

# 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9月28日

# 目次

---

- 1. 設工認申請に係る対応状況（全般事項）**
  - 2. 技術的内容に係る説明（耐震：建物・構築物）**
- 参考 論点に対する説明状況**

---

## **1. 設工認申請に係る対応状況（全般事項）**

### **申請対象設備の明確化**

（1）申請対象設備の明確化

---

＜申請対象設備の明確化＞

- 申請対象設備の抽出結果の網羅性の検証のため、設工認本文の基本設計方針と対象となる設備とを紐づけることにより設工認で申請すべき設備を漏れなく抽出できていることを確認する仕組みの整備、技術基準規則の条文ごとに基本設計方針として記載すべき事項の整理を実施。
- 当該仕組みに基づく設計図書等の色塗りにより抽出した仕様表対象機器等と当該機器が関係する基本設計方針との突合せ作業を進めており、これらの結果として10月上旬（予定）までに資料を提出し、事実確認を実施する予定（**対応状況を踏まえ修正予定**）。

＜申請書記載事項等の整理＞

- 申請書本文、添付書類等それぞれへの記載事項の整理を上記と並行して進めている。
- 本文 基本設計方針の記載事項の整理から作業し、第1回申請対象の基本設計方針に対応する添付書類の項目整理、第1回申請対象の添付書類の記載事項の整理と順次作業を展開している。
- これらの作業結果を踏まえ準備が整い次第、補正申請を予定。

---

## **2. 技術的内容に係る説明（耐震：建物・構築物）**

### **安全冷却水 B 冷却塔 飛来物防護ネット架構の耐震評価**

(1) 第1回申請施設における審査経緯

**申請時点 (2020.12.24) の耐震評価 (液状化評価) の考え方**

- 飛来物防護ネットについて、杭周辺の地盤を改良していることから液状化評価は不要と考えていた。

**2021.3.15審査会合における議論**

- 地下水排水設備に囲まれていない施設における液状化評価の考え方について議論があった。

**液状化評価手法の検討**

- 液状化評価として、簡便な評価手法である「ウエスタガード補正式」の採用について検討を行った。

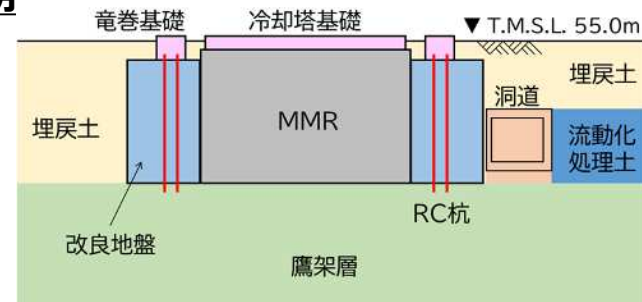
**2021.6.28審査会合における議論**

- 液状化時の土圧算定に「ウエスタガード補正式」を用いることの妥当性について議論があった。

**2021.8.30審査会合及び2021.10.12 (今回) 審査会合での説明**

**第1回申請施設において用いる「液状化評価手法」**

- 本施設の液状化評価においては、「ウエスタガード補正式」では複雑な土圧の影響を考慮できないと考え、詳細な評価手法である「有効応力解析」を採用することとし、合わせて地盤モデルの見直しを考慮した液状化評価に切り替え。
- 有効応力解析による液状化評価において、杭基礎の支持性能の喪失は発生せず、上部鉄骨架構においても、冷却塔への波及的影響である「崩壊、衝突、落下」は生じないという評価を得ている。



冷却塔及び飛来物防護ネットの模式図 (断面)

(2) 本日の説明内容

---

■ 全体の設計方針

- 液状化評価の位置づけ

■ 液状化時の評価概要

- 評価の方法, 評価条件, 根拠データ, 評価結果

### (3) 飛来物防護ネット架構の「設計方針」と「評価の見通し」

#### 【設計方針】

##### (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、波及的影響の評価に際して、非液状化時における全応力解析を設計の基本とする。ただし、飛来物防護ネット架構は、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ことから液状化時の影響評価として、地盤の有効応力解析を実施する。(実施フローを次頁に示す)
- 非液状化時の評価として、全ての基準地震動を対象として、全応力解析（一次元波動論）により入力地震動を算定し、質点系モデルで応答計算を行った後、静的な層せん断力を3次元フレームモデルに入力して、個別部材の設計と波及的影響評価を行う。
- 液状化時の評価として、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層せん断力等を算定し、静的な層せん断力を3次元フレームモデルに入力して、波及的影響評価を行う。

※飛来物防護ネット架構は「上部鉄骨架構」と架構を支持する「杭基礎」から構成されている施設。

##### (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、冷却塔へ波及的影響が生じないことを確認する。

#### 【評価の見通し】

##### (1) 非液状化時の評価

杭基礎の支持性能が十分な裕度を確保されていると共に、「上部鉄骨架構」が冷却塔Bへ波及的影響を与えない見通しを得た。

##### (2) 液状化時の評価

液状化を考慮した際には、非液状化時に比べ、施設への影響が大きくなっていったものの、杭基礎の支持性能が十分な裕度を確保されていると共に、「上部鉄骨架構」が冷却塔Bへ波及的影響を与えない見通しを得た。

