

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第6号機 設計及び工事計画審査資料	
資料番号	KK6 添-2-034-1 改0
提出年月日	2023年11月27日

## VI-2-3-3-1-1 原子炉圧力容器の応力解析の方針

## VI-2-3-3-1-1 原子炉圧力容器の応力解析の方針

## 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	7
3.	計算条件	8
3.1	評価対象機器	8
3.2	形状及び寸法	9
3.3	物性値	9
3.4	荷重の組合せ及び許容応力状態	9
3.5	許容応力	9
3.6	許容応力評価条件	9
4.	荷重条件	10
4.1	設計条件	10
4.2	運転条件	10
4.3	荷重の組合せ及び応力評価	11
5.	応力評価の手順	12
5.1	計算に使用する解析コード	12
5.2	応力の評価	12
5.2.1	主応力	12
5.2.2	応力強さ	12
5.2.3	一次応力強さ	12
5.2.4	一次＋二次応力強さ	13
5.3	繰返し荷重の評価	13
5.3.1	疲労解析	13
5.4	特別な応力の評価	14
5.4.1	純せん断応力の評価	14
5.4.2	支圧応力の評価	14
5.4.3	座屈の評価	14
5.5	原子炉圧力容器基礎ボルトの評価	15
6.	評価結果の添付	16
6.1	応力評価結果	16

7. 引用文献 .....	17
8. 参照図書 .....	17

## 図 表 目 次

図2-1	原子炉圧力容器の耐震評価フロー	4
図3-1	全体断面図	18
表2-1	原子炉圧力容器の構造計画	3
表2-2	表示する数値の丸め方	7
表3-1	繰返し荷重の評価に使用する材料の物性値	19
表3-2	荷重の組合せ及び許容応力状態	20
表3-3	許容応力（クラス1 容器及び重大事故等クラス2）	22
表3-4	許容応力（クラス1 支持構造物及び重大事故等クラス2 支持構造物）	23
表3-5	許容応力評価条件	24
表4-1	外荷重	25
表4-2	荷重の組合せ	36
表5-1	繰返しピーク応力強さの割増し方法	37

## 1. 概要

本書は、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、原子炉压力容器（制御棒駆動機構ハウジング、原子炉压力容器スカート、原子炉压力容器基礎ボルト及び原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシングを含む。）に関する応力解析の方針を説明するものである。

なお、本書においては、設計用地震力に対する評価について記載するものとし、設計用地震力を除く荷重による原子炉压力容器本体の応力評価は、平成5年6月17日付け4資庁第14561号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）に、原子炉压力容器基礎ボルトの応力評価の手順は、平成3年8月23日付け3資庁第6674号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(2)）による（以下「既工認」という。）。

また、既工認に記載のない原子炉压力容器スカートの設計用地震力を除く荷重による応力評価は、VI-3-3-1-1-2「原子炉压力容器スカートの強度計算書」に示す。

注1：本書に記載していない特別な内容がある場合は、VI-2-3-3-1-2「原子炉压力容器の耐震計算結果」、VI-2-3-3-1-3「原子炉压力容器本体の応力計算書」及びVI-2-3-3-2-1「原子炉压力容器付属構造物の耐震計算結果」（以下「計算書」という。）に示す。

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

原子炉圧力容器の構造計画を表2-1に示す。

原子炉圧力容器は、下記の機器により構成される。

- (1) 胴板
- (2) 上部鏡板, 鏡板フランジ, 胴板フランジ及びスタッドボルト
- (3) 下部鏡板
- (4) 制御棒駆動機構ハウジング貫通孔
- (5) 中性子束計測ハウジング貫通孔
- (6) 原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔 (N1)
- (7) 主蒸気ノズル (N3)
- (8) 給水ノズル (N4)
- (9) 低圧注水ノズル (N6)
- (10) 上蓋スプレイ・ベントノズル (N7)
- (11) 原子炉停止時冷却材出口ノズル (N8, N10)
- (12) 原子炉冷却材再循環ポンプ差圧検出ノズル (N9)
- (13) 炉心支持板差圧検出ノズル (N11)
- (14) 計装ノズル (N12, N13, N14)
- (15) ドレンノズル (N15)
- (16) 高圧炉心注水ノズル (N16)
- (17) 振動計測ノズル (N18)
- (18) 原子炉圧力容器スカート
- (19) ブラケット類
- (20) 原子炉圧力容器基礎ボルト
- (21) 原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング

表2-1 原子炉圧力容器の構造計画

計画の概要		概略構造図
<p><b>基礎・支持構造</b></p> <p>原子炉圧力容器スカートが原子炉圧力容器を支持する。原子炉圧力容器基礎ボルトが原子炉圧力容器スカートを原子炉本体基礎に固定する。</p>	<p><b>主体構造</b></p> <p>原子炉圧力容器は、胴板、上部鏡板、鏡板フランジ、胴板フランジ及びスタッドボルト、下部鏡板、制御棒駆動機構ハウジング貫通孔、中性子束計測ハウジング貫通孔、原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔、主蒸気ノズル、給水ノズル、低圧注水ノズル、上蓋スプレイ・ベントノズル、原子炉停止時冷却材出口ノズル、原子炉冷却材再循環ポンプ差圧検出ノズル、炉心支持板差圧検出ノズル、計装ノズル、ドレンノズル、高圧炉心注水ノズル、振動計測ノズル、ブラケット類及び原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシングより構成される。</p>	



## 2.2 評価方針

原子炉圧力容器の構造強度評価は、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の各機器の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等が許容限界内に収まることを、「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。確認結果を計算書に示す。

原子炉圧力容器の耐震評価フローを図2-1に示す。

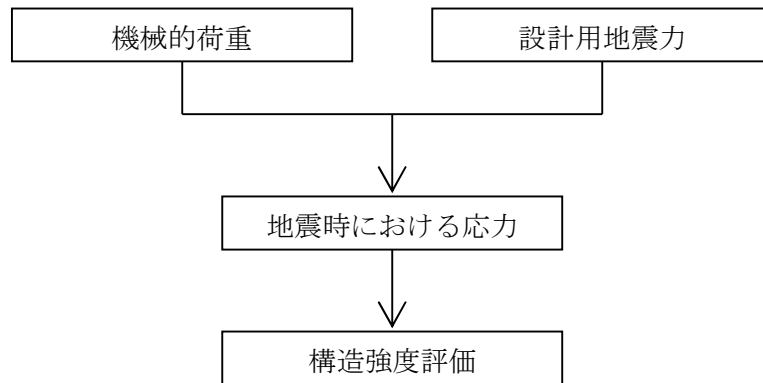


図2-1 原子炉圧力容器の耐震評価フロー

## 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。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

注：本書及び計算書において、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

本書及び計算書において、以下の記号を使用する。ただし、本書及び計算書中に別途記載ある場合は、この限りでない。

なお、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
$A_0$	簡易弾塑性解析に使用する係数	—
$a$	簡易弾塑性解析に使用する係数	—
$B_0$	簡易弾塑性解析に使用する係数	—
$E$	縦弾性係数	MPa
$E_0$	設計疲労線図に使用されている縦弾性係数	MPa
$f_{t0}$	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
$F_x$	水平力	N
$F_y$	鉛直力	N
$F_z$	軸力	N
$H$	水平力	N
$i$	応力振幅のタイプ	—
$K$	簡易弾塑性解析に使用する係数	—
$K_e$	簡易弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
$k$	応力振幅のタイプの総数	—
$M$	モーメント	N・m
$M_T$	ねじりモーメント	N・m
$M_Z$	ねじりモーメント	N・m
$N_a$	$S_0'$ に対応する許容繰返し回数	回
$N_c$	実際の繰返し回数	回
$P_b$	一次曲げ応力	MPa
$P_L$	一次局部膜応力	MPa
$P_m$	一次一般膜応力	MPa
$Q$	二次応力	MPa
$q$	簡易弾塑性解析に使用する係数	—

