

東海第二発電所

耐震設計方針について

〔 第504回審査会合(平成29年9月5日)時の
指摘事項に対する回答 〕

平成29年9月22日

日本原子力発電株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密又は
防護情報の観点から公開できません。

指摘事項



カテゴリ	指摘事項		説明頁	該当資料
建物・構築物	1	使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭基礎を考慮した入力地震動の妥当性・適用性を説明すること。	1～6	PD-1-14(改14) 別紙-9
	2	原子炉建屋の屋根トラスの評価について、二次格納施設の間接支持構造物としての位置付けを踏まえた許容限界を提示すること。	7～9	PD-1-14(改14) 別紙-3
機器・配管系	3	機器・配管系において適用する手法について、東海第二発電所としての適用性を詳細設計での実現性を説明すること。	10～13	PD-1-14(改14) 別紙-5
	4	動的機能維持評価で、JEAG4601適用外設備、機能確認済み加速度を超えるものについて、至近の先行審査を踏まえて耐特委まで遡った検討をすること。	14～17	PD-1-14(改14) 別紙-13
	5	格納容器バウンダリにおける地震とSA荷重の組合せにおいて、S _d 時に最高圧力、最高温度を組み合わせる考え方について整理すること。	18～20	SA設-C-2(改39) 34-4
耐震補強	6	耐震補強を計画している設備を提示すること。	21～33	PD-1-14(改14) 別紙-12
地盤安定性 (液状化)	7	防潮堤以外の施設についても、地盤物性のデータの信頼性に応じて豊浦標準砂を仮定したモデルでの評価を行う等、安全側の評価を検討すること。	34～63	PD-1-14(改14) 別紙-10

指摘事項1 使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭基礎を考慮した 入力地震動の妥当性・適合性



【指摘事項】

使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭基礎を考慮した入力地震動の妥当性・適用性を説明すること。

【回答概要】

1. 杭基礎を考慮した入力地震動(有効入力動)の評価として、既工認において地盤ばね算出に用いた3次元薄層要素法を用いる。評価方法の概要を示す。(→p2, 3)
2. 規格基準等において、杭基礎の拘束効果を考慮した有効入力動を設定すること、及びその評価に薄層要素法が用いられることが示されている。(→p4)
3. 東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析を行い、建屋の一次固有周期近傍で有効入力動を用いた解析結果が観測記録より大きいことを確認した。(→p5)

以上より、薄層要素法を用い杭の拘束効果を考慮した有効入力動を算定することは妥当性及び適用性がある。

4. なお、基準地震動 S_g の有効入力動について、既工認手法による自由地盤地震動と比較し、有効入力動がやや小さいことを確認した。(→p6)

杭の拘束効果を考慮した入力地震動の適用について



既工認では、杭を考慮した地盤ばね算出に3次元薄層要素法を用いていた。今回工認では、入力地震動評価にも同手法により杭の拘束効果を考慮することにより、地盤ばねの設定との整合を図り、より実状に近い評価とする。

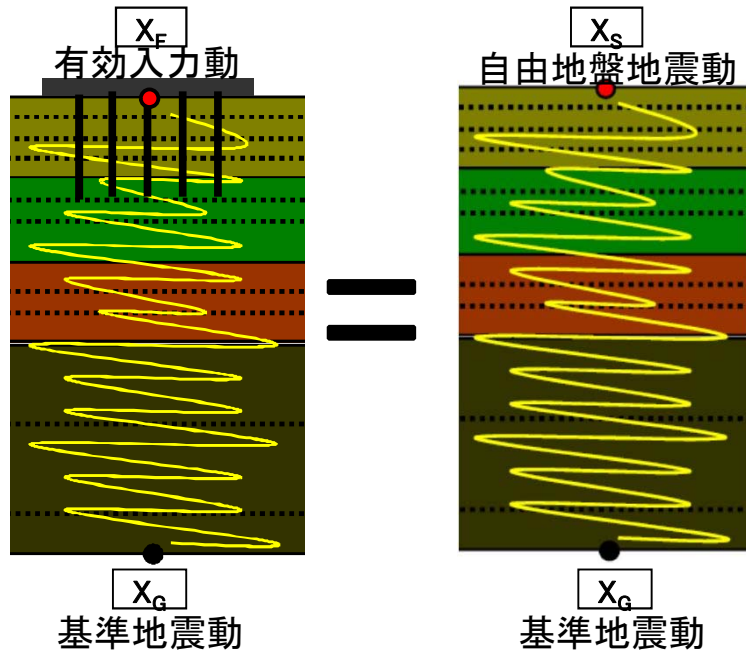
	建屋モデル	①地盤ばね	②入力地震動
既工認		<p>薄層要素法により杭を考慮した地盤ばねを算出</p> <p>杭の存在を考慮している範囲</p>	<p>一次元波動論により入力地震動を算出</p> <p>自由地盤地震動</p> <p>基準地震動</p>
今回工認		<p>薄層要素法により杭を考慮した地盤ばねを算出</p>	<p>薄層要素法により杭の拘束効果を考慮した入力地震動を算出</p> <p>有効入力動</p> <p>基準地震動</p>

