

再処理施設 廃棄物管理施設 MOX燃料加工施設

設工認申請に係る対応状況

令和 3 年12月17日

目次

1. 設工認申請に係る対応状況（全般事項）
2. 飛来物防護ネット架構の設計について

1. 設工認申請に係る対応状況（全般事項）

1. 設工認申請に係る対応状況（全般事項）

- **設工認申請書記載事項の整理、設工認申請対象設備の明確化**に関する資料について、資料間の記載内容の横並び調整や、事実確認でのコメント対応が適切でなかったことから、**提出資料の品質向上と審査・事実確認における対応力向上**を目的とし**改善策**を検討。
- 設工認対応の改善策として、以下を実施。
 - ✓ **再処理/MOXの部門横断的管理を実現する体制強化（設工認総括責任者の配置）**
 - ✓ **資料品質向上のための業務フローの見直し（レビュー方法の改善等）**
 - ✓ **各部署の対応力向上を目的とした社内外支援の充実（電力、社内プロフェッショナル）**
 - ✓ **コミュニケーションと作業性の向上を目的とした執務箇所の集約**
- 改善策を踏まえ、**設工認申請書記載事項の整理（共通06別紙1～6）、設工認申請対象設備の明確化（共通09別紙）**を完了にむけて、各資料の事実確認を実施。
 - ✓ コメントに対する横断的な対応方針を説明。今後、条文毎の特徴を踏まえた対応結果を確認いただくことで「**基本設計方針**」を**確定**していく。
 - ✓ 基本設計方針と申請対象施設を紐づける共通方針を説明。今後、代表設備を用いた網羅性の検証プロセスを確認頂き、展開することで**申請対象設備を確定**していく。
- 上記の作業にあたり、設備がコンパクトで迅速に資料対応できる**MOX燃料加工施設を先行**して事実確認を受け、その内容を**再処理施設に展開**することで、今後の補正申請にむけた作業を進めたい。

2. 飛来物防護ネット架構の設計について

2.1 波及的影響評価に対する設計の考え方（1/3）

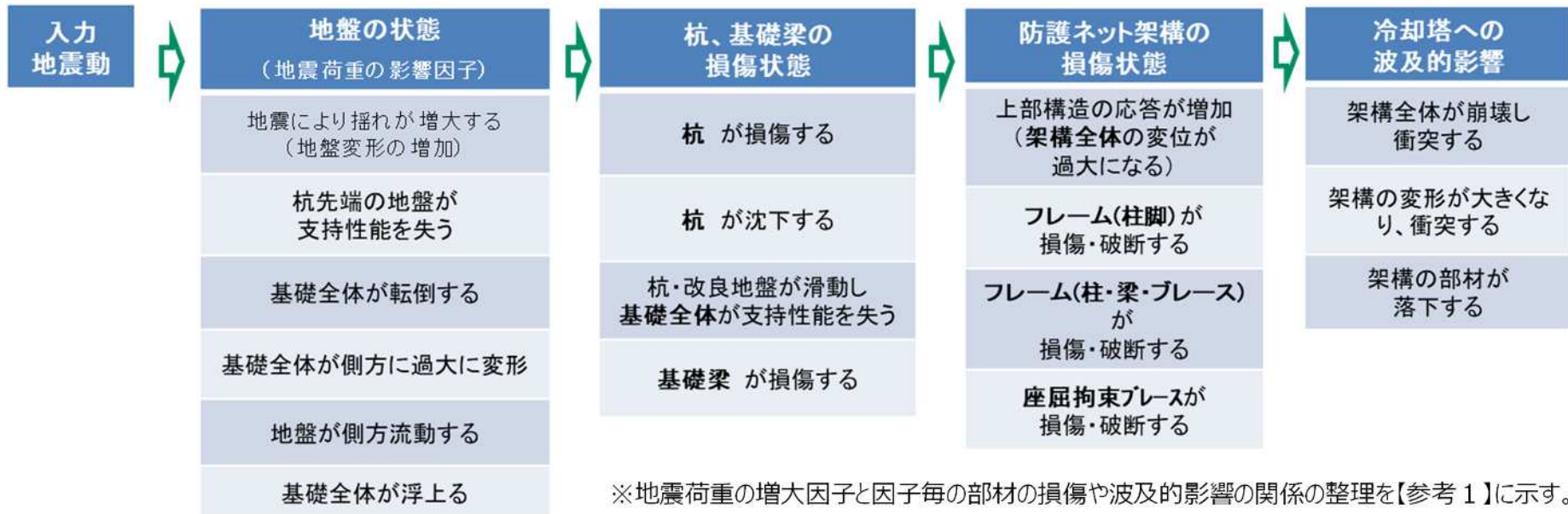
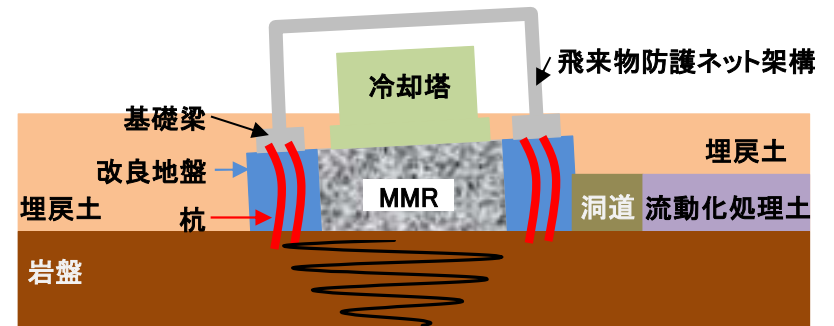
■ 波及的影響について

- 安全機能を損なわないよう安全冷却水 B 冷却塔へ飛来物防護ネット架構が波及的影響を与えない設計であること。
- 飛来物防護ネットの主な**構造部材**は以下で構成され、これらが**損傷すると**上部構造の支持性能を喪失し、波及的影響を与える。

- ① 杭
- ② 基礎梁
- ③ 上部架構フレーム
(柱・梁・ブレース・柱脚)
- ④ 座屈拘束ブレース



構造部材の
損傷を防ぐ
部材設計が必要



2.1 波及的影響評価に対する設計の考え方（2/3）

■ 設計における原則

- 設計においては**構造部材の損傷を防ぐ**ため実態に対して過小評価とならないよう、解析モデル・解析条件に保守性を持たせることが必要

■ 設計におけるポイント：杭を対象にして

- 地震時に杭が受ける外力は、地震力および、それが上部架構フレームに作用することによって発生する反力の2つで、最終的にこれらが作用することによって杭に生じる曲げ、せん断力、軸力を求め、これらが判定基準を満足することを確認する。
- この際、杭への外力の伝達機構を踏まえ、杭のどの部分に力が働くのが最も厳しいかを考え、地震荷重に影響する要素として、上部架構の応答および地盤の変形に着目する
- このため、上部架構の応答および地盤の変形に着目した解析モデルを構築し、応答値として地震荷重（層せん断力、加速度）および改良地盤の変形量を求め、それらを用いて上部架構の3Dフレーム解析等により杭に生じるせん断力等を求める。



「上部架構の応答」、「地盤の変形」

に着目して解析モデルを構築する。

2.1 波及的影響評価に対する設計の考え方（3/3）

■ 解析モデル構築の考え方

- 応答値を求めるための解析モデルとして、原子力発電所において実績を有する詳細モデル（以下、「検証用モデルという。）に代えて、検証用モデルと同等の科学的合理性を有し、かつ、検証用モデルに対して保守性を有する設計モデルを構築する。
- まず、設計モデルと検証用モデルとを比較し、検証用モデルに対して合理化したメッシュサイズ等について検証用モデルと同等の科学的合理性を有することを確認する。
- 次に、設計モデルが検証用モデルに対して保守性を有することを確認する。
- 上部架構の応答および地盤の変形に着目した場合、地震荷重は周辺地盤による拘束効果及び地盤の剛性による影響を受けることから、設計モデルの拘束効果および地盤の剛性の2つの条件が保守的な結果を与えることを確認する。
- 拘束効果については、埋設構造物による拘束効果を低下させる条件を設定する。
- 地盤の剛性は、液状化の有無によって変化することから、最大の地震荷重を与える液状化の状態を想定する。

2.2 評価に用いる解析モデル

- **設計モデルの妥当性**（実際の挙動を適切に模擬できること）は、施設周辺の状況をより細かくモデル化した**検証用モデル**と各項目ごとに比較し、設計モデルにおける応答値が検証用モデルの応答値とほぼ同等な値となっていることをもって確認する。

内容		設計モデル	検証用モデル
解析モデル			
保守性を付与	地中部拘束効果	洞道、流動化処理土を 考慮しない	洞道・流動化処理土を 考慮する
	杭	モデル化しない	モデルに考慮
	改良地盤幅	基礎梁と同幅でモデル化（実寸より小さい）	実寸でモデル化
	MMR	考慮しない	実情に合わせて考慮
モデルの合理性 確認項目	保証する周波数	13Hz以下 （メッシュ数：約 500 ）	20Hz以下 （メッシュ数：約 10,000 ）
	上部構造	考慮する（1軸モデルのみ）	考慮する（1軸モデル、 門型モデル ）
	検討断面	2断面 （NS断面、EW断面）	4断面 （NS・EW断面 × 中央・端部）
	接触剥離	考慮しない	考慮する
	モデル寸法	<ul style="list-style-type: none"> 周辺地盤のうち粗粒砂岩（厚さ0.37m）を考慮しない 基礎高さは地盤高さに合わせる（T.M.S.L.55.0m） 	<ul style="list-style-type: none"> 周辺地盤のうち粗粒砂岩（厚さ0.37m）を考慮する 基礎高さは実際の高さ（T.M.S.L.55.3m）

※上部構造のモデル化の際に、T.M.S.L.55.0～55.3mに剛梁をモデル化することで詳細なモデルと整合させる

2.3 モデル妥当性の確認

■ モデルの妥当性の確認

論点①：モデルが科学的合理性を備えていることを確認する。

論点②：設計の保守性を確保するため、作成したモデルにより、

その1 埋設構造物による**拘束効果**を低下させることで保守的な結果を与えることを確認する。

その2 最大の地震荷重を与える液状化の状態(**剛性変化**)が設計荷重となっていることを確認する。



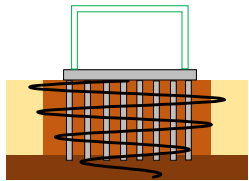
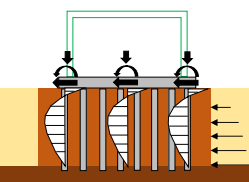
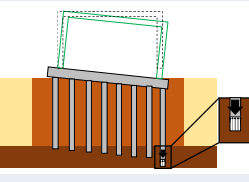
作成したモデルの科学的合理性、保守性が確認できれば

