

V-3 強度に関する説明書

- V-3-1 原子炉本体の強度に関する説明書
 - V-3-1-2 原子炉压力容器の強度計算書
 - V-3-1-2-1-1 原子炉压力容器の応力解析の方針（その1）
 - V-3-1-2-2-1 原子炉压力容器の応力計算書（その1）

- V-3-2 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の強度に関する説明書
 - V-3-2-1 燃料取扱設備及び使用済燃料貯蔵設備の強度計算書
 - V-3-2-1-1 使用済燃料乾式貯蔵容器の強度計算書（支持構造物の応力計算書）
 - V-3-2-2 使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備の強度計算書
 - V-3-2-2-2 代替燃料プール注水系の強度計算書
 - V-3-2-2-2-2 管（可搬型）の強度計算書

- V-3-3 原子炉冷却系統施設の強度に関する説明書
 - V-3-3-3 非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備の強度計算書
 - V-3-3-3-4 低圧代替注水系の強度計算書
 - V-3-3-3-4-2 可搬型代替注水大型ポンプの強度計算書
 - V-3-3-3-4-3 可搬型代替注水中型ポンプの強度計算書
 - V-3-3-3-4-5 管（可搬型）の強度計算書

- V-3-4 計測制御系統施設の強度に関する説明書
 - V-3-4-3 制御用空気設備の強度計算書
 - V-3-4-3-2 非常用窒素供給系の強度計算書
 - V-3-4-3-2-1 高圧窒素ポンベの強度計算書

- V-3-5 放射線管理施設の強度に関する説明書
 - V-3-5-1 換気設備の強度計算書
 - V-3-5-1-2 中央制御室待避室の強度計算書
 - V-3-5-1-2-1 中央制御室待避室空気ポンベの強度計算書
 - V-3-5-1-3 緊急時対策所換気系の強度計算書
 - V-3-5-1-3-1 緊急時対策所加圧設備の強度計算書
 - V-3-5-1-4 第二弁操作室の強度計算書
 - V-3-5-1-4-1 第二弁操作室空気ポンベの強度計算書

- V-3-6 原子炉格納施設の強度に関する説明書
 - V-3-6-1 原子炉格納容器の強度計算書
 - V-3-6-1-4 原子炉格納容器貫通部の強度計算書
 - V-3-6-1-4-2 原子炉格納容器貫通部ベローズの強度計算書
 - V-3-6-2 圧力低減設備その他の安全設備の強度計算書

V-3-6-2-2 原子炉格納容器安全設備の強度計算書

V-3-6-2-2-6 原子炉建屋放水設備

V-3-6-2-2-6-1 管（可搬型）の強度計算書

V-3-6-2-4 原子炉格納容器調気設備の強度計算書

V-3-6-2-4-2 窒素ガス代替注入系の強度計算書

V-3-6-2-4-2-2 管（可搬型）の強度計算書

V-3-6-2-5 圧力逃がし装置の強度計算書

V-3-6-2-5-1 格納容器圧力逃がし装置の強度計算書

V-3-6-2-5-1-2 管（可搬型）の強度計算書

V-3-7 その他発電用原子炉の附属施設の強度に関する説明書

V-3-7-2 補機駆動用燃料設備の強度に関する説明書

V-3-7-2-1 可搬型代替注水大型ポンプ車載燃料タンクの強度計算書

V-3-7-2-2 可搬型代替注水中型ポンプ車載燃料タンクの強度計算書

V-3-7-2-3 タンクローリの強度計算書

V-3-7-2-4 管（可搬型）の強度計算書

V-3-別添 6 炉心支持構造物の強度に関する説明書

V-3-別添 6-1 炉心支持構造物の応力解析の方針

V-3-別添 6-2 炉心シュラウドの応力計算書

V-3-別添 6-3 シュラウドサポートの応力計算書

V-3-別添 6-4 上部格子板の応力計算書

V-3-1 原子炉本体の強度に関する説明書

V-3-1-2 原子炉圧力容器の強度計算書

V-3-1-2-1-1 原子炉压力容器の応力解析の方針（その1）

目次

1. 概要	1
2. 構造の説明	2
3. 記号の説明	4
4. 計算条件	7
4.1 適用基準	7
4.2 評価対象箇所	7
4.3 形状及び寸法	7
4.4 物性値	7
4.5 荷重の組合せと許容応力状態	7
4.6 許容応力	7
5. 荷重条件	8
5.1 運転条件	8
5.2 荷重の組合せと応力評価	8
6. 応力評価の手順	9
6.1 応力の評価	9
6.1.1 主応力	9
6.1.2 応力強さ	9
6.1.3 一次応力強さ	9
6.1.4 一次+二次応力強さ	9
6.2 繰返し荷重の評価	10
6.2.1 疲労解析	10
6.3 特別な応力の評価	11
6.3.1 座屈の評価	11
7. 評価結果の添付	12
7.1 応力評価結果	12
8. 引用文献	13
9. 参照図書	13

図表目次

図4-1	全体断面図	14
表2-1	原子炉圧力容器の構造計画	3
表4-1	材料の分類	15
表4-2	繰返し荷重の評価に使用する材料の物性値	16
表4-3	荷重の組合せ及び許容応力状態	17
表4-4	クラス1容器用材料の許容応力の考え方（地震時）	19
表4-5	クラス1容器用材料の許容応力	20
表5-1	外荷重	23
表5-2	荷重の組合せ	26
表6-1	繰返しピーク応力強さの割増し方法	27

1. 概要

本書は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、原子炉圧力容器（下鏡板、給水ノズル及び支持スカート）に関する応力解析の方針を述べるものである。

本書では、新規制対応工認対象となる設計用地震力に対する評価について記載する。

原子炉圧力容器は設計基準対象施設において既設のSクラス設備であり、重大事故等対処設備においてはSAクラス2容器に分類される。

注1：本書に記載していない特別な内容がある場合は、V-3-1-2-2-1「原子炉圧力容器の応力計算書（その1）」に示す。

注2：図表は、一括して巻末に示す。

2. 構造の説明

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) 円筒胴
- (2) 主フランジ，上鏡板及びスタッドボルト
- (3) 下鏡板
- (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) 蒸気出口ノズル (N3)
- (9) 給水ノズル (N4)
- (10) 炉心スプレイノズル (N5)
- (11) 制御棒駆動水戻りノズル (N9)
- (12) 液体ポイズン及び炉心差圧計測ノズル (N10)
- (13) 低圧注水ノズル (N17)
- (14) 上鏡スプレイノズル (N6A)
- (15) 上鏡予備ノズル (N6B)
- (16) ベントノズル (N7)
- (17) ジェットポンプ計測ノズル (N8)
- (18) 円筒胴計測ノズル (N11, N12, N16)
- (19) ドレンノズル (N15)
- (20) 支持スカート
- (21) ブラケット
- (22) 原子炉圧力容器基礎ボルト

表2-1 原子炉圧力容器の構造計画

設備名称	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	<p>支持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支持スカートをペDESTALに固定する。</p>	<p>原子炉圧力容器は、円筒胴、主フランジ、上鏡板及びスタッドボルト、下鏡板、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、蒸気出口ノズル、給水ノズル、炉心スプレインノズル、制御棒駆動水戻りノズル、液体ポイズン及び炉心差圧計測ノズル、低圧注水ノズル、上鏡スプレインノズル、ベントノズル、ジェットポンプ計測ノズル、円筒胴計測ノズル、ドレンノズル、ブラケットより構成される。</p>	<p>The diagram shows a vertical cross-section of a nuclear reactor pressure vessel. At the top, there is a hemispherical head with a main flange and upper head plate. Various nozzles are attached to the head and upper cylindrical section, including a vent nozzle (N7), upper spray nozzle (N6A), and upper head nozzle (N6B). The main cylindrical body contains several internal components and nozzles: a steam outlet nozzle (N3), a stabilizer bracket, a feedwater nozzle (N4), a control rod drive water return nozzle (N9), a low-pressure injection nozzle (N17), a re-circulation water outlet nozzle (N1), a re-circulation water inlet nozzle (N2), a jet pump measurement nozzle (N8), a neutron measurement housing penetration, and a support skirt. The lower cylindrical section features a liquid poison and core differential pressure measurement nozzle (N10) and a drain nozzle (N15). The bottom of the vessel is closed with a lower head plate. The entire vessel is supported by a support skirt at the base.</p>

3. 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、本書添付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。

なお、応力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	ピーク応力	MPa
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 _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・m
M _z	ねじりモーメント	N・m
N _a	S _e ' 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	—
S	10 ⁶ 回又は10 ¹¹ 回に対する許容繰返しピーク応力強さ	MPa

記号	記号の説明	単位
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度により定まる地震力	—
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
$S_n^{\#1}$	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	許容引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
U_f	疲労累積係数 ($U_n + U_{sd}$ 又は $U_n + U_{ss}$)	—
U_n	供用状態 A 及び B における疲労累積係数	—
U_{sd}	地震荷重 S_d^* による疲労累積係数	—
U_{ss}	地震荷重 S_s 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)	—
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

記号	記号の説明	単位
τ_{lr}	せん断応力	MPa
τ_{rt}	せん断応力	MPa
τ_{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制限を加えた許容応力状態	—

4. 計算条件

4.1 適用基準

発電用原子力設備規格（設計・建設規格 J S M E S N C 1 - 2005（2007年追補版含む））（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。

4.2 評価対象箇所

応力評価を行う箇所は、次のとおりである。（図4-1参照）

- (1) 下鏡板
- (2) 給水ノズル (N4)
- (3) 支持スカート

4.3 形状及び寸法

各部の形状及び寸法は、応力計算書に示す。

4.4 物性値

材料は表4-1に従って分類する。

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4-2に示す。

4.5 荷重の組合せと許容応力状態

原子炉圧力容器の評価に用いる荷重の組合せと許容応力状態は、表4-3に示すとおりである。また、各許容応力状態で考慮する荷重は、5章に示すとおりである。

なお、原子炉圧力容器については、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。

4.6 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_AS 及び許容応力状態Ⅳ_AS の一次応力の評価には、各運転状態における流体の最高温度（運転状態Ⅰ及びⅡ：°C）に対する許容応力を用いる。許容応力状態Ⅲ_AS 及び許容応力状態Ⅳ_AS の一次＋二次応力及び繰返し荷重の評価には、運転温度（°C：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) 容器の各許容応力状態の応力評価に用いる許容応力は、設計・建設規格PVB-3110により表4-4及び表4-5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。

5. 荷重条件

原子炉圧力容器は、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。

5.1 運転条件

運転条件は、参照図書(1)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5-1に示す。

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 回とする。

5.2 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5-2に示す。表5-2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。

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) 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]
(6) 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]
(7) 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]
(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_s （二次荷重）	[L17]
(9) 外荷重（供用状態A及びBにおける荷重）	[L12, L13, L18, L19]

6. 応力評価の手順

応力評価の手順について述べる。

6.1 応力の評価

外荷重による応力は表5-1に示す外荷重より計算する。

6.1.1 主応力

計算した応力は、応力の分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求める。

組合せ応力は、一般に σ_t 、 σ_ℓ 、 σ_r 、 $\tau_{t\ell}$ 、 $\tau_{\ell r}$ 、 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。

$$\sigma^3 - (\sigma_t + \sigma_\ell + \sigma_r) \cdot \sigma^2 + (\sigma_t \cdot \sigma_\ell + \sigma_\ell \cdot \sigma_r + \sigma_r \cdot \sigma_t - \tau_{t\ell}^2 - \tau_{\ell r}^2 - \tau_{rt}^2) \cdot \sigma - \sigma_t \cdot \sigma_\ell \cdot \sigma_r + \sigma_t \cdot \tau_{\ell r}^2 + \sigma_\ell \cdot \tau_{rt}^2 + \sigma_r \cdot \tau_{t\ell}^2 - 2 \cdot \tau_{t\ell} \cdot \tau_{\ell r} \cdot \tau_{rt} = 0$$

上式により主応力を求める。

6.1.2 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。

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

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

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

6.1.3 一次応力強さ

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、一次局部膜応力及び一次膜＋一次曲げ応力の応力強さが、4.6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大きい場合には、一次局部膜応力強さの評価を省略する。

6.1.4 一次＋二次応力強さ

許容応力状態Ⅲ_AS及び許容応力状態Ⅳ_ASにより生じる一次＋二次応力の応力差最大範囲($S_n^{\#1}$ 、 $S_n^{\#2}$)が、4.6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、6.2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。

6.2 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による荷重並びに許容応力状態Ⅲ_AS及び許容応力状態Ⅳ_ASによる荷重を用いて，次の方法によって行う。

6.2.1 疲労解析

以下の手順で疲労解析を行う。

- (1) 供用状態A及びBにおいて生じる一次＋二次＋ピーク応力の応力差の変動及び許容応力状態Ⅲ_AS及び許容応力状態Ⅳ_ASにおいて生じる一次＋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，5.1節に示す各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_m ， $S_n^{\#1}$ 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6-1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4-2に示す。

- (5) 疲労累積係数（ U_f ）

疲労累積係数（ U_f ）は， S_ℓ' 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，供用状態A及びBにおける疲労累積係数 U_n と許容応力状態Ⅲ_ASにおける疲労累積係数 U_{sd} 又は許容応力状態Ⅳ_AS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。

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

6.3 特別な応力の評価

6.3.1 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、応力計算書に示す。

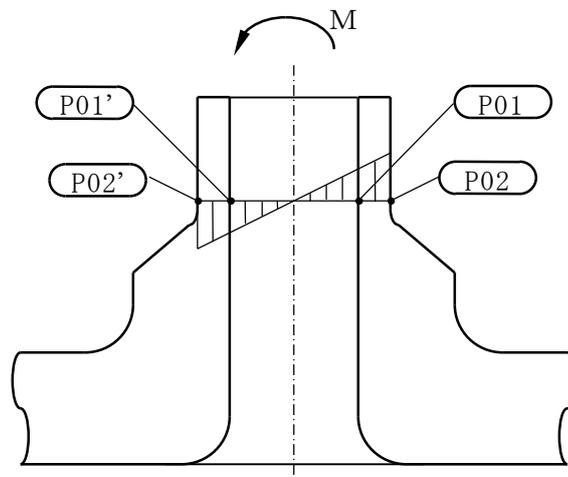
- (1) 原子炉圧力容器支持スカート

7. 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。



7.1 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. 座屈

なお、原子炉圧力容器については設計基準対象施設の評価により重大事故等対処設備の評価が包絡されるため、これらの評価結果をまとめて記載する。

8. 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)

9. 参照図書

- (1) 東海第二発電所 「設計サーマルサイクル説明書（発電設備の高経年化に関する技術評価のうち設計サーマルサイクルの開発委託報告書）」 平成13年3月発行

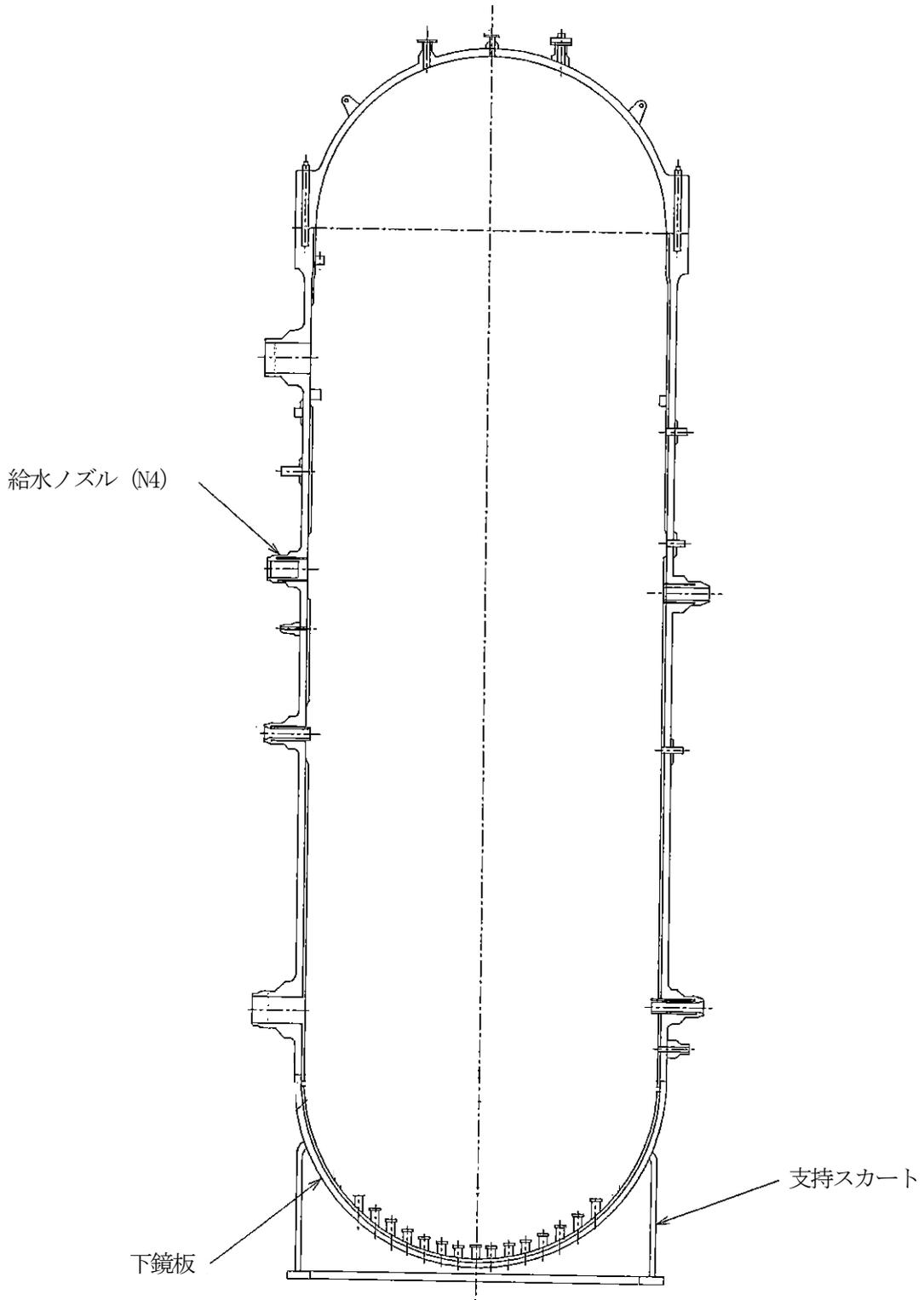


図4-1 全体断面図

表4-1 材料の分類

種 類	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		SUS304LTP相当
高ニッケル合金		NCF600相当

注記：以降，材料は現行 J I S 相当材で記す。

表4-2 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)	S _m (MPa)	S (MPa)	E ₀ × 10 ⁵ (MPa)	q	A ₀	B ₀
SQV2A				2.07	3.1	1.0	1.25
SFVQ2A				2.07	3.1	1.0	1.25
SFVC2B				2.07	3.1	0.66	2.59
SUS304LTP				1.95	3.1	0.7	2.15
NCF600				1.95	3.1	0.7	2.15

注：

- E : 運転温度 (°C) に対する縦弾性係数
- S_m : 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_u ≤ 550 MPaの10⁶ 回に対する繰返しピーク応力強さ, 設計・建設規格 表 添付4-2-2の曲線Cの10¹¹ 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 4-2-4の曲線2の10⁶ 回に対する繰返しピーク応力強さ
- E₀ : 設計・建設規格 添付4-2に記載された縦弾性係数
- 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4-3(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	$D + P + M + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^*$	Ⅳ _A S
					$D + P + M + S_s$	

[記号の説明]

D : 自重（JEAG 4601・補-1984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4-3(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	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	原子炉容器 及び炉心	原子炉圧力容器	S	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{RSA(L)} + M + S_d^*$	V_{AS}
					$D + P_{RSA(LL)} + M + S_s$	V_{AS}

[記号の説明]

- D : 自重（J E A G 4 6 0 1 ・補-1984では「死荷重」と記載）
- $P_{RSA(L)}$: 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

表4-4 クラス1 容器用材料の許容応力の考え方（地震時）

許容応力 状態	許 容 応 力			
	一次一般膜応力	一次局部膜応力又は 一次膜＋一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ピーク応力
Ⅲ _{AS}	S_y と $2/3 \cdot S_u$ 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 α 倍の値 * ¹	$3 \cdot S_m$ * ²	S_d^* 又は S_s 地震動のみによる疲労解析を行い、供用状態A及びBにおける疲労累積係数との和を1以下とする。
Ⅳ _{AS} Ⅴ _{AS}	$2/3 \cdot S_u$ 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 α 倍の値 * ¹	S_d^* 又は S_s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	

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： $3 \cdot S_m$ 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（同 PVB-3313 を除く）の簡易弾塑性解析を用いる。

表4-5(1) クラス1 容器用材料の許容応力

(単位：MPa)

応力分類		一次一般膜応力 (P _m)	
許容応力状態		Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
温度 (°C)			
炭素鋼及び低合金鋼	SQV2A	302	326
	SFVQ2A	302	320
	SFVC2B	187	292
許容応力の算出式		Min. (S _y , 2/3 · S _u)	2/3 · S _u
オーステナイト系 ステンレス鋼及び 高ニッケル合金	SUS304LTP	116	232
	NCF600	196	334
許容応力の算出式		1.2 · S _m	Min. (2.4 · S _m , 2/3 · S _u)

表4-5(2) クラス1 容器用材料の許容応力

(単位：MPa)

応力分類		一次局部膜応力 (P _L) 又は一次膜+一次曲げ応力 (P _L +P _b)	
許容応力状態		Ⅲ _{AS} * ¹	Ⅳ _{AS} * ¹
温度 (°C)			
炭素鋼及び低合金鋼	SQV2A	454	490
	SFVQ2A	454	480
	SFVC2B	281	438
許容応力の算出式		* ² $\alpha \cdot \text{Min.} (S_y, 2/3 \cdot S_u)$	* ² $\alpha \cdot 2/3 \cdot S_u$
オーステナイト系 ステンレス鋼及び 高ニッケル合金	SUS304LTP	174	348
	NCF600	295	501
許容応力の算出式		* ² $\alpha \cdot 1.2 \cdot S_m$	* ² $\alpha \cdot \text{Min.} (2.4 \cdot S_m, 2/3 \cdot S_u)$

注記*1：本表には、 $\alpha = 1.5$ の場合の値を示す。

*2： 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。

表4-5(3) クラス1 容器用材料の許容応力

(単位：MPa)

応力分類		一次+二次応力 ($P_L + P_b + Q$)	
許容応力状態		ⅢAS	ⅣAS
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	SUS304LTP	294	294
	NCF600	492	492
許容応力の算出式		$3 \cdot S_m$	$3 \cdot S_m$

表5-1(1) 外荷重

下鏡板及び支持スカート外荷重

記号	荷重名称	軸力 (kN)		水平力 (kN)	モーメント (kN・m)
		V ₁	V ₂	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}				
L14	地震荷重S _d [*]				
L16	地震荷重S _s				

注記*1：供用状態A及びBのうち，運転条件[C03～C09]及び[C12～C18]にかかるものとする。

*2：供用状態A及びBのうち，運転条件[C02]にかかるものとする。

*3：供用状態A及びBのうち，運転条件[C10]，[C11]，[C20]及び[C21]にかかるものとする。

*4：供用状態A及びBのうち，運転条件[C19]にかかるものとする。

注1：

注2：

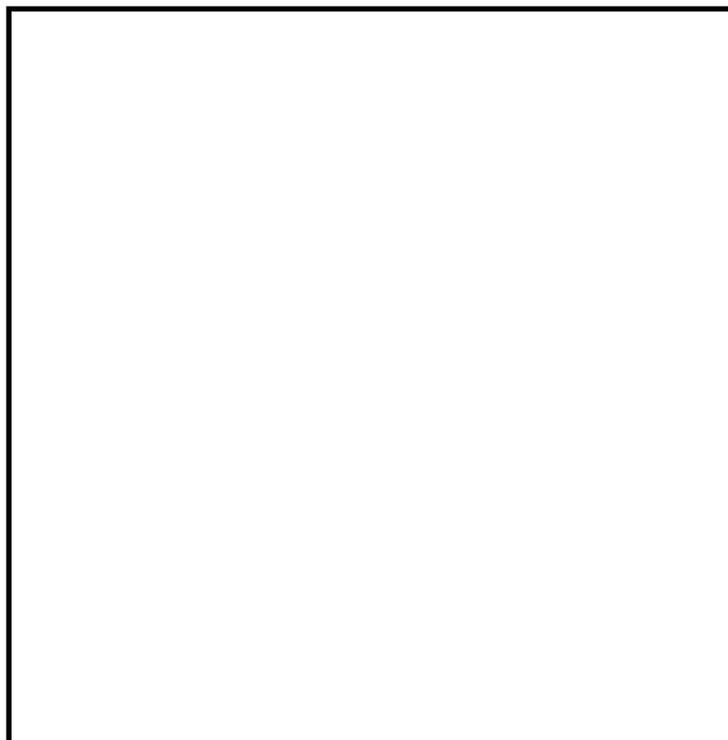


表5-1(2) 外荷重

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R (mm)
			H	F_z	M	M_z	
給水ノズル (N4)	L04	死荷重					原子炉压力容器中心から 
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S_d^* (一次)					
	L15	地震荷重 S_d^* (二次)					
	L16	地震荷重 S_s (一次)					
	L17	地震荷重 S_s (二次)					

注1: H, F_z , M及び M_z は, 配管からの荷重である。

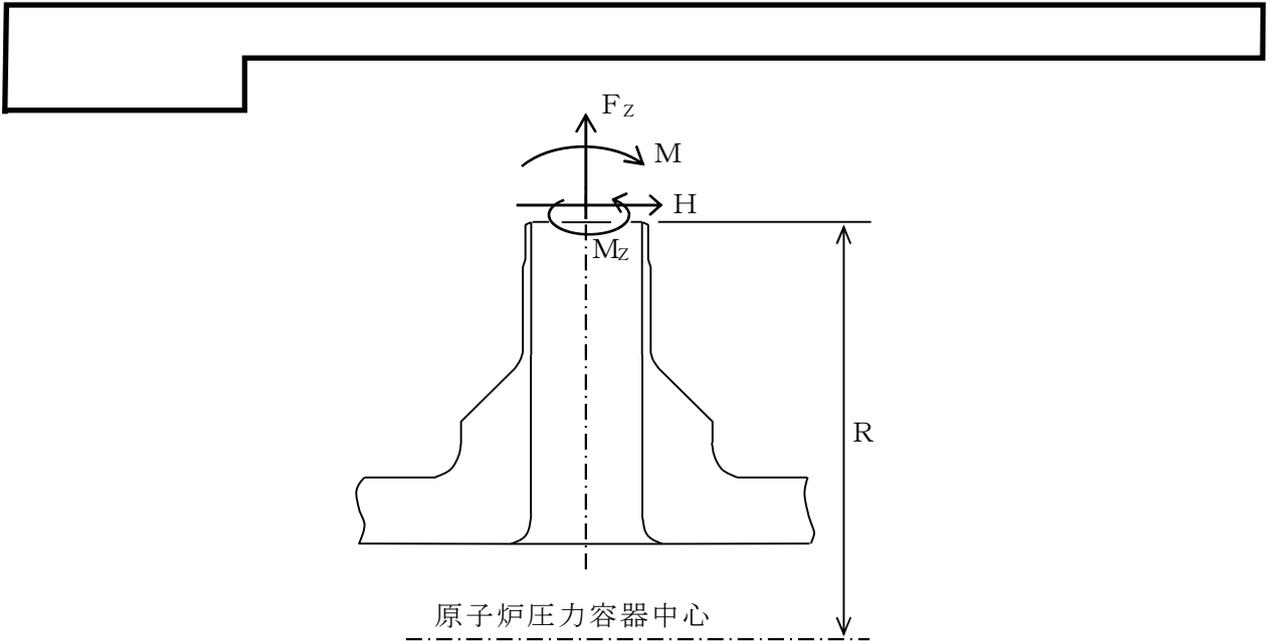


表5-1(3) 外荷重

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R (mm)
			H	F _z	M	M _z	
給水ノズル (N4)	L04	死荷重					原子炉压力容器中心から 3187.7
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S _d * (一次)					
	L15	地震荷重 S _d * (二次)					
	L16	地震荷重 S _s (一次)					
	L17	地震荷重 S _s (二次)					

注1: H, F_z, M及びM_zは、炉内配管からの荷重である。

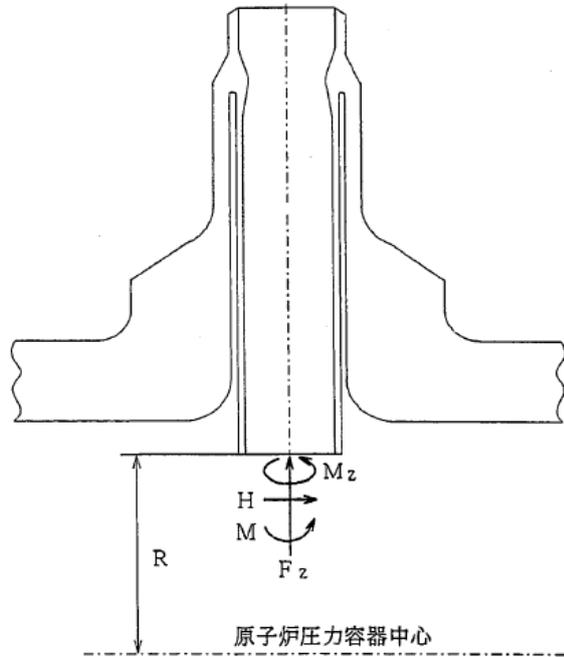
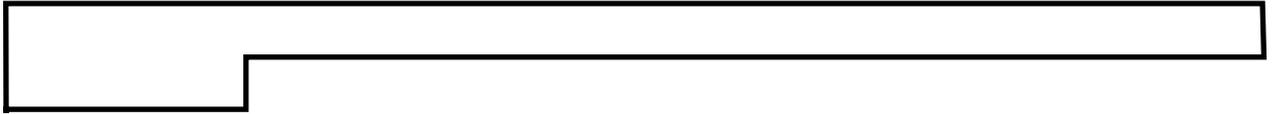


表5-2 荷重の組合せ

供用状態及び 許容応力状態	荷重の組合せ	応力評価
供用状態 A 及び B	L01 + L02 + (L04, L12, L13, L18 又は L19) + L07	$P_L + P_b + Q$ 疲労解析
許容応力状態Ⅲ _{AS}	L01+L02+ (L04, L12, L13, L18又はL19) * +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 _{AS}	L01+L02+ (L04, L12, L13, L18又はL19) * +L16	P_m $P_L + P_b$ 又は P_L
	L16+L17	$P_L + P_b + Q$ 疲労解析
供用状態 E (V _{AS})	L01+L02+ (L04, L12, L13, L18又はL19) * + (L14又はL16) *	P_m $P_L + P_b$ 又は P_L
	(L14+L15又は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6-1 繰返しピーク応力強さの割増し方法

S_n	S_ℓ
3・ S_m 未満	$S_\ell = \frac{S_p}{2}$
3・ S_m 以上	<p>$S_\ell = \frac{K_e \cdot S_p}{2}$</p> <p>$K_e$は、次の手順により計算する。</p> <p>(1) $K < B_0$</p> <p>① $\frac{S_n}{3 \cdot S_m} < \frac{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)}}{2 \cdot A_0}$</p> <p style="margin-left: 40px;">$K_e = 1 + A_0 \cdot \left(\frac{S_n}{3 \cdot S_m} - \frac{1}{K}\right)$</p> <p>② $\frac{S_n}{3 \cdot S_m} \geq \frac{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)}}{2 \cdot A_0}$</p> <p style="margin-left: 40px;">$K_e = 1 + (q - 1) \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot S_m}{S_n}\right)$</p> <p>(2) $K \geq B_0$</p> <p>① $\frac{S_n}{3 \cdot S_m} < \frac{(q - 1) - \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) \cdot (q - 1)}}{a}$</p> <p style="margin-left: 40px;">$K_e = a \cdot \frac{S_n}{3 \cdot S_m} + A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) + 1 - a$</p> <p>② $\frac{S_n}{3 \cdot S_m} \geq \frac{(q - 1) - \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) \cdot (q - 1)}}{a}$</p> <p style="margin-left: 40px;">$K_e = 1 + (q - 1) \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot S_m}{S_n}\right)$</p> <p>ここで、</p> <p style="margin-left: 40px;">$K = \frac{S_p}{S_n}$</p> <p style="margin-left: 40px;">$a = A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) + (q - 1) - 2 \cdot \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) \cdot (q - 1)}$</p>

注1： q 、 A_0 、 B_0 は、表4-2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。

V-3-1-2-2-1 原子炉压力容器の応力計算書（その1）

目次

1. 下鏡板の応力計算	2
1.1 一般事項	2
1.1.1 形状・寸法・材料	2
1.1.2 考慮する荷重	2
1.1.3 計算結果の概要	2
1.2 計算条件	5
1.2.1 解析範囲	5
1.2.2 運転条件	5
1.2.3 材料	5
1.2.4 物性値及び許容応力	5
1.3 応力計算	5
1.3.1 応力評価点	5
1.3.2 外荷重による応力	5
1.3.2.1 荷重条件 (L12, L13, L18, L19, L14及びL16)	5
1.4 応力強さの評価	5
1.4.1 一次一般膜応力強さの評価	5
1.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	6
1.4.3 一次＋二次応力強さの評価	6
1.5 繰返し荷重の評価	6
1.5.1 疲労解析	6
1.5.1.1 疲労累積係数	6
2. 給水ノズルの応力計算	13
2.1 一般事項	13
2.1.1 形状・寸法・材料	13
2.1.2 考慮する荷重	13
2.1.3 計算結果の概要	13
2.2 計算条件	16
2.2.1 解析範囲	16
2.2.2 運転条件	16
2.2.3 材料	16

2.2.4	物性値及び許容応力	16
2.3	応力計算	16
2.3.1	応力評価点	16
2.3.2	外荷重による応力	16
2.3.2.1	荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)	16
2.4	応力強さの評価	16
2.4.1	一次一般膜応力強さの評価	16
2.4.2	一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	16
2.4.3	一次＋二次応力強さの評価	17
2.5	繰返し荷重の評価	17
2.5.1	疲労解析	17
2.5.1.1	疲労累積係数	17
3.	スカート of 応力計算	23
3.1	一般事項	23
3.1.1	形状・寸法・材料	23
3.1.2	考慮する荷重	23
3.1.3	計算結果の概要	23
3.2	計算条件	26
3.2.1	解析範囲	26
3.2.2	運転条件	26
3.2.3	材料	26
3.2.4	物性値及び許容応力	26
3.3	応力計算	26
3.3.1	応力評価点	26
3.3.2	外荷重による応力	26
3.3.2.1	荷重条件 (L12, L13, L18, L19, L14及びL16)	26
3.4	応力強さの評価	26
3.4.1	一次一般膜応力強さの評価	26
3.4.2	一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	26
3.4.3	一次＋二次応力強さの評価	27

3.5 繰返し荷重の評価	27
3.5.1 疲労解析	27
3.5.1.1 疲労累積係数	27
3.6 特別な評価	27
3.6.1 軸圧縮応力の評価	27
3.6.1.1 計算データ	27
3.6.1.2 各許容応力状態における軸圧縮応力の評価	28

図表目次

図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点（下鏡板）	3
図2-1 形状・寸法・材料・応力評価点（給水ノズル）	14
図3-1 形状・寸法・材料・応力評価点（スカート）	24
表1-1 下鏡板の計算結果の概要	4
表1-2 下鏡板の一次一般膜応力強さの評価のまとめ	7
表1-3 下鏡板の一次膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	8
表1-4 下鏡板の一次＋二次応力強さの評価のまとめ	9
表1-5 下鏡板の疲労累積係数の評価のまとめ	11
表2-1 給水ノズルの計算結果の概要	15
表2-2 給水ノズルの一次一般膜応力強さの評価のまとめ	18
表2-3 給水ノズルの一次膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	19
表2-4 給水ノズルの一次＋二次応力強さの評価のまとめ	20
表2-5 給水ノズルの疲労累積係数の評価のまとめ	22
表3-1 スカートの計算結果の概要	25
表3-2 スカートの一次膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	30
表3-3 スカートの一次＋二次応力強さの評価のまとめ	31
表3-4 スカートの疲労累積係数の評価のまとめ	32
表3-5 スカートの軸圧縮応力に用いる荷重	33
表3-6 スカートの軸圧縮応力の評価のまとめ	33

本計算書は，原子炉圧力容器（下鏡板，給水ノズル及び支持スカート）の応力計算書である。

1. 下鏡板の応力計算

1.1 一般事項

本章は、原子炉圧力容器下鏡板の応力計算である。

1.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所形状・寸法・材料を図1-1に示す。

1.1.2 考慮する荷重

考慮した各荷重をV-3-1-2-1-1「原子炉圧力容器の応力解析の方針（その1）」（以下「応力解析の方針」という。）の5章に示す。

1.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表1-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、疲労累積係数が厳しくなる評価点を、各部分を代表する評価点として記載している。

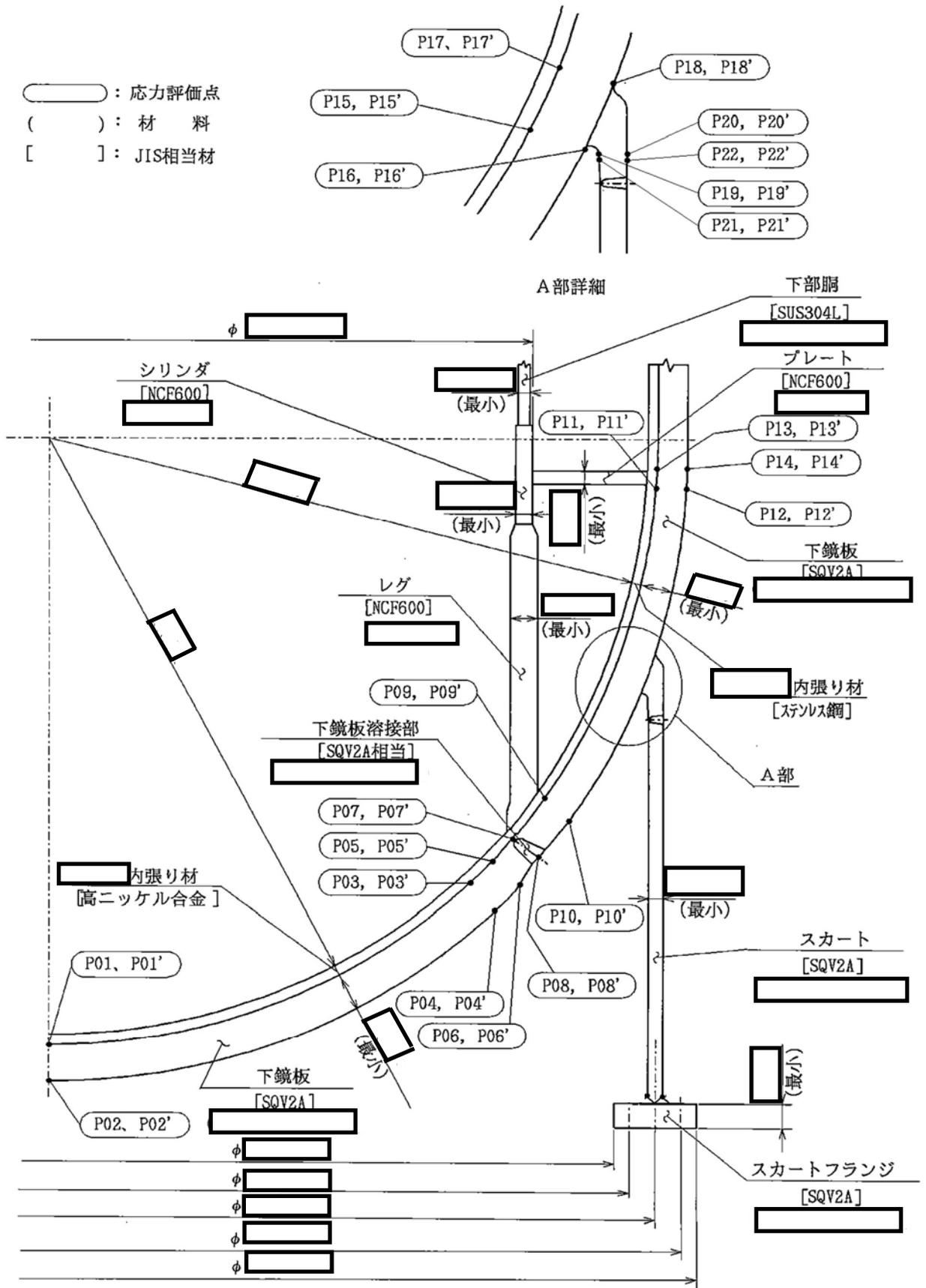


図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点（下鏡板）（単位：mm）

表1-1 下鏡板の計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力 (MPa)			一次膜+一次曲げ応力 (MPa)			一次+二次応力 (MPa)			疲労解析		
		応力強さ	許容値	応力評価面	応力強さ	許容値	応力評価面	応力強さ	許容値	応力評価面	疲労累積係数	許容値	応力評価点
下鏡板 SQV2A	ⅢA S	172	302	P01 - P02	202	454	P01 - P02	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	172	326	P01 - P02	212	490	P01 - P02	—	—	—	—	—	—
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	27	552	P01	0.0033	1	P04
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	49	552	P01	—	—	—
下鏡板と 円筒胴の接合部 SQV2A	ⅢA S	—	—	—	92	454	P11' - P12'	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	—	—	—	93	490	P11' - P12'	—	—	—	—	—	—
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	19	552	P11	0.0442	1	P11
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	32	552	P11	—	—	—
下鏡板と スカートとの 接合部 SQV2A	ⅢA S	—	—	—	90	454	P15 - P16	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	—	—	—	94	490	P17 - P18	—	—	—	—	—	—
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	66	552	P20	0.6849	1	P19
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	116	552	P20	—	—	—

注：疲労累積係数は、供用状態A及びBに許容応力状態ⅢA S又は許容応力状態ⅣA Sのいずれか大きい方を加えた値である。

1.2 計算条件

1.2.1 解析範囲

解析範囲を図1-1に示す。

1.2.2 運転条件

考慮した運転条件とその回数を「応力解析の方針」の5.1節に示す。

1.2.3 材料

各部の材料を図1-1に示す。

1.2.4 物性値及び許容応力

物性値及び許容応力は、「応力解析の方針」の4.4節及び4.6節による。

1.3 応力計算

1.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図1-1に示す。

1.3.2 外荷重による応力

1.3.2.1 荷重条件 (L12, L13, L18, L19, L14及びL16)

下鏡板に作用する外荷重を「応力解析の方針」の5.1節に示す。

1.4 応力強さの評価

応力強さの評価は、下鏡板について行う。

1.4.1 一次一般膜応力強さの評価

応力評価面P01-P02及びP01'-P02'について、許容応力状態Ⅲ_{AS}及び許容応力状態Ⅳ_{AS}における評価をまとめて、表1-2に示す。

なお、その他の応力評価面は、一次一般膜応力に分類される応力は存在しない。

表1-2より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の4.6節に示す許容応力を満足する。

1.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価

許容応力状態ⅢAS及び許容応力状態ⅣASにおける評価をまとめて、表1-3に示す。

表1-3より、各許容応力状態の一次膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の4.6節に示す許容応力を満足する。

1.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価をまとめて、表1-4に示す。

表1-4より、すべての評価点において $S_n^{\#1}$ 及び $S_n^{\#2}$ は、 $3 \cdot S_m$ 以下であり、「応力解析の方針」の4.6節に示す許容応力を満足する。

1.5 繰返し荷重の評価

1.5.1 疲労解析

下鏡板の応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

1.5.1.1 疲労累積係数

各応力評価点における疲労累積係数をまとめて、表1-5に示す。

表1-5より、各応力評価点において疲労累積係数は1以下であり、「応力解析の方針」の6.2節の許容値を満足する。

表1-2 下鏡板の一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

評価面	許容応力状態 ⅢA S		許容応力状態 ⅣA S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	172	302	172	326
P01' P02'	172	302	172	326

表1-3 下鏡板の一次膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

評価面	許容応力状態 ⅢA S		許容応力状態 ⅣA S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01				
P02	202	454	212	490
P01'				
P02'	178	454	168	490
P03				
P04	193	454	203	490
P03'				
P04'	171	454	162	490
P05				
P06	97	454	101	490
P05'				
P06'	91	454	89	490
P07				
P08	94	454	99	490
P07'				
P08'	90	454	89	490
P09				
P10	90	454	94	490
P09'				
P10'	80	454	79	490
P11				
P12	90	454	91	490
P11'				
P12'	92	454	93	490
P13				
P14	86	454	86	490
P13'				
P14'	90	454	92	490
P15				
P16	90	454	91	490
P15'				
P16'	89	454	88	490
P17				
P18	90	454	94	490
P17'				
P18'	78	454	75	490
P19				
P20	48	454	60	490
P19'				
P20'	60	454	69	490
P21				
P22	45	454	53	490
P21'				
P22'	62	454	72	490

表1-4(1) 下鏡板の一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

分類	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	*1 $S_n^{\#1}$	*2 $S_n^{\#2}$	許容値 $3 \cdot S_m$
P01	27	49	552
P01'	27	49	552
P02	22	40	552
P02'	22	40	552
P03	19	35	552
P03'	19	35	552
P04	26	48	552
P04'	26	48	552
P05	14	25	552
P05'	14	25	552
P06	8	15	552
P06'	8	15	552
P07	12	22	552
P07'	12	22	552
P08	9	16	552
P08'	9	16	552
P09	12	22	552
P09'	12	22	552
P10	8	14	552
P10'	8	14	552
P11	19	32	552
P11'	19	32	552
P12	16	28	552
P12'	16	28	552
P13	17	29	552
P13'	17	29	552
P14	16	28	552
P14'	16	28	552
P15	19	34	552
P15'	19	34	552
P16	27	47	552
P16'	27	47	552

注記*1： $S_n^{\#1}$ は許容応力状態ⅢA Sによる一次+二次応力差の最大範囲を示す。*2： $S_n^{\#2}$ は許容応力状態ⅣA Sによる一次+二次応力差の最大範囲を示す。

表1-4(2) 下鏡板の一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

分 類	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	*1 $S_n^{\#1}$	*2 $S_n^{\#2}$	許容値 $3 \cdot S_m$
P17	10	17	552
P17'	10	17	552
P18	31	52	552
P18'	31	52	552
P19	40	70	552
P19'	40	70	552
P20	66	116	552
P20'	66	116	552
P21	37	65	552
P21'	37	65	552
P22	61	107	552
P22'	61	107	552

注記*1： $S_n^{\#1}$ は許容応力状態ⅢA Sによる一次+二次応力差の最大範囲を示す。

*2： $S_n^{\#2}$ は許容応力状態ⅣA Sによる一次+二次応力差の最大範囲を示す。

表1-5(1) 下鏡板の疲労累積係数の評価のまとめ

分類	疲労累積係数	
	U _f	許容値
P01	0.0022	1
P01'	0.0022	1
P02	0.0011	1
P02'	0.0011	1
P03	0.0019	1
P03'	0.0019	1
P04	0.0033	1
P04'	0.0033	1
P05	0.0033	1
P05'	0.0033	1
P06	0.0008	1
P06'	0.0008	1
P07	0.0019	1
P07'	0.0019	1
P08	0.0012	1
P08'	0.0012	1
P09	0.0016	1
P09'	0.0016	1
P10	0.0003	1
P10'	0.0003	1
P11	0.0442	1
P11'	0.0442	1
P12	0.0003	1
P12'	0.0003	1
P13	0.0306	1
P13'	0.0306	1
P14	0.0003	1
P14'	0.0003	1
P15	0.0012	1
P15'	0.0012	1
P16	0.0021	1
P16'	0.0021	1
P17	0.0003	1
P17'	0.0003	1
P18	0.0081	1
P18'	0.0081	1

表1-5(2) 下鏡板の疲労累積係数の評価のまとめ

分類	疲労累積係数	
	評価点	許容値
P19	0.6849	1
P19'	0.6849	1
P20	0.0547	1
P20'	0.0547	1
P21	0.6308	1
P21'	0.6308	1
P22	0.0410	1
P22'	0.0410	1

2. 給水ノズルの応力計算

2.1 一般事項

本章は、原子炉圧力容器給水ノズルの応力計算である。

2.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図2-1に示す。

2.1.2 考慮する荷重

考慮した各荷重を「応力解析の方針」の5章に示す。

2.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表2-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、疲労累積係数が厳しくなる評価点を、各部分を代表する評価点として記載している。

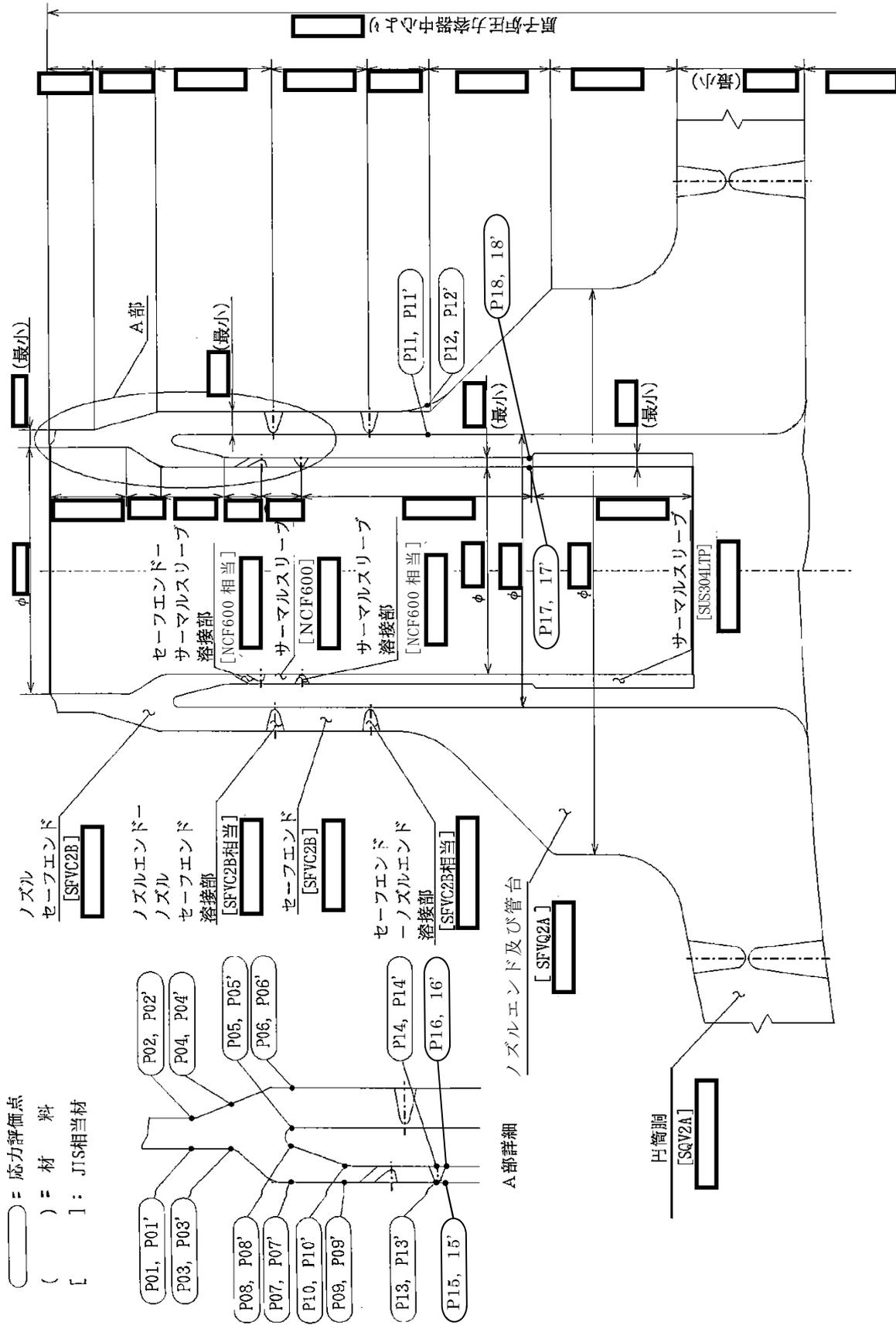


図2-1 形状・寸法・材料・応力評価点（給水ノズル）（単位：mm）

表2-1 給水ノズルの計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力 (MPa)			一次膜+一次曲げ応力 (MPa)			一次+二次応力 (MPa)			疲労解析		
		応力強さ	許容値	応力評価面	応力強さ	許容値	応力評価面	応力強さ	許容値	応力評価点	疲労累積係数	許容値	応力評価点
ノズル セーフエンド	ⅢA S	147	187	P01' - P02'	196	251	P01' - P02'	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	147	292	P01' - P02'	196	391	P01' - P02'	—	—	—	—	—	
SFVC2B	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	380	383	P02	0.1152	P05'	
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	380	383	P02	—	—	
ノズルエンド SFVQ2A	ⅢA S	95	302	P11 - P12	155	409	P11' - P12'	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	95	320	P11 - P12	155	433	P11' - P12'	—	—	—	—	—	
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	293	552	P12	0.0043	P12	
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	293	552	P12	—	—	
サーマル スリーブ NCF600 SUS304LTP	ⅢA S	4	116	P15' - P16'	17	154	P15' - P16'	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	4	232	P15' - P16'	17	308	P15' - P16'	—	—	—	—	—	
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	47	294	P16	0.0257	P18'	
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	47	294	P16	—	—	

注1：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注2：疲労累積係数は、供用状態A及びBに許容応力状態ⅢA S又は許容応力状態ⅣA Sのいずれか大きい方を加えた値である。

2.2 計算条件

2.2.1 解析範囲

解析範囲を図2-1に示す。

2.2.2 運転条件

考慮した運転条件とその回数を「応力解析の方針」の5.1節に示す。

2.2.3 材料

各部の材料を図2-1に示す。

2.2.4 物性値及び許容応力

物性値及び許容応力は、「応力解析の方針」の4.4節及び4.6節による。

2.3 応力計算

2.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図2-1に示す。

2.3.2 外荷重による応力

2.3.2.1 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

給水ノズルに作用する外荷重を「応力解析の方針」の5.1節に示す。

2.4 応力強さの評価

応力強さの評価は、給水ノズルについて行う。

2.4.1 一次一般膜応力強さの評価

許容応力状態Ⅲ_AS及び許容応力状態Ⅳ_ASにおける評価をまとめて、表2-2に示す。

表2-2より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の4.6節に示す許容応力を満足する。

2.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価

許容応力状態Ⅲ_AS及び許容応力状態Ⅳ_ASにおける評価をまとめて、表2-3に示す。

表2-3より、各許容応力状態の一次膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の4.6節に示す許容応力を満足する。

