

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11月8日

1. 第1回申請における耐震設計に係る説明状況

課題認識と今後の対応

【耐震評価に係る課題】

下記事象のとおり、耐震設計のホールドポイントごとに、設計に反映すべき事項及び説明すべき事項を認識した上で、技術的な深掘り検討を行う必要性の認識が不足していた。

■ 燃料加工建屋の入力地震動の算定方法

- 地盤モデルの一部の層において、等価線形解析を一般的な適用の目安を超える範囲に対して適用していたが、入力地震動の算定結果への影響について定性的な判断に留まり、定量的な判断根拠の確認を行っていなかった。

■ 飛来物防護ネットの安全冷却水B冷却塔に対する波及的影響評価

- 液状化の応答が非液状化を上回ることを確認したにも関わらず、設計へのフィードバックを行わなかった（全波での評価を行わなかった）。

【上記課題を踏まえた今後の対応】

- 上記課題を認識した上で、技術的検討をしっかり行い、根拠をもって説明する。
- 上記にあたっては、審査経験を有する電力技術者による専門的・多面的なレビューを実施していく。

2. 燃料加工建屋の耐震評価（入力地震動の算定方法） 課題及び確認方法

燃料加工建屋の入力地震動の算定方法については、以下の課題がある。

- **課題①**：表層地盤の一部の層において、等価線形解析の一般的な適用の目安（1%程度）を大きく上回る。
- **課題②**：造成盛土において発生するせん断ひずみが試験データに対して外挿範囲にある。

上記課題に対し、以下の方法により、入力地震動の算定結果への影響を定量的に確認した。

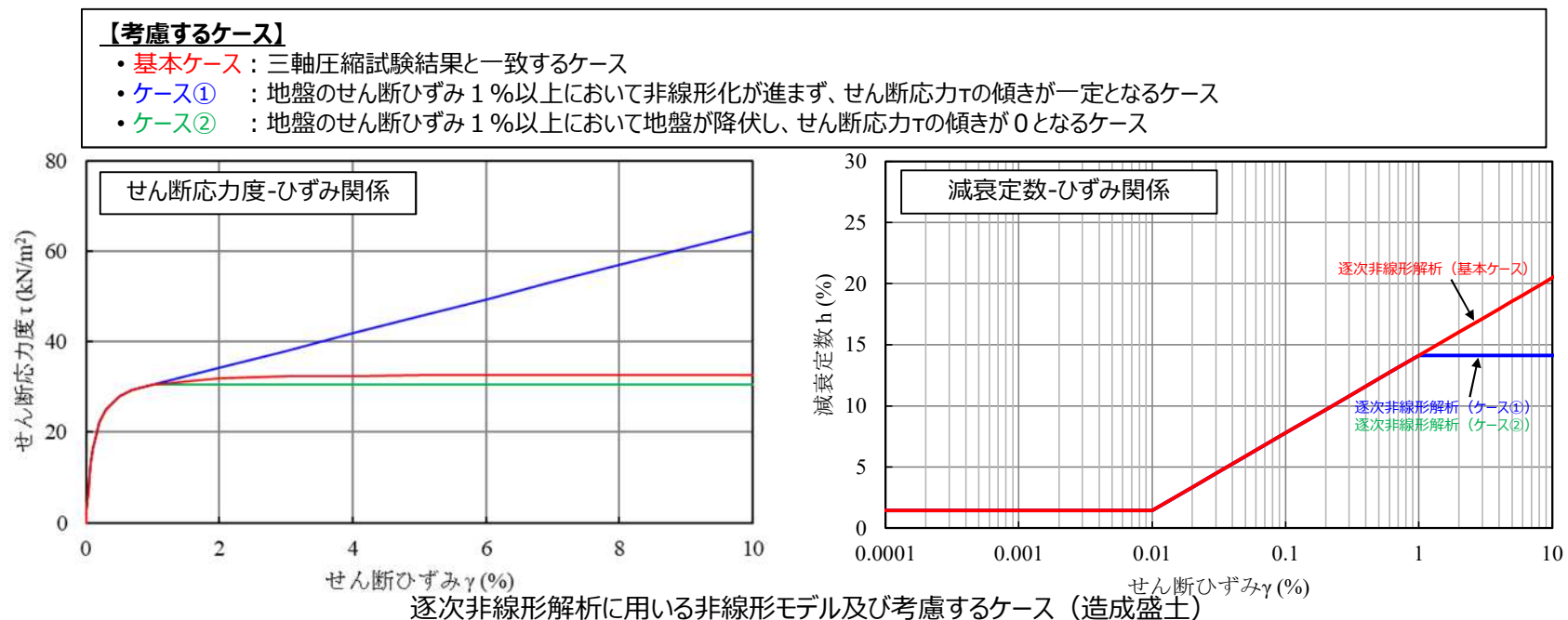
➤ 確認①：逐次非線形解析による確認

- 地盤の非線形性を時々刻々と考慮可能な逐次非線形解析による地盤応答を比較。
- 非線形モデルについては、吉田ら¹⁾の手法に基づき、試験結果と整合する骨格曲線を設定。

