

再処理施設 廃棄物管理施設 MOX燃料加工施設

使用前事業者検査の状況及び 設工認申請に係る対応状況（案）

令和3年7月21日



日本原燃株式会社

目次

1. 論点に対する説明状況
2. 使用前事業者検査の実施方針
3. 技術的内容に係る説明
(耐震：建物・構築物)

1. 論点に対する説明状況

1. 1 論点に対する説明状況：共通事項

【共通事項】

主な説明項目		進捗状況	
		説明すべき事項	対応状況
①	申請対象設備の明確化	<p>系統、設備の重要度、系統、設備の安全機能を踏まえて、申請対象設備の明確化を行う。明確化にあたっては、安全機能を達成するために必要な機器を設計図面の色塗り等により確実に抽出し、仕様表対象設備を分類する。具体的な抽出方法等については、設工認作成要領、設備選定ガイドに反映し、実施内容の統一化を図る。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 「基本設計方針の要求種別による仕様表対象設備」と「設計図面等の色塗りによって設備抽出する対象」の関連を整理する作業を実施しており、色塗りによる設備抽出結果を「各個別の技術的事項の説明(各条 0 0)」に関連付けて、条文ごとに順次説明中。
②	共通 分割申請計画の考え方	<p>法律上の申請区分、事業許可との整合性説明、技術基準への適合性説明ができるよう、申請書の記載事項を明確にする。設工認記載事項は、先行の発電炉の内容も参照しながら検討する。また、分割申請において複数の申請書に跨って技術基準適合を説明する事項等について分割申請でのパッケージ構成の考え方を明確にする。設工認の申請にあたっては、類型化により申請書の合理化及び効率化を図る。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 建設設工認と別に認可を得ている設工認を含め、再処理、廃棄物管理、MOXに係る設工認申請の全体計画、再処理、MOXの設工認の分割申請計画を具体的に整理済。 基本設計方針、添付書類、補足説明資料等の分割申請における各申請書の対象の整理を実施しており、「各個別の技術的事項の説明(各条 0 0)」として順次説明中。
③	使用前事業者検査	<ul style="list-style-type: none"> アクティブ試験等の影響によってアクセス性の観点から検査実施に支障が生じる設備の検査成立性を示す。 ガラス溶融炉の機能・性能検査に伴う試験使用の対象となる範囲等を示す。 既設設備に対する腐食を考慮する容器等の検査の判定基準を示す。 	<ul style="list-style-type: none"> アクティブ試験等の影響によってアクセス困難な設備に対する検査の成立性について、全ての機器等の調査を完了し、検査が成立することを確認：本日説明 ガラス溶融炉の機能・性能検査内容及び試験使用範囲：説明済み 既設設備に対する腐食を考慮する容器等の検査の判定基準：説明済み

1. 2 論点に対する説明状況：地震による損傷の防止(1/4)

【個別事項：耐震（建物・構築物）】

主な説明項目		進捗状況	
		説明すべき事項	対応状況
①	耐震 (建物・構築物)	<p>地震応答解析に用いる地盤モデルの設定</p> <p>設計用地盤モデルについて以下の確認を実施する。</p> <p>a.設計用地盤モデルの設定の考え方が適切であることについて、設計用地盤モデルの設定に用いるデータの選定や物性値の算定方法の考え方の妥当性を示すことにより確認する。</p> <p>b.設計用地盤モデルによる地震波の伝播特性が適切に設定されていることについて、地震観測記録を用いたシミュレーション解析により確認する。</p> <p>c.建物・構築物の直下PS検層データにおいて、その速度構造が設計用地盤モデルにおいて考慮している地盤物性のばらつき幅を超えるデータが得られていることについて、建物・構築物の直下PS検層データを用いた耐震評価を行い、施設の耐震性に影響が無いことの確認を行う。</p>	<p>•左記 a. ～ c. に係る確認方針及び結果についての説明をこれまで実施した。前回審査会合における指摘事項を踏まえ、今回設工認における入力地震動の算定に用いる地盤モデルの考え方について整理した。（本日説明）</p>

1. 2 論点に対する説明状況：地震による損傷の防止(2/4)

【個別事項：耐震（建物・構築物）】

主な説明項目			進捗状況	
			説明すべき事項	対応状況
②	耐震 (建物・構築物)	埋込み効果の考慮	<ul style="list-style-type: none"> 既設工認からのモデルの変更点として埋め込み効果を考慮することとし、側面地盤ばねの設定に関する考え方について整理 	<ul style="list-style-type: none"> 3/15審査会合にて説明済
③		隣接建屋の影響	<p>隣接建屋の影響を考慮せず、各建物・構築物毎に独立して構築した解析モデルを用いても耐震安全性評価において安全上支障がないこと</p> <ul style="list-style-type: none"> 3次元地盤FEMモデルを用いて、建屋の配置状況を反映した地震応答解析の結果、建屋単独モデルの応答に対し増幅が見られるなど、隣接建屋の影響がみられる場合は、耐震評価に与える影響を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 6/28審査会合にて説明済

1. 2 論点に対する説明状況：地震による損傷の防止(3/4)

【個別事項：耐震（建物・構築物）】

主な説明項目		進捗状況	
		説明すべき事項	対応状況
④	耐震（建物・構築物） 建物・構築物の設計用地下水位の設定	<p>建物・構築物の耐震評価において、設定している設計用地下水位が適切であること。</p> <p>a. 地下水排水設備に囲まれている建物・構築物，囲まれていない建物・構築物，それぞれに対する設計用地下水位の設定の考え方</p>	<ul style="list-style-type: none"> 説明すべき事項に関連する以下の整理・評価を実施 a. 設計用地下水位は，地下水排水設備に囲まれている建物・構築物の地下水位の低下を考慮し基礎スラブ上端以下の設定とし，外側に配置する建物・構築物は保守的に地表面に設定とした。 ⇒説明済（6/28会合）
		<p>b. 地下水排水設備に囲まれている建物・構築物において，設計用地下水位を基礎スラブ上端以下に維持することを前提として，建物・構築物の耐震評価を行うことから，以下の事項について説明を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> 地下水排水設備の設工認における位置づけ 地下水排水設備の要求機能の維持に係る設計（耐震・電源他）の考え方 	<p>b. 地下水排水設備について，以下の通り位置づけを明確にした。</p> <ul style="list-style-type: none"> 地下水排水設備の要求事項に基づき，基本設計方針，設工認申請上の取扱いについて整理した。 地震時及び地震後において設計用地下水位を維持することを前提とする建物に設置する地下水排水設備（集水管，ポンプ等）について基準地震動Ssに対して機能維持する設計とする。 外部電源喪失時への考慮として，非常用電源設備または基準地震動Ssに対し機能維持が可能な発電機に接続する。 <p>⇒説明済（6/28会合）</p>
		<p>c. 地下水排水設備の外側に設置される建物・構築物に対する液状化の施設への影響を網羅的に整理し，その影響に対して施設の周辺状況に応じて体系的な評価フロー・方針を示す。</p>	<p>c. 地下水排水設備の外側に設置される建物・構築物に対する液状化の施設への影響を網羅的に整理し，その影響に対して施設の周辺状況に応じて体系的な評価フロー・方針を示した</p> <p>⇒説明済（6/28会合）</p> <ul style="list-style-type: none"> 安全冷却水 B 冷却塔の竜巻防護ネットの液状化の影響評価について整理した。（本日説明）
⑤	水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ	<ul style="list-style-type: none"> 設備の形状等に基づく水平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部位の抽出及び評価方針 	<ul style="list-style-type: none"> 3/15審査会合にて説明済

1. 2 論点に対する説明状況：地震による損傷の防止(4/4)

【個別事項：耐震（機器・配管系）】

主な説明項目		進捗状況		
		説明すべき事項	対応状況	
①	耐震 (機器・配管系)	「S sの床応答曲線の加速度を係数倍した評価用床応答曲線 S d」と「弾性設計用地震動 S dから作成した床応答曲線 S d」について	<ul style="list-style-type: none"> 弾性設計用地震動Sdの評価に用いる床応答曲線は、許可との整合性の観点から先行発電プラント同様に弾性設計用地震動Sdにより評価 	<ul style="list-style-type: none"> 3/15審査会合にて説明済
②		耐震評価対象の網羅性、既設工認との手法の相違点の整理について	<ul style="list-style-type: none"> 網羅性に対して抜けが無いことの確認として、以下4つの観点から、説明する評価項目に抜けが無いことを確認 (1) 事業許可との整合性 (2) 既設工認からの変更点 (3) 新規基準における追加要求事項 (4) その他先行発電プラントの審査実績 	<ul style="list-style-type: none"> 3/15審査会合にて説明済
③		機器・配管系の類型化に対する分類の考え方について	<ul style="list-style-type: none"> 評価方法、説明方法の類型化について設備の特徴、評価手法により分類し、さらに説明の効率化として類似した分類ごとに説明を行い、分類ごとの代表設備の考え方を説明 	<ul style="list-style-type: none"> 4/13審査会合にて説明済 (ただし、全体の類型化及び代表設備の考え方については、共通側で今後対応する)
④		水平2方向の組合せに関する設備の抽出及び考え方について	<ul style="list-style-type: none"> ○水平2方向影響確認の考え方について <ul style="list-style-type: none"> 水平2方向影響に対する影響確認実施内容及び設備形状に応じた影響有無に対する考え方 ○水平2方向の設備分類と類型化分類との関係について <ul style="list-style-type: none"> 類型化における分類と水平2方向の設備分類との関係性の整理結果 	<ul style="list-style-type: none"> 6/28審査会合にて説明済

