

飛来物防護ネット架構の耐震評価（波及的影響評価）

杭の設計について：設計モデルの設定方針（1 / 2）

【杭の設計における原則①】

- 杭の設計においては、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。

■ 杭の設計の保守性を担保するための考え方

- 上部構造の支持性能を喪失した際に、冷却塔に波及的影響が及ぶことから、「杭の損傷」に着目する。
- 「杭の損傷」が生ずる原因の一つとして、改良地盤への拘束効果が低下することにより、構造物の応答・地盤の変形が増大するとの仮説のもと、本検討では拘束効果の低下により保守性を与える。

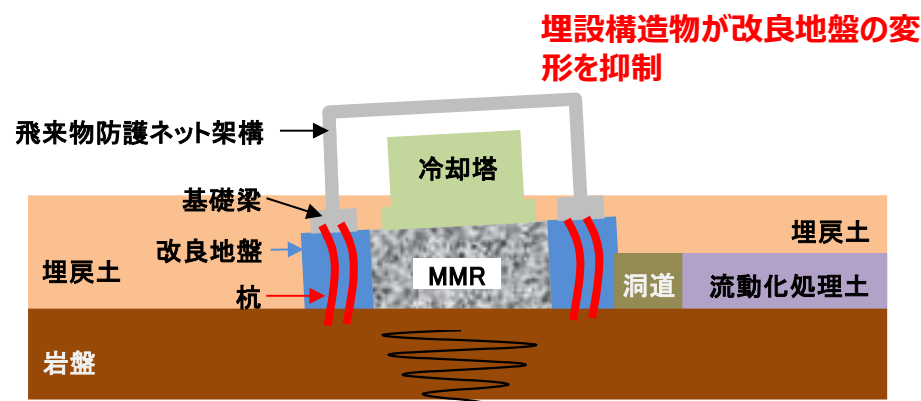
■ 設計モデルの考え方

- 改良地盤への拘束効果が応答に影響を与えることから

埋設構造物による拘束効果をなくす

ことを意図したモデル化を行う。

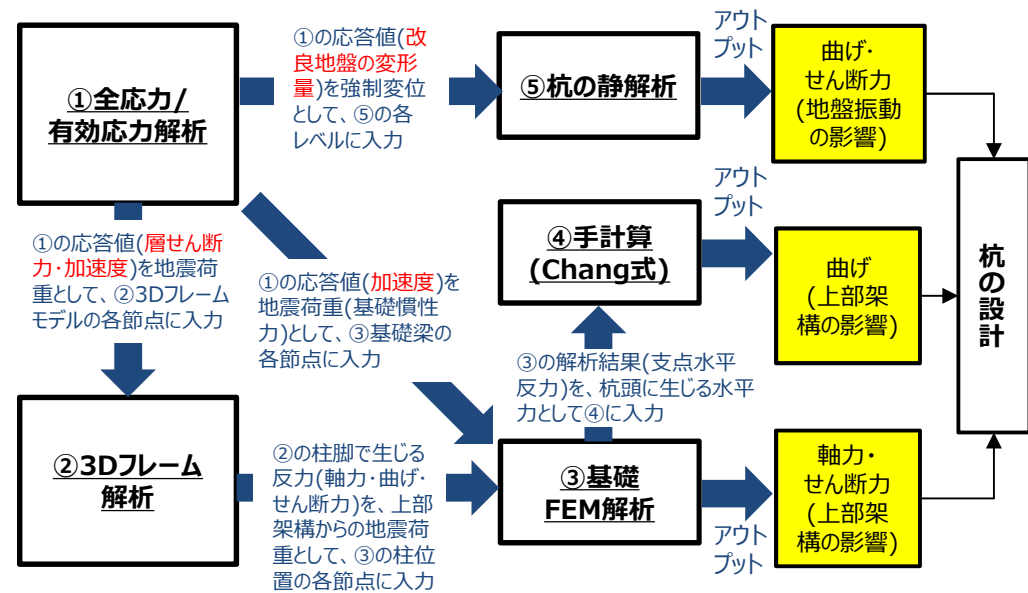
- 上記以外（メッシュ数、上部構造、杭など）については、科学的合理性が得られるようにモデル化する。



杭の設計について：設計モデルの設定方針（2 / 2）

■ 設計モデルの妥当性の確認方法

- 設計モデルは、周辺の状況をより細かくモデル化した検証用モデルとの比較で妥当性を確認する。
- 妥当性は、杭の設計に用いる曲げ、せん断力、軸力を算出する基となる地震荷重（右図の赤字）が「設計モデル> 検証用モデル」となっていることをもって確認する。