設計モデルとして波及的影響の評価を行うことが可能

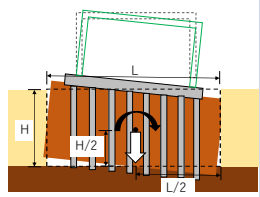
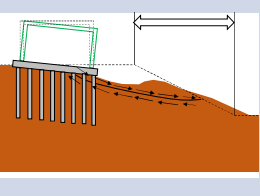
以降 参考 資料集

【参考 1】 地震起因による影響因子と波及的影響の関係 1 / 2

過去の液状化時の被害事例から抽出した影響因子（以下、①～⑥）に対して、部材の損傷状況と冷却塔への波及的影響の関係を整理した。

因子	イメージ図	状態	損傷を受ける部材	部材の損傷状況	冷却塔への波及的影響
① 地盤剛性低下		上部応答が増大する	フレーム (柱・梁・柱脚)	フレームに発生する応力（曲げ、軸力、せん断）が、許容値を超え 変形・破断 する	変形が大きくなりフレーム部材が冷却塔に接触 フレームが破断し冷却塔に落下
			ブレース	ブレースのひずみが許容値を超え、 エネルギー吸収能力を喪失 したり、最終的には 破断 する	ブレースの性能が喪失し、フレームの変形が大きくなり、フレームが冷却塔に接触・落下
		杭に大きな応力が生じ、支持性能を失う	杭	杭に発生する応力（曲げ、軸力、せん断）により、杭が破壊し、基礎梁を支持出来なくなり、 基礎梁が傾く	※基礎梁の損傷を誘発 ↓
			基礎梁	部材に発生する応力（曲げ、軸力、せん断）により、基礎梁が損傷し、 フレームを支持出来なくなる 。	※上部架構の損傷を誘発 ↓
② 沈下		杭の先端の支持地盤の支持性能を失う	杭・基礎梁	杭の先端の鉛直力が増加し、地盤の支持力を超えると杭が沈下し、 基礎梁が傾く	※上部架構の損傷を誘発 ↓
			上部架構	基礎の傾斜に伴い、 上部架構も傾く	上部架構が冷却塔へ接触

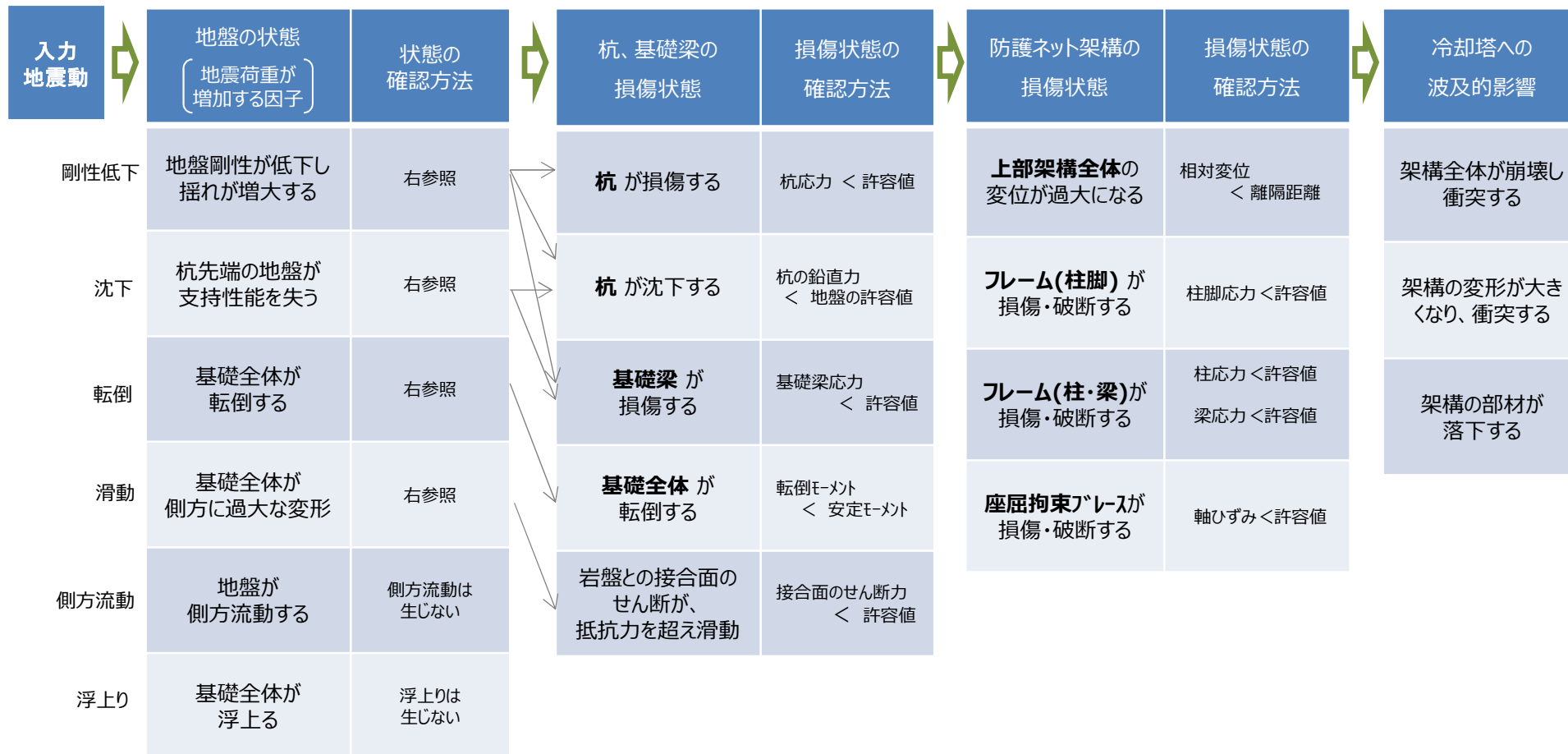
【参考 1】 地震起因による影響因子と波及的影響の関係 1 / 2

因子	イメージ図	状態	損傷を受ける部材	部材の損傷状況	冷却塔への波及的影響
③ 転倒		基礎全体が大きく傾く	杭・基礎梁	杭の 引抜 や 沈下 が生じて、 基礎梁が傾く 改良地盤の回転モーメントが大きくなり 基礎が傾く	※上部架構の損傷を誘発
			上部架構	基礎の傾斜により、 上部架構も傾く	↓ 上部架構が冷却塔へ接触
④ 滑動		基礎全体が側方に過大に変形	杭・基礎梁	杭に大きなせん断力が生じて、 杭が破断 して 基礎梁の支持性能を失う、 基礎梁が傾く	※上部架構の損傷を誘発
			上部架構	基礎の傾斜により、 上部架構も傾く	↓ 上部架構が冷却塔へ接触
⑤ 側方流動		周辺地盤が側方に流動	施設全体	施設の設置されている場所は、高低差ある法肩から100m以上、離れていることから 側方流動は生じない （道路橋示方書より）	—
⑥ 浮上り		基礎全体が浮上る	施設全体	施設は岩盤に支持されていることから、施設の下 方では液状化が生じないことから、液状化に伴う 浮上りは生じない。	—

【参考2】設計対象の明確化

架構、杭、基礎梁、地盤の状態と設計対象の関係 1 / 2

地震荷重が増加する因子が作用して、冷却塔に波及的影響が及ぶ際の流れを、地盤の状態、杭、基礎梁、上部架構に着目し整理する。また、合わせて損傷状態の確認方法を示す。



【参考2】設計対象の明確化

設計対象の整理 2/2

前ページまでの整理をまとめると 下記、設計対象の**構造部材の損傷**が、冷却塔へ波及的影響を与えることから、波及的影響評価では下記の**構造部材に着目**した評価を実施する。

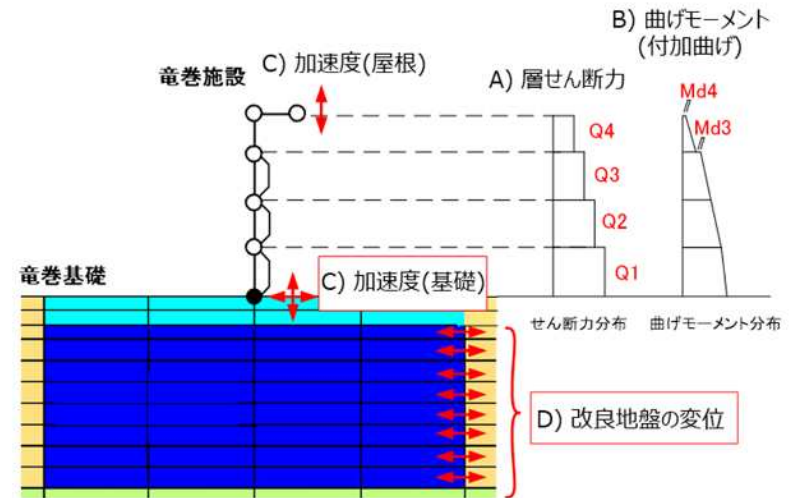
設計対象 (構造部材)		波及的影響を与えるか 否かの確認の観点	損傷の確認方法
基礎	杭	損傷	杭 応力 (軸力+曲げ、せん断) < 許容値
		沈下	杭の鉛直力 < 地盤 (岩盤) の極限支持力
	基礎梁	損傷	基礎梁 応力 (曲げ、せん断) < 許容値
	杭と改良地盤 (基礎全体)	滑動	接合面のせん断力 < 岩盤接合面における 杭と改良地盤のせん断抵抗力
		転倒	転倒モーメント < 自重 (改良地盤を含む) による安定モーメント
架構	架構全体	過大な変位	相対変位 < 冷却塔と架構との離隔距離
	フレーム (柱脚)	損傷、破断	柱脚 応力 (軸力+曲げ、せん断) < 許容値
	フレーム (柱・梁)	損傷、破断	フレーム 応力 (軸力+曲げ、せん断) < 許容値
	座屈拘束ブレース	損傷、破断	軸ひずみ < 許容値

【参考3】 判定指標の明確化

■ 保守性・妥当性を確認する判定指標

➤ 構造部材の設計に用いる P23～25の ■ 部の値は、同頁の赤字で示した、下記のインプット値（地震荷重）の大小に比例して算定される。

- 上部構造全層の層せん断力
- 屋根部の付加曲げ
- 加速度(屋根部・基礎上端)
- 改良地盤の変形量(全深さレベル)



