

柏崎刈羽原子力発電所6号機

耐震設計上重要な機器・配管系の
耐震安全性評価について

平成21年3月11日

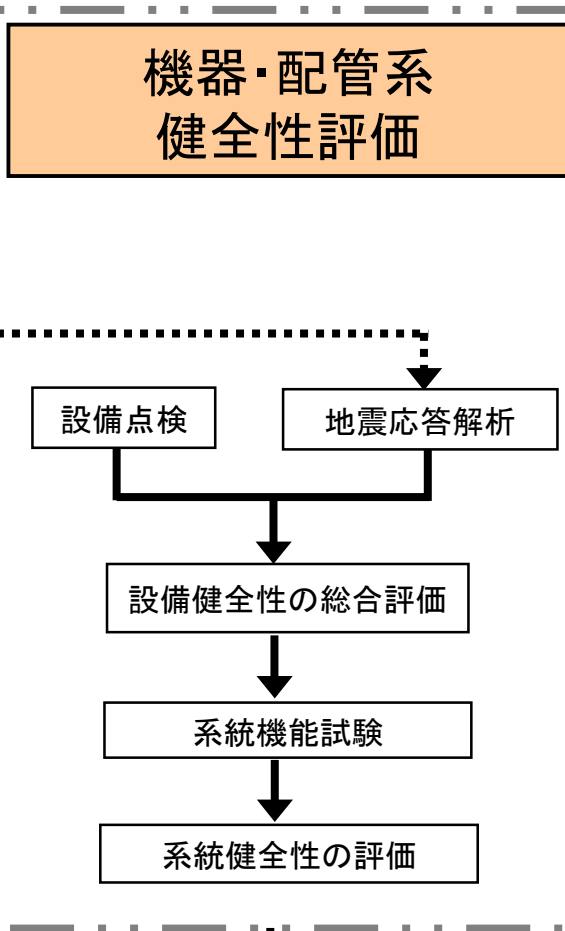
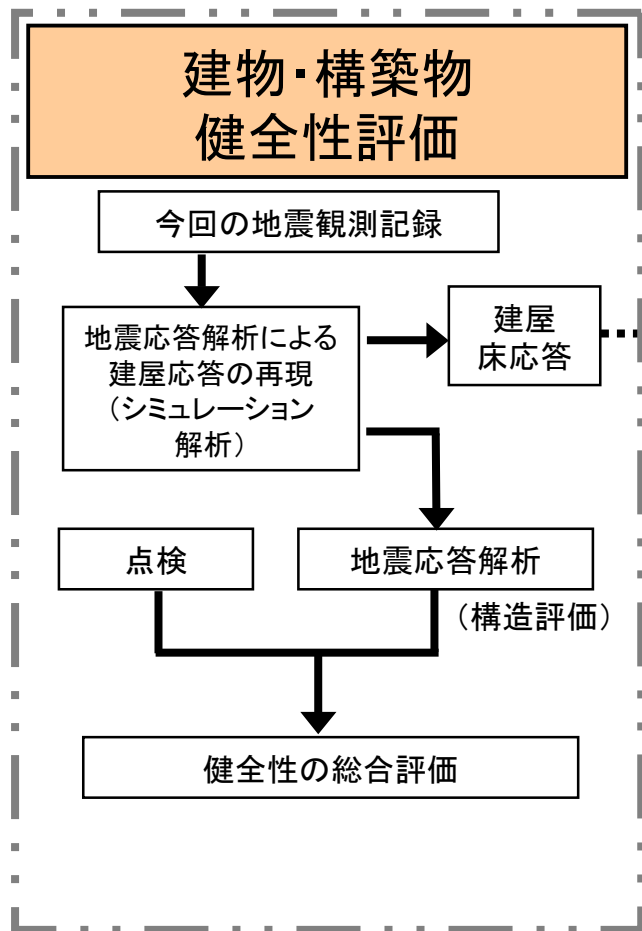
東京電力株式会社



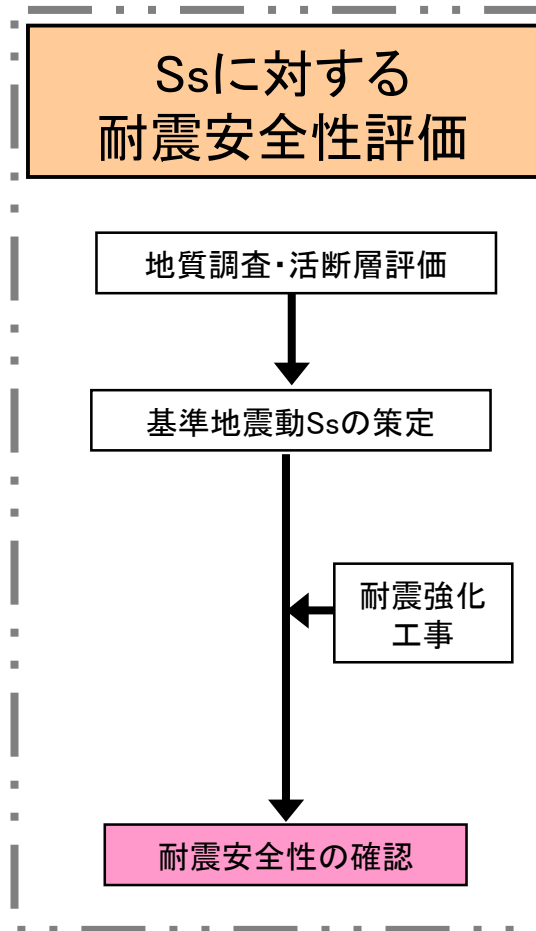
東京電力

はじめに

- 新潟県中越沖地震に伴う健全性評価



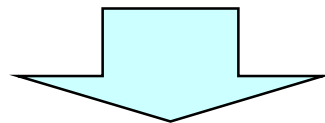
- 原子力安全・保安院の指示
に基づく耐震安全性評価



プラント全体の点検・評価

柏崎刈羽原子力発電所6号機と7号機の類似性

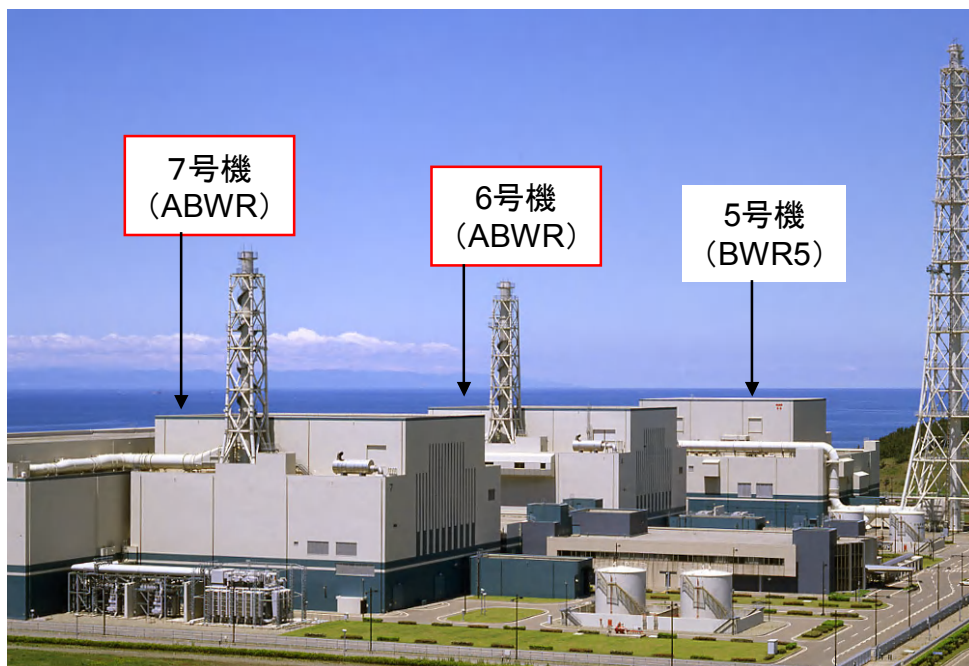
- <建設時> 6号機と7号機は同型プラントで同一設計
 - プラントの型式が同一 → 「類似性(1)参照」
 - 隣接プラントのため、耐震設計条件が同一
 - 「類似性(1)写真参照」
 - 同時期に建設し、設備配置や設備構成は概ね同一
 - 「類似性(2)および類似性(3)参照」
- <本評価> 6号機と7号機の基準地震動 S_s は同一のもの



6号機と7号機の設備の基準地震動 S_s に対する地震応答はほぼ同等の性質を示すものと考えられる。

<補足> 柏崎刈羽原子力発電所6号機、7号機の類似性(1)

- 柏崎刈羽原子力発電所6号機および7号機は、同時期に設置変更許可申請をしている改良型沸騰水型原子炉(ABWR)である



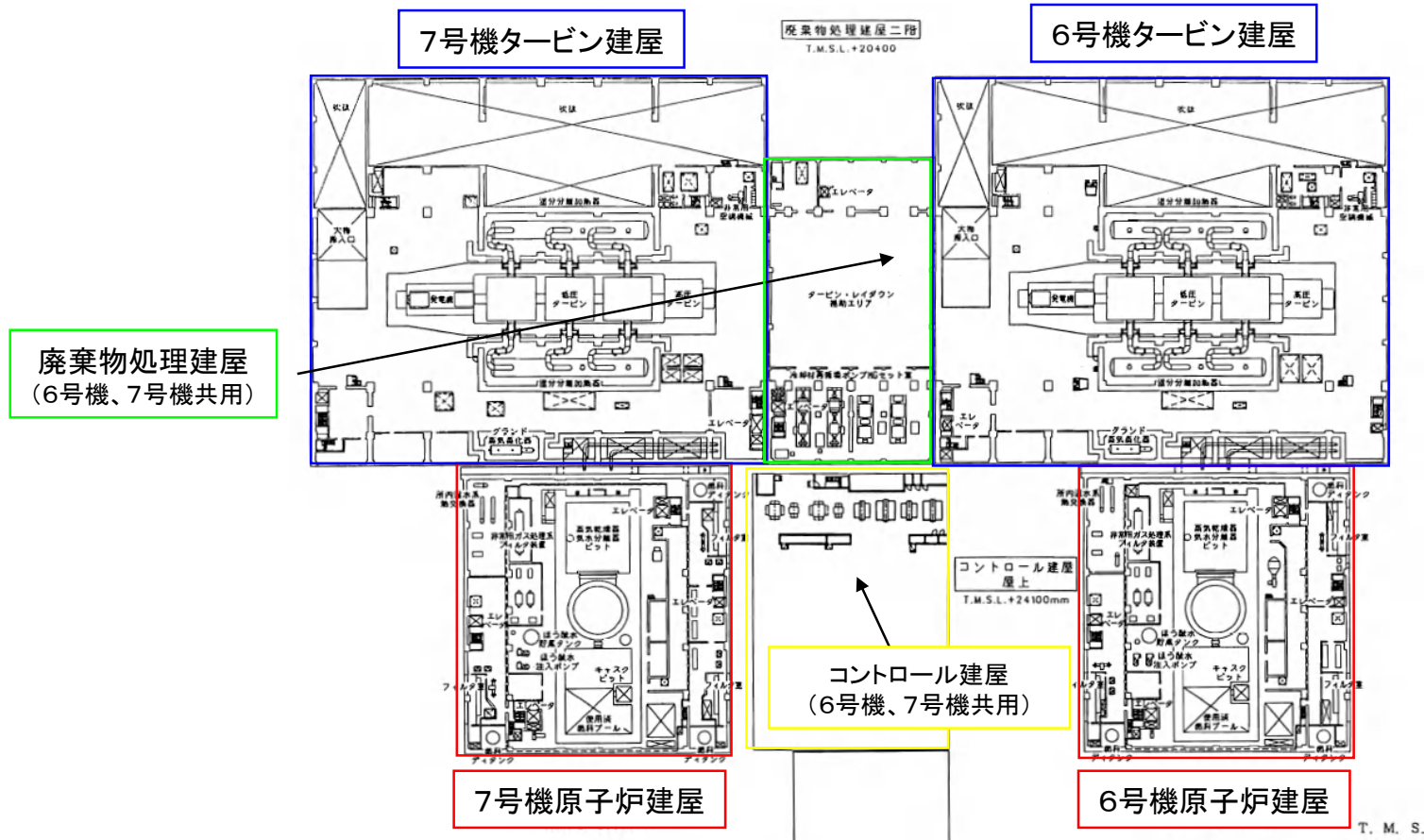
<写真> 柏崎刈羽原子力発電所5～7号機

6号機と7号機の概要

| | |
|-------------|------------------|
| | 6号機および7号機 |
| 炉型 | 改良型沸騰水型原子炉(ABWR) |
| 設置変更許可申請年月日 | 昭和63年5月23日 |
| 電気出力 | 1,356MW |

<補足> 柏崎刈羽原子力発電所6号機、7号機の類似性(2)