3次元薄層要素法とは、水平方向には弾性波動論、深さ方向には有限要素法で定式化した解析手法であり、杭の拘束効果を考慮した入力地震動の算定に適用可能である。

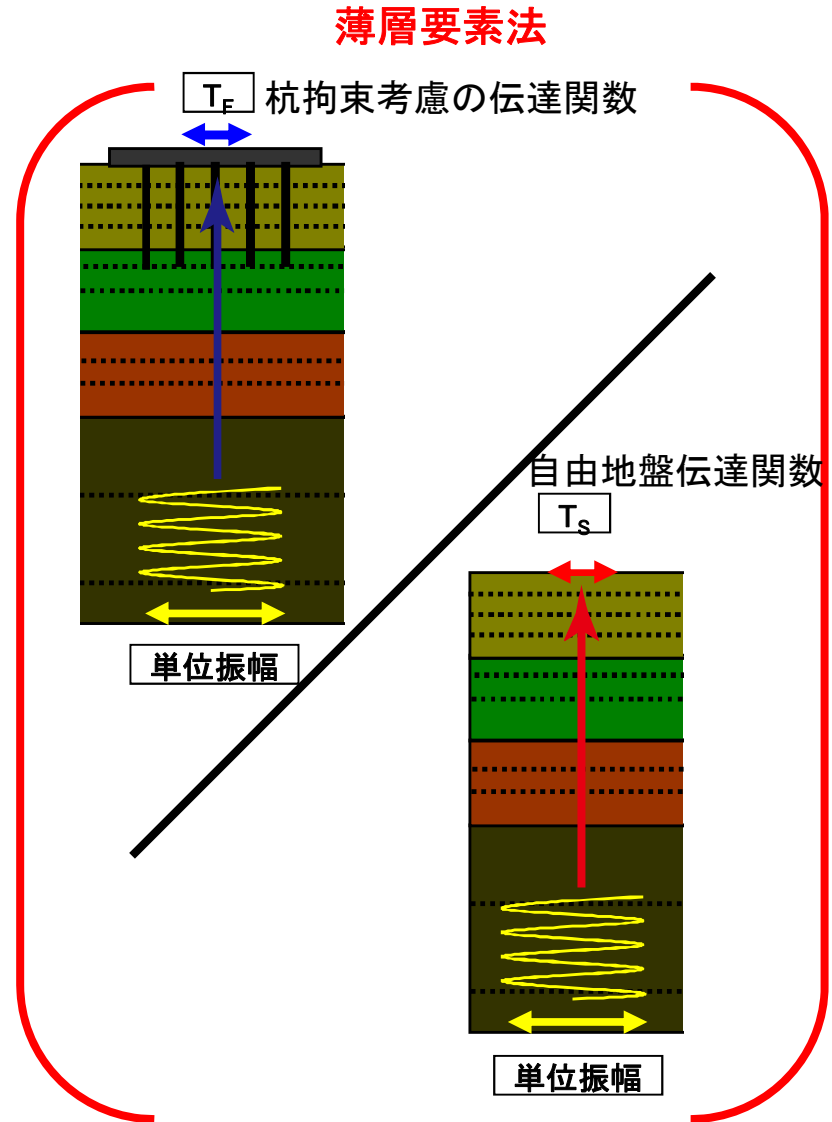
有効入力動の算出方法

一次元波動論から算出される自由地盤地震動に3次元薄層要素法により算出した伝達関数比率を乗じて杭の拘束効果を考慮した有効入力動を算出する。

$$X_F = X_S \times \frac{T_F}{T_S}$$



- X_S : 自由地盤地震動
- X_G : 基準地震動
- X_F : 有効入力動
- T_S : 自由地盤伝達関数
- T_F : 杭拘束考慮の伝達関数



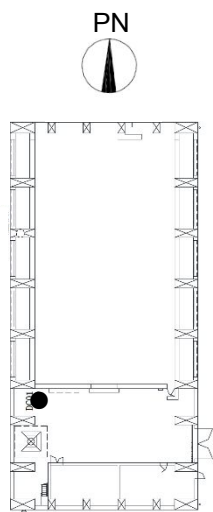
規格基準等において、杭基礎の拘束効果を考慮した有効入力動を設定すること、及びその評価に薄層要素法が用いられることが示されている。

- 入門・建物と地盤との動的相互作用(日本建築学会, 1996)
 - 地盤内部に多数の加振源を有する埋込み基礎や群杭の動的相互作用解析に広く適用され、最近では理論地震動の計算にも応用されている。
 - 計算効率や成層地盤への適用性などにより、薄層モデルは埋込基礎や杭基礎の三次元動的相互作用解析に広く用いられている。
- 建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計(日本建築学会, 2006)
 - 杭基礎建物の入力動は、直接基礎のように表層地盤の地表面応答波がそのまま上部構造に入力されるのではなく、地盤内に存在する群杭が表層地盤の挙動を拘束するため、自由地盤の応答波とは異なる。
- JEAG4616-2003乾式貯蔵建屋基礎構造の設計に関する技術指針(日本電気協会, 2003)
 - 群杭による拘束効果や地盤改良の影響等により建屋への入力動が自由地盤の応答と差を生じる場合には、必要に応じて別途有効入力動を評価することとする。
- JEAC4616-2009乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程(日本電気協会, 2010)
 - FEMモデルに代表される離散系モデルにより地盤ばねモデルへの入力地震動を評価する場合、附図2.6-6図に示すように地盤のみの離散化モデルの地震応答解析を行い入力地震動を評価する。

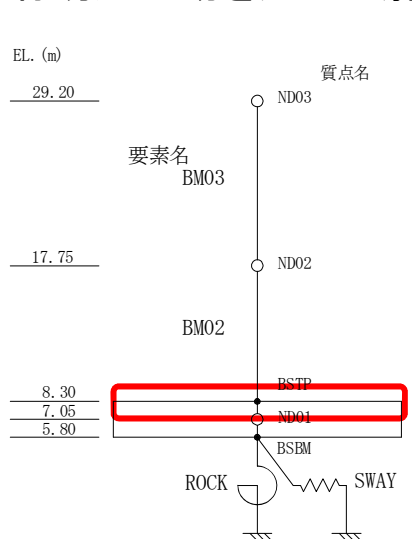
東北地方太平洋沖地震の観測記録との比較



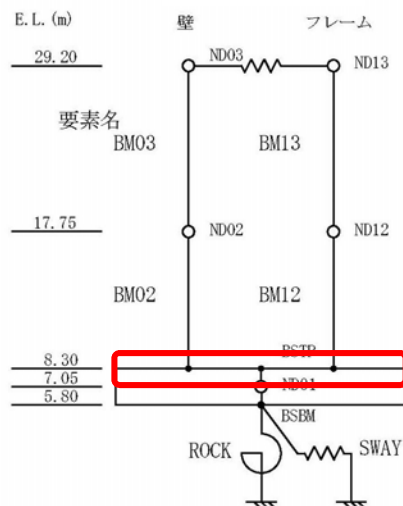
東北地方太平洋沖地震の解放基盤波を入力したシミュレーション解析の結果、建屋の一次固有周期近傍において、有効入力動を用いた解析結果は、観測記録より大きいことを確認した。



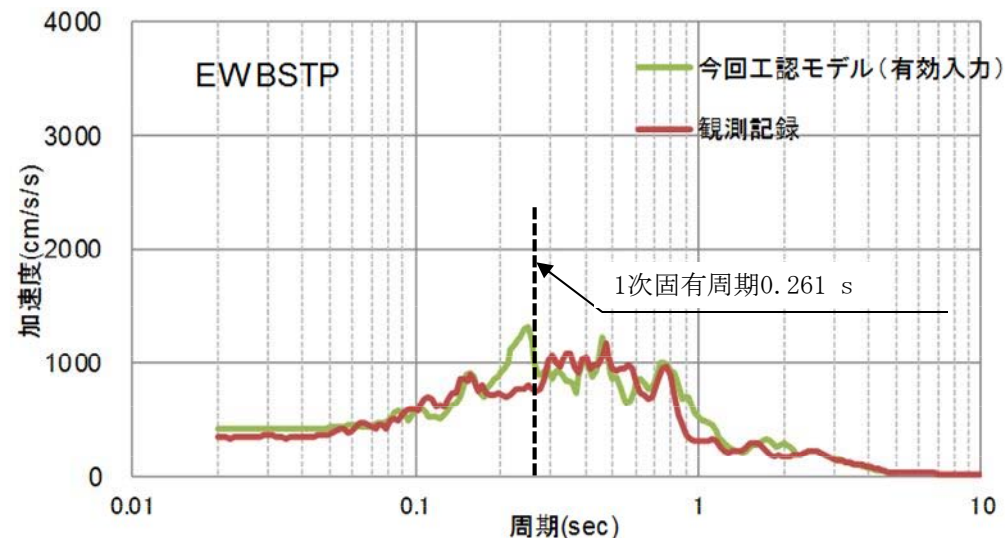
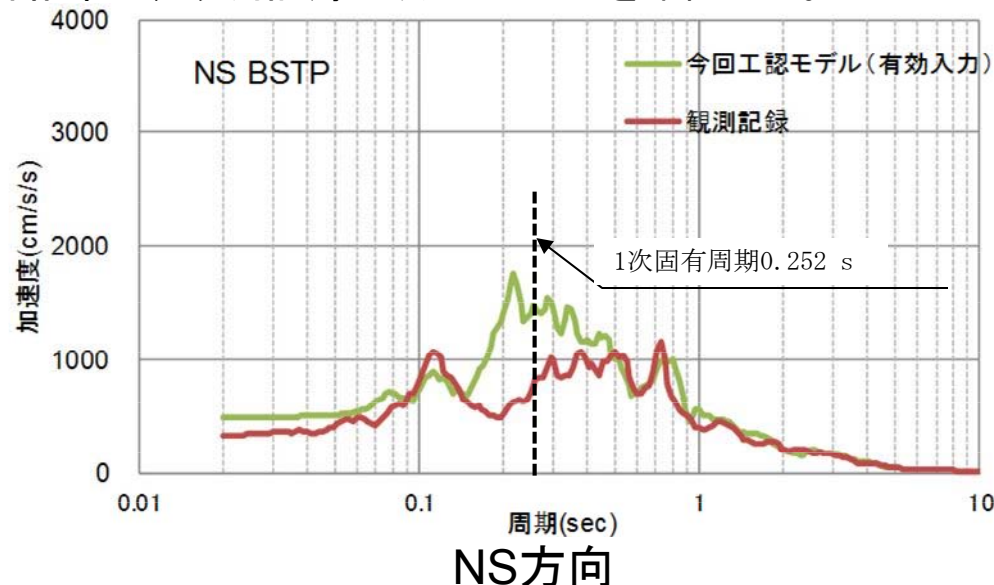
●:地震計
地震計設置位置
(EL.8.3m)



