

# 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10月5日



日本原燃株式会社

---

## 2. 技術的内容に係る説明（耐震：建物・構築物）

---

## 2. 1 入力地震動算定に係る対応状況

## 入力地震動の算定

### 入力地震動の算定に係る対応状況

#### <地盤モデルの設定（8/30審査会合にて説明済み）>

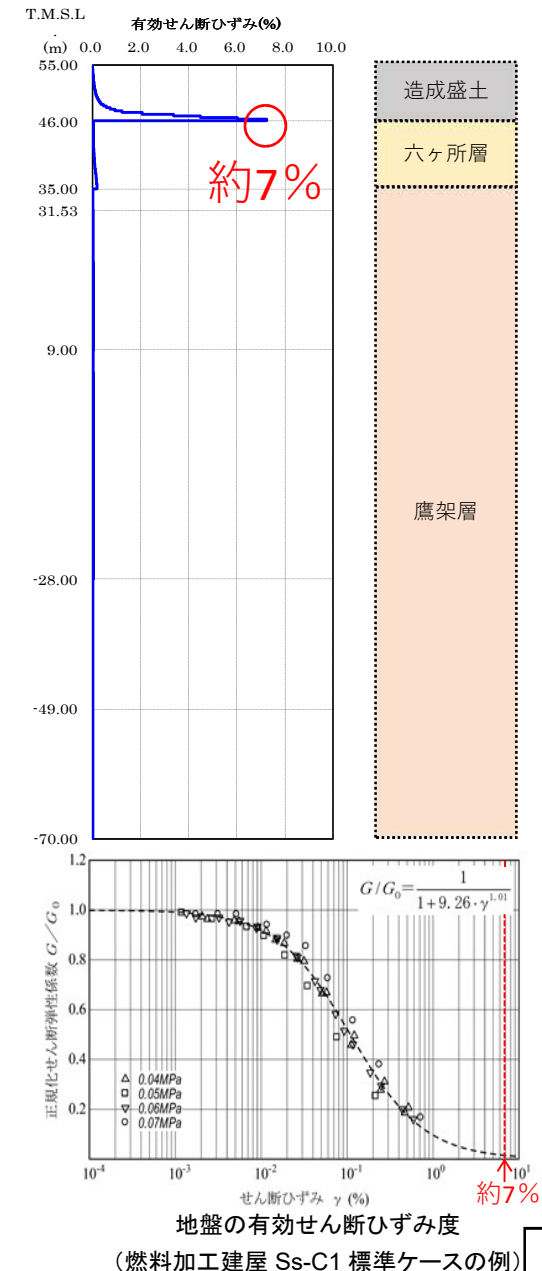
- 今回設工認における入力地震動の算定に用いる地盤モデルについては、建物・構築物の直下又は近傍のデータに基づいて作成する方針とする。
- 上記方針を踏まえ、第1回申請対象施設である燃料加工建屋及び安全冷却水B冷却塔の入力地震動の評価に用いる地盤モデルを、建物・構築物直下又は近傍の地盤データに基づき作成したモデルに見直した。
- 本地盤モデルに見直した場合の耐震評価を実施した結果、耐震性は確保できる見通しを得ている。

#### <燃料加工建屋の入力地震動の算定>

- 燃料加工建屋の耐震設計における入力地震動の算定において、表層地盤上部の造成盛土下端において、地震動レベルに応じた非線形性が大きく進んでおり、造成盛土の3軸圧縮試験データの外挿範囲となっている。(地盤の有効せん断ひずみ度 7%程度)
- このことから、現状、等価線形解析により算定している入力地震動が、耐震設計に用いる上で妥当であることを確認する必要がある。
- 当該確認事項については、確認方法及びその結果を補足説明資料にて提示し、次回審査会合にて説明する予定。

#### <安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット架構の入力地震動の算定>

- 地盤改良の範囲が杭周辺に限定されており、地下水排水設備に囲まれておらず、周辺地盤の液状化による影響を否定できない。
- 液状化時の入力地震動に係る説明を今回審査会合で説明する。



---

## **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（液状化時の入力地震動算定）**

液状化時に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、これまでの状況を踏まえ、次頁の論点の確認を通して示す。

### ◆これまでの状況

- 施設の周辺地盤が液状化が生じない場合については、評価方法や評価結果について説明を行い、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見通しを得た。
- 一方、液状化が生じる場合については、当初は簡便な「ウエスタガード補正式」により、基礎の支持性能が喪失しないことを確認していたが、当該手法では複雑な土圧の影響を考慮出来ないと判断した。
- 上記を踏まえ、液状化が発生した場合については、詳細な評価手法である「有効応力解析」を用いて、入力地震動の算定並びに冷却塔への波及的影響が生じないことを確認することとした。（液状化時の評価方法、入力地震動、評価結果について説明できていなかったことから本日説明する。）

## ◆今回の説明の論点

液状化時に冷却塔へ波及的影響を及ぼさないことを確認する上で重要な「入力地震動の算定」は以下項目の確認を通して示す。

### 1) 液状化時の評価方法の妥当性

- 構造計画の確認（設計方針と設計の流れ） …… P○
- 有効応力解析モデルの設定の妥当性（モデル化） …… P○
- 液状化時の上部架構の設計の妥当性 …… P○

### 2) 液状化時の評価条件の妥当性

- 解析モデルに用いている各種パラメータの妥当性 …… P○
- 液状化時の評価に用いる検討用地震動の選定の妥当性 …… P○

### 3) 液状化時の入力地震動の確認

- 上部鉄骨架構への入力地震動の算定結果 …… P○

### 4) 液状化時の飛来物防護ネット架構の波及的影響の有無

- 上記の入力地震動を用いた評価により波及的影響が生じないことの確認 …… P○

## (2) 設計方針と設計の流れ 1/2

### (1) 全体設計方針

- 飛来物防護ネット架構は、安全冷却水B冷却塔（以下、「冷却塔B」と言う）に近接して設置するため、冷却塔Bへの波及的影響（崩壊、衝突、落下）の評価を実施する。
- 飛来物防護ネット架構の周辺は、建屋や地盤改良体があり、液状化の影響は軽減されていると考えられることから、全応力解析とする。ただし、本施設は以下の状況にあることから、有効応力解析により液状化時の影響評価も合わせて実施する。
  - i) 杭の周辺は地盤改良され液状化は生じないものの、地盤改良の範囲が杭周辺に限定されている。
  - ii) 地下水排水設備に囲まれておらず、周辺地盤の液状化による影響を否定できない。
- 全応力解析は、全ての基準地震動を対象として、次元波動論に基づき入力地震動を算定し、質点系モデルで応答計算を行う。その応答を静的に3次元フレームモデルに入力し、個別部材の設計と波及的影響評価を行う。
- 液状化時の評価は、施設への影響の大きな「検討用地震動」を選定して、有効応力解析にて飛来物防護ネット架構に生じる応答を算定する。その応答を静的に3次元フレームモデルに入力し、波及的影響評価を行う。

### (2) 上部鉄骨架構の設計方針

- 配置上の制約から地震荷重低減のため座屈拘束ブレースを採用する。
- 応力・変形のバランスに配慮した局所的な変形の偏りがない設計となっていることから、質点系モデルを用いて地震応答解析を行った後に、3次元フレームモデルを用いた静的応力解析を合理的に実施する。

### (3) 杭基礎の設計方針

- 上部鉄骨架構や地盤からの作用力に対して、建築基礎設計指針に基づき支持性能に係る評価を行う。
- 液状化の影響因子が生じた際に、上部鉄骨架構を支持する基礎が支持性能を喪失せず、冷却塔へ波及的影響が生じないことを確認する。

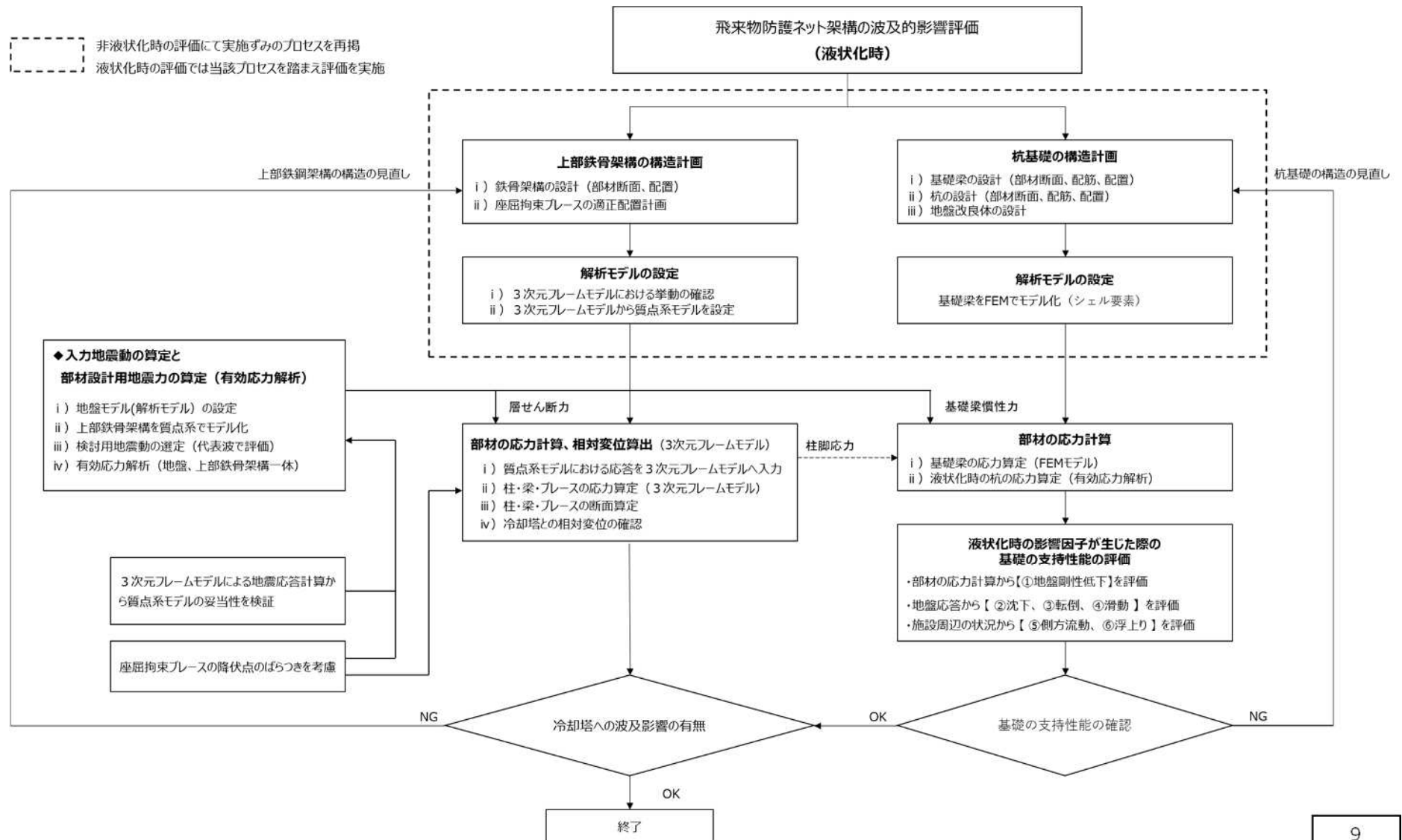
### (4) 設工認申請書における取扱い

- 今回設工認において、飛来物防護ネット架構の波及的影響評価の方針を添付書類に記載する。また、非液状化時における全応力解析及び液状化時における有効応力解析双方の結果により、安全冷却水B冷却塔へ波及的影響が無いことを確認し、その評価結果をそれぞれ添付書類に記載する。



(2) 設計方針と設計の流れ 2/2

液状化時の有効応力解析による影響評価フローを以下に示す。  
 なお、非液状化時の全応力解析による評価フローについては「参考2」に示す。



(3) 液状化時の波及的影響評価の進め方

- 1) 液状化の影響因子①～④について、冷却塔への波及的影響が生じないことを、有効応力解析により評価する。  
 なお、⑤、⑥については、施設の設置状況から評価する。(液状化の影響因子については参考3に示す。)

影響因子	①地盤剛性低下	②沈下	③転倒	④滑動	⑤側方流動	⑥浮上り
損傷状態	上部応答が増大する	杭に大きな応力が生じ、支持性能を失う	杭の先端の支持地盤の支持性能を失う	基礎全体の過大な変形により、支持性能を失う		
イメージ図						

- 2) 有効応力解析については以下の条件設定のもと行う。

【解析モデル】

- 解析モデルは施設周辺の地盤状況を反映するため、2次元FEMとし、洞道、建屋並びに周辺の地盤改良の剛性を反映する。
- 上部鉄骨架構もモデル化し、有効応力解析モデルに組み込み、地盤と一体で解析を行う。

