

| | |
|-------------------|-------------------|
| 島根原子力発電所第2号機 審査資料 | |
| 資料番号 | NS2-添 2-004-06改01 |
| 提出年月日 | 2023年2月14日 |

VI-2-4-2-5 燃料プール水位（S A）の耐震性についての計算書

S2 補 VI-2-4-2-5 R0

2023年2月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

目 次

| | | |
|-----|-------------------------|----|
| 1. | 概要 | 1 |
| 2. | 一般事項 | 1 |
| 2.1 | 構造計画 | 1 |
| 2.2 | 評価方針 | 3 |
| 2.3 | 適用規格・基準等 | 4 |
| 2.4 | 記号の説明 | 5 |
| 2.5 | 計算精度と数値の丸め方 | 7 |
| 3. | 評価部位 | 8 |
| 4. | 検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価 | 8 |
| 4.1 | 検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価方法 | 8 |
| 4.2 | 検出器保護管の荷重の組合せ及び許容応力 | 8 |
| 4.3 | 検出器保護管の解析モデル及び諸元 | 11 |
| 4.4 | 検出器保護管の固有周期 | 13 |
| 4.5 | 検出器保護管の設計用地震力 | 14 |
| 4.6 | 検出器保護管の計算方法 | 15 |
| 4.7 | 検出器保護管の計算条件 | 16 |
| 4.8 | 検出器保護管の応力の評価 | 16 |
| 5. | 検出器架台の地震応答解析及び構造強度評価 | 17 |
| 5.1 | 検出器架台の地震応答解析及び構造強度評価方法 | 17 |
| 5.2 | 検出器架台の荷重の組合せ及び許容応力 | 17 |
| 5.3 | 検出器架台の解析モデル及び諸元 | 19 |
| 5.4 | 検出器架台の固有周期 | 20 |
| 5.5 | 検出器架台の設計用地震力 | 21 |
| 5.6 | 検出器架台の計算方法 | 22 |
| 5.7 | 検出器架台の計算条件 | 26 |
| 5.8 | 検出器架台の応力の評価 | 26 |
| 6. | 機能維持評価 | 27 |
| 6.1 | 電氣的機能維持評価方法 | 27 |
| 7. | 評価結果 | 28 |
| 7.1 | 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、VI-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、燃料プール水位（S A）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明するものである。

燃料プール水位（S A）は、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以外の常設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、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

燃料プール水位（S A）の構造計画を表 2-1 に示す。

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>検出器保護管は、<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> を検出器架台梁先端の <input type="checkbox"/> に接続する。</p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p>また、検出器架台は、取付ボルトによりベースプレートに固定され、ベースプレートは、基礎ボルトにより基礎（床面）に設置する。</p> | <p>ガイドパルス式水位検出器（検出器保護管は検出器架台に固定する構造）</p> | |

2.2 評価方針

燃料プール水位（S A）の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す燃料プール水位（S A）の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、検出器保護管については「4.3 検出器保護管の解析モデル及び諸元」及び「4.4 検出器保護管の固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内であることを、「4. 検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。検出器架台については「5.3 検出器架台の解析モデル及び諸元」及び「5.4 検出器架台の固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内であることを、「5. 検出器架台の地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、燃料プール水位（S A）は、電気信号を伝搬する機能のみであり、検出器保護管が変形・破損しなければ、その機能を維持できる。よって、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の電気的機能維持の方針に基づき、検出器保護管が解析による最大発生応力が許容応力以下にあることにより、機能維持を満足することを「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