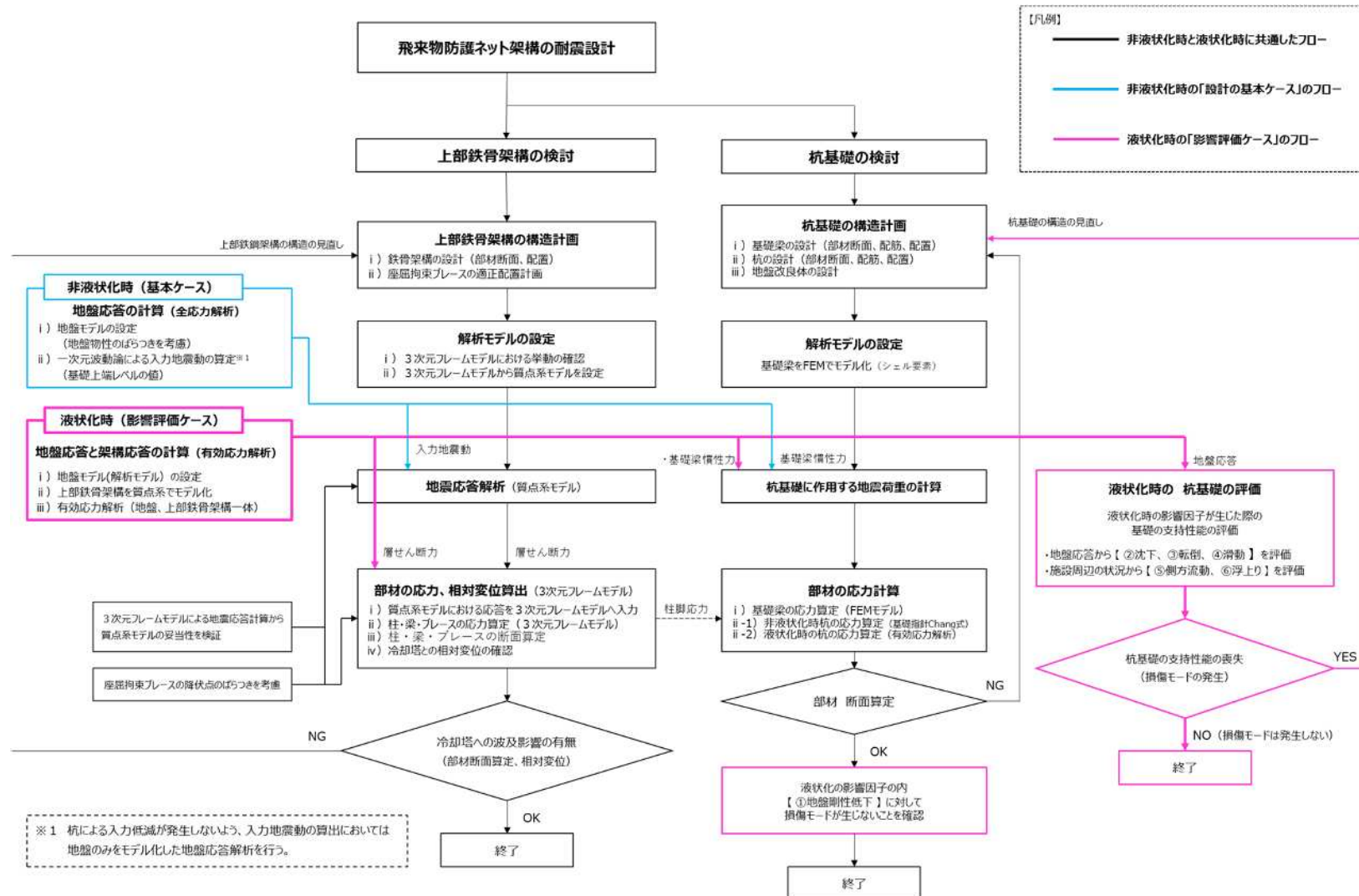


# 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット架構の耐震評価

## (4) 飛来物防護ネット架構の設計プロセス (設計フロー)

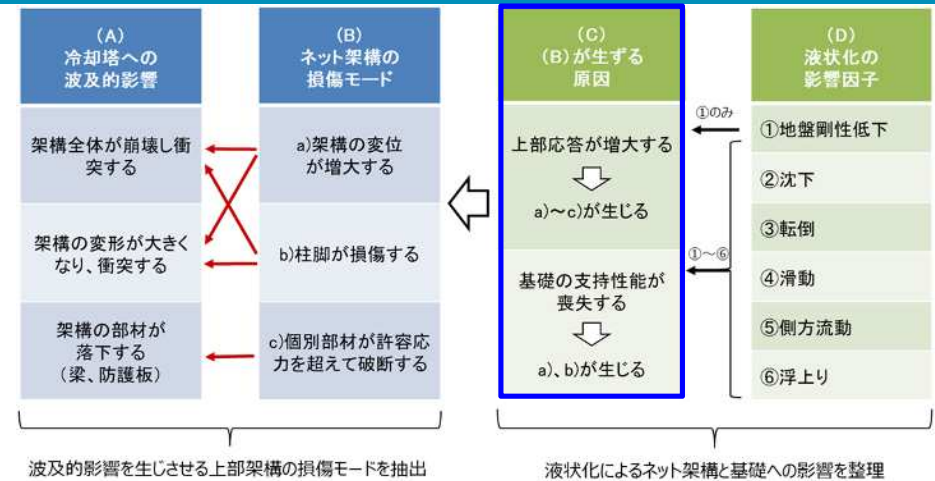
### ■ 上部鉄骨架構と杭基礎それぞれについて以下の評価を実施する。

- 非液状化時は、全応力解析により設計を行うと共に波及的影響を評価する。(基本ケース)
- 液状化時は、有効応力解析により波及的影響を評価する。(影響評価ケース)



(5) 液状化時の波及的影響の進め方

- 1) 液状化の影響因子①～⑥が生じた際の、冷却塔への波及的影響は右図の(C)が生じないことをもって確認することが出来る。
- 2) 液状化の影響因子のうち①～④による施設への影響は、有効応力解析によって評価する。  
⑤、⑥については、施設の設置状況から評価する。



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						

- 3) 有効応力解析については以下の条件設定のもと行う。(詳細については次頁以降に示す)

【解析モデル】

- 上部鉄骨架構は「端部」と「それ以外の部分(門型架構部)」で形状が異なることから、NS、EW方向で「端部」と「門型架構部」の各2断面をモデル化し、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。

【解析ケース】

- 評価に用いる地震動(以下「検討用地震動」と言う)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

## (6) 有効応力解析ケースの選定

### ■ 解析ケースの選定

液状化時の影響検討においては、基準地震動13波の中から液状化時の影響が大きいと想定される「検討用地震動」を以下の①と②に着目して選定し評価を実施する。

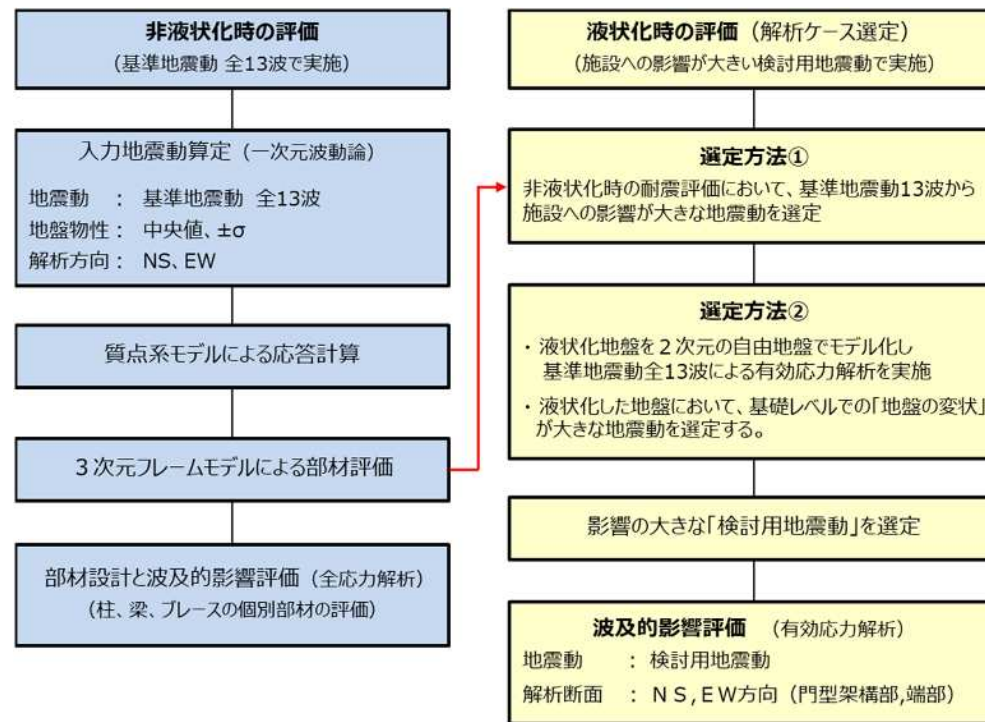
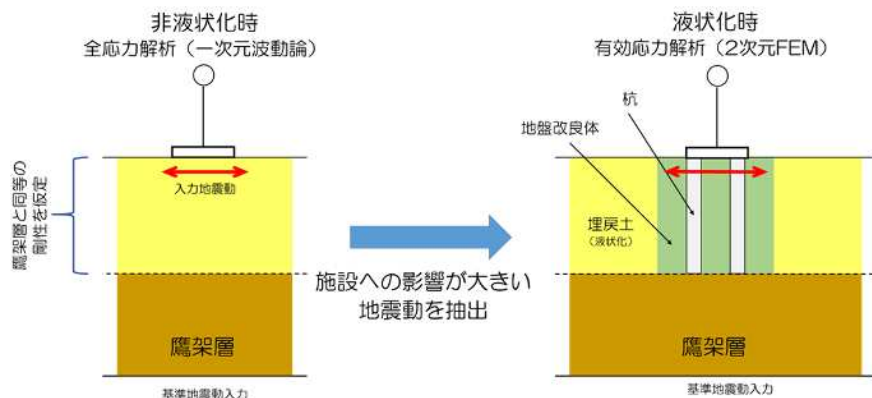
① 施設への影響が大きい地震動を非液状化時の解析ケースの中から、以下の項目に着目して選定する。