2.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価をまとめて、表2-4に示す。

表2-4より、すべての評価点において $S_n^{\#1}$ 及び $S_n^{\#2}$ は、 $3 \cdot S_m$ 以下であり、「応力解析の方針」の4.6節に示す許容応力を満足する。

2.5 繰返し荷重の評価

2.5.1 疲労解析

ノズルセーフエンド、ノズルエンド及びサーマルスリーブの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

2.5.1.1 疲労累積係数

各応力評価点における疲労累積係数をまとめて、表2-5に示す。

表2-5より、各応力評価点において疲労累積係数は1以下であり、「応力解析の方針」の6.2節の許容値を満足する。

表2-2 給水ノズルの一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

評価面	許容応力状態 ⅢA S		許容応力状態 ⅣA S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	145	187	145	292
P01' P02'	147	187	147	292
P03 P04	81	187	81	292
P03' P04'	83	187	83	292
P05 P06	95	187	95	292
P05' P06'	93	187	93	292
P07 P08	2	187	2	292
P07' P08'	2	187	2	292
P09 P10	4	187	4	292
P09' P10'	6	187	6	292
P11 P12	95	302	95	320
P11' P12'	93	302	93	320
P13 P14	3	196	3	334
P13' P14'	4	196	4	334
P15 P16	3	116	3	232
P15' P16'	4	116	4	232
P17 P18	3	116	3	232
P17' P18'	4	116	4	232

表2-3 給水ノズルの一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

評価面	許容応力状態 ⅢA S		許容応力状態 ⅣA S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	183	251	183	391
P01' P02'	196	251	196	391
P03 P04	107	259	107	403
P03' P04'	113	259	113	403
P05 P06	132	253	132	394
P05' P06'	135	253	135	394
P07 P08	7	258	7	401
P07' P08'	8	258	8	401
P09 P10	21	245	21	382
P09' P10'	26	245	26	382
P11 P12	151	409	151	433
P11' P12'	155	409	155	433
P13 P14	14	260	14	442
P13' P14'	17	260	17	442
P15 P16	14	154	14	308
P15' P16'	17	154	17	308
P17 P18	10	154	10	308
P17' P18'	13	154	13	308

表2-4(1) 給水ノズルの一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

分類	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	*1 $S_n^{\#1}$	*2 $S_n^{\#2}$	許容値 $3 \cdot S_m$
P01	285	285	383
P01'	285	285	383
P02	380	380	383
P02'	380	380	383
P03	168	168	383
P03'	168	168	383
P04	217	217	383
P04'	217	217	383
P05	238	238	383
P05'	238	238	383
P06	231	231	383
P06'	231	231	383
P07	67	67	383
P07'	67	67	383
P08	48	48	383
P08'	48	48	383
P09	51	51	383
P09'	51	51	383
P10	89	89	383
P10'	89	89	383
P11	191	191	552
P11'	191	191	552
P12	293	293	552
P12'	293	293	552
P13	44	44	492
P13'	44	44	492
P14	49	49	492
P14'	49	49	492
P15	42	42	294
P15'	42	42	294
P16	47	47	294
P16'	47	47	294

注記*1： $S_n^{\#1}$ は許容応力状態ⅢA Sによる一次+二次応力差の最大範囲を示す。

*2： $S_n^{\#2}$ は許容応力状態ⅣA Sによる一次+二次応力差の最大範囲を示す。

表2-4(2) 給水ノズルの一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

分類	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	*1 $S_n^{\#1}$	*2 $S_n^{\#2}$	許容値 $3 \cdot S_m$
P17	20	20	294
P17'	20	20	294
P18	42	42	294
P18'	42	42	294

注記*1： $S_n^{\#1}$ は許容応力状態ⅢA Sによる一次+二次応力差の最大範囲を示す。

*2： $S_n^{\#2}$ は許容応力状態ⅣA Sによる一次+二次応力差の最大範囲を示す。

表2-5 給水ノズルの疲労累積係数の評価のまとめ

分類	疲労累積係数	
	U _f	許容値
P01	0.0055	1
P01'	0.0050	1
P02	0.0118	1
P02'	0.0113	1
P03	0.0030	1
P03'	0.0029	1
P04	0.0007	1
P04'	0.0009	1
P05	0.0927	1
P05'	0.1152	1
P06	0.0051	1
P06'	0.0046	1
P07	0.0724	1
P07'	0.0723	1
P08	0.0305	1
P08'	0.0296	1
P09	0.0022	1
P09'	0.0020	1
P10	0.0033	1
P10'	0.0036	1
P11	0.0007	1
P11'	0.0007	1
P12	0.0043	1
P12'	0.0043	1
P13	0.0003	1
P13'	0.0003	1
P14	0.0001	1
P14'	0.0001	1
P15	0.0004	1
P15'	0.0004	1
P16	0.0002	1
P16'	0.0002	1
P17	0.0114	1
P17'	0.0114	1
P18	0.0257	1
P18'	0.0257	1

3. スカートの応力計算

3.1 一般事項

本章は、支持スカート（以下「スカート」という。）の応力計算である。

3.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図3-1に示す。

3.1.2 考慮する荷重

考慮した各荷重を「応力解析の方針」の5章に示す。

3.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表3-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、数点の評価点を設けて評価を行い、疲労累積係数が厳しくなる評価点を、スカートを代表する評価点として記載している。

○ : 応力評価点
 () : 材 料
 [] : JIS相当材

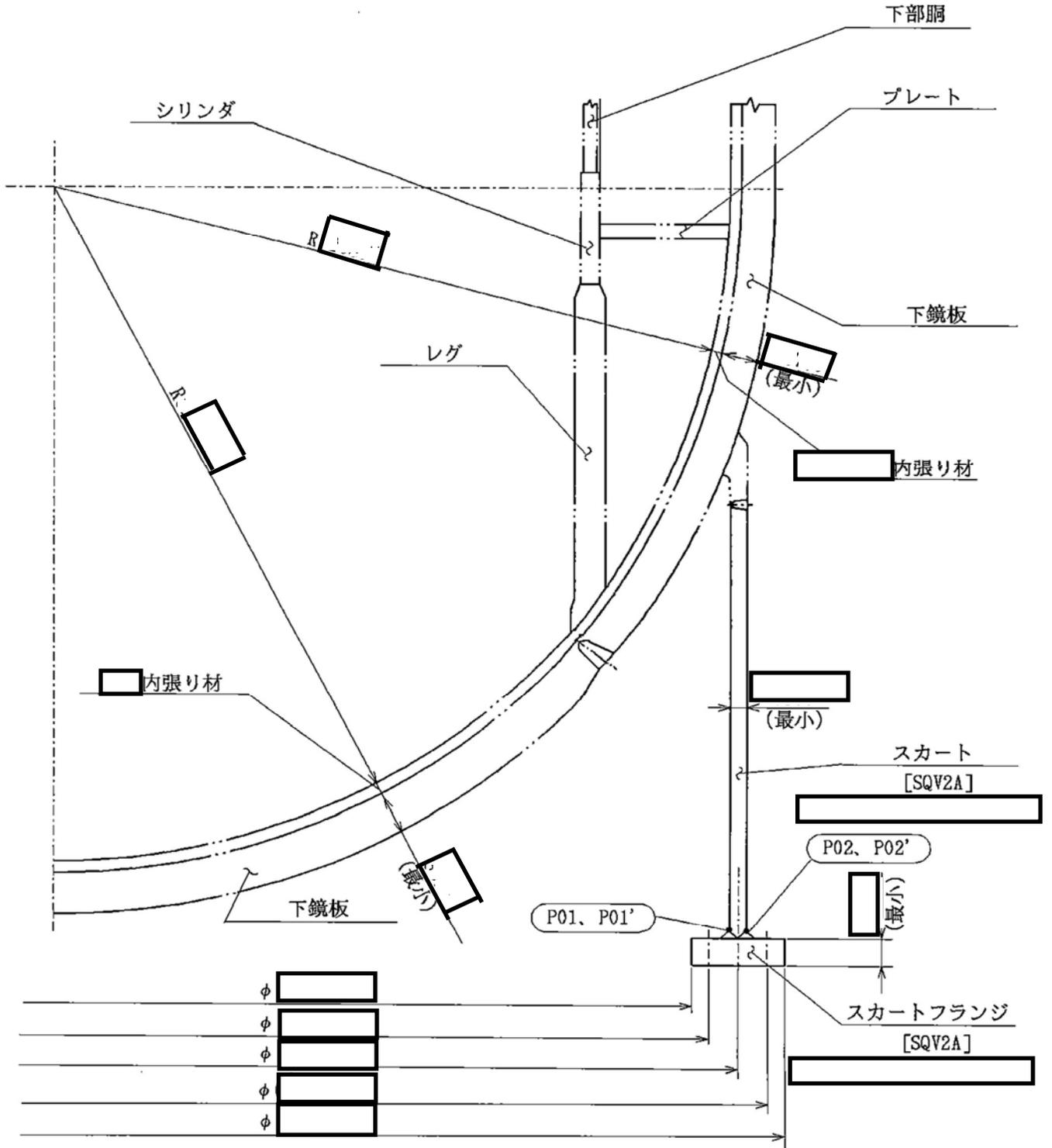


図3-1 形状・寸法・材料・応力評価点（スカート）（単位：mm）

表3-1 スカートの計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態		一次膜+一次曲げ応力 (MPa)			一次+二次応力 (MPa)			疲労解析		
	応力強さ	許容値	応力評価面	応力強さ	許容値	応力強さ	許容値	応力評価点	疲労累積係数	許容値	応力評価点
スカート SQV2A	44	454	P01' - P02'	---	---	---	---	---	---	---	---
	65	490	P01' - P02'	---	---	---	---	---	---	---	---
	---	---	---	142	552	P02	P02	0.0126	1	P02	
	---	---	---	255	552	P02	P02				

注：疲労累積係数は、供用状態A及びBに許容応力状態ⅢA S又は許容応力状態ⅣA Sのいずれか大きい方を加えた値である。

3.2 計算条件

3.2.1 解析範囲

解析範囲を図3-1に示す。

3.2.2 運転条件

考慮した運転条件とその回数を「応力解析の方針」の5.1節に示す。

3.2.3 材料

各部の材料を図3-1に示す。

3.2.4 物性値及び許容応力

物性値及び許容応力は、「応力解析の方針」の4.4節及び4.6節による。

3.3 応力計算

3.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図3-1に示す。

3.3.2 外荷重による応力

3.3.2.1 荷重条件 (L12, L13, L18, L19, L14及びL16)

スカートに作用する外荷重を「応力解析の方針」の5.1節に示す。

3.4 応力強さの評価

応力強さの評価は、スカートについて行う。

3.4.1 一次一般膜応力強さの評価

応力評価面P01-P02及びP01'-P02'は、構造不連続部であるため、一次一般膜応力に分類される応力は存在しない。

3.4.2 一次膜+一次曲げ応力強さの評価

許容応力状態Ⅲ_AS及び許容応力状態Ⅳ_ASにおける評価をまとめて、表3-2に示す。

表3-2より、各許容応力状態の一次膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の4.6節に示す許容応力を満足する。

3.4.3 一次+二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価をまとめて、表3-3に示す。

表3-3より、すべての評価点において $S_n^{\#1}$ 及び $S_n^{\#2}$ は、 $3 \cdot S_m$ 以下であり、「応力解析の方針」の4.6節に示す許容応力を満足する。

3.5 繰返し荷重の評価

3.5.1 疲労解析

スカートの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

3.5.1.1 疲労累積係数

各応力評価点における疲労累積係数をまとめて、表3-4に示す。

表3-4より、各応力評価点において疲労累積係数は1以下であり、「応力解析の方針」の6.2節の許容値を満足する。

3.6 特別な評価

3.6.1 軸圧縮応力の評価

3.6.1.1 計算データ

スカートの平均半径 $R_m =$ mm

スカートの板厚 $t =$ mm ()

スカートの断面積

$$\begin{aligned}
 A &= \pi \cdot \{(R_m + t/2)^2 - (R_m - t/2)^2\} \\
 &= \pi \times \input{width: 250px; height: 15px; border: 1px solid black;} \\
 &= \input{width: 80px; height: 15px; border: 1px solid black;} \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

スカートの断面係数

$$\begin{aligned}
 Z &= \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\{(R_m + t/2)^4 - (R_m - t/2)^4\}}{R_m + t/2} \\
 &= \frac{\pi}{4} \times \input{width: 350px; height: 25px; border: 1px solid black;} \\
 &= \input{width: 100px; height: 15px; border: 1px solid black;} \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

3.6.1.2 各許容応力状態における軸圧縮応力の評価

許容応力状態Ⅲ_{AS}及び許容応力状態Ⅳ_{AS}においてスカートに圧縮応力を生じさせる荷重は、表3-5に示す鉛直力及びモーメントである。これらの組合せによる発生する圧縮応力の評価を行う。

$$\frac{\alpha \cdot (V_1 + V_2)/A}{f_c} + \frac{\alpha \cdot (M/Z)}{f_b} \leq 1$$

ここで、

f_c : 鉛直方向荷重に対する座屈応力

$$\begin{aligned} &= F \cdot \left[1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \{F - \Phi_c(\eta_2)\} \cdot (\eta - \eta_1) \right] \\ &= 302 \times \left[1 - \frac{1}{6800 \cdot 9.80665} \times (302 - 180.89) \times (50.5 - 39.0) \right] \\ &= 295 \text{ MPa} \end{aligned}$$

なお、

$$\begin{aligned} \Phi_c(\eta_2) &= 0.6 \cdot \frac{E}{\eta_2} \left[1 - 0.901 \times \left\{ 1 - \exp\left(-1/16 \cdot \sqrt{\eta_2}\right) \right\} \right] \\ &= 0.6 \times \frac{\boxed{}}{259.8} \times \left[1 - 0.901 \times \left\{ 1 - \exp\left(-1/16 \times \sqrt{259.8}\right) \right\} \right] \\ &= 180.89 \end{aligned}$$

f_b : モーメントに対する座屈応力

$$\begin{aligned} &= F \cdot \left[1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \{F - \Phi_b(\eta_3)\} \cdot (\eta - \eta_1) \right] \\ &= 302 \times \left[1 - \frac{1}{8400 \cdot 9.80665} \times (302 - 180.18) \times (50.5 - 39.0) \right] \\ &= 296 \text{ MPa} \end{aligned}$$

なお、

$$\begin{aligned} \phi_b(\eta_3) &= 0.6 \cdot \frac{E}{\eta_3} \left[1 - 0.731 \times \left\{ 1 - \exp\left(-1/16 \cdot \sqrt{\eta_3}\right) \right\} \right] \\ &= 0.6 \times \frac{\boxed{}}{311.7} \times \left[1 - 0.731 \times \left\{ 1 - \exp\left(-1/16 \times \sqrt{311.7}\right) \right\} \right] \\ &= 180.18 \end{aligned}$$

α : 安全率

$$= 1.0 + \frac{F}{13600 \cdot g} \cdot (\eta - \eta_1)$$

$$= 1.0 + \frac{302}{13600 \times 9.80665} \times (50.5 - 39.0)$$

$$= 1.1$$

F : 設計・建設規格 SSB-3121.1(1) a.(b)において定めるF値 (=302 MPa)

E : 材料の縦弾性係数 (= MPa)

t : スカートの板厚 (= mm)

R_m : スカート平均半径 (= mm)

η : R_m/t (=)

η_1 : 1200 · g/F (=39.0)

η_2 : 8000 · g/F (=259.8)

η_3 : 9600 · g/F (=311.7)

許容応力状態Ⅲ_AS

$$\frac{\alpha \cdot (V_1 + V_2)/A}{f_c} + \frac{\alpha \cdot (M/Z)}{f_b}$$

$$= \frac{1.1 \times \text{[]}}{295} + \frac{1.1 \times \text{[]}}{296} = 0.2$$

許容応力状態Ⅳ_AS

$$\frac{\alpha \cdot (V_1 + V_2)/A}{f_c} + \frac{\alpha \cdot (M/Z)}{f_b}$$

$$= \frac{1.1 \times \text{[]}}{295} + \frac{1.1 \times \text{[]}}{296} = 0.3$$

各許容応力状態における軸圧縮応力の評価を表3-6に示す。

表3-6より、各許容応力状態における圧縮応力の評価は、許容値を満足する。

表3-2 スカートの一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

評価面	許容応力状態 ⅢA S		許容応力状態 ⅣA S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	22	454	42	490
P01' P02'	44	454	65	490

表3-3 スカートの一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

分類	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	*1 $S_n^{\#1}$	*2 $S_n^{\#2}$	許容値 $3 \cdot S_m$
P01	72	130	552
P01'	72	130	552
P02	142	255	552
P02'	142	255	552

注記*1： $S_n^{\#1}$ は許容応力状態ⅢA Sによる一次+二次応力差の最大範囲を示す。

*2： $S_n^{\#2}$ は許容応力状態ⅣA Sによる一次+二次応力差の最大範囲を示す。

表3-4 スカートの疲労累積係数の評価のまとめ

分類	疲労累積係数	
	U _f	許容値
P01	0.0118	1
P01'	0.0118	1
P02	0.0126	1
P02'	0.0126	1

表3-5 スカートの軸圧縮応力に用いる荷重

許容応力状態	鉛直力		モーメント M (kN・m)
	V ₁ (kN)	V ₂ (kN)	
Ⅲ _A S			
Ⅳ _A S			

表3-6 スカートの軸圧縮応力の評価のまとめ

許容応力状態	計算結果	許容値
Ⅲ _A S	0.2	1
Ⅳ _A S	0.3	1

V-3-2 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の強度に関する説明書

V-3-2-1 燃料取扱設備及び使用済燃料貯蔵設備の強度計算書

V-3-2-1-1 使用済燃料乾式貯蔵容器の強度計算書
(支持構造物の応力計算書)

目 次

1. 概要	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 計算結果の概要	1
2. 応力計算	2
2.1 応力評価点	2
2.2 貯蔵時	2
2.2.1 荷重条件	2
2.2.2 計算方法	2
2.2.3 計算結果	3
2.3 貯蔵時（ S_d^* 及び S_s 地震力が作用する場合）	4
2.3.1 荷重条件	4
2.3.2 計算方法	4
2.3.3 計算結果	7
3. 応力の評価	8
3.1 一次応力の評価	8
3.2 一次＋二次応力の評価	8
3.3 組合せ応力の評価	8

・補足資料－1 支持構造物の応力解析の方針

図 表 目 次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点(面)·····	9
図 2-1	地震時に作用する荷重の計算モデル·····	10
表 1-1	計算結果の概要·····	11
表 2-1	支持構造物の応力評価（設計事象 I）·····	12
表 2-2	支持構造物の応力評価（貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合）·····	13
表 2-3	支持構造物の応力評価（貯蔵時： S_s 地震力が作用する場合）·····	14

1. 概要

本計算書は、使用済燃料乾式貯蔵容器の支持構造物に関する応力計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、応力評価上厳しくなる評価点(面)を本計算書に記載している。

2. 応力計算

2.1 応力評価点

支持構造物の応力評価点（面）を図 1-1 に示す。

2.2 貯蔵時

2.2.1 荷重条件

貯蔵時における荷重は次に示す組合せとする。

自重＋熱荷重

2.2.2 計算方法

リブ及び支持台座の応力計算は以下に示すとおりである。なお、トラニオン固定ボルト、容器押え金具、アンカーボルト及びトラニオン固定金具については、（自重＋熱荷重）により発生する応力は無視できるため評価を省略する。

(1) リブ

a. 一次応力

(a) 圧縮応力

自重によりリブに生じる圧縮応力(σ_c)は次式により与えられる。

$$\sigma_c = (W_c + n \cdot W_s) \cdot G / (n \cdot A) \dots\dots\dots (2. 1)$$

- ここで、W_c : 貯蔵容器質量 (= kg)
- n : 支持台の数 (=)
- W_s : 支持台 1 個の質量 (= kg)
- G : 重力加速度 (= 9.81 m/s²)
- A : 断面積 (= mm²)

b. 一次＋二次応力

(a) 引張・圧縮応力

キャスク容器の熱膨張による応力は無視できるので、リブに発生する応力は(2. 1)式と同様に与えられる。

(2) 支持台座

a. 一次応力

(a) 支圧応力

自重により支持台座に生じる支圧応力(σ_p)は次式により与えられる。

$$\sigma_p = W_c \cdot G / (n \cdot A) \dots\dots\dots (2. 2)$$

- ここで、W_c, G, n : 2.2.2 項(1)a. (a)と同じ
- A : 支持台座のキャスク容器底面接触面積 (= mm²)

b. 一次＋二次応力

(a) 支圧応力

キャスク容器の熱膨張による応力は無視できるので、支持台座に発生する支圧応力は、(2. 2)式と同様に与えられる。

2.2.3 計算結果

応力計算結果を表 2-1 に示す。

2.3 貯蔵時（ S_d^* 及び S_s 地震力が作用する場合）

2.3.1 荷重条件

貯蔵時において S_d^* 及び S_s 地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。

地震力 + 自重 + 熱荷重

2.3.2 計算方法

トラニオン固定ボルト，トラニオン固定金具，リブ，アンカーボルト，容器押え金具及び支持台座の応力計算は以下に示すとおりである。

(1) トラニオン固定ボルト

a. 引張応力

トラニオン固定ボルトに作用する最大引張力 (F_1) は，図 2-1 に示す支持台①に生じ，次式により与えられる。

$$F_1 = \frac{G_1 \cdot h_{CG} - G_2 \cdot a_2}{\frac{2a_2^2}{a_1} + a_1} W_c \dots\dots\dots (2. 3)$$

ここで， $G_1 = \alpha_H$ ， $G_2 = 9.81 - \alpha_v$

α_H : 水平方向設計加速度 ($=C_H G = 11.48m/s^2$)

α_v : 鉛直方向設計加速度 ($=C_v G = 6.38m/s^2$)

h_{CG} : 貯蔵容器底面から重心までの高さ ($=$ mm)

a_1 : 支点 O から支持台①のトラニオン固定金具中心までの距離
($=$ mm)

a_2 : 支点 O から支持台②のトラニオン固定金具中心までの距離
($=$ mm)

W_c : 2.2.2 項(1)a. (a)と同じ

この引張力 (F_1) によりトラニオン固定ボルトに発生する引張応力 (σ_t) は次式で表わされる。

$$\sigma_t = F_1 / (n \cdot A) \dots\dots\dots (2. 4)$$

ここで， F_1 : 引張力 ($=1.19 \times 10^6$ N)

n : トラニオン固定金具 1 組当たりのボルトの本数 ($=$)

A : トラニオン固定ボルト (M45) の断面積 ($=$ mm²)

(2) トラニオン固定金具

a. 一次応力

(a) 曲げ応力

トラニオン固定金具にはトラニオン固定ボルトの引張力 (F_1) により曲げ応力 (σ_b) が発生し，次式により与えられる。

$$\sigma_b = \frac{L}{4 \cdot Z} F_1 \dots\dots\dots (2. 5)$$

ここで、 F_1 : 引張力 (= 1.19×10^6 N)

L : トラニオン固定ボルト間距離 (mm)
 Z : トラニオン固定金具の断面係数 (= mm³)

b. 一次+二次応力

(a) 曲げ応力

トラニオン固定ボルトの引張力(F_1)による曲げ応力の全振幅(σ_b)は、(2. 5)式と同様に与えられる。

(3) リ ブ

a. 一次応力

(a) 引張応力

トラニオン固定ボルトの引張力(F_1)によりリブに発生する引張応力(σ_t)は、次式により与えられる。

$$\sigma_t = F_1 / A \dots\dots\dots (2. 6)$$

ここで、 F_1 : 引張力 (= 1.19×10^6 N)
 A : 2.2.2 項(1)a. (a)と同じ

(b) 圧縮応力

リブに作用する最大圧縮力(F_c)は支持台③に生じ、次式により与えられる。

$$F_c = G_2 \times (W_c + W_s) + 2F_2 + F_1 \dots\dots\dots (2. 7)$$

ここで、 $G_1 = \alpha_H$, $G_2 = 9.81 + \alpha_v$

α_H , α_v : 2.3.2 項(1)a. と同じ

W_c , W_s : 2.2.2 項(1)a. (a)と同じ

F_1 : (2. 3)式と同じ (= 1.19×10^6 N)

F_2 : 支持台②での引張力 (= $\frac{a_2}{a_1} F_1 = 5.44 \times 10^5$ N)

a_1 , a_2 : 2.3.2 項(1)a. と同じ

この圧縮力(F_c)によりリブに発生する圧縮応力(σ_c)は次式で表わされる。

$$\sigma_c = F_c / A \dots\dots\dots (2. 8)$$

ここで、 F_c : 圧縮力 (= 4.20×10^6 N)

A : 2.2.2 項(1)a. (a)と同じ

b. 一次+二次応力

(a) 引張・圧縮応力

地震力のみによる応力の全振幅(σ)は、次式で表わされる。

$$\sigma = \sigma_t + \sigma_c \dots\dots\dots (2. 9)$$

ここで、 σ_t : 2.3.2 項(3)a. (a)と同じ

σ_c : 2.3.2 項(3)a. (b)と同じ

(4) アンカーボルト

a. 引張応力

(2. 3)式により与えられる引張力(F_1)によりアンカーボルトに生じる引張応力(σ_t)は次式により与えられる。

$$\sigma_t = F_1 / (n \cdot A) \dots\dots\dots (2. 10)$$

ここで, F_1 : 引張力 ($=1.19 \times 10^6$ N)

n : 支持台 1 個当たりのアンカーボルトの本数 ()

A : アンカーボルト(M36)の断面積 (mm²)

b. せん断応力

アンカーボルトに作用する最大水平力(F_H)は支持台③に生じ, 次式により与えられる。

$$F_H = \alpha_H \cdot (W_c + W_s) \dots\dots\dots (2. 11)$$

ここで, α_H : 2.3.2項(1)a.と同じ

W_c, W_s : 2.2.2項(1)a. (a)と同じ

この水平力(F_H)によりアンカーボルトに発生するせん断応力(τ)は, 次式で表わされる。

$$\tau = F_H / (n \cdot A) \dots\dots\dots (2. 12)$$

ここで, F_H : 水平力 ($=1.36 \times 10^6$ N)

n, A : 2.3.2 項(4)a.と同じ

(5) 容器押え金具

a. 一次応力

(a) 圧縮応力

容器押え金具に作用する最大水平力(F_H)は支持台③に生じ, 次式により与えられる。

$$F_H = \alpha_H \cdot W_c \dots\dots\dots (2. 13)$$

ここで, α_H : 2.3.2項(1)a.と同じ

W_c : 2.2.2項(1)a. (a)と同じ

水平力(F_H)より容器押え金具に発生する圧縮応力(σ_c)は次式で表わされる。

$$\sigma_c = F_H / (n \cdot A) \dots\dots\dots (2. 14)$$

ここで, F_H : 水平力 ($=1.35 \times 10^6$ N)

n : 支持台 1 個当たりの容器押え金具の本数 ()

A : 容器押え金具の断面積 (mm²)

b. 一次+二次応力

(a) 引張・圧縮応力

地震力のみによる応力の全振幅(σ)は、(2. 1 4)式と同様に与えられる。

(6) 支持台座

a. 一次応力

(a) 支圧応力

支持台座に作用する最大圧縮力(F_c)は支持台③に生じ、次式により与えられる。

$$F_c = G_2 \times W_c + 2F_2 + F_1 \cdots \cdots \cdots (2. 1 5)$$

ここで、 $G_1 = \alpha_H$, $G_2 = 9.81 + \alpha_v$

α_H, α_v : 2.3.2 項(1)a. と同じ

W_c : 2.2.2 項(1)a. (a) と同じ

F_1, F_2 : 2.3.2 項(3)a. (b) と同じ

圧縮力(F_c)により発生する支圧応力(σ_p)は次式で表わされる。

$$\sigma_p = F_c / A \cdots \cdots \cdots (2. 1 6)$$

ここで、 F_c : 圧縮力 ($=4.19 \times 10^6$ N)

A : 2.2.2 項(2)a. (a) と同じ

b. 一次+二次応力

(a) 支圧応力

地震力のみによる支圧応力の全振幅(σ_p)は(2. 1 6)式と同様に与えられる。

2.3.3 計算結果

応力計算結果を表 2-2 及び表 2-3 に示す。

3. 応力の評価

3.1 一次応力の評価

各設計事象における評価を表 2-1, 表 2-2 及び表 2-3 に示す。

表 2-1, 表 2-2 及び表 2-3 より, 各設計事象の一次応力は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

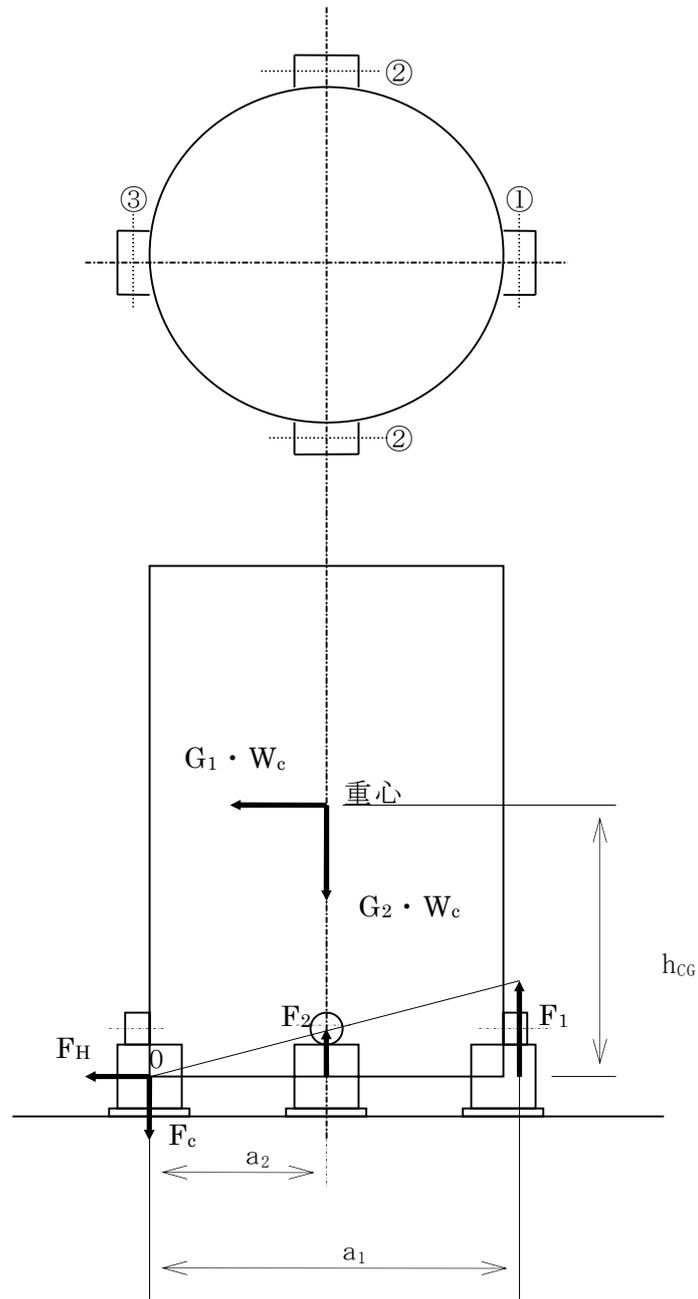
3.2 一次+二次応力の評価

各設計事象における評価を表 2-1, 表 2-2 及び表 2-3 に示す。

表 2-1, 表 2-2 及び表 2-3 より, 各設計事象の一次+二次応力は「応力解析の方針」5.5 項の規定を満足する。

3.3 組合せ応力の評価

各設計事象において, 組合せ応力の評価はない。



○ : 支持台番号

図 2-1 地震時に作用する荷重の計算モデル

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材 料	設計事象	一次応力		一次+二次応力	
			計算値	許容応力	計算値	許容応力
リブ		I	6	181	6	543
		I + S _d *	80	271	103	543
		I + S _s	80	307	103	543
支持台座		I	3	201	3	301
		I + S _d *	36	301	36	301
		I + S _s	36	361	36	361
トラニオン 固定金具		I + S _d *	477	637	477	1275
		I + S _s	477	637	477	1275
容器押え 金具		I + S _d *	380	543	380	1275
	I + S _s	380	543	380	1275	

NT2 補① V-3-2-1-1 R0

(単位：MPa)

部 位	材 料	設計事象	引張応力		せん断応力	
			計算値	許容応力	計算値	許容応力
トラニオン 固定ボルト		I + S _d *	375	478	/	
		I + S _s	375	478		
アンカー ボルト		I + S _d *	197	261	225	340
		I + S _s	197	261	225	340

表 2-1 支持構造物の応力評価（設計事象 I）

（単位：MPa）

部 位	応力の種類		貯蔵時		許容応力
			計算値	評価点 (面)	
リ ブ	一次応力	圧縮応力	6	①	181
	一次+二次応力	圧縮応力	6	①	543
支持台座	一次応力	支圧応力	3	②	201
	一次+二次応力	支圧応力	3	②	301

表 2-2 支持構造物の応力評価（貯蔵時： S_d^* 地震力が作用する場合）

（単位：MPa）

部 位	応力の種類		計算値	評価点 (面)	許容応力 ²⁾
トラニオン 固定金具	一次応力	曲げ応力	477	③	637
	一次+二次応力 ¹⁾	曲げ応力	477	③	1275
リ ブ	一次応力	引張応力	23	①	271
		圧縮応力	80	①	271
	一次+二次応力 ¹⁾	引張・圧縮 応力	103	①	543
容器押え金具	一次応力	圧縮応力	380	④	543
	一次+二次応力 ¹⁾	引張・圧縮 応力	380	④	1275
支持台座	一次応力	支圧応力	36	②	301
	一次+二次応力 ¹⁾	支圧応力	36	②	301
トラニオン 固定ボルト	—	引張応力	375	⑤	478
アンカーボルト	—	引張応力	197	⑥	261
		せん断応力	225	⑥	340

注記 1)：地震力のみによる全振幅について評価する。

2)：許容応力状態Ⅲ_ASの許容応力にて評価を行う。

表 2-3 支持構造物の応力評価（貯蔵時：S_s地震力が作用する場合）

（単位：MPa）

部 位	応力の種類		計算値	評価点 (面)	許容応力 ²⁾
トラニオン 固定金具	一次応力	曲げ応力	477	③	637
	一次+二次応力 ¹⁾	曲げ応力	477	③	1275
リ ブ	一次応力	引張応力	23	①	307
		圧縮応力	80	①	307
	一次+二次応力 ¹⁾	引張・圧縮 応力	103	①	543
容器押え金具	一次応力	圧縮応力	380	④	543
	一次+二次応力 ¹⁾	引張・圧縮 応力	380	④	1275
支持台座	一次応力	支圧応力	36	②	361
	一次+二次応力 ¹⁾	支圧応力	36	②	361
トラニオン 固定ボルト	—	引張応力	375	⑤	478
アンカーボルト	—	引張応力	197	⑥	261
		せん断応力	225	⑥	340

注記 1)：地震力のみによる全振幅について評価する。

2)：許容応力状態IV_ASの許容応力にて評価を行う。

補足資料－1

支持構造物の応力解析の方針

目 次

1.	概要	1
2.	適用基準	2
3.	記号	3
3.1	記号の説明	3
4.	設計条件	5
4.1	基本仕様	5
4.2	設計事象	5
4.3	荷重の種類とその組合せ	5
5.	計算条件	6
5.1	解析対象とする事象	6
5.2	解析箇所	6
5.3	形状及び寸法	6
5.4	物性値	6
5.5	許容応力	7
6.	応力解析の手順	9
6.1	解析手順の概要	9
6.2	荷重条件の選定	9
6.3	応力計算と評価	9
6.3.1	応力計算の方法	9
6.3.2	応力評価	9
6.3.3	数値の丸め方	10

R0
V-3-2-1-1
補①
NT2

図 表 目 次

図 5-1	支持構造物の応力解析箇所	11
図 6-1	支持構造物の応力解析フロー図	12
表 4-1	貯蔵容器の設計事象	13
表 4-2	支持構造物の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ	13
表 5-1	代表事象	14
表 5-2	熱応力計算に使用する材料の物性値	14
表 6-1	支持構造物用材料の許容応力値	15
表 6-2	支持構造物用材料（ボルト用材料）の許容応力値	17
表 6-3	数値の丸め方一覧表	18

1. 概要

本書は、使用済燃料乾式貯蔵容器の支持構造物に関する応力解析の方針を述べるものである。

注：図表は、一括して巻末に示す。

2. 適用基準

使用済燃料乾式貯蔵容器において、支持構造物は、貯蔵時における貯蔵容器を固縛する構造物であり、キャスク容器の評価方法との整合をとり、「発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む））JSME S NC1-2005/2007）（日本機械学会2007年9月）」（以下、「設計・建設規格」という。）のクラス1支持構造物に従って設計する。

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・建設規格〇〇〇－〇〇〇〇」として示す。

3. 記号

3.1 記号の説明

本書及び応力計算書において、応力評価に関する以下の記号を使用する。ただし、本文中に特記ある場合は、この限りでない。

なお、応力計算書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	断面積	mm ²
a ₁	地震時の貯蔵容器回転支点Oから支持台①のトラニオン固定金具中心までの距離	mm
a ₂	地震時の貯蔵容器回転支点Oから支持台②のトラニオン固定金具中心評価位置までの距離	mm
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F _c	圧縮力	N
F ₁	支持台①の引張力	N
F ₂	支持台②の引張力	N
f _T	せん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
f _t	許容引張応力	MPa
f _s	許容せん断応力	MPa
f _c	許容圧縮応力	MPa
f _b	許容曲げ応力	MPa
f _p	許容支圧応力	MPa
f _t ^{* 1)}	許容引張応力	MPa
f _s ^{* 1)}	許容せん断応力	MPa
f _c ^{* 1)}	許容圧縮応力	MPa
f _b ^{* 1)}	許容曲げ応力	MPa
f _p ^{* 1)}	許容支圧応力	MPa
G ₁	水平方向加速度	m/s ²
G ₂	鉛直方向加速度	m/s ²
G	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h _{CG}	貯蔵容器底面から重心までの高さ	mm

注記 1) : f_t^{*}, f_s^{*}, f_c^{*}, f_b^{*}, f_p^{*} : f_t, f_s, f_c, f_b, f_p の値を算出する際に設計・建設規格 SSB-3121.1(1)における「付録材料図表 Part5 表8に規定する材料の設計降伏点」とあるのを「付録材料図表 Part5 表8に規定する材料の設計降伏点の1.2倍の値」と読み替えて算出した値。

計算書の記号	記号の説明	単位
L	トラニオン固定ボルト間距離	mm
N	部材の数	—
S_{d^*}	弾性設計用地震動 S_{d^*} による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方	—
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
W_c	貯蔵容器質量	kg
W_s	支持台 1 個の質量	kg
Z	断面係数	mm ³
σ	評価断面に垂直な方向の応力	MPa
σ_b	曲げ応力	MPa
${}_c\sigma_b$	圧縮側曲げ応力	MPa
${}_t\sigma_b$	引張側曲げ応力	MPa
σ_c	圧縮応力	MPa
σ_p	支圧応力	MPa
σ_T	組合せ応力	MPa
σ_t	引張応力	MPa
τ	せん断応力	MPa
α_H	水平方向設計加速度	m/s ²
α_V	鉛直方向設計加速度	m/s ²
$I + S_{d^*}$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_{d^*} 地震力が作用した場合の許容応力区分	—
$I + S_s$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用した場合の許容応力区分	—

4. 設計条件

支持構造物は以下の設計条件に耐えるように設計する。

4.1 基本仕様

最高使用温度： 130 °C

4.2 設計事象

設計上考慮する事象を表 4-1 に示す。

4.3 荷重の種類とその組合せ

支持構造物の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 4-2 に示す。応力解析に用いる荷重は応力計算書に記載する。

5. 計算条件

5.1 解析対象とする事象

設計事象 I における事象のうち、表 5-1 に示すように荷重条件等を考慮して代表事象を選定し、代表事象について解析を実施する。

5.2 解析箇所

支持構造物の応力解析を行う箇所は次のとおりである。(図 5-1 参照)

- (1) 支持台座
- (2) トラニオン固定金具
- (3) 容器押え金具
- (4) トラニオン固定ボルト
- (5) リブ
- (6) アンカーボルト

5.3 形状及び寸法

応力解析を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。

5.4 物性値

応力計算に使用する材料の物性値は下記のとおりである。

- (1) 熱応力計算に使用する物性値を表 5-2 に示す。
- (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（130℃）に対する値を用いる。
 なお、常温は 20℃とする。

5.5 許容応力

材料の応力強さの限界及び許容応力は、次の各号に掲げるとおりとする。

- (1) 支持構造物（ボルトを除く）にあつては、次によること。
 - a. 設計事象 I において生じる一次応力は、設計・建設規格 SSB-3121.1 の規定を満足すること。
 - b. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用して生じる一次応力は、設計・建設規格 SSB-3121.2 の規定を満足すること。
 - c. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる一次応力は、設計・建設規格 SSB-3121.3 の規定を満足すること。
 - d. 設計事象 I において生じる一次応力と二次応力（キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。）を加えて求めた応力は、設計・建設規格 SSB-3122.1 の規定を満足すること。
 - e. 設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力（キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。）を加えて求め

- た応力は、次の値を超えないこと。
- (a) 引張応力と圧縮応力のサイクルにおける最大値と最小値との差（引張応力の符号は正とし、圧縮応力の符号は負として計算する。）については、設計・建設規格 SSB-3122.1(1)の規定を満足すること。
 - (b) せん断応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(2)の規定を満足すること。
 - (c) 曲げ応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(3)の規定を満足すること。
 - (d) 支圧応力については、設計・建設規格 SSB-3122.1(4)の規定を満足すること。
 - (e) 座屈応力については、設計・建設規格 SSB-3121.1(2)，(3)又は(4)に定める値の1.5倍を超えないこと。
- f. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_s 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力（キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。）を加えて求めた応力は、次の規定を満足すること。
- (a) 引張応力及び圧縮応力のサイクルにおける最大値と最小値との差（引張応力の符号は正とし、圧縮応力の符号は負として計算する。）については、設計・建設規格 SSB-3122.1(1)の規定を満足すること。
 - (b) せん断応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(2)の規定を満足すること。
 - (c) 曲げ応力のサイクルにおける最大値と最小値との差については、設計・建設規格 SSB-3122.1(3)の規定を満足すること。
 - (d) 支圧応力については、設計・建設規格 SSB-3122.1(4)の規定を満足すること。
この場合において、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.本文中「付録材料図表 Part5 表8に規定する材料の設計降伏点」とあるのは、「付録材料図表 Part5 表8に規定する材料の設計降伏点の1.2倍の値」に読み替えるものとする。
 - (e) 座屈応力については、設計・建設規格 SSB-3121.1(2)，(3)又は(4)に定める値の1.5倍を超えないこと。
- g. e.及びf.において応力の組合せが考えられる場合は、組合せ応力に対する評価は設計・建設規格 SSB-3121.1(6)の規定による。
- (2) ボルトにあっては、次によること。
- a. 設計事象Ⅰにおいて呼び径断面に生じる応力は、設計・建設規格 SSB-3131の規定を満足すること。
 - b. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用して呼び径断面に生じる応力は、設計・建設規格 SSB-3132の規定を満足すること。
 - c. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して呼び径断面に生じる応力は、設計・建設規格 SSB-3133の規定を満足すること。
- (3) (1)及び(2)において、設計・建設規格の「供用状態A」及び「供用状態B」は、それぞれ「設計事象Ⅰ」及び「設計事象Ⅱ」と読み替える。

許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

6. 応力解析の手順

応力解析を行う場合の手順について一般的な事項を述べる。

6.1 解析手順の概要

支持構造物の応力解析フローを図 6-1 に示す。

支持構造物の応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に応力評価式を用いて行う。

6.2 荷重条件の選定

荷重条件は 4. 項に示されているが、各部の計算においては、その部分についての重要な荷重条件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は応力計算書に示す。

6.3 応力計算と評価

6.3.1 応力計算の方法

(1) 応力計算は荷重毎に行う。荷重条件として与えられるものは次の 2 つである。

- a. 機械的荷重
- b. 熱荷重

(2) 貯蔵時に貯蔵容器に地震力が作用する場合の上方向，下方向，水平方向荷重は，それぞれトラニオン固定金具，支持台座，容器押え金具で支持する。

なお，荷重作用点位置は荷重支持面の中央点とする。

(3) 構造の不連続性を考慮して応力評価点(面)をとる。評価点(面)は，応力計算書に示す。

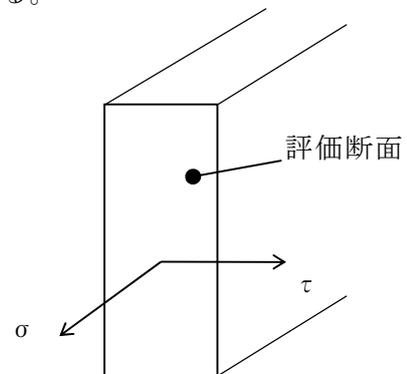
応力評価は，この応力評価点(面)について行う。

6.3.2 応力評価

応力の計算結果は，設計・建設規格 GNR-2130 による定義に従い，応力の種類毎に分類し，以下の評価を応力計算書に示す。

なお，応力の記号とその方向は次のとおりである。

- σ : 評価断面に垂直な方向の応力
- τ : せん断応力



支持構造物用材料の許容応力値を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

(1) 支持構造物（ボルトを除く）の応力評価

支持構造物の応力評価は，設計・建設規格 SSB-3120 に従い以下の項目を実施する。

- a. 一次応力
- b. 一次＋二次応力
- c. 組合せ応力

(2) ボルトの応力評価

ボルトの応力評価は，設計・建設規格 SSB-3130 に従い実施する。

6.3.3 数値の丸め方

数値は，原則として四捨五入とする。また，評価に用いる許容応力及び算出応力等については，安全側に丸めて使用する。

また，規格，基準等により決まる数値については丸めず，規格，基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を表 6-3 に示す。

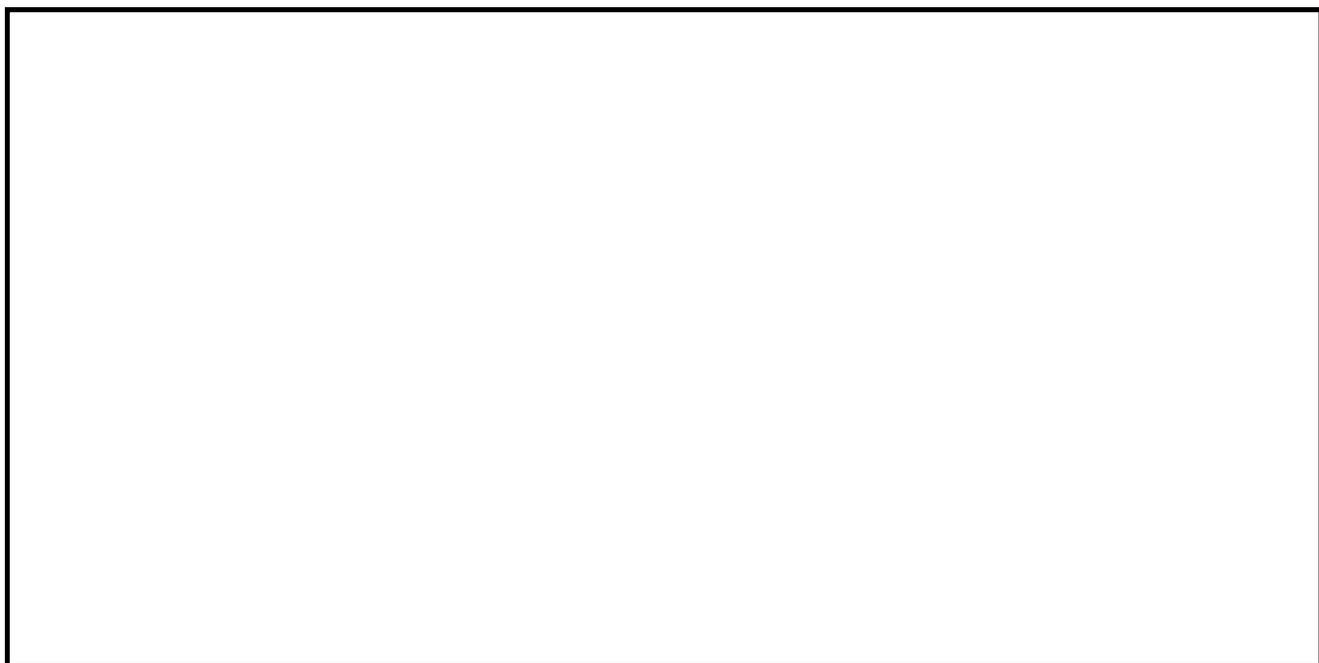


図 5-1 支持構造物の応力解析箇所

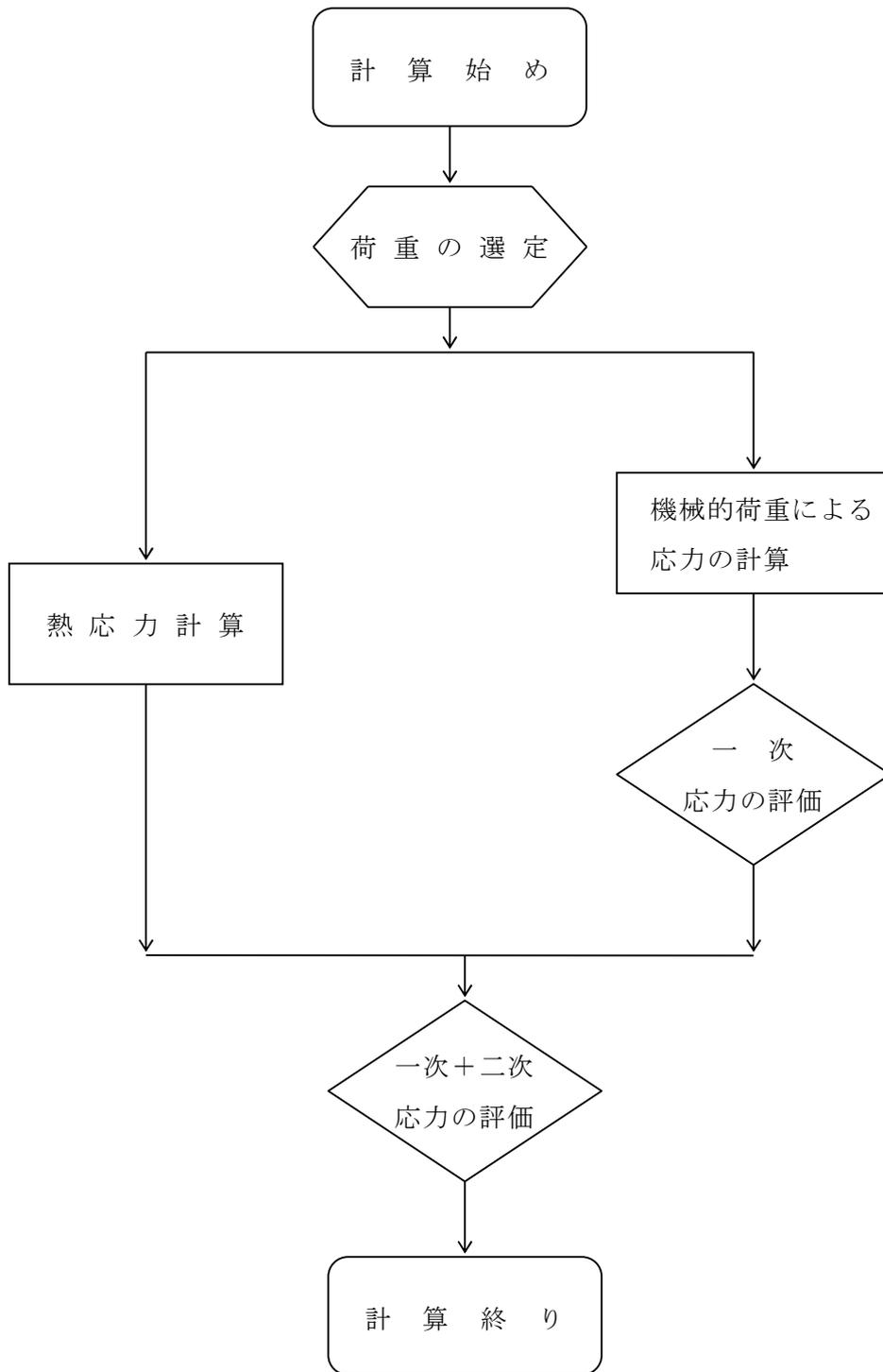


図 6-1 支持構造物の応力解析フロー図

表 4-1 貯蔵容器の設計事象

設計事象	定義	解説	事象の例	選定事象
I	貯蔵容器の通常 の取扱い時及び貯蔵 時の状態をいう。	貯蔵状態及び計画的な取扱い 状態。	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵 貯蔵容器の吊 上げ, 吊下げ, 移動 事業所内運搬 	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵

表 4-2 支持構造物の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象	荷重時	荷 重					熱荷重 (1)	備 考
		自重による荷重	運搬時荷重	吊上げ荷重	衝撃荷重	異常着床・ 支持構造物への衝突		
I	貯 蔵 時	○					○	(2)

- (1) キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。
- (2) S_d^* 地震力及び S_s 地震力は、設計事象 I の貯蔵時における荷重と組み合わせるものとする。