■ 柏崎刈羽原子力発電所6号機および7号機は、下図に示すように機器の配置が同様である



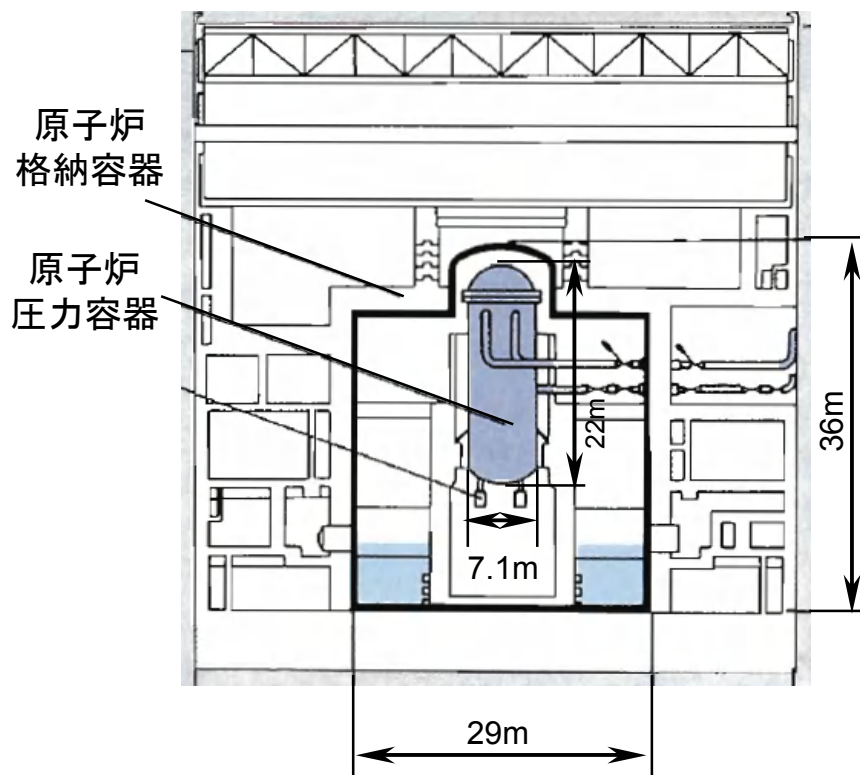
6号機及び7号機機器配置図

(出典: 柏崎刈羽原子力発電所 原子炉設置変更許可申請書
(6号及び7号炉完本)平成12年4月)

<補足> 柏崎刈羽原子力発電所6号機、7号機の類似性(3)

- 柏崎刈羽原子力発電所6号機および7号機は、下記に示すように主要な構造は同様である

6号機と7号機の概略寸法



| 項目 | | 6号機 | 7号機 |
|-----------------|----|---------------------------------|---------------------------------|
| 原子炉 圧力 容器 | 内径 | 7.122m | 7.120m |
| | 高さ | 22.081m | 22.081m |
| 原子炉 格納 容器 | 形式 | 鉄筋 コンクリート造 (鋼製ライナー 内張) | 鉄筋 コンクリート造 (鋼製ライナー 内張) |
| | 内径 | 29.0m | 29.0m |
| | 全高 | 36.14m | 36.14m |

6号機耐震安全性評価の説明方針

- ご審議頂いた7号機との比較を念頭に説明を行う。

<重要なポイント>

- 主要な耐震評価条件が7号機と比較して有意な差がないこと
- 評価に用いる重要な条件で、7号機ではご審議頂いていない点のご確認

<留意事項>

- 個別の評価手法(応答倍率法や詳細評価)や荷重の組合せの考え方といった、耐震安全性評価における基本的な方針は7号機と同様である。

6号機と7号機の耐震安全性評価の比較

- 耐震安全性評価に用いる主要な条件で比較し、ほぼ同等の地震応答であることを確認する。

＜設備に用いる主要な耐震評価条件＞

- ◆ 地震応答荷重
- ◆ 評価用震度
- ◆ 床応答スペクトル

- 設備に用いる重要な条件のうち、7号機と異なっており、ご審議頂いていない点をご確認頂く。

＜7号機と異なる条件＞

- ◆ コンクリート部の復元力特性設定範囲の拡大
- ◆ 使用済燃料貯蔵ラックの評価用減衰定数

上記の違いをご確認頂いた上で、6号機設備の耐震安全性評価結果をご確認頂く。

主要な耐震性評価条件について

■地震応答荷重

主に原子炉圧力容器や炉内構造物等の大型機器の耐震安全性評価を行うための「せん断力」「軸力」「モーメント」といった荷重条件。建屋と連成させた大型機器の地震応答解析により算定する。

■評価用震度

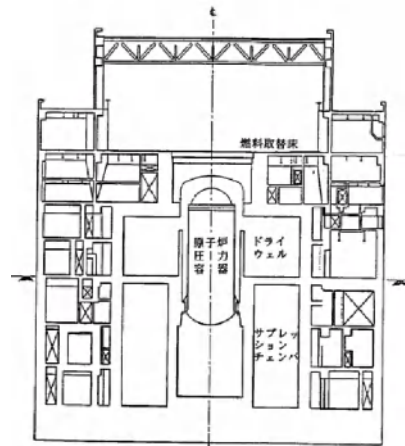
主に剛な設備（固有振動数20Hzを超える設備）の耐震安全性評価を行うための条件。評価対象設備が設置されている床面の最大地震応答加速度の1.2倍で定義される。

■床応答スペクトル

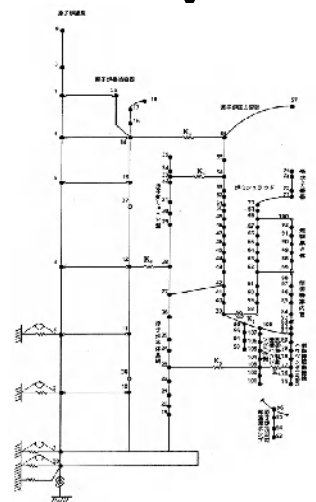
主に柔な設備（固有振動数20Hz以下の設備）の耐震安全性評価を行うための条件。評価対象設備が設置されている床面等の地震応答加速度波形から算定される。

耐震安全性評価の入力となる上記条件について、6号機と7号機の比較を行う。

<補足>耐震設計の流れ



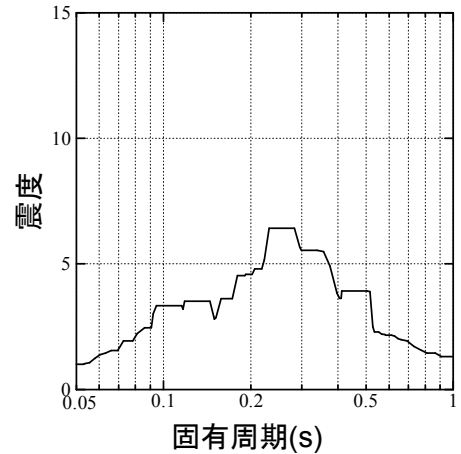
原子炉建屋模式図



地震応答解析
(炉内構造物解析モデル)

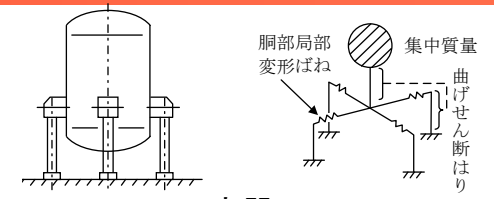
加速度

- ✓震度
- ✓応答スペクトル

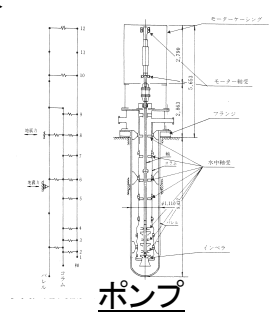


地震力

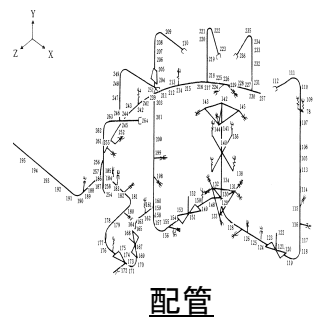
- ✓モーメント
- ✓せん断力
- ✓軸力



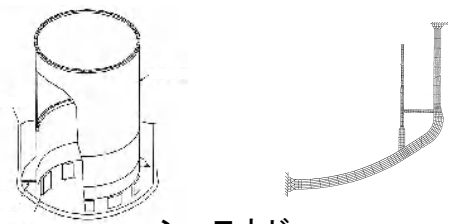
容器



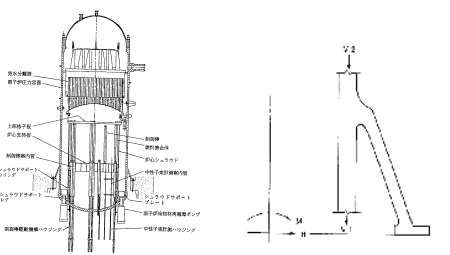
ポンプ



配管



シュラウド



原子炉压力容器

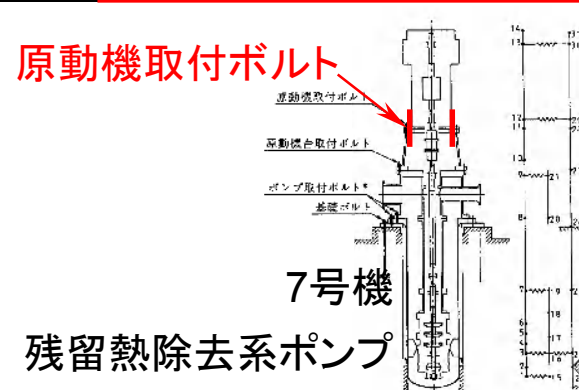
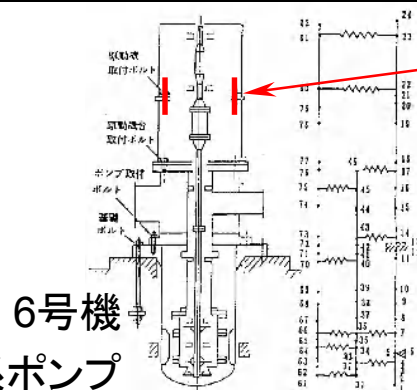
<補足> 個別設備の評価について

- 個別設備の耐震安全性については、個別設備の発生応力が許容基準値以内に収まっていることを確認する。
- 6号機と7号機で同一仕様(耐震Sクラス)であっても、詳細仕様はプラント毎に異なっており、耐震性評価の入力条件が同一でも、発生応力の絶対値そのものは異なる。

(例) 残留熱除去系ポンプ 原動機取付ボルトの機器要目と算出応力(設計時)

| | 定格容量 | 電動機重量 | ボルトの ピッチ円直径 | ボルトの 軸断面積 | ボルト の本数 | 算出応力 (せん断) | 許容応力 |
|-----|----------------------------|--------------|----------------|------------------------------|------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 6号機 | 954 [m ³ /h] | 8200 [kg] | 1200 [mm] | 706.8 [mm ²] | 8 | 0.7 [kg/mm ²] | 35.7 [kg/mm ²] |
| 7号機 | 954 [m ³ /h] | 7000 [kg] | 1260 [mm] | 1809.5 [mm ²] | 16 | 0.2 [kg/mm ²] | 35.7 [kg/mm ²] |

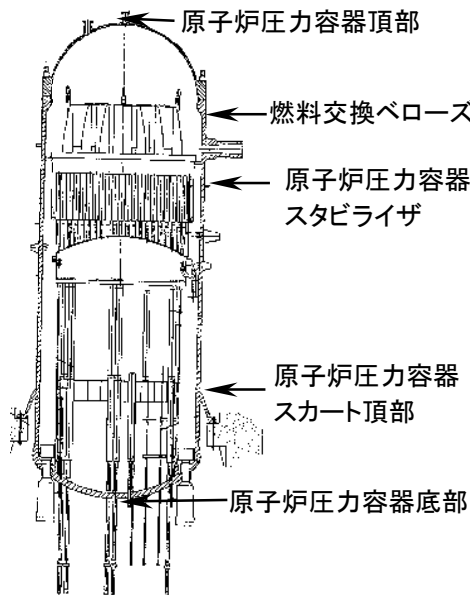
| | 水平方向 設計震度 | 鉛直方向設 計震度 |
|-----|--------------|--------------|
| 6号機 | 0.33 | 0.28 |
| 7号機 | 0.33 | 0.28 |



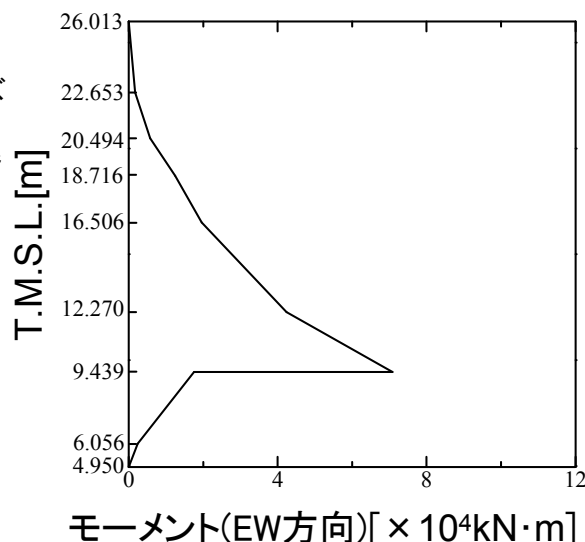
地震応答荷重の比較(1)

