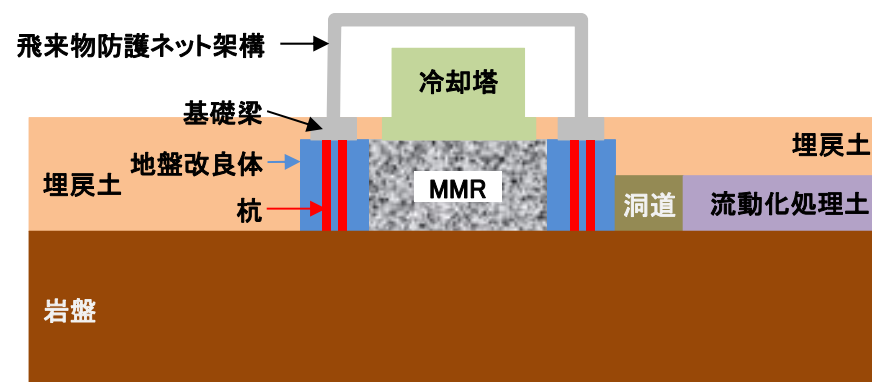


飛来物防護ネット架構の耐震評価（波及的影響評価）

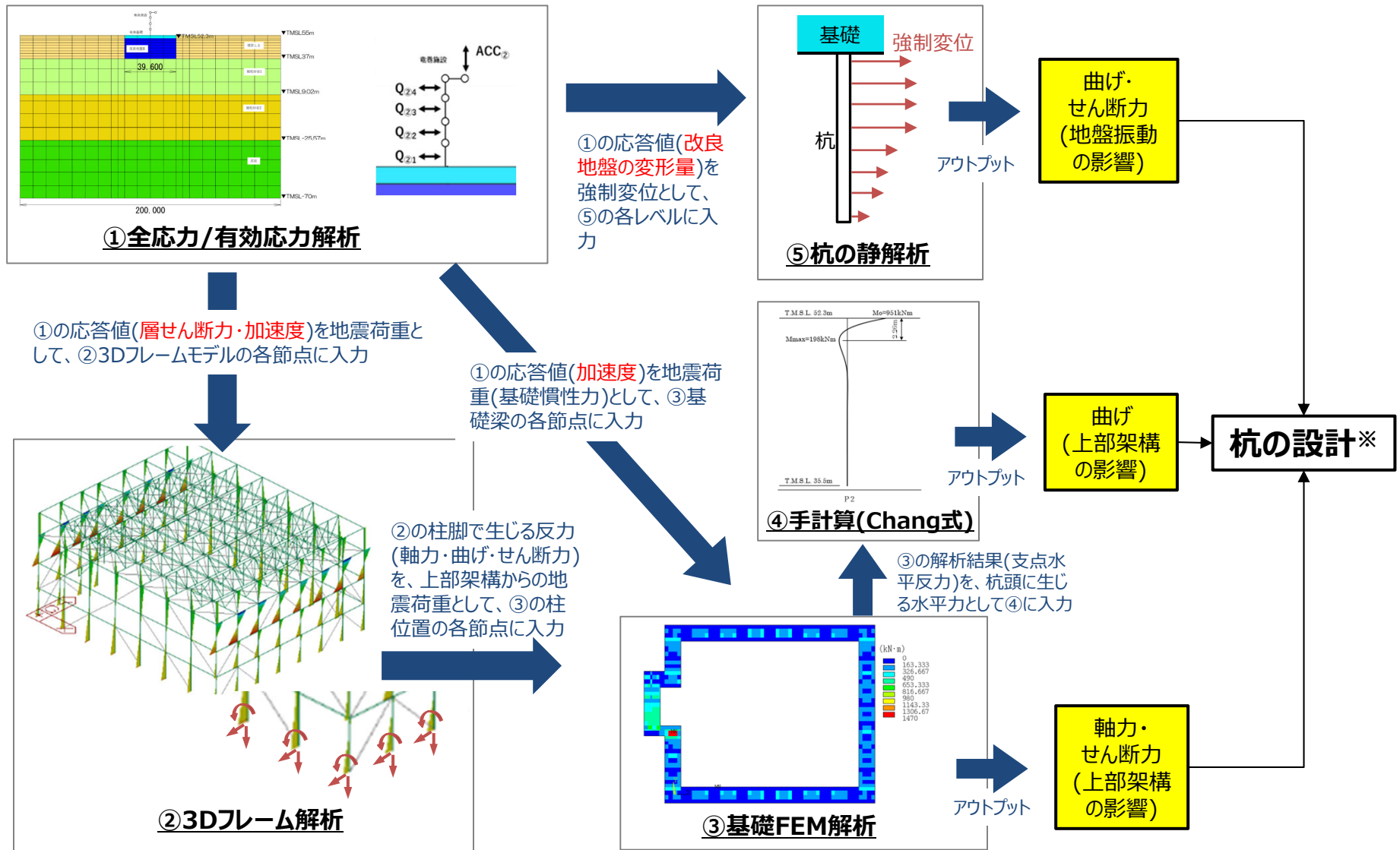
杭の設計について：冷却塔に波及的影響が及ぶ際の杭の状態

- 杭が損傷、沈下、または杭を含む基礎全体が滑動し、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。
- 次ページ以降では、まず「**杭の損傷**」に着目して、設計の流れを整理する



- 杭の設計は、「地盤の揺れからの影響」、「上部架構の揺れからの影響」を非液状化時と液状化時のそれぞれに対して、杭に作用する地震荷重（変形、加速度）を算出して行う。

杭の設計について：杭の設計の模式図



※杭の設計においては以下の判定基準にて確認する。

- RC製の杭体に生じる応力が、終局強度以下
- 杭に生じる圧縮軸力が、地盤の終局鉛直支持力以下
