

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
営業秘密又は防護上の観点から  
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-722 改 4
提出年月日	平成 30 年 9 月 12 日

#### V-2-3-4-1-1 原子炉圧力容器の応力解析の方針

## 目次

1. 概要	1
1.1 一般事項	1
1.2 構造の説明	2
1.3 適用基準	4
2. 記号の説明	5
3. 計算条件	7
3.1 評価対象箇所	7
3.2 形状及び寸法	8
3.3 物性値	8
3.4 荷重の組合せ及び許容応力状態（供用状態）	8
3.5 許容限界	8
4. 荷重条件	9
4.1 設計条件	9
4.2 運転条件	9
4.2.1 運転状態Ⅰ及びⅡ	9
4.2.2 運転状態Ⅲ	10
4.2.3 運転状態Ⅳ	10
4.3 重大事故等時の条件	10
4.4 外荷重の条件	10
4.5 荷重の組合せと応力評価	11
5. 応力解析の手順	12
5.1 計算に使用する解析コード	12
5.2 荷重条件の選定	12
5.3 応力の評価（ボルトを除く。）	12
5.3.1 主応力	12
5.3.2 応力強さ	12
5.3.3 一次応力強さ	12
5.3.4 一次＋二次応力強さ	13
5.4 繰返し荷重の評価（ボルトを除く。）	13
5.4.1 疲労解析	13
5.5 ボルトの応力評価	14
5.6 特別な評価	14
5.6.1 純せん断応力の評価	14
5.6.2 座屈に対する評価	14

5.7 原子炉圧力容器の基礎ボルトの評価	14
6. 評価結果の添付	15
6.1 応力評価結果	15
6.2 繰返し荷重の評価結果	15
7. 引用文献	16

### 図表目次

図3-1 全体断面図	17
図4-1 各運転状態（供用状態）における差圧	18
図4-2 原子炉圧力容器の運転条件	20
図4-3 ノズル等の運転条件	24
表1-1 原子炉圧力容器の構造計画	3
表3-1 材料の分類と外荷重による応力計算に使用する物性値	35
表3-2 繰返し荷重の評価に使用する材料の物性値	36
表3-3 荷重の組合せ及び許容応力状態	37
表3-4 許容限界（クラス1容器及び重大事故等クラス2容器）	39
表3-5 クラス1容器（ボルトを除く。）用材料の許容限界	40
表3-6 クラス1容器ボルト材料の許容限界	42
表3-7 原子炉圧力容器の基礎ボルトの許容限界	43
表4-1 外荷重	44
表4-2 荷重の組合せ	55
表5-1 繰返しピーク応力強さの割増し方法	56

## 1. 概要

### 1.1 一般事項

本書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」及び「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、原子炉圧力容器及び原子炉圧力容器の基礎ボルト（4.2節に示す評価対象箇所）に関する応力解析の方針を述べるものである。

本書では、原子炉圧力容器の耐震評価及び重大事故等時における強度評価について記載する。

注：本書に記載していない特別な内容がある場合は、添付書類「V-2-3-4-1-2 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書（その1）」、「V-2-3-4-1-3 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書（その2）」及び「V-3-3-1 原子炉圧力容器の強度計算書」に示す。

（以下、これらの計算書を総称して「応力計算書」という。）

## 1.2 構造の説明

原子炉压力容器の構造計画を表1-1に示す。

原子炉压力容器は、下記の機器により構成される。

- (1) 胴板
- (2) 主フランジ，上部鏡板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部
- (5) 中性子計測ハウジング貫通部
- (6) 再循環水出口ノズル (N1)
- (7) 再循環水入口ノズル (N2)
- (8) 主蒸気ノズル (N3)
- (9) 給水ノズル (N4)
- (10) 炉心スプレイノズル (N5)
- (11) 上鏡スプレイノズル (N6)
- (12) 予備ノズル (N6B) \*
- (13) ベントノズル (N7)
- (14) ジェットポンプ計測管貫通部ノズル (N8)
- (15) 制御棒駆動水戻りノズル (N9)
- (16) 差圧検出・ほう酸水注入管ノズル (N10)
- (17) 計装ノズル (N11, N12, N16)
- (18) ドレンノズル (N15)
- (19) 低圧注水ノズル (N17)
- (20) 原子炉压力容器スカート
- (21) ブラケット類
- (22) 原子炉压力容器の基礎ボルト

注記 \* : 建設時より閉止プラグが設置されており，申請範囲外である。

表1-1 原子炉圧力容器の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>原子炉圧力容器を原子炉圧力容器スカートが支持する。また、原子炉圧力容器スカートは基礎ボルトにてペDESTALに固定する。</p>	<p>原子炉圧力容器は、胴板、主フランジ、上部鏡板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部、中性子計測ハウジング貫通部、再循環水出口ノズル、再循環水入口ノズル、主蒸気ノズル、給水ノズル、炉心スプレインノズル、上鏡スプレインノズル、予備ノズル、ベントノズル、ジェットポンプ計測管貫通部ノズル、制御棒駆動水戻りノズル、差圧検出・ほう酸水注入管ノズル、計装ノズル、ドレンノズル、低圧注水ノズル、ブラケット類より構成される。</p>	

### 1.3 適用基準

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 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) (以下「設計・建設規格」という。)

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

## 2. 記号の説明

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

記号	記号の説明	単位
A <sub>0</sub>	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 <sub>0</sub>	簡易弾塑性解析に使用する係数	—
E	縦弾性係数	MPa
E <sub>0</sub>	設計疲労線図に使用されている縦弾性係数	MPa
F	ピーク応力	MPa
F <sub>x</sub>	水平力	N
F <sub>y</sub>	鉛直力	N
F <sub>z</sub>	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 <sub>b</sub>	曲げに対する応力集中係数	—
K <sub>e</sub>	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 <sub>n</sub>	引張りに対する応力集中係数	—
k	応力振幅のタイプの総数	—
M	モーメント	N・m
M <sub>z</sub>	ねじりモーメント	N・m
N <sub>a</sub>	S <sub>ℓ'</sub> に対応する許容繰返し回数	回
N <sub>c</sub>	実際の繰返し回数	回
P <sub>b</sub>	一次曲げ応力	MPa
P <sub>L</sub>	一次局部膜応力	MPa
P <sub>m</sub>	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	—
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>d</sub> *	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> により定まる地震力又は静的地震力	—
S <sub>s</sub>	基準地震動S <sub>s</sub> により定まる地震力	—
S <sub>12</sub>	主応力差 σ <sub>1</sub> - σ <sub>2</sub>	MPa
S <sub>23</sub>	主応力差 σ <sub>2</sub> - σ <sub>3</sub>	MPa
S <sub>31</sub>	主応力差 σ <sub>3</sub> - σ <sub>1</sub>	MPa



記号	記号の説明	単位
$S_a$	許容繰返しピーク応力強さ	MPa
$S_l$	繰返しピーク応力強さ	MPa
$S_{l'}$	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
$S_m$	設計応力強さ	MPa
$S_n$	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
$S_{n\#1}$	地震荷重 $S_d^*$ による一次＋二次応力の応力差最大範囲	MPa
$S_{n\#2}$	地震荷重 $S_s$ による一次＋二次応力の応力差最大範囲	MPa
$S_p$	一次＋二次＋ピーク応力の応力差範囲	MPa
$S_{p\#1}$	地震荷重 $S_d^*$ による一次＋二次＋ピーク応力の応力差範囲	MPa
$S_{p\#2}$	地震荷重 $S_s$ による一次＋二次＋ピーク応力の応力差範囲	MPa
$S_u$	設計引張強さ	MPa
$S_y$	設計降伏点	MPa
$U_f$	疲労累積係数 ( $U_n + U_{S_d}$ 又は $U_n + U_{S_s}$ )	—
$U_n$	運転状態Ⅰ及びⅡにおける疲労累積係数	—
$U_{S_d}$	地震荷重 $S_d^*$ による疲労累積係数	—
$U_{S_s}$	地震荷重 $S_s$ による疲労累積係数	—
$V$	鉛直力	N
$\alpha$	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)	—
$\nu$	ポアソン比	—
$\sigma_1$	主応力	MPa
$\sigma_2$	主応力	MPa
$\sigma_3$	主応力	MPa
$\sigma_l$	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
$III_{AS}$	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相当の応力評価を行う許容応力を基本として、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	—

### 3. 計算条件

#### 3.1 評価対象箇所

応力計算書において評価を実施する対象は次のとおりである。(表1-1, 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)		強度計算書 (供用状態E に対する評価)	
		Ⅲ <sub>A</sub> S Ⅳ <sub>A</sub> S	V <sub>A</sub> S		
(1)	胴板	○	○	○	
(2)	主フランジ, 上部鏡板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部	○	○	○	
(5)	中性子計測ハウジング貫通部	×*2	×*2	○	
(6)	再循環水出口ノズル (N1)	○	○	○	
(7)	再循環水入口ノズル (N2)	○	○	○	
(8)	主蒸気ノズル (N3)	○	○	○	
(9)	給水ノズル (N4)	○	○	○	
(10)	炉心スプレイノズル (N5)	○	○	○	
(11)	上鏡スプレイノズル (N6)	○	○	○	
(12)	ベントノズル (N7)	○	○	○	
(13)	ジェットポンプ計測管貫通部ノズル (N8)	○	○	○	
(14)	制御棒駆動水戻りノズル (N9)	×*3	×*3	×*3	
(15)	差圧検出・ほう酸水注入管ノズル (N10)	○	○	○	
(16)	計装ノズル (N11, N12, N16)	○	○	○	
(17)	ドレンノズル (N15)	○	○	○	
(18)	低圧注水ノズル (N17)	○	○	○	
(19)	原子炉圧力容器スカート	○	×*5	×*5	
(20)	ブラケット類	スタビライザブラケット	○	×*5	×*5
(21)		スチームドライヤサポートブラケット	○	×*5	×*5
(22)		給水スパーチャブラケット	○	×*5	×*5
(23)		炉心スプレイブラケット	○	×*5	×*5
(24)		ガイドロッドブラケット	×*4	×*5	×*5
(25)		スチームドライヤホールダウンブラケット	×*4	×*5	×*5
(26)	原子炉圧力容器の基礎ボルト	○	×*5	×*5	