NS方向



EW方向

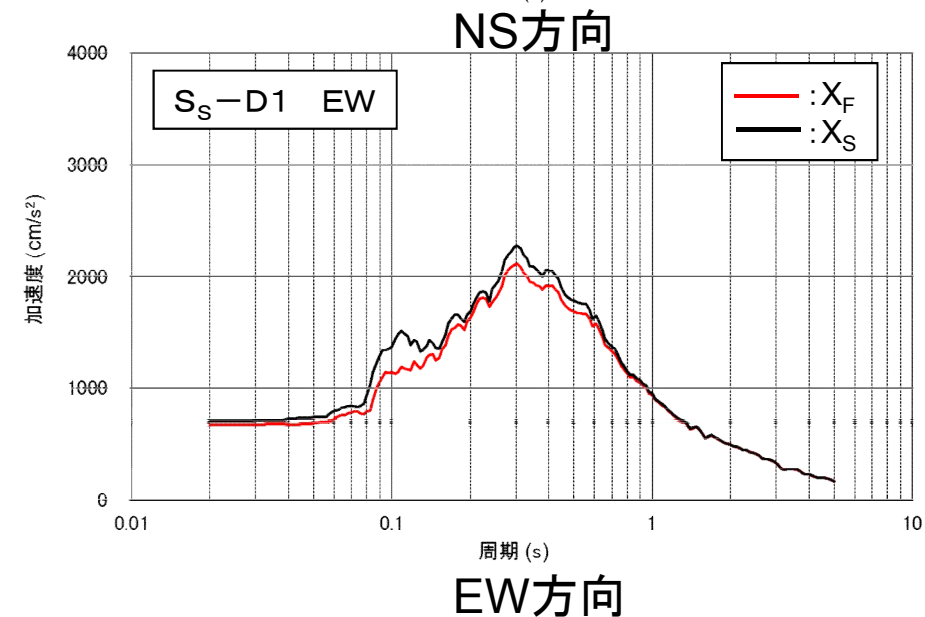
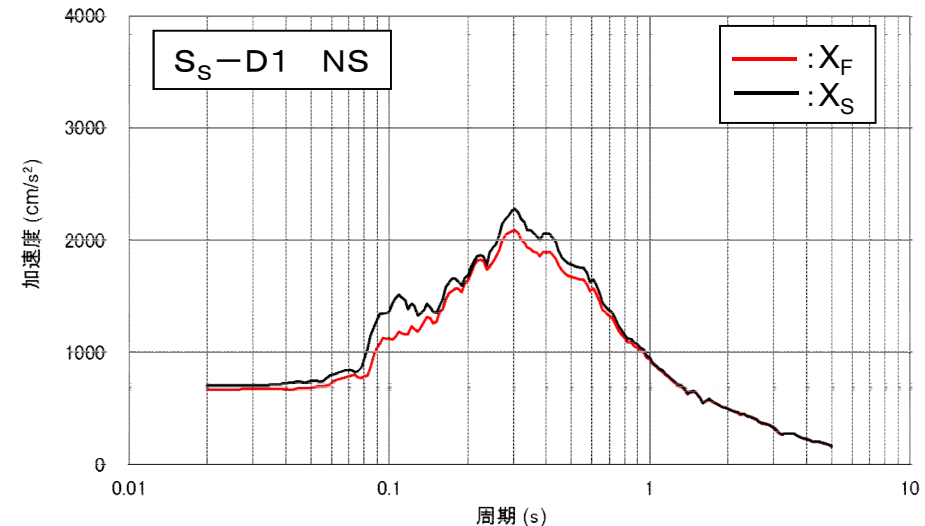
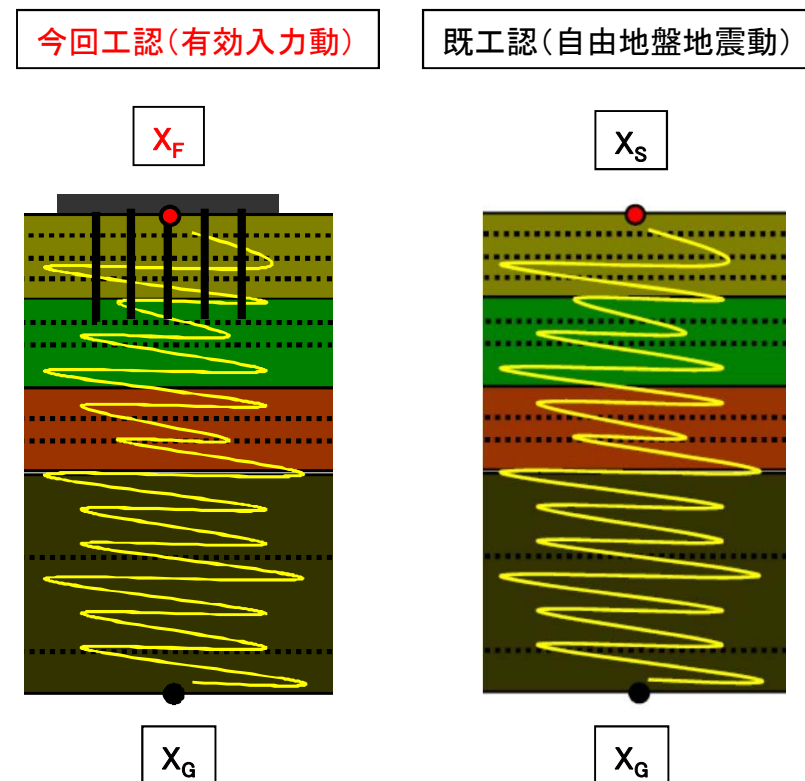


EW方向

基準地震動 S_S に対する杭の拘束効果



基準地震動 S_S に対する有効入力動を既工認手法による自由地盤地震動と比較した。有効入力動は自由地盤地震動よりやや小さいことを確認した。(代表として、 S_S-D1 について検討)