1)：吉田望他：地盤の1次元非線形解析に用いる土のせん断応力-せん断ひずみ関係のモデル化（日本建築学会大会学術講演梗概集、1990年10月）

➤ 確認②：外挿部分のパラメータスタディによる確認

- 等価線形解析及び逐次非線形解析において、外挿範囲を極端に仮定した、下図ケースによる地盤応答を比較。



2. 燃料加工建屋の耐震評価（入力地震動の算定方法） 確認結果

■ 確認結果

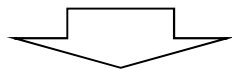
地盤のせん断ひずみが最大となる、Ss-C1（地盤物性ばらつきケース（ $-\sigma$ ））における確認結果を示す。
 なお、 $1.2 \times Ss-C1$ においても、結果の傾向は同じであることを確認している。

確認① 逐次非線形解析による確認

- 燃料加工建屋基礎下レベルにおける入力地震動は、手法の違いによる有意な差は無い。

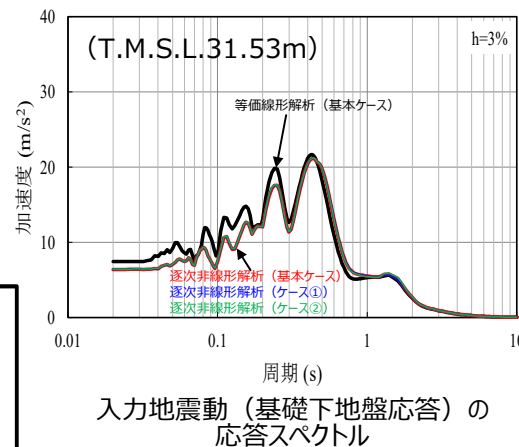
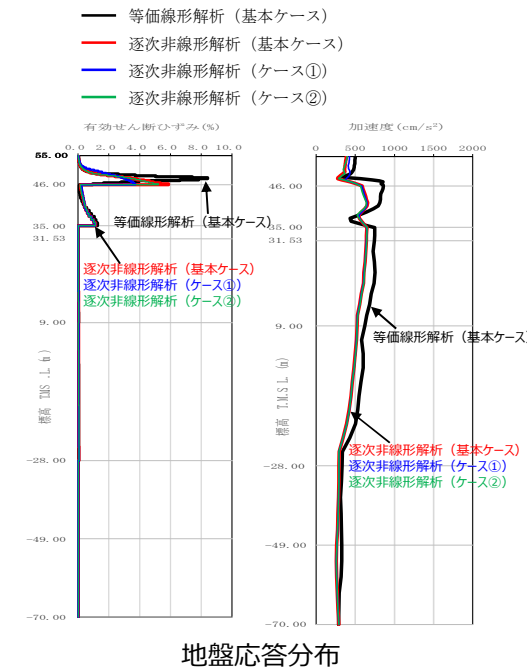
確認② 外挿部分のパラメータスタディによる確認

- 燃料加工建屋基礎下レベルにおける入力地震動は、外挿範囲の設定による有意な差は無い。

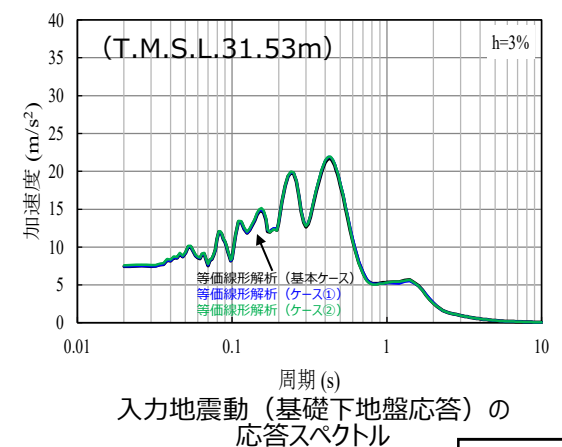
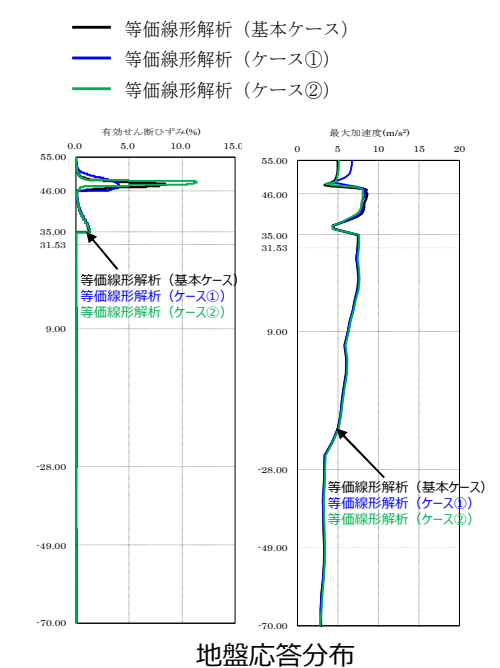