燃料プール水位（S A）の耐震評価フローを図2-1に示す。

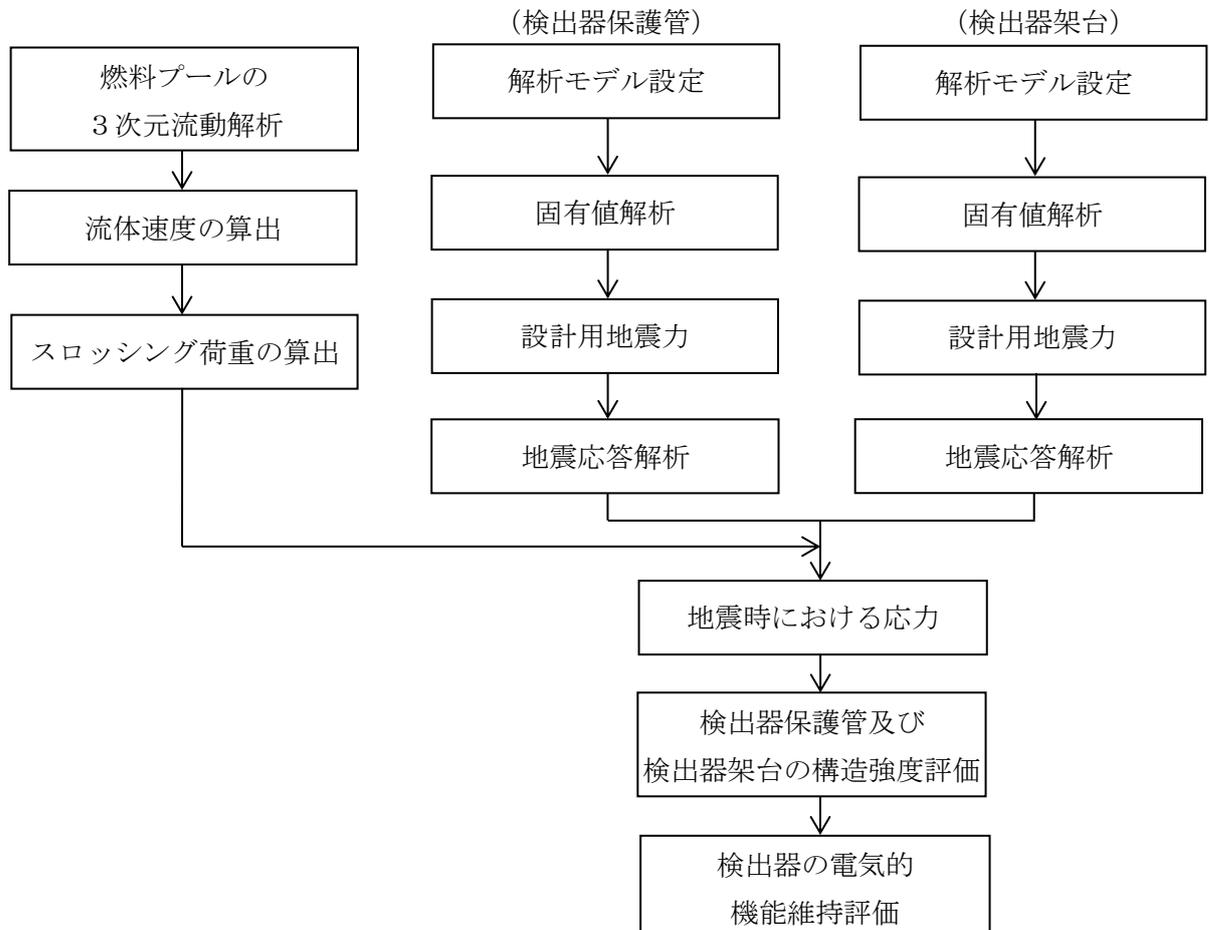


図2-1 燃料プール水位（S A）の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・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
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（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 | 配管（検出器保護管）外半径 | mm |
| A_b | 基礎ボルトの軸断面積 | mm ² |
| A_p | 検出器保護管の軸断面積 | mm ² |
| A_s | スロッシングにおける検出器保護管の投影面積 | mm ² |
| C_d | 検出器保護管の抗力係数 | — |
| C_H | 水平方向設計震度 | — |
| C_V | 鉛直方向設計震度 | — |
| d_1 | 基礎ボルトの呼び径 | mm |
| d_o | 検出器保護管外径 | mm |
| d_i | 検出器保護管内径 | mm |
| d_r | 検出器芯棒外径 | mm |
| E | 縦弾性係数 | MPa |
| F | 設計・建設規格SSB-3131に定める値 | MPa |
| F^* | 設計・建設規格SSB-3133に定める値 | MPa |
| F_b | 基礎ボルトに作用する引張力（1本当たり） | N |
| F_s | スロッシングにより検出器保護管に生じる抗力 | N |
| F_x | 検出器保護管取付部における水平方向荷重 | N |
| F_{x1} | 地震力における水平方向荷重 | N |
| F_{x11} | 地震力におけるX方向荷重 | N |
| F_{x12} | 地震力におけるY方向荷重 | N |
| F_{x2} | スロッシングにおける水平方向荷重 | N |
| F_{x21} | スロッシングにおけるX方向荷重 | N |
| F_{x22} | スロッシングにおけるY方向荷重 | N |
| F_y | 検出器保護管取付部における鉛直方向荷重 | N |
| F_{xB} | 検出器保護管取付部に作用する力（水平方向） | N |
| F_{yB} | 検出器保護管取付部に作用する力（鉛直方向） | N |
| f_{sb} | せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 | MPa |
| f_{to} | 引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力 | MPa |
| f_{ts} | 引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力（許容組合せ応力） | MPa |
| g | 重力加速度(=9.80665) | m/s ² |
| h_1 | 検出器架台の据付面から重心までの距離 | mm |
| h_2 | 検出器保護管取付部から検出器架台の重心までの鉛直方向距離 | mm |
| l_{11} | 検出器架台の重心と基礎ボルト間の水平方向距離*1 | mm |
| l_{12} | 検出器架台の重心と基礎ボルト間の水平方向距離*1 | mm |
| l_{21} | 検出器架台の重心と基礎ボルト間の水平方向距離*2 | mm |
| l_{22} | 検出器架台の重心と基礎ボルト間の水平方向距離*2 | mm |
| l_b | 検出器保護管取付部中心から重心までの水平方向距離 | mm |
| l_p | 検出器保護管長さ | mm |
| M_x | 検出器架台の重心における検出器取付部から作用するモーメント (X軸回り) | N・mm |

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|----------------|---|-------------------|
| M_z | 検出器架台の重心における検出器取付部から作用するモーメント (Z軸回り) | N・mm |
| m_{b1} | 検出器架台質量 | kg |
| m_{b2} | 検出器架台梁質量 | kg |
| m_p | 検出器保護管質量 | kg |
| m_w | 検出器保護管内包水質量 | kg |
| n | 基礎ボルトの本数 | — |
| n_f | 評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数 | — |
| Q_b | 基礎ボルトに作用するせん断力 | N |
| 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 |
| $S_y (RT)$ | 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値 | MPa |
| t | 検出器保護管の厚さ | mm |
| V | スロッシングによる流速 | m/s |
| γ | 低減係数 | — |
| π | 円周率 | — |
| σ_b | 基礎ボルトに生じる引張応力 | MPa |
| σ_p | 検出器保護管に生じる曲げ応力 | MPa |
| σ_{p1} | 地震力における曲げ応力 | MPa |
| σ_{p11} | 地震力における軸応力 | MPa |
| σ_{p12} | 地震力における組合せ応力 | MPa |
| σ_{p2} | スロッシングにおける曲げ応力 | MPa |
| σ_{p3} | 自重における軸応力 | MPa |
| τ_b | 基礎ボルトに生じるせん断応力 | MPa |
| ρ | 水の密度 | kg/m ³ |
| ρ_0 | 検出器保護管材の密度 | kg/m ³ |
| ν | ポアソン比 | — |
| X | NS方向 | — |
| Y | 鉛直方向 | — |
| Z | EW方向 | — |