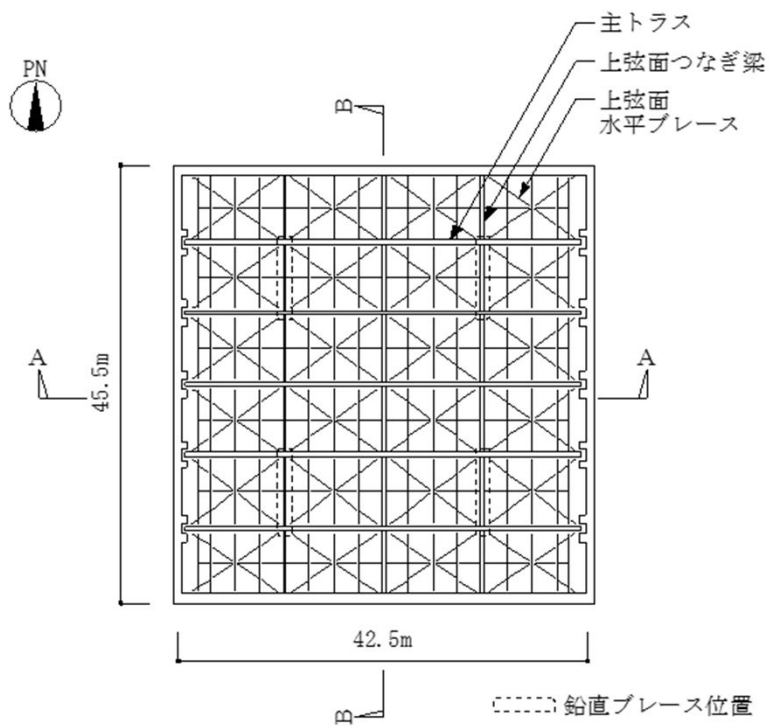
【指摘事項】

原子炉建屋の屋根トラスの評価について、二次格納施設の間接支持構造物としての位置付けを踏まえた許容限界を提示すること。

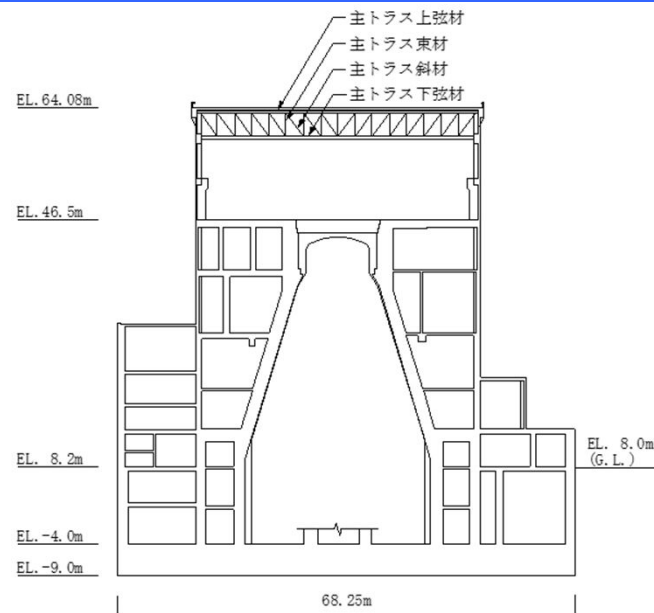
【回答概要】

二次格納施設の間接支持構造物としての位置付けを踏まえ、主トラス以外の部材についても、「弾性範囲内であることを確認」とする。

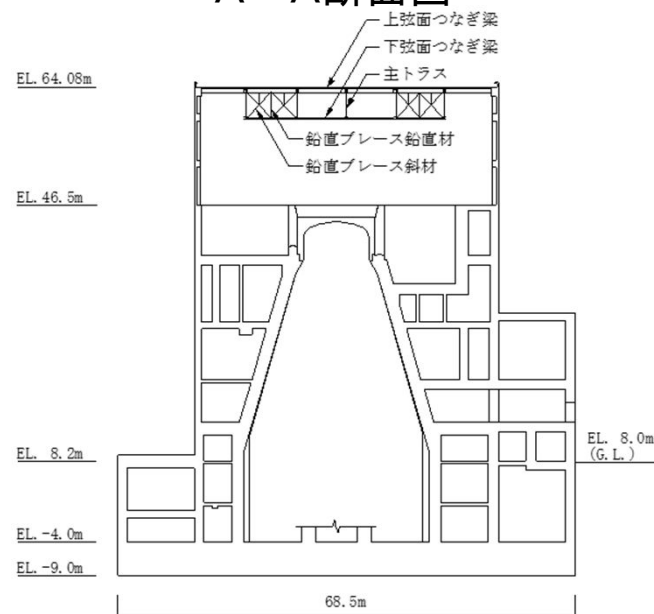
原子炉建屋屋根トラスの概要



屋根伏図



A-A断面図



B-B断面図

原子炉建屋屋根トラス各部材のクライテリア



第504回審査会合(2017年9月5日)の記載

評価部位		評価方法	評価方法
主トラス	上弦材	弾性範囲内であることを確認	弾性範囲内であることを確認
	下弦材		
	斜材		
	束材		
つなぎ梁	上弦面	弾性範囲内であることを確認	破断しないことを確認
	下弦面		
水平ブレース	上弦面	弾性範囲内であることを確認(引張側)※	破断しないことを確認
	下弦面	弾性範囲内であることを確認(引張側)※	
鉛直ブレース	斜材	弾性範囲内であることを確認(引張側)※	破断しないことを確認
	鉛直材	弾性範囲内であることを確認	

変更後

変更前

・二次格納施設の間接支持構造物としての位置付けを踏まえ、主トラス以外の部材についても、「弾性範囲内であることを確認」とする。

※圧縮力を負担しないブレース材については、繰返し座屈による累積塑性ひずみが引張材としての機能に影響を及ぼさないことを確認する。

指摘事項3 機器配管系の評価手法の適用性



【指摘事項】

機器・配管系において適用する手法について、東海第二発電所としての適用性を詳細設計での実現性を説明すること。

【回答概要】

機器・配管系における手法の変更点について、適用内容に応じて3項目に分類し整理するとともに、先行プラントにおける適用実績が少ない「極限解析による評価の適用」については、規格基準の取扱い等を確認することにより、東海第二発電所における適用に際して問題ないことを確認した。

機器配管系の評価手法の適用性確認



◇ 機器・配管系における手法の変更点について、適用内容に応じて3項目に分類し、東海第二発電所としての適用性を整理し、何れの項目に対しても適用可能であることを確認した。

	項目	適用内容	適用性
1	先行プラントの知見反映を基本として変更する手法	<ul style="list-style-type: none"> ・クレーンの時刻歴応答解析の適用 ・ポンプ等の応答解析モデルの精緻化 ・容器等の応力解析へのFEMモデルの適用 ・解析コードの変更 	従来からの耐震設計手法に基づき、評価対象施設を質点系モデル、有限要素法モデルに置換し、地震応答解析を実施することにより、評価は可能であるため、適用に際して問題となることはない。
2	鉛直方向地震の動的な取扱いを踏まえて適用する手法	<ul style="list-style-type: none"> ・水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根による組合せ ・鉛直方向応答解析モデルの追加 	平成18年9月の耐震設計審査指針改訂から鉛直方向地震に対する動的な取扱いが適用されており先行プラントの適用実績があり、適用に際して問題となることはない。
3	より現実的な応答を模擬する観点から採用する手法	<ul style="list-style-type: none"> ・最新知見として得られた減衰定数の採用 	新たに採用する減衰定数の設定は振動試験結果等の検討を踏まえて設定している。減衰定数の適用に際しては当該検討が東海第二発電所の設備と同等の構造仕様であることを確認しており、適用に際して問題となることはない。
		<ul style="list-style-type: none"> ・極限解析による評価の適用 	<p>JEAG4601及びJSME設計・建設規格に規定されており、適用に際して問題となることはない。</p> <p>なお先行プラントにおける適用実績が少ないことを踏まえ適用性に関する詳細を以降に示す。</p>

極限解析による評価の規格基準の取扱い



- ◇ 今回工認における気水分離器スタンドパイプの耐震評価は、機能限界を踏まえた許容限界をより現実的に示す観点で、JEAG4601及びJSME設計・建設規格に定められた極限解析による評価を適用する。極限解析による評価は、JEAG4601及びJSME設計・建設規格において、炉心支持構造物、炉内構造物に適用可能な設計手法として規定されており、またPWRの炉内構造物での適用実績がある。

極限解析の規格基準における扱い

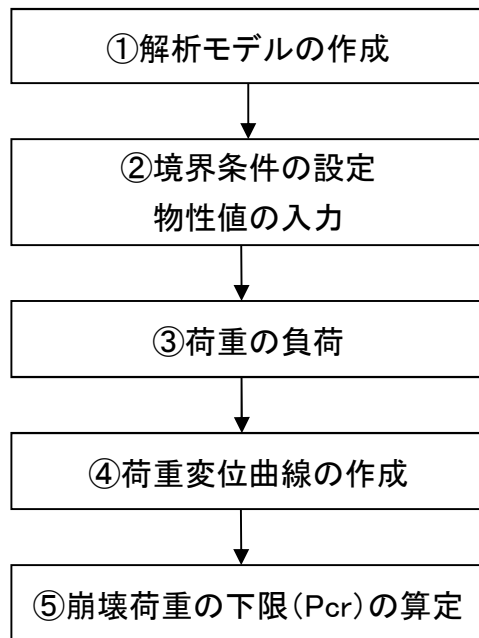
規格基準	適用範囲	備考
JEAG4601	炉心支持構造物 炉内構造物	具体的な手法はJSMEに記載（JEAGでは告示501号を読み込み）
JSME S NC1-2005/2007 設計・建設規格	炉心支持構造物 炉内構造物	