(参考3「液状化時の解析ケースの選定」参照)

- 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 上記とは別に液状化した地盤が、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「2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な地震動の選定を行う。

※参考4「解析モデルの概要」に記載の自由地盤と同じモデル

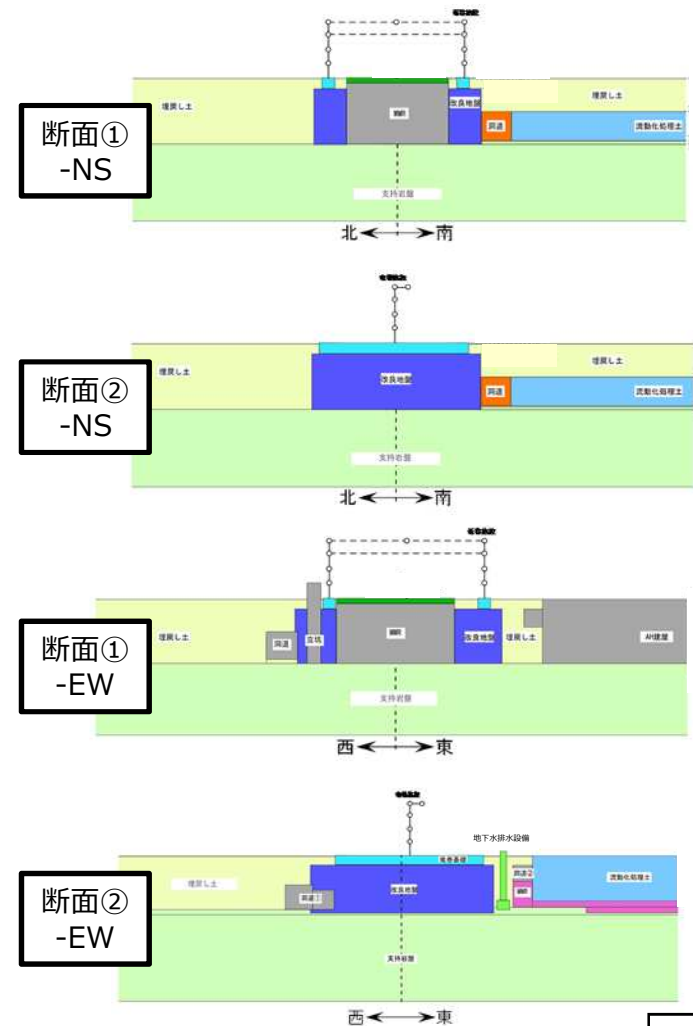
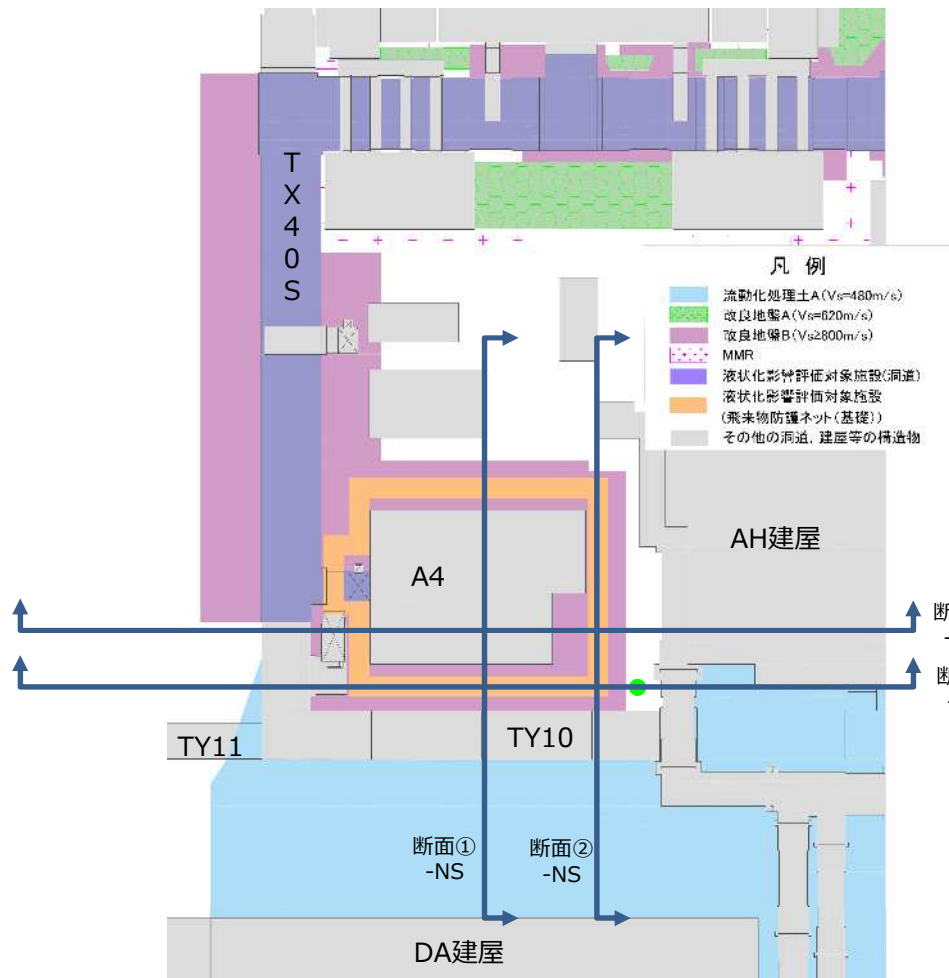


解析ケースの選定のプロセス

# 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) 有効応力解析モデルの概要 1 / 4

- 液状化時の影響因子 (①~④) による影響評価を確認するための有効応力解析は、以下の方針で実施する。
  - ▶ 有効応力解析モデルは、飛来物防護ネット架構が整形であることから、ねじれ等の3次元的影响が小さいと思われることから2次元のFEMでモデル化する。
  - ▶ 上部鉄骨架構は「端部」と「それ以外の部分(門型架構部)」で形状が異なることから、NS, EW方向で「端部」と「門型架構部」の各2断面をモデル化し、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。(一体解析により上部鉄骨架構の振動影響を杭基礎へ反映できる)

