

飛来物防護ネット架構の耐震評価（波及的影響評価）

評価の前提整理（地震発生から波及的影響に至る評価の流れ）

【目的】

飛来物防護ネット架構が冷却塔へ波及的影響を及ぼさないことを確認する。

【波及的影響とは】

①**架構の倒壊**、②**架構の衝突**、③**部材の落下**により冷却塔が損傷すること。

【波及的影響が発生しないことの確認方法】

「**フレーム**」、「**ブレース**」、「**基礎梁**」、「**杭**」といった部材が**損傷しない**ことを確認。（架構の構成部材）

【部材の損傷とは】（杭の例示）

- 杭の損傷とは、地盤が大きく変形し杭頭に大きな応力（曲げ、せん断力）が発生することで、杭がせん断破壊し基礎や上部架構が傾く状況になる。
- 本評価にあたっては、杭頭の応力が現実と比べ厳しく発生するモデルを用いることで、保守的な評価となるよう、解析モデルを構築する。
- 具体的には、施設周辺の地盤を液状化しやすい埋戻土にすることで、地盤の拘束効果が弱まり、施設の変形が大きくなる厳しい評価となるモデル設定とする。

【解析モデル】

解析モデルは、部材の評価が厳しくなるよう、地下構造物や流動化処理土といった、本来であれば、液状化しない部分についても、全て埋戻土とすることで、施設周辺が全て液状化する設定とし、施設の変形や加速度が大きくなる様、モデル化する。ここでは、上記のモデルを「**合理化モデル**」と呼ぶ

【部材が損傷しないことの確認方法】

部材が損傷しないことの確認は、合理化モデルから算出される**応答値**（インプット値）を用いて評価する。
なお、応答値以外の要因（地震動の周期特性等）が、損傷に寄与しないかを合わせて考察する。

合理化モデルを用いる目的 1 / 2

【解析モデルの要件】

- 解析モデルは入力地震動を科学的合理性を持って評価出来るものであることが必要

【合理化モデルの要件】

- 詳細モデルは地盤や構造物の実態に即して、精緻にモデル化を行っており科学的合理性がある。
- 一方、詳細モデルは解析負荷が大きいことから、現状のリソース（解析者・解析時間）を踏まえると適用が困難。
- 本検討では約200ケース弱の解析が必要であり、現状のリソースで評価が適切に行える合理的なモデルが必要。
- ただし、合理化モデルは、詳細モデルと同様に入力地震動を科学的合理性を持って算定できるモデルとする。
- また、合理化モデルは、部材に発生する応力が詳細モデルに比べて、厳しくなるよう、周辺地盤を全て液状化し易い埋戻土とすることで、地盤の拘束が小さくなり、施設の変形や加速度が大きくなるモデルとする。

【合理化モデルの特徴】

- 周辺地盤を全て液状化し易い埋戻土とすることで液状化時の地盤の拘束力が小さくなり、応答が現実に比べ保守的に算定される …… (a)
- 解析精度を確保した上で、計算負荷を小さくするため、最小限のメッシュ割としている。
- 最小限のメッシュ割のため表層地盤では高振動数帯（13Hz以上）の振動特性が正しく評価されないが上部構造の評価に必要な周波数帯での解析精度は確保する。 …… (b)

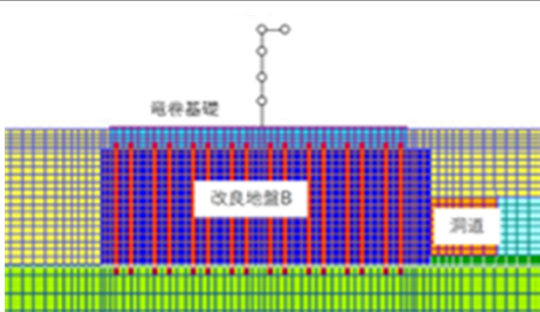
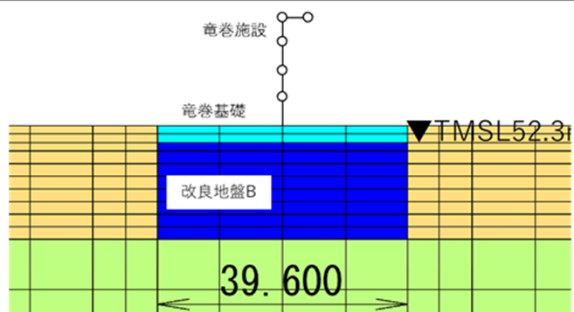
【合理化モデルの科学的合理性の確認】