先行PWRと東海第二との比較

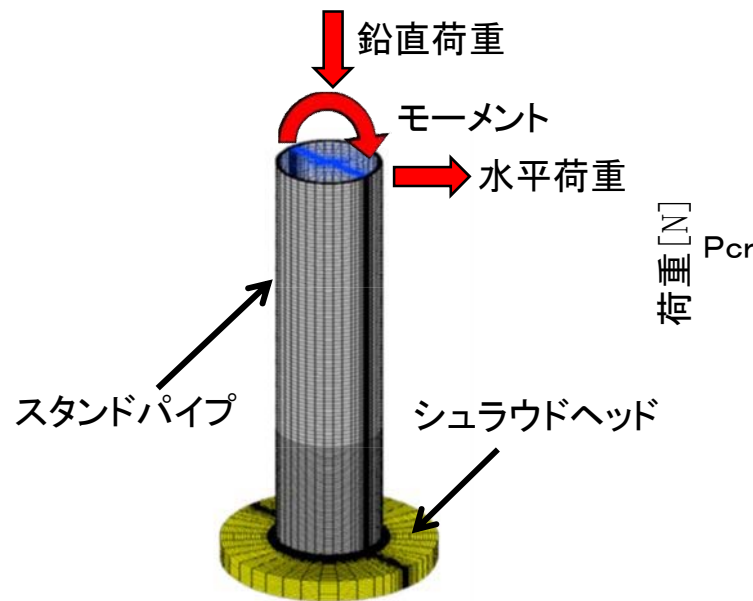
	先行PWR	東海第二
適用範囲	炉内構造物	同左
適用部位	ラジアルサポート	スタンドパイプ
適用手法	JSME 設計・建設規格 CSS-3160	同左
解析手法	3次元FEMによる 弾塑性解析	同左

極限解析による評価の実施手順

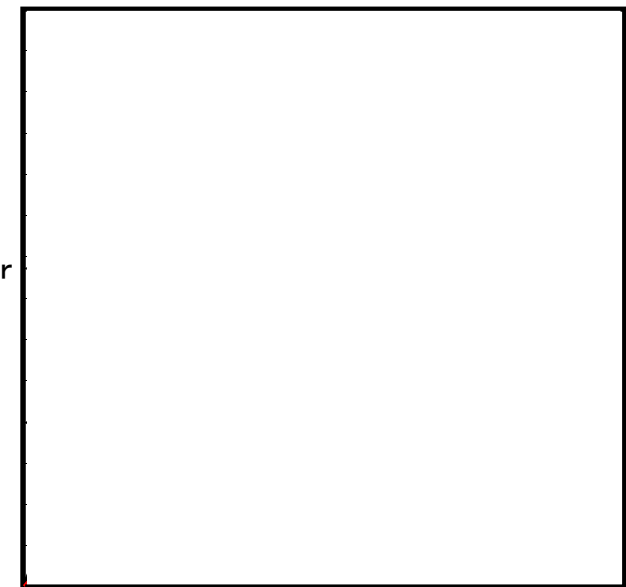
- ◇ 極限解析による評価の実施手順を参考に示す。極限解析による評価は、3次元FEMモデルを用いて、弾完全塑性体の物性値を入力した解析により崩壊荷重の下限を求め、求めた崩壊荷重の下限から許容荷重を算定し、地震時の荷重と比較することにより評価を行う。



極限解析のフロー



解析モデル図



崩壊荷重の下限(P_{cr})の算出方法

指摘事項4 動的機能維持評価におけるJEAG4601適用外設備等の検討方針



【指摘事項】

動的機能維持評価で、JEAG4601適用外設備、機能確認済み加速度を超えるものについて、至近の先行審査を踏まえて耐特委まで遡った検討をすること。

【回答概要】

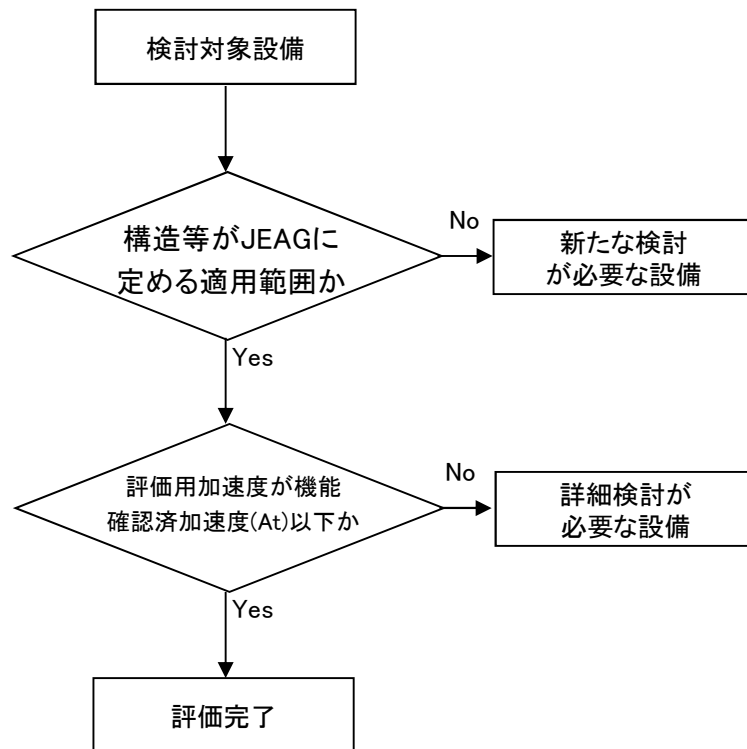
JEAG4601に規定化された動的機器の機能維持評価を適用する場合は、至近の先行審査状況を踏まえた実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈等における動的機能保持に関する評価に係る一部改正案(以下「技術基準規則解釈等の改正案」という)に基づく検討を行う。また、東海第二発電所として、技術基準規則解釈等の改正案としての検討が必要となる「新たな検討が必要な設備」及び「詳細検討が必要な設備」を抽出し、その検討方針を整理した。

新たな検討及び詳細検討が必要な設備の抽出



- ◇ 技術基準規則解釈等の改正案としての検討が必要となる、「新たな検討が必要な設備」及び「詳細検討が必要な設備」をフローに基づき抽出した。

新たな検討及び詳細検討が必要な設備の抽出結果



検討が必要な設備の抽出フロー

検討項目	設備名称	機種／型式
新たな検討が必要な設備	<ul style="list-style-type: none"> ・中央制御室換気系空気調和機ファン ・中央制御室換気系フィルタ系ファン ・非常用ガス処理系排風機 	ファン／遠心 Vベルト方式
	<ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ ・常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ ・緊急時対策所用発電機給油ポンプ 	横型ポンプ ／スクリュー式又はギヤ式
詳細検討が必要な設備	<ul style="list-style-type: none"> ・残留熱除去系海水系ポンプ ・非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ 	立形ポンプ ／立形斜流ポンプ
	<ul style="list-style-type: none"> ・残留熱除去系海水系ポンプ用電動機 ・非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機 ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機 	電動機／立形ころがり軸受電動機

◇ 新たな検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針

- ・ (社)日本電気協会 電気技術基準調査委員会の下に設置された原子力発電耐震設計特別調査委員会(以下「耐特委」という。)により取り纏められた類似機器における検討をもとに実施する。
- ・ 耐特委では地震時の異常状態を抽出し、その分析により動的機能に必要な評価点を検討し、機能維持を評価する際に確認すべき事項として、評価項目を選定している。