【解析に用いる地震動】

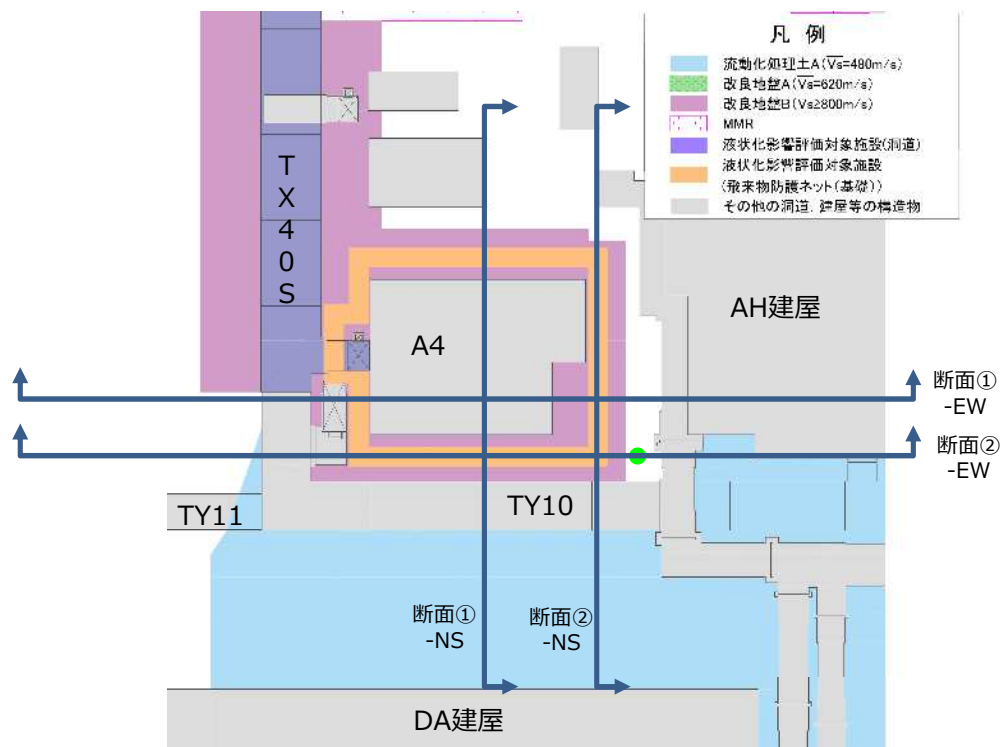
- 液状化時の評価は、非液状化時の全応力解析において施設への影響の大きな地震動や、液状化地盤において基準地震動の影響が大きな地震動を「検討用地震動」として選定して行う。

# 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット架構の耐震評価

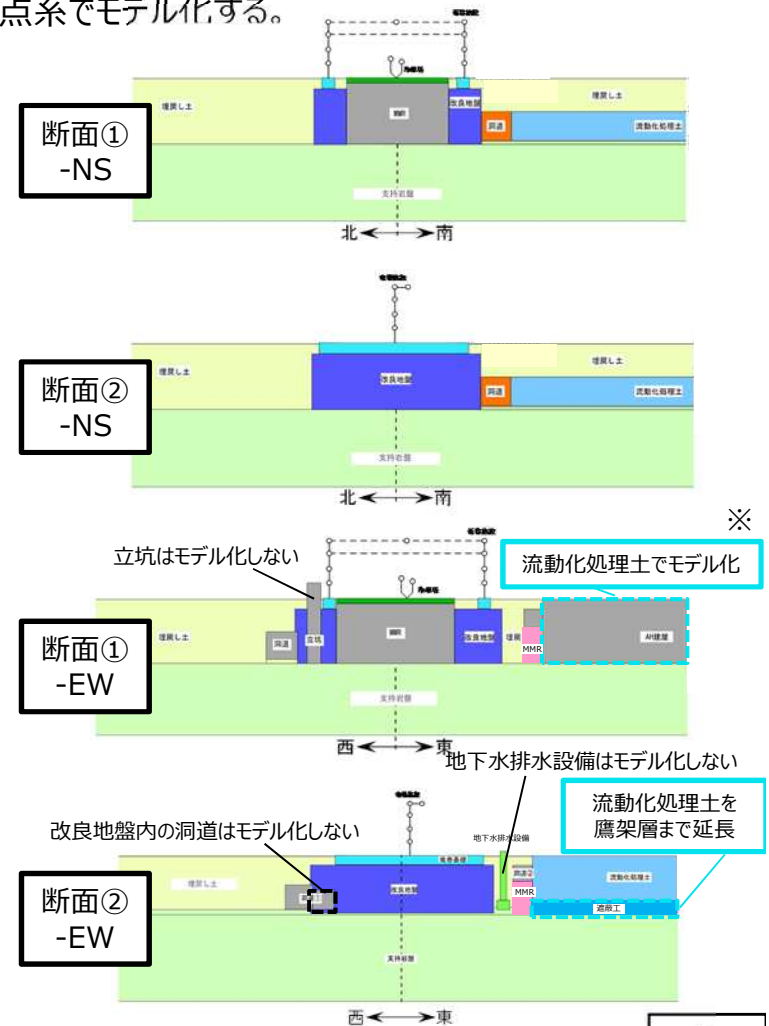
## (4) 有効応力解析モデルの概要 1/2

### ■ 解析断面

- 解析モデルは、中央部のMMRを含む断面（中央部断面）と、基礎と改良地盤を含む断面（端部断面）の2断面を選定する。  
 なお、中央部断面が約8割を占めているものの、端部断面での基礎の剛性が異なることから2断面を選定している。
- 中央部断面の上部鉄骨架構は、両側に基礎があることから門型の質点系でモデル化する
- 端部断面の上部鉄骨架構は、一体の基礎断面になることから、1本棒の質点系でモデル化する。



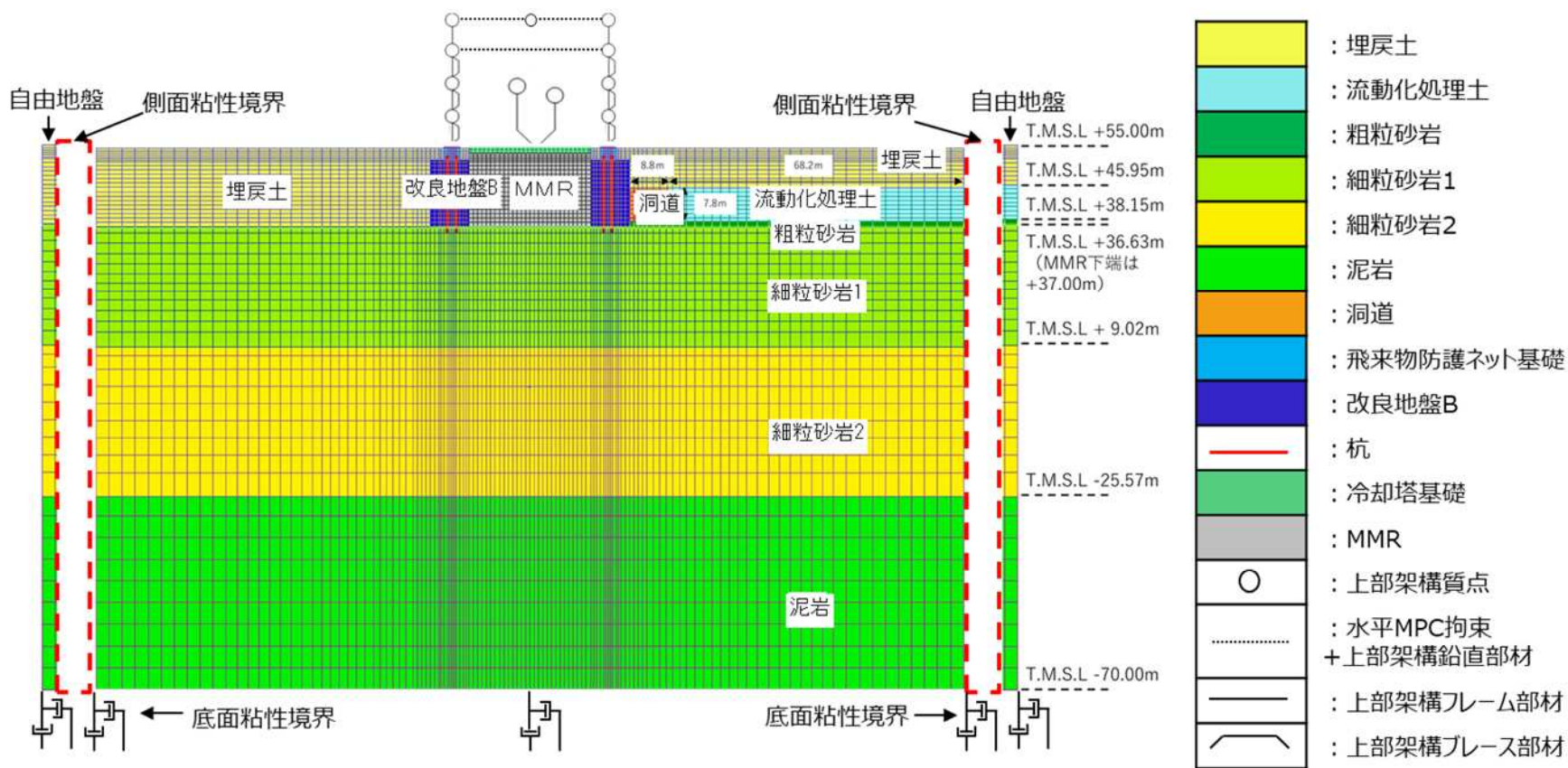
※ 断面①-EWでは施設の右側にAH建屋が存在する。  
 本評価では建屋より剛性が小さな流動化処理土で建屋をモデル化することで地盤の液状化の影響の点では保守的な設定とした。



(4) 有効応力解析モデルの概要 2/2

■ 解析パラメータの設定・考え方

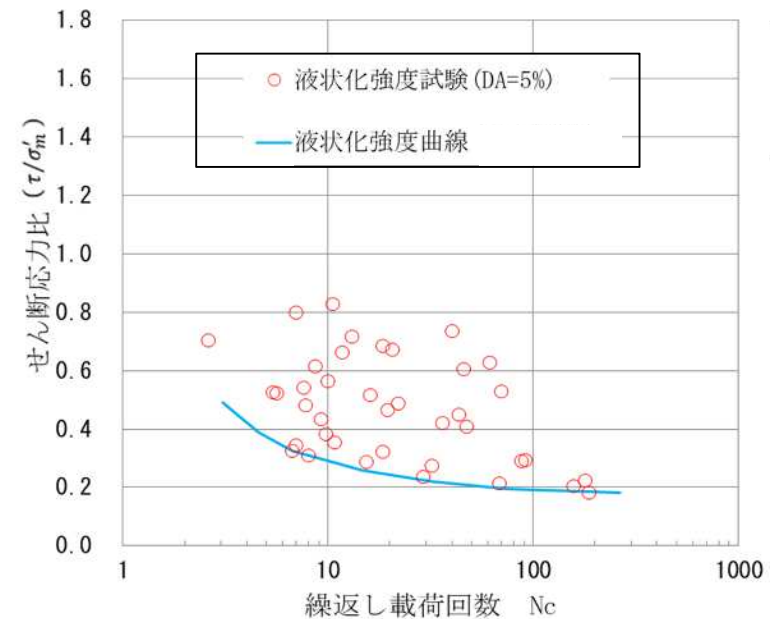
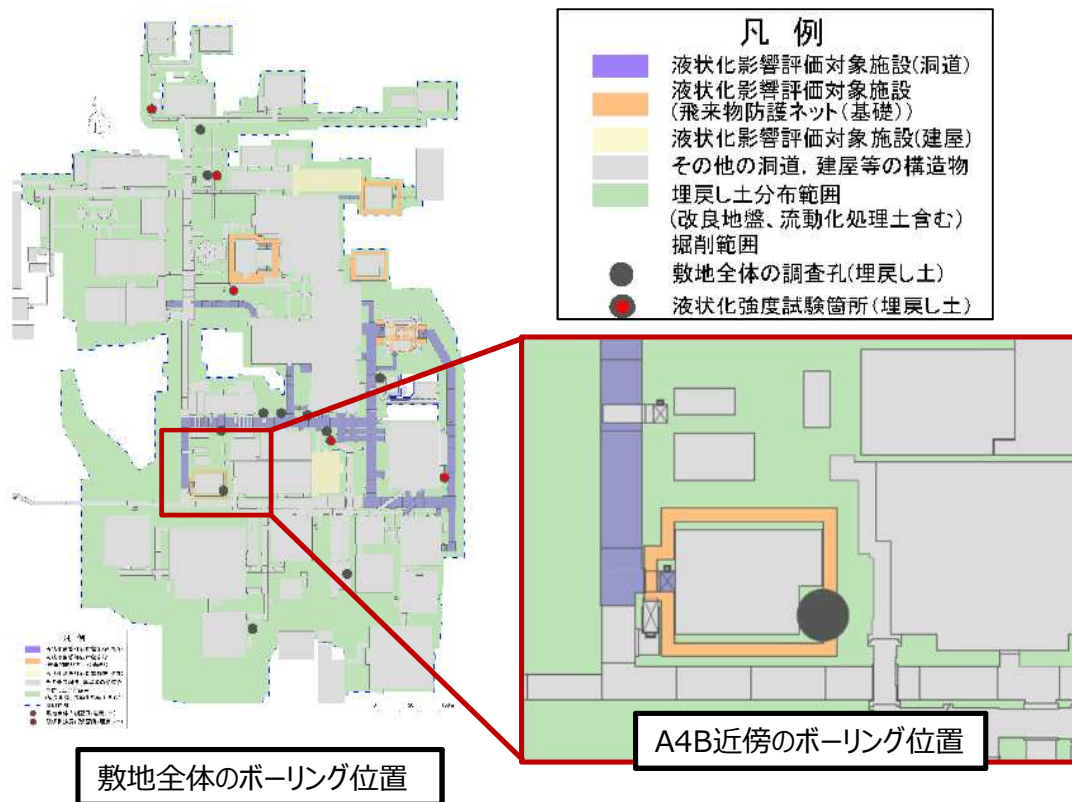
- モデルサイズは、JEAC4601-2008を参考に評価対象施設の幅(B)に対して両側幅B以上の範囲をモデル化領域とする。
- 材料減衰は液状化が生じ地盤が軟化することによる地盤の固有振動数の低振動数側へのシフトに伴い、設定したモードに対する減衰が初期減衰より小さい側へ変化していく剛性比例型の減衰を採用する。
- 地盤物性の考え方は、次頁に示す。