- 杭に生じる引張軸力が、地盤の終局引抜き抵抗力以下

杭の設計について：設計の原則、その原則を担保するための考え方

■ 杭の設計における原則

- 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ことが必要

■ 杭の設計の保守性を担保するための条件設定

- 設計（2頁の模式図）における応答・反力→地震荷重の伝達の流れを踏まえ、**地盤改良体への拘束効果が低下**すると、上部架構の応答や、地盤の変形が大きくなり、杭に伝達される地震荷重が大きくなることから、**拘束効果低下による保守性**を設定する。

- 杭周辺の地盤の状況を踏まえると、

（a）埋設構造物による拘束効果

（b）埋戻土の液状化の進展

（c）埋戻土の剛性変化

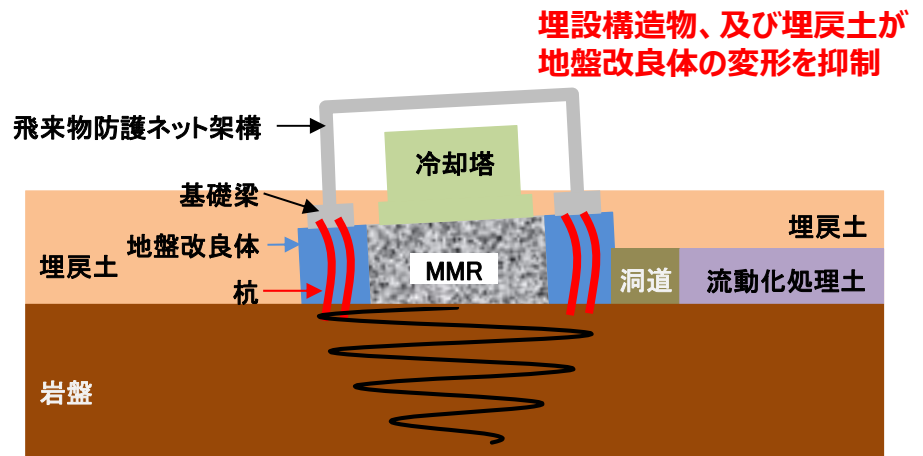
が**地盤改良体への拘束効果**に影響を与えると考えられることから、次ページ以降で