今回新たな検討が必要な設備については、基本的な構造が類似している機種／型式に対する耐特委での検討を参考に、型式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を実施し、評価項目を選定し機能維持評価を実施する方針とする。

新たな検討が必要な設備	機種／型式	耐特委の検討をもとに参考とする機種／型式
<ul style="list-style-type: none"> ・ 中央制御室換気系空気調和機ファン ・ 中央制御室換気系フィルタ系ファン ・ 非常用ガス処理系排風機 	ファン／ 遠心Vベルト方式	ファン／ 遠心直結式
<ul style="list-style-type: none"> ・ 非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ ・ 常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ ・ 緊急時対策所用発電機給油ポンプ 	横形ポンプ／ スクリー式又は ギヤ式	横形ポンプ／ 単段遠心式

詳細検討が必要な設備の検討方針



◇詳細検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針

JEAG4601及び耐特委報告書にて、動的機能維持評価上必要な評価項目が地震時異常要因分析に基づき選定されており、本評価項目をもとに機能維持評価の検討を行う。

詳細検討が必要な設備	機種／型式	評価項目
<ul style="list-style-type: none"> ・残留熱除去系海水系ポンプ ・非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ 	立形ポンプ／ 立形斜流ポンプ	基礎ボルト 取付ボルト ディスチャージケーシング コラム コラムサポート 軸受 軸 冷却水配管 メカニカルシール熱交換器 電動機
<ul style="list-style-type: none"> ・残留熱除去系海水系ポンプ用電動機 ・非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機 ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機 	電動機／ 立形ころがり軸受 電動機	端子箱 フレーム 基礎ボルト 取付ボルト 固定子 軸(回転子) 軸受 固定子と回転子とのクリアランス 軸継手

【指摘事項】

格納容器バウンダリにおける地震とSA荷重の組合せにおいて、 S_d 時に最高圧力、最高温度を組み合わせる考え方について整理すること。

【回答概要】

SA荷重と地震荷重の組合せについては、基本的な考え方(S_d と運転状態V(L)の荷重、 S_s と運転状態V(LL)の荷重の組合せ)に加えて、組み合わせる荷重に対して保守性を確保している。

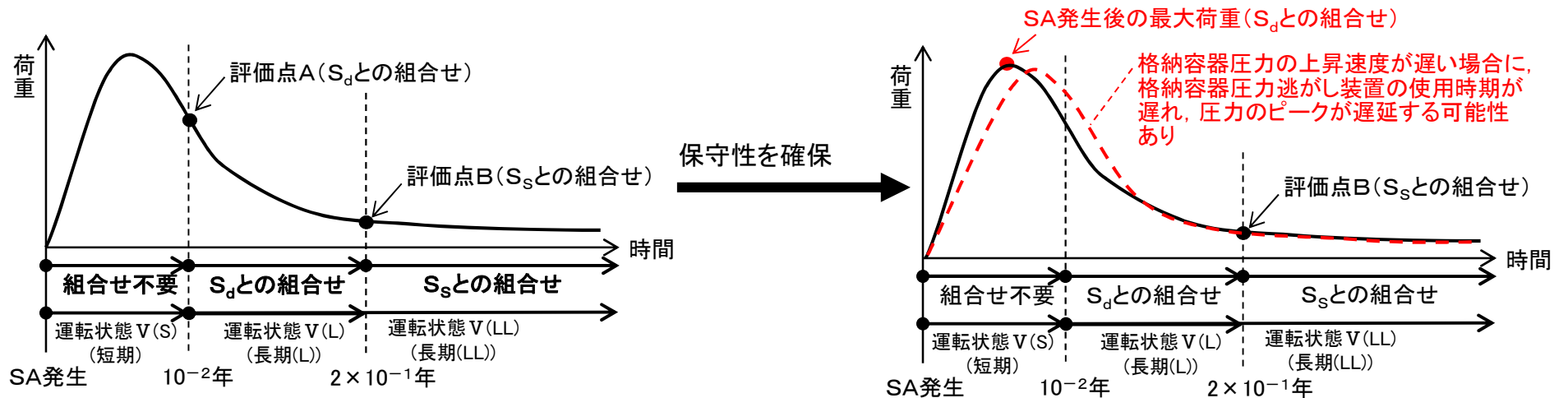
この考え方にしたがって、格納容器バウンダリについては、 S_d と組み合わせる荷重を最高圧力、最高温度とすることで、保守性を確保している。

○組み合わせる荷重の考え方

- ・荷重の組合せの基本的な考え方にしたがって、 S_d と運転状態V(L)の荷重、 S_s と運転状態V(LL)の荷重を組み合わせる。
- ・その組み合わせる荷重に対しては、保守性を確保する。

○格納容器バウンダリの運転状態V(L)と重ね合わせる荷重について

格納容器圧力の上昇速度が遅い場合、格納容器圧力逃がし装置の使用時期が遅れ、圧力のピークが遅延し、運転状態V(L)での圧力がより厳しくなる可能性があることを考慮し、 S_d と組み合わせる荷重をSA発生後の最高圧力、最高温度とすることで、保守性を確保した。



荷重の組合せの基本的な考え方

[荷重の組合せと継続時間の関係(イメージ)]

格納容器バウンダリの荷重の組合せ検討結果例(イメージ)

各施設分類における組合せ荷重の保守性



施設分類	運転状態	地震動	組み合わせる荷重の保守性について
全般施設	V(L)	S_d	全般施設についてはSAIによる荷重の時間履歴を詳細評価しないため、それらを包絡するように、SA発生後の最大荷重と S_s を組み合わせる。
	V(LL)	S_s	
PCV バウンダリ	V(L)	S_d	格納容器圧力の上昇速度が遅い場合、格納容器圧力逃がし装置の使用時期が遅れ、圧力のピークが遅延し、運転状態V(L)での圧力がより厳しくなる可能性があることを考慮し、 S_d と組み合わせる荷重をSA発生後の最高圧力、最高温度とすることで、保守性を確保。※
	V(LL)	S_s	運転状態V(LL)は事象発生 2×10^{-1} 年(約73日)以降であり、格納容器圧力の上昇速度が遅い場合の影響はほとんどないものと考えられることから、運転状態V(LL)の荷重を S_s と組み合わせる。
RPV バウンダリ	V(L)	S_d	RPVバウンダリに対して厳しい事象である「原子炉停止機能喪失」では、RPV圧力・温度は逃がし安全弁(逃がし弁機能)等により数分以内に低下し、RPV圧力・温度の上昇速度が遅い場合でも運転状態V(L)、V(LL)の荷重への影響はほとんどないものと考えられることから、運転状態V(L)の荷重を S_d と、運転状態V(LL)の荷重を S_s と組み合わせる。
	V(LL)	S_s	

※:有効性評価においては、不確かさの影響が小さい事を確認していることから、地震動と組み合わせる荷重としては、有効性評価のベースケースを用いている。一方、有効性評価では、事象発生後 10^{-2} 年時点で最も評価結果が厳しくなるかという観点で評価しているわけではないため、組み合わせる荷重の設定に関しては、格納容器圧力のピーク時期がずれる可能性を考慮している。