記号	記号の説明	単位
S	10 <sup>6</sup> 回又は10 <sup>11</sup> 回に対する許容繰返しピーク応力強さ	MPa
S <sub>12</sub>	主応力差 $\sigma_1 - \sigma_2$	MPa
S <sub>23</sub>	主応力差 $\sigma_2 - \sigma_3$	MPa
S <sub>31</sub>	主応力差 $\sigma_3 - \sigma_1$	MPa
S <sub>d</sub> <sup>*</sup>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 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 <sub>ℓ</sub>	繰返しピーク応力強さ	MPa
S <sub>ℓ</sub> '	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S <sub>m</sub>	設計応力強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める値	MPa
S <sub>n</sub>	運転状態 I 及び II における一次+二次応力の応力差最大範囲	MPa
S <sub>n</sub> <sup>#1</sup>	地震荷重 S <sub>d</sub> <sup>*</sup> による一次+二次応力の応力差最大範囲	MPa
S <sub>n</sub> <sup>#2</sup>	地震荷重 S <sub>s</sub> による一次+二次応力の応力差最大範囲	MPa
S <sub>p</sub>	一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	MPa
S <sub>p</sub> <sup>#1</sup>	地震荷重 S <sub>d</sub> <sup>*</sup> による一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	MPa
S <sub>p</sub> <sup>#2</sup>	地震荷重 S <sub>s</sub> による一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	MPa
S <sub>s</sub>	基準地震動 S <sub>s</sub> により定まる地震力	—
S <sub>u</sub>	設計引張強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S <sub>y</sub>	設計降伏点 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
S <sub>y</sub> (RT)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における設計降伏点	MPa
U <sub>f</sub>	疲労累積係数 (U <sub>n</sub> +U <sub>S<sub>d</sub></sub> 又はU <sub>n</sub> +U <sub>S<sub>s</sub></sub> )	—
U <sub>n</sub>	運転状態 I 及び II における疲労累積係数	—
U <sub>S<sub>d</sub></sub>	地震荷重 S <sub>d</sub> <sup>*</sup> による疲労累積係数	—
U <sub>S<sub>s</sub></sub>	地震荷重 S <sub>s</sub> による疲労累積係数	—
V	鉛直力	N
α	形状係数 (純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比, 又は1.5のいずれか小さい方の値)	—
σ <sub>1</sub>	主応力	MPa
σ <sub>2</sub>	主応力	MPa
σ <sub>3</sub>	主応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_l$	軸方向応力	MPa
$\sigma_r$	半径方向応力	MPa
$\sigma_t$	周方向応力	MPa
$\tau_{lr}$	せん断応力	MPa
$\tau_{rt}$	せん断応力	MPa
$\tau_{tl}$	せん断応力	MPa
ⅢA 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	—
ⅣA 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
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
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
座屈の評価	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
疲労累積係数	—	小数点以下第4位	切上げ	小数点以下第3位
許容値	—	—	—	小数点以下第1位

注記\*：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)		
		ⅢA S, IV A S	V A S	
(1)	胴板	○	○	
(2)	上部鏡板, 鏡板フランジ, 胴板フランジ及びスタッド ボルト	×*1	×*1	
(3)	下部鏡板	○	○	
(4)	制御棒駆動機構ハウジング貫通孔	○	○	
(5)	中性子束計測ハウジング貫通孔	×*2	×*2	
(6)	原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔 (N1)	○	○	
(7)	主蒸気ノズル (N3)	○	○	
(8)	給水ノズル (N4)	○	○	
(9)	低圧注水ノズル (N6)	○	○	
(10)	上蓋スプレイ・ベントノズル (N7)	○	○	
(11)	原子炉停止時冷却材出口ノズル (N8, N10)	○	○	
(12)	原子炉冷却材再循環ポンプ差圧検出ノズル (N9)	○	○	
(13)	炉心支持板差圧検出ノズル (N11)	○	○	
(14)	計装ノズル (N12, N13, N14)	○	○	
(15)	ドレンノズル (N15)	○	○	
(16)	高圧炉心注水ノズル (N16)	○	○	
(17)	振動計測ノズル (N18)	×*1	×*1	
(18)	原子炉圧力容器スカート	○	×*4	
(19)	ブ ラ ケ ッ ト 類	原子炉圧力容器スタビライザブラケット	○	×*4
(20)		蒸気乾燥器ホールダウンブラケット	×*3	×*3
(21)		上部ガイドロッドブラケット	×*3	×*3
(22)		下部ガイドロッドブラケット	×*3	×*3
(23)		蒸気乾燥器支持ブラケット	○	×*4
(24)		給水スパーチャブラケット	○	×*4
(25)		低圧注水スパーチャブラケット	○	×*4
(26)	原子炉圧力容器基礎ボルト	○	×*4	
(27)	原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング	○	×*4	

注：「○」は評価対象，「×」は評価対象外を示す。

注記\*1：作用する主たる荷重は内圧であり，地震力を負担するような部位ではなく，既工認からの変更はないため，評価対象機器としない。

\*2：結果が厳しくなる制御棒駆動機構ハウジング貫通孔を代表として評価するため，評価対象機器としない。

\*3：使用条件が一時的（機器搬出入時又は事故時のドライヤ浮上がり等）なものであり，通常運転時に外荷重が作用せず，既工認からの変更はないため，評価対象機器としない。

\*4：設計基準対象施設としてのみ申請する施設

### 3.2 形状及び寸法

各部の形状及び寸法は、計算書に示す。

### 3.3 物性値

地震荷重による繰返し荷重の評価に使用する材料の物性値を表3-1に示す。

### 3.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉压力容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3-2(1)に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-2(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。

なお、原子炉压力容器については、重大事故等対処設備の評価は、設計基準対象施設の評価に包絡される。

### 3.5 許容応力

- (1) 原子炉压力容器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表3-3に示す。  
この表に記載のない圧縮荷重を受ける場合に対する許容応力は、計算書に記載するものとする。
- (2) 原子炉压力容器基礎ボルトの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表3-4に示す。

### 3.6 許容応力評価条件

- (1) 許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S及び許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>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Ⅲ<sub>A</sub>S及び許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sの一次+二次応力及び繰返し荷重の評価には、運転温度として定格出力運転時の蒸気温度  に対する許容応力を用いる。
- (2) 原子炉压力容器の許容応力評価条件を表3-5に示す。  
なお、原子炉压力容器基礎ボルトの許容応力評価条件及び各機器で使用される材料は、計算書に示す。

#### 4. 荷重条件

原子炉压力容器は，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)a.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)a.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。

表4-1において考慮する設計用地震力は，VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」，VI-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」及びVI-2-3-1「炉心，原子炉压力容器及び压力容器内部構造物の地震応答計算書」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。

