

3.2 設計用地震力

施設の耐震設計に用いる地震力の算定は以下の方法による。

(1) 静的地震力

静的地震力は、次の震度に基づき算定する。

種別	重要度分類	水平	鉛直
土木構造物	(注1) —	(注2) $1.0C_i$	—

(注1) 屋外重要土木構造物のうち非常用取水設備はCクラス

(注2) C_i : 標準せん断力係数を0.2とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値で次式に基づく。

$$C_i = R_t A_i C_o$$

R_t : 振動特性係数

A_i : C_i の分布係数

C_o : 標準せん断力係数 0.2

(2) 動的地震力

動的地震力は、以下の入力地震動に基づき算定する。

種別	重要度分類	入力地震動	
		水平地震動	鉛直地震動
屋外重要 土木構造物	(注) —	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s

(注) 屋外重要土木構造物のうち非常用取水設備はCクラス

(3) 設計用地震力

種別	重要度分類	設備	水平	鉛直	摘要
土木 構造 物	(注) —	屋外重要 土木構造物	震度 1.0C _i	—	静的地震力とする
			基準地震動 S _s	基準地震動 S _s	設計用地震力は動的地震力とする 鉛直地震力は、水平地震力と同時に作用するものとする
	—	その他の 土木構造物	震度 1.0C _i	—	静的地震力とする

(注) 屋外重要土木構造物のうち非常用取水設備はCクラス

3.3 荷重の組み合わせと許容限界

今回の申請範囲に関連する屋外重要土木構造物として、海水ポンプ室、海水管トレンチ、配管基礎（海水管トンネル）、燃料油貯蔵タンク基礎（以下、「非常用 D/G 燃料タンク基礎」）がある。

		荷重の組合せ	許容限界
屋外重要土木構造物	海水ポンプ室	$G+P+K_{Ss}$	終局耐力に対して適切な安全余裕を持たせる
	海水管トレンチ	$G+P+K_{Ss}$	終局耐力に対して適切な安全余裕を持たせる
	海水管トンネル (山岳部)	$G+P+K_{Ss}$	土木学会「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（(社)土木学会, 2002年制定）」に定める「短期許容応力度」とする
	海水管トンネル (開削部)	$G+P+K_{Ss}$	終局耐力に対して適切な安全余裕を持たせる
	非常用 D/G 燃料 タンク基礎	$G+P+K_{Ss}$	終局耐力に対して適切な安全余裕を持たせる
その他の土木構造物	—	$G+P+K_C$	土木学会「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（(社)土木学会, 2002年制定）」に定める「短期許容応力度」とする

G：固定荷重

P：積載荷重

K_{Ss} ：基準地震動 S_s による水平地震力及び鉛直地震力

K_C ：耐震 C クラスの設備に適用される静的地震力

(注) その他の土木構造物については、JEAG4601 に記載の基準、指針等を参考とし、荷重の種類、組合せ及び許容限界を適切に考慮する。

3.4 評価方法

3.4.1 地震応答解析

地震応答解析手法は、構造物と地盤の動的相互作用を考慮できる二次元有限要素法を用いて、地盤や構造物の非線形性を考慮した時刻歴応答解析を行う。常時応力解析で求めた構造物及び地盤の初期応力状態を考慮する。地震応答解析では水平地震動と鉛直地震動の同時入力により実施する。

限界状態設計法で評価している海水ポンプ室、海水管トレンチ、海水管トンネル（開削部）及び非常用 D/G 燃料タンク基礎については、構造物にトリリニアモデルを適用した非線形モデルとして検討する。

一方、許容応力度法で評価している海水管トンネル（山岳部）については、構造物を線形モデルとして検討する。

3.4.2 入力地震動

入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_g を一次元波動論によって地震応答解析モデルの入力位置で評価したものをを用いる。断層モデルを用いた手法による地震動に関しては、各成分を検討対象断面方向に方位補正を行なって解析モデルへ入力する。

3.4.3 断面選定

屋外重要土木構造物は地中に埋設された比較的単純な構造の箱型あるいは線状構造物である。これらは鉄筋コンクリート造の壁部材で構成されており、隔壁等の壁部材の配置を考慮すると、構造物の横断方向の挙動が支配的となることから、横断方向の断面をモデル化する。各モデル図を第 3.4.3-1 図～第 3.4.3-4 図に示す。

(1) 海水ポンプ室

隔壁と側壁が取水方向と平行に密に配置されており、取水方向には耐震壁として機能する。そのため、直交方向の横断方向の挙動が支配的となる。横断面位置は最も厳しい荷重になると考えられるポンプ設置箇所としている。

(2) 海水管トレンチ

U字型に頂部が開口している、構造的に最も厳しくなると考えられる断面としている。

(3) 海水管トンネル（山岳部・開削部）

地質条件を考慮し、構造的に最も厳しくなると考えられる断面位置としている。また、開削部と山岳部で構造形式が異なるため、それぞれで断面選定を行っている。

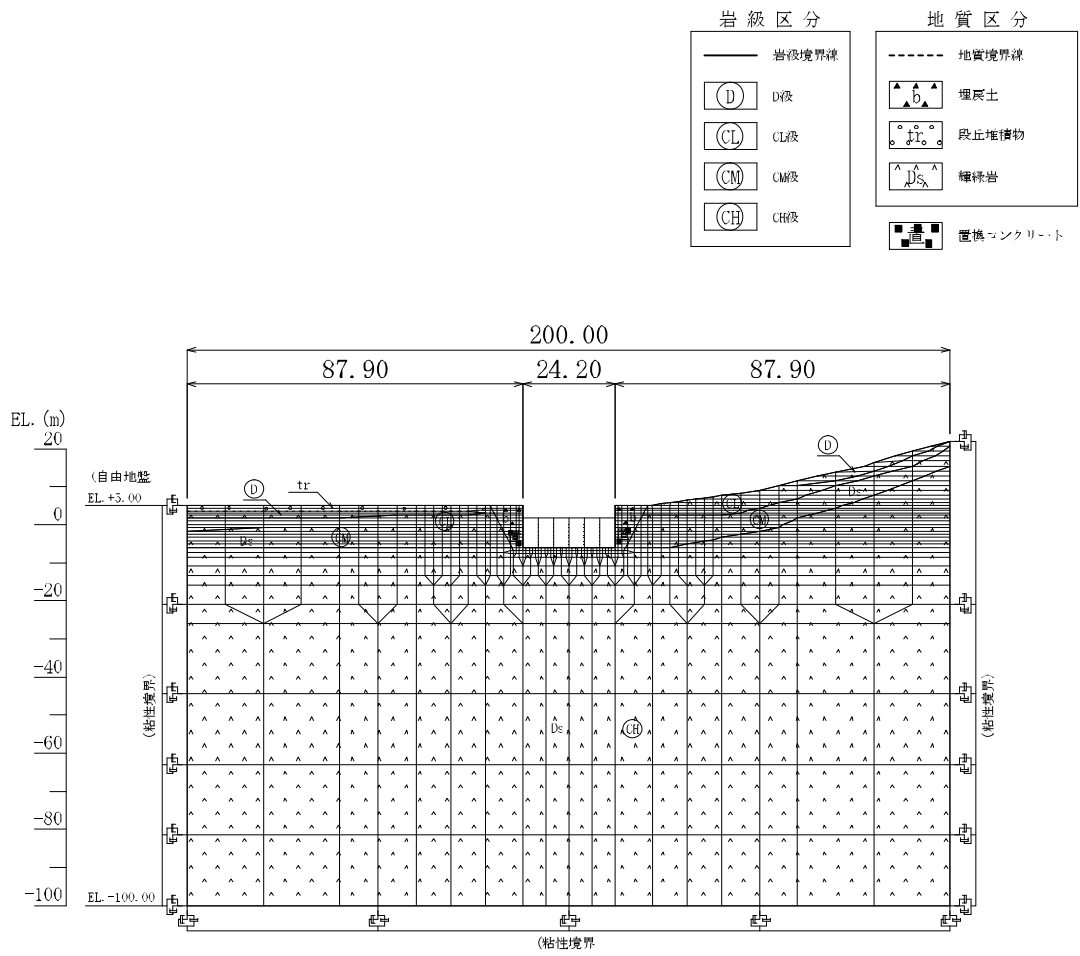
(4) 非常用 D/G 燃料タンク基礎

比較的単純な箱型構造であるが、長手方向にはその方向に配置された側壁が耐震壁として機能する。そのため、直交方向の横断方向の挙動が支配的となり、横断方向について検討する。

3.4.4 評価内容

耐震安全性評価では、解析結果による発生値が許容限界である評価基準値を下回ることを確認する。海水ポンプ室、海水管トレンチ、海水管トンネル（開削部）及び非常用 D/G 燃料タンク基礎については、S クラス設備を間接支持する機能と通水機能を維持する必要がある。これは、限界変形や部材断面の破壊を想定して、曲げ系の破壊やせん断破壊を回避することで示される。許容限界としては、曲げ系破壊の場合は限界層間変形角（U 字型構造である海水管トレンチについては終局局率）であり、せん断破壊の場合はせん断耐力である。なお、評価にあたっては、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」（社）土木学会，2002 年制定）及び「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」（社）土木学会，2005 年制定）に基づき行う。

海水管トンネル（山岳部）の評価にあたっては、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」（社）土木学会，2002 年制定）に基づき、曲げ系破壊、せん断破壊に対して行う。

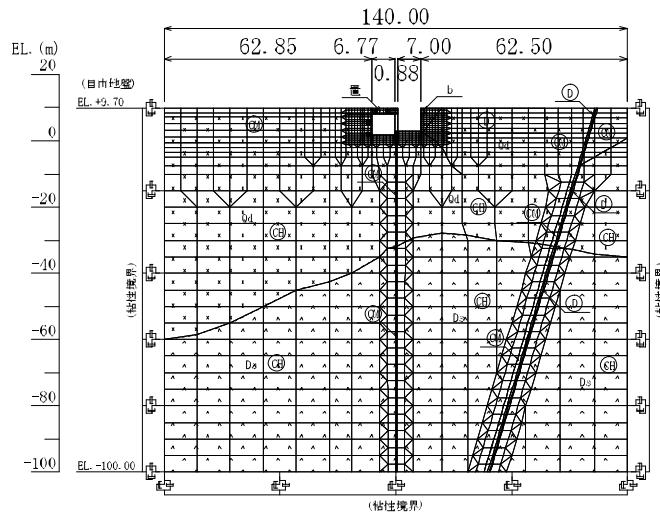


(単位：m)

第3.4.3-1図 海水ポンプ室

地震応答解析モデル

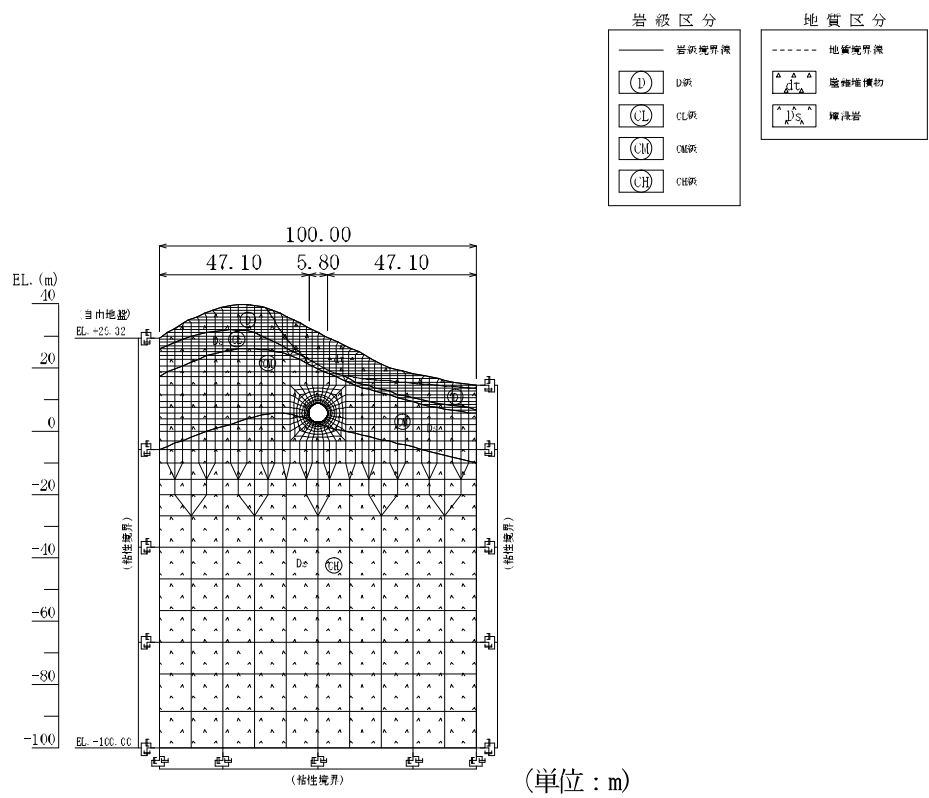
岩級区分		地質区分	
—	岩級境界線	-----	地質境界線
(D)	D級	▲▲▲▲	埋戻土
(CL)	CL級	■	傾斜石灰質凝岩
(CM)	CM級	▲▲▲▲	凝結岩
(CH)	CH級	■	凝結コンクリート
		—	道路帯



(単位: m)

第 3.4.3-2 図 海水管トレンチ及び非常用 D/G 燃料タンク基礎(3号機)

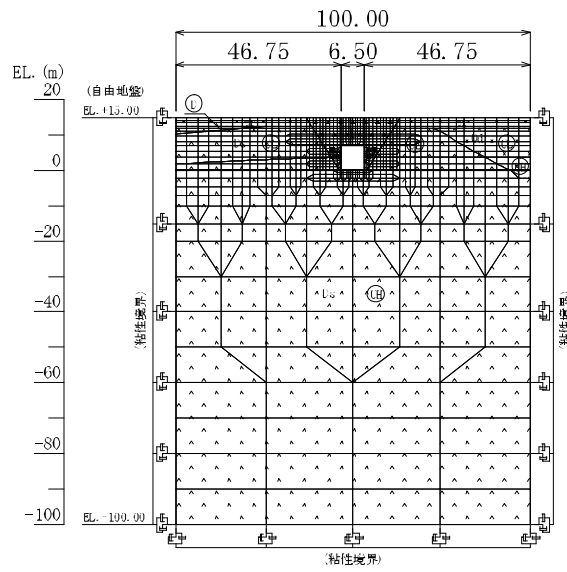
地震応答解析モデル



第3.4.3-3図 海水管トンネル (山岳部)