表 5-1 代 表 事 象

設計事象	代表事象 ¹⁾	包絡される事象	荷重条件	備 考
I	貯 蔵 時	————	自 重: 1G (=9.81m/s ²) 熱荷重	設計事象 I のうち大半の期間を占める代表事象。
I + S _d *	貯 蔵 時 (S _d *地震力が作用する場合)	————	自 重: 1G (=9.81m/s ²) 地震力 水平方向: C _H G=1.17G (=11.48m/s ²) 鉛直方向: C _V G=0.65G (=6.38m/s ²) 熱荷重	許容応力状態 III _A S で評価
I + S _s	貯 蔵 時 (S _s 地震力が作用する場合)	————	自 重: 1G (=9.81m/s ²) 地震力 水平方向: C _H G=1.17G (=11.48m/s ²) 鉛直方向: C _V G=0.65G (=6.38m/s ²) 熱荷重	許容応力状態 IV _A S で評価

注記 1) : 本事象について応力解析を行う。

表 5-2 熱応力計算に使用する材料の物性値

構成部材	材 料	温 度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	熱膨張係数 (×10 ⁻⁶ mm/mm °C)
リ ブ		130	196000	11.38
支持台座		130	196000	11.38
アンカーボルト		130	198000	11.38
トラニオン固定ボルト 容器押え金具		130	185000	12.04
トラニオン固定金具		130	185000	12.04

表 6-1 (1) 支持構造物用材料の許容応力値

許容応力 区 分	応 力 の 種 類		許 容 応 力 値 (MPa)				許容値基準
			炭素鋼		合金鋼	合金鋼	
			リブ	支持台座	トラン ク 固定金具	容器押え 金具	
設計事象 I ¹⁾	一次 応力	引張応力	181	148	425	425	f _t
		圧縮応力	181	147	421	362	f _c
		せん断応力	104	85	245	245	f _s
		曲げ応力	181	148	425	425	f _b
		支圧応力	247	201	580	580	f _p
	一 次 + 二 次 応 力	引張・圧縮応力	543	444	1275	1275	3 f _t
		せん断応力	312	255	735	735	3 f _s
		曲げ応力	543	444	1275	1275	3 f _b
		支圧応力	370	301	870	870	1.5 f _p
		座屈応力	156	127	367	367	1.5 f _s 又は 1.5 f _c
I + S _d [*] 1)	一次 応力	引張応力	271	222	637	637	1.5 f _t
		圧縮応力	271	220	631	543	1.5 f _c
		せん断応力	156	127	367	367	1.5 f _s
		曲げ応力	271	222	637	637	1.5 f _b
		支圧応力	370	301	870	870	1.5 f _p
	一 次 + 二 次 応 力	引張・圧縮応力 ²⁾	543	444	1275	1275	3 f _t
		せん断応力 ²⁾	312	255	735	735	3 f _s
		曲げ応力 ²⁾	543	444	1275	1275	3 f _b
		支圧応力	370	301	870	870	1.5 f _p
		座屈応力	156	127	367	367	1.5 f _b , 1.5 f _s 又は 1.5 f _c

注記 1) : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は以下による。

- ①次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力(σ)とせん断応力(τ)を組み合わせた応力(σ_τ)は、引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ②圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_c|}{f_c} + \frac{|\sigma_b|}{f_b} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|t\sigma_b| - |\sigma_c|}{f_t} \leq 1$$

- ③引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_t| + |t\sigma_b|}{f_t} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|c\sigma_b| - |\sigma_t|}{f_b} \leq 1$$

ただし、②及び③において、設計事象 I の一次応力については上式による。

I + S_d^{*} の一次応力の場合、分母の f_c, f_b, f_t は、1.5 f_c, 1.5 f_b, 1.5 f_t とする。

I + S_d^{*} の一次+二次応力の場合、分母の f_c, f_b, f_t は、3 f_c, 3 f_b, 3 f_t とする。

- 2) : S_d^{*} 地震力のみによる全振幅について評価する。

表 6-1 (2) 支持構造物用材料の許容応力値

許容応力 区 分	応 力 の 種 類		許 容 応 力 値 (MPa)				許容値基準
			炭素鋼		合金鋼	合金鋼	
			リ ブ	支持台座	ト ラ ン ク 固 定 金 具	容 器 押 え 金 具	
I + S _s ¹⁾	一 次 応 力	引張応力	307	265	637	637	1.5 f _t [*]
		圧縮応力	307	265	631	543	1.5 f _c [*]
		せん断応力	177	153	367	367	1.5 f _s [*]
		曲げ応力	307	265	637	637	1.5 f _b [*]
		支圧応力	420	361	870	870	1.5 f _p [*]
	一 次 + 二 次 応 力	引張・圧縮 力 ²⁾	543	444	1275	1275	3 f _t
		せん断応力 ²⁾	312	255	735	735	3 f _s
		曲げ応力 ²⁾	543	444	1275	1275	3 f _b
		支圧応力	420	361	870	870	1.5 f _p [*]
		座屈応力	156	127	367	367	1.5 f _b , 1.5 f _s 又は 1.5 f _c

注記 1) : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は以下による。

- ①次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力(σ)とせん断応力(τ)を組み合わせた応力(σ_T)は、引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ②圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_c|}{1.5f_c^*} + \frac{|c\sigma_b|}{1.5f_b^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|t\sigma_b| - |\sigma_c|}{1.5f_t^*} \leq 1$$

- ③引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_t| + |t\sigma_b|}{1.5f_t^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|c\sigma_b| - |\sigma_t|}{1.5f_b^*} \leq 1$$

ただし、②及び③において、一次応力については上式による。一次+二次応力の場合、分母の 1.5 f_c^{*}、1.5 f_b^{*}、1.5 f_t^{*}は、3 f_c、3 f_b、3 f_tとする。

- 2) : S_s地震力のみによる全振幅について評価する。

表 6-2 支持構造物用材料（ボルト用材料）の許容応力値

許容応力 区 分	応 力 の 種 類	許 容 応 力 値 (MPa)		
		合金鋼	低合金鋼	許容値基準
		トラニオン固定ボルト	アンカーボルト	
設計事象 I ¹⁾	引張応力	319 ¹⁾	296 ¹⁾	f_t
	せん断応力	245	227	f_s
I + S _d * ¹⁾	引張応力	478 ¹⁾	261 ¹⁾	1.5 f_t
	せん断応力	367	340	1.5 f_s
I + S _s ¹⁾	引張応力	478 ¹⁾	261 ¹⁾	1.5 f_t^*
	せん断応力	367	340	1.5 f_s^*

注記 1) : 組合せ応力が考えられる場合の許容引張応力値は、次の 2 つの計算式により計算した値のいずれか小さい方の値とする。

$$f_T = 1.4 f_t - 1.6 \tau$$

$$f_T = f_t$$

ここで、 τ : ボルトに発生するせん断応力 (MPa)

ただし、設計事象 I の一次応力については上式による。

I + S_d* の場合、 f_t は 1.5 f_t とする。

I + S_s の場合、 f_t は 1.5 f_t^* とする。

表 6-3 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単 位	処 理 桁	処 理 法	表示最小桁
最高使用温度	℃	—	—	設 計 値
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
許容応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切 捨 て	整 数 値 位
計算応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切 上 げ	整 数 値 位
長 さ	mm	—	—	設 計 値
設 計 震 度	—	小数点以下第 3 位	切 上 げ	小数点以下第 2 位
面 積	mm ²	有効数字 4 桁目	安全側に処理する	有効数字 3 桁
力	N	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
断 面 係 数	mm ³	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
質 量	kg	—	—	設 計 値

(タイプⅡ)

目次

1. 概要	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 計算結果の概要	1
2. 応力計算	2
2.1 応力評価点	2
2.2 貯蔵時	2
2.2.1 荷重条件	2
2.2.2 計算方法	2
2.2.3 計算結果	3
2.3 貯蔵時 (S_d^* 地震力が作用する場合)	3
2.3.1 荷重条件	3
2.3.2 計算方法	3
2.3.3 計算結果	7
2.4 貯蔵時 (S_s 地震力が作用する場合)	7
2.4.1 荷重条件	7
2.4.2 計算方法	7
2.4.3 計算結果	7
3. 応力の評価	8
3.1 一次応力の評価	8
3.2 一次+二次応力の評価	8
3.3 組合せ応力の評価	8

・補足資料－1：支持構造物の応力解析の方針

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点（面）	9
図 1-2	形状・寸法・材料・応力評価点（面）	10
図 2-1	地震時に作用する荷重の計算モデル	11
表 1-1	計算結果の概要	12
表 2-1	支持構造物の応力評価（設計事象 I）	13
表 2-2	支持構造物の応力評価（貯蔵時： S_d^* 地震力が作用する場合）	14
表 2-3	支持構造物の応力評価（貯蔵時： S_s 地震力が作用する場合）	15

1. 概要

本計算書は、支持構造物に関する応力計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 及び図 1-2 に示す。

1.2 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1(1), (2)に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、応力評価上厳しくなる代表的な評価点（面）を本計算書に記載している。

2. 応力計算

2.1 応力評価点

支持構造物の応力評価点（面）を図 1-1 及び図 1-2 に示す。

2.2 貯蔵時

2.2.1 荷重条件

貯蔵時における荷重は次に示す組合せとする。

自重+熱荷重

2.2.2 計算方法

リブ及び支持台座の応力計算は以下に示すとおりである。なお、トラニオン固定ボルト、容器押えボルト、アンカーボルト、トラニオン固定金具及び支持台用フレームについては、(自重+熱荷重)により発生する応力は無視できるため評価を省略する。

(1) リブ

a. 一次応力

(a) 圧縮応力

自重によりリブに生じる圧縮応力(σ_c)は次式で計算する。

$$\sigma_c = (m_c + n \cdot m_s) \cdot G / (n \cdot A) \dots\dots\dots (2.1)$$

- ここで、 m_c : 貯蔵容器質量 (= g)
- n : 支持台の数 ()
- m_s : 支持台 1 個の質量 (g)
- G : 重力加速度 (=9.80665m/s²)
- A : 断面積 (= mm²)

b. 一次+二次応力

(a) 引張・圧縮応力

キャスク容器の熱膨張による応力は無視できるので、リブに発生する応力は(2.1)式と同様に計算する。

(2) 支持台座

a. 一次応力

(a) 支圧応力

自重により支持台座に生じる支圧応力(σ_p)は次式で計算する。

$$\sigma_p = m_c \cdot G / (n \cdot A) \dots\dots\dots (2.2)$$

- ここで、 m_c , G , n : (1)a.(a)と同じ
- A : 支持台座の貯蔵容器底面接触面積
(= mm²)

b. 一次＋二次応力

(a) 支圧応力

キャスク容器の熱膨張による応力は無視できるので、支持台座に発生する支圧応力は、(2.2)式と同様に計算する。

2.2.3 計算結果

応力計算結果を表 2-1 に示す。

2.3 貯蔵時 (S_d*地震力が作用する場合)

2.3.1 荷重条件

貯蔵時において S_d*地震力が作用する場合の荷重は、次に示す組合せとする。なお、地震力には S_s地震力を適用する。

地震力＋自重＋熱荷重＋トラニオン固定ボルトの初期締付け力

2.3.2 計算方法

トラニオン固定ボルト、トラニオン固定金具、リブ、アンカーボルト、容器押えボルト、支持台座及び支持台用フレームの応力計算は以下に示すとおりである。

(1) トラニオン固定ボルト

a. 引張応力

トラニオン固定ボルトに作用する最大引張力(F₁)は、図 2-1 に示す支持台①に生じ、次式で計算する。

$$F_1 = \frac{G_1 \cdot h_{CG} - G_2 \cdot a_2}{\frac{2 \cdot a_2^2}{a_1} + a_1} \cdot m_c \dots\dots\dots (2.3)$$

ここで、G₁ = C_H・G、G₂ = (1 - C_V)・G

G₁ : 水平方向加速度 (m/s²)

G₂ : 鉛直方向加速度 (m/s²)

C_H : 水平方向設計震度 (=1.17)

C_V : 鉛直方向設計震度 (=0.65)

G : 2.2.2(1)a.(a)と同じ

h_{CG} : 貯蔵容器底面から重心までの高さ (m)

a₁ : 支点Oから支持台①のトラニオン固定金具中心までの距離 (m)

a₂ : 支点Oから支持台②のトラニオン固定金具中心までの距離 (mm)

m_c : 2.2.2(1)a.(a)と同じ

この引張力(F₁)によりトラニオン固定ボルトに発生する引張応力(σ_t)は次式で計算する。

$$\sigma_t = F_1 / (n \cdot A) \dots\dots\dots (2.4)$$

ここで、 F_1 : (2.3)式と同じ

n : トラニオン固定金具 1 組当たりのボルトの本数 (=)

A : トラニオン固定ボルト(M48)の断面積 (= mm^2)

(2) トラニオン固定金具

a. 一次応力

(a) 曲げ応力

トラニオン固定金具にはトラニオン固定ボルトの引張力(F_1)及びトラニオン固定ボルトの初期締付け力(F_3)により曲げ応力(σ_b)が発生し、次式で計算する。

$$\sigma_b = \frac{L}{4 \cdot Z} \cdot (F_1 + F_3) \dots \dots \dots (2.5)$$

ここで、 F_1 : (2.3)式と同じ

F_3 : トラニオン固定ボルトの初期締付け力 (= $5.840 \times 10^5 \text{N}$)

L : トラニオン固定ボルト間距離 (m)

Z : トラニオン固定金具の断面係数 (= mm^3)

b. 一次+二次応力

(a) 曲げ応力

トラニオン固定ボルトの引張力(F_1)による曲げ応力の全振幅(σ_b)は、(2.5)式と同様に計算する。

(3) リブ

a. 一次応力

(a) 引張応力

トラニオン固定ボルトの引張力(F_1)によりリブに発生する引張応力(σ_t)は、次式で計算する。

$$\sigma_t = F_1 / A \dots \dots \dots (2.6)$$

ここで、 F_1 : (2.3)式と同じ

A : 2.2.2(1)a.(a)と同じ

(b) 圧縮応力

リブに作用する最大圧縮力(F_c)は図 2-1 に示す支持台③に生じ、次式で計算する。

$$F_c = G_2 \cdot (m_c + m_s) + 2 \cdot F_2 + F_1 \dots \dots \dots (2.7)$$

ここで、 $G_1 = C_H \cdot G$, $G_2 = (1 + C_V) \cdot G$

G_1 : 水平方向加速度 (m/s^2)

G_2 : 鉛直方向加速度 (m/s^2)

C_H, C_V : (1)a.と同じ

m_c, m_s, G : 2.2.2(1)a.(a)と同じ

F_1 : (2.3)式と同じ

F_2 : 支持台②での引張力 (= $\frac{a_2}{a_1} \cdot F_1$) (N)

a_1, a_2 : (1)a.と同じ

この圧縮力(F_c)によりリブに発生する圧縮応力(σ_c)は次式で計算する。

$$\sigma_c = F_c / A \cdots \cdots \cdots (2.8)$$

ここで, F_c : (2.7)式と同じ

A : 2.2.2(1)a. (a)と同じ

b. 一次+二次応力

(a) 引張・圧縮応力

地震力のみによる応力の全振幅(σ)は, 次式で計算する。

$$\sigma = \sigma_t + \sigma_c \cdots \cdots \cdots (2.9)$$

ここで, σ_t : (2.6)式と同じ

σ_c : (2.8)式と同じ

(4) アンカーボルト

支持台は図1-2に示すように形鋼で互いに接合されている。荷重がA部に加わると支持台用フレームを介してB部の支持台でも荷重を受ける。

a. 引張応力

(2.3)式により計算する引張力(F_1)によりアンカーボルトに生じる引張応力(σ_t)は次式で計算する。

$$\sigma_t = F_1 / (n \cdot A) \cdots \cdots \cdots (2.10)$$

ここで, F_1 : (2.3)式と同じ

n : 支持台1個当たりのアンカーボルトの本数 (=)

A : アンカーボルト(M36)の断面積 (= m^2)

b. せん断応力

アンカーボルトに作用する最大水平力(F_H)は図2-1に示す支持台③に生じ, 次式で計算する。

$$F_H = C_H \cdot G \cdot (m_c + n_1 \cdot m_s) \cdots \cdots \cdots (2.11)$$

ここで, C_H : (1)a.と同じ

m_c, m_s, G : 2.2.2(1)a. (a)と同じ

n_1 : 支持台の数 ()

この水平力(F_H)は支持台2箇所です受けることから, アンカーボルトに発生するせん断応力(τ)は, 次式で計算する。

$$\tau = F_H / (2 \cdot n \cdot A) \cdots \cdots \cdots (2.12)$$

ここで, F_H : (2.11)式と同じ

n, A : a.と同じ

(5) 容器押えボルト

a. 一次応力

(a) 圧縮応力

容器押えボルトに作用する最大水平力(F_H)は図2-1に示す支持台③に生じ, 次式で計算する。

$$F_H = C_H \cdot G \cdot m_c \cdots \cdots \cdots (2.13)$$

ここで, C_H : (1)a. と同じ

m_c, G : 2.2.2(1)a. (a) と同じ

水平力(F_H)により容器押えボルトに発生する圧縮応力(σ_c)は次式で計算する。

$$\sigma_c = F_H / (n \cdot A) \dots \dots \dots (2.14)$$

ここで, F_H : (2.13)式と同じ

n : 支持台 1 個当たりの容器押えボルトの本数 ()

A : 容器押えボルトの断面積 (m²)

b. 一次+二次応力

(a) 座屈応力

容器押えボルトには地震時以外に外荷重が作用しないので, 地震力による座屈応力の最大値(σ)は, (2.14)式と同様に計算する。

(6) 支持台座

a. 一次応力

(a) 支圧応力

支持台座に作用する最大圧縮力(F_c)は図 2-1 に示す支持台③に生じ, 次式で計算する。

$$F_c = G_2 \cdot m_c + 2 \cdot F_2 + F_1 + F_3 \dots \dots \dots (2.15)$$

ここで, $G_1 = C_H \cdot G$, $G_2 = (1 + C_V) \cdot G$

G_1 : 水平方向加速度 (m/s²)

G_2 : 鉛直方向加速度 (m/s²)

C_H, C_V : (1)a. と同じ

m_c, G : 2.2.2(1)a. (a) と同じ

F_1 : (2.3)式と同じ

F_2 : (3)a. (b)と同じ

F_3 : (2)a. (a)と同じ

圧縮力(F_c)により発生する支圧応力(σ_p)は次式で計算する。

$$\sigma_p = F_c / A \dots \dots \dots (2.16)$$

ここで, F_c : (2.15)式と同じ

A : 2.2.2(2)a. (a)と同じ

b. 一次+二次応力

(a) 支圧応力

支圧応力(σ_p)は(2.16)式と同様に計算する。

(7) 支持台用フレーム

a. 一次応力

(a) 引張応力

支持台用フレームには, (2.11)式により計算する最大水平力(F_H)の 1/2 の荷重が加わり, このときの引張応力 (σ_t)は次式で計算する。

$$\sigma_t = F_H / (2 \cdot A) \dots \dots \dots (2.17)$$

ここで、 F_H ：(2.11)式と同じ

A ：支持台用フレームの断面積（mm²）

b. 一次＋二次応力

(a) 引張応力

最大水平荷重による引張応力の全振幅(σ_t)は、(2.17)式と同様に計算する。

2.3.3 計算結果

応力計算結果を表 2-2 に示す。

2.4 貯蔵時 (S_s 地震力が作用する場合)

2.4.1 荷重条件

貯蔵時において S_s 地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。

地震力＋自重＋熱荷重＋トラニオン固定ボルトの初期締付け力

2.4.2 計算方法

トラニオン固定ボルト、トラニオン固定金具、リブ、アンカーボルト、容器押えボルト、支持台座及び支持台用フレームの応力計算は 2.3.2 項と同様である。

ただし、 C_H ：水平方向設計震度（=1.17）

C_V ：鉛直方向設計震度（=0.65）

2.4.3 計算結果

応力計算結果を表 2-3 に示す。

3. 応力の評価

3.1 一次応力の評価

各設計事象における評価を表 2-1, 表 2-2 及び表 2-3 に示す。

表 2-1, 表 2-2 及び表 2-3 より, 各設計事象の一次応力は補足資料-1「支持構造物の応力解析の方針」5.5 節の各規定を満足する。

3.2 一次+二次応力の評価

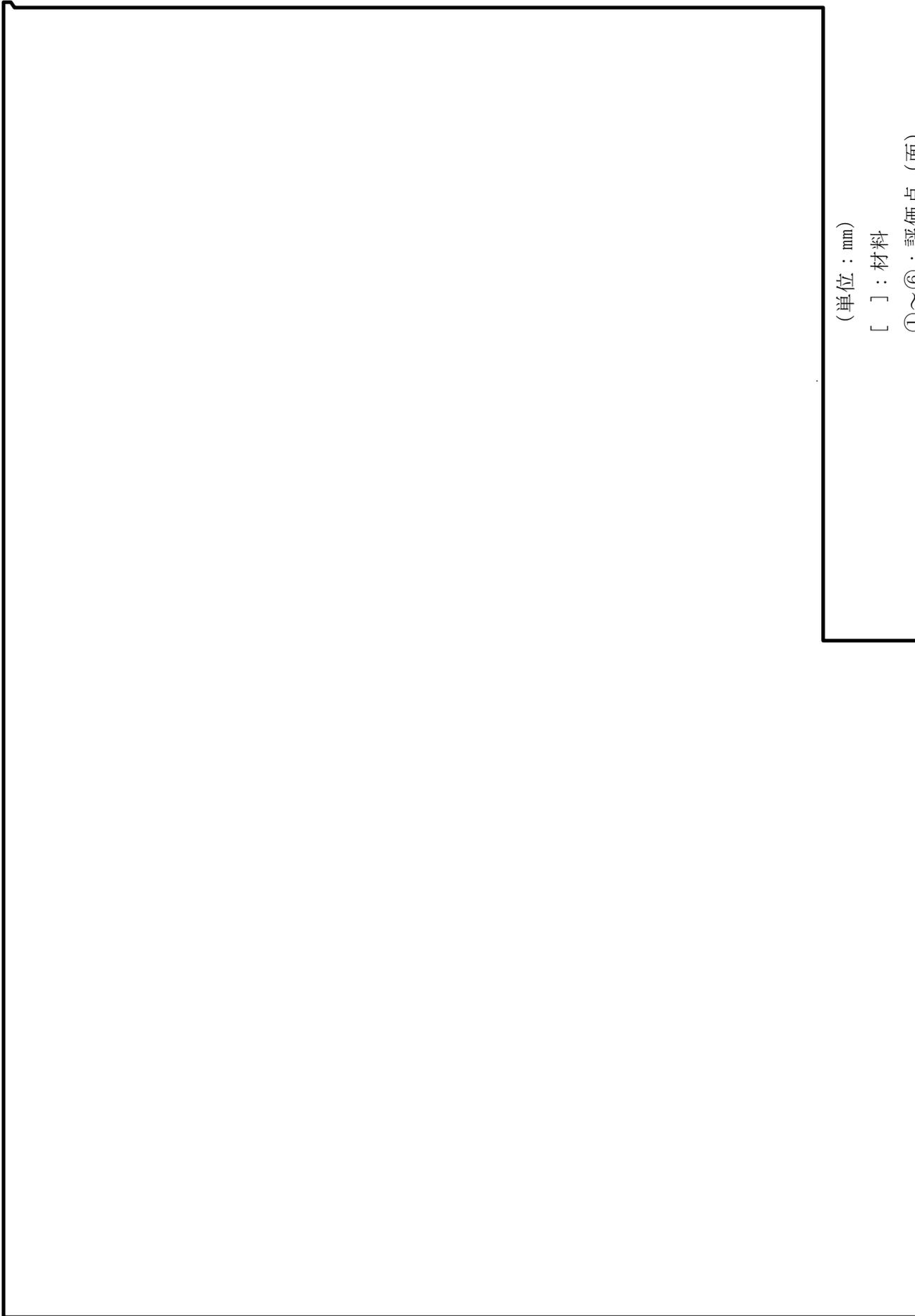
各設計事象における評価を表 2-1, 表 2-2 及び表 2-3 に示す。

表 2-1, 表 2-2 及び表 2-3 より, 各設計事象の一次+二次応力は補足資料-1「支持構造物の応力解析の方針」5.5 節の各規定を満足する。

3.3 組合せ応力の評価

各設計事象における評価を表 2-2 及び表 2-3 に示す。

表 2-2 及び表 2-3 より, 各設計事象における組合せ応力は補足資料-1「支持構造物の応力解析の方針」5.5 節の各規定を満足する。

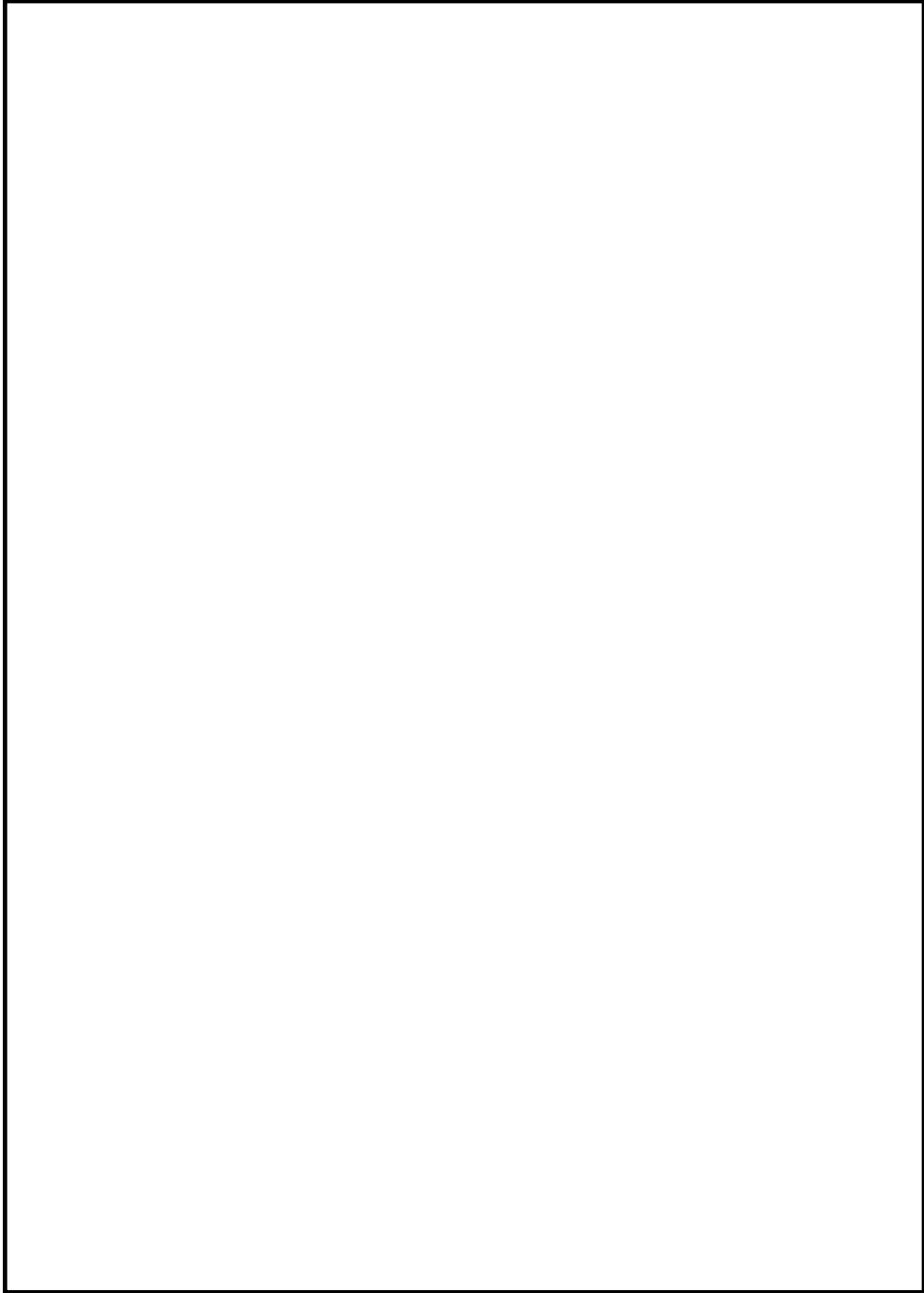


(単位：mm)

[]：材料

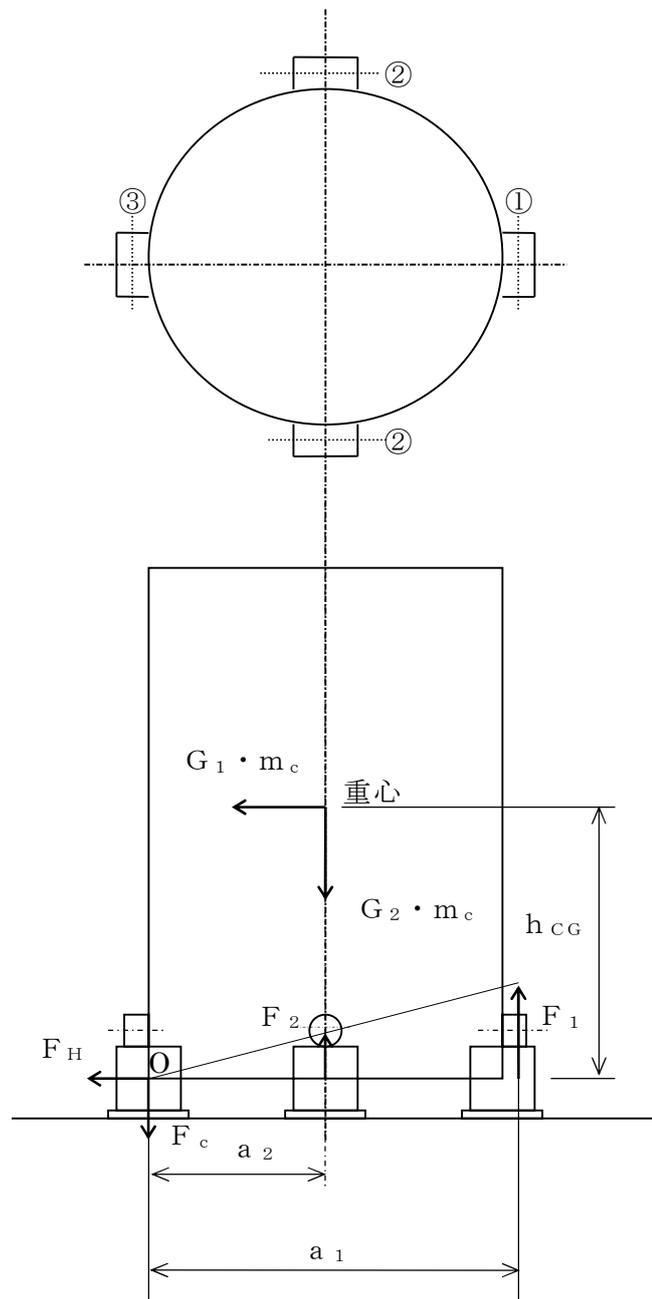
①～⑥：評価点 (面)

図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (面)



[] : 材料
⑦ : 応力評価点 (面)

図 1-2 形状・寸法・材料・応力評価点 (面)



①～③：支持台番号

図 2-1 地震時に作用する荷重の計算モデル

表 1-1(1) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材 料	設計事象	一次応力		一次+二次応力	
			計算値	許容応力	計算値	許容応力
リブ		I	5	189	5	610
		$I + S_d^*$	64	284	81	610
		$I + S_s$	64	314	81	610
支持台座		I	3	201	3	302
		$I + S_d^*$	41	302	41	302
		$I + S_s$	41	362	41	362
トラニオン 固定金具		$I + S_d^*$	401	591	401	1182
		$I + S_s$	401	591	401	1182
容器押え ボルト		$I + S_d^*$	417	631	417	631
		$I + S_s$	417	631	417	631
支持台用 フレーム	$I + S_d^*$	99	212	99	424	
	$I + S_s$	99	254	99	424	

表 1-1(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部 位	材 料	設計事象	引張応力		せん断応力		組合せ応力	
			計算値	許容応力	計算値	許容応力	計算値	許容応力
トラニオン 固定ボルト		$I + S_d^*$	305	478	—	—	—	—
		$I + S_s$	305	478	—	—	—	—
アンカー ボルト		$I + S_d^*$	181	444	113	341	181	440
		$I + S_s$	181	444	113	341	181	440

表 2-1 支持構造物の応力評価（設計事象 I）

（単位：MPa）

部 位	応力の種類		貯蔵時		許容応力
			計算値	評価点 (面)	
リ ブ	一次応力	圧縮応力	5	①	189
	一次+二次応力	引張・圧縮応力	5	①	610
支持台座	一次応力	支圧応力	3	②	201
	一次+二次応力	支圧応力	3	②	302

表 2-2 支持構造物の応力評価（貯蔵時： S_d *地震力が作用する場合）

（単位：MPa）

部 位	応力の種類		計算値	評価点 (面)	許容応力
トラニオン 固定金具	一次応力	曲げ応力	401	③	591
	一次+二次応力 *	曲げ応力	401	③	1182
リ ブ	一次応力	引張応力	18	①	305
		圧縮応力	64	①	284
	一次+二次応力 *	引張・圧縮 応力	81	①	610
容器押えボルト	一次応力	圧縮応力	417	④	631
	一次+二次応力	座屈応力	417	④	631
支持台座	一次応力	支圧応力	41	②	302
	一次+二次応力	支圧応力	41	②	302
支持台用 フレーム	一次応力	引張応力	99	⑦	212
	一次+二次応力*	引張応力	99	⑦	424
トラニオン 固定ボルト	—	引張応力	305	⑤	478
アンカーボルト	—	引張応力	181	⑥	444
		せん断応力	113	⑥	341
		組合せ応力	181	⑥	440

注記 *：地震力のみによる全振幅について評価する。

表 2-3 支持構造物の応力評価（貯蔵時：S_s地震力が作用する場合）

（単位：MPa）

部 位	応力の種類		計算値	評価点 (面)	許容応力
トラニオン 固定金具	一次応力	曲げ応力	401	③	591
	一次+二次応力*	曲げ応力	401	③	1182
リ ブ	一次応力	引張応力	18	①	340
		圧縮応力	64	①	314
	一次+二次応力*	引張・圧縮 応力	81	①	610
容器押えボルト	一次応力	圧縮応力	417	④	631
	一次+二次応力	座屈応力	417	④	631
支持台座	一次応力	支圧応力	41	②	362
	一次+二次応力	支圧応力	41	②	362
支持台用 フレーム	一次応力	引張応力	99	⑦	254
	一次+二次応力*	引張応力	99	⑦	424
トラニオン 固定ボルト	—	引張応力	305	⑤	478
アンカーボルト	—	引張応力	181	⑥	444
		せん断応力	113	⑥	341
		組合せ応力	181	⑥	440

注記 *：地震力のみによる全振幅について評価する。

補足資料－ 1

支持構造物の応力解析の方針

目次

1. 概要	補 1-4
2. 適用基準	補 1-5
3. 記号	補 1-6
3.1 記号の説明	補 1-6
4. 設計条件	補 1-8
4.1 基本仕様	補 1-8
4.2 設計事象	補 1-8
4.3 荷重の種類とその組合せ	補 1-8
5. 計算条件	補 1-9
5.1 解析対象とする事象	補 1-9
5.2 解析箇所	補 1-9
5.3 形状及び寸法	補 1-9
5.4 物性値	補 1-9
5.5 許容応力	補 1-9
6. 応力解析の手順	補 1-11
6.1 解析手順の概要	補 1-11
6.2 荷重条件の選定	補 1-11
6.3 応力計算と評価	補 1-11
6.3.1 応力計算の方法	補 1-11
6.3.2 応力評価	補 1-11
6.3.3 数値の丸め方	補 1-12

図表目次

図 5-1	支持構造物の応力解析箇所	補 1-13
図 6-1	支持構造物の応力解析フロー図	補 1-14
表 4-1	貯蔵容器の設計事象	補 1-15
表 4-2	支持構造物の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ	補 1-16
表 5-1	代表事象	補 1-17
表 5-2	熱応力計算に使用する材料の物性値	補 1-18
表 6-1	支持構造物用材料の許容応力値	補 1-19
表 6-2	支持構造物用材料（ボルト用材料）の許容応力値	補 1-21
表 6-3	数値の丸め方一覧表	補 1-22

1. 概要

本図書は、使用済燃料乾式貯蔵容器の支持構造物に関する応力解析の方針を述べるものである。

注：図表は一括して巻末に示す。

2. 適用基準

当該支持構造物は、貯蔵時において貯蔵容器を固縛する構造物であることから、キャスク容器の評価手法との整合をとり、発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））JSME S NC 1-2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）におけるクラス1支持構造物に準じて強度評価を行う。

3. 記号

3.1 記号の説明

本書及び応力計算書において、応力評価に関する下記の記号を使用する。ただし、本文中に特記のある場合は、この限りでない。

なお、応力計算書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	断面積	mm ²
a ₁	地震時の貯蔵容器回転支点Oから支持台①のトラニオン固定金具中心までの距離	mm
a ₂	地震時の貯蔵容器回転支点Oから支持台②のトラニオン固定金具中心までの距離	mm
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
F _c	圧縮力	N
F ₁	支持台①の引張力	N
F ₂	支持台②の引張力	N
F ₃	トラニオン固定ボルトの初期締付け力	N
F _H	水平力	N
f _T	せん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
f _t	許容引張応力	MPa
f _s	許容せん断応力	MPa
f _c	許容圧縮応力	MPa
f _b	許容曲げ応力	MPa
f _p	許容支圧応力	MPa
f _t *	許容引張応力 *	MPa
f _s *	許容せん断応力 *	MPa
f _c *	許容圧縮応力 *	MPa
f _b *	許容曲げ応力 *	MPa
f _p *	許容支圧応力 *	MPa
G	重力加速度(=9.80665)	m/s ²
G ₁	水平方向加速度	m/s ²
G ₂	鉛直方向加速度	m/s ²
h _{CG}	貯蔵容器底面から重心までの高さ	mm
L	トラニオン固定ボルト間距離	mm
m _c	貯蔵容器質量	kg

注記 * : f_t*, f_s*, f_c*, f_b*, f_p*: f_t, f_s, f_c, f_b, f_pの値を算出する際に「設計・建設規格」 SSB-3121.1(1)a.の本文中「付録材料図表 Part5 表8に規定する材料の設計降伏点」とあるのを「付録材料図表 Part5 表8に規定する材料の設計降伏点の1.2倍の値」と読み替えて算出した値

計算書の記号	記号の説明	単位
m_s	支持台 1 個の質量	kg
n	部材の数	—
n_1	支持台の数	—
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方	—
S_s	基準地震動 S_s による地震力	—
Z	断面係数	mm^3
σ	評価断面に垂直な方向の応力	MPa
σ_b	曲げ応力	MPa
$c \sigma_b$	圧縮側曲げ応力	MPa
$t \sigma_b$	引張側曲げ応力	MPa
σ_c	圧縮応力	MPa
σ_p	支圧応力	MPa
σ_T	組合せ応力	MPa
σ_t	引張応力	MPa
τ	せん断応力	MPa
$I + S_d^*$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用した場合の許容応力状態	—
$I + S_s$	設計事象 I の貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用した場合の許容応力状態	—

4. 設計条件

支持構造物は以下の荷重条件に耐えるように設計する。

4.1 基本仕様

最高使用温度： 130 °C

4.2 設計事象

設計上考慮する事象については表 4-1 に示す。

4.3 荷重の種類とその組合せ

支持構造物の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 4-2 に示す。

5. 計算条件

5.1 解析対象とする事象

設計事象 I における事象のうち, 表 5-1 に示すように荷重条件等を考慮して代表事象を選定し, 代表事象について解析を実施する。

5.2 解析箇所

支持構造物の応力解析を行う箇所は, 次のとおりである。(図 5-1 参照)

- (1) 支持台座
- (2) トラニオン固定金具
- (3) 容器押えボルト
- (4) トラニオン固定ボルト
- (5) リブ
- (6) 支持台用フレーム
- (7) アンカーボルト

5.3 形状及び寸法

応力解析を行う部位の形状及び寸法は, 応力計算書に示す。

5.4 物性値

応力計算に使用する材料の物性値は以下のとおりである。

- (1) 熱応力計算に使用する物性値を表 5-2 に示す。
- (2) 機械的荷重による応力計算に使用する物性値は, 最高使用温度に対する値を用いる。なお, 常温は 20 °C とする。

5.5 許容応力

材料の応力強さの限界及び許容応力は, 次に掲げるとおりとする。

- (1) 支持構造物 (ボルトを除く) にあつては, 次によること。
 - a. 設計事象 I において生じる一次応力は, 「設計・建設規格」 SSB-3121.1 に定める値を超えないこと。
 - b. 設計事象 I の貯蔵時の状態において, S_d^* 地震力が作用して生じる一次応力は, 「設計・建設規格」 SSB-3121.2 に定める値を超えないこと。
 - c. 設計事象 I の貯蔵時の状態において, S_s 地震力が作用して生じる一次応力は, 「設計・建設規格」 SSB-3121.3 に定める値を超えないこと。
 - d. 設計事象 I において生じる一次応力と二次応力 (キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。) を加えて求めた応力は, 「設計・建設規格」 SSB-3122.1 に定める値を超えないこと。
 - e. 設計事象 I の貯蔵時の状態において, S_d^* 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力 (キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。) を加えて求めた応力は, 次の値を

超えないこと。

- (a) 引張応力と圧縮応力(引張応力の符号は正とし、圧縮応力の符号は負として計算する。)、せん断応力及び曲げ応力のサイクルにおける最大値と最小値の差、並びに支圧応力については、「設計・建設規格」 SSB-3122.1(1)、(2)、(3)及び(4)に定める値。
 - (b) 座屈応力については、「設計・建設規格」 SSB-3121.1(2)、(3)又は(4)に定める値の1.5倍の値。
- f. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_s 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力(キヤスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。)を加えて求めた応力は、次の値を超えないこと。
- (a) 引張応力と圧縮応力(引張応力の符号は正とし、圧縮応力の符号は負として計算する。)、せん断応力及び曲げ応力のサイクルにおける最大値と最小値の差は、「設計・建設規格」 SSB-3122.1(1)、(2)及び(3)に定める値。
 - (b) 支圧応力については、「設計・建設規格」 SSB-3122.1(4)に定める値。この場合において、「設計・建設規格」 SSB-3121.1(1)a.本文中「付録材料図表 Part5 表8に規定する材料の設計降伏点」とあるのは、「付録材料図表 Part5 表8に規定する材料の設計降伏点の1.2倍の値」に読み替える。
 - (c) 座屈応力については、「設計・建設規格」 SSB-3121.1(2)、(3)又は(4)に定める値の1.5倍の値。
- g. e.及びf.において応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は「設計・建設規格」 SSB-3121.1(6)による。
- (2) ボルトにあつては、次によること。
- a. 設計事象Ⅰにおいて呼び径断面に生じる応力は、「設計・建設規格」 SSB-3131に定める値を超えないこと。
 - b. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用して呼び径断面に生じる応力は、「設計・建設規格」 SSB-3132に定める値を超えないこと。
 - c. 設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して呼び径断面に生じる応力は、「設計・建設規格」 SSB-3133に定める値を超えないこと。
- (3) (1)及び(2)において、「設計・建設規格」の「供用状態A」、「供用状態B」、「供用状態C」及び「供用状態D」は、それぞれ「設計事象Ⅰ」、「設計事象Ⅱ」、「設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用して生じる場合」及び「設計事象Ⅰの貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用して生じる場合」と読み替える。

許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

6. 応力解析の手順

応力解析を行う場合の手順について一般的な事項を述べる。

6.1 解析手順の概要

支持構造物の応力解析フローを図 6-1 に示す。

支持構造物の応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に応力評価式を用いて行う。

6.2 荷重条件の選定

荷重条件は 4 章に示されているが、各部の計算においては、その部分について重要な荷重条件を選定して計算を行う。

6.3 応力計算と評価

6.3.1 応力計算の方法

(1) 応力計算は荷重ごとに行う。荷重条件として与えられるものは次の 2 つである。

- a. 機械的荷重
- b. 熱荷重

(2) 貯蔵時に貯蔵容器に地震力が作用する場合の上方向、下方向、水平方向荷重は、それぞれトランオン固定金具、支持台座、容器押えボルト及び支持台用フレームで支持する。
なお、荷重作用点位置は荷重支持面の中央部とする。

(3) 構造の不連続性を考慮して、応力評価点（面）をとる。評価点（面）は、計算書の形状図中に、番号〔例①〕で示す。

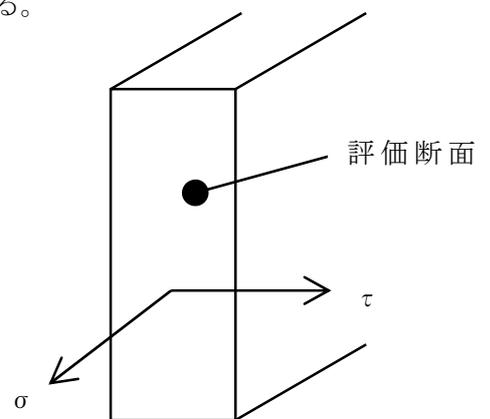
(4) 応力評価は、この応力評価点（面）について行う。

6.3.2 応力評価

応力の計算結果は、「設計・建設規格」GNR-2130 による定義に従い、応力の種類ごとに分類し、以下の評価を応力計算書に示す。

なお、応力の記号とその方向は以下のとおりである。

- σ : 評価断面に垂直な方向の応力
- τ : せん断応力



支持構造物用材料の許容応力値を表 6-1 及び 6-2 に示す。

- (1) 支持構造物（ボルトを除く。）の応力評価
支持構造物の応力評価は、「設計・建設規格」SSB-3120 に従い以下の項目を評価する。
 - a. 一次応力
 - b. 一次＋二次応力
 - c. 組合せ応力
- (2) ボルトの応力評価
ボルトの応力評価は、「設計・建設規格」SSB-3130 に従い評価する。

6.3.3 数値の丸め方

数値は原則として安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を表 6-3 に示す。

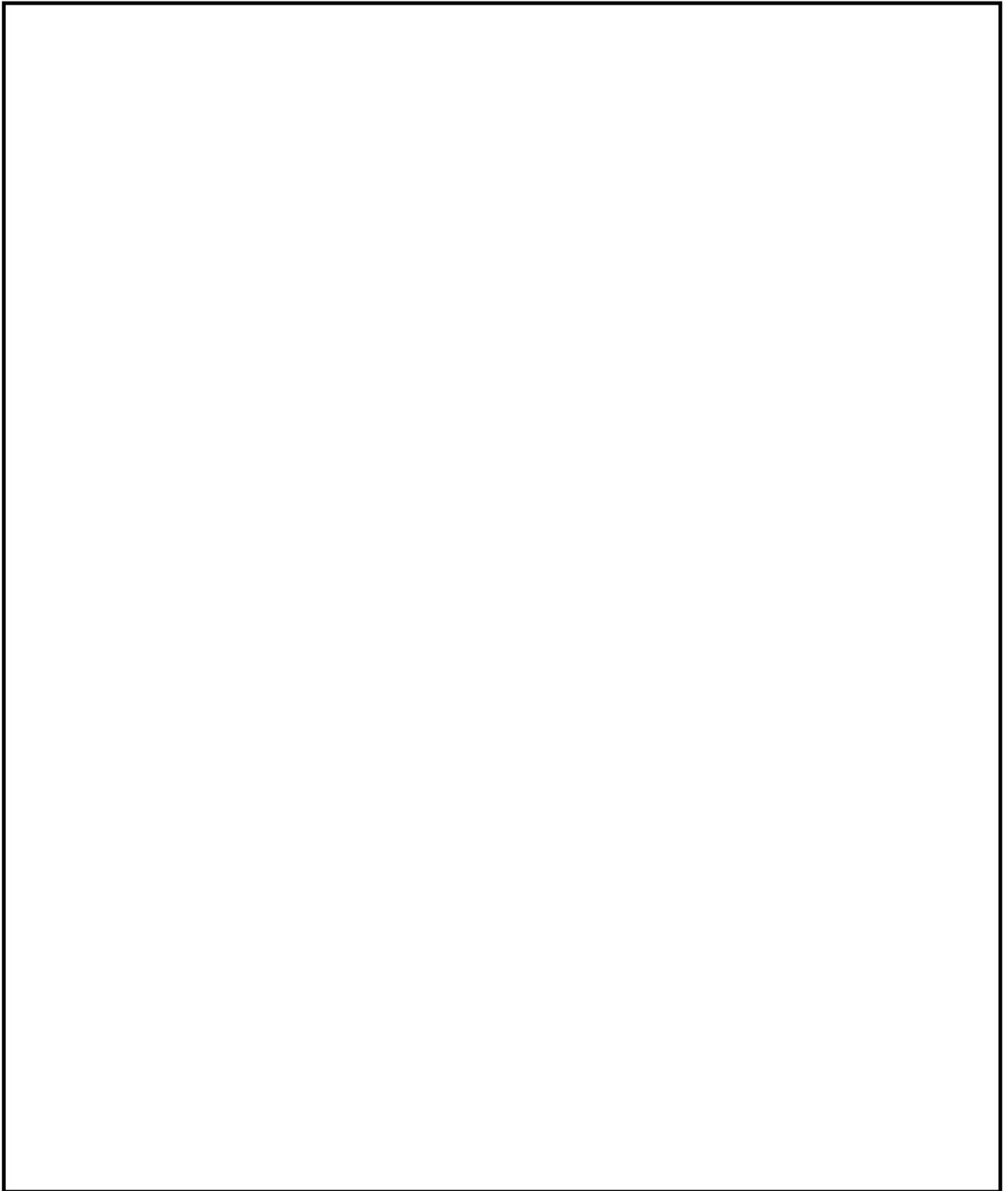


図 5-1 支持構造物の応力解析箇所

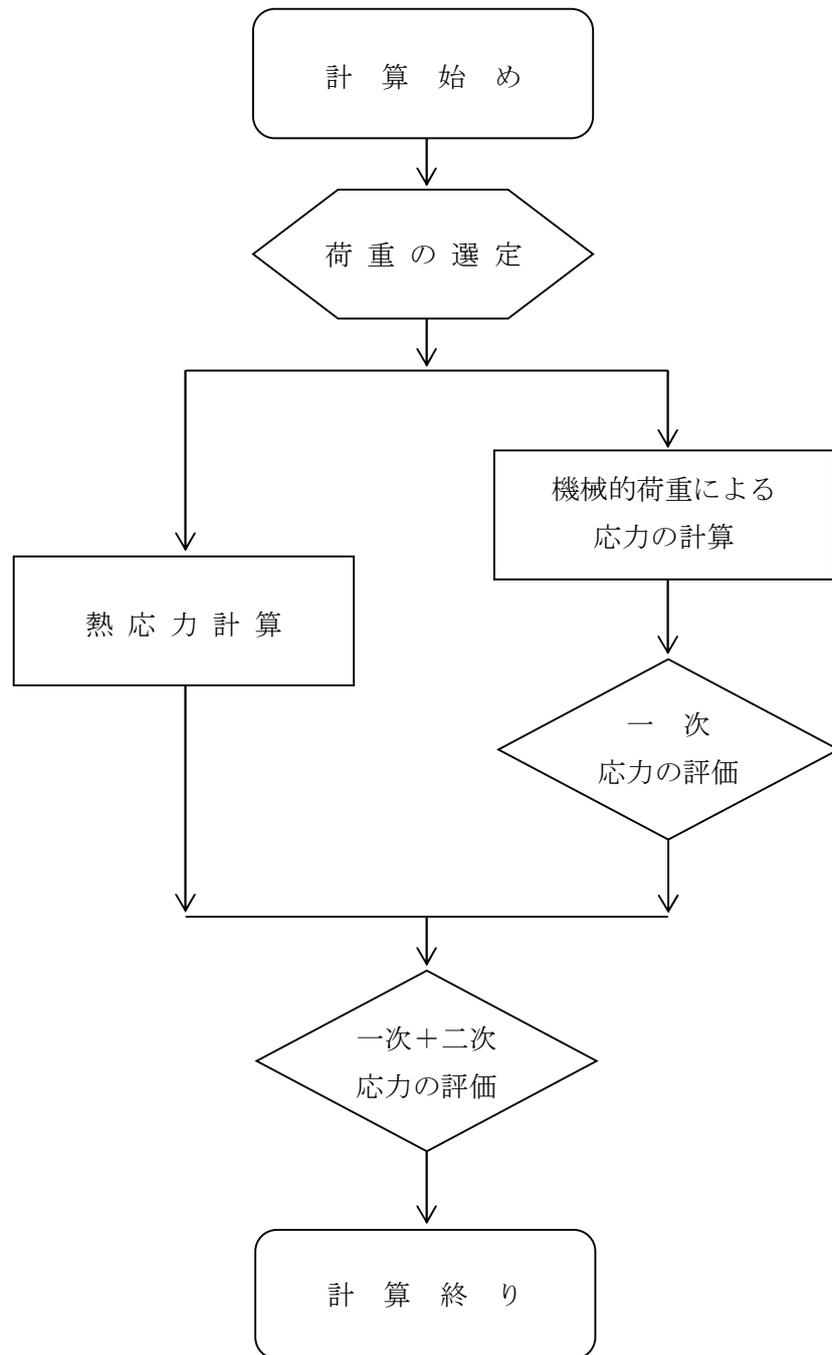


図 6-1 支持構造物の応力解析フロー図

表 4-1 貯蔵容器の設計事象

設計事象	定義	解説	事象の例	東海第二発電所における選定事象
I	貯蔵容器の通常 の取扱い時及び 貯蔵時の状態を いう。	貯蔵状態及び計画的な取扱い 状態。	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵 貯蔵容器の吊上 げ, 吊下げ, 移 動 事業所内運搬 	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵 貯蔵容器の吊上げ, 吊下げ, 移動 事業所内運搬 搬出前作業及び燃 料取出し作業
II	設計事象 I, 設 計事象 III, 設 計事象 IV 及び試験 状態以外の状態 をいう。	貯蔵容器の寿命程度の期間中 に予想される取扱い機器の単 一故障, 単一誤動作等の事象 によって, 貯蔵容器が通常貯 蔵状態あるいは通常取扱い状 態から外れるような状態をい う。	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵容器の異常 着床 取扱い機器の単 一故障, 誤動作 	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵容器の異常着 床 貯蔵容器の支持構 造物への衝突
III	貯蔵容器又はそ の取扱い機器等 の故障, 異常な 作動等により, 貯蔵又は計画さ れた取扱いの停 止が緊急に必要 とされる状態を いう。	発生頻度が十分低い事象によ って引き起こされる状態をい う。すなわち, 設計事象 II で いう機器の単一故障, 運転員 の単一誤操作等によって引き 起こされるもののうち, その 発生頻度が十分に低いと考え られるものを分類する。		
IV	貯蔵容器の安全 設計上想定され る異常な事態が 生じている状態 をいう。	発生頻度が極めて低く, 貯蔵 容器の寿命中に起こることは 考えられない事象によって引 き起こされる状態をいうが, 万一発生した場合の設計の妥 当性を確保するために特に設 けたものをいう。	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵容器の落下 	
試験 状態	耐圧試験により キャスク容器に 最高使用圧力を 超える圧力が加 えられている状 態をいう。		<ul style="list-style-type: none"> 耐圧試験 (製造時) 	<ul style="list-style-type: none"> 耐圧試験 (製造時)

