価

3.1 基本方針

応力評価は付録 8「計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

格納容器内水素濃度計（S A）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

格納容器内水素濃度計（S A）の許容応力を表 3-2 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	格納容器内 水素濃度計（S A） ^{*2}	常設耐震／防止 常設／緩和	—	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ^{*4}

注記 *1 : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2 : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*3 : 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

*4 : $V_A S$ として $IV_A S$ の許容限界を用いる。

表 3-2 許容応力（その他の支持構造物（重大事故等対処設備））

許容応力状態	許容限界 ^{*1} (ボルト等)		
	一次応力		
	引張り	せん断	組合せ
$III_A S$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
$IV_A S$	$1.5 \cdot f_t$ ^{**2}	$1.5 \cdot f_s$ ^{**2}	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t$ ^{**2} $, (2.1 \cdot f_t$ ^{**2} $ - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
$V_A S$ ^{*3}	$1.5 \cdot f_t$ ^{**2}	$1.5 \cdot f_s$ ^{**2}	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t$ ^{**2} $, (2.1 \cdot f_t$ ^{**2} $ - 1.6 \cdot \tau_b)\}$

注記 *1 : 応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2 : その他の支持構造物においては S_y を $1.2 \cdot S_y$ と読み替える。

*3 : $V_A S$ として $IV_A S$ の許容限界を用いる。

V-2-6-5-29 格納容器内酸素濃度計の耐震性についての計算書

格納容器内酸素濃度計の耐震計算は、「V-2-6-5-27 格納容器内水素濃度計の耐震性についての計算書」に含まれている。

V-2-6-5-30 格納容器内酸素濃度計（S A）の耐震性についての計算書

格納容器内酸素濃度計（S A）の耐震計算は,「V-2-6-5-28 格納容器内水素濃度計（S A）の耐震性についての計算書」に含まれている。

V-2-6-5-31 格納容器下部水温計の耐震性についての計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	3
2.3	適用基準	4
2.4	記号の説明	5
2.5	計算精度と数値の丸め方	6
3.	評価部位	7
4.	構造強度評価	7
4.1	構造強度評価方法	7
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	7

1. 概要

本計算書は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、格納容器下部水温計が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

格納容器下部水温計は、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

格納容器下部水温計の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
水温計は、計器固定金具に圧縮継手により固定する。 計器固定金具は、溶接によりペDESTAL側面に設置する。	水温計	

2.2 評価方針

格納容器下部水温計の応力評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す格納容器下部水温計の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、算出した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、格納容器下部水温計の機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを確認することで実施する。

格納容器下部水温計の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

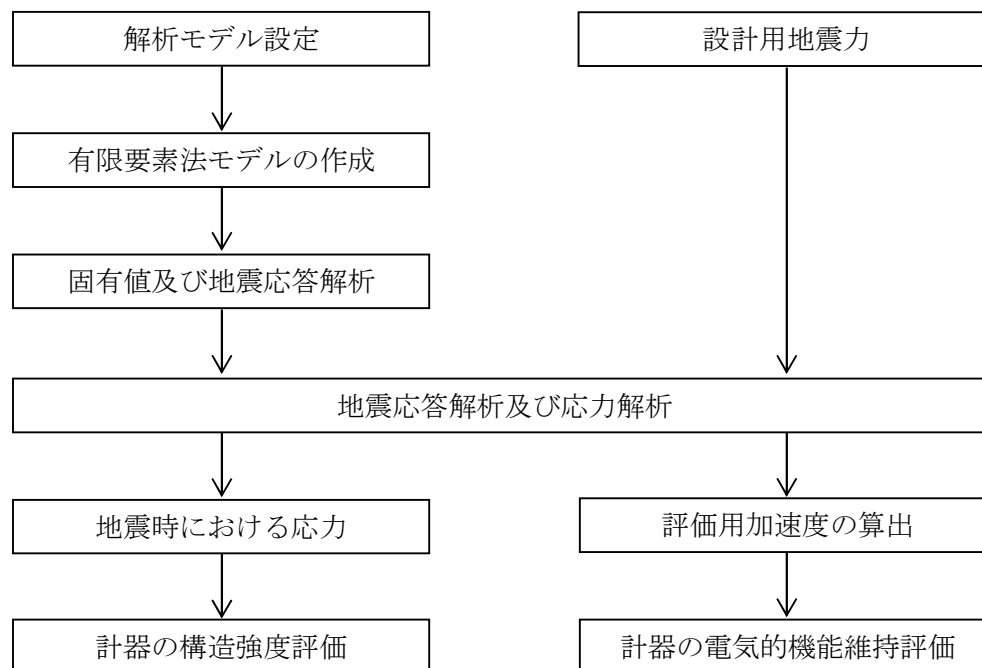


図 2-1 格納容器下部水温計の耐震評価フロー

2.3 適用基準

本計算書においては，原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984，J E A G 4 6 0 1－1987 及び J E A G 4 6 0 1－1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月，昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）に準拠して評価する。

2.4 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
a	溶接部の有効のど厚	mm
A_w	溶接部の有効断面積	mm ²
b_1, b_2	溶接の有効長さ (y 方向)	mm
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
F^*	設計・建設規格 ^{*1} SSB-3131 又は SSB-3133に定める値	MPa
F_x	溶接部に作用する力 (x 方向)	N
F_y	溶接部に作用する力 (y 方向)	N
F_z	溶接部に作用する力 (z 方向)	N
f_s	溶接部の許容せん断応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h_1, h_2	溶接の有効長さ (z 方向)	mm
Z_y	溶接全断面における y 軸方向の断面係数	mm ³
Z_z	溶接全断面における z 軸方向の断面係数	mm ³
Z_p	溶接全断面におけるねじり断面係数	mm ³
ℓ	据付面から計器荷重点, 計器固定金具荷重点までの距離	mm
M_x	溶接部に作用するモーメント (x 軸周り)	N・m
M_y	溶接部に作用するモーメント (y 軸周り)	N・m
M_z	溶接部に作用するモーメント (z 軸周り)	N・m
s	溶接脚長	mm
S_u	設計・建設規格 ^{*1} 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 ^{*1} 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
W_1	計器の荷重	N
W_2	計器固定金具の荷重	N
π	円周率	—
σ_t	溶接部に生じる引張応力	MPa
σ_b	溶接部に生じる曲げ応力	MPa
σ_w	溶接部に生じる組合せ応力	MPa
τ	溶接部に生じるせん断応力	MPa

注記 *1:「設計・建設規格」とは, 発電用原子力設備規格(設計・建設規格(2005 年版(2007 年追補版含む。)) J S M E S N C 1 - 2005/2007) (日本機械学会 2007 年 9 月) をいう。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は、表2-2に示す通りとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量 ^{*1}	kg	—	—	整数位
長さ ^{*1}	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
断面係数	mm ³	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1: 設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2: 絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3: 設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

格納容器下部水温計の耐震評価は、「4.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる溶接部を選定して実施する。格納容器下部水温計の耐震評価箇所については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) 水温計及び計器固定金具の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は水温計及び計器固定金具に対して、水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (3) 水温計及び計器固定金具は、溶接及び圧縮継手により壁面に固定された固定端とする。ここで、基礎については、剛となるように設計する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

格納容器下部水温計の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

格納容器下部水温計の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力

格納容器下部水温計の使用材料の許容応力のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	格納容器下部水温計	常設／緩和	— *2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限 界を用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，
「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許 容 限 界 ^{*1, *2} (ボ ル ト 以 外)			
	一次応力			
	引張り	せん断	圧縮	曲げ
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)				

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3 使用材料の許容応力（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度		148	410	205

V-2-6-5-32 代替淡水貯槽水位計の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造の概要	1
2.3 評価方針	2
2.4 適用規格	2
3. 固有値解析	3
3.1 基本方針	3
3.2 固有振動数の計算方法	3
3.2.1 計器スタンションの固有振動数の計算	3
3.2.2 記号の説明	4
3.2.3 固有値解析結果	4
3.2.3.1 計器スタンションの固有振動数の計算条件	4
3.2.3.2 固有振動数の計算結果	4
4. 応力評価	5
4.1 基本方針	5
4.2 耐震評価箇所	5
4.3 荷重の組合せ及び許容応力	5
4.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	5
4.3.2 許容応力	5
4.3.3 使用材料の許容応力	5
4.4 設計用地震力	8
4.5 応力計算方法	9
4.5.1 記号の説明	9
4.5.2 応力計算	10
4.5.3 計器スタンションの応力計算条件	12
5. 電氣的機能維持評価	13
5.1 機能維持評価方法	13
6. 評価結果	13
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	13
6.1.1 基準地震動 S_s に対する評価	13
6.1.2 機能維持に対する評価	13

1. 概要

本計算書は、代替淡水貯槽水位計の耐震計算について、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、固有値解析及び応力評価並びに電氣的機能維持について説明するものである。代替淡水貯槽水位計は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下に、この分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

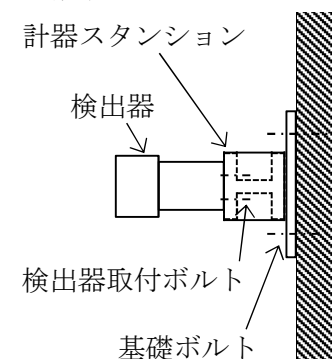
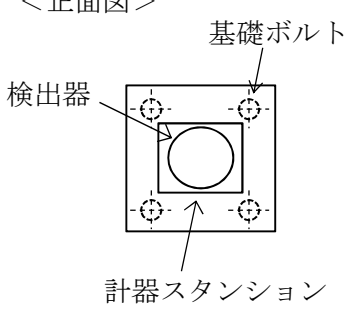
2.1 位置

代替淡水貯槽水位計は、常設低圧代替注水系ポンプ室 EL. -18.5 m に 1 台を設置する。

2.2 構造の概要

代替淡水貯槽水位計の構造計画を第 2-1 表に示す。

第 2-1 表 代替淡水貯槽水位計の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
代替淡水貯槽 水位計	差圧式水位 検出器	検出器を壁面に基礎ボルトにて固定された計器ステーションに検出器取付ボルトにより取付ける。	計器ステーション（壁掛形） <側面図>  <正面図> 

2.3 評価方針

代替淡水貯槽水位計の応力評価は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」で設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造の概要」にて示す代替淡水貯槽水位計の部位を踏まえて「4.2 耐震評価箇所」にて設定する箇所において、「3. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく応力等が許容値限界内に収まることを付録 9「計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」で示す計算方法に基づき、「4. 応力評価」にて確認することで実施する。また、代替淡水貯槽水位計の機能維持評価は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを「5. 電氣的機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