断面①-NS

■地盤の物性値について

- 液状化対象層は埋戻土とする。
- 埋戻土, 改良地盤, 流動化処理土については動的変形特性を与える。
- MMR, 地中構造物 (杭, 基礎梁, 冷却塔基礎, 洞道, 隣接構造物) については弾性体として扱う。
- 埋戻土の液状化強度曲線については液状化の現象を保守側に評価するため包絡値※とする。
- 鷹架層地盤の物性値についてSHAKEによる等価線形解析で求めた等価物性値とする。



※埋戻土に係る液状化強度試験の代表性及び網羅性については, 参考5に示す。

# 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット架構の耐震評価

## (5) 解析パラメータの設定 2/2

- 有効応力解析を実施する際に、動的変形特性を規定するパラメータと、過剰間隙水圧の発生を規定するパラメータを設定する必要がある。液状化パラメータは、要素シミュレーションを実施し、これにより得られる解析上の液状化抵抗曲線が、液状化強度試験結果に対して、包絡値と同等になるように下表のように設定した。

### ■ 地盤のパラメータ

パラメータ		埋戻土	改良地盤	流動化処理土	
物理特性	密度 $\rho$ ※D:深度(m)	g/cm <sup>3</sup>	1.82+0.0028D	1.72	1.63
	間隙率n	-	0.46	0.55	0.62
変形特性	動せん断弾性係数G	kN/m <sup>2</sup>	$1.257 \times 10^5$	$1.100 \times 10^6$	$3.800 \times 10^5$
	基準平均有効拘束圧	kN/m <sup>2</sup>	52.3	1.0	1.0
	ポアソン比 $\nu$	-	0.33	0.33	0.33
	履歴減衰における減衰定数の上限値h	-	0.171	0.167	0.140
強度特性	粘着力 $c'$ ※p:上載圧(N/mm <sup>2</sup> )	N/mm <sup>2</sup>	0	$3.000 \times 10^3$	0.347+0.242p
	内部摩擦角	°	39.7	0.001	0.001
液状化特性	変相角	°	34.0	—	—
	S1(終局状態を規定)		0.005	—	—
	w1(強度特性全体を規定)		10.30	—	—
	p1(強度特性の前半を規定)		0.50	—	—
	p2(強度特性の後半を規定)		1.00	—	—
	c1(強度発生の下限値を規定)		1.81	—	—

### ■ 上部鉄骨架構のパラメータ

パラメータ		上部鉄骨 (質点系)
せん断弾性係数G	MPa	$7.90 \times 10^4$
ポアソン比 $\nu$	-	0.3
減衰定数h	-	0.02

### ■ 杭基礎のパラメータ

パラメータ	杭	基礎梁	
せん断弾性係数G	MPa	$9.825 \times 10^3$	$9.446 \times 10^3$
ポアソン比 $\nu$	-	0.200	0.200
減衰定数h	-	0.05	0.05

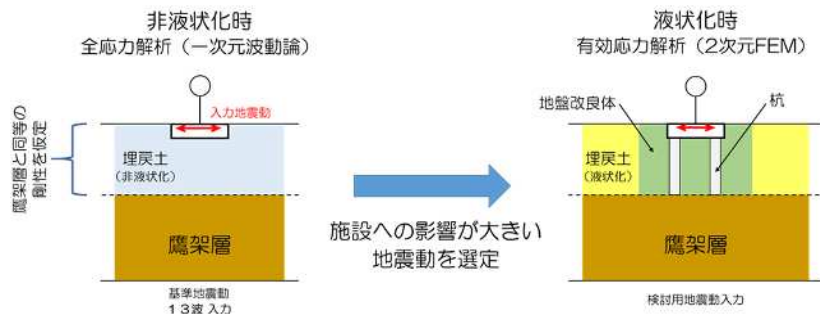
※改良地盤と流動化処理土については一軸圧縮強度が $0.5\text{kgf/cm}^2 \sim 1.0\text{kgf/cm}^2$ 以上あることから、液状化しないと判断している。

## (6) 有効応力解析ケースの選定 1/2

### ■ 検討用地震の選定

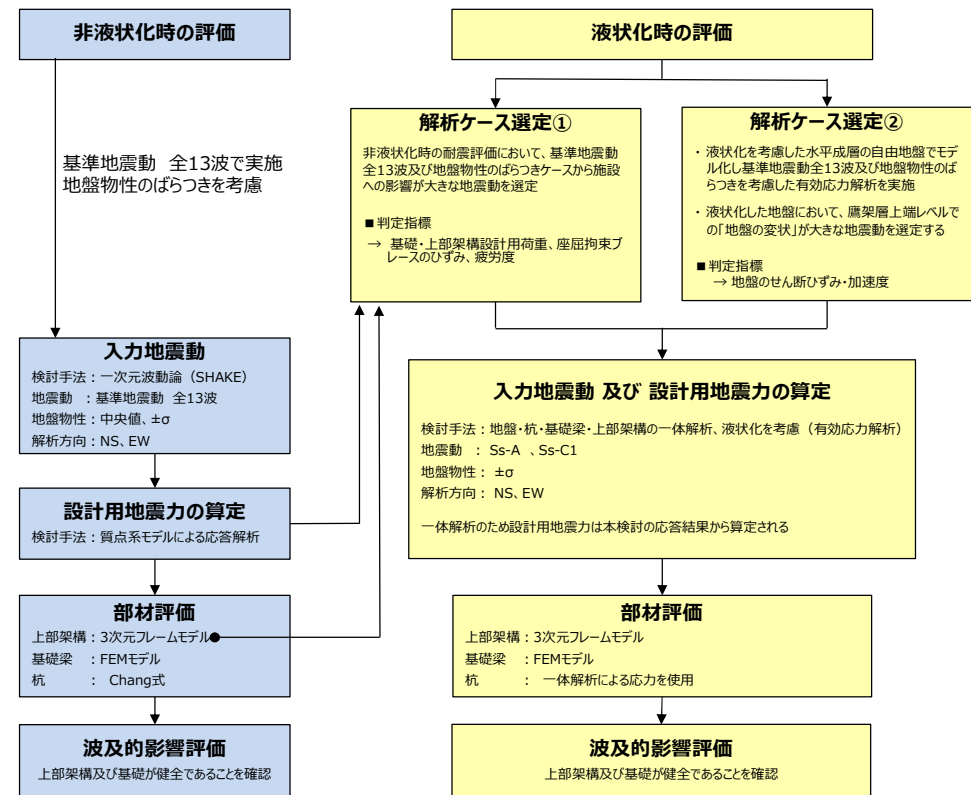
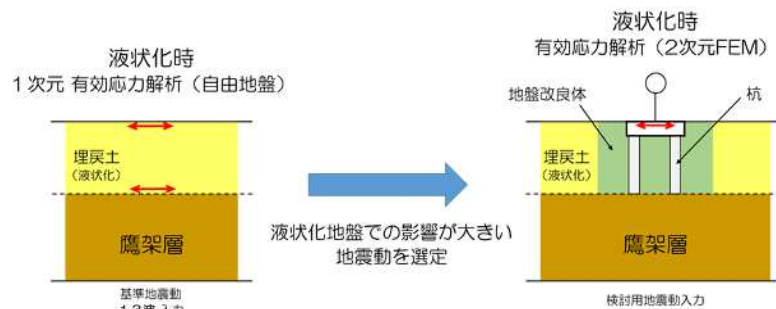
液状化時の影響検討においては、基準地震動全13波の中から、以下の①と②に該当する地震動を「検討用地震動」として選定し有効応力解析を実施する。（参考6「液状化時の解析ケースの選定」参照）

- ① 施設への影響が大きい地震動を非液状化時の解析ケースの中から、以下の項目に着目して選定する。
  - i) 上部鉄骨架構の「過大な変形」や「柱脚の損傷」の主要因となる、大きな「せん断力」が発生する地震動を選定する。
  - ii) 上部鉄骨架構の座屈拘束ブレースの「最大応答ひずみ」と「ブレースの疲労係数」が最大となる地震動を選定する。
  - iii) 杭の支持性能の喪失が生ずる原因となる、杭への最大のせん断力が発生する地震動を選定する。



- ② 上記に加え 液状化した地盤が、基準地震動の伝播特性に与える影響を評価するため、施設周辺地盤を「1次元の自由地盤にモデル化※」し、基準地震動全13波による有効応力解析において施設へ与える影響の大きい地震動の選定を行う。

※「(4)有効応力解析モデルの概要2/2」に記載の自由地盤と同じモデル



検討用地震動の設定フロー図

■ 有効応力解析の解析ケース

- 全応力解析において、施設に与える影響としては、地盤のばらつきを  $-\sigma$  とした際の基準地震動 Ss-A 及び地盤のばらつきを  $-\sigma$  とした際の基準地震動 Ss-C1 により生じる荷重、応答値が最大となっていることを確認した。
- 一方、「1次元の有効応力解析」では、地盤のばらつきを  $+\sigma$  とした際の基準地震動 Ss-A 及び地盤のばらつきを  $+\sigma$  とした際の基準地震動 Ss-C1 の応答が最大となっていることを確認した。
- 上記より、液状化による影響評価を行う有効応力解析においては、基準地震動 Ss-A 及び基準地震動 Ss-C1 を用いることとし、地盤物性のばらつきとしては、施設への影響が大きい  $\pm\sigma$  を採用する。また、解析断面は「安全冷却水 B 冷却塔」と「飛来物防護ネット架構」を含む「中央断面①」と「飛来物防護ネット架構」のみを含む「端部断面②」の2ケースについて検討する。結果として全16ケースについて検討を実施する。

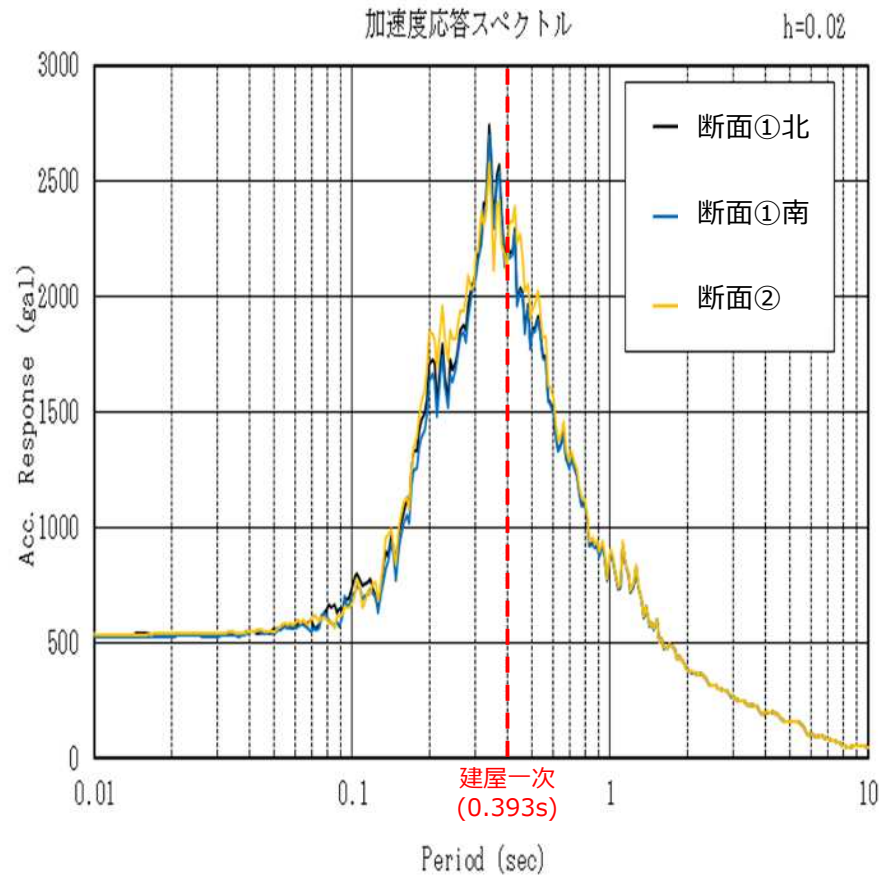
検討用地震		解析断面				地盤物性	選定根拠
		NS方向 (UD含む)		EW方向 (UD含む)			
		中央	端部	中央	端部		
1	Ss-A	○				$\pm\sigma$	座屈拘束ブレースの「最大疲労係数」が最大 有効応力解析時の「せん断ひずみ」が最大
2	Ss-A		○				
3	Ss-A			○		$\pm\sigma$	座屈拘束ブレースの「最大疲労係数」が最大 有効応力解析時の「せん断ひずみ」が最大
4	Ss-A				○		
5	Ss-C1	○				$\pm\sigma$	基礎・杭の「水平地震荷重」が最大 フレーム部材の「最大応答せん断力」が最大 座屈拘束ブレースの「最大応答軸力」が最大 有効応力解析時の「最大加速度」が最大
6	Ss-C1		○				
7	Ss-C1			○		$\pm\sigma$	基礎・杭の「水平地震荷重」が最大 フレーム部材の「最大応答せん断力」が最大 座屈拘束ブレースの「最大応答軸力」が最大 有効応力解析時の「最大加速度」が最大
8	Ss-C1				○		



