

VI-2-3-4-3 原子炉压力容器内部構造物の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-3-4-3-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針
- VI-2-3-4-3-2 蒸気乾燥器の耐震性についての計算書
- VI-2-3-4-3-3 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
- VI-2-3-4-3-4 シュラウドヘッドの耐震性についての計算書
- VI-2-3-4-3-5 ジェットポンプの耐震性についての計算書
- VI-2-3-4-3-6 給水スパージャの耐震性についての計算書
- VI-2-3-4-3-7 高圧及び低圧炉心スプレイスパージャの耐震性についての計算書
- VI-2-3-4-3-8 残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書
- VI-2-3-4-3-9 高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書
- VI-2-3-4-3-10 差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書
- VI-2-3-4-3-11 中性子束計測案内管の耐震性についての計算書

VI-2-3-4-3-1 原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針

まえがき

本書は、原子炉圧力容器内部構造物の耐震評価及び重大事故等時における強度評価に関する応力解析の方針を示すものであり、以下の二編により構成している。

- (1)耐震評価編
- (2)強度評価編

(1) 耐震評価編

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	構造計画	2
2.2	評価方針	4
2.3	適用規格・基準等	4
2.4	記号の説明	5
2.5	計算精度と数値の丸め方	6
3.	計算条件	7
3.1	評価対象機器	7
3.2	形状及び寸法	7
3.3	荷重の組合せ及び許容応力状態	7
3.4	許容応力	7
3.5	許容応力評価条件	8
3.6	溶接部の継手効率	8
4.	荷重条件	9
4.1	設計条件	9
4.2	運転条件	9
4.3	重大事故等時の条件	9
4.4	荷重の組合せ及び応力評価	9
5.	応力評価の手順	10
5.1	荷重条件の選定	10
5.2	応力の評価	10
5.2.1	主応力	10
5.2.2	応力強さ	10
5.2.3	一次応力強さ	10
5.3	特別な応力の評価	10
5.3.1	純せん断応力の評価	10
6.	評価結果の添付	11
6.1	応力評価結果	11
7.	引用文献	12
8.	参照図書	12
	添付1 溶接部の継手効率	32

図表目次

図2-1	原子炉圧力容器内部構造物の耐震評価フロー	4
図3-1	全体断面図	13
図4-1	原子炉圧力容器内部構造物の差圧	14
表 2-1	原子炉圧力容器内部構造物の構造計画	3
表 2-2	表示する数値の丸め方	6
表 3-1	荷重の組合せ及び許容応力状態	15
表 3-2	許容応力（原子炉圧力容器内部構造物）	18
表 3-3	許容応力評価条件	19
表 4-1	外荷重	20
表 4-2	荷重の組合せ	31

1. 概要

本書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、原子炉圧力容器内部構造物の耐震評価に関する応力解析の方針を説明するものである。

設計用地震力を除く荷重による原子炉圧力容器内部構造物の応力評価は、平成4年1月13日付け3資庁第10518号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

注1：本書に記載していない特別な内容がある場合は、下記計算書（以下「耐震計算書」という。）に示す。

- (1) VI-2-3-4-3-2 蒸気乾燥器の耐震性についての計算書
- (2) VI-2-3-4-3-3 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
- (3) VI-2-3-4-3-4 シュラウドヘッドの耐震性についての計算書
- (4) VI-2-3-4-3-5 ジェットポンプの耐震性についての計算書
- (5) VI-2-3-4-3-6 給水スパーージャの耐震性についての計算書
- (6) VI-2-3-4-3-7 高圧及び低圧炉心スプレイスパーージャの耐震性についての計算書
- (7) VI-2-3-4-3-8 残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書
- (8) VI-2-3-4-3-9 高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書
- (9) VI-2-3-4-3-10 差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書
- (10) VI-2-3-4-3-11 中性子束計測案内管の耐震性についての計算書

注2：図表は、原則として巻末に示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉圧力容器内部構造物の構造計画を表 2-1 に示す。

原子炉圧力容器内部構造物は、下記の機器により構成される。

- (1) 蒸気乾燥器
- (2) 気水分離器及びスタンドパイプ
- (3) シュラウドヘッド
- (4) ジェットポンプ
- (5) 給水スパージャ
- (6) 高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ
- (7) 残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）
- (8) 高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉圧力容器内部）
- (9) 差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）
- (10) 中性子束計測案内管

表 2-1 原子炉圧力容器内部構造物の構造計画

計画の概要		概略構造図	
基礎・支持構造	主体構造		
<p>蒸気乾燥器及び給水スパージャは原子炉圧力容器内部のブラケットにより支持される。</p> <p>気水分離器及びスタンドパイプはシュラウドヘッドに接続され、シュラウドヘッドは炉心シュラウド上にボルトによりフランジ接続される。</p> <p>ジェットポンプはシュラウドサポートプレート及び原子炉圧力容器により支持される。</p> <p>高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ、残留熱除去系配管は炉心シュラウドにより支持される。</p> <p>高圧及び低圧炉心スプレイ系配管は原子炉圧力容器内部のブラケット及び炉心シュラウドにより支持される。</p> <p>差圧検出・ほう酸水注入系配管は炉心シュラウド及びシュラウドサポートに設置されたサポートにより支持される。</p> <p>中性子束計測案内管は下部を中性子束計測ハウジングに接続され、上部を炉心支持板により支持される。</p>	<p>原子炉圧力容器内部構造物は蒸気乾燥器、気水分離器及びスタンドパイプ、シュラウドヘッド、ジェットポンプ、給水スパージャ、高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ、残留熱除去系配管、高圧及び低圧炉心スプレイ系配管、差圧検出・ほう酸水注入系配管、中性子束計測案内管により構成される。</p>		

2.2 評価方針

原子炉圧力容器内部構造物の構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」及び「3. 計算条件」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容応力に基づき、「2.1 構造計画」にて示す原子炉圧力容器内部構造物の各機器の耐震計算書にて設定する箇所において、「4. 荷重条件」にて設定した荷重に基づく応力が許容応力内に収まることを、「5. 応力評価の手順」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を耐震計算書に示す。

原子炉圧力容器内部構造物の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

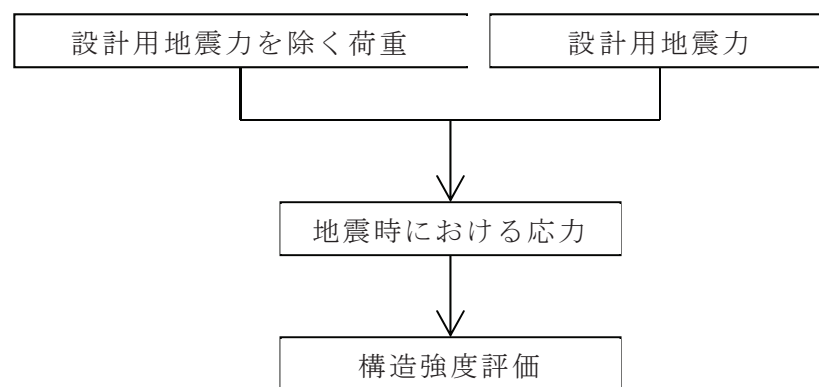


図 2-1 原子炉圧力容器内部構造物の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 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)
- (2) 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)
- (3) 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 (日本電気協会)
(以降「J E A G 4 6 0 1」と記載しているものは上記3 指針を指す。)
- (4) 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。)

注 : 本書及び耐震計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格 ○○○-△△△△(◇)a. (a)」として示す。

2.4 記号の説明

本書及び耐震計算書において、以下の記号を使用する。ただし、本書添付及び耐震計算書中に別途記載がある場合は、この限りでない。

なお、耐震計算書における記号の字体及び大きさについては、本書と異なる場合がある。

記号	記号の説明	単位
H	水平力	N
M	モーメント	N・m
P_b	一次曲げ応力	MPa
P_m	一次一般膜応力	MPa
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_d^*	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又は S クラス設備に適用される静的地震力のいずれか大きい方の地震力	—
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
$S_y (RT)$	材料の 40℃ における設計降伏点	MPa
T	ねじりモーメント	N・m
V	鉛直力	N
η	溶接部の継手効率	—
σ_1	主応力	MPa
σ_2	主応力	MPa
σ_3	主応力	MPa
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
$\tau_{\ell r}$	せん断応力	MPa
τ_{rt}	せん断応力	MPa
$\tau_{t\ell}$	せん断応力	MPa

記号	記号の説明	単位
Ⅲ _A S	設計・建設規格の供用状態C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 _A S	設計・建設規格の供用状態D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	—
V _A S	運転状態V（重大事故等時の状態）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	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字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
地震荷重	— ^{*1}	有効数字4桁目	切上げ	有効数字3桁目
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
応力強さ	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 機器毎に考慮する荷重に応じた単位を適用する。

*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許容応力は、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. 計算条件

3.1 評価対象機器

応力評価を行う機器は、次のとおりである。(表 2-1 及び図 3-1 参照)

機器名称		評価対象	
		耐震性についての計算書 (許容応力状態に対する評価)	
		Ⅲ _{AS} , Ⅳ _{AS}	V _{AS}
(1)	蒸気乾燥器	○	×*
(2)	気水分離器及びスタンドパイプ	○	×*
(3)	シュラウドヘッド	○	×*
(4)	ジェットポンプ	○	○
(5)	給水スパージャ	○	○
(6)	高圧及び低圧炉心 スプレイスパージャ	○	○
(7)	残留熱除去系配管 (原子炉圧力容器内部)	○	○
(8)	高圧及び低圧炉心スプレイ系配 管 (原子炉圧力容器内部)	○	○
(9)	差圧検出・ほう酸水注入系配管 (原子炉圧力容器内部)	○	○
(10)	中性子束計測案内管	○	×*

注 : 「○」は評価対象, 「×」は評価対象外を示す。

注記* : 設計基準対象施設としてのみ申請する機器。

3.2 形状及び寸法

各部の形状及び寸法は、耐震計算書に示す。

3.3 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉圧力容器内部構造物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(1)に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1(2)に示す。また、各許容応力状態で考慮する荷重は、4章に示すとおりである。

3.4 許容応力

許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表3-2に示す。

3.5 許容応力評価条件

- (1) 設計応力強さ S_m ，設計降伏点 S_y 及び設計引張強さ 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) 許容応力状態Ⅲ_AS 及び許容応力状態Ⅳ_AS の一次応力の評価には，運転状態Ⅰ及びⅡにおける流体の最高温度 に対する許容応力を用いる。許容応力状態Ⅴ_AS の一次応力の評価には，運転状態Ⅴにおける評価温度 に対する許容応力を用いる。
- (3) 原子炉圧力容器内部構造物の許容応力評価条件を表 3-3 に示す。
なお，各機器で使用される材料は，耐震計算書に示す。

3.6 溶接部の継手効率

- (1) 溶接部の継手効率は，継手の種類と分類及び継手に適用する検査の種類により，設計・建設規格 CSS-3150 に従って定める。溶接部の継手効率を添付 1 に示す。なお，溶接部の継手効率が 1.00 未満の場合は，継手効率を耐震計算書に示す。
- (2) 溶接部の許容応力は，材料の許容応力に継手効率を乗じたものとし，耐震計算書に示す。

4. 荷重条件

原子炉压力容器内部構造物は、以下の荷重条件に耐えることを確認する。
各機器の応力評価には、本章に示す荷重を考慮する。

4.1 設計条件

設計条件は既工認からの変更はなく、参照図書(1)h.に定めるとおりである。

4.2 運転条件

運転条件及び記号は、既工認からの変更はなく、参照図書(1)h.に定めるとおりである。

各機器の応力評価において考慮する外荷重の値を表 4-1 に示す。

原子炉压力容器内部構造物の評価に用いる設計用地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」及び「VI-2-3-2 炉心、原子炉压力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」により求めた荷重、若しくはそれらの条件を包絡する様に定めた保守的な荷重とする。

4.3 重大事故等時の条件



4.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価項目の対応を表 4-2 に示す。表 4-2 及び耐震計算書において、荷重の種類と記号は以下のとおりである。

なお、荷重の組合せについては、機器ごとに適切に組み合わせる。

荷重	記号
(1) 差圧	[L02]
(2) 死荷重	[L04]
(3) 地震荷重 S_d^* (一次荷重)	[L14]
(4) 地震荷重 S_s (一次荷重)	[L16]

5. 応力評価の手順

応力評価の手順について述べる。

5.1 荷重条件の選定

応力解析においては、4章に示した荷重条件のうちから、その部分に作用する荷重を選定して計算を行う。

5.2 応力の評価

5.2.1 主応力

計算した応力は、応力の分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求める。

組合せ応力は、一般に σ_t , σ_θ , σ_r , $\tau_{t\theta}$, $\tau_{\theta r}$, τ_{rt} の6成分を持つが、主応力 σ は、引用文献(1)の1・3・6項により、次式を満足する3根 σ_1 , σ_2 , σ_3 として計算する。

$$\begin{aligned} & \sigma^3 - (\sigma_t + \sigma_\theta + \sigma_r) \cdot \sigma^2 + (\sigma_t \cdot \sigma_\theta + \sigma_\theta \cdot \sigma_r + \sigma_r \cdot \sigma_t - \tau_{t\theta}^2 \\ & - \tau_{\theta r}^2 - \tau_{rt}^2) \cdot \sigma - \sigma_t \cdot \sigma_\theta \cdot \sigma_r + \sigma_t \cdot \tau_{\theta r}^2 + \sigma_\theta \cdot \tau_{rt}^2 \\ & + \sigma_r \cdot \tau_{t\theta}^2 - 2 \cdot \tau_{t\theta} \cdot \tau_{\theta r} \cdot \tau_{rt} = 0 \end{aligned}$$

上式により主応力を求める。

5.2.2 応力強さ

以下の3つの主応力差の絶対値で最大のものを応力強さとする。

$$S_{12} = \sigma_1 - \sigma_2$$

$$S_{23} = \sigma_2 - \sigma_3$$

$$S_{31} = \sigma_3 - \sigma_1$$

5.2.3 一次応力強さ

許容応力状態Ⅲ_AS, 許容応力状態Ⅳ_AS 及び許容応力状態Ⅴ_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、3.4節に示す許容応力を満足することを示す。

5.3 特別な応力の評価

5.3.1 純せん断応力の評価

純せん断荷重を受ける部分は、設計・建設規格 CSS-3114 により評価する。解析箇所を以下に示す。評価方法は参照図書(1)i.に示し、許容応力は表 3-2 に示す。

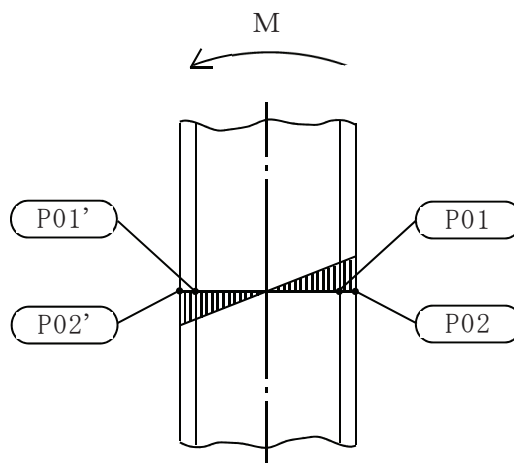
- (1) 蒸気乾燥器の耐震用ブロック

6. 評価結果の添付

応力評価点番号は、機器ごとに記号 P01 からの連番とする。奇数番号を内面の点、偶数番号を外面の点として、耐震計算書の形状・寸法・材料・応力評価点を示す図において定義する。

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。



6.1 応力評価結果

- (1) 次の応力評価結果は、全応力評価点（面）について添付する。
 - a. 一次一般膜応力強さの評価のまとめ
 - b. 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

- (2) 次の特別な評価は、対象となるすべての部位について評価し、結果を記載する。
 - a. 純せん断応力

7. 引用文献

文献番号は、本書及び耐震計算書において共通である。

- (1) 機械工学便覧 基礎編 α3 (日本機械学会)
- (2) ROARK, YOUNG : Formulas for Stress and Strain : FIFTH EDITION

8. 参照図書

- (1) 女川原子力発電所第2号機 第5回工事計画認可申請書 添付書類
 - a. IV-2-3-4 給水スパージャの耐震性についての計算書
 - b. IV-2-3-5 高圧及び低圧炉心スプレイスパージャの耐震性についての計算書
 - c. IV-2-3-6 ジェットポンプの耐震性についての計算書
 - d. IV-2-3-7 残留熱除去系配管 (原子炉圧力容器内部) の耐震性についての計算書
 - e. IV-2-3-8 高圧及び低圧炉心スプレイ系配管 (原子炉圧力容器内部) の耐震性についての計算書
 - f. IV-2-3-9 差圧検出・ほう酸水注入系配管 (原子炉圧力容器内部及びティーより N11 ノズルまでの外管) の耐震性についての計算書
 - g. IV-2-3-10 中性子束計測案内管の耐震性についての計算書
 - h. IV-3-1-2-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針
 - i. IV-3-1-2-2 蒸気乾燥器の応力計算書
 - j. IV-3-1-2-3 シュラウドヘッドの応力計算書
 - k. IV-3-1-2-4 気水分離器及びスタンドパイプの応力計算書
 - l. IV-3-1-2-5 給水スパージャの応力計算書
 - m. IV-3-1-2-6 高圧及び低圧炉心スプレイスパージャの応力計算書
 - n. IV-3-1-2-7 ジェットポンプの応力計算書
 - o. IV-3-1-2-8 残留熱除去系配管 (原子炉圧力容器内部) の応力計算書
 - p. IV-3-1-2-9 高圧及び低圧炉心スプレイ系配管 (原子炉圧力容器内部) の応力計算書
 - q. IV-3-1-2-10 差圧検出・ほう酸水注入系配管 (原子炉圧力容器内部) の応力計算書
 - r. IV-3-1-2-11 中性子束計測案内管の応力計算書

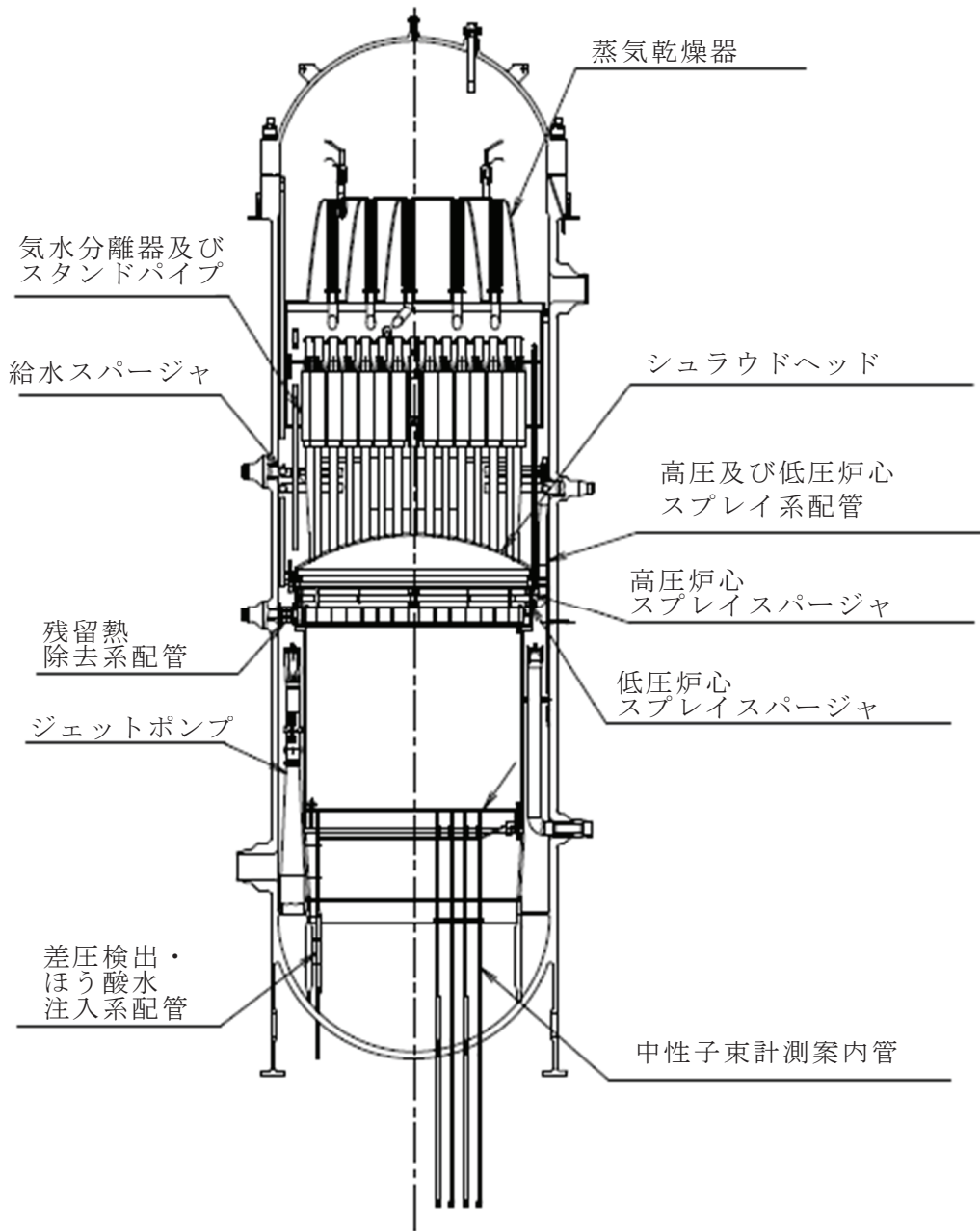
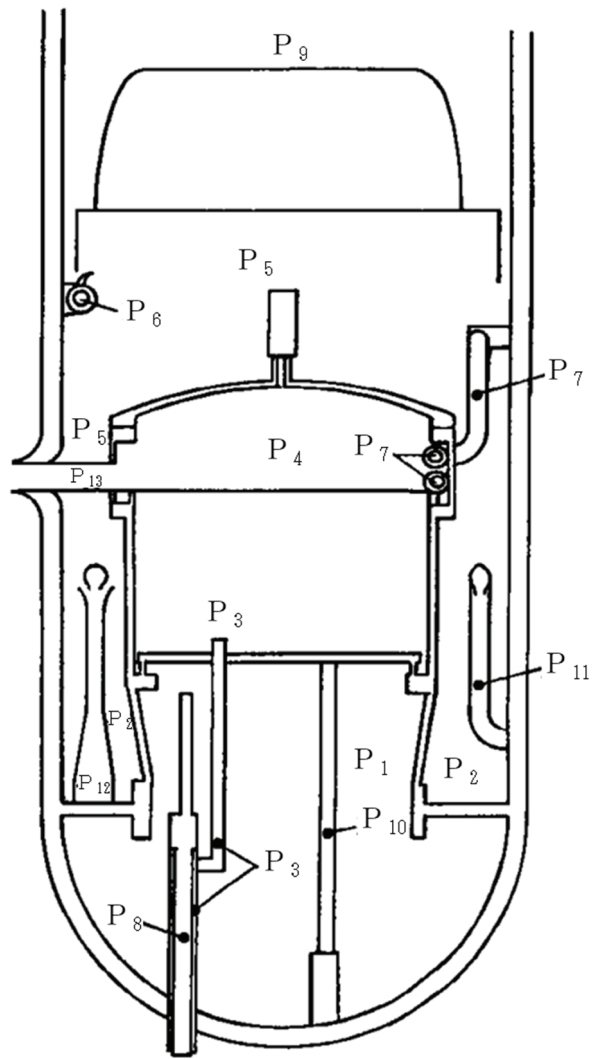


図 3-1 全体断面図



(単位：MPa)

部位		運転状態 V
給水スパージャ	$P_{65} = P_6 - P_5$	
高圧及び低圧炉心スプレイ系配管	$P_{75} = P_7 - P_5$	
高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ	$P_{74} = P_7 - P_4$	
差圧検出・ほう酸水注入系配管	$P_{13} = P_1 - P_3$	
	$P_{81} = P_8 - P_1$	
	$P_{83} = P_8 - P_3$	
ジェットポンプ	$P_{112} = P_{11} - P_2$	
	$P_{122} = P_{12} - P_2$	
残留熱除去系配管	$P_{135} = P_{13} - P_5$	

図 4-1 原子炉圧力容器内部構造物の差圧

表 3-1(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 本体	原子炉 压力容器 内部 構造物	蒸気乾燥器 気水分離器及びスタンドパイプ シュラウドヘッド ジェットポンプ 給水スパージャ 高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ 残留熱除去系配管（原子炉压力容器内部） 高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉压力容器内部） 差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉压力容器内部） 中性子束計測案内管	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 : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重

M_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた機械的荷重

$S d^*$: 弾性設計用地震動 $S d$ により定まる地震力又は S クラス施設に適用される静的地震力のいずれか大きい方の地震力

$S s$: 基準地震動 $S s$ により定まる地震力

表 3-1(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 本体	原子炉 压力容器 内部 構造物	給水スパージャ 残留熱除去系配管（原子炉压力容器内部）	常設耐震／防止 常設／緩和 常設／防止 （DB 拡張）	—	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} （ V_{AS} として IV_{AS} の許容応力を用いる。）
		高圧炉心スプレイスパージャ 高圧炉心スプレイ系配管（原子炉压力容器内部）	常設耐震／防止 常設／防止 （DB 拡張）	—	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} （ V_{AS} として IV_{AS} の許容応力を用いる。）
		ジェットポンプ 低圧炉心スプレイスパージャ 低圧炉心スプレイ系配管（原子炉压力容器内部）	常設／防止 （DB 拡張）	—	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} （ V_{AS} として IV_{AS} の許容応力を用いる。）
					$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} （ V_{AS} として IV_{AS} の許容応力を用いる。）
		差圧検出・ほう酸水注入系配管 （原子炉压力容器内部）	常設耐震／防止 常設／緩和	—	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} （ V_{AS} として IV_{AS} の許容応力を用いる。）

[記号の説明]

- D : 死荷重
- P_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重
- M_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた機械的荷重
- S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力
- P_{SAD} : 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
- M_{SAD} : 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

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／緩和」は常設重大事故緩和設備, 「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) を示す。

表 3-2 許容応力（原子炉压力容器内部構造物）

許容応力状態	許容応力*		
	一次一般膜応力	一次一般膜＋一次曲げ応力	純せん断応力
III _A S	$1.5 \cdot S_m$	左欄の 1.5 倍の値	$0.9 \cdot S_m$
IV _A S	$2/3 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値	$1.2 \cdot S_m$
V _A S (V _A S としてIV _A S の許容応力を用いる。)	ただし、ASS及びHNA については $2/3 \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の小さい方。		

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 3-3(1) 許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部位	材料		温度条件 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
原子炉压力容器 内部構造物	オーステナイト系 ステンレス鋼及び 高ニッケル合金	SUS316	流体の最高温度				
		SUS316TP	流体の最高温度				
		SUS316L	流体の最高温度				
		SUS316LTP	流体の最高温度				
		SUSF316L	流体の最高温度				

表 3-3(2) 許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部位	材料		温度条件 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
原子炉压力容器 内部構造物	オーステナイト系 ステンレス鋼及び 高ニッケル合金	SUS316	評価温度				
		SUS316TP	評価温度				
		SUS316L	評価温度				
		SUS316LTP	評価温度				
		SUSF316L	評価温度				

表 4-1(1) 外荷重

蒸気乾燥器外荷重

記号	荷重名称	鉛直力		水平力	
		全体にかかる荷重	最長の蒸気乾燥器ユニット列にかかる荷重	全体にかかる荷重	最長の蒸気乾燥器ユニット列に係る荷重
		V_1 (kN)	V_2^{*1} (kN)	H_1 (kN)	H_2^{*2} (kN)
L04	死荷重				
L14	地震荷重 S d *				
L16	地震荷重 S s				

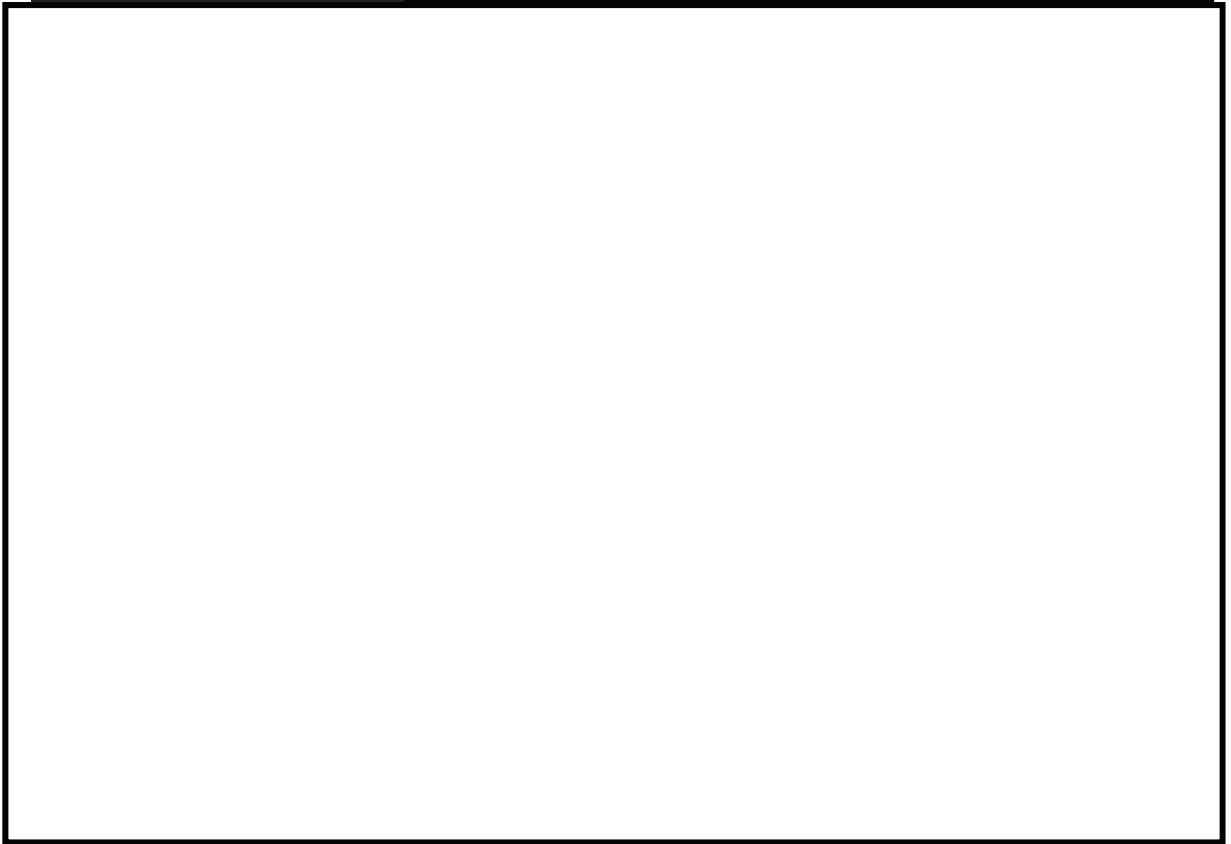
--	--	--	--	--	--

O 2 ⑥ VI-2-3-4-3-1(1) R 0

表 4-1(2) 外荷重

気水分離器及びスタンドパイプ外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	鉛直力	水平力	モーメント
			V (kN)	H (kN)	M (kN・m)
L04	死荷重				
L14	地震荷重 S _d *				
L16	地震荷重 S _s				

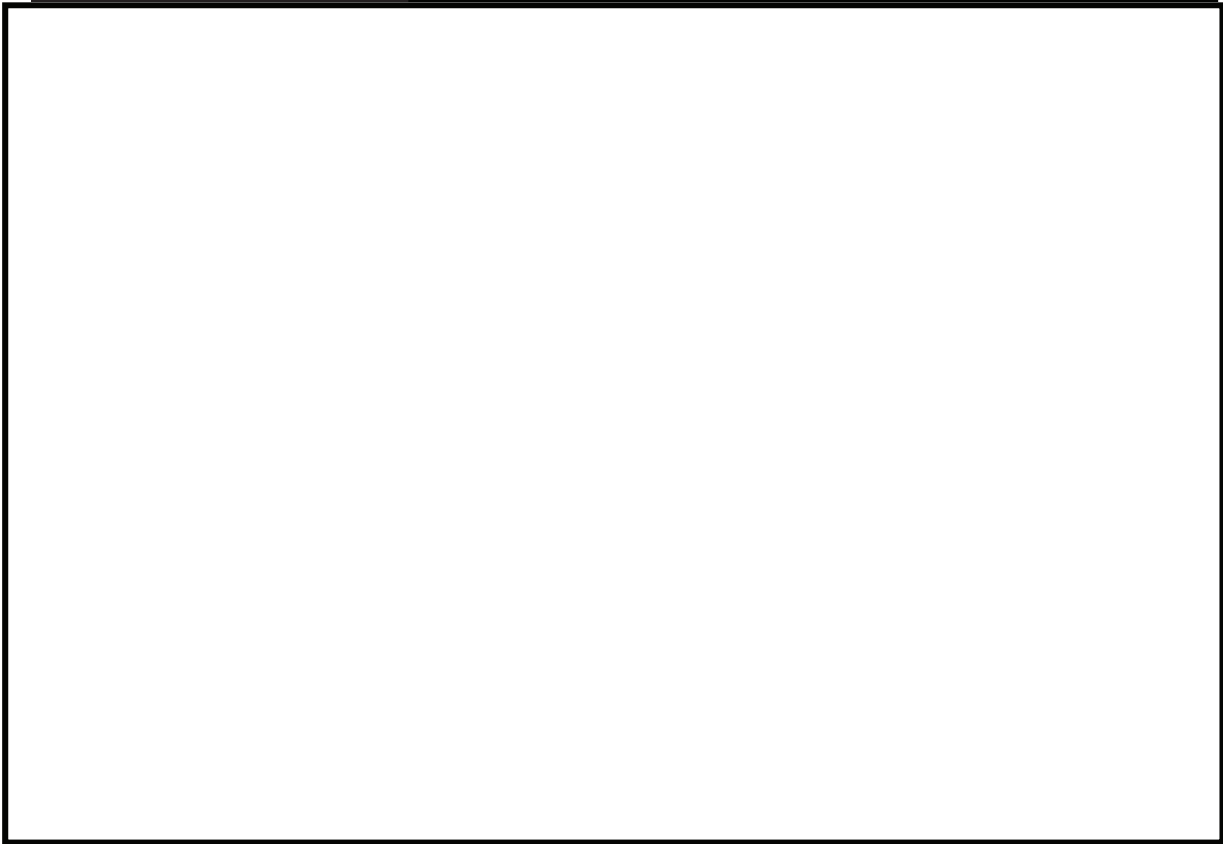


02 ⑥ VI-2-3-4-3-1(1) R0

表 4-1(3) 外荷重

シュラウドヘッド外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	鉛直力* ¹	水平力	モーメント
			V (kN)	H (kN)	M (kN・m)
L04	死荷重				
L14	地震荷重 S _d *				
L16	地震荷重 S _s				



O 2 ⑥ VI-2-3-4-3-1(1) R 0

表 4-1(4) 外荷重

ジェットポンプ外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	ねじり モーメント	曲げ モーメント
			F (N)	S (N)	T (N・m)	M (N・m)
L04	死荷重					
L14	地震荷重 S d *					
L16	地震荷重 S s					

--

O2 ⑥ VI-2-3-4-3-1(1) R0

表 4-1(5) 外荷重

給水スパージャ外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	ねじり モーメント	曲げ モーメント
			F (N)	S (N)	T (N・m)	M (N・m)
L04	死荷重					
L14	地震荷重 S d *					
L16	地震荷重 S s					

--

O 2 ⑥ VI-2-3-4-3-1(1) R 0

表 4-1(6) 外荷重

高圧及び低圧炉心スプレイスパーージャ外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	ねじり モーメント	曲げ モーメント
			F (N)	S (N)	T (N・m)	M (N・m)
L04	死荷重					
L14	地震荷重 S d *					
L16	地震荷重 S s					

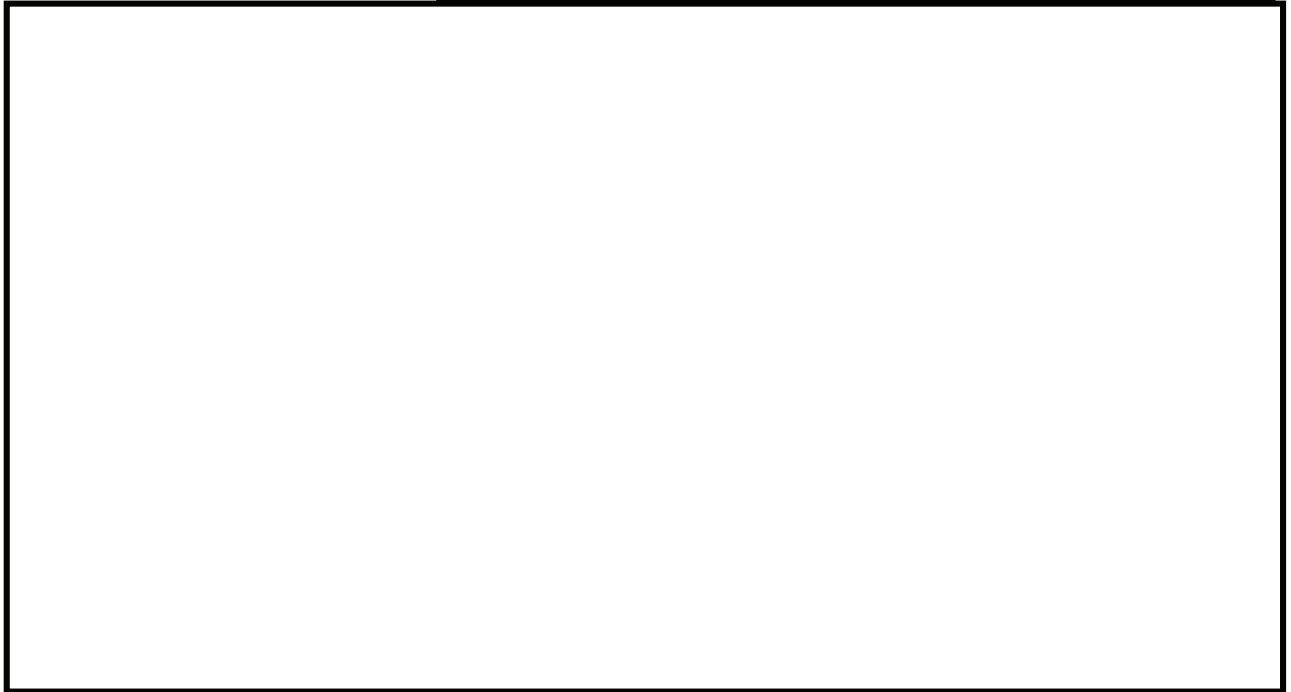
--

O 2 ⑥ VI-2-3-4-3-1(1) R 0

表 4-1(7) 外荷重

残留熱除去系配管外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	ねじり モーメント	曲げ モーメント
			F (N)	S (N)	T (N・m)	M (N・m)
L04	死荷重					
L14	地震荷重 S d *					
L16	地震荷重 S s					



O 2 ⑥ VI-2-3-4-3-1(1) R 1

表 4-1(8) 外荷重

高圧炉心スプレイ系配管外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	ねじり モーメント	曲げ モーメント
			F (N)	S (N)	T (N・m)	M (N・m)
L04	死荷重					
L14	地震荷重 S d *					
L16	地震荷重 S s					

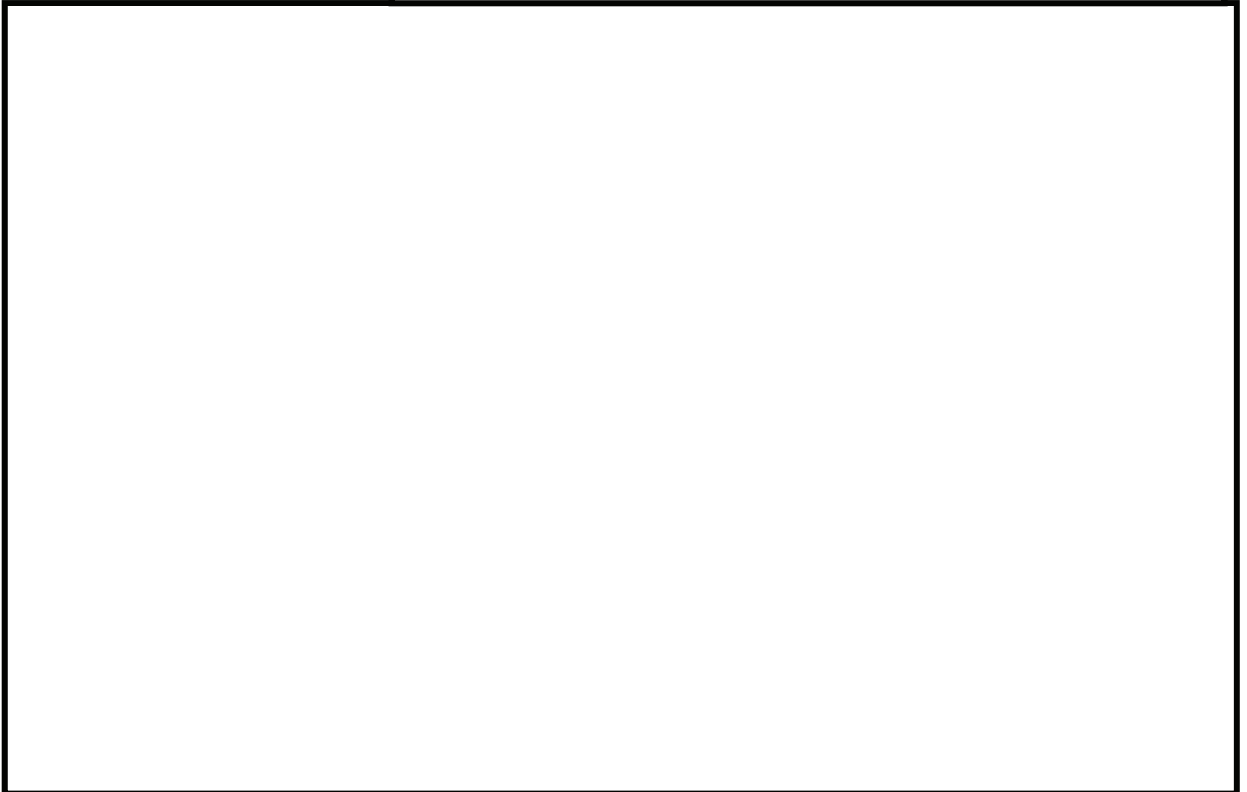
--

O2 ⑥ VI-2-3-4-3-1(1) R0

表 4-1(9) 外荷重

低圧炉心スプレイ系配管外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	ねじり モーメント	曲げ モーメント
			F (N)	S (N)	T (N・m)	M (N・m)
L04	死荷重					
L14	地震荷重 S d *					
L16	地震荷重 S s					

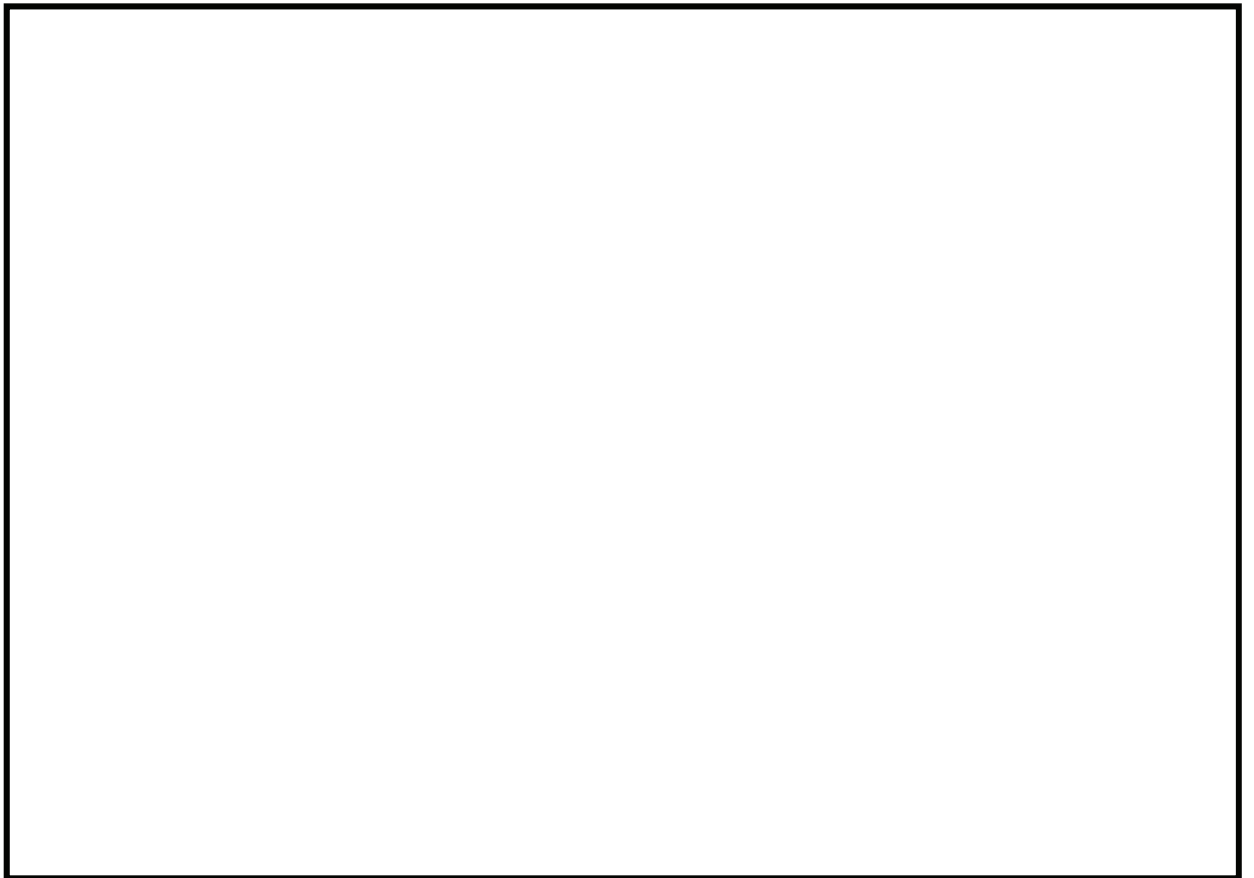


O 2 ⑥ VI-2-3-4-3-1(1) R 0

表 4-1(10) 外荷重

差圧検出・ほう酸水注入系配管外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	ねじり モーメント	曲げ モーメント	
			F (N)	S (N)	T (N・m)	M (N・m)	
L04	死荷重						
L14	地震荷重 S d *						
L16	地震荷重 S s						



O 2 ⑥ VI-2-3-4-3-1(1) R 1

表 4-1(11) 外荷重

中性子束計測案内管外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	鉛直力	水平力	モーメント
			V (N)	H (N)	M (N・m)
L04	死荷重				
L14	地震荷重 S d *				
L16	地震荷重 S s				

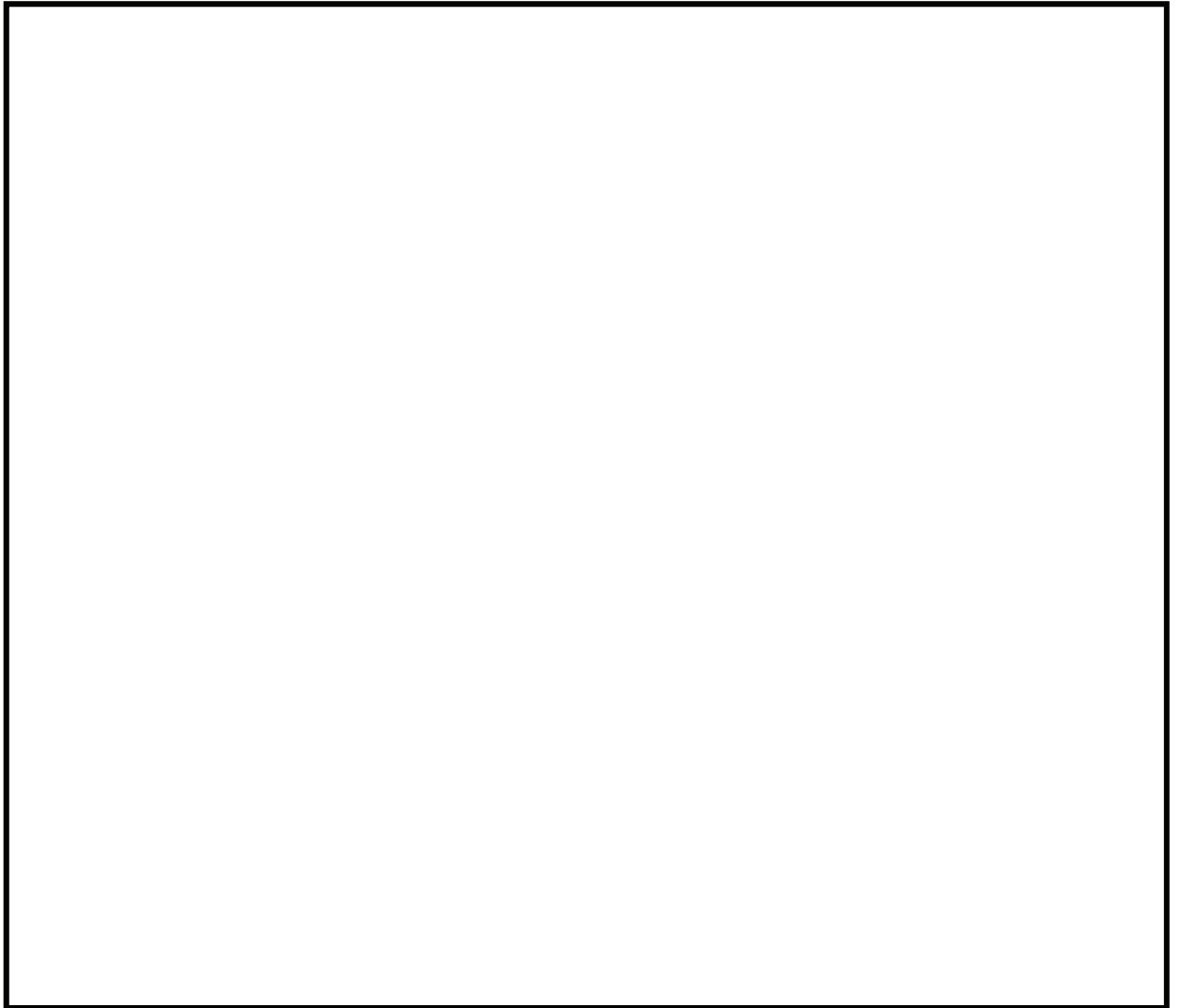


表 4-2 荷重の組合せ

状態	荷重の組合せ	応力評価
許容応力状態Ⅲ _A S	L02+L04+L14	P_m $P_m + P_b$
許容応力状態Ⅳ _A S	L02+L04+L16	P_m $P_m + P_b$
許容応力状態Ⅴ _A S	L02+L04+L16	P_m $P_m + P_b$

添付1 溶接部の継手効率

原子炉圧力容器内部構造物の主な溶接部の継手効率は、設計・建設規格 CSS-3150 に従い、付表-1 のとおりに定められる。

付表-1

継手の箇所	継手の分類	継手の種類	検査の種類*	継手効率 η
シュラウドヘッド	鏡板とフランジの周継手			
気水分離器及び スタンドパイプ	管とスリーブの周継手			
	管と鏡板の周継手			
給水スパージャ	サーマルスリーブと ティーの周継手			
	ティーとヘッドの周継手			
高圧及び低圧炉心スプ レイ系配管	ヘッドと管の周継手			
	管と管の周継手			
高圧及び低圧炉心スプ レイスパージャ	管と管の周継手			
残留熱除去系配管	フランジネックとリング の周継手			
差圧検出・ほう酸水注 入系配管	内管とティーの周継手			
	エルボとティーの周継手			
	管とティーの周継手			
蒸気乾燥器	リングとブロックの継手			
	蒸気乾燥器			
中性子束計測案内管	管と管の周継手			
ジェットポンプ	ディフューザの周継手			
	ライザブレースと原子炉 圧力容器内壁との継手			
	ライザパイプの周継手			

注記*：検査の種類を示す記号は次のとおりである。

P T + R T : 設計・建設規格 CSS-3150 に定めるAの検査

P P T : 設計・建設規格 CSS-3150 に定めるCの検査

P T : 設計・建設規格 CSS-3150 に定めるEの検査

(2) 強度評価編

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	構造計画	2
2.2	評価方針	2
2.3	適用規格・基準等	2
2.4	記号の説明	2
2.5	計算精度と数値の丸め方	3
3.	計算条件	4
3.1	評価対象機器	4
3.2	形状及び寸法	4
3.3	荷重の組合せ及び運転状態	4
3.4	許容応力	4
3.5	許容応力評価条件	5
3.6	溶接部の継手効率	5
4.	荷重条件	6
4.1	運転条件	6
4.2	重大事故等時の条件	6
4.3	荷重の組合せ及び応力評価	6
5.	応力評価の手順	7
5.1	荷重条件の選定	7
5.2	応力の評価	7
5.2.1	主応力	7
5.2.2	応力強さ	7
5.2.3	一次応力強さ	7
6.	評価結果の添付	8
6.1	応力評価結果	8
7.	引用文献	9
8.	参照図書	9
添付1	溶接部の継手効率	14

図表目次

図2-1	原子炉圧力容器内部構造物の強度評価フロー	2
表2-1	表示する数値の丸め方	3
表3-1	荷重の組合せ及び運転状態	10
表3-2	許容応力（原子炉圧力容器内部構造物）	11
表3-3	許容応力評価条件	12
表4-1	荷重の組合せ	13

1. 概要

本書は、原子炉圧力容器内部構造物の重大事故等時における強度評価に関する応力解析の方針を説明するものである。

原子炉圧力容器内部構造物の応力評価は、平成4年1月13日付け3資庁第10518号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

注1：本書に記載していない特別な内容がある場合は、下記計算書（以下「強度計算書」という。）に示す。

- (1) VI-3-別添 7-1 ジェットポンプの強度計算書
- (2) VI-3-別添 7-2 給水スパーージャの強度計算書
- (3) VI-3-別添 7-3 高圧及び低圧炉心スプレイスパーージャの強度計算書
- (4) VI-3-別添 7-4 残留熱除去系配管(原子炉圧力容器内部)の強度計算書
- (5) VI-3-別添 7-5 高圧及び低圧炉心スプレイ系配管(原子炉圧力容器内部)の強度計算書
- (6) VI-3-別添 7-6 差圧検出・ほう酸水注入系配管(原子炉圧力容器内部)の強度計算書

注2：図表は、原則として巻末に示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉圧力容器内部構造物の構造計画は、本書(1)耐震評価編の2.1節に記載のとおりである。

2.2 評価方針

原子炉圧力容器内部構造物の構造強度評価は、「3. 計算条件」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容応力に基づき、「2.1 構造計画」にて示す原子炉圧力容器内部構造物の各機器の強度計算書にて設定する箇所において、「4. 荷重条件」にて設定した荷重に基づく応力が許容応力内に収まることを、「5. 応力評価の手順」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を強度計算書に示す。

原子炉圧力容器内部構造物の強度評価フローを図2-1に示す。

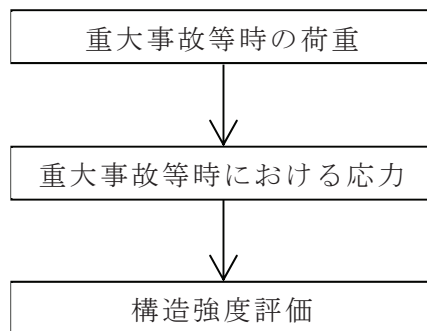


図2-1 原子炉圧力容器内部構造物の強度評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（昭和55年10月30日 通商産業省告示第501号（以下「告示」という。））

注1：本書及び強度計算書において、告示の条項は「告示第○条第○項第○号○○」として示す。

注2：原子炉圧力容器内部構造物の強度評価においては、告示の第17章「炉心支持構造物」の規定を準用する。

2.4 記号の説明

本書及び強度計算書において使用する記号は、本書(1)耐震評価編の2.4節に記載のとおりである。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-1 に示すとおりである。

表 2-1 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
応力強さ	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*：告示別表に記載された温度の中間における許容応力は、比例法により補間した値の小数点以下第 2 位を切捨て、小数点以下第 1 位までの値として算出する。得られた値を SI 単位に換算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. 計算条件

3.1 評価対象機器

応力評価を行う機器は、次のとおりである。(本書(1)耐震評価編の表 2-1 及び図 3-1 参照)

機器名称		評価対象
		強度計算書 〔 運転状態 V に対する評価 〕
(1)	蒸気乾燥器	×*
(2)	気水分離器及びスタンドパイプ	×*
(3)	シュラウドヘッド	×*
(4)	ジェットポンプ	○
(5)	給水スパーチャ	○
(6)	高圧及び低圧炉心 スプレイスパーチャ	○
(7)	残留熱除去系配管 (原子炉圧力容器内部)	○
(8)	高圧及び低圧炉心スプレイ系配管 (原子炉圧力容器内部)	○
(9)	差圧検出・ほう酸水注入系配管 (原子炉圧力容器内部)	○
(10)	中性子束計測案内管	×*

注 : 「○」は評価対象, 「×」は評価対象外を示す。

注記* : 設計基準対象施設としてのみ申請する機器。

3.2 形状及び寸法

各部の形状及び寸法は、強度計算書に示す。

3.3 荷重の組合せ及び運転状態

原子炉圧力容器内部構造物の荷重の組合せ及び運転状態を表 3-1 に示す。また、各運転状態で考慮する荷重は、4 章に示すとおりである。

3.4 許容応力

許容応力は、表3-2に示す。

3.5 許容応力評価条件

- (1) 設計応力強さ S_m ，設計降伏点 S_y 及び設計引張強さ S_u は，それぞれ告示別表第 2，第 9，第 10 に定められたものを使用する。
- (2) 運転状態 V の一次応力の評価には，運転状態 V における評価温度 に対する許容応力を用いる。
- (3) 原子炉圧力容器内部構造物の許容応力評価条件を表 3-3 に示す。
なお，各機器で使用される材料は，強度計算書に示す。

3.6 溶接部の継手効率

- (1) 溶接部の継手効率は，継手の種類と分類及び継手に適用する検査の種類により，告示第 99 条第 4 項に従って定める。溶接部の継手効率を添付 1 に示す。なお，溶接部の継手効率が 1.00 未満の場合は，継手効率を強度計算書に示す。
- (2) 溶接部の許容応力は，材料の許容応力に継手効率を乗じたものとし，強度計算書に示す。

4. 荷重条件

原子炉圧力容器内部構造物は，以下の荷重条件に耐えることを確認する。
各機器の応力評価には，本章に示す荷重を考慮する。

4.1 運転条件

運転条件は，本書(1)耐震評価編の4.2節に定めるとおりである。

4.2 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件は，本書(1)耐震評価編の4.3節に定めるとおりである。

4.3 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価項目の対応を表4-1に示す。表4-1及び強度計算書において，荷重の種類と記号は，本書(1)耐震評価編の4.4節に定めるとおりである。

なお，荷重の組合せについては，機器ごとに適切に組み合わせる。

5. 応力評価の手順

応力評価の手順について述べる。

5.1 荷重条件の選定

応力解析においては、4章に示した荷重条件のうちから、その部分に作用する荷重を選定して計算を行う。

5.2 応力の評価

5.2.1 主応力

主応力の計算は、本書(1)耐震評価編の5.2.1項に定めるとおりである。

5.2.2 応力強さ

応力強さは、本書(1)耐震評価編の5.2.2項に定めるとおりである。

5.2.3 一次応力強さ

運転状態V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、3.4節に示す許容応力を満足することを示す。

6. 評価結果の添付

応力評価点番号は、本書(1)耐震評価編の6章に定めるとおりである。

6.1 応力評価結果

(1) 次の応力評価結果は、全応力評価点（面）について添付する。

- a. 一次一般膜応力強さの評価のまとめ
- b. 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

7. 引用文献

引用文献は、本書(1)耐震評価編の7章に定めるとおりである。

8. 参照図書

(1) 女川原子力発電所第2号機 第5回工事計画認可申請書 添付書類

- a. IV-2-3-4 給水スパーージャの耐震性についての計算書
- b. IV-2-3-5 高圧及び低圧炉心スプレイスパーージャの耐震性についての計算書
- c. IV-2-3-6 ジェットポンプの耐震性についての計算書
- d. IV-2-3-7 残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書
- e. IV-2-3-8 高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書
- f. IV-2-3-9 差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部及びティーより N11 ノズルまでの外管）の耐震性についての計算書
- g. IV-2-3-10 中性子束計測案内管の耐震性についての計算書
- h. IV-3-1-2-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針
- i. IV-3-1-2-2 蒸気乾燥器の応力計算書
- j. IV-3-1-2-3 シュラウドヘッドの応力計算書
- k. IV-3-1-2-4 気水分離器及びスタンドパイプの応力計算書
- l. IV-3-1-2-5 給水スパーージャの応力計算書
- m. IV-3-1-2-6 高圧及び低圧炉心スプレイスパーージャの応力計算書
- n. IV-3-1-2-7 ジェットポンプの応力計算書
- o. IV-3-1-2-8 残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）の応力計算書
- p. IV-3-1-2-9 高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉圧力容器内部）の応力計算書
- q. IV-3-1-2-10 差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）の応力計算書
- r. IV-3-1-2-11 中性子束計測案内管の応力計算書

表 3-1 荷重の組合せ及び運転状態（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	運転状態
原子炉 本体	原子炉 压力容器 内部 構造物	給水スパージャ 残留熱除去系配管（原子炉压力容器内部）	常設耐震／防止 常設／緩和 常設／防止 （DB 拡張）	—	D + P + M + A	V
		高圧炉心スプレイスパージャ 高圧炉心スプレイ系配管（原子炉压力容器内部）	常設耐震／防止 常設／防止 （DB 拡張）	—	D + P + M + A	V
		ジェットポンプ 低圧炉心スプレイスパージャ 低圧炉心スプレイ系配管（原子炉压力容器内部）	常設／防止 （DB 拡張）	—	D + P + M + A	V
		差圧検出・ほう酸水注入系配管 （原子炉压力容器内部）	常設耐震／防止 常設／緩和	—	D + P + M + A	V

[記号の説明]

- D : 死荷重
- P : 運転状態Vにおける圧力荷重
- M : 運転状態Vで設備に作用している機械的荷重
- A : 事故時荷重

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／緩和」は常設重大事故緩和設備, 「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) を示す。

表 3-2 許容応力（原子炉圧力容器内部構造物）

運転状態	許容応力*	
	一次一般膜応力	一次一般膜＋一次曲げ応力
V (VとしてIVの許容応力を用いる。)	$2/3 \cdot S_u$ ただし、ASS及びHNA については $2/3 \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の小さい方。	左欄の1.5倍の値

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 3-3 許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部位	材料	温度条件 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
原子炉圧力容器 内部構造物	SUS316	評価温度				
	SUS316TP	評価温度				
	SUS316L	評価温度				
	SUS316LTP	評価温度				
	SUSF316L	評価温度				

表 4-1 荷重の組合せ

状態	荷重の組合せ	応力評価
運転状態 V	L02 + L04	P_m $P_m + P_b$

添付1 溶接部の継手効率

原子炉圧力容器内部構造物の主な溶接部の継手効率は、告示99条第4項に従い、付表-1のとおりに定められる。

付表-1

継手の箇所	継手の分類	継手の種類	検査の種類*	継手効率 η
給水スパージャ	サーマルスリーブと ティーの周継手			
	ティーとヘッダの周継手			
高圧及び低圧炉心スプレ イ系配管	ヘッダと管の周継手			
	管と管の周継手			
高圧及び低圧炉心スプレ イスパージャ	管と管の周継手			
残留熱除去系配管	フランジネックとリング の周継手			
差圧検出・ほう酸水注 入系配管	内管とティーの周継手			
	エルボとティーの周継手			
	管とティーの周継手			
ジェットポンプ	ディフューザの周継手			
	ライザブレースと原子炉 圧力容器内壁との継手			
	ライザパイプの周継手			

注記*：検査の種類を示す記号は次のとおりである。

P P T : 告示第99条第4項に規定するハの検査

P T : 告示第99条第4項に規定するホの検査

VI-2-3-4-3-2 蒸気乾燥器の耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 解析範囲	1
1.3 計算結果の概要	1
2. 計算条件	7
2.1 設計条件	7
2.2 運転条件	7
2.3 材料	7
2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	7
2.5 荷重の組合せ及び応力評価	7
2.6 許容応力	7
3. 応力計算	8
3.1 応力評価点	8
3.2 差圧による応力	8
3.2.1 荷重条件	8
3.2.2 計算方法	8
3.3 外荷重による応力	8
3.3.1 荷重条件	8
3.3.2 計算方法	8
3.4 応力の評価	8
4. 応力強さの評価	9
4.1 一次一般膜応力強さの評価	9
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	9
5. 特別な応力の評価	10
5.1 純せん断応力の評価	10
5.1.1 計算方法	10
5.1.2 純せん断応力の評価	10

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	5
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	11
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	12
表 5-1	純せん断応力の評価	13

1. 一般事項

本計算書は、蒸気乾燥器の応力計算について示すものである。

蒸気乾燥器は、原子炉圧力容器内部構造物であるため、添付書類「VI-2-3-4-3-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

蒸気乾燥器は、設計基準対象施設においてSクラス施設に分類される。

以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

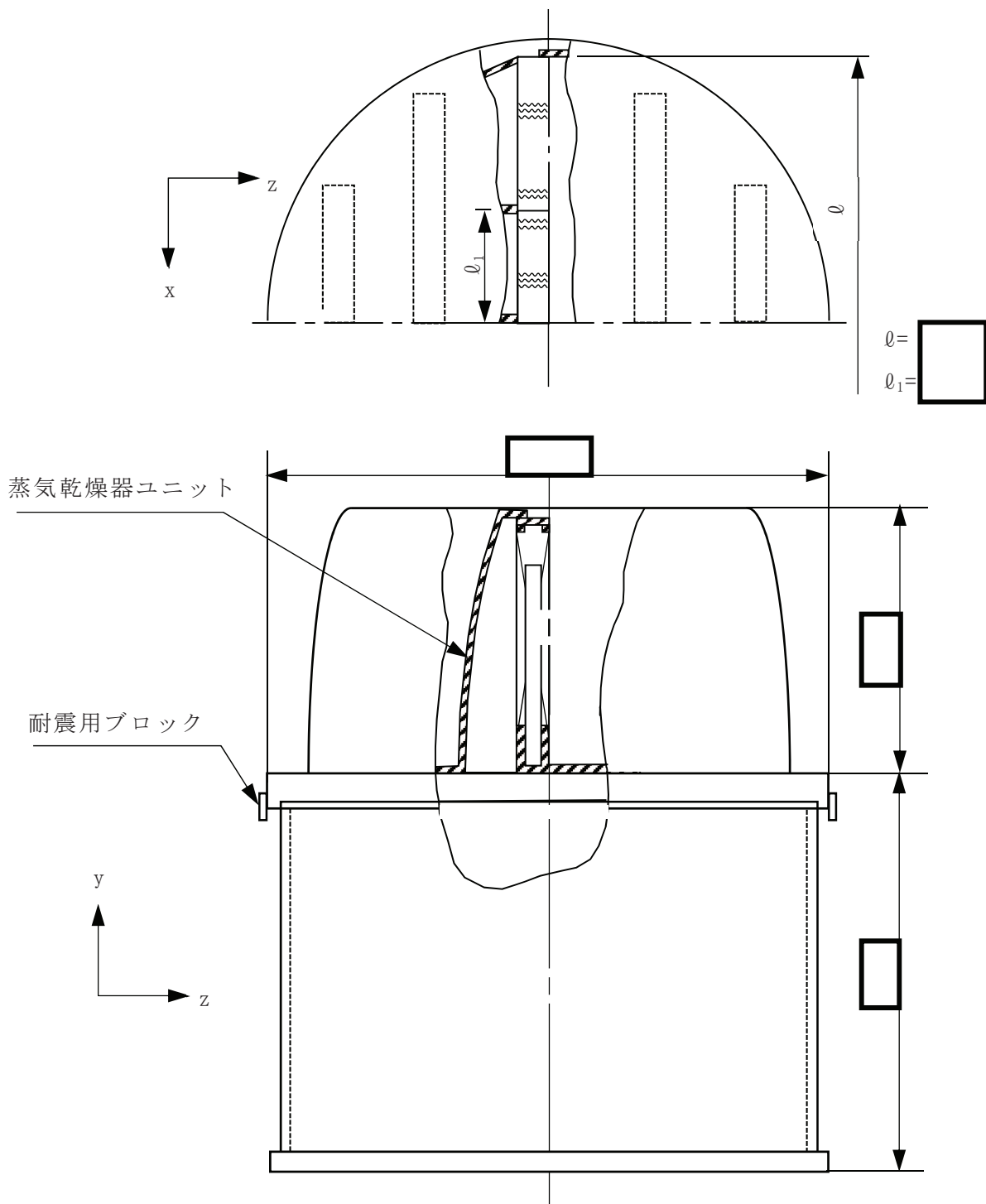
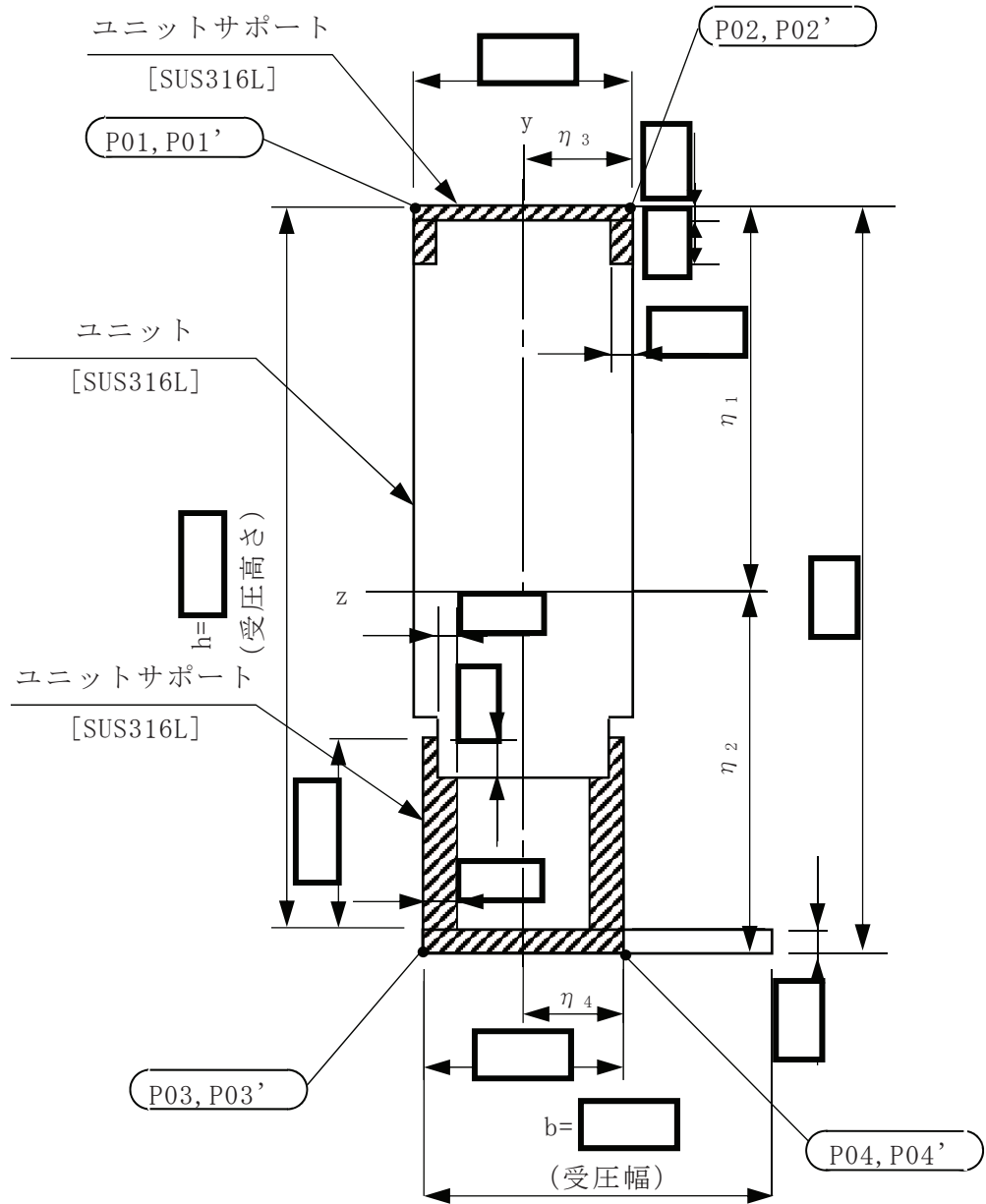


図 1-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点（蒸気乾燥器）（単位：mm）



: 応力評価点
[] : 材 料

図 1-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点
 (ユニット及びユニットサポート) (単位: mm)

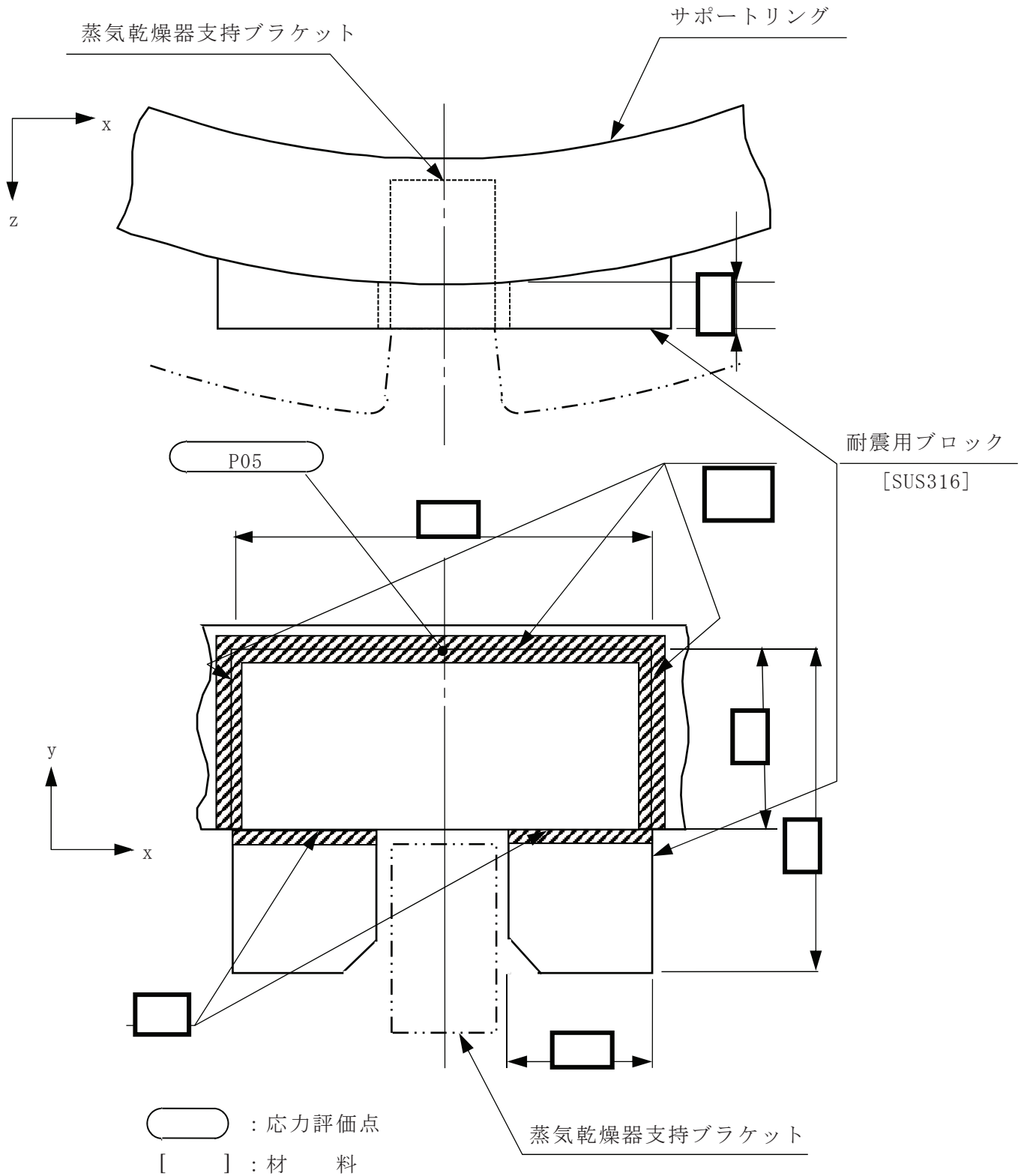


図 1-1(3) 形状・寸法・材料・応力評価点（耐震用ブロック）（単位：mm）

表 1-1(1) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価点	応力強さ	許容応力	応力評価点
ユニットサポート SUS316L	Ⅲ _A S	2	57*	P01	13	85*	P01'
	Ⅳ _A S	3	91*	P01	17	137*	P01'
	Ⅲ _A S	2	57*	P02	11	85*	P02'
	Ⅳ _A S	3	91*	P02	16	137*	P02'
	Ⅲ _A S	2	142	P03	5	214	P03
	Ⅳ _A S	3	228	P03	6	343	P03
	Ⅲ _A S	2	142	P04	6	214	P04
	Ⅳ _A S	3	228	P04	8	343	P04

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 1-1(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	純せん断応力	
		平均せん断応力	許容応力
耐震用ブロック 溶接部 SUS316L	Ⅲ _{AS}	31	47*
	Ⅳ _{AS}	42	62*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.1 節に示す。

2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.2 節に示す。

2.3 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.3 節に示す。

2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.4 節に示す。

2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.6 節に示す。

3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1) i. に定めるとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

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

3.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1) i. に定めるとおりである。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

外荷重を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の表 4-1(1)に示す。

3.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1) i. に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

3.4 応力の評価

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

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 5.2.2 項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より、各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

5. 特別な応力の評価

5.1 純せん断応力の評価

5.1.1 計算方法

純せん断応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)i.に定めるとおりである。

5.1.2 純せん断応力の評価

各許容応力状態における評価を表 5-1 に示す。

表 5-1 より、各許容応力状態の平均せん断応力は、「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	許容応力状態Ⅲ _A S		許容応力状態Ⅳ _A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01	2	57*	3	91*
P01'	2	57*	3	91*
P02	2	57*	3	91*
P02'	2	57*	3	91*
P03	2	142	3	228
P03'	2	142	3	228
P04	2	142	3	228
P04'	2	142	3	228

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	許容応力状態Ⅲ _A S		許容応力状態Ⅳ _A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01	3	85*	8	137*
P01'	13	85*	17	137*
P02	5	85*	10	137*
P02'	11	85*	16	137*
P03	5	214	6	343
P03'	4	214	6	343
P04	6	214	8	343
P04'	2	214	4	343

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 5-1 純せん断応力の評価

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態	平均せん断応力	許容応力
せん断面	Ⅲ _A S	31	47*
	Ⅳ _A S	42	62*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-2-3-4-3-3 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

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 解析範囲	1
1.3 計算結果の概要	1
2. 計算条件	5
2.1 設計条件	5
2.2 運転条件	5
2.3 材料	5
2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	5
2.5 荷重の組合せ及び応力評価	5
2.6 許容応力	5
3. 応力計算	6
3.1 応力評価点	6
3.2 差圧による応力	6
3.2.1 荷重条件	6
3.2.2 計算方法	6
3.3 外荷重による応力	6
3.3.1 荷重条件	6
3.3.2 計算方法	6
3.4 応力の評価	6
4. 応力強さの評価	7
4.1 一次一般膜応力強さの評価	7
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	7

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	4
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	8
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	9

1. 一般事項

本計算書は、気水分離器及びスタンドパイプの応力計算について示すものである。

気水分離器及びスタンドパイプは、原子炉圧力容器内部構造物であるため、添付書類「VI-2-3-4-3-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

気水分離器及びスタンドパイプは、設計基準対象施設においてSクラス施設に分類される。

以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

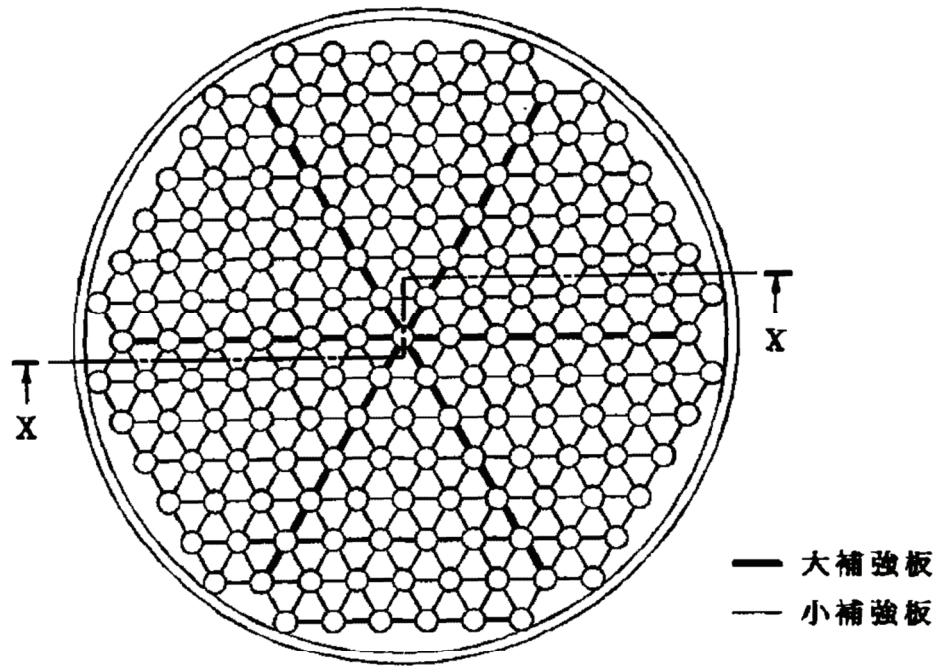
1.2 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

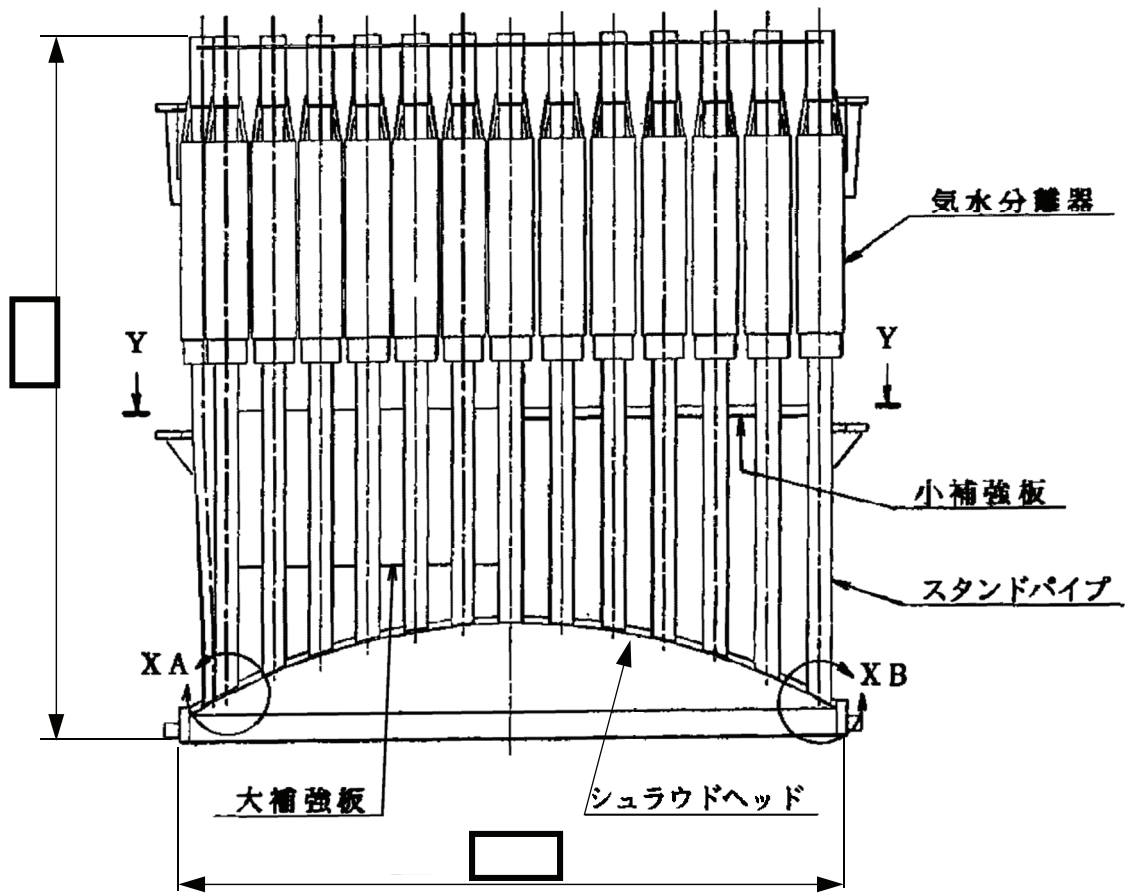
1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

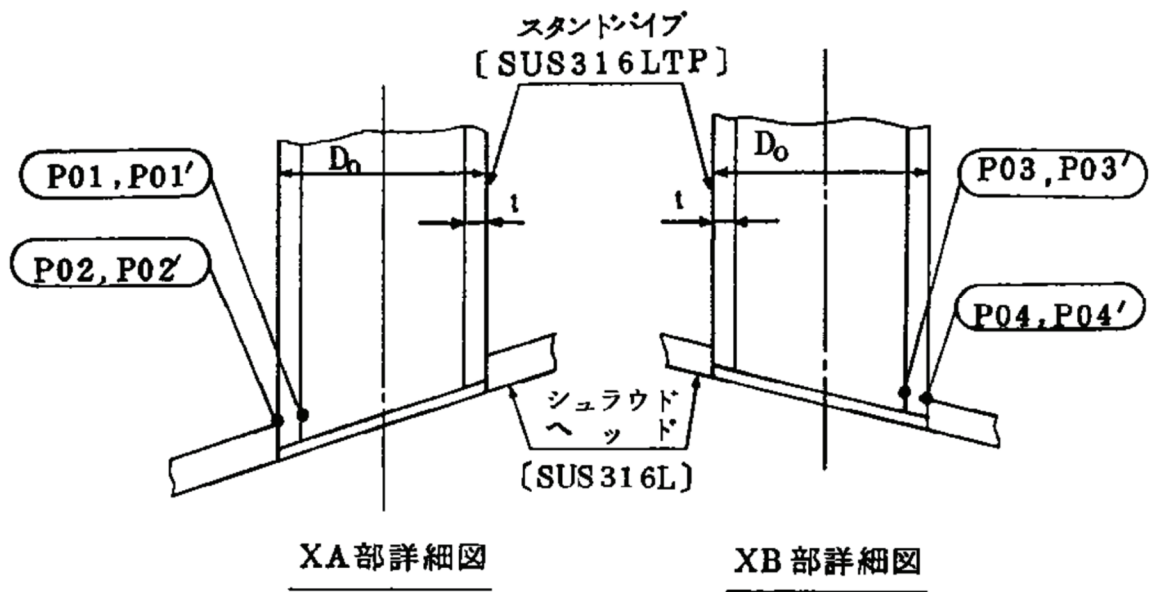


Y~Y断面図



X~X断面図

図 1-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点



D_0 : スタンドパイプ外径

=

t : スタンドパイプ肉厚

=

: 応力評価点

[] : 材 料

図 1-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

(単位 : MPa)

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
スタンドパイプ SUS316LTP	Ⅲ _A S	8	57*	P01'-P02'	60	85*	P01'-P02'
	Ⅳ _A S	11	91*	P01'-P02'	93	137*	P01'-P02'
スタンドパイプ SUS316LTP	Ⅲ _A S	8	57*	P03'-P04'	8	85*	P03'-P04'
	Ⅳ _A S	11	91*	P03'-P04'	12	137*	P03'-P04'

注記* : 継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.1 節に示す。

2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.2 節に示す。

2.3 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.3 節に示す。

2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.4 節に示す。

2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.6 節に示す。

3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)k.に定めるとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

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

3.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)k.に定めるとおりである。

なお、各許容応力状態での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

外荷重を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の表 4-1(2)に示す。

3.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)k.に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

3.4 応力の評価

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

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 5.2.2 項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より, 各許容応力状態の一次一般膜応力強さは, 「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より, 各許容応力状態の一次一般膜+一次曲げ応力強さは, 「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ _A S		許容応力状態Ⅳ _A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	7	57*	11	91*
P01' P02'	8	57*	11	91*
P03 P04	7	57*	11	91*
P03' P04'	8	57*	11	91*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ _{AS}		許容応力状態Ⅳ _{AS}	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	57	85*	90	137*
P01' P02'	60	85*	93	137*
P03 P04	8	85*	11	137*
P03' P04'	8	85*	12	137*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-2-3-4-3-4 シュラウドヘッドの耐震性についての計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	記号の説明	1
1.2	形状・寸法・材料	1
1.3	解析範囲	1
1.4	計算結果の概要	1
2.	計算条件	4
2.1	設計条件	4
2.2	運転条件	4
2.3	材料	4
2.4	荷重の組合せ及び許容応力状態	4
2.5	荷重の組合せ及び応力評価	4
2.6	許容応力	4
3.	応力計算	5
3.1	応力評価点	5
3.2	差圧による応力	5
3.2.1	荷重条件	5
3.2.2	計算方法	5
3.3	外荷重による応力	5
3.3.1	荷重条件	5
3.3.2	計算方法	5
3.4	応力の評価	5
4.	応力強さの評価	6
4.1	一次一般膜応力強さの評価	6
4.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	6

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	断面性状	7
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	8
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	9

1. 一般事項

本計算書は、シュラウドヘッドの応力計算について示すものである。

シュラウドヘッドは、原子炉圧力容器内部構造物であるため、添付書類「VI-2-3-4-3-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

シュラウドヘッドは、設計基準対象施設においてSクラス施設に分類される。

以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

1.1 記号の説明

記号の説明は、「応力解析の方針」(1)耐震評価編の2.4節に示す。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
t _s	鏡板の板厚	mm

1.2 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。

1.3 解析範囲

解析範囲を図1-1に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表1-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

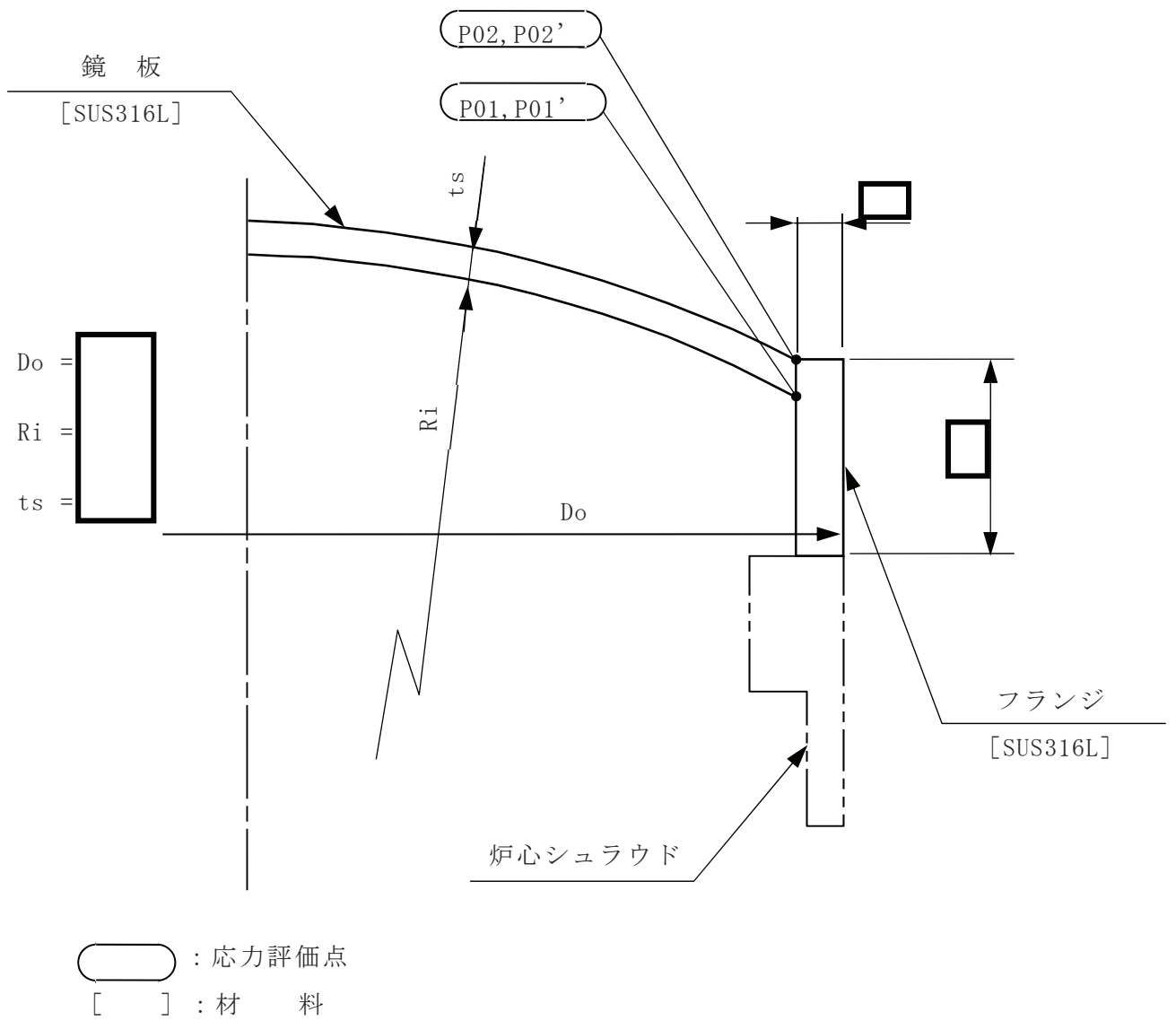


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価点
シュラウドヘッド SUS316L	Ⅲ _A S	11	142	P01-P02	206	214	P02
	Ⅳ _A S	12	228	P01-P02	314	343	P02

2. 計算条件

2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.1 節に示す。

2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.2 節に示す。

2.3 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.3 節に示す。

2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.4 節に示す。

2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.6 節に示す。

3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、表 3-1 に示すとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

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

3.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)j.に定めるとおりである。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

外荷重を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の表 4-1(3)に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

死荷重による一次一般膜応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)j.に定めるとおりである。地震荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\tau_{\theta r} = \frac{V}{A} + \frac{H}{A}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次一般膜＋一次曲げ応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)j.に定めるとおりである。

3.4 応力の評価

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

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 5.2.2 項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より，各許容応力状態の一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より，各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

表 3-1 断面性状

応力評価点	D _i (mm)	t _s (mm)	A* (mm ²)
P01, P02			

注記* : $A = \pi \cdot D_i \cdot t_s$

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ _A S		許容応力状態Ⅳ _A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	11	142	12	228
P01' P02'	9	142	10	228

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ _A S		許容応力状態Ⅳ _A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01	201	214	309	343
P01'	206	214	314	343
P02	206	214	314	343
P02'	201	214	309	343

VI-2-3-4-3-5 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
1.1	形状・寸法・材料	1
1.2	解析範囲	1
1.3	計算結果の概要	1
2.	計算条件	4
2.1	設計条件	4
2.2	運転条件	4
2.3	材料	4
2.4	荷重の組合せ及び許容応力状態	4
2.5	荷重の組合せ及び応力評価	4
2.6	許容応力	4
3.	外荷重の条件	5
3.1	計算方法	5
3.2	解析モデル	5
3.3	設計震度	5
3.4	計算結果	5
3.4.1	固有周期	5
3.4.2	地震荷重	5
4.	応力計算	6
4.1	応力評価点	6
4.2	差圧による応力	6
4.2.1	荷重条件	6
4.2.2	計算方法	6
4.3	外荷重による応力	6
4.3.1	荷重条件	6
4.3.2	計算方法	6
4.4	応力の評価	6
5.	応力強さの評価	7
5.1	一次一般膜応力強さの評価	7
5.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	7

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	解析モデル	8
表 1-1	計算結果の概要	3
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	9
表 5-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	10

1. 一般事項

本計算書は、ジェットポンプの応力計算について示すものである。

ジェットポンプは、原子炉圧力容器内部構造物であるため、添付書類「VI-2-3-4-3-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

ジェットポンプは、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）に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

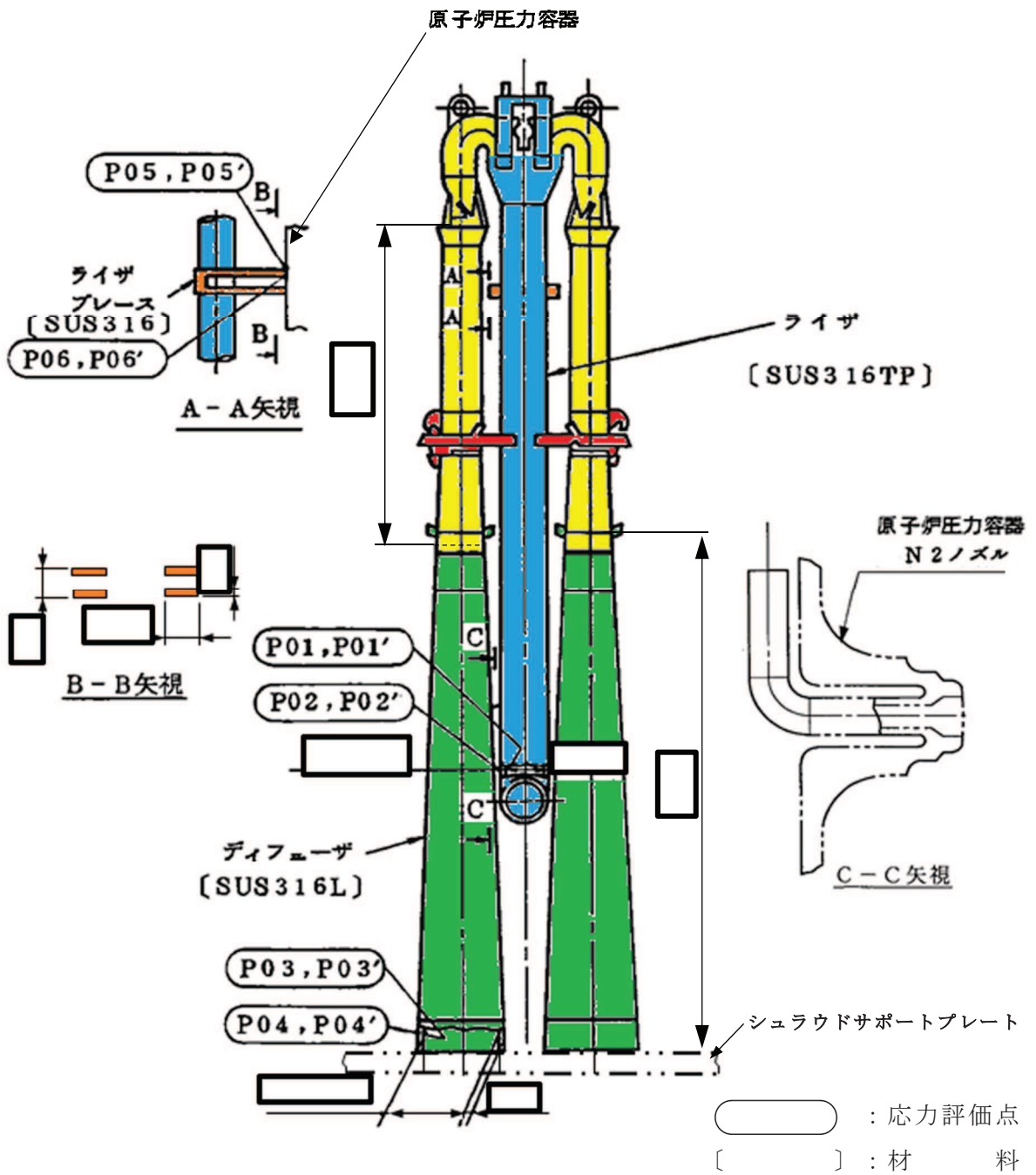


図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
ライザ SUS316TP	Ⅲ _A S	43	116 ^{*1}	P01'-P02'	69	174 ^{*1}	P01-P02
	Ⅳ _A S	49	185 ^{*1}	P01-P02	94	277 ^{*1}	P01-P02
	V _A S	49	183 ^{*1}	P01-P02	94	275 ^{*1}	P01-P02
ディフューザ SUS316L	Ⅲ _A S	14	92 ^{*1}	P03'-P04'	37	139 ^{*1}	P03'-P04'
	Ⅳ _A S	16	148 ^{*1}	P03'-P04'	59	223 ^{*1}	P03'-P04'
	V _A S	20	145 ^{*1}	P03'-P04'	61	218 ^{*1}	P03'-P04'
ライザブレース SUS316	Ⅲ _A S	20	161 ^{*2}	P05-P06	59	241 ^{*2}	P05-P06
	Ⅳ _A S	27	256 ^{*2}	P05-P06	82	384 ^{*2}	P05-P06
	V _A S	27	254 ^{*2}	P05-P06	82	381 ^{*2}	P05-P06

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。

注記*2：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.1 節に示す。

2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.2 節に示す。

また、重大事故等時の条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.3 節に示す。

2.3 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.3 節に示す。

2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.4 節に示す。

2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.6 節に示す。

3. 外荷重の条件

3.1 計算方法

固有周期、地震荷重は「3.2 解析モデル」に示す解析モデルにより求める。

3.2 解析モデル

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

「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)c.に定める解析モデルを図 3-1 に示す。

3.3 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	1.14	0.74
基準地震動 S_s	2.11	1.28

3.4 計算結果

3.4.1 固有周期

固有周期を下表に示す。

固有周期は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)c.に示すとおり 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

モード	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
		X 方向	Y 方向	
1 次		—	—	—

3.4.2 地震荷重

解析により求めた地震荷重を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の表 4-1(4)に示す。

4. 応力計算

4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)n.に定めるとおりである。

4.2 差圧による応力

4.2.1 荷重条件 (L02)

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

なお、重大事故等時の差圧は、「2.2 運転条件」による。

4.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)n.に定めるとおりである。

なお、各許容応力状態での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

4.3 外荷重による応力

4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

外荷重を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の表 4-1(4)に示す。

4.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)n.に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

4.4 応力の評価

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

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 5.2.2 項に定めるとおりである。

5. 応力強さの評価

5.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 5-1 に示す。

表 5-1 より，各許容応力状態の一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 5-2 に示す。

表 5-2 より，各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

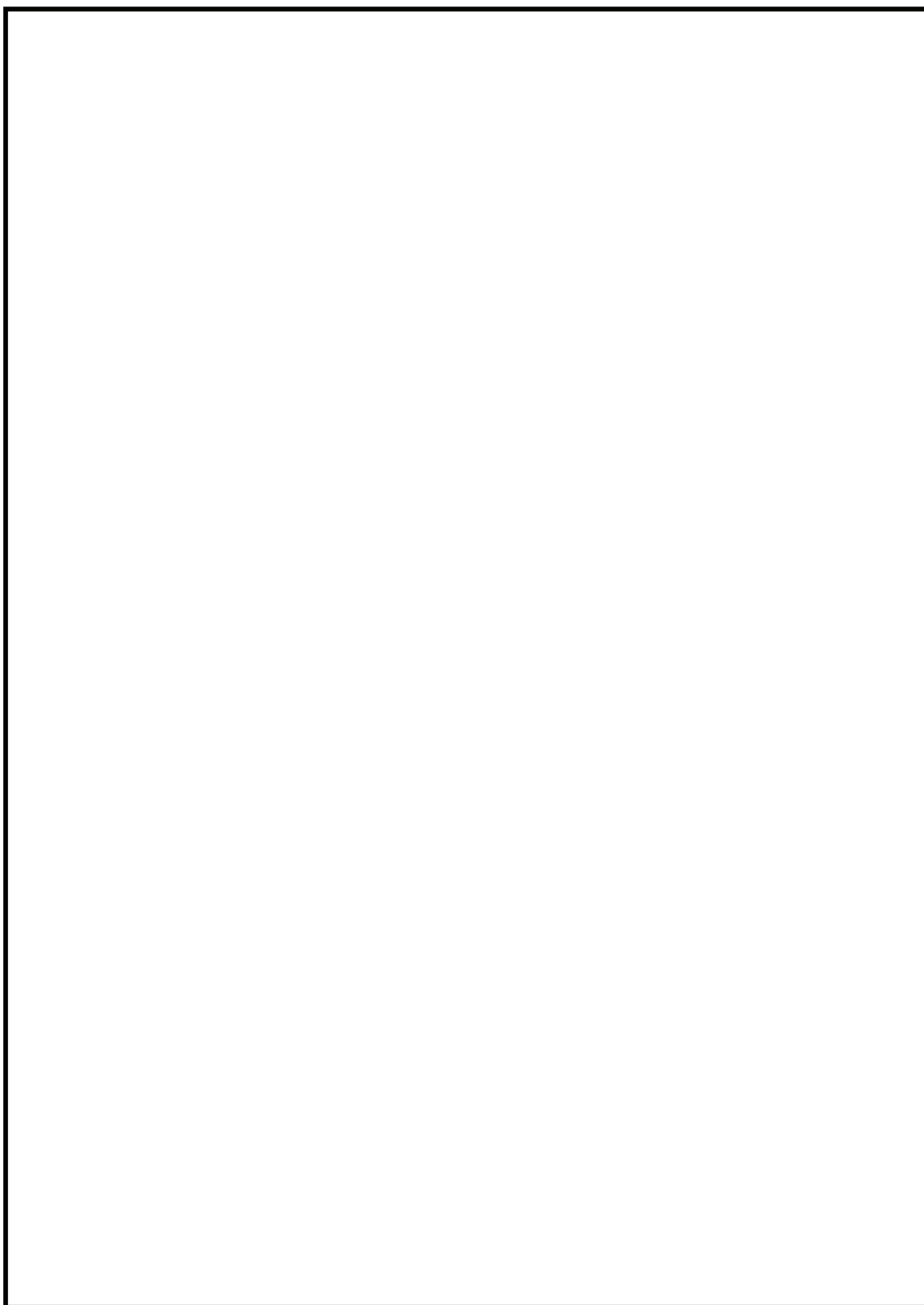


図3-1 解析モデル

表5-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ _{AS}		許容応力状態Ⅳ _{AS}		許容応力状態Ⅴ _{AS}	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	43	116 ^{*1}	49	185 ^{*1}	49	183 ^{*1}
P01' P02'	43	116 ^{*1}	46	185 ^{*1}	46	183 ^{*1}
P03 P04	14	92 ^{*1}	15	148 ^{*1}	20	145 ^{*1}
P03' P04'	14	92 ^{*1}	16	148 ^{*1}	20	145 ^{*1}
P05 P06	20	161 ^{*2}	27	256 ^{*2}	27	254 ^{*2}
P05' P06'	9	161 ^{*2}	13	256 ^{*2}	13	254 ^{*2}

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。

注記*2：継手効率 を乗じた値を示す。

表5-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ _{AS}		許容応力状態Ⅳ _{AS}		許容応力状態Ⅴ _{AS}	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	69	174 ^{*1}	94	277 ^{*1}	94	275 ^{*1}
P01' P02'	48	174 ^{*1}	68	277 ^{*1}	68	275 ^{*1}
P03 P04	36	139 ^{*1}	58	223 ^{*1}	61	218 ^{*1}
P03' P04'	37	139 ^{*1}	59	223 ^{*1}	61	218 ^{*1}
P05 P06	59	241 ^{*2}	82	384 ^{*2}	82	381 ^{*2}
P05' P06'	39	241 ^{*2}	62	384 ^{*2}	62	381 ^{*2}

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。

注記*2：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-2-3-4-3-6 給水スパー ज्याの耐震性についての計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	形状・寸法・材料	1
1.2	解析範囲	1
1.3	計算結果の概要	1
2.	計算条件	4
2.1	設計条件	4
2.2	運転条件	4
2.3	材料	4
2.4	荷重の組合せ及び許容応力状態	4
2.5	荷重の組合せ及び応力評価	4
2.6	許容応力	4
3.	外荷重の条件	5
3.1	計算方法	5
3.2	解析モデル	5
3.3	設計震度	5
3.4	計算結果	5
3.4.1	固有周期	5
3.4.2	地震荷重	5
4.	応力計算	6
4.1	応力評価点	6
4.2	差圧による応力	6
4.2.1	荷重条件	6
4.2.2	計算方法	6
4.3	外荷重による応力	6
4.3.1	荷重条件	6
4.3.2	計算方法	6
4.4	応力の評価	6
5.	応力強さの評価	7
5.1	一次一般膜応力強さの評価	7
5.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	7

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	解析モデル	8
表 1-1	計算結果の概要	3
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	9
表 5-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	10

1. 一般事項

本計算書は、給水スパー ज्याの応力計算について示すものである。

給水スパー ज्याは、原子炉圧力容器内部構造物であるため、添付書類「VI-2-3-4-3-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

給水スパー ज्या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、常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

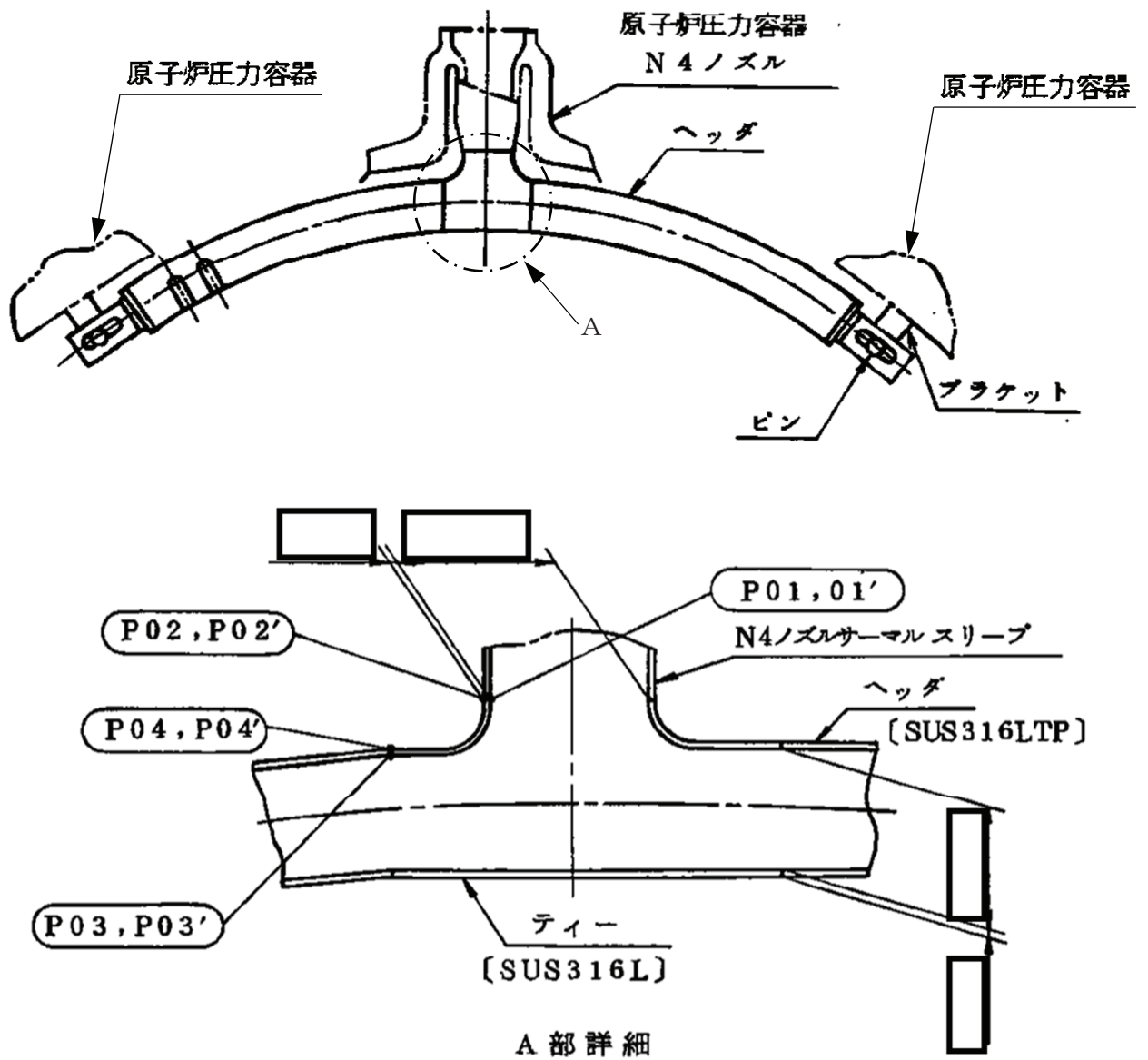
1.2 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。



○ : 応力評価点
 [] : 材 料

図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
ティー SUS316L	Ⅲ _A S	6	92*	P01-P02	12	139*	P01-P02
	Ⅳ _A S	9	148*	P01-P02	17	223*	P01-P02
	V _A S	9	145*	P01-P02	17	218*	P01-P02
ヘッダ SUS316LTP	Ⅲ _A S	6	92*	P03-P04	25	139*	P03-P04
	Ⅳ _A S	7	148*	P03-P04	29	223*	P03-P04
	V _A S	7	145*	P03-P04	29	218*	P03-P04

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.1 節に示す。

2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.2 節に示す。

また、重大事故等時の条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.3 節に示す。

2.3 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.3 節に示す。

2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.4 節に示す。

2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.6 節に示す。

3. 外荷重の条件

3.1 計算方法

固有周期，地震荷重は「3.2 解析モデル」に示す解析モデルにより求める。

3.2 解析モデル

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

「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)a.に定める解析モデルを図 3-1 に示す。

3.3 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	1.70	0.82
基準地震動 S_s	2.61	1.41

3.4 計算結果

3.4.1 固有周期

固有周期を下表に示す。

固有周期は，既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)a.に示すとおり 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

モード	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
		X 方向	Y 方向	
1 次		—	—	—

3.4.2 地震荷重

解析により求めた地震荷重を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の表 4-1(5)に示す。

4. 応力計算

4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)1.に定めるとおりである。

4.2 差圧による応力

4.2.1 荷重条件 (L02)

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

なお、重大事故等時の差圧は、「2.2 運転条件」による。

4.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)1.に定めるとおりである。

なお、各許容応力状態での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

4.3 外荷重による応力

4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

外荷重を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の表 4-1(5)に示す。

4.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)1.に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

4.4 応力の評価

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

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 5.2.2 項に定めるとおりである。

5. 応力強さの評価

5.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 5-1 に示す。

表 5-1 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 5-2 に示す。

表 5-2 より、各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

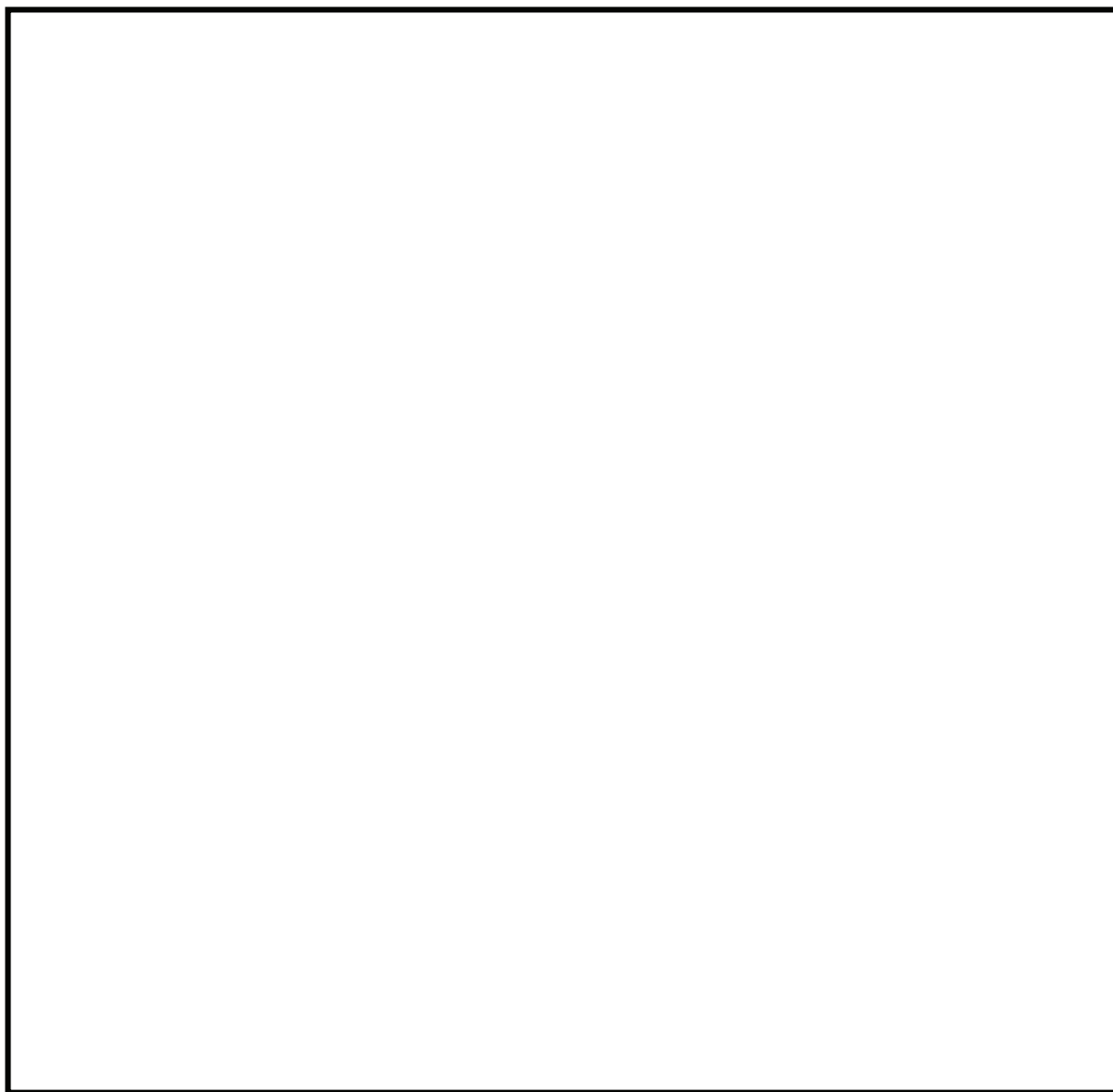


図3-1 解析モデル

表5-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ _{AS}		許容応力状態Ⅳ _{AS}		許容応力状態Ⅴ _{AS}	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	6	92*	9	148*	9	145*
P01' P02'	5	92*	6	148*	6	145*
P03 P04	6	92*	7	148*	7	145*
P03' P04'	3	92*	4	148*	4	145*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表5-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ _{AS}		許容応力状態Ⅳ _{AS}		許容応力状態Ⅴ _{AS}	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	12	139*	17	223*	17	218*
P01' P02'	11	139*	17	223*	17	218*
P03 P04	25	139*	29	223*	29	218*
P03' P04'	24	139*	28	223*	28	218*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-2-3-4-3-7 高圧及び低圧炉心スプレイ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
1.1	形状・寸法・材料	1
1.2	解析範囲	1
1.3	計算結果の概要	1
2.	計算条件	4
2.1	設計条件	4
2.2	運転条件	4
2.3	材料	4
2.4	荷重の組合せ及び許容応力状態	4
2.5	荷重の組合せ及び応力評価	4
2.6	許容応力	4
3.	外荷重の条件	5
3.1	計算方法	5
3.2	解析モデル	5
3.3	設計震度	5
3.4	計算結果	5
3.4.1	固有周期	5
3.4.2	地震荷重	5
4.	応力計算	6
4.1	応力評価点	6
4.2	差圧による応力	6
4.2.1	荷重条件	6
4.2.2	計算方法	6
4.3	外荷重による応力	6
4.3.1	荷重条件	6
4.3.2	計算方法	6
4.4	応力の評価	6
5.	応力強さの評価	7
5.1	一次一般膜応力強さの評価	7
5.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	7

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	解析モデル	8
表 1-1	計算結果の概要	3
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	9
表 5-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	10

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の応力計算について示すものである。

高圧及び低圧炉心スプレイスパージャは、原子炉圧力容器内部構造物であるため、添付書類「VI-2-3-4-3-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

高圧炉心スプレイスパージャは、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防止設備（設計基準拡張）に分類される。

低圧炉心スプレイスパージャは、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）に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を図1-1に示す。

1.2 解析範囲

解析範囲を図1-1に示す。

1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表1-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

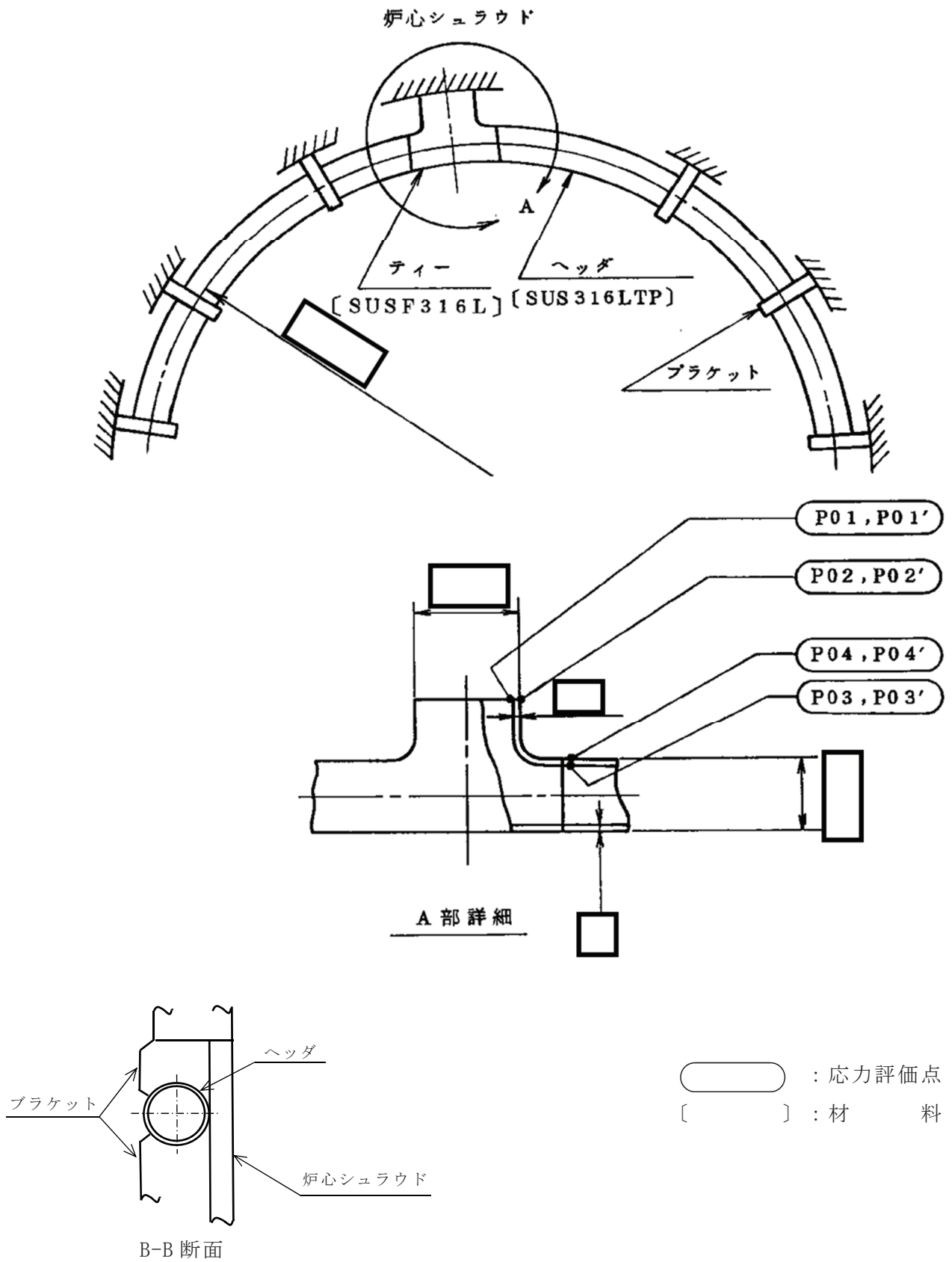


図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
ティー SUSF316L	Ⅲ _A S	8	92*	P01-P02	12	139*	P01-P02
	Ⅳ _A S	10	148*	P01-P02	16	223*	P01-P02
	V _A S	10	145*	P01-P02	16	218*	P01-P02
ヘッダ SUS316LTP	Ⅲ _A S	6	92*	P03'-P04'	16	139*	P03-P04
	Ⅳ _A S	7	148*	P03'-P04'	23	223*	P03-P04
	V _A S	7	145*	P03'-P04'	23	218*	P03-P04

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の4.1節に示す。

2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の4.2節に示す。

また、重大事故等時の条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の4.3節に示す。

2.3 材料

各部の材料を図1-1に示す。

2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の3.3節に示す。

2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の4.4節に示す。

2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の3.4節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の3.6節に示す。

3. 外荷重の条件

3.1 計算方法

固有周期，地震荷重は「3.2 解析モデル」に示す解析モデルにより求める。

3.2 解析モデル

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

「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)b.に定める解析モデルを図 3-1 に示す。

3.3 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	2.02	0.87
基準地震動 S_s	3.29	1.50

3.4 計算結果

3.4.1 固有周期

固有周期を下表に示す。

固有周期は，既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)b.に示すとおり 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

モード	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
		X 方向	Y 方向	
1 次		—	—	—

3.4.2 地震荷重

解析により求めた地震荷重を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の表 4-1(6)に示す。

4. 応力計算

4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)m.に定めるとおりである。

4.2 差圧による応力

4.2.1 荷重条件 (L02)

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

なお、重大事故等時の差圧は、「2.2 運転条件」による。

4.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)m.に定めるとおりである。

なお、各許容応力状態での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

4.3 外荷重による応力

4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

外荷重を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の表 4-1(6)に示す。

4.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)m.に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

4.4 応力の評価

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

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 5.2.2 項に定めるとおりである。

5. 応力強さの評価

5.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 5-1 に示す。

表 5-1 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 5-2 に示す。

表 5-2 より、各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

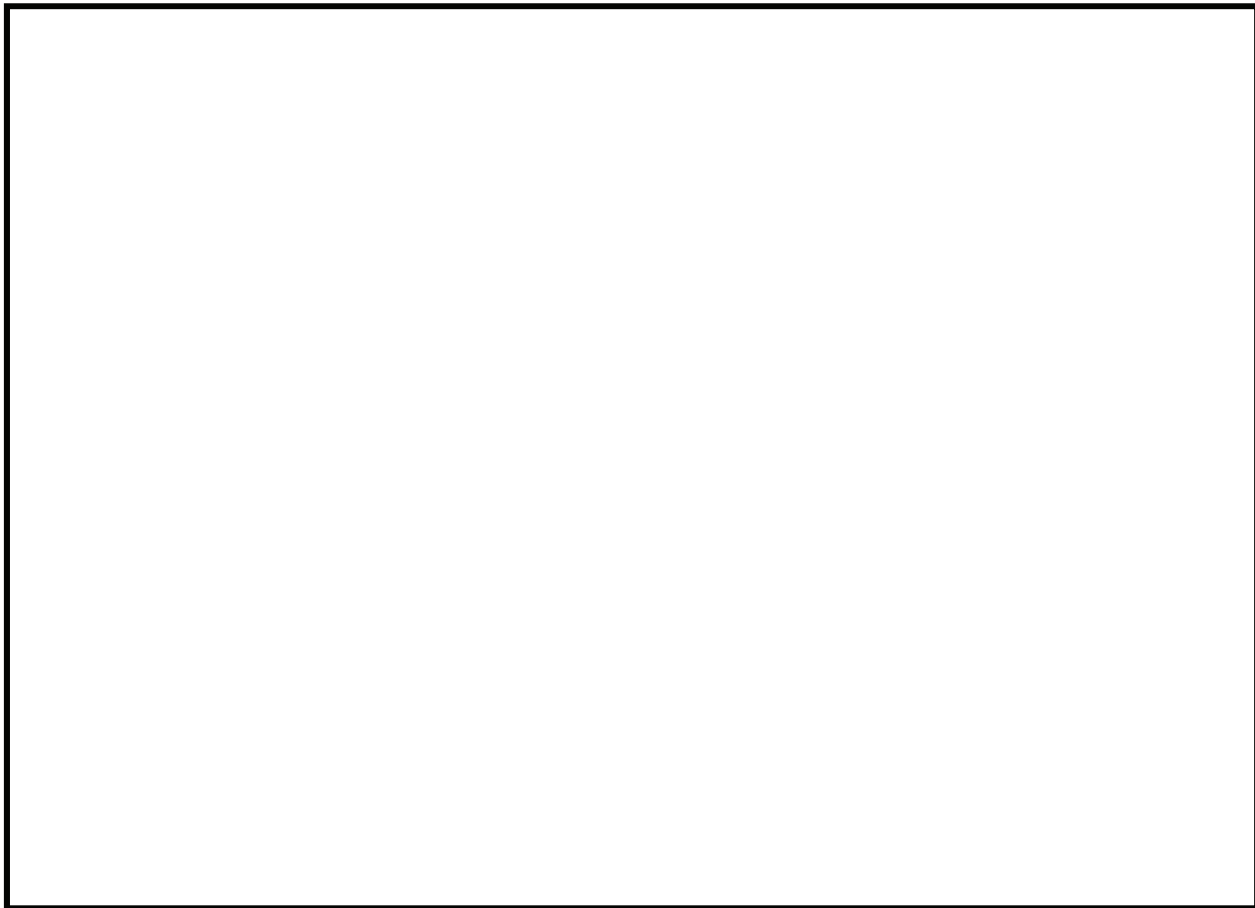


図3-1 解析モデル

表5-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ _{AS}		許容応力状態Ⅳ _{AS}		許容応力状態Ⅴ _{AS}	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	8	92*	10	148*	10	145*
P01' P02'	7	92*	8	148*	8	145*
P03 P04	6	92*	7	148*	7	145*
P03' P04'	6	92*	7	148*	7	145*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表5-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ _{AS}		許容応力状態Ⅳ _{AS}		許容応力状態Ⅴ _{AS}	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	12	139*	16	223*	16	218*
P01' P02'	8	139*	11	223*	11	218*
P03 P04	16	139*	23	223*	23	218*
P03' P04'	14	139*	21	223*	21	218*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-2-3-4-3-8 残留熱除去系配管（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
1.1	形状・寸法・材料	1
1.2	解析範囲	1
1.3	計算結果の概要	1
2.	計算条件	4
2.1	設計条件	4
2.2	運転条件	4
2.3	材料	4
2.4	荷重の組合せ及び許容応力状態	4
2.5	荷重の組合せ及び応力評価	4
2.6	許容応力	4
3.	外荷重の条件	5
3.1	計算方法	5
3.2	解析モデル	5
3.3	設計震度	5
3.4	計算結果	5
3.4.1	固有周期	5
3.4.2	地震荷重	5
4.	応力計算	6
4.1	応力評価点	6
4.2	差圧による応力	6
4.2.1	荷重条件	6
4.2.2	計算方法	6
4.3	外荷重による応力	6
4.3.1	荷重条件	6
4.3.2	計算方法	6
4.4	応力の評価	6
5.	応力強さの評価	7
5.1	一次一般膜応力強さの評価	7
5.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	7

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	解析モデル	8
表 1-1	計算結果の概要	3
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	9
表 5-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	10

1. 一般事項

本計算書は、残留熱除去系配管（原子炉压力容器内部）の応力計算について示すものである。

残留熱除去系配管（原子炉压力容器内部）は、原子炉压力容器内部構造物であるため、添付書類「VI-2-3-4-3-1 原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

残留熱除去系配管（原子炉压力容器内部）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、常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

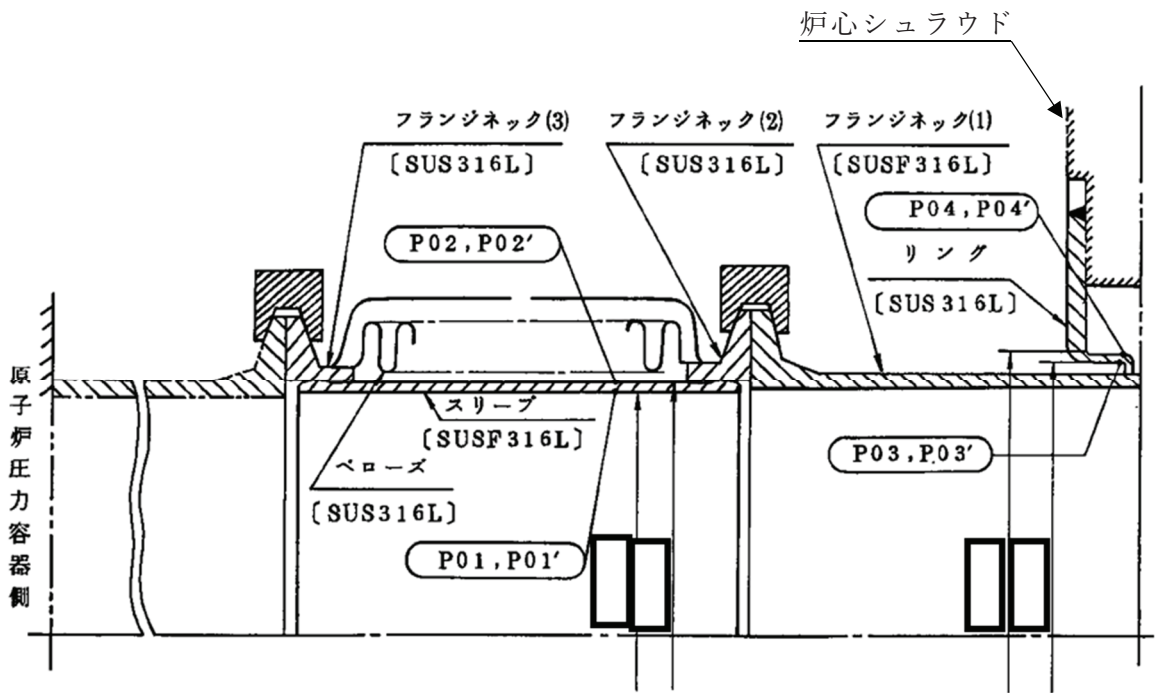
1.2 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。



○ : 応力評価点
 [] : 材 料

図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
スリーブ SUSF316L	Ⅲ _A S	11	142	P01'-P02'	12	214	P01'-P02'
	Ⅳ _A S	11	228	P01'-P02'	14	343	P01'-P02'
	V _A S	11	223	P01'-P02'	14	335	P01'-P02'
リング SUS316L	Ⅲ _A S	15	57*	P03-P04	18	85*	P03'-P04'
	Ⅳ _A S	15	91*	P03-P04	21	137*	P03'-P04'
	V _A S	15	89*	P03-P04	21	134*	P03'-P04'

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.1 節に示す。

2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.2 節に示す。

また、重大事故等時の条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.3 節に示す。

2.3 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.3 節に示す。

2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.4 節に示す。

2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.6 節に示す。

3. 外荷重の条件

3.1 計算方法

固有周期，地震荷重は「3.2 解析モデル」に示す解析モデルにより求める。

3.2 解析モデル

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

「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)d.に定める解析モデルを図 3-1 に示す。

3.3 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	1.90	0.86
基準地震動 S_s	3.08	1.48

3.4 計算結果

3.4.1 固有周期

固有周期を下表に示す。

固有周期は，既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)d.に示すとおり 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

モード	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
		X 方向	Y 方向	
1 次		—	—	—

3.4.2 地震荷重

解析により求めた地震荷重を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の表 4-1(7)に示す。

4. 応力計算

4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)○.に定めるとおりである。

4.2 差圧による応力

4.2.1 荷重条件 (L02)

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

なお、重大事故等時の差圧は、「2.2 運転条件」による。

4.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)○.に定めるとおりである。

なお、各許容応力状態での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

4.3 外荷重による応力

4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

外荷重を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の表 4-1(7)に示す。

4.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)○.に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

4.4 応力の評価

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

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 5.2.2 項に定めるとおりである。

5. 応力強さの評価

5.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 5-1 に示す。

表 5-1 より，各許容応力状態の一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 5-2 に示す。

表 5-2 より，各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

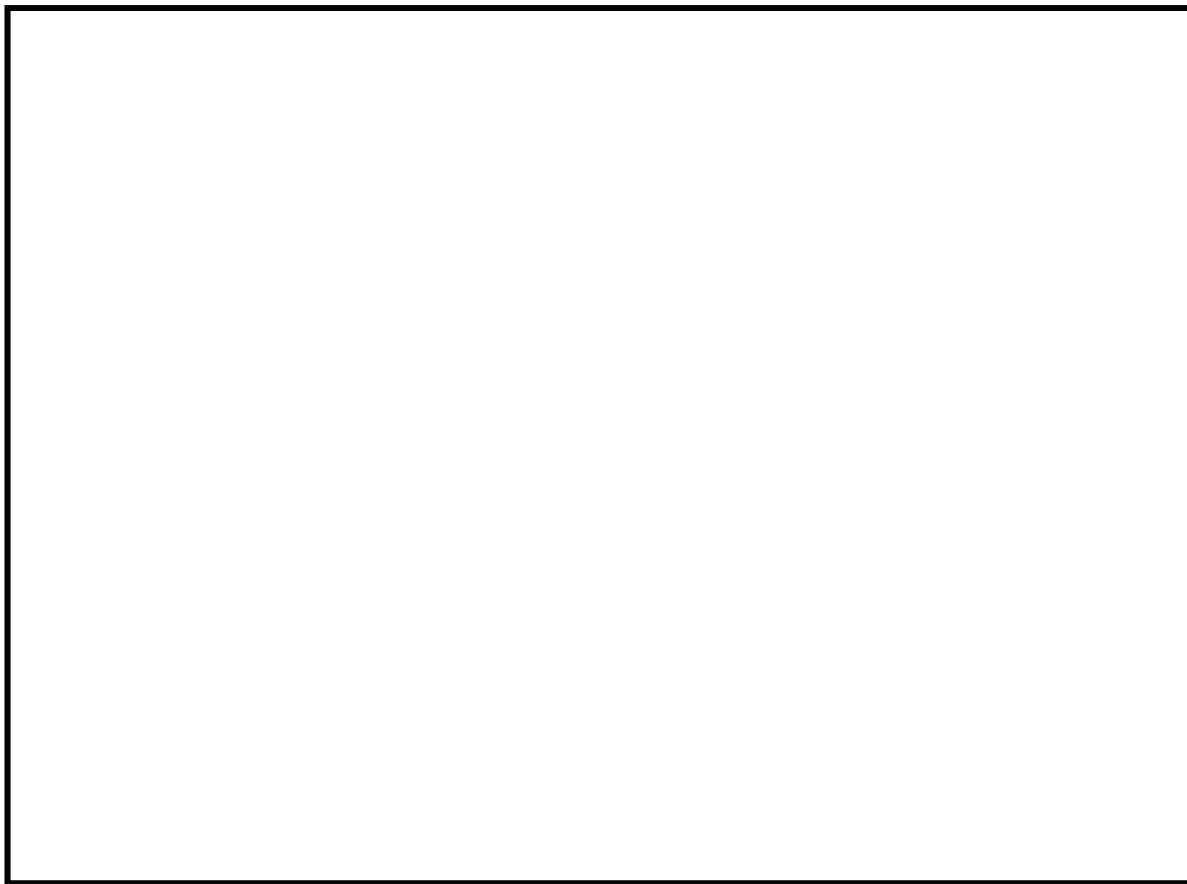


図3-1 解析モデル

表5-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ _{AS}		許容応力状態Ⅳ _{AS}		許容応力状態Ⅴ _{AS}	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	10	142	11	228	11	223
P01' P02'	11	142	11	228	11	223
P03 P04	15	57*	15	91*	15	89*
P03' P04'	13	57*	15	91*	15	89*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表5-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ _{AS}		許容応力状態Ⅳ _{AS}		許容応力状態Ⅴ _{AS}	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	10	214	10	343	10	335
P01' P02'	12	214	14	343	14	335
P03 P04	14	85*	14	137*	14	134*
P03' P04'	18	85*	21	137*	21	134*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-2-3-4-3-9 高圧及び低圧炉心スプレイ系配管(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
1.1	形状・寸法・材料	1
1.2	解析範囲	1
1.3	計算結果の概要	1
2.	計算条件	8
2.1	設計条件	8
2.2	運転条件	8
2.3	材料	8
2.4	荷重の組合せ及び許容応力状態	8
2.5	荷重の組合せ及び応力評価	8
2.6	許容応力	8
3.	外荷重の条件	9
3.1	計算方法	9
3.2	解析モデル	9
3.3	設計震度	9
3.4	計算結果	10
3.4.1	固有周期	10
3.4.2	地震荷重	10
4.	応力計算	11
4.1	応力評価点	11
4.2	差圧による応力	11
4.2.1	荷重条件	11
4.2.2	計算方法	11
4.3	外荷重による応力	11
4.3.1	荷重条件	11
4.3.2	計算方法	11
4.4	応力の評価	11
5.	応力強さの評価	12
5.1	一次一般膜応力強さの評価	12
5.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	12

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	解析モデル	13
表 1-1	計算結果の概要	6
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	14
表 5-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	15

1. 一般事項

本計算書は、高圧及び低圧炉心スプレイ系配管(原子炉压力容器内部)の応力計算について示すものである。

高圧及び低圧炉心スプレイ系配管(原子炉压力容器内部)は、原子炉压力容器内部構造物であるため、添付書類「VI-2-3-4-3-1 原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針」(以下「応力解析の方針」という。)に基づき評価する。

高圧炉心スプレイ系配管(原子炉压力容器内部)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防止設備(設計基準拡張)に分類される。

低圧炉心スプレイ系配管(原子炉压力容器内部)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)に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図1-1に示す。

1.2 解析範囲

解析範囲を図1-1に示す。

1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表1-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

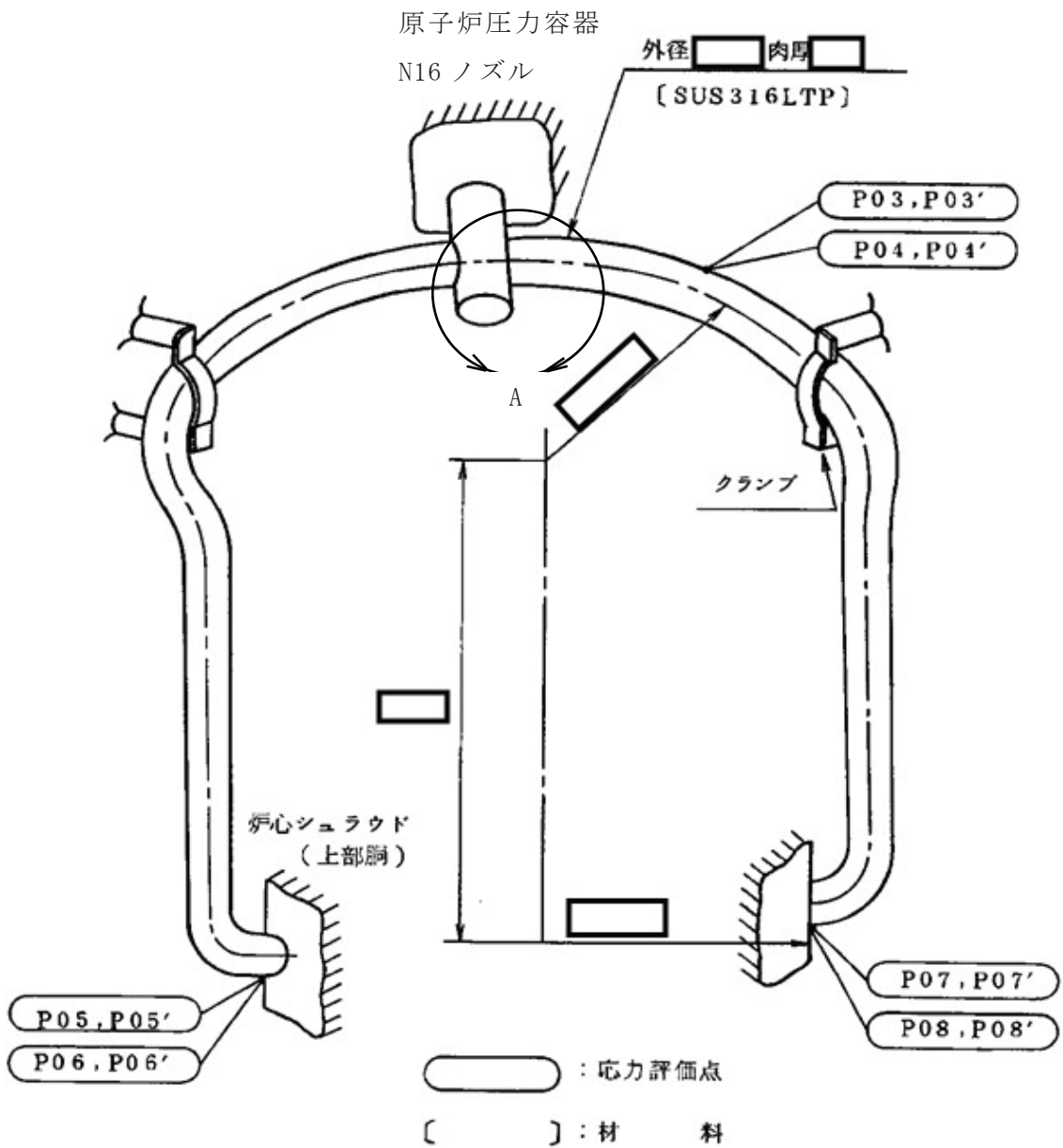


図1-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点(高圧炉心スプレイ系配管) (単位: mm)

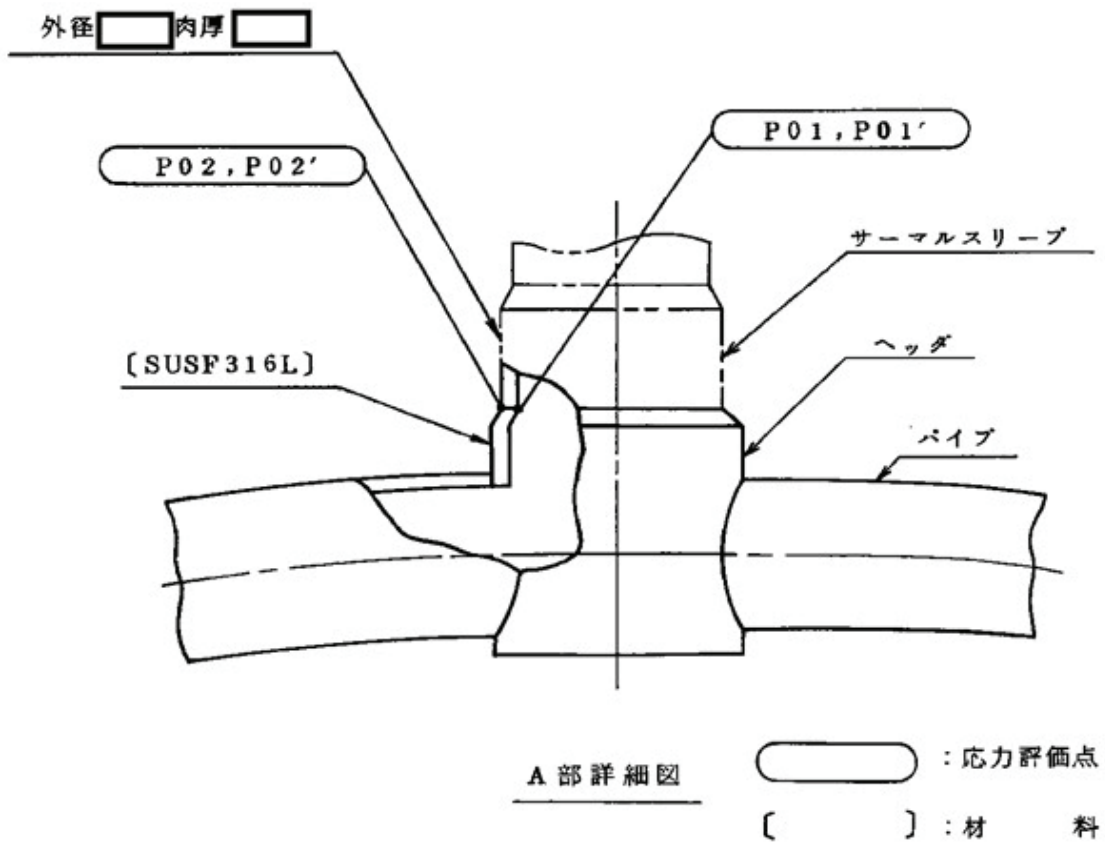


図1-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点(高圧炉心スプレイ系配管) (単位: mm)

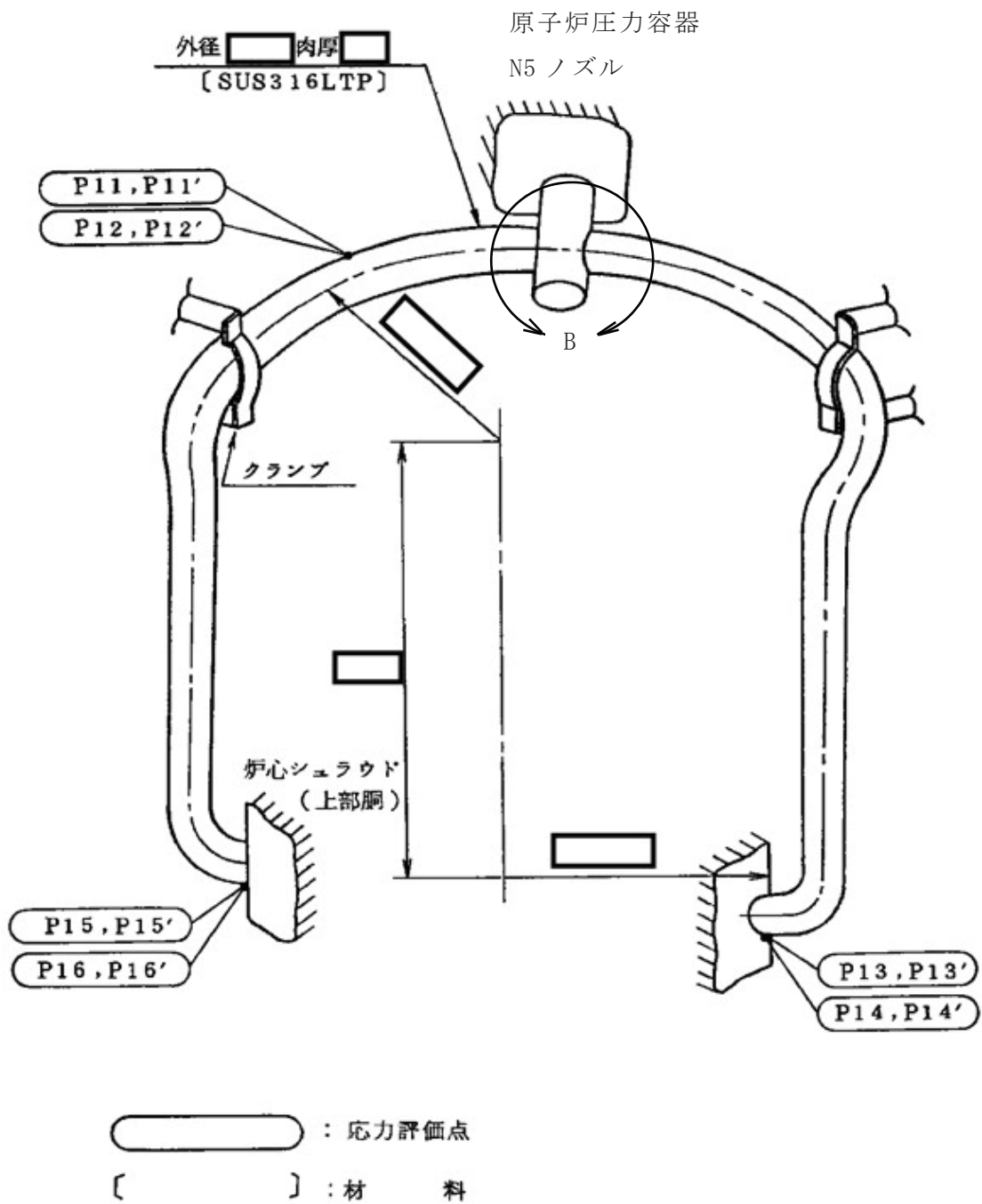


図1-1(3) 形状・寸法・材料・応力評価点(低圧炉心スプレイ系配管) (単位: mm)

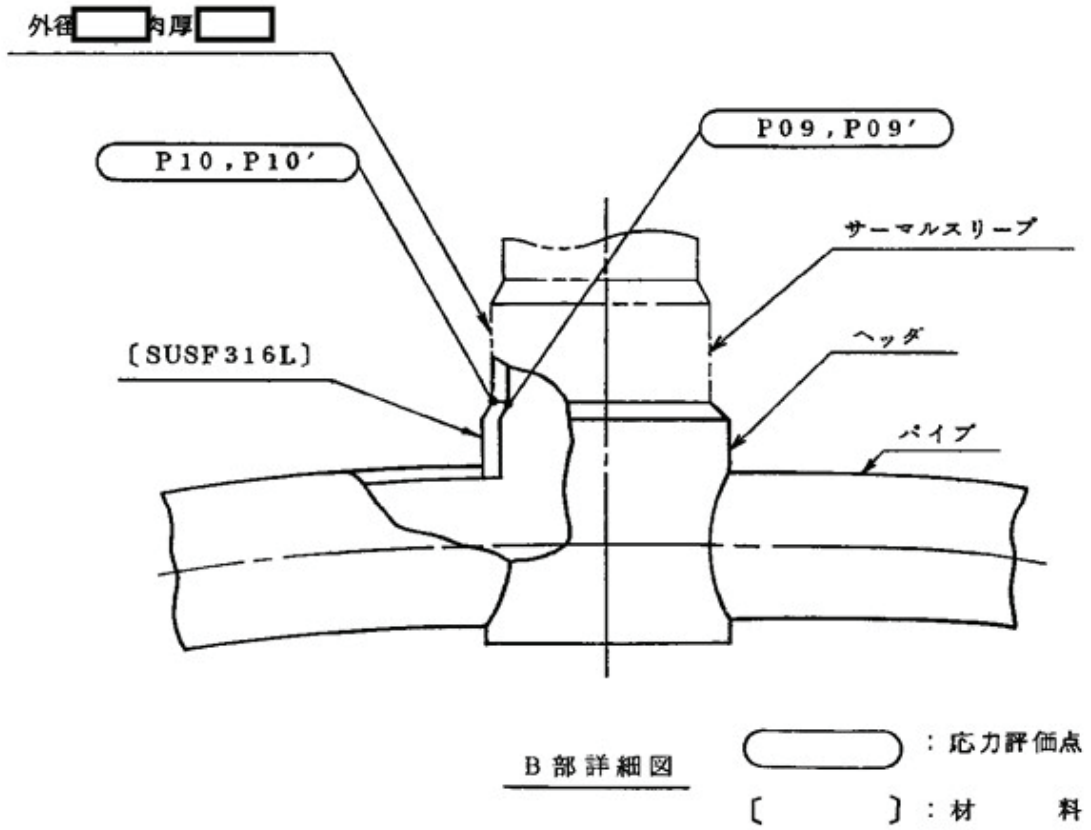


図1-1(4) 形状・寸法・材料・応力評価点(低圧炉心スプレイ系配管) (単位: mm)

表1-1(1) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
ヘッダ SUSF316L	Ⅲ _A S	9	92*	P01-P02	12	139*	P01-P02
	Ⅳ _A S	10	148*	P01-P02	16	223*	P01-P02
	Ⅴ _A S	10	145*	P01-P02	16	218*	P01-P02
パイプ SUS316LTP	Ⅲ _A S	12	142	P03-P04	43	214	P03-P04
	Ⅳ _A S	19	228	P03-P04	68	343	P03-P04
	Ⅴ _A S	19	223	P03-P04	68	335	P03-P04
パイプ SUS316LTP	Ⅲ _A S	11	92*	P05-P06	20	139*	P05-P06
	Ⅳ _A S	15	148*	P05-P06	29	223*	P05-P06
	Ⅴ _A S	15	145*	P05-P06	29	218*	P05-P06
パイプ SUS316LTP	Ⅲ _A S	11	92*	P07-P08	20	139*	P07-P08
	Ⅳ _A S	15	148*	P07-P08	29	223*	P07-P08
	Ⅴ _A S	15	145*	P07-P08	29	218*	P07-P08

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 1-1(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
ヘッダ SUSF316L	Ⅲ _A S	9	92*	P09-P10	12	139*	P09-P10
	Ⅳ _A S	10	148*	P09-P10	17	223*	P09-P10
	Ⅴ _A S	10	145*	P09-P10	17	218*	P09-P10
パイプ SUS316LTP	Ⅲ _A S	13	142	P11-P12	44	214	P11-P12
	Ⅳ _A S	20	228	P11-P12	69	343	P11-P12
	Ⅴ _A S	20	223	P11-P12	69	335	P11-P12
パイプ SUS316LTP	Ⅲ _A S	12	92*	P13-P14	21	139*	P13-P14
	Ⅳ _A S	17	148*	P13-P14	31	223*	P13-P14
	Ⅴ _A S	17	145*	P13-P14	31	218*	P13-P14
パイプ SUS316LTP	Ⅲ _A S	12	92*	P15-P16	21	139*	P15-P16
	Ⅳ _A S	17	148*	P15-P16	31	223*	P15-P16
	Ⅴ _A S	17	145*	P15-P16	31	218*	P15-P16

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.1 節に示す。

2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.2 節に示す。

また、重大事故等時の条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.3 節に示す。

2.3 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.3 節に示す。

2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.4 節に示す。

2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.6 節に示す。

3. 外荷重の条件

3.1 計算方法

固有周期，地震荷重は「3.2 解析モデル」に示す解析モデルにより求める。

3.2 解析モデル

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

「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)e. に定める解析モデルを図 3-1 に示す。

3.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

	設計震度			
	高压炉心スプレイ系配管		低压炉心スプレイ系配管	
	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	2.02	0.87	2.02	0.87
基準地震動 S_s	3.29	1.50	3.29	1.50

3.4 計算結果

3.4.1 固有周期

固有周期を下表に示す。

固有周期は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)e.に示すとおり 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

高圧炉心スプレイ系配管

モード	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
		X 方向	Y 方向	
1 次	<input type="text"/>	—	—	—

低圧炉心スプレイ系配管

モード	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
		X 方向	Y 方向	
1 次	<input type="text"/>	—	—	—

3.4.2 地震荷重

解析により求めた高圧炉心スプレイ系配管の地震荷重を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の表 4-1(8)に、低圧炉心スプレイ系配管の地震荷重を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の表 4-1(9)に示す。

4. 応力計算

4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)p. に定めるとおりである。

4.2 差圧による応力

4.2.1 荷重条件 (L02)

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

なお、重大事故等時の差圧は、「2.2 運転条件」による。

4.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)p. に定めるとおりである。

なお、各許容応力状態での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

4.3 外荷重による応力

4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

高圧炉心スプレイ系配管の外荷重を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の表 4-1(8)に、低圧炉心スプレイ系配管の外荷重を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の表 4-1(9)に示す。

4.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)p. に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

4.4 応力の評価

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

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 5.2.2 項に定めるとおりである。

5. 応力強さの評価

5.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 5-1 に示す。

表 5-1 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 5-2 に示す。

表 5-2 より、各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

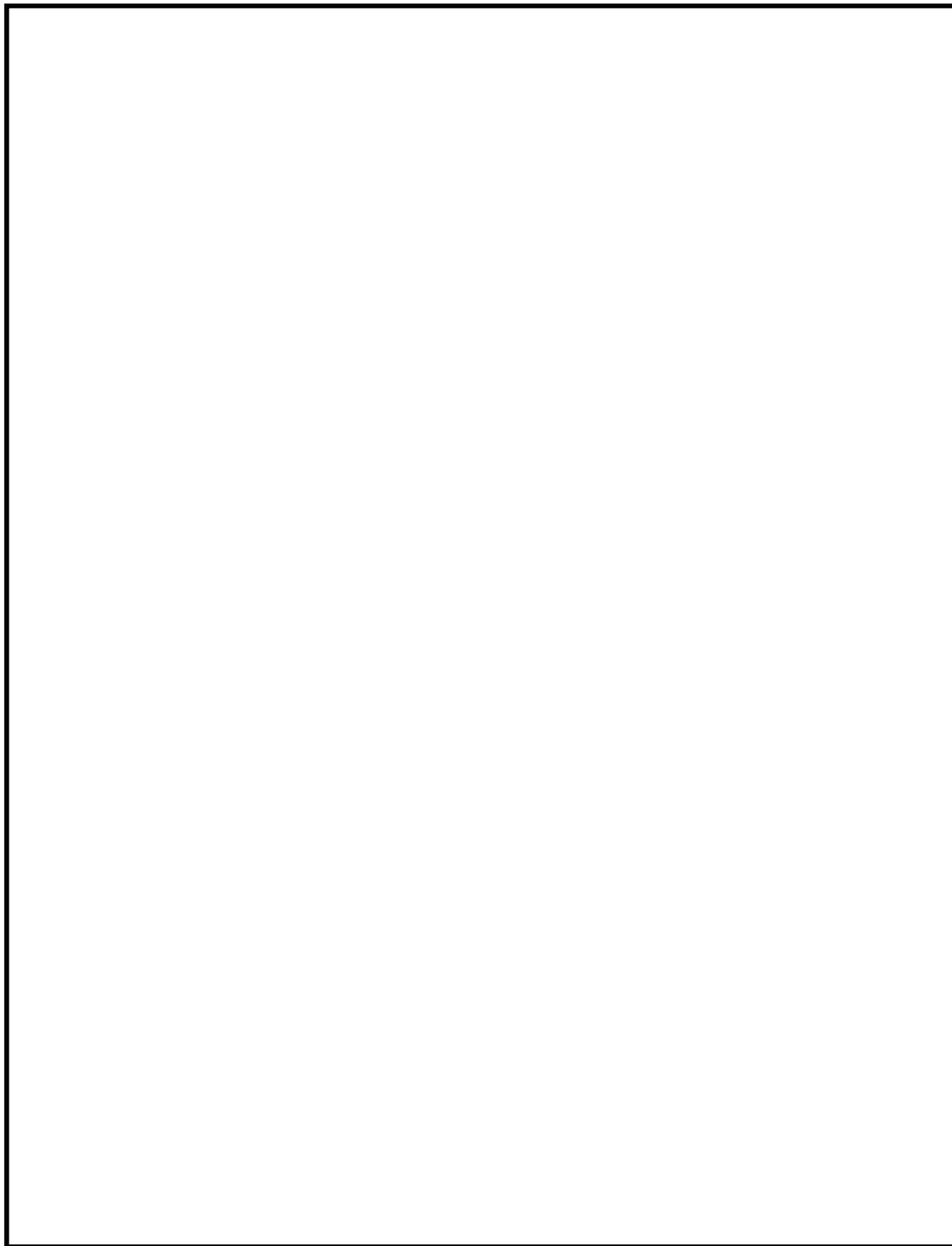


図3-1 解析モデル

表5-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ _{AS}		許容応力状態Ⅳ _{AS}		許容応力状態Ⅴ _{AS}	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	9	92*	10	148*	10	145*
P01' P02'	8	92*	8	148*	8	145*
P03 P04	12	142	19	228	19	223
P03' P04'	11	142	14	228	14	223
P05 P06	11	92*	15	148*	15	145*
P05' P06'	9	92*	12	148*	12	145*
P07 P08	11	92*	15	148*	15	145*
P07' P08'	9	92*	12	148*	12	145*
P09 P10	9	92*	10	148*	10	145*
P09' P10'	8	92*	8	148*	8	145*
P11 P12	13	142	20	228	20	223
P11' P12'	11	142	15	228	15	223
P13 P14	12	92*	17	148*	17	145*
P13' P14'	10	92*	12	148*	12	145*
P15 P16	12	92*	17	148*	17	145*
P15' P16'	10	92*	12	148*	12	145*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表5-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ _{AS}		許容応力状態Ⅳ _{AS}		許容応力状態Ⅴ _{AS}	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	12	139*	16	223*	16	218*
P01' P02'	11	139*	14	223*	14	218*
P03 P04	43	214	68	343	68	335
P03' P04'	42	214	65	343	65	335
P05 P06	20	139*	29	223*	29	218*
P05' P06'	18	139*	26	223*	26	218*
P07 P08	20	139*	29	223*	29	218*
P07' P08'	18	139*	26	223*	26	218*
P09 P10	12	139*	17	223*	17	218*
P09' P10'	11	139*	15	223*	15	218*
P11 P12	44	214	69	343	69	335
P11' P12'	42	214	66	343	66	335
P13 P14	21	139*	31	223*	31	218*
P13' P14'	19	139*	28	223*	28	218*
P15 P16	21	139*	31	223*	31	218*
P15' P16'	19	139*	28	223*	28	218*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-2-3-4-3-10 差圧検出・ほう酸水注入系配管（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
1.1	形状・寸法・材料	1
1.2	解析範囲	1
1.3	計算結果の概要	1
2.	計算条件	4
2.1	設計条件	4
2.2	運転条件	4
2.3	材料	4
2.4	荷重の組合せ及び許容応力状態	4
2.5	荷重の組合せ及び応力評価	4
2.6	許容応力	4
3.	外荷重の条件	5
3.1	計算方法	5
3.2	解析モデル	5
3.3	設計震度	5
3.4	計算結果	5
3.4.1	固有周期	5
3.4.2	地震荷重	5
4.	応力計算	6
4.1	応力評価点	6
4.2	差圧による応力	6
4.2.1	荷重条件	6
4.2.2	計算方法	6
4.3	外荷重による応力	6
4.3.1	荷重条件	6
4.3.2	計算方法	6
4.4	応力の評価	6
5.	応力強さの評価	7
5.1	一次一般膜応力強さの評価	7
5.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	7

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	解析モデル	8
表 1-1	計算結果の概要	3
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	9
表 5-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	10

1. 一般事項

本計算書は、差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）の応力計算について示すものである。

差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）は、原子炉圧力容器内部構造物であるため、添付書類「VI-2-3-4-3-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）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、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

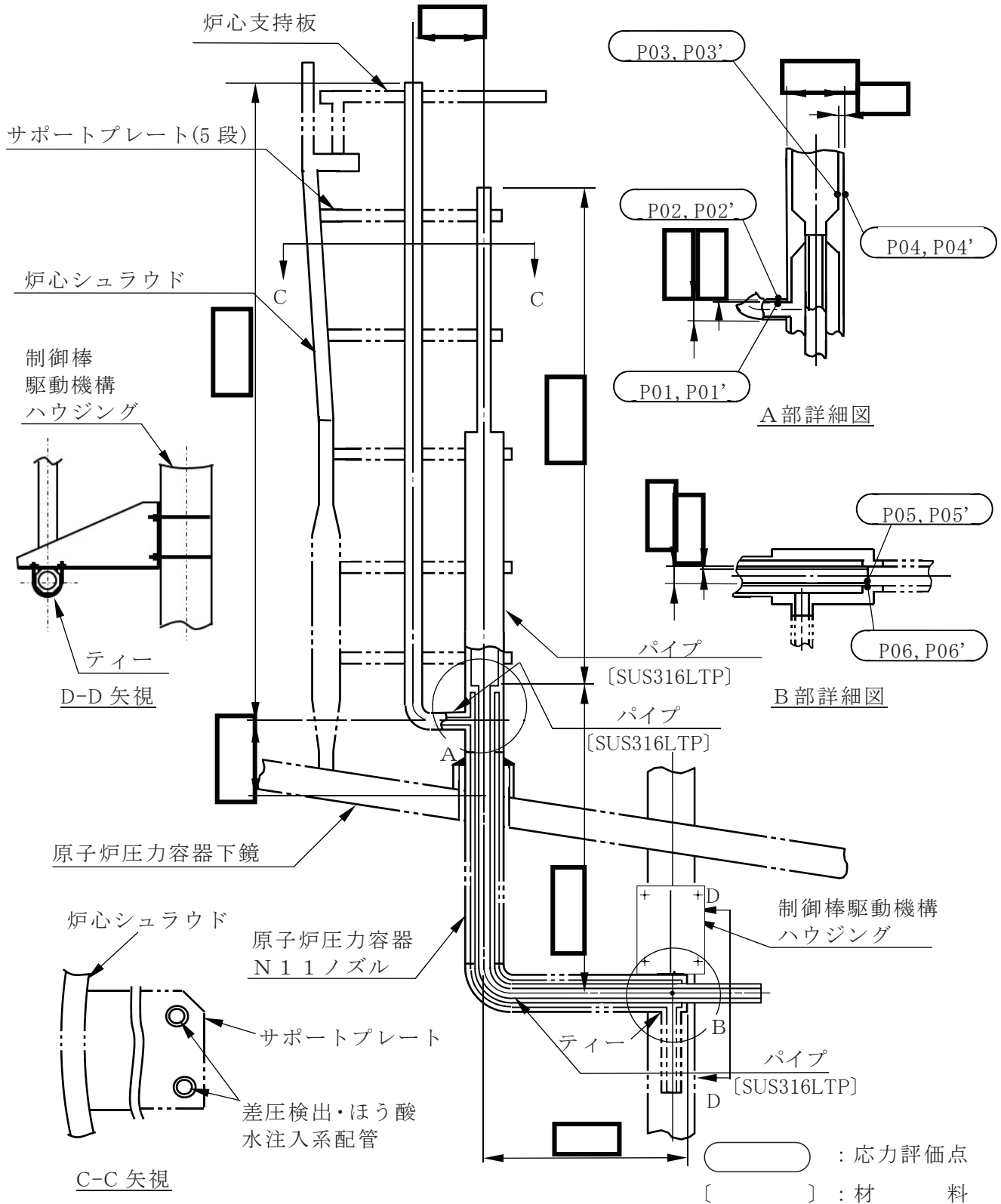


図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
パイプ SUS316LTP	Ⅲ _A S	4	92*	P01-P02	11	139*	P01-P02
	Ⅳ _A S	5	148*	P01-P02	15	223*	P01-P02
	V _A S	5	145*	P01-P02	15	218*	P01-P02
パイプ SUS316LTP	Ⅲ _A S	3	92*	P03-P04	4	139*	P03'-P04'
	Ⅳ _A S	3	148*	P03-P04	5	223*	P03'-P04'
	V _A S	3	145*	P03-P04	5	218*	P03'-P04'
パイプ SUS316LTP	Ⅲ _A S	7	92*	P05-P06	34	139*	P05-P06
	Ⅳ _A S	10	148*	P05-P06	55	223*	P05-P06
	V _A S	10	145*	P05-P06	55	218*	P05-P06

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の4.1節に示す。

2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の4.2節に示す。

また、重大事故等時の条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の4.3節に示す。

2.3 材料

各部の材料を図1-1に示す。

2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の3.3節に示す。

2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の4.4節に示す。

2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の3.4節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の3.6節に示す。

3. 外荷重の条件

3.1 計算方法

固有周期及び地震荷重は「3.2 解析モデル」に示す解析モデルにより求める。

3.2 解析モデル

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

「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)f.に定める解析モデルを図 3-1 に示す。

3.3 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	1.04	0.78
基準地震動 S_s	1.96	1.33

3.4 計算結果

3.4.1 固有周期

固有周期を下表に示す。

固有周期は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)f.に示すとおり 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

モード	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
		X 方向	Y 方向	
1 次	□	—	—	—

3.4.2 地震荷重

解析により求めた地震荷重を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の表 4-1(10)に示す。

4. 応力計算

4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1) 耐震評価編の参照図書(1)q.に定めるとおりである。

4.2 差圧による応力

4.2.1 荷重条件 (L02)

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

なお、重大事故等時の差圧は、「2.2 運転条件」による。

4.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1) 耐震評価編の参照図書(1)q.に定めるとおりである。

なお、各許容応力状態での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

4.3 外荷重による応力

4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

外荷重を「応力解析の方針」(1) 耐震評価編の表 4-1(10)に示す。

4.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1) 耐震評価編の参照図書(1)q.に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

4.4 応力の評価

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

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」(1) 耐震評価編の 5.2.2 項に定めるとおりである。

5. 応力強さの評価

5.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 5-1 に示す。

表 5-1 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」(1) 耐震評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 5-2 に示す。

表 5-2 より、各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」(1) 耐震評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

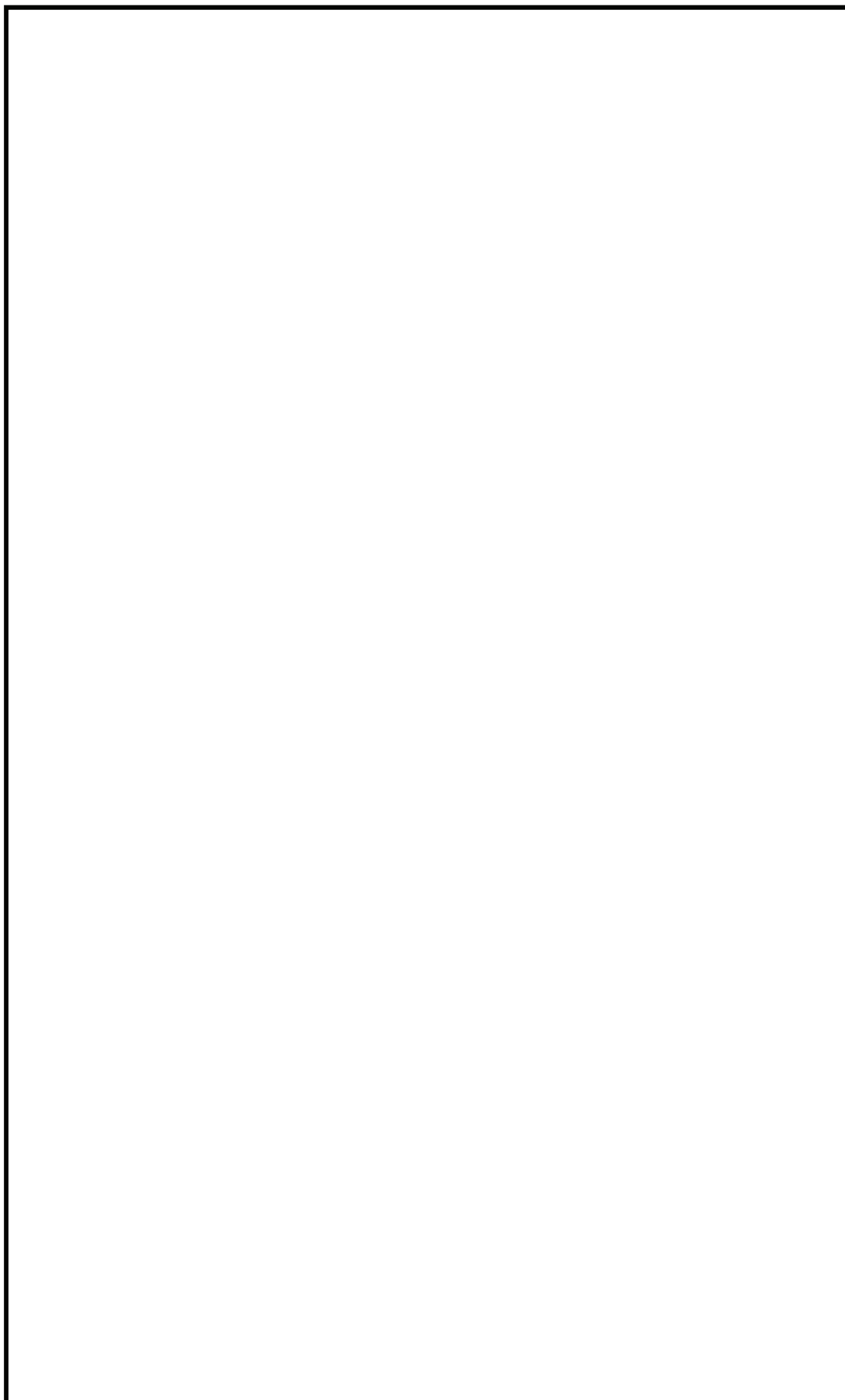


図3-1 解析モデル

表5-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ _A S		許容応力状態Ⅳ _A S		許容応力状態Ⅴ _A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	4	92*	5	148*	5	145*
P01' P02'	1	92*	1	148*	1	145*
P03 P04	3	92*	3	148*	3	145*
P03' P04'	2	92*	2	148*	2	145*
P05 P06	7	92*	10	148*	10	145*
P05' P06'	6	92*	9	148*	9	145*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表5-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ _A S		許容応力状態Ⅳ _A S		許容応力状態Ⅴ _A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	11	139*	15	223*	15	218*
P01' P02'	10	139*	14	223*	14	218*
P03 P04	2	139*	3	223*	3	218*
P03' P04'	4	139*	5	223*	5	218*
P05 P06	34	139*	55	223*	55	218*
P05' P06'	32	139*	53	223*	53	218*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-2-3-4-3-11 中性子束計測案内管の耐震性についての計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	形状・寸法・材料	1
1.2	解析範囲	1
1.3	計算結果の概要	1
2.	計算条件	4
2.1	設計条件	4
2.2	運転条件	4
2.3	材料	4
2.4	荷重の組合せ及び許容応力状態	4
2.5	荷重の組合せ及び応力評価	4
2.6	許容応力	4
3.	外荷重の条件	5
3.1	計算方法	5
3.2	解析モデル	5
3.3	計算結果	5
3.3.1	固有周期	5
3.3.2	設計用地震力	5
3.3.3	地震荷重	5
4.	応力計算	6
4.1	応力評価点	6
4.2	差圧による応力	6
4.2.1	荷重条件	6
4.2.2	計算方法	6
4.3	外荷重による応力	6
4.3.1	荷重条件	6
4.3.2	計算方法	6
4.4	応力の評価	6
5.	応力強さの評価	7
5.1	一次一般膜応力強さの評価	7
5.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	7

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	解析モデル	8
図 3-2	解析モデル(インコアスタビライザ)	9
図 3-3	中性子束計測案内管の配置及びグループ分割	10
図 3-4	振動モード図	11
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	解析モデルのデータ諸元	15
表 3-2	並進ばね定数	16
表 3-3	回転ばね定数	16
表 3-4	固有周期	17
表 3-5	設計用地震力	18
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	19
表 5-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	20

1. 一般事項

本計算書は、中性子束計測案内管の応力計算について示すものである。

中性子束計測案内管は、原子炉圧力容器内部構造物であるため、添付書類「VI-2-3-4-3-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

中性子束計測案内管は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。

以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

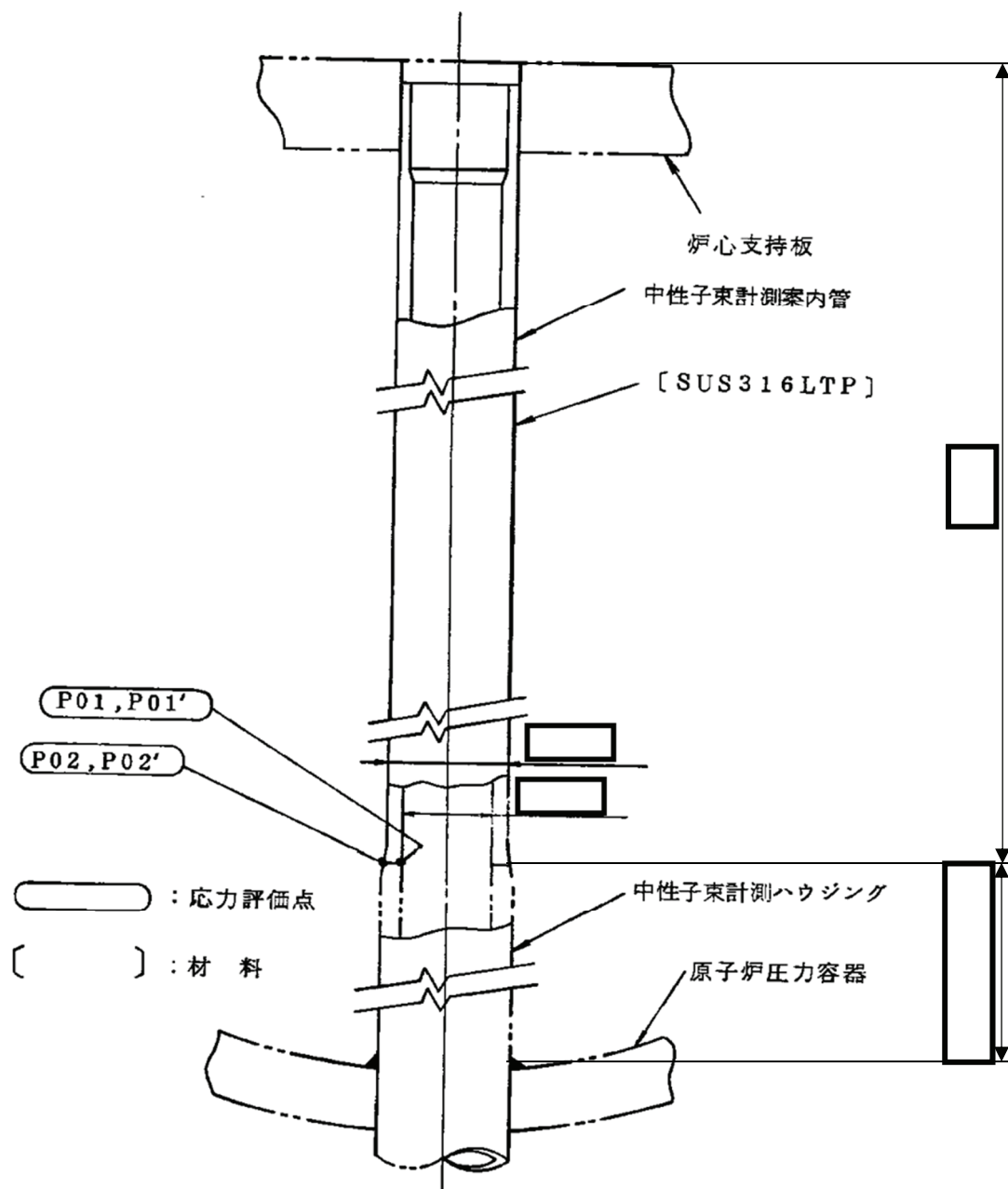
1.2 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。



グループ番号	中性子束計測案内管長さ	中性子束計測ハウジング長さ (原子炉压力容器内部) *	
		最大	最小
G1			
G2			
G3			
G4			
G5			

注記* : 中性子束計測案内管の炉内配置と原子炉压力容器下鏡（球形）の位置関係から、中性子束計測ハウジング長さ（原子炉压力容器内部）は最大1013.6mmから最小234.8mmまでの値となる。

図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点（単位：mm）

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
中性子束計測 案内管下部 SUS316LTP	Ⅲ _A S	2	92*	P01-P02	67	139*	P01-P02
	Ⅳ _A S	3	148*	P01-P02	102	223*	P01-P02

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.1 節に示す。

2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.2 節に示す。

2.3 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.3 節に示す。

2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 4.4 節に示す。

2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.6 節に示す。

3. 外荷重の条件

3.1 計算方法

固有周期，地震荷重は「3.2 解析モデル」に示す解析モデルを用いて，スペクトルモーダル法により求める。

解析コードは，「MSC NASTRAN」を使用し，解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 解析モデル

解析モデルを図 3-1，図 3-2 及び図 3-3 に示す。

また，解析モデルのデータ諸元を表 3-1 に，インコアスタビライザのばね定数を表 3-2 及び表 3-3 に示す。

本解析モデルは，図 3-1，図 3-2 及び図 3-3 に示すように [redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted] なお，

図 3-3 に示すように [redacted]

[redacted]

支持条件は， [redacted]

[redacted]

とする。

[redacted]

[redacted] 考慮する。

3.3 計算結果

3.3.1 固有周期

固有周期を表 3-4 に，振動モード図を図 3-4 に示す。固有周期は，0.05 秒を超えており，柔構造であることを確認した。また，鉛直方向は 5 次モード以降に卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であることを確認した。

3.3.2 設計用地震力

設計用地震力を表 3-5 に示す。

なお，減衰定数は，工事計画認可申請書添付書類「IV-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

3.3.3 地震荷重

解析により求めた地震荷重を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の表 4-1(11)に示す。

4. 応力計算

4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)r.に定めるとおりである。

4.2 差圧による応力

4.2.1 荷重条件 (L02)

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

4.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)r.に定めるとおりである。

なお、各許容応力状態での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

4.3 外荷重による応力

4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

外荷重を「応力解析の方針」(1)耐震評価編の表 4-1(11)に示す。

4.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(1)耐震評価編の参照図書(1)r.に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

4.4 応力の評価

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

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 5.2.2 項に定めるとおりである。

5. 応力強さの評価

5.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 5-1 に示す。

表 5-1 より，各許容応力状態の一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 5-2 に示す。

表 5-2 より，各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」(1)耐震評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

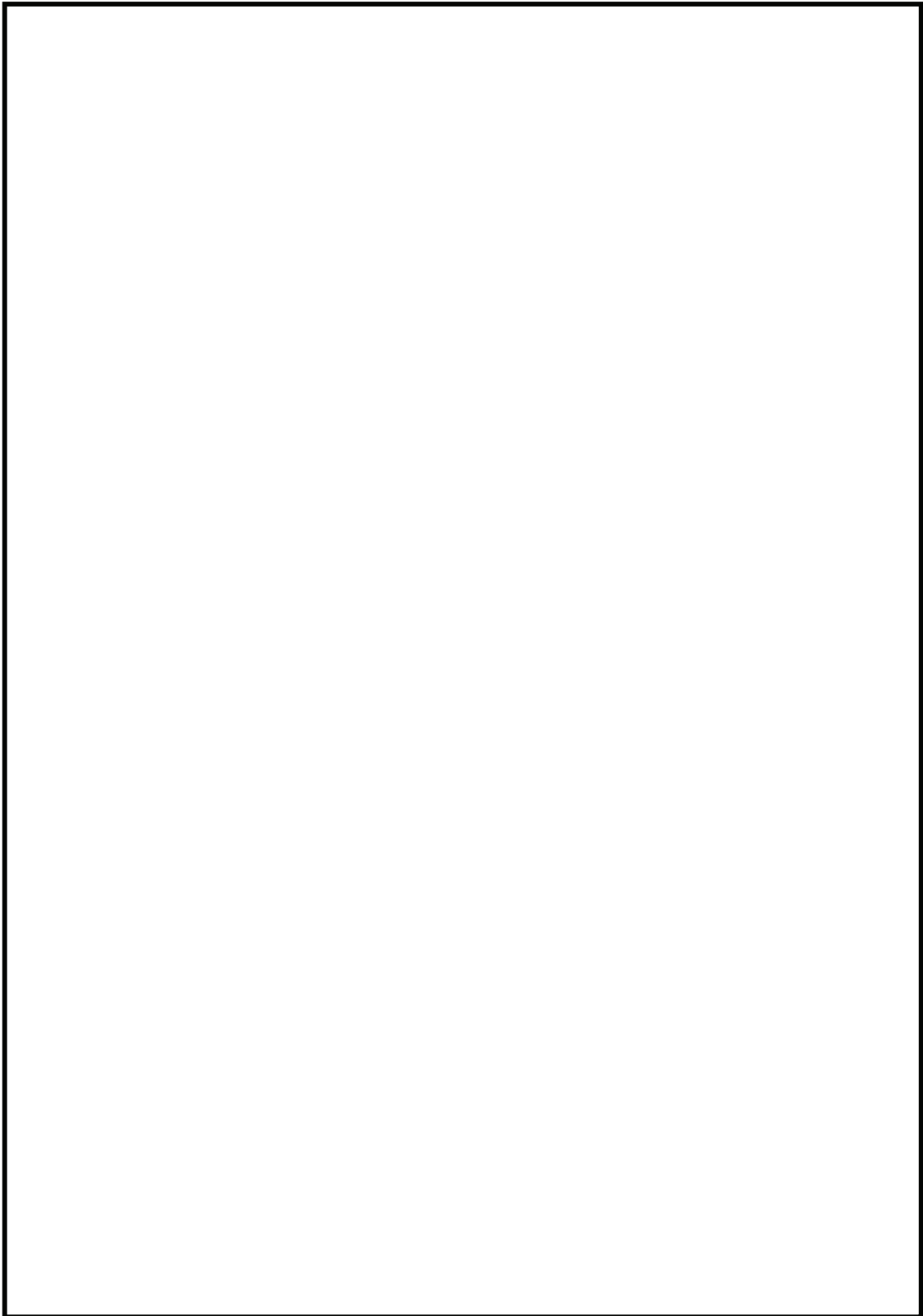


図 3-1 解析モデル



図 3-2 解析モデル(インコアスタビライザ)

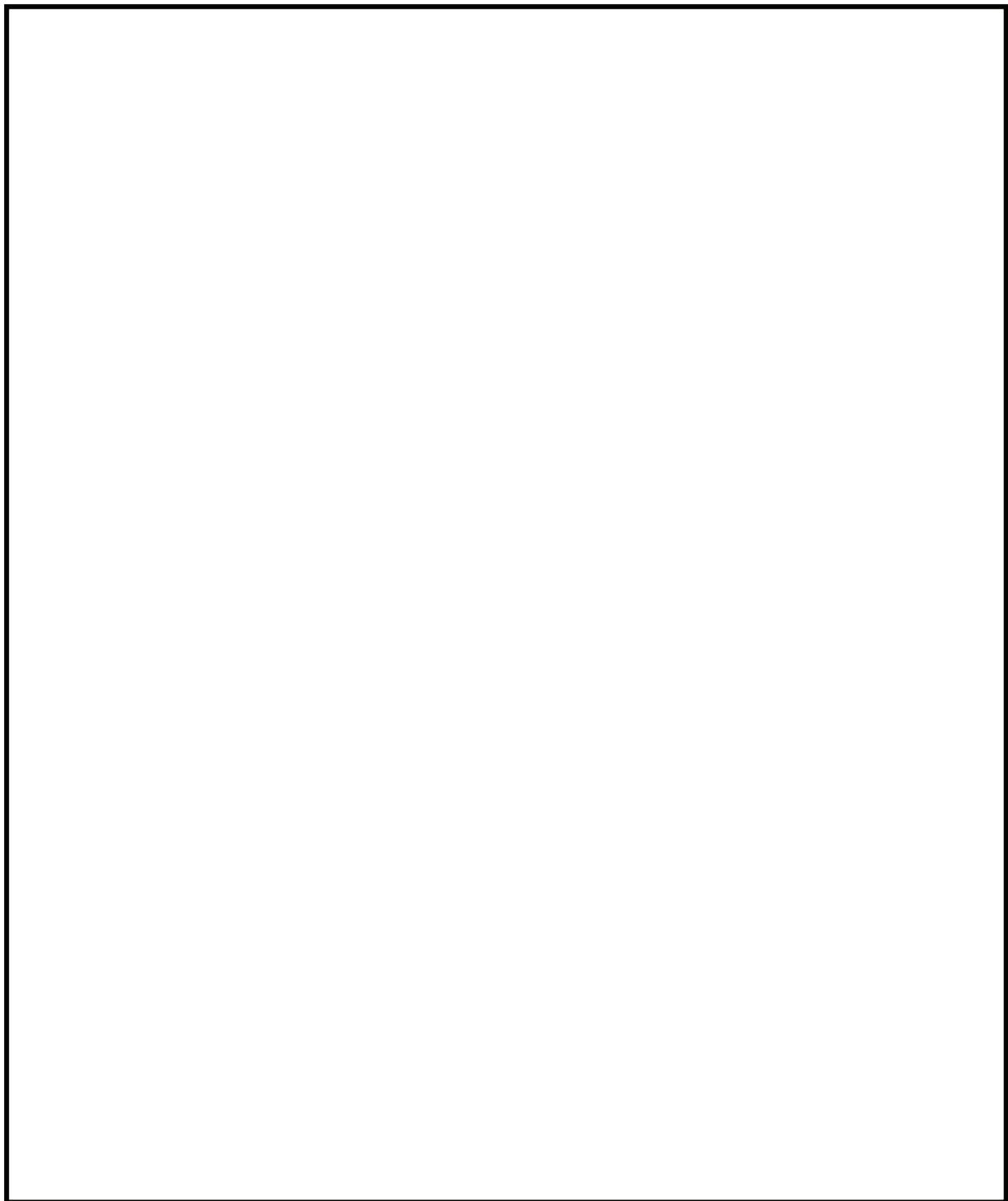


図 3-3 中性子束計測案内管の配置及びグループ分割

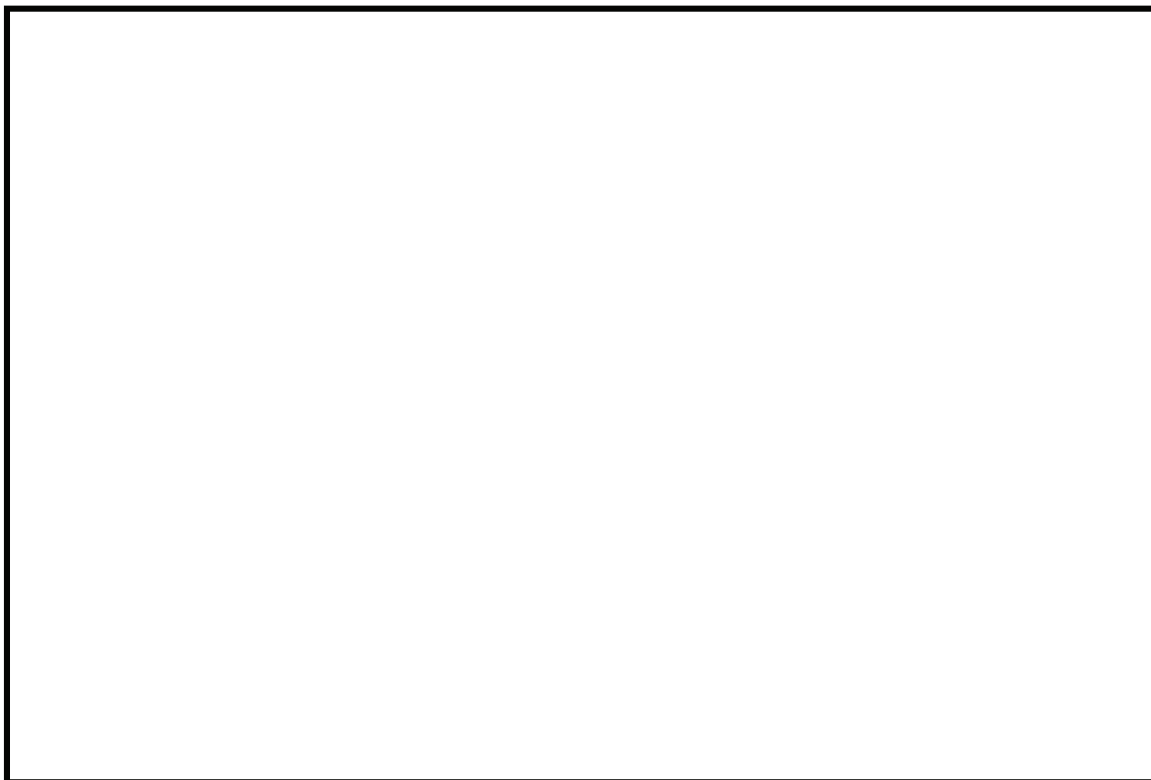


図 3-4(1) 振動モード図 (NS 方向, 1 次)

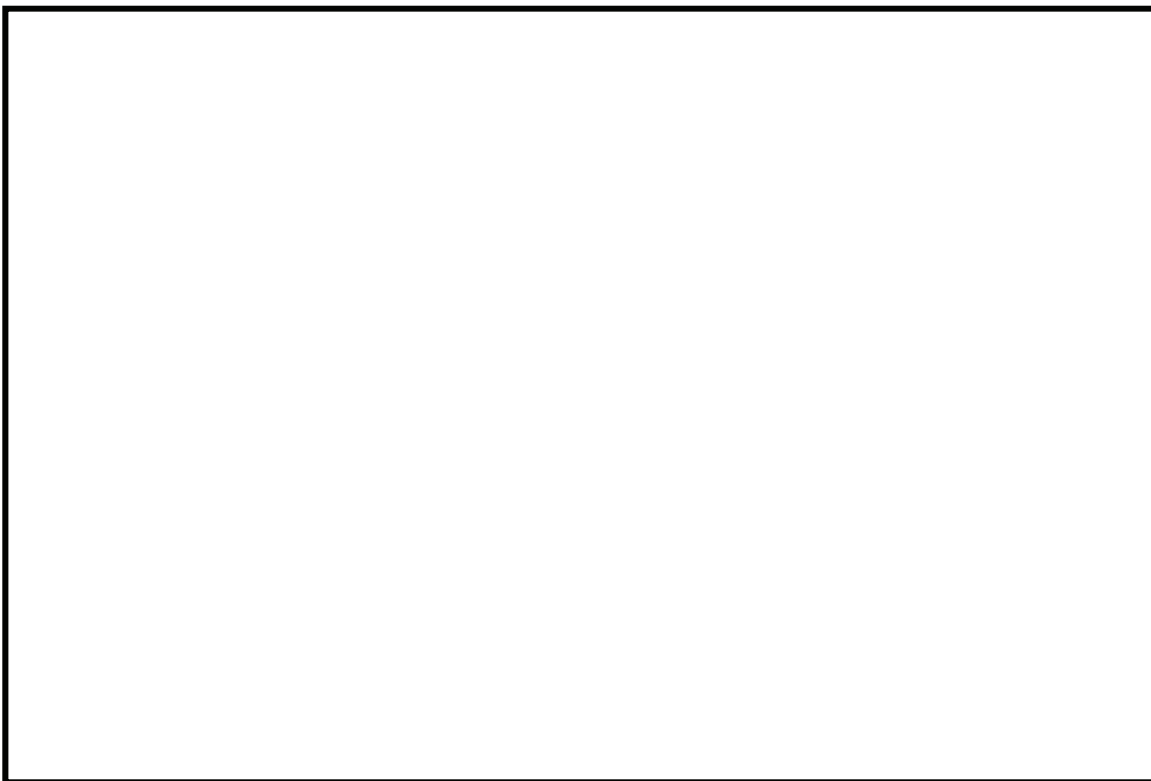


図 3-4(2) 振動モード図 (NS 方向, 2 次)

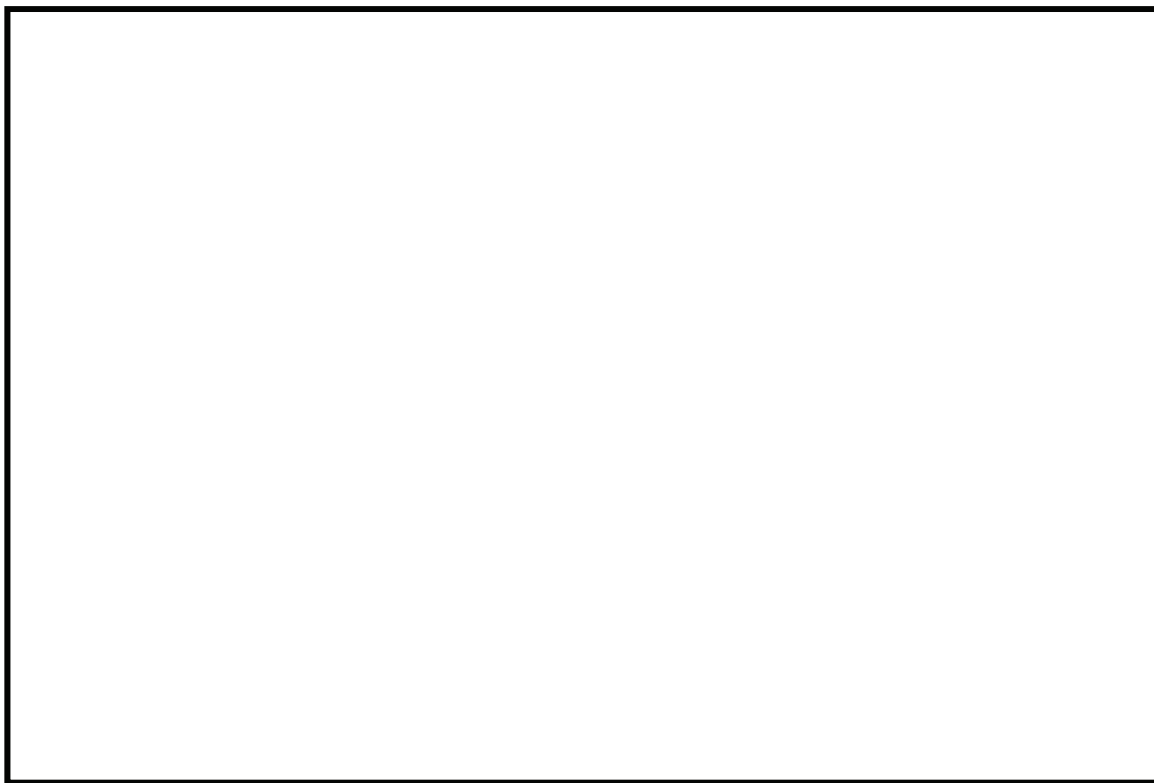


図 3-4(3) 振動モード図 (NS 方向, 3 次)



図 3-4(4) 振動モード図 (NS 方向, 4 次)



図 3-4(5) 振動モード図 (EW 方向, 1 次)



図 3-4(6) 振動モード図 (EW 方向, 2 次)



図 3-4(7) 振動モード図 (EW 方向, 3 次)



図 3-4(8) 振動モード図 (EW 方向, 4 次)

表 3-1 解析モデルのデータ諸元

部材端の節 点番号	断面寸法(mm)		長さ (mm)	断面積 (mm ²)	断面二次モーメント (mm ⁴)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比	密度 (kg/mm ³)
	外径	厚さ						
101-102 *1								
102~110 *1								
201-202 *1								
202~210 *1								
301-302 *1								
302~310 *1								
401-402 *1								
402~410 *1								
501-502 *1								
502~510 *1								
106-206 *2								
106-306 *2								
206-306 *2								
206-406 *2								
306-406 *2								
306-506 *2								
406-506 *2								

注記*1：当該要素は複数の中性子束計測案内管及び中性子束計測ハウジングにより構成される要素であり、断面寸法には中性子束計測案内管及び中性子束計測ハウジング 1 本の断面寸法を示す。

注記*2：当該要素はインコアスタビライザによるばね要素であり、断面寸法にはインコアスタビライザ 1 体の断面寸法を示す。

表 3-2 並進ばね定数

(単位：N/mm)

記号	
K_1	
K_2	
K_3	
K_4	
K_5	
K_6	
K_7	

表 3-3 回転ばね定数

(単位：N/mm)

記号	
$K_{\theta 1}$	
$K_{\theta 2}$	
$K_{\theta 3}$	
$K_{\theta 4}$	
$K_{\theta 5}$	
$K_{\theta 6}$	
$K_{\theta 7}$	

表 3-4(1) 固有周期 (NS 方向)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*
1 次			
2 次			
3 次			
4 次			
5 次			

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

表 3-4(2) 固有周期 (EW 方向)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*
1 次			
2 次			
3 次			
4 次			
5 次			

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

表 3-5 設計用地震力

設置場所及び床面高さ (m)		原子炉压力容器内部 0. P. ^{*1}			
固有周期 (s)		水平 : ^{*2} 鉛直 : 0.05 以下			
減衰定数 (%)		水平 : 2.0 鉛直 : -			
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
モード	固有周期 (s)	応答水平震度 ^{*3}	応答鉛直震度	応答水平震度 ^{*4}	応答鉛直震度
1 次			-		
2 次					
3 次					
4 次					
5 次					
動的地震力 ^{*5}		1.04	0.96	1.96	1.65
静的地震力 ^{*6}		0.96	0.29	-	-

