

本資料のうち、枠囲みの内容は、
商業機密あるいは防護上の観点
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-199 改0
提出年月日	平成30年3月19日

V-3-1-4-1 原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針

目 次

1. 概要	1
1.1 一般事項	1
1.2 構造の説明	1
2. 記号の説明	3
3. 計算条件	5
3.1 適用基準	5
3.2 解析箇所	5
3.3 形状及び寸法	5
3.4 物性値	5
3.4.1 材料の物性値	5
3.5 荷重の組合せ及び供用状態（許容応力状態）	6
3.6 許容応力	6
3.7 溶接部の継手効率	6
4. 荷重条件	7
4.1 設計条件	7
4.2 運転条件	7
4.2.1 運転状態Ⅰ及びⅡ	7
4.2.2 運転状態Ⅲ	8
4.2.3 運転状態Ⅳ	8
4.3 荷重の組合せ	8
4.3.1 荷重の組合せと応力評価	8
5. 応力解析の手順	9
5.1 解析手順の概要	9
5.2 荷重の選定	9
5.3 熱膨張差計算	9
5.4 応力計算と応力の分類	9
5.4.1 応力計算の方法	9
5.4.2 応力計算に使用する計算機コード	10
5.4.3 応力の分類	10
5.5 応力の評価	10
5.5.1 主応力	10
5.5.2 応力強さ	10
5.5.3 一次応力強さ	10
5.5.4 一次＋二次応力強さ	11
5.6 繰返し荷重の評価	11
5.6.1 疲労解析必要性の検討	11

5.6.2	疲労解析	11
5.7	特別な応力の検討	12
5.7.1	純せん断応力の評価	12
5.8	極限解析による評価	12
5.8.1	極限解析の方法	12
5.8.2	極限解析に使用する計算機コード	13
6.	解析及び評価結果の添付	14
6.1	熱膨張差計算結果	14
6.2	応力解析結果	14
6.3	応力評価結果	15
7.	引用文献	16
添付 1	溶接部の継手効率	55
添付 2	外荷重の考え方	57
添付 3	熱膨張差計算において考慮する運転条件	61
添付 4	応力計算及び弾塑性解析における荷重の入力方法	62
添付 5	応力計算結果の応力分類処理方法	63
添付 6	計算精度と数値の丸め方	64

図 表 目 次

図 3-1	全体断面図	17
図 4-1	原子炉压力容器内部構造物の設計差圧	18
図 4-2	原子炉压力容器内部構造物の運転条件	19
図 5-1	応力解析の手順	29
表 1-1	原子炉压力容器内部構造物の構造計画	2
表 3-1	材料の分類	30
表 3-2	熱膨張差計算及び応力計算に使用する材料の物性値	31
表 3-3	繰返し荷重の評価に使用する材料の物性値	32
表 3-4	極限解析による評価に使用する材料の物性値	33
表 3-5	荷重の組合せ及び供用状態（許容応力状態）	34
表 3-6	原子炉压力容器内部構造物用材料の許容応力	37
表 4-1	外荷重	40
表 4-2	荷重の組合せ	51
表 5-1	応力の分類	52
表 5-2	繰返しピーク応力強さの割増し方法	54

1. 概要

1.1 一般事項

本書は、原子炉圧力容器内部構造物に関する応力解析の方針を述べるものである。

なお、原子炉圧力容器内部構造物は耐震Sクラスの設計基準対象施設であり、下記の機器は重大事故等対処設備に該当し、その他の機器は重大事故等対処設備に該当しない。

- ・ 高圧及び低圧炉心スプレースパージャ
- ・ 残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）
- ・ 高圧及び低圧炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）
- ・ 差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉圧力容器内部）

ただし、重大事故等対処設備に該当する機器であっても、重大事故等時の運転条件は、設計基準の運転条件に包絡されるため、設計基準対象施設としての評価のみを実施する。

注1：本書に記載していない特別な内容がある場合は、各応力計算書に示す。

注2：図表は、原則として巻末に示す。

1.2 構造の説明

原子炉圧力容器内部構造物の構造計画を表1-1に示す。

なお、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ースパージャ
- (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配管（原子炉圧力容器内部）
- (9) 差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉圧力容器内部）
- (10) 中性子計測案内管

表 1-1 原子炉圧力容器内部構造物の構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
原子炉圧力容器 内部構造物	<p>蒸気乾燥器，給水スパージャ，高圧及び低圧炉心スプレイ配管は，原子炉圧力容器内部に取り付けられたブラケットにより支持されている。</p> <p>また，気水分離器及びスタンドパイプはシュラウドヘッドに溶接により接続され，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>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配管，差圧検出・ほう酸水注入管，中性子計測案内管により構成される。</p>	

2. 記号の説明

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

なお、各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。

計算書の記号	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	ピーク応力	MPa
F_L	軸力	N
F_S	せん断力	N
H	水平力	N
i	応力振幅のタイプ	—
K_b	曲げに対する応力集中係数	—
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_n	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・mm
N_a	S_{ℓ}' 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_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	—
S	10^{11} 回に対応する許容繰返しピーク応力強さ	MPa
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又は静的地震力	—
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
S_{12}	主応力差 $\sigma_1 - \sigma_2$	MPa
S_{23}	主応力差 $\sigma_2 - \sigma_3$	MPa
S_{31}	主応力差 $\sigma_3 - \sigma_1$	MPa
S_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

計算書の記号	記号の説明	単位
S_n	供用状態A及びBにおける一次＋二次応力の応力差最大範囲	MPa
S_n'	S_n のうち熱曲げ応力を除く一次＋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_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
T	ねじりモーメント	N・mm
U_n	供用状態A及びBにおける疲労累積係数	—
V	鉛直力	N
α	熱膨張係数	mm/(mm・°C)
η	溶接部の継手効率	—
ν	ポアソン比	—
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
τ_{lr}	せん断応力	MPa
τ_{rt}	せん断応力	MPa
$\tau_{t\ell}$	せん断応力	MPa

3. 計算条件

3.1 適用基準

発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））J S M E S N C 1-2005/2007）（日本機械学会 2007年）（以下「設計・建設規格」という。）及び原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和59年）を適用する。

注：本書及び各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。

3.2 解析箇所

応力解析を行う箇所は、次のとおりである。（図3-1参照）

- (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（原子炉压力容器内部）
- (8) 高圧及び低圧炉心スプレイ配管（原子炉压力容器内部）
- (9) 差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉压力容器内部）
- (10) 中性子計測案内管

3.3 形状及び寸法

各部の形状及び寸法は、応力計算書に示す。

3.4 物性値

熱膨張差計算，応力計算，繰返し荷重の評価及び極限解析による評価に使用する材料の物性値は、以下のとおりである。

3.4.1 材料の物性値

材料の物性値は、次のように定める。

- (1) 縦弾性係数E及び熱膨張係数 α は、設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1及び表2に定められたものによる。
- (2) 機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、最高使用温度（302℃）に対する値を用いる。熱膨張差等の相対変位の計算に使用する物性値は、それぞれの構造物が内包する流体の温度に対する値を用いる。なお、0℃から20℃の範囲の縦弾性係数E及び熱膨張係数 α は、設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1及び表2の20℃に対する値を用いる。

- (3) 繰返し荷重の評価に使用する物性値は、運転温度（：定格出力運転時の蒸気温度）に対する値を用いる。
- (4) 材料は、表 3-1 に従って分類する。
 主な温度における材料の物性値を表 3-2 に示す。
 繰返し荷重の評価に使用する物性値を表 3-3 に示す。
 極限解析による評価に使用する物性値を表 3-4 に示す。

3.5 荷重の組合せ及び供用状態（許容応力状態）

荷重の組合せ及び供用状態（許容応力状態）は、表 3-5 に示すとおりである。また、各供用状態（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、本書及び各応力計算書において、設計・建設規格 GNR-2120(1)の規定による最高使用圧力（供用状態 A を定義する運転状態において機器が受ける最高の圧力以上の圧力であって、設計上定めるものをいう。）を「設計差圧」と呼び、設計差圧と設計機械的荷重を組み合わせた条件を「設計条件」という。

3.6 許容応力

- (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) 設計条件の評価には、最高使用温度（302 °C）に対する許容応力を用いる。供用状態 A 及び B、供用状態 C 並びに D の一次応力の評価には、各供用状態（許容応力状態）を定義する運転状態における流体の最高温度（運転状態 I 及び II：、運転状態 III：、運転状態 IV：）に対する許容応力を用いる。供用状態 A 及び B の一次＋二次応力及び繰返し荷重の評価には、運転温度（：定格出力運転時の蒸気温度）に対する許容応力を用いる。
- (3) 原子炉圧力容器内部構造物の設計条件及び各運転状態の応力評価に用いる許容応力は、設計・建設規格 CSS-3110により表3-6に示すとおりである。

3.7 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。
- (2) 溶接部の許容応力は、表 3-6 に定める許容応力に継手効率を乗じたものである。溶接部の継手効率を添付 1 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
設計差圧	: 図 4-1 に示す。
最高使用温度	: 302 °C
設計機械的荷重	: 表 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、各応力計算書においては、{ }内の名称を用いる。

計算書では以下に示す運転条件のうち、一次応力強さの評価については、各供用状態（許容応力状態）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し、一次＋二次応力強さ及び疲労解析の評価には、圧力変動、温度変動等を考慮して、最も厳しい運転条件を選定し使用する。

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 75 %}	[C05]
(6) 週末低出力運転（出力 50 %）	{週末低出力運転出力 50 %}	[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）	{スクラムその他のスクラム}	[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起動(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]

なお、零応力状態は [C00] と表示する。

各運転条件における外荷重を表 4-1 に示す。外荷重の考え方については添付 2 に示す。

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

4.3 荷重の組合せ

4.3.1 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 及び各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。

荷 重	記 号
(1) 原子炉圧力容器の内圧	[L01]
(2) 差圧	[L02]
(3) 設計機械的荷重(設計条件で考慮する外荷重)	[L03]
(4) 死荷重(機器の自重により生じる荷重)	[L04]
(5) 熱変形力(熱膨張差により生じる荷重)	[L07]
(6) 活荷重(流体反力)	[L08]
(7) 熱負荷(管内外面温度差に基づき算定する荷重)	[L10]
(8) 配管又は機器の地震時の振動による地震荷重 S_d^* (一次荷重)	[L14]
(9) 配管又は機器の地震時の振動による地震荷重 S_s (一次荷重)	[L16]

注：L08はL03, L04として考慮する。

5. 応力解析の手順

応力解析の手順について述べる。

5.1 解析手順の概要

解析手順の概要を図5-1に示す。本図において、差圧による応力とその他の荷重による応力の計算で考慮する荷重を「機械荷重」という。

5.2 荷重の選定

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。それぞれの部分について考慮した荷重を表4-1に示す。

5.3 熱膨張差計算

原子炉圧力容器内部構造物の支持点、あるいは拘束点の相対変位により、応力が生じる場合がある。

相対変位は、原子炉圧力容器の内圧による変位、原子炉圧力容器内部構造物の差圧による変位及びこれらの熱膨張による変位の差として計算する。

相対変位の計算は、次の方針に従って行い、計算の詳細は各応力計算書に示す。

- (1) 解析上考慮する運転条件を添付3に示す。
- (2) 計算に用いる原子炉圧力容器の寸法は、公称寸法とし、内張り材の強度は無視する。
- (3) 管状の原子炉圧力容器内部構造物に冷水が入る場合には、その管状構造物が、全長にわたり一様に、冷水と同じ温度になるものとして、熱膨張差による応力を計算する。
- (4) 内圧、差圧及び熱膨張による変位は、それぞれの方向性を考慮して加算し、各部の支持点あるいは拘束点の変位として与える。

5.4 応力計算と応力の分類

5.4.1 応力計算の方法

- (1) 応力計算は、4.3.1項に示す荷重の種類ごとに行う。
- (2) 解析する箇所形状は、次の方針に従ってモデル化する。
 - a. 形状及び材料の不連続を考慮して、応力計算のためのメッシュ分割を行う。
 - b. 溶接部は、溶接金属に相当する鋼材と同じ物性値及び機械的性質を用いる。
 - c. 応力集中を生じる応力評価点には、ピーク応力の計算に応力集中係数を考慮する。
応力集中係数は、設計・建設規格 CSS-3140 の表に掲げられた値を用いる。
- (3) モデル図と使用する境界条件（拘束条件）は、各応力計算書に示す。
- (4) 応力計算における荷重の入力方法を添付4に示す。

5.4.2 応力計算に使用する計算機コード

(1) ABAQUS

有限要素法による汎用解析コードである。



(2) NASTRAN

有限要素法による汎用解析コードである。



5.4.3 応力の分類

応力の計算結果は、表 5-1 の応力の分類方法に従って分類して、各応力計算書に示す。
なお、ABAQUSによる応力計算結果の応力分類処理方法を添付 5 に示す。

5.5 応力の評価

5.5.1 主応力

5.4 節で計算された応力は、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_l , σ_r , τ_{tl} , τ_{lr} , τ_{rt} の 6 成分をもつが、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。