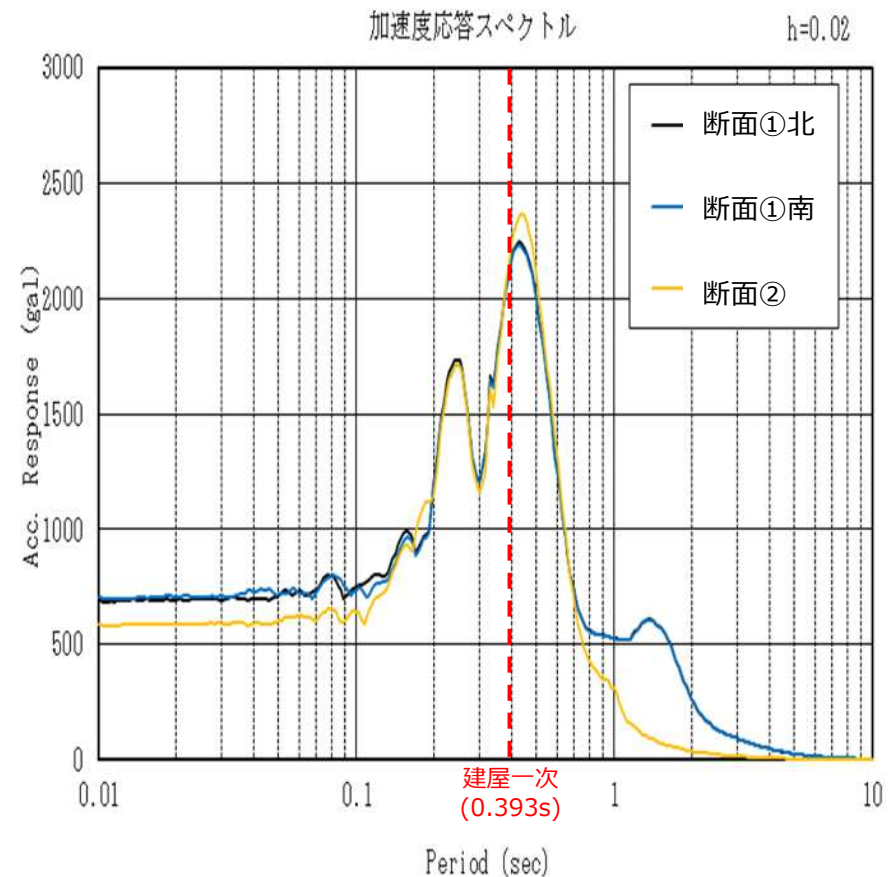
# 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット架構の耐震評価

## (7) 有効応力解析における入力地震動

- 有効応力解析における基礎上端における上部鉄骨架構への入力地震動を以下に示す。



Ss-A (NS方向) -  $\sigma$

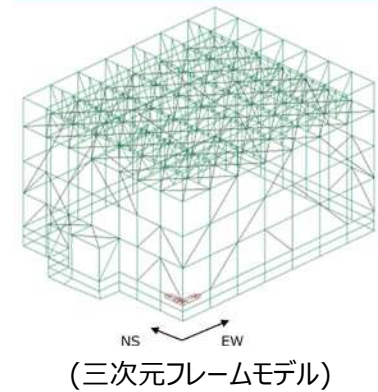


Ss-C1 (NS方向) -  $\sigma$

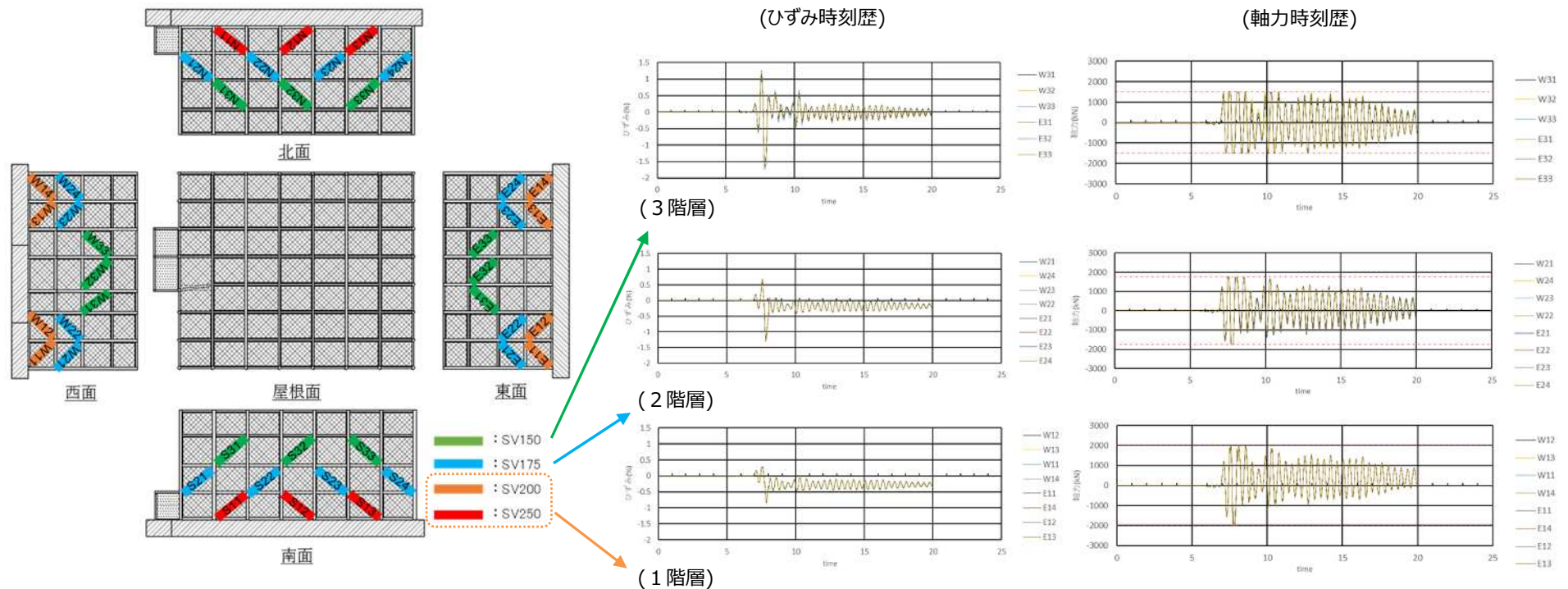
# 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット架構の耐震評価

## (8) 上部架構の設計の妥当性

- 非液状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）を層ごとに重ね書きする比較により、上部架構が各層一体で応答していることを確認。
- 液状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、非液状化時及び液状化時共に、架構の設計として適切と判断。



※：一例として、最大値が生じた断面②-NSの座屈拘束ブレースのひずみ時刻歴の結果を記載



⇒ 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。

(9) 液状化時の評価結果

- 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	検定比	
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)	0.866	
	上部架構 (座屈拘束ブレース)	最大軸ひずみ	0.544 (1.63% / 3.00%)	
		疲労係数総和	0.458	
	基礎梁	耐力 (軸力+曲げ)	0.313	
		耐力 (面外せん断力)	0.384	
	杭	耐力 (軸力+曲げ)	0.386	
		耐力 (面外せん断力)	0.182	
		支持力・引抜力	0.210	
	②沈下	杭基礎 (施設全体)	杭の鉛直力	0.490
③転倒	転倒モーメント		杭に引張荷重が生じないため省略	
④滑動	接合面でのせん断力		0.746	
⑤側方流動	施設の配置状況		高低差のある台地の法肩までの距離が100m以上のため側方流動は生じない	
⑥浮き上り	浮力			基礎の下に液状化対象層が無いことから浮力は発生しない

## 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1) 審査会合における指摘事項と対応方針

#### ■ 審査会合における指摘事項と対応

#### 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネットの耐震評価

No.	審査会合日	指摘事項	対応方針
1	2021.7.26	①飛来物防護ネットの上部構造と基礎の耐震評価の全体体系について説明すること。 ②座屈拘束ブレースの設計方針、目的・採用理由、配置の考え方、解析モデルの扱い、評価方法について説明すること。 ③質点系モデルと3次元フレームモデルでの弾塑性の応答解析結果を比較し、部材レベルで妥当性及び保守性を示すこと。 ④材料物性のばらつきについて示すこと。	①全体の評価体系の流れがわかるフローを示す。 ②座屈拘束ブレースの採用理由や配置の考え方などを示す。 ③座屈拘束ブレースの荷重時刻歴、履歴ループ、周辺部材の荷重を比較することにより、質点系モデルが妥当であることを示す。 ④設計体系の中で材料物性のばらつきを考慮方法を示す。

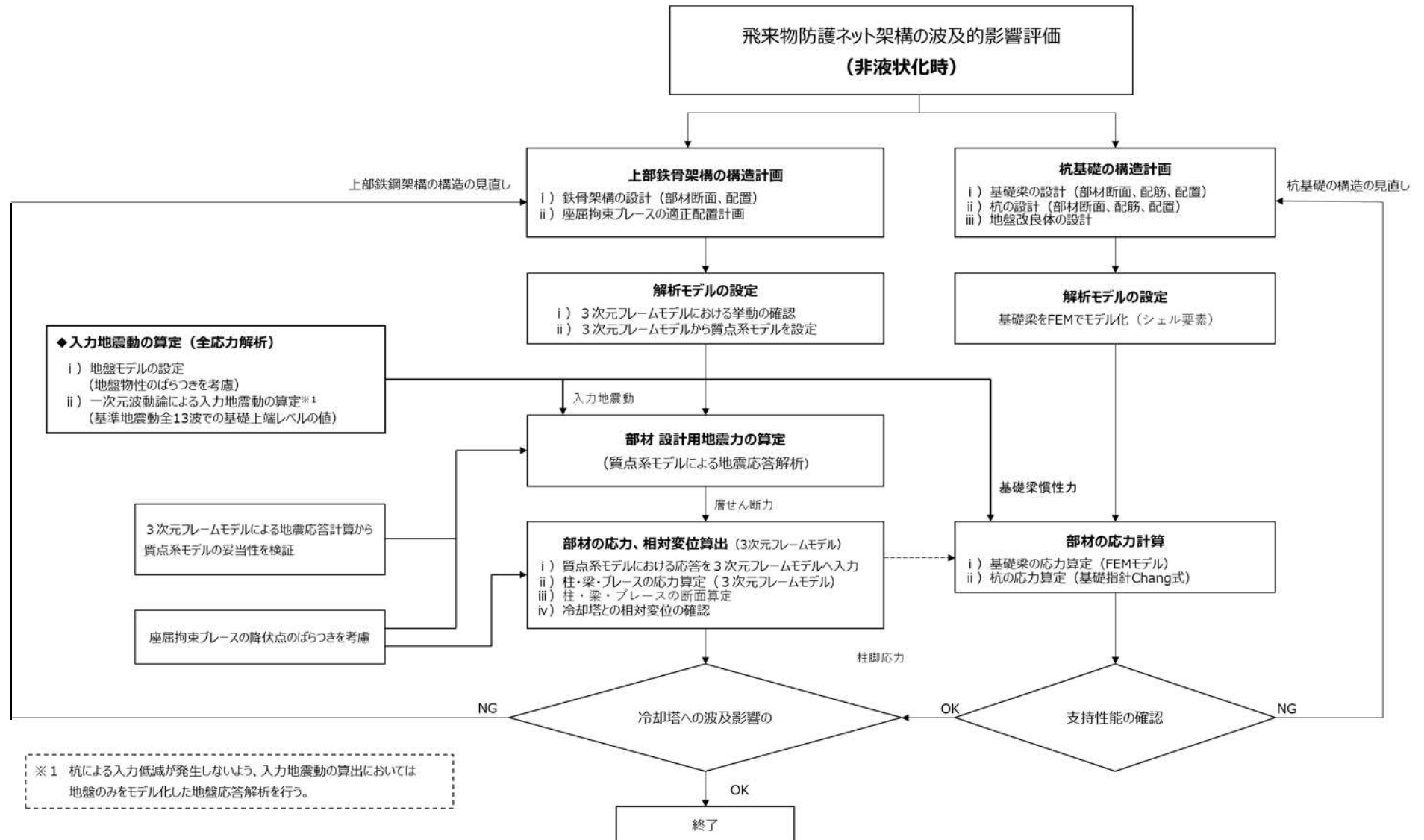
#### 設計用地下水の設定

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冷却塔飛来防護ネットの液状化影響評価の考え方を整理した。
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。	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。
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評価方針を整理した。
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示すこと。	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との比較検証を踏まえ、側方土圧荷重の設定は有効応力解析結果を用いることとした。
9	2021.7.26	地盤液状化による想定事象に対する確認が網羅できていることを示すこと。	耐震設計全体の流れを整理することで地盤液状化にて想定すべき事象が網羅出来ていることを整理した。
10	2021.7.26	有効応力解析における評価条件の妥当性や結果の保守性についても説明を行うこと 有効応力解析を用いた評価及びその他手法を用いた評価について妥当性を示すこと	有効応力解析の解析方針について整理した。なお、杭の耐震裕度を考慮すると、耐震性は確保できる見通しを得ている。
11	2021.8.30	評価の方法、評価条件、根拠データ、評価結果等を整理して改めて説明すること。	有効応力解析の方針だけではなく、全体方針、解析条件、根拠等を整理したうえで、評価結果を示し、飛来物防護施設が上位施設に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

