

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

|                  |            |
|------------------|------------|
| 東海第二発電所 工事計画審査資料 |            |
| 資料番号             | 工認-855 改4  |
| 提出年月日            | 平成30年8月29日 |

#### V-2-3-3-2-1 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                 | 4 |
| 3.1   | 適用基準                 | 4 |
| 3.2   | 評価対象箇所               | 4 |
| 3.3   | 形状及び寸法               | 4 |
| 3.4   | 物性値                  | 4 |
| 3.4.1 | 材料の物性値               | 4 |
| 3.5   | 荷重の組合せ及び許容応力状態（供用状態） | 4 |
| 3.6   | 許容応力                 | 5 |
| 3.7   | 溶接部の継手効率             | 5 |
| 4.    | 荷重条件                 | 6 |
| 4.1   | 設計条件                 | 6 |
| 4.2   | 運転条件                 | 6 |
| 4.2.1 | 運転状態Ⅰ及びⅡ             | 6 |
| 4.2.2 | 運転状態Ⅲ                | 7 |
| 4.2.3 | 運転状態Ⅳ                | 7 |
| 4.3   | 重大事故等時の条件            | 7 |
| 4.4   | 外荷重の条件               | 7 |
| 4.4.1 | 死荷重                  | 7 |
| 4.4.2 | 機械的荷重                | 7 |
| 4.4.3 | 地震荷重                 | 7 |
| 4.5   | 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   | 応力計算と応力の分類           | 9 |
| 5.3.1 | 応力計算の方法              | 9 |
| 5.3.2 | 計算に使用する解析コード         | 9 |
| 5.3.3 | 応力の分類                | 9 |

|                |    |
|----------------|----|
| 5.4 応力の評価      | 9  |
| 5.4.1 主応力      | 9  |
| 5.4.2 応力強さ     | 10 |
| 5.4.3 一次応力強さ   | 10 |
| 5.5 特別な評価      | 10 |
| 5.5.1 支圧応力の評価  | 10 |
| 5.5.2 座屈に対する評価 | 10 |
| 6. 解析及び評価結果の添付 | 11 |
| 6.1 応力評価結果     | 11 |
| 7. 引用文献        | 12 |
| 添付1 溶接部の継手効率   | 37 |

## 図表目次

|      |                           |    |
|------|---------------------------|----|
| 図3-1 | 全体断面図                     | 13 |
| 図4-1 | 炉心支持構造物の各運転状態における差圧       | 14 |
| 図4-2 | 炉心支持構造物の運転条件              | 15 |
| 図5-1 | 応力解析の手順                   | 19 |
| 表1-1 | 炉心支持構造物の構造計画              | 2  |
| 表3-1 | 材料の分類                     | 20 |
| 表3-2 | 応力計算に使用する材料の物性値           | 21 |
| 表3-3 | 荷重の組合せ及び許容応力状態（供用状態）、許容応力 | 22 |
| 表3-4 | 炉心支持構造物用材料の許容限界           | 25 |
| 表4-1 | 外荷重                       | 28 |
| 表4-2 | 荷重の組合せ                    | 35 |
| 表5-1 | 応力の分類                     | 36 |

## 1. 概要

### 1.1 一般事項

本書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」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、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。

炉心支持構造物は、設計基準対象施設においては耐震Sクラスに、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、炉心支持構造物の耐震評価及び重大事故等時における強度評価について記載する。

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

| 計画の概要  |  | 概略構造図  |
|--|--|--|
| 支持構造   | 主体構造   |  |
| <p>上部格子板及び炉心支持板は炉心シュラウドにより支持される。</p> <p>炉心シュラウドは、原子炉压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>燃料支持金具のうち中央燃料支持金具は制御棒案内管に支持され、周辺燃料支持金具は炉心支持板によって支持される。燃料集合体の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>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、燃料集合体の位置決め、制御棒の案内を行う構造となっている。</p> | <p>The diagram is a cross-sectional schematic of the core support structure. It shows a central vertical axis. At the top, there is an '上部格子板' (Upper Grid Plate). Below it is the '炉心シュラウド' (Core Shroud). A '炉心支持板' (Core Support Plate) is positioned below the shroud. Further down, there are '燃料支持金具' (Fuel Support Fixtures), which are divided into '周辺燃料支持金具' (Peripheral Fuel Support Fixtures) and '中央燃料支持金具' (Central Fuel Support Fixtures). Below these are the 'シュラウドサポート' (Shroud Support) components, including a 'シリンダ' (Cylinder), 'プレート' (Plate), and 'レグ' (Leg). At the bottom, there is a '制御棒案内管' (Control Rod Guide Tube). The diagram uses various lines and arrows to indicate the assembly and support relationships between these parts.</p> |

2. 記号の説明

本書及び各計算書において、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   |
|------------------|--|------|
| E                | 縦弾性係数  | MPa  |
| H                | 水平力  | N    |
| M                | モーメント  | N・mm |
| P <sub>b</sub>   | 一次曲げ応力   | MPa  |
| P <sub>m</sub>   | 一次一般膜応力  | MPa  |
| S <sub>d</sub>   | 弾性設計用地震動S <sub>d</sub> により定まる地震力                               | —    |
| S <sub>d</sub> * | 弾性設計用地震動S <sub>d</sub> により定まる地震力又はSクラス設備に適用される静的地震力            | —    |
| S <sub>s</sub>   | 基準地震動S <sub>s</sub> により定まる地震力                                  | —    |
| S <sub>12</sub>  | 主応力差 $\sigma_1 - \sigma_2$                                     | MPa  |
| S <sub>23</sub>  | 主応力差 $\sigma_2 - \sigma_3$                                     | MPa  |
| S <sub>31</sub>  | 主応力差 $\sigma_3 - \sigma_1$                                     | MPa  |
| S <sub>m</sub>   | 設計応力強さ   | MPa  |
| S <sub>u</sub>   | 設計引張強さ   | MPa  |
| S <sub>y</sub>   | 設計降伏点  | MPa  |
| V                | 鉛直力  | N    |
| $\eta$           | 溶接部の継手効率   | —    |
| $\nu$            | ポアソン比  | —    |
| $\sigma_1$       | 主応力  | MPa  |
| $\sigma_2$       | 主応力  | MPa  |
| $\sigma_3$       | 主応力  | MPa  |
| $\sigma_l$       | 軸方向応力  | MPa  |
| $\sigma_r$       | 半径方向応力   | MPa  |
| $\sigma_t$       | 周方向応力  | MPa  |
| $\tau_{lr}$      | せん断応力  | MPa  |
| $\tau_{rt}$      | せん断応力  | MPa  |
| $\tau_{tl}$      | せん断応力  | MPa  |
| IIIAS            | 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 | —    |
| IVAS             | 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 | —    |
| VAS              | 運転状態V相当の応力評価を行う許容応力を基本として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態  | —    |