注記*1：図5-3参照

*2：図5-2参照

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表2-2に示すとおりである。

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 | 切上げ | 小数点以下第2位 |
| 温度 | ℃ | — | — | 整数位 |
| 質量 | kg | — | — | 整数位 ^{*1} |
| 長さ | 下記以外の長さ | mm | — | 整数位 ^{*1} |
| | 部材断面寸法 | mm | 小数点以下第2位 ^{*2} | 四捨五入 小数点以下第1位 ^{*3} |
| 面積 | mm ² | 有効数字5桁目 | 四捨五入 | 有効数字4桁 ^{*4} |
| モーメント | N・mm | 有効数字5桁目 | 四捨五入 | 有効数字4桁 ^{*4} |
| 力 | N | 有効数字5桁目 | 四捨五入 | 有効数字4桁 ^{*4} |
| 縦弾性係数 | MPa | 有効数字4桁目 | 四捨五入 | 有効数字3桁 |
| 算出応力 | MPa | 小数点以下第1位 | 切上げ | 整数位 |
| 許容応力 ^{*5} | 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以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：設計上定める値が小数点以下第3位の場合は、小数点以下第3位表示とする。

*3：設計上定める値が小数点以下第2位の場合は、小数点以下第2位表示とする。

*4：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*5：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

燃料プール水位（S A）の耐震評価は、検出器保護管の [] を考慮し、検出器保護管と検出器架台についてそれぞれ評価を行う。検出器保護管については、「4. 検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価」に示す条件に基づき評価を実施する。また、検出器架台については、「5. 検出器架台の地震応答解析及び構造強度評価」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて評価を実施する。燃料プール水位（S A）の耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価

4.1 検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 地震応答解析時の検出器保護管の質量には、検出器保護管自身の質量のほか、検出器保護管に含まれる水の質量及び検出器保護管外形の付加質量*を考慮する。また、精緻に評価するため、排除水質量（水中に設置される機器が排除する水の質量）の減算を考慮する。
- (2) 地震力は、検出器保護管に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。
- (3) スロッシング荷重は、検出器保護管に対して水平方向から作用させる。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

注記*：付加質量とは、機器が流体中で加速度を受けた場合に質量が増加したような効果を模擬した、機器の形状により定まる仮想質量をいう。

4.2 検出器保護管の荷重の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

検出器保護管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 検出器保護管の許容応力

検出器保護管の評価に用いる許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-2に示す。

4.2.3 検出器保護管の使用材料の許容応力評価条件

検出器保護管の使用材料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。

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 | 許容応力状態 |
|--------------------------|---------------|-------------|----------------|--------|----------------------------------|--|
| 核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設 | 使用済燃料 貯蔵設備 | 燃料プール水位（SA） | 常設／防止 常設／緩和 | —*2 | $D + P_D + M_D + S_s$ *3 *4 | IV _A S |
| | | | | | $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ *4 | 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／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：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。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

*4：地震荷重にはプール水のスロッシングによる荷重を含む。

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 ^{*1, *2} (ボルト等以外) |
| | 一次応力 |
| | 引張 |
| IV_{AS} | $1.5 \cdot f_t^*$ |
| V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の 許容限界を用いる。) | |

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

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）

| 評価部材 | 材料 | 温度条件 (°C) | S_y^* (MPa) | S_u (MPa) | $S_y(RT)$ (MPa) |
|--------|----|--------------|------------------|----------------|--------------------|
| 検出器保護管 | | 周囲環境温度 | 171 | — | — |

注記*：検出器の電氣的機能維持を考慮し、検出器保護管に生じる応力が弾性範囲内となるように、 S_y を応力評価の許容値とする。

4.3 検出器保護管の解析モデル及び諸元

検出器保護管の解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【燃料プール水位（S A）の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 検出器保護管は、3次元はり要素でモデル化する。
- (2) 拘束条件は、検出器保護管上端の取付部で、
 検出器保護管中間部及び下部サポート点で
 とする。
- (3) 検出器保護管質量は、検出器保護管自身の質量、検出器保護管に含まれる水の質量及び付加質量を考慮
- (4) 解析コードは、「ANSYS」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