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いため対象外とする。

\*2: 結果の厳しくなる制御棒駆動機構ハウジング貫通部を代表として評価するため対象外とする。

\*3: 建設時より閉止プラグが設置されており, 外荷重が作用するような部位ではないため対象外とする。

\*4: 使用条件が一時的(機器搬出入時又は事故時のドライヤの浮上がり等)なものであり, 通常運転時に外荷重が作用しないことから対象外とする。

\*5: 設計基準対象設備としてのみ申請する設備

### 3.2 形状及び寸法

各部の形状及び寸法は、応力計算書に示す。

### 3.3 物性値

材料の分類と外荷重による応力計算に使用する物性値を表3-1に示す。

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3-2に示す。

### 3.4 荷重の組合せ及び許容応力状態（供用状態）

原子炉圧力容器の評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態（供用状態）を表3-3に示す。

### 3.5 許容限界

- (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2, 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<sub>A</sub>S 及び許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>S の一次応力強さの評価には、各運転状態における流体の最高温度（運転状態Ⅰ及びⅡ：℃）に対する許容限界を用いる。供用状態E\*の一次応力強さの評価には、運転状態Ⅴにおける評価温度条件（302℃）に対する許容限界を用いる。また、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＋二次応力強さ及び繰返し荷重の評価には、運転温度（℃：定格出力運転時の蒸気温度）に対する許容限界を用いる。
- (3) 容器（ボルトを除く。）の各許容応力状態の応力評価に用いる許容限界は、表3-4及び表3-5に示すとおりである。  
 これらの表に記載のない軸圧縮荷重を受ける場合に対する許容応力は、応力計算書に記載するものとする。
- (4) ボルトの供用状態Eの応力評価に用いる許容応力は、表3-6に示すとおりである。
- (5) 原子炉圧力容器の基礎ボルトの応力評価に用いる許容応力は、表3-7に示すとおりである。

注記 \*：供用状態Eとは、重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）であり、供用状態Dを超える状態である。許容限界の算出式は供用状態Dと同様とする。

#### 4. 荷重条件

原子炉压力容器は、以下の荷重条件に耐えるように設計する。

各機器の応力解析には、本章に示す荷重を考慮する。

##### 4.1 設計条件

原子炉压力容器の最高使用圧力 : 8.62 MPa

最高使用温度 : 302 °C

設計差圧 : 図4-1に示す。

##### 4.2 運転条件

運転条件及び記号は、次のとおりである。また、これらの記号を解析及び評価に用いる場合において、同一事象内に複数の解析時点がある場合は記号に小番号を付して使用する。

[例 C03-01, C03-02]

なお、各計算書においては、{ }内の名称を用いる。

計算書では以下に示す運転状態のうち、一次応力強さの評価については、各許容応力状態（供用状態）を定義する各運転状態のうち、最も厳しい運転条件について選定する。

また、地震荷重  $S_{d^*}$  及び地震荷重  $S_e$  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  回とする。なお、 の許容応力状態 III<sub>A</sub>S における地震荷重  $S_{d^*}$  の繰返し回数は  回とする。

##### 4.2.1 運転状態 I 及び II

(1) ボルト締付け	{ボルト締付け}	[C01]
(2) 耐圧試験（最高使用圧力以下）	{耐圧試験最高使用圧力以下}	[C02]
(3) 起動（昇温）	{起動昇温}	[C03]
(4) 起動（タービン起動）	{起動タービン起動}	[C04]
(5) 夜間低出力運転（出力75%）	{夜間低出力運転出力}	[C05]
(6) 週末低出力運転（出力50%）	{週末低出力運転出力}	[C06]
(7) 制御棒パターン変更	{制御棒パターン変更}	[C07]
(8) 給水加熱機能喪失（発電機トリップ）	{発電機トリップ}	[C08]
(9) 給水加熱機能喪失（給水加熱器部分バイパス）	{給水加熱器部分バイパス}	[C09]
(10) スクラム（タービントリップ）	{スクラムタービントリップ}	[C10]
(11) スクラム（その他のスクラム）	{スクラムその他スクラム}	[C11]
(12) 定格出力運転	{定格出力運転}	[C12]
(13) 停止（タービン停止）	{停止タービン停止}	[C13]
(14) 停止（高温待機）	{停止高温待機}	[C14]
(15) 停止（冷却）	{停止冷却}	[C15]

(16) 停止 (容器満水)	{停止容器満水}	[C16]
(17) 停止 (満水後冷却)	{停止満水後冷却}	[C17]
(18) ボルト取外し	{ボルト取外し}	[C18]
(19) 燃料交換	{燃料交換}	[C19]
(20) スクラム (原子炉給水ポンプ停止)	{スクラム原子炉給水ポンプ停止}	[C20]
(21) スクラム (逃がし安全弁誤作動)	{スクラム逃がし安全弁誤作動}	[C21]

#### 4.2.2 運転状態Ⅲ

(1) スクラム (過大圧力)	{スクラム過大圧力}	[C22]
(2) 冷却材再循環系仕切弁誤作動 (冷状態)	{冷再循環系仕切弁誤作動}	[C23]
(3) 冷却材再循環ポンプ誤作動 (冷状態)	{冷再循環ポンプ誤起動}	[C24]

#### 4.2.3 運転状態Ⅳ

(1) 冷却材喪失事故	{冷却材喪失事故}	[C25]
-------------	-----------	-------

各運転条件における原子炉圧力容器の周囲の流体の温度、圧力の変化及びその繰り返し回数を図4-2に示す。

#### 4.3 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件は以下のとおりである。

圧力条件 : 設計条件と同じ

温度条件 : 設計条件と同じ

差圧条件 : 図4-1に示す。

#### 4.4 外荷重の条件

原子炉圧力容器の評価に用いる外荷重及びその条件について表4-1に示す。

#### 4.5 荷重の組合せと応力評価

荷重の組合せと応力評価項目の対応を表4-2に示す。表4-2及び応力計算書において、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各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	[L04]
(4) 熱変形力（熱膨張差により生じる荷重）	[L07]
(5) ボルト荷重	[L11]
(6) 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]
(7) 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]
(8) 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]
(9) 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]
(10) 外荷重（運転状態Ⅰ及びⅡにおける荷重）	[L12, L13, L18, L19]
(11) 外荷重（供用状態Eにおける荷重）	[L23, L24]

## 5. 応力解析の手順

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「NOPS」, 「ASHSD2-B」及び「TACF」を用いる。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「V-5-31 計算機プログラム(解析コード)の概要・NOPS」, 「V-5-53 計算機プログラム(解析コード)の概要・ASHSD2-B」及び「V-5-54 計算機プログラム(解析コード)の概要・TACF」に示す。

### 5.2 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。

### 5.3 応力の評価 (ボルトを除く。)

#### 5.3.1 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 $\sigma_t, \sigma_l, \sigma_r, \tau_{tl}, \tau_{lr}, \tau_{rt}$ の6成分をもつが, 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。

$$\begin{aligned} & \sigma^3 - (\sigma_t + \sigma_l + \sigma_r) \cdot \sigma^2 + (\sigma_t \cdot \sigma_l + \sigma_l \cdot \sigma_r + \sigma_r \cdot \sigma_t - \tau_{tl}^2 - \tau_{lr}^2 - \tau_{rt}^2) \cdot \sigma - \sigma_t \cdot \sigma_l \cdot \sigma_r + \sigma_t \cdot \tau_{lr}^2 + \sigma_l \cdot \tau_{rt}^2 + \sigma_r \cdot \tau_{tl}^2 - 2 \cdot \tau_{tl} \cdot \tau_{lr} \cdot \tau_{rt} \\ & = 0 \end{aligned}$$

上式により主応力を求める。

#### 5.3.2 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。

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

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

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

#### 5.3.3 一次応力強さ

許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S, 許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>S及び供用状態Eにおいて生じる一次一般膜応力強さ, 一次局部膜応力強さ及び一次膜+一次曲げ応力の応力強さが, 3.5節に示す許容限界を満足することを示す。

ただし, 一次局部膜応力強さより一次膜+一次曲げ応力強さ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。

### 5.3.4 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＋二次応力強さの応力差最大範囲（ $S_n\#1$ ， $S_n\#2$ ）が，3.5節に示す許容限界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，5.4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。

なお，重大事故等は発生回数が少ないことから，供用状態Eにおける一次＋二次応力強さに対する評価については省略する。

## 5.4 繰返し荷重の評価（ボルトを除く。）

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。

なお，重大事故等は発生回数が少ないことから，供用状態Eにおける繰返し荷重に対する評価については省略する。

### 5.4.1 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＋ピーク応力強さ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＋ピーク応力強さ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，4.2節に示す運転条件及び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3-2に示す。



(5) 疲労累積係数 ( $U_f$ )

疲労累積係数 ( $U_f$ ) は、 $S_{\ell'}$  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Ⅲ<sub>A</sub>Sにおける疲労累積係数 $U_{S_d}$ 又は許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sにおける疲労累積係数 $U_{S_s}$ の和 $U_f$  ( $U_n + U_{S_d}$ 又は $U_n + U_{S_s}$ ) 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。

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

5.5 ボルトの応力評価

ボルトの応力評価は、設計・建設規格 PVB-3121に基づき、ボルトの軸方向に垂直な断面の平均引張応力及び平均引張応力+曲げ応力について行う。供用状態Eにおいて生じる平均引張応力及び平均引張応力+曲げ応力が、3.5節に示す許容応力を満足することを示す。

5.6 特別な評価

5.6.1 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。評価方法は応力計算書に示し、許容応力は表3-5 (4) に示す。

- (1) 給水スパージャブラケット

5.6.2 座屈に対する評価

軸圧縮荷重又は外圧を受ける部分は、設計・建設規格 PVB-3117又はPVB-3200、あるいはJ EAG 4601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、応力計算書に示す。

