

本資料のうち、枠囲みの内容は、商業機密あるい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-093 改2 |
| 提出年月日            | 平成30年3月1日 |

## V-3-別添2 火山への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

## 目次

- V-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針
  - V-3-別添 2-1-1 残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書
  - V-3-別添 2-1-2 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度計算書
  - V-3-別添 2-1-3 残留熱除去系海水系ストレータの強度計算書
  - V-3-別添 2-1-4 ディーゼル発電機用海水ストレータの強度計算書
  - V-3-別添 2-1-5 ディーゼル発電機吸気フィルタの強度計算書
  - V-3-別添 2-1-6 建屋の強度計算書
- V-3-別添 2-2 防護対策施設の強度計算の方針
  - V-3-別添 2-2-1 防護対策施設の強度計算書

V-3-別添 2-1-6 : 今回ご説明分

V-3-別添 2-1-6 建屋の強度計算書

## 目次

|                      |    |
|----------------------|----|
| 1. 概要.....           | 1  |
| 2. 基本方針.....         | 2  |
| 2.1 位置.....          | 2  |
| 2.2 構造概要.....        | 3  |
| 2.3 評価方針.....        | 9  |
| 2.4 適用規格.....        | 11 |
| 3. 強度評価方法及び評価条件..... | 12 |
| 3.1 評価対象部位.....      | 12 |
| 3.2 荷重及び荷重の組合せ.....  | 12 |
| 3.3 許容限界.....        | 19 |
| 3.4 評価方法.....        | 23 |
| 4. 強度評価結果.....       | 43 |

**追而** : 評価中。評価結果は3月末に提示予定。

## 1. 概要

本資料は、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、原子炉建屋、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋が降下火砕物及び積雪（以下「降下火砕物等」という。）の堆積時において、内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを考慮して、建屋全体又は建屋の主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

また、原子炉建屋原子炉棟については、上記に加え、MS-1（放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮蔽及び放出低減機能）及び MS-2（放射性物質放出の防止機能）の安全機能を維持するよう建屋全体又は建屋の主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

## 2. 基本方針

原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は，V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，各建屋の「2.1 位置」，「2.2 構造概要」，「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

### 2.1 位置

原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は，V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す位置に設置する。原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の配置を図 2-1 に示す。

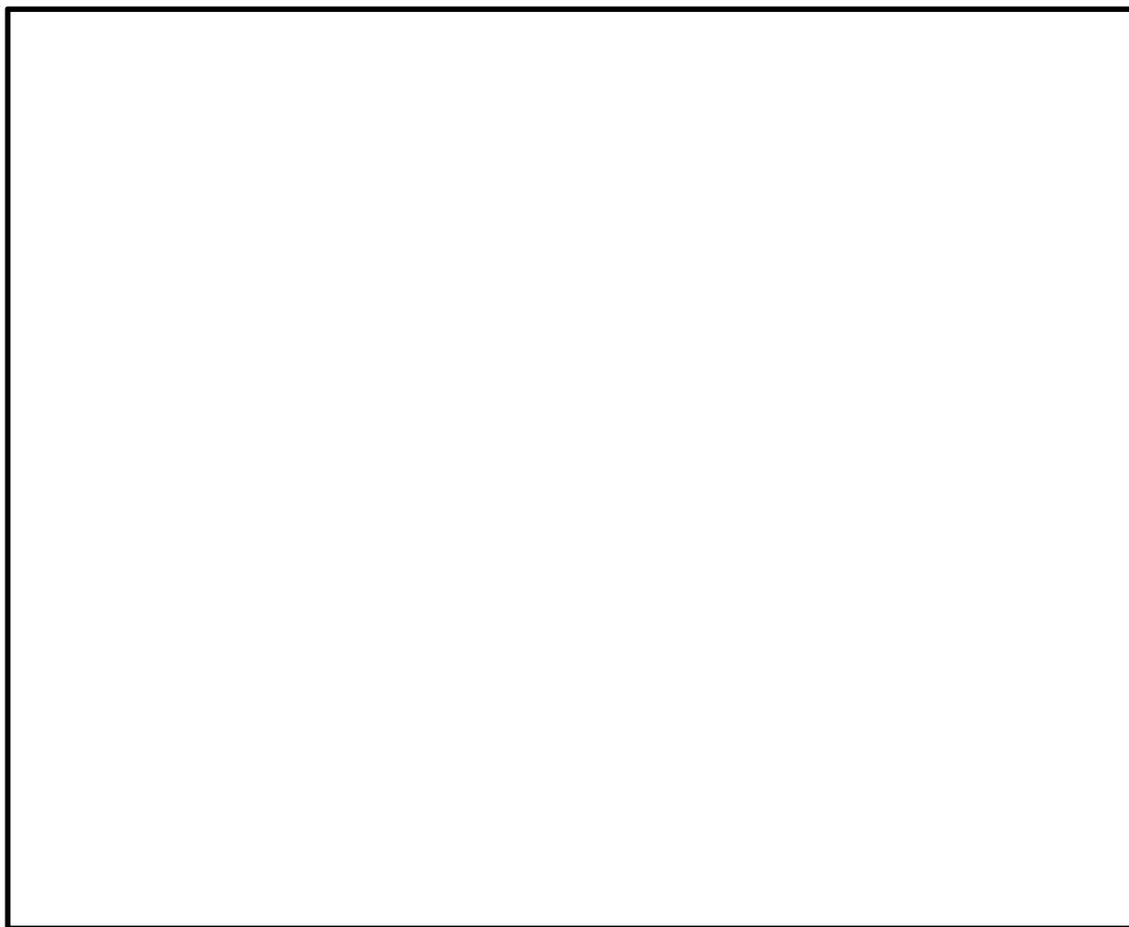


図 2-1 建屋の配置図

## 2.2 構造概要

原子炉建屋、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

原子炉建屋は、主体構造が鉄筋コンクリート造で、鉄骨造陸屋根をもつ地下2階、地上6階の建物である。中央部には、平面が45.5 m(南北方向)×42.5 m(東西方向)の原子炉建屋原子炉棟(以下「原子炉棟」という。)があり、その周囲には、平面が南北方向68.5 m、東西方向68.25 mの原子炉建屋附属棟(以下「附属棟」という。)を配置している。陸屋根を支える屋根トラスの平面形状は45.5 m(南北方向)×42.5 m(東西方向)の長方形であり、6階面(EL. 46.5 m)からの高さは17.58 mである。

タービン建屋は、平面が71.0m(南北方向)×105.5m(東西方向)で、主体構造が鉄筋コンクリート造で鉄骨造陸屋根をもつ地上2階、地下1階の建物である。陸屋根を支える屋根トラスの平面形状は39.0 m(南北方向)×105.5 m(東西方向)の長方形であり、2階面(EL. 18.0 m)からの高さは22.45 mである。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、平面が53.8 m(南北方向)×26.0 m(東西方向)で、主体構造が鉄筋コンクリート造で鉄骨造陸屋根をもつ地上1階の建物である。

原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図2-2及び図2-3に、タービン建屋の概略平面図及び概略断面図を図2-4及び図2-5に、使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図及び概略断面図を図2-6及び図2-7に示す。



図 2-2 (1/2) 原子炉建屋の概略平面図 (EL. 46.5 m)



図 2-2 (2/2) 原子炉建屋の概略平面図 (EL. -4.0 m)

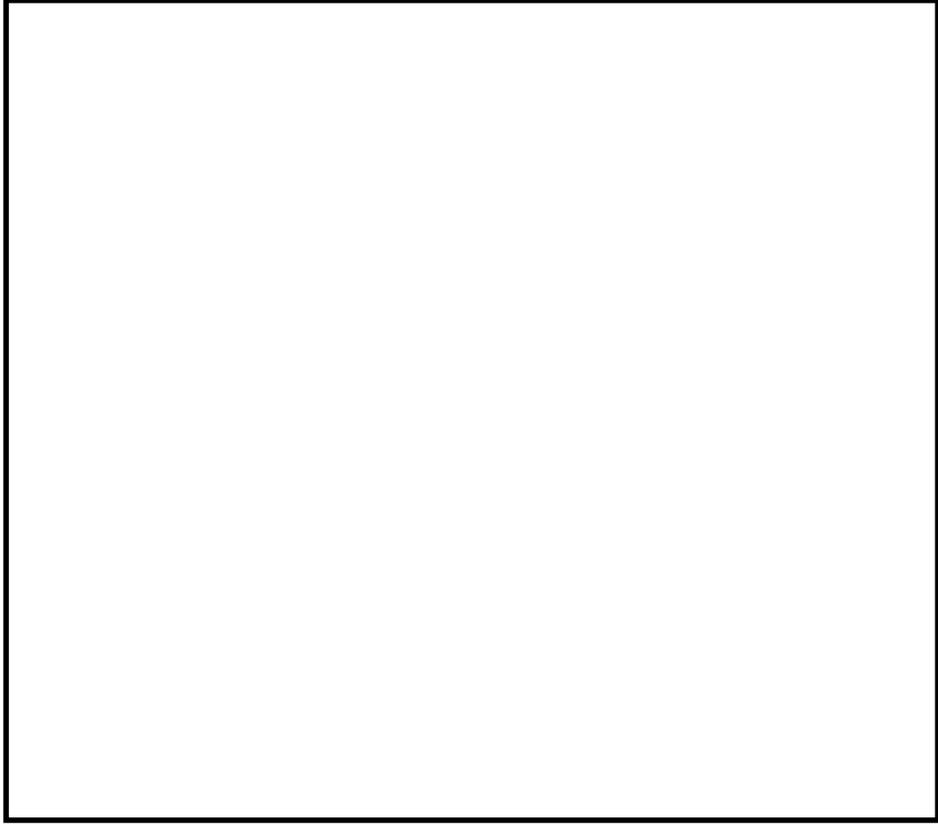


図 2-3 (1/2) 原子炉建屋の概略断面図 (A-A 断面)

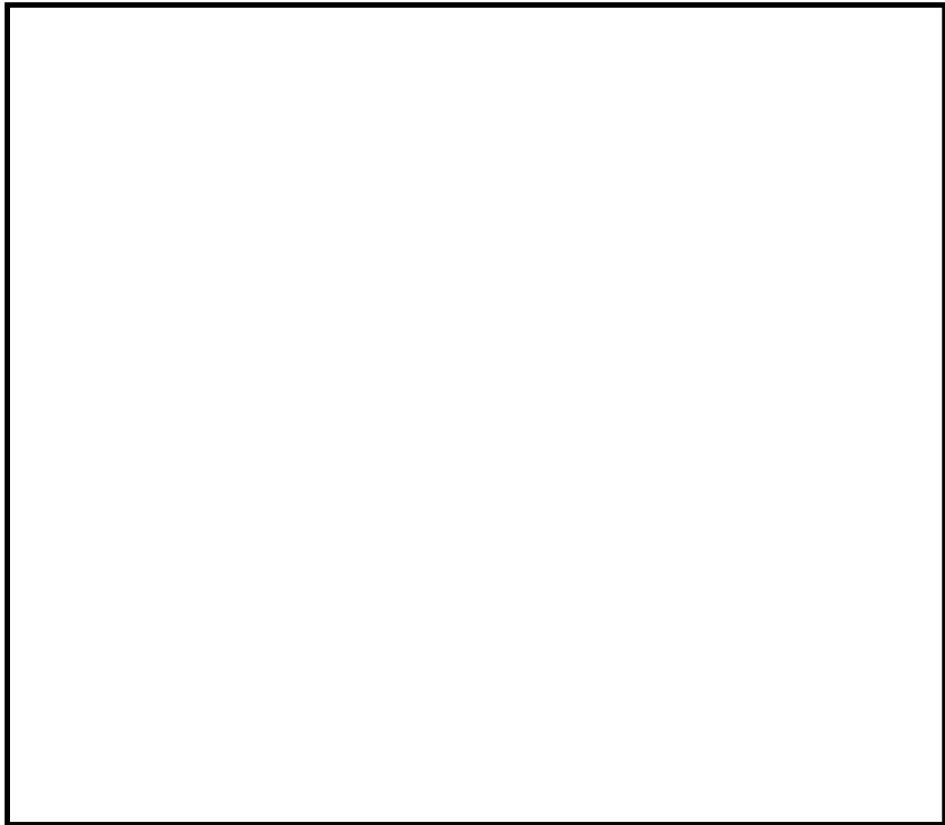


図 2-3 (2/2) 原子炉建屋の概略断面図 (B-B 断面)