注記 *1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 1 次固有周期について記載

*3 : 各モードの固有周期に対し弾性設計用地震動 S d より得られる震度を示す。

*4 : 各モードの固有周期に対し基準地震動 S s より得られる震度を示す。

*5 : S s 又は S d に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*6 : 静的震度 (3.6 · C i 及び 1.2 · C v) を示す。

表 5-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ _A S		許容応力状態Ⅳ _A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	2	92*	3	148*
P01' P02'	2	92*	3	148*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 5-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ _A S		許容応力状態Ⅳ _A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	67	139*	102	223*
P01' P02'	66	139*	101	223*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-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

目 次

- VI-2-4-1 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結果
- VI-2-4-2 使用済燃料貯蔵設備の耐震性についての計算書
- VI-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
- VI-2-4-4 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の基本設計方針の耐震性についての説明書

VI-2-4-1 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に対して、設計基準対象施設の耐震重要度分類、重大事故等対処設備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の差異の有無を整理した。また、重大事故等対処設備のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処設備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。結果を表 2-1 に示す。

核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震計算は表 2-1 に示す計算書に記載する。

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (1/2)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
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	使用済燃料プール（設計基準対象施設としてのみ第1, 2号機共用）	S	無	VI-2-4-2-1	常設耐震／防止 常設／緩和	有	VI-2-4-2-1
		使用済燃料貯蔵ラック（設計基準対象施設としてのみ第1, 2号機共用）	S	有	VI-2-4-2-2	常設耐震／防止 常設／緩和	有	VI-2-4-2-2
		制御棒・破損燃料貯蔵ラック	S	無	VI-2-4-2-3	常設耐震／防止 常設／緩和	有	VI-2-4-2-3
		使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）	C	—*2	VI-2-4-2-4	常設／防止 常設／緩和	無	VI-2-4-2-4
		使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）	—	—*2	—	常設／防止 常設／緩和	—	VI-2-4-2-5

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (2/2)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
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	燃料プール冷却浄化系熱交換器 (設計基準対象施設としてのみ第1, 2号機共用)	B	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-4-3-1-1
		燃料プール冷却浄化系ポンプ (設計基準対象施設としてのみ第1, 2号機共用)	B	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-4-3-1-2
		主配管	S	有	VI-2-4-3-1-3	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-4-3-1-3 VI-2-4-3-2-1 VI-2-4-3-3-1
	—	使用済燃料プール監視カメラ	—	—*2	—	常設/防止 常設/緩和	—	VI-2-4-4-1

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, 「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を示す。

注記*2 : 本工事計画で新規に申請する設備であることから, 差異比較の対象外。

VI-2-4-2 使用済燃料貯蔵設備の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-4-2-1 使用済燃料プール（キャスクピットを含む）（第1, 2号機共用）の耐震性についての計算書
- VI-2-4-2-2 使用済燃料貯蔵ラック（第1, 2号機共用）の耐震性についての計算書
- VI-2-4-2-3 制御棒・破損燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算書
- VI-2-4-2-4 使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の耐震性についての計算書
- VI-2-4-2-5 使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の耐震性についての計算書

VI-2-4-2-1 使用済燃料プール（キャスクピットを含む）
（第 1, 2 号機共用）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	7
2.4	適用規格・基準等	10
3.	応力解析による評価方法	11
3.1	評価対象部位及び評価方針	11
3.2	荷重及び荷重の組合せ	13
3.2.1	荷重	13
3.2.2	荷重の組合せ	20
3.3	許容限界	21
3.4	解析モデル及び諸元	23
3.4.1	モデル化の基本方針	23
3.4.2	解析諸元	26
3.5	評価方法	27
3.5.1	応力解析方法	27
3.5.2	断面の評価方法	32
4.	評価結果	40
4.1	S d 地震時	40
4.2	S s 地震時	40

別紙 1 鉄筋コンクリート構造物の重大事故等時の高温による影響（使用済燃料プール及びキャスクピット）

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、使用済燃料プール及びキャスクピット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。

使用済燃料プール及びキャスクピットは、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に、使用済燃料プールは、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」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

使用済燃料プール及びキャスクピットは原子炉建屋の一部を構成している。使用済燃料プール及びキャスクピットを含む原子炉建屋の設置位置を図 2-1 に示す。

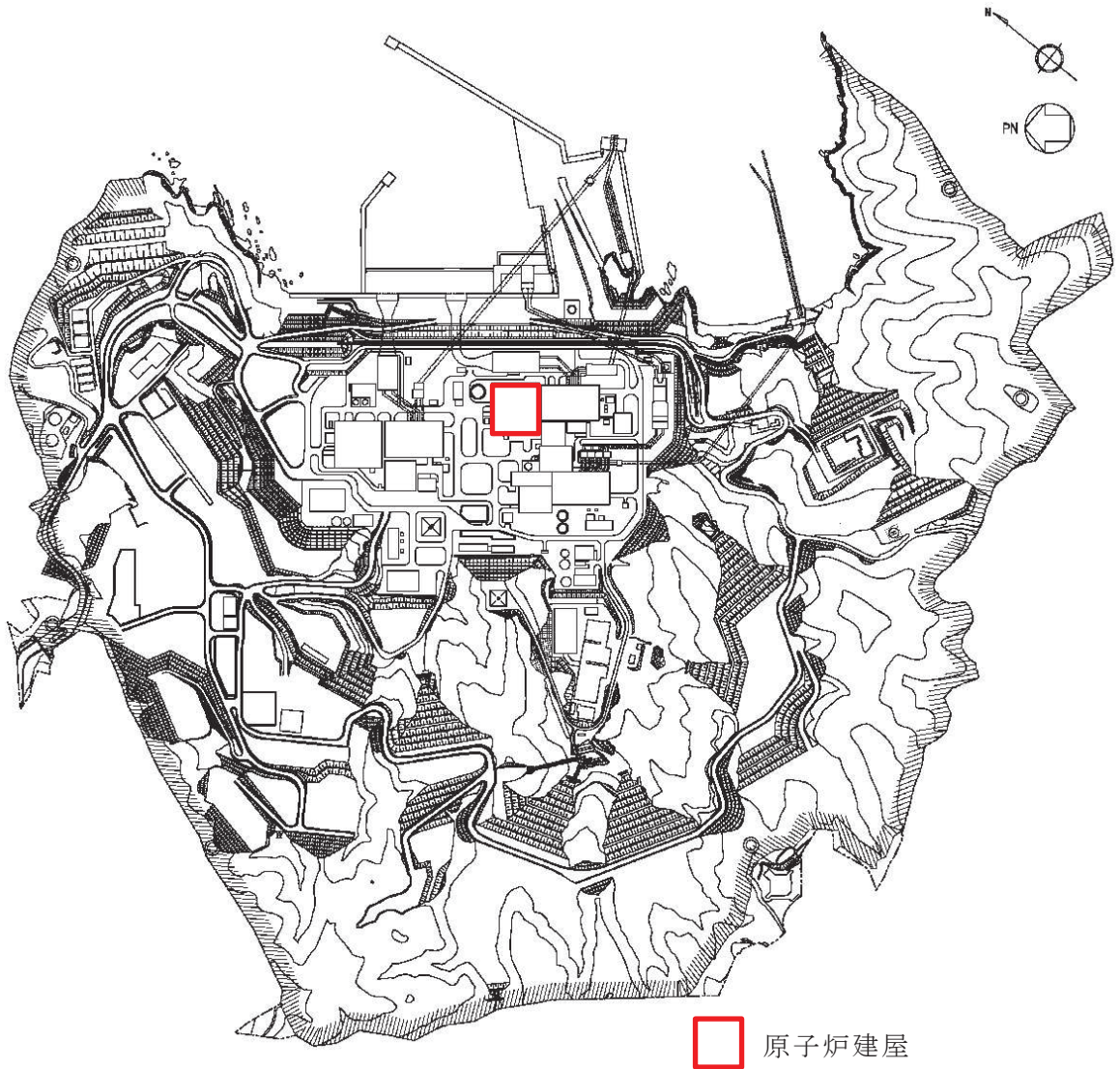


図 2-1 使用済燃料プール及びキャスクピットを含む原子炉建屋の設置位置

2.2 構造概要

使用済燃料プール及びキャスクピットは原子炉建屋の燃料取替床（O.P.*33.2m）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。

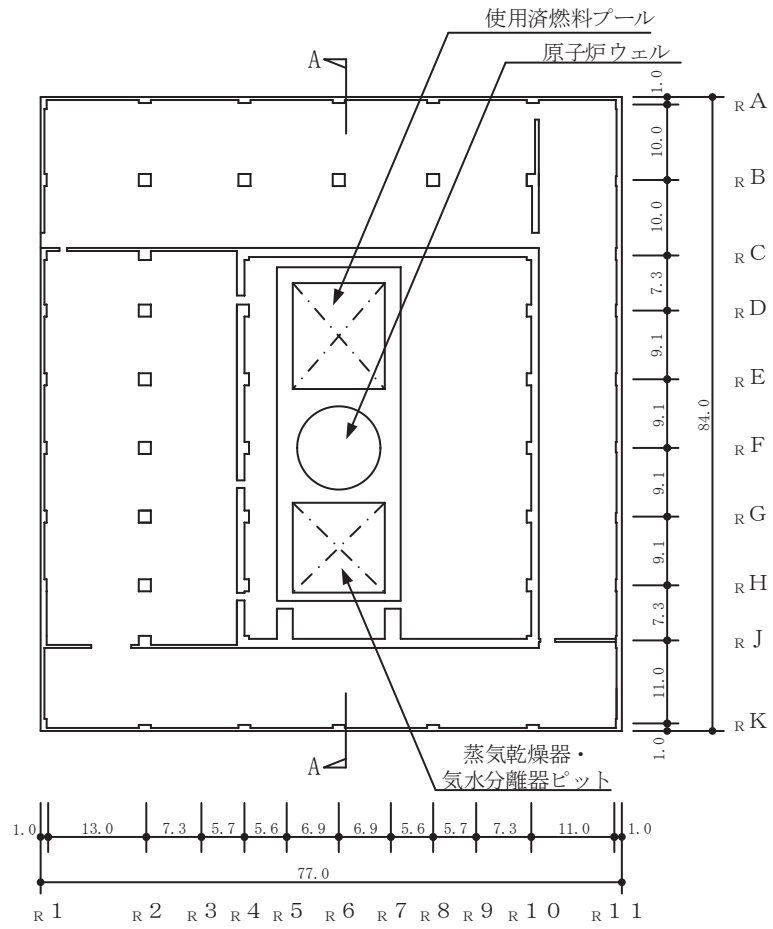
使用済燃料プール内面はステンレス鋼でライニングされており、漏水を防ぐとともに、保守、点検についても考慮されている。なお、「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）」に基づき、鋼製ライナは耐漏洩機能を、鉄筋コンクリート部分は支持機能を有する。

また、原子炉ウェルをはさんで使用済燃料プールの反対側には、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、キャスクピット、原子炉ウェル及び蒸気乾燥器・気水分離器ピットのすべてを示す場合は、これを「プール部」という。）

使用済燃料プールの大きさは、内面寸法で平面 12.20m×14.035m、深さ 8.00～11.82m、主要な壁厚 2.10m、底面スラブ厚 2.10m であり、キャスクピットの平面寸法は 3.2m×3.2m、壁厚 0.8m で、底面スラブ及び壁の一面はそれぞれ使用済燃料プール底面及び壁面と共有する。

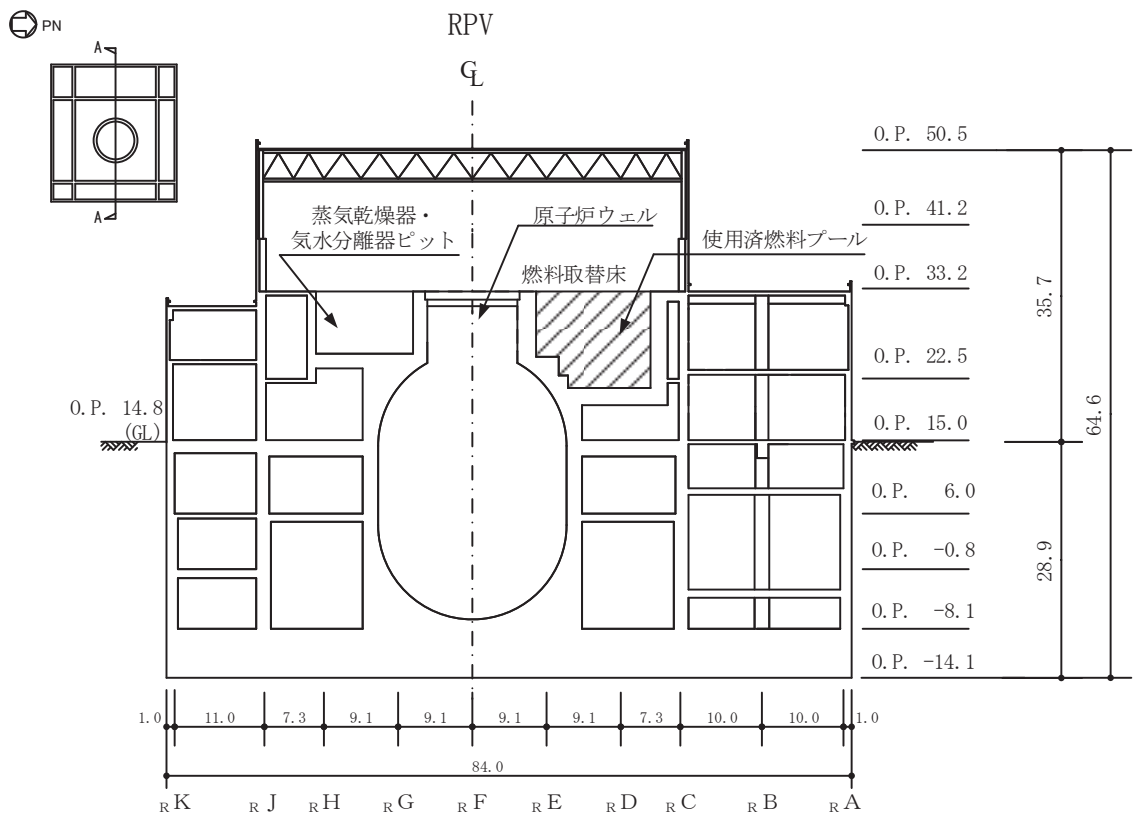
使用済燃料プール及びキャスクピットを含む原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図 2-2 及び図 2-3 に、使用済燃料プール及びキャスクピット周りの概略平面図及び概略断面図を図 2-4 及び図 2-5 に示す。

注記*：O.P. は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面(T.P.)-0.74m である。



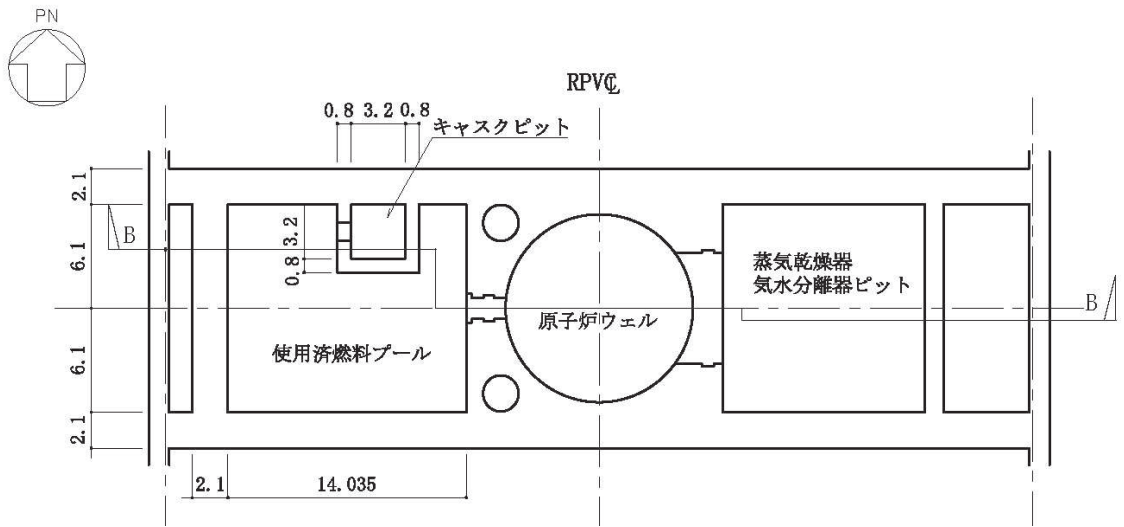
(単位：m)

図 2-2 使用済燃料プール及びキャスクピットを含む原子炉建屋の概略平面図
(O. P. 33. 2m)



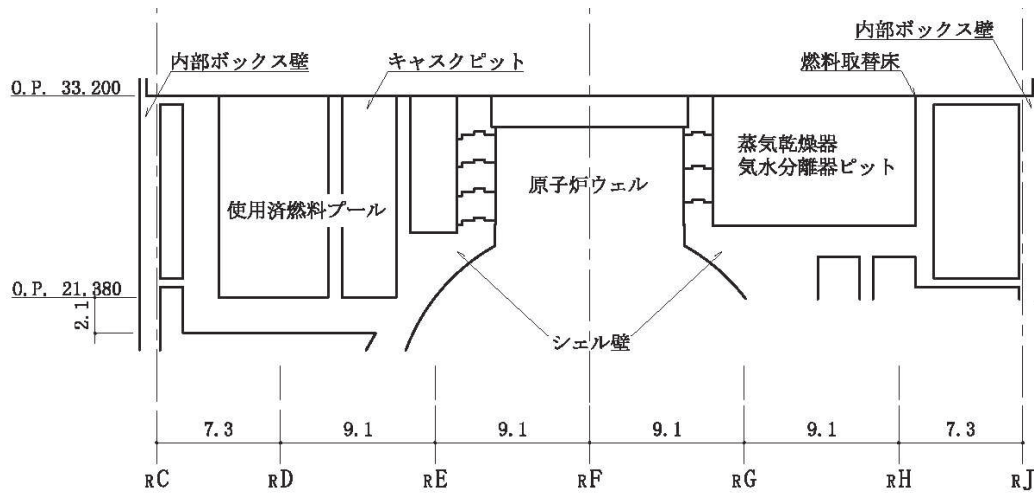
(単位：m)

図 2-3 使用済燃料プール及びキャスクピットを含む原子炉建屋の概略断面図
(A-A 断面)



(単位：m)

図 2-4 使用済燃料プール及びキャスクピット周りの概略平面図



(単位：m)

図 2-5 使用済燃料プール及びキャスクピット周りの概略断面図
(B-B 断面)

2.3 評価方針

使用済燃料プール及びキャスクピットは、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に、使用済燃料プールは、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」及び「常設重大事故緩和設備」に分類される。

使用済燃料プール及びキャスクピット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 による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力（以下「 S_d 地震時」という。）に対する評価及び基準地震動 S_s による地震力（以下「 S_s 地震時」という。）に対する評価を行うこととし、それぞれの評価は、添付書類「VI-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。

使用済燃料プール及びキャスクピットの評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、 S_d 地震時および S_s 地震時の荷重の組合せに分類し、応力解析による評価において断面の評価を行うことで、使用済燃料プール及びキャスクピットの地震時の構造強度の確認を行う。

なお、使用済燃料プール及びキャスクピットの地震時の構造強度の確認には、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、使用済燃料プール及びキャスクピットが原子炉建屋の一部であることを踏まえ、原子炉建屋全体としての評価結果を添付書類「VI-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。評価にあたっては、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」による材料物性の不確かさを考慮する。表 2-1 に材料物性の不確かさを考慮する解析ケースを示す。

また、使用済燃料プールの重大事故等対処施設としての評価においては、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、 S_s 地震時に対する評価を行う。

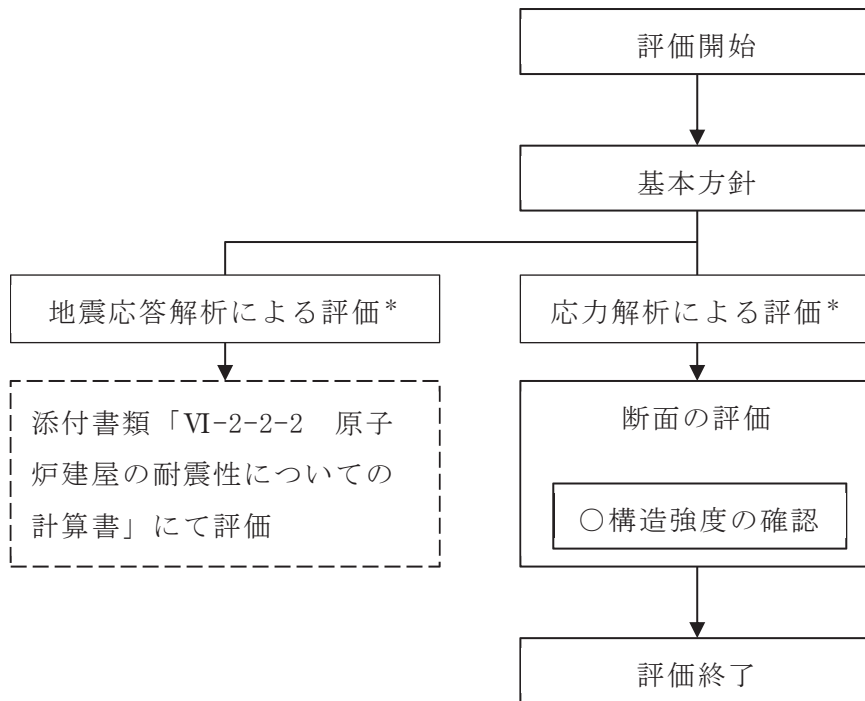
ここで、使用済燃料プール及びキャスクピットでは、運転時、設計基準事故時の状態において、温度の条件が異なるが、コンクリートの温度が上昇した場合においても、コンクリートの圧縮強度の低下は認められず、剛性低下は認められるがその影響は小さいと考えられる（別紙 1「鉄筋コンクリート構造物の重大事故等時の高温による影響（使用済燃料プール及びキャスクピット）」参照）こと、また、「J S M E S N E 1-2003 発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格」では部材内の温度差及び拘束力により発生する熱応力は自己拘束的な応力であり十分な塑性変形能力がある場合は終局耐力に影響しないこととされていることから、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。

使用済燃料プール及びキャスクピットの評価フローを図 2-6 に示す。

表 2-1 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース

対象地震動	ケース名	スケルトンカーブ		建屋材料減衰	地盤物性	
		初期剛性	終局耐力		入力地震動	底面地盤状況
基準地震動 S _s (水平)	ケース1 (基本ケース)	2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析により補正	設計基準強度を用いた JEAG 式で評価	5%	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900m/s	標準地盤
	ケース2	同上	同上	同上	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900+100m/s	標準地盤 +σ
	ケース3				表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900-100m/s	標準地盤 -σ
	ケース4	基本ケースの0.78倍*	同上	同上	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900m/s	標準地盤
	ケース5				表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900+100m/s	標準地盤 +σ
	ケース6				表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900-100m/s	標準地盤 -σ
基準地震動 S _s (鉛直)	ケース1 (基本ケース)	設計剛性	—	5%	直接入力	標準地盤
	ケース2	同上	—	同上	同上	標準地盤 +σ
	ケース3				同上	標準地盤 -σ
弾性設計用 地震動 S _d (水平, 鉛直)	ケース1 (基本ケース)	2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析により補正	—	5% (水平, 鉛直とも)	(水平) 表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900m/s (鉛直) 直接入力	標準地盤
	ケース2	同上	—	同上	(水平) 表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900+100m/s (鉛直) 直接入力	標準地盤 +σ
	ケース3				(水平) 表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900-100m/s (鉛直) 直接入力	標準地盤 -σ

注記*：建屋剛性（初期剛性）の不確かさについて、基準地震動 S_s 入力後の建屋全体の平均的な剛性低下を全ての基準地震動 S_s について評価し、最も剛性低下するケースの低下後の剛性を初期剛性の不確かさとして考慮する。具体的には、基準地震動 S_s 入力前後の 1 次固有振動数の比 (f_{Ss 入力後}/f_{Ss 入力前}) から算定した剛性比を基本ケースの初期剛性に掛けることによって算定する。



注記*：添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-6 使用済燃料プール及びキャスクピットの評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 日本建築学会 1999 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 「許容応力度設計法」
- ・ 日本建築学会 2005 年 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（以下「RC-N規準」という。）
- ・ 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）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- ・ 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）（以下「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」という。）
- ・ J S M E S N E 1-2003 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（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

使用済燃料プール及びキャスクピットの応力解析による評価対象部位は、使用済燃料プール及びキャスクピットを構成する壁及び底面スラブとし、3次元FEMモデルを用いた応力解析により評価を行う。3次元FEMモデルを用いた応力解析にあたっては、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」及び平成4年1月13日付け3資庁第10518号にて認可された工事計画の添付書類「IV-2-6-2-1 使用済燃料プール（キャスクピットを含む。）の耐震性についての計算書」（以下「既工認」という。）による荷重を用いて、荷重の組合せを行う。

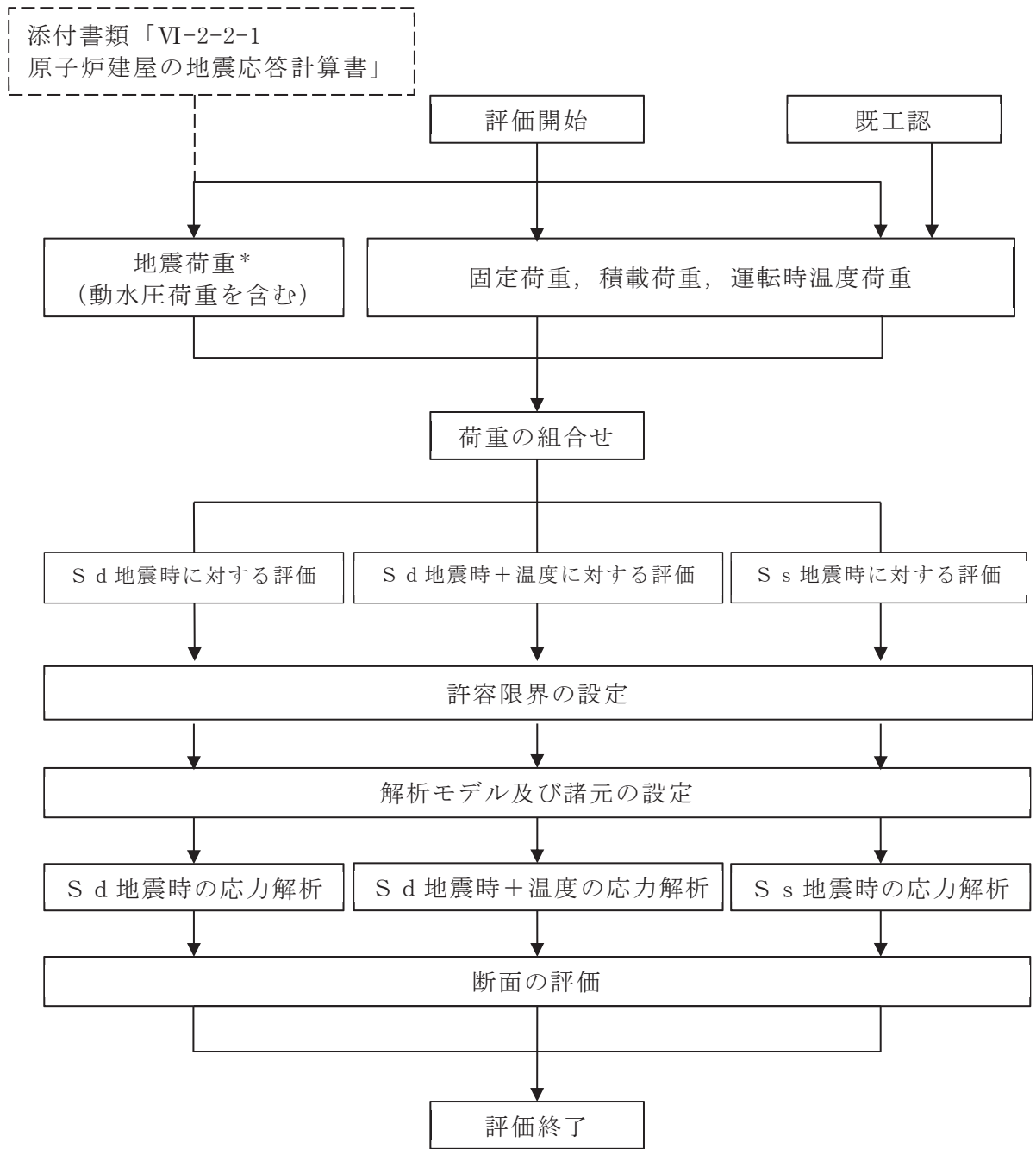
S d地震時及びS s地震時の荷重の組合せに対しては、以下の(1)及び(2)の方針に基づき断面の評価を行う。また、応力解析による評価フローを図3-1に示す。

(1) S d地震時に対する評価

S d地震時に対する評価は、使用済燃料プール及びキャスクピットについて、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。

(2) S s地震時に対する評価

S s地震時に対する評価は、使用済燃料プール及びキャスクピットについて、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力又はひずみが、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。



注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

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、添付書類「VI-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用いる。

3.2.1 荷重

(1) 固定荷重及び積載荷重

固定荷重及び積載荷重は、既工認に基づき、次のものを考慮する。

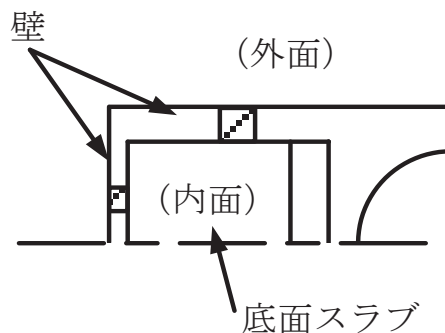
- ・鉄筋コンクリート構造体の自重・・・24kN/m³
- ・使用済燃料プールに格納される使用済燃料及びその他の機器重量
 ・・・・115～153kN/m²
- ・使用済燃料プールの内容水による静水圧（水面を O.P. 33.2m より 0.305m 下りとする。）・・・113kN/m²
- ・運転時温度荷重

運転時において、プール部に生じる温度変化による荷重及びプール部の内部と外部との温度差によって生じる荷重で、添付書類「VI-1-1-4-2 設備別記載事項の設定根拠に関する説明書（核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設）」に基づき内外表面の温度を表 3-1 のとおり設定する。

表 3-1 運転時内外表面温度

(単位：℃)

	季節	位置	使用済燃料プール	
			壁	底面スラブ
運転時	夏	内面	52.0	52.0
		外面	42.0	42.0
	冬	内面	52.0	52.0
		外面	17.0	17.0



(2) 地震荷重

a. S_d地震荷重

水平地震力は、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析より算定される動的地震力及び地震層せん断力係数 $3.0 \cdot C_i$ より算定される静的地震力より設定する。

鉛直地震力は、鉛直震度として設定する。鉛直震度は、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析より算定される鉛直震度及び静的震度を基準とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮した高さ方向に一定の鉛直震度より設定する。このとき、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析より算定される動的地震力は、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮して設定する。

S_d地震荷重を表 3-2～表 3-4 に示す。

b. S_s地震荷重

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及び鉛直震度より設定する。このとき、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は、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮して設定する。

S_s地震荷重を表 3-5～表 3-7 に示す。

表 3-2 S d 地震荷重 (せん断力)

(a) NS 方向

O. P. (m)	せん断力 ($\times 10^3$ kN)	
	S d	静的地震力
33.2		
22.5	27.9	22.1

(b) EW 方向

O. P. (m)	せん断力 ($\times 10^3$ kN)	
	S d	静的地震力
33.2		
22.5	58.0	42.9

表 3-3 S d 地震荷重 (曲げモーメント)

(a) NS 方向

O. P. (m)	曲げモーメント ($\times 10^4$ kN・m)	
	S d	静的地震力
33.2	45.5	0
22.5	54.1	23.6

(b) EW 方向

O. P. (m)	曲げモーメント ($\times 10^4$ kN・m)	
	S d	静的地震力
33.2	42.6	31.9
22.5	43.2	14.0
回転ばね*	136.4	88.5

注記* : プール壁がシェル壁の曲げ変形を拘束する影響を考慮した回転ばね。

表 3-4 S d 地震荷重 (鉛直震度)

O. P. (m)	鉛直震度	
	S d	静的地震力
33.2	0.830	0.24
22.5		

表 3-5 S s 地震荷重 (せん断力)

(a) NS 方向

O. P. (m)	せん断力 ($\times 10^3$ kN)
	S s
33.2	66.7
22.5	

(b) EW 方向

O. P. (m)	せん断力 ($\times 10^3$ kN)
	S s
33.2	108.9
22.5	

表 3-6 S s 地震荷重 (曲げモーメント)

(a) NS 方向

O. P. (m)	曲げモーメント ($\times 10^4$ kN・m)
	S s
33.2	65.6
22.5	117.7

(b) EW 方向

O. P. (m)	曲げモーメント ($\times 10^4$ kN・m)
	S s
33.2	74.2
22.5	77.8
回転ばね*	238.4

注記* : プール壁がシェル壁の曲げ変形を拘束する影響を考慮した回転ばね。

表 3-7 S_s 地震荷重 (鉛直震度)

O. P. (m)	鉛直震度
	S _s
33.2	1.431
22.5	

c. 地震時動水圧荷重

使用済燃料プールに作用する地震時動水圧荷重は、J E A G 4 6 0 1 - 1987における Housner 理論に基づき、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に示す弾性設計用地震動 S d 及び基準地震動 S s による応答解析結果から衝撃圧及び揺動圧を算定する。地震時動水圧荷重を表 3-8 に示す。

表 3-8 地震時動水圧荷重

(単位：kN/m²)

S d 地震時動水圧荷重*1		S s 地震時動水圧荷重*2	
NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向

注記*1：S d 地震荷重と同時に作用するものとする。

*2：S s 地震荷重と同時に作用するものとする。

3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-9 に示す。

表 3-9 荷重の組合せ

外力の状態	荷重 番号	荷重の組合せ
S _d 地震時*	1	G + P + S _d
S _s 地震時	2	G + P + S _s

注記* : 温度荷重がない場合も考慮する。

- G : 固定荷重
P : 積載荷重 (S_d 地震時には運転時温度荷重含む)
S_d, S_s : 地震荷重 (地震時動水圧荷重を含む)

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及びキャスクピットの許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限の方針に基づき、表 3-10 及び表 3-11 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 3-12 及び表 3-13 に、コンクリート及び鉄筋の許容ひずみを表 3-14 に示す。

表 3-10 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	外力の状態	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	S d 地震時	壁及び底面スラブ	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規格に基づく荷重状態Ⅲの許容値
		S s 地震時	壁及び底面スラブ	部材に生じる応力及びひずみ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規格に基づく荷重状態Ⅳの許容値

表 3-11 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	外力の状態	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	S s 地震時	壁及び底面スラブ	部材に生じる応力及びひずみ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規格に基づく荷重状態Ⅳの許容値

表 3-12 コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm²)

外力の状態	設計基準強度 $F_c = 32.4$			
	応力状態1* ¹		応力状態2* ²	
	圧縮	せん断	圧縮	せん断
S d 地震時	21.6	1.21	24.3	1.21
S s 地震時	21.6* ³	1.21	—	—

注記*1：「応力状態 1」とは、各荷重状態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。

*2：「応力状態 2」とは、各荷重状態において温度荷重による応力が生じている状態をいう。

*3：軸力の検討に用いる許容圧縮応力度を示す。

表 3-13 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm²)

外力の状態	引張及び圧縮	面外せん断補強
S d 地震時	SD35 (SD345 相当)	SD35 (SD345 相当)
	345	345

表 3-14 コンクリート及び鉄筋の許容ひずみ

外力の状態	コンクリート (圧縮ひずみ)	鉄筋 (圧縮ひずみ及び引張ひずみ)
S s 地震時	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を実施する。解析には、解析コード「MSC NASTRAN」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

応力解析モデルは、プール部のほか、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たモデルである。応力解析における評価対象部位は、使用済燃料プール及びキャスクピットの壁及び底面スラブであるが、各部の荷重伝達を考慮するために周辺部を含むモデルを用いることとした。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、シェル要素とする。使用する要素は四辺形及び三角形で、この要素は均質等方性材料によるシェル要素である。

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。

解析モデルの節点数は 494、要素数は 450 である。

(3) 境界条件

a. 水平地震力作用時及び温度荷重時以外

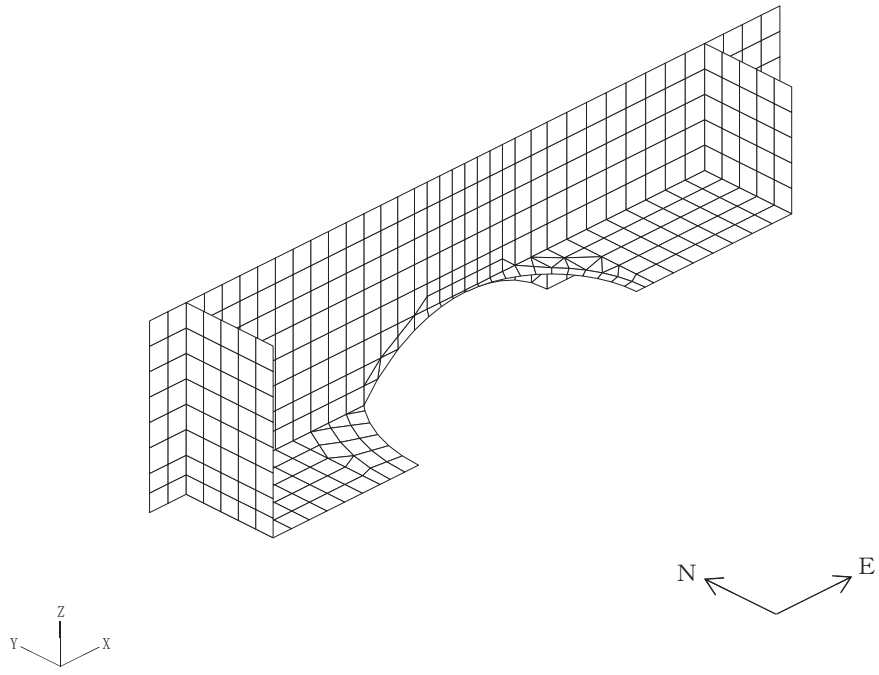
応力解析モデルの原子炉ウェル下端について鉛直方向変位及び回転を拘束し、内部ボックス壁（I/W）下端について鉛直方向変位を拘束する。

b. 水平地震力作用時

応力解析モデルの原子炉ウェル下端を固定とし、内部ボックス壁（I/W）端部にはプール部と周辺構造物との間で生じる荷重の伝達を考慮し、鉛直方向の外力を与える。

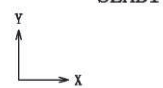
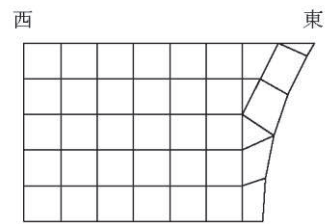
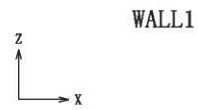
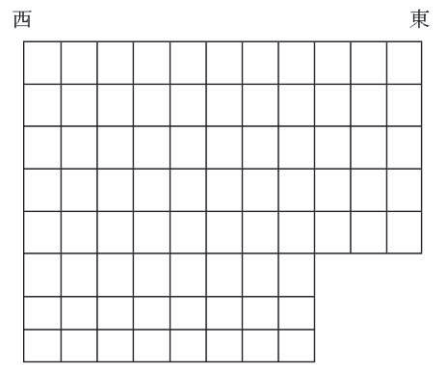
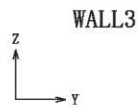
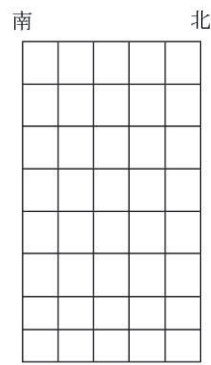
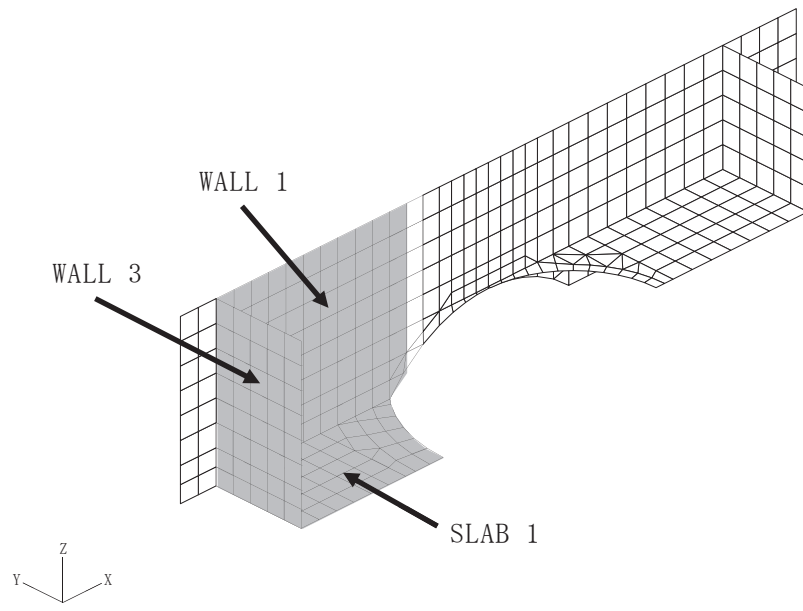
c. 温度荷重時

応力解析モデルの内部ボックス壁（I/W）下端について鉛直方向変位を拘束する。原子炉ウェルの脚部には温度荷重によりシェル壁に生ずる変位を与える。



(a) 全体鳥瞰図

図 3-2(1) 解析モデル (地震荷重時) (1/2)



注：X，Y，Zは全体座標系を示す。

(b) プール部要素分割図

図 3-2(2) 解析モデル（地震荷重時）(2/2)

3.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表 3-15 及び表 3-16 に示す。

表 3-15 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)	ポアソン比 ν
32.4	2.51×10^4	0.2

表 3-16 鉄筋の物性値

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

3.5 評価方法

3.5.1 応力解析方法

使用済燃料プール及びキャスクピットについて、3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析を実施する。

(1) 荷重ケース

それぞれの外力の状態の応力は、次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

G	: 固定荷重
P	: 積載荷重 (S _d 地震時には運転時温度荷重を含む)
S _d _{SN} *	: S→N 方向 S _d 地震荷重 (S _d 地震時動水圧荷重を含む)
S _d _{WE} *	: W→E 方向 S _d 地震荷重 (S _d 地震時動水圧荷重を含む)
S _d _{UD} *	: 鉛直方向 S _d 地震荷重
S _s _{SN} *	: S→N 方向 S _s 地震荷重 (S _s 地震時動水圧荷重を含む)
S _s _{WE} *	: W→E 方向 S _s 地震荷重 (S _s 地震時動水圧荷重を含む)
S _s _{UD} *	: 鉛直方向 S _s 地震荷重

注記* : 計算上の座標軸を基準として、EW 方向は W→E 方向の加力、NS 方向は S→N 方向の加力、鉛直方向は下向きの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 3-17 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程（J E A C 4 6 0 1 - 2015）」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 3-17(1) 荷重の組合せケース (1/2)

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S d 地震時	1-1	$G + P + 1.0 S d_{SN} + 0.4 S d_{UD}$
	1-2	$G + P - 1.0 S d_{SN} + 0.4 S d_{UD}$
	1-3	$G + P - 1.0 S d_{WE} + 0.4 S d_{UD}$
	1-4	$G + P + 1.0 S d_{WE} + 0.4 S d_{UD}$
	1-5	$G + P + 1.0 S d_{SN} - 0.4 S d_{UD}$
	1-6	$G + P - 1.0 S d_{SN} - 0.4 S d_{UD}$
	1-7	$G + P - 1.0 S d_{WE} - 0.4 S d_{UD}$
	1-8	$G + P + 1.0 S d_{WE} - 0.4 S d_{UD}$
	1-9	$G + P + 0.4 S d_{SN} + 1.0 S d_{UD}$
	1-10	$G + P - 0.4 S d_{SN} + 1.0 S d_{UD}$
	1-11	$G + P - 0.4 S d_{WE} + 1.0 S d_{UD}$
	1-12	$G + P + 0.4 S d_{WE} + 1.0 S d_{UD}$
	1-13	$G + P + 0.4 S d_{SN} - 1.0 S d_{UD}$
	1-14	$G + P - 0.4 S d_{SN} - 1.0 S d_{UD}$
	1-15	$G + P - 0.4 S d_{WE} - 1.0 S d_{UD}$
	1-16	$G + P + 0.4 S d_{WE} - 1.0 S d_{UD}$

表 3-17(2) 荷重の組合せケース (2/2)

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S s 地震時	2-1	$G + P + 1.0 S_{s_{SN}} + 0.4 S_{s_{UD}}$
	2-2	$G + P - 1.0 S_{s_{SN}} + 0.4 S_{s_{UD}}$
	2-3	$G + P - 1.0 S_{s_{WE}} + 0.4 S_{s_{UD}}$
	2-4	$G + P + 1.0 S_{s_{WE}} + 0.4 S_{s_{UD}}$
	2-5	$G + P + 1.0 S_{s_{SN}} - 0.4 S_{s_{UD}}$
	2-6	$G + P - 1.0 S_{s_{SN}} - 0.4 S_{s_{UD}}$
	2-7	$G + P - 1.0 S_{s_{WE}} - 0.4 S_{s_{UD}}$
	2-8	$G + P + 1.0 S_{s_{WE}} - 0.4 S_{s_{UD}}$
	2-9	$G + P + 0.4 S_{s_{SN}} + 1.0 S_{s_{UD}}$
	2-10	$G + P - 0.4 S_{s_{SN}} + 1.0 S_{s_{UD}}$
	2-11	$G + P - 0.4 S_{s_{WE}} + 1.0 S_{s_{UD}}$
	2-12	$G + P + 0.4 S_{s_{WE}} + 1.0 S_{s_{UD}}$
	2-13	$G + P + 0.4 S_{s_{SN}} - 1.0 S_{s_{UD}}$
	2-14	$G + P - 0.4 S_{s_{SN}} - 1.0 S_{s_{UD}}$
	2-15	$G + P - 0.4 S_{s_{WE}} - 1.0 S_{s_{UD}}$
	2-16	$G + P + 0.4 S_{s_{WE}} - 1.0 S_{s_{UD}}$

(3) 荷重の入力方法

a. 地震荷重

水平地震力については、使用済燃料プール及びキャスクピットの位置する階のせん断力及び曲げモーメントを燃料取替床レベルの節点に離散化して節点荷重として入力する。

鉛直地震力については、モデル上の各節点における鉛直震度により支配面積に応じた節点力として入力する。

b. 運転時温度荷重

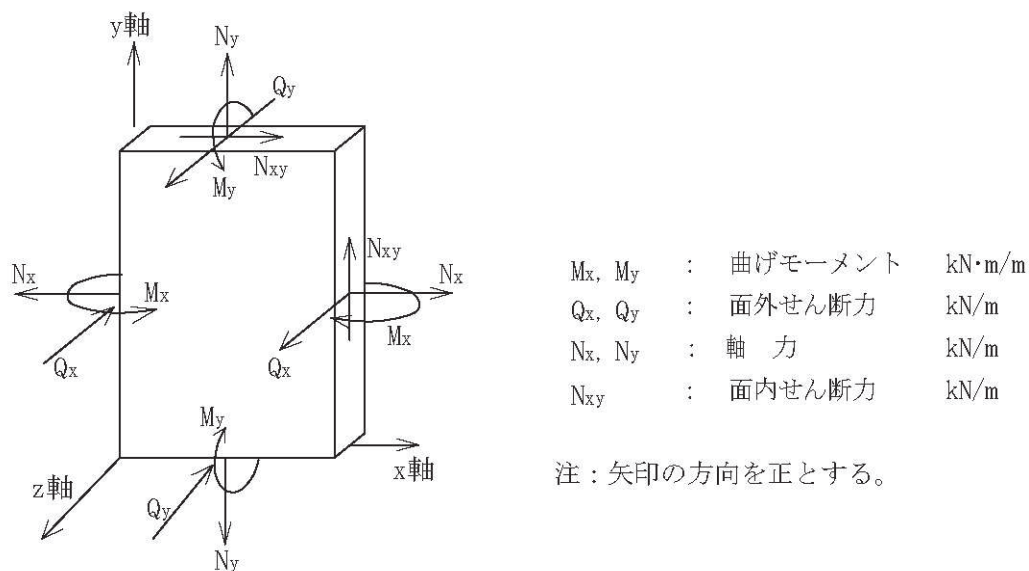
S d 地震時における熱応力については、CCV規格に基づき、部材の剛性を一律に低減する一律低減法により評価する。

c. 地震荷重及び温度荷重以外の荷重

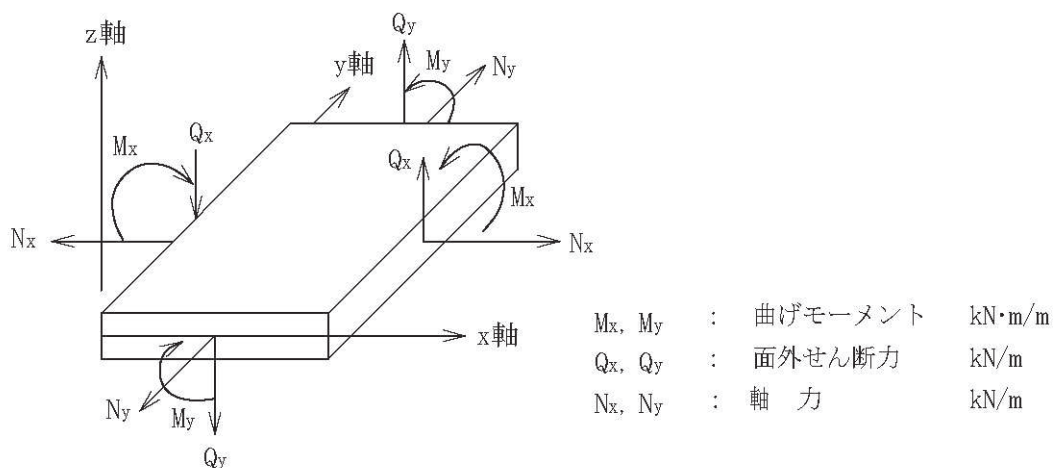
地震荷重及び温度荷重以外の荷重については、FEMモデルの各節点又は各要素に、集中荷重又は分布荷重として入力する。

3.5.2 断面の評価方法

使用済燃料プール及びキャスクピットの断面の評価に用いる応力は、3次元FEMモデルを用いた応力解析により得られた各荷重による応力（軸力、曲げモーメント及びせん断力）とする。壁及び底面スラブの断面力成分を図3-3に示す。



(a) 壁



(b) 底面スラブ

図3-3 壁及び底面スラブの断面力成分

(1) S d 地震時

a. 壁

軸力及び曲げモーメントによる引張応力度及び圧縮応力度，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。

(a) 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

各断面は，子午線方向及び円周方向各々について，膜力及び曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート造長方形仮想柱として算定する。この場合，膜力は同時に作用する面内せん断力の影響を考慮して，CCV規格の CVE-3511-1 及び CVE-3511-2 に示す等価膜力として評価する。

膜力と面内せん断力の関係図を図 3-4 に示す。

等価膜力及び曲げモーメントによる引張応力度及び圧縮応力度については，表 3-12 及び表 3-13 に示す許容応力度を超えないことを確認する。

$$N_{\phi}^* = N_{\phi} \pm |N_{\phi\theta}| \dots\dots\dots (CVE-3511-1)$$

$$N_{\theta}^* = N_{\theta} \pm |N_{\phi\theta}| \dots\dots\dots (CVE-3511-2)$$

ここで，

- N_{ϕ}^*, N_{θ}^* : ϕ, θ 方向の等価膜力
- N_{ϕ}, N_{θ} : ϕ, θ 方向の膜力
- $N_{\phi\theta}$: 面内せん断力

(ϕ 方向は子午線方向， θ 方向は円周方向とする)

上記のうち，「膜力」は「軸力」に読み替えることとする。また，「子午線方向」は「縦方向」に，「円周方向」は「横方向」にそれぞれ読み替えることとする。

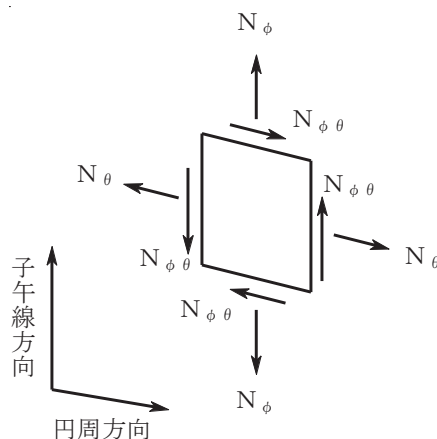


図3-4 膜力と面内せん断力の関係図

(b) 面内せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、CCV規格のCVE-3512.1に準拠して行う。

面内せん断応力度が、CVE-3512.2-1及びCVE-3512.2-2より計算した終局面内せん断応力度のいずれか小さい方の値の0.75倍の値を超えないことを確認する。

$$\tau_u = 0.5 \left\{ (p_{t\phi} \cdot f_y - \sigma_{0\phi}) + (p_{t\theta} \cdot f_y - \sigma_{0\theta}) \right\} \quad (\text{CVE-3512.2-1})$$

$$\tau_u = 1.10 \sqrt{F_c} \dots\dots\dots (\text{CVE-3512.2-2})$$

ここで、

- τ_u : 終局面内せん断応力度(N/mm²)
- $p_{t\phi}$: 子午線方向主筋の鉄筋比
- $p_{t\theta}$: 円周方向主筋の鉄筋比
- $\sigma_{0\phi}$: 外力により生じる子午線方向の膜応力度(N/mm²) (引張の場合のみを考慮し、符号を正とする)
- $\sigma_{0\theta}$: 外力により生じる円周方向の膜応力度(N/mm²) (引張の場合のみを考慮し、符号を正とする)
- f_y : 鉄筋の許容引張応力度及び許容圧縮応力度であり、表3-13に示す値(N/mm²)
- F_c : コンクリートの設計基準強度(N/mm²)

上記のうち、「子午線方向主筋」は「縦方向主筋」に、「円周方向主筋」は「横方向主筋」にそれぞれ読み替えることとする。また、「子午線方向の膜応力度」は「縦方向の軸応力度」に、「円周方向の膜応力度」は「横方向の軸応力度」にそれぞれ読み替えることとする。

(c) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、C C V規格の CVE-3513.1 に準拠して行う。

面外せん断応力度が、CVE-3513.2-1 及び CVE-3513.2-2 より計算した終局面外せん断応力度のいずれか小さい方の値の 0.75 倍の値を超えないことを確認する。

$$\tau_R = \Phi \left\{ 0.1(p_t \cdot f_y - \sigma_0) + 0.5 \cdot p_w \cdot f_y + 0.235 \sqrt{F_c} \right\} \quad (\text{CVE-3513.2-1})$$

$$\tau_R = 1.10 \sqrt{F_c} \quad \dots\dots\dots (\text{CVE-3513.2-2})$$

ここで、

τ_R : 終局面外せん断応力度 (N/mm²)

p_t : 主筋の鉄筋比

σ_0 : 外力による膜応力度 (N/mm²) (引張の符号を正とする)

p_w : 面外せん断力に対する補強筋の鉄筋比であって、次の計算式により計算した値

$$p_w = a_w / (b \cdot x) \quad \dots\dots\dots (\text{CVE-3513.2-3})$$

a_w : 面外せん断力に対する補強筋の断面積 (mm²)

b : 断面の幅 (mm)

x : 面外せん断力に対する補強筋の間隔 (mm)

Φ : 低減係数であり、次の計算式により計算した値
(1を超える場合は1, 0.58未満の場合は0.58とする)

$$\Phi = 1 / \sqrt{M / (Q \cdot d)} \quad \dots\dots\dots (\text{CVE-3513.2-4})$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

f_y : 鉄筋の許容引張応力度及び許容圧縮応力度であり、表3-13に示す値 (N/mm²)

F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

上記のうち、「外力による膜応力度」は「外力による軸応力度」に読み替えることとする。

b. 底面スラブ

軸力及び曲げモーメントによる引張応力度及び圧縮応力度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。

(a) 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

各断面は，軸力及び曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート造長方形仮想柱として算定する。

軸力及び曲げモーメントによる引張応力度及び圧縮応力度については，表 3-12 及び表 3-13 に示す許容応力度を超えないことを確認する。

(b) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、CCV規格のCVE-3522に準拠して行う。

面外せん断力が、CVE-3522-1又はCVE-3522-2より計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot c f_s \quad \dots\dots\dots (CVE-3522-1)$$

ここで、

Q_A : 許容面外せん断力(N)

b : 断面の幅(mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの7/8倍の値(mm)

$c f_s$: コンクリートの許容せん断応力度で、表3-12に示すSd地震時の値(N/mm²)

$$Q_A = b \cdot j \cdot \{ \alpha \cdot c f_s + 0.5 \cdot w f_t (p_w - 0.002) \} \dots\dots\dots (CVE-3522-2)$$

ここで、

p_w : 面外せん断力に対する補強筋の鉄筋比であり、次の計算式により計算した値(0.002以上とし、0.012を超える場合は0.012として計算する)

$$p_w = a_w / (b \cdot x) \quad \dots\dots\dots (CVE-3522-3)$$

a_w : 面外せん断力に対する補強筋の断面積(mm²)

x : 面外せん断力に対する補強筋の間隔(mm)

$w f_t$: 面外せん断力に対する補強筋の許容引張応力度であり、表3-13に示す値(N/mm²)

α : 割増し係数であり、次の計算式により計算した値(2を超える場合は2、1未満の場合は1とする。また、引張軸力が2N/mm²を超える場合は1とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1} \quad \dots\dots\dots (CVE-3522-4)$$

M : 曲げモーメント(N・mm)

Q : せん断力(N)

d : 断面の有効せい(mm)

(2) S s 地震時

a. 壁

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，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。

(a) 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

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は，縦方向及び横方向各々について算定し，CCV規格のCVE-3511.2に基づき，表3-14に示す許容ひずみを超えないことを確認する。

(b) 軸力に対する断面の評価方法

軸力による圧縮応力度については，CVE-3511.3に準拠してコンクリートの設計基準強度の2/3倍を超えないことを確認する。

(c) 面内せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は，CCV規格のCVE-3512.2に準拠して行う。

面内せん断応力度が，CVE-3512.2-1及びCVE-3512.2-2より計算した終局面内せん断応力度のいずれか小さい方の値を超えないことを確認する。このとき，鉄筋の許容引張応力度及び許容圧縮応力度 f_y は，表3-13に示すS d地震時の値とする。

(d) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は，CCV規格のCVE-3513.2に準拠して行う。

面外せん断応力度が，CVE-3513.2-1及びCVE-3513.2-2より計算した終局面外せん断応力度のいずれか小さい方の値を超えないことを確認する。このとき，鉄筋の許容引張応力度及び許容圧縮応力度 f_y は，表3-13に示すS d地震時の値とする。

b. 底面スラブ

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。

(a) 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

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が、CCV規格のCVE-3521.2に準拠して、表3-14に示す許容ひずみを超えないことを確認する。

(b) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、CCV規格のCVE-3522に準拠して行う。

面外せん断力が、CVE-3522-1又はCVE-3522-2より計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

3次元FEMモデルを用いた応力の算定において、FEM要素に応力集中等が見られる場合については、RC-N規準に基づき、応力の再配分等を考慮してある一定の領域の応力を平均化したうえで断面の評価を行う。

4. 評価結果

「3.5.2 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。また、3次元FEMモデルの配筋領域図を図4-1に、配筋一覧を表4-1に示す。

4.1 S d 地震時

断面の評価結果を記載する要素を以下のとおり選定する。

壁については、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による引張応力度及び圧縮応力度、面内せん断応力度並びに面外せん断応力度に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素をそれぞれ選定する。

底面スラブについては、軸力及び曲げモーメントによる引張応力度及び圧縮応力度並びに面外せん断応力度に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素をそれぞれ選定する。

選定した要素の位置を図4-2に、評価結果を表4-2に示す。

S d 地震時において、壁について、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による引張応力度及び圧縮応力度、面内せん断応力度並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないことを確認した。また、底面スラブについて、軸力及び曲げモーメントによる引張応力度及び圧縮応力度並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないことを確認した。

4.2 S s 地震時

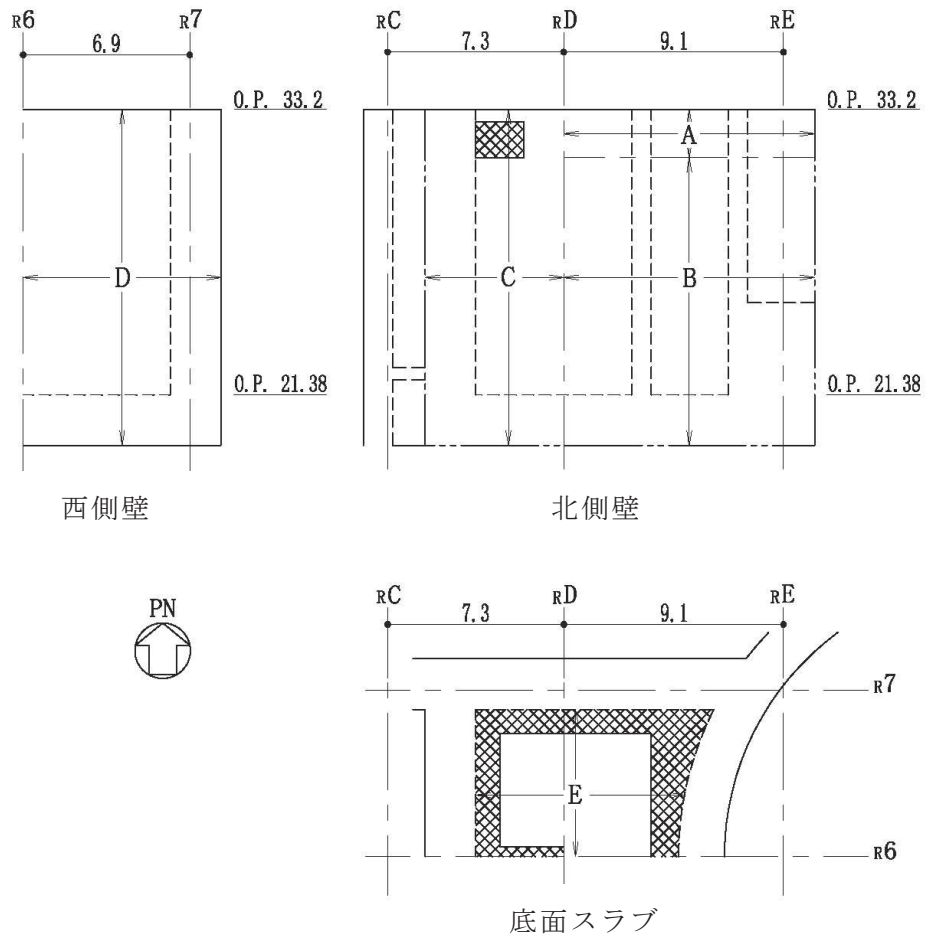
断面の評価結果を記載する要素を以下のとおり選定する。

壁については、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、軸力による圧縮応力度、面内せん断応力度並びに面外せん断応力度に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素をそれぞれ選定する。

底面スラブについては、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並びに面外せん断応力度に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素をそれぞれ選定する。

選定した要素の位置を図4-3に、評価結果を表4-3に示す。

S s 地震時において、壁について、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、面内せん断応力度並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないことを確認した。また、底面スラブについて、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並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないことを確認した。



注：面外せん断補強筋  : D22@200×@400

(単位：m)

図4-1 配筋領域図

表 4-1 使用済燃料プール及びキャスクピットの配筋一覧

(a) 北側壁

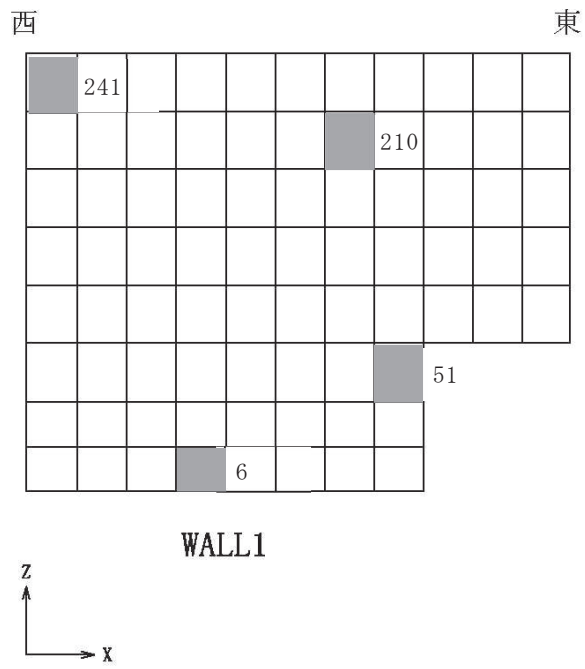
区分	タテ方向	ヨコ方向
A	(内側) 2-D38@200+D38@400 (外側) 2-D38@200+2-D38@400	(内側) 3-D38@200 (外側) 4-D38@200
B	(内側) 2-D38@200+D38@400 (外側) 2-D38@200+2-D38@400	(内側) 3-D38@200 (外側) 3-D38@200+D38@400
C	(内側) 3-D38@200+D38@400 (外側) 3-D38@200	(内側) 2-D38@200+2-D38@400 (外側) 3-D38@200

(b) 西側壁

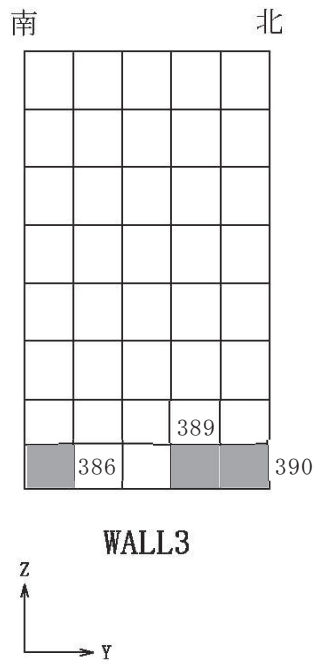
区分	タテ方向	ヨコ方向
D	(内側) D38@200+D38@400 (外側) D38@200+2-D38@400	(内側) 2-D38@200 (外側) 2-D38@200+D38@400

(c) 底面スラブ

区分	EW 方向	NS 方向
E	(上ば) 3-D38@200 (下ば) 4-D38@200	(上ば) 2-D38@200+D38@400 (下ば) 3-D38@200+D38@400

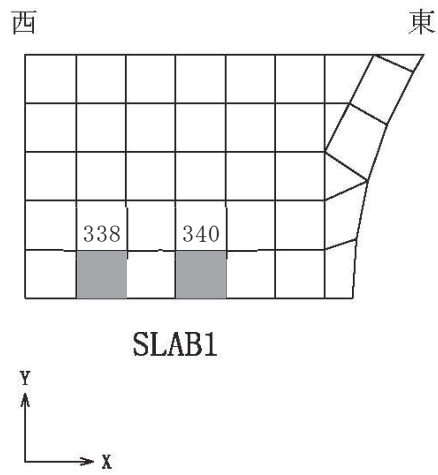


(a) 北側壁



(b) 西側壁

図 4-2(1) 選定した要素の位置 S d 地震時 (1/2)



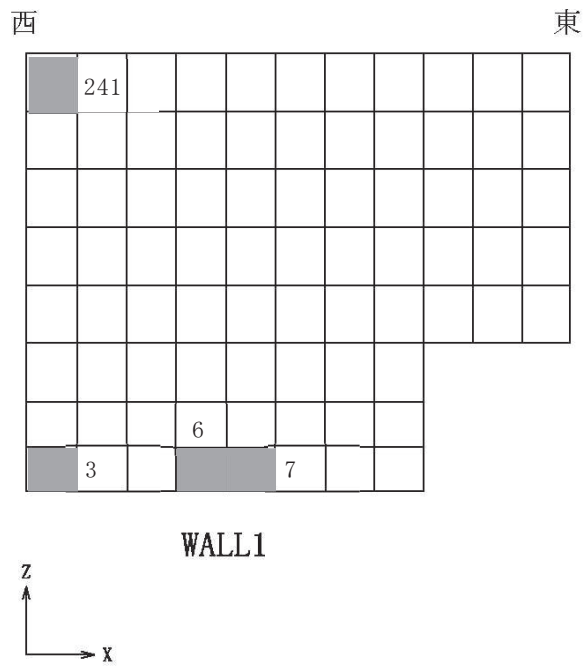
(c) 底面スラブ

図 4-2(2) 選定した要素の位置 S d 地震時 (2/2)

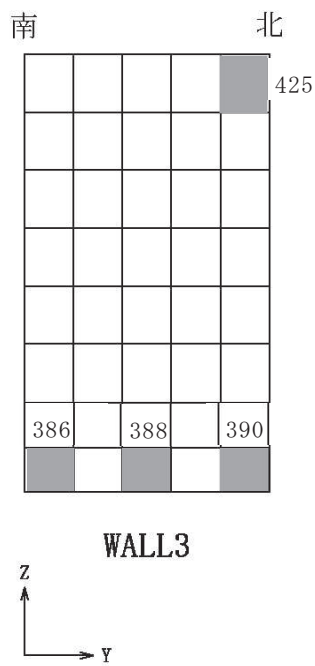
表 4-2 評価結果 S d 地震時

部位	評価項目	方向	要素番号	組合せケース	発生値	許容値	
北側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	水平	210	1-1	4.79	24.3
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	鉛直	6	1-9	196	345
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	—	51	1-4	1.59	4.53
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	水平	241	1-1	0.890	1.52
西側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	鉛直	386	1-11	7.42	21.6
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	鉛直	389	1-3	190	345
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	—	390	1-9	1.02	3.02
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	鉛直	386	1-11	0.576	1.06
底面 スラブ	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	EW	340	1-12	9.30	24.3
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	EW	340	1-11	184	345
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	EW	338	1-11	1.38*	2.59

注記*：応力の再分配等を考慮して、応力平均化を行った結果。

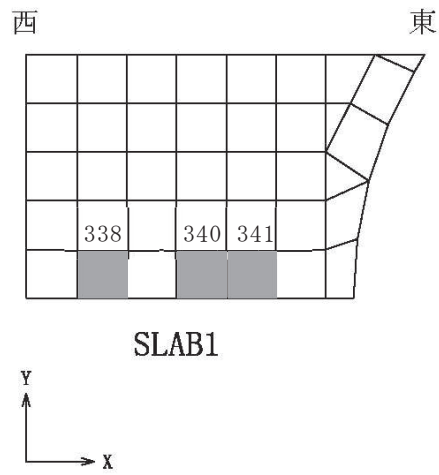


(a) 北側壁



(b) 西側壁

図 4-3(1) 選定した要素の位置 S s 地震時 (1/2)



(c) 底面スラブ

図 4-3(2) 選定した要素の位置 S s 地震時 (2/2)

表 4-3 評価結果 S s 地震時

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せケース	発生値	許容値
北側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	7	2-9	0.269	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	6	2-9	1.28	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	3	2-10	2.40	21.6
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	3	2-11	2.21	5.99
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	水平	241	2-1	0.892	2.08
西側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	386	2-11	0.502	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	425	2-1	1.30	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	390	2-12	2.40	21.6
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	388	2-10	1.14	4.02
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	386	2-11	0.808	1.44
底面 スラブ	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	340	2-12	0.409	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	341	2-11	0.964	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	EW	338	2-11	1.89*	2.59

注記*：応力の再分配等を考慮して、応力平均化を行った結果。

別紙 1 鉄筋コンクリート構造物の重大事故等時の高温による影響
(使用済燃料プール及びキャスクピット)

目 次

1. 概要	別紙 1-1
2. コンクリート及び鉄筋の温度の影響に関する調査	別紙 1-1
2.1 鉄筋コンクリートの高温時の特性	別紙 1-1
2.2 既往の文献による高温時のコンクリートの特性	別紙 1-2
3. 施設を構成する部材の構造特性	別紙 1-4
4. まとめ	別紙 1-4

1. 概要

原子炉建屋の燃料貯蔵設備である使用済燃料プール及びキャスクピットは、主要構造体を鉄筋コンクリート造の壁と床で構成する。使用済燃料プール及びキャスクピットの冷却機能や注水機能を喪失する重大事故等時において、使用済燃料プール及びキャスクピットの水温は高温状態が一定期間継続すると推定される。

よって、使用済燃料プール及びキャスクピットについて、既往の文献・規格等に基づき、高温時の健全性を確認する。

2. コンクリート及び鉄筋の温度の影響に関する調査

2.1 鉄筋コンクリートの高温時の特性

鉄筋コンクリートは、コンクリートと鉄筋で構成され、「日本建築学会 2009 年 構造材料の耐火性ガイドブック」によると、一般に、コンクリート・鉄筋は、温度の上昇と共に強度・剛性は劣化し、ひずみが大きくなる傾向にあるとされている。

コンクリートについては、セメント水和物及びその吸着水、水和物で構成される細孔内に存在する毛管水、毛管より大きな空隙に存在する自由水から成る多孔体である。一般的にコンクリートの温度が 70℃程度では、コンクリートの基本特性に大きな影響を及ぼすような自由水の逸散は生じず、100℃以下では圧縮強度の低下は小さいとされる。また、コンクリートの温度が大気圧において 100℃を超すと自由水が脱水し始め、その温度作用時間が長期間になると結晶水も脱水し始める。コンクリート温度が 190℃付近では結晶水が解放され始め、更に高温になると脱水現象が著しくなるため、コンクリートの特性に影響が出始めるとされる。

鉄筋については、「日本建築学会 2009 年 構造材料の耐火性ガイドブック」によると、強度及び剛性は、概ね 200℃から 300℃までは常温時の特性を保持するとされている。

2.2 既往の文献による高温時のコンクリートの特性

使用済燃料プール及びキャスクピットは、ステンレス鋼によりライニングされており、また、重大事故等時には、代替注水設備によりプールへの注水が行われるため、高温によるコンクリートからの水分逸散のないシール状態にある。それを踏まえ、シール状態で高温加熱を受けたコンクリートの文献収集を行った。高温を受けたコンクリートの圧縮強度に関する文献を表 2-1 に示す。

文献 No. 1 及び No. 2 では、加熱温度 175℃ のコンクリートへの影響について検討されている。文献 No. 1 では、シール状態において強度は熱水反応により一様な変化は示さないとされており、加熱期間 91 日までは、概ね加熱前と強度は同等と考えられる。アンシール状態では加熱期間 28 日までの低下率は 10% 以内に収まるとされている。文献 No. 2 では、シール状態においては、加熱期間 91 日まで強度の低下は認められない。

また、文献 No. 3～No. 7 は、加熱温度 110℃ のコンクリートへの影響について検討されている。No. 4 は加熱期間 50 日について検討されており、強度低下は認められない。また、No. 3 は加熱期間 3.5 年間、No. 5～No. 7 は加熱期間 2 年間について検討され、いずれも強度の低下傾向は認められないとされている。

それぞれの加熱温度における剛性に着目すると、加熱温度 175℃ において、アンシールの条件下では、加熱期間 1 日でも急激に低下する場合があるとされており、水分の逸散と高い相関があると考えられる。一方、シール状態では大きな低下はなく、加熱温度 110℃ では加熱後ごく初期に剛性の変化は収束するとされている。

以上より、175℃ 程度までの高温環境ではコンクリート強度への影響は小さい。また、コンクリートの剛性については、高温環境による水分逸散の影響が大きく、シール状態においても剛性の低下の傾向は認められるが、加熱後ごく初期に収束するため影響はない。

表 2-1 高温を受けたコンクリートの圧縮強度に関する文献一覧

No.	文献名 (出典)	著者	試験条件		
			温度	加熱期間	水分
1	高温 (175 °C) を受けたコンクリートの強度性状 (セメント・コンクリートNo. 449, July 1984)	川口 徹, 高橋久雄	175°C	1~91日	シール アンシール
2	高温履歴を受けるコンクリートの物性に関する実験的研究 (日本建築学会構造系論文集 第457号, 1994年3月)	長尾覚博, 中根 淳	40 ~ 175 , 300 , 600°C	1~91日 (~175°C) 7日 (300, 600°C)	シール アンシール
3	熱影響場におけるコンクリートの劣化に関する研究 (第48回セメント技術大会講演集, 1994)	長尾覚博, 鈴木智巳, 田渕正昭	①65, 90, 110°Cの 一定加熱 ②20~110°Cのサイ クル加熱	1日~3.5年間	シール アンシール
4	長期高温加熱がコンクリートの力学特性に及ぼす影響の検 討 (日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), 2010年9月)	木場将雄, 山本知弘, 久野通也, 島本 龍, 一瀬賢一, 佐藤 立	①20°Cの一定加熱 ②110°Cのサイクル 加熱	①50日 ②1~50サイクル (1サイクル: 1日) 注: 110°Cの期間: 9h	シール アンシール
5	長期間加熱を受けたコンクリートの物性変化に関する実験 的研究 (その1 実験計画と結果概要) (日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 1999年9月)	藪田 敏, 長尾覚博, 北野剛人, 守屋正裕, 池内俊之, 大池 武			
6	長期間加熱を受けたコンクリートの物性変化に関する実験 的研究 (その2 普通コンクリートの力学特性試験結果) (日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 1999年9月)	池内俊之, 長尾覚博, 北野剛人, 守屋正裕, 藪田 敏, 大池 武	①20, 110, 180, 325°Cの一定加熱 ②~110°C, ~180°C ~325°Cのサイク ル加熱	①1日~24か月 ②1~180サイクル (1サイクル: 72時間) 注: 高温保持時間: 24時間	シール アンシール
7	長期間加熱を受けたコンクリートの物性変化に関する実験 的研究 (その3 耐熱コンクリートの力学特性試験結果) (日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 1999年9月)	大池 武, 池内俊之, 北野剛人, 長尾覚博, 藪田 敏, 守屋正裕			

3. 施設を構成する部材の構造特性

部材内の温度差及び拘束により発生する熱応力は、使用済燃料プール及びキャスクピットの壁が周囲の壁、床に比べて厚く、更に取り付く床が少ないため、拘束応力のレベルが低いことに加え、「CCV規格」では、自己拘束的な応力であることから、十分な塑性変形能力がある場合、終局耐力に影響しないこととされている。

以上を踏まえ、施設を構成する部材の構造特性については、高温時においても設計基準状態との相違は小さい。

4. まとめ

鉄筋コンクリート構造物の高温時の健全性について、既往の文献・規格等に基づき評価を行い、使用済燃料プール及びキャスクピットの重大事故等時における高温状態に対しても、鉄筋コンクリート構造物の強度及び剛性への影響は小さいことを確認した。

VI-2-4-2-2 使用済燃料貯蔵ラック（第 1, 2 号機共用）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 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	12
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
4.2.2 許容応力	12
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	12
4.3 解析モデル及び諸元	17
4.4 固有周期	21
4.5 設計用地震力	24
4.6 計算方法	28
4.6.1 部材の応力	28
4.6.2 基礎ボルトの応力	30
4.7 計算条件	33
4.8 応力の評価	33
4.8.1 部材の応力評価	33
4.8.2 基礎ボルトの応力評価	33
5. 評価結果	34
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	34
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	34

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、使用済燃料貯蔵ラック（以下「ラック」という。）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。

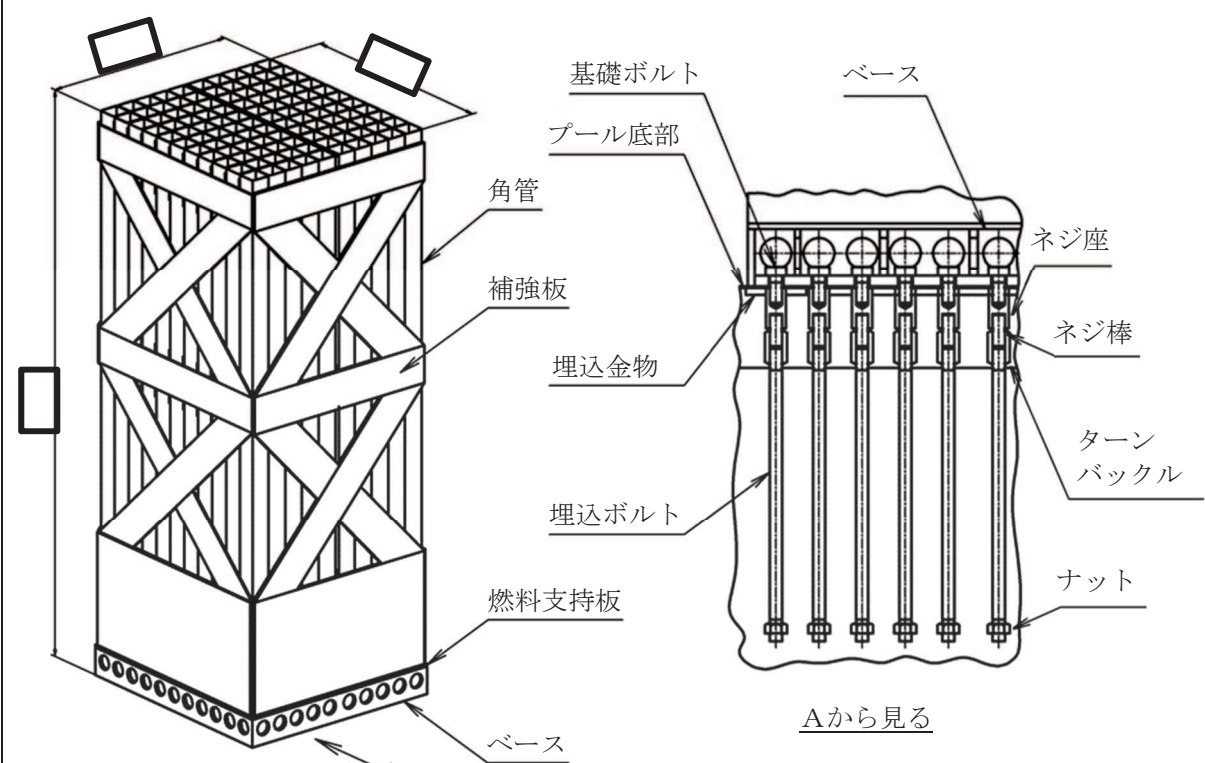
ラックは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ラックの構造計画を表 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	
<p>ラックは、たて置形でベースを使用済燃料プールの床に基礎ボルトを介して固定される。</p> <p>また、基礎ボルトは使用済燃料プール床のネジ座に締結され、ネジ座にはネジ棒及びターンバックルを介して埋込ボルトが接続される。</p> <p>なお、ネジ座、ネジ棒、ターンバックル及び埋込ボルトは、使用済燃料プール床のコンクリートに埋込まれている。</p>	<p>ボロン添加ステンレス鋼製たて置きラック。</p> <p>ラックは、110体ラックが8個、170体ラックが8個ある。</p> <p>ラックを構成する角管には、各1体ずつ燃料集合体が貯蔵される。</p>	 <p>寸法は110体ラックの値 (単位: mm)</p>

2.2 評価方針

ラックの応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「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」にて示すラックの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

ラックの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

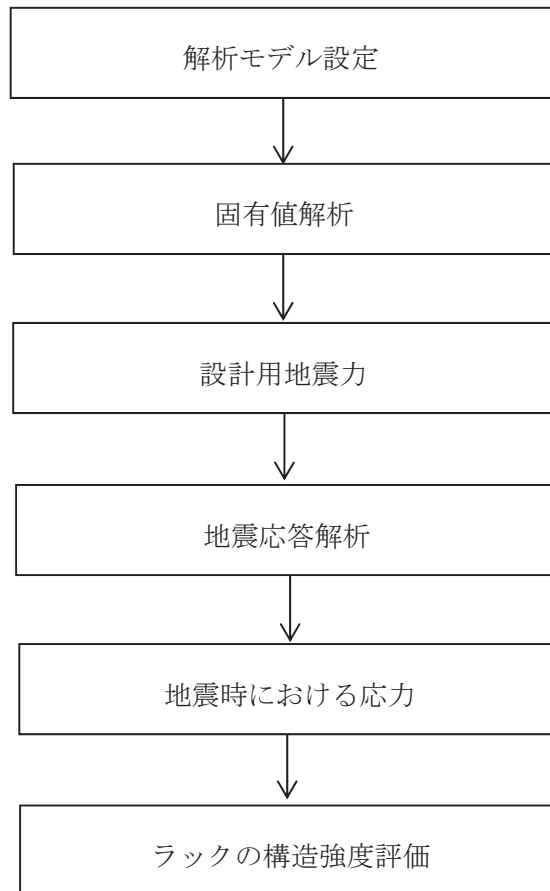


図 2-1 ラックの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (2) 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・補一1984）
- (3) 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）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007発電用原子力設備規格設計・建設規格（以下「設計・建設規格」という。）

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
A_x	部材の断面積	mm^2
A_y, A_z	部材のせん断断面積	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_x	部材に働く引張力	N
F_y, F_z	部材に働くせん断力	N
F_{kx}	解析モデル基部の4隅に設けられたはり部材に働く引張力	N
F_{ky}, F_{kz}	解析モデル基部の4隅に設けられたはり部材に働くせん断力	N
F_i	ベース底部に働くせん断力 (110体又は170体)	N
f_{ji}	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_{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_t	部材の許容引張応力	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 ($g=9.80665$)	m/s^2
I_y, I_z	部材の断面2次モーメント	mm^4
l_{gi}	ベース端から重心までの距離	mm
l_{ki}	解析モデル基部の中心から4隅に設けられたはり部材位置までの距離	mm
l_{ji}	ベース端から基礎ボルトまでの距離	mm
M_i	ベース底部の転倒モーメント (110体又は170体)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_y, M_z	部材に働く曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m	使用済燃料貯蔵時のラック全質量 (110体又は170体)	kg
m_F	燃料の質量	kg
m_R	ラックの質量	kg
m_W	ラックに含まれる水の質量	kg
n	基礎ボルトの全本数	—
n_{ji}	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

記号	記号の説明	単位
S_y (R T)	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
Z_y, Z_z	部材の断面係数	mm ³
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_x, σ_y	シエル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
σ_{ft}	はり部材に生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_f	はり部材に生じるせん断応力	MPa
τ_{xy}	シエル部材に生じるせん断応力	MPa

注1: $F_i, f_{ji}, \ell_{gi}, \ell_{ji}, \ell_{ki}, M_i$ 及び n_{ji} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = N$: NS (短辺) 方向

$i = E$: EW (長辺) 方向

注2: f_{ji}, ℓ_{ji} 及び n_{ji} の添字 j はボルトの列番号を示すものとする。

注3: $F_{kx}, F_{ky}, F_{kz}, \ell_{ki}$ の添字 k は解析モデル基部の4隅に設けられたはり部材の番号を示すものとする。

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
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	℃	小数点以下第1位	四捨五入	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の場合は、小数点以下表示とする。

*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。

3. 評価部位

ラックの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる角管、補強板、燃料支持板、ベース及び基礎ボルトについて実施する。

ラック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. 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) 地震応答解析には、はり要素及びシェル要素を用いた有限要素法モデルによるスペクトルモーダル解析を用いる。
- (2) ラックは、原子炉建屋の使用済燃料プールの底部(O.P. 21.38m)に基礎ボルトにより固定されるものとする。
- (3) ラックの質量には、使用済燃料の質量及び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周りの水の付加質量*を考慮する。
- (4) 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及び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。
- (5) 構造概念図(110体ラックの例)を図4-1に、各ラックの構造概要図を図4-2及び図4-3に示す。

注記*：機器が流体中で加速度を受けた場合に質量が増加したような効果を模擬した質量

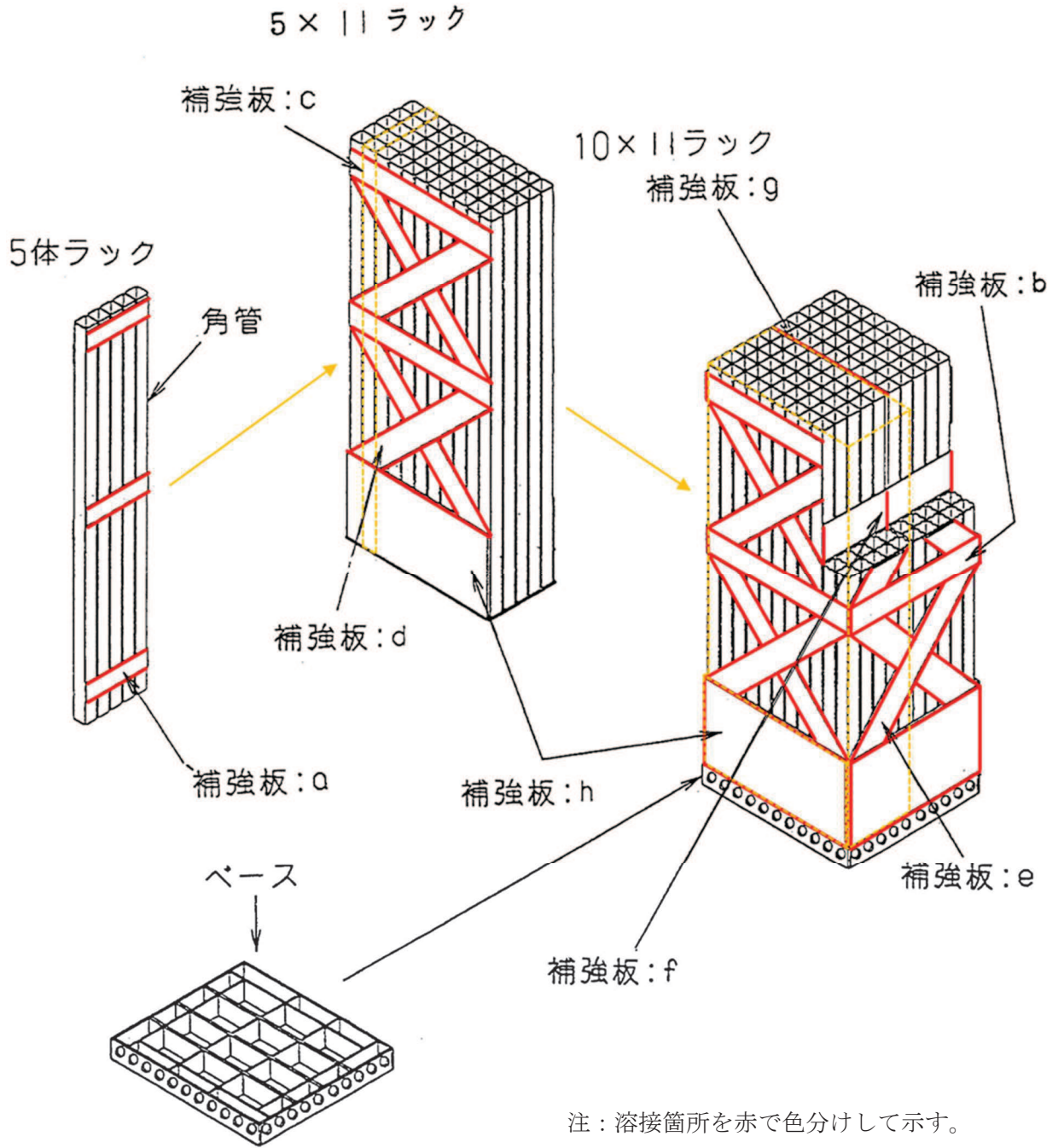
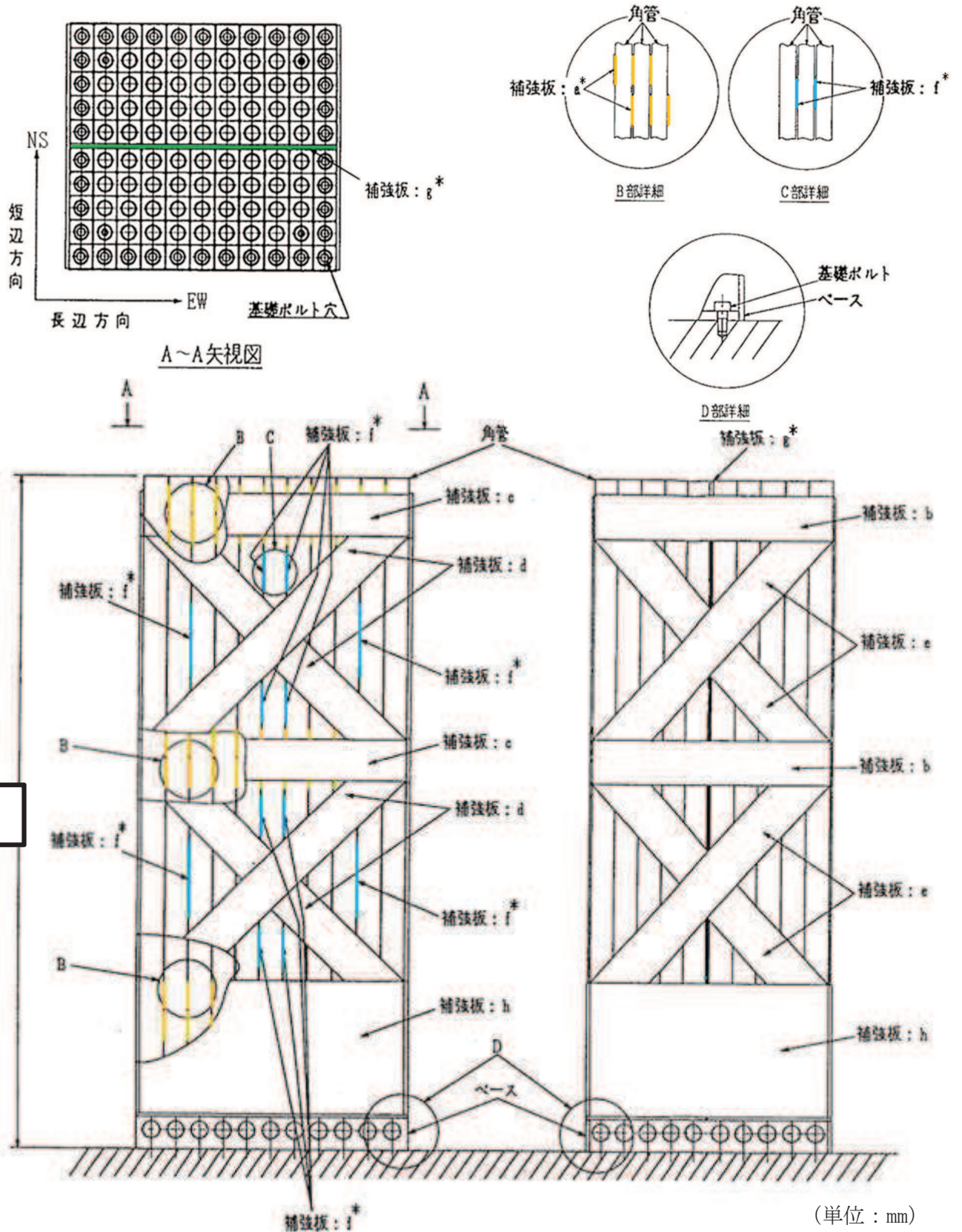


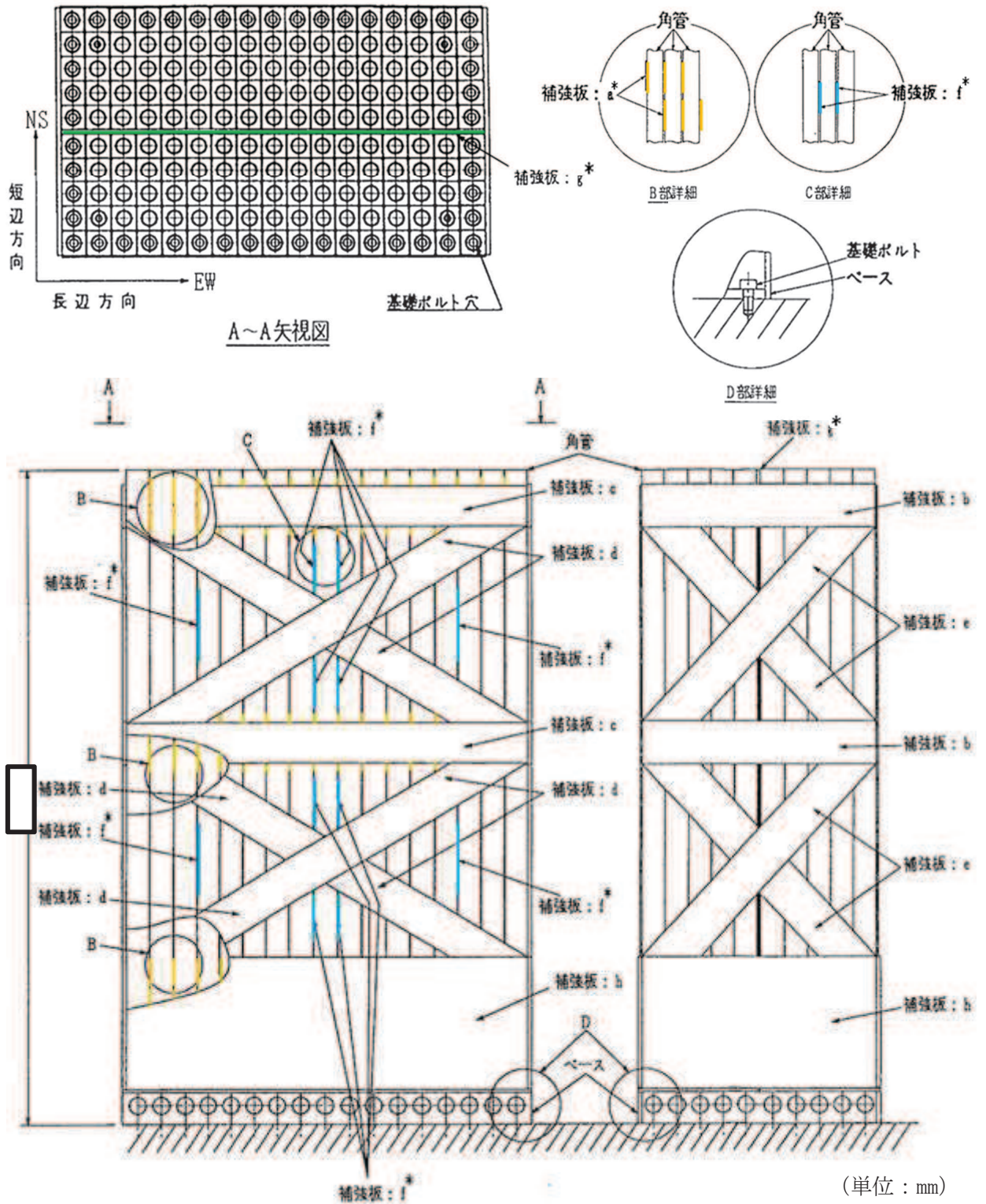
図 4-1 構造概念図 (110 体ラック)



注記*: 補強板 a を橙, 補強板 f を青, 補強板 g を緑で色分けして示す。

図 4-2 構造概要図 (110 体ラック)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



注記*：補強板 a を橙，補強板 f を青，補強板 g を緑で色分けして示す。

図 4-3 構造概要図 (170 体ラック)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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

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 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

ラックの許容応力は、添付資料「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ラックの許容応力評価条件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。

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
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	—*1	$D + P_D + M_D + S_d^{*2}$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*1：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。

*2： S_s との組み合わせ、Ⅲ_ASの評価を実施する。

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
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
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	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／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等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 (ボルト等以外)			許容限界*1, *2 (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
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
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 4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y ^{*1} (MPa)	S _u ^{*1} (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
角管	ボロン添加 ステンレス鋼	最高使用温度	66	—	188 ^{*2}	479 ^{*2}	205 ^{*2}
補強板	SUS304	最高使用温度	66	—	188	479	205
燃料支持板	SUS304	最高使用温度	66	—	188	479	205
ベース	SUS304	最高使用温度	66	—	188	479	205
基礎ボルト		最高使用温度	66	—			

注記*1：最高使用温度（66 °C）で算出

*2：ボロン添加ステンレス鋼の S_y、S_uの値は、SUS304 の規格値を上回っているが、安全側の評価とするため、SUS304 の値を使用する。

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y ^{*1} (MPa)	S _u ^{*1} (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
角管	ボロン添加 ステンレス鋼	最高使用温度	100	—	171 ^{*2}	441 ^{*2}	205 ^{*2}
補強板	SUS304	最高使用温度	100	—	171	441	205
燃料支持板	SUS304	最高使用温度	100	—	171	441	205
ベース	SUS304	最高使用温度	100	—	171	441	205
基礎ボルト		最高使用温度	100	—			

注記*1：最高使用温度 (100 °C) で算出

*2：ボロン添加ステンレス鋼の S_y、S_uの値は、SUS304 の規格値を上回っているが、安全側の評価とするため、SUS304 の値を使用する。

4.3 解析モデル及び諸元

- (1) ラックの解析モデルを図 4-4 及び図 4-5 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表 4-6 に示す。
- (2) ラックは、110 体、170 体ラック各々について、はり要素及びシェル要素を用いた有限要素モデルとする。
なお、角管はそれぞれ等価な断面特性を持つ 1 本のはり要素、補強板 a～e についてもそれぞれ同様にはり要素とし、補強板 f～h、燃料支持板及びベースはシェル要素とする。
- (3) 解析モデルでは、角管をモデル化したはり要素をラックの角管のピッチに合わせて等間隔に配置し、補強板をモデル化したはり要素及びシェル要素で接続している。
また、同一方向への曲げモードが支配的となること及び角管間に存在する補強板を考慮し、角管同士の接触は考慮しない。
- (4) ベース下部には基礎ボルトをモデル化したバネ要素が接続される。また、基礎ボルトをモデル化したバネ要素の下端には、はり要素を介して剛体要素が接続され、剛体要素の 4 隅には、ラックの転倒モーメント及びベース底部のせん断力を求めるためのはり要素が接続されている。
- (5) ラックの質量には、使用済燃料の質量、ラック自身の質量、ラックに含まれる水の質量及び水の付加質量を考慮し、使用済燃料、ラックに含まれる水の質量及び水の付加質量は、角管全長にわたって等分布に与える。
- (6) 本ラックの [] であり、 [] の増加に従って縦弾性係数が漸増し、固有周期については漸減する傾向を示す。このため、固有値解析、静的解析及び応答スペクトル解析にあたっては、縦弾性係数は [] 上限付近の実験値を用いるが、設計用床応答スペクトルから震度を設定するにあたっては、 [] より想定される固有周期帯のなかでの最大値を評価用震度に用いる。
- (7) 計算に用いる設計条件、固有周期の算出及び部材と基礎ボルトの応力評価に用いる要目を「4. 地震応答解析及び構造強度評価」及び「5. 評価結果」に示す。
- (8) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

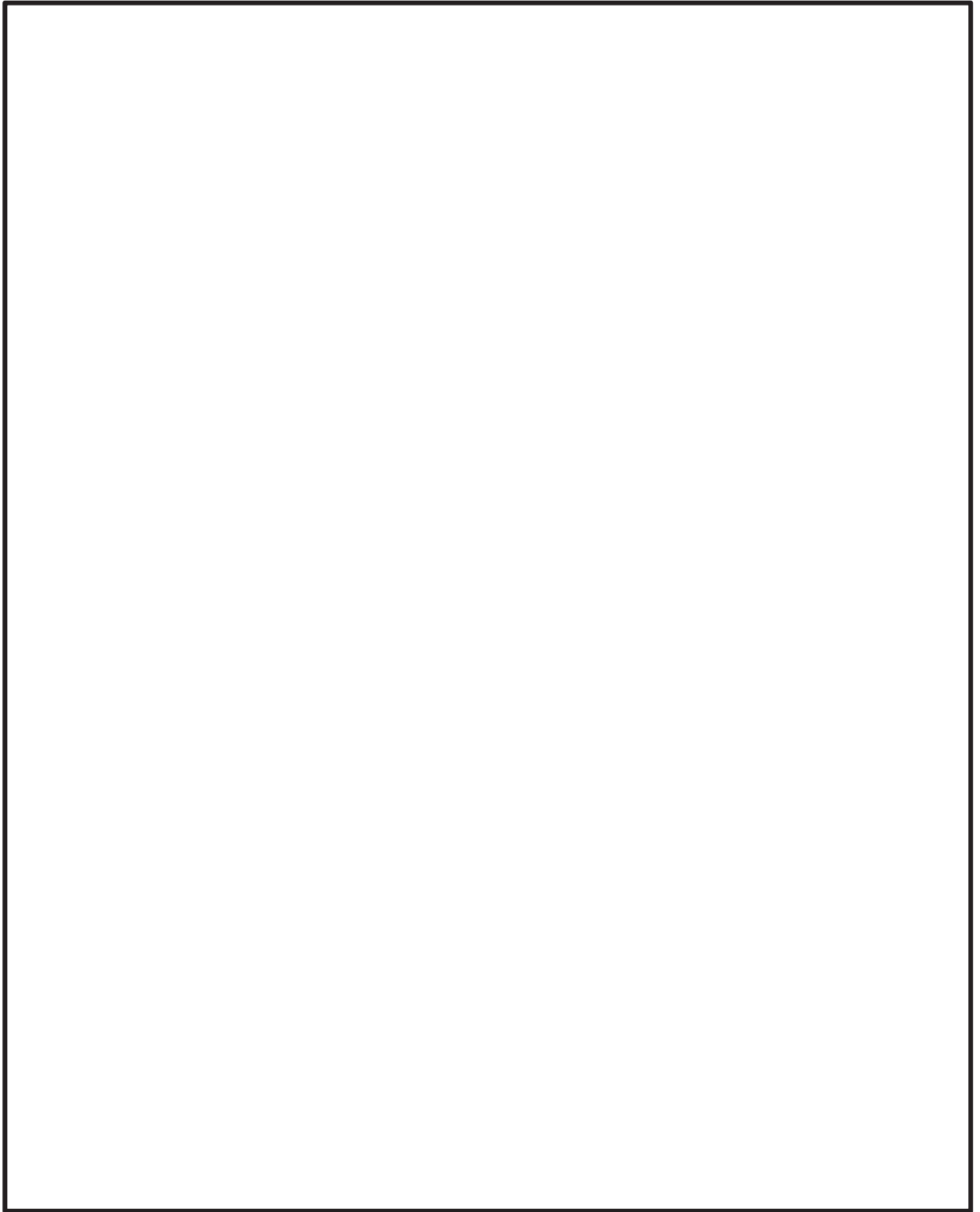


図 4-4 解析モデル (110 体ラック)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

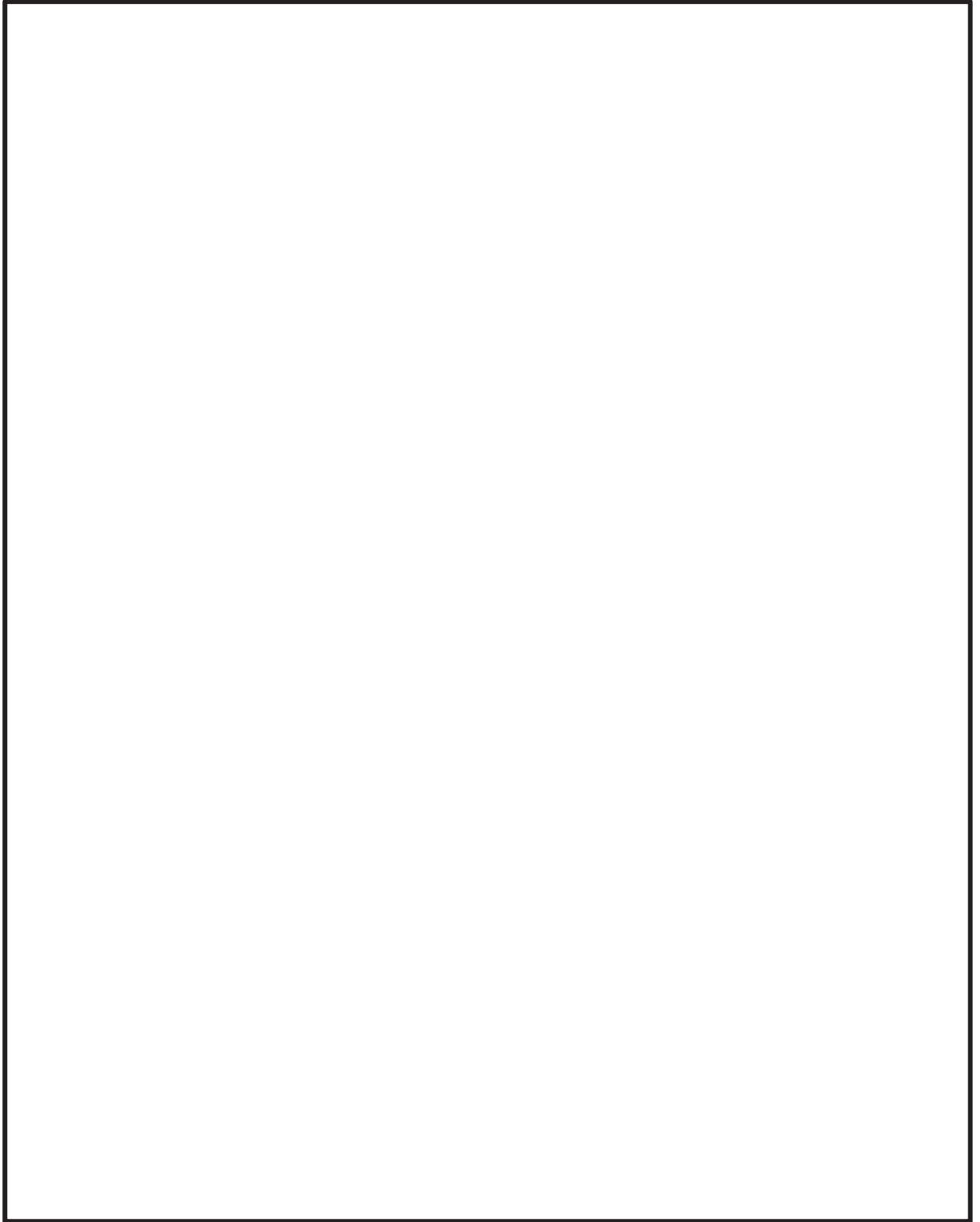


図 4-5 解析モデル (170 体ラック)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-6 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	ボロン添加ステンレス鋼 (角管) SUS304 (補強板, 燃料支持 板, ベース)
質量	m	kg	
温度条件 (最高使用温度)	T	°C	66
縦弾性係数	E* ¹	MPa	<input type="text"/> 192000 (補強板, 燃料支持 板, ベース) 192000 (基礎ボルト)
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

注記*1: 最高使用温度 (66 °C) で算出

*2: における最高使用温度 (66 °C) での実験値

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-7 に、各モードにおける固有ベクトルの大きさを示した振動モード図を図 4-6～図 4-9 に示す。鉛直方向は、5 次モード以降で卓越し、固有周期は、0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-7 固有値解析結果

ラック	モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向 刺激係数*
				X方向	Y方向	
110 体 ラック	1 次					
	2 次					
	3 次					
	5 次					
170 体 ラック	1 次					
	2 次					
	3 次					
	6 次					

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

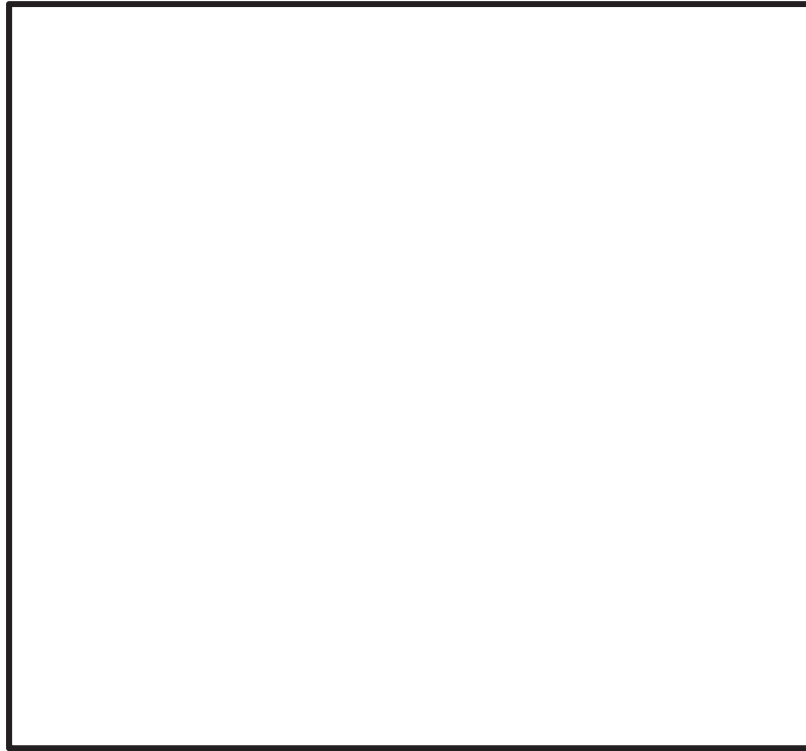


図 4-6 振動モード (110 体ラック) 1 次モード 

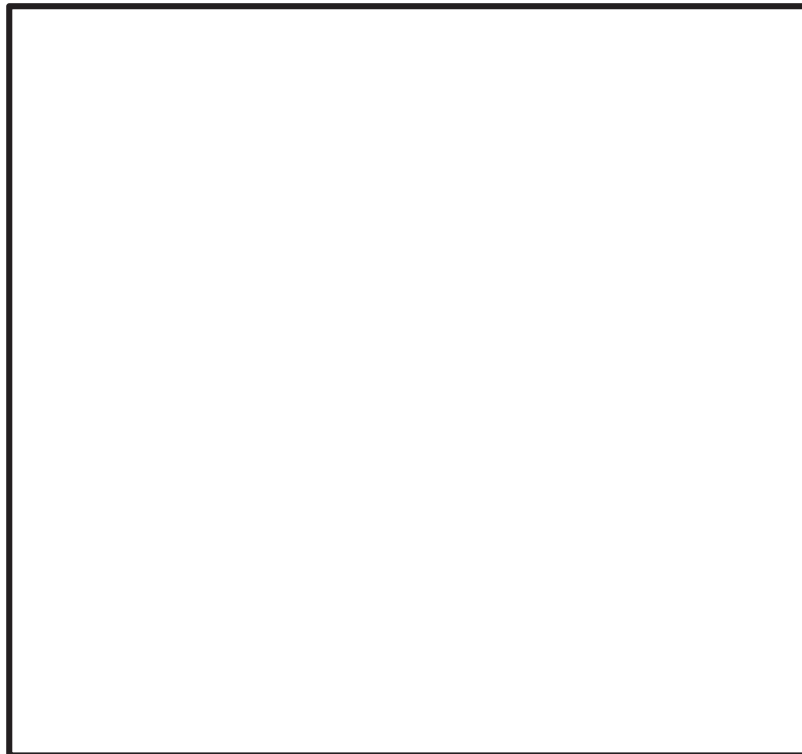


図 4-7 振動モード (110 体ラック) 2 次モード 

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

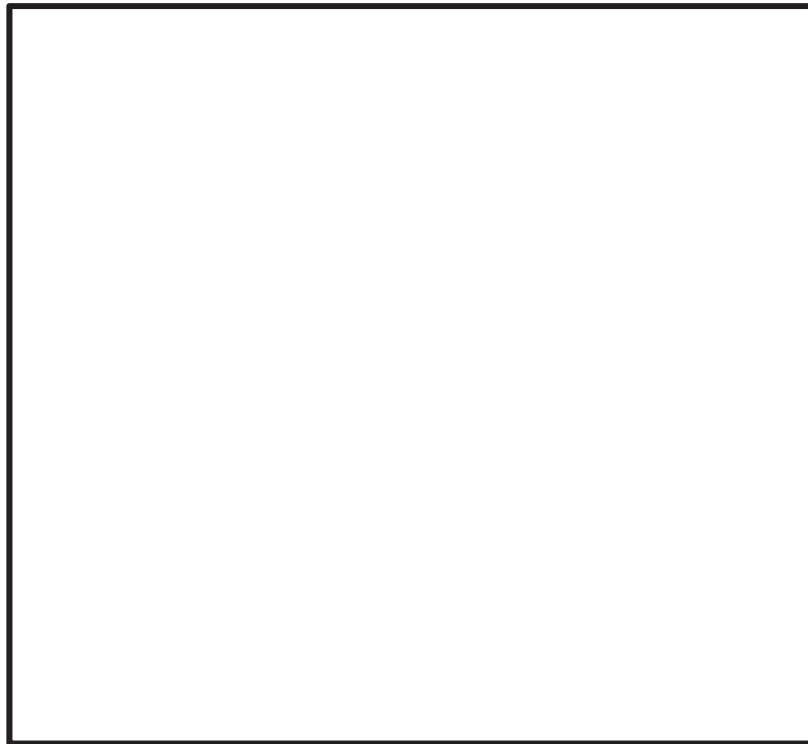


図 4-8 振動モード (170 体ラック) 1 次モード 

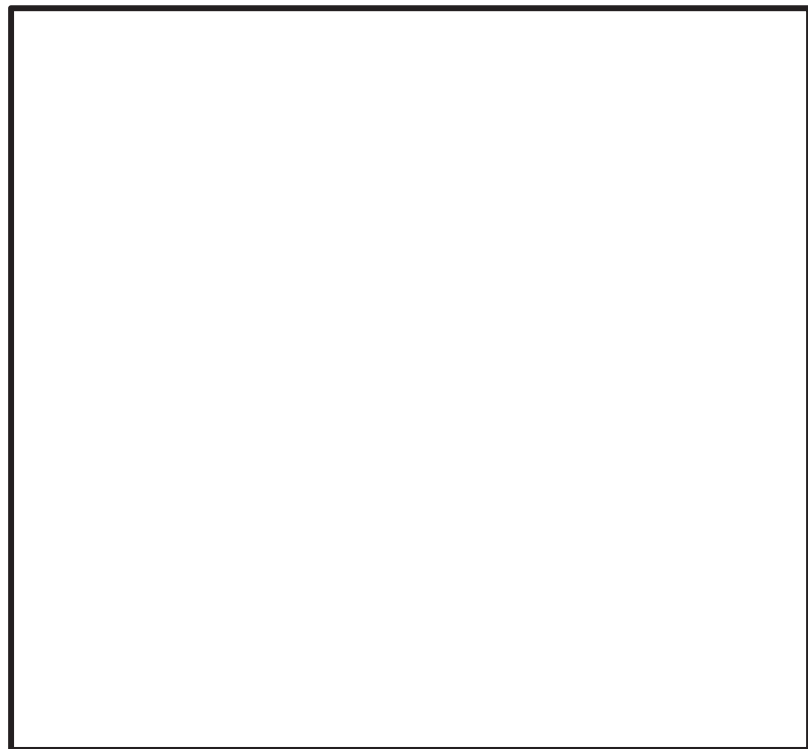


図 4-9 振動モード (170 体ラック) 2 次モード 

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.5 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

評価に用いる設計用地震力を表 4-8 及び表 4-9 に示す。

表 4-8 設計用地震力（設計基準対象施設）（1 / 2）

a. 110 体ラック

据付場所及び床面高さ (m)		原子炉建屋 O.P. 22.50* ¹ (O.P. 21.38)			
固有周期 (s)					
減衰定数 (%)		水平 : 7.0* ⁴ 鉛直 : -			
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
モード	固有周期 (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
1 次		2.32* ^{5, *6}	-* ⁵	4.77	-
2 次		2.28* ⁵	-* ⁵	4.51	-
3 次		-* ⁵	-* ⁵	-	-
動的地震力		1.13* ⁵	0.91* ⁵	2.12	1.56
静的地震力		0.92* ⁵	0.29* ⁵	-	-

注記*1 : 上階の基準床レベルを示す。

*2 : 1 次固有周期について記載

*3 : 固有値解析により、0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

*4 : 試験等により、妥当性が確認されている値。

*5 : III_AS については、基準地震動 S_s で評価する。

*6 : 設置高さの上下階 (O.P. 22.50m, O.P. 15.00m) における設計震度のうち、最大値となる原子炉建屋 O.P. 15.00m の設計震度を示す。

表 4-8 設計用地震力（設計基準対象施設）（2 / 2）

b. 170 体ラック

据付場所及び床面高さ (m)		原子炉建屋 0.P. 22.50* ¹ (0.P. 21.38)			
固有周期 (s)					
減衰定数 (%)		水平 : 7.0* ⁴ 鉛直 : -			
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
モード	固有周期 (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
1次		2.39* ^{5, *6}	-* ⁵	4.73	-
2次		2.23* ⁵	-* ⁵	4.14	-
3次		-* ⁵	-* ⁵	-	-
動的地震力		1.13* ⁵	0.91* ⁵	2.12	1.56
静的地震力		0.92* ⁵	0.29* ⁵	-	-

注記*1 : 上階の基準床レベルを示す。

*2 : 1次固有周期について記載

*3 : 固有値解析により, 0.05秒以下であり, 剛であることを確認した。

*4 : 試験等により, 妥当性が確認されている値。

*5 : III_ASについては, 基準地震動 S_sで評価する。

*6 : 設置高さの上下階 (0.P. 22.50m, 0.P. 15.00m) における設計震度のうち, 最大値となる原子炉建屋 0.P. 15.00mの設計震度を示す。

表 4-9 設計用地震力（重大事故等対処設備）（1 / 2）

a. 110 体ラック

据付場所及び床面高さ (m)		原子炉建屋 O.P. 22.50* ¹ (O.P. 21.38)			
固有周期 (s)					
減衰定数 (%)		水平 : 7.0* ⁴ 鉛直 : —			
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
モード	固有周期 (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
1 次		—	—	4.77	—
2 次		—	—	4.51	—
3 次		—	—	—	—
動的地震力		—	—	2.12	1.56
静的地震力		—	—	—	—

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 1 次固有周期について記載

*3 : 固有値解析により, 0.05 秒以下であり, 剛であることを確認した。

*4 : 試験等により, 妥当性が確認されている値。

表 4-9 設計用地震力（重大事故等対処設備）（2 / 2）

b. 170 体ラック

据付場所及び床面高さ (m)		原子炉建屋 O.P. 22.50* ¹ (O.P. 21.38)			
固有周期 (s)					
減衰定数 (%)		水平 : 7.0* ⁴ 鉛直 : -			
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
モード	固有周期 (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
1 次		-	-	4.73	-
2 次		-	-	4.14	-
3 次		-	-	-	-
動的地震力		-	-	2.12	1.56
静的地震力		-	-	-	-

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 1 次固有周期について記載

*3 : 固有値解析により, 0.05 秒以下であり, 剛であることを確認した。

*4 : 試験等により, 妥当性が確認されている値。

4.6 計算方法

4.6.1 部材の応力

部材についての応力計算は、図 4-4 及び図 4-5 の解析モデルにて、角管、補強板、燃料支持板及びベースから成る系全体での応力計算を解析コード「MSC NASTRAN」を使用して行い、本項に示す計算方法に従って引張応力、せん断応力及び組合せ応力を計算する。

(1) はり部材の応力

解析コード内では、各部材の局所座標系及び引張力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 及び曲げモーメント M_y 、 M_z の働く向きを図 4-10 に示すように設定している。

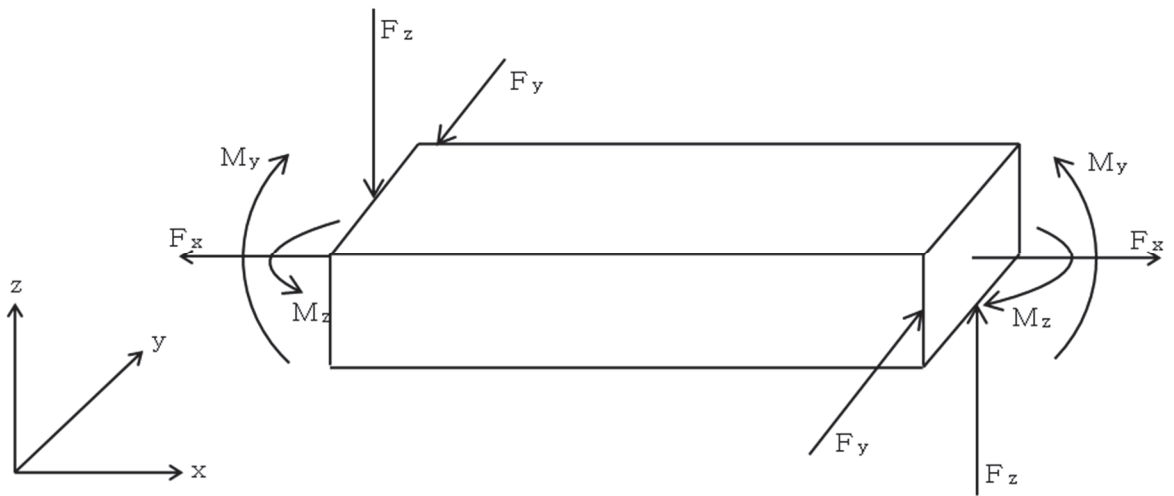


図 4-10 はり部材の応力計算モデル

引張力 F_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z によりはり部材に生じる引張応力 σ_{ft} は (4.1) 式により求める。

$$\sigma_{ft} = \frac{F_x}{A_x} + \frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z} \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

せん断力 F_y 、 F_z により部材に生じるせん断応力 τ_f は、(4.2) 式により求める。

$$\tau_f = \sqrt{\left(\frac{F_y}{A_y}\right)^2 + \left(\frac{F_x}{A_x}\right)^2} \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

組合せ応力 σ_{fa} は、(4.3) 式により求める。

$$\sigma_{fa} = \sqrt{\sigma_{ft}^2 + 3 \cdot \tau_f^2} \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

(2) シェル部材の応力

解析コード内では、各部材の局所座標系、せん断応力 τ_{xy} 及び引張応力 σ_x 、 σ_y の作用する向きを、図 4-11 に示すように設定している。

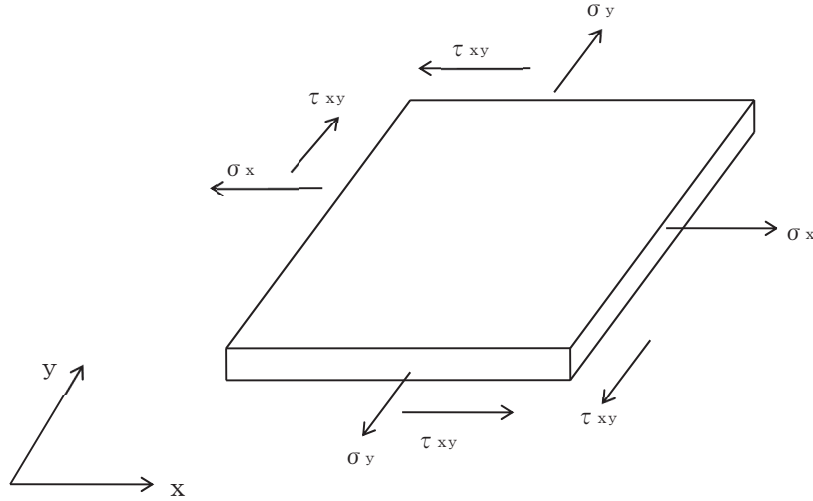


図 4-11 シェル部材の応力計算モデル

シェル部材の組合せ応力 σ_{fa} は、上記で計算したせん断応力 τ_{xy} 、引張応力 σ_x 、 σ_y を用いて、(4.4) 式より求める。

$$\sigma_{fa} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \dots\dots\dots (4.4)$$

4.6.2 基礎ボルトの応力

ラックの系全体での荷重計算を解析コード「MSC NASTRAN」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 及びベース底部に作用するせん断力 F_i から基礎ボルトの応力を求める。

転倒モーメント M_i 及びせん断力 F_i は、解析モデル基部の4隅に設けられたはり部材に生じる引張力 F_{kx} 及びせん断力 F_{ky} 、 F_{kz} から求められる。なお、引張力 F_{kx} 及びせん断力 F_{ky} 、 F_{kz} は図4-12のように負荷されるものとする。

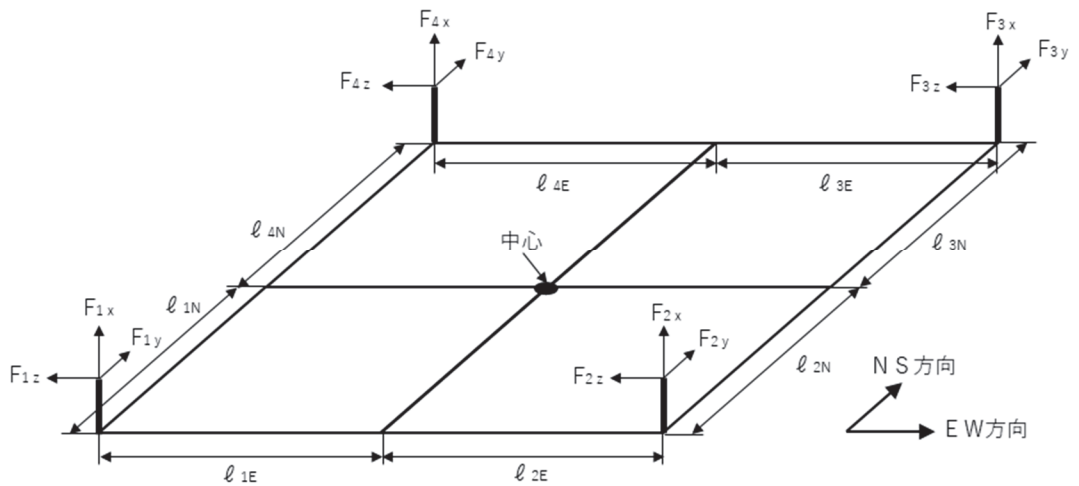


図 4-12 解析モデル基部の荷重状態

転倒モーメント M_i 及びせん断力 F_i は、(4.5)、(4.6)及び(4.7)式から求める。

$$M_i = l_{1i} \cdot |F_{1x}| + l_{2i} \cdot |F_{2x}| + l_{3i} \cdot |F_{3x}| + l_{4i} \cdot |F_{4x}| \quad \dots \dots \dots (4.5)$$

$$F_N = |F_{1y}| + |F_{2y}| + |F_{3y}| + |F_{4y}| \quad \dots \dots \dots (4.6)$$

$$F_E = |F_{1z}| + |F_{2z}| + |F_{3z}| + |F_{4z}| \quad \dots \dots \dots (4.7)$$

基礎ボルトの荷重状態を図4-13に示す。なお、図4-13のボルト列数は、110体ラックのNS方向を想定して $l_{1i} \sim l_{10i}$ の10列までとしたが、ボルト列数はラック及び方向によって異なるため、最大で $l_{1i} \sim l_{17i}$ の17列まで考慮する。

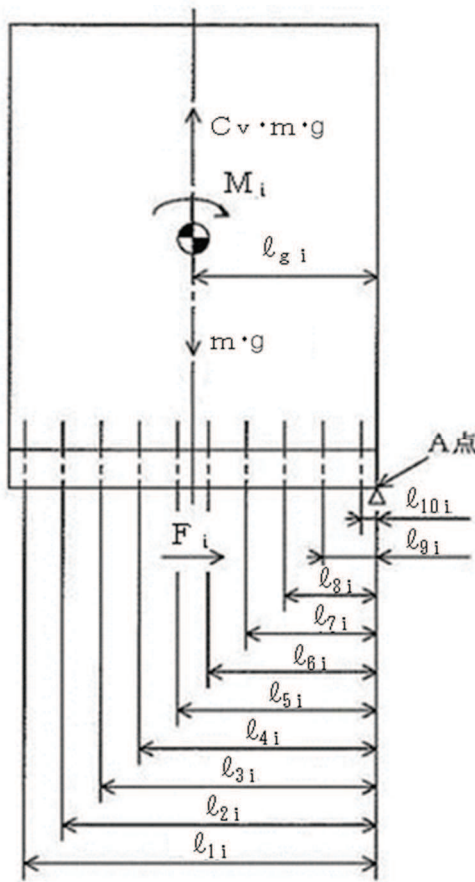


図 4-13 基礎ボルトの荷重状態 (110 体ラックの NS 方向)

(1) 引張応力

図 4-13 において支点まわりのモーメントの平衡により基礎ボルト 1 本当りの引張力 $f_{1i} \sim f_{ji}$ を求める。なお、水平方向地震力によるモーメントと鉛直方向地震力によるモーメントの組合せには SRSS 法を適用する。

$$f_{1i} = \frac{\ell_{1i} \cdot \left\{ \sqrt{M_i^2 + (C_V \cdot m \cdot g \cdot \ell_{gi})^2} - m \cdot g \cdot \ell_{gi} \right\}}{n_{1i} \cdot \ell_{1i}^2 + n_{1i} \cdot \ell_{2i}^2 + \dots + n_{ji} \cdot \ell_{ji}^2} \dots \dots \dots (4.8)$$

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、(4.9) 式により求める。

$$\sigma_b = \frac{f_{1i}}{A_b} \dots \dots \dots (4.9)$$

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降の引張応力の計算は省略する。

(2) せん断応力

せん断力 F_i により基礎ボルトに生じるせん断応力 τ_b は, (4.12) 式により求める。

$$\tau_b = \frac{F_i}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.12)$$

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は、本計算書の【使用済燃料貯蔵ラック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。

4.8 応力の評価

4.8.1 部材の応力評価

4.6.1 項で求めた各部材の引張応力 σ_{ft} 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、4.6.1 項で求めた各部材のせん断応力 τ_f 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	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5^{*1}$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5^{*1}$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5^{*1}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5^{*1}$

注記*1：ボロン添加ステンレス鋼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ため、安全側の評価とするため、F 及び F* 値は SUS304 の値を使用する。

4.8.2 基礎ボルトの応力評価

4.6.2 項で求めた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、4.6.2 項で求めた基礎ボルトのせん断応力 τ_b が、せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \dots\dots\dots (4.11)$$

かつ

$$f_{ts} \leq f_{to} \quad \dots\dots\dots (4.12)$$

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}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ラック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頁以降の表に示す。なお、弾性設計用地震動 S_d による動的震度及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足したため、弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度による発生値の算出を省略した。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ラック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頁以降の表に示す。

【使用済燃料貯蔵ラック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)	ラック	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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			
使用済燃料貯蔵ラック	S	原子炉建屋 O.P. 22.50*1 (O.P. 21.38)	110体ラック		0.05以下*2	—*3	—*3	C _H =2.12又は*4	C _V =1.56	—	66	—
			170体ラック		0.05以下*2	—*3	—*3	C _H =2.12又は*4	C _V =1.56	—	66	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析により0.05秒以下であり、剛であることを確認した。

*3：Ⅲ_ASについては、基準地震動S_sで評価する。

*4：基準地震動S_sに基づく設計用床応答曲線から得られる値

1.2 機器要目

1.2.1 固有周期の算出及び部材の応力評価に用いる要目

ラック	部材	材料	A_x^* (mm ²)	A_y^* (mm ²)	A_z^* (mm ²)	I_y^* (mm ⁴)	I_z^* (mm ⁴)	Z_y^* (mm ³)	Z_z^* (mm ³)	E (MPa)
110 体ラック	角管	ボロン添加 ステンレス鋼	1.987×10^3	8.834×10^2	8.834×10^2	7.978×10^6	7.978×10^6	1.007×10^5	1.007×10^5	
	補強板 a	SUS304	1.800×10^3	1.200×10^3	1.200×10^3	1.194×10^7	2.778×10^7	1.427×10^5	1.323×10^5	1.92×10^5
	補強板 b	SUS304	7.500×10^3	5.000×10^3	5.000×10^3	6.346×10^7	5.625×10^7	6.090×10^5	3.750×10^5	1.92×10^5
	補強板 c	SUS304	2.800×10^3	1.867×10^3	1.867×10^3	1.987×10^7	1.829×10^7	2.228×10^5	1.306×10^5	1.92×10^5
	補強板 d	SUS304	2.800×10^3	1.867×10^3	1.867×10^3	1.987×10^7	1.829×10^7	2.228×10^5	1.306×10^5	1.92×10^5
	補強板 e	SUS304	7.500×10^3	5.000×10^3	5.000×10^3	6.346×10^7	5.625×10^7	6.090×10^5	3.750×10^5	1.92×10^5
170 体ラック	角管	ボロン添加 ステンレス鋼	1.987×10^3	8.834×10^2	8.834×10^2	7.978×10^6	7.978×10^6	1.007×10^5	1.007×10^5	
	補強板 a	SUS304	1.800×10^3	1.200×10^3	1.200×10^3	1.194×10^7	2.778×10^7	1.427×10^5	1.323×10^5	1.92×10^5
	補強板 b	SUS304	7.500×10^3	5.000×10^3	5.000×10^3	6.346×10^7	5.625×10^7	6.090×10^5	3.750×10^5	1.92×10^5
	補強板 c	SUS304	2.800×10^3	1.867×10^3	1.867×10^3	1.987×10^7	1.829×10^7	2.228×10^5	1.306×10^5	1.92×10^5
	補強板 d	SUS304	2.800×10^3	1.867×10^3	1.867×10^3	1.987×10^7	1.829×10^7	2.228×10^5	1.306×10^5	1.92×10^5
	補強板 e	SUS304	7.500×10^3	5.000×10^3	5.000×10^3	6.346×10^7	5.625×10^7	6.090×10^5	3.750×10^5	1.92×10^5

注記*：各部材の局所座標系に従う。

評価部材	材料	S _y *1 (MPa)	S _y (R T) (MPa)	S _u *1 (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
角管	ボロン添加 ステンレス鋼	188*2	205*2	479*2	205*2	205*2
補強板	SUS304	188	205	479	205	205

注記*1：最高使用温度（66℃）で算出

*2：ボロン添加ステンレス鋼のS_y、S_uの値は、SUS304の規格値を上回っているが、安全側の評価とするため、SUS304の値を使用する。

ラック	部材	材料	t (mm)	E (MPa)	S _y *1 (MPa)	S _y (R T) (MPa)	S _u *1 (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
110体ラック	補強板 f	SUS304		1.92×10 ⁵	188	205	479	205	205
	補強板 g	SUS304		1.92×10 ⁵	188	205	479	205	205
	補強板 h	SUS304		1.92×10 ⁵	188	205	479	205	205
	燃料支持板	SUS304		1.92×10 ⁵	188	205	479	205	205
	ベース	SUS304		1.92×10 ⁵	188	205	479	205	205
170体ラック	補強板 f	SUS304		1.92×10 ⁵	188	205	479	205	205
	補強板 g	SUS304		1.92×10 ⁵	188	205	479	205	205
	補強板 h	SUS304		1.92×10 ⁵	188	205	479	205	205
	燃料支持板	SUS304		1.92×10 ⁵	188	205	479	205	205
	ベース	SUS304		1.92×10 ⁵	188	205	479	205	205

注記*1：最高使用温度（66℃）で算出

*2：部材位置は図 5-1 に示す。

*3：部材位置は図 5-2 に示す。

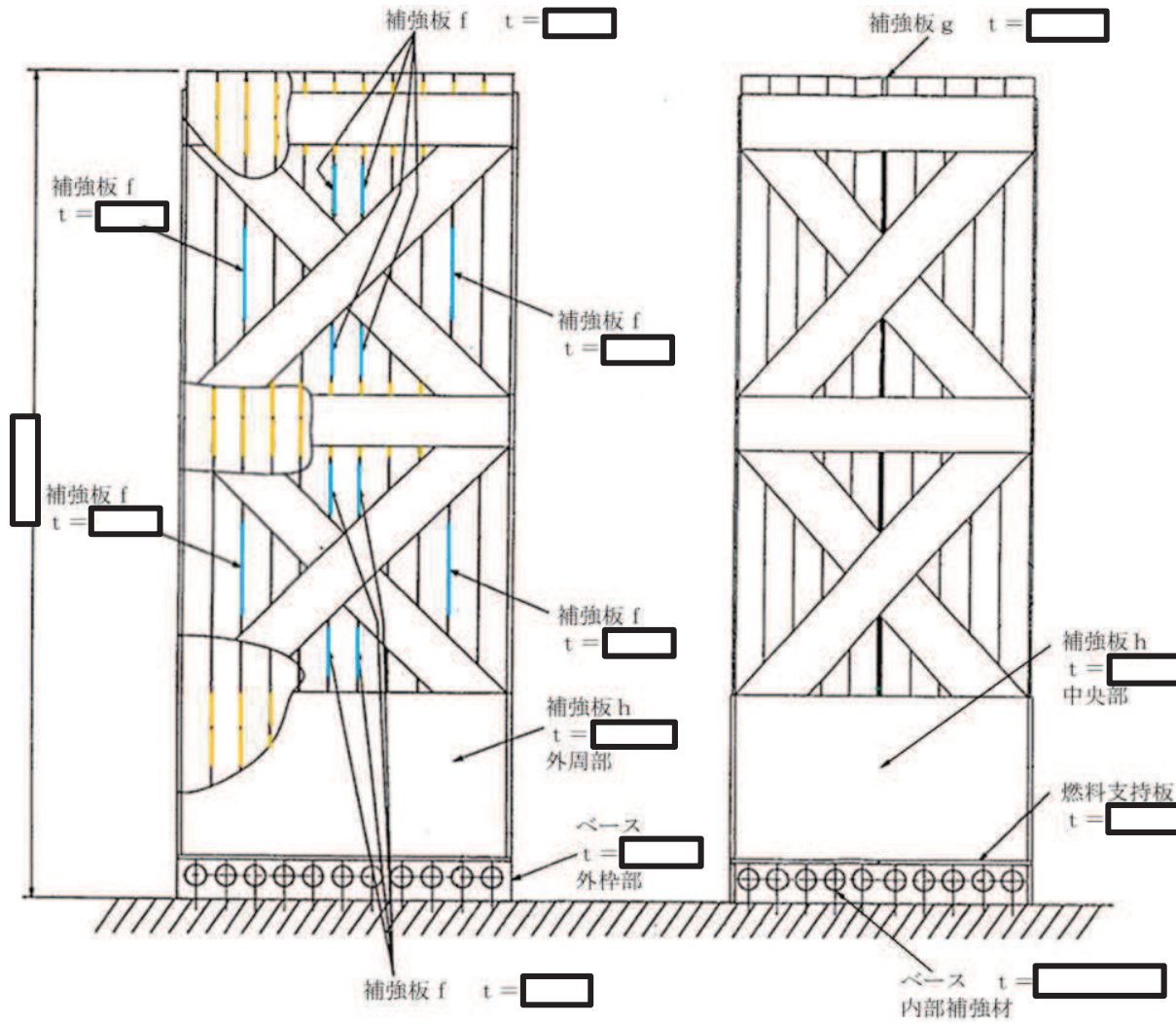


図 5-1 ラック構造図 (110 体ラック)

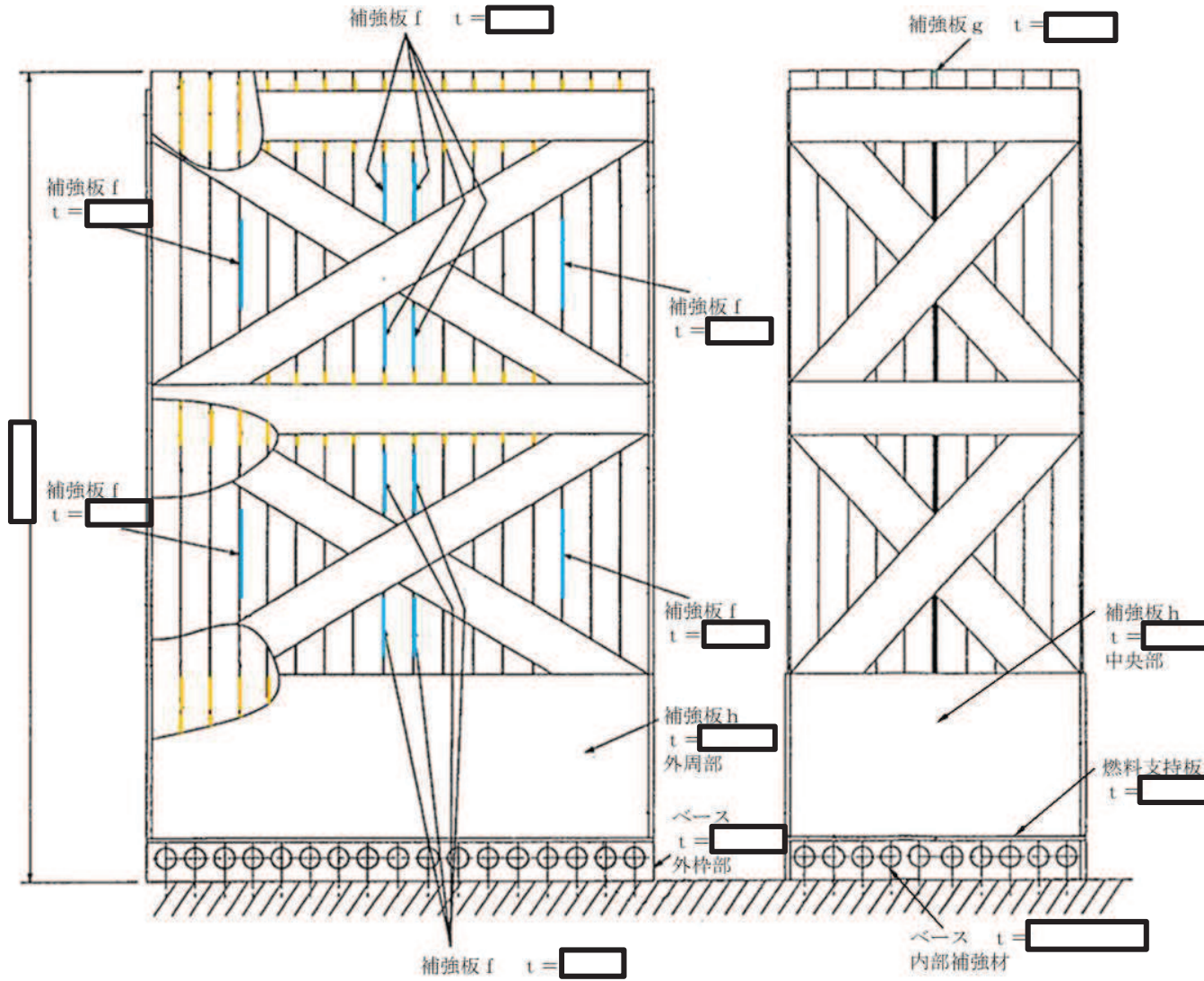


図 5-2 ラック構造図 (170 体ラック)

1.2.2 基礎ボルトの応力評価に用いる項目

ラック	m (kg)	m _F (kg)	m _R (kg)	m _W (kg)	A _b (mm ²)	C _V (-)	ℓ _{1E} (mm)	ℓ _{2E} (mm)	ℓ _{3E} (mm)	ℓ _{4E} (mm)	ℓ _{5E} (mm)	ℓ _{6E} (mm)	ℓ _{7E} (mm)	ℓ _{8E} (mm)	ℓ _{9E} (mm)	ℓ _{10E} (mm)	ℓ _{11E} (mm)	ℓ _{12E} (mm)
110体ラック					1590	1.56	1741.5	1577.5	1413.5	1249.5	1085.5	921.5	757.5	593.5	429.5	265.5	101.5	-
170体ラック					1590	1.56	2725.5	2561.5	2397.5	2233.5	2069.5	1905.5	1741.5	1577.5	1413.5	1249.5	1085.5	921.5

ℓ _{13E} (mm)	ℓ _{14E} (mm)	ℓ _{15E} (mm)	ℓ _{16E} (mm)	ℓ _{17E} (mm)	ℓ _{1N} (mm)	ℓ _{2N} (mm)	ℓ _{3N} (mm)	ℓ _{4N} (mm)	ℓ _{5N} (mm)	ℓ _{6N} (mm)	ℓ _{7N} (mm)	ℓ _{8N} (mm)	ℓ _{9N} (mm)	ℓ _{10N} (mm)	ℓ _{gE} (mm)	ℓ _{gN} (mm)	n _{1E} (-)	n _{2E} (-)	n _{3E} (-)
-	-	-	-	-	1568.5	1408.5	1248.5	1088.5	928.5	741.5	581.5	421.5	261.5	101.5	921.5	835	10	2	2
757.5	593.5	429.5	265.5	101.5	1568.5	1408.5	1248.5	1088.5	928.5	741.5	581.5	421.5	261.5	101.5	1413.5	835	10	2	2

n _{4E} (-)	n _{5E} (-)	n _{6E} (-)	n _{7E} (-)	n _{8E} (-)	n _{9E} (-)	n _{10E} (-)	n _{11E} (-)	n _{12E} (-)	n _{13E} (-)	n _{14E} (-)	n _{15E} (-)	n _{16E} (-)	n _{17E} (-)	n _{1N} (-)	n _{2N} (-)	n _{3N} (-)	n _{4N} (-)	n _{5N} (-)	n _{6N} (-)
2	2	2	2	2	2	2	10	-	-	-	-	-	-	11	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	17	2	2	2	2	2

n _{7N} (-)	n _{8N} (-)	n _{9N} (-)	n _{10N} (-)	n (-)
2	2	2	11	38
2	2	2	17	50

基礎ボルト材料	S _y *1 (MPa)	S _y (RT) (MPa)	S _u *1 (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
[Redacted]					

注記*1：最高使用温度（66℃）で算出

ラック	地震の種類	F_N (N)	F_E (N)	M_N (N・mm)	M_E (N・mm)
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	1.838×10^6	1.622×10^6	5.849×10^9	4.632×10^9
170 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	2.891×10^6	2.250×10^6	8.996×10^9	7.236×10^9

1.3 計算数値

1.3.1 部材に生じる応力

(1) 角管

(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
110体ラック	ボロン添加 ステンレス鋼	引張り σ_{ft}	—	—	114	89
		せん断 τ_f	—	—	46	24
		組合せ σ_{fa}	—	—	139	98
170体ラック	ボロン添加 ステンレス鋼	引張り σ_{ft}	—	—	154	62
		せん断 τ_f	—	—	63	44
		組合せ σ_{fa}	—	—	188	98

(2) 補強板 a

(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
110体ラック	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	68	22
		せん断 τ_f	—	—	52	39
		組合せ σ_{fa}	—	—	113	71
170体ラック	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	119	21
		せん断 τ_f	—	—	71	40
		組合せ σ_{fa}	—	—	171	73

(3) 補強板 b

(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
110体ラック	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	42	24
		せん断 τ_f	—	—	37	15
		組合せ σ_{fa}	—	—	76	34
170体ラック	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	65	20
		せん断 τ_f	—	—	62	14
		組合せ σ_{fa}	—	—	126	31

(4) 補強板 c

(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
110体ラック	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	85	79
		せん断 τ_f	—	—	36	54
		組合せ σ_{fa}	—	—	105	122
170体ラック	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	133	57
		せん断 τ_f	—	—	54	43
		組合せ σ_{fa}	—	—	162	93

(5) 補強板 d

(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
110体ラック	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	113	152
		せん断 τ_f	—	—	30	24
		組合せ σ_{fa}	—	—	124	158
170体ラック	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	171	126
		せん断 τ_f	—	—	51	25
		組合せ σ_{fa}	—	—	193	133

(6) 補強板 e

(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
110体ラック	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	83	33
		せん断 τ_f	—	—	6	10
		組合せ σ_{fa}	—	—	83	37
170体ラック	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	114	31
		せん断 τ_f	—	—	9	9
		組合せ σ_{fa}	—	—	115	34

(7) 補強板 f

(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
110体ラック	SUS304	引張り σ_x	—	—	20	14
		引張り σ_y	—	—	2	2
		せん断 τ_{xy}	—	—	33	2
		組合せ σ_{fa}	—	—	59	14
170体ラック	SUS304	引張り σ_x	—	—	18	11
		引張り σ_y	—	—	1	4
		せん断 τ_{xy}	—	—	56	5
		組合せ σ_{fa}	—	—	98	13

(8) 補強板 g

(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
110体ラック	SUS304	引張り σ_x	—	—	1	1
		引張り σ_y	—	—	1	4
		せん断 τ_{xy}	—	—	2	1
		組合せ σ_{fa}	—	—	4	4
170体ラック	SUS304	引張り σ_x	—	—	2	1
		引張り σ_y	—	—	2	3
		せん断 τ_{xy}	—	—	3	0
		組合せ σ_{fa}	—	—	6	3

(9) 補強板 h

(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
110体ラック	SUS304	引張り σ_x	—	—	7	25
		引張り σ_y	—	—	53	21
		せん断 τ_{xy}	—	—	14	31
		組合せ σ_{fa}	—	—	55	58
170体ラック	SUS304	引張り σ_x	—	—	5	22
		引張り σ_y	—	—	5	17
		せん断 τ_{xy}	—	—	44	33
		組合せ σ_{fa}	—	—	76	60

(10) 燃料支持板

(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
110体ラック	SUS304	引張り σ_x	—	—	14	7
		引張り σ_y	—	—	46	18
		せん断 τ_{xy}	—	—	2	11
		組合せ σ_{fa}	—	—	41	24
170体ラック	SUS304	引張り σ_x	—	—	32	12
		引張り σ_y	—	—	106	29
		せん断 τ_{xy}	—	—	3	8
		組合せ σ_{fa}	—	—	94	28

(11) 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
110体ラック	SUS304	引張り σ_x	—	—	23	15
		引張り σ_y	—	—	67	44
		せん断 τ_{xy}	—	—	1	6
		組合せ σ_{fa}	—	—	59	40
170体ラック	SUS304	引張り σ_x	—	—	31	8
		引張り σ_y	—	—	78	40
		せん断 τ_{xy}	—	—	2	4
		組合せ σ_{fa}	—	—	69	38

1.3.2 基礎ボルトに生じる応力

(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
110体ラック		引張り σ_b	—	—	133	94
		せん断 τ_b	—	—	31	27
170体ラック		引張り σ_b	—	—	149	73
		せん断 τ_b	—	—	37	29

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.4 結論

1.4.1 部材に生じる応力

(1) 角管

(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
110体ラック	ボロン添加 ステンレス鋼	引張り	$\sigma_{ft} = 114^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{ft} = 114$	$f_t = 205$
		せん断	$\tau_f = 46^*$	$f_s = 118$	$\tau_f = 46$	$f_s = 118$
		組合せ	$\sigma_{fa} = 139^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 139$	$f_t = 205$
170体ラック	ボロン添加 ステンレス鋼	引張り	$\sigma_{ft} = 154^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{ft} = 154$	$f_t = 205$
		せん断	$\tau_f = 63^*$	$f_s = 118$	$\tau_f = 63$	$f_s = 118$
		組合せ	$\sigma_{fa} = 188^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 188$	$f_t = 205$

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。

(2) 補強板 a

(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
110体ラック	SUS304	引張り	$\sigma_{ft} = 68^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{ft} = 68$	$f_t = 205$
		せん断	$\tau_f = 52^*$	$f_s = 118$	$\tau_f = 52$	$f_s = 118$
		組合せ	$\sigma_{fa} = 113^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 113$	$f_t = 205$
170体ラック	SUS304	引張り	$\sigma_{ft} = 119^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{ft} = 119$	$f_t = 205$
		せん断	$\tau_f = 71^*$	$f_s = 118$	$\tau_f = 71$	$f_s = 118$
		組合せ	$\sigma_{fa} = 171^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 171$	$f_t = 205$

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。

(3) 補強板 b

(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
110体ラック	SUS304	引張り	$\sigma_{ft} = 42^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{ft} = 42$	$f_t = 205$
		せん断	$\tau_f = 37^*$	$f_s = 118$	$\tau_f = 37$	$f_s = 118$
		組合せ	$\sigma_{fa} = 76^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 76$	$f_t = 205$
170体ラック	SUS304	引張り	$\sigma_{ft} = 65^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{ft} = 65$	$f_t = 205$
		せん断	$\tau_f = 62^*$	$f_s = 118$	$\tau_f = 62$	$f_s = 118$
		組合せ	$\sigma_{fa} = 126^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 126$	$f_t = 205$

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。

(4) 補強板 c

(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
110体ラック	SUS304	引張り	$\sigma_{ft} = 79^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{ft} = 79$	$f_t = 205$
		せん断	$\tau_f = 54^*$	$f_s = 118$	$\tau_f = 54$	$f_s = 118$
		組合せ	$\sigma_{fa} = 122^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 122$	$f_t = 205$
170体ラック	SUS304	引張り	$\sigma_{ft} = 133^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{ft} = 133$	$f_t = 205$
		せん断	$\tau_f = 54^*$	$f_s = 118$	$\tau_f = 54$	$f_s = 118$
		組合せ	$\sigma_{fa} = 162^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 162$	$f_t = 205$

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。

(5) 補強板 d

(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
110体ラック	SUS304	引張り	$\sigma_{ft} = 152^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{ft} = 152$	$f_t = 205$
		せん断	$\tau_f = 24^*$	$f_s = 118$	$\tau_f = 24$	$f_s = 118$
		組合せ	$\sigma_{fa} = 158^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 158$	$f_t = 205$
170体ラック	SUS304	引張り	$\sigma_{ft} = 171^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{ft} = 171$	$f_t = 205$
		せん断	$\tau_f = 51^*$	$f_s = 118$	$\tau_f = 51$	$f_s = 118$
		組合せ	$\sigma_{fa} = 193^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 193$	$f_t = 205$

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。

(6) 補強板 e

(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
110体ラック	SUS304	引張り	$\sigma_{ft} = 83^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{ft} = 83$	$f_t = 205$
		せん断	$\tau_f = 6^*$	$f_s = 118$	$\tau_f = 6$	$f_s = 118$
		組合せ	$\sigma_{fa} = 83^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 83$	$f_t = 205$
170体ラック	SUS304	引張り	$\sigma_{ft} = 114^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{ft} = 114$	$f_t = 205$
		せん断	$\tau_f = 9^*$	$f_s = 118$	$\tau_f = 9$	$f_s = 118$
		組合せ	$\sigma_{fa} = 115^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 115$	$f_t = 205$

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。

(7) 補強板 f

(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
110体ラック	SUS304	組合せ	$\sigma_{fa} = 59^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 59$	$f_t = 205$
170体ラック	SUS304	組合せ	$\sigma_{fa} = 98^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 98$	$f_t = 205$

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。

(8) 補強板 g

(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
110体ラック	SUS304	組合せ	$\sigma_{fa} = 4^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 4$	$f_t = 205$
170体ラック	SUS304	組合せ	$\sigma_{fa} = 6^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 6$	$f_t = 205$

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。

(9) 補強板 h

(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
110体ラック	SUS304	組合せ	$\sigma_{fa} = 58^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 58$	$f_t = 205$
170体ラック	SUS304	組合せ	$\sigma_{fa} = 76^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 76$	$f_t = 205$

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。

(10) 燃料支持板

(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
110体ラック	SUS304	組合せ	$\sigma_{fa} = 41^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 41$	$f_t = 205$
170体ラック	SUS304	組合せ	$\sigma_{fa} = 94^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 94$	$f_t = 205$

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。

(11) 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
110体ラック	SUS304	組合せ	$\sigma_{fa} = 59^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 59$	$f_t = 205$
170体ラック	SUS304	組合せ	$\sigma_{fa} = 69^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 69$	$f_t = 205$

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。

1.4.2 基礎ボルトに生じる応力

(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
110体ラック		引張り	$\sigma_b = 133^{*1}$	$f_{ts} = 455^{*2}$	$\sigma_b = 133$	$f_{ts} = 455^{*2}$
		せん断	$\tau_b = 31^{*1}$	$f_{sb} = 350$	$\tau_b = 31$	$f_{sb} = 350$
170体ラック		引張り	$\sigma_b = 149^{*1}$	$f_{ts} = 455^{*2}$	$\sigma_b = 149$	$f_{ts} = 455^{*2}$
		せん断	$\tau_b = 37^{*1}$	$f_{sb} = 350$	$\tau_b = 37$	$f_{sb} = 350$

注記*1：基準地震動 S s による算出応力の値

*2： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出
すべて許容応力以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

【使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	ラック	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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			
使用済燃料貯蔵ラック	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 O.P. 22.50*1 (O.P. 21.38)	110体ラック	0.05以下*2	—	—	C _H =2.12又は*3	C _V =1.56	—	100	—	
			170体ラック									0.05以下*2

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析により0.05秒以下であり、剛であることを確認した。

*3：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線から得られる値

2.2 機器要目

2.2.1 固有周期の算出及び部材の応力評価に用いる要目

ラック	部材	材料	A_x^* (mm ²)	A_y^* (mm ²)	A_z^* (mm ²)	I_y^* (mm ⁴)	I_z^* (mm ⁴)	Z_y^* (mm ³)	Z_z^* (mm ³)	E (MPa)
110 体ラック	角管	ボロン添加 ステンレス鋼	1.987×10^3	8.834×10^2	8.834×10^2	7.978×10^6	7.978×10^6	1.007×10^5	1.007×10^5	
	補強板 a	SUS304	1.800×10^3	1.200×10^3	1.200×10^3	1.194×10^7	2.778×10^7	1.427×10^5	1.323×10^5	1.92×10^5
	補強板 b	SUS304	7.500×10^3	5.000×10^3	5.000×10^3	6.346×10^7	5.625×10^7	6.090×10^5	3.750×10^5	1.92×10^5
	補強板 c	SUS304	2.800×10^3	1.867×10^3	1.867×10^3	1.987×10^7	1.829×10^7	2.228×10^5	1.306×10^5	1.92×10^5
	補強板 d	SUS304	2.800×10^3	1.867×10^3	1.867×10^3	1.987×10^7	1.829×10^7	2.228×10^5	1.306×10^5	1.92×10^5
	補強板 e	SUS304	7.500×10^3	5.000×10^3	5.000×10^3	6.346×10^7	5.625×10^7	6.090×10^5	3.750×10^5	1.92×10^5
170 体ラック	角管	ボロン添加 ステンレス鋼	1.987×10^3	8.834×10^2	8.834×10^2	7.978×10^6	7.978×10^6	1.007×10^5	1.007×10^5	
	補強板 a	SUS304	1.800×10^3	1.200×10^3	1.200×10^3	1.194×10^7	2.778×10^7	1.427×10^5	1.323×10^5	1.92×10^5
	補強板 b	SUS304	7.500×10^3	5.000×10^3	5.000×10^3	6.346×10^7	5.625×10^7	6.090×10^5	3.750×10^5	1.92×10^5
	補強板 c	SUS304	2.800×10^3	1.867×10^3	1.867×10^3	1.987×10^7	1.829×10^7	2.228×10^5	1.306×10^5	1.92×10^5
	補強板 d	SUS304	2.800×10^3	1.867×10^3	1.867×10^3	1.987×10^7	1.829×10^7	2.228×10^5	1.306×10^5	1.92×10^5
	補強板 e	SUS304	7.500×10^3	5.000×10^3	5.000×10^3	6.346×10^7	5.625×10^7	6.090×10^5	3.750×10^5	1.92×10^5

注記* : 各部材の局所座標系に従う。

評価部材	材料	S _y *1 (MPa)	S _y (R T) (MPa)	S _u *1 (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
角管	ボロン添加 ステンレス鋼	171*2	205*2	441*2	—	205*2
補強板	SUS304	171	205	441	—	205

注記*1：最高使用温度（100℃）で算出

*2：ボロン添加ステンレス鋼のS_y、S_uの値は、SUS304の規格値を上回っているが、安全側の評価とするため、SUS304の値を使用する。

ラック	部材	材料	t (mm)	E (MPa)	S _y *1 (MPa)	S _y (R T) (MPa)	S _u *1 (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
110体ラック	補強板 f	SUS304		1.92×10 ⁵	171	205	441	—	205
	補強板 g	SUS304		1.92×10 ⁵	171	205	441	—	205
	補強板 h	SUS304		1.92×10 ⁵	171	205	441	—	205
	燃料支持板	SUS304		1.92×10 ⁵	171	205	441	—	205
	ベース	SUS304		1.92×10 ⁵	171	205	441	—	205
170体ラック	補強板 f	SUS304		1.92×10 ⁵	171	205	441	—	205
	補強板 g	SUS304		1.92×10 ⁵	171	205	441	—	205
	補強板 h	SUS304		1.92×10 ⁵	171	205	441	—	205
	燃料支持板	SUS304		1.92×10 ⁵	171	205	441	—	205
	ベース	SUS304		1.92×10 ⁵	171	205	441	—	205

注記*1：最高使用温度（100℃）で算出

*2：部材位置は図 5-1 に示す。

*3：部材位置は図 5-2 に示す。

2.2.2 基礎ボルトの応力評価に用いる項目

ラック	m (kg)	m _F (kg)	m _R (kg)	m _W (kg)	A _b (mm ²)	C _V (-)	ℓ _{1E} (mm)	ℓ _{2E} (mm)	ℓ _{3E} (mm)	ℓ _{4E} (mm)	ℓ _{5E} (mm)	ℓ _{6E} (mm)	ℓ _{7E} (mm)	ℓ _{8E} (mm)	ℓ _{9E} (mm)	ℓ _{10E} (mm)	ℓ _{11E} (mm)	ℓ _{12E} (mm)
110 体ラック					1590	1.56	1741.5	1577.5	1413.5	1249.5	1085.5	921.5	757.5	593.5	429.5	265.5	101.5	-
170 体ラック					1590	1.56	2725.5	2561.5	2397.5	2233.5	2069.5	1905.5	1741.5	1577.5	1413.5	1249.5	1085.5	921.5

ℓ _{13E} (mm)	ℓ _{14E} (mm)	ℓ _{15E} (mm)	ℓ _{16E} (mm)	ℓ _{17E} (mm)	ℓ _{1N} (mm)	ℓ _{2N} (mm)	ℓ _{3N} (mm)	ℓ _{4N} (mm)	ℓ _{5N} (mm)	ℓ _{6N} (mm)	ℓ _{7N} (mm)	ℓ _{8N} (mm)	ℓ _{9N} (mm)	ℓ _{10N} (mm)	ℓ _{gE} (mm)	ℓ _{gN} (mm)	n _{1E} (-)	n _{2E} (-)	n _{3E} (-)
-	-	-	-	-	1568.5	1408.5	1248.5	1088.5	928.5	741.5	581.5	421.5	261.5	101.5	921.5	835	10	2	2
757.5	593.5	429.5	265.5	101.5	1568.5	1408.5	1248.5	1088.5	928.5	741.5	581.5	421.5	261.5	101.5	1413.5	835	10	2	2

n _{4E} (-)	n _{5E} (-)	n _{6E} (-)	n _{7E} (-)	n _{8E} (-)	n _{9E} (-)	n _{10E} (-)	n _{11E} (-)	n _{12E} (-)	n _{13E} (-)	n _{14E} (-)	n _{15E} (-)	n _{16E} (-)	n _{17E} (-)	n _{1N} (-)	n _{2N} (-)	n _{3N} (-)	n _{4N} (-)	n _{5N} (-)	n _{6N} (-)
2	2	2	2	2	2	2	10	-	-	-	-	-	-	11	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	17	2	2	2	2	2

n _{7N} (-)	n _{8N} (-)	n _{9N} (-)	n _{10N} (-)	n (-)
2	2	2	11	38
2	2	2	17	50

基礎ボルト材料	S _y *1 (MPa)	S _y (RT) (MPa)	S _u *1 (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)

注記*1：最高使用温度（100℃）で算出

ラック	地震の種類	F_N (N)	F_E (N)	M_N (N・mm)	M_E (N・mm)
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	1.838×10^6	1.622×10^6	5.849×10^9	4.632×10^9
170 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	2.891×10^6	2.250×10^6	8.996×10^9	7.236×10^9

2.3 計算数値

2.3.1 部材に生じる応力

(1) 角管

(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
110体ラック	ボロン添加 ステンレス鋼	引張り σ_{ft}	—	—	114	89
		せん断 τ_f	—	—	46	24
		組合せ σ_{fa}	—	—	139	98
170体ラック	ボロン添加 ステンレス鋼	引張り σ_{ft}	—	—	154	62
		せん断 τ_f	—	—	63	44
		組合せ σ_{fa}	—	—	188	98

(2) 補強板 a

(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
110体ラック	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	68	22
		せん断 τ_f	—	—	52	39
		組合せ σ_{fa}	—	—	113	71
170体ラック	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	119	21
		せん断 τ_f	—	—	71	40
		組合せ σ_{fa}	—	—	171	73

(3) 補強板 b

(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
110体ラック	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	42	24
		せん断 τ_f	—	—	37	15
		組合せ σ_{fa}	—	—	76	34
170体ラック	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	65	20
		せん断 τ_f	—	—	62	14
		組合せ σ_{fa}	—	—	126	31

(4) 補強板 c

(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
110体ラック	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	85	79
		せん断 τ_f	—	—	36	54
		組合せ σ_{fa}	—	—	105	122
170体ラック	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	133	57
		せん断 τ_f	—	—	54	43
		組合せ σ_{fa}	—	—	162	93

(5) 補強板 d

(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
110体ラック	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	113	152
		せん断 τ_f	—	—	30	24
		組合せ σ_{fa}	—	—	124	158
170体ラック	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	171	126
		せん断 τ_f	—	—	51	25
		組合せ σ_{fa}	—	—	193	133

(6) 補強板 e

(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
110体ラック	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	83	33
		せん断 τ_f	—	—	6	10
		組合せ σ_{fa}	—	—	83	37
170体ラック	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	114	31
		せん断 τ_f	—	—	9	9
		組合せ σ_{fa}	—	—	115	34

(7) 補強板 f

(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
110体ラック	SUS304	引張り σ_x	—	—	20	14
		引張り σ_y	—	—	2	2
		せん断 τ_{xy}	—	—	33	2
		組合せ σ_{fa}	—	—	59	14
170体ラック	SUS304	引張り σ_x	—	—	18	11
		引張り σ_y	—	—	1	4
		せん断 τ_{xy}	—	—	56	5
		組合せ σ_{fa}	—	—	98	13

(8) 補強板 g

(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
110体ラック	SUS304	引張り σ_x	—	—	1	1
		引張り σ_y	—	—	1	4
		せん断 τ_{xy}	—	—	2	1
		組合せ σ_{fa}	—	—	4	4
170体ラック	SUS304	引張り σ_x	—	—	2	1
		引張り σ_y	—	—	2	3
		せん断 τ_{xy}	—	—	3	0
		組合せ σ_{fa}	—	—	6	3

(9) 補強板 h

(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
110体ラック	SUS304	引張り σ_x	—	—	7	25
		引張り σ_y	—	—	53	21
		せん断 τ_{xy}	—	—	14	31
		組合せ σ_{fa}	—	—	55	58
170体ラック	SUS304	引張り σ_x	—	—	5	22
		引張り σ_y	—	—	5	17
		せん断 τ_{xy}	—	—	44	33
		組合せ σ_{fa}	—	—	76	60

(10) 燃料支持板

(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
110体ラック	SUS304	引張り σ_x	—	—	14	7
		引張り σ_y	—	—	46	18
		せん断 τ_{xy}	—	—	2	11
		組合せ σ_{fa}	—	—	41	24
170体ラック	SUS304	引張り σ_x	—	—	32	12
		引張り σ_y	—	—	106	29
		せん断 τ_{xy}	—	—	3	8
		組合せ σ_{fa}	—	—	94	28

(11) 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
110体ラック	SUS304	引張り σ_x	—	—	23	15
		引張り σ_y	—	—	67	44
		せん断 τ_{xy}	—	—	1	6
		組合せ σ_{fa}	—	—	59	40
170体ラック	SUS304	引張り σ_x	—	—	31	8
		引張り σ_y	—	—	78	40
		せん断 τ_{xy}	—	—	2	4
		組合せ σ_{fa}	—	—	69	38

2.3.2 基礎ボルトに生じる応力

(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
110体ラック		引張り σ_b	—	—	133	94
		せん断 τ_b	—	—	31	27
170体ラック		引張り σ_b	—	—	149	73
		せん断 τ_b	—	—	37	29

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.4 結論

2.4.1 部材に生じる応力

(1) 角管

(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
110体ラック	ボロン添加 ステンレス鋼	引張り	—	—	$\sigma_{ft} = 114$	$f_t = 205$
		せん断	—	—	$\tau_f = 46$	$f_s = 118$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 139$	$f_t = 205$
170体ラック	ボロン添加 ステンレス鋼	引張り	—	—	$\sigma_{ft} = 154$	$f_t = 205$
		せん断	—	—	$\tau_f = 63$	$f_s = 118$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 188$	$f_t = 205$

すべて許容応力以下である。

(2) 補強板 a

(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
110体ラック	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{ft} = 68$	$f_t = 205$
		せん断	—	—	$\tau_f = 52$	$f_s = 118$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 113$	$f_t = 205$
170体ラック	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{ft} = 119$	$f_t = 205$
		せん断	—	—	$\tau_f = 71$	$f_s = 118$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 171$	$f_t = 205$

すべて許容応力以下である。

(3) 補強板 b

(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
110体ラック	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{ft} = 42$	$f_t = 205$
		せん断	—	—	$\tau_f = 37$	$f_s = 118$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 76$	$f_t = 205$
170体ラック	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{ft} = 65$	$f_t = 205$
		せん断	—	—	$\tau_f = 62$	$f_s = 118$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 126$	$f_t = 205$

すべて許容応力以下である。

(4) 補強板 c

(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
110体ラック	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{ft} = 79$	$f_t = 205$
		せん断	—	—	$\tau_f = 54$	$f_s = 118$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 122$	$f_t = 205$
170体ラック	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{ft} = 133$	$f_t = 205$
		せん断	—	—	$\tau_f = 54$	$f_s = 118$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 162$	$f_t = 205$

すべて許容応力以下である。

(5) 補強板 d

(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
110体ラック	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{ft} = 152$	$f_t = 205$
		せん断	—	—	$\tau_f = 24$	$f_s = 118$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 158$	$f_t = 205$
170体ラック	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{ft} = 171$	$f_t = 205$
		せん断	—	—	$\tau_f = 51$	$f_s = 118$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 193$	$f_t = 205$

すべて許容応力以下である。

(6) 補強板 e

(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
110体ラック	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{ft} = 83$	$f_t = 205$
		せん断	—	—	$\tau_f = 6$	$f_s = 118$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 83$	$f_t = 205$
170体ラック	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{ft} = 114$	$f_t = 205$
		せん断	—	—	$\tau_f = 9$	$f_s = 118$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 115$	$f_t = 205$

すべて許容応力以下である。

(7) 補強板 f

(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
110体ラック	SUS304	組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 59$	$f_t = 205$
170体ラック	SUS304	組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 98$	$f_t = 205$

すべて許容応力以下である。

(8) 補強板 g

(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
110体ラック	SUS304	組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 4$	$f_t = 205$
170体ラック	SUS304	組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 6$	$f_t = 205$

すべて許容応力以下である。

(9) 補強板 h

(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
110体ラック	SUS304	組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 58$	$f_t = 205$
170体ラック	SUS304	組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 76$	$f_t = 205$

すべて許容応力以下である。

(10) 燃料支持板

(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
110体ラック	SUS304	組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 41$	$f_t = 205$
170体ラック	SUS304	組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 94$	$f_t = 205$

すべて許容応力以下である。

(11) 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
110体ラック	SUS304	組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 59$	$f_t = 205$
170体ラック	SUS304	組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 69$	$f_t = 205$

すべて許容応力以下である。

2.4.2 基礎ボルトに生じる応力

(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
110体ラック		引張り	—	—	$\sigma_b = 133$	$f_{ts} = 444^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 31$	$f_{sb} = 341$
170体ラック		引張り	—	—	$\sigma_b = 149$	$f_{ts} = 444^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 37$	$f_{sb} = 341$

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出
すべて許容応力以下である。

VI-2-4-2-3 制御棒・破損燃料貯蔵ラック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	適用規格・基準等	3
2.4	記号の説明	4
2.5	計算精度と数値の丸め方	6
3.	評価部位	6
4.	固有周期	7
4.1	固有値解析方法	7
4.2	解析モデル及び諸元	7
4.3	固有値解析結果	9
5.	構造強度評価	11
5.1	構造強度評価方法	11
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	13
5.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	13
5.2.2	許容応力	13
5.2.3	使用材料の許容応力評価条件	13
5.3	設計用地震力	18
5.4	計算方法	20
5.4.1	ラック部材の応力	20
5.4.2	ラック基礎ボルトの応力	22
5.4.3	支持ビーム部材の応力	24
5.4.4	支持ビーム基礎ボルトの応力	26
5.5	計算条件	28
5.6	応力の評価	28
5.6.1	部材の応力評価	28
5.6.2	基礎ボルトの応力評価	28
6.	評価結果	29
6.1	設計基準対象施設としての評価結果	29
6.2	重大事故等対処設備としての評価結果	29

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、制御棒・破損燃料貯蔵ラック（以下「ラック」という。）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。

ラックは、設計基準対象施設においてはSクラス施設、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、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ラックの構造計画を表 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	
<p>ラックは、たて置ラック式でベースが使用済燃料プールの底に基礎ボルトを介して固定され、さらに、側壁から支持ビームを介して支持される。</p> <p>底部基礎ボルトは使用済燃料プール床のネジ座に締結され、ネジ座にはネジ棒及びターンバックルを介して埋込ボルトが接続される。</p> <p>支持ビーム基礎ボルトは使用済燃料プール壁のネジ座に締結され、ネジ座には埋込ボルトが接続される。</p> <p>なお、ネジ座、ネジ棒、ターンバックル及び埋込ボルトは、使用済燃料プール床及び壁のコンクリートに埋込まれている。</p>	<p>アルミニウム合金製筒型枠組構造。</p> <p>ラックには破損燃料貯蔵コンテナに入った破損燃料及び制御棒が貯蔵される。</p>	<p>ネジ座 埋込ボルト 支持ビーム 基礎ボルト プール壁面 埋込金物 Bから見る ナット プール底部 底部基礎ボルト ネジ座 ネジ棒 ターンバックル 埋込金物 埋込ボルト ナット Aから見る (単位: mm)</p> <p>支持ビーム 制御棒・破損燃料貯蔵ラック A B 1728 611</p>

2.2 評価方針

ラックの応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「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」にて示すラックの部位を踏まえ「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設計用地震力による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。

ラックの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

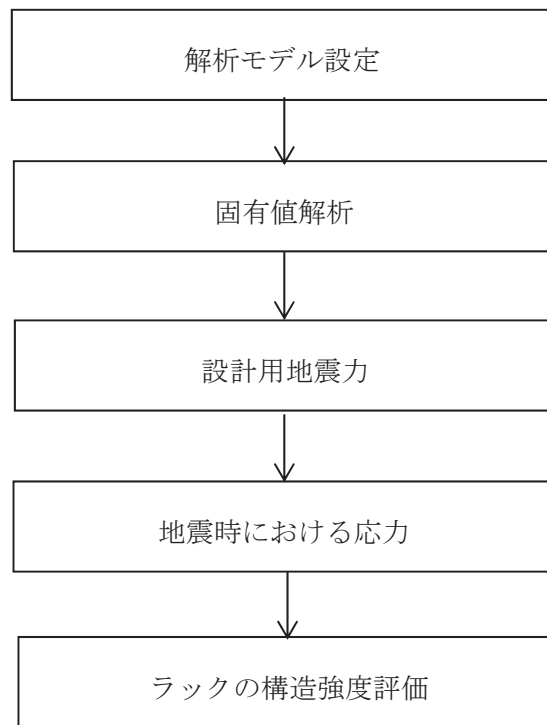


図 2-1 ラックの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 - 1987）
- (2) 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）
- (3) 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）
- (4) J S M E S N C 1 - 2005/2007 発電用原子力設備規格設計・建設規格（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	ラック部材の断面積	mm ²
A _B	支持ビームの断面積	mm ²
A _i	ラック部材のせん断断面積	mm ²
A _{S i}	ラックベースのせん断断面積	mm ²
A _{BH} , A _{BV}	支持ビームのせん断断面積	mm ²
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	—
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 _a	ラックに働く軸力	N
F _{BH i} , F _{BV i}	支持ビームに働くせん断力	N
F _{E i}	支持ビームに働く軸力	N
F _i	ラックに働くせん断力	N
F _{SB}	ラック支持部に働くせん断力	N
F _{SC}	ラック底部に働くせん断力	N
f _j	ラック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基礎ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（g=9.80665）	m/s ²
G	せん断弾性係数	MPa
h ₁	破損燃料貯蔵時のラック重心高さ	mm
h ₂	破損燃料貯蔵時のラック重心より支持点までの高さ	mm
h ₃	支持ビーム中心からラック支持点までの高さ	mm
I _i	ラックの断面二次モーメント	mm ⁴
I _{S i}	ラックベースの断面二次モーメント	mm ⁴
L _j	各質点間の距離	mm
ℓ _{gB}	支持ビーム当板端から重心までの距離	mm
ℓ _{g i}	ラックベース端から重心までの距離	mm
ℓ _j	ラックベース端から基礎ボルトまでの距離	mm
M _{BH i} , M _{BV i}	支持ビームに働くモーメント	N・mm
M _i	ラックに働くモーメント	N・mm

記号	記号の説明	単位
M_{SB}	ラック重心位置に働くモーメント	N・mm
M_{SC}	ベース底部に働くモーメント	N・mm
m	破損燃料貯蔵時のラック全質量	kg
m_B	支持ビームの質量	kg
m_C	破損燃料コンテナの質量	kg
m_F	破損燃料の質量	kg
m_R	ラックの質量	kg
m_W	ラックに含まれる水の質量	kg
m_{jH}, m_{jV}	各質点の質量	kg
N_{pm}	支持ビーム基礎ボルトに働く最大引張力 (1本当たり)	N
n_B	支持ビーム基礎ボルトの全本数	—
n_R	ラック基礎ボルトの全本数	—
n_j	各部の基礎ボルトの本数	—
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
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
Z_{BH}, Z_{BV}	支持ビーム部材の断面係数	mm ³
Z_i	ラック部材の断面係数	mm ³
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{fa}	部材に生じる組合せ応力	MPa
σ_{ft}	部材に生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_f	部材に生じるせん断応力	MPa

注1: $A_i, A_{Si}, F_{BHi}, F_{BVi}, F_{Ei}, F_i, I_i, I_{Si}, \varrho_{gi}, M_{BHi}, M_{BVi}, M_i$ 及び
 Z_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = N : NS$ (短辺) 方向

$i = E : EW$ (長辺) 方向

注2: f_j, ϱ_j 及び n_j の添字 j はボルトの列番号を示すものとする。

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 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
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	℃	小数点以下第 1 位	四捨五入	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	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*3}

注記*1：設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*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。

3. 評価部位

ラックの耐震評価は、「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ラック本体、支持ビーム本体、ラック基礎ボルト及び支持ビーム基礎ボルトについて実施する。

ラック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 固有値解析方法

ラックの固有値解析方法を以下に示す。

- (1) ラックの短辺方向，長辺方向及び鉛直方向の各々について，「4.2 解析モデル及び諸元」に示す1次元多質点系モデルとして考える。

4.2 解析モデル及び諸元

ラックの解析モデルを図 4-1 に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を本計算書の【制御棒・破損燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) ラックの短辺方向及び長辺方向については，ラック自身の質量，ラックに含まれる水の質量及び管外径周りの水の付加質量*は，ラック全高にわたって均等となるよう，各要素の長さに比例して，各質点に振り分ける。また，破損燃料の質量及び破損燃料貯蔵コンテナの質量は，重心位置に加える。
- (2) ラックの鉛直方向について，ラック自身の質量は，ラック全高にわたって均等となるよう，各要素の長さに比例して，各質点に振り分ける。また，破損燃料の質量，破損燃料貯蔵コンテナの質量，ラックに含まれる水の質量及び管外径周りの水の付加質量*は，ラックベース上面位置に加える。
- (3) ラック部材及びラックベース部材の断面性能としては，せん断断面積及び断面二次モーメントを考慮するものとする。
- (4) 拘束条件としては，ベース底部で燃料プール床に完全に固定されているものとする。なお，基礎ボルト部は剛体として評価する。また，短辺方向については，支持ビームにより上部がピン支持されているものとする。
- (5) 解析コードは，「MSC NASTRAN」を使用し，固有値を求める。なお，解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

注記*：機器が流体中で加速度を受けた場合に質量が増加したような効果を模擬した質量

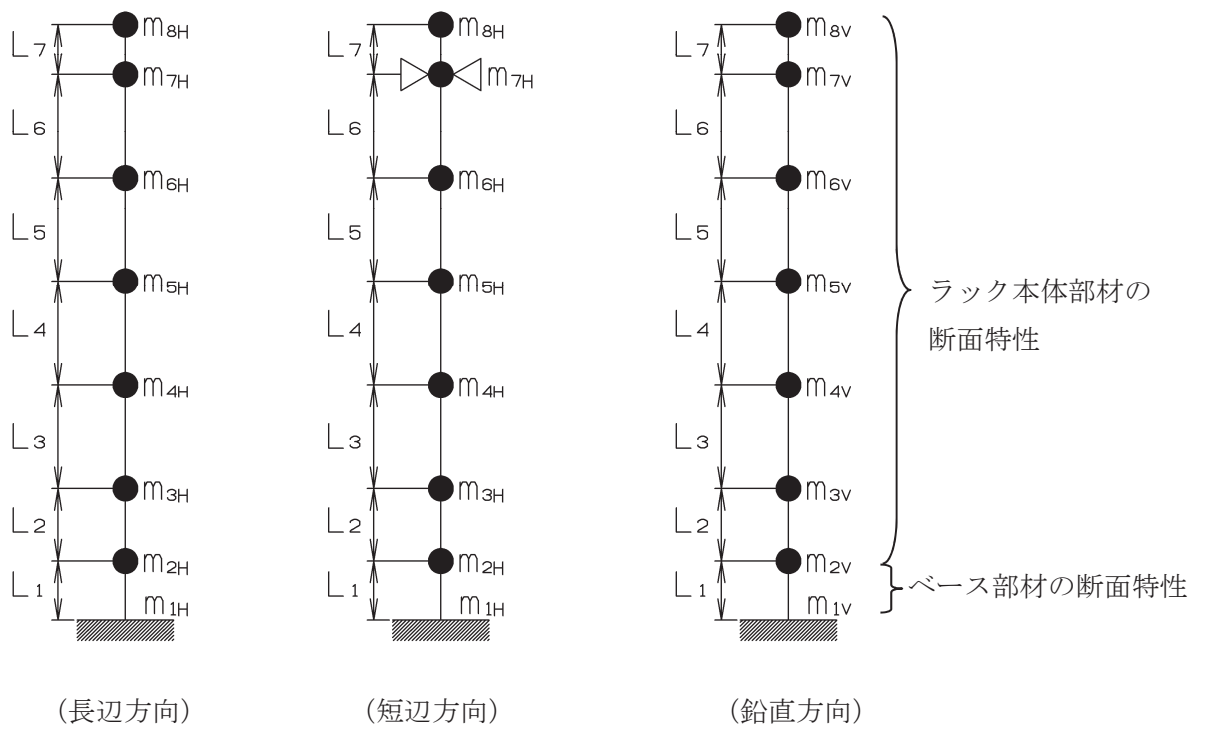


図 4-1 解析モデル図

4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-1 に、各モードにおける固有ベクトルの大きさを示した振動モード図を図 4-2～図 4-5 に示す。固有周期は、0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期

方向		モード	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向 刺激係数*
				X方向	Y方向	
水平方向	NS方向	1次	0.05	—	—	—
	EW方向	1次		2.779	0.000	0.000
		2次		—	—	—
鉛直方向		1次		—	—	—

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

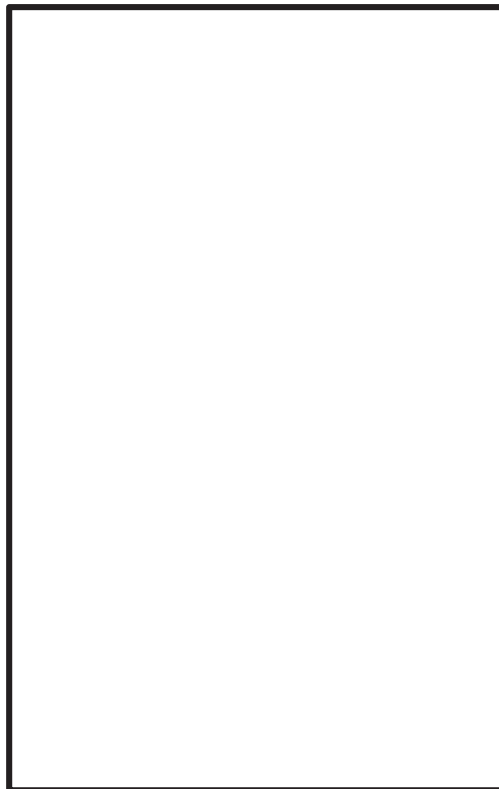


図 4-2 振動モード (1次モード NS方向 s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

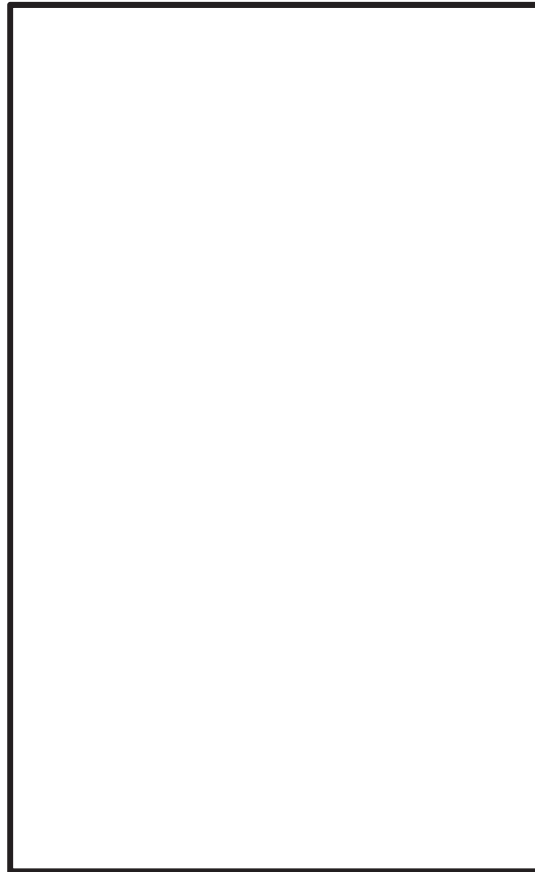


図 4-3 振動モード (1 次モード EW方向 [] s)

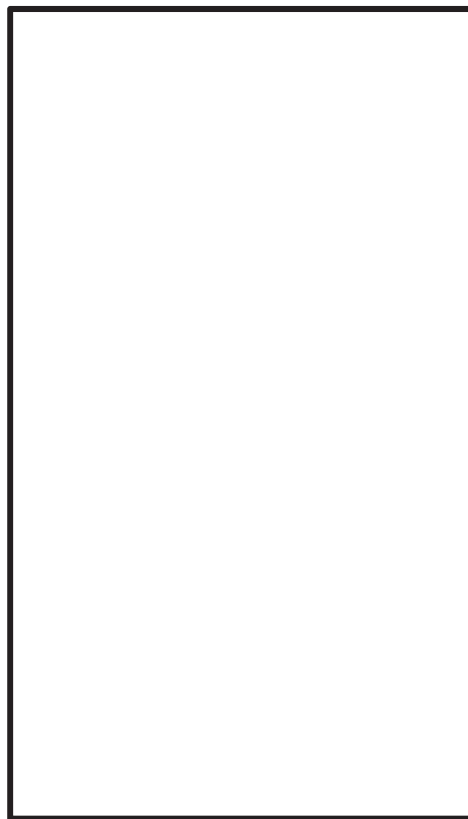


図 4-4 振動モード (2 次モード EW方向 [] s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 4-5 振動モード (1 次モード 鉛直方向 s)

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) ラックは、原子炉建屋の使用済燃料プールの底部 (O.P. 21.38m) に基礎ボルトで固定され、さらに、支持ビームにより短辺方向の上部を支持されるものとする。
- (2) ラックの質量には、破損燃料と破損燃料コンテナ 10 本の質量、ラックの自身の質量、ラックに含まれる水の質量及び管外径周りの水の付加質量を考慮する。
- (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) ラックの構造概要図を図 5-1 に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

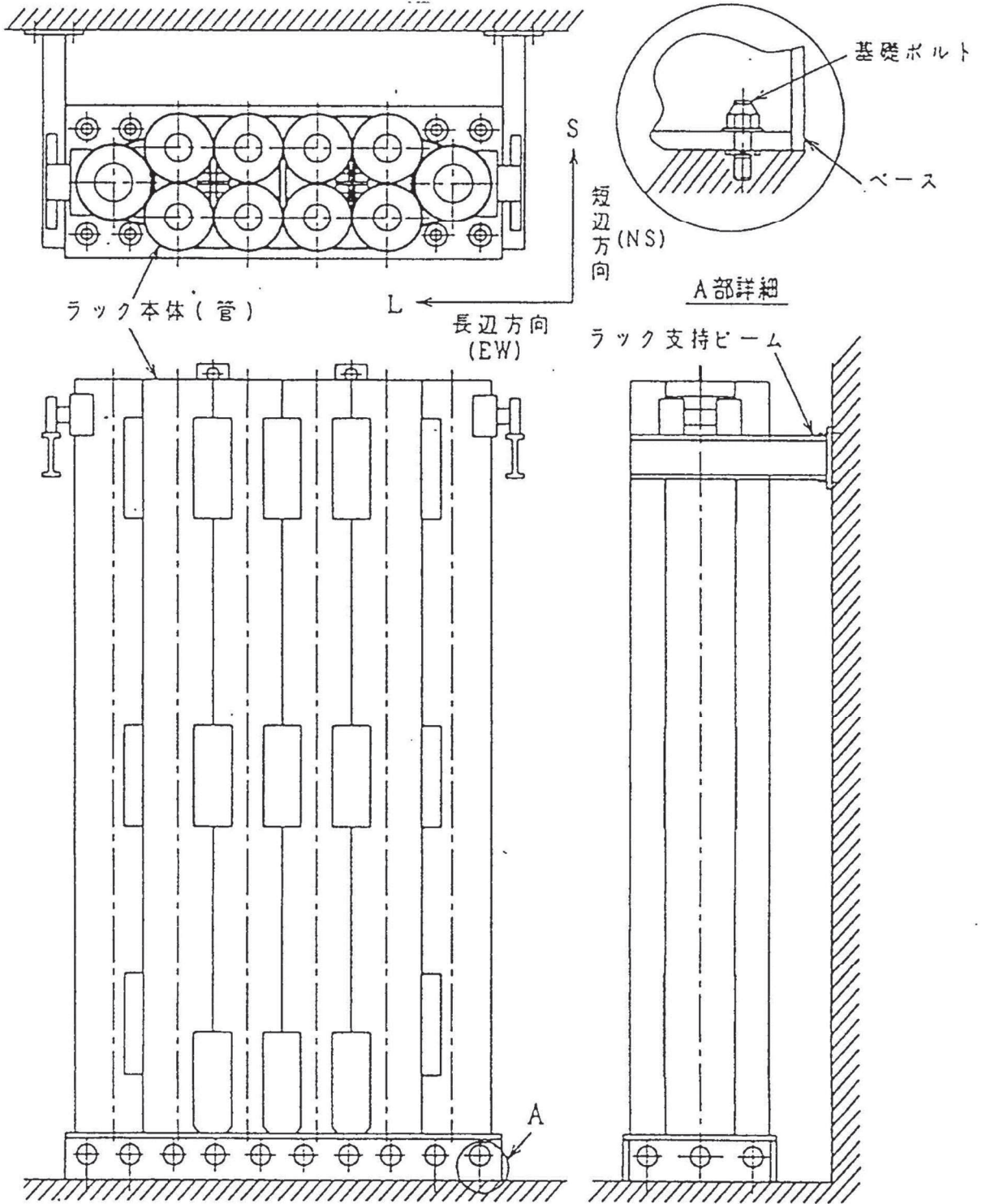


図 5-1 構造概要図

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

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 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

ラックの許容応力は，添付資料「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ラックの許容応力評価条件のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 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
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	制御棒・ 破損燃料 貯蔵ラック	S	—*1	$D + P_D + M_D + S_d^{*2}$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*1：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。

*2：S_sとの組み合わせ、Ⅲ_ASの評価を実施する。

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
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	制御棒・ 破損燃料 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
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	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／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等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 5-3 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} (ボルト等以外)			許容限界 ^{*1, *2} (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
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
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 5-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y *1 (MPa)	S _u *1 (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
ラック本体 (管)	A6063TE-T5	最高使用温度	66	—			
支持ビーム本体	SUS304	最高使用温度	66	—			
ラック基礎ボルト		最高使用温度	66	—			
支持ビーム基礎ボルト		最高使用温度	66	—			

注記*1：最高使用温度 (66°C) で算出

*2：JIS H4080「アルミニウム及びアルミニウム合金継目無管」の引張強さと降伏点 (0.2%耐力) の値を使用する。

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y *1 (MPa)	S _u *1 (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度	100				
ラック本体 (管)	A6063TE-T5	最高使用温度	100	—			
支持ビーム本体	SUS304	最高使用温度	100	—			
ラック基礎ボルト		最高使用温度	100	—			
支持ビーム基礎ボルト		最高使用温度	100	—			

注記*1：最高使用温度 (100°C) で算出

*2：JIS H4080「アルミニウム及びアルミニウム合金継目無管」の引張強さと降伏点 (0.2%耐力) の値を使用する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.3 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

表 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉建屋 O.P. 22.50* ¹ (O.P. 21.38)			
固有周期(s)					
減衰定数(%)		NS : - EW : 1.0* ⁴ 鉛直 : -			
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
方向	固有周期(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
EW方向		4.09* ³	-* ³	6.21	-
		-* ³	-* ³	-	-
	動的地震力	1.13* ³	0.91* ³	2.12	1.56
	静的地震力	0.92* ³	0.29* ³	-	-

注記*1：上階の基準床レベルを示す。

*2：固有値解析により、0.05秒以下であり、剛であることを確認した。

*3：Ⅲ_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。

*4：溶接構造物に適応される減衰定数の値

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉建屋 0.P. 22.50* ¹ (0.P. 21.38)			
固有周期(s)					
減衰定数(%)		NS : - EW : 1.0* ³ 鉛直 : -			
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
方向	固有周期(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
EW方向		-	-	6.21	-
		-	-	-	-
	動的地震力	-	-	2.12	1.56
	静的地震力	-	-	-	-

注記*1：上階の基準床レベルを示す。

*2：固有値解析により，0.05秒以下であり，剛であることを確認した。

*3：溶接構造物に適応される減衰定数の値

5.4 計算方法

5.4.1 ラック部材の応力

地震時にラック底部に働くせん断力 F_E 、 F_{SC} 、ラック支持部に働くせん断力 F_{SB} 、ラック底部に働くモーメント M_E 、 M_{SC} 、ラック重心位置に働くモーメント M_{SB} 及びラックに働く軸力 F_a が、図5-2のように負荷されるものとして、ラック部材の応力を求める。

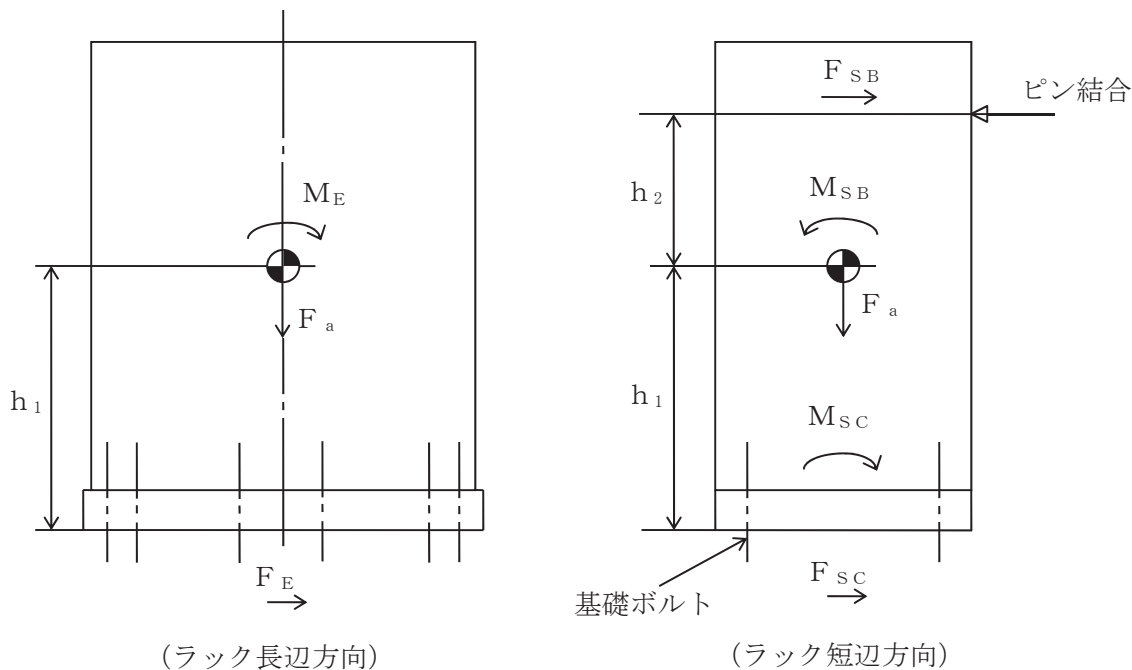


図5-2 荷重状態

ラック全質量 m は(5.1)式により求める。

$$m = m_R + m_C + m_F + m_W \quad \dots \quad (5.1)$$

(1) 引張応力

ラックに働く軸力 F_a 及びラックに働くモーメント M_i により、ラック部材に生じる引張応力 σ_{ft} は、(5.2)式より求める。

$$\sigma_{ft} = \frac{F_a}{A} + \frac{M_i}{Z_i} \quad \dots \quad (5.2)$$

ここで、ラックに働く軸力 F_a 及びラックに働くモーメント M_i は、(5.3)、(5.4)、(5.5)、(5.6)及び(5.7)式より求める。

$$F_a = (1 + C_v) \cdot m \cdot g \quad \dots \quad (5.3)$$

$$M_N = \text{Max}(M_{SB}, M_{SC}) \quad \dots \quad (5.4)$$

$$M_{SB} = \frac{m \cdot C_H \cdot g \cdot h_1^2 \cdot h_2}{2 \cdot (h_1 + h_2)^3} \cdot (2 \cdot h_1 + 3 \cdot h_2) \dots\dots\dots (5.5)$$

$$M_{SC} = \frac{m \cdot C_H \cdot g \cdot h_1 \cdot h_2}{2 \cdot (h_1 + h_2)^2} \cdot (h_1 + 2 \cdot h_2) \dots\dots\dots (5.6)$$

$$M_E = F_E \cdot h_1 \dots\dots\dots (5.7)$$

(2) せん断応力

せん断力 F_i により，ラック部材に生じるせん断応力 τ_f は，(5.8)式より求める。

$$\tau_f = \frac{F_i}{A_i} \dots\dots\dots (5.8)$$

ここで，ラック部材に働くせん断力 F_i は，(5.9)，(5.10)，(5.11)，(5.12)式より求める。

$$F_N = \text{Max}(F_{SB}, F_{SC}) \dots\dots\dots (5.9)$$

$$F_{SB} = \frac{m \cdot C_H \cdot g \cdot h_1^2}{2 \cdot (h_1 + h_2)^3} \cdot (2 \cdot h_1 + 3 \cdot h_2) \dots\dots\dots (5.10)$$

$$F_{SC} = \frac{m \cdot C_H \cdot g \cdot h_2}{2 \cdot (h_1 + h_2)^3} \cdot (3 \cdot h_1^2 + 6 \cdot h_1 \cdot h_2 + 2 \cdot h_2^2) \dots\dots\dots (5.11)$$

$$F_E = C_H \cdot m \cdot g \dots\dots\dots (5.12)$$

(3) 組合せ応力

ラック部材に生じる組合せ応力 σ_{fa} は，(5.13)式より求める。

$$\sigma_{fa} = \sqrt{\sigma_{ft}^2 + 3 \cdot \tau_f^2} \dots\dots\dots (5.13)$$

5.4.2 ラック基礎ボルトの応力

地震時にラックベース底部に働くせん断力 F_i 及びモーメント M_i が、図5-3のように負荷されるものとしてラック基礎ボルトの応力を求める。

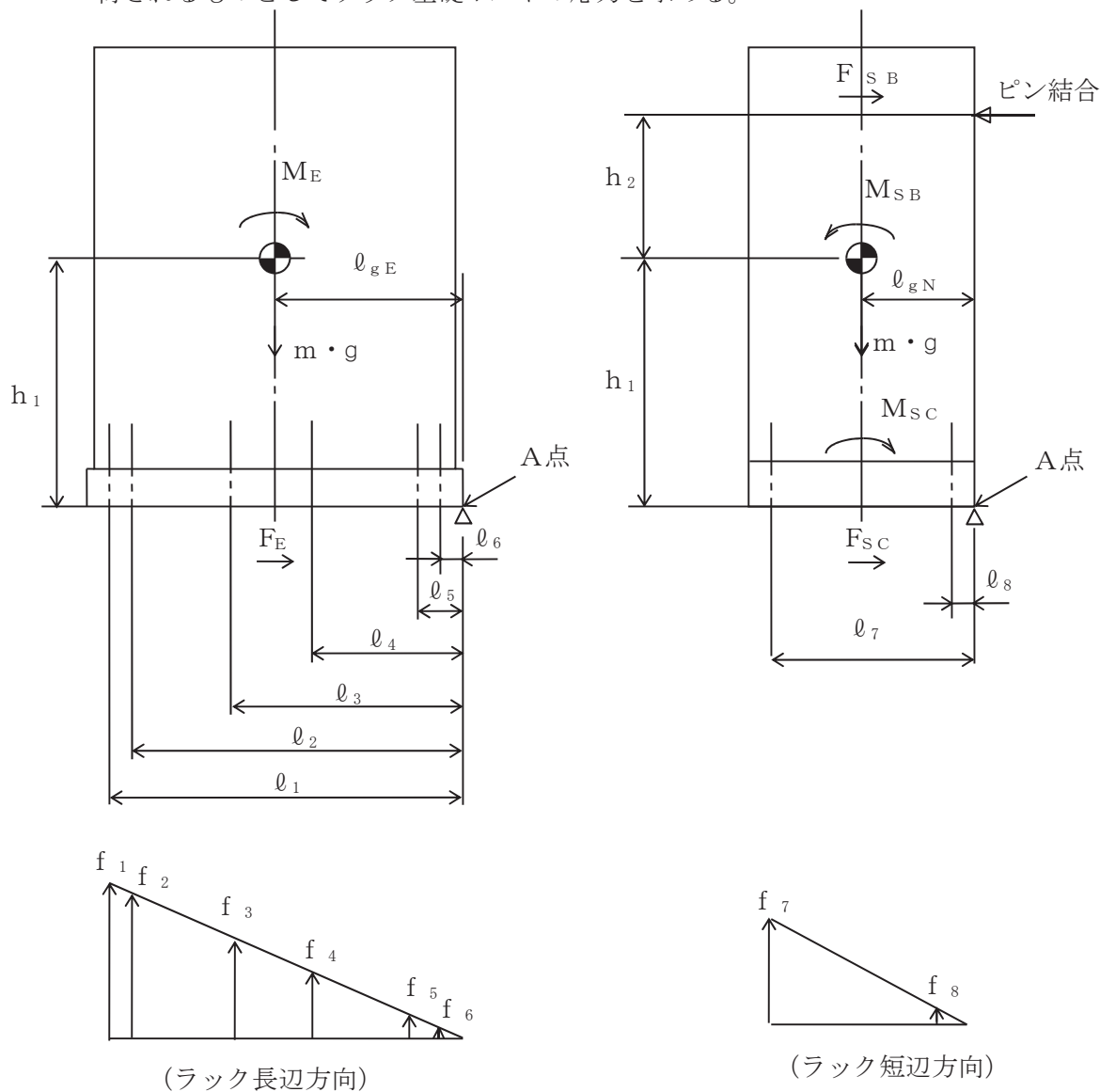


図 5-3 荷重状態

(1) 引張応力

図 5-3 においてラックの長辺方向を例にとり A 点まわりのモーメントの釣合いによりラック基礎ボルト 1 本あたりに働く引張力 f_j を求める。

$f_1 > f_2 > \dots > f_6$ の関係にあるので f_1 のみを求める。

$$f_1 = \frac{\ell_1 \cdot \left\{ \sqrt{M_E^2 + (C_V \cdot m \cdot g \cdot \ell_{gE})^2} - m \cdot g \cdot \ell_{gE} \right\}}{n_1 \cdot \ell_1^2 + n_2 \cdot \ell_2^2 + \dots + n_5 \cdot \ell_5^2 + n_6 \cdot \ell_6^2} \dots \dots \dots (5.14)$$