地震応答解析モデル

岩級区分		地質区分	
—	岩級境界線	-----	地質境界線
(D)	D級	▲▲▲▲	埋戻土
(CL)	CL級	○●○●	段上堆積物
(CM)	CM級	××××	緑泥石英閃長岩
(CH)	CH級	▲▲▲▲	輝緑岩
		■	震動コンクリート



(単位：m)

第 3.4.3-4 図 海水管トンネル (開削部)
地震応答解析モデル

3.4.5 減衰定数

応答解析に用いる減衰定数は下表のとおりとする。

対象設備		減衰定数(%)
鉄筋コンクリート及び置換コンクリート		5
地盤	表層地盤	非線形性に伴う履歴減衰
	岩盤	3

4. Sクラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響

下位クラスの設備の波及的影響によってSクラス設備の安全機能に影響を及ぼすことがないことについて、以下の方針で確認した。

- a. 設置地盤、地震応答性状の相違等に起因する相対変位、不等沈下による影響
 - ・ B、Cクラス設計の建屋とSクラス設計の建屋間での相対変位による、Sクラス設備の安全機能への影響が生じることがないかを確認する。
 - ・ 地盤の不等沈下によりSクラス設備の安全機能への影響が生じることがないかを確認する。
- b. Sクラスの施設と下位クラスの施設との接続部における相互影響
 - ・ Sクラス設備と下位クラス設備が接続されている場合に、下位クラス設備の破損によりSクラス設備の安全機能への影響が生じることがないかを確認する。
- c. 建屋内における下位クラスの施設の損傷、転倒、落下等によるSクラスの施設への影響
 - ・ 下位クラス設備が基準地震動 S_s で転倒・落下することによりSクラス設備の安全機能への影響を生じさせることがないかを確認する。
 - ・ 水・蒸気を内包する下位クラス設備が基準地震動 S_s で破損することにより、Sクラス設備に被水、没水、蒸気による影響を及ぼすことがないかを確認する。
- d. 建屋外における下位クラスの施設の損傷、転倒、落下等によるSクラスの施設への影響
 - ・ 下位クラス設備が基準地震動 S_s で転倒・落下することによりSクラス設備の安全機能への影響を生じさせることがないかを確認する。
 - ・ 周辺斜面の崩落等により、Sクラス施設の安全機能へ影響が生じることがないかを確認する。
 - ・ 水・蒸気を内包する下位クラス設備が基準地震動 S_s で破損することにより、Sクラス設備の安全機能が被水、没水、蒸気により損なわれることがないかを確認する。

5. 熊川断層と F0-A～F0-B 断層の連動を考慮した評価

熊川断層と F0-A～F0-B 断層の連動を考慮した評価用地震動を用い、重要な安全機能を有する施設に対し、影響評価を実施した。

5.1 評価方針

F0-A～F0-B 断層と熊川断層の連動を考慮した地震動（評価用地震動）を用いて評価する。評価は、基準地震動 S_s の評価結果を活用し、発生値が評価基準値以下であることを確認する観点で行う。

5.2 建物・構築物

(1) 対象建屋

安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価は、耐震設計上重要な施設の安全機能を保持する観点から実施することとし、耐震 S クラスの施設を内包する原子炉格納施設及び制御建屋を評価対象とする。

(2) 評価手法

評価手法は、「1.5.1 原子炉格納施設」、「1.5.2 制御建屋」の解析モデルを用いた地震応答解析（時刻歴応答解析法）によることとする。

評価は、地震応答解析により得られた耐震壁のせん断ひずみの値と評価基準値との比較により行う。

5.3 機器・配管系

(1) 対象施設

重要な安全機能を有する施設である耐震 S クラスの機器・配管系を評価対象とする。ただし、建屋に入力する評価用地震動の応答スペクトルが基準地震動 S_s ($S_s-1\sim 3$ の包絡波を使用) の応答スペクトルを超える比率が 1.5 倍以下であることを踏まえ、耐震裕度 (※) が 2.0 未満の設備を評価対象とした。なお、評価対象外とした耐震裕度 (※) が 2.0 以上の設備については、当該設備の設計用床応答スペクトルにおける施設の固有値に対する応答比 (評価用地震動/ S_s 地震動) についても 1.5 以下であることを確認している。

各設備の評価部位は基準地震動 S_s による評価の最も厳しい箇所を代表部位として選定した。

(※) 耐震裕度 = 評価基準値 / 基準地震動 S_s による発生値

(2) 評価手法

a. 簡易評価

(a) 応答加速度を用いて評価する設備

評価用地震動と S_s 地震動の床応答スペクトル (FRS) を比較し、施設の固有値に対する応答比 (評価用地震動/ S_s 地震動) を算出する。応答比が 1 未満の設備については、基準地震動 S_s に対する評価結果を超えないことから、影響なしと判定し、応答比が 1 以上の設備については、詳細評価を実施する。

なお、応答比はすべての評価用地震動（9 波）について、各設備の設置場所、減衰定数における FRS を用い、各固有値、各成分（鉛直・水平）で求めた応答比の最大値を採用する。評価フローを第 5-1 図に示す。

(b) ループ解析結果を用いて評価する設備

1 次冷却設備については、建屋—機器連成解析（ループ解析）結果を用いて評価していることから、評価用地震動と Ss 地震動のループ解析結果を比較し荷重比を算出する。

荷重比が 1 未満の設備については、影響なしと判定し、荷重比が 1 以上の設備については、詳細評価を実施する。

なお、荷重比はすべての評価用地震動（9 波）について、ループ解析結果の各成分（荷重・モーメント、計 6 成分）で求めた荷重比の最大値を採用する。各設備の評価フローを第 5-2 図に示す。

b. 詳細評価

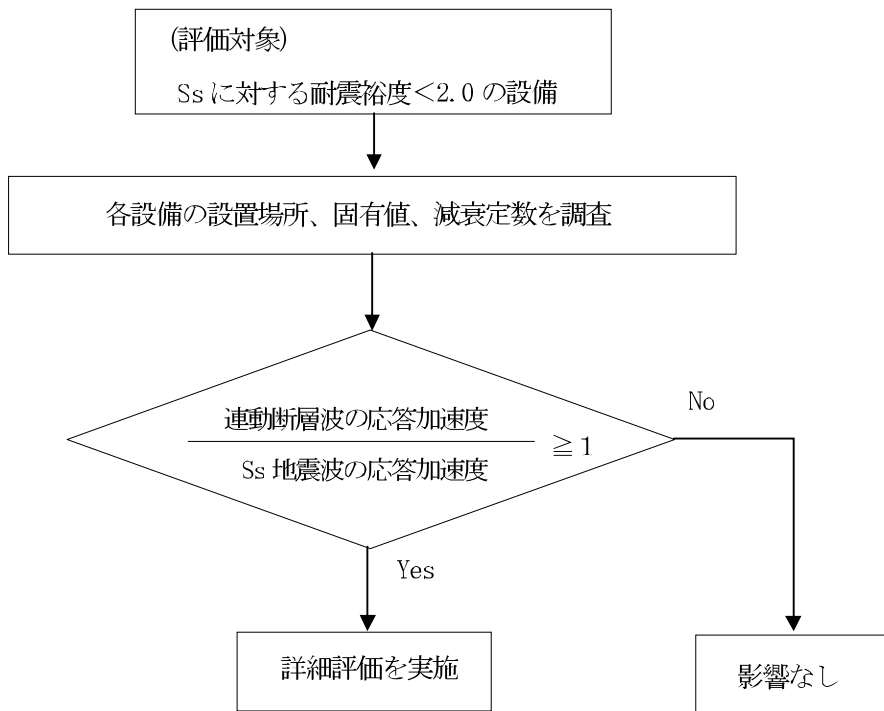
a. の簡易評価において選定された設備について、適用実績がある規格基準に基づく手法又は試験などにより検証された手法等を用いた詳細評価を実施する。

なお、制御棒挿入性評価については簡易評価を経ず詳細評価を実施する。

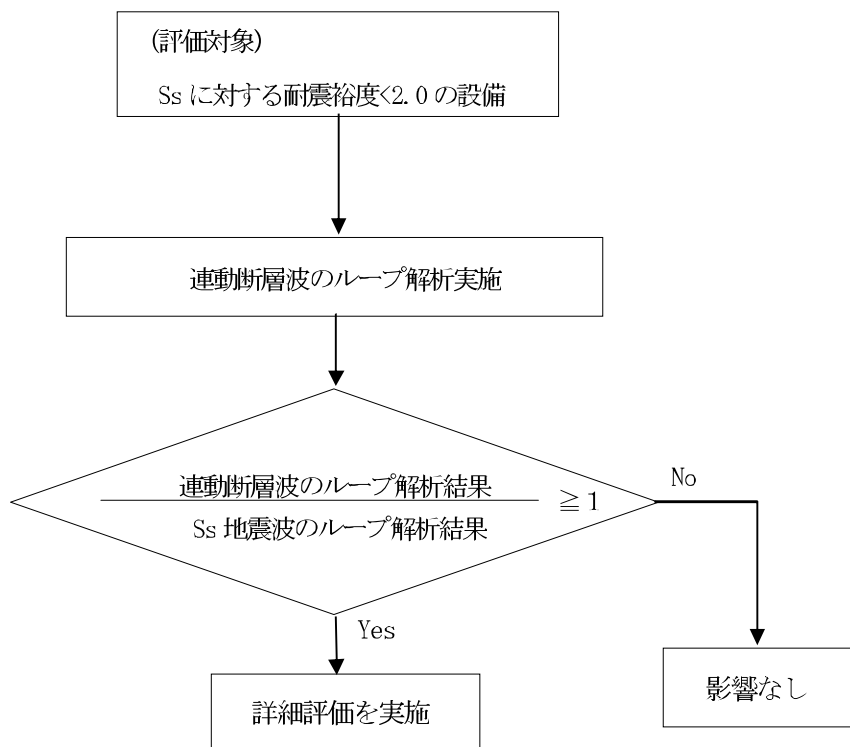
詳細評価で用いた手法は基準地震動 Ss に対する評価で用いた手法と同一である。

5.4 屋外重要土木構造物

耐震 S クラス設備を間接支持する屋外重要土木構造物として、海水ポンプ室、海水管トレンチ、海水管トンネル（山岳部）について基準地震動 Ss に対する評価の結果、裕度が概ね 2 倍以上確保されていることを確認しているため、個別評価は記載しない。海水管トンネル（開削部）、非常用 D/G 燃料タンク基礎については、耐震裕度が 2.0 未満のため、評価対象とした。



第5-1図 応答加速度を用いて評価する設備の評価フロー



第5-2図 ループ解析結果を用いて評価する設備の評価フロー

既設の施設に対する耐震性評価の網羅性、代表性について

1. 目的

既設の評価対象施設について、実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則別表第二（以下、別表第二）及び耐震重要度分類の区分を踏まえ、耐震評価対象施設を網羅的に選定していることを確認するとともに、大飯発電所3・4号機の過去の工事計画認可申請書（以下、既工認）との違いを踏まえ評価部位、応力分類を網羅的に選定していることを確認する。また、評価手法・評価条件の既工認からの変更点と妥当性の整理についても提示する。

2. 評価内容の網羅性について

網羅性の確認及び評価手順について図－1に示す。また、耐震評価のうち建物・構築物、屋外重要土木構造物の詳細フローについては図－2に示す。

(1) 別表第二に照らした設備の選定

- ・ 評価対象設備については、別表第二に対して網羅されていることを当該プラント既工認に照らして確認した。
- ・ 別表第二に該当する施設のうち波及的影響施設についても、評価対象施設として選定した。

(2) 重要度分類表による整理

- ・ ①にて選定した施設について、耐震重要度分類による整理を行った。
- ・ ①にて選定した施設に関連する間接支持構造物及び別表第二の対象施設ではない波及的影響施設についても整理を行った。その結果を①にフィードバックした。

(3) 評価部位の網羅性

- ・ 評価対象設備の評価部位について、当該プラント既工認及び最新プラント建設工認での評価部位と照らして網羅されていることを確認した。
- ・ 評価を省略している部位については、構造上、他の部位にて代表可能等の理由により評価を省略可能であることを確認している。

(4) 評価項目の網羅性

- ・ JEAG4601 に要求されている評価項目（応力分類）に基づき評価を実施し、当該プラントの既工認における評価項目に照らして網羅されていることを確認した。

- ・ 評価を省略している項目については、他の応力分類で代表可能等の理由により評価を省略可能であることを確認している。

3. 既工認との手法の整理について

(1) 既工認との手法の整理

- ・ 評価結果算出に用いた手法と当該プラント既工認との手法について、解析手法、解析モデル、減衰定数等の観点により相違点を抽出した。
- ・ 抽出された手法の相違点については、他プラントを含めた既工認での実績の有無を確認した。

