

| | |
|-------------------|---------------------|
| 島根原子力発電所第2号機 審査資料 | |
| 資料番号 | NS2-添 2-004-03 改 04 |
| 提出年月日 | 2023年3月3日 |

VI-2-4-2-2 使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算書

2023年3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. 地震応答解析及び構造強度評価 | 8 |
| 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法 | 8 |
| 4.2 荷重の組合せ及び許容応力 | 11 |
| 4.3 解析モデル及び諸元 | 15 |
| 4.4 固有周期 | 17 |
| 4.5 設計用地震力 | 18 |
| 4.6 計算方法 | 19 |
| 4.7 計算条件 | 25 |
| 4.8 応力の評価 | 25 |
| 5. 評価結果 | 26 |
| 5.1 設計基準対象施設としての評価結果 | 26 |
| 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 | 26 |
| 別添 解析モデルの寸法 | 39 |

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の設計方針に基づき、使用済燃料貯蔵ラック（以下「ラック」という。）が設計用地震力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。

ラックは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、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、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ラックの構造計画を表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>ラックは、たて置形で原子炉建物の燃料プール床に置かれた共通ベース上に設置され、ラック取付ボルトで固定されている。 共通ベースは基礎ボルトで燃料プール床に固定されている。</p> | <p>たて置きラック式 (ボロン添加ステンレス鋼製板構造) ラック本体の板部は、大板と幅狭板(小板)を交互に組み合わせた板構造となっている。</p> | <p>概略構造図</p> <p>Bから見る</p> <p>Aから見る</p> <p>アンカー部概略構造図</p> <p>(大板)</p> <p>使用済燃料貯蔵ラック</p> <p>板</p> <p>使用済燃料貯蔵ラック</p> <p>シートプレート</p> <p>ラックベース</p> <p>ラック取付ボルト</p> <p>基礎ボルト</p> <p>燃料プール床</p> <p>共通ベース</p> <p>機器用金物</p> <p>埋込ボルト</p> <p>アンカー部</p> <p>ラックベース</p> <p>(ベース部断面)</p> <p>Aから見る</p> <p>(幅狭板 (小板))</p> <p>シートプレート</p> <p>A</p> <p>(単位 : mm)</p> |

2.2 評価方針

ラックの応力評価は、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」にて示すラックの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 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に収まることを、「4. 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。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

ラックの耐震評価フローを図2-1に示す。

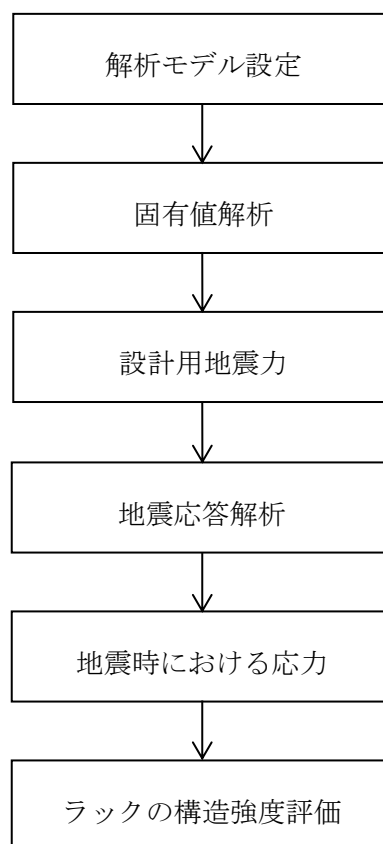


図2-1 ラックの耐震評価フロー

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 b | ラック取付ボルト又は基礎ボルトの軸断面積 | mm ² |
| C _H | 水平方向設計震度 | — |
| C _V | 鉛直方向設計震度 | — |
| d | ラック取付ボルト又は基礎ボルトの呼び径 | mm |
| E | 縦弾性係数 | MPa |
| F | 設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値 | MPa |
| F* | 設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値 | MPa |
| F _{a i} | ラックベース底部に働くせん断力* ¹ | N |
| F _{b i} | 共通ベース底部に働くせん断力* ¹ | N |
| F _{c i} | 143 体ラックベース底部に働くせん断力* ¹ | N |
| F _{d i} | 144 体ラックベース底部に働くせん断力* ¹ | N |
| f _{j i} | ラック取付ボルト又は基礎ボルトに働く引張力 (1 本当たり) * ¹ , * ² | N |
| f _{s m} | 部材の許容せん断応力 | MPa |
| f _{s b} | せん断力のみを受けるラック取付ボルト又は基礎ボルトの許容せん断応力 | MPa |
| f _{t m} | 部材の許容引張応力 | MPa |
| f _{t o} | 引張力のみを受けるラック取付ボルト又は基礎ボルトの許容引張応力 | MPa |
| f _{t s} | 引張力とせん断力を同時に受けるラック取付ボルト又は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 | 共通ベース高さ | mm |
| l _{g i} | ラックベース端から重心まで又は共通ベース端の支点部から重心までの距離* ¹ | mm |
| l _{j i} | ラックベース端からラック取付ボルトまで又は共通ベース端の支点部から基礎ボルトまでの距離* ¹ , * ² | mm |
| M _{a i} | ラックベース底部の転倒モーメント* ¹ | N・mm |
| M _{b i} | 共通ベース底部の転倒モーメント* ¹ | N・mm |
| M _{c i} | 143 体ラックベース底部の転倒モーメント* ¹ | N・mm |
| M _{d i} | 144 体ラックベース底部の転倒モーメント* ¹ | N・mm |
| M _{e i} | 143 体ラックのせん断力による共通ベース底部の転倒モーメント* ¹ | N・mm |
| M _{f i} | 144 体ラックのせん断力による共通ベース底部の転倒モーメント* ¹ | N・mm |

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|----------------------|---|------|
| M t i | ラック据付時の全体の転倒モーメント*1 | N・mm |
| m a | 使用済燃料貯蔵時のラック全質量 | kg |
| m a t h | ラックの排除水質量*3 | kg |
| m b | 共通ベースの全質量 | kg |
| m b t | 共通ベースの質量 | kg |
| m b t h | 共通ベースの排除水質量*3 | kg |
| m c | 143 体ラックの全質量 | kg |
| m c t | 使用済燃料貯蔵時の 143 体ラックの質量 | kg |
| m c t h | 143 体ラックの排除水質量*3 | kg |
| m d | 144 体ラックの全質量 | kg |
| m d t | 使用済燃料貯蔵時の 144 体ラックの質量 | kg |
| m d t h | 144 体ラックの排除水質量*3 | kg |
| m F | 使用済燃料の質量 | kg |
| m R | ラックの質量 | kg |
| m t | ラック据付時の共通ベースの全質量 | kg |
| m w | ラックに含まれる水の質量 | kg |
| n | ラック取付ボルト又は基礎ボルトの全本数 | — |
| n j i | ラック取付ボルト又は基礎ボルト各部の本数*1, *2 | — |
| 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 T) | 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 | 部材の板厚 | mm |
| v | ポアソン比 | — |
| π | 円周率 | — |
| σ_b | ラック取付ボルト又は基礎ボルトに生じる引張応力 | MPa |
| σ_x, σ_y | 部材に生じる引張応力 | MPa |
| σ_{fa} | 部材に生じる組合せ応力 | MPa |
| τ_b | ラック取付ボルト又は基礎ボルトに生じるせん断応力 | MPa |
| τ_{xy} | 部材に生じるせん断応力 | MPa |

注記*1: $F_{ai}, F_{bi}, F_{ci}, F_{di}, f_{ji}, l_{gi}, l_{ji}, M_{ai}, M_{bi}, M_{ci}, M_{di},$
 M_{ei}, M_{fi}, M_{ti} 及び n_{ji} の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

i = N : NS 方向

i = E : EW 方向

*2 : f_{ji} , l_{ji} 及び n_{ji} の添字 j はボルトの列番号を示す。

*3 : 排除水質量とは、機器が流体中にある場合に、機器が排除する流体の質量であり、ラック及び共通ベースの質量として考慮する、使用済燃料、ラック及び共通ベース自身、ラックに含まれる水が占める体積分の水に相当する質量を示す。

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 | 切上げ | 小数点以下第 2 位 |
| 温度 | °C | — | — | 整数位 |
| 質量 | kg | — | — | 整数位 |
| 長さ | mm | — | — | 整数位*1 |
| 面積 | mm ² | 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 |
| 力 | N | 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以下第 1 位又は第 2 位の場合は、小数点以下第 1 位又は第 2 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

ラックの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる板、シートプレート、ラックベース、ラック取付ボルト及び基礎ボルトについて実施する。なお、ラックの種類としては、貯蔵体数及び配列の異なる 100 体ラック、110 体ラック、120 体ラック、130 体ラック、132 体ラック、143 体ラック及び 144 体ラックがあるが、この中で許容応力に対する裕度が一番小さくなる 143 体ラックについて記載する。ラック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. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) ラックは、原子炉建物の燃料プールの底部(EL 30.83m)に置かれた共通ベース上に設置され、ラック取付ボルトにより固定されるものとする。
- (2) 地震応答解析時のラックの質量には、使用済燃料の質量とラック自身の質量のほか、ラックに含まれる水の質量及びラック外形の付加質量*を考慮する。
- (3) 構造強度評価時のラックの質量は、使用済燃料の質量とラック自身の質量のほか、ラックに含まれる水の質量とする。また、更に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。
- (4) 地震力は、ラックに対して水平方向及び鉛直方向から作用させる。
ここで、水平方向地震力は、ラックの長辺方向に作用する場合と短辺方向に作用する場合を考慮する。
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、S R S S法を適用する。
- (5) 構造概要図(143体ラック)を図4-1に、全体組立図(143, 144体ラック)を図4-2に示す。
- (6) 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。