- a. 詳細モデルと比較して**保守性**を有していること（ a : 周辺地盤を全て埋戻土とすることで液状化時の応答が厳しくなる想定）
- b. **解析精度**が確保されていること（ b : 最小限のメッシュ割をとっているが、施設の評価に必要な解析精度は確保されていることを確認）
- c. 解析モデルの**設定パラメーター**が適切であること

上記 a.～b.の確認をも持って合理化モデルが**科学的合理性**を有することを根拠をもって確認する

飛来物防護ネット架構の耐震評価（波及的影響評価）
合理化モデルを用いる目的 2 / 2

合理化モデルと詳細モデルの差異を以下に示す

内容	詳細モデル	合理化モデル	
解析モデル			
近傍の構造物等	考慮する	考慮しない	保守性を付与
メッシュ数	約10,000	約500	
保証する周波数	20Hz以下	13Hz以下	解析精度を確保
上部構造	考慮する（1軸モデル、門型モデル）	考慮する（1軸モデルのみ）	
検討断面	4断面 (NS断面(中央、端部)、EW断面(中央、端部))	2断面 (NS断面、EW断面)	設定パラメーター
杭	考慮する	考慮しない	
接触剥離	考慮する	考慮しない	
モデル寸法	<ul style="list-style-type: none"> 改良地盤Bの幅は実際の幅 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） 	<ul style="list-style-type: none"> 改良地盤Bの幅は基礎幅に合わせる 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）※ 	

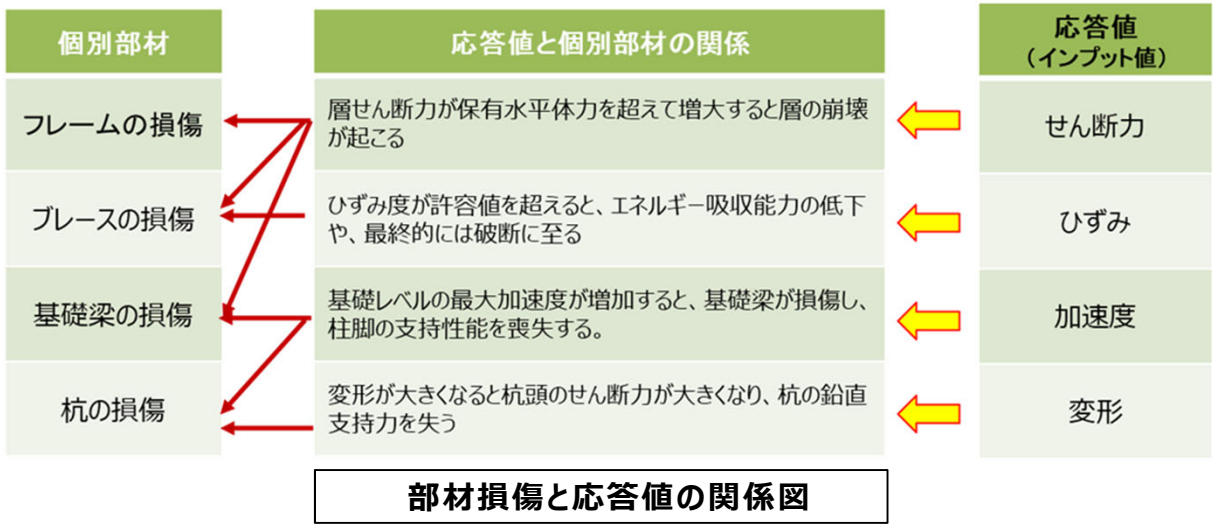
飛来物防護ネット架構の耐震評価（波及的影響評価）
合理化モデルの科学的合理性の確認