- (1) 制御棒駆動機構ハウジング貫通部
- (2) 原子炉压力容器スカート

5.7 原子炉压力容器の基礎ボルトの評価

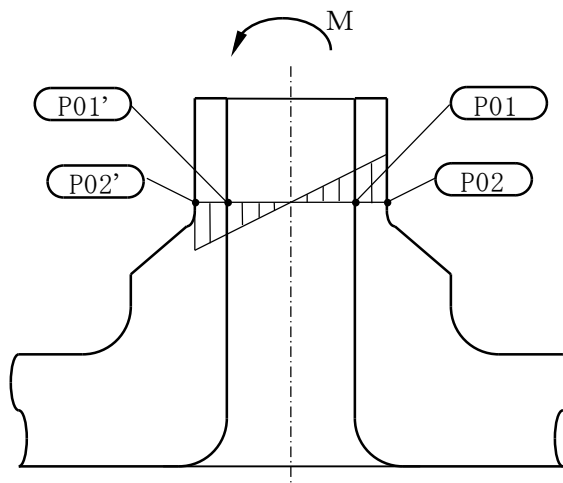
原子炉压力容器基礎ボルトの評価方法は応力計算書に示し、許容応力は表3-7に示す。

## 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、応力計算書の形状・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. 一次局部膜応力又は一次膜＋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) 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、この結果を記載する。
  - a. 純せん断応力
  - b. 座屈
- (3) 原子炉圧力容器の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

### 6.2 繰返し荷重の評価結果

運転状態Ⅰ及びⅡにおける疲労累積係数に許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S又は許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sのいずれか大きい方の疲労累積係数を加えた値の計算結果については、それぞれの部分で最も厳しい部分について添付する。

## 7. 引用文献

文献番号は、本書及び応力計算書において共通である。

- (1) 機械工学便覧 基礎編 α3 (日本機械学会)

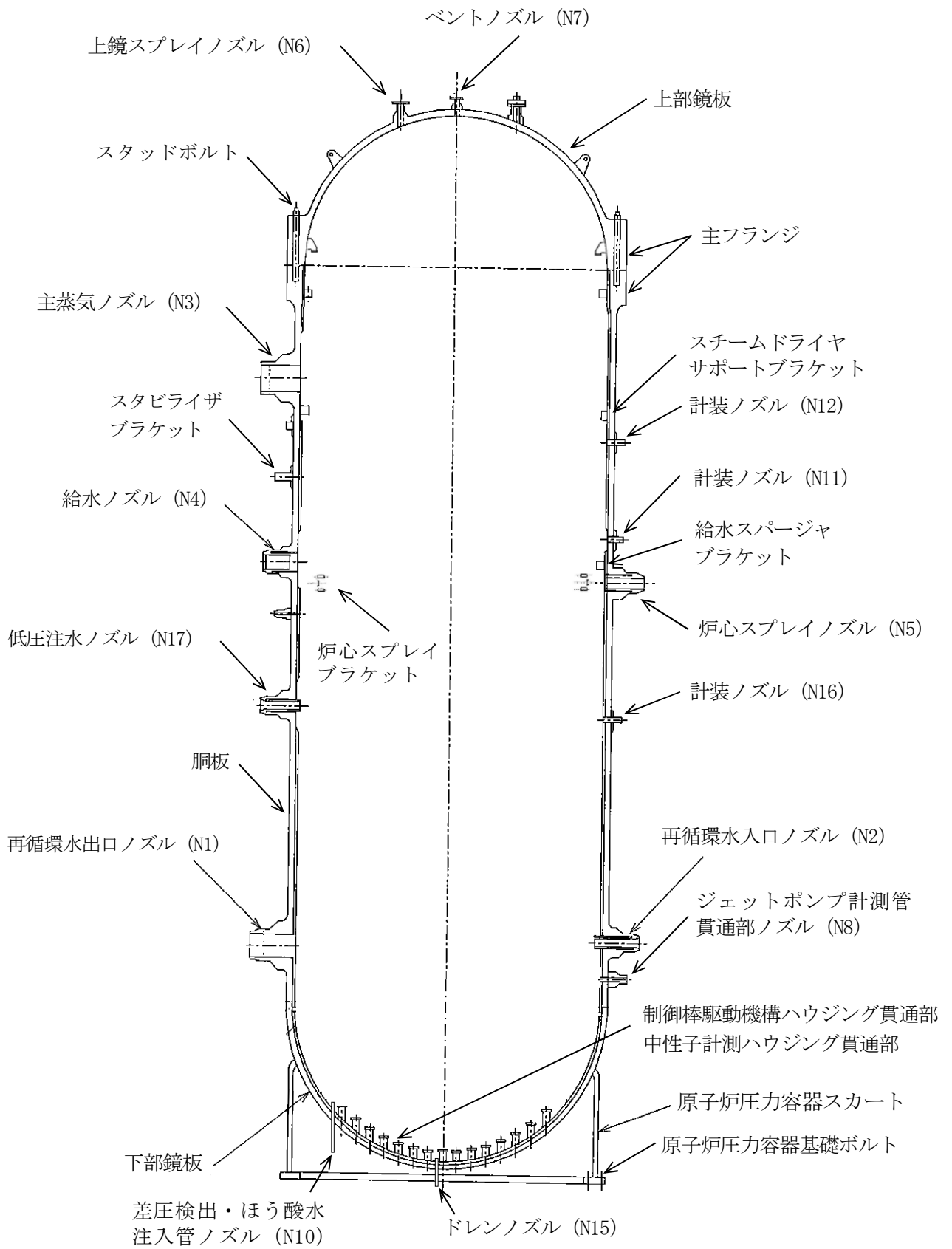
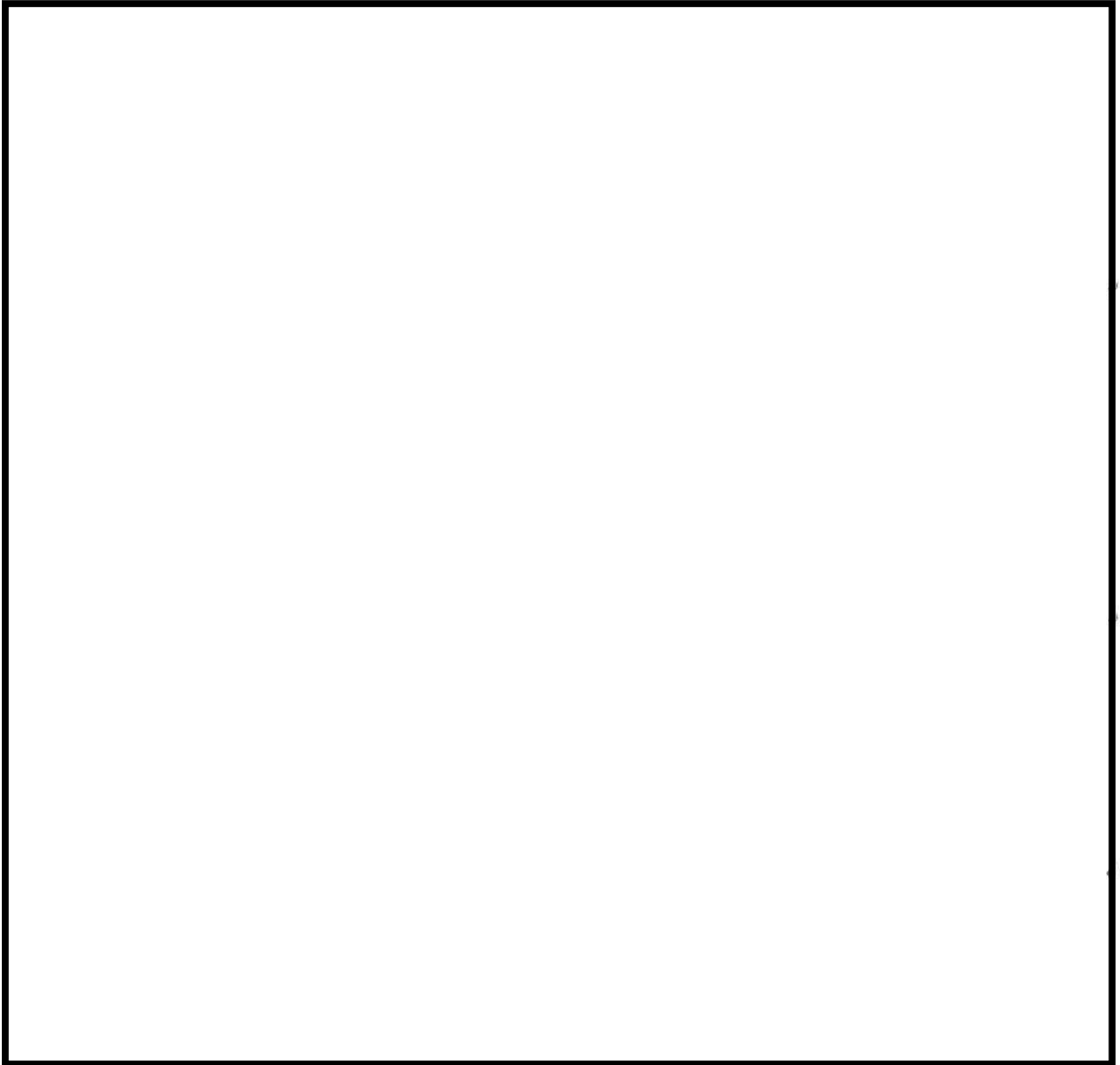