# 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2) 全応力解析時の設計の流れ 1/2

非液化化時の全応力解析による評価フローを以下に示す



<上部鉄骨架構の設計>

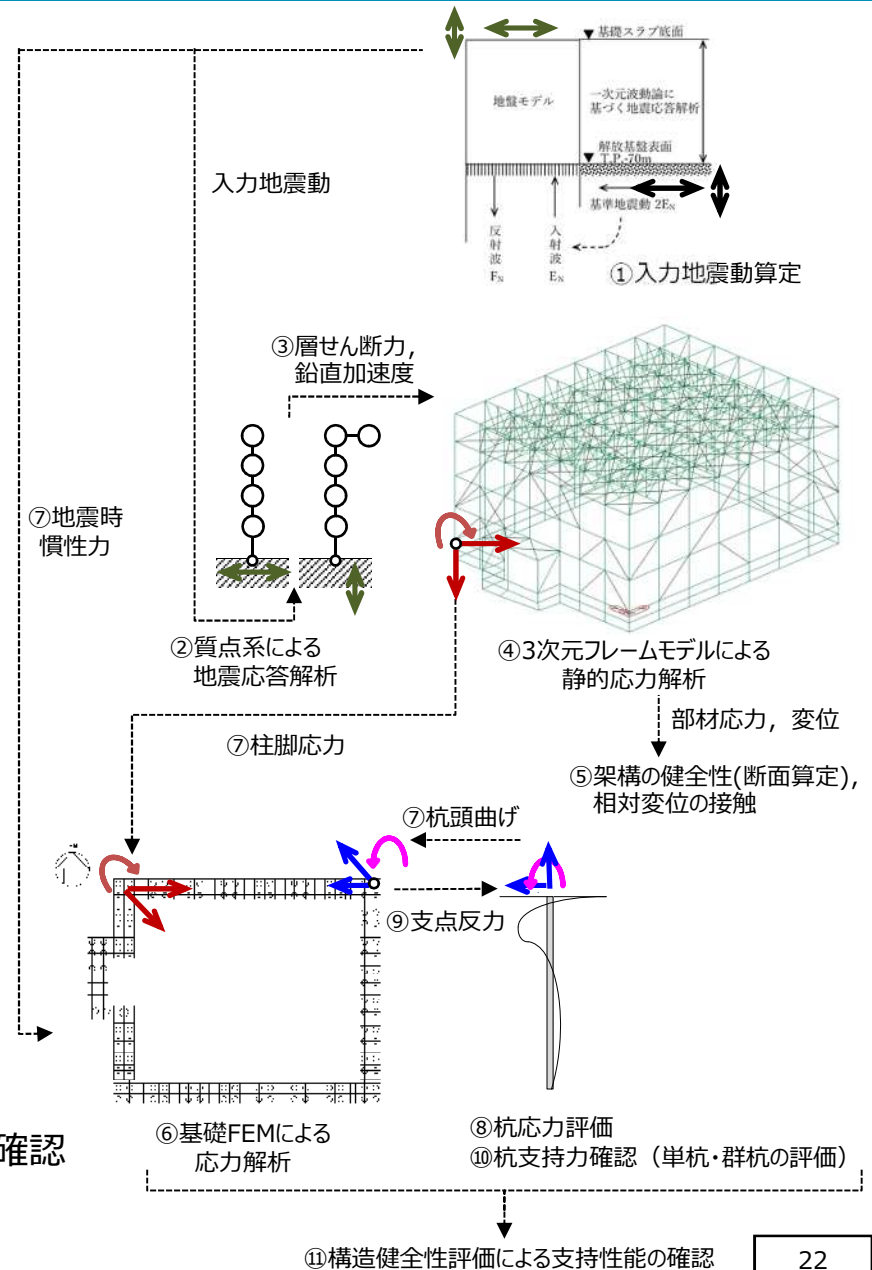
- ① 1次元波動論により直下地盤を用いた入力地震動を算定
- ② 質点系モデルにて地震応答解析
- ③ 層せん断力・鉛直加速度の算定
- ④ 3次元フレームモデルによる静的応力解析
- ⑤ 架構の構造健全性（断面算定）及び、  
相対変位による接触から冷却塔への波及的影響の確認

<基礎梁の設計>

- ⑥ 基礎FEMモデルにて応力解析
- ⑦ 3次元フレームモデルの柱脚応力，基礎自重の地震時慣性力，  
杭頭曲げを考慮

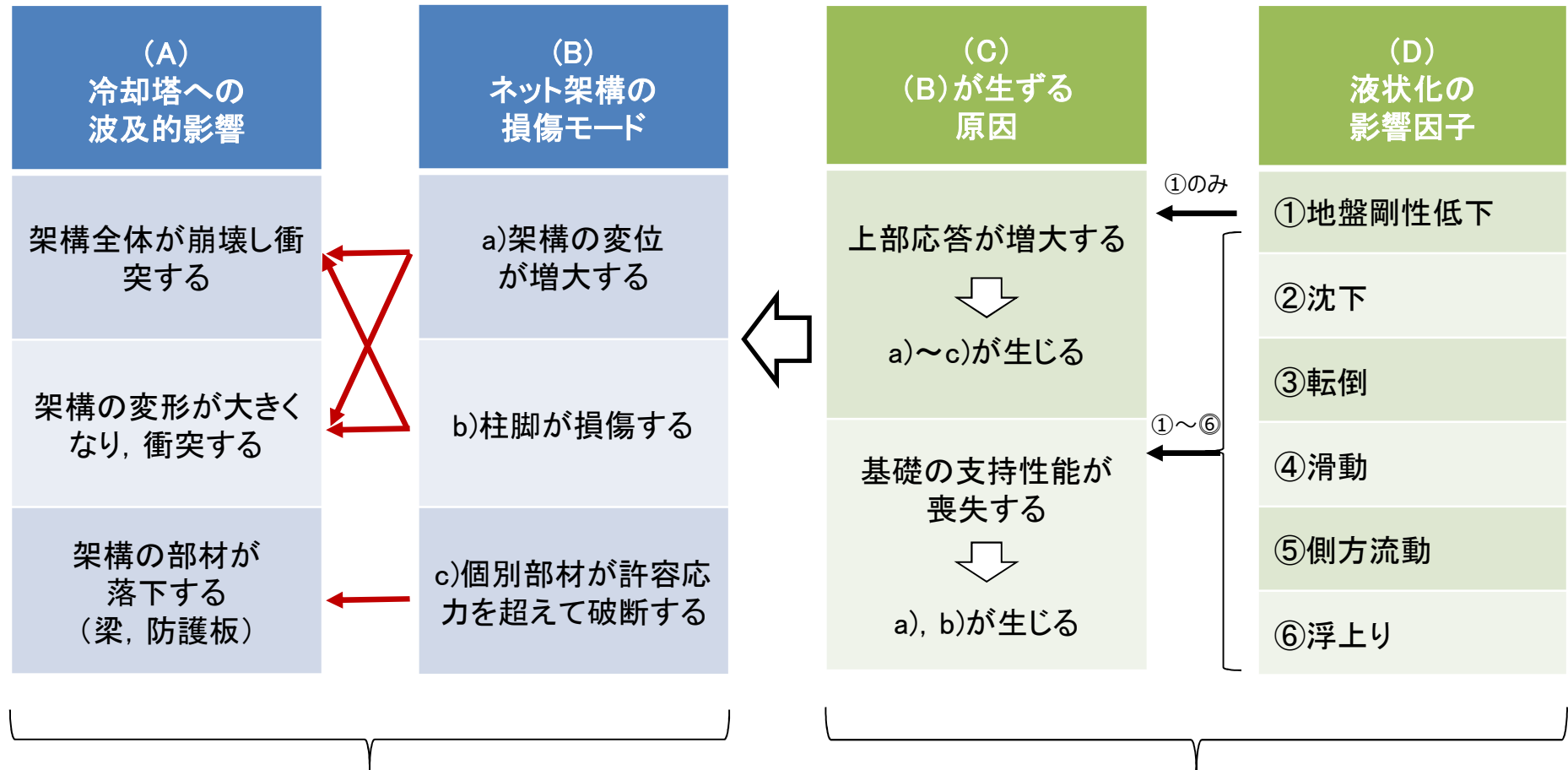
<杭の設計>

- ⑧ 杭応力評価は基礎指針（Chang式）により算定
- ⑨ 基礎FEMの支点反力を杭頭に作用
- ⑩ 杭支持力（鉛直支持力，引抜力）は基礎指針に基づき  
単杭及び群杭の双方で検討
- ⑪ 基礎，杭，支持力の構造健全性評価により架構の支持性能を確認



(参考3) 液状化時の波及的影響 (液状化影響因子と損傷モードの整理) 1/3

液状化によって発生する上部鉄骨架構の損傷モードと、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。

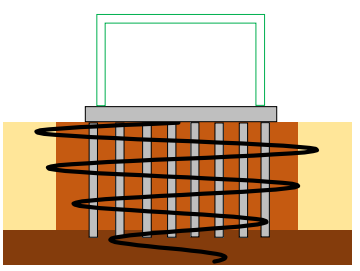
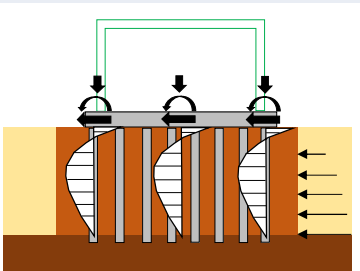
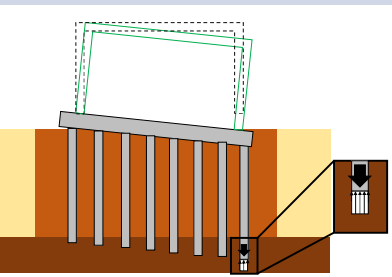


波及的影響を生じさせる上部架構の損傷モードを抽出

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)

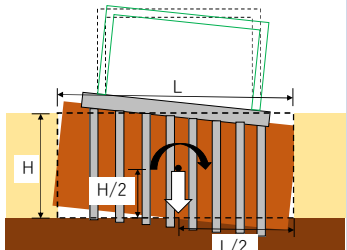
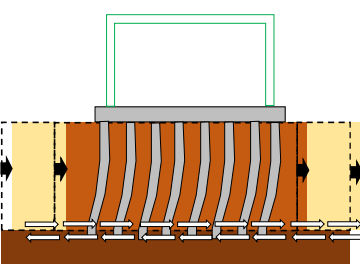
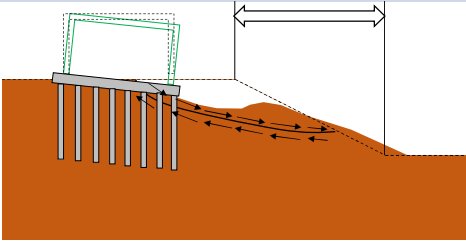
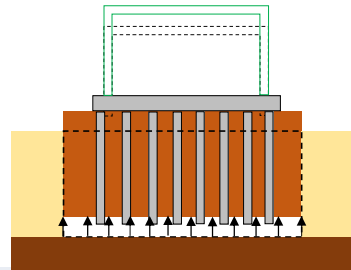
(参考3) 液状化時の波及的影響 (液状化影響因子と影響評価方法) 2/3

- 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, 杭基礎への影響が発生する機構を整理すると共に, 影響の有無の確認方法について整理した。
- ①～④は同時に発生する損傷ではあるが, ここでは液状化時の作用力が生じた際の損傷状態を個別に示している。
- ⑤, ⑥は有効応力解析とは別に地盤の状況から影響が生じないことが確認できる。

影響因子	損傷状態	イメージ図	確認方法
①地盤剛性低下	上部応答が増大する		有効応力解析において上部鉄骨架構が冷却塔へ波及的影響 (架構の崩壊・架構の衝突・部材の落下) を生じないことを確認する。上部鉄骨架構 (各種部材を含む) の応力度 (軸力 + 曲げ) 及び冷却塔との相対変位を評価指標とする。
	杭に大きな応力が生じ, 支持性能を失う		有効応力解析から求まる「杭に作用する荷重」と, 上部構造の3次元フレームモデルから求まる「上部構造から作用する荷重」を考慮し, 発生する応力が, 杭の許容限界を下回っていることをもって, 地盤剛性低下により基礎の支持性能が喪失しないことを確認する。杭の耐力 (軸力 + 曲げ) を評価指標とする。
②沈下	杭の先端の支持地盤の支持性能を失う		有効応力解析から求まる「杭の鉛直力」が, 鷹架層の極限支持力を下回っていることをもって, 沈下により基礎の支持性能が喪失しないことを確認する。杭の鉛直力を評価指標とする。