また，地震荷重 $S_d^*$ 及び地震荷重 $S_s$ の繰返し回数は，地震動に対する応答特性等を考慮して，それぞれ200回とする。

なお，既工認に記載のない原子炉压力容器スカートの運転条件については，計算書に示す。

#### 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4-2に示す。表4-2及び計算書において、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) 内圧	[L01]
(2) 差圧又は動圧*	[L02]
(3) 死荷重 (配管の自重)	[L04]
(4) 熱変形力 (熱膨張差により生じる荷重)	[L07]
(5) 熱負荷	[L10]
(6) ボルト荷重	[L11]
(7) 配管又は機器の地震時の慣性力による地震荷重 $S_d^*$ (一次荷重)	[L14]
(8) 配管又は機器の拘束点の地震時の相対変位による地震荷重 $S_d^*$ (二次荷重)	[L15]
(9) 配管又は機器の地震時の慣性力による地震荷重 $S_s$ (一次荷重)	[L16]
(10) 配管又は機器の拘束点の地震時の相対変位による地震荷重 $S_s$ (二次荷重)	[L17]
(11) 外荷重 (運転状態 I 及び II における荷重)	[L12, L13, L18, L19]

注記\* : 許容応力状態 III A S 及び許容応力状態 IV A S の応力評価には、運転状態 I 及び II における差圧又は動圧を用いる。

なお、許容応力状態 V A S で考慮する差圧又は動圧は、設計基準対象施設としての応力評価における差圧又は動圧に包絡される。



## 5. 応力評価の手順

応力評価の手順について述べる。

### 5.1 計算に使用する解析コード

解析コードは「PIPE」, 「STAX」, 「ASHSD」及び「ASHSD2」を用いる。「PIPE」は外荷重によって生じる形状の不連続の効果を含まない応力を, 「STAX」は軸対称の外荷重によって生じる応力を, 「ASHSD」及び「ASHSD2」は非軸対称の外荷重によって生じる応力を求める。

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, 別紙「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

### 5.2 応力の評価

外荷重による応力は表4-1に示す外荷重より計算する。

#### 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 $\sigma_t$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\sigma_r$ ,  $\tau_{t\theta}$ ,  $\tau_{\theta r}$ ,  $\tau_{rt}$ の6成分を持つが, 主応力 $\sigma$ は, 引用文献(1)の1.3.6項により, 次式を満足する3根 $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ 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ⅢAS及び許容応力状態ⅣASにおいて生じる一次一般膜応力, 一次局部膜応力及び一次膜+一次曲げ応力の応力強さが, 3.5節に示す許容応力を満足することを示す。

ただし, 一次局部膜応力より一次膜+一次曲げ応力の方が発生値及び許容応力の観点で厳しくなることから, 一次局部膜応力強さの評価については省略する。

#### 5.2.4 一次＋二次応力強さ

許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S及び許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sにおいて生じる一次＋二次応力の応力差最大範囲（ $S_n^{\#1}$ 、 $S_n^{\#2}$ ）が、3.5節に示す許容応力を満足することを示す。

本規定を満足しない応力評価点については、5.2節で述べる設計・建設規格 PVB-3300に基づいた簡易弾塑性解析を行う。

### 5.3 繰返し荷重の評価

繰返し荷重の評価は、運転状態Ⅰ及びⅡによる荷重並びに許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S及び許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sによる荷重を用いて、次の方法によって行う。

#### 5.3.1 疲労解析

以下の手順で疲労解析を行う。

- (1) 運転状態Ⅰ及びⅡにおいて生じる一次＋二次＋ピーク応力の応力差の変動並びに許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S及び許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sにおいて生じる一次＋二次＋ピーク応力の応力差の変動を求める。また、この変動の繰返し回数として、参照図書(1)a.に示す各運転条件の繰返し回数及び4.2節に示す地震荷重の繰返し回数を考慮する。
- (2) 応力差の変動とその繰返し回数より、一次＋二次＋ピーク応力の応力差範囲（ $S_p$ 、 $S_p^{\#1}$ 及び $S_p^{\#2}$ ）及びこの応力振幅の繰返し回数を求める。
- (3) 繰返しピーク応力強さは、次式により求める。

$$S_\ell = \frac{S_p}{2}$$

ただし、一次＋二次応力の応力差最大範囲（ $S_n$ 、 $S_n^{\#1}$ 又は $S_n^{\#2}$ ）が $3 \cdot S_m$ を超える応力評価点については、設計・建設規格 PVB-3300の簡易弾塑性解析の適用性の検討を行い、適合する場合は、表5-1に示す方法により繰返しピーク応力強さの割増しを行う。

- (4) 設計疲労線図に使用している縦弾性係数（ $E_0$ ）と解析に用いる縦弾性係数（ $E$ ）との比を考慮し、繰返しピーク応力強さを次式で補正する。

$$S_\ell' = S_\ell \cdot \frac{E_0}{E}$$

なお、 $E$ と $E_0$ は表3-1に示す。

(5) 疲労累積係数 ( $U_f$ )

疲労累積係数 ( $U_f$ ) は、 $S_e'$  に対応する許容繰返し回数が $10^6$ 回以下（低合金鋼及び炭素鋼）又は $10^{11}$ 回以下（オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金）となる応力振幅について、次式により求める。設計・建設規格 PVB-3114又はPVB-3315に従って、運転状態Ⅰ及びⅡにおける疲労累積係数 $U_n$ と許容応力状態ⅢASにおける疲労累積係数 $U_{sd}$ 又は許容応力状態ⅣASにおける疲労累積係数 $U_{ss}$ の和 $U_f$  ( $U_n + U_{sd}$ 又は $U_n + U_{ss}$ ) が、1以下であることを示す。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金の場合、繰返しピーク応力強さ194 MPa以下の設計疲労線図は、設計・建設規格 表 添付4-2-2の曲線Cを用いる。

$$\text{疲労累積係数 } (U_f) = \sum_{i=1}^k \frac{N_c(i)}{N_a(i)}$$

5.4 特別な応力の評価

5.4.1 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 PVB-3115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)s. に示し、許容応力は表3-3に示す。

(1) ブラケット類

5.4.2 支圧応力の評価

支圧荷重を受ける部分は、設計・建設規格 PVB-3116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)t. に示し、許容応力は表3-3に示す。

(1) 原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシングのストレッチチューブ支圧面

5.4.3 座屈の評価

軸圧縮荷重を受ける部分は、設計・建設規格 PVB-3117により評価する。解析箇所を以下に示す。評価方法及び許容応力は、計算書に示す。

- (1) 制御棒駆動機構ハウジング貫通孔スタブチューブ
- (2) 原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔 (N1) スタブ
- (3) 原子炉冷却材再循環ポンプ差圧検出ノズル (N9) のスタブ
- (4) 炉心支持板差圧検出ノズル (N11) のスタブ
- (5) 原子炉圧力容器スカート
- (6) 原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング

### 5.5 原子炉圧力容器基礎ボルトの評価

原子炉圧力容器基礎ボルトの評価方法は参照図書(2)に示す。基礎ボルトの引張応力 $\sigma_b$ 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。

$$f_{ts} = \text{Min.} (1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to})$$

せん断応力 $\tau_b$ 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。

	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 $S_s$ による荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{to}$	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sb}$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$

[記号の説明]

F : 設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値

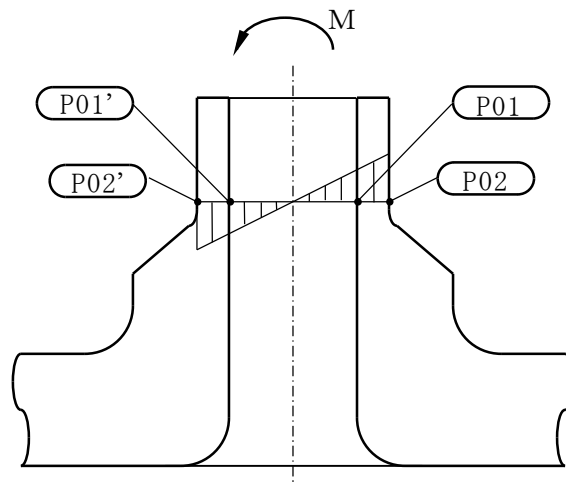
F\* : 設計・建設規格 SSB-3133に定める値

## 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、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. 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ
  - c. 一次＋二次応力強さの評価のまとめ
  - d. 疲労累積係数の評価のまとめ
- (2)  $S_n^{\#1}$ 又は $S_n^{\#2}$ が $3 \cdot S_m$ を超える機器について、以下の評価過程を記載する。
  - a. 最も厳しい応力評価点における疲労累積係数
- (3) 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
  - b. 支圧応力
  - c. 座屈
- (4) 原子炉压力容器基礎ボルトの評価は、次の応力評価結果を記載する。
  - a. 引張応力
  - b. せん断応力