引張力 f_1 によりラック基礎ボルトに生じる引張応力 σ_b は、(5.15)式より求める。

$$\sigma_b = \frac{f_1}{A_b} \dots\dots\dots (5.15)$$

ここで、ラックに働くモーメント M_i は、(5.16)及び(5.17)式より求める。

$$M_N = M_{SC} = \frac{m \cdot C_H \cdot g \cdot h_1 \cdot h_2}{2 \cdot (h_1 + h_2)^2} \cdot (h_1 + 2 \cdot h_2) \dots\dots\dots (5.16)$$

$$M_E = F_E \cdot h_1 \dots\dots\dots (5.17)$$

ただし、 f_1 の値が負のときは基礎ボルトに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 F_i により、ラック基礎ボルトに生じるせん断力 τ_b は、(5.18)式より求める。

$$\tau_b = \frac{F_i}{n_R \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.18)$$

ラックに働くせん断力 F_i は、(5.19)及び(5.20)式より求める。

$$F_N = F_{SC} = \frac{m \cdot C_H \cdot g \cdot h_2}{2 \cdot (h_1 + h_2)^3} \cdot (3 \cdot h_1^2 + 6 \cdot h_1 \cdot h_2 + 2 \cdot h_2^2) \dots\dots (5.19)$$

$$F_E = C_H \cdot m \cdot g \dots\dots\dots (5.20)$$

5.4.3 支持ビーム部材の応力

地震時に、支持ビーム部材に働く軸力 F_{Ei} 、せん断力 F_{BHi} 、 F_{BVi} 及び曲げモーメント M_{BHi} 、 M_{BVi} が、図5-4に示すように負荷されるものとして支持ビーム部材の応力を求める。

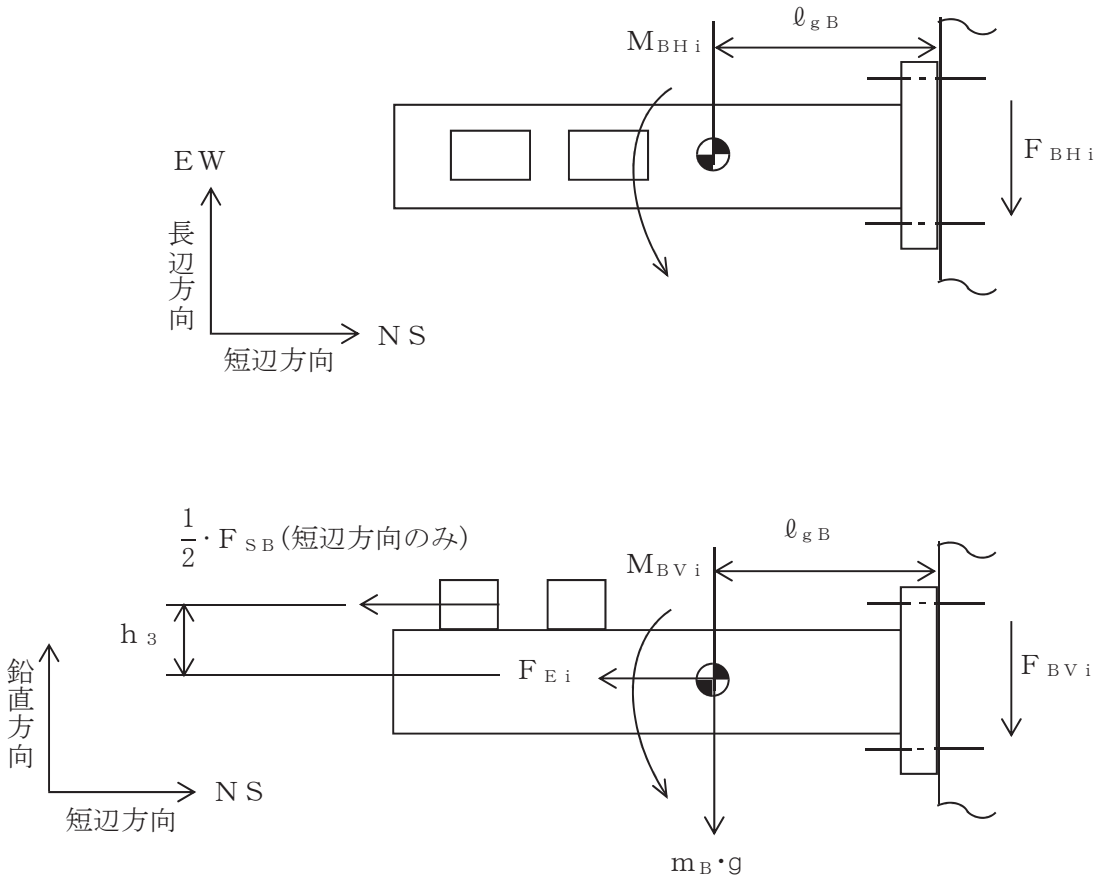


図5-4 荷重状態

(1) 引張応力

支持ビーム部材に働く軸力 F_{Ei} 及び曲げモーメント M_{BVi} 、 M_{BHi} により支持ビーム部材に生じる引張応力 σ_{ft} は、(5.21)式より求める。

$$\sigma_{ft} = \frac{F_{Ei}}{A_B} + \frac{M_{BHi}}{Z_{BH}} + \frac{M_{BVi}}{Z_{BV}} \dots\dots\dots (5.21)$$

ここで、支持ビーム部材に働く軸力 F_{Ei} 及び曲げモーメント M_{BHi} 、 M_{BVi} を(5.22)、(5.23)、(5.24)、(5.25)、(5.26)及び(5.27)式により求める。

$$F_{EN} = \frac{1}{2} \cdot F_{SB} + C_H \cdot m_B \cdot g \dots\dots\dots (5.22)$$

$$F_{EE} = 0 \dots\dots\dots (5.23)$$

$$M_{BVN} = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot F_{SB} \cdot h_3\right)^2 + (C_V \cdot m_B \cdot g \cdot \ell_{gB})^2} + m_B \cdot g \cdot \ell_{gB} \quad \dots (5.24)$$

$$M_{BVE} = (1 + C_V) \cdot m_B \cdot g \cdot \ell_{gB} \quad \dots (5.25)$$

$$M_{BHN} = 0 \quad \dots (5.26)$$

$$M_{BHE} = C_H \cdot m_B \cdot g \cdot \ell_{gB} \quad \dots (5.27)$$

(2) せん断応力

支持ビーム部材に働くせん断力 F_{BHi} , F_{BVi} により支持ビーム部材に生じるせん断応力 τ_f は, (5.28)式より求める。

$$\tau_f = \sqrt{\left(\frac{F_{BHi}}{A_{BH}}\right)^2 + \left(\frac{F_{BVi}}{A_{BV}}\right)^2} \quad \dots (5.28)$$

支持ビーム部材に働くせん断力 F_{BHi} , F_{BVi} を (5.29), (5.30) 及び (5.31) 式により求める。

$$F_{BHN} = 0 \quad \dots (5.29)$$

$$F_{BHE} = C_H \cdot m_B \cdot g \quad \dots (5.30)$$

$$F_{BVi} = (1 + C_V) \cdot m_B \cdot g \quad \dots (5.31)$$

(3) 組合せ応力

支持ビーム部材に生じる組合せ応力 σ_{fa} は, (5.32)式より求める。

$$\sigma_{fa} = \sqrt{\sigma_{ft}^2 + 3 \cdot \tau_f^2} \quad \dots (5.32)$$

5.4.4 支持ビーム基礎ボルトの応力

地震時に、支持ビームに働く軸力 F_{Ei} 、せん断力 F_{BHi} 、 F_{BVi} 及び曲げモーメント M_{BHi} 、 M_{BVi} が、図5-5のように負荷されるものとして支持ビーム基礎ボルトの応力を求める。

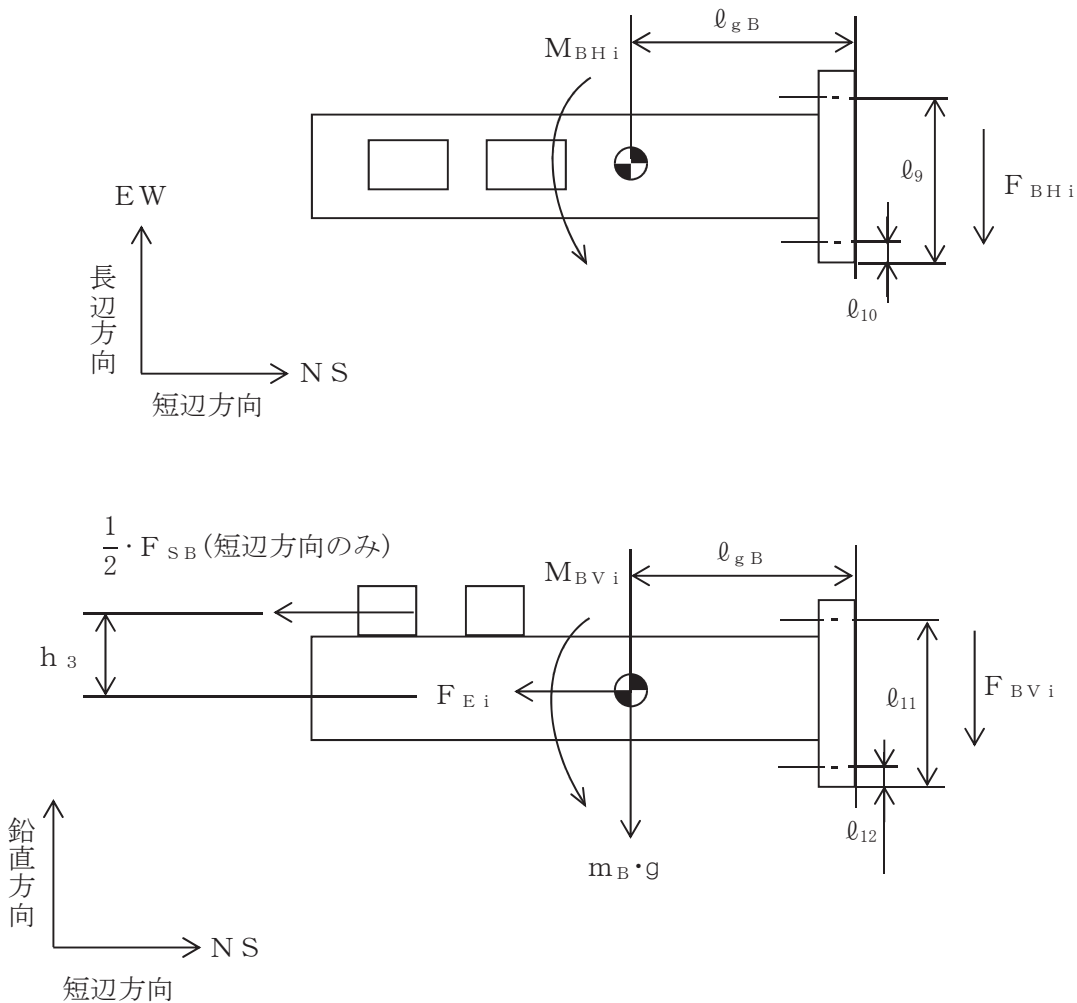


図 5-5 荷重状態

(1) 引張応力

支持ビームに働く曲げモーメント M_{BVi} 、 M_{BHi} により生じる支持ビーム基礎ボルト1本当たりの引張力 N_{pm} 及び、支持ビームに働く軸力 F_{Ei} により支持ビーム基礎ボルトに生じる引張応力 σ_b は、(5.33)式より求める。

$$\sigma_b = \frac{N_{pm}}{A_b} + \frac{F_{Ei}}{n_B \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.33)$$

ここで、支持ビーム基礎ボルト 1 本当たりの最大引張力 N_{pm} は、(5.34) 式より求める。

$$N_{pm} = \frac{\ell_9 \cdot M_{BH i}}{n_9 \cdot \ell_9^2 + n_{10} \cdot \ell_{10}^2} + \frac{\ell_{11} \cdot M_{BV i}}{n_{11} \cdot \ell_{11}^2 + n_{12} \cdot \ell_{12}^2} \dots\dots\dots (5.34)$$

支持ビームに働く軸力 $F_{E i}$ 及び曲げモーメント $M_{BH i}$ 、 $M_{BV i}$ を(5.35)、(5.36)、(5.37)、(5.38)、(5.39) 及び(5.40) 式により求める。

$$F_{EN} = \frac{1}{2} \cdot F_{SB} + C_H \cdot m_B \cdot g \dots\dots\dots (5.35)$$

$$F_{EE} = 0 \dots\dots\dots (5.36)$$

$$M_{BVN} = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot F_{SB} \cdot h_3\right)^2 + (C_V \cdot m_B \cdot g \cdot \ell_{gB})^2} + m_B \cdot g \cdot \ell_{gB} \dots\dots (5.37)$$

$$M_{BVE} = (1 + C_V) \cdot m_B \cdot g \cdot \ell_{gB} \dots\dots\dots (5.38)$$

$$M_{BHN} = 0 \dots\dots\dots (5.39)$$

$$M_{BHE} = C_H \cdot m_B \cdot g \cdot \ell_{gB} \dots\dots\dots (5.40)$$

(2) せん断応力

支持ビームに働くせん断力 $F_{BH i}$ 、 $F_{BV i}$ により支持ビーム基礎ボルトに生じるせん断応力 τ_b は、(5.41) 式より求める。

$$\tau_b = \frac{\sqrt{F_{BH i}^2 + F_{BV i}^2}}{n_B \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.41)$$

支持ビームに働くせん断力 $F_{BH i}$ 、 $F_{BV i}$ を(5.42)、(5.43) 及び(5.44) 式により求める。

$$F_{BHN} = 0 \dots\dots\dots (5.42)$$

$$F_{BHE} = C_H \cdot m_B \cdot g \dots\dots\dots (5.43)$$

$$F_{BVi} = (1 + C_V) \cdot m_B \cdot g \dots\dots\dots (5.44)$$

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【制御棒・破損燃料貯蔵ラック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。

5.6 応力の評価

5.6.1 部材の応力評価

5.4.1 項及び 5.4.3 項で求めた各部材の引張応力 σ_{ft} 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、5.4.1 項及び 5.4.3 項で求めた各部材のせん断応力 τ_f 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	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5^{*1}$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5^{*1}$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5^{*1}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5^{*1}$

注記*1 : A6063TE-T5 の F 及び F* は、日本産業規格 JIS H4080 「アルミニウム及びアルミニウム合金継目無管」の引張強さと降伏点 (0.2%耐力) の値を用いて、設計・建設規格 SSB-3121.1 及び SSB-3121.3 に準じて求める。

5.6.2 基礎ボルトの応力評価

5.4.2 項及び 5.4.4 項で求めた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、5.4.2 項及び 5.4.4 項で求めた基礎ボルトのせん断応力 τ_b が、せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \dots \dots \dots (5.45)$$

かつ

$$f_{ts} \leq f_{to} \quad \dots \dots \dots (5.46)$$

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}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

ラック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頁以降の表に示す。なお、弾性設計用地震動 S_d による動的震度及び静的震度は、基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足したため、弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度による発生値の算出を省略した。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ラック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頁以降の表に示す。

【制御棒・破損燃料貯蔵ラック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)	方向	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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	S	原子炉建屋 O.P. 22.50*1 (O.P. 21.38)	NS方向	0.05以下*2	0.05以下*2	—*3	—*3	C _H =2.65	C _V =1.56	—	66	—
			EW方向					C _H =6.21				

注記*1：上階の基準床レベルを示す。

*2：固有値解析により 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

*3：Ⅲ_AS については，基準地震動 S s で評価する。

1.2 ラック部材の応力評価に用いる要目

m (kg)	m _C (kg)	m _F (kg)	m _R (kg)	m _w (kg)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	A (mm ²)	A _N (mm ²)	A _E (mm ²)	Z _N (mm ³)	Z _E (mm ³)
							4.589×10 ⁴	2.294×10 ⁴	2.294×10 ⁴	3.885×10 ⁶	1.152×10 ⁷

材料	S _y *1 (MPa)	S _u *1 (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
A6063TE-T5				

注記*1：JIS H4080「アルミニウム及びアルミニウム合金継目無管」の引張強さと降伏点（0.2%耐力）の値を使用する。

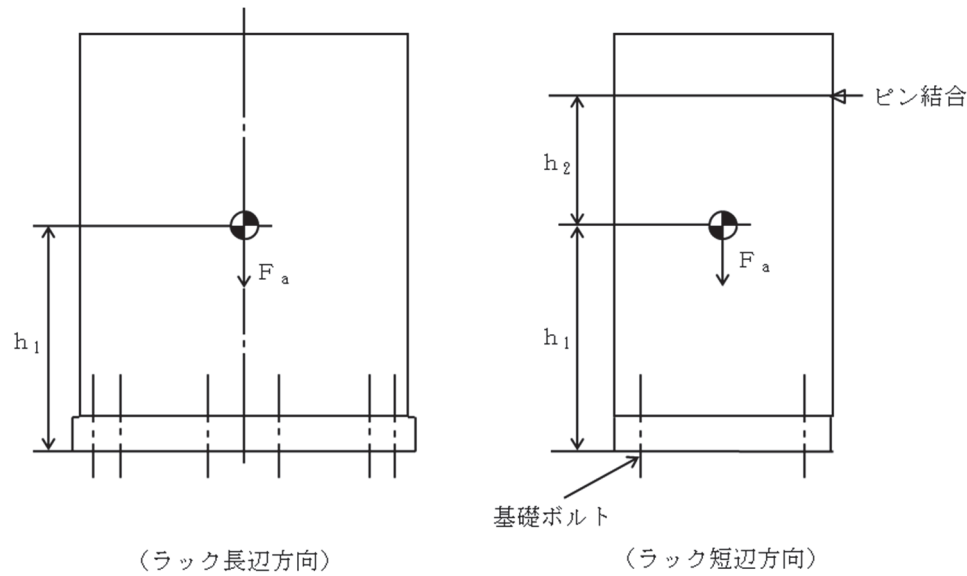


図 6-1 ラック概要図

31

1.3 ラック基礎ボルトの応力評価に用いる要目

m (kg)	m _C (kg)	m _F (kg)	m _R (kg)	m _w (kg)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)	ℓ ₈ (mm)	ℓ _{GN} (mm)	ℓ _{GE} (mm)	A _b (mm ²)	n _R (-)	n ₁ (-)	n ₂ (-)
					1639.5	1466.5	947.5	774.5	255.5	82.5	512.5	92.5	302.5	861	1.018×10 ³	12	2	2

n ₃ (-)	n ₄ (-)	n ₅ (-)	n ₆ (-)	n ₇ (-)	n ₈ (-)
2	2	2	2	6	6

材料	S _y ^{*1} (MPa)	S _y (RT) (MPa)	S _u ^{*1} (MPa)	F (MPa)	F [*] (MPa)

注記*1：最高使用温度（66℃）で算出

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.4 支持ビーム部材及び支持ビーム基礎ボルトの応力評価に用いる要目

m_B (kg)	ℓ_9 (mm)	ℓ_{10} (mm)	ℓ_{11} (mm)	ℓ_{12} (mm)	ℓ_{gB} (mm)	h_3 (mm)	A_b (mm ²)	A_B (mm ²)	A_{BH} (mm ²)	A_{BV} (mm ²)	n_B (-)	n_9 (-)	n_{10} (-)	n_{11} (-)	n_{12} (-)	Z_{BH} (mm ³)
	230	50	280	50	315		1.018×10^3	7.000×10^3	3.215×10^3	3.097×10^3	4	2	2	2	2	5.167×10^4

Z_{BV} (mm ³)
3.523×10^5

	材料	S_y^{*1} (MPa)	$S_y(RT)$ (MPa)	S_u^{*1} (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
支持ビーム 部材	SUS304	188	205	479	205	205
支持ビーム 基礎ボルト						

注記*1：最高使用温度（66℃）で算出

32

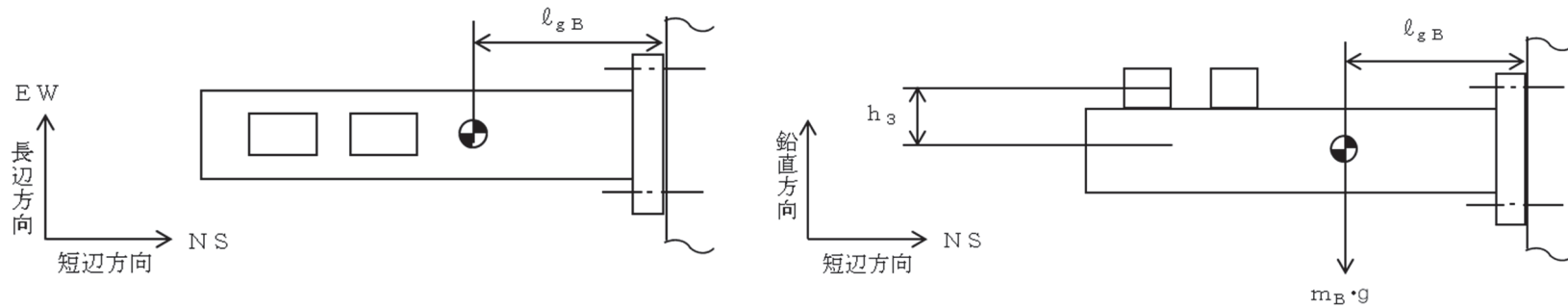


図 6-2 支持ビーム概要図

1.5 その他の機器要目

E* (MPa)	G* (MPa)	I _N (mm ⁴)	I _E (mm ⁴)	A _N (mm ²)	A _E (mm ²)	I _{SN} (mm ⁴)	I _{SE} (mm ⁴)	A _{SN} (mm ²)	A _{SE} (mm ²)	L ₁ (mm)	L ₂ (mm)	L ₃ (mm)	L ₄ (mm)	L ₅ (mm)	L ₆ (mm)	L ₇ (mm)	m _{1H} (kg)	m _{2H} (kg)		
		1.073 ×10 ⁹	9.485 ×10 ⁹	2.294 ×10 ⁴	2.294 ×10 ⁴	9.494 ×10 ⁹	6.194 ×10 ¹⁰	1.418 ×10 ⁵	1.418 ×10 ⁵											

m _{3H} (kg)	m _{4H} (kg)	m _{5H} (kg)	m _{6H} (kg)	m _{7H} (kg)	m _{8H} (kg)	m _{1V} (kg)	m _{2V} (kg)	m _{3V} (kg)	m _{4V} (kg)	m _{5V} (kg)	m _{6V} (kg)	m _{7V} (kg)	m _{8V} (kg)

注記* : 最高使用温度 (66℃) で算出。

1.6 計算数値

1.6.1 ラック部材に生じる応力

(単位：MPa)

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	
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
A6063TE-T5	引張り σ_{ft}	—	—	24	76
	せん断 τ_f	—	—	5	17
	組合せ σ_{fa}	—	—	26	82

1.6.2 支持ビーム部材に生じる応力

(単位：MPa)

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	
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	30	29
	せん断 τ_f	—	—	1	2
	組合せ σ_{fa}	—	—	30	30

1.6.3 ラック基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

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	
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
	引張り σ_b	—	—	15	99
	せん断 τ_b	—	—	5	31

1.6.4 支持ビーム基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

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	
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
	引張り σ_b	—	—	26	4
	せん断 τ_b	—	—	1	2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.7 応力

1.7.1 ラック部材に生じる応力

(単位：MPa)

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
A6063TE-T5	引張り	$\sigma_{ft} = 76^*$	$f_t = 108$	$\sigma_{ft} = 76$	$f_t = 108$
	せん断	$\tau_f = 17^*$	$f_s = 62$	$\tau_f = 17$	$f_s = 62$
	組合せ	$\sigma_{fa} = 82^*$	$f_t = 108$	$\sigma_{fa} = 82$	$f_t = 108$

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。

1.7.2 支持ビーム部材に生じる応力

(単位：MPa)

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
SUS304	引張り	$\sigma_{ft} = 30^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{ft} = 30$	$f_t = 205$
	せん断	$\tau_f = 1^*$	$f_s = 118$	$\tau_f = 1$	$f_s = 118$
	組合せ	$\sigma_{fa} = 30^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 30$	$f_t = 205$

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。

1.7.3 ラック基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

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
	引張り	$\sigma_b = 99^{*1}$	$f_{ts} = 455^{*2}$	$\sigma_b = 99$	$f_{ts} = 455^{*2}$
	せん断	$\tau_b = 31^{*1}$	$f_{sb} = 350$	$\tau_b = 31$	$f_{sb} = 350$

注記*1：基準地震動 S s による算出応力の値

*2： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

すべて許容応力以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.7.4 支持ビーム基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

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
	引張り	$\sigma_b = 26^{*1}$	$f_{ts} = 455^{*2}$	$\sigma_b = 26$	$f_{ts} = 455^{*2}$
	せん断	$\tau_b = 1^{*1}$	$f_{sb} = 350$	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 350$

注記*1：基準地震動 S_s による算出応力の値

*2： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出
すべて許容応力以下である。

【制御棒・破損燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	方向	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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 O.P. 22.50*1 (O.P. 21.38)	NS方向	0.05以下*2	0.05以下*2	—	—	C _H =2.65	C _V =1.56	—	100	—
			EW方向					C _H =6.21				

注記*1：上階の基準床レベルを示す。

*2：固有値解析により 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

2.2 ラック部材の応力評価に用いる要目

m (kg)	m _C (kg)	m _F (kg)	m _R (kg)	m _w (kg)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	A (mm ²)	A _N (mm ²)	A _E (mm ²)	Z _N (mm ³)	Z _E (mm ³)
							4.589×10 ⁴	2.294×10 ⁴	2.294×10 ⁴	3.885×10 ⁶	1.152×10 ⁷

材料	S _y *1 (MPa)	S _u *1 (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
A6063TE-T5				

注記*1：JIS H4080「アルミニウム及びアルミニウム合金継目無管」の引張強さと降伏点（0.2%耐力）の値を使用する。

2.3 ラック基礎ボルトの応力評価に用いる要目

m (kg)	m _C (kg)	m _F (kg)	m _R (kg)	m _w (kg)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)	ℓ ₈ (mm)	ℓ _{gN} (mm)	ℓ _{gE} (mm)	A _b (mm ²)	n _R (-)	n ₁ (-)	n ₂ (-)
					1639.5	1466.5	947.5	774.5	255.5	82.5	512.5	92.5	302.5	861	1.018×10 ³	12	2	2

n ₃ (-)	n ₄ (-)	n ₅ (-)	n ₆ (-)	n ₇ (-)	n ₈ (-)
2	2	2	2	6	6

材料	S _y ^{*1} (MPa)	S _y (R T) (MPa)	S _u ^{*1} (MPa)	F (MPa)	F [*] (MPa)

注記*1：最高使用温度（100℃）で算出

2.4 支持ビーム部材及び支持ビーム基礎ボルトの応力評価に用いる要目

m_B (kg)	ℓ_9 (mm)	ℓ_{10} (mm)	ℓ_{11} (mm)	ℓ_{12} (mm)	ℓ_{gB} (mm)	h_3 (mm)	A_b (mm ²)	A_B (mm ²)	A_{BH} (mm ²)	A_{BV} (mm ²)	n_B (-)	n_9 (-)	n_{10} (-)	n_{11} (-)	n_{12} (-)	Z_{BH} (mm ³)
	230	50	280	50	315		1.018×10^3	7.000×10^3	3.215×10^3	3.097×10^3	4	2	2	2	2	5.167×10^4

Z_{BV} (mm ³)
3.523×10^5

	材料	S_y^{*1} (MPa)	S_y (RT) (MPa)	S_u^{*1} (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
支持ビーム 部材	SUS304	171	205	441	—	205
支持ビーム 基礎ボルト						

注記*1：最高使用温度（100℃）で算出

39

2.5 その他の機器要目

E^* (MPa)	G^* (MPa)	I_N (mm ⁴)	I_E (mm ⁴)	A_N (mm ²)	A_E (mm ²)	I_{SN} (mm ⁴)	I_{SE} (mm ⁴)	A_{SN} (mm ²)	A_{SE} (mm ²)	L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)	L_4 (mm)	L_5 (mm)	L_6 (mm)	L_7 (mm)	m_{1H} (kg)	m_{2H} (kg)
		1.073×10^9	9.485×10^9	2.294×10^4	2.294×10^4	9.494×10^9	6.194×10^{10}	1.418×10^5	1.418×10^5									

m_{3H} (kg)	m_{4H} (kg)	m_{5H} (kg)	m_{6H} (kg)	m_{7H} (kg)	m_{8H} (kg)	m_{1V} (kg)	m_{2V} (kg)	m_{3V} (kg)	m_{4V} (kg)	m_{5V} (kg)	m_{6V} (kg)	m_{7V} (kg)	m_{8V} (kg)

注記*：最高使用温度（66℃）で算出。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.6 計算数値

2.6.1 ラック部材に生じる応力

(単位：MPa)

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	
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
A6063TE-T5	引張り σ_{ft}	—	—	24	76
	せん断 τ_f	—	—	5	17
	組合せ σ_{fa}	—	—	26	82

2.6.2 支持ビーム部材に生じる応力

(単位：MPa)

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	
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	30	29
	せん断 τ_f	—	—	1	2
	組合せ σ_{fa}	—	—	30	30

2.6.3 ラック基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

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	
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
	引張り σ_b	—	—	15	99
	せん断 τ_b	—	—	5	31

2.6.4 支持ビーム基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

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	
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
	引張り σ_b	—	—	26	4
	せん断 τ_b	—	—	1	2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.7 応力

2.7.1 ラック部材に生じる応力

(単位：MPa)

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
A6063TE-T5	引張り	—	—	$\sigma_{ft} = 76$	$f_t = 108$
	せん断	—	—	$\tau_f = 17$	$f_s = 62$
	組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 82$	$f_t = 108$

すべて許容応力以下である。

2.7.2 支持ビーム部材に生じる応力

(単位：MPa)

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
SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{ft} = 30$	$f_t = 205$
	せん断	—	—	$\tau_f = 1$	$f_s = 118$
	組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 30$	$f_t = 205$

すべて許容応力以下である。

2.7.3 ラック基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

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
	引張り	—	—	$\sigma_b = 99$	$f_{ts} = 444^*$
	せん断	—	—	$\tau_b = 31$	$f_{sb} = 341$

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

すべて許容応力以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.7.4 支持ビーム基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

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
	引張り	—	—	$\sigma_b = 26$	$f_{ts} = 444^*$
	せん断	—	—	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 341$

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出
すべて許容応力以下である。

VI-2-4-2-4 使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）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	適用規格・基準等	4
2.4	記号の説明	5
2.5	計算精度と数値の丸め方	7
3.	評価部位	8
4.	検出器保護管の評価	8
4.1	検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1.1	検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.1.2	検出器保護管の荷重の組合せ及び許容応力	8
4.1.3	検出器保護管の解析モデル及び諸元	11
4.1.4	検出器保護管の固有周期	13
4.1.5	検出器保護管の設計用地震力	15
4.1.6	検出器保護管の計算方法	16
4.1.7	検出器保護管の計算条件	17
4.1.8	検出器保護管の応力の評価	17
5.	検出器架台の評価	17
5.1	検出器架台の固有周期	17
5.1.1	検出器架台の固有値解析方法	17
5.1.2	検出器架台の解析モデル及び諸元	18
5.1.3	検出器架台の固有値解析結果	19
5.2	検出器架台の構造強度評価	20
5.2.1	検出器架台の構造強度評価方法	20
5.2.2	検出器架台の荷重の組合せ及び許容応力	20
5.2.3	検出器架台の設計用地震力	22
5.2.4	検出器架台の計算方法	23
5.2.5	検出器架台の計算条件	26
5.2.6	検出器架台の応力の評価	27
6.	機能維持評価	28
6.1	電氣的機能維持評価方法	28
7.	評価結果	29
7.1	重大事故等対処設備としての評価結果	29

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-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、使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）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。

使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）は、設計基準対象施設においてはC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、重大事故等対処施設としての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

使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）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	
<p>検出器保護管は、<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> を検出器架台梁 <input type="checkbox"/> に接続する。</p> <p>検出器保護管は使用済燃料プール壁面のワーキングテーブルラグ及び使用済燃料プール床に据付ける検出器サポートで固定する。</p> <p>また、検出器架台は、取付ボルトによりベースプレートに固定され、ベースプレートは、基礎ボルトにより基礎に設置する。</p>	<p>測温抵抗体式温度検出器及びガイドパルス式水位検出器（検出器保護管は検出器架台に固定する構造)</p>	

2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2 評価方針

使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の応力評価は、添付書類「VI-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 構造計画」にて示す使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、検出器保護管については「4.1.3 検出器保護管の解析モデル及び諸元」及び「4.1.4 検出器保護管の固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4.1 検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施し、検出器架台については「5.1 検出器架台の固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5.2 検出器架台の構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の機能維持評価は、添付書類「VI-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「6. 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「7. 評価結果」に示す。

使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

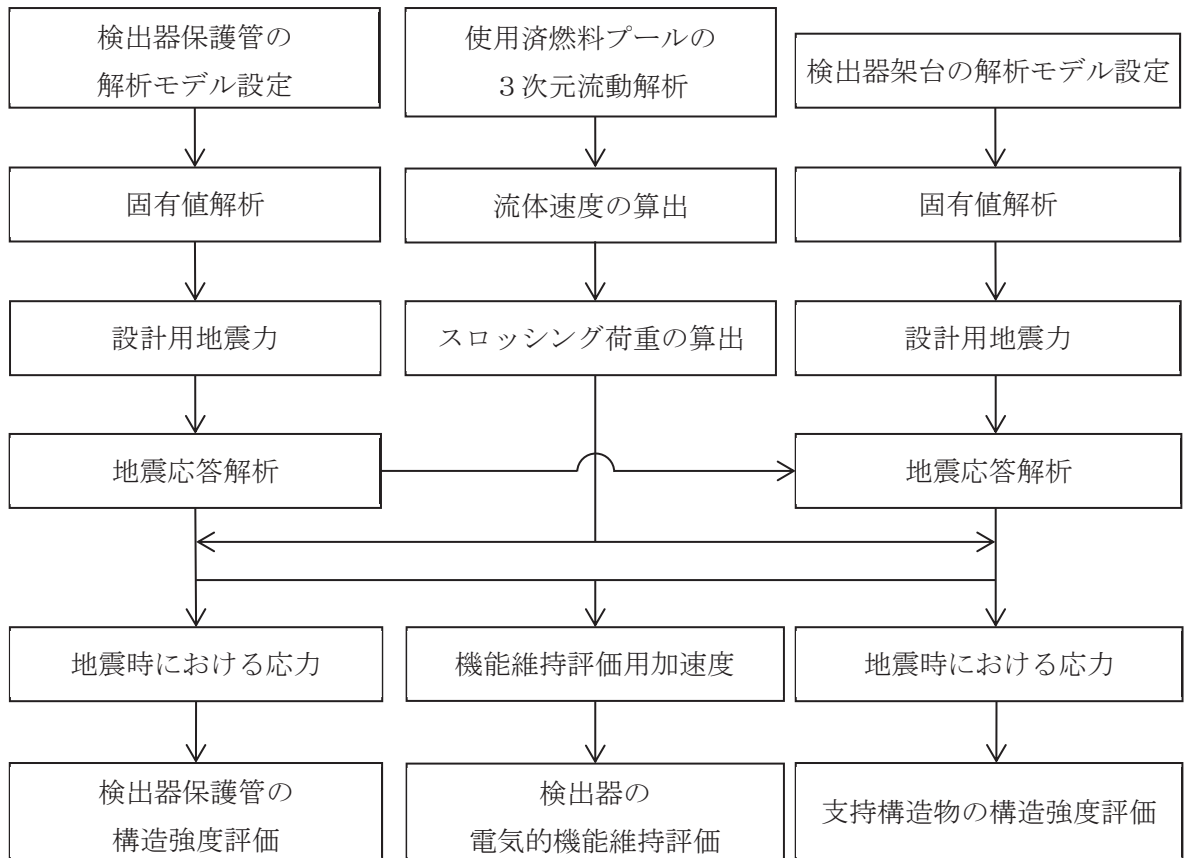


図 2-1 使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (2) 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 ・補一
1984）
- (3) 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）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
（以下「設計・建設規格」という。）

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
A_s	スロッシングによる検出器保護管の投影面積	mm^2
C_d	検出器保護管の抗力係数	—
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
d_o	検出器保護管外径	mm
d_i	検出器保護管内径	mm
E	縦弾性係数	MPa
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	基礎ボルトに作用する引張力 (1 本当たり)	N
F_s	スロッシングにより検出器保護管に生じる抗力	N
F_x	検出器保護管取付部における水平方向に作用する力	N
F_{x1}	地震力による水平方向に作用する力	N
F_{x11}	地震力による X 方向に作用する力	N
F_{x12}	地震力による Y 方向に作用する力	N
F_{x2}	スロッシングによる水平方向に作用する力	N
F_{x21}	スロッシングによる X 方向に作用する力	N
F_{x22}	スロッシングによる Y 方向に作用する力	N
F_z	検出器保護管取付部における鉛直方向に作用する力	N
F_{xB}	検出器架台の重心における検出器保護管取付部から作用する力 (水平方向)	N
F_{zB}	検出器架台の重心における検出器保護管取付部から作用する力 (鉛直方向)	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
h_1	検出器架台の据付面から重心までの距離	mm
h_2	検出器保護管取付部から検出器架台の重心までの鉛直方向距離	mm
l_1	検出器架台の重心と基礎ボルト間の水平方向距離	mm
l_2	検出器架台の重心と基礎ボルト間の水平方向距離	mm
l_b	検出器保護管取付部中心から重心までの水平方向距離	mm

記号	記号の説明	単位
ℓ_p	検出器保護管長さ	mm
M_x	検出器架台の重心における検出器保護管取付部から作用するモーメント (X軸方向)	N・mm
M_y	検出器架台の重心における検出器保護管取付部から作用するモーメント (Y軸方向)	N・mm
m_{b1}	検出器架台質量	kg
m_{b2}	検出器架台梁質量	kg
m_p	検出器保護管質量	kg
m_w	検出器保護管内包水質量	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 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
t	検出器保護管の厚さ	mm
V	スロッシングによる流速	m/s
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_p	検出器保護管に生じる曲げ応力	MPa
σ_{p1}	地震力による曲げ応力	MPa
σ_{p11}	地震力による軸応力	MPa
σ_{p12}	検出器保護管に生じる組合せ応力	MPa
σ_{p2}	死荷重による軸応力	MPa
σ_{p3}	スロッシングにおける曲げ応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
ρ	水の密度	kg/m ³
ν	ポアソン比	—
X	E W方向	—
Y	N S方向	—
Z	鉛直方向	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 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
刺激係数	—	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
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
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	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位* ³

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



検出器保護管については、「4.1 検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価」に示す条件に基づき評価を実施する。また、検出器架台については、「5.2 検出器架台の構造強度評価」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。

使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）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. 検出器保護管の評価

4.1 検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価

4.1.1 検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 地震力は、検出器保護管に対して水平2方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (2) 曲げの変形モードを考慮する。
- (3) 地震力における応力の算出は、スペクトルモーダル解析を用いる。
- (4) スロッシングは、検出器保護管に対して水平方向から作用するものとする。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.1.2 検出器保護管の荷重の組合せ及び許容応力

4.1.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

検出器保護管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。

4.1.2.2 検出器保護管の許容応力

検出器保護管の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表4-2のとおりとする。

4.1.2.3 検出器保護管の使用材料の許容応力評価条件

検出器保護管の使用材料の許容応力評価条件のうち、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
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	使用済燃料プール水位/ 温度（ガイドパルス式）	常設/防止 常設/緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3, *4	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ *4	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} 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：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：地震荷重にはプール水のスロッシングによる荷重を含む。

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 (ボルト等以外)				
	一次応力				
	引張	せん断	圧縮	曲げ	組合せ
IV _A S	1.5・f _t *	1.5・f _s *	1.5・f _c *	1.5・f _b *	1.5・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 *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。

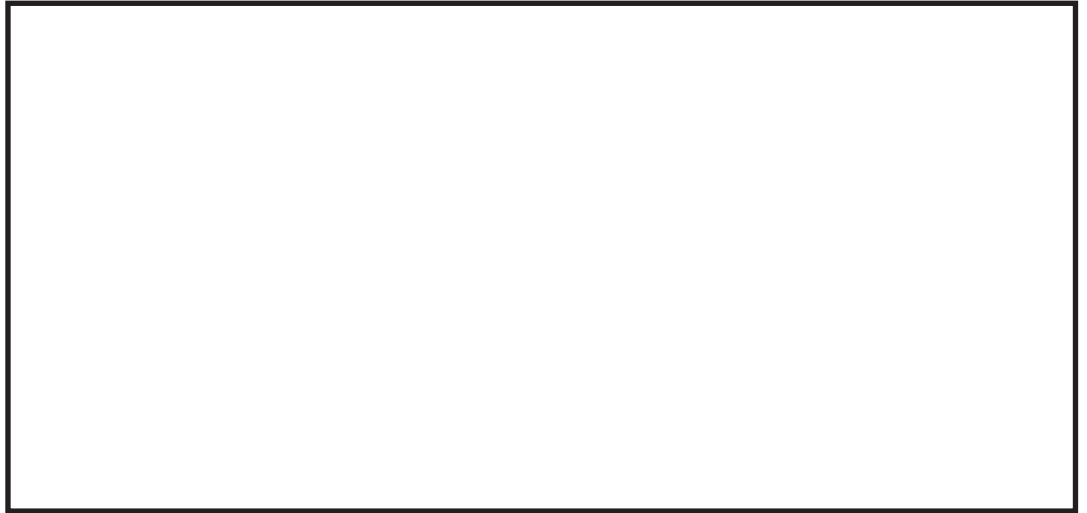
表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
検出器保護管		周囲環境温度		169	—	—

4.1.3 検出器保護管の解析モデル及び諸元

検出器保護管の解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を【使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）（G41-LE201, TE202, TE203）の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 検出器保護管は、図 4-1 に示す 3 次元 FEM モデルを用いる。
- (2) 検出器保護管及び中間部サポートの拘束条件は、以下のとおり。



- (3) 円柱形状の検出器保護管に含まれる水の質量及び水中の機器の形状により排除される水の付加質量を考慮し、水の質量及び付加質量は、検出器保護管及び中間部サポートの全長にわたって水平方向に等分布に与えられる。
- (4) 検出器周囲の流体のスロッシング荷重は各節点に付加する。
- (5) 解析コードは、「ANSYS」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

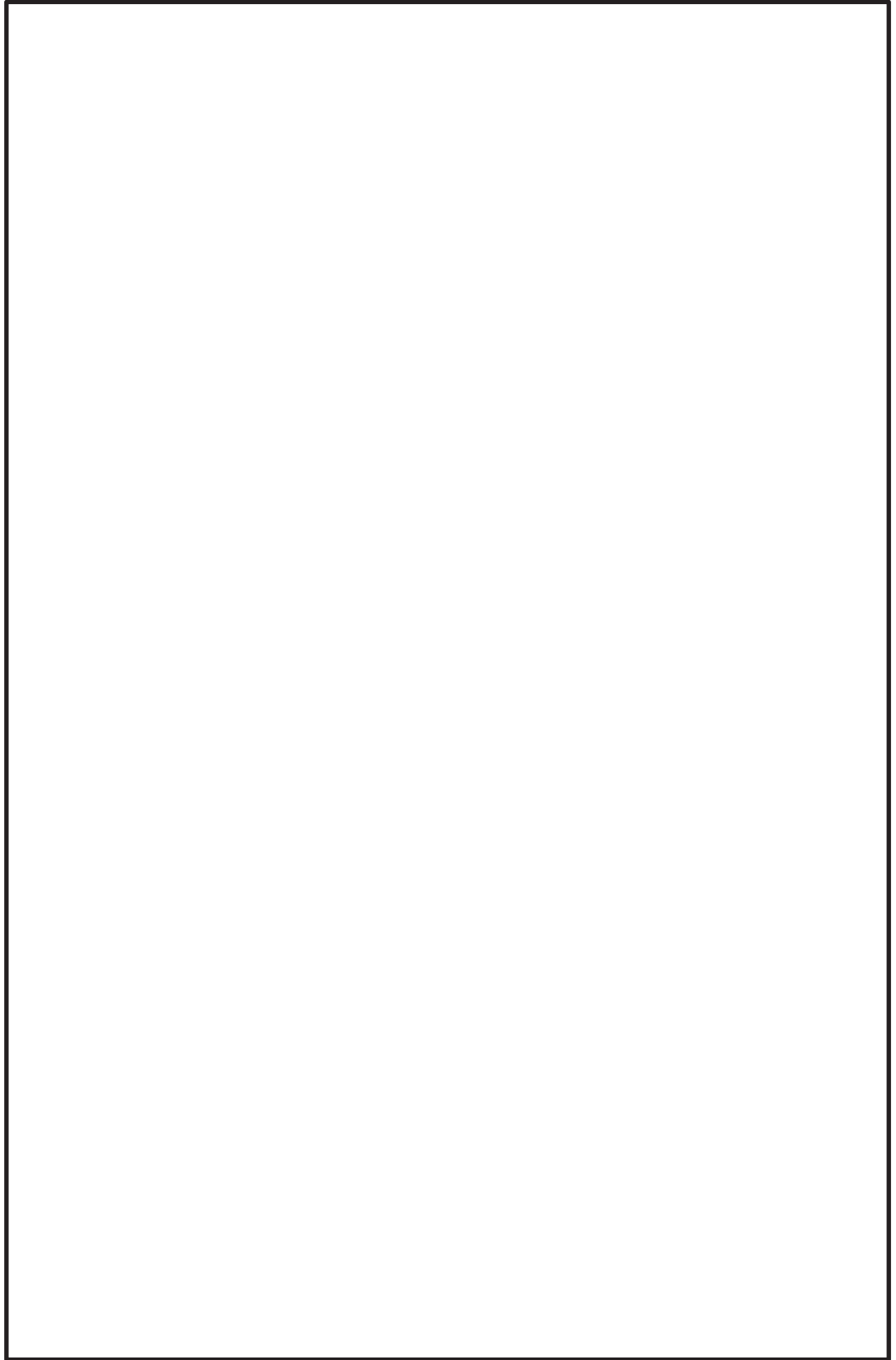


図4-1 検出器保護管の解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.1.4 検出器保護管の固有周期

検出器保護管の固有値解析の結果を表 4-4 に、振動モード図を図 4-2 に示す。水平方向の固有周期は、0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向は、16 次モード以降で卓越し、固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表4-4 検出器保護管の固有周期

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向 刺激係数*
			X方向	Y方向	
1次	水平方向				
2次	水平方向				
3次	水平方向				
4次	水平方向				
5次	水平方向		—	—	—
6次	水平方向		—	—	—
7次	水平方向		—	—	—
8次	水平方向		—	—	—
9次	水平方向		—	—	—
10次	水平方向		—	—	—
11次	水平方向		—	—	—
12次	水平方向		—	—	—
13次	水平方向		—	—	—
14次	水平方向		—	—	—
15次	水平方向		—	—	—
16次	鉛直方向		—	—	—

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

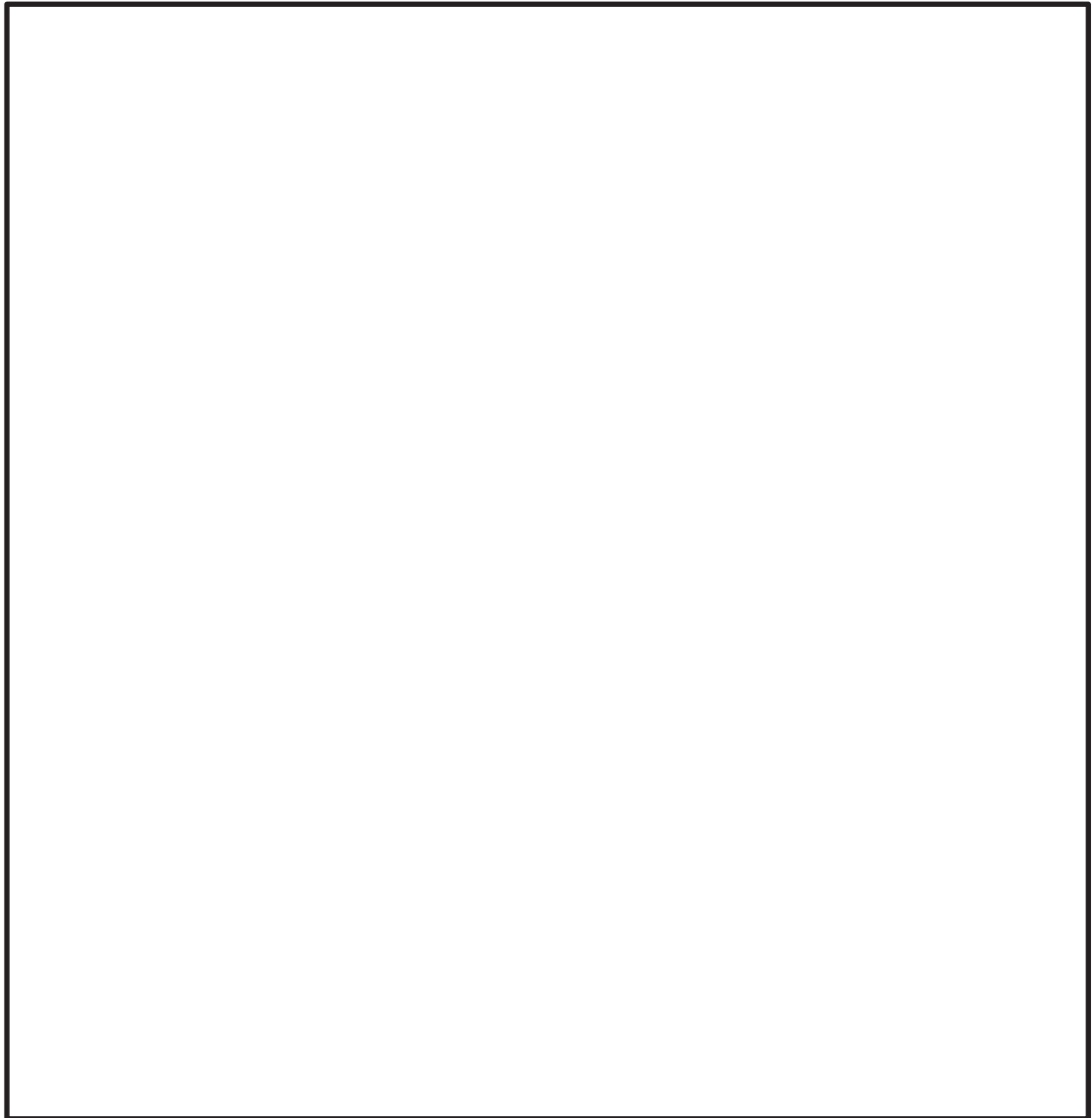


図4-2 振動モード図

4.1.5 検出器保護管の設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-5 に示す。

「基準地震動 S s」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 4-5 検出器保護管の評価に用いる設計用地震力（重大事故等対処施設）

据付場所及び 床面高さ(m)		原子炉建屋 O.P. 33.20*1					
固有周期(s) *2		水平 : <input type="text"/>		鉛直 : <input type="text"/>			
減衰定数 (%)		水平 : 1.0		鉛直 : -			
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3	応答水平震度*4		応答鉛直 震度*4
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1次		-	-	-	14.17	14.17	-
2次		-	-	-	14.17	14.17	-
3次		-	-	-	12.71	12.71	-
4次		-	-	-	12.71	12.71	-
5次		-	-	-	-	-	-
16次		-	-	-	-	-	-
動的地震力*5		-		-	2.65		1.77
静的地震力*6		-		-	-		-

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：水平1次および鉛直16次の固有周期について記載。

*3：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線（S d）より得られる震度を示す。

*4：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線（S s）より得られる震度を示す。

*5：S s 又は S d に基づく設計用最大床応答加速度（1.2・ZPA）より定めた震度を示す。

*6：静的震度（3.6・C_i及び1.2・C_v）を示す。

4.1.6 検出器保護管の計算方法

4.1.6.1 地震力における応力の算出

- (1) 図4-1に示す解析モデルによりスペクトルモーダル解析を実施する。
- (2) スペクトルモーダル解析により水平方向のX方向及びY方向における各節点の曲げモーメントを算出する。また、X方向及びY方向の曲げモーメントは、S R S S法を用いて組み合わせる。
- (3) 組み合わせた曲げモーメントを用いて、検出器保護管の水平方向に発生する曲げ応力を算出する。算出結果を表4-6に示す。

なお、せん断応力、引張応力及び圧縮応力については、発生する応力が小さく、曲げ応力が支配的となり、曲げ応力で代表可能であることから、評価を省略する。

表4-6 地震力における曲げ応力

曲げ応力 σ_{p1} (MPa)

- (4) 静的解析により検出器保護管の鉛直方向のZ方向に発生する軸応力を算出する。
- (5) 水平方向の曲げ応力にZ方向の軸応力を絶対値和することにより組み合わせる。

4.1.6.2 スロッシングにおける応力の算出

- (1) スロッシングにおける応力の算出においては、添付書類「VI-1-1-8-3 溢水評価条件の設定」に示す基準地震動 S_s ($S_s - D1$ 波：応答スペクトルに基づく地震動)の3方向入力による使用済燃料プールの3次元流動解析により得られた流体速度時刻歴データを用いる。

- (2) 流体速度時刻歴データを用いて検出器保護管に生じる抗力を算出する。

- (3) 抗力の算出には以下の式を用い、抗力係数 C_d は機械工学便覧 日本機械学会編 (2007) より検出器保護管が円柱形状であるため1.2とする。なお、抗力の算出においては、流体速度時刻歴データより燃料プール内の高さレベルごとの流体速度の最大値 V を抽出し、以下の式を用い抗力 F_s を算出する。流体速度時刻歴データは検出器保護管に対し支配的となる水平方向のデータを適用するものとする。

$$F_s = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot A_s \cdot V^2$$

- (4) 抗力の算出から得られた高さレベルごとの抗力により検出器保護管に生じる動水圧荷重を付加し、検出器保護管に発生する曲げ応力を算出する。算出結果を表4-7に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表4-7 スロッシングにおける曲げ応力

スロッシングにおける曲げ応力 σ_{p3} (MPa)

4.1.6.3 地震力及びスロッシングによる応力の算出

地震力及びスロッシングによる曲げ応力を合算することにより、検出器保護管に生じる曲げ応力を算出する。算出結果を表 4-8 に示す。

表4-8 検出器保護管に生じる曲げ応力

曲げ応力 σ_p (MPa)

4.1.7 検出器保護管の計算条件

解析に用いる計算条件は、本計算書の【使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）（G41-LE201, TE202, TE203）の耐震性についての評価結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.1.8 検出器保護管の応力の評価

4.1.6項で求めた検出器保護管に生じる応力は、設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める使用材料の設計降伏点 S_y 以下であること。

5. 検出器架台の評価

5.1 検出器架台の固有周期

5.1.1 検出器架台の固有値解析方法

検出器架台の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 検出器架台は「5.1.2 検出器架台の解析モデル及び諸元」に示すシェル要素及びソリッド要素として考える。

5.1.2 検出器架台の解析モデル及び諸元

検出器架台の解析モデルを図 5-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）（G41-LE201，TE202，TE203）の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 拘束条件として、基礎ボルト部で X Y Z 方向の並進を固定する。



- (4) 解析コードは「ANSYS」を使用し、固有値を求める。なお、評価に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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

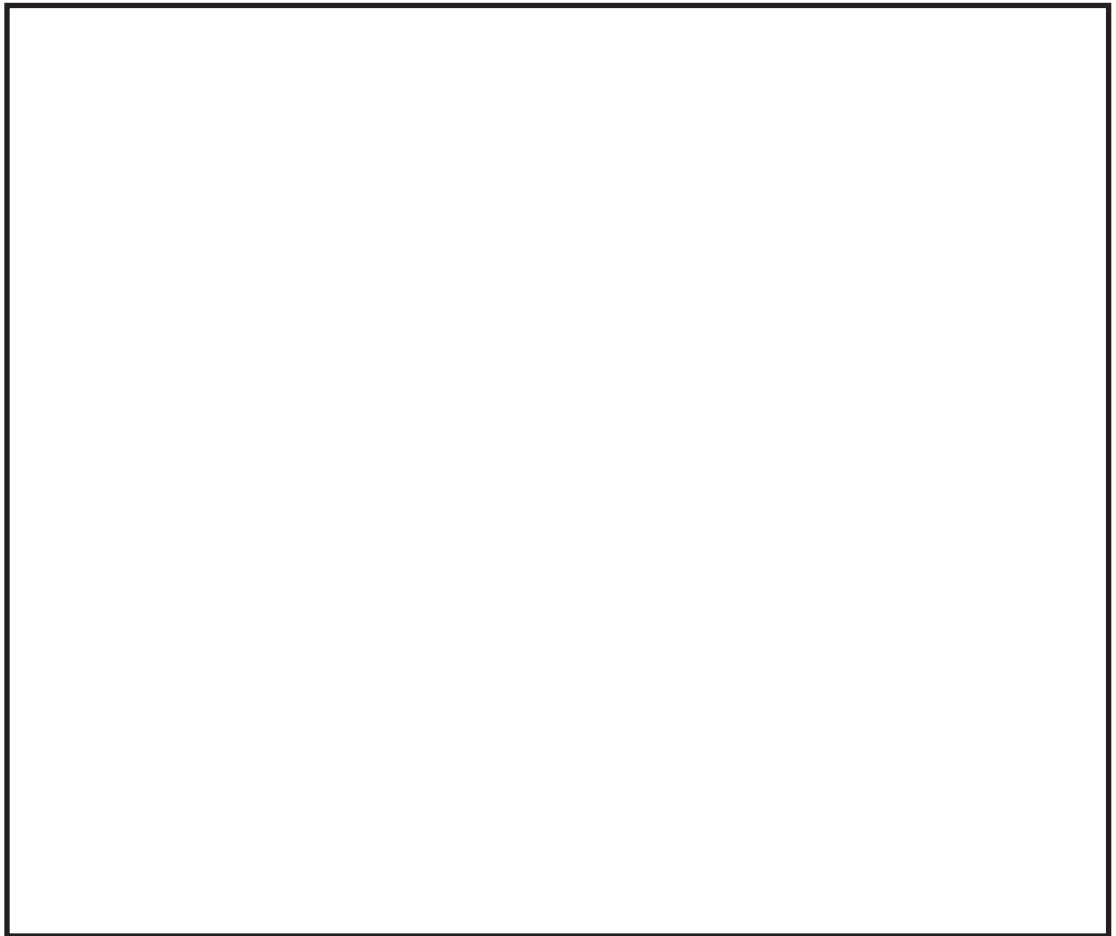


図 5-1 検出器架台の解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.1.3 検出器架台の固有値解析結果

検出器架台の固有値解析結果を表 5-1, 振動モード図を図 5-2 に示す。水平方向及び鉛直方向の固有周期は 0.05 秒以下であり, 剛であることを確認した。

表5-1 検出器架台の固有周期

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

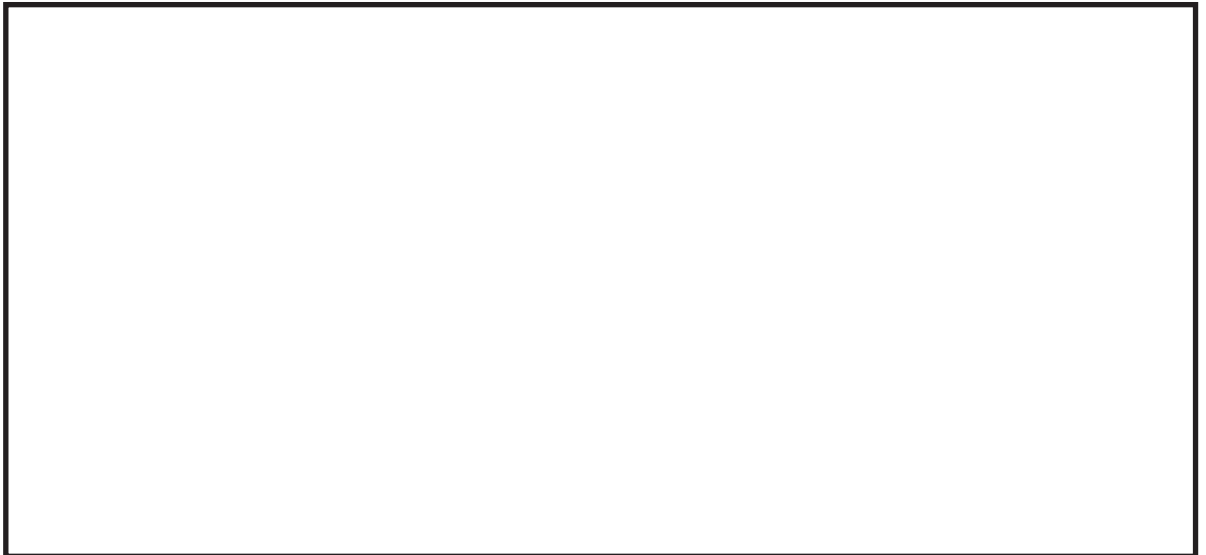


図 5-2 検出器架台の振動モード図

5.2 検出器架台の構造強度評価

5.2.1 検出器架台の構造強度評価方法

5.1.2 項(1)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、検出器架台に対して水平 2 方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 「4.1.6 検出器保護管の計算方法」に示す検出器保護管の解析により得られた検出器保護管取付部における荷重を、基礎ボルトの応力計算において組み合わせて評価するものとする。
- (3) 検出器架台の質量は、重心に集中するものとする。
- (4) 検出器架台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を設定するものとする。
- (5) 検出器架台の転倒方向は、図 5-3 及び図 5-4 に示す左右方向及び前後方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2.2 検出器架台の荷重の組合せ及び許容応力

5.2.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

検出器架台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。

5.2.2.2 検出器架台の許容応力

検出器架台の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.2.3 検出器架台の使用材料の許容応力評価条件

検出器架台の使用材料の許容応力評価条件のうち、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 5-2 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 *	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 5-3 使用材料の許容応力評価条件（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 (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	174	472	205

5.2.3 検出器架台の設計用地震力

耐震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、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 5-4 検出器架台の評価に用いる設計用地震力（重大事故等対処施設）

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
原子炉建屋 O.P. 33.20*			—	—	$C_H=2.65$	$C_V=1.77$

注記*：基準床レベルを示す。

5.2.4 検出器架台の計算方法

5.2.4.1 地震力における応力の算出

- (1) 検出器保護管の地震応答解析及びスロッシング影響解析により得られた検出器保護管取付部における水平方向のX方向及びY方向の荷重を用いる。
- (2) 地震力及びスロッシングにおけるそれぞれのX方向及びY方向の荷重をS R S S法を用いて水平方向荷重を算出する。算出結果を表5-5及び表5-6に示す。

表5-5 地震力における水平方向荷重 (単位：N)

X方向荷重 F_{x11}	Y方向荷重 F_{x12}	水平方向荷重 F_{x1}

表5-6 スロッシングにおける水平方向荷重 (単位：N)

X方向荷重 F_{x21}	Y方向荷重 F_{x22}	水平方向荷重 F_{x2}

- (3) 地震力及びスロッシングにおけるそれぞれの水平方向荷重の最大値を絶対値和することにより、検出器保護管取付部における水平方向荷重を算出する。
- (4) 検出器保護管は鉛直方向において剛構造であることから、取付床面高さにおける鉛直方向設計震度を用いて検出器保護管取付部における鉛直方向荷重を算出する。
- (5) 地震における鉛直方向荷重及び死荷重の最大値を絶対値和することにより、検出器保護管取付部における鉛直方向荷重を算出する。検出器保護管取付部における荷重の算出結果を表5-7に示す。

表5-7 検出器保護管取付部における荷重 (単位：N)

水平方向荷重 F_x	鉛直方向荷重 F_z

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.2.4.2 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度、検出器保護管が検出器架台の取付け部にもたらず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。

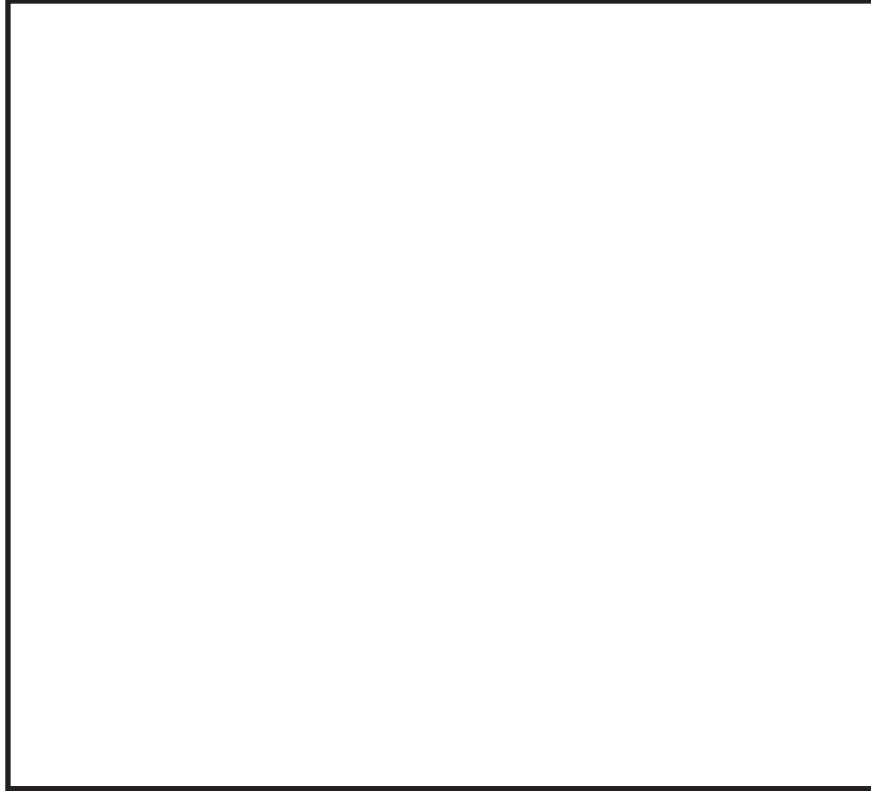


図 5-3 計算モデル（左右方向転倒）



図 5-4 計算モデル（前後方向転倒）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(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5-3及び図5-4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

左右方向（計算モデル図5-3の場合）

$$F_b = \frac{m_{b1} \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m_{b1} \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_1 + M_x}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots\dots\dots (5.2.4.2.1)$$

前後方向（計算モデル図5-4の場合）

$$F_b = \frac{m_{b1} \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m_{b1} \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_1 + M_y}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots\dots\dots (5.2.4.2.2)$$

ここで、水平方向及び鉛直方向の検出器架台の重心における検出器保護管取付部から作用する力 F_{xB} 及び F_{zB} は次式で求める。

$$F_{xB} = C_H \cdot g \cdot m_{b2} + F_x \dots\dots\dots (5.2.4.2.3)$$

$$F_{zB} = (C_V - 1) \cdot g \cdot m_{b2} + F_z \dots\dots\dots (5.2.4.2.4)$$

また、検出器架台の重心における検出器保護管取付部から作用する X 軸及び Y 軸周りのモーメント M_x 及び M_y は次式で求める。

$$M_x = F_{zB} \cdot \ell_1 + F_{xB} \cdot (h_1 + h_2) \dots\dots\dots (5.2.4.2.5)$$

$$M_y = F_{zB} \cdot (\ell_b + \ell_2) + F_{xB} \cdot (h_1 + h_2) \dots\dots\dots (5.2.4.2.6)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.2.4.2.7)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式で求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.2.4.2.8)$$

(2) せん断応力

せん断力

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。

$$Q_b = m_{b1} \cdot g \cdot C_H + F_{xB} \dots\dots\dots (5.2.4.2.9)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.2.4.2.10)$$

5.2.5 検出器架台の計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）（G41-LE201, TE202, TE203）の耐震性についての評価結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.2.6 検出器架台の応力の評価

5.2.6.1 基礎ボルトの応力評価

5.2.4項で求めた基礎ボルトの引張応力 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。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \cdots \cdots (5.2.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b 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_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

f_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の電氣的機能時評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる地震力により評価する。水平方向については基準地震動 S_s により定まる最大加速度または「4.1.6 検出器保護管の計算方法」に示す解析により得られた検出器保護管（温度検出器取付位置）に生じる応答加速度のいずれか大きい値とし、保守的に水平2方向の影響を考慮する。また、鉛直方向については検出器保護管が剛構造であることから、基準地震動 S_s により定まる最大加速度を設定する。

使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、当該検出器と類似の検出器単体の正弦ビート波加振試験により電氣的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
使用済燃料プール水位／温度 （ガイドパルス式）* （G41-LE201, TE202, TE203）	水平方向	
	鉛直方向	

注記*：機能確認済加速度は使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の温度検出器を記載。なお、使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の水位検出器は、電気信号を伝搬する機能のみであり、検出器保護管が変形・破損しなければ、電気信号の伝搬に影響が無いことから、検出器保護管の構造強度評価により電氣的機能維持評価とする。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）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。

【使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）（G41-LE201, TE202, TE203）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 検出器保護管

1.1.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 (°C)
			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	
使用済燃料プール水位／ 温度（ガイドパルス式） （G41-LE201, TE202, TE203）	常設／防止 常設／緩和	原子炉建屋 O.P. 33.20*1			—	—	C _H =2.65 又は*2	C _V =1.77	

注記*1：基準床レベルを示す。

*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

1.1.2 機器要目

部 材	m _p (kg)	m _w (kg)	d _o (mm)	d _i (mm)	ℓ _p (mm)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
検出器保護管						169	—	—	—

E (MPa)	ν (-)	要素数 (個)	節点数 (個)

30

1.1.3 固有周期

(単位：s)

モード	固有周期	卓越方向
1次		水平方向
2次		水平方向
3次		水平方向
4次		水平方向
5次		水平方向
6次		水平方向
7次		水平方向
8次		水平方向
9次		水平方向
10次		水平方向
11次		水平方向
12次		水平方向
13次		水平方向
14次		水平方向
15次		水平方向
16次		鉛直方向

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.1.4 計算数値

1.1.4.1 検出器保護管に生じる応力

(単位：MPa)

方向	地震力における曲げ応力	地震力における軸応力	スロッシングにおける曲げ応力	死荷重における軸応力	検出器保護管に生じる曲げ応力	検出器保護管に生じる組合せ応力
X方向						
Y方向						
Z方向						
水平方向						
3方向						

1.2 検出器架台

1.2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 (°C)
			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	
使用済燃料プール水位/温度 (ガイドパルス式) (G41-LE201, TE202, TE203)	常設/防止 常設/緩和	原子炉建屋 O.P. 33.20*1			—	—	C _H =2.65	C _V =1.77	

注記*1: 基準床レベルを示す。

1.2.2 機器要目

部 材	m _{b1} (kg)	m _{b2} (kg)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	ℓ _b (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f *
基礎ボルト											

注記*: 基礎ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (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	174	472	205	205	205	—	前後方向

E (MPa)	ν (-)	要素数 (個)	節点数 (個)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.2.3 計算数値

1.2.3.1 検出器保護管取付部における荷重

(単位：N)

方向	地震力における荷重	スロッシングにおける荷重	検出器保護管取付部における荷重
X方向			
Y方向			
水平方向			
Z方向			

1.2.3.2 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F_{xB}		F_{zB}		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	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	—		—		—		—	

1.2.3.3 基礎ボルトに作用するモーメント

(単位：N・mm)

部 材	M_x		M_y	
	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	—		—	

1.3 結論

1.3.1 使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）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
検出器保護管		曲げ	—	—	$\sigma_p = 133$	$S_y = 169$
		組合せ	—	—	$\sigma_{p12} = 136$	$S_y = 169$
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b = 22$	$f_{ts} = 123^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 11$	$f_{sb} = 94$

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

すべて許容値応力以下である。

1.3.2 電氣的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s²)

		機能維持評価用加速度*1	機能確認済加速度
使用済燃料プール水位／温度 (ガイドパルス式) (G41-LE201, TE202, TE203)	水平方向	18.5*2	
	鉛直方向	1.48	

注記*1：基準地震動 S s により定まる最大加速度とする。

*2：基準地震動 S s により定まる最大加速度または検出器保護管（温度検出器取付位置）に生じる

応答加速度のいずれか大きい値とし、保守的に水平 2 方向の影響を考慮する。

機能維持評価用加速度は、すべて機能確認済加速度以下である。

35



VI-2-4-2-5 使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）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 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
4.2.2 許容応力	8
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	8
4.3 解析モデル及び諸元	12
4.4 固有周期	15
4.5 設計用地震力	17
4.6 計算方法	18
4.6.1 保護管の計算方法	18
4.6.2 検出器架台の計算方法	19
4.6.3 基礎ボルトの計算方法	20
4.6.4 ワーキングテーブルラグの計算方法	23
4.7 計算条件	25
4.8 応力の評価	25
4.8.1 保護管の応力評価	25
4.8.2 検出器架台の応力評価	25
4.8.3 基礎ボルトの応力評価	25
4.8.4 ワーキングテーブルラグの応力評価	26
5. 機能維持評価	27
5.1 電氣的機能維持評価方法	27
6. 評価結果	28
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	28

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-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、使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）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。

使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）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、重大事故等対処設備としての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

使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）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	
<p>検出器は、検出器架台、保護管、熱電対で構成される。熱電対は保護管内に 15 個内蔵され、保護管は、検出器架台とフランジにて接続する。</p> <p>検出器架台は、取付ボルトによりベースプレートに固定され、ベースプレートは基礎ボルトにより床面に設置する。</p> <p>また、保護管は保護管サポートに固定され、保護管サポートに接続されているシャフトをワーキングテーブルラグに引掛けて設置する。</p>	<p>熱電対 (床に設置された検出器架台及び壁に設置されたワーキングテーブルラグに、保護管に内蔵された検出器をフランジ及び保護管サポートにて固定する構造)</p>	<p>【使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）】</p> <p>正面: フランジ (890), 床面, 保護管, 保護管サポート, 保護管, 熱電対, 8229</p> <p>側面: 2171, 門型支持サポート, 取付ボルト, 基礎ボルト (メタルアンカ), 基礎, ベースプレート, 検出器架台 (床面), ワーキングテーブルラグ, シャフト, 基礎 (壁面), 710</p> <p>上面: ベースプレート, 480, 400, 580, 400, 490, 445, 基礎ボルト (メタルアンカ), 425</p> <p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の応力評価は、添付書類「VI-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 構造計画」にて示す使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

また、使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の機能維持評価は、添付書類「VI-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. 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。

使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

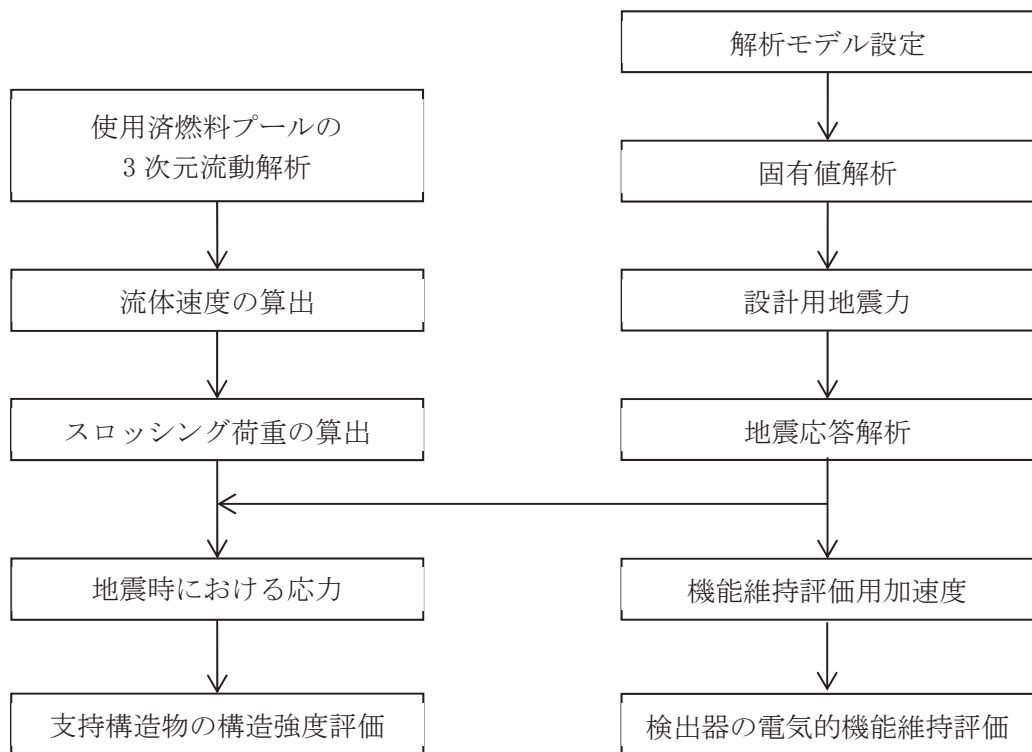


図 2-1 使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- (2) 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）
- (3) 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）
- (4) J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	スロッシングにおける保護管の投影面積	mm ²
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _c	検出器架台の断面積	mm ²
A _w	ワーキングテーブルラグ下端の断面積	mm ²
C _d	保護管の抗力係数	—
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
d _o	保護管外径	mm
d _i	保護管内径	mm
F*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F _b	基礎ボルトに作用する引張力（1本あたり）	N
F _s	スロッシングにより保護管に生じる抗力	N
F _{x1}	地震応答解析によるX軸方向に作用する力	N
F _{x2}	地震力及びスロッシングによるX軸方向に作用する力	N
F _{y1}	地震応答解析によるY軸方向に作用する力	N
F _{y2}	地震力及びスロッシングによるY軸方向に作用する力	N
F _{z1}	地震応答解析によるZ軸方向に作用する力	N
F _{z2}	地震力及びスロッシングによるZ軸方向に作用する力	N
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 _{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 _{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
f _t	許容組合せ応力	MPa
h	ワーキングテーブルラグ下端断面の応力計算に用いる距離	mm
h ₁	ボルトの応力計算に用いる距離（X軸方向）	mm
h ₂	ボルトの応力計算に用いる距離（Y軸方向）	mm
l _p	保護管長さ	mm
m _p	質量	kg
m _{w1}	保護管内包水質量	kg
m _{w2}	保護管により排除される水の付加質量	kg
M _{x1}	地震応答解析によるX軸方向に作用するモーメント	N・mm
M _{x2}	地震力及びスロッシングによるX軸方向に作用するモーメント	N・mm
M _{y1}	地震応答解析によるY軸方向に作用するモーメント	N・mm
M _{y2}	地震力及びスロッシングによるY軸方向に作用するモーメント	N・mm
M _{z1}	地震応答解析によるZ軸方向に作用するモーメント	N・mm
M _{y2}	地震力及びスロッシングによるZ軸方向に作用するモーメント	N・mm

記号	記号の説明	単位
n	基礎ボルトの本数	—
n_x	M_x の引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	—
n_y	M_y の引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	—
n_z	M_z の引張力に耐えう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 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
V	スロッシングによる流速	m/s
W	荷重	N
Z_1	弱軸回りの断面係数	mm ³
Z_2	強軸回りの断面係数	mm ³
Z_{p1}	ねじり断面係数	mm ³
Z_z	ワーキングテーブルラグ下端断面係数	mm ³
ρ	水の密度	kg/m ³
σ_t	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
σ_k	組合せ応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は有効数字 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
温度	°C	—	—	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}
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	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*3}

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

使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト、ワーキングテーブルラグに加え、主要部位となる検出器架台、保護管について評価を実施する。使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）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. 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) 地震力は、使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）に対して、水平 2 方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (2) スロッシングは、使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）に対して水平方向から作用するものとする。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 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

使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）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

使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の使用材料の許容応力評価条件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
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	使用済燃料プール 水位／温度 (ヒートサーモ式)	常設／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3, *4	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ *4	$V_A S$ ($V_A S$ 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：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：地震荷重にはプール水のスロッシングによる荷重を含む。

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 (ボルト等)		許容限界*1, *2 (ボルト等以外)
	一次応力		一次応力
	引張り	せん断	引張り
IV _A S	1.5・f _t *	1.5・f _s *	1.5・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*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評価条件（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 (R T) (MPa)
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≦40mm)	周囲環境温度	100	212	373	—
検出器架台	SUS304	周囲環境温度	100	171	441	205
保護管	SUS316TP	周囲環境温度	100	176	476	205
ワーキング テーブルラグ	SUS304	周囲環境温度	100	171	441	205

4.3 解析モデル及び諸元

使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の概要図及び解析モデルを図 4-1 及び図 4-2 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計画書の【使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）(G41-L/TE107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, TE121) の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) 解析モデルは、はり要素及び集中質量要素からなる 3 次元モデルを用いる。
- (2) 使用済燃料プール内の水位温度計は 4 箇所のワーキングテーブルラグで支持される。ワーキングテーブルラグは X 軸をシャフトにより、Z 軸をシャフトの両端から挟み込んでいる保護管サポートにより固定されるため、水平 2 方向（X 軸 Z 軸）を拘束する。
- (3) 基礎部の X Y Z 方向及び回転方向を固定する。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (4) 使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の質量には、検出器架台や保護管、熱電対の質量を考慮する。また、円柱形状の保護管に含まれる水の質量及び水中の機器の形状により排除される水の付加質量を考慮し、水の質量及び付加質量は、保護管の全長にわたって水平方向に等分布に与えられる。
- (5) 検出器周囲の流体のスロッシング荷重は各質点に付加する。
- (6) 解析コードは、「NX NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

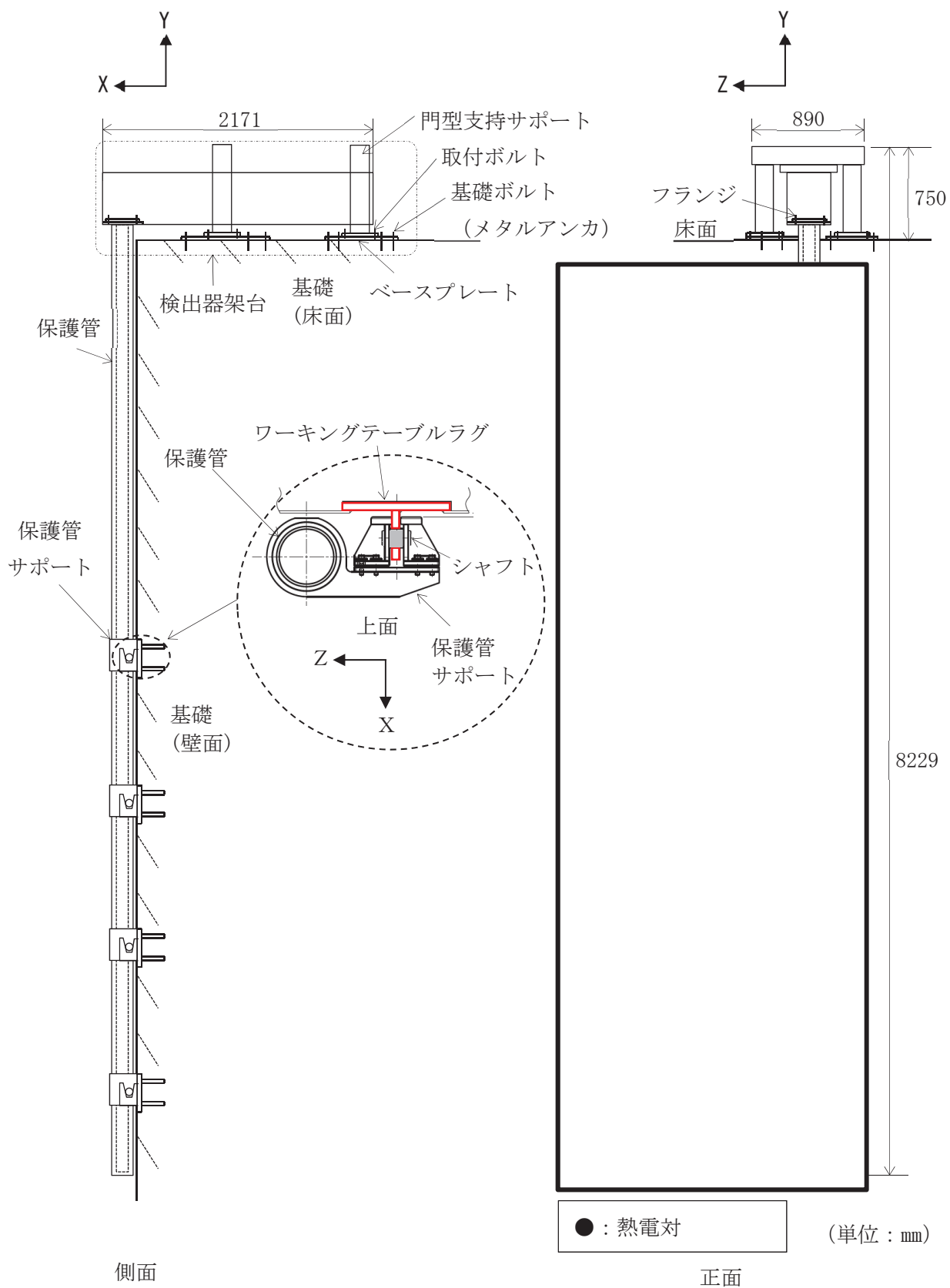


図 4-1 概要図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

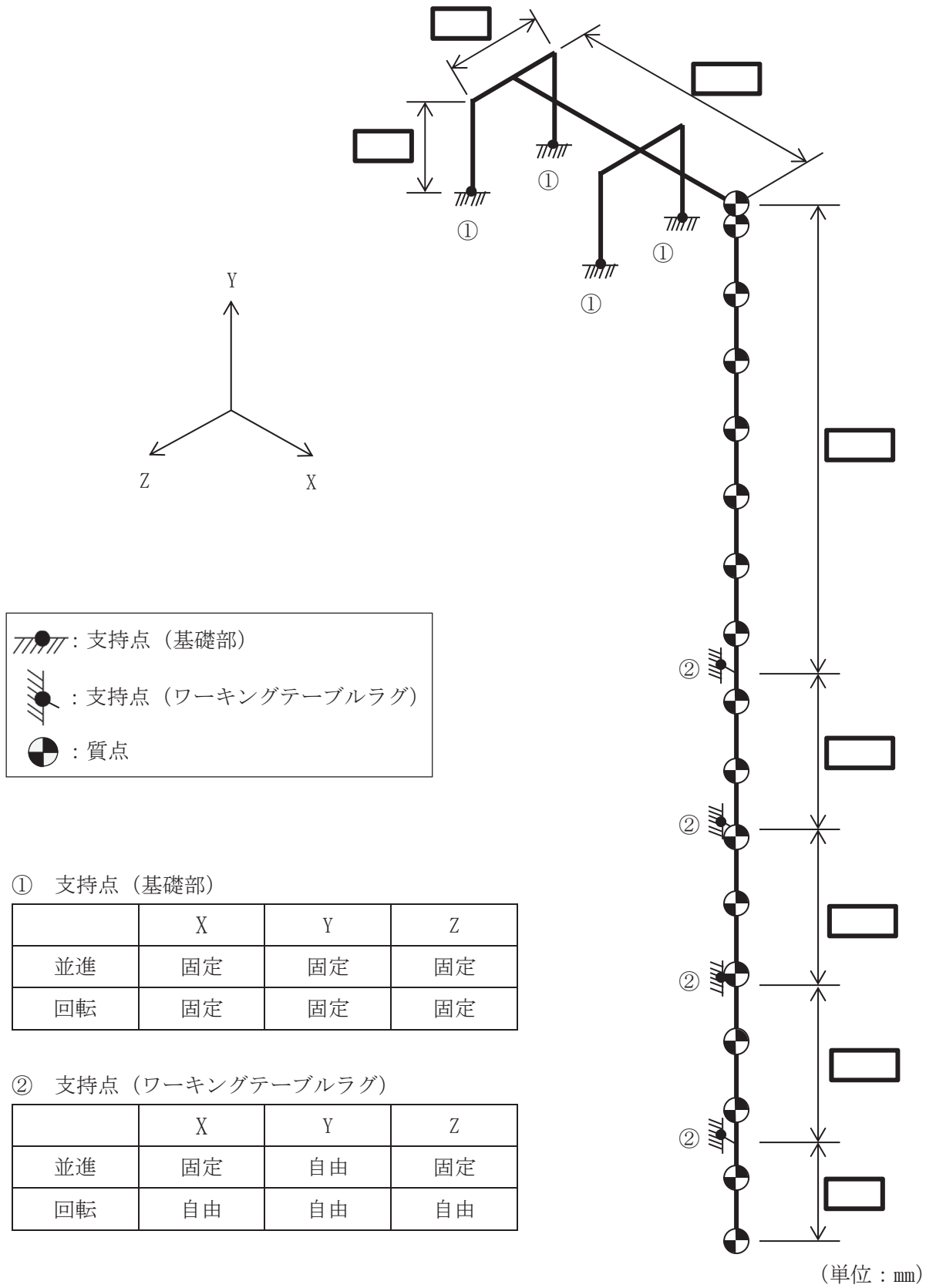


図 4-2 解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.4 固有周期

固有値解析結果を表 4-4 に、振動モード図を図 4-3 及び図 4-4 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-4 固有値解析結果

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

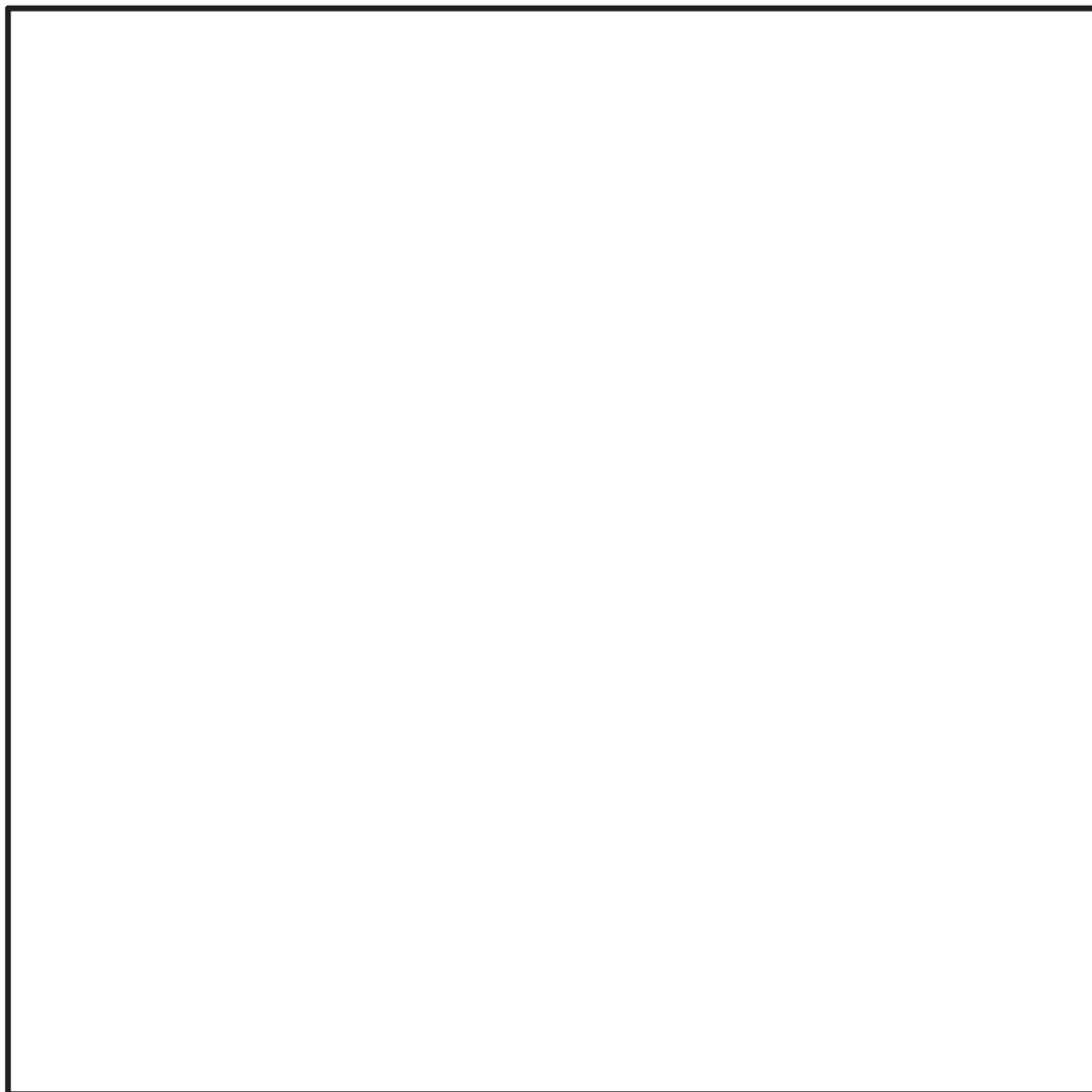


図 4-3 振動モード図 (1 次モード 水平方向 s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

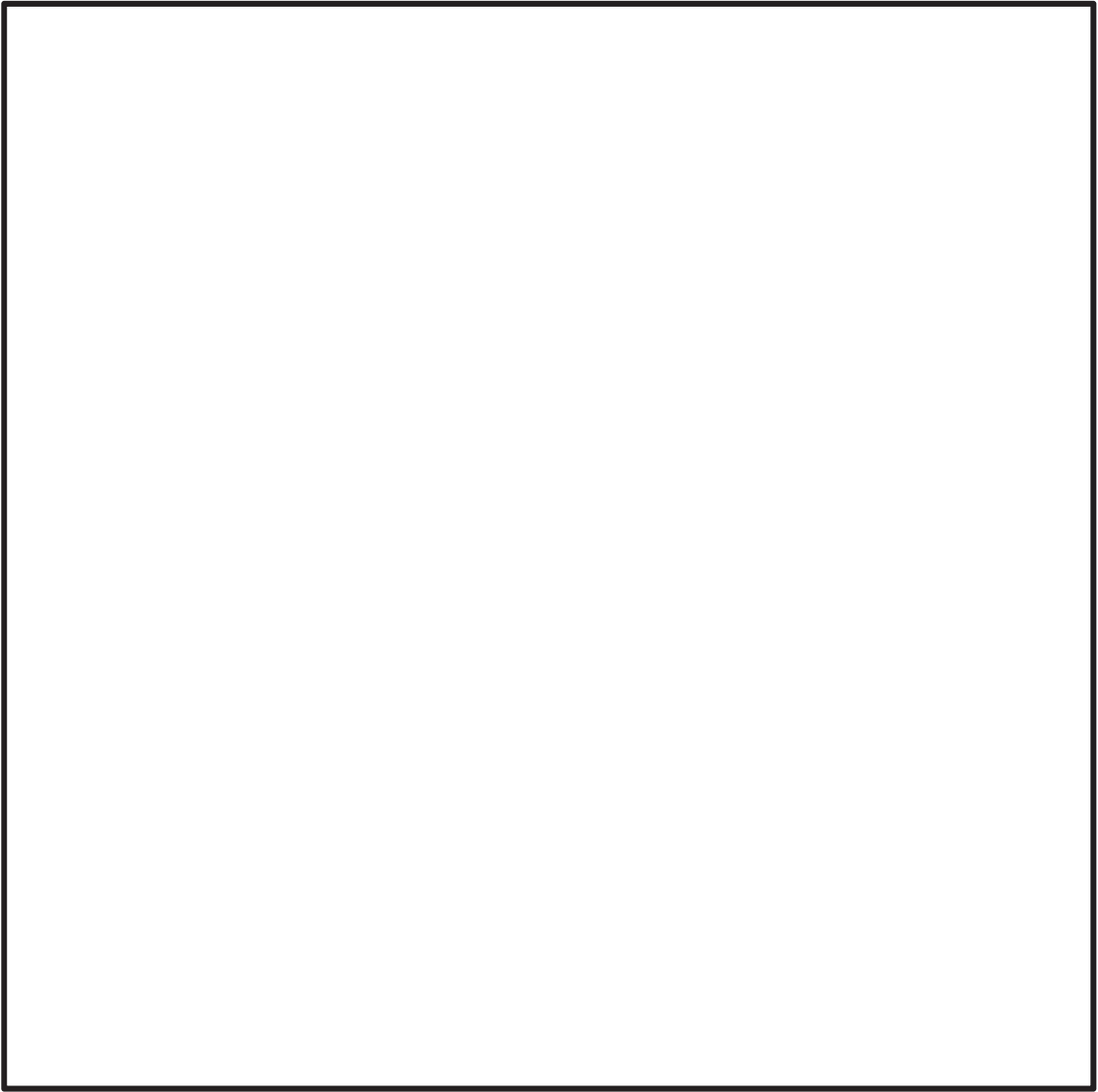


図 4-4 振動モード図 (2 次モード 鉛直方向 s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.5 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-5 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 4-5 設計用地震力（重大事故等対処設備）

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
原子炉建屋 O.P. 33.20*1			—	—	$C_H=2.65$	$C_V=1.77$

注記 *1：基準床レベルを示す。

4.6 計算方法

4.6.1 保護管の計算方法

4.6.1.1 保護管の地震力における応力の算出

- (1) 図 4-2 に示す解析モデルにより地震応答解析を実施する。
- (2) 地震応答解析により算出された、保護管の評価用の反力とモーメントを表 4-6 に示す。
- (3) 各軸方向に作用する荷重を用いて、保護管に発生する応力を算出する。算出結果を表 4-7 に示す。

表 4-6 保護管評価用反力，モーメント

対象 部位	ケース	反力(N)			モーメント(N・mm)		
		F _{x1}	F _{y1}	F _{z1}	M _{x1}	M _{y1}	M _{z1}
保護管	地震力						

表 4-7 保護管の組合せ応力

地震力における 組合せ応力 σ_k (MPa)
38

4.6.1.2 保護管のスロッシングにおける応力の算出

- (1) スロッシングにおける応力の算出においては、添付書類「VI-1-1-8-3 溢水評価条件の設定」に示す基準地震動 S_s (S_s-D 1 波：応答スペクトルに基づく地震動) の 3 方向入力による使用済燃料プールの 3 次元流動解析により得られた流体速度時刻歴データを用いる。
- (2) 流体速度時刻歴データを用いて使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の保護管に生じる抗力を算出する。
- (3) 抗力の算出には以下の式を用い、抗力係数 C_d は機械工学便覧 日本機械学会編（2007）より、保護管は円柱形状であるため 1.2 とする。なお、抗力の算出においては、流体速度時刻歴データより燃料プール内の高さレベルごとの流体速度の最大値 V を抽出し、以下の式を用い抗力 F_s を算出する。流体速度時刻歴データは使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）の保護管に対し支配的となる水平方向のデータを適用するものとする。

$$F_s = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot A \cdot V^2 \dots \dots \dots (4.6.1.2.1)$$

- (4) 抗力の算出から得られた高さレベルごとの抗力を図 4-2 に示す解析モデルに入力し、スロッシング影響解析により地震及びスロッシングにおける応力を算出する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.6.1.3 保護管の地震力及びスロッシングにおける応力の算出

スロッシング影響解析によって得られた保護管の評価用の反力とモーメントを表 4-8 に示す。その結果を用いて保護管に発生する応力を算出する。算出結果を表 4-9 に示す。

表 4-8 保護管評価用反力，モーメント

対象 部位	ケース	反力(N)			モーメント(N・mm)		
		F_{x2}	F_{y2}	F_{z2}	M_{x2}	M_{y2}	M_{z2}
保護管	地震力及び スロッシング						

表 4-9 保護管の組合せ応力

スロッシングを考慮した 組合せ応力 σ_k (MPa)
49

4.6.2 検出器架台の計算方法

4.6.2.1 検出器架台の地震力における応力の算出

- (1) 図 4-2 に示す解析モデルにより地震応答解析を実施する。
- (2) 地震応答解析により算出された，検出器架台の評価用の反力とモーメントを表 4-10 に示す。
- (3) 各軸方向に作用する荷重を用いて，検出器架台に発生する応力を算出する。算出結果を表 4-11 に示す。

表 4-10 検出器架台評価用反力，モーメント

対象 部位	ケース	反力(N)			モーメント(N・mm)		
		F_{x1}	F_{y1}	F_{z1}	M_{x1}	M_{y1}	M_{z1}
検出器 架台	地震力						

表 4-11 検出器架台の組合せ応力

地震力における 組合せ応力 σ_k (MPa)
15

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.6.2.2 検出器架台の地震力及びスロッシングにおける応力の算出

「4.6.1.2 保護管のスロッシングにおける応力の算出」に示す、スロッシング影響解析によって得られた検出器架台の評価用の反力とモーメントを表 4-12 に示す。その結果を用いて検出器架台に発生する応力を算出する。算出結果を表 4-13 に示す。

表 4-12 検出器架台評価用反力，モーメント

対象 部位	ケース	反力(N)			モーメント(N・mm)		
		F_{x2}	F_{y2}	F_{z2}	M_{x2}	M_{y2}	M_{z2}
検出器 架台	地震力及び スロッシング						

表 4-13 検出器架台の組合せ応力

スロッシングを考慮した 組合せ応力 σ_k (MPa)
17

4.6.3 基礎ボルトの計算方法

4.6.3.1 基礎ボルトの地震力における応力の算出

- (1) 図 4-2 に示す解析モデルにより地震応答解析を実施する。
- (2) 地震応答解析により算出された、基礎ボルトの評価用の反力とモーメントを表 4-14 に示す。

表4-14 基礎ボルト評価用反力，モーメント

対象 部位	ケース	反力(N)			モーメント(N・mm)		
		F_{x1}	F_{y1}	F_{z1}	M_{x1}	M_{y1}	M_{z1}
基礎 ボルト	地震力						

4.6.3.2 基礎ボルトの地震力及びスロッシングにおける応力の算出

「4.6.1.2 保護管のスロッシングにおける応力の算出」に示す、スロッシング影響解析によって得られた基礎ボルトの評価用の反力とモーメントを表4-15に示す。

表4-15 基礎ボルト評価用反力，モーメント

対象部位	ケース	反力(N)			モーメント(N・mm)		
		F _{x2}	F _{y2}	F _{z2}	M _{x2}	M _{y2}	M _{z2}
基礎ボルト	地震力及びスロッシング						

4.6.3.3 基礎ボルトの応力の計算方法

地震応答解析及びスロッシング影響解析によって得られた基礎ボルトの評価用の反力とモーメントにより，理論式にて基礎ボルトの応力を評価する。

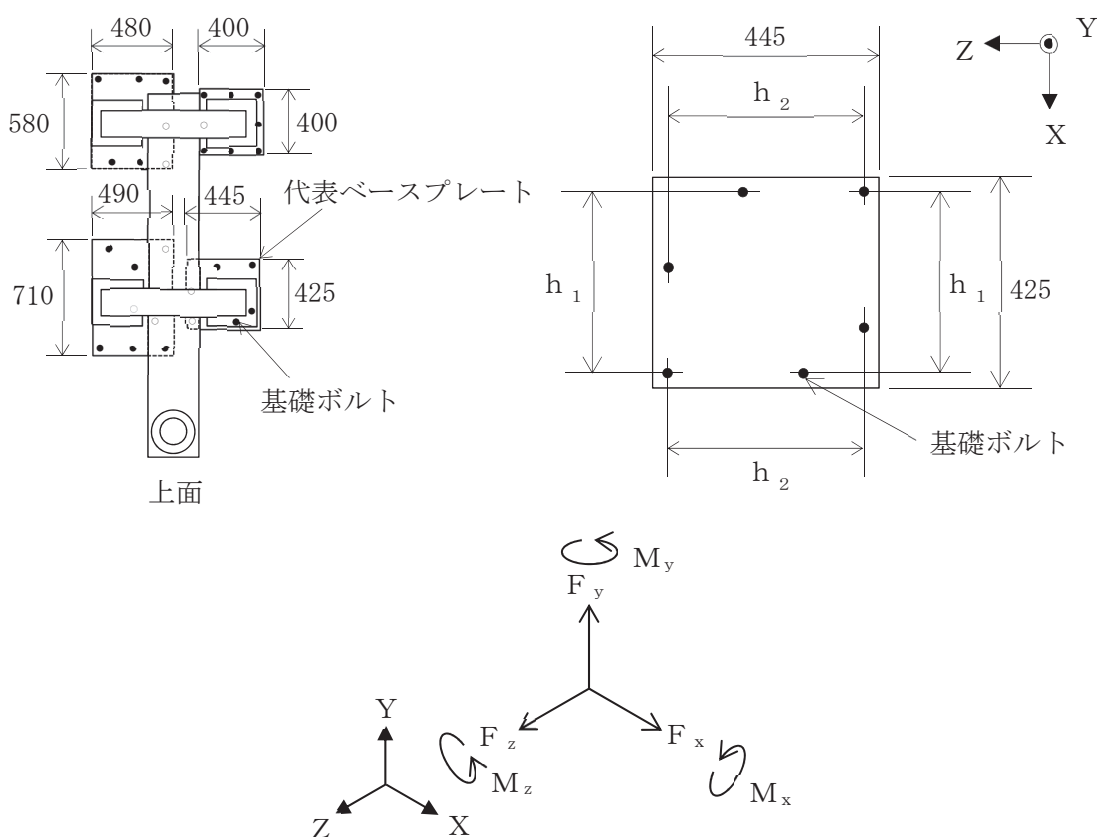


図 4-5 基礎ボルトの計算モデル図

(1) 引張応力

計算モデル図 4-5 に対する引張力は，F_y に対しては n 本，M_x に対しては n_x 本，M_z に対しては n_z 本で受けるものとし計算する。

引張力

$$F_b = \frac{F_y}{n} + \frac{M_x}{(n_x \cdot h_2)} + \frac{M_z}{(n_z \cdot h_1)} \dots \dots \dots (4.6.3.3.1)$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_b}{A_b} \dots \dots \dots (4.6.3.3.2)$$

ここで基礎ボルトの断面積Aは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots \dots \dots (4.6.3.3.3)$$

(2) せん断応力

せん断力

基礎ボルトに対するせん断力は、 F_x および F_z に対してはn本、 M_y に対しては n_y 本で受けるものとし計算する。

$$Q_b = \sqrt{\left(\frac{F_x}{n} + \frac{M_y}{(n_y \cdot h_1)}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{n} + \frac{M_y}{(n_y \cdot h_1)}\right)^2} \dots \dots \dots (4.6.3.3.4)$$

せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b} \dots \dots \dots (4.6.3.3.5)$$

4.6.4 ワーキングテーブルラグの計算方法

4.6.4.1 ワーキングテーブルラグの地震力における応力の算出

- (1) 図 4-2 に示す解析モデルにより地震応答解析を実施する。
- (2) 地震応答解析により算出された，ワーキングテーブルラグの評価用の反力とモーメントを表 4-16 に示す。

表 4-16 ワーキングテーブルラグ評価用反力，モーメント

対象 部位	ケース	反力(N)			モーメント(N・mm)		
		F_{x1}	F_{y1}	F_{z1}	M_{x1}	M_{y1}	M_{z1}
ワーキング テーブル ラグ	地震力						

4.6.4.2 ワーキングテーブルラグの地震力及びスロッシングにおける応力の算出

「4.6.1.2 保護管のスロッシングにおける応力の算出」に示す，スロッシング影響解析によって得られた基礎ボルトの評価用の反力とモーメントを表4-17に示す。

表 4-17 ワーキングテーブルラグ評価用反力，モーメント

対象 部位	ケース	反力(N)			モーメント(N・mm)		
		F_{x2}	F_{y2}	F_{z2}	M_{x2}	M_{y2}	M_{z2}
ワーキング テーブル ラグ	地震力及び スロッシング						

4.6.4.3 ワーキングテーブルラグの応力の計算方法

地震応答解析及びスロッシング影響解析によって得られたワーキングテーブルラグの評価用の反力とモーメントにより，理論式にてワーキングテーブルラグの応力を評価する。

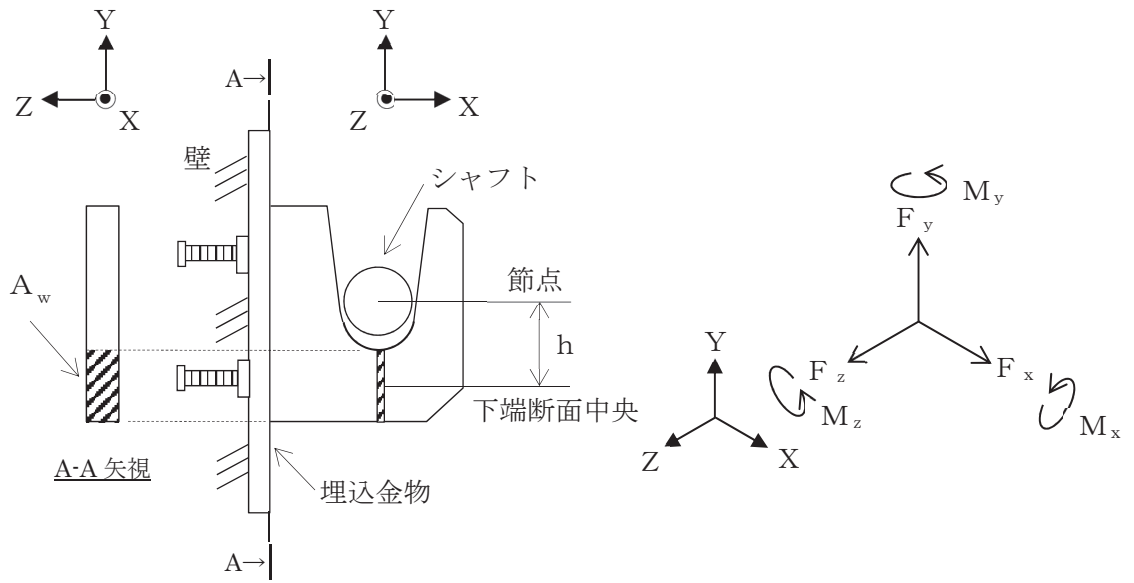


図 4-6 ワーキングテーブルラグの計算モデル図

(1) 組合せ応力

計算モデル図 4-6 の場合は、次式にて求める。

$$\sigma_k = \frac{F_x}{A_w} + \frac{F_x \cdot h}{Z_z} \dots \dots \dots (4.6.4.3.1)$$

ここで、 A_w はワーキングテーブルラグの下端断面積、 Z_z はワーキングテーブルラグ下端断面係数を示す。

計算モデル図 4-6 にて算出した結果を表 4-18 に示す。

表 4-18 ワーキングテーブルラグの組合せ応力

地震力における 組合せ応力 σ_k (MPa)	スロッシングを考慮した 組合せ応力 σ_k (MPa)
70	76

4.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）（G41-L/TE107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, TE121）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。

4.8 応力の評価

4.8.1 保護管の応力評価

保護管に生じる組合せ応力は次式より求めた許容組合せ応力 f_t 以下であること。ただし f_t は下表による。

f_t 許容組合せ応力	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合 $\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
------------------	--

4.8.2 検出器架台の応力評価

検出器架台に生じる組合せ応力は次式より求めた許容組合せ応力 f_t 以下であること。ただし f_t は下表による。

f_t 許容組合せ応力	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合 $\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
------------------	--

4.8.3 基礎ボルトの応力評価

基礎ボルトに生じる引張応力 σ_t は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし f_{ts} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau, f_{to}] \dots \dots \dots (4.8.3.1)$$

せん断応力 τ 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。ただし 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_{t0}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.8.4 ワーキングテーブルラグの応力評価

ワーキングテーブルラグに生じる組合せ応力は次式より求めた許容組合せ応力 f_t 以下であること。ただし f_t 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
許容組合せ応力 f_t	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

使用済燃料プール水位／温度(ヒートサーモ式)の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。水平方向については保守的に水平 2 方向の影響を考慮する。

使用済燃料プール水位／温度(ヒートサーモ式)の機能確認済加速度は、「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、加振試験により電氣的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
使用済燃料プール水位／温度 (ヒートサーモ式) (G41-L/TE107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, TE121)	水平方向	
	鉛直方向	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）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頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）（G41-L/TE107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, TE121）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	設備分類	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 (°C)
			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 水位／温度 (ヒートサーモ式) (G41-L/TE107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, TE121)	常設／防止 常設／緩和	原子炉建屋 O.P. 33.20* ¹			—	—	C _H =2.65	C _V =1.77	100

注記*1：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 保護管

部 材	m _p (kg)	m _{w1} (kg)	m _{w2} (kg)	d _o (mm)	d _i (mm)	l _p (mm)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F* (MPa)
保護管				165.2	151.0	7620	176	476	205	205

1.2.2 検出器架台

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F* (MPa)
検出器架台	171	441	205	205

1.2.3 基礎ボルト

部 材	W (N)	d (mm)	A _b (mm ²)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	n	n _x	n _y	n _z	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト			314.2	341	362	6	2	4	2	212	373	254

1.2.4 ワーキングテーブルラグ

部 材	A _w (mm ²)	h (mm)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F* (MPa)
ワーキングテ ーブルラグ	1000	65	171	441	205	205

1.3 計算数値

1.3.1 保護管に作用する反力

(単位：N)

部 材	ケース	F _{x1, 2}		F _{y1, 2}		F _{z1, 2}	
		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
保護管	地震力	—		—		—	
	地震力及び スロッシング	—		—		—	

1.3.2 保護管に作用するモーメント

(単位：N・mm)

部 材	ケース	M _{x1, 2}		M _{y1, 2}		M _{z1, 2}	
		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
保護管	地震力	—		—		—	
	地震力及び スロッシング	—		—		—	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.3.3 検出器架台に作用する反力

(単位：N)

部 材	ケース	$F_{x1, 2}$		$F_{y1, 2}$		$F_{z1, 2}$	
		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
検出器架台	地震力	—		—		—	
	地震力及び スロッシング	—		—		—	

1.3.4 検出器架台に作用するモーメント

(単位：N・mm)

部 材	ケース	$M_{x1, 2}$		$M_{y1, 2}$		$M_{z1, 2}$	
		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
検出器架台	地震力	—		—		—	
	地震力及び スロッシング	—		—		—	

1.3.5 基礎ボルトに作用する反力

(単位：N)

部 材	ケース	$F_{x1, 2}$		$F_{y1, 2}$		$F_{z1, 2}$	
		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	地震力	—		—		—	
	地震力及び スロッシング	—		—		—	

1.3.6 基礎ボルトに作用するモーメント

(単位：N・mm)

部 材	ケース	$M_{x1, 2}$		$M_{y1, 2}$		$M_{z1, 2}$	
		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	地震力	—		—		—	
	地震力及び スロッシング	—		—		—	

1.3.7 ワーキングテーブルラグに作用する反力

(単位：N)

部 材	ケース	$F_{x1, 2}$		$F_{y1, 2}$		$F_{z1, 2}$	
		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
ワーキング テーブルラグ	地震力	—		—		—	
	地震力及び スロッシング	—		—		—	

1.3.8 ワーキングテーブルラグに作用するモーメント

(単位：N・mm)

部 材	ケース	$M_{x1, 2}$		$M_{y1, 2}$		$M_{z1, 2}$	
		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
ワーキング テーブルラグ	地震力	—		—		—	
	地震力及び スロッシング	—		—		—	

1.4 結論

1.4.1 保護管の応力

(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
保護管	SUS316TP	組合せ	—	—	$\sigma_k = 49$	$f_t = 205$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 検出器架台の応力

(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
検出器架台	SUS304	組合せ	—	—	$\sigma_k = 17$	$f_t = 205$

すべて許容応力以下である。

☞

1.4.3 基礎ボルトの応力

(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	—	—	$\sigma_t = 42$	$f_{ts} = 152^*$
		せん断	—	—	$\tau = 7$	$f_{sb} = 117$

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau, f_{to}]$ より算出

すべて許容応力以下である。

1.4.4 ワーキングテーブルラグの応力

(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
ワーキングテーブルラグ	SUS304	組合せ	—	—	$\sigma_k = 76$	$f_t = 205$

すべて許容応力以下である。

1.4.5 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*1	機能確認済加速度
使用済燃料プール 水位/温度 (ヒートサーモ式) (G41-L/TE107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, TE121)	水平方向	3.13*2	
	鉛直方向	1.47	

注記*1：基準地震動S_sによる定まる応答加速度とする。

*2：保守的に水平2方向の影響を考慮する。

機能維持評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他機器要目

(1) 材料物性値

項目	記号	単位	入力値
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	59
節点数	—	個	60

(2) 検出器架台の断面性状

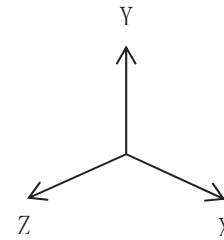
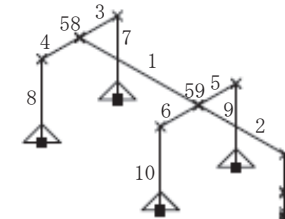
部材	要素番号	A_c (mm^2)	Z_1 (mm^3)	Z_2 (mm^3)	Z_{p1} (mm^3)
検出器架台	1~2				
	3~10				

(3) 保護管の断面性状

部材	要素番号	断面積 (mm^2)	断面係数 (mm^3)
保護管	11~57		

(4) ワーキングテーブルラグの断面性状

部材	節点番号	A_w (mm^2)	Z_z (mm^3)
ワーキングテーブルラグ	35, 42, 47, 53	1.000×10^3	8.333×10^3

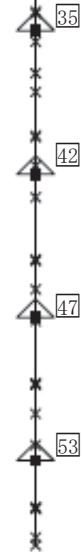


鳥観図記号凡例

記号	内容
\triangle	拘束点
\times	節点
\blacksquare	荷重点

要素番号：1~59
(11~57 は保護管)

節点番号：1~60
(35, 42, 47, 53 主要部のみ記載)



VI-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

目 次

- VI-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
- VI-2-4-3-2 燃料プール代替注水系の耐震性についての計算書
- VI-2-4-3-3 燃料プールスプレイ系の耐震性についての計算書

VI-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

目 次

- VI-2-4-3-1-1 燃料プール冷却浄化系熱交換器の耐震性についての計算書
- VI-2-4-3-1-2 燃料プール冷却浄化系ポンプの耐震性についての計算書
- VI-2-4-3-1-3 管の耐震性についての計算書（燃料プール冷却浄化系）

VI-2-4-3-1-1 燃料プール冷却浄化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
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の計算	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
4.2.2 許容応力	4
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	4
4.3 計算条件	4
4.4 疲労解析評価	9
5. 評価結果	11
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	11

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、燃料プール冷却浄化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。

燃料プール冷却浄化系熱交換器は、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、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、燃料プール冷却浄化系熱交換器は、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横置一胴円筒形容器と類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-2 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

また、「4.4 疲労解析評価」にて示す方法にて疲労解析評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

燃料プール冷却浄化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
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴を2個の脚で支持し、脚をそれぞれ基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>横置一胴円筒形容器 (水室側及び胴側に、鏡板を有する横置一胴円筒形容器)</p>	<p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール冷却浄化系熱交換器の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛であることを確認した。

固有周期の計算結果を表3-1に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平方向	<input type="text"/>
鉛直方向	<input type="text"/>

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

燃料プール冷却浄化系熱交換器の構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-2 横置一胴円筒形容器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行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

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

燃料プール冷却浄化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 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

燃料プール冷却浄化系熱交換器の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表 4-2 及び表 4-3 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

燃料プール冷却浄化系熱交換器の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-4 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール冷却浄化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。

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
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	燃料プール冷却浄化系 熱交換器	常設耐震／防止	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 4-2 許容応力（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
IV _{AS}	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値	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、疲労解析は不要。	
V _{AS} (V _{AS} としてIV _{AS} の 許容限界を用いる)				

注記*1：座屈による評価は、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 4-3 許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等以外)	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張り	せん断
IV _A S	1.5 · f _t [*]	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 4-4 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SGV410	最高使用温度	70	—	210	380	—
脚	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	66	—	234	385	—
基礎ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	66	—	225	385	—

4.4 疲労解析評価

胴の応力評価において、一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の2倍を上回る場合には、設計・建設規格 PVB-3300に規定された簡易弾塑性評価方法に基づき、疲労解析評価を実施する。

なお、疲労解析評価に用いる基準地震動 S_s の等価繰返し回数 N_c は、設備ごとに個別に設定した とする。

(1) 繰返しピーク応力強さ

繰返しピーク応力強さ S_ℓ は、次式により求める。

$$S_\ell = K_e \cdot S_p / 2 \dots \dots \dots (4.4.1)$$

K_e : 次の計算式により計算した値

a. $S_n < 3 \cdot S_m$ の場合

$$K_e = 1$$

b. $S_n \geq 3 \cdot S_m$ の場合

(a) $K < B_0$ の場合

$$\begin{aligned} \text{イ. } S_n / (3 \cdot S_m) < [(q + A_0 / K - 1) \\ - \sqrt{\{(q + A_0 / K - 1)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)\}}] / (2 \cdot A_0) \text{ の場合} \end{aligned}$$

$$K_e = 1 + A_0 \cdot \{S_n / (3 \cdot S_m) - 1 / K\} \dots \dots \dots (4.4.2)$$

$$\begin{aligned} \text{ロ. } S_n / (3 \cdot S_m) \geq [(q + A_0 / K - 1) \\ - \sqrt{\{(q + A_0 / K - 1)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)\}}] / (2 \cdot A_0) \text{ の場合} \end{aligned}$$

$$K_e = 1 + (q - 1) \cdot (1 - 3 \cdot S_m / S_n) \dots \dots \dots (4.4.3)$$

(b) $K \geq B_0$ の場合

$$\text{イ. } S_n / (3 \cdot S_m) < [(q - 1) - \sqrt{\{A_0 \cdot (1 - 1 / K) \cdot (q - 1)\}}] / a \text{ の場合}$$

$$K_e = a \cdot S_n / (3 \cdot S_m) + A_0 \cdot (1 - 1 / K) + 1 - a \dots \dots \dots (4.4.4)$$

$$\text{ロ. } S_n / (3 \cdot S_m) \geq [(q - 1) - \sqrt{\{A_0 \cdot (1 - 1 / K) \cdot (q - 1)\}}] / a \text{ の場合}$$

$$K_e = 1 + (q - 1) \cdot (1 - 3 \cdot S_m / S_n) \dots \dots \dots (4.4.5)$$

ここで,

$$K = S_p / S_n \dots \dots \dots (4.4.6)$$

$$a = A_0 \cdot (1 - 1/K) + (q - 1) - 2 \cdot \sqrt{\{A_0 \cdot (1 - 1/K) \cdot (q - 1)\}}$$

q, A₀, B₀: 下表に掲げる材料の種類に応じ, それぞれの同表に掲げる値

材料の種類	q	A ₀	B ₀
低合金鋼	3.1	1.0	1.25
マルテンサイト系ステンレス鋼	3.1	1.0	1.25
炭素鋼	3.1	0.66	2.59
オーステナイト系ステンレス鋼	3.1	0.7	2.15
高ニッケル合金	3.1	0.7	2.15

S_n: 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の差

$$S_m : 2/3 \cdot S_y$$

K_e: 弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数

S_p: 地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲

S_ℓ: 繰返しピーク応力強さ

(2) 運転温度における繰返しピーク応力強さの補正

縦弾性係数比を考慮し, 繰返しピーク応力強さ S_ℓ を次式により補正する。

$$S_{\ell}' = S_{\ell} \cdot E_0 / E$$

S_ℓ' : 補正繰返しピーク応力強さ

E₀ : 縦弾性係数

E : 運転温度の縦弾性係数

(3) 疲労累積係数

疲労累積係数 U_f が次式を満足することを確認する。

$$U_f = \Sigma (N_c / N_a) \leq 1.0$$

N_a : 地震時の許容繰返し回数

N_c : 地震時の等価繰返し回数

なお, 許容繰返し回数の算出には, 設計・建設規格「表 添付 4-2-1 炭素鋼、低合金鋼および高張力鋼の設計疲労線図 (図 添付 4-2-1) のデジタル値」より求めた値を用いる。

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

燃料プール冷却浄化系熱交換器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頁以降の表に示す。

【燃料プール冷却浄化系熱交換器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		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
燃料プール冷却浄化系 熱交換器	常設耐震/防止	原子炉建屋 O.P. 15.00	□	□	—	—	C _H =1.97	C _V =1.37	1.18	70	66

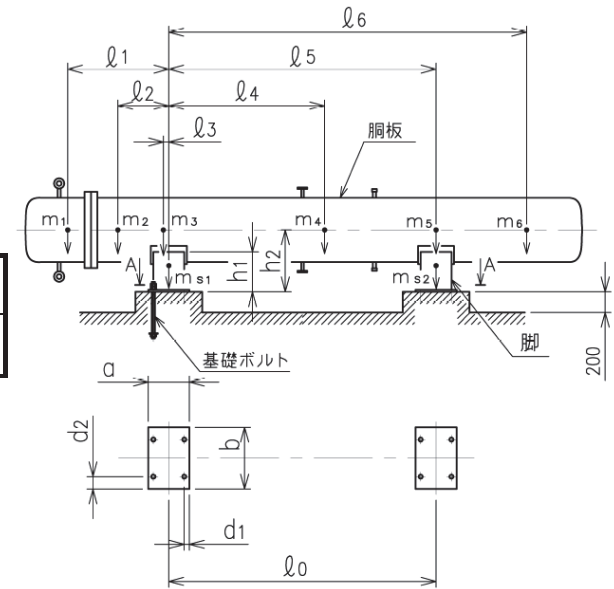
1.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)
□	□	□	□	□	□

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)
-971	-441	0	1300	2600	3328	7.971×10 ⁶	5.690×10 ⁶	2.143×10 ⁴	1.720×10 ⁴

m _o (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	ℓ _o (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ _w (rad)	ℓ _w (mm)
4177	119	119	600	12.0	12.0*1	2600	444	600	0.001	50

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	θ _o (rad)	θ (rad)
270	150	1.009×10 ⁹	2.099×10 ⁸	3.736×10 ⁶	1.400×10 ⁶	2.096	1.395



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

A_s (mm ²)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	A_{s3} (mm ²)	A_{s4} (mm ²)
2.586×10^4	200000^{*4}	77100^{*4}	7.238×10^3	1.650×10^4	6.064×10^3	1.410×10^4

K_{11}^{*2}	K_{12}^{*2}	K_{21}^{*2}	K_{22}^{*2}	$K_{\ell 1}$	$K_{\ell 2}$	K_{c1}	K_{c2}	$C_{\ell 1}$	$C_{\ell 2}$	C_{c1}	C_{c2}
<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
15	4	2	2	400	600	30 (M30)	706.9	50	120

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)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
210^{*3}	380^{*3}	—	234^{*4} (厚さ ≤ 16 mm)	385^{*4}	—	270	225^{*4} ($16\text{mm} < \text{径} \leq 40\text{mm}$)	385^{*4}	—	270

注記*1 : 本計算においては当板を無効とした。

*2 : 表中で上段は一次応力, 下段は二次応力の係数とする。

*3 : 最高使用温度で算出

*4 : 周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=31$	$\sigma_{x 1}=16$	$\sigma_{\phi 1}=31$	$\sigma_{x 1}=16$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=22$	—	$\sigma_{x 2}=22$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=29$	—	$\sigma_{x 6}=29$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 413}=4$	—	—
組合せ応力	—		—		$\sigma_{0\ell}=69$		$\sigma_{0c}=66$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=31$	$\sigma_{x 1}=16$	$\sigma_{\phi 1}=31$	$\sigma_{x 1}=16$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=22$	—	$\sigma_{x 2}=22$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=29$	—	$\sigma_{x 6}=29$
運転時質量による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3}=13$	$\sigma_{x 3}=13$	$\sigma_{\phi 3}=13$	$\sigma_{x 3}=13$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=18$	$\sigma_{x 71}=18$	$\sigma_{\phi 71}=18$	$\sigma_{x 71}=18$
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	$\sigma_{\phi 411}=36$	$\sigma_{x 411}=17$	$\sigma_{\phi 51}=27$	$\sigma_{x 51}=75$
		—	—	—	$\sigma_{\phi 412}=7$	$\sigma_{x 412}=7$		
		—	—	—	$\sigma_{\phi 41}=42$	$\sigma_{x 41}=27$		
	せん断	—	—	—	$\tau_{\ell}=11$	—	$\tau_c=4$	—
組合せ応力	—		—		$\sigma_{1\ell}=127$		$\sigma_{1c}=171$	

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=29$	—	$\sigma_{x 6}=29$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7 1}=18$ $\sigma_{\phi 7 2}=66$	$\sigma_{x 7 1}=18$ $\sigma_{x 7 2}=38$	$\sigma_{\phi 7 1}=18$ $\sigma_{\phi 7 2}=66$	$\sigma_{x 7 1}=18$ $\sigma_{x 7 2}=38$
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 1}=42$	$\sigma_{x 4 1}=27$	$\sigma_{\phi 5 1}=27$	$\sigma_{x 5 1}=75$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 2 1}=50$ $\sigma_{\phi 4 2 2}=26$	$\sigma_{x 4 2 1}=98$ $\sigma_{x 4 2 2}=15$	$\sigma_{\phi 5 2}=227$	$\sigma_{x 5 2}=106$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 2}=75$	$\sigma_{x 4 2}=113$		
	せん断	—	—	—	—	$\tau_{\phi}=11$	$\tau_c=4$		
組合せ応力		—	—	—	—	$\sigma_{2\phi}=456$	$\sigma_{2c}=675$		

15

1. 3. 2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s 1}=1$	$\sigma_{s 1}=1$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s 4}=2$	$\sigma_{s 4}=2$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s 2}=14$	$\sigma_{s 3}=8$
	せん断	—	—	$\tau_{s 2}=14$	$\tau_{s 3}=4$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{s\phi}=28$	$\sigma_{s c}=11$

1. 3. 3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張り	—	—	$\sigma_{b 1}=48$	$\sigma_{b 2}=48$
水平方向地震による応力	せん断	—	—	$\tau_{b 1}=29$	$\tau_{b 2}=16$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	$T_1 =$ <input type="text"/>
横方向	$T_2 =$ <input type="text"/>
鉛直方向	$T_3 =$ <input type="text"/>

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	SGV410	一次一般膜	—	—	$\sigma_0 = 69$	$S_a = 228$
		一次	—	—	$\sigma_1 = 171$	$S_a = 342$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 675^{*2}$	$S_a = 420$
脚	SS400	組合せ	—	—	$\sigma_s = 28$	$f_t = 270$
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 48$	$f_{ts} = 202^{*1}$
		せん断	—	—	$\tau_b = 29$	$f_{sb} = 155$

注記*1 : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

*2 : 算出応力が許容応力を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、この結果より耐震性を有することを確認した。

1.4.3 疲労評価

評価部位	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_θ (MPa)	$S_{\theta'}^*$ (MPa)	N_a (回)	N_c (回)	疲労累積係数 N_c / N_a
胴板	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記* : $E_0 = 2.07 \times 10^5$ MPa $E = 2.00 \times 10^5$ MPa として補正する。

VI-2-4-3-1-2 燃料プール冷却浄化系ポンプ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評価条件	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 基本方針	7
4.2 横形ポンプの動的機能維持評価	8
4.2.1 評価対象部位	8
4.2.2 許容値	8
4.2.3 記号の説明	9
4.2.4 評価方法	10
4.3 原動機の動的機能維持評価	12
4.3.1 評価対象部位	12
4.3.2 許容値	12
4.3.3 記号の説明	13
4.3.4 評価方法	15
5. 評価結果	20
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	20

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-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、燃料プール冷却浄化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。

燃料プール冷却浄化系ポンプは、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、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、燃料プール冷却浄化系ポンプは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横軸ポンプと類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

燃料プール冷却浄化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	
<p>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。</p>	<p>うず巻形 (うず巻形横軸ポンプ)</p>	<p>(単位：mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

燃料プール冷却浄化系ポンプの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 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行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

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

燃料プール冷却浄化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

燃料プール冷却浄化系ポンプの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表 3-2 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

燃料プール冷却浄化系ポンプの使用材料の許容応力評価条件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。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール冷却浄化系ポンプ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。

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
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	燃料プール冷却 浄化系ポンプ	常設耐震／防止	重大事故等 クラス 2 ポンプ*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を示す。

+

*2：重大事故等クラス 2 ポンプ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 3-2 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）

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評価条件（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 (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	66			—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	66			—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	66			—

4. 機能維持評価

4.1 基本方針

燃料プール冷却浄化系ポンプ及び原動機は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の横形単段遠心式ポンプ及び横形ころがり軸受電動機であり、機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、J E A G 4 6 0 1 に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

詳細評価に用いる機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる設計用最大応答加速度（1.0ZPA）を設定する。

4.2 横形ポンプの動的機能維持評価

4.2.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 の横形ポンプの動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 基礎ボルト
- b. ポンプ取付ボルト
- c. 軸
- d. 摺動部（インペラとライナーリングのクリアランス）

このうち「a. 基礎ボルト」及び「b. ポンプ取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて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ている。

以上より、本計算書においては、軸、摺動部（インペラとライナーリングのクリアランス）を評価対象部位とする。

4.2.2 許容値

軸の許容値は、クラス 2 ポンプの許容応力状態Ⅲ_AS に準拠し設定する。摺動部（インペラとライナーリングのクリアランス）は、変位可能寸法を許容値として設定する。

4.2.3 記号の説明

燃料プール冷却材浄化系ポンプの動的機能維持評価に使用する記号を表 4-2 に示す。

表4-2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_H	水平方向設計震度	-
C_P	ポンプ振動による震度	-
C_V	鉛直方向設計震度	-
E	軸の縦弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
I	軸の断面二次モーメント	mm ⁴
l	軸長さ	mm
l_1	軸受間距離	mm
l_2	羽根車側軸端から羽根車側軸受までの距離	mm
M	軸に作用する最大曲げモーメント	N・mm
m_c	羽根車質量	kg
m_s	回転体総質量	kg
M_{C2}	羽根車側軸端に羽根車の質量が作用した場合の羽根車側軸受から羽根車側軸端での曲げモーメント	N・mm
M_P	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
M_{S2}	羽根車側軸受から羽根車側軸端での曲げモーメント	N・mm
N	回転速度 (原動機の同期回転速度)	rpm
P	原動機出力	kW
T	軸に作用するねじりモーメント	N・mm
w	地震力を考慮した軸等分布荷重	N
W_c	地震力を考慮した羽根車側軸端部荷重	N
Z	軸の断面係数	mm ³
π	円周率	-
δ	軸のたわみ量	mm
δ_S	軸自重に地震力を考慮した等分布荷重により羽根車側軸端部による軸のたわみ量	mm
δ_C	地震時に羽根車側軸端部にかかる荷重による軸のたわみ量	mm
τ_{max}	軸に生じる最大せん断応力	MPa

4.2.4 評価方法

(1) 軸

軸の最大せん断応力

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2 \cdot Z} \cdot \sqrt{M^2 + T^2} \quad \dots \dots \dots (4.2.4.1)$$

軸に作用するねじりモーメント

$$T = M_P \quad \dots \dots \dots (4.2.4.2)$$

ポンプ回転により作用するモーメント

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \times 10^6 \times P \quad \dots \dots \dots (4.2.4.3)$$

軸に作用する最大曲げモーメント

$$M = M_{S2} + M_{C2} \quad \dots \dots \dots (4.2.4.4)$$

羽根車側軸受から羽根車側軸端での曲げモーメント

$$M_{S2} = \frac{w \cdot \ell_2^2}{2} \quad \dots \dots \dots (4.2.4.5)$$

地震力を考慮した軸等分布荷重

$$w = \frac{m_s \cdot g \cdot \sqrt{(C_H + C_P)^2 + (1 + C_V + C_P)^2}}{\ell} \quad \dots \dots \dots (4.2.4.6)$$

羽根車側軸端に羽根車の質量が作用した場合の羽根車側軸受から羽根車側軸端での曲げモーメント

$$M_{C2} = w_c \cdot \ell_2 \quad \dots \dots \dots (4.2.4.7)$$

地震力を考慮した羽根車側軸端部荷重

$$w_c = m_c \cdot g \cdot \sqrt{(C_H + C_P)^2 + (1 + C_V + C_P)^2} \quad \dots \dots \dots (4.2.4.8)$$

(2) 摺動部（インペラとライナーリングのクリアランス）

羽根車側軸端部の軸のたわみ量

$$\delta = \delta_s + \delta_c \quad \dots \dots \dots (4.2.4.9)$$

軸自重に地震力を考慮した等分布荷重により羽根車側軸端部による軸のたわみ量

$$\delta_s = \frac{w \cdot \ell_2^4}{8 \cdot E \cdot I} + \frac{w \cdot \ell_1}{24 \cdot E \cdot I} (4\ell_2^2 - \ell_1^2) \quad \dots \dots \dots (4.2.4.10)$$

地震時に羽根車軸端部にかかる荷重による軸のたわみ量

$$\delta_c = \frac{w_c \cdot \ell_2^2}{3 \cdot E \cdot I} (\ell_1 + \ell_2) \quad \dots \dots \dots (4.2.4.11)$$

4.3 原動機の動的機能維持評価

4.3.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 の原動機の動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 取付ボルト
- b. 固定子
- c. 軸（回転子）
- d. 端子箱
- e. 軸受
- f. 固定子と回転子間のクリアランス
- g. モータフレーム

このうち「a. 取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて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ている。

以上より、本計算書においては、固定子、軸（回転子）、端子箱、軸受、固定子と回転子間のクリアランス、モータフレームを評価対象部位とする。

4.3.2 許容値

モータフレーム及び端子箱の許容値は、クラス2支持構造物の許容応力状態Ⅳ_ASに準拠し設定する。軸（回転子）の許容値は、クラス2ポンプの許容応力状態Ⅲ_ASに準拠し設定する。固定子の許容値は、クラス2支持構造物の許容応力状態Ⅲ_ASに準拠し設定する。また、軸受については、メーカー規定の軸受の定格荷重を、固定子と回転子間のクリアランスは、変位可能寸法を許容値として設定する。

4.3.3 記号の説明

燃料プール冷却浄化系ポンプ用原動機の動的機能維持評価に使用する記号を表 4-3 に示す。

表4-3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_p	ピンの断面積	mm^2
A_{tb}	端子箱取付ボルトの断面積	mm^2
A_s	脚部の断面積	mm^2
C_p	ポンプ振動による震度	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_f	フレームの内径	mm
d_s	軸の直径	mm
E	軸の縦弾性係数	MPa
F	ピンにはたらく合成荷重	N
$F_{tb, x}$	水平方向地震力が x 方向（横方向）によりボルトに作用する引張力	N
$F_{tb, y}$	水平方向地震力が y 方向（長手方向）によりボルトに作用する引張力	N
F_1	電動機の回転によりピンにはたらく荷重	N
F_2	水平方向（長手方向）地震力によりピンにはたらく荷重	N
F_a	アキシアル荷重	N
F_{R1}	地震力により軸に作用する荷重	N
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
h_c	電動機取付面から電動機重心までの高さ	mm
h_f	電動機取付面から脚取付部までの高さ	mm
h_t	端子箱取付面から端子箱重心までの高さ	mm
I	軸の断面二次モーメント	mm^4
$L_{1, x}$	端子箱重心と取付ボルトの水平方向距離（x 方向）	mm
$L_{2, x}$	端子箱重心と取付ボルトの水平方向距離（x 方向）	mm
$L_{1, y}$	端子箱重心と取付ボルトの水平方向距離（y 方向）	mm
$L_{2, y}$	端子箱重心と取付ボルトの水平方向距離（y 方向）	mm
ℓ	電動機脚部中心間距離	mm
ℓ_c	脚中心から電動機重心までの水平方向距離	mm
$\ell_{b, L}$	反軸継手側・軸継手側（反負荷側・負荷側）軸受間距離	mm
$\ell_{r, C}$	軸（回転子）の重心位置	mm
$M_{\theta 1}$	水平方向地震力（横方向）により脚部底面に作用する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{max}	軸に生じる最大曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_P	軸の回転によるモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m	脚部重量を除いた電動機重量	kg
m_r	軸・回転子の重量	kg
m_s	固定子重量	kg

記号	記号の説明	単位
m_{s1}	脚部の重量	kg
m_t	端子箱重量	kg
N	電動機定格回転速度	min^{-1}
n_p	ピンの本数	—
n_t	端子箱取付ボルトの本数	—
$n_{t1, x}$	引張力がはたらく端子箱取付ボルト本数 (x 方向)	—
$n_{t1, y}$	引張力がはたらく端子箱取付ボルト本数 (y 方向)	—
P	電動機定格出力	kW
P_1	静等価ラジアル荷重	N
P_2	静等価ラジアル荷重	N
$P_{or, 1}$	反軸継手側のラジアル玉軸受の静等価ラジアル荷重	N
$P_{or, 2}$	軸継手側のラジアル玉軸受の静等価ラジアル荷重	N
P_ℓ	水平方向地震力 (横方向) により脚取付部に作用する鉛直方向荷重	N
Q_{tb}	ボルトに作用するせん断力	N
R_1	脚部が受ける荷重	N
R_L	軸継手側軸受が受ける荷重	N
R_O	反軸継手側軸受が受ける荷重	N
T_M	電動機最大トルク	$\text{N}\cdot\text{m}$
T_S	電動機最大トルク	%
X_O	軸受ラジアル荷重に対する係数	—
Y_O	軸受アキシアル荷重に対する係数	—
y_{max}	軸の最大たわみ	mm
Z_S	軸の断面係数	mm^3
Z_{sy}	脚部の長手方向軸に対する断面係数	mm^3
σ_b	軸にはたらく最大曲げ応力	MPa
σ_{tb}	ボルト 1 本あたりにはたらく引張応力	MPa
$\sigma_{tb, x}$	水平方向地震力が x 方向 (横方向) によりボルト 1 本あたりにはたらく引張応力	MPa
$\sigma_{tb, y}$	水平方向地震力が y 方向 (長手方向) によりボルト 1 本あたりにはたらく引張応力	MPa
σ_s	軸にはたらく組合せ応力	MPa
σ_S	鉛直方向と水平方向 (横方向) 地震力が作用する組合せ応力	MPa
σ_{s1}	電動機重量による応力	MPa
σ_{s2}	水平方向地震力 (横方向) による曲げ応力および圧縮応力	MPa
σ_{s4}	鉛直方向地震力による応力	MPa
τ_{tb}	ボルト 1 本あたりにはたらくせん断応力	MPa
τ_p	ピンにはたらくせん断応力	MPa
τ_t	軸に生じるねじり応力	MPa
τ_{s2}	水平方向地震力 (横方向) によるせん断応力	MPa

4.3.4 評価方法

(1) 固定子

a. 電動機の回転による荷重

電動機の最大トルクは

$$T_M = \frac{P \cdot 1000000}{2\pi \cdot N/60} \cdot \frac{T_S}{100} \dots \dots \dots (4.3.4.1)$$

電動機の回転によりピンにはたらく荷重は

$$F_1 = \frac{T_M}{\frac{1}{2} \cdot D_f} \dots \dots \dots (4.3.4.2)$$

b. 水平方向（長手方向）地震力によりピンにはたらく荷重

$$F_2 = m_s \cdot g \cdot (C_H + C_P) \dots \dots \dots (4.3.4.3)$$

c. ピンにはたらくせん断応力

a. , b. の合成荷重は

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \dots \dots \dots (4.3.4.4)$$

ピンにはたらくせん断応力は

$$\tau_p = \frac{F}{n_p \cdot A_p} \dots \dots \dots (4.3.4.5)$$

(2) 軸（回転子）

a. 各部にはたらく荷重

地震力により軸に作用する荷重は

$$F_{R1} = \sqrt{(C_H + C_P)^2 + (1 + C_V + C_P)^2} \cdot m_r \cdot g \dots \dots \dots (4.3.4.6)$$

軸継手側軸受が受ける荷重および反軸継手側軸受が受ける荷重は

$$R_L = F_{R1} \cdot \frac{\ell_{r,C}}{\ell_{b,L}} \dots \dots \dots (4.3.4.7)$$

$$R_O = F_{R1} \cdot \left(1 - \frac{\ell_{r,C}}{\ell_{b,L}}\right) \dots \dots \dots (4.3.4.8)$$

b. 曲げ応力

軸に生じる最大曲げモーメントは

$$M_{max} = \frac{F_{R1} \cdot \ell_{r,C} \cdot (\ell_{b,L} - \ell_{r,C})}{\ell_{b,L}} \dots \dots \dots (4.3.4.9)$$

軸にはたらく最大曲げ応力は

$$\sigma_b = \frac{M_{max}}{Z_s} \dots \dots \dots (4.3.4.10)$$

c. ねじり応力

軸の回転によるモーメントは

$$M_P = \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \cdot 10^6 \cdot P \dots \dots \dots (4.3.4.11)$$

軸に生じるねじり応力は

$$\tau_t = \frac{16 \cdot M_P}{\pi \cdot d_s^3} \dots \dots \dots (4.3.4.12)$$

d. 組合せ応力

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_t^2} \dots \dots \dots (4.3.4.13)$$

(3) 端子箱

a. 端子箱取付ボルトに生じる引張力

$$F_{tb,x} = \frac{m_t \cdot (C_H + C_P) \cdot h_t \cdot g - m_t \cdot \{1 - (C_V + C_P)\} \cdot L_{2,x} \cdot g}{n_{t1,x} \cdot (L_{1,x} + L_{2,x})} \dots \dots \dots (4.3.4.14)$$

$$F_{tb,y} = \frac{m_t \cdot (C_H + C_P) \cdot h_t \cdot g - m_t \cdot \{1 - (C_V + C_P)\} \cdot L_{2,y} \cdot g}{n_{t1,y} \cdot (L_{1,y} + L_{2,y})} \dots \dots \dots (4.3.4.15)$$

b. 端子箱取付ボルト 1 本あたりにはたらく引張応力

$$\sigma_{tb,x} = \frac{F_{tb,x}}{A_{tb}} \dots \dots \dots (4.3.4.16)$$

$$\sigma_{tb,y} = \frac{F_{tb,y}}{A_{tb}} \dots \dots \dots (4.3.4.17)$$

$$\sigma_{tb} = \text{Max} [\sigma_{tb,x}, \sigma_{tb,y}] \dots \dots \dots (4.3.4.18)$$

c. 端子箱取付ボルトに生じるせん断力

$$Q_{tb} = m_t \cdot (C_H + C_P) \cdot g \dots \dots \dots (4.3.4.19)$$

d. 端子箱取付ボルト 1 本あたりにはたらくせん断応力

$$\tau_{tb} = \frac{Q_{tb}}{n_t \cdot A_{tb}} \dots \dots \dots (4.3.4.20)$$

(4) 軸受

a. 反軸継手側のラジアル玉軸受の静等価ラジアル荷重は

$$P_1 = X_O \cdot R_O + Y_O \cdot F_a \dots \dots \dots (4.3.4.21)$$

$$P_2 = R_O \dots \dots \dots (4.3.4.22)$$

$$P_{or,1} = \text{Max} [P_1, P_2] \dots \dots \dots (4.3.4.23)$$

b. 軸継手側のラジアル玉軸受の静等価ラジアル荷重は

$$P_1 = X_O \cdot R_L + Y_O \cdot F_a \dots \dots \dots (4.3.4.24)$$

$$P_2 = R_L \dots \dots \dots (4.3.4.25)$$

$$P_{o r, 2} = M a x [P_1, P_2] \quad \dots \dots \dots (4.3.4.26)$$

(5) 固定子と回転子間のクリアランス

a. 軸の断面二次モーメント

$$I = \frac{\pi \cdot d_s^4}{64} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.27)$$

b. 軸の最大たわみ

$$y_{max} = \frac{F_{R1} \cdot \ell_{r,c} \cdot (\ell_{b,L}^2 - \ell_{r,c}^2)^{3/2}}{9 \cdot \sqrt{3} \cdot E \cdot I \cdot \ell_{b,L}} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.28)$$

(6) モータフレーム

a. 電動機重量による応力

脚部が受ける荷重は

$$R_1 = m \cdot g \cdot \frac{\ell - \ell_c}{\ell} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.29)$$

電動機重量による応力は

$$\sigma_{s1} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.30)$$

b. 鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{s4} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \cdot (C_V + C_P) \quad \dots \dots \dots (4.3.4.31)$$

c. 水平方向地震力（横方向）による応力

水平方向地震力（横方向）により脚部底面に作用する曲げモーメントは

$$M_{\ell 1} = (C_H + C_P) \cdot m \cdot g \cdot h_f \quad \dots \dots \dots (4.3.4.32)$$

水平方向地震力（横方向）により脚取付部に作用する鉛直方向荷重は

$$P_\ell = (C_H + C_P) \cdot m \cdot g \cdot \frac{h_c}{\ell} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.33)$$

曲げ応力および圧縮応力は

$$\sigma_{S2} = \frac{M_{\ell 1}}{Z_{s y}} + \frac{P_{\ell}}{A_s} \dots \dots \dots (4.3.4.34)$$

せん断応力は

$$\tau_{S2} = \frac{(C_H + C_P) \cdot m \cdot g}{A_s} \dots \dots \dots (4.3.4.35)$$

d. 組合せ応力

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{S1} + \sigma_{S2} + \sigma_{S4})^2 + 3 \cdot \tau_{S2}^2} \dots \dots \dots (4.3.4.36)$$

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

燃料プール冷却浄化系ポンプ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動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頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【燃料プール冷却浄化系ポンプ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	設備分類	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		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
燃料プール冷却 浄化系ポンプ	常設耐震/防止	原子炉建屋 O.P. 15.00*1	—*2	—*2	—	—	C _H =1.97	C _V =1.37		66	66

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。

1.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{b,i} (mm ²)	n _i	n _{f,i} *1
基礎ボルト (i=1)							6	3
ポンプ取付ボルト (i=2)								2
原動機取付ボルト (i=3)							2	
							4	2
								2

部 材	S _{y,i} (MPa)	S _{u,i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (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	
基礎ボルト (i=1)					—	軸直角方向	—
ポンプ取付ボルト (i=2)					—	軸方向	—
原動機取付ボルト (i=3)					—	軸方向	—

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：最高使用温度で算出

*3：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	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 (i=1)				
ポンプ取付ボルト (i=2)				
原動機取付ボルト (i=3)				

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 (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1}=48$	$f_{ts1}=202^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=30$	$f_{sb1}=155$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=12$	$f_{ts2}=202^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=7$	$f_{sb2}=155$
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	—	—	$\sigma_{b3}=37$	$f_{ts3}=185^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=22$	$f_{sb3}=142$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.5 動的機能維持評価

1.5.1 設計条件

機器名称	形式	揚水量 (m ³ /h)	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		ポンプ振動に よる震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				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			
燃料プール冷却 浄化系ポンプ	横形単段 遠心式ポンプ	160	原子炉建屋 O.P. 15.00*1	—*2	—*2	—	—	C _H =1.65	C _V =1.15		66	66

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。

機器名称	形式	出力 (kW)	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		ポンプ振動に よる震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				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			
燃料プール冷却 浄化系ポンプ用電動機	横形ころがり 軸受電動機	75	原子炉建屋 O.P. 15.00*1	—*2	—*2	—	—	C _H =1.65	C _V =1.15		66	66

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。

1.5.2 機器要目

1.5.2.1 横形単段遠心式ポンプの機器要目

(1) 軸

部材	m _c (kg)	m _s (kg)	ℓ (mm)	ℓ ₂ (mm)	N (rpm)	P (kW)	Z (mm ³)
軸						75	8.946×10 ³

(2) 摺動部 (インペラとライナーリングのクリアランス)

部材	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	E (MPa)	I (mm ⁴)
摺動部 (インペラとライナーリングのクリアランス)			198000	2.013×10 ⁵

1.5.2.2 横形ころがり軸受電動機の機器要目

(1) 固定子

部材	A _p (mm ²)	D _f (mm)	m _s (kg)	N (min ⁻¹)	n _p	P (kW)	T _s (%)
固定子	187.5	550	575	3000	4	75	190

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 軸 (回転子)

部材	d_s (mm)	$\ell_{b, L}$ (mm)	$\ell_{r, C}$ (mm)	m_r (kg)	N (min^{-1})	P (kW)	Z_s (mm^3)
軸 (回転子)	52	859	418.5	273	3000	75	13800

(3) 端子箱

部材	$A_{t,b}$ (mm^2)	h_t (mm)	$L_{1,x}$ (mm)	$L_{2,x}$ (mm)	$L_{1,y}$ (mm)	$L_{2,y}$ (mm)	m_t (kg)	n_t	$n_{t1,x}$	$n_{t1,y}$
端子箱	78.54	150	188	78	55	55	29	4	2	2

(4) 軸受

部材	F_a (N)	X_o	Y_o
軸受	0	0.6	0.5

(5) 固定子と回転子間のクリアランス

部材	d_s (mm)	E (MPa)	$\ell_{b, L}$ (mm)	$\ell_{r, C}$ (mm)
固定子と回転子間のクリアランス	52	206000	859	418.5

(6) モータフレーム

部材	A_s (mm^2)	h_c (mm)	h_f (mm)	ℓ (mm)	ℓ_c (mm)	m (kg)	m_{s1} (kg)	$Z_{s,y}$ (mm^3)
モータフレーム	15900	322	68.2	350	173	1756	44	79500

(7) 材料物性値

部材	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	材質
原動機	66	SS400 S35C 鋼鉄 FC150

1.5.3 結論

1.5.3.1 機能確認済加速度との比較 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.65	軸直角方向3.2 軸方向1.4
	鉛直方向	1.15	1.0
原動機	水平方向	1.65	4.7
	鉛直方向	1.15	1.0

注記 * : 基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。

ポンプは、水平方向および鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

原動機は、鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

1.5.3.2 横形単段遠心式ポンプの動的機能維持評価

1.5.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルトおよびポンプ取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.5.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.5.3.2.2.1 軸の評価 (単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
軸	せん断	28	429

すべて許容応力以下である。

1.5.3.2.2.2 摺動部（インペラとライナーリングのクリアランス）の評価 (単位：mm)

評価部位	変位	変位量	許容変位量
インペラとライナーリングのクリアランス	軸のたわみ	0.42	<input type="text"/>

すべて許容変位量以下である。

1.5.3.3 横形ころがり軸受電動機の動的機能維持評価

1.5.3.3.1 代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.5.3.3.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.5.3.3.2.1 固定子の評価 (単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
固定子	せん断	15	129

すべて許容応力以下である。

1.5.3.3.2.2 軸（回転子）の評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
軸（回転子）	127	373

すべて許容応力以下である。

1.5.3.3.2.3 端子箱の評価 (単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
端子箱	引張り	5	210
	せん断	2	161

すべて許容応力以下である。

1.5.3.3.2.4 軸受の評価 (単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
軸継手側	3919	
反軸継手側	4126	

すべて許容荷重以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.5.3.3.2.5 固定子と回転子間のクリアランスの評価 (単位：mm)

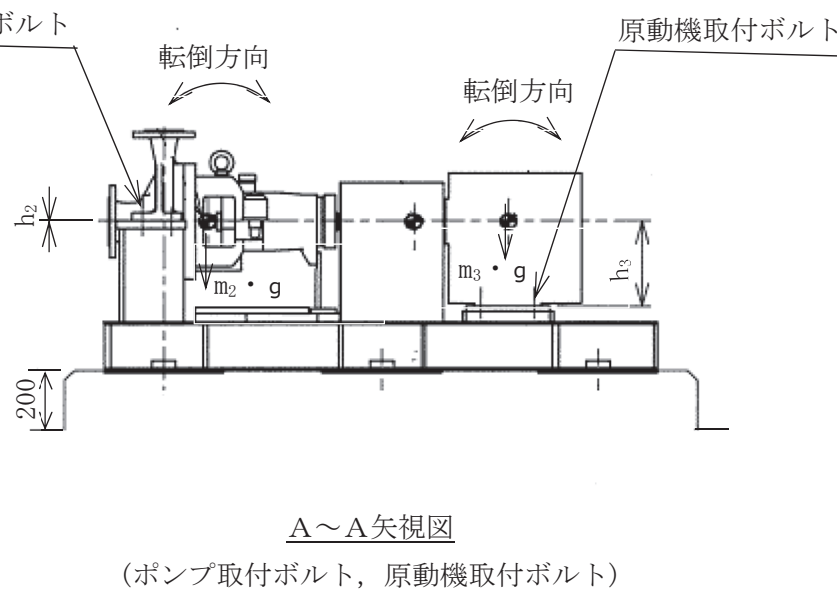
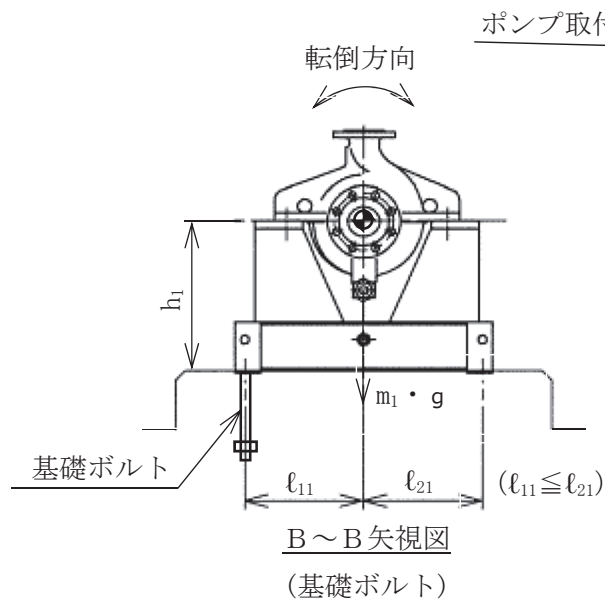
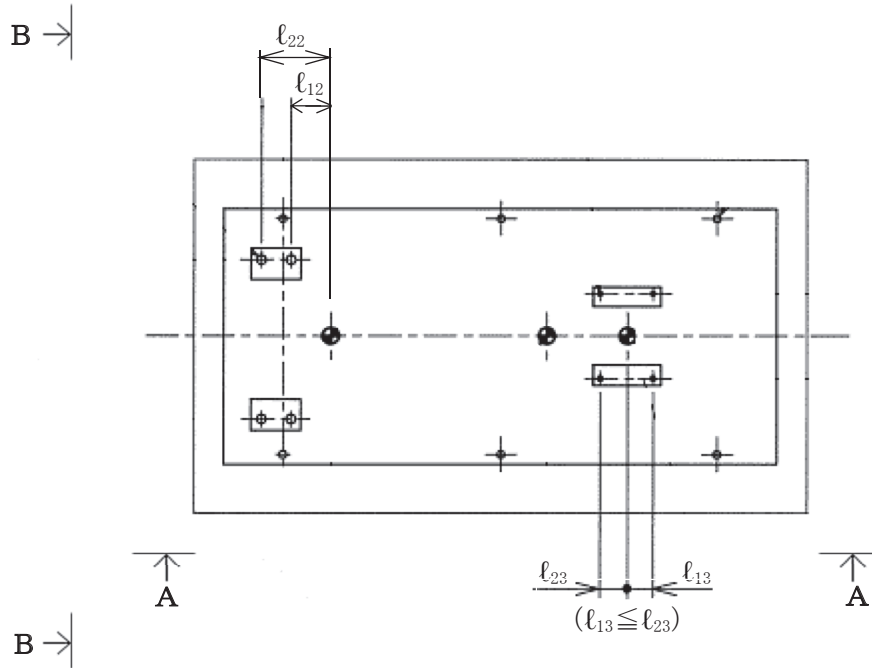
評価部位	回転子のたわみ	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	1.44	2.00

すべて許容変位量以下である。

1.5.3.3.2.6 モータフレームの評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
モータフレーム	33	35

すべて許容応力以下である。



VI-2-4-3-1-3 管の耐震性についての計算書
(燃料プール冷却浄化系)

設計基準対象施設

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	5
3. 計算条件	9
3.1 計算方法	9
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
3.3 設計条件	11
3.4 材料及び許容応力評価条件	20
3.5 設計用地震力	21
4. 解析結果及び評価	24
4.1 固有周期及び設計震度	24
4.2 評価結果	42
4.2.1 管の応力評価結果	42
4.2.2 支持構造物評価結果	45
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	46
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	47

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、燃料プール冷却浄化系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全6モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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

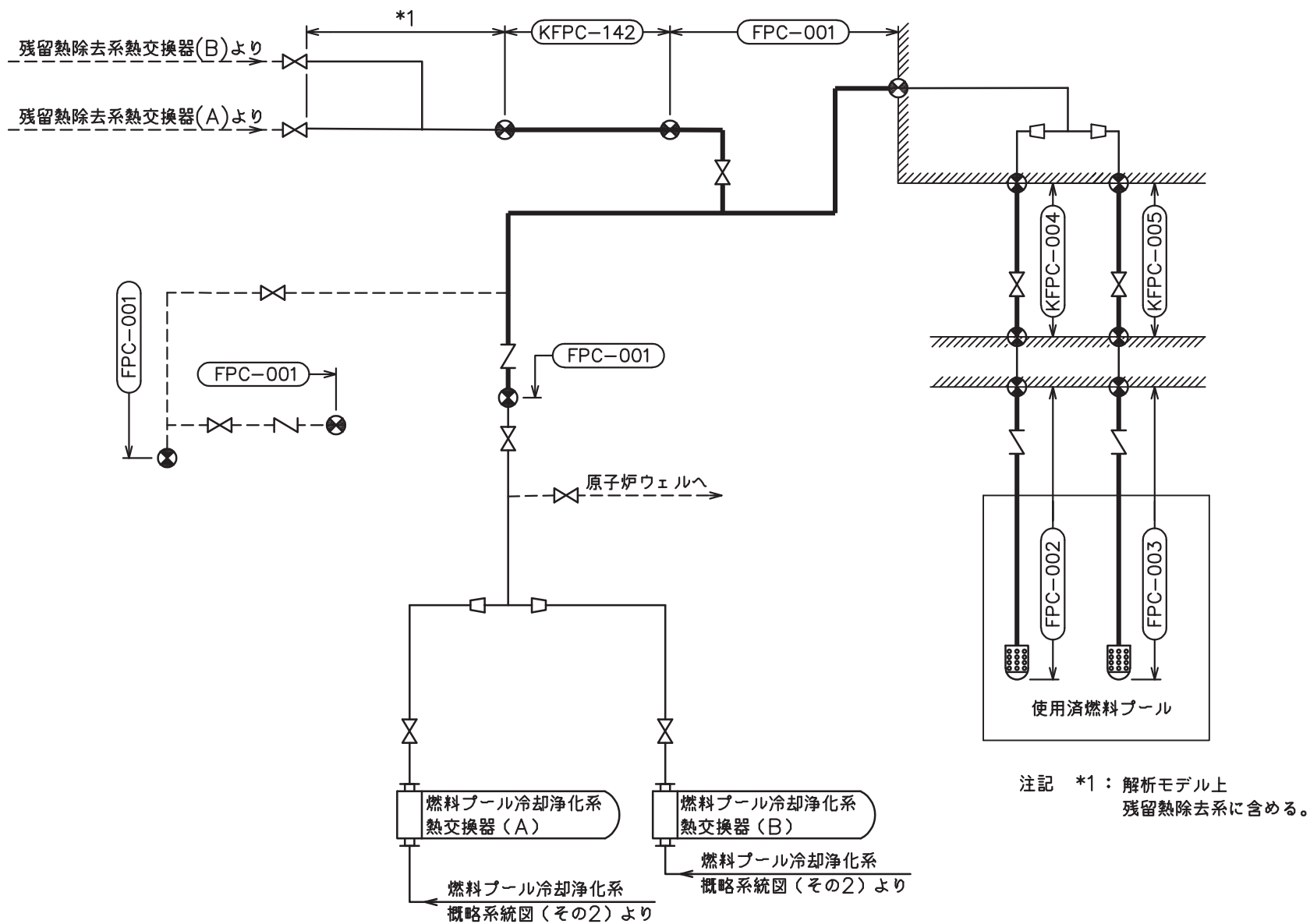
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

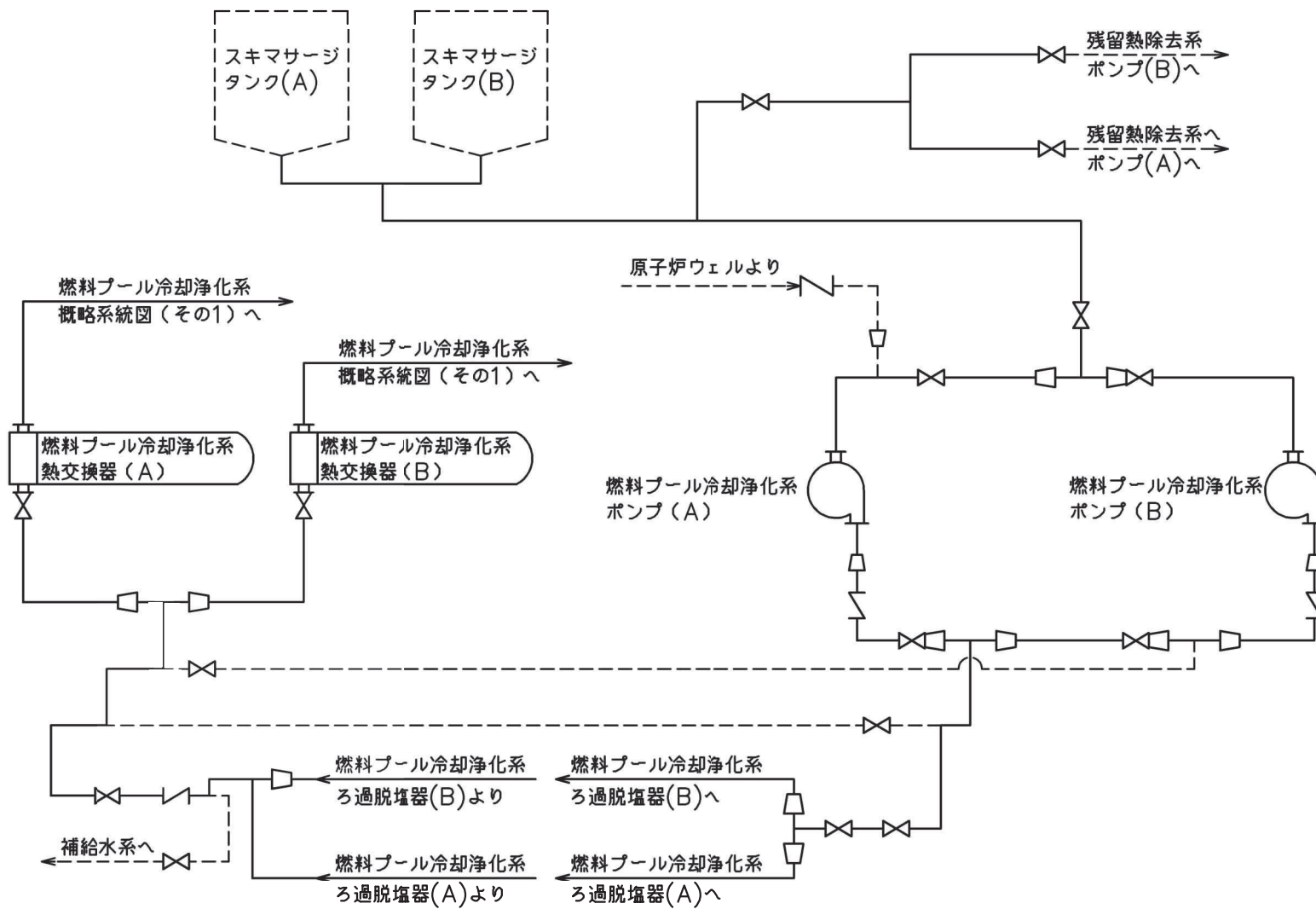
2.1 概略系統図

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
 (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
	アンカ



燃料プール冷却浄化系概略系統図(その1)


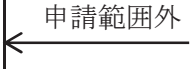



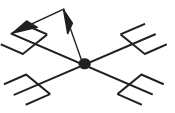
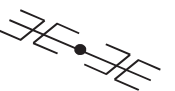

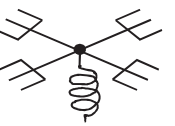
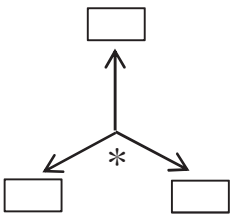


4

燃料プール冷却浄化系概略系統図(その2)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
	工事計画記載範囲外の管
	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として本系統に記載する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印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
	ガイド
	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。)

9

鳥瞰図	FPC-002
-----	---------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	FPC-003
-----	---------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

∞

鳥瞰図	KFPC-142
-----	----------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	機器等 の区分	耐震重要度 分類	荷重の組合せ*2, *3	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	燃料プール冷却 浄化系	DB	—	クラス 3 管	S	I _L + S d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L + S d	
							I _L + S s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L + S s	

注記*1：DB は設計基準対象施設，SA は重大事故等対処設備を示す。

*2：運転状態の添字 L は荷重を示す。

*3：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。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.37	66	165.2	7.1	SUS304TP	S	191720

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 2

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		7		10		13		16	
5		8		11		14			
6		9		12		15			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
2	
3	
4	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	3			

O 2 ⑥ VI-2-4-3-1-3(設) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 2

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
5						
9						
12						
15						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 3

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.37	66	165.2	7.1	SUS304TP	S	191720

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 3

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		7		10		13		16	
5		8		11		14			
6		9		12		15			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
2	
3	
4	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	3			

O 2 ⑥ VI-2-4-3-1-3(設) R 0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 3

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
5						
9						
12						
15						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 K F P C - 1 4 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	3.73	66	216.3	8.2	STS410	S	200360

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 K F P C - 1 4 2

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	901	902				

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		7		13		19		901	
2		8		14		20		902	
3		9		15		21			
4		10		16		22			
5		11		17		23			
6		12		18		24			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 K F P C - 1 4 2

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
7						
13						
19						
24						
901						
902						

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
SUS304TP	66	—	188	479	—
STS410	66	—	231	407	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

本計算書の疲労評価は、等価繰返し回数340回(S s)で実施する。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O. P. (m))	減衰定数(%)
F P C - 0 0 2	原子炉建屋		

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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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用いる。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

本計算書の疲労評価は、等価繰返し回数340回(S s)で実施する。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
F P C - 0 0 3	原子炉建屋		

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曲線を下表に示す。
 なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」
 に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
K F P C - 1 4 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 F P C - 0 0 2

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又は S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_I$ 及び $1.2C_V$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 2

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 FPC-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 | FPC-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 FPC-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 3

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。
 *3：S d 又は S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4： $3.6C_I$ 及び $1.2C_V$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 3

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 FPC-003

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 | FPC-003

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 FPC-003

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 K F P C - 1 4 2

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又は S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_I$ 及び $1.2C_V$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 K F P C - 1 4 2

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				

注記*：刺激係数は，モード質量を正規化し，固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 | KFPC-142

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

40

鳥瞰図 | KFPC-142

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 | KFPC-142

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下記に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれ許容値以下である。

クラス 2 以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				S p r m (S d)	S y * ¹	S n (S d)	2・S y	U S d
S p r m (S s)	0. 9・S u	S n (S s)	2・S y	U S s				
F P C - 0 0 2	Ⅲ _A S	12	S p r m (S d)	127	188	—	—	—
	Ⅲ _A S	12	S n (S d)	—	—	239	376	—
	Ⅳ _A S	12	S p r m (S s)	224	431	—	—	—
	Ⅳ _A S	12	S n (S s)	—	—	436 *	376	0.0034

*印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し，簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が 1 以下であり許容値を満足している。

*1：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，S y と 1. 2・S h のうち大きい方とする。

管の応力評価結果

下記に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれ許容値以下である。

クラス 2 以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				S p r m (S d)	S y * ¹	S n (S d)	2・S y	U S d
S p r m (S s)	0. 9・S u	S n (S s)	2・S y	U S s				
F P C - 0 0 3	Ⅲ _A S	12	S p r m (S d)	127	188	—	—	—
	Ⅲ _A S	12	S n (S d)	—	—	239	376	—
	Ⅳ _A S	12	S p r m (S s)	224	431	—	—	—
	Ⅳ _A S	12	S n (S s)	—	—	436 *	376	0.0034

*印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し，簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が 1 以下であり許容値を満足している。

*1：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，S y と 1. 2・S h のうち大きい方とする。

管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス 2 以下の管

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 p r m (S d) S p r m (S s)	許容応力 S y *1 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
K F P C - 1 4 2	Ⅲ _A S	7	S p r m (S d)	115	231	—	—	—
	Ⅳ _A S	7	S p r m (S s)	196	366	—	—	—
	Ⅳ _A S	7	S n (S s)	—	—	347	462	—

注記 *1 : 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、S y と 1. 2 ・ S h のうち大きい方とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	—	—	—	—	—	—

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 (°C)	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			
FPC-001-001A	アンカ	架構	STKR400	40	20	6	14	5	30	2	組合せ	139	280
KFPC-142-007R	レストレイント	架構	STKR400	40	37	16	11	—	—	—	組合せ	101	280

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス 2 以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S					許容応力状態 IV _A S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	FPC-001	901	39	231	5.92	—	901	48	366	7.62	—	19	176	376	2.13	—	—	—	—
2	FPC-002	12	127	188	1.48	○	12	224	431	1.92	—	12	436	376	0.86	○	12	0.0034	○
3	FPC-003	12	127	188	1.48	○	12	224	431	1.92	—	12	436	376	0.86	○	12	0.0034	○
4	KFPC-004	1	12	188	15.66	—	5	12	431	35.91	—	5	4	376	94.00	—	—	—	—
5	KFPC-005	1	12	188	15.66	—	5	12	431	35.91	—	5	4	376	94.00	—	—	—	—
6	KFPC-142	7	115	231	2.00	—	7	196	366	1.86	○	7	347	462	1.33	—	—	—	—

注記* : III_AS の一次+二次応力の許容値はIV_AS と同様であることから、地震荷重が大きいIV_AS の一次+二次応力裕度最小を代表とする。

重大事故等対処設備

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	5
3. 計算条件	12
3.1 計算方法	12
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	13
3.3 設計条件	14
3.4 材料及び許容応力評価条件	24
3.5 設計用地震力	25
4. 解析結果及び評価	28
4.1 固有周期及び設計震度	28
4.2 評価結果	46
4.2.1 管の応力評価結果	46
4.2.2 支持構造物評価結果	49
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	50
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	51

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、燃料プール冷却浄化系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全8モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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

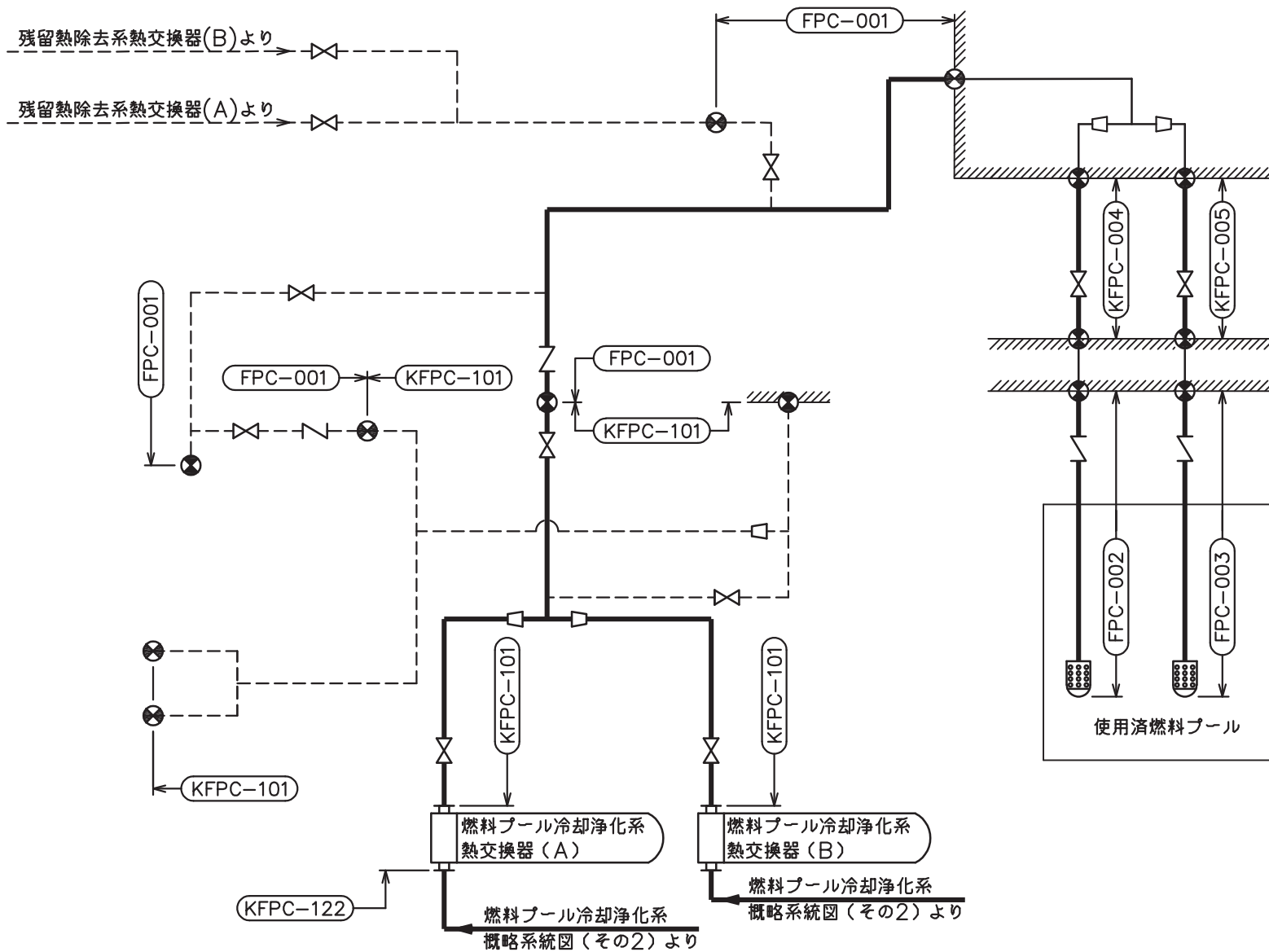
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

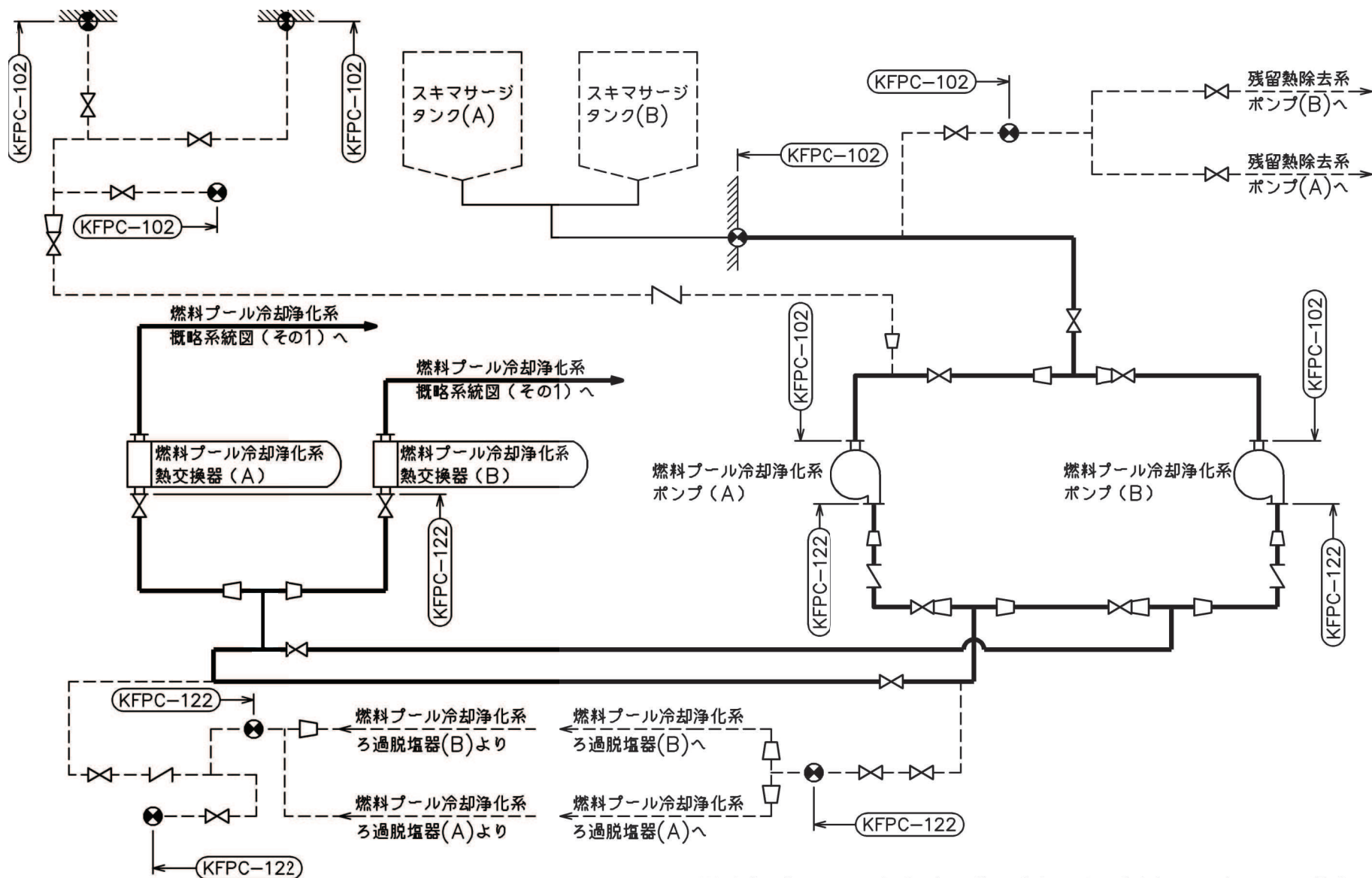
2.1 概略系統図

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
 (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
	アンカ




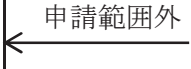



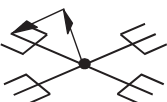

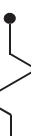
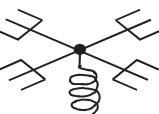
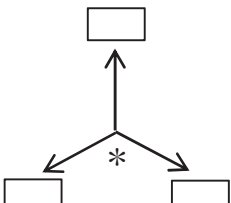
燃料プール冷却浄化系概略系統図(その1)



燃料プール冷却浄化系概略系統図(その2)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>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として本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印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。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>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。)</p>

9

鳥瞰図	FPC-002
-----	---------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7

鳥瞰図	FPC-003
-----	---------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

∞

鳥瞰図 KFPC-122-1/4

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6

鳥瞰図 KFPC-122-2/4

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 KFPC-122-3/4

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 KFPC-122-4/4

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3, *4	許容応力状態*5
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	燃料プール冷却 浄化系	SA	常設耐震/防止	重大事故等 クラス2管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$

注記*1：DB は設計基準対象施設，SA 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を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*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。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.37	66	165.2	7.1	SUS304TP	—	191720

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 2

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		7		10		13		16	
5		8		11		14			
6		9		12		15			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
2	
3	
4	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	3			

O 2 ⑥ VI-2-4-3-1-3(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 2

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
5						
9						
12						
15						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 3

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.37	66	165.2	7.1	SUS304TP	—	191720

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 3

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		7		10		13		16	
5		8		11		14			
6		9		12		15			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
2	
3	
4	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	3			

O 2 ⑥ VI-2-4-3-1-3(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 3

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
5						
9						
12						
15						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 K F P C - 1 2 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.37	66	114.3	6.0	STS410	—	200360
2	1.37	66	165.2	7.1	STS410	—	200360
3	1.37	66	216.3	8.2	STS410	—	200360
4	1.37	66	216.3	8.2	SUS304TP	—	191720
5	1.37	66	165.2	7.1	SUS304TP	—	191720

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 K F P C - 1 2 2

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	1	2	3	4	46	47	48	49								
2	4	5	7	9	10	12	13	14	15	16	17	21	22	24	26	
	27	32	33	35	36	37	38	39	41	43	44	45	46	85	92	
	180	181	182	183	210	217	800	801	802	803	804	805	907	908		
3	17	18	19	20	21	27	28	29	31	32	91	93	94	95	96	
	97	98	99	100	101	102	103	105	121	128	140	141	142	143	144	
	145	146	901	903												
4	6	25	90	102	104	107	108	135	136	137	138	139	146	147	149	
	152	153	154	155	156	168	169	905	906							
5	30	156	157	158	169	170	301	302	303	304	305	306	308	309	310	
	401	402	403	404	405	406	407	409	410	411						

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 K F P C - 1 2 2

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		30		98		152		310	
2		31		99		153		401	
3		32		100		154		402	
4		36		101		155		403	
5		37		102		156		404	
6		38		103		157		405	
7		43		105		158		406	
9		44		108		168		410	
13		45		121		169		411	
14		46		128		170		800	
15		47		135		180		801	
16		48		136		181		802	
17		49		137		182		803	
18		85		138		183		804	
19		90		139		210		805	
20		91		140		217		901	
21		92		141		301		903	
25		93		142		302		905	
26		94		143		303		906	
27		95		144		304		907	
28		96		145		305		908	
29		97		146		309			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4		弁 5	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
10		22		35		41		104	
11		23		34		40		106	
12		24		33		39		107	
								109	
								110	

弁 6		弁 7		弁 8	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
147		306		407	
148		307		408	
149		308		409	
150		311		412	
151		312		413	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	11			
弁2	23			
弁3	34			
弁4	40			
弁5	106			
弁6	148			
弁7	307			
弁8	408			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 K F P C - 1 2 2

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
6						
25						
30						
49						
85						
92						
103						
105						
110						
121						
128						
151						
210						
217						
310						
312						
411						
** 413 **						
413						
901						
903						
905						
906						
907						
908						

O 2 ⑥ VI-2-4-3-1-3(重) R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
SUS304TP	66	—	188	479	—
STS410	66	—	231	407	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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用いる。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

本計算書の疲労評価は、等価繰返し回数340回(S_s)で実施する。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
F P C - 0 0 2	原子炉建屋		

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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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用いる。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

本計算書の疲労評価は、等価繰返し回数340回(S s)で実施する。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
F P C - 0 0 3	原子炉建屋		

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曲線を下表に示す。
 なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」
 に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
K F P C - 1 2 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 F P C - 0 0 2

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又は S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_I$ 及び $1.2C_V$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 2

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 FPC-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 | FPC-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 | FPC-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 3

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。
 *3：S d 又は S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4： $3.6C_I$ 及び $1.2C_V$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 3

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 FPC-003

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 | FPC-003

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 FPC-003

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 K F P C - 1 2 2

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
17 次								
18 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。
 *3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 K F P C - 1 2 2

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

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 | KFPC-122

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 | KFPC-122

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 | KFPC-122

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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管であってクラス2以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{pr m}(S_s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S_s)$	$2 \cdot S_y$	$U S_s$
FPC-002	$V_A S$	12	$S_{pr m}(S_s)$	223	431	—	—	—
	$V_A S$	12	$S_n(S_s)$	—	—	436 *	376	0.0034

*印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

管の応力評価結果

下表に示すとおり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管であってクラス2以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{p r m}(S s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S s)$	$2 \cdot S_y$	$U S s$
F P C - 0 0 3	$V_A S$	12	$S_{p r m}(S s)$	223	431	—	—	—
	$V_A S$	12	$S_n(S s)$	—	—	436 *	376	0.0034

*印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

管の応力評価結果

下表に示すとおり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管であってクラス2以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{p r m}(S s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S s)$	$2 \cdot S_y$	$U S s$
KFPC-122	$V_A S$	32	$S_{p r m}(S s)$	241	366	—	—	—
	$V_A S$	32	$S_n(S s)$	—	—	460	462	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
KFPC-122-151EA	ロッドレストレイント	RSA-3	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		39	45

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 (°C)	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			
KFPC-102-901R	レストレイント	Uプレート	SS400	66	0	71	73	—	—	—	せん断	108	135
FPC-001-013A	アンカ	架構	STKR400	66	35	17	25	14	13	8	曲げ	115	433

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 V A S												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
1	FPC-001	19	39	431	11.05	—	19	176	376	2.13	—	—	—	—
2	FPC-002	12	223	431	1.93	—	12	436	376	0.86	○	12	0.0034	○
3	FPC-003	12	223	431	1.93	—	12	436	376	0.86	○	12	0.0034	○
4	KFPC-004	5	11	431	39.18	—	5	4	376	94	—	—	—	—
5	KFPC-005	5	11	431	39.18	—	5	4	376	94	—	—	—	—
6	KFPC-101	12	31	431	13.90	—	37	164	376	2.29	—	—	—	—
7	KFPC-102	40	221	366	1.65	—	40	448	462	1.03	—	—	—	—
8	KFPC-122	32	241	366	1.51	○	32	460	462	1.00	—	—	—	—

VI-2-4-3-2 燃料プール代替注水系の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-4-3-2-1 管の耐震性についての計算書 (燃料プール代替注水系)

VI-2-4-3-2-1 管の耐震性についての計算書
(燃料プール代替注水系)

重大事故等対処設備

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	11
3.1 計算方法	11
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
3.3 設計条件	13
3.4 材料及び許容応力評価条件	21
3.5 設計用地震力	22
4. 解析結果及び評価	24
4.1 固有周期及び設計震度	24
4.2 評価結果	30
4.2.1 管の応力評価結果	30
4.2.2 支持構造物評価結果	32
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	33
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	34

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、燃料プール代替注水系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全4モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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。



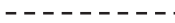
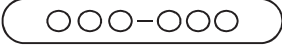

(3) 弁

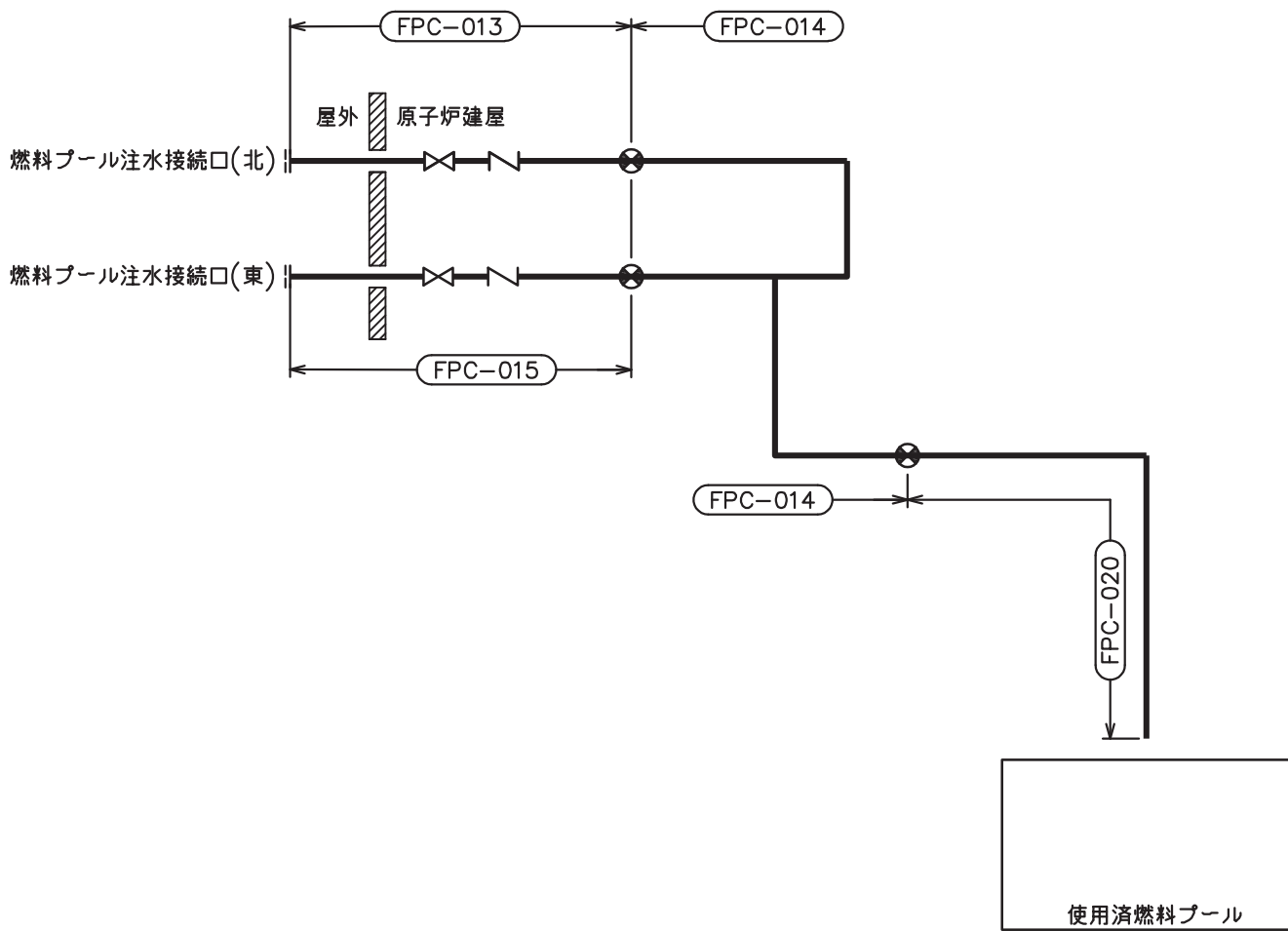
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

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


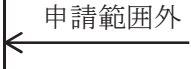
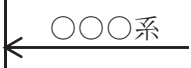


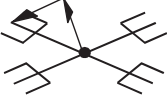
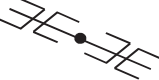

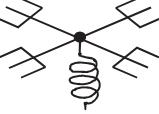
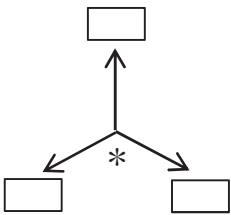
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



燃料プール代替注水系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>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として本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印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。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>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，<input type="text"/> 内に変位量を記載する。)</p>

5

鳥瞰図 FPC-013-1/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

9

鳥瞰図	FPC-013-2/3
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 FPC-013-3/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

∞

鳥瞰図

FPC-014-1/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6

鳥瞰図	FPC-014-2/3
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 FPC-014-3/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3, *4	許容応力状態*5
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	燃料プール代替注水系	SA	常設耐震／防止	重大事故等クラス2管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：「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。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 3

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.37	66	165.2	7.1	STS410	—	200360
2	1.37	66	165.2	7.1	SUS304TP	—	191720

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 3

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	
	17	18														
2	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	62	63	
	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	
	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	
	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	
	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	
	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136			

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 3

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		30		56		85		111	
2		31		57		86		112	
3		32		58		87		113	
4		33		59		88		114	
5		34		63		89		115	
6		35		64		90		116	
7		36		65		91		117	
8		37		66		92		118	
9		38		67		93		119	
10		39		68		94		120	
11		40		69		95		121	
12		41		70		96		122	
13		42		71		97		123	
17		43		72		98		124	
18		44		73		99		125	
19		45		74		100		126	
20		46		75		101		127	
21		47		76		102		128	
22		48		77		103		129	
23		49		78		104		130	
24		50		79		105		131	
25		51		80		106		132	
26		52		81		107		133	
27		53		82		108		134	
28		54		83		109		135	
29		55		84		110		136	

弁部の質量を下表に示す。

弁 1 弁 2

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
14		60	
15		61	
16		62	
137			
138			

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	15			
弁2	61			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 3

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
2						
4						
10						
12						
19						
28						
31						
34						
38						
40						
42						
49						
53						
55						
63						
65						
68						
71						
73						
76						
81						
84						
** 84 **						
87						
89						
92						
94						
97						
100						
104						
107						
110						
112						
114						
119						
121						
124						
126						
129						
136						

[Redacted box]

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

O 2 ⑥ VI-2-4-3-2-1 (重) R 0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 3

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
** 138 **						

--

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 4

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.37	66	165.2	7.1	SUS304TP	—	191720

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 4

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	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	71	72	73	74	75
	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88		

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		19		37		55		73	
2		20		38		56		74	
3		21		39		57		75	
4		22		40		58		76	
5		23		41		59		77	
6		24		42		60		78	
7		25		43		61		79	
8		26		44		62		80	
9		27		45		63		81	
10		28		46		64		82	
11		29		47		65		83	
12		30		48		66		84	
13		31		49		67		85	
14		32		50		68		86	
15		33		51		69		87	
16		34		52		70		88	
17		35		53		71			
18		36		54		72			

O 2 ⑥ VI-2-4-3-2-1(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 4

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
4						
9						
12						
15						
19						
21						
24						
28						
31						
33						
35						
44						
46						
51						
53						
55						
58						
61						
63						
66						
68						
71						
75						
79						
81						
86						
88						

O 2 ⑥ VI-2-4-3-2-1(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
STS410	66	—	231	407	—
SUS304TP	66	—	188	479	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
F P C - 0 1 3	原子炉建屋		

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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

本計算書の疲労評価は、等価繰返し回数340回(S s)で実施する。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
F P C - 0 1 4	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 F P C - 0 1 3

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向
1 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

代表的振動モード図

振動モード図は、1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。

鳥瞰図 FPC-013

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 4

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向
1 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

代表的振動モード図

振動モード図は、1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。

鳥瞰図 FPC-014

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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管であってクラス2以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{pr m}(S_s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S_s)$	$2 \cdot S_y$	$U S_s$
FPC-013	$V_A S$	4	$S_{pr m}(S_s)$	46	366	—	—	—
	$V_A S$	136	$S_n(S_s)$	—	—	89	376	—

管の応力評価結果

下表に示すとおり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管であってクラス2以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{p r m}(S s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S s)$	$2 \cdot S_y$	$U S s$
F P C - 0 1 4	$V_A S$	79	$S_{p r m}(S s)$	37	431	—	—	—
	$V_A S$	88	$S_n(S s)$	—	—	390 *	376	0.1882

*印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し，簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
FPC-013-138B	ロッドレストレイント	RSA-1	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		5	15

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 (°C)	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			
FPC-014-079R	レストレイント	ラグ	SUS304	66	4	5	19	—	—	—	組合せ	97	205
FPC-014-028A	アンカ	ラグ	SUS304	66	44	5	4	60N・m	2323N・m	2584N・m	組合せ	55	205

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 V A S												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
1	FPC-013	4	46	366	7.95	○	136	89	376	4.22	—	—	—	—
2	FPC-014	79	37	431	11.64	—	88	390	376	0.96	○	88	0.1882	○
3	FPC-015	13	39	366	9.38	—	67	84	376	4.47	—	—	—	—
4	FPC-020	25	43	431	10.02	—	1	277	376	1.35	—	—	—	—

VI-2-4-3-3 燃料プールの耐震性についての計算書

目 次

VI-2-4-3-3-1 管の耐震性についての計算書 (燃料プールのスプレイ系)

VI-2-4-3-3-1 管の耐震性についての計算書
(燃料プールスプレイ系)

重大事故等対処設備

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	19
3.1 計算方法	19
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	20
3.3 設計条件	21
3.4 材料及び許容応力評価条件	34
3.5 設計用地震力	35
4. 解析結果及び評価	38
4.1 固有周期及び設計震度	38
4.2 評価結果	47
4.2.1 管の応力評価結果	47
4.2.2 支持構造物評価結果	50
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	51
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	52

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、燃料プールスプレイ系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全4モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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。