燃料加工建屋の地震応答解析においては、前頁に示した課題が入力地震動の算定結果に与える影響は無い。

確認① + 確認②（逐次非線形解析）

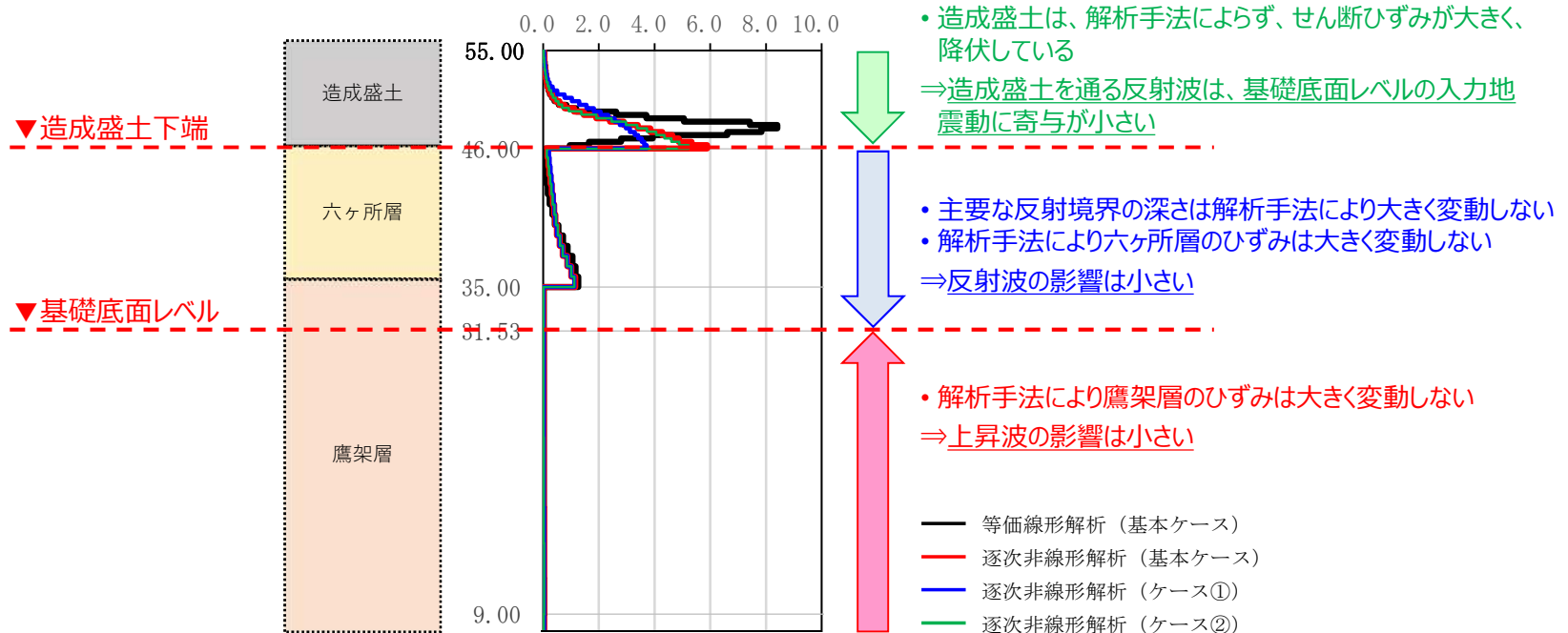


確認②（等価線形解析）



2. 燃料加工建屋の耐震評価（入力地震動の算定方法） 結果に対する考察

- 燃料加工建屋の入力地震動の算定においては、せん断ひずみが一般的な等価線形解析の適用の目安を大きく上回るが、以下のとおり、燃料加工建屋の地盤モデルの特徴に起因して、入力地震動の算定結果に影響を与えない結果となった。
- いずれの手法・ケースにおいても、せん断ひずみが大きくなる深さ（＝主要な反射境界）が大きく変わらず、反射波が基礎底面レベルの地盤応答に対して有意な差を与えなかった。
 - いずれの手法・ケースにおいても、造成盛土はせん断ひずみ 1 % を超えており降伏状態となっていることから、基礎底面レベルの地盤応答に与える寄与が小さかった。
- これらの傾向は、燃料加工建屋の地盤モデルにおける以下の特徴に起因すると考えられる。
 - 建屋近傍に地山である六ヶ所層及び造成盛土が分布しており、表層地盤中で速度構造のコントラストが大きいこと。
 - ひずみが大きくなる造成盛土の厚さが側面地盤全体に対して薄く、ひずみの卓越する層も限定的であること。