■地震荷重のうち構造強度に影響が大きいモーメントで比較を行う。

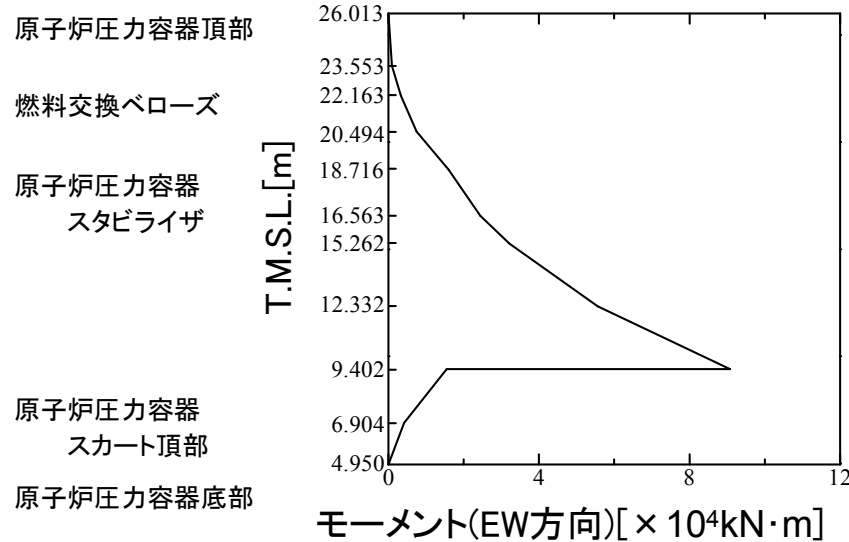
＜原子炉圧力容器＞



原子炉圧力容器



6号機



7号機

※Ss-1~5の包絡値を示す

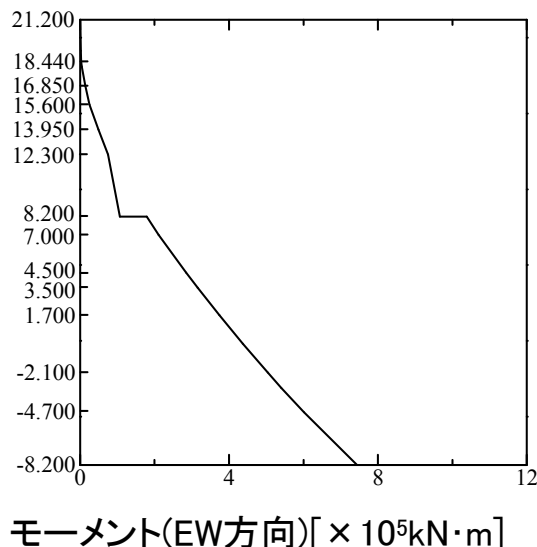
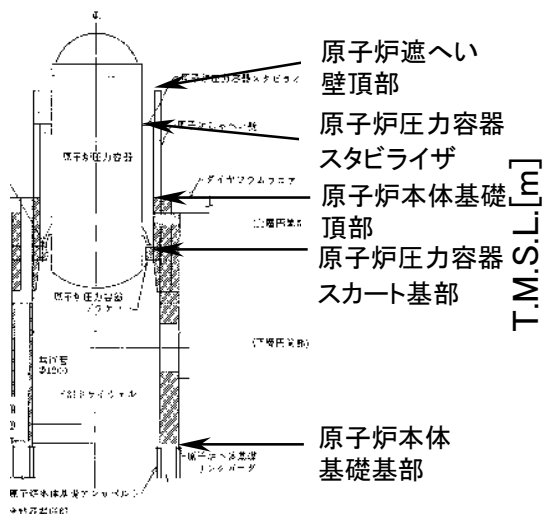
6号機と7号機は同様の応答傾向を示している

(6号機では水平方向の原子炉本体基礎に復元力特性を考慮している影響で、7号機に比べやや小さくなっている)

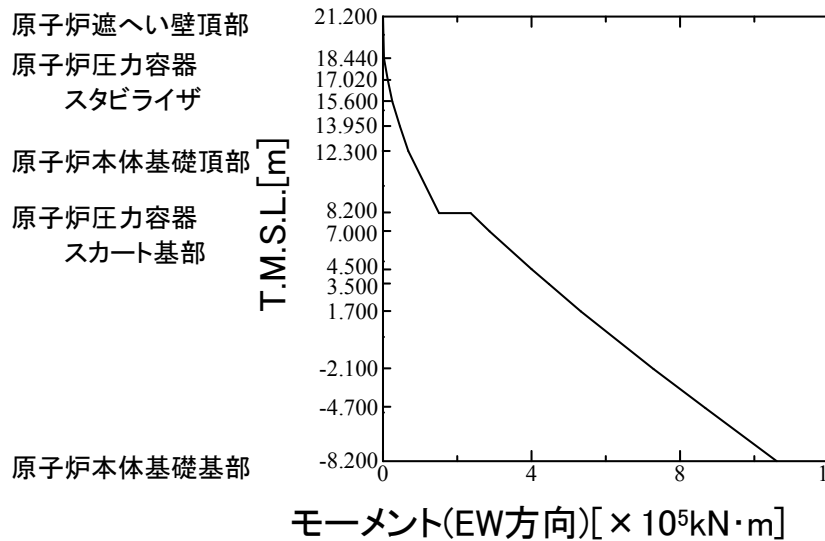
地震応答荷重の比較(2)

■地震荷重のうち構造強度に影響が大きいモーメントで比較を行う。

＜原子炉本体基礎＞



6号機



7号機

※Ss-1~5の包絡値を示す

6号機と7号機は同様の応答傾向を示している

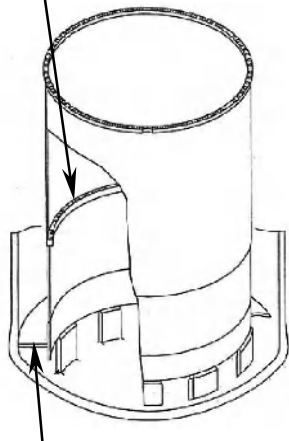
(6号機では水平方向の原子炉本体基礎に復元力特性を考慮している影響で、7号機に比べやや小さくなっている)

地震応答荷重の比較(3)

- 地震荷重のうち構造強度に影響が大きいモーメントで比較を行う。

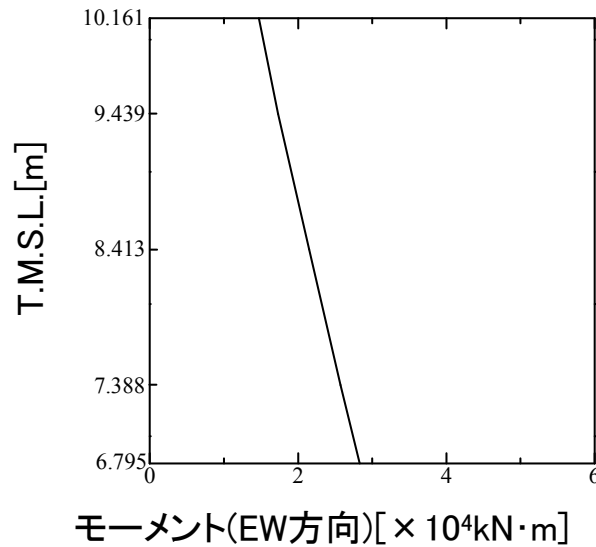
<炉心シュラウド>

炉心支持板位置
(支持板は表示していない)



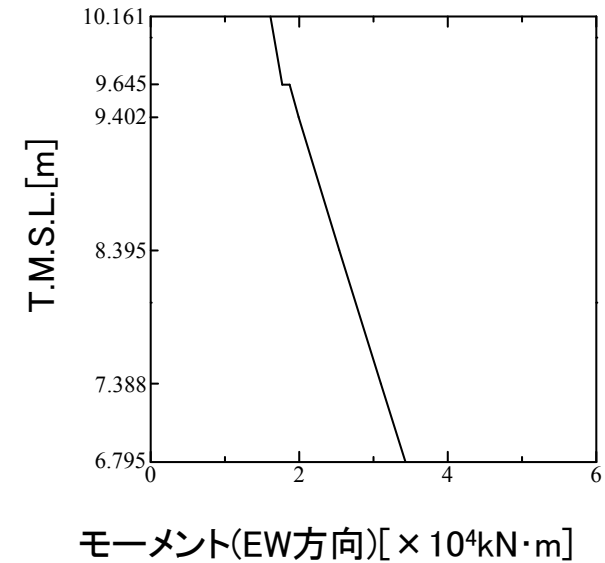
シュラウドサポートプレート

炉心シュラウド



6号機

炉心支持板
シュラウドサポートプレート



7号機

※Ss-1~5の包絡値を示す

6号機と7号機は同様の応答傾向を示している

評価用震度の比較

■最も重要な原子炉建屋の評価用震度を比較する。

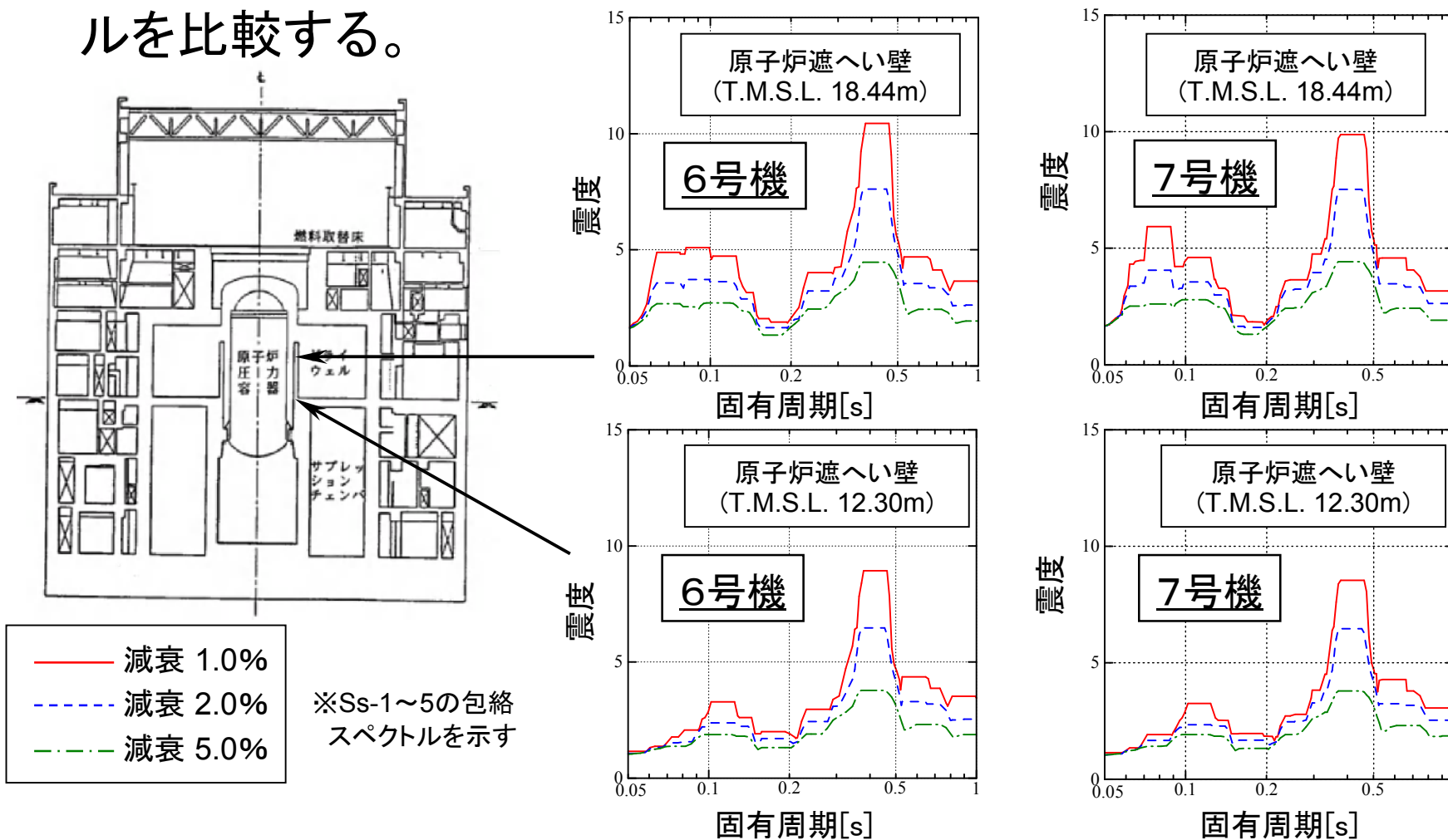
| 6号機 | 標高 [m] | 評価用震度 | |
|-----|--------|-----------------|------|
| | | 水平方向 (NS,EW 包絡) | 鉛直方向 |
| | | Ss | Ss |
| | 49.7 | 2.12 | 1.18 |
| | 38.2 | 1.52 | 1.14 |
| | 31.7 | 1.34 | 1.11 |
| | 23.5 | 1.17 | 1.08 |
| | 18.1 | 1.12 | 1.05 |
| | 12.3 | 1.06 | 1.02 |
| | 4.8 | 0.99 | 1.00 |
| | -1.7 | 1.04 | 0.97 |
| | -8.2 | 0.90 | 0.95 |

| 7号機 | 標高 [m] | 評価用震度 | |
|-----|--------|-----------------|------|
| | | 水平方向 (NS,EW 包絡) | 鉛直方向 |
| | | Ss | Ss |
| | 49.7 | 2.10 | 1.15 |
| | 38.2 | 1.56 | 1.11 |
| | 31.7 | 1.31 | 1.08 |
| | 23.5 | 1.16 | 1.06 |
| | 18.1 | 1.11 | 1.03 |
| | 12.3 | 1.07 | 1.02 |
| | 4.8 | 0.97 | 0.99 |
| | -1.7 | 1.00 | 0.97 |
| | -8.2 | 0.91 | 0.95 |