- インプット(地震荷重) が大きければ、当然評価結果も大きくなる。
- 構造部材の設計の保守性は、上記の地震荷重の値を判定指標として比較する。

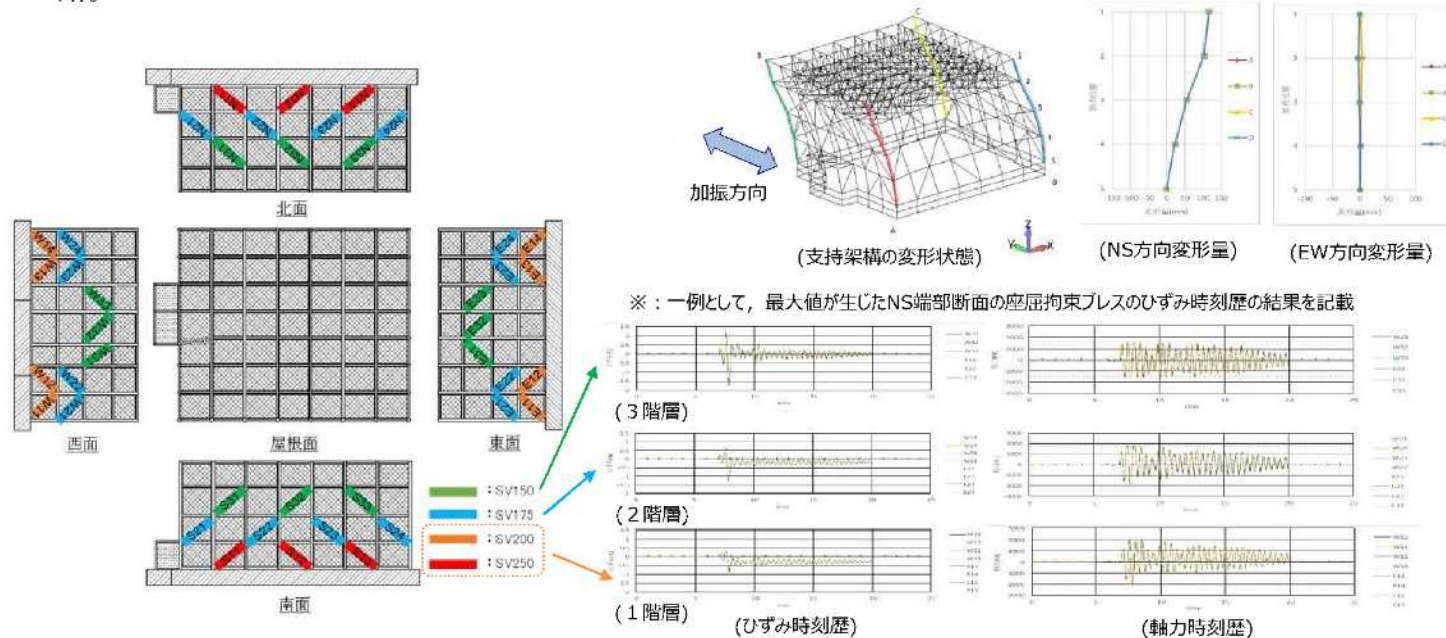
【参考4】 評価に用いる解析モデル

【上部架構のモデル化に関する補足】

2. 2 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット架構の耐震評価 (8) 上部架構の設計の妥当性

令和3年10月12日 審査会合資料

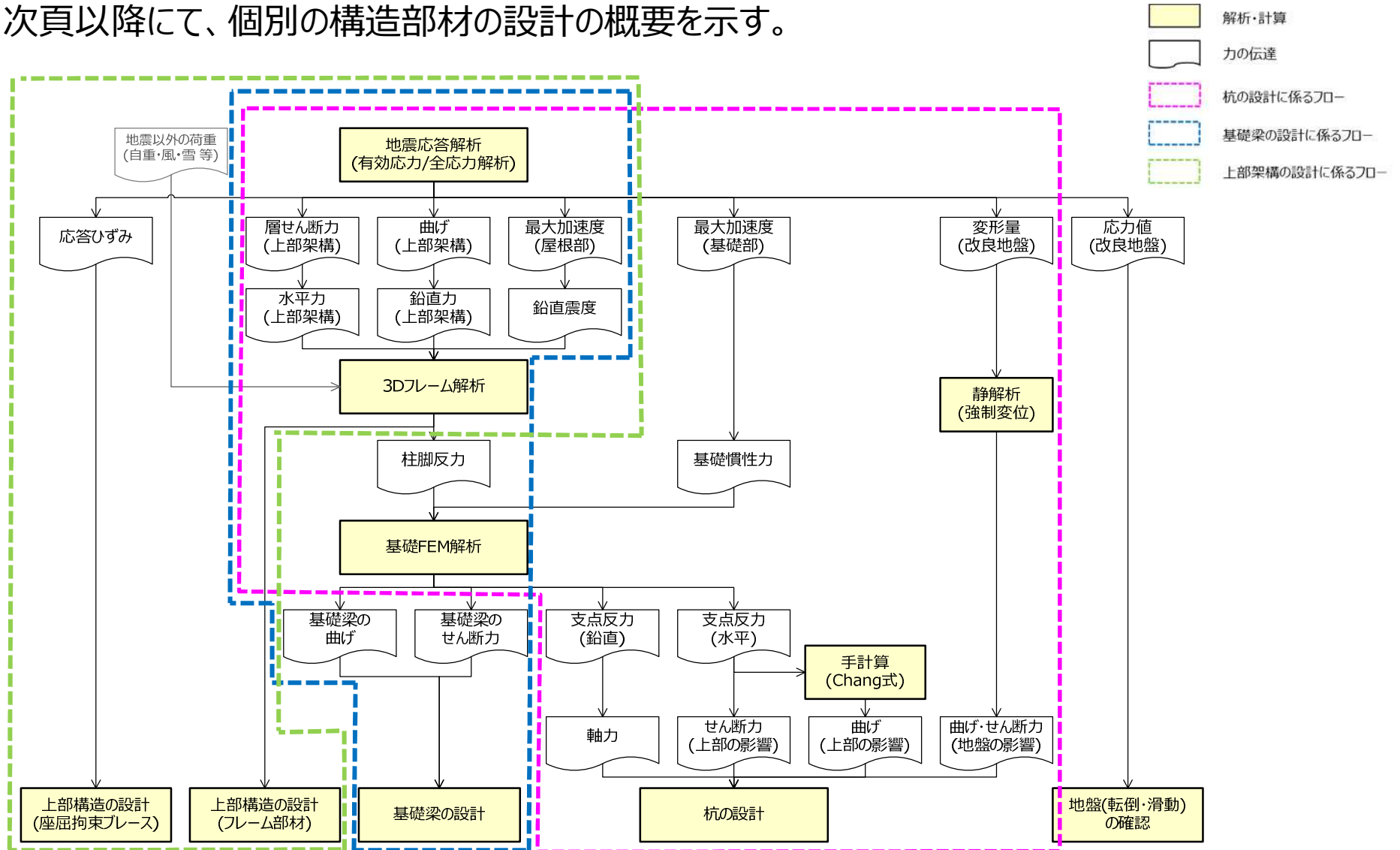
- 非液化化時の評価においては、一次元波動論から得られる基礎上端の応答加速度を用いて、三次元フレームモデルで座屈拘束ブレースの時刻歴波形（軸力、ひずみ）を層ごとの重ね書き及び隅柱の最大変形の比較により、上部架構が各層一体で応答していることを確認。
- 液化化時の評価においても、有効応力解析から得られる基礎上端の応答加速度を用いて、上記と同じ比較を実施※し、上部架構が各層一体で応答していることを確認。
- 以上のことから、非液化化時及び液化化時共に、架構の設計として適切と判断。



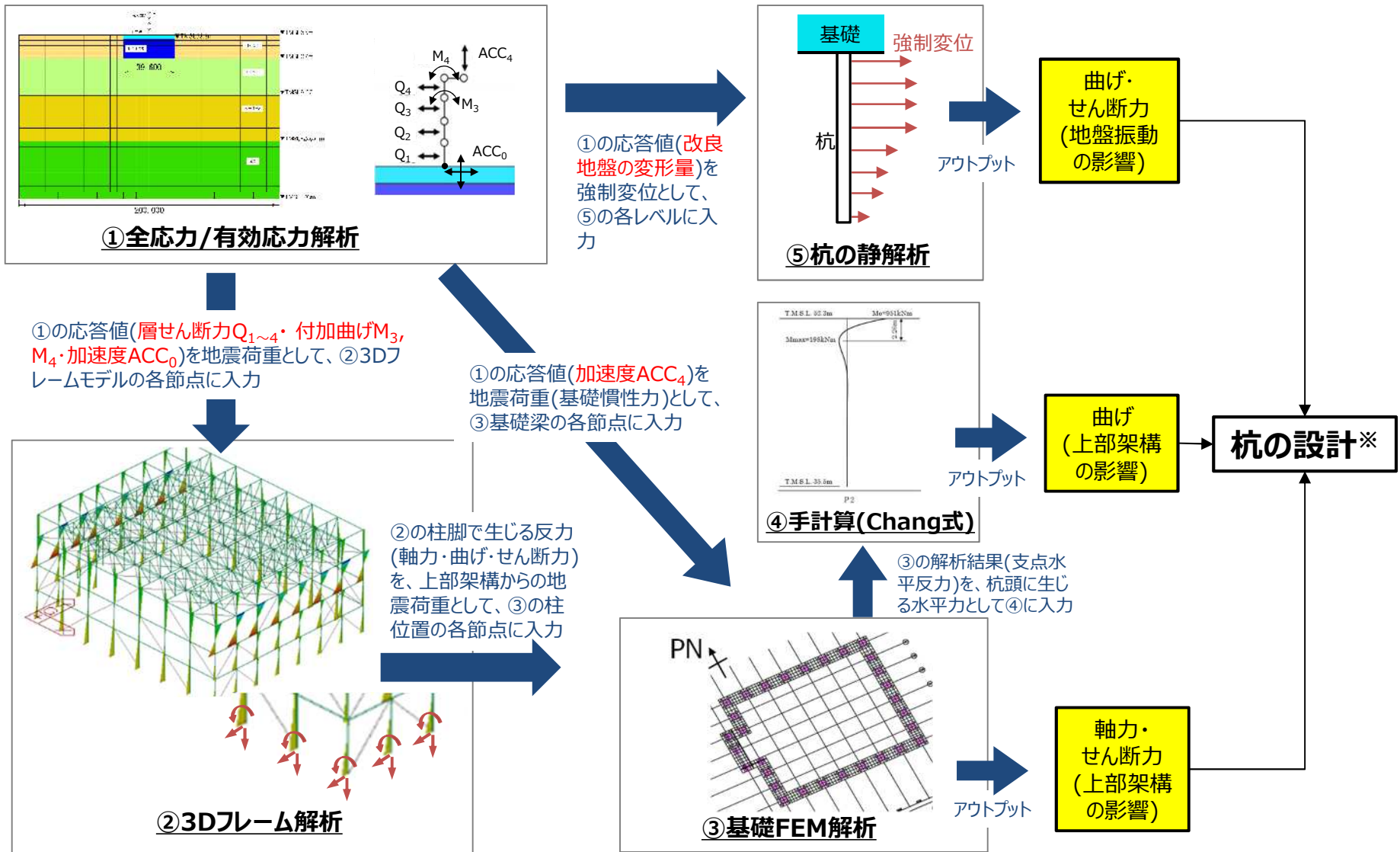
⇒ 層ごとの変形性能を剛性として反映した「質点系モデル」を構築し、耐震評価を合理的に実施。