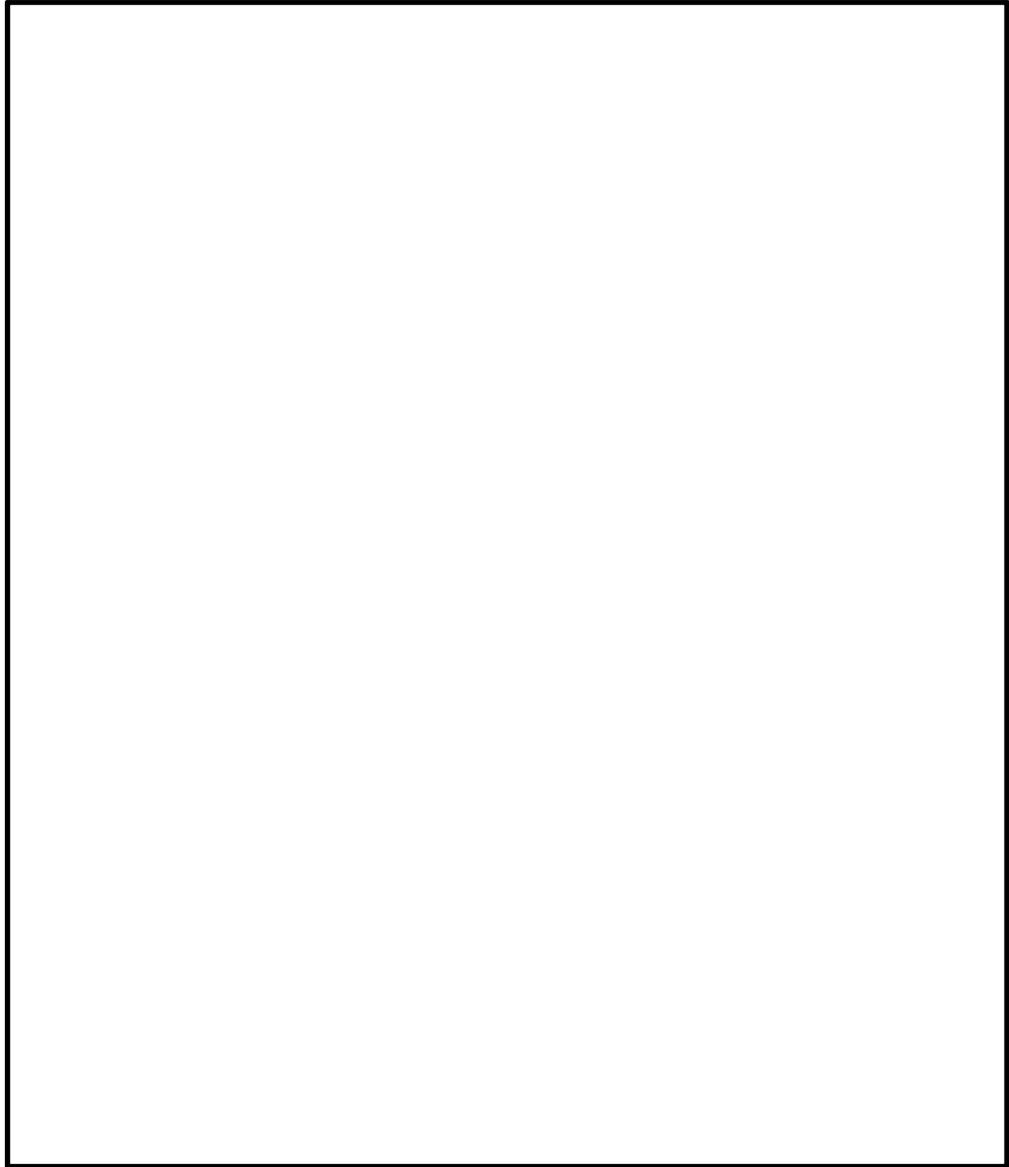


図4-1 検出器保護管の解析モデル

4.4 検出器保護管の固有周期

検出器保護管の固有値解析の結果を表 4-4、振動モード図を図 4-2 に示す。水平方向の固有周期は、0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表4-4 検出器保護管の固有値解析結果

| モード | 卓越方向 | 固有周期 (s) | 水平方向刺激係数* | | 鉛直方向 刺激係数* |
|-----|------|-------------|-----------|-----|---------------|
| | | | X方向 | Z方向 | |
| 1次 | | | | | |
| 2次 | | | | | |
| 3次 | | | | | |
| 4次 | | | | | |