（a）埋設構造物による**拘束効果をなくす**

（b）埋戻土の**液状化が進展する**

（c）埋戻土の剛性を小さくする

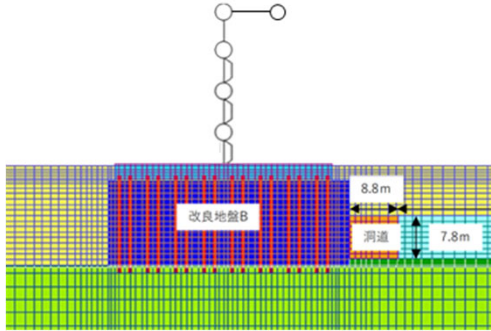
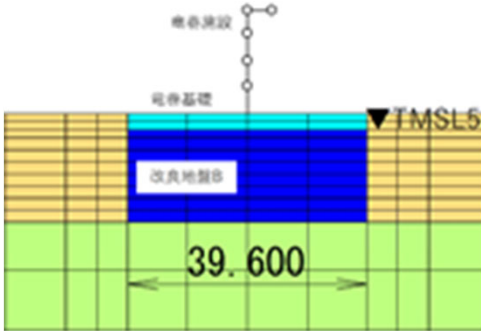
ことによって、杭に伝達される**地震荷重が大きくなる**ことを確認する



地震時の本施設の挙動

杭の設計について：確認方法（a）埋設構造物による拘束効果をなくす

- 埋設構造物による拘束効果をなくすことにより、応答値（杭に伝達される地震荷重）が大きくなる結果が得られるモデルを構築する。設計モデルのその他の設定では、杭の設計に対しても科学的合理性が得られるようなパラメータを設定する。

内容	詳細モデル	設計モデル
解析モデル		
近傍の構造物等	考慮する	考慮しない
メッシュ数	約10,000	約500
保証する周波数	20Hz以下	13Hz以下
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)
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）※