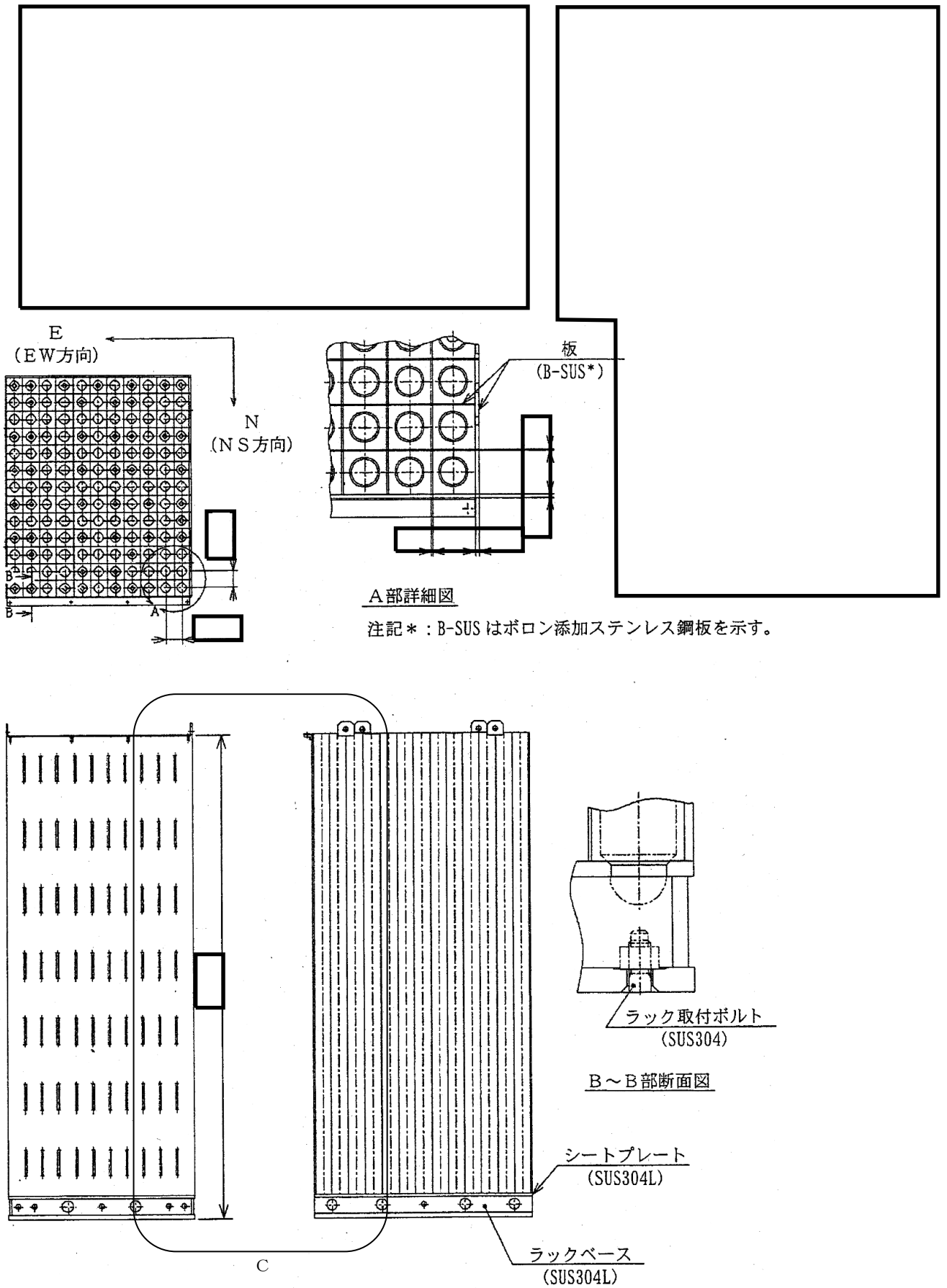


図4-1 構造概要図 (143体ラック) (単位: mm)

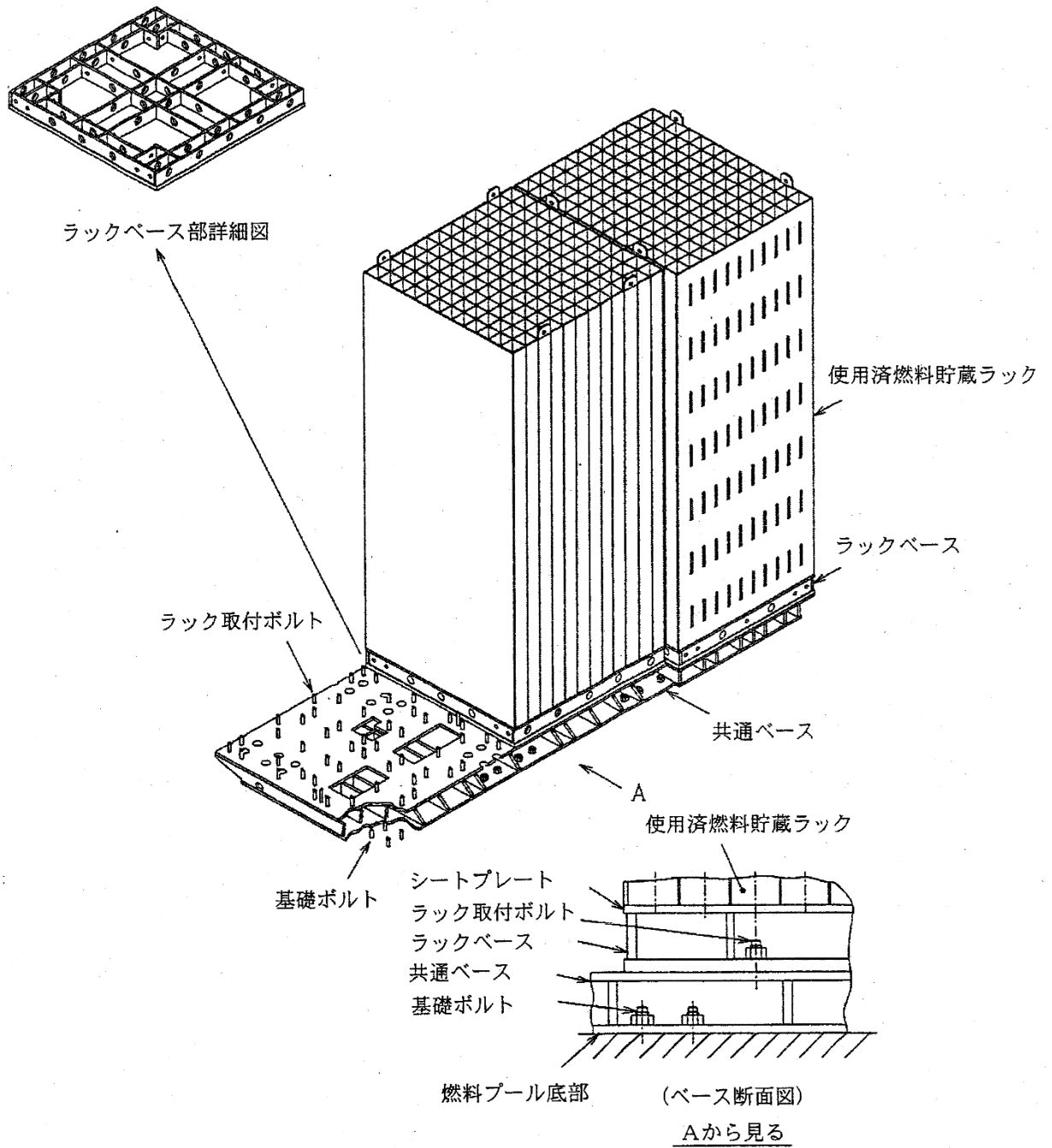


図 4-2 全体組立図 (143, 144 体ラック)

4.2 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

ラックの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-2に示す。

4.2.2 許容応力

ラックの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-3に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ラックの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-4に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-5に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

| 施設区分 | | 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 |
|----------------------|-------|-------|---------|--------|-------------------------|------------------|
| 核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設 | 使用済燃料 | 使用済燃料 | S | —* | $D + P_D + M_D + S_d^*$ | Ⅲ _A S |
| | 貯蔵設備 | 貯蔵ラック | | | $D + P_D + M_D + S_s$ | Ⅳ _A S |

注記*：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。

表 4-2 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 | 使用済燃料 貯蔵ラック | 常設耐震／防止 常設／緩和 | —* ² | $D + P_D + M_D + S_s^{*3}$ | Ⅳ _A S |
| | | | | | $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ | V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの 許容限界を用いる。) |

注記*1：「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：重大事故等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。

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物及び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) | | 許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等) | |
|---|------------------------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------|
| | 一次応力 | | 一次応力 | |
| | 引張 | せん断 | 引張 | せん断 |
| Ⅲ _A S | $1.5 \cdot f_t$ | $1.5 \cdot f_s$ | $1.5 \cdot f_t$ | $1.5 \cdot f_s$ |
| Ⅳ _A S | $1.5 \cdot f_t^*$ | $1.5 \cdot f_s^*$ | $1.5 \cdot f_t^*$ | $1.5 \cdot f_s^*$ |
| 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4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

| 評価部材 | 材料 | 温度条件 (°C) | | S (MPa) | S _y (MPa) | S _u (MPa) | S _y (RT) (MPa) |
|-------------------|--------------|--------------|----|------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|
| | | 周囲環境温度 | | | | | |
| 板 | ボロン添加ステンレス鋼板 | 周囲環境温度 | 66 | — | 188 * | 479 * | 205 * |
| シートプレート ラックベース | SUS304L | 周囲環境温度 | 66 | — | 160 | 443 | 175 |
| ラック取付ボルト 基礎ボルト | SUS304 | 周囲環境温度 | 66 | — | 188 | 479 | 205 |

注記*：ボロン添加ステンレス鋼板のS_y、S_uの値は、SUS304の規格値を上回っているが、安全側の評価とするため、SUS304の値を使用する。

表4-5 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 (MPa) | S _y (MPa) | S _u (MPa) | S _y (RT) (MPa) |
|-------------------|--------------|--------------|-----|------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|
| | | 周囲環境温度 | | | | | |
| 板 | ボロン添加ステンレス鋼板 | 周囲環境温度 | 100 | — | 171 * | 441 * | 205 * |
| シートプレート ラックベース | SUS304L | 周囲環境温度 | 100 | — | 145 | 408 | 175 |
| ラック取付ボルト 基礎ボルト | SUS304 | 周囲環境温度 | 100 | — | 171 | 441 | 205 |