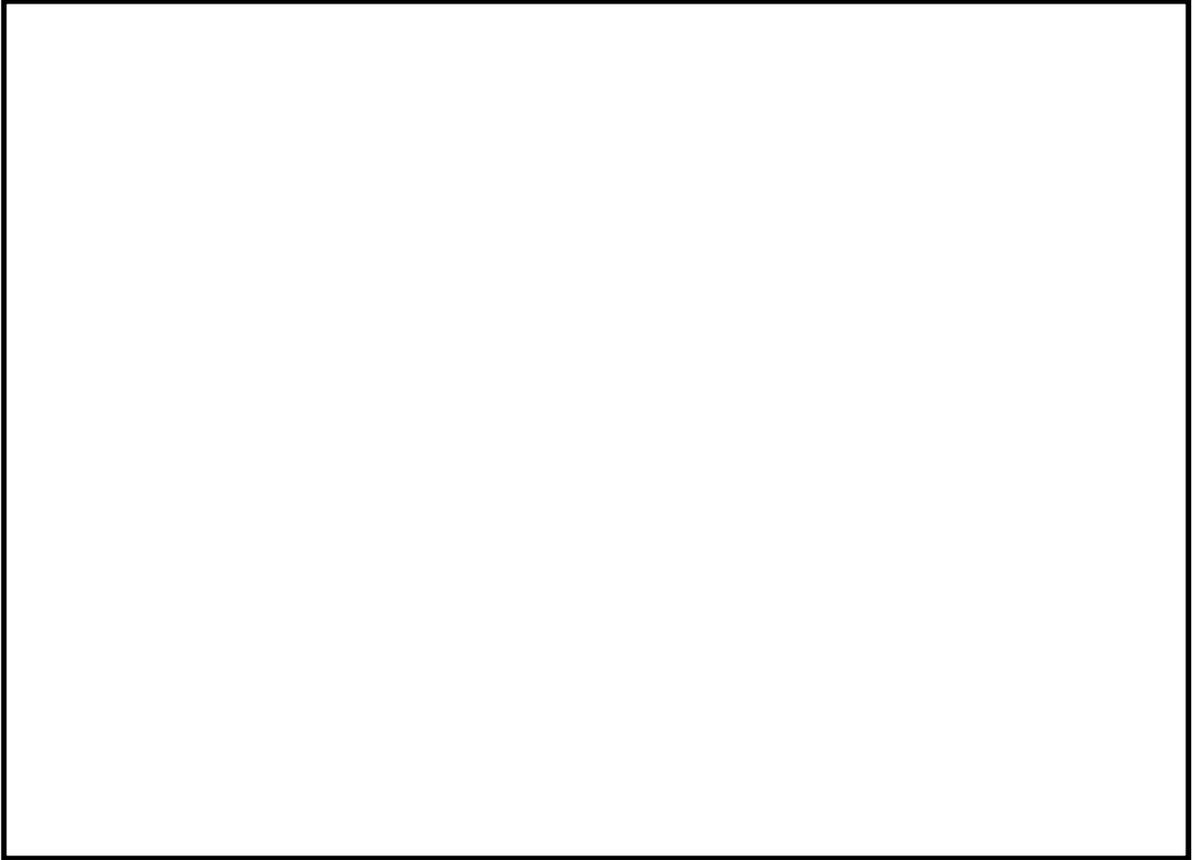


図 2-4 タービン建屋の概略平面図 (EL. 8.2 m)

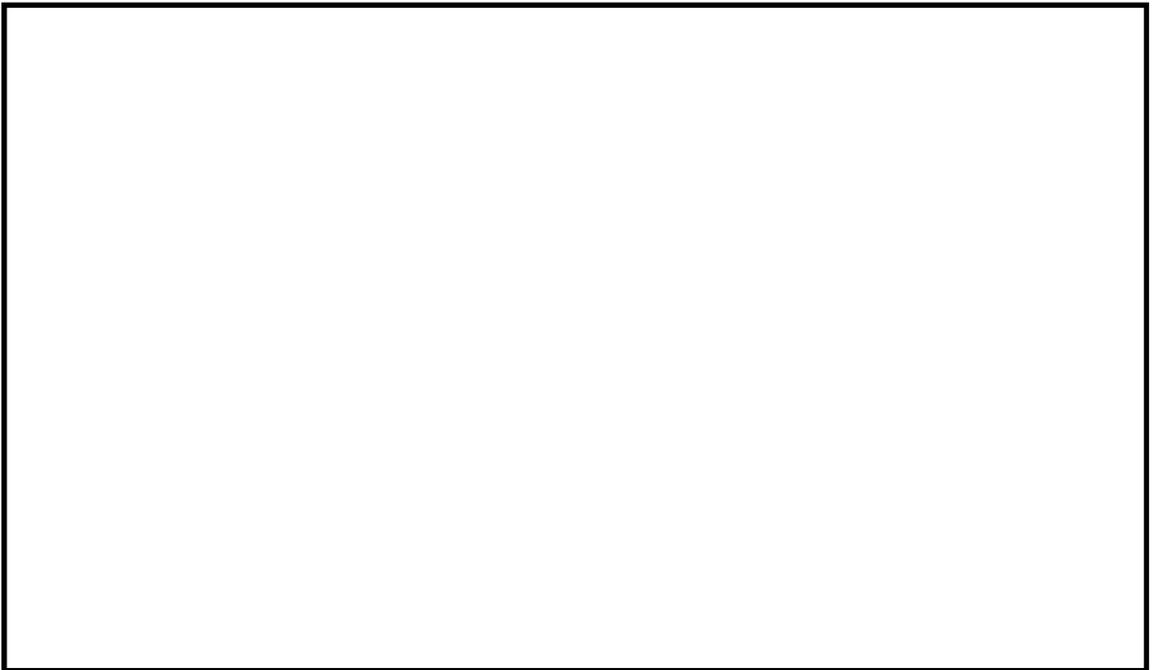


図 2-5 (1/2) タービン建屋の概略断面図 (A-A 断面)



図 2-5 (2/2) タービン建屋の概略断面図 (B-B 断面)

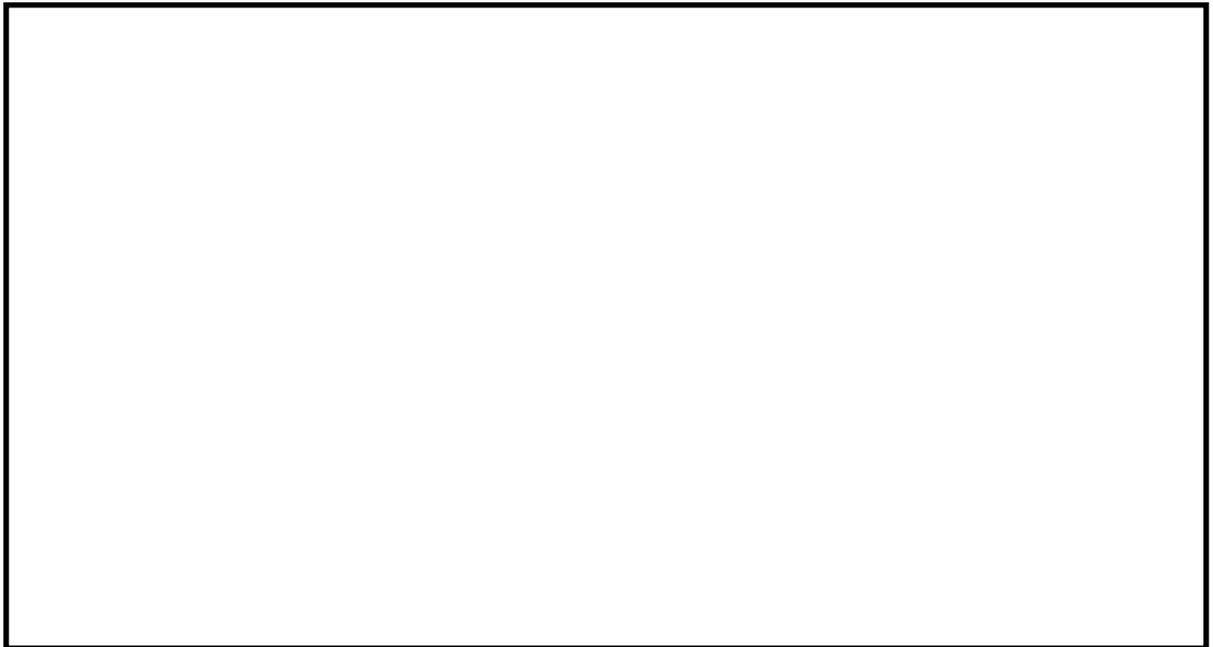


図 2-6 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図 (EL. 8.3 m)

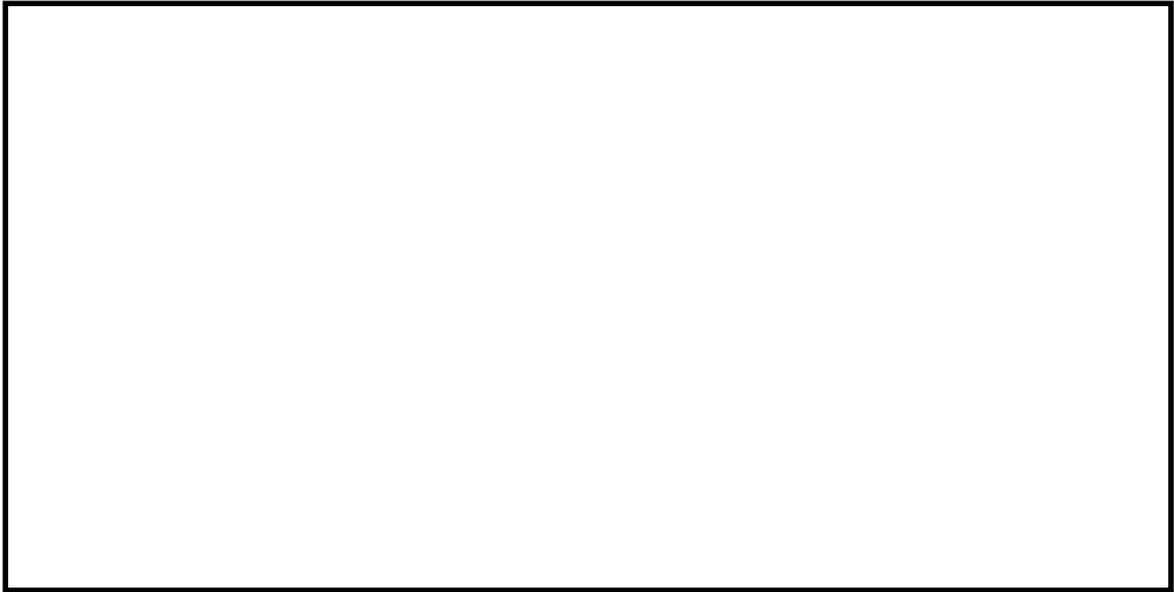


図 2-7 (1/2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (A-A 断面)