1. 3 論点に対する説明状況：外部衝撃による損傷の防止

【個別事項：外部衝撃による損傷の防止】

主な説明項目			進捗状況	
			説明すべき事項	対応状況
①	竜巻	飛来物防護ネットの健全性について	・防護ネットの構造及び評価の考え方	・6/28審査会合にて説明済
			・防護板の必要板厚を設定するBRL式の直径Dの設定の妥当性	・6/28審査会合にて説明済
②	竜巻・火山	荷重影響評価について	・許容限界の設定に関する妥当性 ・空気密度の設定の妥当性（竜巻のみ）	・3/15審査会合にて説明済
③	外部火災	航空機墜落火災対策について	・航空機墜落火災対策としての耐火被覆の妥当性	・6/28審査会合にて説明済

1. 4 論点に対する説明状況：各条文への展開

【個別事項：各条文】

主な説明項目			進捗状況	
			説明すべき事項	対応状況
①	各条文	共通事項の説明を踏まえた対応	<ul style="list-style-type: none"> 「分割申請計画の考え方」に基づき、基本設計方針の記載と添付書類及び補足説明資料への展開 	<ul style="list-style-type: none"> 本文、添付書類で記載すべき事項（共通06）で明確にした対応事項を踏まえ、「各個別の技術的事項の説明(共通00)」に展開し、内部火災を各条文の代表として、説明すべき内容、記載すべき事項を整理して説明。また、第1回申請の主な対応条文である耐震、外部火災、竜巻等をはじめ、順次各条文へ展開して説明していく。

補正に向けたスケジュール

項目		2021年		
		7月	8月	9月
		審査会合▽	(審査会合)▽	▽補正
共通事項	設工認申請に関する共通事項 ・申請対象設備の明確化 ・分割申請の全体計画の提示	各技術基準条文の資料		
	使用前事業者検査 ・記録確認による検査の成立性確認	検査の成立性調査		
耐震（建物・構築物）	耐震（建物・構築物） ・地震応答解析に用いる地盤モデルの設定 ・建物・構築物の設計用地下水位の設定	燃料加工建屋 耐震評価		
		冷却塔 耐震評価 飛来物防護ネット 耐震評価		
設工認申請書の作成		各種様式,申請書作成		

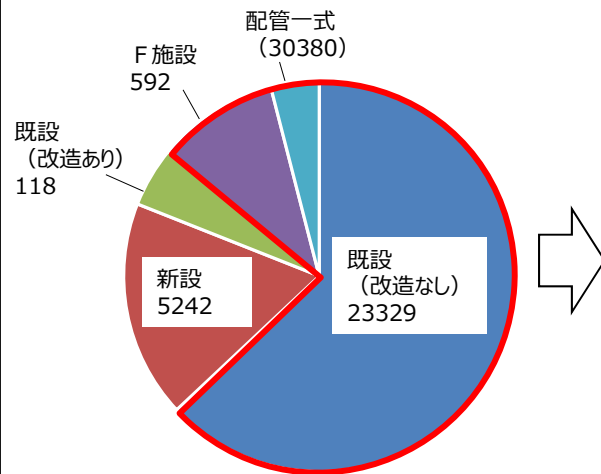
2. 使用前事業者検査の状況について〈検査の成立性〉

2. 使用前事業者検査の状況について〈検査の成立性〉

〈基本的考え方〉

- 新設はアクセス可能であり、実検査を実施可能。
- 既設（改造なし／改造あり）は、原燃、協力会社の設計、製作、施工に係るQMS体制を確認するとともに、設計、製作、施工、検査に係る記録を組み合わせる検査を行う。必要に応じて維持管理記録を確認するとともにアクセス可能な設備は目視、実測を行う。

〈確認結果〉



使用前事業者検査対象の分類イメージ

分類	対象		結果
既設 (改造なし) 23329	アクセス困難なセル内の機器	2251	全て確認完了。記録の不足なし。 (6/28審査会合で報告済)
	アクセス困難なセル外の機器	2296	全て確認完了。記録の不足なし。
	アクセス可能な機器	16358	実検査可能であり検査は成立する。 (検査前までに検査記録を整理)
	建物・構築物	2424	全て確認完了。記録の不足なし。
F施設 592	アクセス困難なF施設の機器	329	全て確認完了。記録の不足なし。
	アクセス可能なF施設の機器	263	実検査可能であり検査は成立する。 (検査前までに検査記録を整理)
配管一式※1 ※2 (30380)	重大事故等対処設備の配管	5130(セル内 2183(879※3))	全て確認完了。記録の不足なし。
	その他	25250	全て確認完了。記録の不足なし。
埋込金物・支持構造物			上記機器等に関連する対象の健全性 確認に係る記録があることを確認

※1：設工認添付書類では配管を設備区分単位で「一式」と表しているが、調査のために「一式」を詳細化し配管番号による「本数」として整理（計30380本）。

※2：同一配管番号でセル内外混在しているものがあることから全ての配管を対象として調査を実施。

※3：新規基準により、建設当初から検査要求が拡大し、検査項目が増加する配管。

〈結論〉

以上の結果から、全ての検査対象について、各種記録を組み合わせることで使用前事業者検査は実施可能と判断している。
なお、設工認申請対象設備の選定結果等を踏まえて検査の成立性確認を行うが、これまでの調査状況から検査の成立性はあると考えている。

<参考：埋込金物に関する至近の対応状況>

・埋込金物の健全性確認について、一般共同溝は現品調査等で、建屋等は品質管理等で健全性を確認し、5月25日の審査会合において確認結果を報告した。

・このうち、品質管理等で健全性を確認したものについては、「個別の検査記録が残っているもの（約25.8万枚）」、「検査記録が現存せず品質保証体制等から確認したもの（約15.0万枚）」、「品質管理の記録が現存せず、全数現品調査で確認したもの（約0.3万枚）」に分類され、各々について確認を行った。

・「検査記録が現存せず品質保証体制等から確認したもの（約15.0万枚）」については、施工要領書、品質保証計画書、工事記録から元請会社の品質管理のもと適切に施工が行われたことを確認した。このうち、施工要領書が当社で保管されておらず、工事記録のみで確認を行った建屋はユーティリティ建屋及び使用済燃料輸送容器管理建屋（保守エリア、除染エリア）である。

（確認した記録の組み合わせ）

- a. 施工要領書と品質保証計画書で確認したもの：約0.7万枚
- b. 施工要領書と工事記録で確認したもの：約13.8万枚
- c. 工事記録で確認したもの：約0.5万枚

・その後、上記2建屋分について継続して元請会社への確認も含めて施工要領書の有無を調査していたところ、使用済燃料輸送容器管理建屋（保守エリア、除染エリア）については施工要領書を確認することができ、記載内容についても検査項目や個別の検査記録の作成要求が確認できた。また、ユーティリティ建屋については施工要領書の有無の調査を継続している。

合わせて、これらの埋込金物について、現品調査の可否及び運転・設備への影響も含め、一ヶ月を目途に調査方針をまとめる。

【工事記録で確認した埋込金物の状況】

ユーティリティ建屋（建築分）に設置している枚数	これまでの調査における現品調査枚数	現品調査未実施枚数	備考
4571枚	2986枚	使用中：929枚 未使用：656枚	元請会社1社、施工会社1社による施工

3. 技術的内容に係る説明

(耐震：建物・構築物)