【参考5】 構造部材の設計： 設計フロー 1 / 4

波及的影響評価において、着目すべき**構造部材**の設計フローを以下に示す。
 次頁以降にて、個別の構造部材の設計の概要を示す。



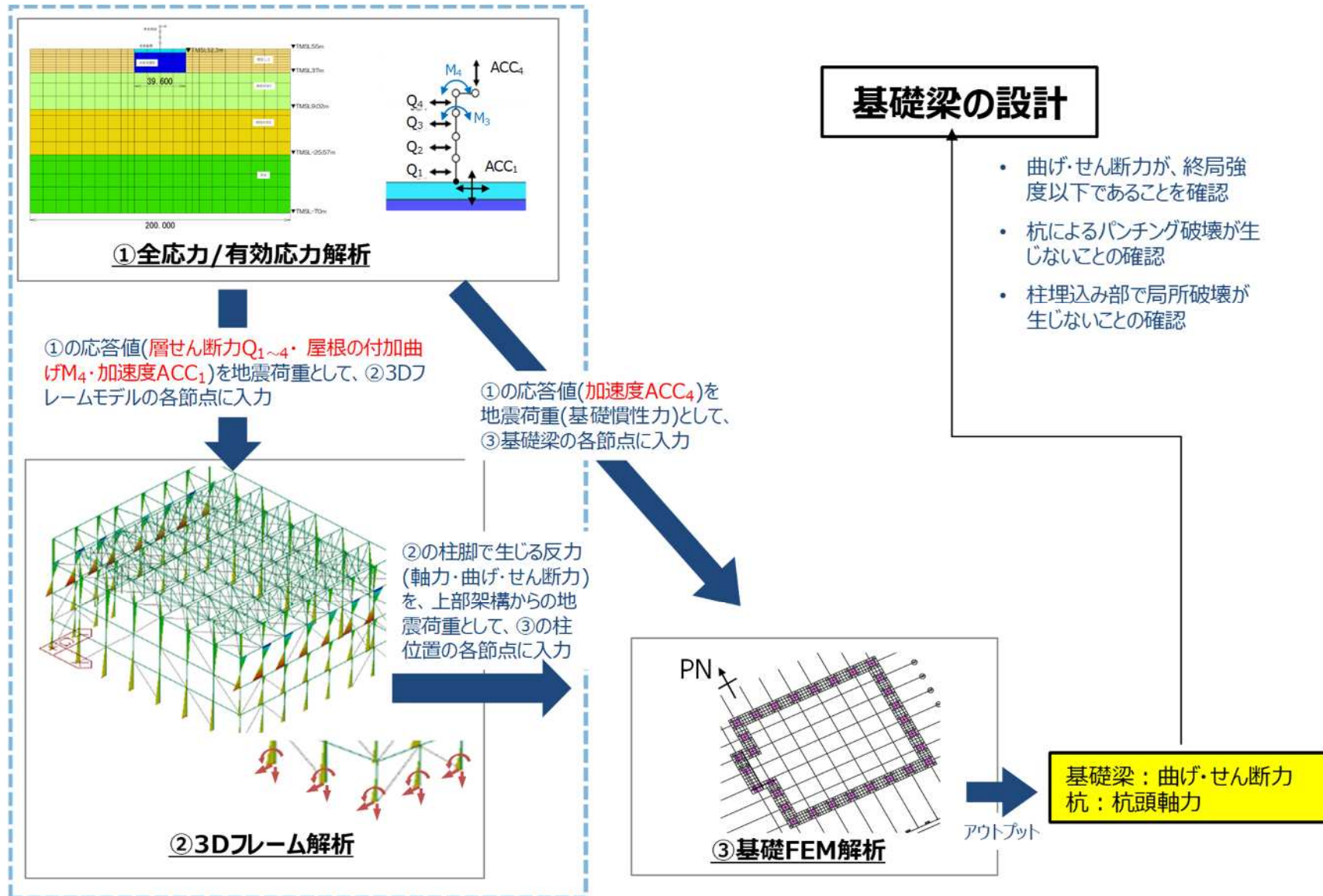
【参考5】 構造部材の設計： 杭の設計の模式図 2/4



注) 赤字は、②～⑤の解析で使用するインプット（地震荷重）

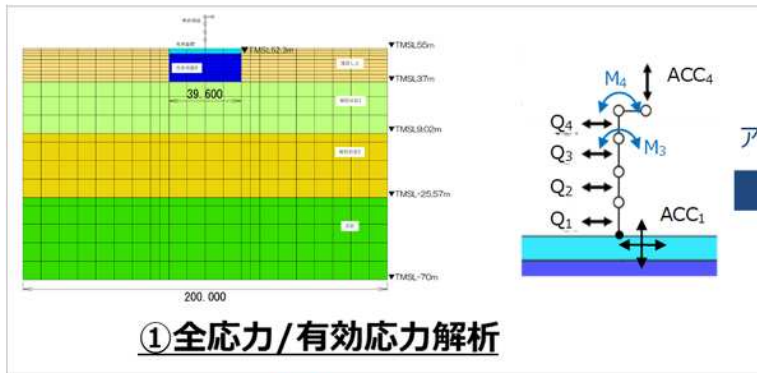
- ※杭の設計においては以下の判定基準にて確認する。
- RC製の杭体に生じる応力が、終局強度以下
 - 杭に生じる圧縮軸力が、地盤の終局鉛直支持力以下
 - 杭に生じる引張軸力が、地盤の終局引抜き抵抗力以下

【参考5】 構造部材の設計： **基礎梁**の設計の模式図 3/4

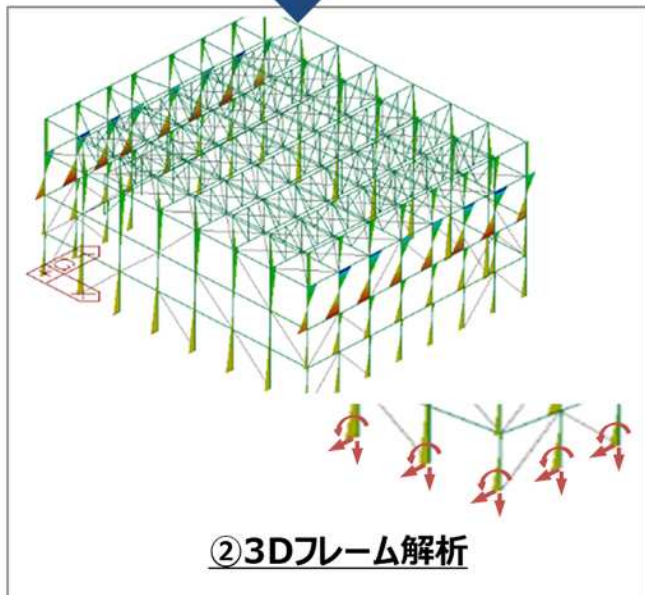


注) 赤文字は、③の解析で使用するインプット（地震荷重）

【参考5】 構造部材の設計： 上部架構の設計の模式図 4/4



①の応答値(層せん断力 $Q_1 \sim 4$ ・屋根の付加曲げ M_4 ・加速度 ACC_1)を地震荷重として、②3Dフレームモデルの各節点に入力



アウトプット

座屈拘束ブレースの応答ひずみ

※ 疲労評価のため、ひずみ値は時刻歴データを使用

座屈拘束ブレースの設計

- 最大発生ひずみの値が、評定書記載値以下であることを確認
- ひずみによる疲労係数が試験値(メーカー資料)以下であることを確認

アウトプット

軸力・曲げ・せん断力

フレーム部材の設計

- 軸力・曲げ・せん断力が、鉄骨部材の終局強度以下であることを確認

注) 赤文字は、②の解析で使用するインプット (地震荷重)

【参考6】論点①：設計モデルの科学的合理性（1/2）

設計モデルは、科学的合理性を確保するため、以下の設定としており、**検証用モデルから合理化した部分**について妥当性の確認を行う。

モデルの設定項目	設定の考え方	合理化の有無
メッシュサイズ	地中を伝搬する波はメッシュ分割に影響を受けるため、深さ方向のメッシュ分割は、上部構造の固有振動数とメッシュサイズの関係から施設の振動特性に対応した入力波を適切に評価できるように、表層地盤では最大2.0mとする（JEAC4601-2008より）。	有
モデル幅	モデル境界からの影響を低減するため施設の5倍以上とする（JEAC4601-2008より）。	同等
モデル高さ	基準地震動の入力位置である解放基盤面(T.M.S.L.-70.0m)～地表面(T.M.S.L.55.0m)を対象とする。	同等
検討断面	施設のNS/EW各方向の幅の相違による地震応答の影響を適切に評価するため、NS/EWの2断面をモデル化対象とする。	有
上部架構	施設の振動特性を適切に考慮するため、上部架構-基礎-地盤を一体で評価し、上部架構は質点系モデルとする。 ここで、フレーム部は線形梁要素、座屈拘束ブレースは非線形バネ要素とする。	同等
接触剥離要素	液状化時は埋戻土の剛性がほぼゼロとなり、接触剥離の影響は小さいという考えから、構造物と地盤の境界面に対し、接触剥離は考慮しない。	有
モデル寸法	実際の形状と実状とわずかに差異はあるが、この差異の影響は小さいという考えから、メッシュサイズ(2.0m)以下の形状はモデルに反映しない（粗粒砂岩（厚さ0.37m）を考慮しない、基礎高さを地盤高さに合わせる）。	有

【参考6】論点①：設計モデルの科学的合理性（2/2）

設計モデルの検証モデルから合理化した項目について、以下の方法により科学的合理性を確認する。

項目	確認方法	確認結果の詳細
メッシュサイズ	最大のメッシュサイズ(伝搬する波の特性に影響を与える)と架構の周期を比較し、施設の振動特性に対応した入力地震動を適切に評価できることを確認する。	【参考9】
検討断面	検証用モデルを用いて端部、中央で切り出したモデルとの比較を行い同等の地震荷重となることを確認する。	【参考10】
接触剥離要素	設計モデルとそこから改良体・基礎梁の外周に接触剥離を考慮したモデルとの比較を実施し、地震荷重が同等となっていることを確認する。	【参考11】
モデル寸法	メッシュサイズ(2.0m)以下の形状はモデルに反映しないことに対して ①粗粒砂岩の有無→1次元土柱モデルを用いて粗粒砂岩の有無のモデルを作成、両者を比較し、地震荷重が同等となっていることを確認する。 ②基礎高さの差異において、実態と30cmの差異があるが、その分セットバックして剛梁を設けることで等価な設定としている。	【参考12】