表 4-2 支持構造物の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

<div style="text-align: center;">荷 重</div>		自重による荷重	熱荷重 *1	備考
I	貯蔵時	○	○	*2

注記 *1: キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。

*2: トラニオン固定ボルトの初期締付力, S_d *地震力及び S_s 地震力は, 設計事象 I の貯蔵時における荷重と組み合わせるものとする。

表 5-1 代表事象

設計事象	代表事象 *	包絡される事象	荷重条件	備考
I	貯蔵時	—	自重 熱荷重	設計事象 I のうち 大半の期間を占め る代表事象。
$I + S_d^*$	貯蔵時 $\left(S_d^* \text{地震力が} \right)$ 作用する場合	—	自重 トランニオン固定ボルトの初期締 付け力 地震力 水平方向 : 1.17G (=11.48m/s ²) 鉛直方向 : 0.65G (=6.38m/s ²) 熱荷重	—
$I + S_s$	貯蔵時 $\left(S_s \text{地震力が} \right)$ 作用する場合	—	自重 トランニオン固定ボルトの初期締 付け力 地震力 水平方向 : 1.17G (=11.48m/s ²) 鉛直方向 : 0.65G (=6.38m/s ²) 熱荷重	—

注記 * : 本事象について応力解析を行う。

表 5-2 熱応力計算に使用する材料の物性値

構成部材	材料	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	熱膨張係数 ($\times 10^{-6}$ mm/(mm \cdot °C))
リブ		130	196000	11.38
支持台座		130	196000	11.38
トラニオン固定ボルト		130	185000	12.04
容器押えボルト				
トラニオン固定金具		130	188000	11.25
アンカーボルト		130	198000	11.38
支持台用フレーム		130	195000	12.24

表 6-1 支持構造物用材料の許容応力値 (1/2)

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類		許容応力値					許容値基準
			炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	低合金鋼	炭素鋼	
			リブ	支持 台座	トラニオン 固定金具	容器押え ボルト	支持台用 フレーム	
設計事象 I	*1 一次 応力	引張応力	203	148	394	425	141	f_t
		圧縮応力	189	148	394	421	141	f_c
		せん断応力	117	85	227	245	81	f_s
		曲げ応力	203	148	394	425	141	f_b
		支圧応力	277	201	537	580	192	f_p
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力	610	444	1182	1276	424	$3 f_t$
		せん断応力	352	256	682	736	244	$3 f_s$
		曲げ応力	610	444	1182	1276	424	$3 f_b$
		支圧応力	415	302	805	870	289	$1.5 f_p$
		座屈応力	176	128	341	631	122	$1.5 f_s$ 又は $1.5 f_c$
I + S _d * ^{*1}	一次 応力	引張応力	305	222	591	638	212	$1.5 f_t$
		圧縮応力	284	222	591	631	212	$1.5 f_c$
		せん断応力	176	128	341	368	122	$1.5 f_s$
		曲げ応力	305	222	591	638	212	$1.5 f_b$
		支圧応力	415	302	805	870	289	$1.5 f_p$
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力 ^{*2}	610	444	1182	1276	424	$3 f_t$
		せん断応力 ^{*2}	352	256	682	736	244	$3 f_s$
		曲げ応力 ^{*2}	610	444	1182	1276	424	$3 f_b$
		支圧応力	415	302	805	870	289	$1.5 f_p$
		座屈応力	176	128	341	631	122	$1.5 f_b, 1.5 f_s$ 又は $1.5 f_c$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は以下による。

- ① 次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力 (σ) とせん断応力 (τ) を組合わせた応力 (σ_T) は、引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ② 圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_c| + |\sigma_b|}{f_c} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|\sigma_b| - |\sigma_c|}{f_t} \leq 1$$

- ③ 引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_t + |\sigma_b|}{f_t} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|\sigma_b| - \sigma_t}{f_b} \leq 1$$

ただし、②及び③において、設計事象 I の一次応力については上式による。

I + S_d* の一次応力の場合、分母の f_c 、 f_b 、 f_t は $1.5 f_c$ 、 $1.5 f_b$ 、 $1.5 f_t$ とする。

I + S_d* の一次+二次応力の場合、分母の f_c 、 f_b 、 f_t は $3 f_c$ 、 $3 f_b$ 、 $3 f_t$ とする。

*2：S_d*地震力のみによる全振幅について評価する。

表 6-1 支持構造物用材料の許容応力値 (2/2)

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類		許容応力値					許容値基準
			炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	低合金鋼	炭素鋼	
			リブ	支持 台座	トラニオン 固定金具	容器押え ボルト	支持台用 フレーム	
I + S _s *1	一次 応力	引張応力	340	266	591	638	254	1.5 f _t *
		圧縮応力	314	266	591	631	254	1.5 f _c *
		せん断応力	196	153	341	368	146	1.5 f _s *
		曲げ応力	340	266	591	638	254	1.5 f _b *
		支圧応力	463	362	805	870	346	1.5 f _p *
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力 *2	610	444	1182	1276	424	3 f _t
		せん断応力 *2	352	256	682	736	244	3 f _s
		曲げ応力 *2	610	444	1182	1276	424	3 f _b
		支圧応力	463	362	805	870	346	1.5 f _p *
		座屈応力	176	128	341	631	122	1.5 f _b , 1.5 f _s 又は 1.5 f _c

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は以下による。

- ① 次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力 (σ) とせん断応力 (τ) を組合せた応力 (σ_T) は、引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ② 圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_c|}{1.5f_c^*} + \frac{|c \sigma_b|}{1.5f_b^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{t \sigma_b - |\sigma_c|}{1.5f_t^*} \leq 1$$

- ③ 引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_t + t \sigma_b}{1.5f_t^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|c \sigma_b| - \sigma_t}{1.5f_b^*} \leq 1$$

ただし、②及び③において、一次応力については上式による。一次+二次応力の場合、分母の 1.5 f_c *, 1.5 f_b *, 1.5 f_t *は 3 f_c, 3 f_b, 3 f_t とする。

*2：S_s地震力のみによる全振幅について評価する。

表 6-2 支持構造物用材料（ボルト用材料）の許容応力値

(単位：MPa)

設計応力 区分	応力の種類	許容応力値		
		低合金鋼	低合金鋼	許容値基準
		トラニオン 固定ボルト	アンカー ボルト	
設計事象 I *	引張応力	319	296	f_t
	せん断応力	245	227	f_s
I + S _d **	引張応力	478	444	$1.5 f_t$
	せん断応力	368	341	$1.5 f_s$
I + S _s *	引張応力	478	444	$1.5 f_t^*$
	せん断応力	368	341	$1.5 f_s^*$

注記 *：組合せ応力が考えられる場合の許容引張応力値は、次の2つの計算式により計算した値のいずれか小さい方の値とする。

$$f_T = 1.4 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau$$

$$f_T \leq f_t$$

ここで、 τ ：ボルトに発生するせん断応力 (MPa)

ただし、設計事象 I については上式による。I + S_d* の場合、 f_t は $1.5 f_t$ とする。

I + S_s の場合、 f_t は $1.5 f_t^*$ とする。

表 6-3 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単位	処理桁	処理法	表示最小桁
最高使用温度	℃	—	—	設計値
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
許容応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数
計算応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数
長さ	mm	—	—	設計値
設計震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
断面係数	mm ³	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
質量	kg	—	—	設計値

V-3-2-2 使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備の強度計算書

V-3-2-2-2 代替燃料プール注水系の強度計算書

V-3-2-2-2-2 管（可搬型）の強度計算書

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（可搬型スプレイノズル用 20m ホース）

I. 重大事故等クラス 3 機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
ホース	送水用 5 m, 10 m, 50 m ホースと可搬型スプレイノズルに接続し，使用済燃料プールへスプレイするためのホースとして使用することを目的とする。使用環境として，屋内で淡水又は海水を送水する。	ポリエステル， ポリウレタン	1.6*	60*

注記 *：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
ドルフィンホース α	消防用のホースであり，火災等の災害時に被害を軽減するための送水ホースとして使用することを目的とする。使用環境として，屋内外で淡水または海水を送水することを想定している。	ポリエステル， ポリウレタン	1.6	60	耐圧試験 (試験圧力 3.2 MPa， 試験保持時間：5 分間) を実施。

III. 確認項目

a：規格及び基準が妥当であることの確認（I と II の使用目的及び使用環境の比較）

当該ホースは，重大事故等時に屋内外で淡水又は海水を送水するためのホースである。一方，本メーカー規格及び基準は，消防用として使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり，屋内外での淡水又は海水の送水を想定している。重大事故等時における当該ホースの使用目的及び使用環境は，本規格の仕様目的及び想定している使用環境の範囲内である。

b：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（II と公的な規格等の材料及び試験条件の比較，I と II の使用条件の比較）

当該ホースの型式については，消防法に基づくものとして承認又は届出されており，消防法に従った適切な材料が使用されていることを型式承認の結果又は届出番号の結果により確認できる。

当該ホースの最高使用温度及び最高使用圧力はメーカー仕様の範囲内であり，消防法に基づく消防用ホースの技術上の規格を定める省令で規定されている耐圧試験（試験圧力：3.2 MPa，試験保持時間：5 分間）と同等の試験に合格していることを検査成績書等で確認できることから，当該ホースは要求される強度を有している。

IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス 3 機器は，一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し，使用材料の特性を踏まえた上で，重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（可搬型スプレインズル）

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
放水銃	可搬型スプレインズル用 20 m ホースと接続し，使用済燃料プールへスプレイするための可搬型配管として使用することを目的とする。使用環境として，屋内で淡水又は海水を送水する。	AC4C*1	1.0*2	60*2

注記 *1：可搬型スプレインズル本体の材料を示す。

*2：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
ブリッツ ファイヤー放水銃 (ZM-2 1/2・0S)	消防用の放水銃であり可搬型消火機器として使用することを目的とする。使用環境として，屋内外で淡水または海水を送水することを想定している。	AC4C	1.0	60	耐圧試験 (試験圧力 1.5 MPa, 試験保持時間：3 分間) を実施。

III. 確認項目

a：規格及び基準が妥当であることの確認（I と II の使用目的及び使用環境の比較）

当該放水銃は，重大事故等時に屋内で淡水又は海水をスプレイするための可搬型配管である。一方，本メーカー規格及び基準は，可搬型消火機器として使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり，屋内外で淡水または海水を送水することを想定している。重大事故等時における当該放水銃の使用目的及び使用環境は，本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

b：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（II と公的な規格等の材料及び試験条件の比較，I と II の使用条件の比較）

当該放水銃に使用されている材料は，「消防用ホースに使用する差込式またはねじ式の結合金具の技術上の規格を定める省令」にて使用可能な材料とされているアルミニウム合金鋳物と同種類の材料である。

当該放水銃の最高使用温度及び最高使用圧力はメーカー仕様の範囲内であり，J SME PHT-2311 で規定されている耐圧試験（試験圧力：最高使用圧力×1.5 倍）と同様の試験条件の耐圧試験に合格していることを検査成績書等により確認できる。耐圧試験による機器の健全性は，耐圧部全体に圧力が負荷される適切な試験保持時間（J SME 解説 PHT-4000）により確認している。なお，J SME のクラス 3 機器の最高許容耐圧試験圧力は機器の応力制限（降伏点）を基に定められており，耐圧試験の規定では，耐圧試験圧力は最高使用圧力の 1.5 倍の 106% を超えないこととしている。一方，J SME のクラス 3 機器の設計許容応力は降伏点に対して 5/8 を基準にしており，この許容応力以下となる必要板厚は，最高使用圧力を条件として評価式により求めている。よって，J SME PHT-2311 で規定されている耐圧試験と同等の試験条件の耐圧試験に合格することで，メーカー規格及び基準の設計が J SME と同等の裕度を持っているとみなせるため，当該放水銃は要求される強度を有している。

IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス 3 機器は，一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し，使用材料の特性を踏まえた上で，重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

V-3-3 原子炉冷却系統施設の強度に関する説明書

V-3-3-3 非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備の強度計算書

V-3-3-3-4 低圧代替注水系の強度計算書

V-3-3-3-4-2 可搬型代替注水大型ポンプの強度計算書

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（可搬型代替注水大型ポンプ）

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
うず巻き型	海又は代替淡水源を水源として，可搬型ホースを介して原子炉圧力容器等に送水するポンプとして使用することを目的とする。使用環境として，屋外で淡水又は海水を送水する。	ダクタイル鋳鉄	1.4*	60*

注記 *：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
HS-900N	動力消防ポンプのうち，通常の給水ポンプでは取水が難しい海水域から，効率的に取水することができる可搬消防ポンプとして，送水・排水に使用することを目的とする。使用環境として，屋外で淡水又は海水を送水することを想定している。	ダクタイル鋳鉄	1.4	60	耐圧試験（試験圧力：2.1MPa，試験保持時間：3分間）を実施。

III. 確認項目

a：規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

当該ポンプは，重大事故等時に淡水又は海水を送水するために屋外で使用する内燃機関（燃料系含む）を有するポンプである。一方，本メーカー規格及び基準は，内燃機関等を駆動源として遠距離に大量送水する可搬消防ポンプとして使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり，当該ポンプは屋外で大量の淡水又は海水を送水することを想定している。重大事故等時における当該ポンプの使用目的及び使用環境は，本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

b：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（IIと公的な規格等の材料及び試験条件の比較，IとIIの使用条件の比較）

当該ポンプの型式については，「消防法」に基づく「動力消防ポンプの技術上の規格を定める省令」に適合するものとして承認されており，「消防法」に基づく「動力消防ポンプの技術上の規格を定める省令」に従った適切な材料が使用されていることを型式評価の結果により確認できる。

当該ポンプの最高使用温度及び最高使用圧力はメーカー仕様の範囲内であり，「消防法」に基づく「動力消防ポンプの技術上の規格を定める省令」で規定されている耐圧試験（試験圧力：ポンプ圧力最大値×1.5，試験保持時間：3分間）に合格していることを型式評価の結果により確認でき，当該ポンプの附属機器である燃料タンクについても，鋼製であり最高使用圧力が大気圧に対して水張試験を実施している。よって，当該ポンプは完成品として要求される強度を有している。

IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス3機器は，一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し，使用材料の特性を踏まえた上で，燃料タンクを含めた一体構造品の完成品として重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

V-3-3-3-4-3 可搬型代替注水中型ポンプの強度計算書

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（可搬型代替注水中型ポンプ）

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
うず巻き型	海又は代替淡水源を水源として，可搬型ホースを介して原子炉圧力容器等に送水するポンプとして使用することを目的とする。使用環境として，屋外で淡水又は海水を送水する。	アルミ青銅合金	1.4*	60*

注記 *：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
HS-150	動力消防ポンプのうち，通常の給水ポンプでは取水が難しい海域から，効率的に取水することができる可搬消防ポンプとして，送水・排水に使用することを目的とする。使用環境として，屋外で淡水又は海水を送水することを想定している。	アルミ青銅合金	1.4	60	耐圧試験（試験圧力：2.1 MPa，試験保持時間：3分間）を実施。

III. 確認項目

a：規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

当該ポンプは，重大事故等時に淡水又は海水を送水するために屋外で使用する内燃機関（燃料系含む）を有するポンプである。一方，本メーカー規格及び基準は，内燃機関等を駆動源として遠距離に大量送水する可搬消防ポンプとして使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり，当該ポンプは屋外で大量の淡水又は海水を送水することを想定している。重大事故等時における当該ポンプの使用目的及び使用環境は，本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

b：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（IIと公的な規格等の材料及び試験条件の比較，IとIIの使用条件の比較）

当該ポンプの型式については，「消防法」に基づく「動力消防ポンプの技術上の規格を定める省令」に適合するものとして承認されており，「消防法」に基づく「動力消防ポンプの技術上の規格を定める省令」に従った適切な材料が使用されていることを型式評価の結果により確認できる。

当該ポンプの最高使用温度及び最高使用圧力はメーカー仕様の範囲内であり，「消防法」に基づく「動力消防ポンプの技術上の規格を定める省令」で規定されている耐圧試験（試験圧力：ポンプ圧力最大値×1.5，試験保持時間：3分間）に合格していることを型式評価の結果により確認でき，当該ポンプの附属機器である燃料タンクについても，鋼製であり最高使用圧力が大気圧に対して水張試験を実施している。よって，当該ポンプは完成品として要求される強度を有している。

IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス3機器は，一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し，使用材料の特性を踏まえた上で，燃料タンクを含めた一体構造品の完成品として重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

V-3-3-3-4-5 管（可搬型）の強度計算書

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（取水用 5m ホース）

I. 重大事故等クラス 3 機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
ホース	水源より可搬型代替注水大型ポンプ及び可搬型代替注水中型ポンプへ送水するためのホースとして使用することを目的とする。使用環境として屋外で淡水又は海水を送水する。	ポリエステル, ポリウレタン	1.4*	60*

注記 *：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
250 スーパーライン A	消防用ホースであり，火災等の災害時に被害を軽減するための送水用ホースとして使用することを目的とする。使用環境として，屋内外で淡水又は海水を送水することを想定している。	ポリエステル, ポリウレタン	1.4	60	耐圧試験（試験圧力：2.1 MPa，試験保持時間：10 分間）を実施。

III. 確認項目

a：規格及び基準が妥当であることの確認（I と II の使用目的及び使用環境の比較）

当該ホースは，重大事故等時に屋内外で淡水又は海水を送水するためのホースである。一方，本メーカー規格及び基準は，消防用として使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり，屋内外での淡水又は海水の送水を想定している。重大事故等時における当該ホースの使用目的及び使用環境は，本規格の仕様目的及び想定している使用環境の範囲内である。

b：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（II と公的な規格等の材料及び試験条件の比較，I と II の使用条件の比較）

当該ホースの型式については，「消防法」に基づくものとして承認又は届出されており，「消防法」に従った適切な材料が使用されていることを型式承認の結果又は届出番号により確認できる。

当該ホースの最高使用温度及び最高使用圧力はメーカー仕様の範囲内であり，「消防法」に基づく「消防用ホースの技術上の規格を定める省令*」で規定されている耐圧試験（試験圧力：2.0 MPa，試験保持時間：2 分間）と同等の試験に合格していることを検査成績書等により確認できることから，当該ホースは要求される強度を有している。

注記 *：試験の方法等を定めた消防用ホースの品質評価細則（日本消防検定協会）による。

IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス 3 機器は，一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し，使用材料の特性を踏まえた上で，重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（送水用 5m, 10m, 50m ホース）

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境, 材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
ホース	可搬型代替注水大型ポンプ, 可搬型代替注水中型ポンプから原子炉建屋西側接続口, 原子炉建屋東側接続口等に接続し, 原子炉圧力容器等へ送水するためのホースとして使用することを目的とする。使用環境として, 屋内外で淡水又は海水を送水する。	ポリエステル, ポリウレタン	1.4*	60*

注記 * : 重大事故等時における使用時の値を示す。

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
200 スーパーライン A	消防用ホースであり, 火災等の災害時に被害を軽減するための送水用ホースとして使用することを目的とする。使用環境として, 屋内外で淡水又は海水を送水することを想定している。	ポリエステル, ポリウレタン	1.4	60	耐圧試験（試験圧力：2.1 MPa, 試験保持時間：10 分間）を実施。

III. 確認項目

a : 規格及び基準が妥当であることの確認（I と II の使用目的及び使用環境の比較）

当該ホースは, 重大事故等時に屋内外で淡水又は海水を送水するためのホースである。一方, 本メーカー規格及び基準は, 消防用として使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり, 屋内外での淡水又は海水の送水を想定している。重大事故等時における当該ホースの使用目的及び使用環境は, 本規格の仕様目的及び想定している使用環境の範囲内である。

b : 材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（II と公的な規格等の材料及び試験条件の比較, I と II の使用条件の比較）

当該ホースの型式については, 「消防法」に基づくものとして承認又は届出されており, 「消防法」に従った適切な材料が使用されていることを型式承認の結果又は届出番号により確認できる。

当該ホースの最高使用温度及び最高使用圧力はメーカー仕様の範囲内であり, 「消防法」に基づく「消防用ホースの技術上の規格を定める省令*」で規定されている耐圧試験（試験圧力：2.1 MPa, 試験保持時間：10 分間）と同等の試験に合格していることを検査成績書等により確認できることから, 当該ホースは要求される強度を有している。

注記 * : 試験の方法等を定めた消防用ホースの品質評価細則（日本消防検定協会）による。

IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス3機器は, 一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し, 使用材料の特性を踏まえた上で, 重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

V-3-4 計測制御系統施設の強度に関する説明書

V-3-4-3 制御用空気設備の強度計算書

V-3-4-3-2 非常用窒素供給系の強度計算書

V-3-4-3-2-1 高圧窒素ポンベの強度計算書

高圧ガス保安法に基づく容器保安規則及び一般高圧ガス保安規則への適合性確認結果（高圧窒素ポンベ）

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
一般継目なし 鋼製容器	逃がし安全弁（自動減圧機能用）を開操作するための窒素を貯蔵する容器として使用することを目的とする。使用環境として，窒素を貯蔵し，屋内で使用する。	マンガン鋼	14.7*	40*

注記 *：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. 法令又は公的な規格に規定されている事項

法令及び基準	「高圧ガス保安法」に基づく「容器保安規則」及び「一般高圧ガス保安規則」				
機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
継目なし容器	高圧ガスを充填し，貯蔵，移動等をするための容器として使用することを目的とする。使用環境として，屋内外*1で高圧ガスを充填することを想定している。	充填する高圧ガスの種類，充填圧力，使用温度及び使用される環境に応じた適切な材料を使用して製造すること。	温度 35°Cにおいてその容器に充填することができるガスの圧力のうち最高のものの数値。*2	40*1	耐圧試験（試験圧力：最高充填圧力の5/3倍）等の容器検査に合格した者に，刻印または標章の掲示がなされる。

注記 *1：容器等を常に温度 40°C以下に保つ必要があり，直射日光等による温度上昇を防ぐため，屋根，障壁を設ける等の措置を講じることが，「高圧ガス保安法及び関係政省令の運用及び解釈について（内規）」に記載されている。

*2：「高圧ガス保安法」に基づく「容器保安規則」に規定される最高充填圧力であり，当該ポンベにおいては 14.7 MPa である。

III. メーカー仕様

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
一般継目なし 鋼製容器	1 MPa を超えるような高圧の窒素ガスを充填し，保安・運搬等をするための容器として使用することを目的とする。使用環境として，屋内外*で高圧ガスを充填することを想定している。	マンガン鋼	14.7	40*	高圧ガス保安法に基づく容器保安規則による耐圧試験（試験圧力：最高充填圧力の 5/3 倍）等の容器検査に合格している。

注記 *：「高圧ガス保安法」に基づく「一般高圧ガス保安規則」に従い使用する。

IV. 確認項目

a：規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

当該ポンベは，重大事故等時に窒素供給用として屋内で使用される。一方，「高圧ガス保安法」に基づく「容器保安規則」及び「一般高圧ガス保安規則」は，高圧ガスを貯蔵する容器の技術上の規定を定めた一般産業品に対する規格であり，高圧ガスを貯蔵する容器は 40°C以下で使用し，直射日光等による温度上昇を防ぐよう規定されている。重大事故等時における当該ポンベの使用目的及び使用環境は，本規格で定める使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

b：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（IIとIIIの材料及び試験条件の比較，IとIIIの使用条件の比較）

当該ポンベには，「高圧ガス保安法」に基づく「容器保安規則」に従った適切な材料であるマンガン鋼が使用されていることを容器検査成績書等により確認できる。

当該ポンベの最高使用温度は「一般高圧ガス保安規則」で定める 40°C以下，最高使用圧力はメーカー仕様の範囲内であり，「高圧ガス保安法」に基づく「容器保安規則」に従った試験に合格していることを容器検査成績書等により確認できることから，当該ポンベは要求される強度を有している。

V. 評価結果

上記の重大事故等クラス3機器は、一般産業品として「高圧ガス保安法」（「容器保安規則」及び「一般高圧ガス保安規則」含む）に適合し、使用材料の特性を踏まえた上で、重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

V-3-5 放射線管理施設の強度に関する説明書

V-3-5-1 換気設備の強度計算書

V-3-5-1-2 中央制御室待避室の強度計算書

V-3-5-1-2-1 中央制御室待避室空気ポンベの強度計算書

高圧ガス保安法に基づく容器保安規則及び一般高圧ガス保安規則への適合性確認結果（中央制御室待避室空気ポンペ）

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
一般継目なし 鋼製容器	中央制御室待避室に待避している要員の被ばく低減のための空気を貯蔵する容器として使用することを目的とする。使用環境として，空気を貯蔵し，屋内で使用する。	マンガン鋼	16.2*	40*

注記 *：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. 法令又は公的な規格に規定されている事項

法令及び基準	「高圧ガス保安法」に基づく「容器保安規則」及び「一般高圧ガス保安規則」				
機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
継目なし容器	高圧ガスを充填し，貯蔵，移動等をするための容器として使用することを目的とする。使用環境として，屋内外*1で高圧ガスを充填することを想定している。	充填する高圧ガスの種類，充填圧力，使用温度及び使用される環境に応じた適切な材料を使用して製造すること。	温度 35°Cにおいてその容器に充填することができるガスの圧力のうち最高のものの数値。*2	40*1	耐圧試験（試験圧力：最高充填圧力の5/3倍）等の容器検査に合格した者に，刻印または標章の掲示がなされる。

注記 *1：容器等を常に温度 40°C以下に保つ必要があり，直射日光等による温度上昇を防ぐため，屋根，障壁を設ける等の措置を講じることが，「高圧ガス保安法及び関係政省令の運用及び解釈について（内規）」に記載されている。

*2：「高圧ガス保安法」に基づく「容器保安規則」に規定される最高充填圧力であり，当該ポンペにおいては 14.7 MPa である。

III. メーカー仕様

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	充填圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
一般継目なし 鋼製容器	1 MPa を超えるような高圧ガスを充填し，保安・運搬等をするための容器として使用することを目的とする。使用環境として，屋内外*で高圧ガスを充填することを想定している。	マンガン鋼	14.7	40*	高圧ガス保安法に基づく容器保安規則による耐圧試験（試験圧力：最高充填圧力の 5/3 倍）等の容器検査に合格している。

注記 *：「高圧ガス保安法」に基づく「一般高圧ガス保安規則」に従い使用する。

IV. 確認項目

a：規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

当該ポンペは，重大事故等時に空気供給用として屋内で使用される。一方，「高圧ガス保安法」に基づく「容器保安規則」及び「一般高圧ガス保安規則」は，高圧ガスを貯蔵する容器の技術上の規定を定めた一般産業品に対する規格であり，高圧ガスを貯蔵する容器は 40 °C以下で使用し，直射日光等による温度上昇を防ぐよう規定されている。重大事故等時における当該ポンペの使用目的及び使用環境は，本規格で定める使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

b：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（IIとIIIの材料及び試験条件の比較，IとIIIの使用条件の比較）

当該ポンペには，「高圧ガス保安法」に基づく「容器保安規則」に従った適切な材料であるマンガン鋼が使用されていることを容器検査成績書等により確認できる。

当該ポンペの最高使用温度は「一般高圧ガス保安規則」で定める 40 °C以下，最高使用圧力は「高圧ガス保安法」に基づく「容器保安規則」に従った最高使用圧力を上回る圧力での耐圧試験に合格していることを容器検査成績書等により確認できることから，当該ポンペは要求される強度を有している。

V. 評価結果

上記の重大事故等クラス3機器は、一般産業品として「高圧ガス保安法」（「容器保安規則」及び「一般高圧ガス保安規則」含む）に適合し、使用材料の特性を踏まえた上で、重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

V-3-5-1-3 緊急時対策所換気系の強度計算書

V-3-5-1-3-1 緊急時対策所加圧設備の強度計算書

高圧ガス保安法に基づく容器保安規則及び一般高圧ガス保安規則への適合性確認結果（緊急時対策所加圧設備）

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境、材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
一般継目なし 鋼製容器	緊急時対策所を正圧化し、緊急時対策所内に要員が留まれるための空気を貯蔵する容器として使用することを目的とする。使用環境として、空気を貯蔵し、屋内で使用する。	クロムモリブデン鋼	22.0*	40*

注記 *：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. 法令又は公的な規格に規定されている事項

法令及び基準	「高圧ガス保安法」に基づく「容器保安規則」及び「一般高圧ガス保安規則」				
機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
継目なし容器	高圧ガスを充填し、貯蔵、移動等をするための容器として使用することを目的とする。使用環境として、屋内外*1で高圧ガスを充填することを想定している。	充填する高圧ガスの種類、充填圧力、使用温度及び使用される環境に応じた適切な材料を使用して製造すること。	温度 35°Cにおいてその容器に充填することができるガスの圧力のうち最高のものの数値。*2	40*1	耐圧試験（試験圧力：最高充填圧力の5/3倍）等の容器検査に合格した者に、刻印または標章の掲示がなされる。

注記 *1：容器等を常に温度 40°C以下に保つ必要があり、直射日光等による温度上昇を防ぐため、屋根、障壁を設ける等の措置を講じることが、「高圧ガス保安法及び関係政省令の運用及び解釈について（内規）」に記載されている。

*2：「高圧ガス保安法」に基づく「容器保安規則」に規定される最高充填圧力であり、当該ポンペにおいては 19.6 MPa である。

III. メーカー仕様

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	充填圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
一般継目なし 鋼製容器	1 MPa を超えるような高圧ガスを充填し、保安・運搬等をするための容器として使用することを目的とする。使用環境として、屋内外*で高圧ガスを充填することを想定している。	クロムモリブデン鋼	19.6	40*	高圧ガス保安法に基づく容器保安規則による耐圧試験（試験圧力：最高充填圧力の 5/3 倍）等の容器検査に合格している。

注記 *：「高圧ガス保安法」に基づく「一般高圧ガス保安規則」に従い使用する。

IV. 確認項目

a：規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

当該ポンペは、重大事故等時に空気供給用として屋内で使用される。一方、「高圧ガス保安法」に基づく「容器保安規則」及び「一般高圧ガス保安規則」は、高圧ガスを貯蔵する容器の技術上の規定を定めた一般産業品に対する規格であり、高圧ガスを貯蔵する容器は 40 °C以下で使用し、直射日光等による温度上昇を防ぐよう規定されている。重大事故等時における当該ポンペの使用目的及び使用環境は、本規格で定める使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

b：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（IIとIIIの材料及び試験条件の比較、IとIIIの使用条件の比較）

当該ポンペには、「高圧ガス保安法」に基づく「容器保安規則」に従った適切な材料であるクロムモリブデン鋼が使用されていることを容器検査成績書等により確認できる。

当該ポンペの最高使用温度は「一般高圧ガス保安規則」で定める 40 °C以下、最高使用圧力は「高圧ガス保安法」に基づく「容器保安規則」に従った最高使用圧力を上回る耐圧試験に合格していることを容器検査成績書等により確認できることから、当該ポンペは要求される強度を有している。

V. 評価結果

上記の重大事故等クラス3機器は、一般産業品として「高圧ガス保安法」（「容器保安規則」及び「一般高圧ガス保安規則」含む）に適合し、使用材料の特性を踏まえた上で、重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

V-3-5-1-4 第二弁操作室の強度計算書

V-3-5-1-4-1 第二弁操作室空気ポンベの強度計算書

高圧ガス保安法に基づく容器保安規則及び一般高圧ガス保安規則への適合性確認結果（第二弁操作室空気ポンペ）

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境、材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
一般継目なし 鋼製容器	第二弁操作室で弁操作又は待避している要員の被ばく低減のための空気を貯蔵する容器として使用することを目的とする。使用環境として、空気を貯蔵し、屋内で使用する。	マンガン鋼	16.2*	40*

注記 *：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. 法令又は公的な規格に規定されている事項

法令及び基準	「高圧ガス保安法」に基づく「容器保安規則」及び「一般高圧ガス保安規則」				
機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
継目なし容器	高圧ガスを充填し、貯蔵、移動等をするための容器として使用することを目的とする。使用環境として、屋内外*1で高圧ガスを充填することを想定している。	充填する高圧ガスの種類、充填圧力、使用温度及び使用される環境に応じた適切な材料を使用して製造すること。	温度 35°Cにおいてその容器に充填することができるガスの圧力のうち最高のものの数値。*2	40*1	耐圧試験（試験圧力：最高充填圧力の5/3倍）等の容器検査に合格した者に、刻印または標章の掲示がなされる。

注記 *1：容器等を常に温度 40°C以下に保つ必要があり、直射日光等による温度上昇を防ぐため、屋根、障壁を設ける等の措置を講じることが、「高圧ガス保安法及び関係政省令の運用及び解釈について（内規）」に記載されている。

*2：「高圧ガス保安法」に基づく「容器保安規則」に規定される最高充填圧力であり、当該ポンペにおいては 14.7 MPa である。

III. メーカー仕様

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	充填圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
一般継目なし 鋼製容器	1 MPa を超えるような高圧ガスを充填し、保安・運搬等をするための容器として使用することを目的とする。使用環境として、屋内外*で高圧ガスを充填することを想定している。	マンガン鋼	14.7	40*	高圧ガス保安法に基づく容器保安規則による耐圧試験（試験圧力：最高充填圧力の 5/3 倍）等の容器検査に合格している。

注記 *：「高圧ガス保安法」に基づく「一般高圧ガス保安規則」に従い使用する。

IV. 確認項目

a：規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

当該ポンペは、重大事故等時に空気供給用として屋内で使用される。一方、「高圧ガス保安法」に基づく「容器保安規則」及び「一般高圧ガス保安規則」は、高圧ガスを貯蔵する容器の技術上の規定を定めた一般産業品に対する規格であり、高圧ガスを貯蔵する容器は 40 °C以下で使用し、直射日光等による温度上昇を防ぐよう規定されている。重大事故等時における当該ポンペの使用目的及び使用環境は、本規格で定める使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

b：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（IIとIIIの材料及び試験条件の比較、IとIIIの使用条件の比較）

当該ポンペには、「高圧ガス保安法」に基づく「容器保安規則」に従った適切な材料であるマンガン鋼が使用されていることを容器検査成績書等により確認できる。

当該ポンペの最高使用温度は「一般高圧ガス保安規則」で定める 40 °C以下、最高使用圧力は「高圧ガス保安法」に基づく「容器保安規則」に従った最高使用圧力を上回る圧力での耐圧試験に合格していることを容器検査成績書等により確認できることから、当該ポンペは要求される強度を有している。

V. 評価結果

上記の重大事故等クラス3機器は、一般産業品として「高圧ガス保安法」（「容器保安規則」及び「一般高圧ガス保安規則」含む）に適合し、使用材料の特性を踏まえた上で、重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

V-3-6 原子炉格納施設の強度に関する説明書

V-3-6-1 原子炉格納容器の強度計算書

V-3-6-1-4 原子炉格納容器貫通部の強度計算書

V-3-6-1-4-2 原子炉格納容器貫通部ベローズの強度計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 構造の説明	2
2.2 評価方針	3
3. 形状及び主要寸法	4
4. 設計条件	6
4.1 評価条件	6
4.2 材料及び縦弾性係数	6
4.3 設計繰返し回数	6
4.4 ベローズの伸縮量	6
5. 許容繰返し回数の計算	8
6. 評価結果	9

1. 概要

本資料は、添付書類V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉格納容器貫通部ベローズ（以下「ベローズ」という。）が低サイクル疲労に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その低サイクル疲労評価は、ベローズの設計繰返し回数と許容繰返し回数の比を算出して行う。

2. 基本方針

2.1 構造の説明

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ベローズは原子炉格納容器配管貫通部の一部に設けられる。	からなる断面蛇腹形状のステンレス製構造物である。	

2.2 評価方針

ベローズの低サイクル疲労評価は, 東海第二発電所 昭和 62 年 2 月 26 日付け 62 資庁第 666 号 (既工認) にて認可された実績のある手法を適用する。

3. 形状及び主要寸法

貫通部の形状を図 3-1 に示し、ベローズの主要寸法を表 3-1 に示す。

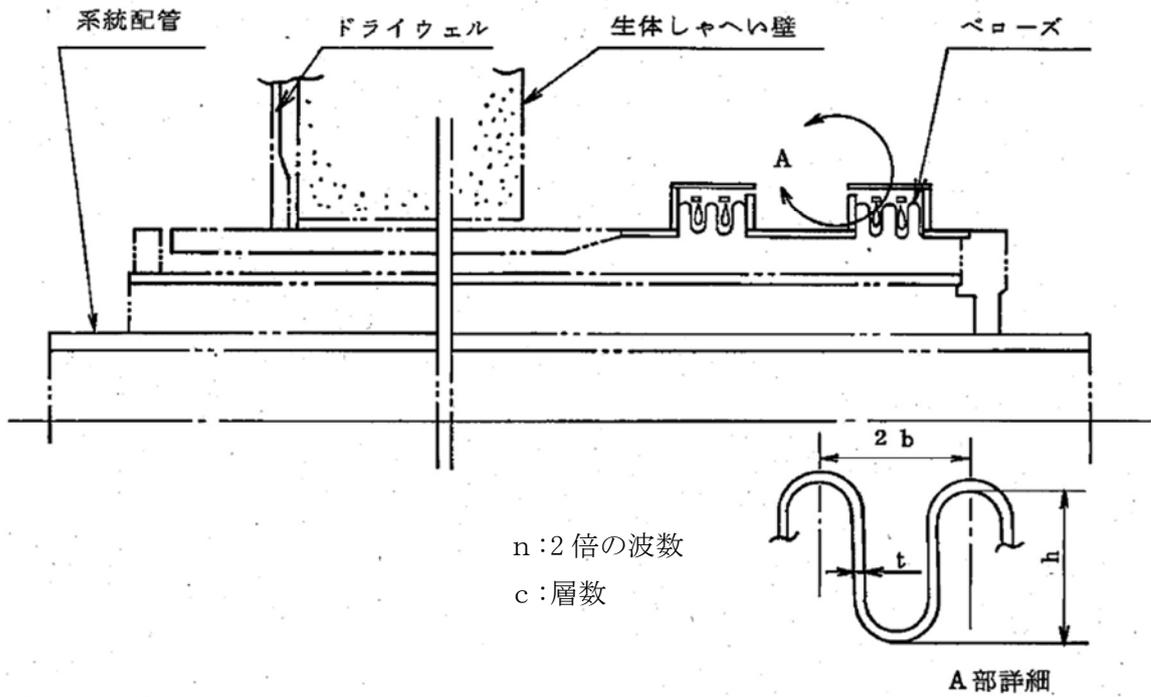


図 3-1 貫通部の形状

表 3-1 ベローズの主要寸法

貫通部番号	形 状				
	b (mm) *	h (mm) *	t (mm) *	n *	c *
X-2					
X-6					
X-8					
X-12A, C					
X-12B					
X-14					
X-17A					
X-17B					
X-18A					
X-18B					
X-18C					
X-18D					
X-19A					
X-19B					
X-20					
X-21					
X-22					

注記* : 記号の説明は, 図 3-1 参照

表4-2 ベローズの全伸縮量

貫通部番号	全伸縮量 δ
X-2	
X-6	
X-8	
X-12A, C	
X-12B	
X-14	
X-17A	
X-17B	
X-18A	
X-18B	
X-18C	
X-18D	
X-19A	
X-19B	
X-20	
X-21	
X-22	

6. 評価結果

ベローズの疲労評価結果を表 6-1 に示す。設計繰返し回数に対する許容繰返し回数の比は評価基準値を満足しており、低サイクル疲労の要求を満足することを確認した。

表 6-1 評価結果

評価部位	$\frac{N}{N_s}$	評価基準値	判定
X-2	6.34×10^{-2}	1	○
X-6	4.69×10^{-2}	1	○
X-8	4.69×10^{-2}	1	○
X-12A, C	4.69×10^{-2}	1	○
X-12B	4.69×10^{-2}	1	○
X-14	2.14×10^{-1}	1	○
X-17A	4.17×10^{-2}	1	○
X-17B	4.17×10^{-2}	1	○
X-18A	4.20×10^{-2}	1	○
X-18B	5.26×10^{-2}	1	○
X-18C	5.26×10^{-2}	1	○
X-18D	4.20×10^{-2}	1	○
X-19A	1.13×10^{-1}	1	○
X-19B	1.13×10^{-1}	1	○
X-20	6.34×10^{-2}	1	○
X-21	6.34×10^{-2}	1	○
X-22	2.52×10^{-2}	1	○

V-3-6-2 圧力低減設備その他の安全設備の強度計算書

V-3-6-2-2 原子炉格納容器安全設備の強度計算書

V-3-6-2-2-6 原子炉建屋放水設備

V-3-6-2-2-6-1 管（可搬型）の強度計算書

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（放水砲用 5m, 50m ホース）

I. 重大事故等クラス 3 機器の使用目的及び使用環境, 材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
ホース	可搬型代替注水大型ポンプから放水砲へ送水するためのホースとして使用することを目的とする。使用環境として屋外で海水を送水する。	ポリエステル, ポリウレタン	1.4*	60*

注記 * : 重大事故等時における使用時の値を示す。

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
300 スーパーライン A	消防用ホースであり, 火災等の災害時に被害を軽減するための送水用ホースとして使用することを目的とする。使用環境として, 屋内外で淡水又は海水を送水することを想定している。	ポリエステル, ポリウレタン	1.4	60	耐圧試験（試験圧力：2.1 MPa, 試験保持時間：10 分間）を実施。

III. 確認項目

a : 規格及び基準が妥当であることの確認（I と II の使用目的及び使用環境の比較）

当該ホースは, 重大事故等時に屋内外で淡水又は海水を送水するためのホースである。一方, 本メーカー規格及び基準は, 消防用として使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり, 屋内外での淡水又は海水の送水を想定している。重大事故等時における当該ホースの使用目的及び使用環境は, 本規格の仕様目的及び想定している使用環境の範囲内である。

b : 材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（II と公的な規格等の材料及び試験条件の比較, I と II の使用条件の比較）

当該ホースの型式については, 「消防法」に基づくものとして承認又は届出されており, 「消防法」に従った適切な材料が使用されていることを型式承認の結果又は届出番号により確認できる。

当該ホースの最高使用温度及び最高使用圧力はメーカー仕様の範囲内であり, 「消防法」に基づく「消防用ホースの技術上の規格を定める省令*」で規定されている耐圧試験（試験圧力：2.0 MPa, 試験保持時間：2 分間）と同等の試験に合格していることを検査成績書等により確認できることから, 当該ホースは要求される強度を有している。

注記 * : 試験の方法等を定めた消防用ホースの品質評価細則（日本消防検定協会）による。

IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス 3 機器は, 一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し, 使用材料の特性を踏まえた上で, 重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（放水砲）

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
放水砲	可搬型代替注水大型ポンプにより原子炉建屋へ放水するための可搬型配管として使用することを目的とする。使用環境として，屋外で海水を放水する。	CAC406 SUS304TP	1.0*	60*

注記 *：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
放水砲 PM-8P	石油タンクの全面火災に備えるための大容量放水砲システムの一部として使用することを目的とする。使用環境として，屋外で淡水または海水を送水することを想定している。	CAC406 SUS304TP	1.0	80	耐圧試験（試験圧力 2.1 MPa，試験保持時間：10 分間）を実施。

III. 確認項目

a：規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

当該放水砲は，重大事故等時に屋外で海水を放水するための可搬型配管である。一方，本メーカー規格及び基準は，消防用として使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり，当該放水砲は屋外で淡水または海水を放水することを想定している。重大事故等時における当該放水砲の使用目的及び使用環境は，本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

b：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（IIと公的な規格等の材料及び試験条件の比較，IとIIの使用条件の比較）

当該放水砲に使用されている材料は，J SME クラス 3 配管に使用可能であると規定されている銅合金鋳物及びステンレス鋼材と同種類の材料である。

当該放水砲の最高使用圧力及び最高使用温度はメーカー仕様の範囲内であり，J SME PHT-2311 及び PHT-4000 で規定されている耐圧試験（試験圧力：最高使用圧力×1.5 倍，試験保持時間 10 分間）と同等の試験条件の耐圧試験に合格していることを検査成績書等により確認できる。J SME のクラス 3 機器の最高許容耐圧試験圧力は機器の応力制限（降伏点）を基に定められており，耐圧試験の規定では，耐圧試験圧力は最高使用圧力の 1.5 倍の 106% を超えないこととしている。一方，J SME のクラス 3 機器の設計許容応力は降伏点に対して 5/8 を基準にしており，この設計許容応力以下となる必要板厚は，最高使用圧力を条件として評価式により求めている。よって，J SME PHT-2311 で規定されている耐圧試験と同等の試験条件の耐圧試験に合格することで，メーカー規格及び基準の設計が J SME と同等の裕度を持っているとみなせるため，当該放水砲は要求される強度を有している。

IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス 3 機器は，一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し，使用材料の特性を踏まえた上で，重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

V-3-6-2-4 原子炉格納容器調気設備の強度計算書

V-3-6-2-4-2 窒素ガス代替注入系の強度計算書

V-3-6-2-4-2-2 管（可搬型）の強度計算書

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（窒素供給用 5m ホース）

I. 重大事故等クラス 3 機器の使用目的及び使用環境、材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
ホース	可搬型窒素供給装置から原子炉建屋東側接続口又は原子炉建屋西側接続口に窒素を送ることのためのホースとして使用することを目的とする。使用環境として、屋外で窒素を送気する。	補強繊維入り合成ゴム	1.0*	60*

注記 *：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
EXCEL COLOR 50×3B	一般送水用及びエア一用のホースであり、淡水又は圧縮空気等を送るために使用することを目的とする。使用環境として、屋内外で淡水又は圧縮空気等を送気することを想定している。	補強繊維入り合成ゴム	1.0	60	耐圧試験（試験圧力：2.0 MPa、試験保持時間：1 分間）を実施。

III. 確認項目

a：規格及び基準が妥当であることの確認（I と II の使用目的及び使用環境の比較）

当該ホースは、重大事故等時に屋外で窒素を送気するためのホースである。一方、本メーカー規格及び基準は、淡水又は圧縮空気等を送るために使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり、屋内外での淡水又は圧縮空気等の送気を想定している。重大事故等時における当該ホースの使用目的及び使用環境は、本規格の仕様目的及び想定している使用環境の範囲内である。

b：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（II と公的な規格等の材料及び試験条件の比較、I と II の使用条件の比較）

当該ホースに使用されている材料は、空気用のゴムホースについて規定している J I S K 6 3 3 2 「空気用ゴムホース（エア一ホース）」で使用可能な材料とされている繊維等で補強されたゴムと同種類の材料である。

当該ホースの最高使用圧力及び最高使用温度はメーカー仕様の範囲内であり、J S M E P H T - 2 3 1 2 で規定されている耐圧試験（試験圧力：最高使用圧力×1.25 倍）と同等の試験条件の耐圧試験に合格していることを検査成績書等により確認できる。耐圧試験による機器の健全性は、耐圧部全体に圧力が負荷される適切な試験保持時間（J I S K 6 3 3 0 - 2 「ホース及びホースアセンブリの耐圧性」で規定される耐圧試験保持時間と同等）により確認している。なお、J S M E のクラス 3 機器の最高許容耐圧試験圧力は機器の応力制限（降伏点）を基準に定められており、耐圧試験の規定では、耐圧試験圧力は最高使用圧力の 1.25 倍の 106% を超えないこととしている。一方、クラス 3 機器の設計許容応力は降伏点に対して 5/8 を基準にしており、この設計許容応力以下となる必要板厚は、最高使用圧力を上限として評価式により求めている。よって、J S M E P H T - 2 3 1 2 で規定されている耐圧試験と同等の試験条件の耐圧試験に合格することで、メーカー規格及び基準の設計が J S M E と同等の裕度を持っているとみなせるため、当該ホースは要求される強度を有している。

IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス 3 機器は、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、使用材料の特性を踏まえた上で、重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

V-3-6-2-5 圧力逃がし装置の強度計算書

V-3-6-2-5-1 格納容器圧力逃がし装置の強度計算書

V-3-6-2-5-1-2 管（可搬型）の強度計算書

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（格納容器圧力逃がし装置送水用 20m ホース）

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
ホース	送水用 5m, 10m, 50m ホースからフィルタ装置接続口に接続し，格納容器圧力逃がし装置フィルタ装置へ送水するためのホースとして使用することを目的とする。使用環境として，屋外で淡水又は海水を送水する。	ポリエステル， ポリウレタン	1.6*	60*

注記 *：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
ドルフィンホース α	消防用のホースであり，火災等の災害時に被害を軽減するための送水ホースとして使用することを目的とする。使用環境として，屋内外で淡水または海水を送水することを想定している。	ポリエステル， ポリウレタン	1.6	60	耐圧試験（試験圧力 3.2 MPa， 試験保持時間：5 分間）を実施。

III. 確認項目

a：規格及び基準が妥当であることの確認（I と II の使用目的及び使用環境の比較）

当該ホースは，重大事故等時に屋外で淡水又は海水を送水するためのホースである。一方，本メーカー規格及び基準は，消防用として使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり，屋内外での淡水又は海水の送水を想定している。重大事故等時における当該ホースの使用目的及び使用環境は，本規格の仕様目的及び想定している使用環境の範囲内である。

b：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（II と公的な規格等の材料及び試験条件の比較，I と II の使用条件の比較）

当該ホースの型式については，「消防法」に基づくものとして承認又は届出されており，「消防法」に従った適切な材料が使用されていることを型式承認の結果又は届出番号により確認できる。

当該ホースの最高使用温度及び最高使用圧力はメーカー仕様の範囲内であり，消防法に基づく消防用ホースの技術上の規格を定める省令で規定されている耐圧試験（試験圧力：3.2 MPa，試験保持時間：5 分間）と同等の試験に合格していることを検査成績書等で確認できることから，当該ホースは要求される強度を有している。

IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス3機器は，一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し，使用材料の特性を踏まえた上で，重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

V-3-7 その他発電用原子炉の附属施設の強度に関する説明書

V-3-7-2 補機駆動用燃料設備の強度に関する説明書

V-3-7-2-1 可搬型代替注水大型ポンプ車載燃料タンクの強度計算書

メーカー規格及び基準への適合性確認結果

(可搬型代替注水大型ポンプ車載燃料タンク)

可搬型代替注水大型ポンプ車載燃料タンクは、可搬型代替注水大型ポンプの附属機器であり、一体構造品の完成品として一般産業品の規格及び基準により強度評価を実施している。添付資料V-3-3-3-4-2「可搬型代替注水大型ポンプの強度計算書」に示すとおり、可搬型代替注水大型ポンプ車載燃料タンクは、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、重大事故等時における使用条件において要求される強度を有している。

V-3-7-2-2 可搬型代替注水中型ポンプ車載燃料タンクの強度計算書

メーカー規格及び基準への適合性確認結果

(可搬型代替注水中型ポンプ車載燃料タンク)

可搬型代替注水中型ポンプ車載燃料タンクは、可搬型代替注水中型ポンプの附属機器であり、一体構造品の完成品として一般産業品の規格及び基準により強度評価を実施している。添付資料V-3-3-3-4-3「可搬型代替注水中型ポンプの強度計算書」に示すとおり、可搬型代替注水中型ポンプ車載燃料タンクは、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、重大事故等時における使用条件において要求される強度を有している。

V-3-7-2-3 タンクローリの強度計算書

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（タンクローリ）

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境、材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (kPa)	最高使用温度 (°C)
だ円形横置	重大事故等が発生した場合において、可搬型設備用軽油タンクから可搬型代替注水大型ポンプ車載燃料タンク、可搬型代替低圧電源車燃料タンク等へ燃料を補給するためのタンクローリとして使用することを目的とする。使用環境として、屋外で燃料を貯蔵、運搬する。	(胴板, 鏡板) SAPH400, SS400 (マンホールふた) SAPH400	24	40*

注記 * : 重大事故等時における使用時の値を示す。

II. 法令又は公的な規格に規定されている事項

規格及び基準	「消防法」に基づく「危険物の規制に関する政令」				
機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (kPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
移動タンク貯蔵所	車両に固定されたタンクにおいて危険物を貯蔵し、又は取り扱う貯蔵所として使用することを目的とする。使用環境として、屋外で重油等の危険物を貯蔵、運搬することを想定している。	厚さ 3.2 mm 以上の鋼板又はこれと同等以上の機械的性質を有する材料	—	—	圧力タンクを除くタンクにあつては、水圧試験（試験圧力：70kPa，試験保持時間：10分）に合格したものに、タンク検査済証の交付がなされる。

III. メーカー仕様

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (kPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
4000L タンクローリ (1LP-FD873C)	車両に固定されたタンクにおいて危険物を貯蔵し、又は取り扱う貯蔵所として使用することを目的としている。使用環境として、屋外で軽油等の危険物を貯蔵、運搬することを想定している。	(胴板, 鏡板) SAPH400, SS400 (マンホールふた) SAPH400	24*	40	市町村長等又は行政機関による水圧試験（試験圧力：70kPa，試験保持時間：10分間）に合格している。

注記 * : 安全装置の作動圧の最高値を示す。

IV. 確認項目

a : 規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

当該タンクは、重大事故等時に燃料補給用のタンクローリとして屋外で使用される。一方、「消防法」に基づく「危険物の規制に関する政令」は、危険物の貯蔵又は取り扱いに関する技術上の規格を定めた一般産業品に対する規格であり、移動タンク貯蔵所は屋外で危険物を貯蔵、運搬することを想定している。重大事故等時における当該タンクの使用目的及び使用環境は、本規格で定める使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

b : 材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（IIとIIIの材料及び試験条件の比較，IとIIIの使用条件の比較）

