

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-1054 改0 |
| 提出年月日 | 平成30年8月15日 |

V-2-9-5-2-4 ブローアウトパネル閉止装置の

耐震性についての計算書

目次

| | | |
|-------|-------------------|----|
| 1. | 概要 | 1 |
| 2. | 一般事項 | 2 |
| 2.1 | 構造計画 | 2 |
| 2.2 | 評価方針 | 5 |
| 2.3 | 適用基準 | 6 |
| 2.4 | 記号の説明 | 7 |
| 2.5 | 計算精度と数値の丸め方 | 9 |
| 3. | 評価部位 | 10 |
| 4. | 地震応答解析及び構造強度評価 | 11 |
| 4.1 | 地震応答解析及び構造強度評価方法 | 11 |
| 4.1.1 | 扉の構造強度評価方法 | 11 |
| 4.1.2 | ガイドレールの構造強度評価方法 | 11 |
| 4.1.3 | 門の構造強度評価方法 | 11 |
| 4.1.4 | ハンガーレールの構造強度評価方法 | 12 |
| 4.1.5 | チェーンの構造強度評価方法 | 12 |
| 4.2 | 荷重組合せ及び許容応力 | 12 |
| 4.2.1 | 荷重の組合せ及び許容応力状態 | 12 |
| 4.2.2 | 許容応力 | 12 |
| 4.2.3 | 使用材料の許容応力評価条件 | 12 |
| 4.3 | 解析モデル及び諸元 | 15 |
| 4.4 | 固有周期 | 16 |
| 4.5 | 設計用地震力 | 18 |
| 4.6 | 計算方法 | 20 |
| 4.6.1 | 扉の応力計算方法 | 20 |
| 4.6.2 | 支持部材の応力計算方法 | 22 |
| 4.6.3 | 駆動部の荷重計算方法 | 25 |
| 4.7 | 計算条件 | 26 |
| 4.8 | 応力の評価 | 26 |
| 4.8.1 | 扉及び支持部材の応力評価 | 26 |
| 4.8.2 | チェーンの荷重評価 | 26 |
| 5. | 機能維持評価 | 27 |
| 5.1 | 評価用加速度 | 27 |
| 5.2 | 機能確認済加速度 | 27 |
| 6. | 評価結果 | 28 |
| 6.1 | 重大事故等対処設備としての評価結果 | 28 |

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-1-1-6-別添4 ブローアウトパネル関連設備の設計方針」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、ブローアウトパネル閉止装置（以下「閉止装置」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び必要な機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は固有値解析及び応力評価並びに機能維持評価により行う。

閉止装置は、重大事故等対処設備において、常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

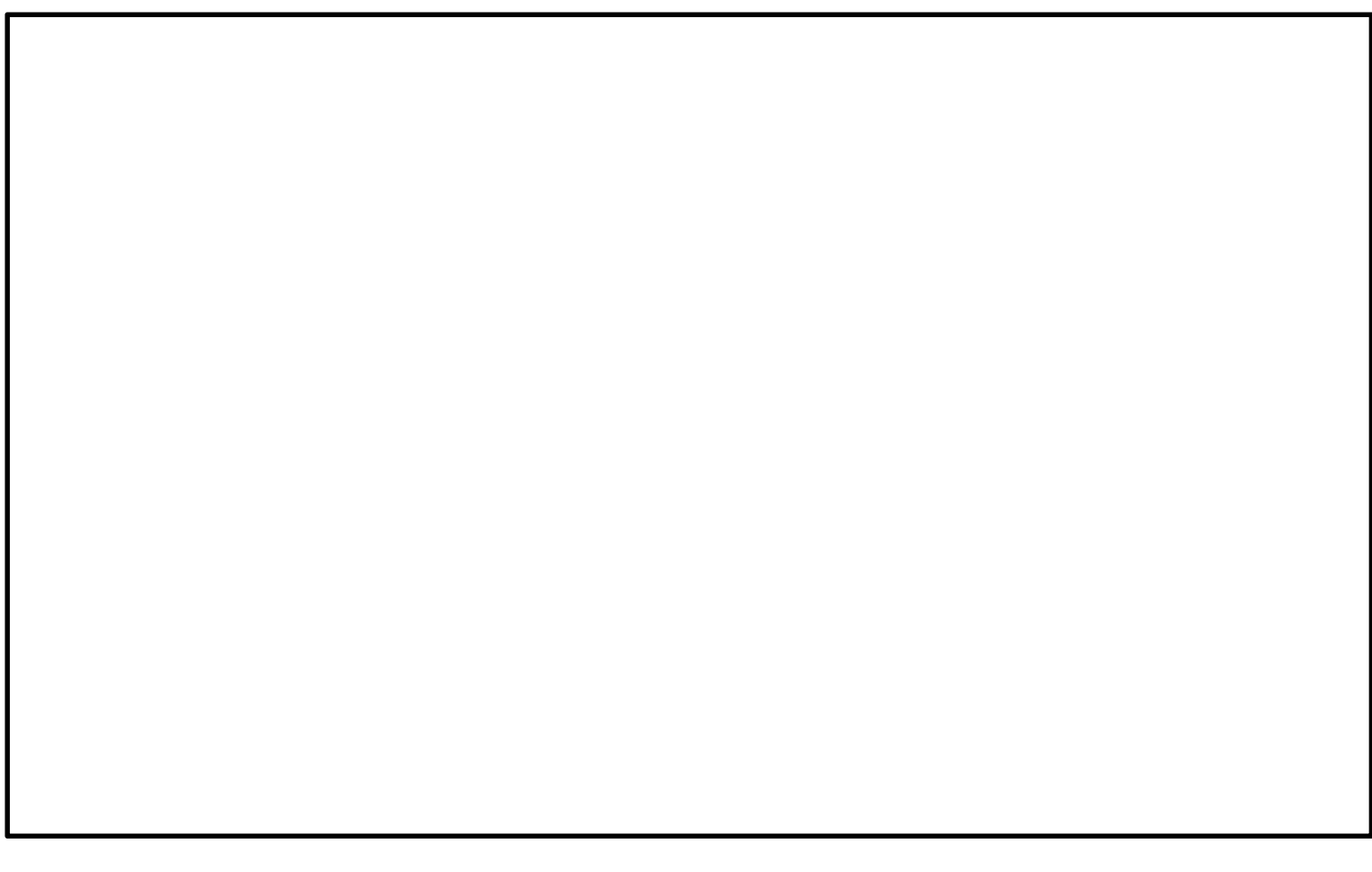
構造計画を表 2-1 に示す。閉止装置は、下記より構成される。

- (1) 扉
 - ・外梁
 - ・内梁
 - ・面板
- (2) 扉枠
- (3) 面外方向支持部材
 - ・ガイドレール
 - ・ガイドローラ
 - ・側面プッシュローラ
 - ・上下面プッシュローラ
 - ・テーパブロック
- (4) 面内方向支持部材
 - ・門
- (5) 鉛直方向支持部材
 - ・ハンガーレール
 - ・ハンガーローラ
 - ・吊具
- (6) 駆動部
 - ・ギアボックス
 - ・エンドボルト
 - ・チェーンガイド
 - ・チェーン
 - ・電動機