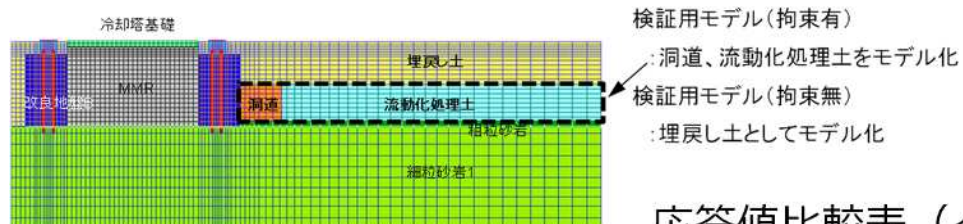
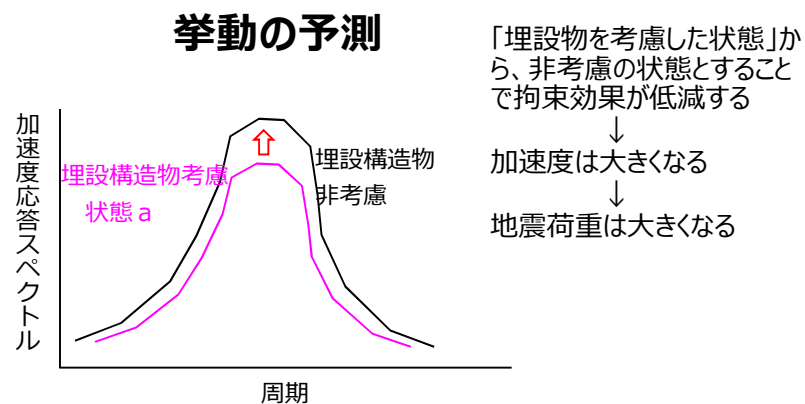
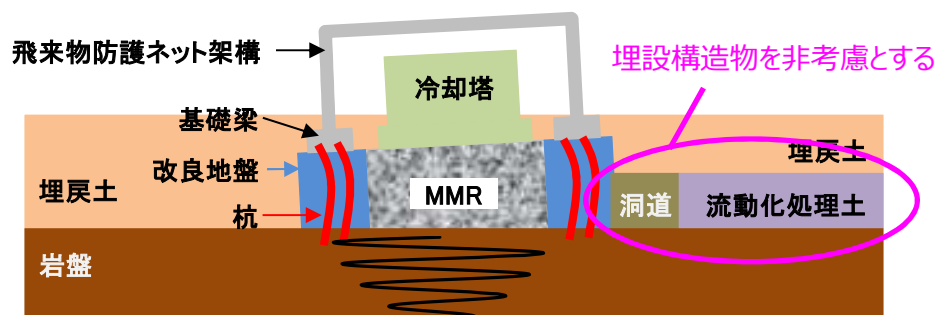
以上の項目について、設計モデルを確認することにより科学的合理性があることを確認した。

【参考7】論点②：設計モデルの保守性（その1：拘束効果）（1/2）

（埋設構造物による拘束効果をなくすことによる保守性の確認）

■ 目的

- 埋設構造物による**拘束効果**が水平方向の**地震荷重**を小さくすると考えられることから、設計モデルでは埋設構造物をモデルに組み込まないことで、応答値に**保守性**を与えると想定。
- **上記の影響は、**検証用モデルを用いて非液化化/液化化時の状態で確認する。



応答値比較表（イメージ）

検討ケース	モデル	A)層せん断力 (上部架構)	B)曲げ (上部架構)	C)最大加速度 (基礎・上部架構)	D)変形 (改良地盤)	E)応答値 (改良地盤)	F)応答 ひずみ
埋設構造物を非考慮	検証用モデル(拘束無)	大	大	大	大	大	大
状態 a	検証用モデル(拘束有)	小	小	小	小	小	小

※検討ケースとパラメータについては【参考10】に示す。

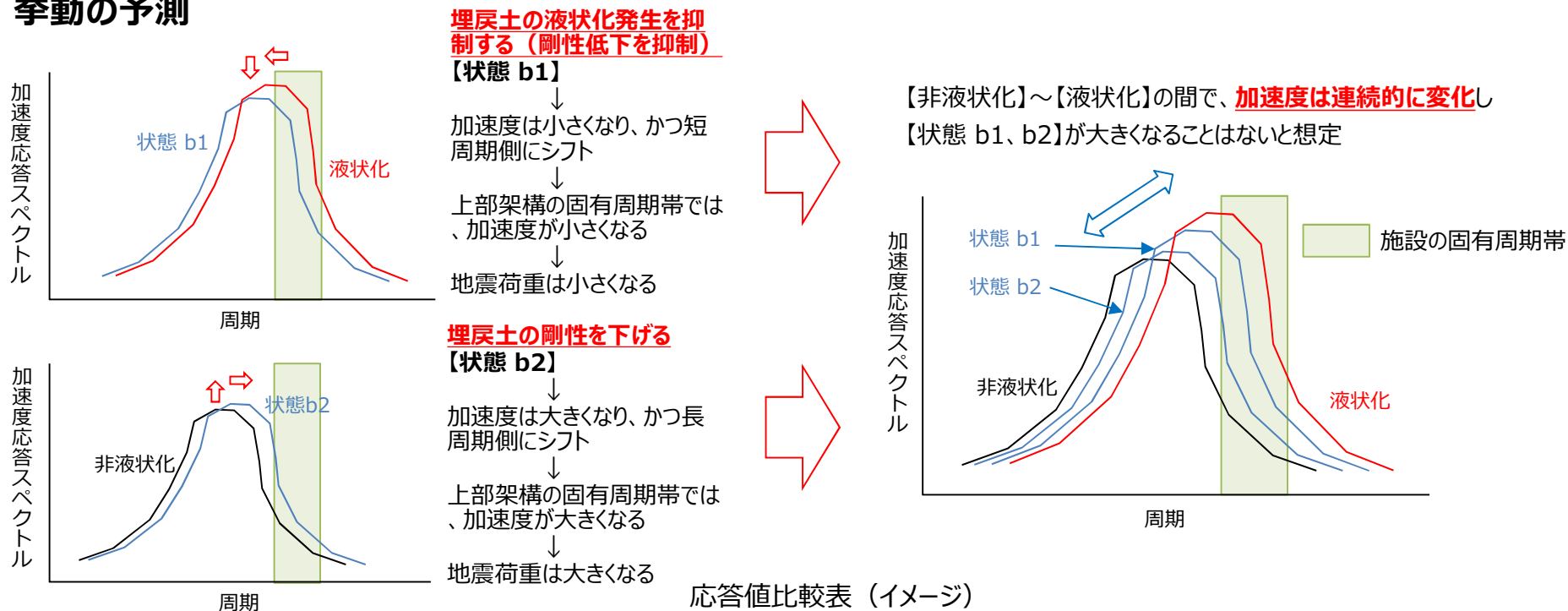
【参考7】論点②：設計モデルの保守性（その2：地盤の剛性）（2/2）

（非液状化～液状化の中間的な状態の応答が最大とならないことの確認）

■ 目的

この施設では埋戻土の**剛性変化**に伴い埋戻土による拘束効果が変わり、**地震荷重は【非液状化】で最小、【液状化】で最大**となると考えられる。非液状化/液状化の**【中間状態】**において、地震荷重が最大とならないことを確認する。

挙動の予測



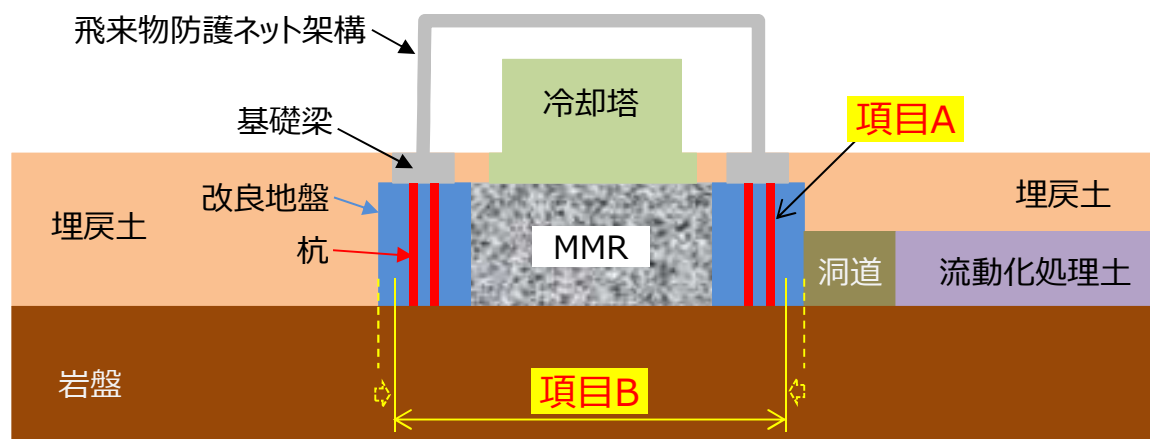
検討ケース	モデル	A)層せん断力 (上部架構)	B)曲げ (上部架構)	C)最大加速度 (基礎・上部架構)	D)変形 (改良地盤)	E)応答値 (改良地盤)	F)応答 ひずみ
液状化	設計モデル	大	大	大	大	大	大
状態 b1	設計モデル	中に収まることを確認					
状態 b2	設計モデル						
非液状化	設計モデル	小	小	小	小	小	小

※検討ケースとパラメータについては【参考10】に示す。

【参考8】設計モデルのその他の保守性

解析モデルは、設計の保守性を確保するため、埋設構造物以外に、その他として以下の点を考慮する。

項目	モデル化で考慮する点	効果	確認方法	確認結果の詳細
A	杭をモデル化しない → 杭を無視し、杭の剛性・根入れを非考慮とし、剛性の低いモデル化	拘束効果が低下し、水平方向の地震荷重が大きくなる	設計モデルとそれに杭を考慮したモデルを作成、両者を比較し、設計モデルの地震荷重が大きいことを確認する。	【参考13】
B	改良地盤の幅を基礎梁の幅に合わせて小さくする	改良地盤の「高さ/幅」が大きくなることでロッキング挙動が起きやすくなり、地震荷重が大きくなる	設計モデルとそれに改良地盤の幅を実際の幅に拡張したモデルを作成、両者を比較し、設計モデルの地震荷重が大きいことを確認する。	【参考16】



【参考9】

モデルのメッシュサイズ

■ 設定の目的

地中を伝搬する波はメッシュ分割に影響を受けるため、設計モデルのメッシュサイズは上部架構の振動特性を踏まえ、必要な周期帯（13Hz※¹以下）が評価できるサイズとした。