### 3. 計算条件

#### 3.1 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 評価対象箇所

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、各計算書に示す。

#### 3.4 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。

##### 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は、設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表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、補正方法を各計算書に示す。

- (2) 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。

#### 3.5 荷重の組合せ及び許容応力状態（供用状態）

炉心支持構造物の評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態（供用状態）は、表3-3に示すとおりである。また、各許容応力状態（供用状態）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」と呼ぶ。（図4-1参照）



### 3.6 許容限界

- (1) 設計応力強さ  $S_m$ 、設計降伏点  $S_y$  及び設計引張強さ  $S_u$  は、それぞれ設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1、表 8 及び表 9 に定められたものを使用する。
- (2) 許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S 及び許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>S の一次応力強さの評価には、各運転状態における流体の最高温度（運転状態Ⅰ及びⅡ：℃）に対する許容限界を用いる。供用状態E\*の一次応力強さの評価には、運転状態Ⅴにおける評価温度条件 ℃）に対する許容限界を用いる。
- (3) 炉心支持構造物の各運転状態の応力評価に用いる許容限界は、表 3-4 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及び外面に圧力を受ける場合に対する許容外圧は、各計算書に記載するものとする。

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

### 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) 溶接部の許容限界は、表 3-4 に定める許容限界に継手効率を乗じたものとする。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     |

##### 4.2 運転条件

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

[例 C03-01, C03-02]

なお、各計算書においては、{ }内の名称を用いる。

計算書では以下に示す運転条件のうち、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]

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 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件は以下のとおりである。

温度条件：

圧力条件：

差圧条件：



#### 4.4 外荷重の条件

##### 4.4.1 死荷重

荷重作用点において機器の自重により生じる荷重とし表 4-1 に示す。

##### 4.4.2 機械的荷重

炉心支持構造物に作用する死荷重及び地震荷重以外の機械的荷重は発生しない。

##### 4.4.3 地震荷重

炉心支持構造物に加わる地震荷重については、添付書類「V-2-3-2 炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づくものとし、表 4-1 に炉心支持構造物に加わる地震荷重を示す。

#### 4.5 荷重の組合せと応力評価

荷重の組合せと応力評価項目の対応を表 4-2 に示す。表 4-2 及び各計算書において、荷重の種類と記号は以下のとおりである。

なお、荷重の組合せについては各機器ごとに適切に組み合わせる。

| 荷 重                                  | 記号      |
|--------------------------------------|---------|
| (1) 原子炉圧力容器の内圧                       | [ L01 ] |
| (2) 差圧                               | [ L02 ] |
| (3) 死荷重 (機器の自重により生じる荷重)              | [ L04 ] |
| (4) 機器の地震時の慣性力による地震荷重 $S_d^*$ (一次荷重) | [ L14 ] |
| (5) 機器の地震時の慣性力による地震荷重 $S_s$ (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 応力計算と応力の分類

#### 5.3.1 応力計算の方法

- (1) 応力計算は、4.4項に示す荷重の種類ごとに行う。
- (2) 解析する箇所の形状は、次の方針に従ってモデル化する。
  - a. 内張り材は、強度部材に含めない。
  - b. 内張り材のない低合金鋼及び炭素鋼母材の内表面は□mm、外表面は□mmの腐食代を考慮する。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、腐食代を考慮しない。
  - c. 溶接部は、溶接金属に相当する鋼材と同じ物性値及び機械的性質を用いる。
- (3) モデル図と使用する境界条件（拘束条件）は、各計算書に示す。

#### 5.3.2 計算に使用する解析コード

シュラウドサポートの計算に使用する解析コードとしてASHSD2-Bを用いる。なお、解析コード「ASHSD2-B」の検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-53 計算機プログラム（解析コード）の概要・ASHSD2-B」に示す。

#### 5.3.3 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、各計算書に示す。

### 5.4 応力の評価

#### 5.4.1 主応力

5.3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 $\sigma_t$ 、 $\sigma_l$ 、 $\sigma_r$ 、 $\tau_{tl}$ 、 $\tau_{lr}$ 、 $\tau_{rt}$ の6成分をもつが、主応力 $\sigma$ は

引用文献(1)の1・3・6項により、次式を満足する3根 $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ 、 $\sigma_3$ として計算する。

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

上式により主応力を求める。

#### 5.4.2 応力強さ

以下の3つの主応力差の絶対値で最大のものを応力強さとする。

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

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

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

#### 5.4.3 一次応力強さ

許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S, 許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>S 及び供用状態Eにおいて生じる一次一般膜応力及び一次一般膜+一次曲げ応力の応力強さが, 3.6 節及び 3.7 節に示す許容限界を満足することを示す。

### 5.5 特別な評価

#### 5.5.1 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 3-4(3)に示し, 評価方法は, 炉心シュラウドの計算書に示す。

- (1) 炉心シュラウドの上部格子板及び炉心支持板支持面

#### 5.5.2 座屈に対する評価

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

- (1) 炉心シュラウドの下部胴
- (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

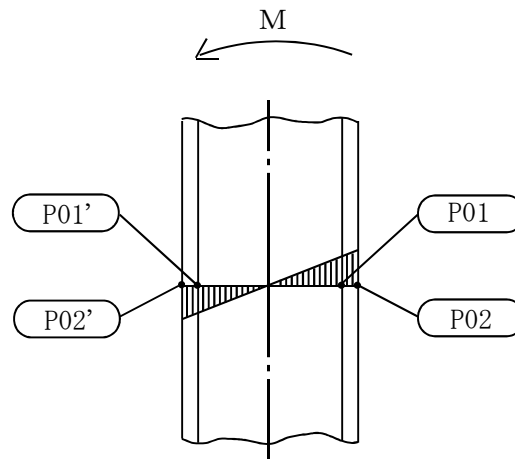
各計算書では、以下に示すように解析結果を添付する。

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、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、軸対称モデルにおいて、非軸対称な外荷重による応力評価を行った場合、荷重の入力方位と応力評価点の方位の関係により応力に極大値と極小値が生じる。外荷重による応力が極大となる方位の応力評価点は〔例 P01〕と表し、極小となる方位の応力評価点には、プライム（'）を付けて〔例 P01'〕と表す。