6号機と7号機では、水平方向、鉛直方向共にほぼ同じ値である。

床応答スペクトルの比較－水平方向（NS/EW包絡）

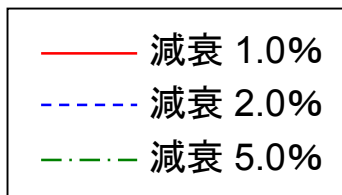
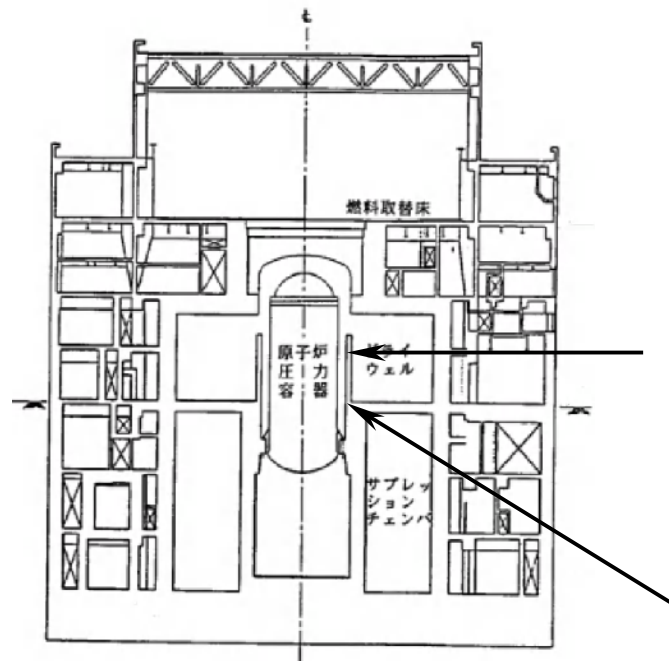
■ 重要な配管系などの評価に用いる遮へい壁の床応答スペクトルを比較する。



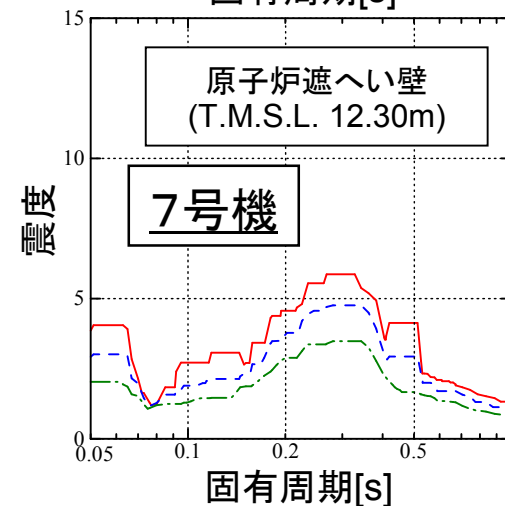
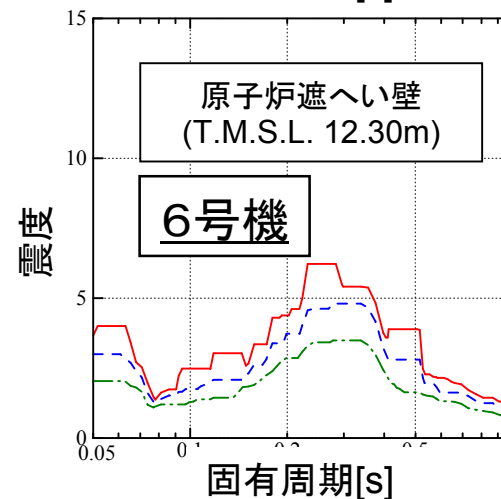
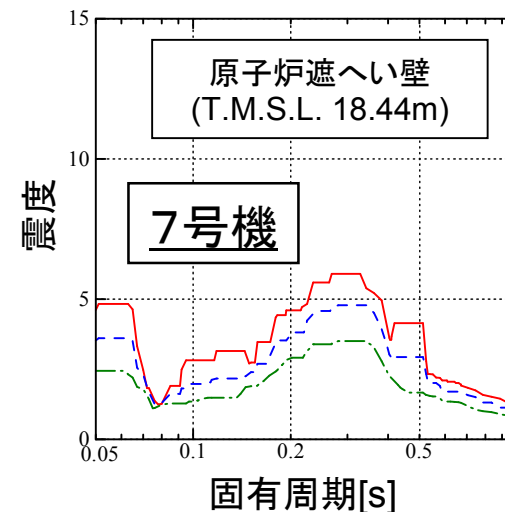
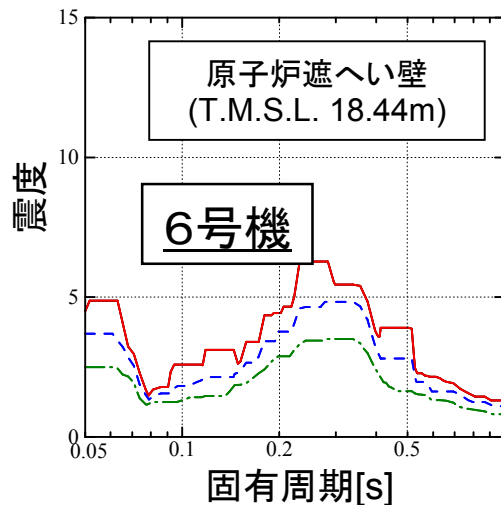
6号機と7号機は同様の応答傾向を示している

床応答スペクトルの比較－鉛直方向

■ 重要な配管系などの評価に用いる遮へい壁の床応答スペクトルを比較する。



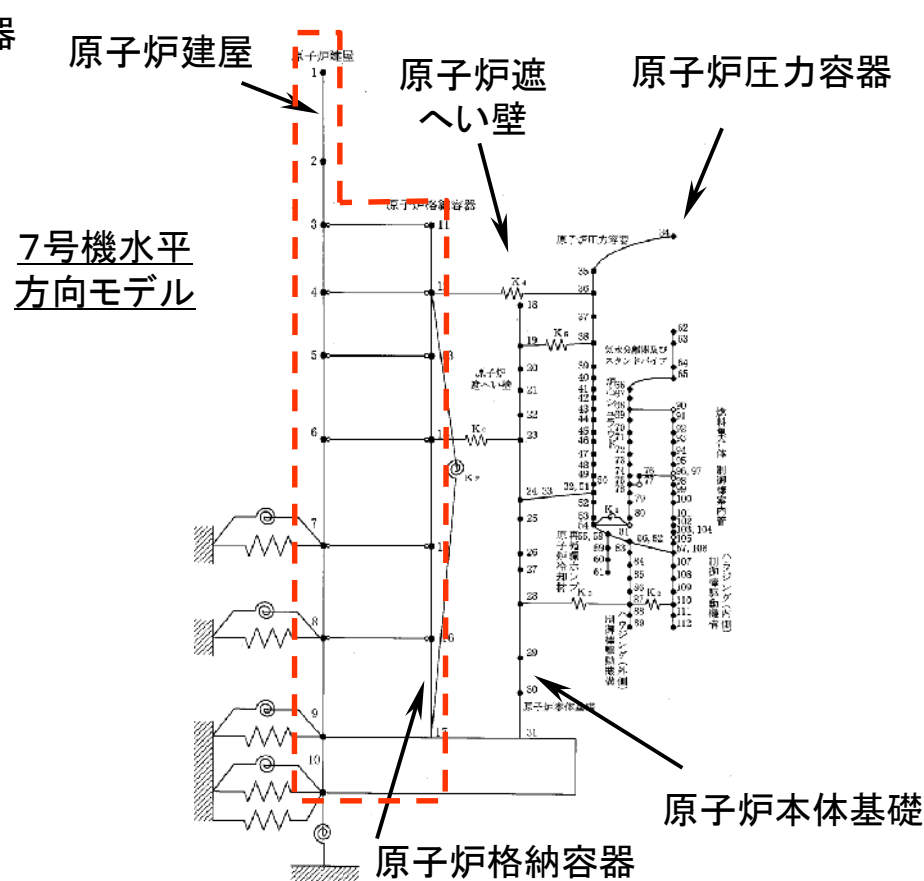
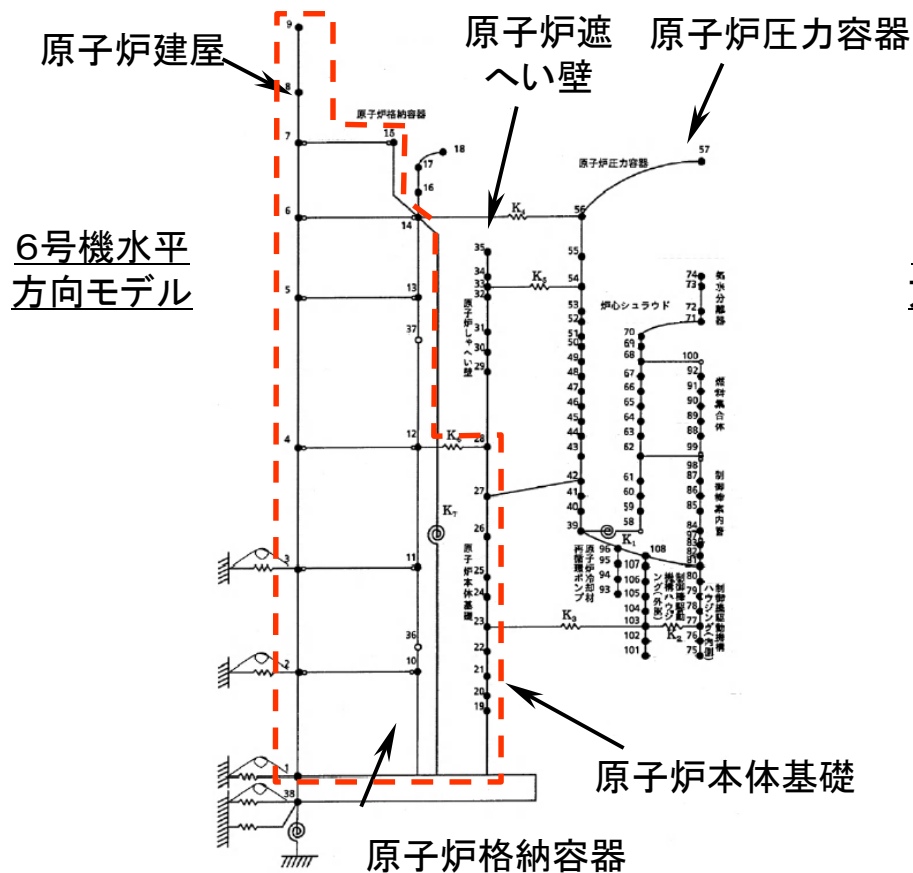
※Ss-1～5の包絡スペクトルを示す



6号機と7号機は同様の応答傾向を示している

7号機と異なる条件 その1

■ ABWRの原子炉本体基礎は鋼板コンクリート構造である。構造上の特徴を踏まえ、鋼板コンクリート構造耐震設計技術指針 建物・構築物編 (JEAG4618-2005)を参考に原子炉建屋側と同様に復元力特性を設定した。

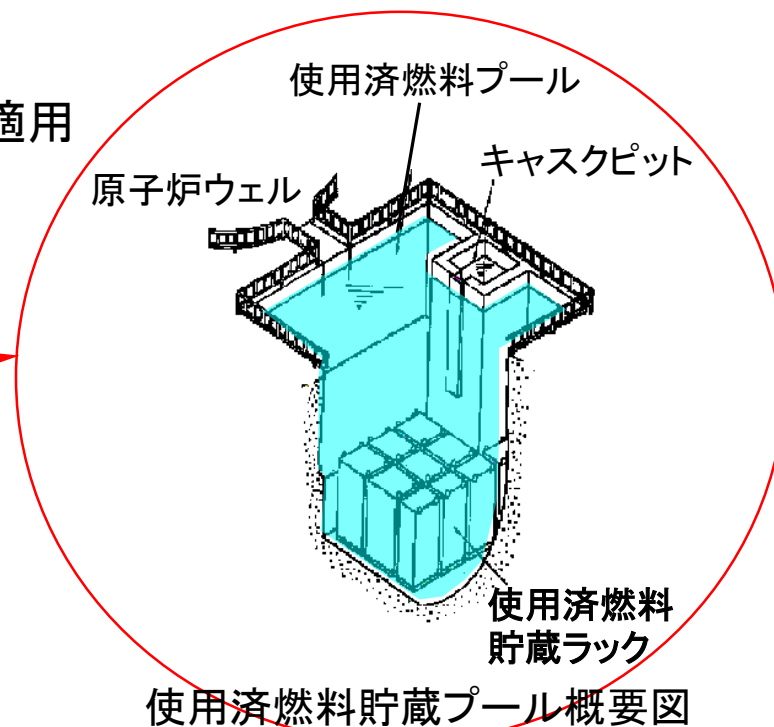
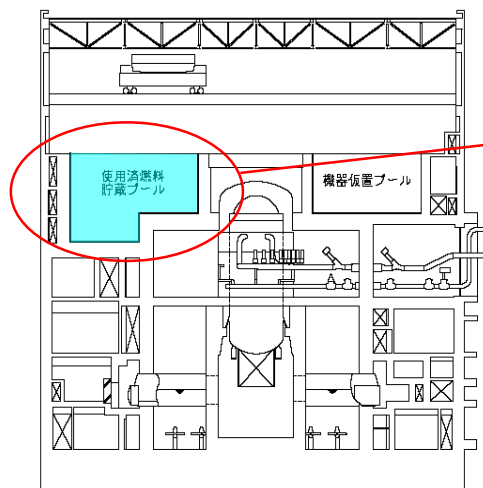