閉止装置は、上記に示す扉、扉枠、面外方向支持部材、面内方向支持部材、鉛直方向支持部材及び駆動部から構成される。扉は、鉛直方向支持部材であるハンガーローラ及び吊具によりハンガーレールに吊り下げられており、閉止装置上部に取り付けた電動機の回転を、ギアボックスを介して扉に取り付けられたチェーンの水平方向動作に変換することにより扉を開閉する構造である。また、扉閉状態の気密性については、扉に設置したテーパブロック、側面プッシュローラ及び上下面プッシュローラにより、扉を扉枠のシール材料に押し付けることにより確保する構造である。

地震等により作用する力のうち，面外方向に対しては，側面プッシュローラ，上下面プッシュローラ，ガイドローラ及びガイドレール等により扉を扉枠に押し付けることにより，拘束した状態で支持する構造である。面内方向に対しては門により，鉛直方向に対しては，ハンガーローラ，吊具及びハンガーレールにより支持する構造である。

表 2-1 構造計画

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|--|---|---|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| <p>扉枠は、据付ボルトにより原子炉建屋原子炉棟の壁に固定される。扉は吊具を介して扉枠に支持される。</p> | <p>閉止装置は、扉、扉枠（扉を移動させるためのレールを含む）、ローラ、扉を駆動する電動機（チェーンを含む）及び門から構成される。</p> |  |

2.2 評価方針

閉止装置の応力評価は、添付書類「V-1-1-6-別添4 ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に基づき、「2.1 構造計画」にて示す閉止装置の部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.4 固有周期」にて算出した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」にて示す方法により確認することで実施する。また、閉止装置の機能維持評価は、地震時の応答加速度が閉止装置の作動性、気密性を保持できることを確認した評価点の最大加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」にて示す方法により確認することで実施する。評価結果を「6. 評価結果」に示す。閉止装置の耐震評価フローを図2-1に、機能維持評価フローを図2-2に示す。