(2) 抽出された手法の適用性

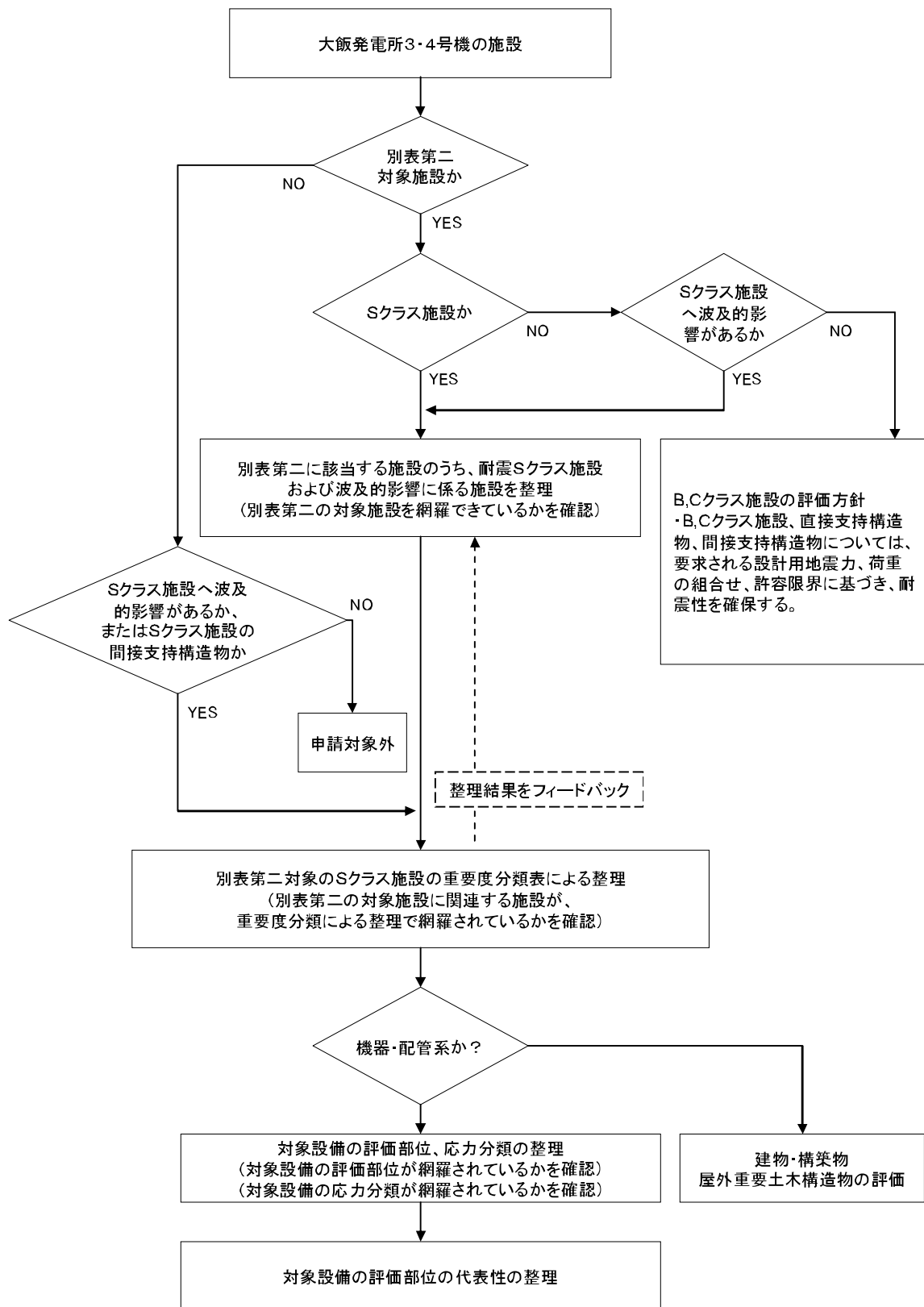
- ・ 抽出された評価手法については、適用の実績の有無に併せて妥当性及び適用性を確認している。抽出された主な評価手法の変更点を表-1～6に示す。

4. 荷重の組み合わせについて

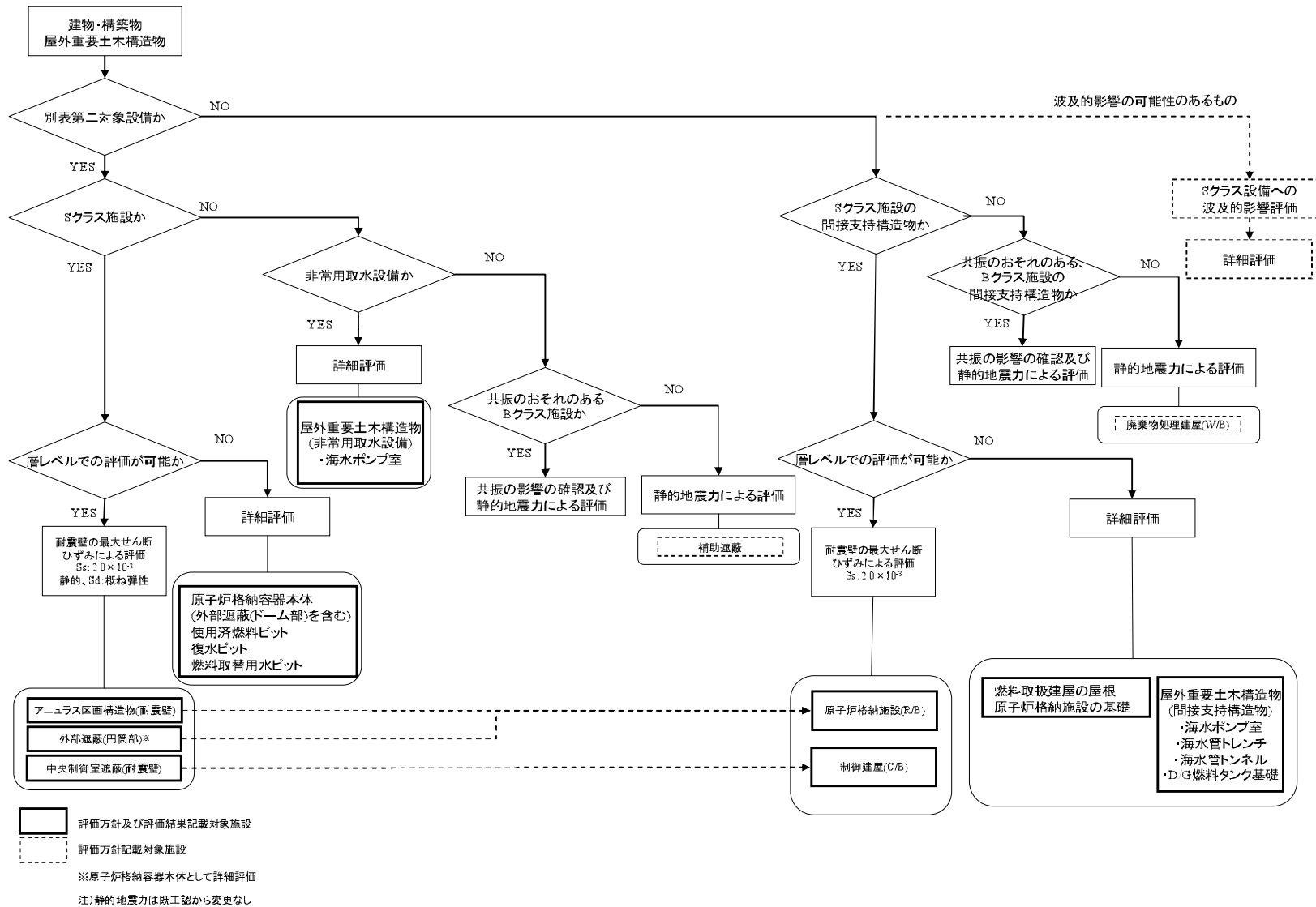
旧指針における As クラス及び A クラスが S クラスに一本化されたことから、地震時荷重と事故時荷重との組み合わせについて、各種別（クラス）毎に整理し、JEAG4601 の要求に対して適切な評価が実施されていることを確認した。

5. 評価内容及び手法の整理結果について

上記の検討により、別表第二、重要度分類表、JEAG4601 等に対して、既施設における評価対象設備、評価部位、評価項目（応力分類）が網羅されたことを確認した。また、耐震評価に用いられた評価手法の妥当性については現在確認を実施している。



図一 申請施設の網羅性に関する確認手順



図一 2 建物・構築物及び屋外重要土木構造物の評価方法選定フロー

表一 1 建物・構築物 評価手法・条件に関する既工認からの主な変更点
(原子炉格納施設)

項目	内容	既工認	今回工認	備考
入力地震動の算定法	水平	基準地震動直接入力 (S1:時刻歴モード法、S2:直接積分法)	基準地震動直接入力(直接積分法)	
	鉛直	—	基準地震動直接入力(直接積分法)	
建屋のモデル化	モデル	・質点系モデル (PCGV、I/G、E/B 及び S/G) 並列多質点系 SR モデル	・質点系モデル (PCGV、I/G、E/B 及び S/G) 並列多質点系 SR モデル NS 方向モデルについて I/G を 2 本構モデルとした。	
	材料物性	・コンクリートのヤング係数(SI 換算) (PCGV) $E_c=30.9 \text{ kN/mm}^2$ I/G、E/B、ピット躯体) $E_c=25.2 \text{ kN/mm}^2$ ・コンクリートのポアソン比 $\nu=1/6$	最新の各規準に基づき再算定 ・コンクリートのヤング係数(SI 換算) (PCGV) $E_c=29.0 \text{ kN/mm}^2$ I/G、E/B、ピット躯体) $E_c=24.3 \text{ kN/mm}^2$ ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$	①
	剛性評価	耐震壁のみを考慮	同左	
	減衰定数	PCGV: 3%、RC: 5%、S: 2%(E/B)、S/G: 1%	PCGV: 3%、RC: 5%、S: 2%(E/B)、S/G: 3%	
地盤のモデル化	底面ばね	水平及び回転ばねを考慮 バルカン式 ^①	水平及び回転ばねを考慮 振動アドミッタンス理論に基づく近似法 ^②	②
	側面ばね	考慮せず	同左	
非線形特性	耐震壁	S1: 考慮せず S2: PCGV のみ非線形特性を考慮	非線形特性を考慮	②
	底面ばね	考慮せず	基礎浮き上がりによる幾何学的非線形性を考慮	

※1: 「ダイナミックグラウンド」コンプライアンス理論による地下透散減衰を考慮

※2: 振動系全体のうち地盤の影響が卓越する最初の固有振動数に対応する虚部の値と原点とを結ぶ直線の傾きで定式化

具体的な反映事項 (表の備考欄に対応)

①ヤング係数及びポアソン比については、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(1999年日本建築学会)に基づき再計算、
原子炉格納容器の物性値を「発電用原子力設備規格 設計・種別規格」(2005年日本核協学会)に基づき変更

②「原子力発電用耐震設計技術指針」(日本電気協会 JEAC4601-1991 追補版)

表一 2 建物・構築物 評価手法・条件に関する既工認からの主な変更点
(制御建屋)

項目	内容	既工認	今回工認	備考
入力地震動の算定法	水平	基準地震動直接入力(時刻歴モード法)	基準地震動直接入力(直接積分法)	
	鉛直	—	基準地震動直接入力(直接積分法)	
建屋のモデル化	モデル	一軸多質点系 SR モデル	同左	
	材料物性	・コンクリートのヤング係数(SI 換算) $E_c=25.2 \text{ kN/mm}^2$ ・コンクリートのポアソン比 $\nu=1/6$	最新の各規準に基づき再算定 ・コンクリートのヤング係数(SI 換算) $E_c=24.3 \text{ kN/mm}^2$ ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$	①
	剛性評価	耐震壁のみを考慮	同左	
	減衰定数	RC: 5%	同左	
地盤のモデル化	底面ばね	水平及び回転ばねを考慮 バルカン式 ^①	3次元 FEM ^②	②
	側面ばね	考慮せず	同左	
非線形特性	耐震壁	考慮せず	非線形特性を考慮	②
	底面ばね	考慮せず	建屋底面と地盤間に付着力考慮	

※1: 「ダイナミックグラウンド」コンプライアンス理論による地下透散減衰を考慮

※2: 地盤モデルの側面及び底面に粘性境界を設定することで地下透散減衰を考慮

具体的な反映事項 (表の備考欄に対応)

①ヤング係数及びポアソン比については、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(1999年日本建築学会)に基づき再計算

②「原子力発電用耐震設計技術指針」(日本電気協会 JEAC4601-1991 追補版)に基づき評価

③実情を考慮した試験結果に基づき評価

表-3 建物・構築物 評価手法・条件に関する既工認からの主な変更点
(使用済燃料ピット躯体、燃料取替用水ピット躯体、復水ピット躯体)

項目	内容	既工認	今回工認	備考	
解析手法		線形FEMモデルを用いた応力解析	線形FEMモデルを用いた応力解析 非線形FEMモデルを用いた応力解析		
モデル化	材料物性	・コンクリートのヤング係数(SI換算) $E_c=25\text{ kN/mm}^2$ ・コンクリートのポアソン比 $\nu=1/6$	最新の各規程に基づき再設定 ・コンクリートのヤング係数(SI換算) $E_c=24\text{ kN/mm}^2$ ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$	①	
	要素分割	・水平：通り芯位置、壁位置を考慮して分割 ・鉛直：床位置及びラックサポート位置を考慮して分割	同左		
	境界条件	・底面：固定 ・側面：ピット躯体につながる壁・床を半スパン以上設け、その増部の境界条件を、境界の外側に接続する壁・床との関係から設定	同左		
	非線形弾性	なし	コンクリート及び鉄筋について材料非線形を考慮	②	
荷重の組合せ		$G+H_s+R_s+K$ G：固定荷重（上部構造の荷重含む） H _s ：水圧荷重 R _s ：ラック荷重 K：地震荷重（上部構造の反力、ラック反力、動水圧、自重による慣性力）	同左		
荷重の設定	固定荷重	床・壁の自重及び上部構造の自重を入力	同左		
	水圧荷重	床面及び壁面に入力	同左		
	ラック荷重	床面に入力	同左		
	地震荷重	上部構造の反力	・水平：上部構造による地震時の反力を脚部位置に入力 ・鉛直：上部構造による地震時の反力を脚部位置に入力	・水平：同左 ・鉛直：同左	
		ラック反力	・水平：壁面のサポート位置に入力 ・鉛直：床面に入力	・水平：同左 ・鉛直：同左	
	動水圧	自重による慣性力	・水平：慣性力を各要素に入力 ・鉛直：慣性力を各要素に入力	・水平：同左 ・鉛直：同左	
自重による慣性力		・水平：慣性力を各要素に入力 ・鉛直：慣性力を各要素に入力	・水平：同左 ・鉛直：同左		
評価方法	線形応力解析	柱の設計式により必要鉄筋量を算出	柱の終局強度式により必要鉄筋量を算出	③	
	非線形増分解析	なし	鉄筋及びコンクリートのひびき	④	

※使用済燃料ピット躯体のみ

具体的な反映事項（表の備考欄に対応）

- ①ヤング係数及びポアソン比について、「鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説」（1999年日本建築学会）に基づき再計算。
- ②「発電原子力設備規格 鉄筋コンクリート製原子炉格納容器規格」（2003年日本核協学会）に基づき設定。
- ③「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説」（2005年日本建築学会）
- ④「発電原子力設備規格 鉄筋コンクリート製原子炉格納容器規格」（2003年日本核協学会）

表-4 建物・構築物 評価手法・条件に関する既工認からの主な変更点
(原子炉格納容器)