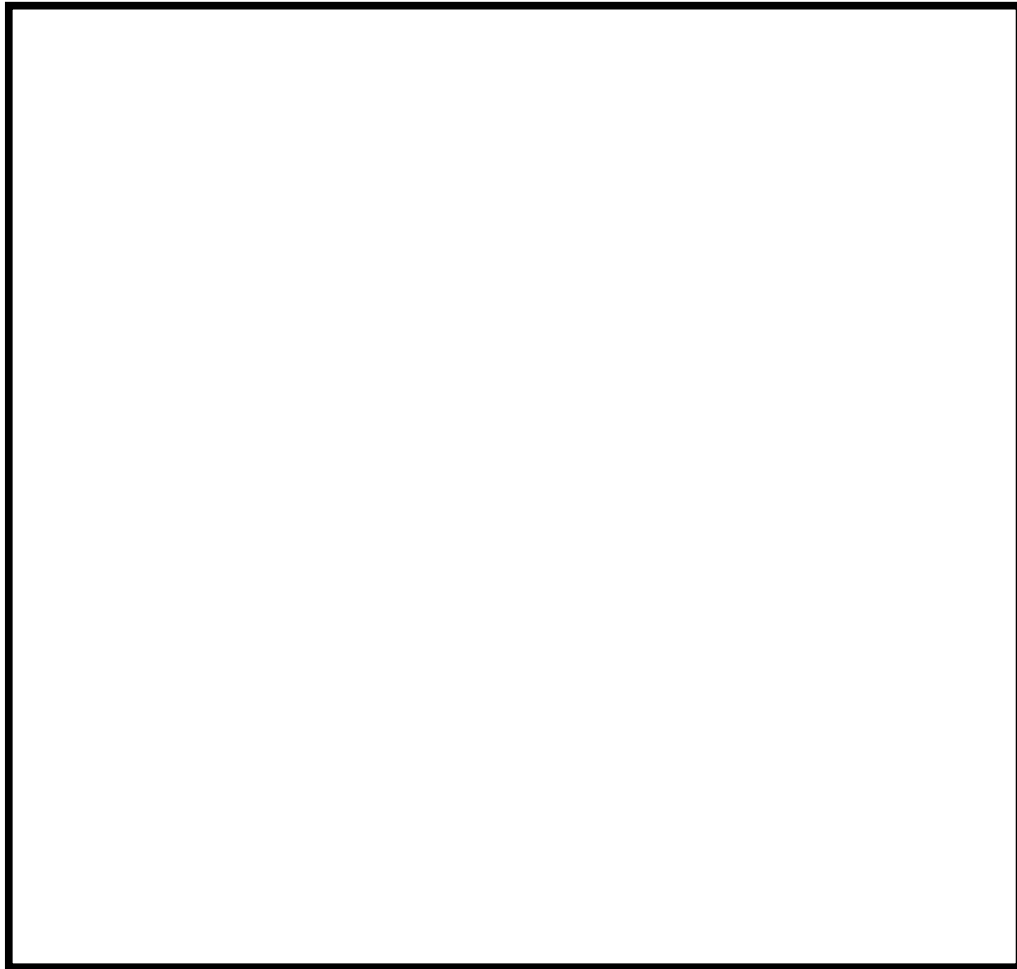
図3-1 全体断面図



(単位：MPa)

部位	運転状態 I, II	供用状態 E
領域 C 差圧	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 20px;"></div>	

図4-1(1) 各運転状態（供用状態）における差圧



(単位：MPa)

部位		運転状態 I, II	供用状態 E
再循環水入口ノズル	(N2)		
給水ノズル	(N4)		
低圧炉心スプレイノズル	(N5)		
高圧炉心スプレイノズル	(N5)		
低圧注水ノズル	(N17)		

図 4-1(2) 各運転状態（供用状態）における差圧

運転状態	I 及び II																			III			IV			
運転条件	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	
運転名称	ボルト縮付け	耐圧試験 最高使用 圧力以下	昇温	起動 タービン 起動	夜間 低出力 運転 (出力 75%)	週末 低出力 運転 (出力 50%)	制御棒 パターン 変更	給水加熱機能喪失 発電機 トリップ	給水加熱 器部分 バイパス	スクラム カービン トリップ		その他の スクラム	定格 出力 運転	カービン 停止	高温 待機	停止 冷却	容器 満水	満水後 冷却	ボルト 取外し	燃料 交換	原子炉給水ポンプ停止	スクラム 逃がし 安全弁 誤作動	過大圧力	冷却材 再循環系 仕切弁 誤作動 (冷状態)	冷却材 再循環 ポンプ 誤起動 (冷状態)	冷却材 喪失事故

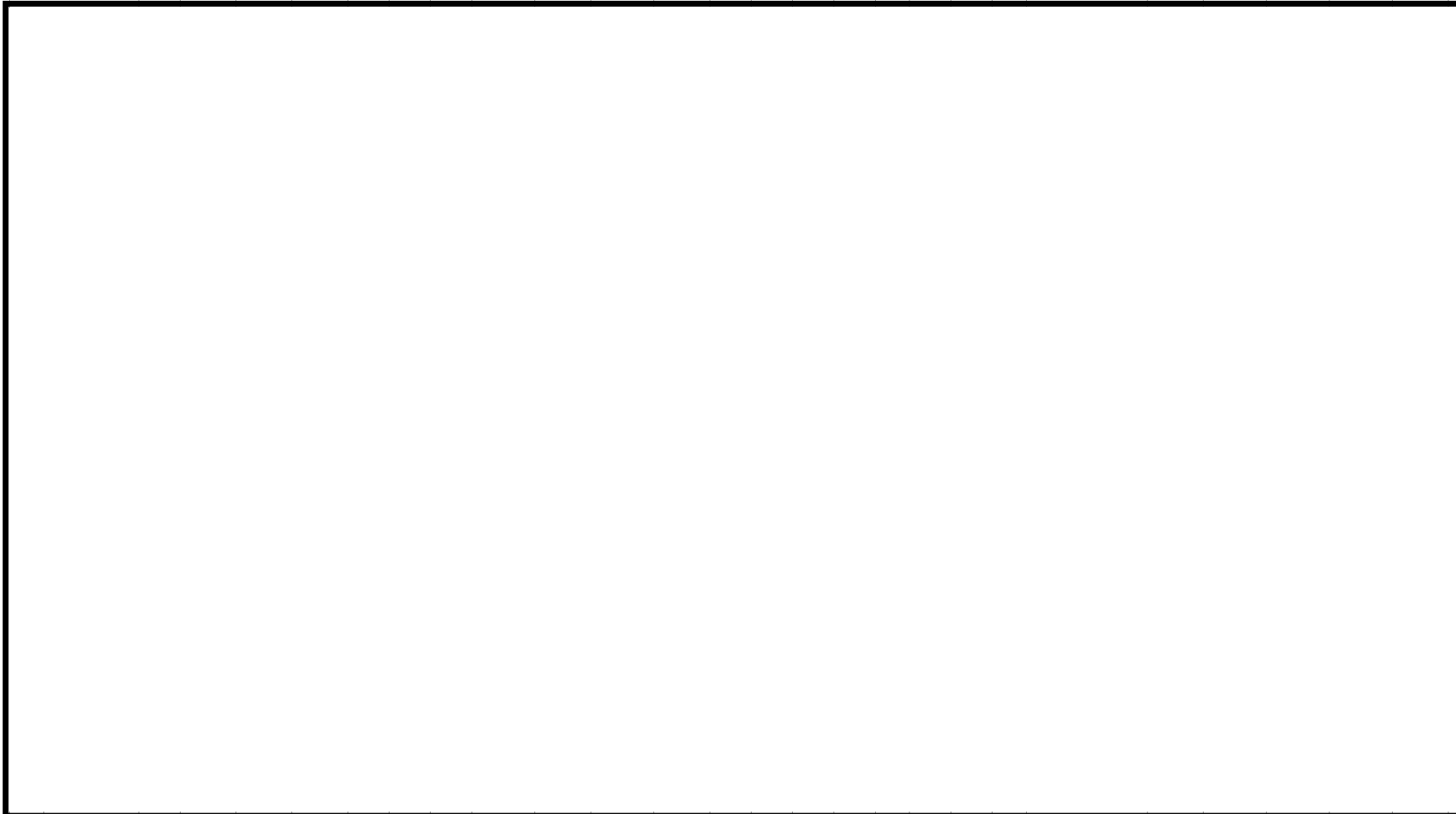


図 4-2 (1) 原子炉圧力容器の運転条件

図 4-2 (1) 原子炉压力容器の運転条件 (続)



NT2 補③ V-2-3-4-1-1 R0

原子炉压力容器内領域区分

注 1

注 2

注 3

注 4





運転条件	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18~C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25
------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---------	-----	-----	-----	-----	-----	-----



22

注 1 :

注 2 :

図 4-2 (2) 原子炉圧力容器の運転条件 (ジェットポンプディフューザーの運転条件)

運転状態 運転条件	I 及び II																			III			IV		
	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25
運転名称	ボルト 締付け	耐圧試験 最高使用 圧力以下	昇温	起動 タービン 起動	夜間 低出力 運転 (出力 75%)	週末 低出力 運転 (出力 50%)	制御棒 パターン 変更	給水加熱機 発電機 トリップ	機能喪失 給水加熱 器部分 バイパス	スクラム タービン トリップ	スクラム その他の スクラム	定格 出力 運転	停止 タービン 停止	高温 待機	冷却	容器 満水	満水後 冷却	ボルト 取外し	燃料 交換	スクラム 原子炉給水 ポンプ停止	スクラム 逃がし 安全弁 誤作動	過大圧力	冷却材 再循環系 付切弁 誤作動 (冷状態)	冷却材 再循環 ポンプ 誤起動 (冷状態)	冷却材 喪失事故