一次応力の評価は、内外面の応力評価点を含む断面（応力評価面）について行う。



### 6.1 応力評価結果

(1) 次の応力評価結果は、全応力評価点（面）について添付する。

- a. 一次一般膜応力強さの評価のまとめ
- b. 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(2) 次の特別な評価は、対象となるすべての部位について評価し、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，本書及び各計算書において共通である。

- (1) 機械工学便覧 基礎編  $\alpha$ 3 (日本機械学会)



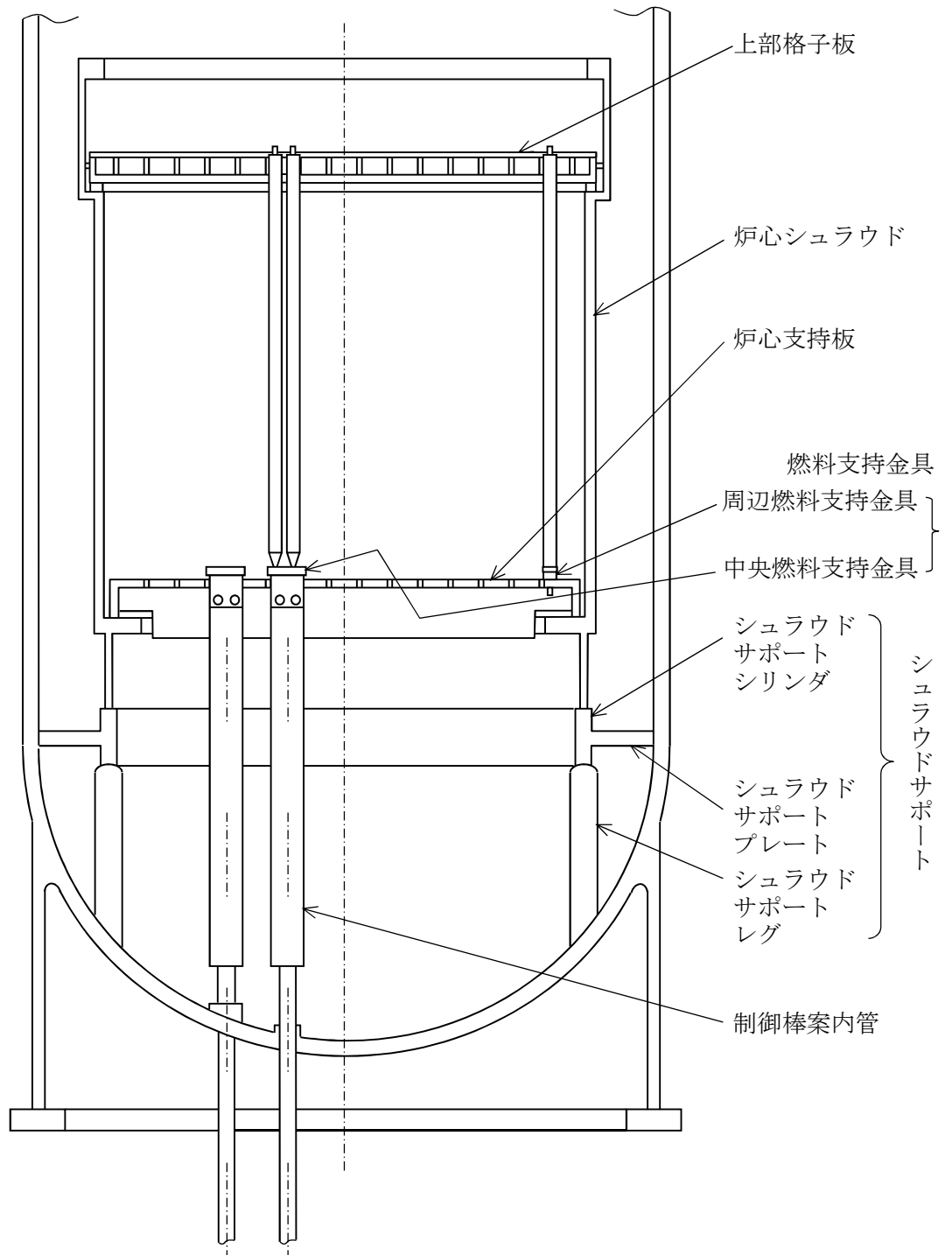
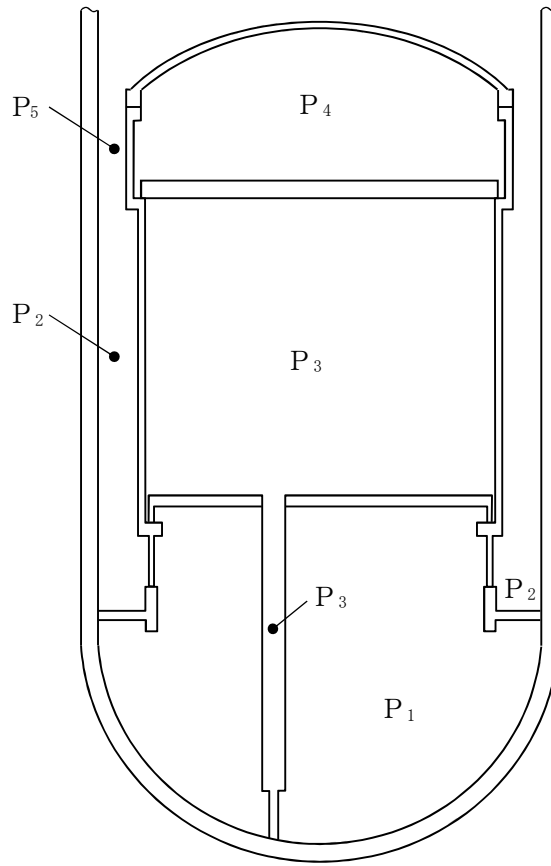