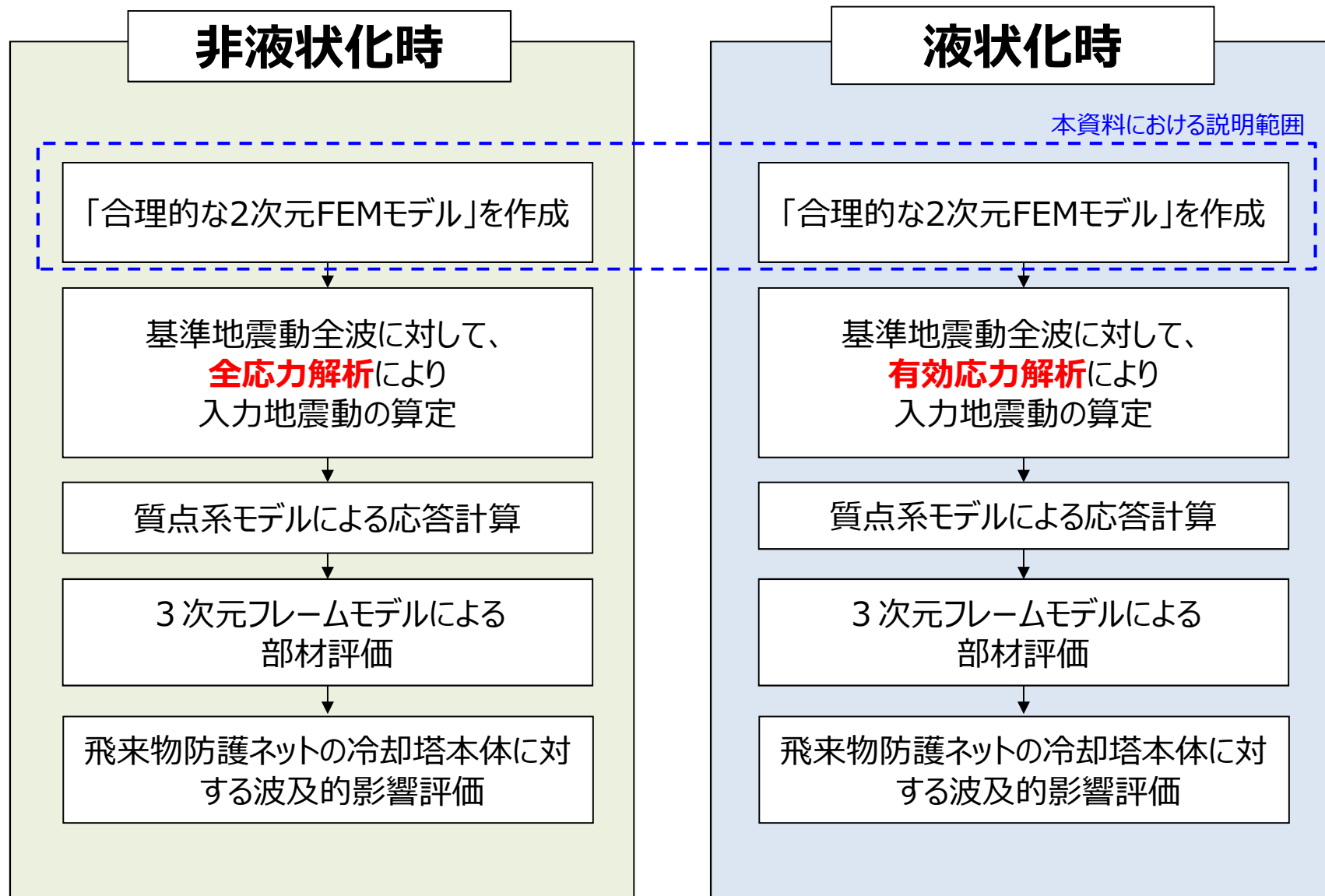
基礎底面レベルの入力地震動に対しての影響に係る考察

3. 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット架構の耐震評価（波及的影響評価） 波及的影響評価に係る基本方針

■ 飛来物防護ネット架構の安全冷却水B冷却塔に対する波及的影響評価に係る基本方針は以下の通り

- 当該敷地の直下、または、近傍の地盤物性を用いる。
- 非液状化時と液状化時の評価を基準地震動全波に対して行う。
- 非液状化時に全応力解析を用い、液状化時には有効応力解析を用いる。
- 非液状化と液状化の解析モデルは基本的に同一のモデルを用いる。

3. 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット架構の耐震評価（波及的影響評価） 非液状化時及び液状化時の検討フロー

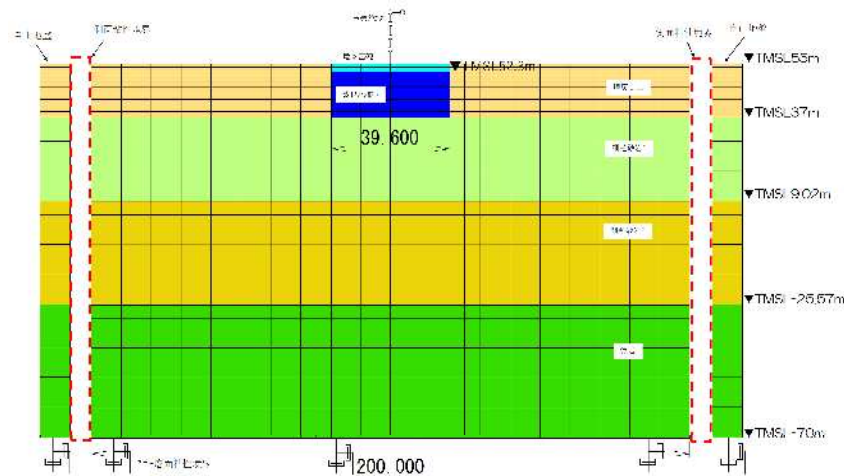


※ **赤字**は「非液状化時」と「液状化時」の評価方法の差異を示す

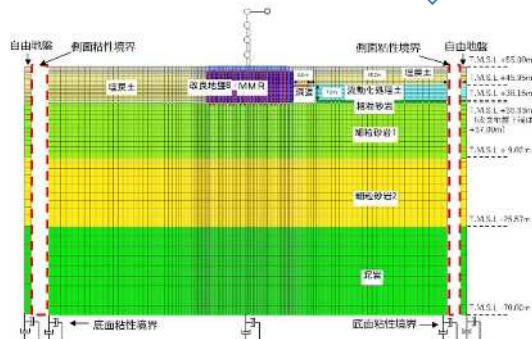
※「合理的な2次元FEMモデル」：詳細な2次元FEMモデルと比べて、比較的簡便なモデル