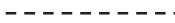


(3) 弁

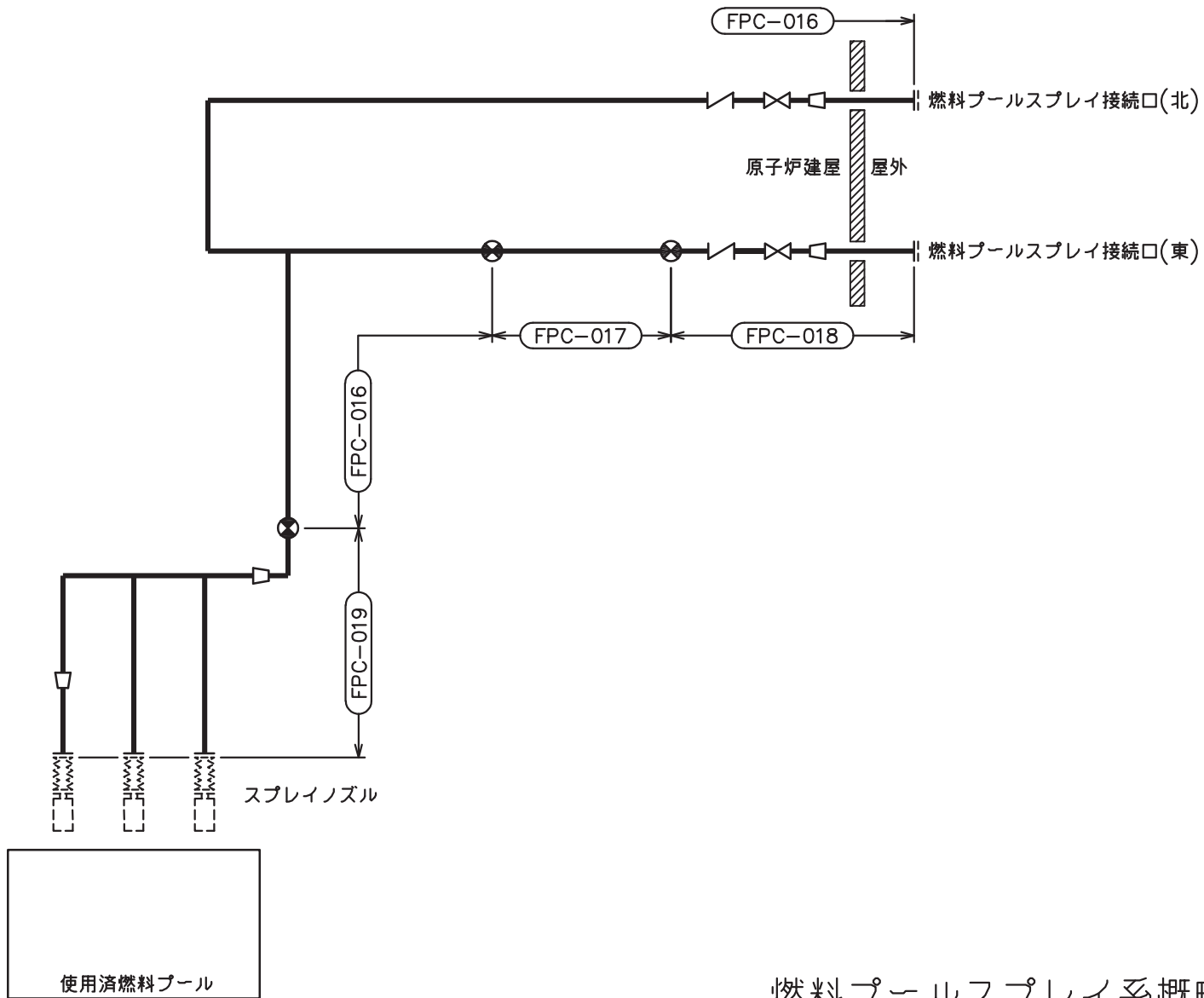
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

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


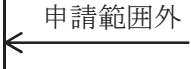
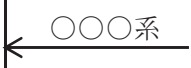



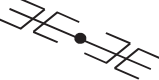

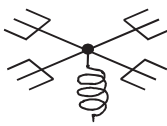
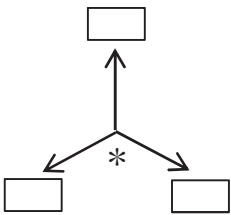
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



燃料プールスプレイ系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>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として本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印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。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>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。)</p>

5

鳥瞰図 FPC-016-1/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

9

鳥瞰図 FPC-016-2/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7

鳥瞰図 FPC-016-3/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

∞

鳥瞰図 FPC-016-4/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6

鳥瞰図 FPC-016-5/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 FPC-016-6/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 FPC-017-1/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	FPC-017-2/2
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 FPC-019-1/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 FPC-019-2/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 FPC-019-3/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 FPC-019-4/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	FPC-019-5/6
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 FPC-019-6/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
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	燃料プールスプレイ系	SA	常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	$V_L + S_s$	V_{AS}

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：「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_{AS} は許容応力状態 IV_{AS} の許容限界を使用し，許容応力状態 IV_{AS} として評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 6

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.37	66	114.3	6.0	STS410	—	200360
2	1.37	66	165.2	7.1	STS410	—	200360

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 6

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	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	60	61	62	63	64	65	66	68	69	70
	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
	86	87	88	89	90	91	92	93	94	96	97	98	99	100	101
	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116
	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131
	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146
	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161
	162	165	166	167	168	169	170	171	172						
2	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60					

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 6

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		34		70		106		139	
2		35		71		107		140	
3		36		72		108		141	
4		37		73		109		142	
5		38		74		110		143	
6		39		75		111		144	
7		40		76		112		145	
8		41		77		113		146	
9		42		78		114		147	
10		43		79		115		148	
11		44		80		116		149	
12		45		81		117		150	
13		46		82		118		151	
14		47		83		119		152	
15		48		84		120		153	
16		49		85		121		154	
17		50		86		122		155	
18		51		87		123		156	
19		52		88		124		157	
20		53		89		125		158	
21		54		90		126		159	
22		55		91		127		160	
23		56		92		128		161	
24		57		93		129		162	
25		58		97		130		165	
26		59		98		131		166	
27		60		99		132		167	
28		61		100		133		168	
29		62		101		134		169	
30		63		102		135		170	
31		64		103		136		171	
32		65		104		137		172	
33		69		105		138			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

弁 2

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
94		66	
95		67	
96		68	
		163	
		164	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	95			
弁2	67			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 6

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
7						
9						
11						
14						
17						
19						
21						
24						
29						
31						
36						
38						
40						
43						
46						
48						
52						
54						
62						
64						
70						
72						
75						
78						
85						
87						
93						
97						
99						
104						
109						
112						
114						
118						
120						
123						
125						
130						
134						
137						
140						

O 2 ⑥ VI-2-4-3-3-1(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 6

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
142						
146						
151						
153						
156						
159						
** 164 **						
170						
172						

02 ⑥ VI-2-4-3-3-1(重) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 7

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.37	66	114.3	6.0	STS410	—	200360

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 7

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	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	71	72	73	74	75
	76	77	78												

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		17		33		49		65	
2		18		34		50		66	
3		19		35		51		67	
4		20		36		52		68	
5		21		37		53		69	
6		22		38		54		70	
7		23		39		55		71	
8		24		40		56		72	
9		25		41		57		73	
10		26		42		58		74	
11		27		43		59		75	
12		28		44		60		76	
13		29		45		61		77	
14		30		46		62		78	
15		31		47		63			
16		32		48		64			

O 2 ⑥ VI-2-4-3-3-1(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 7

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
3						
7						
12						
19						
22						
24						
29						
31						
33						
35						
37						
41						
45						
47						
51						
53						
55						
59						
61						
63						
66						
68						
71						
73						
78						

○ 2 ⑥ VI-2-4-3-3-1(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 9

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.37	66	114.3	6.0	STS410	—	200360
2	1.37	66	165.2	7.1	STS410	—	200360
3	1.37	66	76.3	5.2	STS410	—	200360

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 9

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	1	2	3	4	5	6	7									
2	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	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	
	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	
	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	
	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	
	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	
	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155		
3	102	112	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	
	168	169	170													

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 9

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		35		69		103		137	
2		36		70		104		138	
3		37		71		105		139	
4		38		72		106		140	
5		39		73		107		141	
6		40		74		108		142	
7		41		75		109		143	
8		42		76		110		144	
9		43		77		111		145	
10		44		78		112		146	
11		45		79		113		147	
12		46		80		114		148	
13		47		81		115		149	
14		48		82		116		150	
15		49		83		117		151	
16		50		84		118		152	
17		51		85		119		153	
18		52		86		120		154	
19		53		87		121		155	
20		54		88		122		156	
21		55		89		123		157	
22		56		90		124		158	
23		57		91		125		159	
24		58		92		126		160	
25		59		93		127		161	
26		60		94		128		162	
27		61		95		129		163	
28		62		96		130		164	
29		63		97		131		165	
30		64		98		132		166	
31		65		99		133		167	
32		66		100		134		168	
33		67		101		135		169	
34		68		102		136		170	

O 2 ⑥ VI-2-4-3-3-1(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 9

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
9						
11						
16						
18						
21						
27						
29						
32						
35						
38						
41						
43						
46						
48						
50						
53						
56						
59						
62						
65						
67						
69						
72						
75						
78						
82						
85						
88						
91						
94						
96						
104						
106						
108						
114						
119						
121						
123						
126						
128						
131						

O 2 ⑥ VI-2-4-3-3-1(重) R 0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 9

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
134						
137						
139						
141						
144						
147						
151						
157						
162						
167						

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
STS410	66	—	231	407	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
F P C - 0 1 6	原子炉建屋		

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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
F P C - 0 1 7	原子炉建屋		

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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
F P C - 0 1 9	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 F P C - 0 1 6

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向
1 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

代表的振動モード図

振動モード図は、1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。

40

鳥瞰図 FPC-016

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 7

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向
1 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

代表的振動モード図

振動モード図は、1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。

鳥瞰図 FPC-017

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 F P C - 0 1 9

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向
1 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s以下であることを示す。

*3：S d又はS s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

代表的振動モード図

振動モード図は、1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。

鳥瞰図 FPC-019

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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管であってクラス2以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{pr m}(S_s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S_s)$	$2 \cdot S_y$	$U S_s$
FPC-016	$V_A S$	91	$S_{pr m}(S_s)$	62	366	—	—	—
	$V_A S$	1	$S_n(S_s)$	—	—	155	462	—

管の応力評価結果

下表に示すとおり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管であってクラス2以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{pr m}(S_s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S_s)$	$2 \cdot S_y$	$U S_s$
FPC-017	$V_A S$	45	$S_{pr m}(S_s)$	31	366	—	—	—
	$V_A S$	78	$S_n(S_s)$	—	—	195	462	—

管の応力評価結果

下表に示すとおり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管であってクラス2以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{pr m}(S_s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S_s)$	$2 \cdot S_y$	$U S_s$
FPC-019	$V_A S$	1	$S_{pr m}(S_s)$	41	366	—	—	—
	$V_A S$	1	$S_n(S_s)$	—	—	195	462	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
FPC-018-123B	ロッドレストレイント	RSA-06	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		4	9

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 (°C)	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			
FPC-019-106R	レストレイント	ラグ	SGV410	66	5	3	22	—	—	—	組合せ	95	254
FPC-017-001A	アンカ	ラグ	SGV410	66	24	2	2	93N・m	492N・m	551N・m	組合せ	65	254

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 V A S												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
1	FPC-016	91	62	366	5.9	○	1	155	462	2.9	—	—	—	—
2	FPC-017	45	31	366	11.8	—	78	195	462	2.3	○	—	—	—
3	FPC-018	18	58	366	6.3	—	12	93	462	4.9	—	—	—	—
4	FPC-019	1	41	366	8.9	—	1	195	462	2.3	○	—	—	—

VI-2-4-4 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の基本設計方針の耐震性についての説明書

目 次

VI-2-4-4-1 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

VI-2-4-4-1 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.	使用済燃料プール監視カメラ	1
1.1	概要	1
1.2	一般事項	1
1.2.1	構造計画	1
1.2.2	評価方針	3
1.2.3	適用規格・基準等	4
1.2.4	記号の説明	5
1.2.5	計算精度と数値の丸め方	6
1.3	評価部位	6
1.4	固有周期	6
1.4.1	基本方針	6
1.4.2	固有周期の確認方法	6
1.4.3	固有周期の確認結果	6
1.5	構造強度評価	7
1.5.1	構造強度評価方法	7
1.5.2	荷重の組合せ及び許容応力	7
1.5.3	設計用地震力	10
1.5.4	計算方法	11
1.5.5	計算条件	14
1.5.6	応力の評価	14
1.6	機能維持評価	15
1.6.1	電氣的機能維持評価方法	15
1.7	評価結果	15
1.7.1	重大事故等対処設備としての評価結果	15
2.	使用済燃料プール監視カメラ照明	19
2.1	概要	19
2.2	一般事項	19
2.2.1	構造計画	19
2.2.2	評価方針	21
2.2.3	適用規格・基準等	22
2.2.4	記号の説明	23
2.2.5	計算精度と数値の丸め方	24
2.3	評価部位	24
2.4	固有周期	24

2.4.1	基本方針	24
2.4.2	固有周期の確認方法	24
2.4.3	固有周期の確認結果	25
2.5	構造強度評価	25
2.5.1	構造強度評価方法	25
2.5.2	荷重の組合せ及び許容応力	25
2.5.3	設計用地震力	28
2.5.4	計算方法	29
2.5.5	計算条件	32
2.5.6	応力の評価	32
2.6	機能維持評価	33
2.6.1	電氣的機能維持評価方法	33
2.7	評価結果	33
2.7.1	重大事故等対処設備としての評価結果	33
3.	使用済燃料プール監視カメラ現場制御盤	37
3.1	概要	37
3.2	一般事項	37
3.2.1	構造計画	37
3.3	固有周期	39
3.3.1	固有周期の算出方法	39
3.4	構造強度評価	39
3.4.1	構造強度評価方法	39
3.4.2	荷重の組合せ及び許容応力	39
3.4.3	計算条件	39
3.5	機能維持評価	42
3.5.1	電氣的機能維持評価方法	42
3.6	評価結果	42
3.6.1	重大事故等対処設備としての評価結果	42

1. 使用済燃料プール監視カメラ

1.1 概要

本計算書は、添付書類「VI-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、使用済燃料プール監視カメラ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。


使用済燃料プール監視カメラは、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、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

使用済燃料プール監視カメラの構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>使用済燃料プール監視カメラは、取付ボルトにてチャンネルベースに固定する。チャンネルベースは基礎（床面）に基礎ボルトで固定する。</p>	<p>可視光カメラ （床に設置されたチャンネルベースに、監視カメラを取付ボルトにて固定する構造）</p>	<p>【使用済燃料プール監視カメラ】</p> 

1.2.2 評価方針

使用済燃料プール監視カメラの応力評価は、添付書類「VI-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、「1.2.1 構造計画」にて示す使用済燃料プール監視カメラの部位を踏まえ「1.3 評価部位」にて設定する箇所において、「1.4 固有周期」で確認した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「1.5 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、使用済燃料プール監視カメラの機能維持評価は、添付書類「VI-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、「1.6 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「1.7 評価結果」に示す。

使用済燃料プール監視カメラの耐震評価フローを図 1-1 に示す。

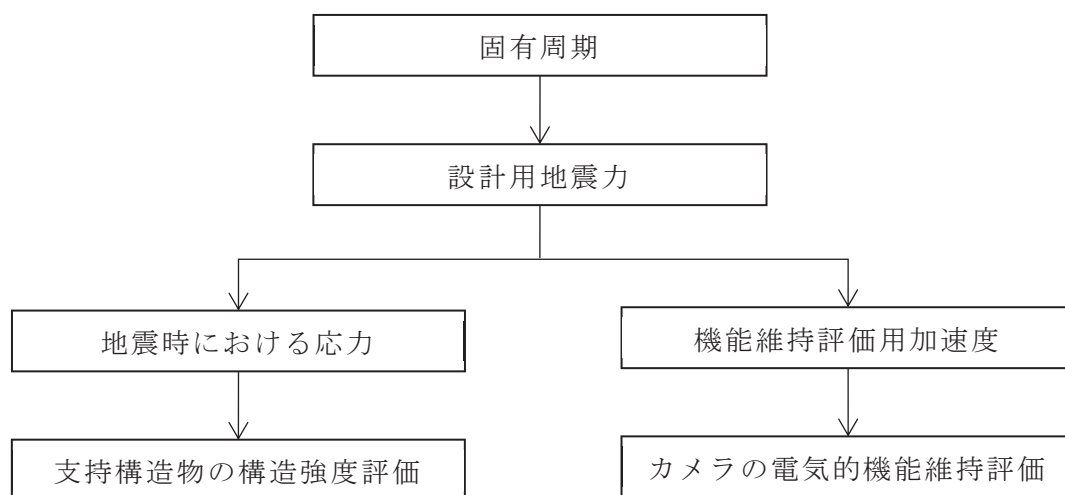


図 1-1 使用済燃料プール監視カメラの耐震評価フロー

1.2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (2) 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）
- (3) 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）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
（以下「設計・建設規格」という。）

1.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力(1本当たり)* ¹	N
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{tsi}	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* ¹	MPa
g	重力加速度(=9.80665)	m/s ²
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
ℓ_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離* ^{1, *3}	mm
ℓ_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離* ^{1, *3}	mm
m_i	運転時質量* ²	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* ¹	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値* ¹	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*¹: A_{bi} , d_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , ℓ_{1i} , ℓ_{2i} , n_i , n_{fi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$, σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: 取付ボルト

*²: h_i 及び m_i の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: 取付面

*³: $\ell_{1i} \leq \ell_{2i}$

1.2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 1-2 に示すとおりである。

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
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	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}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*3}

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。

1.3 評価部位

使用済燃料プール監視カメラの耐震評価は「1.5.1 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評価を実施する。

使用済燃料プール監視カメラの耐震評価部位については、表 1-1 の概略構造図に示す。

1.4 固有周期

1.4.1 基本方針

使用済燃料プール監視カメラの固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性をもつ監視カメラに対する振動試験（加振試験）の結果算定された固有周期を使用する。

1.4.2 固有周期の確認方法

振動試験装置により固有振動数を測定する。

1.4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 1-3 に示す。測定の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 1-3 固有周期 (単位：s)

水平方向	鉛直方向
0.05 以下	0.05 以下

1.5 構造強度評価

1.5.1 構造強度評価方法

- (1) 使用済燃料プール監視カメラの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は使用済燃料プール監視カメラに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 使用済燃料プール監視カメラは取付ボルトでチャンネルベースに固定されており、固定端とする。
- (4) チャンネルベースは基礎ボルトで基礎（床面）と固定されており、固定端とする。
- (5) 床面据付の使用済燃料プール監視カメラの転倒方向は、長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (6) 使用済燃料プール監視カメラ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。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

1.5.2.1 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 1-4 に示す。

1.5.2.2 許容応力

使用済燃料プール監視カメラの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 1-5 のとおりとする。

1.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

使用済燃料プール監視カメラの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-6 に示す。

表 1-4 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	—	使用済燃料プール 監視カメラ	常設／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} 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: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 1-5 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 _{AS}	1.5・f _t * (V _{AS} としてIV _{AS} の 許容限界を用いる。)	1.5・f _s *
V _{AS}		

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 1-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト (i=1)	SS400 (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	100	194	373	—
取付ボルト (i=2)	SS400 (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	100	194	373	—

1.5.3 設計用地震力

「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付資料「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表 1-7 に示す。

表 1-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

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
原子炉建屋 O.P. 36.60 (O.P. 41.20*)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	$C_H =$ 3.43	$C_V =$ 1.89

注記 *：基準床レベルを示す。

1.5.4 計算方法

1.5.4.1 応力の計算方法

1.5.4.1.1 ボルトの計算方法

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。



図 1-2(1) 計算モデル
(基礎ボルト 長辺方向転倒の場合)



図 1-2(2) 計算モデル
(基礎ボルト 短辺方向転倒の場合)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

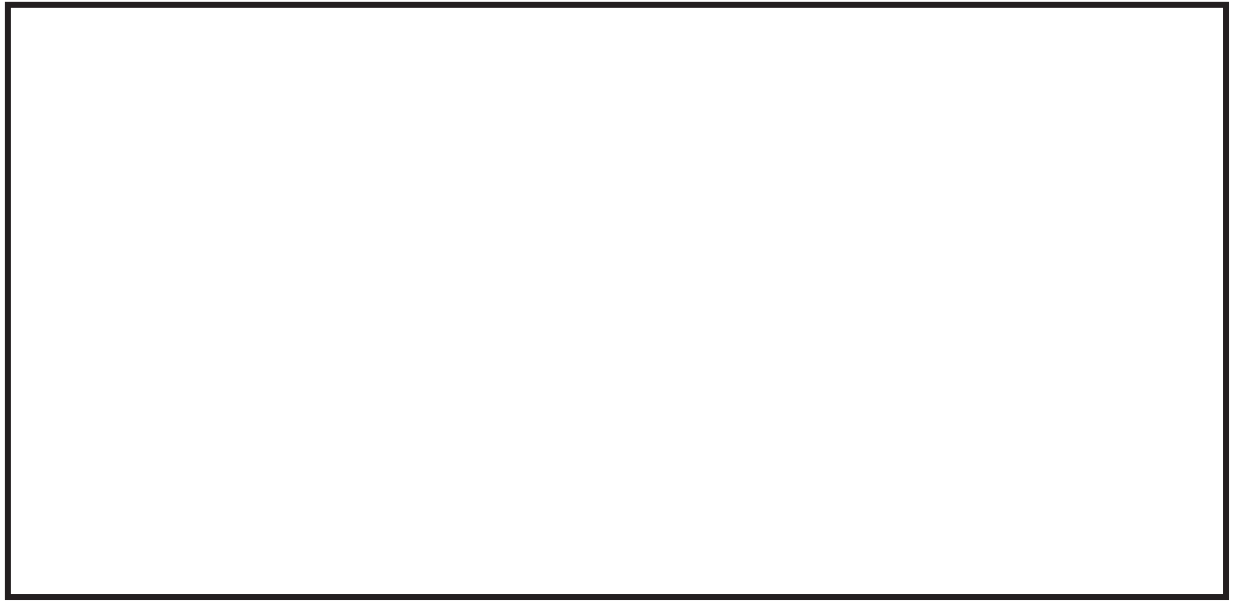


図 1-3(1) 計算モデル
(取付ボルト 長辺方向転倒の場合)



図 1-3(2) 計算モデル
(取付ボルト 短辺方向転倒の場合)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として図 1-2(1)、図 1-2(2)、図 1-3(1)および図 1-3(2)では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

計算モデル図1-2(2)、図1-3(1)、図1-3(2)の場合の引張力。

$$F_{b i} = \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g - m_i \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_{2 i} \cdot g}{n_{f i} \cdot (\ell_{1 i} + \ell_{2 i})} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.1)$$

なお、計算モデル図1-2(1)の基礎ボルトの場合は以下式を用いる。

$$F_{b i} = \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g - m_i \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_{2 i} \cdot g}{n_{f i} \cdot (\ell_{2 i} - \ell_{1 i})} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.2)$$

b. 引張応力

$$\sigma_{b i} = \frac{F_{b i}}{A_{b i}} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.3)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_{b i}$ は次式により求める。

$$A_{b i} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.4)$$

ただし、 $F_{b i}$ が負のとき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) 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

$$Q_{b i} = m_i \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.5)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i}}{n_i \cdot A_{b i}} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.6)$$

1.5.5 計算条件

1.5.5.1 ボルトの応力計算条件

ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【使用済燃料プール監視カメラ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。

1.5.6 応力の評価

1.5.6.1 ボルトの応力評価

1.5.4.1項で求めたボルトの引張応力 $\sigma_{b i}$ は次式より求めた許容引張応力 $f_{t s i}$ 以下であること。

ただし、 $f_{t o i}$ は下表による。

$$f_{t s i} = \text{Min} \left[1.4 \cdot f_{t o i} - 1.6 \cdot \tau_{b i}, f_{t o i} \right] \dots\dots\dots (1.5.6.1.1)$$

せん断応力 $\tau_{b i}$ はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 $f_{s b i}$ 以下であること。ただし、 $f_{s b i}$ 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 $f_{t o i}$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s b i}$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

1.6 機能維持評価

1.6.1 電氣的機能維持評価方法

使用済燃料プール監視カメラの電氣的機能維持評価について、以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

使用済燃料プール監視カメラの機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式のカメラ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器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-8 に示す。

表 1-8 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
使用済燃料プール 監視カメラ	水平方向	
	鉛直方向	

1.7 評価結果

1.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

使用済燃料プール監視カメラ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頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【使用済燃料プール監視カメラ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	設備分類	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 (°C)
			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	常設/防止 常設/緩和	原子炉建屋 O.P. 36.60 (O.P. 41.20*)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C _H =3.43	C _V =1.89	100

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)		467					4	2
取付ボルト (i=2)		367						3
							8	3

部 材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向*2	
					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 (i=1)	194	373	—	232	—	長辺方向
取付ボルト (i=2)	194	373	—	232	—	短辺方向

注記*1 : 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2 : 短辺、長辺方向のうち、評価の厳しい方向を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F_{bi}		Q_{bi}	
	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 (i=1)	—		—	
取付ボルト (i=2)	—		—	

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 (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=27$	$f_{ts1}=139^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=6$	$f_{sb1}=107$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=15$	$f_{ts2}=174^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=5$	$f_{sb2}=134$

注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出
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

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
使用済燃料プール 監視カメラ	水平方向	2.86	
	鉛直方向	1.58	

注記* : 基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。
機能維持評価用加速度(1.0ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。



正面



側面



正面



側面

2. 使用済燃料プール監視カメラ照明

2.1 概要

本計画書は、添付書類「VI-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、使用済燃料プール監視カメラ照明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。

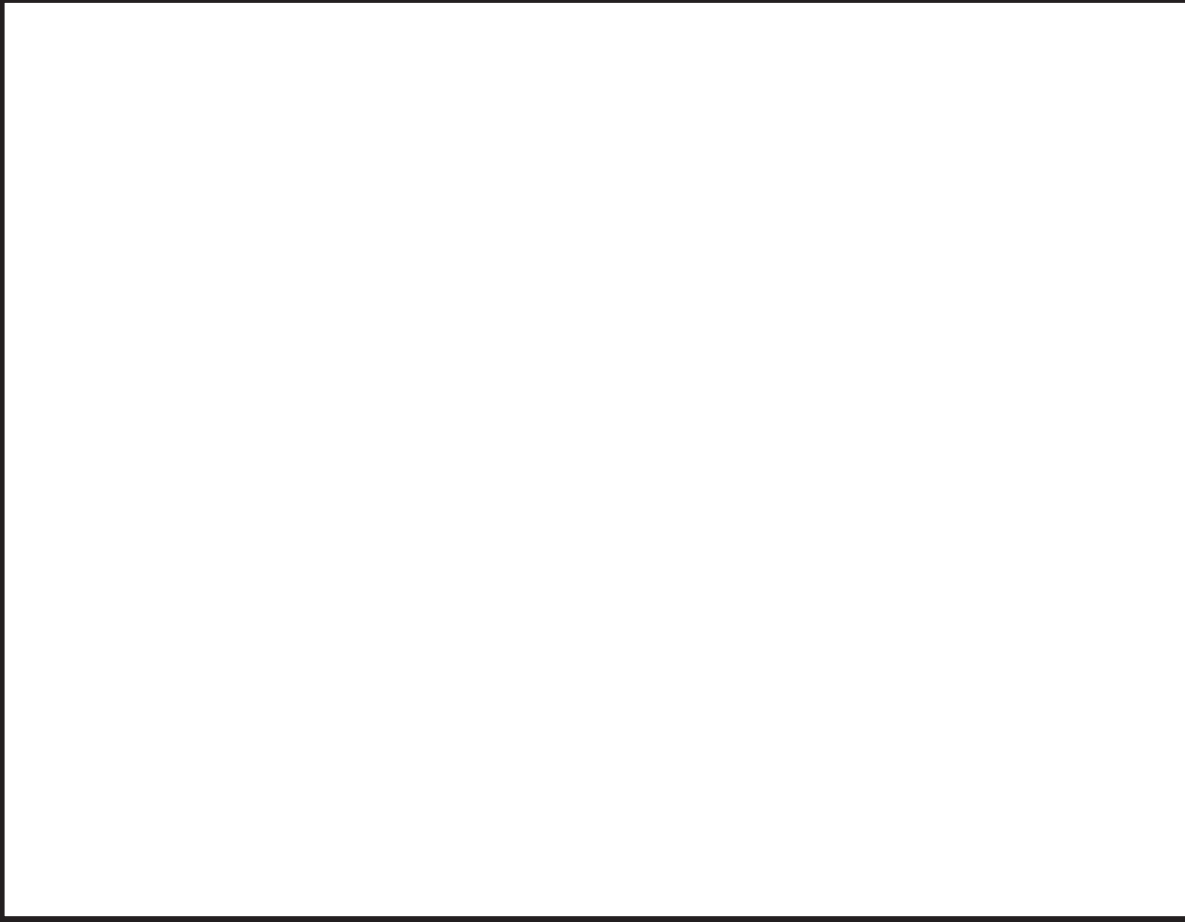
使用済燃料プール監視カメラ照明は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

使用済燃料プール監視カメラ照明の構造計画を表 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	
<p>使用済燃料プール監視カメラ照明は、取付ボルトにてチャンネルベースに固定する。チャンネルベースは基礎（床面）に基礎ボルトで固定する。</p>	<p>照明 （床に設置したチャンネルベースに、照明を取付ボルトにて固定する構造）</p>	<p>【使用済燃料プール監視カメラ照明】</p> 

2.2.2 評価方針

使用済燃料プール監視カメラ照明の応力評価は、添付書類「VI-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、「2.2.1 構造計画」にて示す使用済燃料プール監視カメラ照明の部位を踏まえ「2.3 評価部位」にて設定する箇所において、「2.4 固有周期」で確認した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「2.5 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、使用済燃料プール監視カメラ照明の機能維持評価は、添付書類「VI-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、「2.6 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照明の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

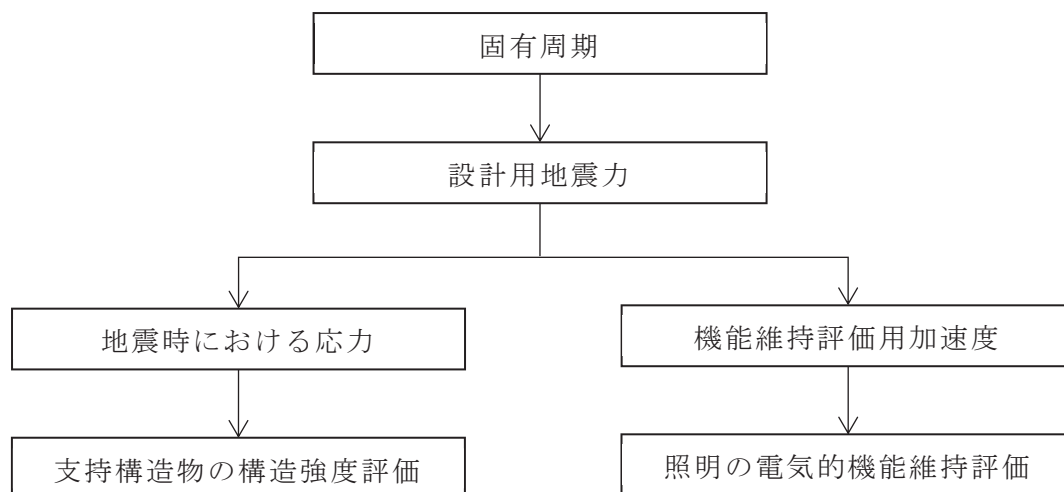


図 2-1 使用済燃料プール監視カメラ照明の耐震評価フロー

2.2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1－1987）
- (2) 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）
- (3) 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）
- (4) J S M E S N C 1－2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下「設計・建設規格」という。）

2.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力(1本当たり)* ¹	N
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{tsi}	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* ¹	MPa
g	重力加速度(=9.80665)	m/s ²
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
l_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
l_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
m_i	運転時質量* ²	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値* ¹	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値* ¹	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*¹: A_{bi} , d_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} ,

n_i , n_{fi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$, σ_{bi}

及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: 取付ボルト

*²: h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: 取付面

*³: $l_{1i} \leq l_{2i}$

2.2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 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
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}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*3}

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。

2.3 評価部位

使用済燃料プール監視カメラ照明の耐震評価は「2.5.1 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評価を実施する。

使用済燃料プール監視カメラ照明の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4 固有周期

2.4.1 基本方針

使用済燃料プール監視カメラ照明の固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性をもつ照明に対する振動試験（加振試験）の結果算定された固有周期を使用する。

2.4.2 固有周期の確認方法

振動試験装置により固有振動数を測定する。

2.4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 2-3 に示す。測定の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 2-3 固有周期 (単位：s)

水平方向	鉛直方向
0.05 以下	0.05 以下

2.5 構造強度評価

2.5.1 構造強度評価方法

- (1) 使用済燃料プール監視カメラ照明の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は使用済燃料プール監視カメラ照明に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 使用済燃料プール監視カメラ照明は取付ボルトでチャンネルベースに固定されており、固定端とする。
- (4) チャンネルベースは基礎ボルトで基礎（床面）と固定されており、固定端とする。
- (5) 床面据付の使用済燃料プール監視カメラ照明の転倒方向は、前後方向及び左右方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (6) 使用済燃料プール監視カメラ照明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。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1 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照明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 2-4 に示す。

2.5.2.2 許容応力

使用済燃料プール監視カメラ照明の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 2-5 のとおりとする。

2.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

使用済燃料プール監視カメラ照明の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-6 に示す。

表 2-4 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	—	使用済燃料プール 監視カメラ照明	常設／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_S^{*3}$	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} 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: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 2-5 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 _{AS}	1.5・f _t * (V _{AS} としてIV _{AS} の 許容限界を用いる。)	1.5・f _s *
V _{AS}		

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 2-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト (i=1)	SS400 (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	100	194	373	—
取付ボルト (i=2)	SS400 (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	100	194	373	—

2.5.3 設計用地震力

「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付資料「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表 2-7 に示す。

表 2-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

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
原子炉建屋 O.P. 36.60 (O.P. 41.20*)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	$C_H =$ 3.43	$C_V =$ 1.89

注記 *：基準床レベルを示す。

2.5.4 計算方法

2.5.4.1 応力の計算方法

2.5.4.1.1 ボルトの計算方法

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。

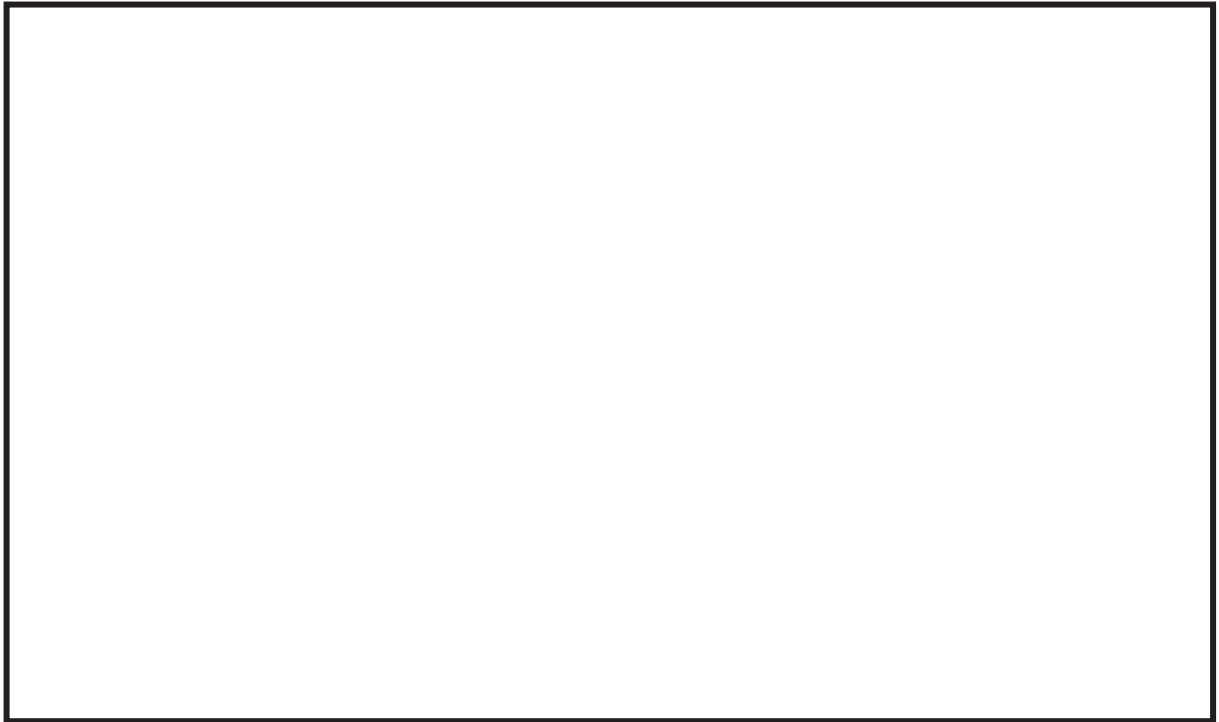


図 2-2(1) 計算モデル（基礎ボルト 左右転倒方向）

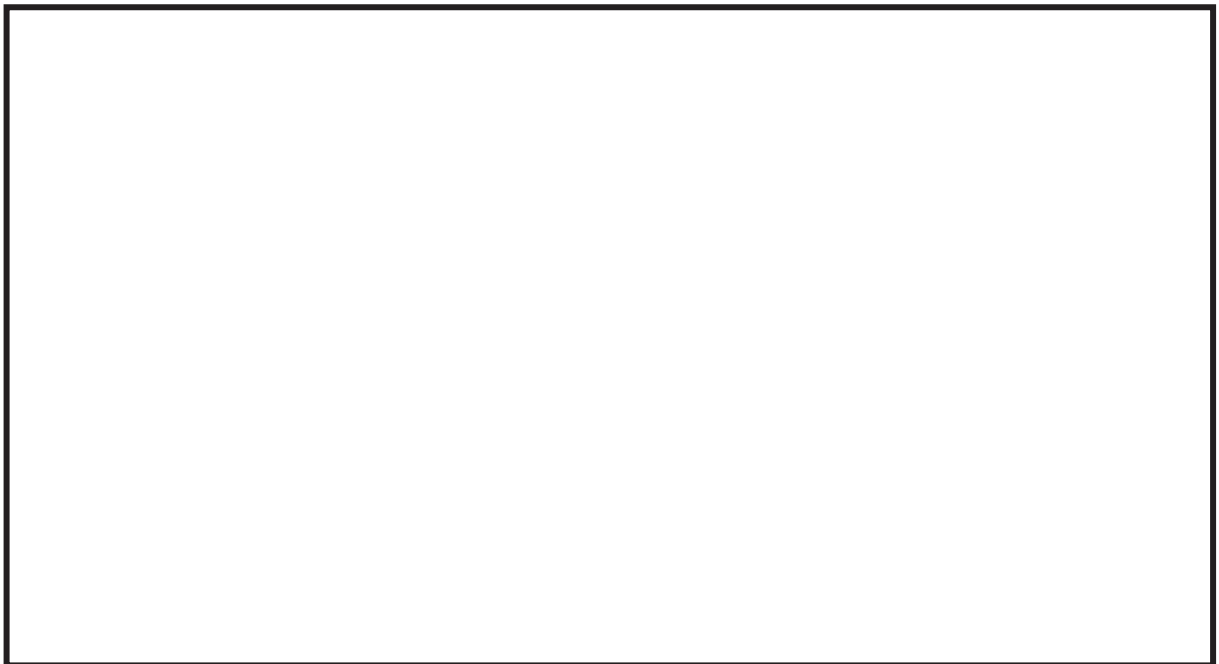


図 2-2(2) 計算モデル（基礎ボルト 前後転倒方向）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

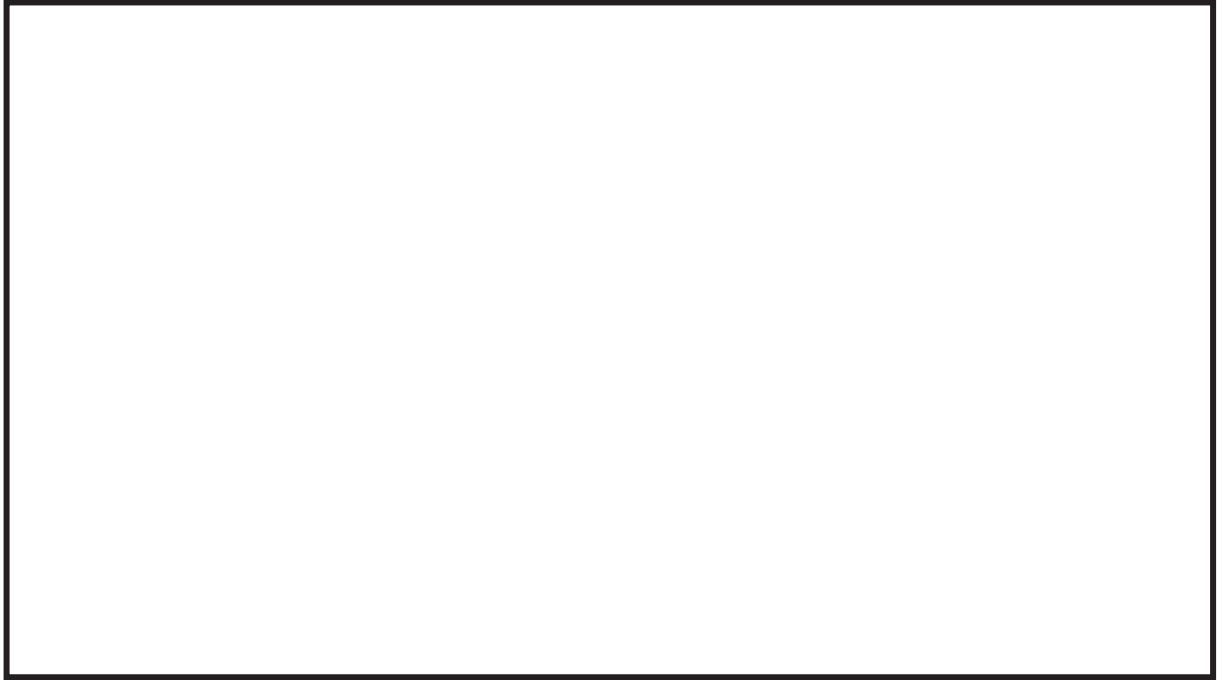


図 2-3(1) 計算モデル (取付ボルト 左右転倒方向)

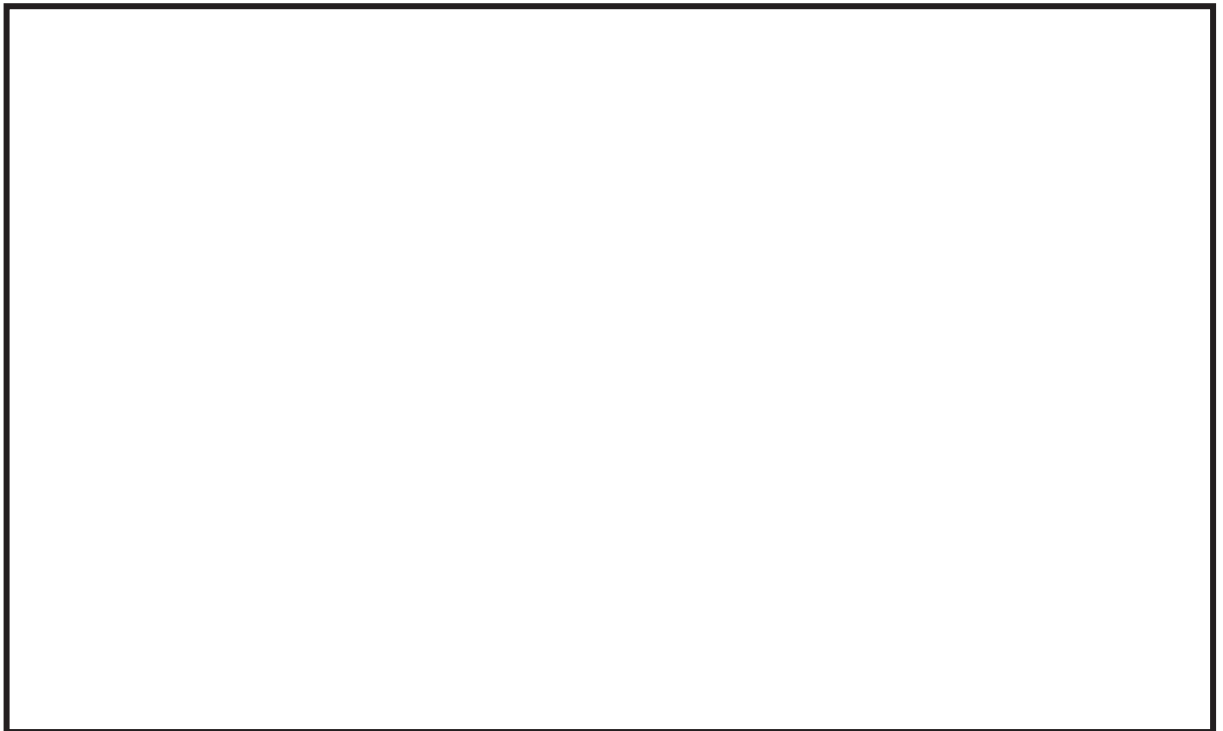


図 2-3(2) 計算モデル (取付ボルト 前後転倒方向)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として図 2-2(1)，図 2-2(2)，図 2-3(1)及び図 2-3(2)では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

計算モデル図2-2(1)，図2-3(1)，図2-3(2)の場合の引張力。

$$F_{b\ i} = \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g - m_i \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_{2\ i} \cdot g}{n_{f\ i} \cdot (\ell_{1\ i} + \ell_{2\ i})} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.1)$$

なお、計算モデル図2-2(2)の場合は以下式を用いる。

$$F_{b\ i} = \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g - m_i \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_{2\ i} \cdot g}{n_{f\ i} \cdot (\ell_{2\ i} - \ell_{1\ i})} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.2)$$

b. 引張応力

$$\sigma_{b\ i} = \frac{F_{b\ i}}{A_{b\ i}} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.3)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_{b\ i}$ は次式により求める。

$$A_{b\ i} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.4)$$

ただし、 $F_{b\ i}$ が負のとき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) 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

$$Q_{b\ i} = m_i \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.5)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b\ i} = \frac{Q_{b\ i}}{n_i \cdot A_{b\ i}} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.6)$$

2.5.5 計算条件

2.5.5.1 ボルトの応力計算条件

ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【使用済燃料プール監視カメラ照明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。

2.5.6 応力の評価

2.5.6.1 ボルトの応力評価

2.5.4.1項で求めたボルトの引張応力 $\sigma_{b i}$ は次式より求めた許容引張応力 $f_{t s i}$ 以下であること。

ただし、 $f_{t o i}$ は下表による。

$$f_{t s i} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{t o i} - 1.6 \cdot \tau_{b i}, f_{t o i}] \dots\dots\dots (2.5.6.1.1)$$

せん断応力 $\tau_{b i}$ はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 $f_{s b i}$ 以下であること。ただし、 $f_{s b i}$ 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 $f_{t o i}$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s b i}$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.6 機能維持評価

2.6.1 電氣的機能維持評価方法

使用済燃料プール監視カメラ照明の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

使用済燃料プール監視カメラ照明の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の照明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器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-8 に示す。

表 2-8 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
使用済燃料プール 監視カメラ照明	水平方向	
	鉛直方向	

2.7 評価結果

2.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

使用済燃料プール監視カメラ照明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頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【使用済燃料プール監視カメラ照明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	設備分類	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 (°C)
			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 監視カメラ照明	常設/防止 常設/緩和	原子炉建屋 O.P. 36.60 (O.P. 41.20*)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C _H =3.43	C _V =1.89	100

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} ^{*1} (mm)	ℓ _{2i} ^{*1} (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} ^{*1}
基礎ボルト (i=1)		543					4	2
								2
取付ボルト (i=2)		443					8	3
								3

部 材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向*2	
					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 (i=1)	194	373	—	232	—	前後方向
取付ボルト (i=2)	194	373	—	232	—	前後方向

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：前後、左右方向のうち、評価の厳しい方向を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F_{bi}		Q_{bi}	
	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 (i=1)	—		—	
取付ボルト (i=2)	—		—	

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 (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=27$	$f_{ts1}=139^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=5$	$f_{sb1}=107$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=11$	$f_{ts2}=174^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=134$

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出
すべて許容応力以下である。

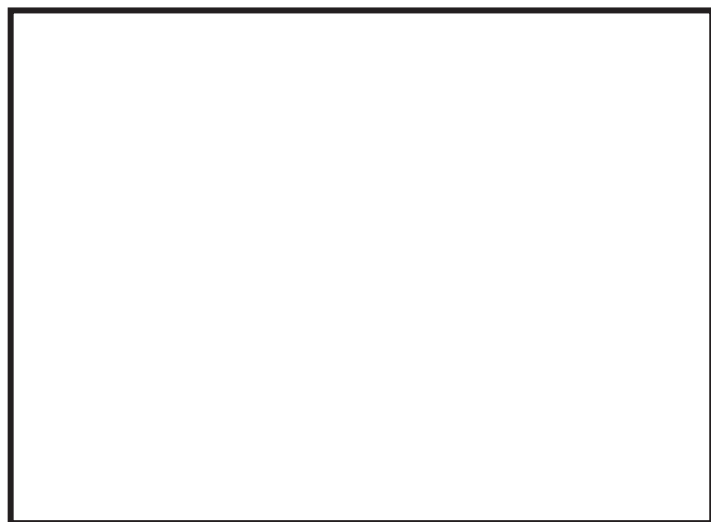
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

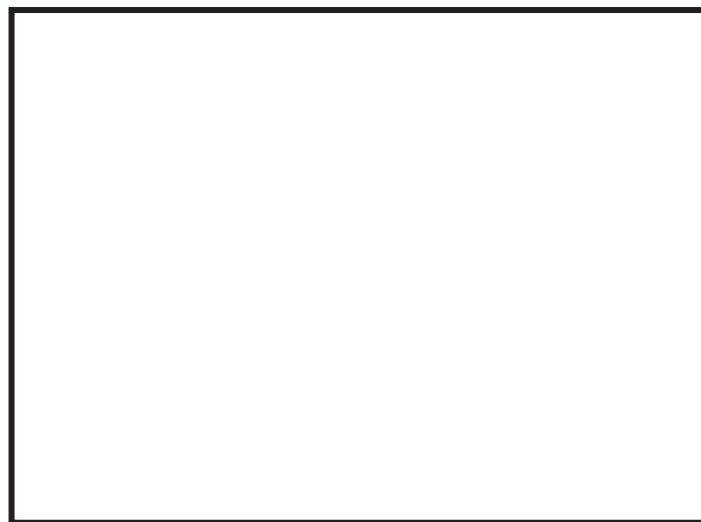
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
使用済燃料プール 監視カメラ照明	水平方向	2.86	
	鉛直方向	1.58	

注記*：基準地震動 S_sにより定まる応答加速度とする。
機能維持評価用加速度(1.0ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。

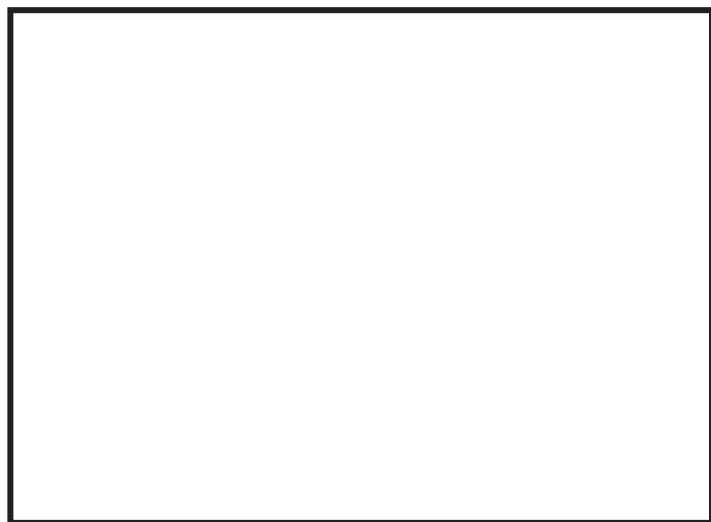
35



正面



側面



正面



側面

3. 使用済燃料プール監視カメラ現場制御盤

3.1 概要

本計画書は、添付書類「VI-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、使用済燃料プール監視カメラ現場制御盤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。

使用済燃料プール監視カメラ現場制御盤は、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、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

なお、使用済燃料プール監視カメラ現場制御盤は、「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤と類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

3.2 一般事項

3.2.1 構造計画

使用済燃料プール監視カメラ現場制御盤の構造計画を表 3-1 に示す。

表 3-1 構造計画

計画の概要		概略構造図								
基礎・支持構造	主体構造									
使用済燃料プール監視カメラ現場制御盤は、基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。チャンネルベースは基礎ボルトにて基礎に固定する。	直立形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤)	<p>【使用済燃料プール監視カメラ現場制御盤】</p> <table border="1" data-bbox="1451 1139 1995 1406"> <thead> <tr> <th colspan="2">使用済燃料プール監視カメラ 現場制御盤</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td>1000 mm</td> </tr> <tr> <td>横</td> <td>1000 mm</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>1950 mm</td> </tr> </tbody> </table>	使用済燃料プール監視カメラ 現場制御盤		たて	1000 mm	横	1000 mm	高さ	1950 mm
使用済燃料プール監視カメラ 現場制御盤										
たて	1000 mm									
横	1000 mm									
高さ	1950 mm									

3.3 固有周期

3.3.1 固有周期の算出方法

使用済燃料プール監視カメラ現場制御盤の固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ盤（打振試験）の測定結果から、固有周期は0.05秒以下であり、剛であることを確認した。固有周期を表3-2に示す。

表 3-2 固有周期 (単位：s)

水平方向	鉛直方向
0.05 以下	0.05 以下

3.4 構造強度評価

3.4.1 構造強度評価方法

使用済燃料プール監視カメラ現場制御盤の構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-7 盤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行う。

3.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.4.2.1 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現場制御盤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3-3に示す。

3.4.2.2 許容応力

使用済燃料プール監視カメラ現場制御盤の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表3-4のとおりとする。

3.4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

使用済燃料プール監視カメラ現場制御盤の使用材料の許容応力評価条件のうち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。

3.4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【使用済燃料プール監視カメラ現場制御盤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。

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
核燃料物質 の取扱施設 及び 貯蔵施設	—	使用済燃料プール 監視カメラ現場制御盤	常設／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_S^{*3}$	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} 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: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 3-4 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
IV _{AS}	1.5・f _t * 1.5・f _s *	1.5・f _s *
V _{AS} (V _{AS} としてIV _{AS} 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 3-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト (i=1)	SS400 (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	40	215	400	—
取付ボルト (i=2)	SS400 (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	40	215	400	—

3.5 機能維持評価

3.5.1 電氣的機能維持評価方法

使用済燃料プール監視カメラ現場制御盤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「VI-2-1-13-7 盤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。

使用済燃料プール監視カメラ現場制御盤の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の盤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器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 3-6 に示す。

表 3-6 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
使用済燃料プール 監視カメラ現場制御盤	水平方向	
	鉛直方向	

3.6 評価結果

3.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

使用済燃料プール監視カメラ現場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頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【使用済燃料プール監視カメラ現場制御盤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	設備分類	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 (°C)
			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 現場制御盤	常設/防止 常設/緩和	原子炉建屋 OP. 23. 60 (OP. 33. 20*)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C _H =2.65	C _V =1.77	40

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)		2070					12	3
								3
取付ボルト (i=2)		1950					10	3
								2

部 材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向*2	
					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 (i=1)	215	400	—	258	—	前後方向
取付ボルト (i=2)	215	400	—	258	—	左右方向

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：前後、左右方向のうち、評価の厳しい方向を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F_{bi}		Q_{bi}	
	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 (i=1)	—		—	
取付ボルト (i=2)	—		—	

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 (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=112$	$f_{ts1}=154^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=13$	$f_{sb1}=119$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=143$	$f_{ts2}=193^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=12$	$f_{sb2}=148$

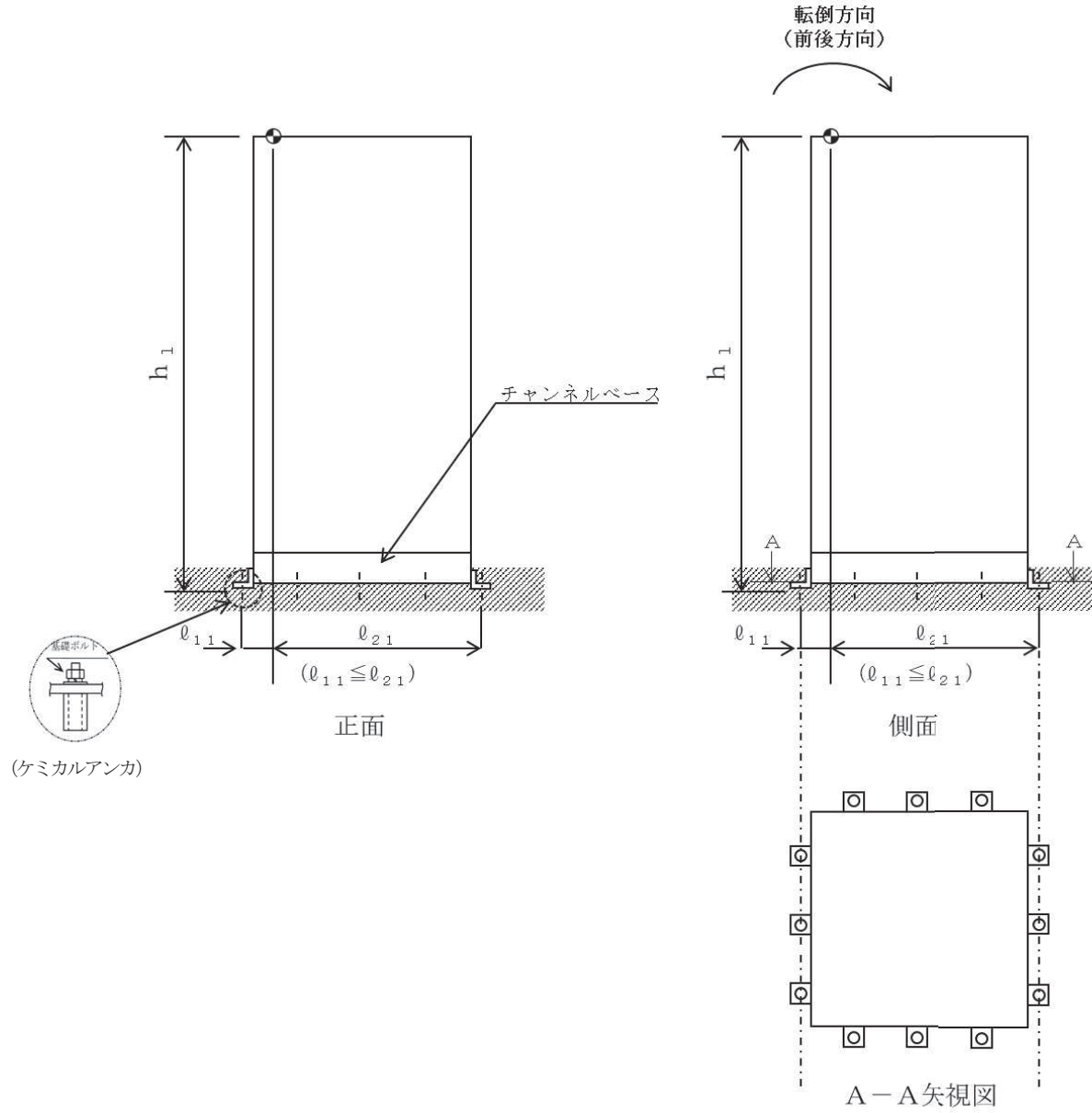
注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t0i} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t0i}]$ より算出
すべて許容応力以下である。

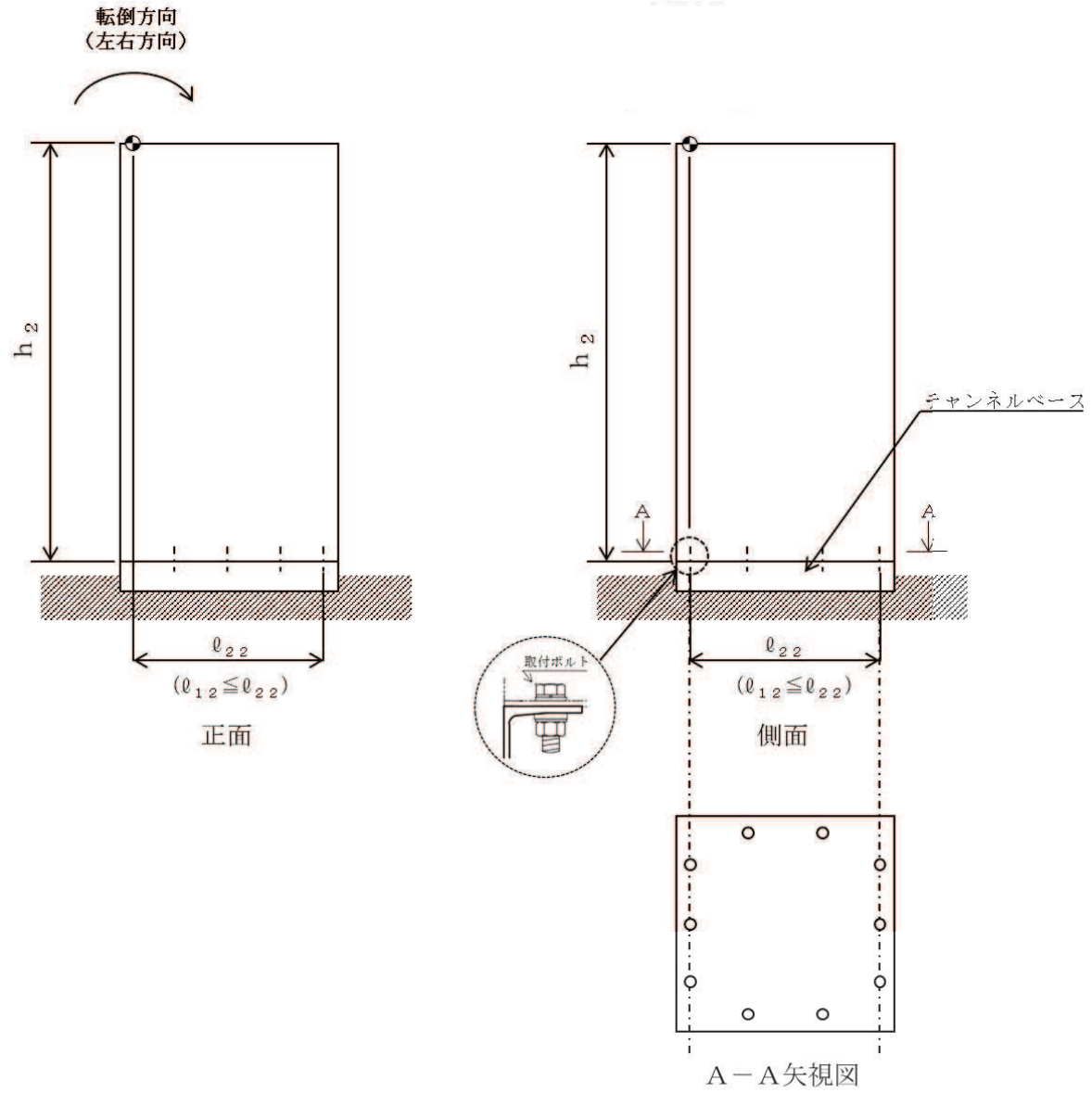
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
使用済燃料プール 監視カメラ 現場制御盤	水平方向	2.21	
	鉛直方向	1.47	

注記*：基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。
機能維持評価用加速度(1.0ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。





VI-2-5 原子炉冷却系統施設の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-5-1 原子炉冷却系統施設の耐震性についての計算結果
- VI-2-5-2 原子炉冷却材再循環設備の耐震性についての計算書
- VI-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
- VI-2-5-4 残留熱除去設備の耐震性についての計算書
- VI-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
- VI-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
- VI-2-5-7 原子炉補機冷却設備の耐震性についての計算書
- VI-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

VI-2-5-1 原子炉冷却系統施設の耐震性についての計算結果

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、重大事故等対処設備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、既に許可を受けた実績との差異の有無を整理した。また、重大事故等対処設備のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処設備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。結果を表1に示す。

原子炉冷却系統施設の耐震計算は表1に示す計算書に記載することとする。

表 1 耐震評価条件整理一覧表(1/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	再循環設備	原子炉冷却材 再循環系	ポンプ	S	無	VI-2-5-2-1-1	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-2-1-1	—	—	—
	原子炉冷却材の循環設備	主蒸気系	主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ	S	無	VI-2-5-3-1-1	常設耐震/防止	無	VI-2-5-3-1-1
			主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ	S	無	VI-2-5-3-1-1	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-5-3-1-1
			安全弁	S	無	VI-2-5-3-1-2	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-5-3-1-2
			主要弁	S	無	VI-2-5-3-1-2	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-3-1-2	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-5-3-1-2

表 1 耐震評価条件整理一覧表(2/29)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材の循環設備	主蒸気系	主配管（計測制御系 統施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-6-6-1-1
			原子炉格納容器配 管貫通部（原子炉格 納施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-9-2-4-1
		復水給水系	主要弁	S	無	VI-2-5-3-2-1	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-3-2-1	—	—	—
	残留熱除去設備	残留熱除去系	残留熱除去系熱交 換器	S	有	VI-2-5-4-1-1	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-5-4-1-1
			残留熱除去系ポン プ	S	無	VI-2-5-4-1-2	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-5-4-1-2
			残留熱除去系スト レーナ	S	無	VI-2-5-4-1-3	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-4-1-3
			主要弁	S	無	VI-2-5-4-1-4	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-4-1-4 VI-2-5-4-1-5	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-4-1-4 VI-2-5-4-1-5

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (3/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系	主配管（原子炉冷却材再循環設備 原子炉冷却材再循環系に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-2-1-1
			主配管（原子炉格納施設に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-4-3-1-1
			原子炉格納容器配管貫通部（原子炉格納施設に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-4-1
			炉心支持構造物（原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-2-2 VI-2-3-3-2-3 VI-2-3-3-2-4 VI-2-3-3-2-5 VI-2-3-3-2-6 VI-2-3-3-2-7 VI-2-3-3-2-8
			原子炉圧力容器（原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-4-1-2

表 1 耐震評価条件整理一覧表(4/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統説	残留熱除去設備	残留熱除去系	原子炉格納容器（原 子炉格納施設に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-1-1 VI-2-9-2-1-2 VI-2-9-2-1-3 VI-2-9-2-1-4 VI-2-9-2-1-5 VI-2-9-2-2-1 VI-2-9-2-2-2 VI-2-9-2-2-3 VI-2-9-2-2-4 VI-2-9-2-3-1
			原子炉压力容器内 部構造物（原子炉建 屋に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-4-3-5
	フィルタベント系	原子炉格納容器	主要弁（原子炉格納 施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-5-1-1 VI-2-9-4-6-1-1
			主配管（原子炉格納 施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-4-4-1 VI-2-9-4-5-1-1 VI-2-9-4-6-1-1

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (5/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	原子炉格納容器フィルタベント系	原子炉格納容器配 管貫通部（原子炉格 納施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-2-4-1
			原子炉格納容器（原 子炉格納施設に記 載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-2-1-1 VI-2-9-2-1-2 VI-2-9-2-1-3 VI-2-9-2-1-4 VI-2-9-2-1-5 VI-2-9-2-2-1 VI-2-9-2-2-2 VI-2-9-2-2-3 VI-2-9-2-2-4 VI-2-9-2-3-1
			フィルタ装置出口 側ラプチャディス ク（原子炉格納施設 に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-6-1-1
			フィルタ装置（原子 炉格納施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-6-1-2

表 1 耐震評価条件整理一覧表(6/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	原子炉格納容器フィルタベント系	遠隔手動弁操作設備（原子炉格納施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-6-1-3
			遠隔手動弁操作設備遮蔽（原子炉格納施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-6-1-4
			T48-F020（原子炉格納施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-5-1-1
			T48-F021（原子炉格納施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-5-1-1
	耐圧強化ベント系	主配管	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-5-4-2-1	
		主配管（原子炉格納施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-4-1-2 VI-2-9-4-5-1-1	
		原子炉格納容器配管貫通部（原子炉格納施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-2-4-1	

表 1 耐震評価条件整理一覧表(7/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	耐圧強化ベント系	原子炉格納容器（原子炉格納施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-2-1-1 VI-2-9-2-1-2 VI-2-9-2-1-3 VI-2-9-2-1-4 VI-2-9-2-1-5 VI-2-9-2-2-1 VI-2-9-2-2-2 VI-2-9-2-2-3 VI-2-9-2-2-4 VI-2-9-2-3-1
			T48-F019（原子炉格納施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-5-1-1
			T48-F022（原子炉格納施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-5-1-1
			排気筒（放射性廃棄物の廃棄施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-7-2-1
			遠隔手動弁操作設備（原子炉格納施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-6-1-3

表 1 耐震評価条件整理一覧表(8/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
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	高圧炉心スプレイ系	高圧炉心スプレイ系ポンプ	S	無	VI-2-5-5-1-1	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-5-5-1-1
			復水貯蔵タンク（原子炉冷却材補給設備 補給水系に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-6-2-2
			高圧炉心スプレイ系ストレーナ	S	無	VI-2-5-5-1-2	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-5-1-2
			主要弁	S	無	VI-2-5-5-1-3	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-5-1-3 VI-2-5-5-1-4	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-5-1-3 VI-2-5-5-1-4
			主配管（原子炉冷却材補給設備 補給水系に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-6-2-3
			原子炉格納容器配管貫通部（原子炉格納施設に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-4-1

表 1 耐震評価条件整理一覧表(9/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
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	高圧炉心スプレイ系	原子炉格納容器（原子炉格納施設に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-1-1 VI-2-9-2-1-2 VI-2-9-2-1-3 VI-2-9-2-1-4 VI-2-9-2-1-5 VI-2-9-2-2-1 VI-2-9-2-2-2 VI-2-9-2-2-3 VI-2-9-2-2-4 VI-2-9-2-3-1
			炉心支持構造物（原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-2-2 VI-2-3-3-2-3 VI-2-3-3-2-4 VI-2-3-3-2-5 VI-2-3-3-2-6 VI-2-3-3-2-7 VI-2-3-3-2-8
			原子炉圧力容器（原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-4-1-2

表 1 耐震評価条件整理一覧表(10/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
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	高圧炉心スプレイ系	原子炉圧力容器内部構造物（原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-4-3-7 VI-2-3-4-3-9
			E22-F003	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-5-1-3
			原子炉建屋ブローアウトパネル（原子炉格納施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-3-1-1
	低圧炉心スプレイ系		低圧炉心スプレイ系ポンプ	S	無	VI-2-5-5-2-1	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-5-5-2-1
			低圧炉心スプレイ系ストレナー	S	無	VI-2-5-5-2-2	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-5-2-2
			主要弁	S	無	VI-2-5-5-2-3	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-5-2-3 VI-2-5-5-2-4	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-5-2-3 VI-2-5-5-2-4

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (11/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
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	低圧炉心スプレイ系	原子炉格納容器配 管貫通部（原子炉格 納施設に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-4-1
			原子炉格納容器（原 子炉格納施設に記 載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-1-1 VI-2-9-2-1-2 VI-2-9-2-1-3 VI-2-9-2-1-4 VI-2-9-2-1-5 VI-2-9-2-2-1 VI-2-9-2-2-2 VI-2-9-2-2-3 VI-2-9-2-2-4 VI-2-9-2-3-1
			炉心支持構造物（原 子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-2-2 VI-2-3-3-2-3 VI-2-3-3-2-4 VI-2-3-3-2-5 VI-2-3-3-2-6 VI-2-3-3-2-7 VI-2-3-3-2-8

表 1 耐震評価条件整理一覧表(12/29)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
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	低圧炉心スプレイ系	原子炉圧力容器（原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-4-1-2
		原子炉圧力容器内部構造物（原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-4-3-7 VI-2-3-4-3-9	
	高圧代替注水系	高圧代替注水系タービンポンプ	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-5-3-1	
		復水貯蔵タンク（原子炉冷却材補給設備 補給水系に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-6-2-2	
		主配管	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-5-1-3 VI-2-5-5-3-2	
		主配管（原子炉冷却材の循環設備 主蒸気系，復水給水系に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-3-1-2 VI-2-5-3-2-1	

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (13/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
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	高圧代替注水系	主配管（原子炉冷却材補給設備 原子炉隔離時冷却系，補給水系に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-6-1-3 VI-2-5-6-2-3
			主配管（原子炉冷却材浄化設備 原子炉冷却材浄化系に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-8-1-1
			原子炉格納容器配管貫通部（原子炉格納施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-9-2-4-1
			炉心支持構造物（原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-3-3-2-2 VI-2-3-3-2-3 VI-2-3-3-2-4 VI-2-3-3-2-5 VI-2-3-3-2-6 VI-2-3-3-2-7 VI-2-3-3-2-8

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (14/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
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	高圧代替注水系	原子炉圧力容器（原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-3-4-1-2
			原子炉圧力容器内部構造物（原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-3-4-3-6
	原子炉隔離時冷却系	原子炉隔離時冷却系ポンプ（原子炉冷却材補給設備 原子炉隔離時冷却系に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-6-1-1 VI-2-5-6-1-2	
		復水貯蔵タンク（原子炉冷却材補給設備 補給水系に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-6-2-2	
		主配管	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-5-1-3	

表1 耐震評価条件整理一覧表(15/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
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	原子炉隔離時冷却系	主配管（原子炉冷却材の循環設備 主蒸気系，復水給水系に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-3-1-2 VI-2-5-3-2-1
			主配管（原子炉冷却材補給設備 原子炉隔離時冷却系，補給水系に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-6-1-3 VI-2-5-6-2-3
			主配管（原子炉冷却材浄化設備 原子炉冷却材浄化系に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-8-1-1
			原子炉格納容器配管貫通部（原子炉格納施設に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-4-1

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (16/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
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	原子炉隔離時冷却系	炉心支持構造物（原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-2-2 VI-2-3-3-2-3 VI-2-3-3-2-4 VI-2-3-3-2-5 VI-2-3-3-2-6 VI-2-3-3-2-7 VI-2-3-3-2-8
			原子炉压力容器（原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-4-1-2
			原子炉压力容器内部構造物（原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-4-3-6
			E51-F008（原子炉冷却材補給設備 原子炉隔離時冷却系に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-6-1-3

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (17/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
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	低圧代替注水系	直流駆動低圧注水系ポンプ	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-5-5-4-1
			復水移送ポンプ (原子炉冷却材補給設備 補給水系に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-6-2-1
			復水貯蔵タンク (原子炉冷却材補給設備 補給水系に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-6-2-2
			主配管	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-5-1-3 VI-2-5-5-4-2
			主配管 (残留熱除去設備 残留熱除去系に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-4-1-4
			主配管 (原子炉冷却材補給設備 補給水系に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-6-2-3

表 1 耐震評価条件整理一覧表(18/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
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	低圧代替注水系	原子炉格納容器配 管貫通部（原子炉格 納施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-9-2-4-1
			原子炉圧力容器内 部構造物（原子炉本 体に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-3-4-3-7 VI-2-3-4-3-8 VI-2-3-4-3-9
			炉心支持構造物（原 子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-3-3-2-2 VI-2-3-3-2-3 VI-2-3-3-2-4 VI-2-3-3-2-5 VI-2-3-3-2-6 VI-2-3-3-2-7 VI-2-3-3-2-8
			原子炉圧力容器（原 子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-3-4-1-2

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (19/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
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	代替循環冷却ポン プ（原子炉格納施設 に記載）	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-3-4-1
			残留熱除去系スト レーナ（残留熱除去 設備 残留熱除去 系に記載）	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-5-4-1-3
			主配管（残留熱除去 設備 残留熱除去 系に記載）	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-5-4-1-4 VI-2-5-4-1-5
			主配管（原子炉格納 施設に記載）	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-3-4-2
			原子炉格納容器配 管貫通部（原子炉格 納施設に記載）	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-2-4-1

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (20/29)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
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	残留熱除去系熱交換器（残留熱除去設備 残留熱除去系に記載）	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-5-4-1-1
			原子炉格納容器（原子炉格納施設に記載）	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-2-1-1 VI-2-9-2-1-2 VI-2-9-2-1-3 VI-2-9-2-1-4 VI-2-9-2-1-5 VI-2-9-2-2-1 VI-2-9-2-2-2 VI-2-9-2-2-3 VI-2-9-2-2-4 VI-2-9-2-3-1
			炉心支持構造物（原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-3-3-2-2 VI-2-3-3-2-3 VI-2-3-3-2-4 VI-2-3-3-2-5 VI-2-3-3-2-6 VI-2-3-3-2-7 VI-2-3-3-2-8

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (21/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
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	原子炉圧力容器（原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-3-4-1-2
			原子炉圧力容器内部構造物（原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-3-4-3-8
	ほう酸水注入系	ほう酸水注入系ポンプ（計測制御系統施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-6-4-1-1	
		ほう酸水注入系貯蔵タンク（計測制御系統施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-6-4-1-2	
		主配管（計測制御系統施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-6-4-1-3	
		原子炉格納容器配管貫通部（原子炉格納施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-2-4-1	

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (22/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
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	ほう酸水注入系	炉心支持構造物（原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-3-3-2-2 VI-2-3-3-2-3 VI-2-3-3-2-4 VI-2-3-3-2-5 VI-2-3-3-2-6 VI-2-3-3-2-7 VI-2-3-3-2-8
			原子炉圧力容器（原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-3-4-1-2
			原子炉圧力容器付属構造物（原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-3-4-2-4
			原子炉圧力容器内部構造物（原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-3-4-3-10

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (23/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
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	残留熱除去系ポン プ（残留熱除去設備 残留熱除去系に記 載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-4-1-2
			残留熱除去系スト レーナ（残留熱除去 設備 残留熱除去 系に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-4-1-3
			主配管（残留熱除去 設備 残留熱除去 系に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-4-1-4 VI-2-5-4-1-5
			原子炉格納容器配 管貫通部（原子炉格 納施設に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-4-1

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (24/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
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	炉心支持構造物（原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-2-2 VI-2-3-3-2-3 VI-2-3-3-2-4 VI-2-3-3-2-5 VI-2-3-3-2-6 VI-2-3-3-2-7 VI-2-3-3-2-8
			原子炉圧力容器（原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-4-1-2
			原子炉格納容器（原子炉格納施設に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-1-1 VI-2-9-2-1-2 VI-2-9-2-1-3 VI-2-9-2-1-4 VI-2-9-2-1-5 VI-2-9-2-2-1 VI-2-9-2-2-2 VI-2-9-2-2-3 VI-2-9-2-2-4 VI-2-9-2-3-1

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (25/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
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	原子炉压力容器内部構造物（原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-4-3-8
			残留熱除去系熱交換器（残留熱除去設備 残留熱除去系に記載）	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-4-1-1
		代替水源移送系	主配管	—	—*2	—	常設/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-5-5-1
	原子炉冷却材補給設備	原子炉隔離時冷却系	原子炉隔離時冷却系ポンプ	S	無	VI-2-5-6-1-1 VI-2-5-6-1-2	—	—	—
			主要弁	S	無	VI-2-5-6-1-3	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-6-1-3	—	—	—

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (26/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材補給設備	補給水系	復水移送ポンプ	B	—*2	—	—	—	—	
			復水貯蔵タンク	B	—*2	—	—	—	—	
			主配管	B	—*2	—	—	—	—	
	原子炉補機冷却設備	(原子炉補機冷却海水系を含む。)	原子炉補機冷却水系	原子炉補機冷却水系熱交換器	S	無	VI-2-5-7-1-1	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	無	VI-2-5-7-1-1
				原子炉補機冷却水ポンプ	S	無	VI-2-5-7-1-2	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	無	VI-2-5-7-1-2
				原子炉補機冷却海水ポンプ	S	無	VI-2-5-7-1-3	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	無	VI-2-5-7-1-3

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (27/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	(原子炉補機冷却海水系を含む。)	原子炉補機冷却水 サージタンク	S	—*2	VI-2-5-7-1-4	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	無	VI-2-5-7-1-4
			原子炉補機冷却海 水系ストレータ	S	無	VI-2-5-7-1-5	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	無	VI-2-5-7-1-5
			主配管	S	有	VI-2-5-7-1-6	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	無	VI-2-5-7-1-6
		(高圧炉心スプレ イ補機冷却海水系を含む。)	高圧炉心スプレ イ補機冷却水系熱交 換器	S	無	VI-2-5-7-2-1	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-5-7-2-1
	高圧炉心スプレ イ補機冷却水ポンプ		S	無	VI-2-5-7-2-2	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-5-7-2-2	

表1 耐震評価条件整理一覧表(28/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	高圧炉心スプレ イ補機冷却水 系 (高圧炉心スプレ イ補機冷却 海水系を含む。)	高圧炉心スプレ イ補機冷却海水ポン プ	S	無	VI-2-5-7-2-3	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-5-7-2-3
			高圧炉心スプレ イ補機冷却水サージ タンク	S	—*2	VI-2-5-7-2-4	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-5-7-2-4
			高圧炉心スプレ イ補機冷却海水系ス トレーナ	S	無	VI-2-5-7-2-5	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-5-7-2-5
			主配管	S	有	VI-2-5-7-2-5	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-5-7-2-5
	原子炉補機代替冷却水 系	原子炉補機冷却水 サージタンク	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-7-1-4	
		主配管	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-7-1-6 VI-2-5-7-3-1	
		残留熱除去系熱交 換器(残留熱除去設 備 残留熱除去系 に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-4-1-1	

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (29/29)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材浄化設備	原子炉冷却材浄化系	主要弁	S	無	VI-2-5-8-1-1	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-8-1-1	—	—	—

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,「常設/防止(DB拡張)」は常設重大事故防止設備(設計基準拡張),「常設/緩和(DB拡張)」は常設重大事故緩和設備(設計基準拡張)を示す。

*2:本工事計画で新規に申請する設備であることから,差異比較の対象外。

VI-2-5-2 原子炉冷却材再循環設備の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-5-2-1 原子炉再循環系の耐震性についての計算書

VI-2-5-2-1 原子炉再循環系の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-5-2-1-1 管の耐震性についての計算書（原子炉再循環系）

VI-2-5-2-1-1 管の耐震性についての計算書
(原子炉再循環系)

設計基準対象施設

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	17
3.1 計算方法	17
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	18
3.3 設計条件	19
3.4 材料及び許容応力評価条件	40
3.5 設計用地震力	41
4. 解析結果及び評価	43
4.1 固有周期及び設計震度	43
4.2 評価結果	55
4.2.1 管の応力評価結果	55
4.2.2 支持構造物評価結果	60
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	62
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	64

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、原子炉再循環系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全2モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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

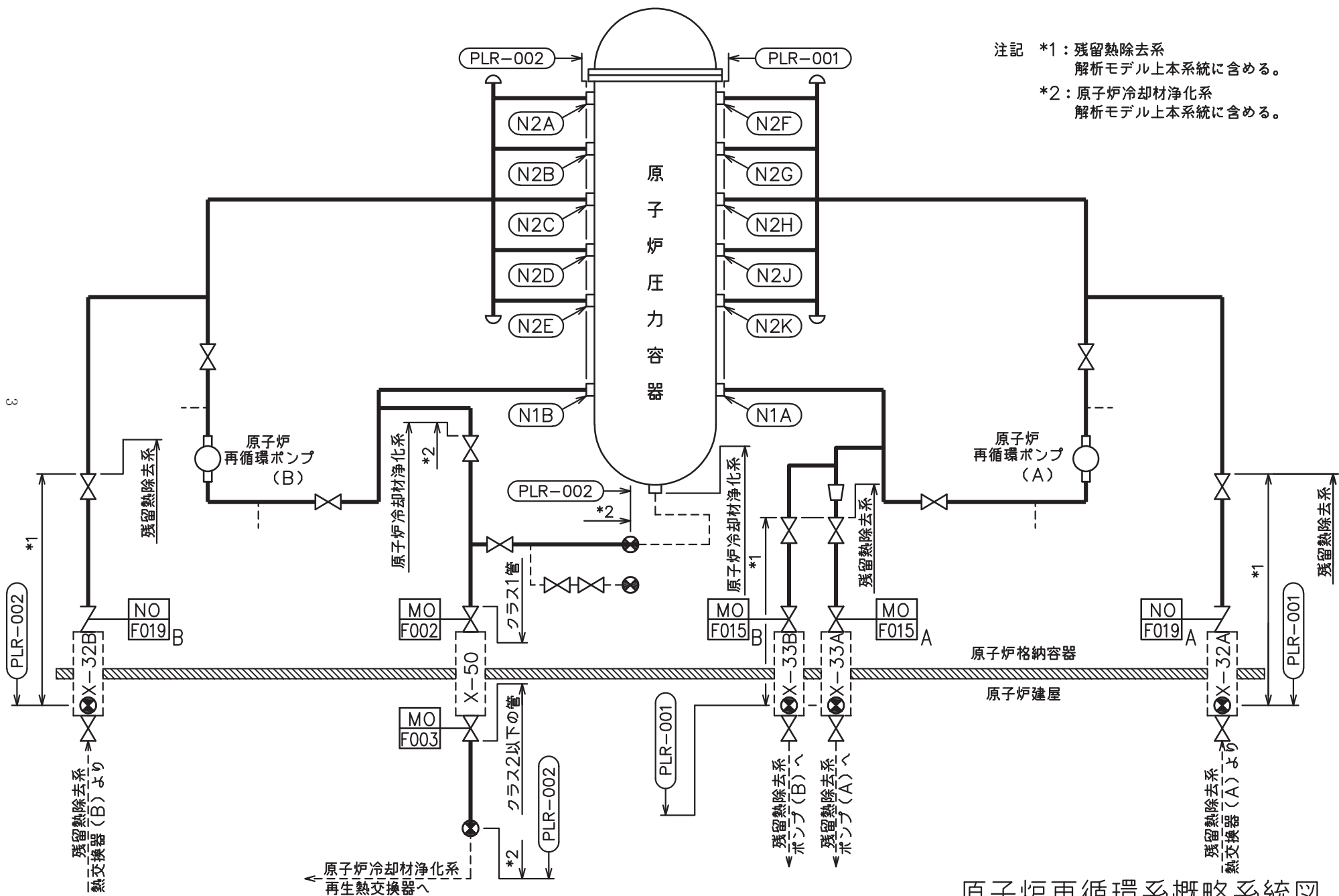
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

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
 (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
	アンカ


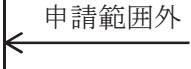
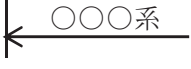


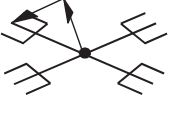
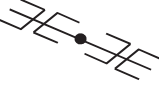

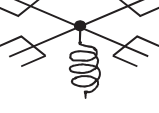
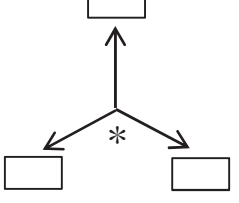


注記 *1: 残留熱除去系
解析モデル上本系統に含める。
*2: 原子炉冷却材浄化系
解析モデル上本系統に含める。

原子炉再循環系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>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として本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印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。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>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。)</p>

5

鳥瞰図 PLR-001-1/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

9

鳥瞰図 PLR-001-2/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7

鳥瞰図 PLR-001-3/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

8

鳥瞰図	PLR-001-4/6
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	PLR-001-5/6
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 PLR-001-6/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	PLR-002-1/6
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 PLR-002-2/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 PLR-002-3/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 PLR-002-4/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 PLR-002-5/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 PLR-002-6/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, *3	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材再循環設備	原子炉再循環系	DB	—	クラス1管	S	$I_L + S_d$	$III_A S$
							$II_L + S_d$	
							$I_L + S_s$	$IV_A S$
							$II_L + S_s$	
		$IV_L(L) + S_d$						
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材浄化設備	原子炉冷却材浄化系	DB	—	クラス1管 クラス3管	S	$I_L + S_d$	$III_A S$
							$II_L + S_d$	
							$I_L + S_s$	$IV_A S$
							$II_L + S_s$	
		$IV_L(L) + S_d$						
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系	DB	—	クラス1管	S	$I_L + S_d$	$III_A S$
							$II_L + S_d$	
							$I_L + S_s$	$IV_A S$
							$II_L + S_s$	
		$IV_L(L) + S_d$						

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：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。

*3：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。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	8.62	302	520.6	32.5	SUS316TP	S	175840
2	8.62	302	520.6	32.5	SUSF316	S	175840
3	10.40	302	520.6	32.5	SUS316TP	S	175840
4	10.40	302	520.6	32.5	SUSF316	S	175840
5	10.40	302	279.3	18.2	SUSF316	S	175840
6	10.40	302	416.0	26.2	SUSF316	S	175840
7	8.62	302	457.2	29.4	SUSF316	S	175840
8	8.62	302	457.2	29.4	STS410	S	184760
9	8.62	302	457.2	34.9	STS410	S	184760

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
10	8.62	302	355.6	27.8	STS410	S	184760
11	8.62	302	355.6	23.8	STS410	S	184760
12	10.40	302	318.5	25.4	STS410	S	184760
13	10.40	302	318.5	25.4	SUSF316	S	175840

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 1

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	7	8	9	10	11	14	15	16	17	501	800	801	802	903
2	2	3	4	5	6	7	11	12	17	18	501				
3	19	20	21	803	901										
4	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	804	
5	35	36	37	38	39	43	47	52	56	58	59	60	61	62	63
	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73					
6	35	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
	54	55	56	57	502	503	913	914							
7	6	101													
8	101	102	103	104	105										
9	105	106	107	108											
10	106	108	135	504											
11	109	110	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124
	125	126	127	128	135	136	138	139	140	141	142	143	144	145	146
	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	164	504	905	906
	909	910	911	912											
12	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	221	222
	223	224	225	226	807	902	904	907	908						
13	29	224													

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 1

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		38		69		140		224	
2		39		70		141		225	
3		40		71		142		226	
4		41		72		143		501	
5		42		73		144		502	
6		43		101		145		503	
7		44		102		146		504	
8		45		103		147		800	
9		46		104		148		801	
10		47		105		149		802	
11		48		106		150		803	
15		49		107		151		804	
16		50		108		152		807	
17		51		109		153		901	
18		52		113		154		902	
19		53		114		155		903	
20		54		115		156		904	
24		55		116		164		905	
25		56		117		208		906	
26		57		118		209		907	
27		58		119		210		908	
28		59		120		211		909	
29		60		121		212		910	
30		61		122		213		911	
31		62		123		214		912	
32		63		124		215		913	
33		64		125		216		914	
34		65		126		217			
35		66		127		218			
36		67		135		222			
37		68		139		223			

O 2 ⑥ VI-2-5-2-1-1 (設) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 1

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4		弁 5	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
12	[]	21	[]	110	[]	128	[]	136	[]
13		22		111		129		137	
14		23		112		130		138	
401		403				405			
402		404			406				
弁 6		弁 7		弁 8					
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)				
157	[]	205	[]	219	[]				
158		206		220					
159		207		221					
407									
408									

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 1

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	13			
弁2	22			
弁3	111			
弁4	129			
弁5	137			
弁6	158			
弁7	206			
弁8	220			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 1

支持点部のばね定数を下表に示す。

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)		
	Y	Z	X	Y	Z
1					
5					
** 8 **					
** 10 **					
15					
24					
** 27 **					
30					
** 31 **					
** 33 **					
39					
** 46 **					
** 55 **					
61					
65					
69					
73					
** 104 **					
** 115 **					
117					
124					
127					
** 141 **					
143					
** 145 **					

--

O 2 ⑥ VI-2-5-2-1-1 (設) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 1

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
** 147 **						
156						
208						
** 216 **						
** 307 **						
** 308 **						
** 309 **						
** 310 **						
311						
312						
313						
314						
** 315 **						
** 316 **						
** 317 **						
** 318 **						
** 319 **						
** 406 **						
** 408 **						
901						
** 902 **						
** 903 **						



O 2 ⑥ VI-2-5-2-1-1 (設) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 1

支持点部のばね定数を下表に示す。

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		Y	Z
** 904 **						
** 905 **						
** 906 **						
** 907 **						
** 908 **						
** 909 **						
** 910 **						
** 911 **						
** 912 **						
** 913 **						
** 914 **						

--

O 2 ⑥ VI-2-5-2-1-1 (設) R 0

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 2 (クラス1管)

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	8.62	302	520.6	32.5	SUSF316	S	175840
2	8.62	302	520.6	32.5	SUS316TP	S	175840
3	10.40	302	520.6	32.5	SUS316TP	S	175840
4	10.40	302	520.6	32.5	SUSF316	S	175840
5	10.40	302	279.3	18.2	SUSF316	S	175840
6	10.40	302	416.0	26.2	SUSF316	S	175840
7	10.40	302	318.5	25.4	STS410	S	184760
8	10.40	302	318.5	25.4	SUSF316	S	175840
9	8.62	302	216.3	15.1	SUSF316	S	175840

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 2 (ク ラ ス 1 管)

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
10	8.62	302	216.3	15.1	STS410	S	184760
11	8.62	302	60.5	8.7	SFVC2B	S	184760
12	8.62	302	60.5	8.7	STS410	S	184760

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 2 (ク ラ ス 1 管)

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	17	18		
2	4	5	6	14	15	16	17	801	802	902					
3	19	20	21	803	901										
4	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35		
5	35	36	37	38	39	43	47	52	56	58	59	60	61	62	63
	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73					
6	35	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
	54	55	56	57	906	907									
7	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	220	221	222
	223	224	225	908	909										
8	29	223													
9	7	101													
10	101	102	103	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116
	117	118	119	120	121	122	123	124	165	166	167	170	501	804	
11	108	138	502												
12	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	153	154	155
	156	157	158	169	503	504	903	904	905	911					

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 2 （クラス1管）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		36		65		138		214	
2		37		66		139		215	
3		38		67		140		216	
4		39		68		141		217	
5		40		69		142		221	
6		41		70		143		222	
7		42		71		144		223	
8		43		72		145		224	
9		44		73		146		225	
10		45		101		147		501	
11		46		102		148		502	
15		47		106		149		801	
16		48		107		153		802	
17		49		108		154		803	
18		50		109		155		804	
19		51		110		156		901	
20		52		111		157		902	
24		53		112		158		903	
25		54		113		165		904	
26		55		114		166		905	
27		56		115		167		906	
28		57		116		169		907	
29		58		117		170		908	
30		59		118		208		909	
31		60		119		209		911	
32		61		120		210			
33		62		121		211			
34		63		122		212			
35		64		123		213			

O 2 ⑥ VI-2-5-2-1-1 (設) R 0

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 2 (ク ラ ス 1 管)

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4		弁 5	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
12		21		103		124		134	
13		22		104		125		135	
14		23		105		126		136	
401		403				405		407	
402		404				406		408	

弁 6		弁 7		弁 8	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
503		205		218	
151		206		219	
504		207		220	

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 2 (ク ラ ス 1 管)

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
弁1	13			
弁2	22			
弁3	104			
弁4	125			
弁5	135			
弁6	151			
弁7	206			
弁8	219			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 P L R-0 0 2 (クラス1管)

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
5						
** 8 **						
** 10 **						
15						
24						
** 27 **						
30						
** 31 **						
** 33 **						
39						
** 46 **						
** 55 **						
61						
65						
69						
73						
** 111 **						
113						
** 116 **						
119						
123						
146						
158						
** 169 **						

--

O 2 ⑥ VI-2-5-2-1-1 (設) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 2 (ク ラ ス 1 管)

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
** 170 **						
208						
** 215 **						
** 307 **						
** 308 **						
** 309 **						
** 310 **						
311						
312						
313						
314						
** 315 **						
** 316 **						
** 317 **						
** 318 **						
** 319 **						
** 406 **						
408						
** 408 **						
511						
** 901 **						
** 902 **						

--

O 2 ⑥ VI-2-5-2-1-1 (設) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 P L R-0 0 2 (クラス1管)

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
903						
904						
** 906 **						
** 907 **						
** 908 **						
909						
** 911 **						

0 2 ⑥ VI-2-5-2-1-1 (設) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 2 (クラス2以下の管)

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	8.83	302	216.3	18.2	STS410	S	184760

設計条件

管名称と対応する評価点
評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 2 (ク ラ ス 2 以 下 の 管)

管名称	対 応 す る 評 価 点
1	136 137

配管の質量 (付加質量含む)

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
136	<input type="text"/>	137	<input type="text"/>

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 2 (ク ラ ス 2 以 下 の 管)

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
137						

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
SFVC2B	302	125	187	—	—
STS410	302	122	182	404	—
SUS316TP	302	118	130	—	—
SUSF316	302	118	130	—	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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用いる。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

本計算書の疲労評価は、設備ごとに個別に設定した等価繰返し回数185回(S s)及び363回(S d)で実施する。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
P L R - 0 0 1	原子炉本体基礎		

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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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用いる。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

本計算書の疲労評価は、設備ごとに個別に設定した等価繰返し回数185回(S s)及び363回(S d)で実施する。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
P L R - 0 0 2	原子炉本体基礎		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 1

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
16 次							
17 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。
 *3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 1

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

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 | PLR-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 | PLR-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	PLR-001
-----	---------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 2

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
16 次							
17 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。
 *3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 2

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

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 | PLR-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 | PLR-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 | PLR-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス1管

鳥瞰図	許容 応力 状態	最大 応力 評価点	配管 要素 名称	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	許容応力	ねじり応力	許容応力	一次+二次応力	許容応力	疲労累積係数
					$S_{p r m}(S d)$	$2.25 \cdot S_m$	$S_t(S d)$	$0.55 \cdot S_m$	$S_n(S d)$	$3 \cdot S_m$	$U+U S d$
					$S_{p r m}(S s)$	$3 \cdot S_m$	$S_t(S s)$	$0.73 \cdot S_m$	$S_n(S s)$	$3 \cdot S_m$	$U+U S s$
PLR-001	Ⅲ _A S	6	TEE	$S_{p r m}(S d)$	194	265	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	18	ELBOW	$S_t(S d)$	—	—	108 *	64	—	—	—
	Ⅲ _A S	6	TEE	$S_n(S d)$	—	—	—	—	402 **	354	0.0071
	Ⅲ _A S	136	BUTT WELD	$U+U S d$	—	—	—	—	—	—	0.0966
	Ⅳ _A S	6	TEE	$S_{p r m}(S s)$	270	354	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	18	ELBOW	$S_t(S s)$	—	—	164 *	86	—	—	—
	Ⅳ _A S	6	TEE	$S_n(S s)$	—	—	—	—	663 **	354	0.1240
	Ⅳ _A S	106	TEE	$U+U S s$	—	—	—	—	—	—	0.2091

*印はねじりによる最大応力発生点において応力が許容応力を超えていることを示し、次頁に曲げとねじりによる応力評価結果を示す。

**印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態Ⅲ_ASのとき $0.55 \cdot S_m$ 、又は許容応力状態Ⅳ_ASのとき $0.73 \cdot S_m$ を超える評価点のうち曲げとねじりによる応力は許容値を満足している。

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 1

評価点	一次応力評価 (MPa)			
	ねじり応力 S _t (S _d) S _t (S _s)	許容応力 $0.55 \cdot S_m$ $0.73 \cdot S_m$	曲げとねじり応力 S _t +S _b (S _d) S _t +S _b (S _s)	許容応力 $1.8 \cdot S_m$ $2.4 \cdot S_m$
6	73 * 122 *	64 86	156 232	212 283
18	108 * 164 *	64 86	120 184	212 283

管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス1管

鳥瞰図	許容 応力 状態	最大 応力 評価点	配管 要素 名称	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	許容応力	ねじり応力	許容応力	一次+二次応力	許容応力	疲労累積係数
					$S_{p r m}(S d)$	$2.25 \cdot S_m$	$S_t(S d)$	$0.55 \cdot S_m$	$S_n(S d)$	$3 \cdot S_m$	$U+U S d$
					$S_{p r m}(S s)$	$3 \cdot S_m$	$S_t(S s)$	$0.73 \cdot S_m$	$S_n(S s)$	$3 \cdot S_m$	$U+U S s$
PLR-002	Ⅲ _A S	29	TEE	$S_{p r m}(S d)$	200	265	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	18	ELBOW	$S_t(S d)$	—	—	100 *	64	—	—	—
	Ⅲ _A S	35	TEE	$S_n(S d)$	—	—	—	—	404 **	354	0.0096
	Ⅲ _A S	108	TEE	U+U S d	—	—	—	—	—	—	0.0365
	Ⅳ _A S	29	TEE	$S_{p r m}(S s)$	282	354	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	18	ELBOW	$S_t(S s)$	—	—	161 *	86	—	—	—
	Ⅳ _A S	35	TEE	$S_n(S s)$	—	—	—	—	657 **	354	0.1202
	Ⅳ _A S	222	ELBOW	U+U S s	—	—	—	—	—	—	0.3181

*印はねじりによる最大応力発生点において応力が許容応力を超過していることを示し、次頁に曲げとねじりによる応力評価結果を示す。

**印は一次+二次応力が許容応力を超過していることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態Ⅲ_ASのとき $0.55 \cdot S_m$ ，又は許容応力状態Ⅳ_ASのとき $0.73 \cdot S_m$ を超える評価点のうち曲げとねじりによる応力は許容値を満足している。

鳥 瞰 図 P L R - 0 0 2

評価点	一次応力評価 (MPa)			
	ねじり応力 S _t (S _d) S _t (S _s)	許容応力 $0.55 \cdot S_m$ $0.73 \cdot S_m$	曲げとねじり応力 S _t +S _b (S _d) S _t +S _b (S _s)	許容応力 $1.8 \cdot S_m$ $2.4 \cdot S_m$
18	100 * 161 *	64 86	119 189	212 283
29	70 * 111 *	64 86	154 236	212 283

管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス 2 以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				S p r m (S d) S p r m (S s)	S y *1 0. 9 ・ S u	S n (S s)	2 ・ S y	
P L R - 0 0 2	Ⅲ _A S	137	S p r m (S d)	126	182	—	—	—
	Ⅳ _A S	137	S p r m (S s)	194	363	—	—	—
	Ⅳ _A S	137	S n (S s)	—	—	314	364	—

注記 *1 : 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, S y と 1. 2 ・ S h のうち大きい方とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
PLR-001-316S	メカニカルスナッパ	SMS-40-100	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		745*	600
PLR-001-317S	メカニカルスナッパ	SMS-40-100			746*	600
PLR-001-117B	ロッドレストレイント	RST-5			77	235
PLR-002-313H	コンスタントハンガ	CVS-160-62			184	193
PLR-001-005H	スプリングハンガ	VS030B-20			155	2×92

注記*：当該メカニカルスナッパの計算荷重が許容荷重を超えるため、詳細評価を実施する。

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 (°C)	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			
PLR-001-309R	レストレイント	リジット ストラット	SF45A	66	390	0	1834	—	—	—	せん断	55	125
PLR-002-137A	アンカ	ラグ	SGV410	302	77	31	144	38	65	16	組合せ	189	199

メカニカルスナップの詳細評価結果

支持構造物 番号	型式	評価結果					
		強度評価				機能確認	
		評価部位*	応力分類	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)
PLR-001-316S	SMS-40-100	コネクティング チューブ	せん断	105	107	745	941
PLR-001-317S	SMS-40-100	コネクティング チューブ	せん断	106	107	746	941

注記*：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下である。

また、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超える弁については、詳細評価を実施する。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
G31-F003	ゲート弁	α (S s)	6.6*	6.4*	6.0	6.0
E11-F019B	テストブル チェック弁	β (S s)	1.6	1.2	6.0	6.0

注：機能維持評価用加速度は、配管系の地震応答解析による打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

注記*：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、詳細評価を行う。

詳細評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が駆動部の動作機能確認済加速度以下及び計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		駆動部の動作機能確認済 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)			
			水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位*	応力分類	計算応力	許容応力
G31-F003	ゲート弁	α (S s)	6.6	6.4	20.0	20.0	ボンネット	曲げ	178	280

注記*：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス1管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S					許容応力状態 IV _A S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	PLR-001	6	194	265	1.36	—	6	270	354	1.31	—	6	663	354	0.53	○	106	0.2091	—
2	PLR-002	29	200	265	1.32	○	29	282	354	1.25	○	35	657	354	0.53	—	222	0.3181	○

注記*：III_ASの一次+二次応力の許容値はIV_ASと同様であることから、地震荷重が大きいIV_ASの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス 2 以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S					許容応力状態 IV _A S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	PLR-002	137	126	182	1.44	○	137	194	363	1.87	○	137	314	364	1.15	○	—	—	—

注記* : III_AS の一次+二次応力の許容値はIV_AS と同様であることから, 地震荷重が大きいIV_AS の一次+二次応力裕度最小を代表とする。

VI-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

目 次

VI-2-5-3-1 主蒸気系の耐震性についての計算書

VI-2-5-3-2 復水給水系の耐震性についての計算書

VI-2-5-3-1 主蒸気系の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-5-3-1-1 アキュムレータの耐震性についての計算書

VI-2-5-3-1-2 管の耐震性についての計算書（主蒸気系）

VI-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	4
2.3 適用規格・基準等	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	9
4. 固有周期	10
4.1 固有周期の計算方法	10
4.2 固有周期の計算条件	15
4.3 固有周期の計算結果	15
5. 構造強度評価	16
5.1 構造強度評価方法	16
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	16
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	16
5.2.2 許容応力	16
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	16
5.3 設計用地震力	22
5.4 計算方法	23
5.4.1 応力の計算方法	23
5.5 計算条件	31
5.6 応力の評価	31
5.6.1 胴の応力評価	31
5.6.2 ラグの応力評価	32
5.6.3 取付ボルトの応力評価	32
5.6.4 H形鋼の応力評価	32
6. 評価結果	33
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	33
6.1.1 主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ	33
6.1.2 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ	33
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	33
6.2.1 主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ	33
6.2.2 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ	33

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度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、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

対象機器は下記の二種あるが、共通の項目については単にアキュムレータと呼ぶ。

- ・主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ
- ・主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ

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 (1/2)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>アキュムレータは、胴を4枚のラグで支持する。 ラグは胴の当て板に溶接され、H形鋼には取付ボルトにより据え付ける。</p>	<p>たて置円筒形 (上面及び下面に平板を有するたて置円筒形容器)</p>	<p style="text-align: center;">【主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ】</p> <p style="text-align: right;">(寸法) H_1 : 185mm H_2 : 185mm L : 1000mm</p>

表 2-1 構造計画 (2/2)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>アキュムレータは、胴を4枚のラグで支持する。 ラグは胴の当て板に溶接され、H形鋼には取付ボルトにより据え付ける。</p>	<p>たて置円筒形 (上面及び下面に平板を有するたて置円筒形容器)</p>	<p>【主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ】 【主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ】</p> <p>(寸法) H_1 : 250mm H_2 : 380mm L : 1650mm</p>

2.2 評価方針

アキュムレータの応力評価は、添付書類「VI-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 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設計用地震力による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。

アキュムレータの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

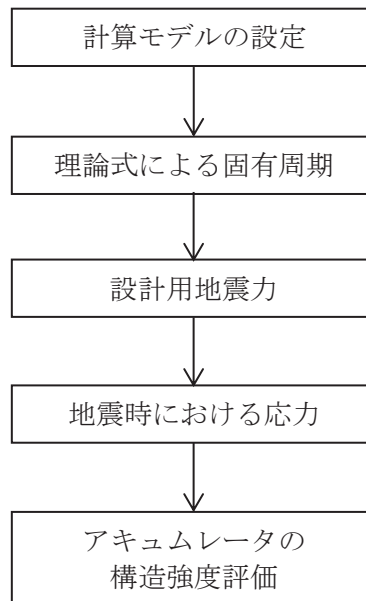


図 2-1 アキュムレータの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984, JEAG 4601-1987 及び JEAG 4601-1991 追補版）
- (2) 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。）） JSME SNC 1-2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	取付ボルトの断面積	mm^2
A_{h1}	逃がし弁機能用アキュムレータのH形鋼の断面積	mm^2
A_{h2}	自動減圧機能用アキュムレータのH形鋼の断面積	mm^2
A_{r1}	逃がし弁機能用アキュムレータのラグの断面積	mm^2
A_{r2}	自動減圧機能用アキュムレータのラグの断面積	mm^2
a_1	H形鋼下端から荷重点 F_2 までの距離(逃がし弁機能用アキュムレータ)	mm
a_2	H形鋼下端から荷重点 F_4 までの距離(自動減圧機能用アキュムレータ)	mm
a_2'	H形鋼下端から荷重点 F_6 までの距離(逃がし弁機能用アキュムレータ)	mm
b_1	逃がし弁機能用アキュムレータの荷重点 F_1 から F_2 までの距離	mm
b_2	自動減圧機能用アキュムレータの荷重点 F_3 から F_4 までの距離	mm
b_2'	逃がし弁機能用アキュムレータの荷重点 F_5 から F_6 までの距離	mm
c_1	H形鋼上端から荷重点 F_1 までの距離(逃がし弁機能用アキュムレータ)	mm
c_2	H形鋼上端から荷重点 F_3 までの距離(自動減圧機能用アキュムレータ)	mm
c_2'	H形鋼上端から荷重点 F_5 までの距離(逃がし弁機能用アキュムレータ)	mm
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
d	取付ボルトの呼び径	mm
E	H形鋼の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3に定める値	MPa
F_1, F_2	逃がし弁機能用アキュムレータ支持点における集中荷重 (逃がし弁機能用アキュムレータ2台の荷重)	N
F_3, F_4	自動減圧機能用アキュムレータ支持点における集中荷重 (自動減圧機能用アキュムレータ1台の荷重)	N
F_5, F_6	逃がし弁機能用アキュムレータ支持点における集中荷重 (逃がし弁機能用アキュムレータ1台の荷重)	N
F_{ah}	H形鋼に作用するせん断力	N
F_{sb}	取付ボルトに作用するせん断力	N

記号	記号の説明	単位
F_{sr}	ラグに作用するせん断力	N
F_{tb}	取付ボルトに作用する引張力	N
f_{bh}	H形鋼の許容曲げ応力	MPa
f_{br}	ラグの許容曲げ応力	MPa
f_{bt}	取付ボルトの引張応力とせん断応力の許容組合せ応力	MPa
f_o	胴の許容組合せ応力	MPa
f_{sb}	取付ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{sh}	H形鋼の許容せん断応力	MPa
f_{sr}	ラグの許容せん断応力	MPa
f_{to}	取付ボルトの許容引張応力	MPa
f_{tb}	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
f_{th}	H形鋼の許容引張応力	MPa
f_{tr}	ラグの許容引張応力	MPa
g	重力加速度(=9.80665)	m/s^2
H_1	H形鋼の中心から逃がし弁機能用アキュムレータの中心までの長さ	mm
H_2	H形鋼の中心から自動減圧機能用アキュムレータの中心までの長さ	mm
I_1	逃がし弁機能用アキュムレータのH形鋼の断面二次モーメント	mm^4
I_2	自動減圧機能用アキュムレータのH形鋼の断面二次モーメント	mm^4
K	アキュムレータ支持構造物のばね定数	N/mm
L_1	逃がし弁機能用アキュムレータのH形鋼長さ	mm
L_2	自動減圧機能用アキュムレータのH形鋼長さ	mm
l_1	逃がし弁機能用アキュムレータのラグ付け根部より取付ボルト固定点までのZ軸方向の距離	mm
l_2	逃がし弁機能用アキュムレータのラグ付け根部より取付ボルト固定点までのX軸方向の距離	mm
l_3	自動減圧機能用アキュムレータのラグ付け根部より取付ボルト固定点までのZ軸方向の距離	mm
l_4	自動減圧機能用アキュムレータのラグ付け根部より取付ボルト固定点までのX軸方向の距離	mm
M_1	逃がし弁機能用アキュムレータのH形鋼自重による曲げモーメント	N・mm
M_2	固定端から長さ($a_1 + b_1$)離れた場所に働く水平力 F_1 による曲げモーメント	N・mm

記号	記号の説明	単位
M_3	固定端から長さ a_1 離れた場所に働く水平力 F_2 による曲げモーメント	N・mm
M_4	$M_1 + M_2 + M_3$	N・mm
M_5	自動減圧機能用アキュムレータのH形鋼自重による曲げモーメント	N・mm
M_6	固定端から長さ $(a_2 + b_2)$ 離れた場所に働く水平力 F_3 による曲げモーメント	N・mm
M_7	固定端から長さ a_2 離れた場所に働く水平力 F_4 による曲げモーメント	N・mm
M_8	固定端から長さ $(b_2' + b_2')$ 離れた場所に働く水平力 F_5 による曲げモーメント	N・mm
M_9	固定端から長さ a_2' 離れた場所に働く水平力 F_6 による曲げモーメント	N・mm
M_{10}	逃がし弁機能用アキュムレータと自動減圧機能用アキュムレータの重心の違いによるモーメント	N・mm
M_{11}	$M_5 + M_6 + M_7 + M_8 + M_9 + M_{10}$	N・mm
$M_{x r}$	水平X軸方向の地震荷重により働く曲げモーメント	N・mm
$M_{y r}$	鉛直方向の地震荷重により働く曲げモーメント	N・mm
$M_{z r}$	水平Z軸方向の地震荷重により働く曲げモーメント	N・mm
N_{b1}	逃がし弁機能用アキュムレータのボルトの本数	—
N_{b2}	自動減圧機能用アキュムレータのボルトの本数	—
N_r	ラグの枚数	—
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	アキュムレータと支持構造物を一体構造とした固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
W	逃がし弁機能用アキュムレータ及びH形鋼等の全重量	N
W'	自動減圧機能用アキュムレータ及びH形鋼等の全重量	N
W_1	逃がし弁機能用アキュムレータ及び付属品の重量	N
W_2	自動減圧機能用アキュムレータ及び付属品の重量	N
ω_1	逃がし弁機能用アキュムレータのH形鋼単位長さ当り重量	N/mm
ω_2	自動減圧機能用アキュムレータのH形鋼単位長さ当り重量	N/mm
Z_{h1}	逃がし弁機能用アキュムレータのラグの強軸断面係数	mm ³
Z_{v1}	逃がし弁機能用アキュムレータのラグの弱軸断面係数	mm ³
Z_{h2}	自動減圧機能用アキュムレータのラグの強軸断面係数	mm ³
Z_{v2}	自動減圧機能用アキュムレータのラグの弱軸断面係数	mm ³

記号	記号の説明	単位
Z_1	逃がし弁機能用アキュムレータのH形鋼の弱軸断面係数	mm^3
Z_2	自動減圧機能用アキュムレータのH形鋼の弱軸断面係数	mm^3
$\sigma_{\phi 1}$	内圧により胴に生じる周方向応力	MPa
$\sigma_{x 1}$	内圧により胴に生じる軸方向応力	MPa
σ_o	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_a	H形鋼に発生する曲げ応力とせん断応力による組合せ応力	MPa
σ_b	取付ボルトに発生する引張応力	MPa
σ_{ba}	取付ボルトに発生する引張応力とせん断応力による組合せ応力	MPa
σ_r	水平方向と鉛直方向の設計震度によりラグ1枚に発生する最大合成曲げ応力	MPa
σ_{ra}	ラグに発生する曲げ応力とせん断応力による組合せ応力	MPa
σ_{rxy}	水平X軸方向と鉛直方向の設計震度によりラグ1枚に発生する合成曲げ応力	MPa
σ_{rzy}	水平Z軸方向と鉛直方向の設計震度によりラグ1枚に発生する合成曲げ応力	MPa
σ_{xr}	水平X軸方向の設計震度によりラグ1枚に発生する曲げ応力	MPa
σ_{yr}	鉛直方向の設計震度によりラグ1枚に発生する曲げ応力	MPa
σ_{zr}	水平Z軸方向の設計震度によりラグ1枚に発生する曲げ応力	MPa
σ_{yb}	H形鋼の固定端部に発生する曲げ応力	MPa
τ_b	取付ボルトに発生するせん断応力	MPa
τ_h	H形鋼に発生するせん断応力	MPa
τ_r	ラグに発生するせん断応力	MPa
δ_1	逃がし弁機能用アキュムレータのH形鋼に発生する自重によるたわみ	mm
δ_2	F_1 によるたわみ	mm
δ_3	F_2 によるたわみ	mm
δ_4	$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3$	mm
δ_5	自動減圧機能用アキュムレータのH形鋼に発生する自重によるたわみ	mm
δ_6	F_3 によるたわみ	mm
δ_7	F_4 によるたわみ	mm
δ_8	F_5 によるたわみ	mm
δ_9	F_6 によるたわみ	mm
δ_{10}	$\delta_5 + \delta_6 + \delta_7 + \delta_8 + \delta_9$	mm

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 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 ^{*1}
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	小数点以下第 1 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	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*3}

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許容応力は、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

アキュムレータの耐震評価は、「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ラグ、取付ボルト及びH形鋼について評価を実施する。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 固有周期の計算方法

アキュムレータの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. アキュムレータは一端固定のH型鋼に4枚のラグで支持される。
- b. アキュムレータのH形鋼への取付は図4-1に示す。
- c. ラグはアキュムレータの胴に当て板を介して溶接され、アキュムレータの荷重は均等に負荷される。
- d. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- e. アキュムレータの荷重状態及び胴板に生じるモーメントを図4-2及び図4-3に示す。
- f. アキュムレータは、図4-3に示す一端固定の梁モデルとして考える。

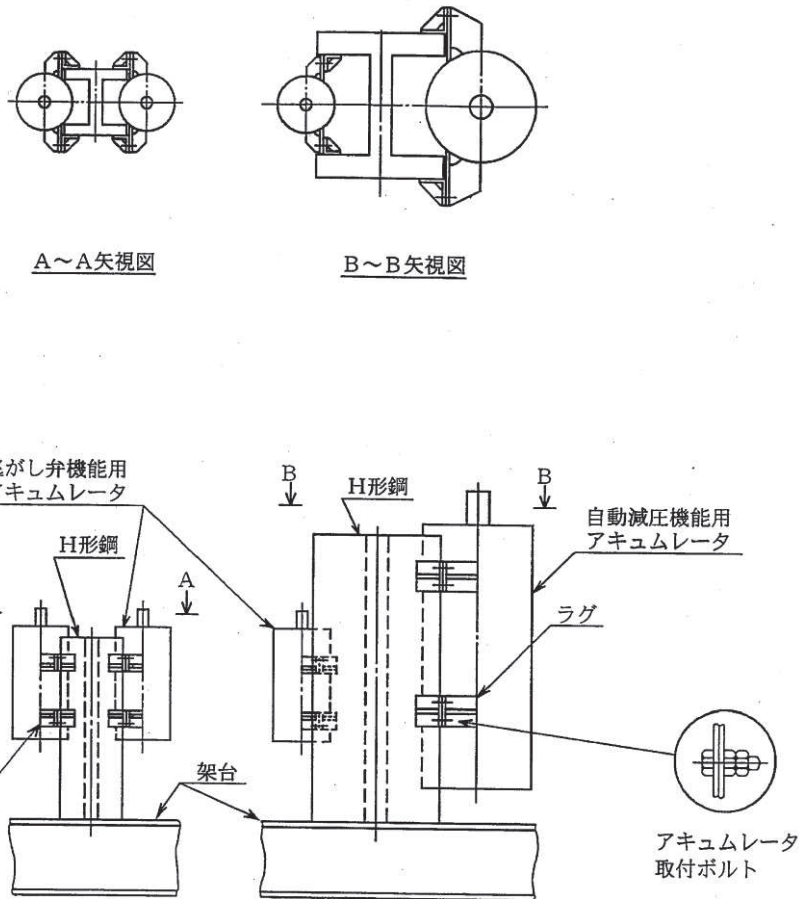


図4-1 アキュムレータの取付構造

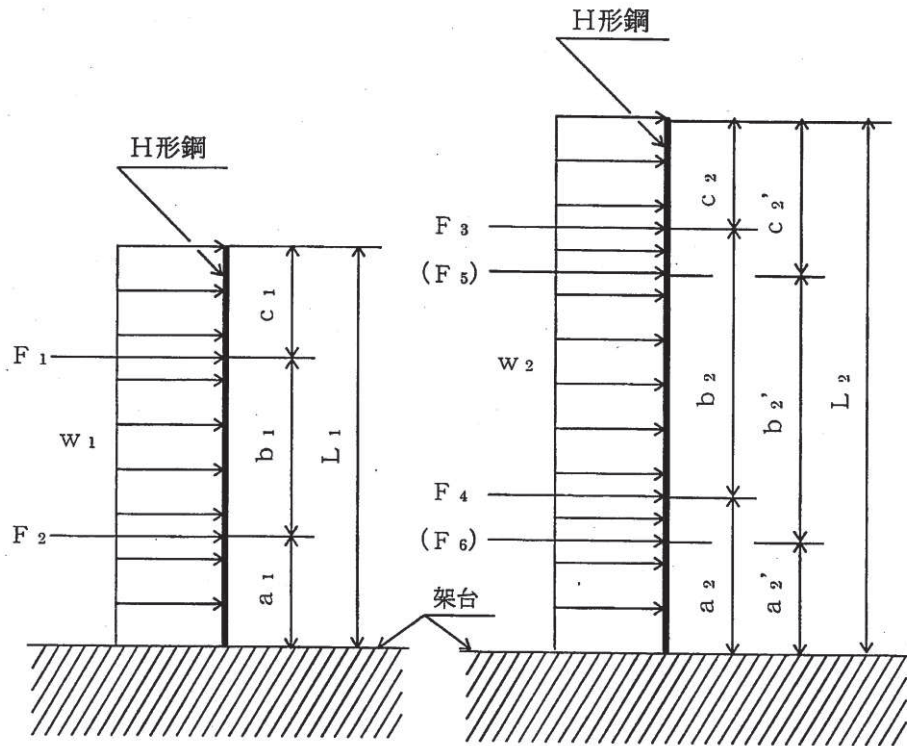


図 4-2 アキュムレータの荷重状態

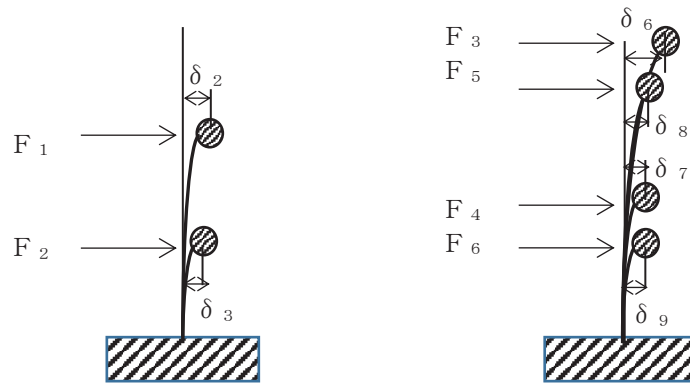


図 4-3 アキュムレータの荷重状態

(2) 水平方向固有周期

a. 主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ

図 4-3 における水平方向のばね定数は次式で求める。

H形鋼に働く自重によるたわみ δ_1 は図 4-3 より

$$\delta_1 = \frac{\omega_1 \cdot L_1^4}{8 \cdot E \cdot I_1} \dots\dots\dots (4.1.1.1)$$

集中荷重 F_1 によるたわみは

$$\delta_2 = \frac{F_1 \cdot (a_1 + b_1)^3}{3 \cdot E \cdot I_1} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot c_1}{2 \cdot (a_1 + b_1)}\right) \dots\dots\dots (4.1.1.2)$$

集中荷重 F_2 によるたわみは

$$\delta_3 = \frac{F_2 \cdot a_1^3}{3 \cdot E \cdot I_1} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot (b_1 + c_1)}{2 \cdot a_1}\right) \dots\dots\dots (4.1.1.3)$$

したがって、全たわみは

$$\delta_4 = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 \dots\dots\dots (4.1.1.4)$$

水平方向の固有周期は次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{W}{g \cdot 10^3 \cdot K}} \dots\dots\dots (4.1.1.5)$$

ここで、ばね定数は

$$K = \frac{W}{\delta_4} \dots\dots\dots (4.1.1.6)$$

固有周期の算出は、(4.1.1.5) 式に (4.1.1.6) 式を代入して

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\delta_4}{g \cdot 10^3}} \dots\dots\dots (4.1.1.7)$$

b. 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ

H形鋼に働く自重によるたわみ δ_5 は図 4-3 より

$$\delta_5 = \frac{\omega_2 \cdot L_2^4}{8 \cdot E \cdot I_2} \dots\dots\dots (4.1.2.1)$$

集中荷重 F_3 によるたわみは

$$\delta_6 = \frac{F_3 \cdot (a_2 + b_2)^3}{3 \cdot E \cdot I_2} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot C_2}{2 \cdot (a_2 + b_2)}\right) \dots\dots\dots (4.1.2.2)$$

集中荷重 F_4 によるたわみは

$$\delta_7 = \frac{F_4 \cdot a_2^3}{3 \cdot E \cdot I_2} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot (b_2 + c_2)}{2 \cdot a_2}\right) \dots\dots\dots (4.1.2.3)$$

集中荷重 F_5 によるたわみは

$$\delta_8 = \frac{F_5 \cdot (a_2' + b_2')^3}{3 \cdot E \cdot I_2} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot c_2'}{2 \cdot (a_2' + b_2')}\right) \dots\dots\dots (4.1.2.4)$$

集中荷重 F_6 によるたわみは

$$\delta_9 = \frac{F_6 \cdot a_2'^3}{3 \cdot E \cdot I_2} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot (b_2' + c_2')}{2 \cdot a_2'}\right) \dots\dots\dots (4.1.2.5)$$

したがって、全たわみは

$$\delta_{10} = \delta_5 + \delta_6 + \delta_7 + \delta_8 + \delta_9 \dots\dots\dots (4.1.2.6)$$

水平方向の固有周期は次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{W'}{g \cdot 10^3 \cdot K}} \dots\dots\dots (4.1.2.7)$$

ここで、ばね定数は

$$K = \frac{W'}{\delta_{10}} \dots\dots\dots (4.1.2.8)$$

固有周期の算出は、(4.1.2.7) 式に (4.1.2.8) 式を代入して

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\delta_{10}}{g \cdot 10^3}} \dots\dots\dots (4.1.2.9)$$

(3) 鉛直方向固有周期

- a. 主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ

図 4-3 における鉛直方向のばね定数は次式で求める。

$$K = \frac{1}{\frac{L_1}{E \cdot A_{h1}}} \dots\dots\dots (4.1.3.1)$$

鉛直方向の固有周期は次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{F_1}{10^3 \cdot K}} \dots\dots\dots (4.1.3.2)$$

- b. 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ

図 4-3 における鉛直方向のばね定数は次式で求める。

$$K = \frac{1}{\frac{L_2}{E \cdot A_{h2}}} \dots\dots\dots (4.1.4.1)$$

鉛直方向の固有周期は次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{F_3 + F_5}{10^3 \cdot K}} \dots\dots\dots (4.1.4.2)$$

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【主蒸気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】及び【主蒸気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】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の評価結果を表 4-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

	主蒸気逃がし安全弁逃がし弁 機能用アキュムレータ	主蒸気逃がし安全弁自動減圧 機能用アキュムレータ
水平	□	□
鉛直	□	□

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1 項 a. ～f. のほか、次の条件で計算する。

地震力はアキュムレータ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。

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は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表 5-3 及び表 5-4 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

アキュムレータの使用材料の許容応力評価条件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	主蒸気逃がし安全弁 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 _{AS}
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _{AS}
		主蒸気逃がし安全弁 自動減圧機能用 アキュムレータ	S	クラス 3 容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _{AS}
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _{AS}

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	主蒸気逃がし安全弁 逃がし弁機能用 アキュムレータ	常設耐震／防止	重大事故等 クラス 2 容器*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV _{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _{AS} (V _{AS} として IV _{AS} の許容限界 を用いる。)
原子炉冷却 系統施設	原子炉冷却材 の循環設備	主蒸気逃がし安全弁 自動減圧機能用 アキュムレータ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 容器*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV _{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _{AS} (V _{AS} として IV _{AS} の許容限界 を用いる。)
計測制御 系統施設	制御用 空気設備	主蒸気逃がし安全弁 自動減圧機能用 アキュムレータ	常設耐震／防止	重大事故等 クラス 2 容器*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV _{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _{AS} (V _{AS} として IV _{AS} 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／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 _{AS}	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のうち大きい方とする。	左欄の1.5倍の値	*3 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、疲労解析は不要。	
IV _{AS}				
V _{AS} (V _{AS} としてIV _{AS} の許容限界を用いる。)	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値	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、疲労解析は不要。	

注記*1：座屈によ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。

*3：2・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 5-4 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）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (支持部)	
	一次応力	
	組合せ	
Ⅲ _A S	引張り	$1.5 \cdot f_t$
	曲げ	$1.5 \cdot f_b$
	せん断	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	引張り	$1.5 \cdot f_t$
	曲げ	$1.5 \cdot f_b$
	せん断	$1.5 \cdot f_s$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A S としてⅣ _A S の許容限界を用いる。)	引張り	$1.5 \cdot f_t$
	曲げ	$1.5 \cdot f_b$
	せん断	$1.5 \cdot f_s$

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 5-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度	171				
胴	SUS304 SUS304TP	最高使用温度	171	113	150	413	—
ラグ	SUS304	最高使用温度	171	—	150	413	205
取付ボルト	SUS304	周囲環境温度	171	—	150	413	205
H形鋼	SS400 (厚さ ≤ 40mm)	周囲環境温度	171	—	192	373	—

表 5-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度	171				
胴	SUS304 SUS304TP	最高使用温度	171	113	150	413	—
ラグ	SUS304	最高使用温度	171	—	150	413	205
取付ボルト	SUS304	周囲環境温度	171	—	150	413	205
H形鋼	SS400 (厚さ ≤ 40mm)	周囲環境温度	171	—	192	373	—

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-7 及び表 5-8 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、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 5-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s) *2		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
原子炉格納容器 0. P. 13. 40*1			—*3	—*3	C _H =1. 89	C _V =1. 59

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：上段は主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの値を示す。
下段は主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの値を示す。

*3：Ⅲ_{AS}については、基準地震動 S_s で評価する。

表 5-8 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s) *2		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
原子炉格納容器 0. P. 13. 40*1			—	—	C _H =1. 89	C _V =1. 59

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：上段は主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの値を示す。
下段は主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの値を示す。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

応力計算は、絶対値和を用いて行う。

5.4.1.1 胴の応力

(1) 内圧による応力

内圧による応力は次式で求める。

$$\sigma_{\Phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

$$\sigma_{x1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

$$\sigma_o = \sigma_{\Phi 1} + \sigma_{x1} \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

(2) 運転時質量によるラグ付け根部の応力

胴は当て板を介してラグを取り付ける構造より、評価の厳しいラグの応力で代用可能なことから、5.4.1.2 ラグの応力で評価する。

(3) 地震動によるラグ付け根部の応力

胴は当て板を介してラグを取り付ける構造より、評価の厳しいラグの応力で代用可能なことから、5.4.1.2 ラグの応力で評価する。

5.4.1.2 ラグの応力

ラグに働くモーメントを図5-1に示す

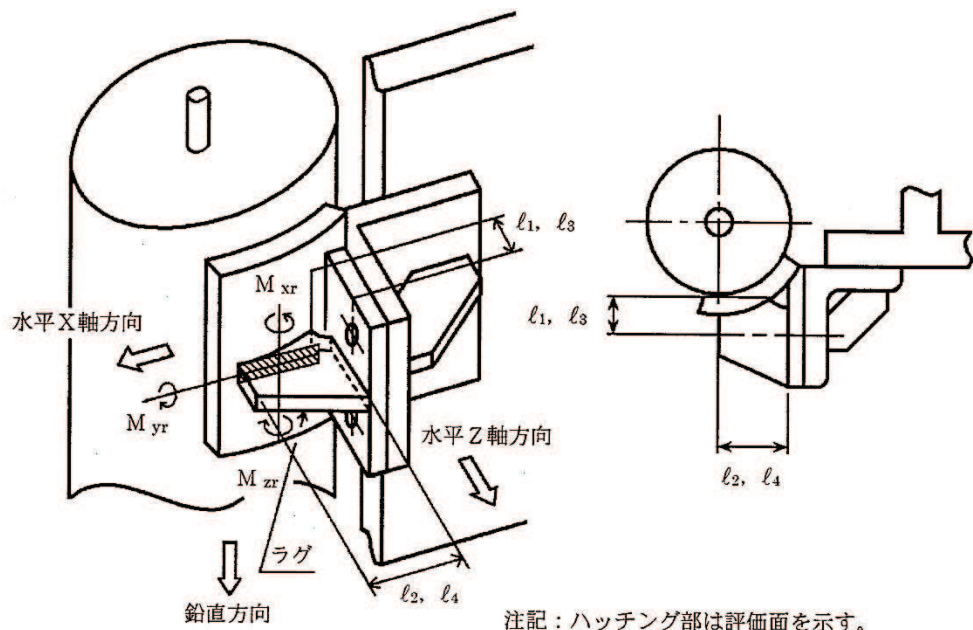


図5-1 ラグに働くモーメント

(1) 主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ

a. 曲げ応力

水平X軸方向の地震荷重によりラグ1枚に働く曲げモーメントは

$$M_{xr} = \frac{W_1 \cdot C_H \cdot \ell_1}{N_r} \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

よって、水平X軸方向の曲げ応力は

$$\sigma_{xr} = \frac{M_{xr}}{Z_{h1}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

水平Z軸方向の地震荷重によりラグ1枚に働く曲げモーメント

$$M_{zr} = \frac{W_1 \cdot C_H \cdot \ell_2}{N_r} \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

よって、水平Z軸方向の曲げ応力は

$$\sigma_{zr} = \frac{M_{zr}}{Z_{h1}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

また、鉛直方向の地震荷重によりラグ1枚に働く曲げモーメントは

$$M_{yr} = \frac{W_1 \cdot (1+C_V) \cdot \ell_1}{N_r} \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

よって、鉛直方向の曲げ応力は

$$\sigma_{yr} = \frac{M_{yr}}{Z_{v1}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.6)$$

以上により、水平X軸方向と鉛直方向の基準地震動 S_s によりラグ1枚に発生する合成曲げ応力は

$$\sigma_{rxy} = \sigma_{xr} + \sigma_{yr} \dots\dots\dots (5.4.1.2.7)$$

また、水平Z軸方向と鉛直方向の基準地震動 S_s によりラグ1枚に発生する合成曲げ応力は

$$\sigma_{rzy} = \sigma_{zr} + \sigma_{yr} \dots\dots\dots (5.4.1.2.8)$$

以上より、水平方向と鉛直方向の基準地震動 S_s によりラグ1枚に発生する最大の合成曲げ応力は

$$\sigma_r = \max \{ \sigma_{rxy}, \sigma_{rzy} \} \dots\dots\dots (5.4.1.2.9)$$

b. せん断応力

鉛直方向の基準地震動 S_s によりラグに働くせん断力は，水平方向の地震動も考慮して

$$F_{sr} = \frac{W_1 \cdot \sqrt{(1+C_V)^2 + C_H^2}}{N_r} \dots\dots\dots (5.4.1.2.10)$$

よって，せん断応力は

$$\tau_r = \frac{F_{sr}}{A_{r1}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.11)$$

c. 組合せ応力

組合せ応力 σ_{ra} は次式により求める。

$$\sigma_{ra} = \sqrt{\sigma_r^2 + 3 \cdot \tau_r^2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.12)$$

(2) 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ

a. 曲げ応力

水平X軸方向の地震荷重によりラグ1枚に働く曲げモーメントは

$$M_{xr} = \frac{W_2 \cdot C_H \cdot \ell_3}{N_r} \dots\dots\dots (5.4.1.2.13)$$

よって，水平X軸方向の曲げ応力は

$$\sigma_{xr} = \frac{M_{xr}}{Z_{h2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.14)$$

水平Z軸方向の地震荷重によりラグ1枚に働く曲げモーメント

$$M_{zr} = \frac{W_2 \cdot C_H \cdot \ell_4}{N_r} \dots\dots\dots (5.4.1.2.15)$$

よって，水平X軸方向の曲げ応力は

$$\sigma_{zr} = \frac{M_{zr}}{Z_{h2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.16)$$

また，鉛直方向の地震荷重によりラグ1枚に働く曲げモーメントは

$$M_{yr} = \frac{W_2 \cdot (1+C_V) \cdot \ell_3}{N_r} \dots\dots\dots (5.4.1.2.17)$$

よって，鉛直方向の曲げ応力は

$$\sigma_{yr} = \frac{M_{yr}}{Z_{v2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.18)$$

以上により、水平X軸方向と鉛直方向の基準地震動 S_s によりラグ1枚に発生する合成曲げ応力は

$$\sigma_{rxy} = \sigma_{xr} + \sigma_{yr} \dots\dots\dots (5.4.1.2.19)$$

また、水平Z軸方向と鉛直方向の基準地震動 S_s によりラグ1枚に発生する合成曲げ応力は

$$\sigma_{rzy} = \sigma_{zr} + \sigma_{yr} \dots\dots\dots (5.4.1.2.20)$$

以上より、水平方向と鉛直方向の基準地震動 S_s によりラグ1枚に発生する最大の合成曲げ応力は

$$\sigma_r = \max \{ \sigma_{rxy}, \sigma_{rzy} \} \dots\dots\dots (5.4.1.2.21)$$

b. せん断応力

鉛直方向の基準地震動 S_s によりラグに働くせん断力は、水平方向の地震動も考慮して

$$F_{sr} = \frac{W_2 \cdot \sqrt{(1+C_V)^2 + C_H^2}}{N_r} \dots\dots\dots (5.4.1.2.22)$$

よって、せん断応力は

$$\tau_r = \frac{F_{sr}}{A_{r2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.23)$$

c. 組合せ応力

組合せ応力 σ_{ra} は次式により求める。

$$\sigma_{ra} = \sqrt{\sigma_r^2 + 3 \cdot \tau_r^2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.24)$$

5.4.1.3 取付ボルトの応力

(1) 主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ

a. 引張応力

水平方向の基準地震動 S_s により取付ボルト1本に働く引張応力は

$$F_{tb} = \frac{W_1 \cdot C_H}{N_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.3.1)$$

取付ボルトの断面積 A_b は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.3.2)$$

よって、引張応力は

$$\sigma_b = \frac{F_{tb}}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.3.3)$$

b. せん断応力

鉛直方向の基準地震動 S_s により取付ボルト1本に働くせん断応力は、水平方向の地震動も考慮して

$$F_{sb} = \frac{W_1 \cdot \sqrt{(1+C_V)^2 + C_H^2}}{N_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.3.4)$$

よって、取付ボルトのせん断応力は

$$\tau_b = \frac{F_{sb}}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.3.5)$$

c. 組合せ応力

組合せ応力 σ_{ba} は次式により求める。

$$\sigma_{ba} = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_b^2} \dots\dots\dots (5.4.1.3.6)$$

(2) 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ

a. 引張応力

水平方向の基準地震動 S_s により取付ボルト1本に働く引張応力は

$$F_{tb} = \frac{W_2 \cdot C_H}{N_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.3.7)$$

取付ボルトの断面積 A_b は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.3.8)$$

よって、引張応力は

$$\sigma_b = \frac{F_{tb}}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.3.9)$$

b. せん断応力

鉛直方向の基準地震動 S_s により取付ボルト1本に働くせん断応力は、水平方向の地震動も考慮して

$$F_{sb} = \frac{W_2 \cdot \sqrt{(1+C_V)^2 + C_H^2}}{N_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.3.10)$$

よって、取付ボルトのせん断応力は

$$\tau_b = \frac{F_{sb}}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.3.11)$$

c. 組合せ応力

組合せ応力 σ_{ba} は次式により求める。

$$\sigma_{ba} = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_b^2} \dots\dots\dots (5.4.1.3.12)$$

5.4.1.4 H形鋼の応力

(1) 主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ

a. 曲げ応力

H形鋼の固定端部に曲げ応力が多く発生すると考えられるので固定端部の計算を行う。

図4-2より、H形鋼の自重による曲げモーメントは

$$M_1 = \frac{\omega_1 \cdot L_1^2}{2} \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.1)$$

固定端から長さ (a₁+b₁) 離れた場所に働く集中荷重 F₁ による曲げモーメントは

$$M_2 = F_1 \cdot (a_1 + b_1) \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.2)$$

固定端から長さ a₁ 離れた場所に働く集中荷重 F₂ による曲げモーメントは

$$M_3 = F_2 \cdot a_1 \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.3)$$

したがって、H形鋼の固定端部に働く曲げモーメントは

$$M_4 = M_1 + M_2 + M_3 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.4)$$

よって、H形鋼の固定端部に生じる曲げ応力は

$$\sigma_{yb} = \frac{M_4}{Z_1} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.5)$$

b. せん断応力

水平方向の基準地震動 S_s により固定端部においてH形鋼に作用するせん断力は

$$F_{sh} = (W_1 + \omega_1 \cdot L_1) \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.6)$$

せん断応力は

$$\tau_h = \frac{F_{sh}}{A_{h1}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.7)$$

c. 組合せ応力

組合せ応力 σ_a は次式により求める。

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma_{yb}^2 + 3 \cdot \tau_h^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.8)$$

(2) 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ

a. 曲げ応力

H形鋼の固定端部に曲げ応力が多く発生すると考えられるので固定端部の計算を行う。

図4-2より，H形鋼の自重による曲げモーメントは

$$M_5 = \frac{\omega_2 \cdot L_2^2}{2} \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.9)$$

固定端から長さ $(a_2 + b_2)$ 離れた場所に働く集中荷重 F_3 による曲げモーメントは

$$M_6 = F_3 \cdot (a_2 + b_2) \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.10)$$

固定端から長さ a_2 離れた場所に働く集中荷重 F_4 による曲げモーメントは

$$M_7 = F_4 \cdot a_2 \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.11)$$

固定端から長さ $(a_2' + b_2')$ 離れた場所に働く集中荷重 F_5 による曲げモーメントは

$$M_8 = F_5 \cdot (a_2' + b_2') \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.12)$$

固定端から長さ a_2' 離れた場所に働く集中荷重 F_6 による曲げモーメントは

$$M_9 = F_6 \cdot a_2' \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.13)$$

アキュムレータの重心，質量の違いによる転倒モーメントは

$$M_{10} = (1 + C_V) \cdot |W_1 \cdot H_1 - W_2 \cdot H_2| \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.14)$$

したがって，H形鋼の固定端部に働く曲げモーメントは

$$M_{11} = M_5 + M_6 + M_7 + M_8 + M_9 + M_{10} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.15)$$

よって，H形鋼の固定端部に生じる曲げ応力は

$$\sigma_{yb} = \frac{M_{11}}{Z_2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.16)$$

b. せん断応力

水平方向の基準地震動 S_s により固定端部においてH形鋼に作用するせん断力は

$$F_{sh} = (W_2 + \omega_2 \cdot L_2) \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.17)$$

せん断応力は

$$\tau_h = \frac{F_{sh}}{A_{h2}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.18)$$

c. 組合せ応力

組合せ応力 σ_a は次式により求める。

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma_{yb}^2 + 3 \cdot \tau_h^2} \dots\dots\dots (5.4.3.4.19)$$

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【主蒸気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】及び【主蒸気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】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 胴の応力評価

5.4.1.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 f_0 以下であること。ただし、 f_0 は下表による。

応力の種類	許容応力 f_0	
	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	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の0.6倍のいずれか小さい方の値。 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あっては許容引張応力 S の1.2倍の方が大きい場合はこの大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の0.6倍
一次応力	上記の1.5倍の値	上記の1.5倍の値
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の2倍以下であれば、疲労解析は不要とする。	

5.6.2 ラグの応力評価

5.4.1.2 項で求めたラグの曲げ応力、せん断応力及び組合せ応力が各許容応力 f_{br} , f_{sr} 及び f_{tr} 以下であること。なお、 f_{br} , f_{sr} 及び f_{tr} 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
許容曲げ応力 f_{br}	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sr}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容組合せ応力 f_{tr}	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5.6.3 取付ボルトの応力評価

5.4.1.3 項で求めた取付ボルトの引張応力、せん断応力及び組合せ応力が各許容応力 f_{tb} , f_{sb} , f_{bt} 以下であること。なお、 f_{tb} , f_{sb} , f_{bt} 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_{tb}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容組合せ応力 f_{bt}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$

5.6.4 H形鋼の応力評価

5.4.1.4 項で求めたH形鋼の曲げ応力、せん断応力及び組合せ応力が各許容応力 f_{bh} , f_{sh} , f_{th} 以下であること。なお、 f_{bh} , f_{sh} , f_{th} 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
許容曲げ応力 f_{bh}	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sh}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容組合せ応力 f_{th}	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

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 主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ

主蒸気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頁以降の表に示す。なお、弾性設計用地震動 S_d による動的震度及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

6.1.2 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ

主蒸気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頁以降の表に示す。なお、弾性設計用地震動 S_d による動的震度及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

6.2.1 主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ

主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ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頁以降の表に示す。

6.2.2 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ

主蒸気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対処設備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頁以降の表に示す。

【主蒸気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】

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			
主蒸気逃がし安全弁 逃がし弁機能用 アキュムレータ	S	原子炉格納容器 O.P. 13.40* ¹			—* ²	—* ²	C _H =1.89	C _V =1.59	1.77	171	171

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: III,Sについては、基準地震動 S_s で評価する。

1.2 機器要目

W (N)	W ₁ (N)	ω ₁ (N/mm)	L ₁ (mm)	a ₁ (mm)	b ₁ (mm)	c ₁ (mm)	E (MPa)	I ₁ (mm ⁴)	Z ₁ (mm ³)	Z _{h1} (mm ³)	Z _{v1} (mm ³)	A _{h1} (mm ²)	A _{r1} (mm ²)	A _b (mm ²)	N _r	N _{b1}
2060	686.5	0.4894	1000	575	320	105	1.93×10 ⁵	1.600×10 ⁷	1.600×10 ⁵	3.969×10 ³	378.0	6.353×10 ³	252.0	113.0	4	4

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	F ₁ (N)	F ₂ (N)
50	69	784.5	784.5

F (H形鋼) (MPa)	S _u (H形鋼) (MPa)	S _y (H形鋼) (MPa)	F (ラグ) (MPa)	S _u (ラグ) (MPa)	S _y (ラグ) (MPa)	F (取付ボルト) (MPa)	S _u (取付ボルト) (MPa)	S _y (取付ボルト) (MPa)	F* (H形鋼) (MPa)	F* (ラグ) (MPa)	F* (取付ボルト) (MPa)
192* ²	373* ² (厚さ ≤ 40mm)	192* ² (厚さ ≤ 40mm)	203* ¹	413* ¹	150* ¹	203* ²	413* ²	150* ²	231* ²	203* ¹	203* ²

注記*1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.3 結論

1.3.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.3.2 応力

1.3.2.1 胴に生じる応力 (単位：MPa)

応力	周方向応力	軸方向応力	組合せ応力	許容応力*
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} = 23$	$\sigma_{x1} = 12$	$\sigma_o = 35$	$f_o = 150$

許容応力以下である。 注記*：包絡条件の許容応力状態Ⅲ、Sの許容値を記載。

1.3.2.2 支持部に生じる応力

(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
ラグ	SUS304	曲げ	$\sigma_r = 65^*$	$f_{br} = 203$	$\sigma_r = 65$	$f_{br} = 203$
		せん断	$\tau_r = 3^*$	$f_{sr} = 117$	$\tau_r = 3$	$f_{sr} = 117$
		組合せ	$\sigma_{ra} = 65^*$	$f_{tr} = 203$	$\sigma_{ra} = 65$	$f_{tr} = 203$
取付ボルト	SUS304	引張り	$\sigma_b = 3^*$	$f_{tb} = 152$	$\sigma_b = 3$	$f_{tb} = 152$
		せん断	$\tau_b = 5^*$	$f_{sb} = 117$	$\tau_b = 5$	$f_{sb} = 117$
		組合せ	$\sigma_{ba} = 9^*$	$f_{tb} = 152$	$\sigma_{ba} = 9$	$f_{tb} = 152$
H形鋼	SS400	曲げ	$\sigma_{yb} = 17^*$	$f_{bh} = 192$	$\sigma_{yb} = 17$	$f_{bh} = 231$
		せん断	$\tau_h = 1^*$	$f_{sh} = 111$	$\tau_h = 1$	$f_{sh} = 133$
		組合せ	$\sigma_a = 17^*$	$f_{th} = 192$	$\sigma_a = 17$	$f_{th} = 231$

すべて許容応力以下である。 注記*：基準地震動 S s による算出値

【主蒸気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】

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			
主蒸気逃がし安全弁 自動減圧機能用 アキュムレータ	S	原子炉格納容器 O.P. 13.40 ^{*1}			— ^{*2}	— ^{*2}	C _H =1.89	C _V =1.59	1.77	171	171

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: III,Sについては、基準地震動 S_s で評価する。

2.2 機器要目

W' (N)	W ₂ (N)	ω ₂ (N/mm)	L ₂ (mm)	a ₂ (mm)	b ₂ (mm)	c ₂ (mm)	a ₂ ' (mm)	b ₂ ' (mm)	c ₂ ' (mm)	E (MPa)	I ₂ (mm ⁴)	Z ₂ (mm ³)	Z _{h2} (mm ³)	Z _{v2} (mm ³)	A _{h2} (mm ²)	A _{r2} (mm ²)
7752	3727	1.687	1650	580	820	250	575	320	755	1.93×10 ⁵	2.240×10 ⁸	1.120×10 ⁶	2.842×10 ⁴	1.557×10 ³	2.187×10 ⁴	778.7

A _b (mm ²)	N _r	N _{b2}	F ₃ (N)	F ₄ (N)	F ₅ (N)	F ₆ (N)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	H ₁ (mm)	H ₂ (mm)
113.0	4	8	1961	1961	392.3	392.3	63	152	250	380

F (H形鋼) (MPa)	S _u (H形鋼) (MPa)	S _y (H形鋼) (MPa)	F (ラグ) (MPa)	S _u (ラグ) (MPa)	S _y (ラグ) (MPa)	F (取付ボルト) (MPa)	S _u (取付ボルト) (MPa)	S _y (取付ボルト) (MPa)	F* (H形鋼) (MPa)	F* (ラグ) (MPa)	F* (取付ボルト) (MPa)
192 ^{*2}	373 ^{*2} (厚さ ≤ 40mm)	192 ^{*2} (厚さ ≤ 40mm)	203 ^{*1}	413 ^{*1}	150 ^{*1}	203 ^{*2}	413 ^{*2}	150 ^{*2}	231 ^{*2}	203 ^{*1}	203 ^{*2}

注記*1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 結論

2.3.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

2.3.2 応力

2.3.2.1 胴に生じる応力 (単位：MPa)

応力	周方向応力	軸方向応力	組合せ応力	許容応力*
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} = 35$	$\sigma_{x1} = 18$	$\sigma_o = 53$	$f_o = 150$

許容応力以下である。 注記*：包絡条件の許容応力状態Ⅲ、Sの許容値を記載。

2.3.2.2 支持部に生じる応力 (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
ラグ	SUS304	曲げ	$\sigma_r = 107^*$	$f_{br} = 203$	$\sigma_r = 107$	$f_{br} = 203$
		せん断	$\tau_r = 4^*$	$f_{sr} = 117$	$\tau_r = 4$	$f_{sr} = 117$
		組合せ	$\sigma_{ra} = 108^*$	$f_{tr} = 203$	$\sigma_{ra} = 108$	$f_{tr} = 203$
取付ボルト	SUS304	引張り	$\sigma_b = 8^*$	$f_{tb} = 152$	$\sigma_b = 8$	$f_{tb} = 152$
		せん断	$\tau_b = 14^*$	$f_{sb} = 117$	$\tau_b = 14$	$f_{sb} = 117$
		組合せ	$\sigma_{ba} = 25^*$	$f_{bt} = 152$	$\sigma_{ba} = 25$	$f_{bt} = 152$
H形鋼	SS400	曲げ	$\sigma_{yb} = 15^*$	$f_{bh} = 192$	$\sigma_{yb} = 15$	$f_{bh} = 231$
		せん断	$\tau_h = 1^*$	$f_{sh} = 111$	$\tau_h = 1$	$f_{sh} = 133$
		組合せ	$\sigma_a = 15^*$	$f_{th} = 192$	$\sigma_a = 15$	$f_{th} = 231$

すべて許容応力以下である。 注記*：基準地震動 S s による算出値

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

【主蒸気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】

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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
主蒸気逃がし安全弁 逃がし弁機能用 アキュムレータ	S	原子炉格納容器 0. P. 13.40 ^{*1}			—	—	C _H =1.89	C _V =1.59	1.77	171	171

注記*1: 基準床レベルを示す。

3.2 機器要目

W (N)	W ₁ (N)	ω ₁ (N/mm)	L ₁ (mm)	a ₁ (mm)	b ₁ (mm)	c ₁ (mm)	E (MPa)	I ₁ (mm ⁴)	Z ₁ (mm ³)	Z _{h1} (mm ³)	Z _{v1} (mm ³)	A _{h1} (mm ²)	A _{r1} (mm ²)	A _b (mm ²)	N _r	N _{b1}
2060	686.5	0.4894	1000	575	320	105	1.93×10 ⁵	1.600×10 ⁷	1.600×10 ⁵	3.969×10 ³	378.0	6.353×10 ³	252.0	113.0	4	4

φ ₁ (mm)	φ ₂ (mm)	F ₁ (N)	F ₂ (N)
50	69	784.5	784.5

F (H形鋼) (MPa)	S _u (H形鋼) (MPa)	S _y (H形鋼) (MPa)	F (ラグ) (MPa)	S _u (ラグ) (MPa)	S _y (ラグ) (MPa)	F (取付ボルト) (MPa)	S _u (取付ボルト) (MPa)	S _y (取付ボルト) (MPa)	F* (H形鋼) (MPa)	F* (ラグ) (MPa)	F* (取付ボルト) (MPa)
192 ^{*2}	373 ^{*2} (厚さ ≤ 40mm)	192 ^{*2} (厚さ ≤ 40mm)	203 ^{*1}	413 ^{*1}	150 ^{*1}	203 ^{*2}	413 ^{*2}	150 ^{*2}	231 ^{*2}	203 ^{*1}	203 ^{*2}

注記*1: 最高使用温度で算出
*2: 周囲環境温度で算出

3.3 結論

3.3.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

3.3.2 応力

3.3.2.1 胴に生じる応力 (単位：MPa)

応力	周方向応力	軸方向応力	組合せ応力	許容応力
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} = 23$	$\sigma_{x 1} = 12$	$\sigma_o = 35$	$f_o = 248$

許容応力以下である。

3.3.2.2 支持部に生じる応力

(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
ラグ	SUS304	曲げ	—	—	$\sigma_r = 65$	$f_{b r} = 203$
		せん断	—	—	$\tau_r = 3$	$f_{s r} = 117$
		組合せ	—	—	$\sigma_{r a} = 65$	$f_{t r} = 203$
取付ボルト	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_b = 3$	$f_{t b} = 152$
		せん断	—	—	$\tau_b = 5$	$f_{s b} = 117$
		組合せ	—	—	$\sigma_{b a} = 9$	$f_{t b} = 152$
H形鋼	SS400	曲げ	—	—	$\sigma_{y b} = 17$	$f_{b h} = 231$
		せん断	—	—	$\tau_h = 1$	$f_{s h} = 133$
		組合せ	—	—	$\sigma_a = 17$	$f_{t h} = 231$

すべて許容応力以下である。

【主蒸気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】

4. 重大事故等対処設備

4.1 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			
主蒸気逃がし安全弁 自動減圧機能用 アキュムレータ	S	原子炉格納容器 0. P. 13.40 ^{*1}			—	—	C _H =1.89	C _V =1.59	1.77	171	171

注記*1: 基準床レベルを示す。

4.2 機器要目

W'	W ₂	ω ₂	L ₂	a ₂	b ₂	c ₂	a ₂	b ₂	c ₂	E	I ₂	Z ₂	Z _{h2}	Z _{v2}	A _{h2}	A _{r2}
(N)	(N)	(N/mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(mm ⁴)	(mm ³)	(mm ³)	(mm ³)	(mm ²)	(mm ²)
7752	3727	1.687	1650	580	820	250	575	320	755	1.93×10 ⁵	2.240×10 ⁸	1.120×10 ⁶	2.842×10 ⁴	1.557×10 ³	2.187×10 ⁴	778.7

A _b	N _r	N _{b2}	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	ℓ ₃	ℓ ₄	H ₁	H ₂
(mm ²)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
113.0	4	8	1961	1961	392.3	392.3	63	152	250	380

F (H形鋼)	S _u (H形鋼)	S _y (H形鋼)	F (ラグ)	S _u (ラグ)	S _y (ラグ)	F (取付ボルト)	S _u (取付ボルト)	S _y (取付ボルト)	F* (H形鋼)	F* (ラグ)	F* (取付ボルト)
(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
192 ^{*2}	373 ^{*2} (厚さ ≤ 40mm)	192 ^{*2} (厚さ ≤ 40mm)	203 ^{*1}	413 ^{*1}	150 ^{*1}	203 ^{*2}	413 ^{*2}	150 ^{*2}	231 ^{*2}	203 ^{*1}	203 ^{*2}

注記*1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.3 結論

4.3.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

4.3.2 応力

4.3.2.1 胴に生じる応力 (単位：MPa)

応力	周方向応力	軸方向応力	組合せ応力	許容応力
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} = 35$	$\sigma_{x 1} = 18$	$\sigma_o = 53$	$f_o = 248$

許容応力以下である。

4.3.2.2 支持部に生じる応力

(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
ラグ	SUS304	曲げ	—	—	$\sigma_t = 107$	$f_{b r} = 203$
		せん断	—	—	$\tau_r = 4$	$f_{s r} = 117$
		組合せ	—	—	$\sigma_{r s} = 108$	$f_{i r} = 203$
取付ボルト	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_b = 8$	$f_{i b} = 152$
		せん断	—	—	$\tau_b = 14$	$f_{s b} = 117$
		組合せ	—	—	$\sigma_{b s} = 25$	$f_{b t} = 152$
H形鋼	SS400	曲げ	—	—	$\sigma_{y b} = 15$	$f_{b h} = 231$
		せん断	—	—	$\tau_h = 1$	$f_{s h} = 133$
		組合せ	—	—	$\sigma_s = 15$	$f_{i h} = 231$

すべて許容応力以下である。

VI-2-5-3-1-2 管の耐震性についての計算書
(主蒸気系)

設計基準対象施設

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	18
3. 計算条件	38
3.1 計算方法	38
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	39
3.3 設計条件	41
3.4 材料及び許容応力評価条件	57
3.5 設計用地震力	58
4. 解析結果及び評価	60
4.1 固有周期及び設計震度	60
4.2 評価結果	72
4.2.1 管の応力評価結果	72
4.2.2 支持構造物評価結果	78
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	80
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	82

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、主蒸気系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全 21 モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.4 に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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

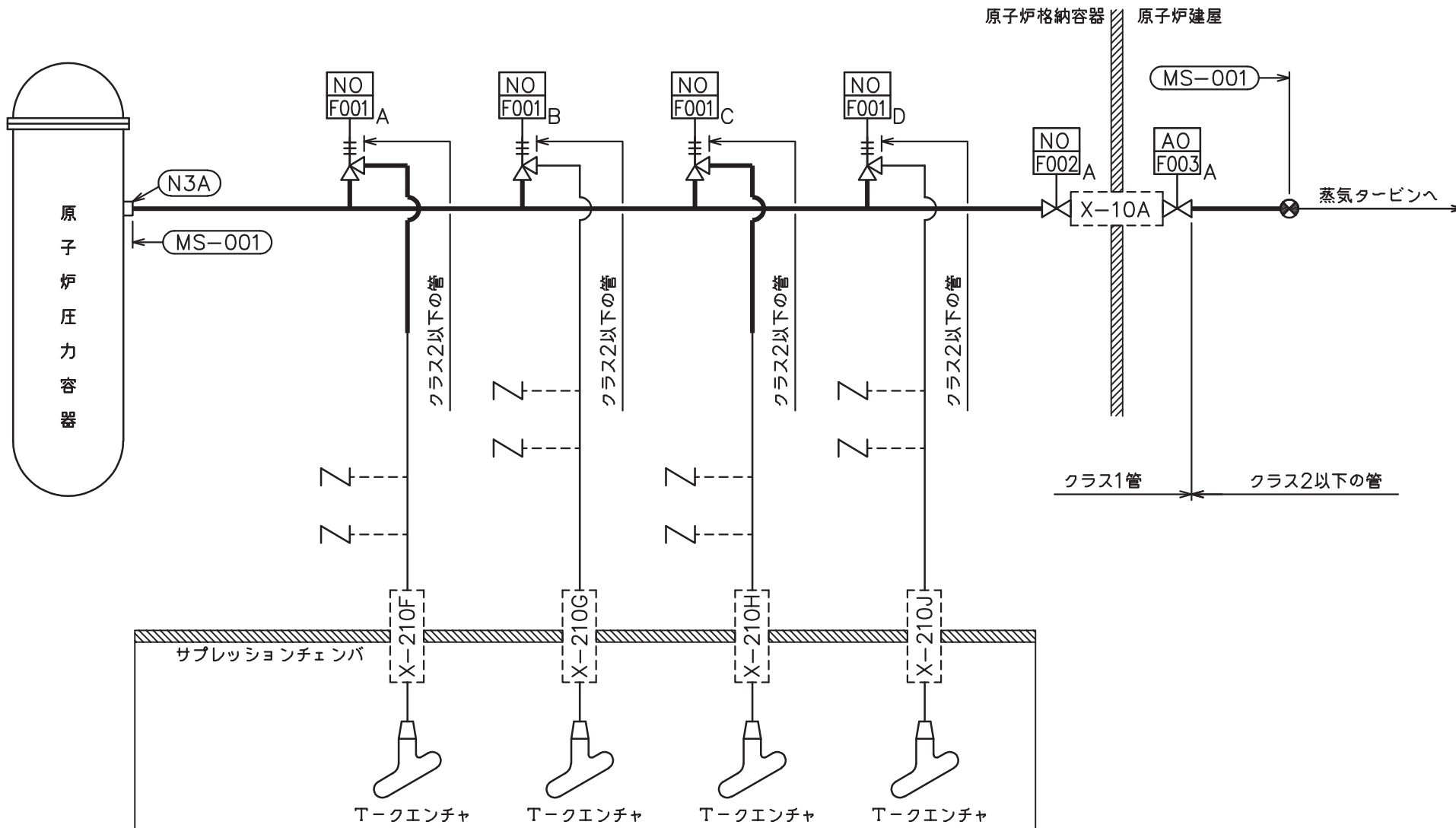
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

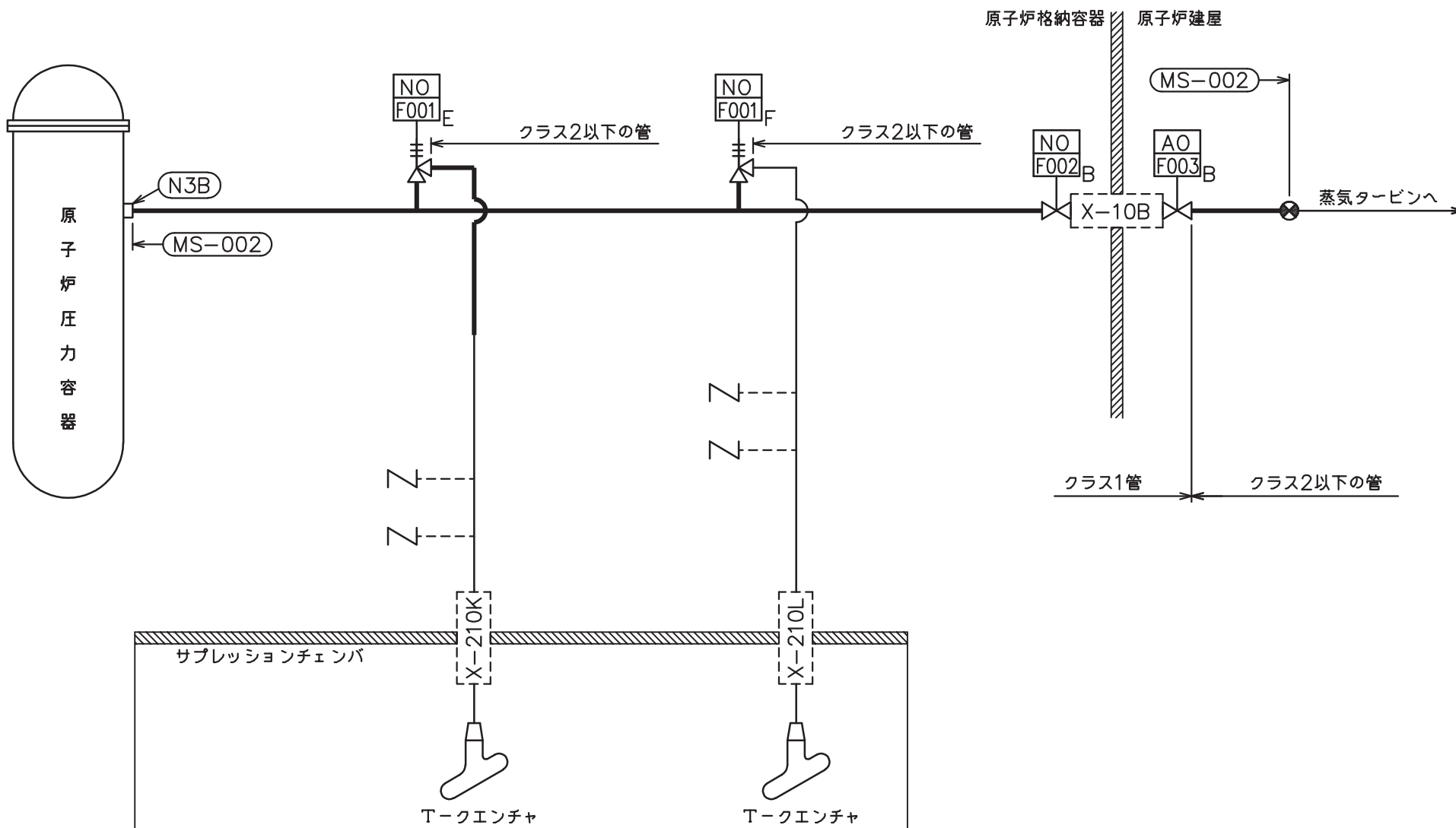
2.1 概略系統図

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
 (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
	アンカ

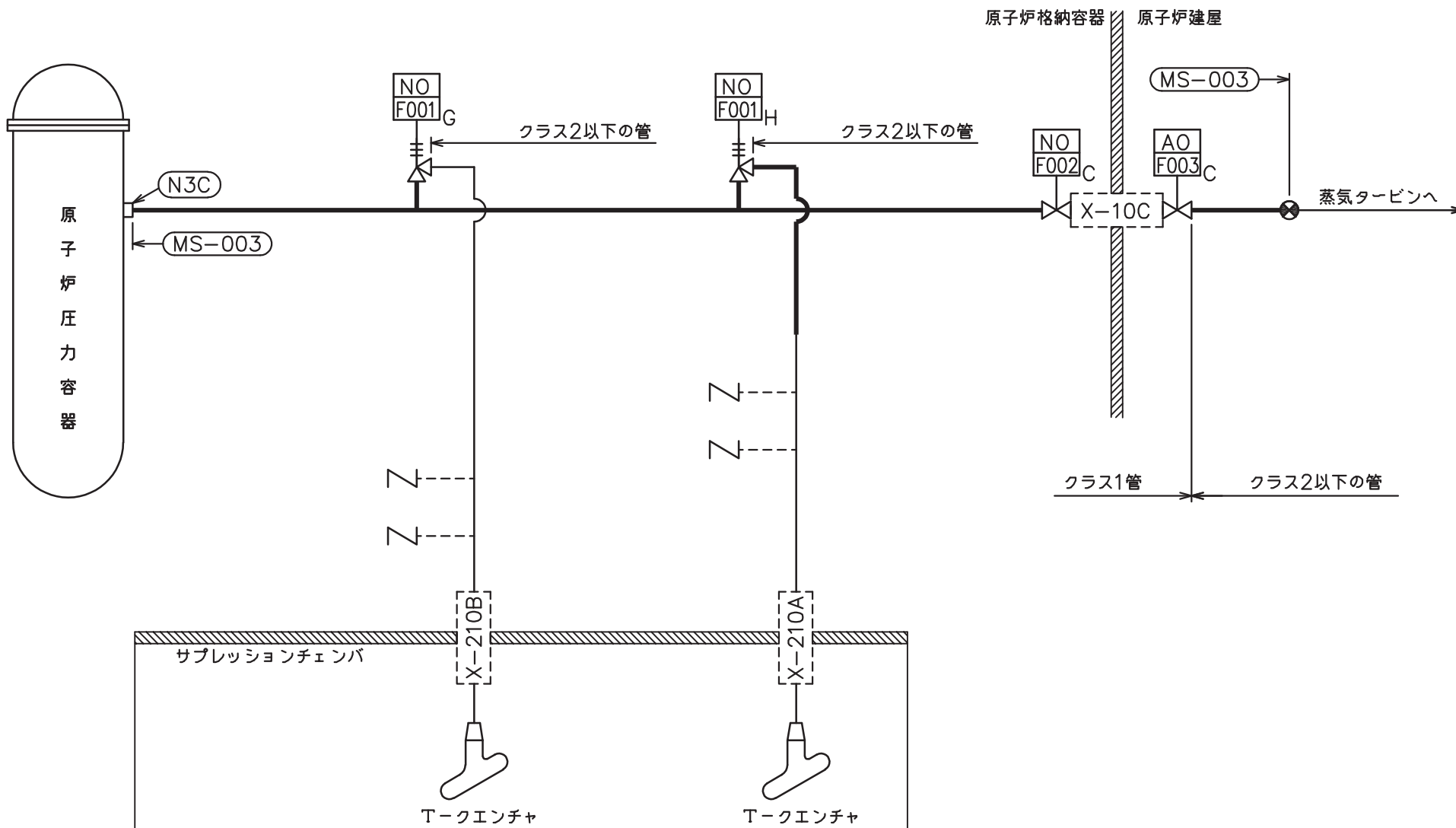


主蒸気系概略系統図 (その1)

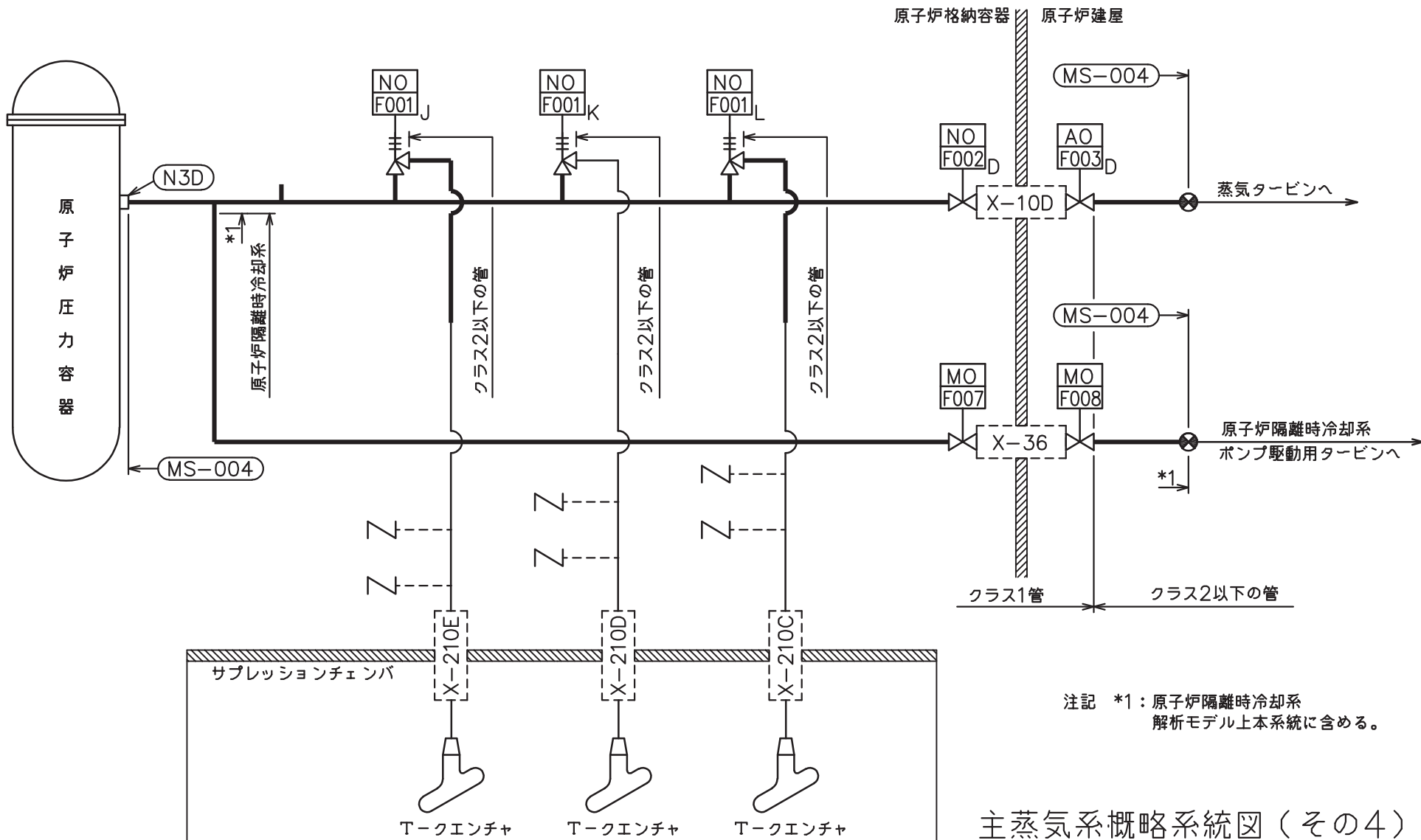


主蒸気系概略系統図 (その2)

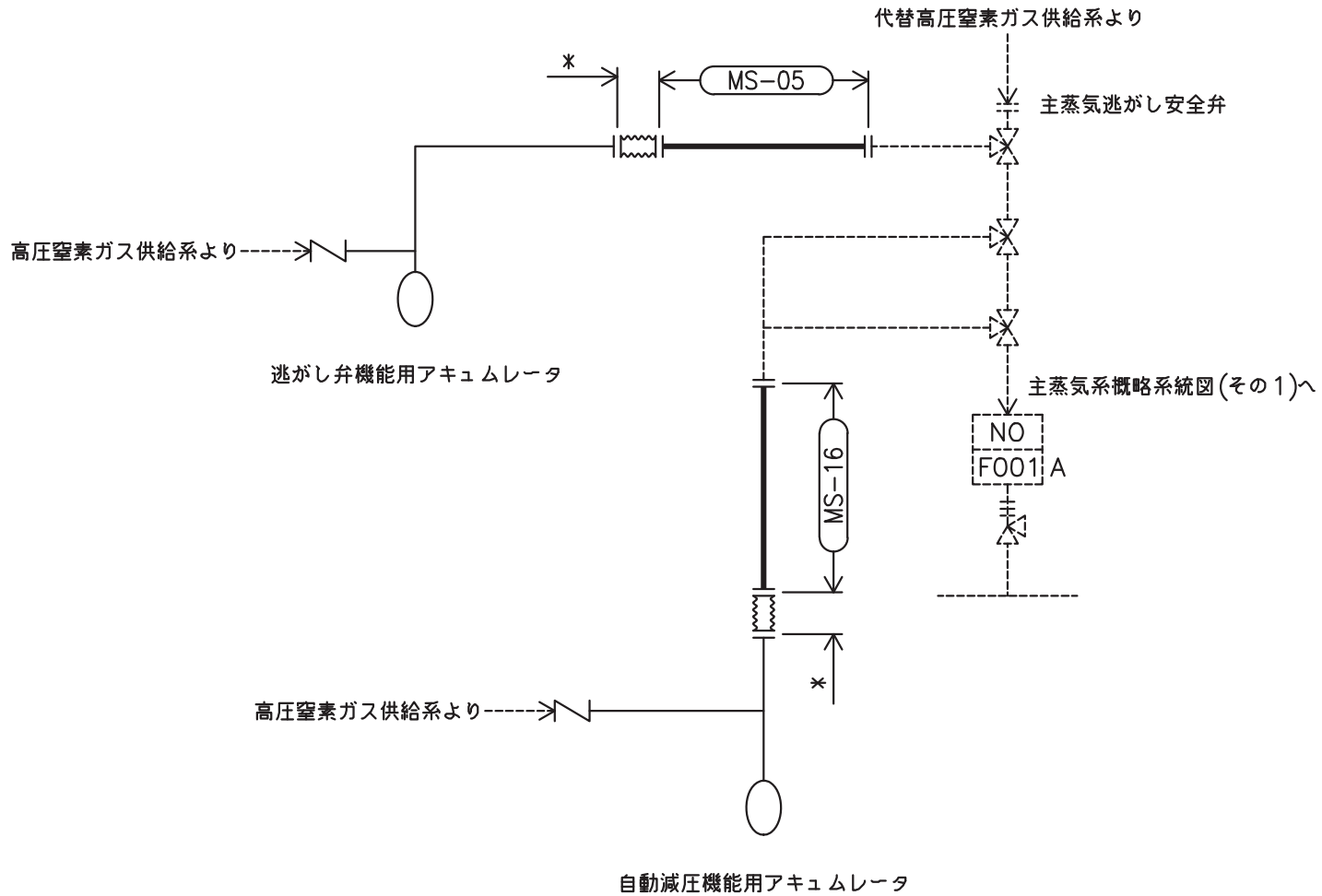
5



主蒸気系概略系統図 (その3)



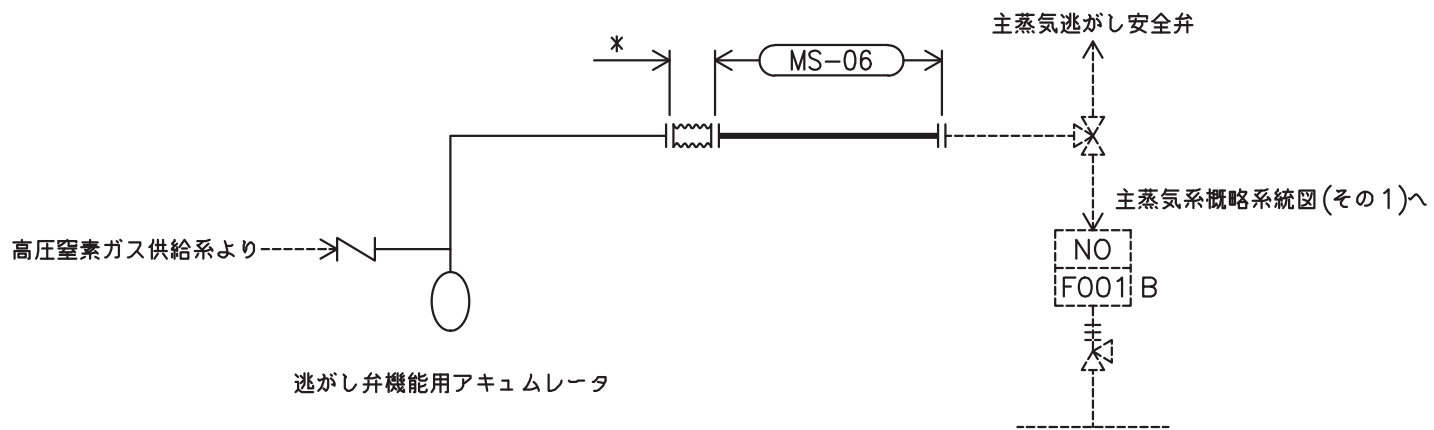
主蒸気系概略系統図(その4)



注記*：高圧窒素ガス供給系
解析モデル上本系統に含める

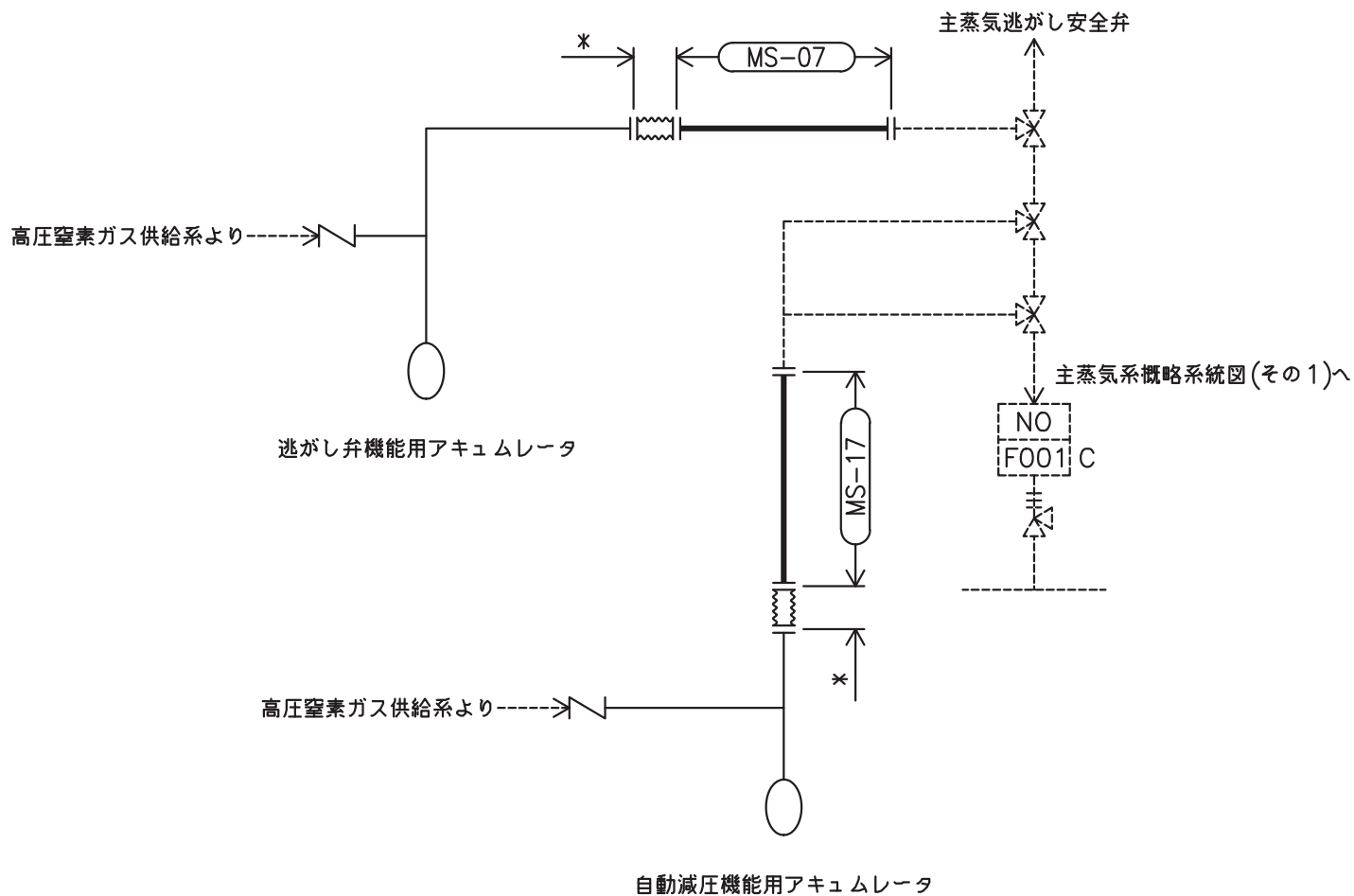
主蒸気系概略系統図(その5)

∞



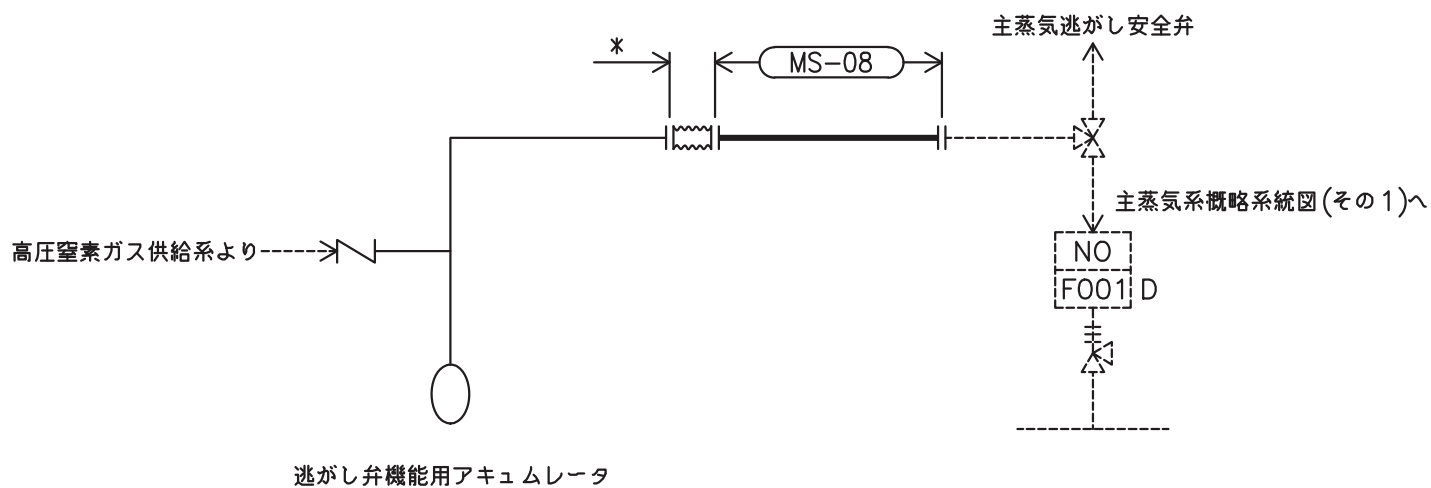
注記*：高圧窒素ガス供給系
解析モデル上本系統に含める

主蒸気系概略系統図(その6)



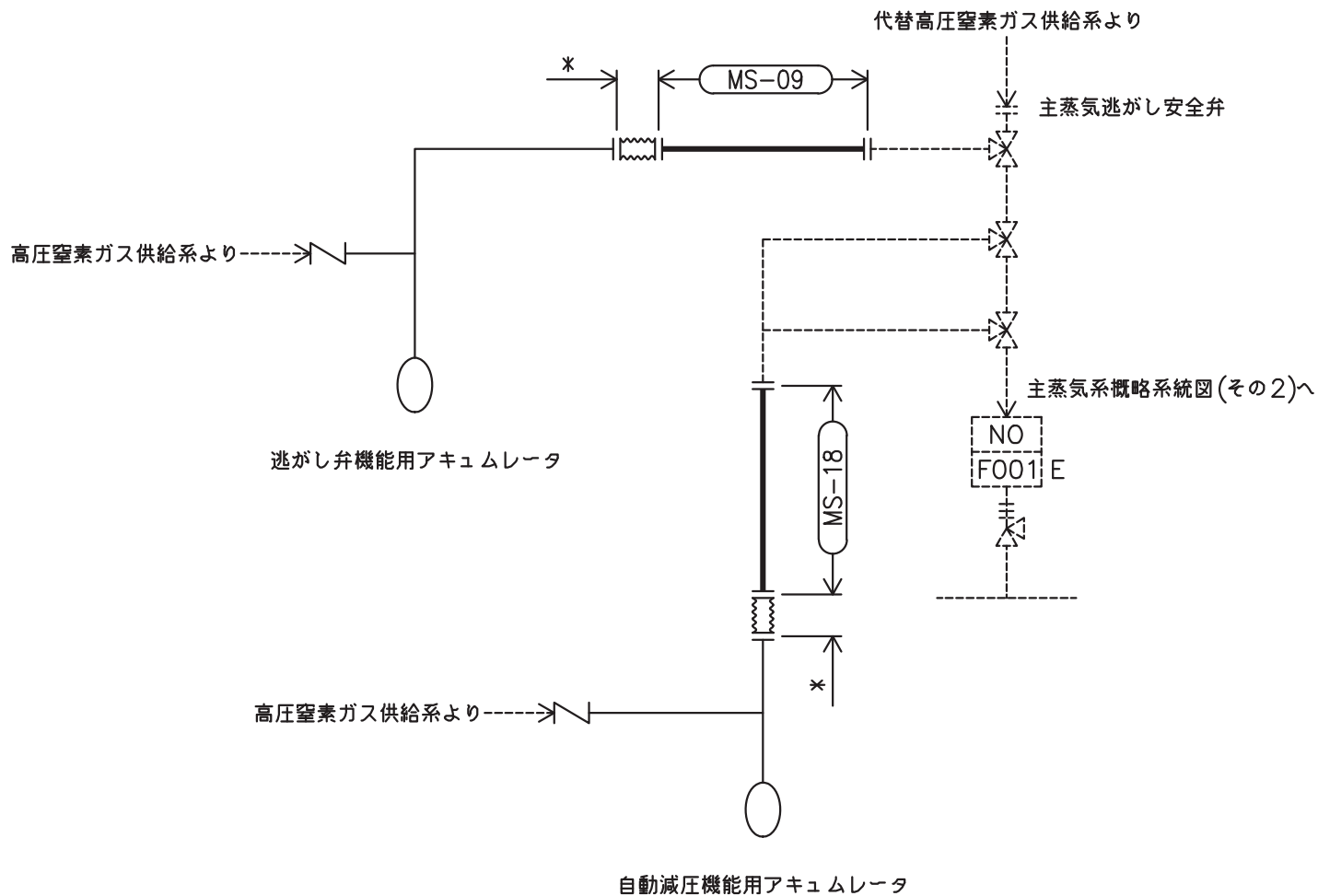
注記*：高圧窒素ガス供給系
解析モデル上本系統に含める

主蒸気系概略系統図(その7)



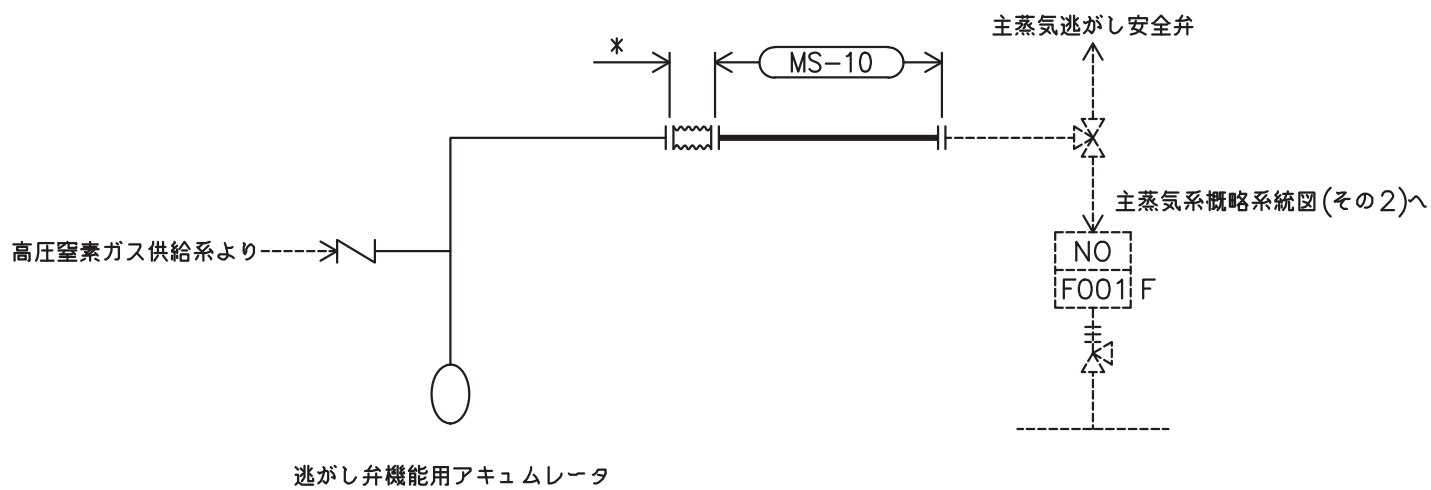
注記*：高圧窒素ガス供給系
解析モデル上本系統に含める

主蒸気系概略系統図(その8)



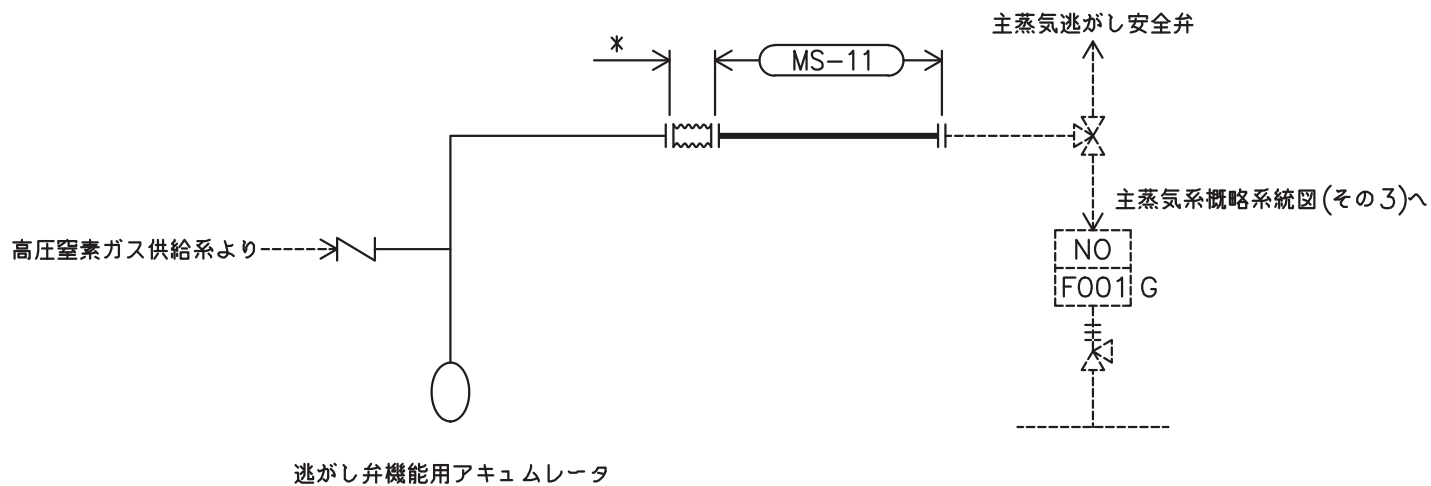
注記*：高圧窒素ガス供給系
解析モデル上本系統に含める

主蒸気系概略系統図(その9)



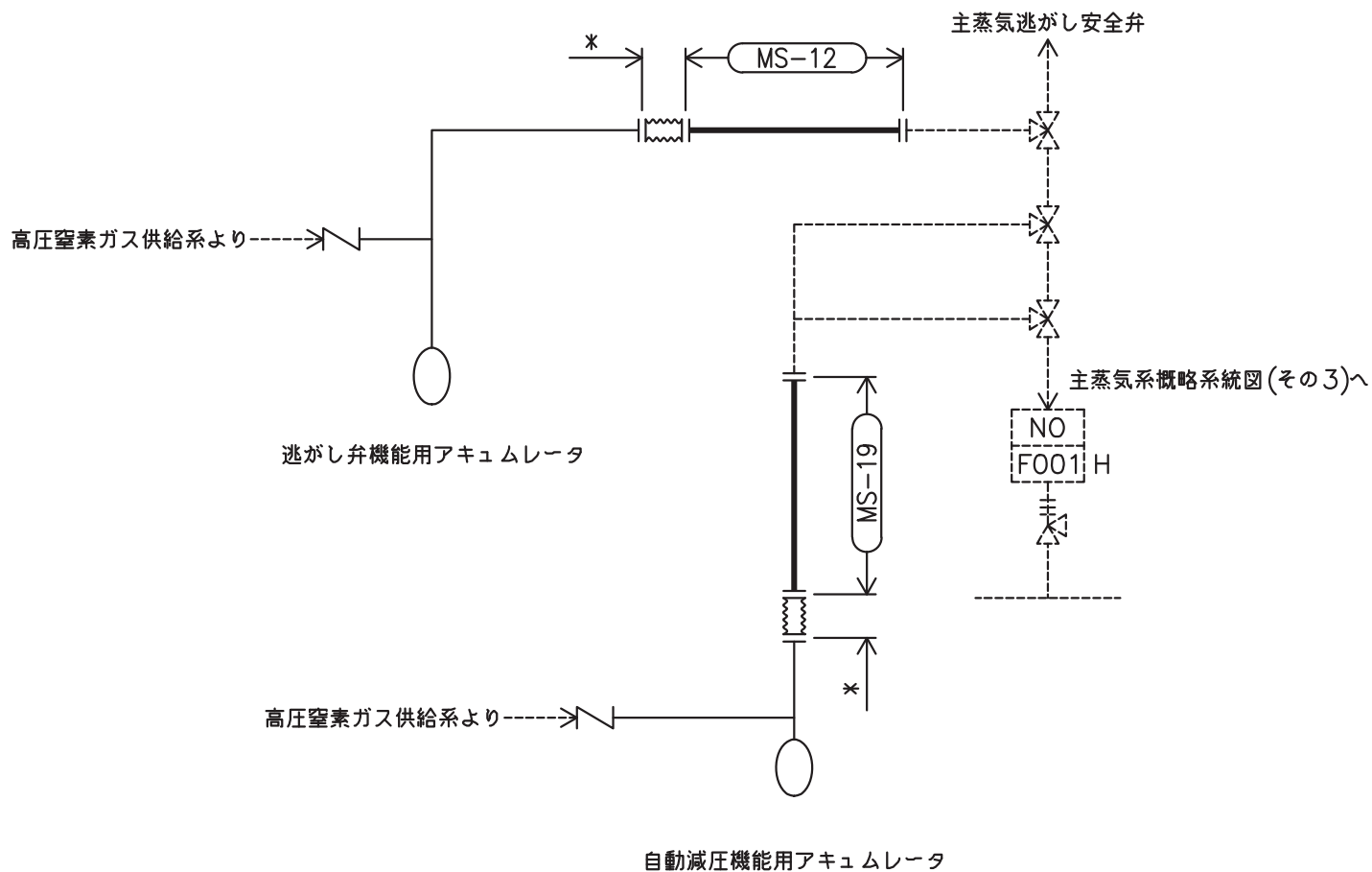
注記*：高圧窒素ガス供給系
解析モデル上本系統に含める

主蒸気系概略系統図(その10)



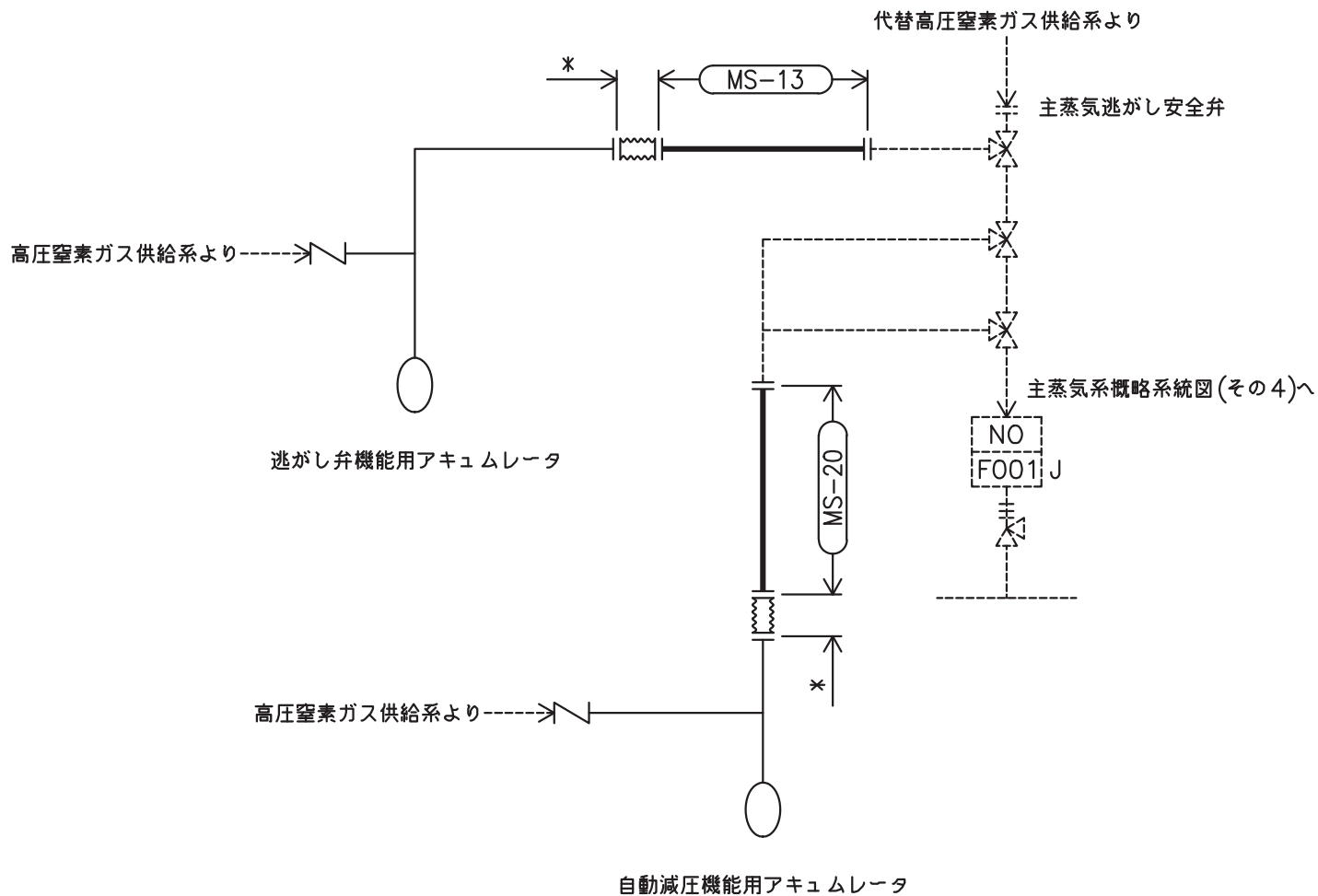
注記*：高圧窒素ガス供給系
解析モデル上本系統に含める

主蒸気系概略系統図(その11)



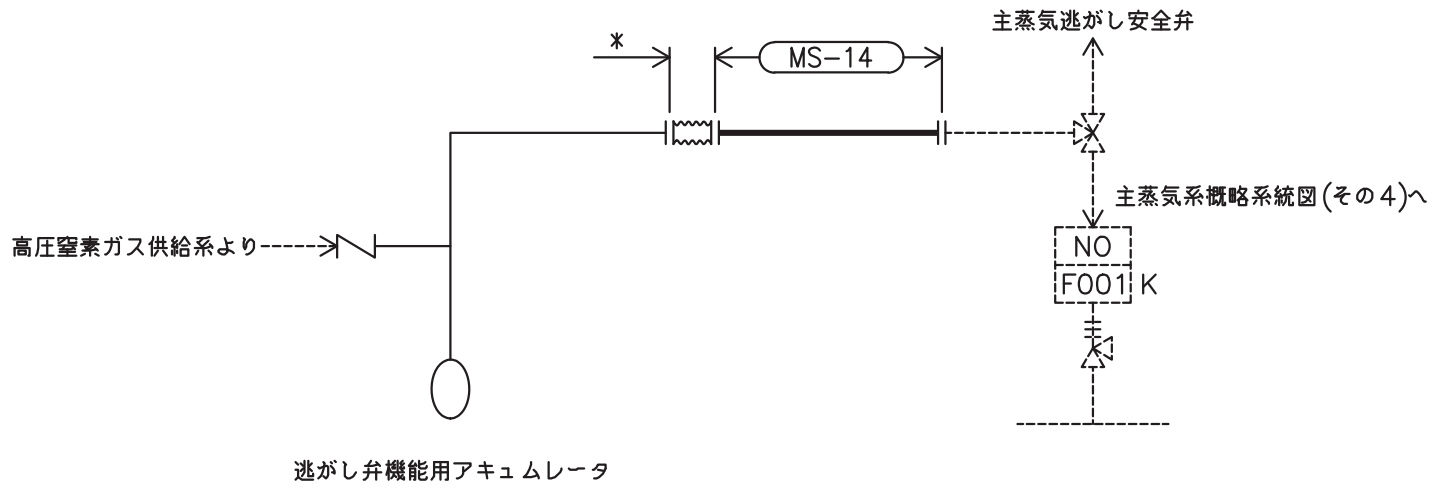
注記*：高圧窒素ガス供給系
解析モデル上本系統に含める

主蒸気系概略系統図(その12)