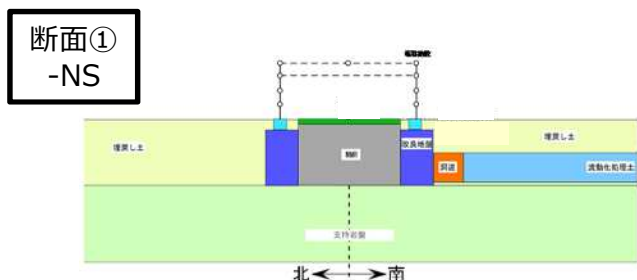




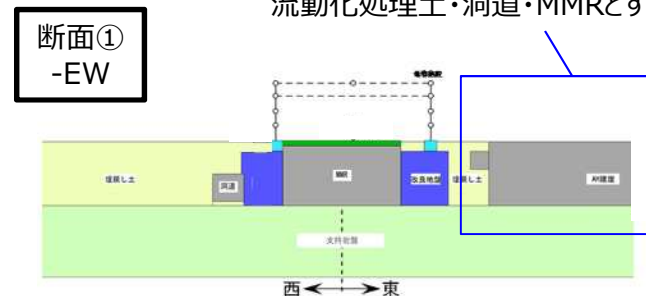
■ 解析断面の考え方

飛来物防護ネット架構の地中部の断面を見た場合以下の2種類に分かれる

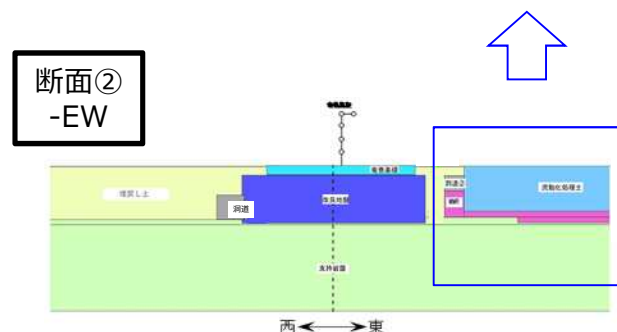
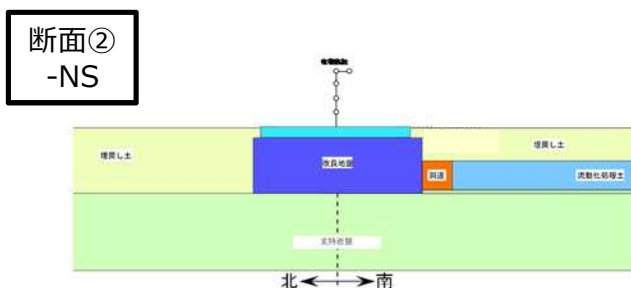
◆ 門型架構部： 冷却塔のMMRを挟んで、両側に地盤改良体と杭・基礎梁がある



より地盤の柔らかい断面②-EWと同じ流動化処理土・洞道・MMRとする



◆ 端部： 地盤改良体と杭・基礎梁が断面を占める



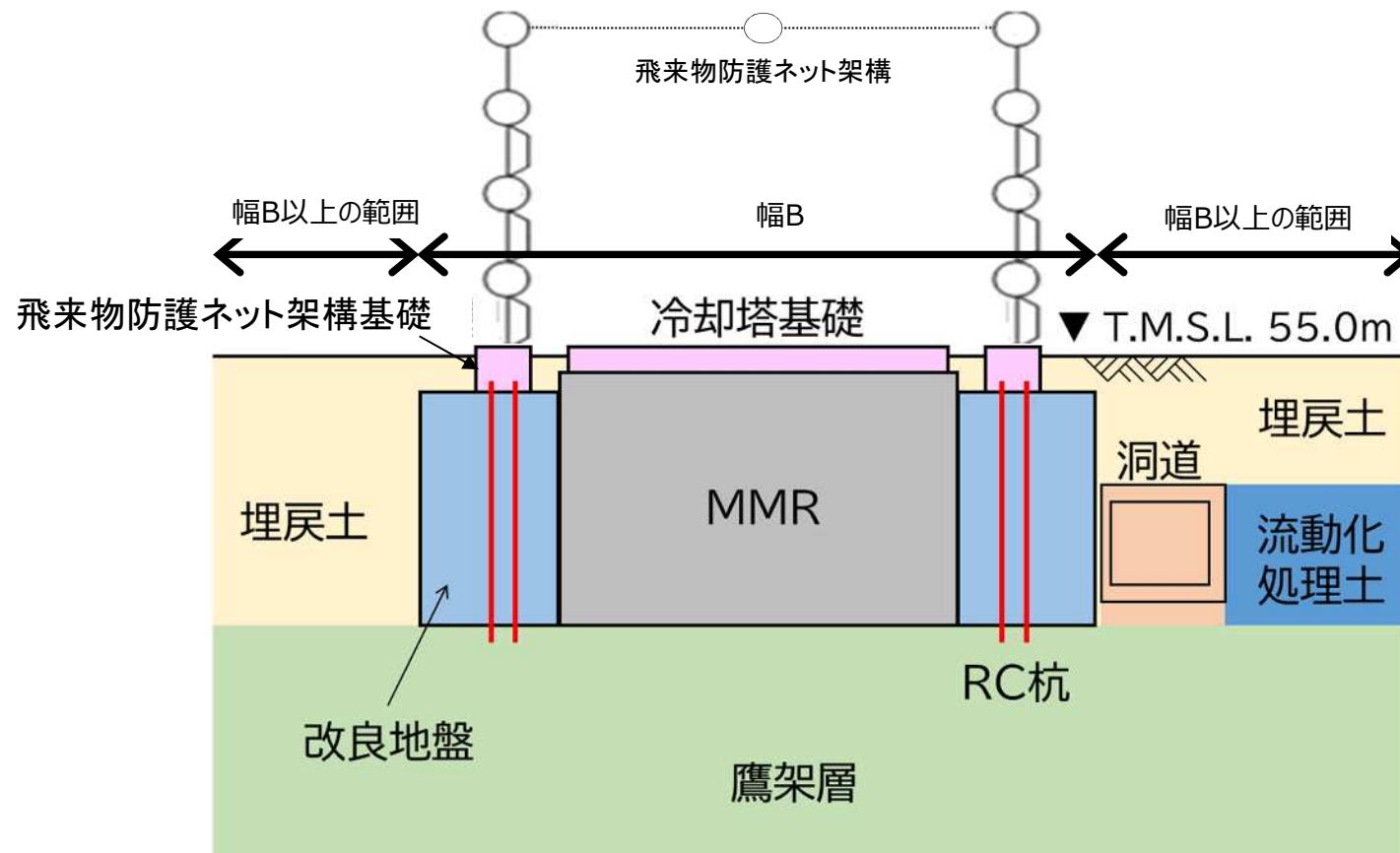
門型架構部が断面の平面の面積比で約8割を占めるので、門型架構部の断面による評価が全体の挙動を示すものと思われるが、本検討ではMMRがある門型架構部に比べて若干剛性が低い端部の断面についても前広に検討を行う。なお、門型架構部と端部の上部架構鉄骨のモデルについては、以下の様に設定した。

◆ 門型架構部： 両側に基礎がある形状であることから、門型の質点系でモデル化する。モデルの剛性については3次元フレームモデルから設定した1本棒の質点系モデルと同じ振動特性をもったものとする。

◆ 端部： 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。モデルの剛性については、上記の中央部と同様に設定する。