■ モデル化の妥当性（根拠・見通し）

- ① 地盤の最小せん断波速度: $V_s = 150 \text{ m/s}$ ※²(埋戻し土)
- ② 評価対象施設の振動数: $f = 13 \text{ Hz}$

上記①②より、下式により最小メッシュを算定（JEAC4601-2008より）

$$\text{mesh size} \leq \frac{1}{5} \frac{V_s}{f_{max}} \quad V_s \text{ と } f_{max} \text{ は地盤のせん断波速度と数値解析の精度を保證する周波数}$$

$V_s = 150 \text{ m/s}$ の地盤において、13Hzの地震動が表現できるように1メッシュの大きさを $2.3 \text{ [m]} (= 150 \text{ [m/s]} / 5 / 13 \text{ [Hz]})$ 以下と設定していることから、メッシュのサイズは適切であり、上部架構の振動特性に対応した入力波を評価可能と考える。

※1：有効質量の約99%を占める3次振動数(NS:12.36Hz,EW:12.53Hz)以上の数値として、13Hzを採用。

(13Hz以上の高振動が影響する部位・機器はない)

※2：地盤安定性評価での埋戻し土の V_s の最低値

【参考10】 1 / 2

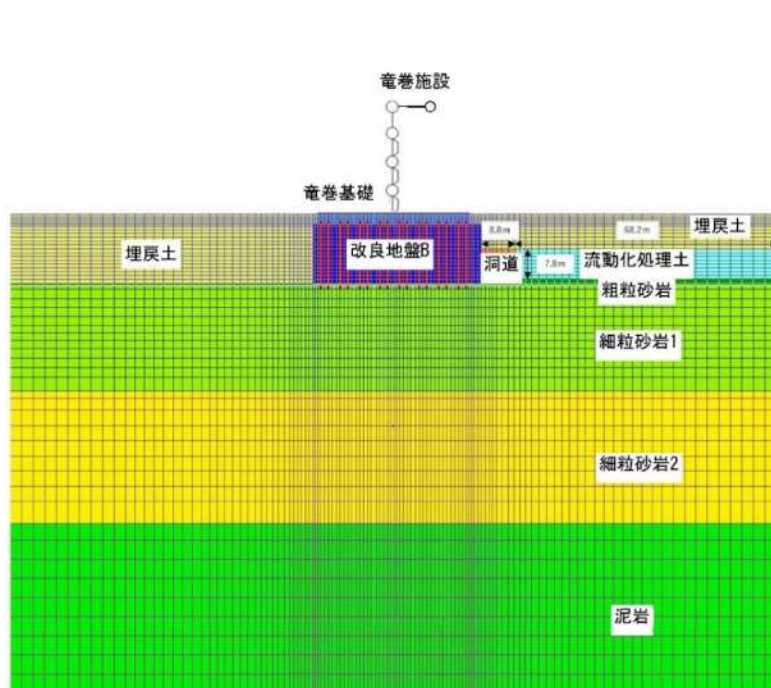
検討断面

■ 設定の目的

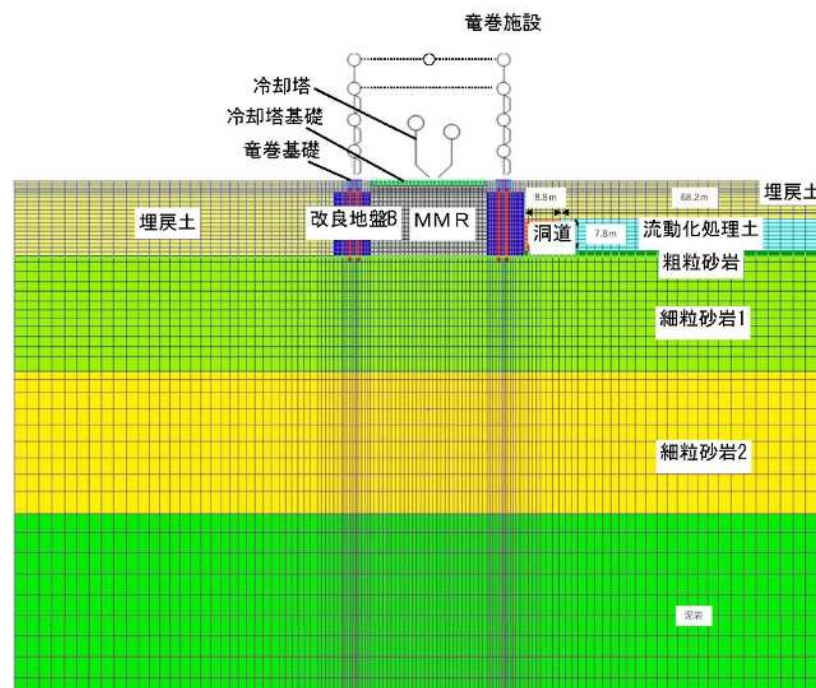
設計モデルの保守性を確保するためMMRをモデル化しない端部断面を採用する。

■ モデル化の妥当性（根拠・見通し）

地中についてMMRを含まない断面の方が剛性が低く評価され、地震挙動を拘束する効果が低下し、地震荷重は大きくなると予想する。本検証は基礎・支持地盤の状況から端部/中央の2断面で代表した検証用モデルでそれぞれモデル化し、端部断面でモデル化した場合が中央断面と比較し、地震荷重が大きくなることを確認する。



端部断面



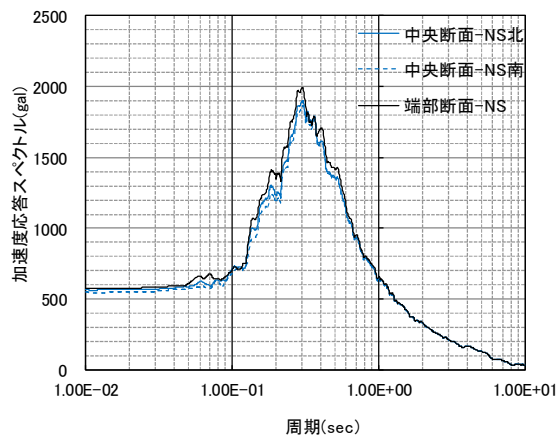
中央断面

【参考10】 2 / 2

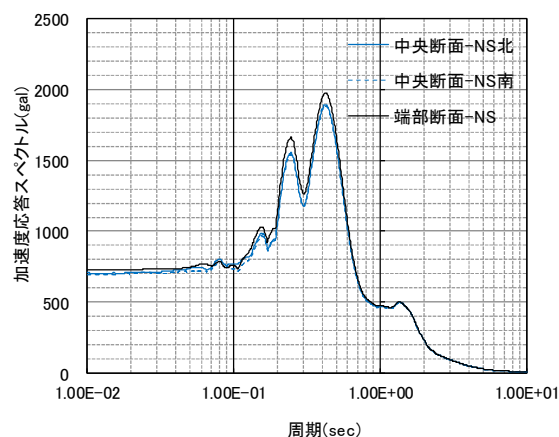
検討断面

■ 確認結果

- 検証用モデルを用いて、各断面(端部/中央)の**加速度応答スペクトル**で卓越周期帯を確認し、断面の違いにより応答の傾向に明確な差異がないことを確認した。端部断面のほうが、より応答が大きいため、合理化モデルは端部断面をベースに作成した。
- 検証用モデルを用いて、各断面(端部/中央)の上部架構の**応答せん断力**で比較した。端部断面のほうが、より応答が大きいため、合理化モデルは端部断面をベースに作成した。

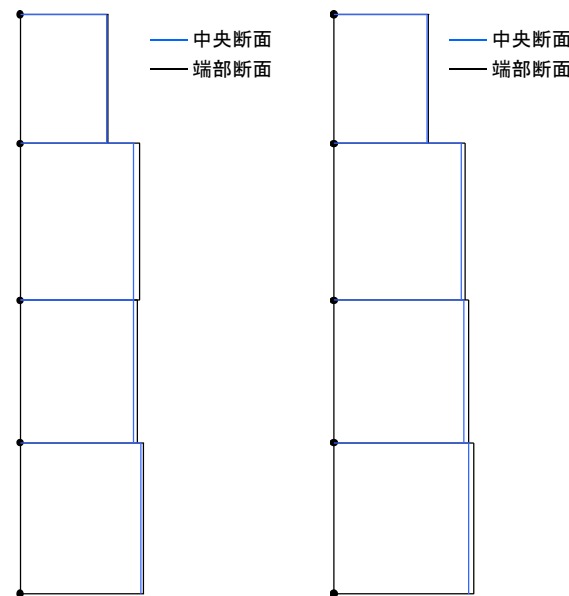


(a) Ss-A加振時



(b) Ss-C1加振時

有効応力解析時の基礎上端における加速度応答スペクトル
(減衰定数5%)



(a) Ss-A加振時

(b) Ss-C1加振時

有効応力解析時の上部架構の応答せん断力

【参考11】

接触剥離要素

■ 設定の目的

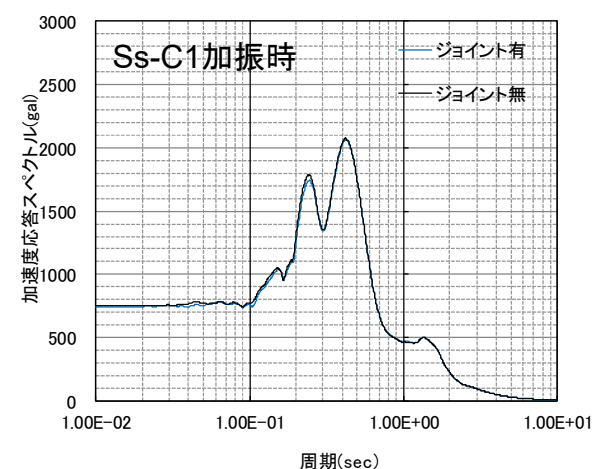
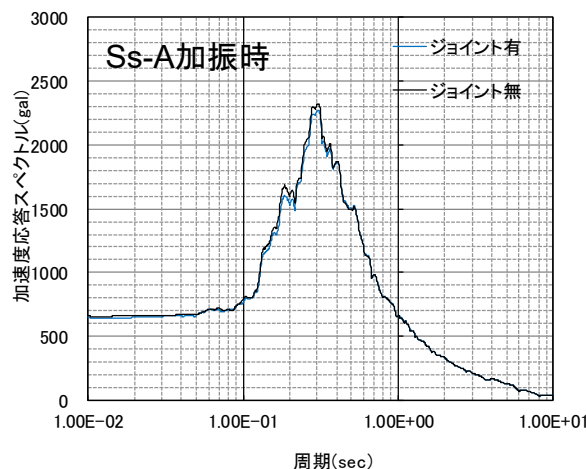
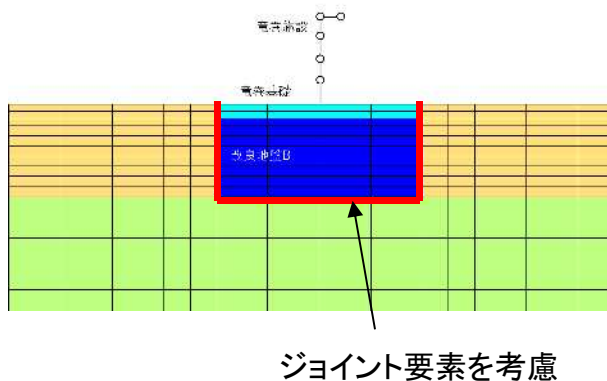
液状化時は埋戻土の剛性がほぼゼロとなることから、接触剥離などの局所的非線形の影響は小さいと考えられる。そのため設計モデルでは、基礎や洞道などのRC構造物と周辺地盤（埋戻土、直下地盤）との間には接触剥離要素（ジョイント要素）をモデル化しない。

