

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-02-0014_改3
提出年月日	2021年10月1日

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、以下の二つに示すものである。

(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	原子炉压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	原子炉压力容器内部構造物の差圧	14
表 2-1	原子炉压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（原子炉压力容器内部構造物）	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 ज्या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 ज्या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。 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。 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。 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。 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。 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。 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。

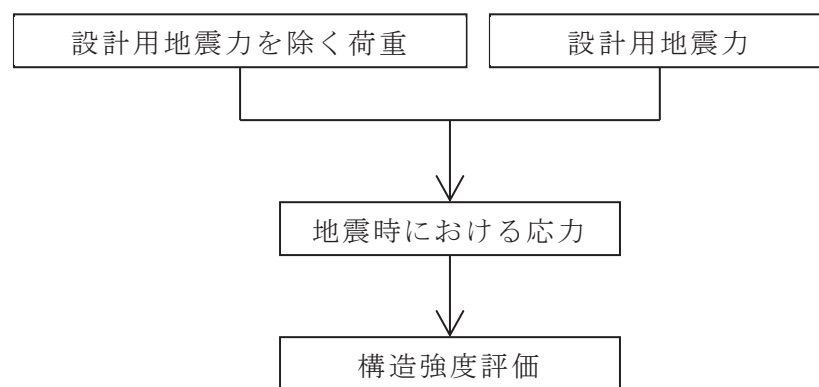


図 2-1 原子炉圧力容器内部構造物の耐震評価フロー

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 _{AS}	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 _{AS}	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 _{AS}	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 S 及び許容応力状態Ⅳ S 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 S 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 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。

原子炉圧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，原子炉圧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。