合理化モデルの**科学的合理性**の確認方法を以下に示す

a. 詳細モデルと比較して**保守性**を有していることの確認

保守性の確認は、部材の損傷に直接影響を与える関係を踏まえ 下記の**応答値**（インプット値）が「**詳細モデル**」に比べ「**合理化モデル**」が**大きい**ことをもって確認する。

- ① **せん断力**、 ② **ひずみ**、 ③ **加速度**、 ④ **変形**



応答値一覧		部材評価に用いる応答値		
		(A)	(B)	
上部架構 (梁要素)	節点変位	×	×	
	節点速度	×	×	
	節点加速度	○	○	
	軸力	×	×	
	せん断力	○	○	
	曲げモーメント	×	×	
	ひずみ	○	○	
基礎 (平面要素)	節点変位	×	×	
	節点速度	×	×	
	節点加速度	○	○	
	軸応力度	×	×	
	せん断応力度	○	○	
	軸ひずみ	×	×	
	せん断ひずみ	×	×	
(A) (B)	節点変位	○	△※	
改良地盤体 (平面要素) 杭 (梁要素)	節点速度	×	×	
	節点加速度	×	×	
	軸力(杭)	—	○	
	せん断力(杭)	—	○	
	曲げモーメント(杭)	—	○	
	軸応力度	×	×	
	せん断応力度	×	×	
	軸ひずみ	×	×	
		せん断ひずみ	×	×

部材評価に用いる応答値

b. 解析**精度**が確保されていることの確認

防護ネット架構の主要周期帯である13Hz以上の応答が、詳細モデルと比較して同等であることを根拠をもって示す。

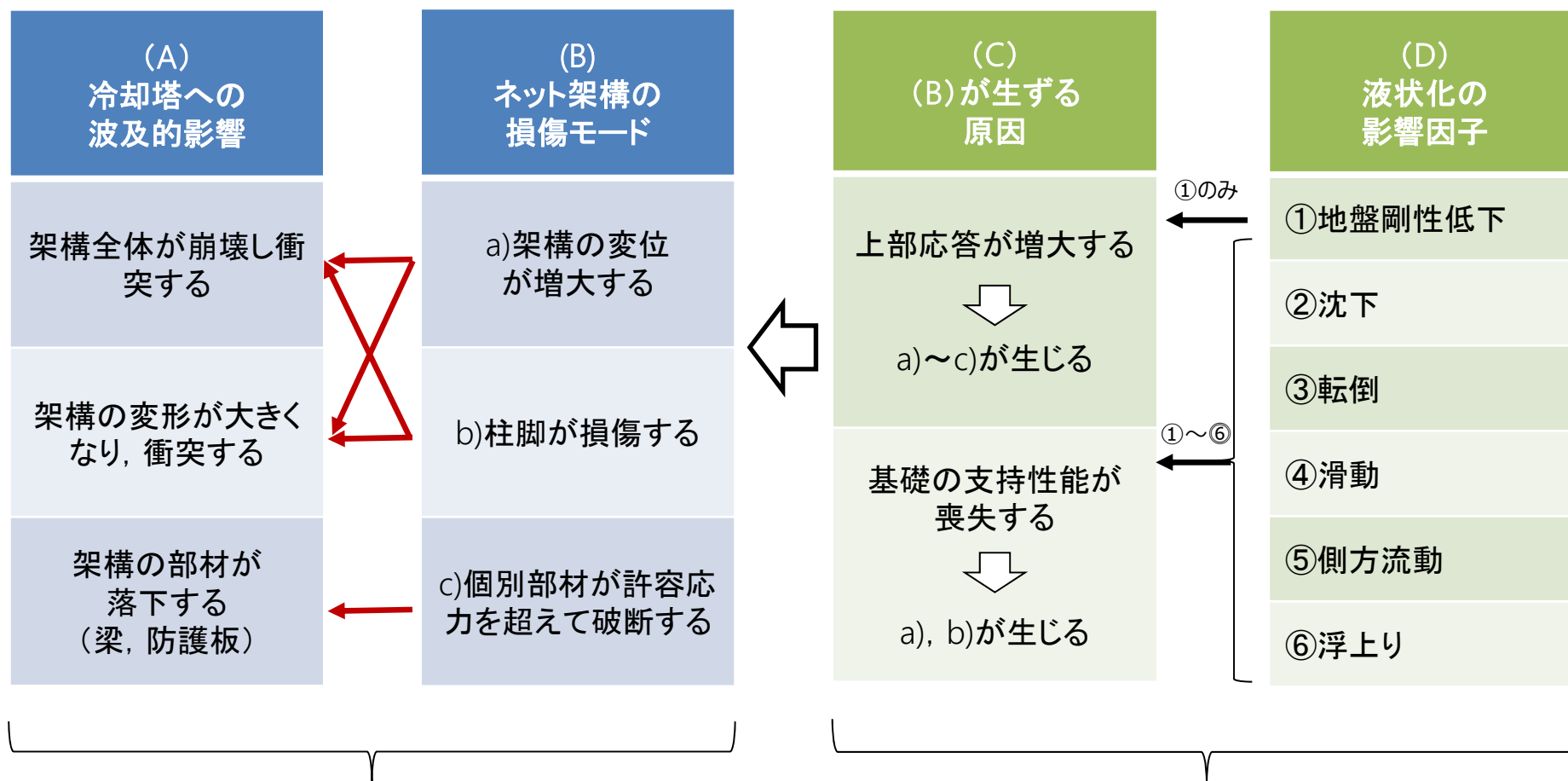
c. 解析モデルの**設定パラメーター**が適切であることを、根拠を持って示す。