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

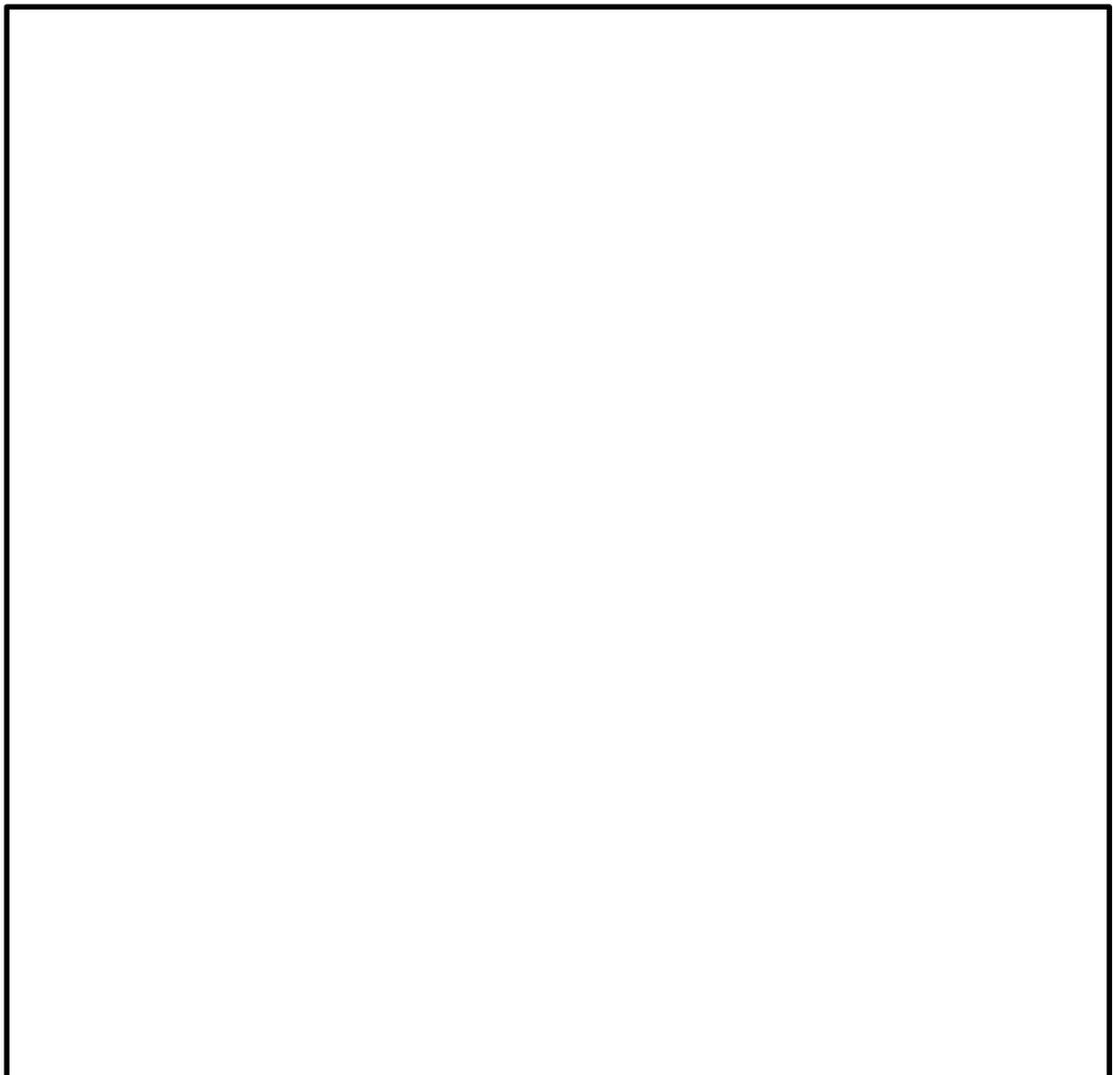


図4-2 検出器振動モード図

4.5 検出器保護管の設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-5 に示す。

「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 4-5 検出器の評価に用いる設計用地震力（重大事故等対処施設）

| | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------|------------|----------------------|-------|--------------------------|
| 据付場所及び床面高さ(m) | | [] EL. 42.80* ¹ | | | | | |
| 固有周期(s) | | 水平：[] | | 鉛直：[] | | | |
| 減衰定数(%) | | 水平：1.0 | | 鉛直：— | | | |
| 地震力 | | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | | | 基準地震動 S _s | | |
| モード* ³ | 固有周期 (s) | 応答水平震度 | | 応答鉛直 震度 | 応答水平震度* ⁴ | | 応答鉛直 震度* ⁴ |
| | | NS 方向 | EW 方向 | | NS 方向 | EW 方向 | |
| 1 次 | [] | — | — | — | [] | | [] |
| 2 次 | | — | — | — | | | |
| 3 次 | | — | — | — | | | |
| 4 次 | | — | — | — | | | |
| 動的震度* ⁵ , * ⁶ | | — | | — | [] | | [] |

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*5：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

4.6 検出器保護管の計算方法

4.6.1 地震力における応力の算出

- (1) 図4-1に示す解析モデルによりスペクトルモーダル解析を実施する。
- (2) スペクトルモーダル解析によりX及びZ方向における各節点の曲げモーメントを算出する。また、X及びZ方向の曲げモーメントは、ベクトル和にて組み合わせる。
- (3) 組み合わせた曲げモーメントを用いて、検出器保護管の水平方向に発生する曲げ応力を算出する。算出結果を表4-6に示す。

表4-6 地震力における曲げ応力

| 曲げ応力 σ_{p1} [MPa] |
|-----------------------------|
| |

- (4) 地震力及び自重により検出器保護管のY方向に発生する軸応力を静的解析により算出する。
- (5) 水平方向の曲げ応力にY方向の軸応力を絶対値和することにより組み合わせる。

4.6.2 スロッシングにおける応力の算出

- (1) スロッシングにおける応力の算出においては、VI-1-1-9-3「溢水評価条件の設定」に示す基準地震動 S_s (S_s-D)による燃料プールの3次元流動解析により得られた流体速度時刻歴データを用いる。
- (2) 流体速度時刻歴データより、水平方向における水深ごとの最大流速を用い、検出器保護管に生じる抗力を算出する。
- (3) 抗力の算出には以下の式を用い、抗力係数 C_d は機械工学便覧 日本機械学会編 (2007)より検出器保護管が円柱形状であるため1.2とする。

$$F_s = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot A_s \cdot V^2$$

- (4) 算出されたスロッシングによるX及びZ方向の曲げモーメントはベクトル和にて組み合わせる。
- (5) 組み合わせた曲げモーメントを用いて、検出器保護管に発生する曲げ応力を算出する。曲げ応力の算出結果を表4-7示す。

表4-7 スロッシングにおける曲げ応力

| スロッシングにおける曲げ応力 σ_{p2} [MPa] |
|---------------------------------------|
| |

4.6.3 地震力及びスロッシングによる応力の算出

地震力及びスロッシングによる発生応力を絶対値和することにより、燃料プール水位（S A）検出器保護管に生じる曲げ応力を算出する。算出結果を表4-8に示す。

表4-8 検出器保護管に生じる曲げ応力

| 曲げ応力 σ_p [MPa] |
|--------------------------|
| |

4.7 検出器保護管の計算条件

応力解析に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール水位（S A）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 検出器保護管の応力の評価

検出器の電氣的機能維持を考慮し、4.6.3項で求めた検出器保護管に生じる応力が、表4-2に示す許容応力 $1.5 \cdot ft^*$ よりも保守的で、弾性範囲内となる使用材料の設計降伏点 S_y 以下であることを確認する。