2.4 適用規格

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984, J E A G 4 6 0 1-1987 及び J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年，昭和 62 年及び平成 3 年）に準拠して評価する。

3. 固有値解析

代替淡水貯槽水位計の固有振動数算定方法について以下に示す。

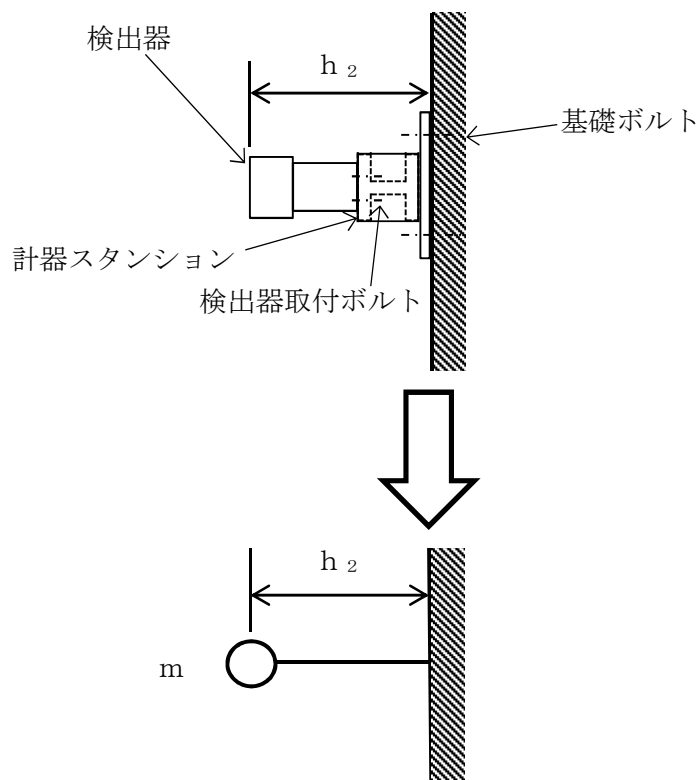
3.1 基本方針

- (1) 固有振動数計算モデルは1質点系モデルとし、検出器の重心位置に地震荷重が作用するものとする。なお、保守的な評価とするため、重心位置は検出器の先端とする。
- (2) 固有振動数の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

3.2 固有振動数の計算方法

検出器及び検出器取付ボルトは製造者による加振試験により、固有振動数が20 Hz以上であることを確認しているため、検出器及び検出器取付ボルトは剛とし、計器スタンションの脚部に質量が均等にかかるとして、以下の固有振動数計算モデルにて算出する。

3.2.1 計器スタンションの固有振動数の計算



固有振動数計算モデル

計器スタンションの固有振動数は以下による。

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot E \cdot I \cdot 10^3}{m \cdot h_2^3}} \dots \dots \dots (3.2.1)$$

3.2.2 記号の説明

記号	記 号 の 説 明	単位
m	計器スタンション（検出器含む）の質量	kg
h_2	取付面から重心までの距離（壁掛形）	mm
E	計器スタンションの縦弾性係数	MPa
I	計器スタンションの断面二次モーメント	mm^4
f	計器スタンションの固有振動数	Hz

3.2.3 固有値解析結果

3.2.3.1 計器スタンションの固有振動数の計算条件

項目	記号	単位	入力値
材質（計器スタンション）	—	—	SS400
計器スタンション（検出器含む）の質量	m	kg	16
取付面から重心までの距離（壁掛形）	h_2	mm	298
計器スタンションの縦弾性係数	E	MPa	2.00×10^5
計器スタンションの断面二次モーメント	I	mm^4	7.31×10^5
雰囲気温度条件	—	℃	66

3.2.3.2 固有振動数の計算結果

固有振動数の計算結果を以下に示す。

据付方法	計器スタンションの固有振動数（Hz）
壁掛形	162

4. 応力評価

4.1 基本方針

- (1) 耐震計算モデルは1質点系モデルとし、検出器の重心位置に地震荷重が作用するものとする。なお、保守的な評価とするため、重心位置は検出器の先端とする。
- (2) 許容応力について、J S M E S N C 1-2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に、温度が付録材料図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
- (3) 耐震評価に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 耐震評価箇所

代替淡水貯槽水位計の耐震評価は、応力集中箇所である計器スタンションの基礎ボルトを選定して実施する。代替淡水貯槽水位計の耐震評価箇所については、第2-1表の説明図に示す。

4.3 荷重の組合せ及び許容応力

4.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

代替淡水貯槽水位計の荷重の組合せ及び許容応力状態について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを第4-1表に示す。

4.3.2 許容応力

代替淡水貯槽水位計の許容応力を第4-2表に示す。

4.3.3 使用材料の許容応力

代替淡水貯槽水位計の使用材料の許容応力について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを第4-3表に示す。

第4-1表 荷重の組合せ及び許容応力

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	低圧代替 注水設備	代替淡水貯槽水位計	常設耐震／防止 常設／緩和	— ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S^{*3}$

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*3： $V_A S$ として， $IV_A S$ の許容限界を用いる。

9

第4-2表 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等） ^{*1}		
	一次応力		
	引張	せん断	組合せ
$IV_A S$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^*, (2.1 \cdot f_t^* - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
$V_A S^{*2}$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^*, (2.1 \cdot f_t^* - 1.6 \cdot \tau_b)\}$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2： $V_A S$ として， $IV_A S$ の許容限界を用いる。

第 4-3 表 使用材料の許容応力

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	SS400	周囲環境温度	66	234	385	—	269

4.4 設計用地震力

耐震計算に用いる入力地震力には、V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき、第4-4表にて示す条件を用いて作成した設計用床応答曲線を用いる。また、減衰定数は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。

第4-4表 設計用地震力

地震動	据付場所 及び 床面高さ (m)	設計用床応答曲線			備考
		建屋* 及び高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	
基準地震動 S_s	常設低圧代替 注水系ポンプ室 EL. -18.5	常設低圧代替 注水系ポンプ室 EL. -11.0	水平方向 鉛直方向	1.0 1.0	水平方向，鉛 直方向ともに S_s -1～8 の包 絡曲線を用い る。

注記 *：検出器は壁面取付であるため、据付フロア上階の設計用床応答曲線を使用する。

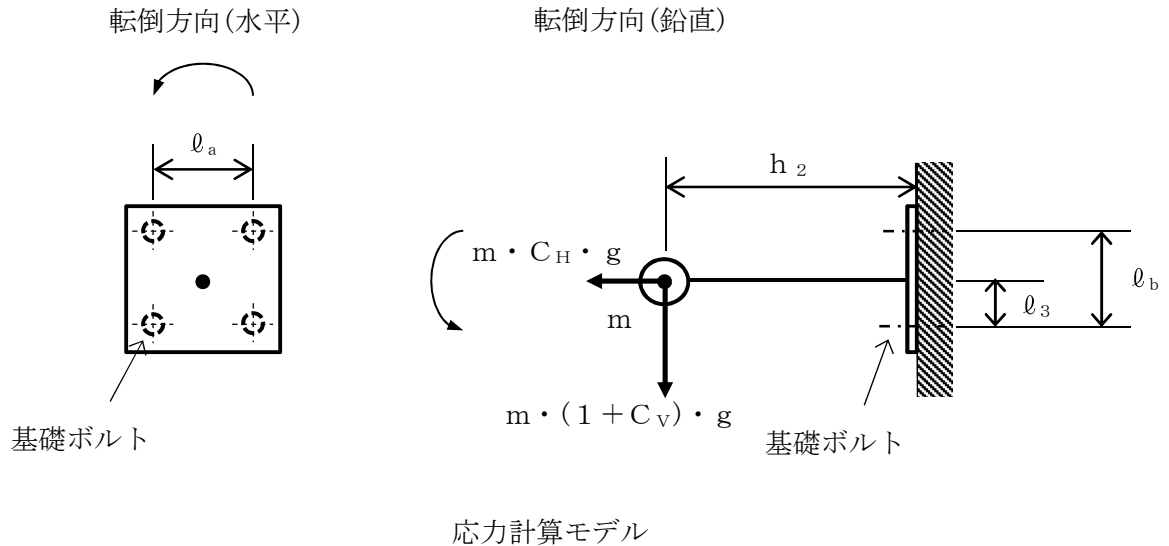
4.5 応力計算方法

4.5.1 記号の説明

記号	記 号 の 説 明	単位
m	計器スタンション（検出器含む）の質量	kg
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
A_b	ボルトの軸断面積	mm ²
F_b	ボルトに作用する引張力（1本あたり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び計器スタンション取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1本あたり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び計器スタンション取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1本あたり）（壁掛形）	N
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
h_2	取付面から重心までの距離（壁掛形）	mm
ℓ_3	重心と下側基礎ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）	mm
ℓ_a	左側基礎ボルトと右側基礎ボルト間の距離（壁掛形）	mm
ℓ_b	上側基礎ボルトと下側基礎ボルト間の距離（壁掛形）	mm
n	ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（水平方向）（壁掛形）	—
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（鉛直方向）（壁掛形）	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

4.5.2 応力計算

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。



(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、応力計算モデルで片側の列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを他方の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

・引張力 F_b の算出

左右方向の引張力 F_{b1}

$$F_{b1} = \frac{m \cdot C_H \cdot h_2 \cdot g}{n_{fH} \cdot \ell_a} + \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h_2 \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_b} \quad \dots (4.5.2.1)$$

前後方向の引張力 F_{b2}

$$F_{b2} = \frac{m \cdot C_H \cdot \ell_3 \cdot g + m \cdot (1 + C_V) \cdot h_2 \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_b} \quad \dots (4.5.2.2)$$

より、引張力 F_b は

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \quad \dots (4.5.2.3)$$

・引張応力 σ_b の算出

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \dots (4.5.2.4)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots \dots \dots (4.5.2.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

・せん断力 Q_b の算出

左右方向のせん断力 Q_{b1}

$$Q_{b1} = m \cdot C_H \cdot g \quad \dots \dots \dots (4.5.2.6)$$

前後方向のせん断力 Q_{b2}

$$Q_{b2} = m \cdot (1 + C_V) \cdot g \quad \dots \dots \dots (4.5.2.7)$$

より、せん断力 Q_b は

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \quad \dots \dots \dots (4.5.2.8)$$

・せん断応力 τ_b の算出

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \dots \dots \dots (4.5.2.9)$$