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 (参考3) 液状化時の波及的影響 (1/3)

参考 R3.10.12
審査会合 資料1 P31
抜粋

■ 液状化影響因子と損傷モードの整理

液状化によって発生する上部鉄骨架構の損傷モードと、安全冷却水B冷却塔への波及的影響の関係を整理した上で、(D) の影響因子が生じた際に (C) の状態に至らないことをもって、波及的影響が生じないことを確認する。



波及的影響を生じさせる上部架構の損傷モードを抽出

液状化による上部鉄骨架構と杭基礎への影響
(次頁にて影響が発生する機構を整理)

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

(9) 液状化時の評価結果 (2/3)

参考 R3.10.12
 審査会合 資料1 P26
 一部抜粋

- 液状化時における各評価部位について有効応力解析による評価を行い、波及的影響を及ぼさないことを確認した。(非液状化時の評価結果は参考7に示す。)

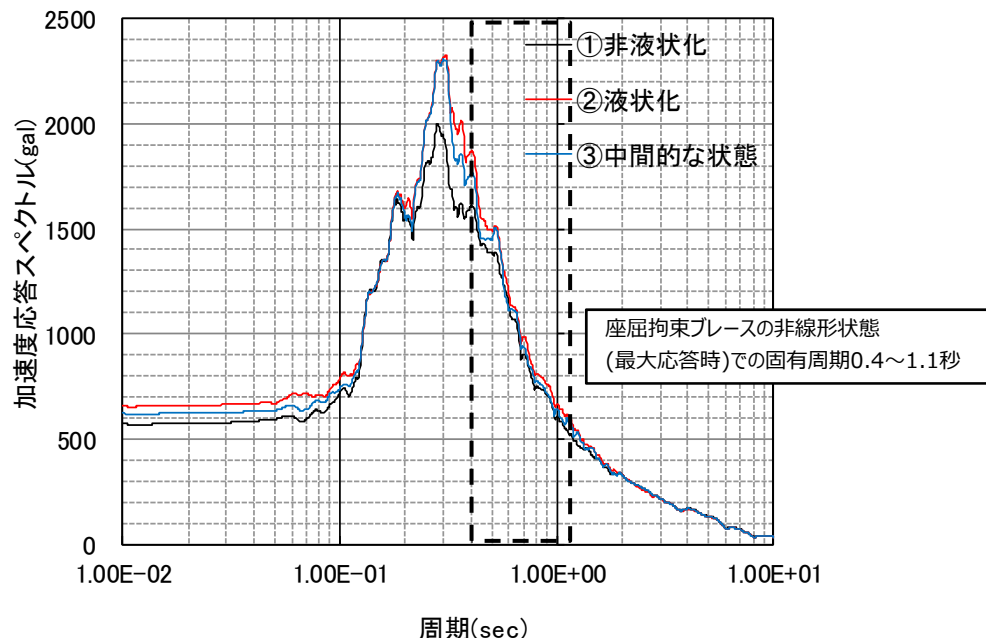
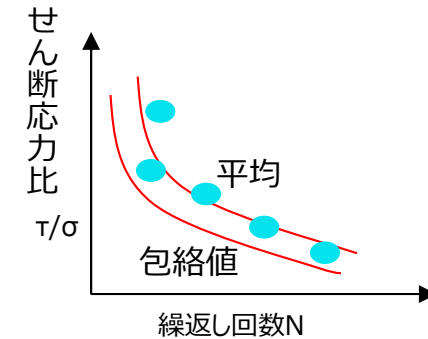
液状化の影響因子	飛来物防護ネットの検討対象部位	評価指標	
①地盤剛性の低下	上部架構 (柱等の弾性部材)	応力度 (軸力+曲げ)	
	上部架構 (座屈拘束ブレース)	最大軸ひずみ	
		疲労係数総和	
	基礎梁	耐力 (軸力+曲げ)	
		耐力 (面外せん断力)	