- ① 地震応答解析に用いる地盤モデルの設定
- ② 設計用地下水の設定
- ③ 飛来物防護ネットの上部構造における耐震評価について

① 地震応答解析に用いる地盤モデルの設定

① 地震応答解析に用いる地盤モデルの設定

(1) 本日の説明内容及び審査会合における指摘事項

■ 審査会合における指摘事項と対応

No.	審査会合日	指摘事項	対応方針
1	2021.3.15	エリアごとの平均的な地盤物性値に基づく地盤モデルを用いる場合は、その妥当性の説明ロジックとして、その地盤モデルを入力地震動の評価に用いても安全上支障がないこと、設計用地震力の設定において施設への影響評価も含めて地盤のばらつきが適切に考慮されていることの観点で整理すること。	エリアごとの平均的な物性値に基づく地盤モデルに加え、各建物・構築物の直下PS検層データを用いた耐震評価を実施する方針とする。
2	2021.3.15	データの拡充にあたっては、各エリア内で得られた調査結果を詳細に示したうえで、地下構造が同様な速度構造であること、PS検層結果と地盤モデルのばらつき範囲の関係性、地表付近でPS検層結果のデータが得られていない部分の扱いについて説明すること。	各エリア内において速度構造が建屋位置ごとに相違していることから、各建物・構築物の直下PS検層データを用いた耐震評価を実施する方針とする。
3	2021.4.13	第1回申請対象施設である安全冷却水B冷却塔についても近傍データに基づき整理すること。また、他の建物・構築物に対しても第1回申請において示す基本的な方針との関係を踏まえて必要な説明をすること。	安全冷却水B冷却塔について、近傍のPS検層データを用いた耐震評価を実施する方針とする。
4	2021.4.13	直下もしくは近傍の直下PS検層データが複数得られている場合について、直下地盤モデルとしてばらつきを考慮するのか、ロジックを整理し根拠を明確にして説明すること。	直下PS検層データが複数得られている建物・構築物については、そのデータのばらつきを考慮した耐震評価を実施する方針とする。
5	2021.4.13	表層地盤を敷地全体のモデルとして扱い、そのデータのばらつきの影響評価について、地盤ばねの剛性を変化させた場合の検討として行うのであれば、 $\pm 1\sigma$ を超えるデータがあることに留意すること。	各建物・構築物の直下PS検層データによれば、速度構造設計用地盤モデルに考慮しているばらつき幅を超えるものがあることから、各建物・構築物の直下PS検層データを用いた耐震評価を実施する方針とする。
6	2021.4.13	Ssや1.2Ssの入力では支持地盤や建物・構築物の非線形が進む可能性を考慮し、その場合の影響も踏まえて施設への影響を確認すること。	直下PS検層データを用いた耐震評価にあたっては、支持地盤の非線形が進む場合を考慮する方針とする。
7	2021.5.25	直下PS検層データを用いた耐震評価を行う対象施設の選定方針について明確にすること。	地盤モデルを用いた地震応答解析を行う建物・構築物に対し、直下PS検層データの速度構造との比較を行った上で評価対象施設の選定を行う方針とする。
8	2021.5.25	直下地盤モデルを用いた評価方針については、今回設工認の基本方針に記載することで検討すること。	今回設工認への反映事項として、左記の方針の対応とすることで本資料に記載。
9	2021.5.25	直下地盤モデルを用いた評価結果の記載場所については、今後申請建屋の影響の大きさに応じて、耐震計算書の別添に限定せず、適切に記載箇所を検討すること。	
10	2021.6.28	直下地盤モデルを用いた耐震評価の設計への反映の考え方について再度検討すること。	今回設工認における入力地震動の算定に用いる地盤モデルの考え方について整理した。(本日説明)

① 地震応答解析に用いる地盤モデルの設定

■本日の説明内容

- 前回審査会合における指摘事項を踏まえ、今回設工認における入力地震動の算定に用いる地盤モデルの考え方について整理した。

今回設工認における建物・構築物への入力地震動の算定にあたっては、各建物・構築物の直下又は近傍の地盤の特徴を踏まえた検討を行った上で、適切な地盤モデルを設定する方針とする。

第1回申請施設 : 各建物・構築物の地盤の特徴を適切に捉えた地盤モデルとして、直下又は近傍のボーリング調査データに基づいて設定した地盤モデルを入力地震動の算定に用いる地盤モデルとする。

- 燃料加工建屋
- 安全冷却水B冷却塔
(基礎, 本体, 飛来物防護ネット)

第2回申請以降の施設 : 各建物・構築物直下又は近傍の地盤の特徴を踏まえた検討を行ったうえで、適切な地盤モデルを設定する。

① 地震応答解析に用いる地盤モデルの設定

(2) 今回設工認における入力地震動の算定に用いる地盤モデルの考え方

■ 基本的な考え方

- 今回設工認における耐震設計では、建屋の埋め込みを考慮するために表層地盤を考慮に加えている。また、基準地震動 S_s が新規規制基準を踏まえて大きくなっており、特に表層地盤において非線形性が現れてくる。
- このことから、入力地震動の算定にあたっては、地盤の実態を適切に表現した地盤モデルを用いることとする。
- この際、建物・構築物直下又は近傍の地盤の特徴が、地盤モデルの説明上のポイントとなることから、今回設工認における建物・構築物への入力地震動の算定にあたっては、各建物・構築物の直下又は近傍の地盤の特徴を踏まえた検討を行った上で、適切な地盤モデルを設定する方針とする。

■ 第1回申請対象施設における地盤モデルの扱いについて

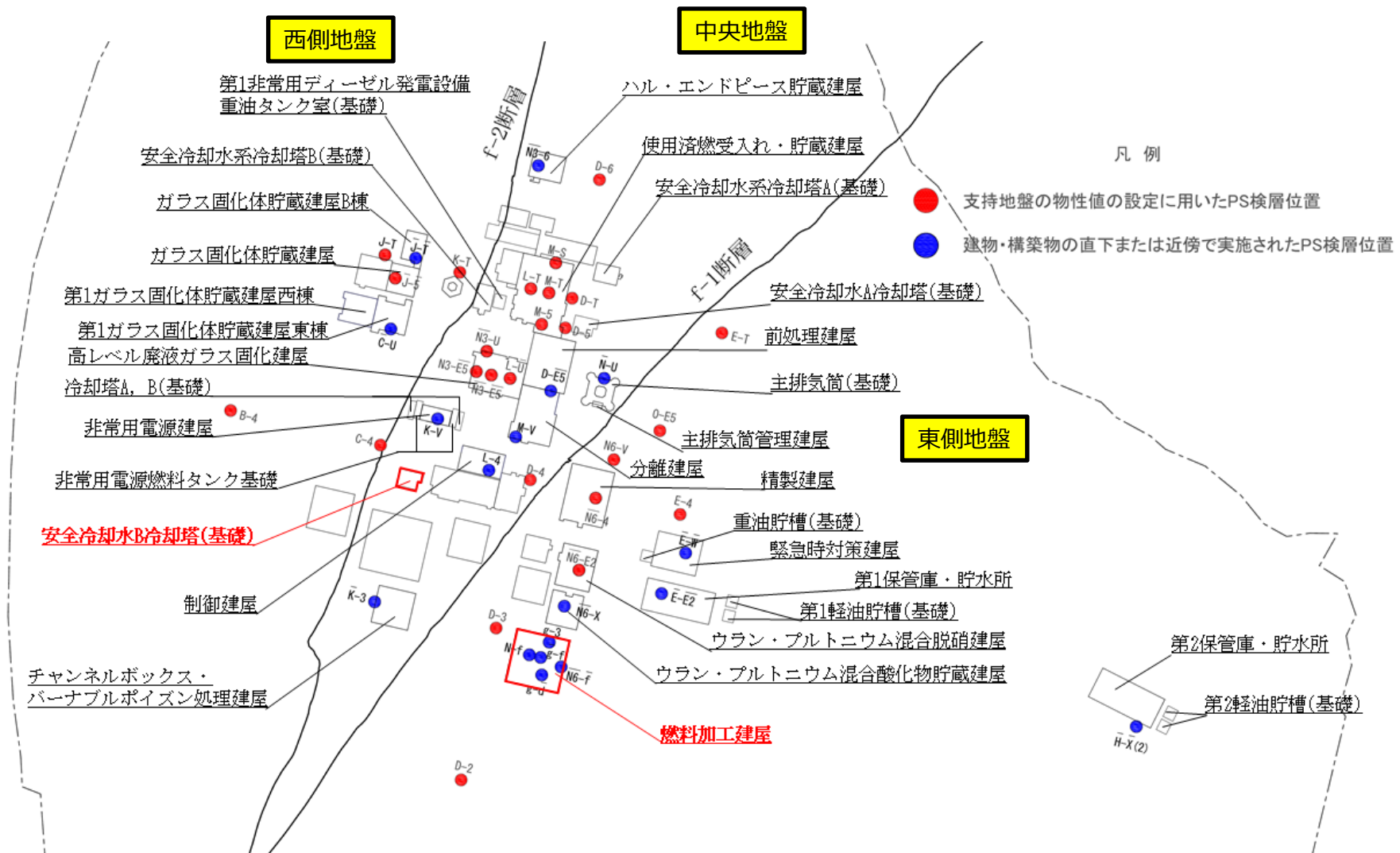
- 燃料加工建屋及び安全冷却水B冷却塔（基礎、本体、飛来物防護ネットを含む）については、申請時点において、既認可において設定していた地盤モデルをベースに入力地震動を算定していたが、上記のポイントに照らして検討を行った。
- その結果、燃料加工建屋及び安全冷却水B冷却塔（基礎、本体、飛来物防護ネットを含む）については、各建物・構築物の地盤の特徴を適切に捉えた地盤モデルとして、直下又は近傍のボーリング調査データに基づいて設定した地盤モデルを入力地震動の算定に用いる地盤モデルとする。

■ 第2回申請以降の対象施設における地盤モデルの扱いについて

- 第2回申請以降の対象施設の入力地震動の算定にあたっては、上記の基本的な考え方に基づき、各建物・構築物直下又は近傍の地盤の特徴を踏まえた検討を行ったうえで、適切な地盤モデルを設定する。