注記*：ボロン添加ステンレス鋼板のS_y、S_uの値は、SUS304の規格値を上回っているが、安全側の評価とするため、SUS304の値を使用する。

4.3 解析モデル及び諸元

ラックの解析モデルを図4-3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【使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) ラックはシェル要素を用いた有限要素モデルとする。
- (2) ラックはラックベース底部でラック取付ボルトを介し共通ベースに固定されている。共通ベースは剛構造であるため、解析モデルはラック単体をモデル化する。なお、ラック取付ボルト部は剛体として評価する。
- (3) ラックの質量には使用済燃料の質量、ラック自身の質量、ラックに含まれる水の質量及び付加質量を考慮し、これら使用済燃料、ラックに含まれる水の質量及び付加質量は板全長にわたって等分布に与える。
- (4) 本ラックに使用するボロン添加ステンレス鋼板のボロン添加量は であり、ボロン添加ステンレス鋼板の縦弾性係数はボロン添加量の増加に従って漸増する傾向にあるため、縦弾性係数は固有周期が大きくなる側となるボロン添加量の下限の値を用いるものとする。また、前記のうちラックの幅狭板（小板）については、断続溶接による剛性の低下を精緻化するため、更に縦弾性係数の値を補正し解析モデルに反映する。
- (5) 固有値、荷重及び部材の応力は、解析コード「SAP-IV」を用いて求める。

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。

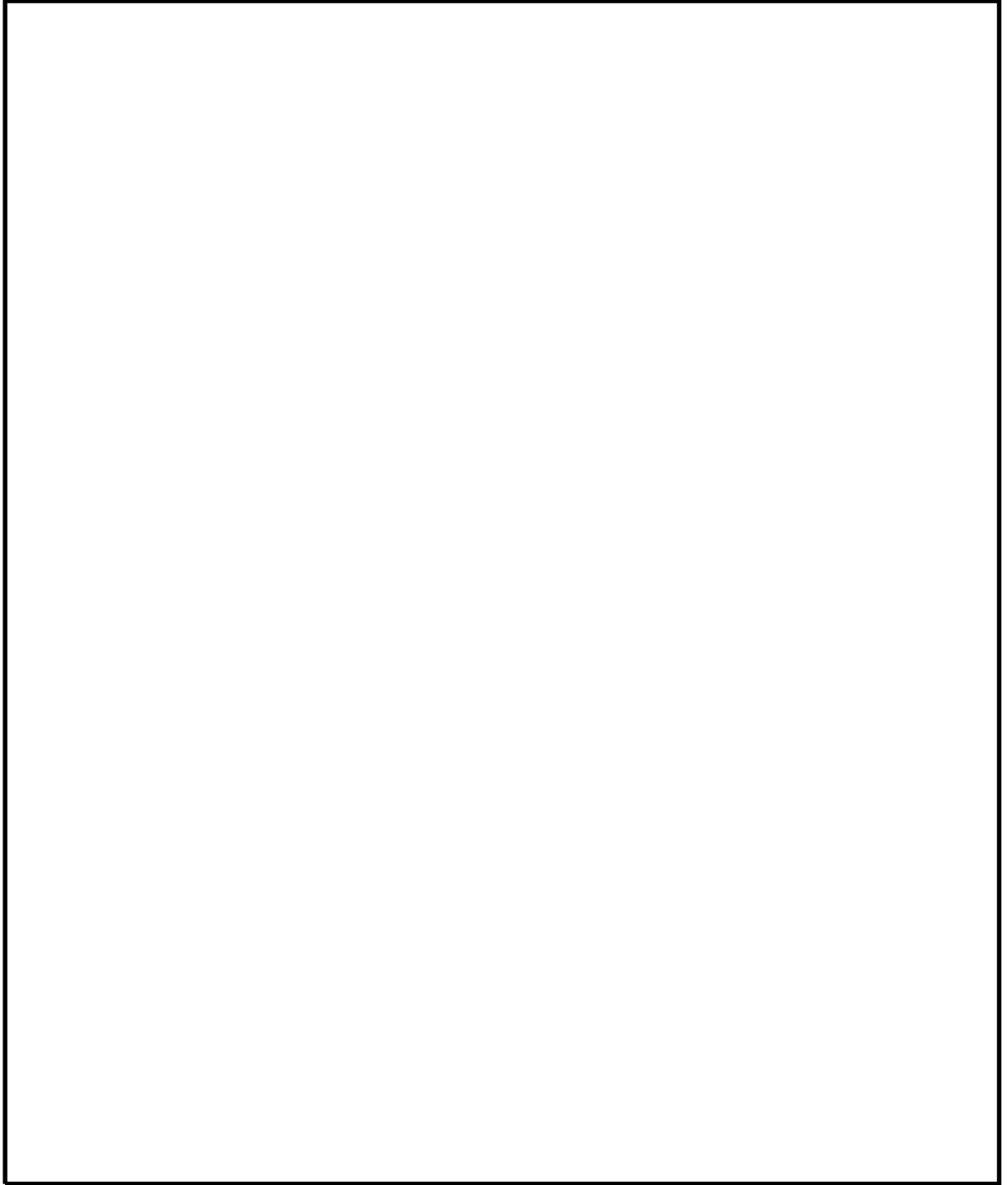


図 4-3 解析モデル (143 体ラック)

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表4-6、振動モード図を図4-4に示す。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4-6 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 | Y方向 | |
| 1次 | 水平 | | | | |

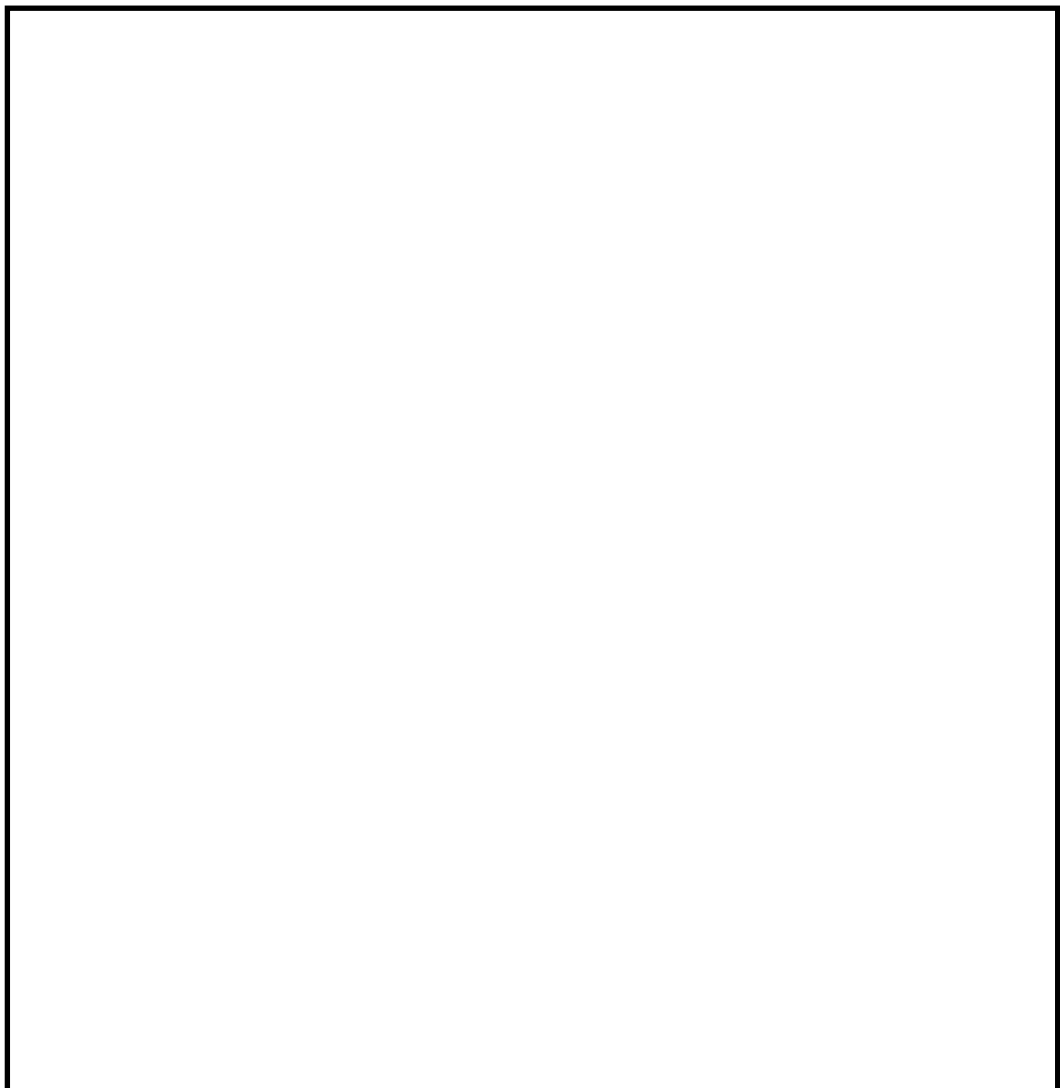


図4-4 振動モード (1次モード 水平方向)

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-7 及び表 4-8 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、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 4-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

| 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 |
| | | | | | NS 方向 | EW 方向 | |
| 原子炉建物 EL 30.83 (EL 30.5 ^{*1}) | □ | 0.05 以下 | $C_H=0.99^{*2}$ | $C_V=0.93^{*2}$ | $C_H=1.73^{*3}$ | $C_H=2.32^{*3}$ | $C_V=1.73^{*3}$ |

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

なお、水平方向設計震度は、評価の精緻化として個別の方向の震度を適用

表 4-8 設計用地震力（重大事故等対処設備）

| 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 |
| | | | | | NS 方向 | EW 方向 | |
| 原子炉建物 EL 30.83 (EL 30.5 ^{*1}) | □ | 0.05 以下 | — | — | $C_H=1.73^{*2}$ | $C_H=2.32^{*2}$ | $C_V=1.73^{*2}$ |

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

なお、水平方向設計震度は、評価の精緻化として個別の方向の震度を適用

4.6 計算方法

4.6.1 部材の応力

部材についての応力計算は、図4-3の解析モデルにて、板、シートプレート、ラックベースからなる系全体での応力計算を解析コード「SAP-IV」を使用して行い、引張応力、せん断応力を求め、本項に示す計算方法に従って組合せ応力を計算する。

