

# 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12月21日

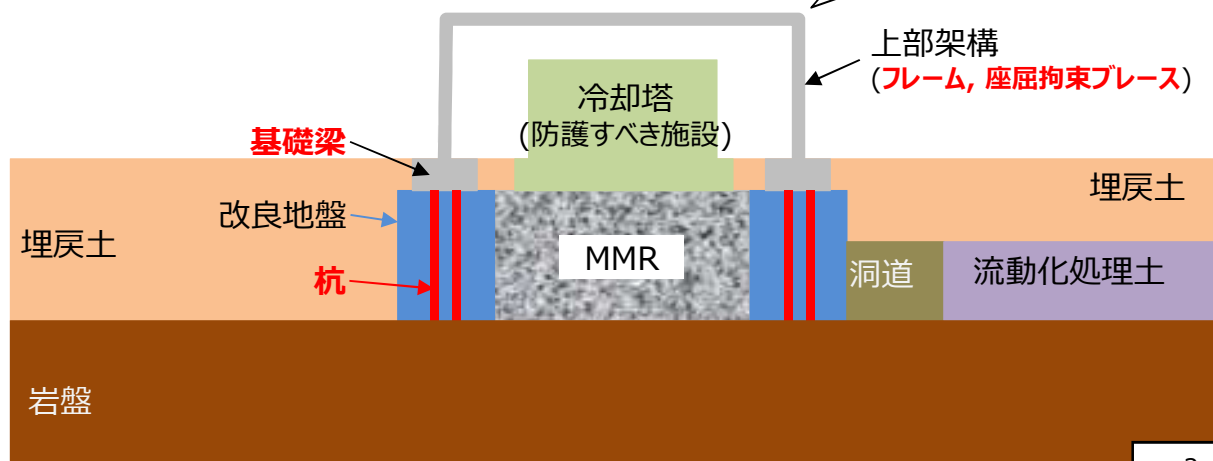
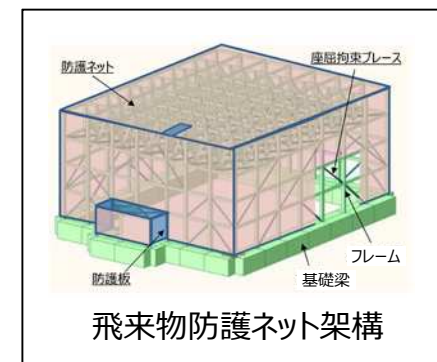
## 1. 基本方針

### 1.1 目的

- 防護ネット架構は、防護すべき施設(安全冷却水B冷却塔)に対し、竜巻による飛来物衝突の防止のために設置する。
- 防護ネット架構は、竜巻および地震による荷重に対し、防護すべき施設へ波及的影響を及ぼさないように設計する。

### 1.2 構造形式（設計対象）

- 防護ネット架構は、鉄骨造のフレーム(柱・梁)に防護ネットが取り付けられている構造であり、基礎梁を介して杭基礎で岩盤より支持される。
- ここで、構造部材は「**杭・基礎梁・フレーム・座屈拘束ブレース**」(図中の赤字)である。よって、これらを**設計対象**とする。



## 1. 基本方針

### 1.3 設計方針

#### 1.3.1 設計方針

竜巻に対する設計方針： 竜巻時の風圧や飛来物の衝突により生じるひずみ等が、許容限界内に収まることを確認する。衝突時の荷重に対して塑性化を考慮した設計を行う。……（別途報告）

地震に対する設計方針： 地震荷重、風荷重、自重等によって生じる応力が、許容限界内に収まることを確認する。  
地震荷重に対してフレーム・杭・基礎については弾性設計※1を行う。  
なお、座屈拘束ブレースは塑性化を考慮した設計を行う。

※1：部材は弾性範囲で解析する。なお、部材の検定においては終局強度等を用いている。

※2：地震の年超過確率は $10^{-4}$ ～ $10^{-6}$ 回／年，竜巻の年超過確率は $1.86 \times 10^{-8}$ 回／年より，これらが再処理施設等に同時に影響を及ぼす年超過確率は $1.86 \times 10^{-12}$ とごく低頻度であることから、それぞれ独立事象として検討する。

