

高浜発電所3・4号機 工事計画認可申請に係る 要点とその取組状況について

(4月23日の原子力規制委員会審査会合の内容)

平成27年 5月 7日
関西電力株式会社

1. 新規制基準への適合性確認に係るこれまでの経緯

- 平成25年7月8日
高浜発電所3・4号機 原子炉設置変更許可、工事計画認可及び保安規定変更認可申請
【申請内容】新規制基準への適合性確認
- 平成25年8月5日(平成27年2月2日取り下げ)
高浜発電所3・4号機 工事計画認可申請
【追加内容】新規制基準への適合性確認
- 平成26年10月31日、平成26年12月1日、平成27年1月28日
高浜発電所3・4号機 原子炉設置変更許可の補正書提出
【補正内容】具体的設備対応、操作の確実性及び追加対策反映等
- **平成27年2月2日**
高浜発電所3・4号機 工事計画認可申請の補正書提出
【補正内容】原子炉設置変更許可補正内容を踏まえた記載内容への反映
- 平成27年2月12日
高浜発電所3・4号機 原子炉設置変更許可
- **平成27年4月15日**
高浜発電所3・4号機 工事計画認可申請の補正書提出
【補正内容】認可を受けた先行プラントの工事計画書を踏まえた記載内容の充実

2. 取組状況(トピックス)

(1) 最新知見を反映した評価手法等

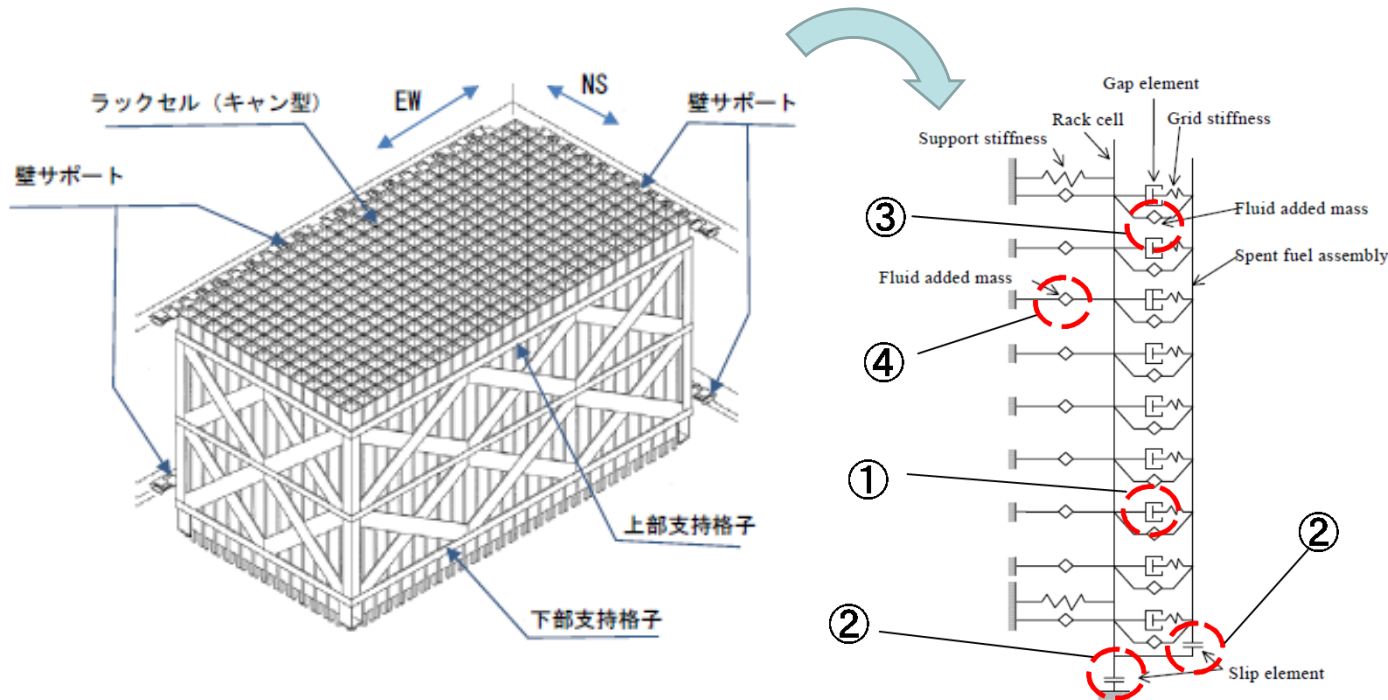
① 使用済燃料ラックの地震応答解析手法

- ・地震応答解析モデルの妥当性、設計用減衰定数の妥当性について、試験にて取得したデータやその解析結果を用いて説明するとともに、時刻歴応答解析の適用に当たっての地盤物性等の不確かさの考慮について、その影響も踏まえた評価を示し説明中。

① 使用済燃料ラックの地震応答解析手法

概 要

- 実機大の試験体を用いた加振試験で得られた減衰比、サポート反力、燃料集合体の挙動のデータを踏まえ、これらを適切に考慮するため、水による付加質量効果、燃料集合体とラックセル間の衝突、燃料集合体及びラックセルの床支持部のすべりを考慮したモデルにより、非線形効果を取り入れた時刻歴応答解析を実施。
- 時刻歴応答解析の適用に当たっては、地盤物性等の不確かさについても考慮の上、許容値を満足していることを確認。



ラックブロックにおけるラックセルと燃料集合体を1つに集約したモデルにて地震応答解析を実施する。モデル化においては、以下を考慮。

- ① 燃料集合体とラックセル間の隙間をガタ要素でモデル化。
- ② 燃料集合体及びラックセルの床支持部を滑り要素でモデル化。
- ③ ラックセル内の水の流体連成(付加質量)を考慮。
- ④ ラックセルとピット壁間の流体連成(付加質量)を考慮。

②原子炉格納容器の座屈評価手法

- ・静的弾塑性座屈解析の適用にあたり、実材料の物性等の不確かさに対して、既工認手法と同等の耐震評価上の安全裕度を有していることを、複数の解析により比較評価し説明中。

③蒸気発生器伝熱管の地震応答解析手法

- ・地震応答解析モデルの妥当性、設計用減衰定数の妥当性について、試験にて取得したデータやその解析結果を用いて説明するとともに、時刻歴応答解析の適用に当たっての地盤物性等の不確かさの考慮について、その影響も踏まえた評価を示し説明中。

④制御棒挿入性評価手法

- ・挿入経路機器(CRDM、GT、FA)毎の挿入抗力をを用いて挿入時間解析を行うことの妥当性について、試験・解析による検討により説明するとともに、時刻歴応答解析の適用に当たっての地盤物性等の不確かさの考慮について、その影響も踏まえた評価を示し説明中。
- ・制御棒挿入性評価において、制御棒クラスタや挿入経路機器に対する照射影響を考慮不要と判断していることについて、定期事業者検査の実績等を用いて説明中。

⑤建築耐震(建屋の地震応答解析モデル)

- ・側面地盤ばね : FEMを用いて評価したばね値の妥当性を説明中。
- ・基礎底面付着力 : 解析に用いる付着力について、試験結果を用いて説明中。
- ・緊急時対策所 : ねじれ考慮の基礎固定モデルの妥当性を、FEMを用いて説明予定。
- ・隣接建屋の影響 : 実際の建屋配置を模擬したモデルを用いて、建屋応答への影響を説明中。
- ・減衰定数 : 鉄筋コンクリート構造物の減衰定数設定の妥当性を、解析等により説明中。