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

上式により主応力を求める。

5.5.2 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。

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

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

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

5.5.3 一次応力強さ

設計条件、供用状態 C、供用状態 D、許容応力状態 III_AS 及び許容応力状態 IV_AS において生じる一次一般膜応力及び一次一般膜+一次曲げ応力の応力強さが、3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足することを示す。ただし、極限解析による評価を行う機器は、設計条件、供用状態 C 及び供用状態 D に対して、一次応力の評価を行う。

5.5.4 一次＋二次応力強さ

供用状態A及びBにおいて生じる一次＋二次応力の応力差最大範囲（ S_n ）が、3.6節及び3.7節に示す許容値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、5.6節で述べる設計・建設規格 CSS-3300に基づいた簡易弾塑性解析を行う。

5.6 繰返し荷重の評価

繰返し荷重の評価は、供用状態A及びBによる荷重を用いて、次のいずれかの方法によって行う。

5.6.1 疲労解析必要性の検討

給水スパージャ及び差圧検出・ほう酸水注入管以外の機器は、設計・建設規格 CSS-3130に従い疲労解析（詳細な繰返し荷重の評価）の必要性の検討を行う。

5.6.2 疲労解析

給水スパージャ及び差圧検出・ほう酸水注入管については疲労解析を行う。疲労解析は以下の手順で行う。

(1) 解析上考慮する運転条件の選定

疲労解析においては、計算した繰返しピーク応力強さが、設計疲労線図の 10^{11} 回（オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金）に対応する値以下となるような小さい応力変動しか生じないものは、あらかじめ除外するものとする。この考え方により、疲労解析において考慮する運転条件は、以下のものである。物性値を表3-3に示す。

a. 次の値を超える温度変動のある運転条件（設計・建設規格 CSS-3130(2)）

$$\frac{S}{2 \cdot E \cdot \alpha} = \boxed{}$$

ここで、 S は、設計・建設規格 表 添付 4-2-2 の曲線Cに示されたオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金の 10^{11} 回に対応する繰返しピーク応力強さである。

b. 次の値を超える応力変動を生じる熱膨張差又は機械的荷重のある運転条件（設計・建設規格 CSS-3130(4)）

$$S = \boxed{}$$

ここで、 S は、設計・建設規格 表 添付 4-2-2 の曲線Cに示されたオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金の 10^{11} 回に対応する繰返しピーク応力強さである。

(2) (1)で選定した運転条件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、4.2節及び図4-2に示す各運転条件に対応する繰返し回数を考慮する。

(3) 応力差の変動とその繰返し回数より、応力差の全振幅の大きいものから順に選び出し、その選び出された応力振幅のタイプに対応する一次＋二次＋ピーク応力の応力差範囲

(S_p) 及びこの応力振幅の繰返し回数を求める。なお、この繰返し回数を疲労累積係数を求める際の実際の繰返し回数とする。

- (4) 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) が $\eta \cdot 3 \cdot S_m$ を超える応力評価点については、設計・建設規格 CSS-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 5-2 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。

- (5) 設計疲労線図に使用されている縦弾性係数 (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 3-3 に示す。

- (6) 疲労累積係数 (U_n)

疲労累積係数 (U_n) は、 S_{ℓ}' に対応する許容繰返し回数が 10^{11} 回以下となる重要な応力振幅のタイプについて、次式により求める。設計・建設規格 CSS-3113 又は CSS-3320 に従って、供用状態 A 及び B による疲労累積係数 (U_n) が、1 以下となることを示す。

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が 194 MPa 以下の設計疲労線図は、設計・建設規格 図 添付 4-2-2(1) の曲線 C を用いる。

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

5.7 特別な応力の検討

5.7.1 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。許容応力は、表 3-6(3) に示し、評価方法は応力計算書に示す。

- (1) 蒸気乾燥器の耐震サポート

5.8 極限解析による評価

気水分離器及びスタンドパイプについては、許容応力状態 III_AS 及び許容応力状態 IV_AS に対して、設計・建設規格 CSS-3160 に従い極限解析による評価を行う。

5.8.1 極限解析の方法

- (1) 極限解析は、有限要素法による弾塑性解析を用いて行う。
(2) 解析する箇所の形状は、次の方針に従ってモデル化する。

- a. 形状及び材料の不連続を考慮して、弾塑性解析のためのメッシュ分割を行う。
 - b. 溶接部は、溶接金属に相当する鋼材と同じ物性値及び機械的性質を用いる。
- (3) モデル図と使用する境界条件（拘束条件）は、応力計算書に示す。
- (4) 弾塑性解析における荷重の入力方法を添付 4 に示す。

5.8.2 極限解析に使用する計算機コード

(1) A B A Q U S

有限要素法による汎用解析コードであり、弾塑性解析に使用する。

このコードへのインプットは、解析しようとする箇所を形状、材料等の不連続部で小さなメッシュに分割することによって行う。

6. 解析及び評価結果の添付

各応力計算書では、以下に示すように解析結果を添付する。

応力解析結果及び応力評価結果の表示数値の丸め方を添付 6 に示す。

6.1 熱膨張差計算結果

相対変位の計算を行う必要がある構造物に関して、相対変位の計算結果を示す。

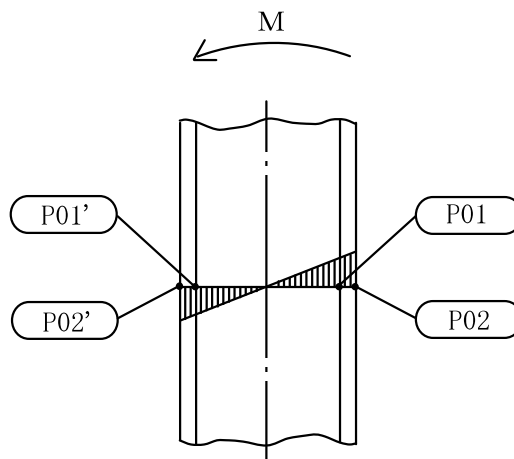
6.2 応力解析結果

全応力評価点（面）について考慮した荷重ごとに応力を分類し、その結果を示す。また、応力評価点の選定に当たっては、各部分ごとに応力評価上厳しくなる評価点を、各部分を代表する評価点として選定する。

応力評価点番号は、応力計算書ごとに記号 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、各応力計算書の形状・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。



6.3 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
 - 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) 各応力評価部分で最も厳しい応力評価点について，以下の評価過程を記載する。
 - a. 応力差の変動
 - b. 疲労累積係数
- (3) 次の特別な応力は，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
- (4) 極限解析による評価は，対象となるすべての部位について，結果を記載する。

7. 引用文献

文献番号は，本書及び各応力計算書において共通である。

- (1) 機械工学便覧 基礎編 $\alpha 3$ (日本機械学会)
- (2) Journal of Engineering for Industry, 「Effective Elastic Constants for Thick Perforated Plates with Square and Triangular Penetration Patterns」 (T. SLOT, W. J. O'DONNELL)

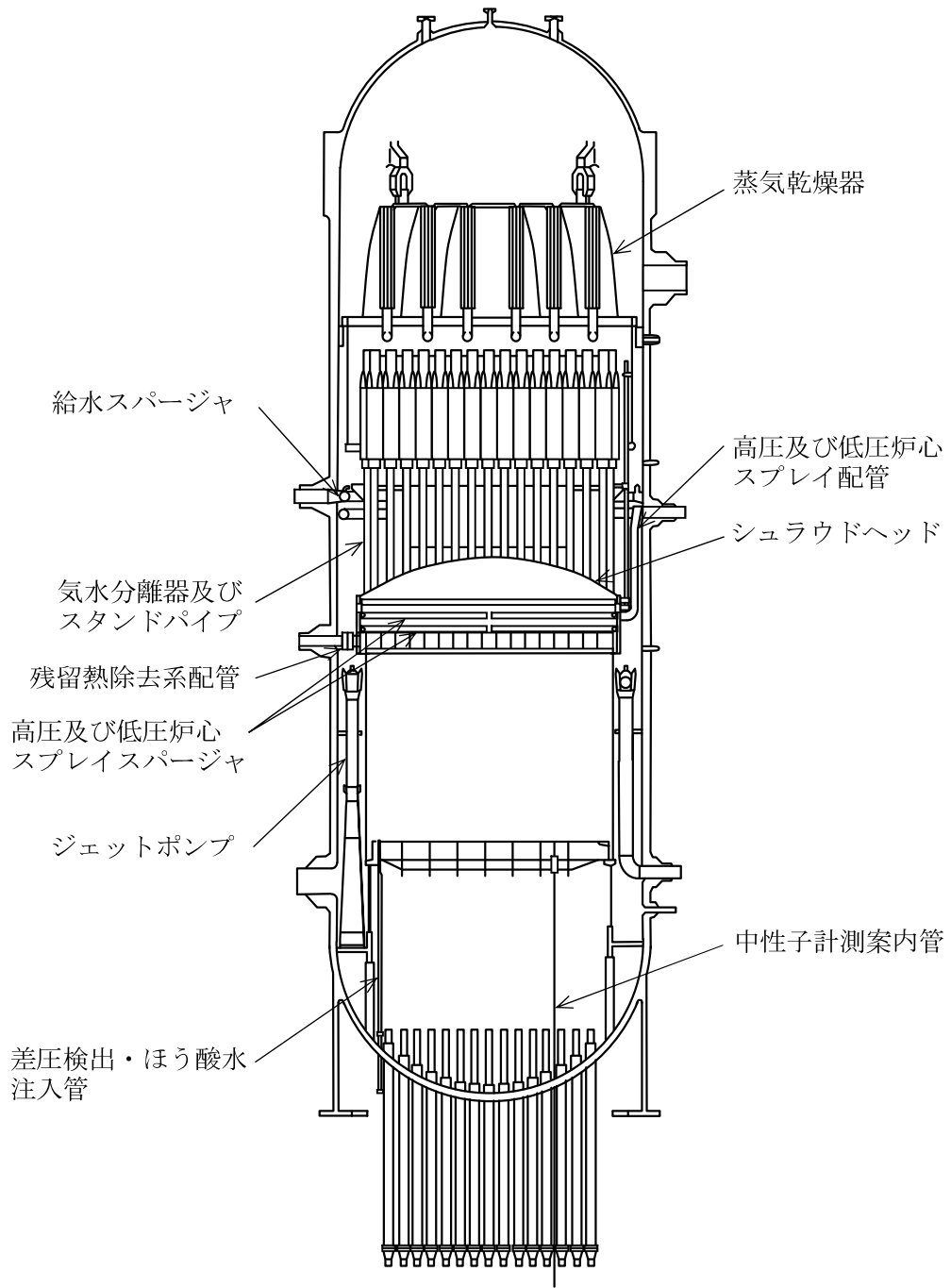
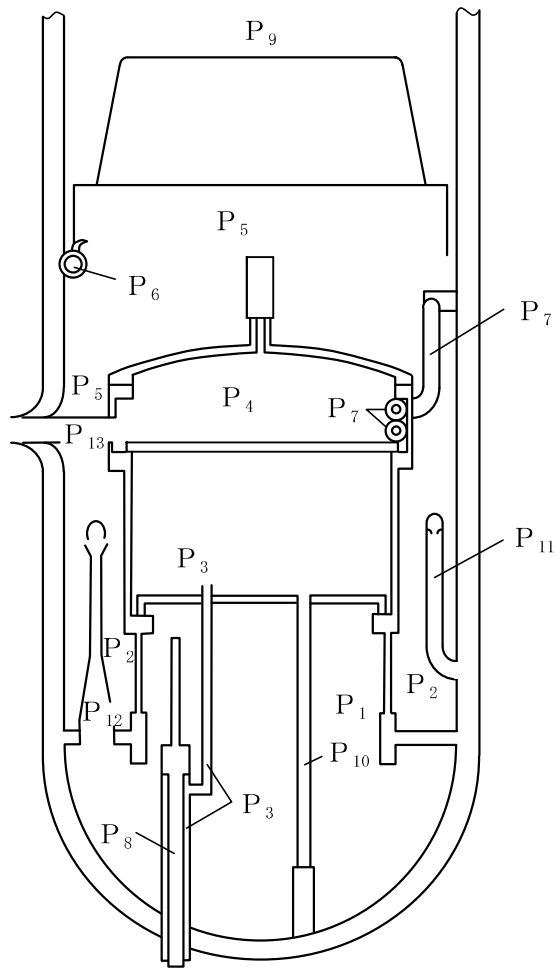


図 3-1 全体断面図



(単位：MPa)

部位	設計差圧
蒸気乾燥器	$P_{59} = P_5 - P_9$
気水分離器及びスタンドパイプ	$P_{45} = P_4 - P_5$
シュラウドヘッド	$P_{45} = P_4 - P_5$
ジェットポンプ	$P_{112} = P_{11} - P_2$
	$P_{122} = P_{12} - P_2$
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スパージャ	$P_{74} = P_7 - P_4$
残留熱除去系配管	$P_{135} = P_{13} - P_5$
高圧及び低圧炉心スプレイ配管	$P_{75} = P_7 - P_5$
差圧検出・ほう酸水注入管	$P_{13} = P_1 - P_3$
	$P_{81} = P_8 - P_1$
	$P_{83} = P_8 - P_3$
中性子計測案内管	$P_{110} = P_1 - P_{10}$