## 1. 基本方針

### 1.3.2 地震時の部材設計

- 杭 : **上部架構の応答による反力**※、杭周辺の**地盤の変形**によって生じる**軸力・曲げ・せん断力**が、杭の終局強度以下であることを確認する。  
また、杭に生じる**軸力**が、支持地盤・改良地盤の許容限界(鉛直支持力及び周辺摩擦抵抗)以下であることを確認する。
- 基礎梁 : **上部架構の応答による反力**※によって生じる**曲げ・せん断力**が、許容限界(鉄筋コンクリート梁の終局強度)以下であることを確認する。(別途、鉄骨柱の埋込柱脚部・杭と基礎梁の接合部で局所破壊が生じないことを確認)
- フレーム : **上部架構が応答**し、各層で発生する加速度による外力によって部材に生じる**軸力・曲げ・せん断力**に対し、許容限界(鉄骨の終局強度)以下であることを確認する。
- 座屈拘束ブレース : **上部架構の応答**で部材に生じる**ひずみ**の最大値および疲労係数が、許容限界(評定記載値)以下であることを確認する。

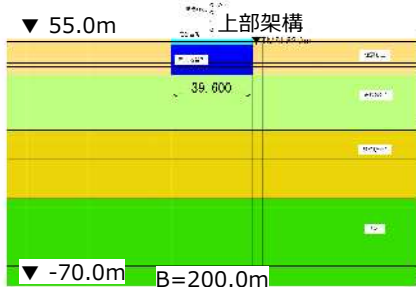
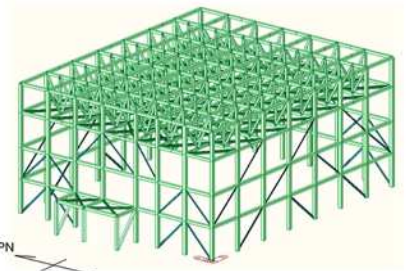
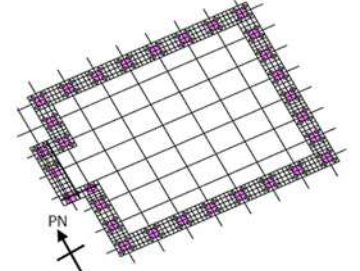
※ 上部架構の柱脚の反力+基礎の慣性力

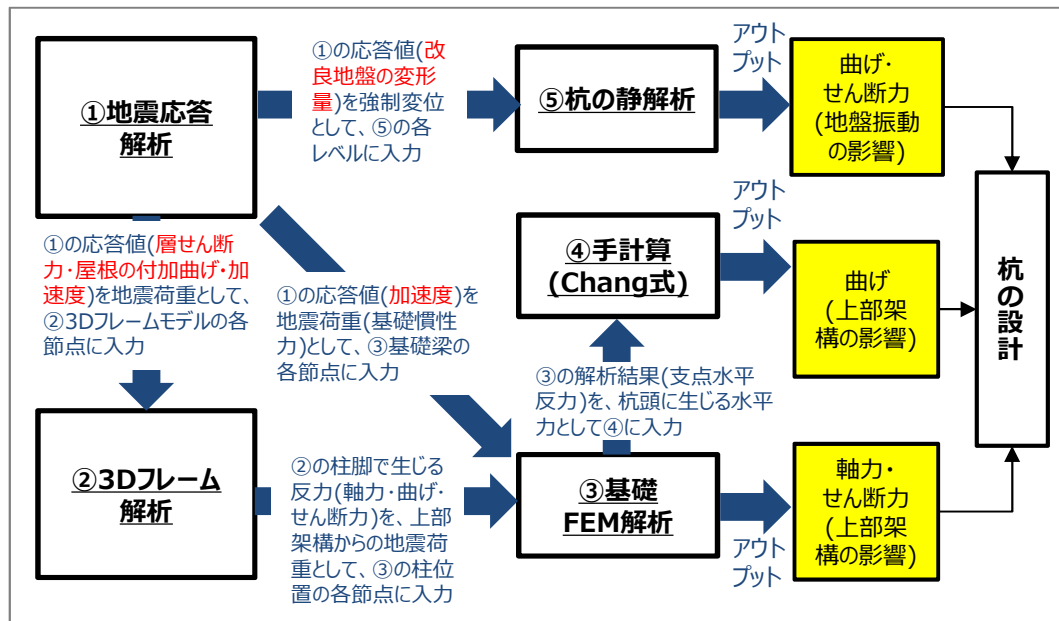
↓  
各部材の応力（軸力・曲げ・せん断力）・ひずみに影響する  
「**上部架構の応答**」、「**地盤の変形**」  
に着目し設計に必要な**荷重を算定**するための解析モデルを構築する。