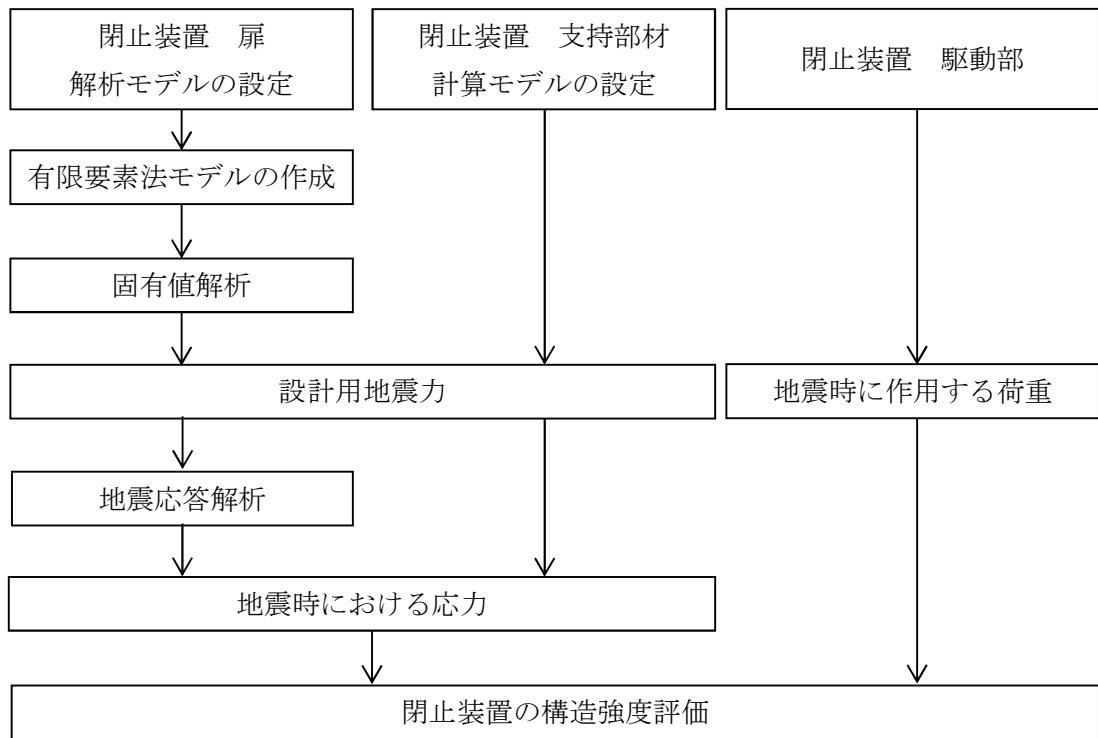


図 2-1 閉止装置の耐震評価フロー

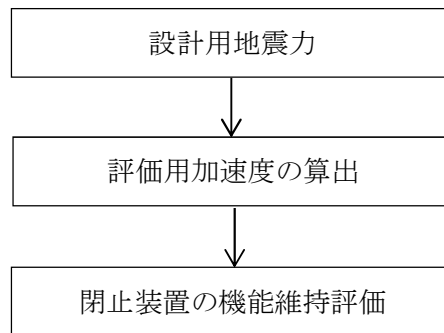


図 2-2 閉止装置の機能維持評価フロー

2.3 適用基準

適用基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 JEAG 460 1・補-1984, JEAG 460 1-1987及びJEAG 460 1-1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和59年9月, 昭和62年8月及び平成3年6月）
なお, 適用の際は耐震重要度分類におけるA_sクラス及びAクラスをSクラス, 基準地震動S₂及びS₁をそれぞれ基準地震動S_s及び弾性設計用地震動S_dと読み替えるものとする。
- (2) 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）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|----------|--------------------------------|--------------------------|
| A_G | ガイドレールの断面積 | mm^2 |
| A_L | チェーンの許容荷重 | N |
| A | 扉外梁の断面積 | mm^2 |
| E | 扉の縦弾性係数 | MPa |
| C_f | ピーク風力係数 | — |
| C_{H1} | 閉止装置の面外方向の設計震度 | — |
| C_{H2} | 閉止装置の面内方向の設計震度 | — |
| C_V | 閉止装置の鉛直方向の設計震度 | — |
| F | 設計・建設規格 SSB-3121.1 に定める値 | MPa |
| F^* | 設計・建設規格 SSB-3121.3 に定める値 | MPa |
| F_C | チェーンに作用する力 | N |
| F_P | 門ピンに作用するせん断力 | N |
| F_x | 扉外梁に作用する軸力 | N |
| F_y | 扉外梁に作用するせん断力 (y 方向) | N |
| F_z | 扉外梁に作用するせん断力 (z 方向) | N |
| f_s | 許容せん断応力 | MPa |
| f_t | 許容引張応力 | MPa |
| L_G | ガイドレールの長さ | mm |
| M | 扉の質量 | kg |
| M_G | ガイドレールに作用する曲げモーメント | $\text{N}\cdot\text{mm}$ |
| M_x | 扉外梁に作用するねじりモーメント | $\text{N}\cdot\text{mm}$ |
| M_y | 扉外梁に作用する y 軸周り曲げモーメント | $\text{N}\cdot\text{mm}$ |
| M_z | 扉外梁に作用する z 軸周り曲げモーメント | $\text{N}\cdot\text{mm}$ |
| q | 平均速度圧 | Pa |
| S_u | 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値 | MPa |
| S_y | 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値 | MPa |
| $S_y (R$ | 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める | MPa |
| $T)$ | 材料の 40°Cにおける値 | |
| Z_G | ガイドレールの断面係数 | mm^3 |
| Z_x | 扉外梁のねじり断面係数 | mm^3 |
| Z_y | 扉外梁の y 軸周り断面係数 | mm^3 |
| Z_z | 扉外梁の z 軸周り断面係数 | mm^3 |

| | | |
|---------------|----------------------|-----|
| ν | ポアソン比 | — |
| σ_c | 扉外梁に作用する組合せ応力 | MPa |
| σ_{cG} | ガイドレールに作用する組合せ応力 | MPa |
| σ_{tG} | ガイドレールに作用する引張応力 | MPa |
| σ_t | 扉外梁に作用する引張応力 | MPa |
| σ_x | 扉外梁に作用する引張応力 (x 方向) | MPa |
| σ_y | 扉外梁に作用する引張応力 (y 方向) | MPa |
| σ_z | 扉外梁に作用する引張応力 (z 方向) | MPa |
| τ | 扉外梁に作用するせん断応力 | MPa |
| τ_G | ガイドレールに作用するせん断応力 | MPa |
| τ_x | 扉外梁に作用するせん断応力 (x 方向) | MPa |
| τ_y | 扉外梁に作用するせん断応力 (y 方向) | MPa |
| τ_z | 扉外梁に作用するせん断応力 (z 方向) | MPa |

注： 記号右端添え字に G が付くものは、ガイドレール評価用を代表で示したものであり、門ピン評価用については $G \rightarrow P$ 、ハンガーレール評価用については $G \rightarrow H$ に置き換えるものとする。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

| 数値の種類 | 単位 | 処理桁 | 処理方法 | 表示桁 |
|--------------------|-----------------|------------|------|------------------------|
| 固有周期 | s | 小数点以下第 4 位 | 四捨五入 | 小数点以下第 3 位 |
| 震度 | — | 小数点以下第 3 位 | 切り上げ | 小数点以下第 2 位 |
| 温度 | ℃ | — | — | 整数位 |
| 質量 | kg | — | — | 整数位 |
| 長さ | 厚さ | mm | — | 小数点以下第 1 位 |
| | 上記以外の長さ | mm | — | 整数位 ^{*1} |
| 断面積 | mm ² | 有効数字 5 桁目 | 四捨五入 | 有効数字 4 桁 ^{*2} |
| 断面二次モーメント | mm ⁴ | 有効数字 5 桁目 | 四捨五入 | 有効数字 4 桁 ^{*2} |
| 断面係数 | mm ³ | 有効数字 5 桁目 | 四捨五入 | 有効数字 4 桁 ^{*2} |
| 力 | N | 有効数字 5 桁目 | 四捨五入 | 有効数字 4 桁 ^{*2} |
| 等分布荷重 | N/mm | 有効数字 5 桁目 | 四捨五入 | 有効数字 4 桁 ^{*2} |
| モーメント | N・mm | 有効数字 5 桁目 | 四捨五入 | 有効数字 4 桁 ^{*2} |
| 算出応力 | MPa | 小数点以下第 1 位 | 切上げ | 整数位 |
| 許容応力 ^{*3} | MPa | 小数点以下第 1 位 | 切捨て | 整数位 |

注記 *1：設計上定める値が小数点第 1 位の場合は，小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

閉止装置の耐震評価は、主要構造物である扉、扉を支持する支持部材のうち、面外方向、面内方向及び鉛直方向のそれぞれの方向で構造強度評価上厳しくなるガイドレール（面外方向支持部材）、門（面内方向支持部材）、ハンガーレール（鉛直方向支持部材）及び駆動部のうち動力を伝達するチェーンについて実施する。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

閉止装置については、扉閉状態における加振試験（固有振動数測定）により振動数のピークが確認されている。本計算書では、閉止装置を構成する部材のうち扉の閉状態における固有周期を求め、「3. 評価部位」にて設定する箇所の構造強度評価に適用する。なお、扉開状態における固有周期は、加振試験により求めた 0.050 秒以上を、「3. 評価部位」にて設定する箇所の構造強度評価に適用する。

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

「3. 評価部位」にて設定した各評価部材の構造強度評価方法を以下に示す。なお、耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.1.1 扉の構造強度評価方法

- (1) 「4.3 解析モデル及び諸元」と同様に、扉を構成する部材をはり及びシェル要素にてモデル化した有限要素法モデルによる静的解析を扉の構造強度評価に適用する。解析コードは、「MSC NASRAN」を使用し、荷重を求める。解析モデルを図 4-1 に示す。
- (2) 扉は吊具、門及びローラ等により支持される構造であるため、その構造に応じた方向の変位を拘束するものとする。
- (3) 地震力は、扉に対して面外方向、面内方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、強度評価において組合せるものとする。
- (4) 圧力及び風荷重は、扉に対して面外方向に等分布に作用するものとし、評価において外梁 4 辺を面外方向に拘束するものとする。また、強度評価において地震力と組合せるものとする。

4.1.2 ガイドレールの構造強度評価方法

- (1) 扉からの地震荷重は、面外方向に作用するものとする。
- (2) ガイドレールの構造強度評価は、面外方向地震力による集中荷重がハンガーレール先端部に作用する片持ち梁モデルを適用する。