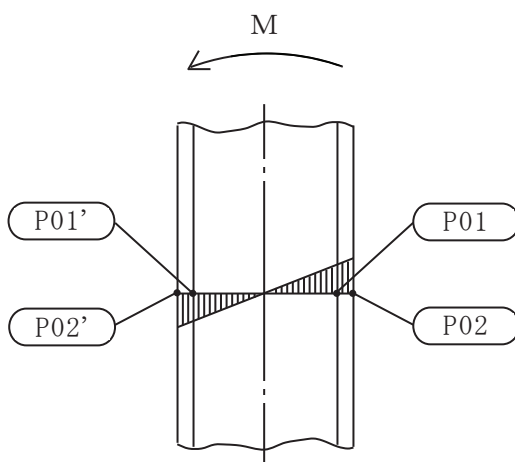
- (1) 蒸気乾燥器の耐震用ブロック

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

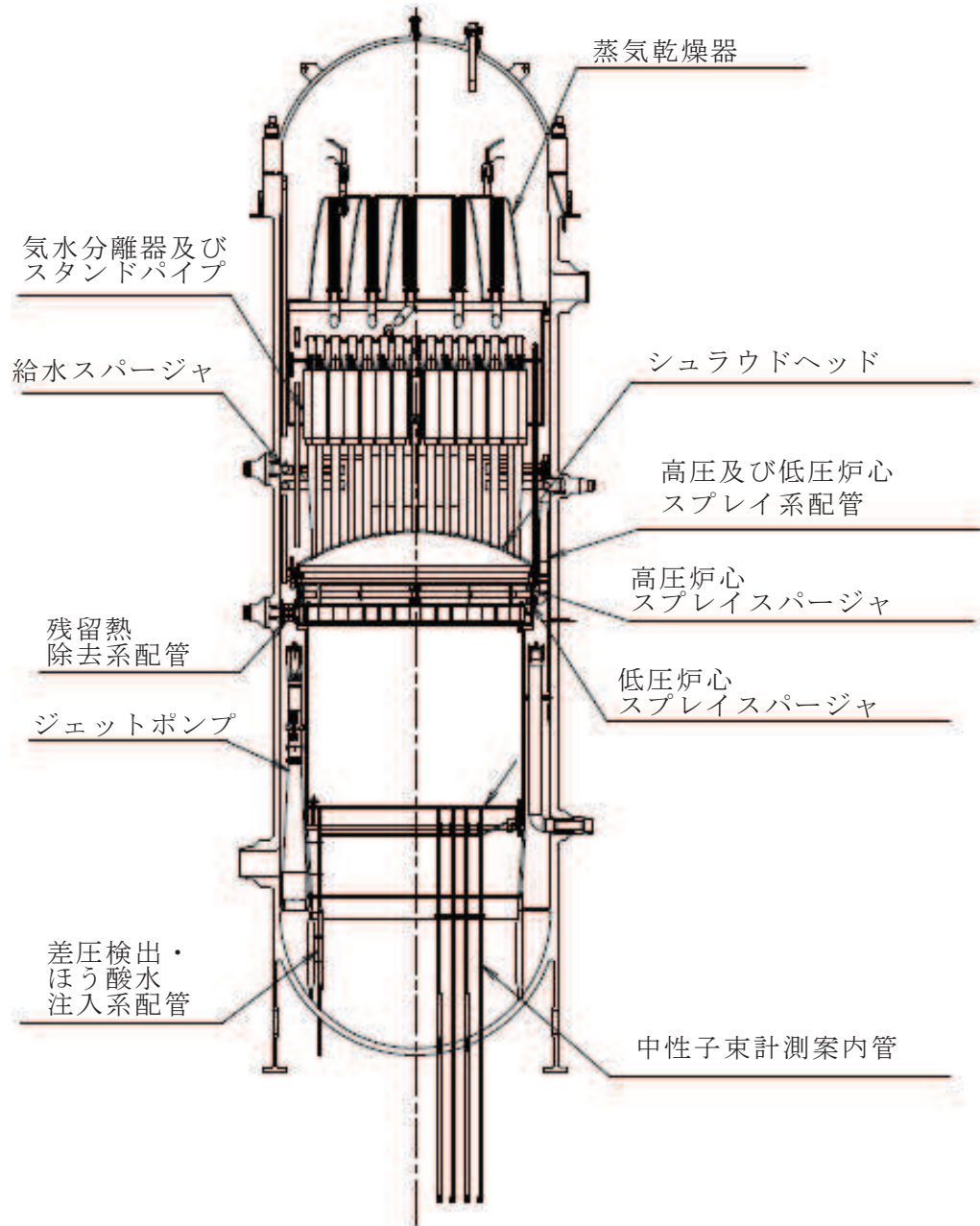
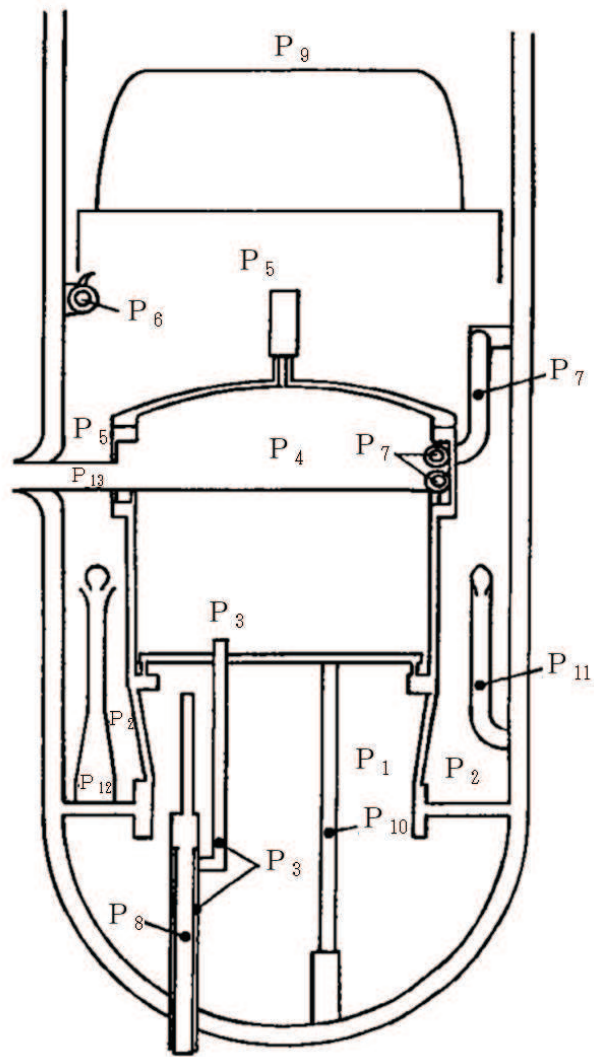