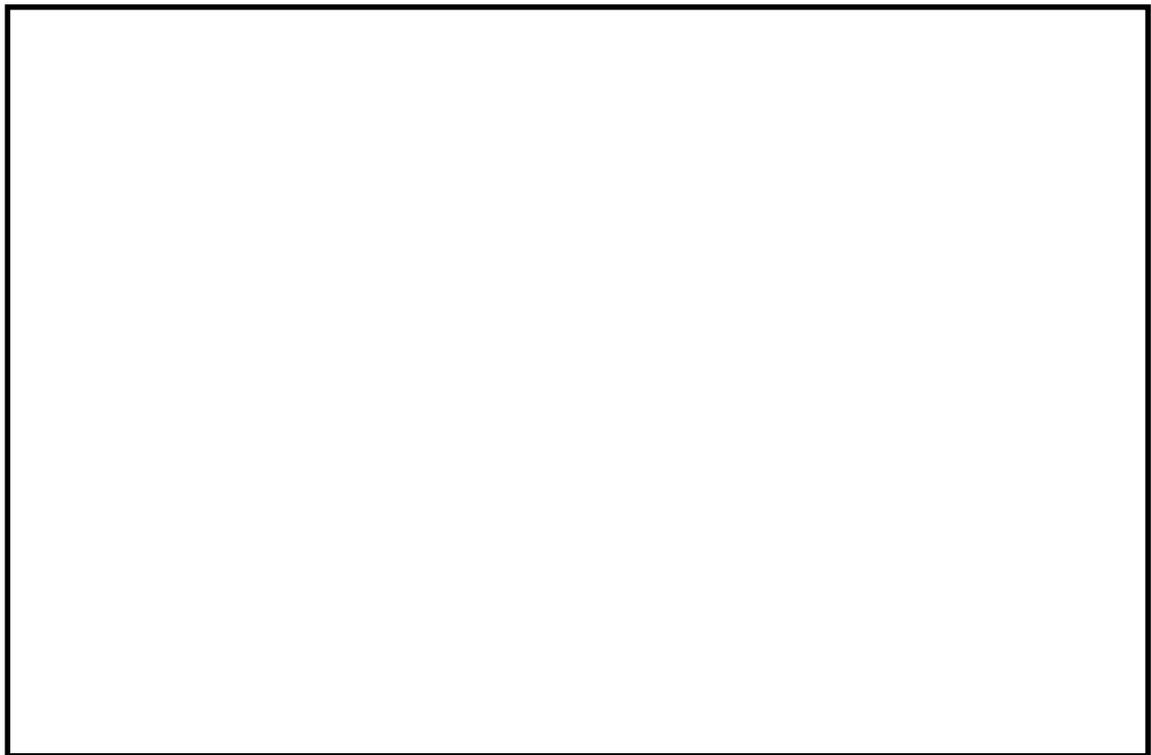


図 2-7 (2/2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (B-B 断面)

### 2.3 評価方針

原子炉建屋、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の強度評価は、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している荷重、荷重の組合せ及び許容限界を踏まえて、建屋の評価対象部位に発生する応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法及び評価条件」に示す方法及び評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

強度評価フローを図 2-8 に示す。

原子炉建屋、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の強度評価においては、その構造を踏まえ降下火砕物等堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

設計荷重は、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に従い設定する。

屋根に作用する荷重は、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に従い、応力解析モデルを用い評価する。

また、鉄筋コンクリート造の耐震壁の変形量は、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に従い、質点系解析モデルを用い評価する。

許容限界は、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に従い、降下火砕物等の堆積に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと及び原子炉棟の MS-1（放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮蔽及び放出低減機能）及び MS-2（放射性物質放出の防止機能）の安全機能を維持することを目的として、建屋全体又は建屋の主要な構造部材が構造健全性を維持するものとする。

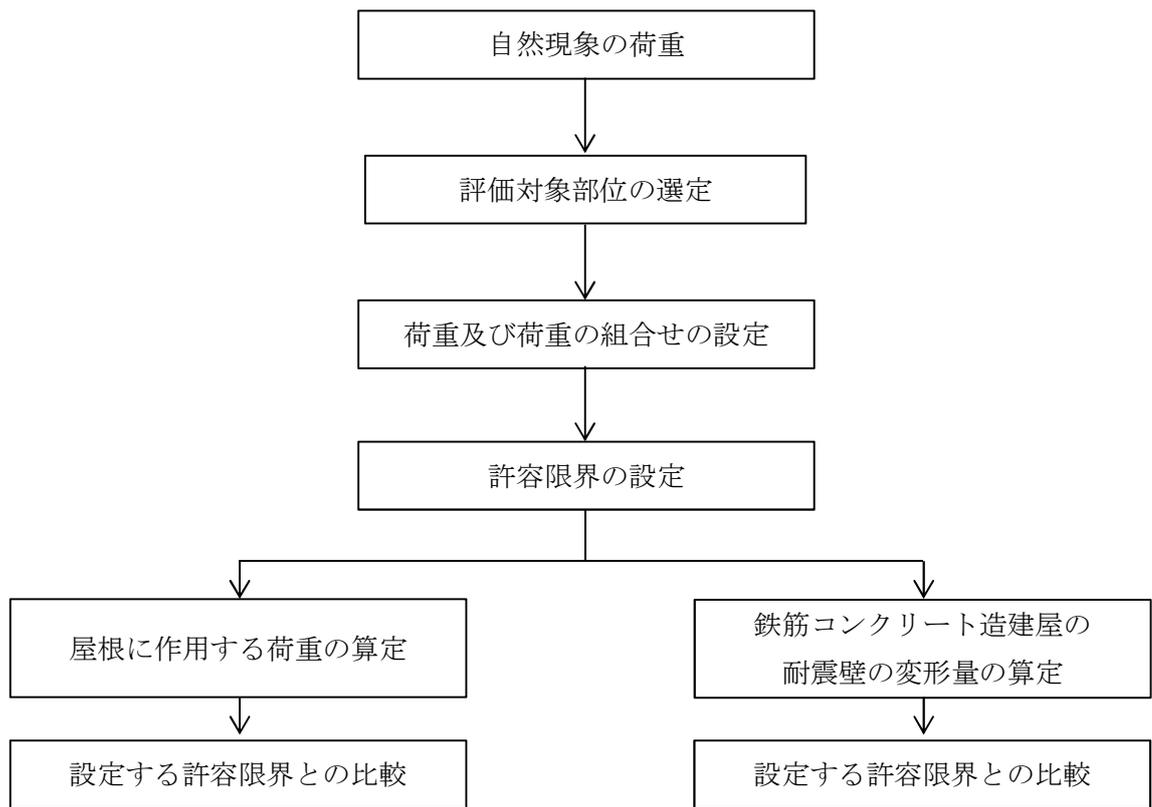


図 2-8 強度評価フロー

## 2.4 適用規格

原子炉建屋の地震応答解析において適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 茨城県建築基準法等施行細則（昭和 45 年 3 月 9 日茨城県規則第 9 号）
- (3) 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005）（以下「S規準」という。）
- (4) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，1999）（以下「RC規準」という。）
- (5) 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005）（以下「RC-N規準」という。）
- (6) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4 6 0 1-1987（（社）日本電気協会）
- (7) 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 4 6 0 1・補-1984（（社）日本電気協会）
- (8) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4 6 0 1-1991 追補版（（社）日本電気協会）
- (9) 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所 2015）（以下「技術基準解説書」という。）

### 3. 強度評価方法及び評価条件

#### 3.1 評価対象部位

原子炉建屋、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価対象部位は、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、屋根及び耐震壁とする。

屋根のうち、主体構造である屋根スラブ及び主トラスが降下火砕物の鉛直荷重に対して抵抗しているため、これらを実評価対象部位とする。また、二次部材として原子炉建屋は母屋を実評価対象部位とする。

#### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

##### 3.2.1 荷重の設定

###### (1) 固定荷重 ( $F_d$ )

###### a. 屋根スラブ

原子炉建屋、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の屋根スラブに作用する固定荷重を表 3-1 に示す。

表 3-1 (1/3) 原子炉建屋の屋根スラブ及び母屋検討用の固定荷重

| 部 位   | 仕 上 げ   | 固定荷重 ( $F_d$ )  |
|-------|---|---|
| 屋根スラブ | 防水シート   | 3 kgf/m <sup>2</sup>  |
|       | アスファルト防水層<br>コンクリート (t=100 mm)<br>デッキプレート部コンクリート<br>デッキプレート | 37 kgf/m <sup>2</sup><br>240 kgf/m <sup>2</sup><br>45 kgf/m <sup>2</sup><br>18 kgf/m <sup>2</sup> |
|       | 合 計   | 343 kgf/m <sup>2</sup> →3370 N/m <sup>2</sup>   |
| 母屋    | (H-390×300×10×16)   | 1050 N/m  |

表 3-1 (2/3) タービン建屋の屋根スラブ検討用の固定荷重

| 部 位   | 仕 上 げ             | 固 定 荷 重 (F <sub>d</sub> )                     |
|-------|-------------------|---|
| 屋根スラブ | 軽量コンクリートブロック      | 54 kgf/m <sup>2</sup>                         |
|       | 空練モルタル敷(貧調合)      | 60 kgf/m <sup>2</sup>                         |
|       | アスファルト防水層         | 37 kgf/m <sup>2</sup>                         |
|       | コンクリート (t=100 mm) | 240 kgf/m <sup>2</sup>                        |
|       | デッキプレート部コンクリート    | 45 kgf/m <sup>2</sup>                         |
|       | デッキプレート           | 18 kgf/m <sup>2</sup>                         |
|       | 合 計               | 454 kgf/m <sup>2</sup> →4460 N/m <sup>2</sup> |

表 3-1 (3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の屋根スラブ検討用の固定荷重

| 部 位   | 仕 上 げ                 | 固 定 荷 重 (F <sub>d</sub> )                       |
|-------|-----------------------|---|
| 屋根スラブ | 砂利 (t=30 mm)          | 63 kgf/m <sup>2</sup>                           |
|       | アスファルト防水層             | 20 kgf/m <sup>2</sup>                           |
|       | スラブ (t=450+34=484 mm) | 1162 kgf/m <sup>2</sup>                         |
|       | デッキプレート               | 29 kgf/m <sup>2</sup>                           |
|       | 合 計                   | 1274 kgf/m <sup>2</sup> →12500 N/m <sup>2</sup> |

b. 主トラス

原子炉建屋、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の主トラスに作用する固定荷重を表 3-2 に示す。

表 3-2 (1/3) 原子炉建屋の主トラス検討用の固定荷重

| 部 位                  | 部 材   | 固 定 荷 重 (F <sub>d</sub> )                     |
|----------------------|-------|---|
| 屋根面<br>(EL. 64.08 m) | 屋根スラブ | 343 kgf/m <sup>2</sup>                        |
|                      | トラス鋼材 | 204 kgf/m <sup>2</sup>                        |
|                      | 合 計   | 547 kgf/m <sup>2</sup> →5370 N/m <sup>2</sup> |

表 3-2 (2/3) タービン建屋の主トラス検討用の固定荷重

| 部 位                  | 部 材   | 固 定 荷 重 (F <sub>d</sub> )                     |
|----------------------|-------|---|
| 屋根面<br>(EL. 40.45 m) | 屋根スラブ | 454 kgf/m <sup>2</sup>                        |
|                      | トラス鋼材 | 125 kgf/m <sup>2</sup>                        |
|                      | 合 計   | 579 kgf/m <sup>2</sup> →5680 N/m <sup>2</sup> |

表 3-2 (3/3) 使用済燃料貯蔵建屋の主トラス検討用の固定荷重

| 部 位                  | 部 材            | 固定荷重 (F <sub>d</sub> )                            |
|----------------------|----------------|---|
| 屋根面<br>(EL. 29.20 m) | 屋根スラブ<br>トラス鋼材 | 1274 kgf/m <sup>2</sup><br>150 kgf/m <sup>2</sup> |
|                      | 合 計            | 1424 kgf/m <sup>2</sup> →14000N/m <sup>2</sup>    |

(2) 積載荷重 (F<sub>1</sub>)

積載荷重は、「建築構造設計基準の資料 (国土交通省 平成 27 年版)」における「屋上 (通常人が使用しない場合)」の床版計算用積載荷重における 980 N/m<sup>2</sup>を包絡するように、除灰時の人員荷重として 1000 N/m<sup>2</sup>とする。積載荷重を表 3-3 に示す。

表 3-3 積載荷重

|                        |
|------------------------|
| 積載荷重 (F <sub>1</sub> ) |
| 1000 N/m <sup>2</sup>  |

(3) 積雪荷重 (F<sub>s</sub>)

積雪荷重は、茨城県建築基準法等施行細則 (昭和 45 年 3 月 9 日茨城県規則第 9 号) による東海村の垂直積雪量 30 cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した 10.5 cm に設定し、積雪量 1 cm ごとに 20 N/m<sup>2</sup>の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。積雪荷重を表 3-4 に示す。