4.1.3 門の構造強度評価方法

- (1) 門を構成する門ピン、受板（扉側）、受板（枠側）のうち、構造強度評価上厳しくなる門ピンの評価を実施する。
- (2) 扉からの地震荷重は、面内方向に作用するものとする。
- (3) 門ピンの構造強度評価は、門ピン中央部に集中荷重が作用する両端支持梁モデルを適用する。

4.1.4 ハンガーレールの構造強度評価方法

- (1) 扉からの地震荷重は、鉛直方向に作用するものとする。
- (2) ハンガーレールの構造強度評価は、集中荷重がハンガーレール先端部に作用する片持ち梁モデルを適用する。

4.1.5 チェーンの構造強度評価方法

チェーンに作用する荷重は、門により制限される変位の最大値である□mmの変位（チェーンの伸び□mm）を想定して設定した値とする。

4.2 荷重組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

閉止装置の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

閉止装置の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

閉止装置の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。また、許容荷重条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-4 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

| 施設区分 | | 機器名称 | 設備分類*1 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ*2 | 許容応力状態 |
|---------|---|------|--------|--------|-------------------------------|--|
| 原子炉格納施設 | — | 閉止装置 | 常設／緩和 | —*3 | $D + P_D + M_D + S_s$ | $III_A S^{*4}$ |
| | | | | | $D + P_D + M_D + S_s$ | $IV_A S$ |
| | | | | | $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_d$ | $V_A S$ ($V_A S$ として、 $IV_A S$ の許容限界を用いる。) |

注記 *1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：記号の説明については、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づく。

*3：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*4：門の評価に適用する。

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

| 許容応力状態 | 許容限界 | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 一次応力 | | |
| | 引張り | せん断 | 組合せ |
| $III_A S$ | $1.5 \cdot f_t$ | $1.5 \cdot f_s$ | $1.5 \cdot f_t$ |
| $IV_A S$ | $1.5 \cdot f_t^*$ | $1.5 \cdot f_s^*$ | $1.5 \cdot f_t^*$ |
| $V_A S$ ($V_A S$ として、 $IV_A S$ の許容限界を用いる。) | $1.5 \cdot f_t^*$ | $1.5 \cdot f_s^*$ | $1.5 \cdot f_t^*$ |

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

| 部材 | 材料 | 温度条件 (°C) | | S _y (MPa) | S _u (MPa) | S _y (RT) (MPa) |
|---------|--------|---------------|-----|-------------------------|-------------------------|------------------------------|
| | | 周囲環境温度 (扉開状態) | | | | |
| 扉 | SUS304 | 周囲環境温度 (扉開状態) | 50 | 198 | 504 | 205 |
| | | 周囲環境温度 (扉閉状態) | 100 | 171 | 441 | 205 |
| ガイドレール | SUS304 | 周囲環境温度 (扉開状態) | 50 | 198 | 504 | 205 |
| 門ピン | S45C | 周囲環境温度 (扉開状態) | 50 | 339 | 556 | — |
| | | 周囲環境温度 (扉閉状態) | 100 | 316 | 524 | — |
| ハンガーレール | SUS304 | 周囲環境温度 (扉開状態) | 50 | 198 | 504 | 205 |
| | | 周囲環境温度 (扉閉状態) | 100 | 171 | 441 | 205 |

表 4-4 使用材料の許容荷重評価条件（重大事故等対処設備）

| 部材 | 材料 | 温度条件 (°C) | | 許容荷重 (N) |
|------|-----|--------------|----|-------------------------|
| | | 周囲環境温度 | | |
| チェーン | 炭素鋼 | 周囲環境温度 | 40 | 4.390×10 ⁴ * |

注記 *：設計・建設規格 SSB-3200 に基づき、荷重試験により求めた支持構造物の許容荷重

4.3 解析モデル及び諸元

閉止装置の解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表 4-5 に示す。

- (1) 扉を構成する部材のうち、外梁、内梁及び補強板をはり要素で、面板をシェル要素でモデル化した有限要素法モデルによって固有周期を求める。
- (2) 拘束条件は、吊具、門及びローラ部の並進方向拘束とする。
- (3) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有周期を求める。

なお、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要 MSC NASTRAN」に示す。

- (4) 質量は、扉を構成する部材の質量を考慮する。

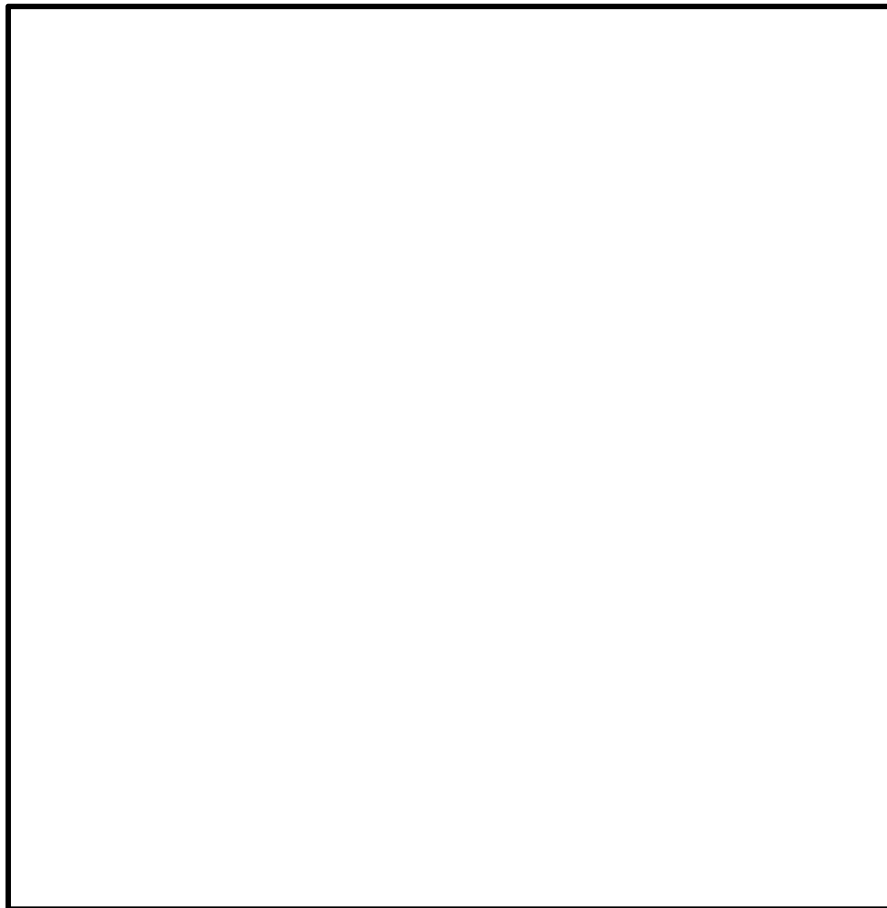


図 4-1 解析モデル

表 4-5 機器諸元

| | | | |
|----------------|-------|---------------|----------------------|
| 項目 | 記号 | 単位 | 入力値 |
| 材料 | — | — | SUS304 |
| 質量 | M | kg | <input type="text"/> |
| 圧力条件 | — | Pa (ゲージ 圧) | <input type="text"/> |
| 機械的荷重 (風荷重) | W | Pa | 2265* |
| 温度条件 (最高使用温度) | T | ℃ | 100 |
| 縦弾性係数 (最高使用温度) | E | MPa | 190000 |
| ポアソン比 | ν | — | 0.3 |
| 要素数 | — | 個 | <input type="text"/> |
| 節点数 | — | 個 | <input type="text"/> |