保守性を付与

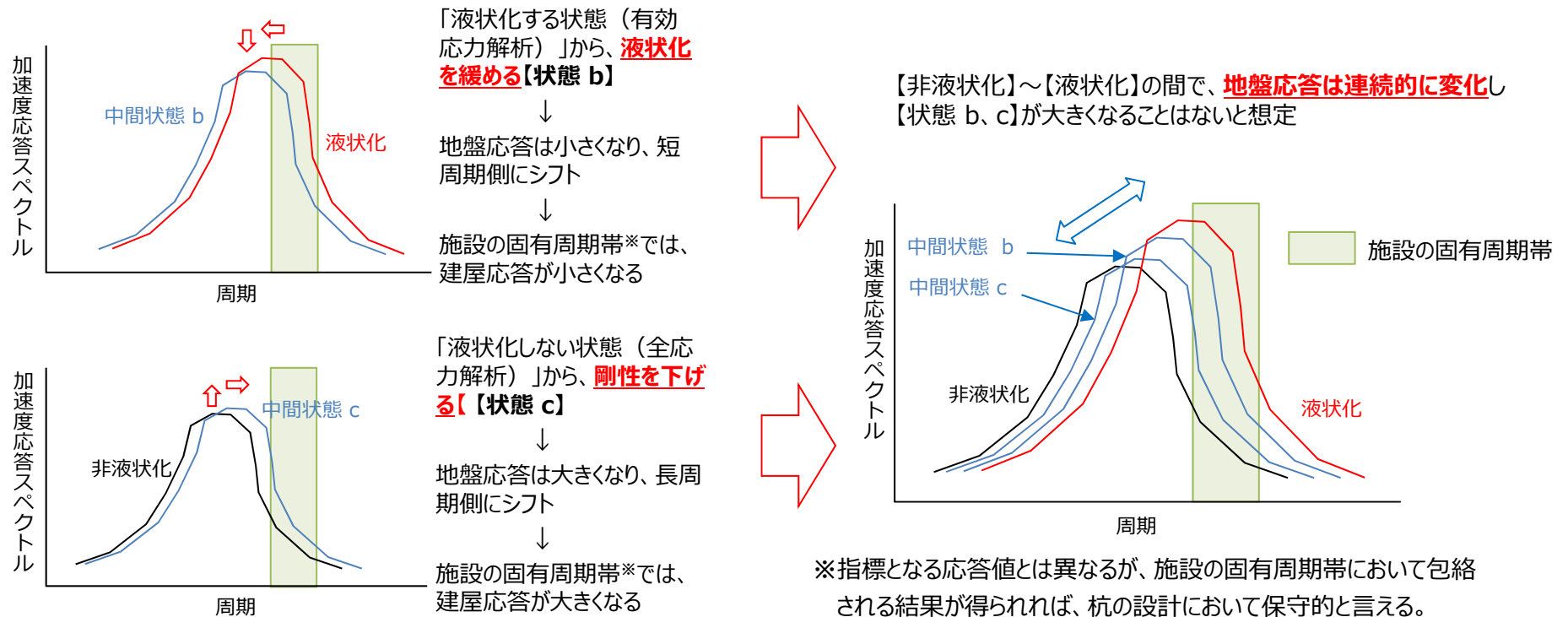
科学的合理性が得られるようなパラメータ設定

※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

杭の設計について：確認方法（b）埋戻土の液状化が進展する（c）埋戻土の剛性が低下する

- 当該施設における特徴として、埋戻土が【液状化】する状態（改良地盤の側面拘束が減少）が最も応答値が大きくなる結果が得られることを確認する。
- また、【非液状化】から【液状化】への【中間状態】で最大の揺れが生じるケースがないことを確認する。

「中間状態」の加速度応答スペクトル挙動の予測



中間状態 b：液状化強度曲線について**平均値**を使用することにより液状化が抑制される中間状態を再現




中間状態 c：埋戻土の**初期剛性を低下**させることにより中間状態を模擬

杭の設計について：検討ケース

■ STEP1：保守性を証明するために、以下の解析ケースを実施する。

- (a)：埋設構造物の有無による拘束効果を確認するケース（詳細モデルと設計モデルの応答の比較）
- (b)：液状化進展の影響を把握するためのケース（設計モデルで液状化強度曲線の違いによる応答の比較）
- (c)：埋戻土の剛性の影響を把握するためのケース（設計モデルで埋戻土の剛性の違いによる応答の比較）

応答値比較表（イメージ）

検討ケース (Ss-A, Ss-C1波※1)	モデル	変位 (改良地盤)	加速度 (基礎・上部架構)	せん断力 (上部架構)
液状化	設計モデル	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)	詳細モデル	 中間的な応答予測	 中間的な応答予測	 中間的な応答予測
状態 b (液状化を緩めた状態)	設計モデル			
状態 c (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)

※1: 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。
STEP2でこれ以外に影響の大きい基準地震動が確認された場合、その基準地震動で再確認する。

■ STEP2：杭の設計のために、以下の全応力/有効応力解析ケースを実施する。

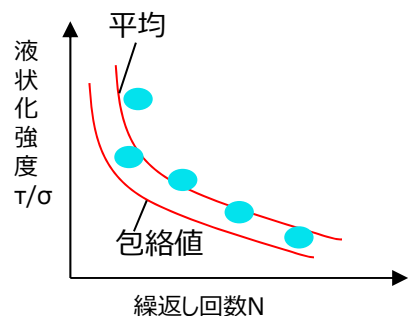
- (A)：基準地震動全波に対するケース（非液状化、液状化 × 2断面(NS,EW) × 13波 = 52ケース）
- (B)：(A)で最も応答値の大きいケースに対して、地盤のばらつきを考慮したケース
（非液状化、液状化 × 2断面(NS,EW) × ±1σ × 選定波）

パラメータ設定（1/2）

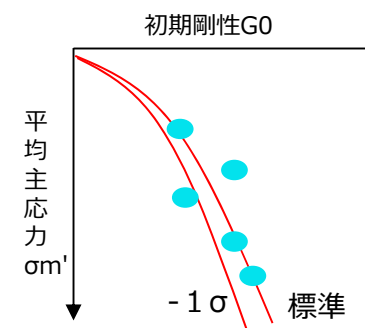
STEP1のパラメータ設定及び検討ケース数

液状化状態		液状化	状態 a	状態 b	状態 c	非液状化
地盤物性		標準地盤			-1 σ 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)	詳細なモデル (NS断面)	設計モデル (NS断面)		
地震動	Ss-A	○	○	○	○	○
	Ss-C1	○	○	○	○	○