4.5.3 計器スタンションの応力計算条件

(1) 検出器関係

項目	記号	単位	入力値
計器スタンション(検出器含む)の質量	m	kg	16
重力加速度	g	m/s ²	9.80665
取付面から重心までの距離(壁掛形)	h_2	mm	298
重心と下側基礎ボルト間の鉛直方向距離(壁掛形)	l_3	mm	90
左側基礎ボルトと右側基礎ボルト間の距離(壁掛形)	l_a	mm	180
上側基礎ボルトと下側基礎ボルト間の距離(壁掛形)	l_b	mm	180

(2) 基礎ボルト関係

項目	記号	単位	入力値
ボルトの呼び径	d	mm	12
ボルトの軸断面積	A_b	mm ²	113.1
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(水平方向)(壁掛形)	n_{fH}	—	2
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(鉛直方向)(壁掛形)	n_{fV}	—	2
ボルトの本数	n	—	4

(3) 設計用加速度

項目	記号	設計用加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水平震度	C_H	2.18
鉛直震度	C_V	1.08

注) 固有値解析結果より, 計器スタンションの固有振動数が 20 Hz 以上であることを確認したため, 設計用加速度には最大床加速度の 1.2 倍を使用する。

5. 電氣的機能維持評価

代替淡水貯槽水位計は、地震時及び地震後に電氣的機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その機能が維持されていることを示す。

5.1 機能維持評価方法

代替淡水貯槽水位計の固有振動数から応答加速度を求め、機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を第 5-1 表に示す。

第 5-1 表 機能確認済加速度

項目	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水平	4
鉛直	3.5

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

代替淡水貯槽水位計の重大事故時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

6.1.1 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

6.1.2 機能維持に対する評価

機能維持評価結果を次ページ以降に示す。

【代替淡水貯槽水位計の耐震性についての計算結果】

1. 設計条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び 床面高さ (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		周囲環境温度 (℃)
				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	
代替淡水貯槽 水位計	－ (S_s 機能維持)	常設低圧代替 注水系ポンプ室 EL. －18.5 (EL. －11.0) *	0.006	－	－	2.18	1.08	66

注記 *：評価に用いる基準床レベルを示す。

2. 機器要目

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_a (mm)		ℓ_b (mm)		A_b (mm ²)	n	n_f	
			弾性設計用 地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用 地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s			弾性設計用 地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	16	298	－	180	－	180	113.1	4	－	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用 地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	234	385	－	269	－	水平

3. 計算結果

ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	553.3	—	472.8

4. 結論

4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	5	201
		せん断	—	—	2	154

すべて許容応力以下である。

4.2 電氣的機能維持の評価結果

(単位：×9.8m/s²)

	評価用加速度	機能確認済加速度
水平方向	2.18	4
鉛直方向	1.08	3.5

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

V-2-6-5-33 西側淡水貯水設備水位計の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 構造説明	1
2.1 構造計画	1
3. 応力評価	3
3.1 評価方針	3
3.1.1 一般事項	3
3.1.2 適用規格	3
3.1.3 計算条件	3

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、西側淡水貯水設備水位計が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

2. 構造説明

2.1 構造計画

西側淡水貯水設備水位計の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

設備名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	基礎・支持構造	
西側淡水貯水設備 水位計	西側淡水貯水設備 水位計であるレー ダー式液位検出 器，ベースより構 成する。	西側淡水貯水設備 水位計はベースに 取付ボルトで固定 され，ベースは基 礎ボルトで基礎に 据え付ける。	

3. 応力評価

3.1 評価方針

3.1.1 一般事項

本基本方針は、西側淡水貯水設備水位計（以下「本体」という。）の耐震性に関する計算書の計算方法を示す。

3.1.2 適用規格

本計算方法は、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 62 年 8 月）に準拠したものである。

3.1.3 計算条件

- (1) 本体の質量は、重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は本体に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 本体は取付ボルトでベースに固定されており、並びにベースは基礎ボルトで躯体に固定されており、固定端とする。
- (4) ボルトの配置については取付ボルトは円形配置とし、基礎ボルトは矩形配置とする。

V-2-6-5-34 低圧代替注水系格納容器スプレイ流量計の耐震性について
の計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造の概要	1
2.3 評価方針	2
2.4 適用規格	2
3. 固有値解析	3
3.1 基本方針	3
3.2 固有振動数の計算方法	3
3.2.1 計器スタンションの固有振動数の計算	3
3.2.2 記号の説明	4
3.2.3 固有値解析結果	4
3.2.3.1 計器スタンションの固有振動数の計算条件	4
3.2.3.2 固有振動数の計算結果	4
4. 応力評価	5
4.1 基本方針	5
4.2 耐震評価箇所	5
4.3 荷重の組合せ及び許容応力	5
4.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	5
4.3.2 許容応力	5
4.3.3 使用材料の許容応力	5
4.4 設計用地震力	8
4.5 応力計算方法	9
4.5.1 記号の説明	9
4.5.2 応力計算	10
4.5.3 計器スタンションの応力計算条件	12
5. 電氣的機能維持評価	13
5.1 機能維持評価方法	13
6. 評価結果	13
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	13
6.1.1 基準地震動 S_g に対する評価	13
6.1.2 機能維持に対する評価	13

1. 概要

本計算書は，低圧代替注水系格納容器スプレイ流量計の耐震計算について，V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，固有値解析及び応力評価並びに電氣的機能維持について説明するものである。低圧代替注水系格納容器スプレイ流量計は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下に，この分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

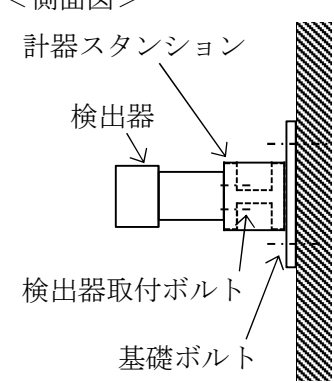
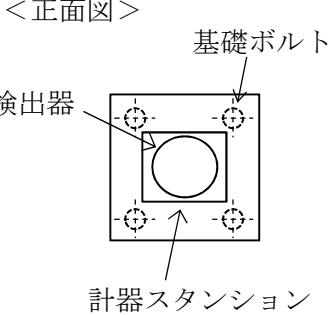
2.1 位置

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量計は，原子炉建屋 EL. 2.0 m 及び EL. 20.3 m に各 1 台ずつ計 2 台を設置する。

2.2 構造の概要

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量計の構造計画を第 2-1 表に示す。なお，構造は設置する 2 台とも同様である。

第 2-1 表 低圧代替注水系格納容器スプレイ流量計の構造計画

設備名称	計画の概要		説 明 図
	主体構造	支持構造	
低圧代替注水系 格納容器スプレイ 流量計	差圧式流量 検出器	検出器を壁面に基礎ボルトにて固定された計器スタンションに検出器取付ボルトにより取付ける。	計器スタンション（壁掛形） <側面図>  <正面図> 

2.3 評価方針

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量計の応力評価は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」で設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造の概要」にて示す低圧代替注水系格納容器スプレイ流量計の部位を踏まえて「4.2 耐震評価箇所」にて設定する箇所において、「3. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく応力等が許容値限界内に収まることを付録 9「計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」で示す計算方法に基づき、「4. 応力評価」にて確認することで実施する。また、低圧代替注水系格納容器スプレイ流量計の機能維持評価は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを「5. 電氣的機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

2.4 適用規格

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年, 昭和 62 年及び平成 3 年）に準拠して評価する。

3. 固有値解析

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量計の固有振動数算定方法について以下に示す。

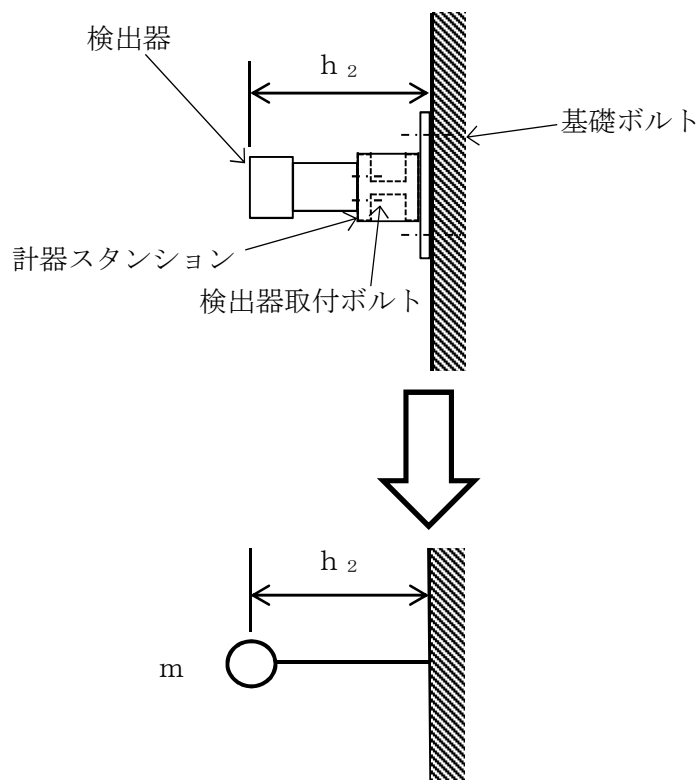
3.1 基本方針

- (1) 固有振動数計算モデルは1質点系モデルとし、検出器の重心位置に地震荷重が作用するものとする。なお、保守的な評価とするため、重心位置は検出器の先端とする。
- (2) 固有振動数の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

3.2 固有振動数の計算方法

検出器及び検出器取付ボルトは製造者による加振試験により、固有振動数が 20 Hz 以上であることを確認しているため、検出器及び検出器取付ボルトは剛とし、計器スタンションの脚部に質量が均等にかかるとして、以下の固有振動数計算モデルにて算出する。

3.2.1 計器スタンションの固有振動数の計算



固有振動数計算モデル

計器スタンションの固有振動数は以下による。

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot E \cdot I \cdot 10^3}{m \cdot h_2^3}} \dots \dots \dots (3.2.1)$$

3.2.2 記号の説明

記号	記 号 の 説 明	単位
m	計器スタンション（検出器含む）の質量	kg
h ₂	取付面から重心までの距離（壁掛形）	mm
E	計器スタンションの縦弾性係数	MPa
I	計器スタンションの断面二次モーメント	mm ⁴
f	計器スタンションの固有振動数	Hz