⑥竜巻に対する屋外SA設備の防護対策

- ・高浜発電所3・4号機の竜巻防護対策として、位置的分散を考慮した配置設計と、飛散による悪影響防止のための固縛措置により、竜巻の荷重を考慮しても必要な機能が損なわれない設計としていることについて、設置変更許可申請書との整合性及び技術基準への適合性も含めて説明予定。
なお、万一、竜巻により屋外SA設備が損傷した場合は、保安規定に従い、定められた期間内での復旧措置やプラント停止も含めた対応を行うこととしており、その運用と合わせ、詳細を説明予定。
- ・位置的分散による機能維持の効果について、竜巻ハザードカーブを用いた頻度概念なども含めて説明予定。

(2) 高浜固有の設備

⑦土石流の影響を受ける固体廃棄物貯蔵庫に対する評価

土石流等の荷重に対して建屋の健全性が確保されることについて、以下の評価により説明中。

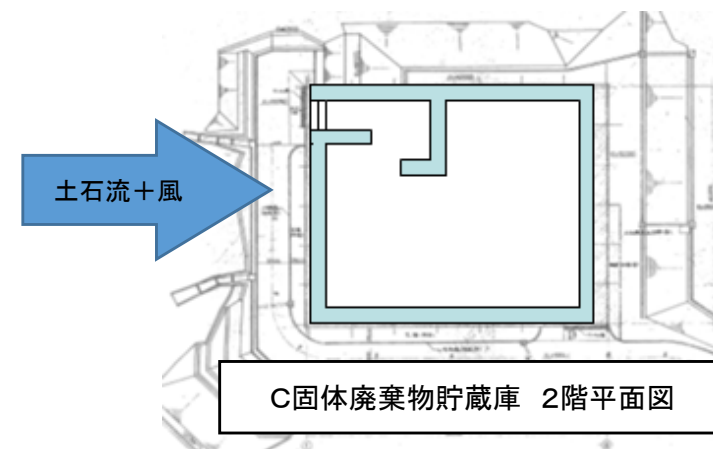
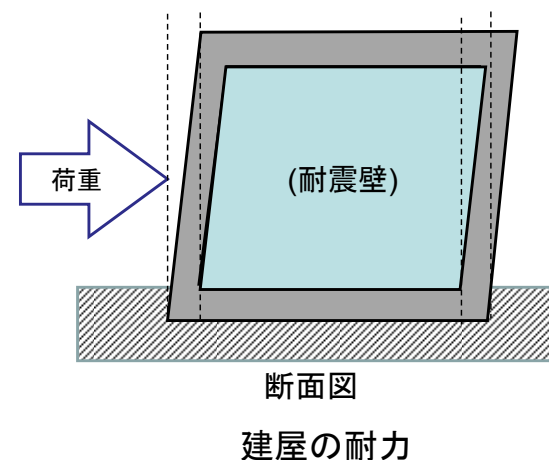
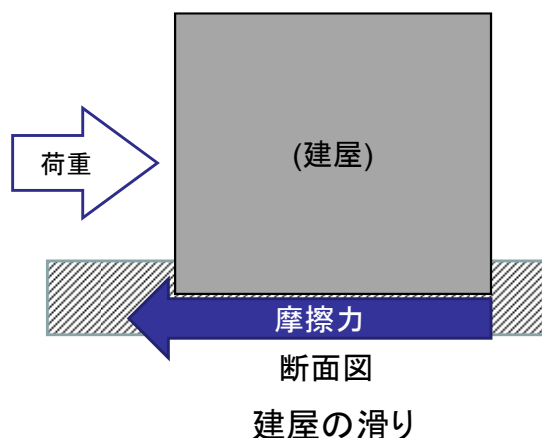
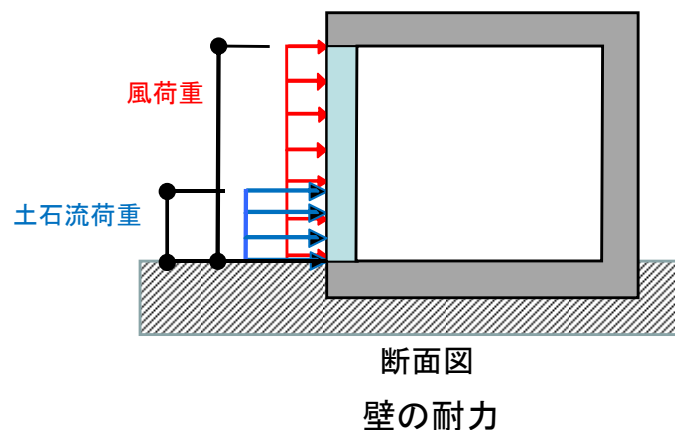
- ・壁の耐力について、壁に発生する曲げモーメント及びせん断力が短期許容応力以下であること。
- ・建屋の滑りについて、建屋に作用する水平力が基礎底面の摩擦力以下であること。
- ・建屋の耐力について、耐震壁に発生するせん断力が短期許容応力以下であること。

⑦ 土石流の影響を受ける固体廃棄物貯蔵庫に対する評価

概要

- 土石流の影響を受ける施設として、設置変更許可申請書で選定したC固体廃棄物貯蔵庫について、土石流により発生する土砂の衝突による荷重とそれ以外の自然現象(風、雪)の組合せを考慮して、健全性評価(壁の耐力、建屋の滑り、建屋の耐力)を実施。

<評価方法>



⑧屋外重要土木構造物の耐震評価手法

- ・評価対象断面について、評価している断面が耐震評価上厳しくなる断面であることを他の断面との比較を行った上で判断していることを説明中。また、破碎帯と交差する海水取水トンネルについて、耐震評価を行い、その影響について説明予定。
- ・土木学会マニュアルを適用規格として用いていることについて、既往の実験結果や工認審査ガイドにおいて認められている規格・基準と比較して、十分保守性を有した評価であることを説明中。

⑨津波防護施設等の耐震評価手法

- ・耐震評価における評価部材を単純化した検討モデルによる解析手法、評価条件及び検討断面等について、詳細モデルを用いた検証の実施や、検討断面の追加により妥当性を説明予定。
- ・耐震評価を行うことにより、津波防護機能及び津波影響軽減機能への影響について説明予定。

⑩津波防護施設等への波及的影響評価

- ・循環水管に発生する応力を確認し、浸水防護施設への影響について説明予定。
- ・地震時の取水口ケーソンの安定性評価を行い、通水機能への影響について説明中。
評価対象斜面について、耐震評価を行い、通水機能への影響について説明中。
- ・連続地中壁について、耐震評価を行い、健全性について説明予定。

⑪森林火災防護に係る固体廃棄物貯蔵庫散水設備

散水設備の設置により飛び火の影響が防止できることについて以下を説明中。

- ・固体廃棄物貯蔵庫の側壁面のノズルの設置間隔の考え方(ノズル単体試験より側壁面の濡れ幅(L_t [m])を設定し、その濡れ幅(L_t [m])の両端が重なるようなノズルの設置間隔(L [m])とする)。
- ・固体廃棄物貯蔵庫の屋根面においては、森林火災が到達するまでに水張りができる流量が確保できること。