## 7. 引用文献

文献番号は、本書及び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)

## 8. 参照図書

- (1) 柏崎刈羽原子力発電所第6号機 第5回工事計画認可申請書 添付書類

- a. IV-3-1-2-1 原子炉圧力容器の応力解析の方針
- b. IV-3-1-2-2 原子炉圧力容器の穴と補強についての計算書
- c. IV-3-1-2-3 胴板の応力計算書
- d. IV-3-1-2-4 上部鏡板, 鏡板フランジ及び胴板フランジの応力計算書
- e. IV-3-1-2-5 下部鏡板の応力計算書
- f. IV-3-1-2-6 制御棒駆動機構ハウジング貫通孔の応力計算書
- g. IV-3-1-2-7 中性子束計測ハウジング貫通孔の応力計算書
- h. IV-3-1-2-8 原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔 (N1) の応力計算書
- i. IV-3-1-2-9 主蒸気ノズル (N3) の応力計算書
- j. IV-3-1-2-10 給水ノズル (N4) の応力計算書
- k. IV-3-1-2-11 低圧注水ノズル (N6) の応力計算書
- l. IV-3-1-2-12 上蓋スプレイ・ベントノズル (N7) の応力計算書
- m. IV-3-1-2-13 原子炉停止時冷却材出口ノズル (N8, N10) の応力計算書
- n. IV-3-1-2-14 原子炉冷却材再循環ポンプ差圧検出ノズル (N9) の応力計算書
- o. IV-3-1-2-15 炉心支持板差圧検出ノズル (N11) の応力計算書
- p. IV-3-1-2-16 計装ノズル (N12, N13, N14) の応力計算書
- q. IV-3-1-2-17 ドレンノズル (N15) の応力計算書
- r. IV-3-1-2-18 高圧炉心注水ノズル (N16) の応力計算書
- s. IV-3-1-2-19 振動計測ノズル (N18) の応力計算書
- t. IV-3-1-2-20 ブラケット類の応力計算書
- u. IV-3-1-4-3 原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシングの応力計算書

- (2) 柏崎刈羽原子力発電所第6号機 第1回工事計画認可申請書 添付書類

- IV-2-5-1-1 原子炉圧力容器基礎ボルトの耐震性についての計算書

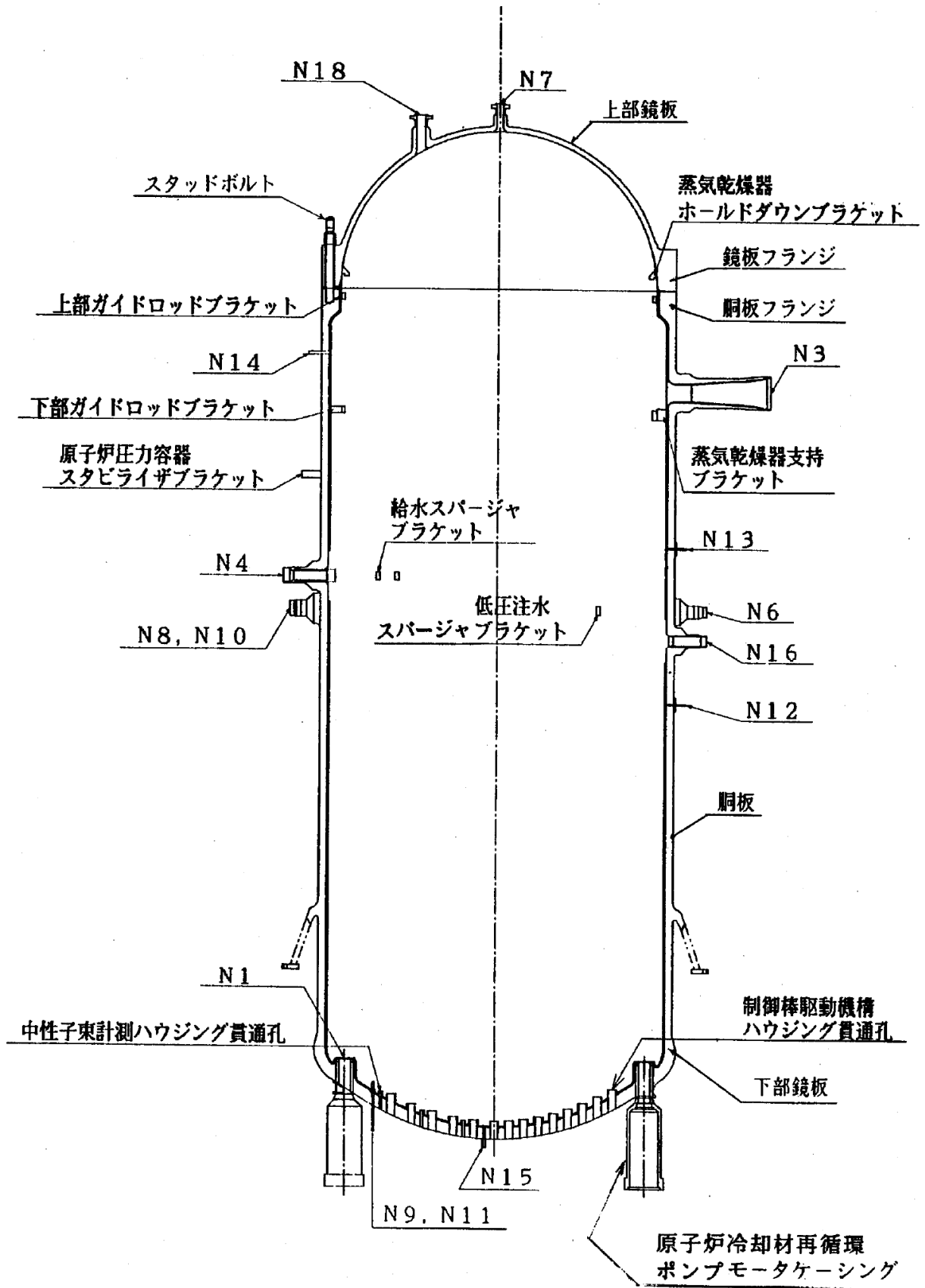


図3-1 全体断面図

表3-1 繰返し荷重の評価に使用する材料の物性値

材料	E ×10 <sup>5</sup> (MPa)	S <sub>m</sub> (MPa)	S (MPa)	E <sub>0</sub> ×10 <sup>5</sup> (MPa)	q	A <sub>0</sub>	B <sub>0</sub>
SQV2A					3.1	1.0	1.25
SFVQ1A					3.1	1.0	1.25
SFVC2B					3.1	0.66	2.59
SUSF316					3.1	0.7	2.15
SUS316TP					3.1	0.7	2.15
NCF600					3.1	0.7	2.15

[記号の説明]