3.2.3 固有値解析結果

3.2.3.1 計器スタンションの固有振動数の計算条件

項目	記号	単位	入力値
材質（計器スタンション）	—	—	SS400
計器スタンション（検出器含む）の質量	m	kg	16
取付面から重心までの距離（壁掛形）	h ₂	mm	298
計器スタンションの縦弾性係数	E	MPa	2.01×10 ⁵
計器スタンションの断面二次モーメント	I	mm ⁴	7.31×10 ⁵
雰囲気温度条件	—	℃	56

3.2.3.2 固有振動数の計算結果

固有振動数の計算結果を以下に示す。

据付方法	計器スタンションの固有振動数（Hz）
壁掛形	162

4. 応力評価

4.1 基本方針

- (1) 耐震計算モデルは1質点系モデルとし、検出器の重心位置に地震荷重が作用するものとする。なお、保守的な評価とするため、重心位置は検出器の先端とする。
- (2) 許容応力について、J S M E S N C 1-2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に、温度が付録材料図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
- (3) 耐震評価に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 耐震評価箇所

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量計の耐震評価は、応力集中箇所である計器スタンションの基礎ボルトを選定して実施する。低圧代替注水系格納容器スプレイ流量計の耐震評価箇所については、第2-1表の説明図に示す。

4.3 荷重の組合せ及び許容応力

4.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量計の荷重の組合せ及び許容応力状態について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを第4-1表に示す。

4.3.2 許容応力

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量計の許容応力を第4-2表に示す。

4.3.3 使用材料の許容応力

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量計の使用材料の許容応力について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを第4-3表に示す。

第4-1表 荷重の組合せ及び許容応力

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	低圧代替 注水設備	低圧代替注水系 格納容器スプレイ流量計	常設耐震／防止 常設／緩和	— ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S^{*3}$

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*3： $V_A S$ として， $IV_A S$ の許容限界を用いる。

9

第4-2表 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等） ^{*1}		
	一次応力		
	引張	せん断	組合せ
$IV_A S$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^*, (2.1 \cdot f_t^* - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
$V_A S^{*2}$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^*, (2.1 \cdot f_t^* - 1.6 \cdot \tau_b)\}$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2： $V_A S$ として， $IV_A S$ の許容限界を用いる。

第 4-3 表 使用材料の許容応力

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	SS400	周囲環境温度	56	238	391	—	273

4.4 設計用地震力

耐震計算に用いる入力地震力には、V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき、第4-4表にて示す条件を用いて作成した設計用床応答曲線を用いる。また、減衰定数は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。なお、応力評価は基準地震動が卓越する原子炉建屋床面高さ EL. 20.3 m に据付ける検出器についてのみ行う。

第4-4表 設計用地震力

地震動	据付場所 及び 床面高さ (m)	設計用床応答曲線			備考
		建屋* 及び高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	
基準地震動 S_s	原子炉建屋 EL. 2.0	原子炉建屋 EL. 8.2	水平方向 鉛直方向	1.0 1.0	水平方向，鉛 直方向ともに S_s -1～8 の包 絡曲線を用い る。
基準地震動 S_s	原子炉建屋 EL. 20.3	原子炉建屋 EL. 29.0	水平方向 鉛直方向	1.0 1.0	

注記 *：検出器は壁面取付であるため、据付フロア上階の設計用床応答曲線を使用する。

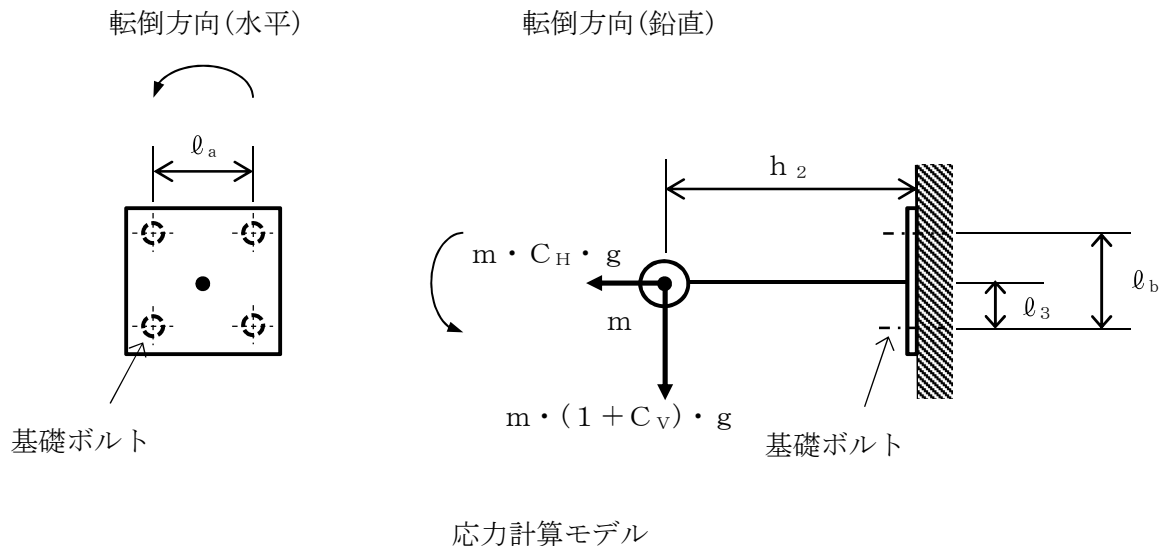
4.5 応力計算方法

4.5.1 記号の説明

記号	記 号 の 説 明	単位
m	計器スタンション（検出器含む）の質量	kg
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
A_b	ボルトの軸断面積	mm ²
F_b	ボルトに作用する引張力（1本あたり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び計器スタンション取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1本あたり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び計器スタンション取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1本あたり）（壁掛形）	N
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
h_2	取付面から重心までの距離（壁掛形）	mm
ℓ_3	重心と下側基礎ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）	mm
ℓ_a	左側基礎ボルトと右側基礎ボルト間の距離（壁掛形）	mm
ℓ_b	上側基礎ボルトと下側基礎ボルト間の距離（壁掛形）	mm
n	ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（水平方向）（壁掛形）	—
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（鉛直方向）（壁掛形）	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

4.5.2 応力計算

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。



(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、応力計算モデルで片側の列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを他方の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

・引張力 F_b の算出

左右方向の引張力 F_{b1}

$$F_{b1} = \frac{m \cdot C_H \cdot h_2 \cdot g}{n_{fH} \cdot \ell_a} + \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h_2 \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_b} \quad \dots (4.5.2.1)$$

前後方向の引張力 F_{b2}

$$F_{b2} = \frac{m \cdot C_H \cdot \ell_3 \cdot g + m \cdot (1 + C_V) \cdot h_2 \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_b} \quad \dots (4.5.2.2)$$

より、引張力 F_b は

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \quad \dots (4.5.2.3)$$

・引張応力 σ_b の算出

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \dots (4.5.2.4)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots \dots \dots (4.5.2.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

・せん断力 Q_b の算出

左右方向のせん断力 Q_{b1}

$$Q_{b1} = m \cdot C_H \cdot g \quad \dots \dots \dots (4.5.2.6)$$

前後方向のせん断力 Q_{b2}

$$Q_{b2} = m \cdot (1 + C_V) \cdot g \quad \dots \dots \dots (4.5.2.7)$$

より、せん断力 Q_b は

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \quad \dots \dots \dots (4.5.2.8)$$

・せん断応力 τ_b の算出

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \dots \dots \dots (4.5.2.9)$$

4.5.3 計器スタンションの応力計算条件

(1) 検出器関係

項目	記号	単位	入力値
計器スタンション(検出器含む)の質量	m	kg	16
重力加速度	g	m/s ²	9.80665
取付面から重心までの距離(壁掛形)	h_2	mm	298
重心と下側基礎ボルト間の鉛直方向距離(壁掛形)	l_3	mm	90
左側基礎ボルトと右側基礎ボルト間の距離(壁掛形)	l_a	mm	180
上側基礎ボルトと下側基礎ボルト間の距離(壁掛形)	l_b	mm	180

(2) 基礎ボルト関係

項目	記号	単位	入力値
ボルトの呼び径	d	mm	12
ボルトの軸断面積	A_b	mm ²	113.1
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(水平方向)(壁掛形)	n_{fH}	—	2
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(鉛直方向)(壁掛形)	n_{fV}	—	2
ボルトの本数	n	—	4

(3) 設計用加速度

項目	記号	設計用加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水平震度	C_H	1.55
鉛直震度	C_V	1.17

注) 固有値解析結果より, 計器スタンションの固有振動数が 20 Hz 以上であることを確認したため, 設計用加速度には最大床加速度の 1.2 倍を使用する。

5. 電氣的機能維持評価

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量計は、地震時及び地震後に電氣的機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その機能が維持されていることを示す。

5.1 機能維持評価方法

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量計の固有振動数から応答加速度を求め、機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を第 5-1 表に示す。

第 5-1 表 機能確認済加速度

項目	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水平	4
鉛直	3.5

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量計の重大事故時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

6.1.1 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

6.1.2 機能維持に対する評価

機能維持評価結果を次ページ以降に示す。

【低圧代替注水系格納容器スプレイ流量計の耐震性についての計算結果】

1. 設計条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び 床面高さ (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		周囲環境温度 (℃)
				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	
低圧代替注水系格納容器スプレイ流量計	－ (S_s 機能維持)	原子炉建屋 EL. 20.3 (EL. 29.0) *	0.006	－	－	1.55	1.17	56

注記 *：評価に用いる基準床レベルを示す。

2. 機器要目

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_a (mm)		ℓ_b (mm)		A_b (mm ²)	n	n_f	
			弾性設計用 地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用 地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s			弾性設計用 地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	16	298	－	180	－	180	113.1	4	－	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用 地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	238	391	－	273	－	水平

3. 計算結果

ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	483.2	—	418.4

4. 結論

4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	5	204
		せん断	—	—	1	157

すべて許容応力以下である。

4.2 電氣的機能維持の評価結果 (単位：×9.8m/s²)

	評価用加速度	機能確認済加速度
水平方向	1.55	4
鉛直方向	1.17	3.5

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

V-2-6-5-35 低圧代替注水系格納容器下部注水流量計の耐震性について
の計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造の概要	1
2.3 評価方針	2
2.4 適用規格	2
3. 固有値解析	3
3.1 基本方針	3
3.2 固有振動数の計算方法	3
3.2.1 計器スタンションの固有振動数の計算	3
3.2.2 記号の説明	4
3.2.3 固有値解析結果	4
3.2.3.1 計器スタンションの固有振動数の計算条件	4
3.2.3.2 固有振動数の計算結果	4
4. 応力評価	5
4.1 基本方針	5
4.2 耐震評価箇所	5
4.3 荷重の組合せ及び許容応力	5
4.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	5
4.3.2 許容応力	5
4.3.3 使用材料の許容応力	5
4.4 設計用地震力	8
4.5 応力計算方法	9
4.5.1 記号の説明	9
4.5.2 応力計算	10
4.5.3 計器スタンションの応力計算条件	12
5. 電氣的機能維持評価	13
5.1 機能維持評価方法	13
6. 評価結果	13
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	13
6.1.1 基準地震動 S_g に対する評価	13
6.1.2 機能維持に対する評価	13