解析コード内では、各部材の局所座標系及びせん断応力 τ_{xy} 、引張応力 σ_x 、 σ_y の働く向きを図4-5に示すように設定している。

各シェル部材の組合せ応力 σ_{fa} は、上述で計算したせん断応力 τ_{xy} 、引張応力 σ_x 、 σ_y を用いて(4.6.1)式より求める。

$$\sigma_{fa} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1)$$

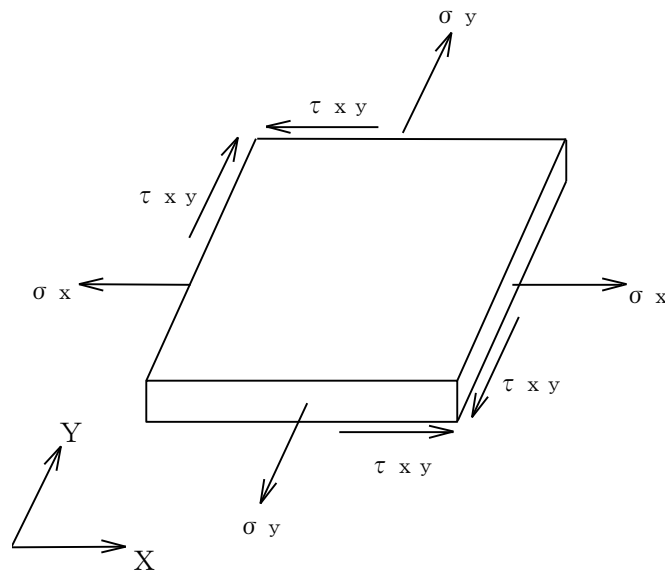


図4-5 部材の応力計算モデル

4.6.2 ボルトの応力

4.6.2.1 ラック取付ボルト

図4-3の解析モデルにて，ラックの系全体での荷重を計算機コード「SAP-IV」を使用して算出し，求められた地震時のラックに作用する転倒モーメント M_{ai} 及びラックベース底部に作用するせん断力 F_{ai} が，ラックに図4-6のように負荷されるものとしてラック取付ボルトの応力を求める。

ラック取付ボルトの荷重状態を図4-6に示す。

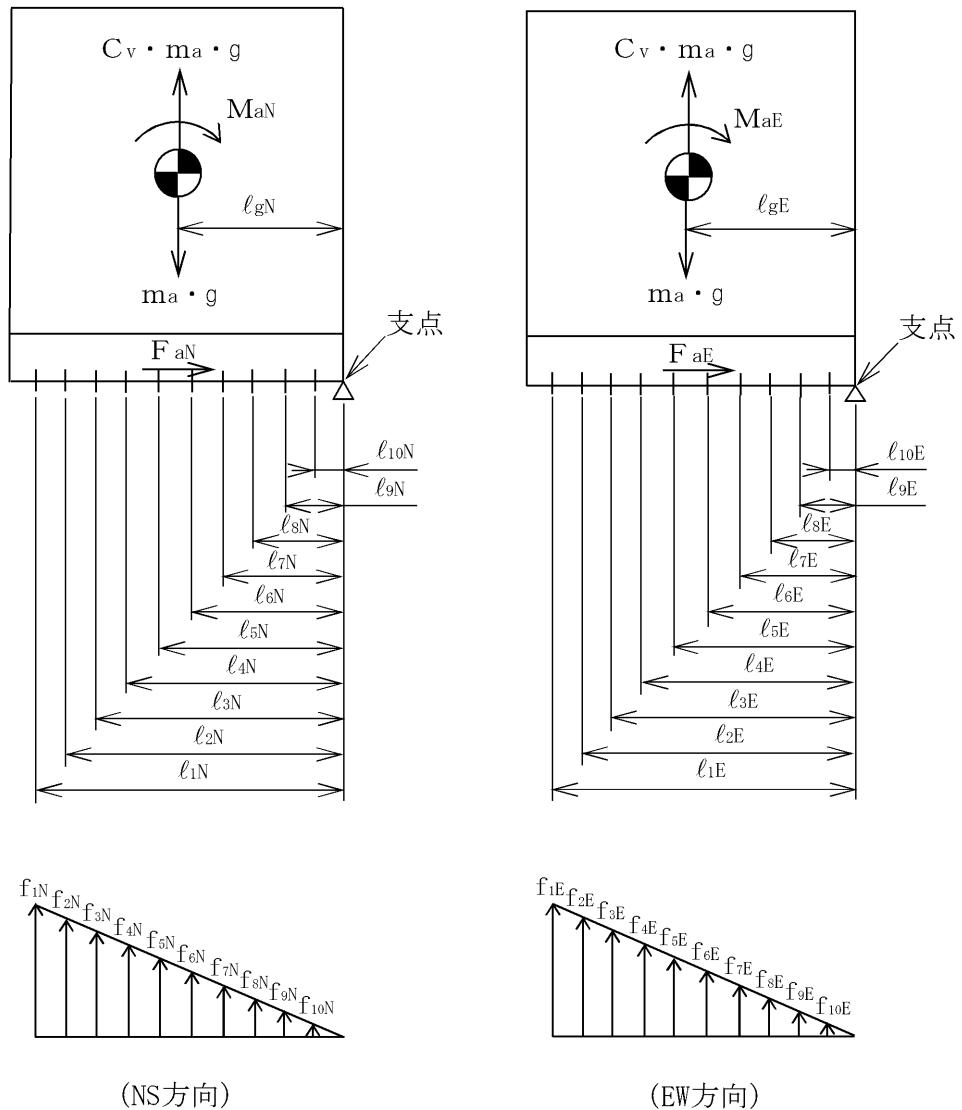


図4-6 ラック取付ボルトの荷重状態

ラックの全質量は、(4.6.2) 式より使用済燃料の質量、ラック自身の質量及びラックに含まれる水の質量の合計から排除水質量を減じて求める。

$$m_a = m_F + m_R + m_W - m_{ath} \quad \dots\dots\dots (4.6.2)$$

ここで、 m_{ath} は排除水質量（水中に設置される機器が排除する水の質量）を示す。

(1) 引張応力

図 4-6 において支点回りのモーメントの平衡によりラック取付ボルト 1 本当たりの引張力 $f_{1i} \sim f_{ji}$ を求める。

$f_{1i} > f_{2i} > \dots > f_{ji}$ の関係にあるので f_{1i} のみを (4.6.3) 式より求める。

$$f_{1i} = \frac{\ell_{1i} \cdot \left\{ \sqrt{M_{ai}^2 + (C_v \cdot m_a \cdot g \cdot \ell_{gi})^2} - m_a \cdot g \cdot \ell_{gi} \right\}}{n_{1i} \cdot \ell_{1i}^2 + n_{2i} \cdot \ell_{2i}^2 + \dots + n_{ji} \cdot \ell_{ji}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.3)$$

したがって、引張力 f_{1i} によりラック取付ボルトに生じる引張応力 σ_b は、(4.6.4) 式より求める。

$$\sigma_b = \frac{f_{1i}}{A_b} \quad \dots\dots\dots (4.6.4)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は、(4.6.5) 式より求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (4.6.5)$$

ただし、 f_{1i} の値が負となった場合は、引張力が生じないので以後の引張応力の計算は省略する。

(2) せん断応力

せん断力 F_{ai} によりラック取付ボルトに生じるせん断応力 τ_b は、(4.6.6) 式より求める。

$$\tau_b = \frac{F_{ai}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (4.6.6)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は、(4.6.5) 式による。

4.6.2.2 基礎ボルト

共通ベースの種類を表 4-9 に示す。この中で質量条件が大きく、応力が最も大きくなる 143 体ラック 1 台と 144 体ラック 2 台設置用について以下に示す。

本ケースのラック及び共通ベースに作用する水平方向の力は合計 48 本の共通ベース基礎ボルトで固定される。地震時に発生するラック据付時の全体の転倒モーメント M_{ti} 及び共通ベース底部に作用するせん断力 F_{bi} が、ラック及び共通ベース全体において図 4-7 のように負荷されるものとして基礎ボルトの応力を求める。

基礎ボルトの荷重状態を図 4-7 に示す。

表 4-9 共通ベースの種類と台数

| 共通ベースの種類別積載ラック台数 | 共通ベース台数 |
|---|---------|
| 132 体ラック 2 台設置用 | 1 |
| 110 体ラック 2 台設置用 | 1 |
| 110 体ラック 1 台と 120 体ラック 1 台と 132 体ラック 1 台設置用 | 1 |
| 100 体ラック 1 台と 110 体ラック 1 台設置用 | 3 |
| 110 体ラック 1 台と 120 体ラック 2 台設置用 | 3 |
| 130 体ラック 1 台と 143 体ラック 1 台設置用 | 1 |
| 143 体ラック 1 台と 144 体ラック 2 台設置用 | 1 |
| 144 体ラック 2 台設置用 | 1 |