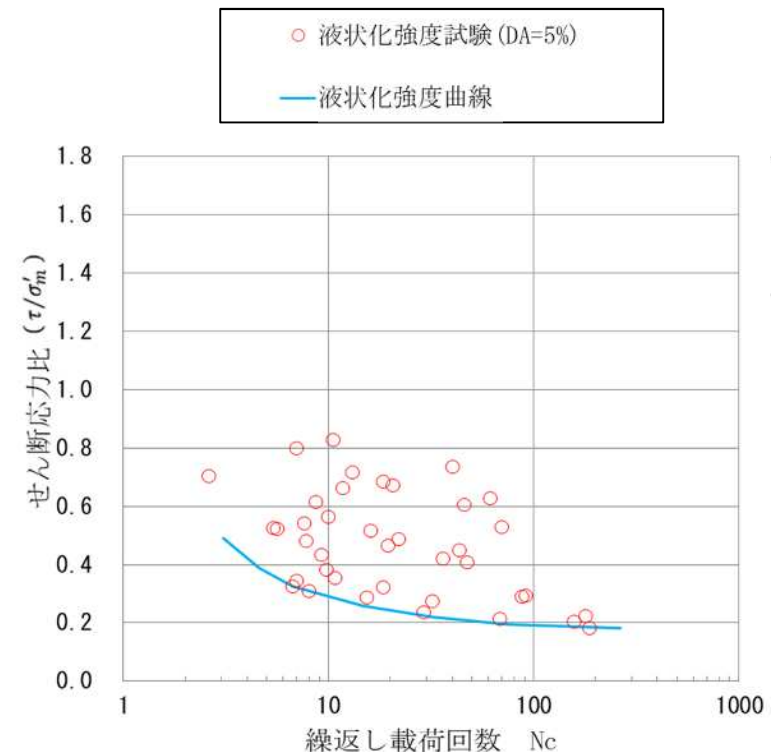
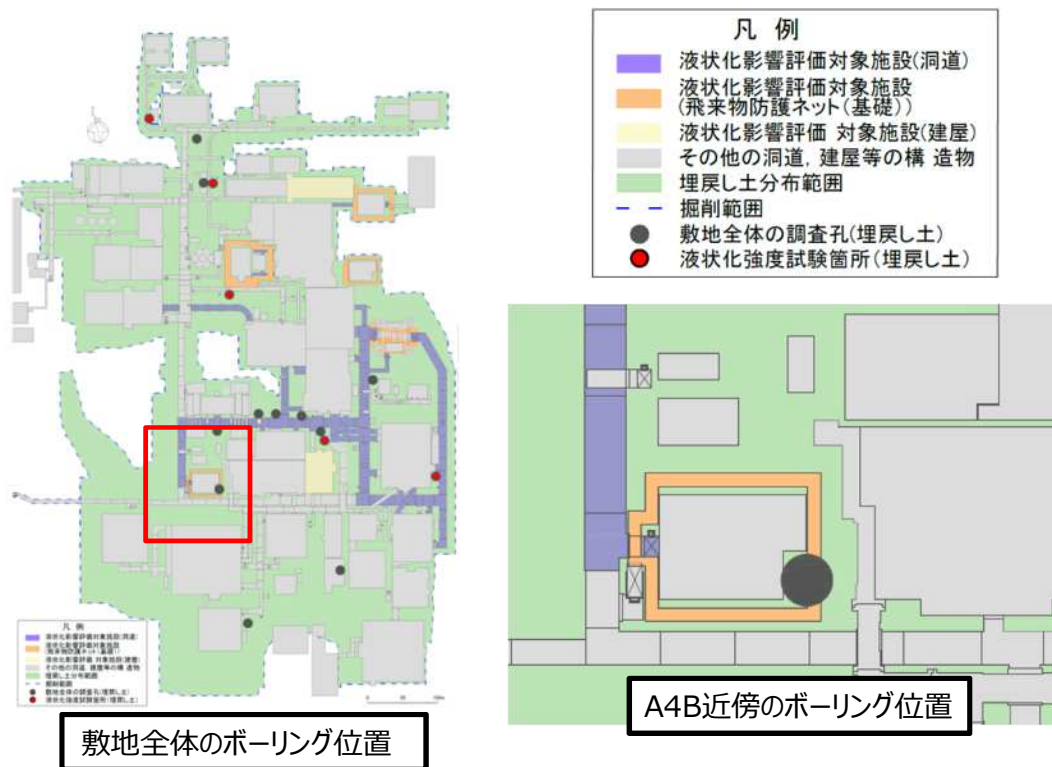
■ 解析領域

- MMRに改良地盤を加えた幅Bに対して両側幅B以上の範囲をモデル化領域とする。
- モデル化領域内に存在する地盤条件，隣接構造物については実態に即しモデル化する。



### ■地盤の物性値について

- 液状化を考慮する地盤については埋戻土とし、改良地盤、流動化処理土は液状化をしないものとする。
- 埋戻土、改良地盤、流動化処理土については非線形特性を与える。
- 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し、物性値は解析ケースの選定の際に抽出された施設への影響が大きな $\sigma$ を採用する。



※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。

➤ 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。

安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネットの耐震評価結果

飛来物防護ネットの 検討対象部位	評価指標	見直した地盤モデル による評価結果
		検定比 <sup>※1</sup>
上部架構 (柱等の弾性部材)	応力度 (軸力+曲げ)	解析中
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	



➤各評価部位について有効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。

安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネットの耐震評価結果 (液状化影響評価)

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	見直した地盤モデルによる評価結果
			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)	解析中
	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・引拔力	
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	

## 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

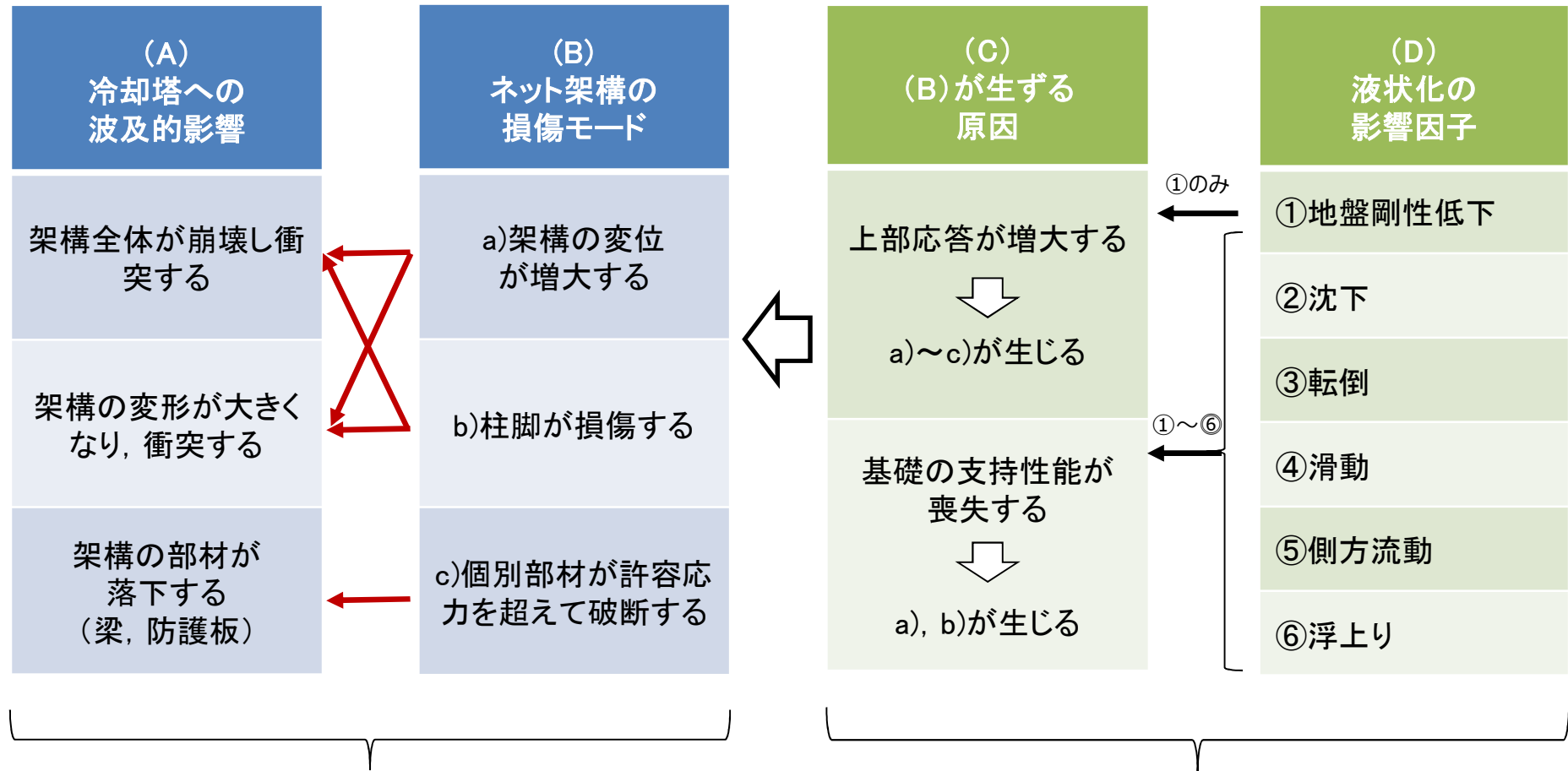
No.	審査会合日	指摘事項	対応方針
1	2021.7.26	①飛来物防護ネットの上部構造と基礎の耐震評価の全体体系について説明すること。 ②座屈拘束ブレースの設計方針、目的・採用理由、配置の考え方、解析モデルの扱い、評価方法について説明すること。 ③質点系モデルと3次元フレームモデルでの弾塑性の応答解析結果を比較し、部材レベルで妥当性及び保守性を示すこと。 ④材料物性のばらつきの扱いについて示すこと。	①全体の評価体系の流れがわかるフローを示す。 ②座屈拘束ブレースの採用理由や配置の考え方などを示す。 ③座屈拘束ブレースの荷重時刻歴、履歴ループ、周辺部材の荷重を比較することにより、質点系モ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