【杭の設計における原則②】

- 杭は、想定される最大の地震荷重に対しても耐えうるように設計する

■ 杭に最大の地震荷重を与えるための考え方

- 施設周辺は液状化が懸念されるため、非液状化時／液状化時の双方の評価を行う。
- 非液状化と液状化との中間的な状態で、杭の応答が最大とならないことを確認する。

■ 確認の考え方

- 非液状化～液状化の間で応答は連続的に変化し、右の中間的なケースが最大とはならないことを確認する。

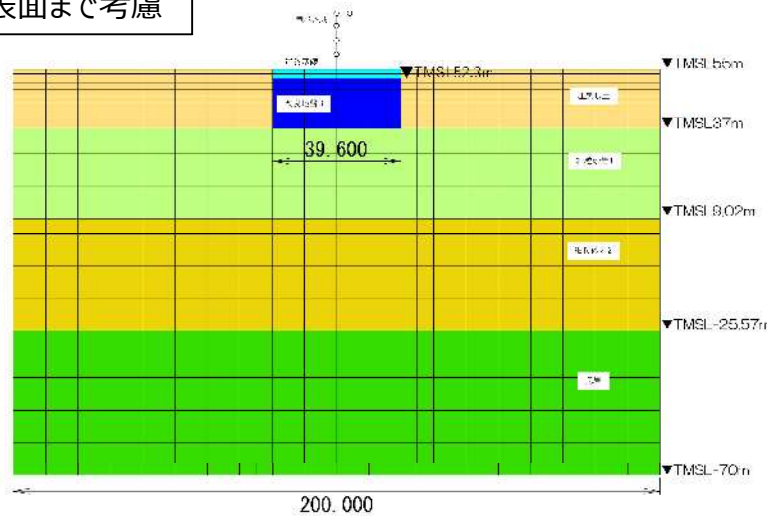
埋戻土の液状化を緩める
埋戻土の剛性を小さくする

杭の設計について：設計モデルの考え方（1 / 2）

P1に示した【埋設構造物を考慮しない】以外の設計モデルの考え方は以下のとおり。

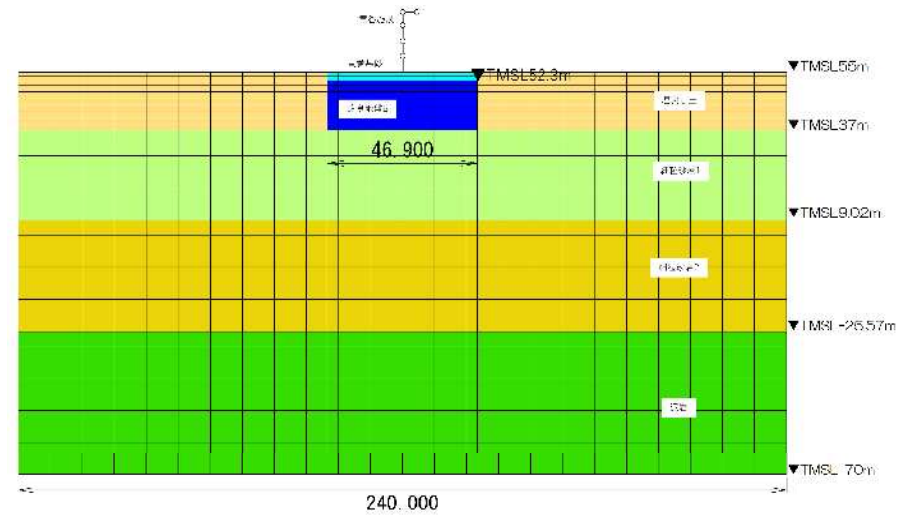
- 1) 深さ方向のメッシュ分割は、上部構造の固有振動数を適切に評価できるように、表層地盤で最小2.0mとする。
- 2) モデルは施設の剛性を適切に評価するため、NS/EWの2断面を対象とする。（下図）
- 3) 杭はモデル化しない。
- 4) 構造物－地盤間の接触剥離や、詳細なモデル寸法は考慮しない。

鉛直方向は解放基盤面～地表面まで考慮



NS断面

基礎上端より上部の飛来物防護ネット架構は、質点系でモデル化（柱・梁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）