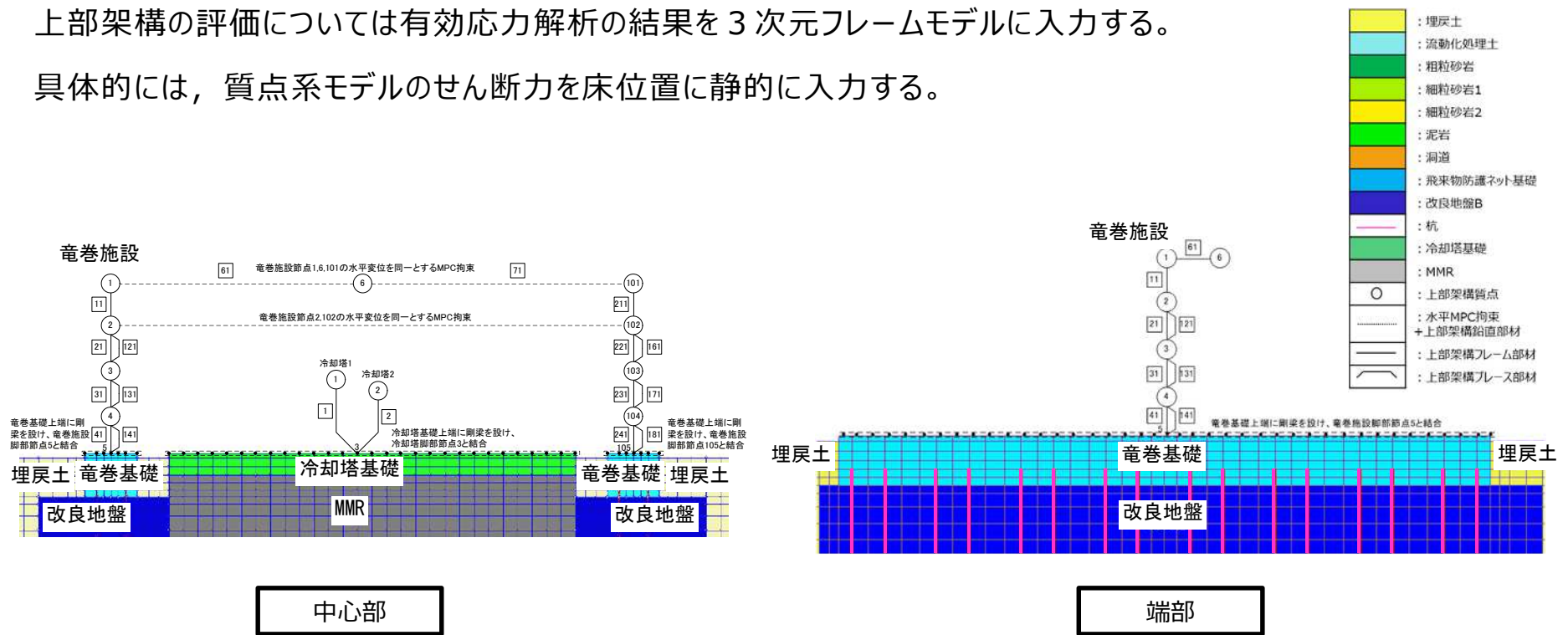


(参考3) 液状化時の波及的影響 (液状化影響因子と影響評価方法) 3/3

影響因子	損傷状態	イメージ図	確認方法
③ 転倒	杭基礎全体の過大な変形により支持性能を失う		<p>有効応力解析から求まる「側方土圧と施設全体に作用する慣性力」により発生する「転倒モーメント」が、改良地盤の重心位置に作用する自重から求められる安定モーメントを下回っていることをもって、転倒により基礎の支持性能が喪失しないことを確認する。転倒モーメントを評価指標とする。</p>
④ 滑動	杭基礎全体の過大な変形により、支持性能を失う		<p>有効応力解析から求まる「支持岩盤と改良地盤の接合面でのせん断力」が、杭のせん断抵抗力と接合面でのせん断抵抗力 (JEAG4601-1987による) の両抵抗力の合計を下回っていることをもって、滑動により基礎の支持性能が喪失しないことを確認する。接合面でのせん断力を評価指標とする。</p>
⑤ 側方流動	周辺地盤状況が側方に流動し、杭基礎全体の過大な変形により、支持性能を失う		<p>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 (道路橋示方書) から側方流動は生じないと評価し、基礎の支持性能が喪失しないことを確認している。</p>
⑥ 浮上り	杭基礎全体の過大な変形により支持性能を失う		<p>施設の下方に液状化対象層がないことから液状化に伴う浮上りは生じないと評価、基礎の支持性能が喪失しないことを確認している。</p>

■ 上部鉄骨架構のモデル化

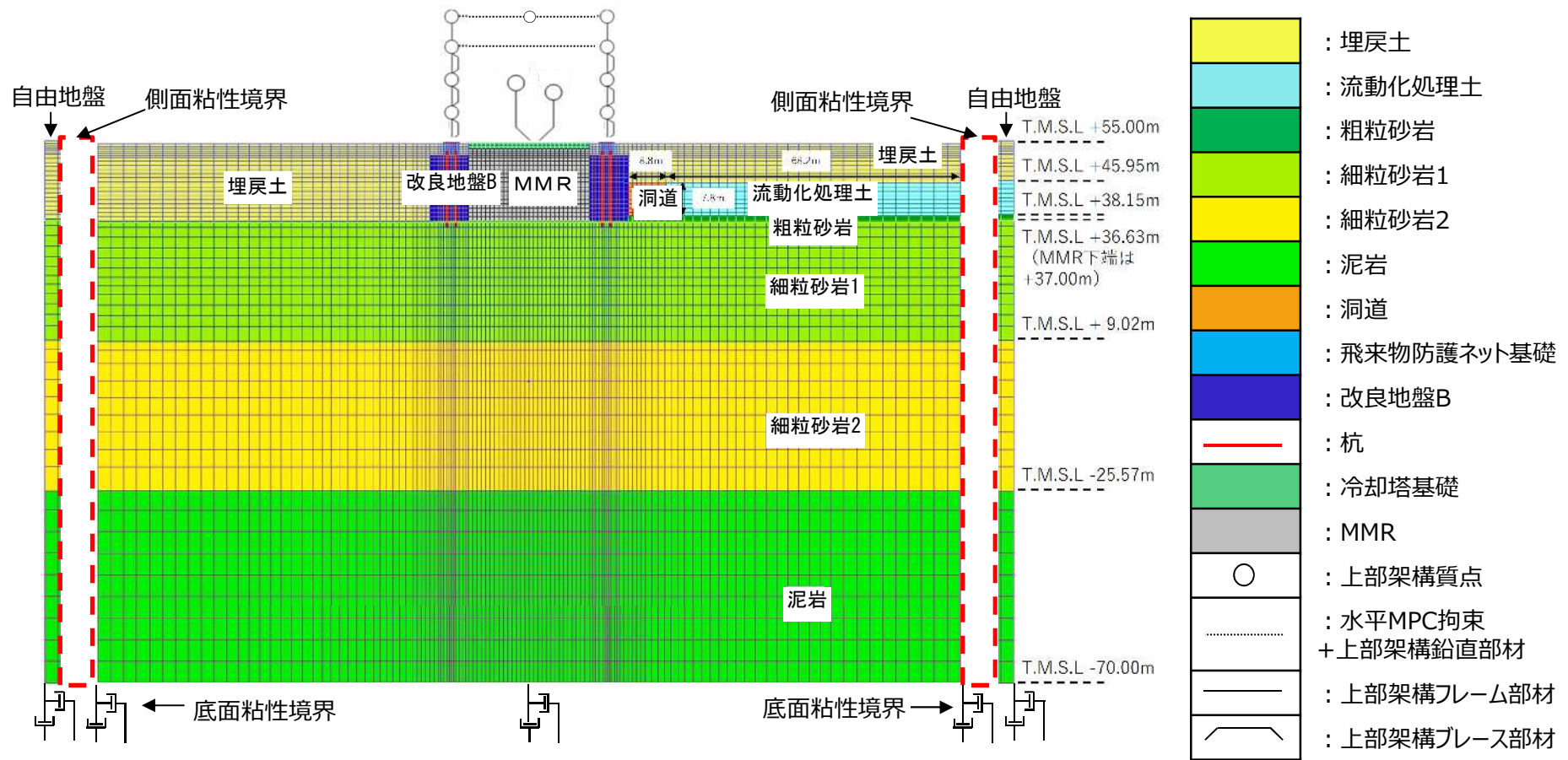
- 上部鉄骨架構としてモデル化した水平・鉛直の質点系モデルを地盤・基礎の2次元FEMモデルと一体で解析することで、上部鉄骨架構の振動特性を考慮する。
- 杭への応力を適切に評価するため、鉛直・水平方向の応答と水平方向地震力による基礎のロッキングを考慮する（杭の変動軸力を考慮する）。
- 地震入力については水平・上下同時入力とする。
- 上部架構の評価については有効応力解析の結果を3次元フレームモデルに入力する。
- 具体的には、質点系モデルのせん断力を床位置に静的に入力する。