#### 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。 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及び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。

(参考2) 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。

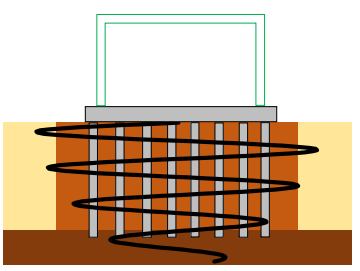
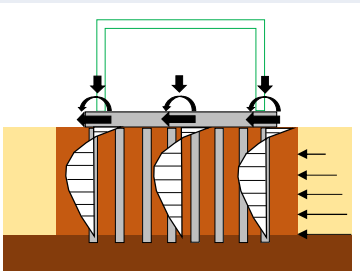
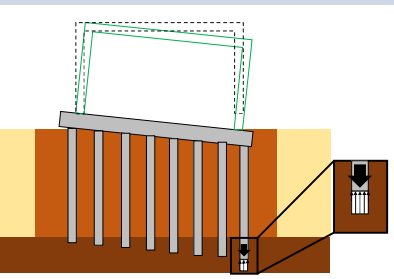


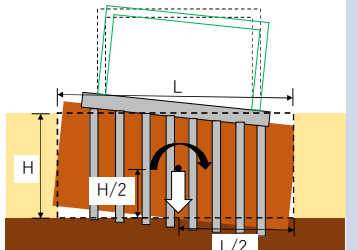
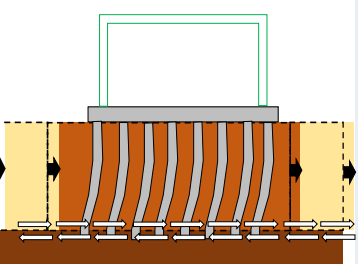
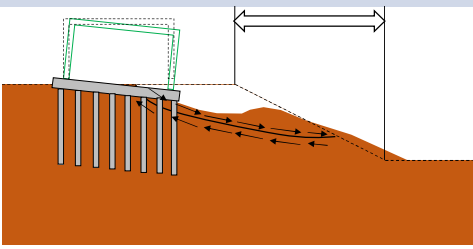
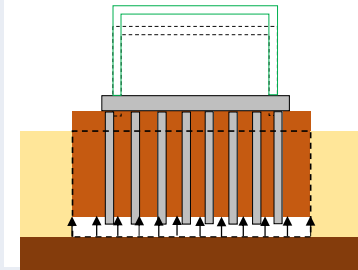
波及的影響を生じさせる上部架構の損傷モードを抽出

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2) 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。

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>

(参考3) 液状化時の解析ケースの選定 1/4

全応力解析（一次元波動論）による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。



(参考3) 液状化時の解析ケースの選定 2/4

全応力解析（一次元波動論）による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3) 液状化時の解析ケースの選定 3/4

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 [-]			(C) 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)	3.14E-02			2.78
2	Ss-B1(NS)	7.56E-03	解析中		2.53	解析中	
3	Ss-B2(NS)	1.31E-02			3.36		
4	Ss-B3(NS)	9.06E-03			3.55		
5	Ss-B4(NS)	1.46E-02			5.09		
6	Ss-B5(NS)	7.34E-03			2.21		
7	Ss-C1(NSEW)	8.93E-03			6.68		
8	Ss-C2(NS)	9.51E-04			1.79		
9	Ss-C2(EW)	1.29E-02			5.41		
10	Ss-C3(NS)	1.73E-02			1.77		
11	Ss-C3(EW)	2.19E-02			1.75		
12	Ss-C4(NS)	7.60E-03			2.03		
13	Ss-C4(EW)	1.61E-02			3.29		

EW方向

No.	地震波	(B) せん断ひずみの最大値 [-]			(C) 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)	3.14E-02			2.78
2	Ss-B1(EW)	5.25E-03	解析中		2.37	解析中	
3	Ss-B2(EW)	8.40E-03			1.97		
4	Ss-B3(EW)	6.26E-03			1.84		
5	Ss-B4(EW)	1.06E-02			2.57		
6	Ss-B5(EW)	9.40E-03			3.42		
7	Ss-C1(NSEW)	8.93E-03			6.68		
8	Ss-C2(NS)	9.51E-04			1.79		
9	Ss-C2(EW)	1.29E-02			5.41		
10	Ss-C3(NS)	1.73E-02			1.77		
11	Ss-C3(EW)	2.19E-02			1.75		
12	Ss-C4(NS)	7.60E-03			2.03		
13	Ss-C4(EW)	1.61E-02			3.29		