図 3-1 全体断面図



(単位：MPa)

| 部位        |                      | 設計条件<br>(設計差圧) | 運転状態<br>I, II, III | 運転状態<br>IV, V |
|-----------|----------------------|----------------|--------------------|---------------|
| 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 炉心支持構造物の各運転状態における差圧

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

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

|      |          |         |
|------|----------|---------|
| 領域 A | 圧力 (MPa) | 温度 (°C) |
|      | 10       | 300     |
|      | 8        | 250     |
|      | 6        | 200     |
|      | 4        | 150     |
|      | 2        | 100     |
| 0    | 50       |         |
| 0    | 0        |         |

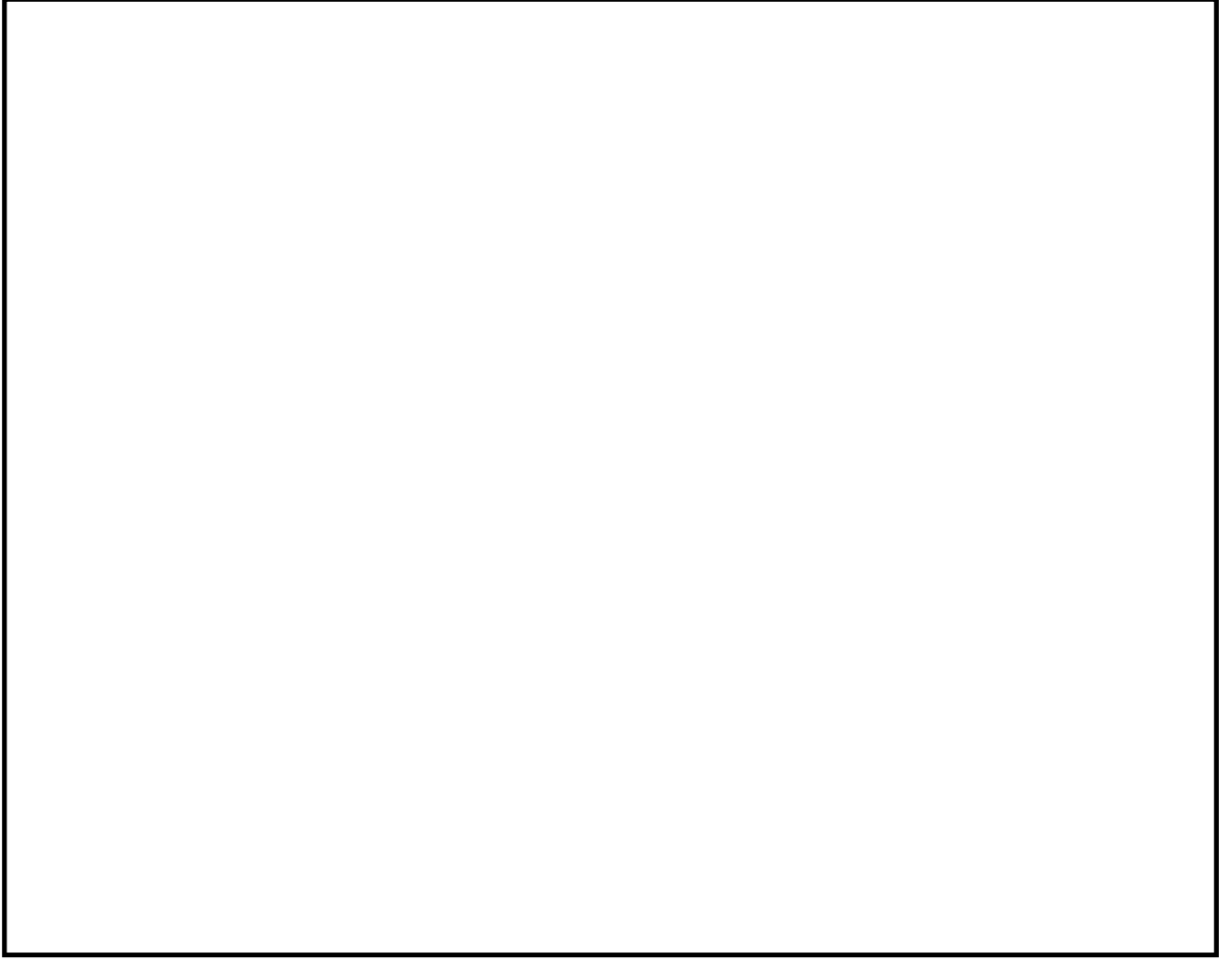
|       |       |         |
|-------|-------|---------|
| 領域 B  | 水位    | 温度 (°C) |
|       | RPV頂部 | 300     |
|       | フランジ  | 250     |
|       | 定常水位  | 200     |
|       | 低水位3  | 150     |
|       | 低水位2  | 100     |
| 炉心    | 50    |         |
| RPV底部 | 0     |         |

|      |         |
|------|---------|
| 領域 C | 温度 (°C) |
|      | 300     |
|      | 250     |
|      | 200     |
|      | 150     |
|      | 100     |
| 50   |         |
| 0    |         |