(参考4) 解析モデルの概要 2/6

■ 解析モデル

➤ 解析領域の境界部において、側面及び底面は半無限性によるエネルギー逸散効果を考慮するために粘性境界を設ける。

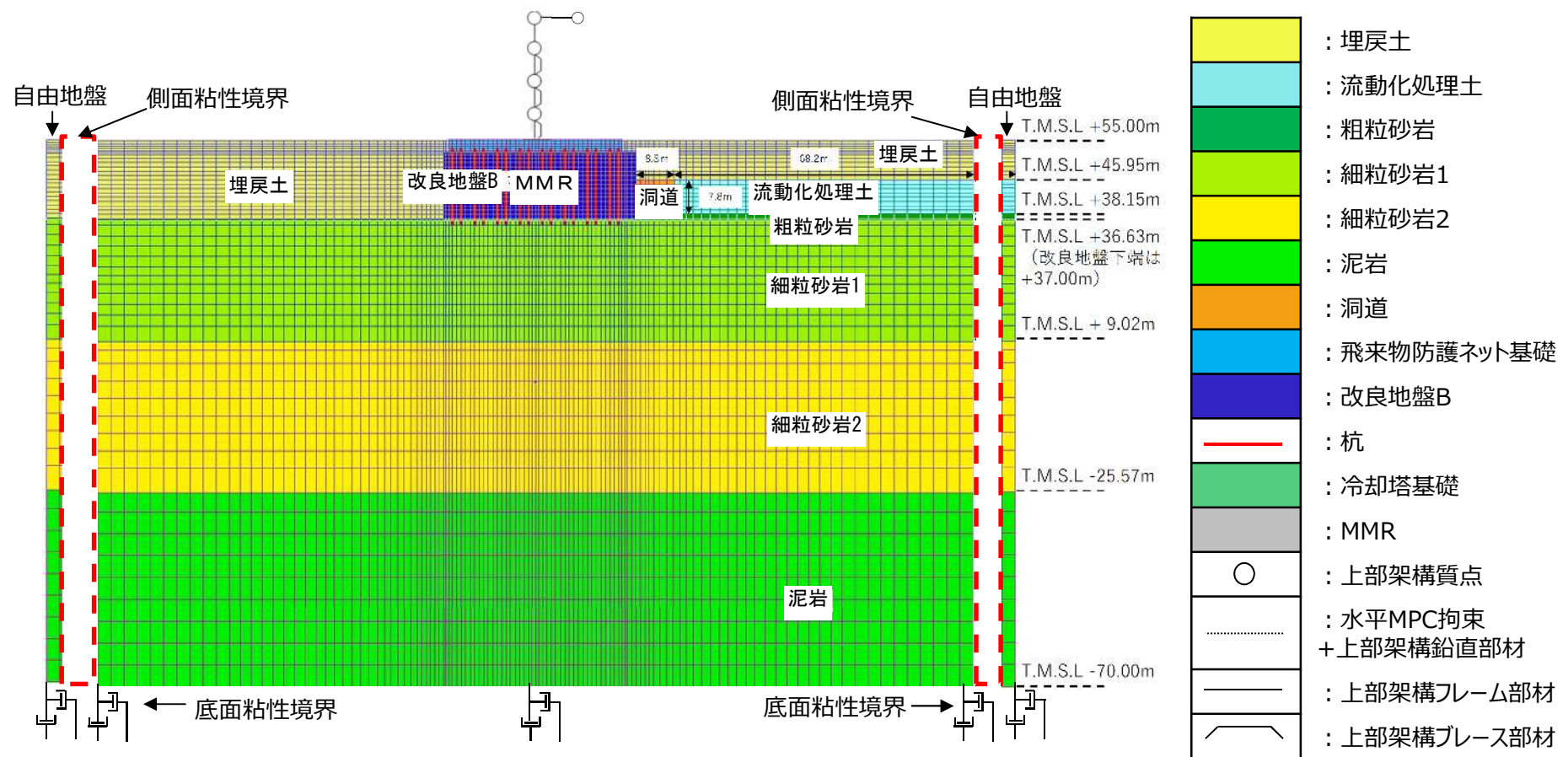


断面①-NS

(参考4) 解析モデルの概要 3/6

■ 解析モデル

- 解析領域の境界部において、側面及び底面は半無限性によるエネルギー逸散効果を考慮するために粘性境界を設ける。

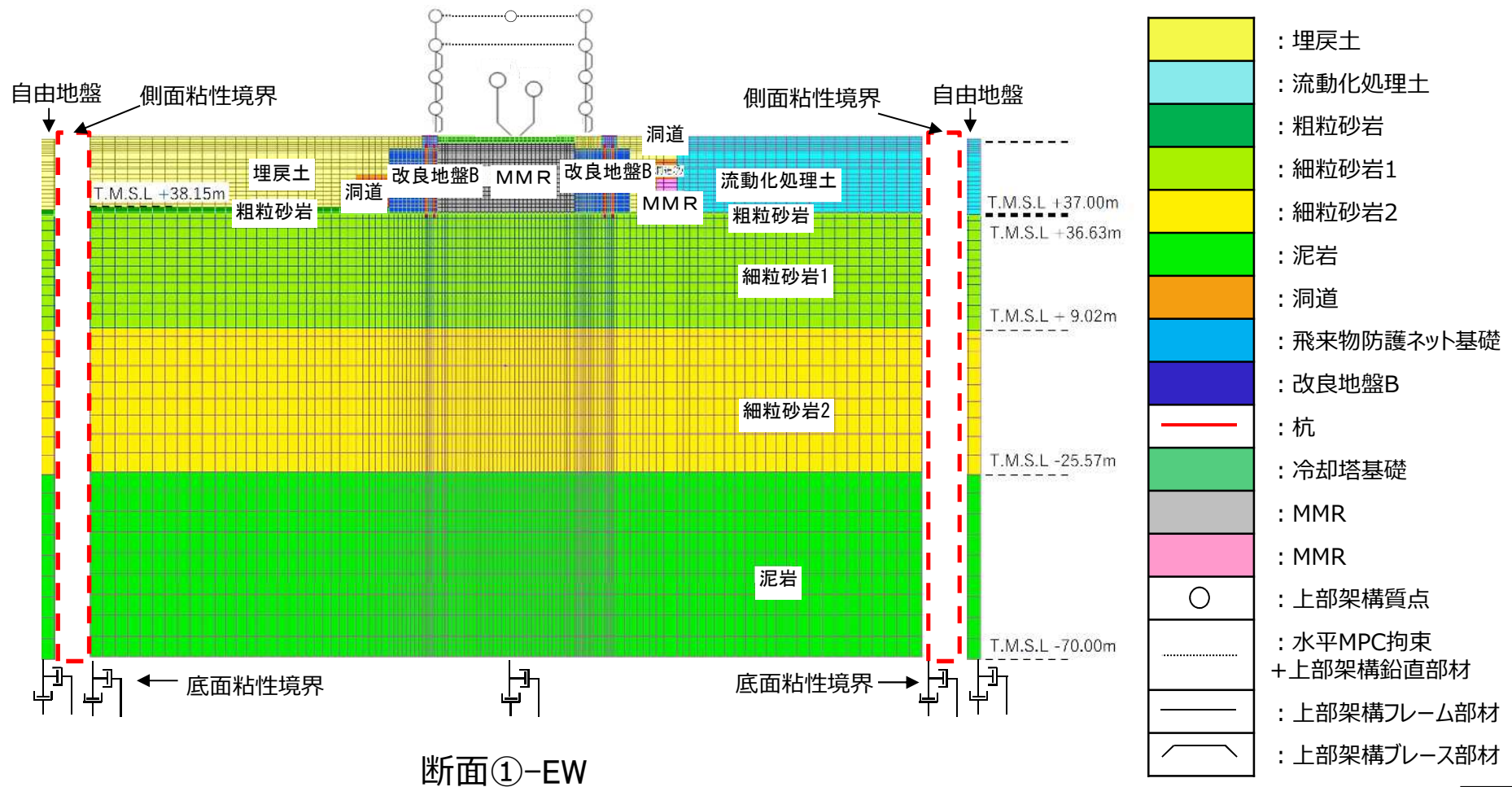


断面②-NS

(参考4) 解析モデルの概要 4/6

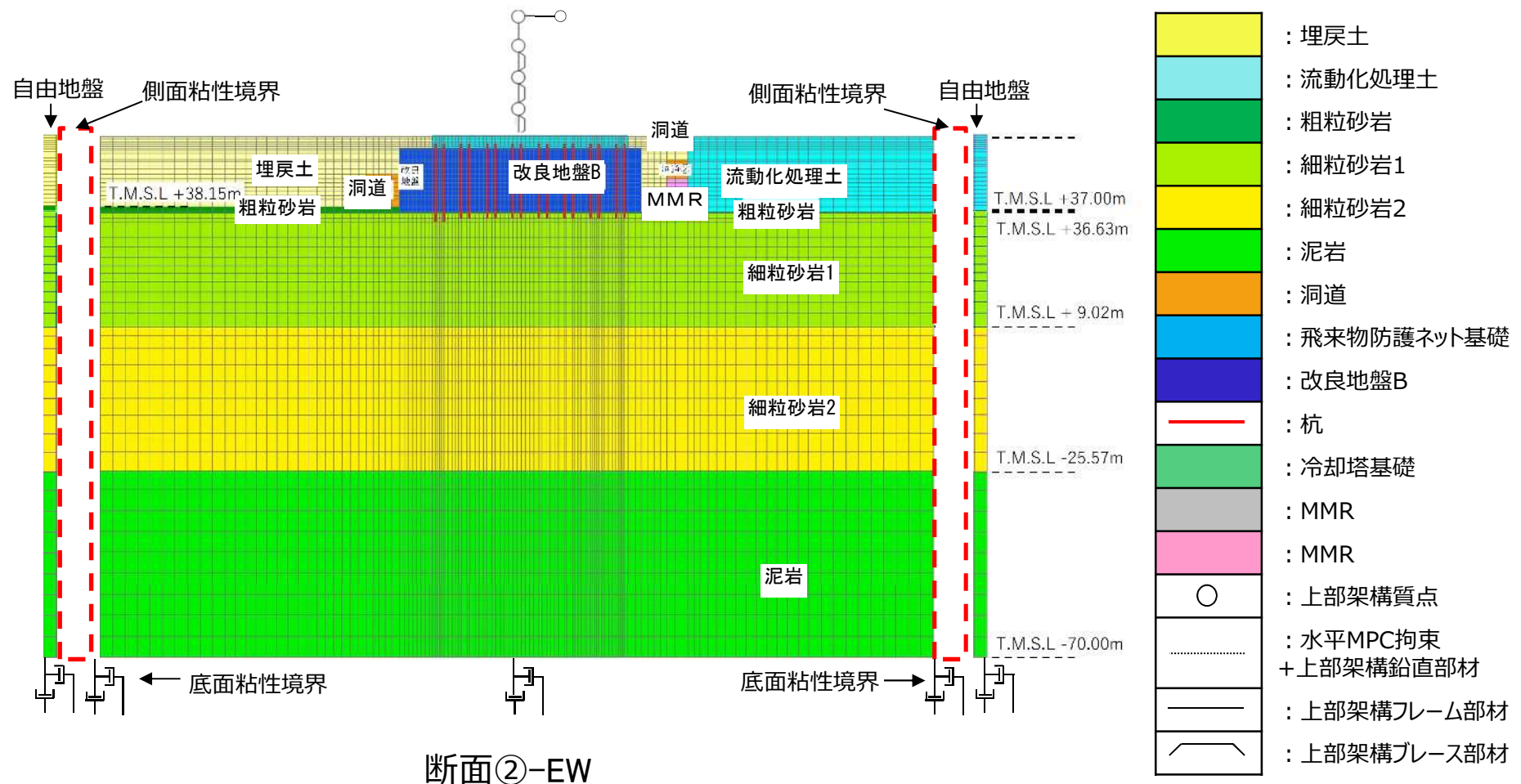
■ 解析モデル

➤ 解析領域の境界部において、側面及び底面は半無限性によるエネルギー逸散効果を考慮するために粘性境界を設ける。



■ 解析モデル

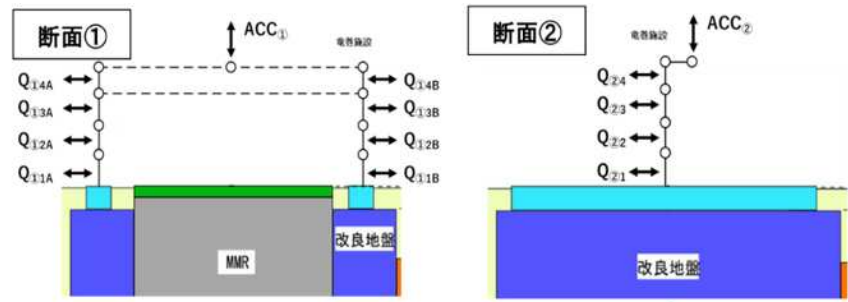
- 解析領域の境界部において、側面及び底面は半無限性によるエネルギー逸散効果を考慮するために粘性境界を設ける。



(参考4) 解析モデルの概要 6/6

■ 有効応力解析結果を用いた 3次元フレームモデルの評価

- 有効応力解析では上部鉄骨架構の振動特性の基礎への影響を把握するため上部架構鉄骨を質点系でモデル化している。
- そのため、地盤の液状化解析と同時に、上部鉄骨架構の応答も算出されることから、各層のせん断力等を3次元フレーム解析モデルの入力とする。

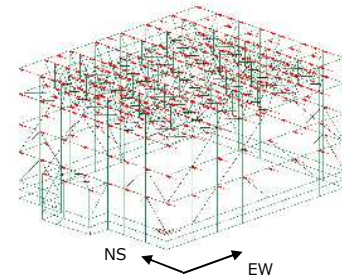


(1) 左右のせん断力の和を層せん断力とする

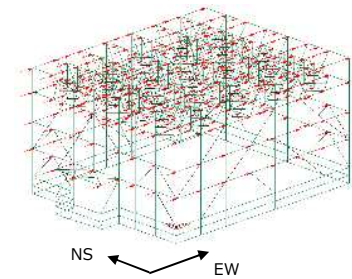
$$\left. \begin{aligned} Q_{1.4} &= Q_{1.4A} + Q_{1.4B} \\ Q_{1.3} &= Q_{1.3A} + Q_{1.3B} \\ Q_{1.2} &= Q_{1.2A} + Q_{1.2B} \\ Q_{1.1} &= Q_{1.1A} + Q_{1.1B} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{奥行1.0m相当の数値} \\ \rightarrow \text{実寸法相当に変換(係数倍)} \end{array}$$

(2) 断面①と断面②の層せん断力(実寸法相当)を比較、大きい数値を設計用せん断力(三次元フレーム解析用)として採用する

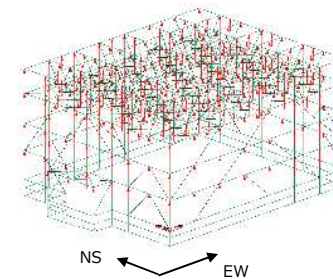
(3) 断面①と断面②の屋根部の鉛直加速度( $ACC_1, ACC_2$ )を比較、大きい数値より設計用鉛直震度(三次元フレーム解析用)を設定する