3. 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット架構の耐震評価（波及的影響評価） 合理的な2次元FEMモデルの概要

- 解析は、合理的な2次元FEMモデル（合理化モデル）を採用する。
- 合理化モデルの妥当性は、詳細な2次元FEMモデル（詳細モデル）との比較等により確認する。



合理的な2次元FEMモデル



詳細な2次元FEMモデル

■ 合理的な2次元FEMモデルの特徴

- 施設周辺の構造物(洞道等)をモデル化せず、埋戻し土と見なしてモデル化。
- メッシュサイズを粗くし、要素数を最小化。
- 上部架構をモデル化しない(当初の考え)。→ 最終的にはモデル化することに変更。
- 杭をモデル化しない。

■ 合理的な2次元FEMモデルの検証

- モデル化における上記の特徴が、妥当であることを確認する。
- 液状化現象および地盤ばらつきの変遷の状況をパラスタにより確認する。
- 合理化モデルが詳細モデルに対して保守性があることを確認する。

3. 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット架構の耐震評価（波及的影響評価） 合理的な2次元FEMモデルの妥当性の確認について

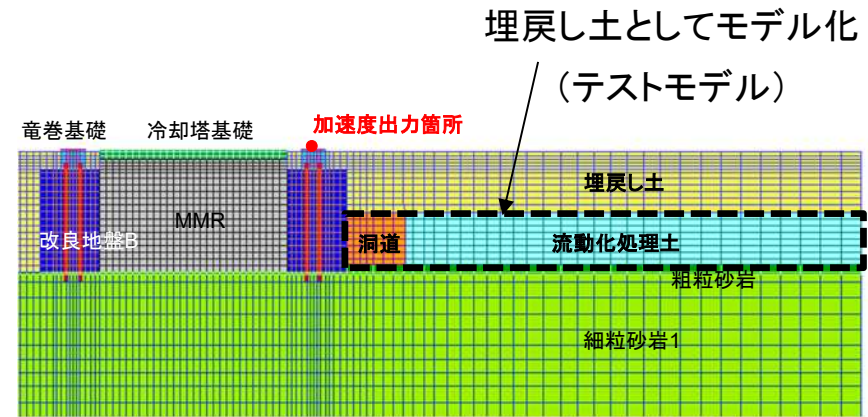
解析で使用する合理化モデルに対し、以下の項目を実施することにより妥当性を確認する。

項目	内容	実施状況
(1) モデル化に対する確認	1-1 施設周辺の構造物のモデル化について	済
	1-2 モデルのメッシュサイズについて	済
	1-3 上部架構(質点系モデル)の考慮/非考慮について	済
	1-4 杭のモデル化の考慮/非考慮について	実施中
(2) 液状化現象の確認	2-1 剛性・液状化状態に対する確認 Step1：代表波(仮)に対し、①非液状化から②液状化への変遷する状態の確認 Step2：埋戻し土と直下地盤のばらつきの影響確認 Step3：基準地震動全波の解析結果から上記が代表波かどうかを確認	Step1,2：済 Step3：実施中
(3) 保守性確保の確認	3-1 合理化モデルが詳細モデルよりも保守性があることの確認	実施中

3. 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット架構の耐震評価（波及的影響評価） 合理的な2次元FEMモデルの妥当性の確認について