注記 * : 風荷重は次式により求める。

$$W = q \cdot C_f \cdot \dots \dots \dots (4.3.1)$$

ここで,

q : 平均速度圧 (Pa) 903.1

C_f : ピーク風力係数 (—) 2.508

4.4 固有周期

扉閉状態の固有値解析結果を表 4-6 に、振動モード図を図 4-2 に示す。また、加振試験により求めた扉開状態の固有周期を表 4-7 に示す。

表 4-6 扉閉状態の固有値解析結果

| モード | 卓越方向 | 固有周期 (s) | 刺激係数 | | |
|-----|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | | 面外 | 面内 | 鉛直 |
| 1次 | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| 2次 | <input type="text"/> | <input type="text"/> | — | — | — |



図 4-2 振動モード図 (1 次)

表 4-7 扉開状態の固有周期

| モード | 卓越方向 | 固有周期 (s) | 刺激係数 | | |
|-----|------|-------------|------|----|----|
| | | | 面外 | 面内 | 鉛直 |
| 1 次 | — | | — | — | — |

4.5 設計用地震力

扉開状態の設計用地震力を表 4-8 に、扉閉状態の設計用地震力を表 4-9 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

表 4-8 扉開状態の設計用地震力

| 据付場所 及び床面高さ (m) | 固有周期 (s) | | | 基準地震動 S_s | | |
|--------------------------|----------|----------|----------|-----------------|-----------------|--------------|
| | 面外 方向 | 面内 方向 | 鉛直 方向 | 水平方向設計震度 | | 鉛直方向 設計震度 |
| 原子炉 建屋 EL. 63.65*1 | □ | —*2 | —*2 | 面外方向 | 面内方向 | $C_V = □$ *4 |
| | | | | $C_{H1} = □$ *3 | $C_{H2} = □$ *4 | |

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：柔な領域に固有周期がないことから、計算は省略する。

*3：基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値（保守的な値となる扉閉状態の値を用いる）

*4：1.2ZPA の 2 倍の値

表 4-9 扉閉状態の設計用地震力

| 据付場所 及び床面高さ (m) | 固有周期 (s) | | | 弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度 | | |
|--------------------------|----------|----------|----------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| | | | | 水平方向設計震度 | | 鉛直方向 設計震度 |
| | 面外 方向 | 面内 方向 | 鉛直 方向 | 面外方向 | 面内方向 | |
| 原子炉 建屋 EL. 63.65*1 | □ | —*2 | —*2 | 面外方向 | 面内方向 | $C_V = \square^{*4}$ |
| | | | | $C_{H1} = \square^{*3}$ | $C_{H2} = \square^{*4}$ | |

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：柔な領域に固有周期がないことから、計算は省略する。

*3：弾性設計用地震動 S_d に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*4：1.2ZPA の 2 倍の値

4.6 計算方法

4.6.1 扉の応力計算方法

扉外梁に加わる荷重を図 4-1 の解析モデルにより計算機コード「MSC NA STRAN」を用いて、静解析により求め、応力を図 4-3 を用いて計算する。負担力は、並進力 F_x , F_y , F_z , モーメント力 M_x , M_y , M_z とする。

(1) 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A}, \quad \sigma_y = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_z = \frac{M_z}{Z_z} \dots \dots \dots (4.6.1.1)$$

$$\tau_x = \frac{M_x}{Z_x}, \quad \tau_y = \frac{M_y}{A}, \quad \tau_z = \frac{M_z}{A} \dots \dots \dots (4.6.1.2)$$

(2) 引張応力

引張応力は次式となる。

$$\sigma_t = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \dots \dots \dots (4.6.1.3)$$

(3) せん断応力

せん断応力は次式となる。

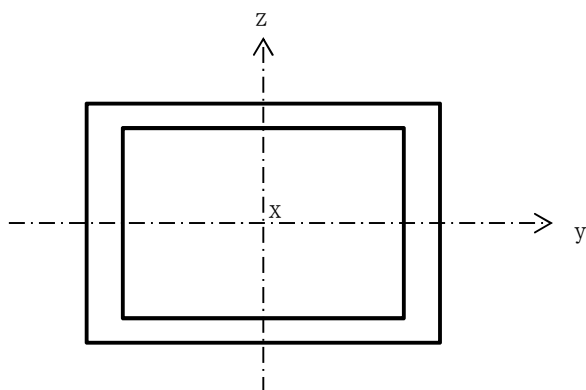
$$\tau = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(\tau_x + \tau_y)^2 + \tau_z^2} \\ \sqrt{\tau_y^2 + (\tau_x + \tau_z)^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \dots \dots \dots (4.6.1.4)$$

(4) 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots \dots \dots (4.6.1.5)$$

扉外梁の最大応力発生部位を図 4-1 の (a) に示す。



注 : x , y , z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

図 4-3 扉外梁の部材断面

4.6.2 支持部材の応力計算方法

(1) ガイドレールの応力

ガイドレールに作用する荷重によるせん断力及び曲げモーメントを算出し、ガイドレールに発生する応力を計算する。計算モデルは図 4-4 に示すとおり、集中荷重がガイドレール先端部に作用する片持ち梁モデルとする。