表 3-4 積雪荷重

|                        |
|------------------------|
| 積雪荷重 (F <sub>s</sub> ) |
| 210 N/m <sup>2</sup>   |

(4) 降下火砕物堆積による鉛直荷重 (F<sub>v</sub>)

降下火砕物堆積による単位面積あたりの鉛直荷重は、7355 N/m<sup>2</sup>とする。降下火砕物堆積による鉛直荷重を表 3-5 に示す。

表 3-5 降下火砕物堆積による鉛直荷重

|                                  |
|----------------------------------|
| 降下火砕物堆積による鉛直荷重 (F <sub>v</sub> ) |
| 7355 N/m <sup>2</sup>            |

(5) 風荷重(W)

a. 記号の定義

原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の強度評価において風荷重の算定に用いる記号を表 3-6 に示す。

表 3-6 風荷重の算定に用いる記号

| 記号             | 単位               | 定義   |
|----------------|------------------|--|
| A              | m <sup>2</sup>   | 風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）                     |
| C              | —                | 風力係数                                       |
| E'             | —                | 建築基準法施行令第87条第2項に規定する数値                     |
| E <sub>r</sub> | —                | 建設省告示第1454号第2項の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数 |
| G              | —                | ガスト影響係数                                    |
| H              | m                | 全高   |
| q              | N/m <sup>2</sup> | 設計用速度圧                                     |
| V <sub>D</sub> | m/s              | 基準風速                                       |
| W              | N                | 風荷重  |
| Z <sub>G</sub> | m                | 地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数字               |
| Z <sub>b</sub> | m                | 地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数字               |
| α              | —                | 地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数字               |

b. 風荷重 (W) の算定

風荷重の算出に用いる基準風速は，30 m/s とする。

風荷重Wは，V-3-別添 2-1 「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. 水平荷重」に示す式に従い算出する。全高Hが5 m以上であるため，HがZ<sub>b</sub>以上の場合の式を用いる。風荷重Wの算出は，建屋の形状を考慮して算出した風力係数C及び風の受圧面積Aに基づき実施し，風荷重Wの算出に用いる受圧面積の算定において，隣接する建屋の遮断効果は，安全側の評価となるよう考慮しない。

$$W = q \cdot C \cdot A$$

ここで

$$q = 0.6 E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合})$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_G \text{ 以下の場合})$$

風荷重算定に使用する入力条件を表 3-7 及び表 3-8 に示す。

表 3-7 設計風荷重の条件

| 施設名称            | 基準風速<br>$V_D$<br>(m/s) | 全高<br>$H$<br>(m) | $Z_G$<br>(m) | $\alpha$ | ガスト影<br>響<br>係数<br>$G$ | 設計用<br>速度圧<br>$q$ (N/m <sup>2</sup> ) |
|-----------------|------------------------|------------------|--------------|----------|------------------------|---------------------------------------|
| 原子炉建屋           | 30                     | 55.65            | 350          | 0.15     | 2.00                   | 1798                                  |
| タービン建屋          | 30                     | 32.64            | 350          | 0.15     | 2.05                   | 1571                                  |
| 使用済燃料乾式<br>貯蔵建屋 | 30                     | 21.20            | 350          | 0.15     | 2.13                   | 1430                                  |

表 3-8 (1/3) 原子炉建屋の風力係数及び受圧面積

(a) NS 方向

| 標高<br>EL. (m) | 風力係数 C |     | 受圧面積 A (m <sup>2</sup> ) |     |
|---------------|--------|-----|--------------------------|-----|
|               | 風上     | 風下  | 風上                       | 風下  |
| 63.65 ~ 57.00 | 0.80   | 0.4 | 331                      | 331 |
| 57.00 ~ 46.50 | 0.77   | 0.4 | 447                      | 447 |
| 46.50 ~ 38.80 | 0.72   | 0.4 | 328                      | 328 |
| 38.80 ~ 34.70 | 0.67   | 0.4 | 175                      | 175 |
| 34.70 ~ 29.00 | 0.64   | 0.4 | 266                      | 266 |
| 29.00 ~ 20.30 | 0.60   | 0.4 | 581                      | 581 |
| 20.30 ~ 14.00 | 0.51   | 0.4 | 430                      | 430 |
| 14.00 ~ 8.20  | 0.41   | 0.4 | 396                      | 396 |

(b) EW 方向

| 標高<br>EL. (m) | 風力係数 C |     | 受圧面積 A (m <sup>2</sup> ) |     |
|---------------|--------|-----|--------------------------|-----|
|               | 風上     | 風下  | 風上                       | 風下  |
| 63.65 ~ 57.00 | 0.80   | 0.4 | 354                      | 354 |
| 57.00 ~ 46.50 | 0.77   | 0.4 | 478                      | 478 |
| 46.50 ~ 38.80 | 0.72   | 0.4 | 351                      | 351 |
| 38.80 ~ 34.70 | 0.67   | 0.4 | 187                      | 187 |
| 34.70 ~ 29.00 | 0.64   | 0.4 | 283                      | 283 |
| 29.00 ~ 20.30 | 0.60   | 0.4 | 570                      | 570 |
| 20.30 ~ 14.00 | 0.51   | 0.4 | 432                      | 432 |
| 14.00 ~ 8.20  | 0.41   | 0.4 | 398                      | 398 |

表 3-8 (2/3) タービン建屋の風力係数及び受圧面積

(a) NS 方向

| 標高<br>EL. (m) | 風力係数 C |     | 受圧面積 A (m <sup>2</sup> ) |      |
|---------------|--------|-----|--------------------------|------|
|               | 風上     | 風下  | 風上                       | 風下   |
| 40.64 ~ 28.00 | 0.80   | 0.4 | 1408                     | 1408 |
| 28.00 ~ 18.00 | 0.69   | 0.4 | 1129                     | 1129 |
| 18.00 ~ 8.20  | 0.56   | 0.4 | 1034                     | 1034 |

(b) EW 方向

| 標高<br>EL. (m) | 風力係数 C |     | 受圧面積 A (m <sup>2</sup> ) |     |
|---------------|--------|-----|--------------------------|-----|
|               | 風上     | 風下  | 風上                       | 風下  |
| 40.64 ~ 28.00 | 0.80   | 0.4 | 585                      | 585 |
| 28.00 ~ 18.00 | 0.69   | 0.4 | 733                      | 733 |
| 18.00 ~ 8.20  | 0.56   | 0.4 | 696                      | 696 |

表 3-8 (3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の風力係数及び受圧面積

(a) NS 方向

| 標高<br>EL. (m) | 風力係数 C |     | 受圧面積 A (m <sup>2</sup> ) |     |
|---------------|--------|-----|--------------------------|-----|
|               | 風上     | 風下  | 風上                       | 風下  |
| 29.20 ~ 17.75 | 0.80   | 0.4 | 318                      | 318 |
| 17.75 ~ 8.30  | 0.63   | 0.4 | 254                      | 254 |

(b) EW 方向

| 標高<br>EL. (m) | 風力係数 C |     | 受圧面積 A (m <sup>2</sup> ) |     |
|---------------|--------|-----|--------------------------|-----|
|               | 風上     | 風下  | 風上                       | 風下  |
| 29.20 ~ 17.75 | 0.80   | 0.4 | 657                      | 657 |
| 17.75 ~ 8.30  | 0.63   | 0.4 | 525                      | 525 |

### 3.2.2 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、建屋の評価対象部位毎に設定する。建屋に水平方向の風荷重が作用すると、屋根に対し鉛直上向きの荷重が働き、鉛直下向きの荷重が低減されるため、保守的に考え、風による鉛直方向の荷重は考慮しない。

原子炉建屋、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価に用いる荷重の組合せを表 3-9 に示す。

表 3-9 荷重の組合せ

| 施設分類 | 施設名称  | 評価対象部位 | 荷重   |
|------|---|--------|--|
| 建屋   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉建屋</li> <li>・タービン建屋</li> <li>・使用済燃料乾式貯蔵建屋</li> </ul> | 屋根     | ①固定荷重<br>②積載荷重<br>③降下火砕物等堆積による鉛直荷重         |
|      |   | 耐震壁    | ①固定荷重<br>②積載荷重<br>③降下火砕物等堆積による鉛直荷重<br>④風荷重 |

### 3.3 許容限界

原子炉建屋、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の許容限界は、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.1 評価対象部位」にて設定している建屋の評価対象部位ごとに設定する。

常時作用する固定荷重、除灰時の人員荷重としての積載荷重及び降下火砕物等堆積による鉛直荷重に対する屋根の評価において、降下火砕物等堆積による鉛直荷重は一時的なものであることから短期荷重として扱う。

各建屋の評価における許容限界を表 3-10 のとおり設定する。また、鋼材、コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 3-11、表 3-12 及び表 3-13 に示す。

表 3-10(1/3) 原子炉建屋の屋根及び耐震壁の許容限界

| 要求機能 | 機能設計上の性能目標            | 部位    |                                     | 機能維持のための考え方  | 許容限界(評価基準値)              |
|------|-----------------------|-------|-------------------------------------|--|--------------------------|
| —    | 構造強度を有すること            | 屋根    | 屋根スラブ                               | 部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認<br><br><b>母屋を評価対象としている理由をご説明</b> | 終局耐力に対し適切な安全裕度を有する許容限界*1 |
|      |                       |       | 主トラス                                |  | 終局耐力に対し適切な安全裕度を有する許容限界*2 |
|      |                       |       | 母屋(二次部材)                            |  |                          |
|      |                       | 耐震壁   | 最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認 | 最大せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$  |                          |
| 気密性  | 換気性能とあいまって気密機能を維持すること | 屋根スラブ | 部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認  | 短期許容応力度*3  |                          |
| 遮蔽性  | 遮蔽体の損傷により遮蔽機能を損なわないこと | 屋根スラブ | 部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認  | 短期許容応力度*3  |                          |

注記 \*1：構造強度に対しては、「終局耐力に対し適切な安全裕度を有する許容限界」が許容限界となるが、気密性、遮蔽性において「短期許容応力度」を許容限界としていることから、短期許容応力度で評価

\*2：弾性限耐力として「S規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき F 値×1.1 を適用

\*3：「RC-N規準」の短期許容応力度で評価

表 3-10(2/3) タービン建屋の屋根及び耐震壁の許容限界

| 要求機能 | 機能設計上の性能目標                | 部位  |                                     | 機能維持のための考え方                                | 許容限界*2<br>(評価基準値) |
|------|---------------------------|-----|-------------------------------------|--|-------------------|
| —    | 内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと | 屋根  | 屋根スラブ                               | 内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために落下しないことを確認*1     | 終局耐力*3            |
|      |                           |     | 主トラス                                | 内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために崩壊機構が形成されないことを確認 | 崩壊機構が形成されないこと*4   |
|      |                           | 耐震壁 | 最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認 | 最大せん断ひずみ<br>$4.0 \times 10^{-3}$           |                   |

- 注記
- \*1：屋根スラブの落下により、内包するクラス2設備を損傷させる可能性があることから、機能維持のために落下しないことを確認
  - \*2：複数部材で構成されている屋根において、単一部材である屋根スラブは、部材の終局耐力を許容限界とし、構造体として主トラスが崩壊しないことを許容限界とする。
  - \*3：機能維持に対しては終局耐力が許容限界となるが、「RC-N規準」の短期許容応力度で評価
  - \*4：部材の構造健全性評価においては、弾性限耐力\*5が基本となるが、一部の部材が弾性限耐力を超過した場合は、その部材に対して、修正若林式\*6,\*7及び鋼構造限界状態設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010）による座屈耐力を用い、構造健全性を評価する。なお、適切な裕度を有していることを、荷重増分解析により確認する。
  - \*5：弾性限耐力として「S規準」の短期許容応力度の評価式に平成12年建設省告示第2464号に基づきF値×1.1を適用
  - \*6：鉄骨X型ブレース架構の復元力特性に関する研究，日本建築学会構造工学論文集，Vol. 37B, pp. 303-316, 1991（谷口元，加藤勉ほか）
  - \*7：原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究，日本建築学会構造系論文集第76巻第661号，pp571-580, 2011（鈴木琢也，貫井泰ほか）