# 1. 基本方針

## 1.3.3 荷重の算定

➤ 部材の設計に用いる応力・ひずみの値は、下記の①～③の解析により算定する。

①地震応答解析 (全応力解析/有効応力解析)	②3Dフレーム解析	③基礎FEM解析
 <p>地盤を考慮した地震応答解析で、改良地盤・上部架構の応答値を算出</p>	 <p>①の結果を用い、上部架構に生じる応力を算出</p>	 <p>①②の結果を用い、基礎梁・杭に生じる応力を算出</p>



- 杭の設計を例とすると、部材の設計に用いるインプットは、①地震応答解析より算定される以下の項目である。(図中の赤字)
  - ・上部架構の各層の層せん断力
  - ・上部架構の屋根部の付加曲げ
  - ・上部架構の屋根部の鉛直加速度
  - ・基礎部の加速度(水平・鉛直)
  - ・改良地盤の変形量
- 他の設計においても杭と考え方は同じ。座屈拘束ブレースの設計に用いるインプットは、①地震応答解析より算定される「応答ひずみ」の項目が追加となる。
- 全ての評価のベースとなる地震応答解析については、次ページ以降に記載する。

## 2. 地震応答解析の計画

### 2.1 方針

- ◆ 防護ネット架構の部材設計を行うにあたりインプットとなる**地震荷重**を算定する地震応答解析を行うモデルを構築する。
- ◆ 検討ケースが多いことから合理的に解析をして設計するため以下の項目を踏まえて構築する。
  - 設計モデルの構築に際して設定する項目(メッシュ、形状等) が**妥当性を有していること**
  - 波及的影響評価が過小とならない地震荷重を算定可能な**保守性を有していること**
- ◆ 設計モデルは、至近の発電炉での評価で用いられている解析モデル(検証用モデル)に比べ、各種合理化を図る（詳細は参考1に示す。）ことから、合理化した項目すべてに対して妥当性を確認する。

#### 1) 設計モデルの**妥当性の確認**項目

- ・メッシュサイズ
- ・上部架構
- ・接触剥離要素
- ・モデル範囲
- ・改良地盤幅
- ・その他

#### 2) 設計モデルの**保守性の確認**項目

保守性については「**上部架構の応答**」、「**地盤の変形**」に着目し、以下の項目で与える。

- ・拘束効果
- ・地盤の剛性変化

次節以降に各々の項目に関する計画を示す。

## 2. 地震応答解析の計画

### 2.2 設計モデルの妥当性

#### 2.2.1 設計モデルの妥当性の考え方

項目	設定の考え方
メッシュサイズ	地中を伝搬する波はメッシュ分割に影響を受けるため、深さ方向のメッシュ分割は、上部構造の固有振動数とメッシュサイズの関係から施設の振動特性に対応した入力波を適切に評価できるように設定する。
上部架構	上部架構-基礎-地盤を一体化し、施設の振動特性を適切に評価する。 なお、上部架構については質点系でモデルとする。
接触剥離要素	液状化時は埋戻土の剛性がほぼゼロとなり、接触剥離の影響は小さいという考えから、構造物と地盤の境界面に対し、接触剥離は考慮しない。
モデル範囲	モデル幅は、モデル境界からの影響を低減するため施設の5倍以上とする。 モデル高さは、基準地震動の入力位置である解放基盤面～地表面を対象とする。
改良地盤幅	改良地盤の「高さ/幅」が大きくなることでロッキング挙動が起きやすくなり、地震荷重が大きくなると予想し、改良地盤幅は基礎幅に合わせる。
その他	<ul style="list-style-type: none"><li>・粗粒砂岩：直下地盤の厚さ107mに対し、粗粒砂岩の厚さはごくわずかであるため、その影響は小さいと考える。</li><li>・基礎高さ：上部架構の振動特性が等価となるような設定とする。</li></ul>