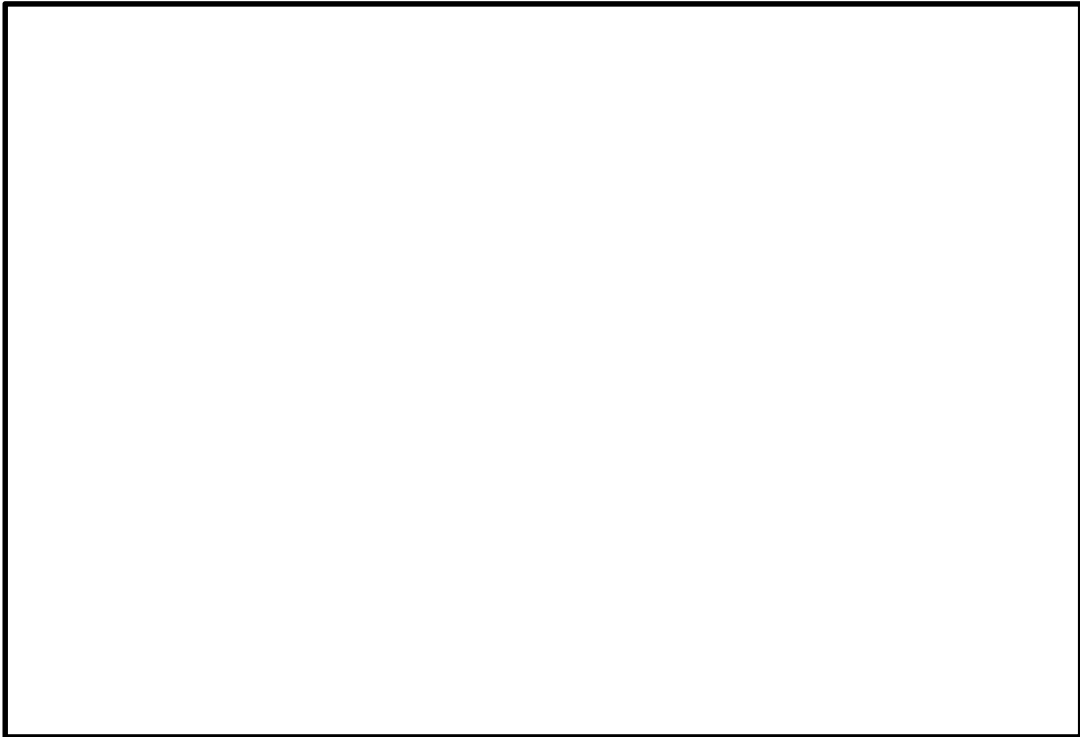


図 4-4 ガイドレール計算モデル

a. 引張応力

ガイドレールに作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_G = W_G \cdot L_G \cdots \cdots (4.6.2.1)$$

ガイドレールに生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{tG} = \frac{M_G}{Z_G} \cdots \cdots (4.6.2.2)$$

b. せん断応力

ガイドレールに作用するせん断力は次式により求める。

$$F_G = W_G \cdots \cdots (4.6.2.3)$$

ガイドレールに生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_G = \frac{F_G}{A_G} \cdots \cdots (4.6.2.4)$$

c. 組合せ応力

ガイドレールに生じる組合せ応力は次式により求める。

$$\sigma_{cG} = \sqrt{\sigma_{tG}^2 + 3 \cdot \tau_G^2} \dots \dots \dots (4.6.2.5)$$

(2) 門ピンの応力

門ピンに作用する荷重によるせん断力及び曲げモーメントを算出し，門ピンに発生する応力を計算する。ここで，門ピンは上部及び下部の2箇所荷重を受けるとして評価する。計算モデルは図4-5に示すとおり，門ピン中央部に集中荷重が作用する両端支持梁モデルとする。

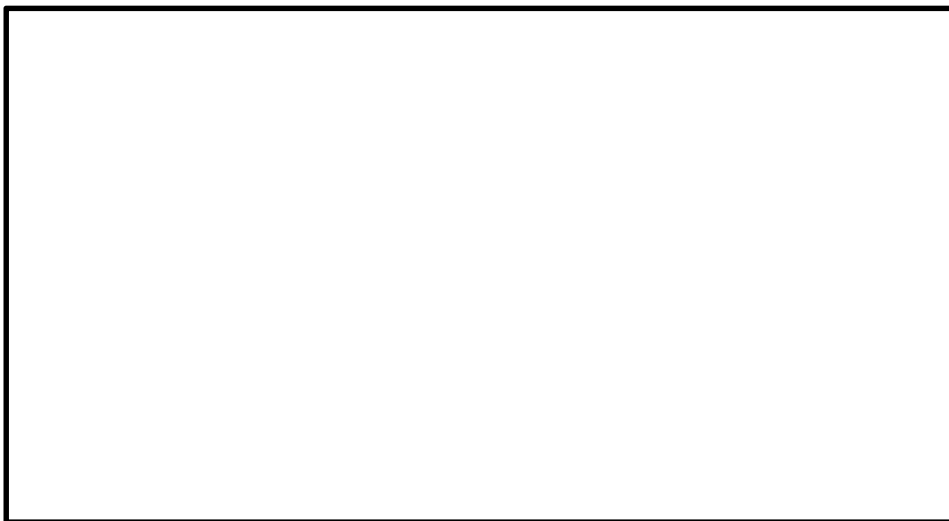


図 4-5 門ピン計算モデル

a. 引張応力

門ピンに作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_P = \frac{W_P \cdot L_P}{4} \dots \dots \dots (4.6.2.6)$$

門ピンに生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{tP} = \frac{M_P}{Z_P} \dots \dots \dots (4.6.2.7)$$

b. せん断応力

門ピンに作用するせん断力は次式により求める。

$$F_P = \frac{W_P}{2} \dots \dots \dots (4.6.2.8)$$

門ピンに生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_P = \frac{F_P}{A_P} \dots \dots \dots (4.6.2.9)$$

c. 組合せ応力

門ピンに生じる組合せ応力は次式により求める。

$$\sigma_{cP} = \sqrt{\sigma_{tP}^2 + 3 \cdot \tau_P^2} \dots \dots \dots (4.6.2.10)$$

(3) ハンガーレールの応力

ハンガーレールに作用する荷重によるせん断力及び曲げモーメントを算出し、ハンガーレールに発生する応力を計算する。計算モデルは図 4-6 に示すとおり、集中荷重がハンガーレール先端部に作用する片持ち梁モデルとする。



図 4-6 ハンガーレール計算モデル

a. 引張応力

ハンガーレールに作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_H = W_H \cdot L_H \dots \dots \dots (4.6.2.11)$$

ハンガーレールに生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{tH} = \frac{M_H}{Z_H} \dots \dots \dots (4.6.2.12)$$

b. せん断応力

ハンガーレールに作用するせん断力は次式により求める。

$$F_H = W_H \dots \dots \dots (4.6.2.13)$$

ハンガーレールに生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_H = \frac{F_H}{A_H} \dots \dots \dots (4.6.2.14)$$

c. 組合せ応力

ハンガーレールに生じる組合せ応力は次式により求める。

$$\sigma_{cH} = \sqrt{\sigma_{tH}^2 + 3 \cdot \tau_H^2} \dots \dots \dots (4.6.2.15)$$