※暫定的にSs-A・Ss-C1に対して実施するが、STEP2でこれ以外に影響の大きい基準地震動が確認された場合、その基準地震動で再確認。



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

パラメータ設定（2/2）

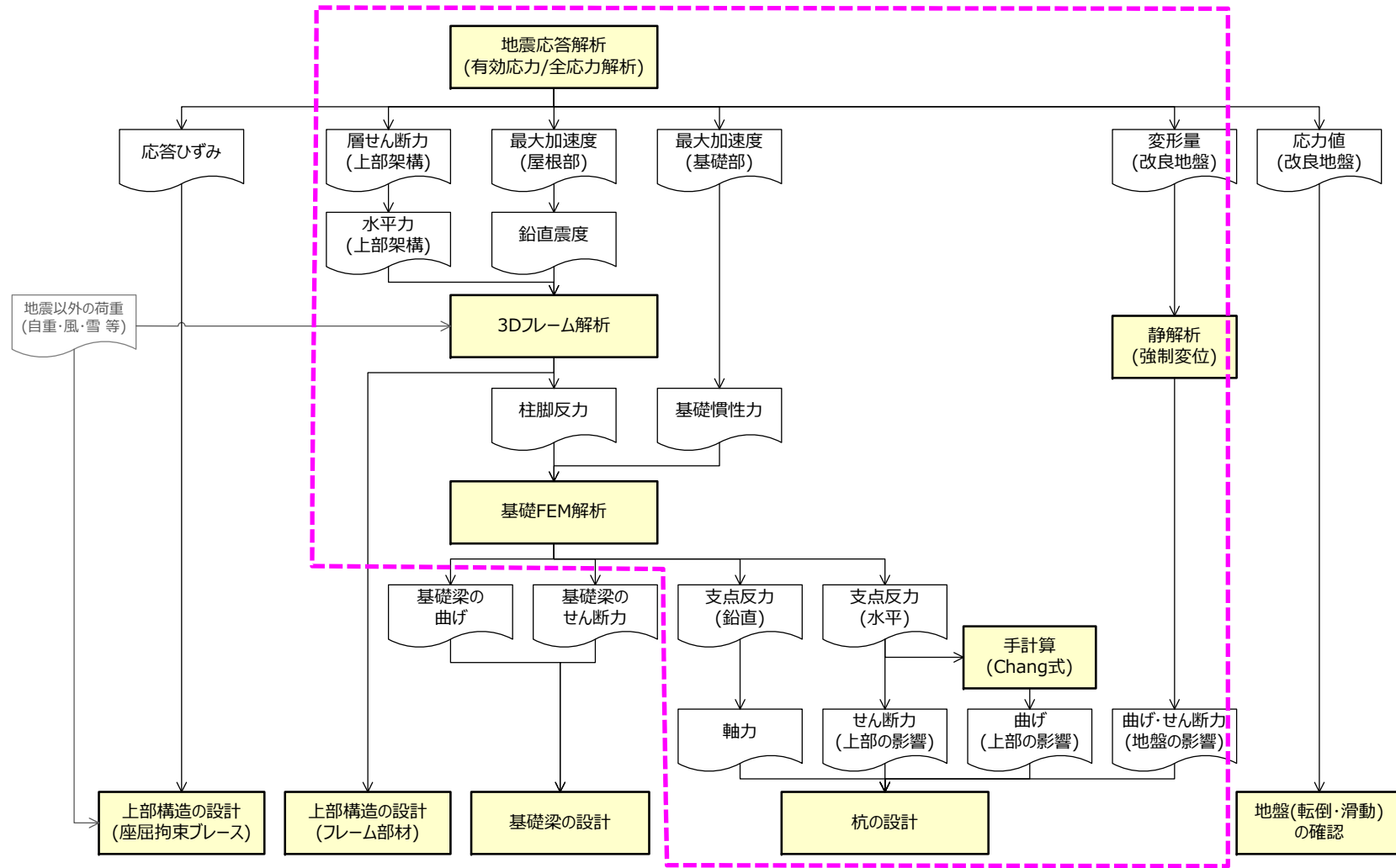
STEP2のパラメータ設定及び検討ケース数

液状化状態	非液状化						液状化						
手法	全応力解析						有効応力解析						
解析モデル	設計モデル (NS断面)			設計モデル (EW断面)			設計モデル (NS断面)			設計モデル (EW断面)			
液状化強度曲線	—						包絡値						
入力地震動	地盤ばらつき	標準	+1σ	-1σ	標準	+1σ	-1σ	標準	+1σ	-1σ	標準	+1σ	-1σ
Ss-A		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Ss-B1		○			○			○			○		
Ss-B2		○			○			○			○		
Ss-B3		○			○			○			○		
Ss-B4		○			○			○			○		
Ss-B5		○			○			○			○		
Ss-C1		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Ss-C2(NS)		○			○			○			○		
Ss-C2(EW)		○			○			○			○		
Ss-C3(NS)		○			○			○			○		
Ss-C3(EW)		○			○			○			○		
Ss-C4(NS)		○			○			○			○		
Ss-C4(EW)		○			○			○			○		