## 2. 地震応答解析の計画

### 2.2.2 設計モデルの妥当性の検証方法

#### ■ メッシュサイズ

メッシュ寸法および地盤の固さから、評価可能な周波数を計算し、上部架構の主要な固有振動数が含まれることを確認する。

#### ■ 上部架構

上部架構を一体化することは、十分実績のあるモデル化である。

#### ■ 接触剥離要素の影響について

設計モデルをもとに、試解析により接触剥離要素の有無の影響を比較し、双方の結果が同等であることを確認する。

#### ■ モデル範囲

JEAC4601-2008を参照し、モデル範囲が適切に設定されていることを確認する。

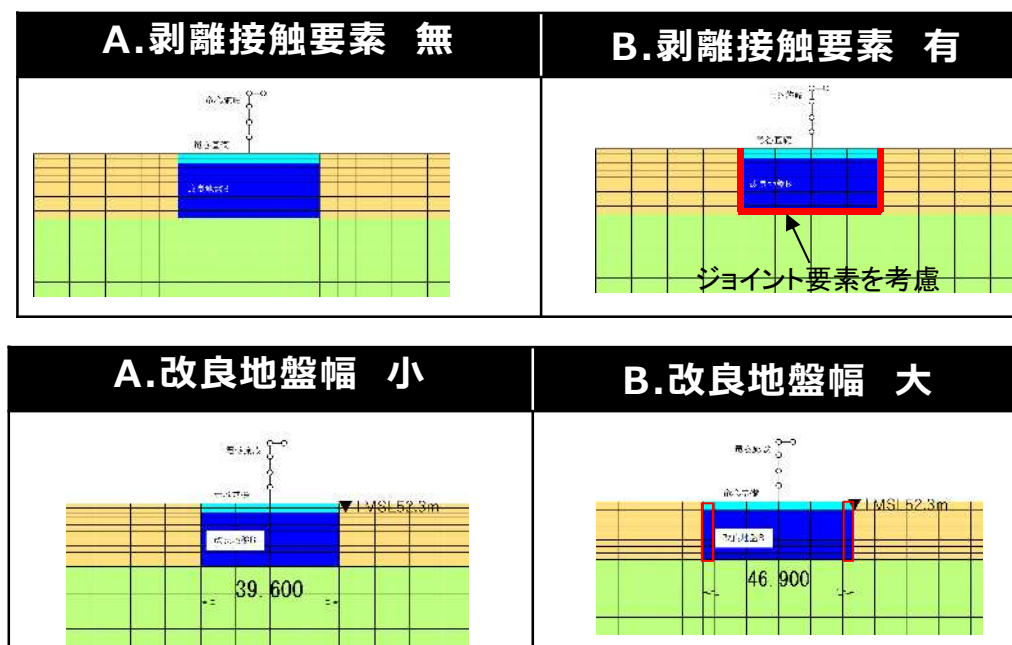
#### ■ 改良地盤幅の影響について

改良地盤幅の異なる解析により地震荷重への影響を確認する。

※両モデルの幅はNS方向とEW方向の幅を想定

#### ■ その他について

- ①粗粒砂岩（厚さ0.37m）については、確認のために、1次元土柱モデル（直下地盤と埋戻土）を用いて、粗粒砂岩の考慮の有無による応答の比較を行う。
- ②基礎高さ（差0.3m）については、設計モデルにおいて、剛梁を基礎位置（T.M.S.L.55~55.3m）にモデル化することより等価な設定とする。