(3) その他詳細設計の例

⑫可搬型重大事故等対処設備のうち車両型設備の基準地震動に対する機能維持評価手法

地震応答解析の保守性について、以下の内容を説明中。

- ・悪路走行試験により測定した車両の固有振動数が1Hz～3Hz間に存在しているのに対し、保守的な評価結果となる（加速度が大きく評価される）ように3Hzで解析を実施。
- ・保管場所での入力地震動に対し、解析で使用する入力地震動は保守的（大きいもの）に設定。

⑬火災防護に係る施設の耐震及び強度評価

- ・消火水バックアップライン及びスプリンクラー設備の機器について、設置されているフロアの加速度が加振試験による機能確認済加速度以下であることにより、基準地震動 S_s による地震力に対し機能を維持することを説明中。なお強度評価については説明予定。

⑭溢水防護に係る施設の耐震及び強度評価

- ・溢水防護に係る施設の耐震及び強度評価について、先行プラントの実績を踏まえた評価内容であることを説明中。
- ・耐震B,Cクラス機器の耐震評価については、耐震Sクラス機器に適用する評価手法と同等の手法で行うことを説明中。

⑮竜巻飛来物対策（防護ネット）の強度評価手法

- ・鋼製枠取付け型防護ネットの強度評価について、電中研評価式を用いた設計・評価内容により説明予定。
- ・ワイヤロープ組合せ型防護ネットの強度評価については一般産業界での使用実績が多数あり、弾性ひずみエネルギー式を用いた設計・評価内容により説明予定。

⑯水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ

- ・水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性がある施設・部位の抽出結果の妥当性を説明中。
- ・抽出された施設・部位について、従来の評価結果の荷重や応力等を水平2方向及び鉛直方向に組み合わせ、施設が有する耐震性に及ぼす影響について説明中。

⑰耐震評価におけるSA荷重と地震荷重の組合せ

CVの荷重の組合せの検討においては、長期荷重の継続時間を 2×10^{-1} 年としている。この継続時間設定の根拠となる対策は復旧、外部支援等を前提とした中長期の事故収束対応であり、それらの基本方針は設置許可本文十号及び添付十に記載されている。

また、工事計画認可申請書においては、基本設計方針の中で、復旧等の対応について保安規定に定める旨を記載することとしており説明予定。

② 原子炉格納容器の座屈評価手法

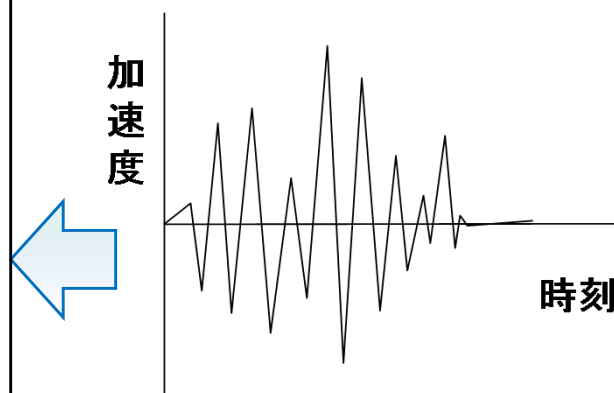
概 要

- 原子炉格納容器の座屈挙動をより正確に評価することが出来る手法として、実機を模擬した3次元FEMモデルを用いた静的弾塑性座屈解析を実施。
- 既工認手法の考え方と同様に、座屈荷重に達しないように制限する座屈耐力(評価基準値)を算定し、原子炉格納容器の座屈にかかる耐震安全性を確認。
- 実機を模擬したモデルの妥当性については、1/63.6スケールの試験体にてモックアップ試験を実施、解析モデルにより保守的に再現できることを確認。

③ 蒸気発生器伝熱管の地震応答解析手法

概 要

- 蒸気発生器伝熱管は実機大の試験体を用いた加振試験による検討から、その振動特性を適切に評価する応答解析モデルが設計用減衰定数と共に策定されてきた。高浜発電所3・4号機では、この解析モデル策定の際に、モデルの妥当性検証にも用いられている時刻歴応答解析を採用。
- 時刻歴応答解析の適用に当たっては、地盤物性等の不確かさについても考慮の上、許容値を満足していることを確認。

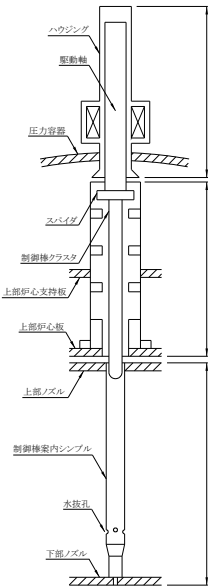
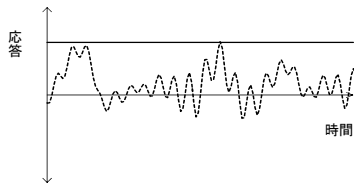
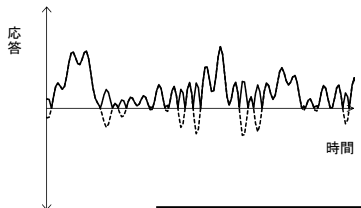


モデル	- Uベンド部を模擬した3次元はりモデル - 伝熱管を十数から数百本ずつグループ化し、全伝熱管をモデル化 - 面内方向、面外方向、鉛直方向に対し、それぞれの振動特性を踏まえたモデルを設定
手法	時刻歴応答解析を適用
減衰定数	- 水平面内: 15% - 水平面外: 8% - 鉛直: 1%

④ 制御棒挿入性評価手法

概要

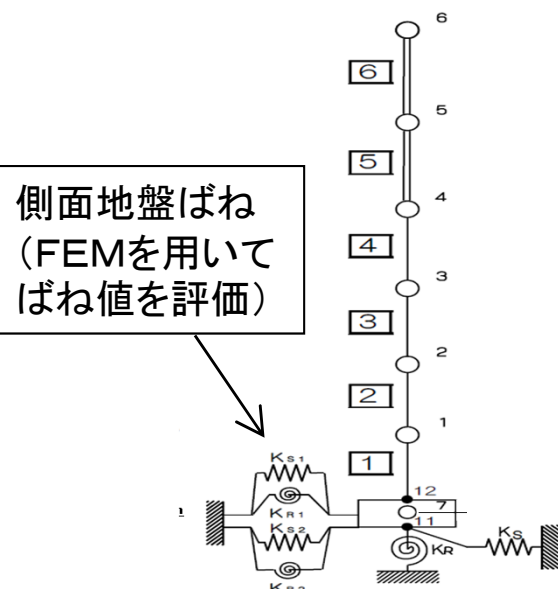
- ・制御棒挿入時間については地震時に挿入経路機器から受ける抗力を運動方程式に反映し算出。
- ・地震力によって時々刻々と変化する挿入経路機器の挿入抗力を考慮できる時刻歴応答解析を採用。
- ・時刻歴応答解析の適用に当たっては、地盤物性等の不確かさについても考慮の上、許容値を満足していることを確認。

	静的手法(従来手法)	時刻歴解析手法
 制御棒駆動装置 (CRDM) 制御棒クラスタ案内管 (GT) 燃料集合体 (FA)	【CRDM】 拡幅床応答曲線によるスペクトルモーダル解析から算出した最大応答変位を用いて等価抗力を設定し制御棒挿入時間解析を実施 【GT】 同上 【FA】 時刻歴応答解析(群振動解析)による時刻歴応答波から算出(下図実線)した最大応答変位を用いて抗力を設定し制御棒挿入時間解析を実施  実線: 考慮する応答 破線: 応答解析結果	【CRDM、GT、FA共通】 時刻歴応答解析から算出(下図実線)した時々刻々の応答変位、応答加速度を用いて抗力を設定し制御棒挿入時間解析を実施  実線: 考慮する応答 破線: 応答解析結果