※暫定的にSs-A・Ss-C1に対してばらつき検討を実施するとしているが、実際は影響の大きい基準地震動に対して実施。

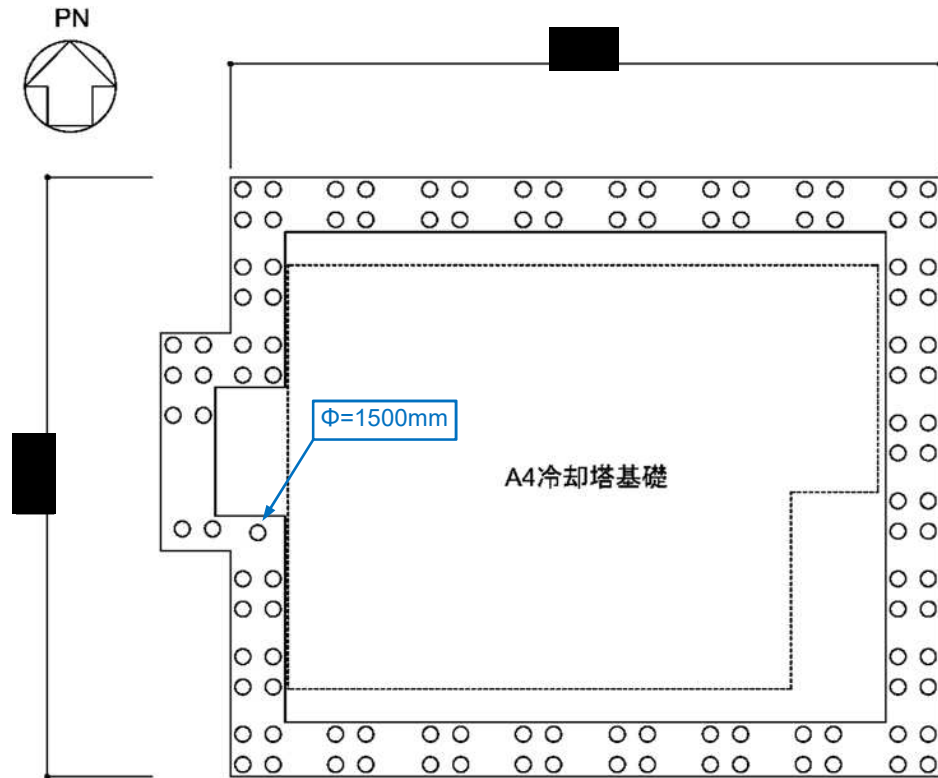
【参考】杭の設計フロー

- 杭の設計に係る設計の流れは、下図のうち赤破線の部分及び次ページの模式図のとおり。
- ①上部架構から杭に伝わる軸力・せん断力・曲げに耐えられなくなった場合、
②地盤の変形に杭が耐えられなくなった場合に、杭に損傷が及ぶ



【参考2】杭設計の流れ・詳細説明 1/6

- 杭は、 $\phi=1000\text{mm}$ (P1) と、 $\phi=1500\text{mm}$ (P2) の2種類が存在する。
- P1とP2は、剛性・耐力ともに異なるため、それぞれに対して評価を行う必要がある。