【指摘事項】

耐震補強を計画している設備を提示すること。

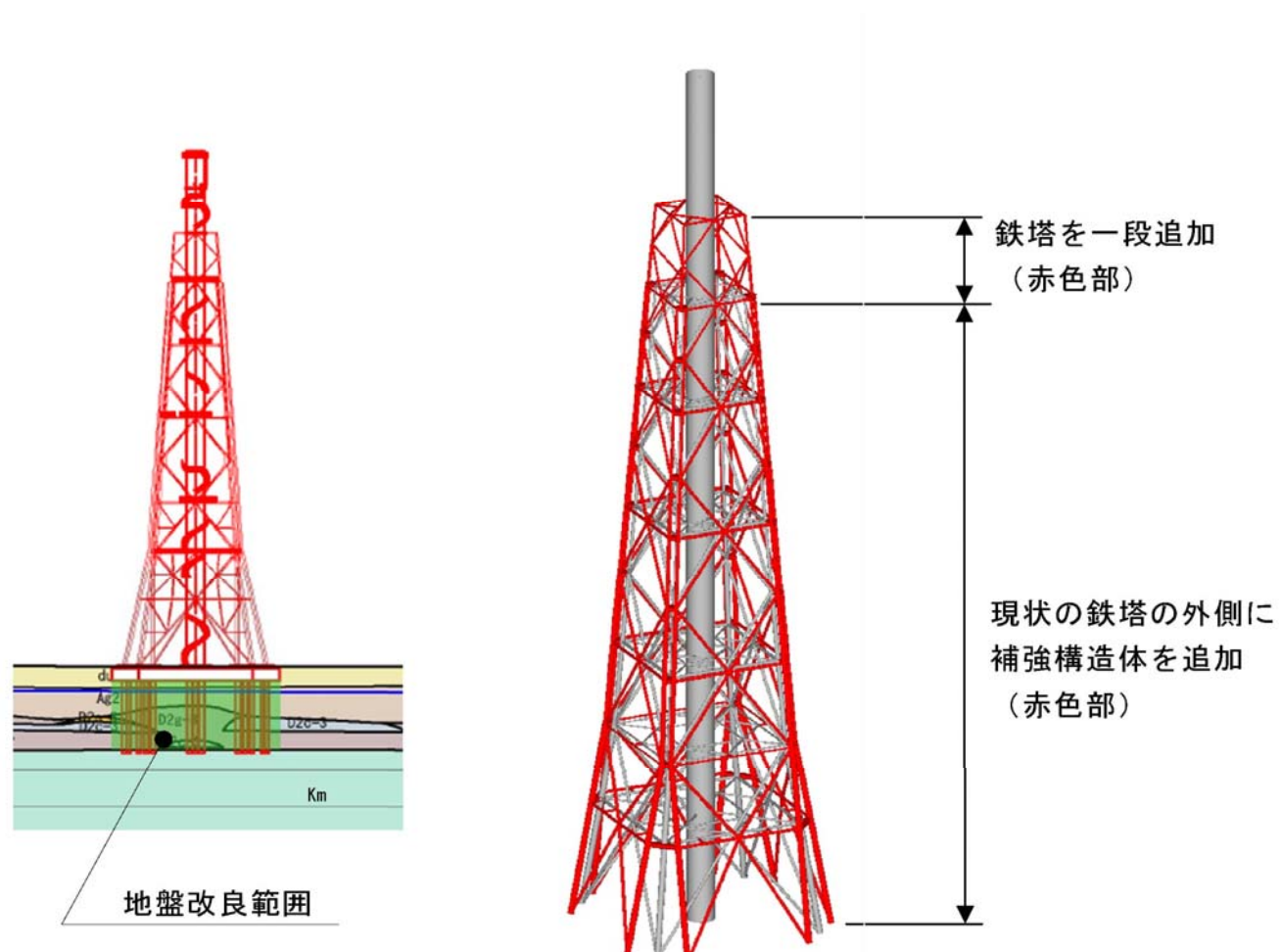
【回答概要】

今回工認の申請において、耐震補強を計画している施設、設備について、その内容、目的について提示する。

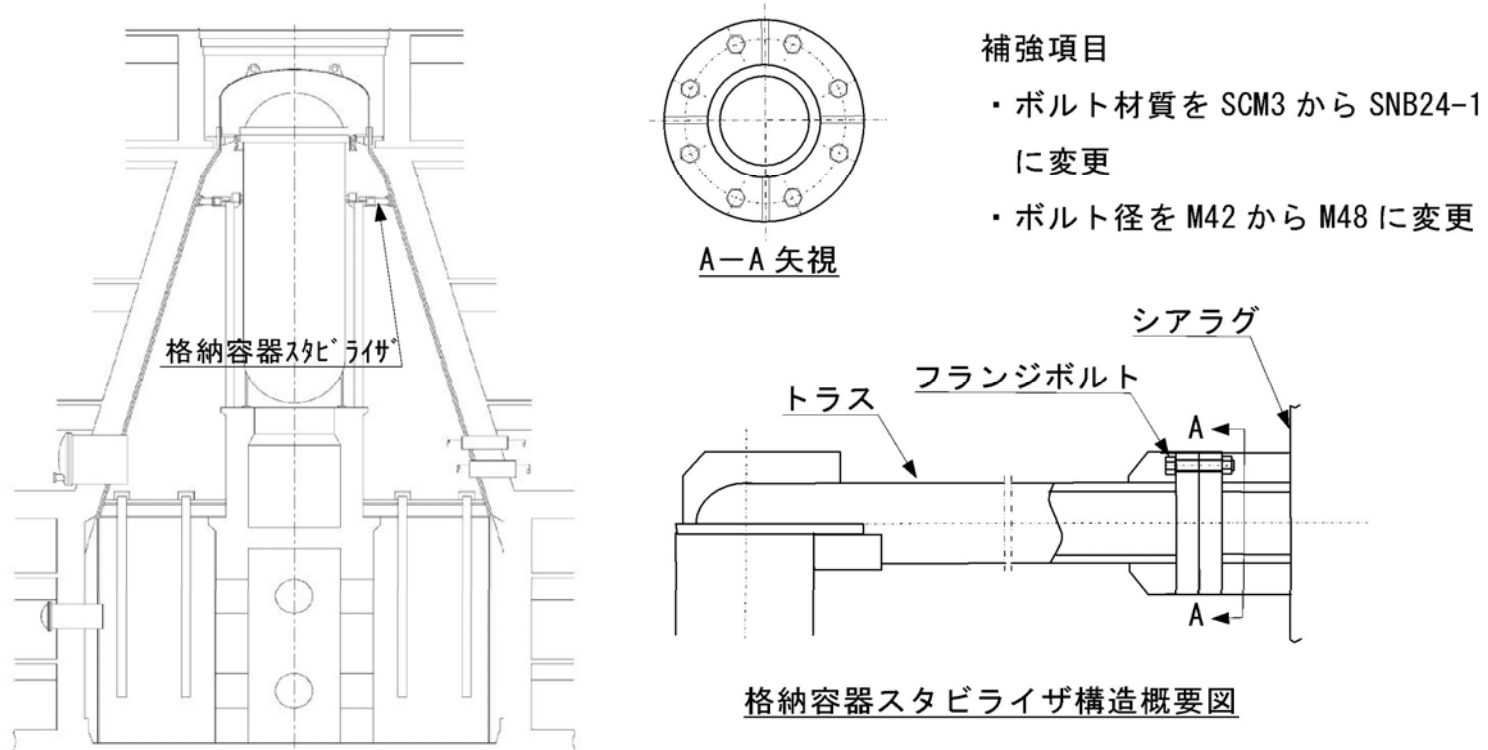
今回工認の申請において耐震性を向上させる観点から今後実施する計画である既設設備に対する耐震補強について整理した。

	施設・設備名称	目的	内容
建物・構築物	排気筒	排気筒の支持機能強化	鉄塔部への支持部材の追加及び地盤改良
機器・配管系	格納容器スタビライザ	フランジボルトの応力低減対策及び許容限界値の向上	フランジボルトの口径変更及び高強度材料適用
	原子炉建屋クレーン	地震時落下防止による波及的影響防止	落下防止対策の追設
	燃料取替機	同上	ガーダ等の部材強化
	配管系	配管系の支持機能強化	サポートの追加及び補強
	残留熱除去系熱交換器	残留熱除去系熱交換器の支持機能強化	架台部への耐震補強サポート追設
	水圧制御ユニット	水圧制御ユニットの支持機能強化	架構部への補強梁追加
	格納容器シアラグ部	格納容器とシアラグ取付け部の応力低減対策	シアラグ部への補強材追加
屋外重要土木構造物	貯留堰取付護岸	地震時の護岸構造の健全性維持による貯留堰への波及的影響防止	地盤改良
	屋外二重管基礎構造	屋外二重管の支持機能強化	屋外二重管を支持する基礎構造の追設
	取水構造物	地震時の取水構造物の健全性維持	地盤改良