1. 概要

本計算書は，低圧代替注水系格納容器下部注水流量計の耐震計算について，V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，固有値解析及び応力評価並びに電氣的機能維持について説明するものである。低圧代替注水系格納容器下部注水流量計は，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下に，この分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

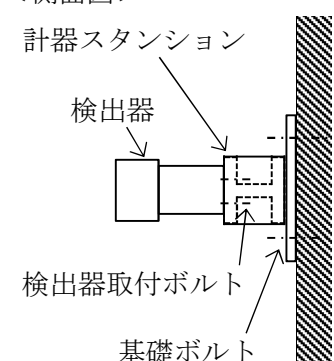
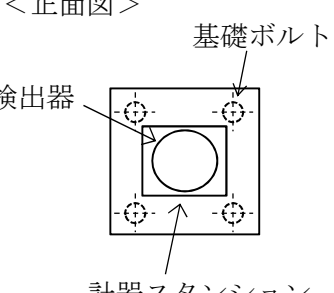
2.1 位置

低圧代替注水系格納容器下部注水流量計は，原子炉建屋原子炉棟 EL. 20.30 m に 1 台を設置する。

2.2 構造の概要

低圧代替注水系格納容器下部注水流量計の構造計画を第 2-1 表に示す。

第 2-1 表 低圧代替注水系格納容器下部注水流量計の構造計画

設備名称	計画の概要		説 明 図
	主体構造	支持構造	
低圧代替注水系 格納容器下部注水 流量計	差圧式流量 検出器	検出器を壁面に基礎ボルトにて固定された計器スタンションに検出器取付ボルトにより取付ける。	計器スタンション（壁掛形） <側面図>  <正面図> 

2.3 評価方針

低圧代替注水系格納容器下部注水流量計の応力評価は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」で設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造の概要」にて示す低圧代替注水系格納容器下部注水流量計の部位を踏まえて「4.2 耐震評価箇所」にて設定する箇所において、「3. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく応力等が許容値限界内に収まることを付録 9「計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」で示す計算方法に基づき、「4. 応力評価」にて確認することで実施する。また、低圧代替注水系格納容器下部注水流量計の機能維持評価は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを「5. 電氣的機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

2.4 適用規格

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年, 昭和 62 年及び平成 3 年）に準拠して評価する。

3. 固有値解析

低圧代替注水系格納容器下部注水流量計の固有振動数算定方法について以下に示す。

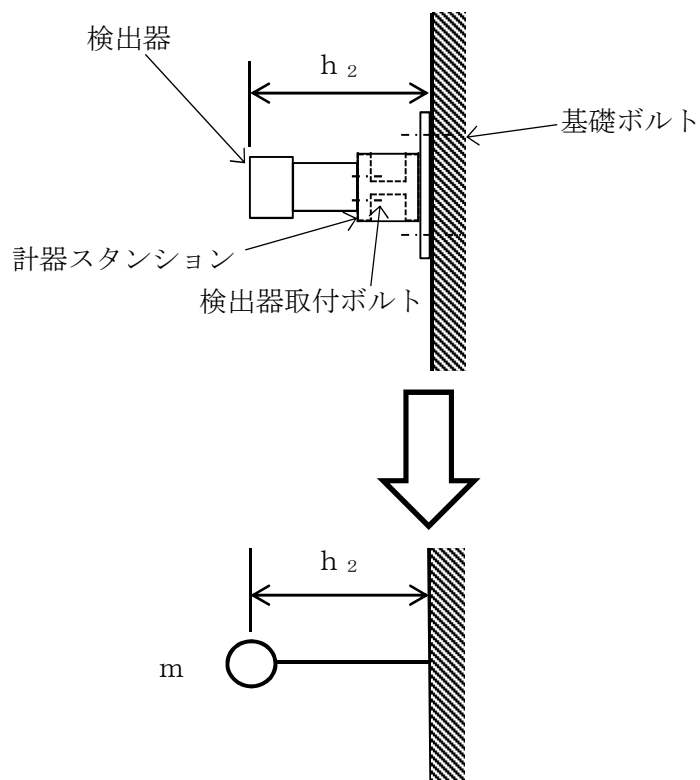
3.1 基本方針

- (1) 固有振動数計算モデルは1質点系モデルとし、検出器の重心位置に地震荷重が作用するものとする。なお、保守的な評価とするため、重心位置は検出器の先端とする。
- (2) 固有振動数の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

3.2 固有振動数の計算方法

検出器及び検出器取付ボルトは製造者による加振試験により、固有振動数が 20 Hz 以上であることを確認しているため、検出器及び検出器取付ボルトは剛とし、計器スタンションの脚部に質量が均等にかかるとして、以下の固有振動数計算モデルにて算出する。

3.2.1 計器スタンションの固有振動数の計算



固有振動数計算モデル

計器スタンションの固有振動数は以下による。

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot E \cdot I \cdot 10^3}{m \cdot h_2^3}} \dots \dots \dots (3.2.1)$$

3.2.2 記号の説明

記号	記 号 の 説 明	単位
m	計器スタンション（検出器含む）の質量	kg
h ₂	取付面から重心までの距離（壁掛形）	mm
E	計器スタンションの縦弾性係数	MPa
I	計器スタンションの断面二次モーメント	mm ⁴
f	計器スタンションの固有振動数	Hz

3.2.3 固有値解析結果

3.2.3.1 計器スタンションの固有振動数の計算条件

項目	記号	単位	入力値
材質（計器スタンション）	—	—	SS400
計器スタンション（検出器含む）の質量	m	kg	16
取付面から重心までの距離（壁掛形）	h ₂	mm	298
計器スタンションの縦弾性係数	E	MPa	2.01×10 ⁵
計器スタンションの断面二次モーメント	I	mm ⁴	7.31×10 ⁵
雰囲気温度条件	—	℃	

3.2.3.2 固有振動数の計算結果

固有振動数の計算結果を以下に示す。

据付方法	計器スタンションの固有振動数（Hz）
壁掛形	162

4. 応力評価

4.1 基本方針

- (1) 耐震計算モデルは1質点系モデルとし、検出器の重心位置に地震荷重が作用するものとする。なお、保守的な評価とするため、重心位置は検出器の先端とする。
- (2) 許容応力について、J S M E S N C 1-2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に、温度が付録材料図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
- (3) 耐震評価に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 耐震評価箇所

低圧代替注水系格納容器下部注水流量計の耐震評価は、応力集中箇所である計器スタンションの基礎ボルトを選定して実施する。低圧代替注水系格納容器下部注水流量計の耐震評価箇所については、第2-1表の説明図に示す。

4.3 荷重の組合せ及び許容応力

4.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧代替注水系格納容器下部注水流量計の荷重の組合せ及び許容応力状態について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを第4-1表に示す。

4.3.2 許容応力

低圧代替注水系格納容器下部注水流量計の許容応力を第4-2表に示す。

4.3.3 使用材料の許容応力

低圧代替注水系格納容器下部注水流量計の使用材料の許容応力について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを第4-3表に示す。

第4-1表 荷重の組合せ及び許容応力

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	低圧代替注水系格納容器 下部注水流量計 ^{*2}	常設／緩和	—	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S^{*3}$

注記 *1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*3： $V_A S$ として、 $IV_A S$ の許容限界を用いる。

6

第4-2表 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等） ^{*1}		
	一次応力		
	引張	せん断	組合せ
$IV_A S$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^*, (2.1 \cdot f_t^* - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
$V_A S^{*2}$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^*, (2.1 \cdot f_t^* - 1.6 \cdot \tau_b)\}$

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2： $V_A S$ として、 $IV_A S$ の許容限界を用いる。

第 4-3 表 使用材料の許容応力

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F [*] (MPa)
基礎ボルト	SS400	周囲環境温度		238	391	—	273

4.4 設計用地震力

耐震計算に用いる入力地震力には、V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき、第4-4表にて示す条件を用いて作成した設計用床応答曲線を用いる。また、減衰定数は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。

第4-4表 設計用地震力

地震動	据付場所 及び 床面高さ (m)	設計用床応答曲線			備考
		建屋* 及び高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	
基準地震動 S_s	原子炉建屋 原子炉棟 EL. 20.30	原子炉建屋 原子炉棟 EL. 29.00	水平方向 鉛直方向	1.0 1.0	水平方向，鉛直方向ともに S_s -1～8の包絡曲線を用いる。

注記 *：検出器は壁面取付であるため、据付フロア上階の設計用床応答曲線を使用する。

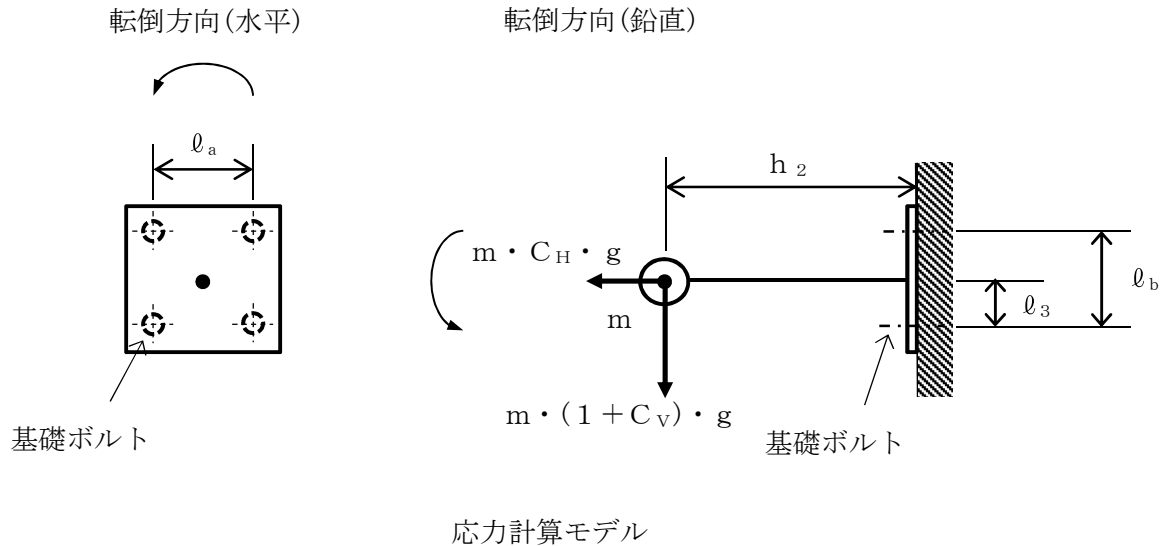
4.5 応力計算方法

4.5.1 記号の説明

記号	記 号 の 説 明	単位
m	計器スタンション（検出器含む）の質量	kg
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
A_b	ボルトの軸断面積	mm ²
F_b	ボルトに作用する引張力（1本あたり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び計器スタンション取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1本あたり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び計器スタンション取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1本あたり）（壁掛形）	N
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
h_2	取付面から重心までの距離（壁掛形）	mm
ℓ_3	重心と下側基礎ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）	mm
ℓ_a	左側基礎ボルトと右側基礎ボルト間の距離（壁掛形）	mm
ℓ_b	上側基礎ボルトと下側基礎ボルト間の距離（壁掛形）	mm
n	ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（水平方向）（壁掛形）	—
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（鉛直方向）（壁掛形）	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