図 3-1 全体断面図



(単位：MPa)

部位	差圧	運転状態 V
給水スパーチャ	$P_{65} = P_6 - P_5$	
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チャ	$P_{74} = P_7 - P_4$	
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 _{AS}
		$D + P_D + M_D + S s$			IV _{AS}	

[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 圧力容器 内部 構造物	給水スパージャ 残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）	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（原子炉圧力容器内部）	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（原子炉圧力容器内部）	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。）
		差圧検出・ほう酸水注入系配管 （原子炉圧力容器内部）	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 ③ 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				

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

○ 2 ③ VI-2-3-4-3-1(1) R 0

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				

○ 2 ③ 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					

O 2 ③ VI-2-3-4-3-1(1) R 0

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 ③ 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						

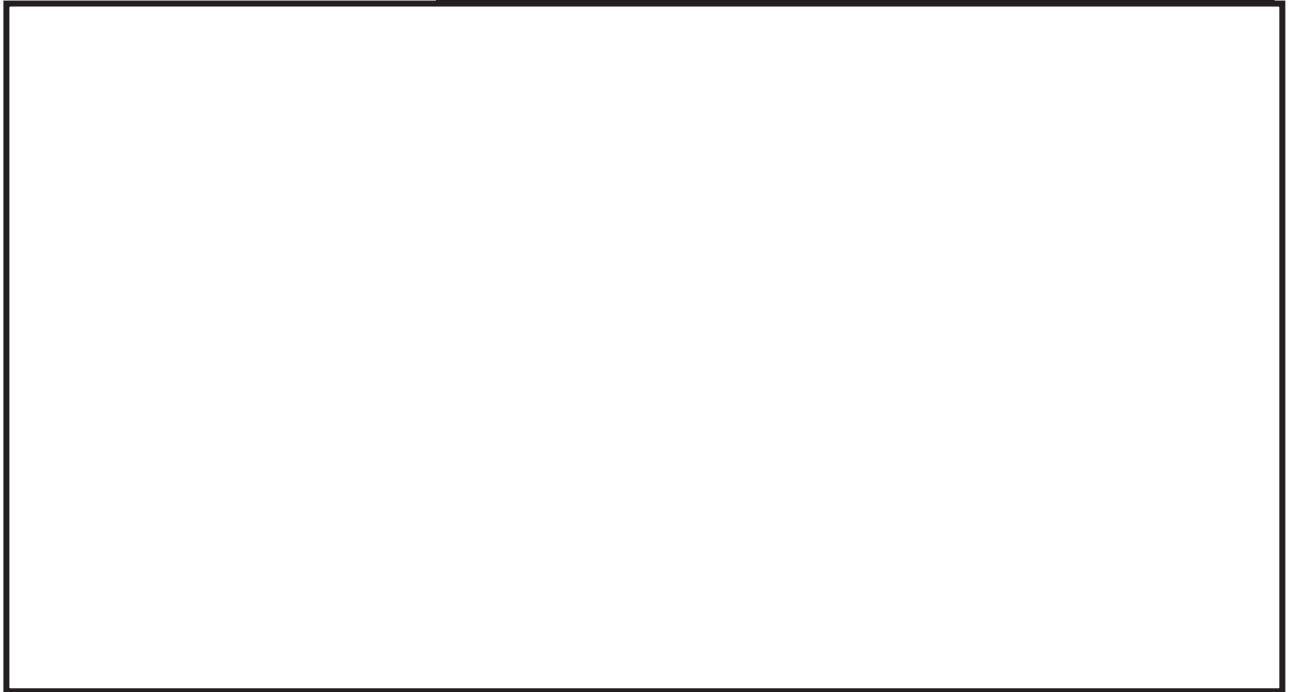
--	--	--	--	--	--	--

O 2 ③ 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					



○ 2 ③ 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					

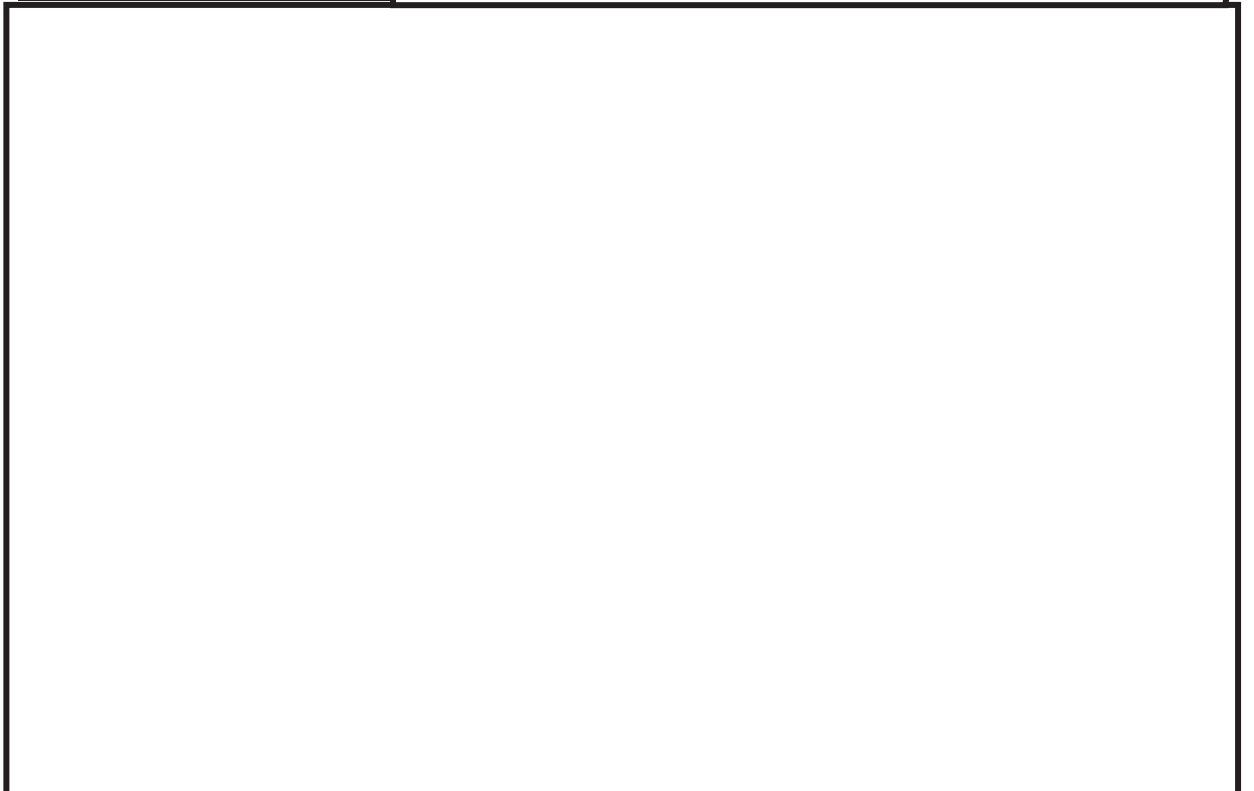
--

O 2 ③ VI-2-3-4-3-1(1) R 0

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					

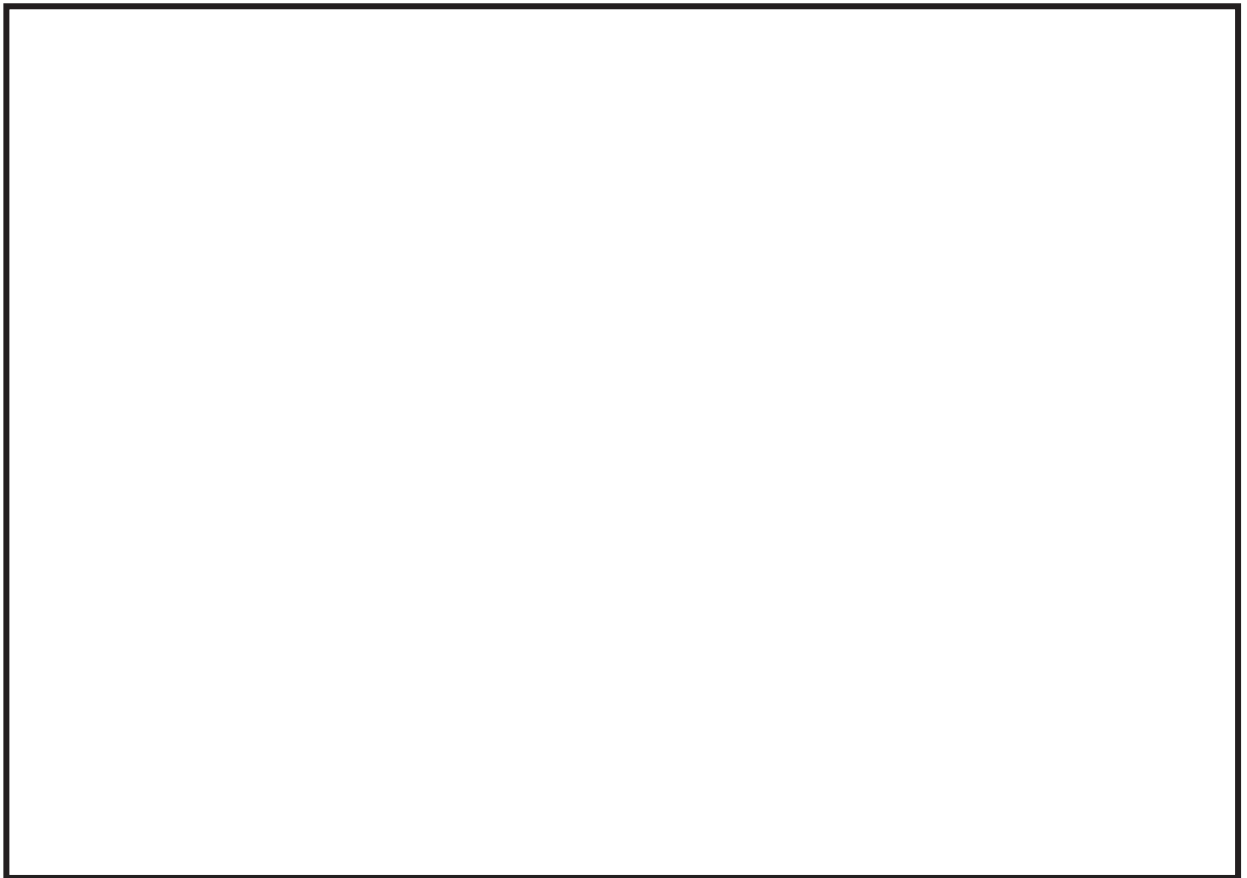


O 2 ③ VI-2-3-4-3-1(1) R 0

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						

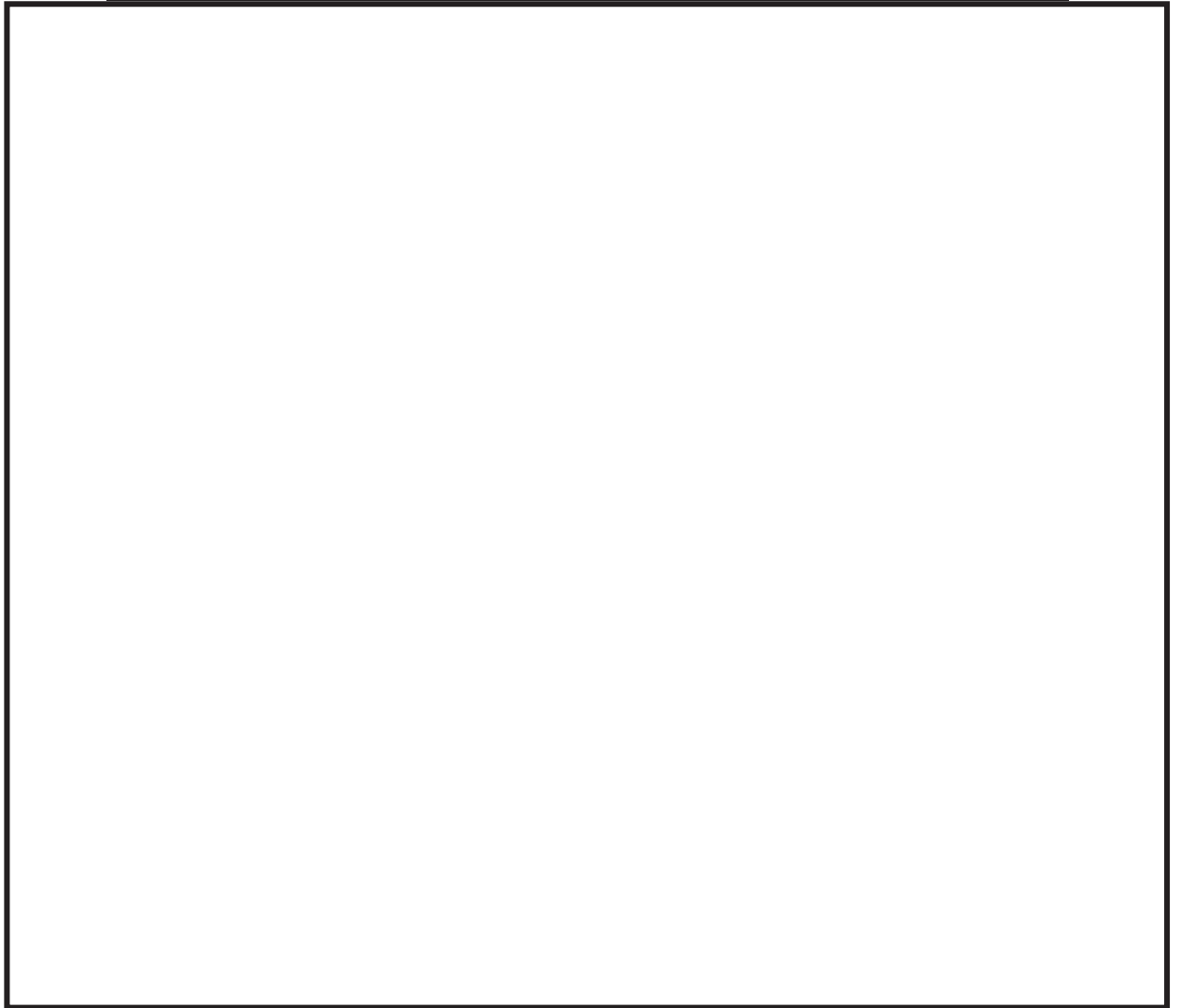


O 2 ③ VI-2-3-4-3-1(1) R 1

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				



02 ③ VI-2-3-4-3-1(1) R0

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 _{AS}	L02+L04+L14	P_m $P_m + P_b$
許容応力状態Ⅳ _{AS}	L02+L04+L16	P_m $P_m + P_b$
許容応力状態Ⅴ _{AS}	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。

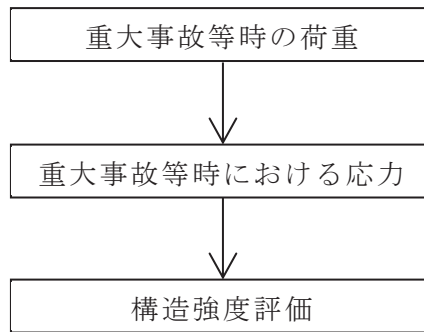


図2-1 原子炉圧力容器内部構造物の強度評価フロー

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、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 (RT) (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