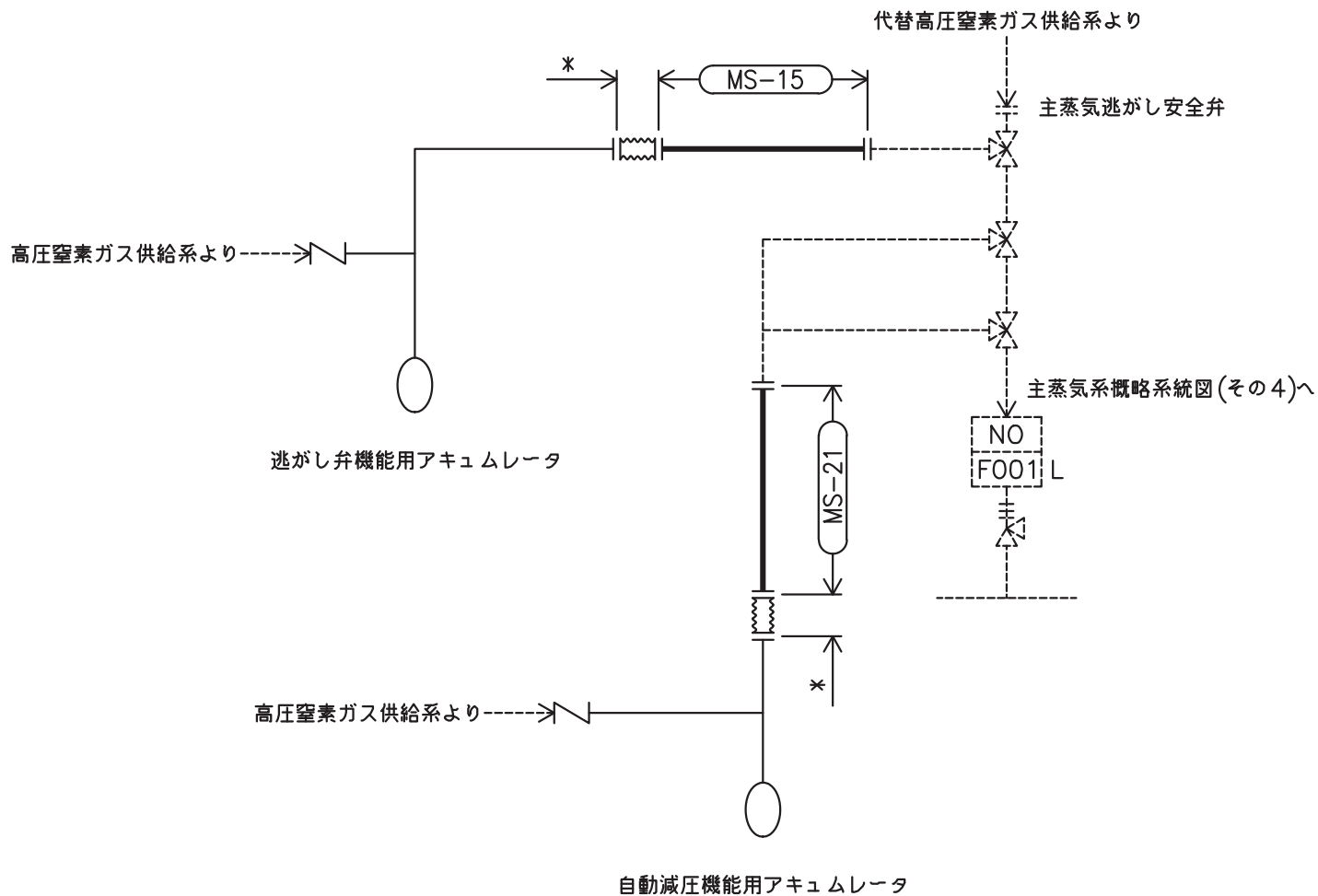
注記*：高圧窒素ガス供給系
解析モデル上本系統に含める

主蒸気系概略系統図(その13)



注記*：高圧窒素ガス供給系
解析モデル上本系統に含める

主蒸気系概略系統図(その14)


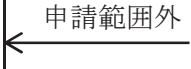
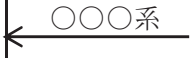


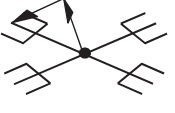
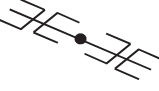

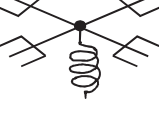
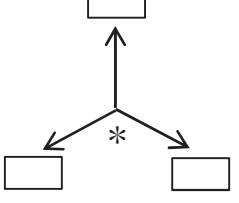


注記*：高圧窒素ガス供給系
解析モデル上本系統に含める

主蒸気系概略系統図(その15)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>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として本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印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。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>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。)</p>

鳥瞰図	MS-001-1/10
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

20

鳥瞰図	MS-001-2/10
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-001-3/10
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-001-4/10
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-001-5/10
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-001-6/10
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

25

鳥瞰図	MS-001-7/10
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-001-8/10
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-001-9/10
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-001-10/10
-----	--------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-004-1/9
-----	------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

30

鳥瞰図	MS-004-2/9
-----	------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-004-3/9
-----	------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-004-4/9
-----	------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-004-5/9
-----	------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-004-6/9
-----	------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-004-7/9
-----	------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-004-8/9
-----	------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-004-9/9
-----	------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」,
「SAP-V」,「SOLVER」及び「NX NASTRAN」を使用し,解析コードの検証及び妥当性確認等の概
要については,添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

3.2 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	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, *3	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	主蒸気系	DB	—	クラス1管	S	I _L +S d	III _A S
							II _L +S d	
							I _L +S s	IV _A S
							II _L +S s	
							IV _L (L)+S d	
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材の循環設備	主蒸気系	DB	—	クラス2管	S	I _L +S d	III _A S
							II _L +S d	
							I _L +S s	IV _A S
							II _L +S s	
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材の循環設備	主蒸気系	DB	—	クラス3管	S	I _L +S d	III _A S
							II _L +S d	
							I _L +S s	IV _A S
							II _L +S s	
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材補給設備	原子炉隔離時冷却系	DB	—	クラス1管	S	I _L +S d	III _A S
							II _L +S d	
							I _L +S s	IV _A S
							II _L +S s	
							IV _L (L)+S d	

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, *3	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材補給設備	原子炉隔離時冷却系	DB	—	クラス2管	S	I _L +S d	III _A S
							II _L +S d	
							I _L +S s	IV _A S
							II _L +S s	

注記*1：DB は設計基準対象施設，SA は重大事故等対処設備を示す。

*2：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。

*3：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。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 MS-001 (クラス1管)

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	8.62	302	609.6	31.0	STS480	S	184760
2	8.62	302	228.6	33.0	SFVC2B	S	184760

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 MS-001 (クラス1管)

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	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	73	74	75	76	77	801	802	803	804	805	901
	902	904	907	908											
2	12	14	16	19	44	45	50	51	56	57	62	63	81	82	83
	84														

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 MS-001（クラス1管）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		13		25		62		803	
2		14		26		73		804	
3		15		27		74		805	
4		16		28		75		901	
5		17		29		76		902	
6		18		30		77		904	
7		19		31		81		907	
8		20		32		82		908	
9		21		33		83			
10		22		44		84			
11		23		50		801			
12		24		56		802			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4		弁 5	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
34		40		45		51		57	
35		41		46		52		58	
36		42		101		201		301	
68		70		47		53		59	
69		71		48		54		60	
				49		55		61	

弁 6

評価点	質量(kg)
63	
64	
401	
65	
66	
67	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	35			
弁2	41			
弁3	46			
弁4	52			
弁5	58			
弁6	64			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-001 (クラス1管)

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
** 7 **						
** 9 **						
13						
** 15 **						
** 18 **						
20						
24						
** 26 **						
31						
33						
** 901 **						
** 902 **						
** 904 **						
** 907 **						
** 908 **						

--

O2 ⑥ VI-2-5-3-1-2(設) R0

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 MS-001 (クラス2以下の管)

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	8.62	302	609.6	31.0	SGV480	S	184760
2	3.80	249	267.4	15.1	STS410	S	188080

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 MS-001 (クラス2以下の管)

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	42	43													
2	101	102	103	104	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116
	117	195	198	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312
	313	314	315	316	317	806	807	808	920						

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 MS-001（クラス2以下の管）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
42		109		195		308		317	
43		110		198		309		806	
101		111		301		310		807	
102		112		302		311		808	
103		113		303		312		920	
104		114		304		313			
106		115		305		314			
107		116		306		315			
108		117		307		316			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-001 (クラス2以下の管)

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
43						
** 102 **						
** 104 **						
** 106 **						
109						
112						
117						
** 117 **						
** 195 **						
302						
** 304 **						
307						
** 309 **						
313						
317						
** 317 **						
** 920 **						

--

O2 ⑥ VI-2-5-3-1-2(設) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 MS-004 (クラス1管)

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	8.62	302	609.6	31.0	STS480	S	184760
2	8.62	302	114.3	11.1	SFVC2B	S	184760
3	8.62	302	114.3	11.1	STS410	S	184760
4	8.62	302	228.6	33.0	SFVC2B	S	184760

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 MS-004 (クラス1管)

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	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	80	90	802	803	805	901	902	906
2	10	84	101												
3	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115
	116	117	118	119	142	143	144	804	912						
4	13	15	17	20	47	48	49	50	55	56	61	62	81	82	83
	85														

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 MS-004（クラス1管）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		17		33		101		117	
2		18		34		102		118	
3		19		35		103		142	
4		20		36		104		143	
5		21		47		105		144	
6		22		48		106		802	
7		23		49		107		803	
8		24		55		108		804	
9		25		61		109		805	
10		26		80		110		901	
11		27		81		111		902	
12		28		82		112		906	
13		29		83		113		912	
14		30		84		114			
15		31		85		115			
16		32		90		116			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4		弁 5	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
37		43		50		56		62	
38		44		51		57		63	
39		45		201		301		401	
67		69		52		58		64	
68		70		53		59		65	
				54		60		66	

弁 6		弁 7	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
119		129	
120		130	
121		131	
133		136	
135		138	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	38			
弁2	44			
弁3	51			
弁4	57			
弁5	63			
弁6	120			
弁7	130			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-004 (クラス1管)

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
** 7 **						
** 9 **						
14						
** 16 **						
** 19 **						
21						
** 26 **						
** 28 **						
34						
36						
** 107 **						
113						
118						
** 118 **						
** 135 **						
138						
** 144 **						
** 901 **						
** 902 **						
** 906 **						



O2 ⑥ VI-2-5-3-1-2(設) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-004 (クラス1管)

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
** 912 **						

--

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 MS-004 (クラス2以下の管)

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	8.62	302	609.6	31.0	SGV480	S	184760
2	8.62	302	114.3	11.1	STS410	S	184760
3	3.80	249	267.4	15.1	STS410	S	188080

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 MS-004 (クラス2以下の管)

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	45	46														
2	131	132														
3	201	202	203	204	205	206	401	402	403	404	405	406	407	408	409	
	410	411	412	413	414	415	416	417	418	850	913	940	949	951	952	

配管の質量 (付加質量含む)

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
45		204		405		412		850	
46		205		406		413		913	
131		206		407		414		940	
132		401		408		415		949	
201		402		409		416		951	
202		403		410		417		952	
203		404		411		418			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-004 (クラス2以下の管)

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
46						
132						
204						
206						
** 402 **						
** 404 **						
407						
** 409 **						
412						
** 418 **						
913						
949						
** 951 **						
** 952 **						

--

O 2 ⑥ VI-2-5-3-1-2(設) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
SFVC2B	302	125	187	—	—
STS480	302	138	209	—	—
SGV480	302	—	198	419	—
STS410	249	—	197	404	—
	302	122	182	404	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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用いる。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

本計算書の疲労評価は、設備ごとに個別に設定した等価繰返し回数226回(S_s)及び352回(S_d)で実施する。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
MS-001	原子炉しゃへい壁		

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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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用いる。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

本計算書の疲労評価は、設備ごとに個別に設定した等価繰返し回数198回(S_s)及び337回(S_d)で実施する。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
MS-004	原子炉しゃへい壁		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 MS-001

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
28 次								
29 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 MS-001

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

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 MS-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-001
-----	--------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

65

鳥瞰図	MS-001
-----	--------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 MS-004

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
26 次								
27 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。
 *3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 MS-004

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

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 MS-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

70

鳥瞰図 MS-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 MS-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス1管

鳥瞰図	許容 応力 状態	最大 応力 評価点	配管 要素 名称	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	許容応力	ねじり応力	許容応力	一次+二次応力	許容応力	疲労累積係数
					$S_{pr m}(S_d)$	$2.25 \cdot S_m$	$S_t(S_d)$	$0.55 \cdot S_m$	$S_n(S_d)$	$3 \cdot S_m$	$U+U S_d$
$S_{pr m}(S_s)$	$3 \cdot S_m$	$S_t(S_s)$	$0.73 \cdot S_m$	$S_n(S_s)$	$3 \cdot S_m$	$U+U S_s$					
MS-001	III _A S	16	TEE	$S_{pr m}(S_d)$	202	281	—	—	—	—	—
	III _A S	19	TEE	$S_t(S_d)$	—	—	105*	68	—	—	—
	III _A S	19	TEE	$S_n(S_d)$	—	—	—	—	391**	375	0.0773
	III _A S	19	TEE	U+U S d	—	—	—	—	—	—	0.0773
	IV _A S	16	TEE	$S_{pr m}(S_s)$	281	375	—	—	—	—	—
	IV _A S	19	TEE	$S_t(S_s)$	—	—	158*	91	—	—	—
	IV _A S	19	TEE	$S_n(S_s)$	—	—	—	—	684**	375	0.6140
	IV _A S	19	TEE	U+U S s	—	—	—	—	—	—	0.6140

*印はねじりによる最大応力発生点において応力が許容応力を超えていることを示し、次頁に曲げとねじりによる応力評価結果を示す。

**印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態Ⅲ_ASのとき $0.55 \cdot S_m$ 、又は許容応力状態Ⅳ_ASのとき $0.73 \cdot S_m$ を超える評価点のうち曲げとねじりによる応力は許容値を満足している。

鳥 瞰 図 MS-001

評価点	一次応力評価 (MPa)			
	ねじり応力 S _t (S _d) S _t (S _s)	許容応力 $0.55 \cdot S_m$ $0.73 \cdot S_m$	曲げとねじり応力 S _t +S _b (S _d) S _t +S _b (S _s)	許容応力 $1.8 \cdot S_m$ $2.4 \cdot S_m$
16	98 * 150 *	68 91	155 234	225 300
19	105 * 158 *	68 91	142 220	225 300

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス 2 以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				S p r m (S d) S p r m (S s)	S y *1 0 . 9 ・ S u	S n (S s)	2 ・ S y	U S s
MS-001	III _A S	307	S p r m (S d)	168	197	—	—	—
	IV _A S	307	S p r m (S s)	255	363	—	—	—
	IV _A S	307	S n (S s)	—	—	376	394	—

注記 *1: 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、S_yと1.2・S_hのうち大きい方とする。

管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス1管

鳥瞰図	許容 応力 状態	最大 応力 評価点	配管 要素 名称	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	許容応力	ねじり応力	許容応力	一次+二次応力	許容応力	疲労累積係数
					S p r m (S d)	2. 2 5 ・ S m	S t (S d)	0. 5 5 ・ S m	S n (S d)	3 ・ S m	U+U S d
S p r m (S s)	3 ・ S m	S t (S s)	0. 7 3 ・ S m	S n (S s)	3 ・ S m	U+U S s					
MS-004	Ⅲ _A S	17	TEE	S p r m (S d)	194	281	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	15	TEE	S t (S d)	—	—	108*	68	—	—	—
	Ⅲ _A S	17	TEE	S n (S d)	—	—	—	—	392**	375	0. 0598
	Ⅲ _A S	10	TEE	U+U S d	—	—	—	—	—	—	0. 0812
	Ⅳ _A S	17	TEE	S p r m (S s)	264	375	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	15	TEE	S t (S s)	—	—	151*	91	—	—	—
	Ⅳ _A S	17	TEE	S n (S s)	—	—	—	—	626**	375	0. 3894
	Ⅳ _A S	119	BUTT WELD	U+U S s	—	—	—	—	—	—	0. 6477

*印はねじりによる最大応力発生点において応力が許容応力を超えていることを示し、次頁に曲げとねじりによる応力評価結果を示す。

**印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態Ⅲ_ASのとき $0.55 \cdot S_m$ ，又は許容応力状態Ⅳ_ASのとき $0.73 \cdot S_m$ を超える評価点のうち曲げとねじりによる応力は許容値を満足している。

鳥 瞰 図 MS-004

評価点	一次応力評価 (MPa)			
	ねじり応力 S _t (S _d) S _t (S _s)	許容応力 $0.55 \cdot S_m$ $0.73 \cdot S_m$	曲げとねじり応力 S _t +S _b (S _d) S _t +S _b (S _s)	許容応力 $1.8 \cdot S_m$ $2.4 \cdot S_m$
15	108 * 151 *	68 91	146 211	225 300
17	103 * 150 *	68 91	147 218	225 300

管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス 2 以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				S p r m (S d)	S y * ¹	S n (S d)	2・S y	U S d
S p r m (S s)	0. 9・S u	S n (S s)	2・S y	U S s				
MS-004	Ⅲ _A S	131	S p r m (S d)	139	182	—	—	—
	Ⅲ _A S	131	S n (S d)	—	—	267	364	—
	Ⅳ _A S	131	S p r m (S s)	208	363	—	—	—
	Ⅳ _A S	131	S n (S s)	—	—	458*	364	0. 8019

*印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が 1 以下であり許容値を満足している。

注記*1：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、S y と 1. 2・S h のうち大きい方とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
MS-001-013H	スプリングハンガ	VS120-18	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		100	52×2
MS-001-109S	メカニカルスナッパ	SMS-10-100			178*	150
MS-003-921SB	メカニカルスナッパ	SMS-10-100			186*	150
MS-003-216B	ロッドレストレイント	RST-3			27	129

注記*：当該メカニカルスナッパの計算荷重が許容荷重を超えるため、詳細評価を実施する。

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 (°C)	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			
MS-002-031G	レストレイント	ラグ	SGV480	302	900	588	-	-	-	265	支圧	61	270
MS-004-036G	レストレイント	ラグ	SGV480	302	1574	598	-	-	-	118	せん断	26	114
MS-004-046A	アンカ	架構	SM400B	55	518	192	1689	142	410	204	曲げ	126	458

メカニカルスナップの詳細評価結果

支持構造物 番号	型式	評価結果					
		強度評価				機能確認	
		評価部位*	応力分類	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)
MS-001-109S	SMS-10-100	ベアリング押え	曲げ	333	404	178	219
MS-003-921SB	SMS-10-100	ベアリング押え	曲げ	349	404	186	219

注記*：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超える弁については、詳細評価を実施する。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
B21-F001E	逃がし安全弁	α (S s)	13.9*	7.7*	9.6	6.1
B21-F003D	主蒸気隔離弁	α (S s)	13.9*	5.7	10.0	6.2
E51-F007	ゲート弁	β (S s)	2.6	7.4*	6.0	6.0

注：機能維持評価用加速度は、配管系の地震応答解析による打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

注記*：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、詳細評価を行う。

詳細評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が駆動部の動作機能確認済加速度以下及び計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		駆動部の動作機能確認済 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)			
			水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位*	応力分類	計算応力	許容応力
B21-F001E	逃がし安全 弁	α (S s)	13.9	7.7	20.0	20.0	クーリング スプール	曲げ	229	304
B21-F003D	主蒸気隔離 弁	α (S s)	13.9	5.7	15.0	15.0	ヨーク付根 アンダー カット部	曲げ	885	887
E51-F007	ゲート弁	β (S s)	2.6	7.4	20.0	20.0	ボンネット	曲げ	115	280

注記*：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス1管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S					許容応力状態 IV _A S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	MS-001	16	202	281	1.39	○	16	281	375	1.33	○	19	684	375	0.54	○	19	0.6140	—
2	MS-002	17	193	281	1.45	—	17	253	375	1.48	—	19	601	375	0.62	—	19	0.3572	—
3	MS-003	19	192	281	1.46	—	19	256	375	1.46	—	19	630	375	0.59	—	19	0.3706	—
4	MS-004	17	194	281	1.44	—	17	264	375	1.42	—	17	626	375	0.59	—	119	0.6477	○

注記* : III_ASの一次+二次応力の許容値はIV_ASと同様であることから、地震荷重が大きいIV_ASの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S					許容応力状態 IV _A S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	MS-001	307	168	197	1.17	○	307	255	363	1.42	○	307	376	394	1.04	—	—	—	—
2	MS-002	43	75	198	2.64	—	43	87	377	4.33	—	101	155	394	2.54	—	—	—	—
3	MS-003	215	110	197	1.79	—	215	152	363	2.38	—	215	268	394	1.47	—	—	—	—
4	MS-004	131	139	182	1.30	—	131	208	363	1.74	—	131	458	364	0.79	○	131	0.8019	○
5	MS-05	3	45	150	3.33	—	3	61	371	6.08	—	3	82	300	3.65	—	—	—	—
6	MS-06	4	30	150	5.00	—	4	39	371	9.51	—	4	46	300	6.52	—	—	—	—
7	MS-07	4	29	150	5.17	—	4	37	371	10.02	—	4	42	300	7.14	—	—	—	—
8	MS-08	5	27	150	5.55	—	5	35	371	10.60	—	5	40	300	7.50	—	—	—	—
9	MS-09	4	42	150	3.57	—	4	58	371	6.39	—	4	82	300	3.65	—	—	—	—
10	MS-10	4	24	150	6.25	—	4	31	371	11.96	—	4	34	300	8.82	—	—	—	—
11	MS-11	4	29	150	5.17	—	4	38	371	9.76	—	4	44	300	6.81	—	—	—	—

注記* : III_ASの一次+二次応力の許容値はIV_ASと同様であることから、地震荷重が大きいIV_ASの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S					許容応力状態 IV _A S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
12	MS-12	3	26	150	5.76	—	3	34	371	10.91	—	3	38	300	7.89	—	—	—	—
13	MS-13	6	27	150	5.55	—	6	35	371	10.60	—	6	40	300	7.50	—	—	—	—
14	MS-14	3	18	150	8.33	—	3	22	371	16.86	—	3	22	300	13.63	—	—	—	—
15	MS-15	3	29	150	5.17	—	3	37	371	10.02	—	3	44	300	6.81	—	—	—	—
16	MS-16	4	40	150	3.75	—	4	55	371	6.74	—	4	78	300	3.84	—	—	—	—
17	MS-17	4	19	150	7.89	—	4	24	371	15.45	—	4	24	300	12.50	—	—	—	—
18	MS-18	4	25	150	6.00	—	4	33	371	11.24	—	4	42	300	7.14	—	—	—	—
19	MS-19	3	17	150	8.82	—	3	21	371	17.66	—	3	20	300	15.00	—	—	—	—
20	MS-20	3	43	150	3.48	—	3	57	371	6.50	—	3	72	300	4.16	—	—	—	—
21	MS-21	4	32	150	4.68	—	4	44	371	8.43	—	4	62	300	4.83	—	—	—	—

注記* : III_AS の一次+二次応力の許容値はIV_AS と同様であることから、地震荷重が大きいIV_AS の一次+二次応力裕度最小を代表とする。

重大事故等対処設備

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	18
3. 計算条件	38
3.1 計算方法	38
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	39
3.3 設計条件	40
3.4 材料及び許容応力評価条件	59
3.5 設計用地震力	60
4. 解析結果及び評価	62
4.1 固有周期及び設計震度	62
4.2 評価結果	74
4.2.1 管の応力評価結果	74
4.2.2 支持構造物評価結果	76
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	78
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	79

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、主蒸気系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全 21 モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.4 に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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

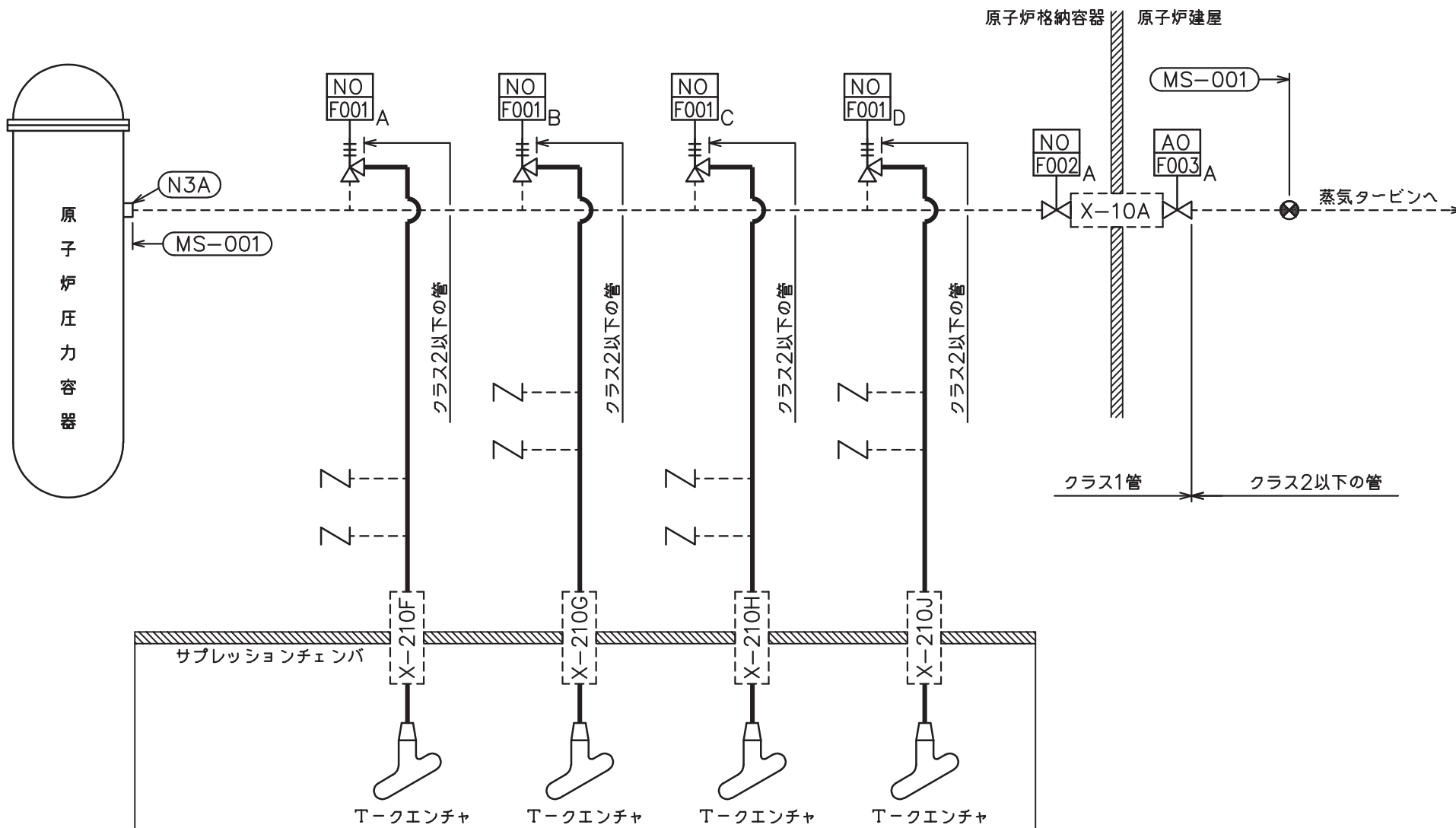
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

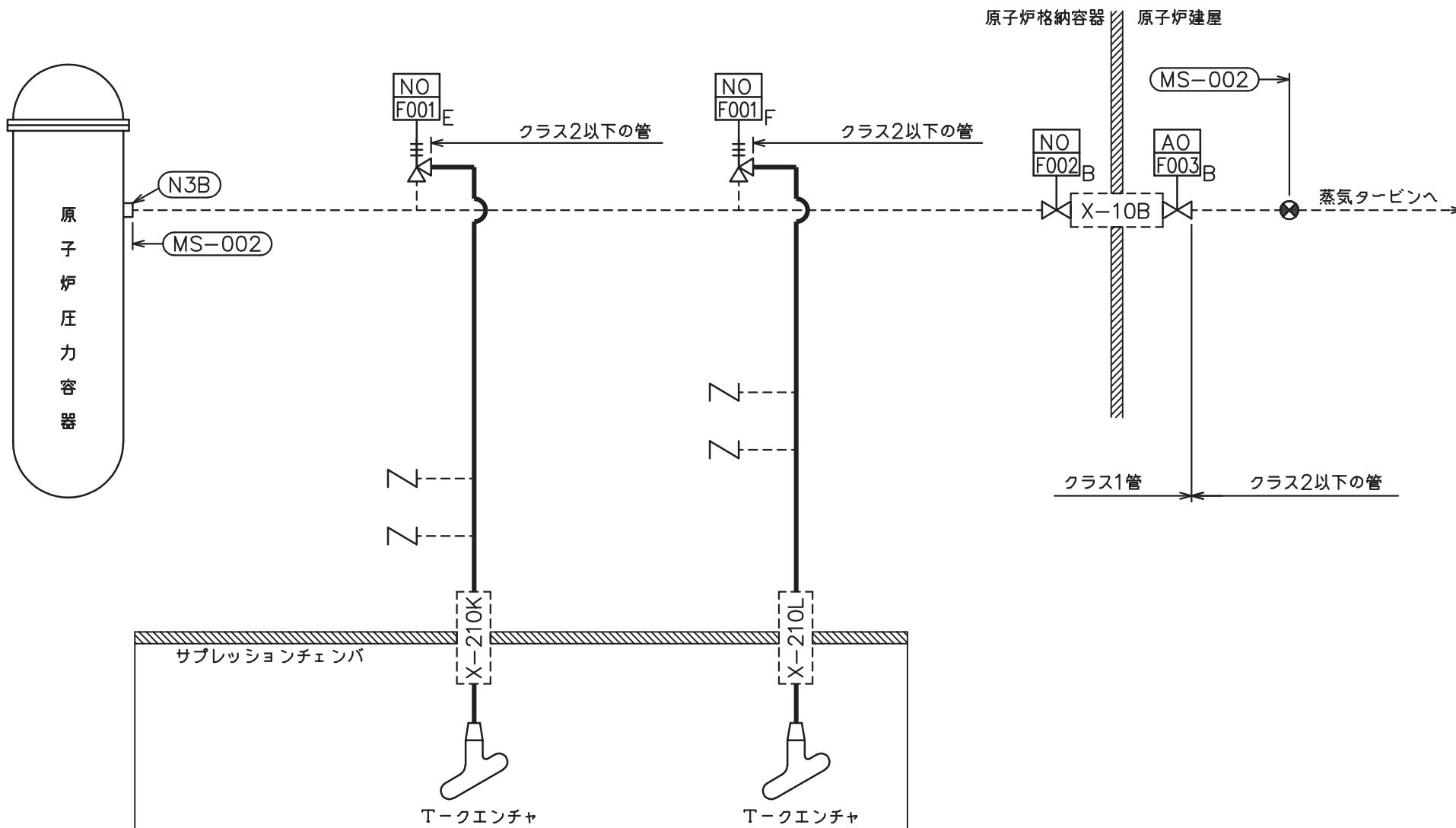
2.1 概略系統図

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
 (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
	アンカ

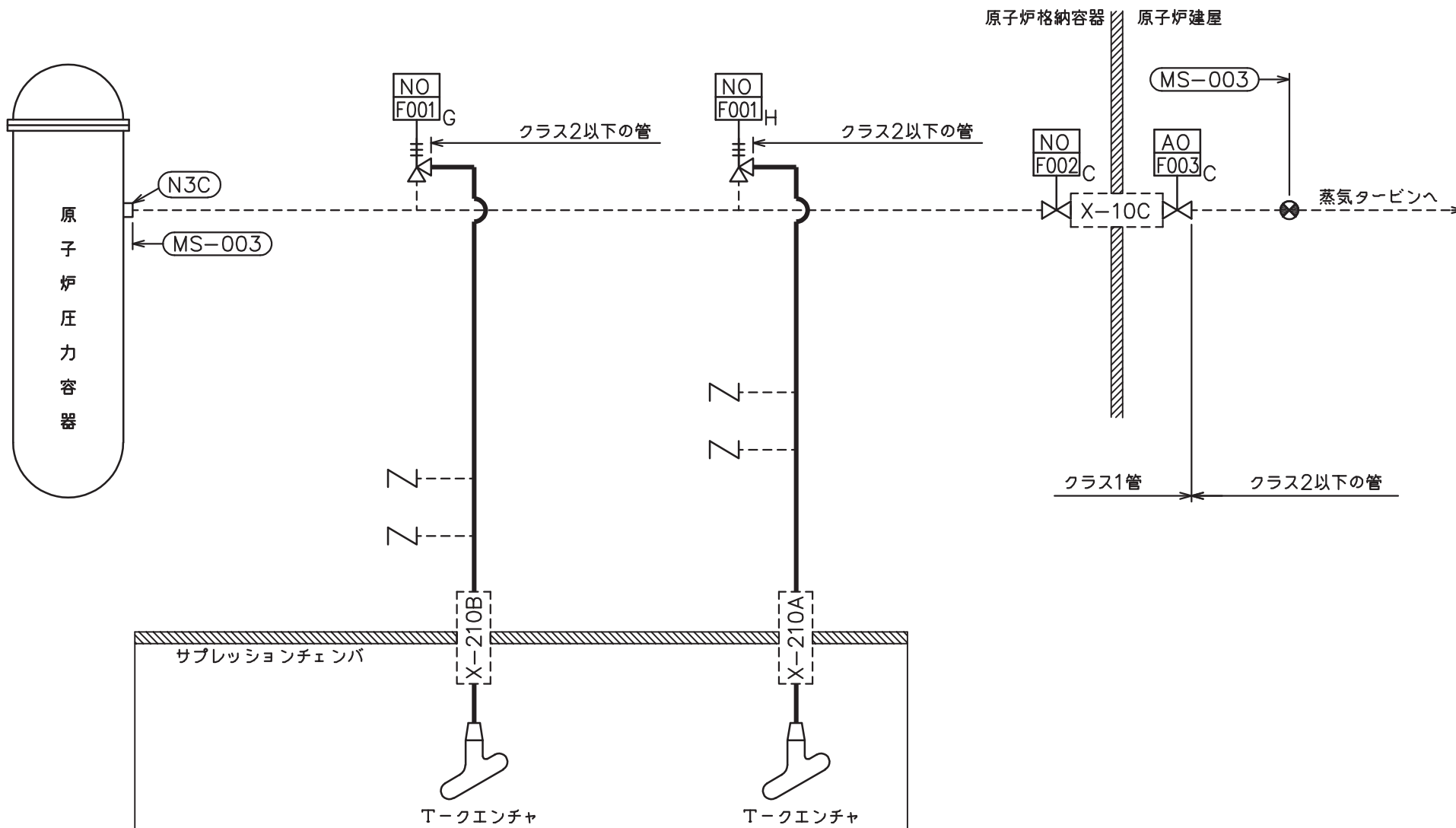


主蒸気系概略系統図 (その1)

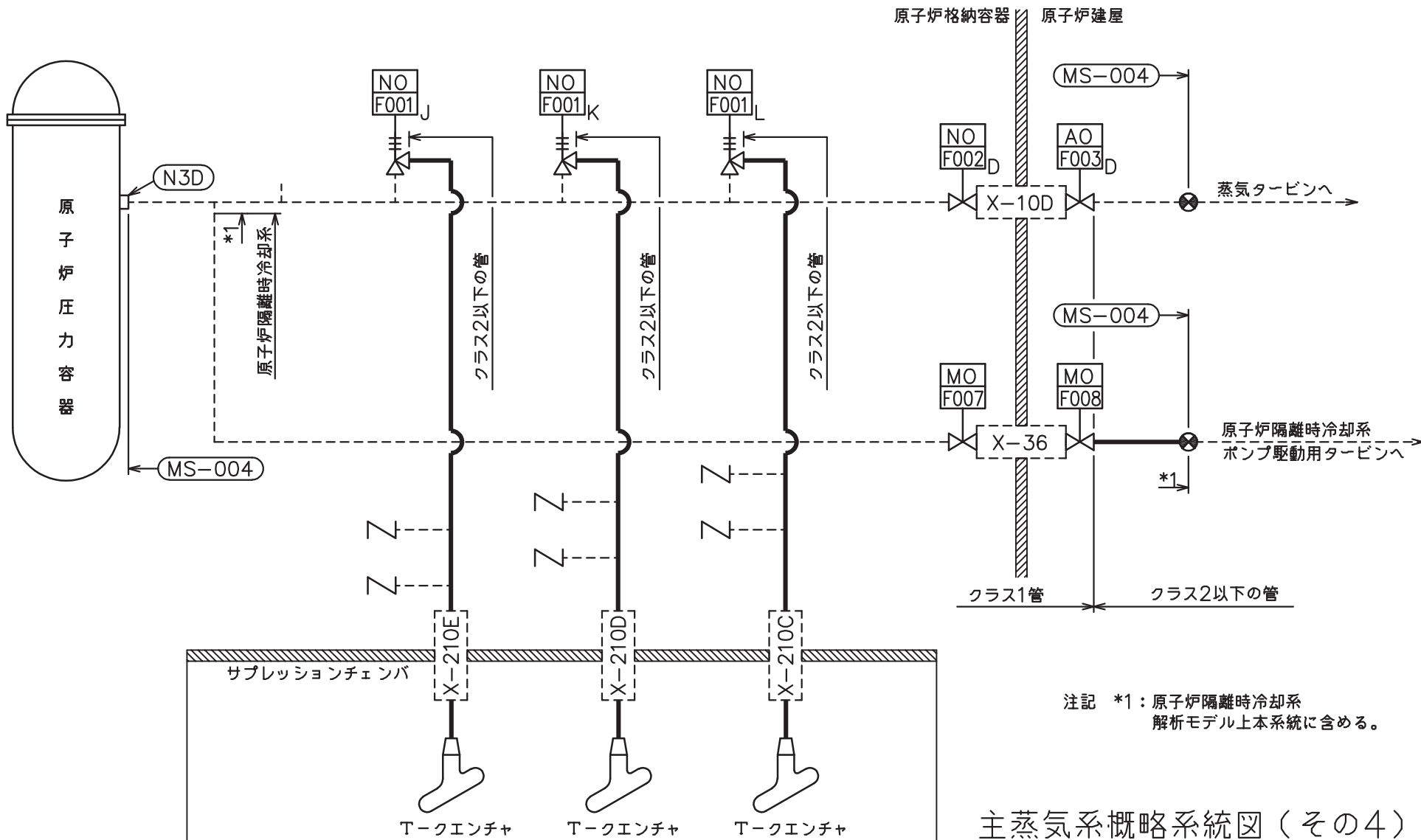


主蒸気系概略系統図 (その2)

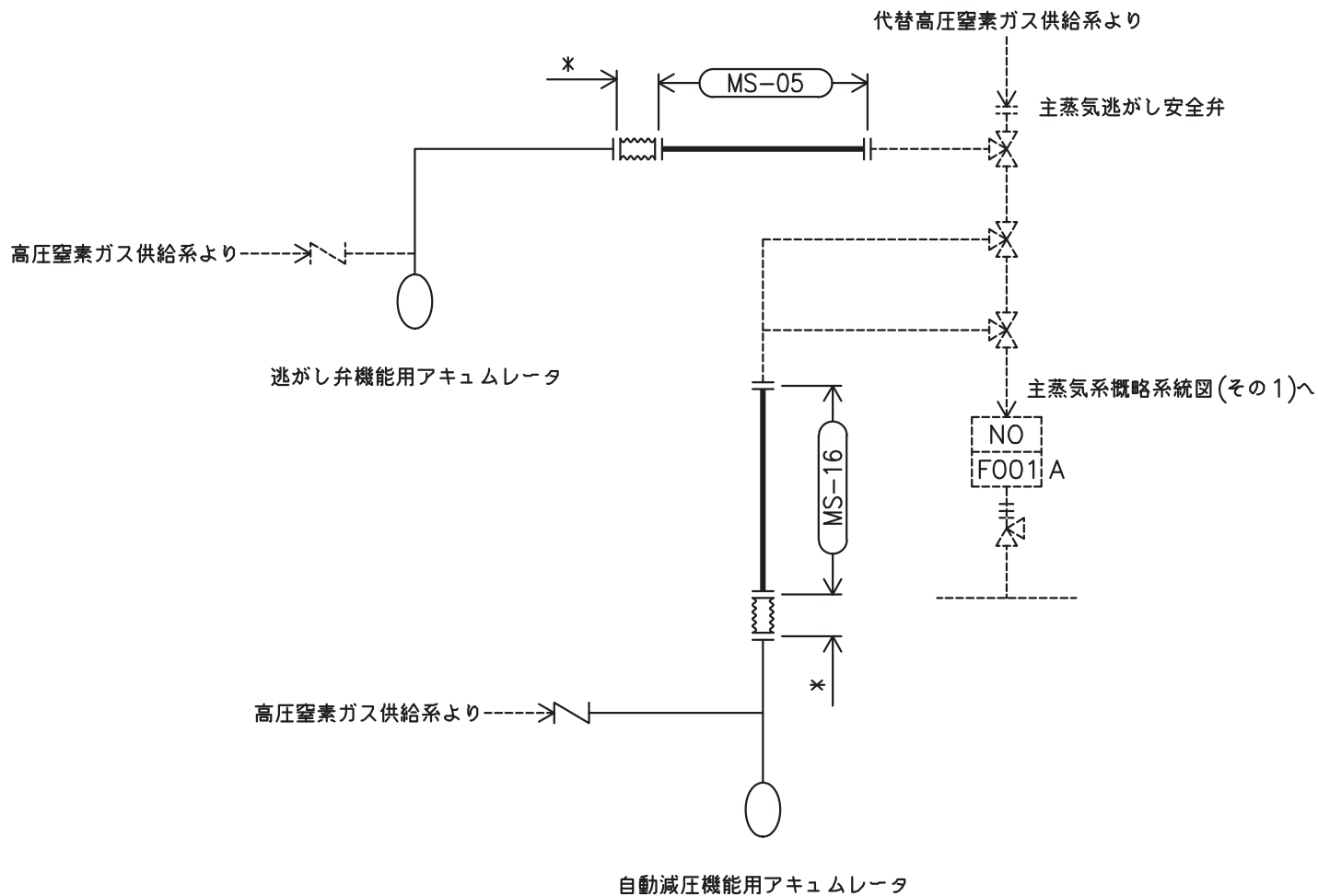
5



主蒸気系概略系統図 (その3)



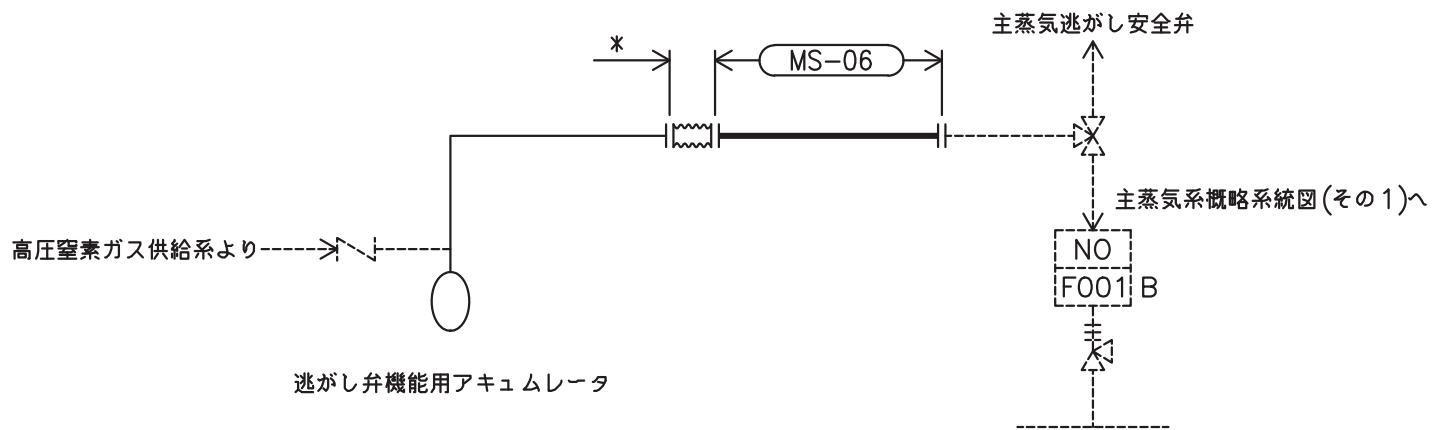
主蒸気系概略系統図(その4)



注記*：高圧窒素ガス供給系
解析モデル上本系統に含める

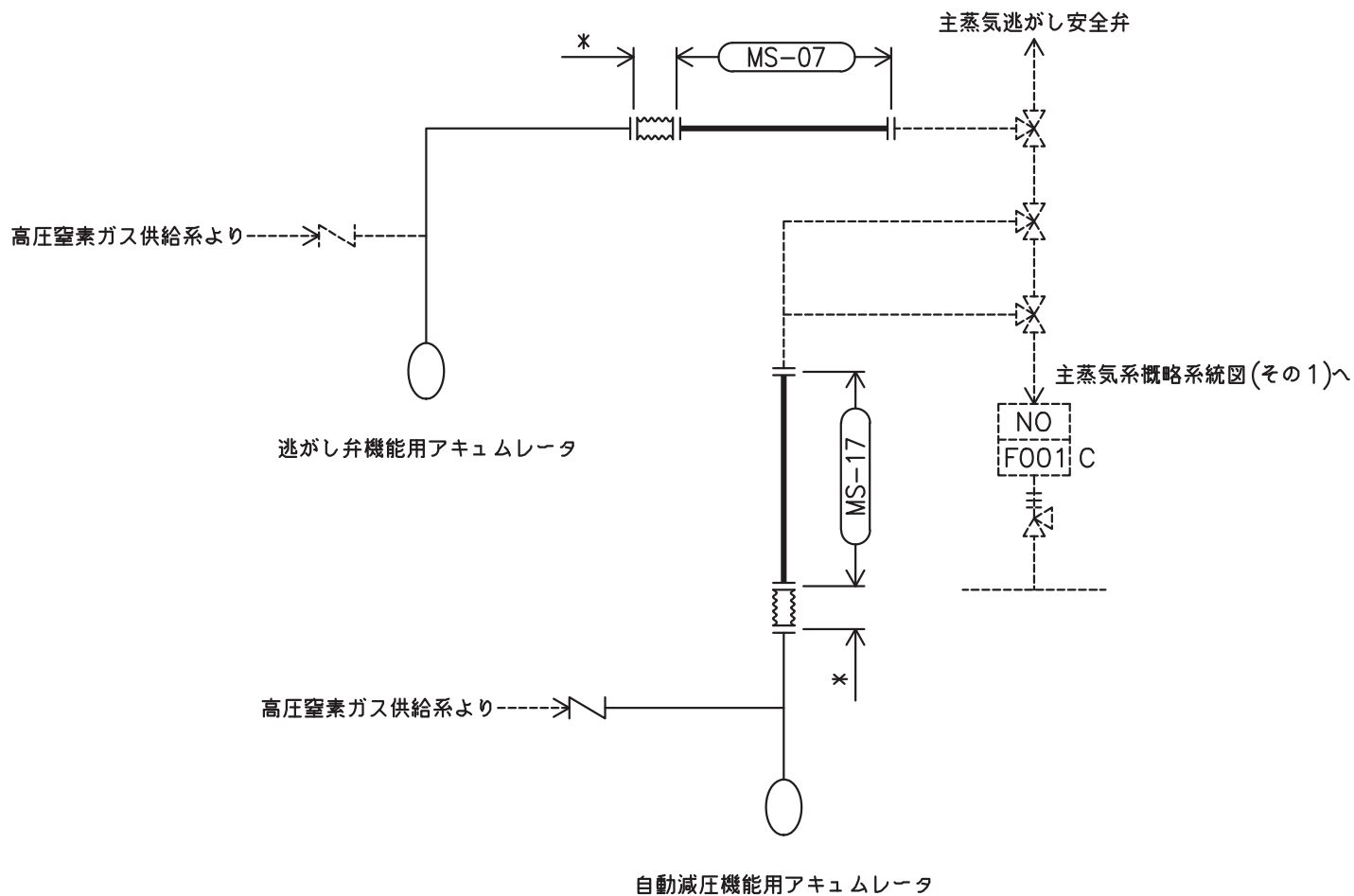
主蒸気系概略系統図(その5)

∞



注記*：高圧窒素ガス供給系
解析モデル上本系統に含める

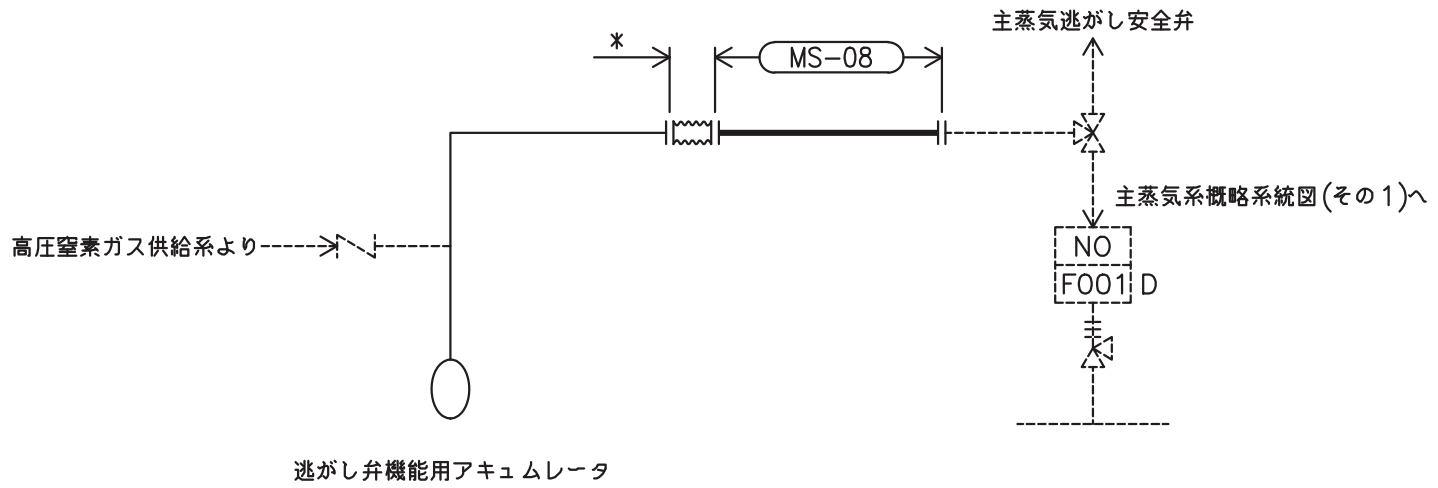
主蒸気系概略系統図(その6)



6

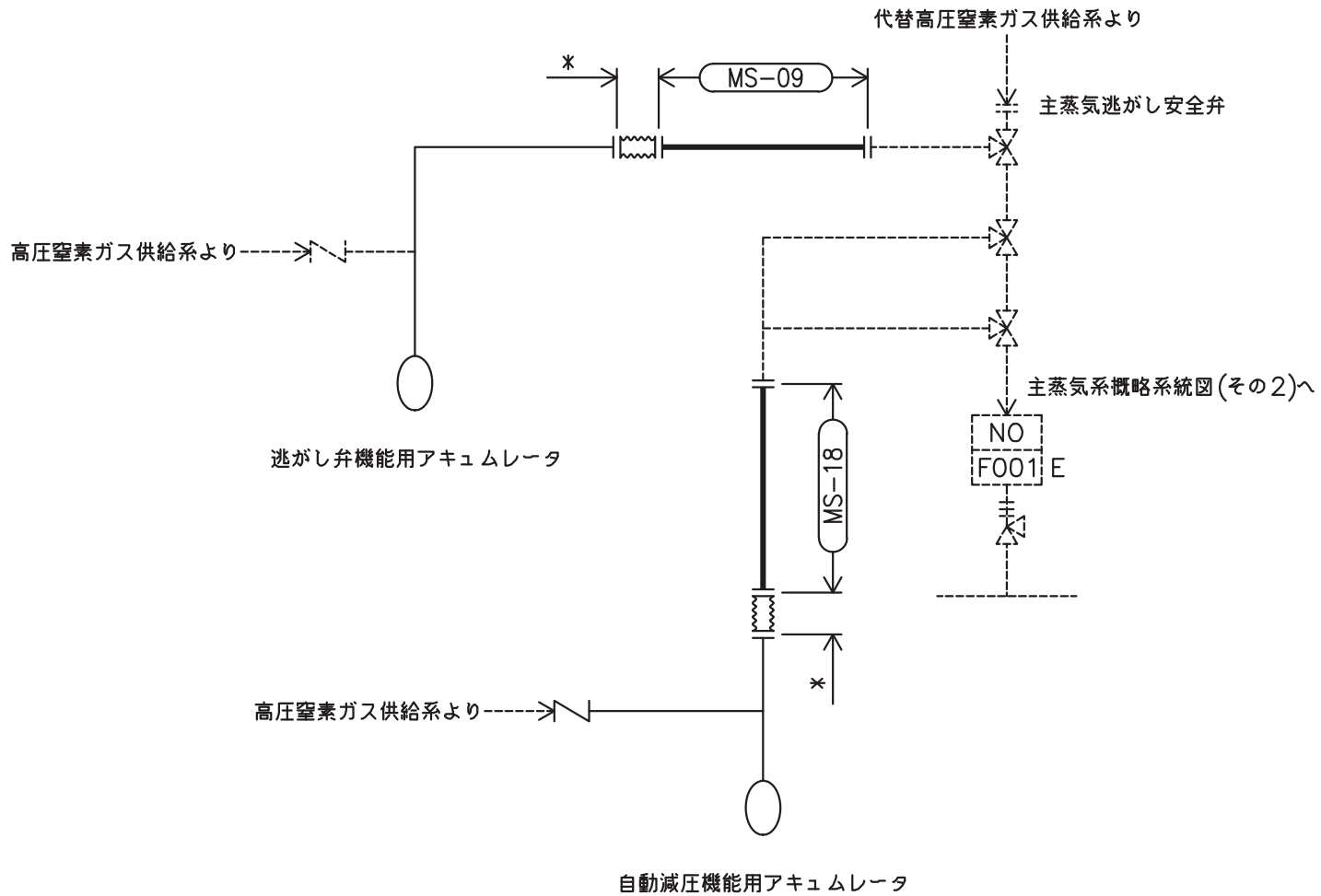
注記*：高圧窒素ガス供給系
解析モデル上本系統に含める

主蒸気系概略系統図(その7)



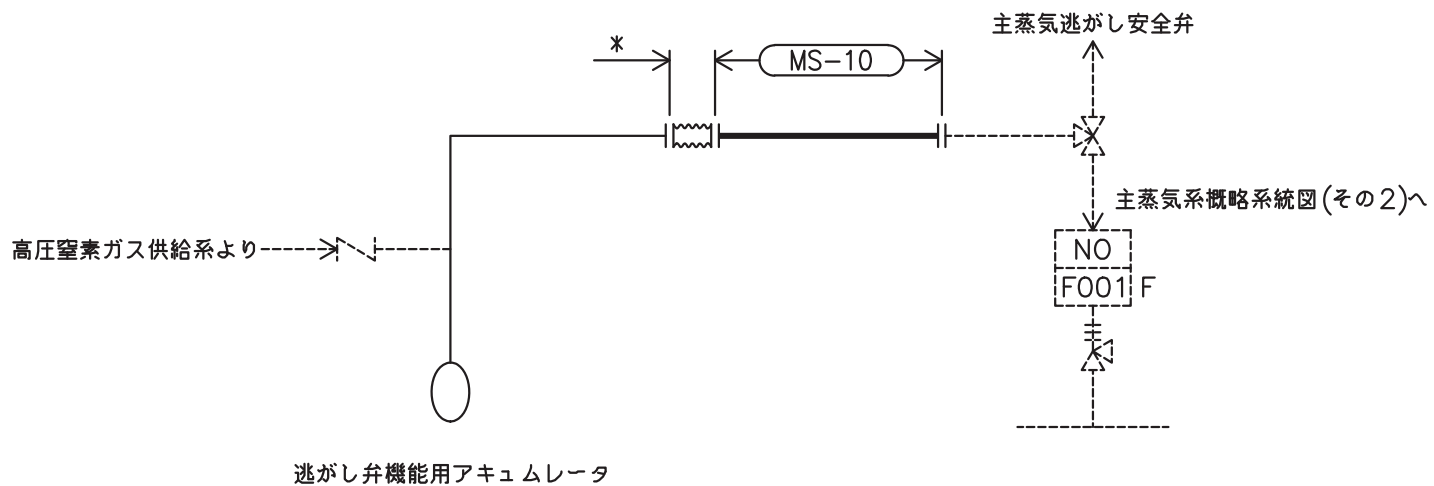
注記*：高圧窒素ガス供給系
解析モデル上本系統に含める

主蒸気系概略系統図(その8)



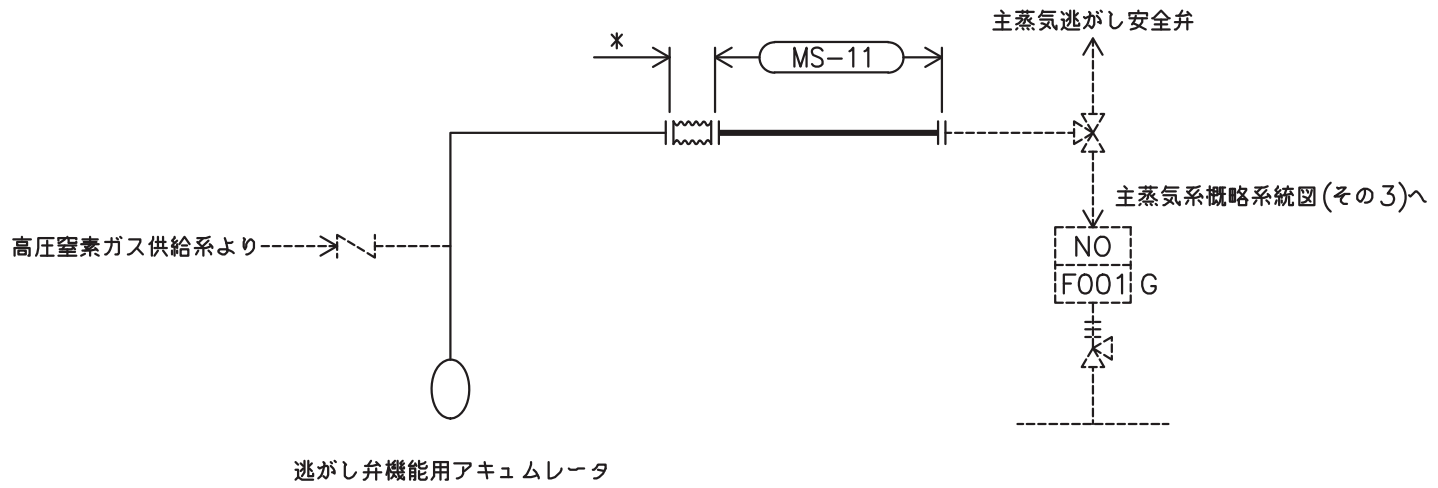
注記*：高圧窒素ガス供給系
解析モデル上本系統に含める

主蒸気系概略系統図(その9)



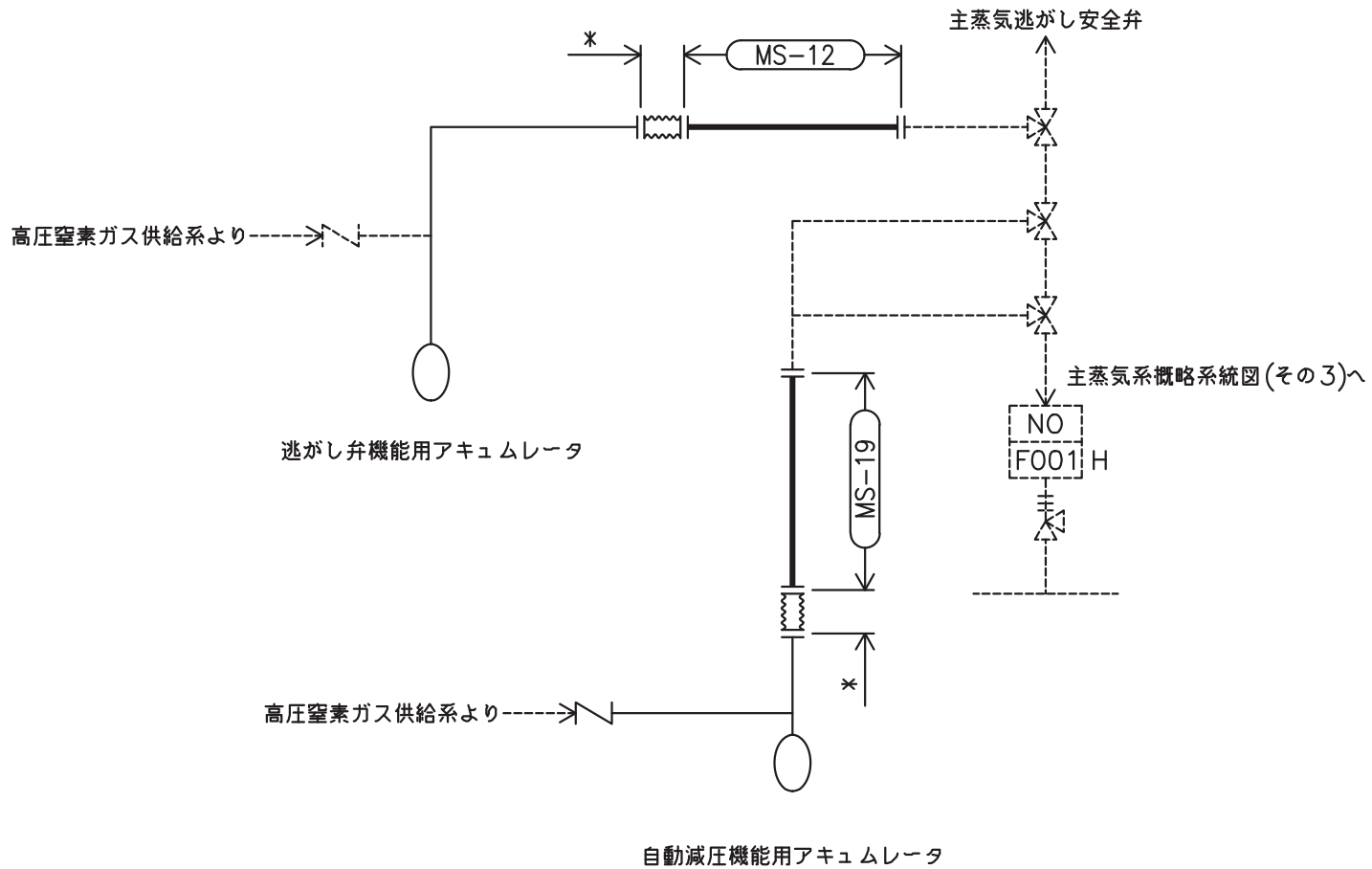
注記*：高圧窒素ガス供給系
解析モデル上本系統に含める

主蒸気系概略系統図(その10)



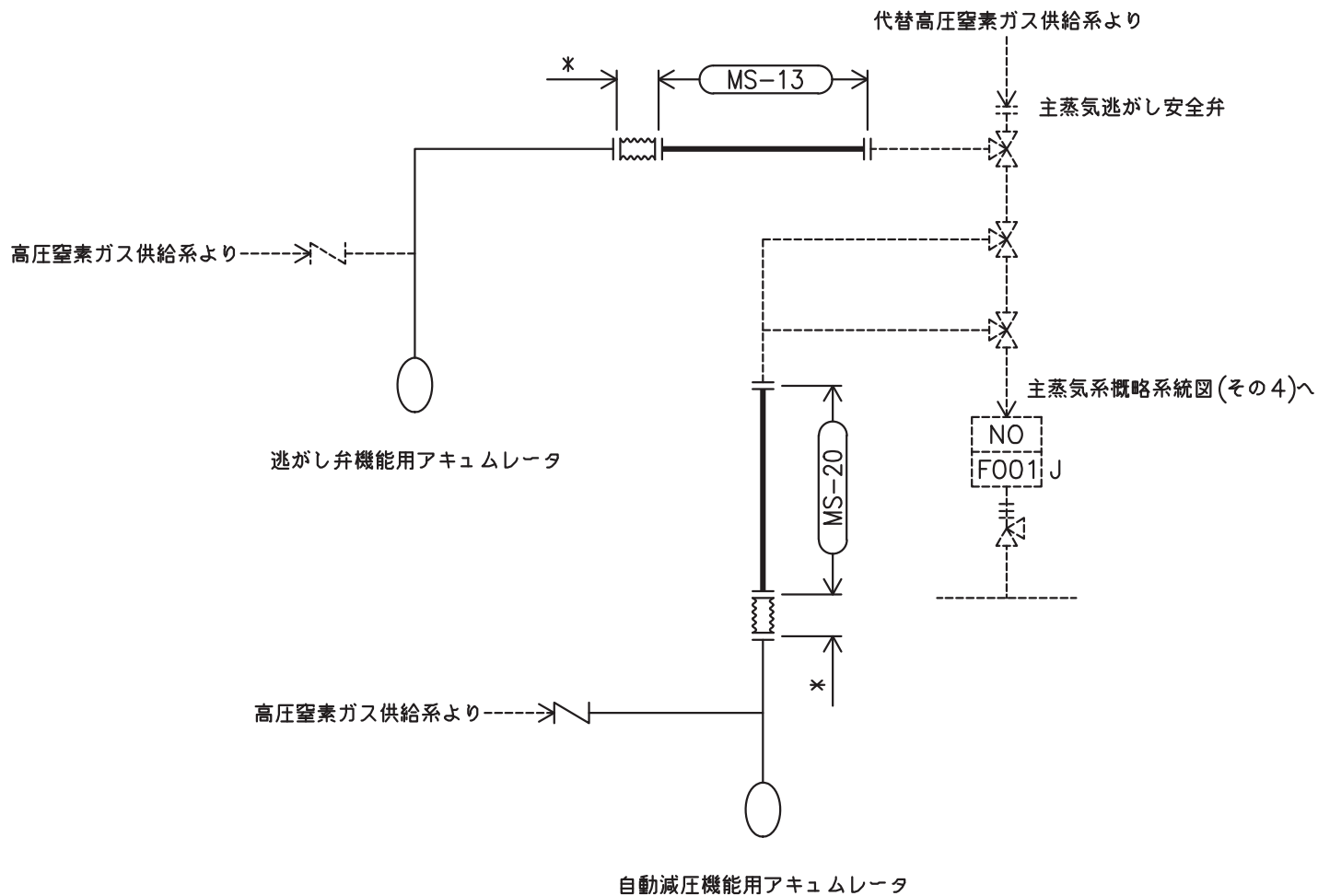
注記*：高圧窒素ガス供給系
解析モデル上本系統に含める

主蒸気系概略系統図(その11)



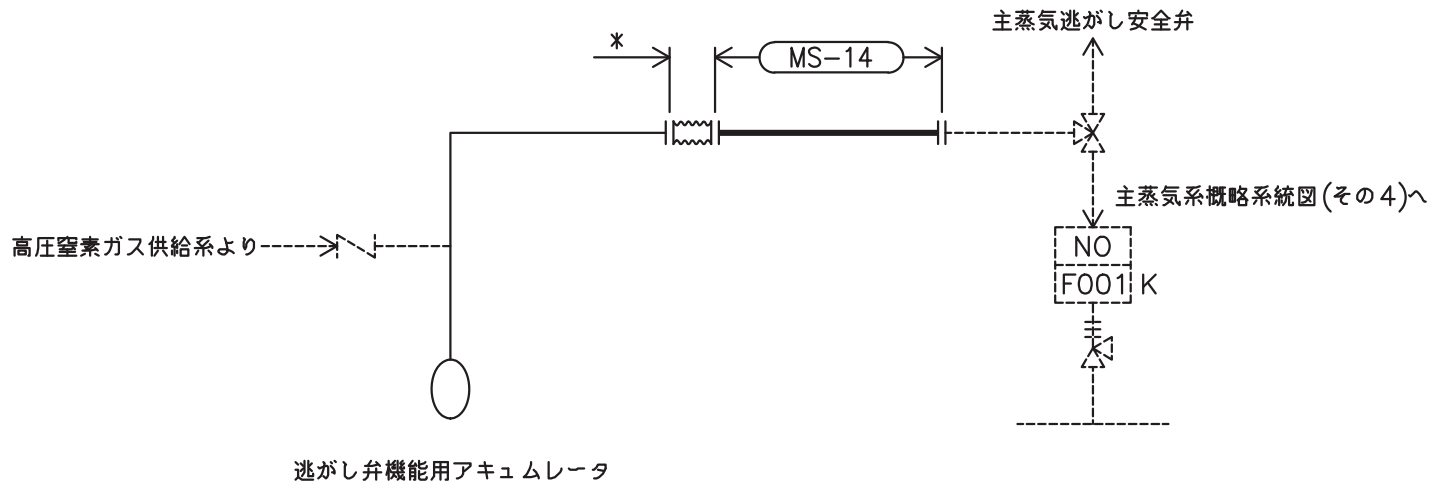
注記*：高圧窒素ガス供給系
解析モデル上本系統に含める

主蒸気系概略系統図(その12)



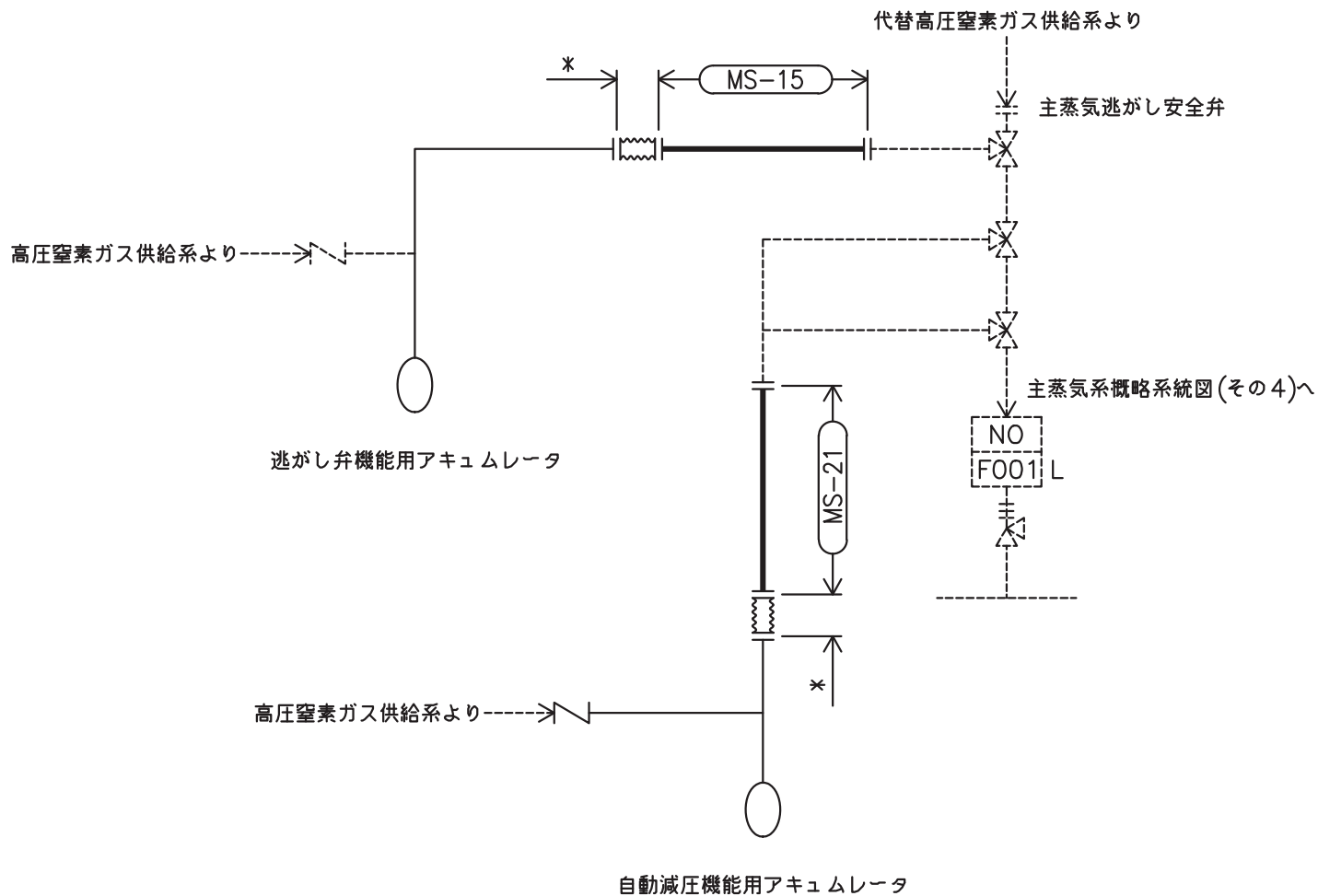
注記*：高圧窒素ガス供給系
解析モデル上本系統に含める

主蒸気系概略系統図(その13)



注記*：高圧窒素ガス供給系
解析モデル上本系統に含める

主蒸気系概略系統図(その14)


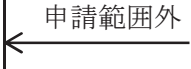
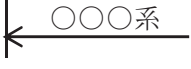



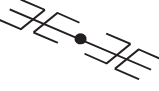

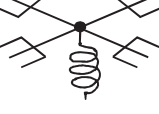
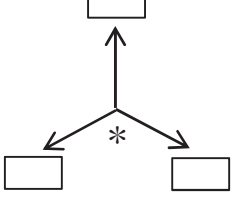


注記*：高圧窒素ガス供給系
解析モデル上本系統に含める

主蒸気系概略系統図(その15)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>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として本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印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。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>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。)</p>

鳥瞰図 MS-001-1/10

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

20

鳥瞰図	MS-001-2/10
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-001-3/10
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-001-4/10
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-001-5/10
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-001-6/10
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

25

鳥瞰図	MS-001-7/10
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-001-8/10
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-001-9/10
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-001-10/10
-----	--------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-004-1/9
-----	------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

30

鳥瞰図	MS-004-2/9
-----	------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-004-3/9
-----	------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-004-4/9
-----	------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-004-5/9
-----	------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-004-6/9
-----	------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-004-7/9
-----	------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-004-8/9
-----	------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-004-9/9
-----	------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」,
「SAP-V」,「SOLVER」及び「NX NASTRAN」を使用し,解析コードの検証及び妥当性確認等の概
要については,添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

3.2 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	耐震重要度 分類	荷重の組合せ*3, *4	許容応力 状態*5
原子炉冷却 系統施設	原子炉冷却材の循環設 備	主蒸気系	SA	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$
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	高压代替注水系	SA	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$
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	原子炉隔離時 冷却系	SA	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$

注記*1：DB は設計基準対象施設，SA 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／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) を示す。

*3：運転状態の添字 L は荷重を示す。

*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。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 MS-001

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	4.71	262	267.4	15.1	STS410	—	187520
2	4.71	262	267.4	15.1	STS410	—	187520
3	4.71	262	267.4	15.1	SCS16A	—	177520
4	4.71	262	323.9	17.5	SCS16A	—	177520

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 MS-001

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	101	102	103	104	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116
	117	195	198	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212
	213	214	215	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312
	313	314	315	316	317	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410
	411	412	414	415	416	417	418	419	491	806	807	808	914	920	
2	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131
	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146
	147	148	150	151	152	153	154	155	156	157	190	191	192	193	194
	196	197	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227
	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242
	243	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258
	259	260	290	291	292	293	294	295	296	317	318	319	320	321	322
	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337
	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	351	352	353
	354	355	356	357	358	390	391	392	393	394	395	396	419	420	421
	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436
	437	438	439	440	441	442	443	444	446	447	448	449	450	451	452
	453	490	492	493	811	911	918	919							
	3	157	158	260	261	358	359	453	454						
4	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172
	173	174	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273
	274	275	276	277	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369
	370	371	372	373	374	375	454	455	456	457	458	459	460	461	462
	463	464	465	466	467	468	469	470							

O2 ⑥ VI-2-5-3-1-2(重) R0

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 MS-001

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
101		169		253		335		421	
102		170		254		336		422	
103		171		255		337		423	
104		172		256		338		424	
106		173		257		339		425	
107		174		258		340		426	
108		190		259		341		427	
109		191		260		342		428	
110		192		261		343		429	
111		193		262		344		430	
112		194		263		345		431	
113		195		264		346		432	
114		196		265		347		433	
115		197		266		348		434	
116		198		267		349		435	
117		201		268		351		436	
118		202		269		352		437	
119		203		270		353		438	
120		204		271		354		439	
121		205		272		355		440	
122		206		273		356		441	
123		207		274		357		442	
124		208		275		358		443	
125		209		276		359		444	
126		210		277		360		446	
127		211		290		361		447	
128		212		291		362		448	
129		213		292		363		449	
130		214		293		364		450	
131		215		294		365		451	
132		216		295		366		452	
133		217		296		367		453	
134		218		301		368		454	
135		219		302		369		455	
136		220		303		370		456	
137		221		304		371		457	
138		222		305		372		458	
139		223		306		373		459	
140		224		307		374		460	
141		225		308		375		461	
142		226		309		390		462	
143		227		310		391		463	
144		228		311		392		464	
145		229		312		393		465	
146		230		313		394		466	
147		231		314		395		467	
148		232		315		396		468	
150		233		316		401		469	
151		234		317		402		470	
152		235		318		403		490	

02 ⑥ VI-2-5-3-1-2(重) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 MS-001

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
153		236		319		404		491	
154		237		320		405		492	
155		238		321		406		493	
156		239		322		407		806	
157		240		323		408		807	
158		241		324		409		808	
159		242		325		410		811	
160		243		326		411		911	
161		245		327		412		914	
162		246		328		414		918	
163		247		329		415		919	
164		248		330		416		920	
165		249		331		417			
166		250		332		418			
167		251		333		419			
168		252		334		420			

O2 ⑥ VI-2-5-3-1-2(重) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-001

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
** 102 **						
** 104 **						
** 106 **						
109						
112						
117						
** 117 **						
** 122 **						
** 128 **						
132						
135						
** 137 **						
149						
** 149 **						
** 152 **						
** 160 **						
162						
** 162 **						
164						
** 164 **						



O 2 ⑥ VI-2-5-3-1-2(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-001

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
166						
** 166 **						
169						
** 169 **						
171						
** 171 **						
173						
** 173 **						
** 195 **						
** 196 **						
204						
207						
** 209 **						
212						
215						
** 215 **						
** 222 **						
225						
230						
** 232 **						
** 244 **						



O 2 ⑥ VI-2-5-3-1-2(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-001

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
253						
** 255 **						
** 263 **						
265						
** 265 **						
267						
** 267 **						
269						
** 269 **						
272						
** 272 **						
274						
** 274 **						
276						
** 276 **						
** 295 **						
** 296 **						
302						
** 304 **						
307						
** 309 **						
313						



O 2 ⑥ VI-2-5-3-1-2(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-001

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
317						
** 317 **						
** 326 **						
329						
334						
336						
350						
** 350 **						
** 353 **						
** 361 **						
363						
** 363 **						
365						
** 365 **						
367						
** 367 **						
370						
** 370 **						
372						
** 372 **						
374						
** 374 **						



O 2 ⑥ VI-2-5-3-1-2(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-001

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
** 395 **						
** 396 **						
** 402 **						
** 404 **						
407						
409						
414						
** 417 **						
** 419 **						
** 421 **						
423						
** 426 **						
** 432 **						
** 434 **						
445						
** 445 **						
** 448 **						
** 456 **						
458						
** 458 **						



O 2 ⑥ VI-2-5-3-1-2(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-001

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
460						
** 460 **						
462						
** 462 **						
465						
** 465 **						
467						
** 467 **						
469						
** 469 **						
** 911 **						
** 914 **						
919						
** 920 **						

--

O 2 ⑥ VI-2-5-3-1-2(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 MS-004

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	10.34	315	114.3	11.1	STS410	—	183200
2	4.71	262	267.4	15.1	STS410	—	187520
3	4.71	262	267.4	15.1	STS410	—	187520
4	4.71	262	267.4	15.1	SCS16A	—	177520
5	4.71	262	323.9	17.5	SCS16A	—	177520

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 MS-004

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	131	132													
2	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215
	216	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314
	315	316	317	318	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411
	412	413	414	415	416	417	418	820	830	835	850	913	915	920	930
	935	940	949	951	952										
3	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230
	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245
	246	248	249	250	251	252	253	254	255	279	318	319	320	321	322
	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337
	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	353
	354	355	356	357	358	359	360	384	418	419	420	421	422	423	424
	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439
	440	441	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455
	456	480	800	907	921	922	923	924	931	932	933	934	941	942	943
	944														
4	255	256	360	361	456	457									
5	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270
	271	272	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373
	374	375	376	377	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467
	468	469	470	471	472	473									

O2 ⑥ VI-2-5-3-1-2(重) R0

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 MS-004

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
131		251		329		403		455	
132		252		330		404		456	
201		253		331		405		457	
202		254		332		406		458	
203		255		333		407		459	
204		256		334		408		460	
205		257		335		409		461	
206		258		336		410		462	
207		259		337		411		463	
208		260		338		412		464	
209		261		339		413		465	
210		262		340		414		466	
211		263		341		415		467	
212		264		342		416		468	
213		265		343		417		469	
214		266		344		418		470	
215		267		345		419		471	
216		268		346		420		472	
217		269		347		421		473	
218		270		348		422		480	
219		271		349		423		800	
220		272		350		424		820	
221		279		351		425		830	
222		301		353		426		835	
223		302		354		427		850	
224		303		355		428		907	
225		304		356		429		913	
226		305		357		430		915	
227		306		358		431		920	
228		307		359		432		921	
229		308		360		433		922	
230		309		361		434		923	
231		310		362		435		924	
232		311		363		436		930	
233		312		364		437		931	
234		313		365		438		932	
235		314		366		439		933	
236		315		367		440		934	
237		316		368		441		935	
238		317		369		443		940	
239		318		370		444		941	
240		319		371		445		942	
241		320		372		446		943	
242		321		373		447		944	
243		322		374		448		949	
244		323		375		449		951	
245		324		376		450		952	
246		325		377		451			
248		326		384		452			
249		327		401		453			

O 2 ⑥ VI-2-5-3-1-2(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 MS-004

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
250		328		402		454	

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-004

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
132						
204						
206						
209						
** 211 **						
216						
** 216 **						
222						
** 222 **						
** 227 **						
231						
** 235 **						
** 237 **						
247						
** 247 **						
** 250 **						
** 258 **						
260						
** 260 **						
262						
** 262 **						



O 2 ⑥ VI-2-5-3-1-2(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-004

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
264						
** 264 **						
267						
** 267 **						
269						
** 269 **						
271						
** 271 **						
304						
306						
309						
** 311 **						
318						
** 318 **						
** 320 **						
** 327 **						
331						
336						
** 338 **						
352						
** 352 **						



O2 ⑥ VI-2-5-3-1-2(重) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-004

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
** 355 **						
** 363 **						
365						
** 365 **						
367						
** 367 **						
369						
** 369 **						
372						
** 372 **						
374						
** 374 **						
376						
** 376 **						
** 402 **						
** 404 **						
407						
** 409 **						
412						
** 418 **						
** 423 **						



O 2 ⑥ VI-2-5-3-1-2(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-004

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
426						
430						
** 432 **						
** 442 **						
449						
** 451 **						
459						
461						
463						
465						
468						
470						
472						
** 907 **						
913						
** 915 **						
** 920 **						
** 930 **						
** 935 **						
949						
** 951 **						



O 2 ⑥ VI-2-5-3-1-2 (重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-004

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
** 952 **						

--

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
SCS16A	262	—	117	357	—
STS410	262	—	193	404	—
	315	—	180	404	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
MS - 001	原子炉しゃへい壁		

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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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用いる。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

本計算書の疲労評価は、設備ごとに個別に設定した等価繰返し回数198回(S_s)で実施する。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
MS-004	原子炉しゃへい壁		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 MS-001

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
28 次								
29 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 MS-001

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

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

65

鳥瞰図	MS-001
-----	--------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	MS-001
-----	--------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 MS-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 MS-004

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
26 次							
27 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。
 *3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 MS-004

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

注記* : 刺激係数は, モード質量を正規化し, 固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 MS-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 MS-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 MS-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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管であってクラス2以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{pr m}(S_s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S_s)$	$2 \cdot S_y$	$U S_s$
MS-001	$V_A S$	307	$S_{pr m}(S_s)$	256	363	—	—	—
	$V_A S$	307	$S_n(S_s)$	—	—	373	386	—

管の応力評価結果

下表に示すとおり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管であってクラス2以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{pr m}(S_s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S_s)$	$2 \cdot S_y$	$U S_s$
MS-004	$V_A S$	237	$S_{pr m}(S_s)$	256	363	—	—	—
	$V_A S$	432	$S_n(S_s)$	—	—	468 *	386	0.6963

*印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
MS-002-214H	スプリングハンガ	VS120-16	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		24	28
MS-001-109S	メカニカルスナップ	SMS-10-100			177*	150
MS-001-432B	ロッドレストレイント	RST-3			80	108
MS-004-449B	ロッドレストレイント	RST-4			111	166

注記*：当該メカニカルスナップの計算荷重が許容荷重を超えるため、詳細評価を実施する。

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 (°C)	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			
MS-004-132A	アンカラグ	ラグ	SGV410	315	86	47	55	13	3	15	せん断	58	94
MS-001-137R	レストレイント	架構	STKR400	200	124	0	73	—	—	—	組合せ	124	202
MS-004-237R	レストレイント	架構	STKR400	200	96	0	112	—	—	—	組合せ	166	202

メカニカルスナップの詳細評価結果

支持構造物 番号	型式	評価結果					
		強度評価				機能確認	
		評価部位*	応力分類	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)
MS-001-109S	SMS-10-100	ベアリング押え	曲げ	332	404	177	219

注記*：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 VAS												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
1	MS-001	307	256	363	1.41	○	307	373	386	1.03	—	—	—	—
2	MS-002	151	156	363	2.32	—	151	319	386	1.21	—	—	—	—
3	MS-003	220	168	363	2.16	—	135	300	386	1.28	—	—	—	—
4	MS-004	237	256	363	1.41	○	432	468	386	0.82	○	131	0.8529	○
5	MS-05	3	61	371	6.08	—	3	82	300	3.65	—	—	—	—
6	MS-06	4	39	371	9.51	—	4	46	300	6.52	—	—	—	—
7	MS-07	4	37	371	10.02	—	4	42	300	7.14	—	—	—	—
8	MS-08	5	35	371	10.60	—	5	40	300	7.50	—	—	—	—
9	MS-09	4	58	371	6.39	—	4	82	300	3.65	—	—	—	—
10	MS-10	4	31	371	11.96	—	4	34	300	8.82	—	—	—	—
11	MS-11	4	38	371	9.76	—	4	44	300	6.81	—	—	—	—
12	MS-12	3	34	371	10.91	—	3	38	300	7.89	—	—	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 VAS												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
13	MS-13	6	35	371	10.60	—	6	40	300	7.50	—	—	—	—
14	MS-14	3	22	371	16.86	—	3	22	300	13.63	—	—	—	—
15	MS-15	3	37	371	10.02	—	3	44	300	6.81	—	—	—	—
16	MS-16	4	55	371	6.74	—	4	78	300	3.84	—	—	—	—
17	MS-17	4	24	371	15.45	—	4	24	300	12.50	—	—	—	—
18	MS-18	4	33	371	11.24	—	4	42	300	7.14	—	—	—	—
19	MS-19	3	21	371	17.66	—	3	20	300	15.00	—	—	—	—
20	MS-20	3	57	371	6.50	—	3	72	300	4.16	—	—	—	—
21	MS-21	4	44	371	8.43	—	4	62	300	4.83	—	—	—	—

VI-2-5-3-2 復水給水系の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-5-3-2-1 管の耐震性についての計算書（復水給水系）

VI-2-5-3-2-1 管の耐震性についての計算書
(復水給水系)

設計基準対象施設

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	11
3.1 計算方法	11
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
3.3 設計条件	14
3.4 材料及び許容応力評価条件	27
3.5 設計用地震力	28
4. 解析結果及び評価	29
4.1 固有周期及び設計震度	29
4.2 評価結果	35
4.2.1 管の応力評価結果	35
4.2.2 支持構造物評価結果	37
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	38
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	39

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、復水給水系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全1モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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。



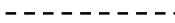
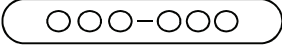

(3) 弁

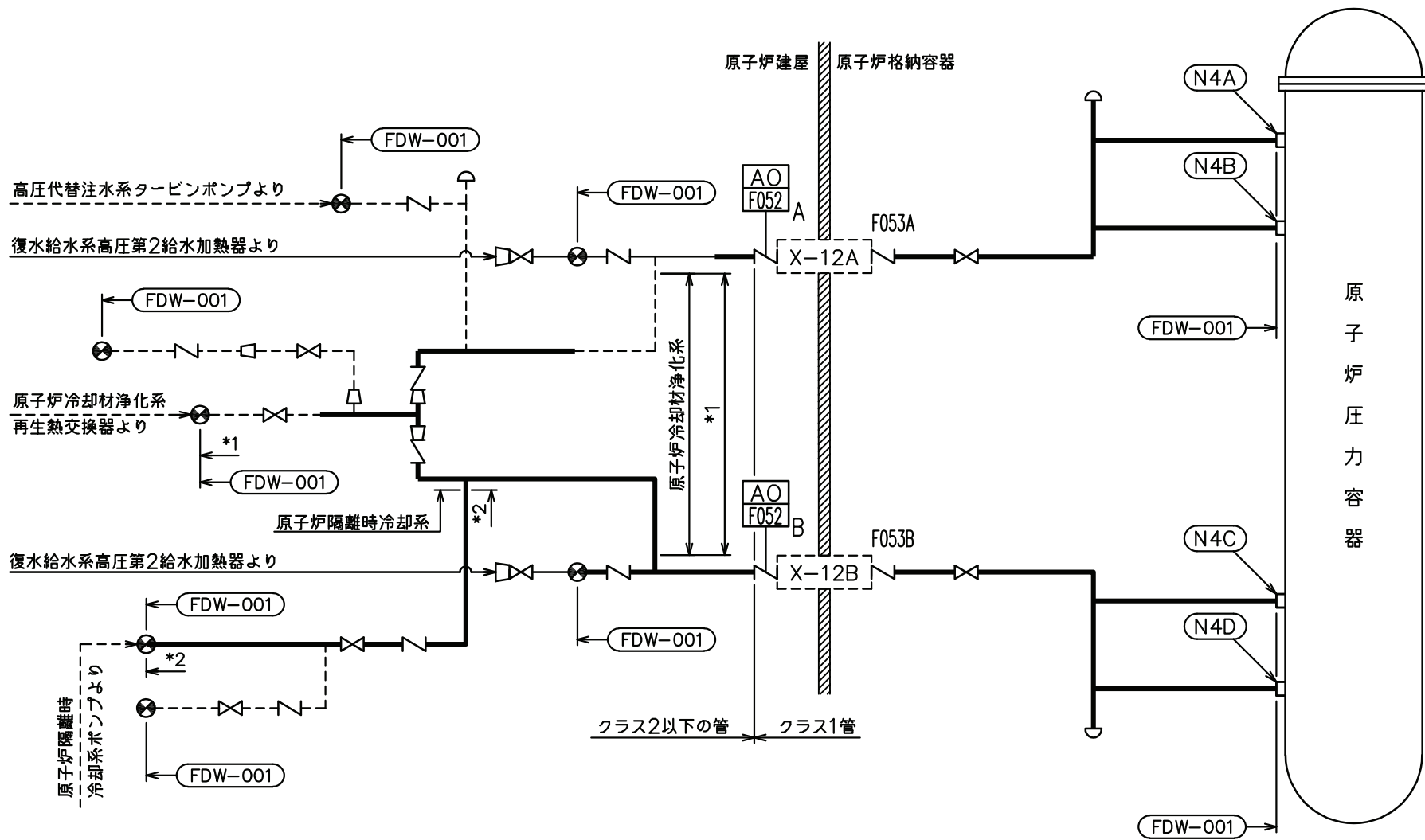
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

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
 (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
	アンカ




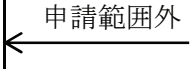
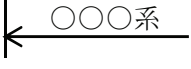


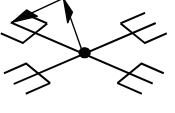
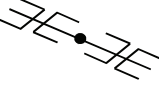

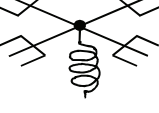
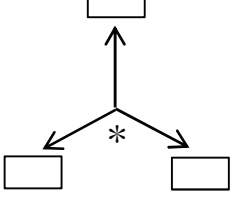
注記 *1: 原子炉冷却材浄化系
解析モデル上本系統に含める。

*2: 原子炉隔離時冷却系
解析モデル上本系統に含める。

復水給水系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>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として本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印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。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>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。)</p>

5

鳥瞰図 FDW-001-1/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

9

鳥瞰図 FDW-001-2/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7

鳥瞰図 FDW-001-3/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

∞

鳥瞰図 FDW-001-4/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 FDW-001-5/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 FDW-001-6/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, *3	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	復水給水系	DB	—	クラス1管	S	I _L + S d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L + S d	
							Ⅳ _L (L) + S d	
							I _L + S s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L + S s	
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材の循環設備	復水給水系	DB	—	クラス2管	S	I _L + S d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L + S d	
							Ⅳ _L (L) + S d	
							I _L + S s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L + S s	
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材補給設備	原子炉隔離時冷却系	DB	—	クラス2管	S	I _L + S d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L + S d	
							Ⅳ _L (L) + S d	
							I _L + S s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L + S s	

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, *3	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材浄化設備	原子炉冷却材浄化系	DB	—	クラス2管	S	I _L +S d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L +S d	
							I _L +S s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L +S s	

注記*1：DB は設計基準対象施設，SA は重大事故等対処設備を示す。

*2：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。

*3：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。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 F D W - 0 0 1 (クラス1管)

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	8.62	302	457.2	29.4	STS410	S	184760
2	8.62	302	457.2	29.4	SFVC2B	S	184760
3	8.62	302	318.5	21.4	SFVC2B	S	184760
4	8.62	302	318.5	21.4	STS410	S	184760

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 FDW-001 (クラス1管)

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	17	18	19	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
	33	34	35	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	117
	118	119	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133
	134	135	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	803	804
	840	850	941	951											
2	35	36	37	47	48	49	135	136	137	147	148	149			
3	36	48	66	78	136	148	166	178							
4	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	150
	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165
	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	812	813
	912	913	914	915											

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 F D W - 0 0 1 （クラス1管）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
18		47		73		141		167	
22		48		74		142		168	
23		49		75		143		169	
24		50		76		144		170	
25		51		77		145		171	
26		52		78		146		172	
27		53		118		147		173	
28		54		122		148		174	
29		55		123		149		175	
30		56		124		150		176	
31		57		125		151		177	
32		58		126		152		178	
33		59		127		153		803	
34		60		128		154		804	
35		61		129		155		812	
36		62		130		156		813	
37		63		131		157		840	
38		64		132		158		850	
39		65		133		159		912	
40		66		134		160		913	
41		67		135		161		914	
42		68		136		162		915	
43		69		137		163		941	
44		70		138		164		951	
45		71		139		165			
46		72		140		166			

O 2 ⑥ VI-2-5-3-2-1 (設) R 0

鳥 瞰 図 FDW-001 (クラス1管)

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4		弁 5	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
8		15		19		108		115	
9		16		20		109		116	
10		17		21		110		117	

弁 6

評価点	質量(kg)
119	
120	
121	

鳥 瞰 図 F D W - 0 0 1 (ク ラ ス 1 管)

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	9			
弁2	16			
弁3	20			
弁4	109			
弁5	116			
弁6	120			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 F D W - 0 0 1 (ク ラ ス 1 管)

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
18						
22						
** 27 **						
31						
** 34 **						
** 40 **						
43						
** 44 **						
** 46 **						
50						
** 59 **						
67						
** 75 **						
** 77 **						
118						
122						
** 127 **						
131						
** 134 **						
** 140 **						
143						
** 144 **						
** 146 **						

--

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

O 2 ⑥ VI-2-5-3-2-1 (設) R 0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 F D W - 0 0 1 (ク ラ ス 1 管)

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
150						
** 159 **						
167						
** 175 **						
** 177 **						
** 912 **						
** 913 **						
** 914 **						
** 915 **						
** 941 **						
** 951 **						

--

O 2 ⑥ VI-2-5-3-2-1(設) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 F D W - 0 0 1 (クラス2以下の管)

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	8.62	302	457.2	29.4	SFVC2B	S	184760
2	8.62	302	457.2	29.4	STS410	S	184760
3	8.62	302	216.3	18.2	STS410	S	184760
4	8.62	302	165.2	14.3	STS410	S	184760
5	8.62	302	165.2	14.3	SFVC2B	S	184760
6	11.77	66	114.3	13.5	STS410	S	200360
7	8.62	302	114.3	11.1	STS410	S	184760

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 F D W - 0 0 1 (クラス2以下の管)

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	8	104	105	106	107	108	501	502	811	904	905	906			
2	101	102													
3	206	207	208	209	210	211	212	220	221	503	504				
4	212	213	215	221	222	224	225	227	228	229	230	231	232	233	514
	515	517	524	627	628	629	630	631	632	633	634	636	637	638	801
	814	822	823												
5	107	225	226	233	524	634	635	814	910						
6	234	235	236	507	508										
7	227	238	239	240	241	242	243	244	246	247	248	516	807	821	901
	911	916	923												

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 F D W - 0 0 1 （クラス2以下の管）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
8		225		243		628		821	
101		226		247		629		822	
105		227		248		630		823	
106		228		501		631		901	
107		229		502		632		904	
108		230		503		633		905	
206		231		504		634		906	
207		232		507		635		910	
208		233		508		636		911	
209		234		514		637		916	
210		235		515		638		923	
211		239		516		801			
212		240		517		807			
220		241		524		811			
221		242		627		814			

鳥 瞰 図 F D W - 0 0 1 (クラス2以下の管)

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4		弁 5	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
102		236		244		222		213	
103		237		245		223		214	
104		238		246		224		215	
	402								
	401								

鳥 瞰 図 F D W - 0 0 1 (クラス2以下の管)

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1				
弁2				
弁3				
弁4				
弁5				

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 F D W - 0 0 1 (クラス2以下の管)

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
101						
106						
206						
** 228 **						
231						
234						
239						
** 401 **						
** 629 **						
** 632 **						
638						
** 901 **						
904						
905						
906						
** 910 **						
** 911 **						
** 916 **						
** 923 **						

O 2 ⑥ VI-2-5-3-2-1 (設) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
SFVC2B	302	125	187	438	—
STS410	302	122	182	404	—
	66	—	231	407	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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用いる。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

本計算書の疲労評価は、設備ごとに個別に設定した等価繰返し回数226回(S s)及び352回(S d)で実施する。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O. P. (m))	減衰定数(%)
F D W - 0 0 1	原子炉しゃへい壁		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 F D W - 0 0 1

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
12 次								
13 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 F D W - 0 0 1

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

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 | FDW-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 | FDW-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 | FDW-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス1管

鳥瞰図	許容 応力 状態	最大 応力 評価点	配管 要素 名称	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	許容応力	ねじり応力	許容応力	一次+二次応力	許容応力	疲労累積係数
					$S_{pr m}(S_d)$	$2.25 \cdot S_m$	$S_t(S_d)$	$0.55 \cdot S_m$	$S_n(S_d)$	$3 \cdot S_m$	$U+U S_d$
					$S_{pr m}(S_s)$	$3 \cdot S_m$	$S_t(S_s)$	$0.73 \cdot S_m$	$S_n(S_s)$	$3 \cdot S_m$	$U+U S_s$
FDW-001	Ⅲ _A S	36	TEE	$S_{pr m}(S_d)$	104	281	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	51	ELBOW	$S_t(S_d)$	—	—	42	67	—	—	—
	Ⅲ _A S	50	NOZZLE	$S_n(S_d)$	—	—	—	—	195	366	—
	Ⅲ _A S	36	TEE	$U+U S_d$	—	—	—	—	—	—	0.4037
	Ⅳ _A S	36	TEE	$S_{pr m}(S_s)$	146	375	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	51	ELBOW	$S_t(S_s)$	—	—	62	89	—	—	—
	Ⅳ _A S	148	TEE	$S_n(S_s)$	—	—	—	—	330	375	—
	Ⅳ _A S	36	TEE	$U+U S_s$	—	—	—	—	—	—	0.4086

管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス 2 以下の管

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 p r m (S d) S p r m (S s)	許容応力 S y *1 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
F D W - 0 0 1	III _A S	235	S p r m (S d)	149	231	—	—	—
	IV _A S	235	S p r m (S s)	207	366	—	—	—
	IV _A S	235	S n (S s)	—	—	366	462	—

注記 *1 : 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、S y と 1. 2 ・ S h のうち大きい方とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
FDW-001-144S	メカニカルスナッパ	SMS-10-100	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		148	150
FDW-001-131H	スプリングハンガ	V60B-19			51	69
FDW-001-906B	ロッドレストレイント	RTS-25			225	375

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 (°C)	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			
FDW-001-118G	レストレイント	ラグ	SGV480	302	171	368	0	—	—	6	組合せ	40	219
FDW-001-101A	アンカ	架構	SM400B	55	333	262	1147	474	452	352	曲げ	132	458

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
B21-F052B	逆止弁	α (S s)	2.2	3.0	6.0	6.0

注：機能維持評価用加速度は、配管系の地震応答解析による打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス1管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S					許容応力状態 IV _A S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	FDW-001	36	104	281	2.70	○	36	146	375	2.56	○	148	330	375	1.13	○	36	0.4086	○

注記* : III_AS の一次+二次応力の許容値はIV_AS と同様であることから、地震荷重が大きいIV_AS の一次+二次応力裕度最小を代表とする。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス 2 以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S					許容応力状態 IV _A S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	FDW-001	235	149	231	1.55	○	235	207	366	1.76	○	235	366	462	1.26	○	—	—	—

注記* : III_AS の一次+二次応力の許容値はIV_AS と同様であることから、地震荷重が大きいIV_AS の一次+二次応力裕度最小を代表とする。

重大事故等対処設備

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	11
3.1 計算方法	11
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
3.3 設計条件	13
3.4 材料及び許容応力評価条件	19
3.5 設計用地震力	20
4. 解析結果及び評価	21
4.1 固有周期及び設計震度	21
4.2 評価結果	27
4.2.1 管の応力評価結果	27
4.2.2 支持構造物評価結果	28
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	29
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	30

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、復水給水系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全1モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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。



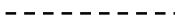


(3) 弁

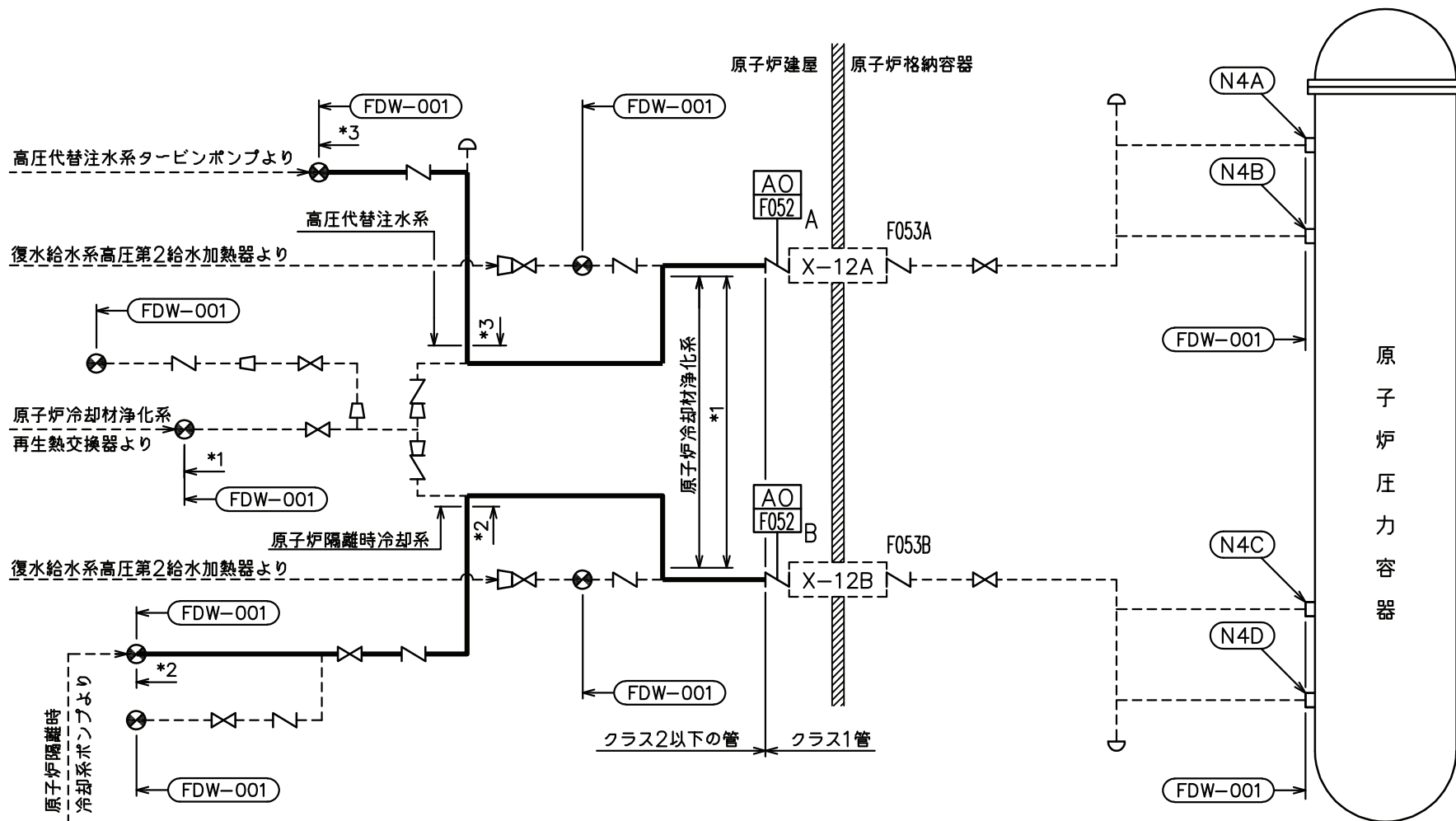
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

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
 (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
	アンカ



注記 *1: 原子炉冷却材浄化系
解析モデル上本系統に含める。


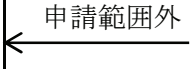



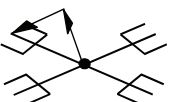
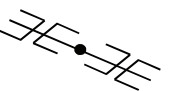
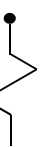
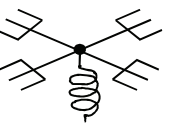
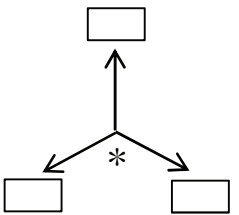
*3: 高圧代替注水系
解析モデル上本系統に含める。

*2: 原子炉隔離時冷却系
解析モデル上本系統に含める。

復水給水系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
	工事計画記載範囲外の管
	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として本系統に記載する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印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
	ガイド
	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。)

5

鳥瞰図 FDW-001-1/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

9

鳥瞰図 FDW-001-2/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7

鳥瞰図 FDW-001-3/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

∞

鳥瞰図 FDW-001-4/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 FDW-001-5/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 FDW-001-6/6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	耐震重要度分類	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	高压代替注水系	SA	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$
原子炉格納施設	原子炉格納容器 安全設備	高压代替注水系	SA	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$
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	原子炉隔離時 冷却系	SA	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$

注記*1：DB は設計基準対象施設，SA 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／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) を示す。

*3：運転状態の添字 L は荷重を示す。

*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。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 F D W - 0 0 1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	8.62	302	457.2	29.4	SFVC2B	—	184760
2	8.62	302	457.2	29.4	SFVC2B	—	184760
3	8.62	302	165.2	14.3	STS410	—	184760
4	8.62	302	165.2	14.3	STS410	—	184760
5	8.62	302	165.2	14.3	SFVC2B	—	184760
6	8.62	302	165.2	14.3	SFVC2B	—	184760
7	11.77	66	114.3	13.5	STS410	—	200360
8	8.62	302	114.3	11.1	STS410	—	184760

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 F D W - 0 0 1

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	7	904														
2	8	107	108	501	502	904	906									
3	227	228	229	230	231	232	233	515	517	601	602	603	604	605	606	
	607	608	609	610	611	612	613	614	615	617	618	619	620	623	624	
	625	626	627	636	637	638	816	819	820	823						
4	218	219	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649		
5	7	219														
6	107	233														
7	234	235	236	507	508											
8	227	238	239	240	241	242	243	244	246	247	248	516	807	821	901	
	911	916	923													

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 F D W - 0 0 1

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
7		240		604		625		649	
8		241		605		626		807	
107		242		606		627		816	
108		243		607		636		819	
218		247		608		637		820	
219		248		609		638		821	
227		501		610		639		823	
228		502		611		640		901	
229		507		612		641		904	
230		508		613		642		906	
231		515		614		643		911	
232		516		618		644		916	
233		517		619		645		923	
234		601		620		646			
235		602		623		647			
239		603		624		648			

鳥 瞰 図 FDW-001

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
236		244		615	
237		245		616	
238		246		617	
402					
401					

鳥 瞰 図 F D W - 0 0 1

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
弁1				
弁2				
弁3				

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 F D W - 0 0 1

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
** 228 **						
231						
234						
239						
** 401 **						
601						
608						
611						
614						
618						
620						
623						
638						
645						
** 901 **						
904						
906						
** 911 **						
** 916 **						
** 923 **						

O 2 ⑥ VI-2-5-3-2-1(重) R 0

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
SFVC2B	302	—	187	438	—
STS410	66	—	231	407	—
	302	—	182	404	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
F D W - 0 0 1	原子炉しゃへい壁		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FDW-001

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
12 次								
13 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 F D W - 0 0 1

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

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 | FDW-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 | FDW-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 | FDW-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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管であってクラス2以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{pr m}(S_s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S_s)$	$2 \cdot S_y$	$U S_s$
FDW-001	$V_A S$	235	$S_{pr m}(S_s)$	204	366	—	—	—
	$V_A S$	235	$S_n(S_s)$	—	—	364	462	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
FDW-001-906S	メカニカルスナッパ	SMS-16-100	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		118	240
FDW-001-906B	ロッドレストレイント	RTS-25			228	375

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 (°C)	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			
FDW-001-645R	レストレイント	Uプレート	SS400	130	28	0	40	—	—	—	せん断	85	122
FDW-001-234A	アンカ	架構	STKR400	130	14	10	22	3	3	5	組合せ	147	225

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 V A S												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
1	FDW-001	235	204	366	1.79	○	235	364	462	1.26	○	—	—	—

VI-2-5-4 残留熱除去設備の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-5-4-1 残留熱除去系の耐震性についての計算書

VI-2-5-4-2 耐圧強化ベント系の耐震性についての計算書

VI-2-5-4-1 残留熱除去系の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-5-4-1-1 残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算書
- VI-2-5-4-1-2 残留熱除去系ポンプの耐震性についての計算書
- VI-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
- VI-2-5-4-1-4 管の耐震性についての計算書（残留熱除去系）
- VI-2-5-4-1-5 ストレーナ部ティーの耐震計算書（残留熱除去系）

VI-2-5-4-1-1 残留熱除去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
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の計算	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
4.2.2 許容応力	4
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	4
4.3 計算条件	4
4.4 疲労解析評価	11
5. 評価結果	13
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	13
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	13

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、残留熱除去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。

残留熱除去系熱交換器は、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、常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、残留熱除去系熱交換器は、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横置一胴円筒形容器と類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-2 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

また、「4.4 疲労解析評価」にて示す方法にて疲労解析評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去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
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴を2個の脚で支持し、脚をそれぞれ基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>横置一胴円筒形容器 (水室側及び胴側に、鏡板を有する横置一胴円筒形容器)</p>	<p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛であることを確認した。

固有周期の計算結果を表3-1に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平方向	
鉛直方向	

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

残留熱除去系熱交換器の構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-2 横置一胴円筒形容器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行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

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

残留熱除去系熱交換器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

残留熱除去系熱交換器の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表 4-3 及び表 4-4 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去系熱交換器の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【残留熱除去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。

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
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去 設備	残留熱除去系熱交換器	S	クラス 3 容器* (胴体側)	$D + P_D + M_D + S_d^*$	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 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
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去 設備	残留熱除去系熱交換器	常設／防止 (DB 拡張)	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。)
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	残留熱除去系熱交換器	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。)

(続き)

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	残留熱除去系熱交換器	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 容器*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界 を用いる。)
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	残留熱除去系熱交換器	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_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界 を用いる。)
原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の安全設 備の原子炉格納 容器安全設備 代替循環冷却系	残留熱除去系熱交換器	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_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界 を用いる。)

(続き)

原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の安全設 備の原子炉格納 容器安全設備 残留熱除去系 (格納容器スプレ イ冷却モー ド)	残留熱除去系熱交換器	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 容器*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界 を用いる。)
原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の安全設 備の原子炉格納 容器安全設備 残留熱除去系 (サプレッション プール水冷却 モード)	残留熱除去系熱交換器	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 容器*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} 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／緩和」は常設重大事故緩和設備,「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) 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 4-3 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値と 1.2・Sのうち大きい方とす る。	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、疲労解析は不要。	
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、疲労解析は不要。	

注記*1：座屈による評価は、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 4-4 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）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等以外)	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張り	せん断
III _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
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 4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SGV480	最高使用温度	70	—	248	453	—
脚	SS400 (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	66	—	225	385	—
基礎ボルト	SNB7 (径≤63mm)	周囲環境温度	66	—	699	803	—

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SGV480	最高使用温度	70	—	248	453	—
脚	SS400 (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	66	—	225	385	—
基礎ボルト	SNB7 (径≤63mm)	周囲環境温度	66	—	699	803	—

4.4 疲労解析評価

胴の応力評価において、一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の2倍を上回る場合には、設計・建設規格 PVB-3300に規定された簡易弾塑性評価方法に基づき、疲労解析評価を実施する。

なお、疲労解析評価に用いる基準地震動 S_s の等価繰返し回数 N_e は、設備ごとに個別に設定した とする。

(1) 繰返しピーク応力強さ

繰返しピーク応力強さ S_e は、次式により求める。

$$S_e = K_e \cdot S_p / 2 \dots \dots \dots (4.4.1)$$

K_e : 次の計算式により計算した値

a. $S_n < 3 \cdot S_m$ の場合

$$K_e = 1$$

b. $S_n \geq 3 \cdot S_m$ の場合

(a) $K < B_0$ の場合

イ. $S_n / (3 \cdot S_m) < [(q + A_0 / K - 1) - \sqrt{\{(q + A_0 / K - 1)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)\}}] / (2 \cdot A_0)$ の場合

$$K_e = 1 + A_0 \cdot \{S_n / (3 \cdot S_m) - 1 / K\} \dots \dots \dots (4.4.2)$$

ロ. $S_n / (3 \cdot S_m) \geq [(q + A_0 / K - 1) - \sqrt{\{(q + A_0 / K - 1)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)\}}] / (2 \cdot A_0)$ の場合

$$K_e = 1 + (q - 1) \cdot (1 - 3 \cdot S_m / S_n) \dots \dots \dots (4.4.3)$$

(b) $K \geq B_0$ の場合

イ. $S_n / (3 \cdot S_m) < [(q - 1) - \sqrt{\{A_0 \cdot (1 - 1 / K) \cdot (q - 1)\}}] / a$ の場合

$$K_e = a \cdot S_n / (3 \cdot S_m) + A_0 \cdot (1 - 1 / K) + 1 - a \dots \dots \dots (4.4.4)$$

ロ. $S_n / (3 \cdot S_m) \geq [(q - 1) - \sqrt{\{A_0 \cdot (1 - 1 / K) \cdot (q - 1)\}}] / a$ の場合

$$K_e = 1 + (q - 1) \cdot (1 - 3 \cdot S_m / S_n) \dots \dots \dots (4.4.5)$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

ここで、

$$K = S_p / S_n \dots \dots \dots (4.4.6)$$

$$a = A_0 \cdot (1 - 1/K) + (q - 1) - 2 \cdot \sqrt{\{A_0 \cdot (1 - 1/K) \cdot (q - 1)\}}$$

q, A₀, B₀ : 下表に掲げる材料の種類に応じ、それぞれの同表に掲げる値

材料の種類	q	A ₀	B ₀
低合金鋼	3.1	1.0	1.25
マルテンサイト系ステンレス鋼	3.1	1.0	1.25
炭素鋼	3.1	0.66	2.59
オーステナイト系ステンレス鋼	3.1	0.7	2.15
高ニッケル合金	3.1	0.7	2.15

S_n : 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の差

$$S_m : 2/3 \cdot S_y$$

K_e : 弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数

S_p : 地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲

S_ℓ : 繰返しピーク応力強さ

(2) 運転温度における繰返しピーク応力強さの補正

縦弾性係数比を考慮し、繰返しピーク応力強さ S_ℓ を次式により補正する。

$$S_{\ell}' = S_{\ell} \cdot E_0 / E$$

S_ℓ' : 補正繰返しピーク応力強さ

E₀ : 縦弾性係数

E : 運転温度の縦弾性係数

(3) 疲労累積係数

疲労累積係数 U_f が次式を満足することを確認する。

$$U_f = \sum (N_c / N_a) \leq 1.0$$

N_a : 地震時の許容繰返し回数

N_c : 地震時の等価繰返し回数

なお、許容繰返し回数の算出には、設計・建設規格「表 添付 4-2-1 炭素鋼、低合金鋼および高張力鋼の設計疲労線図 (図 添付 4-2-1) のデジタル値」より求めた値を用いる。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

残留熱除去系熱交換器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頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系熱交換器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頁以降の表に示す。

【残留熱除去系熱交換器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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
残留熱除去系熱交換器	S	原子炉建屋 O.P. 15.00* (O.P. 16.40)			C _H =1.00	C _v =0.82	C _H =2.00	C _v =1.41	1.18	70	66

注記*：基準床レベルを示す。

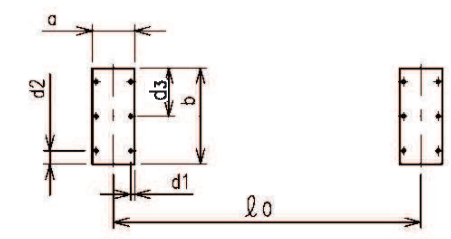
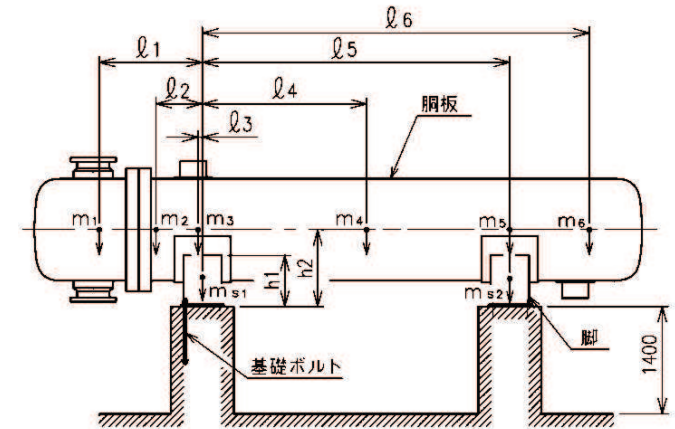
1.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)	M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)
-1384	-691	0	2000	4000	4941	—	8.079×10 ⁷	2.686×10 ⁷	1.481×10 ⁵	7.449×10 ⁴

m _o (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	ℓ _o (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ _w (rad)	ℓ _w (mm)
			1300	15.0	30.0* ¹	4000	680	1000	0.350	230

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	θ _o (rad)	θ (rad)
600	250	1.222×10 ¹⁰	9.177×10 ⁸	2.037×10 ⁷	3.671×10 ⁶	2.061	1.424



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

A_s (mm ²)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	A_{s3} (mm ²)	A_{s4} (mm ²)
6.846×10^4	200000^{*4}	77100^{*4}	3.977×10^4	2.557×10^4	2.942×10^4	2.038×10^4

K_{11}^{*2}	K_{12}^{*2}	K_{21}^{*2}	K_{22}^{*2}	$K_{\theta 1}$	$K_{\theta 2}$	K_{c1}	K_{c2}	$C_{\theta 1}$	$C_{\theta 2}$	C_{c1}	C_{c2}

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)	d_3 (mm)
15	6	3	2	550	1250	30 (M30)	706.9	50	175	625

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)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
248^{*3}	453^{*3}	—	225^{*4} (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	385^{*4}	225	270	699^{*4} (径 ≤ 63mm)	803^{*4}	562	562

注記*1：本計算においては当板を有効とした。

*2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

*3：最高使用温度で算出

*4：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1}=52$	$\sigma_{x 1}=26$	$\sigma_{\phi 1}=52$	$\sigma_{x 1}=26$	$\sigma_{\phi 1}=52$	$\sigma_{x 1}=26$	$\sigma_{\phi 1}=52$	$\sigma_{x 1}=26$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 2}=18$	—	$\sigma_{x 2}=18$	—	$\sigma_{x 2}=18$	—	$\sigma_{x 2}=18$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6}=14$	—	$\sigma_{x 6}=14$	—	$\sigma_{x 6}=25$	—	$\sigma_{x 6}=25$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	$\sigma_{x 4 1 3}=4$	—	—	—	$\sigma_{x 4 1 3}=8$	—	—
組合せ応力	$\sigma_{00}=61$		$\sigma_{0c}=58$		$\sigma_{00}=75$		$\sigma_{0c}=68$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1}=52$	$\sigma_{x 1}=26$	$\sigma_{\phi 1}=52$	$\sigma_{x 1}=26$	$\sigma_{\phi 1}=52$	$\sigma_{x 1}=26$	$\sigma_{\phi 1}=52$	$\sigma_{x 1}=26$	
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 2}=18$	—	$\sigma_{x 2}=18$	—	$\sigma_{x 2}=18$	—	$\sigma_{x 2}=18$	
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6}=14$	—	$\sigma_{x 6}=14$	—	$\sigma_{x 6}=25$	—	$\sigma_{x 6}=25$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 3}=15$	$\sigma_{x 3}=15$	$\sigma_{\phi 3}=15$	$\sigma_{x 3}=15$	$\sigma_{\phi 3}=15$	$\sigma_{x 3}=15$	$\sigma_{\phi 3}=15$	$\sigma_{x 3}=15$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 7 1}=13$	$\sigma_{x 7 1}=13$	$\sigma_{\phi 7 1}=13$	$\sigma_{x 7 1}=13$	$\sigma_{\phi 7 1}=21$	$\sigma_{x 7 1}=21$	$\sigma_{\phi 7 1}=21$	$\sigma_{x 7 1}=21$	
水平方向 地震 による 応力	引張り	$\sigma_{\phi 4 1 1}=13$	$\sigma_{x 4 1 1}=5$	$\sigma_{\phi 5 1}=18$	$\sigma_{x 5 1}=44$	$\sigma_{\phi 4 1 1}=25$	$\sigma_{x 4 1 1}=10$	$\sigma_{\phi 5 1}=35$	$\sigma_{x 5 1}=87$
		$\sigma_{\phi 4 1 2}=4$	$\sigma_{x 4 1 2}=4$			$\sigma_{\phi 4 1 2}=8$	$\sigma_{x 4 1 2}=8$		
		$\sigma_{\phi 4 1}=16$	$\sigma_{x 4 1}=12$			$\sigma_{\phi 4 1}=32$	$\sigma_{x 4 1}=25$		
せん断	$\tau_{\theta}=15$		$\tau_{c}=5$		$\tau_{\theta}=31$		$\tau_{c}=9$		
組合せ応力	$\sigma_{10}=111$		$\sigma_{1c}=128$		$\sigma_{10}=154$		$\sigma_{1c}=191$		

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x6}=14$	—	$\sigma_{x6}=14$	—	$\sigma_{x6}=25$	—	$\sigma_{x6}=25$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		$\sigma_{\phi 71}=13$ $\sigma_{\phi 72}=44$	$\sigma_{x71}=13$ $\sigma_{x72}=26$	$\sigma_{\phi 71}=13$ $\sigma_{\phi 72}=44$	$\sigma_{x71}=13$ $\sigma_{x72}=26$	$\sigma_{\phi 71}=21$ $\sigma_{\phi 72}=76$	$\sigma_{x71}=21$ $\sigma_{x72}=44$	$\sigma_{\phi 71}=21$ $\sigma_{\phi 72}=76$	$\sigma_{x71}=21$ $\sigma_{x72}=44$
水平方向地震 による応力	引張り	$\sigma_{\phi 41}=16$	$\sigma_{x41}=12$	$\sigma_{\phi 51}=18$	$\sigma_{x51}=44$	$\sigma_{\phi 41}=32$	$\sigma_{x41}=25$	$\sigma_{\phi 51}=35$	$\sigma_{x51}=87$
		$\sigma_{\phi 421}=18$	$\sigma_{x421}=34$	$\sigma_{\phi 52}=130$	$\sigma_{x52}=62$	$\sigma_{\phi 421}=35$	$\sigma_{x421}=68$	$\sigma_{\phi 52}=260$	$\sigma_{x52}=123$
		$\sigma_{\phi 422}=14$	$\sigma_{x422}=8$			$\sigma_{\phi 422}=27$	$\sigma_{x422}=16$		
	$\sigma_{\phi 42}=31$	$\sigma_{x42}=42$	$\sigma_{\phi 42}=62$			$\sigma_{x42}=83$			
せん断	$\tau_{\phi}=15$		$\tau_c=5$		$\tau_{\phi}=31$		$\tau_c=9$		
組合せ応力		$\sigma_{2\ell}=238$		$\sigma_{2c}=407$		$\sigma_{2\ell}=446$		$\sigma_{2c}=783$	

17

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$
鉛直方向地震による応力	圧縮	$\sigma_{s4}=2$	$\sigma_{s4}=2$	$\sigma_{s4}=4$	$\sigma_{s4}=4$
水平方向地震による応力	曲げ	$\sigma_{s2}=22$	$\sigma_{s3}=8$	$\sigma_{s2}=44$	$\sigma_{s3}=15$
	せん断	$\tau_{s2}=8$	$\tau_{s3}=8$	$\tau_{s2}=16$	$\tau_{s3}=15$
組合せ応力		$\sigma_{s\ell}=30$	$\sigma_{sc}=18$	$\sigma_{s\ell}=56$	$\sigma_{sc}=33$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張り	$\sigma_{b1}=84$	$\sigma_{b2}=82$	$\sigma_{b1}=193$	$\sigma_{b2}=196$
水平方向地震による応力	せん断	$\tau_{b1}=55$	$\tau_{b2}=36$	$\tau_{b1}=109$	$\tau_{b2}=72$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	
横方向	
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	SGV480	一次一般膜	$\sigma_0=61$	$S_a=248$	$\sigma_0=75$	$S_a=272$
		一次	$\sigma_1=128$	$S_a=373$	$\sigma_1=191$	$S_a=408$
		一次+二次	$\sigma_2=407$	$S_a=497$	$\sigma_2=783^{*2}$	$S_a=497$
脚	SS400	組合せ	$\sigma_s=30$	$f_t=225$	$\sigma_s=56$	$f_t=270$
基礎ボルト	SNB7	引張り	$\sigma_b=84$	$f_{ts}=421^{*1}$	$\sigma_b=196$	$f_{ts}=416^{*1}$
		せん断	$\tau_b=55$	$f_{sb}=324$	$\tau_b=109$	$f_{sb}=324$

注記*1: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

*2: 算出応力が許容応力を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, この結果より耐震性を有することを確認した。

1.4.3 疲労評価

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _e (MPa)	S _e ' [*] (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
胴板								

注記*: E₀=2.07×10⁵ MPa E=2.00×10⁵ MPaとして補正する。

【残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
残留熱除去系熱交換器	常設/防止 (DB拡張) 常設/緩和 常設耐震/防止	原子炉建屋 O. P. 15. 00* (O. P. 16. 40)			—	—	C _H =2.00	C _V =1.41	1.18	70	66

注記*：基準床レベルを示す。

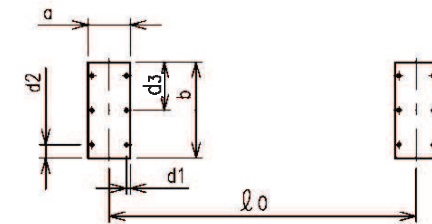
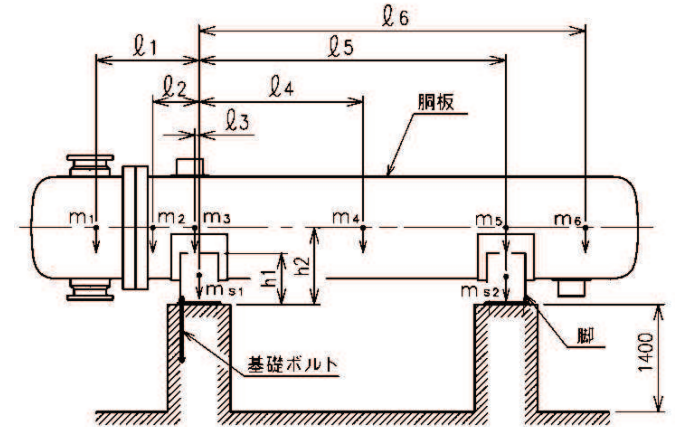
2.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)	M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)
-1384	-691	0	2000	4000	4941	—	8.079×10 ⁷	2.686×10 ⁷	1.481×10 ⁵	7.449×10 ⁴

m _o (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	ℓ _o (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ _w (rad)	ℓ _w (mm)
			1300	15.0	30.0* ¹	4000	680	1000	0.350	230

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	θ _o (rad)	θ (rad)
600	250	1.222×10 ¹⁰	9.177×10 ⁸	2.037×10 ⁷	3.671×10 ⁶	2.061	1.424



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

A_s (mm ²)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	A_{s3} (mm ²)	A_{s4} (mm ²)
6.846×10^4	200000^{*4}	77100^{*4}	3.977×10^4	2.557×10^4	2.942×10^4	2.038×10^4

K_{11}^{*2}	K_{12}^{*2}	K_{21}^{*2}	K_{22}^{*2}	$K_{\theta 1}$	$K_{\theta 2}$	K_{c1}	K_{c2}	$C_{\theta 1}$	$C_{\theta 2}$	C_{c1}	C_{c2}

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)	d_3 (mm)
15	6	3	2	550	1250	30 (M30)	706.9	50	175	625

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)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
248^{*3}	453^{*3}	—	225^{*4} (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	385^{*4}	—	270	699^{*4} (径 ≤ 63mm)	803^{*4}	—	562

注記*1：本計算においては当板を有効とした。

*2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

*3：最高使用温度で算出

*4：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=52$	$\sigma_{x 1}=26$	$\sigma_{\phi 1}=52$	$\sigma_{x 1}=26$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=18$	—	$\sigma_{x 2}=18$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=25$	—	$\sigma_{x 6}=25$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 4 1 3}=8$	—	—
組合せ応力	—		—		$\sigma_{00}=75$		$\sigma_{0c}=68$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=52$	$\sigma_{x 1}=26$	$\sigma_{\phi 1}=52$	$\sigma_{x 1}=26$	
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=18$	—	$\sigma_{x 2}=18$	
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=25$	—	$\sigma_{x 6}=25$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3}=15$	$\sigma_{x 3}=15$	$\sigma_{\phi 3}=15$	$\sigma_{x 3}=15$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7 1}=21$	$\sigma_{x 7 1}=21$	$\sigma_{\phi 7 1}=21$	$\sigma_{x 7 1}=21$	
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 1 1}=25$	$\sigma_{x 4 1 1}=10$	$\sigma_{\phi 5 1}=35$	$\sigma_{x 5 1}=87$
		—	—			$\sigma_{\phi 4 1 2}=8$	$\sigma_{x 4 1 2}=8$		
		—	—			$\sigma_{\phi 4 1 3}=32$	$\sigma_{x 4 1 3}=25$		
	せん断	—	—	—	—	$\tau_{\theta}=31$	—	$\tau_{c}=9$	—
組合せ応力	—		—		$\sigma_{10}=154$		$\sigma_{1c}=191$		

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=25$	—	$\sigma_{x 6}=25$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7 1}=21$ $\sigma_{\phi 7 2}=76$	$\sigma_{x 7 1}=21$ $\sigma_{x 7 2}=44$	$\sigma_{\phi 7 1}=21$ $\sigma_{\phi 7 2}=76$	$\sigma_{x 7 1}=21$ $\sigma_{x 7 2}=44$
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 1}=32$	$\sigma_{x 4 1}=25$	$\sigma_{\phi 5 1}=35$	$\sigma_{x 5 1}=87$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 2 1}=35$ $\sigma_{\phi 4 2 2}=27$	$\sigma_{x 4 2 1}=68$ $\sigma_{x 4 2 2}=16$	$\sigma_{\phi 5 2}=260$	$\sigma_{x 5 2}=123$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 2}=62$	$\sigma_{x 4 2}=83$		
	せん断	—	—	—	—	$\tau_{\ell}=31$	$\tau_c=9$		
組合せ応力		—		—		$\sigma_{2\ell}=446$	$\sigma_{2c}=783$		

2.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s 1}=3$	$\sigma_{s 1}=3$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s 4}=4$	$\sigma_{s 4}=4$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s 2}=44$	$\sigma_{s 3}=15$
	せん断	—	—	$\tau_{s 2}=16$	$\tau_{s 3}=15$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{s \ell}=56$	$\sigma_{s c}=33$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張り	—	—	$\sigma_{b 1}=193$	$\sigma_{b 2}=196$
水平方向地震による応力	せん断	—	—	$\tau_{b 1}=109$	$\tau_{b 2}=72$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	
横方向	
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	SGV480	一次一般膜	—	—	$\sigma_0=75$	$S_a=272$
		一次	—	—	$\sigma_1=191$	$S_a=408$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2=783^{*2}$	$S_a=497$
脚	SS400	組合せ	—	—	$\sigma_s=56$	$f_t=270$
基礎ボルト	SNB7	引張り	—	—	$\sigma_b=196$	$f_{ts}=416^{*1}$
		せん断	—	—	$\tau_b=109$	$f_{sb}=324$

注記*1: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

*2: 算出応力が許容応力を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300に基づいて疲労評価を行い, この結果より耐震性を有することを確認した。

2.4.3 疲労評価

評価部位	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_θ (MPa)	S_θ^* (MPa)	N_a (回)	N_c (回)	疲労累積係数 N_c/N_a
胴板								

注記*: $E_0 = 2.07 \times 10^5$ MPa $E = 2.00 \times 10^5$ MPa として補正する。

VI-2-5-4-1-2 残留熱除去系ポンプ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. 固有値解析及び構造強度評価	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評価条件	3
3.3 解析モデル及び諸元	10
3.4 固有周期	10
3.5 設計用地震力	12
3.6 計算条件	12
4. 機能維持評価	13
4.1 動的機能維持評価方法	13
5. 評価結果	14
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	14
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	14

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-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。

残留熱除去系ポンプは、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）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

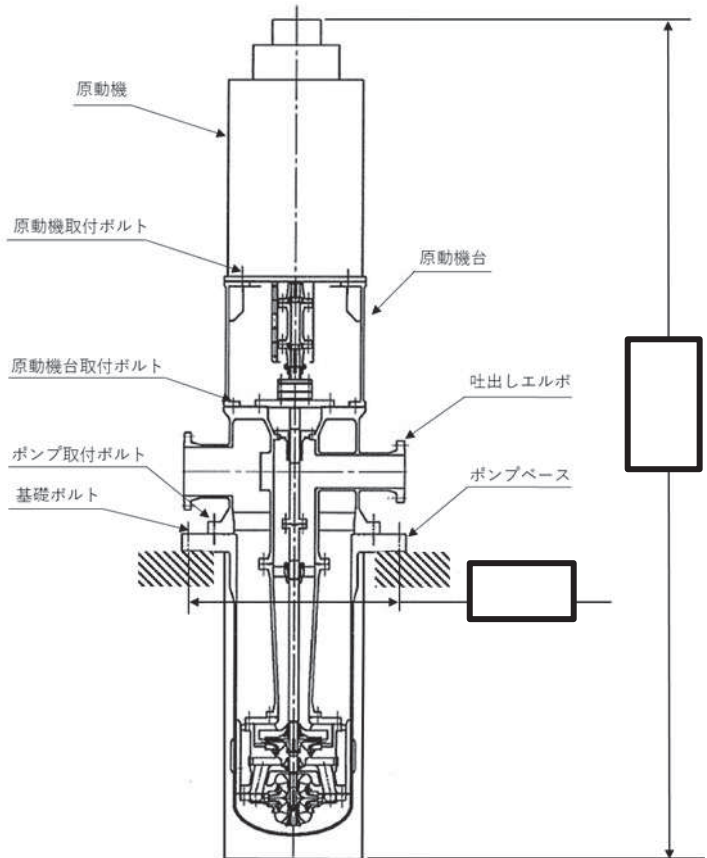
なお、残留熱除去系ポンプは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載のたて軸ポンプと類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-5 たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去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	
<p>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。</p>	<p>ピットバレル形 (ピットバレル形たて軸ポンプ)</p>	 <p>(単位：mm)</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 固有値解析及び構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

残留熱除去系ポンプの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-5 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行う。

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

残留熱除去系ポンプ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

残留熱除去系ポンプの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 及び表 3-4 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去系ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-6 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
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去 設備	残留熱除去系ポンプ	S	クラス 2 ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

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
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去 設備	残留熱除去系ポンプ	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ* 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。)
	非常用炉心冷却 設備その他 原子炉注水設備	残留熱除去系ポンプ	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ* 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。)

(続き)

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
原子炉格納 施設	原子炉格納容器 安全設備 格納容器 スプレイ冷却 モード	残留熱除去系ポンプ	常設/防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界 を用いる。)
	原子炉格納容器 安全設備 サプレッション プール水冷却 モード	残留熱除去系ポンプ	常設/防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界 を用いる。)

注記*1: 「常設/防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) を示す。

*2: 重大事故等クラス 2 ポンプ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 3-3 許容応力（クラス 2, 3 ポンプ及び重大事故等クラス 2 ポンプ）

許容応力状態	許容限界*			
	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 _{AS}	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 _{AS}				
V _{AS} (V _{AS} として IV _{AS} の許容限界を用いる。)	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値	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*：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 3-4 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）

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。

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件（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)
		バレルケーシング		最高使用温度	186	—	
コラムパイプ	最高使用温度	186		—	—		
基礎ボルト	周囲環境温度	66		—	—		
ポンプ取付ボルト	最高使用温度	186		—	—		
原動機台取付ボルト	最高使用温度	186		—	—		
原動機取付ボルト	周囲環境温度	66		—	—		

表 3-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		バレルケーシング		最高使用温度	186	—	
コラムパイプ	最高使用温度	186		—	—		
基礎ボルト	周囲環境温度	66		—	—		
ポンプ取付ボルト	最高使用温度	186		—	—		
原動機台取付ボルト	最高使用温度	186		—	—		
原動機取付ボルト	周囲環境温度	66		—	—		

6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.3 解析モデル及び諸元

- (1) 固有値解析に用いる解析モデルは、水平方向の応答を考慮した 1 次元応答解析モデルとする。
- (2) モデル化に際しては、シャフト及びコラムパイプに対して水の付加質量及び排除水体积質量を考慮する。
- (3) 固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【残留熱除去系ポンプの耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。
- (4) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

3.4 固有周期

固有値解析の結果を表 3-7 に、振動モード図を図 3-1 に示す。固有周期は、0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 3-7 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			NS 方向	EW 方向	
1 次	水平方向	0.049	—	—	—

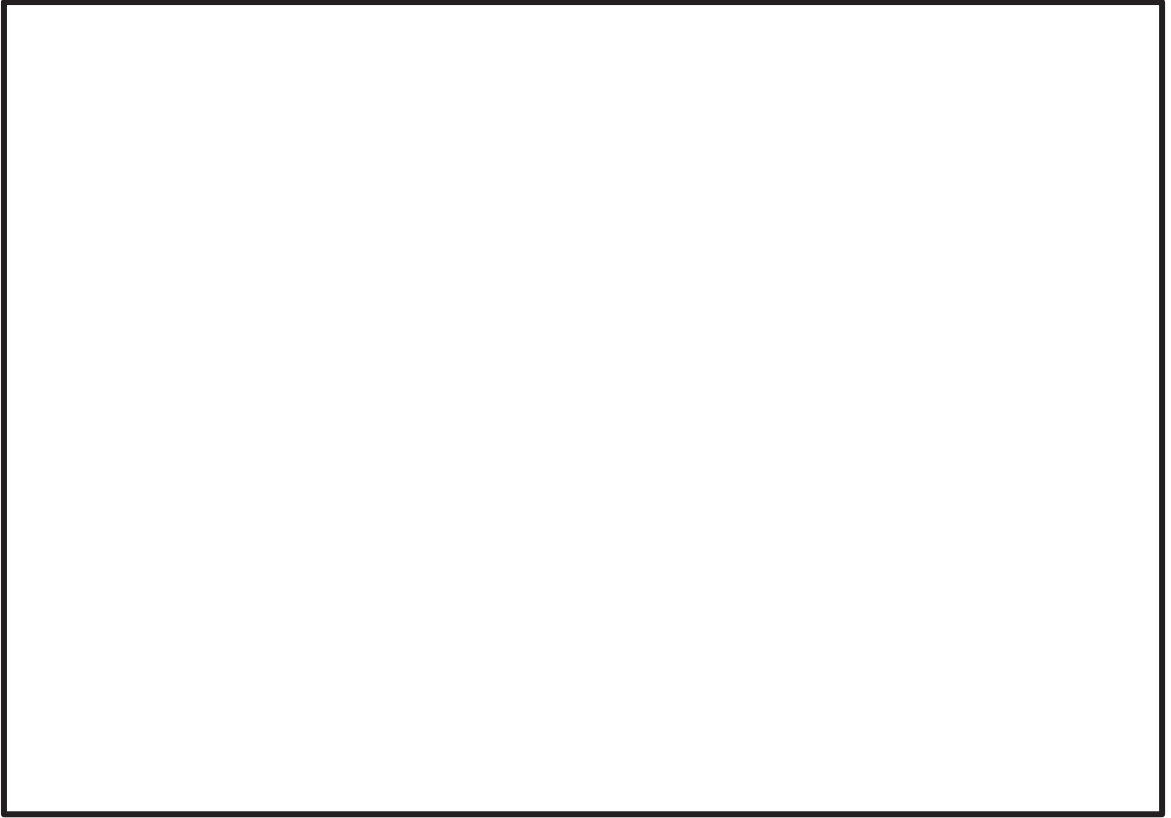


図 3-1 振動モード (1次モード 水平方向 0.049s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.5 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

評価に用いる設計用地震力を表 3-8 及び表 3-9 に示す。

表 3-8 設計用地震力（設計基準対象施設）

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
原子炉建屋 O.P. -8.10 ^{*1}	0.049	0.05 以下	— ^{*2}	— ^{*2}	$C_H = 0.99$	$C_V = 0.69$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：Ⅲ_AS については、基準地震動 S_s で評価する。

表 3-9 設計用地震力（重大事故等対処設備）

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
原子炉建屋 O.P. -8.10 [*]	0.049	0.05 以下	—	—	$C_H = 0.99$	$C_V = 0.69$

注記*：基準床レベルを示す。

3.6 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【残留熱除去系ポンプ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。

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

残留熱除去系ポンプの地震後の動的機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-13-5 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」に記載の評価方法に基づき行う。

残留熱除去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であるため、添付書類「VI-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。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	ピットバレル形 ポンプ	水平方向	10.0
		鉛直方向	1.0
原動機	立形ころがり 軸受電動機	水平方向	2.5
		鉛直方向	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

残留熱除去系ポンプ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及び動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頁以降の表に示す。なお，弾性設計用地震動 S_d による動的震度及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており，基準地震動 S_s による発生値が，弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系ポンプ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動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頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱除去系ポンプ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		ポンプ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)	
			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				吸込側	吐出側
残留熱除去系 ポンプ	S	原子炉建屋 O.P. -8.10*1	0.049	0.05 以下	—*2	—*2	C _H =0.99	C _V =0.69		186	66	1.37	3.73

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：Ⅲ,Sについては、基準地震動S_sで評価する。

1.2 機器要目

(1) ボルト

部 材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					24	24	—				
ポンプ取付ボルト (i=2)					36	36	3.438× 10 ⁶				
原動機台取付ボルト (i=3)					16	16	3.438× 10 ⁶				
原動機取付ボルト (i=4)					8	8	3.438× 10 ⁶				

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部 材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _C (mm)	t (mm)
バレルケーシング	—			1200	19
コラムパイプ	—				

注記*：最高使用温度で算出

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力
(単位: N・mm)

部 材	M _i (N・mm)		F _{bi} (N)		Q _{bi} (N)	
	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 (i=1)						
ポンプ取付ボルト (i=2)						
原動機台取付ボルト (i=3)						
原動機取付ボルト (i=4)						

部 材	M	
	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング		
コラムパイプ		

注記*: III,Sについては, 基準地震動S_sで評価する。

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

モード	固有周期
水平 1次	T _{H1} =0.049
鉛直 1次	T _{V1} =0.05以下

1.4.2 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 (i=1)		引張り	$\sigma_{b1}=9^{*2}$	$f_{ts1}=491^{*1}$	$\sigma_{b1}=9$	$f_{ts1}=491^{*1}$
		せん断	$\tau_{b1}=2^{*2}$	$f_{sb1}=378$	$\tau_{b1}=2$	$f_{sb1}=378$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=6^{*2}$	$f_{ts2}=456^{*1}$	$\sigma_{b2}=6$	$f_{ts2}=456^{*1}$
		せん断	$\tau_{b2}=3^{*2}$	$f_{sb2}=351$	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=351$
原動機台取付ボルト (i=3)		引張り	$\sigma_{b3}=37^{*2}$	$f_{ts3}=444^{*1}$	$\sigma_{b3}=37$	$f_{ts3}=444^{*1}$
		せん断	$\tau_{b3}=9^{*2}$	$f_{sb3}=342$	$\tau_{b3}=9$	$f_{sb3}=342$
原動機取付ボルト (i=4)	引張り	$\sigma_{b4}=38^{*2}$	$f_{ts4}=455^{*1}$	$\sigma_{b4}=38$	$f_{ts4}=455^{*1}$	
	せん断	$\tau_{b4}=16^{*2}$	$f_{sb4}=350$	$\tau_{b4}=16$	$f_{sb4}=350$	

すべて許容応力以下である。

注記*1: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

*2: 基準地震動S_sによる算出値

1.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部 材	材 料		一次一般応力	
			算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	$\sigma=44^{*}$	S _a =190
		基準地震動S _s	$\sigma=44$	S _a =218
コラムパイプ		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	$\sigma=26^{*}$	S _a =190
		基準地震動S _s	$\sigma=26$	S _a =218

注記*: 基準地震動S_sによる算出値

すべて許容応力以下である。

1.4.4 動的機能の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.82	10.0
	鉛直方向	0.57	1.0
原動機	水平方向	0.82	2.5
	鉛直方向	0.57	1.0

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあっては軸受部）の応答加速度又は設計用最大応答加速度（ $1.0 \cdot ZPA$ ）のいずれか大きい方を、鉛直方向は設計用最大応答加速度（ $1.0 \cdot ZPA$ ）を設定する。機能維持評価用加速度は、すべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	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			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 要素の断面性状

断面特性 番号 (要素番 号)	要素両端の 節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	91		1.352×10^{10}
2	2-3	91		1.352×10^{10}
3	3-4	91		1.352×10^{10}
4	4-5	91		1.352×10^{10}
5	5-6	91		1.352×10^{10}
6	6-7	91		1.352×10^{10}
7	7-8	91		1.352×10^{10}
8	8-9	91		1.352×10^{10}
9	9-10	91		1.352×10^{10}
10	10-11	91		3.841×10^{10}
11	11-12	91		1.370×10^{12}
12	12-13	91		3.841×10^{11}
13	13-14	91		2.879×10^{10}
14	14-15	91		2.879×10^{10}
15	15-16	91		2.879×10^{10}
16	16-17	91		1.582×10^{11}
17	17-18	91		2.724×10^{10}
18	18-19	91		2.724×10^{10}
19	19-20	91		2.724×10^{10}
20	20-21	94		1.490×10^9
21	21-22	94		2.540×10^9
22	22-23	94		1.590×10^9
23	23-24	94		1.940×10^9
24	24-25	94		2.010×10^9
25	25-26	94		2.840×10^9
26	26-27	94		5.720×10^8
31	31-32	91		8.161×10^7
32	32-33	91		5.506×10^{10}
33	33-34	91		2.398×10^9
34	34-35	91		6.945×10^9
35	35-36	91		1.522×10^{10}
36	36-37	91		3.423×10^{10}
37	37-38	91		5.573×10^8
38	38-39	91		8.250×10^8
39	39-40	91		1.294×10^9
40	40-41	91		1.294×10^9
41	41-42	91		1.294×10^9
42	42-43	91		1.294×10^9
43	43-44	91		1.294×10^9
44	44-45	91		1.294×10^9

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節 点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
51	51-52	93		4.492×10 ⁵
52	52-53	93		8.762×10 ⁵
53	53-54	93		8.762×10 ⁵
54	54-55	93		2.330×10 ⁶
55	55-56	93		1.472×10 ⁶
56	56-57	93		2.444×10 ⁶
57	57-58	93		2.444×10 ⁶
58	58-59	93		4.528×10 ⁶
59	59-60	93		4.909×10 ⁶
60	60-61	93		4.909×10 ⁶
61	61-62	93		4.909×10 ⁶
62	62-63	93		4.909×10 ⁶
63	63-64	93		4.909×10 ⁶
64	64-65	93		4.528×10 ⁶
65	65-66	93		4.528×10 ⁶
66	66-67	93		1.638×10 ⁶
67	67-68	93		2.895×10 ⁷
68	68-69	94		1.570×10 ⁷
69	69-70	94		5.480×10 ⁷
70	70-71	94		1.370×10 ⁸
71	71-72	94		5.870×10 ⁷
72	72-73	94		1.850×10 ⁷

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
31	51	
34	54	
36	56	
39	59	
44	64	
21	69	
26	72	
4	33	
8	37	
13	42	
16	45	
6	-	
12	-	
12	-	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(4) 節点の質量

節点番号	質量(kg)
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	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	

(続き)

節点番号	質量(kg)
42	
43	
44	
45	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (-)	材質	部位
91	186			0.3		ポンプ
93	186			0.3		ポンプ
94	66			0.3		原動機

【残留熱除去系ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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		ポンプ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)	
			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				吸込側	吐出側
残留熱除去系 ポンプ	常設/防止 (DB 拡張)	原子炉建屋 O.P. -8.10*	0.049	0.05 以下	-	-	C _H =0.99	C _V =0.69		186	66	1.37	3.73

注記*：基準レベルを示す。

2.2 機器要目

(1) ボルト

部 材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					24	24	-				
ポンプ取付ボルト (i=2)					36	36	3.438× 10 ⁶				
原動機台取付ボルト (i=3)					16	16	3.438× 10 ⁶				
原動機取付ボルト (i=4)					8	8	3.438× 10 ⁶				

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部 材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	-			1200	19
コラムパイプ	-				

注記*：最高使用温度で算出

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力
(単位: N・mm)

部 材	M _i (N・mm)		F _{bi} (N)		Q _{bi} (N)	
	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 (i=1)						
ポンプ取付ボルト (i=2)						
原動機台取付ボルト (i=3)						
原動機取付ボルト (i=4)						

部 材	M	
	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング		
コラムパイプ		

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

モード	固有周期
水平 1次	T _{H1} =0.049
鉛直 1次	T _{V1} =0.05以下

2.4.2 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 (i=1)		引張り	—
	せん断	—	—		τ _{b1} =2	f _{sb1} =378
ポンプ取付ボルト (i=2)	引張り	—	—		σ _{b2} =6	f _{ts2} =456*
	せん断	—	—		τ _{b2} =3	f _{sb2} =351
原動機台取付ボルト (i=3)	引張り	—	—		σ _{b3} =37	f _{ts3} =444*
	せん断	—	—		τ _{b3} =9	f _{sb3} =342
原動機取付ボルト (i=4)	引張り	—	—		σ _{b4} =38	f _{ts4} =455*
	せん断	—	—		τ _{b4} =16	f _{sb4} =350

すべて許容応力以下である。

注記*: f_{tsi} = Min[1.4・f_{toi}-1.6・τ_{bi}, f_{toi}]より算出

2.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部 材	材 料		一次一般膜応力	
			算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	—	—
			基準地震動S _s	σ=44
コラムパイプ		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	—	—
			基準地震動S _s	σ=26

すべて許容応力以下である。

2.4.4 動的機能の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.82	10.0
	鉛直方向	0.57	1.0
原動機	水平方向	0.82	2.5
	鉛直方向	0.57	1.0

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあっては軸受部）の応答加速度又は設計用最大応答加速度（ $1.0 \cdot ZPA$ ）のいずれか大きい方を、鉛直方向は設計用最大応答加速度（ $1.0 \cdot ZPA$ ）を設定する。機能維持評価用加速度は、すべて機能確認済加速度以下である。

2.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	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			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	91		1.352×10 ¹⁰
2	2-3	91		1.352×10 ¹⁰
3	3-4	91		1.352×10 ¹⁰
4	4-5	91		1.352×10 ¹⁰
5	5-6	91		1.352×10 ¹⁰
6	6-7	91		1.352×10 ¹⁰
7	7-8	91		1.352×10 ¹⁰
8	8-9	91		1.352×10 ¹⁰
9	9-10	91		1.352×10 ¹⁰
10	10-11	91		3.841×10 ¹⁰
11	11-12	91		1.370×10 ¹²
12	12-13	91		3.841×10 ¹¹
13	13-14	91		2.879×10 ¹⁰
14	14-15	91		2.879×10 ¹⁰
15	15-16	91		2.879×10 ¹⁰
16	16-17	91		1.582×10 ¹¹
17	17-18	91		2.724×10 ¹⁰
18	18-19	91		2.724×10 ¹⁰
19	19-20	91		2.724×10 ¹⁰
20	20-21	94		1.490×10 ⁹
21	21-22	94		2.540×10 ⁹
22	22-23	94		1.590×10 ⁹
23	23-24	94		1.940×10 ⁹
24	24-25	94		2.010×10 ⁹
25	25-26	94		2.840×10 ⁹
26	26-27	94		5.720×10 ⁸
31	31-32	91		8.161×10 ⁷
32	32-33	91		5.506×10 ¹⁰
33	33-34	91		2.398×10 ⁹
34	34-35	91		6.945×10 ⁹
35	35-36	91		1.522×10 ¹⁰
36	36-37	91		3.423×10 ¹⁰
37	37-38	91		5.573×10 ⁸
38	38-39	91		8.250×10 ⁸
39	39-40	91		1.294×10 ⁹
40	40-41	91		1.294×10 ⁹
41	41-42	91		1.294×10 ⁹
42	42-43	91		1.294×10 ⁹
43	43-44	91		1.294×10 ⁹
44	44-45	91		1.294×10 ⁹

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
51	51-52	93		4.492×10^5
52	52-53	93		8.762×10^5
53	53-54	93		8.762×10^5
54	54-55	93		2.330×10^6
55	55-56	93		1.472×10^6
56	56-57	93		2.444×10^6
57	57-58	93		2.444×10^6
58	58-59	93		4.528×10^6
59	59-60	93		4.909×10^6
60	60-61	93		4.909×10^6
61	61-62	93		4.909×10^6
62	62-63	93		4.909×10^6
63	63-64	93		4.909×10^6
64	64-65	93		4.528×10^6
65	65-66	93		4.528×10^6
66	66-67	93		1.638×10^6
67	67-68	93		2.895×10^7
68	68-69	94		1.570×10^7
69	69-70	94		5.480×10^7
70	70-71	94		1.370×10^8
71	71-72	94		5.870×10^7
72	72-73	94		1.850×10^7

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
31	51	
34	54	
36	56	
39	59	
44	64	
21	69	
26	72	
4	33	
8	37	
13	42	
16	45	
6	-	
12	-	
12	-	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(4) 節点の質量

節点番号	質量(kg)
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	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

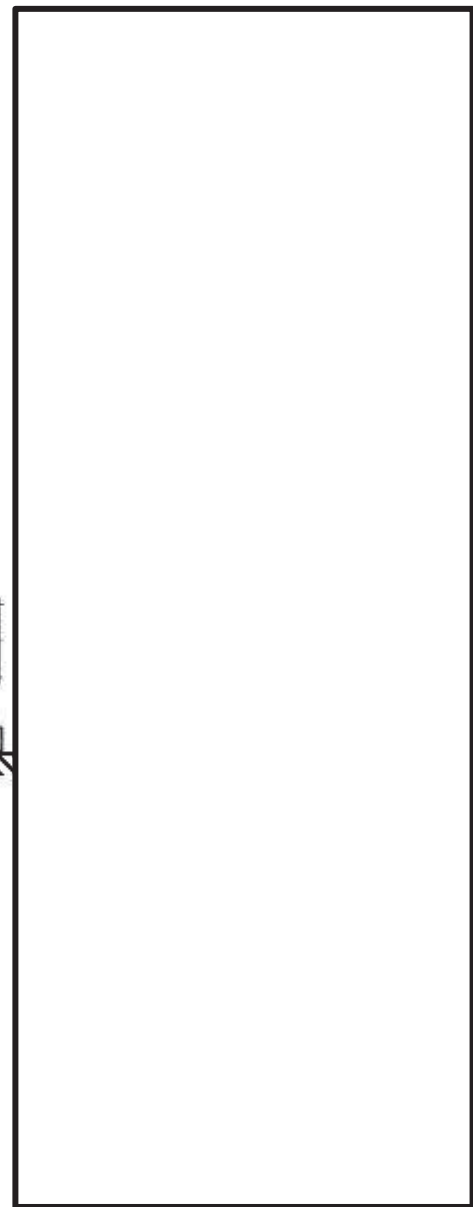
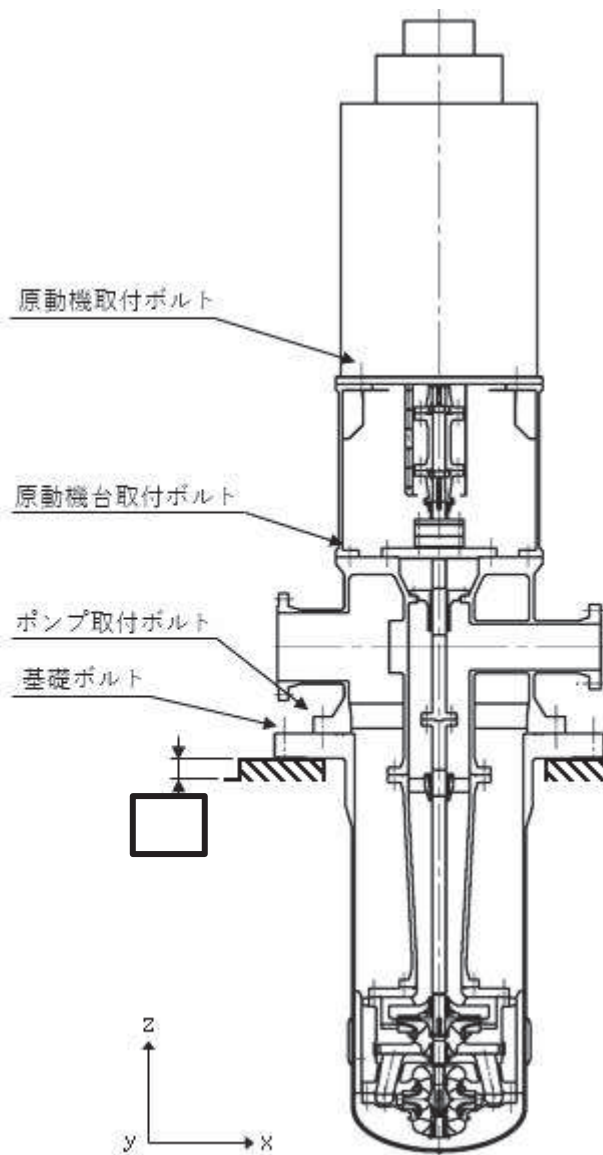
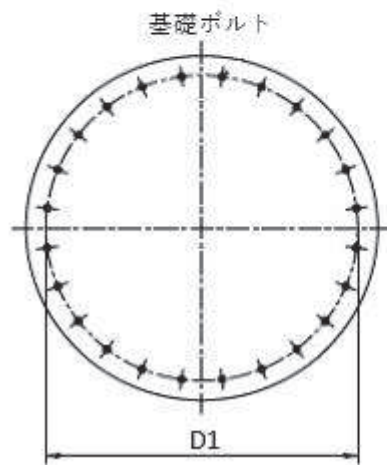
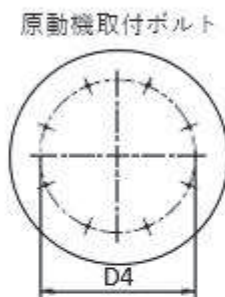
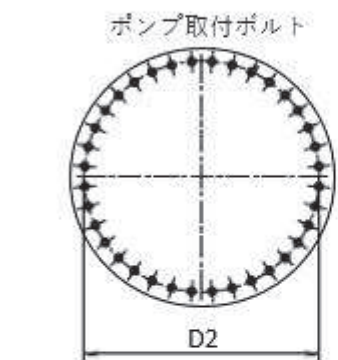
(続き)

節点番号	質量(kg)
42	
43	
44	
45	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (-)	材質	部位
91	186			0.3		ポンプ
93	186			0.3		ポンプ
94	66			0.3		原動機



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

VI-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	評価方針	3
2.3	適用規格・基準等	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.	地震応答解析及び構造強度評価	9
4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	9
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	9
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	9
4.2.2	許容応力	9
4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	9
4.2.4	設計荷重	18
4.3	解析モデル	22
4.4	設計用地震力	23
4.5	計算方法	24
4.5.1	応力評価点	24
4.5.2	応力計算方法	24
4.6	計算条件	34
4.7	応力の評価	37
4.8	設計・建設規格における材料の規定によらない場合 の評価	37
4.8.1	アウタージャケット及びフランジプレートの評価結果	37
5.	評価結果	38
6.	引用文献	42

1. 概要

本計算書は、技術基準規則の解釈第 17 条 4 において記載される「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）及び添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度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 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）及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

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を有していることから、本計算書では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使用して評価している。

また、残留熱除去系ストレーナは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の管であるため、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

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	
基礎・支持構造	主体構造		
ストレーナはサブ レッションチェン バのプール水に水 没された状態で設 置されており、原 子炉格納容器貫通 部に取り付けられ たティーにフラン ジ及び取付ボルト により据え付けら れる。	外径 <input type="text"/> mm, 長 さ <input type="text"/> mm (ストレ ーナ 1) または <input type="text"/> mm (ストレーナ 2) の鋼製構造物であ る。	<p>上面図</p>	<p>上面図</p>
		<p>側面図</p>	<p>側面図</p>
			(単位 : mm)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2 評価方針

残留熱除去系ストレーナの応力評価は、「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）及び添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき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」にて示す残留熱除去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、設計荷重による応力が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

残留熱除去系ストレーナの耐震評価フローを図2-1に示す。

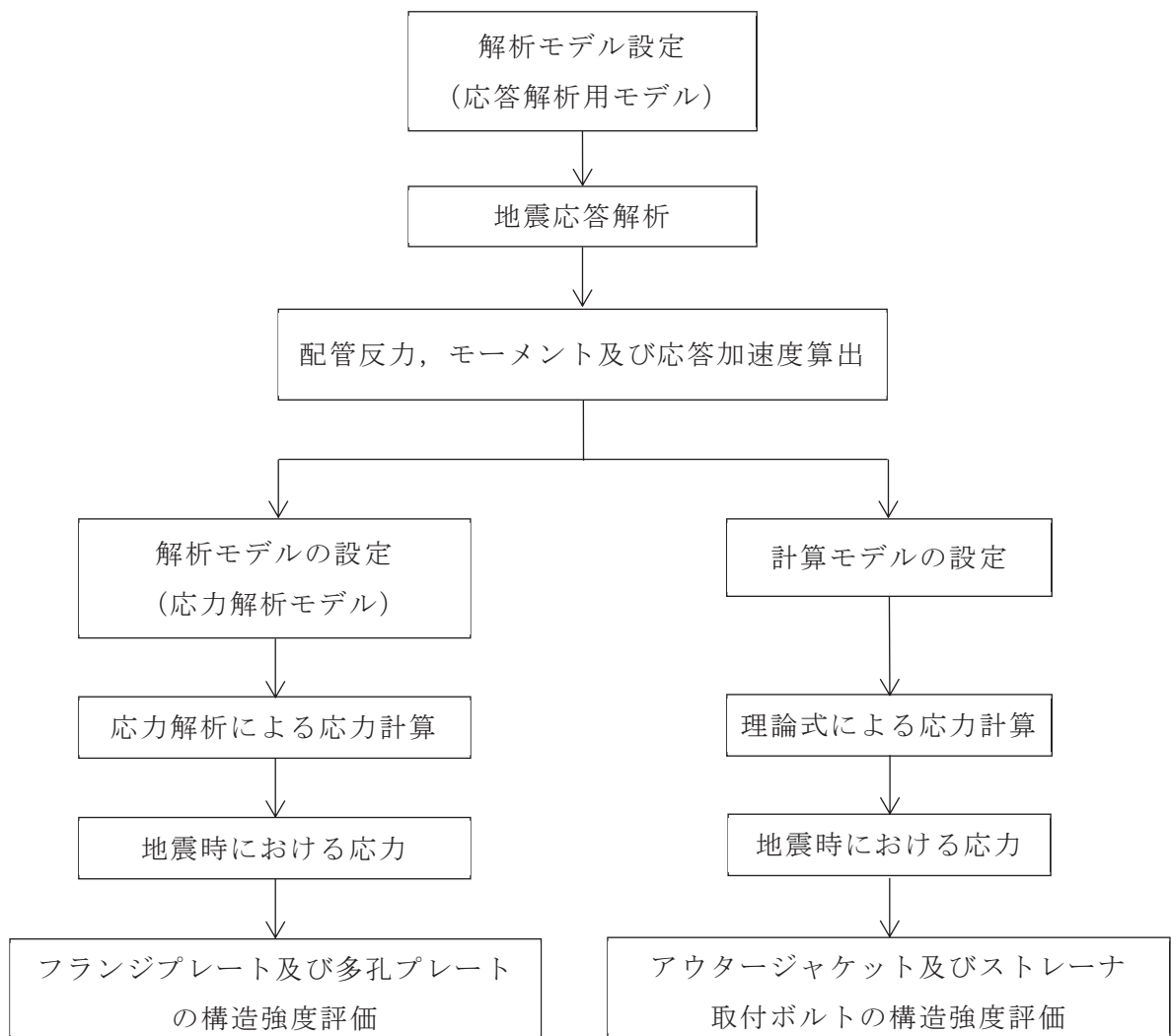


図2-1 残留熱除去系ストレーナの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (2) 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)
- (3) 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)
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (以下「設計・建設規格」という。)
- (5) 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)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_A	実効面積	m^2
A_J	アウトージャケットの有効断面積	mm^2
C_D	定常ドラッグ係数	—
CH_A	チャギング時の加速度ドラッグ荷重	N/m^3
CH_D	チャギング時の定常ドラッグ荷重	N/m^2
CO_A	蒸気凝縮時の加速度ドラッグ荷重	N/m^3
CO_D	蒸気凝縮時の定常ドラッグ荷重	N/m^2
d	孔径	mm
FAB_A	フォールバック時の加速度ドラッグ荷重	N/m^3
FAB_D	フォールバック時の定常ドラッグ荷重	N/m^2
F_x	ストレーナとフランジ取合い部に加わる反力 (x 方向)	N
F_y	ストレーナとフランジ取合い部に加わる反力 (y 方向)	N
F_z	ストレーナとフランジ取合い部に加わる反力 (z 方向)	N
h	孔の間隔	mm
L	ストレーナ長さ	mm
L_{cg}	フランジからストレーナ重心までの距離	mm
M_x	ストレーナとフランジ取合い部に加わる配管系モーメント (x 方向)	$N \cdot m$
M_y	ストレーナとフランジ取合い部に加わる配管系モーメント (y 方向)	$N \cdot m$
M_z	ストレーナとフランジ取合い部に加わる配管系モーメント (z 方向)	$N \cdot m$
n	ウェブ個数	—
LAB_A	気泡形成時の加速度ドラッグ荷重	N/m^3
LAB_D	気泡形成時の定常ドラッグ荷重	N/m^2
OD	外径	mm
P	孔の間隔 (中心間)	mm
s	アウトージャケットの等価肉厚	mm
SRV_D	逃がし安全弁作動時の定常ドラッグ荷重	N/m^2
SRV_A	逃がし安全弁作動時の加速度ドラッグ荷重	N/m^3
t	アウトージャケットの厚さ	mm
V_A	加速度ドラッグ体積	m^3
w	ウェブ幅	mm
Z	断面係数	mm^3
π	円周率	—

注：ここで定義されない記号については、各計算の項目において説明する。

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-1 に示すとおりである。

表 2-1 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
寸法	mm	小数点第 1 位	四捨五入	整数位
圧力	kPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
温度	°C	小数点第 1 位	四捨五入	整数位
質量	kg	小数点第 1 位	四捨五入	整数位
震度	—	小数点第 3 位	切上げ	小数点第 2 位
モーメント	N・m	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}
計算応力	MPa	小数点第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点第 1 位	切捨て	整数位 ^{*2}

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許容応力は、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

残留熱除去系ストレーナの応力評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、主要部品であるアウトージャケット、フランジプレート、ディスクシート（多孔プレート）、ポケットシート（多孔プレート）、フロントシート（多孔プレート）及びストレーナ取付部ボルトについて実施する。

残留熱除去系ストレーナの取付け状況を図 3-1 に、形状及び主要寸法を図 3-2 に示す。

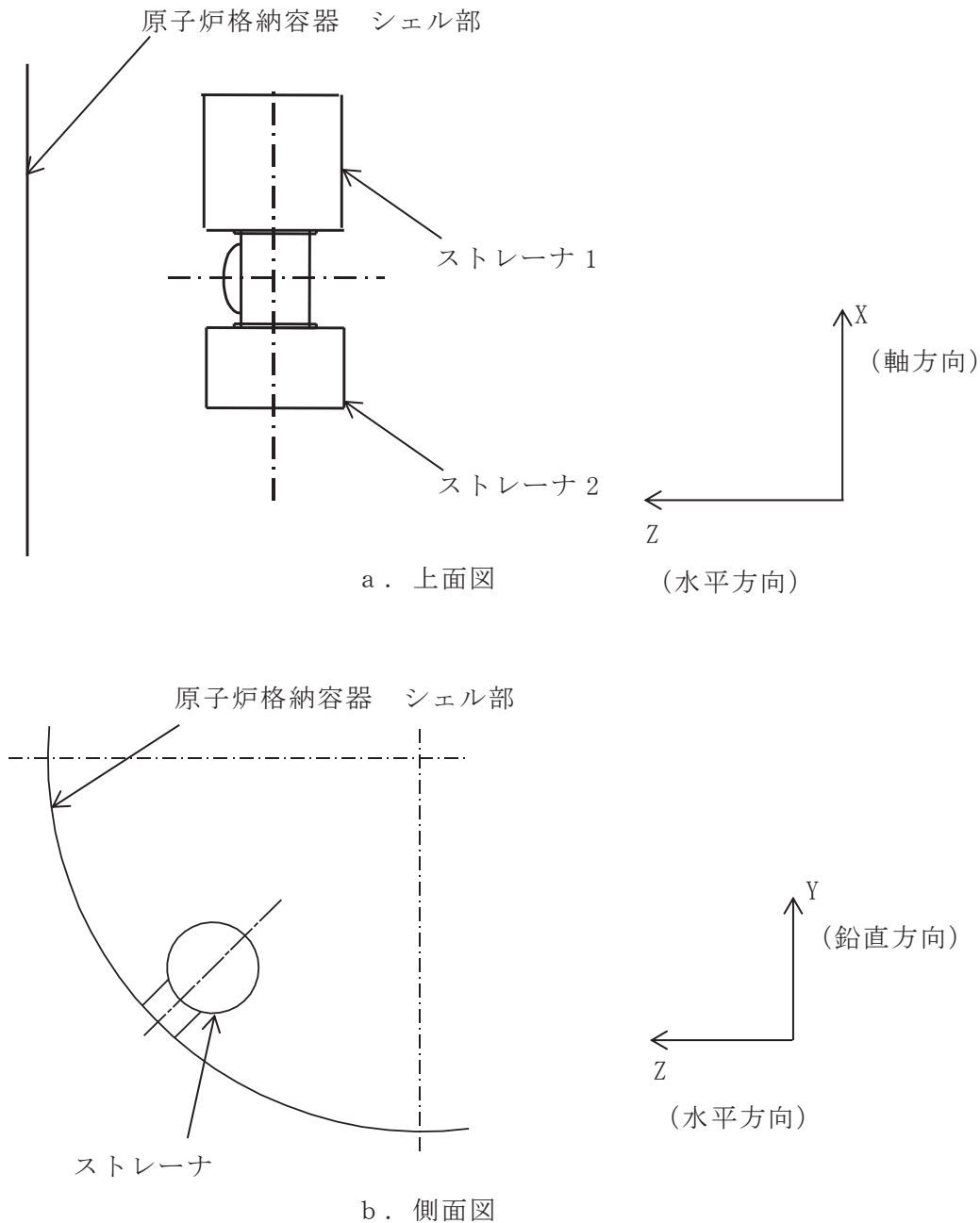
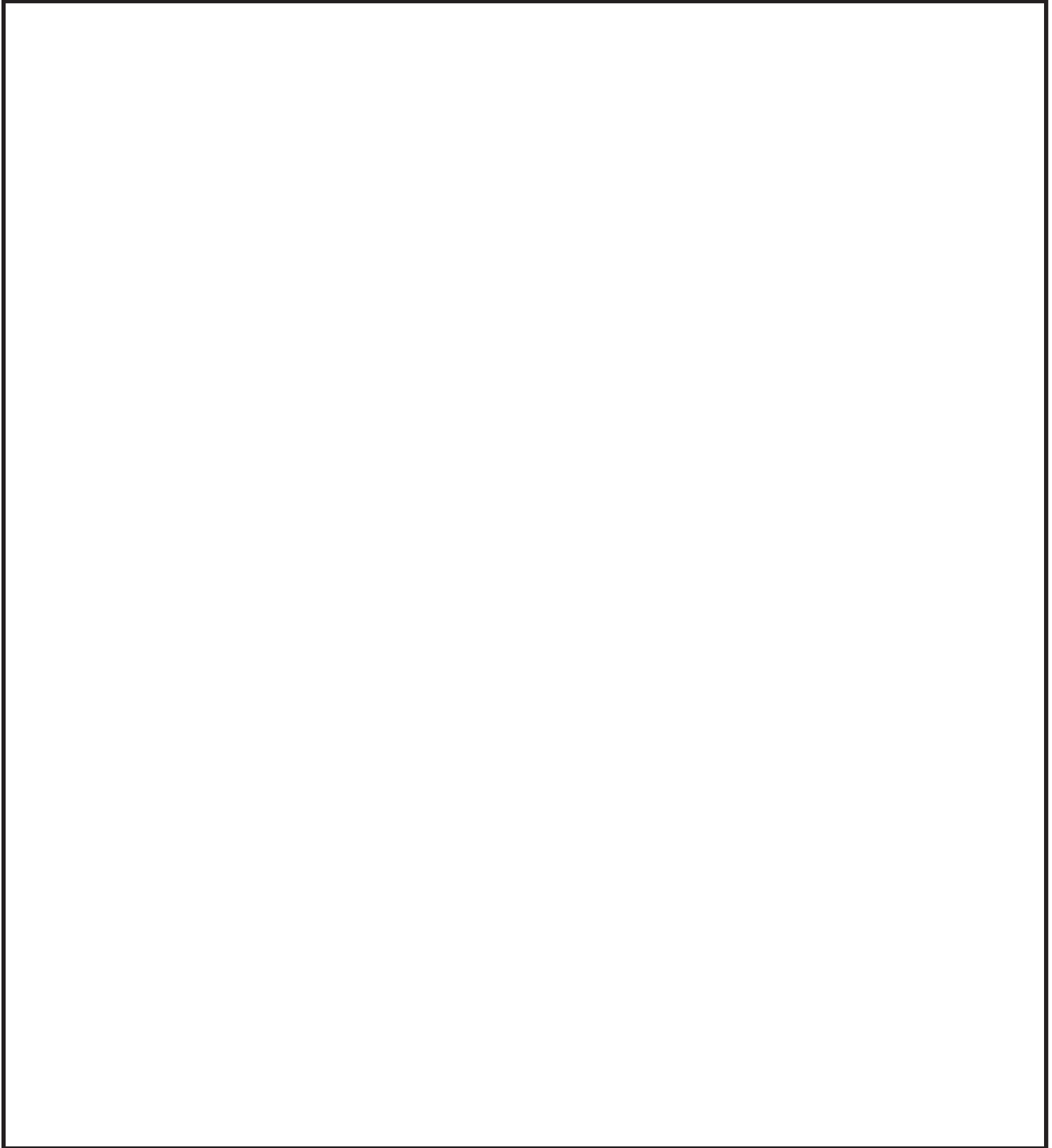


図 3-1 残留熱除去系ストレーナの取付け状況
(原子炉格納容器貫通部 X-214A の場合)



- ① アウタージャケット (厚さ mm)
- ② フランジプレート (厚さ mm)
- ③ ディスクシート (多孔プレート) * (厚さ mm)
- ④ ポケットシート (多孔プレート) * (厚さ mm)
- ⑤ フロントシート (多孔プレート) (厚さ mm)

注記* : ディスクシートは軸方向に複数あり, ポケットシートは軸方向及び円周方向に複数ある。

図 3-2 残留熱除去系ストレーナの形状及び主要寸法

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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質量には、ストレーナに付着する異物量を考慮し、荷重の算出において組み合わせるものとする。
- (2) 地震力は、残留熱除去系ストレーナに対して軸方向及び軸直角方向（水平、鉛直）に作用するものとする。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値に基づき設定する。

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

残留熱除去系ストレーナ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。また、荷重の組合せ整理表を表 4-3 に示す。

4.2.2 許容応力

残留熱除去系ストレーナの許容応力は、「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）及び添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-4 及び表 4-5 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去系ストレーナの許容応力評価条件を表 4-6 及び表 4-7 に示す。

なお、各評価部位の使用材料については以下のとおり。

アウタージャケット
 フランジプレート
 多孔プレート
 ストレーナ取付部ボルト



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）

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	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	DB	—	クラス 2	S	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
							$D + P_L + M_L + S_d^*$	Ⅲ _A S
							$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S
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	高圧炉心スプレイ系	DB	—	クラス 2	S	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
							$D + P_L + M_L + S_d^*$	Ⅲ _A S
							$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S
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	低圧炉心スプレイ系	DB	—	クラス 2	S	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
							$D + P_L + M_L + S_d^*$	Ⅲ _A S
							$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記* : DB は設計基準対象施設, SA は重大事故等対処設備を示す。

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	耐震重要 度分類	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	SA	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2	—	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV_{AS}
							$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} と して IV_{AS} の許 容限界を用い る。)
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	高压炉心 スプレイ系	SA	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2	—	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV_{AS}
							$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} と して IV_{AS} の許 容限界を用い る。)
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	低压炉心 スプレイ系	SA	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2	—	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV_{AS}
							$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} と して IV_{AS} の許 容限界を用い る。)
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	SA	常設／緩和	重大事故等 クラス 2	—	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV_{AS}
							$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} と して IV_{AS} の許 容限界を用い る。)

(続き)

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	SA	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2	—	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV_{AS}
							$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} と して IV_{AS} の許 容限界を用い る。)
原子炉 格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	原子炉格納 容器下部注 水系	SA	常設／緩和	重大事故等 クラス 2	—	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV_{AS}
							$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} と して IV_{AS} の許 容限界を用い る。)
原子炉 格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	代替循環 冷却系	SA	常設／緩和	重大事故等 クラス 2	—	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV_{AS}
							$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} と して IV_{AS} の許 容限界を用い る。)
原子炉 格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	残留熱除去 系 (格納容 器スプレイ 冷却モー ド)	SA	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2	—	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV_{AS}
							$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} と して IV_{AS} の許 容限界を用い る。)

(続き)

原子炉 格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	残留熱除去 系 (サブプレ ッションプ ール水冷却 モード)	SA	常設/防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2	—	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV_{AS}
							$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} と して IV_{AS} の許 容限界を用い る。)

注記*1: DB は設計基準対象施設, SA は重大事故等対処設備を示す。

*2: 「常設/防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張), 「常設/緩和 (DB 拡張)」は常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張), 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*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 荷重の組合せ整理表

組合せ No.	運転状態	死荷重	異物荷重	差圧	SRV 荷重		LOCA 荷重			地震荷重		許容応力状態
					運転時	中小破断時	プールスウェル	蒸気凝縮(CO)	チャギング(CH)	S _d * 荷重	S _s 荷重	
DB* ¹	DB-1	運転状態 I	○							○		Ⅲ _A S
	DB-2	運転状態 I	○								○	Ⅳ _A S
	DB-3	運転状態 II	○			○				○		Ⅲ _A S
	DB-4	運転状態 II	○			○					○	Ⅳ _A S
	DB-5	運転状態Ⅳ(L)	○	○	○						○	
SA* ²	SA-1	運転状態Ⅴ(L)* ³	○	○	○						○	Ⅴ _A S* ⁴
	SA-2	運転状態Ⅴ(LL)	○	○	○							○

注記*1：設計基準対象施設

*2：重大事故等対処設備

*3：運転状態Ⅴ(L)は、温度条件を重大事故等時における最高使用温度 200℃とした運転状態Ⅴ(LL)の評価で代表される。

*4：許容応力状態Ⅴ_AS としてⅣ_AS の許容応力を用いる。

表 4-4 許容応力（クラス 2 管及び重大事故等クラス 2 管）

許容応力状態	許容限界*1		
	一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力*2
III _{AS}	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との大きい方とする。	S _y 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との大きい方とする。	S _d 又はS _s 地震動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不要。
IV _{AS}	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不要。
V _{AS} (V _{AS} としてIV _{AS} の許容限界を用いる。)			

注記*1：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。

*2：二次応力が発生する場合のみ考慮する。

表 4-5 許容応力（クラス 2 耐圧部テンションボルト及び重大事故等クラス 2 耐圧部テンションボルト）

許容応力状態	許容限界
Ⅲ _A S	1.5・S
Ⅳ _A S	2・S
Ⅴ _A S (Ⅴ _A S としてⅣ _A S の許容限界を用 いる。)	

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度					
アウトージャケット, フランジプレート		最高使用温度	104				—
多孔プレート		最高使用温度	104				—
ストレーナ取付部ボルト		最高使用温度	104				—

表 4-7 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度					
アウトージャケット, フランジプレート		最高使用温度	200				—
多孔プレート		最高使用温度	200				—
ストレーナ取付部ボルト		最高使用温度	200				—

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2.4 設計荷重

(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の2つの死荷重を考慮する。

・ストレーナ1

ストレーナ自重 = (N)

異物荷重 = (N)

・ストレーナ2

ストレーナ自重 = (N)

異物荷重 = (N)

(2) 差圧

差圧による荷重は、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、以下の通りとする。

また、差圧による荷重の作用方向を図4-1に示す。

差圧荷重 = (kPa)



図 4-1 差圧荷重の作用方向

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 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(BWR・MARK I型格納容器圧力抑制系に加わる動荷重の評価指針について(以下「MARK-I動荷重指針」という。))に準じて荷重の評価を実施する。

なお、残留熱除去系ストレーナは、ダウンコマから下方かつ側面方向に設置されており、プールスウェル荷重の内のベントクリアリング及びプール水面上昇による荷重は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。軸方向の荷重はフロントシート及びディスクシートに作用する。軸直角方向の荷重はアウトージャケット及びポケットシートに作用する。

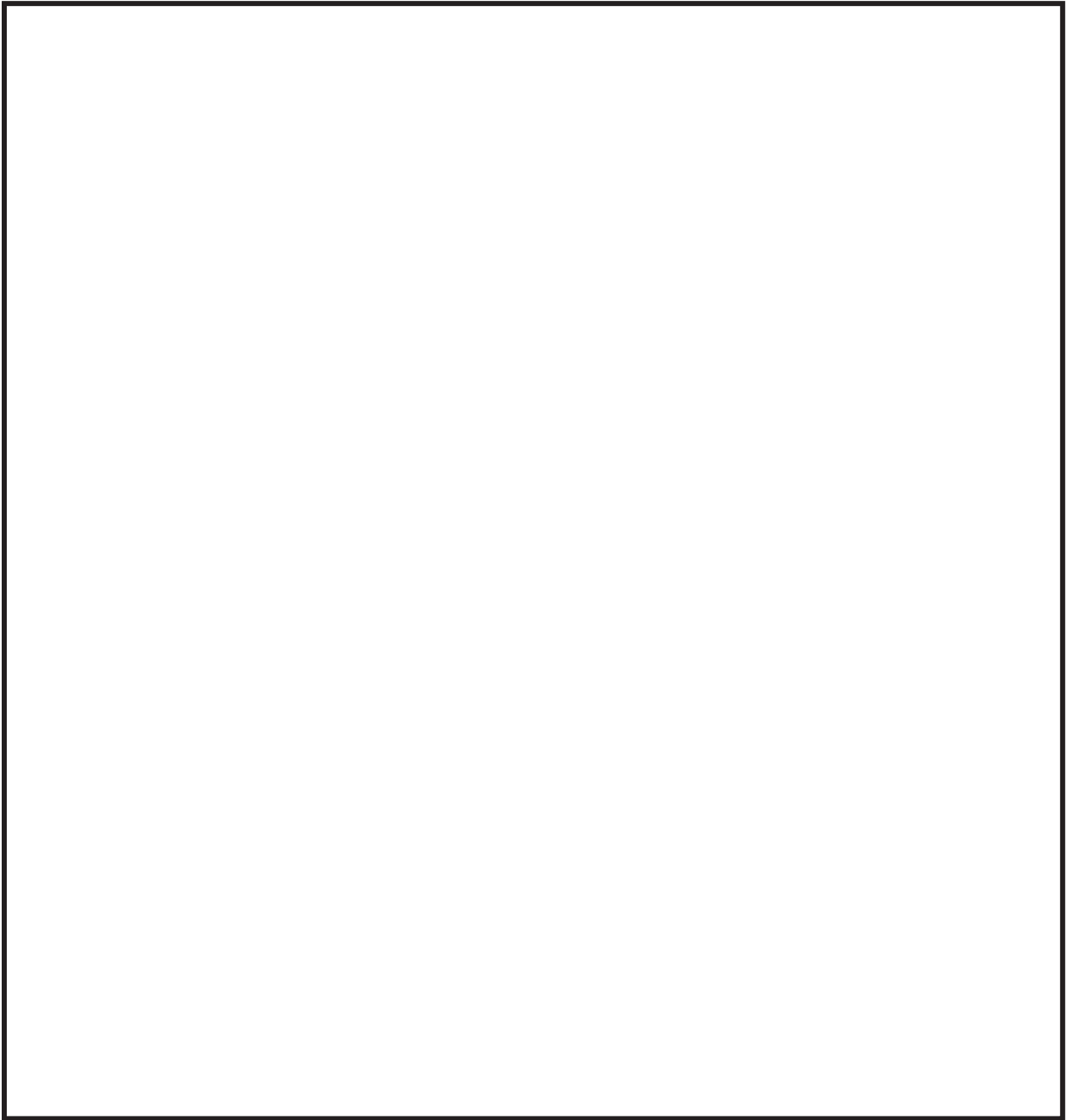


図 4-2 水力的動的荷重の作用方向

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

「MARK-I 動荷重指針」に基づき、残留熱除去系ストレーナに加わる逃がし安全弁作動時荷重を算出した結果を表 4-8 及び表 4-9 に示す。これらの表に示した荷重は、考慮すべき水力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、最終的な荷重はそれぞれ下記となる。

$$\text{定常ドラッグ荷重 (N)} = \text{下記荷重 (N/m}^2\text{)} \times A_A \times C_D$$

$$\text{加速度ドラッグ荷重 (N)} = \text{下記荷重 (N/m}^3\text{)} \times V_A$$

A_A ：実効面積は荷重方向に応じたストレーナの投影面積に相当し、荷重方向に応じて

端面の円の面積 又は円柱の断面積 を用いる。

C_D ： を用いる。

V_A ：ストレーナ 1 は (m³)、ストレーナ 2 は (m³) を用いる。

表 4-8 逃がし安全弁作動時荷重 (ストレーナ 1)

荷重	軸方向	鉛直方向	水平方向	備考
逃がし安全弁 作動時荷重* (SRV _D)				定常ドラッグ荷重
(SRV _A)				加速度ドラッグ荷重

注記*：逃がし安全弁作動時荷重は、定常ドラッグ荷重と加速度ドラッグ荷重との代数和とする。

表 4-9 逃がし安全弁作動時荷重 (ストレーナ 2)

荷重	軸方向	鉛直方向	水平方向	備考
逃がし安全弁 作動時荷重* (SRV _D)				定常ドラッグ荷重
(SRV _A)				加速度ドラッグ荷重

注記*：逃がし安全弁作動時荷重は、定常ドラッグ荷重と加速度ドラッグ荷重との代数和とする。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.3 解析モデル

残留熱除去系ストレーナの応答解析及び応力評価は、はりモデル及び三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。なお、ストレーナ本体の応力計算に用いた三次元シェルモデル(以下「応力解析用モデル」という。)については、「4.5 計算方法」で説明する。本項においては、ストレーナから原子炉格納容器貫通部外の残留熱除去系ポンプ又はアンカサポートまでの配管をモデル化したはりモデル(以下「応答解析用モデル」という。)について説明する。解析モデルは、添付書類「VI-3-3-3-3-1-3 残留熱除去系ストレーナの強度計算書」に示す応答解析用モデル及び応力解析用モデルと同じモデルである。

残留熱除去系ストレーナの応答解析用モデルの概要を以下に示す。

- (1) 応答解析用モデルでは、ストレーナから原子炉格納容器貫通部外の残留熱除去系ポンプ又はアンカサポートまでの配管を、はり要素を用いた有限要素モデルとしてモデル化して解析を行い、ストレーナとティーの取合い部に発生する配管反力、モーメント及び応答加速度を算出する。
- (2) 原子炉格納容器貫通部は6軸方向のばねをもつ拘束点としてモデル化する。なお、原子炉格納容器に対して、面内の回転方向及び面外の並進方向は剛ばねとする。
- (3) ストレーナの質量は、各ストレーナの重心位置に集中質量を与える。
- (4) 本設備はサプレッションプールに水没している機器であるため、応答解析ではストレーナの質量及び異物の質量のほか、ストレーナに含まれる水の質量及びストレーナ外形の付加質量*を考慮する。
- (5) 解析コードは「ISAP」を使用し、ストレーナとティーの取合い部に発生する荷重を求める。なお、評価に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、「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

注記*：機器が流体中で加速度を受けた場合に質量が増加したような効果を模擬した質量

4.4 設計用地震力

残留熱除去系ストレーナは、「4.3 解析モデル」に示す応答解析用モデルの地震応答解析結果を用いて評価を実施する。なお、応答解析用モデルの設計用地震力については、添付書類「VI-2-5-4-1-5 ストレーナ部ティーの耐震計算書（残留熱除去系）」に示す。

「3 評価部位」に示した評価部位のうち、アウトージャケット、フランジプレート及びストレーナ取付ボルトは、応答解析用モデルの配管反力及びモーメントを用いて評価を実施する。評価に用いる配管反力及びモーメントについては、「4.6 計算条件」に示す。

「3 評価部位」に示した評価部位のうち、多孔プレートについては、応答解析用モデルの応答加速度を用いて地震時における荷重を算出する。多孔プレートに作用する設計震度を表 4-10 に示す。

表 4-10 多孔プレートに作用する設計震度

据付場所 及び床面高さ (m)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
原子炉建屋 O.P. 	3.81	6.39

注：設計震度は、応答解析用モデルで得られる応答加速度を水平 2 方向及び鉛直 1 方向を二乗和平方根した値。

4.5. 計算方法

残留熱除去系ストレーナについて、形状、設置レベルが同一であること及び考慮すべき水力的動荷重（逃がし安全弁作動時荷重及び原子炉冷却材喪失時荷重）として最大となる位置の値を使用して計算することから、応力評価は代表して1組の残留熱除去系ストレーナにつき実施する。

4.5.1 応力評価点

残留熱除去系ストレーナの構造及び形状を考慮して、アウタージャケット、フランジプレート、多孔プレート及びストレーナ取付部ボルトを応力評価部位として選定し、評価を実施する。





なお、多孔プレートについては、軸対称で同一の構造であることから、その中の代表的な応力評価部位を選定し、各々の評価部位に対し評価を実施する。

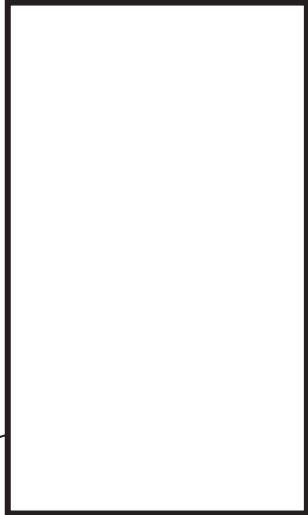
4.5.2 応力計算方法

各応力評価部位の応力計算方法について、以下に示す。

(1) アウタージャケット

アウタージャケットの仕様を以下に示す。

- 外径(OD)  mm
- アウタージャケットの厚さ(t)  mm
- ウェブ幅(w)  mm
- ウェブ个数(n)  個

ウェブ 

配管系にストレーナが設置された状態で、ストレーナに水力的動荷重が加えられる。これらの荷重に対してはアウタージャケットで強度を持たせている。従ってアウタージャケットは、ストレーナも含めた配管系の解析から得られたストレーナとティーの取合い部に加わる水力的動荷重に対する配管の反力及びモーメントを用いて、強度評価を実施する。

評価に用いた配管の反力及びモーメントは、ストレーナとそれに接続するティーを含む配管を質点-梁にモデル化して、計算機コード「ISAP」を用いて解析した結果より得られたものである。

アウタージャケットは一次応力（曲げ応力を含む）に対して評価を行うものとする。なお、二次応力については、ストレーナ端部の拘束がないことから考慮しない。また、一次一般膜応力はストレーナの構造上内圧を有さないことから考慮しない。

アウタージャケットは円筒の片持ち梁と仮定し、ストレーナとティー取合い部に加わるモーメント及び反力を加えることで発生応力を求める。アウタージャケットの応力算出方法を以下に示す。

- ・アウタージャケットの応力評価はクラス 2 管の応力評価(設計・建設規格 PPC-3520)を準用する。
- ・モーメントによる応力について、ストレーナに加わる配管モーメントのうち M_x は無視できるほど小さいため、 M_y と M_z の二乗和平方根 $M = \sqrt{M_y^2 + M_z^2}$ を求める。
- ・膜応力については、膜応力成分となる軸力 (F_x) から応力を求め、前記に示すモーメントより求めた応力と加えて発生応力 $\sigma = M/Z + F_x/A_J$ を求める。

なおアウタージャケットにある窓部の欠損を考慮した等価肉厚に置き換えて評価を行う。アウタージャケットの等価肉厚 s を求めると以下となる。

$$s = n \times w \times t / \pi / OD = \boxed{} \text{ mm}$$

上記等価肉厚における断面係数 Z 及びアウタージャケットの有効断面積 A_J は以下のとおり算出される。

$$Z : \boxed{} \text{ mm}^3, \quad A_J : \boxed{} \text{ mm}^2$$

以上の評価式及び値を適用し、「4.6 計算条件」の表 4-11 及び表 4-12 に示す配管の反力及びモーメントを用いてアウタージャケットに発生する応力を算出する。

(2) フランジプレート

フランジプレートは、アウタージャケットの重心まで含むシェル要素でモデル化し(図 4-3 参照)、計算機コード「ANSYS」を使用して計算した既工認での結果を用いて、地震動の増幅を考慮の上、発生する応力を算出した。

フランジプレートはアウタージャケットに加わった水力学的動荷重を受けているので、アウタージャケットと同様に「4.6 計算条件」の表 4-11 及び表 4-12 に示す配管の反力及びモーメントを用いて応力を算定する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

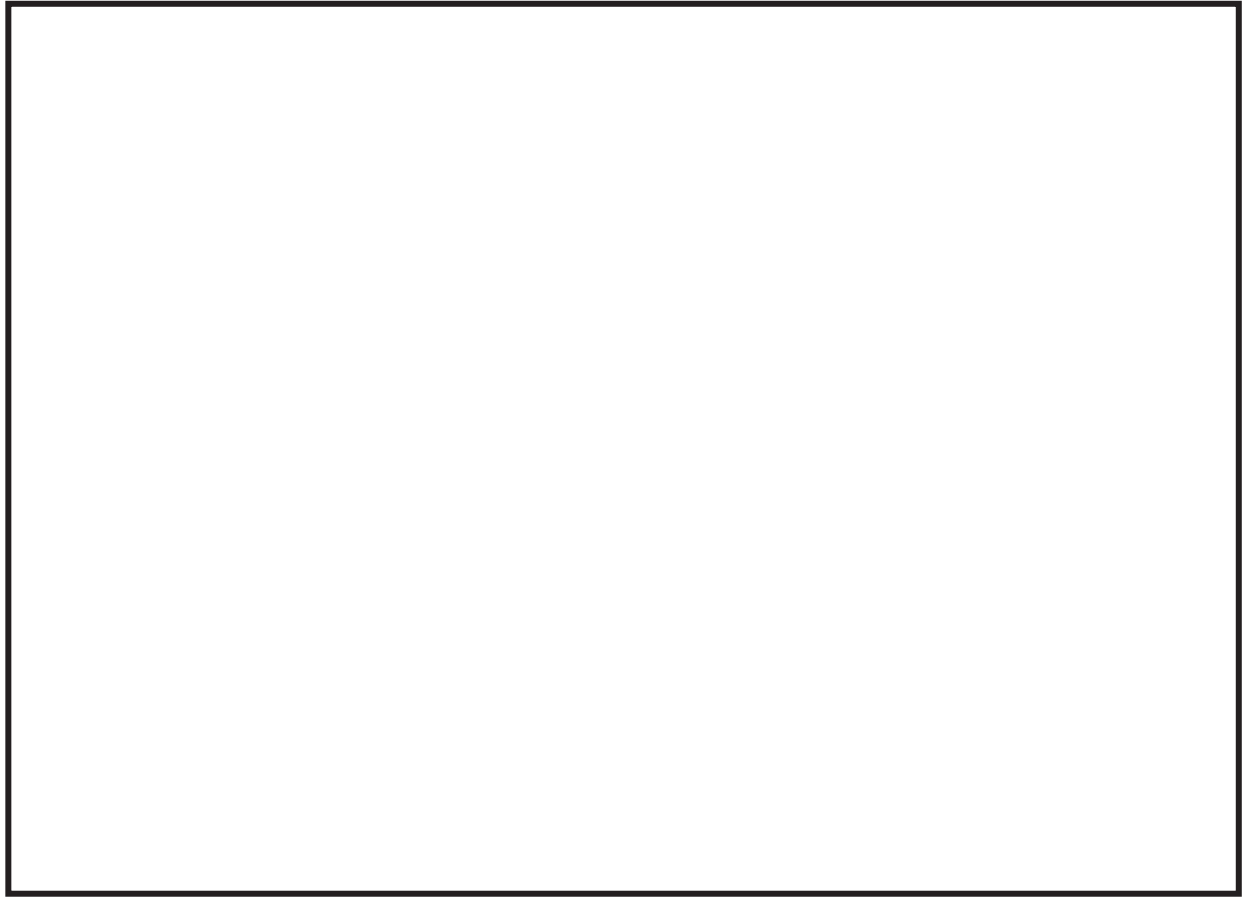


図 4-3 フランジプレートの計算モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 多孔プレート

既工認では、多孔プレートについては、シェル要素でモデル化し、計算機コード「ANSYS」を使用して応力を算出している。本計算書では、地震を含まない組合せ荷重と地震を含む組合せ荷重を比較し、地震を含まない組合せ荷重が最大となる場合は、既工認の算出結果を用いる。

多孔プレートの計算は、中身がつまった等価な平板として計算する。そのため、板の厚さとしては実肉厚を使用し、孔を補うものとして引用文献(1)で示される等価縦弾性係数及び等価ポアソン比を使用し、多孔プレートに対する応力増倍率を考慮する。

なお、等価縦弾性係数及び等価ポアソン比は、多孔プレートの下図の寸法を用いて求めた。

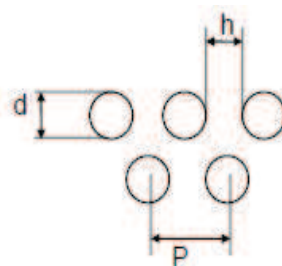
孔径 (d)



孔の間隔 (中心間) (P)



孔の間隔 (h)



多孔プレートのうちディスクシートは、シェル要素でモデル化し、計算機コード「ANSYS」を使用して計算した既工認の結果を用いた。ディスクシートの計算モデルを図 4-4 に示す。計算モデルはポケットシートはめ込み部、および補強プレートにより支持された部分を支持点としたモデルとする。



図 4-4 ディスクシートの多孔プレートの計算モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

多孔プレートのうちポケットシートは、シェル要素でモデル化し、計算機コード「ANSYS」を使用して計算した既工認の結果を用いた。ポケットシートの多孔プレートの計算モデルを図 4-5 に示す。また、計算モデルはディスクシートにはめ込み固定する部分を支持点としたモデルとする。

なお、ストレーナ 1 の 1~9 列目及びストレーナ 2 の 1~5 列目のカセットと、ストレーナ 1 の 10 列目及びストレーナ 2 の 6 列目のカセットでは、ポケットシートのはめ込み部の形状が異なることから、解析モデルを個別に作成し、それぞれについて評価を行う。

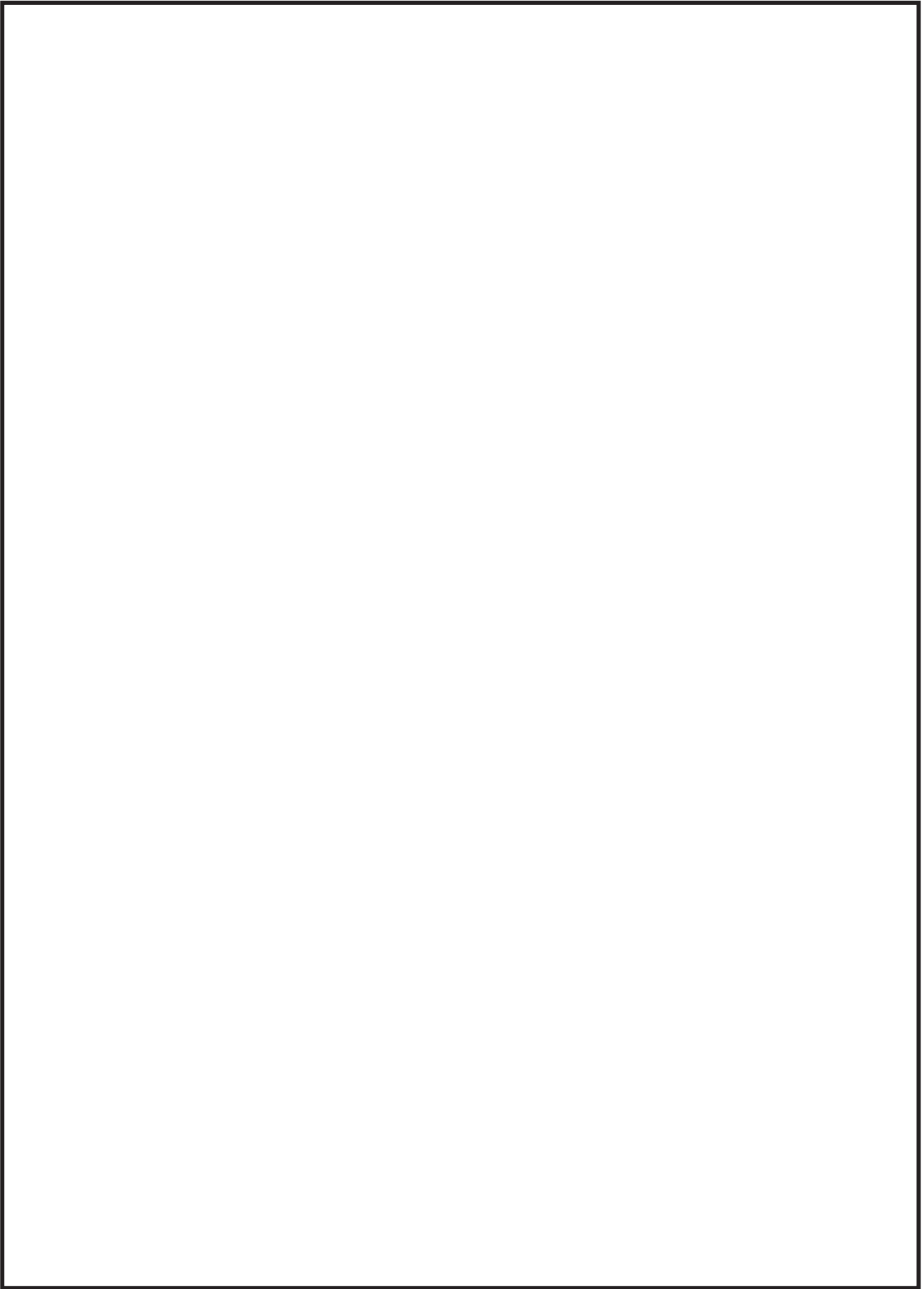


図 4-5 ポケットシートの多孔プレートの計算モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

多孔プレートのうちフロントシートは、シェル要素でモデル化し、計算機コード「ANSYS」を使用して計算した既工認の結果を用いた。フロントシートの多孔プレートの計算モデルを図 4-6 に示す。計算モデルはリブ、ポケットシートはめ込み部、リング部を支持点としたモデルとする。

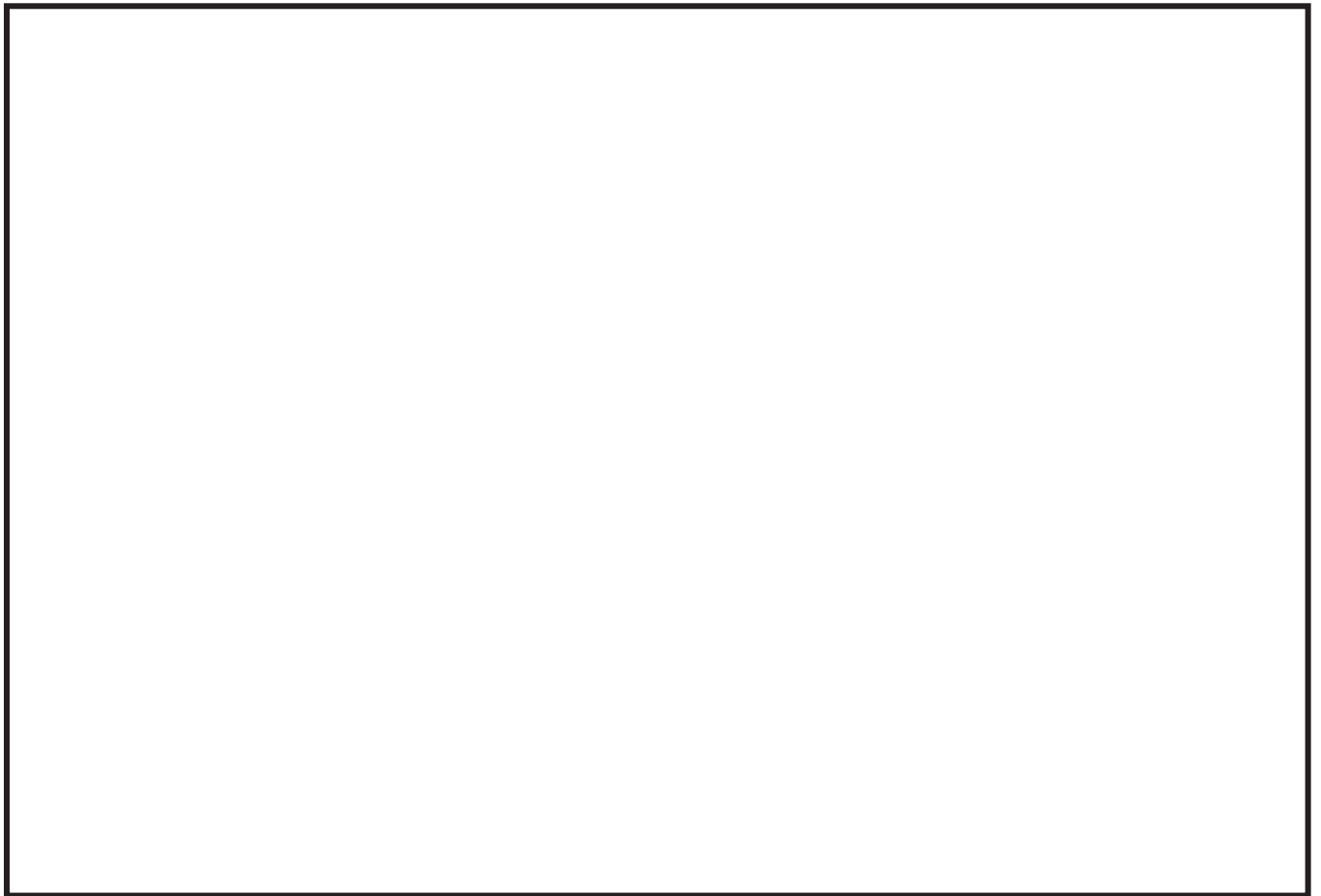


図 4-6 フロントシートの多孔プレートの計算モデル図

(4) ストレーナ取付部ボルト

ストレーナ取付部ボルトの設計荷重は、フランジプレートに作用する最大モーメントに加え、ストレーナの軸方向に発生する反力であるボルトの軸方向荷重を考慮した引張力を合算して評価を行う。フランジとボルトは摩擦接合であるため、ボルトに対するせん断力は作用しないものとする。また、計算で用いるボルト径は、安全側にボルトの谷径を用いるものとする。

図 4-7 に示すフランジの中心を通る中立軸（Z 軸）まわりのモーメントを考える。このとき、Z 軸まわりのモーメントは、各ボルトに発生する軸力とボルトの Z 軸からの距離の積から得られるモーメントとつりあっていると考えることができる。ここで、軸方向荷重によって中立軸が移動するが、軸方向荷重のボルトへの影響が小さいため、軸方向荷重による中立軸の移動は無視する。

したがって、Z 軸まわりのモーメントと各ボルトの軸力の関係は下記となる。

$$M_z = \sum_{k=1}^n F_{t k} \cdot l_k$$

ここで、 M_z : Z 軸まわりのモーメント (N・mm)

$F_{t k}$: 各ボルトに発生する軸力 (N)

l_k : 任意のボルト k における Z 軸からの距離 (mm)

n : ボルトの本数 =

なお、ストレーナ重心がフランジ中心軸上に存在することから、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。

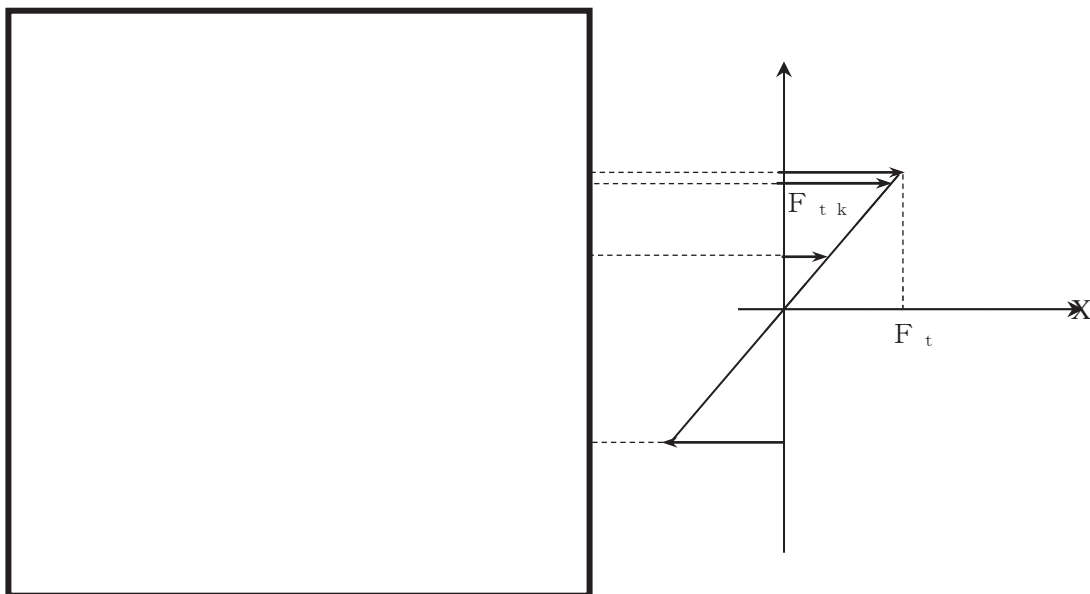


図 4-7 各ボルトに発生する軸力とモーメントアームの関係

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

また、ボルト軸力のZ軸まわりのモーメント寄与分は中立軸上ではゼロであり、図 4-7 に示すように、曲げモーメントを伝えるボルトの軸力は回転中心からの距離に比例して変化するとして算定する。この場合、ボルトに発生する最大の軸力を F_t とすると、各ボルトに発生する軸力 F_{tk} は下記となる。

$$F_{tk} = F_t \cdot \frac{l_k}{D/2}$$

ここで、 F_t : 最大の軸力が発生するボルトの軸力 (N)

F_{tk} : 各ボルトに発生する軸力 (N)

D : ボルト孔中心円直径 = (mm)

以上より、Z軸まわりのモーメントは下記となる。

$$M_z = \frac{2 \cdot F_t}{D} \sum_{k=1}^n l_k^2 = \frac{F_t \cdot D \cdot n}{4}$$

ただし、

$$l_k = \frac{D}{2} \cdot \sin \left\{ \frac{2 \cdot \pi}{n} \cdot (k-1) \right\}$$

よって、ボルトの軸力は以下のように算出できる。

$$F_t = \frac{4 \cdot M_{tot}}{D \cdot n}$$

M_{tot} : 曲げモーメントの最大値 (N・mm)

したがって、ボルトに発生する応力は下記となる。

$$f_t = \frac{F_t}{A_s} + \frac{F_x}{A_s \cdot n}$$

ここで、 f_t : ボルトの発生応力 (MPa)

A_s : ボルトの有効断面積 = (mm²)

d_b : ボルトのねじ部谷径 = (mm)

F_x : ストレーナ軸方向荷重 (N)

4.6 計算条件

本計算書の「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.5 計算方法」に示したとおり、各応力評価部位に対して、荷重値が最大となる荷重の組合せを用いて応力評価を実施する。

(1) アウタージャケット及びフランジプレートに加わる荷重

表 4-11 及び表 4-12 にストレーナに加わる配管荷重が設計基準対象施設で最大となる自重+逃がし安全弁作動時荷重+S s 及び重大事故等対処設備で最大となる自重+差圧+S s の組合せの荷重を示す。当該の荷重を用いて、アウタージャケット及びフランジプレートの応力評価を実施する。

表 4-11 ストレーナ 1 に加わる最大配管荷重

荷重の組合せ		反力(N)			モーメント (N・m)		
		F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
DB-3	自重+逃がし安全弁作動時荷重+S d	3.075× 10 ⁴	5.060× 10 ⁴	5.333× 10 ⁴	13.00	1.985× 10 ⁴	1.831× 10 ⁴
DB-4	自重+逃がし安全弁作動時荷重+S s	4.863× 10 ⁴	6.349× 10 ⁴	7.022× 10 ⁴	15.00	2.536× 10 ⁴	2.271× 10 ⁴
SA-2	自重+差圧+S s	5.373× 10 ⁴	6.526× 10 ⁴	8.066× 10 ⁴	18.00	2.971× 10 ⁴	2.372× 10 ⁴

表 4-12 ストレーナ 2 に加わる最大配管荷重

荷重の組合せ		反力(N)			モーメント (N・m)		
		F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
DB-3	自重+逃がし安全弁作動時荷重+S d	2.100× 10 ⁴	3.164× 10 ⁴	3.285× 10 ⁴	6.000	6.904× 10 ³	6.377× 10 ³
DB-4	自重+逃がし安全弁作動時荷重+S s	3.388× 10 ⁴	4.212× 10 ⁴	4.853× 10 ⁴	7.000	2.536× 10 ⁴	2.135× 10 ⁴
SA-2	自重+差圧+S s	3.707× 10 ⁴	4.421× 10 ⁴	5.616× 10 ⁴	6.000	2.872× 10 ⁴	2.260× 10 ⁴

(2) 多孔プレートに加わる荷重

「4.4 設計用地震力」に示す設計震度や水力学的動荷重のうち、加速度ドラッグ荷重（ $SRV_A, LAB_A, CO_A, CH_A, FAB_A$ ）は、ストレーナ各構成要素に働く水力学的重量として加わる荷重であり、多孔プレート表面に分配して加わる。

水力学的動荷重のうち、定常ドラッグ荷重（ $SRV_D, CO_D, CH_D, LAB_D, FAB_D$ ）は、流れ中でストレーナの実効面積に比例し加わる。また、ストレーナの差圧は多孔プレートの表面を押す荷重として作用する。

以上より、残留熱除去系ストレーナの多孔プレートに加わる荷重は表面荷重として与えられる。

ここで、地震による多孔プレートに加わる表面荷重は以下の式で求められる。

$$\text{地震による表面荷重 (kPa)} = \alpha \times g \times \rho \times V_A / A_A$$

α : 多孔プレートに作用する設計震度（表 4-10 の値を用いる。）

g : 重力加速度 (=9.80665 m/s²)

ρ : 水の密度 (=1000 kg/m³)

A_A : 実効面積は荷重方向に応じたストレーナの投影面積に相当し、荷重方向に応じて端面の円の面積 又は円柱の断面積 を用いる。

V_A : ストレーナ 1 は (m³)、ストレーナ 2 は (m³) を用いる。

「4.2.4 設計荷重」に示す荷重及び「4.4 設計用地震力」に示す設計震度を用いて算出した表面荷重（等価圧力）の組合せを表 4-13 に示す。また、表 4-14 に選定した各応力評価部位の評価に用いる表面荷重（等価圧力）を示す。地震を含めた各応力評価部位に加わる荷重のうち、添付書類「VI-3-3-3-1-3 残留熱除去系ストレーナの強度計算書」にて評価している差圧+蒸気凝縮荷重の表面荷重が最大となる。

以上より、多孔プレートに加わる地震荷重の評価については、添付書類「VI-3-3-3-1-3 残留熱除去系ストレーナの強度計算書」の評価に包絡される。

表 4-13 多孔プレートに加わる表面荷重（等価圧力）の組合せ

組合せ No.	荷重の組合せ	表面荷重（等価圧力）(kPa)
—*	差圧	
—*	差圧+蒸気凝縮荷重(C O)	
—*	差圧+逃がし安全弁作動時荷重(S R V)+チャギング荷重(C H)	
—*	気泡形成荷重(L A B)	
—*	フォールバック荷重(F A B)	
DB-3	逃がし安全弁作動時荷重+S d *	
DB-4	逃がし安全弁作動時荷重+S s	
DB-5/SA-1	差圧+S d *	
SA-2	差圧+S s	

注記*：添付書類「VI-3-3-3-3-1-3 残留熱除去系ストレーナの強度計算書」から抜粋

表 4-14 多孔プレートの各応力評価部位に加わる表面荷重（等価圧力）

名称	各応力評価部位に加わる表面荷重 (kPa)
ディスクシート	
ポケットシート	
フロントシート	

(3) ストレーナ取付部ボルトに加わる荷重

ストレーナ取付部ボルトについては、アウタージャケット及びフランジプレートと同じ荷重が加わることから、発生荷重が最大となる表 4-13 の組合せの荷重を用いて、評価を行う。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.7 応力の評価

「4.5 計算方法」で求めた応力が表 4-4～表 4-7 を用いて算出される許容応力以下であること。

4.8 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

4.8.1 アウタージャケット及びフランジプレートの評価結果

アウタージャケット，フランジプレートに使用している [] は，クラス 2 管の使用可能な材料として設計・建設規格に記載されていないことから，クラス 2 管の使用可能な材料として設計・建設規格に記載されている材料 [] と機械的強度及び化学的成分を比較し，同等であることを示す。

(1) 機械的強度

	引張強さ	降伏点 又は耐力	比較結果
使用材料			引張強さ及び降伏点は同等である。
比較材料			

(2) 化学的成分

	化学的成分 (%)										
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	W
使用材料											
比較材料											
比較結果											

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 評価結果

(1)(2)の評価により、機械的強度、化学的成分いずれにおいても比較材料と同等であることを確認したため、本機器において [] を重大事故等クラス2材料として使用することに問題ないとする。

5. 評価結果

残留熱除去系ストレーナの設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての強度評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足している。

(1) 設計基準対象施設に対する評価

設計基準対象施設に対する応力評価結果を表5-1及び表5-2に示す。

なお、各評価点における計算応力は表4-3に示す荷重の組合せのうち、発生値が最も高い評価を記載している。

(2) 重大事故等時対処設備に対する評価

重大事故等時対処設備に対する応力評価結果を表5-3に示す。

なお、各評価点における計算応力は表4-3に示す荷重の組合せのうち、発生値が最も高い評価を記載している。

表 5-1 設計基準対象施設に対する応力評価結果 (D + P_D + M_D + S d *)

評価対象設備	評価部位	応力分類	設計基準対象施設		
			計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	荷重組合せ
残留熱除去系 ストレーナ	アウトージャケット	一次応力 (曲げ応力を含む)			DB-3
	フランジプレート	一次一般膜応力			DB-3
		一次応力 (曲げ応力を含む)			
	ストレーナ取付部ボルト	引張応力			DB-3

表 5-2 設計基準対象施設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	設計基準対象施設		
			計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	荷重組合せ
残留熱除去系 ストレーナ	アウトージャケット	一次応力 (曲げ応力を含む)			DB-4
	フランジプレート	一次一般膜応力			DB-4
		一次応力 (曲げ応力を含む)			
	ストレーナ取付部ボルト	引張応力			DB-4

表 5-3 重大事故等対処設備に対する応力評価結果 (D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s)

評価対象設備	評価部位	応力分類	重大事故等対処設備			
			計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	荷重組合せ	
残留熱除去系 ストレーナ	アウトージャケット	一次応力 (曲げ応力を含む)			SA-2	
	フランジプレート	一次一般膜応力				SA-2
		一次応力 (曲げ応力を含む)				
	ストレーナ取付部ボルト	引張応力			SA-2	

6. 引用文献

- (1) ASME B&PV CODE, Section III, Division 1, Appendices, Article A-8000,
“Stresses in Perforated Flat Plates,” 1989 Edition, No addenda.