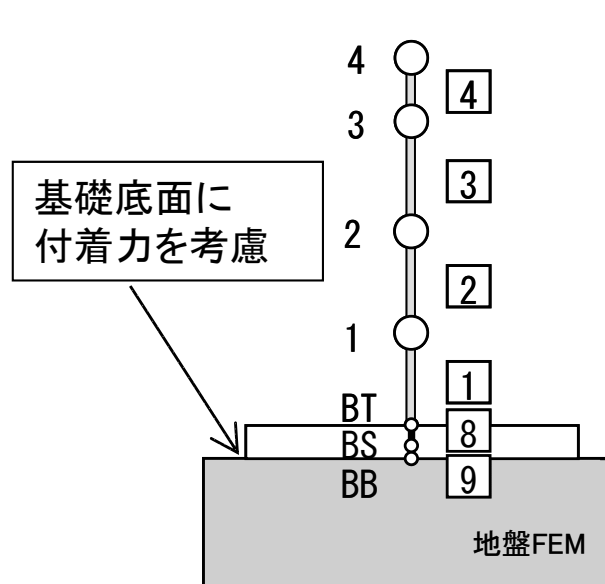
⑤ 建築耐震(建屋の地震応答解析モデル)

概 要

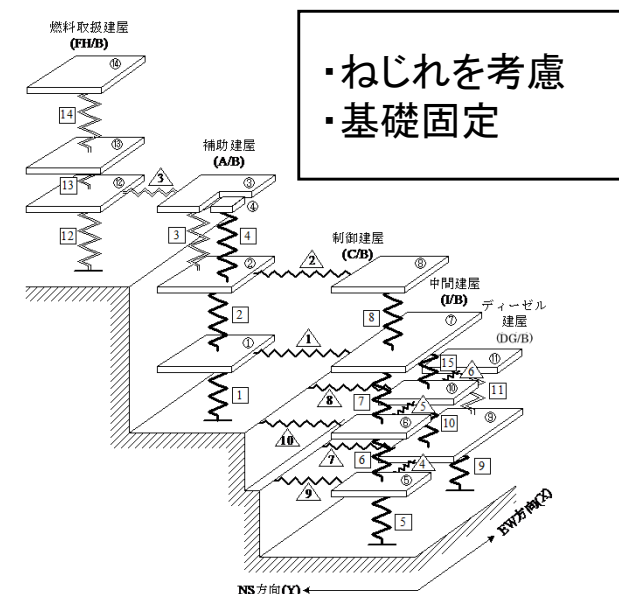
- 建屋の地震応答解析は、構造・形状を踏まえて設定した解析モデルにより建屋ごとに実施。



補助一般建屋の解析モデル



中間建屋の解析モデル



緊急時対策所
(1号機原子炉補助建屋)の解析モデル

⑥ 竜巻に対する屋外SA設備の防護対策

概 要

- ・（設計の考え方）屋外SA設備については、同じ機能を持つ設備が竜巻によって同時に損傷しないよう配置することで、必要な機能が損なわれない設計とする。具体的には以下の通り。
 - －（悪影響防止）固縛等の措置により、屋外SA設備が飛来物となりDB設備等に悪影響を及ぼさない対策。
 - －（位置的分散）同じ機能を持つDB設備を防護するとともに、DB設備や常設SA設備から離隔して配置。

DB設備の竜巻防護対策の例（海水ポンプ）



- ・風速100m/sの竜巻を考慮
- ・上面はネットで飛来物の衝撃を吸収
- ・側面は鋼板で貫通を阻止
- ・竜巻が襲来しても損傷しない設計

屋外SA設備の竜巻防護対策の例（電源車）



- ・屋外SA設備が飛散し、DB設備等に悪影響を与えないよう固縛
- ・サスペンションによる耐震性（減衰効果）を阻害することがないように、たるみを残して固縛
- ・可搬設備の機動性を考慮し、固縛の数は必要最小限に抑える。

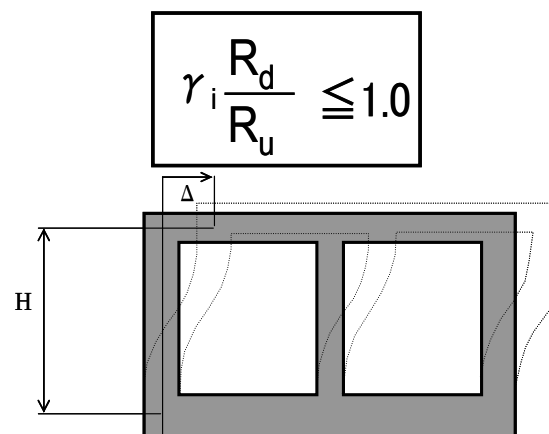
⑧ 屋外重要土木構造物の耐震評価手法

概 要

- 屋外重要土木構造物の評価対象断面については、構造物の配置や荷重条件及び周辺地盤状況を考慮し、耐震評価上厳しくなると考えられる位置を評価対象断面として設定。(下表参照)
- 屋外重要土木構造物の耐震評価における主な許容限界について、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル(土木学会、2005)」(以下、土木学会マニュアルという)を用いて、曲げは限界層間変形角、せん断についてはせん断耐力を用いて評価を実施。

屋外重要土木構造物の断面選定理由

評価対象構造物	主な断面選定理由
海水ポンプ室	構造形状及び荷重条件
海水管トレンチ	構造形状及び周辺地盤
海水取水トンネル	構造形状及び周辺地盤
燃料油貯油そう基礎	構造形状及び周辺地盤
復水タンク基礎	構造形状



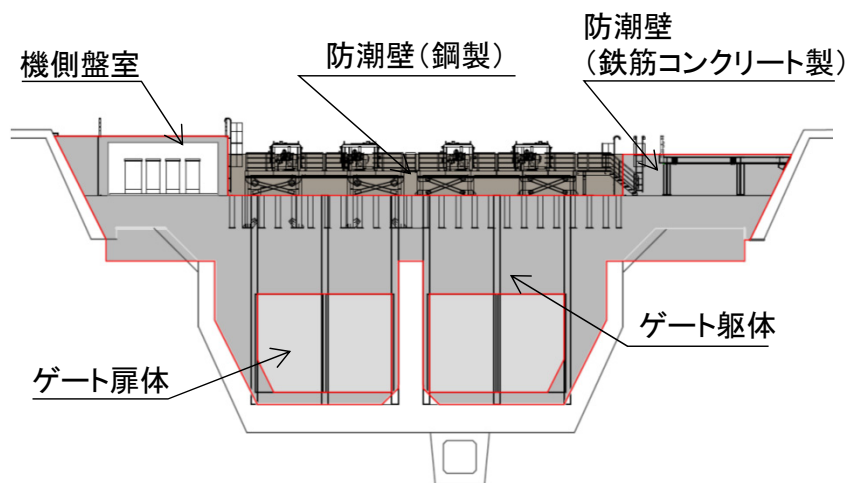
γ_i : 構造物係数 (=1.00)
 R_d : 照査用層間変形角 (= $\gamma_a \cdot R$)
 γ_a : 構造解析係数 (=1.20)
 R : 応答計算による最大層間変形角 (= Δ / H)
 Δ : 最大層間変位[m]
 H : 層間高さ[m]
 R_u : 限界層間変形角 (=1/100)