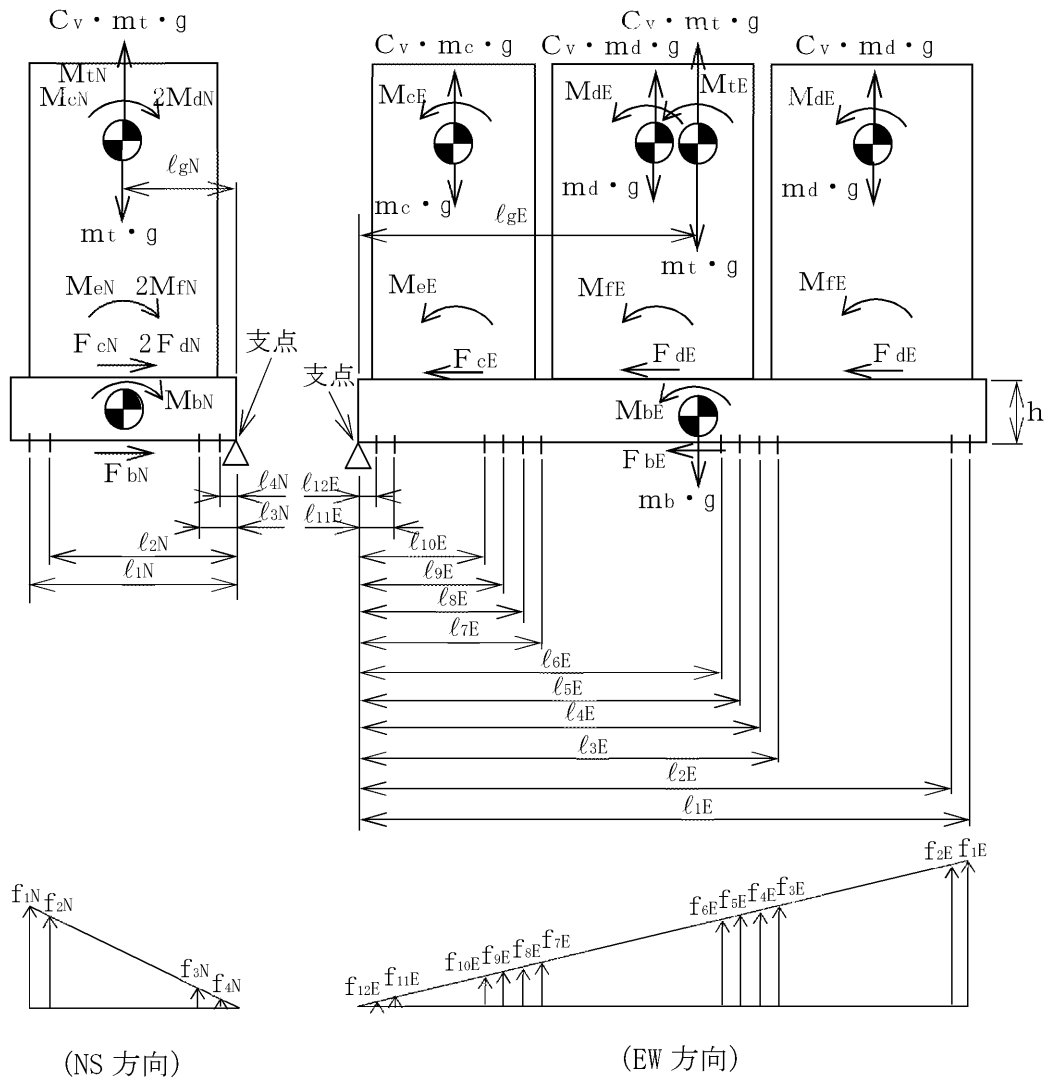


図 4-7 基礎ボルトの荷重状態

ラック据付時の共通ベースの全質量は、(4.6.7) 式より共通ベースの質量及び使用済燃料貯蔵時のラックの質量から排除水質量を減じた質量で求める。

$$m_t = m_b + m_c + 2 \cdot m_d \quad \dots\dots\dots (4.6.7)$$

ここで、

$$m_b = m_{bt} - m_{bth}$$

$$m_c = m_{ct} - m_{cth}$$

$$m_d = m_{dt} - m_{dth}$$

m_{bth} , m_{cth} , m_{dth} は排除水質量(水中に設置される機器が排除する水の質量)を示す。

(1) 引張応力

図4-7において支点回りのモーメントの平衡により基礎ボルト1本当たりの引張力 $f_{1i} \sim f_{ji}$ を求める。

$f_{1i} > f_{2i} > \dots > f_{ji}$ の関係にあるので f_{1i} のみを(4.6.8)式より求める。

$$f_{1i} = \frac{l_{1i} \cdot \{ \sqrt{M_{ti}^2 + (C_v \cdot m_t \cdot g \cdot l_{gi})^2} - m_t \cdot g \cdot l_{gi} \}}{n_{1i} \cdot l_{1i}^2 + n_{2i} \cdot l_{2i}^2 + \dots + n_{ji} \cdot l_{ji}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.8)$$

ここで、

$$M_{ti} = M_{bi} + M_{ci} + 2 \cdot M_{di} + M_{ei} + 2 \cdot M_{fi}$$

$$M_{bi} = C_H \cdot m_b \cdot g \cdot h / 2$$

$$M_{ei} = F_{ci} \cdot h$$

$$M_{fi} = F_{di} \cdot h$$

したがって、引張力 f_{1i} により基礎ボルトに生じる引張応力 σ_b は、(4.6.9)式より求める。

$$\sigma_b = \frac{f_{1i}}{A_b} \quad \dots\dots\dots (4.6.9)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は、(4.6.5)式による。

ただし、 f_{1i} の値が負となった場合は、引張力が生じないので以後の引張応力の計算は省略する。

(2) せん断応力

せん断力 F_{bi} により基礎ボルトに生じるせん断応力 τ_b は、(4.6.10)式より求める。

$$\tau_b = \frac{F_{bi}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (4.6.10)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は、(4.6.5)式による。

4.7 計算条件

応力計算に用いる自重（ラック）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【使用済燃料貯蔵ラック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 応力の評価

4.8.1 部材の応力評価

4.6.1項で求めた各部材の引張応力 σ_x 、 σ_y 及び組合せ応力 σ_{fa} が、許容引張応力 f_{tm} 以下であること。

また、4.6.1項で求めた各部材のせん断応力 τ_{xy} が、許容せん断応力 f_{sm} 以下であること。

ただし、 f_{tm} 及び f_{sm} は下表による。

| | 弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合 | 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_{tm} | $\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$ | $\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$ |
| 許容せん断応力 f_{sm} | $\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$ | $\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$ |

注：ボロン添加ステンレス鋼板の引張強さと降伏点（0.2%耐力）の値は、SUS304の規格値を上回っているが、安全側の評価とするため、 F 、 F^* 値はSUS304の値を使用する。

4.8.2 ボルトの応力評価

4.6.2項で求めたボルトの引張応力 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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots \dots \dots (4.8.1)$$

また、4.6.2項で求めたボルトのせん断応力 τ_b が、せん断力のみを受ける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。

| | 弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合 | 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} | $\frac{F}{2} \cdot 1.5$ | $\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$ |
| 許容せん断応力 f_{sb} | $\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$ | $\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$ |

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ラックの設計基準対象施設として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。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ラック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。

【使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

| 機器名称 | 耐震重要度分類 | 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 | | | 最高使用温度 (°C) | 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 | | |
| | | | | | | | NS 方向 | EW 方向 | | | |
| 使用済燃料貯蔵ラック (143 体ラック) | S | 原子炉建物 EL 30.83 (EL 30.5 ^{*1}) | | 0.05 以下 | C _H =0.99 ^{*2} | C _V =0.93 ^{*2} | C _H =1.73 ^{*3} | C _H =2.32 ^{*3} | C _V =1.73 ^{*3} | — | 66 |

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

なお、水平方向設計震度は、評価の精緻化として個別の方向の震度を適用

1.2 機器要目

1.2.1 機器諸元

| 部材 | 材料 | 板厚 (mm) | 縦弾性係数 E (MPa) | ポアソン比 ν |
|---------|------------------|------------|------------------|------------|
| 板 | ボロン添加 ステンレス鋼板 | | | 0.3 |
| シートプレート | SUS304L | | 191000 | 0.3 |
| ラックベース | SUS304L | | 191000 | 0.3 |

注記*1：ボロン添加量 における実験値（大板）

*2：ボロン添加量 における実験値をもとに、断続溶接による剛性の低下を補正した値（幅狭板（小板））

1.2.2 板，シートプレート，ラックベース

| 部材 | 材料 | S _y (MPa) | S _u (MPa) | S _y (R T) (MPa) | F (MPa) | F* (MPa) |
|---------|------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|------------|-------------|
| 板 | ボロン添加 ステンレス鋼板 | 188 * | 479 * | 205 * | 205 | 246 |
| シートプレート | SUS304L | 160 | 443 | 175 | 175 | 210 |
| ラックベース | SUS304L | 160 | 443 | 175 | 175 | 210 |

注記*：ボロン添加ステンレス鋼板の S_y，S_uの値は、SUS304 の規格値を上回っているが、安全側の評価とするため、SUS304 の値を使用する。

1.2.3 ラック取付ボルトの応力評価に用いる要目

| ラック | m_a (kg) | $m_{a\ t\ h}$ (kg) | m_F (kg) | m_R (kg) | m_w (kg) | ℓ_{1N} (mm) | ℓ_{2N} (mm) | ℓ_{3N} (mm) | ℓ_{4N} (mm) | ℓ_{5N} (mm) | ℓ_{6N} (mm) | ℓ_{7N} (mm) | ℓ_{8N} (mm) | ℓ_{9N} (mm) | ℓ_{10N} (mm) | ℓ_{1E} (mm) | ℓ_{2E} (mm) | ℓ_{3E} (mm) | ℓ_{4E} (mm) | ℓ_{5E} (mm) |
|---------|---------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 143体ラック | | | | | | 1962 | 1806 | 1650 | 1494 | 1338 | 1182 | 870 | 558 | 246 | 90 | 1650 | 1494 | 1338 | 1182 | 1026 |

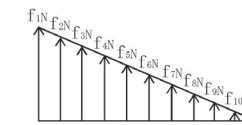
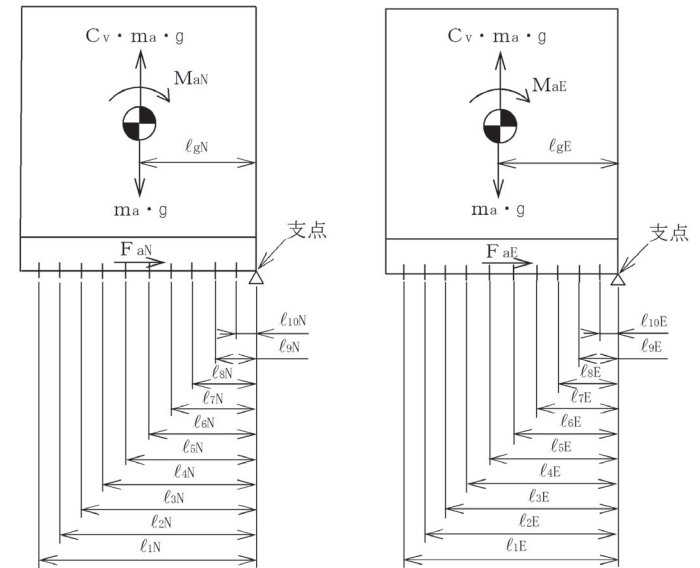
| ℓ_{6E} (mm) | ℓ_{7E} (mm) | ℓ_{8E} (mm) | ℓ_{9E} (mm) | ℓ_{10E} (mm) | ℓ_{gN} (mm) | ℓ_{gE} (mm) | d (mm) | A_b (mm ²) | n | n_{1N} | n_{2N} | n_{3N} | n_{4N} | n_{5N} | n_{6N} | n_{7N} | n_{8N} | n_{9N} | n_{10N} |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|-------------|-----------------------------|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 870 | 714 | 558 | 246 | 90 | 1026 | 870 | 36 (M36) | 1.018×10^3 | 47 | 6 | 2 | 2 | 6 | 1 | 6 | 6 | 7 | 4 | 7 |

| n_{1E} | n_{2E} | n_{3E} | n_{4E} | n_{5E} | n_{6E} | n_{7E} | n_{8E} | n_{9E} | n_{10E} |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 6 | 2 | 2 | 6 | 7 | 1 | 7 | 2 | 8 | 6 |