4.5.2 応力計算

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。



(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、応力計算モデルで片側の列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを他方の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

・引張力 F_b の算出

左右方向の引張力 F_{b1}

$$F_{b1} = \frac{m \cdot C_H \cdot h_2 \cdot g}{n_{fH} \cdot \ell_a} + \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h_2 \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_b} \quad \dots (4.5.2.1)$$

前後方向の引張力 F_{b2}

$$F_{b2} = \frac{m \cdot C_H \cdot \ell_3 \cdot g + m \cdot (1 + C_V) \cdot h_2 \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_b} \quad \dots (4.5.2.2)$$

より、引張力 F_b は

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \quad \dots (4.5.2.3)$$

・引張応力 σ_b の算出

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \dots (4.5.2.4)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots \dots \dots (4.5.2.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

・せん断力 Q_b の算出

左右方向のせん断力 Q_{b1}

$$Q_{b1} = m \cdot C_H \cdot g \quad \dots \dots \dots (4.5.2.6)$$

前後方向のせん断力 Q_{b2}

$$Q_{b2} = m \cdot (1 + C_V) \cdot g \quad \dots \dots \dots (4.5.2.7)$$

より、せん断力 Q_b は

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \quad \dots \dots \dots (4.5.2.8)$$

・せん断応力 τ_b の算出

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \dots \dots \dots (4.5.2.9)$$

4.5.3 計器スタンションの応力計算条件

(1) 検出器関係

項目	記号	単位	入力値
計器スタンション(検出器含む)の質量	m	kg	
重力加速度	g	m/s ²	9.80665
取付面から重心までの距離(壁掛形)	h_2	mm	298
重心と下側基礎ボルト間の鉛直方向距離(壁掛形)	l_3	mm	90
左側基礎ボルトと右側基礎ボルト間の距離(壁掛形)	l_a	mm	180
上側基礎ボルトと下側基礎ボルト間の距離(壁掛形)	l_b	mm	180

(2) 基礎ボルト関係

項目	記号	単位	入力値
ボルトの呼び径	d	mm	12
ボルトの軸断面積	A_b	mm ²	113.1
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(水平方向)(壁掛形)	n_{fH}	—	2
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(鉛直方向)(壁掛形)	n_{fV}	—	2
ボルトの本数	n	—	4

(3) 設計用加速度

項目	記号	設計用加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水平震度	C_H	1.55
鉛直震度	C_V	1.17

注) 固有値解析結果より, 計器スタンションの固有振動数が 20 Hz 以上であることを確認したため, 設計用加速度には最大床加速度の 1.2 倍を使用する。

5. 電氣的機能維持評価

低圧代替注水系格納容器下部注水流量計は、地震時及び地震後に電氣的機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その機能が維持されていることを示す。

5.1 機能維持評価方法

低圧代替注水系格納容器下部注水流量計の固有振動数から応答加速度を求め、機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を第 5-1 表に示す。

第 5-1 表 機能確認済加速度

項目	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水平	
鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

低圧代替注水系格納容器下部注水流量計の重大事故時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

6.1.1 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

6.1.2 機能維持に対する評価

機能維持評価結果を次ページ以降に示す。

【低圧代替注水系格納容器下部注水流量計の耐震性についての計算結果】

1. 設計条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び 床面高さ (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		周囲環境温度 (℃)
				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	
低圧代替注水系格納容器下部注水流量計	－ (S _s 機能維持)	原子炉建屋 EL. 20.3 (EL. 29.0) *	0.006	－	－	1.55	1.17	

注記 * : 評価に用いる基準床レベルを示す。

2. 機器要目

部材	m (kg)	h ₂ (mm)	ℓ _a (mm)		ℓ _b (mm)		A _b (mm ²)	n	n _f	
			弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s			弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	16	298	－	180	－	180	113.1	4	－	2

部材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F [*] (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	238	391	－	273	－	水平

3. 計算結果

ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト				

4. 結論

4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	5	204
		せん断	—	—	1	157

すべて許容応力以下である。

4.2 電氣的機能維持の評価結果

(単位：×9.8 m/s²)

	評価用加速度	機能確認済加速度
水平方向	1.55	
鉛直方向	1.17	

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

V-2-6-5-36 代替循環冷却系格納容器スプレイ流量計の
耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4. 機能維持評価	6
4.1 電氣的機能維持評価方法	6

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、代替循環冷却系格納容器スプレイ流量計が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量計は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量計の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器取付板に固定され，取付板は，取付板取付ボルトにより計器スタンションに固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	計器スタンション	The diagram illustrates the structural components and assembly of the instrument station. It includes three views: a top view (平面) showing the detector and mounting plate from above; a front view (正面) showing the detector, mounting plate, and instrument station (計器スタンション) from the front; and a side view (側面) showing the detector, mounting plate, instrument station, and base (基礎) from the side. Labels indicate the detector (検出器), instrument station (計器スタンション), mounting plate (取付板), mounting plate attachment bolt (取付板取付ボルト), instrument attachment bolt (計器取付ボルト), and base (基礎). The side view also shows the base bolt (基礎ボルト) and the base wall (基礎(壁面)). 平面 正面 側面 基礎ボルト 検出器 計器スタンション 取付板取付ボルト 取付板 計器取付ボルト 基礎(壁面) (平面方向) (側面方向)

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量計の構造は壁掛形計器スタンションであるため、構造強度評価は、「付録9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量計の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-1に示す。

3.2.2 許容応力

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量計の許容応力を表3-2に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	代替循環冷却系 格納容器スプレイ流量計	常設耐震／防止 常設／緩和	— ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限 界を用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，
「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
$IV_A S$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の 許容限界を用いる。)		

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

4. 機能維持評価

4.1 電氣的機能維持評価方法

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量計の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、「付録9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量計に設置される検出器の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表4-1に示す。

表4-1 機能確認済加速度

($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
代替循環冷却系 格納容器スプレイ流量計 (FT-SA17-N018A)	差圧伝送器（流量） (EDR-N6L)	水平	
		鉛直	

V-2-6-5-37 サプレッション・プール水位計の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	5
2.3 適用基準	7
2.4 記号の説明(LT-26-79. 5A)	8
2.5 記号の説明(LT-26-79. 5B, LT-26-79. 60)	9
2.6 計算精度と数値の丸め方	10
3. 評価部位	11
3.1 LT-26-79. 5A の評価部位	11
3.2 LT-26-79. 5B 及び LT-26-79. 60 の評価部位	11
4. 構造強度評価	12
4.1 構造強度評価方法	12
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	13

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、サプレッション・プール水位計が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

サプレッション・プール水位計のうち、機器番号 LT-26-79.5A 及び LT-26-79.5B は、設計基準対象施設においては S クラス施設に、機器番号 LT-26-79.60 は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

サプレッション・プール水位の構造計画を表 2-1, 表 2-2 及び表 2-3 に示す。

表 2ー1 構造計画 (LT-26-79.5A)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は、計器取付ボルトにより計器取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器スタンションに固定される。 計器スタンションは、埋込金物に溶接で設置する。	計器スタンション	The diagram illustrates the assembly of a detector. It includes three views: a top view (平面) showing the detector mounted on a plate; a front view (正面) showing the detector mounted on a vertical support; and a side view (側面) showing the detector mounted on a vertical support. The side view labels the detector (検出器), mounting plate (取付板), mounting bolts (計器取付ボルト and 取付板取付ボルト), and the base (基礎 (壁面)). The plan view labels the detector station (計器スタンション) and the mounting plate (取付板). The side view also labels the welding part (溶接部) and the embedded metal (埋込金物).

表 2ー2 構造計画 (LT-26-79.5B)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器取付板に固定され，取付板は，取付板取付ボルトにより計器スタンションに固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	計器スタンション	The diagram illustrates the structural assembly of a detector. It includes three views: a top view (平面) showing the detector mounted on a plate; a front view (正面) showing the detector and mounting plate from the front; and a side view (側面) showing the detector, mounting plate, and the detector station (計器スタンション) mounted on a base (基礎). Labels indicate the detector (検出器), mounting plate (取付板), detector station (計器スタンション), detector mounting bolts (計器取付ボルト), mounting plate mounting bolts (取付板取付ボルト), base bolts (基礎ボルト), and the base (基礎/壁面). The side view also shows the detector station mounted on the base.

表 2-3 構造計画 (LT-26-79.60)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は、計器取付ボルトにより計器取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器スタンションに固定される。 計器スタンションは、基礎に基礎ボルトで設置する。	計器スタンション	The diagram illustrates the structural assembly of a detector. It includes three views: a top view (平面) showing the detector mounted on a plate; a front view (正面) showing the detector, mounting plate, and mounting bracket (計器スタンション) secured with bolts; and a side view (側面) showing the entire assembly mounted to a wall (基礎(壁面)) using base bolts (基礎ボルト). Labels identify the detector (検出器), mounting plate (取付板), mounting plate mounting bolts (取付板取付ボルト), detector mounting bolts (計器取付ボルト), and base bolts (基礎ボルト).