表 3-10(3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の屋根及び耐震壁の許容限界

| 要求機能 | 機能設計上の性能目標                | 部位  |                                     | 機能維持のための考え方                                | 許容限界*2<br>(評価基準値) |
|------|---------------------------|-----|-------------------------------------|--|-------------------|
| —    | 内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと | 屋根  | 屋根スラブ                               | 内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために落下しないことを確認*1     | 終局耐力*3            |
|      |                           |     | 主トラス                                | 内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために崩壊機構が形成されないことを確認 | 崩壊機構が形成されないこと*4   |
|      |                           | 耐震壁 | 最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認 | 最大せん断ひずみ<br>$4.0 \times 10^{-3}$           |                   |

- 注記 \*1：屋根スラブの落下により，内包するクラス2設備を損傷させる可能性があることから，機能維持のために落下しないことを確認
- \*2：複数部材で構成されている屋根において，単一部材である屋根スラブは，部材の終局耐力を許容限界とし，構造体として主トラスが崩壊しないことを許容限界とする。
- \*3：機能維持に対しては終局耐力が許容限界となるが，「RC-N規準」の短期許容応力度で評価
- \*4：部材の構造健全性評価においては，弾性限耐力\*5が基本となるが，一部の部材が弾性限耐力を超過した場合は，その部材に対して，修正若林式\*6,\*7及び鋼構造限界状態設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010）による座屈耐力を用い，構造健全性を評価する。
- \*5：弾性限耐力として「S規準」の短期許容応力度の評価式に平成12年建設省告示第2464号に基づきF値×1.1を適用
- \*6：鉄骨X型ブレース架構の復元力特性に関する研究，日本建築学会構造工学論文集，Vol. 37B, pp. 303-316, 1991（谷口元，加藤勉ほか）
- \*7：原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究，日本建築学会構造系論文集第76巻 第661号, pp571-580, 2011（鈴木琢也，貫井泰ほか）

表 3-11 鋼材の許容応力度

| 建屋              | 種類                  |                | F 値<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 短期                         |                                |                             |
|-----------------|---------------------|----------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
|                 |                     |                |                             | 引張<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 圧縮及び曲げ<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | せん断<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
| 原子炉建屋<br>タービン建屋 | SS400* <sup>1</sup> | t ≤ 40<br>(mm) | 235                         | 235                        | 235* <sup>2</sup>              | 135                         |
| 使用済燃料<br>乾式貯蔵建屋 | SS400<br>SM400A     | t ≤ 40<br>(mm) | 235                         | 235                        | 235* <sup>2</sup>              | 135                         |

注記 \*1：建設当時の鋼材の種類は SS41 であるが、現在の規格（SS400）に読み替えた許容  
応力度を示す。

\*2：上限値であり、座屈長さ等を勘案して設定する。

表 3-12 コンクリートの許容応力度

| 建屋              | 設計基準強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 短期                         |                             |
|-----------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
|                 |                                | 圧縮<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | せん断<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
| 原子炉建屋<br>タービン建屋 | 22.1                           | 14.7                       | 1.06                        |
| 使用済燃料<br>乾式貯蔵建屋 | 23.5                           | 15.6                       | 1.08                        |

表 3-13 鉄筋の許容応力度

| 建屋              | 種類     | 短期                             |                                 |
|-----------------|--------|--------------------------------|---------------------------------|
|                 |        | 引張及び圧縮<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 面外せん断補強<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
| 原子炉建屋<br>タービン建屋 | SD345* | 345                            | 345                             |
| 使用済燃料<br>乾式貯蔵建屋 | SD345  | 345                            | 345                             |

注記 \*：建設当時の鉄筋の種類は SD35 であるが、現在の規格（SD345）に読み替えた許容  
応力度を示す。

### 3.4 評価方法

#### 3.4.1 屋根に対する評価

##### 3.4.1.1 原子炉建屋

##### (1) 屋根スラブ

曲げモーメントによる鉄筋応力度及び面外せん断応力度を算定し、各許容値を超えないことを確認する。なお、評価においては、表 3-10(1/3)に示すように、機能設計上の性能目標の構造強度に対する許容限界は、終局限界に対し妥当な安全裕度を有する許容限界となるが、気密性、遮蔽性において、短期許容応力度を許容限界としていることから、屋根スラブについては、短期許容応力度で評価する。

##### a. 応力解析モデル及び諸元

屋根スラブは母屋で支持された 1 方向スラブとして単位幅を取り出し、等分布荷重を受ける両端固定梁として応力を算定する。屋根スラブの検討は版厚が最も薄く支持スパンの長い屋根トラス上に配置されている屋根スラブを対象に実施する。

屋根スラブの解析モデルを図 3-1 に、屋根スラブ評価部材の位置を図 3-2 に、屋根スラブ検討条件を表 3-14 に示す。

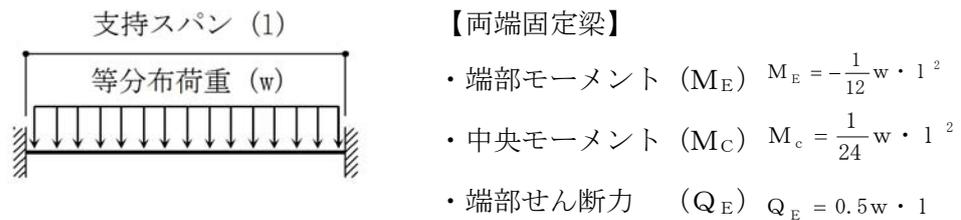


図 3-1 原子炉建屋 屋根スラブの解析モデル(両端固定梁)

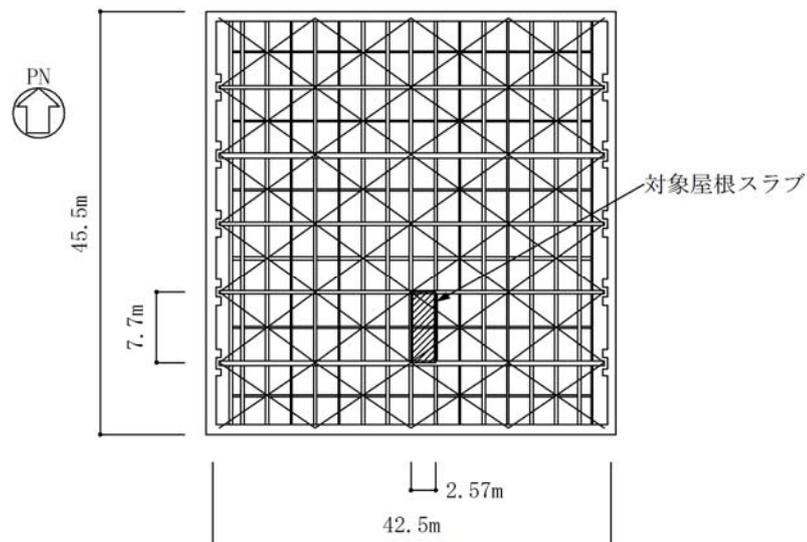


図 3-2 原子炉建屋 屋根スラブ評価部材の位置 (EL. 64.08m)

表 3-14 原子炉建屋 屋根スラブの検討条件

| 評価対象部位    |             |    | スラブ厚<br>(mm) | 有効せい<br>(mm) | 支持<br>スパン<br>(m) | 配筋        | 配筋量<br>(片側)<br>(mm <sup>2</sup> /m) |
|-----------|-------------|----|--------------|--------------|------------------|-----------|-------------------------------------|
| 原子炉<br>建屋 | EL. 64. 08m | S1 | 100          | 50           | 2. 57            | 2-D13@180 | 703. 9                              |

b. 曲げモーメントに対する屋根スラブ断面の評価方法

曲げモーメントに対する断面の評価は、RC-N規準に基づき、次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで、

$\sigma_t$  : 鉄筋の引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

M : 曲げモーメント (N・mm)

$a_t$  : 引張鉄筋断面積 (mm<sup>2</sup>)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

c. 面外せん断力に対する屋根スラブ断面の評価方法

面外せん断力に対する断面の評価は、RC-N規準に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断応力度が、次式をもとに計算した許容限界を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$$

ここで、

$Q_A$  : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

$\alpha$  : 許容せん断力の割り増し係数

(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1}$$

ここで、

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

$f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

(2) 主トラス

屋根トラスは、3次元フレームモデルによる応力解析より主トラスの応力度を算定し、各許容限界を超えないことを確認する。

応力解析は、3次元フレームモデルを用いた弾性応力解析を実施する。解析には、原子炉建屋については解析コード「DYNA2E Version. 8.0.4」を用いる。なお、解析コードの検証及び妥当性確認などの概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

a. 応力解析モデル及び諸元

応力解析モデルは、原子炉建屋についてはEL. 46.5mより上部の耐震壁、柱、梁、屋根トラス及び屋根スラブをモデル化した解析モデルを用いる。

解析モデルを図3-3に、屋根トラスの部材リストを表3-15に、材料物性値を表3-16に示す。

解析モデルに使用する要素は、シェル要素、梁要素及びトラス要素とする。また、解析モデルの脚部は固定とする。

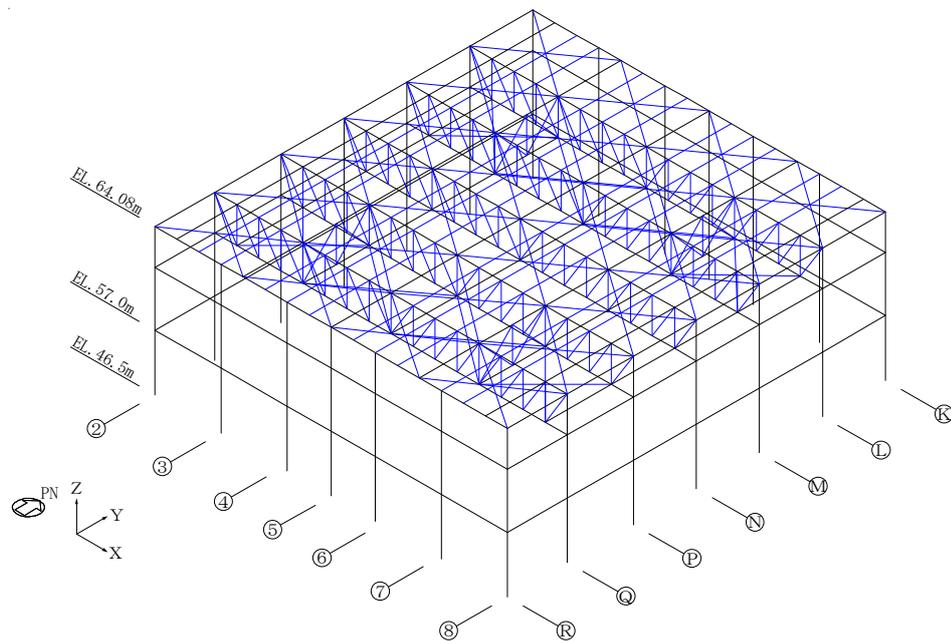


図 3-3 原子炉建屋 屋根トラス解析モデル

表 3-15 原子炉建屋 屋根トラス部材リスト

| 部 材   | 断面積<br>A<br>( $\text{cm}^2$ ) | 断面 2 次モーメント<br>I<br>( $\text{cm}^4$ ) |
|---|-------------------------------|---------------------------------------|
| H-400×400×13×21                                     | 218.7                         | 66600                                 |
| 2L <sub>s</sub> -200×200×15+2FB <sub>s</sub> -9×150 | 142.5                         | —                                     |
| 2L <sub>s</sub> -200×200×15                         | 115.5                         | —                                     |
| 2L <sub>s</sub> -150×150×15                         | 85.48                         | —                                     |
| 2L <sub>s</sub> -150×100×12                         | 57.12                         | —                                     |
| 2L <sub>s</sub> -100×100×10                         | 38.00                         | —                                     |
| H-390×300×10×16                                     | 136.0                         | 38700                                 |
| H-582×300×12×17                                     | 174.5                         | 103000                                |
| H-250×250×9×14                                      | 92.18                         | 10800                                 |
| 2CT <sub>s</sub> -200×400×13×21                     | 218.6                         | —                                     |
| CT-300×200×11×17                                    | 67.21                         | —                                     |
| 2L <sub>s</sub> -90×90×10                           | 34.00                         | —                                     |