■ モデル化の妥当性（根拠・見通し）

- 埋戻土の液状化、基礎と埋戻土の接触面が表層に限定されるため、接触剥離の影響は小さいと考えられる。また改良地盤の施工状態を踏まえると、周辺地盤との固着状態が確保されており、接触剥離を考慮しない事が実状に即していると考えられる。
- ただし設計モデルにおいて、基礎および改良地盤と周辺地盤との間に接触剥離を考慮した場合の影響を確認する。

■ 確認結果

接触剥離要素をモデル化した場合と、基礎の加速度応答スペクトルを比較し、応答の傾向に明確な差異がないことを確認した。



基礎上端における加速度応答スペクトル（減衰定数5%）

【参考12】

モデル寸法

■ 設定の目的

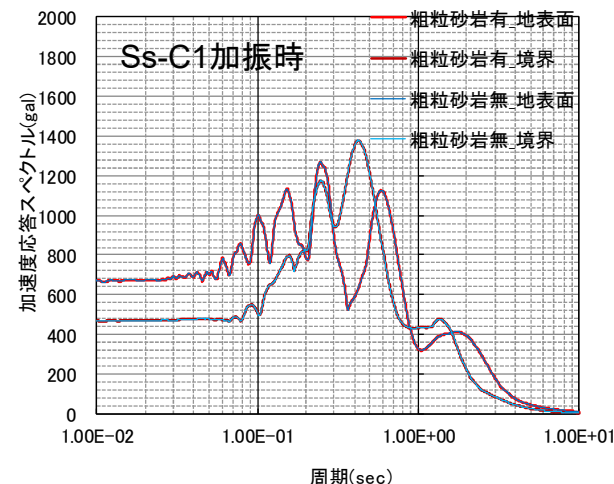
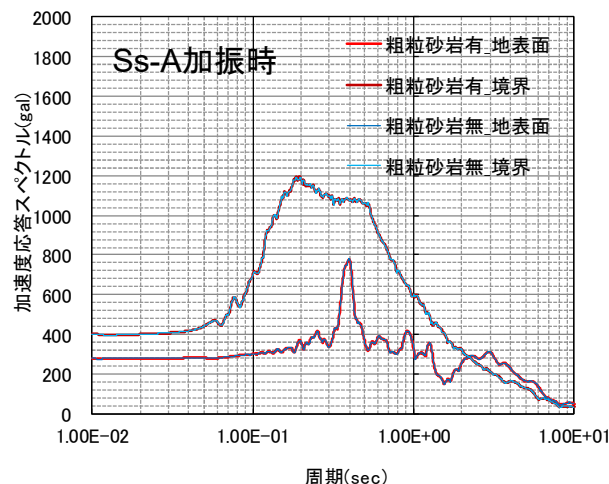
メッシュサイズ(2.0m)以下の層構成および形状は、全体の地震応答への影響は小さいと判断し、設計モデルではモデル化しない。具体的には、①粗粒砂岩の考慮の有無、②基礎高さの差異。

■ モデル化の妥当性（根拠・見通し）

- ①粗粒砂岩（厚さ0.37m）については、確認のために、1次元土柱モデル（直下地盤と埋戻土）を用いて、粗粒砂岩の考慮の有無による応答の比較を行う。なお、直下地盤の厚さ107mに対し、粗粒砂岩の厚さはごくわずかであるため、その影響は小さいと考える。
- ②基礎高さ（差0.3m）については、設計モデルにおいて、剛梁を基礎位置（T.M.S.L.55~55.3m）にモデル化することより等価な設定とする。

■ 確認結果

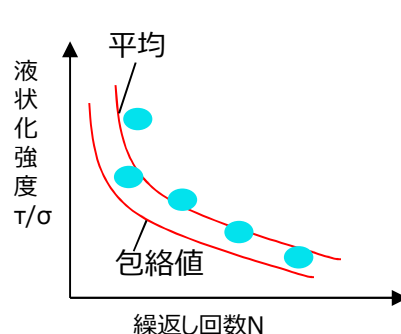
①直下地盤と埋戻土の境界および地表面の加速度応答スペクトルを比較し、応答の傾向に明確な差異がないことを確認した。



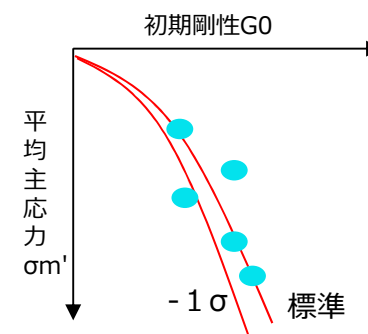
加速度応答スペクトル(減衰定数5%)

【参考13】 設計モデルの保守性（拘束効果、地盤の剛性）を確認するための検討ケースとパラメータ

液状化状態		液状化	状態 a
地盤物性		標準地盤	
液状化強度曲線		包絡値 (液状化しやすい状態)	
解析手法		全応力解析／有効応力解析	
解析モデル		検証用モデル(拘束有) (NS断面)	検証用モデル(拘束無) (NS断面)
地震動	Ss-A	○	○
	Ss-C1	○	○



液状化強度曲線の設定イメージ



埋戻土の地盤物性の設定イメージ

液状化状態		液状化	状態 b1	状態 b2	非液状化
地盤物性		標準地盤		-1σ地盤(埋戻土) (剛性を下げた状態)	標準地盤
液状化強度曲線		包絡値 (液状化しやすい状態)	平均値 (包絡値より液状化しにくい状態)	-	-
解析手法		有効応力解析		全応力解析	
解析モデル		設計モデル (NS断面)	設計モデル (NS断面)		
地震動	Ss-A	○	○	○	○
	Ss-C1	○	○	○	○

※Ss-Aについては全周期帯にわたって大きな加速度を有し、継続時間が長いことからより液状化を促進すると考えられ、Ss-C1については大きな加速度がパルス的に生じることから施設へ与える影響が大きいものと考え、暫定的に用いる。

【参考14】

施設周辺の構造物のモデル化

■ 設定の目的

周辺施設を詳細にモデル化すると、メッシュが複雑になるため、合理化モデルでは、周辺地盤は一律埋戻土とする。

■ モデル化の妥当性（根拠・見通し）

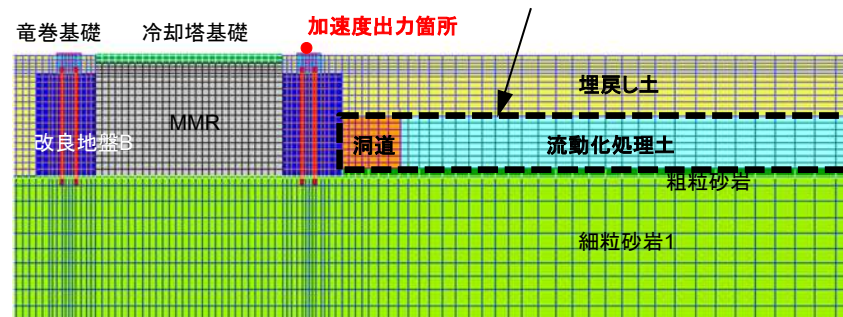
周辺施設を剛性が低く液状化しやすい埋戻土でモデル化することで、地震挙動を拘束する効果が低下、応答値は大きくなり、過小評価にはならない。

■ 確認結果

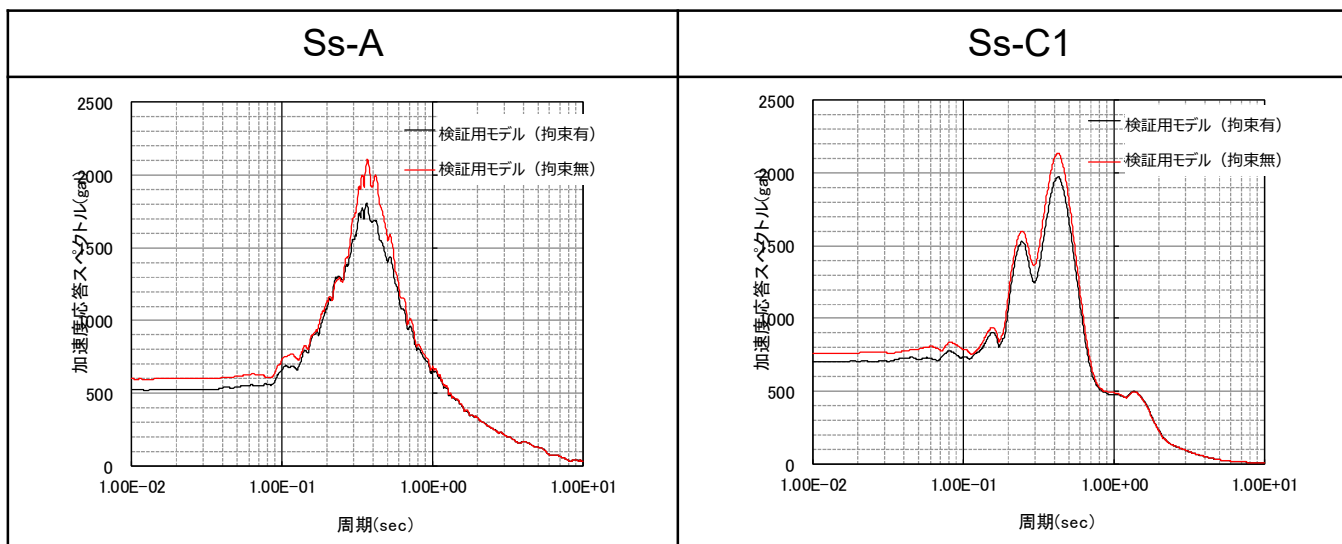
検証用モデル（拘束無）を使用して、**加速度応答スペクトル**で卓越周期帯を確認し、周辺施設をモデル化しなくても応答の傾向に明確な差異がないことを確認した。液状化時の応答は、非液状化時の応答に比べ、大きくなる傾向にあったことを踏まえ、検証用モデル（拘束有）に比べ液状化の範囲が広がる設定により、保守性も確保された。