- E : 運転温度  に対する縦弾性係数
- S<sub>m</sub> : 運転温度  に対する設計応力強さ
- S : 設計・建設規格 表 添付 4-2-1の S<sub>u</sub> ≤ 550MPaの10<sup>6</sup>回に対する繰返しピーク応力強さ及び設計・建設規格 表 添付4-2-2の曲線Cの10<sup>11</sup>回に対する繰返しピーク応力強さ
- E<sub>0</sub> : 設計・建設規格 添付4-2に記載された縦弾性係数
- q, A<sub>0</sub>, B<sub>0</sub> : 設計・建設規格 表 PVB-3315-1に示された簡易弾塑性解析に使用する係数の値



表3-2(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	原子炉圧力 容器及び炉心	S	クラス I 容器 *	$D + P + M + S d *$	III A S
				$D + P_L + M_L + S d *$	
				$D + P + M + S s$	IV A S

[記号の説明]

D : 死荷重

P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態IV, Vは除く）における圧力荷重

M : 地震及び死荷重以外で地震と組み合わせべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態IV, Vは除く）で設備に作用している機械的荷重

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

P<sub>L</sub> : 地震との組合せが独立な運転状態IVの事故の直後を除き、その後が生じている圧力荷重

M<sub>L</sub> : 地震との組合せが独立な運転状態IVの事故の直後を除き、その後が生じている死荷重及び地震荷重以外の機械的荷重

S s : 基準地震動 S s により定まる地震力

注記\* : クラス I 支持構造物を含む。

表3-2(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 本体	原子炉 压力容器 及び炉心	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 *2 クラス2	$D + P_L + M_L + S_d^*$	IVAS
				$D + P + M + S_s$	
				$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	
				$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	

[記号の説明]

- D : 死荷重
- $P_L$  : 地震との組合せが独立な運転状態IVの事故の直後を除き、その後が生じている圧力荷重
- $M_L$  : 地震との組合せが独立な運転状態IVの事故の直後を除き、その後が生じている死荷重及び地震荷重以外の機械的荷重
- $S_d^*$  : 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
- P : 地震と組み合わせるべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態IV、Vは除く）における圧力荷重
- M : 地震及び死荷重以外で地震と組み合わせるべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態IV、Vは除く）で設備に作用している機械的荷重
- $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  により定まる地震力
- $P_{SAL}$  : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））に作用する圧力荷重
- $M_{SAL}$  : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））に作用する機械的荷重
- $S_d$  : 弾性設計用地震動  $S_d$  により定まる地震力
- $P_{SALL}$  : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））より更に長期的（長期（LL））に作用する圧力荷重
- $M_{SALL}$  : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））より更に長期的（長期（LL））に作用する機械的荷重

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支持構造物を含む。

表 3-3 許容応力 (クラス 1 容器及び重大事故等クラス 2)

許容限界*3						
許容応力状態	一次一般膜応力	一次膜+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力	純せん断 応力	支圧 応力
ⅢAS	$S_y$ と $2/3 \cdot S_u$ 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 $1.2 \cdot S_m$ とする。	左欄の $\alpha$ 倍の値*1	$3 \cdot S_m$ *2 $S_d$ 又は $S_s$ 地震動*4のみによる応力振幅について評価する。	$S_d$ 又は $S_s$ 地震動*4のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ及びⅡにおける疲労累積係数との和が1以下であることを。	$0.6 \cdot S_m$	$S_y$
	$2/3 \cdot S_u$ 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 $2/3 \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の小さい方。	左欄の $\alpha$ 倍の値*1				
ⅣAS	$2/3 \cdot S_u$ 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 $2/3 \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の小さい方。	左欄の $\alpha$ 倍の値*1	$3 \cdot S_m$ *2 $S_d$ 又は $S_s$ 地震動*4のみによる応力振幅について評価する。	$S_d$ 又は $S_s$ 地震動*4のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ及びⅡにおける疲労累積係数との和が1以下であることを。	$0.4 \cdot S_u$	$S_u$

注記\*1 :  $\alpha$ は純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比、又は1.5のいずれか小さい方の値とする。  
 \*2 :  $3 \cdot S_m$ 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) の簡易弾塑性解析を用いる。  
 \*3 : 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。  
 \*4 : クラス 1 容器及び重大事故等クラス 2 においては、 $S_d$ \*又は $S_s$ 地震力を考慮する。

表 3-4 許容応力（クラス 1 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 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
ⅣAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
ⅤAS (ⅤASとしてⅣASの 許容限界を用いる。)		

[記号の説明]

$f_t$  : 許容引張応力 ボルト等に対して設計・建設規格 SSB-3131(1)に定める値

$f_s$  : 許容せん断応力 ボルト等に対して設計・建設規格 SSB-3131(2)に定める値

$f_t^*$  : 上記の  $f_t$  の値を算出する際に設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値とあるのを設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値の1.2倍の値と読み替えて計算した値

$f_s^*$  : 上記の  $f_s$  の値を算出する際に設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値とあるのを設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値の1.2倍の値と読み替えて計算した値

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 許容応力評価条件

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	炭素鋼 及び 低合金鋼	SQV2A	流体の最高温度				
			運転温度				
		SFVQ1A	流体の最高温度				
			運転温度				
		SFVC2B	流体の最高温度				
			運転温度				
	オーステナ イト系ステ ンレス鋼及 び高ニッケ ル合金	SUSF316	流体の最高温度				
			運転温度				
		NCF600	流体の最高温度				
			運転温度				

表 4-1(1) 外荷重

下部鏡板外荷重

記号	荷重名称	鉛直力		水平力	モーメント
		V <sub>1</sub> (kN)	V <sub>2</sub> (kN)	H (kN)	M (kN・m)
L12	外荷重A <sup>*1</sup>				
L13	外荷重B <sup>*2</sup>				
L18	外荷重C <sup>*3</sup>				
L19	外荷重D <sup>*4</sup>				
L14	地震荷重S <sub>d</sub> <sup>*</sup>				
L16	地震荷重S <sub>s</sub>				