表 3-16 原子炉建屋 材料物性値

| 使用材料                           | ヤング係数<br>E (N/mm <sup>2</sup> ) | せん断弾性係数<br>G (N/mm <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 鉄筋コンクリート : F <sub>c</sub> 22.1 | $2.21 \times 10^4$              | $9.21 \times 10^3$                |
| 鉄 骨 : SS400*                   | $2.05 \times 10^5$              | $7.9 \times 10^4$                 |

注記 \* : 建設当時の鋼材の種類は SS41 であるが、現在の規格 (SS400) に読み替え

## b. 鋼材断面の評価法

断面の評価は、S規準に基づき、次式をもとに計算した評価対象部位に生じる軸力及び曲げモーメントによる応力度が許容限界を超えないことを確認する。

なお、許容限界については、表 3-10(1/3)に示すように、終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界を設定し、その許容限界は、弾性限耐力としてS規準の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき F 値×1.1 を適用する。

(圧縮)

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

ただし、

$$\sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

$N_c$  : 圧縮軸力 (N)

$A$  : 部材の軸断面積 ( $\text{mm}^2$ )

$M$  : 曲げモーメント ( $\text{N}\cdot\text{mm}$ )

$Z$  : 部材の断面係数 ( $\text{mm}^3$ )

$f_c$  : 鋼材の弾性限圧縮応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

$f_b$  : 鋼材の弾性限曲げ応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

(引張)

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \leq 1.0$$

ただし、

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

$N_t$  : 引張軸力 (N)

$A$  : 部材の軸断面積 ( $\text{mm}^2$ )

$M$  : 曲げモーメント ( $\text{N}\cdot\text{mm}$ )

$Z$  : 部材の断面係数 ( $\text{mm}^3$ )

$f_t$  : 鋼材の弾性限引張応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

(3) 母屋（二次部材）

母屋（二次部材）における曲げモーメント及びせん断力による応力度を算定し、許容限界を超えないことを確認する。

a. 応力解析モデル及び諸元

母屋は主トラスで支持されたスパンの支配幅を取り出し、等分布荷重を受ける単純梁（両端ピン支持の梁）として応力を算定する。

母屋の解析モデルを図 3-4 に、母屋の評価部材の位置を図 3-5 に、母屋の検討条件を表 3-17 に示す。

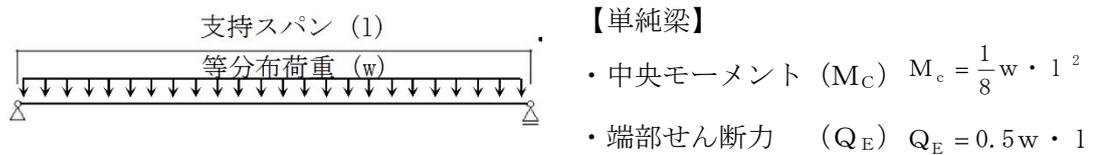


図 3-4 原子炉建屋 母屋（二次部材）の解析モデル(単純梁)

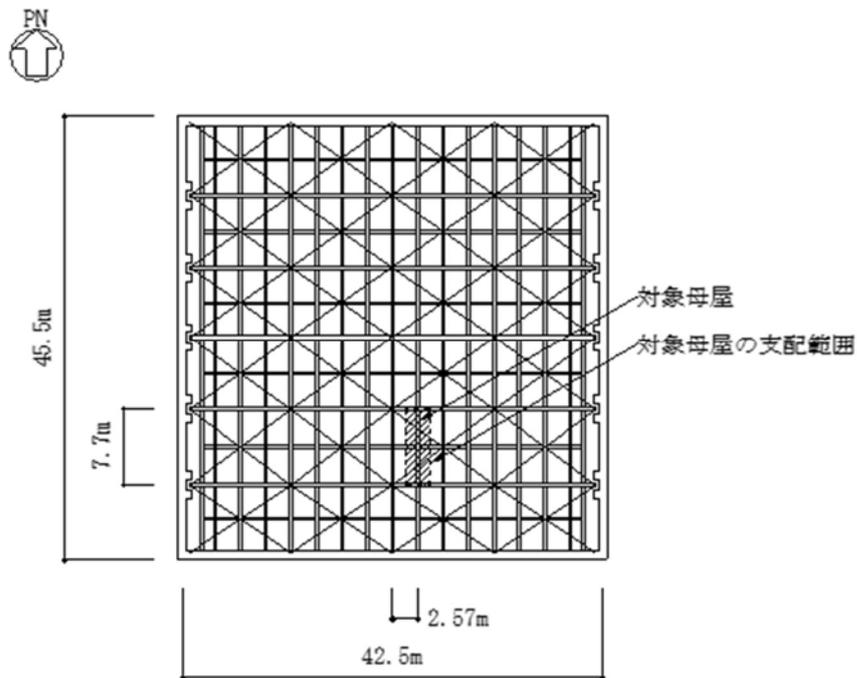


図 3-5 原子炉建屋 母屋（二次部材）の評価部材の位置 (EL. 64.08m)

表 3-17 原子炉建屋 母屋（二次部材）の検討条件

| 評価対象部位    |                 | 支配幅<br>(m) | 支持<br>スパン<br>(m) | 断面<br>係数<br>(cm <sup>3</sup> ) | せん断<br>断面積<br>(mm <sup>2</sup> ) |
|-----------|-----------------|------------|------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 原子炉<br>建屋 | H-390×300×10×16 | 2.57       | 7.7              | 1980                           | 3580                             |

b. 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は、S規準に基づき、次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる応力度が許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

$\sigma_b$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : 部材の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

c. せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、S規準に基づき、次式をもとに計算した評価対象部位に生じるせん断応力度が許容限界を超えないことを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{A_s}$$

ここで、

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

Q : せん断力 (N)

$A_s$  : 部材のせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

### 3.4.1.2 タービン建屋

#### (1) 屋根スラブ

曲げモーメントによる鉄筋応力度及び面外せん断応力度を算定し、各許容値を超えないことを確認する。なお、評価においては、表 3-10(2/3)に示すように、屋根スラブの落下により内包するクラス 2 設備を損傷させる可能性があることから、機能設計上の性能目標の内包する防護すべき施設に波及的影響をおよぼさないことに対する許容限界は、終局耐力となるが、本評価では、屋根スラブについて、RC-N規準の短期許容応力度で評価する。

##### a. 応力解析モデル及び諸元

屋根スラブは母屋で支持された 1 方向スラブとして単位幅を取り出し、等分布荷重を受ける両端固定梁として応力を算定する。屋根スラブの検討は版厚が最も薄く支持スパンの長い屋根トラス上に配置されている屋根スラブを対象に実施する。

屋根スラブの解析モデルを図 3-6 に、屋根スラブ評価部材の位置を図 3-7 に、屋根スラブ検討条件を表 3-18 に示す。

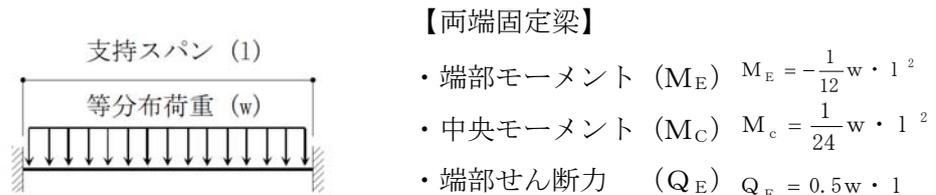


図 3-6 タービン建屋 屋根スラブの解析モデル(両端固定梁)

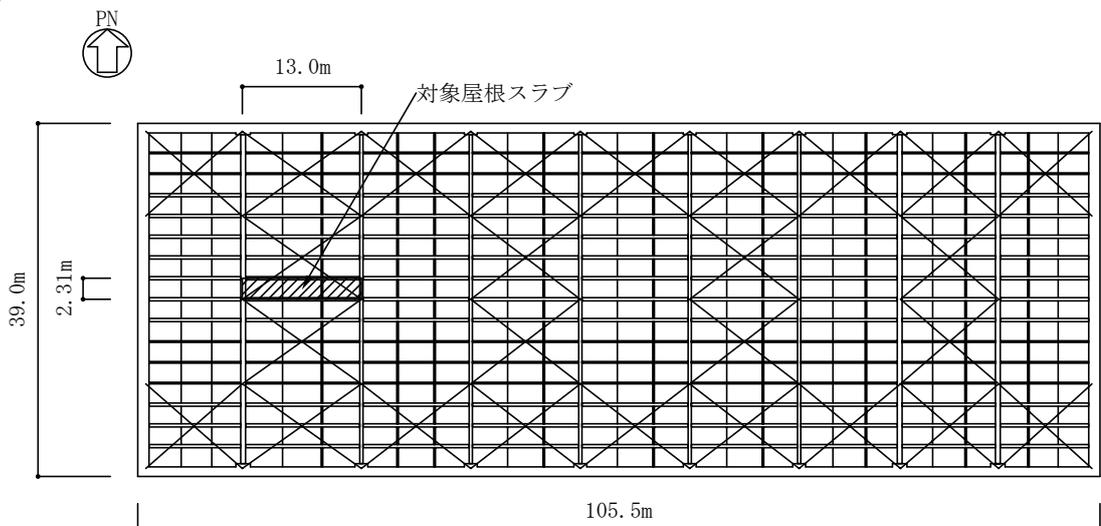


図 3-7 タービン建屋 屋根スラブ評価部材の位置 (EL. 40.45 m)

表 3-18 タービン建屋 屋根スラブの検討条件

| 評価対象部位         |             | スラブ厚<br>(mm) | 有効せい<br>(mm) | 支持<br>スパン<br>(m) | 配筋   | 配筋量<br>(片側)<br>(mm <sup>2</sup> /m) |       |
|----------------|-------------|--------------|--------------|------------------|------|-------------------------------------|-------|
| ター<br>ビン<br>建屋 | EL. 40.45 m | S1           | 100          | 50               | 2.31 | 2-D13@200                           | 633.5 |

b. 曲げモーメントに対する屋根スラブ断面の評価方法

曲げモーメントに対する断面の評価は，RC-N規準に基づき，次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が，許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで，

$\sigma_t$  : 鉄筋の引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

M : 曲げモーメント (N・mm)

$a_t$  : 引張鉄筋断面積 (mm<sup>2</sup>)

j : 断面の応力中心間距離で，断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

c. 面外せん断力に対する屋根スラブ断面の評価方法

面外せん断力に対する断面の評価は，「RC-N規準」に基づき，評価対象部位に生じる面外せん断応力度が，次式をもとに計算した許容限界を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$$

ここで，

$Q_A$  : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で，断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

$\alpha$  : 許容せん断力の割り増し係数

(2 を超える場合は 2，1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1}$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

$Q$  : せん断力 (N)

$d$  : 断面の有効せい (mm)