## 2. 地震応答解析の計画

### 2.3.1 設計モデルの保守性の考え方

項目		設定の考え方
拘束効果 (水平方向)	周辺構造物	水平方向の拘束力を下げるため、洞道等の <b>周辺構造物を非考慮</b> とし、埋め戻し土の地盤物性を用いる。
	杭	水平方向の拘束力を下げるため、 <b>杭を非考慮</b> とする。
	MMR	水平方向の拘束力を下げるため、 <b>MMRを非考慮</b> とし、改良地盤の物性値を用いる。
屋根部の鉛直応答		水平方向地震力に起因したロッキングによる <b>鉛直応答の影響</b> について配慮する。
地盤の剛性変化		埋戻土の剛性変化に伴い拘束効果が変わり、地震荷重は非液状化で最小、液状化で最大となると考え、地盤物性については、 <b>非液状化、液状化及び中間状態</b> での解析条件を設定し、地震荷重の差異を確認する。

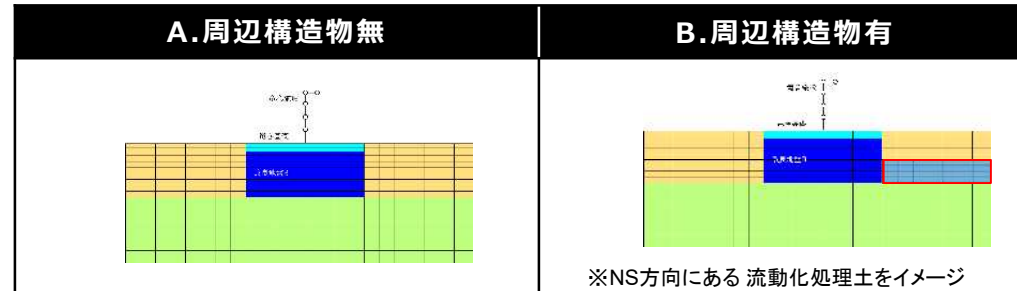
## 2. 地震応答解析の計画

### 2.3.2 設計モデルの保守性の検証方法

#### ■ 拘束効果

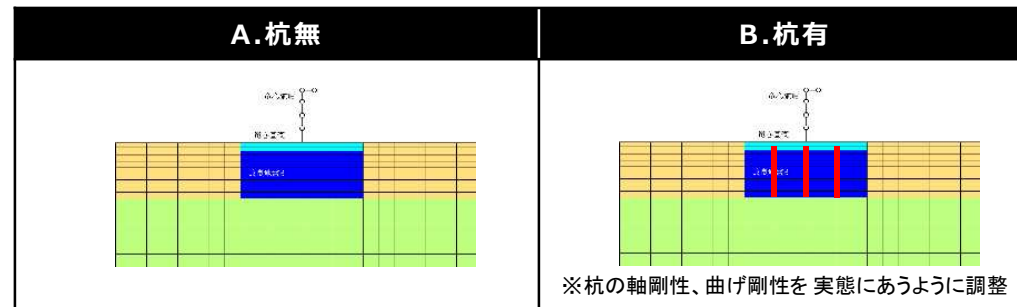
##### ➤ 周辺構造物

周辺構造物の代替として流動化処理土の有無による地震荷重への影響を設計モデルの解析により確認する。（詳細は参考2に示す。）



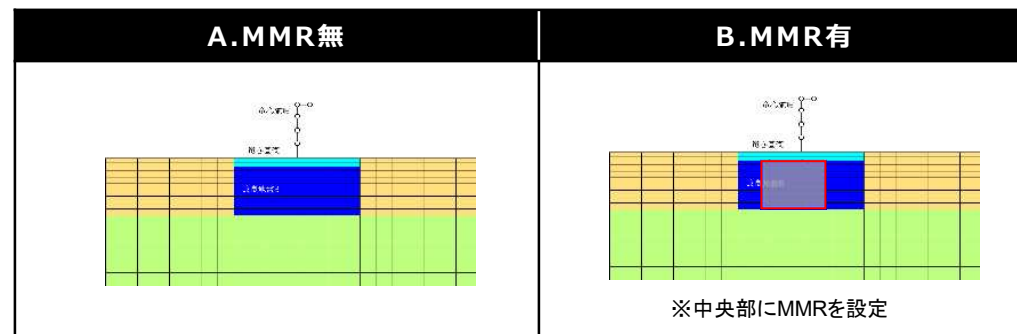
##### ➤ 杭の影響

杭の有無による地震荷重への影響を設計モデルの解析により確認する。