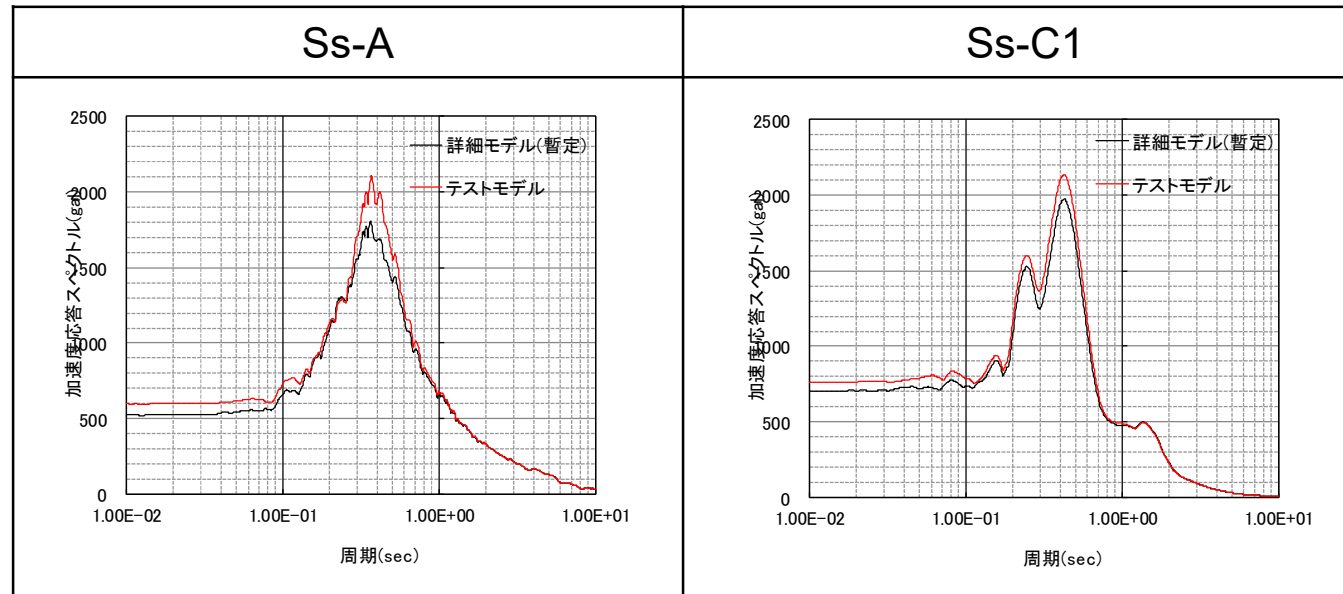
■ 1-1 施設周辺の構造物のモデル化について

- 合理化モデルは、モデル化の簡便化を目的とし、施設の周辺の構造物(洞道等)をモデル化せずに全て埋戻し土と見なした。
- 施設の周辺の構造物(洞道等)は液状化しないため、液状化の可能性のある埋戻し土でモデル化する方が保守的な評価になる。
- 保守性が確保できることは、試解析（テストモデル）により確認済み。



詳細モデル(断面①-NS(中央部))

※試解析時の結果のため、詳細モデルにおいても次ページ以降の結果と異なる。



基礎上端における加速度応答スペクトル(減衰定数5%)

3. 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット架構の耐震評価（波及的影響評価） 合理的な2次元FEMモデルの妥当性の確認について

■ 1-2 モデルのメッシュサイズについて

- 合理化モデルは、解析処理の短時間化を目的とし、地盤のメッシュサイズをできるだけ大きくし、要素数を減らすように考慮した。
- 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）が評価できる設定とした。

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

$$\text{mesh size} \leq \frac{1}{5} \frac{V_s}{f_{\max}}$$

V_s と f_{\max} 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

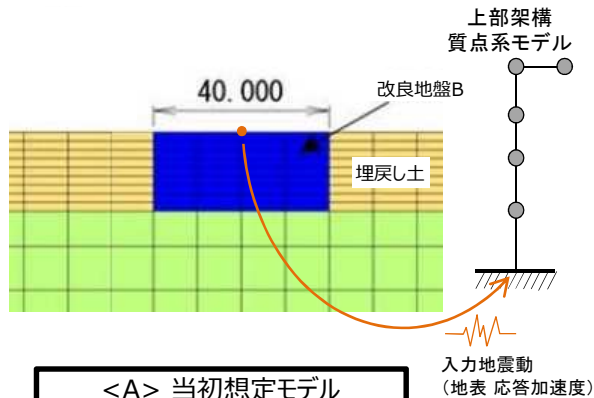
- $V_s = 150 \text{ m/s}$ の地盤において、13Hzの地震動が表現できるように1メッシュの大きさを $2.3 \text{ [m]} (= 150 \text{ [m/s]} / 5 / 13 \text{ [Hz]})$ 以下と設定していることから、メッシュのサイズは適切であり、上部架構の振動特性を評価可能と考える。

※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。

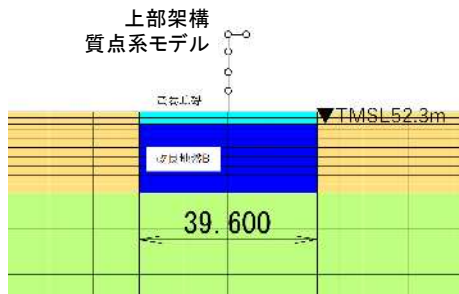
※2：地盤安定性評価での埋戻し土の V_s の最低値

3. 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット架構の耐震評価（波及的影響評価） 合理的な2次元FEMモデルの妥当性の確認について

1-3 上部架構(質点系モデル)の考慮/非考慮について

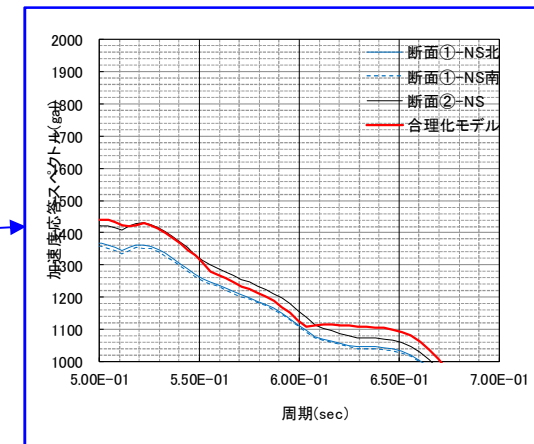
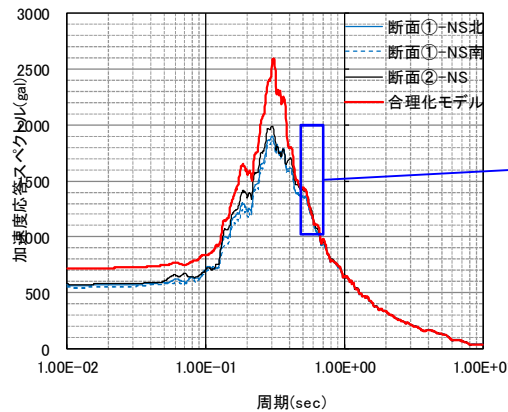