① 地震応答解析に用いる地盤モデルの設定 (参考) 敷地内PS検層位置図

■ 既認可において設定していた地盤モデルの作成に用いているPS検層及び直下PS検層位置



既認可において設定していた地盤モデル(支持地盤)の作成に用いたPS検層位置及び直下PS検層結果が得られているボーリング調査孔の位置

② 設計用地下水位の設定

② 地設計用地下水水位の設定

(1) 本日の説明内容及び審査会合における指摘事項

■ 審査会合における指摘事項と対応

No.	審査会合日	指摘事項	対応方針
1	2021.3.15	地下水排水設備に要求する機能，申請対象施設としての取り扱い，耐震設計上の位置づけなどについて明確に整理すること。	地下水排水設備の要求機能，耐震設計上の位置づけ，申請対象施設としての取り扱いについて整理した。
2	2021.4.13	地下水排水設備の設計方針については，先行炉の整理も踏まえて示すこと。	
3	2021.4.13	出入管理建屋の設計用地下水水位について，耐震評価上の位置づけを整理すること。	出入管理建屋は，地下水排水設備の外側に配置されていることから，設計用地下水水位を地表面に設定する。 出入管理建屋の耐震評価方針等については，当該施設の申請回次において示す。
4	2021.3.15	液状化の影響を受ける可能性のある施設については，今回申請だけでなく今後の申請対象施設も含めて，施設の網羅的な抽出をまず行った上で，液状化の影響を考慮した設計の考え方を体系的に整理して説明すること。	第1回申請対象施設である杭基礎である安全冷却B冷却搭飛来防護ネットの液状化影響評価の考え方を整理した。 液状化に伴う影響因子，液状化対象層，施設周辺の地盤の整理し，各因子に対して各対象施設が液状化影響がないか体系的に整理した。
5	2021.4.13	杭基礎の竜巻ネットと洞道で検討内容が異なっていることから，双方の評価が有効であることを示すこと。	
6	2021.4.13	液状化の影響検討において，周辺建屋や支持地盤の傾斜の影響等を踏まえていることを示し，体系的に整理すること。	
7	2021.6.28	竜巻防護施設の液状化評価について，各影響因子に対して，液状化によりどのような荷重の作用を受けて，どのような損傷モードがあり，その上で上位クラスに波及的影響を及ぼすのか等，背景も含めて整理すること。	竜巻防護施設の液状化評価について，飛来物防護ネットの耐震計算と合わせて，液状化時に必要な評価項目を影響因子，作用荷重，損傷モード，波及的影響防止の考え方を明確化することにより整理する。 (本日説明)
8	2021.6.28	竜巻防護施設の液状化評価について，ウエスタガード補正式を，液状化した地盤から受ける土圧の算定に用いることができる根拠を示すこと。また，その代替手法が有効応力解析よりも保守的な結果を与えるということ，実際の液状化時の複雑な土圧の影響を考慮できていることを明確にすること。	ウエスタガード補正式の適用性について，有効応力解析の結果を踏まえて妥当性を明確化する。 (本日説明)

② 地設計用地下水位の設定

(1) 本日の説明内容及び審査会合における指摘事項

■ 本日の説明内容

6/28審査会合での指摘事項を踏まえ、竜巻防護施設のうち、安全冷却水B冷却塔の飛来物防護ネットの液状化影響評価の評価手法及びその適用性について、検討結果を説明する。

- 安全冷却水B冷却塔の竜巻防護ネットの耐震評価（波及的影響評価）において、液状化時の作用荷重、損傷モードを整理した上で液状化影響評価の評価方針の妥当性を確認する。
- 液状化影響評価において、側方土圧算定の簡易手法として採用したウエスタガード補正式を採用している。ウエスタガード補正式による評価の適用性について、有効応力解析による結果（土水圧分布及び土水圧荷重）により、局所的に過大な荷重が作用しないこと及び側方土圧の荷重設定値の妥当性を確認する。

②建物・構築物の設計用地下水水位の設定

(3) 地下水排水設備の外側に配置される建物・構築物（液状化による影響評価方針）

■ 液状化による影響評価方針

- 液状化影響評価については、以下に示すフローに基づき、液状化による影響因子の抽出、液状化対象層の選定及び施設側方の地盤状況に係る整理(改良地盤の液状化に対する有効性の確認含む)を行ったうえで、液状化による各影響因子（①剛性低下、②沈下・転倒、③側方流動、④浮上り）に対する施設評価を実施する。
- 液状化による影響因子のうち①～③に対する施設評価の結果、施設への影響がある場合は、設計への反映要否を確認する。また、④に対する施設評価の結果、施設の浮上りが否定できない場合は、浮き上がり対策を実施する。

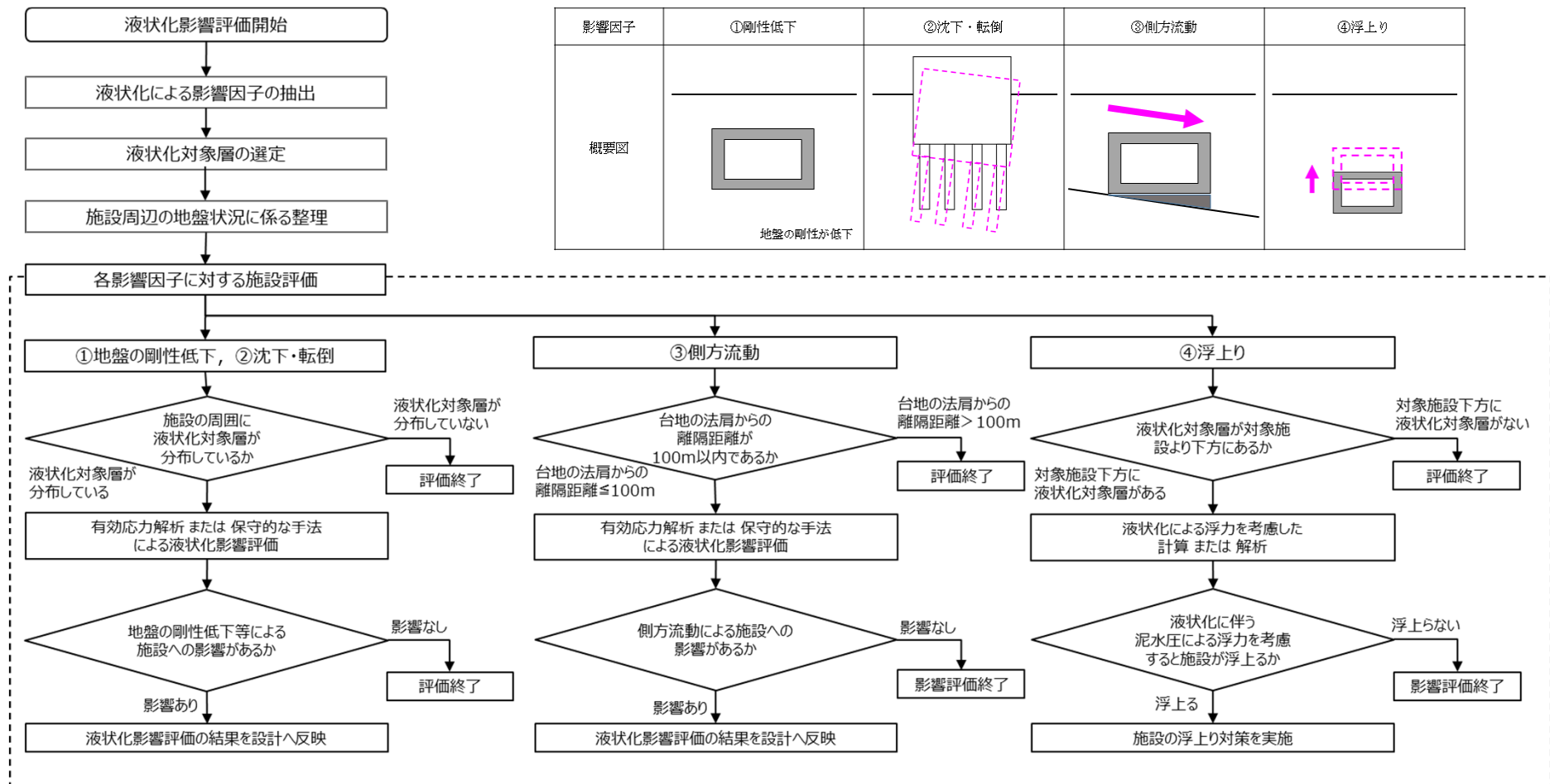


図 液状化影響評価フロー

②建物・構築物の設計用地下水位の設定

(2) 竜巻防護施設の液状化評価 (安全冷却水B冷却塔の飛来物防護ネットの構造、耐震評価の概要)

<構造概要>

飛来物防護ネットは、主要構造部材である支持架構（鉄骨造）に防護ネット及び防護板が設置される構造。

支持架構は制振効果を持つ「座屈拘束ブレース」が用いられ、杭基礎により改良地盤及び鷹架層に支持される。（図1）

<耐震評価概要>

基準地震動 S_s 発生時、「損傷、転倒、落下、相対変位による接触(上部構造)」および「支持性能(杭基礎)」の観点で、冷却塔に波及的影響を及ぼさないことを確認する。（図2）