7号機と異なる条件 その2

■使用済燃料貯蔵ラックの評価用減衰定数

使用済燃料貯蔵ラックは水中(使用済燃料貯蔵プール)に設置されているものだが、従来の設計用減衰定数は、気中の溶接構造物の減衰定数を流用していた。水中では気中以上の減衰効果が期待できると考え、加振試験による減衰定数の測定を行った。

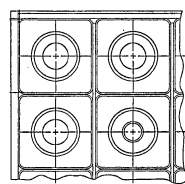
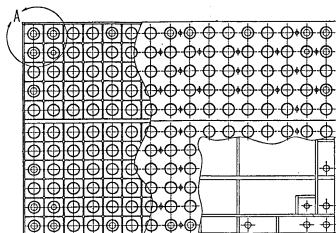
- 7号機で用いた減衰定数 1%
 - ◆ JEAG4601で定めている「溶接構造物」の1%を適用
- 6号機で用いた減衰定数 7%
 - ◆ 加振試験により得られた減衰定数7%を適用



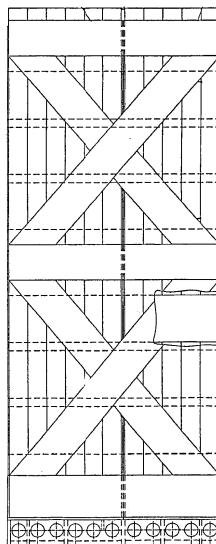
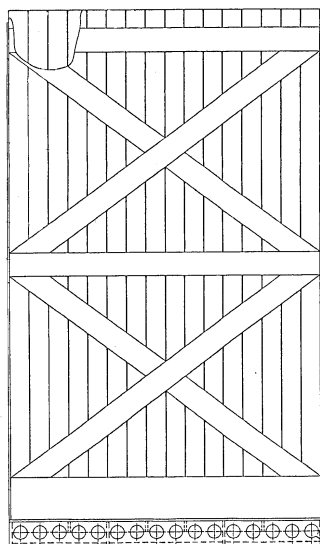
使用済燃料貯蔵ラックの加振試験について(1)

- 6号機の使用済燃料貯蔵ラックの型式

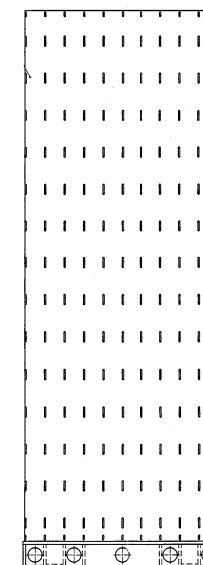
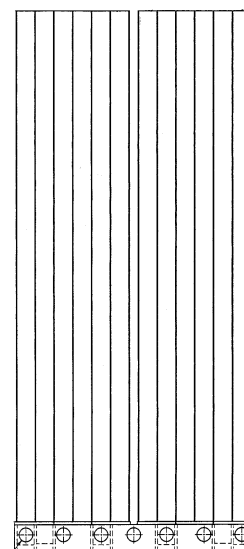
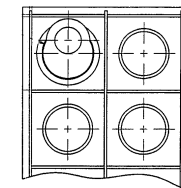
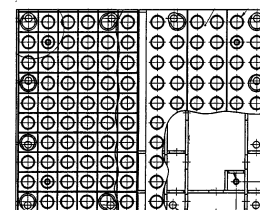
角管型



A詳細



格子型



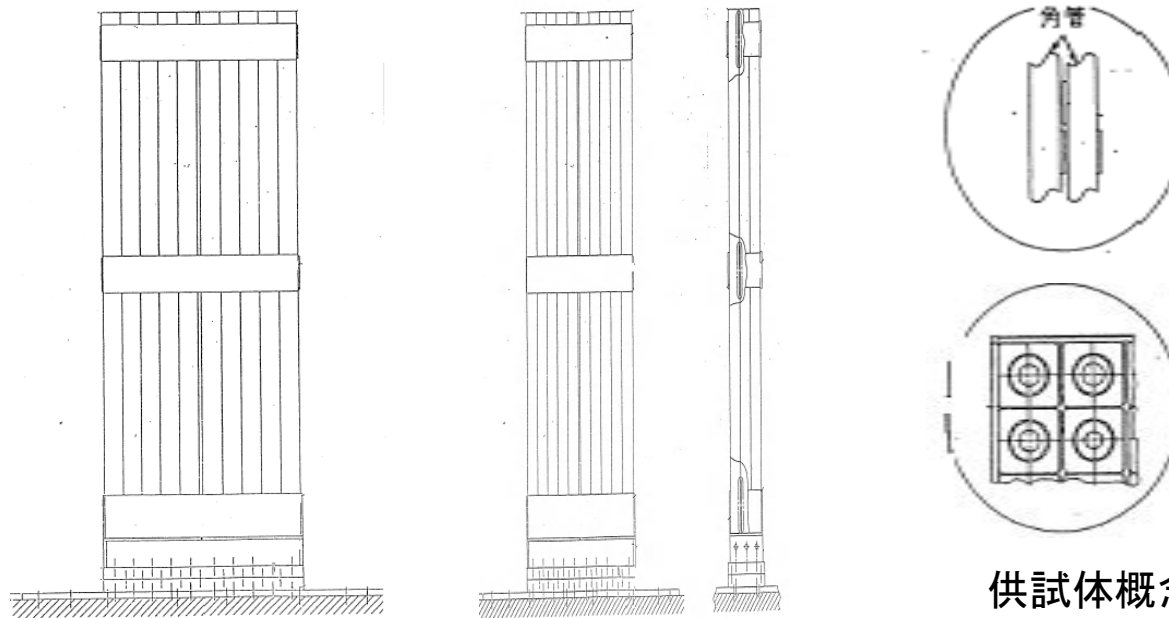
上記の2つの型式について加振試験を実施

使用済燃料貯蔵ラックの加振試験について(2)

● 振動試験における加振方法概要(角管型)

【加振方法(水平方向)】

- ・模擬燃料を装荷し水を注入した状態にて以下の加振条件に基づく掃引試験を実施
 - 加振加速度:0.03G
 - 加振周波数:1Hz~20Hz
- ・掃引試験で得られた共振周波数において一波突印試験を実施



供試体概念図

使用済燃料貯蔵ラックの加振試験について(3)

- 振動試験における加振方法概要(格子型)

【加振方法(水平方向)】

模擬燃料を装荷し水を注入した状態にて以下の加振条件に基づく掃引試験を実施

- 加振加速度: 0.11G [100 gal]
- 加振周波数: 5Hz~70Hz



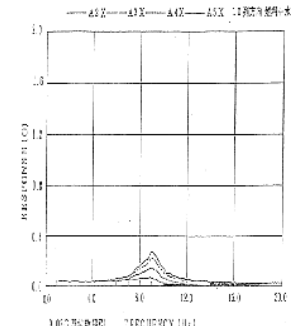
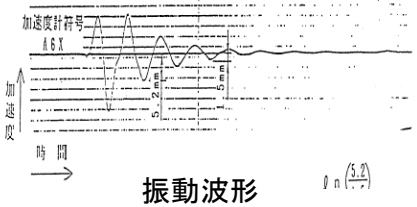
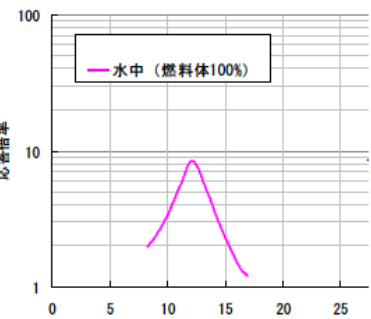
供試体概念図



試験水槽

使用済燃料貯蔵ラックの加振試験について(4)

●試験結果の代表例

| 供試体 | 試験結果 | 減衰定数 (%) | 備考 |
|-----|---|----------|-------------------------------------|
| 角管型 |  <p>周波数特性(燃料+水注入、10列方向)</p> <p>掃引試験で得られた共振周波数において、一波突印試験を行い振動波形から減衰定数を求めた</p>  <p>振動波形</p> | 9.9 | 試験体は10列×3列ラックであり、その長辺方向の加振試験から得られた値 |
| 格子型 |  <p>伝達関数(燃料+水注入、10列方向)</p> <p>掃引試験で得られた伝達関数を用いて、共振周波数および減衰定数を求めた 減衰定数は、伝達関数に対してハーフパワー法により評価した</p> | 7.6 | 試験体は10列×5列ラックであり、その長辺方向の加振試験から得られた値 |

角管型および格子型の結果から、減衰定数7.0%を用いる

6号機の耐震安全性評価結果

＜ここまででご確認頂いた内容＞

- 耐震安全性評価に用いる主要な評価条件が、6号機と7号機で同様の応答傾向を示していること
 - ご審議頂いた7号機と同等の地震応答計算ができていると判断できる
- 6号機の耐震安全性評価に用いた重要な評価条件のうち、7号機でご審議頂いていない項目
 - コンクリート部の復元力特性の設定範囲の拡大
 - 使用済燃料貯蔵ラックの減衰定数

＜6号機の耐震安全性評価結果＞

次頁以降に、これまでに評価が完了している、6号機の各設備の耐震安全性評価結果を示す。評価を行った設備の**応答値が、許容基準値以内であることを確認**した。なお、格納施設は、継続して評価中である。

構造強度評価結果(1/13)

| 評価対象設備 | | 評価部位 | 応力分類 | 発生値 (MPa) | 評価基準値 (MPa) | 評価方法 ※1 | |
|--------|---------|-------------------------|-----------|------------------|-------------|---------|---|
| 原子炉本体 | 原子炉圧力容器 | RPV円筒胴 | 胴板 | 一次一般膜 応力 | 179 | 320 | B |
| | | 制御棒駆動機構ハウジング 貫通孔 | スタブチューブ | 軸圧縮応力 | 69 | 124 | B |
| | | 原子炉冷却材再循環ポンプ 貫通孔(N1) | ケーシング側付け根 | 一次一般膜＋ 一次曲げ応力 | 249 | 442 | B |
| | | 主蒸気ノズル(N3) | ノズルセーフエンド | 一次一般膜 応力 | 94 | 320 | B |
| | | 給水ノズル(N4) | ノズルセーフエンド | 一次一般膜＋ 一次曲げ応力 | 143 | 391 | B |
| | | 原子炉圧力容器スタビライザブ ラケット | ブラケット付け根 | 一次一般膜＋ 一次曲げ応力 | 262 | 490 | B |
| | | 支持スカート | スカート | 一次一般膜＋ 一次曲げ応力 | 71 | 418 | B |
| | | 原子炉圧力容器基礎ボルト | 基礎ボルト | 引張応力 | 148 | 499 | B |

※1 A1: 応答荷重比を用いた評価, A2: 応答加速度比を用いた評価, B: 詳細評価

構造強度評価結果(2/13)

| 評価対象設備 | | 評価部位 | 応力分類 | 発生値 (MPa) | 評価基準値 (MPa) | 評価方法 ※1 | |
|--------|------------------|----------------------------|------------------|------------------|-------------|---------|---|
| 原子炉本体 | 原子炉圧力容器 付属構造物 | 原子炉圧力容器スタビライザ | ロッド | 引張応力 | 236 | 513 | B |
| | | 制御棒駆動機構ハウジング レストレイントビーム | プレート | 曲げ応力 | 86 | 211 | B |
| | | 原子炉冷却材再循環ポンプ モータケーシング | ケーシング | 軸圧縮応力 | 135 | 207 | B |
| | 炉内構造物 | 蒸気乾燥器 | 耐震用ブロック せん断面A | 平均せん断応力 | 26 | 242 | B |
| | | シュラウドヘッド | 鏡板 | 一次一般膜＋ 一次曲げ応力 | 103 | 222 | B |
| | | 気水分離器 | スタンド パイプ | 一次一般膜＋ 一次曲げ応力 | 111 | 205 | B |
| | | 給水スパージャ | ヘッド | 一次一般膜＋ 一次曲げ応力 | 27 | 342 | B |
| | | 高圧炉心注水スパージャ | ヘッド | 一次一般膜＋ 一次曲げ応力 | 40 | 342 | B |
| | | 低圧注水スパージャ | ヘッド | 一次一般膜＋ 一次曲げ応力 | 23 | 342 | B |

※1 A1: 応答荷重比を用いた評価, A2: 応答加速度比を用いた評価, B: 詳細評価

構造強度評価結果(3/13)

| 評価対象設備 | | 評価部位 | 応力分類 | 発生値 (MPa) | 評価基準値 (MPa) | 評価方法 ※1 | | |
|--------|---------|-----------------------|-----------|--------------|-------------|---------|--------|---|
| 原子炉本体 | 炉内構造物 | 高圧炉心注水系配管 (原子炉圧力容器内部) | パイプ | 一次一般膜＋一次曲げ応力 | 26 | 342 | B | |
| | | 中性子束計測案内管 | 中性子束計測案内管 | 一次一般膜＋一次曲げ応力 | 17 | 222 | B | |
| | 炉心支持構造物 | 炉心シュラウド | 下部胴 | 一次一般膜応力 | 24 | 205 | B | |
| | | シュラウドサポート | レグ | 軸圧縮応力 | 170 | 260 | B | |
| | | 上部格子板 | グリッドプレート | 一次一般膜＋一次曲げ応力 | 37 | 342 | B | |
| | | 炉心支持板 | 支持板 | 一次一般膜＋一次曲げ応力 | 69 | 342 | B | |
| | | 制御棒案内管 | 下部溶接部 | 一次一般膜応力 | 8 | 148 | B | |
| | 基礎 | 原子炉本体の | 円筒部 | 縦リブ | 組合せ応力度 | 384 | 427 | B |
| | | | アンカボルト | アンカボルト | 引抜き力 | 3331※2 | 5947※2 | B |