2.2 評価方針

2.2.1 LT-26-79.5A の評価方針

サプレッション・プール水位計 (LT-26-79.5A) の応力評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すサプレッション・プール水位計 (LT-26-79.5A) の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、算出した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを確認することで実施する。また、サプレッション・プール水位計 (LT-26-79.5A) の機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを確認することで実施する。

サプレッション・プール水位計 (LT-26-79.5A) の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

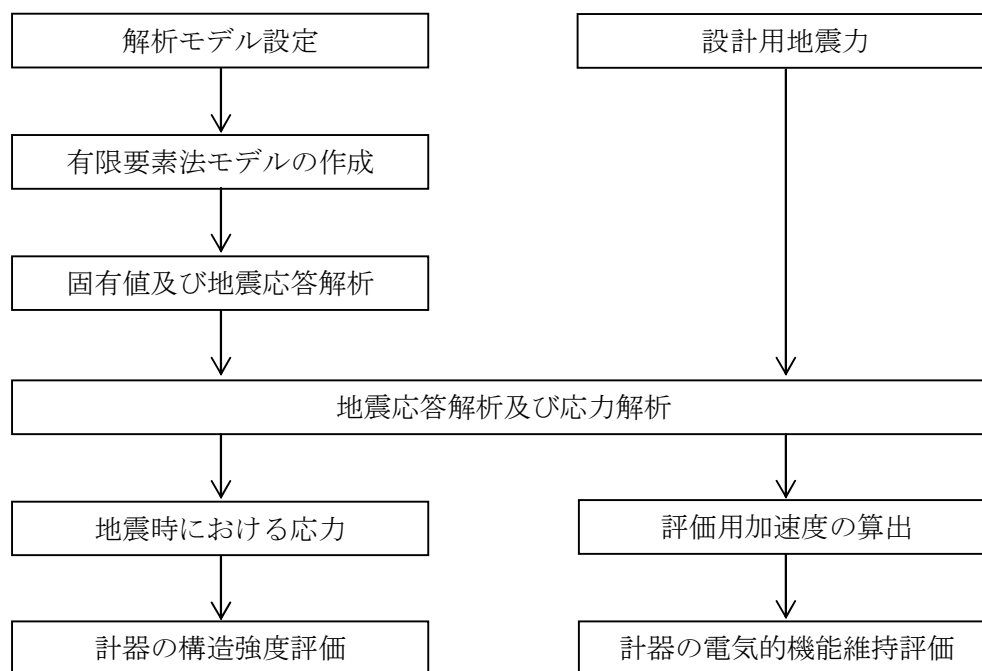


図 2-1 サプレッション・プール水位計 (LT-26-79.5A) の耐震評価フロー

2.2.2 LT-26-79.5B 及び LT-26-79.60 の評価方針

サプレッション・プール水位計（LT-26-79.5B 及び LT-26-79.60）の応力評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、算出した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを確認することで実施する。また、サプレッション・プール水位計（LT-26-79.5B 及び LT-26-79.60）の機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを確認することで実施する。

サプレッション・プール水位計（LT-26-79.5B 及び LT-26-79.60）の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

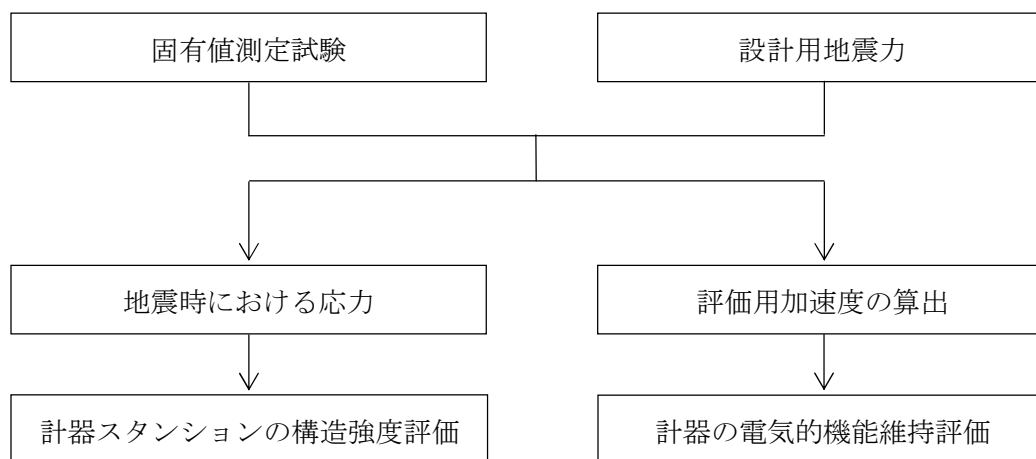


図 2-2 サプレッション・プール水位計 (LT-26-79.5B 及び LT-26-79.60) の耐震評価フロー

2.3 適用基準

本計算書においては，原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補－1984，J E A G 4 6 0 1－1987 及び J E A G 4 6 0 1－1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月，昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）に準拠して評価する。

2.4 記号の説明 (LT-26-79.5A)

記 号	記 号 の 説 明	単 位
a	溶接部の有効のど厚	mm
A_w	溶接部の有効断面積	mm ²
b	溶接の有効長さ (z 方向)	mm
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
F	設計・建設規格* ¹ SSB-3131 又は SSB-3133に定める値	MPa
F*	設計・建設規格* ¹ SSB-3131 又は SSB-3133に定める値	MPa
F_x	溶接部に作用する力 (x 方向)	N
F_y	溶接部に作用する力 (y 方向)	N
F_z	溶接部に作用する力 (z 方向)	N
f_s	溶接部の許容せん断応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h	溶接の有効長さ (y 方向)	mm
Z_y	溶接全断面における y 軸方向の断面係数	mm ³
Z_z	溶接全断面における z 軸方向の断面係数	mm ³
Z_p	溶接全断面におけるねじり断面係数	mm ³
ℓ	据付面から計器荷重点, 計器固定金具荷重点までの距離	mm
M_x	溶接部に作用するモーメント (x 軸周り)	N・m
M_y	溶接部に作用するモーメント (y 軸周り)	N・m
M_z	溶接部に作用するモーメント (z 軸周り)	N・m
s	溶接脚長	mm
S_u	設計・建設規格* ¹ 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格* ¹ 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
W	計器の荷重	N
π	円周率	—
σ_t	溶接部に生じる引張応力	MPa
σ_b	溶接部に生じる曲げ応力	MPa
σ_w	溶接部に生じる組合せ応力	MPa
τ	溶接部に生じるせん断応力	MPa

注記*1:「設計・建設規格」とは, 発電用原子力設備規格 (設計・建設規格(2005 年版 (2007 年追補版含む。)) J S M E S N C 1 - 2005/2007) (日本機械学会 2007 年 9 月) をいう。

2.5 記号の説明 (LT-26-79.5B, LT-26-79.60)

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A_b	ボルトの軸断面積又は有効断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格* ¹ SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格* ¹ SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_1	取付面から重心までの距離	mm
ℓ_1	重心と下側ボルト間の距離	mm
ℓ_a	側面(左右)ボルト間の距離	mm
ℓ_b	上下ボルト間の距離	mm
m	計器スタンションの質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_{fv}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向転倒)	—
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(平面方向転倒)	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格* ¹ 付録材料図表 Par t 5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格* ¹ 付録材料図表 Par t 5 表8に定める値	MPa
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記*1:「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格(2005 年版(2007 年追補版含む。)) J S M E S N C 1 - 2005/2007)（日本機械学会 2007 年 9 月）をいう。

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は表 2-4 に示すとおりとする。

表 2-4 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量*1	kg	—	—	整数位
長さ*1	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
断面係数	mm ³	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 *1:設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2:絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3:設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

3.1 LT-26-79.5A の評価部位

サプレッション・プール水位計（LT-26-79.5A）の耐震評価は、「4.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる溶接部を選定して実施する。サプレッション・プール水位計（LT-26-79.5A）の耐震評価箇所については、表 2-1 の概略構造図に示す。

3.2 LT-26-79.5B 及び LT-26-79.60 の評価部位

サプレッション・プール水位計（LT-26-79.5B 及び LT-26-79.60）の耐震評価は「4.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて評価を実施する。サプレッション・プール水位計（LT-26-79.5B 及び LT-26-79.60）の耐震評価箇所については、表 2-2 及び表 2-3 の概略構造図に示す。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

4.1.1 LT-26-79.5A の構造強度評価方法

- (1) 計器の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は計器に対して、水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (3) 計器は、サポートを介して溶接により壁面に固定された固定端とする。ここで基礎については、剛となるように設計する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.1.2 LT-26-79.5B 及び LT-26-79.60 の構造強度評価方法

- (1) 計器スタンションの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は計器スタンションに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 計器スタンションは基礎ボルトで壁面に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、平面方向及び側面方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方を記載する。
- (5) 計器スタンションの重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 設計用地震力は「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。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

サプレッション・プール水位計の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

サプレッション・プール水位計のうち、LT-26-79.5A の許容応力を表 4-3 に、LT-26-79.5B の許容応力を表 4-4 に、LT-26-79.60 の許容応力を表 4-5 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	サプレッション・プール水位計	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	サプレッション・プール水位計	常設耐震／防止 常設／緩和	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとし てⅣ _A Sの許 容限界を用い る。)

注記 *¹：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*²：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*³：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4－3 LT-26-79.5A の許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許 容 限 界 ^{*1, *2} (ボ ル ト 以 外)			
	一次応力			
	引張り	せん断	圧縮	曲げ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

 *2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 LT-26-79.5B の許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-5 LT-26-79.60 の許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 *1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)		

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。
*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

V-2-6-5-38 格納容器下部水位計の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1

1. 概要

本計算書は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、格納容器下部水位計が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

格納容器下部水位計は、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

V-2-6-5-39 原子炉建屋水素濃度計の耐震性についての計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	4
2.3	適用基準	5
2.4	記号の説明	6
2.5	計算精度と数値の丸め方	7
3.	評価部位	8
4.	固有周期	8
4.1	固有値解析方法	8
4.2	解析モデル	8
5.	構造強度評価	10
5.1	構造強度評価方法	10
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	10

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉建屋水素濃度計が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

原子炉建屋水素濃度計は、重大事故等対処設備において常設重大事故緩和設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