図 4-1 原子炉圧力容器内部構造物の設計差圧

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	ボルト締付け	耐圧試験 最高使用 圧力以下	起動 昇温 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 タービン トリップ 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 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
回数																										
差圧 (MPa)																										
0.5																										
0.4																										
0.3																										
0.2																										
0.1																										
0.0																										

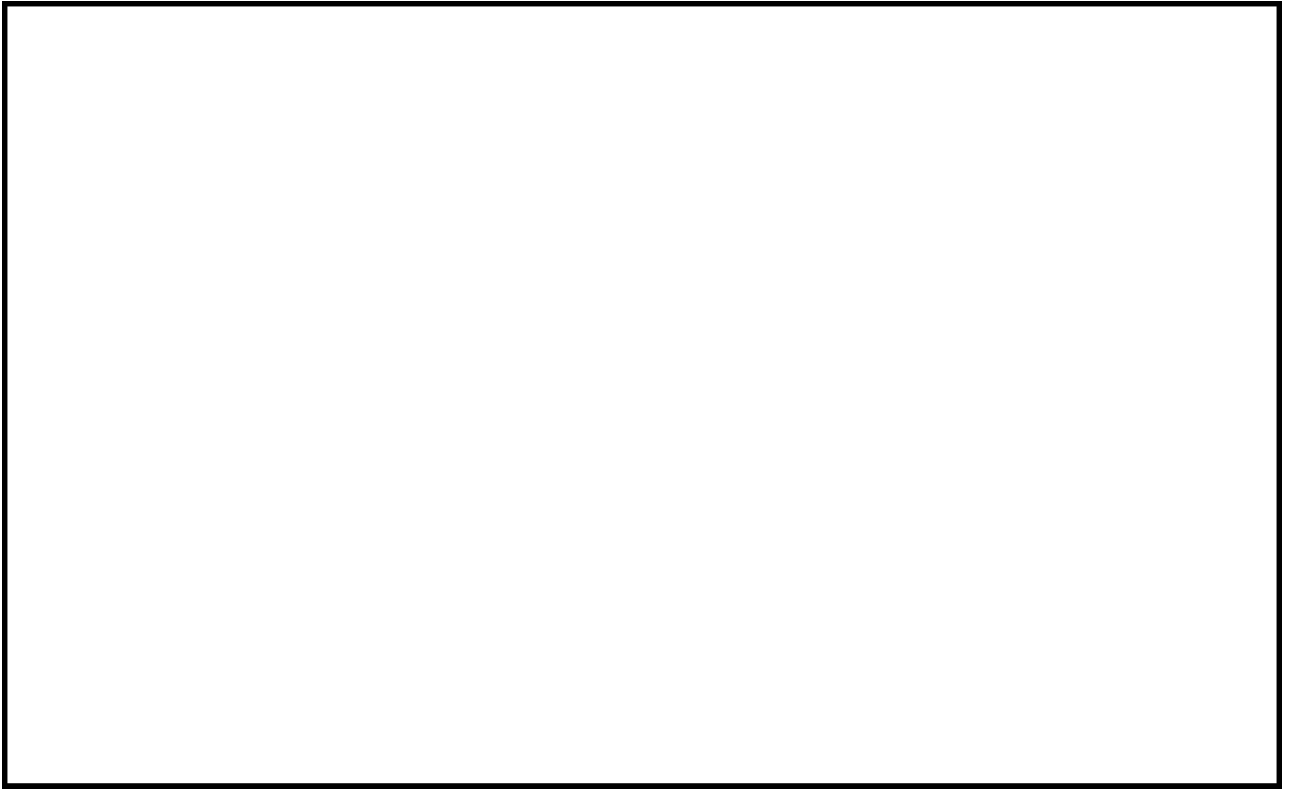
図4-2(1) 原子炉圧力容器内部構造物の運転条件

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		ボルト締付け	耐圧試験 最高使用 圧力以下	起動 昇温 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 タービン トリップ		他の スクラム	定格 出力 運転	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		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
回数																												

領域 A	圧力 (MPa)	0	2	4	6	8	10	300
	温度 (°C)	0	50	100	150	200	250	300
領域 B	水位	RPV底部	炉心	低水位2	低水位3	定常水位	フランジ	RPV頂部
	温度 (°C)	0	50	100	150	200	250	300
領域 C	温度 (°C)	0	50	100	150	200	250	300

図4-2(2) 原子炉压力容器内部構造物の運転条件

図 4-2(2) 原子炉圧力容器内部構造物の運転条件 (続)



NT2 補② V-3-1-4-1 R0

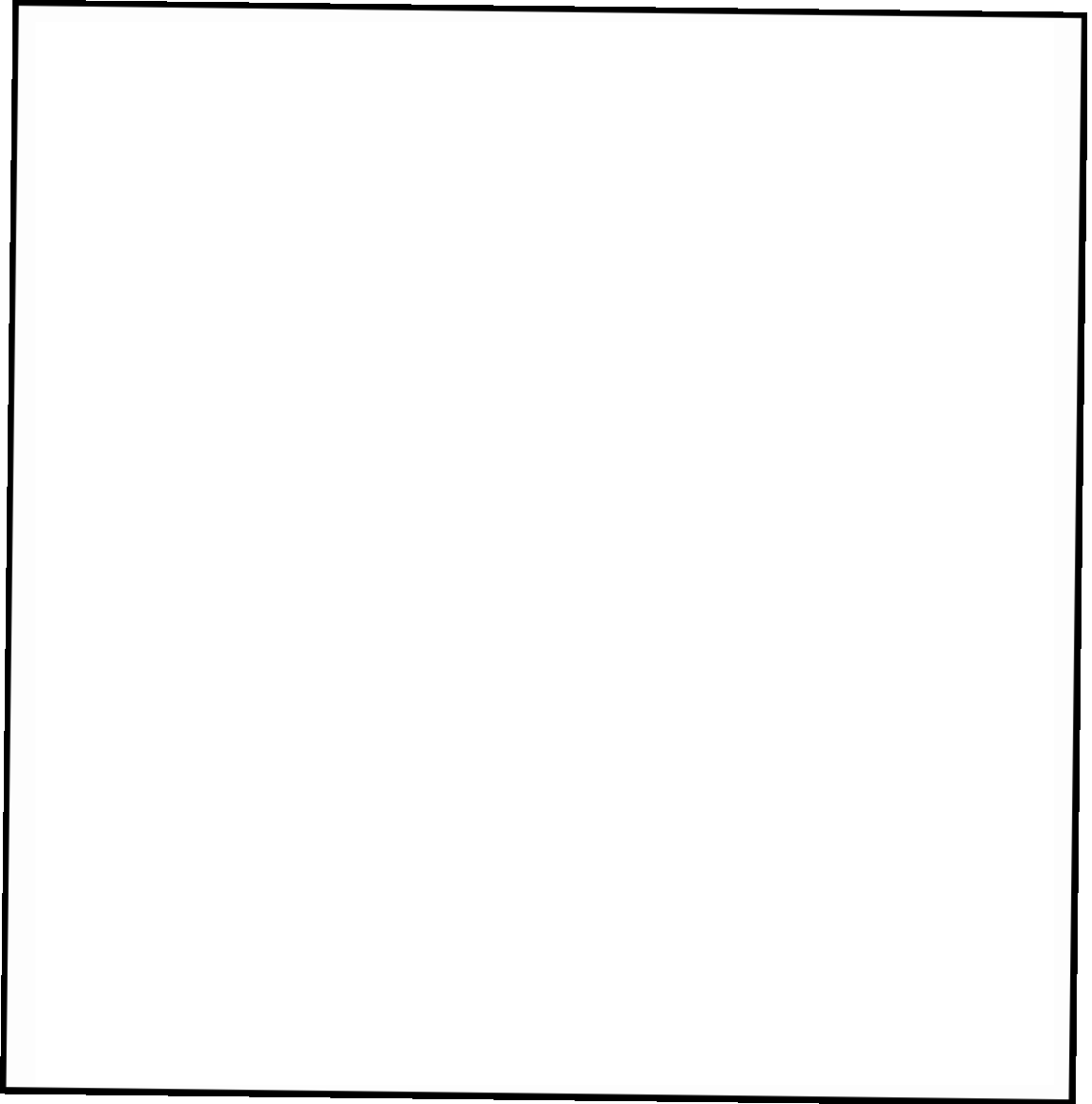


図 4-2(3) 原子炉压力容器内部構造物の運転条件
(原子炉压力容器内領域図)

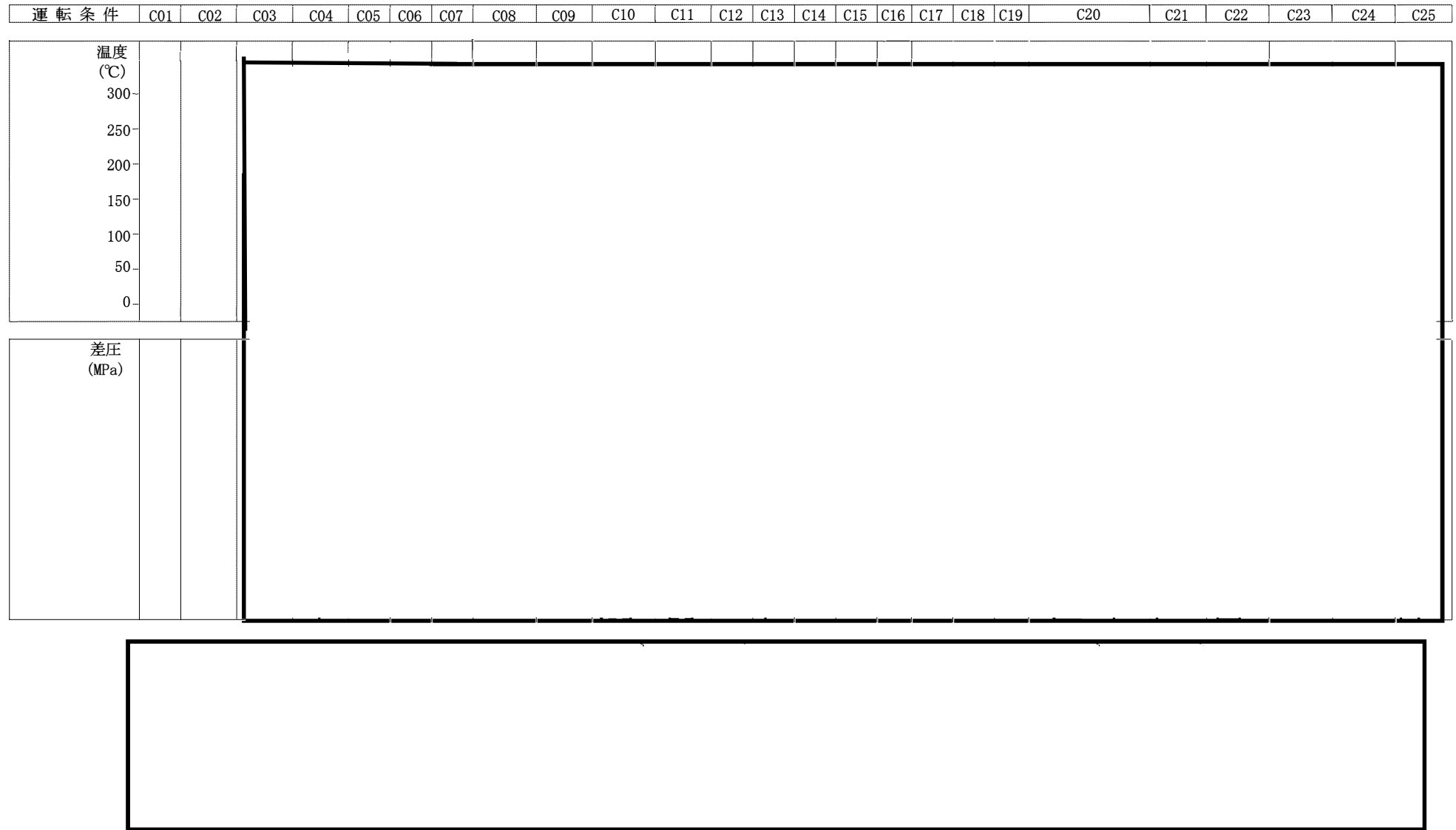


図 4-2(4) 原子炉压力容器内部構造物の運転条件 (ジェットポンプ)