<A> 当初想定モデル
(地盤と上部架構が別)



 変更後のモデル
(地盤と上部架構が一体)

- 合理化モデルは、モデル化の簡便化・解析処理の短時間化を目的とし、当初は左上図<A>のように地盤と上部架構を別々のモデルで評価することを想定した。
- 検討の結果、<A>の地表面での応答加速度スペクトルは、周期0.6秒付近を除きほぼ全周期帯で「合理化モデル>詳細モデル」の結果となった。
- 0.6秒付近は、上部架構の非線形時の周期帯であることから、より慎重に評価するため、解析モデルには質点系を考慮することとした。(左下図)

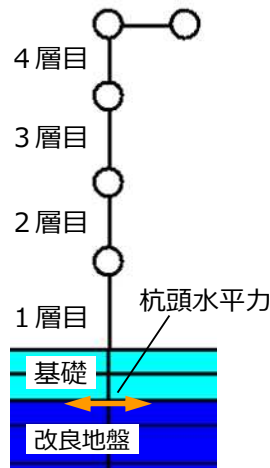


Ss-A加振時の基礎上端における加速度応答スペクトル（減衰定数5%）

3. 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット架構の耐震評価（波及的影響評価） 合理的な2次元FEMモデルの妥当性の確認について

1-4 杭のモデル化の考慮/非考慮について

- 合理化モデルは、モデル化の簡便化を目的とし、杭のモデル化を省略した。
- 施設直下の剛性(地盤改良体+杭)は、杭をモデル化しないことで実剛性よりも小さく評価される。→ 上部架構の応答値および杭頭における水平力は大きくなる。



位置	合理化モデル (杭をモデル化せず)	詳細モデル (杭をモデル化)
4層目	〇〇〇kN	△△△kN
3層目	〇〇〇kN	△△△kN
2層目	〇〇〇kN	△△△kN
1層目	〇〇〇kN	△△△kN
杭頭水平力	〇〇〇kN	△△△kN

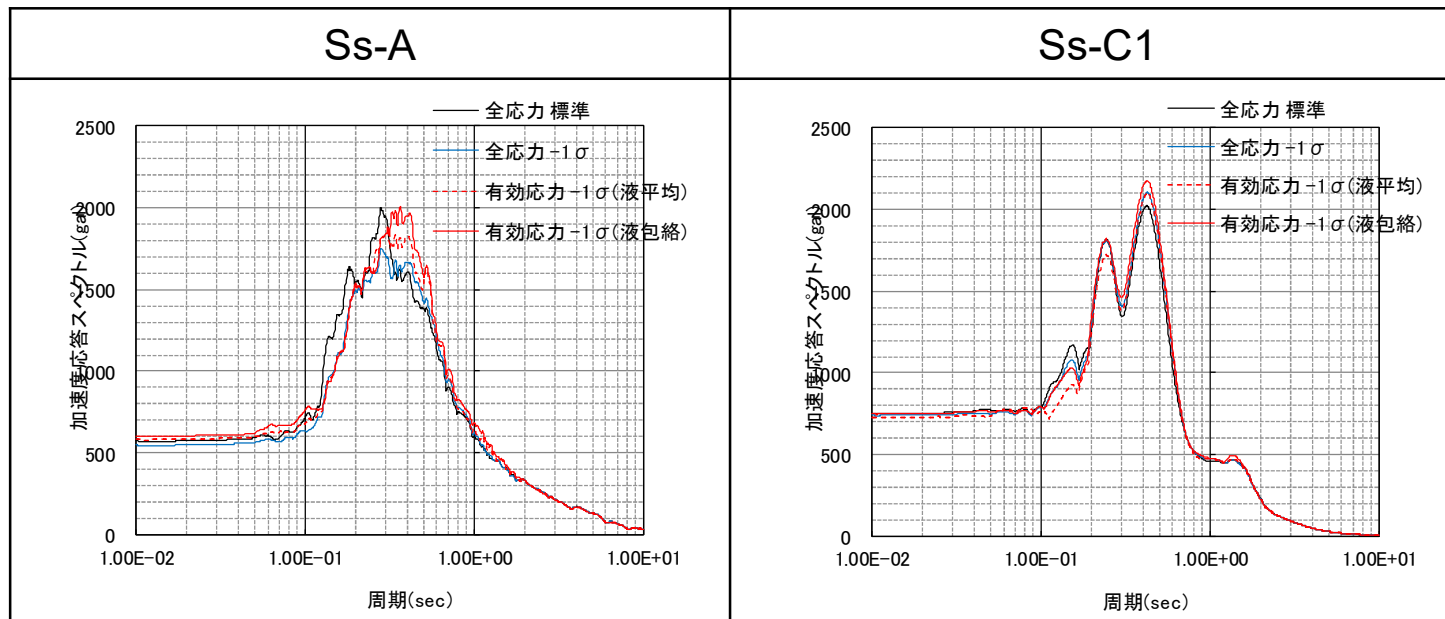
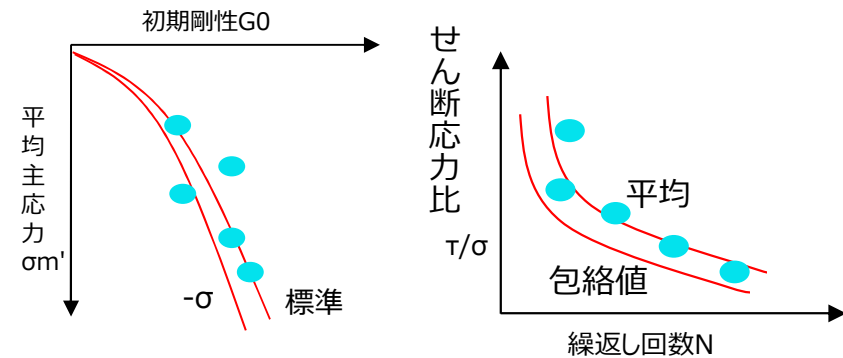
解析中