VI-2-5-4-1-4 管の耐震性についての計算書
(残留熱除去系)

設計基準対象施設

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	8
3. 計算条件	17
3.1 計算方法	17
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	18
3.3 設計条件	19
3.4 材料及び許容応力評価条件	31
3.5 設計用地震力	32
4. 解析結果及び評価	36
4.1 固有周期及び設計震度	36
4.2 評価結果	60
4.2.1 管の応力評価結果	60
4.2.2 支持構造物評価結果	66
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	68
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	70

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、残留熱除去系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全 18 モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.4 に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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

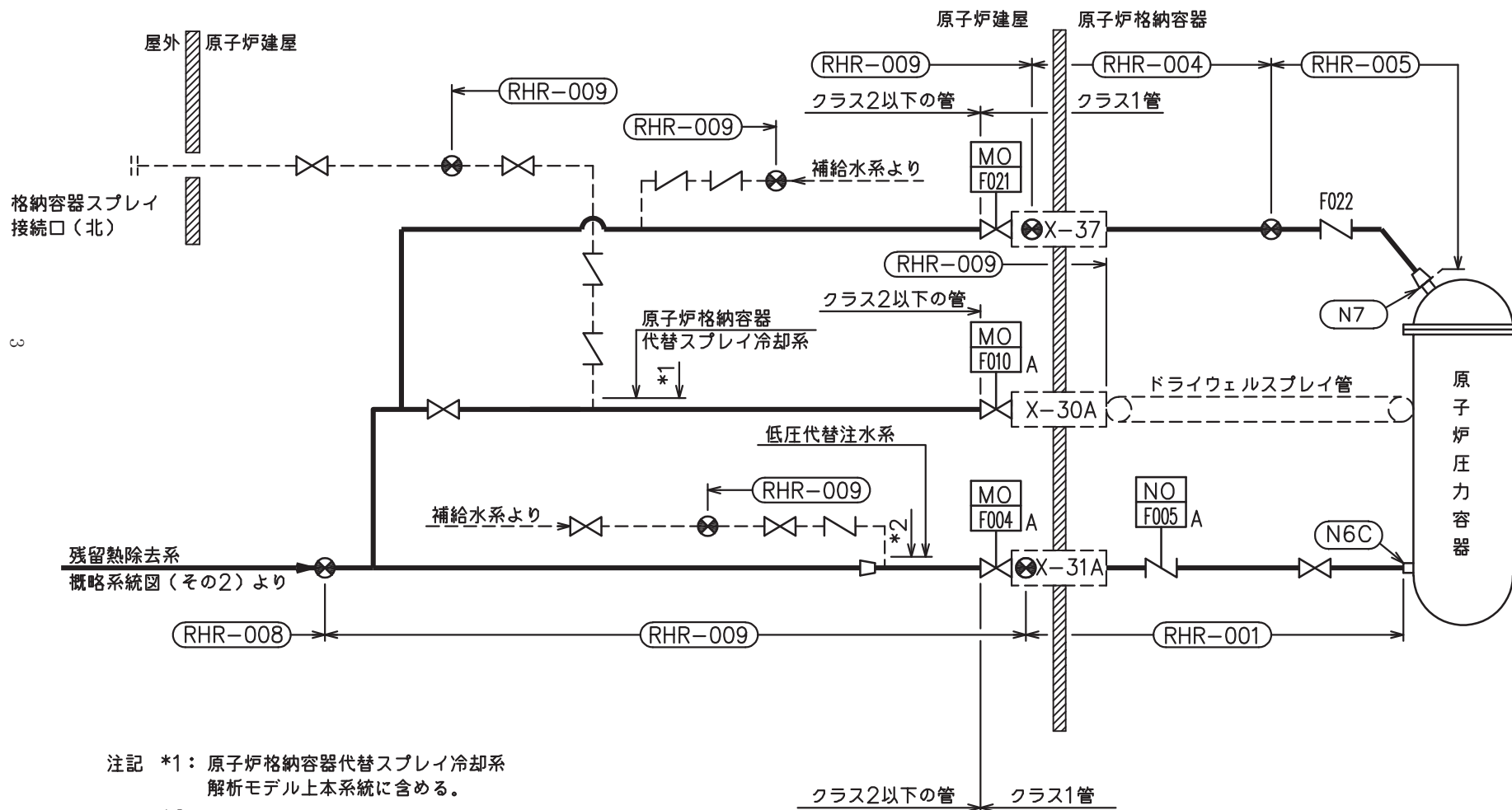
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

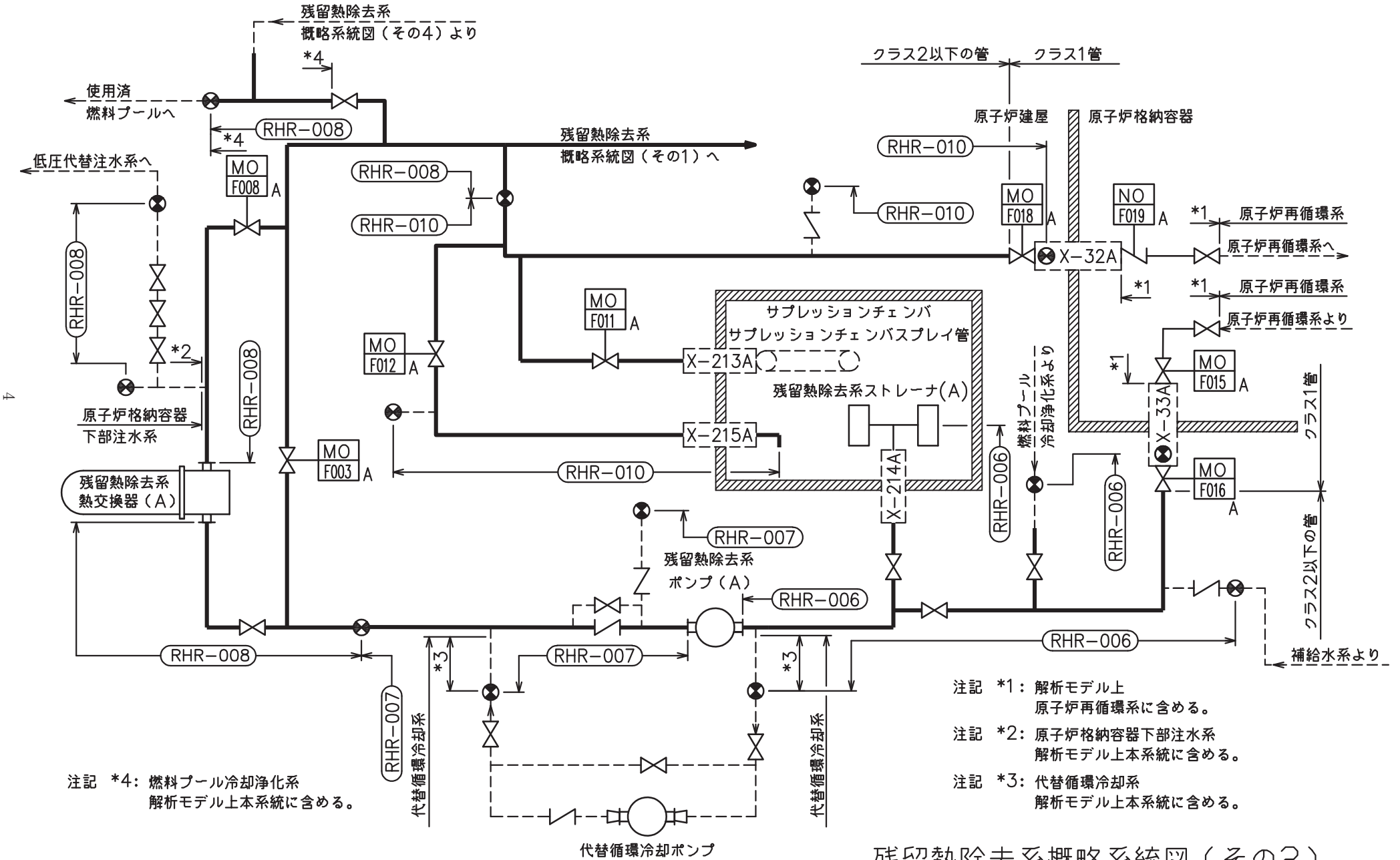
概略系統図記号凡例

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
 (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
	アンカ



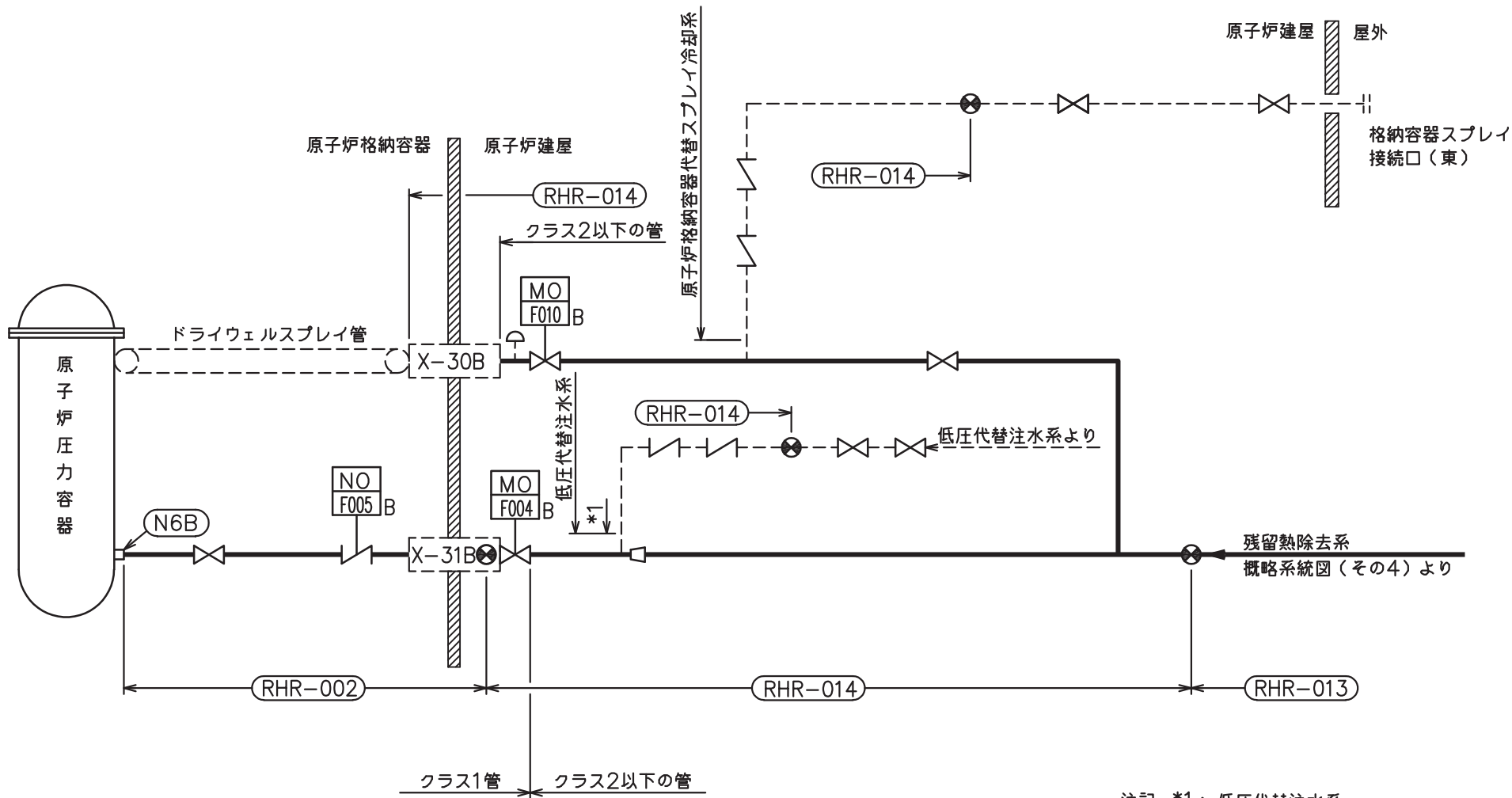
注記 *1: 原子炉格納容器代替スプレイ冷却系
解析モデル上本系統に含める。
*2: 低圧代替注水系
解析モデル上本系統に含める。

残留熱除去系概略系統図(その1)



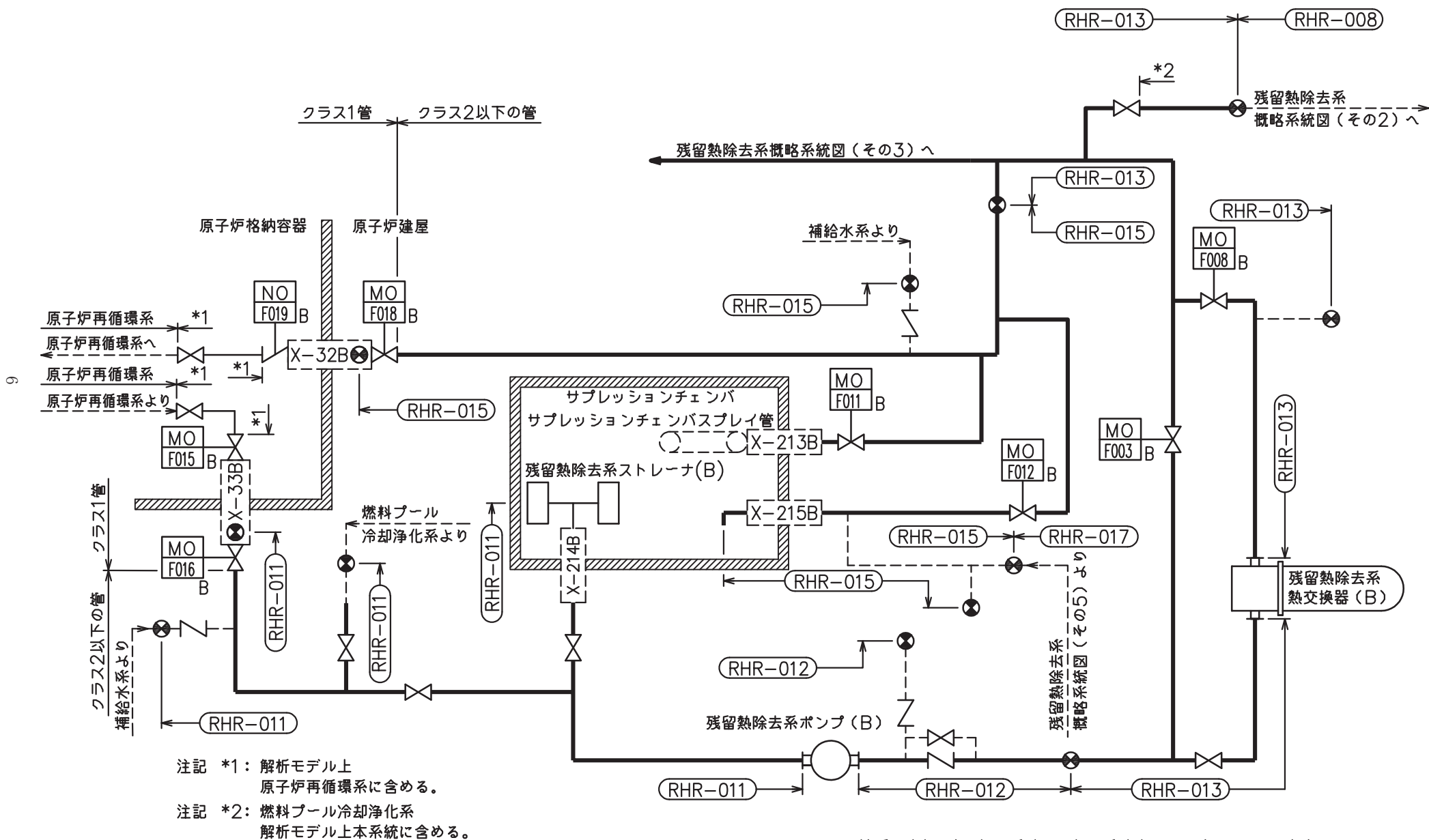
残留熱除去系概略系統図(その2)

5

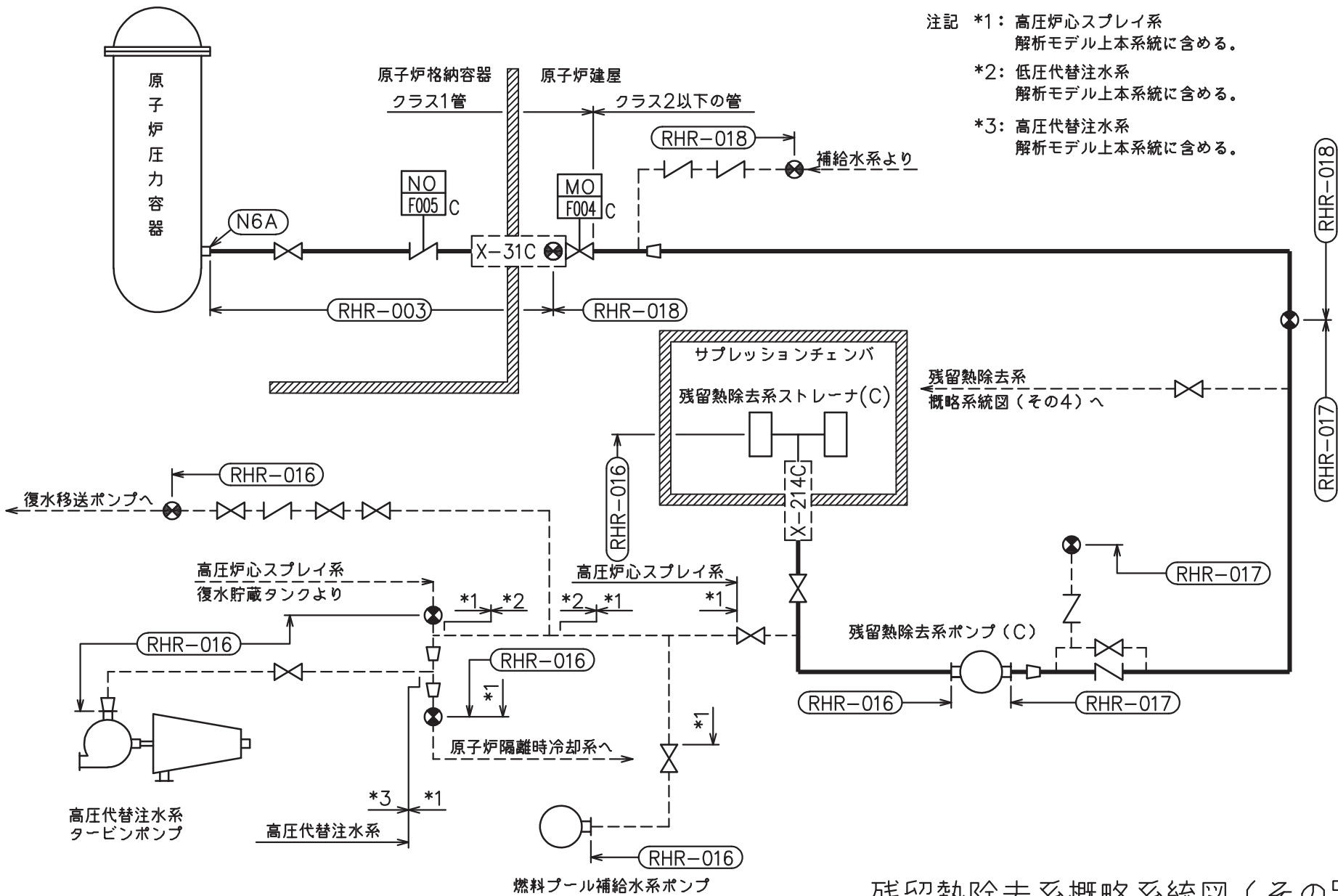


注記 *1: 低圧代替注水系
解析モデル上本系統に含める。

残留熱除去系概略系統図(その3)



残留熱除去系概略系統図（その4）


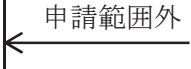



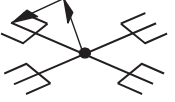
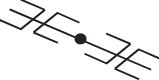

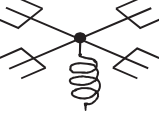
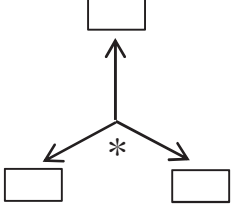


- 注記 *1: 高圧炉心スプレイ系
解析モデル上本系統に含める。
- *2: 低圧代替注水系
解析モデル上本系統に含める。
- *3: 高圧代替注水系
解析モデル上本系統に含める。

残留熱除去系概略系統図(その5)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>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として本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印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。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>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。)</p>

6

鳥瞰図	RHR-003
-----	---------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

10

鳥瞰図	RHR-005
-----	---------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	RHR-010-1/4
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RHR-010-2/4

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	RHR-010-3/4
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	RHR-010-4/4
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

15

鳥瞰図	RHR-015-1/2
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	RHR-015-2/2
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, *3	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	DB	—	クラス1管 クラス2管	S	I _L + S d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L + S d	
							Ⅳ _L (L) + S d	
							I _L + S s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L + S s	

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：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。

*3：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。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-003

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	8.62	302	267.4	18.2	STS410	S	184760

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 RHR-003

管名称	対 応 す る 評 価 点																																					
1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	40	801	901	902	905

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
5		12		19		29		39	
6		13		23		30		40	
7		14		24		34		801	
8		15		25		35		901	
9		16		26		36		902	
10		17		27		37		905	
11		18		28		38			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1 弁 2

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
20		31	
21		32	
22		33	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	21			
弁2	32			

O 2 ⑥ VI-2-5-4-1-4 (設) R 0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-003

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
6						
** 6 **						
** 11 **						
14						
25						
40						
** 901 **						
** 902 **						
905						

--

O2 ⑥ VI-2-5-4-1-4(設) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-005

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	8.62	302	114.3	11.1	STS410	S	184760
2	8.62	302	165.2	14.3	STS410	S	184760

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 RHR-005

管名称	対 応 す る 評 価 点																																							
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17	18	19	20	21	22	24	28	29	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	901	903	904	905
2	30	112	113																																					

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		9		18		102		110	
2		10		19		103		111	
3		11		20		104		112	
4		12		21		105		113	
5		13		28		106		901	
6		14		29		107		903	
7		16		30		108		904	
8		17		101		109		905	

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
22	
23	
24	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	23			

O 2 ⑥ VI-2-5-4-1-4 (設) R 0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-005

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
** 4 **						
13						
** 16 **						
** 19 **						
21						
30						
** 901 **						
** 903 **						
** 904 **						
** 905 **						

O2 ⑥ VI-2-5-4-1-4(設) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-010

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	3.73	186	318.5	10.3	STS410	S	192120
2	427kPa (0.427MPa)	104	318.5	10.3	STS410	S	197680
3	3.73	186	114.3	6.0	SF490A	S	192120
4	3.73	186	114.3	6.0	STS410	S	192120
5	3.73	104	114.3	6.0	STS410	S	197680

設計条件

管名称と対応する評価点
評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 RHR-010

管名称	対 応 す る 評 価 点																																
1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	22	23	24	25	26	27	80	81	82	97	800	801	802	809	909	910	913	917
2	29	30	31	32	33	34	35	36	83	84	85	86	87	88	89	90	91	810	813	912	915												
3	11	803	804																														
4	38	39	40	41	42	43	44	45	46	98	804	812	815	911	916																		
5	48	49	50	51																													

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
3		22		40		85		809	
4		23		41		86		810	
5		24		42		87		812	
6		25		43		88		813	
7		26		44		89		815	
8		30		45		90		909	
9		31		49		91		910	
10		32		50		97		911	
11		33		51		98		912	
12		34		80		800		913	
13		35		81		801		915	
14		36		82		802		916	
15		38		83		803		917	
16		39		84		804			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
17		27		46	
18		28		47	
19		29		48	
74		76		78	
75		77		79	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	18			
弁2	28			
弁3	47			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-010

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
3						
26						
31						
** 37 **						
40						
45						
** 52 **						
52						
** 52 **						
** 77 **						
79						
80						
82						
** 89 **						
** 909 **						
** 910 **						
** 911 **						
** 912 **						
** 913 **						
** 915 **						
** 916 **						
917						



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-015

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	3.73	186	318.5	10.3	STS410	S	192120
2	3.73	186	114.3	6.0	SF490A	S	192120
3	3.73	186	114.3	6.0	STS410	S	192120
4	3.73	104	114.3	6.0	STS410	S	197680
5	427kPa (0.427MPa)	104	318.5	10.3	STS410	S	197680

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 RHR-015

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	42	43	44	45	46	47	80	81	805	806	807	812	814	815	915
	916	917	919												
2	9	808	809												
3	27	28	29	30	31	32	33	34	35	809	813	817	918		
4	37	38	39	40											
5	49	50	51	52	53	54	55	56	84	85	86	87	88	89	90
	91	92	802	803	816	902	903								

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		27		45		87		813	
2		28		46		88		814	
3		29		50		89		815	
4		30		51		90		816	
5		31		52		91		817	
6		32		53		92		902	
7		33		54		802		903	
8		34		55		803		915	
9		38		56		805		916	
10		39		80		806		917	
11		40		81		807		918	
12		42		84		808		919	
13		43		85		809			
14		44		86		812			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
15		35		47	
16		36		48	
17		37		49	
74		76		78	
900		77		79	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	16			
弁2	36			
弁3	48			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-015

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
29						
34						
** 41 **						
41						
** 41 **						
46						
51						
** 57 **						
77						
79						
80						
81						
** 90 **						
900						
** 902 **						
** 903 **						
916						
** 917 **						
918						
** 919 **						
** 921 **						

[Redacted area]

O 2 ⑥ VI-2-5-4-1-4(設) R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
SF490A	186	—	214	438	—
STS410	104	—	219	404	—
	186	—	208	404	—
	302	122	182	—	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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用いる。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

本計算書の疲労評価は、設備ごとに個別に設定した等価繰返し回数162回(S s)及び278回(S d)で実施する。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R H R - 0 0 3	原子炉しゃへい壁		

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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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用いる。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

本計算書の疲労評価は、設備ごとに個別に設定した等価繰返し回数216回(S s)及び311回(S d)で実施する。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R H R - 0 0 5	原子炉圧力容器		
	原子炉格納容器		

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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R H R - 0 1 0	原子炉建屋		

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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R H R - 0 1 5	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 RHR-003

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又は S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_I$ 及び $1.2C_V$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RHR-003

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				

注記* : 刺激係数は, モード質量を正規化し, 固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 RHR-003

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

40

鳥瞰図 RHR-003

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RHR-003

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RHR-005

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次							
2 次							
3 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又は S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_I$ 及び $1.2C_V$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RHR-005

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次				
2 次				

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 RHR-005

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RHR-005

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RHR-005

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RHR-010

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
14 次								
15 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。
 *3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RHR-010

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

注記* : 刺激係数は, モード質量を正規化し, 固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 RHR-010

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RHR-010

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RHR-010

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RHR-015

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
13 次								
14 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。
 *3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RHR-015

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

注記* : 刺激係数は, モード質量を正規化し, 固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 RHR-015

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RHR-015

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RHR-015

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス1管

鳥瞰図	許容 応力 状態	最大 応力 評価点	配管 要素 名称	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 疲労累積係数
					一次応力	許容応力	ねじり応力	許容応力	一次+二次応力	許容応力	
					$S_{p r m}(S d)$	$2.25 \cdot S_m$	$S_t(S d)$	$0.55 \cdot S_m$	$S_n(S d)$	$3 \cdot S_m$	
					$S_{p r m}(S s)$	$3 \cdot S_m$	$S_t(S s)$	$0.73 \cdot S_m$	$S_n(S s)$	$3 \cdot S_m$	$U+U S_s$
RHR-003	III _A S	35	ELBOW	$S_{p r m}(S d)$	153	274	—	—	—	—	—
	III _A S	39	ELBOW	$S_t(S d)$	—	—	105*	67	—	—	—
	III _A S	35	ELBOW	$S_n(S d)$	—	—	—	—	377**	366	0.0123
	III _A S	40	NOZZLE	$U+U S_d$	—	—	—	—	—	—	0.0447
	IV _A S	35	ELBOW	$S_{p r m}(S s)$	243	366	—	—	—	—	—
	IV _A S	39	ELBOW	$S_t(S s)$	—	—	193*	89	—	—	—
	IV _A S	35	ELBOW	$S_n(S s)$	—	—	—	—	680**	366	0.2826
	IV _A S	40	NOZZLE	$U+U S_s$	—	—	—	—	—	—	0.5620

*印はねじりによる最大応力発生点において応力が許容応力を超えていることを示し、次頁に曲げとねじりによる応力評価結果を示す。

**印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態Ⅲ_ASのとき $0.55 \cdot S_m$ ，又は許容応力状態Ⅳ_ASのとき $0.73 \cdot S_m$ を超える評価点のうち曲げとねじりによる応力は許容値を満足している。

鳥 瞰 図 RHR-003

評価点	一次応力評価 (MPa)			
	ねじり応力 S _t (S _d) S _t (S _s)	許容応力 $0.55 \cdot S_m$ $0.73 \cdot S_m$	曲げとねじり応力 S _t +S _b (S _d) S _t +S _b (S _s)	許容応力 $1.8 \cdot S_m$ $2.4 \cdot S_m$
35	54 92 *	67 89	118 208	219 292
39	105 * 193 *	67 89	111 202	219 292

管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス1管

鳥瞰図	許容 応力 状態	最大 応力 評価点	配管 要素 名称	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 疲労累積係数
					一次応力	許容応力	ねじり応力	許容応力	一次+二次応力	許容応力	
					S p r m (S d)	2. 2 5・S m	S t (S d)	0. 5 5・S m	S n (S d)	3・S m	
S p r m (S s)	3・S m	S t (S s)	0. 7 3・S m	S n (S s)	3・S m						
RHR-005	Ⅲ _A S	104	BUTT WELD	S p r m (S d)	120	274	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	28	ELBOW	S t (S d)	—	—	70*	67	—	—	—
	Ⅲ _A S	29	ELBOW	S n (S d)	—	—	—	—	374**	366	0. 0250
	Ⅲ _A S	112	REDUCER	U+U S d	—	—	—	—	—	—	0. 0689
	Ⅳ _A S	29	ELBOW	S p r m (S s)	197	366	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	28	ELBOW	S t (S s)	—	—	129*	89	—	—	—
	Ⅳ _A S	29	ELBOW	S n (S s)	—	—	—	—	675**	366	0. 4586
	Ⅳ _A S	112	REDUCER	U+U S s	—	—	—	—	—	—	0. 6667

*印はねじりによる最大応力発生点において応力が許容応力を超えていることを示し、次頁に曲げとねじりによる応力評価結果を示す。

**印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態Ⅲ_ASのとき $0.55 \cdot S_m$ ，又は許容応力状態Ⅳ_ASのとき $0.73 \cdot S_m$ を超える評価点のうち曲げとねじりによる応力は許容値を満足している。

鳥 瞰 図 RHR-005

評価点	一次応力評価 (MPa)			
	ねじり応力 S _t (S _d) S _t (S _s)	許容応力 $0.55 \cdot S_m$ $0.73 \cdot S_m$	曲げとねじり応力 S _t +S _b (S _d) S _t +S _b (S _s)	許容応力 $1.8 \cdot S_m$ $2.4 \cdot S_m$
28	70 * 129 *	67 89	85 160	219 292

管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス 2 以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				S p r m (S d) S p r m (S s)	S y *1 0. 9 ・ S u	S n (S s)	2 ・ S y	
RHR-010	III _A S	29	S p r m (S d)	118	219	—	—	—
	IV _A S	29	S p r m (S s)	206	363	—	—	—
	IV _A S	29	S n (S s)	—	—	403	438	—

注記 *1: 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、S_yと1.2・S_hのうち大きい方とする。

管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス 2 以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				S p r m (S d) S p r m (S s)	S y *1 0. 9 ・ S u	S n (S s)	2 ・ S y	
RHR-015	Ⅲ _A S	47	S p r m (S d)	124	208	—	—	—
	Ⅳ _A S	9	S p r m (S s)	198	394	—	—	—
	Ⅳ _A S	39	S n (S s)	—	—	358	438	—

注記 *1: 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、S_yと1.2・S_hのうち大きい方とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
RHR-006-084S	メカニカルスナップ	SMS-10-100	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		173*	150
RHR-006-908B	ロッドレストレイント	RTS-25			149	375
RHR-011-085H	スプリングハンガ	VS30T-17			27	39
RHR-011-956S	メカニカルスナップ	SMS-25-100			173	375
RHR-005-021H	コンスタントハンガ	CDS-150-09			3088N	1650N×2

注記*：当該メカニカルスナップの計算荷重が許容荷重を超えるため、詳細評価を実施する。

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 (°C)	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			
RHR-010-026R	レストレイント	ラグ	STS410	186	204	133	228	-	-	-	せん断	75	120
RHR-008-085A	アンカ	ラグ	SGV410	186	105	28	65	21	54	25	組合せ	94	228

メカニカルスナップの詳細評価結果

支持構造物 番号	型式	評価結果					
		強度評価				機能確認	
		評価部位*	応力分類	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)
RHR-006-084S	SMS-10-100	ベアリング押え	曲げ	323	404	173	219

注記*：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超える弁については、詳細評価を実施する。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
E11-F005B	テストブル チェック弁	β (S s)	9.2*	10.6*	6.0	6.0
E11-F011B	ゲート弁	β (S s)	7.5*	3.4	6.0	6.0
E11-F012A	グローブ弁	β (S s)	10.7*	2.4	6.0	6.0

注：機能維持評価用加速度は、配管系の地震応答解析による打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

注記*：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、詳細評価を行う。

詳細評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が駆動部の動作機能確認済加速度以下及び計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		駆動部の動作機能確認済 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)			
			水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位*1	応力分類	計算応力	許容応力
E11-F005B	テストブル チェック弁	β (S s)	9.2	10.6	6.0*2	6.0*2	ボルト	引張	71	259
E11-F011B	ゲート弁	β (S s)	7.5	3.4	20.0	20.0	ヨーク	曲げ	242	354
E11-F012A	グローブ弁	β (S s)	10.7	2.4	20.0	20.0	ヨーク	曲げ	204	354

注記*1：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

*2：逆止弁のため開機能維持又は閉機能維持のための動作機能確認済加速度を示す。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス1管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S					許容応力状態 IV _A S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	RHR-001	11	119	274	2.30	—	11	188	366	1.94	—	11	577	366	0.63	—	11	0.1299	—
2	RHR-002	38	110	274	2.49	—	38	134	366	2.73	—	9	469	366	0.78	—	38	0.1039	—
3	RHR-003	35	153	274	1.79	○	35	243	366	1.50	○	35	680	366	0.53	○	40	0.5620	—
4	RHR-004	19	82	274	3.34	—	19	141	366	2.59	—	19	370	366	0.98	—	903	0.0887	—
5	RHR-005	104	120	274	2.28	—	29	197	366	1.85	—	29	675	366	0.54	—	112	0.6667	○

注記* : III_ASの一次+二次応力の許容値はIV_ASと同様であることから、地震荷重が大きいIV_ASの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス 2 以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S					許容応力状態 IV _A S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	RHR-006	16	96	190	1.97	—	16	149	326	2.18	—	16	346	380	1.09	—	—	—	—
2	RHR-007	1	76	208	2.73	—	1	93	363	3.90	—	28	248	416	1.67	—	—	—	—
3	RHR-008	22	90	208	2.31	—	22	129	363	2.81	—	22	214	416	1.94	—	—	—	—
4	RHR-009	235	86	208	2.41	—	235	104	363	3.49	—	235	215	416	1.93	—	—	—	—
5	RHR-010	29	118	219	1.85	—	29	206	363	1.76	○	29	403	438	1.08	○	—	—	—
6	RHR-011	39	108	208	1.92	—	39	152	363	2.38	—	16	301	380	1.26	—	—	—	—
7	RHR-012	1	87	208	2.39	—	29	120	363	3.02	—	29	289	416	1.43	—	—	—	—
8	RHR-013	12	113	208	1.84	—	12	182	363	1.99	—	12	319	416	1.30	—	—	—	—
9	RHR-014	43	64	208	3.25	—	9	80	363	4.53	—	203	180	416	2.31	—	—	—	—
10	RHR-015	47	124	208	1.67	○	9	198	394	1.98	—	39	358	438	1.22	—	—	—	—
11	RHR-016	11	86	200	2.32	—	11	145	334	2.30	—	18	281	402	1.43	—	—	—	—
12	RHR-017	31	112	220	1.96	—	31	158	364	2.30	—	35	310	440	1.41	—	—	—	—
13	RHR-018	19	91	220	2.41	—	19	122	364	2.98	—	1	221	440	1.99	—	—	—	—

注記* : III_ASの一次+二次応力の許容値はIV_ASと同様であることから、地震荷重が大きいIV_ASの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

重大事故等対処設備

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	8
3. 計算条件	13
3.1 計算方法	13
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	14
3.3 設計条件	15
3.4 材料及び許容応力評価条件	18
3.5 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
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	28
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	29

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、残留熱除去系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全 13 モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.4 に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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

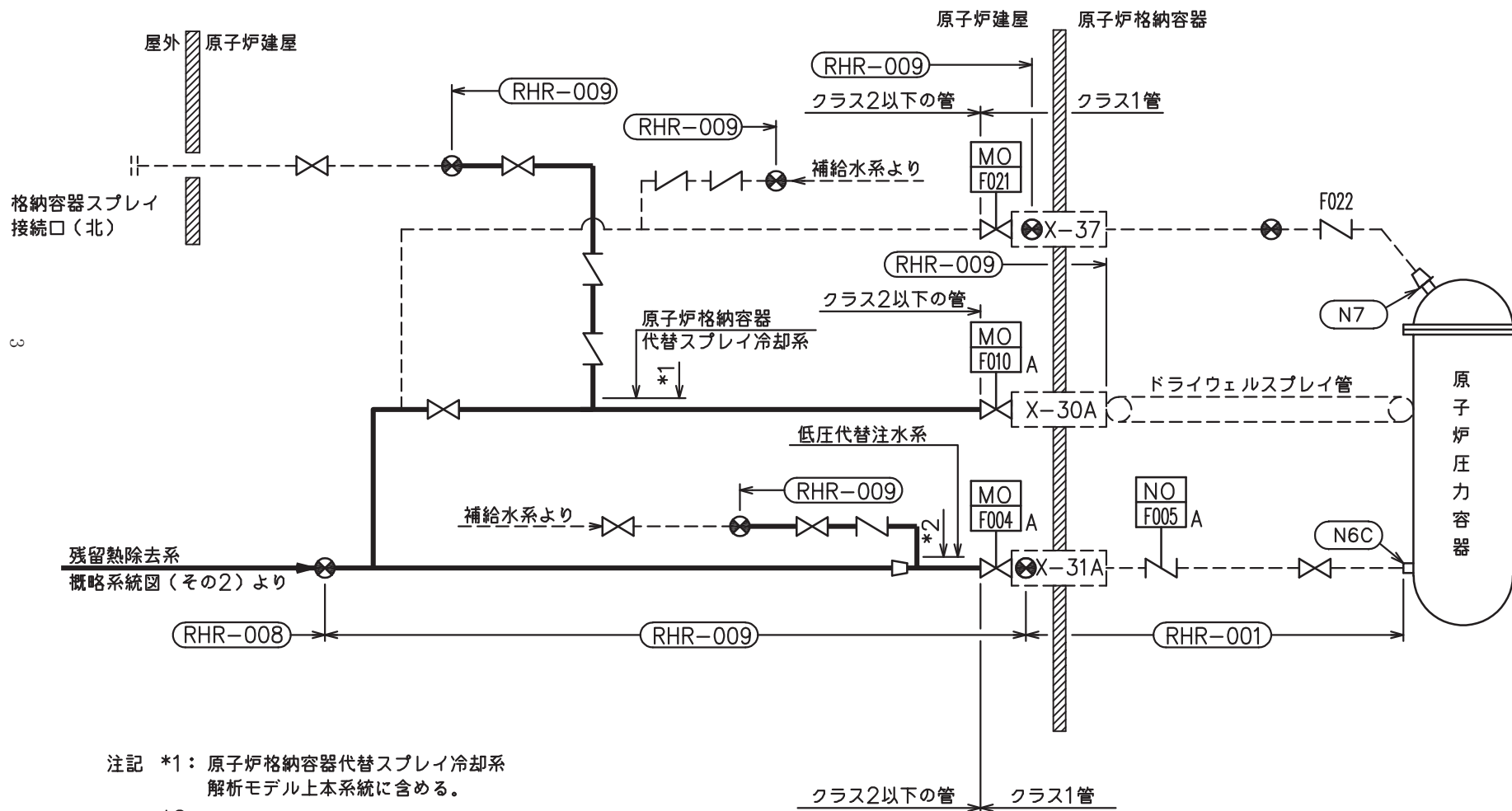
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

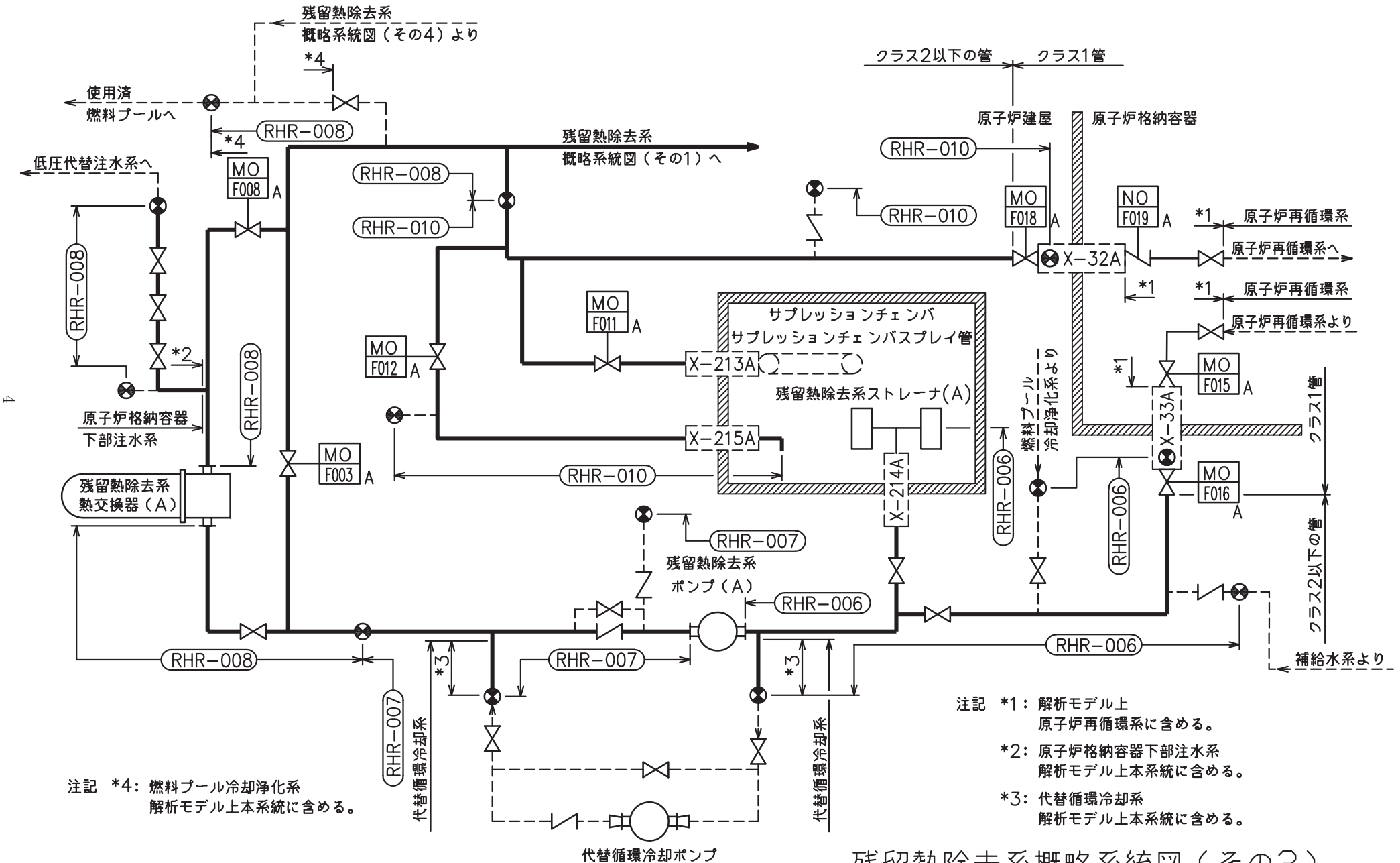
2.1 概略系統図

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
 (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
	アンカ

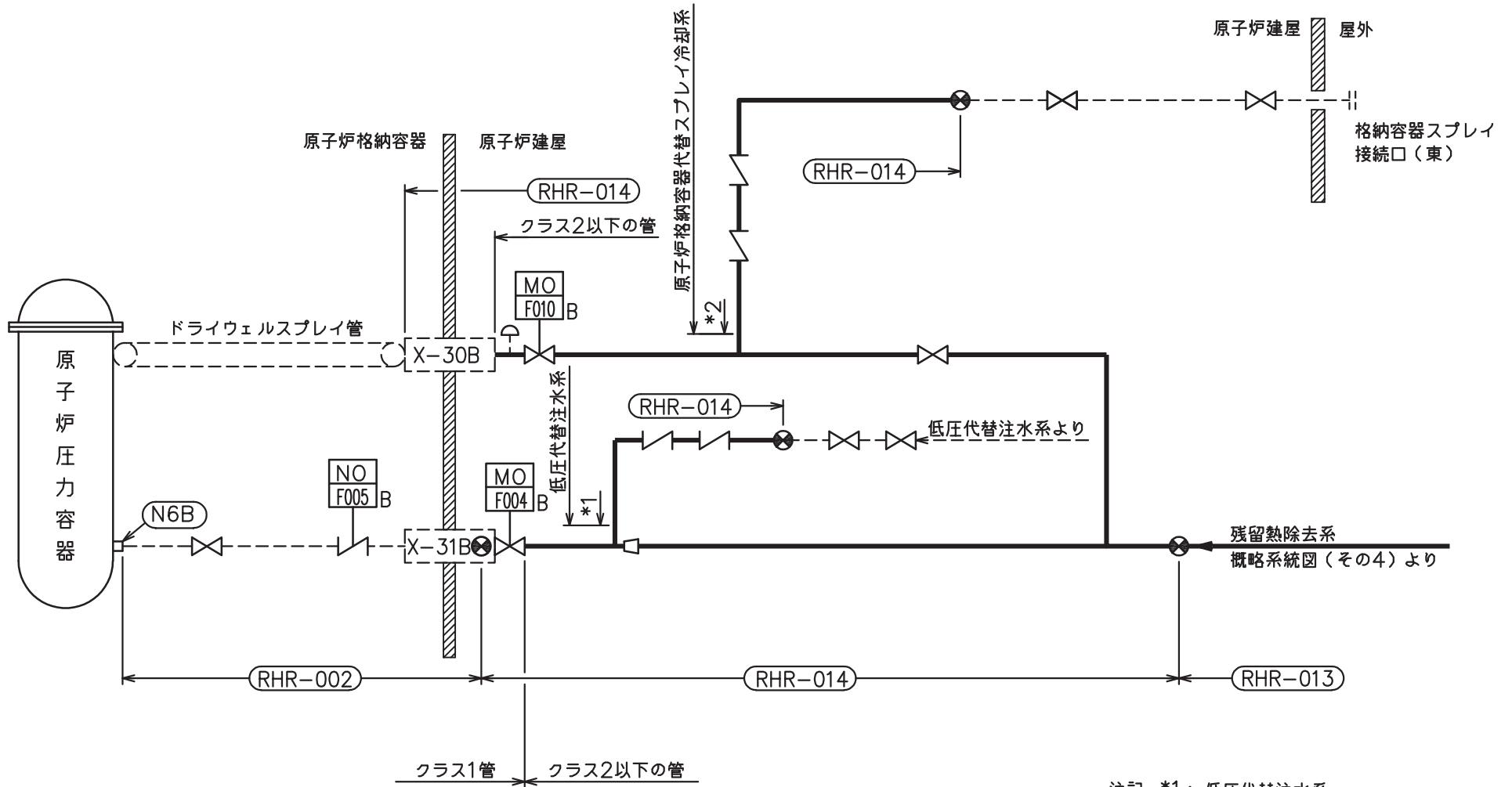


残留熱除去系概略系統図(その1)



残留熱除去系概略系統図(その2)

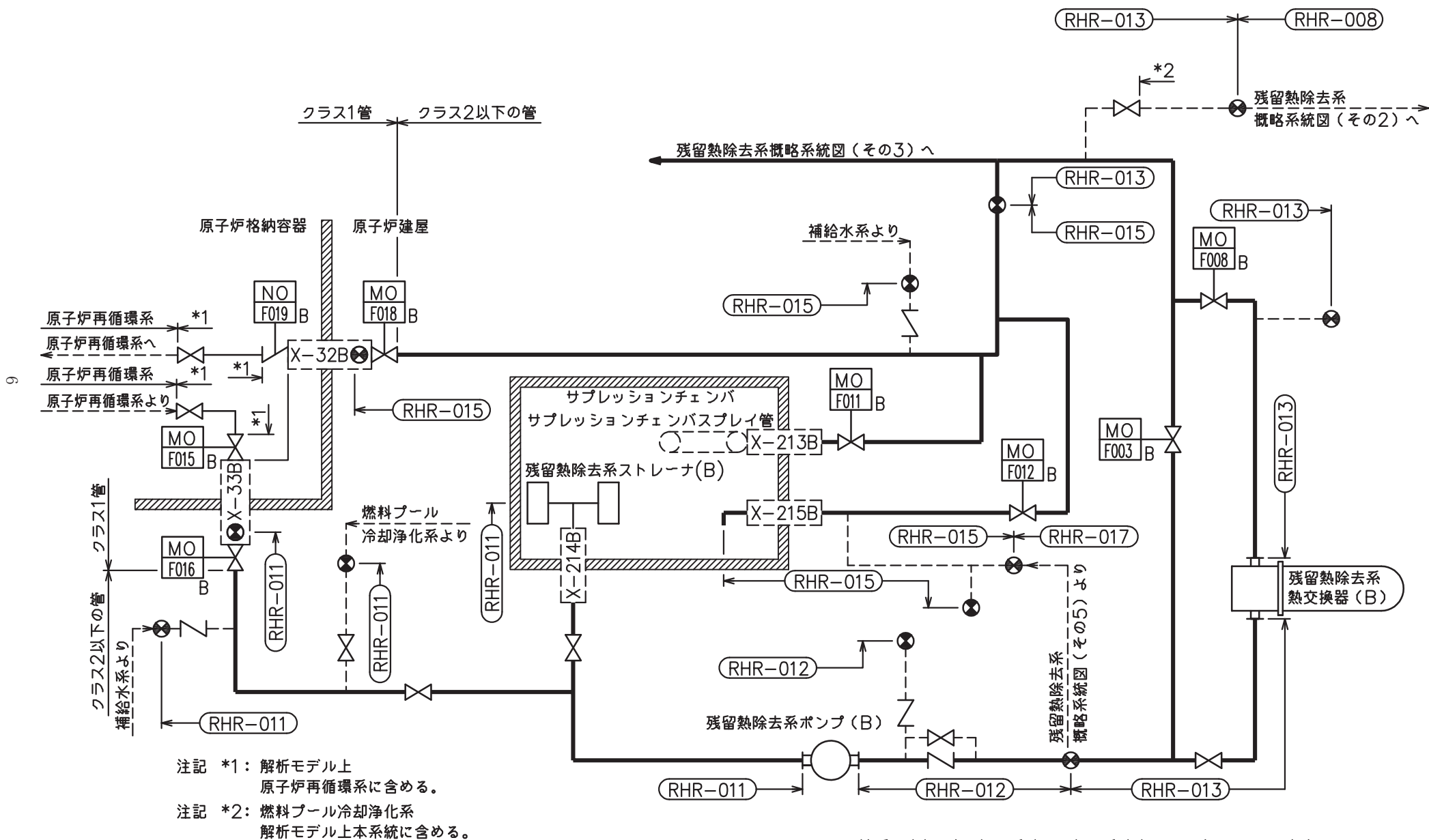
5



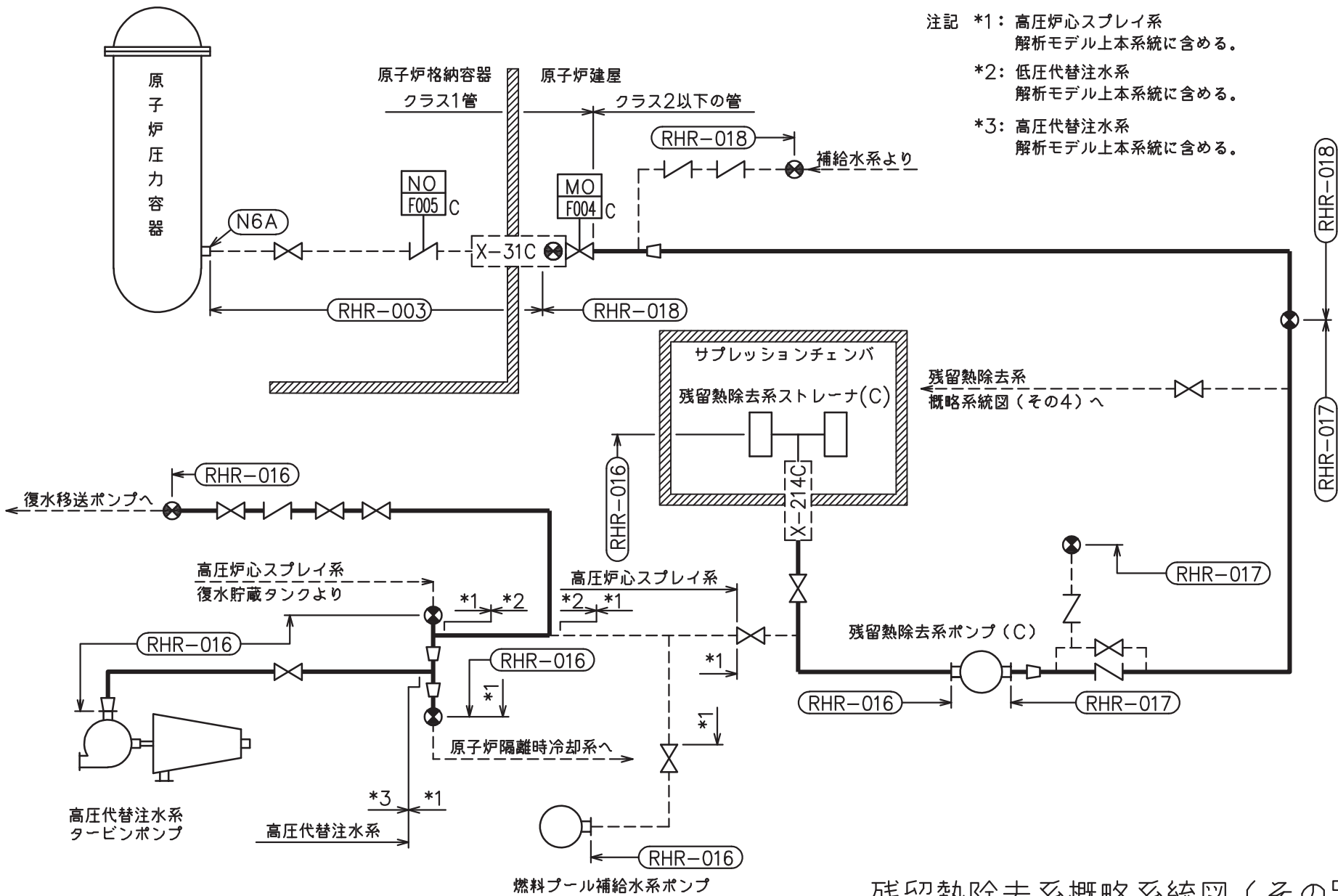
注記 *1: 低圧代替注水系
解析モデル上本系統に含める。

注記 *2: 原子炉格納容器代替スプレイ冷却系
解析モデル上本系統に含める。

残留熱除去系概略系統図(その3)



残留熱除去系概略システム図（その4）


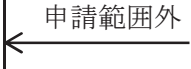
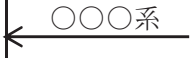


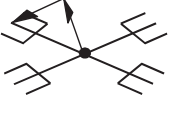
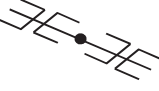

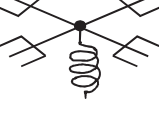
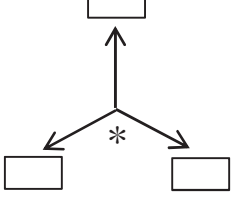


- 注記 *1: 高压炉心スプレイ系
解析モデル上本系統に含める。
- *2: 低压代替注水系
解析モデル上本系統に含める。
- *3: 高压代替注水系
解析モデル上本系統に含める。

残留熱除去系概略系統図 (その5)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>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として本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印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。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>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。)</p>

6

鳥瞰図	RHR-010-1/4
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	RHR-010-2/4
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	RHR-010-3/4
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	RHR-010-4/4
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3, *4	許容応力状態*5
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系	SA	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L(L) + S_d$	$V_{A}S$
							$V_L(LL) + S_s$	
							$V_L + S_s$	
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	残留熱除去系 (格納容器スプレ イ冷却モード)	SA	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L(L) + S_d$	$V_{A}S$
							$V_L(LL) + S_s$	
							$V_L + S_s$	
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	残留熱除去系 (サプレッション プール水冷却 モード)	SA	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L(L) + S_d$	$V_{A}S$
							$V_L(LL) + S_s$	
							$V_L + S_s$	

注記*1：DB は設計基準対象施設，SA は重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) 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，(LL) は(L) より更に長期的に荷重が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。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-010

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	3.73	186	318.5	10.3	STS410	—	192120
2	854kPa (0.854MPa)	200	318.5	10.3	STS410	—	191000
3	3.73	186	114.3	6.0	SF490A	—	192120
4	3.73	186	114.3	6.0	STS410	—	192120
5	3.73	200	114.3	6.0	STS410	—	191000

設計条件

管名称と対応する評価点
評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 RHR-010

管名称	対 応 す る 評 価 点																																
1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	22	23	24	25	26	27	80	81	82	97	800	801	802	809	909	910	913	917
2	29	30	31	32	33	34	35	36	83	84	85	86	87	88	89	90	91	810	813	912	915												
3	11	803	804																														
4	38	39	40	41	42	43	44	45	46	98	804	812	815	911	916																		
5	48	49	50	51																													

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
3		22		40		85		809	
4		23		41		86		810	
5		24		42		87		812	
6		25		43		88		813	
7		26		44		89		815	
8		30		45		90		909	
9		31		49		91		910	
10		32		50		97		911	
11		33		51		98		912	
12		34		80		800		913	
13		35		81		801		915	
14		36		82		802		916	
15		38		83		803		917	
16		39		84		804			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
17		27		46	
18		28		47	
19		29		48	
74		76		78	
75		77		79	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	18			
弁2	28			
弁3	47			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-010

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
3						
26						
31						
** 37 **						
40						
45						
** 52 **						
52						
** 52 **						
** 77 **						
79						
80						
82						
** 89 **						
** 909 **						
** 910 **						
** 911 **						
** 912 **						
** 913 **						
** 915 **						
** 916 **						
917						



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
SF490A	186	—	214	438	—
STS410	186	—	208	404	—
	200	—	207	404	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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用いる。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

本計算書の疲労評価は、設備ごとに個別に設定した等価繰返し回数340回(S_s)で実施する。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R H R - 0 1 0	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 RHR-010

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
14 次								
15 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。
 *3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RHR-010

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

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 RHR-010

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RHR-010

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RHR-010

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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管であってクラス2以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{pr m}(S_s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S_s)$	$2 \cdot S_y$	$U S_s$
RHR-010	$V_A S$	29	$S_{pr m}(S_s)$	210	363	—	—	—
	$V_A S$	29	$S_n(S_s)$	—	—	422 *	414	0.7118

*印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
RHR-006-908B	ロッドレストレイント	RTS-25	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		181	375
RHR-011-956S	メカニカルスナップ	SMS-25-100			210	375
RHR-016-956B	ロッドレストレイント	RTS-16			187	240
RHR-011-085H	スプリングハンガ	VS30T-17			27	39

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 (°C)	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			
RHR-010-026R	レストレイント	架構	STKR400	130	105	79	108	-	-	-	組合せ	165	225
RHR-016-021A	アンカ	架構	STKR400	130	54	15	346	4	2	18	曲げ	240	375

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 VAS												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
1	RHR-006	16	145	326	2.24	—	16	348	380	1.09	—	—	—	—
2	RHR-007	320	96	363	3.78	—	28	248	416	1.67	—	—	—	—
3	RHR-008	111	132	363	2.75	—	145	257	462	1.79	—	—	—	—
4	RHR-009	233	102	363	3.55	—	233	243	416	1.71	—	—	—	—
5	RHR-010	29	210	363	1.72	○	29	422	414	0.98	○	29	0.7118	○
6	RHR-011	39	149	363	2.43	—	3	349	378	1.08	—	—	—	—
7	RHR-012	29	117	363	3.10	—	29	289	416	1.43	—	—	—	—
8	RHR-013	12	179	363	2.02	—	12	319	416	1.30	—	—	—	—
9	RHR-014	9	77	363	4.71	—	101	323	468	1.44	—	—	—	—
10	RHR-015	9	195	394	2.02	—	39	386	414	1.07	—	—	—	—

No.	配管モデル	許容応力状態 V A S												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
11	RHR-016	11	127	325	2.55	—	3	308	378	1.22	—	—	—	—
12	RHR-017	31	155	364	2.34	—	35	310	440	1.41	—	—	—	—
13	RHR-018	19	119	364	3.05	—	1	221	440	1.99	—	—	—	—

VI-2-5-4-1-5 ストレーナ部ティーの耐震計算書
(残留熱除去系)

設計基準対象施設

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	8
3. 計算条件	14
3.1 計算方法	14
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	15
3.3 設計条件	17
3.4 材料及び許容応力評価条件	23
3.5 設計用地震力	24
4. 解析結果及び評価	26
4.1 固有周期及び設計震度	26
4.2 評価結果	38
4.2.1 管の応力評価結果	38
4.2.2 支持構造物評価結果	40
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	41
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	42

1. 概要

本計算書は、技術基準規則の解釈第 17 条 4 において記載される「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））及び添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、残留熱除去系、高圧炉心スプレイ系及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティー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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全 5 モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.4 に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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

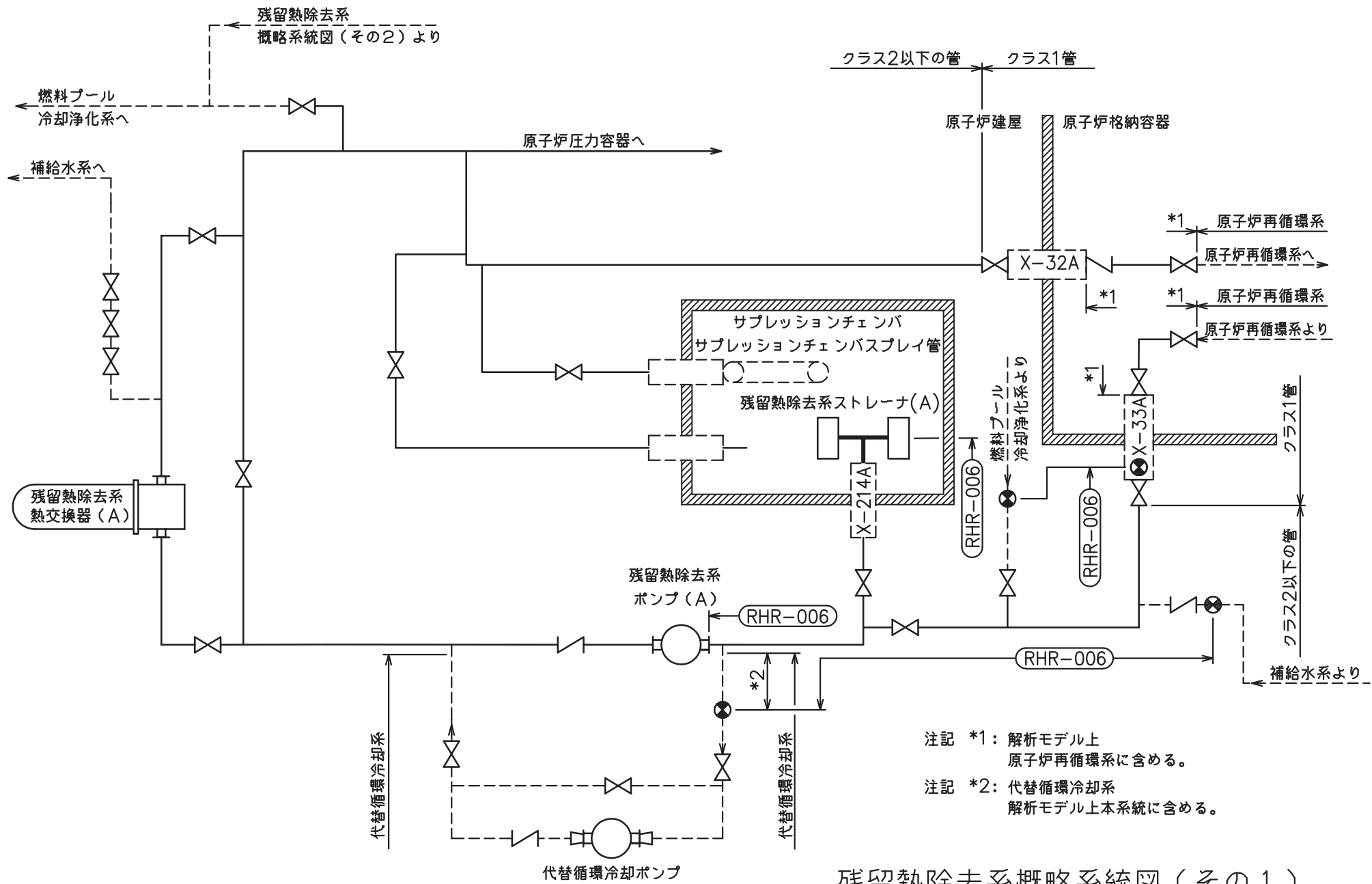
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

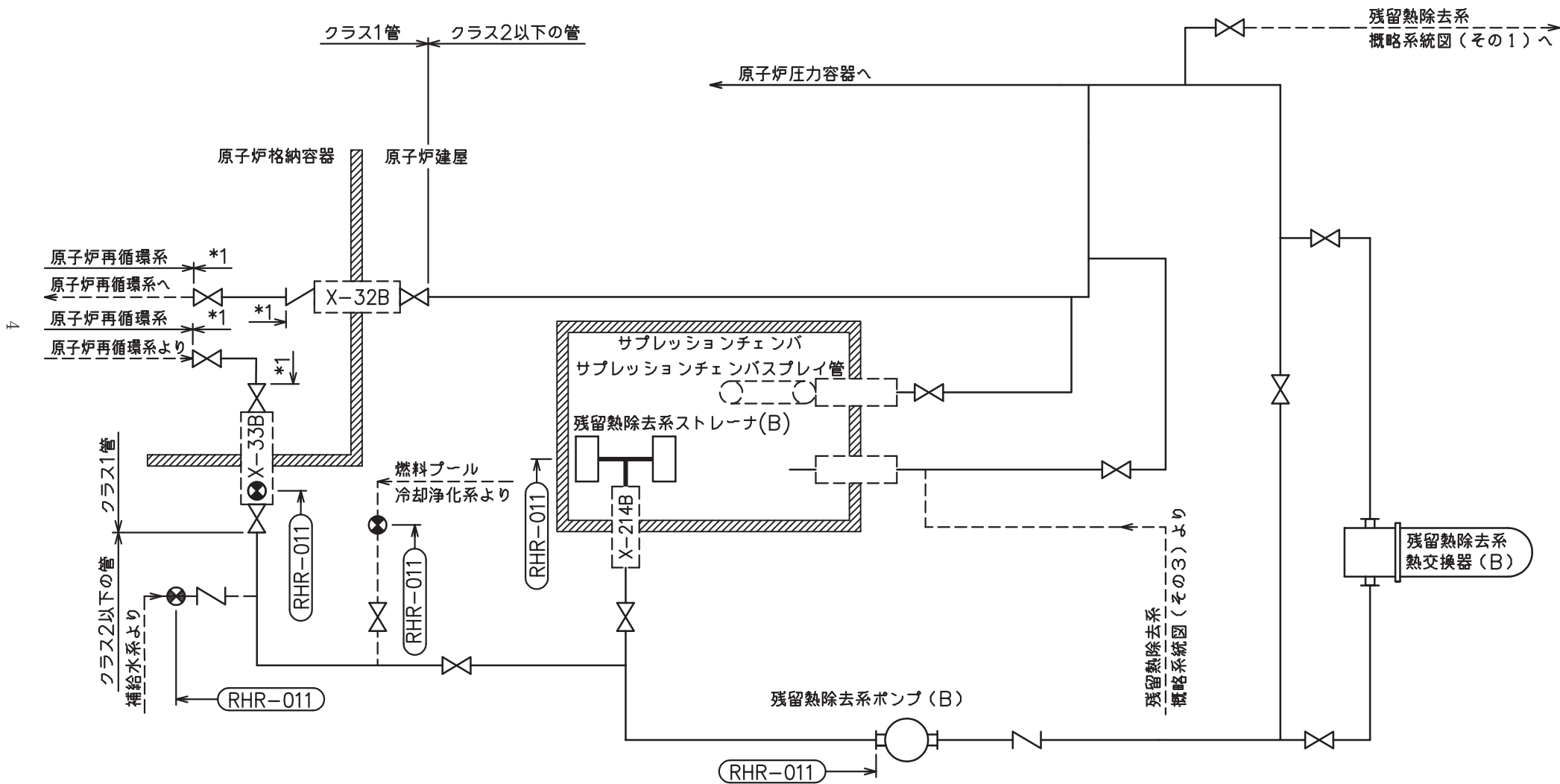
概略系統図記号凡例

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
 (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
	アンカ



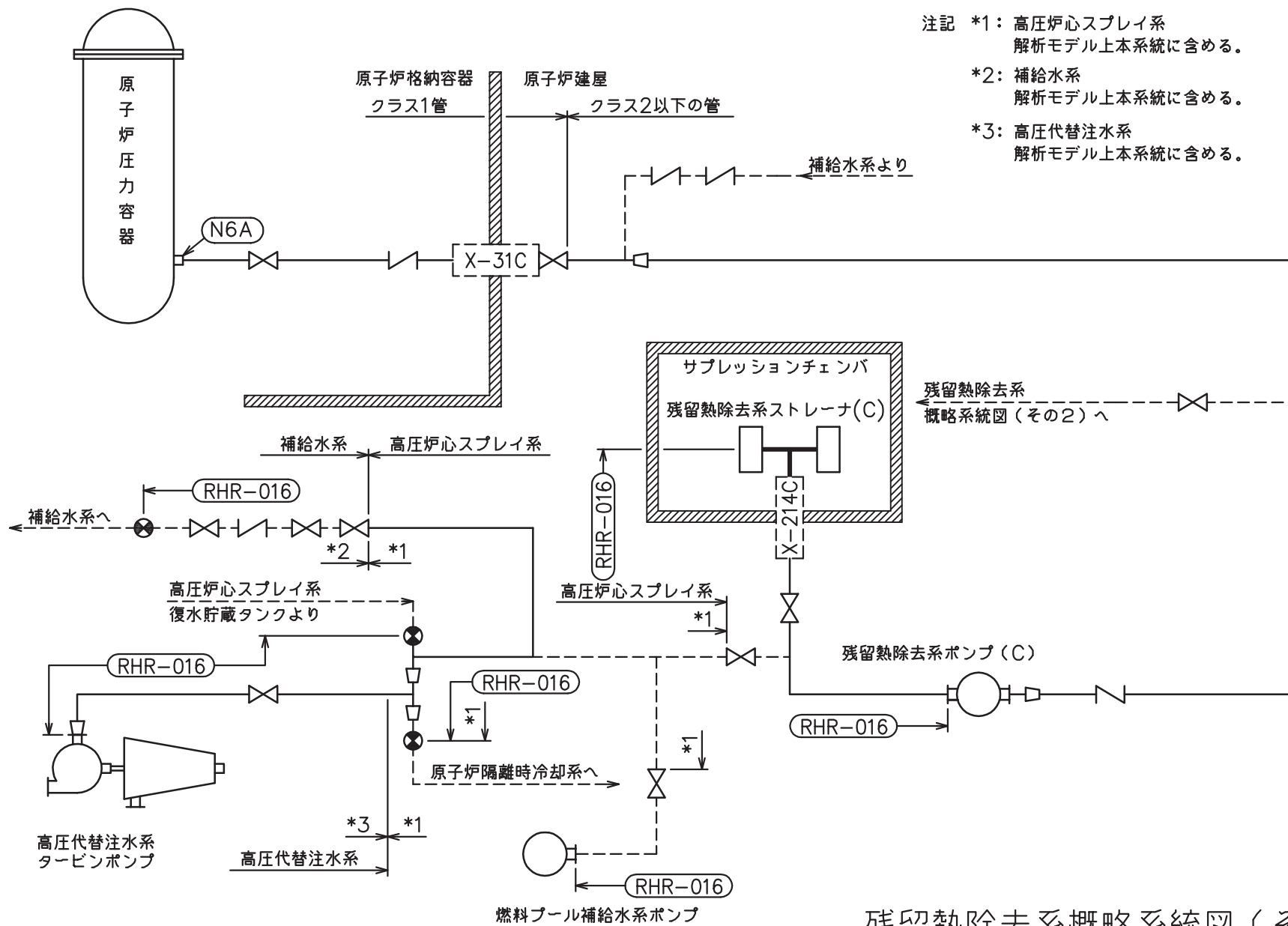
注記 *1: 解析モデル上
原子炉再循環系に含める。
注記 *2: 代替循環冷却系
解析モデル上本系統に含める。

残留熱除去系概略系統図(その1)



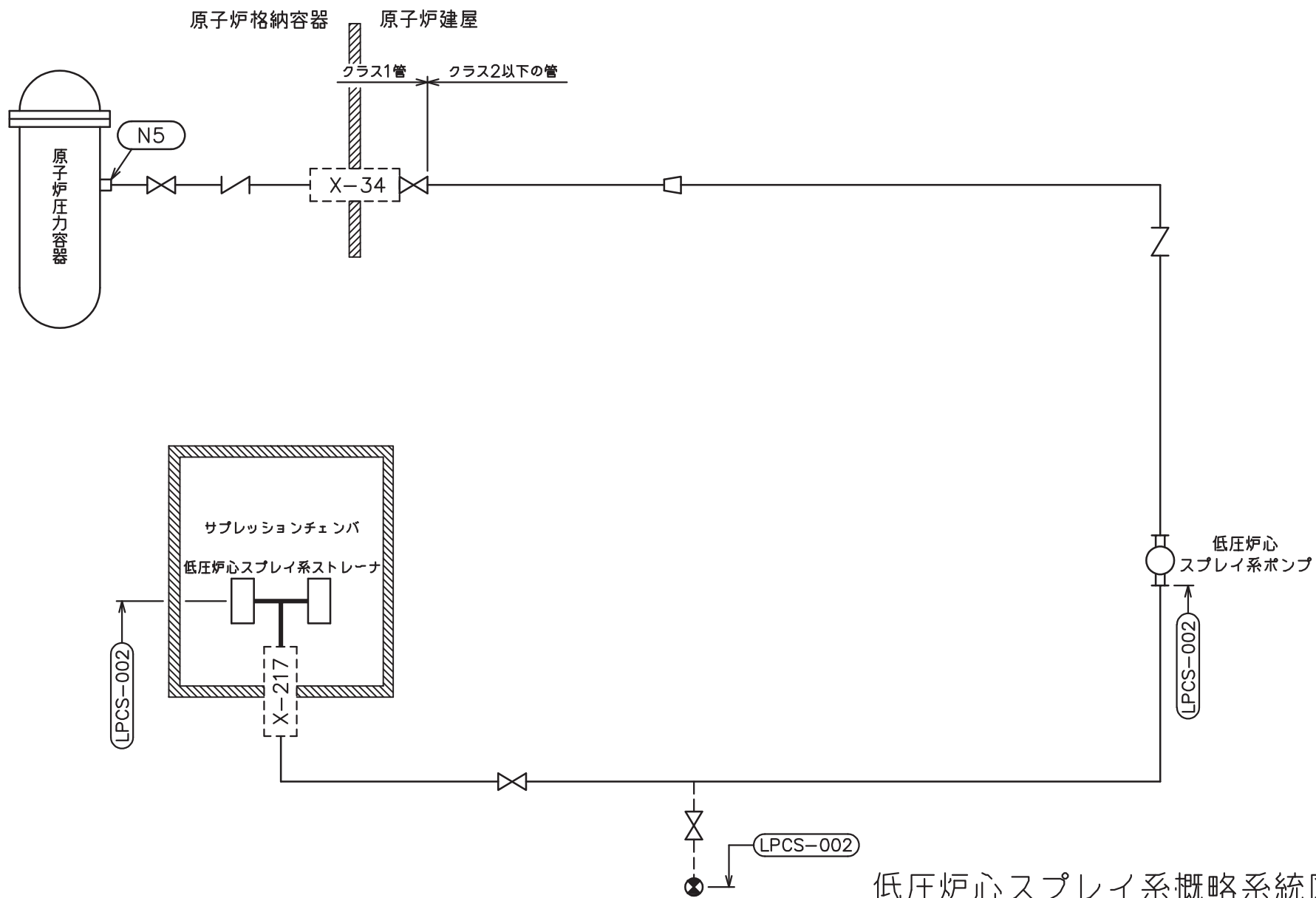
注記 *1: 解析モデル上
原子炉再循環系に含める。

残留熱除去系概略系統図(その2)



- 注記 *1: 高圧炉心スプレイ系
解析モデル上本系統に含める。
- *2: 補給水系
解析モデル上本系統に含める。
- *3: 高圧代替注水系
解析モデル上本系統に含める。

残留熱除去系概略系統図 (その3)


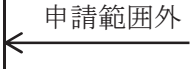
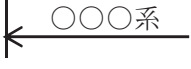



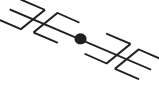

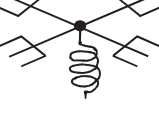
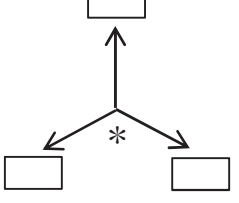


7

低圧炉心スプレイ系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>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として本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印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。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>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。)</p>

6

鳥瞰図 RHR-011-1/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RHR-011-2/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	RHR-011-3/3
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 LPCS-002-1/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 LPCS-002-2/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, *3	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	DB	—	クラス2管	S	$I_L + S d$	$III_A S$
							$II_L + S d$	
							$IV_L(L) + S d$	
							$I_L + S s$	$IV_A S$
$II_L + S s$								
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	低圧炉心スプレイ系	DB	—	クラス2管	S	$I_L + S d$	$III_A S$
							$II_L + S d$	
							$IV_L(L) + S d$	
							$I_L + S s$	$IV_A S$
							$II_L + S s$	

15

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：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。

*3：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。

本計算書において考慮する荷重の組合せの整理結果を下表に示す。

運転状態	死荷重	異物荷重	差圧	SRV荷重		LOCA荷重			地震荷重		許容応力状態
				運転時	中小破断時	プールスウェル	蒸気凝縮(CO)	チャギング(CH)	S d 荷重	S s 荷重	
運転状態 I	○								○		Ⅲ _A S
運転状態 I	○									○	Ⅳ _A S
運転状態 II	○			○					○		Ⅲ _A S
運転状態 II	○			○						○	Ⅳ _A S
運転状態Ⅳ(L)	○	○	○						○		Ⅲ _A S

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-011

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	24.5kPa (0.0245MPa)	104	508.0	9.5	SM400C	S	197680

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 RHR-011

管名称	対 応 す る 評 価 点						
1	202	203	204	206	302	303	305

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
202		204		302		305	
203		206		303			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-011

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
** 1 **						

--

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 L P C S - 0 0 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	24.5kPa (0.0245MPa)	104	508.0	9.5	SM400C	S	197680

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 L P C S - 0 0 2

管名称	対 応 す る 評 価 点						
1	202	203	204	206	302	303	305

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
202		204		302		305	
203		206		303			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 L P C S - 0 0 2

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
** 1 **						

--

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
SM400C	104	—	219	373	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R H R - 0 1 1	原子炉建屋		

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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
L P C S - 0 0 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 RHR-011

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
14 次								
15 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。
 *3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RHR-011

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

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 RHR-011

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

30

鳥瞰図 RHR-011

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RHR-011

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 L P C S - 0 0 2

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
13 次								
14 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。
 *3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 L P C S - 0 0 2

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

注記* : 刺激係数は, モード質量を正規化し, 固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 LPCS-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 LPCS-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 LPCS-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス 2 以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				S p r m (S d) S p r m (S s)	S y *1 0. 9 ・ S u	S n (S s)	2 ・ S y	
RHR-011	III _A S	203	S p r m (S d)	66	219	—	—	—
	IV _A S	203	S p r m (S s)	80	335	—	—	—
	IV _A S	203	S n (S s)	—	—	134	438	—

注記 *1: 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, S y と 1. 2 ・ S h のうち大きい方とする。

管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス 2 以下の管

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 p r m (S d) S p r m (S s)	許容応力 S y *1 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
L P C S - 0 0 2	Ⅲ _A S	203	S p r m (S d)	57	219	—	—	—
	Ⅳ _A S	203	S p r m (S s)	84	335	—	—	—
	Ⅳ _A S	203	S n (S s)	—	—	144	438	—

注記 *1: 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, S y と 1. 2 ・ S h のうち大きい方とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	—	—	—	—	—	—

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 (°C)	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			
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S					許容応力状態 IV _A S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	RHR-006	203	51	219	4.29	—	203	65	335	5.15	—	203	104	438	4.21	—	—	—	—
2	RHR-011	203	66	219	3.31	○	203	80	335	4.18	—	203	134	438	3.26	—	—	—	—
3	RHR-016	203	58	219	3.77	—	203	62	335	5.40	—	203	98	438	4.46	—	—	—	—
4	HPCS-002	203	64	219	3.42	—	203	65	335	5.15	—	203	110	438	3.98	—	—	—	—
5	LPCS-002	203	57	219	3.84	—	203	84	335	3.98	○	203	144	438	3.04	○	—	—	—

注記* : III_AS の一次+二次応力の許容値はIV_AS と同様であることから、地震荷重が大きいIV_AS の一次+二次応力裕度最小を代表とする。

重大事故等対処設備

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	8
3. 計算条件	12
3.1 計算方法	12
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	13
3.3 設計条件	15
3.4 材料及び許容応力評価条件	18
3.5 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
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	28
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	29

1. 概要

本計算書は、技術基準規則の解釈第 17 条 4 において記載される「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））及び添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、残留熱除去系、高圧炉心スプレイ系及び低圧炉心スプレイ系ストレナーナ部ティー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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全 5 モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.4 に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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

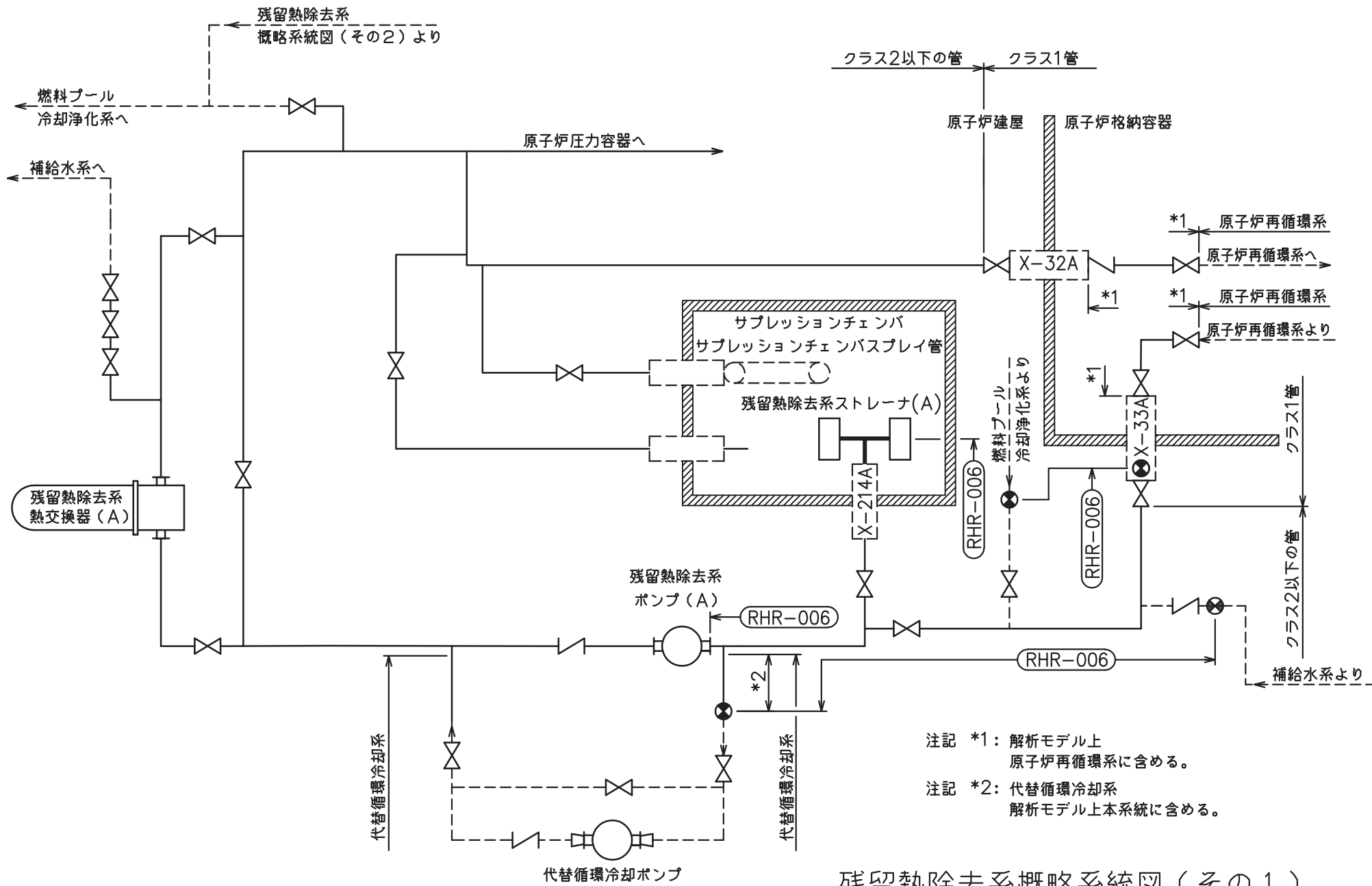
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

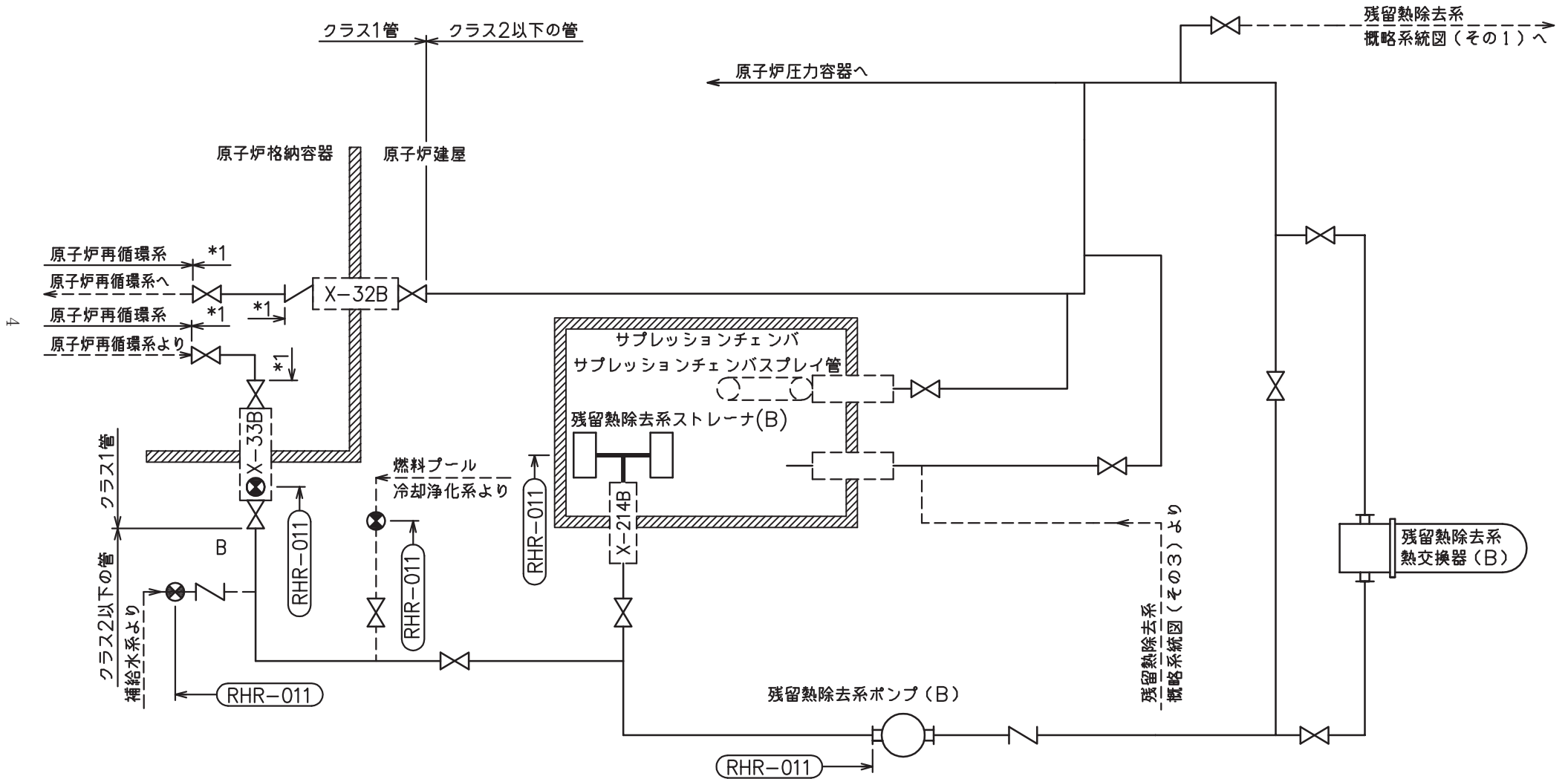
概略系統図記号凡例

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
 (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
	アンカ



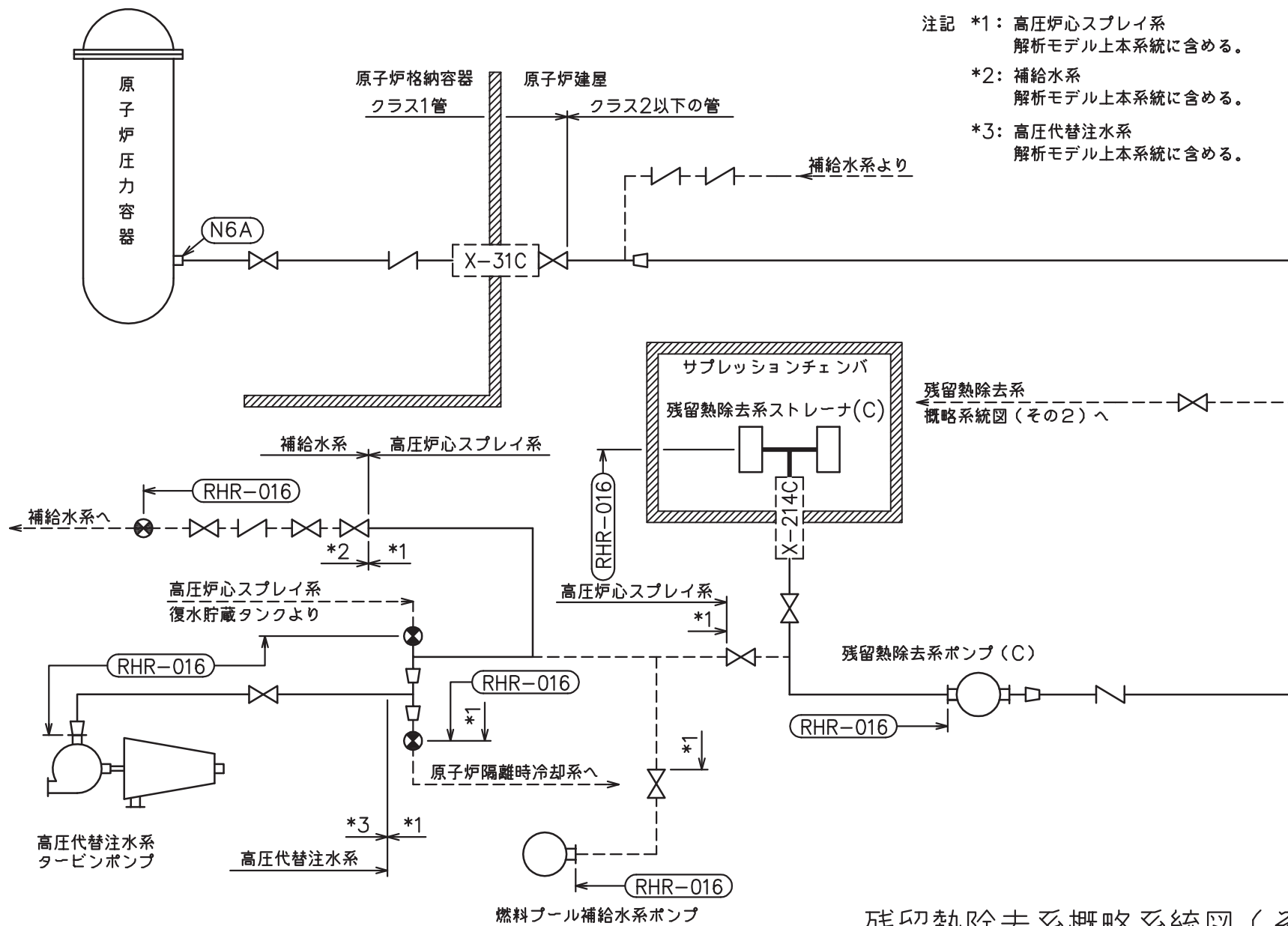
注記 *1: 解析モデル上
原子炉再循環系に含める。
注記 *2: 代替循環冷却系
解析モデル上本系統に含める。

残留熱除去系概略系統図(その1)



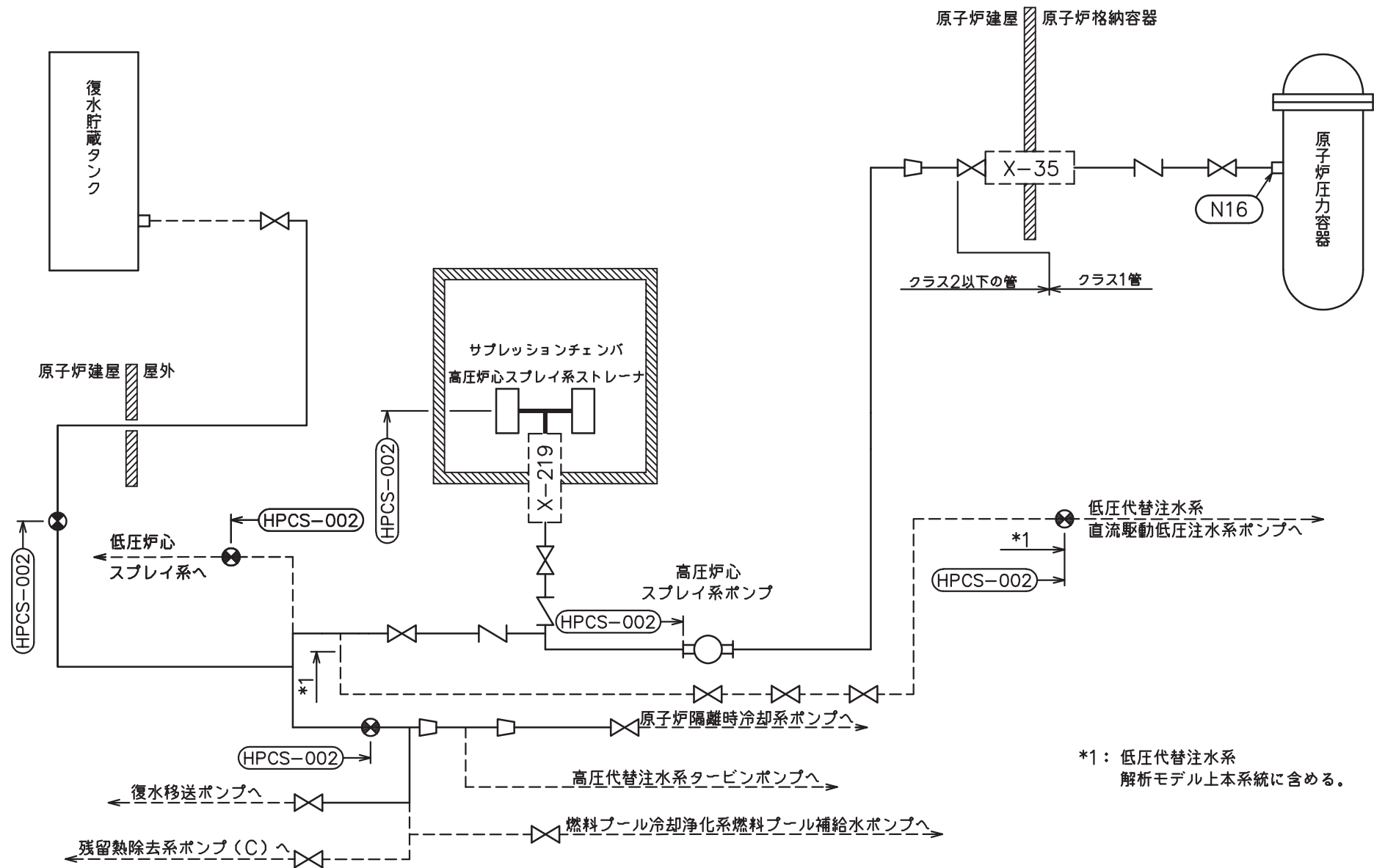
注記 *1: 解析モデル上
原子炉再循環系に含める。

残留熱除去系概略系統図 (その2)



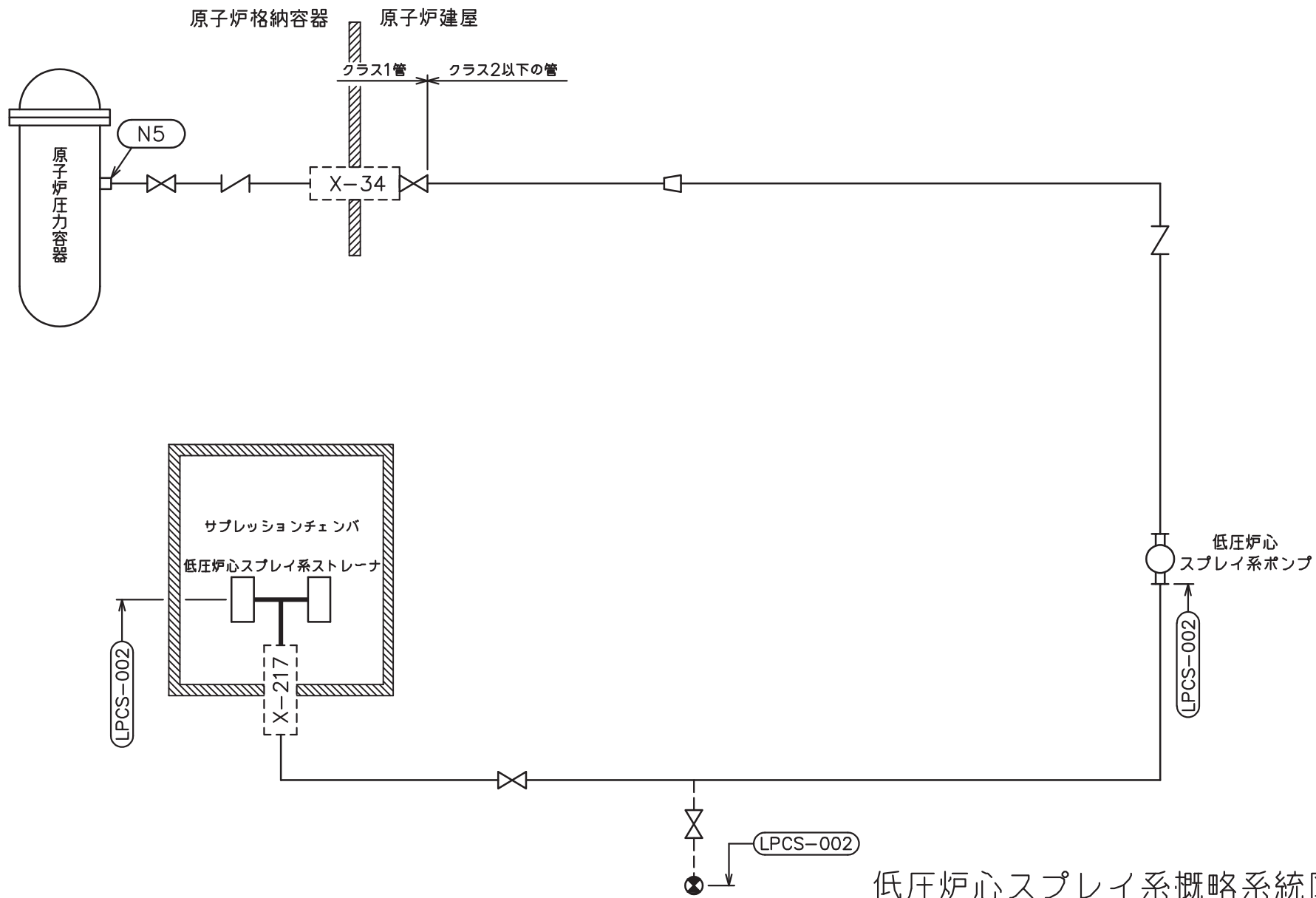
- 注記 *1: 高圧炉心スプレイ系
解析モデル上本系統に含める。
- *2: 補給水系
解析モデル上本系統に含める。
- *3: 高圧代替注水系
解析モデル上本系統に含める。

残留熱除去系概略系統図(その3)



*1: 低圧代替注水系
解析モデル上本系統に含める。

高圧炉心スプレイ系概略系統図


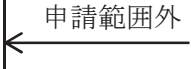
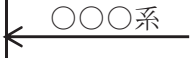


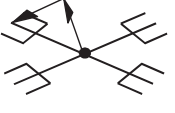
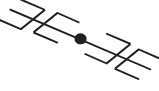

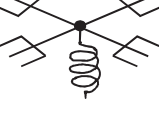
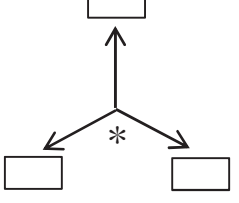


7

低圧炉心スプレイ系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>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として本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印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。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>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。)</p>

6

鳥瞰図	RHR-011-1/3
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	RHR-011-2/3
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	RHR-011-3/3
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3, *4	許容応力状態*5
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系	SA	常設/防止 (DB 拡張)	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S d$	V_{AS}
							$V_L(LL) + S s$	
							$V_L + S s$	
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	SA	常設/防止 (DB 拡張)	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S d$	V_{AS}
							$V_L(LL) + S s$	
							$V_L + S s$	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	残留熱除去系 (格納容器スプレイ冷却モード)	SA	常設/防止 (DB 拡張)	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S d$	V_{AS}
							$V_L(LL) + S s$	
							$V_L + S s$	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	残留熱除去系 (サプレッションプール水冷却モード)	SA	常設/防止 (DB 拡張)	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S d$	V_{AS}
							$V_L(LL) + S s$	
							$V_L + S s$	

注記*1: DBは設計基準対象施設, SAは重大事故等対処設備を示す。

*2: 「常設/防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) 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, (LL)は(L)より更に長期的に荷重が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_{AS} は許容応力状態 IV_{AS} の許容限界を使用し, 許容応力状態 IV_{AS} として評価を実施する。

本計算書において考慮する荷重の組合せの整理結果を下表に示す。

運転状態	死荷重	異物荷重	差圧	SRV荷重		LOCA荷重			地震荷重 ^{*1}		許容応力状態 ^{*2}
				運転時	中小破断時	プールスウェル	蒸気凝縮(CO)	チャギング(CH)	Sd荷重	Ss荷重	
運転状態V(L)	○	○	○						○		V _A S
運転状態V(LL)	○	○	○							○	V _A S

*1：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。

*2：許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し、許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-011

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	24.5kPa (0.0245MPa)	200	508.0	9.5	SM400C	—	191000

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 RHR-011

管名称	対 応 す る 評 価 点						
1	202	203	204	206	302	303	305

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
202		204		302		305	
203		206		303			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-011

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
** 1 **						

--

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
SM400C	200	—	193	373	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R H R - 0 1 1	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 RHR-011

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
14 次								
15 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RHR-011

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

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 RHR-011

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RHR-011

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RHR-011

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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管であってクラス2以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{pr m}(S_s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S_s)$	$2 \cdot S_y$	$U S_s$
RHR-011	$V_A S$	203	$S_{pr m}(S_s)$	95	335	—	—	—
	$V_A S$	203	$S_n(S_s)$	—	—	174	386	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	—	—	—	—	—	—

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 (°C)	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			
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 VAS												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
1	RHR-006	203	73	335	4.58	—	203	130	386	2.96	—	—	—	—
2	RHR-011	203	95	335	3.52	○	203	174	386	2.21	○	—	—	—
3	RHR-016	203	89	335	3.76	—	203	162	386	2.38	—	—	—	—
4	HPCS-002	203	86	335	3.89	—	203	156	386	2.47	—	—	—	—
5	LPCS-002	203	94	335	3.56	—	203	172	386	2.24	—	—	—	—

VI-2-5-4-2 耐圧強化ベント系の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-5-4-2-1 管の耐震性についての計算書（耐圧強化ベント系）

VI-2-5-4-2-1 管の耐震性についての計算書
(耐圧強化ベント系)

重大事故等対処設備

目次

1. 概要	1
2. 概略系統図	2
3. 計算条件	4
3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
4. 解析結果及び評価	5

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、耐圧強化ベント系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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。

(2) 支持構造物



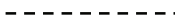
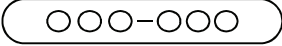

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

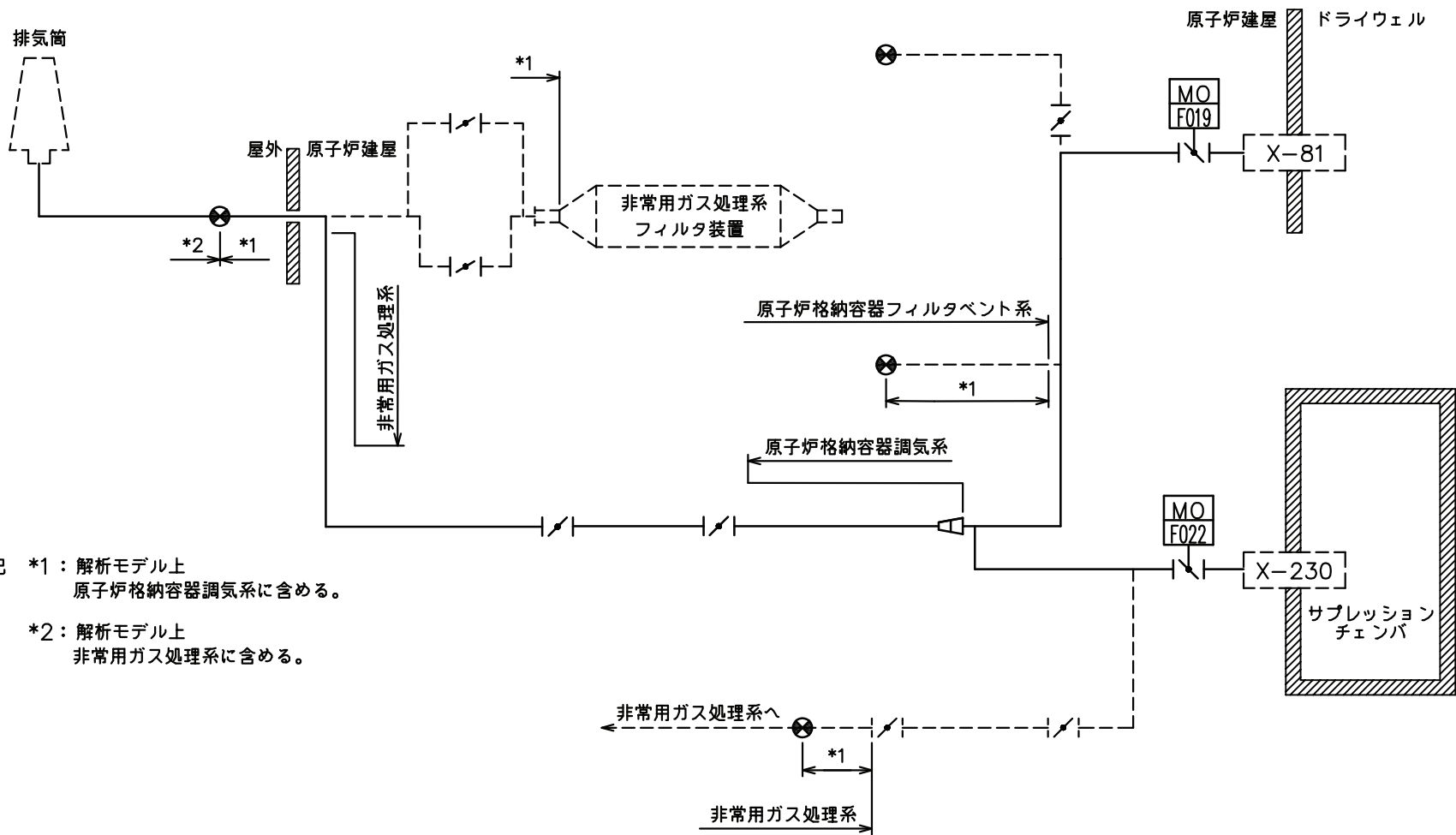
(3) 弁

機能確認済加速度の機能維持評価用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
 (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
	アンカ



注記 *1：解析モデル上
原子炉格納容器調気系に含める。

*2：解析モデル上
非常用ガス処理系に含める。

耐圧強化ベント系概略系統図

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	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3, *4	許容応力状態*5
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去設備	耐圧強化ベント 系	SA	常設耐震／防止	重大事故等 クラス2管	—	$V_L(L) + S_d$	$V_A S$
							$V_L(LL) + S_s$	
							$V_L + S_s$	

注記*1：DB は設計基準対象施設，SA は重大事故等対処設備を示す。

4

*2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*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，(LL)は(L)より更に長期的荷重が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。

4. 解析結果及び評価

以下の計算書の重大事故等対処設備に含まれる。

「VI-2-9-4-5-1-1 管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器調気系）」

VI-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

目 次

- VI-2-5-5-1 高压炉心スプレイ系の耐震性についての計算書
- VI-2-5-5-2 低压炉心スプレイ系の耐震性についての計算書
- VI-2-5-5-3 高压代替注水系の耐震性についての計算書
- VI-2-5-5-4 低压代替注水系の耐震性についての計算書
- VI-2-5-5-5 代替水源移送系の耐震性についての計算書

VI-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

目 次

- VI-2-5-5-1-1 高圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算書
- VI-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
- VI-2-5-5-1-3 管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ系）
- VI-2-5-5-1-4 ストレーナ部ティーの耐震計算書（高圧炉心スプレイ系）

VI-2-5-5-1-1 高圧炉心スプレイ系ポンプ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. 固有値解析及び構造強度評価	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評価条件	3
3.3 解析モデル及び諸元	9
3.4 固有周期	9
3.5 設計用地震力	11
3.6 計算条件	12
4. 機能維持評価	13
4.1 基本方針	13
4.2 ポンプの動的機能維持評価	13
4.3 原動機の動的機能維持評価	14
4.3.1 評価対象部位	14
4.3.2 許容値	14
4.3.3 記号の説明	15
4.3.4 評価方法	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	20

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-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。

高圧炉心スプレイ系ポンプは、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）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、高圧炉心スプレイ系ポンプは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載のたて軸ポンプであるため、添付書類「VI-2-1-13-5 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」に基づき評価を実施する。

また、高圧炉心スプレイ系ポンプの原動機は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の立形すべり軸受電動機であり、機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、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）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ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	
<p>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。</p>	<p>ピットバレル形 (ピットバレル形たて軸ポンプ)</p>	<p>(単位: mm)</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 固有値解析及び構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

高圧炉心スプレイ系ポンプの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-5 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行う。

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ポンプ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ポンプの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 及び表 3-4 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイ系ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-6 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
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	高圧炉心スプレ イ系 ポンプ	S	クラス 2 ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III_{AS}
					$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}

注記*：クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

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
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	高圧炉心スプレ イ系 ポンプ	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプ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 3-3 許容応力 (クラス 2, 3 ポンプ及び重大事故等クラス 2 ポンプ)

許容応力状態	許容限界*			
	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 _{AS}	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 _{AS}				
V _{AS} (V _{AS} として IV _{AS} の許容限界を用いる。)	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値	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*：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 3-4 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）

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。

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件（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)
		バレルケーシング		最高使用温度	100	—	
基礎ボルト	周囲環境温度	66		—	—		
ポンプ取付ボルト	最高使用温度	100		—	—		
原動機台取付ボルト	最高使用温度	100		—	—		
原動機取付ボルト	最高使用温度	100		—	—		
	周囲環境温度	66		—	—		

7

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		バレルケーシング		最高使用温度	100	—	
基礎ボルト	周囲環境温度	66		—	—		
ポンプ取付ボルト	最高使用温度	100		—	—		
原動機台取付ボルト	最高使用温度	100		—	—		
原動機取付ボルト	周囲環境温度	66		—	—		

3.3 解析モデル及び諸元

- (1) 固有値解析に用いる解析モデルは、水平方向の応答を考慮した 1 次元応答解析モデルとする。
- (2) モデル化に際しては、シャフト及びコラムパイプに対して水の付加質量及び排除水体積質量を考慮する。
- (3) 固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【高圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。
- (4) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

3.4 固有周期

固有値解析の結果を表 3-7 に、振動モード図を図 3-1 に示す。固有周期は、0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 3-7 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向 刺激係数*
			NS 方向	EW 方向	
1 次	水平方向	0.053	-3.894	-3.894	—
2 次	水平方向	0.026	—	—	—

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

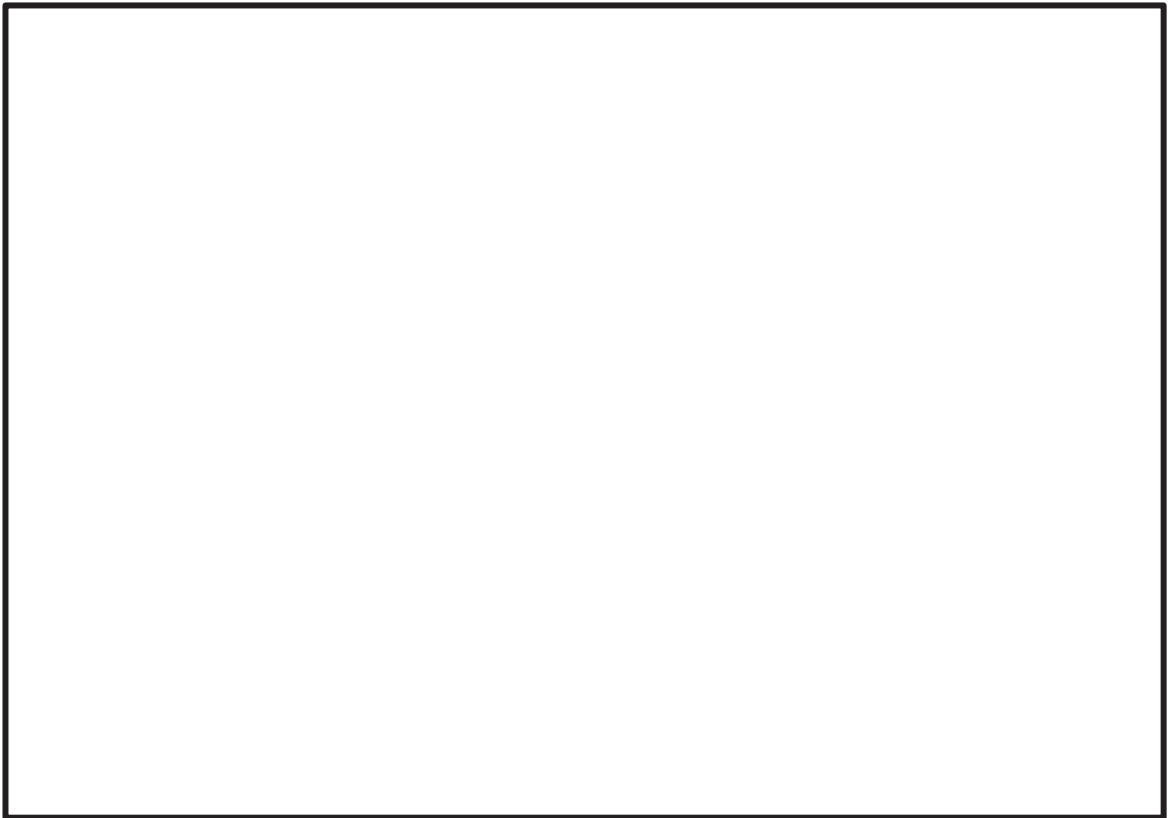


図 3-1 振動モード (1次モード 水平方向 0.053s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.5 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

評価に用いる設計用地震力を表 3-8 及び表 3-9 に示す。

表 3-8 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ (m)		原子炉建屋 O.P. -8.10^{*1}					
固有周期 (s)		水平 : 0.053^{*2} 鉛直 : 0.05 以下					
減衰定数 (%)		水平 : 1.0 鉛直 : -					
地震力		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度			基準地震動 S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度 ^{*3}		応答鉛直震度 ^{*3}
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.053	- ^{*6}	- ^{*6}	-	3.06	3.06	-
2 次	0.026	- ^{*6}	- ^{*6}	-	-	-	-
動的地震力 ^{*4}		- ^{*6}	- ^{*6}	- ^{*6}	0.99	0.99	0.69
静的地震力 ^{*5}		0.36	0.36	0.29	-	-	-

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載。

*3：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線 (S_s) より得られる震度を示す。

*4： S_s 又は S_d に基づく設計用最大応答加速度 ($1.2 \cdot ZPA$) より定めた震度を示す。

*5：静的震度 ($3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$) を示す。

*6： $III_A S$ については、基準地震動 S_s で評価する。

表 3-9 設計用地震力（重大事故等対処施設）

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉建屋 O.P. -8.10* ¹					
固有周期(s)		水平：0.053* ² 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：－					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度* ³		応答鉛直震度* ³
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.053	－	－	－	3.06	3.06	－
2 次	0.026	－	－	－	－	－	－
動的地震力* ⁴		－	－	－	0.99	0.99	0.69
静的地震力		－	－	－	－	－	－

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載。

*3：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線（S_s）より得られる震度を示す。

*4：S_s 又は S_d に基づく設計用最大応答加速度（1.2・ZPA）より定めた震度を示す。

3.6 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイ系ポンプ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。

4. 機能維持評価

4.1 基本方針

高圧炉心スプレイ系ポンプの原動機は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の立形すべり軸受電動機であり、機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、J E A G 4 6 0 1 に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

詳細評価に用いる機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる設計用最大応答加速度 (1.0ZPA) を設定する。

- (1) 高圧炉心スプレイ系ポンプはピットバレル形ポンプであるため、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されているピットバレル形ポンプの機能確認済加速度を適用する。

4.2 ポンプの動的機能維持評価

高圧炉心スプレイ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であるため、添付書類「VI-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。

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
立型ポンプ	ピットバレル形ポンプ	水平方向	10.0
		鉛直方向	1.0

4.3 原動機の動的機能維持評価

4.3.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 の電動機の動的機能維持評価に従い,以下の部位について評価を実施する。

- a. 取付ボルト
- b. 固定子
- c. 軸 (回転子)
- d. 端子箱
- e. 軸受
- f. 固定子と回転子間のクリアランス
- g. モータフレーム
- h. 軸継手

このうち「a. 取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて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ている。

以上より,本計算書においては,固定子,軸 (回転子),端子箱,軸受,固定子と回転子間のクリアランス及びモータフレームを評価対象部位とする。なお,軸継手はポンプ軸とモータ軸をリジットに接続するタイプであり,相対変位が発生しないこと,および地震荷重については軸受で負担するため軸継手部には有意な応力が発生しないことから,計算書の評価対象外とする。

4.3.2 許容値

軸 (回転子) 及びモータフレームの許容値は,クラス 2 ポンプの許容応力状態Ⅲ_{AS}に準拠し設定する。固定子の許容値は,クラス 2 支持構造物の許容応力状態Ⅲ_{AS}に準拠し設定する。端子箱の許容値は,クラス 2 支持構造物の許容応力状態Ⅳ_{AS}に準拠し設定する。また,軸受については,メーカー規定の軸受の定格荷重を,固定子と回転子間のクリアランスは,変位可能寸法を許容値として設定する。

4.3.3 記号の説明

高圧炉心スプレイ系ポンプ用原動機の動的機能維持評価に使用する記号を表 4-2 に示す。

表4-2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bt}	端子箱取付ボルトの断面積	mm^2
A_f	モータフレームの断面積	mm^2
A_s	軸の断面積	mm^2
C_P	ポンプ振動による震度	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_{HT}	端子箱部の最大応答加速度による水平方向震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D	固定子の外径	mm
d_s	軸の径	mm
F_k	固定子に生じる組合せ荷重	N
F_{bt}	端子箱取付ボルトに作用する引張力	N
$F_{bt, a}$	端子箱取付面に対し左右方向の水平方向地震により作用する引張力	N
$F_{bt, b}$	端子箱取付面に対し前後方向の水平方向地震により作用する引張力	N
F_{kg}	自重及び地震力により固定子に生じる荷重	N
F_{kt}	電動機の回転による荷重	N
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_t	端子箱取付面から端子箱重心までの高さ	mm
L	固定子の溶接長さ	mm
L_{1i}	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離	mm
L_{2i}	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離	mm
L_{3i}	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離	mm
M_f	モータフレームに作用する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_s	軸に作用する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
N	電動機の回転速度	min^{-1}
n_p	固定子の溶接数	—
n_t	端子箱取付ボルトの本数	—
$n_{t1, y}$	引張力がはたらく端子箱取付ボルト本数 (y 方向)	—
$n_{t1, z}$	引張力がはたらく端子箱取付ボルト本数 (z 方向)	—
P	電動機出力	kW
p	固定子の溶接部の開先寸法	mm
Q_{bt}	端子箱取付ボルトに生じるせん断力	N
$Q_{bt, a}$	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
$Q_{bt, b}$	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力	N

記号	記号の説明	単位
s	固定子のすみ肉脚長	mm
T _m	電動機の回転による発生トルク	N・m
T _{ma}	電動機最大トルク	%
T _s	ポンプ運転による発生トルク	N・mm
W _c	固定子コイル及びコア質量	kg
W _f	モータフレーム質量	kg
W _s	軸の質量	kg
W _t	端子箱質量	kg
Z _f	モータフレームの断面係数	mm ³
Z _s	軸の断面係数	mm ³
σ _m	モータフレームに生じる組合せ応力	MPa
σ _s	軸に生じる組合せ応力	MPa
σ _{bt}	端子箱取付ボルトに生じる引張応力	MPa
σ _{fm}	モータフレームに生じる曲げ応力	MPa
σ _{fw}	自重及び鉛直方向地震力によりモータフレームに生じる応力	MPa
σ _{sm}	軸に生じる曲げ応力	MPa
σ _{sw}	自重及び鉛直方向地震力により軸に生じる応力	MPa
τ _k	固定子に生じるせん断応力	MPa
τ _s	ポンプ運転によるねじり応力	MPa
τ _{bt}	端子箱取付ボルトに生じるせん断応力	MPa

4.3.4 評価方法

(1) 固定子

電動機の最大荷重（トルク）は次式で求める。

$$T_m = \frac{974 \cdot P \cdot g}{N} \cdot \frac{T_{ma}}{100} \dots \dots \dots (4.3.4.1)$$

電動機の回転による荷重は次式で求める。

$$F_{kt} = \frac{T_m}{1/2 \cdot D} \dots \dots \dots (4.3.4.2)$$

自重及び鉛直方向地震力により発生する荷重は次式で求める。

$$F_{kg} = W_c \cdot g \cdot (C_v + C_p + 1) \dots \dots \dots (4.3.4.3)$$

せん断応力は次式で求める。

$$F_k = \sqrt{F_{kt}^2 + F_{kg}^2} \dots\dots\dots (4.3.4.4)$$

$$\tau_k = \frac{F_k}{(p+s) \cdot L \cdot n_p} \dots\dots\dots (4.3.4.5)$$

(2) 軸（回転子）

a. 曲げ応力

多質点はりモデルを用いて応答計算を行い，得られたモーメントにより，曲げ応力は以下ようになる。

$$\sigma_{sm} = \frac{M_s}{Z_s} \dots\dots\dots (4.3.4.6)$$

b. 自重及び鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{sw} = \frac{(1 + C_v + C_p) \cdot W_s \cdot g}{A_s} \dots\dots\dots (4.3.4.7)$$

c. ねじり応力

$$T_s = \frac{P}{2\pi / 60 \cdot N} \cdot 10^6 \dots\dots\dots (4.3.4.8)$$

$$\tau_s = \frac{16 \cdot T_s}{\pi \cdot d_s^3} \dots\dots\dots (4.3.4.9)$$

d. 組合せ応力

$$\sigma_s = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_{sm} + \sigma_{sw}) + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(\sigma_{sm} + \sigma_{sw})^2 + 4\tau_s^2} \dots\dots\dots (4.3.4.10)$$

(3) 端子箱

a. 取付ボルトに作用する引張力

$$F_{bt, a} = \frac{W_t \cdot (1 + C_v + C_p) \cdot h_t \cdot g}{n_{t1, z} \cdot L_{2i}} + \frac{W_t \cdot (C_{HT} + C_p) \cdot h_t \cdot g}{n_{t1, y} \cdot L_{3i}} \dots \dots \dots (4.3.4.11)$$

$$F_{bt, b} = \frac{W_t \cdot (1 + C_v + C_p) \cdot h_t \cdot g + W_t \cdot (C_{HT} + C_p) \cdot L_{1i} \cdot g}{n_{t1, z} \cdot L_{2i}} \dots \dots \dots (4.3.4.12)$$

$$F_{bt} = \text{Max} [F_{bt, a}, F_{bt, b}] \dots \dots \dots (4.3.4.13)$$

b. 取付ボルトの引張応力

$$\sigma_{bt} = \frac{F_{bt}}{A_{bt}} \dots \dots \dots (4.3.4.14)$$

c. 取付ボルトに生じるせん断力

$$Q_{bt, a} = W_t \cdot (C_{HT} + C_p) \cdot g \dots \dots \dots (4.3.4.15)$$

$$Q_{bt, b} = W_t \cdot (1 + C_v + C_p) \cdot g \dots \dots \dots (4.3.4.16)$$

$$Q_{bt} = \sqrt{Q_{bt, a}^2 + Q_{bt, b}^2} \dots \dots \dots (4.3.4.17)$$

d. 取付ボルト 1 本あたりにはたらくせん断応力

$$\tau_{bt} = \frac{Q_{bt}}{n_t \cdot A_{bt}} \dots \dots \dots (4.3.4.18)$$

(4) 軸受

多質点はりモデルによる高圧炉心スプレイ系ポンプの応答解析結果を用い、軸受の発生荷重を評価する。

(5) 固定子と回転子間のクリアランス

多質点はりモデルによる高圧炉心スプレイ系ポンプの応答解析結果を用い、固定子-軸（回転子）の相対変位が固定子-軸（回転子）間空隙寸法を下回ることを確認する。

(6) モータフレーム

a. 曲げ応力

多質点はりモデルを用いて応答計算を行い、得られたモーメントにより、曲げ応力は以下のようなになる。

$$\sigma_{f m} = \frac{M_f}{Z_f} \dots \dots \dots (4.3.4.19)$$

b. 自重及び鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{f w} = \frac{(1 + C_v + C_p) \cdot W_f \cdot g}{A_f} \dots \dots \dots (4.3.4.20)$$

c. 組合せ応力

$$\sigma_m = \sigma_{f m} + \sigma_{f w} \dots \dots \dots (4.3.4.21)$$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ポンプ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及び動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頁以降の表に示す。なお，弾性設計用地震動 S_d による動的震度及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており，基準地震動 S_s による発生値が，弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ポンプ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動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頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 構造強度評価

1.1.1 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		ポンプ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)	
			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				吸入側	吐出側
高圧炉心スプレイ 系ポンプ	S	原子炉建屋 O.P.-8.10*1	0.053	0.05 以下	—*2	—*2	C _H =0.99 又は*3	C _V =0.69		100	66	1.37	10.79

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：ⅢSについては、基準地震動 S_s で評価する。

*3：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線より得られる値

1.1.2 機器要目

(1) ボルト

部 材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					24	24	—				
ポンプ取付ボルト (i=2)					40	40	1.210× 10 ⁷				
原動機台取付ボルト (i=3)					20	20	1.210× 10 ⁷				
原動機取付ボルト (i=4)					12	12	1.210× 10 ⁷				

注記 *1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

(2) バレルケーシング

部 材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _C (mm)	t (mm)
バレルケーシング	—				

注記*：最高使用温度で算出

1.1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

(2) バレルケーシングに作用する力

(単位：N・mm)

部 材	M _i (N・mm)		F _{bi} (N)		Q _{bi} (N)	
	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 (i=1)						
ポンプ取付ボルト (i=2)						
原動機台取付ボルト (i=3)						
原動機取付ボルト (i=4)						

部 材	M	
	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング		

注記*：Ⅲ_sについては、基準地震動S_sで評価する。

22

1.1.4 結論

1.1.4.1 固有周期 (単位：s)

モード	固有周期
水平 1次	T _{H1} =0.053
鉛直 1次	T _{V1} =0.05以下

1.1.4.2 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 (i=1)		引張り	$\sigma_{b1}=44^{*2}$	$f_{ts1}=491^{*1}$	$\sigma_{b1}=44$	$f_{ts1}=491^{*1}$
		せん断	$\tau_{b1}=4^{*2}$	$f_{sb1}=378$	$\tau_{b1}=4$	$f_{sb1}=378$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=27^{*2}$	$f_{ts2}=474^{*1}$	$\sigma_{b2}=27$	$f_{ts2}=474^{*1}$
		せん断	$\tau_{b2}=6^{*2}$	$f_{sb2}=365$	$\tau_{b2}=6$	$f_{sb2}=365$
原動機台取付ボルト (i=3)		引張り	$\sigma_{b3}=103^{*2}$	$f_{ts3}=444^{*1}$	$\sigma_{b3}=103$	$f_{ts3}=444^{*1}$
		せん断	$\tau_{b3}=23^{*2}$	$f_{sb3}=342$	$\tau_{b3}=23$	$f_{sb3}=342$
原動機取付ボルト (i=4)		引張り	$\sigma_{b4}=148^{*2}$	$f_{ts4}=455^{*1}$	$\sigma_{b4}=148$	$f_{ts4}=455^{*1}$
		せん断	$\tau_{b4}=53^{*2}$	$f_{sb4}=350$	$\tau_{b4}=53$	$f_{sb4}=350$

すべて許容応力以下である。

注記*1： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

*2：基準地震動S_sによる算出値

1.1.4.3 バレルケーシングの応力 (単位：MPa)

部 材	材 料		一次一般膜応力	
			算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	$\sigma=49^{*}$	S _a =201
		基準地震動S _s	$\sigma=49$	S _a =223

注記*：基準地震動S_sによる算出値

すべて許容応力以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.2 動的機能維持評価

1.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
高圧炉心スプレイ系 ポンプ	ピットパレル形ポンプ	325/1074	原子炉建屋 O.P.-8.10*1	0.053	0.05 以下	C _H =0.82 又は*2	C _V =0.57		100	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線より得られる値

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	端子箱部の最大応答加速度 による水平方向震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
高圧炉心スプレイ系 ポンプ用原動機	立形すべり軸受電動機	1900	原子炉建屋 O.P.-8.10*1	0.053	0.05 以下	C _H =0.82 又は*2	C _V =0.57		C _{HT} =3.01	-	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線より得られる値

1.2.2 機器要目

(1) 固定子

部 材	N (min ⁻¹)	T _{ma} (%)	D (mm)	L (mm)	p (mm)	s (mm)	W _c (kg)	n _p
固定子	1500	175	1180	100	5	10	2394	8

(2) 軸 (回転子)

部 材	M _s (N·mm)	Z _s (mm ²)	W _s (kg)	A _s (mm ²)	N (min ⁻¹)	d _s (mm)
軸	3.030× 10 ⁷	6.734× 10 ⁵	2825	2.835× 10 ⁴	1500	130

(3) 端子箱

部 材	W _t (kg)	n _t	n _{t1,y}	n _{t1,z}	A _{bt} (mm ²)	Q _{bt} (N)	L _{1i} (mm)	L _{2i} (mm)	L _{3i} (mm)	h _t (mm)
端子箱	70	10	4	3	113.1	1.976× 10 ⁵	290	290	560	356

(4) モータフレーム

部 材	M _f (N·mm)	Z _f (mm ²)	W _f (kg)	A _f (mm ²)
モータフレーム	7.051× 10 ⁸	3.323× 10 ⁷	11319	8.213× 10 ⁴

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認済加速度との比較

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.82	10.0
	鉛直方向	0.57	1.0
原動機	水平方向	4.70	2.5
	鉛直方向	0.57	1.0

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあつては軸受部）の応答加速度又は設計用最大応答加速度（ $1.0 \cdot ZPA$ ）のいずれか大きい方を、鉛直方向は設計用最大応答加速度（ $1.0 \cdot ZPA$ ）を設定する。
 ポンプは、機能維持評価用加速度が全て機能確認済加速度以下である。
 原動機は、水平方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

1.2.3.2 立形すべり軸受電動機の動的機能維持評価

1.2.3.2.1 代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.2.2.1 固定子の評価

(単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
固定子	せん断	5	53

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.2 軸（回転子）の評価

(単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
軸（回転子）	151	354

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.3 端子箱の評価

(単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
端子箱	引張り	11	185*
	せん断	3	142

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.2.3.2.2.4 軸受の評価

(単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
上部軸受	5.715×10^4	
下部軸受	5.360×10^4	

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.2.2.5 固定子と回転子間のクリアランスの評価 (単位：mm)

評価部位	回転子のたわみ	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	0.83	3

すべて許容変位量以下である。

1.2.3.2.2.6 モータフレームの評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
モータフレーム	25	309

すべて許容応力以下である。

1.3 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	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			

O 2 ⑥ VI-2-5-5-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			
80			
81			
82			
83			
84			
85			
86			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	91		1.915×10^{10}
2	2-3	91		1.915×10^{10}
3	3-4	91		1.915×10^{10}
4	4-5	91		1.915×10^{10}
5	5-6	91		1.915×10^{10}
6	6-7	91		1.915×10^{10}
7	7-8	91		1.915×10^{10}
8	8-9	91		1.915×10^{10}
9	9-10	91		1.915×10^{10}
10	10-11	91		1.915×10^{10}
11	11-12	91		1.915×10^{10}
12	12-13	91		1.915×10^{10}
13	13-14	91		5.395×10^{10}
14	14-15	91		1.724×10^{12}
15	15-16	91		4.480×10^{11}
16	16-17	91		5.412×10^{10}
17	17-18	91		5.412×10^{10}
18	18-19	91		5.412×10^{10}
19	19-20	91		2.770×10^{11}
20	20-21	91		7.553×10^{10}
21	21-22	91		7.553×10^{10}
22	22-23	91		7.553×10^{10}
23	23-24	94		3.590×10^9
24	24-25	94		7.720×10^9
25	25-26	94		4.280×10^9
26	26-27	94		6.400×10^9
27	27-28	94		7.350×10^9
28	28-29	94		2.640×10^9
29	29-30	94		3.640×10^8
31	31-32	91		8.161×10^7
32	32-33	91		6.230×10^{10}
33	33-34	91		2.398×10^9
34	34-35	91		7.918×10^9
35	35-36	91		1.969×10^{10}
36	36-37	91		3.315×10^{10}
37	37-38	91		1.969×10^{10}
38	38-39	91		4.234×10^{10}
39	39-40	91		1.969×10^{10}
40	40-41	91		4.234×10^{10}

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
41	41-42	91		1.969×10 ¹⁰
42	42-43	91		7.476×10 ⁹
43	43-44	91		1.860×10 ⁹
44	44-45	91		1.860×10 ⁹
45	45-46	91		1.860×10 ⁹
46	46-47	91		3.169×10 ⁹
47	47-48	91		3.169×10 ⁹
61	61-62	93		4.492×10 ⁵
62	62-63	93		8.762×10 ⁵
63	63-64	93		8.762×10 ⁵
64	64-65	93		1.277×10 ⁷
65	65-66	93		9.517×10 ⁶
66	66-67	93		9.844×10 ⁶
67	67-68	93		1.018×10 ⁷
68	68-69	93		1.052×10 ⁷
69	69-70	93		1.087×10 ⁷
70	70-71	93		1.124×10 ⁷
71	71-72	93		1.161×10 ⁷
72	72-73	93		1.583×10 ⁷
73	73-74	93		2.170×10 ⁷
74	74-75	93		2.170×10 ⁷
75	75-76	93		2.170×10 ⁷
76	76-77	93		2.170×10 ⁷
77	77-78	93		2.053×10 ⁷
78	78-79	93		2.053×10 ⁷
79	79-80	93		9.198×10 ⁶
80	80-81	93		1.636×10 ⁸
81	81-82	94		3.830×10 ⁷
82	82-83	94		1.640×10 ⁸
83	83-84	94		3.570×10 ⁸
84	84-85	94		1.460×10 ⁸
85	85-86	94		7.730×10 ⁷

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
31	61	
34	64	
36	66	
37	67	
38	68	
39	69	
40	70	
41	71	
42	72	
47	77	
4	33	
7	36	
16	45	
19	48	
24	82	
29	85	
6	-	
15	-	
15	-	

02 ⑥ VI-2-5-5-1-1 R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(4) 節点の質量

節点番号	質量(kg)
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	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(続き)

節点番号	質量(kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	
80	
81	
82	
83	
84	
85	
86	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (-)	材質	部位
91	100			0.3		ポンプ
93	100			0.3		ポンプ
94	66			0.3		原動機

【高圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 構造強度評価

2.1.1 設計条件

機器名称	設備分類	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		ポンプ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)	
			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				吸入側	吐出側
高圧炉心スプレイ 系ポンプ	常設/防止 (DB拡張)	原子炉建屋 O.P.-8.10*1	0.053	0.05 以下	-	-	C _H =0.99 又は*2	C _V =0.69		100	66	1.37	10.79

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動S_sに基づく設計用床応答曲線より得られる値

2.1.2 機器要目

(1) ボルト

部 材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					24	24	-				
ポンプ取付ボルト (i=2)					40	40	1.210× 10 ⁷				
原動機台取付ボルト (i=3)					20	20	1.210× 10 ⁷				
原動機取付ボルト (i=4)					12	12	1.210× 10 ⁷				

注記 *1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

(2) バレルケーシング

部 材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	-				

注記*：最高使用温度で算出

2.1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

(2) バレルケーシングに作用する力

(単位：N・mm)

部 材	M _i (N・mm)		F _{bi} (N)		Q _{bi} (N)	
	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 (i=1)						
ポンプ取付ボルト (i=2)						
原動機台取付ボルト (i=3)						
原動機取付ボルト (i=4)						

部 材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング		

36

2.1.4 結論

2.1.4.1 固有周期

(単位：s)

モード	固有周期
水平 1次	T _{H1} =0.053
鉛直 1次	T _{V1} =0.05以下

2.1.4.2 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 (i=1)	引張り	—	—
せん断	—	—	τ _{b1} =4		f _{sb1} =378	
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	σ _{b2} =27	f _{ts2} =474*
		せん断	—	—	τ _{b2} =6	f _{sb2} =365
原動機台取付ボルト (i=3)		引張り	—	—	σ _{b3} =103	f _{ts3} =444*
		せん断	—	—	τ _{b3} =23	f _{sb3} =342
原動機取付ボルト (i=4)		引張り	—	—	σ _{b4} =148	f _{ts4} =455*
		せん断	—	—	τ _{b4} =53	f _{sb4} =350

すべて許容応力以下である。

注記* : f_{tsi} = Min[1.4・f_{toi}-1.6・τ_{bi}, f_{toi}]より算出

2.1.4.3 バレルケーシングの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料		一次一般膜応力	
			算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	—
		基準地震動 S _s	σ=49	S _a =223

すべて許容応力以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2 動的機能維持評価

2.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
高圧炉心スプレイ系 ポンプ	ピットバレル形 ポンプ	325/1074	原子炉建屋 O.P.-8.10*1	0.053	0.05 以下	C _H =0.82 又は*2	C _V =0.57		100	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動S_sに基づく設計用床応答曲線より得られる値

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動S _s		ポンプ振動 による震度	端子箱部の最大応答加速度 による水平方向震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
高圧炉心スプレイ系 ポンプ用原動機	立形すべり軸受 電動機	1900	原子炉建屋 O.P.-8.10*1	0.053	0.05 以下	C _H =0.82 又は*2	C _V =0.57		C _{HT} =3.01	-	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動S_sに基づく設計用床応答曲線より得られる値

2.2.2 機器要目

(1) 固定子

部 材	N (min ⁻¹)	T _{ma} (%)	D (mm)	L (mm)	p (mm)	s (mm)	W _c (kg)	n _p
固定子	1500	175	1180	100	5	10	2394	8

(2) 軸 (回転子)

部 材	M _s (N·mm)	Z _s (mm ³)	W _s (kg)	A _s (mm ²)	N (min ⁻¹)	d _s (mm)
軸	3.030× 10 ⁷	6.734× 10 ⁵	2825	2.835× 10 ⁴	1500	130

(3) 端子箱

部 材	W _t (kg)	n _t	n _{t,y}	n _{t,z}	A _{bt} (mm ²)	Q _{bt} (N)	L _{1i} (mm)	L _{2i} (mm)	L _{3i} (mm)	h _t (mm)
端子箱	70	10	4	3	113.1	1.976× 10 ⁵	290	290	560	356

(4) モータフレーム

部 材	M _f (N·mm)	Z _f (mm ³)	W _f (kg)	A _f (mm ²)
モータフレーム	7.051× 10 ⁸	3.323× 10 ⁷	11319	8.213× 10 ⁴

2.2.3 結論

2.2.3.1 機能確認済加速度との比較 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.82	10.0
	鉛直方向	0.57	1.0
原動機	水平方向	4.70	2.5
	鉛直方向	0.57	1.0

注記*：基準地震動 S_sにより定まる応答加速度とする。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあつては軸受け部）の応答加速度又は設計用最大応答加速度（1.0・ZPA）のいずれか大きい方を、鉛直方向は設計用最大応答加速度（1.0・ZPA）を設定する。
 ポンプは、機能維持評価用加速度が全て機能確認済加速度以下である。
 原動機は、水平方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

2.2.3.2 立形すべり軸受電動機の動的機能維持評価

2.2.3.2.1 代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

2.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.2.2.1 固定子の評価

(単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
固定子	せん断	5	53

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.2 軸（回転子）の評価

(単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
軸（回転子）	151	354

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.3 端子箱の評価

(単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
端子箱	引張り	11	185*
	せん断	3	142

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

2.2.3.2.2.4 軸受の評価

(単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
上部軸受	5.715×10^4	
下部軸受	5.360×10^4	

すべて許容荷重以下である。

2.2.3.2.2.5 固定子と回転子間のクリアランスの評価 (単位：mm)

評価部位	回転子のたわみ	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	0.83	3

すべて許容変位量以下である。

2.2.3.2.2.6 モータフレームの評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
モータフレーム	25	309

すべて許容応力以下である。

2.3 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	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			

O 2 ⑥ VI-2-5-5-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			
80			
81			
82			
83			
84			
85			
86			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	91		1.915×10^{10}
2	2-3	91		1.915×10^{10}
3	3-4	91		1.915×10^{10}
4	4-5	91		1.915×10^{10}
5	5-6	91		1.915×10^{10}
6	6-7	91		1.915×10^{10}
7	7-8	91		1.915×10^{10}
8	8-9	91		1.915×10^{10}
9	9-10	91		1.915×10^{10}
10	10-11	91		1.915×10^{10}
11	11-12	91		1.915×10^{10}
12	12-13	91		1.915×10^{10}
13	13-14	91		5.395×10^{10}
14	14-15	91		1.724×10^{12}
15	15-16	91		4.480×10^{11}
16	16-17	91		5.412×10^{10}
17	17-18	91		5.412×10^{10}
18	18-19	91		5.412×10^{10}
19	19-20	91		2.770×10^{11}
20	20-21	91		7.553×10^{10}
21	21-22	91		7.553×10^{10}
22	22-23	91		7.553×10^{10}
23	23-24	94		3.590×10^9
24	24-25	94		7.720×10^9
25	25-26	94		4.280×10^9
26	26-27	94		6.400×10^9
27	27-28	94		7.350×10^9
28	28-29	94		2.640×10^9
29	29-30	94		3.640×10^8
31	31-32	91		8.161×10^7
32	32-33	91		6.230×10^{10}
33	33-34	91		2.398×10^9
34	34-35	91		7.918×10^9
35	35-36	91		1.969×10^{10}
36	36-37	91		3.315×10^{10}
37	37-38	91		1.969×10^{10}
38	38-39	91		4.234×10^{10}
39	39-40	91		1.969×10^{10}
40	40-41	91		4.234×10^{10}

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
41	41-42	91		1.969×10^{10}
42	42-43	91		7.476×10^9
43	43-44	91		1.860×10^9
44	44-45	91		1.860×10^9
45	45-46	91		1.860×10^9
46	46-47	91		3.169×10^9
47	47-48	91		3.169×10^9
61	61-62	93		4.492×10^5
62	62-63	93		8.762×10^5
63	63-64	93		8.762×10^5
64	64-65	93		1.277×10^7
65	65-66	93		9.517×10^6
66	66-67	93		9.844×10^6
67	67-68	93		1.018×10^7
68	68-69	93		1.052×10^7
69	69-70	93		1.087×10^7
70	70-71	93		1.124×10^7
71	71-72	93		1.161×10^7
72	72-73	93		1.583×10^7
73	73-74	93		2.170×10^7
74	74-75	93		2.170×10^7
75	75-76	93		2.170×10^7
76	76-77	93		2.170×10^7
77	77-78	93		2.053×10^7
78	78-79	93		2.053×10^7
79	79-80	93		9.198×10^6
80	80-81	93		1.636×10^8
81	81-82	94		3.830×10^7
82	82-83	94		1.640×10^8
83	83-84	94		3.570×10^8
84	84-85	94		1.460×10^8
85	85-86	94		7.730×10^7

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
31	61	
34	64	
36	66	
37	67	
38	68	
39	69	
40	70	
41	71	
42	72	
47	77	
4	33	
7	36	
16	45	
19	48	
24	82	
29	85	
6	-	
15	-	
15	-	

02 ⑥ VI-2-5-5-1-1 R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(4) 節点の質量

節点番号	質量(kg)
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	

02 ⑥ VI-2-5-5-1-1 R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

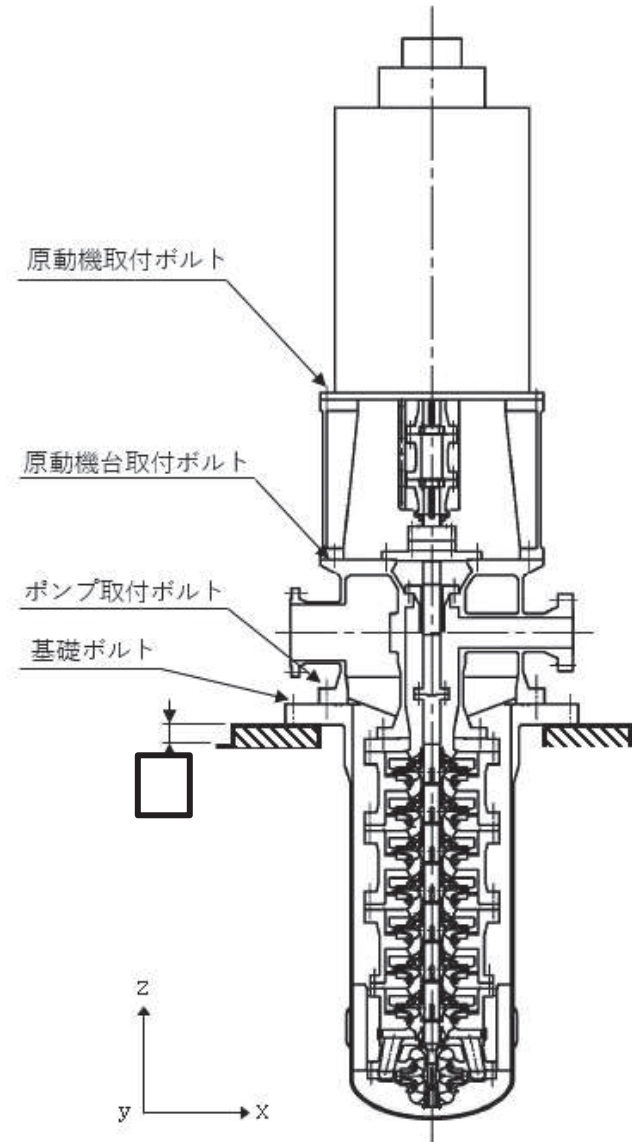
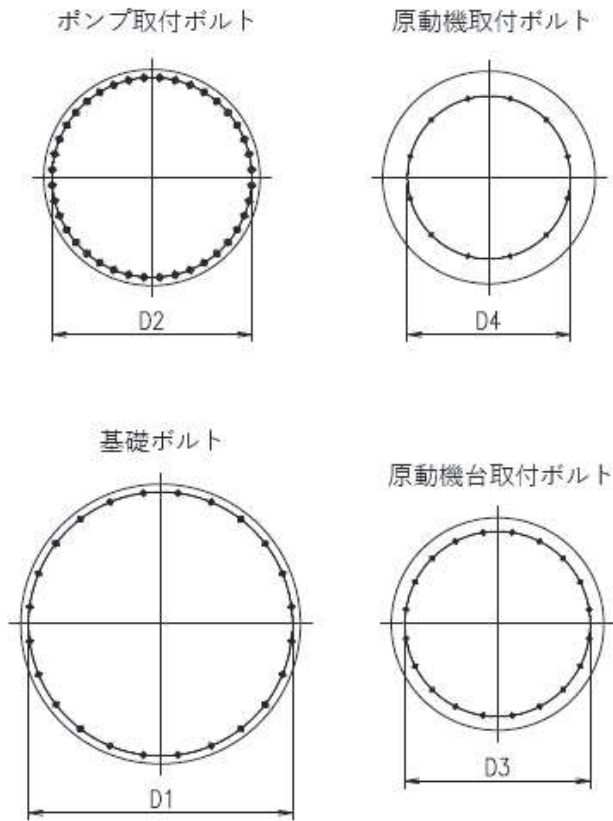
(続き)

節点番号	質量(kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	
80	
81	
82	
83	
84	
85	
86	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (-)	材質	部位
91	100			0.3		ポンプ
93	100			0.3		ポンプ
94	66			0.3		原動機



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

VI-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

1. 概要

本計算書は、高圧炉心スプレイ系ストレーナの耐震性について説明するものである。

高圧炉心スプレイ系ストレーナは残留熱除去系ストレーナ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナと同様の形状を有しており、解析モデルや評価条件については同等である。

また、添付書類「VI-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」において、ストレーナの解析モデルを用いた耐震性の評価を実施しており、その荷重条件については上記のストレーナで最大となる値を用いる。

以上より、本計算書の評価結果については、添付書類「VI-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。

VI-2-5-5-1-3 管の耐震性についての計算書
(高圧炉心スプレイ系)

設計基準対象施設

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	11
3.1 計算方法	11
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
3.3 設計条件	13
3.4 材料及び許容応力評価条件	19
3.5 設計用地震力	20
4. 解析結果及び評価	22
4.1 固有周期及び設計震度	22
4.2 評価結果	34
4.2.1 管の応力評価結果	34
4.2.2 支持構造物評価結果	37
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	39
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	41

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、高圧炉心スプレイ系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全3モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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

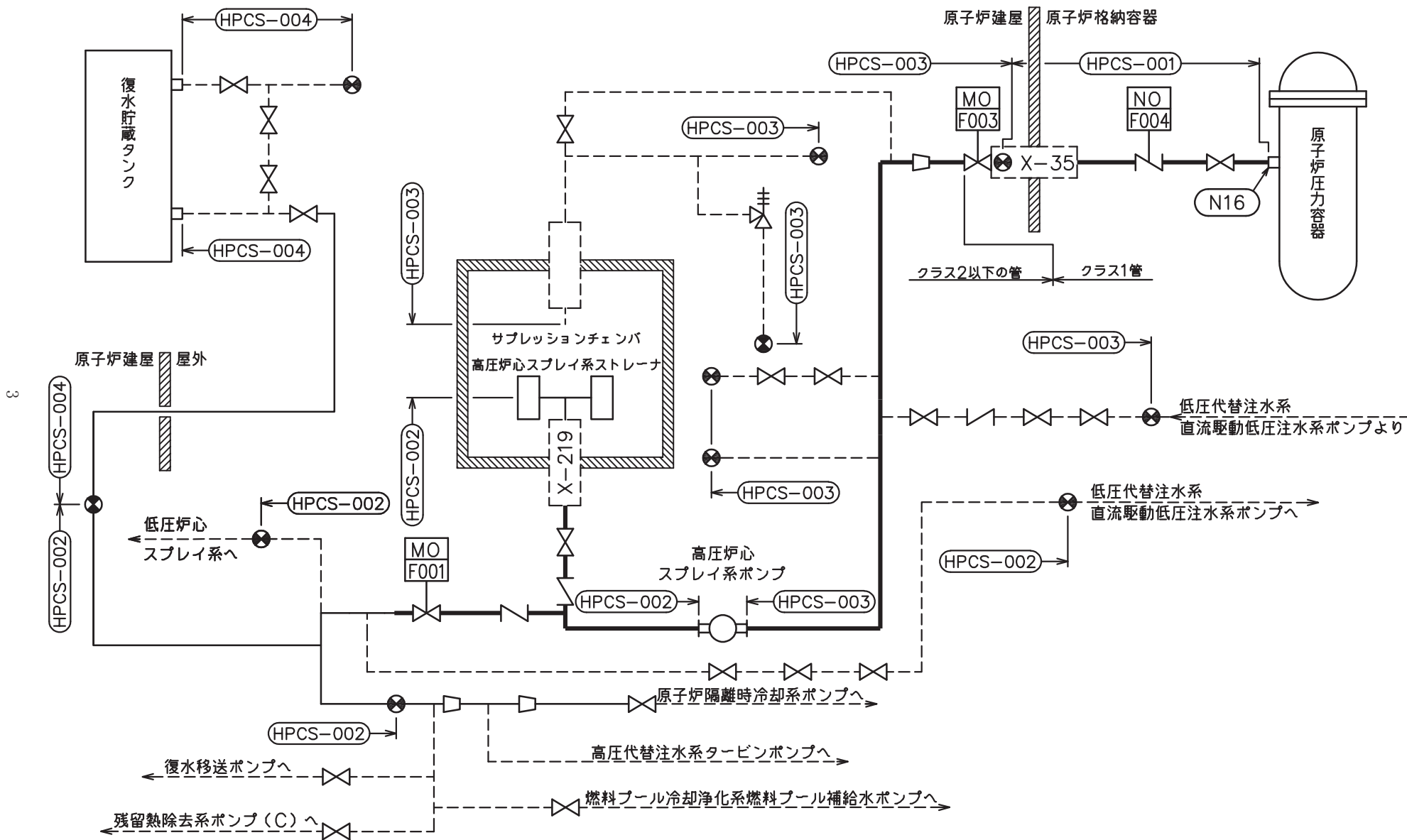
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

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


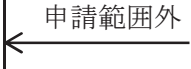



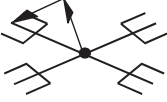
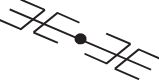

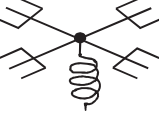
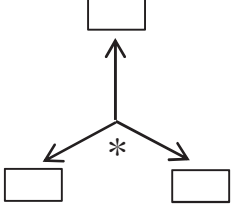
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



高圧炉心スプレイ系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>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として本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印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。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>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。)</p>

5

鳥瞰図	HPCS-001
-----	----------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

9

鳥瞰図 HPCS-002-1/5

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7

鳥瞰図	HPCS-002-2/5
-----	--------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

∞

鳥瞰図 HPCS-002-3/5

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6

鳥瞰図 HPCS-002-4/5

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

10

鳥瞰図 HPCS-002-5/5

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, *3	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	高圧炉心スプレイ 系	DB	—	クラス1管 クラス2管	S	I _L + S d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L + S d	
							Ⅳ _L (L) + S d	
							I _L + S s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L + S s	

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：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。

*3：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。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	8.62	302	267.4	18.2	STS410	S	184760

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 1

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	30	31	32	33	34	35
	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	839	901			

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
5		13		21		34		42	
6		14		22		35		43	
7		15		25		36		44	
8		16		26		37		45	
9		17		27		38		839	
10		18		31		39		901	
11		19		32		40			
12		20		33		41			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1 弁 2

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
23		28	
50		29	
24		30	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	50			
弁2	29			

O 2 ⑥ VI-2-5-5-1-3(設) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 1

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
6						
12						
** 12 **						
** 15 **						
17						
19						
** 22 **						
** 27 **						
** 35 **						
** 37 **						
39						
42						
** 901 **						

--

O 2 ⑥ VI-2-5-5-1-3(設) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.37	66	406.4	9.5	SUS304	S	191720
2	1.37	66	406.4	9.5	SGV410	S	200360
3	1.37	100	406.4	9.5	SGV410	S	198000
4	427kPa (0.427MPa)	104	508.0	9.5	SGV410	S	197680
5	1.37	100	508.0	9.5	SGV410	S	198000

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 2

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	32	33													
2	33	34													
3	36	37	38	39	40	42	43	431	901						
4	59	60	61	62	63	64	65	66	85	86	812	813	814	855	954
	956														
5	43	68	69	70	72	73	74	75	84	432	801				

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
32		59		65		85		813	
33		60		69		86		814	
37		61		73		431		855	
38		62		74		432		901	
39		63		75		801		954	
43		64		84		812		956	

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
34		40		66		70	
35		41		67		71	
36		42		68		72	
76				78			
77				79			

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	35			
弁2	41			
弁3	67			
弁4	71			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 2

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
** 32 **						
39						
** 57 **						
62						
** 62 **						
69						
75						
** 77 **						
** 79 **						
84						
** 86 **						
** 901 **						
** 954 **						
956						



O 2 ⑥ VI-2-5-5-1-3(設) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
STS410	302	122	182	—	—
SGV410	66	—	212	384	—
	100	—	201	373	—
	104	—	200	372	—
SUS304	66	—	188	479	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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用いる。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

本計算書の疲労評価は、設備ごとに個別に設定した等価繰返し回数162回(S s)及び278回(S d)で実施する。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
H P C S - 0 0 1	原子炉しゃへい壁		

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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
H P C S - 0 0 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 H P C S - 0 0 1

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又は S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_I$ 及び $1.2C_V$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 1

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 HPCS-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HPCS-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HPCS-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 2

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
13 次								
15 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。
 *3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 2

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

注記* : 刺激係数は, モード質量を正規化し, 固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 HPCS-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HPCS-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HPCS-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス1管

鳥瞰図	許容 応力 状態	最大 応力 評価点	配管 要素 名称	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	許容応力	ねじり応力	許容応力	一次+二次応力	許容応力	疲労累積係数
					$S_{pr m}(S_d)$	$2.25 \cdot S_m$	$S_t(S_d)$	$0.55 \cdot S_m$	$S_n(S_d)$	$3 \cdot S_m$	$U+U S_d$
$S_{pr m}(S_s)$	$3 \cdot S_m$	$S_t(S_s)$	$0.73 \cdot S_m$	$S_n(S_s)$	$3 \cdot S_m$	$U+U S_s$					
HPCS-001	Ⅲ _A S	21	ELBOW	$S_{pr m}(S_d)$	142	274	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	7	ELBOW	$S_t(S_d)$	—	—	62	67	—	—	—
	Ⅲ _A S	21	ELBOW	$S_n(S_d)$	—	—	—	—	329	366	—
	Ⅲ _A S	42	NOZZLE	$U+U S_d$	—	—	—	—	—	—	0.0177
	Ⅳ _A S	21	ELBOW	$S_{pr m}(S_s)$	223	366	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	7	ELBOW	$S_t(S_s)$	—	—	93*	89	—	—	—
	Ⅳ _A S	21	ELBOW	$S_n(S_s)$	—	—	—	—	600**	366	0.1558
	Ⅳ _A S	21	ELBOW	$U+U S_s$	—	—	—	—	—	—	0.1558

*印はねじりによる最大応力発生点において応力が許容応力を超過していることを示し、次頁に曲げとねじりによる応力評価結果を示す。

**印は一次+二次応力が許容応力を超過していることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態Ⅲ_ASのとき $0.55 \cdot S_m$ ，又は許容応力状態Ⅳ_ASのとき $0.73 \cdot S_m$ を超える評価点のうち曲げとねじりによる応力は許容値を満足している。

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 1

評価点	一次応力評価 (MPa)			
	ねじり応力 $S_t(S_d)$ $S_t(S_s)$	許容応力 $0.55 \cdot S_m$ $0.73 \cdot S_m$	曲げとねじり応力 $S_t + S_b(S_d)$ $S_t + S_b(S_s)$	許容応力 $1.8 \cdot S_m$ $2.4 \cdot S_m$
7	62 93 *	67 89	73 109	219 292

管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス 2 以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				S p r m (S d) S p r m (S s)	S y *1 0. 9 ・ S u	S n (S s)	2 ・ S y	
H P C S - 0 0 2	Ⅲ _A S	75	S p r m (S d)	106	201	—	—	—
	Ⅳ _A S	75	S p r m (S s)	173	335	—	—	—
	Ⅳ _A S	75	S n (S s)	—	—	338	402	—

注記 *1 : 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, S y と 1. 2 ・ S h のうち大きい方とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
HPCS-001-019H	スプリングハンガ	VS60-14	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		27	15×2
HPCS-002-086S	メカニカルスナッパ	SMS-10-100			185*	150
HPCS-003-906B	ロッドレストレイント	RST-2			39	67

注記*：当該メカニカルスナッパの計算荷重が許容荷重を超えるため、詳細評価を実施する。

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 (°C)	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			
HPCS-002-062R	レストレイント	架構	STKR400	40	95	55	95	—	—	—	組合せ	48	280

メカニカルスナップの詳細評価結果

支持構造物 番号	型式	評価結果					
		強度評価				機能確認	
		評価部位*	応力分類	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)
HPCS-002-086S	SMS-10-100	ベアリング押え	曲げ	347	404	185	219

注記*：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超える弁については、詳細評価を実施する。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
E22-F003	ゲート弁	β (S s)	7.3*	1.4	6.0	6.0
E22-F004	テストブル チェック弁	β (S s)	6.7*	7.1*	6.0	6.0

注：機能維持評価用加速度は、配管系の地震応答解析による打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

注記*：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、詳細評価を行う。

詳細評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が駆動部の動作機能確認済加速度以下及び計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		駆動部の動作機能確認済 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)			
			水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位*1	応力分類	計算応力	許容応力
E22-F003	ゲート弁	β (S s)	7.3	1.4	20.0	20.0	ボンネット	曲げ	193	280
E22-F004	テストブル チェック弁	β (S s)	6.7	7.1	6.0*2	6.0*2	ボルト	引張	55	259

注記*1：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

*2：逆止弁のため開機能維持又は閉機能維持のための動作機能確認済加速度を示す。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス1管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S					許容応力状態 IV _A S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	HPCS-001	21	142	274	1.92	○	21	223	366	1.64	○	21	600	366	0.61	○	21	0.1558	○

41 注記* : III_ASの一次+二次応力の許容値はIV_ASと同様であることから、地震荷重が大きいIV_ASの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス 2 以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S					許容応力状態 IV _A S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	HPCS-002	75	106	201	1.89	○	75	173	335	1.93	○	75	338	402	1.18	○	—	—	—
2	HPCS-003	19	85	220	2.58	—	19	108	364	3.37	—	16	186	440	2.36	—	—	—	—

注記* : III_AS の一次+二次応力の許容値はIV_AS と同様であることから、地震荷重が大きいIV_AS の一次+二次応力裕度最小を代表とする。

重大事故等対処設備

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	13
3.1 計算方法	13
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	14
3.3 設計条件	16
3.4 材料及び許容応力評価条件	26
3.5 設計用地震力	27
4. 解析結果及び評価	29
4.1 固有周期及び設計震度	29
4.2 評価結果	41
4.2.1 管の応力評価結果	41
4.2.2 支持構造物評価結果	43
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	45
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	46

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、高圧炉心スプレイ系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全4モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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

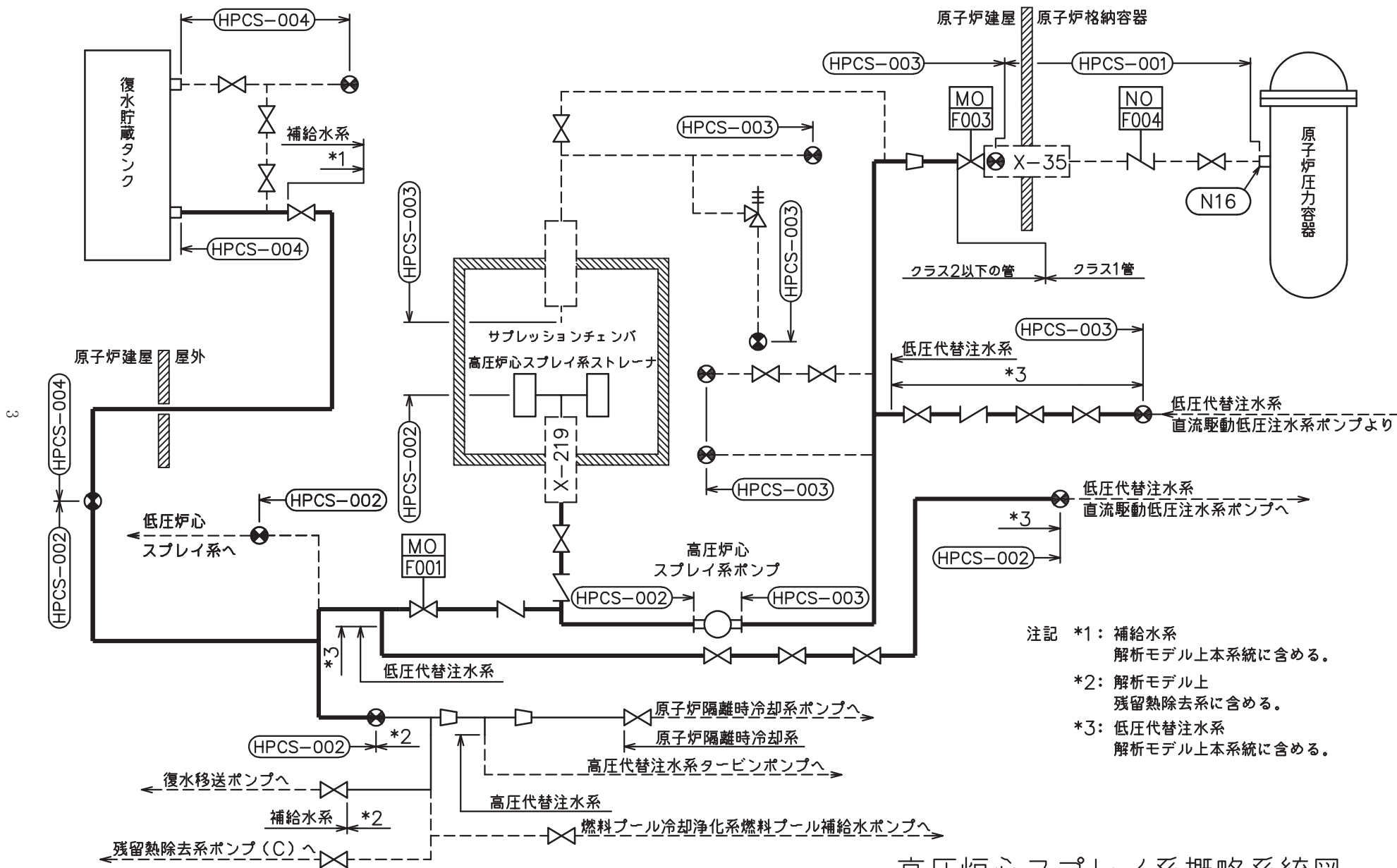
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

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
 (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
	アンカ


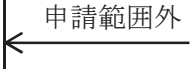
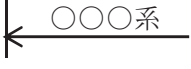


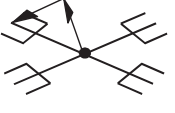
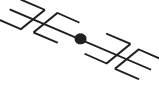

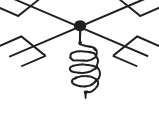
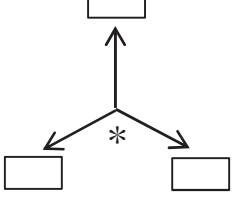


注記 *1: 補給水系
解析モデル上本系統に含める。
*2: 解析モデル上
残留熱除去系に含める。
*3: 低圧代替注水系
解析モデル上本系統に含める。

高圧炉心スプレイ系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>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として本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印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。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>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。)</p>

5

鳥瞰図	HPCS-002-1/5
-----	--------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

9

鳥瞰図 HPCS-002-2/5

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	HPCS-002-3/5
-----	--------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

8

鳥瞰図 HPCS-002-4/5

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6

鳥瞰図 HPCS-002-5/5

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

10

鳥瞰図 HPCS-004-1/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HPCS-004-2/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HPCS-004-3/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	耐震重要度分類	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	高压炉心 スプレイ系	SA	常設/防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L(L) + S d$	$V_A S$
							$V_L(LL) + S s$	
							$V_L + S s$	
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	高压代替注水系	SA	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S s$	$V_A S$
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	原子炉隔離時冷却系	SA	常設/防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S s$	$V_A S$
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	低压代替注水系	SA	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S s$	$V_A S$
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	原子炉格納容器下部注水系	SA	常設/緩和	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S s$	$V_A S$

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	耐震重要度 分類	荷重の組合せ*3, *4	許容応力 状態*5
原子炉格納 施設	圧力低減設備その他の 安全設備	原子炉格納容器 代替スプレイ系	SA	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$
原子炉格納 施設	圧力低減設備その他の 安全設備	高压代替注水系	SA	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$
原子炉格納 施設	圧力低減設備その他の 安全設備	低压代替注水系	SA	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$

15

注記*1：DB は設計基準対象施設，SA 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／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）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，(LL) は(L) より更に長期的に荷重が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。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.37	66	406.4	9.5	SUS304	—	191720
2	1.37	66	406.4	9.5	SGV410	—	200360
3	1.37	100	406.4	9.5	SGV410	—	198000
4	854kPa (0.854MPa)	200	508.0	9.5	SGV410	—	191000
5	1.37	100	508.0	9.5	SGV410	—	198000
6	1.37	66	165.2	7.1	SUS304	—	191720
7	1.37	66	165.2	7.1	SUS304TP	—	191720
8	1.37	66	165.2	7.1	STS410	—	200360

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 2

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	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
	32	33	44	45	46	221	222	281	282	501	502	503	802	811	903
	904	905													
2	33	34													
3	36	37	38	39	40	42	43	431	901						
4	59	60	61	62	63	64	65	66	85	86	812	813	814	855	954
	956														
5	43	68	69	70	72	73	74	75	84	432	801				
6	502	504													
7	504	505													
8	505	506	507	509	510	511	512	513	515	516	517	519	520	521	522
	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537
	538														

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 2

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		22		62		505		535	
2		23		63		506		536	
3		24		64		510		537	
4		25		65		511		538	
5		26		69		512		801	
6		27		73		516		802	
7		28		74		520		811	
8		29		75		521		812	
9		30		84		522		813	
10		32		85		523		814	
11		33		86		524		855	
12		37		221		525		901	
13		38		222		526		903	
14		39		281		527		904	
15		43		282		528		905	
16		44		431		529		954	
17		45		432		530		956	
18		46		501		531			
19		59		502		532			
20		60		503		533			
21		61		504		534			

O 2 ⑥ VI-2-5-5-1-3(重) R 0

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 2

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4		弁 5	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
34		40		66		70		507	
35		41		67		71			
36		42		68		72			
76			78						
77			79						

弁 6		弁 7	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
513		517	
514		518	
515		519	
539			
540			

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 2

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
弁1	35			
弁2	41			
弁3	67			
弁4	71			
弁5	508			
弁6	514			
弁7	518			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 2

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
4						
11						
14						
18						
23						
26						
** 26 **						
** 32 **						
39						
46						
** 57 **						
62						
** 62 **						
69						
75						
** 77 **						
** 79 **						
84						
** 86 **						
506						
** 506 **						



O 2 ⑥ VI-2-5-5-1-3(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 2

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
511						
516						
524						
530						
538						
** 540 **						
** 901 **						
** 903 **						
904						
905						
** 954 **						
956						

O 2 ⑥ VI-2-5-5-1-3(重) R 0

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 4

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	静水頭	66	406.4	9.5	SUS304	—	191720
2	1.37	66	406.4	9.5	SUS304	—	191720

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 4

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	801					
2	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	26
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	60	61	62	802	803	804
	902	903	904	905											

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		13		22		32		803	
2		14		23		33		804	
3		15		24		34		902	
4		16		26		35		903	
5		17		27		60		904	
6		18		28		61		905	
7		19		29		62			
8		20		30		801			
12		21		31		802			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
9	
10	
11	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	10			

O 2 ⑥ VI-2-5-5-1-3(重) R 0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 4

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
7						
14						
16						
22						
28						
30						
32						
35						
60						
902						
903						
** 904 **						
905						

--

0 2 ⑥ VI-2-5-5-1-3(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
SGV410	66	—	212	384	—
	100	—	201	373	—
	200	—	189	362	—
STS410	66	—	231	407	—
SUS304	66	—	188	479	—
SUS304TP	66	—	188	479	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
H P C S - 0 0 2	原子炉建屋		

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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
H P C S - 0 0 4	原子炉建屋		
	復水貯蔵タンク連絡トレンチ		
	復水貯蔵タンクバルブ室		
	復水貯蔵タンク		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 2

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
14 次								
15 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 2

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

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 HPCS-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HPCS-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HPCS-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 4

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
9 次								
10 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。
 *3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 4

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

注記* : 刺激係数は, モード質量を正規化し, 固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 HPCS-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HPCS-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

40

鳥瞰図 HPCS-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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管であってクラス2以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{pr m}(S_s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S_s)$	$2 \cdot S_y$	$U S_s$
HPCS-002	$V_A S$	538	$S_{pr m}(S_s)$	185	366	—	—	—
	$V_A S$	538	$S_n(S_s)$	—	—	366	462	—

管の応力評価結果

下表に示すとおり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管であってクラス2以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{pr m}(S_s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S_s)$	$2 \cdot S_y$	$U S_s$
HPCS-004	$V_A S$	1	$S_{pr m}(S_s)$	140	431	—	—	—
	$V_A S$	1	$S_n(S_s)$	—	—	307	376	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
HPCS-002-084H	スプリングハンガ	VS30-17	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		3	39
HPCS-002-086S	メカニカルスナッパ	SMS-10-100			196*	150
HPCS-003-906B	ロッドレストレイント	RST-2			39	67

注記*：当該メカニカルスナッパの計算荷重が許容荷重を超えるため、詳細評価を実施する。

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 (°C)	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			
HPCS-002-004R	レストレイント	架構	STKR400	40	176	48	0	-	-	-	組合せ	143	280
HPCS-002-001A	アンカ	ラグ	SUS304	66	37	31	199	31	38	5	組合せ	173	205

メカニカルスナップの詳細評価結果

支持構造物 番号	型式	評価結果					
		強度評価				機能確認	
		評価部位*	応力分類	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)
HPCS-002-086S	SMS-10-100	ベアリング押え	曲げ	367	404	196	219

注記*：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 VAS												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
1	HPCS-002	538	185	366	1.97	○	538	366	462	1.26	—	—	—	—
2	HPCS-003	302	158	366	2.31	—	302	315	462	1.46	—	—	—	—
3	HPCS-004	1	140	431	3.07	—	1	307	376	1.22	○	—	—	—

VI-2-5-5-1-4 ストレーナ部ティーの耐震計算書
(高圧炉心スプレイ系)

本計算書では、高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーの耐震性について説明するものである。

高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーは残留熱除去系ストレーナ部ティー及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーと同様の形状を有しており、評価条件については同等である。また、添付書類「VI-2-5-4-1-5 ストレーナ部ティーの耐震計算書（残留熱除去系）」において耐震性の評価を実施しており、各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定し、鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。

以上より、本計算書の評価結果については、添付書類「VI-2-5-4-1-5 ストレーナ部ティーの耐震計算書（残留熱除去系）」による。

VI-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

目 次

- VI-2-5-5-2-1 低圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算書
- VI-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
- VI-2-5-5-2-3 管の耐震性についての計算書（低圧炉心スプレイ系）
- VI-2-5-5-2-4 ストレーナ部ティーの耐震計算書（低圧炉心スプレイ系）

VI-2-5-5-2-1 低圧炉心スプレイ系ポンプ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. 固有値解析及び構造強度評価	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評価条件	3
3.3 解析モデル及び諸元	9
3.4 固有周期	9
3.5 設計用地震力	11
3.6 計算条件	12
4. 機能維持評価	13
4.1 基本方針	13
4.2 ポンプの動的機能維持評価	13
4.3 原動機の動的機能維持評価	14
4.3.1 評価対象部位	14
4.3.2 許容値	14
4.3.3 記号の説明	15
4.3.4 評価方法	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	20

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-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。

低圧炉心スプレイ系ポンプは、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）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、低圧炉心スプレイ系ポンプは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載のたて軸ポンプであるため、添付書類「VI-2-1-13-5 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」に基づき評価を実施する。

また、低圧炉心スプレイ系ポンプの原動機は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の立形ころがり軸受電動機であり、機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、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）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

低圧炉心スプレイ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	
<p>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。</p>	<p>ピットバレル形 (ピットバレル形たて軸ポンプ)</p>	<p>(単位: mm)</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 固有値解析及び構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

低圧炉心スプレイ系ポンプの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-5 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行う。

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ポンプ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ポンプの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 及び表 3-4 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

低圧炉心スプレイ系ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-6 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
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	低圧炉心スプレイ系 ポンプ	S	クラス 2 ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III_{AS}
					$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}

注記*：クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

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
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	低圧炉心スプレイ系 ポンプ	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプ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 3-3 許容応力 (クラス 2, 3 ポンプ及び重大事故等クラス 2 ポンプ)

許容応力状態	許容限界*			
	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 _{AS}	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 _{AS}				
V _{AS} (V _{AS} として IV _{AS} の許容限界を用いる。)	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値	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*：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 3-4 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）

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。

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件 (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)
		バレルケーシング	[Redacted]	最高使用温度	100	—	[Redacted]
コラムパイプ	最高使用温度	100		—	—		
基礎ボルト	周囲環境温度	66		—	—		
ポンプ取付ボルト	最高使用温度	100		—	—		
原動機台取付ボルト	最高使用温度	100		—	—		
原動機取付ボルト	周囲環境温度	66		—	—		

7

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		バレルケーシング	[Redacted]	最高使用温度	100	—	[Redacted]
コラムパイプ	最高使用温度	100		—	—		
基礎ボルト	周囲環境温度	66		—	—		
ポンプ取付ボルト	最高使用温度	100		—	—		
原動機台取付ボルト	最高使用温度	100		—	—		
原動機取付ボルト	周囲環境温度	66		—	—		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.3 解析モデル及び諸元

- (1) 固有値解析に用いる解析モデルは、水平方向の応答を考慮した 1 次元応答解析モデルとする。
- (2) モデル化に際しては、シャフト及びコラムパイプに対して水の付加質量及び排除水体积質量を考慮する。
- (3) 固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【低圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。
- (4) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

3.4 固有周期

固有値解析の結果を表 3-7 に、振動モード図を図 3-1 に示す。固有周期は、0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 3-7 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向 刺激係数*
			NS 方向	EW 方向	
1 次	水平方向	0.050	3.143	3.143	—
2 次	水平方向	0.020	—	—	—

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

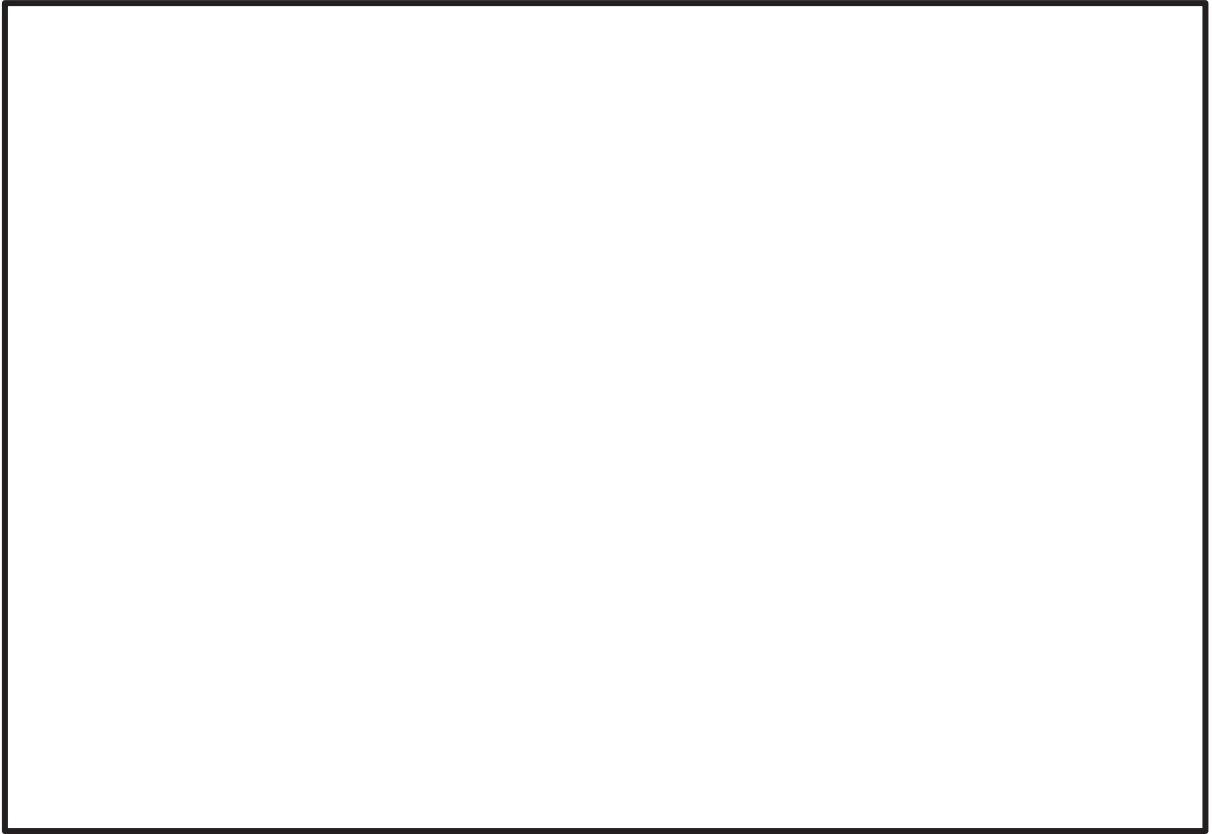


図 3-1 振動モード (1 次モード 水平方向 0.050s)