当該タンクには「消防法」に基づく「危険物の規則に関する政令」に従った適切な材料である鋼板が使用されていることを行政機関によるタンク検査済証により確認できる。

当該タンクの最高使用圧力及び最高使用温度はメーカー仕様の範囲内であり、「消防法」に基づく「危険物の規制に関する政令」に従った試験に合格していることを行政機関によるタンク検査済証により確認できることから、当該タンクは要求される強度を有している。

V. 評価結果

上記の重大事故等クラス3機器は、一般産業品として「消防法（危険物の規制に関する政令に含む）」に適合し、使用材料の特性を踏まえた上で、重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

V-3-7-2-4 管（可搬型）の強度計算書

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（タンクローリ給油用 10m ホース）

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
ホース	タンクローリから低圧代替注水大型ポンプ燃料タンク等へ燃料を移送するホースとして使用することを目的とする。使用環境として，屋外で燃料を移送する。	補強層入り多層ゴム	1.0	80

注記 *：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
エースローリ ホース (1・1/2B)	一般給油用又は油圧配管用等のホースであり，灯油，軽油，重油を移送するホースとして使用することを目的とする。使用環境として，屋内外で燃料を移送することを想定している。	補強層入り多層ゴム	1.0	80	耐圧試験（試験圧力：1.5 MPa，試験保持時間：10 分間）を実施。

III. 確認項目

a：規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

当該ホースは，重大事故等時に屋外で燃料を移送するためのホースである。一方，本メーカー規格及び基準は，一般給油用のホースとして使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり，屋内外で燃料を移送することを想定している。重大事故等時における当該ホースの使用目的及び使用環境は，本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

b：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（IIと公的な規格等の材料及び試験条件の比較，IとIIの使用条件の比較）

当該ホースに使用されている材料は，作動油を流すことに使用するゴムホースについて規定している J I S K 6 3 4 9 「液圧用の鋼線又は繊維補強ゴムホース」で使用可能な材料とされている繊維等で補強されたゴムと同種類の材料である。

当該ホースの最高使用圧力及び最高使用温度はメーカー仕様の範囲内であり，J S M E P H T - 2 3 1 1 で規定されている耐圧試験（試験圧力；最高使用圧力×1.5倍）と同等の試験条件の耐圧試験に合格していることを検査成績書等により確認できる。耐圧試験による機器の健全性は，耐圧部全体に圧力が負荷される適切な試験保持時間（J S M E 解説 P H T - 4 0 0 0）により確認している。一方，J S M E のクラス3機器の設計許容応力は降伏点に対して5/8を基準にしており，この設計許容応力以下となる必要板厚は最高使用圧力を条件として評価式により求めている。よって，J S M E P H T - 2 3 1 1 で規定されている耐圧試験と同等の試験条件の耐圧試験に合格することで，メーカー規格及び基準の設計が J S M E と同等の裕度を有しているとみなせるため，当該ホースは要求される強度を有している。

IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス3機器は，一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し，使用材料の特性を踏まえた上で，重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（タンクローリ送油用 19.5m ホース）

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
ホース	タンクローリから低圧代替注水大型ポンプ燃料タンク等へ燃料を移送するホースとして使用することを目的とする。使用環境として，屋外で燃料を移送する。	補強層入り多層ゴム	1.0	80

注記 *：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
エースローリ ホース (1B)	一般給油用又は油圧配管用等のホースであり，灯油，軽油，重油を移送するホースとして使用することを目的とする。使用環境として，屋内外で燃料を移送することを想定している。	補強層入り多層ゴム	1.0	80	耐圧試験（試験圧力：1.5 MPa，試験保持時間：10 分間）を実施。

III. 確認項目

a：規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

当該ホースは，重大事故等時に屋外で燃料を移送するためのホースである。一方，本メーカー規格及び基準は，一般給油用のホースとして使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり，屋内外で燃料を移送することを想定している。重大事故等時における当該ホースの使用目的及び使用環境は，本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

b：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（IIと公的な規格等の材料及び試験条件の比較，IとIIの使用条件の比較）

当該ホースに使用されている材料は，作動油を流すことに使用するゴムホースについて規定している J I S K 6 3 4 9 「液圧用の鋼線又は繊維補強ゴムホース」で使用可能な材料とされている繊維等で補強されたゴムと同種類の材料である。

当該ホースの最高使用圧力及び最高使用温度はメーカー仕様の範囲内であり，J S M E P H T - 2 3 1 1 で規定されている耐圧試験（試験圧力；最高使用圧力×1.5倍）と同等の試験条件の耐圧試験に合格していることを検査成績書等により確認できる。耐圧試験による機器の健全性は，耐圧部全体に圧力が負荷される適切な試験保持時間（J S M E 解説 P H T - 4 0 0 0）により確認している。一方，J S M E のクラス3機器の設計許容応力は降伏点に対して5/8を基準にしており，この設計許容応力以下となる必要板厚は最高使用圧力を条件として評価式により求めている。よって，J S M E P H T - 2 3 1 1 で規定されている耐圧試験と同等の試験条件の耐圧試験に合格することで，メーカー規格及び基準の設計が J S M E と同等の裕度を有しているとみなせるため，当該ホースは要求される強度を有している。

IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス3機器は，一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し，使用材料の特性を踏まえた上で，重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

V-3-別添 6 炉心支持構造物の強度に関する説明書

V-3-別添 6-1 炉心支持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
3.4.2	流体の物性値	6
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	荷重条件の選定	9
5.3	温度分布計算	9
5.3.1	温度分布計算の方法	9
5.3.2	温度分布計算に使用する計算機コード	9
5.4	応力計算と応力の分類	10
5.4.1	応力計算の方法	10
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	11
5.5	応力の評価	11
5.5.1	主応力	11
5.5.2	応力強さ	11
5.5.3	一次応力強さ	11

5.5.4	一次＋二次応力強さ	11
5.6	繰返し荷重の評価	12
5.6.1	疲労解析必要性の検討	12
5.6.2	疲労解析	12
5.7	特別な応力の検討	14
5.7.1	支圧応力の評価	14
5.7.2	座屈の評価	14
6.	解析及び評価結果の添付	15
6.1	温度解析結果	15
6.2	応力解析結果	15
6.3	応力評価結果	16
7.	引用文献	17
添付1	溶接部の継手効率	44
添付2	外荷重の考え方	46
添付3	温度分布計算において考慮する運転条件	49
添付4	熱伝達率の計算	50
添付5	応力集中係数の計算	52
添付6	応力計算における荷重の入力方法	54
添付7	応力計算結果の応力分類処理方法	55
添付8	計算精度と数値の丸め方	56

図表目次

図3-1	全体断面図	18
図4-1	炉心支持構造物の設計差圧	19
図4-2	炉心支持構造物の運転条件	20
図5-1	応力解析の手順	24
表1-1	炉心支持構造物の構造計画	2
表3-1	材料の分類	25
表3-2	温度分布計算及び応力計算に使用する材料の物性値	26
表3-3	繰返し荷重の評価に使用する材料の物性値	27
表3-4	流体の物性値	28
表3-5	荷重の組合せ及び供用状態（許容応力状態）	29
表3-6	炉心支持構造物用材料の許容応力	30
表4-1	外荷重	33
表4-2	荷重の組合せ	40
表5-1	応力の分類	41
表5-2	繰返しピーク応力強さの割増し方法	43

1. 概要

1.1 一般事項

本書は、炉心支持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、炉心支持構造物は耐震Sクラスの設計基準対象施設であるが、重大事故等対処設備としての流路の機能が十分に保持されることを確認する。

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

炉心支持構造物の構造計画を表1-1に示す。

なお、炉心支持構造物は、下記の機器により構成される。

- (1) 炉心シュラウド
- (2) シュラウドサポート
- (3) 上部格子板
- (4) 炉心支持板
- (5) 燃料支持金具
- (6) 制御棒案内管

表 1-1 炉心支持構造物の構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
炉心支持構造物	<p>炉心を構成する燃料集合体, 制御棒は, 炉心シュラウド内に設けられる。</p> <p>炉心シュラウドは, 原子炉圧力容器下部鏡板に溶接されたシュラウドサポートにより支持される。</p> <p>燃料集合体は, 燃料支持金具を介して制御棒案内管(ただし, 周辺燃料支持金具を介する場合は炉心支持板)によって支持される。水平方向については, 上部格子板及び炉心支持板によって支持される。</p>	<p>原子炉圧力容器内に炉心部が円柱状をなすように燃料集合体を十字形制御棒各体に隣接して装荷している。</p> <p>炉心支持構造物は, 炉心シュラウド, シュラウドサポート, 上部格子板, 炉心支持板, 燃料支持金具, 制御棒案内管により構成される。</p>	<p>The diagram is a cross-sectional view of the core support structure. It shows a central vertical axis with a control rod guide tube (制御棒案内管) running through it. Surrounding this are fuel support tools (燃料支持金具), which include peripheral (周辺燃料支持金具) and central (中央燃料支持金具) components. Above the fuel support tools is the shroud support (シュラウドサポート), consisting of a shroud support cylinder (シュラウドサポートシリンダ), shroud support plate (シュラウドサポートプレート), and shroud support leg (シュラウドサポートレグ). The shroud support is connected to the lower mirror plate of the pressure vessel. Above the shroud support is the core shroud (炉心シュラウド), which is supported by a core support plate (炉心支持板). At the top, there is an upper grid plate (上部格子板). The entire structure is supported by the lower mirror plate of the pressure vessel.</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 _o	簡易弾塑性解析に使用する係数	—
a	温度伝導率，簡易弾塑性解析に使用する係数	m ² /s, —
B _o	簡易弾塑性解析に使用する係数	—
C _p	定圧比熱	J/ (kg・K)
E	縦弾性係数	MPa
E _o	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
H	水平力	N
h	熱伝達率	W/ (m ² ・K)
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 _e '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
P _r	プラントル数	—
Q	二次応力	MPa
q	簡易弾塑性解析に使用する係数	—
R _e	レイノルズ数	—
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

計算書の 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	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
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 \cdot °C)
η	溶接部の継手効率	—
λ	熱伝導率	W/ (m \cdot K)
ν	ポアソン比	—
ν_0	動粘性係数	m ² /s
ρ	密度	kg/m ³
σ_1	主応力	MPa
σ_2	主応力	MPa
σ_3	主応力	MPa
σ_ℓ	軸方向応力	MPa
σ_r	半径方向応力	MPa
σ_t	周方向応力	MPa
$\tau_{\ell r}$	せん断応力	MPa
$\tau_{r t}$	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) 炉心シュラウド
- (2) シュラウドサポート
- (3) 上部格子板
- (4) 炉心支持板
- (5) 燃料支持金具
- (6) 制御棒案内管

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

温度分布計算、応力計算及び繰返し荷重の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。
また、熱伝導率 λ 及び温度伝導率 a は、引用文献(1)に定められたものによる。
なお、物性値を補正して使用する場合には、補正方法を各応力計算書に示す。
- (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。温度分布計算及び熱応力計算に使用する物性値は、その温度依存性を考慮する。
なお、常温は20℃とする。
- (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。

3.4.2 流体の物性値

温度分布計算に使用する流体の物性値は、引用文献(2) (改訂第4版) の表に定められたものによる。

主な温度における物性値を表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) 炉心支持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。

これらの表に記載のない軸圧縮荷重及び外面に圧力を受ける場合に対する許容応力は、各応力計算書に記載するものとする。

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

炉心支持構造物は、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設計上定めた炉心支持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) 熱負荷(温度分布計算で求められた温度分布に基づき算定する荷重)	[L10]
(6) 機器の地震時の振動による地震荷重 S_d^* (一次荷重)	[L14]
(7) 機器の地震時の振動による地震荷重 S_s (一次荷重)	[L16]

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、内圧及び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。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 温度分布計算

5.3.1 温度分布計算の方法

- (1) 解析上考慮する運転条件を添付3に示す。
- (2) 計算モデルは次の方針に従う。
 - a. 内張り材がある場合には、内張り材の影響を考慮する。
 - b. 内張り材のない低合金鋼及び炭素鋼母材の内表面は 外表面は のくされ代を考慮する。内張り材のある低合金鋼及び炭素鋼母材の内表面、オーステナイト系ステンレス鋼、高ニッケル合金には、くされ代を考慮しない。
 - c. 保温材のある部分の境界は、断熱とする。他の境界には、計算で求めた熱伝達率を用いる。(添付4参照)
 - d. 形状及び材料の不連続を考慮して、温度分布計算のためのメッシュ分割を行う。
 - e. 溶接部は、溶接金属に相当する鋼材と同じ物性値を用いる。
- (3) 計算機コードを用いて、考慮する運転条件についての温度分布を計算する。また、あらかじめ指定した代表点の温度を比較し、
温度分布をアウトプットする。
- (4) 境界における熱伝達率、計算モデル及び温度分布の計算結果（温度遷移図及び温度分布図）を各応力計算書に示す。

5.3.2 温度分布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。温度分布計算は、領域を小さなメッシュに分割し、各メッシュについて熱平衡方程式を立て、微小時間でステップごとの温度分布を順次求める方法によっている。

(2) TACF

有限要素法による軸対称構造物の温度分布解析コードである。温度分布計算は、領域を小さなメッシュに分割し、各メッシュについて熱平衡方程式を立て、微小時間でステップごとの温度分布を順次求める方法によっている。

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. 内張り材は、強度部材に含めない。ただし、熱応力計算に当たっては、内張り材の影響を考慮する。
 - b. 内張り材のない低合金鋼及び炭素鋼母材の内表面は 外表面は のくされ代を考慮する。内張り材のある低合金鋼及び炭素鋼母材の内表面、オーステナイト系ステンレス鋼、高ニッケル合金には、くされ代を考慮しない。
 - c. 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。
 - d. 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。
 - e. 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、引用文献(3)の Appendix B の手法 (添付 5 参照) に従って求める。若しくは、応力集中係数を理論的又は実験的に求めない場合は、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 6 に示す。

5.4.2 応力計算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る。圧力、外荷重及び熱荷重によって生じる形状の不連続の効果を含む応力の解析に使用する。

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。

(2) A S H S D 2 - B

有限要素法による軸対称構造物の応力解析コードである。応力は、膜応力、膜+曲げ応力及び膜+曲げ+ピーク応力の各成分をアウトプットする。

内圧、差圧、外荷重 (軸対称荷重及び非軸対称荷重) 及び熱荷重によって生じる形状の不連続の効果を含む一次+二次応力の解析に使用する。

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。

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 及び ASHSD 2-B による応力計算結果の応力分類処理方法を添付 7 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 , $\tau_{t\ell}$, $\tau_{\ell r}$, τ_{rt} の 6 成分をもつが、主応力 σ は引用文献(4)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。

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

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。

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

炉心シュラウド、上部格子板、炉心支持板及び燃料支持金具は、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

制御棒案内管については、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。ここで、物性値は、制限値が小さくなるように、高ニッケル合金に対してもオーステナイト系ステンレス鋼のものを使用する。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（添付3参照）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 支圧応力の評価

支圧荷重を受ける部分は、設計・建設規格 CSS-3115 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、炉心シュラウドの応力計算書に示す。

- (1) 炉心シュラウドの上部格子板及び炉心支持板支持面

5.7.2 座屈の評価

軸圧縮荷重又は外圧を受ける部分は、設計・建設規格 CSS-3116.1 又は CSS-3200 により評価する。ただし、シュラウドサポートレグの座屈は、設計・建設規格 CSS-3116.2 により評価する。解析箇所を以下に示す。許容応力及び評価方法は、各応力計算書に示す。

- (1) 炉心シュラウド
- (2) シュラウドサポートレグ
- (3) 制御棒案内管のボディ

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 8 に示す。

6.1 温度解析結果

温度分布計算を行った運転条件に対する温度遷移図と温度分布図を添付する。

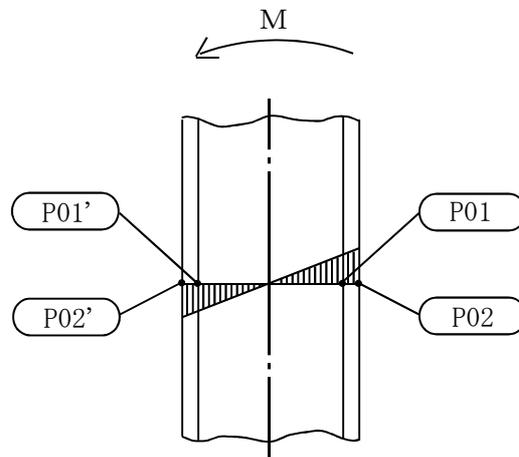
6.2 応力解析結果

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. 支圧応力
 - b. 座屈

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) ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE SEC. II PART D, MATERIALS (2013 Edition)
- (2) 伝熱工学資料 (日本機械学会 改訂第4版)
- (3) March 1979 Revision of WRC Bulletin 107/August 1965 「Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings」
- (4) 機械工学便覧 基礎編 α 3 (日本機械学会)
- (5) 「伝熱概論」 甲藤好郎著, 養賢堂発行

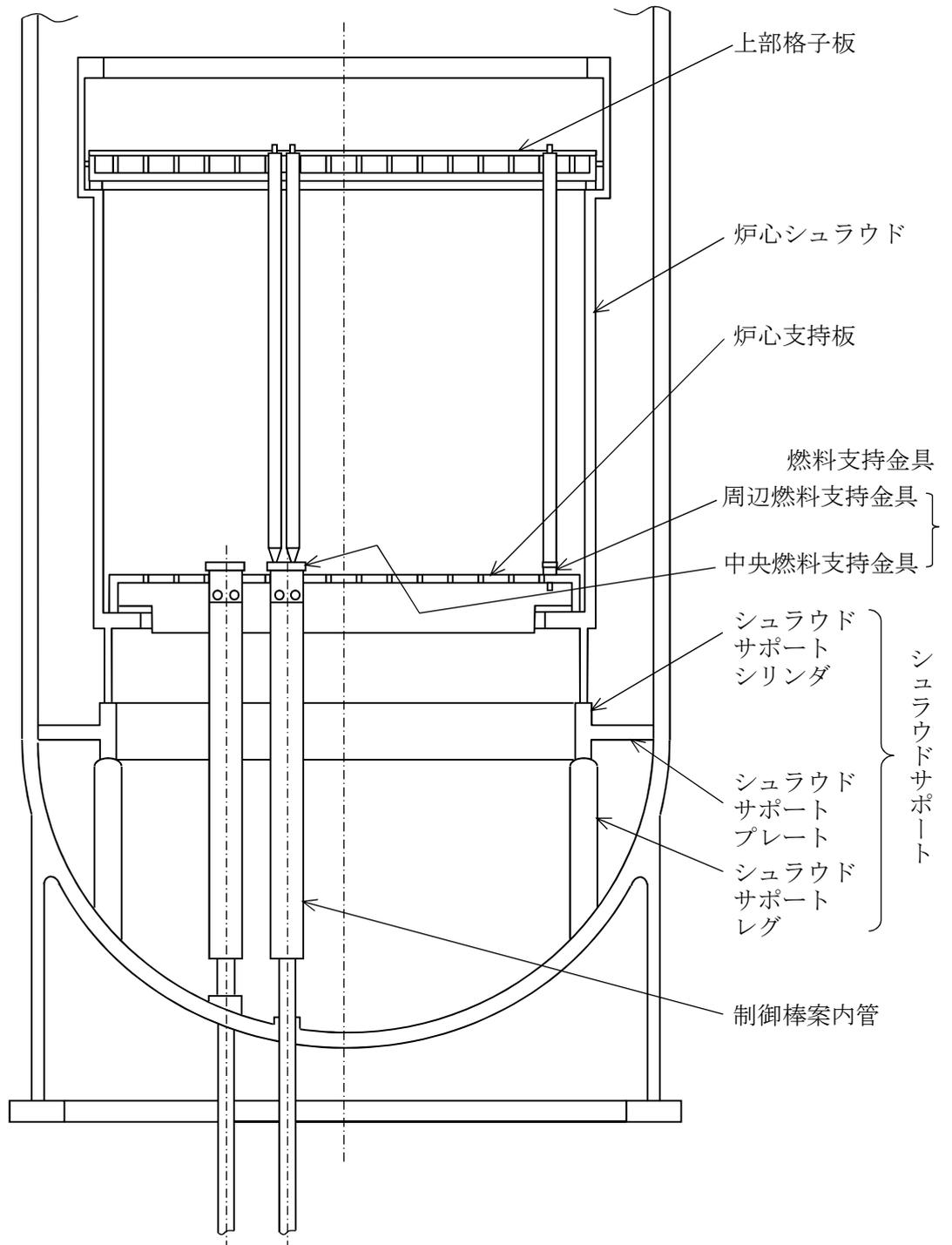
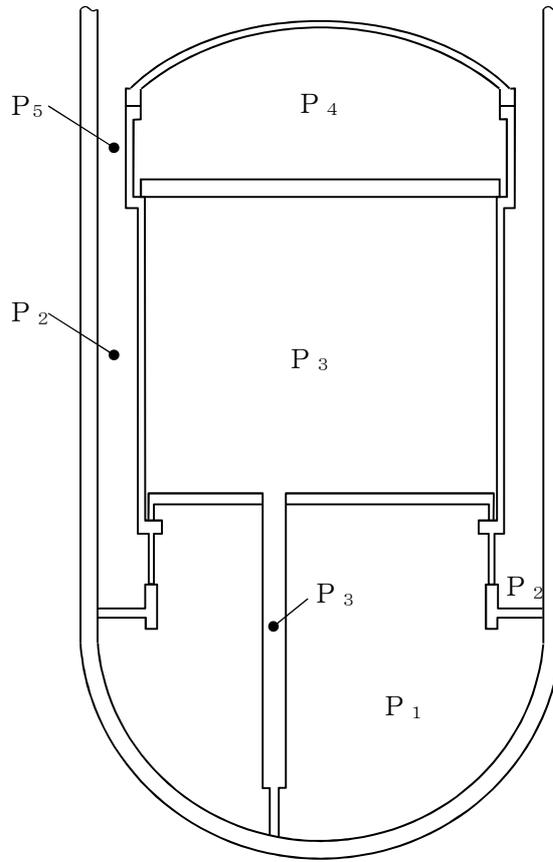


図 3-1 全体断面図



(単位：MPa)

部位		設計差圧
炉心シュラウド	$P_{45} = P_4 - P_5$	
	$P_{32} = P_3 - P_2$	
	$P_{12} = P_1 - P_2$	
シュラウドサポート	$P_{12} = P_1 - P_2$	
上部格子板	$P_{34} = P_3 - P_4$	
炉心支持板	$P_{13} = P_1 - P_3$	
燃料支持金具	$P_{13} = P_1 - P_3$	
制御棒案内管	$P_{13} = P_1 - P_3$	

図 4-1 炉心支持構造物の設計差圧

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	耐久試験 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		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) 炉心支持構造物の運転条件

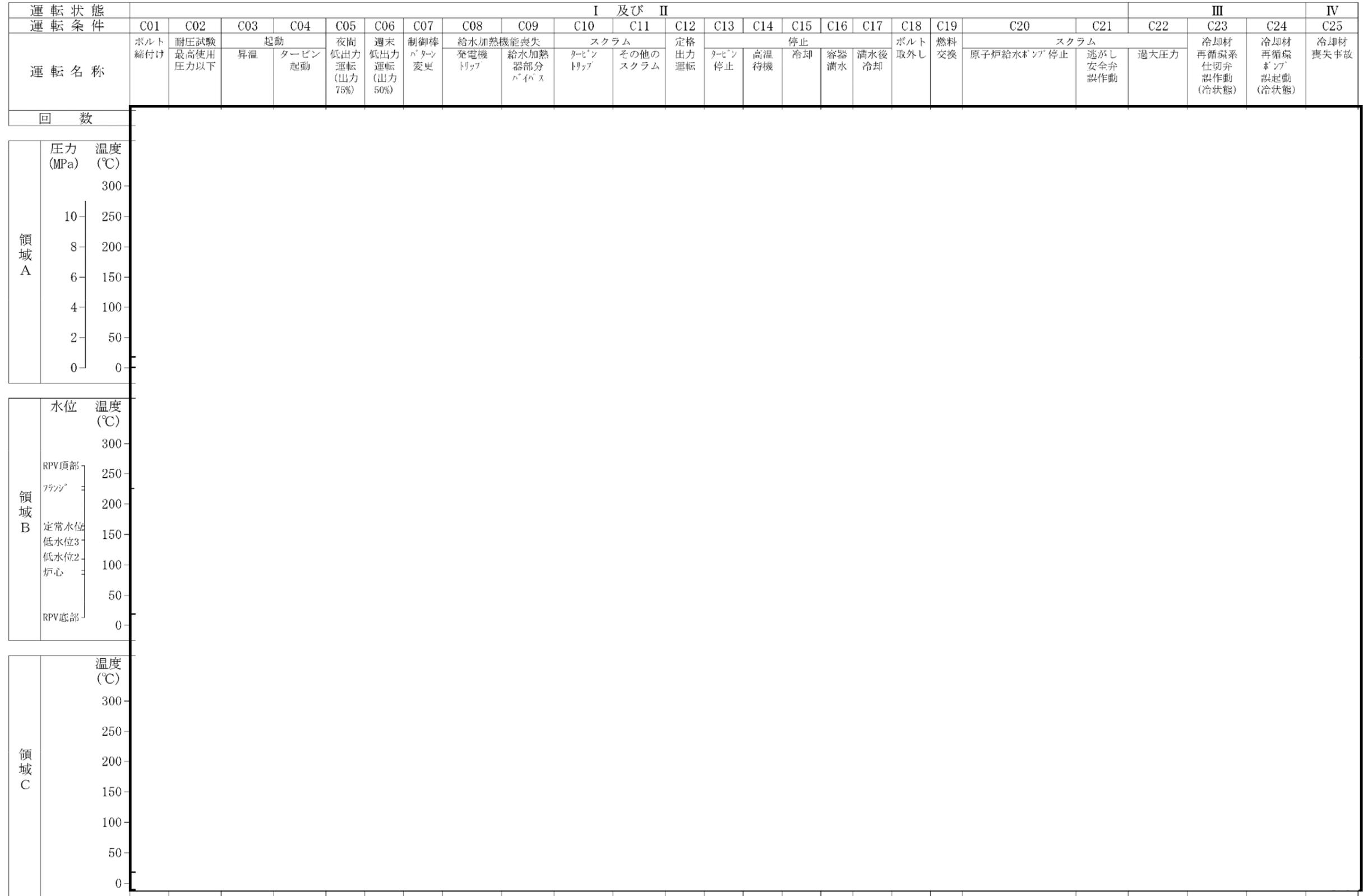


図 4-2(2) 炉心支持構造物の運転条件

図 4-2(2) 炉心支持構造物の運転条件 (続)

注記

--

--

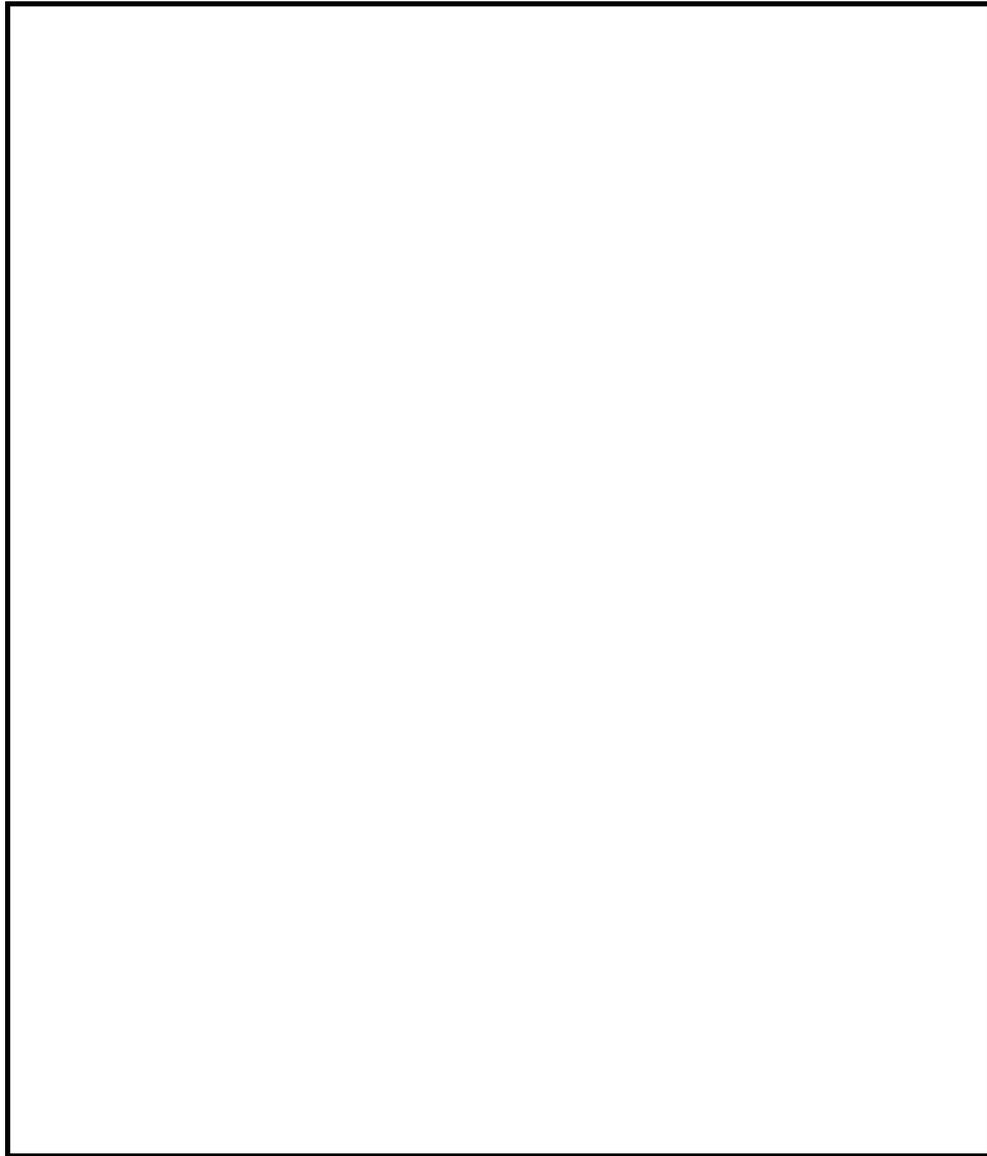


図 4-2(3) 炉心支持構造物の運転条件
(原子炉压力容器内領域図)

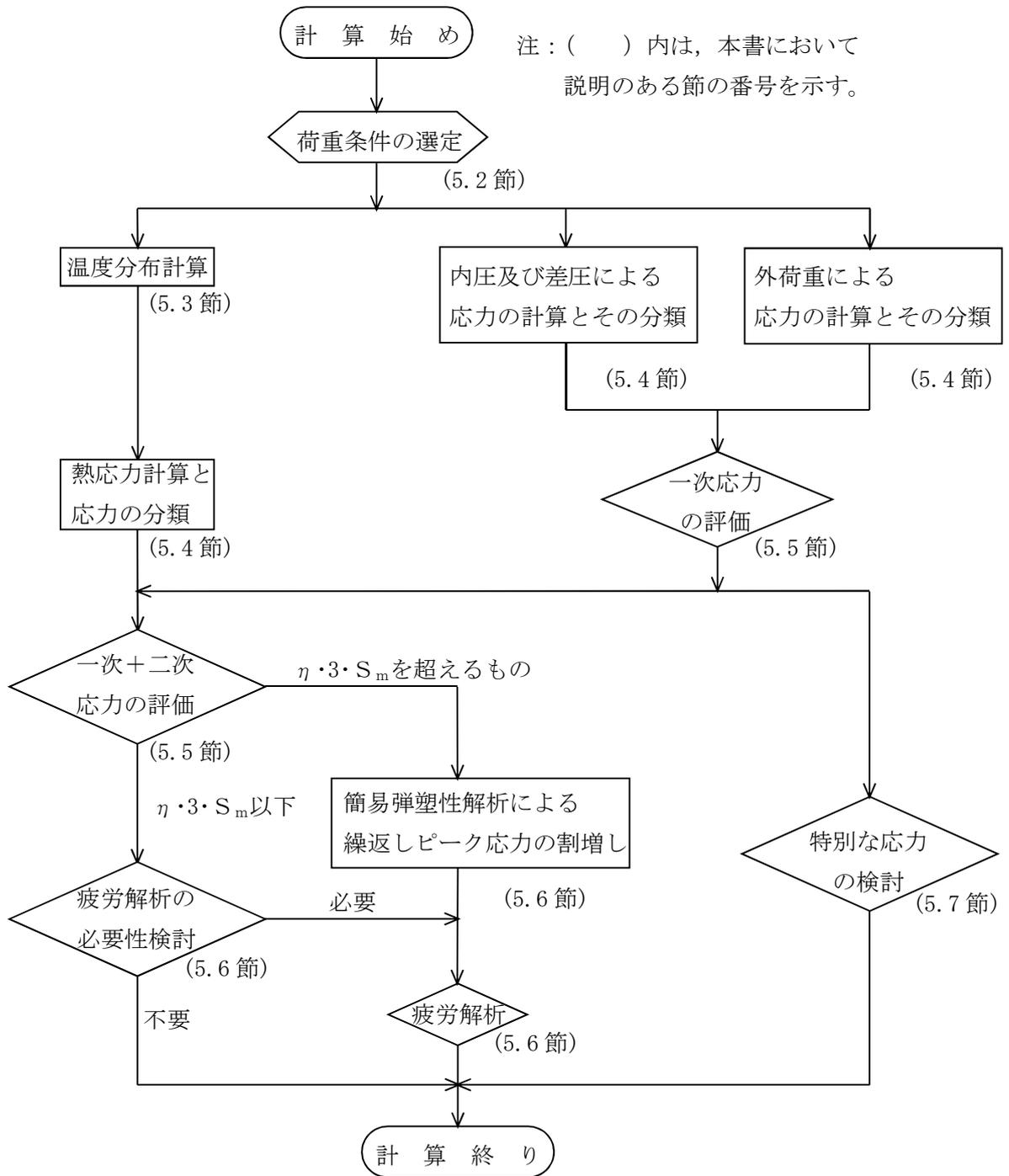


図 5-1 応力解析の手順

表 3-1 材料の分類

種類	使用材料	備考
低合金鋼		SQV2A 相当
オーステナイト系 ステンレス鋼		SUS304 相当
		SUS304L 相当
		SUS304TP 相当
		SCS13 相当
高ニッケル合金		NCF600 相当

表 3-2 温度分布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))	λ (W/ (m・K))	a ×10 ⁻⁶ (m ² /s)	ν
SQV2A	20	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	161					
	302					
SUS304	20					
SUS304L	161					
SUS304TP	302					
SCS13	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 : 温度分布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 SUS304L SUS304TP SCS13					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 流体の物性値

種類	温度 (°C)	λ (W/ (m·K))	C_p (J/ (kg·K))	ρ (kg/m ³)	ν_o (m ² / s)	P_r
水						

注：温度分布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、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。なお、シュラウドサポートについては、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 3-5 荷重の組合せ及び供用状態（許容応力状態）

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	炉心支持 構造物	炉心シュラウド シュラウドサポート 上部格子板 炉心支持板 燃料支持金具 制御棒案内管	S	炉心支持 構造物	設計条件による荷重	設計条件	$P_o + M$
					運転状態Ⅰによる荷重	A	$P + D + O$
					運転状態Ⅱによる荷重	B	
					運転状態Ⅲによる荷重	C	$P + D$
					運転状態Ⅳ（L）による荷重 ^{*1}	D	$P + D$
					運転状態Ⅳ（S）による荷重 ^{*2}		
					運転状態Ⅰによる荷重	$III_A S$	$P + D + S_d^*$
					運転状態Ⅱによる荷重		
					運転状態Ⅰによる荷重	$IV_A S$	$P + D + S_s$
運転状態Ⅱによる荷重							

注：

P_o : 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 : 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。

*2 : 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 3-6(1) 炉心支持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 ステンレス鋼及び 高ニッケル合金	SUS304	114	171	261	172	260
	SUS304TP					
	SUS304L	96	144	235	145	232
	SCS13	97	146	227	146	227
	NCF600	164	246	334	246	334
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) 炉心支持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 ($P_m + P_b + Q$)
供用状態 (許容応力状態)		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 ステンレス鋼及び 高ニッケル合金	SUS304	172	257	392	258	391	348
	SUS304TP						
	SUS304L	145	217	353	218	348	294
	SCS13	146	219	341	220	341	297
	NCF600	246	369	501	369	501	492
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)	$3 \cdot S_m$

表 3-6(3) 炉心支持構造物用材料の許容応力

(単位：MPa)

応力分類		支圧応力				
		A, B	C	D	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
供用状態（許容応力状態）						
温度（℃）						
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304L	108	162	219	163	217
許容応力の算出式		S_y	$1.5 \cdot S_y$	$2 \cdot S_y$	$1.5 \cdot S_y$	$2 \cdot S_y$

表 4-1(1) 外荷重

炉心シュラウド外荷重

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	[Blank]	[Blank]	[Blank]
		B			
		C			
		D			
L04	死荷重	A			
		B			
		C			
		D			
		E			
		F			
		G			
L14	地震荷重 S_d^*	A			
		B			
		C			
		D			
		E			
		F			
		G			
L16	地震荷重 S_s	A			
		B			
		C			
		D			
		E			
		F			
		G			

注：V，H及びMは，A～Gの各荷重作用点に作用する。

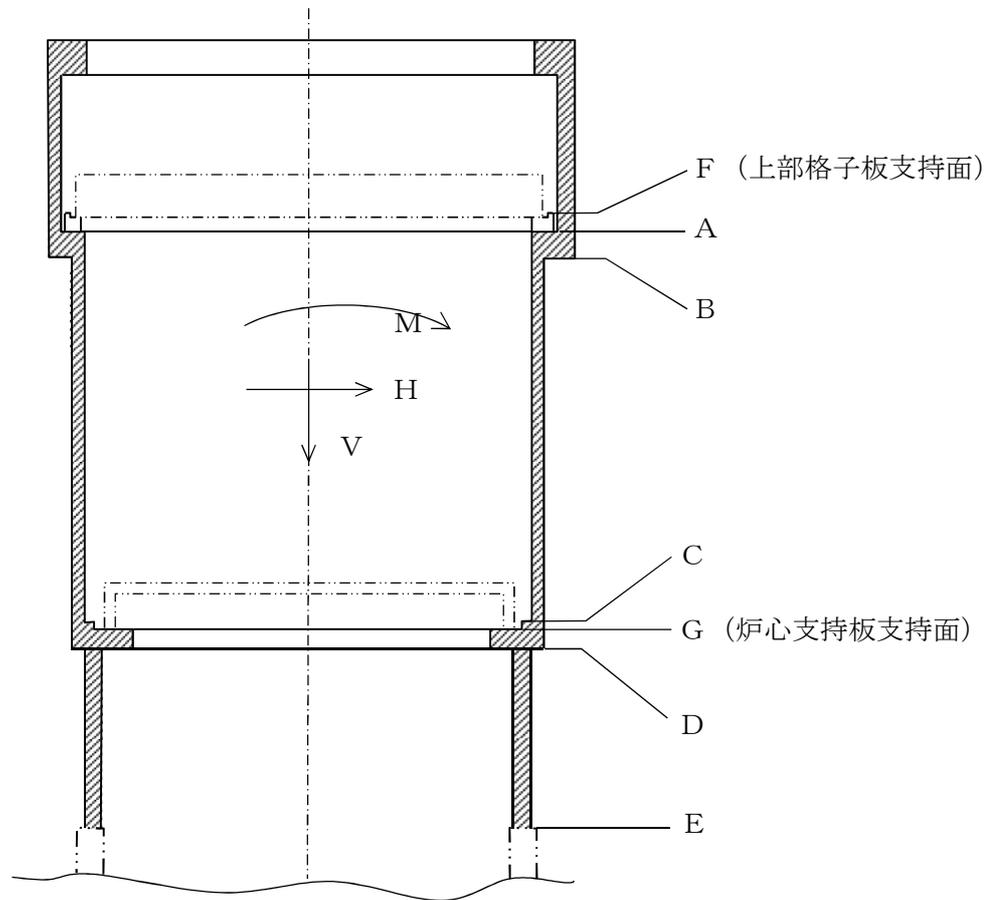


表 4-1(2) 外荷重

シュラウドサポート外荷重

記号	荷重名称	鉛直力		水平力	モーメント
		V ₁ (kN)	V ₂ (kN)	H (kN)	M (kN・m)
L04	死荷重				
L14	地震荷重 S _d *				
L16	地震荷重 S _s				

--

表 4-1(3) 外荷重

上部格子板外荷重

記号	荷重名称	鉛直力*1	水平力*2
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(4) 外荷重

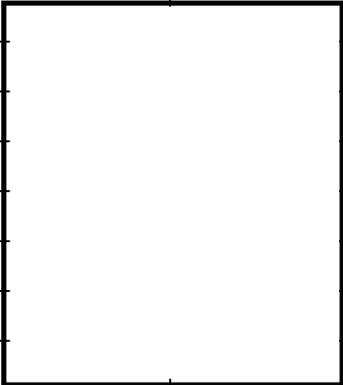
炉心支持板外荷重

記号	荷重名称	鉛直力		水平力*3
		V ₁ (N) *1	V ₂ (N) *2	H (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(5) 外荷重

燃料支持金具外荷重

記号	荷重名称	荷重* 作用点	鉛直力	水平力
			V (kN)	H (kN)
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 * : 荷重作用点 A は中央燃料支持金具を示し, 荷重作用点 B は
周辺燃料支持金具を示す。

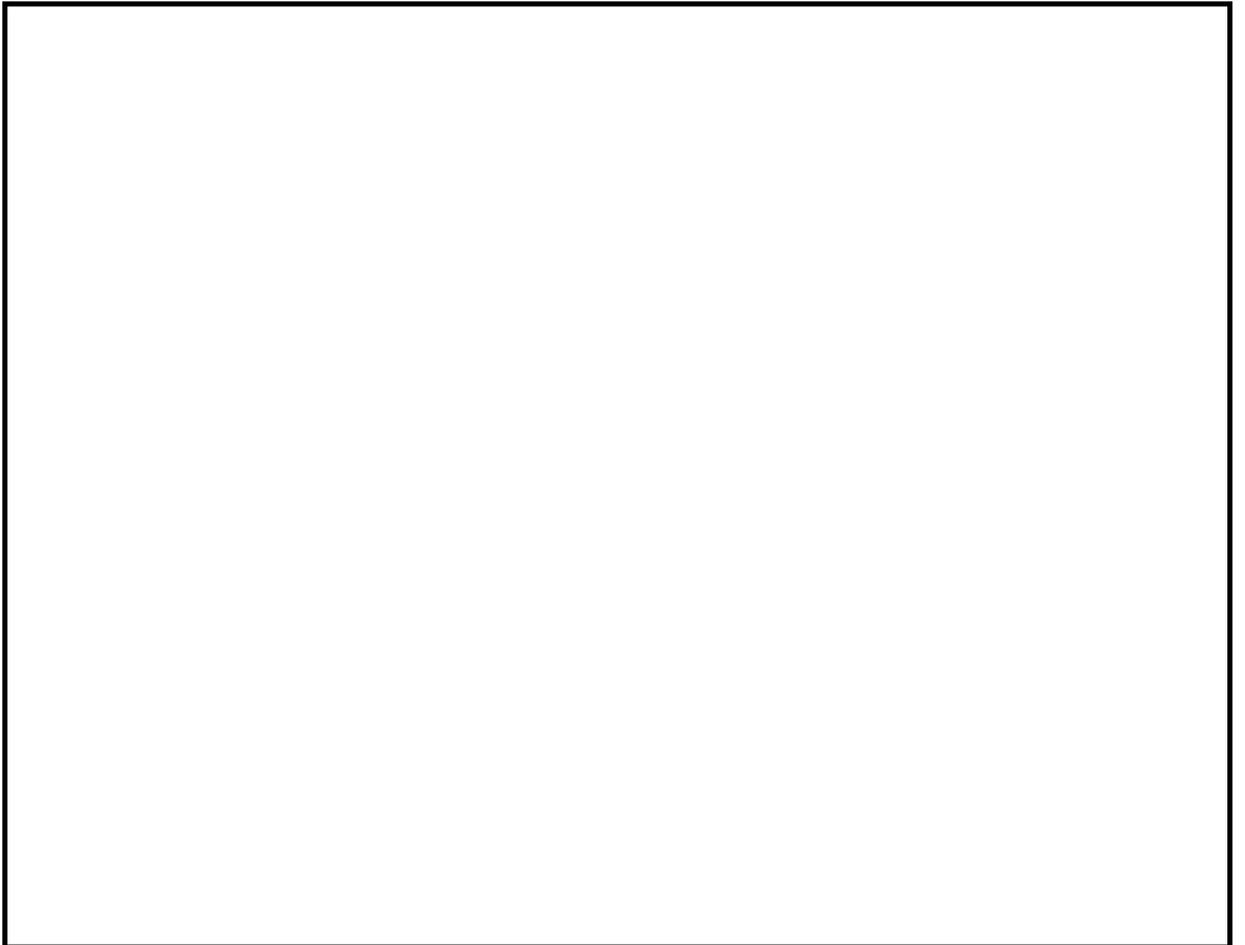


表 4-1(6) 外荷重

制御棒案内管外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	鉛直力	水平力	モーメント
			V (kN)	H (kN)	M (kN・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			

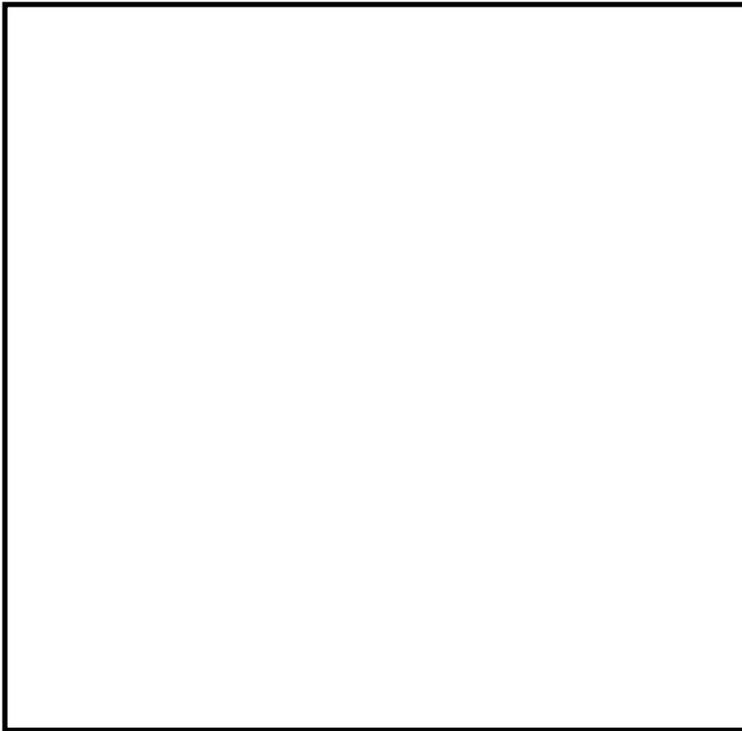


表 4-2 荷重の組合せ

供用状態 (許容応力状態)	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	L02+L04+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 $P_m + P_b$
許容応力状態 IV _A S	L02+L04+L16	P_m $P_m + P_b$

注記 * : シュラウドサポートは、原子炉压力容器に直接取り付けられており、原子炉压力容器の内圧 (L01) により原子炉压力容器が変形することに起因して構造不連続による応力が生じる。このためシュラウドサポートについては、 $P_m + P_b + Q$ 及び疲労解析の評価において、原子炉压力容器の内圧 (L01) を考慮する。

表 5-1 応力の分類

炉心支持 構造物の要素	位 置	荷重の種類	応力の分類	
円筒胴	不連続部より遠い 胴板	圧力差	一般膜応力 板厚方向に変化する応力	P_m Q
		軸方向温度 勾配	膜応力 曲げ応力	Q Q
	鏡板又はフランジ との接続部	圧力差	膜応力 曲げ応力	Q Q
胴	全胴部の任意断面	外荷重, モーメント 又は圧力差	全断面について平均した 一般膜応力, 断面に垂直 な応力成分	P_m
		外荷重又は モーメント	全断面の曲げ応力, 断面 に垂直な応力成分	P_m
平板	中央部	圧力差	一般膜応力 曲げ応力	P_m P_b
	胴との接続部	圧力差	膜応力 曲げ応力	Q Q
全般	全般	板厚にそっ た半径方向 温度勾配	相当曲げ部による応力 非直線部による応力	Q F
全般	全般	全般	応力集中 (切欠効果)	F
はり又は板	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, 断面に垂直 な応力成分 曲げ応力 ピーク応力	P_m P_b F
		膨張差	膜応力 曲げ応力 ピーク応力	Q Q 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。

厚さ方向の温度勾配による応力のうち、等価直線成分は Q に含まれる。

F : 応力集中又は局部熱応力により、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。

厚さ方向の温度勾配による応力のうち、非直線的成分は F に含まれる。

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

炉心支持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 溶接部の継手効率

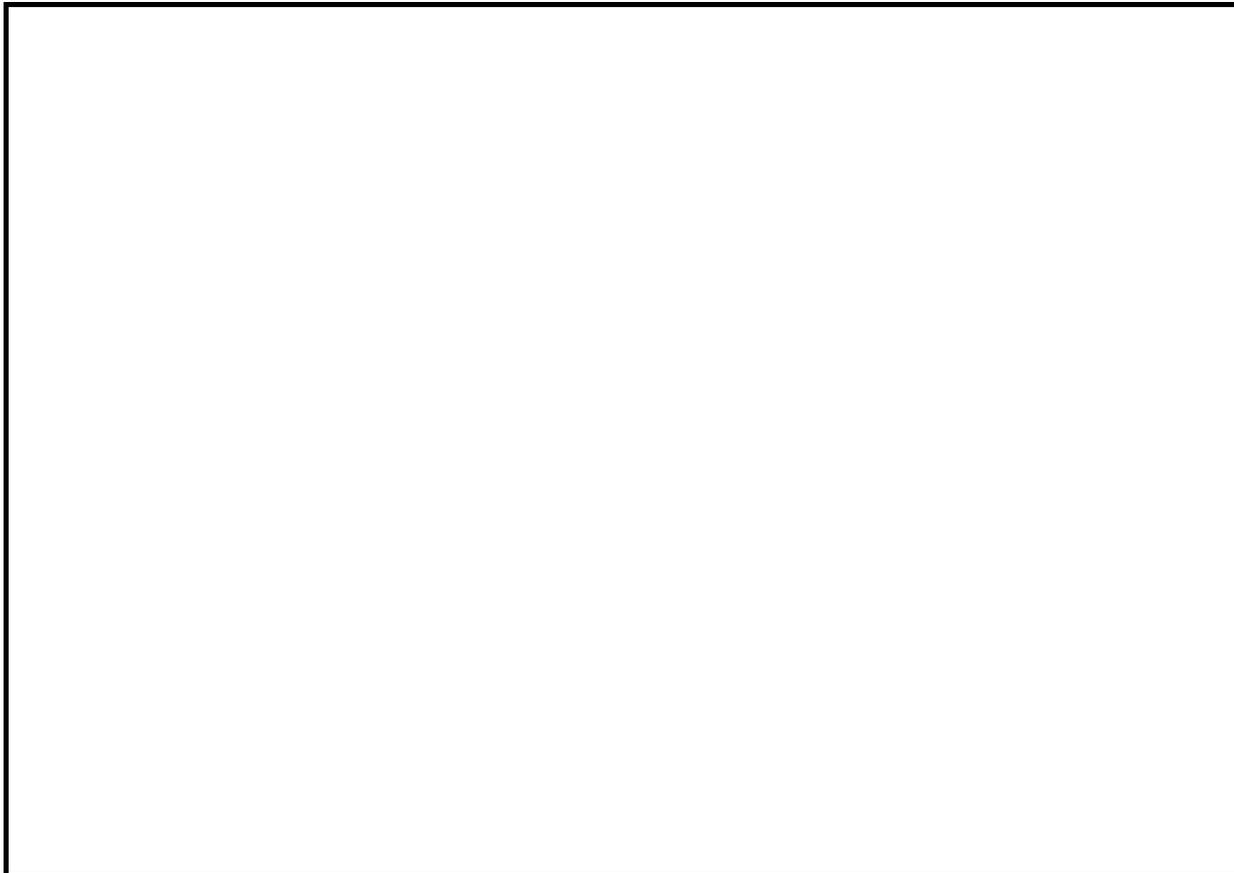
継手の箇所	継手の分類	継手の種類	検査の種類*	継手効率
炉心シュラウド	胴の長手継手			
	胴の周継手			
	胴とリングの周継手			
	リングセクタ同士の継手			
炉心シュラウドとシュラウドサポートシリンダの溶接継手	胴と胴の周継手			
シュラウドサポート	シリンダの長手継手			
	プレートとプレートの継手			
	シリンダとプレートの継手			
	プレートと原子炉圧力容器の周継手			
	シリンダとレグの継手			
	レグと原子炉圧力容器の継手			
炉心支持板	板と板の継手			
	胴の長手継手			
	胴と板の周継手			
	胴と補強ビームの継手			
	板と補強ビームの継手			
燃料支持金具	周辺燃料支持金具と炉心支持板			
制御棒案内管	胴の長手継手			
	胴の周継手			
	胴とベースの周継手			

注記 * : 検査の種類を示す記号は次のとおりである。

- P T + R T : 設計・建設規格 CSS-3150 に規定する A の検査
- P P T : 設計・建設規格 CSS-3150 に規定する C の検査
- 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. 炉心シュラウド