EW断面

モデル幅は施設の5倍以上確保

杭の設計について：設計モデルの考え方（2 / 2）

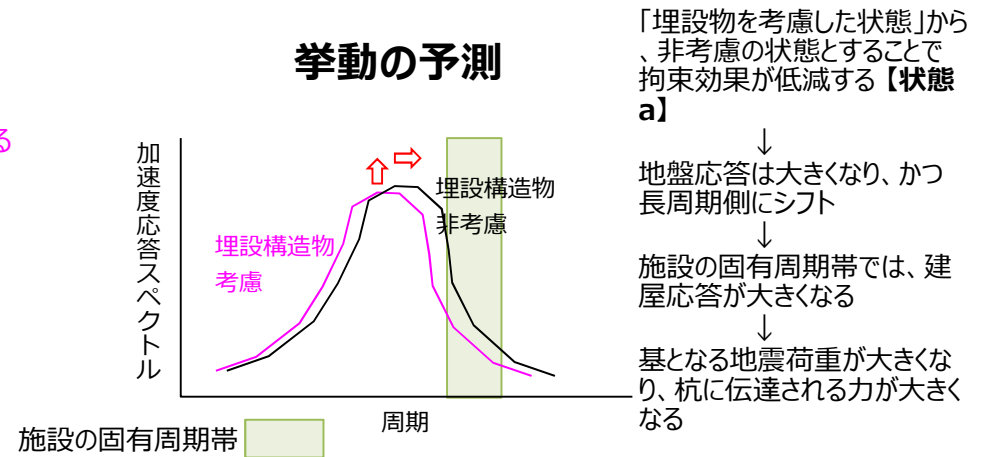
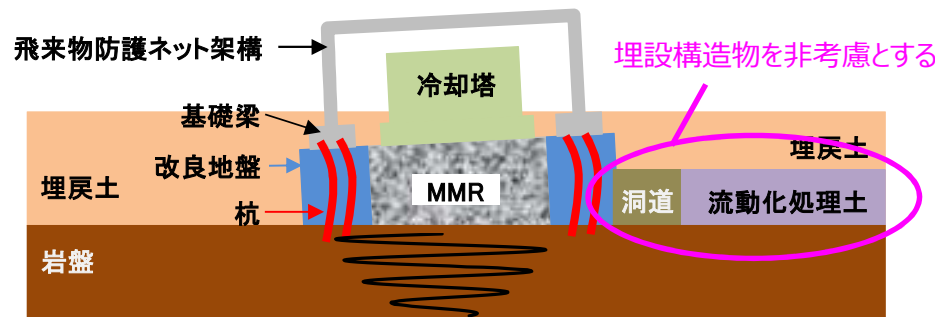
設計モデルの妥当性確認と検討見直し

設計用モデルと 検証用モデルの差異		設定の妥当性（根拠・見直し）
	メッシュサイズ	地盤の最小せん断波速度とメッシュサイズの関係から上部架構の振動特性が実態に即して評価可能であることを確認する。
	検討断面	解析モデルは、冷却塔直下のMMRを考慮しておらず剛性を小さくみなすことになるが、地震による応答への影響は小さいと想定される。検証用モデルと比較することで保守性を確認する。
	杭	改良地盤に対し杭の占めるエリアは小さいため、杭を考慮しないことの影響は小さいと想定される。杭の有無の違いによる影響を試解析により確認する。
その他	接触剥離	接触剥離の考慮、モデル寸法(改良地盤Bの幅、粗粒砂岩の層厚、基礎高さ)が正確でないことの影響は小さいものと考え、以下の設定とした。 基礎と埋戻土の境界面に対し、接触剥離は設けない。境界面が非常に狭いこと、液状化時は剛性がほぼゼロとなることから、影響は小さいと判断した。
	モデル寸法	メッシュ形状が、現状とわずかに差異はあるが、影響は小さいと想定。 ここで、改良地盤はアスペクト比（高さ/幅）を大きくなる側（応答でロッキング挙動しやすい）への変更であるため、過小評価にならないと判断した。

杭の設計について：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地震による応答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非考慮とし、**保守性**を与える。
- **上記の影響は**、設計モデルと検証用モデルの比較により確認する。