##### ➤ MMRの影響

MMRの有無による地震荷重への影響を設計モデルの解析により確認する。



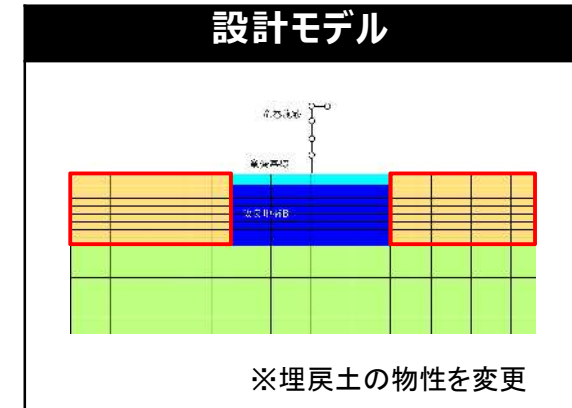
#### ■ 屋根部の鉛直応答に対する保守性の配慮

- 設計において支配的となる水平応答に対し保守性を確保するモデルとした。ただし、屋根部の鉛直応答については、ロッキングの影響を再現する解析モデルを用いて確認し、保守性に配慮する。

## 2. 地震応答解析の計画

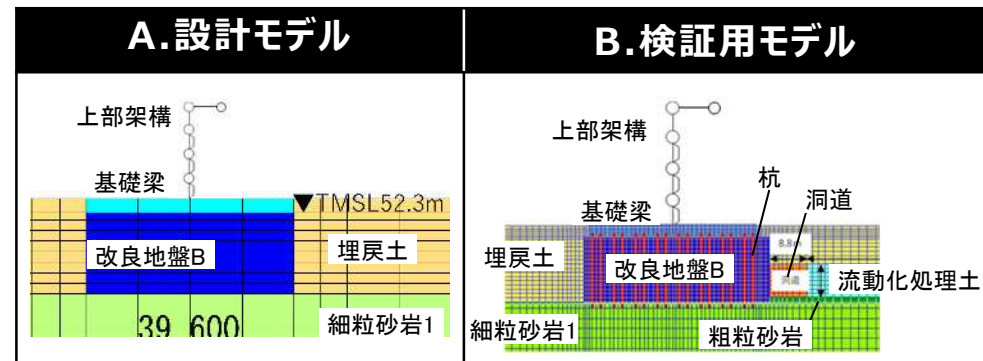
### 2.3 地盤の剛性変化

- 液状化の状態から埋戻土の液状化状態を抑制した場合、非液状化状態から埋戻土の剛性を下げた場合の2つの場合の中間状態を設定し、その地震荷重が液状化、非液状化の間に収まっていることを確認する。（詳細は参考3に示す。）



### 2.4 設計モデルの保守性の確認

- 設計モデルが、実際の挙動に対し、保守性を有していることを、施設周辺の状況をより細かくモデル化した検証用モデルと比較し、設計モデルにおける地震荷重が検証用モデルの地震荷重に対し保守的な値となっていることをもって再確認する。



## 3. まとめ

- 本資料において飛来物防護架構ネットの地震時に対する設計方針を説明し、各部材に生じる地震力を算定する設計モデルの妥当性の確認方針を説明した。
- 今後、設計モデルの妥当性の検証結果及び波及的影響の評価結果について説明する。