2. シュラウドサポート

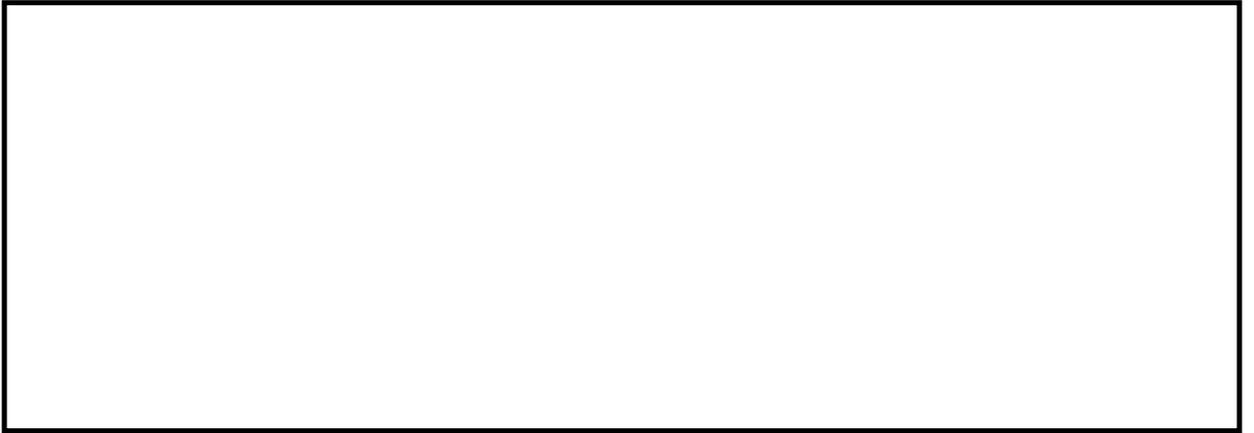


3. 上部格子板

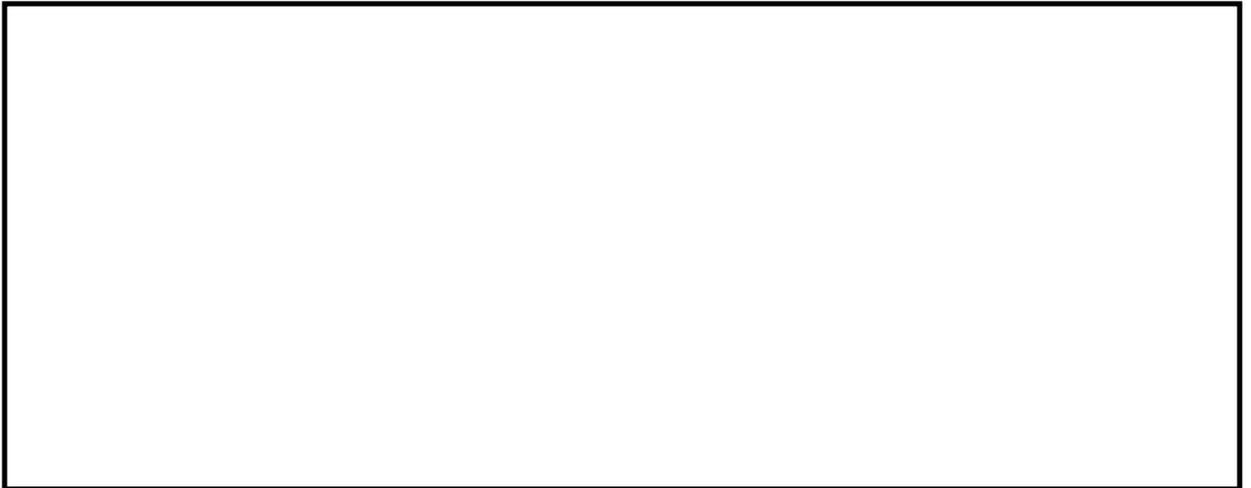




4. 炉心支持板



5. 燃料支持金具



6. 制御棒案内管





添付3 温度分布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 温度分布計算において考慮する運転条件

運 転 条 件	解 析 箇 所	炉 心	
		シュラウド	制御棒 案内管
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）		○	○

添付4 熱伝達率の計算

1. 熱伝達率の計算式

熱伝達率の計算は、以下の式を用いて計算する。

(1) 強制対流による平板の層流熱伝達

a. 計算式の出典

引用文献(2) (改訂第4版) のP46 の(8)式

b. 計算式

$$h = 0.664 \cdot P_r^{1/3} \cdot R_{ex}^{1/2} \cdot \frac{\lambda}{L} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 L : 代表長さ (m)
 $R_{ex} = v \cdot x / \nu_o$ (x = L)
 v : 流体の流速 (m/s)
 λ : 流体の熱伝導率 (W/ (m・K))

c. 使用基準

$$R_e \leq 3.2 \times 10^5$$

ここで、 $R_e = v \cdot L / \nu_o$

(2) 強制対流による平板の乱流熱伝達

a. 計算式の出典

引用文献(5) のP122 の(6・46)式

b. 計算式

$$h = \frac{1}{L} \cdot \int_0^L h_x \cdot dx \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 $h_x = \frac{0.0296 \cdot R_{ex}^{0.8} \cdot P_r}{1 + 1.54 \cdot P_r^{-1/4} \cdot R_{ex}^{-0.1} \cdot (P_r - 1)} \cdot \frac{\lambda}{x}$
 L : 代表長さ (m)
 $R_{ex} = v \cdot x / \nu_o$ (0 ≤ x ≤ L)
 v : 流体の流速 (m/s)
 λ : 流体の熱伝導率 (W/ (m・K))

c. 使用基準

$$R_e > 3.2 \times 10^5$$

ここで、 $R_e = v \cdot L / \nu$ 。

(3) 強制対流による円管内の層流熱伝達

a. 計算式の出典

引用文献(2) (改訂第4版) の P51 表 1 形状 [C], 境界条件 [T]

b. 計算式

$$h = 3.66 \cdot \frac{\lambda}{L} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 L : 相当直径 (m)

λ : 流体の熱伝導率 (W / (m・K))

c. 使用基準

$$R_e \leq 10^4$$

ここで、 $R_e = v \cdot L / \nu$ 。

2. 計算方法

熱伝達率の計算は、 L 、 P_r 、 ν 、 λ 及び ν を用いて行う。

各応力計算書に添付する熱伝達率の表においては、計算に用いた熱伝達形態のほか、次のものを記載する。

流体 : 流体の種類

h : 熱伝達率

L : 代表長さ

P_r : プラントル数

Q : 流量

R_e : レイノルズ数

T_f : 流体温度

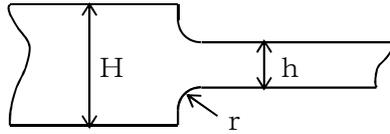
λ : 流体の熱伝導率

ν : 動粘性係数

添付5 応力集中係数の計算

1. 応力集中係数の計算式

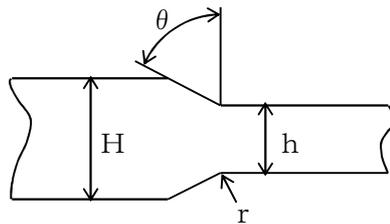
- (1) 板厚が変化する部分の応力集中係数は、引用文献(3)の Appendix B に示された手法によって求める。
- (2) この手法の概要は次のとおりである。
 - a. 以下のような、ステップ状のはりの応力集中係数を求める実験式 (Heywood による) を用いる。



$$K_n = 1 + \left[\frac{\frac{H}{h} - 1}{4 \cdot (1.4 \cdot \frac{H}{h} - 1)} \cdot \frac{h}{r} \right]^{0.65} \dots \dots \dots (1)$$

$$K_b = 1 + \left[\frac{\frac{H}{h} - 1}{2 \cdot (5.37 \cdot \frac{H}{h} - 4.8)} \cdot \frac{h}{r} \right]^{0.85} \dots \dots \dots (2)$$

- b. 隅部にテーパのあるときは、次のように補正する。



(1)式, (2)式で求めた応力集中係数を K_0 , 補正した係数を K' として

$$2 \cdot r \leq H - h \text{ のとき} \quad \frac{K' - 1}{K_0 - 1} = 1 - \left(\frac{\theta}{90} \right)^n$$

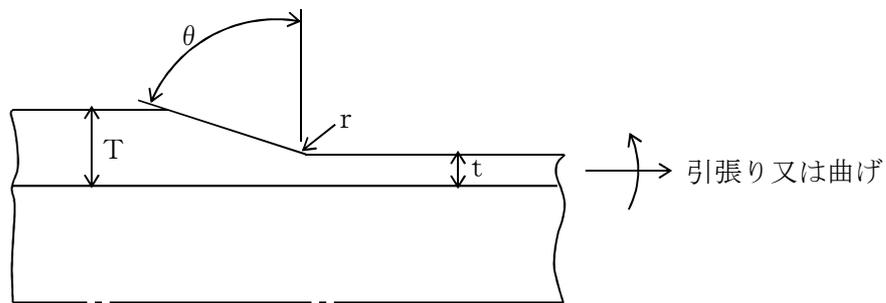
$$2 \cdot r > H - h \text{ のとき} \quad \frac{K' - 1}{K_0 - 1} = 1 - \left(\frac{\theta - \alpha}{90 - \alpha} \right)^n$$

ただし,

$$n = 1 + 2.4 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot r}{H - h}}$$

$$\alpha = \sin^{-1} \left(1 - \frac{H - h}{2 \cdot r} \right)$$

c. 円筒部については、a 項及び b 項の式の H 、 h を $H = 2 \cdot T$ 、 $h = 2 \cdot t$ として、下図に示す寸法を用いるものとする。



2. 計算方法

応力集中係数の計算は、 T 、 t 、 r 及び θ を用いて行う。

各計算書に添付する応力集中係数の表においては、次のものを記載する。

T : 大きい方の板厚 $\left(= \frac{H}{2} \right)$

t : 小さい方の板厚 $\left(= \frac{h}{2} \right)$

r : 隅部の半径

θ : テーパー角度

K_n : 引張りに対する応力集中係数

K_b : 曲げに対する応力集中係数

添付6 応力計算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。

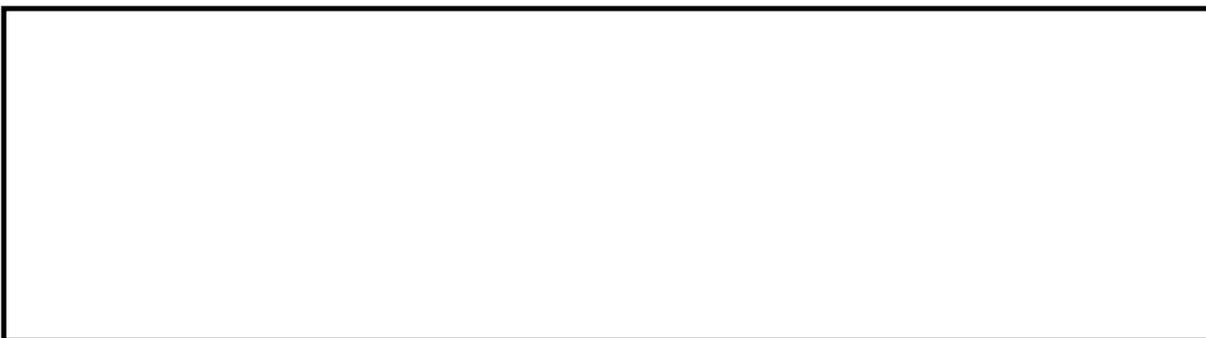
代表として、炉心シュラウドにおける例を以下に示す。



2. 外荷重の荷重入力方法

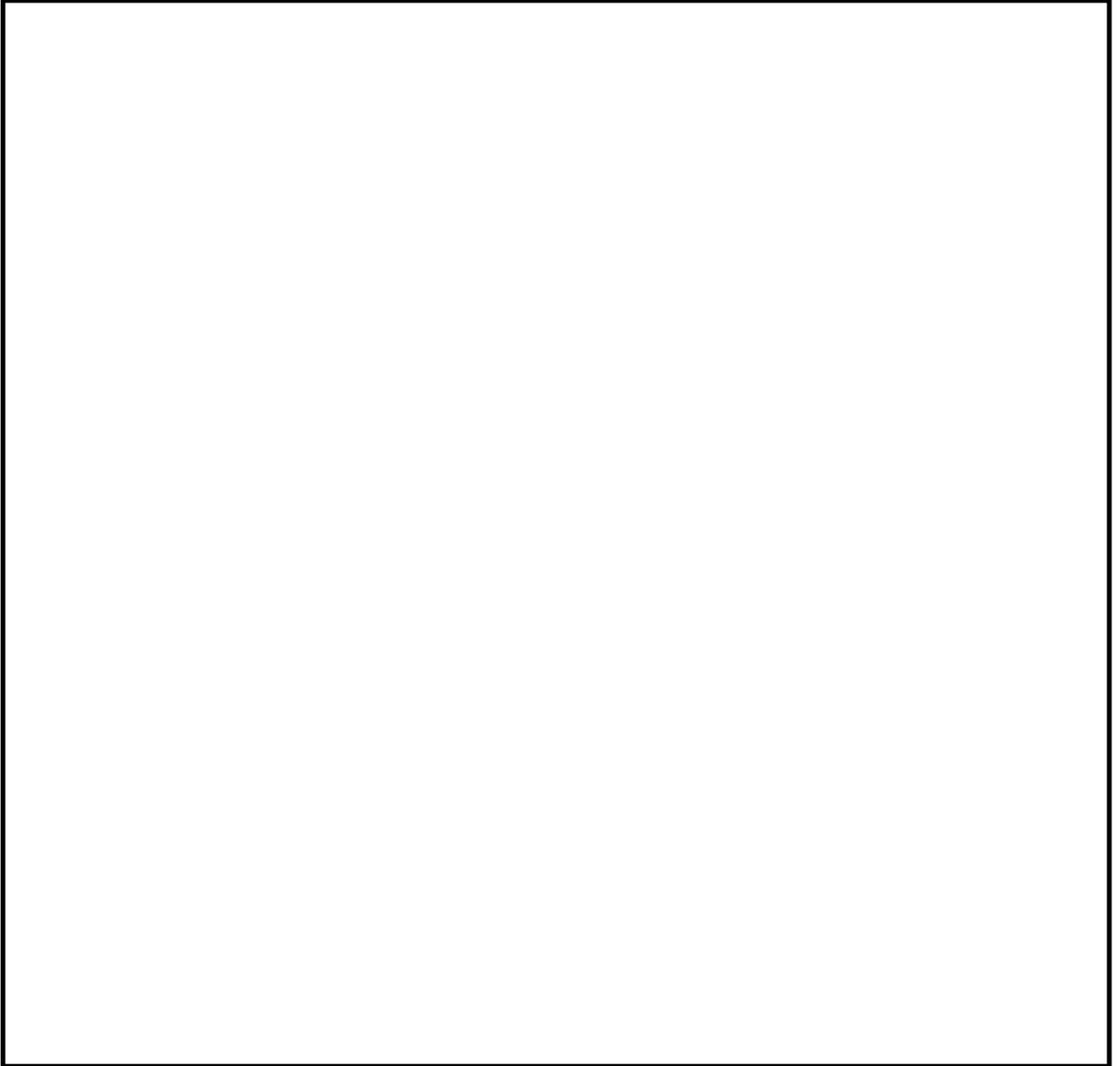
外荷重の入力方法として炉心シュラウドにおける例を以下に示す。

炉心シュラウドの外荷重としては、死荷重（鉛直力V）が加わる。



添付7 応力計算結果の応力分類処理方法

ABAQUS及びASHSD2-B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 8 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(1) 表示する数値の丸め方 (シュラウドサポートを除く。)

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. 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	—
4. 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価方法	差圧	—	—	入力値	—
5. 一次+二次応力強さの評価方法					
6. 一次+二次応力強さの評価方法 (熱曲げを除く。)					
7. 一次+二次+ピーク応力強さの評価方法					
8. 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	—
9. 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	—
10. 一次+二次応力強さの評価のまとめ					
11. 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	—

付表-3(2) 表示する数値の丸め方 (シュラウドサポート)

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. 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	—
4. 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価方法	圧力	小数点以下第3位*	四捨五入	小数点以下第2位	—
5. 一次+二次応力強さの評価方法					
6. 一次+二次応力強さの評価方法 (熱曲げを除く。)	差圧	小数点以下第4位*	四捨五入	小数点以下第3位	—
7. 一次+二次+ピーク応力強さの評価方法					
8. 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	—
9. 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ					
10. 一次+二次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. 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	—

注記 * : 比例数を入力しこの値に対応する圧力及び差圧の値を表示

V-3-別添 6-2 炉心シュラウドの応力計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	1
1.4 計算結果の概要	1
2. 計算条件	5
2.1 解析範囲	5
2.2 設計条件	5
2.3 運転条件	5
2.4 材料	5
2.5 物性値及び許容応力	5
2.6 応力の記号と方向	5
3. 温度分布計算	6
3.1 境界の熱伝達率	6
3.2 温度分布の計算	6
3.2.1 荷重条件	6
3.2.2 計算方法	6
3.2.3 温度遷移図	6
3.2.4 温度分布図	6
3.3 熱応力の計算時点	6
4. 応力計算	7
4.1 応力評価点	7
4.2 差圧による応力	7
4.2.1 荷重条件 (L02)	7
4.2.2 計算方法	7
4.2.3 計算結果	7
4.3 外荷重による応力	8
4.3.1 荷重条件 (L03, L04, L14 及び L16)	8
4.3.2 計算方法	8
4.3.3 計算結果	8
4.4 熱応力	8
4.4.1 荷重条件 (L10)	8
4.4.2 計算方法	8
4.4.3 計算結果	8

5.	応力強さの評価	9
5.1	一次一般膜応力強さの評価	9
5.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	9
5.3	一次＋二次応力強さの評価	9
6.	繰返し荷重の評価	10
6.1	設計・建設規格 CSS-3130 についての検討	10
6.2	疲労解析	12
7.	特別な応力の検討	13
7.1	支圧応力の評価	13
7.1.1	支圧面積	13
7.1.2	支圧荷重	13
7.1.3	平均支圧応力	13
7.1.4	支圧応力の評価	13
7.2	軸圧縮応力の評価	14
7.2.1	計算データ	14
7.2.2	圧縮応力	14
7.2.3	許容圧縮応力	14
7.2.4	軸圧縮応力の評価	15
7.3	座屈に対する評価	15
7.3.1	計算データ	15
7.3.2	許容値	16
7.3.3	座屈の評価	17
別添	応力計算モデルの寸法	73

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	温度分布及び応力計算のモデル	18
図 3-2	温度遷移図	19
図 3-3	温度分布図	25
図 7-1	支圧荷重の支持面	35
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	熱伝達率の計算	36
表 4-1	断面性状	48
表 4-2	機械荷重による応力の計算結果	49
表 4-3	熱応力の計算結果	57
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価方法	65
表 5-2	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	66
表 5-3	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価方法	67
表 5-4	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	68
表 5-5	一次＋二次応力強さの評価方法	69
表 5-6	一次＋二次応力強さの評価のまとめ	71
表 7-1	支圧応力の評価	72
表 7-2	軸圧縮応力の評価	72
表 7-3	座屈の評価	72

1. 一般事項

本計算書は、炉心シュラウドの応力計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 記号の説明

「V-3-1-1-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）の 2 章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
R _o	外半径	mm
R	平均半径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
t	厚さ	mm
σ _b	平均支圧応力	MPa
σ _{ba}	許容支圧応力	MPa
σ _c	圧縮応力	MPa
σ _{ca}	許容圧縮応力	MPa
g	重力加速度	m/s ²

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

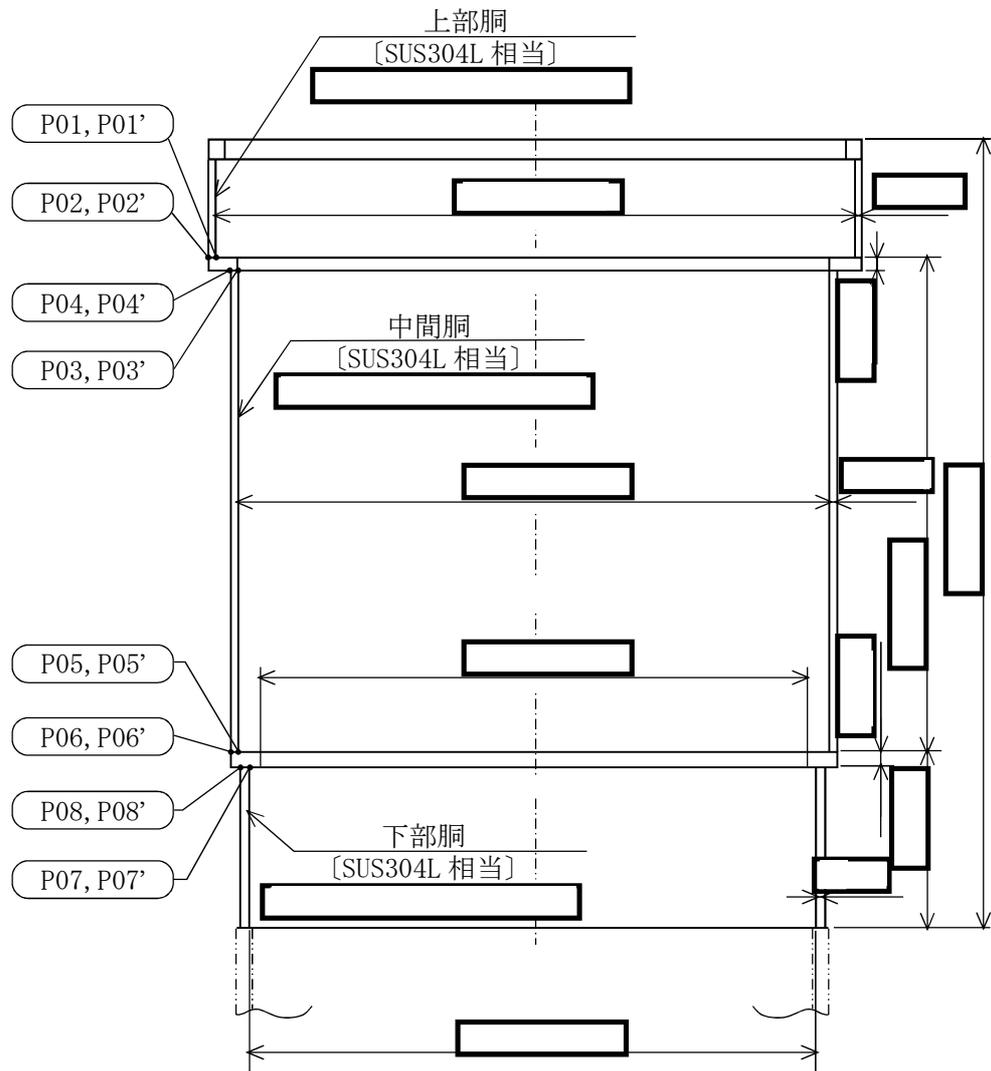
- a. 差圧
- b. 外荷重
- c. 熱負荷

差圧及び外荷重の値を「応力解析の方針」の 4 章に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。



- : 応力評価点
- [] : J I S 相当材
- () : 材 料

図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1(1) 計算結果の概要

部分及び材料	供用状態 (許容応力状態)	一次一般膜応力 (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力 (MPa)			一次+二次応力 (MPa)			疲労解析		
		応力 強さ	許容値	応力 評価面	応力 強さ	許容値	応力 評価面	応力 強さ	許容値	応力 評価点	疲労累 積係数	許容値	応力 評価点
上部胴 SUS304L	設計条件	6	62	P01-P02	6	94	P01-P02	—	—	—	—	—	—
	C	6	93	P01-P02	6	141	P01-P02	—	—	—	—	—	—
	D	11	152	P01-P02	11	229	P01-P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	18	94	P01'-P02'	18	141	P01'-P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	25	150	P01'-P02'	25	226	P01'-P02'	—	—	—	—	—	—
	A, B	—	—	—	—	—	—	108	191	P02	—*	—*	—*
中間胴 SUS304L	設計条件	6	62	P03-P04	6	94	P03-P04	—	—	—	—	—	—
	C	6	93	P03-P04	6	141	P03-P04	—	—	—	—	—	—
	D	11	152	P03-P04	11	229	P03-P04	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	45	94	P05'-P06'	45	141	P05'-P06'	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	68	150	P05'-P06'	68	226	P05'-P06'	—	—	—	—	—	—
	A, B	—	—	—	—	—	—	117	191	P03	—*	—*	—*
下部胴 SUS304L	設計条件	12	62	P07-P08	12	94	P07-P08	—	—	—	—	—	—
	C	12	93	P07-P08	12	141	P07-P08	—	—	—	—	—	—
	D	20	152	P07-P08	20	229	P07-P08	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	51	94	P07'-P08'	51	141	P07'-P08'	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	75	150	P07'-P08'	75	226	P07'-P08'	—	—	—	—	—	—
	A, B	—	—	—	—	—	—	78	191	P07	—*	—*	—*

注記 * : 疲労解析は、設計・建設規格 CSS-3130 により不要である。

表 1-1(2) 計算結果の概要

部分及び材料	供用状態 (許容応力状態)	支圧応力 (MPa)	
		平均支圧応力	許容値
上部格子板支持面 SUS304L	A, B	1	108
	C	1	162
	D	1	219
	Ⅲ _A S	2	163
	Ⅳ _A S	3	217
炉心支持板支持面 SUS304L	A, B	1	108
	C	1	162
	D	1	219
	Ⅲ _A S	1	163
	Ⅳ _A S	1	217

表 1-1(3) 計算結果の概要

部分及び材料	供用状態 (許容応力状態)	軸圧縮応力 (MPa)		座屈評価	
		圧縮応力	許容値	座屈応力との比	許容値
下部胴 SUS304L	A, B	2	25	—	—
	C	2	38	—	—
	D	2	52	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	0.36	1.0
	Ⅳ _A S	—	—	0.56	1.0

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

なお，下部胴とシュラウドサポートとの接合部の応力解析及び評価は，V-3-別添 6「シュラウドサポートの応力計算書」に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 運転条件

考慮した運転条件とその回数を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容応力

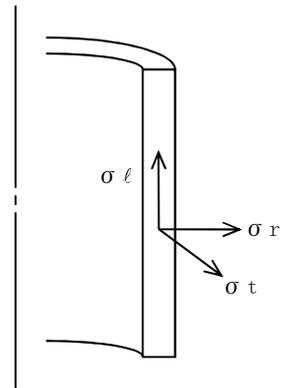
物性値及び許容応力は，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は，以下のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
- σ_ℓ : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力
- $\tau_{t\ell}$: せん断応力
- $\tau_{\ell r}$: せん断応力



3. 温度分布計算

3.1 境界の熱伝達率

温度分布計算に使用する炉心シュラウド内外面の熱伝達率の計算条件と計算結果を表 3-1 に示す。

3.2 温度分布の計算

3.2.1 荷重条件

「応力解析の方針」の 4.2 節に示す運転条件に基づいて計算する。

3.2.2 計算方法

温度分布計算は、計算機コード「ABAQUS」により行う。

計算のためのモデルを図 3-1 に示す。

境界における熱伝達率は、3.1 節の計算結果を用いる。

3.2.3 温度遷移図

温度分布計算を行った運転条件について、代表点における温度の時間的变化を図 3-2 に示す。

炉心シュラウドでの指定した 2 点間の温度差が極値となる時点を図 3-2 に記号 [例 C03-01] で示す。

3.2.4 温度分布図

3.2.3 項で選定した 2 点間の温度差が極値となる時点についての温度分布を図 3-3 に示す。

3.3 熱応力の計算時点

熱応力計算は、3.2.3 項で選定した 2 点間の温度差が極値となる時点及び定格出力運転 [C12-01] (計算時点を図 3-2 中に示す。) に対して行う。

4. 応力計算

4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。また、各応力評価点の断面性状を表 4-1 に示す。

4.2 差圧による応力

4.2.1 荷重条件 (L02)

各運転条件による差圧を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

なお、差圧を示す記号として、設計条件、供用状態 A 及び B に対し L02-01、供用状態 C に対し L02-01、供用状態 D に対し L02-02 を用いる。

4.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

差圧 P による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P$$

$$\sigma_\ell = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P$$

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

(2) 一次一般膜+一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜+一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

(3) 一次+二次応力

差圧によって生じる形状の不連続の効果を含む一次+二次応力の計算は、計算機コード「ABAQUS」により行う。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図 3-1 に示す。

4.2.3 計算結果

各応力評価点での応力を分類して、表 4-2 に示す。

4.3 外荷重による応力

4.3.1 荷重条件 (L03, L04, L14 及び L16)

炉心シュラウドに働く外荷重を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

4.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{t\ell} = \frac{V}{A} + \frac{M \cdot D_o}{I \cdot 2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{H}{A}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

(3) 一次＋二次応力

外荷重によって生じる形状の不連続の効果を含む一次＋二次応力の計算は、計算機コード「ABAQUS」により行う。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図 3-1 に示す。

4.3.3 計算結果

各応力評価点での応力を分類して、表 4-2 に示す。

4.4 熱応力

4.4.1 荷重条件 (L10)

熱応力計算には、3 章で求めた温度分布を用いる。

4.4.2 計算方法

熱応力計算は、計算機コード「ABAQUS」により行う。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図 3-1 に示す。

4.4.3 計算結果

応力評価点での各運転条件における応力を分類して、表 4-3 に示す。

5. 応力強さの評価

5.1 一次一般膜応力強さの評価

一次一般膜応力強さの評価に用いる荷重の組合せを表 5-1 に示す。各供用状態（許容応力状態）における評価をまとめて、表 5-2 に示す。

表 5-2 より、各供用状態（許容応力状態）の一次一般膜応力強さは、設計・建設規格 CSS-3111 を満足する。

5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価に用いる荷重の組合せを表 5-3 に示す。各供用状態（許容応力状態）における評価をまとめて、表 5-4 に示す。

表 5-4 より、各供用状態（許容応力状態）の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、設計・建設規格 CSS-3111 を満足する。

5.3 一次＋二次応力強さの評価

一次＋二次応力強さの評価に用いる荷重の組合せを表 5-5 に示す。供用状態 A 及び B における評価をまとめて、表 5-6 に示す。

表 5-6 より、すべての応力評価点において、一次＋二次応力の応力差最大範囲は $\eta \cdot 3 \cdot S_m$ 以下であり、設計・建設規格 CSS-3112 を満足する。

6. 繰返し荷重の評価

6.1 設計・建設規格 CSS-3130 についての検討

炉心シュラウドは、設計・建設規格 CSS-3130 により、疲労解析が不要となることを以下の(1)から(5)に示す。

なお、物性値 E、 α 及び S の値は、「応力解析の方針」の表 3-3 による。

(1) 設計・建設規格 CSS-3130 (1) (起動時及び停止時の温度差)

「任意の 2 点」間の距離：P (設計・建設規格 CSS-3130 (1) の p に対応)

a. 上部胴

$$P = 2 \cdot \sqrt{R \cdot t} = 2 \times \boxed{} \text{ mm}$$

ここで、R：平均半径

t：厚さ

b. 中間胴

$$P = 2 \cdot \sqrt{R \cdot t} = 2 \times \boxed{} \text{ mm}$$

c. 下部胴

$$P = 2 \cdot \sqrt{R \cdot t} = 2 \times \boxed{} \text{ mm}$$

その評価点 (節点番号 219-127) を図 3-1 に示す。

起動-停止の回数：N'

$$N' = \boxed{} \text{ 回}$$

2 点間の許容温度差： ΔT (設計・建設規格 CSS-3130 (1) の T 1 に対応)

$$\Delta T = \frac{S_a}{2 \cdot E \cdot \alpha} = \frac{}{2 \times \boxed{}} \text{ } ^\circ\text{C}$$

ここで、 S_a は設計・建設規格 表 添付 4-2-2 より求めた $\boxed{}$ 回に対する値である。

運転時の温度差の最大値： $\Delta T'$

$$\Delta T' = \boxed{} \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (図 3-2(6) より)}$$

したがって、 $\Delta T > \Delta T'$ であり、条件を満足する。

(2) 設計・建設規格 CSS-3130 (2) (起動時及び停止時を除く供用状態 A 及び B の温度差変動)

温度差変動のための評価点 (節点番号 219-127) を図 3-1 に示す。

著しい温度差変動： ΔT_2 (設計・建設規格 CSS-3130 (2) の T 2 に対応)

$$\Delta T_2 = \frac{S}{2 \cdot E \cdot \alpha} = \frac{\boxed{}}{2 \times} \text{ } ^\circ\text{C}$$

原子炉压力容器内の温度差が ΔT_2 を超えるものは、著しい温度差変動を生じるものと考えられる。

著しい温度差変動を生じる回数：N'

発電機トリップ (C08)	□	回
スクラムタービントリップ (C10)	□	回
スクラムその他のスクラム (C11)	□	回
スクラム原子炉給水ポンプ停止 (C20)	□	回
合 計	N' = □	回

温度差変動の許容値： ΔT_1 (設計・建設規格 CSS-3130(2)のT1に対応)

$$\Delta T_1 = \frac{S_a}{2 \cdot E \cdot \alpha} = \frac{\boxed{}}{2 \times} \text{ } ^\circ\text{C}$$

ここで、 S_a は設計・建設規格 表 添付 4-2-2 より求めた 220 回に対する値である。

温度差変動の最大値： $\Delta T'$

$$\Delta T' = \boxed{} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{図 3-2(5)より})$$

したがって、 $\Delta T_1 > \Delta T'$ であり条件を満足する。

- (3) 設計・建設規格 CSS-3130(3) (異なる材料よりなる部分の温度変動)

炉心シュラウドには、縦弾性係数又は熱膨張係数の異なる材料よりなる部分は存在しない。

- (4) 設計・建設規格 CSS-3130(4) (機械的荷重変動)

機械的荷重により生じる応力の全振幅が、荷重変動回数 10^{11} 回に対応する繰返しピーク応力強さを超えないことを確認する。

10^{11} 回に対応する繰返しピーク応力強さ： $S = \boxed{} \text{ MPa}$

機械的荷重変動による応力の全振幅： $\Delta \sigma$

表 4-2(3)の応力評価点 P04 での一次+二次応力に注目する。

$$\Delta \sigma = \boxed{} \text{ MPa}$$

したがって、 $S > \Delta \sigma$ であり、条件を満足する。

(5) 検討結果

以上(1)から(4)より炉心シュラウドは、設計・建設規格 CSS-3130 の要求をすべて満足している。

6.2 疲労解析

6.1 節に示すように、炉心シュラウドは、疲労解析は不要である。

7. 特別な応力の検討

炉心シュラウドの上部格子板支持面及び炉心支持板支持面には、鉛直荷重により支圧応力が生じる。したがって、設計・建設規格 CSS-3115 の支圧応力の評価を行う。

軸圧縮荷重に対しては、設計・建設規格 CSS-3116.1 に従い、炉心シュラウド下部胴について、軸圧縮応力の評価を実施する。

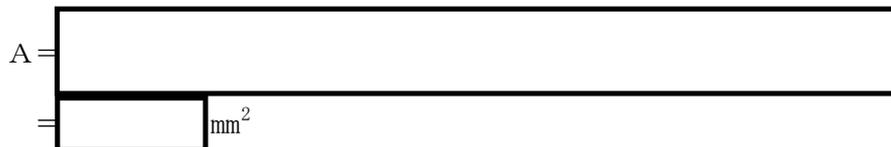
また、J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 を用いて炉心シュラウド下部胴について、地震時の軸圧縮荷重と曲げモーメントによる座屈に対する評価を行う。

7.1 支圧応力の評価

7.1.1 支圧面積

(1) 上部格子板支持面 (図 7-1(1) 参照)

上部格子板支持面の支圧荷重を受ける面積は次のようになる。



(2) 炉心支持板支持面 (図 7-1(2) 参照)

炉心支持板支持面の支圧荷重を受ける面積は次のようになる。



7.1.2 支圧荷重

各運転条件における上部格子板支持面及び炉心支持板支持面に作用する鉛直力を「応力解析の方針」の 4.2 節の表 4-1(1) (荷重作用点 F 及び G) に示す。

7.1.3 平均支圧応力

平均支圧応力 σ_b は、次式により求める。

$$\sigma_b = \frac{V}{A}$$

7.1.4 支圧応力の評価

各供用状態 (許容応力状態) における支圧応力の評価を表 7-1 に示す。

表 7-1 より、各供用状態 (許容応力状態) における平均支圧応力は、設計・建設規格 CSS-3115 を満足する。

設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図 12 より、

$$\frac{0.125}{R_o / t} = \frac{0.125}{\boxed{}} = \boxed{}$$

を用いて、

$$B = 39 \text{ MPa}$$

ゆえに、許容圧縮応力は継手効率を考慮し、

$$\sigma_{c a} = 25 \text{ MPa}$$

供用状態Cにおける許容圧縮応力は、設計・建設規格 CSS-3116.1(2)より、次の2つの値のうち小さい方の値を用いる。

$$1.5 \cdot S_m = 144 \text{ MPa}$$

$$1.5 \cdot B = 59 \text{ MPa}$$

(供用状態Cの最高温度 $\boxed{}$ °Cにおける値)

ゆえに、許容圧縮応力は継手効率を考慮し、

$$\sigma_{c a} = 38 \text{ MPa}$$

供用状態Dにおける許容圧縮応力は、設計・建設規格 CSS-3116.1(3)より、次の2つの値のうち小さい方の値を用いる。

$$2.0 \cdot S_m = 196 \text{ MPa}$$

$$2.0 \cdot B = 80 \text{ MPa}$$

(供用状態Dの最高温度 $\boxed{}$ °Cにおける値)

ゆえに、許容圧縮応力は継手効率を考慮し、

$$\sigma_{c a} = 52 \text{ MPa}$$

7.2.4 軸圧縮応力の評価

各供用状態における軸圧縮応力の評価を表 7-2 に示す。

表 7-2 より、各供用状態における圧縮応力は、設計・建設規格 CSS-3116.1 を満足する。

7.3 座屈に対する評価

地震荷重を考慮し、J E A G 4 6 0 1・補-1984 を用いて、軸圧縮荷重及び曲げモーメントに対する評価を実施する。

7.3.1 計算データ

内径 : $D_i = \boxed{} \text{ mm}$

外径 : $D_o = D_i + 2 \cdot t$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{断面積} \quad : \quad A &= \frac{\pi}{4} \cdot (D_o^2 - D_i^2) \\
 &= \frac{\pi}{4} \times \boxed{} \\
 &= \boxed{} \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{断面二次モーメント} \quad : \quad I &= \frac{\pi}{64} \cdot (D_o^4 - D_i^4) \\
 &= \frac{\pi}{64} \times \boxed{} \\
 &= \boxed{} \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

7.3.2 許容値

許容応力状態Ⅲ_AS 及びⅣ_AS において軸圧縮応力の座屈応力 (f_c) に対する比と曲げ応力の座屈応力 (f_b) に対する比の和が 1 以下であることを示す。座屈評価は次式による。

$$\frac{\alpha \cdot \left(\frac{V}{A} \right)}{f_c} + \frac{\alpha \cdot \left(\frac{M \cdot D_o}{I \cdot 2} \right)}{f_b} \leq 1.0$$

ここで、

f_c : 軸圧縮荷重に対する座屈応力で次の計算式により計算した値

$$\eta < \eta_1 \text{ より}$$

$$f_c = F = 146 \text{ MPa}$$

f_b : 曲げモーメントに対する座屈応力で次の計算式により計算した値

$$\eta < \eta_1 \text{ より}$$

$$f_b = F = 146 \text{ MPa}$$

α : 安全率で次の値

$$\eta < \eta_1 \text{ より}$$

$$\alpha = 1$$

ここで、

$$\eta : R / t = \boxed{}$$

$$\eta_1 : 1200 \cdot g / F = 1200 \times 9.80665 / 146 = 80.6026$$

F は、以下の 3 つの値のうち小さい方の値を用いる。

$$1.35 \cdot S_y = 146 \text{ MPa} \quad (\text{供用状態 A 及び B の最高温度 } \boxed{} \text{ } ^\circ\text{C} \text{ における値})$$

$$0.7 \cdot S_u = 253 \text{ MPa} \quad (\text{供用状態 A 及び B の最高温度 } \boxed{} \text{ } ^\circ\text{C} \text{ における値})$$

$$S_y = 175 \text{ MPa} \quad (\text{室温における値})$$

したがって、F = 146 MPa とする。

7.3.3 座屈の評価

評価に用いる応力は、軸圧縮応力については死荷重及び地震荷重による鉛直力を、曲げ応力については地震荷重によるモーメントを考慮する。それぞれの荷重を「応力解析の方針」表 4-1(1)に示す。

許容応力状態Ⅲ_AS 及びⅣ_AS における座屈の評価を表 7-3 に示す。

表 7-3 より、許容応力状態Ⅲ_AS 及びⅣ_AS における応力は、J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 の座屈評価式を満足する。