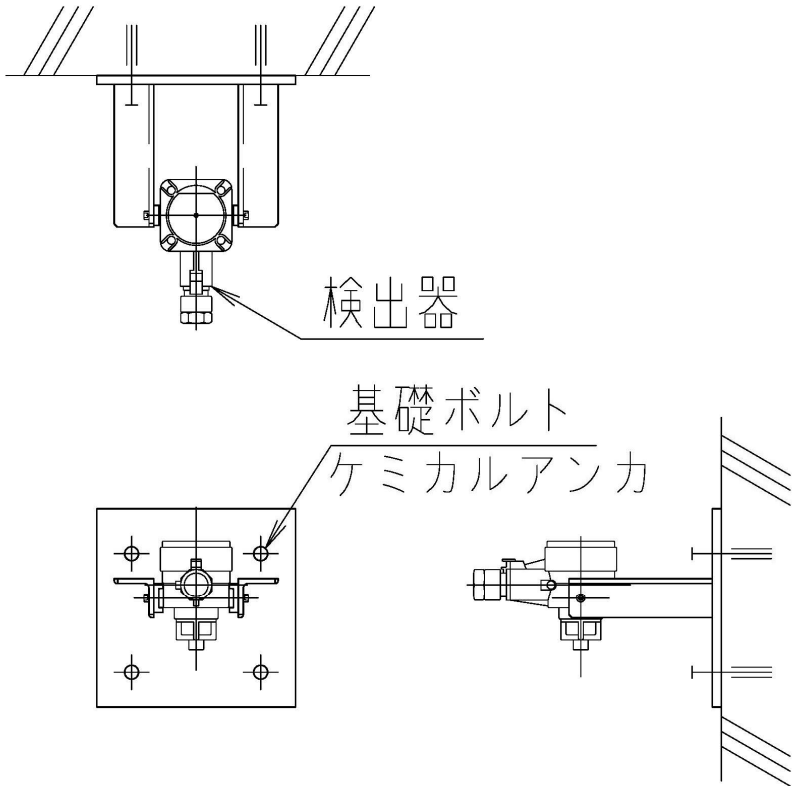
2.1 構造計画

A形原子炉建屋水素濃度計の構造計画を表 2-1 に、B 形水素濃度計の構造計画を表 2-2 に示す。

表 2-1 A形原子炉建屋水素濃度計の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検知器は、サポート鋼材に計器取付ボルトにより固定する。 サポート鋼材は、基礎ボルトにより壁面に設置する。	水素濃度計	

表 2-2 B形原子炉建屋水素濃度計の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検知器は、サポート鋼材に計器取付ボルトにより固定する。 サポート鋼材は、基礎ボルトにより壁面に設置する。	水素濃度計	

2.2 評価方針

原子炉建屋水素濃度計の応力評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す原子炉建屋水素濃度計の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、原子炉建屋水素濃度計の機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを確認することで実施する。

原子炉建屋水素濃度計の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

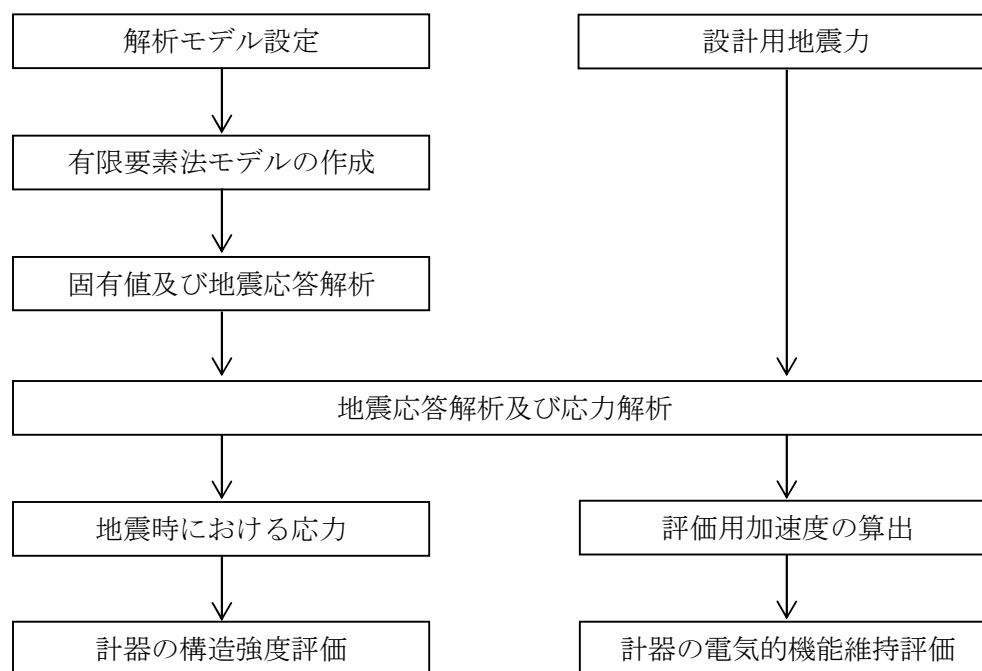


図 2-1 原子炉建屋水素濃度計の耐震評価フロー

2.3 適用基準

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984，J E A G 4 6 0 1 －1987 及び J E A G 4 6 0 1 －1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月，昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）に準拠して評価する。

2.4 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F^*	設計・建設規格 ^{*1} SSB-3131 又は SSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
F_x	サポート基礎部に作用する力 (x 方向)	N
F_y	サポート基礎部に作用する力 (y 方向)	N
F_z	サポート基礎部に作用する力 (z 方向)	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
ℓ_1	ボルト間距離 (水平方向)	mm
ℓ_2	ボルト間距離 (鉛直方向)	mm
M_x	サポート基礎部に作用するモーメント (x 軸周り)	$\text{N} \cdot \text{m}$
M_y	サポート基礎部に作用するモーメント (y 軸周り)	$\text{N} \cdot \text{m}$
M_z	サポート基礎部に作用するモーメント (z 軸周り)	$\text{N} \cdot \text{m}$
n	基礎ボルトの本数	—
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	MPa
S_u	設計・建設規格 ^{*1} 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 ^{*1} 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
W	計器及び防滴カバーの荷重	N
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記 *1 : 「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格 (設計・建設規格 (2005 年版 (2007 年追補版含む。)) J S M E S N C 1 - 2005/2007) (日本機械学会 2007 年 9 月) をいう。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は、表2-3に示す通りとする。

表2-3 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量 ^{*1}	kg	—	—	整数位
長さ ^{*1}	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
断面係数	mm ³	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

原子炉建屋水素濃度計の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部を選定して実施する。原子炉建屋水素濃度計の耐震評価箇所については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有値解析方法

原子炉建屋水素濃度計の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 原子炉建屋水素濃度計は、4.2 解析モデルに示す 3 次元はりモデルとして考える。

4.2 解析モデル

A 形原子炉建屋水素濃度計の解析モデルを図 4-1 に、B 形原子炉建屋水素濃度計の解析モデルを図 4-2 に、解析モデルの概要を以下に示す。

- (1) 原子炉建屋水素濃度計の計器及び防滴カバーの質量は、それぞれの重心に集中するものとする。
- (2) 原子炉建屋水素濃度計の重心位置については、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定するものとする。
- (3) 計算機コードは、「S A P - V」を使用し、固有値及び荷重を求める。なお、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「付録 18 計算機プログラム（解析コード）の概要 ・ H I S A P 及び N S A F E」に示す。
- (4) 拘束条件として、基礎部の X Y Z 方向を固定する。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。

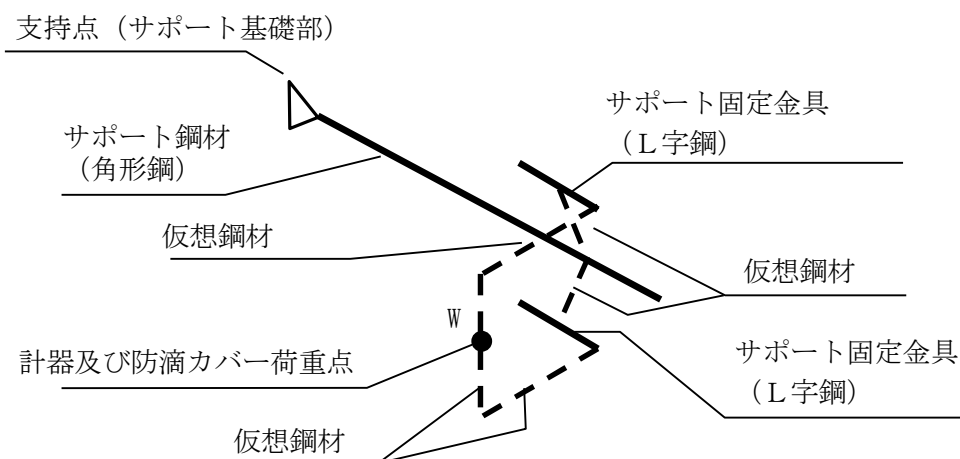


図 4-1 A 形原子炉建屋水素濃度計解析モデル

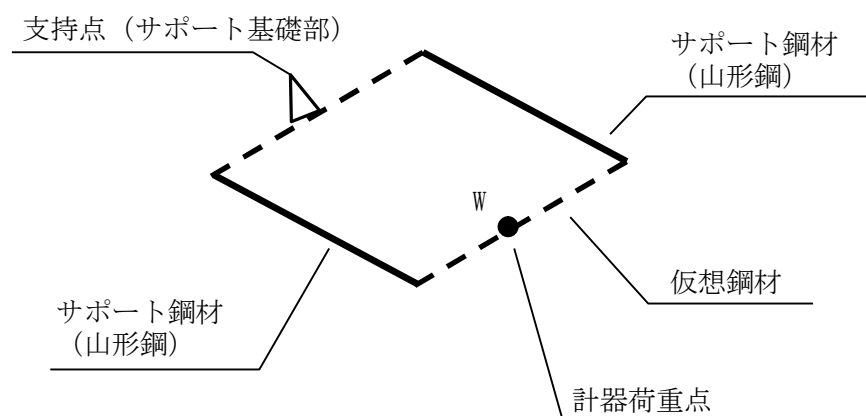


図 4-2 B 形原子炉建屋水素濃度計解析モデル

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 水素濃度計，防滴カバー及びサポート鋼材の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は水素濃度計，防滴カバー及びサポート鋼材に対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (3) 水素濃度計，防滴カバー及びサポート鋼材は，基礎ボルトにより壁面に固定された固定端とする。ここで，基礎については，剛となるように設計する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉建屋水素濃度計の荷重の組合せ及び供用状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

原子炉建屋水素濃度計の許容応力を表 5-2 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力

原子炉建屋水素濃度計の使用材料の許容応力を表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	原子炉建屋水素濃度計	常設／緩和	— *2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	$D (IV_A S)$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$E (V_A S)$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限 界を用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

供 用 状 態	許 容 限 界 ^{*1, *2} (ボ ル ト 等)	
	一 次 応 力	
	引張り	せん断
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)		

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5－3 使用材料の許容応力（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト	SS400	周囲環境温度		221	373	—