## 参考1

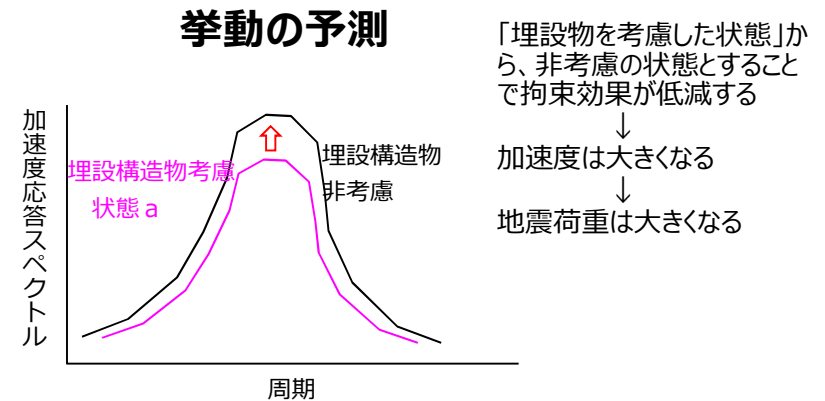
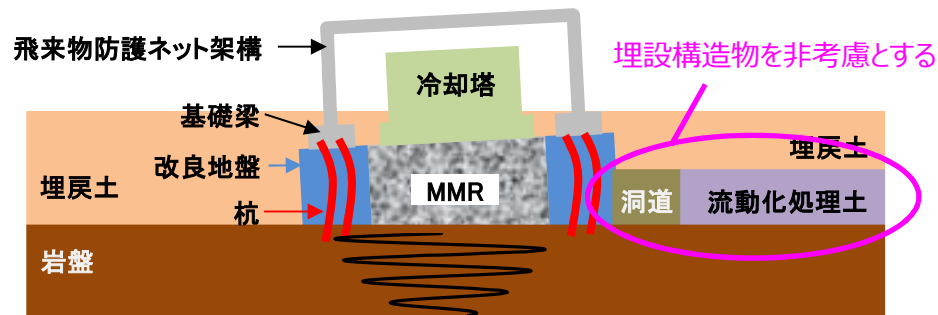
- 設計モデルは、至近の発電炉での評価で用いられている解析モデル(検証用モデル)に比べ、各種合理化を図っていることから、モデルの妥当性を項目毎に確認し、保守性を与える。
- 妥当性の確認項目、保守性を与えた項目について以下の表に示す。

内容		設計モデル	検証用モデル	
解析モデル				
妥当性確認項目 (合理化項目)	モデル範囲	モデル幅：施設の5倍以上、モデル高さ：解放基盤面～地表面		
	上部架構	考慮する		
	メッシュサイズ ～保証する周波数～	13Hz以下（メッシュ数：約500）	20Hz以下（メッシュ数：約10,000）	
	接触剥離要素	考慮しない	考慮する	
	改良地盤幅	基礎梁と同幅でモデル化（実寸より小さい）	実寸でモデル化	
	その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・周辺地盤のうち粗粒砂岩（厚さ0.37m）を<b>考慮しない</b></li> <li>・基礎高さは地盤高さに合わせる(T.M.S.L.55.0m)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・周辺地盤のうち粗粒砂岩（厚さ0.37m）を<b>考慮する</b></li> <li>・基礎高さは実際の高さ（T.M.S.L.55.3m）</li> </ul>	
保守性を 与付	拘束効果	周辺構造物	洞道、流動化処理土を <b>考慮しない</b>	洞道・流動化処理土を <b>考慮する</b>
		杭	<b>モデル化しない</b>	<b>モデルに考慮</b>
		MMR	<b>考慮しない</b>	<b>実情に合わせて考慮</b>

## 参考2

### ■ 目的

- 周辺構造物による**拘束効果**が水平方向の**地震荷重**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モデルに組み込まないことで、応答値に**保守性**を与えると想定。
- **上記の影響は、**設計モデルを用いて非液状化/液状化時の状態で確認する。