※1 A1: 応答荷重比を用いた評価, A2: 応答加速度比を用いた評価, B: 詳細評価

※2 単位: kN/4.5°

構造強度評価結果(4/13)

| 評価対象設備 | | 評価部位 | 応力分類 | 発生値 (MPa) | 評価基準値 (MPa) | 評価方法 ※1 | |
|----------|-----------------|--------------------------|-----------------------|------------------|-------------|---------|----|
| 計測制御系統設備 | 駆制御系 棒 | 水圧制御ユニット | フレーム | 組合せ応力 | 40 | 276 | A2 |
| | ほう酸水 注入系 | ほう酸水注入系ポンプ | ポンプ 取付ボルト | せん断応力 | 48 | 146 | A2 |
| | | ほう酸水注入系貯蔵タンク | 基礎ボルト | 引張応力 | 72 | 207 | B |
| | 核計測 装置 | 起動領域モニタ ドライチューブ | パイプ | 一次一般膜＋ 一次曲げ応力 | 148 | 427 | B |
| | | 局部出力領域モニタ 検出器集合体 | LPRM検出器集合体 カバーチューブ | 一次一般膜＋ 一次曲げ応力 | 123 | 254 | B |
| | 放射線 計測 装置 | 燃料取替エリア 排気放射線モニタ | 検出器 取付ボルト | 引張応力 | 8 | 207 | A2 |
| | 盤 | ベンチ形制御盤 (運転監視補助盤1) | 取付ボルト | せん断応力 | 12 | 159 | A2 |
| | | 垂直自立形制御盤 (安全保護系盤区分 I) | 取付ボルト | 引張応力 | 23 | 207 | A2 |

※1 A1: 応答荷重比を用いた評価, A2: 応答加速度比を用いた評価, B: 詳細評価

構造強度評価結果(5/13)

| 評価対象設備 | | 評価部位 | 応力分類 | 発生値 (MPa) | 評価基準値 (MPa) | 評価方法 ※1 | |
|-----------------------------|-----------|-----------------------------|---------------|-----------|-------------|---------|----|
| 計測制御 系統設備 | 盤 | 原子炉系(I系) 計装ラック | 取付ボルト | 引張応力 | 7 | 207 | A2 |
| | 主蒸気系 | 主蒸気逃がし安全弁 逃がし弁機能用アキュムレータ | U-バンド 及びリブ | 組合せ応力 | 23 | 203 | A2 |
| 主蒸気逃がし安全弁 自動減圧機能用アキュムレータ | | U-バンド 及びリブ | 組合せ応力 | 187 | 203 | B | |
| 原子炉冷却系統設備 | 残留熱除去系 | 残留熱除去系熱交換器 | 胴板 | 一次応力 | 161 | 408 | B |
| | | 残留熱除去系ポンプ | 原動機台取付 ボルト | 引張応力 | 38 | 444 | B |
| | 原子炉隔離時冷却系 | 原子炉隔離時冷却系ポンプ | 基礎ボルト | 引張応力 | 78 | 202 | A2 |
| | | 原子炉隔離時冷却系 ポンプ駆動用蒸気タービン | 基礎ボルト | 引張応力 | 61 | 202 | A2 |
| | 高圧炉心注水系 | 高圧炉心注水系ポンプ | 原動機台取付 ボルト | 引張応力 | 36 | 455 | B |

※1 A1: 応答荷重比を用いた評価, A2: 応答加速度比を用いた評価, B: 詳細評価

構造強度評価結果(6/13)

| 評価対象設備 | | 評価部位 | 応力分類 | 発生値 (MPa) | 評価基準値 (MPa) | 評価方法 ※1 |
|-----------|------------|-----------------------|----------|---------------|-------------|--------------|
| 原子炉冷却系統設備 | 原子炉補機冷却水系 | 原子炉補機冷却水系熱交換器 | 基礎ボルト | 108 | 190 | B |
| | | 原子炉補機冷却水系ポンプ | 原動機取付ボルト | 13 | 146 | A2 |
| | 原子炉補機冷却海水系 | 原子炉補機冷却海水系ポンプ | 原動機取付ボルト | 41 | 475 | B |
| | | 原子炉補機冷却海水系ストレーナ | 基礎ボルト | 10 | 159 | A2 |
| 格納施設 原子炉 | 可燃性ガス濃度制御系 | 可燃性ガス濃度制御系可搬式再結合装置 | 取付ボルト | 94 (43) ※2 | 350 | A2 (B) ※3 |
| | | 可燃性ガス濃度制御系可搬式再結合装置ブロー | ブレース | 14 (6) ※2 | 209 | A2 (B) ※3 |

※1 A1:応答荷重比を用いた評価, A2:応答加速度比を用いた評価, B:詳細評価

 耐震強化工事実施

※2 ()は7号機に設置した場合の値

※3 ()は7号機に設置した場合の評価方法

構造強度評価結果(7/13)

| 評価対象設備 | | 評価部位 | 応力分類 | 発生値 (MPa) | 評価基準値 (MPa) | 評価方法 ※1 | |
|---------|----------|----------------|-------|-----------|-------------|---------|----|
| 放射線管理設備 | 生体遮へい装置 | 原子炉遮へい壁 | 開口集中部 | 組合せ応力 | 71 | 235 | A1 |
| | 非常用ガス処理系 | 非常用ガス処理系排風機 | 基礎ボルト | 引張応力 | 36 | 202 | B |
| | | 非常用ガス処理系乾燥装置 | 基礎ボルト | 引張応力 | 52 | 202 | B |
| | | 非常用ガス処理系フィルタ装置 | 取付ボルト | せん断応力 | 146 | 342 | B |
| | 換気設備 | 中央制御室送風機 | 基礎ボルト | 引張応力 | 84 | 207 | B |
| | | 中央制御室排風機 | 基礎ボルト | 引張応力 | 10 | 207 | B |
| | | 中央制御室再循環送風機 | 基礎ボルト | 引張応力 | 19 | 207 | B |
| | | 中央制御室再循環フィルタ装置 | 基礎ボルト | せん断応力 | 42 | 159 | B |

※1 A1: 応答荷重比を用いた評価, A2: 応答加速度比を用いた評価, B: 詳細評価

構造強度評価結果(8/13)

| 評価対象設備 | | 評価部位 | 応力分類 | 発生値 (MPa) | 評価基準値 (MPa) | 評価方法 ※1 | |
|--------|--------------|---------------|------------------|-----------|-------------|---------|----|
| 燃料設備 | 燃料取扱装置 | 燃料取替機 | 構造物フレーム | 組合せ応力 | 195 | 276 | B |
| | | 原子炉建屋クレーン | トロリ浮き上がり量 | — | 182※3 | 460※3 | B |
| | 使用済燃料貯蔵設備 | 使用済燃料貯蔵ラック | ラック本体 | 組合せ応力 | 80 | 205 | B |
| | | 制御棒・破損燃料貯蔵ラック | ラック本体 | 組合せ応力 | 26 | 205 | B |
| 附帯設備 | 非常用ディーゼル発電設備 | ディーゼル機関 | 基礎ボルト | せん断応力 | 62 | 225 | A2 |
| | | 空気だめ | 胴板 | 一次一般膜応力 | 92 | 262 | B |
| | | 燃料ディタンク | スカート | 座屈 | 0.24 ※2 | 1.00 ※2 | A2 |
| | | 発電機 | 機関側軸受台下部ベース取付ボルト | 引張応力 | 101 | 205 | A2 |

※1 A1: 応答荷重比を用いた評価, A2: 応答加速度比を用いた評価, B: 詳細評価

※2 座屈に対する評価式により, 発生値は評価基準値に対する比率で示す。

※3 弾性設計用地震動Sdによる浮き上がり量評価(単位:mm); **Ss**による評価は参考として後述

耐震強化工事実施

構造強度評価結果(9/13)

| 評価対象設備 | | 評価部位 | 応力分類 | 発生値 (MPa) | 評価基準値 (MPa) | 評価方法 ※1 | |
|--------|------------|-------|-------|-----------|-------------|---------|----|
| 附帯設備 | 蓄電池および充電器 | 蓄電池 | 取付ボルト | せん断応力 | 29 | 159 | A2 |
| | | 充電器 | 取付ボルト | せん断応力 | 15 | 159 | A2 |
| | バイタル交流電源設備 | 取付ボルト | せん断応力 | 11 | 159 | A2 | |

※1 A1: 応答荷重比を用いた評価, A2: 応答加速度比を用いた評価, B: 詳細評価

構造強度評価結果(10/13)

| 評価対象設備 | | 評価部位 | 応力分類 | 発生値 (MPa) | 評価基準値 (MPa) | 評価方法 ※1 | |
|--------|-----------|-----------------|--------|-----------|-------------|---------|---|
| 配管 | 主蒸気系 | 主蒸気系配管本体 | 配管本体 | 一次応力 | 201 | 375 | B |
| | | 主蒸気系配管サポート | サポート部材 | スナツバ耐荷重 | 69 ※2 | 224※2 | B |
| | 原子炉冷却材浄化系 | 原子炉冷却材浄化系配管本体 | 配管本体 | 一次応力 | 141 | 366 | B |
| | | 原子炉冷却材浄化系配管サポート | サポート部材 | スナツバ耐荷重 | 56 ※2 | 170 ※2 | B |
| | 残留熱除去系 | 残留熱除去系配管本体 | 配管本体 | 一次応力 | 192 | 363 | B |
| | | 残留熱除去系配管サポート | サポート部材 | 組合せ応力 | 150 | 245 | B |
| | 原子炉隔離時冷却系 | 原子炉隔離時冷却系配管本体 | 配管本体 | 一次応力 | 185 | 324 | B |
| | | 原子炉隔離時冷却系配管サポート | サポート部材 | 組合せ応力 | 137 | 245 | B |

※1 A1: 応答荷重比を用いた評価, A2: 応答加速度比を用いた評価, B: 詳細評価

※2 単位:kN

構造強度評価結果(11/13)

| 評価対象設備 | | 評価部位 | 応力分類 | 発生値 (MPa) | 評価基準値 (MPa) | 評価方法 ※1 | |
|--------|-----------|-----------------|--------|---------------|-------------|---------|---|
| 配管 | 高圧炉心注水系 | 高圧炉心注水系配管本体 | 配管本体 | 一次応力 | 146 | 366 | B |
| | | 高圧炉心注水系配管サポート | サポート部材 | ロッドレストレイント耐荷重 | 12 ※2 | 24 ※2 | B |
| | 給水系 | 給水系配管本体 | 配管本体 | 一次応力 | 149 | 375 | B |
| | | 給水系配管サポート | サポート部材 | スナツバ耐荷重 | 99 ※2 | 224 ※2 | B |
| | 放射性ドレン移送系 | 放射線ドレン移送系配管本体 | 配管本体 | 一次応力 | 106 | 315 | B |
| | | 放射線ドレン移送系配管サポート | サポート部材 | 組合せ応力 | 100 | 217 | B |
| | 原子炉補機冷却水系 | 原子炉補機冷却水系配管本体 | 配管本体 | 一次応力 | 150 | 344 | B |
| | | 原子炉補機冷却水系配管サポート | サポート部材 | ロッドレストレイント耐荷重 | 97 ※2 | 235 ※2 | B |

※1 A1: 応答荷重比を用いた評価, A2: 応答加速度比を用いた評価, B: 詳細評価

※2 単位: kN

 耐震強化工事実施

構造強度評価結果(12/13)

| 評価対象設備 | | 評価部位 | 応力分類 | 発生値 (MPa) | 評価基準値 (MPa) | 評価方法 ※1 | |
|--------|----------------|----------------------|--------|-----------|-------------|---------|---|
| 配管 | 冷却海水系 原子炉補機 | 原子炉補機冷却海水系 配管本体 | 配管本体 | 一次応力 | 153 | 354 | B |
| | | 原子炉補機冷却海水系 配管サポート | サポート部材 | 組合せ応力 | 98 | 245 | B |
| | 制御棒駆動系 | 制御棒駆動系 配管本体 | 配管本体 | 一次応力 | 87 | 318 | B |
| | | 制御棒駆動系 配管サポート | サポート部材 | 組合せ応力 | 124 | 205 | B |
| | ほう酸水注入系 | ほう酸水注入系 配管本体 | 配管本体 | 一次応力 | 94 | 325 | B |
| | | ほう酸水注入系 配管サポート | サポート部材 | 組合せ応力 | 164 | 245 | B |
| | 非常用ガス処理系 | 非常用ガス処理系 配管本体 | 配管本体 | 一次応力 | 88 | 363 | B |
| | | 非常用ガス処理系 配管サポート | サポート部材 | 組合せ応力 | 143 | 245 | B |

※1 A1: 応答荷重比を用いた評価, A2: 応答加速度比を用いた評価, B: 詳細評価

 耐震強化工事実施

構造強度評価結果(13/13)

| 評価対象設備 | | 評価部位 | 応力分類 | 発生値 (MPa) | 評価基準値 (MPa) | 評価方法 ※1 | |
|--------|------------|------------------|--------|-----------|-------------|---------|---|
| 配管 | 可燃性ガス濃度制御系 | 可燃性ガス濃度制御系配管本体 | 配管本体 | 一次応力 | 109 | 363 | B |
| | | 可燃性ガス濃度制御系配管サポート | サポート部材 | 組合せ応力 | 26 | 245 | B |
| | 不活性ガス系 | 不活性ガス系配管本体 | 配管本体 | 一次応力 | 113 | 363 | B |
| | | 不活性ガス系配管サポート | サポート部材 | 組合せ応力 | 85 | 245 | B |