項目	内容	既工認	今回工認	備考
解析手法		線形FEMモデルによる応力解析	同左	
モデル化	材料物性	・コンクリートのヤング係数(SI換算) (PCGV, B/M(反応炉用-上部)) $E_c=30.9\text{ kN/mm}^2$ (I/C, E/B, B/M(一般部)) $E_c=25.2\text{ kN/mm}^2$ ・コンクリートのポアソン比 $\nu=1/6$	最新の各規程に基づき再設定 ・コンクリートのヤング係数(SI換算) (PCGV, B/M(反応炉用-上部)) $E_c=29.0\text{ kN/mm}^2$ (I/C, E/B, B/M(一般部)) $E_c=24.3\text{ kN/mm}^2$ ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$	①
	要素分割	(PCGV) ・ドーム部 放射状に分割 ・シリンダー部 鉛直方向：質点系モデルの質点高さを考慮して分割 円周方向：一般部15°、バットンス10° 開口周り：壁増厚部の形状範囲を考慮して分割 (基礎版) 通り芯位置、壁位置を考慮して分割 (I/C, E/B) 質点系モデルの質点高さを考慮して分割	(PCGV) ・ドーム部 ペンダンの配置を考慮して格子状に分割 ・シリンダー部 鉛直方向：同左 円周方向：同左 開口周り：同左 (基礎版) 同左 (I/C, E/B) 同左	
	境界条件	・底面：地盤との相互作用を考慮して設定 ・側面：自由	・底面：同左 ・側面：同左	
荷重の組合せ		・地震時 $D+L+Fe+K2$ ・(事故+地震)時 $D+L+Fe+P2(I)+K1$ D 死荷重 L 活荷重 Fe プラスチック荷重 K1, K2 地震荷重 P2 事故時圧力	・地震時 同左 ・(事故+地震)時 同左	
荷重の設定	死荷重	自重を入力	同左	
	活荷重	機器重量、管荷重を考慮し、相当位置の節点荷重として入力	同左	
	ブリストンス荷重	・ドーム部 ラッド張力と等価な節点荷重を求めて入力 ・シリンダー部 迎風ラッド 鉛直集中荷重として入力 テーパーラッド 壁芯位置での等価外圧に換算し、シェル要素に対する圧力荷重として入力	・ドーム部 同左 ・シリンダー部 迎風ラッド 同左 テーパーラッド 同左	
		地震荷重	・水平：応答せん断力、曲げを節点支配面積に応じて入力 ・鉛直：慣性力を各要素に入力	・水平：同左 ・鉛直：応答軸力を節点支配面積に応じて入力
	事故時荷重	設計圧力を壁芯位置での等価外圧に換算し、シェル要素に対する圧力荷重として入力	同左	
評価方法	柱の設計式により必要鉄筋量を算出	同左	②	

※ 工認時においてPCGVに対するS2地震時の設計は保有耐力計算

具体的な反映事項（表の備考欄に対応）

- ①ヤング係数及びポアソン比について、「鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説」（1999年日本建築学会）に基づき再計算。
- ②「発電原子力設備規格 鉄筋コンクリート製原子炉格納容器規格」（2003年日本核協学会）

表-5 機器・配管系 評価手法・条件に関する既工認からの主な変更点

1. 解析評価モデルを変更したもの	
	(1) 蒸気発生器伝熱管への3次元はりモデルの適用
	(2) 海水ポンプへの2軸モデルの適用
	(3) 建屋ループ連成解析モデルへの主給水管の減肉考慮
2. 更なる詳細評価手法を用いたもの	
	(1) 時刻歴応答解析の適用(蒸気発生器伝熱管、配管系)
	(2) FEMモデルの適用(一次冷却材管台)
	(3) 多質点はりモデルの適用(原子炉補機冷却水冷却器)
	(4) 制御棒挿入性への時刻歴応答解析の適用
	(5) 定ピッチスパン設計設備への実支持間隔条件の使用(格納容器排気筒等)
3. 近年の工認審査状況を踏まえて最新モデル・手法を用いたもの。	
	(1) ポンプ等の転倒支点をベースプレート端部からボルト位置へ変更
	(2) ポンプ等の回転体の回転により働くモーメント、回転体の振動による加速度の考慮
	(3) 再生熱交換器へのFEMモデル(架台-熱交換器-連絡管)の適用
	(4) 加圧器ヒータへの2次元はりモデルの適用
	(5) 加圧器への単体の多質点はりモデルの適用
4. 最新知見として得られた減衰定数を用いたもの(蒸気発生器伝熱管、配管系、クレーン)	
5. 新たに申請対象となった設備で審査実績がない解析手法を用いたもの(クレーンのすべりを考慮した非線形解析)	

表一6 屋外重要土木構造物 評価手法・条件に関する既工認からの主な変更点

	工認での解析及び評価手法	今回工認での解析および評価手法
<ul style="list-style-type: none"> ・海水ポンプ室 ・海水管トレンチ ・D/G 燃料タンク基礎 	<ul style="list-style-type: none"> ・SRモデルを用いた時間領域での地震応答解析を実施し加速度応答から静的震度を算出している。 ・上記の静的震度や常時荷重を考慮してフレーム解析を実施し断面力を算出している。 ・許容応力度法による評価を行っている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤・構造物連成系の二次元有限要素モデルを用いて、地盤や構造物の非線形性を考慮し時刻歴応答解析を実施し、構造物変形量や断面力を算出している。 ・曲げ変形やせん断耐力による評価を行っている。^{※1}
<ul style="list-style-type: none"> ・海水管トンネル（開削部・山岳部） 	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤・構造物連成系のFEMモデルを用いた周波数領域での地震応答解析を実施し、地震時断面力を算出している。 ・常時荷重を考慮したフレーム解析等により断面力を算出し、上記断面力と重ね合せている。 ・許容応力度法による評価を行っている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤・構造物連成系の二次元有限要素モデルを用いて、地盤や構造物の非線形性を考慮した時刻歴応答解析を実施し、構造物変形量や断面力を算出している。なお、山岳部については構造物を線形モデルとしている。 ・開削部については、曲げ変形やせん断耐力による評価を行っている。^{※1} ・山岳部については、許容応力度による評価を行っている。^{※2}

※1「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（(社)土木学会、2005年制定）」に基づき解析・評価実施

※2「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（(社)土木学会、2002年制定）」に基づき解析・評価実施

3次元応答性状の影響および水平2方向の地震力による影響に関する検討方針

1. 目的

水平2方向および鉛直方向の地震力を適切に組み合わせるためには、構造物の3次元応答性状を踏まえた評価を行う必要がある。建物・構築物の3次元応答性状は、構造物の形状を踏まえ、必要に応じて3次元FEMモデルを用いた検討を行い、今回の工認評価に用いた質点系モデルに基づく建屋の耐震性評価への影響を確認するとともに、動的地震力の設定に関して、その妥当性を検討する。また、必要に応じて機器・配管系の耐震性評価への影響についても検討する。

3次元応答性状として、次の事象に着目して検討を実施する。

① 床柔性の影響

床柔性考慮の有無が床応答に与える影響

② 鉛直軸周りのねじれ振動の影響

建屋重心位置からの離隔に応じた鉛直軸周りのねじれ振動の影響

③ ロッキング振動による上下応答への影響

重要機器位置におけるロッキング振動が上下応答へ及ぼす影響

2. 3次元FEMモデル解析による3次元応答性状の影響検討

(1) モデル化の方針

耐震性評価の対象建屋である原子炉建屋および制御建屋の構造概要を表1に示す。3次元FEMモデル解析による3次元応答性状の影響検討は、上記①～③を踏まえ、原子炉建屋を対象とする。

3次元FEMモデルは、建屋の壁、柱および床をモデル化し、機器・配管荷重等はモデルの各要素に、実態に即した重量配分を行う。また、建屋基礎の周囲の地盤状況、地盤物性を考慮し、地盤ばねをモデル化する。検討に用いる質点系モデルと3次元FEMモデルの対比を表2に示す。

(2) 評価の方針

3次元FEMモデルにより、固有値解析を実施し、質点系モデルとの整合性を確認する。そのうえで、地震応答解析を実施し、上記①～③の事象について建物・構築物の評価の保守性を確認する。さらに、質点系モデルでは表現できない3次元応答性状については、必要に応じて、建物・構築物、機器・配管系の評価への影響について検討する。

3. 水平2方向の地震力による地震を同時に受ける部位の検討

原子力発電所は直交する2方向につりあいよく配置された鉄筋コンクリート

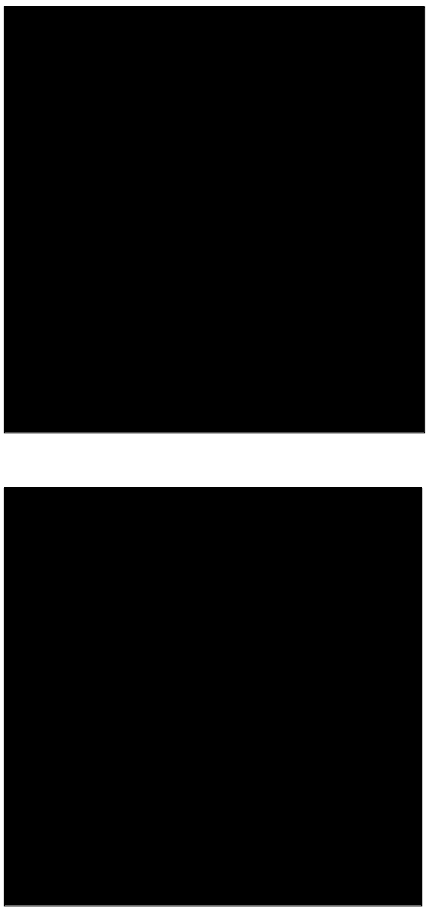
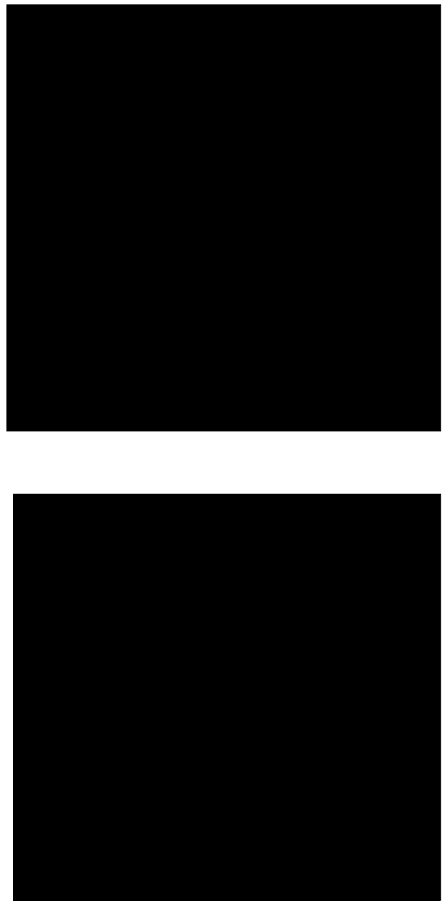
造耐震壁が主な耐震要素として構造計画されている。耐震壁は弾塑性性状を考慮した場合においても、2方向の入力がある場合と1方向の入力の場合で同等な評価ができることが実験により確認されている※が、軸力が卓越する鉄骨部隅柱等を対象に、水平2方向の地震力の影響について、以下の観点で検討を行う。

- ① 水平2方向入力による建屋応答への影響
- ② 水平2方向入力が動的地震力（建物・構築物及び機器・配管系）の設定に及ぼす影響

鉄骨部隅柱の検討に用いる燃料取扱建屋等の3次元FEMモデルを図1に示す。

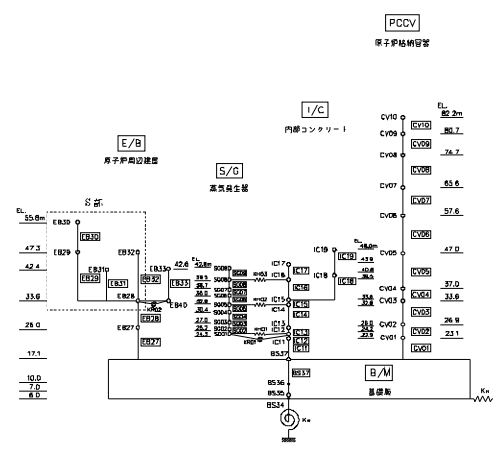
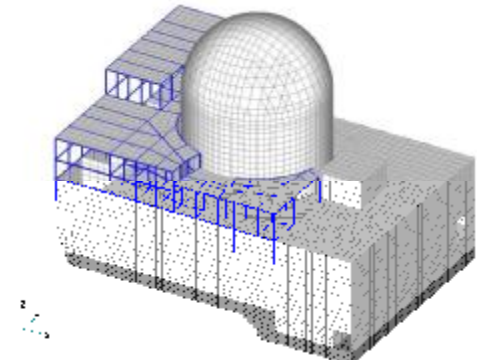
※ RESTORING FORCE CHARACTERISTICS OF SHARE WALL SUBJECTED TO HORIZONTAL TWO DIRECTIONAL LOADING (水平2方向同時加力を受けるRC立体耐震壁の復元力特性), 13th World Conference on Earthquake Engineering, August 1-6, 2004

表 1 耐震性評価対象建屋の構造概要

	原子炉格納施設	制御建屋
構造概要	RC造(一部S造)	RC造(一部S造)
基礎	厚さ約■■中央部約■■直接岩盤上に設置	厚さ約■■、直接岩盤上に設置
平面形状	約■■×約■■	約■■×約■■
高さ	基礎版底面から約■■	基礎版底面から約■■
図面		
建屋の特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・同一の基礎版上に設置された原子炉格納容器(PCCV)、原子炉周辺建屋(E/B)、内部コンクリート(I/C)から構成される。 ・PCCV、E/B、I/Cは独立に配置され、これらをつなぐ床はない。 ・主要部が鉄筋コンクリート造の剛な構造である。 ・E/Bの鉄筋コンクリート造部は壁厚■■以上、床厚■■以上であり、非常に高い剛性を有している。 ・中心部に大きな開口を有する。 ・段差がある基礎形状である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ほぼ正方形の建屋である。 ・壁厚約■■の壁が十分に配置されている。 ・床厚■■程度であり、非常に高い剛性を有している。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表 2 3次元応答性状の検討に用いる質点系モデルと3次元FEMモデル

項目	質点系モデル	3次元FEMモデル
モデル	並列多質点系に置換した曲げせん断棒モデル	3次元FEMモデル
重機器等	蒸気発生器をモデル化 (他の重機器は質量として考慮)	質量として考慮
材料物性	各種基準による値(設計値)を採用	同左
減衰定数	RC5%、S2%、PCCV3%、SG3%(鉛直は1%)	RC5%、S2%、PCCV3%
質量	各質点レベルごとに質量を考慮	各要素ごとに密度を考慮
剛性評価	耐震壁	耐震壁+補助壁(E/Bの一部)
底面ばね	振動アドミタンス理論に基づく地盤ばね	同左(質点系モデルと等価な地盤ばね)
側面ばね	考慮せず	接地状況を踏まえて適切に考慮
非線形特性	考慮せず	考慮せず
モデル図		