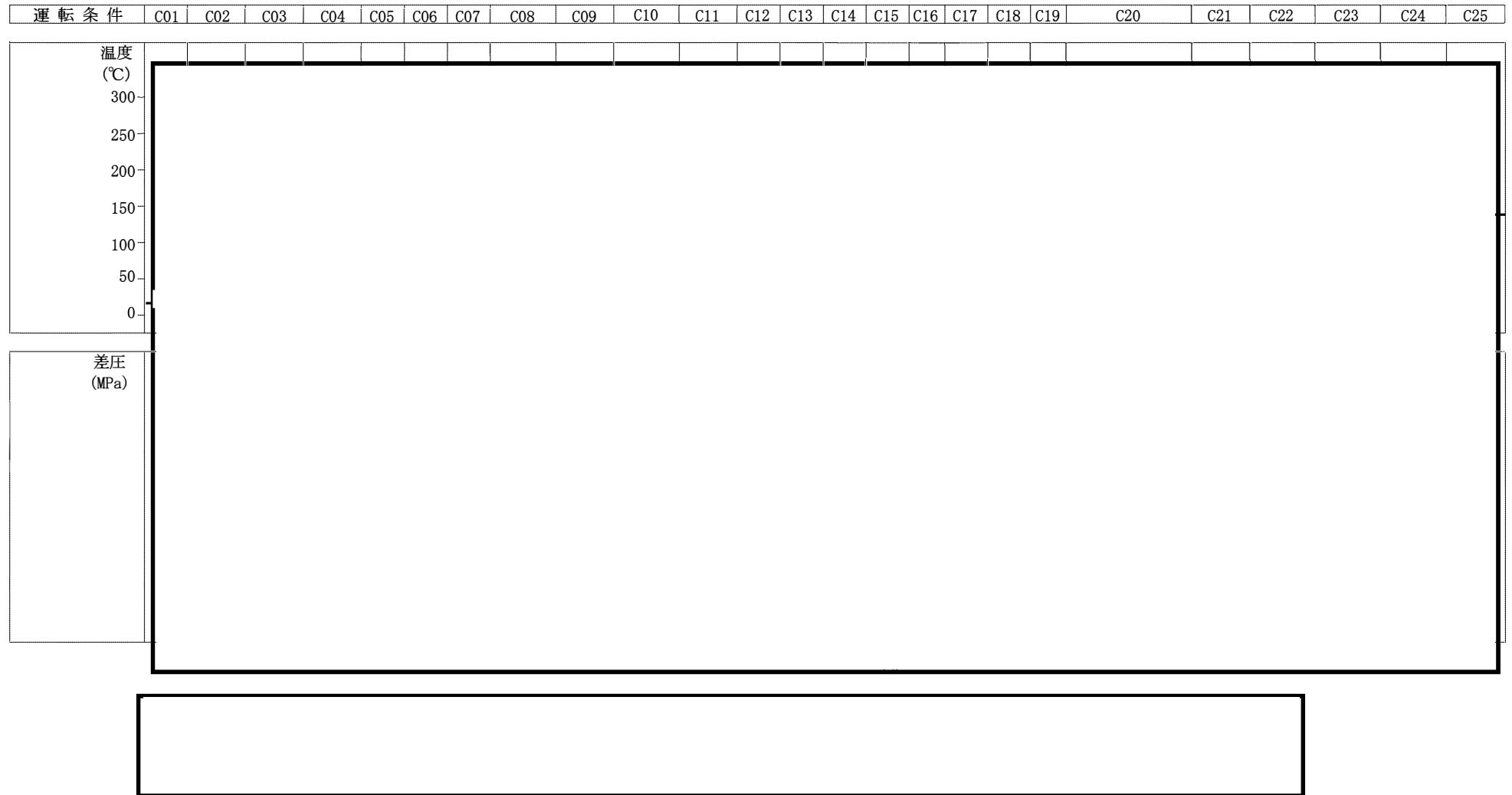


図 4-2(5) 原子炉圧力容器内部構造物の運転条件 (給水スパージャ)

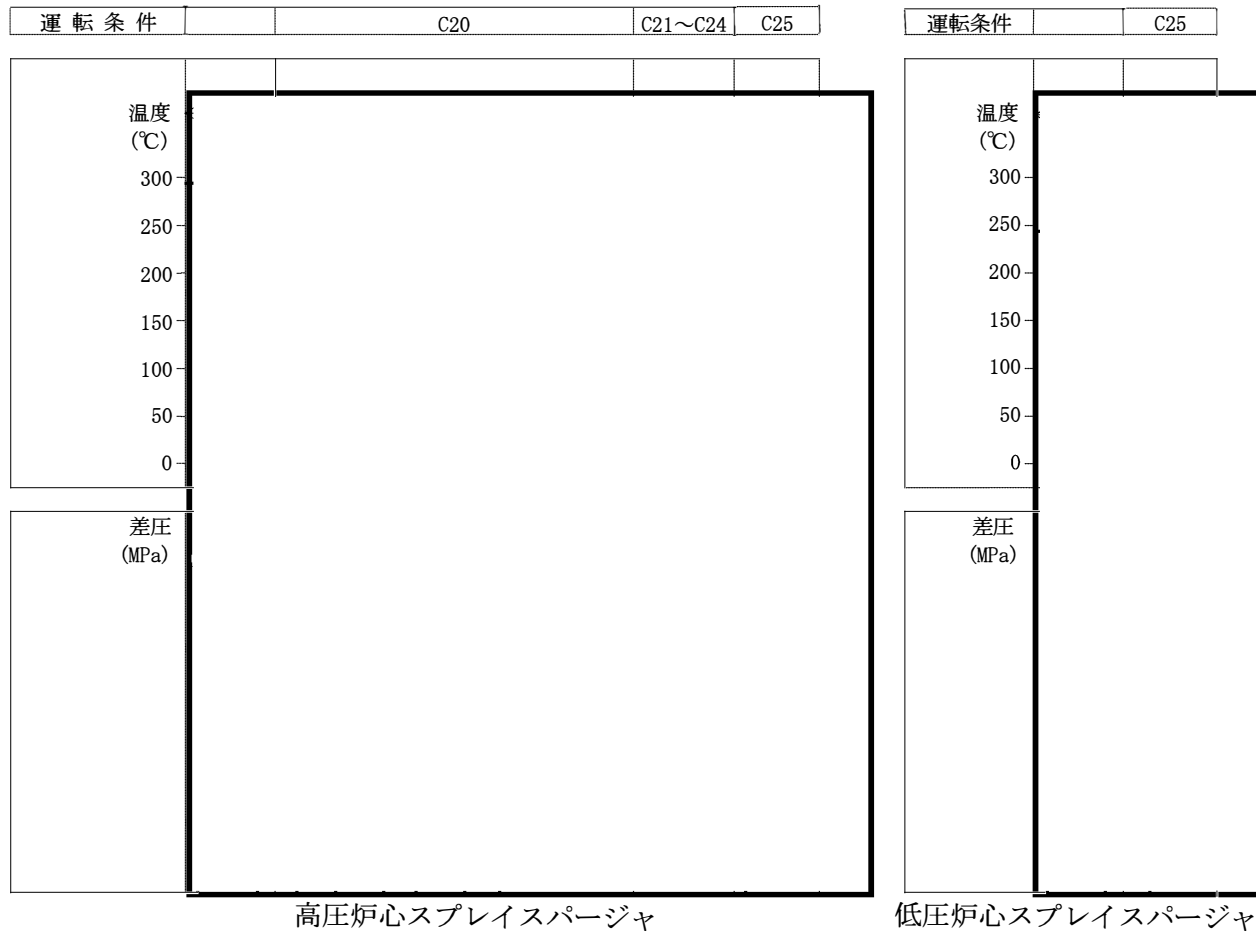


図 4-2(6) 原子炉压力容器内部構造物の運転条件 (高圧及び低圧炉心スプレイスパーチャ)

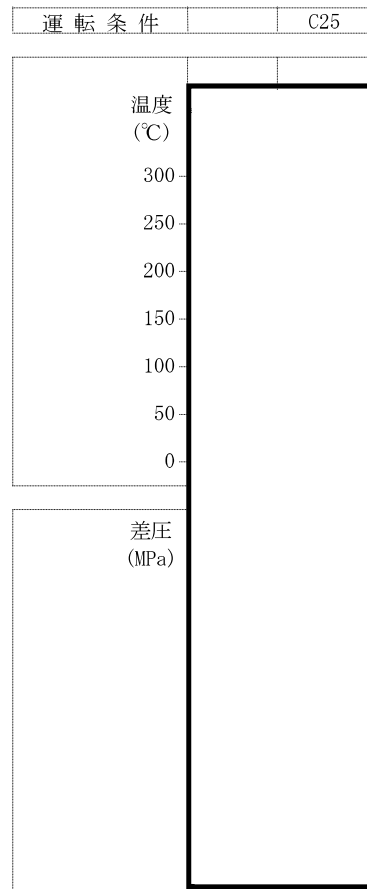


図 4-2(7) 原子炉压力容器内部構造物の運転条件 (残留熱除去系配管)

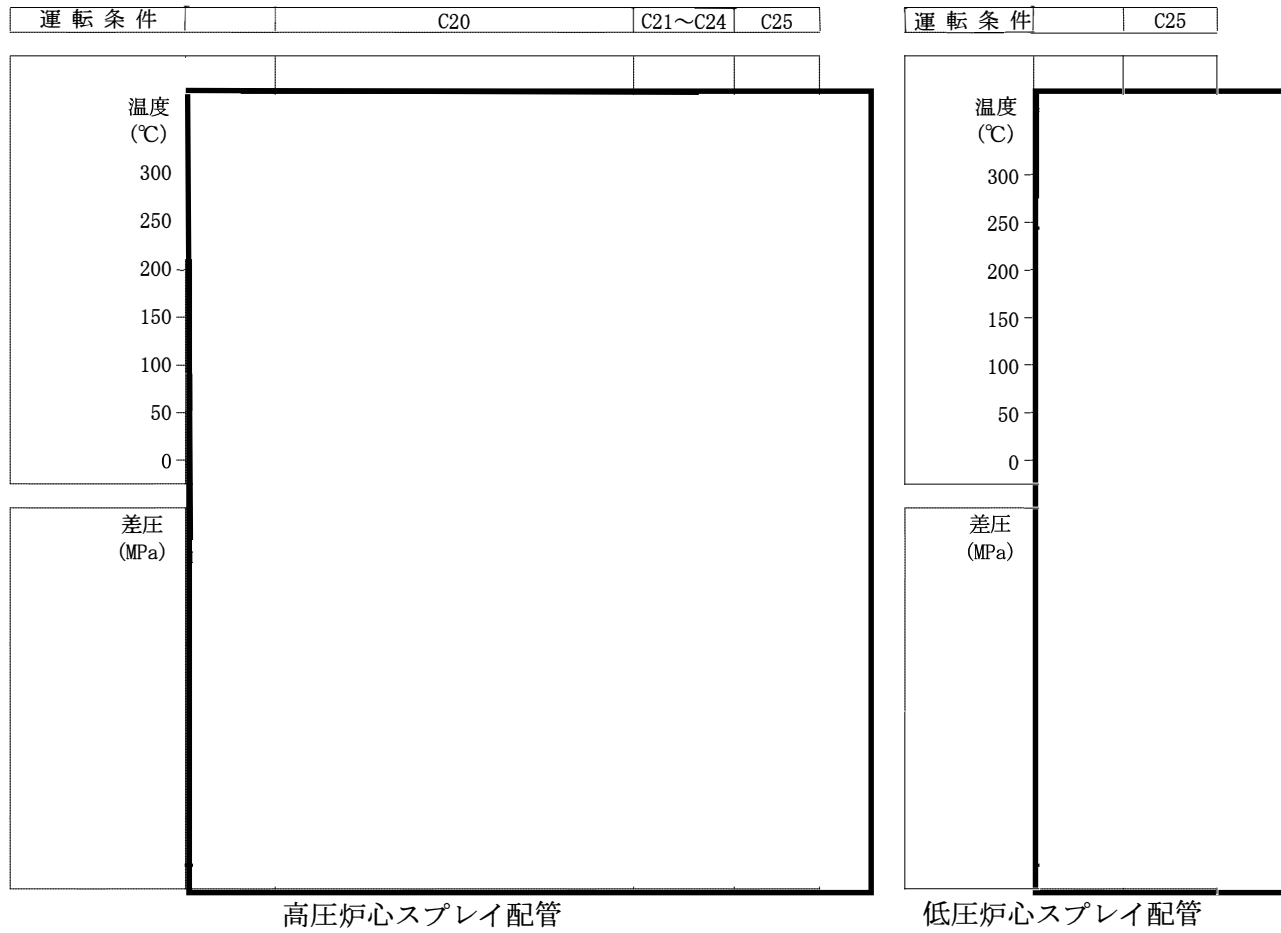


図 4-2(8) 原子炉圧力容器内部構造物の運転条件 (高圧及び低圧炉心スプレイ配管)