なお、地震荷重の設定に用いる質点系モデルは、3次元FEMによる簡易評価との比較により妥当性を検証する。

飛来物防護ネットの地盤モデルの設定については「①地震応答解析に用いる地盤モデルの設定」と同じ考え方とする。

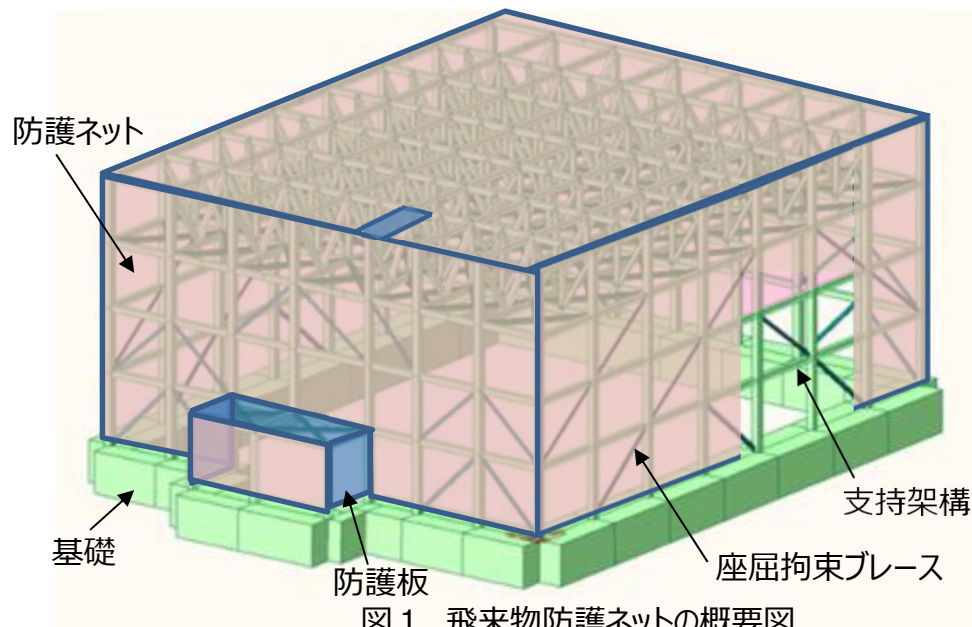


図1 飛来物防護ネットの概要図

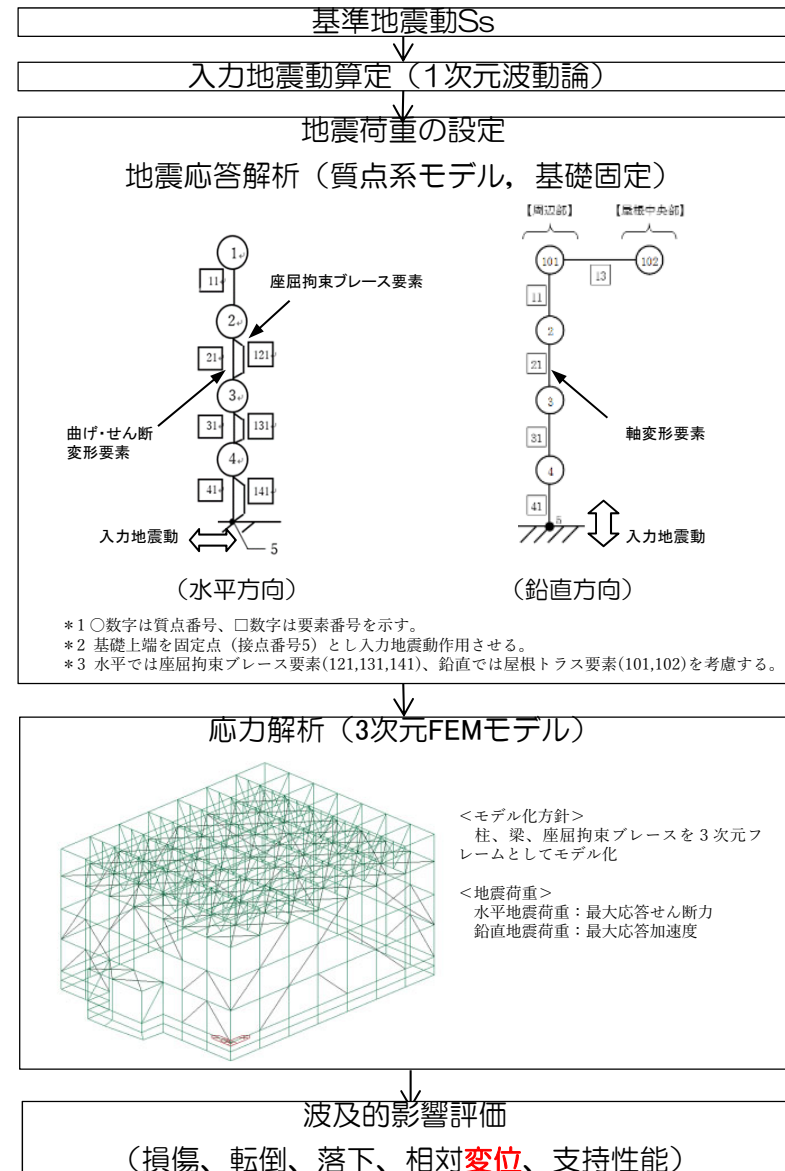


図2 耐震評価フロー

②建物・構築物の設計用地下水位の設定

(2) 竜巻防護施設の液状化評価について (損傷モード、波及的影響の状況整理)

液状化が生じた場合の、飛来物防護ネットの冷却塔への波及的影響評価を実施するにあたり、「波及的影響が生ずる損傷モード」を整理すると共に、「液状化による影響因子」毎に発生する飛来物防護ネット架構の損傷の有無を評価する。

■ 飛来物防護ネット架構の損傷等による冷却塔への「波及的影響」としては、以下の状態が考えられる。

- i) 架構自体の「損傷」、「過大な変形」、「部材の落下」により冷却塔へ損傷を与える。
- ii) 架構に支持された防護ネット及び防護板の「部材の落下」により冷却塔へ損傷を与える。
- iii) 架構を支持する基礎の損傷に伴い、架構が倒壊・変形し冷却塔へ損傷を与える
- iv) 架構を支持する基礎の鉛直支持性能が喪失して、架構が倒壊もしくは過大な変形により冷却塔へ損傷を与える。

■ 周辺埋戻土が液状化した際の構造物に与える「影響因子」として、過去に液状化により構造物に発生した被害の状況等から以下①～④の影響因子を抽出している。以下に示す各影響因子毎に発生する事象に応じた評価を行うことで、上記の波及的影響に結び付く損傷が生じないことを確認する。

①地盤剛性低下

・地盤剛性低下により「改良体に生ずる側方土圧」が増大するため、以下の確認を実施する。

①-1 「改良体に生ずる側方土圧」により改良地盤が損傷を受け基礎の支持性能を失うことが無いよう改良地盤の健全性を確認する。⇒P27

①-2 「改良体に生ずる側方土圧」により改良地盤が損傷を受け基礎の支持性能を失うことが無いよう杭の健全性を確認する。⇒P28

①-3 「改良体に生ずる側方土圧」により施設に過大な変形が生じないよう摩擦抵抗力及び杭の支持層への根入れ部の効果により施設全体が滑動しないことを確認する。(調整中)

②沈下・転倒

・沈下については、基礎が杭を介して支持層である鷹架層に支持されていることから沈下の恐れはないと評価している。

・転倒については、「改良体、杭、基礎、架構を含む施設全体に作用する地震力」と「改良体に生ずる側方土圧」により発生する転倒モーメントが施設全体が持つ「安定モーメント」以下であることを確認する。

③側方流動

施設が設置される場所は高低差がある台地の法肩から100m以上離れていることから側方流動は生じないと評価している。

④浮上り

施設の下方に液状化対象層がないことから浮上りはないと評価している。

②建物・構築物の設計用地下水位の設定

(2) 竜巻防護施設の液状化評価について（地盤の剛性低下（改良地盤））

①-1 地盤の剛性低下（改良地盤）

<評価方法>

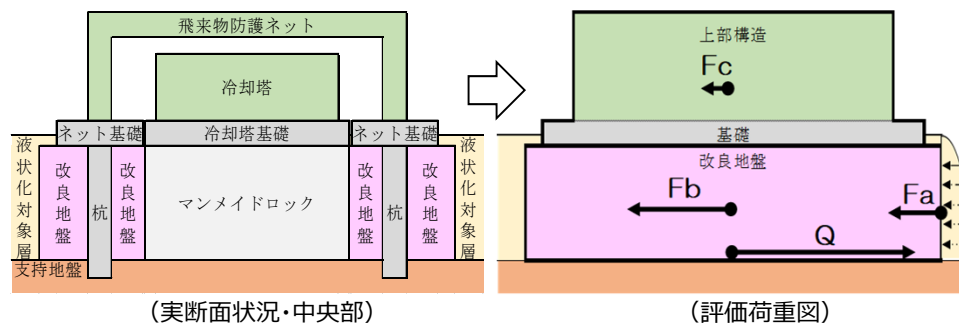
施設に直接加わる地震荷重に加え、施設の支持地盤である改良地盤へ側方土圧に対して、液状化時に作用する荷重に対して改良地盤が抵抗できることを確認する。