5. 検出器架台の地震応答解析及び構造強度評価

5.1 検出器架台の地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 固有値解析は3次元FEMモデルによる評価を実施し、基礎ボルトの耐震計算は1質点系による評価を実施する。
- (2) 地震力は、水平方向及び鉛直方向から作用させる。
- (3) 検出器架台の質量は、重心に集中させる。
- (4) 検出器架台の重心位置については、計算条件が厳しくなる位置に重心を設定する。
- (5) 検出器架台の転倒方向は、図5-2及び図5-3に示す左右方向及び前後方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう）を記載する。
- (6) 「4.6 検出器保護管の計算方法」に示す検出器保護管の解析により得られた検出器保護管取付部における荷重を、基礎ボルトの応力計算において組み合わせて評価する。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 検出器架台の荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

検出器架台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。

5.2.2 検出器架台の許容応力

検出器架台の評価に用いる許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表5-1に示す。

5.2.3 検出器架台の使用材料の許容応力評価条件

検出器架台の使用材料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5-2に示す。

表 5-1 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 ^{*1, *2} (ボルト等) | |
| | 一次応力 | |
| | 引張 | せん断 |
| IV _A S | 1.5・f _t [*] | 1.5・f _s [*] |
| V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。) | | |

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の
応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-2 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

| 評価部材 | 材料 | 温度条件 (°C) | S _y (MPa) | S _u (MPa) | S _y (RT) (MPa) | F [*] (MPa) |
|-------|----|--------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|
| 基礎ボルト | | 周囲環境温度 | 176 | 476 | 205 | 205 |

5.3 検出器架台の解析モデル及び諸元

検出器架台の固有値解析モデルを図 5-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【燃料プール水位（S A）の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 燃料プール水位（S A）検出器架台は、3次元はり要素及びシェル要素でモデル化する。
- (2) 拘束条件として、基礎ボルト位置をXYZ方向並進及び回転を固定とする。
- (3) 解析コードは、「STAAD. Pro」を使用し、固有値を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



図 5-1 検出器架台の解析モデル

5.4 検出器架台の固有周期

検出器架台の固有値解析の結果を表 5-3 に示す。

1 次モードは [] 方向に卓越し、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。また、 [] 方向は 2 次モード以降で卓越し、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表5-3 検出器架台の固有値解析結果

| モード | 固有周期 (s) | 卓越方向 |
|-----|----------|------|
| 1次 | | |
| 2次 | | |

5.5 検出器架台の設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 5-4 検出器架台の評価に用いる設計用地震力（重大事故等対処施設）

| 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 | | 基準地震動 S_s | |
|---------------------------|----------|----------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | 水平 方向 | 鉛直 方向 | 水平方向 設計震度 | 鉛直方向 設計震度 | 水平方向 設計震度 | 鉛直方向 設計震度 |
| EL. 42.80* ¹ | | | — | — | | |

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

5.6 検出器架台の計算方法

5.6.1 地震力における応力の算出

- (1) 検出器保護管の地震応答解析により得られた検出器保護管取付部におけるX及びZ方向の荷重を用いる。
- (2) 地震力及びスロッシングにおける
 水平方向荷重を算出する。算出結果を表5-5及び表5-6に示す。

表5-5 地震力における水平方向荷重

| X方向荷重 F_{x11} [N] | Z方向荷重 F_{x12} [N] | 水平方向荷重 F_{x1} [N] |
|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | |

表5-6 スロッシングにおける水平方向荷重

| X方向荷重 F_{x21} [N] | Z方向荷重 F_{x22} [N] | 水平方向荷重 F_{x2} [N] |
|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | |

- (3) 地震力における水平方向荷重及びスロッシングにおける水平方向荷重の
 することにより、検出器保護管取付部における水平方向荷重を算出する。
- (4) 検出器保護管は

 算出する。検出器保護管取付部における荷重の算出結果を表5-7に示す。

表5-7 検出器保護管取付部における荷重

| 水平方向荷重 F_x [N] | 鉛直方向荷重 F_y [N] |
|---------------------|---------------------|
| 1.656×10^3 | 6.655×10^3 |

5.6.2 基礎ボルトの計算方法

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図5-2及び図5-3で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力 (F_b)

左右方向

$$F_b = \frac{m_{b1} \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m_{b1} \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_{21} + M_x}{n_f \cdot (\ell_{21} + \ell_{22})} \dots\dots\dots (5.2.4.2.1)$$

前後方向

$$F_b = \frac{m_{b1} \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m_{b1} \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_{12} + M_z}{n_f \cdot (\ell_{11} + \ell_{12})} \dots\dots\dots (5.2.4.2.2)$$

ここで、水平及び鉛直方向の検出器保護管取付部に作用する力F_{xB}及びF_{yB}は次式で求める。

$$F_{xB} = C_H \cdot g \cdot m_{b2} + F_x \dots\dots\dots (5.2.4.2.3)$$

$$F_{yB} = (C_V - 1) \cdot g \cdot m_{b2} + F_y \dots\dots\dots (5.2.4.2.4)$$

また、検出器架台の重心における検出器保護管取付部から作用するX軸及びZ軸周りのモーメントM_x及びM_zは次式で求める。

$$M_x = F_{yB} \cdot \ell_{21} + F_{xB} \cdot (h_1 + h_2) \dots\dots\dots (5.2.4.2.5)$$

$$M_z = F_{yB} \cdot (\ell_b + \ell_{12}) + F_{xB} \cdot (h_1 + h_2) \dots\dots\dots (5.2.4.2.6)$$