図4-2(2) 炉心支持構造物の運転条件

NT2 補③ V-2-3-3-2-1 R1



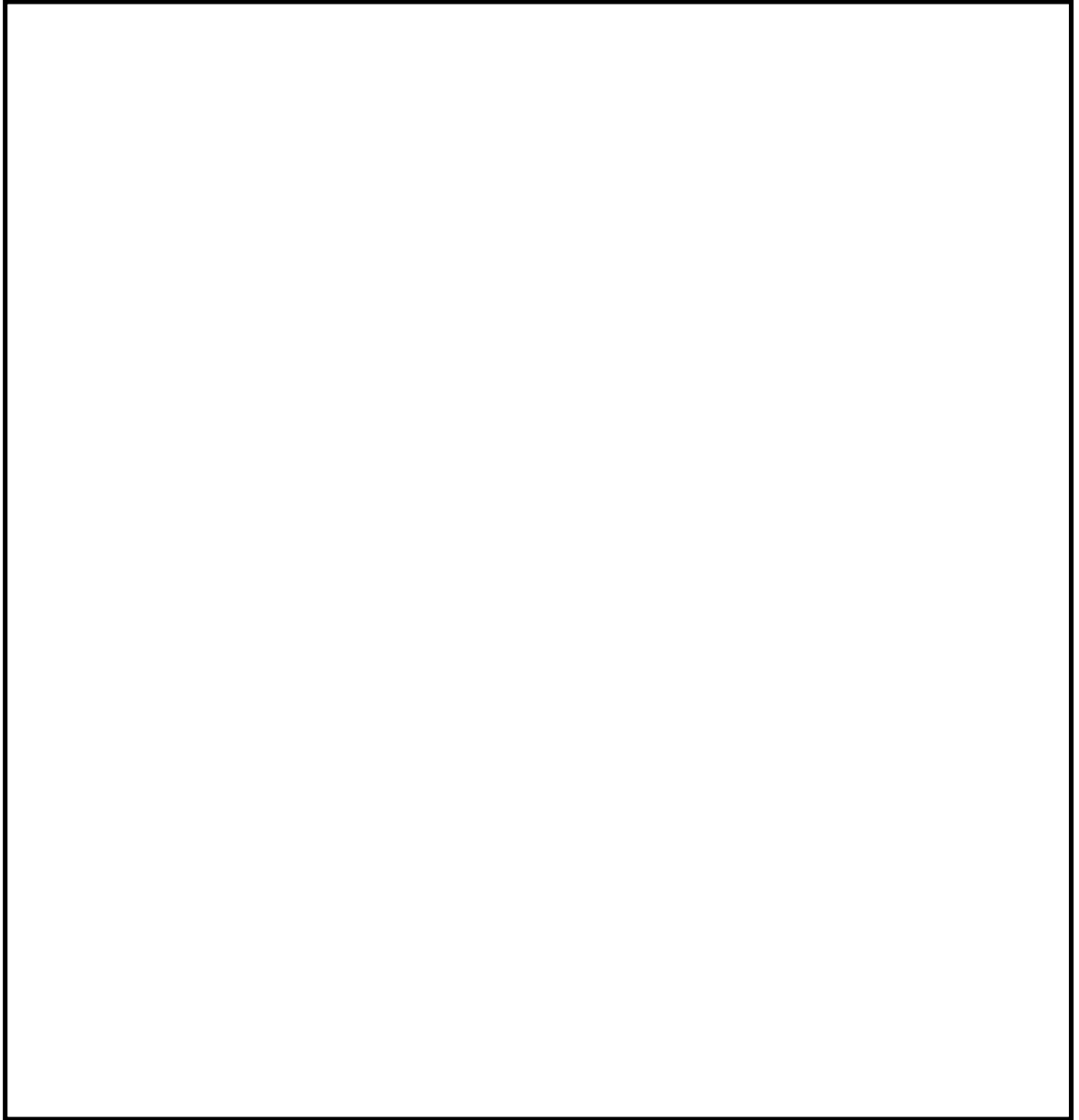


図 4-2(4) 炉心支持構造物の運転条件  
(原子炉压力容器内領域図)