運 転 条 件	C03~C24
---------	---------

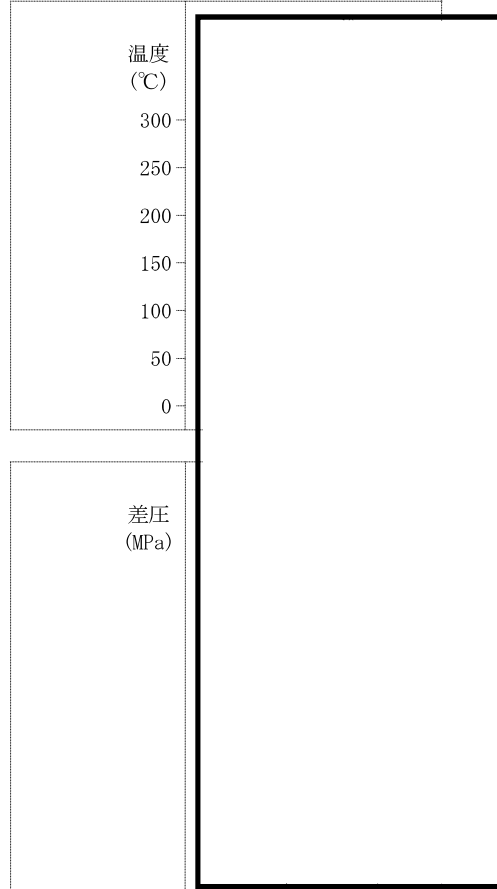


図 4-2(9) 原子炉压力容器内部構造物の運転条件 (差圧検出・ほう酸水注入管)

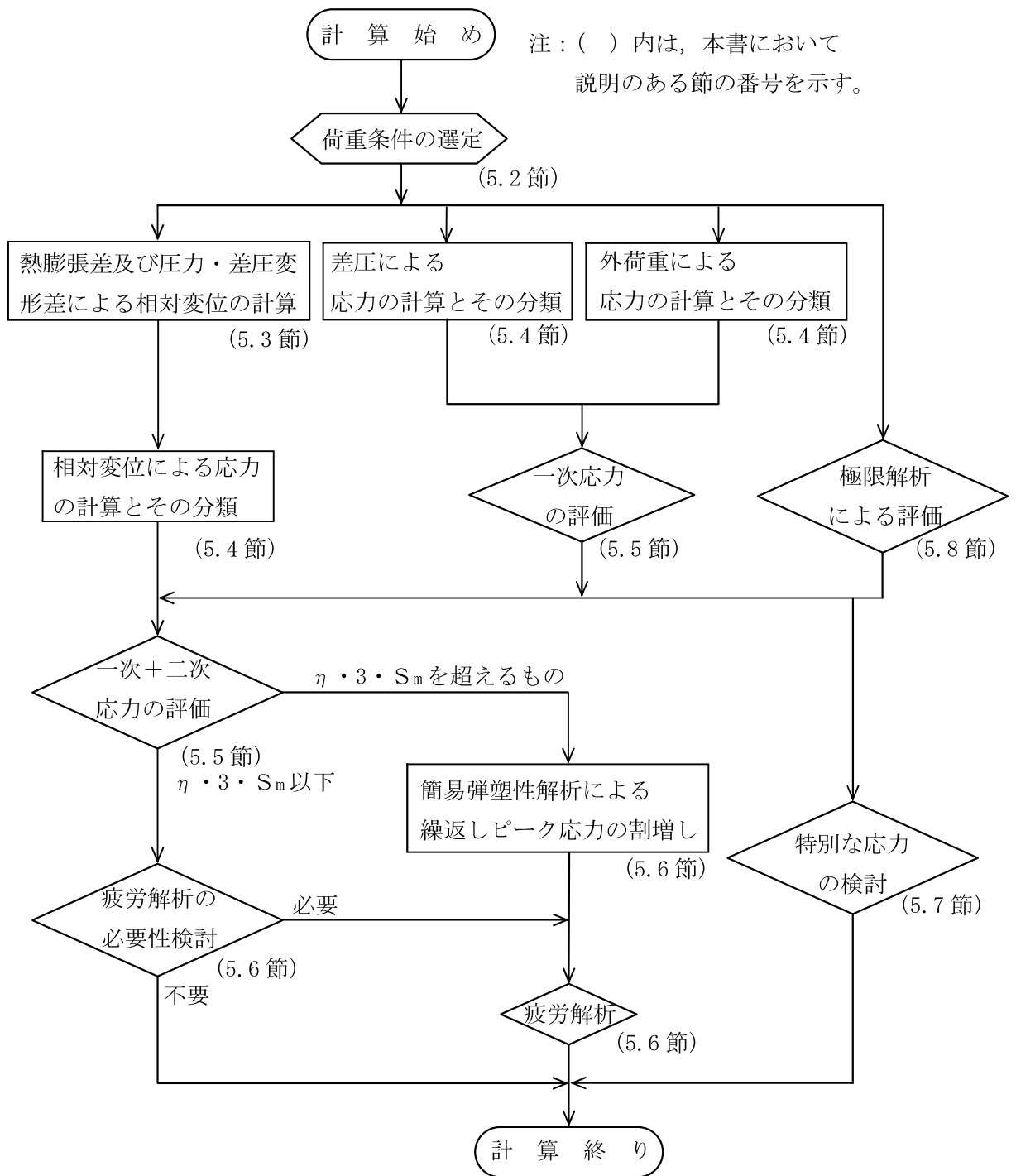


図 5-1 応力解析の手順

表 3-1 材料の分類

種類	使用材料	備考
低合金鋼		SQV2A 相当
		SFVQ2A 相当
炭素鋼		SFVC2B 相当
オーステナイト系 ステンレス鋼		SUS304 相当
		SUS304TP 相当
		SUSF304 相当
		SUS304LTP 相当
高ニッケル合金		NCF600 相当

表 3-2 熱膨張差計算及び応力計算に使用する材料の物性値

材料	温度 (°C)	E × 10 ⁵ (MPa)	α × 10 ⁻⁶ (mm/ (mm・°C))	ν
SQV2A	20			
	161			
	302			
SFVQ2A	20			
	161			
	302			
SFVC2B	20			
	161			
	302			
SUS304	20			
SUS304TP	161			
SUSF304	302			
SUS304LTP	302			
NCF600	20			
	161			
	302			

注 1 : α は 20 °C より表記の温度までの平均熱膨張係数

注 2 : 熱膨張差計算及び熱応力計算においては、3.4 節に示す物性の出典に基づき、設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 1 に示される温度点に対する物性値を算出し、さらに、これらの値から直線補間により任意の温度における物性値を算出し計算に用いる。

表 3-3 繰返し荷重の評価に使用する材料の物性値

材料	E ×10 ⁵ (MPa)	α ×10 ⁻⁶ (mm/ (mm・°C))	S (MPa)	E ₀ ×10 ⁵ (MPa)	q	A ₀	B ₀
SUS304 SUS304TP SUSF304 SUS304LTP					3.1	0.7	2.15
NCF600					3.1	0.7	2.15

注：

- E : 運転温度 () に対する縦弾性係数
- α : 運転温度 () に対する瞬時熱膨張係数
- S : 設計・建設規格 表 添付 4-2-2 の曲線 C に示された 10¹¹ 回に対応する繰返しピーク応力強さ
- E₀ : 設計・建設規格 添付 4-2 に示された縦弾性係数
- q, A₀, B₀ : 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 3-4 極限解析による評価に使用する材料の物性値

材料	E ×10 ⁵ (MPa)	ν	降伏点 (MPa)	
			許容応力状態Ⅲ _A S	許容応力状態Ⅳ _A S
SUS304 SUS304TP	1.76	0.3	172	264
降伏点の算出式	—	—	1.5・S _m	Min (2.3・S _m , 0.7・S _u)

注：運転状態Ⅰ及びⅡの最高温度 () に対する物性値

表 3-5(1) 荷重の組合せ及び供用状態（許容応力状態）（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	各運転状態による荷重	供用状態（許容応力状態）	荷重の組合せ
原子炉 本体	原子炉 圧力容器 内部 構造物	蒸気乾燥器* ¹	S	—	設計条件による荷重	設計条件	$P_D + M$
		気水分離器及び スタンドパイプ* ¹			運転状態Ⅰによる荷重	A	$P + D + O$
		シュラウドヘッド* ¹			運転状態Ⅱによる荷重	B	
		ジェットポンプ* ¹			運転状態Ⅲによる荷重	C	$P + D$
		給水スパーージャ* ¹			運転状態Ⅳ（L）による荷重* ²	D	$P + D$
		高圧及び低圧炉心 スプレイスパーージャ* ¹			運転状態Ⅳ（S）による荷重* ³		
		残留熱除去系配管* ¹			運転状態Ⅰによる荷重	$III_A S$	$P + D + S_d^*$
		高圧及び低圧炉心 スプレイ配管* ¹			運転状態Ⅱによる荷重		
		差圧検出・ほう酸水 注入管* ¹			運転状態Ⅰによる荷重	$IV_A S$	$P + D + S_s$
		中性子計測案内管* ¹			運転状態Ⅱによる荷重		

注：

- P_D : 設計差圧
- M : 設計機械的荷重
- P : 各運転状態における差圧
- D : 死荷重
- O : 熱変形力又は熱負荷
- S_d^* : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又は静的地震力

S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

注記 *1 : 炉心支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*2 : 運転状態Ⅳ (L) による荷重とは、運転状態Ⅳによる荷重のうち長期荷重を表す。

*3 : 運転状態Ⅳ (S) による荷重とは、運転状態Ⅳによる荷重のうち短期荷重を表す。

表 3-5(2) 荷重の組合せ及び供用状態（許容応力状態）（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	各運転状態による荷重	許容応力状態	荷重の組合せ
原子炉 本体	原子炉 圧力容器 内部 構造物	高圧及び低圧炉心 スプレイスパーージャ*2	常設耐震 ／防止 常設／緩和	—	運転状態Ⅰによる荷重	IVAS	P + D + S _s
		残留熱除去系配管*2			運転状態Ⅱによる荷重		
		高圧及び低圧炉心 スプレイ配管*2 差圧検出・ほう酸水 注入管*2			運転状態Ⅴによる荷重	VAS*3	P _{SAL} + D + S _d **4 P _{SALL} + D + S _s *4

注：

- P : 各運転状態における差圧
- P_{SAL} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）で長期的に作用する圧力荷重
- P_{SALL} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）で超長期的に作用する圧力荷重
- D : 死荷重
- S_d* : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又は静的地震力
- S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

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

*2 : 炉心支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3 : VASとして，IVASの許容限界を用いる。

*4 : 「P + D + S_s」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-6(1) 原子炉圧力容器内部構造物用材料の許容応力

(単位：MPa)

応力分類		一次一般膜応力 (P _m)				
供用状態 (許容応力状態)		設計条件	C	D	III _A S	IV _A S
温度 (°C)		302				
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304					
	SUS304TP	114	171	261	172	260
	SUSF304					
	SUS304LTP	96	144	235	145	232
許容応力の算出式		S _m	1.5・S _m	Min (2.4・S _m , 2/3・S _u)	1.5・S _m	Min (2.4・S _m , 2/3・S _u)

表 3-6(2) 原子炉圧力容器内部構造物用材料の許容応力

(単位：MPa)

応力分類		一次一般膜＋一次曲げ応力 ($P_m + P_b$)					一次＋二次応力 ($P_m + P_b + Q$)
		設計条件	C	D	III _A S	IV _A S	A, B
温度 (°C)		302					
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304	172	257	392	258	391	348
	SUS304TP SUSF304						
	SUS304LTP	145	217	353	218	348	294
	許容応力の算出式		$1.5 \cdot S_m$	$2.25 \cdot S_m$	Min ($3.6 \cdot S_m, S_u$)	$2.25 \cdot S_m$	Min ($3.6 \cdot S_m, S_u$)

表 3-6(3) 原子炉压力容器内部構造物用材料の許容応力

(単位：MPa)

応力分類		純せん断応力				
供用状態（許容応力状態）		A, B	C	D	III _A S	IV _A S
温度（℃）						
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304	68	103	139	103	137
許容応力の算出式		$0.6 \cdot S_m$	$0.9 \cdot S_m$	$1.2 \cdot S_m$	$0.9 \cdot S_m$	$1.2 \cdot S_m$

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		
		全体に加わる荷重	最長の蒸気乾燥器ユニット列に加わる荷重	全体に加わる荷重	最長の蒸気乾燥器ユニット列に加わる荷重	
		V ₁ (kN)	V ₂ (kN)	H ₁ (kN)	H ₂ (kN)	
L03	設計機械的荷重					
L04	死荷重					
L14	地震荷重 S _d *					
L16	地震荷重 S _s					

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

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)
L03	設計機械的荷重	A			
L04	死荷重	A			
L14	地震荷重 S d *	A			
L16	地震荷重 S s	A			