4.6.3 駆動部の荷重計算方法

(1) チェーンの荷重

駆動部はチェーン張力を用いて荷重を計算する。図 4-7 に示すとおり、チェーンの引張り試験により得られた荷重－変位曲線に基づき、設計・建設規格 SSB-3200 の規定に従って許容荷重を算定するとともに、チェーンの変位 mm に相当する荷重を強度評価用の荷重に設定する。

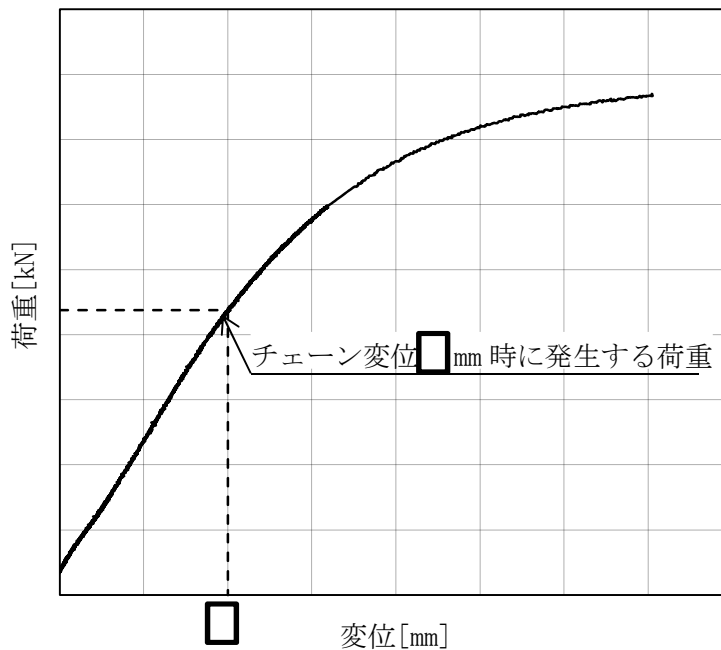


図 4-7 チェーンの引張り試験により得られた荷重－変位曲線

4.7 計算条件

耐震計算に用いる自重（扉）及び荷重（地震荷重，圧力及び風荷重）は，本計算書の【閉止装置の耐震性についての計算結果】の計算条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 扉及び支持部材の応力評価

4.6 項で求めた扉及び支持部材の各応力が各許容応力以下であること。
ただし，各許容応力は表 4-10 による。

表 4-10 扉及び支持部材の許容応力

| | 許容応力状態Ⅲ _A Sにおける評価 の場合 | 許容応力状態Ⅳ _A S及び 許容応力状態Ⅴ _A Sにおける 評価の場合 |
|------------------|-------------------------------------|---|
| 許容引張応力 f_t | $\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$ | $\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$ |
| 許容せん断応力 f_s | $\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$ | $\frac{F^*}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$ |
| 許容組合せ応力 f_t | $\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$ | $\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$ |

4.8.2 チェーンの荷重評価

4.1.5 項にて設定したチェーンに作用する荷重が許容荷重以下であること。
ただし，許容荷重は設計・建設規格 SSB-3200 の規定による。

5. 機能維持評価

5.1 評価用加速度

閉止装置は原子炉建屋原子炉棟に直接取り付けられることから、評価用加速度は、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に示す原子炉建屋原子炉棟の地震応答解析で評価した原子炉建屋外側ブローアウトパネル頂部位置に生じる加速度とし、評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。評価用加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 評価用加速度

| (×9.8 m/s ²) | | | |
|--------------------------|-----------------------|----|--------|
| 形式 | 対象機器設置箇所 (m) | 方向 | 評価用加速度 |
| 閉止装置 | 原子炉建屋 E. L. 63.65* | 面外 | □ |
| | | 面内 | □ |
| | | 鉛直 | □ |

注記 * : 基準床レベルを示す。

5.2 機能確認済加速度

閉止装置の機能維持評価について、以下に示す。閉止装置の機能確認済加速度には、水平 2 方向と鉛直方向の 3 方向同時加振試験において、閉止装置の作動性、気密性を保持できることを確認した最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表 5-2 に示す。

表 5-2 機能確認済加速度

| (×9.8 m/s ²) | | |
|--------------------------|----|----------|
| 形式 | 方向 | 機能確認済加速度 |
| 閉止装置 | 面外 | □ |
| | 面内 | □ |
| | 鉛直 | □ |

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

閉止装置の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、また、評価用加速度は機能確認済加速度以下であり、設計用地震力に対して構造強度及び機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【閉止装置の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

1.1.1 扉閉状態の設計条件

| 機器名称 | 設備分類 | 据付場所 及び床面高さ (m) | 固有周期 (s) | | | 基準地震動 S_s | | | 周囲環境温度 (°C) | |
|------|-------|--------------------------|----------------------|----------|----------|-----------------------|-----------------------|--------------------|----------------|--|
| | | | | | | 水平方向設計震度 | | 鉛直方向 設計震度 | | |
| 閉止装置 | 常設/緩和 | 原子炉 建屋 EL. 63.65*1 | 面外 方向 | 面内 方向 | 鉛直 方向 | 面外方向 | 面内方向 | $C_V = \square$ *4 | 50 | |
| | | | <input type="text"/> | —*2 | —*2 | | | | | |
| | | | | | | $C_{H1} = \square$ *3 | $C_{H2} = \square$ *4 | | | |

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：柔な領域に固有周期がないことから、計算は省略する。

*3：基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値（保守的な値となる扉閉状態の値を用いる）

*4：1.2ZPA の2倍の値

1.1.2 扉閉状態の設計条件

| 機器名称 | 設備分類 | 据付場所 及び床面高さ (m) | 固有周期 (s) | | | 弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度 | | 周囲環境温度 (°C) | |
|------|-------|--------------------------|-----------|----------|----------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------|
| | | | | | | 水平方向設計震度 | | | 鉛直方向 設計震度 |
| 閉止装置 | 常設/緩和 | 原子炉 建屋 EL. 63.65*1 | 面外 方向 | 面内 方向 | 鉛直 方向 | 面外方向 | 面内方向 | $C_v = \square$ *4 | 100 |
| | | | \square | —*2 | —*2 | $C_{H1} = \square$ *3 | $C_{H2} = 2.04$ *4 | | |

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：柔な領域に固有周期がないことから，計算は省略する。

*3：弾性設計用地震動 S_d に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*4：1.2ZPA の2倍の値