確認方法は、先行炉での審査実績である「周辺地盤の液状化による杭の影響評価」を参照して、周辺地盤が液状化した場合に改良地盤に作用する評価用の側方土圧（ F_a ）及び地震時の各種作用荷重（杭基礎の地震時慣性力（ F_b ）及び上部構造から伝達される水平荷重（ F_c ））を設定し、算定された各種荷重の組合せに対して、改良地盤のせん断抵抗に対する評価を実施する。

安全冷却水B冷却塔の飛来物防護ネットは安全冷却水B冷却塔の外周を囲う形状をしており内部にマンメイドロックが配置されているが、改良地盤よりせん断抵抗が大きい内部のマンメイドロックを改良地盤とみなして評価することで安全側の評価とする。

また、側方土圧（ F_a ）の設定において、有効応力解析による土水圧荷重に変わる簡易評価として改良地盤の側方に分布する液状化対象層（埋戻土）の比重を有した液体による地震時の動水圧として「水道施設耐震工法指針」に基づきウエスタガード補正式を用いて荷重を設定する。

ウエスタガード補正式は、自由液面を有する矩形水槽の壁面に作用する地震時動水圧を算定する際に用いる計算式であることから、液状化地盤により作用する土水圧の算定手法について、暫定物性値に基づく有効応力解析による土水圧荷重を用い動水圧荷重を適切に設定する。



- F_a : 液状化対象層による動水圧 [ウエスタガード補正式による動水圧]
- F_b : 地震時慣性力 [改良地盤及びマンメイドロックの地震時慣性力]
- F_c : 上部建築物による水平荷重 [飛来物防護ネット及び冷却塔の地震時水平荷重]
- F : 改良地盤に作用するせん断力 [$F_a + F_b + F_c$]
- Q : 改良地盤のせん断耐力 [改良地盤の粘性力 × 抵抗面積]

図 評価概念図

②建物・構築物の設計用地下水位の設定

(2) 竜巻防護施設の液状化評価について (地盤の剛性低下 (杭))

①-2 地盤の剛性低下 (杭)

<評価方法>

①-1において改良地盤が液状化時に作用する各種荷重に抵抗できること確認したことを踏まえ、①-2においては、良地盤内部の杭に液状化時に作用する荷重に対する構造健全性を確認する。

杭の構造評価に用いる荷重は、改良地盤に作用する側方土圧が杭に直接作用すると仮定し、各杭の剛性比率に応じて側方土圧を分配した荷重を用いる。その他、杭頭に作用する地震荷重 (基礎から作用する杭頭せん断力) 及び杭を支持する改良地盤及び鷹架層からの反力を地盤ばねとして考慮した梁ばねモデルにて応力評価を実施する。杭体の応力評価は、応力が最も厳しくなる荷重方向に各種荷重を作用させる。

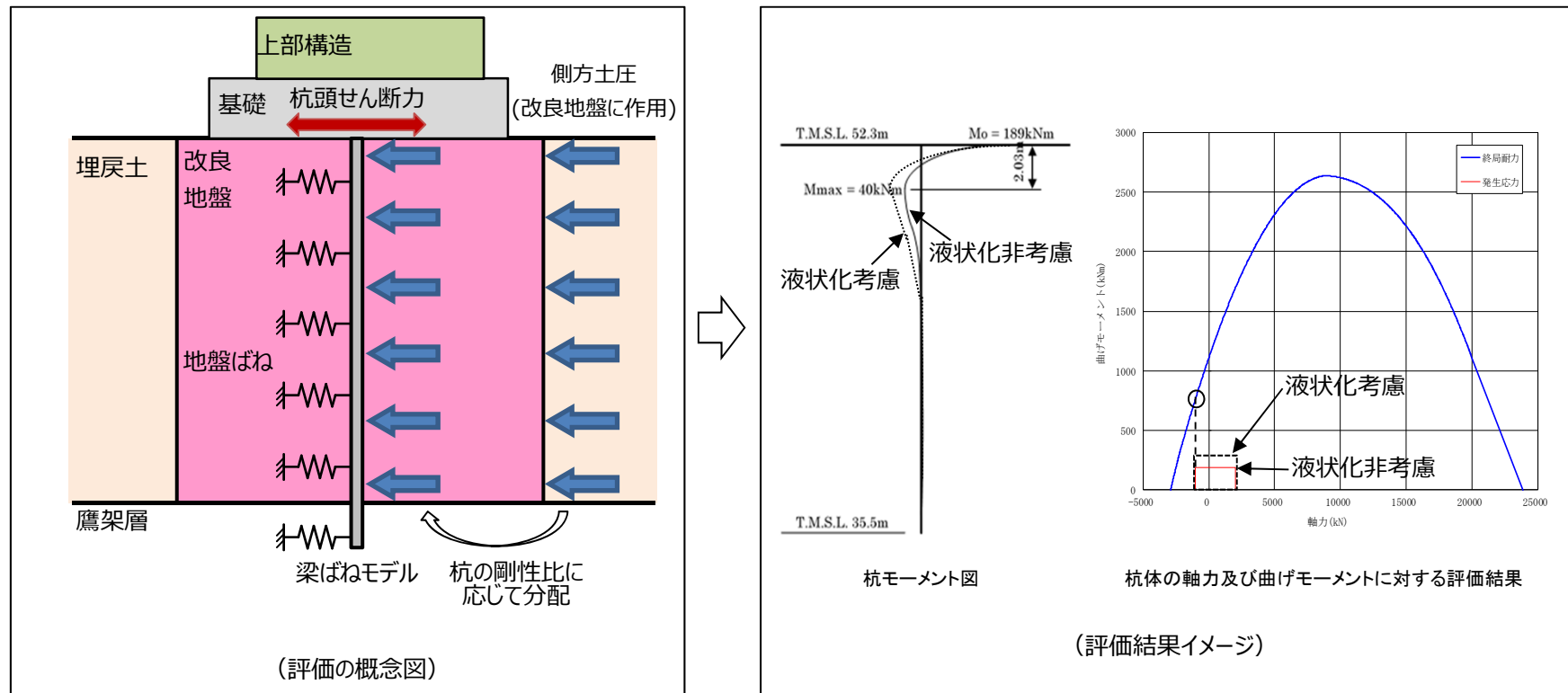


図 評価の概念図および結果イメージ

②建物・構築物の設計用地下水水位の設定

(3) 竜巻防護施設の液状化評価の有効応力解析による検証

<有効応力解析結果>

(1) 土水圧分布の確認

有効応力解析による土水圧分布は、図2に示すとおりであり、局所的に過大な荷重が発生しないこと、ウエスタガード補正式による分布同様に2次曲線形状となることにより、**特殊な荷重分布とならないことを確認した。**