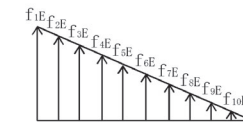
| ラック取付 ボルト材料 | S_y^* (MPa) | S_u^* (MPa) | $S_y(RT)$ (MPa) | F (MPa) | F* (MPa) |
|----------------|------------------|------------------|--------------------|------------|-------------|
| SUS304 | 188 | 479 | 205 | 205 | 246 |

注記*：周囲環境温度(66℃)で算出

| 地震力の種類 | F_{aN} (N) | F_{aE} (N) | M_{aN} (N・mm) | M_{aE} (N・mm) |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | 4.988×10^5 | 4.988×10^5 | 1.132×10^9 | 1.135×10^9 |
| 基準地震動 S _s | 8.717×10^5 | 1.169×10^6 | 1.978×10^9 | 2.660×10^9 |



(NS方向)



(EW方向)

1.2.4 基礎ボルトの応力評価に用いる要目

| | m_t (kg) | m_b (kg) | m_{bt} (kg) | m_{bth} (kg) | m_c (kg) | m_{ct} (kg) | m_{cth} (kg) | m_d (kg) | m_{dt} (kg) | m_{dth} (kg) | h (mm) | ℓ_{1N} (mm) | ℓ_{2N} (mm) | ℓ_{3N} (mm) | ℓ_{4N} (mm) | ℓ_{1E} (mm) | ℓ_{2E} (mm) | ℓ_{3E} (mm) | ℓ_{4E} (mm) | ℓ_{5E} (mm) | ℓ_{6E} (mm) | ℓ_{7E} (mm) | ℓ_{8E} (mm) | ℓ_{9E} (mm) |
|-------|---------------|---------------|------------------|-------------------|---------------|------------------|-------------------|---------------|------------------|-------------------|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 共通ベース | | | | | | | | | | | 195 | 1538 | 1334 | 314 | 110 | 5218.25 | 5049.75 | 3870.25 | 3701.75 | 3429.25 | 3260.75 | 2081.25 | 1912.75 | 1640.25 |

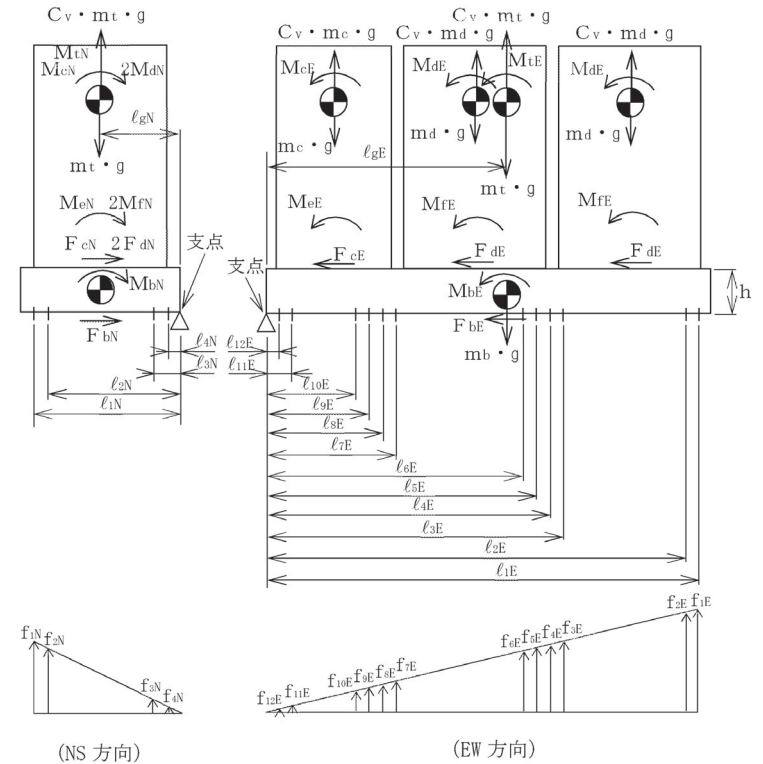
| ℓ_{10E} (mm) | ℓ_{11E} (mm) | ℓ_{12E} (mm) | ℓ_{gN} (mm) | ℓ_{gE} (mm) | d (mm) | A_b (mm ²) | n | n_{1N} | n_{2N} | n_{3N} | n_{4N} | n_{1E} | n_{2E} | n_{3E} | n_{4E} | n_{5E} | n_{6E} | n_{7E} | n_{8E} | n_{9E} | n_{10E} | n_{11E} | n_{12E} | |
|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|-------------|-----------------------------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|---|
| 1471.75 | 292.25 | 123.75 | 830.75 | 2705.25 | 39 (M39) | 1.195×10^3 | 48 | 12 | 12 | 12 | 12 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

| 基礎ボルト材料 | S_y^* (MPa) | S_u^* (MPa) | $S_y(RT)$ (MPa) | F (MPa) | F^* (MPa) |
|---------|------------------|------------------|--------------------|--------------|----------------|
| SUS304 | 188 | 479 | 205 | 205 | 246 |

注記* : 周囲環境温度(66°C)で算出

| 地震力の種類 | F_{bN} (N) | F_{bE} (N) | F_{cN} (N) | F_{cE} (N) | F_{dN} (N) | F_{dE} (N) |
|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度 | 1.553×10^6 | 1.553×10^6 | 4.988×10^5 | 4.988×10^5 | 5.024×10^5 | 5.024×10^5 |
| 基準地震動 S_s | 2.713×10^6 | 3.639×10^6 | 8.717×10^5 | 1.169×10^6 | 8.779×10^5 | 1.177×10^6 |

| M_{bN} (N・mm) | M_{bE} (N・mm) | M_{cN} (N・mm) | M_{cE} (N・mm) | M_{dN} (N・mm) | M_{dE} (N・mm) |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 4.798×10^6 | 4.798×10^6 | 1.132×10^9 | 1.135×10^9 | 1.140×10^9 | 1.142×10^9 |
| 8.385×10^6 | 1.124×10^7 | 1.978×10^9 | 2.660×10^9 | 1.991×10^9 | 2.675×10^9 |



1.3 計算数値

1.3.1 部材に生じる応力

(1) 板

(単位：MPa)

| ラック | 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 | |
|----------|----------------------|-------------------|-----------------------------------|-------|----------------------|-------|
| | | | NS 方向 | EW 方向 | NS 方向 | EW 方向 |
| 143 体ラック | ボロン添加 ステンレス 鋼板 | 引張 σ_x | 13 | 5 | 28 | 11 |
| | | 引張 σ_y | 3 | 23 | 6 | 55 |
| | | せん断 τ_{xy} | 24 | 33 | 50 | 72 |
| | | 組合せ σ_{fa} | 42 | 61 | 89 | 134 |

(2) シートプレート及びラックベース

(単位：MPa)

| ラック | 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 | |
|----------|---------|-------------------|-----------------------------------|-------|----------------------|-------|
| | | | NS 方向 | EW 方向 | NS 方向 | EW 方向 |
| 143 体ラック | SUS304L | 引張 σ_x | 6 | 8 | 11 | 17 |
| | | 引張 σ_y | 26 | 31 | 55 | 72 |
| | | せん断 τ_{xy} | 3 | 5 | 6 | 11 |
| | | 組合せ σ_{fa} | 25 | 29 | 51 | 68 |

1.3.2 ラック取付ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

| ラック取付 ボルト | 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 | |
|--------------|--------|---------------|-----------------------------------|-------|----------------------|-------|
| | | | NS 方向 | EW 方向 | NS 方向 | EW 方向 |
| 143 体ラック | SUS304 | 引張 σ_b | 21 | 28 | 49 | 83 |
| | | せん断 τ_b | 11 | 11 | 19 | 25 |

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

| 基礎ボルト | 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 | |
|-------|--------|---------------|-----------------------------------|-------|----------------------|-------|
| | | | NS 方向 | EW 方向 | NS 方向 | EW 方向 |
| 共通ベース | SUS304 | 引張 σ_b | 66 | 11 | 141 | 67 |
| | | せん断 τ_b | 27 | 27 | 48 | 64 |

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

| ラック | 方向 | 固有周期 |
|----------|------|---------|
| 143 体ラック | 水平方向 | |
| | 鉛直方向 | 0.05 以下 |

1.4.2 応力

(1) 部材に生じる応力

本評価結果は、引張り、せん断の個別応力が全て許容応力以下であることを確認した上で、組合せ応力が最大となるケースの引張り、せん断、組合せ応力を記載する。

a. 板 (単位：MPa)

| ラック | 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 |
| 143 体ラック | ボロン添加 ステンレス 鋼板 | 引張 | $\sigma_x = 5$ | $f_{tm} = 205$ | $\sigma_x = 11$ | $f_{tm} = 246$ |
| | | | $\sigma_y = 23$ | $f_{tm} = 205$ | $\sigma_y = 55$ | $f_{tm} = 246$ |
| | | せん断 | $\tau_{xy} = 33$ | $f_{sm} = 118$ | $\tau_{xy} = 72$ | $f_{sm} = 142$ |
| | | 組合せ | $\sigma_{fa} = 61$ | $f_{tm} = 205$ | $\sigma_{fa} = 134$ | $f_{tm} = 246$ |