限界層間変形角による曲げ照査

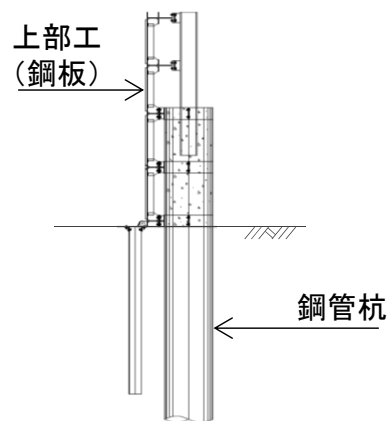
⑨ 津波防護施設等の耐震評価手法

概 要

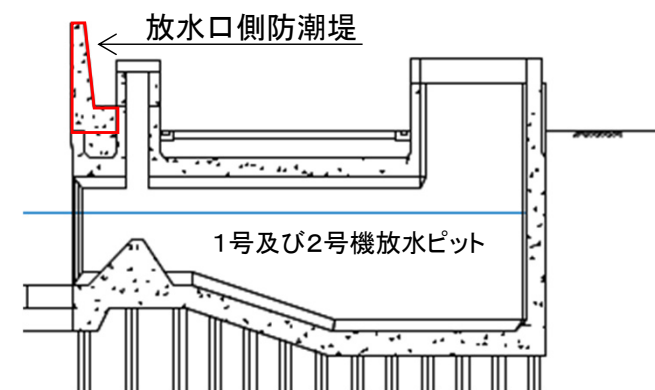
- ① 津波防護施設等の耐震評価においては、評価部材の適切なモデル化や、杭基礎に作用する側方流動力が最大となる断面でFEM解析を実施すること等により、津波防護施設等の耐震評価を実施。
- ② ・放水口側防潮堤のうち鉄筋コンクリート壁部は、1号及び2号機放水ピットに設置されており、津波防護機能が維持されることを確認するため、放水ピットの耐震評価を実施。
・取水口カーテンウォールの津波影響軽減機能が維持できることを確認するため、取水口ケーソンの耐震評価を実施。



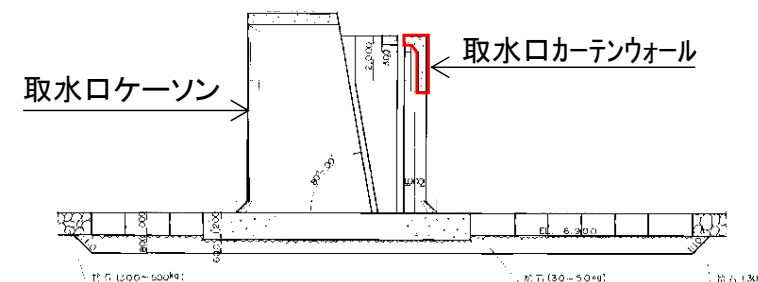
取水路防潮ゲート正面図



放水口側防潮堤
(杭基礎形式部)断面図



放水口側防潮堤(RC壁部)断面図

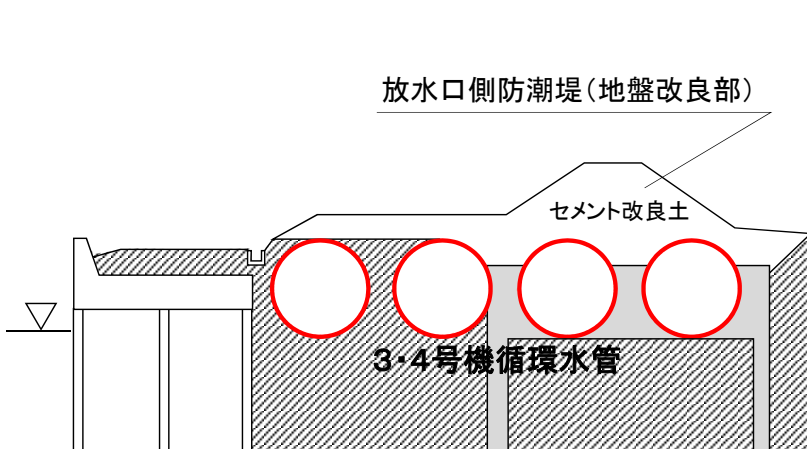


取水口カーテンウォール断面図

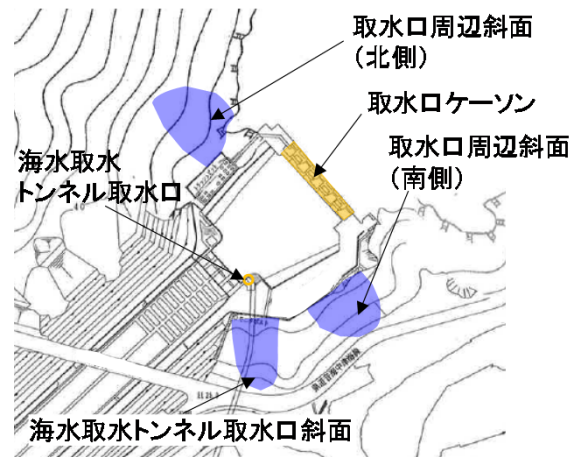
⑩ 津波防護施設等への波及的影響評価

概 要

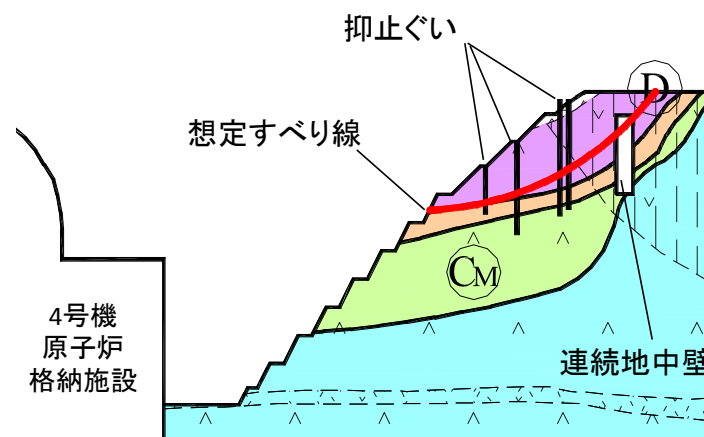
- ①放水口側防潮堤(地盤改良部)の浸水防護機能に波及的影響を与える可能性のある3・4号機循環水管の耐震評価を実施。
- ②海水取水トンネルの通水機能に波及的影響を与える可能性のある取水口ケーソンの安定性評価および周辺斜面の耐震評価を実施。
- ③3・4号機周辺斜面の補強工である敷地内土木構造物(連続地中壁と抑止ぐい)の耐震評価を実施。