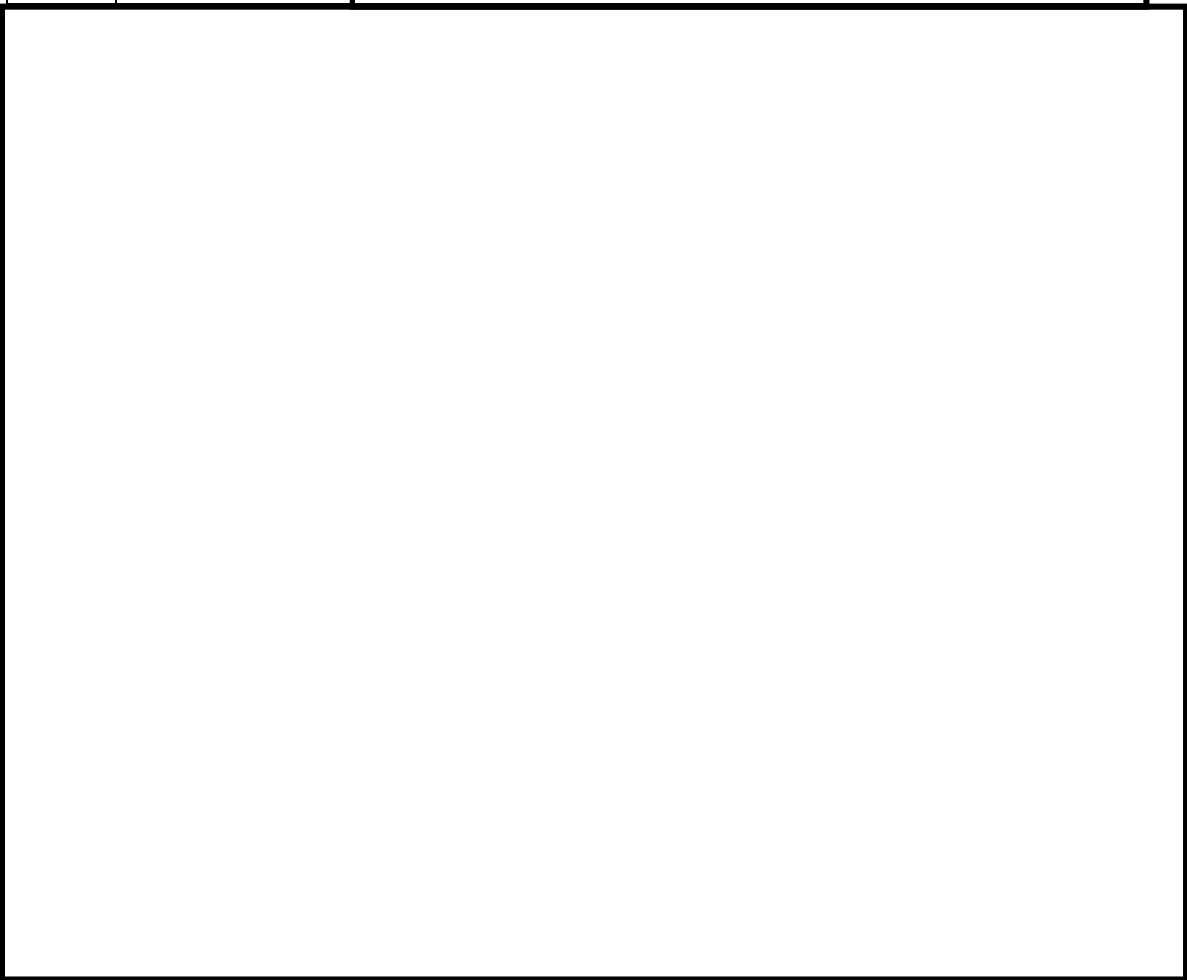


表 4-1(2) 外荷重

胴板及び原子炉圧力容器スカート外荷重

記号	荷重名称	鉛直力		水平力	モーメント
		V <sub>1</sub> (kN)	V <sub>2</sub> (kN)	H (kN)	M (kN・m)
L12	外荷重A <sup>*1</sup>				
L13	外荷重B <sup>*2</sup>				
L18	外荷重C <sup>*3</sup>				
L19	外荷重D <sup>*4</sup>				
L14	地震荷重S <sub>d</sub> <sup>*</sup>				
L16	地震荷重S <sub>s</sub>				

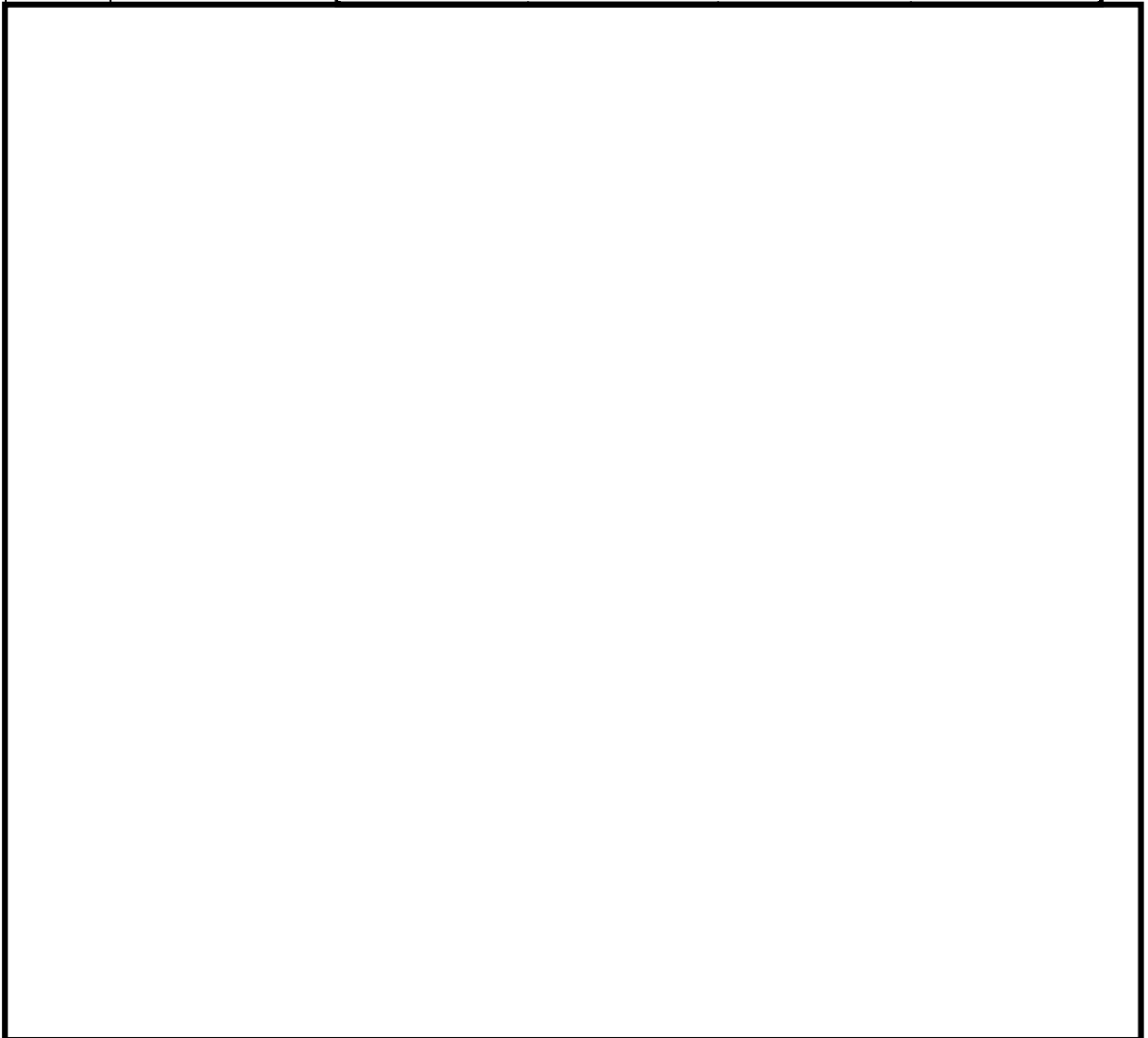


表4-1(3) 外荷重

制御棒駆動機構ハウジング貫通孔外荷重

記号	荷重名称	鉛直力		水平力		モーメント	
		V <sub>1</sub> (kN)	V <sub>2</sub> (kN)	H <sub>1</sub> (kN)	H <sub>2</sub> (kN)	M <sub>1</sub> (kN・m)	M <sub>2</sub> (kN・m)
L12	外荷重A* <sup>1</sup>						
L13	外荷重B* <sup>2</sup>						
L18	外荷重C* <sup>3</sup>						
L19	外荷重D* <sup>4</sup>						
L14	地震荷重S <sub>d</sub> * <sup>*</sup>						
L16	地震荷重S <sub>s</sub>						

K6 ① VI-2-3-3-1-1 R0



表4-1(4) 外荷重

原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔 (N1) 外荷重

記号	荷重名称	鉛直力		水平力		モーメント		ねじり
		V <sub>1</sub> (kN)	V <sub>2</sub> (kN)	H <sub>1</sub> (kN)	H <sub>2</sub> (kN)	M <sub>1</sub> (kN・m)	M <sub>2</sub> (kN・m)	MT (kN・m)
L12	外荷重A*							
L14	地震荷重S d*							
L16	地震荷重S s							