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



(参考3) 液状化時の解析ケースの選定 4/4

■ 有効応力解析の解析ケース

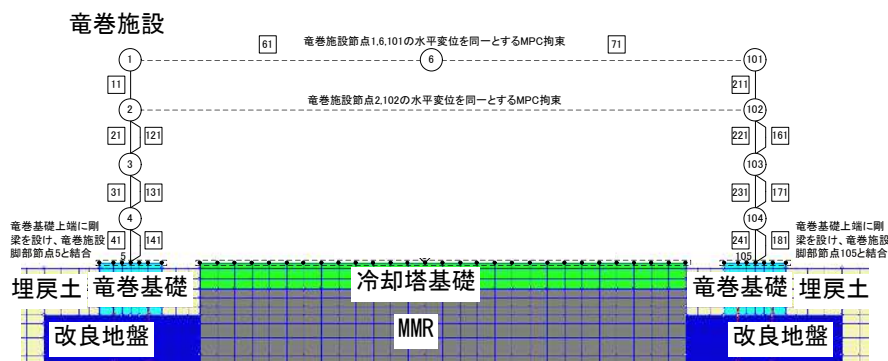
- 前頁に示すように全応力解析（一次元波動論）において、地盤のばらつきを $-\sigma$ とした際の基準地震動Ss-A、もしくは、地盤のばらつきを $-\sigma$ とした際の基準地震動Ss-C1により生じる荷重、応答値が最大となっていることを確認した。
- 従って、液状化による影響評価を行う有効応力解析においては、基準地震動Ss-A及び基準地震動Ss-C1を用いることとし、地盤物性のばらつきとして $-\sigma$ を採用する。また、解析断面は「安全冷却水 B 冷却塔」と「飛来物防護ネット架構」を含む「中央断面①」と「飛来物防護ネット架構」のみを含む「端部断面②」の2ケースについて検討する。

地震動		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	○				$-\sigma$	座屈拘束ブレースの「最大疲労係数」が最大
2	Ss-A		○				
3	Ss-A			○		$-\sigma$	座屈拘束ブレースの「最大疲労係数」が最大
4	Ss-A				○		
5	Ss-C1	○				$-\sigma$	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
6	Ss-C1		○				
7	Ss-C1			○		$-\sigma$	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
8	Ss-C1				○		
有効応力解析による自由地盤の応答結果（ばらつき）により地震波の追加の可能性あり							