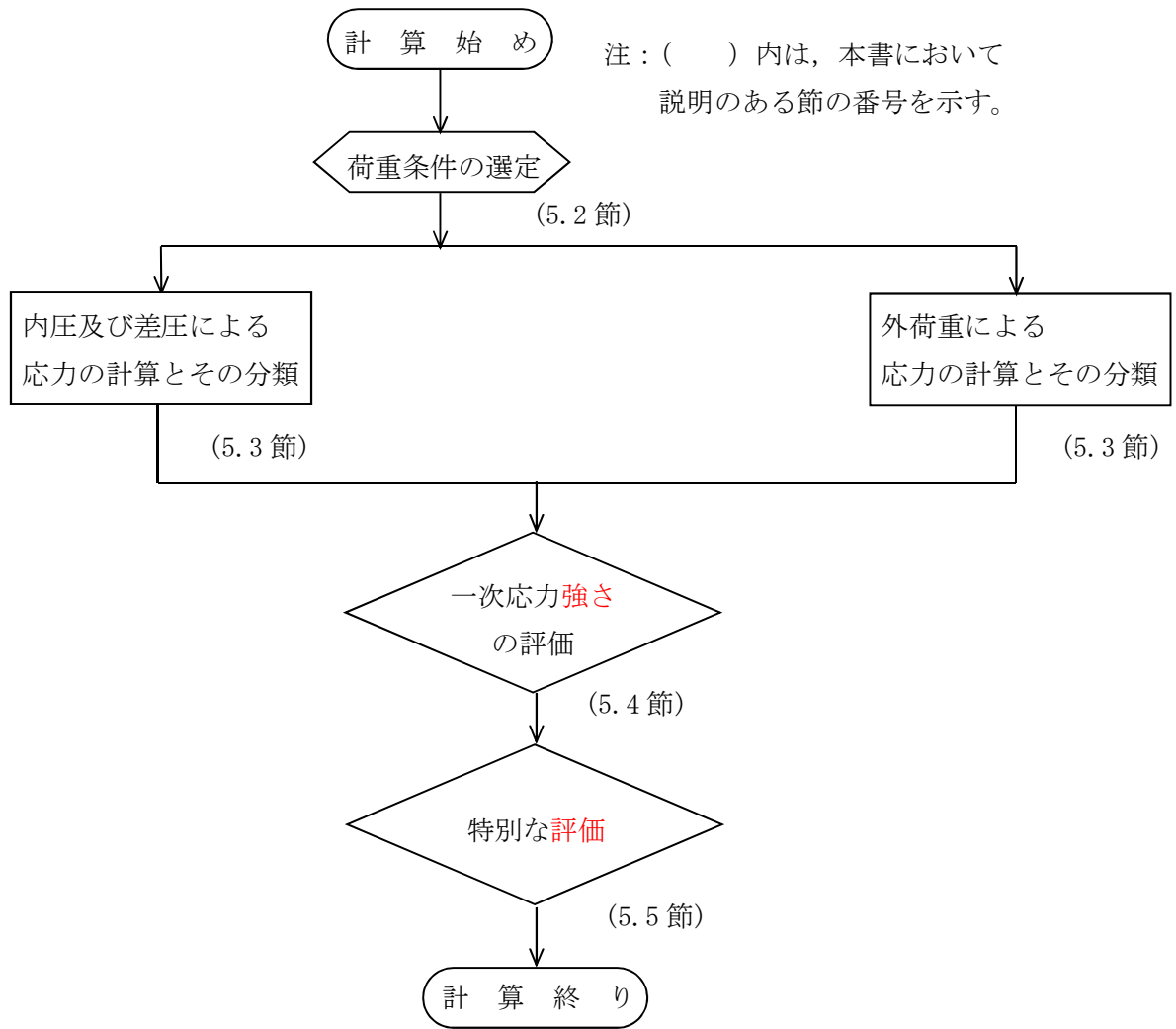


図 5-1 応力解析の手順

表 3-1 材料の分類

| 種類                 | 使用材料                  |  | 備考       |
|--------------------|-----------------------|--|----------|
| オーステナイト系<br>ステンレス鋼 | SUS304 相当             |  |          |
|                    | SUS304L 相当            |  |          |
|                    | SUS304TP 相当           |  |          |
|                    | SUS304TP 相当           |  |          |
|                    | SCS13 相当<br>SCS13A 相当 |  | SCS13A * |
| 高ニッケル合金            | NCF600 相当             |  |          |

注記 \* : 新 JIS を示す。



表 3-2 応力計算に使用する材料の物性値

| 材料       | 温度<br>(°C) | E<br>× 10 <sup>5</sup><br>(MPa) | ν |
|----------|------------|---------------------------------|---|
| SUS304   | 20         |                                 |   |
| SUS304L  | 161        |                                 |   |
| SUS304TP | 302        |                                 |   |
| SCS13A   |            |                                 |   |
| NCF600   | 20         |                                 |   |
|          | 161        |                                 |   |
|          | 302        |                                 |   |

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

| 施設区分  |             | 機器名称   | 耐震設計上の<br>重要度分類 | 機器等の区分  | 許容応力状態           | 荷重の組合せ                  |
|-------|-------------|--|-----------------|---------|------------------|-------------------------|
| 原子炉本体 | 炉心支持<br>構造物 | 炉心シュラウド<br>シュラウドサポート<br>上部格子板<br>炉心支持板<br>燃料支持金具<br>制御棒案内管 | S               | 炉心支持構造物 | Ⅲ <sub>A</sub> S | $D + P + M + S_d^*$     |
|       |             |  |                 |         | Ⅳ <sub>A</sub> S | $D + P_L + M_L + S_d^*$ |
|       |             |  |                 |         | Ⅳ <sub>A</sub> S | $D + P + M + S_s$       |

[記号の説明]

- D : 死荷重
- P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態Ⅳ，Ⅴは除く）における圧力荷重
- M : 地震及び死荷重以外で地震と組み合わせべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態Ⅳ，Ⅴは除く）で設備に作用している機械的荷重
- P<sub>L</sub> : 地震と組合せが独立な運転状態Ⅳの事故の直後を除き，その後に生じている圧力荷重
- M<sub>L</sub> : 地震と組合せが独立な運転状態Ⅳの事故の直後を除き，その後に生じている死荷重及び地震荷重以外の機械的荷重
- S<sub>d</sub><sup>\*</sup> : 弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>により定まる地震力又は S クラス設備に適用される静的地震力
- S<sub>s</sub> : 基準地震動 S<sub>s</sub>により定まる地震力

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

| 施設区分  |         | 機器名称   | 設備分類*1               | 耐震設計上の重要度分類 | 機器等の区分 | 許容応力状態（供用状態）       | 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<br>シュラウドサポート<br>上部格子板<br>炉心支持板<br>燃料支持金具<br>制御棒案内管 | 常設耐震<br>／防止<br>常設／緩和 | S           | -      | V <sub>A</sub> S*2 | D + P <sub>SAL</sub> + M <sub>SAL</sub> + S <sub>d</sub> *3   |
|       |         |  |                      |             |        |                    | D + P <sub>SALL</sub> + M <sub>SALL</sub> + S <sub>s</sub> *3 |
|       |         |  |                      |             |        | E                  | D + P + M   |

[記号の説明]

- D : 死荷重
- P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態における圧力荷重
- M : 地震及び死荷重以外で地震と組み合わせべきプラントの運転状態で設備に作用している機械的荷重
- P<sub>SAL</sub> : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））に作用する圧力荷重
- M<sub>SAL</sub> : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））に作用する機械的荷重
- P<sub>SALL</sub> : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））より更に長期的（長期（LL））に作用する圧力荷重
- M<sub>SALL</sub> : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））より更に長期的（長期（LL））に作用する機械的荷重
- S<sub>d</sub> : 弾性設計用地震動S<sub>d</sub>により定まる地震力
- S<sub>s</sub> : 基準地震動S<sub>s</sub>により定まる地震力

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

\*2: V<sub>A</sub>Sとして, IV<sub>A</sub>Sの許容限界を用いる。

\*3:「D + P + M + S<sub>s</sub>」の評価に包絡されるため, 評価結果の記載を省略する。

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

表3-3(3) 許容限界 (炉心支持構造物)