すべて許容応力以下である。

b. シートプレート及びラックベース (単位：MPa)

| ラック | 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 |
| 143 体ラック | SUS304L | 引張 | $\sigma_x = 8$ | $f_{tm} = 175$ | $\sigma_x = 17$ | $f_{tm} = 210$ |
| | | | $\sigma_y = 31$ | $f_{tm} = 175$ | $\sigma_y = 72$ | $f_{tm} = 210$ |
| | | せん断 | $\tau_{xy} = 5$ | $f_{sm} = 101$ | $\tau_{xy} = 11$ | $f_{sm} = 121$ |
| | | 組合せ | $\sigma_{fa} = 29$ | $f_{tm} = 175$ | $\sigma_{fa} = 68$ | $f_{tm} = 210$ |

すべて許容応力以下である。

(2) ラック取付ボルトに生じる応力 (単位：MPa)

| ラック取付 ボルト | 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 |
| 143 体ラック | SUS304 | 引張 | $\sigma_b = 28$ | $f_{ts} = 153^*$ | $\sigma_b = 83$ | $f_{ts} = 184^*$ |
| | | せん断 | $\tau_b = 11$ | $f_{sb} = 118$ | $\tau_b = 25$ | $f_{sb} = 142$ |

すべて許容応力以下である。

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

(3) 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

| 基礎ボルト | 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 |
| 共通ベース | SUS304 | 引張 | $\sigma_b = 66$ | $f_{ts} = 153^*$ | $\sigma_b = 141$ | $f_{ts} = 180^*$ |
| | | せん断 | $\tau_b = 27$ | $f_{sb} = 118$ | $\tau_b = 48$ | $f_{sb} = 142$ |

すべて許容応力以下である。

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

2. 重大事故等対処設備

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 | | | 最高使用温度 (°C) | 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 | | |
| | | | | | | | NS 方向 | EW 方向 | | | |
| 使用済燃料貯蔵ラック (143 体ラック) | 常設耐震/防止 常設/緩和 | 原子炉建物 EL 30.83 (EL 30.5 ^{*1}) | | 0.05 以下 | — | — | C _H =1.73 ^{*2} | C _H =2.32 ^{*2} | C _V =1.73 ^{*2} | — | 100 |

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

なお、水平方向設計震度は、評価の精緻化として個別の方向の震度を適用

2.2 機器要目

2.2.1 機器諸元

| 部材 | 材料 | 板厚 (mm) | 縦弾性係数 E (MPa) | ポアソン比 ν |
|---------|------------------|------------|------------------|----------------|
| 板 | ボロン添加 ステンレス鋼板 | | | 0.3 |
| シートプレート | SUS304L | | 191000 | 0.3 |
| ラックベース | SUS304L | | 191000 | 0.3 |

注記*1：ボロン添加量 における実験値（大板）

*2：ボロン添加量 における実験値をもとに、断続溶接による剛性の低下を補正した値（幅狭板（小板））

2.2.2 板、シートプレート、ラックベース

| 部材 | 材料 | S _y (MPa) | S _u (MPa) | S _y (R T) (MPa) | F (MPa) | F [*] (MPa) |
|---------|------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|------------|-------------------------|
| 板 | ボロン添加 ステンレス鋼板 | 171 * | 441 * | 205 * | — | 230 |
| シートプレート | SUS304L | 145 | 408 | 175 | — | 195 |
| ラックベース | SUS304L | 145 | 408 | 175 | — | 195 |

注記*：ボロン添加ステンレス鋼板の S_y、S_u の値は、SUS304 の規格値を上回っているが、安全側の評価とするため、SUS304 の値を使用する。

2.2.3 ラック取付ボルトの応力評価に用いる要目

| ラック | m_a (kg) | $m_{a\ t\ h}$ (kg) | m_F (kg) | m_R (kg) | m_w (kg) | l_{1N} (mm) | l_{2N} (mm) | l_{3N} (mm) | l_{4N} (mm) | l_{5N} (mm) | l_{6N} (mm) | l_{7N} (mm) | l_{8N} (mm) | l_{9N} (mm) | l_{10N} (mm) | l_{1E} (mm) | l_{2E} (mm) | l_{3E} (mm) | l_{4E} (mm) | l_{5E} (mm) |
|---------|---------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 143体ラック | | | | | | 1962 | 1806 | 1650 | 1494 | 1338 | 1182 | 870 | 558 | 246 | 90 | 1650 | 1494 | 1338 | 1182 | 1026 |

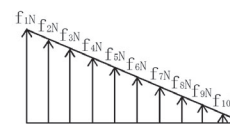
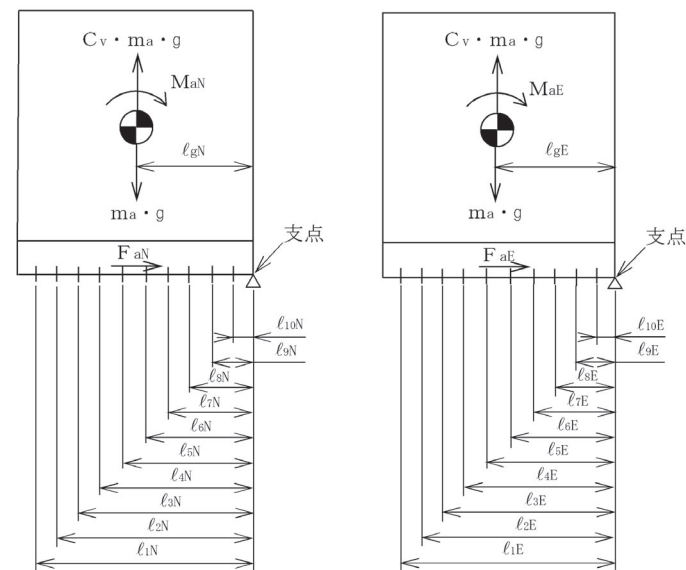
| l_{6E} (mm) | l_{7E} (mm) | l_{8E} (mm) | l_{9E} (mm) | l_{10E} (mm) | l_{gN} (mm) | l_{gE} (mm) | d (mm) | A_b (mm ²) | n | n_{1N} | n_{2N} | n_{3N} | n_{4N} | n_{5N} | n_{6N} | n_{7N} | n_{8N} | n_{9N} | n_{10N} |
|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------|-----------------------------|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 870 | 714 | 558 | 246 | 90 | 1026 | 870 | 36 (M36) | 1.018×10^3 | 47 | 6 | 2 | 2 | 6 | 1 | 6 | 6 | 7 | 4 | 7 |

| n_{1E} | n_{2E} | n_{3E} | n_{4E} | n_{5E} | n_{6E} | n_{7E} | n_{8E} | n_{9E} | n_{10E} |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 6 | 2 | 2 | 6 | 7 | 1 | 7 | 2 | 8 | 6 |

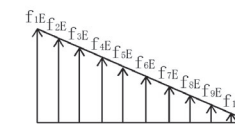
| ラック取付 ボルト材料 | S_y^* (MPa) | S_u^* (MPa) | $S_y(RT)$ (MPa) | F (MPa) | F* (MPa) |
|----------------|------------------|------------------|--------------------|------------|-------------|
| SUS304 | 171 | 441 | 205 | — | 230 |

注記*：周囲環境温度(100℃)で算出

| 地震力の種類 | F_{aN} (N) | F_{aE} (N) | M_{aN} (N・mm) | M_{aE} (N・mm) |
|----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 弾性設計用地震動S _d 又は静的震度 | — | — | — | — |
| 基準地震動S _s | 8.717×10^5 | 1.169×10^6 | 1.978×10^9 | 2.660×10^9 |



(NS方向)



(EW方向)

S2 補 VI-2-4-2-2 R0

2.2.4 基礎ボルトの応力評価に用いる要目

| | m_t (kg) | m_b (kg) | m_{bt} (kg) | m_{bth} (kg) | m_c (kg) | m_{ct} (kg) | m_{cth} (kg) | m_d (kg) | m_{dt} (kg) | m_{dth} (kg) | h (mm) | ℓ_{1N} (mm) | ℓ_{2N} (mm) | ℓ_{3N} (mm) | ℓ_{4N} (mm) | ℓ_{1E} (mm) | ℓ_{2E} (mm) | ℓ_{3E} (mm) | ℓ_{4E} (mm) | ℓ_{5E} (mm) | ℓ_{6E} (mm) | ℓ_{7E} (mm) | ℓ_{8E} (mm) | ℓ_{9E} (mm) |
|-------|---------------|---------------|------------------|-------------------|---------------|------------------|-------------------|---------------|------------------|-------------------|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 共通ベース | | | | | | | | | | | 195 | 1538 | 1334 | 314 | 110 | 5218.25 | 5049.75 | 3870.25 | 3701.75 | 3429.25 | 3260.75 | 2081.25 | 1912.75 | 1640.25 |

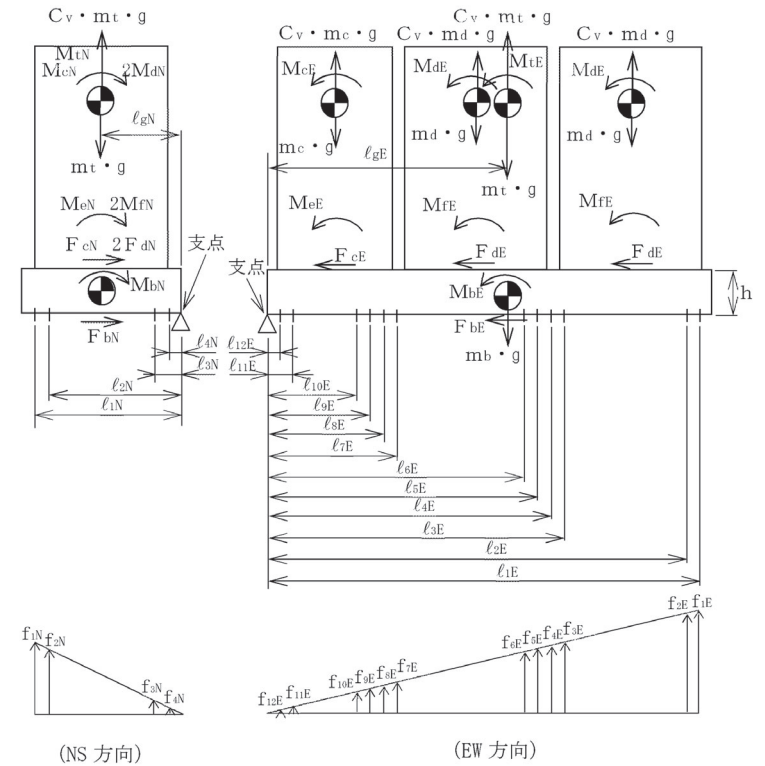
| ℓ_{10E} (mm) | ℓ_{11E} (mm) | ℓ_{12E} (mm) | ℓ_{gN} (mm) | ℓ_{gE} (mm) | d (mm) | A_b (mm ²) | n | n_{1N} | n_{2N} | n_{3N} | n_{4N} | n_{1E} | n_{2E} | n_{3E} | n_{4E} | n_{5E} | n_{6E} | n_{7E} | n_{8E} | n_{9E} | n_{10E} | n_{11E} | n_{12E} | |
|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|-------------|-----------------------------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|---|
| 1471.75 | 292.25 | 123.75 | 830.75 | 2705.25 | 39 (M39) | 1.195×10^3 | 48 | 12 | 12 | 12 | 12 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

| 基礎ボルト材料 | S_y^* (MPa) | S_u^* (MPa) | $S_y(RT)$ (MPa) | F (MPa) | F^* (MPa) |
|---------|------------------|------------------|--------------------|--------------|----------------|
| SUS304 | 171 | 441 | 205 | — | 230 |