表 4-1(5) 外荷重

ノズル外荷重

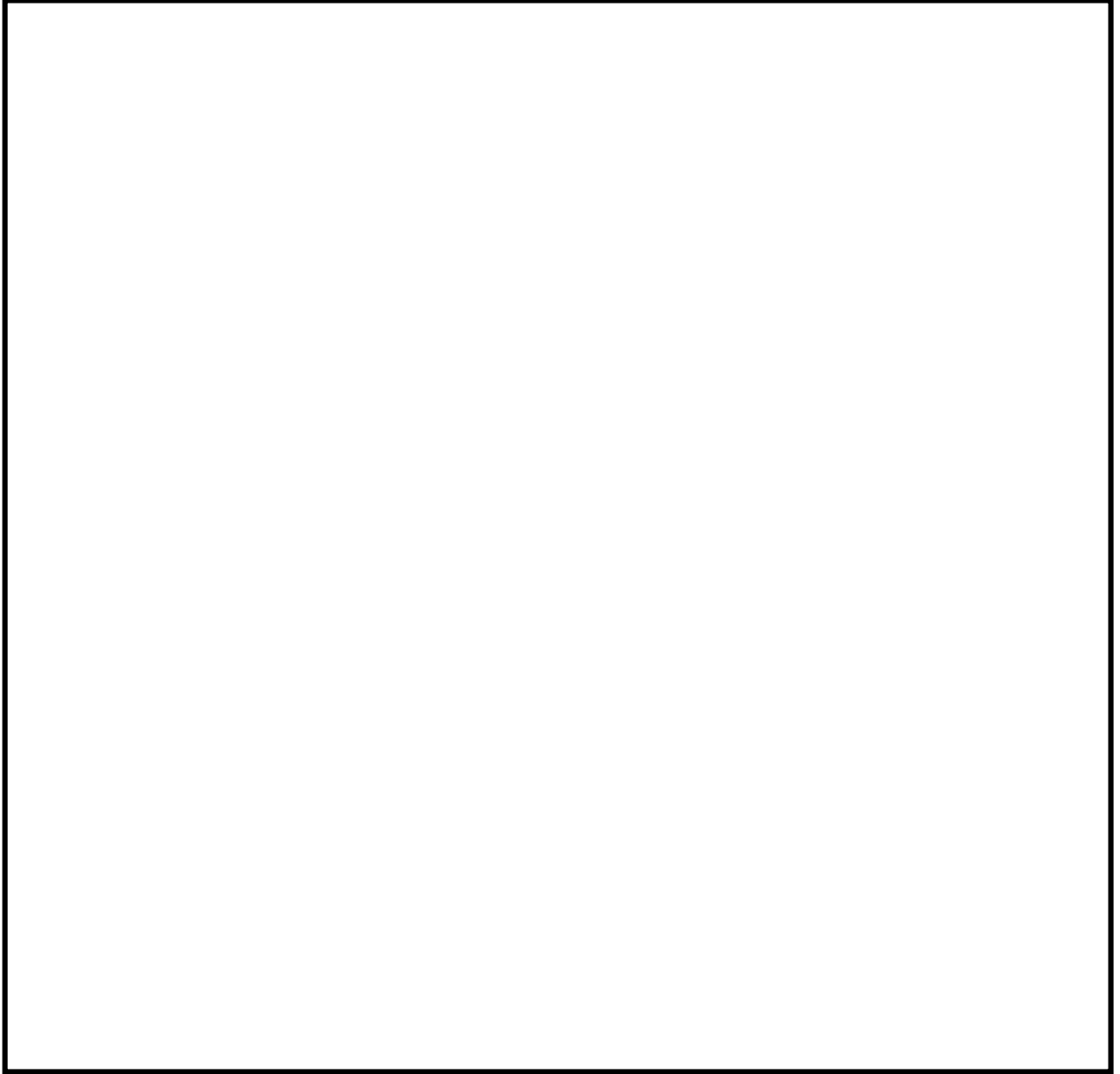
ノズル	記号	荷重名称	力		モーメント		荷重作用 点位置 (mm)
			H (kN)	F <sub>z</sub> (kN)	M (kN・m)	M <sub>z</sub> (kN・m)	
主蒸気 ノズル (N3)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S <sub>d</sub> * (一次)					
	L15	地震荷重 S <sub>d</sub> * (二次)					
	L16	地震荷重 S <sub>s</sub> (一次)					
	L17	地震荷重 S <sub>s</sub> (二次)					
給水 ノズル (N4)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S <sub>d</sub> * (一次)					
	L15	地震荷重 S <sub>d</sub> * (二次)					
	L16	地震荷重 S <sub>s</sub> (一次)					
	L17	地震荷重 S <sub>s</sub> (二次)					
低圧注水 ノズル (N6)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S <sub>d</sub> * (一次)					
	L15	地震荷重 S <sub>d</sub> * (二次)					
	L16	地震荷重 S <sub>s</sub> (一次)					
	L17	地震荷重 S <sub>s</sub> (二次)					
上蓋スプ レイ・ ベント ノズル (N7)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S <sub>d</sub> * (一次)					
	L15	地震荷重 S <sub>d</sub> * (二次)					
	L16	地震荷重 S <sub>s</sub> (一次)					
	L17	地震荷重 S <sub>s</sub> (二次)					
原子炉停 止時冷却 材出口 ノズル (N8)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S <sub>d</sub> * (一次)					
	L15	地震荷重 S <sub>d</sub> * (二次)					
	L16	地震荷重 S <sub>s</sub> (一次)					
	L17	地震荷重 S <sub>s</sub> (二次)					
原子炉冷 却材再循 環ポンプ 差圧検出 ノズル (N9)	L04	死荷重* <sup>1</sup>					
	L07	熱変形力* <sup>1</sup>					
	L14	地震荷重 S <sub>d</sub> * (一次) * <sup>1</sup>					
	L15	地震荷重 S <sub>d</sub> * (二次) * <sup>1</sup>					
	L16	地震荷重 S <sub>s</sub> (一次) * <sup>1</sup>					
	L17	地震荷重 S <sub>s</sub> (二次) * <sup>1</sup>					
原子炉冷 却材再循 環ポンプ 差圧検出 ノズル (N9)	L04	死荷重* <sup>2</sup>					
	L07	熱変形力* <sup>2</sup>					
	L14	地震荷重 S <sub>d</sub> * (一次) * <sup>2</sup>					
	L15	地震荷重 S <sub>d</sub> * (二次) * <sup>2</sup>					
	L16	地震荷重 S <sub>s</sub> (一次) * <sup>2</sup>					
	L17	地震荷重 S <sub>s</sub> (二次) * <sup>2</sup>					

表 4-1(5) 外荷重 (続)