3.5 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。評価に用いる設計用地震力を表 3-8 及び表 3-9 に示す。

表 3-8 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ (m)		原子炉建屋 O.P. -8.10^{*1}					
固有周期 (s)		水平 : 0.050^{*2} 鉛直 : 0.05 以下					
減衰定数 (%)		水平 : 1.0 鉛直 : -					
地震力		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度			基準地震動 S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度 ^{*3}		応答鉛直震度 ^{*3}
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.050	- ^{*6}	- ^{*6}	-	2.70	2.70	-
2 次	0.020	-	-	-	-	-	-
動的地震力 ^{*4}		- ^{*6}	- ^{*6}	- ^{*6}	0.99	0.99	0.69
静的地震力 ^{*5}		0.36	0.36	0.29	-	-	-

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載。

*3：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線 (S_s) より得られる震度を示す。

*4： S_s 又は S_d に基づく設計用最大応答加速度 ($1.2 \cdot ZPA$) より定めた震度を示す。

*5：静的震度 ($3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$) を示す。

*6： III_{AS} については、基準地震動 S_s で評価する。

表 3-9 設計用地震力（重大事故等対処施設）

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉建屋 O.P. -8.10* ¹					
固有周期(s)		水平：0.050* ² 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：－					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度* ³		応答鉛直震度* ³
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.050	－	－	－	2.70	2.70	－
2 次	0.020	－	－	－	－	－	－
動的地震力* ⁴		－	－	－	0.99	0.99	0.69
静的地震力		－	－	－	－	－	－

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載。

*3：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線（S_s）より得られる震度を示す。

*4：S_s 又は S_d に基づく設計用最大応答加速度（1.2・ZPA）より定めた震度を示す。

3.6 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【低圧炉心スプレイ系ポンプ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。

4. 機能維持評価

4.1 基本方針

低圧炉心スプレイ系ポンプの原動機は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の立形ころがり軸受電動機であり、機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、J E A G 4 6 0 1 に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

詳細評価に用いる機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる設計用最大応答加速度 (1.0ZPA) を設定する。

- (1) 低圧炉心スプレイ系ポンプはピットバレル形ポンプであるため、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されているピットバレル形ポンプの機能確認済加速度を適用する。

4.2 ポンプの動的機能維持評価

低圧炉心スプレイ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であるため、添付書類「VI-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。

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
立型ポンプ	ピットバレル形ポンプ	水平方向	10.0
		鉛直方向	1.0

4.3 原動機の動的機能維持評価

4.3.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 の電動機の動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 取付ボルト
- b. 固定子
- c. 軸（回転子）
- d. 端子箱
- e. 軸受
- f. 固定子と回転子間のクリアランス
- g. モータフレーム
- h. 軸継手

このうち「a. 取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて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ている。

以上より、本計算書においては、固定子、軸（回転子）、端子箱、軸受、固定子と回転子間のクリアランス及びモータフレームを評価対象部位とする。なお、軸継手はポンプ軸とモータ軸をリジットに接続するタイプであり、相対変位が発生しないこと、および地震荷重については軸受で負担するため軸継手部には有意な応力が発生しないことから、計算書の評価対象外とする。

4.3.2 許容値

軸（回転子）及びモータフレームの許容値は、クラス 2 ポンプの許容応力状態Ⅲ_{AS}に準拠し設定する。固定子の許容値は、クラス 2 支持構造物の許容応力状態Ⅲ_{AS}に準拠し設定する。端子箱の許容値は、クラス 2 支持構造物の許容応力状態Ⅳ_{AS}に準拠し設定する。また、軸受については、メーカー規定の軸受の定格荷重を、固定子と回転子間のクリアランスは、変位可能寸法を許容値として設定する。

4.3.3 記号の説明

低圧炉心スプレイ系ポンプ用原動機の動的機能維持評価に使用する記号を表 4-2 に示す。

表4-2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bt}	端子箱取付ボルトの断面積	mm^2
A_f	モータフレームの断面積	mm^2
A_s	軸の断面積	mm^2
C_P	ポンプ振動による震度	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_{HT}	端子箱部の最大応答加速度による水平方向震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D	固定子の外径	mm
d_s	軸の径	mm
F_k	固定子に生じる組合せ荷重	N
F_{bt}	端子箱取付ボルトに作用する引張力	N
$F_{bt, a}$	端子箱取付面に対し左右方向の水平方向地震により作用する引張力	N
$F_{bt, b}$	端子箱取付面に対し前後方向の水平方向地震により作用する引張力	N
F_{kg}	自重及び地震力により固定子に生じる荷重	N
F_{kt}	電動機の回転による荷重	N
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_t	端子箱取付面から端子箱重心までの高さ	mm
L	固定子の溶接長さ	mm
L_{1i}	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離	mm
L_{2i}	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離	mm
L_{3i}	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離	mm
M_f	モータフレームに作用する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_s	軸に作用する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
N	電動機の回転速度	min^{-1}
n_p	固定子の溶接数	—
n_t	端子箱取付ボルトの本数	—
$n_{t1, y}$	引張力がはたらく端子箱取付ボルト本数 (y 方向)	—
$n_{t1, z}$	引張力がはたらく端子箱取付ボルト本数 (z 方向)	—
P	電動機出力	kW
p	固定子の溶接部の開先寸法	mm
Q_{bt}	端子箱取付ボルトに生じるせん断力	N
$Q_{bt, a}$	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
$Q_{bt, b}$	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力	N

記号	記号の説明	単位
s	固定子のすみ肉脚長	mm
T _m	電動機の回転による発生トルク	N・m
T _{ma}	電動機最大トルク	%
T _s	ポンプ運転による発生トルク	N・mm
W _c	固定子コイル及びコア質量	kg
W _f	モータフレーム質量	kg
W _s	軸の質量	kg
W _t	端子箱質量	kg
Z _f	モータフレームの断面係数	mm ³
Z _s	軸の断面係数	mm ³
σ _m	モータフレームに生じる組合せ応力	MPa
σ _s	軸に生じる組合せ応力	MPa
σ _{bt}	端子箱取付ボルトに生じる引張応力	MPa
σ _{fm}	モータフレームに生じる曲げ応力	MPa
σ _{fw}	自重及び鉛直方向地震力によりモータフレームに生じる応力	MPa
σ _{sm}	軸に生じる曲げ応力	MPa
σ _{sw}	自重及び鉛直方向地震力により軸に生じる応力	MPa
τ _k	固定子に生じるせん断応力	MPa
τ _s	ポンプ運転によるねじり応力	MPa
τ _{bt}	端子箱取付ボルトに生じるせん断応力	MPa

4.3.4 評価方法

(1) 固定子

電動機の最大荷重（トルク）は次式で求める。

$$T_m = \frac{974 \cdot P \cdot g}{N} \cdot \frac{T_{ma}}{100} \dots \dots \dots (4.3.4.1)$$

電動機の回転による荷重は次式で求める。

$$F_{kt} = \frac{T_m}{1/2 \cdot D} \dots \dots \dots (4.3.4.2)$$

自重及び鉛直方向地震力により発生する荷重は次式で求める。

$$F_{kg} = W_c \cdot g \cdot (C_v + C_p + 1) \dots \dots \dots (4.3.4.3)$$

せん断応力は次式で求める。

$$F_k = \sqrt{F_{kt}^2 + F_{kg}^2} \dots \dots \dots (4.3.4.4)$$

$$\tau_k = \frac{F_k}{(p+s) \cdot L \cdot n_p} \dots \dots \dots (4.3.4.5)$$

(2) 軸 (回転子)

a. 曲げ応力

多質点はりモデルを用いて応答計算を行い，得られたモーメントにより，曲げ応力は以下のようなになる。

$$\sigma_{sm} = \frac{M_s}{Z_s} \dots \dots \dots (4.3.4.6)$$

b. 自重及び鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{sw} = \frac{(1 + C_v + C_p) \cdot W_s \cdot g}{A_s} \dots \dots \dots (4.3.4.7)$$

c. ねじり応力

$$T_s = \frac{P}{2\pi / 60 \cdot N} \cdot 10^6 \dots \dots \dots (4.3.4.8)$$

$$\tau_s = \frac{16 \cdot T_s}{\pi \cdot d_s^3} \dots \dots \dots (4.3.4.9)$$

d. 組合せ応力

$$\sigma_s = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_{sm} + \sigma_{sw}) + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(\sigma_{sm} + \sigma_{sw})^2 + 4\tau_s^2} \dots \dots \dots (4.3.4.10)$$

R1
VI-2-5-5-2-1
⑥
O2

(3) 端子箱

a. 取付ボルトに作用する引張力

$$F_{bt, a} = \frac{W_t \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot h_t \cdot g}{n_{t1, z} \cdot L_{2i}} + \frac{W_t \cdot (C_{HT} + C_P) \cdot h_t \cdot g}{n_{t1, y} \cdot L_{3i}} \dots \dots \dots (4.3.4.11)$$

$$F_{bt, b} = \frac{W_t \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot h_t \cdot g + W_t \cdot (C_{HT} + C_P) \cdot L_{1i} \cdot g}{n_{t1, z} \cdot L_{2i}} \dots \dots \dots (4.3.4.12)$$

$$F_{bt} = \text{Max} [F_{bt, a}, F_{bt, b}] \dots \dots \dots (4.3.4.13)$$

b. 取付ボルトの引張応力

$$\sigma_{bt} = \frac{F_{bt}}{A_{bt}} \dots \dots \dots (4.3.4.14)$$

c. 取付ボルトに生じるせん断力

$$Q_{bt, a} = W_t \cdot (C_{HT} + C_P) \cdot g \dots \dots \dots (4.3.4.15)$$

$$Q_{bt, b} = W_t \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot g \dots \dots \dots (4.3.4.16)$$

$$Q_{bt} = \sqrt{Q_{bt, a}^2 + Q_{bt, b}^2} \dots \dots \dots (4.3.4.17)$$

d. 取付ボルト 1 本あたりにはたらくせん断応力

$$\tau_{bt} = \frac{Q_{bt}}{n_t \cdot A_{bt}} \dots \dots \dots (4.3.4.18)$$

(4) 軸受

多質点はりモデルによる低圧炉心スプレイ系ポンプの応答解析結果を用い、軸受の発生荷重を評価する。

(5) 固定子と回転子間のクリアランス

多質点はりモデルによる低圧炉心スプレイ系ポンプの応答解析結果を用い、固定子-軸（回転子）の相対変位が固定子-軸（回転子）間空隙寸法を下回ることを確認する。

(6) モータフレーム

a. 曲げ応力

多質点はりモデルを用いて応答計算を行い、得られたモーメントにより、曲げ応力は以下のようなになる。

$$\sigma_{f m} = \frac{M_f}{Z_f} \dots \dots \dots (4.3.4.19)$$

b. 自重及び鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{f w} = \frac{(1 + C_v + C_p) \cdot W_f \cdot g}{A_f} \dots \dots \dots (4.3.4.20)$$

c. 組合せ応力

$$\sigma_m = \sigma_{f m} + \sigma_{f w} \dots \dots \dots (4.3.4.21)$$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

低圧炉心スプレイ系ポンプ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及び動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頁以降の表に示す。なお，弾性設計用地震動 S_d による動的震度及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており，基準地震動 S_s による発生値が，弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

低圧炉心スプレイ系ポンプ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動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頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【低圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算結果】

- 1. 設計基準対象施設
 - 1.1 構造強度評価
 - 1.1.1 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		ポンプ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)	
			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				吸入側	吐出側
低圧炉心スプレイ 系ポンプ	S	原子炉建屋 O.P. -8.10*1	0.050	0.05 以下	-*2	-*2	C _H = 0.99 又は*3	C _V = 0.69		100	66	1.37	4.41

注記*1：基準床レベルを示す。
 *2：Ⅲ_Sについては、基準地震動 S_s で評価する。
 *3：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線より得られる値

- 1.1.2 機器要目
 - (1) ボルト

部 材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					16	16	—				
ポンプ取付ボルト (i=2)					36	36	6.366 × 10 ⁶				
原動機台取付ボルト (i=3)					20	20	6.366 × 10 ⁶				
原動機取付ボルト (i=4)					8	8	6.366 × 10 ⁶				

注記*1：最高使用温度で算出
 *2：周囲環境温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

- (2) バレルケーシング, コラムパイプ

部 材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _C (mm)	t (mm)
バレルケーシング	—			1200	25
コラムパイプ	—				

注記*：最高使用温度で算出

1.1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力

(単位: N・mm)

部 材	M _i (N・mm)		F _{bi} (N)		Q _{bi} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d	基準地震動	弾性設計用地震動 S _d	基準地震動	弾性設計用地震動 S _d	基準地震動
	又は静的震度	S _s	又は静的震度	S _s	又は静的震度	S _s
基礎ボルト (i=1)						
ポンプ取付ボルト (i=2)						
原動機台取付ボルト (i=3)						
原動機取付ボルト (i=4)						

部 材	M	
	弾性設計用地震動 S _d	基準地震動
	又は静的震度	S _s
バレルケーシング		
コラムパイプ		

注記*: III_sSについては、基準地震動 S_s で評価する。

22

1.1.4 結論

1.1.4.1 固有周期 (単位: s)

モード	固有周期
水平 1次	T _{H1} =0.050
鉛直 1次	T _{V1} =0.05 以下

1.1.4.2 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 (i=1)	引張り	$\sigma_{b1}=32^{*2}$	$f_{ts1}=491^{*1}$
せん断	$\tau_{b1}=3^{*2}$	$f_{sb1}=378$	$\tau_{b1}=3$		$f_{sb1}=378$	
ポンプ取付ボルト (i=2)	引張り	$\sigma_{b2}=18^{*2}$	$f_{ts2}=474^{*1}$	$\sigma_{b2}=18$	$f_{ts2}=474^{*1}$	
せん断		$\tau_{b2}=4^{*2}$	$f_{sb2}=365$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=365$	
原動機台取付ボルト (i=3)	引張り	$\sigma_{b3}=105^{*2}$	$f_{ts3}=474^{*1}$	$\sigma_{b3}=105$	$f_{ts3}=474^{*1}$	
せん断		$\tau_{b3}=19^{*2}$	$f_{sb3}=365$	$\tau_{b3}=19$	$f_{sb3}=365$	
原動機取付ボルト (i=4)	引張り	$\sigma_{b4}=141^{*2}$	$f_{ts4}=491^{*1}$	$\sigma_{b4}=141$	$f_{ts4}=491^{*1}$	
せん断		$\tau_{b4}=43^{*2}$	$f_{sb4}=378$	$\tau_{b4}=43$	$f_{sb4}=378$	

すべて許容応力以下である。

注記*1: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

*2: 基準地震動 S_sによる算出値

1.1.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部 材	材 料		一次一般膜応力	
			算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma=33^{*}$	S _a =201
		基準地震動 S _s	$\sigma=33$	S _a =223
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma=32^{*}$	S _a =201
		基準地震動 S _s	$\sigma=32$	S _a =223

注記*: 基準地震動 S_sによる算出値

すべて許容応力以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.2 動的機能維持評価

1.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
低圧炉心スプレイ系 ポンプ	ピットパレル形ポンプ	1074	原子炉建屋 O.P.-8.10*1	0.050	0.05 以下	C _H =0.82 又は*2	C _V =0.57		100	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線より得られる値

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	端子箱部の最大応答加速度 による水平方向震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
低圧炉心スプレイ系 ポンプ用原動機	立形ころがり軸受 電動機	1000	原子炉建屋 O.P.-8.10*1	0.050	0.05 以下	C _H =0.82 又は*2	C _V =0.57		C _{HT} =2.75	-	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線より得られる値

1.2.2 機器要目

(1) 固定子

部 材	N (min ⁻¹)	T _{ma} (%)	D (mm)	L (mm)	p (mm)	s (mm)	W _c (kg)	n _p
固定子	1500	175	950	40	5	10	1618	16

(2) 軸 (回転子)

部 材	M _s (N·mm)	Z _s (mm ³)	W _s (kg)	A _s (mm ²)	N (min ⁻¹)	d _s (mm)
軸	1.130× 10 ⁷	2.362× 10 ⁵	1700	1.410× 10 ⁴	1500	120

(3) 端子箱

部 材	W _t (kg)	n _t	n _{t1,y}	n _{t1,z}	A _{bt} (mm ²)	Q _{bt} (N)	L _{1i} (mm)	L _{2i} (mm)	L _{3i} (mm)	h _t (mm)
端子箱	70	10	4	3	113.1	1.131× 10 ⁵	290	290	560	356

(4) モータフレーム

部 材	M _f (N·mm)	Z _f (mm ³)	W _f (kg)	A _f (mm ²)
モータフレーム	3.702× 10 ⁸	1.800× 10 ⁷	7000	5.233× 10 ⁴

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認済加速度との比較

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.82	10.0
	鉛直方向	0.57	1.0
原動機	水平方向	4.20	2.5
	鉛直方向	0.57	1.0

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあつては軸受部）の応答加速度又は設計用最大応答加速度（ $1.0 \cdot ZPA$ ）のいずれか大きい方を、鉛直方向は設計用最大応答加速度（ $1.0 \cdot ZPA$ ）を設定する。ポンプは、機能維持評価用加速度が全て機能確認済加速度以下である。原動機は、水平方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

1.2.3.2 立形ころがり軸受電動機の動的機能維持評価

1.2.3.2.1 代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.2.2.1 固定子の評価

(単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
固定子	せん断	4	53

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.2 軸（回転子）の評価

(単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
軸（回転子）	75	430

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.3 端子箱の評価

(単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
端子箱	引張り	10	185*
	せん断	2	142

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.2.3.2.2.4 軸受の評価

(単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
上部軸受	2.449×10^4	
下部軸受	2.983×10^4	

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.2.2.5 固定子と回転子間のクリアランスの評価 (単位：mm)

評価部位	回転子のたわみ	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	0.99	2.4

すべて許容変位量以下である。

1.2.3.2.2.6 モータフレームの評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
モータフレーム	24	309

すべて許容応力以下である。

1.3 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	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			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
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			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	111		1.805×10 ¹⁰
2	2-3	111		1.805×10 ¹⁰
3	3-4	111		1.805×10 ¹⁰
4	4-5	111		1.805×10 ¹⁰
5	5-6	111		1.805×10 ¹⁰
6	6-7	111		1.805×10 ¹⁰
7	7-8	111		1.805×10 ¹⁰
8	8-9	111		1.805×10 ¹⁰
9	9-10	111		1.805×10 ¹⁰
10	10-11	111		1.805×10 ¹⁰
11	11-12	111		1.805×10 ¹⁰
12	12-13	111		1.156×10 ¹²
13	13-14	111		3.891×10 ¹¹
14	14-15	111		3.411×10 ¹⁰
15	15-16	111		3.411×10 ¹⁰
16	16-17	111		3.411×10 ¹⁰
17	17-18	111		2.785×10 ¹¹
18	18-19	112		1.888×10 ¹¹
19	19-20	112		4.017×10 ¹⁰
20	20-21	112		4.017×10 ¹⁰
21	21-22	112		4.017×10 ¹⁰
22	22-23	112		2.163×10 ¹¹
23	23-24	113		2.040×10 ⁹
24	24-25	113		4.600×10 ⁹
25	25-26	113		2.030×10 ⁹
26	26-27	113		2.810×10 ⁹
27	27-28	113		2.790×10 ⁹
28	28-29	113		3.470×10 ⁹
29	29-30	113		5.620×10 ⁸
30	31-32	114		3.746×10 ⁹
31	32-33	114		1.314×10 ⁹
32	33-34	114		1.314×10 ⁹
33	34-35	114		5.320×10 ⁹
34	35-36	114		5.320×10 ⁹
35	36-37	114		5.320×10 ⁹
36	37-38	114		5.670×10 ⁸
37	38-39	114		5.670×10 ⁸
38	39-40	114		5.670×10 ⁸
39	40-41	114		5.670×10 ⁸
40	41-42	114		5.670×10 ⁸

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
41	42-43	114		5.670×10^8
42	43-44	114		5.670×10^8
43	44-45	114		5.670×10^8
44	45-46	114		5.670×10^8
45	47-48	115		1.018×10^7
46	48-49	115		1.018×10^7
47	49-50	115		1.018×10^7
48	50-51	115		1.018×10^7
49	51-52	115		1.018×10^7
50	52-53	115		1.018×10^7
51	53-54	115		1.018×10^7
52	54-55	115		1.018×10^7
53	55-56	115		1.018×10^7
54	56-57	115		1.018×10^7
55	57-58	115		1.018×10^7
56	58-59	115		1.018×10^7
57	59-60	115		1.018×10^7
58	60-61	115		1.018×10^7
59	61-62	115		1.018×10^7
60	62-63	115		1.018×10^7
61	63-64	115		1.018×10^7
62	64-65	116		6.330×10^7
63	65-66	117		1.670×10^7
64	66-67	117		5.860×10^7
65	67-68	117		1.380×10^8
66	68-69	117		5.910×10^7
67	69-70	117		1.850×10^7

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
6	35	
14	43	
17	46	
31	47	
34	50	
36	52	
37	53	
40	56	
45	61	
24	66	
29	69	
4	-	
13	-	
13	-	

(4) 節点の質量

節点番号	質量(kg)
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	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(続き)

節点番号	質量(kg)
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	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (-)	材質	部位
111	100			0.3		ポンプ
112	66			0.3		ポンプ
113	66			0.3		原動機
114	100			0.3		ポンプ
115	100			0.3		ポンプ
116	66			0.3		ポンプ
117	66			0.3		原動機

【低圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 構造強度評価

2.1.1 設計条件

機器名称	設備分類	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		ポンプ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)	
			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				吸入側	吐出側
低圧炉心スプレイ 系ポンプ	常設/防止 (DB 拡張)	原子炉建屋 0.P.-8.10*1	0.050	0.05 以下	-	-	C _H =0.99 又は*2	C _V =0.69		100	66	1.37	4.41

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動S_sに基づく設計用床応答曲線より得られる値

2.1.2 機器要目

(1) ボルト

部 材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					16	16	-				
ポンプ取付ボルト (i=2)					36	36	6.366× 10 ⁶				
原動機台取付ボルト (i=3)					20	20	6.366× 10 ⁶				
原動機取付ボルト (i=4)					8	8	6.366× 10 ⁶				

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部 材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	-			1200	25
コラムパイプ	-				

注記*：最高使用温度で算出

2.1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力
(単位: N・mm)

部 材	M _i (N・mm)		F _{bi} (N)		Q _{bi} (N)	
	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 (i=1)						
ポンプ取付ボルト (i=2)						
原動機台取付ボルト (i=3)						
原動機取付ボルト (i=4)						

部 材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング		
コラムパイプ		

36

2.1.4 結論

2.1.4.1 固有周期 (単位: s)

モード	固有周期
水平 1次	T _{H1} =0.050
鉛直 1次	T _{V1} =0.05以下

2.1.4.2 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 (i=1)		引張り	—
	せん断	—	—		τ _{b1} =3	f _{sb1} =378
ポンプ取付ボルト (i=2)	引張り	—	—		σ _{b2} =18	f _{ts2} =474*
	せん断	—	—		τ _{b2} =4	f _{sb2} =365
原動機台取付ボルト (i=3)	引張り	—	—		σ _{b3} =105	f _{ts3} =474*
	せん断	—	—		τ _{b3} =19	f _{sb3} =365
原動機取付ボルト (i=4)	引張り	—	—		σ _{b4} =141	f _{ts4} =491*
	せん断	—	—		τ _{b4} =43	f _{sb4} =378

すべて許容応力以下である。

注記 *: f_{tsi} = Min[1.4・f_{toi}-1.6・τ_{bi}, f_{toi}]より算出

2.1.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力 (単位: MPa)

部 材	材 料		一次一般膜応力	
			算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	—
		基準地震動 S _s	σ=33	S a =223
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	—
		基準地震動 S _s	σ=32	S a =223

すべて許容応力以下である。

2.2 動的機能維持評価

2.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
低圧炉心スプレイ系 ポンプ	ピットバレル形 ポンプ	1074	原子炉建屋 O.P.-8.10*1	0.050	0.05 以下	C _H =0.82 又は*2	C _V =0.57		100	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動S_sに基づく設計用床応答曲線より得られる値

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動S _s		ポンプ振動 による震度	端子箱部の最大応答加速度 による水平方向震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
低圧炉心スプレイ系 ポンプ用原動機	立形ころがり軸受 電動機	1000	原子炉建屋 O.P.-8.10*1	0.050	0.05 以下	C _H =0.82 又は*2	C _V =0.57		C _{HT} =2.75	-	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動S_sに基づく設計用床応答曲線より得られる値

2.2.2 機器要目

(1) 固定子

部 材	N (min ⁻¹)	T _{ma} (%)	D (mm)	L (mm)	p (mm)	s (mm)	W _c (kg)	n _p
固定子	1500	175	950	40	5	10	1618	16

(2) 軸 (回転子)

部 材	M _s (N·mm)	Z _s (mm ³)	W _s (kg)	A _s (mm ²)	N (min ⁻¹)	d _s (mm)
軸	1.130× 10 ⁷	2.362× 10 ⁵	1700	1.410× 10 ⁴	1500	120

(3) 端子箱

部 材	W _t (kg)	n _t	n _{t1,y}	n _{t1,z}	A _{bt} (mm ²)	Q _{bt} (N)	L _{1i} (mm)	L _{2i} (mm)	L _{3i} (mm)	h _t (mm)
端子箱	70	10	4	3	113.1	1.131× 10 ⁵	290	290	560	356

(4) モータフレーム

部 材	M _f (N·mm)	Z _f (mm ³)	W _f (kg)	A _f (mm ²)
モータフレーム	3.702× 10 ⁸	1.800× 10 ⁷	7000	5.233× 10 ⁴

2.2.3 結論

2.2.3.1 機能確認済加速度との比較 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.82	10.0
	鉛直方向	0.57	1.0
原動機	水平方向	4.20	2.5
	鉛直方向	0.57	1.0

注記*：基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあつては軸受部）の応答加速度又は設計用最大応答加速度（1.0・ZPA）のいずれか大きい方を、鉛直方向は設計用最大応答加速度（1.0・ZPA）を設定する。
 ポンプは、機能維持評価用加速度が全て機能確認済加速度以下である。
 原動機は、水平方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

2.2.3.2 立形ころがり軸受電動機の動的機能維持評価

2.2.3.2.1 代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

2.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.2.2.1 固定子の評価

(単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
固定子	せん断	4	53

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.2 軸（回転子）の評価

(単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
軸（回転子）	75	430

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.3 端子箱の評価

(単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
端子箱	引張り	10	185*
	せん断	2	142

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

2.2.3.2.2.4 軸受の評価

(単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
上部軸受	2.449×10^4	
下部軸受	2.983×10^4	

すべて許容荷重以下である。

2.2.3.2.2.5 固定子と回転子間のクリアランスの評価 (単位：mm)

評価部位	回転子のたわみ	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	0.99	2.4

すべて許容変位量以下である。

2.2.3.2.2.6 モータフレームの評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
モータフレーム	24	309

すべて許容応力以下である。

2.3 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	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			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
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			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	111		1.805×10 ¹⁰
2	2-3	111		1.805×10 ¹⁰
3	3-4	111		1.805×10 ¹⁰
4	4-5	111		1.805×10 ¹⁰
5	5-6	111		1.805×10 ¹⁰
6	6-7	111		1.805×10 ¹⁰
7	7-8	111		1.805×10 ¹⁰
8	8-9	111		1.805×10 ¹⁰
9	9-10	111		1.805×10 ¹⁰
10	10-11	111		1.805×10 ¹⁰
11	11-12	111		1.805×10 ¹⁰
12	12-13	111		1.156×10 ¹²
13	13-14	111		3.891×10 ¹¹
14	14-15	111		3.411×10 ¹⁰
15	15-16	111		3.411×10 ¹⁰
16	16-17	111		3.411×10 ¹⁰
17	17-18	111		2.785×10 ¹¹
18	18-19	112		1.888×10 ¹¹
19	19-20	112		4.017×10 ¹⁰
20	20-21	112		4.017×10 ¹⁰
21	21-22	112		4.017×10 ¹⁰
22	22-23	112		2.163×10 ¹¹
23	23-24	113		2.040×10 ⁹
24	24-25	113		4.600×10 ⁹
25	25-26	113		2.030×10 ⁹
26	26-27	113		2.810×10 ⁹
27	27-28	113		2.790×10 ⁹
28	28-29	113		3.470×10 ⁹
29	29-30	113		5.620×10 ⁸
30	31-32	114		3.746×10 ⁹
31	32-33	114		1.314×10 ⁹
32	33-34	114		1.314×10 ⁹
33	34-35	114		5.320×10 ⁹
34	35-36	114		5.320×10 ⁹
35	36-37	114		5.320×10 ⁹
36	37-38	114		5.670×10 ⁸
37	38-39	114		5.670×10 ⁸
38	39-40	114		5.670×10 ⁸
39	40-41	114		5.670×10 ⁸
40	41-42	114		5.670×10 ⁸

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
41	42-43	114		5.670×10^8
42	43-44	114		5.670×10^8
43	44-45	114		5.670×10^8
44	45-46	114		5.670×10^8
45	47-48	115		1.018×10^7
46	48-49	115		1.018×10^7
47	49-50	115		1.018×10^7
48	50-51	115		1.018×10^7
49	51-52	115		1.018×10^7
50	52-53	115		1.018×10^7
51	53-54	115		1.018×10^7
52	54-55	115		1.018×10^7
53	55-56	115		1.018×10^7
54	56-57	115		1.018×10^7
55	57-58	115		1.018×10^7
56	58-59	115		1.018×10^7
57	59-60	115		1.018×10^7
58	60-61	115		1.018×10^7
59	61-62	115		1.018×10^7
60	62-63	115		1.018×10^7
61	63-64	115		1.018×10^7
62	64-65	116		6.330×10^7
63	65-66	117		1.670×10^7
64	66-67	117		5.860×10^7
65	67-68	117		1.380×10^8
66	68-69	117		5.910×10^7
67	69-70	117		1.850×10^7

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
6	35	
14	43	
17	46	
31	47	
34	50	
36	52	
37	53	
40	56	
45	61	
24	66	
29	69	
4	-	
13	-	
13	-	

(4) 節点の質量

節点番号	質量(kg)
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	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

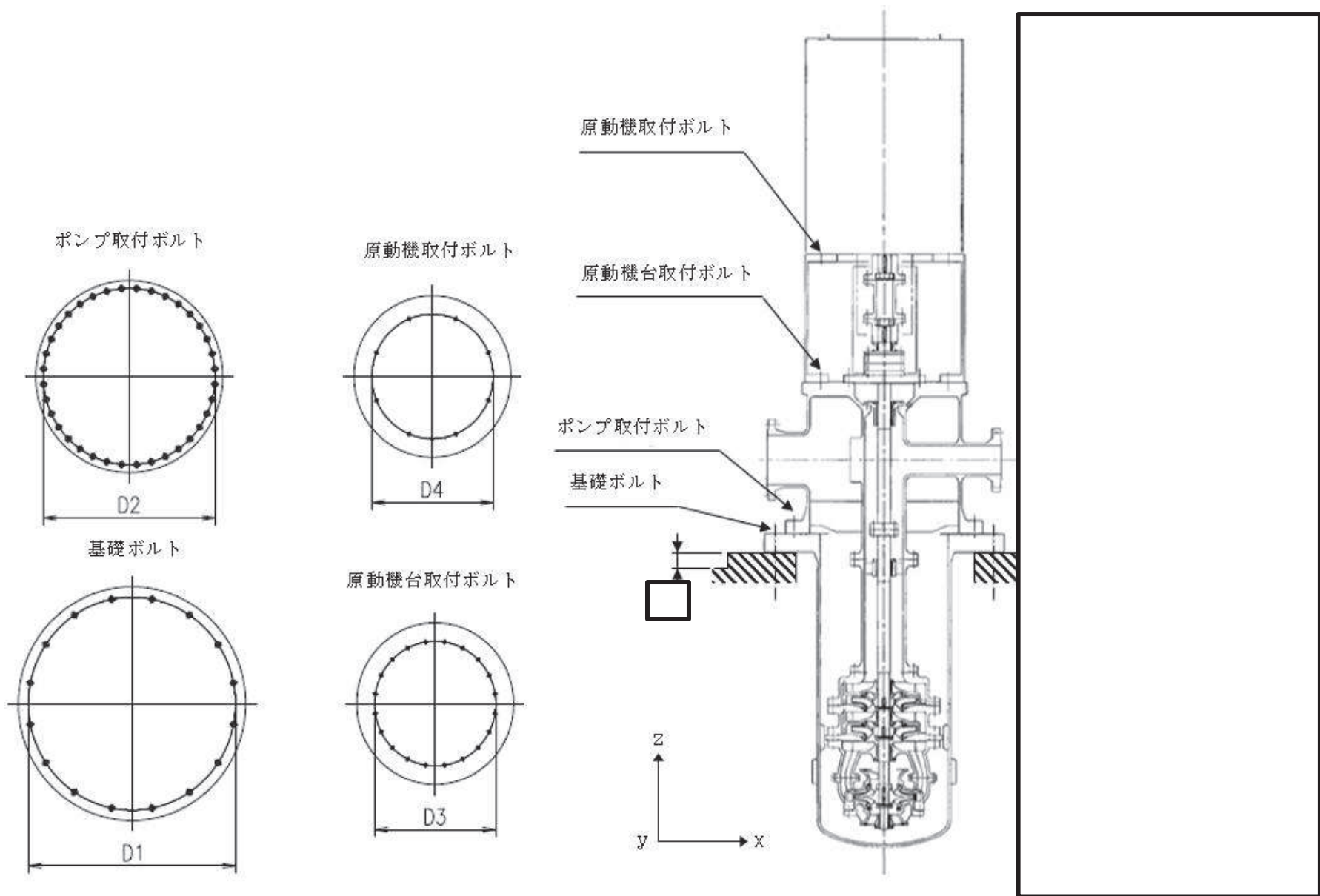
(続き)

節点番号	質量(kg)
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	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (-)	材質	部位
111	100			0.3		ポンプ
112	66			0.3		ポンプ
113	66			0.3		原動機
114	100			0.3		ポンプ
115	100			0.3		ポンプ
116	66			0.3		ポンプ
117	66			0.3		原動機



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

VI-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

1. 概要

本計算書は、低圧炉心スプレイ系ストレーナの耐震性について説明するものである。

低圧炉心スプレイ系ストレーナは残留熱除去系ストレーナ及び高圧炉心スプレイ系ストレーナと同様の形状を有しており、解析モデルや評価条件については同等である。

また、添付書類「VI-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」において、ストレーナの解析モデルを用いた耐震性の評価を実施しており、その荷重条件については上記のストレーナで最大となる値を用いる。

以上より、本計算書の評価結果については、添付書類「VI-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。

VI-2-5-5-2-3 管の耐震性についての計算書
(低圧炉心スプレイ系)

設計基準対象施設

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 計算方法	8
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
3.3 設計条件	10
3.4 材料及び許容応力評価条件	16
3.5 設計用地震力	17
4. 解析結果及び評価	19
4.1 固有周期及び設計震度	19
4.2 評価結果	31
4.2.1 管の応力評価結果	31
4.2.2 支持構造物評価結果	33
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	34
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	36

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、低圧炉心スプレイ系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全3モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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

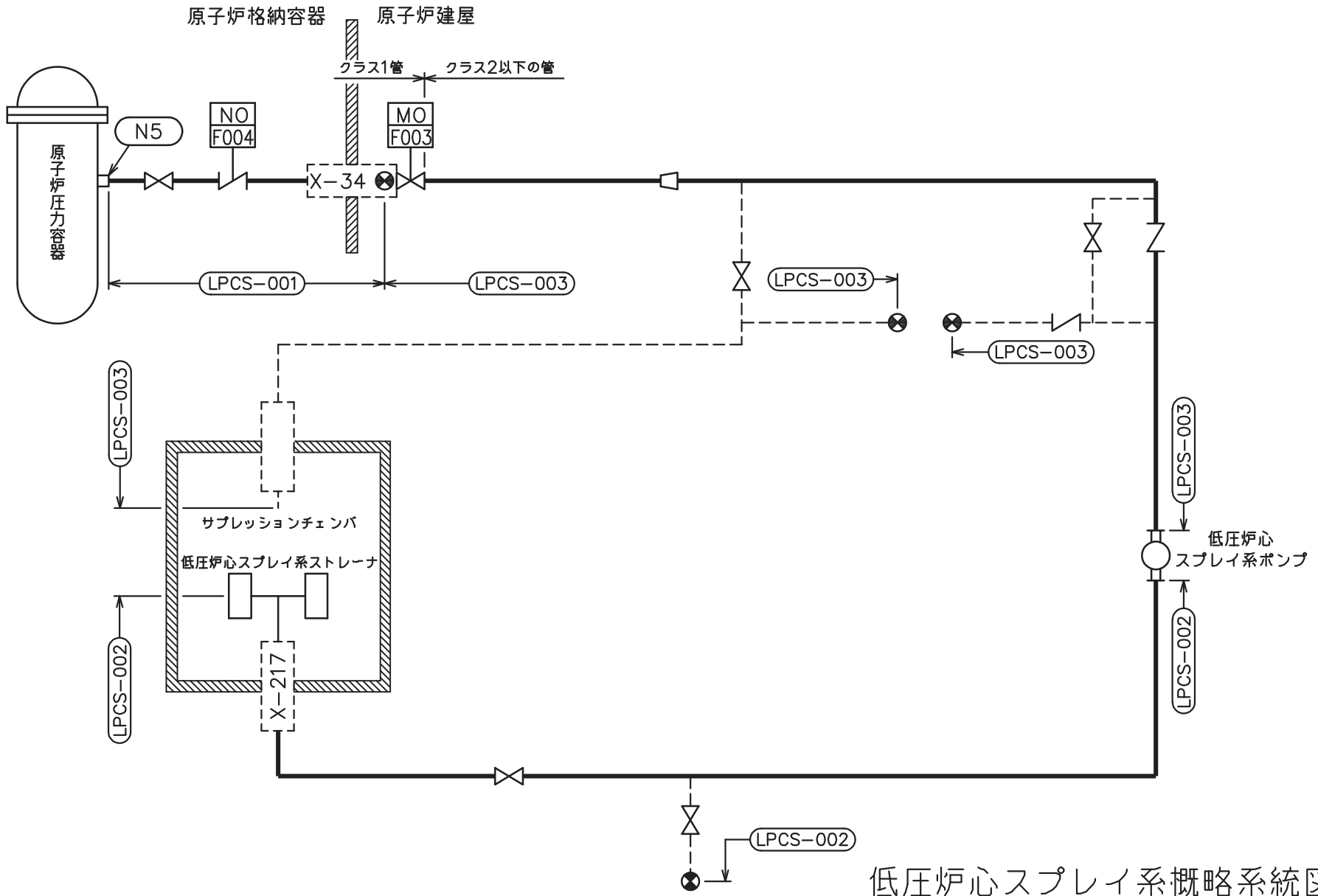
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

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


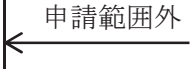



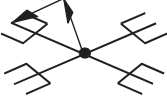
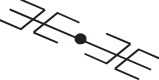

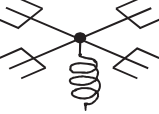
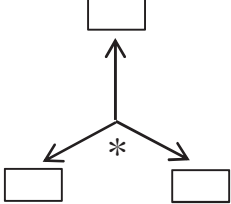
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



低圧炉心スプレイ系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>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として本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印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。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>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。)</p>

5

鳥瞰図	LPCS-001
-----	----------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

9

鳥瞰図 LPCS-002-1/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7

鳥瞰図 LPCS-002-2/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*2, *3}	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	低圧炉心スプレイ系	DB	—	クラス1管	S	$I_L + S d$	$III_A S$
							$II_L + S d$	
							$IV_L(L) + S d$	
							$I_L + S s$	$IV_A S$
$II_L + S s$								
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	低圧炉心スプレイ系	DB	—	クラス2管	S	$I_L + S d$	$III_A S$
							$II_L + S d$	
							$IV_L(L) + S d$	
							$I_L + S s$	$IV_A S$
							$II_L + S s$	

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：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。

*3：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。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 L P C S - 0 0 1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	8.62	302	267.4	18.2	STS410	S	184760

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 L P C S - 0 0 1

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	19	20	
	21	22	23	24	25	26	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
	37	38	39	40	50	801	802	901								

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
5		12		22		32		39	
6		13		23		33		40	
7		14		24		34		50	
8		15		25		35		801	
9		19		29		36		802	
10		20		30		37		901	
11		21		31		38			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1 弁 2

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
16		26	
17		27	
18		28	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	17			
弁2	27			

O 2 ⑥ VI-2-5-5-2-3(設) R 0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 L P C S - 0 0 1

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
6						
** 12 **						
15						
** 15 **						
19						
** 21 **						
23						
** 29 **						
31						
** 34 **						
** 36 **						
40						
** 901 **						

--

O 2 ⑥ VI-2-5-5-2-3(設) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 L P C S - 0 0 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	427kPa (0.427MPa)	104	508.0	9.5	SGV410	S	197680
2	1.37	100	508.0	9.5	SGV410	S	198000

設計条件

管名称と対応する評価点
評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 L P C S - 0 0 2

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	3	4	5	6	7	8	9	10	55	56	57	58	806	811	812
	954	956													
2	12	13	14	15	16	17	59	152	801	802	803				

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
3		9		55		205		811	
4		13		56		207		812	
5		14		57		801		954	
6		15		58		802		956	
7		16		59		803			
8		17		152		806			

注記) : 205, 207はストレーナの質点

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
10	
11	
12	
39	
901	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	11			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 L P C S - 0 0 2

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
** 1 **						
6						
9						
17						
** 56 **						
** 57 **						
59						
901						
** 954 **						
956						



O 2 ⑥ VI-2-5-5-2-3 (設) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
STS410	302	122	182	—	—
SGV410	100	—	201	373	—
	104	—	200	372	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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用いる。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

本計算書の疲労評価は、等価繰返し回数340回(S s)及び590回(S d)で実施する。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
L P C S - 0 0 1	原子炉しゃへい壁		

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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
L P C S - 0 0 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 L P C S - 0 0 1

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又は S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_I$ 及び $1.2C_V$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 L P C S - 0 0 1

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 LPCS-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 LPCS-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 LPCS-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 L P C S - 0 0 2

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
13 次								
14 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。
 *3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 L P C S - 0 0 2

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

注記* : 刺激係数は, モード質量を正規化し, 固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 LPCS-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 LPCS-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

30

鳥瞰図 LPCS-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス1管

鳥瞰図	許容 応力 状態	最大 応力 評価点	配管 要素 名称	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	許容応力	ねじり応力	許容応力	一次+二次応力	許容応力	
					$S_{p r m}(S d)$	$2.25 \cdot S_m$	$S_t(S d)$	$0.55 \cdot S_m$	$S_n(S d)$	$3 \cdot S_m$	$U+U S d$
					$S_{p r m}(S s)$	$3 \cdot S_m$	$S_t(S s)$	$0.73 \cdot S_m$	$S_n(S s)$	$3 \cdot S_m$	$U+U S s$
LPCS-001	Ⅲ _A S	14	ELBOW	$S_{p r m}(S d)$	155	274	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	10	ELBOW	$S_t(S d)$	—	—	57	67	—	—	—
	Ⅲ _A S	14	ELBOW	$S_n(S d)$	—	—	—	—	394 **	366	0.0396
	Ⅲ _A S	14	ELBOW	$U+U S d$	—	—	—	—	—	—	0.0396
	Ⅳ _A S	14	ELBOW	$S_{p r m}(S s)$	211	366	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	10	ELBOW	$S_t(S s)$	—	—	83	89	—	—	—
	Ⅳ _A S	14	ELBOW	$S_n(S s)$	—	—	—	—	599 **	366	0.3237
	Ⅳ _A S	14	ELBOW	$U+U S s$	—	—	—	—	—	—	0.3237

**印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス 2 以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				S p r m (S d) S p r m (S s)	S y *1 0. 9 ・ S u	S n (S s)	2 ・ S y	
L P C S - 0 0 2	Ⅲ _A S	3	S p r m (S d)	90	200	—	—	—
	Ⅳ _A S	3	S p r m (S s)	137	334	—	—	—
	Ⅳ _A S	3	S n (S s)	—	—	268	400	—

注記 *1: 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, S y と 1. 2 ・ S h のうち大きい方とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
LPCS-002-954S	メカニカルスナッパ	SMS-16-100	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		142	240
LPCS-002-956B	ロッドレストレイント	RTS-16			150	240
LPCS-002-059H	スプリングハンガ	VS30T-17			34	39

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 (°C)	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			
LPCS-003-019R	レストレイント	ラグ	SGV410	100	216	106	133	-	-	-	せん断	89	116

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超える弁については、詳細評価を実施する。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
E21-F003	ゲート弁	β (S s)	6.6*	2.4	6.0	6.0
E21-F004	テストブル チェック弁	β (S s)	8.2*	7.7*	6.0	6.0

注：機能維持評価用加速度は、配管系の地震応答解析による打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

注記*：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、詳細評価を行う。

詳細評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が駆動部の動作機能確認済加速度以下及び計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		駆動部の動作機能確認済 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)			
			水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位*1	応力分類	計算応力	許容応力
E21-F003	ゲート弁	β (S s)	6.6	2.4	20.0	20.0	ボンネット	曲げ	136	280
E21-F004	テストブル チェック弁	β (S s)	8.2	7.7	6.0*2	6.0*2	ボルト	引張	57	259

注記*1：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

*2：逆止弁のため開機能維持又は閉機能維持のための動作機能確認済加速度を示す。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス1管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S					許容応力状態 IV _A S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	LPCS-001	14	155	274	1.76	○	14	211	366	1.73	○	14	599	366	0.61	○	14	0.3237	○

注記* : III_ASの一次+二次応力の許容値はIV_ASと同様であることから、地震荷重が大きいIV_ASの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス 2 以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S					許容応力状態 IV _A S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	LPCS-002	3	90	200	2.22	○	3	137	334	2.43	○	3	268	400	1.49	○	—	—	—
2	LPCS-003	39	73	220	3.01	—	39	96	364	3.79	—	10	160	440	2.75	—	—	—	—

注記* : III_AS の一次+二次応力の許容値はIV_AS と同様であることから, 地震荷重が大きいIV_AS の一次+二次応力裕度最小を代表とする。

重大事故等対処設備

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	7
3.1 計算方法	7
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
3.3 設計条件	9
3.4 材料及び許容応力評価条件	12
3.5 設計用地震力	13
4. 解析結果及び評価	14
4.1 固有周期及び設計震度	14
4.2 評価結果	20
4.2.1 管の応力評価結果	20
4.2.2 支持構造物評価結果	21
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	22
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	23

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、低圧炉心スプレイ系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全3モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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

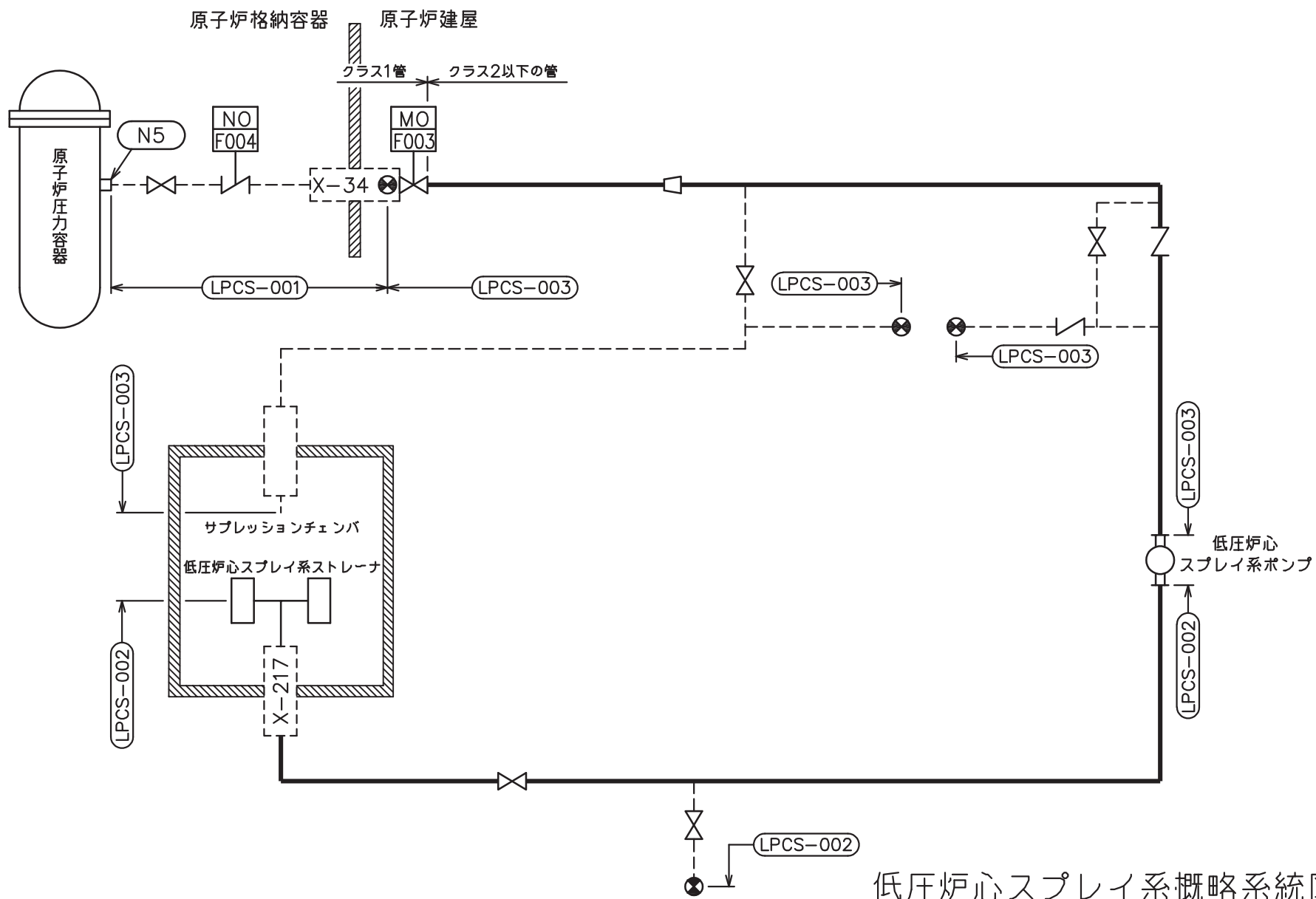
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図


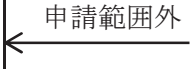
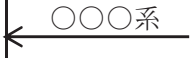


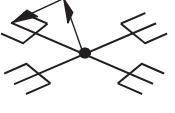
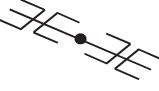

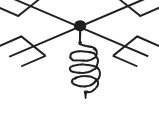
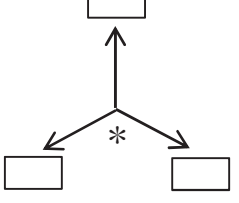
概略系統図記号凡例

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
 (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
	アンカ



2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>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として本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印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。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>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。)</p>

5

鳥瞰図 LPCS-002-1/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

9

鳥瞰図 LPCS-002-2/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	耐震重要度分類	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	低圧炉心スプレイ系	SA	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等クラス 2 管	—	$V_L(L) + S_d$	$V_A S$
							$V_L(LL) + S_s$	
							$V_L + S_s$	

注記*1：DB は設計基準対象施設，SA は重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) 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，(LL) は (L) より更に長期的に荷重が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。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 L P C S - 0 0 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	854kPa (0.854MPa)	200	508.0	9.5	SGV410	—	191000
2	1.37	100	508.0	9.5	SGV410	—	198000

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 L P C S - 0 0 2

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	3	4	5	6	7	8	9	10	55	56	57	58	806	811	812
	954	956													
2	12	13	14	15	16	17	59	152	801	802	803				

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
3		9		55		801		954	
4		13		56		802		956	
5		14		57		803			
6		15		58		806			
7		16		59		811			
8		17		152		812			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
10	
11	
12	
39	
901	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	11			

O 2 ⑥ VI-2-5-5-2-3(重) R 1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 L P C S - 0 0 2

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
** 1 **						
6						
9						
17						
** 56 **						
** 57 **						
59						
901						
** 954 **						
956						

O 2 ⑥ VI-2-5-5-2-3(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S m (MPa)	S y (MPa)	S u (MPa)	S h (MPa)
SGV410	100	—	201	373	—
	200	—	189	362	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
L P C S - 0 0 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 L P C S - 0 0 2

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
13 次								
14 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 L P C S - 0 0 2

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

注記* : 刺激係数は, モード質量を正規化し, 固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 LPCS-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 LPCS-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 LPCS-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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管であってクラス2以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{pr m}(S_s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S_s)$	$2 \cdot S_y$	$U S_s$
LPCS-002	$V_A S$	3	$S_{pr m}(S_s)$	146	325	—	—	—
	$V_A S$	3	$S_n(S_s)$	—	—	347	378	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
LPCS-002-954S	メカニカルスナップ	SMS-16-100	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		124	240
LPCS-002-956B	ロッドレストレイント	RTS-16			180	240
LPCS-002-059H	スプリングハンガ	VS30T-17			34	39

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 (°C)	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			
LPCS-003-019R	レストレイント	ラグ	SGV410	100	222	105	125	-	-	-	せん断	91	116

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 VAS												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
1	LPCS-002	3	146	325	2.22	○	3	347	378	1.08	○	—	—	—
2	LPCS-003	39	95	364	3.83	—	10	162	440	2.71	—	—	—	—

VI-2-5-5-2-4 ストレーナ部ティーの耐震計算書
(低圧炉心スプレイ系)

本計算書では、低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーの耐震性について説明するものである。

低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーは残留熱除去系ストレーナ部ティー及び高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーと同様の形状を有しており、評価条件については同等である。また、添付書類「VI-2-5-4-1-5 ストレーナ部ティーの耐震計算書（残留熱除去系）」において耐震性の評価を実施しており、各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定し、鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。

以上より、本計算書の評価結果については、添付書類「VI-2-5-4-1-5 ストレーナ部ティーの耐震計算書（残留熱除去系）」による。

VI-2-5-5-3 高压代替注水系の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-5-5-3-1 高圧代替注水系タービンポンプの耐震性についての計算書
- VI-2-5-5-3-2 管の耐震性についての計算書（高圧代替注水系）

VI-2-5-5-3-1 高圧代替注水系タービンポンプ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評価条件	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
4.1.1 機能確認済加速度	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、添付書類「VI-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、高圧代替注水系タービン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。

高圧代替注水系タービンポンプは、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及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、高圧代替注水系タービンポンプは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横軸ポンプと類似の構造であるため、構造強度評価は添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。また、高圧代替注水系タービンポンプは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されていない原動機であるタービンが一体構造の横軸ポンプであるため、加振試験で得られた機能確認済加速度と機能維持評価用加速度との比較により、動的機能維持の確認を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧代替注水系タービン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	
<p>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。</p>	<p>ターボ形（背圧式蒸気タービンを原動機とするターボ形横軸ポンプ）</p>	<p>(単位：mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

高圧代替注水系タービンポンプの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 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行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

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

高圧代替注水系タービン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

高圧代替注水系タービンポンプの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 3-2 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧代替注水系タービンポンプの使用材料の許容応力評価条件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。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧代替注水系タービンポンプ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。

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
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	高圧代替注水系 タービンポンプ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限 界を用いる。)
原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の安全 設備の原子炉 格納容器安全 設備	高圧代替注水系 タービンポンプ	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} 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／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 ポンプ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 3-2 許容応力（重大事故等クラス 2 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評価条件（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	SNB7 (径 ≤ 63 mm)	周囲環境温度	66	699	803	—
ポンプ取付ボルト	 * (径 ≤ 63 mm)	最高使用温度	66	699	803	—

注記* : SNB7 相当

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

高圧代替注水系タービンポンプの動的機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、地震時の応答加速度が、機能確認済加速度以下であることを確認することで実施する。

なお、機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

機能確認済加速度は、高圧代替注水系タービンポンプが、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されていない原動機であるタービンと一体構造の横軸ポンプであり、既往の研究によって機能維持が確認された適用機種と構造・作動原理が異なることから、個別の加振試験によって得られる機能維持を確認した加速度を機能確認済加速度とする。

4.1.1 機能確認済加速度

高圧代替注水系タービンポンプの機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、実機の据付状態を模擬した上で、当該機器が設置される床における設計用床応答曲線を包絡する模擬地震波による加振試験において動的機能の健全性を確認した加速度とする。

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	方向	機能確認済加速度
高圧代替注水系 タービンポンプ	水平方向	□
	鉛直方向	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧代替注水系タービンポンプ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動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頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧代替注水系タービンポンプ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	設備分類	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		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
高圧代替注水系 タービンポンプ	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 O.P. -0.80 *1 (O.P. -0.20)	—*2	—*2	—	—	C _H = 1.36	C _V = 0.90	C _D = 1.09	66	66

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。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i} *1
基礎ボルト (i=1)							12	6
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
								2

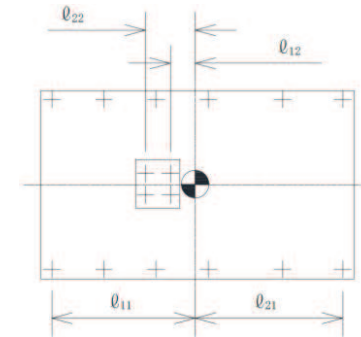
部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	
基礎ボルト (i=1)	699*3 (径≤60mm)	803*3 (径≤60mm)	—	562	—	軸	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	699*2 (径≤60mm)	803*2 (径≤60mm)	—	562	—	軸	—

注記 *1: 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

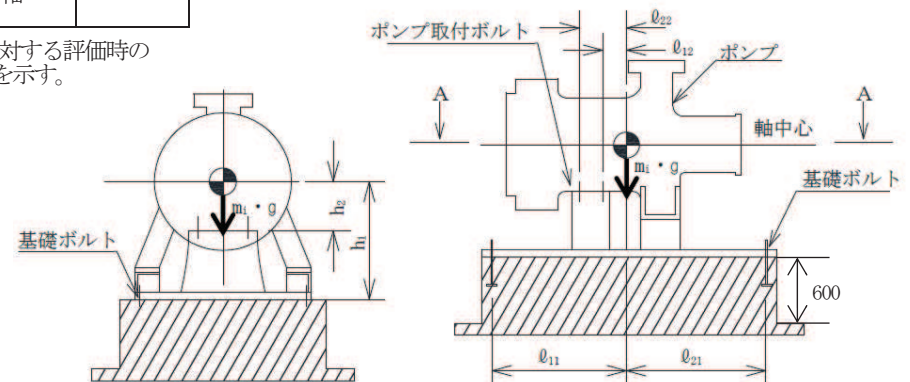
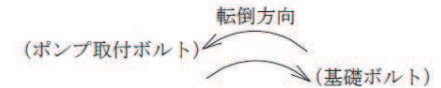
*2: 最高使用温度で算出

*3: 周囲環境温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)
[Redacted]	



A~A矢视图



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	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 (i=1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—	

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 (i=1)	SNB7	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=25$	$f_{ts1}=421^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=7$	$f_{sb1}=324$
ポンプ取付ボルト (i=2)	SNB7 相当	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=74$	$f_{ts2}=421^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=19$	$f_{sb2}=324$

すべて許容応力以下である。

注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 動的機能の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
高压代替注水系 タービンポンプ	水平方向	1.13	
	鉛直方向	0.75	

注記 * : 基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

10

VI-2-5-5-3-2 管の耐震性についての計算書
(高圧代替注水系)

重大事故等対処設備

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	6
3. 計算条件	13
3.1 計算方法	13
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	14
3.3 設計条件	15
3.4 材料及び許容応力評価条件	21
3.5 設計用地震力	22
4. 解析結果及び評価	24
4.1 固有周期及び設計震度	24
4.2 評価結果	33
4.2.1 管の応力評価結果	33
4.2.2 支持構造物評価結果	35
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	36
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	37

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、高圧代替注水系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全3モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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。



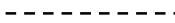


(3) 弁

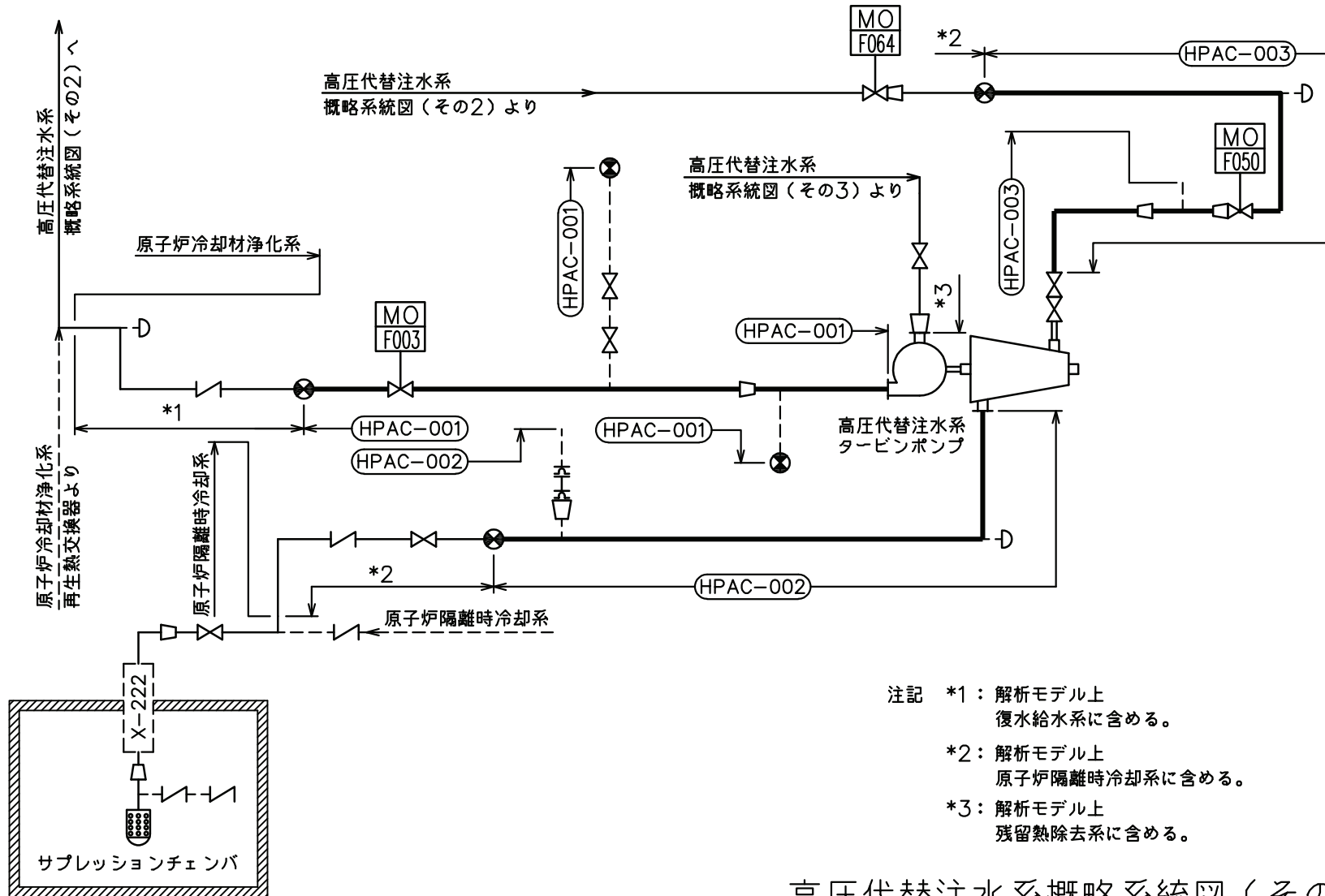
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

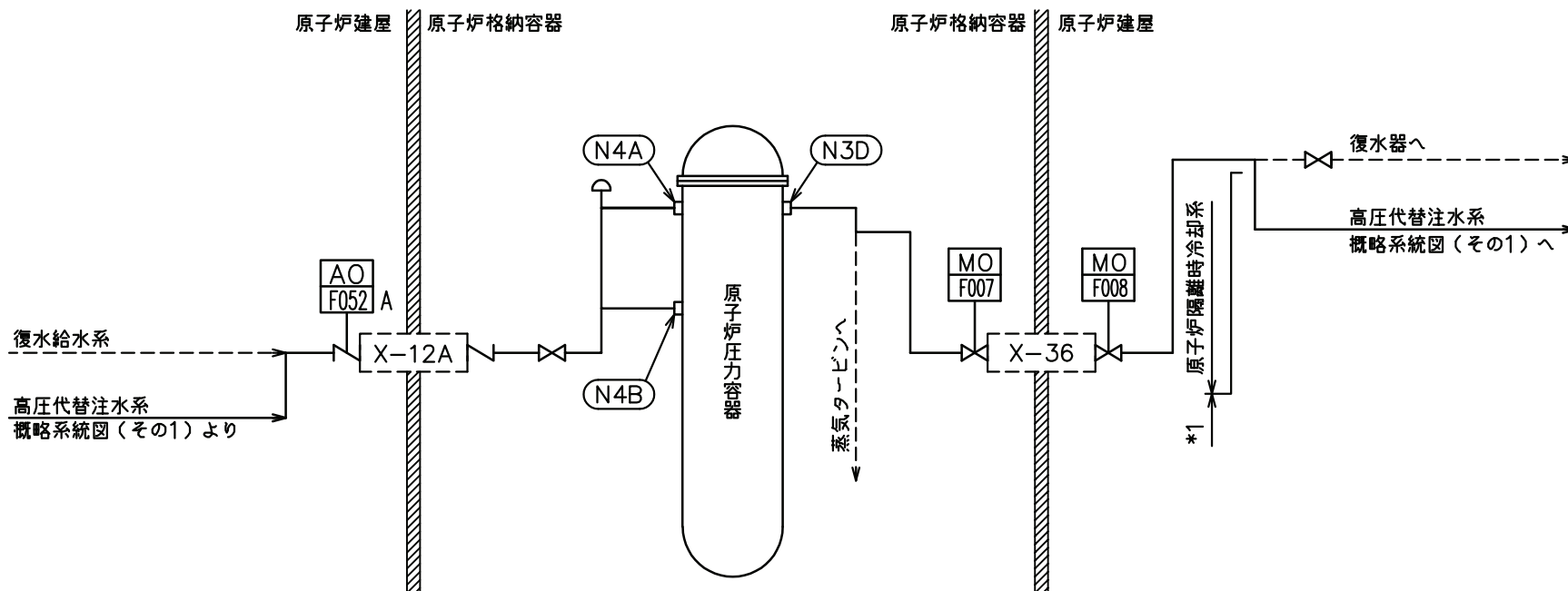
概略系統図記号凡例

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
 (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
	アンカ



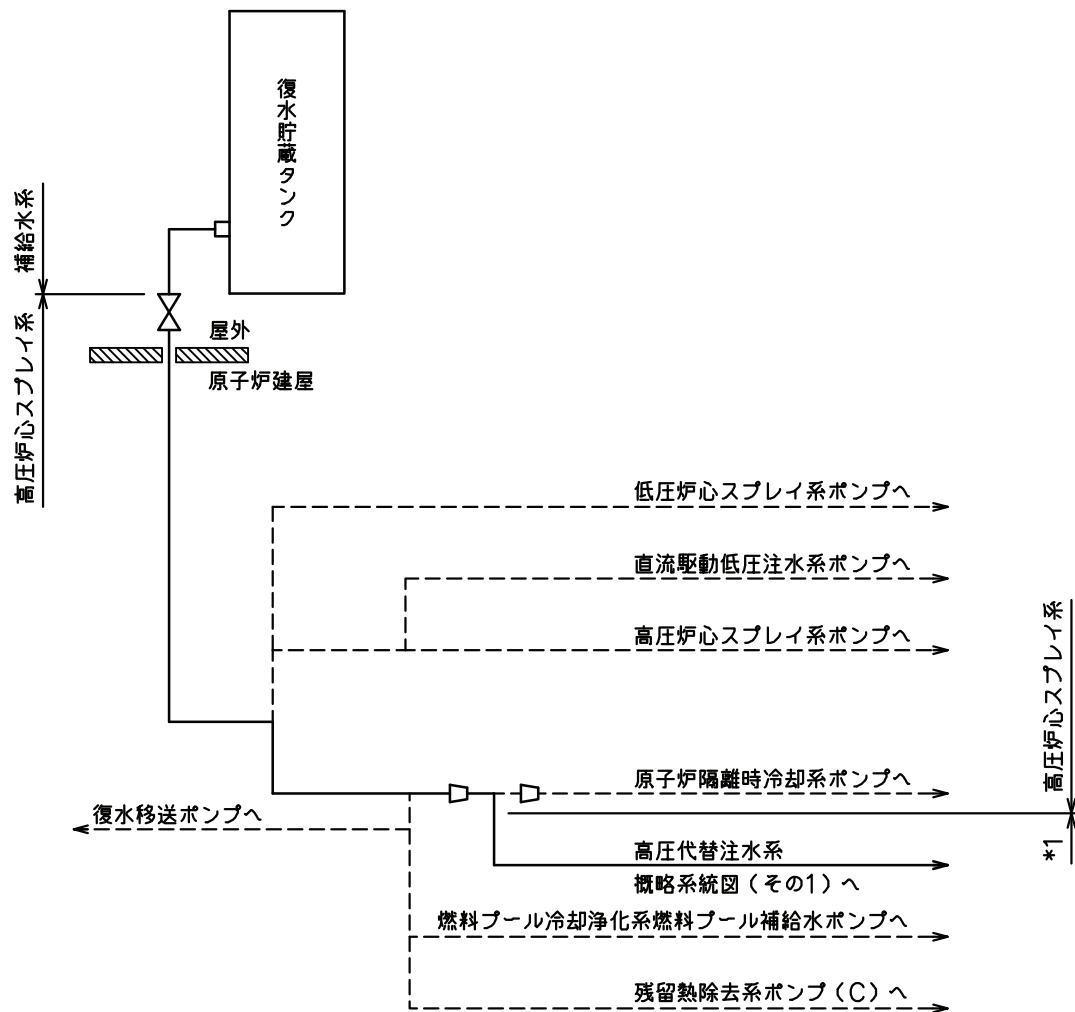
- 注記 *1: 解析モデル上
復水給水系に含める。
- *2: 解析モデル上
原子炉隔離時冷却系に含める。
- *3: 解析モデル上
残留熱除去系に含める。

高圧代替注水系概略系統図(その1)



注記 *1: 解析モデル上
原子炉隔離時冷却系に含める。

高圧代替注水系概略系統図(その2)


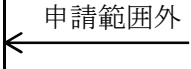



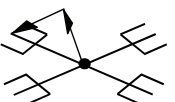
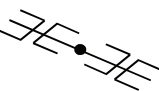

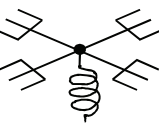
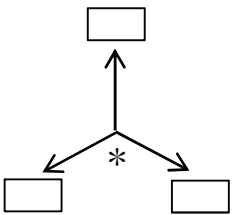


注記 *1： 解析モデル上
残留熱除去系に含める。

高圧代替注水系概略系統図(その3)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
	工事計画記載範囲外の管
	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として本系統に記載する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印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
	ガイド
	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。)

7

鳥瞰図	HPAC-001-1/3
-----	--------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

∞

鳥瞰図 HPAC-001-2/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	HPAC-001-3/3
-----	--------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

10

鳥瞰図	HPAC-003-1/3
-----	--------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図	HPAC-003-2/3
-----	--------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HPAC-003-3/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	耐震重要度分類	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	高压代替注水系	SA	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	$V_L + S_s$	V_{AS}
原子炉格納施設	原子炉格納容器 安全設備	高压代替注水系	SA	常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	$V_L + S_s$	V_{AS}

注記*1：DB は設計基準対象施設，SA 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を，「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_{AS} は許容応力状態 IV_{AS} の許容限界を使用し，許容応力状態 IV_{AS} として評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 H P A C - 0 0 1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	14.00	66	114.3	13.5	STS410	—	200360
2	14.00	66	165.2	18.2	STS410	—	200360
3	8.62	302	165.2	14.3	STS410	—	184760

設計条件

管名称と対応する評価点
評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 H P A C - 0 0 1

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	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														
2	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
	46	47	48	49	50	51	52	53	54						
3	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
	86	87	88	89	90	91									

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		19		37		58		76	
2		20		38		59		77	
3		21		39		60		78	
4		22		40		61		79	
5		23		41		62		80	
6		24		42		63		81	
7		25		43		64		82	
8		26		44		65		83	
9		27		45		66		84	
10		28		46		67		85	
11		29		47		68		86	
12		30		48		69		87	
13		31		49		70		88	
14		32		50		71		89	
15		33		51		72		90	
16		34		52		73		91	
17		35		53		74			
18		36		57		75			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
54	
55	
56	
92	
93	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	55			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H P A C - 0 0 1

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
13						
16						
22						
24						
** 29 **						
** 33 **						
35						
37						
41						
48						
53						
57						
62						
71						
** 73 **						
75						
** 80 **						
82						
91						
** 93 **						

--

O 2 ⑥ VI-2-5-5-3-2(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 H P A C - 0 0 3

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	10.34	315	165.2	14.3	STS410	—	183200
2	8.62	302	165.2	14.3	STS410	—	184760
3	8.62	302	114.3	11.1	STS410	—	184760
4	8.62	302	89.1	11.1	STS410	—	184760

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 H P A C - 0 0 3

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	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	34
	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47		
2	49	50													
3	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
4	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
	79														

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		16		35		53		68	
2		17		36		54		69	
3		18		37		55		70	
4		19		38		56		71	
5		20		39		57		72	
6		21		40		58		73	
7		22		41		59		74	
8		23		42		60		75	
9		24		43		61		76	
10		25		44		62		77	
11		26		45		63		78	
12		27		46		64		79	
13		28		50		65			
14		29		51		66			
15		34		52		67			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
47	
48	
49	
80	
81	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	48			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H P A C - 0 0 3

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
3						
6						
9						
14						
16						
20						
27						
37						
43						
46						
52						
58						
61						
66						
** 68 **						
70						
79						
** 81 **						

--

O 2 ⑥ VI-2-5-5-3-2(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
STS410	66	—	231	407	—
	302	—	182	404	—
	315	—	180	404	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
H P A C - 0 0 1	原子炉建屋		

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曲線を下表に示す。
 なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」
 に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
H P A C - 0 0 3	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 HPAC-001

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又は S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4：3.6C_I 及び 1.2C_V より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 HPAC-001

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次				
2 次				
3 次				

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 HPAC-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HPAC-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HPAC-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 HPAC-003

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

代表的振動モード図

振動モード図は、1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。

鳥瞰図 HPAC-003

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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管であってクラス2以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{pr m}(S_s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S_s)$	$2 \cdot S_y$	$U S_s$
HPAC-001	$V_A S$	75	$S_{pr m}(S_s)$	94	363	—	—	—
	$V_A S$	71	$S_n(S_s)$	—	—	149	364	—

管の応力評価結果

下表に示すとおり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 管であってクラス 2 以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{pr m}(S_s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S_s)$	$2 \cdot S_y$	$U S_s$
HPAC-003	$V_A S$	50	$S_{pr m}(S_s)$	64	363	—	—	—
	$V_A S$	1	$S_n(S_s)$	—	—	171	360	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
HPAC-003-070H	スプリングハンガ	VS30B-05	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		884N	1230N
HPAC-001-093SB	メカニカルスナッパ	SMS-6-100			28	90
HPAC-001-080B	ロッドレストレイント	RTS-3			22	45

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 (°C)	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			
HPAC-001-053R	レストレイント	Uプレート	SS400	66	0	50	52	—	—	—	せん断	130	135
HPAC-001-091A	アンカ	ラグ	SGV410	302	11	9	18	9	10	3	組合せ	32	199

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 V _A S												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
1	HPAC-001	75	94	363	3.86	○	71	149	364	2.44	—	—	—	—
2	HPAC-002	21	38	363	9.55	—	17	89	418	4.69	—	—	—	—
3	HPAC-003	50	64	363	5.67	—	1	171	360	2.10	○	—	—	—

VI-2-5-5-4 低圧代替注水系の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-5-5-4-1 直流駆動低圧注水系ポンプの耐震性についての計算書
- VI-2-5-5-4-2 管の耐震性についての計算書（低圧代替注水系）

VI-2-5-5-4-1 直流駆動低圧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. 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評価条件	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動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、添付書類「VI-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、直流駆動低圧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。

直流駆動低圧注水系ポンプは、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、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、直流駆動低圧注水系ポンプは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横軸ポンプと類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

直流駆動低圧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	
<p>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。</p>	<p>うず巻形 (うず巻形横軸ポンプ)</p>	<p>(単位 : mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

直流駆動低圧注水系ポンプの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 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行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

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

直流駆動低圧注水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

直流駆動低圧注水系ポンプの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表 3-2 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

直流駆動低圧注水系ポンプの使用材料の許容応力評価条件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。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【直流駆動低圧注水系ポンプ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。

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
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	直流駆動低圧注水系 ポンプ	常設耐震／防止	重大事故等 クラス 2 ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} 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を示す。

*2：重大事故等クラス2ポンプ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 3-2 許容応力（重大事故等クラス 2 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評価条件（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 (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	60			—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	66			—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	60			—

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

直流駆動低圧注水系ポンプの動的機能評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

直流駆動低圧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であるため、添付書類「VI-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。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	型式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	横形単段遠心式 ポンプ	水平方向	1.4
		鉛直方向	1.0
原動機	横形ころがり軸受 電動機	水平方向	4.7
		鉛直方向	1.0

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

直流駆動低圧注水系ポンプ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動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頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【直流駆動低圧注水系ポンプ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	設備分類	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		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
直流駆動低圧注水系ポンプ	常設耐震/防止	原子炉建屋 O.P. -8.10*1 (O.P. -7.60)	—*2	—*2	—	—	C _H =1.02	C _V =0.71		66	60

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。

1.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	φ _{1i} *1 (mm)	φ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							12	6
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
	2							
原動機取付ボルト (i=3)	4	2						
		2						

部 材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (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	
基礎ボルト (i=1)					—	軸直角	—
ポンプ取付ボルト (i=2)					—	軸直角	1.178×10 ⁵
原動機取付ボルト (i=3)					—	軸	—

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：最高使用温度で算出

*3：周囲環境温度で算出

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 i}		Q _{b i}	
	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 (i=1)				
ポンプ取付ボルト (i=2)				
原動機取付ボルト (i=3)				

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 (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1}=9$	$f_{ts1}=187^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=7$	$f_{sb1}=144$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=1$	$f_{ts2}=185^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=142$
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	—	—	$\sigma_{b3}=20$	$f_{ts3}=187^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=10$	$f_{sb3}=144$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 動的機能の評価結果

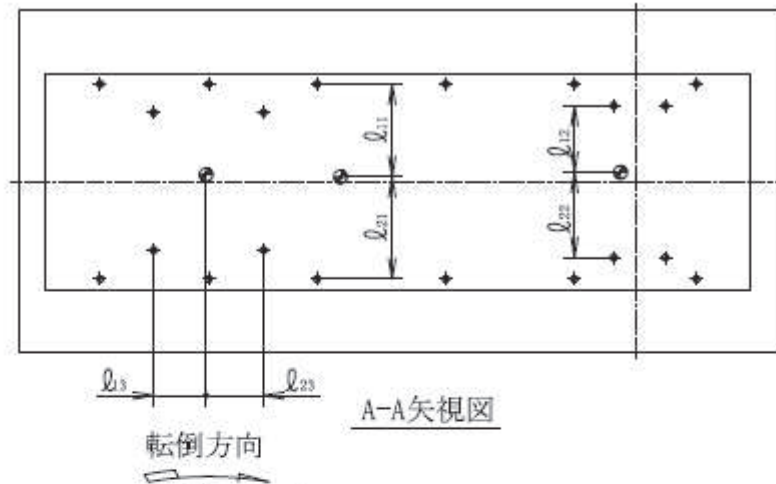
($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.84	1.4
	鉛直方向	0.58	1.0
原動機	水平方向	0.84	4.7
	鉛直方向	0.58	1.0

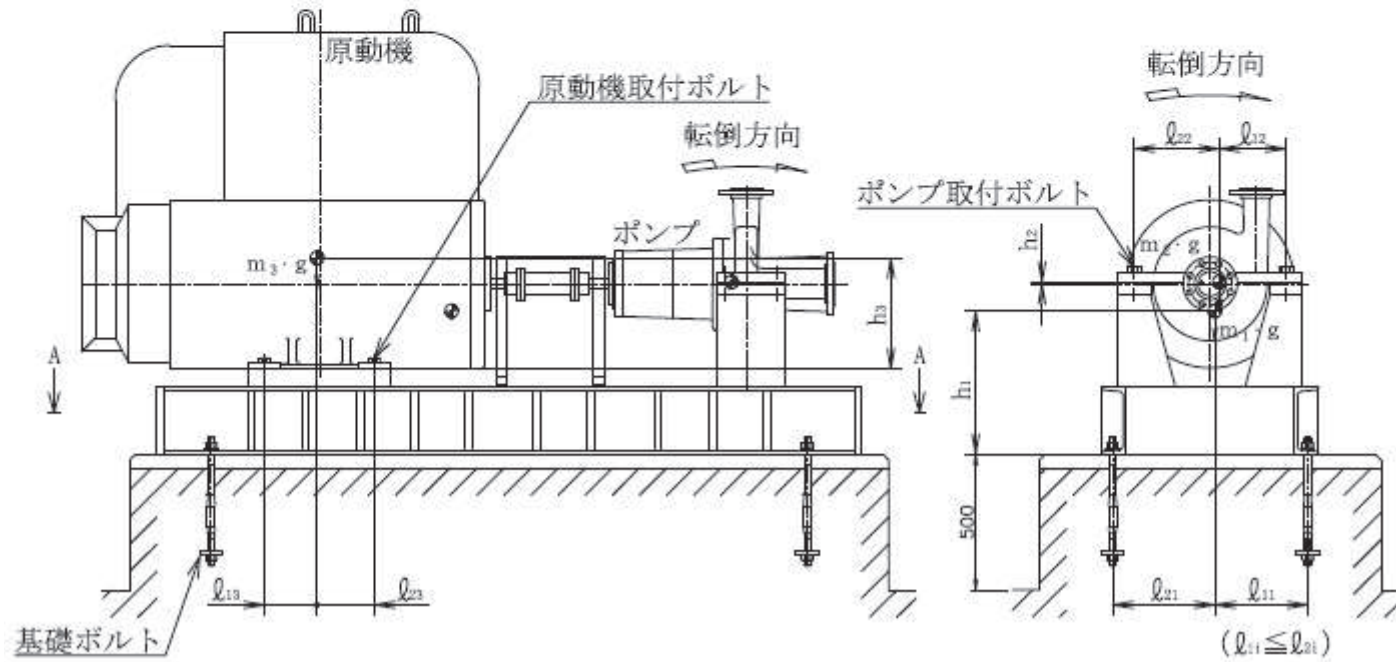
注記*：基準地震動 S_sにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



A-A矢視図



VI-2-5-5-4-2 管の耐震性についての計算書
(低圧代替注水系)

重大事故等対処設備

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	7
3. 計算条件	12
3.1 計算方法	12
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	13
3.3 設計条件	14
3.4 材料及び許容応力評価条件	17
3.5 設計用地震力	18
4. 解析結果及び評価	19
4.1 固有周期及び設計震度	19
4.2 評価結果	25
4.2.1 管の応力評価結果	25
4.2.2 支持構造物評価結果	26
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	27
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	28

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、低圧代替注水系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全7モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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。



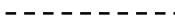
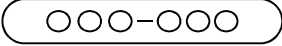

(3) 弁

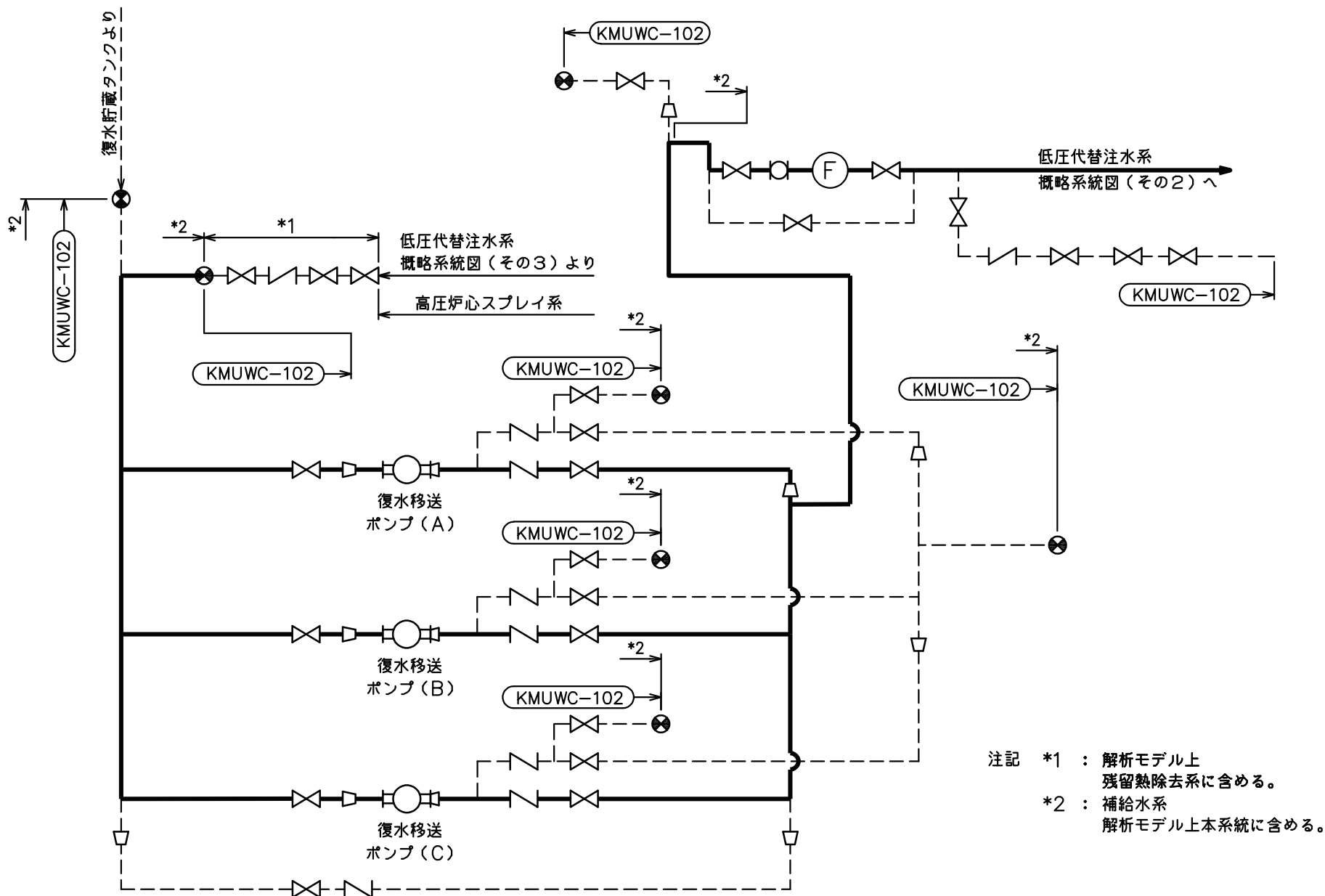
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

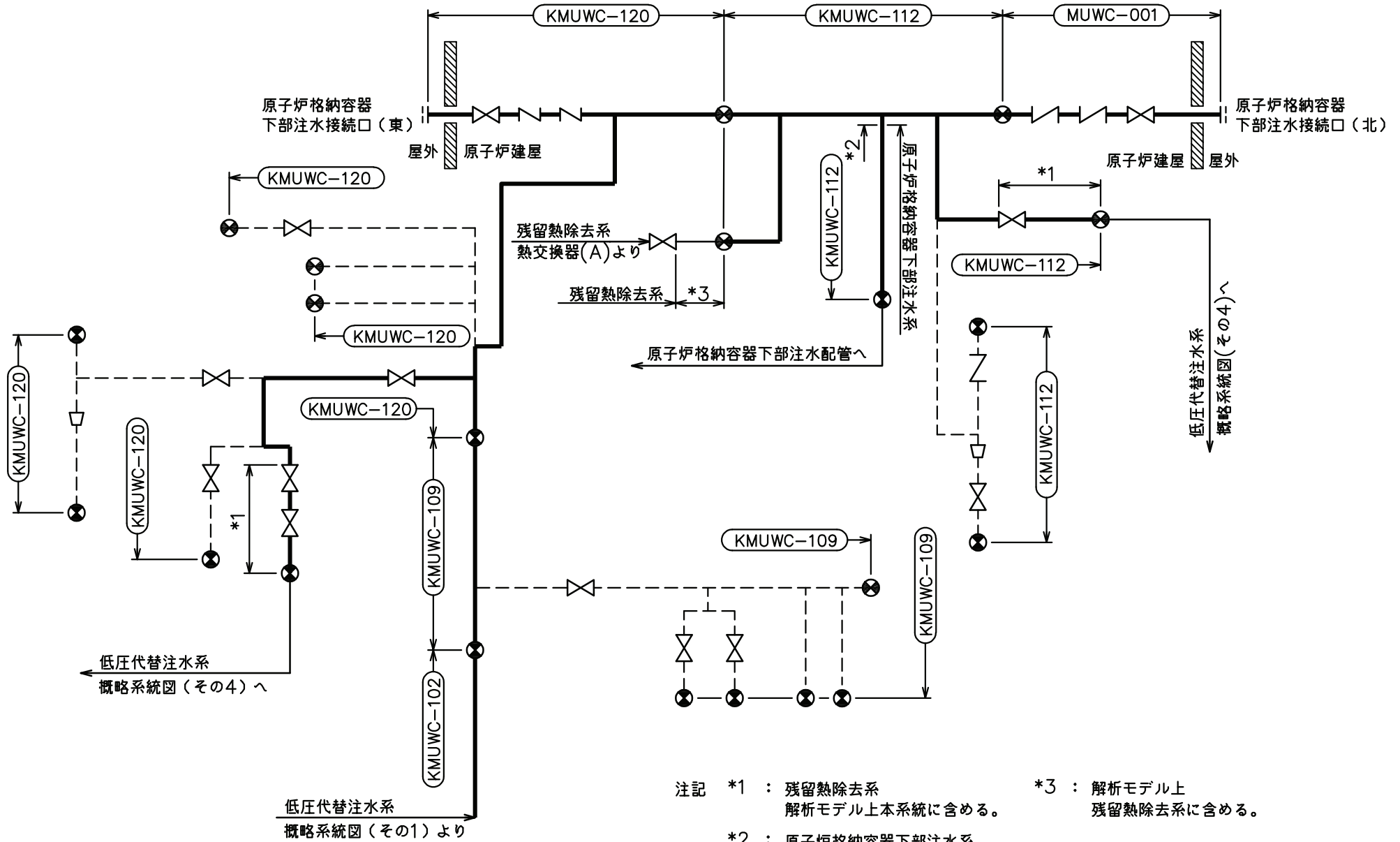
2.1 概略系統図

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
 (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
	アンカ



低圧代替注水系概略系統図(その1)

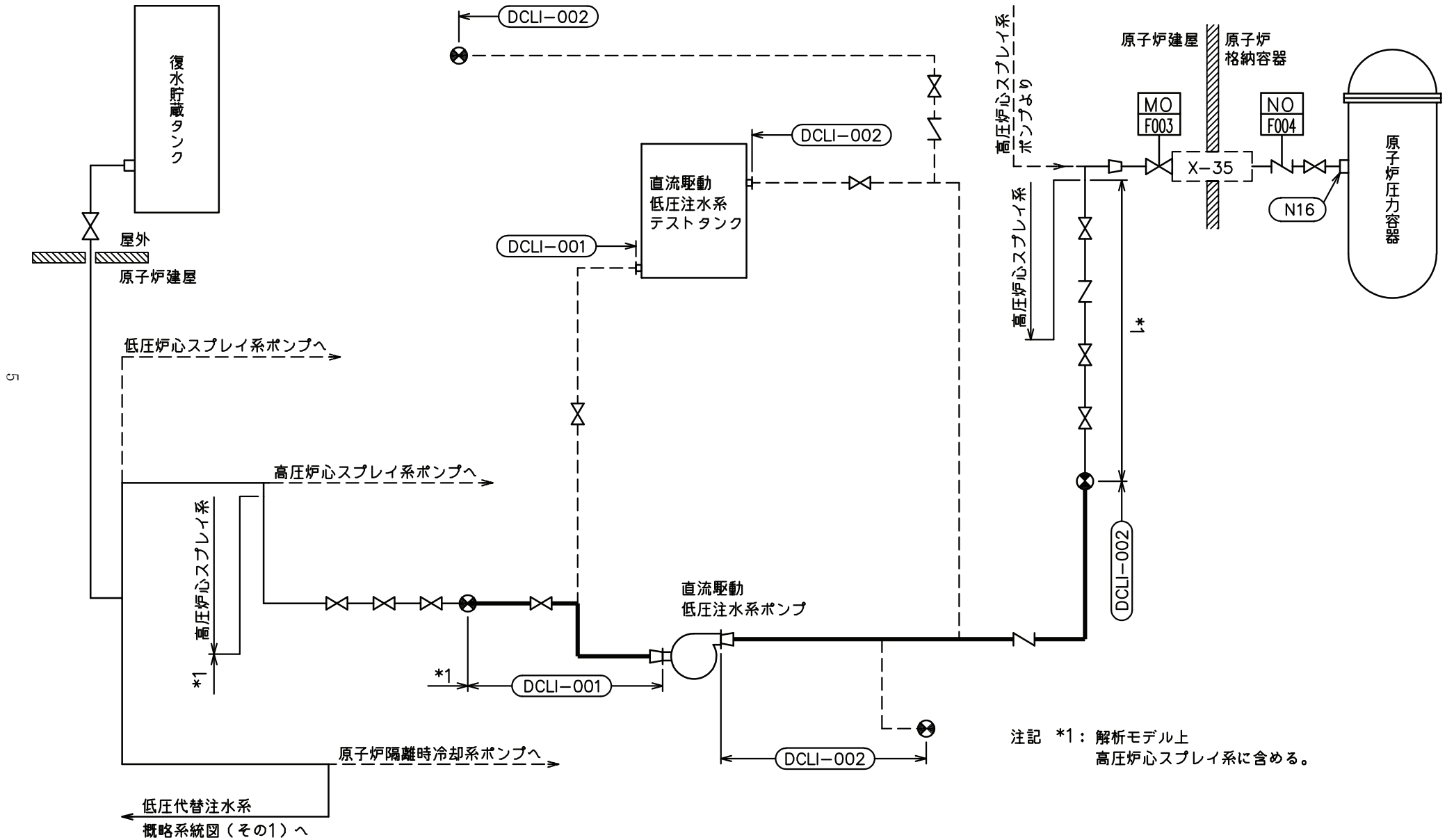


注記 *1 : 残留熱除去系
解析モデル上本系統に含める。

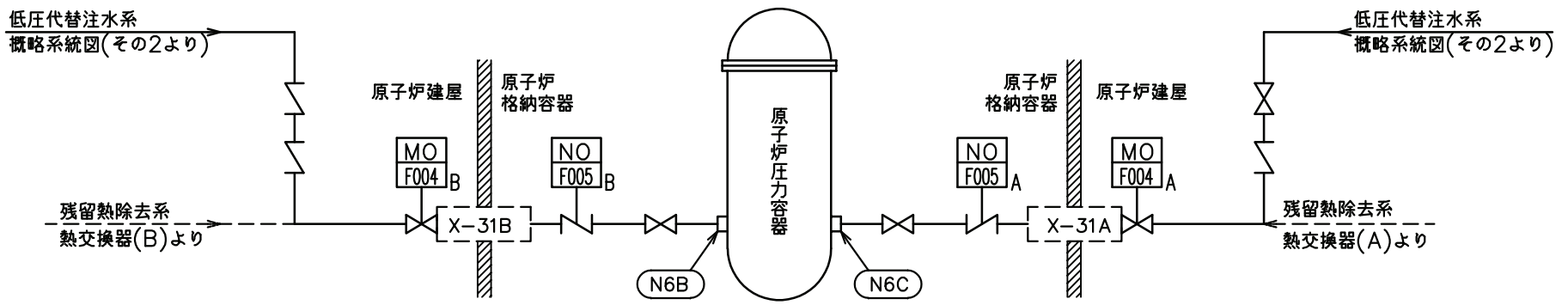
*3 : 解析モデル上
残留熱除去系に含める。

*2 : 原子炉格納容器下部注水系
解析モデル上本系統に含める。

低圧代替注水系概略系統図(その2)



低圧代替注水系概略系統図(その3)


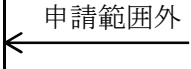
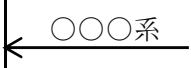


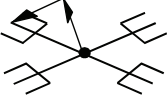
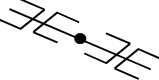

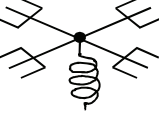
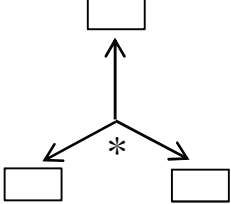


9

低压代替注水系概略系統図(その4)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>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として本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印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。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>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。)</p>

∞

鳥瞰図 KMUWC-109-1/4

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6

鳥瞰図 KMUWC-109-2/4

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 KMUWC-109-3/4

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 KMUWC-109-4/4

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	耐震重要度分類	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	低圧代替注水系	SA	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$
原子炉格納施設	原子炉格納容器 安全設備	原子炉格納容器下部注水系	SA	常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$
原子炉格納施設	原子炉格納容器 安全設備	原子炉格納容器代替スプレイ冷却系	SA	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$
原子炉格納施設	原子炉格納容器 安全設備	低圧代替注水系	SA	常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$
原子炉格納施設	原子炉格納容器 安全設備	代替循環冷却系	SA	常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$

注記*1：DBは設計基準対象施設，SA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／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。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 KMUWC - 1 0 9

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.37	66	216.3	8.2	STPT370	—	200360

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 KMUWC - 1 0 9

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	175	176	177	178	179	212	214	801	904
	908	916	920	921											

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		10		20		175		801	
4		11		21		176		904	
5		12		22		177		908	
6		14		23		178		916	
7		15		24		179		920	
8		18		25		212		921	
9		19		26		214			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 KMUWC-109

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
4						
11						
15						
18						
22						
26						
904						
908						
920						
921						

02 ⑥ VI-2-5-5-4-2(重) R0

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
STPT370	66	—	199	360	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
K M U W C - 1 0 9	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 KMUWC-109

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
29 次							
30 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 KMUWC-109

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
29次				

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 | KMUWC-109

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 KMUWC-109

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 | KMUWC-109

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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管であってクラス2以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{pr m}(S_s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S_s)$	$2 \cdot S_y$	$U S_s$
KMUWC- 109	$V_A S$	26	$S_{pr m}(S_s)$	187	324	—	—	—
	$V_A S$	26	$S_n(S_s)$	—	—	330	398	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
KMUWC-109-904B	ロッドレストレイント	RTS-3	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		11	45

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 (°C)	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			
KMUWC-102-150R	レストレイント	Uプレート	SS400	40	0	34	55	-	-	-	せん断	121	141
KMUWC-109-001A	アンカ	ラグ	SGV410	66	24	100	21	30	7	33	曲げ	342	460

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 V A S												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
1	MUWC-001	147	52	366	7.03	—	147	182	462	2.53	—	—	—	—
2	KMUWC-102	149	119	324	2.72	—	501	262	462	1.76	—	—	—	—
3	KMUWC-109	26	187	324	1.73	○	26	330	398	1.20	○	—	—	—
4	KMUWC-112	321	37	366	9.89	—	301	265	462	1.74	—	—	—	—
5	KMUWC-120	100	51	324	6.35	—	1	143	398	2.78	—	—	—	—
6	DCLI-001	10	49	366	7.46	—	22	104	462	4.44	—	—	—	—
7	DCLI-002	1	85	366	4.30	—	1	218	462	2.11	—	—	—	—

VI-2-5-5-5 代替水源移送系の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-5-5-5-1 管の耐震性についての計算書（代替水源移送系）

VI-2-5-5-5-1 管の耐震性についての計算書
(代替水源移送系)

重大事故等対処設備

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	6
3.1 計算方法	6
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	7
3.3 設計条件	8
3.4 材料及び許容応力評価条件	11
3.5 設計用地震力	12
4. 解析結果及び評価	13
4.1 固有周期及び設計震度	13
4.2 評価結果	16
4.2.1 管の応力評価結果	16
4.2.2 支持構造物評価結果	17
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	18
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	19

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、代替水源移送系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全2モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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

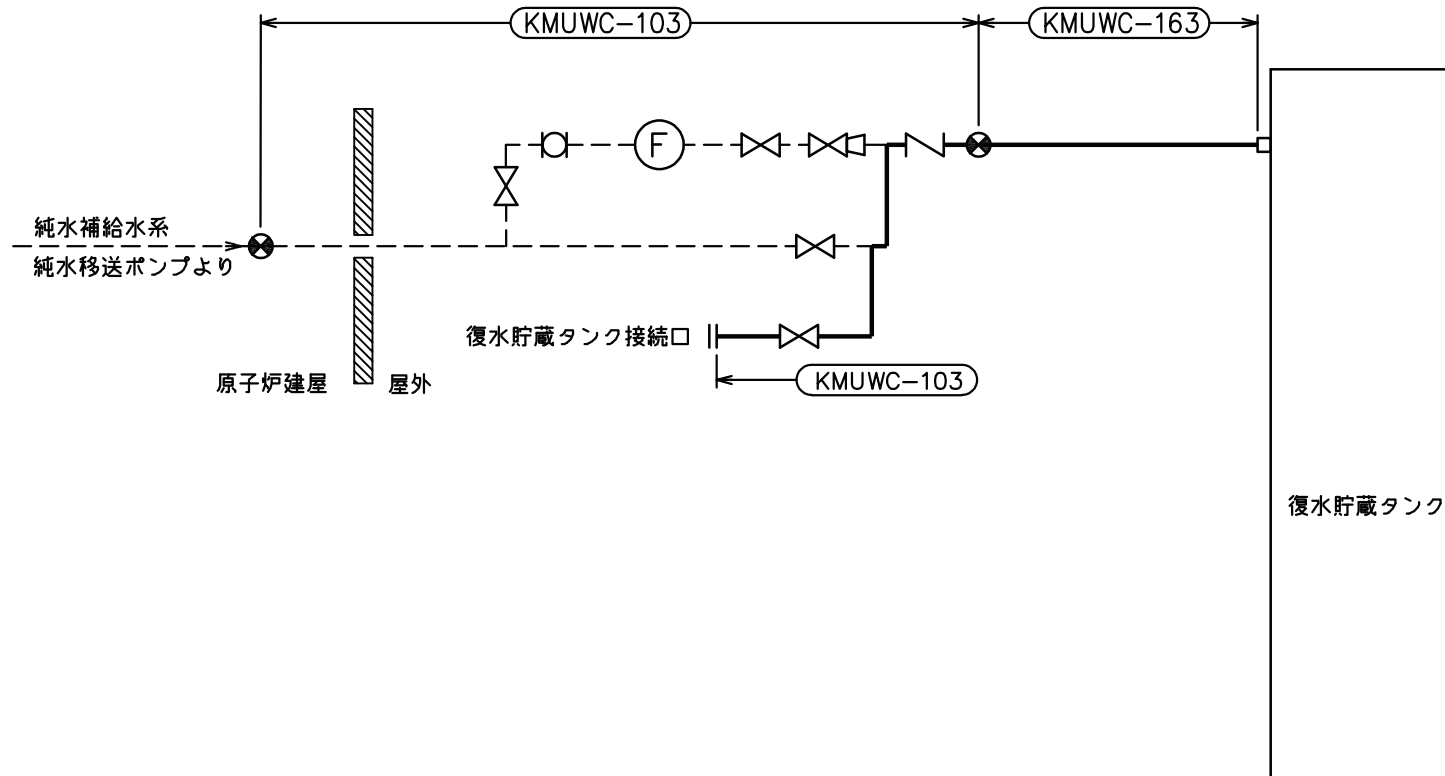
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

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


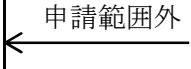



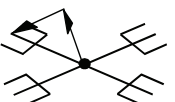
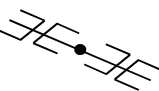

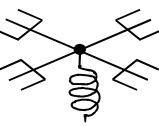
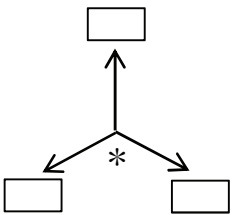
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



代替水源移送系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
	工事計画記載範囲外の管
	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として本系統に記載する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印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
	ガイド
	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。)

5

鳥瞰図	KMUWC-163
-----	-----------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	耐震重要度分類	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	代替水源移送系	SA	常設／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	V_{AS}

注記*1：DB は設計基準対象施設，SA は重大事故等対処設備を示す。

*2：「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_{AS} は許容応力状態 IV_{AS} の許容限界を使用し，許容応力状態 IV_{AS} として評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 KMUWC - 1 6 3

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	静水頭	66	165.2	7.1	SUS304TP	—	191720

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 KMUWC-163

管名称	対 応 す る 評 価 点													
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		4		7		10		13	
2		5		8		11		14	
3		6		9		12			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 KMUWC-163

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
5						
** 5 **						
** 9 **						
** 11 **						
14						

--

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
SUSF304TP	66	—	188	479	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
KMUWC-163	復水貯蔵タンクバルブ室		
	復水貯蔵タンクしゃへい壁		
	復水貯蔵タンク		

O2 ⑥ VI-2-5-5-5-1(重) R1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 KMUWC-163

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

代表的振動モード図

振動モード図は、1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。

鳥瞰図 | KMUWC-163

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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管であってクラス2以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{pr m}(S_s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S_s)$	$2 \cdot S_y$	$U S_s$
KMUWC- 163	$V_A S$	14	$S_{pr m}(S_s)$	58	431	—	—	—
	$V_A S$	14	$S_n(S_s)$	—	—	127	376	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	—	—	—	—	—	—

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 (°C)	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			
KMUWC-103-061A	アンカ	ラグ	SUS304	66	5	2	10	1	3	1	組合せ	33	205
KMUWC-103-117R	レストレイント	Uプレート	SUS304	40	8	7	20	—	—	—	せん断	47	118

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 VAS												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
1	KMUWC-103	117	40	431	10.77	—	117	80	376	4.70	—	—	—	—
2	KMUWC-163	14	58	431	7.43	○	14	127	376	2.96	○	—	—	—

VI-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

目 次

VI-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

VI-2-5-6-2 補給水系の耐震性についての計算書

VI-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

目 次

- VI-2-5-6-1-1 原子炉隔離時冷却系ポンプの耐震性についての計算書
- VI-2-5-6-1-2 原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用タービンの耐震性についての計算書
- VI-2-5-6-1-3 管の耐震性についての計算書（原子炉隔離時冷却系）

VI-2-5-6-1-1 原子炉隔離時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. 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評価条件	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 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、添付書類「VI-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。

原子炉隔離時冷却系ポンプは、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)に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、原子炉隔離時冷却系ポンプは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横軸ポンプと類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却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	
<p>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。</p>	<p>ターボ形 (背圧式蒸気タービンを原動機とするターボ形横軸ポンプ)</p>	<p>(単位：mm)</p>

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ポンプの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 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行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

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ポンプ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ポンプの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表 3-3 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉隔離時冷却系ポンプの使用材料の許容応力評価条件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。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉隔離時冷却系ポンプ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。

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
原子炉冷却 系統施設	原子炉冷却材 補給設備	原子炉隔離時冷却系 ポンプ	S	クラス 2 ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

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
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	原子炉隔離時冷却系 ポンプ	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ* 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 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプ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 3-3 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）

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。

表 3-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	66			—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	66			—

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件（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 (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	66			—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	66			—

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

原子炉隔離時冷却系ポンプの動的機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

原子炉隔離時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であるため、添付書類「VI-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。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	型式	方向	機能確認済加速度	
ポンプ	横形多段遠心式 ポンプ	水平方向	軸直角方向	3.2
			軸方向	1.4
		鉛直方向	1.0	

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉隔離時冷却系ポンプ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及び動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頁以降の表に示す。なお、弾性設計用地震動 S_d による動的震度及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉隔離時冷却系ポンプ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動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頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉隔離時冷却系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		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
原子炉隔離時冷却系ポンプ	S	原子炉建屋 O.P. -8.10 ^{*1} (O.P. -7.00)	— ^{*2}	— ^{*2}	— ^{*3}	— ^{*3}	C _H =1.05	C _V =0.72		66	66

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：Ⅲ_Sについては、基準地震動 S_s で評価する。

1.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} ^{*1} (mm)	ℓ _{2i} ^{*1} (mm)	d _i (mm)	A _{b<i>i</i>} (mm ²)	n _i	n _{f<i>i</i>} ^{*1}
基礎ボルト (i=1)							12	4
							4	
ポンプ取付ボルト (i=2)							6	3
							2	

部 材	S _{y<i>i</i>} (MPa)	S _{u<i>i</i>} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向		M _p (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	
基礎ボルト (i=1)					—	軸	—
ポンプ取付ボルト (i=2)					—	軸	—

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。
 *2：最高使用温度で算出
 *3：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位: N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	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 (i=1)				
ポンプ取付ボルト (i=2)				

注記*: III₀Sについては、基準地震動S_sで評価する。

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 (i=1)		引張り	$\sigma_{b1}=20^{*2}$	$f_{ts1}=169^{*1}$	$\sigma_{b1}=20$	$f_{ts1}=202^{*1}$
		せん断	$\tau_{b1}=10^{*2}$	$f_{sb1}=130$	$\tau_{b1}=10$	$f_{sb1}=155$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=3^{*2}$	$f_{ts2}=455^{*1}$	$\sigma_{b2}=3$	$f_{ts2}=455^{*1}$
		せん断	$\tau_{b2}=13^{*2}$	$f_{sb2}=350$	$\tau_{b2}=13$	$f_{sb2}=350$

すべて許容応力以下である。

注記*1: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

*2: 基準地震動S_sによる算出値

1.4.2 動的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.87	3.2(軸直角)
			1.4(軸)
	鉛直方向	0.60	1.0

注記*: 基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。

【原子炉隔離時冷却系の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
原子炉隔離時冷却系 ポンプ	常設/防止 (DB 拡張)	原子炉建屋 O.P. -8.10 ^{*1} (O.P. -7.00)	— ^{*2}	— ^{*2}	—	—	C _H =1.05	C _V =0.72		66	66

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。

2.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} ^{*1} (mm)	ℓ _{2i} ^{*1} (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i} ^{*3}
基礎ボルト (i =1)							12	4
								4
ポンプ取付ボルト (i =2)							6	3
								2

部 材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向		M _p (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	
基礎ボルト (i =1)					—	軸	—
ポンプ取付ボルト (i =2)					—	軸	—

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：最高使用温度で算出

*3：周囲環境温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{b i}		Q _{b i}	
	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 (i=1)				
ポンプ取付ボルト (i=2)				

2.4 結論

2.4.1 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 (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1}=20$	$f_{ts1}=202^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=10$	$f_{sb1}=155$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=3$	$f_{ts2}=455^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=13$	$f_{sb2}=350$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

2.4.2 動的機能の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

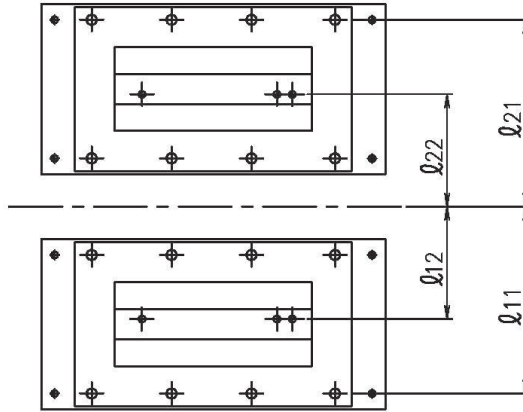
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.87	3.2(軸直角)
			1.4(軸)
	鉛直方向	0.60	1.0

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

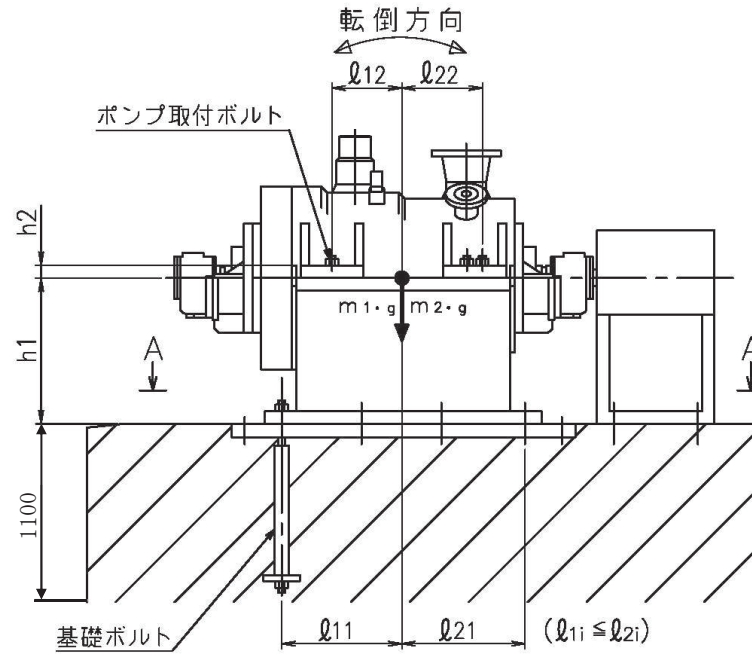
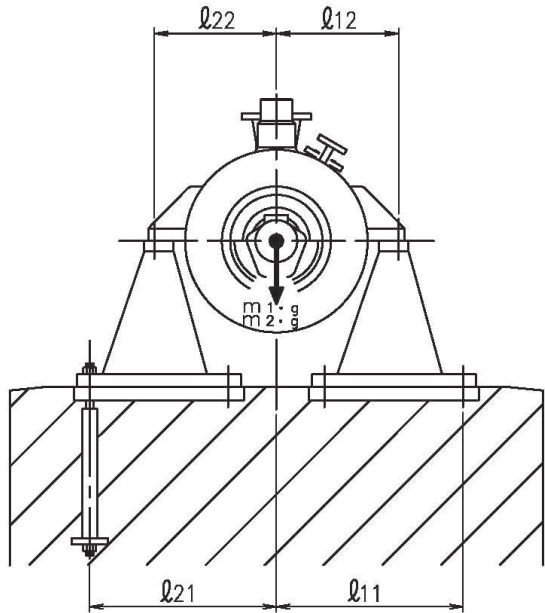
機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。

12

軸方向転倒
 軸直角方向転倒



A~A矢视图



原動機側

VI-2-5-6-1-2 原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用
タービン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評価条件	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 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、添付書類「VI-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ポンプ駆動用タービン（以下「原子炉隔離時冷却系タービン」という。）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。

原子炉隔離時冷却系タービンは、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）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、原子炉隔離時冷却系タービンは、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却系タービンの構造計画を表 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	
タービンはタービンベースに固定され、タービンベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	背圧式蒸気タービン	<p>(単位：mm)</p>

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タービンの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 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行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

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タービン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タービンの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表 3-3 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉隔離時冷却系タービンの使用材料の許容応力評価条件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。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用タービン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。

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
原子炉冷却 系統施設	原子炉冷却材 補給設備	原子炉隔離時冷却系 ポンプ駆動用 タービン	S	— *	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	IV _A S

注記*：クラス 2 ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。また、クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

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
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	原子炉隔離時冷却系 ポンプ駆動用 タービン	常設／防止 (DB 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／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*²：重大事故等クラス 2 ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。また、重大事故等クラス 2 ポンプ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 3-3 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）

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。

表 3-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

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	66			
基礎ボルト		周囲環境温度	66			—
タービン取付 ボルト		最高使用温度	302			—

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件（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	66			
基礎ボルト		周囲環境温度	66			—
タービン取付 ボルト		最高使用温度	302			—

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

原子炉隔離時冷却系タービンの動的機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

原子炉隔離時冷却系タービン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であるため、添付書類「VI-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。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
タービン	原子炉隔離時冷却系 ポンプ駆動用タービン	水平方向	2.4
		鉛直方向	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉隔離時冷却系タービン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及び動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頁以降の表に示す。なお，弾性設計用地震動 S_d による動的震度及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており，基準地震動 S_s による発生値が，弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉隔離時冷却系タービン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動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頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用タービン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		タービン振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
原子炉隔離時冷却系 ポンプ駆動用タービン	S	原子炉建屋 O.P. -8.10 ^{*1} (O.P. -7.162)	— ^{*2}	— ^{*2}	— ^{*3}	— ^{*3}	C _H =1.04	C _V =0.72		302	66

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：ⅢS については、基準地震動 S s で評価する。

1.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} ^{*1} (mm)	ℓ _{2i} ^{*1} (mm)	d _i (mm)	A _{b,i} (mm ²)	n _i	n _{f,i} ^{*1}
基礎ボルト (i=1)							6	3
タービン取付ボルト (i=2)								2
							2	

部 材	S _{y,i} (MPa)	S _{u,i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向		M _p (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	
基礎ボルト (i=1)					—	軸直角	7.639×10 ⁵
タービン取付ボルト (i=2)					—	軸直角	7.639×10 ⁵

H _p (μm)	N (rpm)

注記 *1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	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 (i=1)	—*		—*	
タービン取付ボルト (i=2)	—*		—*	

注記*：Ⅲ₀Sについては、基準地震動S_sで評価する。

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 (i=1)		引張り	$\sigma_{b1}=40^{*2}$	$f_{ts1}=169^{*1}$	$\sigma_{b1}=40$	$f_{ts1}=202^{*1}$
		せん断	$\tau_{b1}=21^{*2}$	$f_{sb1}=130$	$\tau_{b1}=21$	$f_{sb1}=155$
タービン取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=40^{*2}$	$f_{ts2}=443^{*1}$	$\sigma_{b2}=40$	$f_{ts2}=444^{*1}$
		せん断	$\tau_{b2}=10^{*2}$	$f_{sb2}=341$	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=342$

すべて許容応力以下である。

注記 *1: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

*2: 基準地震動S_sによる算出値

1.4.2 動的機能の評価結果

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
タービン	水平方向	0.86	2.4
	鉛直方向	0.59	1.0

注記*：基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。

【原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用タービンの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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		タービン振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
原子炉隔離時冷却系 ポンプ駆動用タービン	常設/防止 (DB 拡張)	原子炉建屋 O.P. -8.10*1 (O.P. -7.162)	—*2	—*2	—	—	C _H =1.04	C _V =0.72		302	66

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。

2.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{b,i} (mm ²)	n _i	n _{f,i} *1
基礎ボルト (i=1)							6	3
								2
タービン取付ボルト (i=2)							8	2
								2

部 材	S _{y,i} (MPa)	S _{u,i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (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	
基礎ボルト (i=1)					—	軸直角	7.639×10 ⁵
タービン取付ボルト (i=2)					—	軸直角	7.639×10 ⁵

H _p (μm)	N (rpm)

注記 *1: 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2: 周囲環境温度で算出

*3: 最高使用温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	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 (i=1)	—		—	
タービン取付ボルト (i=2)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 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 (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1}=40$	$f_{ts1}=202^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=21$	$f_{sb1}=155$
タービン取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=40$	$f_{ts2}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=342$

すべて許容応力以下である。

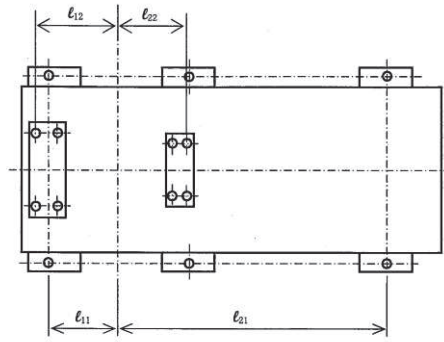
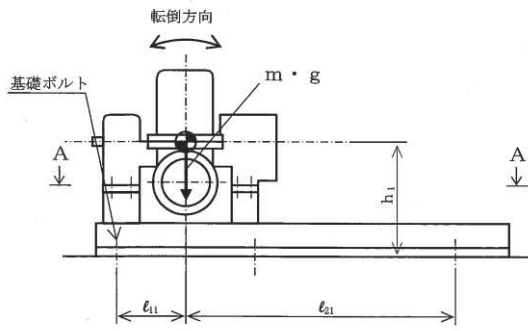
注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

2.4.2 動的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

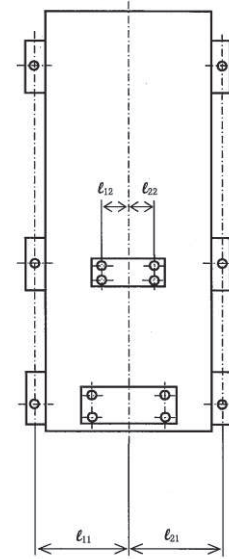
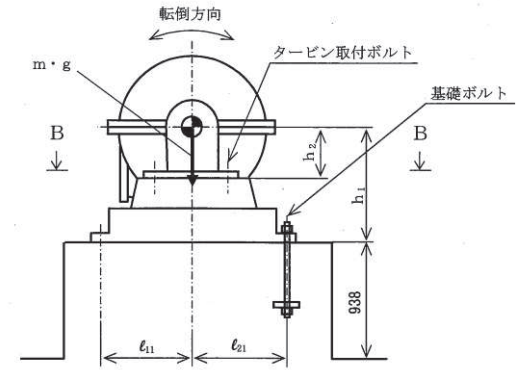
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
タービン	水平方向	0.86	2.4
	鉛直方向	0.59	1.0

注記*：基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。



A~A 矢视图



B~B 矢视图

VI-2-5-6-1-3 管の耐震性についての計算書
(原子炉隔離時冷却系)

設計基準対象施設

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	5
3. 計算条件	13
3.1 計算方法	13
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	14
3.3 設計条件	15
3.4 材料及び許容応力評価条件	24
3.5 設計用地震力	25
4. 解析結果及び評価	28
4.1 固有周期及び設計震度	28
4.2 評価結果	46
4.2.1 管の応力評価結果	46
4.2.2 支持構造物評価結果	49
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	50
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	51

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、原子炉隔離時冷却系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全5モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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。



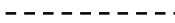
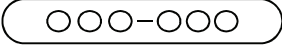

(3) 弁

機能確認済加速度の機能維持評価用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。

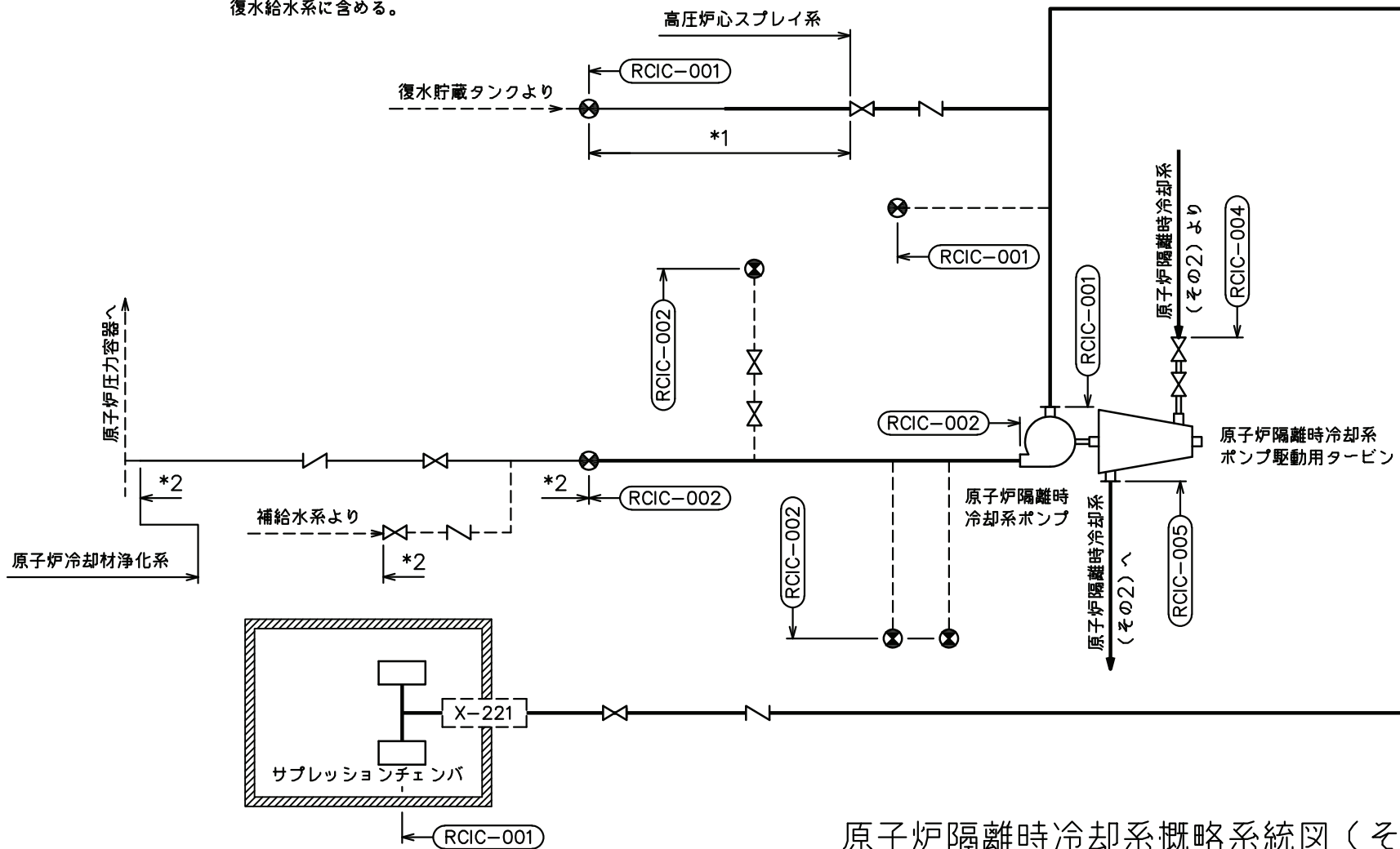
2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

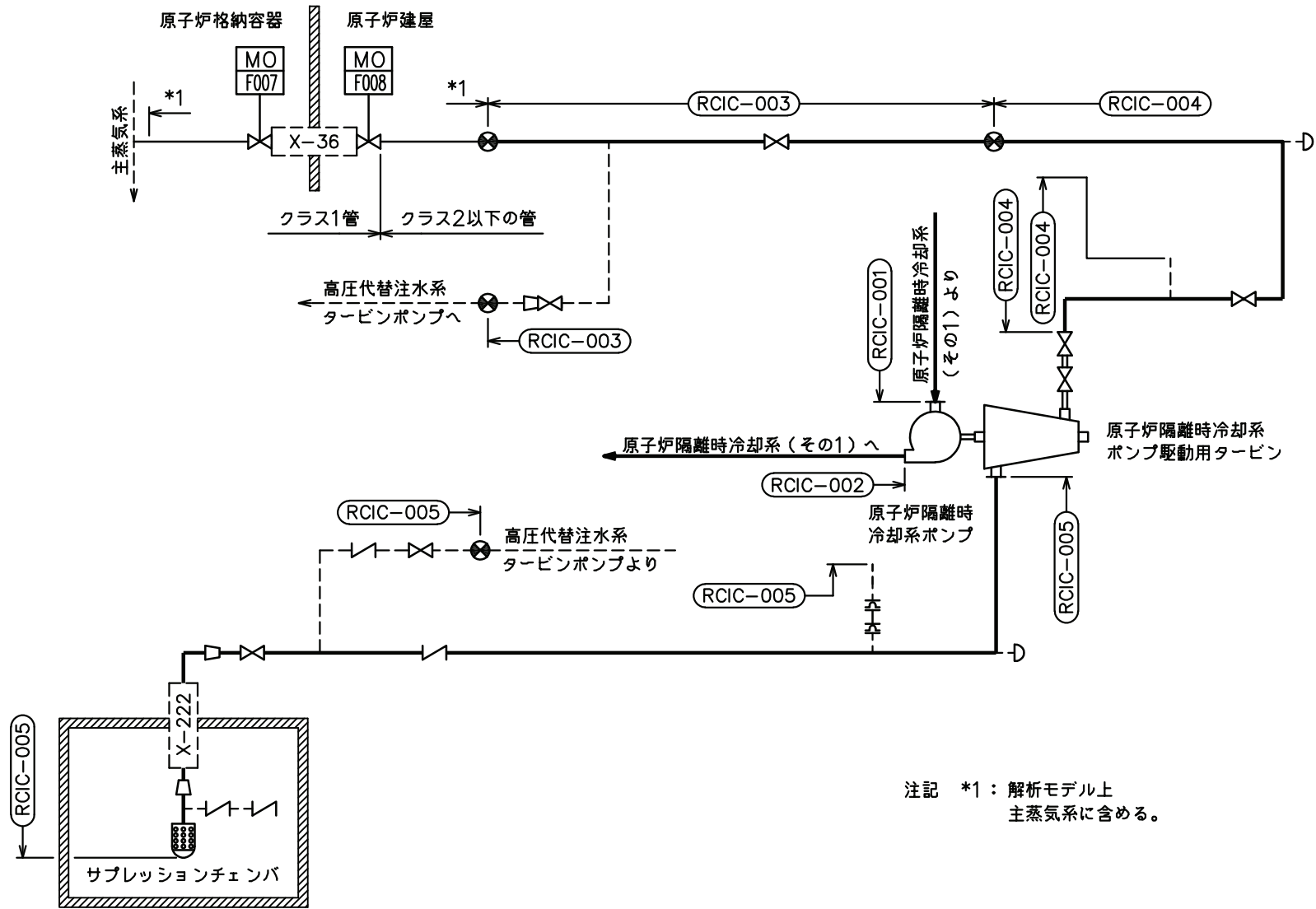
概略系統図記号凡例

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
 (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
	アンカ

- 注記 *1： 高圧炉心スプレイ系
解析モデル上本系統に含める。
- *2： 解析モデル上
復水給水系に含める。




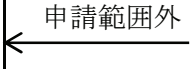



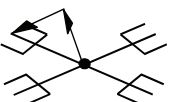
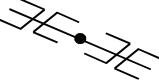

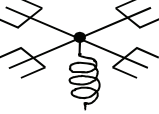
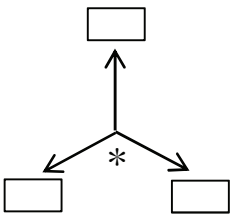
原子炉隔離時冷却系概略系統図 (その1)



原子炉隔離時冷却系概略系統図 (その2)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>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として本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印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。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>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。)</p>

9

鳥瞰図 RCIC-002-1/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7

鳥瞰図 RCIC-002-2/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

∞

鳥瞰図 RCIC-002-3/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6

鳥瞰図 RCIC-003-1/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RCIC-003-2/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RCIC-004-1/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RCIC-004-2/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, *3	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材補給設備	原子炉隔離時冷却系	DB	—	クラス2管	S	I _L +S d	III _A S
							II _L +S d	
							I _L +S s	IV _A S
							II _L +S s	
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	高圧炉心スプレイ系	DB	—	クラス2管	S	I _L +S d	III _A S
							II _L +S d	
							IV _L (L)+S d	IV _A S
							I _L +S s	
							II _L +S s	

注記*1：DB は設計基準対象施設，SA は重大事故等対処設備を示す。

*2：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。

*3：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。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	11.77	66	114.3	13.5	STS410	S	200360

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 2

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	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	66	68	69
	70	71	72	73	74	101	102	103	105	106	851	852	911		

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		10		19		66		102	
2		11		20		68		103	
3		12		21		69		105	
4		13		22		70		106	
5		14		23		71		851	
6		15		24		72		852	
7		16		25		73		911	
8		17		26		74			
9		18		27		101			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 2

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
5						
10						
18						
23						
27						
66						
70						
74						
911						

02 ⑥ VI-2-5-6-1-3(設) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	8.62	302	114.3	11.1	STS410	S	184760
2	8.62	302	114.3	11.1	STS410	S	184760

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	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
	32	103	106	900	901										
2	101	106	107	108	903										

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		9		17		25		107	
2		10		18		26		108	
3		11		19		27		900	
4		12		20		28		901	
5		13		21		29		903	
6		14		22		30			
7		15		23		32			
8		16		24		106			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
101	
102	
103	
104	
105	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	102			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
8						
** 8 **						
12						
** 12 **						
15						
20						
24						
27						
32						
105						
** 105 **						
900						
903						

--

O 2 ⑥ VI-2-5-6-1-3(設) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 4

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	8.62	302	114.3	11.1	STS410	S	184760

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 4

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	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	31
	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	46	50	801	803	804
	805	807	808	809	900	901	906	907	908						

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		12		23		37		807	
2		13		24		38		808	
3		14		25		39		809	
4		15		26		40		900	
5		16		27		41		901	
6		17		28		46		906	
7		18		32		50		907	
8		19		33		801		908	
9		20		34		803			
10		21		35		804			
11		22		36		805			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
29	
30	
31	
44	
45	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1				

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 4

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
8						
13						
18						
22						
26						
28						
33						
41						
45						
** 45 **						
46						
** 50 **						
900						
** 901 **						
906						
** 907 **						
908						



O 2 ⑥ VI-2-5-6-1-3(設) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
STS410	66	—	231	407	—
	302	—	182	404	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R C I C - 0 0 2	原子炉建屋		

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曲線を下表に示す。
 なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」
 に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R C I C - 0 0 3	原子炉建屋		

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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R C I C - 0 0 4	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 R C I C - 0 0 2

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
19 次								
20 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 2

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

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 RCIC-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RCIC-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RCIC-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
9 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。
 *3：S d 又は S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4： $3.6C_I$ 及び $1.2C_V$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

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

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 RCIC-003

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RCIC-003

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RCIC-003

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 4

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
9 次								
10 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。
 *3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 4

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

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 RCIC-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RCIC-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

45

鳥瞰図 | RCIC-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス2以下の管

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 p r m (S d) S p r m (S s)	許容応力 S y *1 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
R C I C - 0 0 2	Ⅲ _A S	12	S p r m (S d)	89	231	—	—	—
	Ⅳ _A S	12	S p r m (S s)	164	366	—	—	—
	Ⅳ _A S	12	S n (S s)	—	—	279	462	—

注記 *1 : 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、S y と 1. 2 ・ S h のうち大きい方とする。

管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス 2 以下の管

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 p r m (S d) S p r m (S s)	許容応力 S y *1 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
R C I C - 0 0 3	Ⅲ _A S	24	S p r m (S d)	105	182	—	—	—
	Ⅳ _A S	24	S p r m (S s)	150	363	—	—	—
	Ⅳ _A S	24	S n (S s)	—	—	218	364	—

注記 *1 : 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、S y と 1. 2 ・ S h のうち大きい方とする。

管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス 2 以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				S p r m (S d) S p r m (S s)	S y *1 0. 9 ・ S u	S n (S s)	2 ・ S y	U S s
R C I C - 0 0 4	Ⅲ _A S	1	S p r m (S d)	85	182	—	—	—
	Ⅳ _A S	1	S p r m (S s)	127	363	—	—	—
	Ⅳ _A S	1	S n (S s)	—	—	270	364	—

注記 *1 : 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、S y と 1. 2 ・ S h のうち大きい方とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
RCIC-005-916S	メカニカルスナップ	SMS-3-100	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		13	45
RCIC-004-045B	ロッドレストレイント	RST-1			18	24
RCIC-005-070H	スプリングハンガ	VS30T-12			7	8

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 (°C)	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			
RCIC-003-001A	アンカ	ラグ	SGV410	302	75	44	49	11	3	13	せん断	51	96
RCIC-002-911R	レストレイント	Uプレート	SS400	40	0	5	65	—	—	—	せん断	114	141

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス2管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S					許容応力状態 IV _A S													
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価			
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表	
1	RCIC-001	57	56	231	4.12	—	57	89	366	4.11	—	65	152	462	3.03	—	—	—	—	
2	RCIC-002	12	89	231	2.59	—	12	164	366	2.23	○	12	279	462	1.65	—	—	—	—	
3	RCIC-003	24	105	182	1.73	○	24	150	363	2.42	—	24	218	364	1.66	—	—	—	—	
4	RCIC-004	1	85	182	2.14	—	1	127	363	2.85	—	1	270	364	1.34	○	—	—	—	
5	RCIC-005	29	44	209	4.75	—	29	65	363	5.58	—	103	157	418	2.66	—	—	—	—	

注記* : III_ASの一次+二次応力の許容値はIV_ASと同様であることから、地震荷重が大きいIV_ASの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

重大事故等対処設備

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	5
3. 計算条件	11
3.1 計算方法	11
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
3.3 設計条件	13
3.4 材料及び許容応力評価条件	19
3.5 設計用地震力	20
4. 解析結果及び評価	22
4.1 固有周期及び設計震度	22
4.2 評価結果	34
4.2.1 管の応力評価結果	34
4.2.2 支持構造物評価結果	36
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	37
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	38

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、原子炉隔離時冷却系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全5モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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。



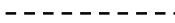


(3) 弁

機能確認済加速度の機能維持評価用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。

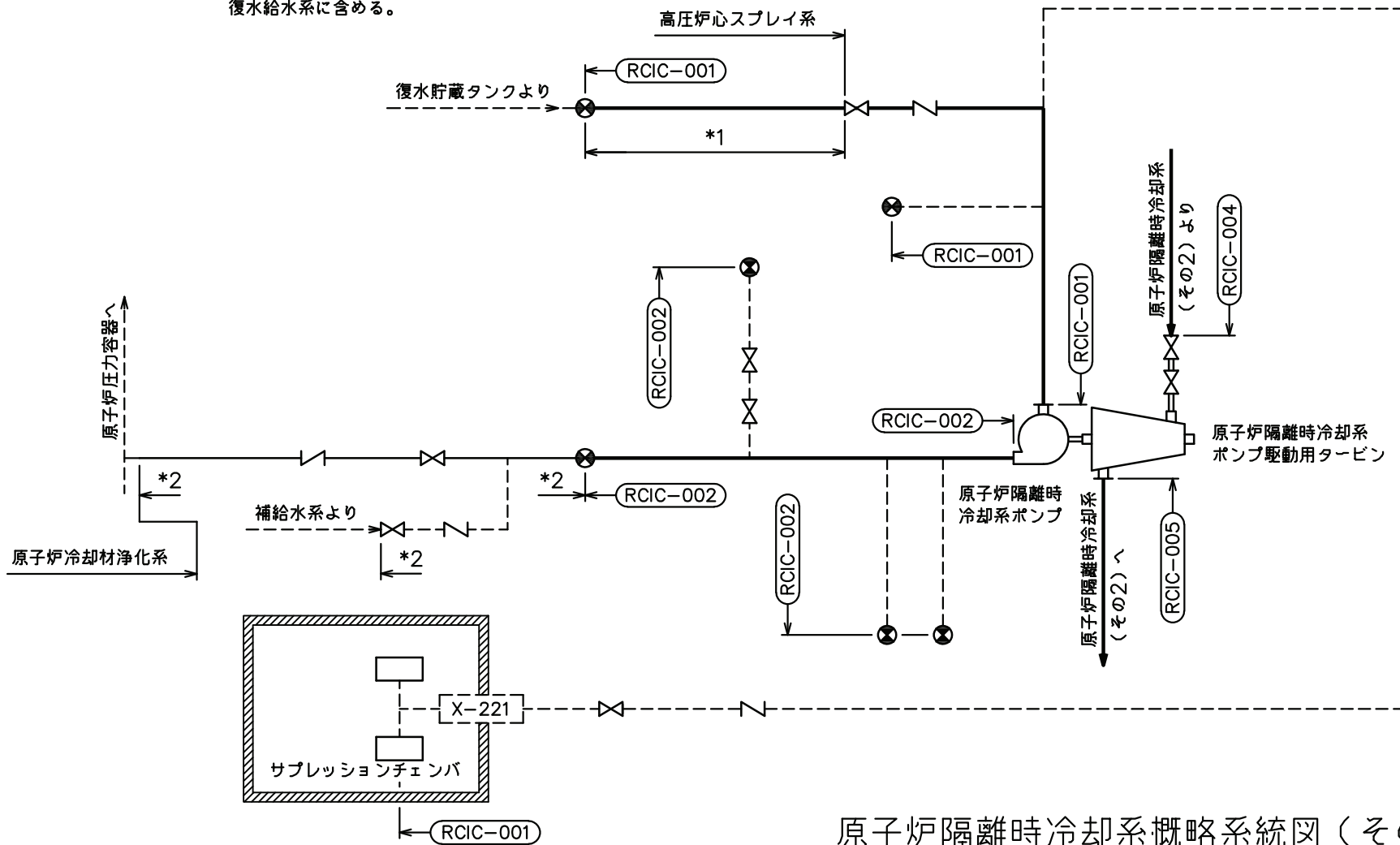
2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

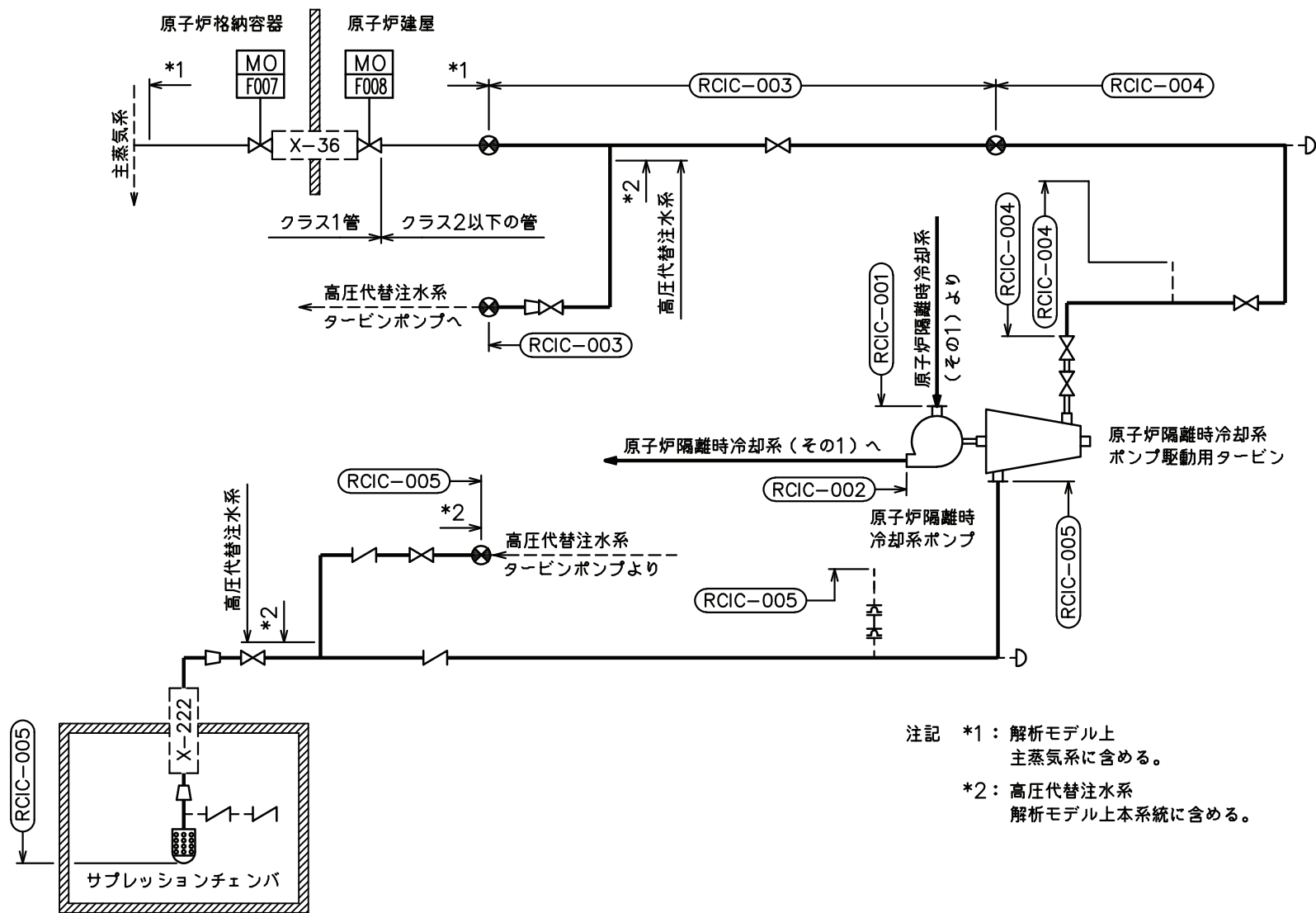
概略系統図記号凡例

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
 (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
	アンカ

- 注記 *1： 高圧炉心スプレイ系
解析モデル上本系統に含める。
- *2： 解析モデル上
復水給水系に含める。




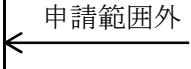



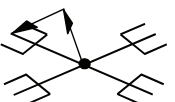
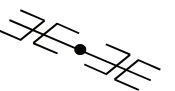
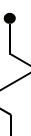
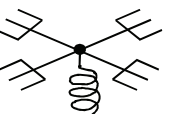
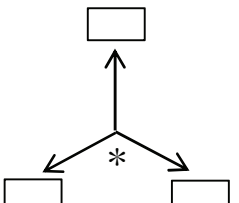
原子炉隔離時冷却系概略系統図 (その1)



原子炉隔離時冷却系概略系統図 (その2)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
	工事計画記載範囲外の管
	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として本系統に記載する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印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
	ガイド
	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。)

9

鳥瞰図 RCIC-002-1/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7

鳥瞰図 RCIC-002-2/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

∞

鳥瞰図 RCIC-002-3/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6

鳥瞰図 RCIC-004-1/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RCIC-004-2/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	耐震重要度分類	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	原子炉隔離時冷却系	SA	常設/防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$
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	高压代替注水系	SA	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の 安全設備	高压代替注水系	SA	常設/緩和	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$

注記*1：DB は設計基準対象施設，SA 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(DB 拡張)」は常設重大事故防止設備(設計基準拡張)，「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。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	11.77	66	114.3	13.5	STS410	—	200360

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 2

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	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	66	68	69
	70	71	72	73	74	101	102	103	105	106	851	852	911		

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		10		19		66		102	
2		11		20		68		103	
3		12		21		69		105	
4		13		22		70		106	
5		14		23		71		851	
6		15		24		72		852	
7		16		25		73		911	
8		17		26		74			
9		18		27		101			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 2

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
5						
10						
18						
23						
27						
66						
70						
74						
911						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 4

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	10.34	315	114.3	11.1	STS410	—	183200
2	8.62	302	114.3	11.1	STS410	—	184760

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 4

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	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	801
	803	807	808	809	900	901	906								
2	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	46	50	804	805
	907	908													

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		12		23		37		807	
2		13		24		38		808	
3		14		25		39		809	
4		15		26		40		900	
5		16		27		41		901	
6		17		28		46		906	
7		18		32		50		907	
8		19		33		801		908	
9		20		34		803			
10		21		35		804			
11		22		36		805			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
29	
30	
31	
44	
45	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1				

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 4

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
8						
13						
18						
22						
26						
28						
33						
41						
45						
** 45 **						
46						
** 50 **						
900						
** 901 **						
906						
** 907 **						
908						

--

O 2 ⑥ VI-2-5-6-1-3(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
STS410	66	—	231	407	—
	302	—	182	404	—
	315	—	180	404	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R C I C - 0 0 2	原子炉建屋		

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曲線を下表に示す。
 なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」
 に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R C I C - 0 0 4	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 R C I C - 0 0 2

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
19 次								
20 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 2

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

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

25

鳥瞰図 RCIC-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RCIC-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RCIC-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 4

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
9 次								
10 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。
 *3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 4

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

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 RCIC-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RCIC-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RCIC-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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管であってクラス2以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{pr m}(S_s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S_s)$	$2 \cdot S_y$	$U S_s$
R C I C - 0 0 2	$V_A S$	12	$S_{pr m}(S_s)$	161	366	—	—	—
	$V_A S$	12	$S_n(S_s)$	—	—	279	462	—

管の応力評価結果

下表に示すとおり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管であってクラス2以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{p r m}(S s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S s)$	$2 \cdot S_y$	$U S s$
R C I C - 0 0 4	$V_A S$	1	$S_{p r m}(S s)$	129	363	—	—	—
	$V_A S$	1	$S_n(S s)$	—	—	270	360	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
RCIC-005-107S	メカニカルスナッパ	SMS-3-100	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		20	45
RCIC-005-916S	メカニカルスナッパ	SMS-3-100			17	45
RCIC-005-033B	ロッドレストレイント	RTS-6			21	90
RCIC-005-070H	スプリングハンガ	VS30T-12			7	8

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 (°C)	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			
RCIC-003-001A	アンカ	ラグ	SGV410	315	75	44	49	11	3	13	せん断	51	94
RCIC-002-911R	レストレイント	Uプレート	SS400	66	0	5	65	—	—	—	せん断	114	135

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 V A S												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
1	RCIC-001	1	139	431	3.10	—	1	238	376	1.57	—	—	—	—
2	RCIC-002	12	161	366	2.27	○	12	279	462	1.65	—	—	—	—
3	RCIC-003	24	152	363	2.38	—	24	218	360	1.65	—	—	—	—
4	RCIC-004	1	129	363	2.81	—	1	270	360	1.33	○	—	—	—
5	RCIC-005	29	64	363	5.67	—	35	227	414	1.82	—	—	—	—

VI-2-5-6-2 補給水系の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-5-6-2-1 復水移送ポンプの耐震性についての計算書
- VI-2-5-6-2-2 復水貯蔵タンクの耐震性についての計算書
- VI-2-5-6-2-3 管の耐震性についての計算書（補給水系）

VI-2-5-6-2-1 復水移送ポンプ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評価条件	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	8
4.1 動的機能維持評価方法	8
5. 評価結果	9
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-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、復水移送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。

復水移送ポンプは、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及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

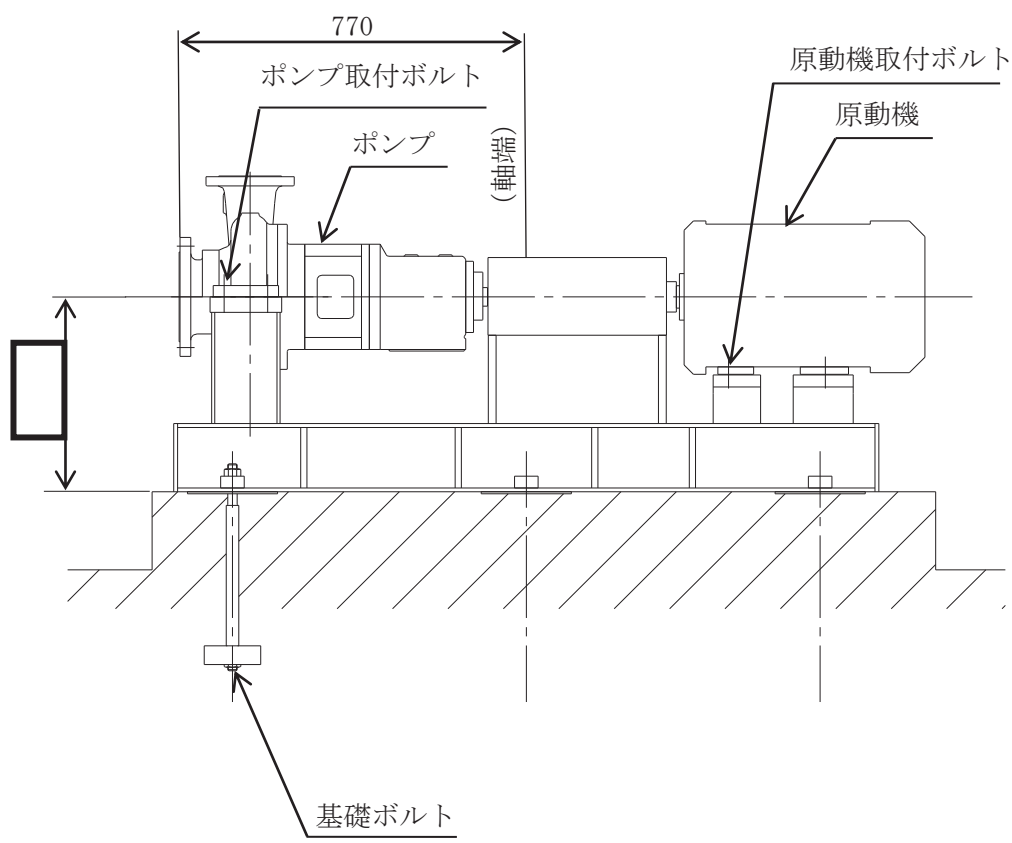
なお、復水移送ポンプは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横軸ポンプと類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

復水移送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	
<p>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。</p>	<p>うず巻形 (うず巻形横軸ポンプ)</p>	 <p>(単位：mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

復水移送ポンプの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 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行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

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

復水移送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

復水移送ポンプの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表 3-2 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

復水移送ポンプの使用材料の許容応力評価条件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。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【復水移送ポンプ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。

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
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	復水移送ポンプ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ ^{*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。)
原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の安全 設備の原子炉 格納容器安全 設備 原子炉 格納容器 下部注水系	復水移送ポンプ	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ ^{*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。)

ト

(続き)

原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の安全 設備の原子炉 格納容器安全 設備	復水移送ポンプ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV_{AS}
	原子炉格納 容器代替スプ レイ冷却系				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界 を用いる。)
	圧力低減設備 その他の安全 設備の原子炉 格納容器安全 設備	復水移送ポンプ	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV_{AS}
	低圧代替 注水系				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} 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／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 ポンプ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 3-2 許容応力（重大事故等クラス 2 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。)		

の 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評価条件（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 (R T) (MPa)
基礎ボルト	[Redacted]	周囲環境温度	66	[Redacted]	[Redacted]	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	66			—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	66			—

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

復水移送ポンプの動的機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

復水移送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であるため、添付書類「VI-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。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度	
ポンプ	横形単段遠心式 ポンプ	水平方向	軸直角方向	3.2
			軸方向	1.4
		鉛直方向	1.0	
原動機	横形ころがり 軸受電動機	水平方向	4.7	
		鉛直方向	1.0	

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

復水移送ポンプ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動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頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【復水移送ポンプ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	設備分類	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		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
復水移送ポンプ	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 O.P. -0.80*1	—*2	—*2	—	—	C _H =1.34	C _V =0.88		66	66

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。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							6	3
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
								2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2
								2

10

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (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	
基礎ボルト (i=1)			—		—	軸直角	—
ポンプ取付ボルト (i=2)			—		—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)			—		—	—	軸

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

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 i}		Q _{b i}	
	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 (i=1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	

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 (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1} = 8$	$f_{ts1} = 202^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = 7$	$f_{sb1} = 155$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2} = 14$	$f_{ts2} = 202^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = 7$	$f_{sb2} = 155$
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	—	—	$\sigma_{b3} = 13$	$f_{ts3} = 185^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} = 8$	$f_{sb3} = 142$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

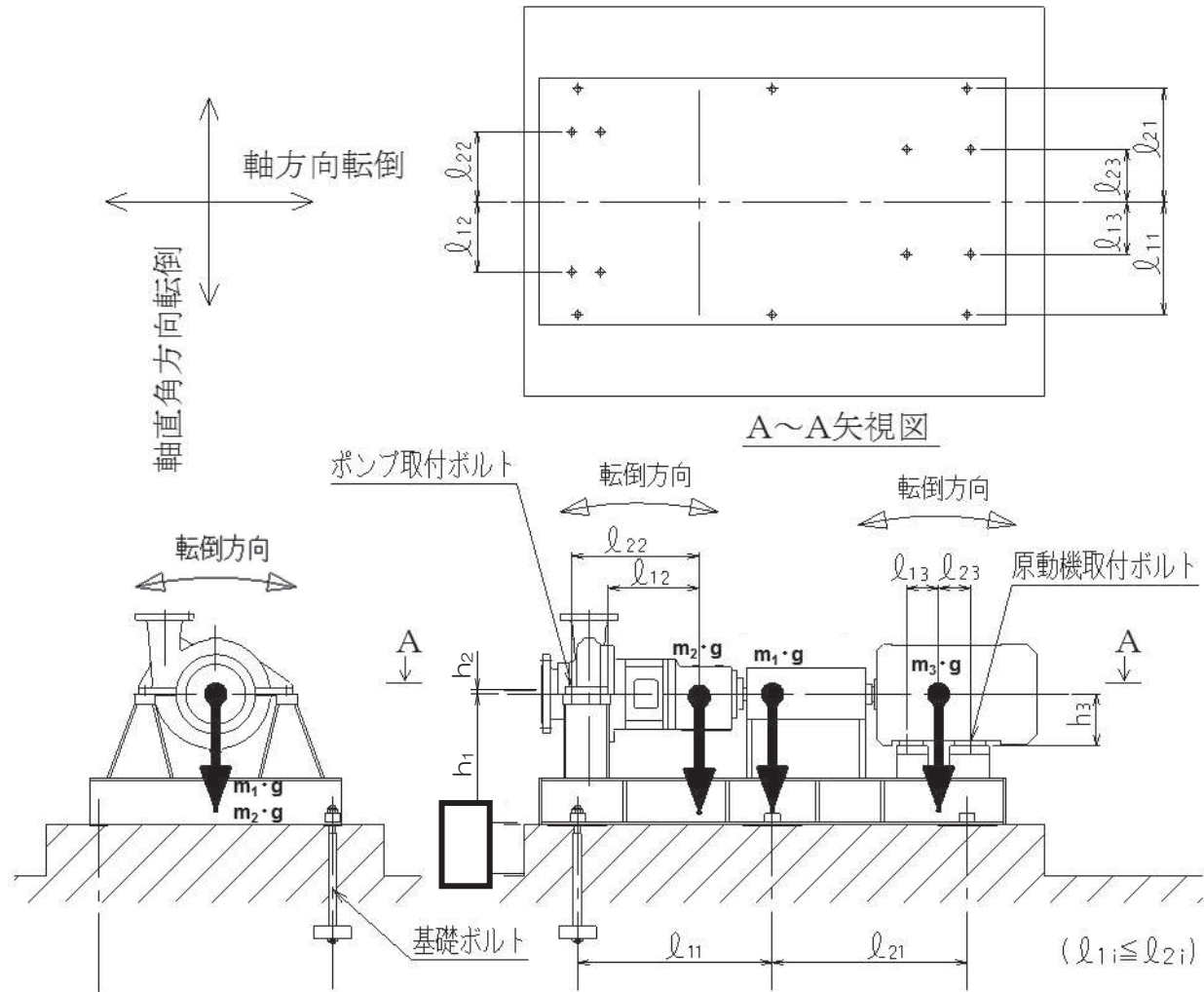
1.4.2 動的機能の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.11	3.2(軸直角) 1.4(軸)
	鉛直方向	0.73	1.0
原動機	水平方向	1.11	4.7
	鉛直方向	0.73	1.0

注記*：基準地震動 S_sにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

VI-2-5-6-2-2 復水貯蔵タンク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 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	8
3. 評価部位	9
4. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期評価結果	9
5. 地震応答解析及び構造強度評価	10
5.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	10
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	13
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	13
5.2.2 許容応力	13
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	13
5.2.4 風荷重	13
5.2.5 積雪荷重	13
5.3 計算条件	13
5.4 設計用地震力	19
5.5 応力の計算方法	19
5.5.1 胴の計算方法	20
5.5.2 基礎ボルトの計算方法	21
5.5.3 液面振動の計算方法	21
5.6 応力の評価	22
5.6.1 胴の応力評価	22
5.6.2 基礎ボルトの応力評価	24
6. 評価結果	24
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	24

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、復水貯蔵タンク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。

復水貯蔵タンクは、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，常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下，重大事故対象設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

復水貯蔵タンクの構造計画を表 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	
<p>胴下端を基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>上面に屋根，下面に底板を有するたて置円筒形容器であり，胴は上部にいくほど段階的に板厚が薄くなる構造である。</p>	<p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

復水貯蔵タンクの応力評価は、添付書類「VI-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. 評価部位」にて設定する箇所において、添付書類「VI-2-2-5 復水貯蔵タンク基礎の地震応答計算書」で得られた応答加速度及び断面力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 地震応答解析及び構造強度評価」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。

復水貯蔵タンクの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

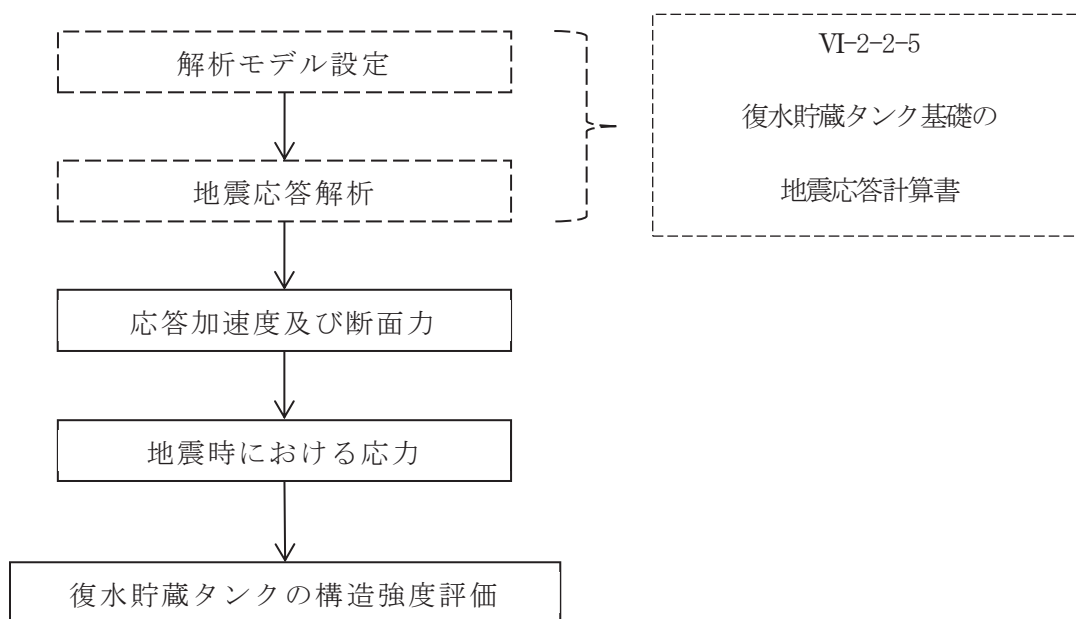


図 2-1 復水貯蔵タンクの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 - 1987)
- (2) 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)
- (3) 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)
- (4) J S M E S N C 1 - 2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_1	液面の水平方向移動量	mm
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
C_v	鉛直方向設計震度	—
D_{bi}	ベースプレートの内径	mm
D_{bo}	ベースプレートの外径	mm
D_c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D_i	胴の内径	mm
d	ボルトの呼び径	mm
d_{max}	タンク壁面での液面上昇量	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
f_b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f_c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
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	最高液位 (水頭)	mm
H_h	胴の高さ	mm
H_j	評価部位 j における水頭	mm
H_m	最大液面高さ	mm
ℓ_g	基礎から容器重心までの距離	mm
M_j	評価部位 j に作用する曲げモーメント	N・mm
m_0	容器の運転時質量 (積雪含む)	kg
m_{ej}	評価部位 j に作用する容器の空質量 (積雪含む)	kg
n	基礎ボルトの本数	—
Q_j	評価部位 j に作用するせん断力	N
R	胴の内半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S_A	加速度応答スペクトル値	m/s ²
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa

記号	記号の説明	単位
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
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T	液面の固有周期	s
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
t_j	評価部位 j の胴の厚さ	mm
η	座屈応力に対する安全率	—
θ_h	液面中心での水平面となす角度	rad
π	円周率	—
ρ'	液体の密度 (= 比重 $\times 10^{-6}$)	kg/mm ³
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
$\sigma_{2\phi}$	地震動のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2c}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (圧縮側)	MPa
σ_{2t}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (引張側)	MPa
σ_{2xc}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (圧縮側)	MPa
σ_{2xt}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (引張側)	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{x1}	静水頭により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}$		
σ_{x2}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x3}	胴の鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{x4}	水平方向地震により胴に生じる曲げモーメントによる軸方向応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和 (圧縮側)	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和 (引張側)	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{ϕ}	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
ω	液面の固有円振動数	rad/s
$\phi_1(x)$	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
$\phi_2(x)$	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

注： H_j ， M_j ， $m_{e j}$ ， Q_j 及び t_j の添字 j は、評価部位ごとの値を示す。

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は有効数字 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
温度	℃	—	—	整数位
比重	—	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	胴の厚さ	mm	—	小数点以下第 1 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	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*3}

注記 *1：設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*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

復水貯蔵タンクの耐震評価は、「5.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる胴及び基礎ボルトについて評価を実施する。胴は上部になるに従い、段階的に板厚が減少するため、算出応力の許容応力に対する裕度が最小となる板厚を代表して評価する。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

水平方向については、「2.2 評価方針」に基づき、添付書類「VI-2-2-5 復水貯蔵タンク基礎の地震応答計算書」の時刻歴応答解析によって得られた断面力を用いて応力評価を実施することから固有周期の算出は不要である。

鉛直方向については、添付書類「VI-2-1-13-3 平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」の「4.1 固有周期の計算方法」に基づき評価する。

4.2 固有周期評価結果

固有周期計算の結果、鉛直方向の固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

5. 地震応答解析及び構造強度評価

5.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

添付書類「VI-2-2-5 復水貯蔵タンク基礎の地震応答計算書」において実施している地震応答解析のうち、復水貯蔵タンクの解析モデルの考え方及び諸元を以下に示す。

- (1) 復水貯蔵タンクの解析モデルは、胴の板厚ごとに節点を設け、鉛直部材と等価な曲げ及びせん断剛性を有する多質点系モデルとする。復水貯蔵タンクの地震応答解析モデルを図 5-1 に示す。
- (2) 復水貯蔵タンクの内包流体は、スロッシングを考慮するため単純円筒モデルのハウスナー理論に基づいて設定した節点及びばね要素を付与する。
- (3) 解析モデルの各節点には節点重量、各要素にはせん断有効断面積及び断面二次モーメントを設定する。復水貯蔵タンクのモデル諸元を表 5-1 に示す。

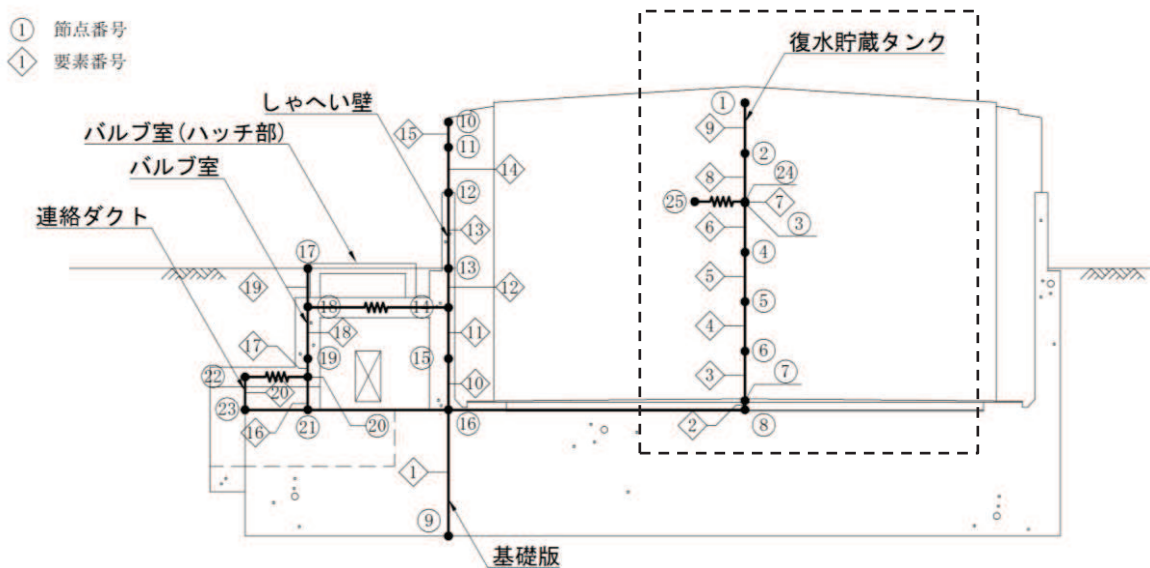


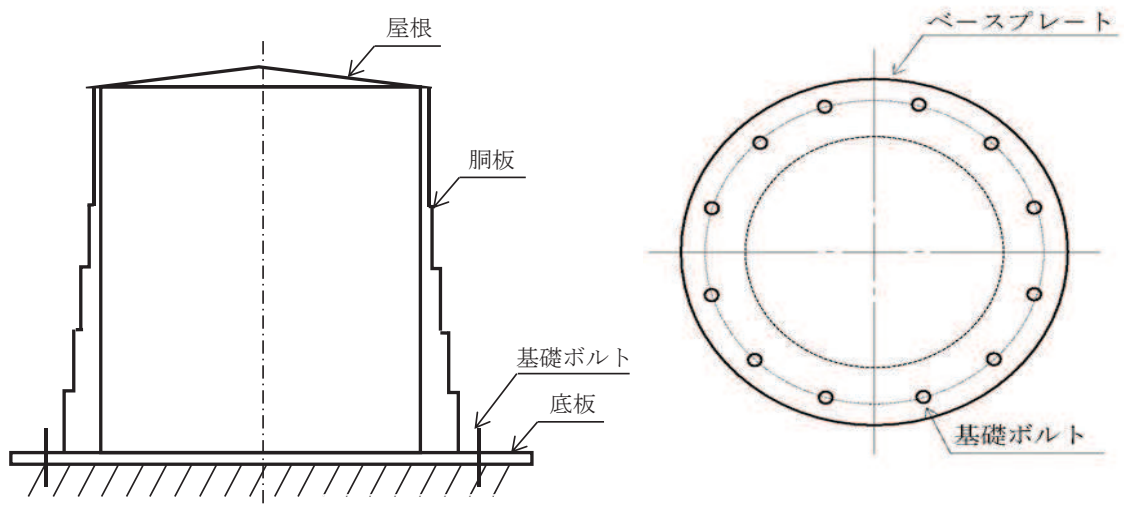
図 5-1 復水貯蔵タンク（破線部）の地震応答解析モデル
 (添付書類「VI-2-2-5 復水貯蔵タンク基礎の地震応答計算書」図 3-4 復水貯蔵タンク
 基礎のモデル図（南北方向）引用)

表 5-1 復水貯蔵タンクのモデル諸元

節点 番号	標高 O. P. (mm)	節点重量 (kN)	要素 番号	せん断 有効断面積 (m ²)	断面二次 モーメント (m ⁴)
1	21,362	712			
2	19,362	98	9	3.143×10^{-1}	31.46
24	17,448	—	8	3.143×10^{-1}	31.46
3	17,402	763	7	3.143×10^{-1}	31.46
4	15,442	6,183	6	4.087×10^{-1}	40.92
5	13,482	6,212	5	5.031×10^{-1}	50.39
6	11,522	6,240	4	5.975×10^{-1}	59.86
7	9,562	4,126 (基礎版重量を除く)	3	6.919×10^{-1}	69.34
8	9,200	—	—	—	—
25	17,448	9,332 (スロッシング重量)	—	—	—
スロッシングばね				(kN/m)	1.636×10^3

さらに、復水貯蔵タンクの構造強度評価は以下の条件で計算する。概要図を図 5-2 に示す。

- (1) 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。
- (2) 容器は胴下端のベースプレートを円周上等ピッチの多数の基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- (3) 胴をはりと考え、変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。
- (4) 胴は上部になるに従い、段階的に板厚が減少するため、板厚ごとに評価する。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。



注：概要を示したものであり、外形及びボルト本数は実機とは異なる。

図 5-2 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

復水貯蔵タンク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 5-2 に示す。復水貯蔵タンクの構造や形状から，風荷重及び積雪荷重の影響が無視できないことから，風荷重及び積雪荷重を組合せて評価を行う。

5.2.2 許容応力

復水貯蔵タンクの許容応力は，添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，表 5-3 及び表 5-4 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

復水貯蔵タンクの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

5.2.4 風荷重

風荷重は，添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，風速 30 m/s を考慮して評価する。

5.2.5 積雪荷重

積雪荷重は，添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮して評価する。

5.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【復水貯蔵タンク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。

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	非常用炉心冷却 設備その他原子 炉注水設備 高压炉心スプレ イ系	復水貯蔵タンク	常設/防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 容器* ²	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を 用いる。)
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 高压代替注水系	復水貯蔵タンク	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_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を 用いる。)
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 原子炉隔離時冷 却系	復水貯蔵タンク	常設/防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 容器* ²	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を 用いる。)
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 低压代替注水系	復水貯蔵タンク	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_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を 用いる。)

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
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備の原子炉格納容器安全設備 原子炉格納容器下部注水系	復水貯蔵タンク	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_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。)
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備の原子炉格納容器安全設備 原子炉格納容器代替スプレイ冷却系	復水貯蔵タンク	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_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。)
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備の原子炉格納容器安全設備 高压代替注水系	復水貯蔵タンク	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_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。)
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備の原子炉格納容器安全設備 低压代替注水系	復水貯蔵タンク	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_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} 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／緩和」は常設重大事故緩和設備及び「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) 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（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
IV _{AS}	0.6 · S _u	左欄の 1.5 倍の値	*3 S _s 地震動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，疲労解析は不要。	
V _{AS} (V _{AS} として IV _{AS} の 許容限界を用いる。)				

注記 *1：座屈による評価は，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。

*3：2 · 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 5-4 許容応力（重大事故等クラス 2 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 _{AS}	1.5・f _t * 1.5・f _s *	1.5・f _s *
V _{AS} (V _{AS} としてIV _{AS} 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 5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
胴	SUS304	最高使用温度	66	—	188	479	—
基礎ボルト	SNB7 (径 ≤ 63mm)	周囲環境温度	40	—	725	860	—

5.4 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力のうち水平方向は、添付書類「VI-2-2-5 復水貯蔵タンク基礎の地震応答計算書」の時刻歴応答解析にて得られた断面力（せん断力及び曲げモーメント）を用いて評価を行う。

鉛直方向は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 5-6 設計用地震力（重大事故等対処設備）

評価部位	標高 O. P. (mm)	基準地震動 S_s		
		水平方向		鉛直方向
		せん断力 (N)	曲げモーメント (N・mm)	設計震度 C_v
胴	19,362	2.705×10^6	5.410×10^9	0.91
	17,402	3.506×10^6	1.136×10^{10}	
	15,442	5.663×10^6	2.115×10^{10}	
	13,482	2.373×10^7	6.703×10^{10}	
	11,552	3.847×10^7	1.426×10^{11}	
	9,562	4.811×10^7	2.383×10^{11}	
基礎ボルト				

5.5 応力の計算方法

復水貯蔵タンクの胴は上部になるに従い、段階的に板厚が減少するため、板厚ごとに評価する。板厚ごとの計算方法を次頁以降に示す。板厚によって計算方法が変わらない場合は、添付書類「VI-2-1-13-3 平底たて置円筒形容器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を引用して評価を実施する。

なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

5.5.1 胴の計算方法

(1) 静水頭及び鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H_j \cdot D_i}{2 \cdot t_j} \quad \dots\dots\dots (5.5.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H_j \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t_j} \quad \dots\dots\dots (5.5.1.2)$$

$$\sigma_{X 1} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.5.1.3)$$

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴自身の質量による圧縮応力と鉛直方向地震による軸方向応力が生じる。

$$\sigma_{X 2} = \frac{m_{e j} \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t_j) \cdot t_j} \quad \dots\dots\dots (5.5.1.4)$$

$$\sigma_{X 3} = \frac{m_{e j} \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t_j) \cdot t_j} \quad \dots\dots\dots (5.5.1.5)$$

(3) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力により曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力が生じる。

$$\sigma_{X 4} = \frac{4 \cdot M_j}{\pi \cdot (D_i + t_j)^2 \cdot t_j} \quad \dots\dots\dots (5.5.1.6)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot Q_j}{\pi \cdot (D_i + t_j) \cdot t_j} \quad \dots\dots\dots (5.5.1.7)$$

(4) 組合せ応力

(1) ~ (3) によって求めた胴の応力は添付書類「VI-2-1-13-3 平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」の「5.3.1.1 胴の計算方法」に基づき評価する。

5.5.2 基礎ボルトの計算方法

添付書類「VI-2-1-13-3 平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」の「5.3.1.2 基礎ボルトの計算方法」に基づき評価する。

5.5.3 液面振動の計算方法

計算方法は、U.S. Atomic Energy Commission TID-7024 “Nuclear Reactors and Earthquakes”による。ここで液面振動は一次自由振動のみを考慮する。

$$\text{胴の内半径： } R = \frac{D_i}{2}$$

液面の固有円振動数 ω は、

$$\omega = \sqrt{\frac{1.84 \cdot g \cdot 10^3}{R} \cdot \tanh\left(1.84 \cdot \frac{H}{R}\right)}$$

液面の固有周期 T は、

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega}$$

液面の固有周期 T に対する加速度応答スペクトル値 S_A から液面の水平方向の移動量 A_1 は以下となる。

$$A_1 = \frac{S_A \cdot 10^3}{\omega^2}$$

ここで、液面中心での水平面となす角度 θ_h は以下となり、

$$\theta_h = 1.534 \cdot \frac{A_1}{R} \cdot \tanh\left(1.84 \cdot \frac{H}{R}\right)$$

タンク壁面での液面上昇量 d_{max} は、以下にて計算される。

$$d_{max} = \frac{0.408 \cdot R \cdot \coth\left(1.84 \cdot \frac{H}{R}\right)}{\frac{g \cdot 10^3}{\omega^2 \cdot \theta_h \cdot R} - 1}$$

最大液面高さ H_m は、

$$H_m = H + d_{max}$$

5.6 応力の評価

5.6.1 胴の応力評価

- (1) 5.5.1 項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許容応力 S_a
	基準地震動 S_s による荷重との組合せ
一次一般膜応力	設計引張強さ S_u の 0.6 倍
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の 2 倍以下であれば、疲労解析は不要とする。

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

- (2) 圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。

（座屈の評価）

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

ここで、 f_c は次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \text{ のとき}$$

$$f_c = F \quad \dots\dots\dots (5.6.1.2)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} < \frac{8000 \cdot g}{F} \text{ のとき}$$

$$f_c = F \cdot \left[1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_1 \left(\frac{8000 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.3)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} \leq 800 \text{ のとき}$$

$$f_c = \phi_1 \left(\frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} \right) \dots\dots\dots (5.6.1.4)$$

ただし、 $\phi_1(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_1(x) = 0.6 \cdot \frac{E}{x} \cdot \left[1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x}\right) \right\} \right] \dots\dots\dots (5.6.1.5)$$

また、 f_b は次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = F \quad \dots\dots\dots (5.6.1.6)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} < \frac{9600 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = F \cdot \left[1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_2 \left(\frac{9600 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right] \dots\dots\dots (5.6.1.7)$$

$$\frac{9600 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_b = \phi_2 \left(\frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} \right) \dots\dots\dots (5.6.1.8)$$

ただし、 $\phi_2(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_2(x) = 0.6 \cdot \frac{E}{x} \cdot \left[1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x}\right) \right\} \right] \dots\dots\dots (5.6.1.9)$$

η は安全率で次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1 \quad \dots\dots\dots (5.6.1.10)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1 + \frac{0.5 \cdot F}{6800 \cdot g} \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \quad \dots\dots\dots (5.6.1.11)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1.5 \quad \dots\dots\dots (5.6.1.12)$$

5.6.2 基礎ボルトの応力評価

添付書類「VI-2-1-13-3 平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」の「5.4.2 基礎ボルトの応力評価」に基づき評価する。

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

復水貯蔵タンク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頁以降の表に示す。なお，胴に生じる応力は，板厚ごとに評価した結果，算出応力の許容応力に対する裕度が最小となる板厚を代表して示す。

【復水貯蔵タンクの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対策設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比 重
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
復水貯蔵タンク	常設/防止 (DB 拡張) 常設耐震/防止 常設/緩和	屋外 O.P. 9.50*1	—*2	0.018	—*2	C _v =0.91	静水頭	66	40	1.00

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 時刻歴応答解析による断面力を用いて評価する。

各評価部位の断面力 (水平方向)	j = 1	j = 2	j = 3	j = 4	j = 5	j = 6
Q _j (N)	2.705×10 ⁶	3.506×10 ⁶	5.663×10 ⁶	2.373×10 ⁷	3.847×10 ⁷	4.811×10 ⁷
M _j (N・mm)	5.410×10 ⁹	1.136×10 ¹⁰	2.115×10 ¹⁰	6.703×10 ¹⁰	1.426×10 ¹¹	2.383×10 ¹¹

1.2 機器要目

m _o (kg)	D _i (mm)	E (MPa)	φ _g (mm)	s	n	D _c (mm)	D _{b_o} (mm)	D _{b_i} (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	H (mm)
3426800	20000	192000*1	6234.5	15	90	20320	20640	20000	60 (M60)	2827	10100

	j = 1	j = 2	j = 3	j = 4	j = 5	j = 6
m _{e_j} (kg)	71700	81600	94700	110900	130000	152200
t _j (mm)	10.0	10.0	13.0	16.0	19.0	22.0
H _j (mm)	300	2260	4220	6180	8140	10100

S _y (胴) (MPa)	S _u (胴) (MPa)	S (胴) (MPa)	S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
188*1	479*1	—	725*2	860*2	—	602

注記*1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位:MPa)

		基準地震動 S s		
		t ₆ = 22.0 mm, j = 6		
		周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭による応力		σ _{φ1} = 45	—	—
鉛直方向地震による引張応力		σ _{φ2} = 41	—	—
空質量による圧縮応力		—	σ _{x2} = 1	—
鉛直方向地震による軸方向応力		—	σ _{x3} = 1	—
水平方向地震による圧縮応力		—	σ _{x4} = 34	τ = 70
応力の和	引張側	σ _φ = 86	σ _{xt} = 34	—
	圧縮側	σ _φ = -86	σ _{xc} = 36	—
組合せ応力	引張り	σ _{ot} = 135		
	圧縮	σ _{oc} = 68		

(2) 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位:MPa)

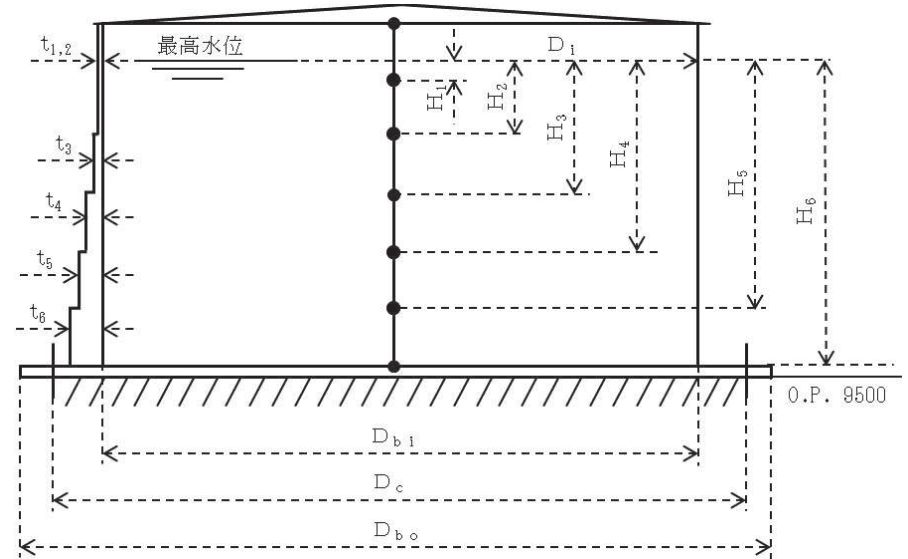
		基準地震動 S s		
		t ₆ = 22.0 mm, j = 6		
		周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による応力		σ _{φ2} = 41	σ _{x3} = 1	—
水平方向地震による圧縮応力		—	σ _{x4} = 34	τ = 70
応力の和	引張側	σ _{2φ} = 41	σ _{2xt} = 35	—
	圧縮側	σ _{2φ} = -41	σ _{2xc} = 35	—
組合せ応力 (変動値)	引張り	σ _{2t} = 216		
	圧縮	σ _{2c} = 153		

(3) 圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)

	t ₆ = 22.0 mm, j = 6
$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b}$	0.50

1.3.2 基礎ボルトに生じる応力 (単位:MPa)

	基準地震動 S s
引張応力	σ _b = 131
せん断応力	τ _b = 190



1.3.3 液面振動の検討

液面の固有円振動数	ω (rad/s)	1.311
液面の固有周期	T (s)	4.793
液面の加速度応答スペクトル値	S_A (m/s^2)	1.838
液体の水平方向移動量	A_1 (mm)	1069
液面中心での水平面となす角	θ_h (rad)	0.156
タンク壁面での液面上昇量	d_{max} (mm)	1466
最大液面高さ	H_m (mm)	11566
胴の高さ	H_h (mm)	11800

最大液面高さ H_m が、タンク胴高さ H_h 以下である。

したがって、液面が振動しても屋根に接しないことから屋根に影響を及ぼさない。

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方 向	固有周期
水平方向	$T_H = -*$
鉛直方向	$T_V = 0.018$

注記*：時刻歴応答解析による断面力を用いて評価する。

1.4.2 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
胴	SUS304	一次一般膜	$\sigma_0 = 135$	$S_a = 287$
		一次十二次	$\sigma_2 = 216$	$S_a = 377$
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$ 0.50 (無次元)	
基礎ボルト	SNB7	引張り	$\sigma_b = 131$	$f_{ts} = 327*$
		せん断	$\tau_b = 190$	$f_{sb} = 347$

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

すべて許容応力以下である。

VI-2-5-6-2-3 管の耐震性についての計算書
(補給水系)

重大事故等対処設備

目次

1. 概要	1
2. 概略系統図	2
3. 計算条件	5
3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	5
4. 解析結果及び評価	7

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、補給水系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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。

(2) 支持構造物



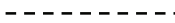
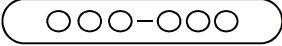

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

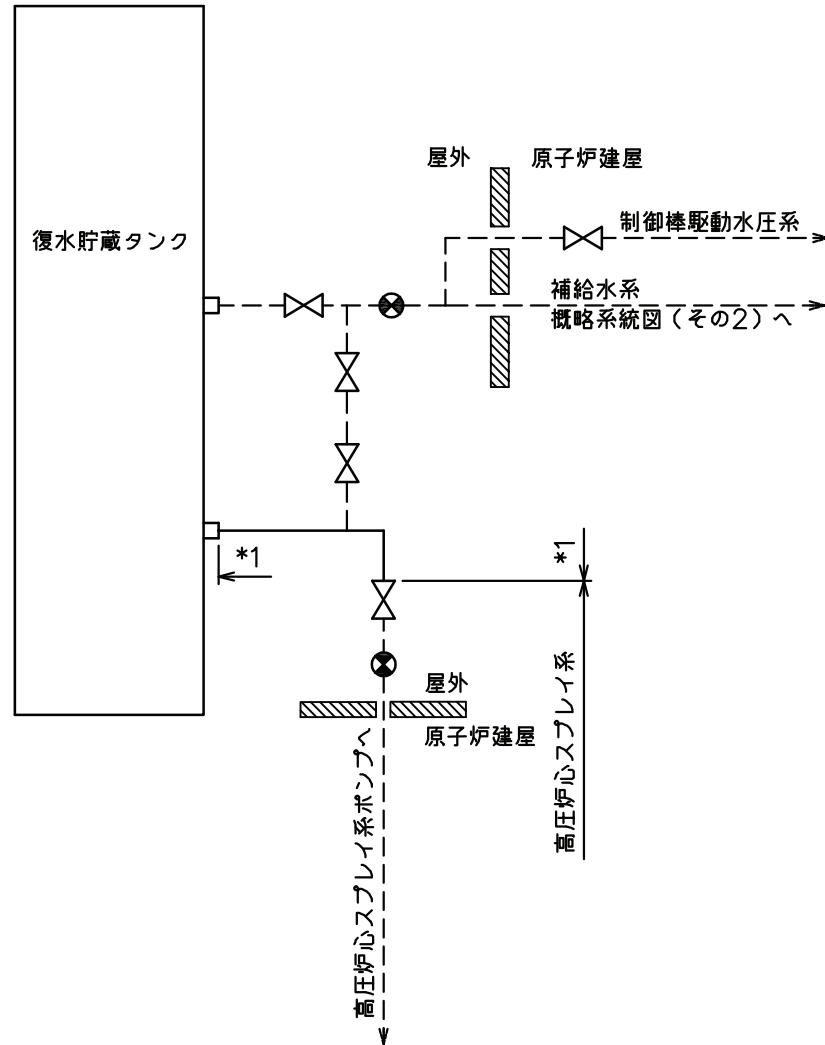
(3) 弁

機能確認済加速度の機能維持評価用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

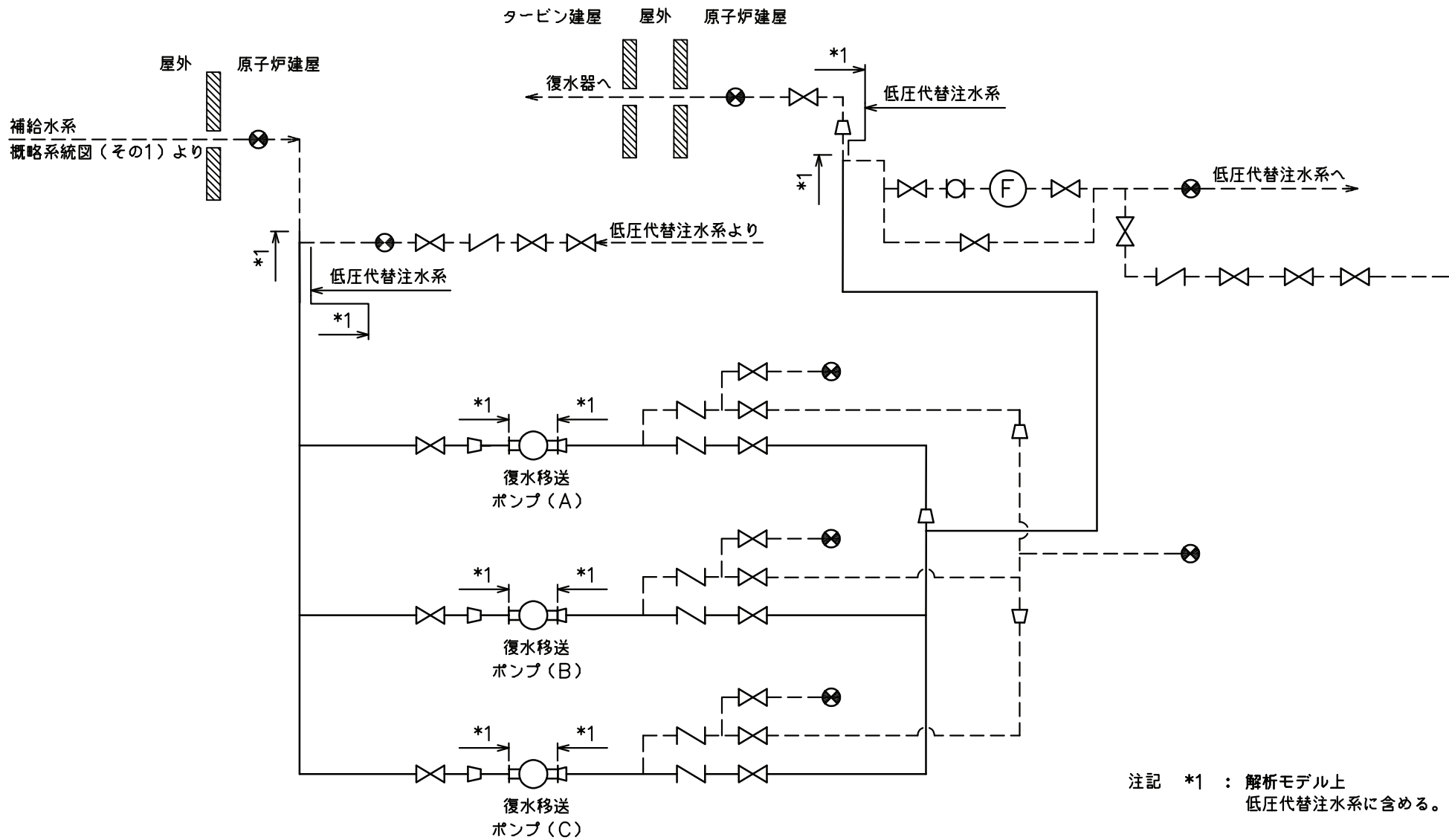
概略系統図記号凡例

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
 (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
	アンカ



注記 *1 : 解析モデル上
高圧炉心スプレィ系に含める。

補給水系概略系統図 (その1)



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	耐震重要度分類	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	高压炉心スプレイ系	SA	常設/防止(DB 拡張)	重大事故等クラス2管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$
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	高压代替注水系	SA	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$
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	原子炉隔離時冷却系	SA	常設/防止(DB 拡張)	重大事故等クラス2管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$
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	低压代替注水系	SA	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$

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	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3, *4	許容応力状態*5
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	原子炉格納容器 下部注水系	SA	常設/緩和	重大事故等 クラス2管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	原子炉格納容器 代替スプレイ冷却系	SA	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 クラス2管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	高压代替注水系	SA	常設/緩和	重大事故等 クラス2管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	低压代替注水系	SA	常設/緩和	重大事故等 クラス2管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$

注記*1：DBは設計基準対象施設，SA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(DB拡張)」は常設重大事故防止設備(設計基準拡張)，「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。

4. 解析結果及び評価

以下の計算書の重大事故等対処設備に含まれる。

「VI-2-5-5-1-3 管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ系）」

「VI-2-5-5-4-2 管の耐震性についての計算書（低圧代替注水系）」

VI-2-5-7 原子炉補機冷却設備の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-5-7-1 原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系の耐震性についての計算書
- VI-2-5-7-2 高圧炉心スプレイ補機冷却水系及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水系の耐震性
についての計算書
- VI-2-5-7-3 原子炉補機代替冷却水系の耐震性についての計算書

VI-2-5-7-1 原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系の耐震性
についての計算書

目 次

- VI-2-5-7-1-1 原子炉補機冷却水系熱交換器の耐震性についての計算書
- VI-2-5-7-1-2 原子炉補機冷却水ポンプの耐震性についての計算書
- VI-2-5-7-1-3 原子炉補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書
- VI-2-5-7-1-4 原子炉補機冷却水サージタンクの耐震性についての計算書
- VI-2-5-7-1-5 原子炉補機冷却海水系ストレーナの耐震性についての計算書
- VI-2-5-7-1-6 管の耐震性についての計算書（原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系）

VI-2-5-7-1-1 原子炉補機冷却水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
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の計算	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
4.2.2 許容応力	4
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	4
4.3 計算条件	4
4.4 疲労解析評価	9
5. 評価結果	11
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	11
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	11

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、原子炉補機冷却水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。

原子炉補機冷却水系熱交換器は、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）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、原子炉補機冷却水系熱交換器は、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横置一胴円筒形容器と類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-2 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

また、「4.4 疲労解析評価」にて示す方法にて疲労解析評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉補機冷却水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
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴を2個の脚で支持し、脚をそれぞれ基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>横置一胴円筒形容器 (前後水室に平板及び鏡板を有する横置一胴円筒形容器)</p>	<p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉補機冷却水系熱交換器の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛であることを確認した。

固有周期の計算結果を表3-1に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平方向			
鉛直方向			

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

原子炉補機冷却水系熱交換器の構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-2 横置一胴円筒形容器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行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

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

原子炉補機冷却水系熱交換器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

原子炉補機冷却水系熱交換器の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表 4-3 及び表 4-4 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉補機冷却水系熱交換器の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉補機冷却水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。

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
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	原子炉補機冷却水系熱交換器	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 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
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	原子炉補機冷却水系熱交換器	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	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 (DB拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）, 「常設／緩和 (DB拡張)」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）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 4-3 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、疲労解析は不要。	
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、疲労解析は不要。	

注記*1：座屈による評価は、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 4-4 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）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
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 4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SM490B (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	70	—	307	461	—
脚	SS400 (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—
基礎ボルト	SS400 (40mm < 径)	周囲環境温度	50	—	211	394	—

∞

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SM490B (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	70	—	307	461	—
脚	SS400 (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—
基礎ボルト	SS400 (40mm < 径)	周囲環境温度	50	—	211	394	—

4.4 疲労解析評価

胴の応力評価において、一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の 2 倍を上回る場合には、設計・建設規格 PVB-3300 に規定された簡易弾塑性評価方法に基づき、疲労解析評価を実施する。

なお、疲労解析評価に用いる基準地震動 S_s の等価繰返し回数 N_c は、設備ごとに個別に設定した とする。

(1) 繰返しピーク応力強さ

繰返しピーク応力強さ S_ℓ は、次式により求める。

$$S_\ell = K_e \cdot S_p / 2 \dots \dots \dots (4.4.1)$$

K_e : 次の計算式により計算した値

a. $S_n < 3 \cdot S_m$ の場合

$$K_e = 1$$

b. $S_n \geq 3 \cdot S_m$ の場合

(a) $K < B_0$ の場合

イ. $S_n / (3 \cdot S_m) < [(q + A_0 / K - 1) - \sqrt{\{(q + A_0 / K - 1)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)\}}] / (2 \cdot A_0)$ の場合

$$K_e = 1 + A_0 \cdot \{S_n / (3 \cdot S_m) - 1 / K\} \dots \dots \dots (4.4.2)$$

ロ. $S_n / (3 \cdot S_m) \geq [(q + A_0 / K - 1) - \sqrt{\{(q + A_0 / K - 1)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)\}}] / (2 \cdot A_0)$ の場合

$$K_e = 1 + (q - 1) \cdot (1 - 3 \cdot S_m / S_n) \dots \dots \dots (4.4.3)$$

(b) $K \geq B_0$ の場合

イ. $S_n / (3 \cdot S_m) < [(q - 1) - \sqrt{\{A_0 \cdot (1 - 1 / K) \cdot (q - 1)\}}] / a$ の場合

$$K_e = a \cdot S_n / (3 \cdot S_m) + A_0 \cdot (1 - 1 / K) + 1 - a \dots \dots \dots (4.4.4)$$

ロ. $S_n / (3 \cdot S_m) \geq [(q - 1) - \sqrt{\{A_0 \cdot (1 - 1 / K) \cdot (q - 1)\}}] / a$ の場合

$$K_e = 1 + (q - 1) \cdot (1 - 3 \cdot S_m / S_n) \dots \dots \dots (4.4.5)$$

ここで,

$$K = S_p / S_n \dots \dots \dots (4.4.6)$$

$$a = A_0 \cdot (1 - 1/K) + (q - 1) - 2 \cdot \sqrt{\{A_0 \cdot (1 - 1/K) \cdot (q - 1)\}}$$

q, A₀, B₀: 下表に掲げる材料の種類に応じ, それぞれの同表に掲げる値

材料の種類	q	A ₀	B ₀
低合金鋼	3.1	1.0	1.25
マルテンサイト系ステンレス鋼	3.1	1.0	1.25
炭素鋼	3.1	0.66	2.59
オーステナイト系ステンレス鋼	3.1	0.7	2.15
高ニッケル合金	3.1	0.7	2.15

S_n: 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の差

$$S_m : 2/3 \cdot S_y$$

K_e: 弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数

S_p: 地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲

S_ℓ: 繰返しピーク応力強さ

(2) 運転温度における繰返しピーク応力強さの補正

縦弾性係数比を考慮し, 繰返しピーク応力強さ S_ℓ を次式により補正する。

$$S_{\ell}' = S_{\ell} \cdot E_0 / E$$

S_ℓ' : 補正繰返しピーク応力強さ

E₀ : 縦弾性係数

E : 運転温度の縦弾性係数

(3) 疲労累積係数

疲労累積係数 U_f が次式を満足することを確認する。

$$U_f = \sum (N_c / N_a) \leq 1.0$$

N_a: 地震時の許容繰返し回数

N_c: 地震時の等価繰返し回数

なお, 許容繰返し回数の算出には, 設計・建設規格「表 添付 4-2-1 炭素鋼、低合金鋼および高張力鋼の設計疲労線図 (図 添付 4-2-1) のデジタル値」より求めた値を用いる。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉補機冷却水系熱交換器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頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉補機冷却水系熱交換器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頁以降の表に示す。

【原子炉補機冷却水系熱交換器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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
原子炉補機冷却水系熱交換器	S	原子炉建屋 O.P. -8.10* (O.P. -6.65)			C _H =0.51	C _v =0.43	C _H =1.06	C _v =0.73	1.18	70	50

注記*：基準床レベルを示す。

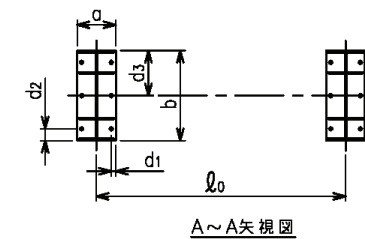
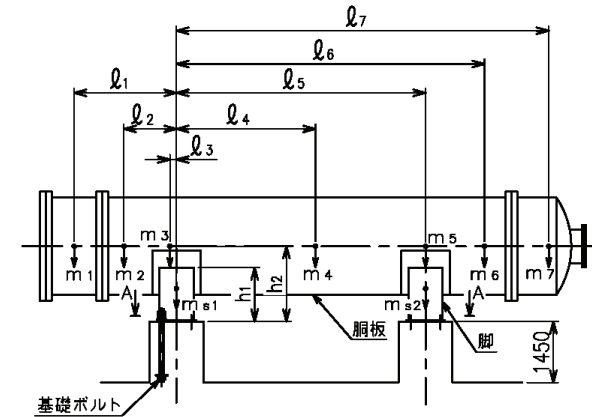
1.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)	M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)
-1957	-801	7	2009	4007	5014	5821	2.374×10 ⁸	1.323×10 ⁸	3.007×10 ⁵	2.028×10 ⁵

m _o (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	ℓ _o (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ _w (rad)	ℓ _w (mm)
			1800	15.0	30.0* ¹	4000	743	1200	0.374	260

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	θ _o (rad)	θ (rad)
810	300	3.115×10 ¹⁰	1.585×10 ⁹	3.846×10 ⁷	5.285×10 ⁶	2.084	1.405



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

A_s (mm ²)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	A_{s3} (mm ²)	A_{s4} (mm ²)
8.650×10^4	201000^{*4}	77300^{*4}	4.713×10^4	3.373×10^4	3.528×10^4	2.843×10^4

K_{11}^{*2}	K_{12}^{*2}	K_{21}^{*2}	K_{22}^{*2}	$K_{\ell 1}$	$K_{\ell 2}$	K_{c1}	K_{c2}	$C_{\ell 1}$	$C_{\ell 2}$	C_{c1}	C_{c2}

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)	d_3 (mm)
15	6	3	2	670	1650	48 (M48)	1.810×10^3	85	160	825

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)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
307^{*3} (厚さ ≤ 16mm)	461^{*3}	—	231^{*4} (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	394^{*4}	231	276	211^{*4} (40mm < 径)	394^{*4}	211	253