注記 * : 曲がり部を有する最外周スタンドパイプについては、鉛直力Vによるモーメントを上表の値に加算する。

注 : 上記の値は、気水分離器及びスタンドパイプ 225 本分の値である。

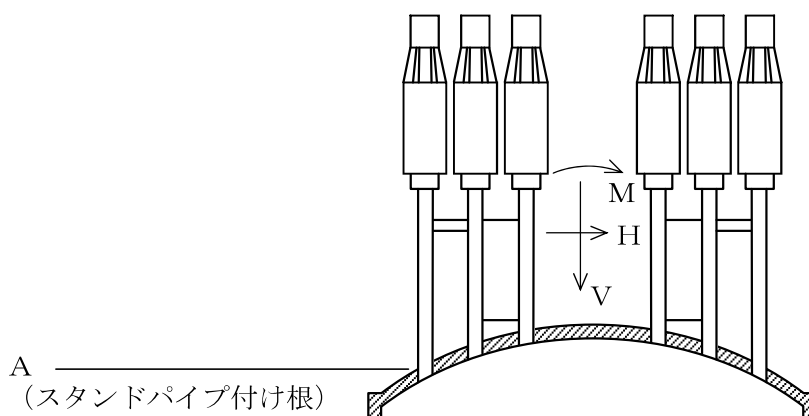


表 4-1(3) 外荷重

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	水平力	モーメント
			V (kN)	H (kN)	M (kN・m)
L03	設計機械的荷重	A			
L04	死荷重	A			
L14	地震荷重 S d *	A			
L16	地震荷重 S s	A			

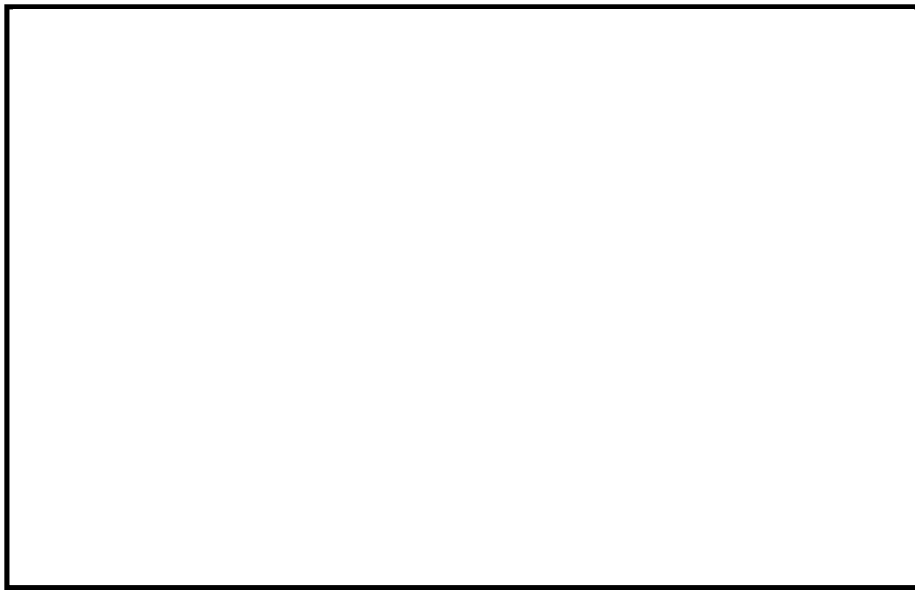


表 4-1(4) 外荷重

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_L (N)	F_s (N)	T (N·m)	M (N·m)
L03	設計機械的荷重	A	[Empty Box]	[Empty Box]	[Empty Box]	[Empty Box]
		B				
		C				
L04	死荷重	A				
		B				
		C				
L14	地震荷重 S_d^*	A				
		B				
		C				
L16	地震荷重 S_s	A				
		B				
		C				

注記 * :

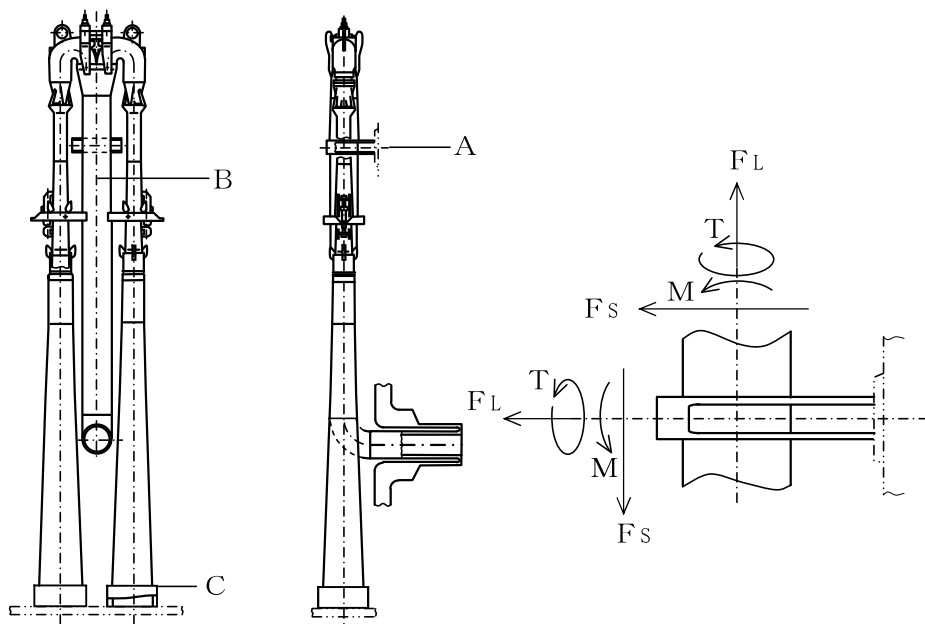


表 4-1(5) 外荷重

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
			FL (N)	Fs (N)	T (N・m)	M (N・m)
L03	設計機械的荷重	A				
		B				
L04	死荷重	A				
		B				
L14	地震荷重 S d *	A				
		B				
L16	地震荷重 S s	A				
		B				

注記 * :

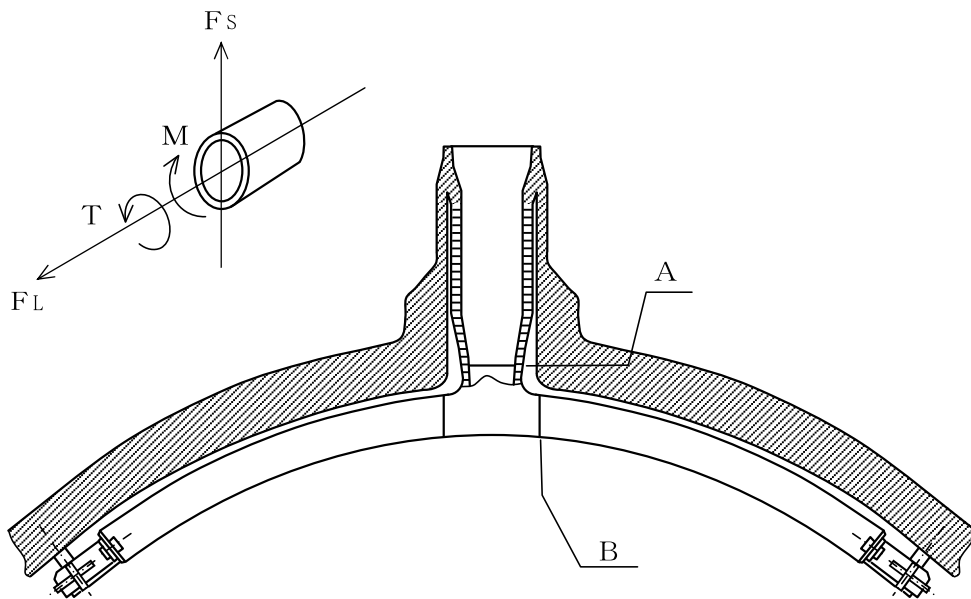


表 4-1(6) 外荷重

高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ外荷重

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_L (N)	F_s (N)	T (N·m)	M (N·m)
L03	設計機械的荷重	A				
		B				
L04	死荷重	A				
		B				
L14	地震荷重 S_d^*	A				
		B				
L16	地震荷重 S_s	A				
		B				

注記 * :

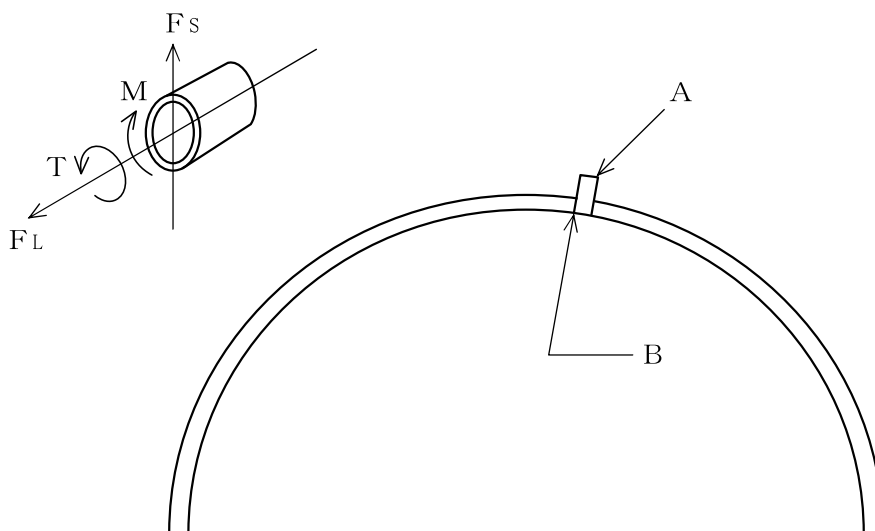
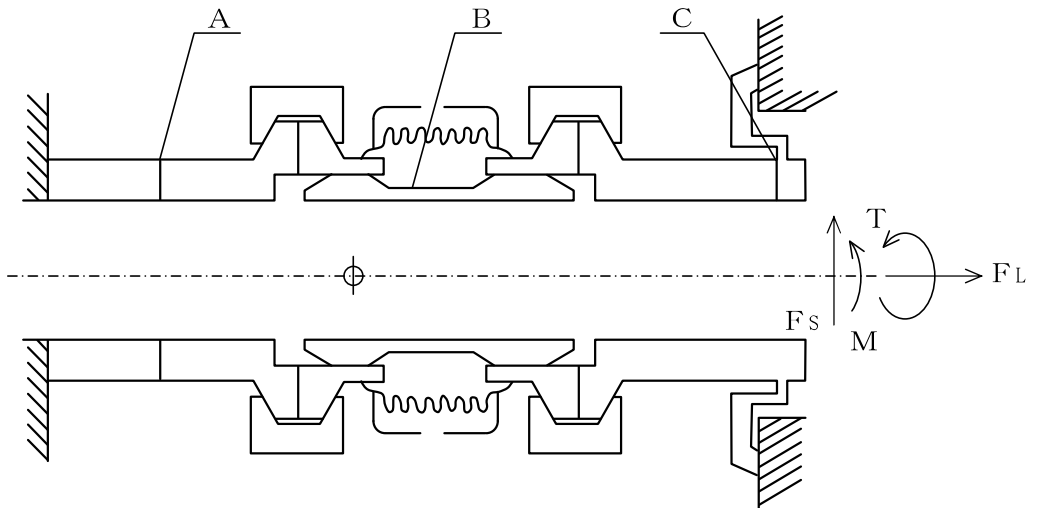


表 4-1(7) 外荷重

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_L (N)	F_s (N)	T (N·m)	M (N·m)
L03	設計機械的荷重	A	[Blank]	[Blank]	[Blank]	[Blank]
		B				
		C				
L04	死荷重	A				
		B				
		C				
L14	地震荷重 S_d^*	A				
		B				
		C				
L16	地震荷重 S_s	A				
		B				
		C				



NT2 補② V-3-1-4-1 R0

表 4-1(8)-1 外荷重

高压炉心スプレイ配管外荷重

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_L (N)	F_s (N)	T (N·m)	M (N·m)
L03	設計機械的荷重	A				
		B				
		C				
L04	死荷重	A				
		B				
		C				
L14	地震荷重 S_d^*	A				
		B				
		C				
L16	地震荷重 S_s	A				
		B				
		C				

注記 * :

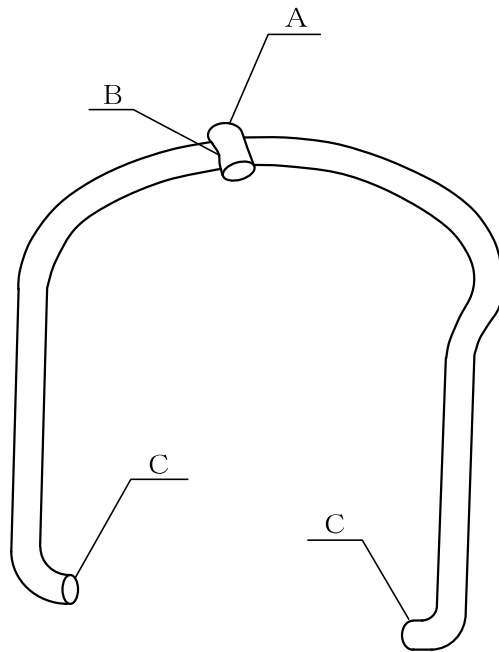
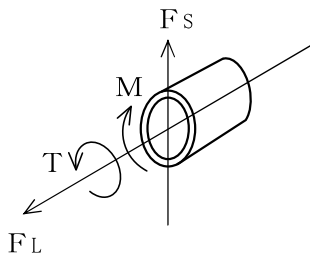