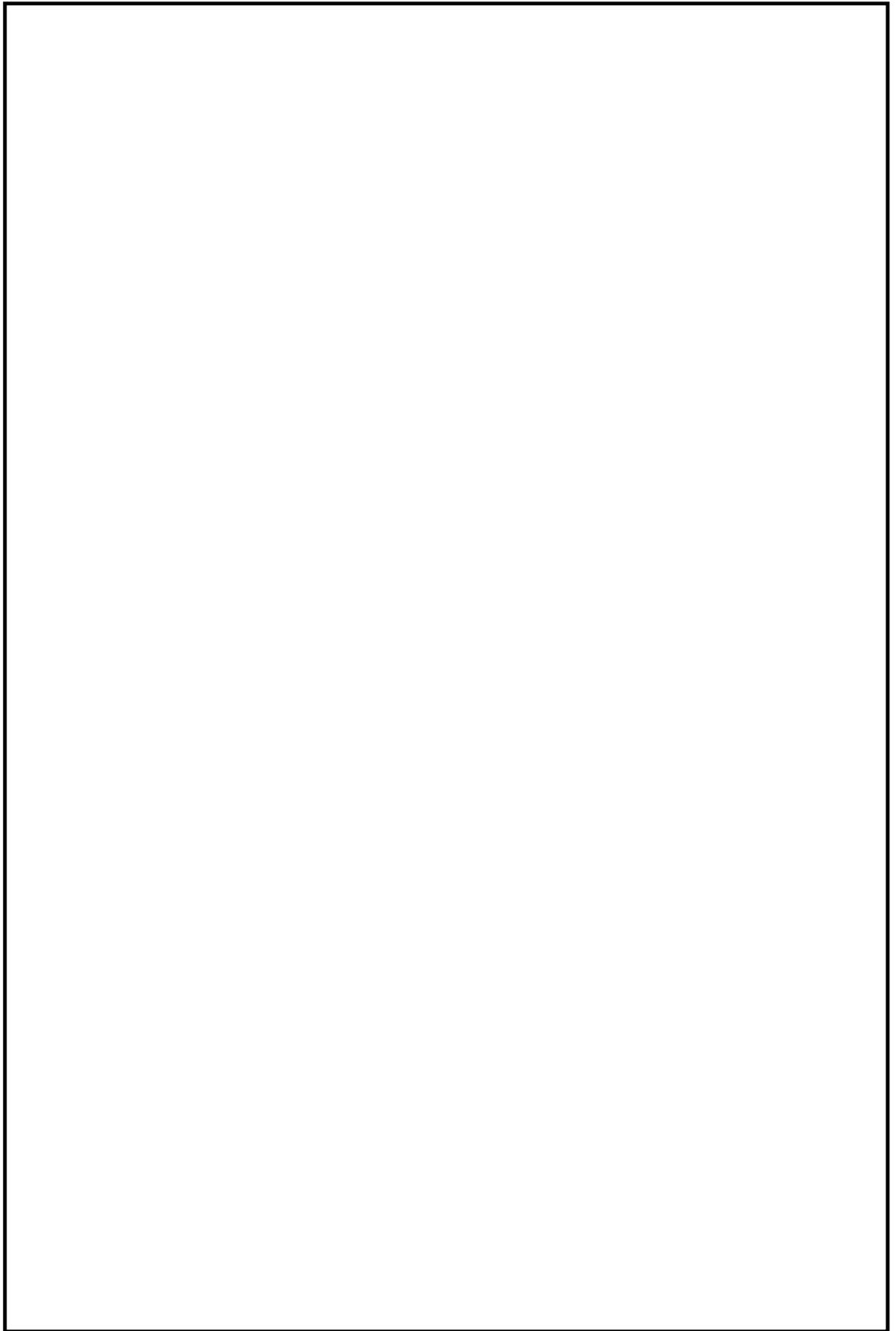


図 3-1 温度分布及び応力計算のモデル

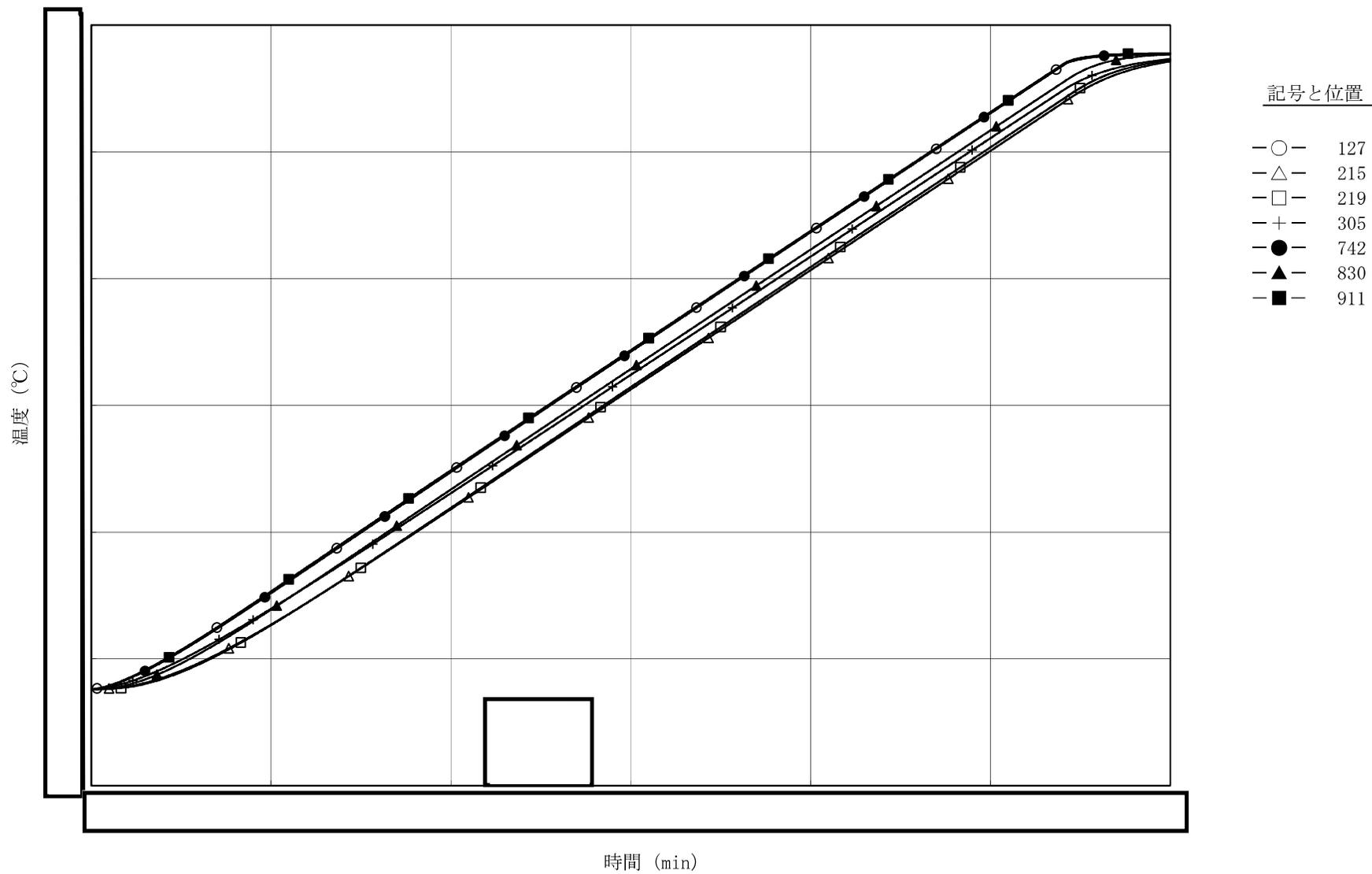


図3-2(1) 温度遷移図

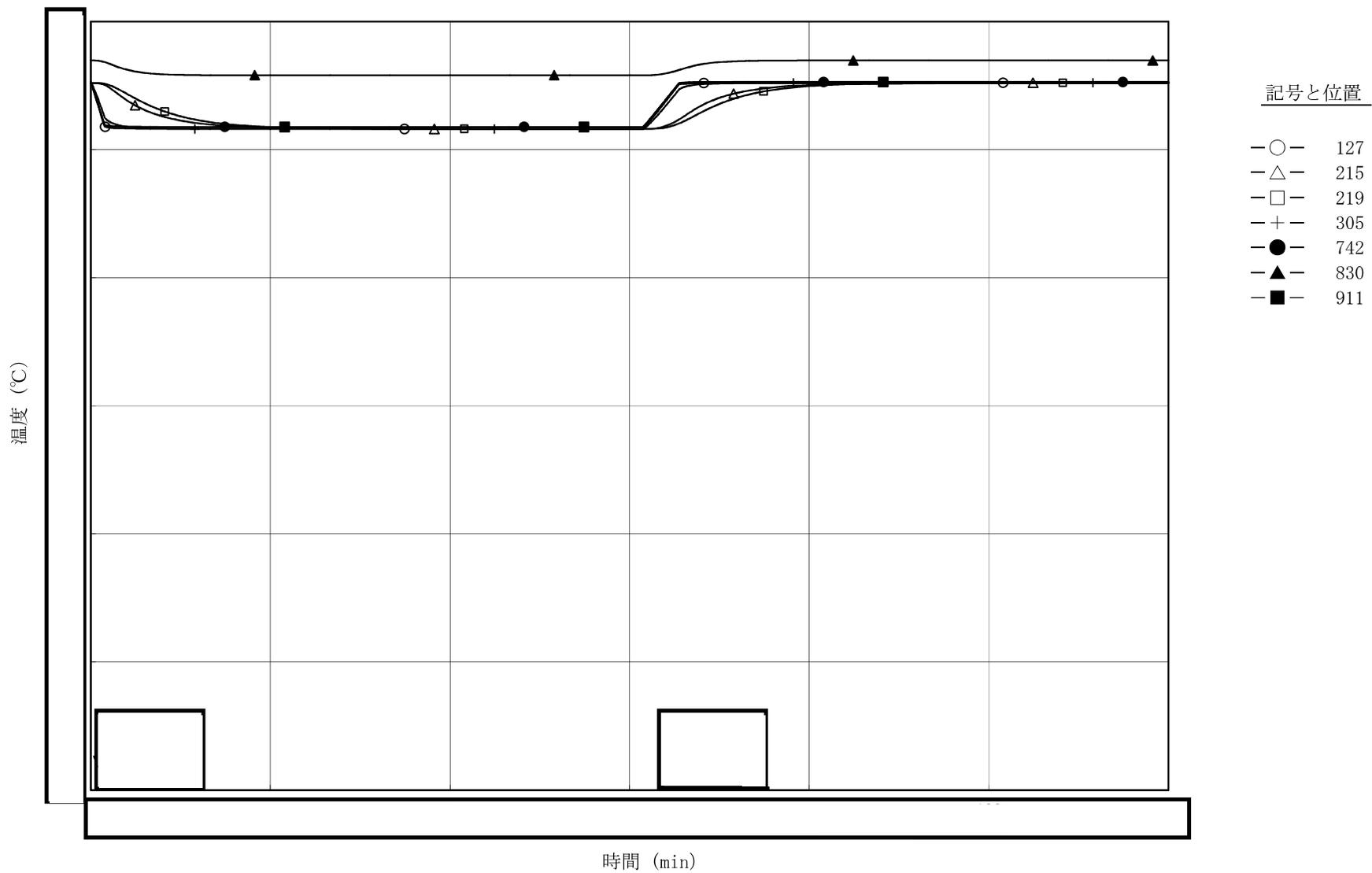


図3-2(2) 温度遷移図

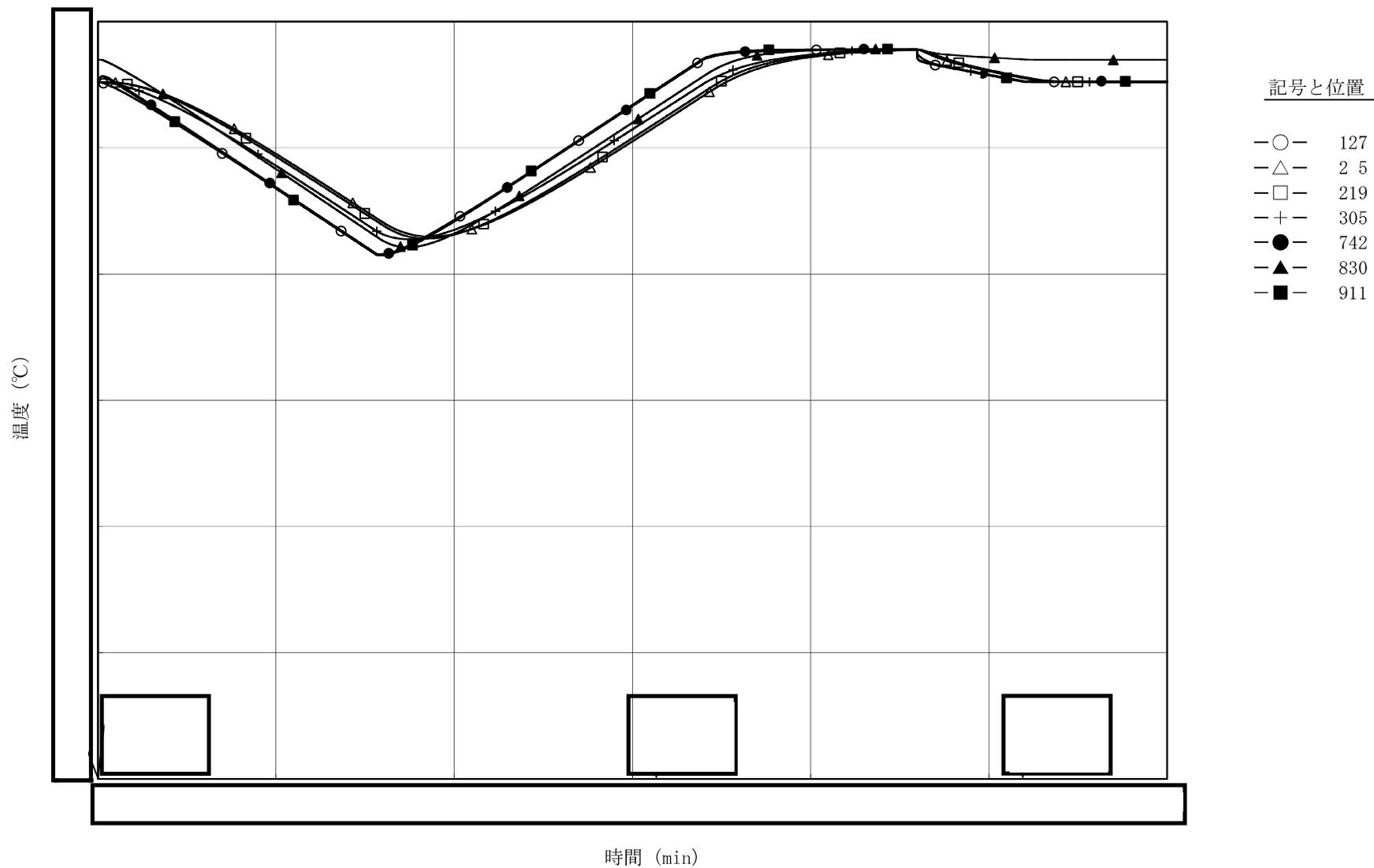


図3-2(3) 温度遷移図



図3-2(4) 温度遷移図

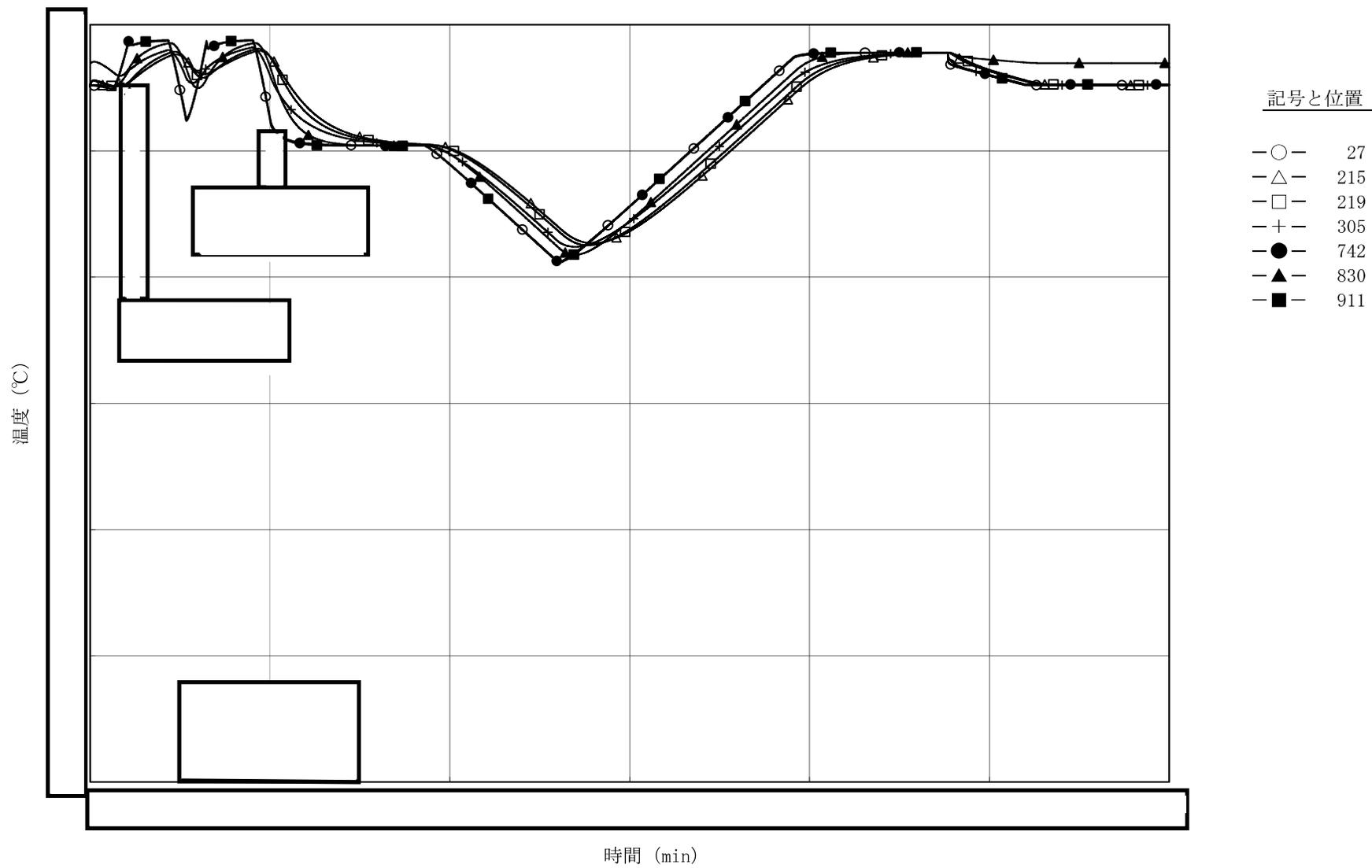


図3-2(5) 温度遷移図



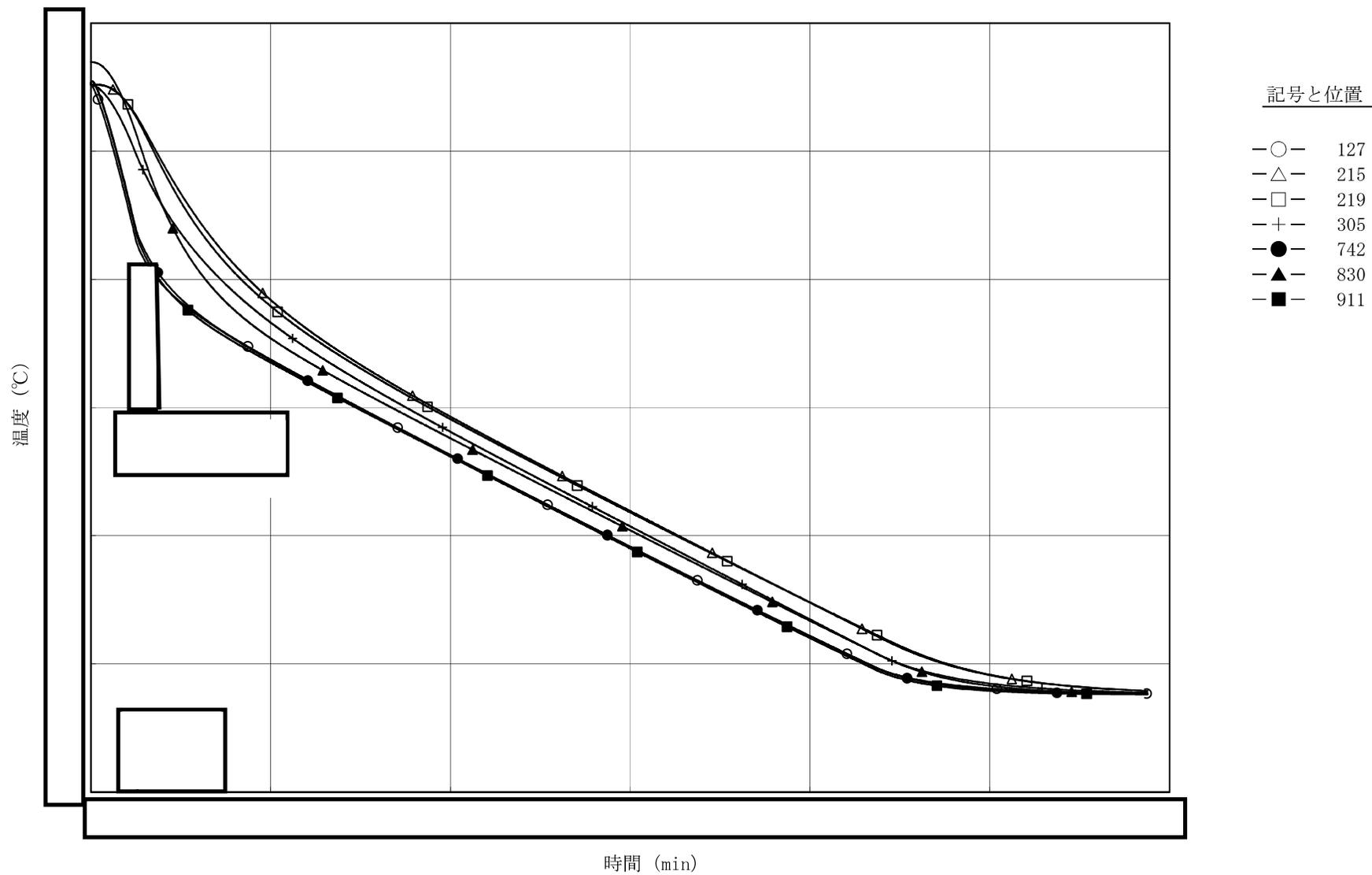


図3-2(6) 温度遷移図 

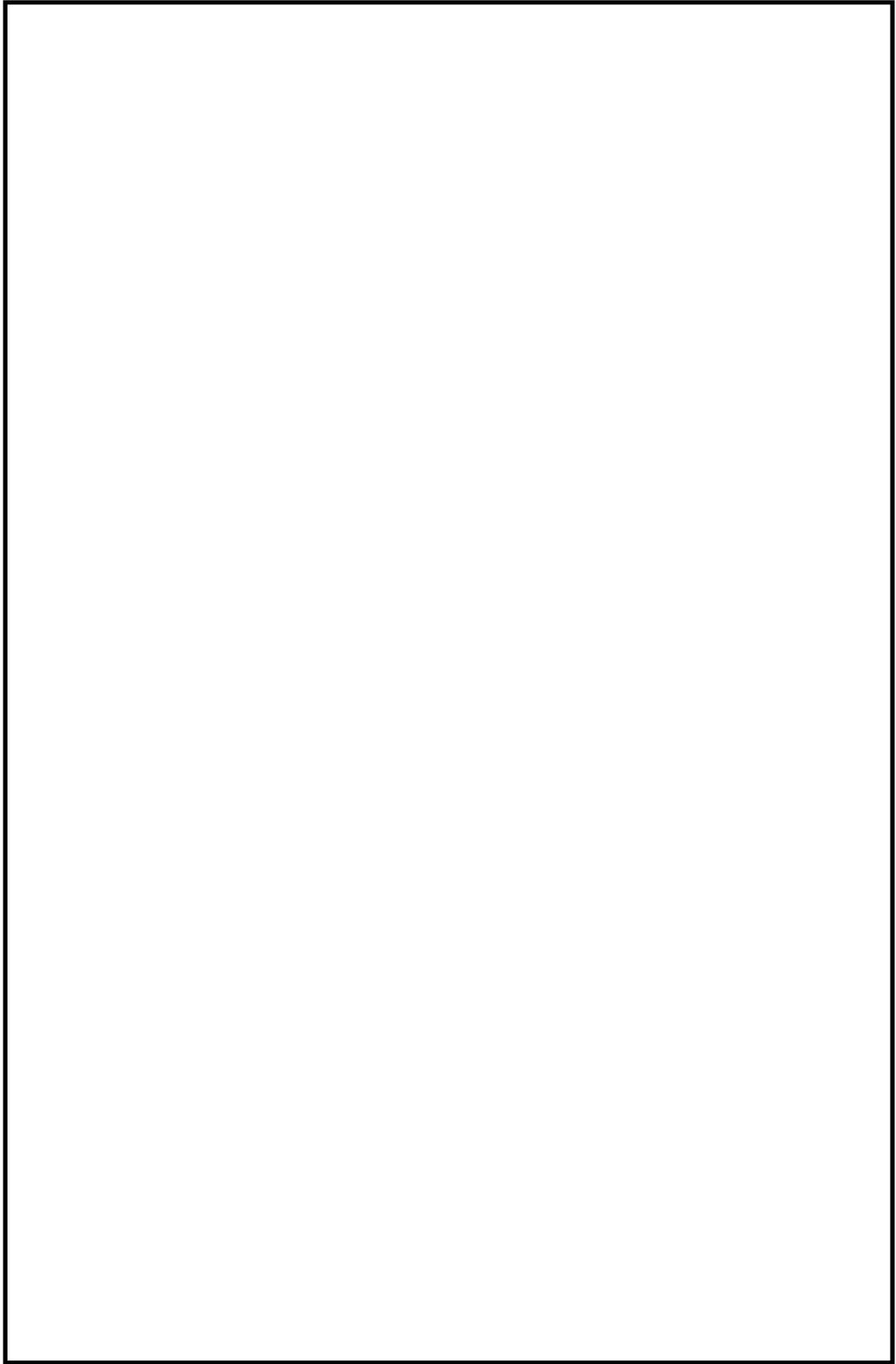


図 3-3(1) 温度分布図  (単位：℃)

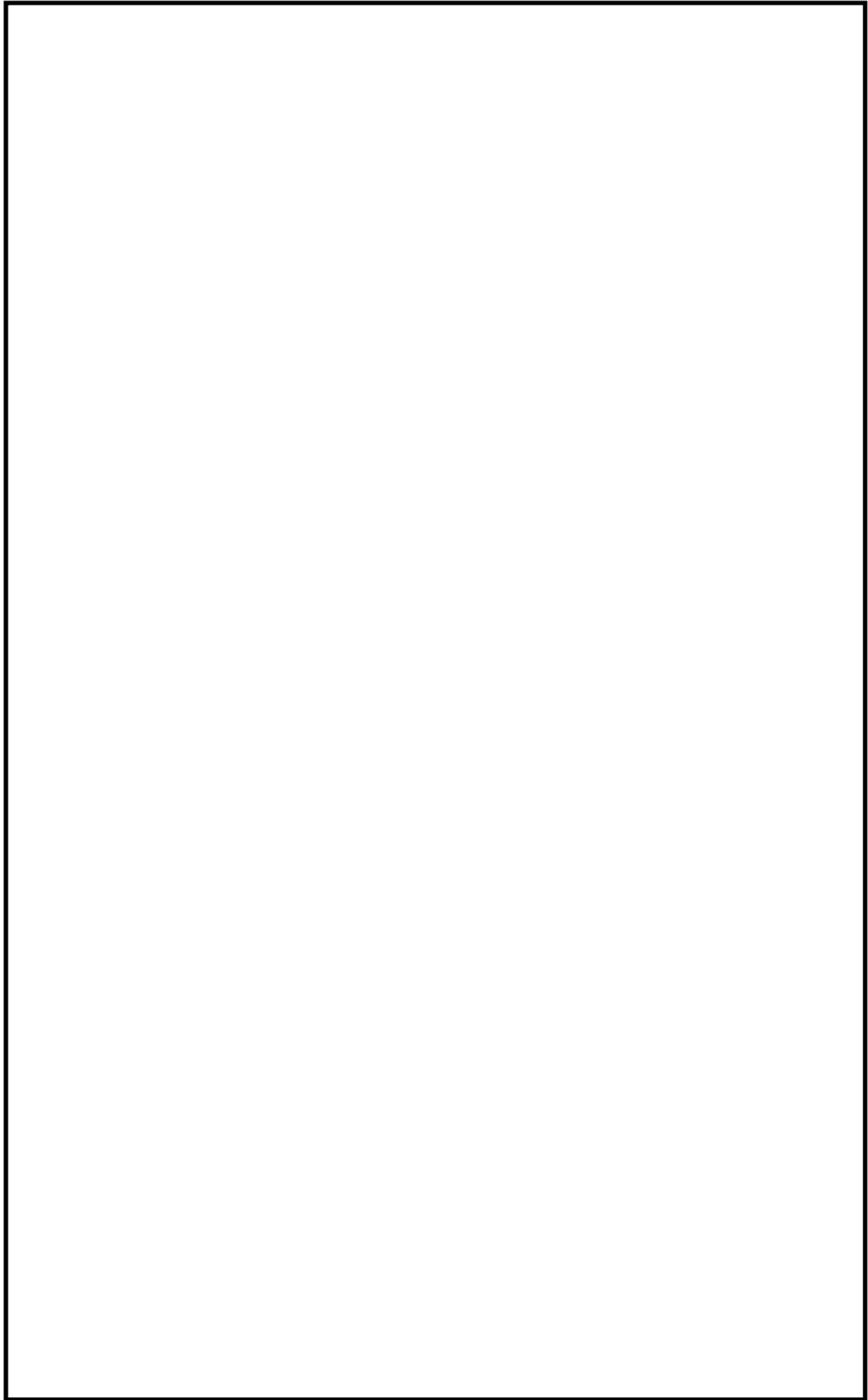


図 3-3(2) 温度分布図



(単位 : °C)

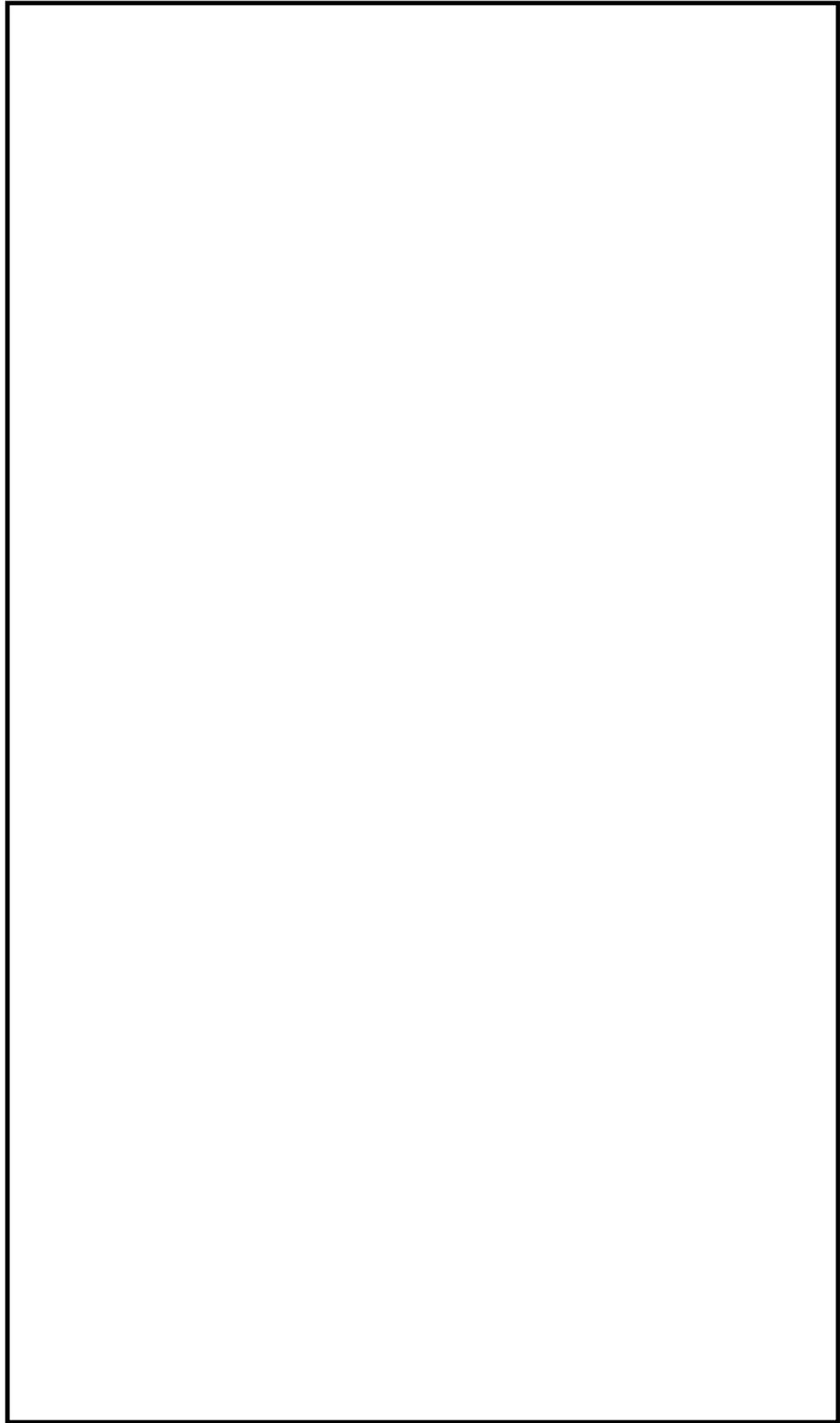


図 3-3(3) 温度分布図 (単位 : °C)

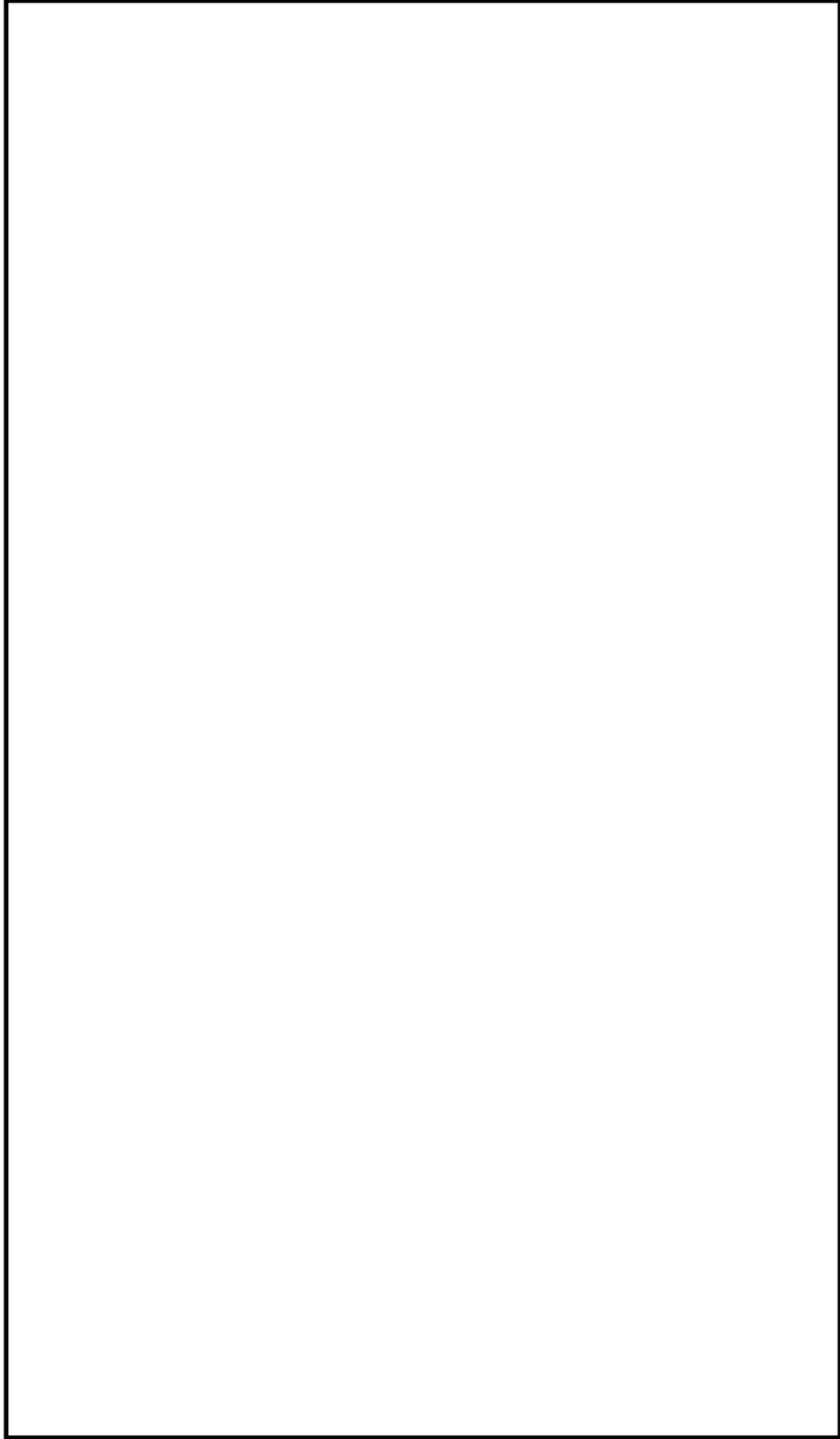


図 3-3(4) 温度分布図  (単位：℃)

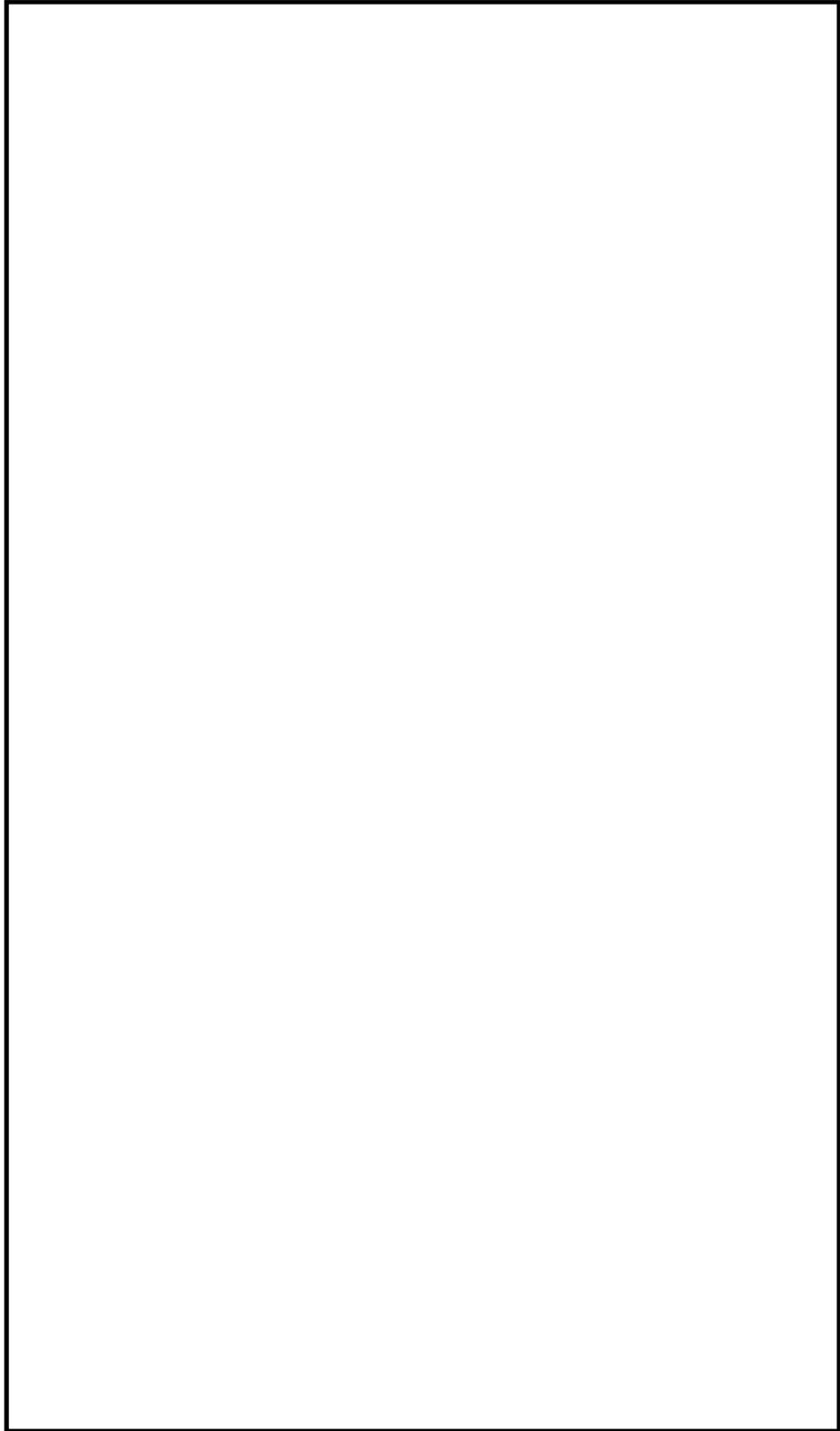


図 3-3(5) 温度分布図



(単位：℃)

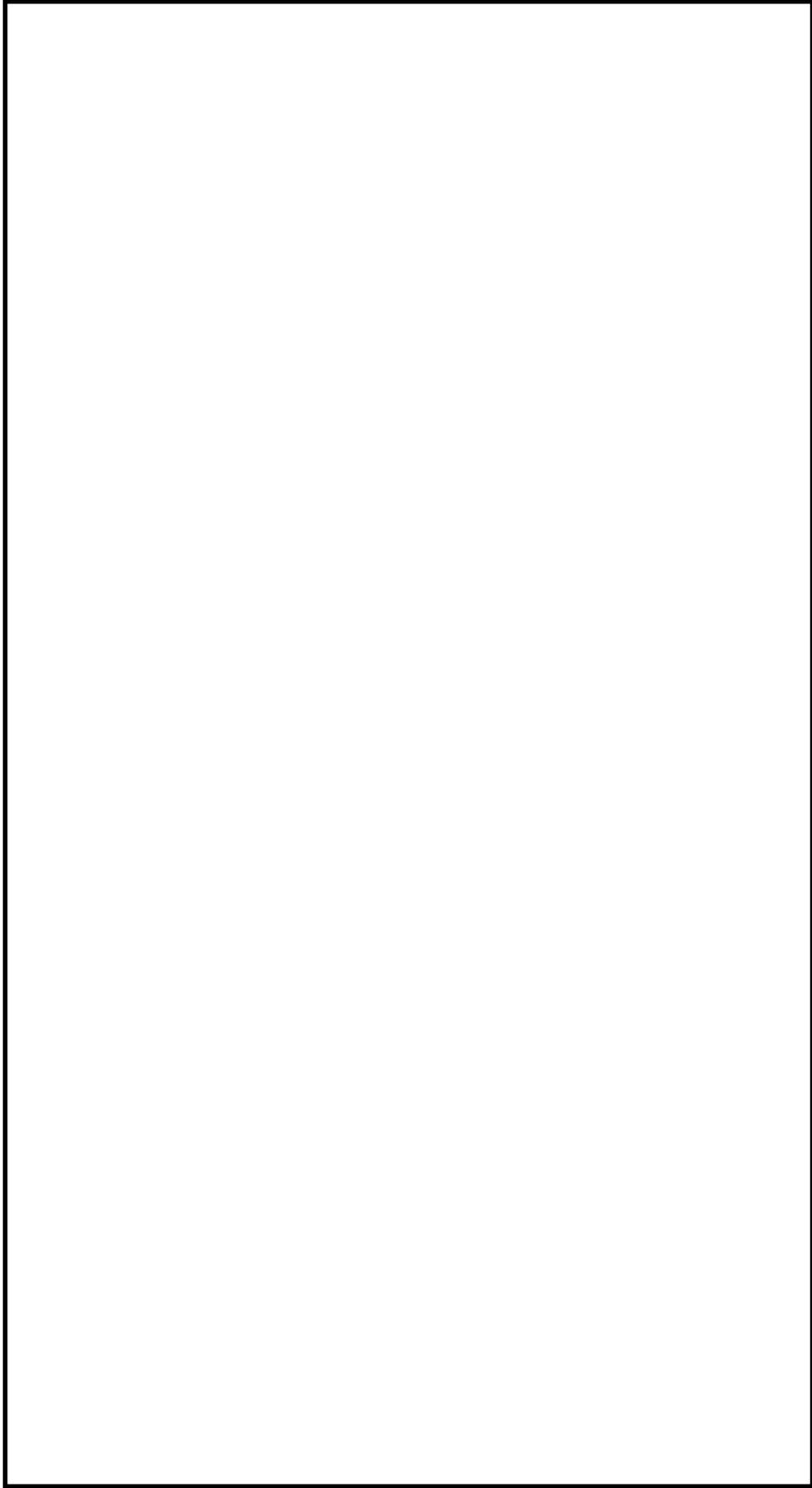


図 3-3(6) 温度分布図



(単位：℃)

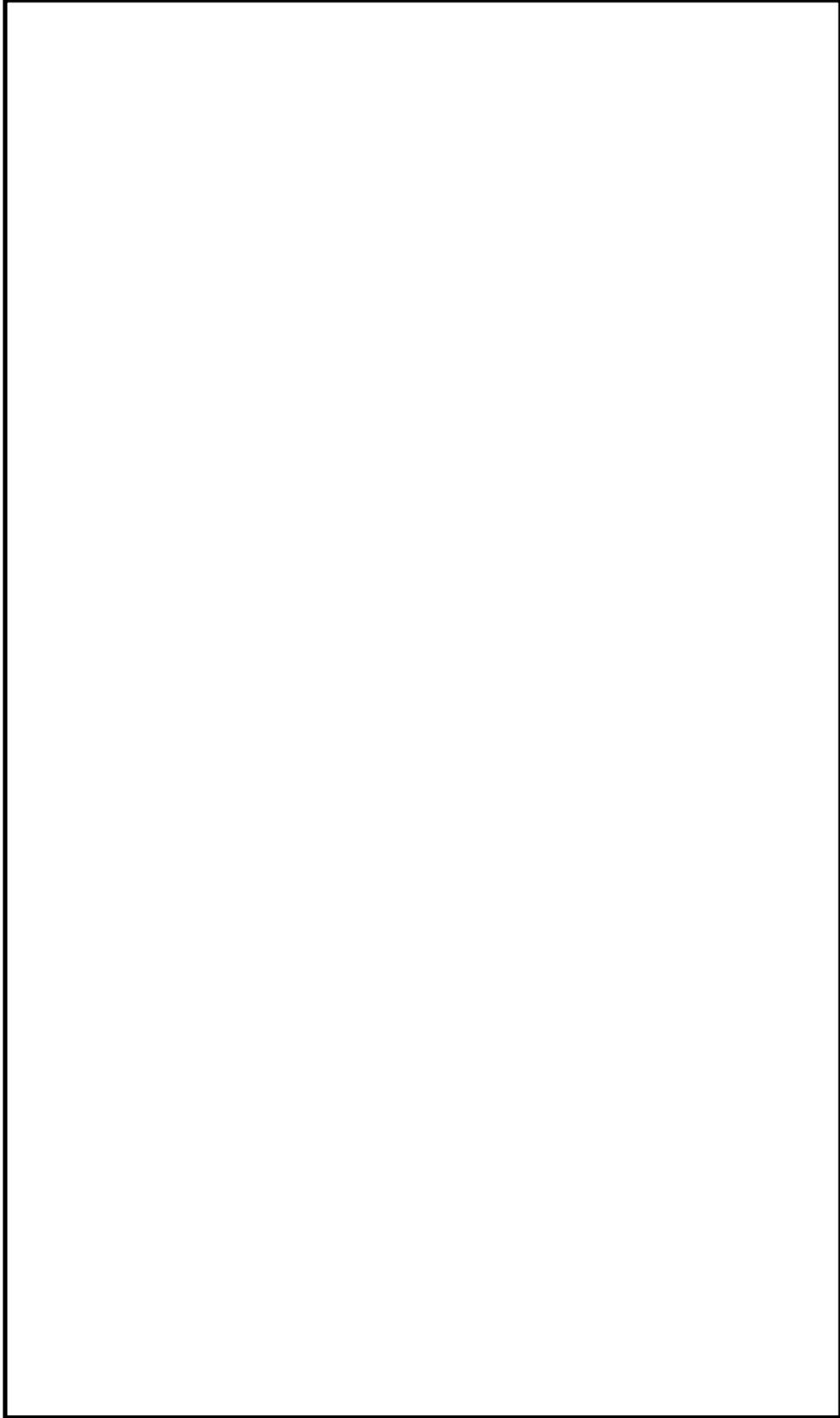


図 3-3(7) 温度分布図  (単位：℃)

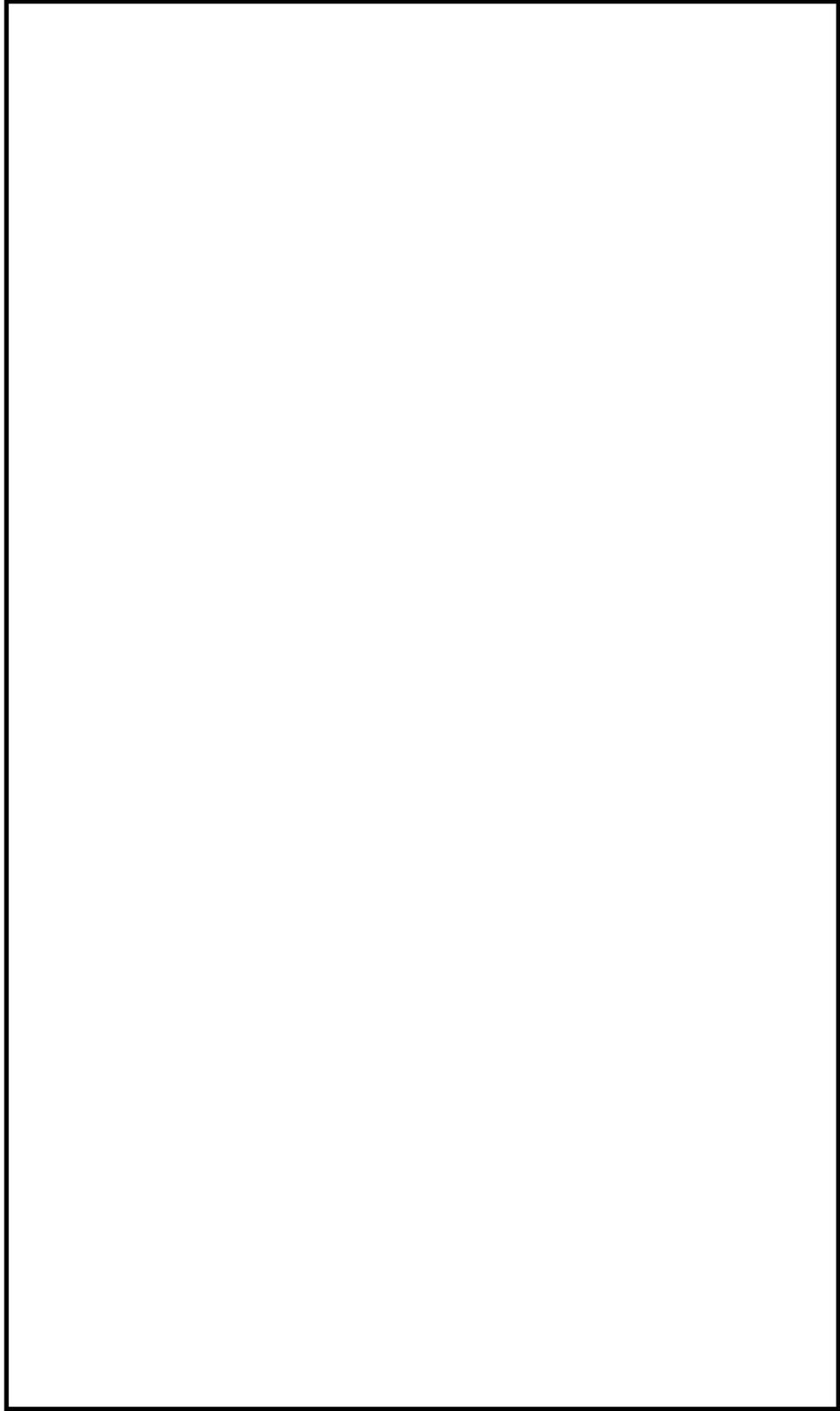


図 3-3(8) 温度分布図



(単位：℃)

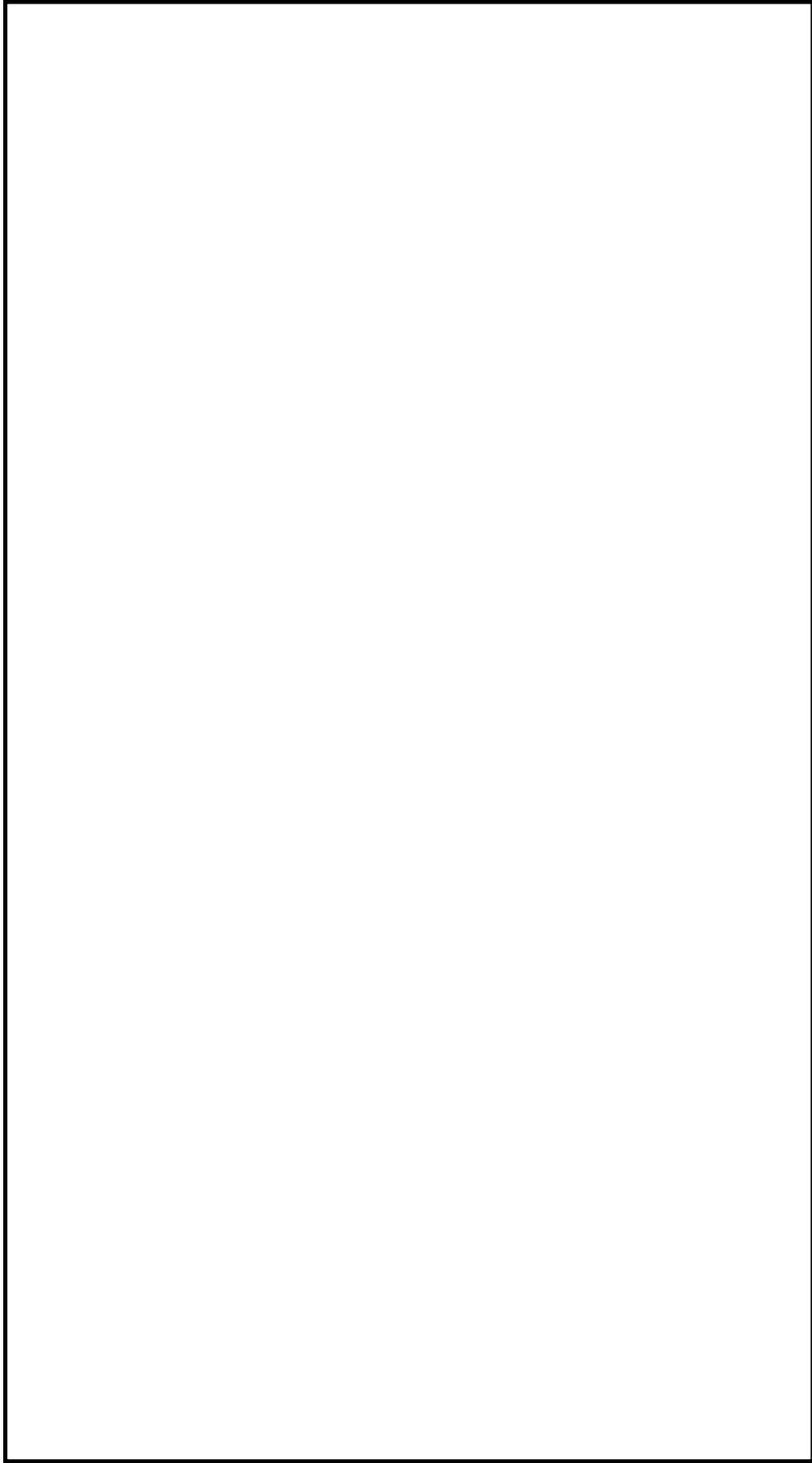


図 3-3(9) 温度分布図  (単位：℃)

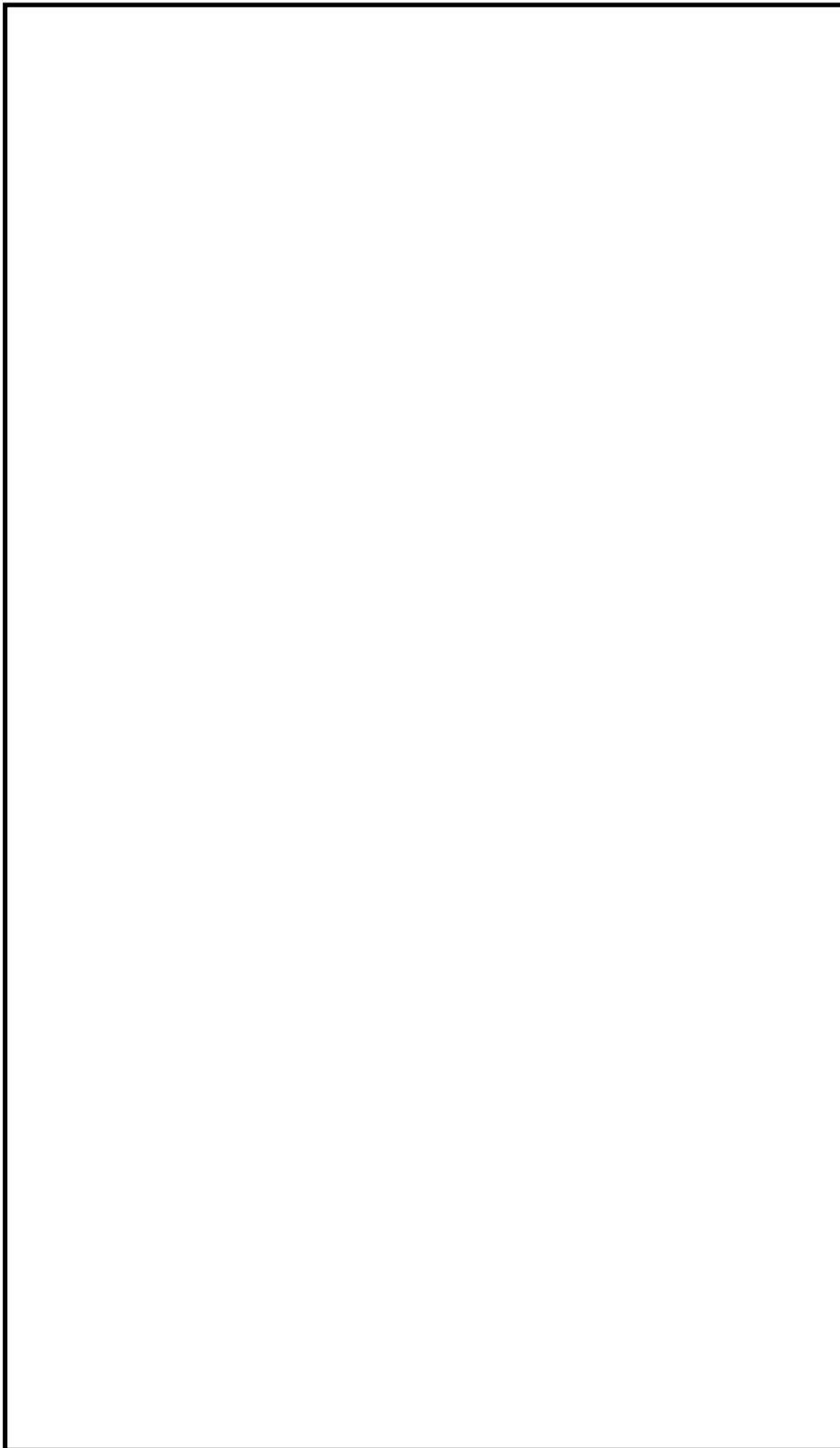


図 3-3(10) 温度分布図  (単位：℃)

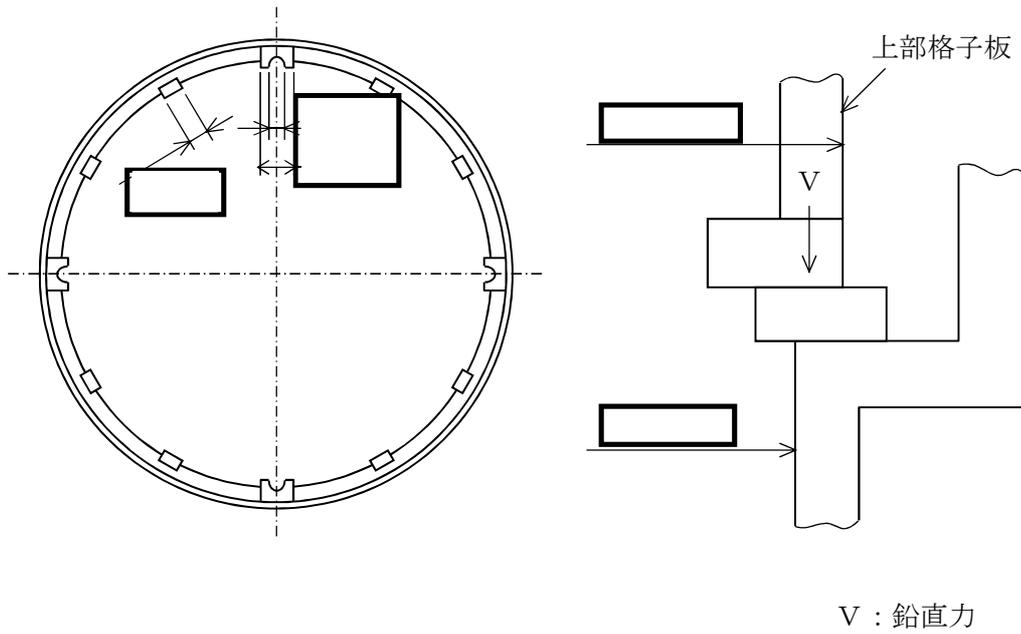


図 7-1 (1) 支圧荷重の支持面 (上部格子板) (単位 : mm)

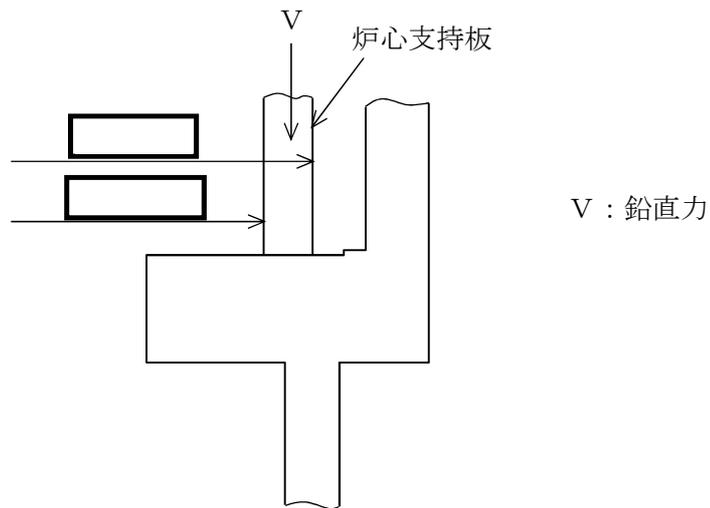


図 7-1 (2) 支圧荷重の支持面 (炉心支持板) (単位 : mm)

表3-1(1) 熱伝達率の計算

流体	温度 T_f ($^{\circ}\text{C}$)	流量 Q (m^3/h)	動粘性係数 ν_0 (m^2/s)	熱伝導率 λ ($\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)	プラントル数 P_r (-)	レイノルズ数 R_e (-)	熱伝達率 h ($\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$)
水							

注1：流体の種類は「応力解析の方針」の表3-4による。

注2：代表長さL=m

注3：計算は「応力解析の方針」の添付4による。

注4：流路断面積=

表 3-1(2) 熱伝達率の計算

流体	温度 T_f (°C)	流量 Q (m ³ /h)	動粘性係数 ν_0 (m ² /s)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	プラントル数 Pr (-)	レイノルズ数 Re (-)	熱伝達率 h (W/(m ² ·K))
水							

注 1 : 流体の種類は「応力解析の方針」の表 3-4 による。

注 2 : 代表長さ $L =$ m

注 3 : 計算は「応力解析の方針」の添付 4 による。

注 4 : 流路断面積

表3-1(3) 熱伝達率の計算

流体	温度 T_f (°C)	流量 Q (m ³ /h)	動粘性係数 ν_0 (m ² /s)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	プラントル数 Pr (-)	レイノルズ数 Re (-)	熱伝達率 h (W/(m ² ·K))
水							

注1：流体の種類は「応力解析の方針」の表3-4による。

注2：代表長さL= m

注3：計算は「応力解析の方針」の添付4による。

注4：流路断面積=

表3-1(4) 熱伝達率の計算

流体	温度 T_f (°C)	流量 Q (m ³ /h)	動粘性係数 ν_0 (m ² /s)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	プラントル数 Pr (-)	レイノルズ数 Re (-)	熱伝達率 h (W/(m ² ·K))
水							

注1：流体の種類は「応力解析の方針」の表3-4による。

注2：代表長さL=m

注3：計算は「応力解析の方針」の添付4による。

注4：流路断面積=

表3-1(5) 熱伝達率の計算

流体	温度 T_f (°C)	流量 Q (m ³ /h)	動粘性係数 ν_0 (m ² /s)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	プラントル数 P_r (-)	レイノルズ数 R_e (-)	熱伝達率 h (W/(m ² ·K))
水							

注1：流体の種類は「応力解析の方針」の表3-4による。

注2：代表長さL= m

注3：計算は「応力解析の方針」の添付4による。

注4：流路断面積

表3-1(6) 熱伝達率の計算

[Redacted]							
流体	温度 T_f (°C)	流量 Q (m ³ /h)	動粘性係数 ν_0 (m ² /s)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	プラントル数 P_r (-)	レイノルズ数 R_e (-)	熱伝達率 h (W/(m ² ·K))
水	[Redacted]						

注1：流体の種類は「応力解析の方針」の表3-4による。

注2：代表長さL=[Redacted] m

注3：計算は「応力解析の方針」の添付4による。

注4：流路断面積

[Redacted]

表3-1(7) 熱伝達率の計算

流体	温度 T_f (°C)	流量 Q (m ³ /h)	動粘性係数 ν_0 (m ² /s)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	プラントル数 P_r (-)	レイノルズ数 R_e (-)	熱伝達率 h (W/(m ² ·K))
水							

注1：流体の種類は「応力解析の方針」の表3-4による。

注2：代表長さL= m

注3：計算は「応力解析の方針」の添付4による。

注4：流路断面積=

表3-1(8) 熱伝達率の計算

流体	温度 T_f (°C)	流量 Q (m ³ /h)	動粘性係数 ν_0 (m ² /s)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	プラントル数 P_r (-)	レイノルズ数 R_e (-)	熱伝達率 h (W/(m ² ·K))
水							

注1：流体の種類は「応力解析の方針」の表3-4による。

注2：代表長さL= m

注3：計算は「応力解析の方針」の添付4による。

注4：流路断面積

表3-1(9) 熱伝達率の計算

流体	温度 T_f (°C)	流量 Q (m ³ /h)	動粘性係数 ν_0 (m ² /s)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	プラントル数 P_r (-)	レイノルズ数 R_e (-)	熱伝達率 h (W/(m ² ·K))
水							