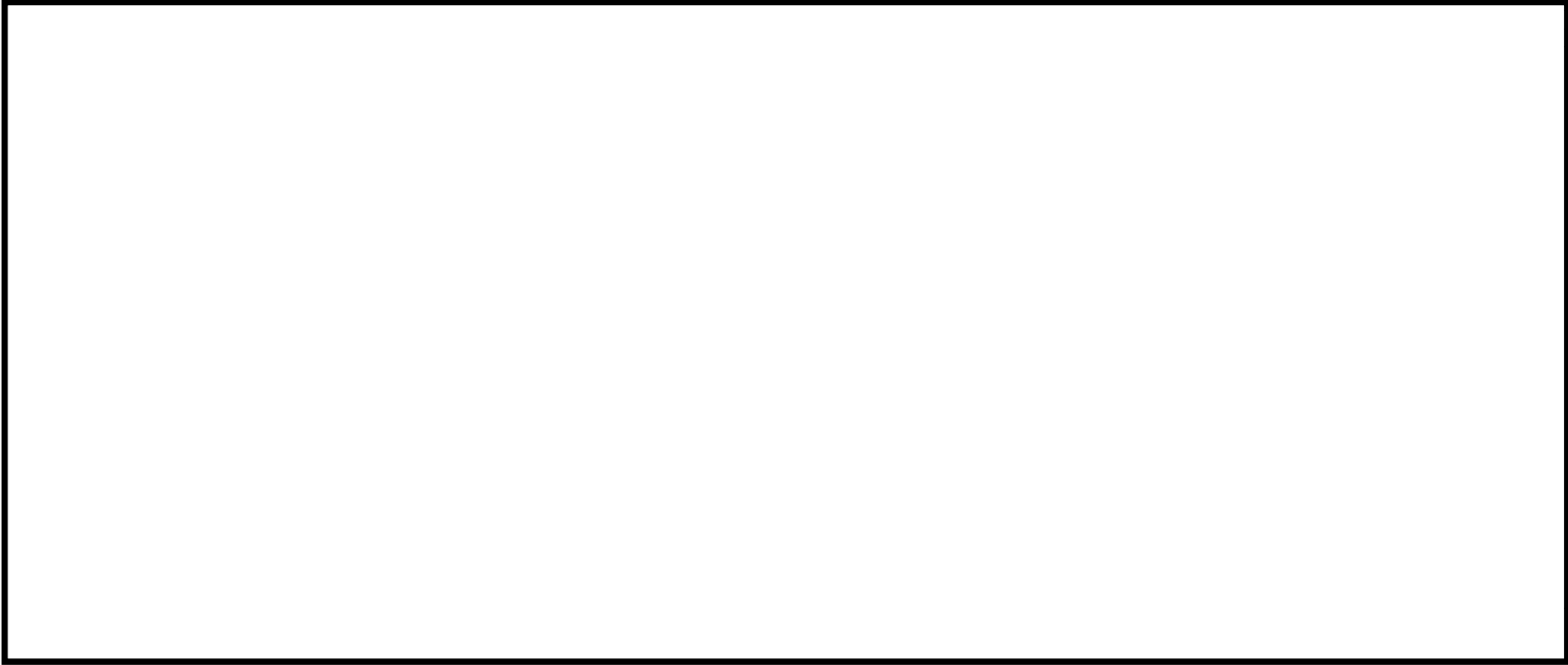
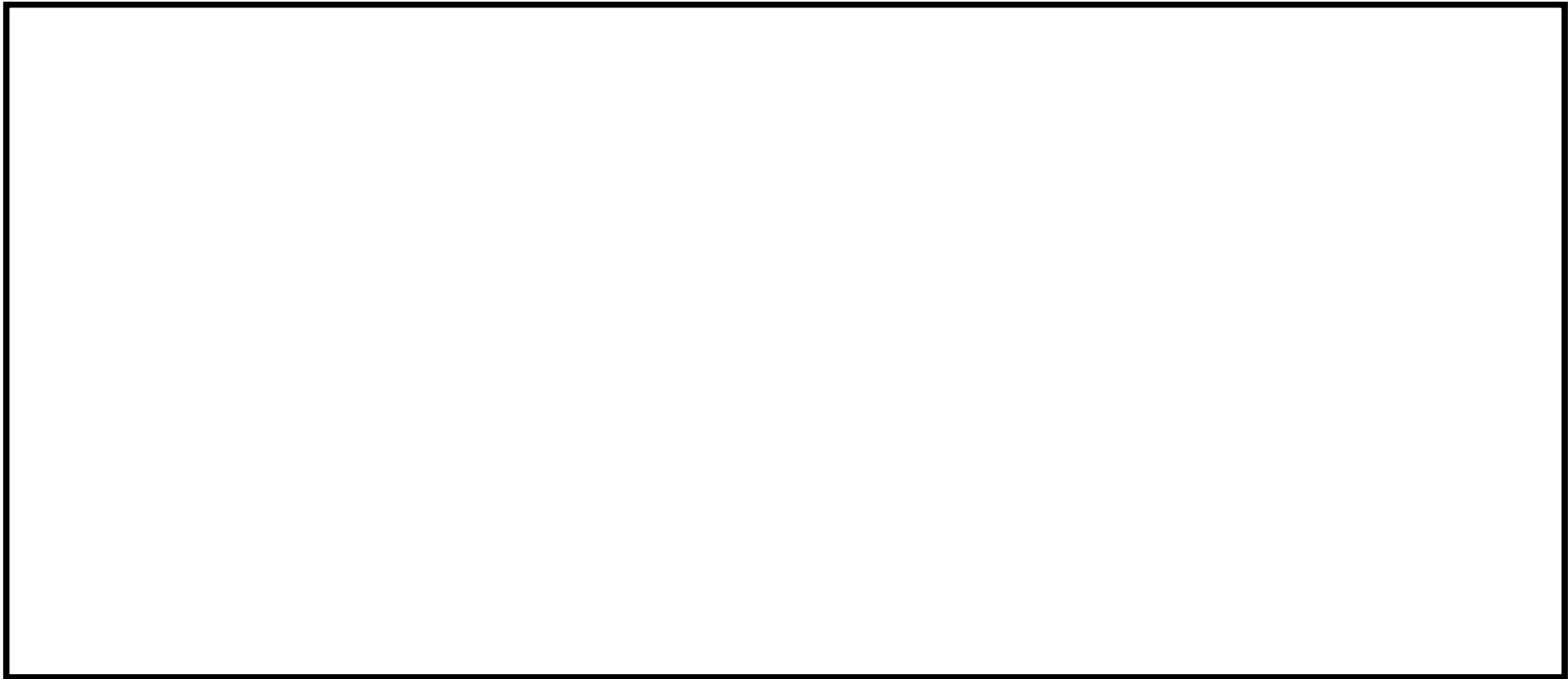


図 4-2 (3) 原子炉压力容器の運転条件 (差圧)

運転条件	C01	C02	C03~C09	C10~C11	定常 運転	制御棒駆動機 構隔離	C12	単一制御棒スクラム	C13~C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23~C24	C25
------	-----	-----	---------	---------	----------	---------------	-----	-----------	---------	-----	-----	-----	-----	-----	---------	-----



24

注 1 :

--

注 2 :

図 4-3 (1) ノズル等の運転条件 (制御棒駆動機構ハウジング貫通部)

運転条件	C01	C02	C03	C04	C05~C09	C10	C11	C12	C13	C14~C15	C16	C17	C18~C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25
------	-----	-----	-----	-----	---------	-----	-----	-----	-----	---------	-----	-----	---------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

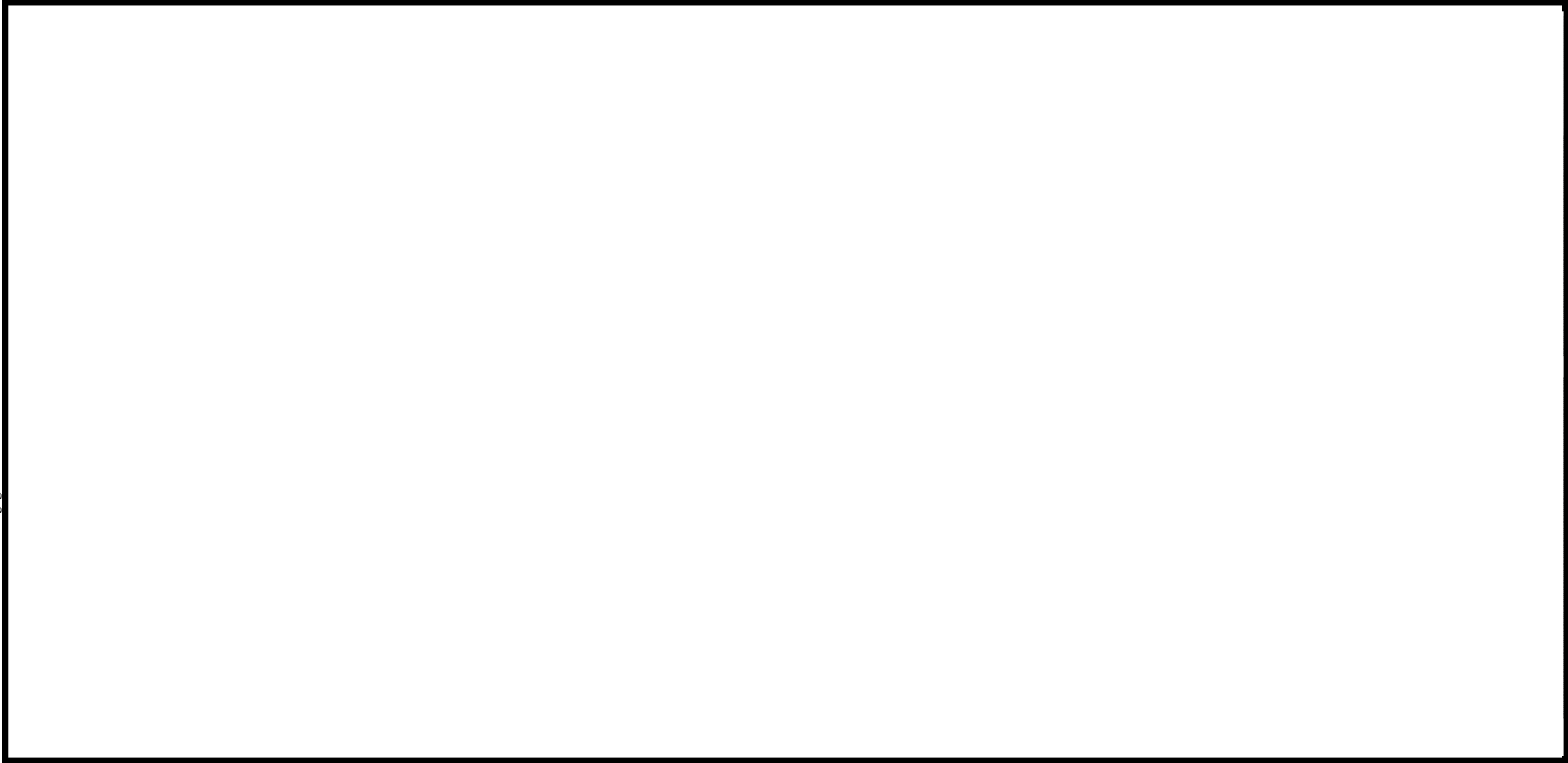
--

注 1 :  
注 2 :  
注 3 :

--

図 4-3 (2) ノズル等の運転条件 (再循環水出口ノズル (N1))

運転条件	C01	C02	C03	C04	C05~C09	C10	C11	C12	C13	C14~C15	C16	C17	C18~C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25
------	-----	-----	-----	-----	---------	-----	-----	-----	-----	---------	-----	-----	---------	-----	-----	-----	-----	-----	-----



26

注 1

注 2

--

図4-3 (3) ノズル等の運転条件 (再循環水入口ノズル (N2) )

運転条件	C01~C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17~C19	C20	C21	C22	C23~C24	C25
------	---------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---------	-----	-----	-----	---------	-----