表 4-1(8)-2 外荷重

低圧炉心スプレイ配管外荷重

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_L (N)	F_s (N)	T (N·m)	M (N·m)
L03	設計機械的荷重	A				
		B				
		C				
L04	死荷重	A				
		B				
		C				
L14	地震荷重 S_d^*	A				
		B				
		C				
L16	地震荷重 S_s	A				
		B				
		C				

注記 * :

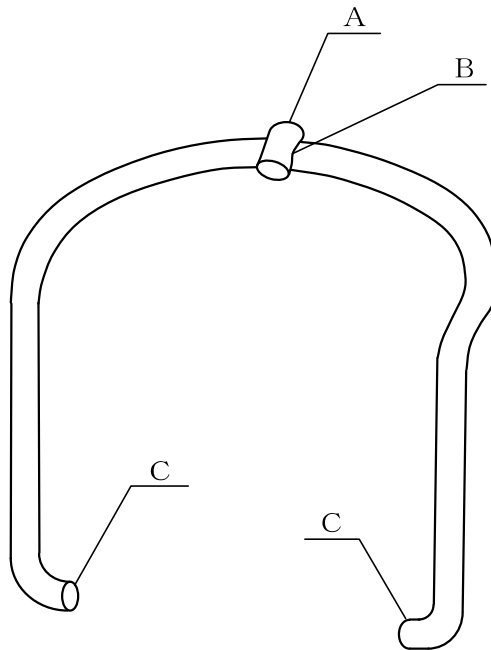
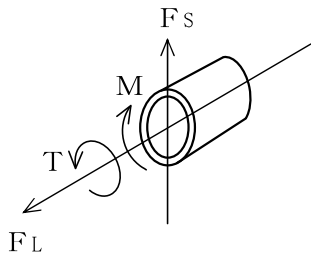


表 4-1(9) 外荷重

差圧検出・ほう酸水注入管外荷重

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_L (N)	F_s (N)	T (N・mm)	M (N・mm)
L03	設計機械的荷重	A				
		B				
		C				
		D				
L04	死荷重	A				
		B				
		C				
		D				
L14	地震荷重 S_d^*	A				
		B				
		C				
		D				
L16	地震荷重 S_s	A				
		B				
		C				
		D				

注記 * :

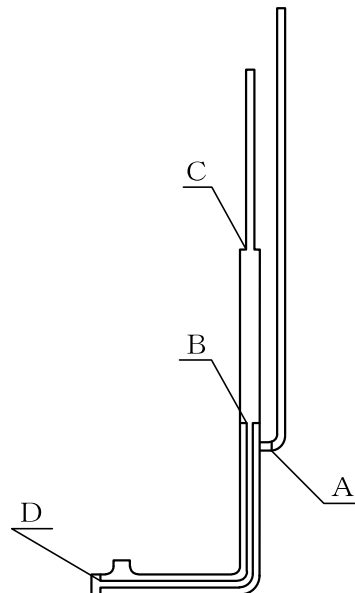
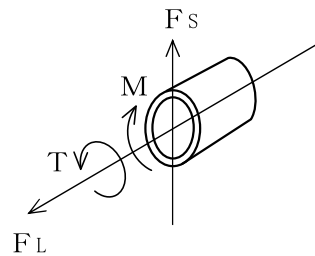


表 4-1(10) 外荷重

中性子計測案内管外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	曲げ モーメント
			FL (N)	Fs (N)	M (N・m)
L03	設計機械的荷重	A			
L04	死荷重	A			
L14	地震荷重 S d *	A			
L16	地震荷重 S s	A			

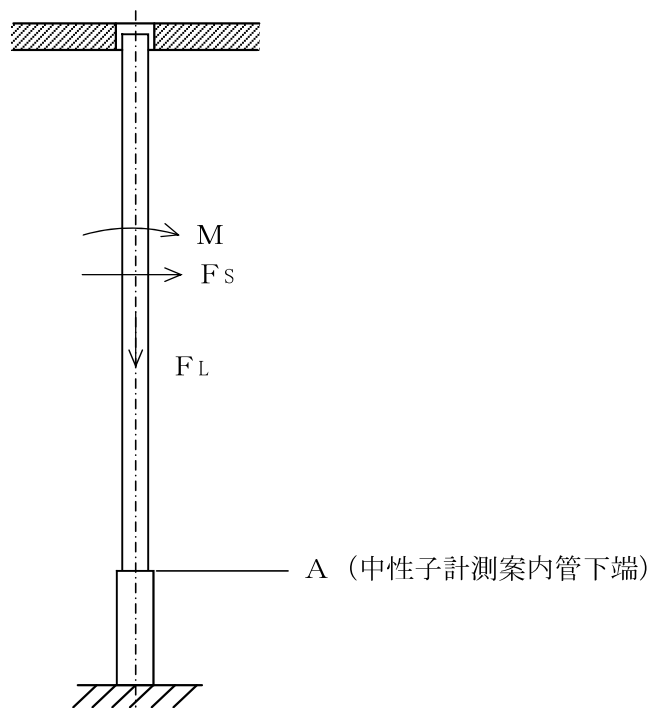


表 4-2 荷重の組合せ

条件	荷重の組合せ	応力評価
設計条件	L02+L03	P_m $P_m + P_b$
供用状態 A 及び B	L01+L02+L04+L07+L10*	$P_m + P_b + Q$ 疲労解析
供用状態 C	L02+L04	P_m $P_m + P_b$
供用状態 D	L02+L04	P_m $P_m + P_b$
許容応力状態 III _A S	L02+L04+L14	P_m $P_m + P_b$ 極限解析
許容応力状態 IV _A S	L02+L04+L16	P_m $P_m + P_b$ 極限解析

注記 * : L10 は疲労解析で考慮する。

表 5-1 応力の分類

原子炉压力容器 内部構造物の要素	位 置	荷重の種類	応力の分類		
管状構造物	不連続部より 遠い部分	圧力差	一般膜応力 板厚方向に変化する応力	P _m Q	
		外荷重又はモーメント	全断面について平均した一般膜応力 曲げ応力	P _m P _b	
		膨張差 熱変形力	膜応力 曲げ応力	Q Q	
	不連続部又はその付近	圧力差	膜応力 曲げ応力 ピーク応力	Q Q F	
		外荷重又はモーメント	全断面について平均した一般膜応力 曲げ応力 ピーク応力	P _m P _b F	
		膨張差 熱変形力	膜応力 曲げ応力 ピーク応力	Q Q F	
	平板又はさら形 鏡板	中央部	圧力差	一般膜応力 曲げ応力	P _m P _b
		リングとの 接続部	圧力差	膜応力 曲げ応力	Q Q
はり，棒，板又は ブラケット	全般	圧力差，外荷重 又はモーメント	全断面について平均した一般膜応力 曲げ応力 ピーク応力	P _m P _b F	
		膨張差 熱変形力	膜応力 曲げ応力 ピーク応力	Q Q F	
全般	全般	全般	応力集中（切欠効果）	F	

注：

- P_m : 圧力差又は機械的荷重によって生じる膜応力であって、構造上の不連続性及び局部的形状の変化によって生じる膜応力は除く。
ただし、実際の応力評価では、応力評価面を、構造上の不連続部にとることが多いので、内径、板厚がその応力評価面での値に等しい単純な殻を仮定し、シェル理論又ははり理論を用いて計算した応力を、その応力評価面における P_m とする。
- P_b : 外力、内力及びモーメントに対して、単純な平衡の法則を満足する曲げ応力をいう。
- Q : 隣接部分の拘束又は自己拘束により生じる垂直応力又はせん断応力であって、崩壊荷重に影響を与えない応力及び圧力差又は機械的荷重によって生じる応力をいう。
- F : 応力集中により、一次応力又は二次応力に付加される応力の増加分をいう。

表 5-2 繰返しピーク応力強さの割増し方法

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

注： q ， A_0 ， B_0 は、表 3-3 に示す。

添付1 溶接部の継手効率

原子炉压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

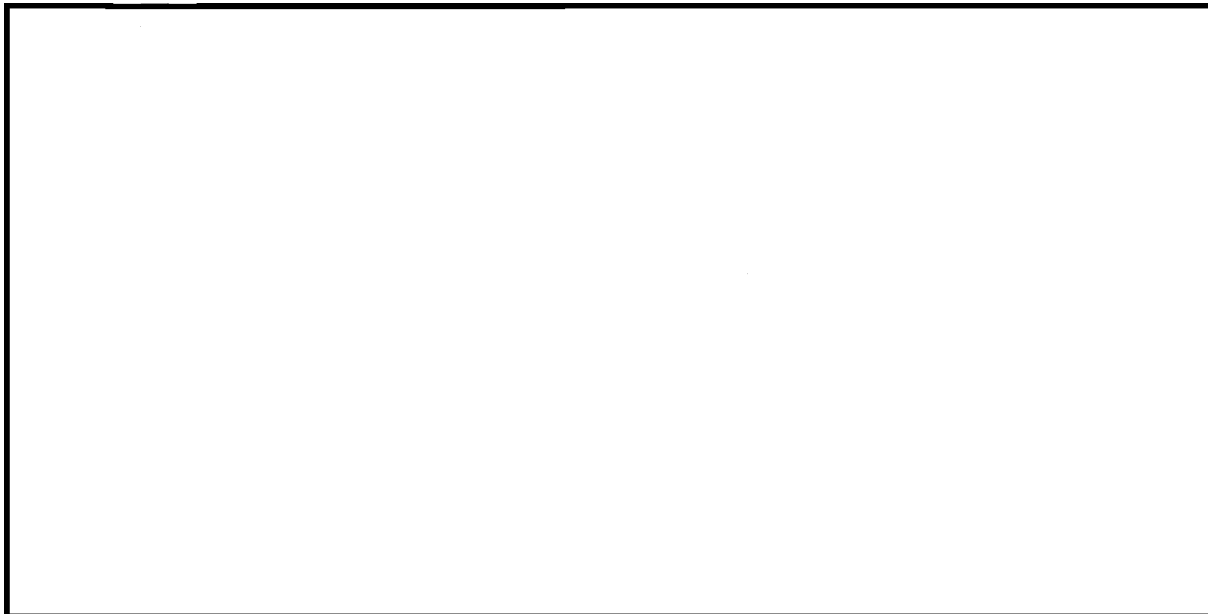
継手の箇所	継手の分類	継手の種類	検査の種類*	継手効率
蒸気乾燥器	リングとサポートの継手			
気水分離器及び スタンドパイプ	管と鏡板の周継手			
シュラウドヘッド	鏡板と胴の周継手			
ジェットポンプ	ライザの長手継手			
	ライザ下部の周継手			
	ディフューザ下部の 周継手			
	ライザブレースと原子炉 压力容器内壁との継手			
給水スパージャ	レジャーサとティーの 周継手			
	ティーとヘッダの周継手			
高圧及び低圧炉心 スプレイスパージャ	管端部の周継手			
	管とヘッダの周継手			
残留熱除去系配管	フランジネックとリング の周継手			
	サーマルスリーブとフラ ンジネックの周継手			
高圧及び低圧炉心 スプレイ配管	ヘッダと管の周継手			
	ヘッダとサーマル スリーブの周継手			
	管とスリーブの周継手			
差圧検出・ほう酸水 注入管	管と管の周継手			
	管とカップリングの周継 手			
	管とアダプタの周継手			
中性子計測案内管	管と管の周継手			

注記 * : 検査の種類を示す記号は次のとおりである。

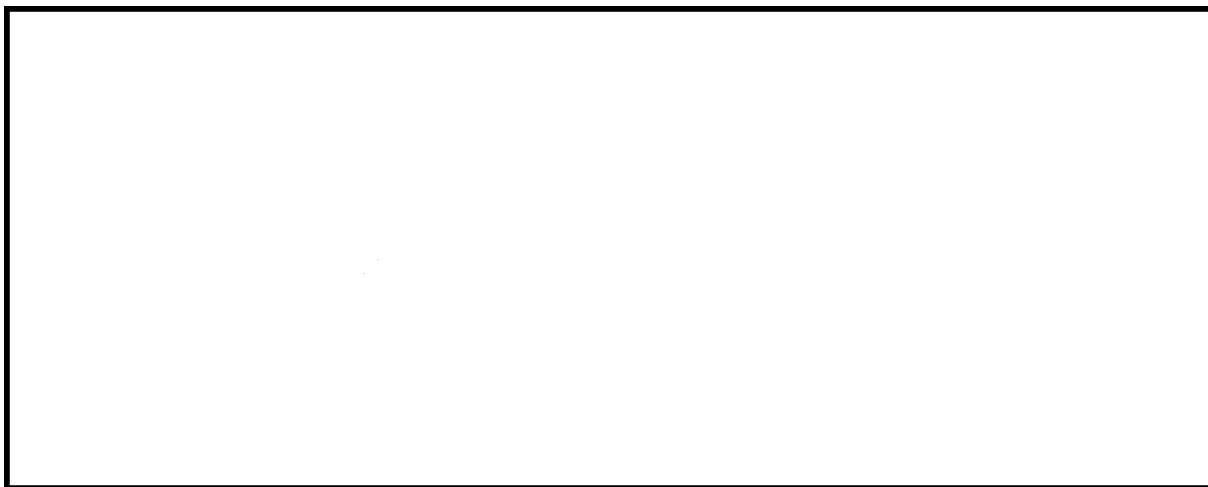
R P T + F P T : 設計・建設規格 CSS-3150 に規定する D の検査
P T : 設計・建設規格 CSS-3150 に規定する E の検査
V T : 設計・建設規格 CSS-3150 に規定する F の検査