- 以上より、当該施設においては、地盤モデルに杭を考慮しない方が保守的な評価となる。

3. 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット架構の耐震評価（波及的影響評価） 合理的な2次元FEMモデルの妥当性の確認について

■ 2-1 剛性・液状化状態に対する確認

- 解析・評価は、①非液状化時と②液状化時の2パターンのみを想定。
- 代表波(仮)に対し、①から②へ変遷する状態でのパラスタを実施し、その状態での結果が①と②に包括されることを確認した。
- 検討におけるパラメータは、(a)地盤剛性と
(b)液状化抵抗曲線。
- 基準地震動全波の解析結果から、上記が代表波かどうかは現在確認中。

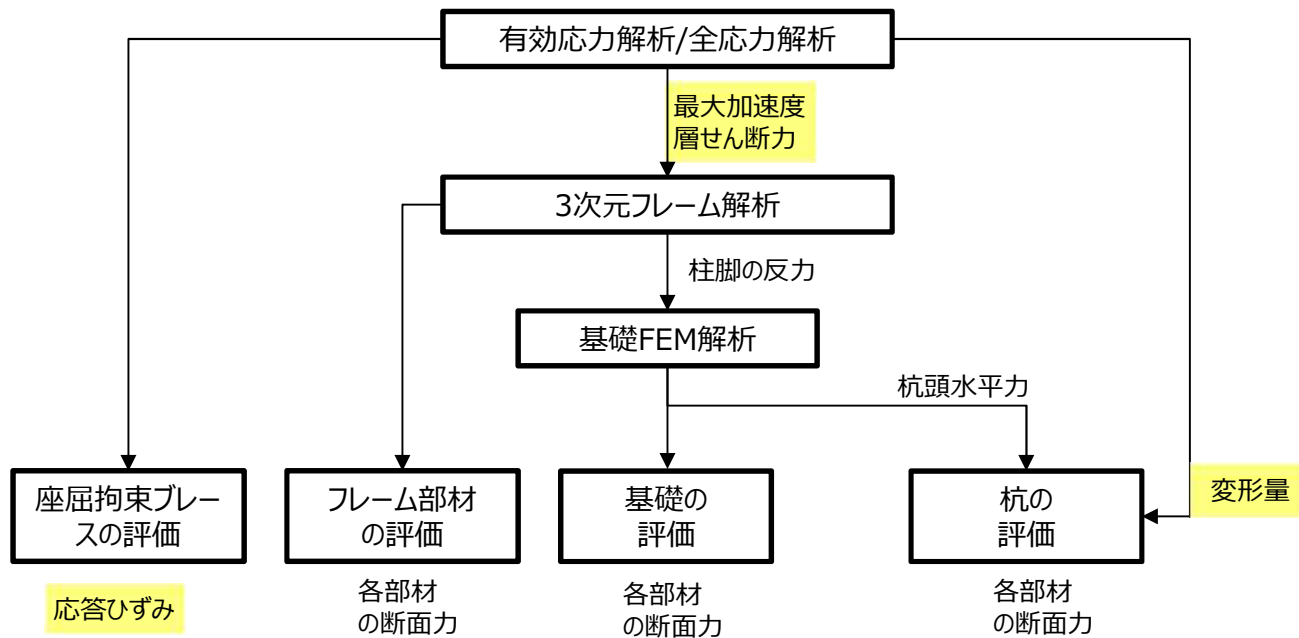


基礎上端における加速度応答スペクトル(減衰定数5%)

3. 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット架構の耐震評価（波及的影響評価） 合理的な2次元FEMモデルの妥当性の確認について

3-1 合理化モデルの保守性確保の確認

- 合理化モデルでの解析(標準地盤)は、有効応力解析/全応力解析とも基準地震動全波を対象とする。
- 合理化モデルが詳細モデルよりも保守性があることを、影響の大きい代表波にて確認する。
- 代表波の選定は、三次元フレーム解析・各部材評価時のインプットの値（下記フローのマーキングの値）※1で判断する。
- 地盤のばらつきに対する確認は、選定された代表波のみで実施する。



※1：三次元フレーム解析のインプット、各部材評価時のインプットは、フロー図の黄着色の値。