検証用モデル(拘束有): 洞道、流動化処理土をモデル化

検証用モデル(拘束無): 埋戻し土としてモデル化



検証用モデル(NS断面中央部)



基礎上端における加速度応答スペクトル(減衰定数5%)

【参考15】

杭のモデル化

■ 設定の目的

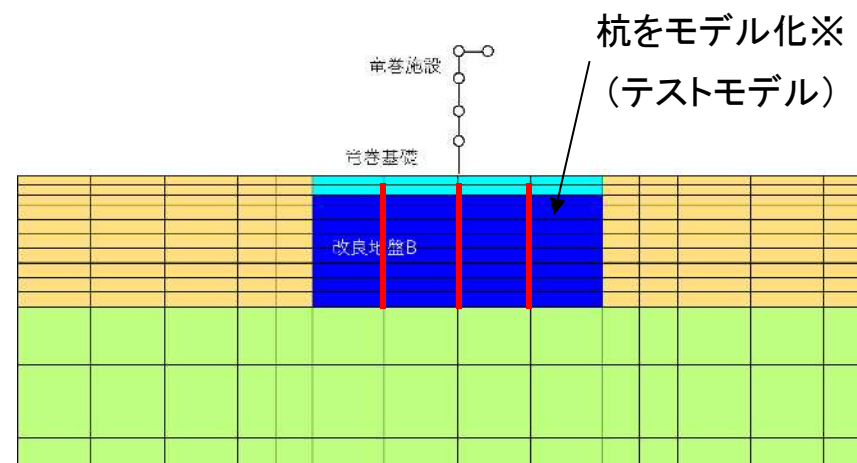
設計モデルの保守性の確保のため、杭をモデル化しない。

■ モデル化の妥当性（根拠・見通し）

杭をモデル化対象としないことで、杭の剛性/根入れを無視することとなり、改良地盤の剛性は低く評価され、地震挙動を拘束する効果が低下し、地震荷重は大きくなる。

■ 確認結果

テストモデルを使用して、**地盤の変形量**を確認し、杭のモデル化有無により応答の傾向に明確な差異がないことを確認した。杭をモデル化しないほうが地震荷重が大きいため、保守性が確認された。



※杭の軸剛性、曲げ剛性を実際の本数にあうように調整

杭のあり／無しの合理化モデルで改良地盤の最大変位分布を比較
(検討中)

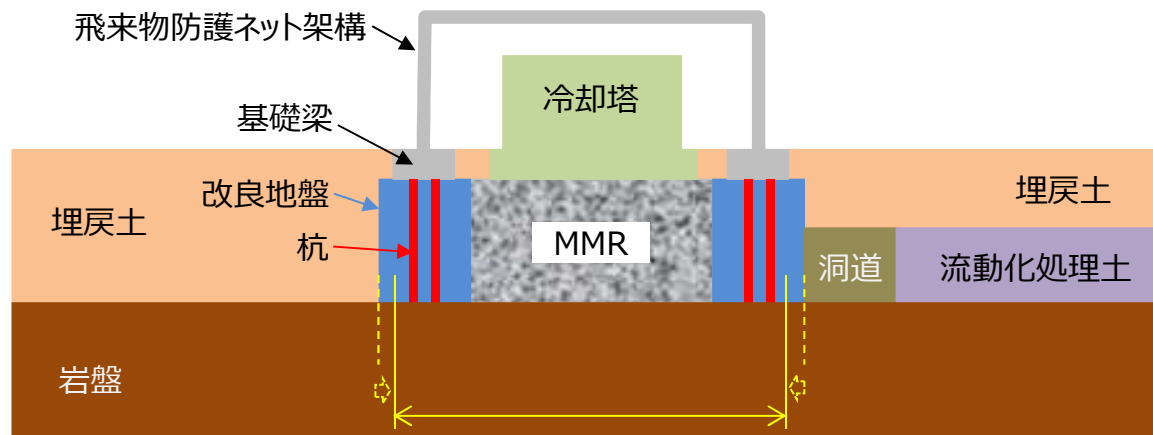
改良地盤の幅

■ 設定の目的

設計モデルの保守性を確保するため、改良地盤Bの幅を基礎幅に合わせる。

■ モデル化の妥当性（根拠・見通し）

改良地盤の「高さ/幅」が小さくなることでロッキング挙動が起きやすくなり、地震荷重が大きくなる。



【参考17】 施設への影響の大きい地震動 の選定方法

基準地震動の中から「施設への影響の大きな地震動」を選定する方法を以下に示す。

【目的】

波及的影響に一番大きく影響を与える地震動を選定する。なお、選定された地震動は以下の評価の際に使用する。

- ① 設計モデルの保守性を評価する際には、評価用モデルにおける地震荷重より保守的な値となっているかを確認する方法としており、その比較を行う地震動として使用する。
- ② 設計モデルにおける、地盤のバラツキ評価をする際には、選定された地震動において行う。

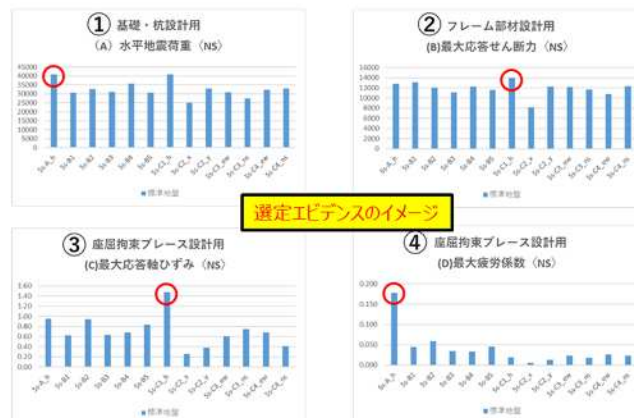
【選定の考え方】

波及的影響は、地震荷重の大きさに比例して、部材の健全性として評価されることから選定に際しては「地震荷重」に着目して選定する。

【選定方法】

- 1) 基準地震動全波において、標準地盤での応答解析を実施する。(設計モデルにて実施)
- 2) 応答解析結果から、個別部材の評価に用いる以下の地震荷重の最大を発生させる地震動を選定する。

【 ① 層せん断力、 ② ブレースのひずみ度、 ③ 最大加速度 、④ 変位 】



【参考18】 設計モデルの妥当性の確認 設計モデルの保守性の確認 その1：拘束効果

■ 構造部材に作用する地震荷重の保守性は、以下の解析ケースにて確認する。

状態 a：埋設構造物の有無による拘束効果を確認するケース（検証用モデルと設計モデルの応答の比較）

応答値比較表

検討ケース(Ss-A※1)		モデル	変位 (cm) (改良地盤)		最大加速度 (gal) (基礎)		せん断力 (kN) (上部架構)		ブレースひずみ	
			NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
非液状化	埋設構造物を非考慮	検証用モデル(拘束無)	今後、記入予定							
	状態 a	検証用モデル(拘束有)								
液状化	埋設構造物を非考慮	検証用モデル(拘束無)								
	状態 a	検証用モデル(拘束有)								

検討ケース(Ss-C1※1)		モデル	変位 (cm) (改良地盤)		最大加速度 (gal) (基礎)		せん断力 (kN) (上部架構)		ブレースひずみ	
			NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
非液状化	埋設構造物を非考慮	検証用モデル(拘束無)	今後、記入予定							
	状態 a	検証用モデル(拘束有)								
液状化	埋設構造物を非考慮	検証用モデル(拘束無)								
	状態 a	検証用モデル(拘束有)								

※1: Ss-A、Ss-C1 以外に影響の大きい基準地震動が確認された場合、その基準地震動も加えて確認する

なお、影響の大きい基準地震動の選定方法については【参考14】に示す。

※2: 鉛直方向の揺れに対する、保守性はモデルに組み込まれていないことから、水平方向と鉛直方向の地震荷重の組み合わせ後の構造部材の検定値にて、トータルの保守性を確認する。

【参考18】 設計モデルの妥当性の確認 設計モデルの保守性の確認 その2：地盤の剛性

■ 液状化のパラメータの妥当性を証明するために、設計モデルにて以下の解析ケースを実施する。

状態 b1：液状化進展の影響を把握するためのケース（設計モデルで液状化強度曲線の違いによる応答の比較）

状態 b2：埋戻土の剛性の影響を把握するためのケース（設計モデルで埋戻土の剛性の違いによる応答の比較）

応答値比較表

検討ケース (Ss-A※1)	変位 (cm) (改良地盤)		最大加速度 (gal) (基礎)		せん断力 (kN) (上部架構)		ブレースひずみ		
	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	
液状化	今後、記入予定								
状態 b1									
状態 b2									
非液状化									

検討ケース (Ss-A※1)	変位 (cm) (改良地盤)		最大加速度 (gal) (基礎)		せん断力 (kN) (上部架構)		ブレースひずみ		
	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	
液状化	今後、記入予定								
状態 b1									
状態 b2									
非液状化									

※1: Ss-A、Ss-C1 以外に影響の大きい基準地震動が確認された場合、その基準地震動も加えて確認する
 なお、影響の大きい基準地震動の選定方法については【参考14】に示す。

※2: 鉛直方向の揺れに対する、保守性はモデルに組み込まれていないことから、水平方向と鉛直方向の地震荷重の組み合わせ後の構造部材の検定値にて、トータルの保守性を確認する。

【非液状化時の波及的影響評価 (全応力解析)】

飛来物防護ネットの 検討対象部位		検討対象 地震動	評価指標	クライテリア	検定比
基礎	杭	Ss	杭応力 (軸力+曲げ)	終局強度	
			杭応力 (面外せん断力)	終局強度	
			支持力	地盤の 終局鉛直支持力	
			引抜力	地盤の 終局引抜抵抗力	
	基礎梁		設計モデルの科学的合理性、保守性が確認されたのち結果を示す。 イメージ・見直し中		
杭と改良地盤	Ss	せん断力			
上部 架構	架構全体	Ss	相対変位	離隔距離	
	柱脚	Ss	柱脚応力 (軸力+曲げ)	終局強度	
	フレーム (柱・梁)	Ss	フレーム応力 (軸力+曲げ)	終局強度	
	座屈拘束ブレース	Ss	最大軸ひずみ	メーカー推奨値	
			疲労係数総和	メーカー推奨値	

飛来物防護ネット架構の耐震評価

【参考19】 設計モデルを用いた評価結果（液状化の評価見通し）

【液状化時の波及的影響評価（有効応力解析）】

設計モデルの科学的合理性、保守性が確認されたのち結果を示す。
全頁と同じ 項目の表