①放水口側防潮堤(地盤改良部)断面図



②取水口平面図

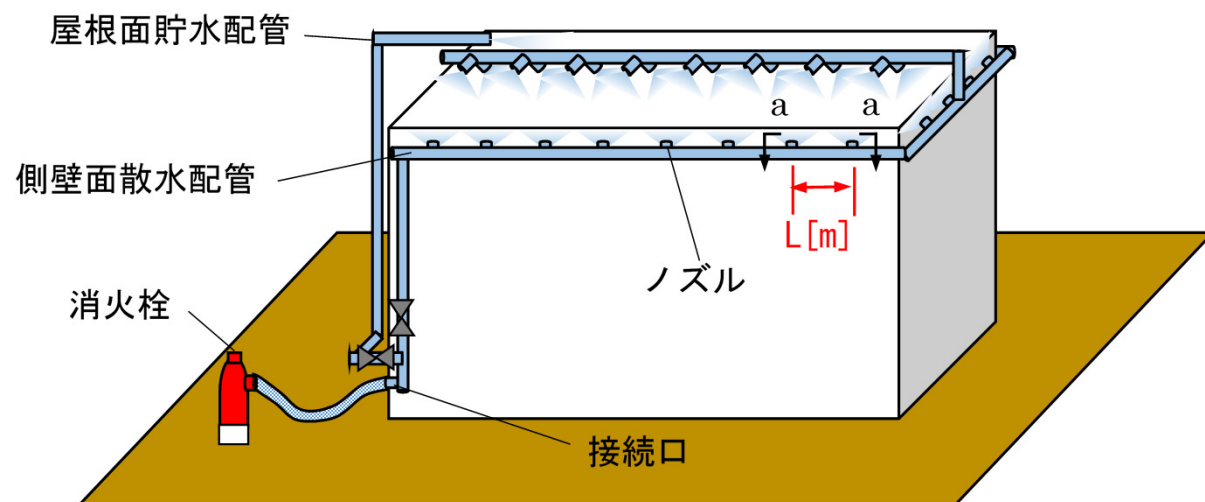


③敷地内土木構造物断面図

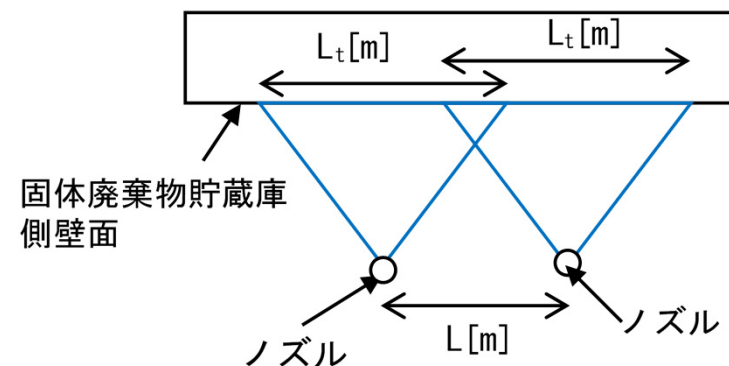
⑪ 森林火災防護に係る固体廃棄物貯蔵庫散水設備

概要

- 防火帯の外側にある固体廃棄物貯蔵庫は、森林火災発生中にはアクセスが困難となることを想定。固体廃棄物貯蔵庫の周辺には防火帯と同じ幅(18m以上)の防火エリアを設けているが、飛び火による影響の防止を目的として、固体廃棄物貯蔵庫に散水設備を設置。



固体廃棄物貯蔵庫散水設備の設置概要図



a-a矢視図

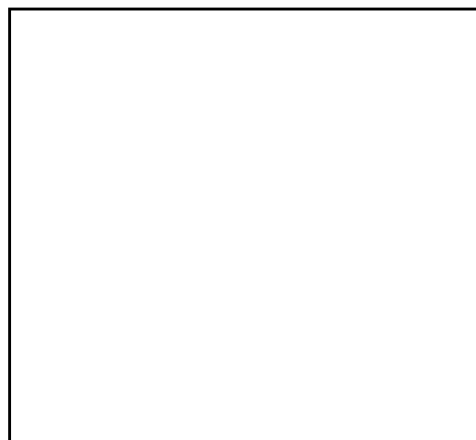
⑫ 可搬型重大事故等対処設備のうち車両型設備の基準地震動 に対する機能維持評価手法

概要

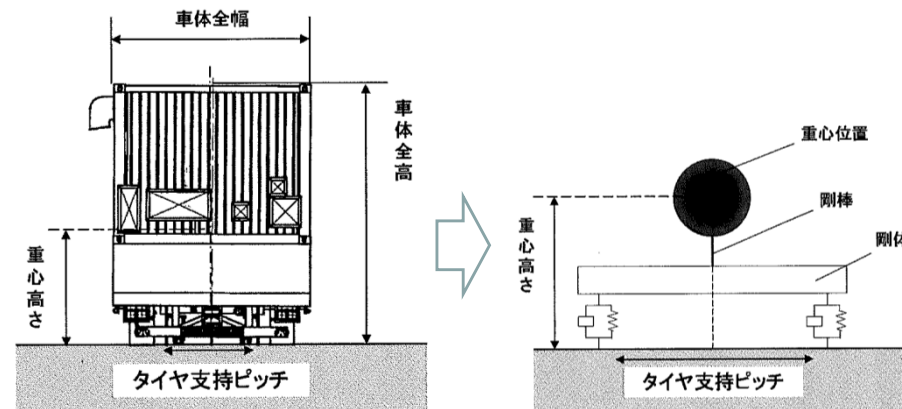
- 基準地震動 S_s 後において機能が維持できることを確認するため、先行プラントを踏まえ加振試験あるいは悪路走行試験及び地震応答解析により設備の動的・電氣的機能が維持されることを確認。



加振試験



悪路走行試験

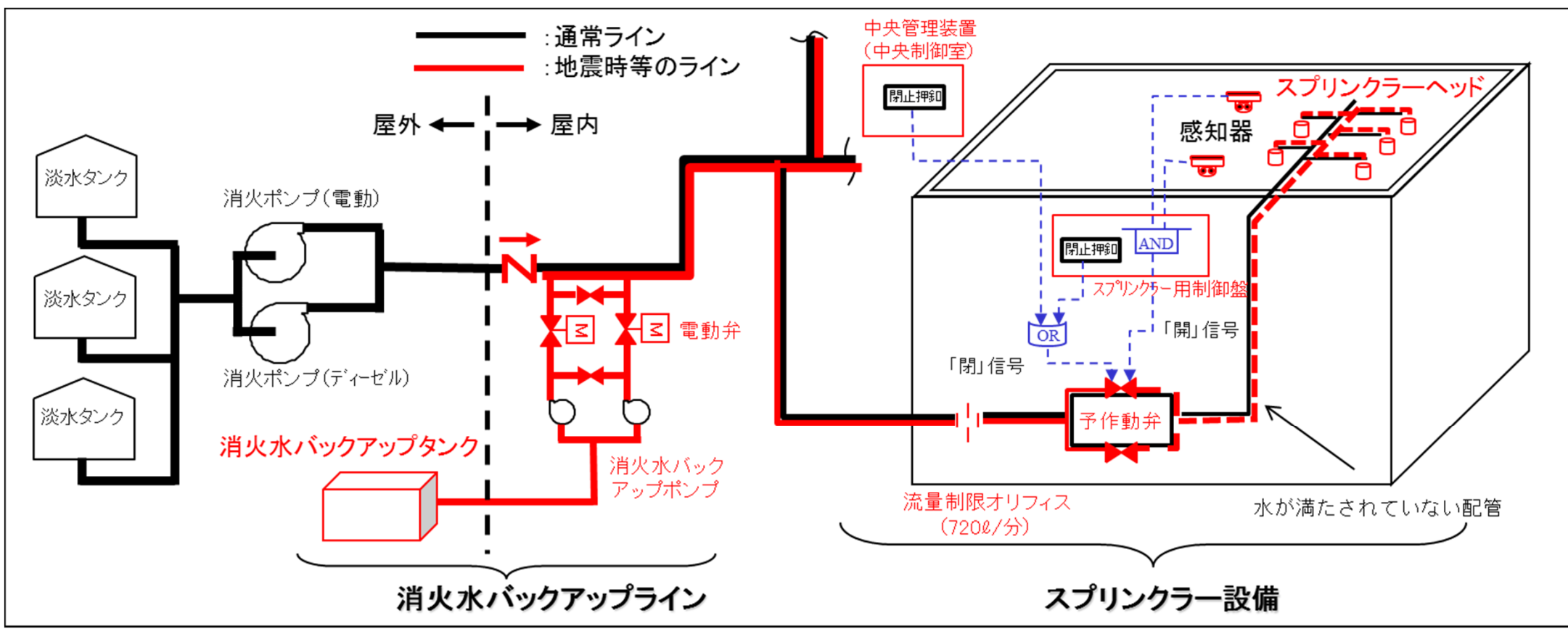


地震応答解析モデル
(悪路走行試験での目標加速度算出)