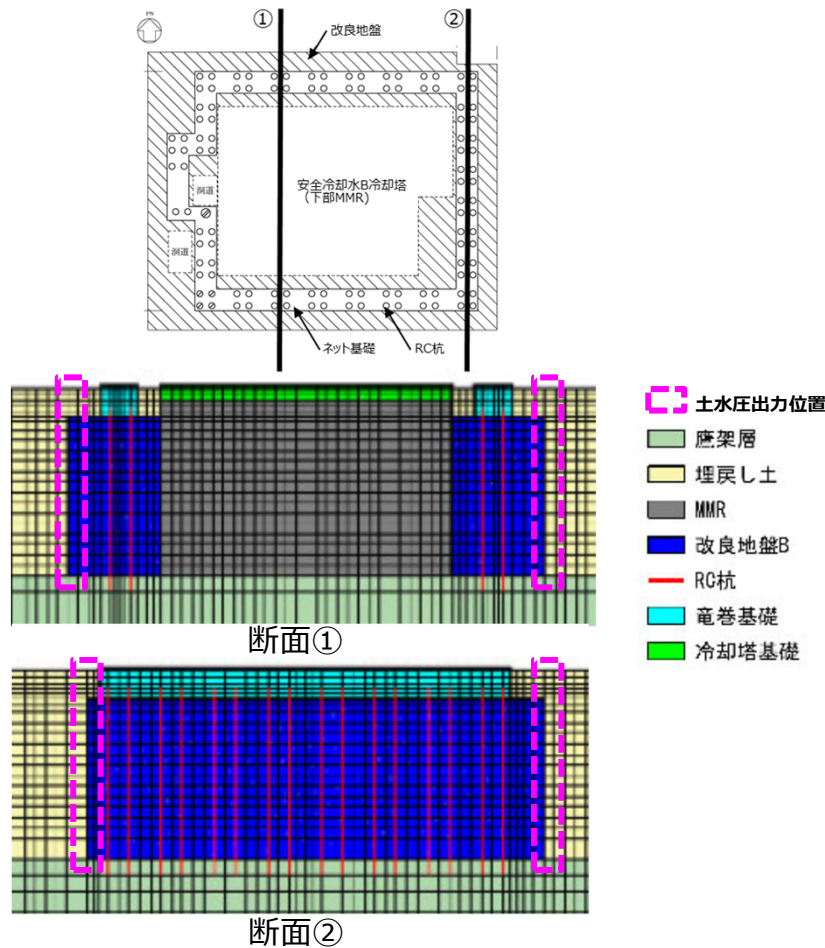


図1 有効応力解析モデルと土水圧算定位置

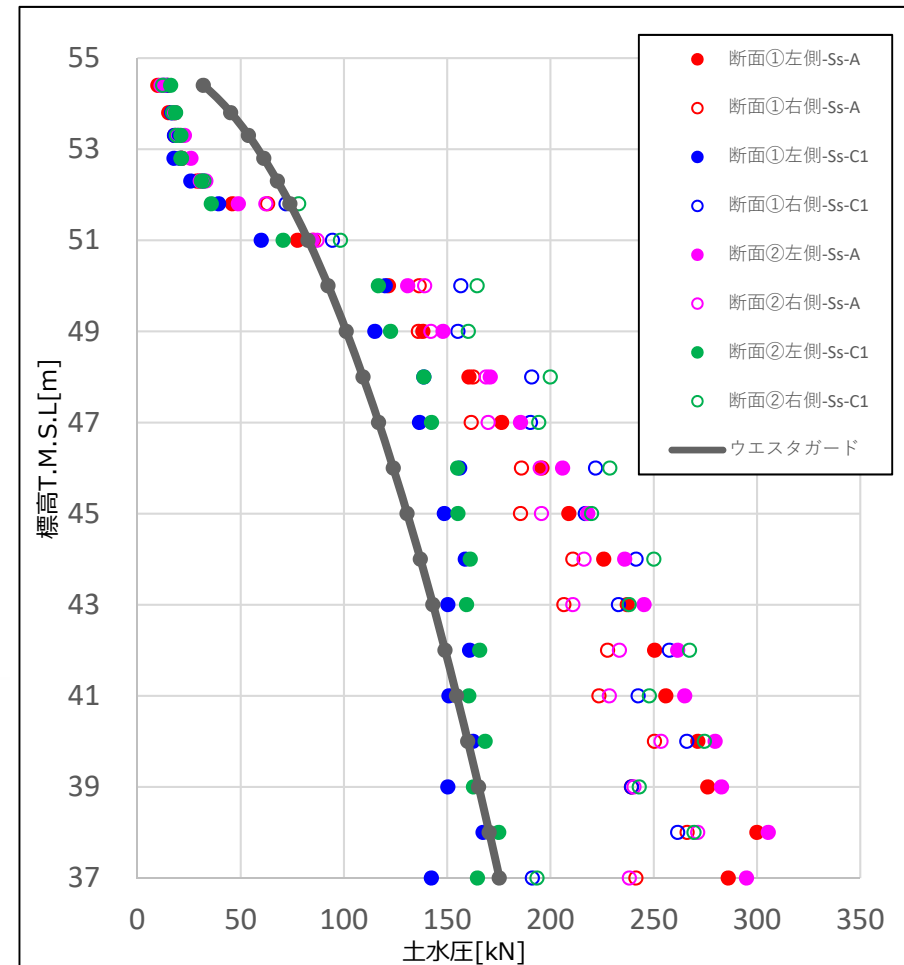


図2 有効応力解析による土水圧分布[kN]

②建物・構築物の設計用地下水位の設定

(3) 竜巻防護施設の液状化評価の有効応力解析による検証

(2) 側方土圧の妥当性検証

有効応力解析による土水圧とウエスタガード補正式による動水圧による土水圧分布により妥当性を確認する。

当初、ウエスタガード補正式により計算結果の最大値を高さ方向に一律設定する方針(Fa_1)であったが、有効応力解析結果を包含できるように係数「2.0」を乗じた値(Fa_2)を設計値とすることとした。

- ウエスタガード補正式による動水圧荷重 (Fa_1) $\xrightarrow{\text{当該部の面積}}$

$$P_1 = \beta \cdot 7/8 \cdot \gamma_b \cdot kh \cdot \sqrt{(Ha \cdot z)}$$

$$Fa_1 = P_{\text{Max}} \cdot Ba \cdot Ha$$

$$= 200 \times 1 \times 18 = 3600 \text{ [kN/m]}$$

- ウエスタガード補正式に係数「2.0」を乗じた動水圧荷重 (Fa_2)

$$P_2 = 2.0 \times P_1$$

$$Fa_2 = \int \beta \cdot 7/8 \cdot \gamma_b \cdot kh \cdot \sqrt{(Ha \cdot z)}$$

$$= 4693$$

γ_b : 埋戻土の単位体積重量 (18.3kN/m³)
 Ha : 埋戻土の高さ (18.5m)
 Za : 該当部の深さ (Haと同じとする)
 Ba : 動水圧分布を想定する幅 (∞)
 β : 幅と水深による係数 ($B'/H=\infty$ の場合、 $\beta=1.00$)
 Kh : 水平震度 (0.6 G)

- 有効応力解析による土水圧荷重 (Fa')

断面①、②において、Ss-A,C1による土水圧荷重に対して、荷重合計値が最大となる時刻の荷重を算定した。

荷重の最大値は、表1に示すとおり、Ss-A地震時に断面②の改良地盤左側に発生する土水圧荷重3477[kN/m]である。

$$Fa' = 3477 \text{ [kN/m]}$$

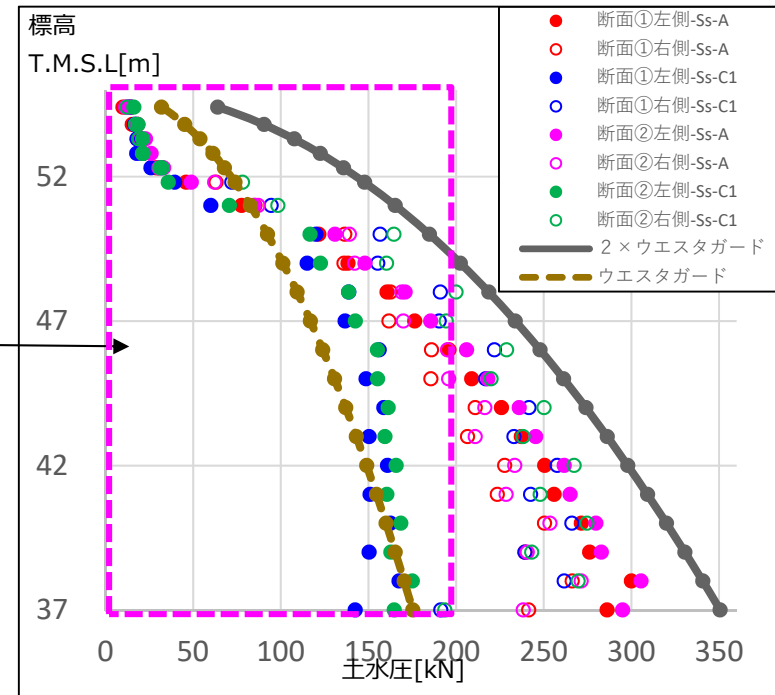


図2 有効応力解析による土水圧分布[kN/m]

表 有効応力解析による土水圧荷重[kN/m]

算定箇所		Ss-A	Ss-C1	最大
断面①	左側	3323	2252	3323
	右側	3089	3334	3334
断面②	左側	3477	2364	3477
	右側	3156	3431	3431
有効応力解析の最大値 (Fa')				3477
2.0×ウエスタガード補正式 (Fa_2)				4693

②建物・構築物の設計用地下水位の設定

安全冷却水B冷却塔の飛来物防護ネットの液状化評価のまとめ

■まとめ

安全冷却水B冷却塔の飛来物防護ネットの液状化影響評価の評価手法及びその適用性について確認した。

➤コメントNo.7に対して、液状化影響評価の評価手法について以下のとおり整理した。

- 波及的影響評価の観点は、安全冷却水B冷却塔の飛来物防護ネットの「損傷、転倒、落下、相対変位による接触（上部構造）」および「支持性能（基礎評価）」である。
- 液状化時に考慮すべき影響因子は、「地盤剛性低下」、「沈下・転倒」である。
- 側方土圧に対して、施設全体および杭の構造評価上の影響を確認することで波及的影響を及ぼさないことを示す。

➤コメントNo.8に対して、有効応力解析による結果により、特殊な土圧分布とならないこと（土水圧分布）を確認した。また、簡易手法として採用したウエスタガード補正式が有効応力解析の結果を包含できるよう係数を乗じた荷重設定とし評価の保守性を確保する。

③ 飛来物防護ネットの上部構造における耐震評価について

③飛来物防護ネットの上部構造における耐震評価について

(1) 飛来物防護ネットの構造概要

<全体構造概要>

飛来物防護ネットは、竜巻により生じる飛来物が冷却塔に衝突することを防止する機能を有しており、冷却塔全体を覆うように設置する。

飛来物防護ネットは、防護ネット、防護板及びそれらを支持する支持架構で構成され、支持架構は制振効果を持つ「座屈拘束ブレース」が用いられ、杭基礎により改良地盤及び鷹架層に支持される。(図1)