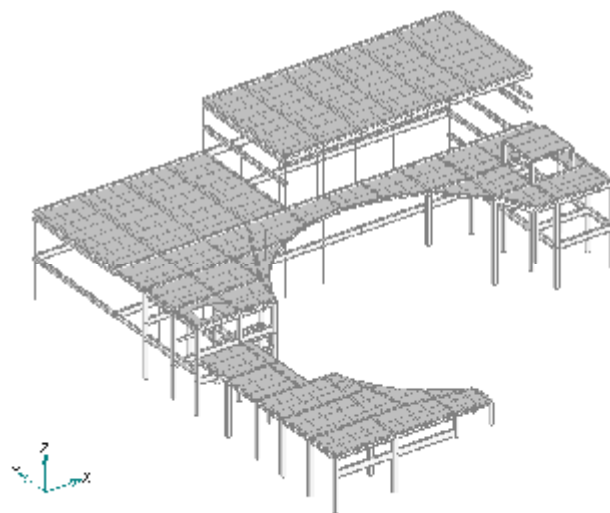


図 1 燃料取扱建屋等の3次元FEMモデル

S クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討について

1. はじめに

大飯発電所 3・4号機は、重要な安全機能を有する施設を、全て S クラスとし、それ以外の施設については要求される安全機能の重要度により B、C クラス（下位クラス）にそれぞれ分類している。

S クラス施設（間接支持構造物を含む）については基準地震動 S_s に対して安全機能が保持されること及び下位クラス施設の損傷等により安全機能に波及的影響を及ぼすことがないことが求められており、波及的影響については下位クラス施設が S クラス施設の安全機能に悪影響を及ぼすことがないことを以下に示す検討により確認する。

2. 波及的影響に関する検討

波及的影響に関する検討は、まず波及的影響検討で考慮すべき検討事象の整理を行い、各々の検討事象に対して設備の設計情報などを元とした机上検討を行い、現場確認（ウォークダウン）により情報を補完し評価するという流れで行った。全体の検討フローを図-1に示す。

以下ではその手順に沿った検討内容について説明する。

(1) 波及的影響検討を行う検討事象の整理

波及的影響検討を行う具体的な検討事象を以下の 1)～3) の検討により整理した。

- 1) 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」の別記 2 第 6 項における例示を踏まえ、考慮すべき波及的影響について、以下の a.～d. の分類を設定した。
 - a. 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する相対変位又は不等沈下による影響
 - b. S クラス施設と下位のクラスの施設との接続部における相互影響
 - c. 建屋内における下位クラスの施設の損傷、転倒及び落下等による S クラス施設への影響
 - d. 建屋外における下位クラスの施設の損傷、転倒及び落下等による S クラス施設への影響

2) a. ~d. の分類に基づく具体的な検討事象を机上検討により下表のとおり整理した。

波及的影響の分類	具体的な検討事象
<p>a. 設置地盤、地震応答性状の相違等に起因する相対変位、不等沈下による影響</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Sクラス配管と接続した下位クラス配管がSクラス・下位クラス建屋間相対変位を受け、破損・変形することによる影響 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p>Sクラス施設はすべてSクラス設計の建物・構築物等に敷設していることから、下位クラス建屋の振動、不等沈下による影響が考えられる施設としては、Sクラス配管と接続した下位クラス配管がSクラス・下位クラス建屋間を渡っているものとなる。</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> ○ 下位クラス建屋の変形により隣接するSクラス建屋※に及ぼす影響 ○ 下位クラス施設の地盤の不等沈下により隣接するSクラス施設におよぼす影響 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p>Sクラス施設、屋外重要土木構造物の地盤における不等沈下については、Sクラス施設の耐震性評価として、地盤の安定性評価を行っている。</p> </div>
<p>b. Sクラス施設と下位クラス施設との接続部における相互影響</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 機器・配管系のSクラスと下位クラスの接続部（配管・ダクトにおけるSクラスと下位クラスとの接続部、電気計装品におけるSクラスと下位クラスとの接続部）における影響
<p>c. 建屋内における下位クラスの施設の損傷、転倒、落下等によるSクラスの施設への影響</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 下位クラス施設の衝突・転倒・落下によるSクラス施設への影響 ● 下位クラス施設の損傷に伴う内部溢水・火災による影響
<p>d. 建屋外における下位クラスの施設の損傷、転倒、落下等によるSクラスの施設への影響</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 下位クラス施設の衝突・転倒・落下によるSクラス施設への影響 ● 下位クラス施設の損傷に伴う内部溢水・火災による影響 ● 周辺斜面の崩落等によるSクラス施設への影響

※本資料ではSクラス設備の間接支持構造物としての建屋も含めて「Sクラス建屋」と呼ぶ

表中の「○」は本資料の中で検討結果を示すもの、「●」は他の検討で別途適合性を示すものである。

- ・内部溢水によるプラントへの影響については技術基準第12条「発電用原子炉施設内における溢水等による損傷の防止」への適合の確認において、地震により破損する可能性のある低クラス設備を溢水源とした評価を行うことで確認している。
- ・火災によるプラントへの影響については技術基準第11条「火災による損傷の防止」への適合の確認において、地震による損傷により火災に至る可能性のある設備について、火災の影響評価を行うことで確認している。
- ・周辺斜面の崩落による影響については技術基準第5条3項に対する適合を別途確認している。

3) 上記の別記2に基づく分類ならびに2)で整理した評価対象とする具体的な検討事象について、他に考慮すべき事項が抜け落ちているものがないかを確認する観点で、地震による原子力発電所被害情報の確認を行った。対象とした情報は以下のとおりであり、原子力施設情報公開ライブラリー（NUCIA：ニューシア）に登録された地震による設備被害情報を確認した。

これまでの被害事例において、下位クラスの破損等による波及的影響を含めてSクラス施設の安全機能が損なわれる事象は確認されていないため、被害事例はすべてSクラス施設以外のものとなるが、これらの地震被害の発生要因（原因）を整理し、2)で検討した波及的影響の具体的な検討事象に加えるべき新たな被害要因がないかを検討した。検討に当たっては、地震による被害の主要因と考えられる「地震の揺れによる設備の破損・脱落等」をまず要因①として設定し、各被害事例毎に既に設定した要因に相当しないものを確認する毎に新たな要因を設定する形で分類を行った。

（対象とした情報）

- ・宮城沖地震（女川発電所：平成17年8月）
- ・能登半島地震（志賀発電所：平成19年3月）
- ・新潟県中越沖地震（柏崎刈羽原子力発電所：平成19年7月）
- ・駿河湾地震（浜岡原子力発電所：平成21年8月）
- ・東北地方太平洋沖地震（平成23年3月：検討中）

整理の結果、被害の発生に至る要因は次の①～⑦に分類された。

- ① 地震の揺れによる設備の破損・脱落等
- ② 建屋間等の相対変位による破損
- ③ 地盤の割れ、沈下、段差の発生（不等沈下）による破損
- ④ 仮置物の転倒・落下
- ⑤ 周辺斜面の崩落
- ⑥ 使用済燃料ピットスロッシングによる溢水
- ⑦ その他（揺れによる警報発信等、設備破損以外の要因によるもの）

①～⑦の要因が2)で整理した検討事象で対象となっているかを次表のとおり整理し、どの検討事象でも対象とならない要因について、新たに検討事象とすべき事項がないかを検討した。

波及的影響の分類	具体的な検討事象	対象となる要因
a. 設置地盤、地震応答性状の相違等に起因する相対変位、不等沈下による影響	Sクラス配管と接続した下位クラス配管がSクラス・下位クラス建屋間相対変位を受け、破損・変形することによる影響	②
	下位クラス建屋の変形により隣接するSクラス建屋に及ぼす影響	②
	下位クラス施設の地盤の不等沈下により隣接するSクラス施設におよぼす影響	③
b. Sクラス施設と下位クラス施設との接続部における相互影響	機器・配管系のSクラスと下位クラスの接続部における影響	①②
c. 建屋内における下位クラスの施設の損傷、転倒、落下等によるSクラスの施設への影響	下位クラス施設の衝突・転倒・落下によるSクラス施設への影響	①④
	下位クラス施設の損傷に伴う内部溢水・火災による影響	①②⑥
d. 建屋外における下位クラスの施設の損傷、転倒、落下等によるSクラスの施設への影響	下位クラス施設の衝突・転倒・落下によるSクラス施設への影響	①④
	下位クラス施設の損傷に伴う内部溢水・火災による影響	①②
	周辺斜面の崩落等によるSクラス施設への影響	⑤

上記の整理で①～⑥の要因はいずれかの検討事象に分類されており、いずれの検討事象にも分類されなかった要因は「⑦ その他（揺れによる警報発信等 設備破損以外の要因によるもの）」であった。

要因⑦については、揺れによる警報発信等、設備損傷以外の要因による不適合事象であることから、波及的影響の観点で考慮すべき事象に当たらないと判断した。

以上のことから、2) で整理した波及的影響の具体的な検討事象は、地震による原子力発電所被害情報から確認された損傷要因を踏まえても、特に追記すべき事項がないことが確認された。

(2) 机上検討による評価

整理した具体的な検討事象について、構内配置図等による位置情報、設備の設計情報、運用に関する情報を確認し、S クラス施設への波及的影響を防止する配置・設計・運用になっているか、また、現場確認により補完すべき情報は何かについて以下のとおり整理した。手順については図-2～5でフロー図としてまとめている。

- a. 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する相対変位又は不等沈下による影響
 - S クラス配管と接続した下位クラス配管が S クラス・下位クラス建屋間相対変位を受け、破損・変形することによる影響
 - ・ S クラス配管と接続した下位クラス配管の設計情報より、以下の設計となっていることを確認している。
 - ・ 既工認の設計方針のとおり、異なる耐震クラスの配管が接続されている場合は、弁をクラス境界としており、高位クラスからみて第 1 弁までを高位クラスとしている。したがって上位クラスと下位クラスは系統的に分離される設計となっている。
 - ・ S クラスと下位クラスの配管が接続されている場合には、下位クラス配管についてもアンカーサポートまでの配管をモデル化し、耐震設計解析を実施している。また、下位クラス建屋側の配管から作用する荷重によりアンカーサポートが損傷することがないように、配管引き回し等の設計対処により相対変位の悪影響を防止している。

以上より、机上検討により波及的影響が防止されていることが確認

でき、現場確認で補完すべき情報はない。

○ 下位クラス建屋の変形により隣接する S クラス建屋に及ぼす影響

S クラス建屋に隣接する下位クラス建屋は廃棄物処理建屋、タービン建屋となる。これらの建屋については以下のとおり、S クラス建屋への悪影響を及ぼすことはない。(詳細な評価を実施中)

- ・原子炉格納施設、制御建屋に隣接する廃棄物処理建屋は遮蔽機能から主要な壁は■■■■程度であり、基準地震動 Ss に対して安全上重要な建屋と同等の変形と考えられることから衝突しない。
- ・タービン建屋は基準地震動 Ss により大きく変形する可能性があるが、鉄骨造であることから軽量であり、隣接する鉄筋コンクリート造である制御建屋の壁が■■■■程度と十分に厚いことを踏まえると、衝突したとしても安全上重要な建屋への影響は軽微である。

以上より、机上検討により波及的影響が防止されていることが確認でき、現場確認で補完すべき情報はない。

○ 下位クラス施設の地盤の不等沈下により隣接する S クラス施設におよぼす影響

S クラス配管と接続した下位クラス配管の設計情報、構内配置図、屋外構造物の設計情報より、以下のことを確認している。

- ・屋外 S クラス施設については S クラス建屋に隣接する建屋である廃棄物処理建屋、タービン建屋の基礎は、基礎を支持する岩盤の分布状況を評価し、S クラス建屋に波及的影響を及ぼすおそれがないことを確認していることから、不等沈下による影響を受けるおそれはないことを確認している。
- ・さらに、屋外 S クラス施設の周辺には地盤の不等沈下に起因する倒壊等により悪影響を及ぼす鉄塔などの構造物等がないことを構内配置図等による机上検討により確認している。

以上の机上検討により波及的影響が防止されていることが確認できたが、屋外 S クラス施設の周辺に倒壊等で悪影響を及ぼす構造物がないかについては、念のため現場でも確認を行った。

屋外 S クラス施設について、周辺に低クラス施設の有無、低クラス施設がある場合の不等沈下による影響を、机上検討・後述の現場確認

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

の結果から整理した。

b. Sクラス施設と下位のクラスの施設との接続部における相互影響

○ 機器・配管系のSクラスと下位クラスの接続部における影響

Sクラス設備と接続した下位クラス設備の設計情報より、以下の設計となっていることを確認している。

- ・ 既工認の設計方針のとおり、異なる耐震クラスの配管が接続されている場合は、弁をクラス境界としており、高位クラスからみて第1弁までを高位クラスとしている。したがって上位クラスと下位クラスは系統的に分離される設計となっている。
- ・ Sクラスと下位クラスの配管が接続されている場合には、下位クラス配管についてもアンカーサポートまでの配管をモデル化し、耐震設計解析を実施している。また、下位クラス建屋側の配管から作用する荷重によりアンカーサポートが損傷することがないように、配管引き回し等の設計対処により相対変位の悪影響を防止している。
- ・ 電気計装品については、既工認の設計方針で「低位に分類された関連設備又は近傍設備の破損、変位、変形などによって、高位の設備に波及的事故が起きないように考慮する」としており、Sクラス施設と下位クラス施設は系統的に分離し、下位クラス施設の損傷によりSクラス施設の電氣的な機能を失うことのない設計としている。

以上より、机上検討により波及的影響が防止されていることが確認でき、現場確認で補完すべき情報はない。

c. 建屋内における下位クラスの施設の損傷、転倒及び落下等によるSクラス施設への影響

○ 下位クラス施設の衝突・転倒・落下によるSクラス施設への影響

以下のことを確認している。

- ・ 設計時の方針として「低位に分類された関連設備又は近傍設備の破損、変位、変形などによって、高位の設備に波及的事故が起きないように考慮する」としており、下位クラスの施設は基本的に自らの変位による衝突、転倒、落下によりSクラス施設の安全機能を損なうことがないように、離隔をとり配置されている。同様にSクラス施設の周辺に敷設される器具・構造物等は、衝突・転倒・落下することによりSクラス施設の安全機能へ影響を及ぼすことがないように落下防止対策等を講じている。