| 許容応力状態   | 許容限界 (ボルト等以外)  |                         |                 |   |                 | 許容限界 (ボルト等)                   |                         |           |
|--|--|-------------------------|-----------------|---|-----------------|-------------------------------|-------------------------|-----------|
|  | 一次一般膜応力強さ  | 一次一般膜応力強さ+一次曲げ応力強さ      | 特別な応力限界         |   |                 | 一次一般膜応力強さ                     | 一次一般膜応力強さ+一次曲げ応力強さ      | 一次+二次応力強さ |
|  |  |                         | 純せん断応力          | 支圧応力  | ねじり応力           |                               |                         |           |
| III <sub>A</sub> S   | $1.5 \cdot S_m$ <sup>*1</sup>  | 左欄の1.5倍の値 <sup>*1</sup> | $0.9 \cdot S_m$ | $1.5 \cdot S_y$<br>( $2.25 \cdot S_y$ ) <sup>*3</sup> | $1.2 \cdot S_m$ | $1.5 \cdot S_m$ <sup>*1</sup> | 左欄の1.5倍の値 <sup>*1</sup> | —         |
| IV <sub>A</sub> S  | $2/3 \cdot S_u$ <sup>*2</sup>  | 左欄の1.5倍の値 <sup>*2</sup> | $1.2 \cdot S_m$ | $2 \cdot S_y$<br>( $3 \cdot S_y$ ) <sup>*3</sup>      | $1.6 \cdot S_m$ | $2/3 \cdot S_u$ <sup>*2</sup> | 左欄の1.5倍の値 <sup>*2</sup> | —         |
| V <sub>A</sub> S<br>(V <sub>A</sub> SとしてIV <sub>A</sub> Sの許容限界を用いる。) | 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。 |                         |                 |   |                 |                               |                         |           |

注記 \*1: 設計・建設規格 CSS-3160(2)の崩壊荷重の下限に基づく評価を適用する場合は、この限りではない。  
 \*2: 設計・建設規格 CSS-3160(3)の崩壊荷重の下限に基づく評価を適用する場合は、この限りではない。  
 \*3: ( )内は、支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

表 3-4(1) 炉心支持構造物用材料の許容限界

(単位：MPa)

| 応力分類                            |          | 一次一般膜応力強さ (P <sub>m</sub> ) |   |   |
|---------------------------------|----------|-----------------------------|---|---|
| 状態                              |          | 許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S      | 許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S                    | 供用状態E                                     |
| 温度(°C)                          |          |                             |   |   |
| オーステナイト系<br>ステンレス鋼及び<br>高ニッケル合金 | SUS304   | 172                         | 260                                       | 260                                       |
|                                 | SUS304TP |                             |   |   |
|                                 | SUS304L  | 145                         | 232                                       | 232                                       |
|                                 | SCS13A   | 172                         | 248                                       | 248                                       |
|                                 | NCF600   | 246                         | 334                                       | 334                                       |
| 許容応力強さの算出式                      |          | $1.5 \cdot S_m$             | Min<br>( $2.4 \cdot S_m, 2/3 \cdot S_u$ ) | Min<br>( $2.4 \cdot S_m, 2/3 \cdot S_u$ ) |

表 3-4(2) 炉心支持構造物用材料の許容限界

(単位：MPa)

| 応力分類                            |          | 一次一般膜応力強さ＋一次曲げ応力強さ ( $P_m + P_b$ ) |                                 |                                 |
|---------------------------------|----------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 状態                              |          | 許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S             | 許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S          | 供用状態E                           |
| 温度(°C)                          |          |                                    |                                 |                                 |
| オーステナイト系<br>ステンレス鋼及び<br>高ニッケル合金 | SUS304   | 258                                | 391                             | 391                             |
|                                 | SUS304TP |                                    |                                 |                                 |
|                                 | SUS304L  | 218                                | 348                             | 348                             |
|                                 | SCS13A   | 258                                | 372                             | 372                             |
|                                 | NCF600   | 369                                | 501                             | 501                             |
| 許容応力強さの算出式                      |          | $2.25 \cdot S_m$                   | Min<br>( $3.6 \cdot S_m, S_u$ ) | Min<br>( $3.6 \cdot S_m, S_u$ ) |

表 3-4(3) 炉心支持構造物用材料の許容限界

(単位：MPa)

| 応力分類               |         | 支圧応力                   |                        |               |
|--------------------|---------|------------------------|------------------------|---------------|
| 状態                 |         | 許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S | 許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S | 供用状態E         |
| 温度(°C)             |         |                        |                        |               |
| オーステナイト系<br>ステンレス鋼 | SUS304L | 163                    | 217                    | 217           |
| 許容応力の算出式           |         | $1.5 \cdot S_y$        | $2 \cdot S_y$          | $2 \cdot S_y$ |

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<br>作用点 | 鉛直力       | 水平力       | モーメント       |
|-----|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|
|     |              |           | V<br>(kN) | H<br>(kN) | M<br>(kN・m) |
| 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。