引張応力 (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.2.4.2.7)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式で求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.2.4.2.8)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力 (Q_b)

$$Q_b = m_{b1} \cdot g \cdot C_H + F_{xB} \dots\dots\dots (5.2.4.2.9)$$

せん断応力 (τ_b)

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.2.4.2.10)$$

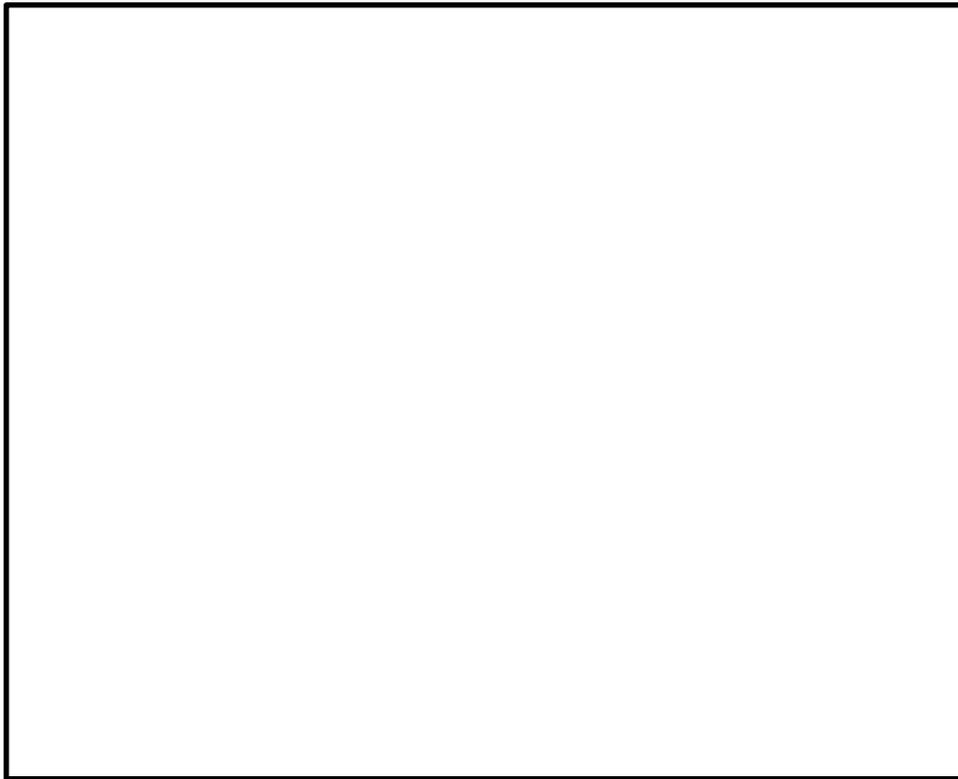


図 5-2 計算モデル (左右方向転倒)

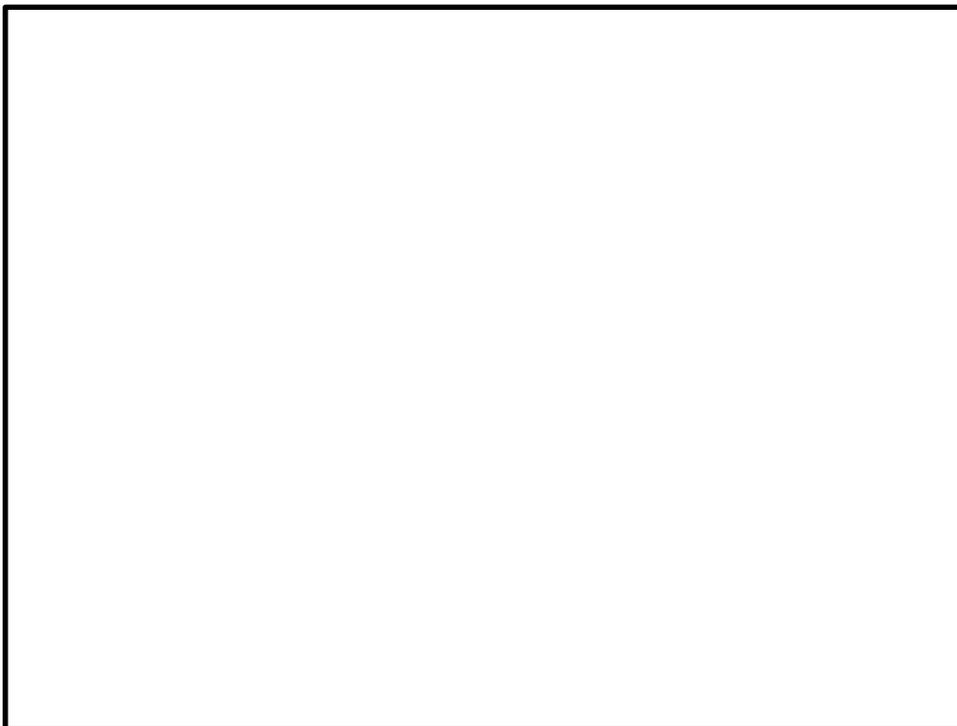


図 5-3 計算モデル (前後方向転倒)

5.7 検出器架台の計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール水位（S A）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

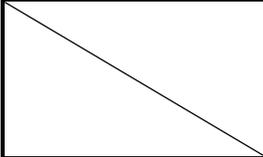
5.8 検出器架台の応力の評価

5.8.1 基礎ボルトの応力評価

5.6.2項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は、次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.2.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

| | |
|--|--|
|  | 基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合 |
| 許容引張応力 f_{to} | $\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$ |
| 許容せん断応力 f_{sb} | $\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$ |