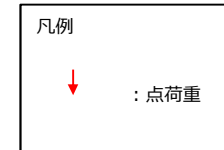
c. 地震荷重 (Ss) NS方向



c. 地震荷重 (Ss) EW方向



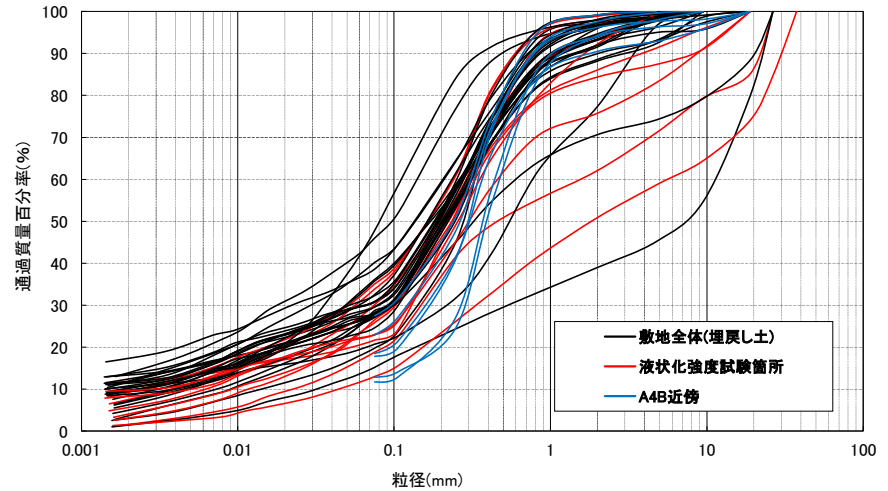
c. 地震荷重 (Ss) UD方向



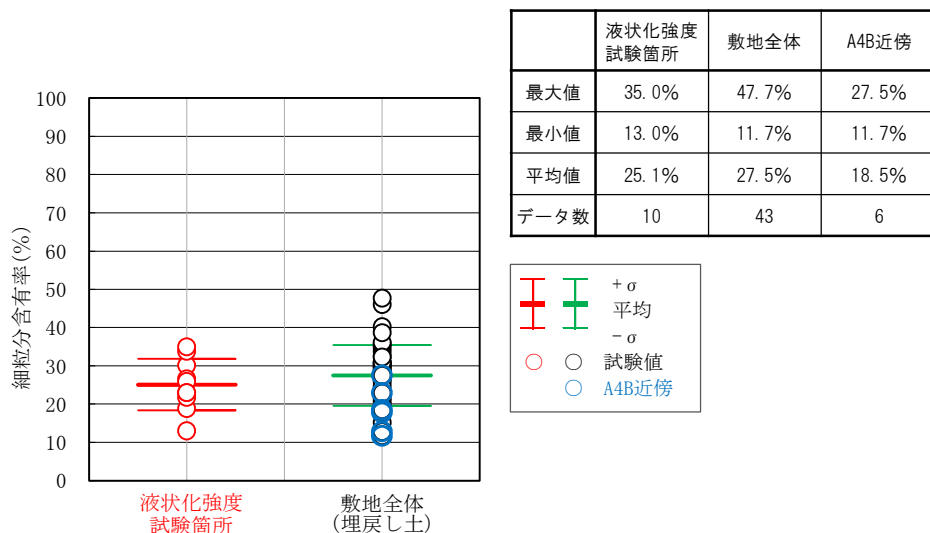
# 安全冷却水 B 冷却塔 飛来物防護ネット架構の耐震評価

## (参考 5) 液状化強度試験の代表性及び網羅性

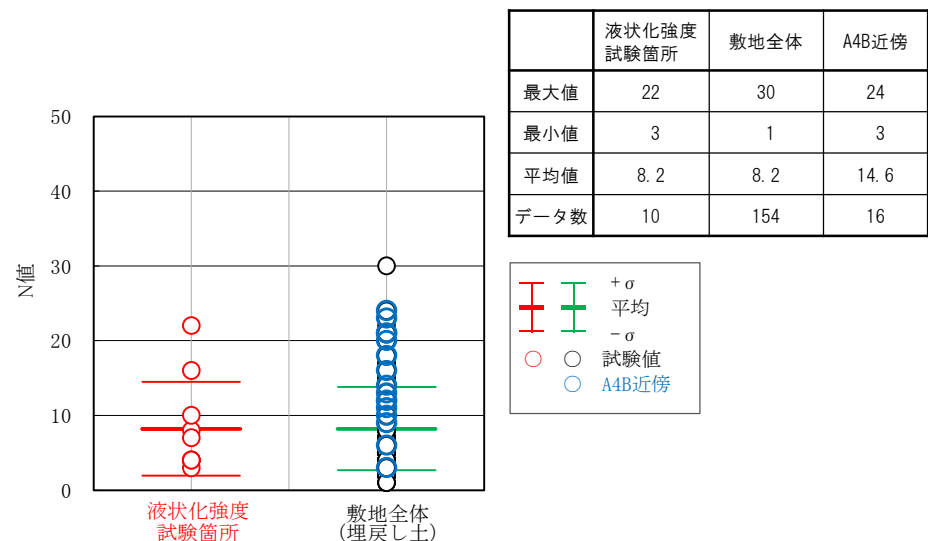
- 埋戻し土の液状化評価のため、敷地の埋戻し土の分布範囲をおおむね網羅する箇所で液状化強度試験を実施
- 液状化強度試験については、下記の特徴
  - ✓ 敷地全体と比較して細粒分が少ないもので実施（液状化しやすい傾向）。
  - ✓ 敷地全体と比較して細粒分含有率が少ないもので実施（おおむね敷地全体の平均値±1σの範囲内）。
  - ✓ 敷地全体と比較して平均的なN値のもので実施（おおむね敷地全体の平均値±1σの範囲内）。
- 従い、当該試験は液状化の評価として、保守性を有する試験結果を与えるものと評価



埋戻し土の粒度分布の比較



埋戻し土の細粒分含有率の比較



埋戻し土のN値の比較



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 6) 有効応力解析ケースの選定 1/3

非液状化時（全応力解析）の応答結果と最大値を示すケース（黄色ハッチング）

NS方向

No.	地震波	基礎・杭設計用			フレーム部材設計用			座屈拘束ブレース設計用					
		(A) 水平地震荷重 [kN]			(B) 最大応答せん断力 [kN]			(C) 最大応答軸ひずみ [%]			(D) 座屈拘束ブレースの最大疲労係数		
		標準地盤	地盤+σ	地盤-σ	標準地盤	地盤+σ	地盤-σ	標準地盤	地盤+σ	地盤-σ	標準地盤	地盤+σ	地盤-σ
1	Ss-A(H)	40828	41032	40167	12845	13032	12898	0.95	0.95	0.97	0.178	0.170	0.192
2	Ss-B1(NS)	30632	30375	29906	13095	13133	13097	0.62	0.58	0.68	0.045	0.042	0.049
3	Ss-B2(NS)	32770	33301	32267	12000	12463	12342	0.95	0.91	0.95	0.059	0.057	0.062
4	Ss-B3(NS)	31012	31870	30948	11133	11338	11279	0.63	0.62	0.67	0.034	0.030	0.039
5	Ss-B4(NS)	35810	34923	37626	12287	12399	12215	0.68	0.68	0.66	0.033	0.031	0.034
6	Ss-B5(NS)	30564	29926	31230	11617	11927	12160	0.84	0.79	0.87	0.046	0.039	0.055
7	Ss-C1(NSEW)	40874	39527	42520	13945	13920	14046	1.48	1.40	1.60	0.019	0.018	0.020
8	Ss-C2(NS)	25062	24292	24651	8160	7911	8966	0.25	0.25	0.28	0.006	0.005	0.009
9	Ss-C2(EW)	33068	32371	33629	12260	12385	12514	0.38	0.35	0.44	0.013	0.011	0.018
10	Ss-C3(NS)	27407	26816	28578	11688	11828	11792	0.75	0.75	0.76	0.018	0.014	0.020
11	Ss-C3(EW)	30922	31500	30695	12192	12626	11818	0.61	0.59	0.63	0.023	0.021	0.025
12	Ss-C4(NS)	32893	33166	33256	12354	12155	12449	0.41	0.40	0.44	0.023	0.023	0.025
13	Ss-C4(EW)	32339	32247	34992	10753	11063	10797	0.68	0.67	0.72	0.026	0.026	0.032

注1) 黄着色は、全13波のうち最大となる数値を示す。

注2) (A)の地震荷重は、(B)に基礎部の慣性力(=最大加速度×基礎重量)を加えたもの。

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 6) 有効応力解析ケースの選定 2/3

非液状化時（全応力解析）の応答結果と最大値を示すケース（黄色ハッチング）

EW方向

No.	地震波	基礎・杭設計用			フレーム部材設計用			座屈拘束ブレース設計用					
		(A) 水平地震荷重 [kN]			(B) 最大応答せん断力 [kN]			(C) 最大応答軸ひずみ [%]			(D) 座屈拘束ブレースの最大疲労係数		
		標準地盤	地盤+σ	地盤-σ	標準地盤	地盤+σ	地盤-σ	標準地盤	地盤+σ	地盤-σ	標準地盤	地盤+σ	地盤-σ
1	Ss-A(H)	41222	41246	40568	13239	13246	13299	0.98	0.98	1.02	0.171	0.160	0.185
2	Ss-B1(EW)	33923	32848	35346	12186	11988	12971	0.62	0.54	0.72	0.024	0.024	0.029
3	Ss-B2(EW)	32943	32210	33475	11982	12077	11789	0.65	0.67	0.66	0.045	0.041	0.050
4	Ss-B3(EW)	27982	27438	28644	10756	10510	11208	0.37	0.33	0.44	0.020	0.019	0.027
5	Ss-B4(EW)	34567	34908	33285	12464	12757	12516	0.56	0.53	0.61	0.020	0.020	0.020
6	Ss-B5(EW)	36595	35490	36701	13323	13334	13505	0.88	0.83	0.96	0.034	0.033	0.045
7	Ss-C1(NSEW)	41020	39724	42599	14091	14117	14125	1.47	1.39	1.59	0.018	0.016	0.020
8	Ss-C2(NS)	24512	24014	23717	7610	7633	8032	0.24	0.23	0.26	0.005	0.005	0.006
9	Ss-C2(EW)	32831	31898	33758	12023	11912	12643	0.35	0.34	0.39	0.009	0.009	0.011
10	Ss-C3(NS)	27762	26934	29024	12043	11946	12238	0.78	0.76	0.81	0.013	0.012	0.018
11	Ss-C3(EW)	31998	32192	31877	13268	13318	13000	0.64	0.63	0.65	0.021	0.019	0.024
12	Ss-C4(NS)	33604	34246	33452	13065	13235	12645	0.44	0.44	0.46	0.021	0.019	0.023
13	Ss-C4(EW)	33786	33308	36353	12200	12124	12158	0.76	0.75	0.75	0.024	0.023	0.027

注1) 黄着色は、全13波のうち最大となる数値を示す。

注2) (A)の地震荷重は、(B)に基礎部の慣性力(=最大加速度×基礎重量)を加えたもの。

(参考 6) 有効応力解析ケースの選定 3/3

1次元の有効応力解析による自由地盤の応答結果と最大値を示すケース (黄色ハッチング)

NS方向

No.	地震波	(A) せん断ひずみの最大値 [-]			(B) 最大加速度 [m/s <sup>2</sup> ]		
		標準地盤	地盤+σ	地盤-σ	標準地盤	地盤+σ	地盤-σ
1	Ss-A(H)	3.15E-02	3.30E-02	3.15E-02	2.76	2.80	2.70
2	Ss-B1(NS)	7.79E-03	8.13E-03	7.40E-03	2.52	2.53	2.46
3	Ss-B2(NS)	1.32E-02	1.35E-02	1.30E-02	3.36	3.47	3.22
4	Ss-B3(NS)	9.12E-03	9.45E-03	8.96E-03	3.55	3.63	3.46
5	Ss-B4(NS)	1.47E-02	1.49E-02	1.46E-02	5.08	5.20	4.93
6	Ss-B5(NS)	7.36E-03	7.60E-03	7.16E-03	2.22	2.29	2.15
7	Ss-C1(NSEW)	8.97E-03	9.04E-03	8.87E-03	6.67	6.92	6.43
8	Ss-C2(NS)	9.57E-04	9.34E-04	9.37E-04	1.79	1.81	1.76
9	Ss-C2(EW)	1.31E-02	1.29E-02	1.31E-02	5.46	4.54	4.70
10	Ss-C3(NS)	1.73E-02	1.72E-02	1.75E-02	1.71	1.55	1.80
11	Ss-C3(EW)	2.24E-02	2.16E-02	2.25E-02	1.77	1.80	1.72
12	Ss-C4(NS)	7.41E-03	7.05E-03	7.70E-03	1.98	1.97	2.01
13	Ss-C4(EW)	1.66E-02	1.74E-02	1.60E-02	3.26	3.31	3.23

EW方向

No.	地震波	(A) せん断ひずみの最大値 [-]			(B) 最大加速度 [m/s <sup>2</sup> ]		
		標準地盤	地盤+σ	地盤-σ	標準地盤	地盤+σ	地盤-σ
1	Ss-A(H)	3.15E-02	3.30E-02	3.15E-02	2.76	2.80	2.70
2	Ss-B1(EW)	5.06E-03	5.49E-03	5.05E-03	2.42	2.55	2.29
3	Ss-B2(EW)	8.44E-03	8.62E-03	8.20E-03	1.95	2.09	1.76
4	Ss-B3(EW)	6.30E-03	6.54E-03	6.08E-03	1.84	1.87	1.82
5	Ss-B4(EW)	1.06E-02	1.06E-02	1.03E-02	2.43	2.58	2.40
6	Ss-B5(EW)	9.41E-03	9.74E-03	9.06E-03	3.41	3.52	3.31
7	Ss-C1(NSEW)	8.97E-03	9.04E-03	8.87E-03	6.67	6.92	6.43
8	Ss-C2(NS)	9.57E-04	9.34E-04	9.37E-04	1.79	1.81	1.76
9	Ss-C2(EW)	1.31E-02	1.29E-02	1.31E-02	5.46	4.54	4.70
10	Ss-C3(NS)	1.73E-02	1.72E-02	1.75E-02	1.71	1.55	1.80
11	Ss-C3(EW)	2.24E-02	2.16E-02	2.25E-02	1.77	1.80	1.72
12	Ss-C4(NS)	7.41E-03	7.05E-03	7.70E-03	1.98	1.97	2.01
13	Ss-C4(EW)	1.66E-02	1.74E-02	1.60E-02	3.26	3.31	3.23

注1) 黄着色は、全13波のうち最大となる数値を示す。

注2) 鉛直動同時加振

注3) (A)は埋戻し土下端, (B)は地表面を対象

## 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7) 非液状化時の評価結果

- 非液状化時における各評価部位について全応力解析による評価を行い、耐震性が確保されることを確認した。

飛来物防護ネットの 検討対象部位	評価指標	検定比
上部架構 (柱等の弾性部材)	応力度 (軸力 + 曲げ)	0.86
上部架構 (座屈拘束ブレース)	最大軸ひずみ	0.54 (1.6%/3.0%)
	疲労係数総和	0.192 (0.192/1.00)
基礎梁	耐力 (軸力 + 曲げ)	0.281
	耐力 (面外せん断力)	0.459
杭	耐力 (軸力 + 曲げ)	0.458
	耐力 (面外せん断力)	0.255
	支持力・引抜力	0.223 ・ 0.217