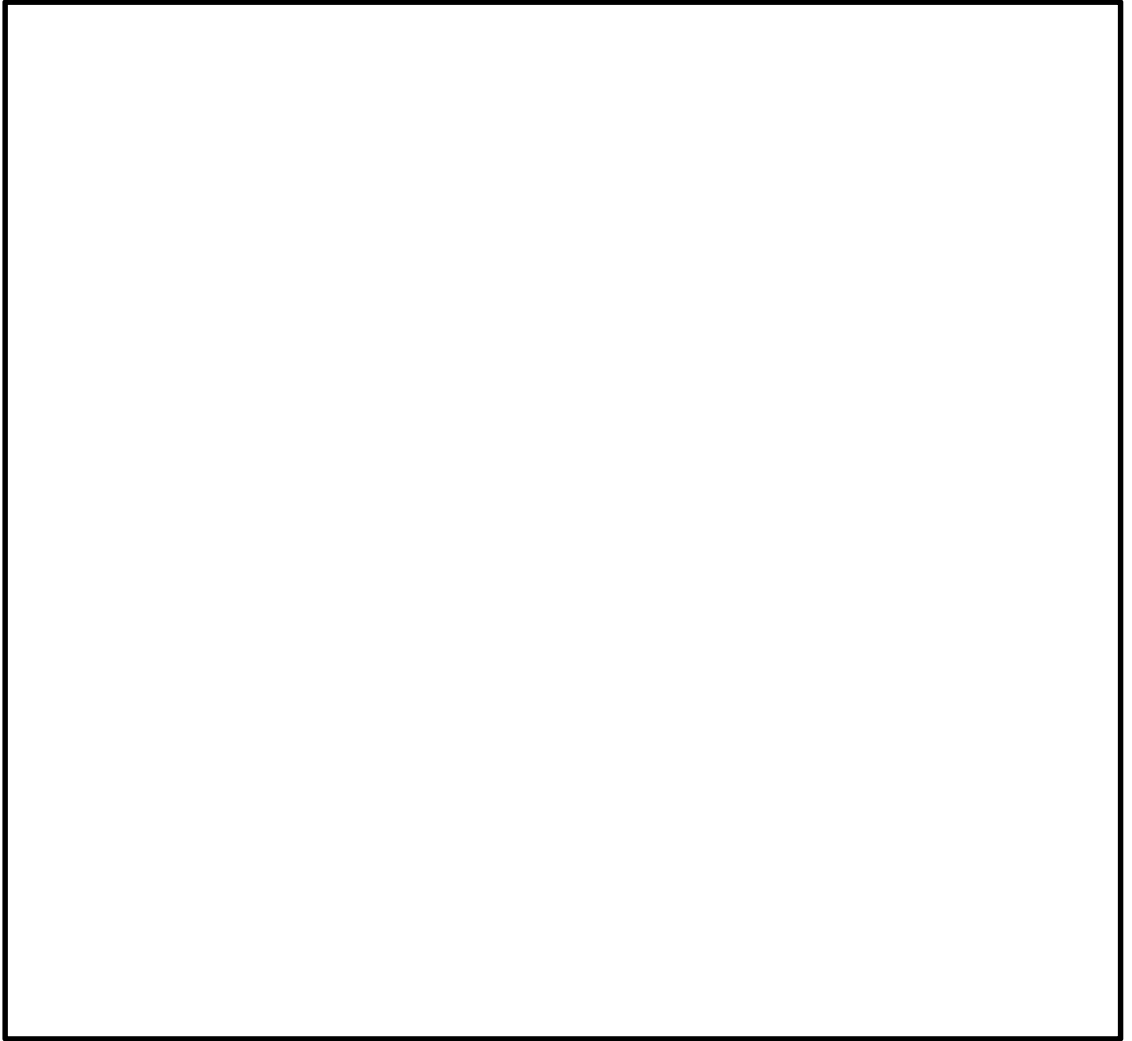


表 4-1(2) 外荷重

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 <sub>1</sub><br>(kN) | V <sub>2</sub><br>(kN) | H<br>(kN) | M<br>(kN・m) |
| L04 | 死荷重                   |                        |                        |           |             |
| L14 | 地震荷重 S <sub>d</sub> * |                        |                        |           |             |
| L16 | 地震荷重 S <sub>s</sub>   |                        |                        |           |             |

注 1 :

注 2 :

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  |
|-----|--------------|--------|--------|
|     |              | V (kN) | H (kN) |
| L04 | 死荷重          |        |        |
| L14 | 地震荷重 $S_d^*$ |        |        |
| L16 | 地震荷重 $S_s$   |        |        |

注記 \*1 :

\*2 :

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 <sub>1</sub> (N) *1 | V <sub>2</sub> (N) *2 | H (kN) |
| L04 | 死荷重                   |                       |                       |        |
| L14 | 地震荷重 S <sub>d</sub> * |                       |                       |        |
| L16 | 地震荷重 S <sub>s</sub>   |                       |                       |        |

注記 \*1

\*2

\*3

表 4-1(5) 外荷重

燃料支持金具外荷重

| 記号  | 荷重名称                  | 荷重*1<br>作用点 | 鉛直力       | 水平力       |
|-----|-----------------------|-------------|-----------|-----------|
|     |                       |             | V (kN) *2 | H (kN) *2 |
| L04 | 死荷重                   |             |           |           |
| L14 | 地震荷重 S <sub>d</sub> * |             |           |           |
| L16 | 地震荷重 S <sub>s</sub>   |             |           |           |

注記 \*1: 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。

\*2

注

表 4-1(6) 外荷重

制御棒案内管外荷重

| 記号  | 荷重名称         | 荷重<br>作用点 | 鉛直力      | 水平力      | モーメント      |
|-----|--------------|-----------|----------|----------|------------|
|     |              |           | V (kN) * | H (kN) * | M (kN・m) * |
| L04 | 死荷重          | A         |          |          |            |
|     |              | B         |          |          |            |
| L14 | 地震荷重 $S_d^*$ | A         |          |          |            |
|     |              | B         |          |          |            |
| L16 | 地震荷重 $S_s$   | A         |          |          |            |
|     |              | B         |          |          |            |

注記 \* :

注 :

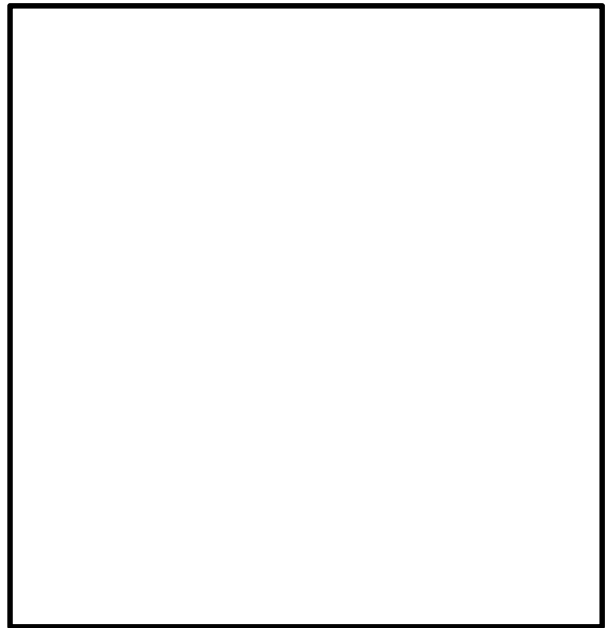


表 4-2 荷重の組合せ

| 状 態                    | 荷重の組合せ      | 応力評価                 |
|------------------------|-------------|----------------------|
| 許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S | L02+L04+L14 | $P_m$<br>$P_m + P_b$ |
| 許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S | L02+L04+L16 | $P_m$<br>$P_m + P_b$ |
| 供用状態E                  | L02+L04     | $P_m$<br>$P_m + P_b$ |

表 5-1 応力の分類

| 炉心支持<br>構造物の要素 | 位 置      | 荷重の種類 | 応力の分類 |
|----------------|----------|-------|-------|
| 胴              | 全胴部の任意断面 |       |       |
| はり又は板          | 全般       |       |       |

注：

$P_m$

$P_b$





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