1.2 機器要目

1.2.1 扉

| M (kg) | A (mm ²) | Z _x (mm ³) | Z _y (mm ³) | Z _z (mm ³) |
|-----------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| □ | □ | □ | □ | □ |

| S _y (MPa) | | S _u (MPa) | | S _y (R T) (MPa) | | F* (MPa) | |
|-------------------------|------|-------------------------|------|-------------------------------|------|-------------|------|
| 扉開状態 | 扉閉状態 | 扉開状態 | 扉閉状態 | 扉開状態 | 扉閉状態 | 扉開状態 | 扉閉状態 |
| 198 | 171 | 504 | 441 | 205 | 205 | 205 | 205 |

注 : x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.2.2 ガイドレール (扉開状態のみ)

| L _G (mm) | A _G (mm ²) | Z _G (mm ³) |
|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| □ | □ | □ |

| S _y (MPa) | S _u (MPa) | S _y (R T) (MPa) | F* (MPa) |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------|
| 198 | 504 | 205 | 205 |

1.2.3 門ピン

| | | |
|---------------|-----------------------------|-----------------------------|
| L_P (mm) | A_P (mm ²) | Z_P (mm ³) |
| □ | □ | □ |

| | | | | | |
|----------------|------|----------------|------|----------------|------|
| S_y (MPa) | | S_u (MPa) | | F^* (MPa) | |
| 扉開状態 | 扉閉状態 | 扉開状態 | 扉閉状態 | 扉開状態 | 扉閉状態 |
| 339 | 316 | 556 | 524 | 339 | 316 |

1.2.4 ハンガーレール

| | | |
|---------------|-----------------------------|-----------------------------|
| L_H (mm) | A_H (mm ²) | Z_H (mm ³) |
| □ | □ | □ |

| | | | | | | | |
|----------------|------|----------------|------|---------------------|------|----------------|------|
| S_y (MPa) | | S_u (MPa) | | S_y (RT) (MPa) | | F^* (MPa) | |
| 扉開状態 | 扉閉状態 | 扉開状態 | 扉閉状態 | 扉開状態 | 扉閉状態 | 扉開状態 | 扉閉状態 |
| 198 | 171 | 504 | 441 | 205 | 205 | 205 | 205 |

1.2.5 チェーン

| |
|--------------|
| A_L (N) |
| □ |

1.3 計算数値

1.3.1 扉に作用する力及びモーメント

| 部 材 | 扉に作用する力 | | | | | | 扉に作用するモーメント | | | | | |
|-----|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | F_x (N) | | F_y (N) | | F_z (N) | | M_x (N・mm) | | M_y (N・mm) | | M_z (N・mm) | |
| | 扉開状態 | 扉閉状態 | 扉開状態 | 扉閉状態 | 扉開状態 | 扉閉状態 | 扉開状態 | 扉閉状態 | 扉開状態 | 扉閉状態 | 扉開状態 | 扉閉状態 |
| 扉 | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

注 : x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2 ガイドレールに作用する力及びモーメント (扉開状態のみ)

| 部 材 | ガイドレールに作用する力 | | ガイドレールに作用するモーメント |
|--------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | W_G (N) | F_G (N) | M_G (N・mm) |
| ガイドレール | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

1.3.3 門ピン作用に作用する力及びモーメント

| 部 材 | 門ピンに作用する力 | | | | 門ピンに作用するモーメント | |
|-----|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | W_P (N) | | F_P (N) | | M_P (N・mm) | |
| | 扉開状態 | 扉閉状態 | 扉開状態 | 扉閉状態 | 扉開状態 | 扉閉状態 |
| 門ピン | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

1.3.4 ハンガーレールに作用する力及びモーメント

| 部 材 | ハンガーレールに作用する力 | | | | ハンガーレールに作用するモーメント | |
|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | W_H (N) | | F_H (N) | | M_H (N・mm) | |
| | 扉開状態 | 扉閉状態 | 扉開状態 | 扉閉状態 | 扉開状態 | 扉閉状態 |
| ハンガーレール | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

1.3.5 チェーンに作用する力

| 部 材 | チェーンに作用する力 |
|------|----------------------|
| | F_c (N) |
| チェーン | <input type="text"/> |

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位 : s)

| モード | 扉開状態 | | 扉閉状態 | |
|-----|----------------------|------|----------------------|----------------------|
| | 固有周期 | 卓越方向 | 固有周期 | 卓越方向 |
| 1次 | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| 2次 | — | — | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

1.4.2 応力

(単位 : MPa)

| 部 材 | 材 料 | 応 力 | 扉開状態 | | 扉閉状態 | |
|---------|--------|-----|---------------------|-------------|--------------------|-------------|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 扉 | SUS304 | 引張り | $\sigma_t = 120$ | $f_t = 205$ | $\sigma_t = 56$ | $f_t = 205$ |
| | | せん断 | $\tau = 5$ | $f_s = 118$ | $\tau = 3$ | $f_s = 118$ |
| | | 組合せ | $\sigma_c = 120$ | $f_t = 205$ | $\sigma_c = 57$ | $f_t = 205$ |
| ガイドレール | SUS304 | 引張り | $\sigma_{tG} = 151$ | $f_t = 205$ | — | — |
| | | せん断 | $\tau_G = 5$ | $f_s = 118$ | — | — |
| | | 組合せ | $\sigma_{cG} = 152$ | $f_t = 205$ | — | — |
| 門ピン | S45C | 引張り | $\sigma_{tP} = 82$ | $f_t = 339$ | $\sigma_{tP} = 50$ | $f_t = 316$ |
| | | せん断 | $\tau_P = 9$ | $f_s = 195$ | $\tau_P = 5$ | $f_s = 182$ |
| | | 組合せ | $\sigma_{cP} = 84$ | $f_t = 339$ | $\sigma_{cP} = 51$ | $f_t = 316$ |
| ハンガーレール | SUS304 | 引張り | $\sigma_{tG} = 103$ | $f_t = 205$ | $\sigma_{tG} = 67$ | $f_t = 205$ |
| | | せん断 | $\tau_G = 5$ | $f_s = 118$ | $\tau_G = 4$ | $f_s = 118$ |
| | | 組合せ | $\sigma_{cG} = 104$ | $f_t = 205$ | $\sigma_{cG} = 68$ | $f_t = 205$ |

注 : すべて許容応力以下である。

1.4.3 荷重

(単位：N)

| 部 材 | 材 料 | 荷 重 | チェーンに作用する力 | チェーンの許容荷重 |
|------|-----|------|------------------------------|------------------------------|
| チェーン | 炭素鋼 | 引張荷重 | $F_c =$ <input type="text"/> | $A_L =$ <input type="text"/> |

注：すべて許容荷重以下である。

1.4.4 機能確認済加速度との比較

(単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

| | | 評価用加速度 | 機能確認済加速度 |
|---------------|------|----------------------|----------------------|
| ブローアウトパネル閉止装置 | 面外方向 | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| | 面内方向 | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| | 鉛直方向 | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

注：評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。