添付2 外荷重の考え方

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

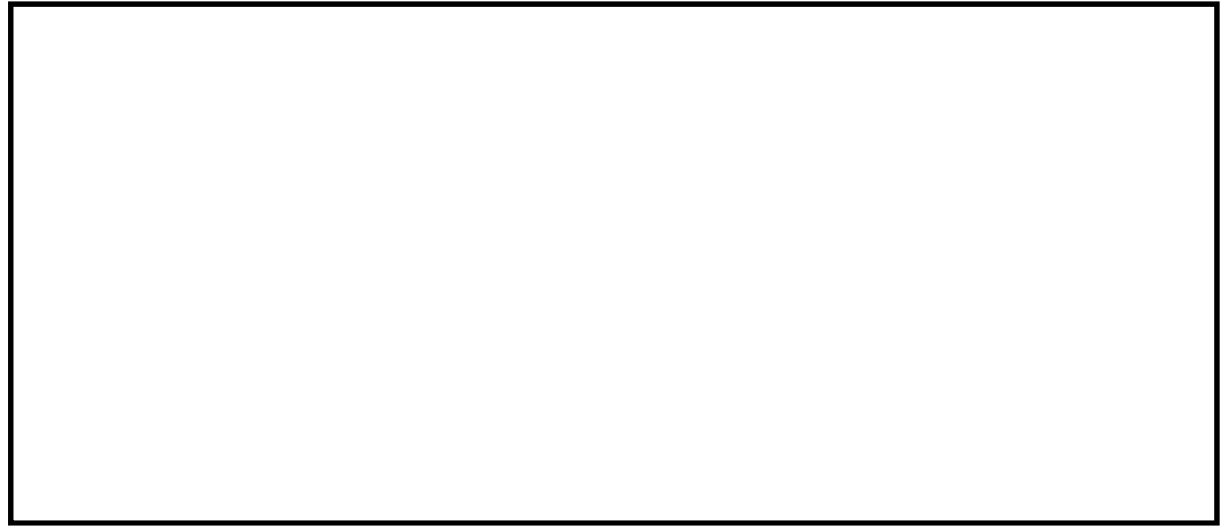




7. 残留熱除去系配管



8. 高圧及び低圧炉心スプレイ配管

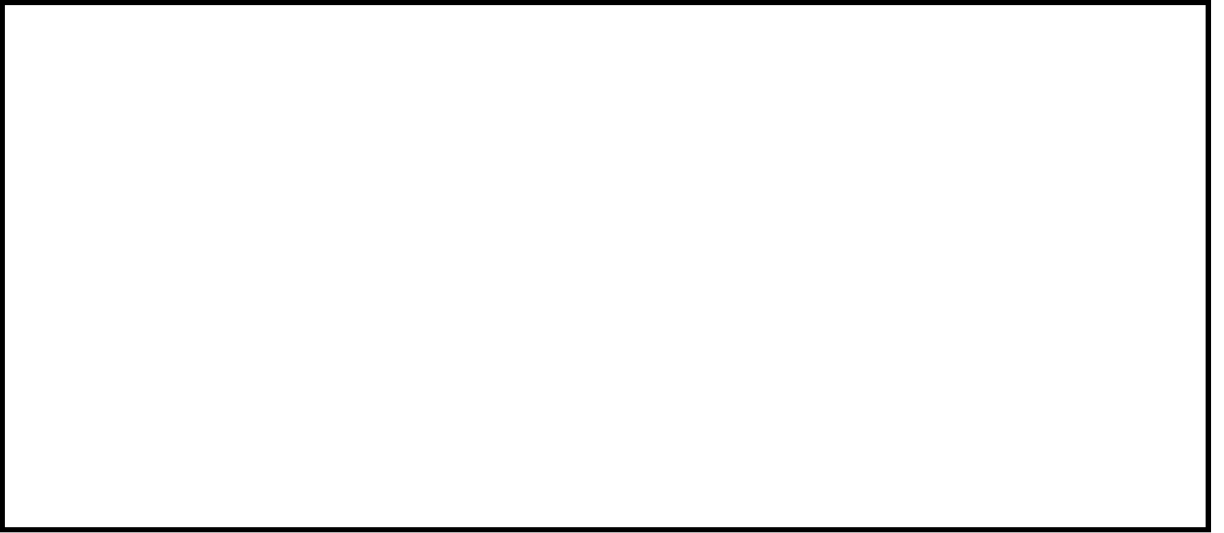


9. 差圧検出・ほう酸水注入管





10. 中性子計測案内管



添付3 熱膨張差計算において考慮する運転条件

各応力計算書において考慮する運転条件を付表-2に示す。

付表-2 熱膨張差計算において考慮する運転条件

運転条件	解析箇所	ジェットポンプ	高圧及び低圧炉心スプレイ配管	差圧検出・ほう酸水注入管
C01	ボルト締付け	—	—	—
C02	耐圧試験（最高使用圧力以下）	—	—	—
C03	起動（昇温）	○	—	—
C04	起動（タービン起動）	○	—	—
C05	夜間低出力運転（出力75 %）	—	—	—
C06	週末低出力運転（出力50 %）	—	—	—
C07	制御棒パターン変更	—	—	—
C08	給水加熱機能喪失（発電機トリップ）	○	—	—
C09	給水加熱機能喪失（給水加熱器部分バイパス）	—	—	—
C10	スクラム（タービントリップ）	—	—	—
C11	スクラム（その他のスクラム）	—	—	—
C12	定格出力運転	—	○	○
C13	停止（タービン停止）	—	—	—
C14	停止（高温待機）	—	—	—
C15	停止（冷却）	—	—	—
C16	停止（容器満水）	—	—	—
C17	停止（満水後冷却）	—	—	—
C18	ボルト取外し	—	—	—
C19	燃料交換	—	—	—
C20	スクラム（原子炉給水ポンプ停止）	○	—	—
C21	スクラム（逃がし安全弁誤作動）	—	—	—
—	炉心スプレイ時	—	○	—
—	ほう酸水注入系作動	—	—	○

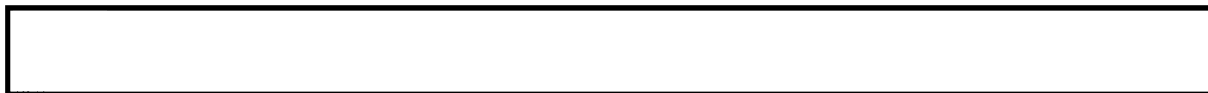
添付4 応力計算及び弾塑性解析における荷重の入力方法

1. 差圧の荷重入力方法

差圧は、面に垂直に作用する荷重であり、差圧が作用する部分を指定し、面圧を入力する。

また、軸対称モデルの端面（軸直角断面）には、非モデル化部分に加わる差圧の軸方向成分の和として端面力を入力する。

代表として、シュラウドヘッドにおける例を以下に示す。



2. 外荷重の荷重入力方法

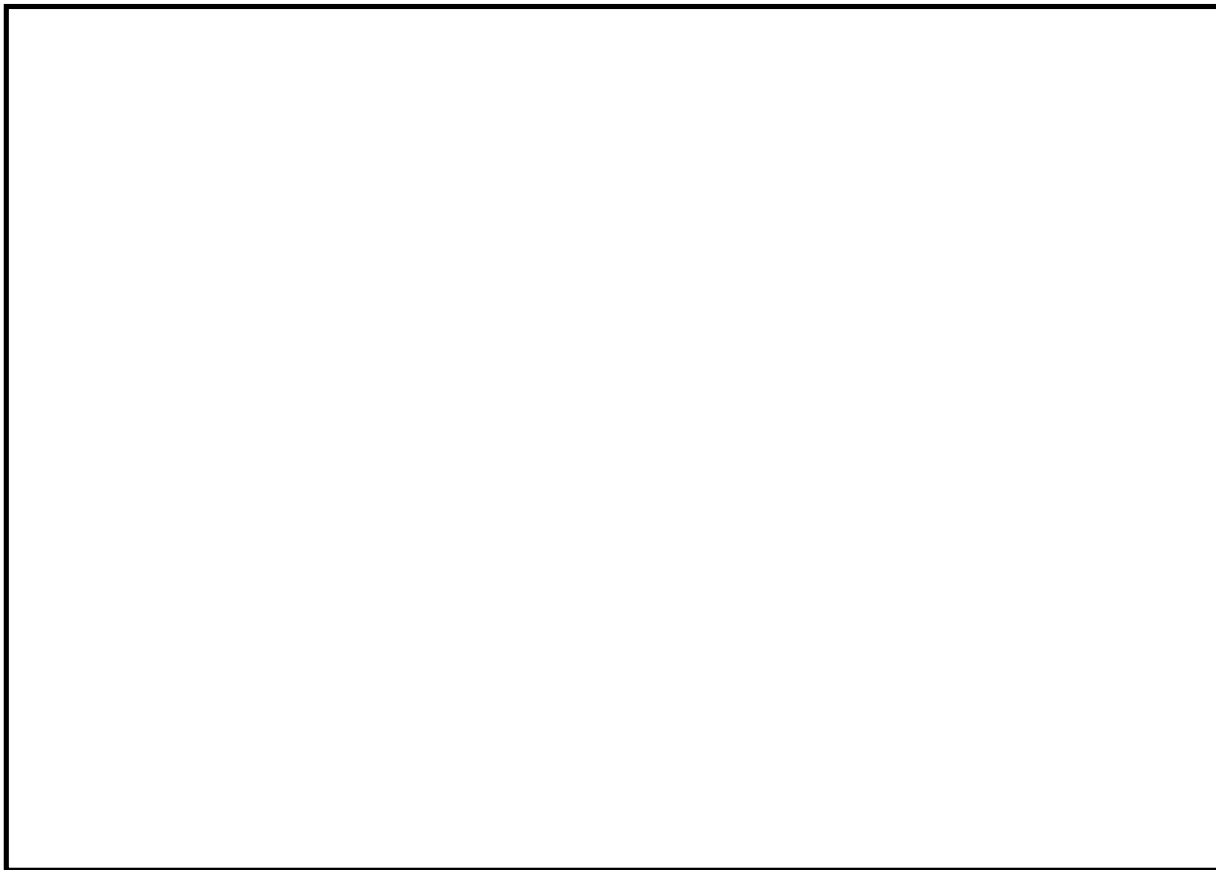
外荷重の入力方法としてシュラウドヘッドにおける例を以下に示す。

シュラウドヘッドに加わる外荷重としては、死荷重（鉛直力 V ）が加わる。



添付5 応力計算結果の応力分類処理方法

ABAQUSによる応力計算結果は、計算モデル中のメッシュ要素の中心での応力値として得られる。応力評価に当たっては、以下に示す応力分類処理を行い、膜応力、曲げ応力及びピーク応力を求める。



添付6 計算精度と数値の丸め方

計算精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方を付表-3に示す。

付表-3 表示する数値の丸め方

表の名称	項目	処 理 桁	処 理 方 法	表示数値	備 考
1. 機械荷重による応力の計算結果	応力	小数点以下第1位	四捨五入	整数位	—
2. 熱変形力による応力の計算結果	応力	小数点以下第1位	四捨五入	整数位	—
3. 熱応力の計算結果	応力	小数点以下第1位	四捨五入	整数位	—
4. 一次一般膜応力強さの評価方法	比例数	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位	—
5. 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価方法	差圧	—	—	入力値	—
6. 一次+二次応力強さの評価方法					
7. 一次+二次応力強さの評価方法 (熱曲げを除く。)					
8. 一次+二次+ピーク応力強さの評価方法					
9. 一次一般膜応力強さの評価のまとめ	応力強さ	小数点以下第1位	切上げ	整数位	—
10. 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	許容値	小数点以下第1位	切捨て	整数位	—
11. 一次+二次応力強さの評価のまとめ					
12. 疲労累積係数	N_c/N_a	小数点以下第5位	四捨五入	小数点以下第4位	—
	U_n	小数点以下第5位	切上げ	小数点以下第4位	—
13. 極限解析による評価	許容荷重	有効数字4桁目	切捨て	有効数字3桁	—