$f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

(2) 主トラス

屋根トラスは、3次元フレームモデルによる応力解析より主トラスの応力度を算定し、各許容値を超えないことを確認する。

応力解析は、3次元フレームモデルを用いた弾性応力解析を実施する。解析には、タービン建屋については解析コード「DYNA2E Version. 8.0.4」を用いる。なお、解析コードの検証及び妥当性確認などの概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

a. 応力解析モデル及び諸元

応力解析モデルは、タービン建屋についてはEL. 18.0mより上部の耐震壁、柱、梁、屋根トラス及び屋根スラブをモデル化した解析モデルを用いる。

解析モデルを図3-8に、屋根トラスの部材リストを表3-19に、材料物性値を表3-20に示す。

解析モデルに使用する要素は、シェル要素、梁要素及びトラス要素とする。また、解析モデルの脚部は固定とする。

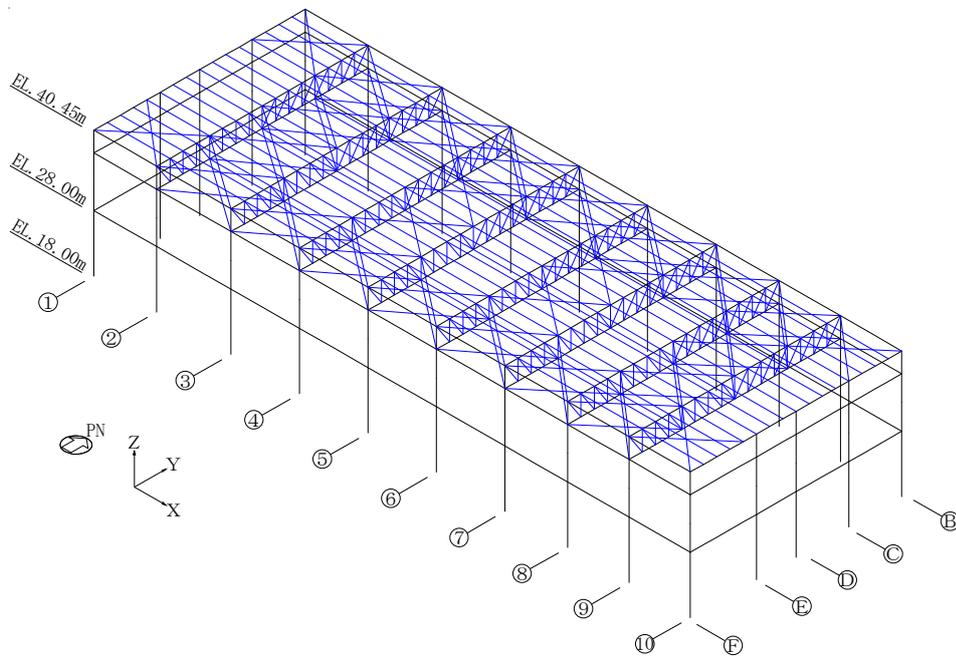


図 3-8 タービン建屋 屋根トラス解析モデル

表 3-19 タービン建屋 屋根トラス部材リスト

| 部 材                         | 断面積<br>A<br>(cm <sup>2</sup> ) | 断面 2 次モーメント<br>I<br>(cm <sup>4</sup> ) |
|-----------------------------|--------------------------------|--|
| H-428×407×20×35             | 360.7                          | 119000                                 |
| 2L <sub>s</sub> -200×200×20 | 152.0                          | —                                      |
| 2L <sub>s</sub> -200×200×15 | 115.5                          | —                                      |
| 2L <sub>s</sub> -150×150×19 | 106.8                          | —                                      |
| 2L <sub>s</sub> -150×150×15 | 85.48                          | —                                      |
| 2L <sub>s</sub> -130×130×12 | 59.52                          | —                                      |
| 2L <sub>s</sub> -100×100×10 | 38.00                          | —                                      |
| 2L <sub>s</sub> -130×130×9  | 45.48                          | —                                      |
| H-396×302×12×19             | 161.9                          | 46700                                  |
| H-248×249×8×13              | 84.70                          | 9930                                   |
| C T-175×175×7×11            | 31.57                          | —                                      |

表 3-20 タービン建屋 材料物性値

| 使用材料                           | ヤング係数<br>E<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | せん断弾性係数<br>G<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| 鉄筋コンクリート : F <sub>c</sub> 22.1 | 2.21×10 <sup>4</sup>               | 9.21×10 <sup>3</sup>                 |
| 鉄 骨 : SS400*                   | 2.05×10 <sup>5</sup>               | 7.9 ×10 <sup>4</sup>                 |

注記 \* : 建設当時の鋼材の種類は SS41 であるが現在の規格 (SS400) に読み替え

#### b. 鋼材断面の評価法

断面の評価は、S 規準に基づき、次式をもとに計算した評価対象部位に生じる軸力及び曲げモーメントによる応力度が許容限界を超えないことを確認する。

なお、許容限界については、表 3-10(2/3)に示すように、内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために崩壊機構が形成されないことを確認する。各部材の構造健全性評価においては、弾性限耐力\*<sup>1</sup>が基本となるが、一部の部材が弾性限耐力を超過した場合は、その部材に対して、修正若林式\*<sup>2</sup>、\*<sup>3</sup>及び鋼構造限界状態設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010）による座屈耐力を用い、構造健全性を評価する。

注記 \*1：弾性限耐力として、S 規準の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき F 値×1.1 を適用する。

\*2：鉄骨 X 型ブレース架構の復元力特性に関する研究，日本建築学会構造工学論文集，Vol. 37B, pp. 303-316, 1991（谷口元，加藤勉ほか）

\*3：原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究，日本建築学会構造系論文集 第 76 巻 第 661 号, pp571-580, 2011（鈴木琢也，貫井泰ほか）

(圧縮)

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

ただし，

$$\sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで，

$N_c$ ：圧縮軸力 (N)

$A$ ：部材の軸断面積 ( $\text{mm}^2$ )

$M$ ：曲げモーメント ( $\text{N}\cdot\text{mm}$ )

$Z$ ：部材の断面係数 ( $\text{mm}^3$ )

$f_c$ ：鋼材の弾性限圧縮応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

$f_b$ ：鋼材の弾性限曲げ応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

(引張)

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \leq 1.0$$

ただし，

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで，

$N_t$ ：引張軸力 (N)

$A$ ：部材の軸断面積 ( $\text{mm}^2$ )

$M$ ：曲げモーメント ( $\text{N}\cdot\text{mm}$ )

$Z$ ：部材の断面係数 ( $\text{mm}^3$ )

$f_t$ ：鋼材の弾性限引張応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

### 3.1.4.3 使用済燃料乾式貯蔵建屋

#### (1) 屋根スラブ

曲げモーメントによる鉄筋応力度及び面外せん断応力度を算定し、各許容値を超えないことを確認する。なお、評価においては、表 3-10(3/3)に示すように、屋根スラブの落下により内包するクラス 2 設備を損傷させる可能性があることから、機能設計上の性能目標の内包する防護すべき施設に波及的影響をおよぼさないことに対する許容限界は、終局耐力となるが、本評価では、屋根スラブについて、RC-N規準の短期許容応力度で評価する。

#### a. 応力解析モデル及び諸元

屋根スラブは 1 方向スラブとして単位幅を取り出し、等分布荷重を受ける両端支持梁として応力を算定する。屋根スラブの検討は当該屋根スラブが等厚、等スパンのため、配筋量の最も少ない部位を対象に実施する。

屋根スラブの解析モデルを図 3-9 に、屋根スラブ評価部材の位置を図 3-10 に、屋根スラブ検討条件を表 3-21 に示す。

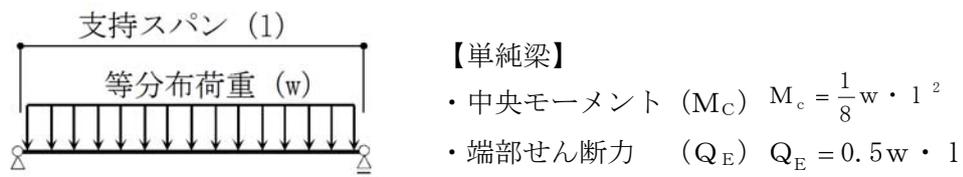


図 3-9 使用済燃料乾式貯蔵建屋 屋根スラブの解析モデル(両端支持梁)

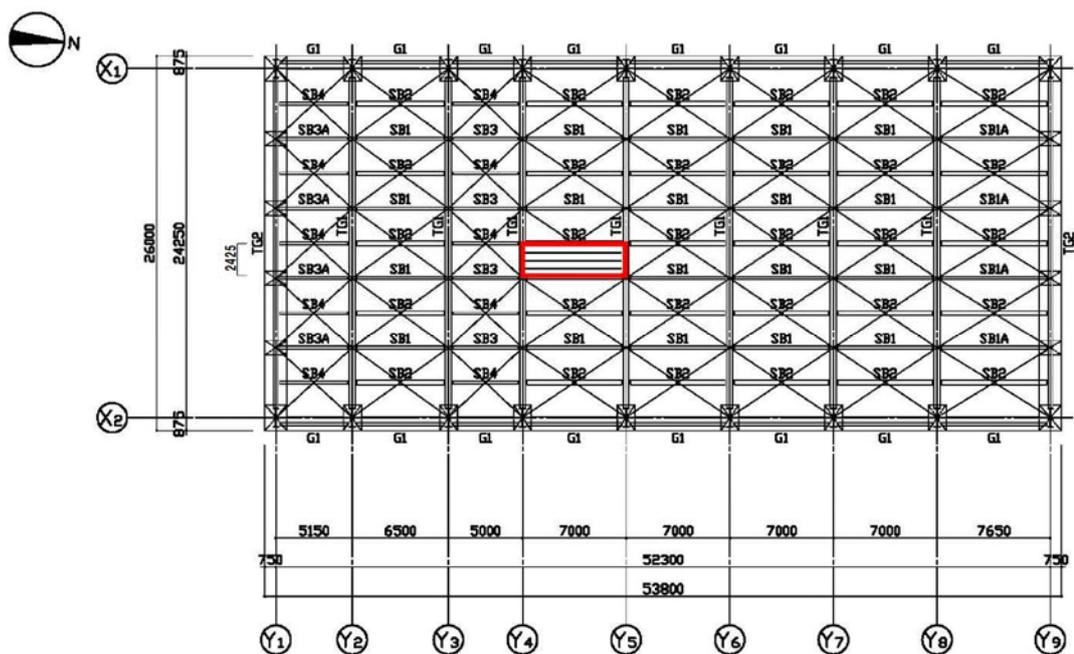


図 3-10 使用済燃料乾式貯蔵建屋 屋根スラブ評価部材の位置 (EL. 29.2m)

表 3-21 使用済燃料乾式貯蔵建屋 屋根スラブの検討条件

| 評価対象部位          |           | スラブ厚<br>(mm) | 有効せい<br>(mm) | 支持<br>スパン<br>(m) | 配筋      | 配筋量<br>(片側)<br>(mm <sup>2</sup> /m) |
|-----------------|-----------|--------------|--------------|------------------|---------|-------------------------------------|
| 使用済燃<br>乾式料貯蔵建屋 | EL. 29.2m | 450          | 340          | 2.425            | D19@250 | 1148                                |

b. 曲げモーメントに対する屋根スラブ断面の評価方法

曲げモーメントに対する断面の評価は、RC-N規準に基づき、次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで、

$\sigma_t$  : 鉄筋の引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

M : 曲げモーメント (N・mm)

$a_t$  : 引張鉄筋断面積 (mm<sup>2</sup>)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

c. 面外せん断力に対する屋根スラブ断面の評価方法

面外せん断力に対する断面の評価は、RC-N規準に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断応力度が、次式をもとに計算した許容限界を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$$

ここで、

$Q_A$  : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

$\alpha$  : 許容せん断力の割り増し係数 (保守側に 1 とする。)

$f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

(2) 主トラス

主トラスは、3次元フレームモデルによる応力解析より応力度を算定し、各許容値を超えないことを確認する。

応力解析は、3次元フレームモデルを用いた弾性応力解析を実施する。解析には、使用済燃料乾式貯蔵建屋については解析コード「MSC/NASTRAN(Ver 2008)」を用いる。な