<座屈拘束ブレースの概要>

座屈拘束ブレースは、ブレース材として働く中心鋼材を鋼管とコンクリート（モルタル）で拘束し、座屈させずに安定的に塑性化するようにしたブレースである。中心鋼材とコンクリートの間には特殊な緩衝材（アンボンド材）を用いることにより、座屈拘束材（鋼管とコンクリート）には軸力が加わらない機構になっている。この組み合わせにより、引張・圧縮ともに同性状の安定した履歴特性を持つ制振ダンパー・耐震部材として使用できる。(図2)

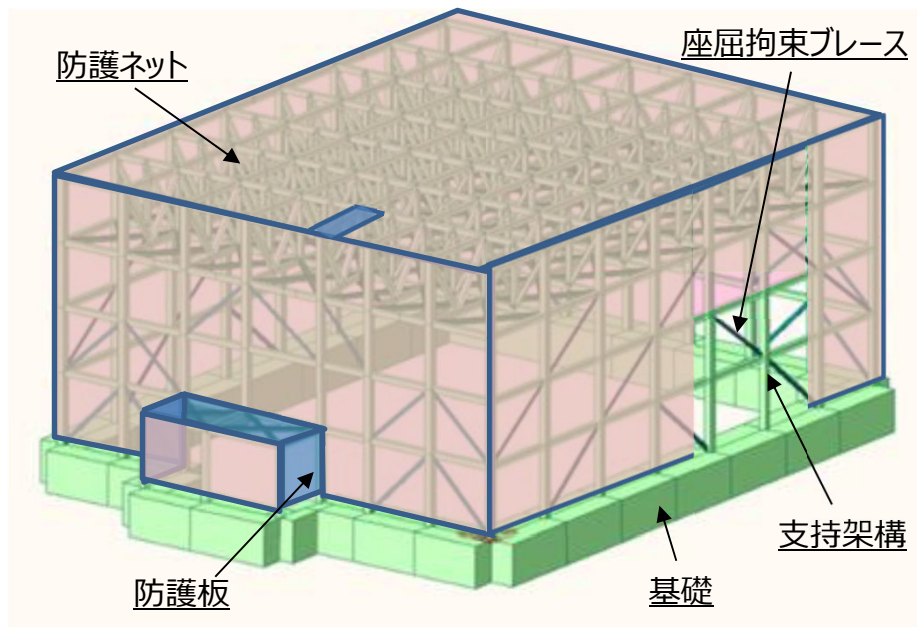


図1 飛来物防護ネットの概要図

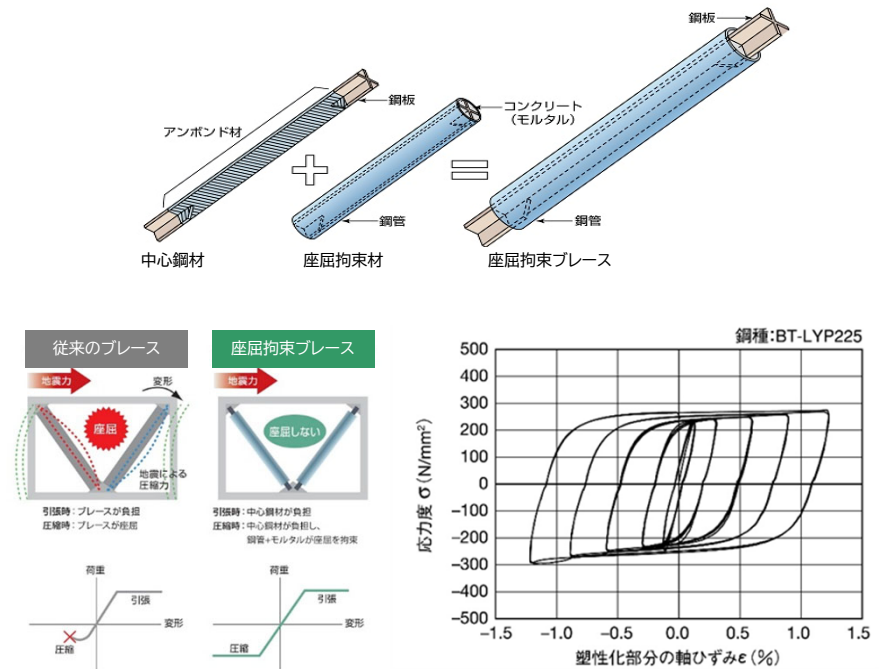


図2 座屈拘束ブレースの構成・性能

③飛来物防護ネットの上部構造における耐震評価について

(2) 飛来物防護ネットの耐震評価概要

<耐震評価概要>

耐震Cクラスである飛来物防護ネットの上部構造の耐震評価は、防護対象施設である冷却塔が上位クラスであることから、波及的影響を考慮し、冷却塔の設計に適用する地震動（基準地震動Ss）を用いて、以下の観点で実施する。

- 損傷、転倒及び落下による影響
- 相対変位による影響

飛来物防護ネットの耐震評価の概要について以下に示す。
また、耐震評価フローを図3に示す。

a. 地震応答解析

入力地震動の算定においては1次元波動論を用いることとし、地震応答解析には質点系モデルを採用する。また、飛来物防護ネットは堅固な地盤に支持されており、地盤と比べて質量や剛性が小さく、地盤との相互作用の影響が小さいため、解析モデルは基礎固定とする。なお、質点系モデルの適用性確認として、3次元FEMモデルを用いた動的解析を実施し、応答値の比較から質点系モデルの妥当性検証を行う。

b. 応力解析

応力解析においては、3次元FEMモデルを採用し、地震応答解析から得られる以下の応答値を用い、静的に応力解析を実施する。

- 水平方向：最大応答せん断力
- 鉛直方向：最大応答加速度

c. 相対変位による影響評価

地震応答変位を算出し、冷却塔に対する波及的影響がないことを確認する。

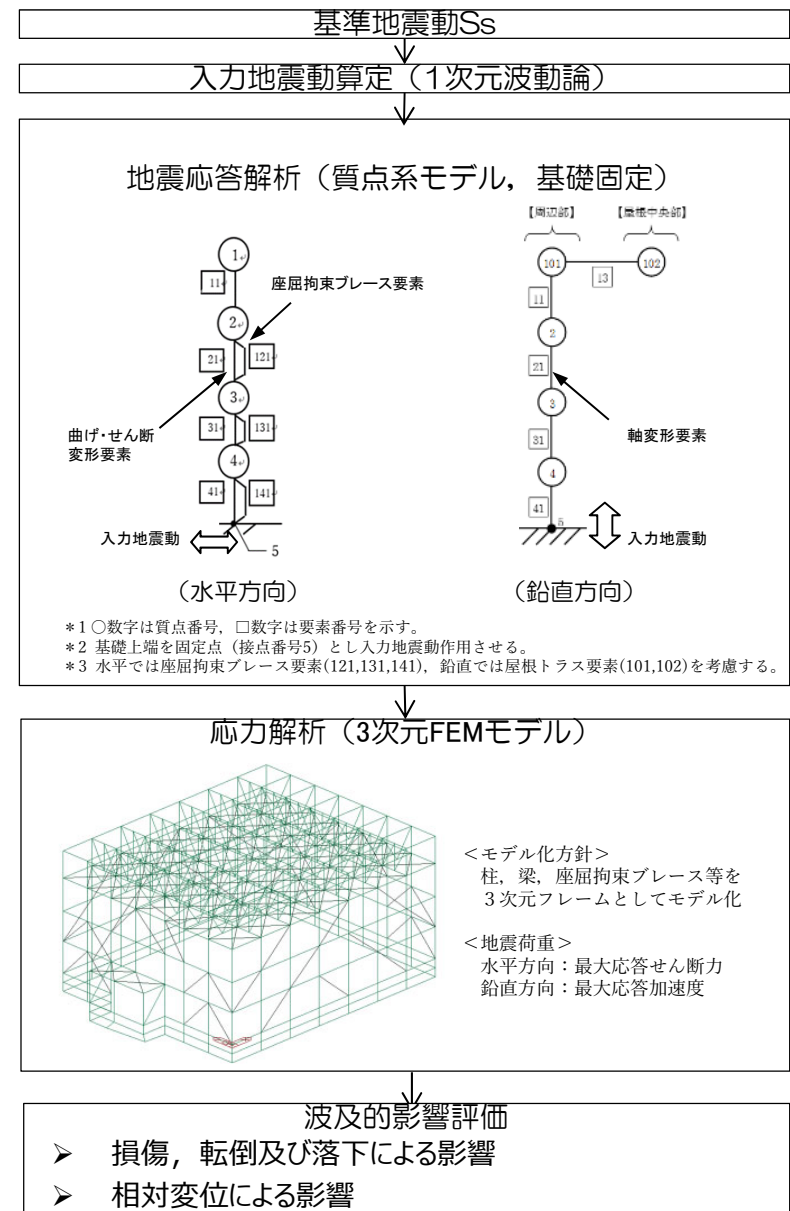


図3 耐震評価フロー