注記* : 周囲環境温度(100℃)で算出

| 地震力の種類 | F_{bN} (N) | F_{bE} (N) | F_{cN} (N) | F_{cE} (N) | F_{dN} (N) | F_{dE} (N) |
|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度 | — | — | — | — | — | — |
| 基準地震動 S_s | 2.713×10^6 | 3.639×10^6 | 8.717×10^5 | 1.169×10^6 | 8.779×10^5 | 1.177×10^6 |

| M_{bN} (N・mm) | M_{bE} (N・mm) | M_{cN} (N・mm) | M_{cE} (N・mm) | M_{dN} (N・mm) | M_{dE} (N・mm) |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| — | — | — | — | — | — |
| 8.385×10^6 | 1.124×10^7 | 1.978×10^9 | 2.660×10^9 | 1.991×10^9 | 2.675×10^9 |



2.3 計算数値

2.3.1 部材に生じる応力

(1) 板

(単位：MPa)

| ラック | 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 | |
|----------|----------------------|-------------------|-----------------------------------|-------|----------------------|-------|
| | | | NS 方向 | EW 方向 | NS 方向 | EW 方向 |
| 143 体ラック | ボロン添加 ステンレス 鋼板 | 引張 σ_x | — | — | 28 | 11 |
| | | 引張 σ_y | — | — | 6 | 55 |
| | | せん断 τ_{xy} | — | — | 50 | 72 |
| | | 組合せ σ_{fa} | — | — | 89 | 134 |

(2) シートプレート及びラックベース

(単位：MPa)

| ラック | 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 | |
|----------|---------|-------------------|-----------------------------------|-------|----------------------|-------|
| | | | NS 方向 | EW 方向 | NS 方向 | EW 方向 |
| 143 体ラック | SUS304L | 引張 σ_x | — | — | 11 | 17 |
| | | 引張 σ_y | — | — | 55 | 72 |
| | | せん断 τ_{xy} | — | — | 6 | 11 |
| | | 組合せ σ_{fa} | — | — | 51 | 68 |

2.3.2 ラック取付ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

| ラック取付 ボルト | 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 | |
|--------------|--------|---------------|-----------------------------------|-------|----------------------|-------|
| | | | NS 方向 | EW 方向 | NS 方向 | EW 方向 |
| 143 体ラック | SUS304 | 引張 σ_b | — | — | 49 | 83 |
| | | せん断 τ_b | — | — | 19 | 25 |

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

| 基礎ボルト | 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 | |
|-------|--------|---------------|-----------------------------------|-------|----------------------|-------|
| | | | NS 方向 | EW 方向 | NS 方向 | EW 方向 |
| 共通ベース | SUS304 | 引張 σ_b | — | — | 141 | 67 |
| | | せん断 τ_b | — | — | 48 | 64 |

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

| ラック | 方向 | 固有周期 |
|----------|------|---------|
| 143 体ラック | 水平方向 | |
| | 鉛直方向 | 0.05 以下 |

2.4.2 応力

(1) 部材に生じる応力

本評価結果は、引張り、せん断の個別応力が全て許容応力以下であることを確認した上で、組合せ応力が最大となるケースの引張り、せん断、組合せ応力を記載する。

a. 板 (単位：MPa)

| ラック | 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 |
| 143 体ラック | ボロン添加 ステンレス 鋼板 | 引張 | — | — | $\sigma_x = 11$ | $f_{tm} = 230$ |
| | | | — | — | $\sigma_y = 55$ | $f_{tm} = 230$ |
| | | せん断 | — | — | $\tau_{xy} = 72$ | $f_{sm} = 132$ |
| | | 組合せ | — | — | $\sigma_{fa} = 134$ | $f_{tm} = 230$ |

すべて許容応力以下である。

b. シートプレート及びラックベース (単位：MPa)

| ラック | 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 |
| 143 体ラック | SUS304L | 引張 | — | — | $\sigma_x = 17$ | $f_{tm} = 195$ |
| | | | — | — | $\sigma_y = 72$ | $f_{tm} = 195$ |
| | | せん断 | — | — | $\tau_{xy} = 11$ | $f_{sm} = 112$ |
| | | 組合せ | — | — | $\sigma_{fa} = 68$ | $f_{tm} = 195$ |

すべて許容応力以下である。

(2) ラック取付ボルトに生じる応力 (単位：MPa)

| ラック取付 ボルト | 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 |
| 143 体ラック | SUS304 | 引張 | — | — | $\sigma_b = 83$ | $f_{ts} = 172^*$ |
| | | せん断 | — | — | $\tau_b = 25$ | $f_{sb} = 132$ |

すべて許容応力以下である。

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

(3) 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

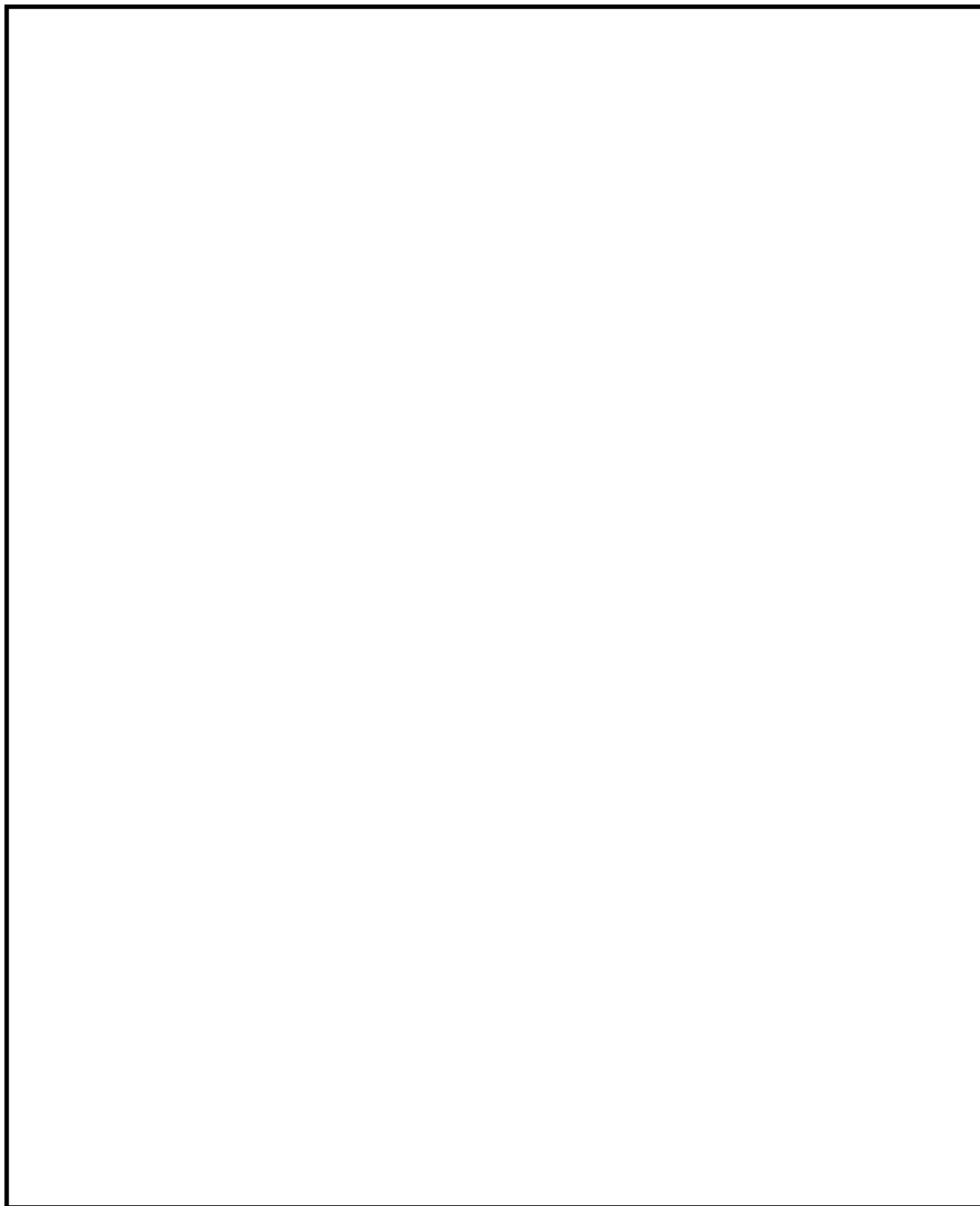
| 基礎ボルト | 材料 | 応力 | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | | 基準地震動 S _s | |
|-------|--------|-----|-----------------------------------|------|----------------------|------------------|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 共通ベース | SUS304 | 引張 | — | — | $\sigma_b = 141$ | $f_{ts} = 164^*$ |
| | | せん断 | — | — | $\tau_b = 48$ | $f_{sb} = 132$ |

すべて許容応力以下である。

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

別添 解析モデルの寸法

S2 補 VI-2-4-2-2 ROE



付図1 解析モデルの寸法 (143体ラック)