	杭	耐力 (軸力+曲げ)	
		耐力 (面外せん断力)	
		支持力・引抜力	
	②沈下	杭基礎 (施設全体)	杭の鉛直力
	③転倒		転倒モーメント
④滑動	接合面でのせん断力		
⑤側方流動	施設の配置状況		
⑥浮き上り	浮力		

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

参考 R3.11.15
審査会合 資料2 P14
抜粋

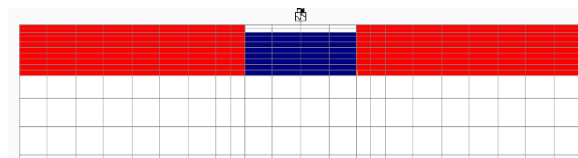
■ 2-1 液状化状態に対する確認（STEP1）

- ①非液状化と②液状化の評価とは別に、一部で液状化が生じない③中間的な状態の応答が、①か②に包含されない場合には③を設計ケースとする必要性が生ずることから、③の評価を実施する。
- ③では改良地盤B近傍の過剰間隙水圧の上昇が抑制され、拘束効果により加速度が低減すると考えられ、座屈拘束ブレースの非線形状態(最大応答時)での固有周期帯で③が②に包含される結果となった。
- 以上から、③における評価は、②の評価を実施することで、包含出来る見通しを得た。

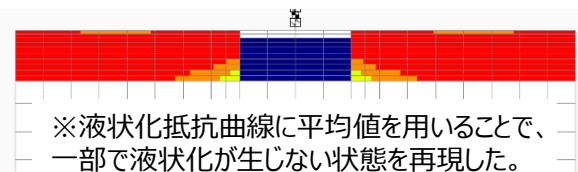


Ss-A加振時の基礎上端における加速度応答スペクトル(減衰定数5%)

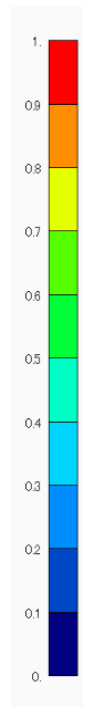
②液状化(液状化抵抗曲線は包絡値)



③中間的な状態(液状化抵抗曲線は平均値)



最終時刻の過剰間隙水圧比分布
(Ss-A加振時)