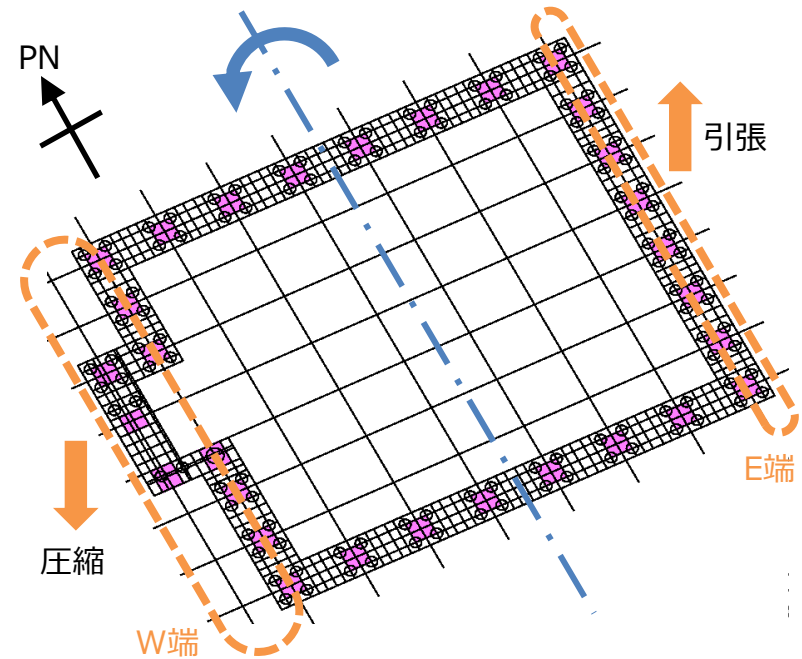
特記なき杭は全て $\phi=1000\text{mm}$

■ : 商業機密の観点から公開できない箇所

【参考2】杭設計の流れ・詳細説明 2/6

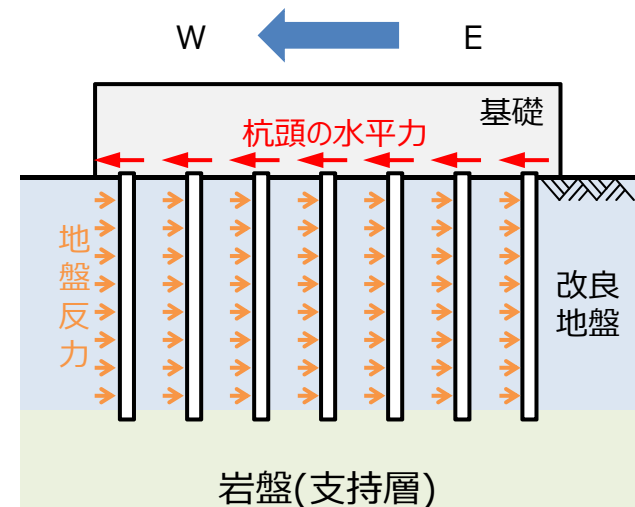
(2) 杭に生じる軸力

- 地震荷重がE→W方向に作用した場合、鉛直軸力は、W端(圧縮)およびE端(引張)で最大となる。
- よって、杭に生じる軸力は、杭の平面配置を考慮した基礎FEM解析の結果を引用する。
- 評価対象は、全ての杭とする。



(3) 杭頭の水平力

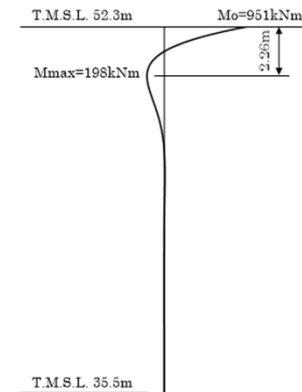
- 地震による「上部架構+基礎」の慣性力の全てを、杭で負担するものとして設計する。
- 水平慣性力を杭に配分する際、基礎の剛性が杭に対して大きい場合、杭頭は同一変形と仮定する。→ 杭径が同一であれば、水平力は同じ
- 杭頭の水平力は、地盤反力の深さ方向の総和に等しい。よって、杭に生じるせん断力は、杭頭が最大となる。



【参考2】杭設計の流れ・詳細説明 3/6

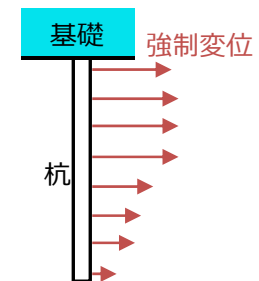
（4）杭に生じる曲げ応力(上部架構の影響)

- 杭頭の水平力を元に、杭に生じる曲げ応力をChang式を用いて計算する。
- 本施設の杭は、深さ方向に対して同径・同配筋の設計としている。よって、最大応力が発生する深さ位置で評価すればよい。
- 杭頭で最大曲げが発生するため、評価は杭頭に着目する。



（5）杭に生じる応力(地盤振動の影響)

- Chang式では考慮されない杭の深さ方向の挙動について、全応力/有効応力解析における改良地盤の変形量を元に考慮する。
- 杭は、改良地盤に追従した変形をすると仮定し、杭の剛性に強制変位を与えたときの応力(曲げ・せん断力)を算定する。



【参考2】杭設計の流れ・詳細説明 4/6

（6）杭に生じる応力(まとめ)