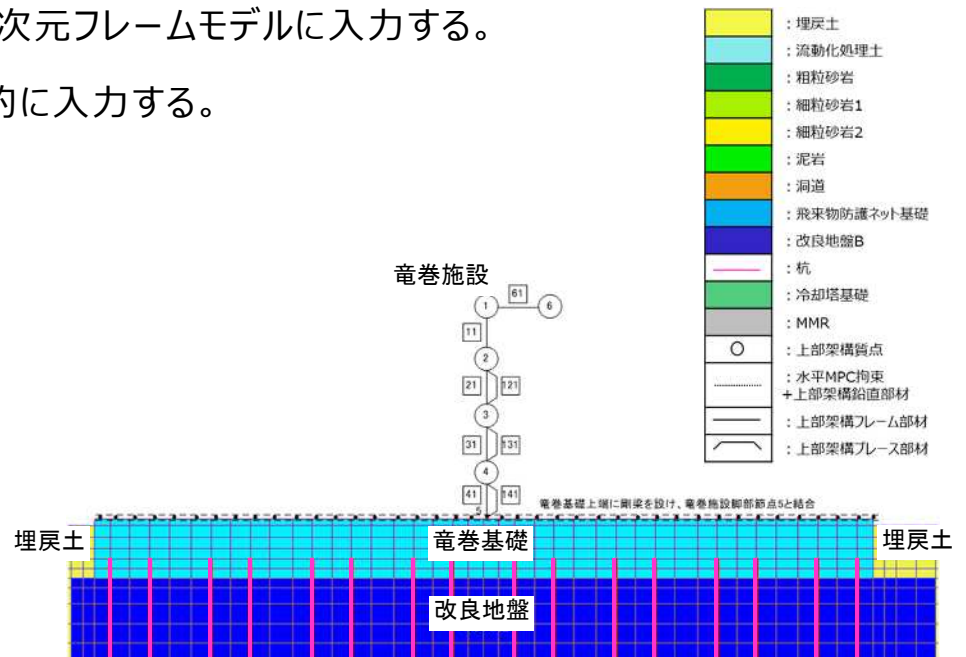
(参考4) 解析モデルの概要 1/3

■ 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。



中心部

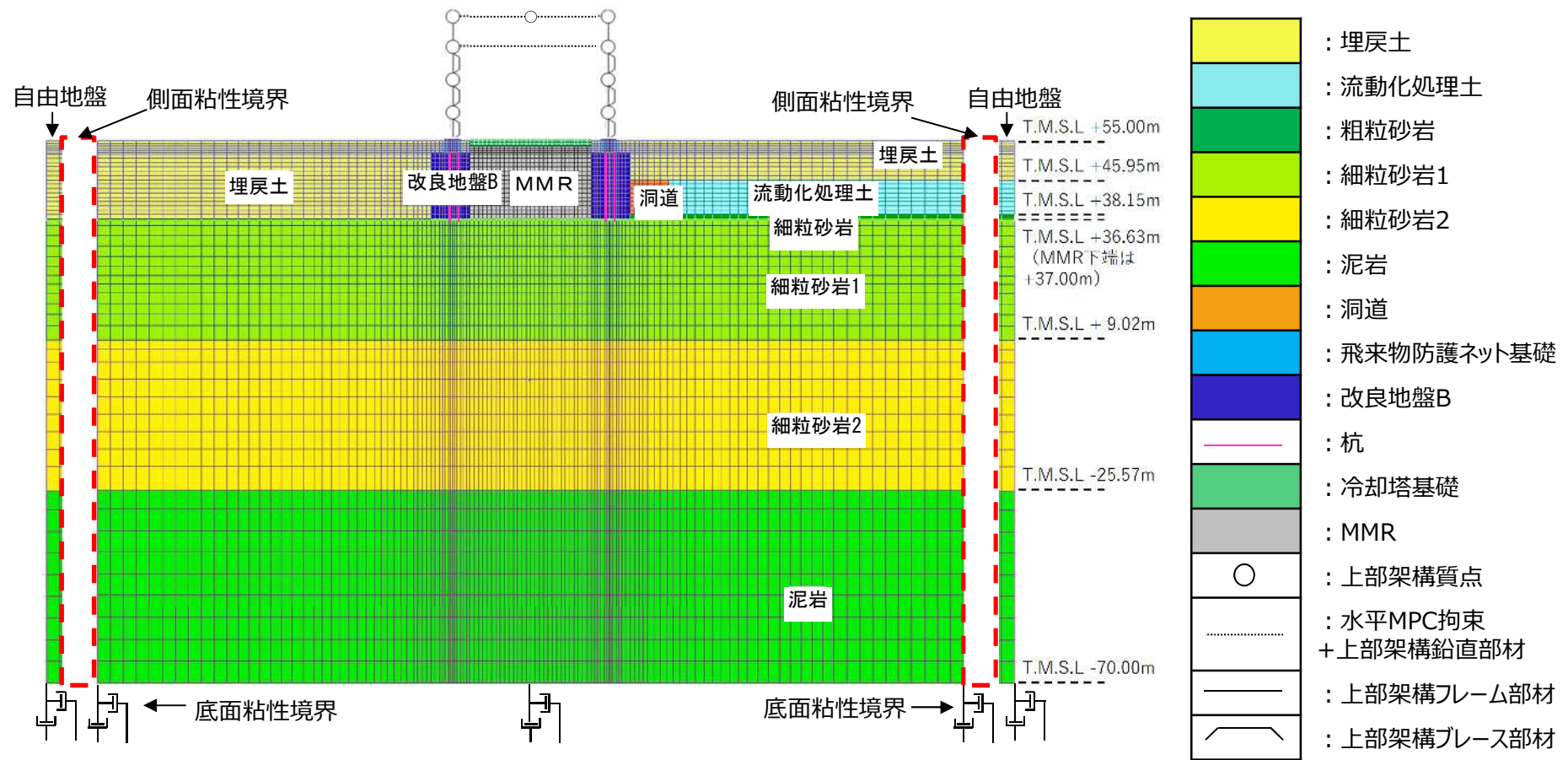


端部

(参考4) 解析モデルの概要 2/3

■ 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。

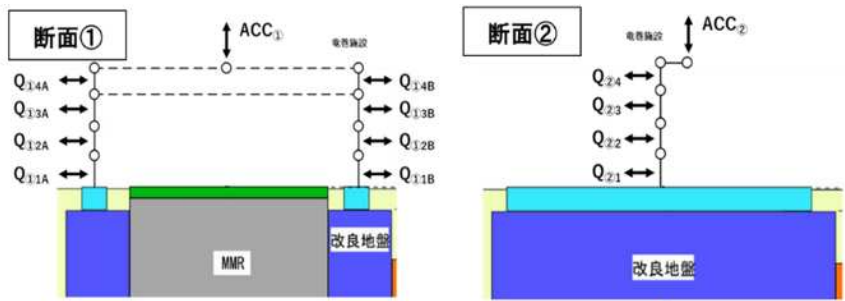


断面①-NS

(参考4) 解析モデルの概要 3/3

■ 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。

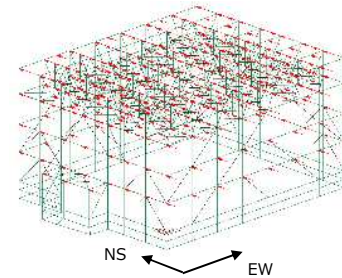
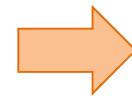


(1) 左右のせん断力の和を層せん断力とする

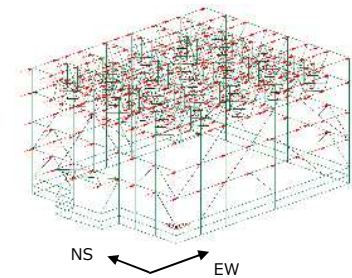
$$\begin{aligned}
 Q_{14} &= Q_{14A} + Q_{14B} \\
 Q_{13} &= Q_{13A} + Q_{13B} \\
 Q_{12} &= Q_{12A} + Q_{12B} \\
 Q_{11} &= Q_{11A} + Q_{11B}
 \end{aligned}
 \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{奥行1.0m相当の数値} \\ \rightarrow \text{実寸法相当に変換(係数倍)} \end{array}$$

(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

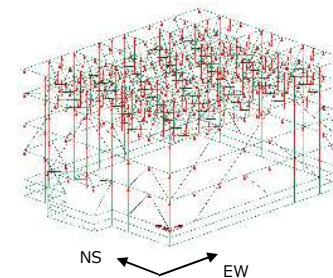
(3) 断面①と断面②の屋根部の鉛直加速度( $ACC_1, ACC_2$ )を比較、大きい数値より設計用鉛直震度(三次元フレーム解析用)を設定する



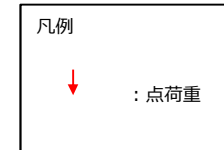
c. 地震荷重 (Ss) NS方向



c. 地震荷重 (Ss) EW方向



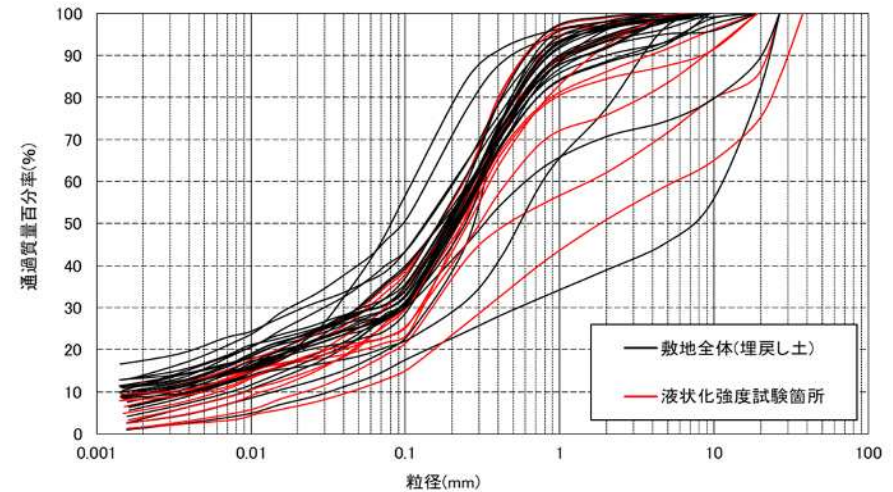
c. 地震荷重 (Ss) UD方向



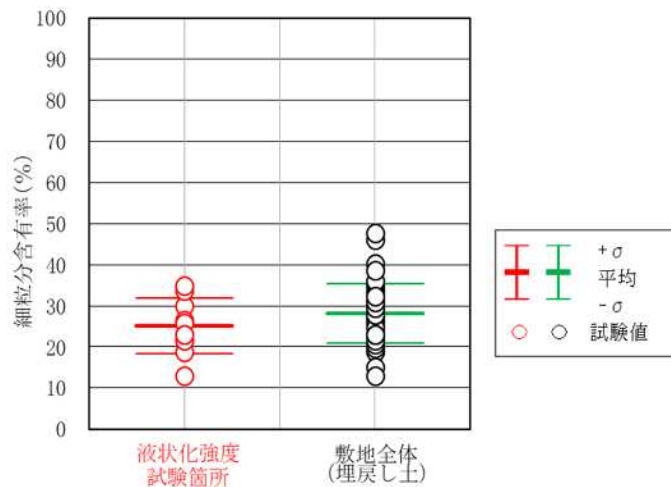


(参考5) 液状化強度試験の代表性及び網羅性について

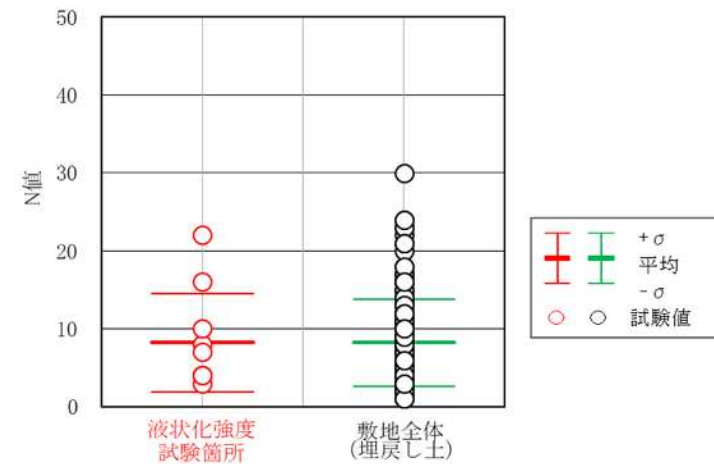
- 埋戻し土は、敷地の埋戻し土の分布範囲をおおむね網羅する箇所で液状化強度試験を実施していることを確認
- 粒度分布については、液状化強度試験に用いた埋戻し土の供試体は、敷地全体から採取した供試体の中で細粒分が少ない部分で実施していることを確認。これは液状化強度試験に用いた供試体が敷地全体から採取した供試体の中で液状化しやすい傾向があることを示す。
- 細粒分含有率については、敷地全体から採取した供試体における平均値±1σの範囲内で、液状化強度試験を実施していることを確認
- N値については、おおむね敷地全体の平均値±1σの範囲で液状化強度試験を実施していることを確認



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