- ・ そのような配置が困難である場合は、基準地震動 S_s に対する構造強度を持たせる等の方策により、波及的影響の発生を防止している。具体的には落下等により安全機能への影響が生じる可能性がある使用済燃料ピットクレーン、格納容器ポーラクレーンが該当しており、基準地震動 S_s に対する構造強度評価により落下に至らないことを確認することにより、下方の使用済燃料ラック、格納容器内の S クラス施設への波及影響が生じないことを確認している。
- ・ また、仮置物について、やむを得ず保管する場合は、以下の運用としている。
 - 一 配管や設備との距離を確保し、干渉しない位置とする
 - 一 固縛、くさび等により荷崩れ、移動を防止する
 - 一 器材の山積みは禁止する

以上より、机上検討により波及的影響が防止されていることが確認できたが、仮置物の保管が適切になされているかについては現場確認が必要であると判断した。また、念のため周辺にある下位クラス施設等が、地震による破損・落下・転倒により S クラス施設の安全機能に影響を与える位置関係にないか、もしくは落下防止措置等がとられているかについても、現場確認することとした。

建屋内 S クラス施設について、周辺に仮置物がある場合は固縛等により悪影響が及ばない保管となっているか、周辺の下位クラス施設等の衝突・落下・転倒により S クラス施設の安全機能に影響を与える可能性がないかを机上検討・後述の現場確認の結果から整理した。

d. 建屋外における下位クラスの施設の損傷、転倒及び落下等による S クラス施設への影響

○ 下位クラス施設の転倒・落下による S クラス施設への影響

S クラス周辺の下位クラス施設等に関する設計情報、構内配置図等による情報、仮置設備の運用情報から以下のことを確認している。

- ・ 設計時の方針として「低位に分類された関連設備又は近傍設備の破損、変位、変形などによって、高位の設備に波及的事故が起きないように考慮する」としており、下位クラスの施設は基本的に自らの損傷、転倒、落下により S クラス施設の安全機能を損なうことがないよう、離隔をとり配置されている。同様に S クラス施設の周辺に敷設される器具・構造物等は、衝突・転倒・落下することにより S クラス施設の安全機能へ影響を及ぼすことがないよう落下防止対策

等を講じている。

- ・屋外構造物については鉄塔、大型水タンク等を含め、配置上、自らの損傷、転倒、落下により安全機能への影響が生じる可能性がある設備はないかを構内配置図等による机上検討より確認している。
 - ・影響が生じる可能性のある設備がある場合は、基準地震動 S_s に対する構造強度を持たせる等の方策により、波及的影響の発生を防止している。具体的には原子炉建屋背面にある背面構台について、Sクラス建屋に隣接する構造物であることから基準地震動 S_s による動的解析評価を行っている。その結果、部材は健全であること、水平変位量は約 1cm であり、隣接する建屋とのクリアランスは最も狭いところで約 5cm であることから、問題がないことを確認している。また、海水ポンプ周辺の作業クレーン、防護ネット等については波及的影響の無いよう対応することとする。
 - ・また、仮置物について、やむを得ず保管する場合は、以下の運用としている。
 - －配管や設備との距離を確保し、干渉しない位置とする
 - －固縛、くさび等により荷崩れ、移動を防止する
 - －器材の山積みは禁止する
 - ・Sクラス施設の周辺斜面については、 S_s 地震動による動的解析評価等を実施し、Sクラス施設の安全機能に影響のないことを確認している。
- なお、詳細結果については、地震・津波側の審査の中で説明していく。

以上より、机上検討により波及的影響が防止されていることが確認できたが、仮置物の保管が適切になされているかについては現場確認が必要であると判断した。また、念のため周辺にある下位クラス施設等が、地震による破損・落下・転倒によりSクラス施設の安全機能に影響を与える位置関係にないか、もしくは落下防止措置等がとられているかについても、現場にて確認することとした。

屋外Sクラス施設について、周辺に仮置物がある場合は固縛等により悪影響が及ばない保管となっているか、周辺の下位クラス施設等の衝突・落下・転倒によりSクラス施設の安全機能に影響を与える可能性がないかを机上検討・後述の現場確認の結果から整理した。

以上の検討において、波及的影響が生じないことの確認を、設計情報、

構造強度評価、現場仮置物の運用ルールにより行った。

その結果、現場確認により補完すべき事項としては、

- ・周辺の仮置物が地震時の衝突・転倒・落下によりSクラス施設の安全機能への悪影響を及ぼさないよう固縛措置等がとられているか

が基本となり、

- ・周辺にある下位クラス施設等が、不等沈下による倒壊等で影響を与える位置関係にないか（B、Cクラス施設とSクラス施設の離隔距離は十分か。）
- ・周辺にある下位クラス施設等が、地震による衝突・落下・転倒によりSクラス施設の安全機能に影響を与える位置関係にないか、もしくは落下防止措置等がとられているか（B、Cクラス施設とSクラス施設の離隔距離は十分か。周辺の照明器具等はクラス施設に影響を与えるおそれがないか。火災、溢水影響のおそれのある設備はないか。）

についても併せて確認することとした。

（3）現場確認（ウォークダウン）の実施

（2）で検討した現場確認により補完すべき事項に基づき、現場確認における具体的な確認事項と判断基準を以下のとおり整理した。

- 1) 周辺に仮置き機器がある場合、固縛措置等によりSクラス施設に影響を与えるおそれはないか
判断基準：周辺の仮置物は地震時の衝突・転倒・落下によりSクラス施設の安全機能への悪影響を及ぼさないよう固縛措置等がとられているか
- 2) B、Cクラス施設との離隔距離は十分か
判断基準：周辺にある下位クラス施設は十分な離隔距離等により、地震による破損・落下を想定した場合もSクラス施設の安全機能に悪影響を及ぼすおそれはないか
- 3) 周辺に照明器具、作業用ホイス・ルール、グレーチング、手すり、照明器具がある場合、Sクラス施設に影響を与えるおそれはないか
判断基準：周辺にある照明器具等は地震時に落下してもSクラス施設の安全機能に悪影響を及ぼさない位置関係にあるか、もしくは落下防止措置等がとられているか
- 4) 周辺に各種水源がある場合、位置・構造から溢水影響のおそれはないか。油タンクがある場合、位置・構造から火災による影響はないか
判断基準：周辺に影響を及ぼすおそれがある油タンク、水源及び配管

はないか（ある場合は内部溢水検討、火災検討で対象としているかを確認）

上記 1)～4) の確認事項をチェックシートにまとめ、建屋内外の S クラス施設の配置図を元に設定したウォークダウンルートにより、現場確認を行った。チェックシートの具体例を添付-1 に示す。現場確認は施設の耐震設計検討、実機の保守運用を担当する数名のチームで実施した。

(4) 机上検討及び現場確認結果による評価

現場確認の結果も踏まえ、図-2～5 のフローに基づき検討した結果、新たに波及的影響のおそれのある事項は確認されず、改めて検討が必要となる施設はなかった。

(5) 要検討設備の評価

以上の検討により、波及的影響として改めて検討が必要となったものは使用済燃料ピットクレーン、格納容器ポーラクレーンとなった。使用済燃料ピットクレーン、格納容器ポーラクレーンについては、構造強度評価による確認を行った。評価結果を下表に示す。

設備	評価部位	応力分類	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)
使用済燃料ピットクレーン	トロリ転倒防止金具取付ボルト	せん断応力	260	375
格納容器ポーラクレーン	トロリ浮き上り防止装置つめ	組合せ応力	231	669

(値は 3 号・4 号で同一である)

また、背面構台については、基準地震動 S_s による動的解析評価を行った結果、部材は健全であると共に、水平変位量は約 1cm であり、隣接する建屋との最も狭いクリアランス約 5cm 以下であることから、問題がないことを確認している。(なお、詳細結果については今後審査の中で説明していく。)

3. まとめ

以上の検討結果を添付-2 にまとめる。これらの検討内容を踏まえ、下位クラス施設が S クラス施設の安全機能に波及的影響を及ぼすことがないかについて引き続き検討することとする。

以上

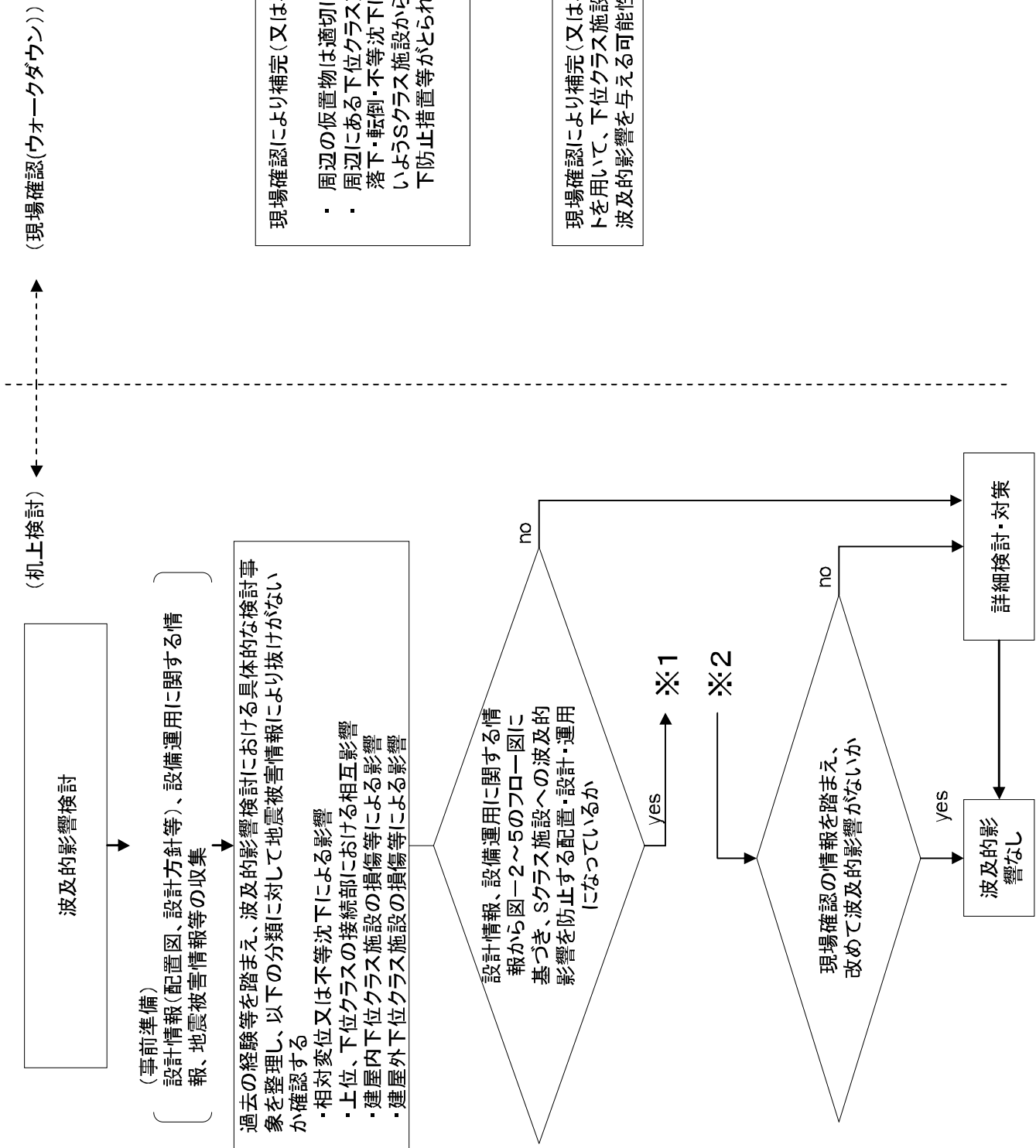
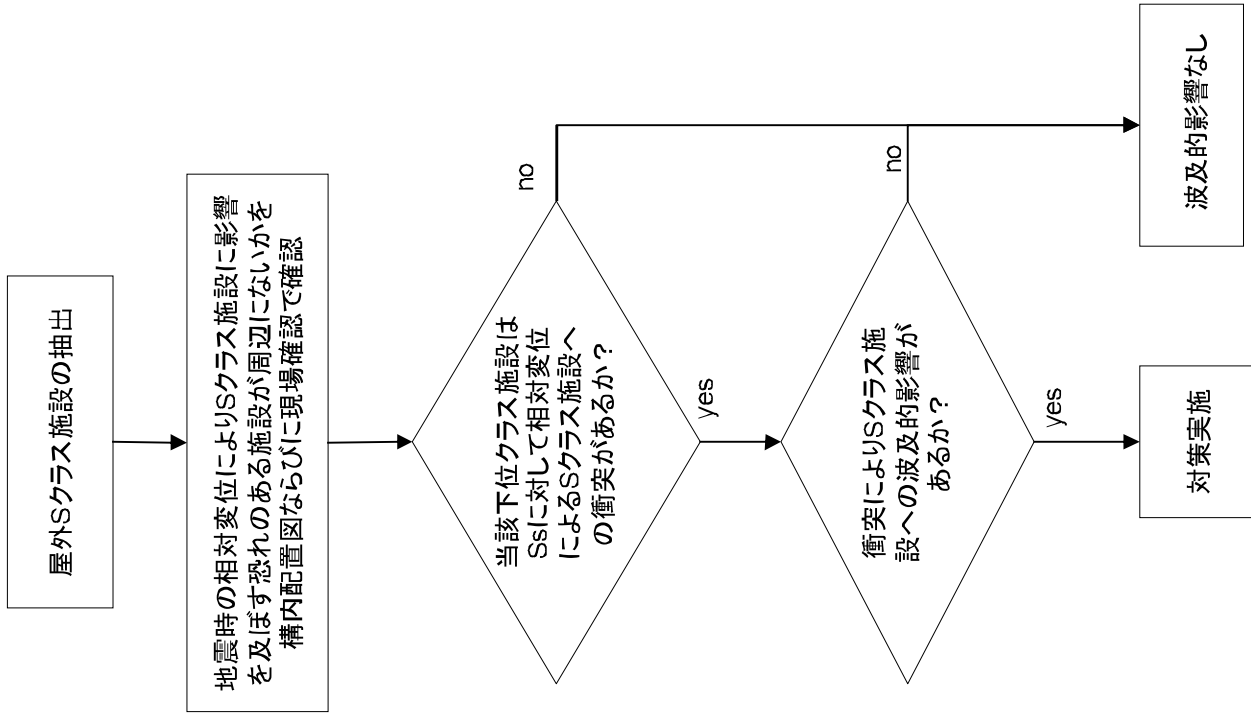


図-1 波及的影響に係る検討フロー

(相対変位による影響検討)



(不等沈下による影響検討)