応答値比較表（イメージ）

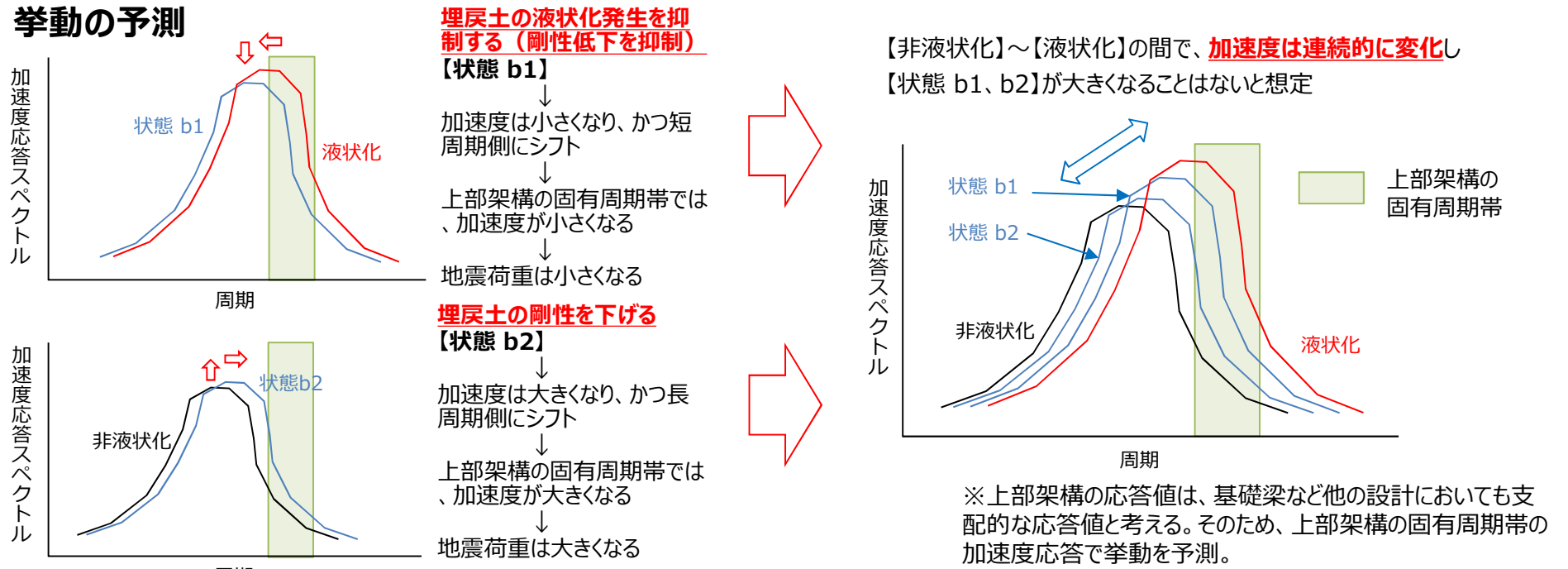
検討ケース	モデル	A)層せん断力 (上部架構)	B)曲げ (上部架構)	C)最大加速度 (基礎・上部架構)	D)変形 (改良地盤)	E)応答値 (改良地盤)	F)応答 ひずみ
埋設構造物を非考慮	設計モデル(拘束無)	大	大	大	大	大	大
状態 a	設計モデル(拘束有)	小	小	小	小	小	小

# 参考3

## ■ 目的

この施設では埋戻土の**剛性変化**に伴い埋戻土による拘束効果に変化し、**地震荷重は【非液状化】で最小、【液状化】で最大**となると考えられる。非液状化/液状化の**【中間状態】**において、地震荷重が最大とならないことを確認し、解析条件を設定する。

### 挙動の予測



応答値比較表（イメージ）

検討ケース	モデル	A)層せん断力 (上部架構)	B)曲げ (上部架構)	C)最大加速度 (基礎・上部架構)	D)変形 (改良地盤)	E)応答値 (改良地盤)	F)応答 ひずみ	
液状化	設計モデル	大	大	大	大	大	大	
状態 b1	設計モデル	中に収まることを確認						
状態 b2	設計モデル	中に収まることを確認						
非液状化	設計モデル	小	小	小	小	小	小	