⑬ 火災防護に係る施設の耐震及び強度評価

概要

- 今回、高浜固有のスプリンクラー等について、耐震評価を実施し、Ss地震時の機能維持を確認。



⑭ 溢水防護に係る施設の耐震及び強度評価

概 要

- 溢水防護に係る施設が、基準地震動 S_s による地震力に対して耐震性を有することを、自重、地震(基準地震動 S_s)及び内圧を適切に組み合わせた荷重によって評価対象部位に発生する応力または荷重が、許容限界を満足することにより確認。

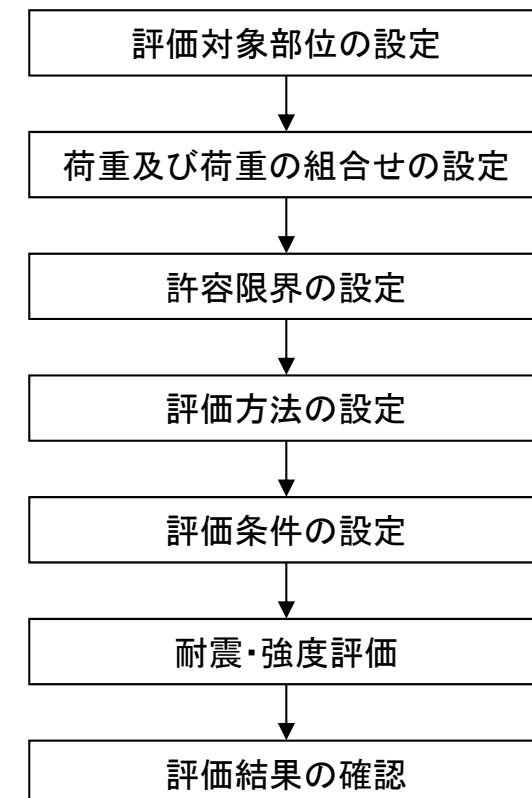
(対象設備)

水密扉	管理区域外伝播防止堰	水密区画壁
貫通部止水処置	耐震B,Cクラス機器	湧水サンプポンプ

- 溢水伝播を防止する設備及び蒸気影響を緩和する設備が、溢水水位による静水圧または配管破断による荷重に対して構造強度を有することを、静水圧荷重または蒸気噴出荷重によって評価対象部位に発生する応力または荷重が、許容限界を満足することにより確認。

(対象設備)

水密扉	管理区域外伝播防止堰	水密区画壁
貫通部止水処置	ターミナルエンド防護カバー	



耐震・強度の評価フロー

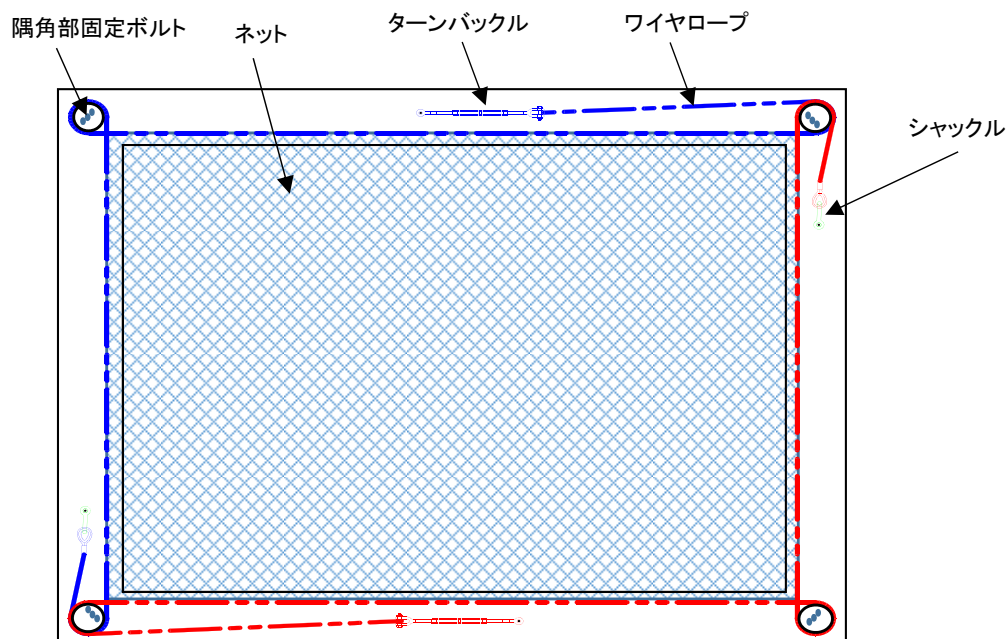
⑮ 竜巻飛来物対策(防護ネット)の強度評価手法

概 要

- ・ 竜巻防護施設に対して竜巻飛来物防護対策設備として設置した防護ネットについて、想定する設計飛来物(鋼製材4.2×0.3×0.2m 135kg)に対する強度評価を実施。