※1 A1: 応答荷重比を用いた評価, A2: 応答加速度比を用いた評価, B: 詳細評価

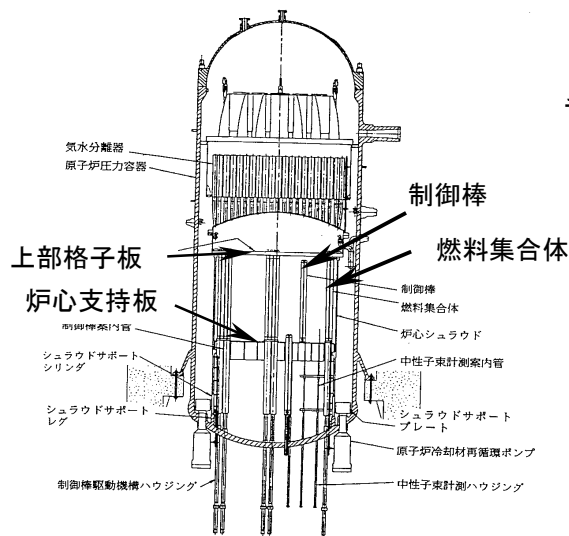
 耐震強化工事実施

制御棒挿入性評価結果

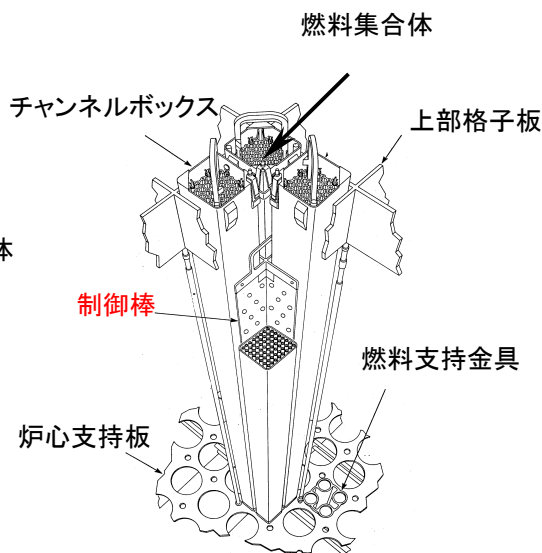
| 評価対象設備 | 地震時の相対変位 (mm) | 評価基準値(相対変位) (mm) | 評価方法※1 |
|------------------|---------------|------------------|--------|
| 制御棒 (地震時の挿入性) | 13.3 | 40.0※2 | B |

※1 Bは「詳細評価」を示す

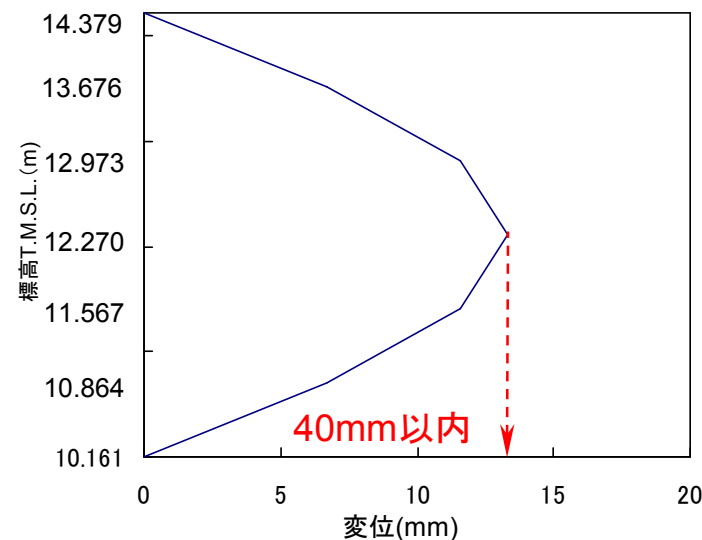
※2 常温における挿入試験により、規定時間内に制御棒が挿入されたことが確認された燃料変位



炉内構造物模式図



制御棒挿入時模式図
(イメージ)



地震応答解析により求めた燃料集合体相対変位
(Ss-1~Ss-5包絡)

動的機能維持評価結果(1/3)

| 評価対象設備 | 加速度確認部位 | 評価基準値の加速度との比較 | | | | 詳細評価 ※2 |
|---------------------------|---------|------------------|-------|------------------|-------|------------|
| | | 水平加速度(G※1) | | 上下加速度(G※1) | | |
| | | 応答加速度 | 評価基準値 | 応答加速度 | 評価基準値 | |
| 残留熱除去系ポンプ | コラム先端部 | 0.75 | 10.0 | 0.80 | 1.0 | - |
| 原子炉隔離時冷却系ポンプ | 軸位置 | 0.77 | 1.4 | 0.81 | 1.0 | - |
| 原子炉隔離時冷却系ポンプ 駆動用蒸気タービン | 重心位置 | 0.77 | 2.4 | 0.81 | 1.0 | - |
| 高圧炉心注水系ポンプ | コラム先端部 | 0.75 | 10.0 | 0.80 | 1.0 | - |
| 原子炉補機冷却水系ポンプ | 軸位置 | 0.83 | 1.4 | 0.75 | 1.0 | - |
| 原子炉補機冷却海水系ポンプ | コラム先端部 | 1.54 | 10.0 | 0.75 | 1.0 | - |
| ほう酸水注入系ポンプ | 重心位置 | 0.97 | 1.6 | 0.90 | 1.0 | - |
| 可燃性ガス濃度制御系 可搬式再結合装置ブロワ | ファン | 0.88 (0.89)※3 | 2.6 | 0.85 (0.85)※3 | 1.0 | - |
| 非常用ガス処理系排風機 | 軸受部 | 0.99 | 2.3 | 0.91 | 1.0 | - |
| 中央制御室送風機 | 軸受部 | 1.26 | 2.6 | 0.90 | 1.0 | - |
| 中央制御室排風機 | 軸受部 | 1.26 | 2.6 | 0.90 | 1.0 | - |
| 中央制御室再循環送風機 | 軸受部 | 1.21 | 2.6 | 0.87 | 1.0 | - |
| 非常用ディーゼル機関 | 機関重心位置 | 0.89 | 1.1 | 0.86 | 1.0 | - |
| | ガバナ取付位置 | 0.89 | 1.8 | 0.86 | 1.0 | - |

※1 $G=9.80665$ (m/s²)

※2 応答加速度が機能確認済加速度を上回る場合に実施する

※3 ()は7号機に設置した場合の値

動的機能維持評価結果(2/3)

| 評価対象設備 | | 加速度確認部位 | 評価基準値の加速度との比較 | | | | 詳細評価 ※2 |
|--------|---------------------------------|---------|---------------|-------|------------|-------|------------|
| | | | 水平加速度(G※1) | | 上下加速度(G※1) | | |
| | | | 応答加速度 | 評価基準値 | 応答加速度 | 評価基準値 | |
| 弁 | 主蒸気系 (主蒸気内側隔離弁(D)) | 弁駆動部 | 3.59 | 10.0 | 3.08 | 6.2 | - |
| | 主蒸気系 (主蒸気逃がし安全弁(S)) | 弁駆動部 | 4.71 | 9.6 | 2.89 | 6.1 | - |
| | 原子炉冷却材浄化系 (CUW吸込ライン内側隔離弁) | 弁駆動部 | 2.94 | 6.0 | 2.33 | 6.0 | |
| | 残留熱除去系 (RHR系最小流量バイパス弁(B)) | 弁駆動部 | 1.95 | 6.0 | 1.08 | 6.0 | - |
| | 原子炉隔離時冷却系 (RCIC系注入弁) | 弁駆動部 | 3.15 | 6.0 | 1.05 | 6.0 | - |
| | 高圧炉心注水系 (HPCF系試験可能逆止弁(C)) | 弁駆動部 | 2.18 | 6.0 | 4.66 | 6.0 | - |
| | 給水系 (原子炉給水ライン内側隔離弁(A)) | 弁駆動部 | 1.77 | 6.0 | 3.15 | 6.0 | - |
| | 放射性ドレン移送系 (D/W LCWサンプル内側隔離弁) | 弁駆動部 | 1.98 | 6.0 | 1.09 | 6.0 | - |

※1 $G=9.80665$ (m/s²)

※2 応答加速度が機能確認済加速度を上回る場合に実施する

動的機能維持評価結果(3/3)

| 評価対象設備 | | 加速度確認部位 | 評価基準値の加速度との比較 | | | | 詳細評価 ※2 |
|--------|-----------------------------------|---------|---------------|-------|------------|-------|------------|
| | | | 水平加速度(G※1) | | 上下加速度(G※1) | | |
| | | | 応答加速度 | 評価基準値 | 応答加速度 | 評価基準値 | |
| 弁 | 原子炉補機冷却水系 (RCW冷却水供給温度調整弁(B)) | 弁駆動部 | 3.95 | 6.0 | 1.44 | 6.0 | - |
| | 原子炉補機冷却海水系 (RSW海水ストレーナ(B)ブロー弁) | 弁駆動部 | 2.07 | 6.0 | 2.71 | 6.0 | - |
| | ほう酸水注入系 (SLC系注入ライン試験タップ第二弁) | 弁駆動部 | 2.25 | 6.0 | 0.87 | 6.0 | - |
| | 非常用ガス処理系 (SGTSフィルタ装置出口弁(A)) | 弁駆動部 | 3.03 | 6.0 | 2.64 | 6.0 | - |
| | 可燃性ガス濃度制御系 (FCS出口第二隔離弁A)) | 弁駆動部 | 2.88 | 6.0 | 1.39 | 6.0 | - |
| | 不活性ガス系 (D/Wパージ用入口隔離弁) | 弁駆動部 | 2.03 | 6.0 | 1.56 | 6.0 | - |

※1 $G=9.80665 \text{ (m/s}^2\text{)}$

※2 応答加速度が機能確認済加速度を上回る場合に実施する

今回のまとめ

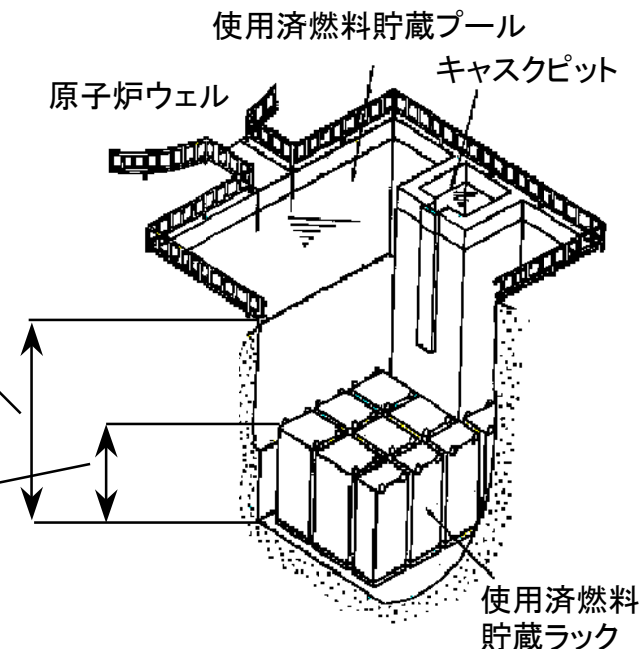
- 大型機器の地震応答荷重、評価用震度および床応答スペクトルの比較から、6号機の地震応答傾向が審議済みの7号機の地震応答傾向と同様であることを確認した。
- 使用済燃料貯蔵ラックの評価用減衰定数について、加振試験で取得した7%を用いることについて説明した。
- 6号機で評価を実施した設備について、基準地震動 S_s に対する応答値が許容基準値を下回ることを確認した。

参考資料

(参考)使用済燃料貯蔵プールスロッシングに対する影響検討(1/3)

- 基準地震動 S_s による使用済燃料貯蔵プールのスロッシング評価を行い、使用済燃料貯蔵プール内の使用済燃料および下階の安全系機器への影響がないこと等を確認する。
 - 計算機コードにて時刻歴解析を実施。
- 溢水による使用済燃料貯蔵プール水位低下に対する使用済燃料の冷却能力への影響
 - 溢水の補給は、サプレッションプールから残留熱除去系を通じて補給可能であり、使用済燃料を冷却する能力に影響を与えない。