注1：流体の種類は「応力解析の方針」の表3-4による。

注2：代表長さL m

注3：計算は「応力解析の方針」の添付4による。

注4：流路断面積

表3-1(10) 熱伝達率の計算

流体	温度 T_f (°C)	流量 Q (m ³ /h)	動粘性係数 ν_0 (m ² /s)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	プラントル数 P_r (-)	レイノルズ数 R_e (-)	熱伝達率 h (W/(m ² ·K))
水							

注1：流体の種類は「応力解析の方針」の表3-4による。

注2：代表長さL=m

注3：計算は「応力解析の方針」の添付4による。

注4：流路断面積=

表3-1(11) 熱伝達率の計算

[]							
流体	温度 T_f (°C)	流量 Q (m ³ /h)	動粘性係数 ν_0 (m ² /s)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	プラントル数 P_r (-)	レイノルズ数 R_e (-)	熱伝達率 h (W/(m ² ·K))
水	[]						

注1：流体の種類は「応力解析の方針」の表3-4による。

注2：代表長さ $L = []$ m

注3：計算は「応力解析の方針」の添付4による。

注4：流路断面積 = []

表3-1(12) 熱伝達率の計算

流体	温度 T_f ($^{\circ}\text{C}$)	流量 Q (m^3/h)	動粘性係数 ν_0 (m^2/s)	熱伝導率 λ ($\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)	プラントル数 Pr (-)	レイノルズ数 Re (-)	熱伝達率 h ($\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$)
水							

注1：流体の種類は「応力解析の方針」の表3-4による。

注2：代表長さ $L =$ m

注3：計算は「応力解析の方針」の添付4による。

注4：流路断面積 =

表 4-1 断面性状

応力評価点	t (mm)	D _i (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
P01, P02				
P03, P04				
P05, P06				
P07, P08				

表 4-2(1) 機械荷重による応力の計算結果

応力評価点—P01, P02

(単位：MPa)

下記の荷重 による応力	分類	一次一般 膜応力 (P_m)	一次一般膜+ 一次曲げ応力 ($P_m + P_b$)	一次+二次応力 ($P_m + P_b + Q$)	
	応力 評価点	P01 P02	P01 P02	P01	P02
L02-01 差圧	σ_t σ_ℓ σ_r $\tau_{\ell r}$				
L02-02 差圧	σ_t σ_ℓ σ_r				
L03 設計機械的荷重	σ_ℓ				
L04 死荷重	σ_t σ_ℓ σ_r $\tau_{\ell r}$				
L14 地震荷重 S_d^*	σ_ℓ $\tau_{t\ell}$				
L16 地震荷重 S_s	σ_ℓ $\tau_{t\ell}$				

表 4-2(2) 機械荷重による応力の計算結果
 応力評価点—P01', P02'

(単位：MPa)

下記の荷重 による応力	分類	一次一般 膜応力 (P_m)	一次一般膜+ 一次曲げ応力 ($P_m + P_b$)	一次+二次応力 ($P_m + P_b + Q$)	
	応力 評価点	P01' P02'	P01' P02'	P01'	P02'
L02-01 差圧	σ_t σ_ℓ σ_r $\tau_{\ell r}$				
L02-02 差圧	σ_t σ_ℓ σ_r				
L03 設計機械的荷重	σ_ℓ				
L04 死荷重	σ_t σ_ℓ σ_r $\tau_{\ell r}$				
L14 地震荷重 S_d^*	σ_ℓ $\tau_{t\ell}$				
L16 地震荷重 S_s	σ_ℓ $\tau_{t\ell}$				

表 4-2(3) 機械荷重による応力の計算結果

応力評価点—P03, P04

(単位：MPa)

下記の荷重 による応力	分類	一次一般 膜応力 (P_m)	一次一般膜+ 一次曲げ応力 ($P_m + P_b$)	一次+二次応力 ($P_m + P_b + Q$)	
	応力 評価点	P03 P04	P03 P04	P03	P04
L02-01 差圧	σ_t σ_ℓ σ_r $\tau_{\ell r}$				
L02-02 差圧	σ_t σ_ℓ σ_r				
L03 設計機械的荷重	σ_ℓ				
L04 死荷重	σ_t σ_ℓ σ_r $\tau_{\ell r}$				
L14 地震荷重 S_d^*	σ_ℓ $\tau_{t\ell}$				
L16 地震荷重 S_s	σ_ℓ $\tau_{t\ell}$				

表 4-2(4) 機械荷重による応力の計算結果

応力評価点—P03', P04'

(単位：MPa)

下記の荷重 による応力	分類	一次一般 膜応力 (P_m)	一次一般膜+ 一次曲げ応力 ($P_m + P_b$)	一次+二次応力 ($P_m + P_b + Q$)	
	応力 評価点	P03' P04'	P03' P04'	P03'	P04'
L02-01 差圧	σ_t σ_ℓ σ_r $\tau_{\ell r}$				
L02-02 差圧	σ_t σ_ℓ σ_r				
L03 設計機械的荷重	σ_ℓ				
L04 死荷重	σ_t σ_ℓ σ_r $\tau_{\ell r}$				
L14 地震荷重 S_d^*	σ_ℓ $\tau_{t\ell}$				
L16 地震荷重 S_s	σ_ℓ $\tau_{t\ell}$				

表 4-2(5) 機械荷重による応力の計算結果

応力評価点—P05, P06

(単位：MPa)

下記の荷重 による応力	分類	一次一般 膜応力 (P_m)	一次一般膜+ 一次曲げ応力 ($P_m + P_b$)	一次+二次応力 ($P_m + P_b + Q$)	
	応力 評価点	P05 P06	P05 P06	P05	P06
L02-01 差圧	σ_t σ_ℓ σ_r $\tau_{\ell r}$				
L02-02 差圧	σ_t σ_ℓ σ_r				
L03 設計機械的荷重	σ_ℓ				
L04 死荷重	σ_t σ_ℓ σ_r $\tau_{\ell r}$				
L14 地震荷重 S_d^*	σ_ℓ $\tau_{t\ell}$				
L16 地震荷重 S_s	σ_ℓ $\tau_{t\ell}$				

表 4-2(6) 機械荷重による応力の計算結果

応力評価点—P05', P06'

(単位：MPa)

下記の荷重 による応力	分類	一次一般 膜応力 (P_m)	一次一般膜+ 一次曲げ応力 ($P_m + P_b$)	一次+二次応力 ($P_m + P_b + Q$)	
	応力 評価点	P05' P06'	P05' P06'	P05'	P06'
L02-01 差圧	σ_t σ_ℓ σ_r $\tau_{\ell r}$				
L02-02 差圧	σ_t σ_ℓ σ_r				
L03 設計機械的荷重	σ_ℓ				
L04 死荷重	σ_t σ_ℓ σ_r $\tau_{\ell r}$				
L14 地震荷重 S_d^*	σ_ℓ $\tau_{t\ell}$				
L16 地震荷重 S_s	σ_ℓ $\tau_{t\ell}$				

表 4-2(7) 機械荷重による応力の計算結果

応力評価点—P07, P08

(単位：MPa)

下記の荷重 による応力	分類	一次一般 膜応力 (P_m)	一次一般膜+ 一次曲げ応力 ($P_m + P_b$)	一次+二次応力 ($P_m + P_b + Q$)	
	応力 評価点	P07 P08	P07 P08	P07	P08
L02-01 差圧	σ_t σ_ℓ σ_r $\tau_{\ell r}$				
L02-02 差圧	σ_t σ_ℓ σ_r				
L03 設計機械的荷重	σ_ℓ				
L04 死荷重	σ_t σ_ℓ σ_r $\tau_{\ell r}$				
L14 地震荷重 S_d^*	σ_ℓ $\tau_{t\ell}$				
L16 地震荷重 S_s	σ_ℓ $\tau_{t\ell}$				

表 4-2(8) 機械荷重による応力の計算結果

応力評価点—P07', P08'

(単位：MPa)

下記の荷重 による応力	分類	一次一般 膜応力 (P_m)	一次一般膜+ 一次曲げ応力 ($P_m + P_b$)	一次+二次応力 ($P_m + P_b + Q$)	
	応力 評価点	P07' P08'	P07' P08'	P07'	P08'
L02-01 差圧	σ_t σ_ℓ σ_r $\tau_{\ell r}$				
L02-02 差圧	σ_t σ_ℓ σ_r				
L03 設計機械的荷重	σ_ℓ				
L04 死荷重	σ_t σ_ℓ σ_r $\tau_{\ell r}$				
L14 地震荷重 S_d^*	σ_ℓ $\tau_{t\ell}$				
L16 地震荷重 S_s	σ_ℓ $\tau_{t\ell}$				

表 4-3(1) 熱応力の計算結果
 応力評価点—P01, P02

(単位：MPa)

運転条件	分類	Q (膜)		Q (膜+曲げ)
	応力 評価点	P01 P02	P01	P02
C03-01 起動昇温	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C08-01 発電機トリップ	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C08-02 発電機トリップ	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C10-01 スクラムタービントリップ	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C10-02 スクラムタービントリップ	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C12-01 定格出力運転	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C17-01 停止満水後冷却	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C20-01 スクラム原子炉給水ポンプ停止	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			

表 4-3(2) 熱応力の計算結果
 応力評価点—P01, P02

(単位：MPa)

運転条件	分類	Q (膜)	Q (膜+曲げ)	
	応力 評価点	P01 P02	P01	P02
C20-02 スクラム原子炉給水ポン プ停止	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C21-01 スクラム逃がし安全弁誤 作動	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			

表 4-3(3) 熱応力の計算結果

応力評価点—P03, P04

(単位：MPa)

運転条件	分類	Q (膜)		Q (膜+曲げ)
	応力 評価点	P03 P04	P03	P04
C03-01 起動昇温	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C08-01 発電機トリップ	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C08-02 発電機トリップ	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C10-01 スクラムタービントリッ プ	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C10-02 スクラムタービントリッ プ	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C12-01 定格出力運転	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C17-01 停止満水後冷却	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C20-01 スクラム原子炉給水ポン プ停止	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			

表 4-3(4) 熱応力の計算結果
 応力評価点—P03, P04

(単位：MPa)

運転条件	分類	Q (膜)		Q (膜+曲げ)	
	応力 評価点	P03 P04	P03	P04	
C20-02 スクラム原子炉給水ポン プ停止	σ_t				
	σ_l				
	σ_r				
	τ_{lr}				
C21-01 スクラム逃がし安全弁誤 作動	σ_t				
	σ_l				
	σ_r				
	τ_{lr}				

表 4-3(5) 熱応力の計算結果
 応力評価点—P05, P06

(単位 : MPa)

運転条件	分類	Q (膜)		Q (膜+曲げ)
	応力 評価点	P05 P06	P05	P06
C03-01 起動昇温	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C08-01 発電機トリップ	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C08-02 発電機トリップ	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C10-01 スクラムタービントリップ	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C10-02 スクラムタービントリップ	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C12-01 定格出力運転	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C17-01 停止満水後冷却	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C20-01 スクラム原子炉給水ポンプ停止	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			

表 4-3(6) 熱応力の計算結果

応力評価点—P05, P06

(単位：MPa)

運転条件	分類	Q (膜)		
	応力 評価点	P05 P06	P05	P06
C20-02 スクラム原子炉給水ポン プ停止	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C21-01 スクラム逃がし安全弁誤 作動	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			

表 4-3(7) 熱応力の計算結果

応力評価点—P07, P08

(単位：MPa)

運転条件	分類	Q (膜)		Q (膜+曲げ)
	応力 評価点	P07 P08	P07	P08
C03-01 起動昇温	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C08-01 発電機トリップ	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C08-02 発電機トリップ	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C10-01 スクラムタービントリップ	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C10-02 スクラムタービントリップ	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C12-01 定格出力運転	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C17-01 停止満水後冷却	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C20-01 スクラム原子炉給水ポンプ停止	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			

表 4-3(8) 熱応力の計算結果

応力評価点—P07, P08

(単位 : MPa)

運転条件	分類	Q (膜)	Q (膜+曲げ)	
	応力 評価点	P07 P08	P07	P08
C20-02 スクラム原子炉給水ポン プ停止	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			
C21-01 スクラム逃がし安全弁誤 作動	σ_t			
	σ_l			
	σ_r			
	τ_{lr}			

表 5-1 一次一般膜応力強さの評価方法

荷重	設計条件	供用状態C	供用状態D	許容応力状態 Ⅲ _A S	許容応力状態 Ⅳ _A S
L02-01* 差圧	1.000 (P _{4.5} = <input type="text"/> (P _{3.2} = <input type="text"/> (P _{1.2} = <input type="text"/>	<input type="text"/> (P _{4.5} = <input type="text"/> (P _{3.2} = <input type="text"/> (P _{1.2} = <input type="text"/>	—	<input type="text"/> (P _{4.5} = <input type="text"/> (P _{3.2} = <input type="text"/> (P _{1.2} = <input type="text"/>	<input type="text"/> (P _{4.5} = <input type="text"/> (P _{3.2} = <input type="text"/> (P _{1.2} = <input type="text"/>
L02-02* 差圧	—	—	<input type="text"/> (P _{4.5} = <input type="text"/> (P _{3.2} = <input type="text"/> (P _{1.2} = <input type="text"/>	—	—
L03 設計機械的荷重	1.000	—	—	—	—
L04 死荷重	—	1.000	1.000	1.000	1.000
L14 地震荷重 S _d *	—	—	—	1.000	—
L16 地震荷重 S _s	—	—	—	—	1.000
許容値	「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節による。				

注記 * : () 内は圧力の値 (MPa) を示す。

注 1 : 荷重条件は, 「応力解析の方針」の 4 章に示す。

注 2

表 5-2 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	設計条件		供用状態C		供用状態D		許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	6	62	6	93	11	152	16	94	22	150
P01' P02'	6	62	6	93	11	152	18	94	25	150
P03 P04	6	62	6	93	11	152	18	94	27	150
P03' P04'	6	62	6	93	11	152	21	94	31	150
P05 P06	6	62	6	93	11	152	41	94	62	150
P05' P06'	6	62	6	93	11	152	45	94	68	150
P07 P08	12	62	12	93	20	152	47	94	69	150
P07' P08'	12	62	12	93	20	152	51	94	75	150

表 5-3 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価方法

荷重	設計条件	供用状態C	供用状態D	許容応力状態	許容応力状態
				Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
L02-01* 差圧	1.000 (P _{4.5} = <input type="text"/> (P _{3.2} = <input type="text"/> (P _{1.2} = <input type="text"/>	<input type="text"/> (P _{4.5} = <input type="text"/> (P _{3.2} = <input type="text"/> (P _{1.2} = <input type="text"/>	—	<input type="text"/> (P _{4.5} = <input type="text"/> (P _{3.2} = <input type="text"/> (P _{1.2} = <input type="text"/>	<input type="text"/> (P _{4.5} = <input type="text"/> (P _{3.2} = <input type="text"/> (P _{1.2} = <input type="text"/>
L02-02* 差圧	—	—	<input type="text"/> (P _{4.5} = <input type="text"/> (P _{3.2} = <input type="text"/> (P _{1.2} = <input type="text"/>	—	—
L03 設計機械的荷重	1.000	—	—	—	—
L04 死荷重	—	1.000	1.000	1.000	1.000
L14 地震荷重 S _d *	—	—	—	1.000	—
L16 地震荷重 S _s	—	—	—	—	1.000
許容値	「応力解析の方針」の3.6節及び3.7節による。				

注記 * : () 内は圧力の値 (MPa) を示す。

注 1 : 荷重条件は, 「応力解析の方針」の4章に示す。

注 2 :

表 5-4 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	設計条件		供用状態C		供用状態D		許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	6	94	6	141	11	229	16	141	22	226
P01' P02'	6	94	6	141	11	229	18	141	25	226
P03 P04	6	94	6	141	11	229	18	141	27	226
P03' P04'	6	94	6	141	11	229	21	141	31	226
P05 P06	6	94	6	141	11	229	41	141	62	226
P05' P06'	6	94	6	141	11	229	45	141	68	226
P07 P08	12	94	12	141	20	229	47	141	69	226
P07' P08'	12	94	12	141	20	229	51	141	75	226

表 5-5(1) 一次+二次応力強さの評価方法

供用状態A及びB

荷重	C03-01 起動昇温	C08-01 発電機トリップ	C08-02 発電機トリップ	C10-01 スクラムタービントリップ	C10-02 スクラムタービントリップ
L02-01*1 差圧	$(P_{4.5} = \square)$ $(P_{3.2} = \square)$ $(P_{1.2} = \square)$				
L04 死荷重	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
L10 熱負荷	*2	*2	*2	*2	*2

注記 *1: () 内は圧力の値 (MPa) を示す。

*2: 各運転条件において表 4-3 の熱応力Q (膜+曲げ) を組み合わせる。

注 1: 荷重条件は, 「応力解析の方針」の 4 章に示す。

注 2:

表 5-5(2) 一次+二次応力強さの評価方法

供用状態A及びB

荷重	C12-01 定格出力運転	C17-01 停止満水後冷却	C20-01 スクラム原子炉 炉給水ポンプ 停止	C20-02 スクラム原子炉 炉給水ポンプ 停止	C21-01 スクラム原子炉 逃がし安全弁誤 作動
L02-01*1 差圧	(P _{4.5} = (P _{3.2} = (P _{1.2} =				
L04 死荷重	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
L10 熱負荷	*2	*2	*2	*2	*2

注記 *1: () 内は圧力の値 (MPa) を示す。

*2: 各運転条件において表 4-3 の熱応力 Q (膜+曲げ) を組み合わせる。

注 1: 荷重条件は、「応力解析の方針」の 4 章に示す。

注 2:

表 5-6 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

分類	一次+二次応力差最大範囲 ($P_m + P_b + Q$)		
	S_n^{*1}	$S_n'^{*2}$	許容値 $\eta \cdot 3 \cdot S_m$
P01	99	—	191
P01'	99	—	191
P02	108	—	191
P02'	108	—	191
P03	117	—	191
P03'	117	—	191
P04	115	—	191
P04'	115	—	191
P05	62	—	191
P05'	62	—	191
P06	62	—	191
P06'	62	—	191
P07	78	—	191
P07'	78	—	191
P08	40	—	191
P08'	40	—	191

注記 *1 : S_n は供用状態A及びBによる一次+二次応力差の最大範囲を示す。

*2 : S_n' は S_n のうち熱曲げを除く一次+二次応力差の最大範囲を示す。

表 7-1(1) 支圧応力の評価

応力評価面 : 上部格子板支持面 (単位: MPa)

条件	平均支圧応力 σ_b	許容支圧応力 σ_{ba}
供用状態 A 及び B	1	108
供用状態 C	1	162
供用状態 D	1	219
許容応力状態 III _A S	2	163
許容応力状態 IV _A S	3	217

表 7-1(2) 支圧応力の評価

応力評価面 : 炉心支持板支持面 (単位: MPa)

条件	平均支圧応力 σ_b	許容支圧応力 σ_{ba}
供用状態 A 及び B	1	108
供用状態 C	1	162
供用状態 D	1	219
許容応力状態 III _A S	1	163
許容応力状態 IV _A S	1	217

表 7-2 軸圧縮応力の評価

応力評価部位 : 下部胴 (単位: MPa)

条件	圧縮応力 σ_c	許容圧縮応力 σ_{ca}
供用状態 A 及び B	2	25
供用状態 C	2	38
供用状態 D	2	52

表 7-3 座屈の評価

応力評価部位 : 下部胴

条件	座屈応力 との比	許容値
許容応力状態 III _A S	0.36	1.0
許容応力状態 IV _A S	0.56	1.0

別添 応力計算モデルの寸法 (単位: mm)

NT2 補① V-3-別添 6-2 ROE

V-3-別添6-3 シュラウドサポートの応力計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	2
1.4 計算結果の概要	2
2. 計算条件	5
2.1 解析範囲	5
2.2 運転条件	5
2.3 材料	5
2.4 物性値及び許容応力	5
2.5 応力の記号と方向	5
3. 応力計算	6
3.1 応力評価点	6
3.2 外荷重による応力	6
3.2.1 荷重条件 (L04, L14及びL16)	6
4. 応力強さの評価	6
4.1 一次一般膜応力強さの評価	6
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	6
5. 特別な応力の検討	7
5.1 軸圧縮応力の評価	7
5.1.1 計算データ	7
5.1.2 圧縮荷重	7
5.1.3 圧縮応力	7
5.1.4 許容圧縮応力	8
5.1.5 各許容応力状態における軸圧縮応力の評価	9

図表目次

図1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	3
表1-1	計算結果の概要	4
表4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	10
表4-2	一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	11
表5-1	軸圧縮応力の評価	12

1. 一般事項

本計算書は、シュラウドサポートの応力計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図1-1に示す。

1.2 記号の説明

V-3-別添6-1「炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）の2章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	シュラウドサポートレグ1 本当たりの断面積	mm ²
B	シュラウドサポートレグの幅	mm
C	部材両端の拘束条件に対する座屈長さの係数	—
F	許容応力度	MPa
f _c	許容圧縮応力	MPa
I	座屈軸についての断面二次モーメント	mm ⁴
i	座屈軸についての断面二次半径	mm
l	シュラウドサポートレグの長さ	mm
l _k	座屈長さ	mm
T	シュラウドサポートレグの板厚	mm
Λ	限界細長比	—
λ	有効細長比	—
ν	設計・建設規格 SSB-3121.1(3)a.におけるν	—

1.3 考慮する荷重

考慮した各荷重の値を「応力解析の方針」の4章に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表1-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。

注： 以下、シュラウドサポートレグ、シュラウドサポートシリンダ、シュラウドサポートプレート及び炉心シュラウド下部胴を、それぞれ「レグ」、「シリンダ」、「プレート」及び「下部胴」という。

- : 応力評価点
- () : 材 料
- [] : JIS相当材

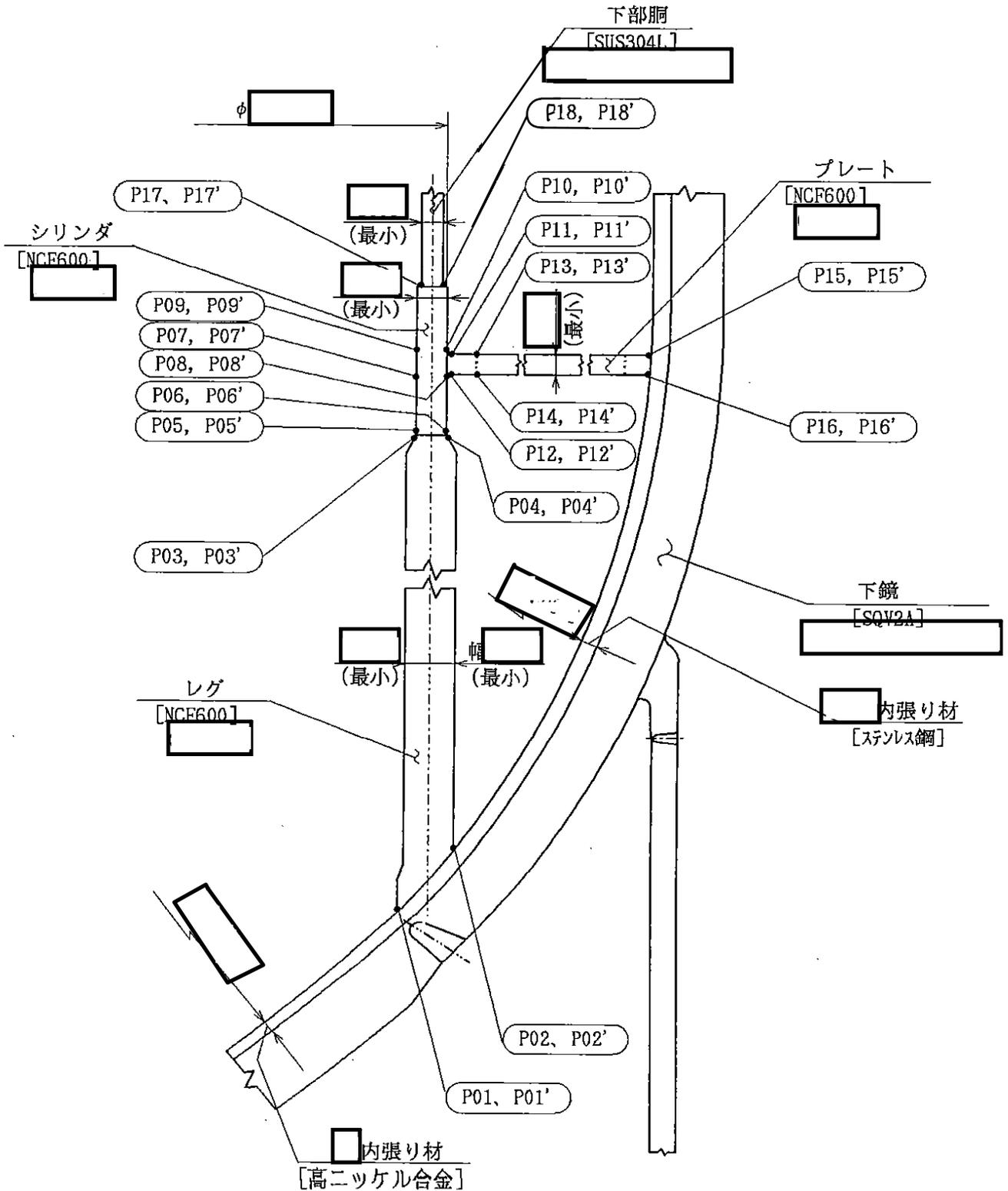


図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表1-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力 (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力 (MPa)		
		応力 強さ	許容値	応力評価面	応力 強さ	許容値	応力評価面
レグ NCF600	Ⅲ A S	128	246	P03 - P04	128	369	P03 - P04
	Ⅳ A S	194	334	P03' - P04'	194	501	P03' - P04'
シリンダ NCF600	Ⅲ A S	131	246	P07' - P08'	131	369	P07' - P08'
	Ⅳ A S	149	334	P07' - P08'	149	501	P07' - P08'
プレート NCF600	Ⅲ A S	104	246	P13 - P14	104	369	P13 - P14
	Ⅳ A S	108	334	P13 - P14	108	501	P13 - P14
下部胴 SUS304L	Ⅲ A S	79	130	P17' - P18'	79	196	P17' - P18'
	Ⅳ A S	99	209	P17' - P18'	99	313	P17' - P18'

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図1-1に示す。

2.2 運転条件

考慮した運転条件とその回数を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

2.3 材料

各部の材料を図1-1に示す。

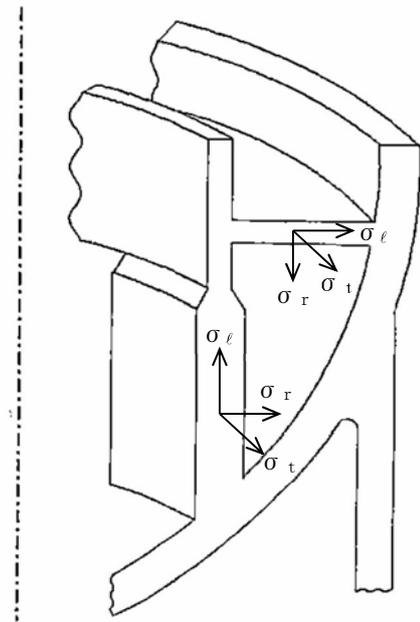
2.4 物性値及び許容応力

物性値及び許容応力は、「応力解析の方針」の3.4節及び3.6節による。

2.5 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
- σ_ℓ : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図1-1に示す。

3.2 外荷重による応力

3.2.1 荷重条件 (L04, L14及びL16)

シュラウドサポートに作用する外荷重を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

許容応力状態Ⅲ_AS及び許容応力状態Ⅳ_ASにおける評価をまとめて、表4-1に示す。

表4-1より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.6節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価

許容応力状態Ⅲ_AS及び許容応力状態Ⅳ_ASにおける評価をまとめて、表4-2に示す。

表4-2より、各許容応力状態の一次一般膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.6節に示す許容応力を満足する。

5. 特別な応力の検討

5.1 軸圧縮応力の評価

レグには、シュラウドサポートに作用する外荷重により、圧縮応力が生じる。したがって、これらの荷重の組合せにより発生する圧縮応力の評価を行う。

5.1.1 計算データ

(1) 座屈長さ l_k

$$l_k = C \cdot l = 0.7 \times \boxed{} = \boxed{} \text{ mm}$$

ここで、 $C = 0.7$

$$l : \text{レグの長さ} = \boxed{} \text{ mm}$$

(2) 座屈軸についての断面二次半径 i

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \boxed{} = 36.0844 \text{ mm}$$

ここで、 I : 座屈軸についての断面二次モーメント

$$= \frac{1}{12} \cdot T^3 \cdot B = \boxed{} \text{ mm}^4$$

$$T : \text{レグの板厚} = \boxed{} \text{ mm}$$

$$B : \text{レグの幅} = \boxed{} \text{ mm}$$

A : レグ 1 本当たりの断面積

$$= T \cdot B = \boxed{} \text{ mm}^2$$

(3) 有効細長比 λ

$$\lambda = \frac{l_k}{i} = \frac{\boxed{}}{\boxed{}} = \boxed{}$$

5.1.2 圧縮荷重

各許容応力状態においてシュラウドサポートに作用する外荷重を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

5.1.3 圧縮応力

各許容応力状態においてレグに発生する最大圧縮応力は、応力評価面 P03' -P04' での一次一般膜応力 (σ_ℓ) に注目して、表 5-1 に示す。

5.1.4 許容圧縮応力

各許容応力状態における許容圧縮応力の計算は、設計・建設規格 SSB-3121を準用して計算する。

(1) 許容応力状態Ⅲ_AS

許容応力状態Ⅲ_ASにおける許容応力度Fは、以下の3つの値のうち小さい方を用いる。

$$1.35 \cdot S_y = 261 \text{ MPa} \quad (\text{供用状態A及びBの最高温度 } \boxed{} \text{ } ^\circ\text{C} \text{ における値})$$

$$0.7 \cdot S_u = 350 \text{ MPa} \quad (\text{供用状態A及びBの最高温度 } \boxed{} \text{ } ^\circ\text{C} \text{ における値})$$

$$S_y = 245 \text{ MPa} \quad (\text{室温における値})$$

したがって、許容応力度F = 245 MPaとする。

許容応力状態Ⅲ_ASにおける許容圧縮応力 f_c は、F = 245 MPa に対して次のように得られる。

$$\begin{aligned} \text{限界細長比: } \Lambda &= \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times \boxed{}}{0.6 \times \boxed{}}} \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

ここで、E：縦弾性係数 = $\boxed{}$ MPa $\boxed{}$ $^\circ\text{C}$ における値)

ゆえに、 $\lambda < \Lambda$ なので f_c は、

$$\begin{aligned} f_c &= 1.5 \times \left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{\nu} \\ &= 1.5 \times \left\{ 1 - 0.4 \times \left(\frac{\boxed{}}{\boxed{}} \right)^2 \right\} \times \frac{245}{1.54576} = 231 \text{ MPa} \end{aligned}$$

ここで、 $\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$

$$= 1.5 + \frac{2}{3} \times \left(\frac{\boxed{}}{\boxed{}} \right)^2 = 1.54576$$

(2) 許容応力状態Ⅳ_AS

許容応力状態Ⅳ_ASにおける許容応力度Fは、以下の3つの値のうち小さい方を用いる。

$$1.35 \cdot S_y = 261 \text{ MPa} \quad (\text{供用状態A及びBの最高温度 } \boxed{} \text{ } ^\circ\text{C} \text{ における値})$$

$$0.7 \cdot S_u = 350 \text{ MPa} \quad (\text{供用状態A及びBの最高温度 } \boxed{} \text{ } ^\circ\text{C} \text{ における値})$$

$$1.2 \cdot S_y = 294 \text{ MPa} \quad (\text{室温における値})$$

したがって、許容応力度F = 261 MPaとする。

許容応力状態Ⅳ_ASにおける許容圧縮応力 f_c は、F = 261 MPa に対して次のように得られる。

$$\text{限界細長比: } \Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times \boxed{}}{0.6 \times \boxed{}}}$$

ここで、E：縦弾性係数= MPa (°Cにおける値)

ゆえに、 $\lambda < \Lambda$ なので f_c は、

$$f_c = 1.5 \times \left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{\nu}$$

$$= 1.5 \times \left\{ 1 - 0.4 \times \left(\frac{\text{}{\text{}} \right)^2 \right\} \times \frac{261}{1.54875} = 245 \text{ MPa}$$

ここで、 $\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$

$$= 1.5 + \frac{2}{3} \times \left(\frac{\text{}{\text{}} \right)^2 = 1.54875$$

5.1.5 各許容応力状態における軸圧縮応力の評価

許容応力状態Ⅲ_AS及び許容応力状態Ⅳ_ASにおける軸圧縮応力の評価を表5-1に示す。

表5-1より、各許容応力状態における圧縮応力は、許容圧縮応力を超えない。

表4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

評価面	許容応力状態 ⅢA S		許容応力状態 ⅣA S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01				
P02	85	221	121	300
P01'				
P02'	75	221	109	300
P03				
P04	128	246	187	334
P03'				
P04'	126	246	194	334
P05				
P06	79	246	81	334
P05'				
P06'	107	246	130	334
P07				
P08	103	246	110	334
P07'				
P08'	131	246	149	334
P09				
P10	107	246	116	334
P09'				
P10'	110	246	122	334
P11				
P12	89	221	92	300
P11'				
P12'	90	221	93	300
P13				
P14	104	246	108	334
P13'				
P14'	96	246	94	334
P15				
P16	62	221	61	300
P15'				
P16'	70	221	73	300
P17				
P18	74	130	97	209
P17'				
P18'	79	130	99	209

表4-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

評価面	許容応力状態 ⅢA S		許容応力状態 ⅣA S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	85	332	121	450
P01' P02'	75	332	109	450
P03 P04	128	369	187	501
P03' P04'	126	369	194	501
P05 P06	79	369	81	501
P05' P06'	107	369	130	501
P07 P08	103	369	110	501
P07' P08'	131	369	149	501
P09 P10	107	369	116	501
P09' P10'	110	369	122	501
P11 P12	89	332	92	450
P11' P12'	90	332	93	450
P13 P14	104	369	108	501
P13' P14'	96	369	94	501
P15 P16	62	332	61	450
P15' P16'	70	332	73	450
P17 P18	74	196	97	313
P17' P18'	79	196	99	313

表5-1 軸圧縮応力の評価

(単位：MPa)

許容応力状態	軸圧縮応力	許容圧縮応力
Ⅲ _A S	124	231
Ⅳ _A S	193	245

V-3-別添6-4 上部格子板の応力計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	形状・寸法・材料	1
1.2	記号の説明	1
1.3	考慮する荷重	1
1.4	計算結果の概要	1
2.	計算条件	4
2.1	解析範囲	4
2.2	設計条件	4
2.3	運転条件	4
2.4	材料	4
2.5	物性値及び許容応力	4
2.6	応力の記号と方向	4
3.	温度分布計算	4
4.	応力計算	5
4.1	応力評価点	5
4.2	差圧による応力	5
4.2.1	荷重条件 (L02)	5
4.2.2	計算方法	5
4.2.3	計算結果	5
4.3	外荷重による応力	6
4.3.1	荷重条件 (L03, L04, L14 及び L16)	6
4.3.2	計算方法	6
4.3.3	計算結果	7
4.4	熱応力	7
5.	応力強さの評価	8
5.1	一次一般膜応力強さの評価	8
5.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8
5.3	一次＋二次応力強さの評価	8
6.	繰返し荷重の評価	9
6.1	設計・建設規格 CSS-3130 についての検討	9
6.2	疲労解析	9

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 4-1	応力計算モデル	10
表 1-1	計算結果の概要	3
表 4-1	断面性状	11
表 4-2	機械荷重による応力の計算結果	12
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価方法	14
表 5-2	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	14
表 5-3	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価方法	15
表 5-4	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	15
表 5-5	一次＋二次応力強さの評価方法	16
表 5-6	一次＋二次応力強さの評価のまとめ	17

1. 一般事項

本計算書は、上部格子板の応力計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 記号の説明

V-3-別添 6-1「炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）の 2 章による。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
b	グリッドプレートの厚さ	mm
h _a	グリッドプレートの高さ	mm
I _y	断面二次モーメント	mm ⁴
I _z	断面二次モーメント	mm ⁴
L	最長グリッドプレートの長さ	mm
ℓ	グリッドプレート1スパンの長さ	mm

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

- a. 差 圧
- b. 外荷重

各荷重の値を「応力解析の方針」の 4 章に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。

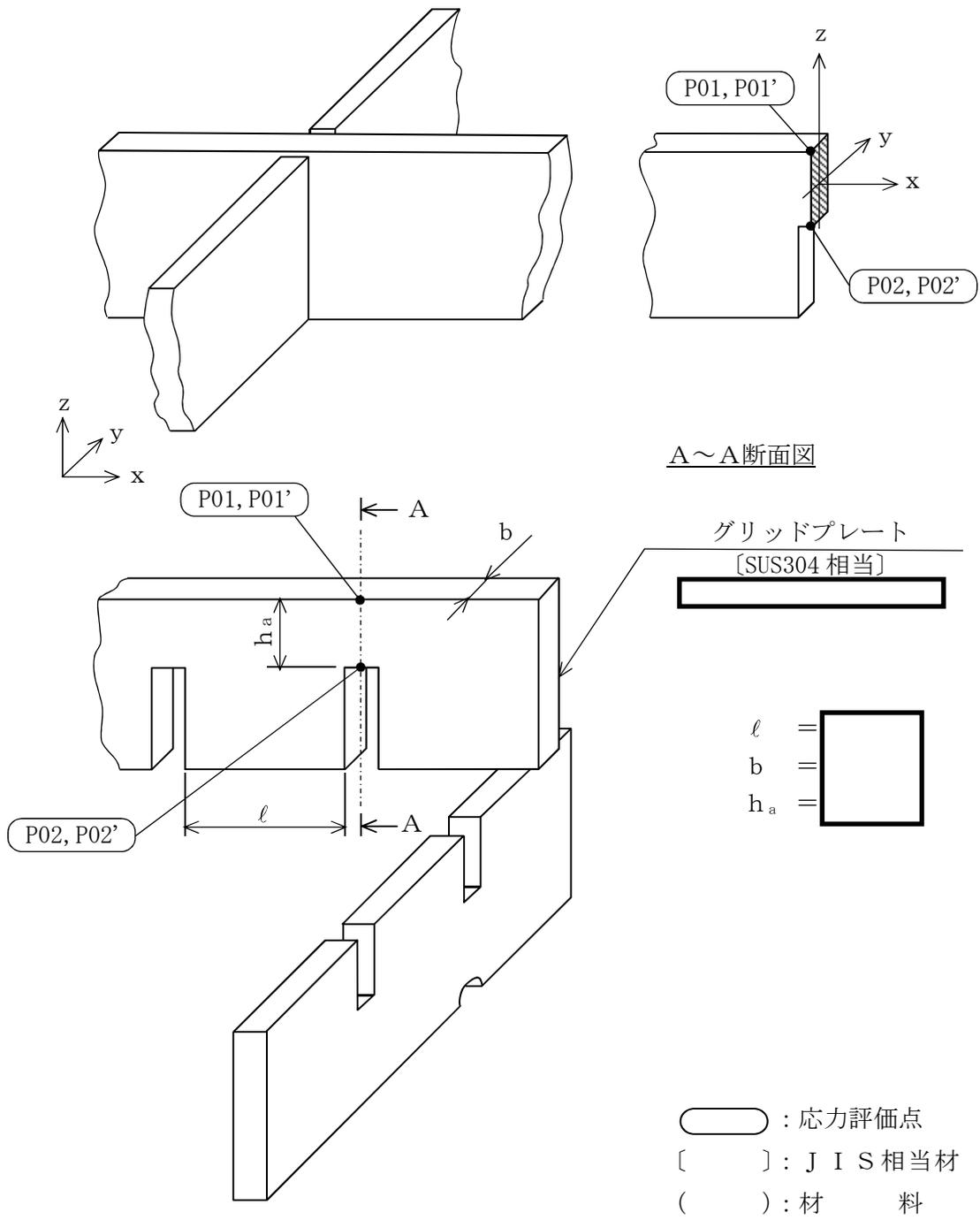


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位 : mm)

表 1-1 計算結果の概要

部分及び材料	供用状態 (許容応力状態)	一次一般膜応力 (MPa)			一次一般膜＋一次曲げ応力 (MPa)			一次＋二次応力 (MPa)			疲労解析		
		応力 強さ	許容値	応力 評価面	応力 強さ	許容値	応力 評価点	応力 強さ	許容値	応力 評価点	疲労累 積係数	許容値	応力 評価点
グリッド プレート SUS304	設計条件	1	114	P01-P02	10	172	P01	—	—	—	—	—	—
	C	1	171	P01-P02	10	257	P01	—	—	—	—	—	—
	D	2	261	P01-P02	5	392	P01	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	7	172	P01-P02	82	258	P01	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	11	260	P01-P02	136	391	P01	—	—	—	—	—	—
	A, B	—	—	—	—	—	—	13	348	P01	—*	—*	—*

注記 *：疲労解析は、設計・建設規格 CSS-3130 により不要である。

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 運転条件

考慮した運転条件とその回数を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容応力

物性値及び許容応力は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

なお、主応力の算出は、「応力解析の方針」の 5.5.1 項に示される式において、 σ_t 、 σ_l 、 σ_r 、 τ_{tl} 、 τ_{rt} をそれぞれ σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 τ_{xy} 、 τ_{zx} に添字を置き換えて求める。

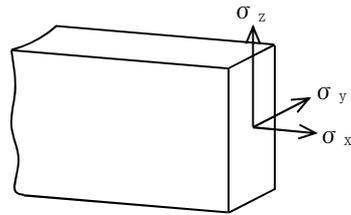
σ_x : x 方向応力

σ_y : y 方向応力

σ_z : z 方向応力

τ_{xy} : せん断応力

τ_{zx} : せん断応力



3. 温度分布計算

上部格子板は、すべて同一領域（領域A）内にあり、他の領域にまたがることはなく急激な温度差は発生しにくいいため、板厚方向の温度勾配は無視できるものとし、温度分布計算を行わない。

4. 応力計算

4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。また、各応力評価点の断面性状を表 4-1 に示す。

4.2 差圧による応力

4.2.1 荷重条件 (L02)

各運転条件による差圧を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、各供用状態（許容応力状態）での応力は、比例計算により求める。

4.2.2 計算方法

差圧 P_{34} による応力は、以下により求める。なお、計算は、最大応力の発生する最長のグリッドプレートについて行う。計算モデルを図 4-1 に示す。

(1) 一次応力

a. 差圧 P_{34} による荷重

$$W_P = -P_{34} \cdot b \cdot L$$

b. 端部におけるモーメント

$$M = \frac{W_P \cdot L}{12}$$

c. 曲げ応力

$$\sigma_x = \frac{M}{I_y} \cdot \frac{h_a}{2}$$

d. せん断応力

$$\tau_{zx} = \frac{W_P}{2 \cdot A}$$

(2) 一次+二次応力

差圧による二次応力は発生しない。したがって、一次+二次応力は、一次応力と同じである。

4.2.3 計算結果

各応力評価点での応力を分類して、表 4-2 に示す。

4.3 外荷重による応力

4.3.1 荷重条件 (L03, L04, L14 及び L16)

上部格子板に働く外荷重を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

4.3.2 計算方法

外荷重による応力は、以下により求める。

(1) 一次応力

a. 鉛直方向荷重による応力

(a) グリッドプレートの端部における鉛直方向荷重

$$W_v = V$$

(b) グリッドプレートの端部におけるモーメント

$$M_v = \frac{W_v \cdot L}{12}$$

(c) 曲げ応力

$$\sigma_x = \frac{M_v}{I_y} \cdot \frac{h_a}{2}$$

(d) せん断応力

$$\tau_{zx} = \frac{W_v}{2 \cdot A}$$

b. 水平方向荷重による応力

(a) 格子 1 個当たりの水平方向荷重

$$W_H = \frac{4 \cdot H}{764}$$

(b) 格子の端部におけるモーメント

$$M_H = \frac{W_H \cdot \ell}{12}$$

(c) 曲げ応力

$$\sigma_x = \frac{M_H}{I_z} \cdot \frac{b}{2}$$

(d) せん断応力

$$\tau_{xy} = \frac{W_H}{2 \cdot A}$$

(2) 一次+二次応力

外荷重による二次応力は発生しない。したがって、一次+二次応力は、一次応力と同じである。

4.3.3 計算結果

各応力評価点での応力を分類して、表 4-2 に示す。

4.4 熱応力

3章で述べたように熱応力は無視できる。

5. 応力強さの評価

5.1 一次一般膜応力強さの評価

一次一般膜応力強さの評価に用いる荷重の組合せを表 5-1 に示す。各供用状態（許容応力状態）における評価をまとめて、表 5-2 に示す。

表 5-2 より、各供用状態（許容応力状態）の一次一般膜応力強さは、設計・建設規格 CSS-3111 を満足する。

5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価に用いる荷重の組合せを表 5-3 に示す。各供用状態（許容応力状態）における評価をまとめて、表 5-4 に示す。

表 5-4 より、各供用状態（許容応力状態）の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、設計・建設規格 CSS-3111 を満足する。

5.3 一次＋二次応力強さの評価

一次＋二次応力強さの評価に用いる荷重の組合せを表 5-5 に示す。供用状態 A 及び B における評価をまとめて、表 5-6 に示す。

表 5-6 より、すべての応力評価点において、一次＋二次応力の応力差最大範囲は $3 \cdot S_m$ 以下であり、設計・建設規格 CSS-3112 を満足する。

6. 繰返し荷重の評価

6.1 設計・建設規格 CSS-3130 についての検討

上部格子板について、設計・建設規格 CSS-3130 により、疲労解析が不要となることを以下の(1)から(4)に示す。

なお、物性値 E 、 α 及び S の値は、「応力解析の方針」の表 3-3 による。

(1) 設計・建設規格 CSS-3130(1)及び CSS-3130(2)

3 章で述べたように、上部格子板の温度差は無視し得るので、設計・建設規格 CSS-3130(1)及び CSS-3130(2)の検討は不要である。

(2) 設計・建設規格 CSS-3130(3) (異なる材料よりなる部分の温度変動)

上部格子板には、縦弾性係数又は熱膨張係数の異なる材料よりなる部分は存在しない。

(3) 設計・建設規格 CSS-3130(4) (機械的荷重変動)

機械的荷重により生じる応力の全振幅が、荷重変動回数 10^{11} 回に対応する繰返しピーク応力強さを超えないことを確認する。

10^{11} 回に対応する繰返しピーク応力強さ： $S = \boxed{}$

機械的荷重変動による応力の全振幅： $\Delta \sigma$

表 4-2(1)の応力評価点 P01 での一次+二次応力に注目する。

$\Delta \sigma = \boxed{}$

したがって、 $S > \Delta \sigma$ であり、条件を満足する。

(4) 検討結果

以上(1)から(3)より上部格子板は、設計・建設規格 CSS-3130 の要求をすべて満足している。

6.2 疲労解析

6.1 節に示すように、上部格子板は、疲労解析は不要である。

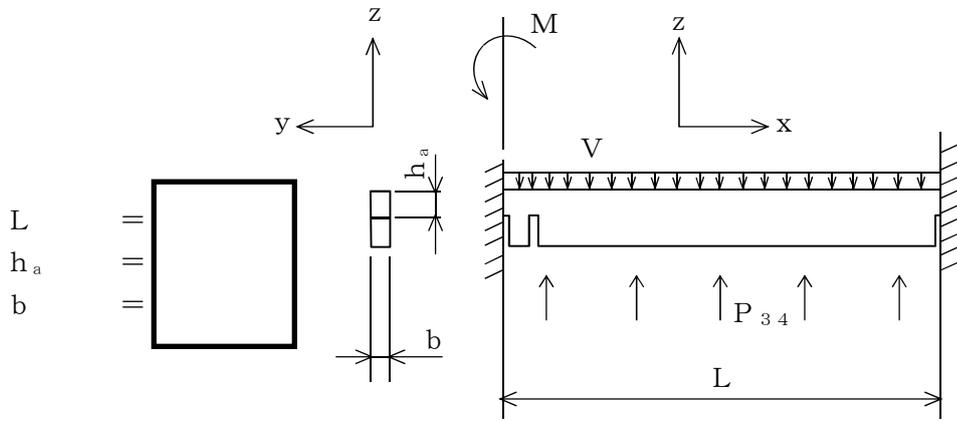


図 4-1(1) 応力計算モデル (鉛直方向荷重) (単位: mm)

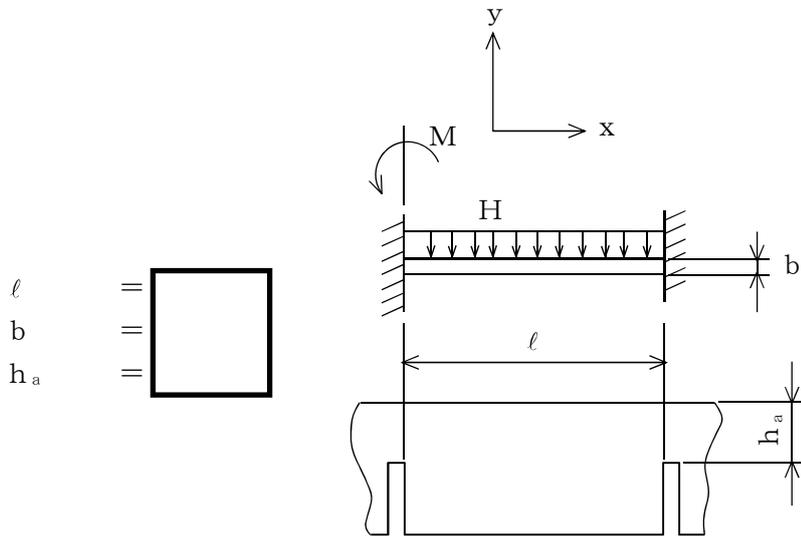


図 4-1(2) 応力計算モデル (水平方向荷重) (単位: mm)

表 4-1 断面性状

応力評価点	b (mm)	h_a (mm)	A (mm ²)	I_y (mm ⁴)	I_z (mm ⁴)
P01, P02					

表 4-2(1) 機械荷重による応力の計算結果
 応力評価点-P01, P02

(単位: MPa)

下記の荷重 による応力	分類	一次一般 膜応力 (P_m)	一次一般膜+ 一次曲げ応力 ($P_m + P_b$)		一次+二次応力 ($P_m + P_b + Q$)	
	応力 評価点	P01 P02	P01	P02	P01	P02
L02 差圧	σ_x τ_{zx}					
L03 設計機械的荷重	σ_x τ_{zx}					
L04 死荷重	σ_x τ_{zx}					
L14 地震荷重 S_d^*	σ_x τ_{xy} τ_{zx}					
L16 地震荷重 S_s	σ_x τ_{xy} τ_{zx}					

表 4-2(2) 機械荷重による応力の計算結果
 応力評価点-P01', P02'

(単位: MPa)

下記の荷重 による応力	分類	一次一般 膜応力 (P_m)	一次一般膜+ 一次曲げ応力 ($P_m + P_b$)		一次+二次応力 ($P_m + P_b + Q$)	
		P01' P02'	P01'	P02'	P01'	P02'
L02 差圧	σ_x τ_{zx}					
L03 設計機械的荷重	σ_x τ_{zx}					
L04 死荷重	σ_x τ_{zx}					
L14 地震荷重 S d *	σ_x τ_{xy} τ_{zx}					
L16 地震荷重 S s	σ_x τ_{xy} τ_{zx}					

表 5-1 一次一般膜応力強さの評価方法

荷重	設計条件		供用状態 C		供用状態 D		許容応力状態		許容応力状態	
							Ⅲ _A S		Ⅳ _A S	
L02* 差圧	1.000									
L03 設計機械的荷重	1.000		—		—		—		—	
L04 死荷重	—		1.000		1.000		1.000		1.000	
L14 地震荷重 S _d *	—		—		—		1.000		—	
L16 地震荷重 S _s	—		—		—		—		1.000	
許容値	「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節による。									

注記 * : () 内は圧力の値 (MPa) を示す。

注 1 : 荷重条件は, 「応力解析の方針」の 4 章に示す。

注 2 :

表 5-2 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位 : MPa)

応力 評価面	設計条件		供用状態 C		供用状態 D		許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	1	114	1	171	2	261	7	172	11	260
P01' P02'	1	114	1	171	2	261	6	172	11	260

表 5-3 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価方法

荷重	設計条件	供用状態 C		供用状態 D		許容応力状態 III _A S		許容応力状態 IV _A S	
		応力強さ	許容値	応力強さ	許容値	応力強さ	許容値	応力強さ	許容値
L02* 差圧	1.000								
L03 設計機械的荷重	1.000								
L04 死荷重	—	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
L14 地震荷重 S _d *	—	—	—	—	1.000	—	—	—	—
L16 地震荷重 S _s	—	—	—	—	—	—	—	1.000	—
許容値	「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節による。								

注記 * : () 内は圧力の値 (MPa) を示す。

注 1 : 荷重条件は, 「応力解析の方針」の 4 章に示す。

注 2 :



表 5-4 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位 : MPa)

応力 評価点	設計条件		供用状態 C		供用状態 D		許容応力状態 III _A S		許容応力状態 IV _A S	
	応力強さ	許容値	応力強さ	許容値	応力強さ	許容値	応力強さ	許容値	応力強さ	許容値
P01	10	172	10	257	5	392	82	258	136	391
P01'	10	172	10	257	5	392	64	258	118	391
P02	10	172	10	257	5	392	64	258	118	391
P02'	10	172	10	257	5	392	82	258	136	391

表 5-5 一次+二次応力強さの評価方法

供用状態 A 及び B		
荷重	C03-01 起動昇温	C12-01 定格出力運転
L02* 差圧	[Redacted]	
L04 死荷重	1.000	1.000

注記 * : () 内は圧力の値 (MPa) を示す。

注 1 : 荷重条件は, 「応力解析の方針」の 4 章に示す。

注 2 : [Redacted]

表 5-6 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

分類	一次+二次応力差最大範囲 ($P_m + P_b + Q$)		
	S_n *1	S_n' *2	許容値 $3 \cdot S_m$
P01	13	—	348
P01'	13	—	348
P02	13	—	348
P02'	13	—	348

注記 *1： S_n は供用状態A及びBによる一次+二次応力差の最大範囲を示す。

*2： S_n' は S_n のうち熱曲げを除く一次+二次応力差の最大範囲を示す。