応力種類	評価する杭の応力
軸力	(2)基礎FEM解析結果の数値
曲げ	(4)Chang式の結果 + (5)地盤振動影響
せん断力	(3)杭頭水平力 + (5)地盤振動影響

（7）部材評価

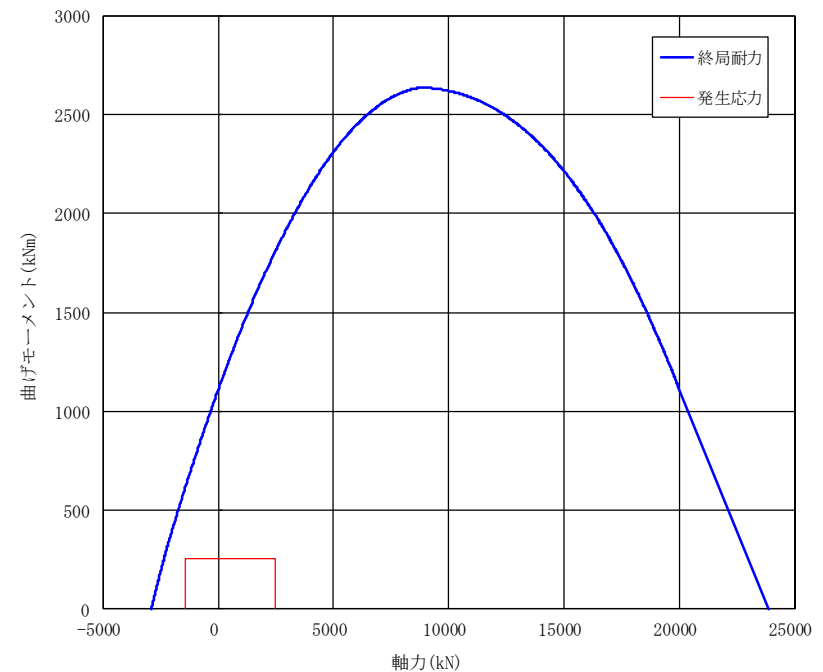
- 杭の設計では、以下の3項目に対して評価し、健全性を確認する必要がある。1項目でも健全性が確認できない場合、杭の支持機能は確保できない。
 - ① RC製の杭体に生じる応力が、終局強度以下であること。
 - ② 杭に生じる圧縮軸力が、地盤の終局鉛直支持力以下であること。
 - ③ 杭に生じる引張軸力が、地盤の終局引抜き抵抗力以下であること。

【参考2】杭設計の流れ・詳細説明 5/6

(8)-① 杭体の部材評価

【軸力・曲げ】

- 杭に生じる軸力および曲げに対し、杭の主筋およびコンクリートが健全であることを評価する。
- コンクリートおよび主筋の強度より、杭の終局耐力(軸力・曲げ)を算定。→ グラフの青線
- 杭に発生する軸力・曲げ(グラフの赤線)が、終局耐力(青線)以下であることを確認する。
- 杭に発生する軸力は、最大値(圧縮)と最小値(引張)の両方とも評価の対象とする。



【せん断力】

- 杭に生じるせん断力に対し、杭の帯筋およびコンクリートが健全であることを評価する。
- 杭の終局せん断強度は、JEAC4616-2009に記載の式により算定する。
- 杭に発生するせん断力が、終局せん断強度以下であることを確認する。

【参考2】杭設計の流れ・詳細説明 6/6

(8)-② 地盤の評価(圧縮)

- 杭に生じる軸力(圧縮)に対し、岩盤(支持層)および改良地盤が健全であることを評価する。
- 支持地盤の終局鉛直支持力は、杭先端の支圧分(支持層)に加え、周辺摩擦力(支持層+改良地盤)を考慮する。
- 杭の圧縮軸力が、終局鉛直支持力以下であることを確認する。
- 評価は、単杭および群杭の両方の扱いで実施する。

(8)-③ 地盤の評価(引張)

- 杭に生じる軸力(引張)に対し、岩盤(支持層)および改良地盤が健全であることを評価する。
- 支持地盤の終局引抜き抵抗力は、周辺摩擦力(支持層+改良地盤)とする。
- 杭の引張軸力が、終局引抜き抵抗力以下であることを確認する。
- 評価は、単杭および群杭の両方の扱いで実施する。