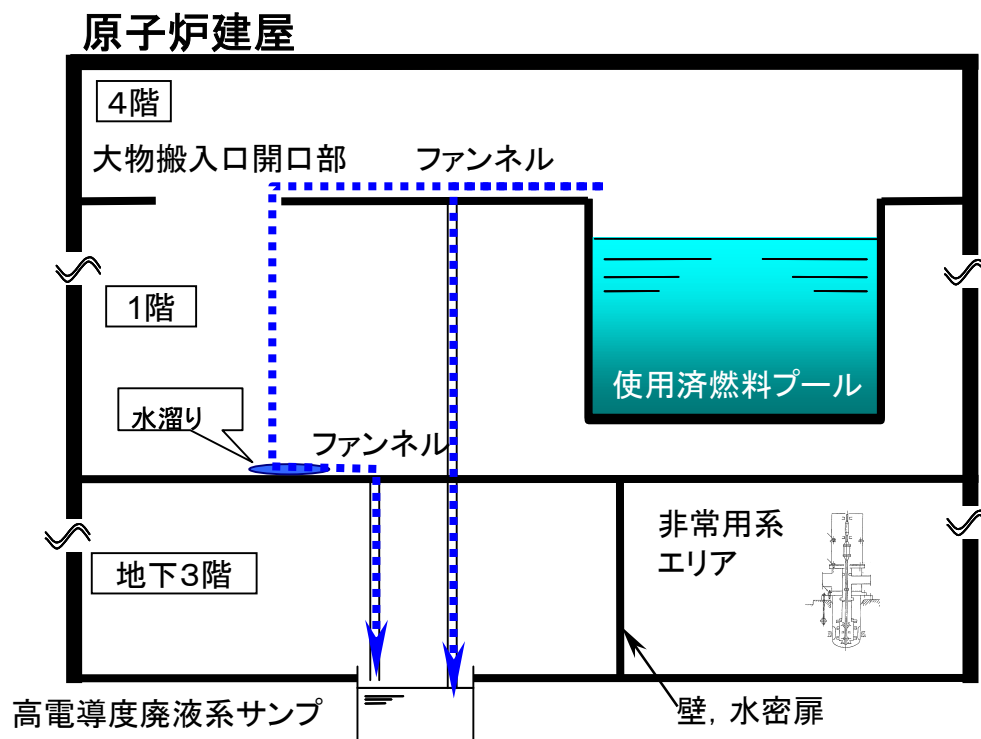
| | |
|-----------------|----------------------|
| 推定溢水量 | 590m ³ |
| 使用済燃料貯蔵プール面積 | 約250.6m ² |
| 通常時使用済燃料貯蔵プール水位 | 11.5m |
| 水位低下量 | 約2.6m |
| 溢水後使用済燃料貯蔵プール水位 | 約8.9m |
| 使用済燃料貯蔵ラック高さ | 4.54m |



(参考)使用済燃料貯蔵プールスロッシングに対する影響検討(2/3)

■ 溢水による下階の安全系機器への影響

- 安全上重要な系統および機器の安全機能を確保できるように、非常用系エリアと他エリアを分離する(壁, 水密扉)などの配置上の考慮や, 床カーブ(せき, 勾配)の設置, 漏えい検出系の設置等がなされている。
- 溢水は, オペフロ床ドレンファンネルより地下3階にある高電導度廃液系サンプルに導かれ処理される。大物搬入口用開口部より下階へ流出する溢水は, 1階床ドレンファンネルより高電導度廃液系サンプルに導かれ処理される。上記ドレンは非常用系エリアとは別のサンプルに収集する。

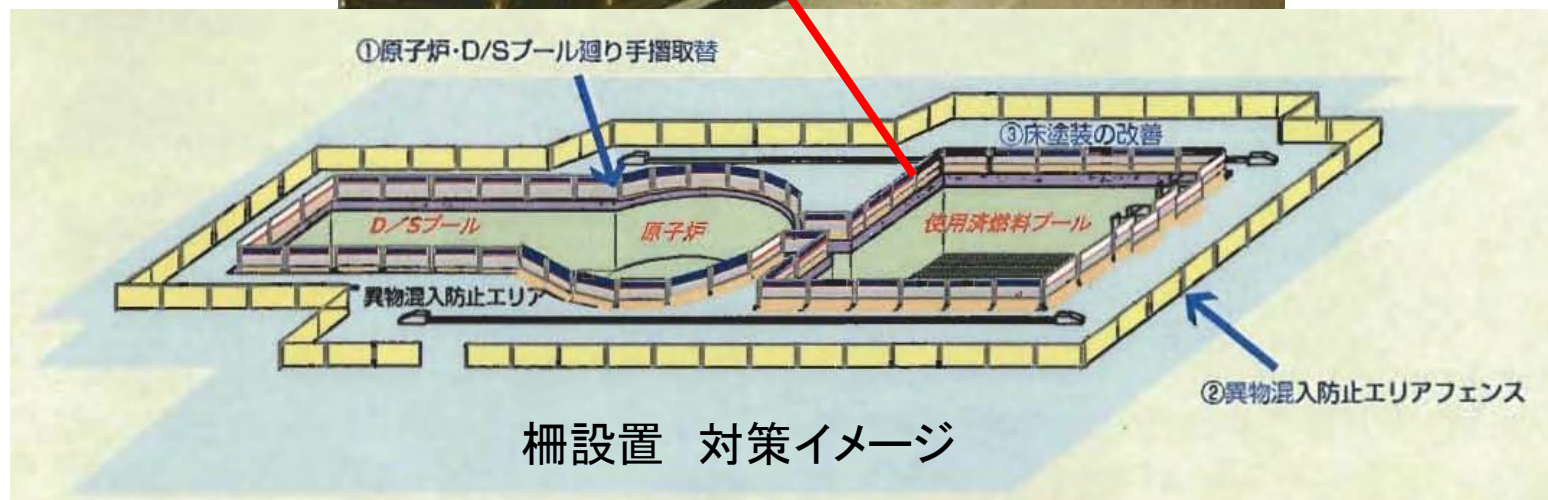


(参考)使用済燃料貯蔵プールスロッシングに対する影響検討(3/3)

■ 溢水の低減措置

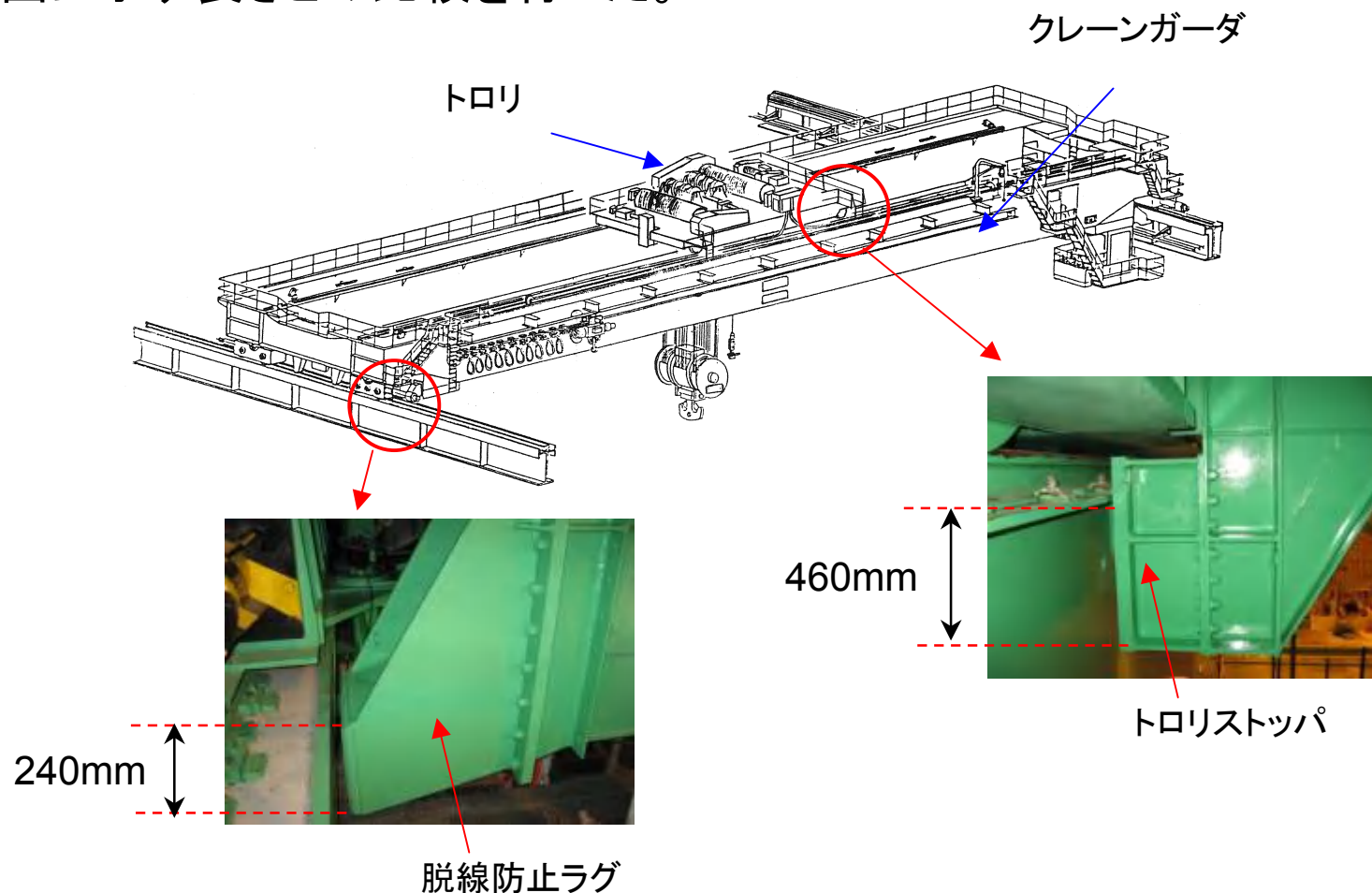
- 溢水量低減のために使用済燃料貯蔵プール周囲に柵を設置した。今回の溢水量評価は柵の考慮をしていないので保守的な評価になっている。

柵を設置し溢水量を低減させる



(参考) 原子炉建屋クレーンの浮き上がり評価について(1/3)

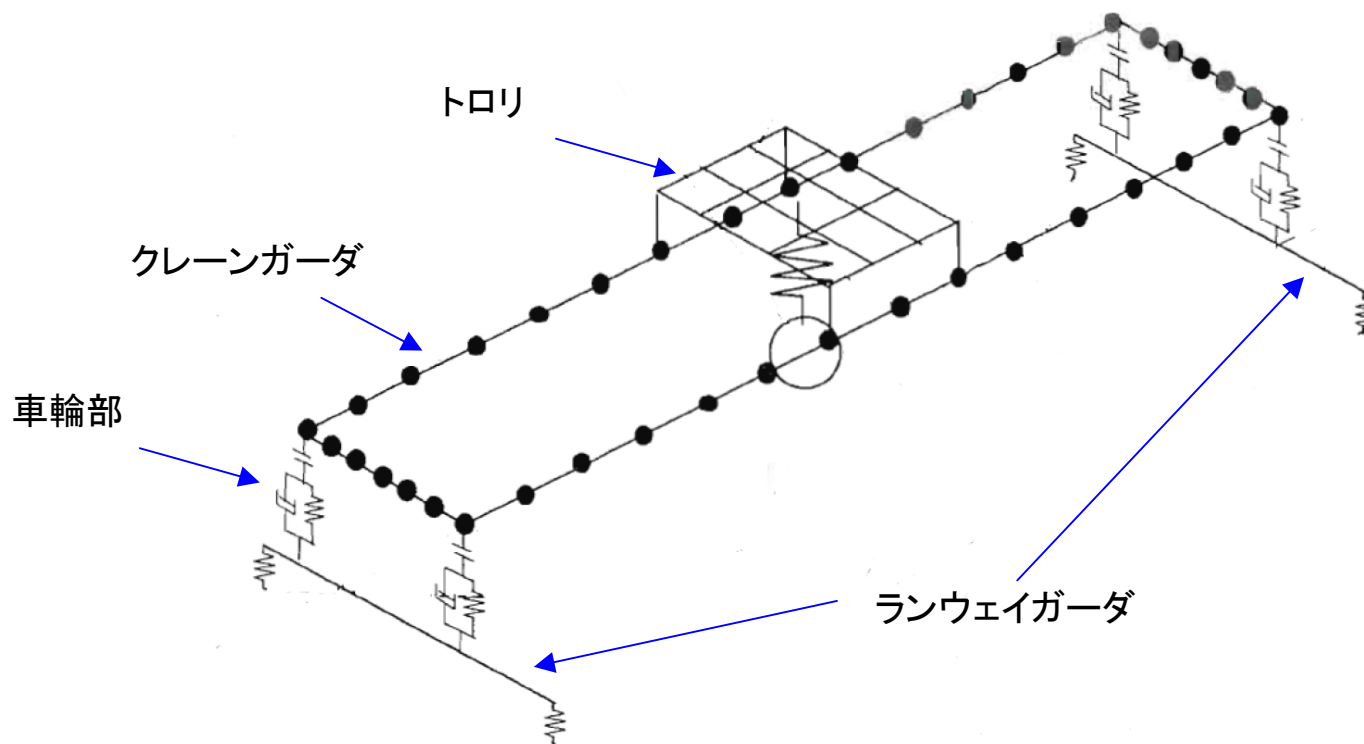
- クレーンが基準地震動 S_s に対して落下しないことを確認するため、クレーンガーダおよびトロリの浮き上がり量を算出し、脱線防止ラグおよびトロリストッパの下図に示す長さとの比較を行った。



(参考) 原子炉建屋クレーンの浮き上がり評価について(2/3)

■評価手法

- 解析モデルはクレーンの浮き上がりを考慮するため、クレーンガーダの各車輪にギャップ要素を持つ非線形FEM解析モデルとした。
- 計算は汎用非線形有限要素解析プログラムABAQUSを用いた。



(参考) 原子炉建屋クレーンの浮き上がり評価について(3/3)

■ 評価結果

- ガーダおよびトロリの浮き上がり量は評価基準値を下回ることから、基準地震動Ssに対して落下しないことが確認できた。

| 部材 | 浮き上がり量 (mm) | 許容浮き上がり長さ (mm) |
|---------|----------------|-------------------|
| クレーンガーダ | 114 | 240 |
| トロリ | 329 | 460 |

※ Ss-1からSs-5の最大値を示す。

※ トロリの浮き上がり量は、クレーンガーダのたわみ量を考慮した保守的な値。
(考慮しない場合の浮き上がり量は、165mm)