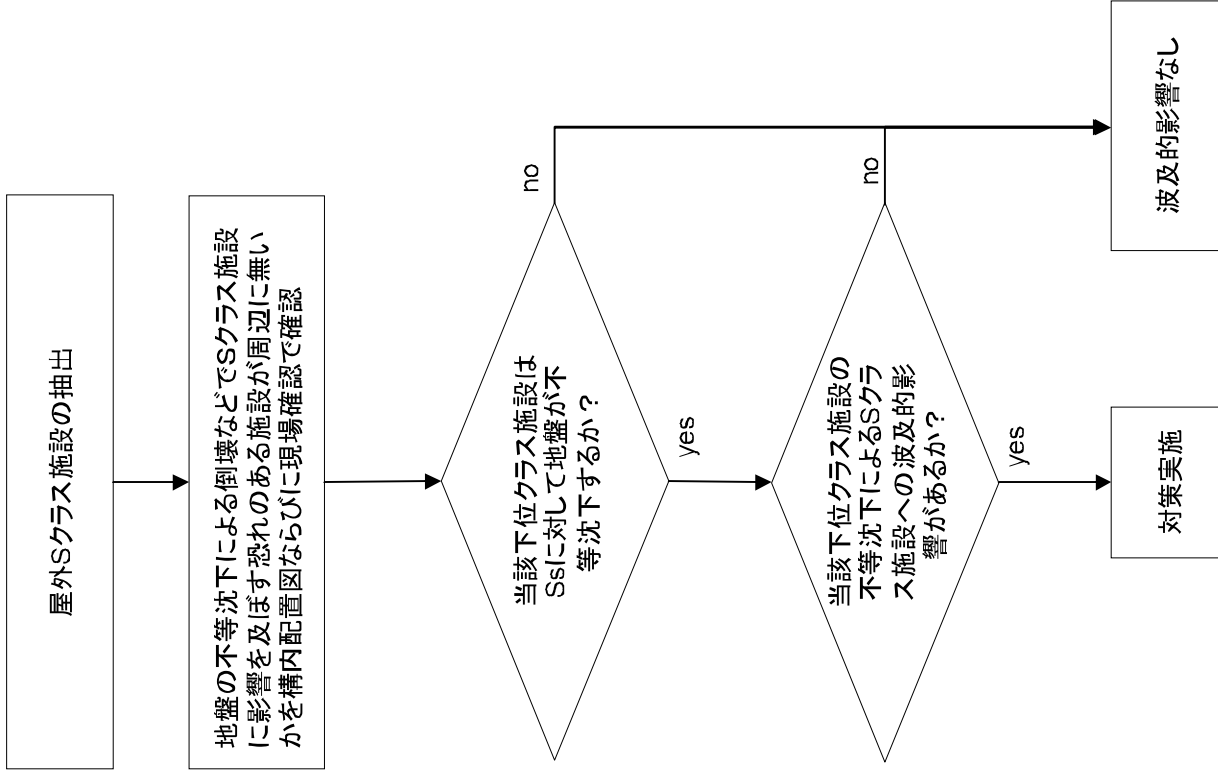
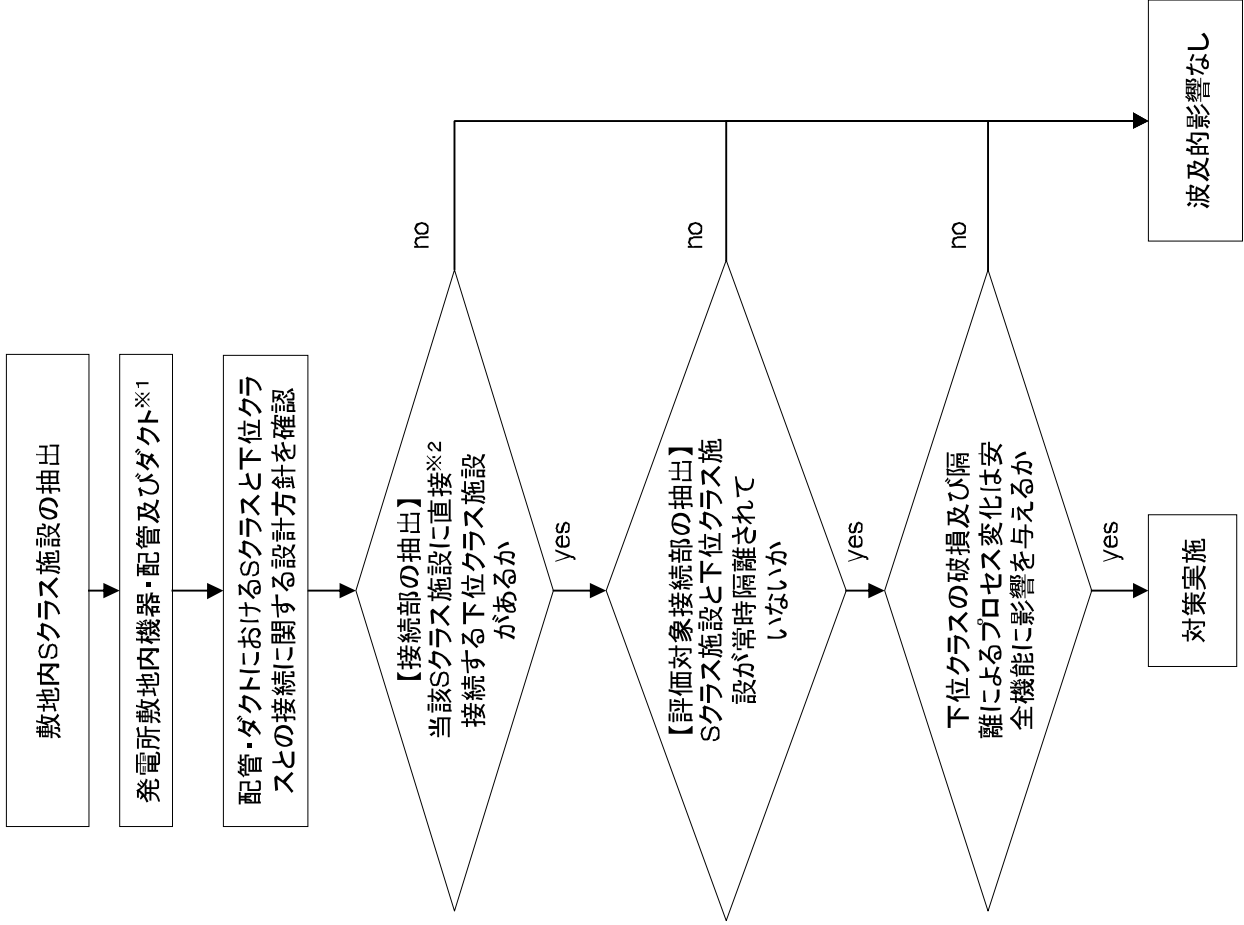


図-2 設置地盤、地震応答性状の相違等に起因する相対変位、不等沈下による影響検討フロー

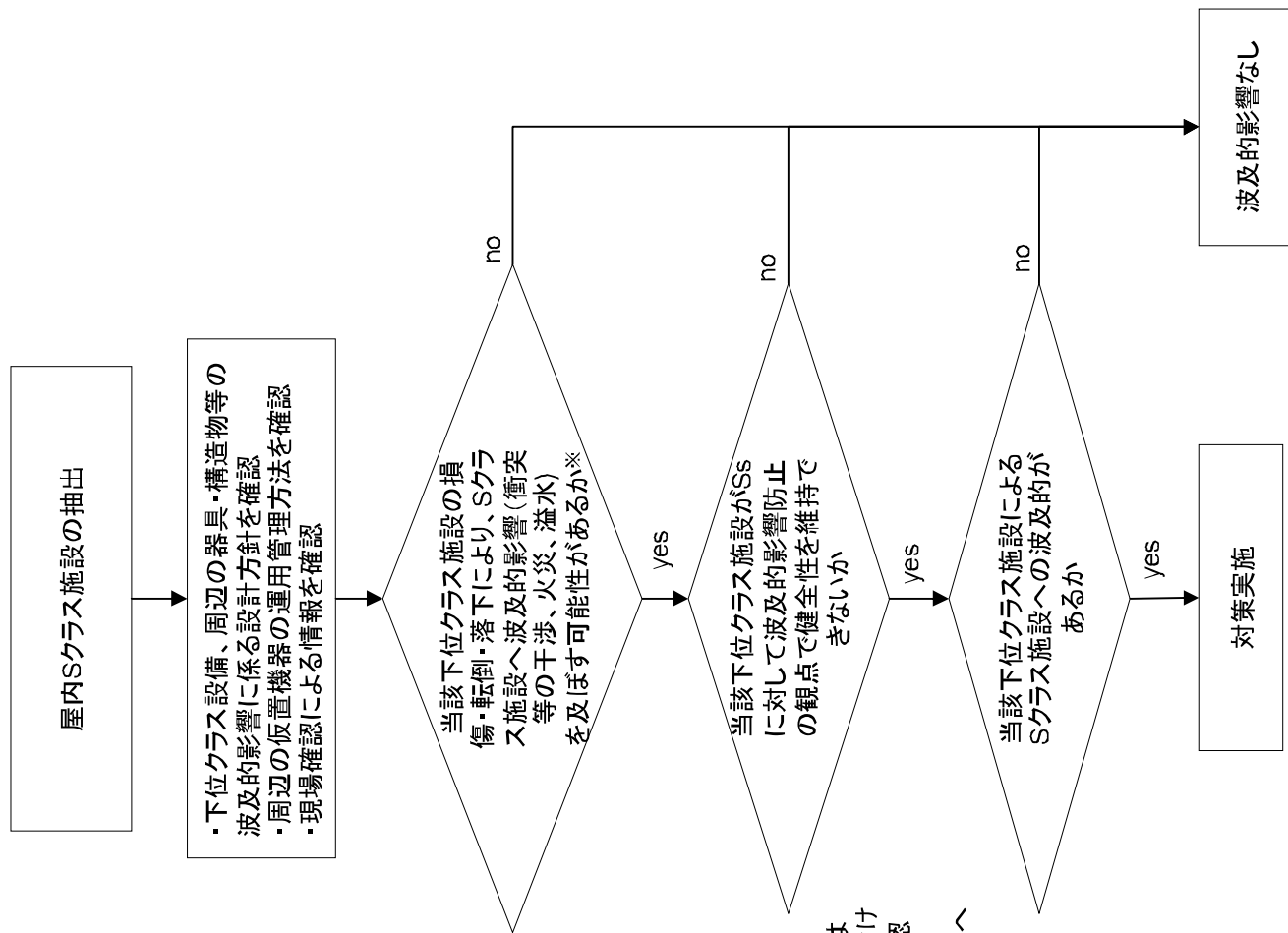


※1: 以下の設備については検討不要

- ・電気計装設備: Sクラスと下位クラスは系統的に分離される設計である
- ・格納容器貫通部: 下位クラス配管が破損しても格納容器バウンダリ機能には影響がない

※2: Sクラス配管を介して接続している場合などは配管側で評価する

図-3 Sクラス施設と下位クラス施設との接続部における相互影響検討フロー



※ 内部溢水によるプラントへの影響については技術基準第12条「発電用原子炉施設内における溢水等による損傷の防止」への適合を確認
 ※ 火災によるプラントへの影響については、技術基準第11条「火災による損傷の防止」への適合を確認。

図-4 建屋内における下位クラスの施設の損傷、転倒、落下等によるSクラスの施設への影響検討フロー

- ※ 内部溢水によるプラントへの影響については技術基準第12条「発電用原子炉施設内における溢水等による損傷の防止」への適合を確認
- ※ 火災によるプラントへの影響については、技術基準第11条「火災による損傷の防止」への適合を確認。