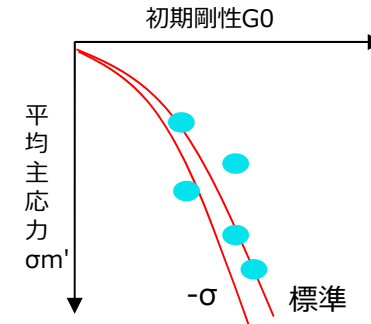


3. 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット架構の耐震評価（波及的影響評価） 合理的な2次元FEMモデルの妥当性の確認について

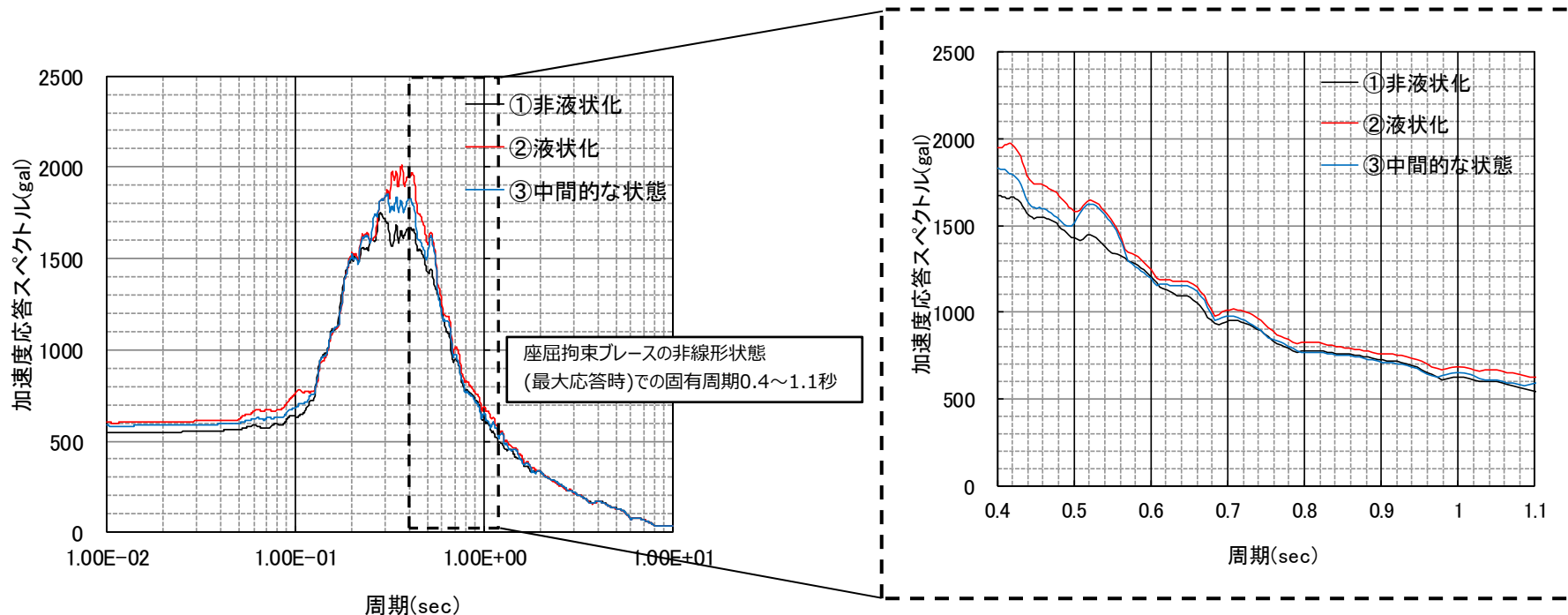
参考 R3.11.15
審査会合 資料2 P15
抜粋

■ 2-1 液状化状態に対する確認 (STEP2)

- 地盤の初期剛性をSTEP1よりも小さくしたケース (-1 σ) においてSTEP1と同様の傾向となることを確認する。
- 初期剛性を小さくしたケースにおいても、一部で液状化が生じない③中間的な状態の応答が、座屈拘束ブレースの非線形状態(最大応答時)での固有周期帯において、③が②に包含される結果となった。



※今後、+1 σ の場合についても確認する。



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%)