27

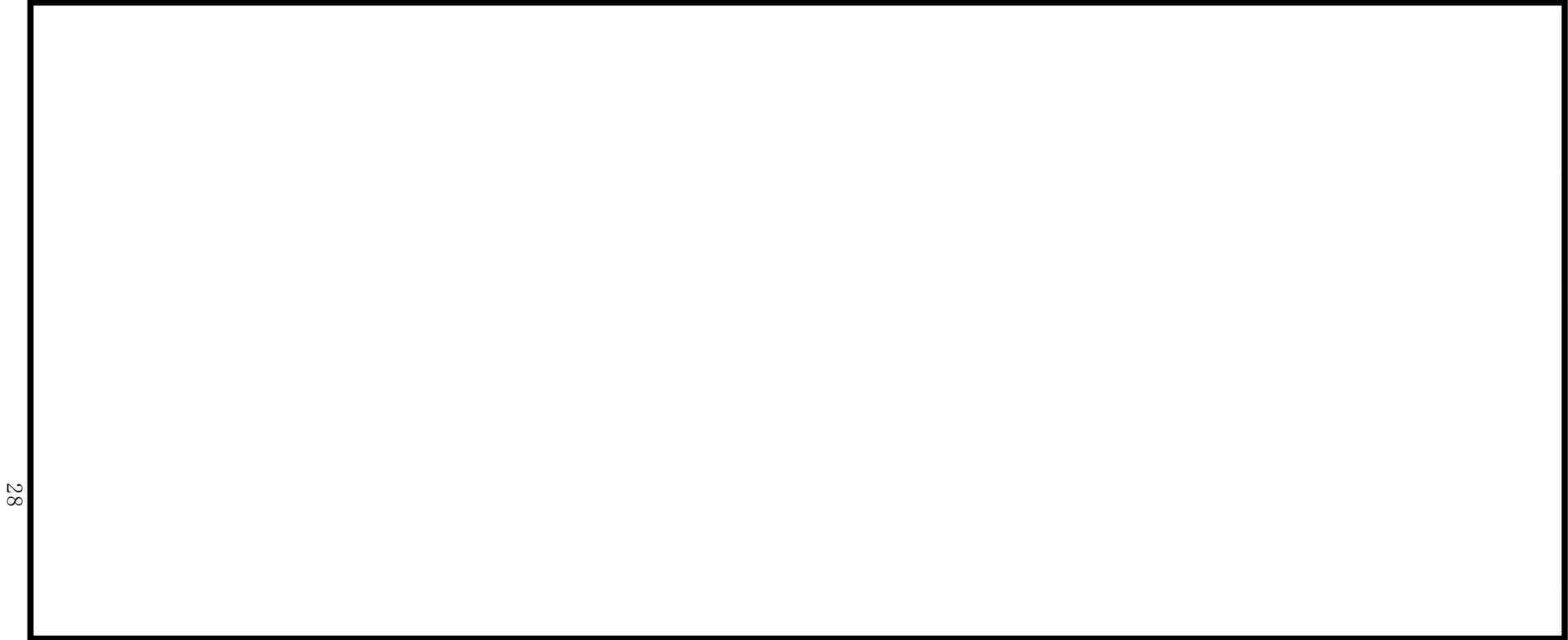
注 1

注 2



図 4-3 (4) ノズル等の運転条件 (主蒸気ノズル (N3) )

運転条件	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25
------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----



28

- 注 1
- 注 2
- 注 3
- 注 4
- 注 5

--

図4-3 (5) ノズル等の運転条件 (給水ノズル (N4) )

運転条件	C20	C21~C24	C25	運転条件	C25

- 注 1 :
- 注 2 :
- 注 3 :
- 注 4 :
- 注 5 :

--

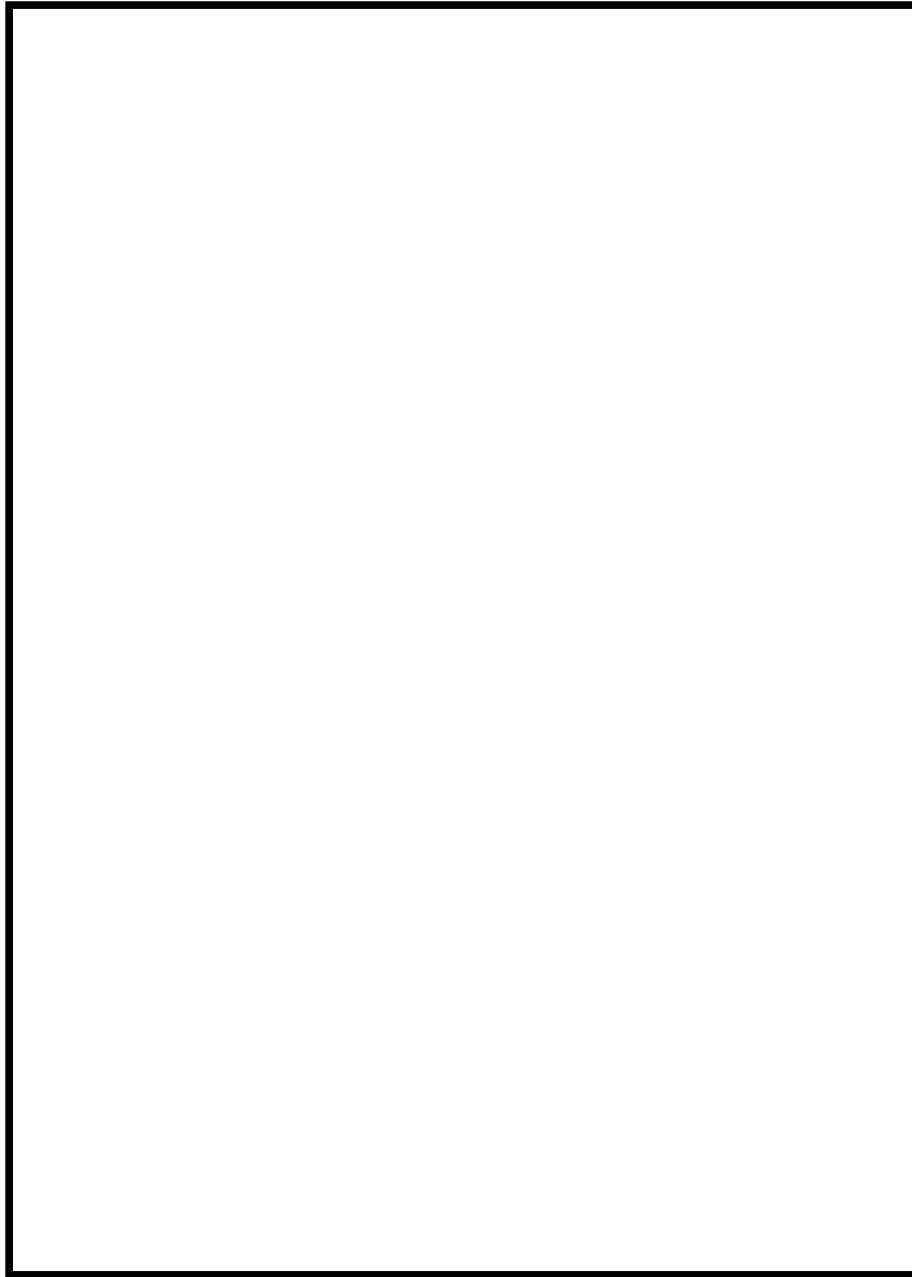
図 4-3 (6) ノズル等の運転条件 (炉心スプレイノズル (N5) )



運転条件	C15	C16	C17	C18~C19	C20
注 1 :					
注 2 :					
注 3 :					

図 4-3 (7) ノズル等の運転条件 (上鏡スプレイノズル (N6) )

運 転 条 件	C01	C02		C03～C24
---------	-----	-----	--	---------



注 1 :  
注 2 :  
注 3 :  
注 4 :  
注 5 :



図 4-3 (8) ノズル等の運転条件 (差圧検出・ほう酸水注入管ノズル (N10) )

運転条件	C01	C02
------	-----	-----



注1  
注2



図4-3 (9) ノズル等の運転条件 (計装ノズル (N11, N12, N16) )

運転条件	C01	C02	C03	C04	C05~C09	C10	C11	C12	C13~C17	C18~C19	C20	C21	C22	C23~C24	C25
------	-----	-----	-----	-----	---------	-----	-----	-----	---------	---------	-----	-----	-----	---------	-----

33



注 1

注 2



図 4-3 (10) ノズル等の運転条件 (ドレンノズル (N15) )

運 転 条 件		C25
---------	--	-----



注 1

注 2

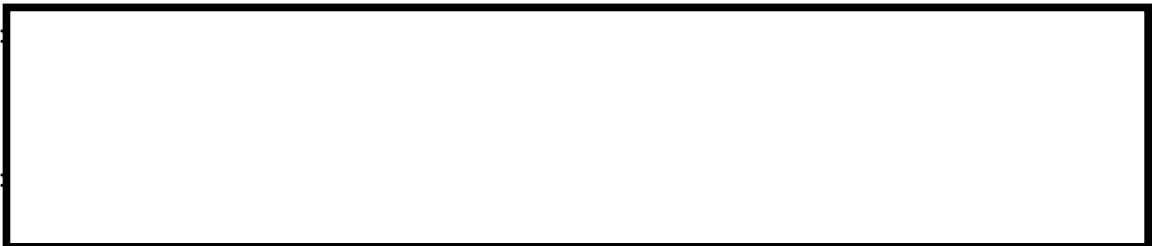


図 4-3 (11) ノズル等の運転条件 (低圧注水ノズル (N17) )

表3-1 材料の分類と外荷重による応力計算に使用する物性値

種 類	材 料	備 考	E × 10 <sup>5</sup> (MPa)	ν
低合金鋼	SQV2A相当 [ ]		[ ]	[ ]
	SFVQ2A相当 [ ]			
炭素鋼	SFVC2B相当 [ ]			
ボルト用合金鋼	[ ]	SNCM439*		
	SNB24-3相当 [ ]			
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUSF304相当 [ ]			
	SUSF304L相当 [ ]			
	SUS304TB [ ]			
	SUS304TP 相当 [ ]			
	SUS304LTP相当 [ ]			
	SUS316TP [ ]			
高ニッケル合金	NCF600相当 [ ]			