お、解析コードの検証及び妥当性確認などの概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

a. 応力解析モデル及び諸元

応力解析モデルは、使用済燃料乾式貯蔵建屋については、EL. 7.05m より上部の耐震壁、柱、梁、屋根トラス及び屋根スラブをモデル化した解析モデルを用いる。

解析モデルを図 3-11 に、屋根トラスの部材リストを表 3-22 に、材料物性値を表 3-23 に示す。

解析モデルに使用する要素は、シェル要素、梁要素及びトラス要素とする。また、解析モデルの脚部は固定とする。

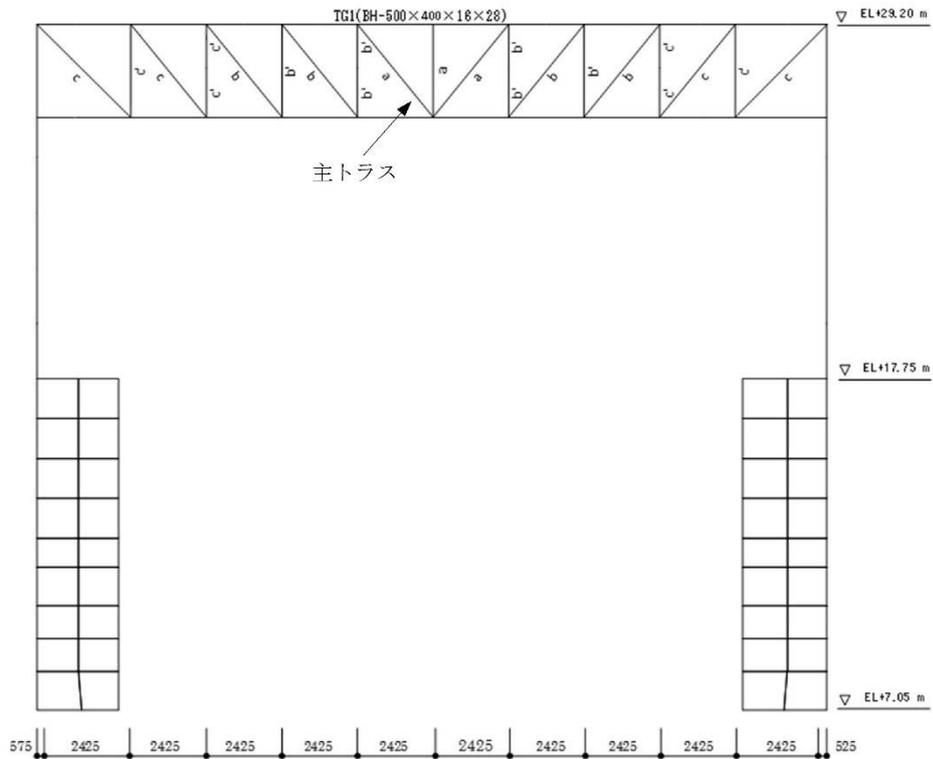


図 3-11 使用済燃料乾式貯蔵建屋解析モデル（EW 方向フレーム架構モデル図）

表 3-22 使用済燃料乾式貯蔵建屋 屋根トラス（主トラス）部材リスト

| 部 材              | 断面積<br>A<br>(cm <sup>2</sup> ) | 断面 2 次モーメント<br>I<br>(cm <sup>4</sup> ) |
|------------------|--------------------------------|--|
| BH-500×400×16×28 | 295.0                          | 137000                                 |
| BH-250×250×9×14  | 92.18                          | —                                      |
| BH-300×300×12×16 | 130.9                          | —                                      |
| BH-350×350×12×19 | 173.9                          | 40300                                  |
| H-298×299×9×14   | 109.5                          | 18600                                  |
| H-344×348×10×16  | 144.0                          | 32800                                  |

表 3-23 使用済燃料乾式貯蔵建屋 材料物性値

| 使用材料                         | ヤング係数<br>E<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | せん断弾性係数<br>G<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| 鉄筋コンクリート：F <sub>c</sub> 23.5 | $2.25 \times 10^4$                 | $9.38 \times 10^3$                   |
| 鉄 骨<br>：SS400<br>：SM400A     | $2.05 \times 10^5$                 | $7.90 \times 10^4$                   |

## b. 鋼材断面の評価法

断面の評価は、S規準に基づき、次式をもとに計算した評価対象部位に生じる軸力及び曲げモーメントによる応力度が許容限界を超えないことを確認する。

なお、許容限界については、表 3-10(3/3)に示すように、内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために崩壊機構が形成されないことを確認する。各部材の構造健全性評価においては、弾性限耐力<sup>\*1</sup>が基本となるが、一部の部材が弾性限耐力を超過した場合は、その部材に対して、修正若林式<sup>\*2</sup>、<sup>\*3</sup>及び鋼構造限界状態設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010）による座屈耐力を用い、構造健全性を評価する。

注記 \*1：弾性限耐力として「S規準」の短期許容応力度の評価式に平成12年建設省告示第2464号に基づきF値×1.1を適用

\*2：鉄骨X型ブレース架構の復元力特性に関する研究，日本建築学会構造工学論文集，Vol. 37B, pp. 303-316, 1991（谷口元，加藤勉ほか）

\*3：原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究，日本建築学会構造系論文集 第76巻 第661号, pp571-580, 2011（鈴木琢也，貫井泰ほか）

(圧縮)

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{{}_c\sigma_b}{f_b} \leq 1.0 \quad \text{かつ} \quad \frac{{}_t\sigma_b - \sigma_c}{f_t} \leq 1.0$$

ただし、

$$\sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

$${}_c\sigma_b = \frac{M}{Z_c}$$

$${}_t\sigma_b = \frac{M}{Z_t}$$

ここで

$N_c$  : 圧縮軸力 (N)

$A$  : 部材の軸断面積 ( $\text{mm}^2$ )

$M$  : 曲げモーメント ( $\text{N}\cdot\text{mm}$ )

$Z_c$  : 部材の圧縮側断面係数 ( $\text{mm}^3$ )

$Z_b$  : 部材の引張側断面係数 ( $\text{mm}^3$ )

$f_c$  : 鋼材の弾性限圧縮応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

$f_b$  : 鋼材の弾性限曲げ応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

ただし、 $\sigma_c$ ,  ${}_c\sigma_b$ ,  ${}_t\sigma_b$  の値は絶対値とする。

(引張)

$$\frac{{}_t\sigma_b - \sigma_c}{f_t} \leq 1.0 \quad \text{かつ} \quad \frac{\sigma_c + \frac{{}_c\sigma_b}{f_b}}{f_c} \leq 1.0$$

ただし

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}$$

$${}_c\sigma_b = \frac{M}{Z_c} \quad {}_t\sigma_b = \frac{M}{Z_t}$$

ここで

$N_t$  : 引張軸力 (N)

$A$  : 部材の軸断面積 ( $\text{mm}^2$ )

$M$  : 曲げモーメント ( $\text{N}\cdot\text{mm}$ )

$Z_c$  : 部材の圧縮側断面係数 ( $\text{mm}^3$ )

$Z_t$  : 部材の引張側断面係数 ( $\text{mm}^3$ )

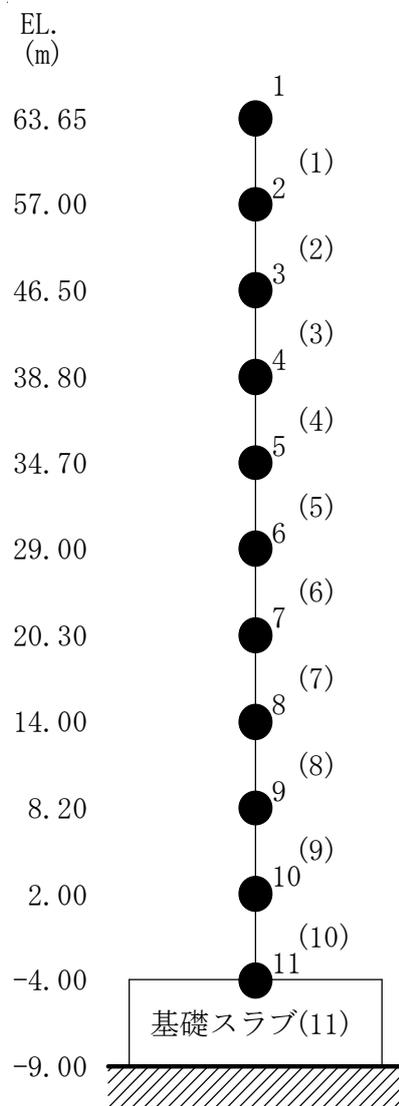
$f_t$  : 鋼材の弾性限引張応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

ただし、 $\sigma_c$ 、 ${}_c\sigma_b$ 、 ${}_t\sigma_b$ の値は絶対値とする。

### 3.4.2 耐震壁に対する評価

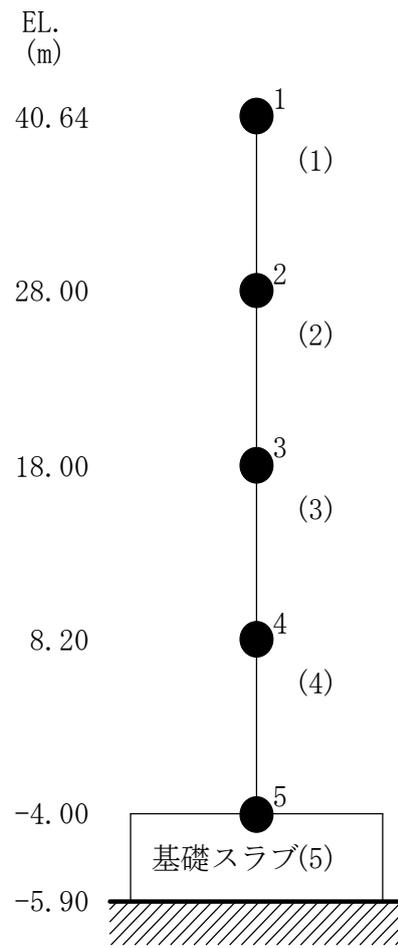
原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋及びについて，建屋の質点系解析モデルを用いて，風荷重により耐震壁に発生するせん断ひずみ度を評価し，許容限界を超えないことを確認する。

原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の質点系解析モデルを図 3-12，図 3-13 及び図 3-14 に示す。



注記 \* : 数字は質点番号，( ) 内は要素番号を示す。

図 3-12 原子炉建屋の解析モデル (水平方向)



注記 \* : 数字は質点番号, ( ) 内は要素番号を示す。

図 3-13 タービン建屋の解析モデル (水平方向)

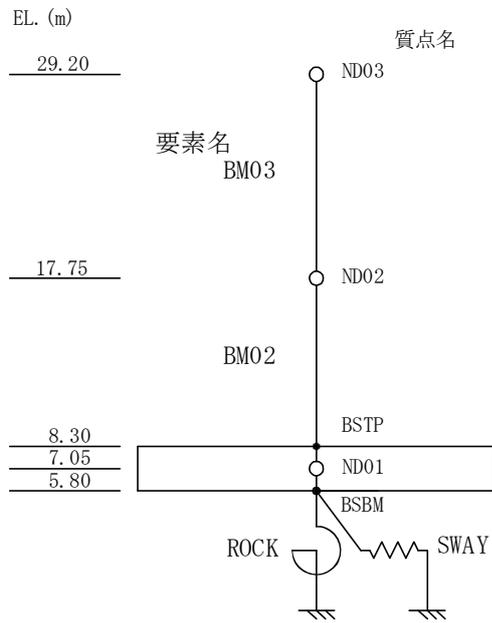


図 3-14 (1/2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の解析モデル (NS 方向)

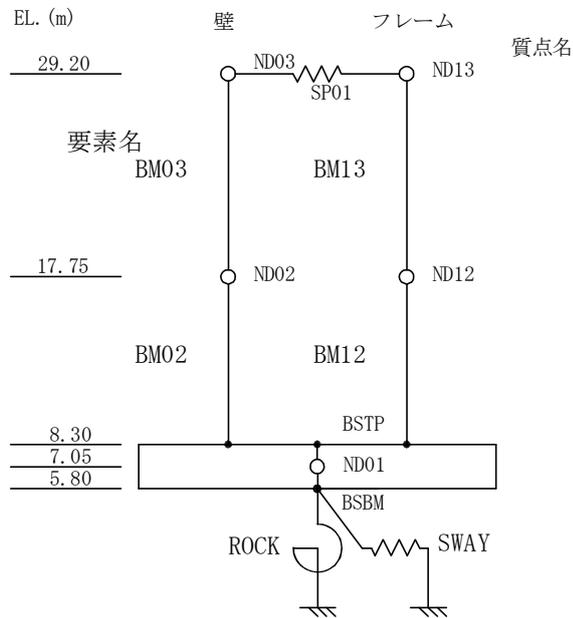


図 3-14 (2/2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の解析モデル (EW 方向)

4. 強度評価結果

追而