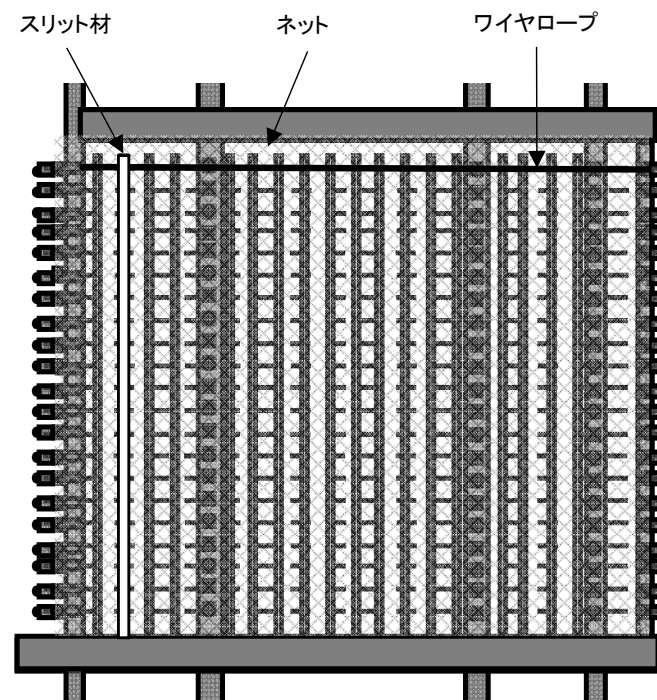
＜鋼製枠取付け型防護ネット＞

- ・ 海水ポンプ室、復水タンクエリア(天井、側面の一部)及び主蒸気配管室に設置。



＜ワイヤロープ組合せ型防護ネット＞

- ・ 復水タンクエリア(側面)に設置。



⑬ 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ

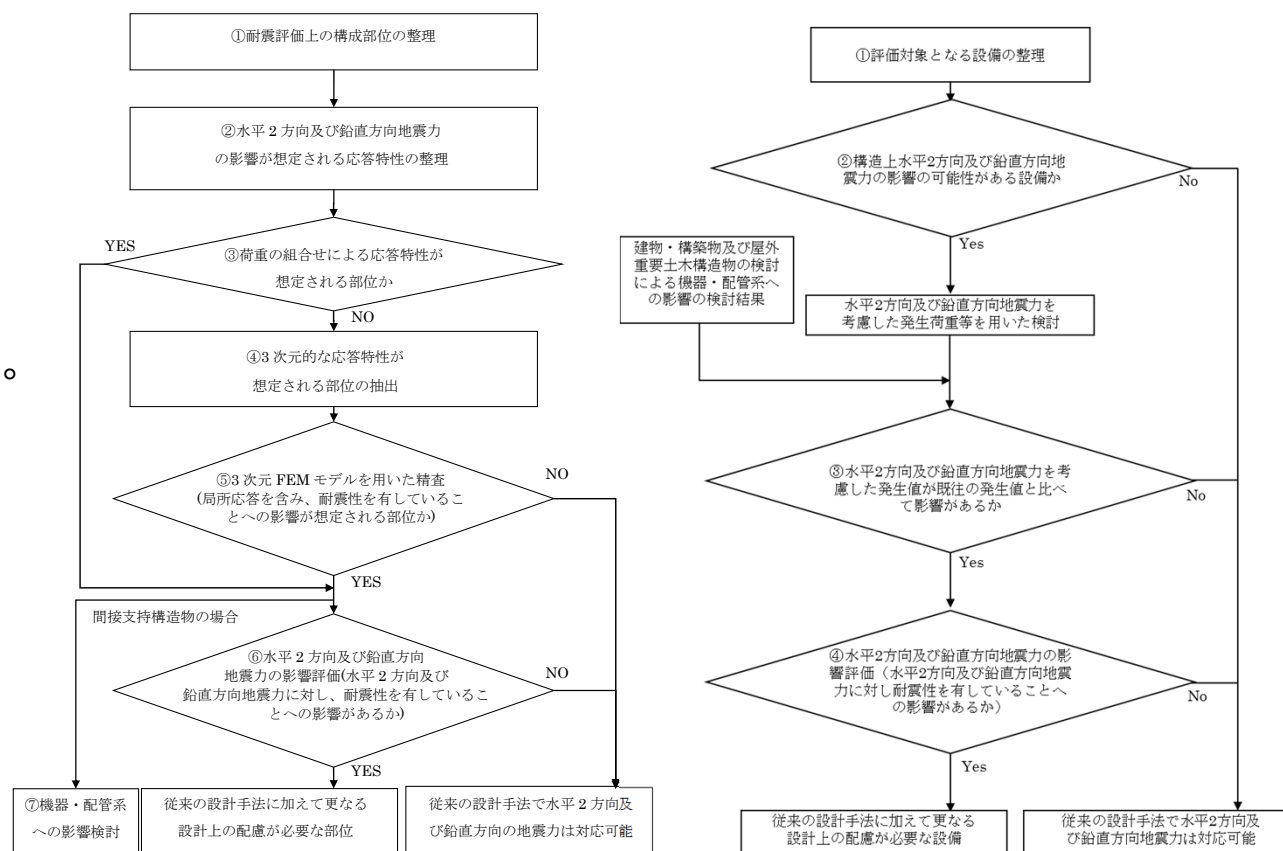
概要

- 施設の構造特性から水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のあるものを抽出し、施設が有する耐震性に及ぼす影響を評価。

<水平2方向影響評価方法>

- 評価対象となる施設(構成部位)の整理。
- 構造上の特徴から水平2方向の地震力による影響の可能性のある施設(部位)を抽出。
- 抽出された施設(部位)について水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた影響評価を実施。

※建物・構築物、機器・配管系、屋外重要土木構造物でそれぞれ影響評価のフローを策定し、それに従い実施する。



【建物・構築物】

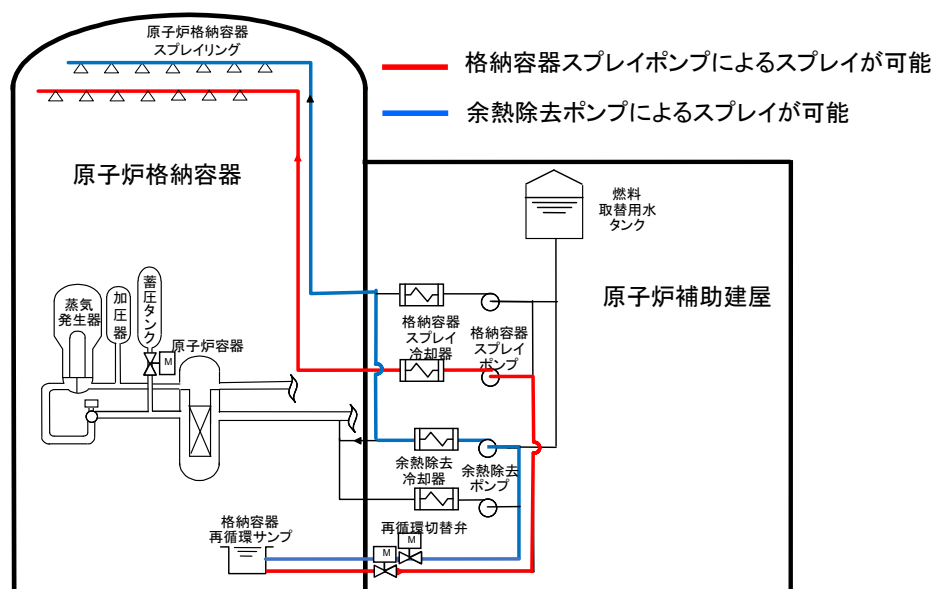
【機器・配管系】

水平2方向影響評価フロー例

⑪ 耐震評価におけるSA荷重と地震荷重の組合せ

概要

- SA施設の耐震設計におけるSA荷重と地震荷重の組合せについては、設置許可にて荷重の組合せを整理し策定した。この際確認した事象の継続時間に関する対策について、許認可上の取扱いを整理。



機能喪失の原因	復旧作業	所要期間
格納容器スプレイポンプ多重故障	故障部品取替え	1週間以内
	余熱除去ポンプによる代替再循環ラインを利用したスプレイ(余熱除去ポンプ故障部品取替え等も実施)	1週間以内
	他号機あるいは他サイトからの設備移設	4週間(取外し・輸送に2週間、設置に2週間)以内
海水系機能喪失	大容量ポンプで原子炉補機冷却水クーラに海水通水	1日以内
	所内の海水ポンプモータ予備品への取替え	1週間以内
再循環切替弁多重故障	現地で手動開放	1日以内
	チェーンブロック等により弁体吊り上げ	1週間以内

上記のとおり、様々な故障モードを考えても、1ヶ月程度でスプレイ再循環機能を復旧することが可能である。