注1 : 以降, 材料は新 J I S 相当材で記す。

注2 : 物性値は [ ] °C における値を示す。

注記 \* : 新 J I S を示す。

表3-2 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
SFVQ2A					3.1	1.0	1.25
SFVC2B					3.1	0.66	2.59
SUSF304 SUS304TP					3.1	0.7	2.15
SUS304LTP					3.1	0.7	2.15
NCF600					3.1	0.7	2.15

- 注：E : 運転温度  °C) に対する縦弾性係数  
 S<sub>m</sub> : 運転温度  °C) 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> ≤ 550 MPa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3-3 (1) 荷重の組合せ及び許容応力状態 (設計基準対象施設)

設備区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	状 態
原子炉本体	原子炉容器 及び炉心	原子炉圧力容器	S	クラス1容器	$D + P + M + S_d^*$	許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S
					$D + P_L + M_L + S_d^*$	許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S
					$D + P + M + S_s$	

## [記号の説明]

- D : 自重 (JEAG4601では「死荷重」と記載)
- P : 地震と組合せるべき圧力荷重, 又は最高使用圧力等
- M : 地震及び死荷重以外で地震と組合せるべき機械荷重又は設計機械荷重等
- $P_L$  : LOCA直後を除いてその後に生じる圧力荷重
- $M_L$  : LOCA直後を除いてその後に生じる死荷重及び地震荷重以外の機械荷重
- $S_d^*$  : 弾性設計用地震動 $S_d$ により定まる地震力又は静的地震力
- $S_s$  : 基準地震動 $S_s$ により定まる地震力



表3-3 (2) 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

設備区分		機器名称	設備分類* <sup>1</sup>	機器等の区分	荷重の組合せ* <sup>2</sup>	状 態
原子炉本体	原子炉容器 及び炉心	原子炉圧力容器	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{RSA(L)} + M + S_d^*$	許容応力状態V <sub>A</sub> S
					$D + P_{RSA(LL)} + M + S_s$	許容応力状態V <sub>A</sub> S
					$D + P + M + A$	供用状態E

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：許容応力状態V<sub>A</sub>Sにおける荷重の組合せで、重大事故後の状態における圧力荷重 $P_{RSA(L)}$ 及び $P_{RSA(LL)}$ は、設計基準対象施設で想定される圧力と比べて小さい。また、重大事故後の状態で設備に作用する機械荷重Mは発生しない。このことから、許容応力状態V<sub>A</sub>Sにおける荷重の組合せによる評価は、設計基準対象施設の評価に包絡される。

## [記号の説明]

- D : 自重（JEAG 4601では「死荷重」と記載）
- P : 地震と組合せるべき圧力荷重，又は最高使用圧力等
- $P_{RSA(L)}$  : 原子炉冷却材圧力バウンダリの重大事故における長期的な（長期（L））圧力荷重
- $P_{RSA(LL)}$  : 原子炉冷却材圧力バウンダリの重大事故における長期的な（長期（LL））圧力荷重
- M : 地震及び死荷重以外で地震と組合せるべき機械荷重又は設計機械荷重等
- $S_d^*$  : 弾性設計用地震動 $S_d$ により定まる地震力又は静的地震力
- $S_s$  : 基準地震動 $S_s$ により定まる地震力
- A : 事故時荷重

表 3-4 許容限界 (クラス 1 容器及び重大事故等クラス 2 容器)

状 態	許 容 限 界				
	一次一般膜応力強さ	一次局部膜応力強さ又は 一次膜+一次曲げ応力強さ	一次+二次応力強さ	一次+二次 +ピーク応力強さ	純せん断応力
許容応力状態 III <sub>A</sub> S	S <sub>y</sub> と 2/3・S <sub>u</sub> 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・S <sub>m</sub> とする。	左欄のα倍の値* <sup>1</sup>	3・S <sub>m</sub> * <sup>2</sup>  S <sub>d</sub> *又はS <sub>s</sub> 地震動のみによる応力振幅について評価する。	S <sub>d</sub> *又はS <sub>s</sub> 地震動のみによる疲労解析を行い、 <b>運転状態 I 及び II</b> における疲労累積係数との和を 1 以下とする。	0.6・S <sub>m</sub>
許容応力状態 IV <sub>A</sub> S  許容応力状態 V <sub>A</sub> S	2/3・S <sub>u</sub>  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・S <sub>u</sub> と 2.4・S <sub>m</sub> の小さい方	左欄のα倍の値* <sup>1</sup>			0.4・S <sub>u</sub>
供用状態 E			—	—	—

注記 \*1: αは、一次局部膜応力の場合は1.5、一次膜+一次曲げ応力の場合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・S<sub>m</sub>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 (同 PVB-3313 を除く) の簡易弾塑性解析を用いる。

表3-5 (1) クラス1 容器 (ボルトを除く。) 用材料の許容限界

(単位 : MPa)

応力分類		一次一般膜応力強さ (P <sub>m</sub> )		
状態		許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S	許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S	供用状態E
温度 (°C)		□	□	302
炭素鋼及び低合金鋼	SQV2A	302	326	326
	SFVQ2A	302	320	320
	SFVC2B	187	292	292
許容応力の算出式		Min (S <sub>y</sub> , 2/3 · S <sub>u</sub> )	2/3 · S <sub>u</sub>	2/3 · S <sub>u</sub>
オーステナイト系 ステンレス鋼及び 高ニッケル合金	SUSF304	137	248	248
	SUSF304L	116	226	226
	SUS304TB	137	260	260
	SUS304TP	137	260	260
	SUS304LTP	116	232	232
	NCF600	196	334	334
許容応力の算出式		1.2 · S <sub>m</sub>	Min (2.4 · S <sub>m</sub> , 2/3 · S <sub>u</sub> )	Min (2.4 · S <sub>m</sub> , 2/3 · S <sub>u</sub> )

表3-5 (2) クラス1 容器 (ボルトを除く。) 用材料の許容限界

(単位 : MPa)

応力分類		一次局部膜応力強さ (P <sub>L</sub> ) 又は一次膜+一次曲げ応力強さ (P <sub>L</sub> +P <sub>b</sub> )		
状態		許容応力状態ⅢAS *1	許容応力状態ⅣAS *1	供用状態E *1
温度 (°C)		□	□	302
炭素鋼及び低合金鋼	SQV2A	454	490	490
	SFVQ2A	454	480	480
	SFVC2B	281	438	438
許容応力の算出式		$\alpha \cdot \text{Min} (S_y, 2/3 \cdot S_u) *2$	$\alpha \cdot 2/3 \cdot S_u *2$	$\alpha \cdot 2/3 \cdot S_u *2$
オーステナイト系 ステンレス鋼及び 高ニッケル合金	SUSF304	206	372	372
	SUSF304L	174	339	339
	SUS304TB	206	391	391
	SUS304TP	206	391	391
	SUS304LTP	174	348	348
	NCF600	295	501	501
許容応力の算出式		$\alpha \cdot 1.2 \cdot S_m *2$	$\alpha \cdot \text{Min} (2.4 \cdot S_m, 2/3 \cdot S_u) *2$	$\alpha \cdot \text{Min} (2.4 \cdot S_m, 2/3 \cdot S_u) *2$

注記 \*1 : 本表には、 $\alpha = 1.5$ の場合の値を示す。

\*2 :  $\alpha$ は、一次局部膜応力の場合は1.5、一次膜+一次曲げ応力の場合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。

表3-5 (3) クラス1 容器 (ボルトを除く。) 用材料の許容限界

(単位 : MPa)

応力分類		一次+二次応力強さ ( $P_L + P_b + Q$ )	
状態		許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S	許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S
温度 (°C)		□	□
炭素鋼及び低合金鋼	SQV2A	552	552
	SFVQ2A	552	552
	SFVC2B	383	383
オーステナイト系 ステンレス鋼及び 高ニッケル合金	SUSF304	348	348
	SUS304TP	348	348
	SUS304LTP	294	294
	NCF600	492	492
許容応力の算出式		$3 \cdot S_m$	$3 \cdot S_m$

表3-5 (4) クラス1 容器 (ボルトを除く。) 用材料の許容限界

(単位 : MPa)

応力分類		純せん断応力	
状態		許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S	許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S
温度 (°C)		□	□
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUSF304L	58	135
許容応力の算出式		$0.6 \cdot S_m$	$0.4 \cdot S_u$

表3-6 クラス1 容器ボルト材料の許容限界

(単位 : MPa)

応力分類		平均引張応力	平均引張応力+曲げ応力
状態		供用状態E	供用状態E
温度 (°C)		302	302
ボルト用合金鋼	SNB24-3	572	859
許容応力の算出式		$2/3 \cdot S_u$	$S_u$

表3-7 原子炉压力容器の基礎ボルトの許容限界

材 料	状 態	温 度 (°C)	許容応力 (MPa) *1	
			引張応力*2, *4	せん断応力*3
SNM439	許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S		491	378
	許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S		491	378
	許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S		458	353

注記 \*1：原子炉压力容器の基礎ボルトの許容応力は、設計・建設規格 SSB-3132, SSB-3133 及びSSB-3121並びにSSB-3131による。

\*2：許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S及びⅣ<sub>A</sub>Sにおいて引張応力を受けるボルトの許容応力 $f_t$ は、

$$f_t = 1.5 \cdot \frac{F}{2}$$

ここで、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>SにおけるFは設計・建設規格 SSB-3121.1におけるFの値。

$$F = \text{Min} (S_y, 0.7 S_u)$$

また、許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>SにおけるFは設計・建設規格 SSB-3121.1において、 $S_y$ を $1.2 S_y$ と読み替えて算出した値。

$$F = \text{Min} (1.2 S_y, 0.7 S_u)$$

\*3：許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S及びⅣ<sub>A</sub>Sにおいてせん断応力を受けるボルトの許容応力 $f_s$ は、

$$f_s = 1.5 \cdot \frac{F}{1.5\sqrt{3}}$$

\*4：せん断応力と引張応力を同時に受けるボルトの許容引張応力 $f_{ts}$ は、以下のいずれか小さい方の値とする。

$$(a) \quad f_{ts} = 1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau$$

$$(b) \quad f_{ts} = f_{t0}$$

ここで、 $f_{t0}$ は許容引張応力。 $\tau$ はボルトのせん断応力。

本表には、(b)の場合の値を示す。

表4-1 (1) 外荷重

胴板外荷重

記号	荷重名称	鉛直力 (kN)	水平力 (kN)	モーメント (kN・m)
		V	H	M
L12	外荷重A *1			
L13	外荷重B *2			
L18	外荷重C *3			
L19	外荷重D *4			
L23	外荷重E *5			
L14	地震荷重 S <sub>d</sub> *			
L16	地震荷重 S <sub>s</sub>			