応答値比較表（イメージ）

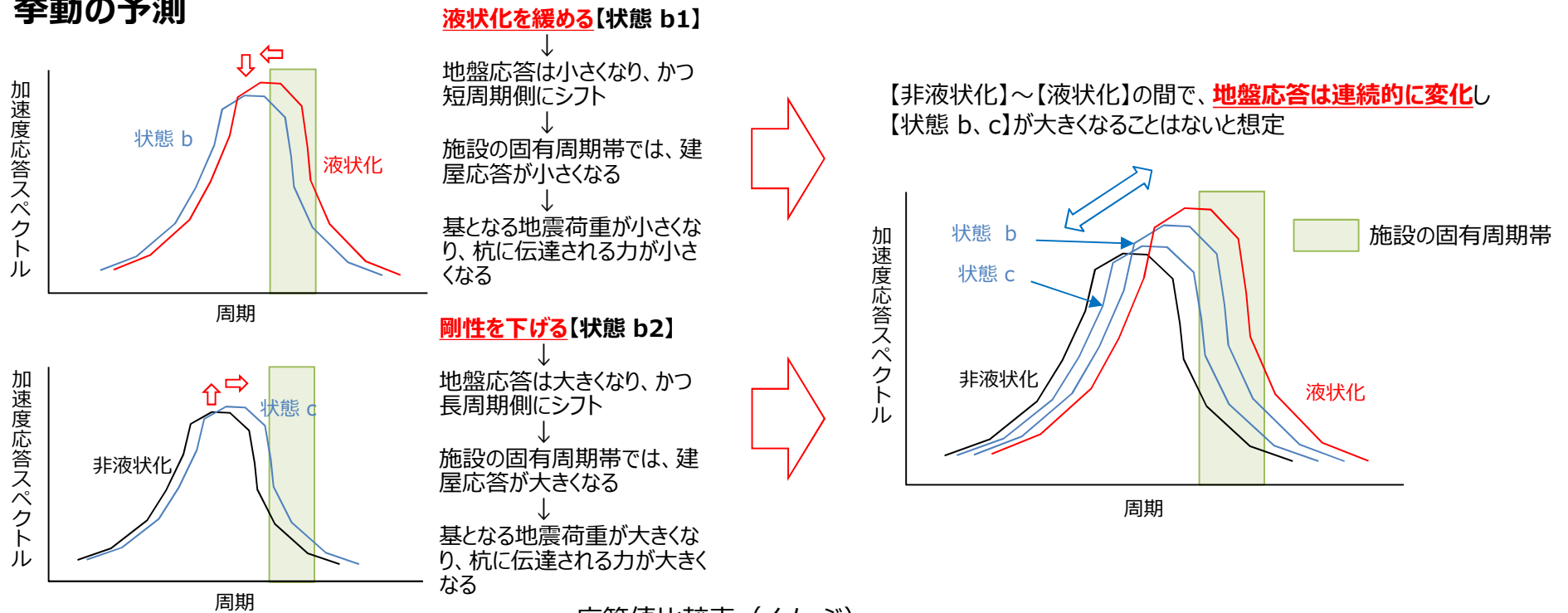
検討ケース (Ss-A、Ss-C1波)	モデル	A)せん断力 (上部架構)	B)付加曲げ (上部架構)	C)加速度 (基礎・上部架構)	D)変位 (改良地盤)
埋設構造物を非考慮	設計モデル	最大(最小)	最大(最小)	最大(最小)	最大(最小)
状態 a (埋設構造物による拘束効果あり)	検証用モデル	最小(最大)	最小(最大)	最小(最大)	最小(最大)

杭の設計について：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

地盤の剛性変化に伴う拘束効果により地震応答は【非液状化】で最大、【液状化】で最小となると考えられる。ここでは、非液状化/液状化の【中間状態】において、地震応答が最大とならないことを確認する。

挙動の予測



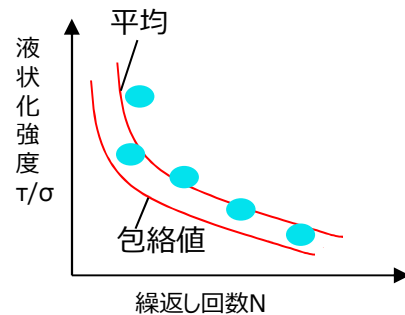
応答値比較表（イメージ）

検討ケース (Ss-A、Ss-C1波)	モデル	A)せん断力 (上部架構)	B)付加曲げ (上部架構)	C)加速度 (基礎・上部架構)	D)変位 (改良地盤)
液状化	設計モデル	最大(最小)	最大(最小)	最大(最小)	最大(最小)
状態 b1 (液状化を緩めた状態)	設計モデル	中間に収まることを確認			
状態 b2 (剛性が低下した状態)	設計モデル				
非液状化	設計モデル	最小(最大)	最小(最大)	最小(最大)	最小(最大)

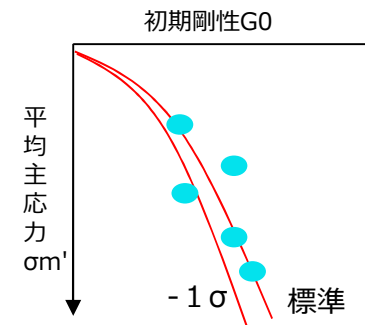
杭の設計について：P5～6の確認における検討ケース

液状化状態		液状化	状態 a	状態 b1	状態 b2	非液状化
地盤物性		標準地盤			-1σ地盤 (ほんのわずかな液状化状態を模擬)	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)	検証用モデル (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。



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

杭の設計について：参考

設計モデルと検証用モデルの比較を以下に示す

内容	設計モデル	検証用モデル
解析モデル		
近傍の構造物等	考慮しない	考慮する
メッシュ数	約500	約10,000
保証する周波数	13Hz以下	20Hz以下
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断面(中央、端部)、EW断面(中央、端部))
杭	考慮しない	考慮する
接触剥離	考慮しない	考慮する
モデル寸法	<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)※ 	<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）

保守性を付与

挙動を適切に表すパラメータ設定

※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