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

燃料プール水位（S A）の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

燃料プール水位（S A）は、電氣信号を伝搬する機能のみであり、検出器保護管が変形・破損しなければ、その機能を維持できる。したがって、燃料プール水位（S A）の機能維持評価は、検出器保護管に生じる応力が、弾性範囲内となる使用材料の設計降伏点 S_y 以下であることの確認により行う。

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

燃料プール水位（S A）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、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的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

構造強度評価の結果をもって評価に代える。

【燃料プール水位（S A）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 検出器保護管

1.1.1 設計条件

| 機 器 名 称 | 設備分類 | 据付場所及び床面高さ (m) | 弾性設計用地震動 S d 又は静的震度 | | 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 | 水平方向 設計震度 | 鉛直方向 設計震度 | |
| 燃料プール水位 (S A) | 常設/防止 常設/緩和 | □ EL. 42.80*1 | — | — | | | |

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*3：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

1.1.2 機器要目

| 部 材 | 材料 | m _p (kg) | m _w (kg) | d _o (mm) | d _i (mm) | d _r (mm) | ℓ _p (mm) | S _y (MPa) | S _u (MPa) | F (MPa) | F* (MPa) | E (MPa) | ν |
|--------|----|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|-------------|------------|-----|
| 検出器保護管 | | | | | | | | 171 | — | — | — | | 0.3 |

1.1.3 固有周期

| モード | 固有周期 | 卓越方向 |
|-----|------|------|
| 1次 | | |
| 2次 | | |
| 3次 | | |
| 4次 | | |

1.1.4 計算数値

(単位：MPa)

1.1.4.1 検出器保護管に生じる応力

| 方向 | 地震による曲げ応力 | 地震による軸応力 | スロッシングによる曲げ応力 | 自重による軸応力 | 検出器保護管に生じる曲げ応力 | 検出器保護管に生じる組合せ応力 |
|------|-----------|----------|---------------|----------|----------------|-----------------|
| X方向 | | | | | | |
| Y方向 | | | | | | |
| Z方向 | | | | | | |
| 水平方向 | | | | | | |
| 3方向 | | | | | | |

1.2 検出器架台

1.2.1 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 | | 基準地震動 S s | | 周囲環境温度 (°C) |
|------------------|----------------|-------------------|------------|------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| | | | 水平方向 | 鉛直方向 | 水平方向 設計震度 | 鉛直方向 設計震度 | 水平方向 設計震度 | 鉛直方向 設計震度 | |
| 燃料プール水位 (S A) | 常設/防止 常設/緩和 | EL. 42.80*1 | 0.05 以下 | 0.05 以下 | — | — | | | |

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (基準地震動 S s) を上回る設計震度

1.2.2 機器要目

| m_{b1} (kg) | m_{b2} (kg) | h_1 (mm) | h_2 (mm) | l_{11}^* (mm) | l_{12}^* (mm) | l_{21}^* (mm) | l_{22}^* (mm) | l_b (mm) | A_b (mm ²) | n | n_f |
|------------------|------------------|---------------|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------|-----------------------------|---|-------|
| | | | | | | | | | | | 1 |

注記*: 前後左右方向転倒に対する評価時の要目を示す。

| 部材 | 材料 | S_y (MPa) | S_u (MPa) | F (MPa) | F* (MPa) | 転倒方向 | |
|-------|----|----------------|----------------|------------|-------------|------------------------|--------------|
| | | | | | | 弾性設計用地震動 S d 又は静的震度 | 基準地震動 S s |
| 基礎ボルト | | 176 | 476 | — | 205 | — | 前後方向 |

| 部材 | 材料 | T (°C) | E (MPa) | ν |
|-------|----|-----------|------------|-------|
| 検出器架台 | | | | 0.3 |

1.2.3 計算数値

1.2.3.1 検出器保護管取付部における荷重 (単位：N)

| 方向 | 地震における荷重 | スロッシングにおける荷重 | 検出器保護管取付部 における荷重 |
|------|----------|--------------|---------------------|
| X方向 | | | |
| Z方向 | | | |
| 水平方向 | | | |
| 鉛直方向 | | | |

1.2.3.2 基礎ボルトに作用する力 (単位：N)

| 部 材 | F_{xB} | | F_{yB} | | F_b | | Q_b | |
|-------|------------------------|--------------|------------------------|--------------|------------------------|--------------|------------------------|--------------|
| | 弾性設計用地震動 S d 又は静的震度 | 基準地震動 S s |
| 基礎ボルト | — | | — | | — | | — | |

1.2.3.3 基礎ボルトに作用するモーメント (単位：N・mm)

| 部 材 | M_x | | M_z | |
|-------|------------------------|--------------|------------------------|--------------|
| | 弾性設計用地震動 S d 又は静的震度 | 基準地震動 S s | 弾性設計用地震動 S d 又は静的震度 | 基準地震動 S s |
| 基礎ボルト | — | | — | |

1.3 結論

1.3.1 燃料プール水位（S A）の応力

（単位：MPa）

| 部材 | 材料 | 応力 | 弾性設計用地震動 S d 又は静的震度 | | 基準地震動 S s | |
|--------|----|-----|---------------------|------|-----------|------|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 検出器保護管 | | 曲げ | — | — | | |
| | | 組合せ | — | — | | |
| 基礎ボルト | | 引張 | — | — | | |
| | | せん断 | — | — | | |

注記*1: $f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

*2: 検出器の電氣的機能維持を考慮し、検出器保護管に生じる応力が弾性範囲内となるように、 S_y を応力評価の許容値とする。

すべて許容値応力以下である。