ノズル外荷重

ノズル	記号	荷重名称	力		モーメント		荷重作用 点位置 (mm)
			H (kN)	F <sub>z</sub> (kN)	M (kN・m)	M <sub>z</sub> (kN・m)	
原子炉停止時冷却材出口ノズル(N10)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S <sub>d</sub> * (一次)					
	L15	地震荷重 S <sub>d</sub> * (二次)					
	L16	地震荷重 S <sub>s</sub> (一次)					
	L17	地震荷重 S <sub>s</sub> (二次)					
炉心支持板差圧検出ノズル(N11)	L04	死荷重* <sup>1</sup>					
	L07	熱変形力* <sup>1</sup>					
	L14	地震荷重 S <sub>d</sub> * (一次) * <sup>1</sup>					
	L15	地震荷重 S <sub>d</sub> * (二次) * <sup>1</sup>					
	L16	地震荷重 S <sub>s</sub> (一次) * <sup>1</sup>					
	L17	地震荷重 S <sub>s</sub> (二次) * <sup>1</sup>					
炉心支持板差圧検出ノズル(N11)	L04	死荷重* <sup>2</sup>					
	L07	熱変形力* <sup>2</sup>					
	L14	地震荷重 S <sub>d</sub> * (一次) * <sup>2</sup>					
	L15	地震荷重 S <sub>d</sub> * (二次) * <sup>2</sup>					
	L16	地震荷重 S <sub>s</sub> (一次) * <sup>2</sup>					
	L17	地震荷重 S <sub>s</sub> (二次) * <sup>2</sup>					
計装ノズル(N12, N13)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S <sub>d</sub> * (一次)					
	L15	地震荷重 S <sub>d</sub> * (二次)					
	L16	地震荷重 S <sub>s</sub> (一次)					
	L17	地震荷重 S <sub>s</sub> (二次)					
計装ノズル(N14)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S <sub>d</sub> * (一次)					
	L15	地震荷重 S <sub>d</sub> * (二次)					
	L16	地震荷重 S <sub>s</sub> (一次)					
	L17	地震荷重 S <sub>s</sub> (二次)					
ドレンノズル(N15)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S <sub>d</sub> * (一次)					
	L15	地震荷重 S <sub>d</sub> * (二次)					
	L16	地震荷重 S <sub>s</sub> (一次)					
	L17	地震荷重 S <sub>s</sub> (二次)					
高圧炉心注水ノズル(N16)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S <sub>d</sub> * (一次)					
	L15	地震荷重 S <sub>d</sub> * (二次)					
	L16	地震荷重 S <sub>s</sub> (一次)					
	L17	地震荷重 S <sub>s</sub> (二次)					

表 4-1(5) 外荷重 (続)



K6 ① VI-2-3-3-1-1 R0

表4-1(6) 外荷重

ノズルサーマルスリーブ外荷重

ノズル	記号	荷重名称	力		モーメント		荷重作用 点位置 (mm)
			H (kN)	F <sub>z</sub> (kN)	M (kN・m)	M <sub>z</sub> (kN・m)	
給水 ノズル (N4)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S <sub>d</sub> * (一次)					
	L15	地震荷重 S <sub>d</sub> * (二次)					
	L16	地震荷重 S <sub>s</sub> (一次)					
	L17	地震荷重 S <sub>s</sub> (二次)					
低圧注水 ノズル (N6)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S <sub>d</sub> * (一次)					
	L15	地震荷重 S <sub>d</sub> * (二次)					
	L16	地震荷重 S <sub>s</sub> (一次)					
	L17	地震荷重 S <sub>s</sub> (二次)					
高圧炉心 注水 ノズル (N16)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S <sub>d</sub> * (一次)					
	L15	地震荷重 S <sub>d</sub> * (二次)					
	L16	地震荷重 S <sub>s</sub> (一次)					
	L17	地震荷重 S <sub>s</sub> (二次)					

K6 ① VI-2-3-3-1-1 R0

表 4-1(7) 外荷重

ブラケット外荷重

ブラケット名	荷重名称	力					
		F <sub>x</sub> (kN)	F <sub>y</sub> (kN)	F <sub>z</sub> (kN)			
原子炉圧力容器 スタビライザブラケット	地震荷重 S <sub>d</sub> *						
	地震荷重 S <sub>s</sub>						
蒸気乾燥器 支持ブラケット	地震荷重 S <sub>d</sub> *						
	地震荷重 S <sub>s</sub>						
給水スパージャ ブラケット	地震荷重 S <sub>d</sub> *						
	地震荷重 S <sub>s</sub>						
低圧注水スパージャ ブラケット	地震荷重 S <sub>d</sub> *						
	地震荷重 S <sub>s</sub>						

表4-1(8) 外荷重

原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング外荷重

記号	荷重名称	鉛直力	水平力	モーメント	ねじり モーメント
		V (kN)	H (kN)	M (kN・m)	M <sub>T</sub> (kN・m)
L12	外荷重A*				
L14	地震荷重S d*				
L16	地震荷重S s				

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

表4-1(9) 外荷重

原子炉压力容器基礎ボルト外荷重

記号	荷重名称	軸力		せん断力	曲げモーメント
		N (最大) (kN)	N (最小) (kN)	Q (kN)	M (kN・m)
—	運転状態 I 及び II				
—	運転状態 IV *				
L14	地震荷重 S d *				
L16	地震荷重 S s				

K6 ① VI-2-3-3-1-1 R0



表4-2 荷重の組合せ

状態	荷重の組合せ	応力評価
運転状態Ⅰ及びⅡ	L01+L02+ (L04, L12, L13, L18又はL19) * +L07+L10+L11	$P_L + P_b + Q$ 疲労解析
許容応力状態ⅢA S	L01+L02+ (L04, L12, L13, L18又はL19) * +L11+L14	$P_m$ $P_L + P_b$
	L14+L15	$P_L + P_b + Q$ 疲労解析
許容応力状態ⅣA S	L01+L02+ (L04, L12, L13, L18又はL19) * +L11+L16	$P_m$ $P_L + P_b$
	L16+L17	$P_L + P_b + Q$ 疲労解析

注記\* : ( ) 内の荷重のうち、各運転条件において実際に考慮する荷重を組み合わせる。

表5-1 繰返しピーク応力強さの割増し方法

$S_n$	$S_\ell$
3・ $S_m$ 未満	$S_\ell = \frac{S_p}{2}$
3・ $S_m$ 以上	$S_\ell = \frac{K_e \cdot S_p}{2}$ <p><math>K_e</math>は、次の手順により計算する。</p> <p>(1) <math>K &lt; B_0</math></p> <p>① <math>\frac{S_n}{3 \cdot S_m} &lt; \frac{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q-1)}}{2 \cdot A_0}</math></p> $K_e = 1 + A_0 \cdot \left(\frac{S_n}{3 \cdot S_m} - \frac{1}{K}\right)$ <p>② <math>\frac{S_n}{3 \cdot S_m} \geq \frac{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q-1)}}{2 \cdot A_0}</math></p> $K_e = 1 + (q-1) \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot S_m}{S_n}\right)$ <p>(2) <math>K \geq B_0</math></p> <p>① <math>\frac{S_n}{3 \cdot S_m} &lt; \frac{(q-1) - \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) \cdot (q-1)}}{a}</math></p> $K_e = a \cdot \frac{S_n}{3 \cdot S_m} + A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) + 1 - a$ <p>② <math>\frac{S_n}{3 \cdot S_m} \geq \frac{(q-1) - \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) \cdot (q-1)}}{a}</math></p> $K_e = 1 + (q-1) \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot S_m}{S_n}\right)$ <p>ここで、</p> $K = \frac{S_p}{S_n}$ $a = A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) + (q-1) - 2 \cdot \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) \cdot (q-1)}$

注1： $q$ 、 $A_0$ 、 $B_0$ は、表3-1に示す。

注2：地震荷重 $S_d^*$ 及び地震荷重 $S_s$ にあつては、 $S_n$ をそれぞれ $S_n^{\#1}$ 、 $S_n^{\#2}$ と読み替え、 $S_p$ をそれぞれ $S_p^{\#1}$ 、 $S_p^{\#2}$ と読み替えるものとする。