注記*1：本計算においては当板を有効とした。

*2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

*3：最高使用温度で算出

*4：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1}=72$	$\sigma_{x 1}=36$	$\sigma_{\phi 1}=72$	$\sigma_{x 1}=36$	$\sigma_{\phi 1}=72$	$\sigma_{x 1}=36$	$\sigma_{\phi 1}=72$	$\sigma_{x 1}=36$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 2}=28$	—	$\sigma_{x 2}=28$	—	$\sigma_{x 2}=28$	—	$\sigma_{x 2}=28$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6}=12$	—	$\sigma_{x 6}=12$	—	$\sigma_{x 6}=21$	—	$\sigma_{x 6}=21$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	$\sigma_{x 4 1 3}=3$	—	—	—	$\sigma_{x 4 1 3}=7$	—	—
組合せ応力	$\sigma_{0\ell}=79$		$\sigma_{0c}=76$		$\sigma_{0\ell}=90$		$\sigma_{0c}=84$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1}=72$	$\sigma_{x 1}=36$	$\sigma_{\phi 1}=72$	$\sigma_{x 1}=36$	$\sigma_{\phi 1}=72$	$\sigma_{x 1}=36$	$\sigma_{\phi 1}=72$	$\sigma_{x 1}=36$	
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 2}=28$	—	$\sigma_{x 2}=28$	—	$\sigma_{x 2}=28$	—	$\sigma_{x 2}=28$	
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6}=12$	—	$\sigma_{x 6}=12$	—	$\sigma_{x 6}=21$	—	$\sigma_{x 6}=21$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 3}=27$	$\sigma_{x 3}=27$	$\sigma_{\phi 3}=27$	$\sigma_{x 3}=27$	$\sigma_{\phi 3}=27$	$\sigma_{x 3}=27$	$\sigma_{\phi 3}=27$	$\sigma_{x 3}=27$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 7 1}=12$	$\sigma_{x 7 1}=12$	$\sigma_{\phi 7 1}=12$	$\sigma_{x 7 1}=12$	$\sigma_{\phi 7 1}=20$	$\sigma_{x 7 1}=20$	$\sigma_{\phi 7 1}=20$	$\sigma_{x 7 1}=20$	
水平方向地震 による応力	引張り	$\sigma_{\phi 4 1 1}=11$	$\sigma_{x 4 1 1}=4$	$\sigma_{\phi 5 1}=15$	$\sigma_{x 5 1}=41$	$\sigma_{\phi 4 1 1}=23$	$\sigma_{x 4 1 1}=9$	$\sigma_{\phi 5 1}=31$	$\sigma_{x 5 1}=84$
		$\sigma_{\phi 4 1 2}=5$	$\sigma_{x 4 1 2}=5$			$\sigma_{\phi 4 1 2}=10$	$\sigma_{x 4 1 2}=10$		
	せん断	$\tau_{\theta}=15$		$\tau_{c}=4$		$\tau_{\theta}=30$		$\tau_{c}=7$	
組合せ応力	$\sigma_{1\theta}=139$		$\sigma_{1c}=154$		$\sigma_{1\theta}=182$		$\sigma_{1c}=214$		

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6}=12$	—	$\sigma_{x 6}=12$	—	$\sigma_{x 6}=21$	—	$\sigma_{x 6}=21$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 7 1}=12$ $\sigma_{\phi 7 2}=47$	$\sigma_{x 7 1}=12$ $\sigma_{x 7 2}=27$	$\sigma_{\phi 7 1}=12$ $\sigma_{\phi 7 2}=47$	$\sigma_{x 7 1}=12$ $\sigma_{x 7 2}=27$	$\sigma_{\phi 7 1}=20$ $\sigma_{\phi 7 2}=80$	$\sigma_{x 7 1}=20$ $\sigma_{x 7 2}=46$	$\sigma_{\phi 7 1}=20$ $\sigma_{\phi 7 2}=80$	$\sigma_{x 7 1}=20$ $\sigma_{x 7 2}=46$	
水平方向地震 による応力	引張り	$\sigma_{\phi 4 1}=16$	$\sigma_{x 4 1}=12$	$\sigma_{\phi 5 1}=15$	$\sigma_{x 5 1}=41$	$\sigma_{\phi 4 1}=33$	$\sigma_{x 4 1}=25$	$\sigma_{\phi 5 1}=31$	$\sigma_{x 5 1}=84$
		$\sigma_{\phi 4 2 1}=13$	$\sigma_{x 4 2 1}=26$	$\sigma_{\phi 5 2}=129$	$\sigma_{x 5 2}=56$	$\sigma_{\phi 4 2 1}=27$	$\sigma_{x 4 2 1}=54$	$\sigma_{\phi 5 2}=267$	$\sigma_{x 5 2}=117$
		$\sigma_{\phi 4 2 2}=20$	$\sigma_{x 4 2 2}=12$			$\sigma_{\phi 4 2 2}=41$	$\sigma_{x 4 2 2}=23$		
	せん断	$\tau_{\theta}=15$	$\tau_c=4$	$\tau_{\theta}=30$	$\tau_c=7$				
組合せ応力	$\sigma_{2\theta}=234$	$\sigma_{2c}=402$	$\sigma_{2\theta}=445$	$\sigma_{2c}=791$					

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮 $\sigma_{s 1}=4$	$\sigma_{s 1}=4$	$\sigma_{s 1}=4$	$\sigma_{s 1}=4$
鉛直方向地震による応力	圧縮 $\sigma_{s 4}=2$	$\sigma_{s 4}=2$	$\sigma_{s 4}=3$	$\sigma_{s 4}=3$
水平方向地震による応力	曲げ $\sigma_{s 2}=19$	$\sigma_{s 3}=5$	$\sigma_{s 2}=40$	$\sigma_{s 3}=11$
	せん断 $\tau_{s 2}=8$	$\tau_{s 3}=6$	$\tau_{s 2}=16$	$\tau_{s 3}=12$
組合せ応力	$\sigma_{s\theta}=28$	$\sigma_{s\theta}=14$	$\sigma_{s\theta}=53$	$\sigma_{s c}=26$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張り $\sigma_{b 1}=25$	$\sigma_{b 2}=18$	$\sigma_{b 1}=75$	$\sigma_{b 2}=61$
水平方向地震による応力	せん断 $\tau_{b 1}=25$	$\tau_{b 2}=15$	$\tau_{b 1}=51$	$\tau_{b 2}=30$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	
横方向	
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	SM490B	一次一般膜	$\sigma_0=79$	$S_a=277$	$\sigma_0=90$	$S_a=277$
		一次	$\sigma_1=154$	$S_a=415$	$\sigma_1=214$	$S_a=415$
		一次+二次	$\sigma_2=402$	$S_a=615$	$\sigma_2=791^{*2}$	$S_a=615$
脚	SS400	組合せ	$\sigma_s=28$	$f_t=231$	$\sigma_s=53$	$f_t=276$
基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b=25$	$f_{ts}=140^{*1}$	$\sigma_b=75$	$f_{ts}=184^{*1}$
		せん断	$\tau_b=25$	$f_{sb}=122$	$\tau_b=51$	$f_{sb}=146$

注記*1: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

*2: 算出応力が許容応力を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, この結果より耐震性を有することを確認した。

1.4.3 疲労評価

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _σ (MPa)	S _{σ'} [*] (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
胴板								

注記*: E₀=2.07×10⁵ MPa E=2.00×10⁵ MPaとして補正する。

【原子炉補機冷却水系熱交換器の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
原子炉補機冷却水系熱交換器	常設/防止 (DB拡張) 常設/緩和 (DB拡張)	原子炉建屋 O.P. -8.10* (O.P. -6.65)			—	—	C _H =1.06	C _V =0.73	1.18	70	50

注記*：基準床レベルを示す。

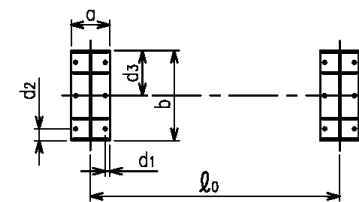
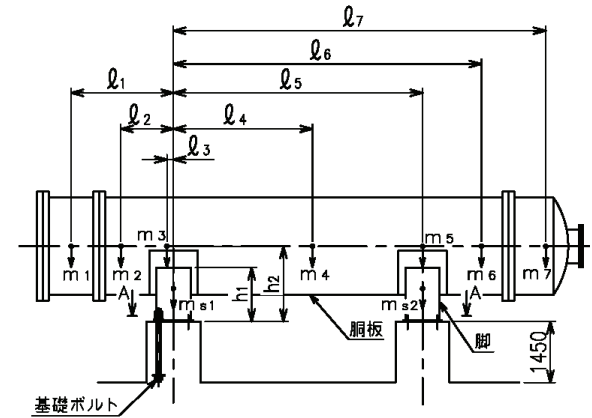
2.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)	M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)
-1957	-801	7	2009	4007	5014	5821	2.374×10 ⁸	1.323×10 ⁸	3.007×10 ⁵	2.028×10 ⁵

m _o (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	ℓ _o (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ _w (rad)	ℓ _w (mm)
			1800	15.0	30.0*1	4000	743	1200	0.374	260

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	θ _o (rad)	θ (rad)
810	300	3.115×10 ¹⁰	1.585×10 ⁹	3.846×10 ⁷	5.285×10 ⁶	2.084	1.405



A~A矢視図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

A_s (mm ²)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	A_{s3} (mm ²)	A_{s4} (mm ²)
8.650×10^4	201000^{*4}	77300^{*4}	4.713×10^4	3.373×10^4	3.528×10^4	2.843×10^4

K_{11}^{*2}	K_{12}^{*2}	K_{21}^{*2}	K_{22}^{*2}	$K_{\ell 1}$	$K_{\ell 2}$	K_{c1}	K_{c2}	$C_{\ell 1}$	$C_{\ell 2}$	C_{c1}	C_{c2}

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)	d_3 (mm)
15	6	3	2	670	1650	48 (M48)	1.810×10^3	85	160	825

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)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
307^{*3} (厚さ ≤ 16mm)	461^{*3}	—	231^{*4} (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	394^{*4}	—	276	211^{*4} (40mm < 径)	394^{*4}	—	253

注記*1：本計算においては当板を有効とした。

*2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

*3：最高使用温度で算出

*4：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=72$	$\sigma_{x 1}=36$	$\sigma_{\phi 1}=72$	$\sigma_{x 1}=36$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=28$	—	$\sigma_{x 2}=28$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=21$	—	$\sigma_{x 6}=21$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 4 1 3}=7$	—	—
組合せ応力	—		—		$\sigma_{0\ell}=90$		$\sigma_{0c}=84$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=72$	$\sigma_{x 1}=36$	$\sigma_{\phi 1}=72$	$\sigma_{x 1}=36$	
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=28$	—	$\sigma_{x 2}=28$	
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=21$	—	$\sigma_{x 6}=21$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3}=27$	$\sigma_{x 3}=27$	$\sigma_{\phi 3}=27$	$\sigma_{x 3}=27$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7 1}=20$	$\sigma_{x 7 1}=20$	$\sigma_{\phi 7 1}=20$	$\sigma_{x 7 1}=20$	
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 1 1}=23$	$\sigma_{x 4 1 1}=9$	$\sigma_{\phi 5 1}=31$	$\sigma_{x 5 1}=84$
		—	—			$\sigma_{\phi 4 1 2}=10$	$\sigma_{x 4 1 2}=10$		
組合せ応力	せん断	—	—	—	—	$\tau_{\theta}=30$		$\tau_{c}=7$	
		—	—			$\sigma_{1\theta}=182$		$\sigma_{1c}=214$	

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=21$	—	$\sigma_{x6}=21$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=20$ $\sigma_{\phi 72}=79$	$\sigma_{x71}=20$ $\sigma_{x72}=46$	$\sigma_{\phi 71}=20$ $\sigma_{\phi 72}=79$	$\sigma_{x71}=20$ $\sigma_{x72}=46$
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41}=32$	$\sigma_{x41}=25$	$\sigma_{\phi 51}=31$	$\sigma_{x51}=84$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 421}=27$ $\sigma_{\phi 422}=41$	$\sigma_{x421}=54$ $\sigma_{x422}=23$	$\sigma_{\phi 52}=267$	$\sigma_{x52}=117$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 42}=68$	$\sigma_{x42}=77$		
	せん断	—	—	—	—	$\tau_{\theta}=30$	$\tau_c=7$		
組合せ応力		—	—	—	—	$\sigma_{2\theta}=445$	$\sigma_{2c}=791$		

2.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{S1}=4$	$\sigma_{S1}=4$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{S4}=3$	$\sigma_{S4}=3$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{S2}=40$	$\sigma_{S3}=11$
	せん断	—	—	$\tau_{S2}=16$	$\tau_{S3}=12$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{S\theta}=53$	$\sigma_{SC}=26$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=75$	$\sigma_{b2}=61$
水平方向地震による応力	せん断	—	—	$\tau_{b1}=51$	$\tau_{b2}=30$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	
横方向	
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	SM490B	一次一般膜	—	—	$\sigma_0 = 90$	$S_a = 277$
		一次	—	—	$\sigma_1 = 214$	$S_a = 415$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 791^{*2}$	$S_a = 615$
脚	SS400	組合せ	—	—	$\sigma_s = 53$	$f_t = 276$
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 75$	$f_{ts} = 184^{*1}$
		せん断	—	—	$\tau_b = 51$	$f_{sb} = 146$

注記*1: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

*2: 算出応力が許容応力を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300に基づいて疲労評価を行い、この結果より耐震性を有することを確認した。

2.4.3 疲労評価

評価部位	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_θ (MPa)	$S_\theta' ^*$ (MPa)	N_a (回)	N_c (回)	疲労累積係数 N_c / N_a
胴板								

注記*: $E_0 = 2.07 \times 10^5$ MPa $E = 2.00 \times 10^5$ MPa として補正する。

VI-2-5-7-1-2 原子炉補機冷却水ポンプ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評価条件	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 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、添付書類「VI-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、原子炉補機冷却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。

原子炉補機冷却水ポンプは、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）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、原子炉補機冷却水ポンプは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横軸ポンプと類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉補機冷却水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	
<p>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。</p>	<p>うず巻形 (うず巻形横軸ポンプ)</p>	<p>(単位：mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

原子炉補機冷却水ポンプの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 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行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

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

原子炉補機冷却水ポンプ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

原子炉補機冷却水ポンプの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表 3-3 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉補機冷却水ポンプの使用材料の許容応力評価条件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。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉補機冷却水ポンプ(A), (C)の耐震性についての計算結果】及び【原子炉補機冷却水ポンプ(B), (D)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。

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
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	原子炉補機冷却水 ポンプ	S	Non*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _{AS}
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _{AS}

注記*：クラス 3 ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。また，クラス 3 ポンプの支持構造物を含む。

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
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	原子炉補機冷却水 ポンプ	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _{AS} (V _{AS} として Ⅳ _{AS} の許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止 (DB拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)、「常設／緩和 (DB拡張)」は常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張) を示す。

*2：重大事故等クラス2ポンプ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 3-3 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）

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 _{AS}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _{AS}	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _{AS} (Ⅴ _{AS} としてⅣ _{AS} の許容限界を用いる。)		

57

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 3-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	50			—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	70			—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	50			—

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件（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 (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	50			—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	70			—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	50			—

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

原子炉補機冷却水ポンプの動的機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

原子炉補機冷却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であるため、添付書類「VI-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。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度	
ポンプ	横形単段遠心式ポンプ	水平方向	軸直角方向	3.2
			軸方向	1.4
		鉛直方向	1.0	
原動機	横形ころがり軸受電動機	水平方向	4.7	
		鉛直方向	1.0	

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉補機冷却水ポンプ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及び動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頁以降の表に示す。なお、弾性設計用地震動 S_d による動的震度及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉補機冷却水ポンプ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動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頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉補機冷却水ポンプ(A), (C)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		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
原子炉補機冷却水ポンプ (A), (C)	S	原子炉建屋 O.P. -8.10*1	—*2	—*2	—*3	—*3	C _H =0.99	C _V =0.69		70	50

注記 *1 : 基準レベルを示す。

*2 : 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3 : III,S については、基準地震動 S_s で評価する。

1.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	φ _{1i} *1 (mm)	φ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							12	6
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2

部 材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (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	
基礎ボルト (i=1)					—	軸	—
ポンプ取付ボルト (i=2)					—	軸直角	1.496 × 10 ⁶
原動機取付ボルト (i=3)					—	軸直角	1.496 × 10 ⁶

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1 : 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2 : 最高使用温度で算出

*3 : 周囲環境温度で算出

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	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 (i=1)				
ポンプ取付ボルト (i=2)				
原動機取付ボルト (i=3)				

*：Ⅲ_ASについては、基準地震動S_sで評価する。

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 (i=1)		引張り	$\sigma_{b1}=11^{*2}$	$f_{ts1}=173^{*1}$	$\sigma_{b1}=11$	$f_{ts1}=207^{*1}$
		せん断	$\tau_{b1}=7^{*2}$	$f_{sb1}=133$	$\tau_{b1}=7$	$f_{sb1}=159$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=6^{*2}$	$f_{ts2}=153^{*1}$	$\sigma_{b2}=6$	$f_{ts2}=184^{*1}$
		せん断	$\tau_{b2}=4^{*2}$	$f_{sb2}=118$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=141$
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	$\sigma_{b3}=18^{*2}$	$f_{ts3}=158^{*1}$	$\sigma_{b3}=18$	$f_{ts3}=190^{*1}$
		せん断	$\tau_{b3}=14^{*2}$	$f_{sb3}=122$	$\tau_{b3}=14$	$f_{sb3}=146$

すべて許容応力以下である。

注記 *1： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

*2：基準地震動S_sによる算出値

1.4.2 動的機能の評価結果

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.82	3.2(軸直角)
	鉛直方向		1.4(軸)
原動機	水平方向	0.82	4.7
	鉛直方向		1.0

注記 *：基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

【原子炉補機冷却水ポンプ(A), (C)の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
原子炉補機冷却水ポンプ (A), (C)	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	原子炉建屋 O.P. -8.10*1	—*2	—*2	—	—	C _H =0.99	C _V =0.69		70	50

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。

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							12	6
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (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	
基礎ボルト (i=1)					—	軸	—
ポンプ取付ボルト (i=2)					—	軸直角	1.496 × 10 ⁶
原動機取付ボルト (i=3)					—	軸直角	1.496 × 10 ⁶

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1: 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2: 最高使用温度で算出

*3: 周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	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 (i=1)				
ポンプ取付ボルト (i=2)				
原動機取付ボルト (i=3)				

2.4 結論

2.4.1 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 (i=1)		引張り	—	—	σ _{b1} =11	f _{ts1} =207*
		せん断	—	—	τ _{b1} =7	f _{sb1} =159
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	σ _{b2} =6	f _{ts2} =184*
		せん断	—	—	τ _{b2} =4	f _{sb2} =141
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	—	—	σ _{b3} =18	f _{ts3} =190*
		せん断	—	—	τ _{b3} =14	f _{sb3} =146

すべて許容応力以下である。

注記 * : f_{tsi} = Min[1.4 · f_{toi} - 1.6 · τ_{bi}, f_{toi}]より算出

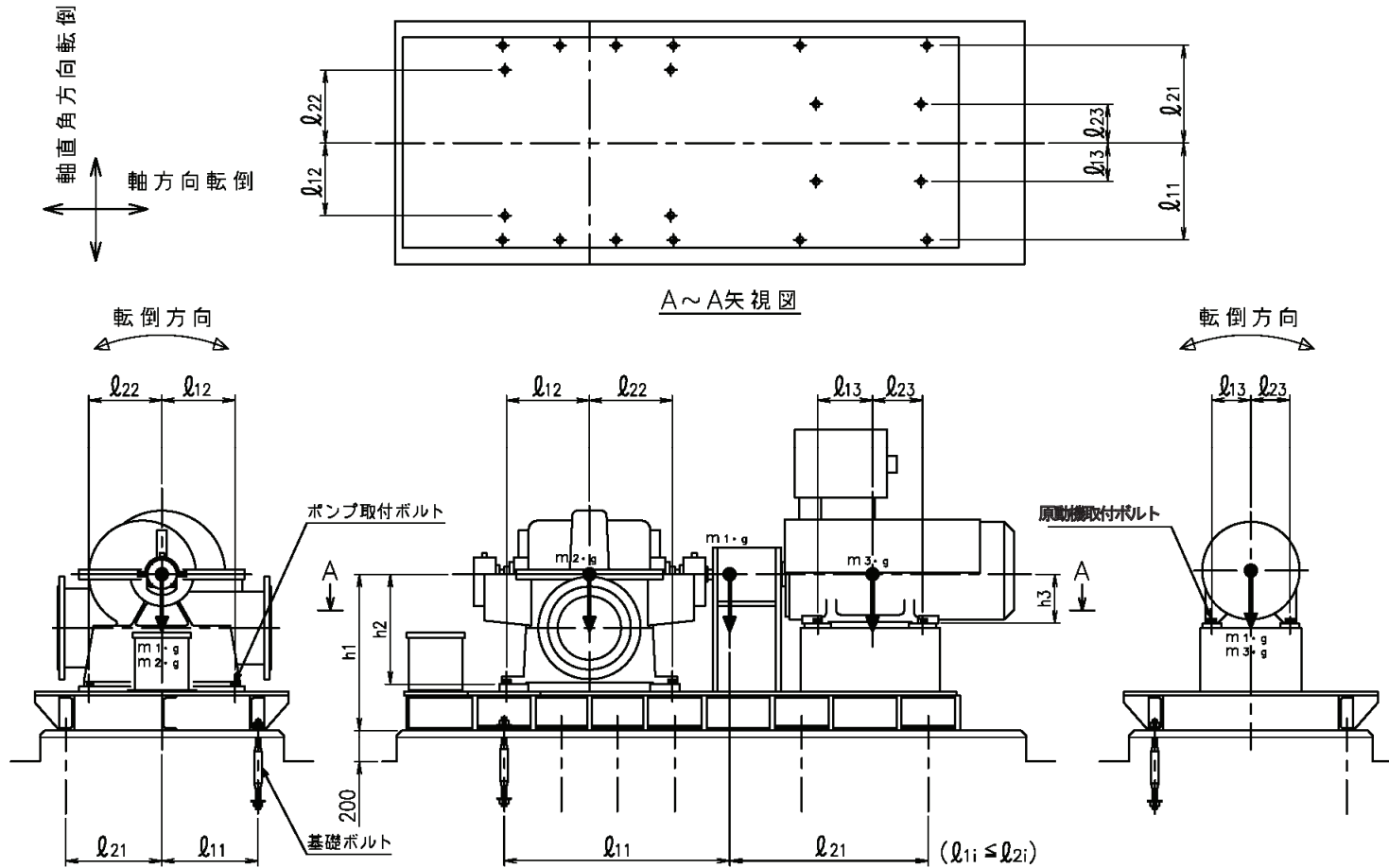
2.4.2 動的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.82	3.2(軸直角)
	鉛直方向		1.4(軸)
原動機	水平方向	0.82	4.7
	鉛直方向		1.0

注記 * : 基準地震動 S_sにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



【原子炉補機冷却水ポンプ(B), (D)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		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
原子炉補機冷却水ポンプ (B), (D)	S	原子炉建屋 O.P. -8.10*1	—*2	—*2	—*3	—*3	C _H = 0.99	C _V = 0.69		70	50

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: III_AS については、基準地震動 S_s で評価する。

1.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							12	6
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2

部 材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (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	
基礎ボルト (i=1)					—	軸直角	—
ポンプ取付ボルト (i=2)					—	軸直角	1.496 × 10 ⁶
原動機取付ボルト (i=3)					—	軸直角	1.496 × 10 ⁶

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1: 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2: 最高使用温度で算出

*3: 周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	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 (i=1)				
ポンプ取付ボルト (i=2)				
原動機取付ボルト (i=3)				

*：Ⅲ_sについては、基準地震動S_sで評価する。

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 (i=1)	□	引張り	$\sigma_{b1}=11^{*2}$	$f_{ts1}=173^{*1}$	$\sigma_{b1}=11$	$f_{ts1}=207^{*1}$
		せん断	$\tau_{b1}=7^{*2}$	$f_{sb1}=133$	$\tau_{b1}=7$	$f_{sb1}=159$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=6^{*2}$	$f_{ts2}=153^{*1}$	$\sigma_{b2}=6$	$f_{ts2}=184^{*1}$
		せん断	$\tau_{b2}=4^{*2}$	$f_{sb2}=118$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=141$
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	$\sigma_{b3}=16^{*2}$	$f_{ts3}=158^{*1}$	$\sigma_{b3}=16$	$f_{ts3}=190^{*1}$
		せん断	$\tau_{b3}=11^{*2}$	$f_{sb3}=122$	$\tau_{b3}=11$	$f_{sb3}=146$

すべて許容応力以下である。

注記 *1: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

*2: 基準地震動S_sによる算出値

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

1.4.2 動的機能の評価結果

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.82	3.2(軸直角)
	鉛直方向		1.4(軸)
原動機	水平方向	0.82	4.7
	鉛直方向		1.0

注記 *：基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

【原子炉補機冷却水ポンプ(B), (D)の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
原子炉補機冷却水ポンプ (B), (D)	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	原子炉建屋 O.P. -8.10*1	—*2	—*2	—	—	C _H =0.99	C _V =0.69		70	50

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。

2.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							12	6
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2

部 材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (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	
基礎ボルト (i=1)					—	軸直角	—
ポンプ取付ボルト (i=2)					—	軸直角	1.496 × 10 ⁶
原動機取付ボルト (i=3)					—	軸直角	1.496 × 10 ⁶

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1: 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2: 最高使用温度で算出

*3: 周囲環境温度で算出

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	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 (i=1)				
ポンプ取付ボルト (i=2)				
原動機取付ボルト (i=3)				

2.4 結論

2.4.1 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 (i=1)		引張り	—
	せん断	—	—		$\tau_{b1}=7$	$f_{sb1}=159$
ポンプ取付ボルト (i=2)	引張り	—	—		$\sigma_{b2}=6$	$f_{ts2}=184^*$
	せん断	—	—		$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=141$
原動機取付ボルト (i=3)	引張り	—	—		$\sigma_{b3}=16$	$f_{ts3}=190^*$
	せん断	—	—		$\tau_{b3}=11$	$f_{sb3}=146$

すべて許容応力以下である。

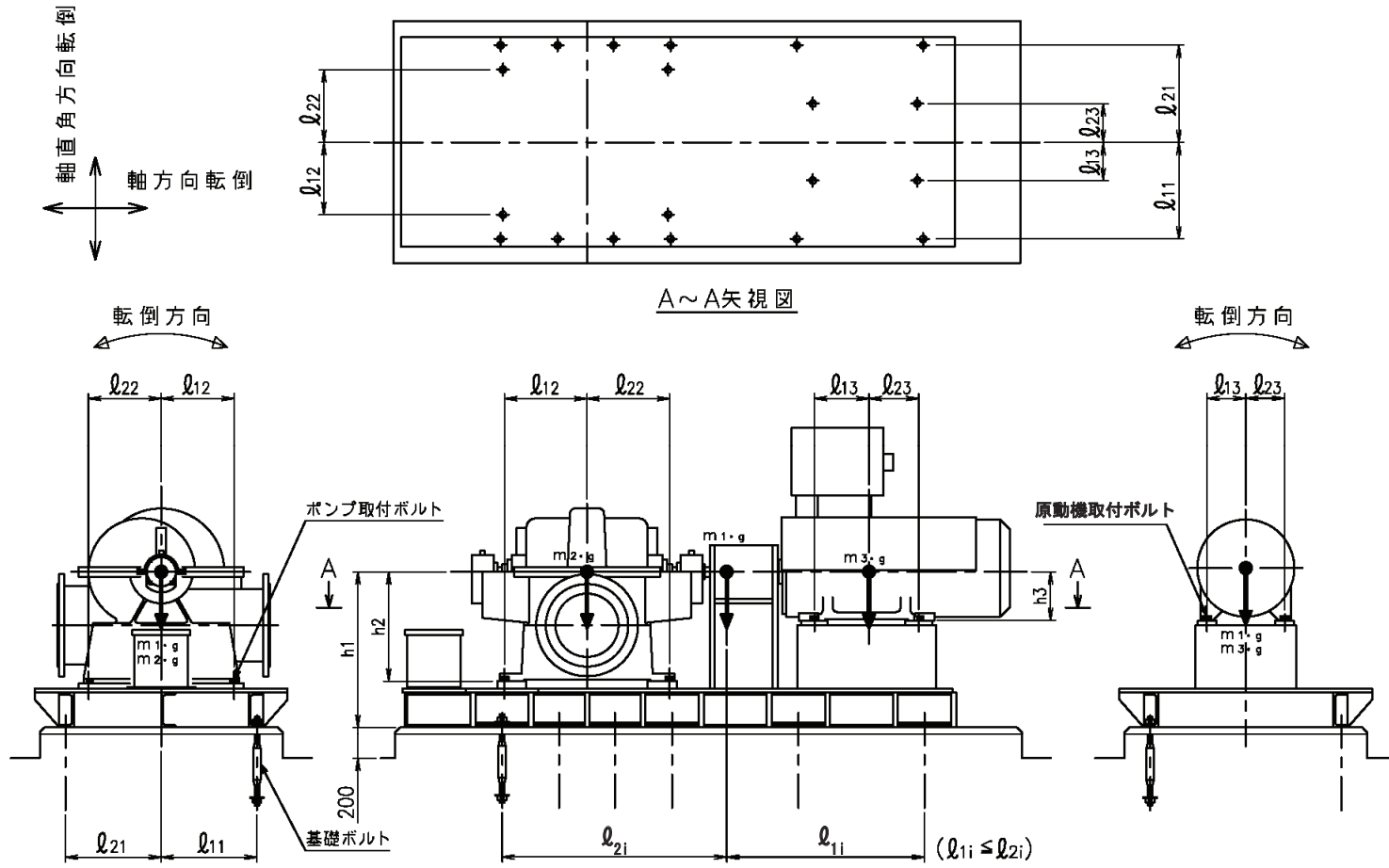
注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

2.4.2 動的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.82	3.2(軸直角)
			1.4(軸)
原動機	鉛直方向	0.57	1.0
	水平方向	0.82	4.7
	鉛直方向	0.57	1.0

注記 * : 基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-5-7-1-3 原子炉補機冷却海水ポンプ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. 固有値解析及び構造強度評価	3
3.1 固有値解析及び構造強度評価方法	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評価条件	3
3.3 解析モデル及び諸元	9
3.4 固有周期	9
3.5 設計用地震力	12
3.6 サポート部の計算方法	14
3.6.1 記号の説明	14
3.6.2 応力の計算方法	14
3.7 計算条件	14
3.8 応力の評価	15
3.8.1 ボルトの応力評価	15
4. 機能維持評価	16
4.1 基本方針	16
4.2 ポンプの動的機能維持評価	17
4.2.1 評価対象部位	17
4.2.2 許容値	17
4.2.3 評価方法	17
4.3 原動機の動的機能維持評価	18
4.3.1 評価対象部位	18
4.3.2 許容値	18
4.3.3 記号の説明	19
4.3.4 評価方法	20
5. 評価結果	24
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	24
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	24

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-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、原子炉補機冷却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。

原子炉補機冷却海水ポンプは、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）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、原子炉補機冷却海水ポンプは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載のたて軸ポンプであるため、添付書類「VI-2-1-13-5 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」に基づき評価を実施する。

また、原子炉補機冷却海水ポンプは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の立形斜流ポンプであり、原子炉補機冷却海水ポンプの原動機は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の立形ころがり軸受電動機である。共に機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、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）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉補機冷却海水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	
<p>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。中間支持台は、中間支持台基礎ボルトで中間基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形たて軸ポンプ (海水ポンプ))</p>	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 固有値解析及び構造強度評価

3.1 固有値解析及び構造強度評価方法

原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-5 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行う。

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

原子炉補機冷却海水ポンプ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

原子炉補機冷却海水ポンプの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 及び表 3-4 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉補機冷却海水ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-6 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
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	原子炉補機冷却海水 ポンプ	S	Non*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス 3 ポンプの荷重組合せ及び許容応力状態を適用する。また，クラス 3 ポンプの支持構造物を含む。

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
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	原子炉補機冷却海水 ポンプ	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ* 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 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張），「常設／緩和 (DB 拡張)」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプ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 3-3 許容応力 (クラス 2, 3 ポンプ及び重大事故等クラス 2 ポンプ)

許容応力状態	許容限界*			
	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 _{AS}	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不要。	
IV _{AS}				
V _{AS} (V _{AS} として IV _{AS} の許容限界を用いる。)	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値	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不要。	

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 3-4 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)

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 _{AS}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _{AS}	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _{AS} (V _{AS} としてⅣ _{AS} 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 3-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		コラムパイプ		最高使用温度	50		
基礎ボルト	周囲環境温度	50					
ポンプ取付ボルト	最高使用温度	50					
原動機取付ボルト	周囲環境温度	50					
中間支持台 基礎ボルト	周囲環境温度	50					

7

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		コラムパイプ		最高使用温度	50		
基礎ボルト	周囲環境温度	50					
ポンプ取付ボルト	最高使用温度	50					
原動機取付ボルト	周囲環境温度	50					
中間支持台 基礎ボルト	周囲環境温度	50					

3.3 解析モデル及び諸元

- (1) 固有値解析に用いる解析モデルは、水平方向の応答を考慮した 1 次元応答解析モデルとする。
- (2) モデル化に際しては、シャフト及びコラムパイプに対して水の付加質量及び排除水体積質量を考慮する。
- (3) 固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【原子炉補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。
- (4) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

3.4 固有周期

固有値解析の結果を表 3-7、振動モード図を図 3-1、図 3-2 及び図 3-3 に示す。固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 3-7 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向 刺激係数*
			NS 方向	EW 方向	
1 次	水平	0.143	-1.046	-1.046	—
2 次	水平	0.080	3.148	3.148	—
3 次	水平	0.067	3.410	3.410	—
4 次	水平	0.042	—	—	—

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

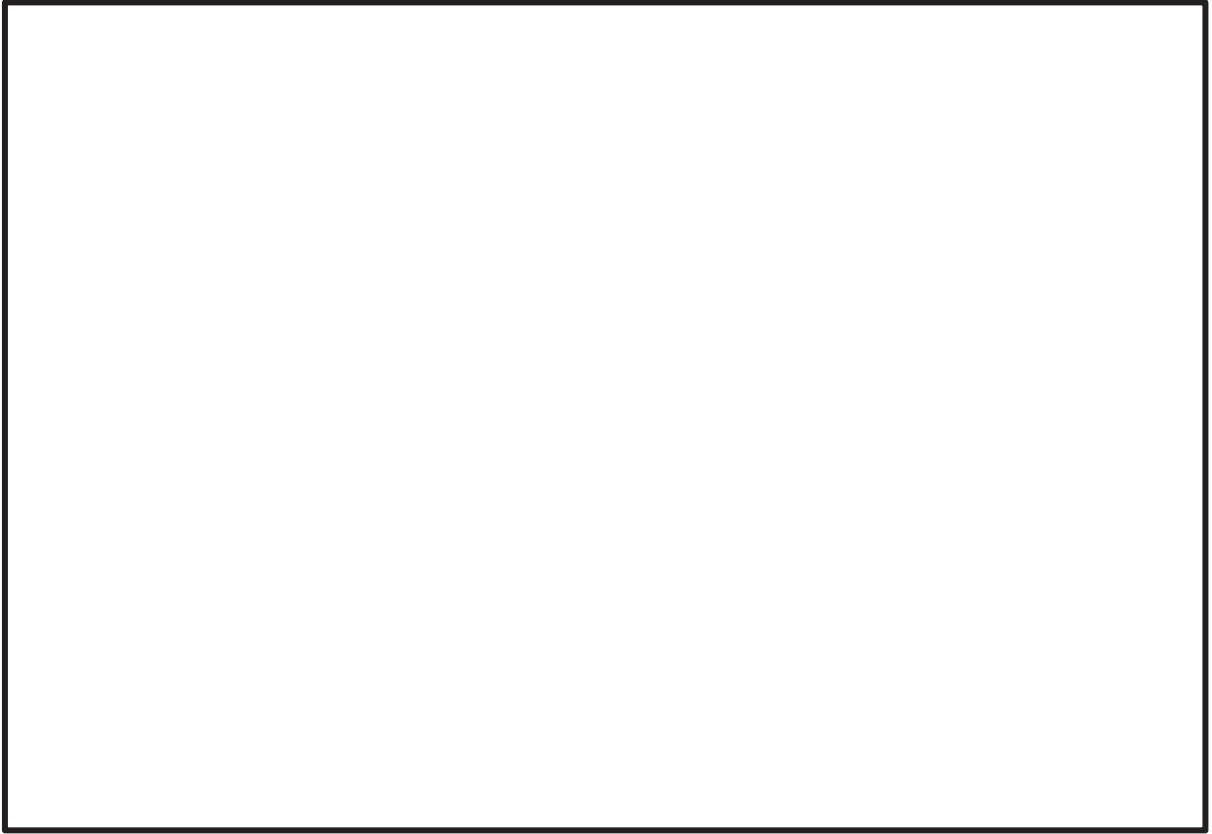


図 3-1 振動モード (1 次モード 水平方向 0.143s)

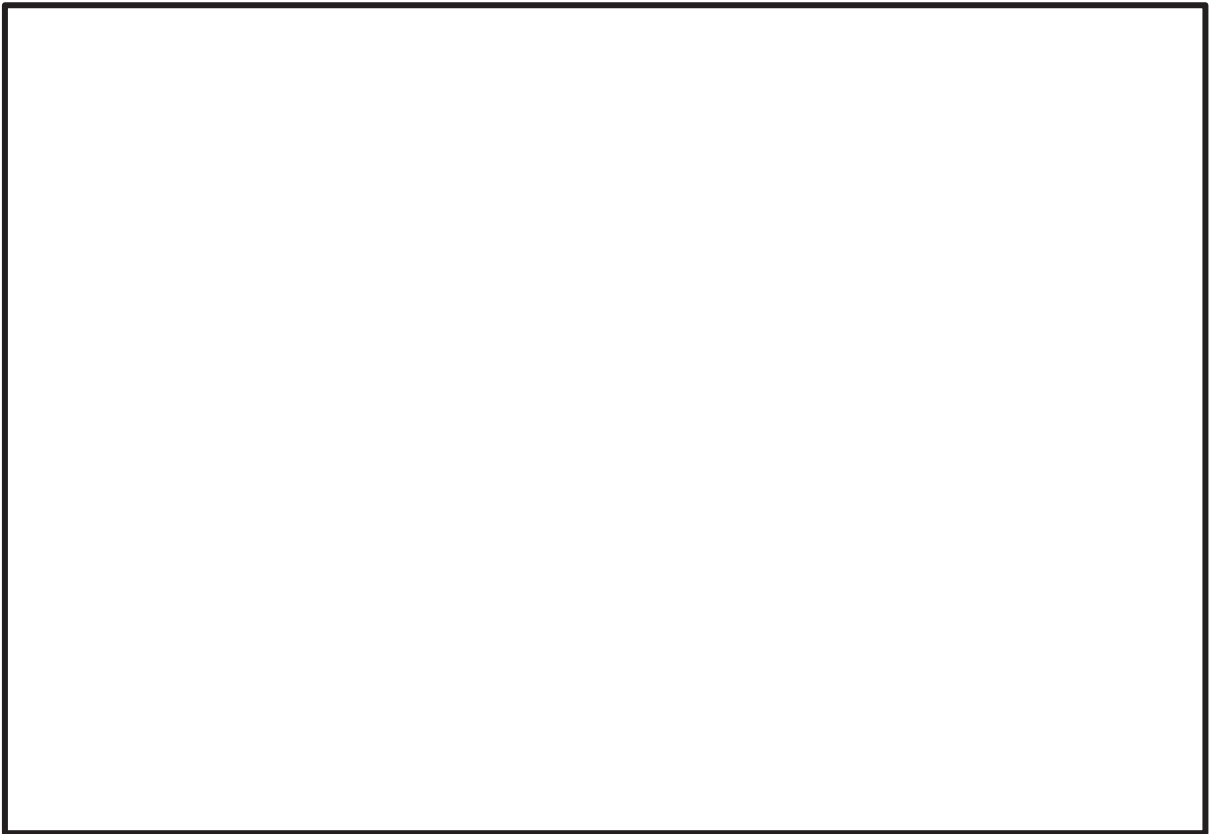


図 3-2 振動モード (2 次モード 水平方向 0.080s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 3-3 振動モード (3 次モード 水平方向 0.067s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.5 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。評価に用いる設計用地震力を表 3-8 及び表 3-9 に示す。

表 3-8 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ(m)		海水ポンプ室（補機ポンプエリア） O.P. 3.0* ¹					
固有周期(s)		水平：0.143* ² 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：－					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度* ³		応答鉛直震度* ³	応答水平震度* ⁴		応答鉛直震度* ⁴
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.143	3.26	3.26	－	6.23	6.23	－
2 次	0.080	4.30	4.30	－	7.90	7.90	－
3 次	0.067	6.04	6.04	－	9.37	9.37	－
4 次	0.042	－	－	－	－	－	－
動的地震力* ⁵		1.05	1.05	1.07	1.83	1.83	1.94
静的地震力* ⁶		0.58	0.58	0.29	－	－	－

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載。

*3：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線（S_d）より得られる震度を示す。

*4：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線（S_s）より得られる震度を示す。

*5：S_s 又は S_d に基づく設計用最大応答加速度（1.2・ZPA）より定めた震度を示す。

*6：静的震度（3.6・C_i 及び 1.2・C_v）を示す。

表 3-9 設計用地震力（重大事故等対処施設）

据付場所及び床面高さ(m)		海水ポンプ室（補機ポンプエリア） 0.P. 3.0* ¹					
固有周期(s)		水平：0.143* ² 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：－					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度* ³		応答鉛直震度* ³
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1次	0.143	－	－	－	6.23	6.23	－
2次	0.080	－	－	－	7.90	7.90	－
3次	0.067	－	－	－	9.37	9.37	－
4次	0.042	－	－	－	－	－	－
動的地震力* ⁴		－	－	－	1.83	1.83	1.94
静的地震力		－	－	－	－	－	－

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載。

*3：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線（S_s）より得られる震度を示す。

*4：S_s又はS_dに基づく設計用最大応答加速度（1.2・ZPA）より定めた震度を示す。

3.6 サポート部の計算方法

3.6.1 記号の説明

原子炉補機冷却海水ポンプのサポート部の応力評価に使用する記号を表 3-10 に示す。

表 3-10 記号の説明

記号	記号の説明	単位
W	中間支持台基礎ボルトに作用する荷重	N
A_{sb}	中間支持台基礎ボルトの軸断面積	mm^2
n_s	中間支持台基礎ボルトの本数	—
τ_{sb}	中間支持台基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

3.6.2 応力の計算方法

多質点はりモデルを用いて応答計算を行い，得られた荷重Wにより，中間支持台基礎ボルトに生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{sb} = \frac{W}{A_{sb} \cdot n_s} \dots\dots\dots (3.6.2.1)$$

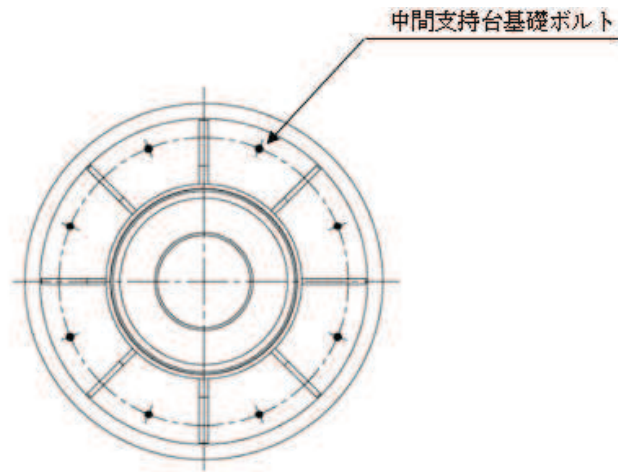


図 3-4 サポート部の応力計算モデル

3.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【原子炉補機冷却海水ポンプ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。

3.8 応力の評価

3.8.1 ボルトの応力評価

3.6.2 項で求めたボルトのせん断応力 $\tau_{s b}$ はせん断力のみを受けるボルトの許容応力 $f_{s s b}$ 以下であること。

ただし、 $f_{s s b}$ 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
許容せん断応力 $f_{s s b}$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4. 機能維持評価

4.1 基本方針

原子炉補機冷却海水ポンプ及び同原動機は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の立形斜流ポンプ及び立形ころがり軸受電動機であり、機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、J E A G 4 6 0 1 に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

詳細評価に用いる機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる設計用最大応答加速度 (1.0ZPA) を設定する。

4.2 ポンプの動的機能維持評価

4.2.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 に記載の立形斜流ポンプの動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 基礎ボルト，ポンプ取付ボルト，原動機取付ボルト
- b. コラムパイプ
- c. ストッパ
- d. 軸受

「a. 基礎ボルト，ポンプ取付ボルト，原動機取付ボルト」「b. コラムパイプ」については、「3. 固有値解析及び構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて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ている。

「c. ストッパ」については、最も荷重が作用する中間支持台基礎ボルトについて、「3.6 サポート部の計算方法」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて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ている。

以上より、本計算書においては、軸受を評価対象部位とする。

4.2.2 許容値

軸受については、メーカー規定の許容値もしくは、「平成 16 年度原子力発電施設耐震信頼性実証に関する報告書 機器耐力その 3 (大型立形ポンプ)」((独)原子力安全基盤機構)のゴム軸受面圧 7.69MPa および樹脂軸受面圧 6.91MPa を許容値として設定する。

4.2.3 評価方法

軸受については、多質点はりモデルによる原子炉補機冷却海水ポンプの応答解析結果を用い、得られた軸受の発生荷重に係数 4.3 を乗じ評価する。

4.3 原動機の動的機能維持評価

4.3.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 の電動機の動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 取付ボルト
- b. 固定子
- c. 軸（回転子）
- d. 端子箱
- e. 軸受
- f. 固定子と回転子のクリアランス
- g. モータフレーム
- h. 軸継手

このうち「a. 取付ボルト」については、「3. 固有値解析及び構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて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ている。

以上より、本計算書においては、固定子、軸（回転子）、端子箱、軸受、固定子と回転子のクリアランス及びモータフレームを評価対象部位とする。なお、軸継手はポンプ軸とモータ軸をリジットに接続するタイプであり、相対変位が発生しないこと、および地震荷重については軸受で負担するため軸継手部には有意な応力が発生しないことから、計算書の評価対象外とする。

4.3.2 許容値

軸（回転子）及びモータフレームの許容値は、クラス 2 ポンプの許容応力状態 III_{AS} に準拠し設定する。固定子の許容値は、クラス 2 支持構造物の許容応力状態 III_{AS} に準拠し設定する。端子箱の許容値は、クラス 2 支持構造物の許容応力状態 IV_{AS} に準拠し設定する。また、軸受については、メーカー規定の軸受の定格荷重を、固定子と回転子間のクリアランスは、変位可能寸法を許容値として設定する。

4.3.3 記号の説明

原子炉補機冷却海水ポンプ用原動機の動的機能維持評価に使用する記号を表4-1に示す。

表4-1 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bt}	端子箱取付ボルトの断面積	mm^2
A_f	モータフレームの断面積	mm^2
A_s	軸の断面積	mm^2
C_P	ポンプ振動による震度	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_{HT}	端子箱部の最大応答加速度による水平方向震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D	固定子の外径	mm
d_s	軸の径	mm
F_k	固定子に生じる組合せ荷重	N
F_{bt}	端子箱取付ボルトに作用する引張力	N
$F_{bt, a}$	端子箱取付面に対し左右方向の水平方向地震により作用する引張力	N
$F_{bt, b}$	端子箱取付面に対し前後方向の水平方向地震により作用する引張力	N
F_{kg}	自重及び地震力により固定子に生じる荷重	N
F_{kt}	電動機の回転による荷重	N
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_t	端子箱取付面から端子箱重心までの高さ	mm
L	固定子の溶接長さ	mm
L_{1i}	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離	mm
L_{2i}	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離	mm
L_{3i}	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離	mm
M_f	モータフレームに作用する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_s	軸に作用する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
N	電動機の回転速度	min^{-1}
n_p	固定子の溶接数	—
n_t	端子箱取付ボルトの本数	—
$n_{t1, y}$	引張力がはたらく端子箱取付ボルト本数 (y 方向)	—
$n_{t1, z}$	引張力がはたらく端子箱取付ボルト本数 (z 方向)	—
P	電動機出力	kW
p	固定子の溶接部の開先寸法	mm
Q_{bt}	端子箱取付ボルトに生じるせん断力	N
$Q_{bt, a}$	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
$Q_{bt, b}$	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力	N

記号	記号の説明	単位
s	固定子のすみ肉脚長	mm
T _m	電動機の回転による発生トルク	N・m
T _{ma}	電動機最大トルク	%
T _s	ポンプ運転による発生トルク	N・mm
W _c	固定子コイル及びコア質量	kg
W _f	モータフレーム質量	kg
W _s	軸の質量	kg
W _t	端子箱質量	kg
Z _f	モータフレームの断面係数	mm ³
Z _s	軸の断面係数	mm ³
σ _m	モータフレームに生じる組合せ応力	MPa
σ _s	軸に生じる組合せ応力	MPa
σ _{bt}	端子箱取付ボルトに生じる引張応力	MPa
σ _{fm}	モータフレームに生じる曲げ応力	MPa
σ _{fw}	自重及び鉛直方向地震力によりモータフレームに生じる応力	MPa
σ _{sm}	軸に生じる曲げ応力	MPa
σ _{sw}	自重及び鉛直方向地震力により軸に生じる応力	MPa
τ _k	固定子に生じるせん断応力	MPa
τ _s	ポンプ運転によるねじり応力	MPa
τ _{bt}	端子箱取付ボルトに生じるせん断応力	MPa

4.3.4 評価方法

(1) 固定子

電動機の最大荷重（トルク）は次式で求める。

$$T_m = \frac{974 \cdot P \cdot g}{N} \cdot \frac{T_{ma}}{100} \dots \dots \dots (4.3.4.1)$$

電動機の回転による荷重は次式で求める。

$$F_{kt} = \frac{T_m}{1/2 \cdot D} \dots \dots \dots (4.3.4.2)$$

自重及び鉛直方向地震力により発生する荷重は次式で求める。

$$F_{kg} = W_c \cdot g \cdot (C_v + C_p + 1) \dots \dots \dots (4.3.4.3)$$

せん断応力は次式で求める。

$$F_k = \sqrt{F_{kt}^2 + F_{kg}^2} \dots \dots \dots (4.3.4.4)$$

$$\tau_k = \frac{F_k}{(p+s) \cdot L \cdot n_p} \dots \dots \dots (4.3.4.5)$$

(2) 軸 (回転子)

a. 曲げ応力

多質点はりモデルを用いて応答計算を行い，得られたモーメントにより，曲げ応力は以下のようなになる。

$$\sigma_{sm} = \frac{M_s}{Z_s} \dots \dots \dots (4.3.4.6)$$

b. 自重及び鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{sw} = \frac{(1 + C_v + C_p) \cdot W_s \cdot g}{A_s} \dots \dots \dots (4.3.4.7)$$

c. ねじり応力

$$T_s = \frac{P}{2\pi / 60 \cdot N} \cdot 10^6 \dots \dots \dots (4.3.4.8)$$

$$\tau_s = \frac{16 \cdot T_s}{\pi \cdot d_s^3} \dots \dots \dots (4.3.4.9)$$

d. 組合せ応力

$$\sigma_s = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_{sm} + \sigma_{sw}) + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(\sigma_{sm} + \sigma_{sw})^2 + 4\tau_s^2} \dots \dots \dots (4.3.4.10)$$

(3) 端子箱

a. 取付ボルトに作用する引張力

$$F_{bt, a} = \frac{W_t \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot h_t \cdot g}{n_{t1, z} \cdot L_{2i}} + \frac{W_t \cdot (C_{HT} + C_P) \cdot h_t \cdot g}{n_{t1, y} \cdot L_{3i}} \dots \dots \dots (4.3.4.11)$$

$$F_{bt, b} = \frac{W_t \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot h_t \cdot g + W_t \cdot (C_{HT} + C_P) \cdot L_{1i} \cdot g}{n_{t1, z} \cdot L_{2i}} \dots \dots \dots (4.3.4.12)$$

$$F_{bt} = \text{Max} [F_{bt, a}, F_{bt, b}] \dots \dots \dots (4.3.4.13)$$

b. 取付ボルトの引張応力

$$\sigma_{bt} = \frac{F_{bt}}{A_{bt}} \dots \dots \dots (4.3.4.14)$$

c. 取付ボルトに生じるせん断力

$$Q_{bt, a} = W_t \cdot (C_{HT} + C_P) \cdot g \dots \dots \dots (4.3.4.15)$$

$$Q_{bt, b} = W_t \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot g \dots \dots \dots (4.3.4.16)$$

$$Q_{bt} = \sqrt{Q_{bt, a}^2 + Q_{bt, b}^2} \dots \dots \dots (4.3.4.17)$$

d. 取付ボルト 1 本あたりにはたらくせん断応力

$$\tau_{bt} = \frac{Q_{bt}}{n_t \cdot A_{bt}} \dots \dots \dots (4.3.4.18)$$

(4) 軸受

多質点はりモデルによる原子炉補機冷却海水ポンプの応答解析結果を用い、軸受の発生荷重を評価する。

(5) 固定子と回転子のクリアランス

多質点はりモデルによる原子炉補機冷却海水ポンプの応答解析結果を用い、固定子一軸（回転子）の相対変位が固定子一軸（回転子）間空隙寸法を下回ることを確認する。

(6) モータフレーム

a. 曲げ応力

多質点はりモデルを用いて応答計算を行い、得られたモーメントにより、曲げ応力は以下のようなになる。

$$\sigma_{f m} = \frac{M_f}{Z_f} \dots \dots \dots (4.3.4.19)$$

b. 自重及び鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{f w} = \frac{(1 + C_v + C_p) \cdot W_f \cdot g}{A_f} \dots \dots \dots (4.3.4.20)$$

c. 組合せ応力

$$\sigma_m = \sigma_{f m} + \sigma_{f w} \dots \dots \dots (4.3.4.21)$$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉補機冷却海水ポンプ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及び動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頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉補機冷却海水ポンプ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動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頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算結果】

- 1. 設計基準対象施設
 - 1.1 構造強度評価
 - 1.1.1 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		ポンプ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)
			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				
原子炉補機冷却 海水ポンプ	S	海水ポンプ室 (補機ポンプエリア) O.P.3.0*1	0.143	0.05 以下	C _H =1.05 又は*2	C _V =1.07	C _H =1.83 又は*3	C _V =1.94		50	50	0.78

注記*1：基準床レベルを示す。
 *2：弾性設計用地震動 S_d に基づく設計用床応答曲線より得られる値
 *3：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線より得られる値

25

- 1.1.2 機器要目
 - (1) ボルト

部 材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					12	12	—				
ポンプ取付ボルト (i=2)					20	20	5.348 ×10 ⁶				
原動機取付ボルト (i=3)					8	8	5.348 ×10 ⁶				

- (2) コラムパイプ

部 材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
コラムパイプ					

注記*：最高使用温度で算出

注記*1：最高使用温度で算出
 *2：周囲環境温度で算出

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 中間支持台基礎ボルト

部 材	A_{sb} (mm ²)	n_s	S_y (MPa)	S_u (MPa)	$S_y(RT)$ (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
中間支持台基礎ボルト		8					

注記*1：周囲環境温度で算出

H_p (μm)	N (rpm)

1.1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

(2) コラムパイプに作用する力

(単位: N・mm)

部 材	M _i (N・mm)		F _{bi} (N)		Q _{bi} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d	基準地震動	弾性設計用地震動 S _d	基準地震動	弾性設計用地震動 S _d	基準地震動
	又は静的震度	S _s	又は静的震度	S _s	又は静的震度	S _s
基礎ボルト (i=1)						
ポンプ取付ボルト (i=2)						
原動機取付ボルト (i=3)						

部 材	M	
	弾性設計用地震動 S _d	基準地震動
	又は静的震度	S _s
コラムパイプ		

(3) 中間支持台基礎ボルトに作用する力

(単位: N)

部 材	W	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
	中間支持台基礎ボルト	

1.1.4 結論

1.1.4.1 固有周期

(単位: s)

モード	固有周期
水平 1次	T _{H1} =0.143
鉛直 1次	T _{V1} =0.05 以下

1.1.4.2 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 (i=1)		引張り	$\sigma_{b1}=107$
せん断	$\tau_{b1}=27$	$f_{sb1}=366$	$\tau_{b1}=42$		$f_{sb1}=366$	
ポンプ取付ボルト (i=2)	引張り	$\sigma_{b2}=95$	$f_{ts2}=475^*$		$\sigma_{b2}=158$	$f_{ts2}=475^*$
せん断	$\tau_{b2}=20$	$f_{sb2}=366$	$\tau_{b2}=30$		$f_{sb2}=366$	
原動機取付ボルト (i=3)	引張り	$\sigma_{b3}=244$	$f_{ts3}=475^*$		$\sigma_{b3}=392$	$f_{ts3}=451^*$
せん断	$\tau_{b3}=87$	$f_{sb3}=366$	$\tau_{b3}=134$		$f_{sb3}=366$	

すべて許容応力以下である。 注記*： $f_{tsi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.1.4.3 コラムパイプの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	一次一般膜応力		
			算出応力	許容応力
コラムパイプ		弾性設計用地震動S d 又は静的震度	$\sigma = 137$	$S_a = 199$
		基準地震動S s	$\sigma = 236$	$S_a = 306$

すべて許容応力以下である。

28

1.1.4.4 中間支持台基礎ボルトの応力

(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
中間支持台基礎ボルト		せん断	$\tau_{sb}=29$	$f_{ssb}=118$	$\tau_{sb}=53$	$f_{ssb}=142$

すべて許容応力以下である。

1.2 動的機能維持評価

1.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
				水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
原子炉補機冷却海水 ポンプ	立形斜流ポンプ	1900	海水ポンプ室 (補機ポンプエリア) 0. P. 3. 0*1	0.143	0.05 以下	C _H = 1.53 又は*2	C _V = 1.61		50	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動S_sに基づく設計用床応答曲線より得られる値

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動S _s		ポンプ振動 による震度	端子箱部の最大応答加速度 による水平方向震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
				水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
原子炉補機冷却海水 ポンプ用原動機	立形ころがり軸受 原動機	420	海水ポンプ室 (補機ポンプエリア) 0. P. 3. 0*1	0.143	0.05 以下	C _H = 1.53 又は*2	C _V = 1.61		C _{HT} = 12.82	-	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動S_sに基づく設計用床応答曲線より得られる値

1.2.2 機器要目

(1) 固定子

部 材	N (min ⁻¹)	T _{ma} (%)	D (mm)	L (mm)	p (mm)	s (mm)	W _c (kg)	n _p
固定子	750	260	850	100	10	10	1150	8

(2) 軸 (回転子)

部 材	M _s (N・mm)	Z _s (mm ³)	W _s (kg)	A _s (mm ²)	N (min ⁻¹)	d _s (mm)
軸	1.899× 10 ⁷	1.136× 10 ⁵	1460	8.659× 10 ³	750	105

(3) 端子箱

部 材	W _t (kg)	n _t	n _{t1,y}	n _{t1,z}	A _{bt} (mm ²)	Q _{bt} (N)	L _{1i} (mm)	L _{2i} (mm)	L _{3i} (mm)	h _t (mm)
端子箱	100	10	4	3	113.1	1.286× 10 ⁴	290	290	560	356

(4) モータフレーム

部 材	M _f (N・mm)	Z _f (mm ³)	W _f (kg)	A _f (mm ²)
モータフレーム	9.722× 10 ⁸	6.741× 10 ⁶	5440	2.774× 10 ⁴

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認済加速度との比較

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	11.93	10.0
	鉛直方向	1.61	1.0
原動機	水平方向	17.35	2.5
	鉛直方向	1.61	1.0

注記*：基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあつては軸受部）の応答加速度又は設計用最大応答加速度（1.0・ZPA）のいずれか大きい方を、鉛直方向は設計用最大応答加速度（1.0・ZPA）を設定する。ポンプは、水平、鉛直方向ともに機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。原動機は、水平、鉛直方向ともに機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

1.2.3.2 立形斜流ポンプの動的機能維持評価

1.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト、ポンプ取付ボルト、コラムパイプ及びストッパについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.2.2.1 軸受の評価

(単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
ポンプ軸受 (1 段目)	1.843×10^5	5.536×10^5
ポンプ軸受 (2 段目)	5.780×10^4	2.031×10^5
ポンプ軸受 (3 段目)	4.316×10^4	2.031×10^5
ポンプ軸受 (4 段目)	7.421×10^4	2.031×10^5
ポンプ軸受 (5 段目)	4.401×10^4	2.031×10^5
ポンプ軸受 (6 段目)	3.581×10^4	2.031×10^5

すべて許容値以下である。

1.2.3.3 立形ころがり軸受電動機の動的機能維持評価

1.2.3.3.1 代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.3.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.3.2.1 固定子の評価

(単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
固定子	せん断	3	54

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.2 軸（回転子）の評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
軸（回転子）	177	447

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.3 端子箱の評価 (単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
端子箱	引張り	47	189*
	せん断	12	146

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.2.3.3.2.4 軸受の評価 (単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
上部軸受	1.023×10^5	
下部軸受	8.278×10^4	

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.3.2.5 固定子と回転子のクリアランスの評価 (単位：mm)

評価部位	回転子のたわみ	許容変位量
固定子と回転子のクリアランス	1.31	1.6

すべて許容変位量以下である。

1.2.3.3.2.6 モータフレームの評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
モータフレーム	150	316

すべて許容応力以下である。

1.3 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	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			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
51			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	91		1.018×10 ⁷
2	2-3	91		2.485×10 ⁷
3	3-4	91		1.630×10 ⁷
4	4-5	91		1.630×10 ⁷
5	5-6	91		9.517×10 ⁶
6	6-7	91		1.338×10 ⁷
7	7-8	91		1.630×10 ⁷
8	8-9	91		1.630×10 ⁷
9	9-10	91		9.517×10 ⁶
10	10-11	91		1.630×10 ⁷
11	11-12	91		9.517×10 ⁶
12	12-13	91		9.517×10 ⁶
13	13-14	91		1.338×10 ⁷
14	14-15	91		1.886×10 ⁷
15	15-16	91		1.630×10 ⁷
16	16-17	91		9.198×10 ⁶
17	17-18	94		1.530×10 ⁷
18	18-19	94		4.380×10 ⁷
19	19-20	94		2.870×10 ⁸
20	20-21	94		4.750×10 ⁷
21	21-22	94		1.650×10 ⁷
31	31-32	91		1.169×10 ⁹
32	32-33	91		9.732×10 ⁹
33	33-34	91		2.910×10 ⁹
34	34-35	91		1.134×10 ⁹
35	35-36	91		1.134×10 ⁹
36	36-37	91		1.134×10 ⁹
37	37-38	91		1.134×10 ⁹
38	38-39	91		1.134×10 ⁹
39	39-40	91		1.134×10 ⁹
40	40-41	91		1.134×10 ⁹
41	41-42	91		1.134×10 ⁹
42	42-43	91		1.134×10 ⁹
43	43-44	91		1.134×10 ⁹
44	44-45	91		1.134×10 ⁹
45	45-46	91		5.371×10 ⁹
46	46-47	91		2.184×10 ⁹
51	51-52	93		3.247×10 ¹⁰
52	52-53	93		8.253×10 ⁹
53	53-54	93		8.289×10 ⁹

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
54	54-55	94		1.580×10^9
55	55-56	94		5.810×10^8
56	56-57	94		8.200×10^8
57	57-58	94		8.200×10^8
58	58-59	94		5.810×10^8
59	59-60	94		3.780×10^8

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
2	33	
5	36	
7	38	
9	40	
11	42	
14	45	
18	55	
21	60	
35	-	
46	52	
51	-	
46	52	
51	-	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(4) 節点の質量

節点番号	質量(kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
51	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(続き)

節点番号	質量(kg)
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (-)	材質	部位
91	50			0.3		ポンプ
93	50			0.3		ポンプ
94	50			0.3		原動機

【原子炉補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 構造強度評価

2.1.1 設計条件

機器名称	設備分類	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		ポンプ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)
			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				
原子炉補機冷却 海水ポンプ	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	海水ポンプ室 (補機ポンプエリア) 0. P. 3. 0*1	0.143	0.05 以下	-	-	C _H =1.83 又は*2	C _V =1.94		50	50	0.78

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線より得られる値

2.1.2 機器要目

(1) ボルト

部 材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					12	12	-				
ポンプ取付ボルト (i=2)					20	20	5.348 ×10 ⁶				
原動機取付ボルト (i=3)					8	8	5.348 ×10 ⁶				

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

(2) コラムパイプ

部 材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _C (mm)	t (mm)
コラムパイプ					

注記*：最高使用温度で算出

(3) 中間支持台基礎ボルト

部 材	A_{sb} (mm^2)	n_s	S_y (MPa)	S_u (MPa)	$S_y(\text{RT})$ (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
中間支持台基礎ボルト		8					

注記*1：周囲環境温度で算出

H_p (μm)	N (rpm)

2.1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

(2) コラムパイプに作用する力

(単位：N・mm)

部 材	M_i (N・mm)		F_{bi} (N)		Q_{bi} (N)	
	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 ($i=1$)						
ポンプ取付ボルト ($i=2$)						
原動機取付ボルト ($i=3$)						

部 材	M	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
コラムパイプ		

(3) 中間支持台基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	W	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
中間支持台基礎ボルト		

2.1.4 結論

2.1.4.1 固有周期

(単位：s)

モード	固有周期
水平 1次	$T_{H1}=0.143$
鉛直 1次	$T_{V1}=0.05$ 以下

2.1.4.2 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 (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1}=183$	$f_{ts1}=475^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=42$	$f_{sb1}=366$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=158$	$f_{ts2}=475^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=30$	$f_{sb2}=366$
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	—	—	$\sigma_{b3}=392$	$f_{ts3}=451^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=134$	$f_{sb3}=366$

すべて許容応力以下である。 注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

2.1.4.3 コラムパイプの応力

(単位:MPa)

部 材	材 料	一次一般膜応力		
			算出応力	許容応力
コラムパイプ		弾性設計用地震動S d 又は静的震度	—	—
		基準地震動S s	$\sigma=236$	$S_a=306$

すべて許容応力以下である。

74

2.1.4.4 中間支持台基礎ボルトの応力

(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
中間支持台基礎ボルト		せん断	—	—	$\tau_{sb}=53$	$f_{sbs}=142$

すべて許容応力以下である。

2.2 動的機能維持評価

2.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
				水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
原子炉補機冷却海水 ポンプ	立形斜流ポンプ	1900	海水ポンプ室 (補機ポンプエリア) 0. P. 3. 0*1	0. 143	0. 05 以下	C _H = 1. 53 又は*2	C _V = 1. 61		50	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動S_sに基づく設計用床応答曲線より得られる値

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動S _s		ポンプ振動 による震度	端子箱部の最大応答加速度 による水平方向震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
				水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
原子炉補機冷却海水 ポンプ用原動機	立形ころがり軸受 原動機	420	海水ポンプ室 (補機ポンプエリア) 0. P. 3. 0*1	0. 143	0. 05 以下	C _H = 1. 53 又は*2	C _V = 1. 61		C _{HT} = 12. 82	-	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動S_sに基づく設計用床応答曲線より得られる値

2.2.2 機器要目

(1) 固定子

部 材	N (min ⁻¹)	T _{ma} (%)	D (mm)	L (mm)	p (mm)	s (mm)	W _c (kg)	n _p
固定子	750	260	850	100	10	10	1150	8

(2) 軸 (回転子)

部 材	M _s (N・mm)	Z _s (mm ³)	W _s (kg)	A _s (mm ²)	N (min ⁻¹)	d _s (mm)
軸	1.899× 10 ⁷	1.136× 10 ⁵	1460	8.659× 10 ³	750	105

(3) 端子箱

部 材	W _t (kg)	n _t	n _{t1,y}	n _{t1,z}	A _{bt} (mm ²)	Q _{bt} (N)	L _{1i} (mm)	L _{2i} (mm)	L _{3i} (mm)	h _t (mm)
端子箱	100	10	4	3	113.1	1.286× 10 ⁴	290	290	560	356

(4) モータフレーム

部 材	M _f (N・mm)	Z _f (mm ³)	W _f (kg)	A _f (mm ²)
モータフレーム	9.722× 10 ⁸	6.741× 10 ⁶	5440	2.774× 10 ⁴

2.2.3 結論

2.2.3.1 機能確認済加速度との比較 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	11.93	10.0
	鉛直方向	1.61	1.0
原動機	水平方向	17.35	2.5
	鉛直方向	1.61	1.0

注記*：基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあつては軸受部）の応答加速度又は設計用最大応答加速度（1.0・ZPA）のいずれか大きい方を、鉛直方向は設計用最大応答加速度（1.0・ZPA）を設定する。ポンプは、水平、鉛直方向ともに機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。原動機は、水平、鉛直方向ともに機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

2.2.3.2 立形斜流ポンプの動的機能維持評価

2.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト、ポンプ取付ボルト、コラムパイプ及びブストツパについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

2.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.2.2.1 軸受の評価

(単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
ポンプ軸受 (1 段目)	1.843×10^5	5.536×10^5
ポンプ軸受 (2 段目)	5.780×10^4	2.031×10^5
ポンプ軸受 (3 段目)	4.316×10^4	2.031×10^5
ポンプ軸受 (4 段目)	7.421×10^4	2.031×10^5
ポンプ軸受 (5 段目)	4.401×10^4	2.031×10^5
ポンプ軸受 (6 段目)	3.581×10^4	2.031×10^5

すべて許容値以下である。

2.2.3.3 立形ころがり軸受電動機の動的機能維持評価

2.2.3.3.1 代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

2.2.3.3.2 上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.3.2.1 固定子の評価

(単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
固定子	せん断	3	54

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.2 軸（回転子）の評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
軸（回転子）	177	447

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.3 端子箱の評価 (単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
端子箱	引張り	47	189*
	せん断	12	146

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t0}]$ より算出

2.2.3.3.2.4 軸受の評価 (単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
上部軸受	1.023×10^5	
下部軸受	8.278×10^4	

すべて許容荷重以下である。

2.2.3.3.2.5 固定子と回転子のクリアランスの評価 (単位：mm)

評価部位	回転子のたわみ	許容変位量
固定子と回転子のクリアランス	1.31	1.6

すべて許容変位量以下である。

2.2.3.3.2.6 モータフレームの評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
モータフレーム	150	316

すべて許容応力以下である。

2.3 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	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			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
51			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	91		1.018×10 ⁷
2	2-3	91		2.485×10 ⁷
3	3-4	91		1.630×10 ⁷
4	4-5	91		1.630×10 ⁷
5	5-6	91		9.517×10 ⁶
6	6-7	91		1.338×10 ⁷
7	7-8	91		1.630×10 ⁷
8	8-9	91		1.630×10 ⁷
9	9-10	91		9.517×10 ⁶
10	10-11	91		1.630×10 ⁷
11	11-12	91		9.517×10 ⁶
12	12-13	91		9.517×10 ⁶
13	13-14	91		1.338×10 ⁷
14	14-15	91		1.886×10 ⁷
15	15-16	91		1.630×10 ⁷
16	16-17	91		9.198×10 ⁶
17	17-18	94		1.530×10 ⁷
18	18-19	94		4.380×10 ⁷
19	19-20	94		2.870×10 ⁸
20	20-21	94		4.750×10 ⁷
21	21-22	94		1.650×10 ⁷
31	31-32	91		1.169×10 ⁹
32	32-33	91		9.732×10 ⁹
33	33-34	91		2.910×10 ⁹
34	34-35	91		1.134×10 ⁹
35	35-36	91		1.134×10 ⁹
36	36-37	91		1.134×10 ⁹
37	37-38	91		1.134×10 ⁹
38	38-39	91		1.134×10 ⁹
39	39-40	91		1.134×10 ⁹
40	40-41	91		1.134×10 ⁹
41	41-42	91		1.134×10 ⁹
42	42-43	91		1.134×10 ⁹
43	43-44	91		1.134×10 ⁹
44	44-45	91		1.134×10 ⁹
45	45-46	91		5.371×10 ⁹
46	46-47	91		2.184×10 ⁹
51	51-52	93		3.247×10 ¹⁰
52	52-53	93		8.253×10 ⁹
53	53-54	93		8.289×10 ⁹

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
54	54-55	94		1.580×10^9
55	55-56	94		5.810×10^8
56	56-57	94		8.200×10^8
57	57-58	94		8.200×10^8
58	58-59	94		5.810×10^8
59	59-60	94		3.780×10^8

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
2	33	
5	36	
7	38	
9	40	
11	42	
14	45	
18	55	
21	60	
35	-	
46	52	
51	-	
46	52	
51	-	

(4) 節点の質量

節点番号	質量(kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
51	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

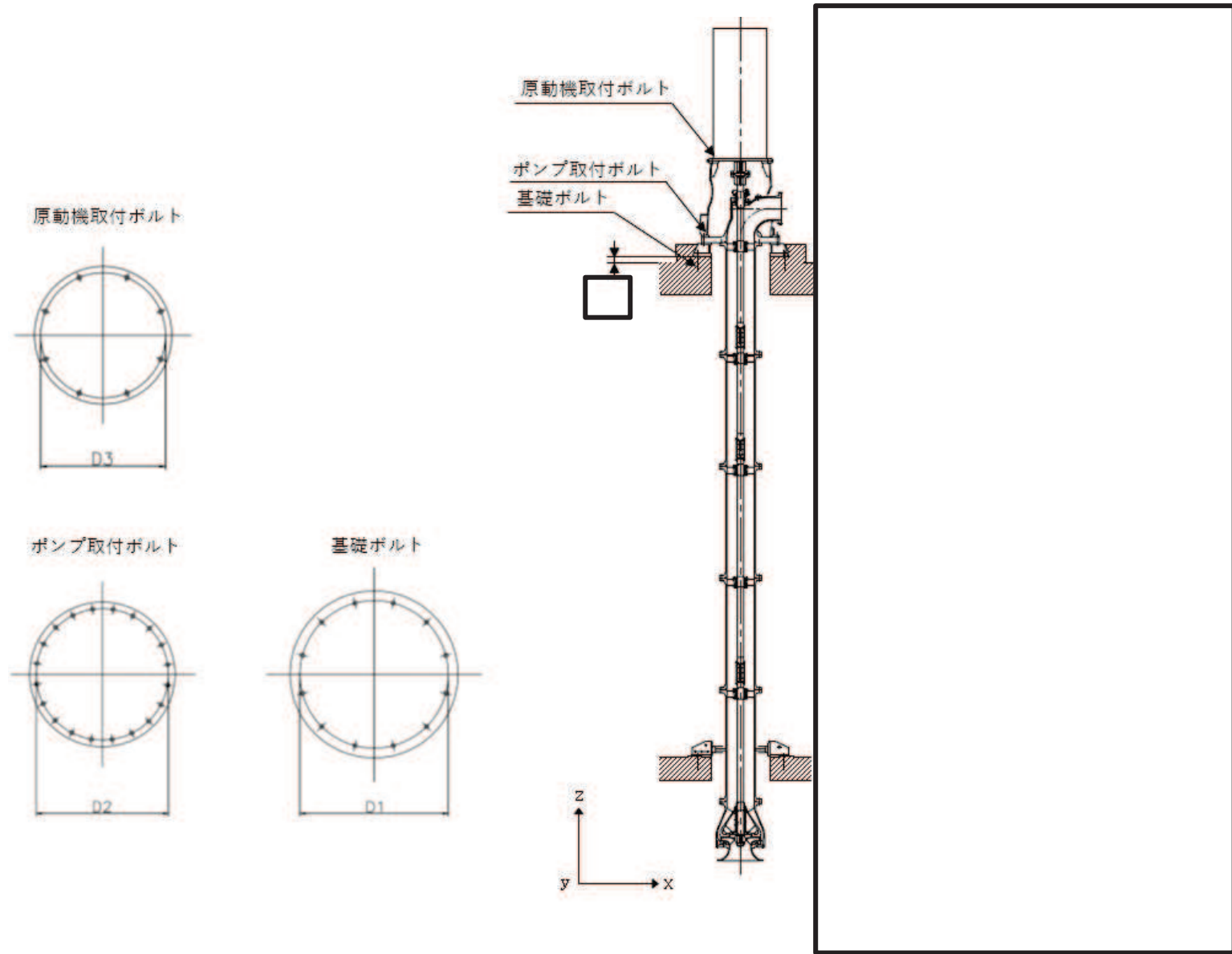
(続き)

節点番号	質量(kg)
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (-)	材質	部位
91	50			0.3		ポンプ
93	50			0.3		ポンプ
94	50			0.3		原動機



注記：ベデスタル系とは、ポンプベース、原動機台及び原動機フレーム（固定子を含む）を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

VI-2-5-7-1-4 原子炉補機冷却水サージタンク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. 固有周期	3
3.1 固有周期の計算	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
4.2.2 許容応力	4
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	4
4.3 計算条件	4
5. 評価結果	9
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	9
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、原子炉補機冷却水サージタンク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。

原子炉補機冷却水サージタンクは、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）、常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）、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、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、原子炉補機冷却水サージタンクは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の平底たて置円筒形容器と類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-3 平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉補機冷却水サージタンクの構造計画を表 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	
<p>胴下端を基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>たて置円筒形 (上面及び下面に平板を有するたて置円筒形容器)</p>	

(単位：mm)

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉補機冷却水サージタンクの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛であることを確認した。

固有周期の計算結果を表3-1に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平方向		
鉛直方向		

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

原子炉補機冷却水サージタンクの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-3 平底たて置円筒形容器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行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

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

原子炉補機冷却水サージタン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 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

原子炉補機冷却水サージタンクの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表 4-3 及び表 4-4 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉補機冷却水サージタンクの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉補機冷却水サージタンク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。

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
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機	原子炉補機 冷却水サージタンク	S	クラス 3 容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _{AS}
	冷却設備				$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _{AS}

注記*：クラス 3 容器の支持構造物を含む。

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
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機冷却設備 原子炉補機冷却水系	原子炉補機 冷却水サージタンク	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 容器* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _{AS} (V _{AS} として Ⅳ _{AS} の許容限界 を用いる。)
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機冷却設備 原子炉補機代替冷却水系	原子炉補機 冷却水サージタンク	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 _{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _{AS} (V _{AS} として Ⅳ _{AS} の許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止(DB拡張)」は常設重大事故防止設備(設計基準拡張)、「常設／緩和(DB拡張)」は常設重大事故緩和設備(設計基準拡張)、「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：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 4-3 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 _{AS}	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、疲労解析は不要。	
IV _{AS}	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値		
V _{AS} (V _{AS} としてIV _{AS} 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、疲労解析は不要。	

注記*1：座屈による評価は、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 4-4 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）

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 _{AS}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
IV _{AS}	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _{AS} (V _{AS} としてIV _{AS} 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 4-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SM400B (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	70	—	233	383	—
基礎ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SM400B (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	70	—	233	383	—
基礎ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	66	—	225	385	—

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉補機冷却水サージタンク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頁以降の表に示す。なお，弾性設計用地震動 S_d による動的震度及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており，基準地震動 S_s による発生値が，弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉補機冷却水サージタンク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頁以降の表に示す。

【原子炉補機冷却水サージタンク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 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			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				
原子炉補機冷却水サージタンク	S	原子炉建屋 OP. 33.20*1 (OP. 33.712)	[Redacted]		—*2	—*2	C _H =2.70	C _V =1.78	静水頭	70	50	1.00

注記*1: 基準床レベルを示す。
*2: III_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。

1.2 機器要目

m ₀ (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	E (MPa)	G (MPa)	φ _g (mm)	H (mm)	s	n
[Redacted]		2500	9.0	200000*1	77000*1	1586	2955	15	16

D _c (mm)	D _{bo} (mm)	D _{bi} (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	M _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
2700	2850	2500	30 (M30)	706.9	—	7.937×10 ⁸

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
233*1 (厚さ ≤ 16mm)	383*1	—	231*2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	394*2	231	276

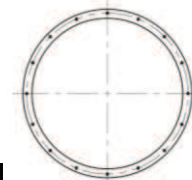
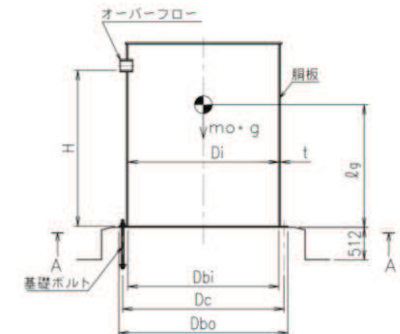
注記*1: 最高使用温度で算出
*2: 周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力
(1) 一次一般膜応力

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭による応力	—*	—*	—	σ _{φ1} =4	σ _{x1} =0	—
鉛直方向地震による引張応力	—*	—	—	σ _{φ2} =8	—	—
空質量による圧縮応力	—	—*	—	—	σ _{x2} =1	—
鉛直方向地震による軸方向応力	—	—*	—	—	σ _{x3} =1	—
水平方向地震による応力	—	—*	—*	—	σ _{x4} =18	τ=15
応力の和	引張側	—*	—	σ _φ =12	σ _{xt} =19	—
	圧縮側	—*	—	σ _φ =-12	σ _{xc} =20	—
組合せ応力	引張り	—*	—	—	σ _{ot} =30	—
	圧縮	—*	—	—	σ _{oc} =25	—

注記*: III_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。



(単位: MPa)

A~A矢視図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による応力	—*	—*	—	$\sigma_{\phi 2}=8$	$\sigma_{x3}=1$	—
水平方向地震による応力	—	—*	—*	—	$\sigma_{x4}=18$	$\tau=15$
応力の和	引張側	—*	—	$\sigma_{2\phi}=8$	$\sigma_{2xt}=19$	—
	圧縮側	—*	—	$\sigma_{2\phi}=-8$	$\sigma_{2xc}=19$	—
組合せ応力 (変動値)	引張り	—*	—*	—	$\sigma_{2t}=57$	—
	圧縮	—*	—*	—	$\sigma_{2c}=51$	—

注記*：Ⅲ_ASについては、基準地震動 S s で評価する。

1.3.2 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
引張応力	—*	$\sigma_b=95$
せん断応力	—*	$\tau_b=45$

注記*：Ⅲ_ASについては、基準地震動 S s で評価する。

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	SM400B	一次一般膜	$\sigma_0=30^{*2}$	$S_a=230$	$\sigma_0=30$	$S_a=230$
		一次+二次	$\sigma_2=57^{*2}$	$S_a=466$	$\sigma_2=57$	$S_a=466$
		圧縮と曲げ の組合せ	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$	
		(座屈の評価)	0.11 ^{*2} (無次元)		0.11 (無次元)	
基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b=95^{*2}$	$f_{ts}=170^{*1}$	$\sigma_b=95$	$f_{ts}=207^{*1}$
		せん断	$\tau_b=45^{*2}$	$f_{sb}=133$	$\tau_b=45$	$f_{sb}=159$

すべて許容応力以下である。

注記*1： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

*2：基準地震動 S s による算出値

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			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				
原子炉補機冷却水サージタンク	常設/防止 (DB拡張) 常設/緩和 (DB拡張) 常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 OP. 33.20* (OP. 33.712)	[Redacted]		—	—	C _H =2.70	C _V =1.78	静水頭	70	66	1.00

注記*：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m ₀ (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	E (MPa)	G (MPa)	l _g (mm)	H (mm)	s	n
[Redacted]	[Redacted]	2500	9.0	200000*1	77000*1	1586	2955	15	16

D _c (mm)	D _{bo} (mm)	D _{bi} (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	M _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
2700	2850	2500	30 (M30)	706.9	—	7.937×10 ⁸

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
233*1 (厚さ ≤ 16mm)	383*1	—	225*2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	385*2	—	270

注記*1：最高使用温度で算出

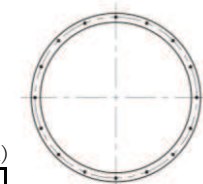
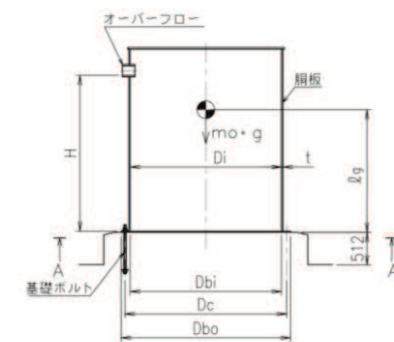
*2：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭による応力	—	—	—	σ _{φ1} =4	σ _{x1} =0	—
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	σ _{φ2} =8	—	—
空質量による圧縮応力	—	—	—	—	σ _{x2} =1	—
鉛直方向地震による軸方向応力	—	—	—	—	σ _{x3} =1	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	σ _{x4} =18	τ=15
応力の和	引張側	—	—	σ _φ =12	σ _{xt} =19	—
	圧縮側	—	—	σ _φ =-12	σ _{xc} =20	—
組合せ応力	引張り	—	—	—	σ _{ot} =30	—
	圧縮	—	—	—	σ _{oc} =25	—



A~A矢視図

(単位：MPa)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
		周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による応力		—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=8$	$\sigma_{x3}=1$	—
水平方向地震による応力		—	—	—	—	$\sigma_{x4}=18$	$\tau=15$
応力の和	引張側	—	—	—	$\sigma_{2\phi}=8$	$\sigma_{2xt}=19$	—
	圧縮側	—	—	—	$\sigma_{2\phi}=-8$	$\sigma_{2xc}=19$	—
組合せ応力 (変動値)	引張り		—			$\sigma_{2t}=57$	
	圧縮		—			$\sigma_{2c}=51$	

2.3.2 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
引張応力	—	$\sigma_b=95$
せん断応力	—	$\tau_b=45$

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	SM400B	一次一般膜	—	—	$\sigma_0=30$	$S_a=230$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2=57$	$S_a=466$
		圧縮と曲げ の組合せ	—		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$	
		(座屈の評価)	—		0.11 (無次元)	
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=95$	$f_{ts}=202^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=45$	$f_{sb}=155$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

VI-2-5-7-1-5 原子炉補機冷却海水系ストレナの
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
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の計算	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
4.2.2 許容応力	4
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	4
4.3 計算条件	4
5. 評価結果	9
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	9
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、原子炉補機冷却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。

原子炉補機冷却海水系ストレーナは、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）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、原子炉補機冷却海水系ストレーナは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横置一胴円筒形容器と類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-2 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉補機冷却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	
<p>胴を 2 個の脚で支持し、脚をそれぞれ基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>横置一胴円筒形容器</p>	<p style="text-align: right;">(単位: mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉補機冷却海水系ストレナの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛であることを確認した。

固有周期の計算結果を表3-1に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平方向	
鉛直方向	

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

原子炉補機冷却海水系ストレーナの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-2 横置一胴円筒形容器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行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

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

原子炉補機冷却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

原子炉補機冷却海水系ストレーナの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表 4-3 及び表 4-4 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉補機冷却海水系ストレーナの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉補機冷却海水系ストレーナ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。

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
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	原子炉補機冷却海水系 ストレーナ	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 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
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	原子炉補機冷却海水系 ストレーナ	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	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 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張），「常設／緩和 (DB 拡張)」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）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 4-3 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 _{AS}	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、疲労解析は不要。	
IV _{AS}	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値		
V _{AS} (V _{AS} としてIV _{AS} 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、疲労解析は不要。	

注記*1：座屈による評価は、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 4-4 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）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張り	せん断
III _{AS}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
IV _{AS}	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _{AS} (V _{AS} としてIV _{AS} 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 4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度	50				
胴板		最高使用温度	50	—			—
脚		周囲環境温度	50	—			—
基礎ボルト		周囲環境温度	50	—			—

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度	50				
胴板		最高使用温度	50	—			—
脚		周囲環境温度	50	—			—
基礎ボルト		周囲環境温度	50	—			—

8

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉補機冷却海水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頁以降の表に示す。なお，弾性設計用地震動 S_d による動的震度及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており，基準地震動 S_s による発生値が，弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉補機冷却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頁以降の表に示す。

【原子炉補機冷却海水系ストレーナ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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
原子炉補機冷却 海水系ストレーナ	S	原子炉建屋 O.P. -8.10*1	0.010	0.001	—*2	—*2	C _H =0.99	C _V =0.69	0.78	50	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：Ⅲ_ASについては、基準地震動S_sで評価する。

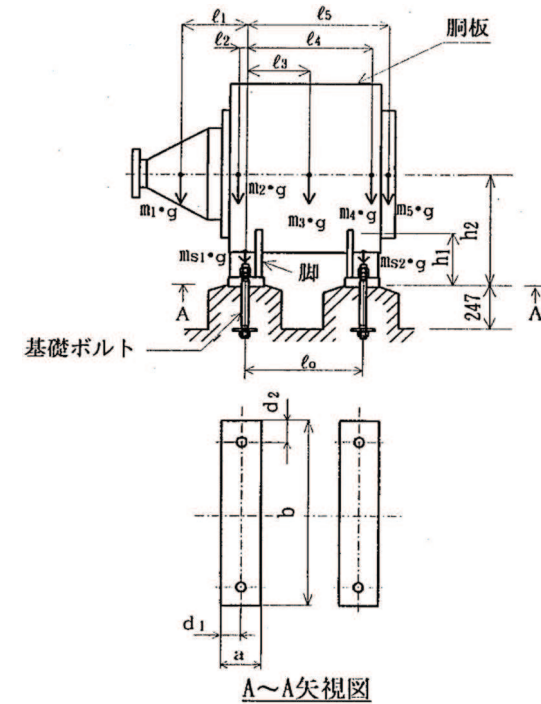
1.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	M ₁ (N·mm)	M ₂ (N·mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)
					5.098×10 ⁵	3.292×10 ⁵	9.921×10 ³	9.319×10 ³

m ₀ (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	ℓ ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ _w (rad)	ℓ _w (mm)
			872	19.0	19.0				—	—

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	θ ₀ (rad)	θ (rad)
242	70	1.174×10 ⁹	2.630×10 ⁷	2.981×10 ⁶	2.330×10 ⁵	2.581	0.991



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

A_s (mm ²)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	A_{s3} (mm ²)	A_{s4} (mm ²)
2.253×10^4	201000	77300	5.881×10^3	1.411×10^4	4.129×10^3	1.120×10^4

K_{11}^{*1}	K_{12}^{*1}	K_{21}^{*1}	K_{22}^{*1}	$K_{\theta 1}$	$K_{\theta 2}$	K_{c1}	K_{c2}	$C_{\theta 1}$	$C_{\theta 2}$	C_{c1}	C_{c2}
0.91	1.68	—	—	1.58	1.17	1.39	1.05	0.79	0.43	1.67	1.19
1.76	1.20	—	—								

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
15	2	2	1	160	1000			60	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)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
		—								

注記*1：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

*2：最高使用温度で算出

*3：周囲環境温度で算出

11

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度				基準地震動S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—*	—*	—*	—*	$\sigma_{\phi 1}=19$	$\sigma_{x1}=10$	$\sigma_{\phi 1}=19$	$\sigma_{x1}=10$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—*	—	—*	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—*	—	—*	—	$\sigma_{x2}=1$	—	$\sigma_{x2}=1$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—*	—	—*	—	$\sigma_{x6}=1$	—	$\sigma_{x6}=1$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	—*	—	—	—	$\sigma_{x413}=1$	—	—
組合せ応力	—*		—*		$\sigma_{0\theta}=19$		$\sigma_{0c}=19$	

注記*：Ⅲ_Sについては、基準地震動S_sで評価する。

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度				基準地震動S _s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
内圧による応力	—*	—*	—*	—*	$\sigma_{\phi 1}=19$	$\sigma_{x1}=10$	$\sigma_{\phi 1}=19$	$\sigma_{x1}=10$	
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—*	—	—*	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—*	—	—*	—	$\sigma_{x2}=1$	—	$\sigma_{x2}=1$	
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—*	—	—*	—	$\sigma_{x6}=1$	—	$\sigma_{x6}=1$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	—*	—*	—*	—*	$\sigma_{\phi 3}=4$	$\sigma_{x3}=3$	$\sigma_{\phi 3}=4$	$\sigma_{x3}=3$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—*	—*	—*	—*	$\sigma_{\phi 71}=3$	$\sigma_{x71}=2$	$\sigma_{\phi 71}=3$	$\sigma_{x71}=2$	
水平方向地震 による応力	引張り	—*	—*	—*	—*	$\sigma_{\phi 411}=10$	$\sigma_{x411}=2$	$\sigma_{\phi 51}=6$	$\sigma_{x51}=9$
		—*	—*			$\sigma_{\phi 412}=8$	$\sigma_{x412}=6$		
		—*	—*			$\sigma_{\phi 41}=17$	$\sigma_{x41}=8$		
	せん断	—*		—*		$\tau_{\theta}=4$		$\tau_{c}=1$	
組合せ応力	—*		—*		$\sigma_{1\theta}=43$		$\sigma_{1c}=30$		

注記*：Ⅲ_Sについては、基準地震動S_sで評価する。

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度				基準地震動S _s			
		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		—*	—	—*	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力		—	—*	—	—*	—	$\sigma_{x6}=1$	—	$\sigma_{x6}=1$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		—*	—*	—*	—*	$\sigma_{\phi 71}=3$	$\sigma_{x71}=2$	$\sigma_{\phi 71}=3$	$\sigma_{x71}=2$
		—*	—*	—*	—*	$\sigma_{\phi 72}=7$	$\sigma_{x72}=5$	$\sigma_{\phi 72}=7$	$\sigma_{x72}=5$
水平方向地震 による応力	引張り	—*	—*	—*	—*	$\sigma_{\phi 41}=17$	$\sigma_{x41}=8$	$\sigma_{\phi 51}=6$	$\sigma_{x51}=9$
		—*	—*	—*	—*	$\sigma_{\phi 421}=8$	$\sigma_{x421}=25$	$\sigma_{\phi 52}=22$	$\sigma_{x52}=14$
		—*	—*	—*	—*	$\sigma_{\phi 422}=18$	$\sigma_{x422}=15$		
	—*	—*	—*	—*	$\sigma_{\phi 42}=26$	$\sigma_{x42}=39$			
	せん断	—*		—*		$\tau_{\theta}=4$		$\tau_c=1$	
組合せ応力		—*		—*		$\sigma_{2\theta}=113$		$\sigma_{2c}=71$	

注記*：III_Sについては、基準地震動S_sで評価する。

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—*	—*	$\sigma_{s1}=1$	$\sigma_{s1}=1$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—*	—*	$\sigma_{s4}=1$	$\sigma_{s4}=1$
水平方向地震による応力	曲げ	—*	—*	$\sigma_{s2}=21$	$\sigma_{s3}=3$
	せん断	—*	—*	$\tau_{s2}=6$	$\tau_{s3}=1$
組合せ応力		—*	—*	$\sigma_{s\theta}=24$	$\sigma_{sc}=4$

注記*：III_Sについては、基準地震動S_sで評価する。

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張り	—*	—*	$\sigma_{b1}=9$	$\sigma_{b2}=7$
水平方向地震による応力	せん断	—*	—*	$\tau_{b1}=11$	$\tau_{b2}=6$

注記*：III_Sについては、基準地震動S_sで評価する。

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	
横方向	
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
銅板		一次一般膜	$\sigma_0=19^{*2}$	$S_a=231$	$\sigma_0=19$	$S_a=236$
		一次	$\sigma_1=43^{*2}$	$S_a=346$	$\sigma_1=43$	$S_a=355$
		一次+二次	$\sigma_2=113^{*2}$	$S_a=462$	$\sigma_2=113$	$S_a=462$
脚		組合せ	$\sigma_s=24^{*2}$	$f_t=231$	$\sigma_s=24$	$f_t=276$
基礎ボルト		引張り	$\sigma_b=9^{*2}$	$f_{ts}=173^{*1}$	$\sigma_b=9$	$f_{ts}=207^{*1}$
		せん断	$\tau_b=11^{*2}$	$f_{sb}=133$	$\tau_b=11$	$f_{sb}=159$

すべて許容応力以下である。

注記*1: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

*2: 基準地震動S sによる算出値

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
原子炉補機冷却 海水系ストレーナ	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	原子炉建屋 O.P. -8.10*	0.010	0.001	—	—	C _H =0.99	C _V =0.69	0.78	50	50

注記*：基準床レベルを示す。

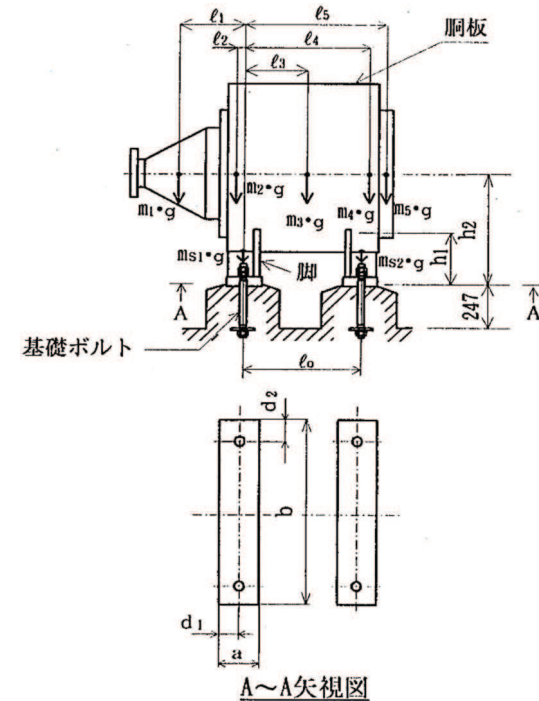
2.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	M ₁ (N·mm)	M ₂ (N·mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)
					5.098×10 ⁵	3.292×10 ⁵	9.921×10 ³	9.319×10 ³

m ₀ (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	ℓ ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ _w (rad)	ℓ _w (mm)
			872	19.0	19.0				—	—

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	θ ₀ (rad)	θ (rad)
242	70	1.174×10 ⁹	2.630×10 ⁷	2.981×10 ⁶	2.330×10 ⁵	2.581	0.991



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

A_s (mm ²)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	A_{s3} (mm ²)	A_{s4} (mm ²)
2.253×10^4	201000	77300	5.881×10^3	1.411×10^4	4.129×10^3	1.120×10^4

K_{11}^{*1}	K_{12}^{*1}	K_{21}^{*1}	K_{22}^{*1}	$K_{\theta 1}$	$K_{\theta 2}$	K_{c1}	K_{c2}	$C_{\theta 1}$	$C_{\theta 2}$	C_{c1}	C_{c2}
0.91	1.68	—	—	1.58	1.17	1.39	1.05	0.79	0.43	1.67	1.19
1.76	1.20	—	—								

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
15	2	2	1	160	1000			60	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)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
		—								

注記*1：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

*2：最高使用温度で算出

*3：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動S d又は静的震度				基準地震動S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=19$	$\sigma_{x1}=10$	$\sigma_{\phi 1}=19$	$\sigma_{x1}=10$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x2}=1$	—	$\sigma_{x2}=1$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=1$	—	$\sigma_{x6}=1$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x413}=1$	—	—
組合せ応力	—		—		$\sigma_{0\theta}=19$		$\sigma_{0c}=19$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動S d又は静的震度				基準地震動S s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=19$	$\sigma_{x1}=10$	$\sigma_{\phi 1}=19$	$\sigma_{x1}=10$	
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x2}=1$	—	$\sigma_{x2}=1$	
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=1$	—	$\sigma_{x6}=1$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3}=4$	$\sigma_{x3}=3$	$\sigma_{\phi 3}=4$	$\sigma_{x3}=3$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=3$	$\sigma_{x71}=2$	$\sigma_{\phi 71}=3$	$\sigma_{x71}=2$	
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 411}=10$	$\sigma_{x411}=2$	$\sigma_{\phi 51}=6$	$\sigma_{x51}=9$
		—	—			$\sigma_{\phi 412}=8$	$\sigma_{x412}=6$		
	せん断	—		—		$\tau_{\theta}=4$		$\tau_c=1$	
組合せ応力	—		—		$\sigma_{1\theta}=43$		$\sigma_{1c}=30$		

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度				基準地震動S _s			
		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=1$	—	$\sigma_{x6}=1$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=3$ $\sigma_{\phi 72}=7$	$\sigma_{x71}=2$ $\sigma_{x72}=5$	$\sigma_{\phi 71}=3$ $\sigma_{\phi 72}=7$	$\sigma_{x71}=2$ $\sigma_{x72}=5$
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41}=17$	$\sigma_{x41}=8$	$\sigma_{\phi 51}=6$	$\sigma_{x51}=9$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 421}=8$ $\sigma_{\phi 422}=18$	$\sigma_{x421}=25$ $\sigma_{x422}=15$	$\sigma_{\phi 52}=22$	$\sigma_{x52}=14$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 42}=26$	$\sigma_{x42}=39$		
	せん断	—	—	—	—	$\tau_{\theta}=4$		$\tau_c=1$	
組合せ応力		—	—	—	—	$\sigma_{2\theta}=113$		$\sigma_{2c}=71$	

2.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
連転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1}=1$	$\sigma_{s1}=1$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4}=1$	$\sigma_{s4}=1$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2}=21$	$\sigma_{s3}=3$
	せん断	—	—	$\tau_{s2}=6$	$\tau_{s3}=1$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{s\theta}=24$	$\sigma_{sc}=4$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=9$	$\sigma_{b2}=7$
水平方向地震による応力	せん断	—	—	$\tau_{b1}=11$	$\tau_{b2}=6$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	
横方向	
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		一次一般膜	—	—	$\sigma_0=19$	$S_a=236$
		一次	—	—	$\sigma_1=43$	$S_a=355$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2=113$	$S_a=462$
脚		組合せ	—	—	$\sigma_s=24$	$f_t=276$
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b=9$	$f_{ts}=207^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=11$	$f_{sb}=159$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

VI-2-5-7-1-6 管の耐震性についての計算書
(原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系)

- (1) 原子炉補機冷却水系
- (2) 原子炉補機冷却海水系

(1) 原子炉補機冷却水系

設計基準対象施設

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	11
3. 計算条件	17
3.1 計算方法	17
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	18
3.3 設計条件	19
3.4 材料及び許容応力評価条件	26
3.5 設計用地震力	27
4. 解析結果及び評価	29
4.1 固有周期及び設計震度	29
4.2 評価結果	41
4.2.1 管の応力評価結果	41
4.2.2 支持構造物評価結果	43
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	44
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	45

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、原子炉補機冷却水系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全 24 モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.4 に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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。



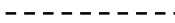


(3) 弁

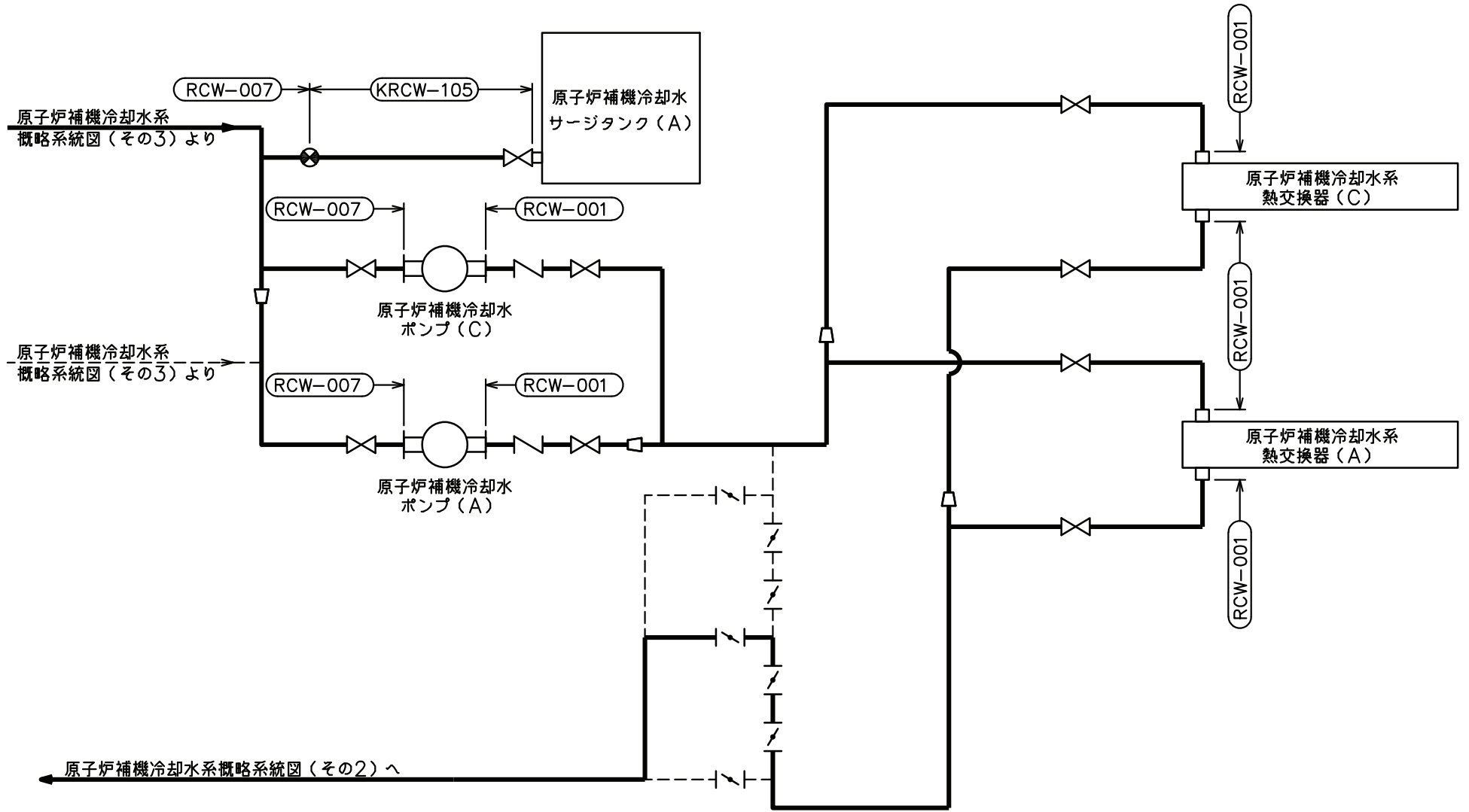
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

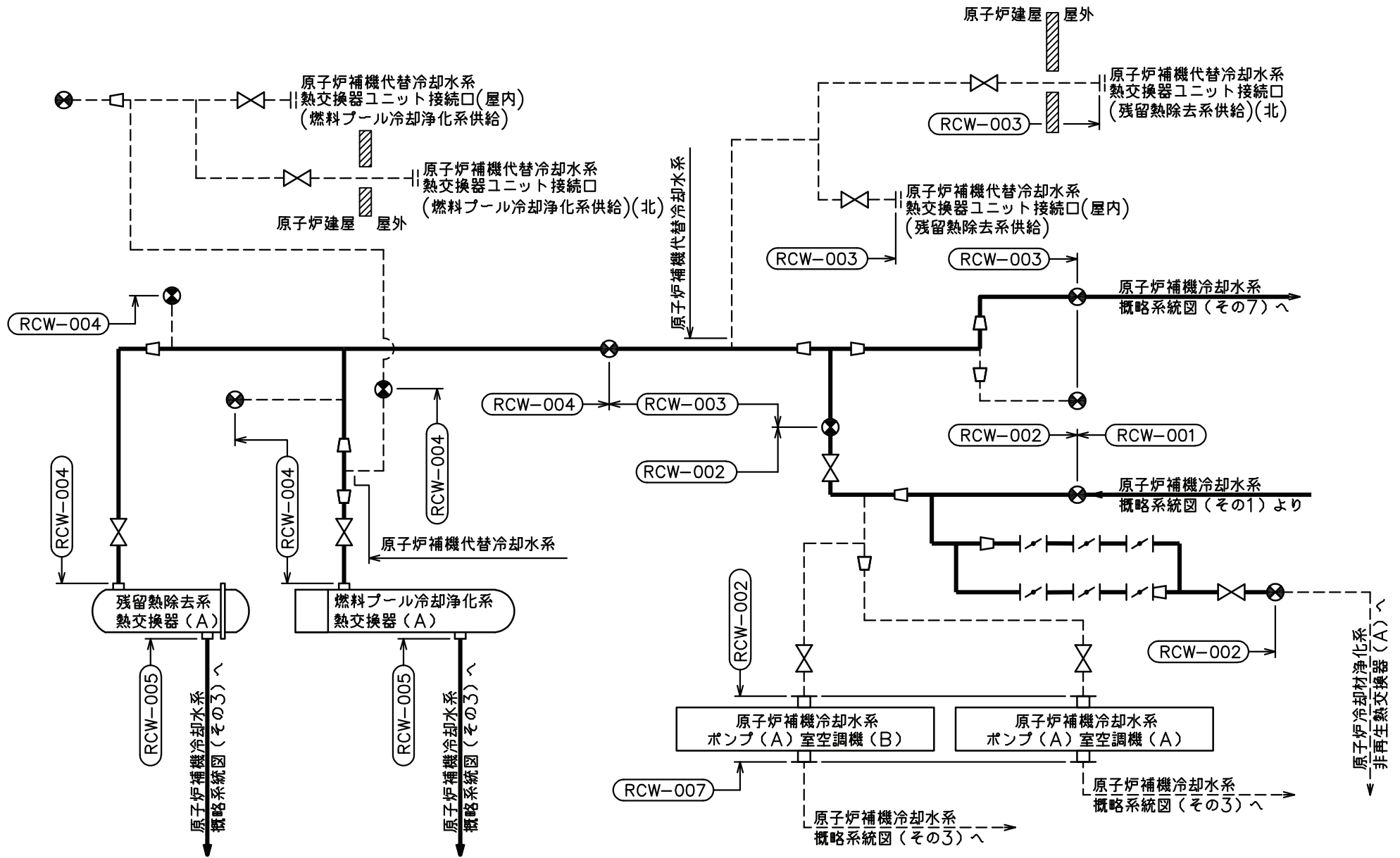
2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

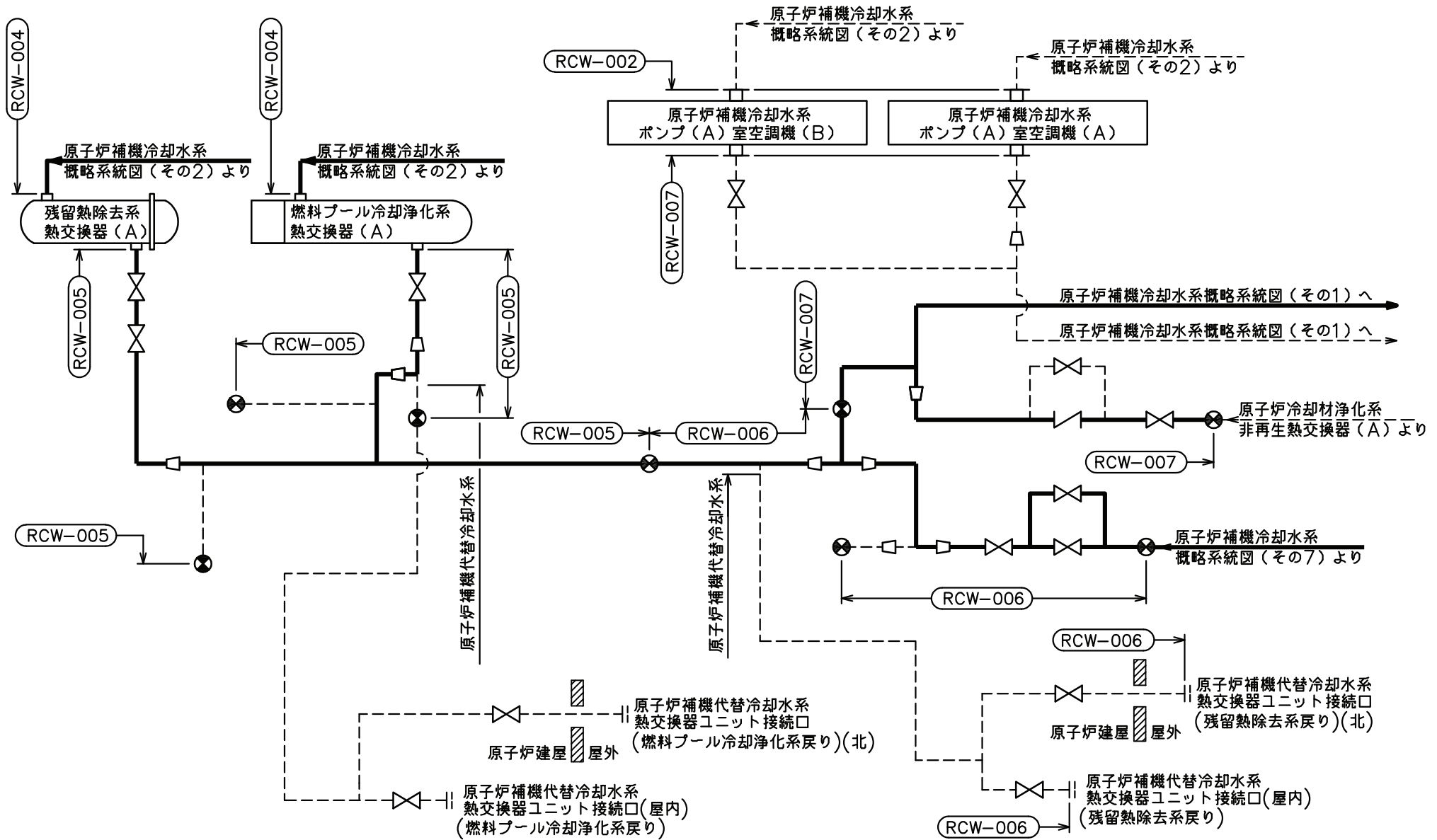
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



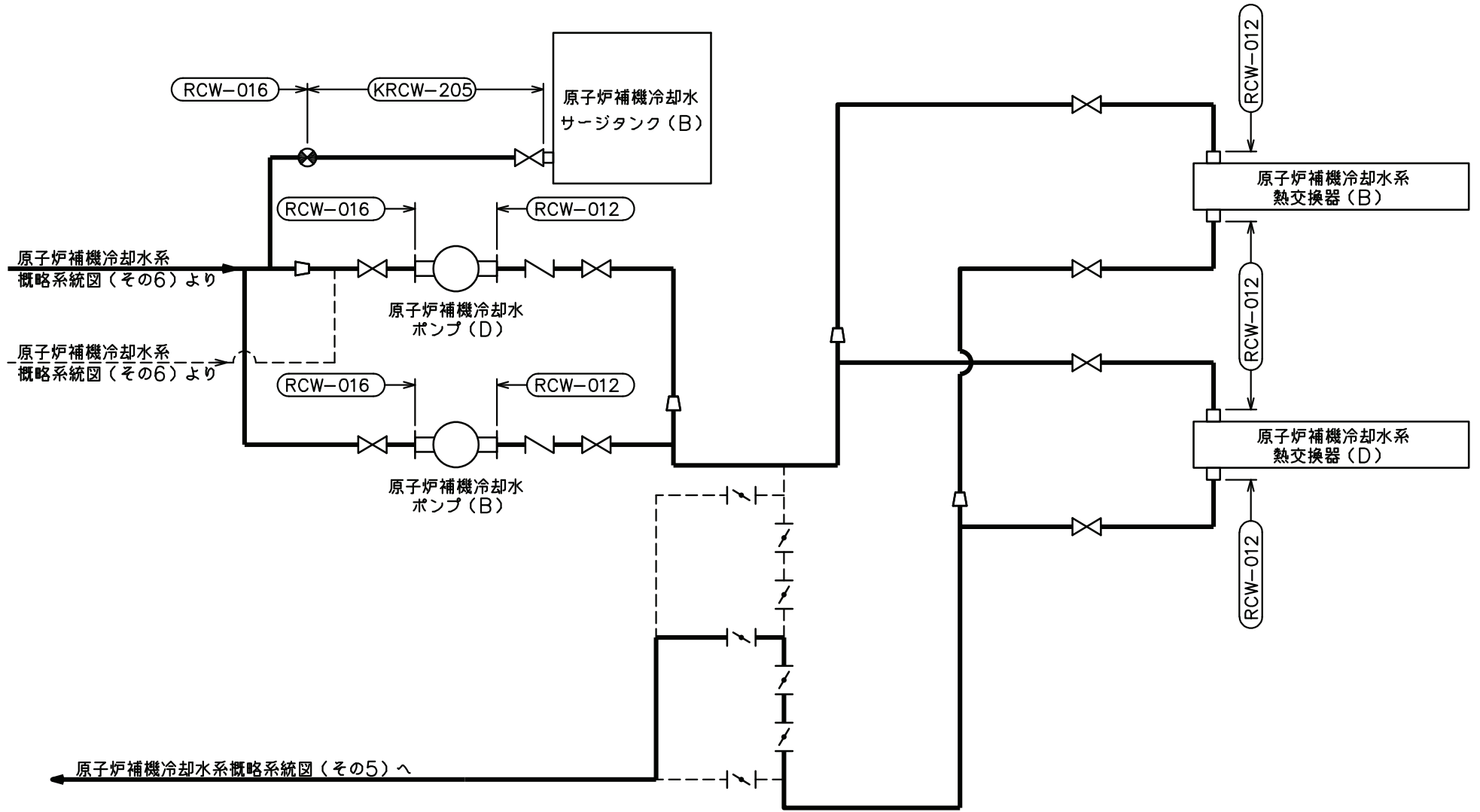
原子炉補機冷却水系概略系統図 (その1)



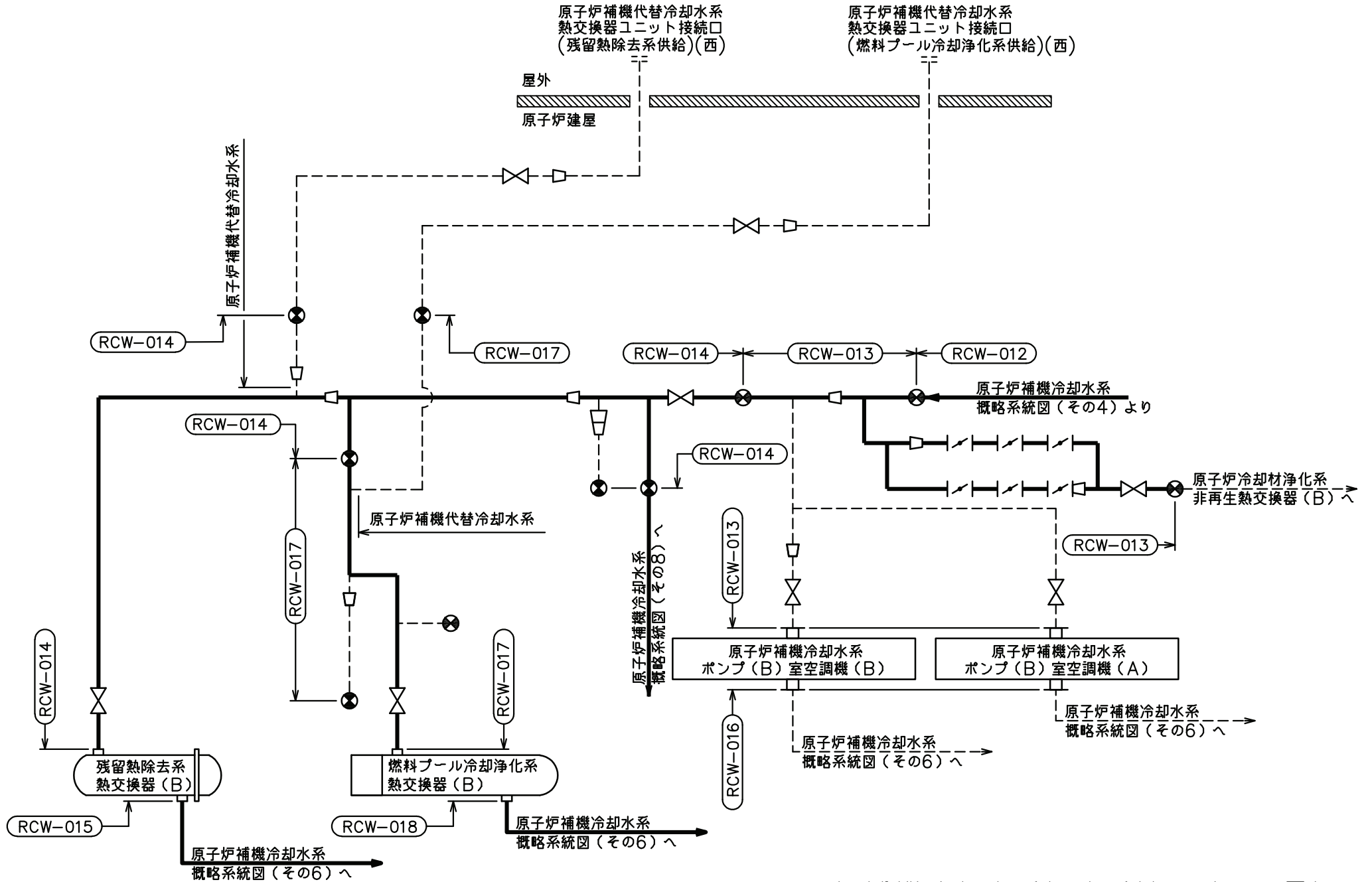
原子炉補機冷却水系概略系統図(その2)



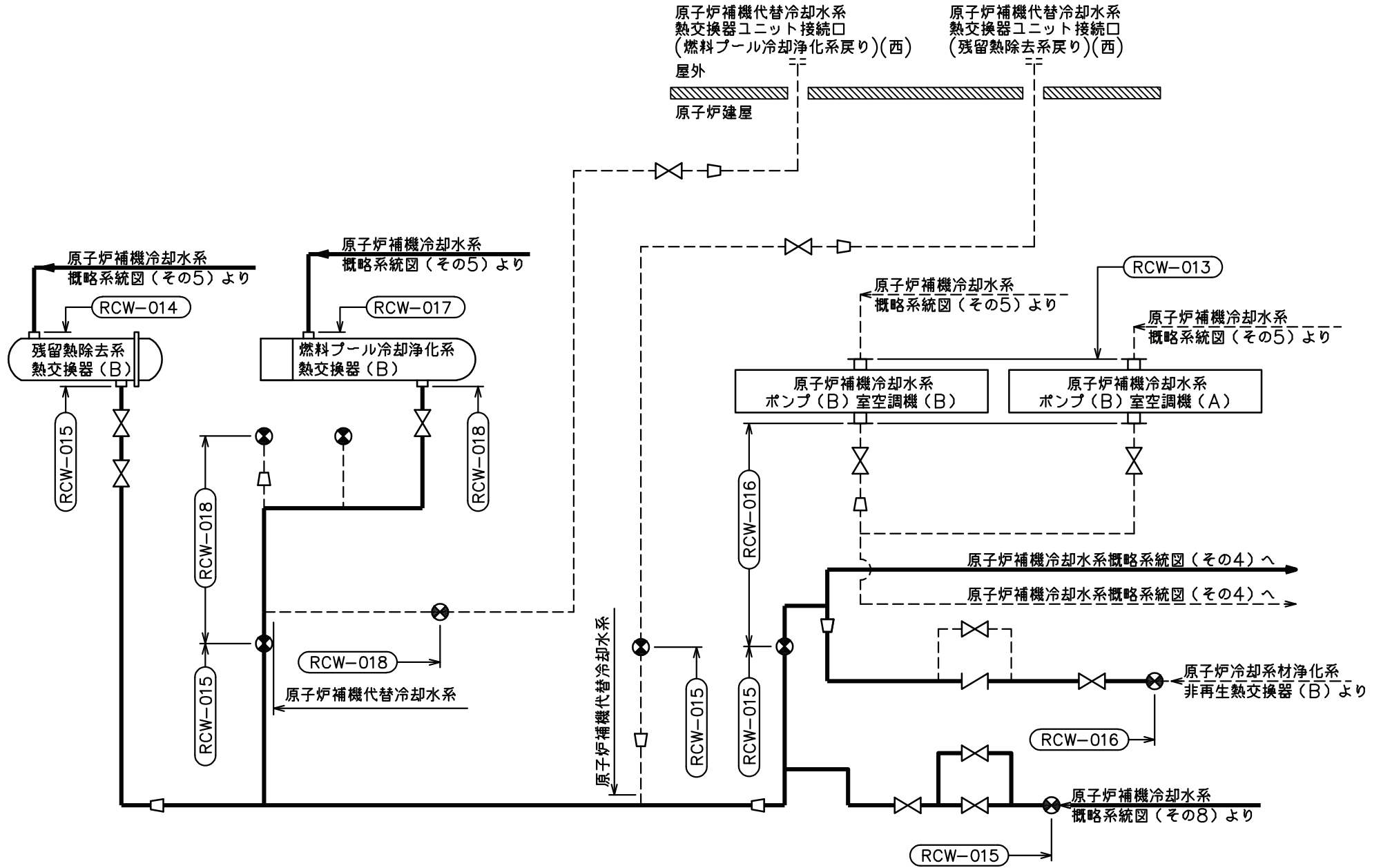
原子炉補機冷却水系概略系統図(その3)



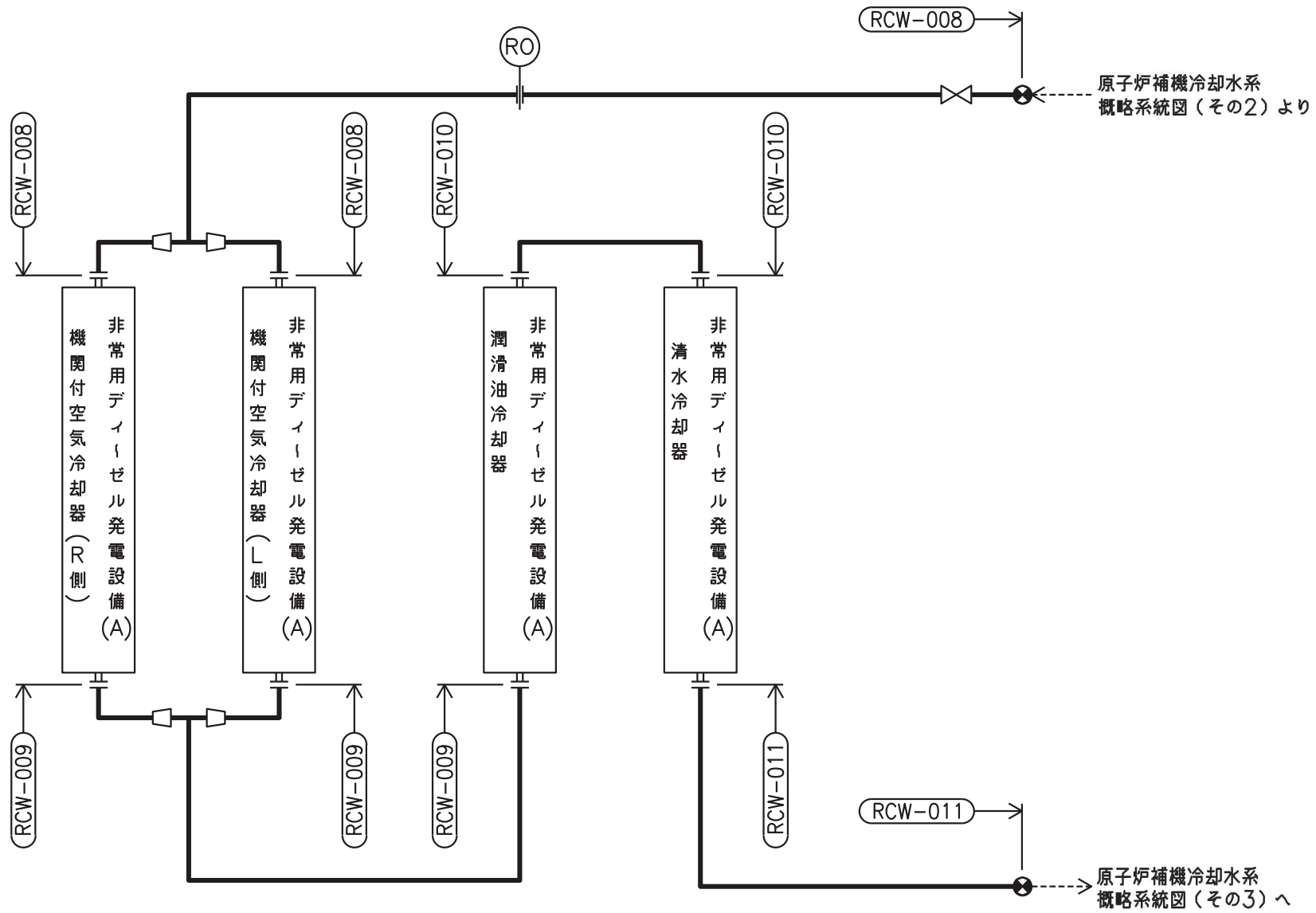
原子炉補機冷却水系概略系統図 (その4)



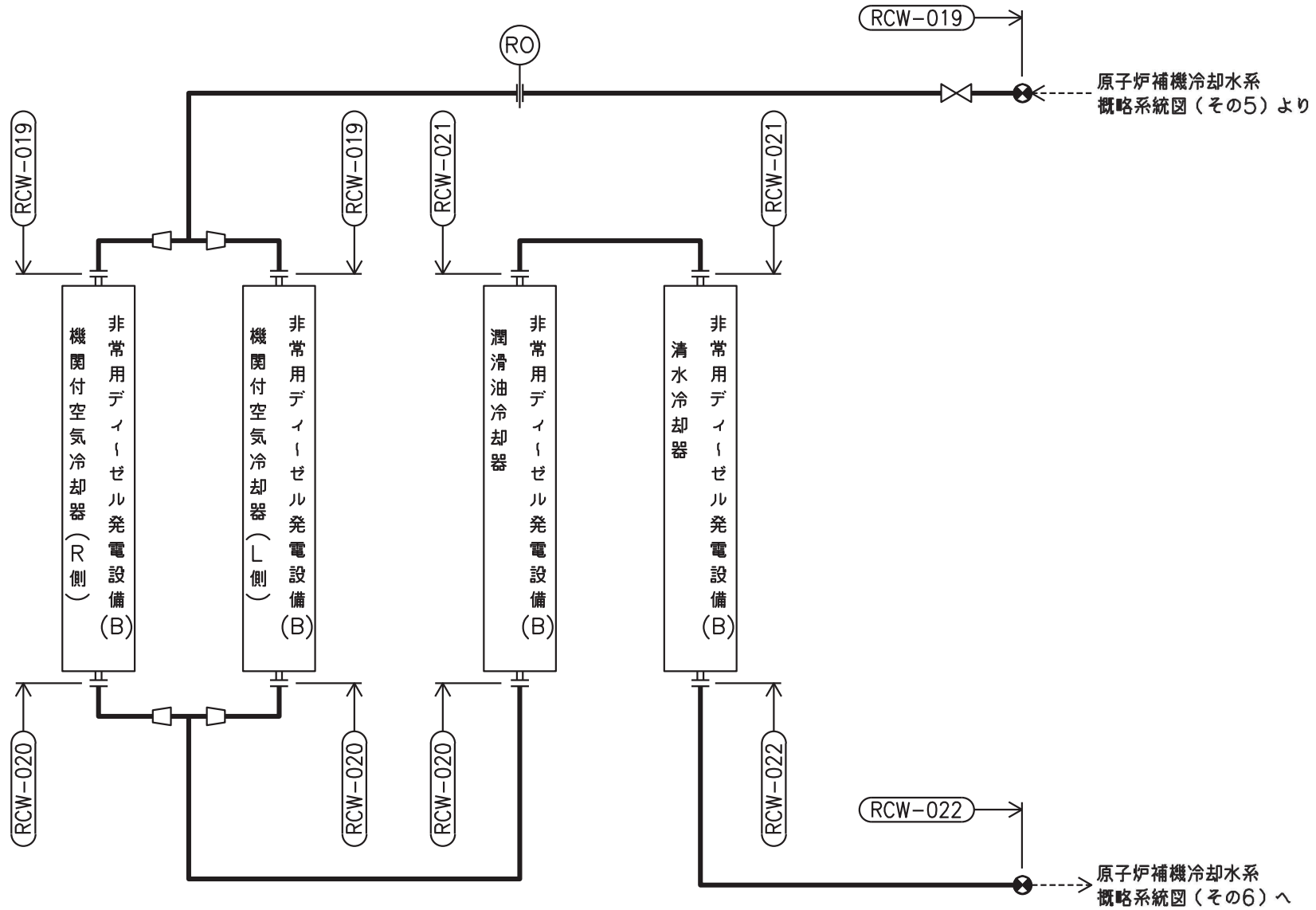
原子炉補機冷却水系概略系統図(その5)



原子炉補機冷却水系概略系統図(その6)




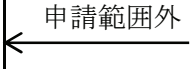



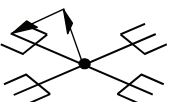
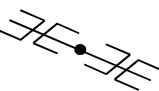
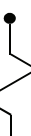
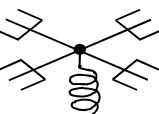
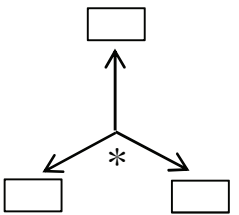
原子炉補機冷却水系概略系統図 (その7)



原子炉補機冷却水系概略系統図 (その8)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
	工事計画記載範囲外の管
	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として本系統に記載する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印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
	ガイド
	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。)

鳥瞰図 RCW-013-1/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RCW-013-2/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RCW-013-3/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

15

鳥瞰図 KRCW-205-1/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 KRCW-205-2/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」,
「SAP-V」,「SOLVER」及び「NX NASTRAN」を使用し,解析コードの検証及び妥当性確認等の概
要については,添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

3.2 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	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, *3	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却水設備	原子炉補機冷却水系	DB	—	クラス3管	S	I _L +S d	III _A S
							II _L +S d	
							I _L +S s	IV _A S
							II _L +S s	

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*3：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。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 R C W - 0 1 3

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.18	70	609.6	9.5	SM400CA	S	200200
2	1.18	70	609.6	17.5	SM400CA	S	200200
3	1.18	70	508.0	9.5	SM400CA	S	200200
4	1.18	70	406.4	12.7	SM400CA	S	200200
5	1.18	70	406.4	9.5	SM400CA	S	200200
6	1.18	70	406.4	9.5	STS410	S	200200
7	1.18	70	318.5	10.3	STS410	S	200200
8	1.18	70	318.5	10.3	SM400CA	S	200200

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 RCW-013

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	1	3	105	106	801	802										
2	2	105	106													
3	3	4	5	6	7	8	108	803	804	903						
4	2	107														
5	41	42	58	82	83	84	86	87	103	104	107	109	110	114	115	
	806															
6	43	81	110	114												
7	43	44	45	46	48	49	51	52	53	55	56	57	67	68	69	
	70	71	73	74	75	77	78	80	81	111	112	113	116	127	128	
	805	900	901	902												
8	42	58	111	116												

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 RCW-013

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		44		81		110		803	
2		45		82		111		804	
3		52		83		112		805	
4		56		87		113		806	
5		57		103		114		900	
6		58		104		115		901	
7		67		105		116		902	
8		68		106		127		903	
41		69		107		128			
42		70		108		801			
43		74		109		802			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4		弁 5	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
46		49		53		71		75	
47		50		54		72		76	
48		51		55		73		77	
		88						90	
		89						91	
		94						97	
		95						98	
		96						99	
弁 6		弁 7							
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)						
78		84							
79		85							
80		86							
		92							
		93							

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	47			
弁2	50			
弁3	54			
弁4	72			
弁5	76			
弁6	79			
弁7	85			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

O 2 ⑥ VI-2-5-7-1-6(1) (設) R 0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 R C W - 0 1 3

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
8						
52						
74						
82						
87						
900						
901						
902						
** 903 **						

[Redacted]

02 ⑥ VI-2-5-7-1-6(1) (設) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 K R C W - 2 0 5

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.18	70	318.5	10.3	STS410	S	200200

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 K R C W - 2 0 5

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	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	90	100	200	801	802	810	811	900	
	901	902	903													

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
4		20		36		52		68	
5		21		37		53		69	
6		22		38		54		90	
7		23		39		55		100	
8		24		40		56		200	
9		25		41		57		801	
10		26		42		58		802	
11		27		43		59		810	
12		28		44		60		811	
13		29		45		61		900	
14		30		46		62		901	
15		31		47		63		902	
16		32		48		64		903	
17		33		49		65			
18		34		50		66			
19		35		51		67			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
1	
2	
3	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	2			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 KRCW-205

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
11						
14						
17						
20						
26						
30						
35						
41						
48						
51						
54						
58						
64						
66						
69						
100						
200						
900						
902						
903						

02 ⑥ VI-2-5-7-1-6(1) (設) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
SM400C	70	—	233	383	—
STS410	70	—	229	407	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R C W - 0 1 3	原子炉建屋		

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曲線を下表に示す。
 なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」
 に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
K R C W - 2 0 5	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 RCW-013

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
18 次							
19 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RCW-013

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

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 RCW-013

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RCW-013

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RCW-013

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 KRCW-205

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
20 次								
21 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 KRCW-205

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

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

鳥瞰図 KRCW-205

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 KRCW-205

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

40

鳥瞰図 KRCW-205

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス 2 以下の管

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 p r m (S d) S p r m (S s)	許容応力 S y *1 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
RCW-013	III _A S	4	S p r m (S d)	125	233	—	—	—
	IV _A S	4	S p r m (S s)	237	344	—	—	—
	IV _A S	4	S n (S s)	—	—	456	466	—

注記 *1: 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、S_yと1.2・S_hのうち大きい方とする。

管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス 2 以下の管

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 p r m (S d) S p r m (S s)	許容応力 S y *1 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
K R C W - 2 0 5	Ⅲ _A S	51	S p r m (S d)	142	229	—	—	—
	Ⅳ _A S	51	S p r m (S s)	244	366	—	—	—
	Ⅳ _A S	51	S n (S s)	—	—	440	458	—

注記 *1 : 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, S y と 1. 2 ・ S h のうち大きい方とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
RCW-002-505BA	ロッドレストレイント	RSA-10	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		113	150
RCW-003-917S	メカニカルスナップ	SMS-3-100			16	45
RCW-007-117H	スプリングハンガ	VS30C-17			21	39

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 (°C)	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			
RCW-016-001A	アンカ	ラグ	SGV410	70	67	67	292	65	96	19	組合せ	124	252
RCW-001-020R	レストレイント	架構	STKR400	40	281	143	126	—	—	—	組合せ	232	280

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S					許容応力状態 IV _A S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	RCW-001	18	95	233	2.45	—	18	163	344	2.11	—	18	313	466	1.48	—	—	—	—
2	RCW-002	8	84	233	2.77	—	16	120	344	2.86	—	11	242	466	1.92	—	—	—	—
3	RCW-003	2	39	233	5.97	—	2	50	344	6.88	—	2	201	466	2.31	—	—	—	—
4	RCW-004	903	57	229	4.01	—	903	95	366	3.85	—	31	192	458	2.38	—	—	—	—
5	RCW-005	1	63	229	3.63	—	1	93	366	3.93	—	1	204	458	2.24	—	—	—	—
6	RCW-006	908	39	233	5.97	—	908	50	344	6.88	—	45	170	466	2.74	—	—	—	—
7	RCW-007	7	111	233	2.09	—	7	163	344	2.11	—	30	351	466	1.32	—	—	—	—
8	RCW-008	29	52	229	4.40	—	29	75	366	4.88	—	29	243	458	1.88	—	—	—	—
9	RCW-009	43	68	229	3.36	—	43	104	366	3.51	—	1	220	458	2.08	—	—	—	—
10	RCW-010	23	27	229	8.48	—	22	39	366	9.38	—	22	118	458	3.88	—	—	—	—
11	RCW-011	21	23	229	9.95	—	20	34	366	10.76	—	1	76	458	6.02	—	—	—	—
12	RCW-012	111	104	233	2.24	—	111	179	344	1.92	—	100	355	466	1.31	—	—	—	—
13	RCW-013	4	125	233	1.86	—	4	237	344	1.45	○	4	456	466	1.02	○	—	—	—

注記* : III_ASの一次+二次応力の許容値はIV_ASと同様であることから、地震荷重が大きいIV_ASの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S					許容応力状態 IV _A S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
14	RCW-014	32	63	229	3.63	—	32	101	366	3.62	—	32	213	458	2.15	—	—	—	—
15	RCW-015	21	73	233	3.19	—	21	121	344	2.84	—	21	265	466	1.75	—	—	—	—
16	RCW-016	1	77	233	3.02	—	1	108	344	3.18	—	27	249	466	1.87	—	—	—	—
17	RCW-017	26	77	229	2.97	—	26	120	366	3.05	—	26	201	458	2.27	—	—	—	—
18	RCW-018	59	81	229	2.82	—	59	129	366	2.83	—	59	216	458	2.12	—	—	—	—
19	RCW-019	36	66	229	3.46	—	36	107	366	3.42	—	51	235	458	1.94	—	—	—	—
20	RCW-020	33	79	229	2.89	—	33	120	366	3.05	—	33	242	458	1.89	—	—	—	—
21	RCW-021	15	51	229	4.49	—	15	78	366	4.69	—	15	166	458	2.75	—	—	—	—
22	RCW-022	1	22	229	10.40	—	1	31	366	11.80	—	26	153	458	2.99	—	—	—	—
23	KRCW-105	8	107	229	2.14	—	8	190	366	1.92	—	8	373	458	1.22	—	—	—	—
24	KRCW-205	51	142	229	1.61	○	51	244	366	1.50	—	51	440	458	1.04	—	—	—	—

注記* : III_ASの一次+二次応力の許容値はIV_ASと同様であることから、地震荷重が大きいIV_ASの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

重大事故等対処設備

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	11
3. 計算条件	15
3.1 計算方法	15
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	16
3.3 設計条件	17
3.4 材料及び許容応力評価条件	20
3.5 設計用地震力	21
4. 解析結果及び評価	22
4.1 固有周期及び設計震度	22
4.2 評価結果	28
4.2.1 管の応力評価結果	28
4.2.2 支持構造物評価結果	29
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	30
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	31

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、原子炉補機冷却水系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全 24 モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.4 に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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。



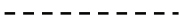
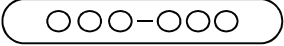

(3) 弁

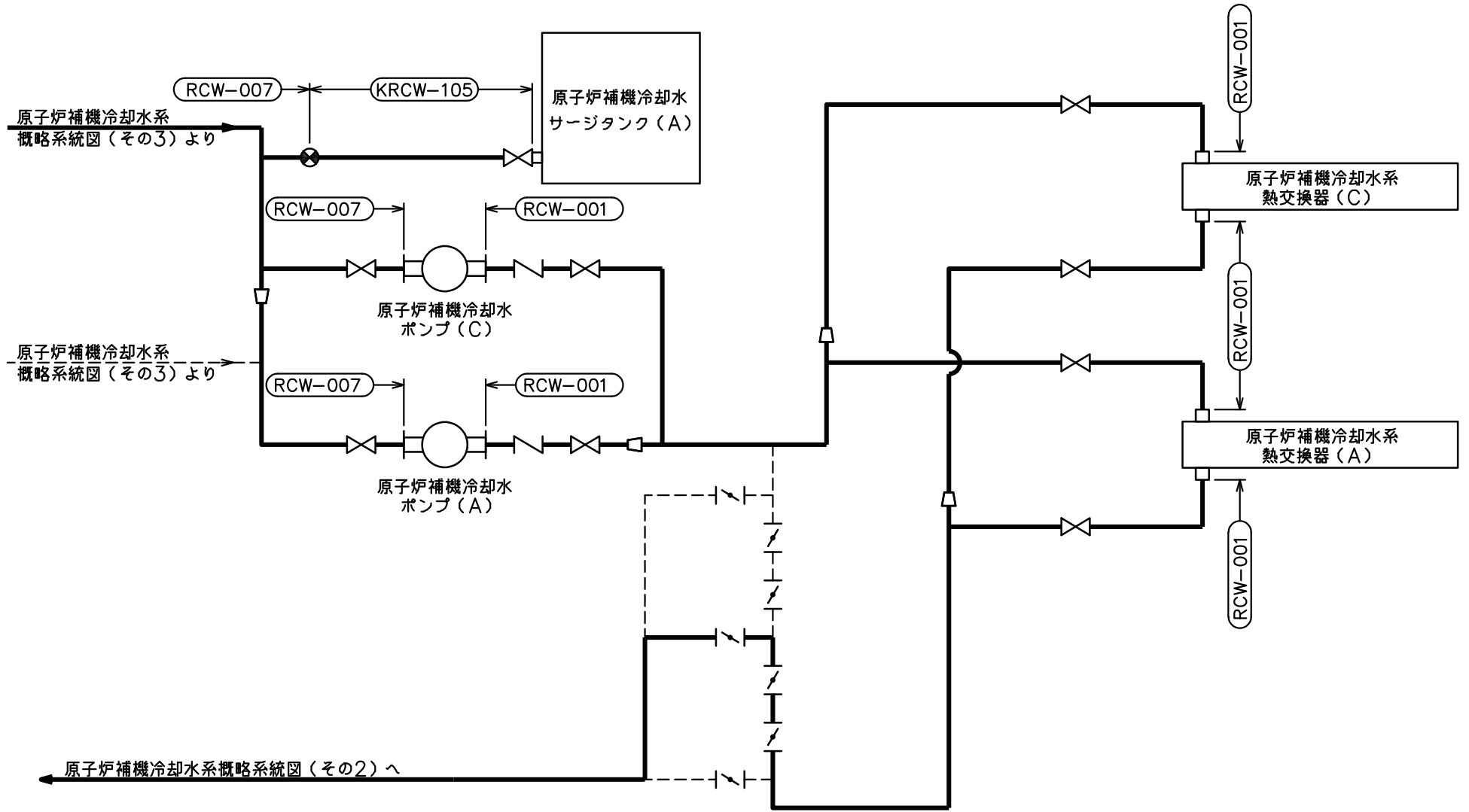
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

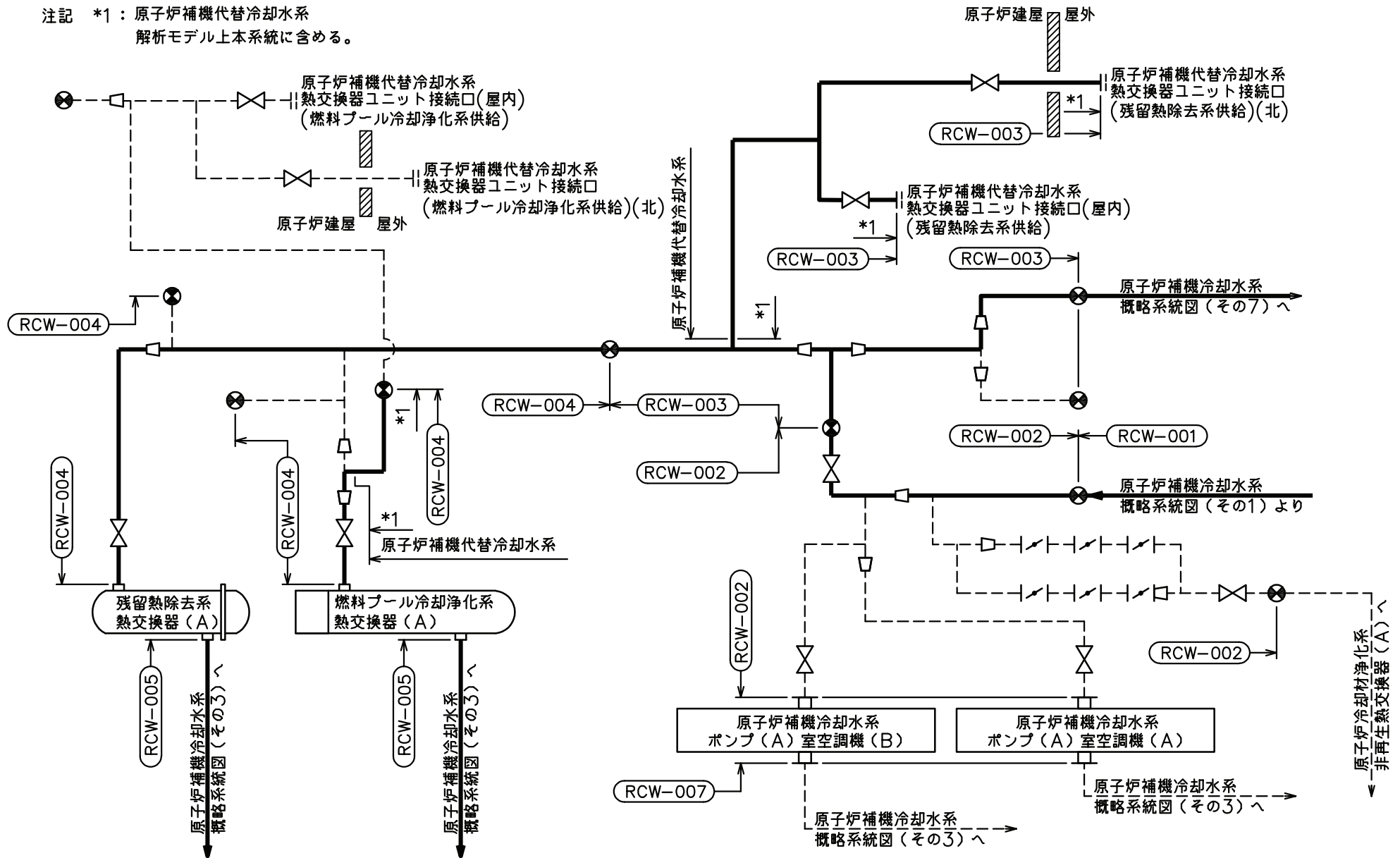
概略系統図記号凡例

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
 (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
	アンカ

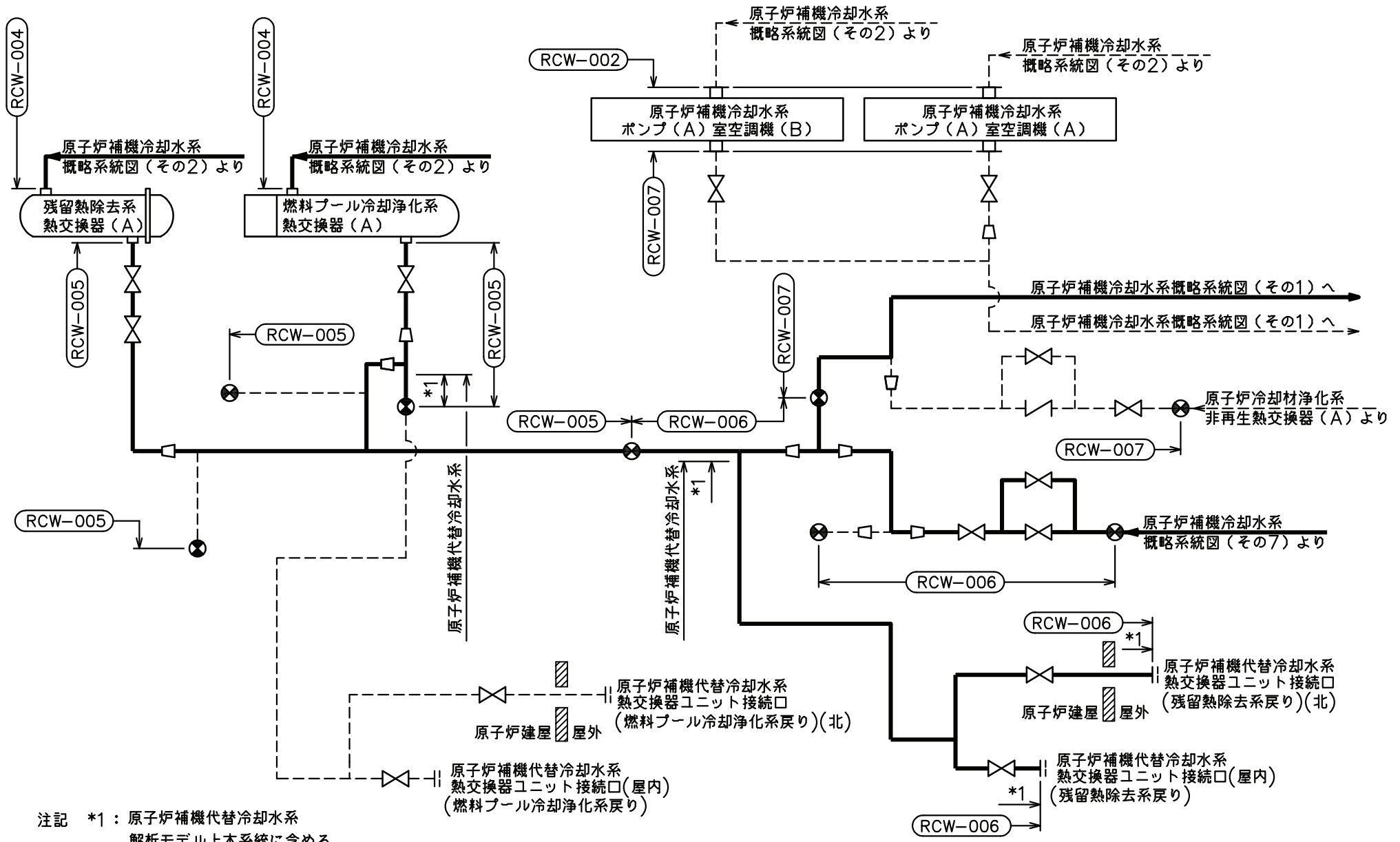


原子炉補機冷却水系概略系統図(その1)

注記 *1 : 原子炉補機代替冷却水系
解析モデル上本系統に含める。



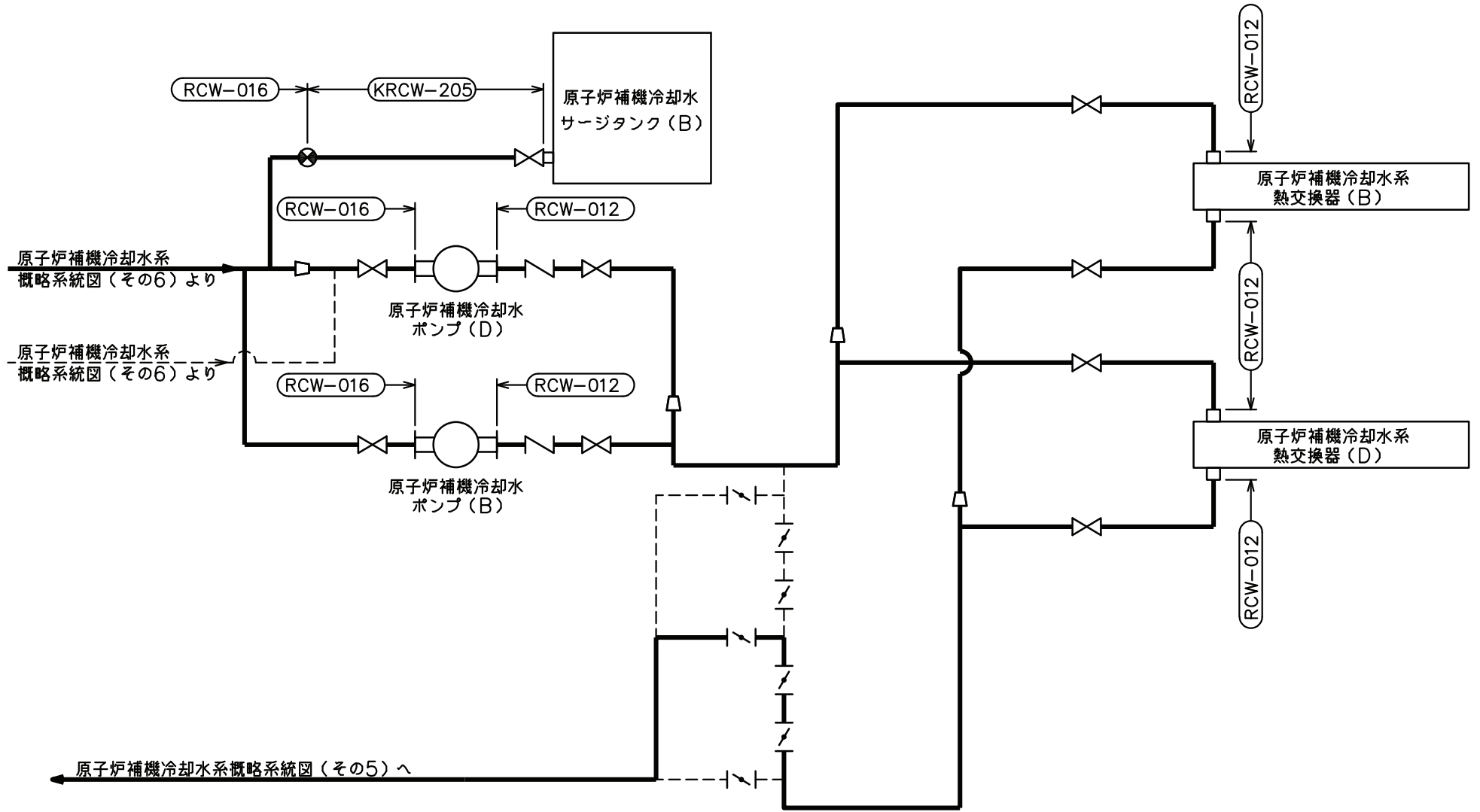
原子炉補機冷却水系概略系統図(その2)



5

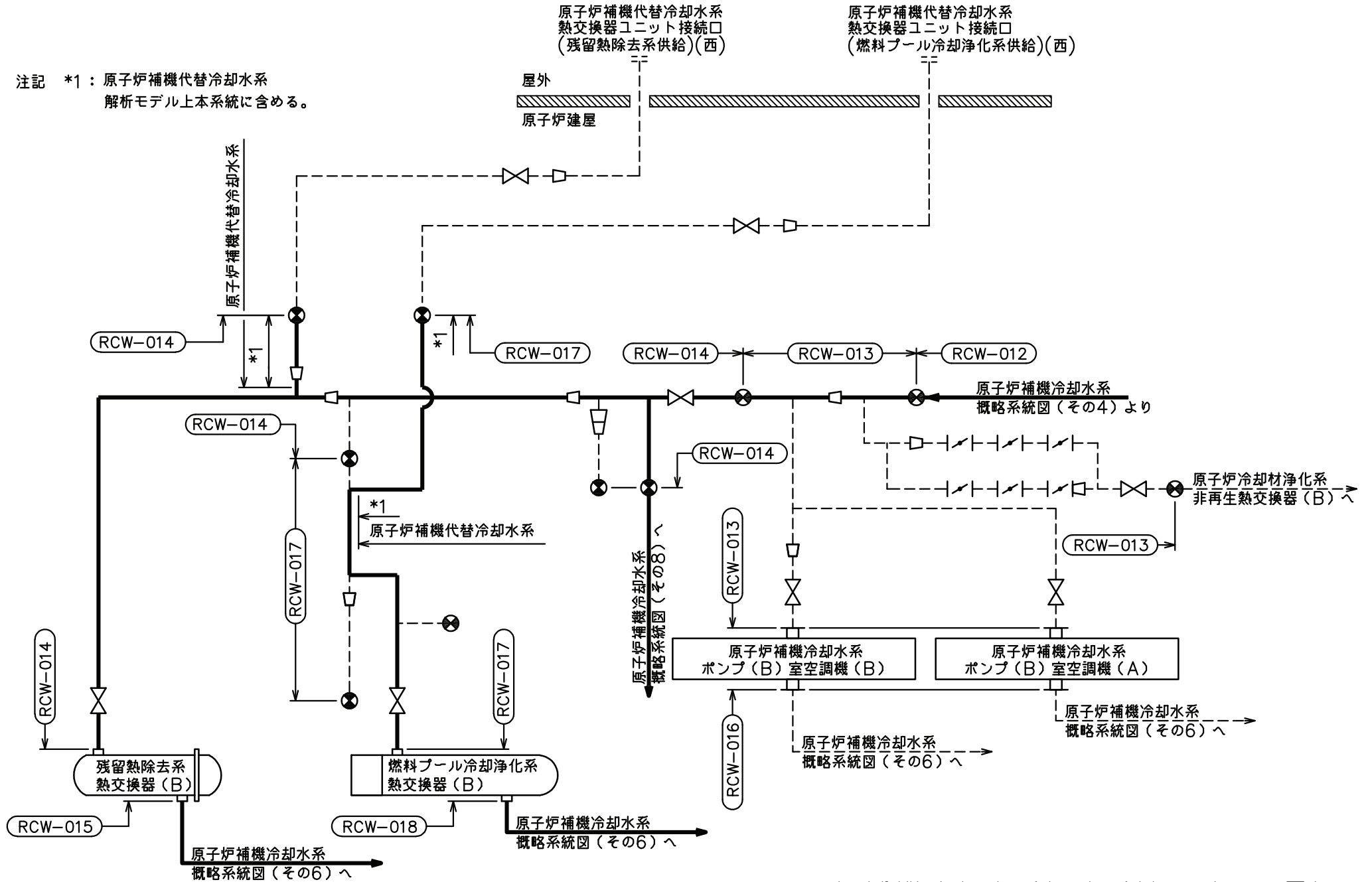
注記 *1: 原子炉補機代替冷却水系
解析モデル上本系統に含める。

原子炉補機冷却水系概略系統図(その3)



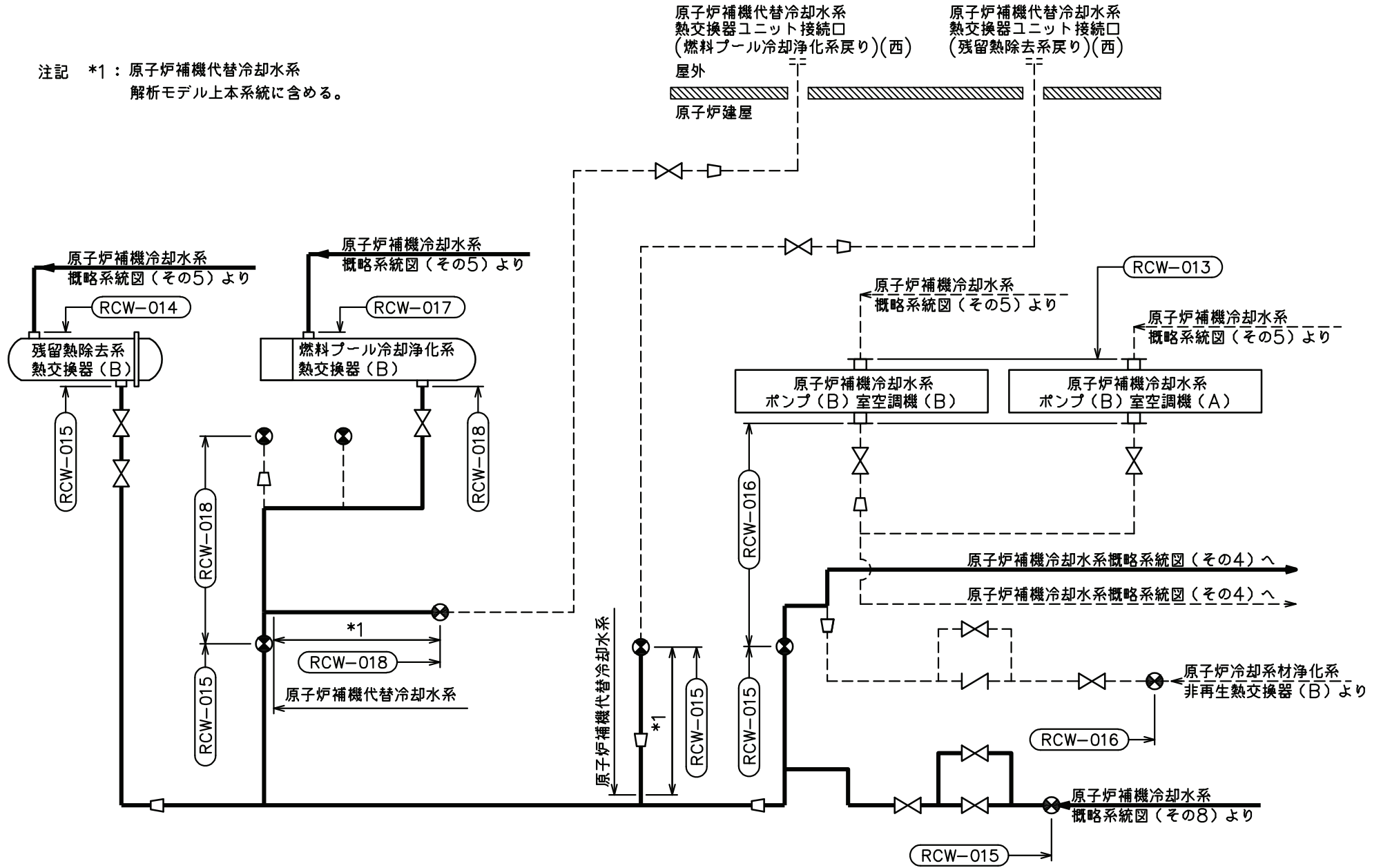
原子炉補機冷却水系概略系統図(その4)

注記 *1：原子炉補機代替冷却水系
解析モデル上本システムに含める。

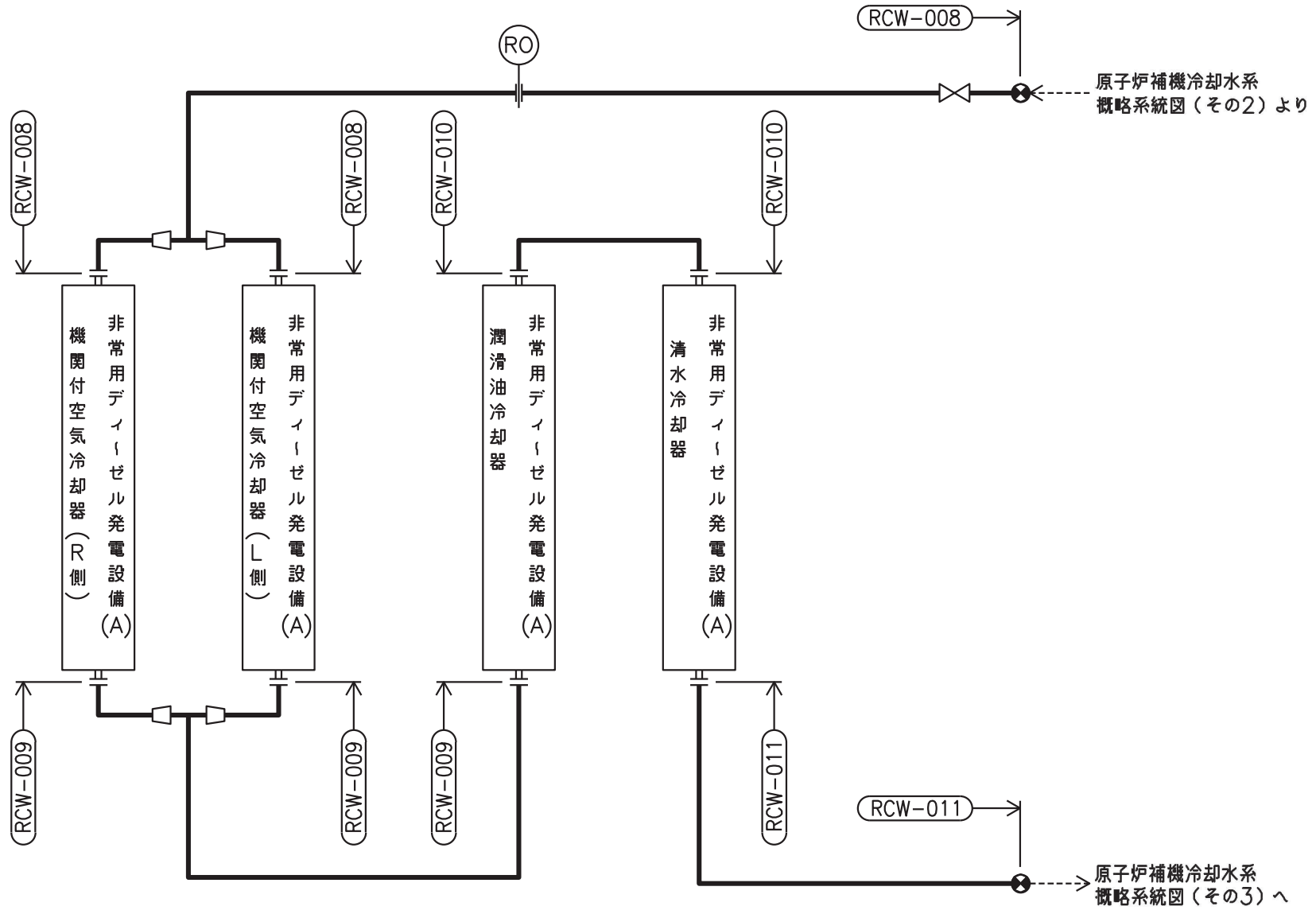


原子炉補機冷却水系概略系統図(その5)

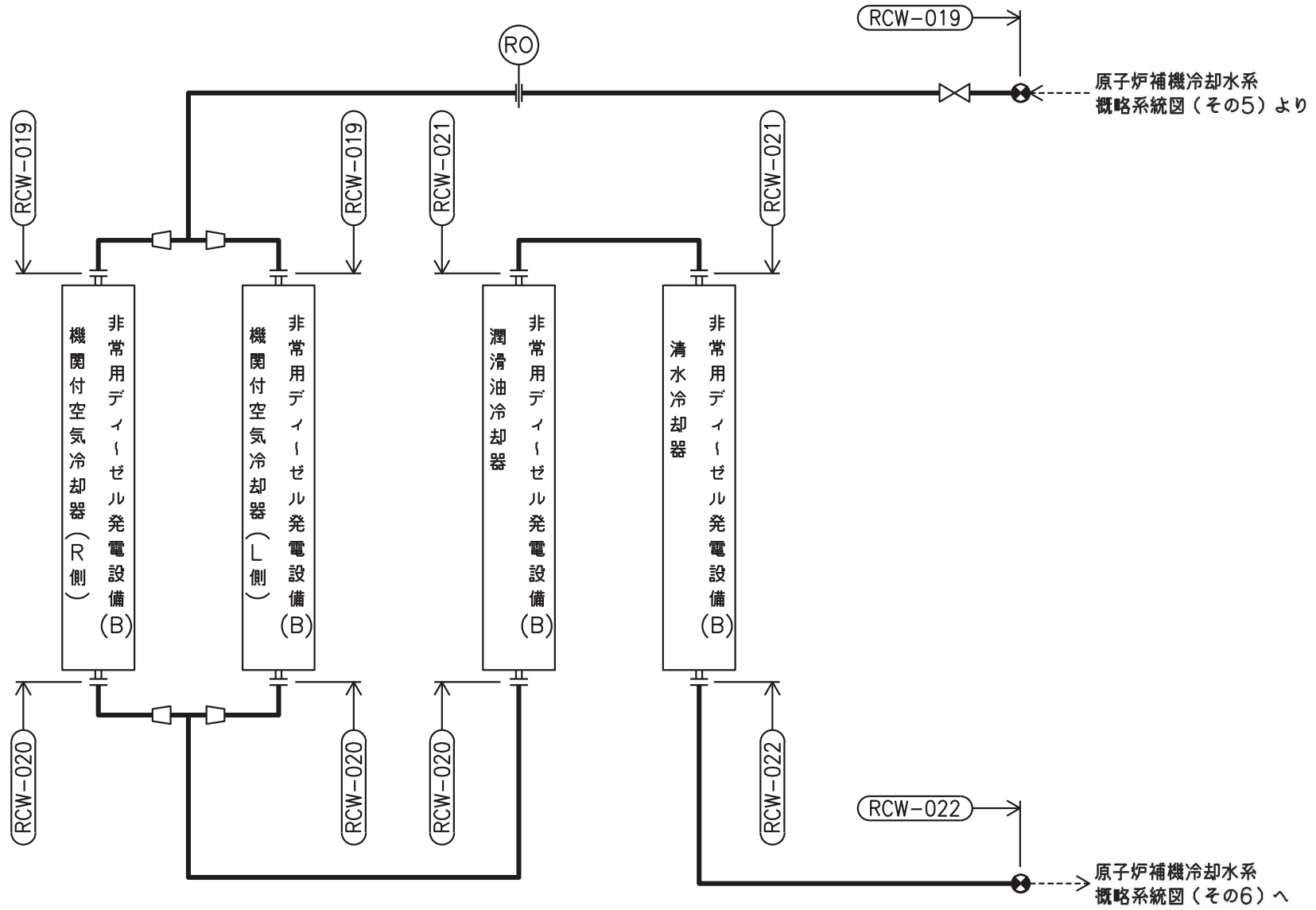
注記 *1：原子炉補機代替冷却水系
解析モデル上本系統に含める。



原子炉補機冷却水系概略系統図(その6)




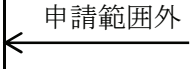
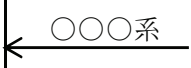


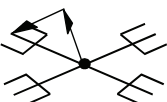
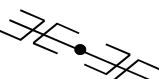
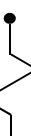
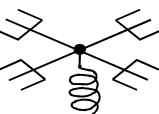
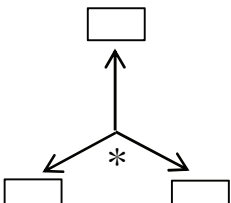
原子炉補機冷却水系概略系統図 (その7)



原子炉補機冷却水系概略系統図(その8)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>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として本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印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。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>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。)</p>

鳥瞰図 RCW-013-1/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RCW-013-2/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RCW-013-3/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」,
「SAP-V」,「SOLVER」及び「NX NASTRAN」を使用し,解析コードの検証及び妥当性確認等の概
要については,添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

3.2 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	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3, *4	許容応力状態*5
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	原子炉補機冷却水系	SA	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$

注記*1：DB は設計基準対象施設，SA は重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)，「常設／緩和 (DB 拡張)」は常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張) を示す。

*3：運転状態の添字 L は荷重を示す。

*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。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 R C W - 0 1 3

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.18	70	609.6	9.5	SM400C	—	200200
2	1.18	70	609.6	17.5	SM400C	—	200200
3	1.18	70	508.0	9.5	SM400C	—	200200

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 RCW-013

管名称	対 応 す る 評 価 点										
1	1	3	105	106	801	802					
2	2	105	106								
3	3	4	5	6	7	8	108	803	804	903	

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		5		105		802	
2		6		106		803	
3		7		108		804	
4		8		801		903	

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 R C W - 0 1 3

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
8						
** 903 **						

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
SM400C	70	—	233	383	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R C W - 0 1 3	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 RCW-013

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
18 次								
19 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RCW-013

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

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

25

鳥瞰図 RCW-013

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RCW-013

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RCW-013

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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管であってクラス2以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{pr m}(S_s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S_s)$	$2 \cdot S_y$	$U S_s$
RCW-013	$V_A S$	4	$S_{pr m}(S_s)$	236	344	—	—	—
	$V_A S$	4	$S_n(S_s)$	—	—	456	466	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
RCW-002-505BA	ロッドレストレイント	RSA-10	添付書類「VI-2-1-12-1 配 管及び支持構造物の耐震 計算について」参照		113	150
RCW-003-917S	メカニカルスナップ	SMS-3-100			16	45
RCW-007-117H	スプリングハンガ	VS30C-17			21	39

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 (°C)	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			
RCW-003-039A	アンカ	ラグ	SGV410	70	17	18	195	7	7	8	組合せ	71	252
RCW-001-020R	レストレイント	架構	STKR400	40	281	143	126	—	—	—	組合せ	232	280

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 VAS												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
1	RCW-001	18	161	344	2.13	—	18	313	466	1.48	—	—	—	—
2	RCW-002	16	118	344	2.91	—	11	242	466	1.92	—	—	—	—
3	RCW-003	2	48	344	7.16	—	2	201	466	2.31	—	—	—	—
4	RCW-004	903	94	366	3.89	—	31	192	458	2.38	—	—	—	—
5	RCW-005	1	92	366	3.97	—	1	204	458	2.24	—	—	—	—
6	RCW-006	908	49	344	7.02	—	302	221	458	2.07	—	—	—	—
7	RCW-007	7	161	344	2.13	—	30	351	466	1.32	—	—	—	—
8	RCW-008	29	75	366	4.88	—	29	243	458	1.88	—	—	—	—
9	RCW-009	43	104	366	3.51	—	1	220	458	2.08	—	—	—	—
10	RCW-010	22	39	366	9.38	—	22	118	458	3.88	—	—	—	—
11	RCW-011	20	34	366	10.76	—	1	76	458	6.02	—	—	—	—
12	RCW-012	111	177	344	1.94	—	100	355	466	1.31	—	—	—	—
13	RCW-013	4	236	344	1.45	○	4	456	466	1.02	○	—	—	—
14	RCW-014	32	100	366	3.66	—	32	213	458	2.15	—	—	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 V A S												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
15	RCW-015	21	120	344	2.86	—	21	265	466	1.75	—	—	—	—
16	RCW-016	27	96	344	3.58	—	27	249	466	1.87	—	—	—	—
17	RCW-017	26	119	366	3.07	—	26	201	458	2.27	—	—	—	—
18	RCW-018	59	128	366	2.85	—	59	216	458	2.12	—	—	—	—
19	RCW-019	36	107	366	3.42	—	51	235	458	1.94	—	—	—	—
20	RCW-020	33	120	366	3.05	—	33	242	458	1.89	—	—	—	—
21	RCW-021	15	78	366	4.69	—	15	166	458	2.75	—	—	—	—
22	RCW-022	1	31	366	11.80	—	26	153	458	2.99	—	—	—	—
23	KRCW-105	8	190	366	1.92	—	8	373	458	1.22	—	—	—	—
24	KRCW-205	51	244	366	1.50	—	51	440	458	1.04	—	—	—	—

(2) 原子炉補機冷却海水系

設計基準対象施設

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	5
3. 計算条件	9
3.1 計算方法	9
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
3.3 設計条件	11
3.4 材料及び許容応力評価条件	15
3.5 設計用地震力	16
4. 解析結果及び評価	17
4.1 固有周期及び設計震度	17
4.2 評価結果	23
4.2.1 管の応力評価結果	23
4.2.2 支持構造物評価結果	24
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	25
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	26

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、原子炉補機冷却海水系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全 14 モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.4 に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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。



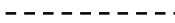
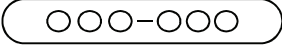

(3) 弁

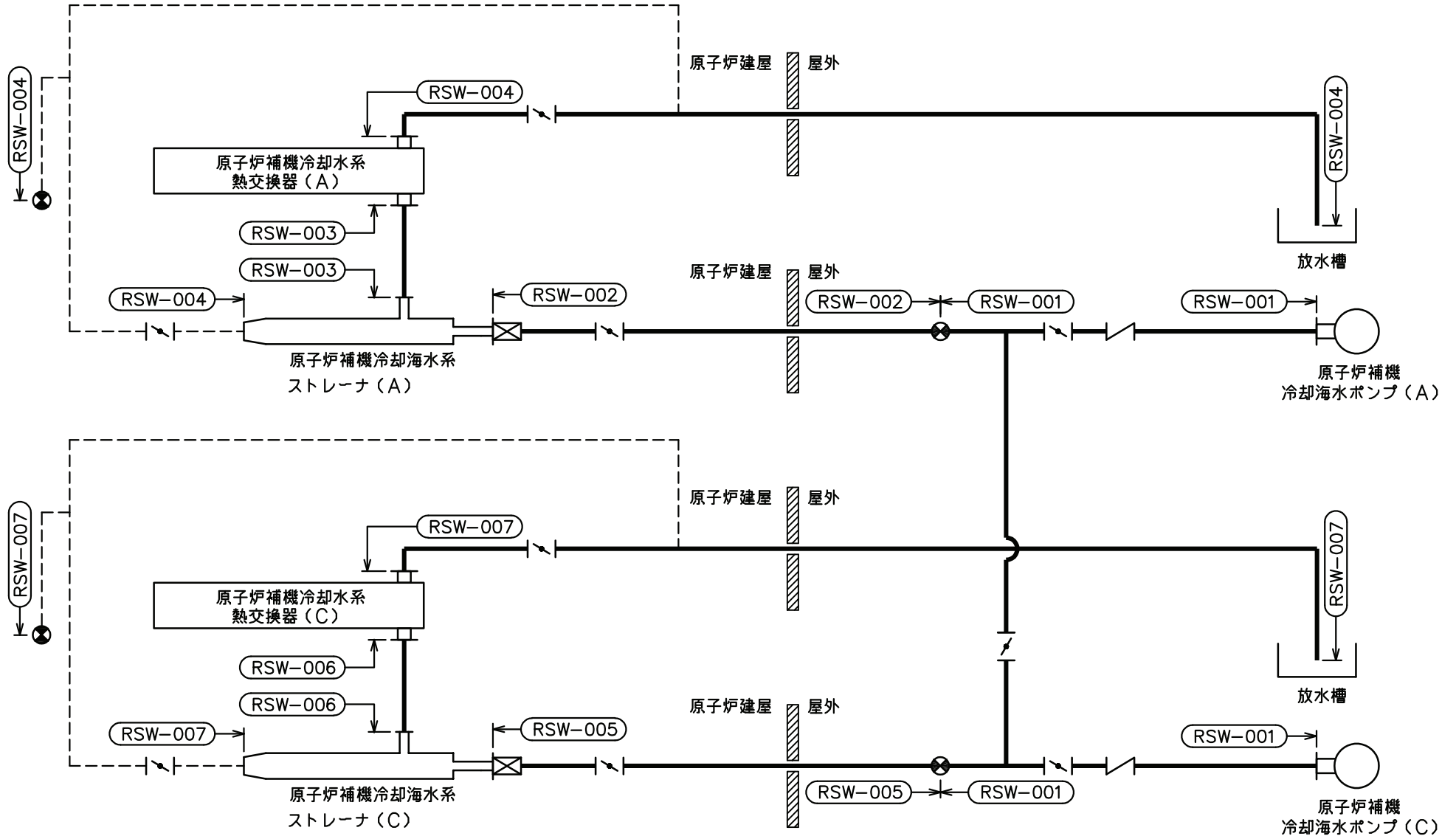
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

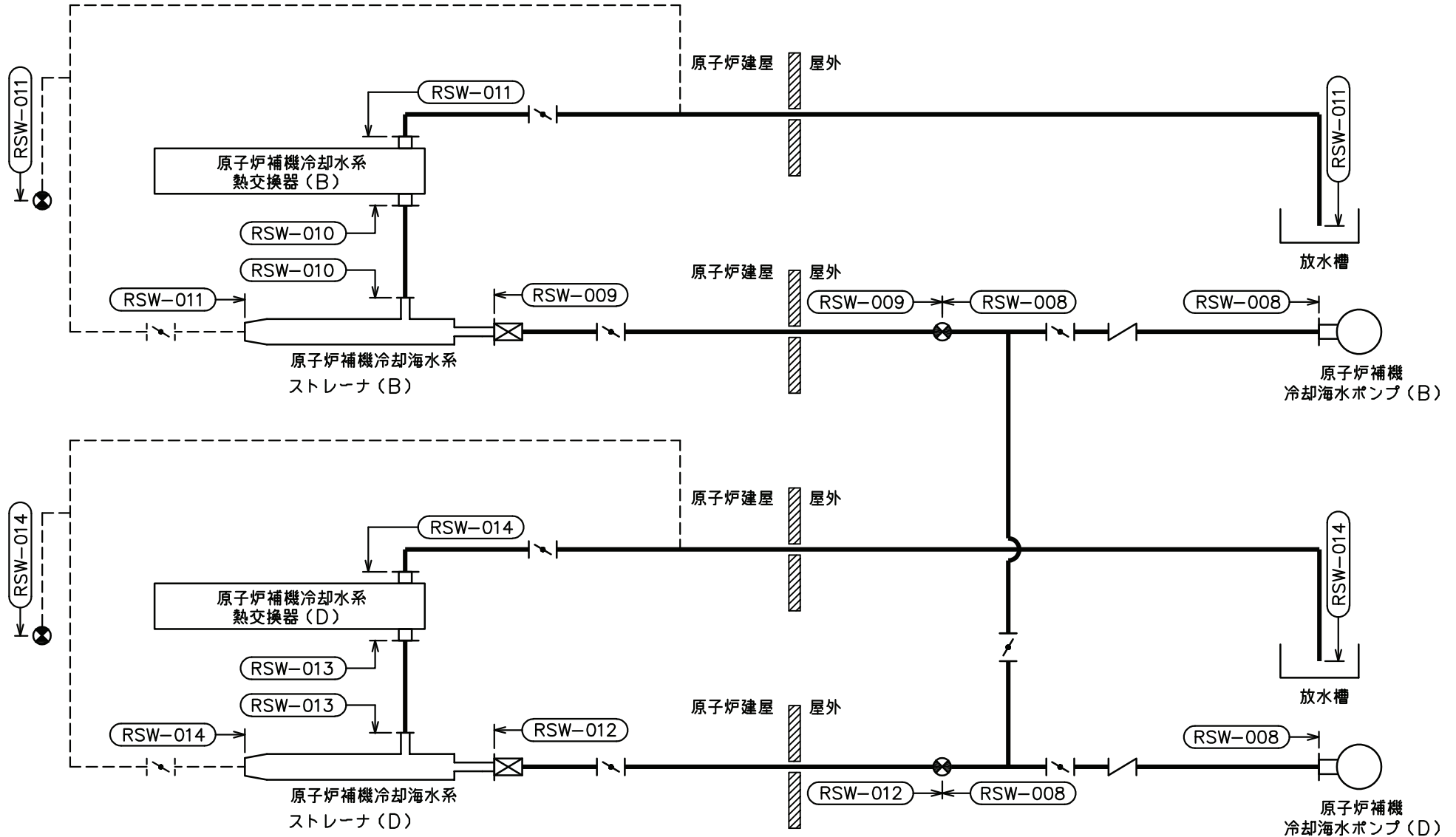
概略系統図記号凡例

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
 (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
	アンカ



原子炉補機冷却海水系概略系統図(その1)


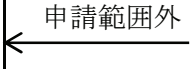



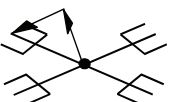
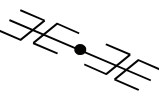
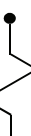
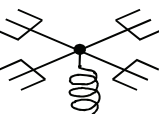
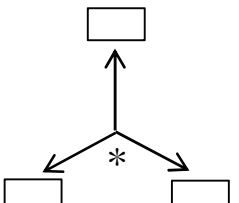
4



原子炉補機冷却海水系概略系統図 (その2)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
	工事計画記載範囲外の管
	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として本系統に記載する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印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
	ガイド
	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。)

9

鳥瞰図 RSW-004-1/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7

鳥瞰図 RSW-004-2/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

∞

鳥瞰図 RSW-004-3/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」,
「SAP-V」及び「MSAP（配管）」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要につい
ては、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, *3	許容応力状態
原子炉冷却系統 施設	原子炉補機冷却 設備	原子炉補機 冷却海水系	DB	—	クラス3管	S	I _L +S d	III _A S
							II _L +S d	
							I _L +S s	IV _A S
							II _L +S s	

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*3：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。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 R S W - 0 0 4

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.78	50	508.0	9.5	SM400C	S	201000

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 R S W - 0 0 4

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	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	71	72	73	74	75	76
	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	200	302	303	305	801
	802	803	804	807	808	809	810	820	821	901	902	903	904	905	906
	907	908	914	915	916	917	918	919							

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 R S W - 0 0 4

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		30		56		82		803	
2		31		57		83		804	
3		32		58		84		807	
4		33		59		85		808	
8		34		60		86		809	
9		35		61		87		810	
10		36		62		88		820	
11		37		63		89		821	
12		38		64		90		901	
13		39		65		91		902	
14		40		66		92		903	
15		41		67		93		904	
16		42		68		94		905	
17		43		69		95		906	
18		44		70		96		907	
19		45		71		97		908	
20		46		72		98		914	
21		47		73		99		915	
22		48		74		100		916	
23		49		75		101		917	
24		50		76		200		918	
25		51		77		302		919	
26		52		78		303			
27		53		79		305			
28		54		80		801			
29		55		81		802			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
5	
6	
7	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	6			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 R S W - 0 0 4

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
10						
13						
20						
27						
35						
38						
43						
50						
59						
62						
72						
75						
81						
90						
96						
100						
901						
902						
903						
904						
905						
906						
** 907 **						
** 908 **						
914						
915						
916						
917						
918						
919						

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
SM400C	50	—	241	394	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R S W - 0 0 4	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 R S W - 0 0 4

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
26 次							
27 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 R S W - 0 0 4

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

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

20

鳥瞰図 | RSW-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RSW-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RSW-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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。

クラス 2 以下の管

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 p r m (S d) S p r m (S s)	許容応力 S y *1 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
R S W - 0 0 4	III _A S	38	S p r m (S d)	156	241	—	—	—
	IV _A S	38	S p r m (S s)	253	354	—	—	—
	IV _A S	38	S n (S s)	—	—	481	482	—

注記 *1 : 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、S y と 1. 2 ・ S h のうち大きい方とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
RSW-007-905S	オイルスナップ	307256AP	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		246	300
RSW-002-906R	ロッドレストレイント	RSAZ 40			450	600

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 (°C)	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			
RSW-004-038R	レストレイント	架構	STKR400	40	0	33	547	-	-	-	組合せ	179	280
RSW-008-061A	アンカ	ラグ	SGV410	50	370	54	19	5	16	33	組合せ	63	152

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス 2 以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S					許容応力状態 IV _A S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	RSW-001	19	99	241	2.43	—	19	183	355	1.93	—	19	370	482	1.30	—	—	—	—
2	RSW-002	11	145	241	1.66	—	12	230	355	1.54	—	11	457	482	1.05	—	—	—	—
3	RSW-003	1	37	241	6.51	—	1	46	354	7.69	—	1	76	482	6.34	—	—	—	—
4	RSW-004	38	156	241	1.54	○	38	253	354	1.39	○	38	481	482	1.00	○	—	—	—
5	RSW-005	810	113	241	2.13	—	810	168	355	2.11	—	4	333	482	1.44	—	—	—	—
6	RSW-006	1	37	241	6.51	—	1	46	354	7.69	—	1	76	482	6.34	—	—	—	—
7	RSW-007	913	146	241	1.65	—	82	219	354	1.61	—	82	402	482	1.19	—	—	—	—
8	RSW-008	10	91	241	2.64	—	10	135	355	2.62	—	451	246	482	1.95	—	—	—	—
9	RSW-009	508	95	241	2.53	—	508	135	355	2.62	—	7	326	482	1.47	—	—	—	—
10	RSW-010	1	37	241	6.51	—	1	46	354	7.69	—	1	76	482	6.34	—	—	—	—
11	RSW-011	14	100	241	2.41	—	14	168	354	2.10	—	29	324	482	1.48	—	—	—	—
12	RSW-012	5	39	241	6.17	—	5	57	355	6.22	—	7	376	482	1.28	—	—	—	—
13	RSW-013	1	37	241	6.51	—	1	46	354	7.69	—	1	76	482	6.34	—	—	—	—
14	RSW-014	24	116	241	2.07	—	35	201	354	1.76	—	35	381	482	1.26	—	—	—	—

注記*：III_ASの一次+二次応力の許容値はIV_ASと同様であることから、地震荷重が大きいIV_ASの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

重大事故等対処設備

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	5
3. 計算条件	9
3.1 計算方法	9
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
3.3 設計条件	11
3.4 材料及び許容応力評価条件	15
3.5 設計用地震力	16
4. 解析結果及び評価	17
4.1 固有周期及び設計震度	17
4.2 評価結果	23
4.2.1 管の応力評価結果	23
4.2.2 支持構造物評価結果	24
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	25
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	26

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、原子炉補機冷却海水系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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、全 14 モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.4 に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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。



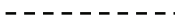
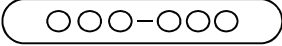

(3) 弁

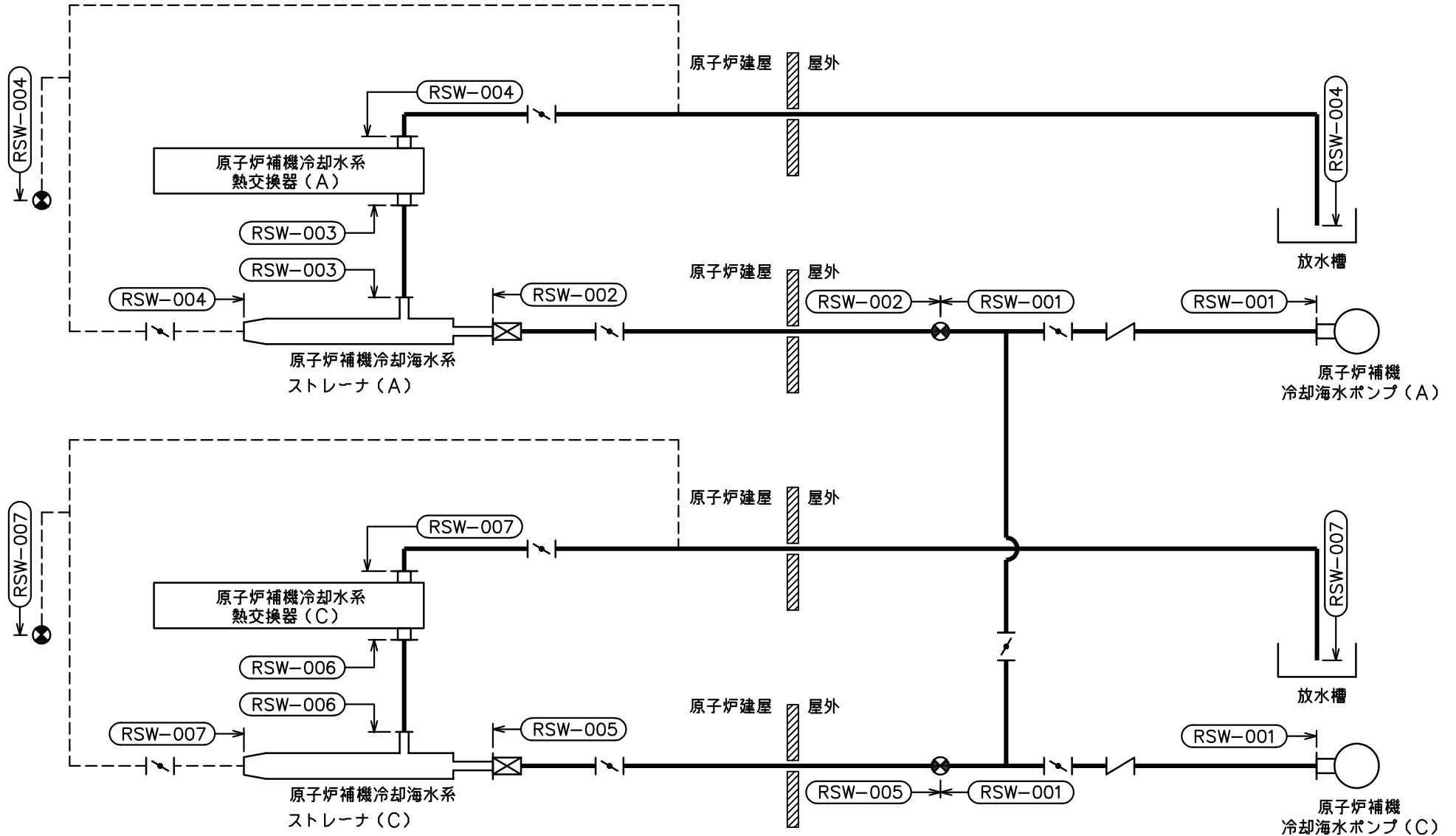
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

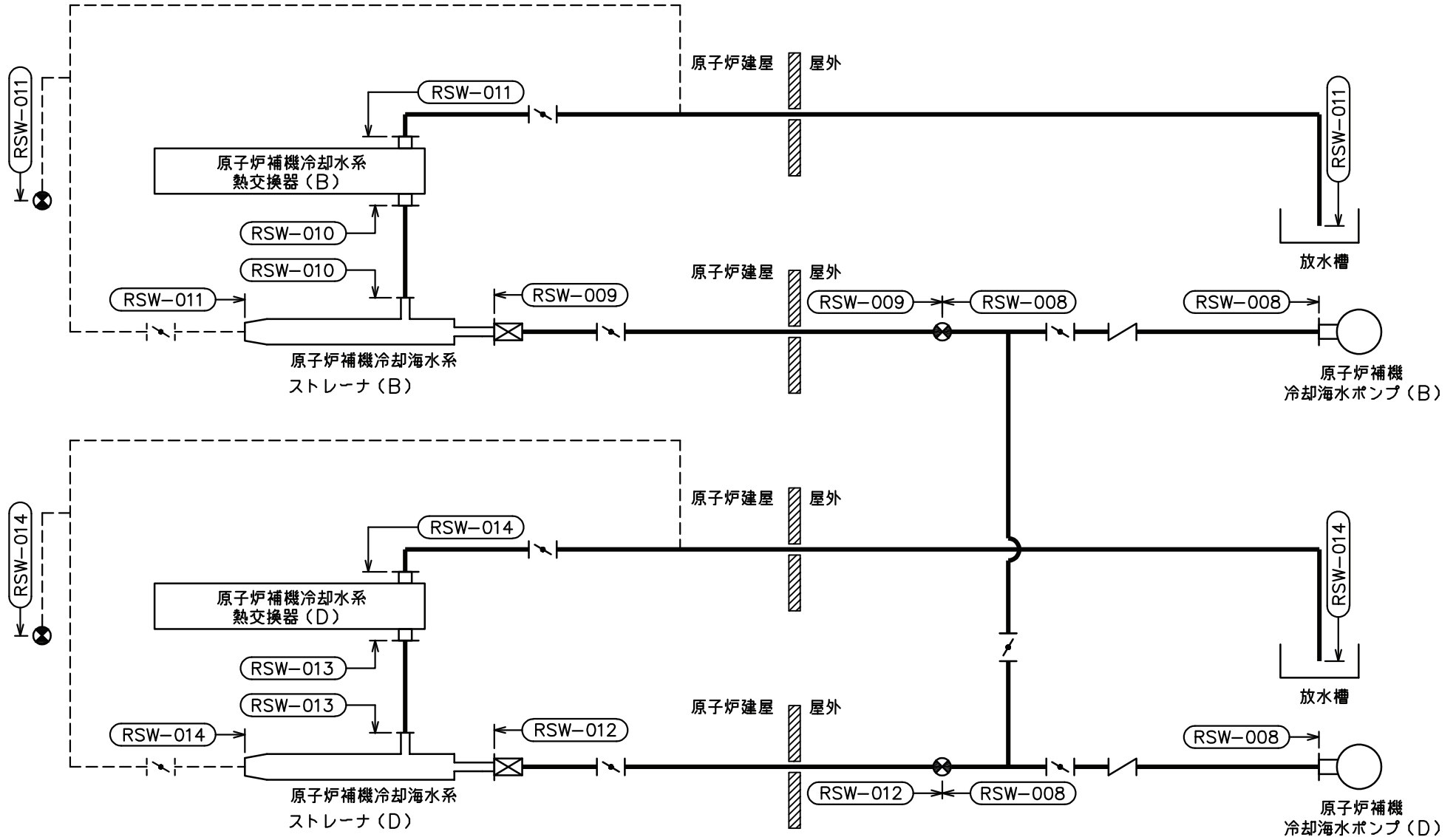
概略系統図記号凡例

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
 (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
	アンカ



原子炉補機冷却海水系概略系統図（その1）


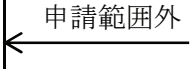



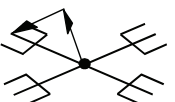
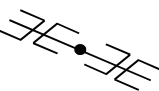
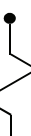
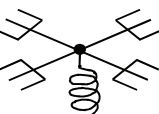
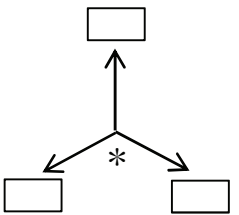
4



原子炉補機冷却海水系概略系統図（その2）

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
	工事計画記載範囲外の管
	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として本系統に記載する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印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
	ガイド
	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。)

9

鳥瞰図	RSW-004-1/3
-----	-------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7

鳥瞰図 RSW-004-2/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

∞

鳥瞰図 RSW-004-3/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」,
「SAP-V」及び「MSAP（配管）」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要につい
ては、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3, *4	許容応力状態*5
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	原子炉補機冷却海水系	SA	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$

注記*1：DB は設計基準対象施設，SA は重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)，「常設／緩和 (DB 拡張)」は常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張) を示す。

*3：運転状態の添字 L は荷重示す。

*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。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 R S W - 0 0 4

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.78	50	508.0	9.5	SM400C	—	201000

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 R S W - 0 0 4

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	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	71	72	73	74	75	76
	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	200	302	303	305	801
	802	803	804	807	808	809	810	820	821	901	902	903	904	905	906
	907	908	914	915	916	917	918	919							

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 R S W - 0 0 4

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		30		56		82		803	
2		31		57		83		804	
3		32		58		84		807	
4		33		59		85		808	
8		34		60		86		809	
9		35		61		87		810	
10		36		62		88		820	
11		37		63		89		821	
12		38		64		90		901	
13		39		65		91		902	
14		40		66		92		903	
15		41		67		93		904	
16		42		68		94		905	
17		43		69		95		906	
18		44		70		96		907	
19		45		71		97		908	
20		46		72		98		914	
21		47		73		99		915	
22		48		74		100		916	
23		49		75		101		917	
24		50		76		200		918	
25		51		77		302		919	
26		52		78		303			
27		53		79		305			
28		54		80		801			
29		55		81		802			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
5	
6	
7	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	6			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 R S W - 0 0 4

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
10						
13						
20						
27						
35						
38						
43						
50						
59						
62						
72						
75						
81						
90						
96						
100						
901						
902						
903						
904						
905						
906						
** 907 **						
** 908 **						
914						
915						
916						
917						
918						
919						

[Redacted area]

O 2 ⑥ VI-2-5-7-1-6(2) (重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S m (MPa)	S y (MPa)	S u (MPa)	S h (MPa)
SM400C	50	—	241	394	—

3.5 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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R S W - 0 0 4	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 R S W - 0 0 4

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
26 次								
27 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_1$ 及び $1.2C_v$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 R S W - 0 0 4

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

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

20

鳥瞰図 RSW-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RSW-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RSW-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり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管であってクラス2以下の管

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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{pr m}(S_s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S_s)$	$2 \cdot S_y$	$U S_s$
RSW-004	$V_A S$	38	$S_{pr m}(S_s)$	252	354	—	—	—
	$V_A S$	38	$S_n(S_s)$	—	—	481	482	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
RSW-007-905S	オイルスナップ	307256AP	添付書類「VI-2-1-12-1 配 管及び支持構造物の耐震 計算について」参照		246	300
RSW-002-906R	ロッドレストレイント	RSAZ 40			450	600

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 (°C)	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			
RSW-004-038R	レストレイント	架構	STKR400	40	0	33	547	-	-	-	組合せ	179	280
RSW-008-061A	アンカ	ラグ	SGV410	50	370	54	19	5	16	33	組合せ	63	152

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 V A S												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
1	RSW-001	19	183	355	1.93	—	19	370	482	1.30	—	—	—	—
2	RSW-002	12	230	355	1.54	—	11	457	482	1.05	—	—	—	—
3	RSW-003	1	45	354	7.86	—	1	76	482	6.34	—	—	—	—
4	RSW-004	38	252	354	1.40	○	38	481	482	1.00	○	—	—	—
5	RSW-005	810	168	355	2.11	—	4	333	482	1.44	—	—	—	—
6	RSW-006	1	45	354	7.86	—	1	76	482	6.34	—	—	—	—
7	RSW-007	82	218	354	1.62	—	82	402	482	1.19	—	—	—	—
8	RSW-008	10	135	355	2.62	—	451	246	482	1.95	—	—	—	—
9	RSW-009	508	135	355	2.62	—	7	326	482	1.47	—	—	—	—
10	RSW-010	1	45	354	7.86	—	1	76	482	6.34	—	—	—	—
11	RSW-011	14	167	354	2.11	—	29	324	482	1.48	—	—	—	—
12	RSW-012	5	57	355	6.22	—	7	376	482	1.28	—	—	—	—
13	RSW-013	1	45	354	7.86	—	1	76	482	6.34	—	—	—	—
14	RSW-014	35	200	354	1.77	—	35	381	482	1.26	—	—	—	—