注記 \*1：運転状態 I 及び II のうち，図4-2の運転条件番号C03～C09及びC12～C18にかかるものとする。

\*2：運転状態 I 及び II のうち，図4-2の運転条件番号C02にかかるものとする。

\*3：運転状態 I 及び II のうち，図4-2の運転条件番号C10，C11，C20及びC21にかかるものとする。

\*4：運転状態 I 及び II のうち，図4-2の運転条件番号C19にかかるものとする。

\*5：供用状態Eにかかるものとする。

注：

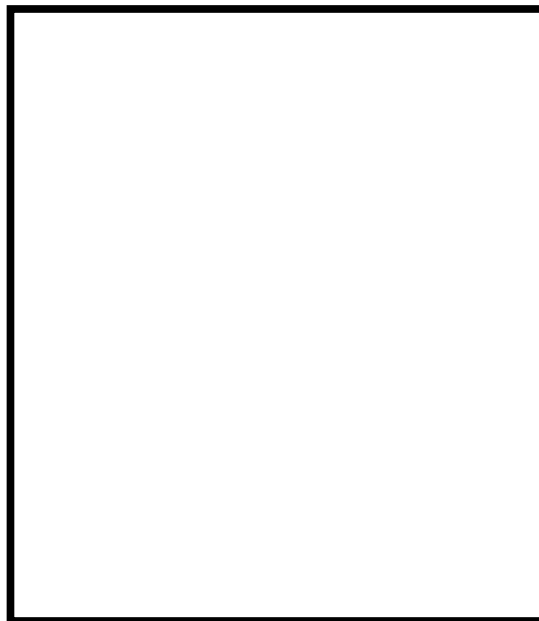


表4-1 (2) 外荷重

下部鏡板及び原子炉压力容器スカート外荷重

記号	荷重名称	鉛直力 (kN)		水平力 (kN)	モーメント (kN・m)	
		V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	H	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>					
L23	外荷重E <sup>*5</sup>					
L14	地震荷重S <sub>d</sub> <sup>*</sup>					
L16	地震荷重S <sub>s</sub>					

注記 \*1：運転状態Ⅰ及びⅡのうち、図4-2の運転条件番号C03～C09及びC12～C18にかかるものとする。

\*2：運転状態Ⅰ及びⅡのうち、図4-2の運転条件番号C02にかかるものとする。

\*3：運転状態Ⅰ及びⅡのうち、図4-2の運転条件番号C10, C11, C20及びC21にかかるものとする。

\*4：運転状態Ⅰ及びⅡのうち、図4-2の運転条件番号C19にかかるものとする。

\*5：供用状態Eにかかるものとする。

注1

注2



表4-1 (3) 外荷重

制御棒駆動機構ハウジング貫通部外荷重

記号	荷重名称	鉛直力 (kN)		水平力 (kN)		モーメント (kN・m)	
		V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>
L12	外荷重A <sup>*1</sup>						
L13	外荷重B <sup>*2</sup> (初期)						
	外荷重B <sup>*2</sup> (末期)						
	外荷重B <sup>*2</sup> (バッファ効果無し <sup>*3</sup> )						
	外荷重B <sup>*2</sup> (ロッドスタック時 <sup>*3</sup> )						
L23	外荷重C <sup>*4</sup>						
L24	外荷重D <sup>*4</sup> (初期)						
	外荷重D <sup>*4</sup> (末期)						
	外荷重D <sup>*4</sup> (バッファ効果無し)						
	外荷重D <sup>*4</sup> (ロッドスタック時)						
L14	地震荷重S <sub>d</sub> <sup>*</sup>						
L16	地震荷重S <sub>s</sub>						

- 注記 \*1：運転状態 I 及び II のうち、図4-2の運転条件番号C02～C09及びC12～C19にかかるものとする。
- \*2：運転状態 I 及び II のうち、図4-2の運転条件番号C10, C11, C20及びC21にかかるものとする。
- \*3：スクラム (タービントリップ及びその他のスクラム) 時  回, 燃料交換時  回を考慮する。
- \*4：供用状態 E にかかるものとする。

注1

注2

表4-1 (4) 外荷重

ノズル外荷重

ノズル	記号	荷重名称	力 (kN)		モーメント (kN・m)		荷重作用点位置 (mm)
			H	F <sub>z</sub>	M	M <sub>z</sub>	
再循環水 出口ノズル (N1)	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)					
再循環水 入口ノズル (N2)	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)					
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)					
低圧炉心 スプレイ ノズル (N5)	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 スプレイ ノズル (N5)	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 (4) 外荷重 (続)

ノズル外荷重

ノズル	記号	荷重名称	力 (kN)		モーメント (kN・m)		荷重作用点位置 (mm)
			H	F <sub>z</sub>	M	M <sub>z</sub>	
上鏡スプレインノズル (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)					
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)					
ジェットポンプ計測管貫通部ノズル (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)					
差圧検出・ほう酸水注入管ノズル (N10) (炉外)	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)					
差圧検出・ほう酸水注入管ノズル (N10) (炉内)	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 (N11)	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)					

NT2 補③ V-2-3-4-1-1 R0

表4-1 (4) 外荷重 (続)

ノズル外荷重

ノズル	記号	荷重名称	力 (kN)		モーメント (kN・m)		荷重作用点位置 (mm)
			H	F <sub>z</sub>	M	M <sub>z</sub>	
計装ノズル (N12)	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 (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)					
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)					
低圧注水ノズル (N17)	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)					

注1  
注2  
注3

--



表4-1 (5) 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 (kN)		モーメント (kN・m)		荷重作用点位置 (mm)
			H	F <sub>z</sub>	M	M <sub>z</sub>	
再循環水 入口ノズル (N2)	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)					
低圧炉心 スプレイ ノズル (N5)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力 (定常時)					
	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 スプレイ ノズル (N5)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力 (定常時)					
	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 (N17)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力 (定常時)					
	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)					

注1 :  
注2 :  
注3 :

--

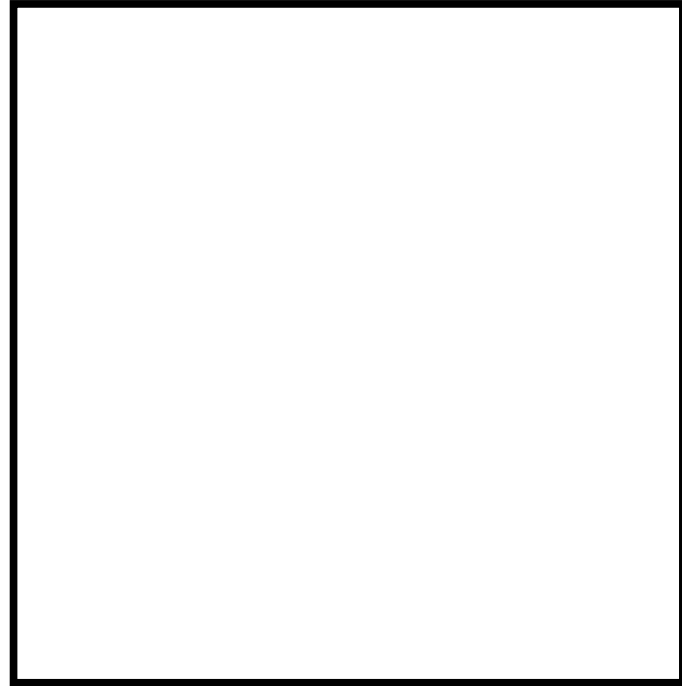


表4-1 (6) 外荷重  
ブラケット外荷重

ブラケット名	荷重名称	力 (kN)		
		$F_x$	$F_y$	$F_z$
スタビライザ ブラケット	地震荷重 $S_d^*$			
	地震荷重 $S_s$			
スチームドライヤ サポートブラケット	地震荷重 $S_d^*$			
	地震荷重 $S_s$			
給水スパージャ ブラケット	地震荷重 $S_d^*$			
	地震荷重 $S_s$			
炉心スプレイ ブラケット	地震荷重 $S_d^*$			
	地震荷重 $S_s$			

注1

注2



荷重の方向



表4-1 (7) 外荷重

原子炉圧力容器の基礎ボルト外荷重

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

注記 \* : 原子炉冷却材喪失事故後 (原子炉冷却材喪失直後を除く。) の荷重を表す。



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) * <sup>1</sup> + L07	$P_L + P_b + Q$ 疲労解析
許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S	L01+L02+ (L04, L12, L13, L18又はL19) * <sup>1</sup> +L11+L14	$P_m$ $P_L + P_b$ 又は $P_L$
	L14+L15	$P_L + P_b + Q$ 疲労解析
許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S	L01+L02+ (L04, L12, L13, L18又はL19) * <sup>1</sup> +L11+L16	$P_m$ $P_L + P_b$ 又は $P_L$
	L16+L17	$P_L + P_b + Q$ 疲労解析
許容応力状態Ⅴ <sub>A</sub> S * <sup>2</sup>	L01+L02+ (L04, L12, L13, L18又はL19) * <sup>1</sup> +L11+ (L14又はL16) * <sup>1</sup>	$P_m$ $P_L + P_b$ 又は $P_L$
	(L14+L15又はL16+L17) * <sup>1</sup>	$P_L + P_b + Q$ 疲労解析
供用状態E (重大事故等時)	L01+L02+L11+ (L04, L23又はL24) * <sup>1</sup>	$P_m$ $P_L + P_b$ 又は $P_L$

注記 \*1: ( ) 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合せる。

\*2: 許容応力状態Ⅴ<sub>A</sub>Sにおける荷重の組合せによる評価は、設計基準対象施設の評価に包絡される。

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3-2に示す。

注2：地震荷重 $S_d^*$ 又は地震荷重 $S_s$ 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。