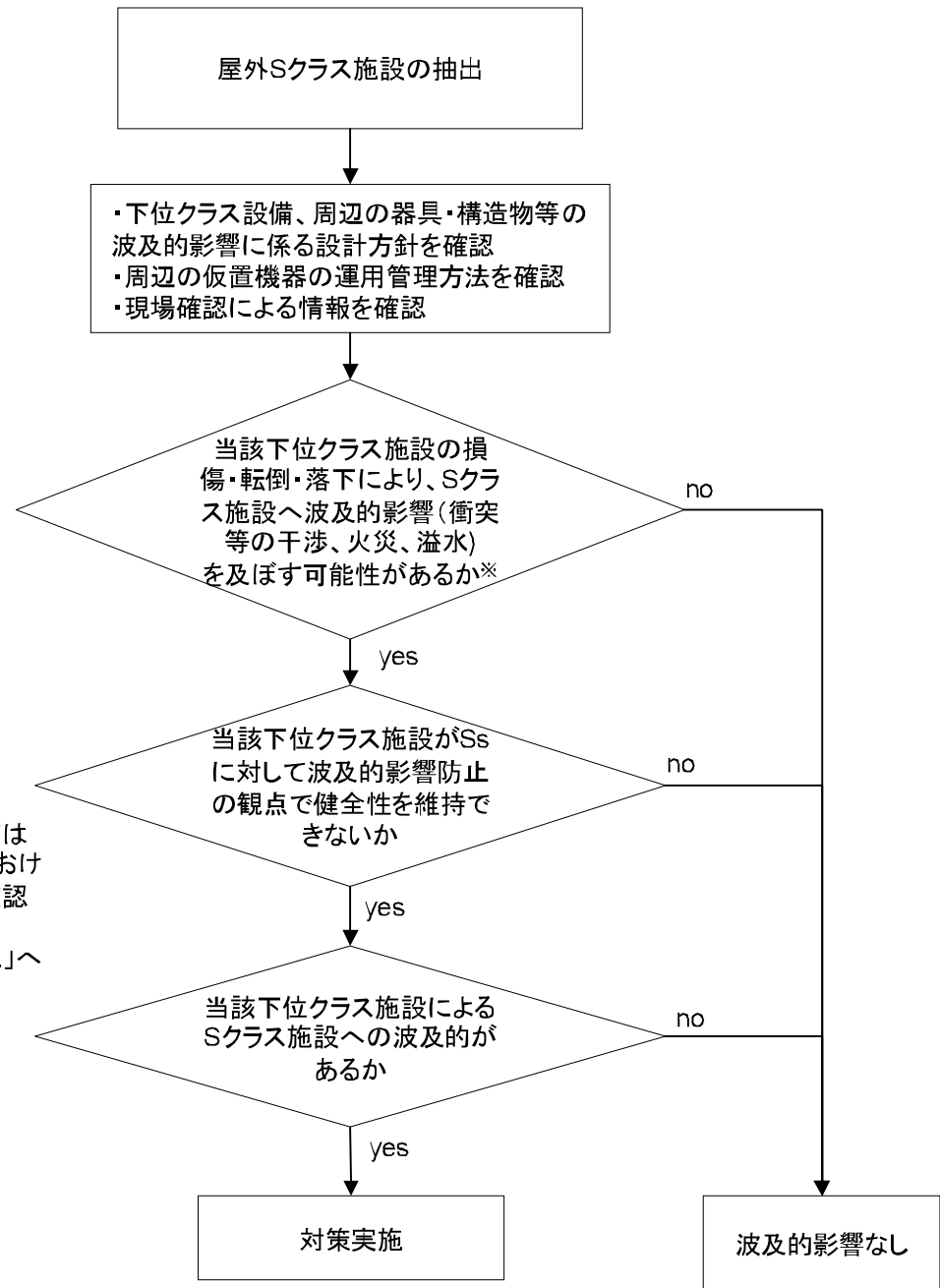


図-5 建屋外における下位クラスの施設の損傷、転倒、落下等によるSクラスの施設への影響検討フロー

大飯発電所3号機 プラントウォークダウンチェックシート

機器名称 : 原子炉補機冷却水冷却器
 機器ID : No.29 耐震クラス : S
 建屋 : E/R 床EL : 10.0M

波及的影響について		Y	N	U	N/A
①	1 建屋内における下位クラスの施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響はない。	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	・B、Cクラス施設等との十分な離隔距離を取る等により、当該設備に与える影響はない。	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	② ・周辺に影響を及ぼしうる作業用ホイス、レール、グレーチング、手すりがある場合、落下防止措置等により、当該設備に与える影響はない。	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	③ ・周辺に仮置き機器がある場合、固縛措置等により、当該設備に与える影響はない。	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	④ ・上部に照明器具がある場合、落下防止措置等により、当該設備に与える影響はない。	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	⑤ ・周辺に油タンク等がある場合、位置、構造等から火災により、当該設備に与える影響はない。	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	・その他 ()	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	建屋外における下位クラスの施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	・B、Cクラス施設（気象観測用鉄塔等各種鉄塔を含む）等との十分な離隔距離を取る等により、当該設備に与える影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	・周辺に仮置き機器がある場合、固縛措置等により、当該設備に与える影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	・周辺に各種水源及び配管等（純水タンク外部、池等）がある場合、位置、構造等から溢水により、当該設備に与える影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	・周辺に油タンク等がある場合、位置、構造等から火災により、当該設備に与える影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	・その他 ()	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Sクラス施設について		Y	N	U	N/A
1	対象機器と支持構造物との接合部に外見上の異常（ボルトの緩み、腐食・亀裂等）は無い。	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

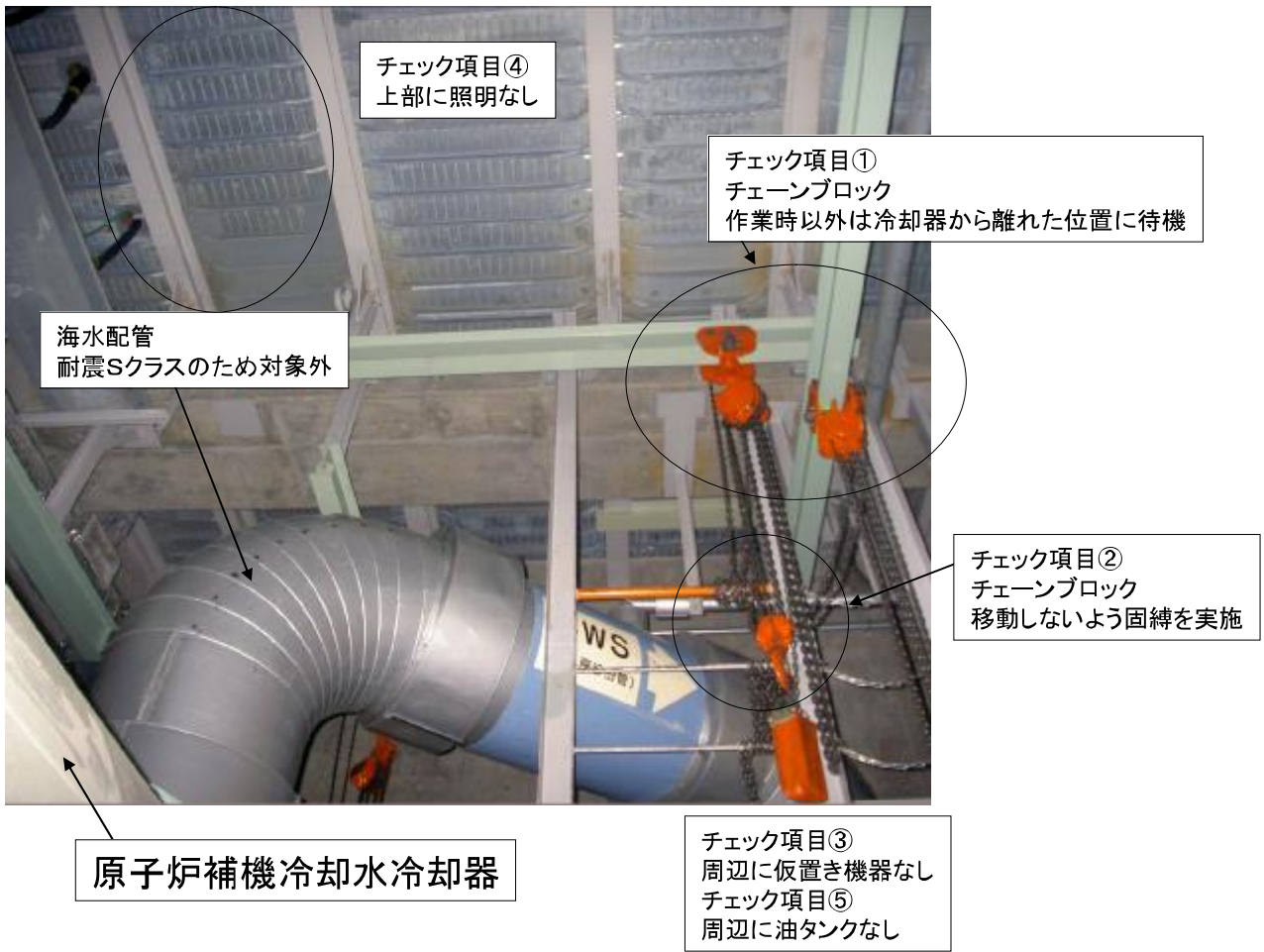
(記号の説明) Y: YES, N: NO, U: 調査不可, N/A: 対象外

総合評価（機器周辺の状況についての記載）
 周辺に波及的影響を与えるものはない。

実施日: 平成25年 7月17日

実施者: [Redacted]

図-1 チェックシート（原子炉補機冷却水冷却器の例）



図－２ 原子炉補機冷却水冷却器の上部の状況

波及的影響の分類	具体的な検討事象	検討結果
(1) 設置地盤、地震応答性状の相違等に起因する相対変位、不等沈下による影響	Sクラス配管と接続した下位クラス配管がSクラス・下位クラス建屋間相対変位を受け、破損・変形することによる影響	<ul style="list-style-type: none"> ・既工認の設計方針のとおり、異なる耐震クラスの配管が接続されている場合は、弁をクラス境界としており、高位クラスからみて第1弁までを高位クラスとしている。したがって上位クラスと下位クラスは系統的に分離される設計となっている。 ・Sクラスと下位クラスの配管が接続されている場合には、下位クラス配管についてもアンカーサポートまでの配管をモデル化し、耐震設計解析を実施している。また、下位クラス建屋側の配管から作用する荷重によりアンカーサポートが損傷することがないよう、配管引き回し等の設計対処により相対変位の悪影響を防止している。
	下位クラス建屋の変形により隣接するSクラス建屋に及ぼす影響	<ul style="list-style-type: none"> Sクラス建屋に隣接する下位クラス建屋は廃棄物処理建屋、タービン建屋となる。これらの建屋については以下のとおり、Sクラス建屋への悪影響を及ぼすことはないと考えられるが、詳細な評価を実施中である。 ・原子炉周辺建屋、制御建屋に隣接する廃棄物処理建屋は遮へい機能から十分な壁厚を有しており、基準地震動Ssに対して安全上重要な建屋と同等の変形と考えられることから衝突しない。 ・タービン建屋は基準地震動Ssにより大きく変形する可能性があるが、鉄骨造であり、衝突したとしても安全上重要な建屋への影響は軽微である。
	下位クラス施設の地盤の不等沈下により隣接するSクラス施設におよぼす影響	<ul style="list-style-type: none"> ・屋外Sクラス施設についてはSクラス建屋に隣接する建屋である廃棄物処理建屋、タービン建屋の基礎は、原子炉建屋と同等の岩盤上に設置しており、十分な支持性能を有することから、不等沈下による影響を受ける恐れはないことを確認している。 ・屋外Sクラス施設の周辺には地盤の不等沈下に起因する倒壊等により悪影響を及ぼす鉄塔などの構造物等がないことを構内配置図等による机上検討および現場ウォークダウンにより確認している。

波及的影響の分類	具体的な検討事象	検討結果
<p>(2) Sクラス施設と下位クラス施設との接続部における相互影響</p>	<p>機器・配管系のSクラスと下位クラスの接続部(配管・ダクト)におけるSクラスと下位クラスとの接続部、電気計装品におけるSクラスと下位クラスとの接続部)における影響</p>	<p>・既工認の設計方針のとおり、異なる耐震クラスの配管が接続されている場合は、弁をクラス境界としており、高位クラスからみて第1弁までを高位クラスとしている。したがって上位クラスと下位クラスは系統的に分離される設計となっている。また、下位クラスの破損及び隔離によるプロセス変化は安全機能に影響を与えない設計となっている。</p> <p>・Sクラスと下位クラスの配管が接続されている場合には、下位クラス配管についてもアンカーサポートまでの配管をモデル化し、耐震設計解析を実施している。また、下位クラス建屋側の配管から作用する荷重によりアンカーサポートが損傷することがないように、配管引き回し等の設計対処により相対変位の悪影響を防止している。</p> <p>・電気計装品については、既工認の設計方針で「低位に分類された関連設備又は近傍設備の破損、変位、変形などによって、高位の設備に波及的事故が起きないように考慮する」としており、Sクラス施設と下位クラス施設は系統的に分離し、下位クラス施設の損傷によりSクラス施設の電氣的な機能を失うことのない設計としている。</p>
<p>(3) 建屋内における下位クラスの施設の損傷、転倒、落下等によるSクラスの施設への影響</p>	<p>下位クラス施設の転倒・落下によるSクラス施設への影響</p>	<p>・設計時の方針として「低位に分類された関連設備又は近傍設備の破損、変位、変形などによって、高位の設備に波及的事故が起きないように考慮する」としており、下位クラスの施設は基本的に自らの変位による衝突、転倒、落下によりSクラス施設の安全機能を損なうことがないように、離隔をとり配置されている。同様にSクラス施設の周辺に敷設される器具・構造物等は、衝突・転倒・落下することによりSクラス施設の安全機能へ影響を及ぼすことがないように落下防止対策等を講じている。</p> <p>・そのような配置が困難である場合は、基準地震動S_sに対する構造強度を持たせる等の方策により、波及的影響の発生を防止している。具体的には落下等により安全機能への影響が生じる可能性がある使用済燃料ピットクレーン、格納容器ボーラクレーンが該当しており、基準地震動S_sに対する構造強度評価により落下に至らないことを確認することにより、下方の使用済燃料ラック、格納容器内のSクラス施設への波及影響が生じないことを確認している。</p> <p>・また、仮置物について、やむを得ず保管する場合は、以下の運用としている。</p> <ul style="list-style-type: none"> －配管や設備との距離を確保し、干渉しない位置とする －固縛、くさび等により荷崩れ、移動を防止する。 －器材の山積みは禁止する <p>・仮置物の保管が適切になされているか、周辺にある下位クラス施設等が、地震による破損・落下・転倒によりSクラス施設の安全機能に影響を与える位置関係にないか、もしくは落下防止措置等がとられているかについて現場ウォークダウンを行い、確認した結果、上記の机上検討に加えて更に検討が必要となる施設はなかった。</p>

波及的影響の分類	具体的な検討事象	検討結果
<p>(4) 建屋外における下位クラスの施設の損傷、転倒、落下等によるSクラスの施設への影響</p>	<p>下位クラス施設の転倒・落下によるSクラス施設への影響</p>	<p>・設計時の方針として「低位に分類された関連設備又は近傍設備の破損、変位、変形などによって、高位の設備に波及的事故が起きないように考慮する」としており、下位クラスの施設は基本的に自らの損傷、転倒、落下によりSクラス施設の安全機能を損なうことがないよう、離隔をとり配置されている。同様にSクラス施設の周辺に敷設される器具・構造物等は、衝突・転倒・落下することによりSクラス施設の安全機能へ影響を及ぼすことがないよう落下防止対策等を講じている。</p> <p>・屋外構造物については鉄塔、大型水タンク等を含め、配置上、自らの損傷、転倒、落下により安全機能への影響が生じる可能性がある設備はないかを構内配置図等による机上検討により確認している。</p> <p>・影響が生じる可能性のある設備がある場合は、基準地震動Ssに対する構造強度を持たせる等の方策により、波及的影響の発生を防止している。具体的には原子炉建屋背面にある背面構台について、Sクラス建屋に隣接する構造物であることから基準地震動Ssによる動的解析評価を行っている。その結果、部材は健全であること、水平変位量は約1cmであり、隣接する建屋とのクリアランスは最も狭いところで約5cmであることから、問題がないことを確認している。また、海水ポンプ周辺の作業クレーン、防護ネット等については波及的影響の無いよう対応することとする。</p> <p>・また、仮置物について、やむを得ず保管する場合は、以下の運用としている。</p> <ul style="list-style-type: none"> －配管や設備との距離を確保し、干渉しない位置とする －固縛、くさび等により荷崩れ、移動を防止する。 －器材の山積みは禁止する <p>・仮置物の保管が適切になされているか、周辺にある下位クラス施設等が、地震による破損・落下・転倒によりSクラス施設の安全機能に影響を与える位置関係にないか、もしくは落下防止措置等がとられているかについて現場確認を行い、確認した結果、上記の机上検討に加えて更に検討が必要となる施設はなかった。</p> <p>・Sクラス施設の周辺斜面については、Ss地震動による動的解析評価等を実施し、Sクラス施設の安全機能に影響のないことを確認している。</p> <p>なお、詳細結果については、地震・津波側の審査の中で説明していく。</p>