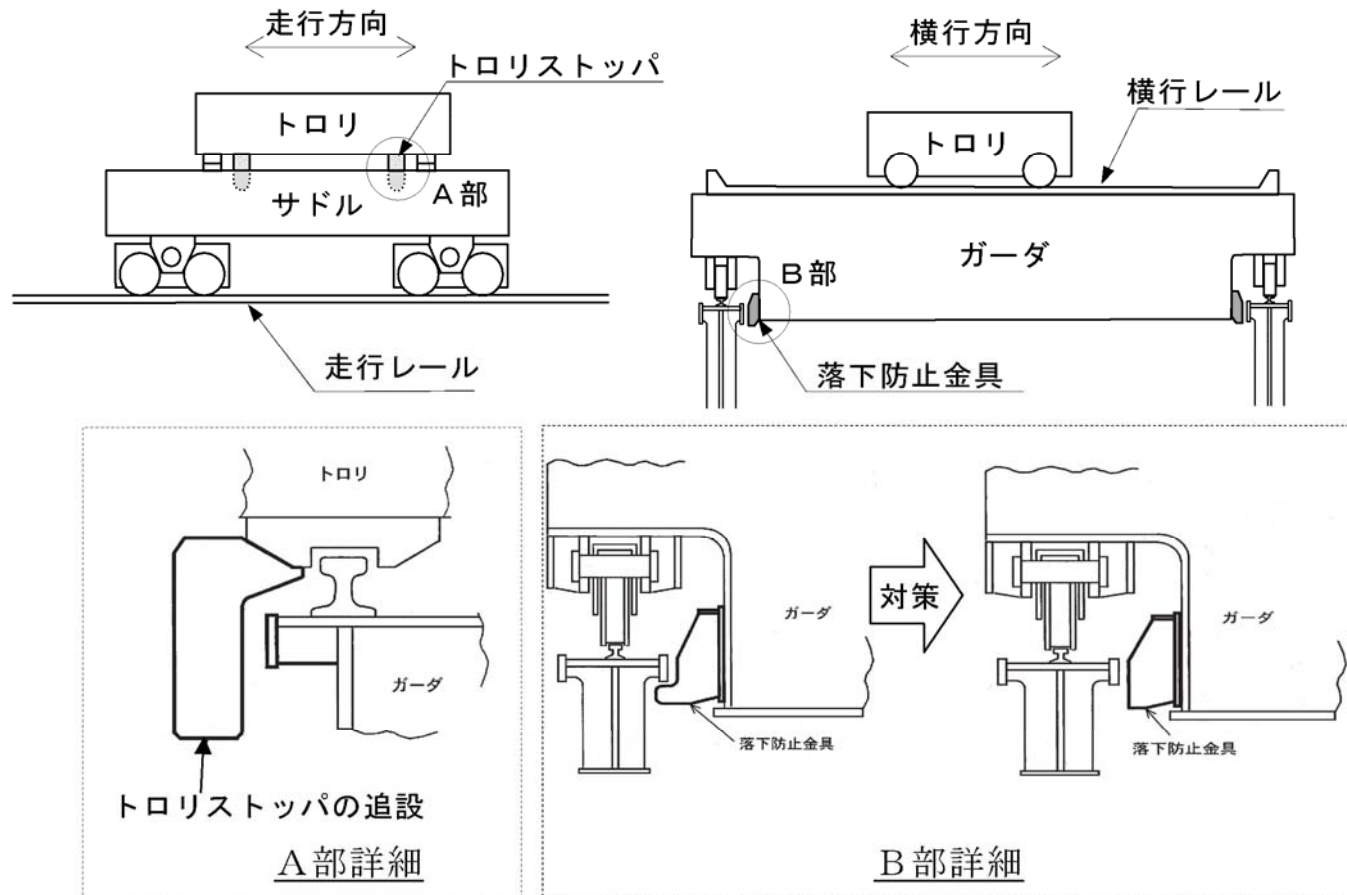
注：今後の設計評価の進捗により補強対象の施設，設備の変更及び補強内容の変更の可能性がある。



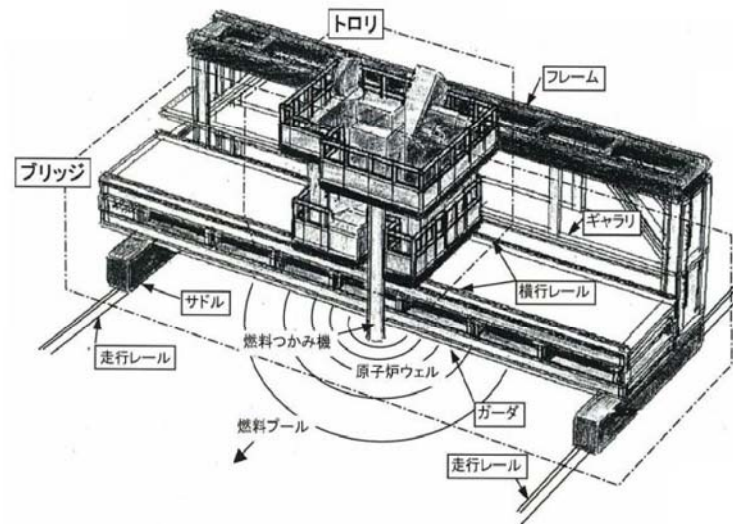
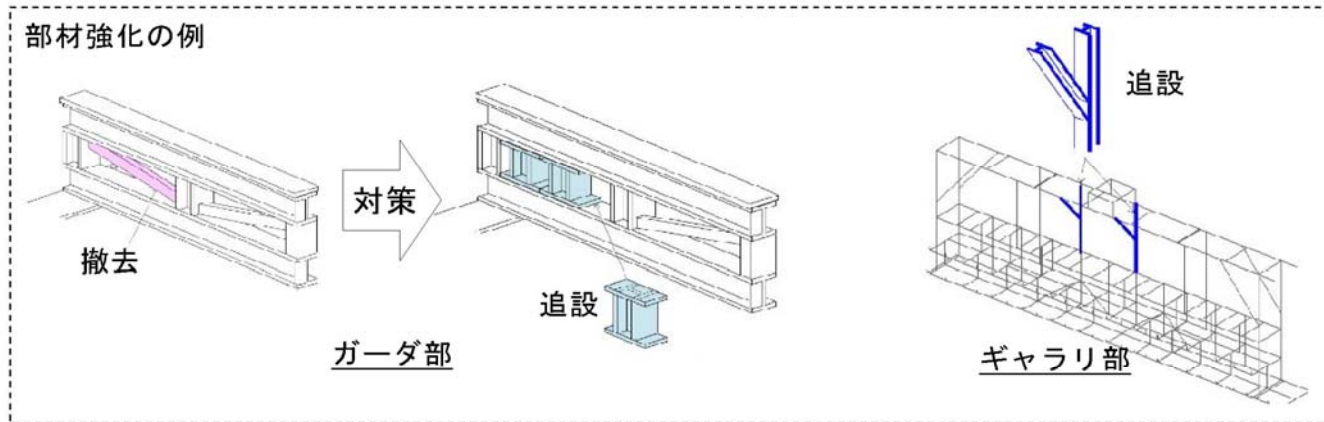
排気筒の耐震補強概要図



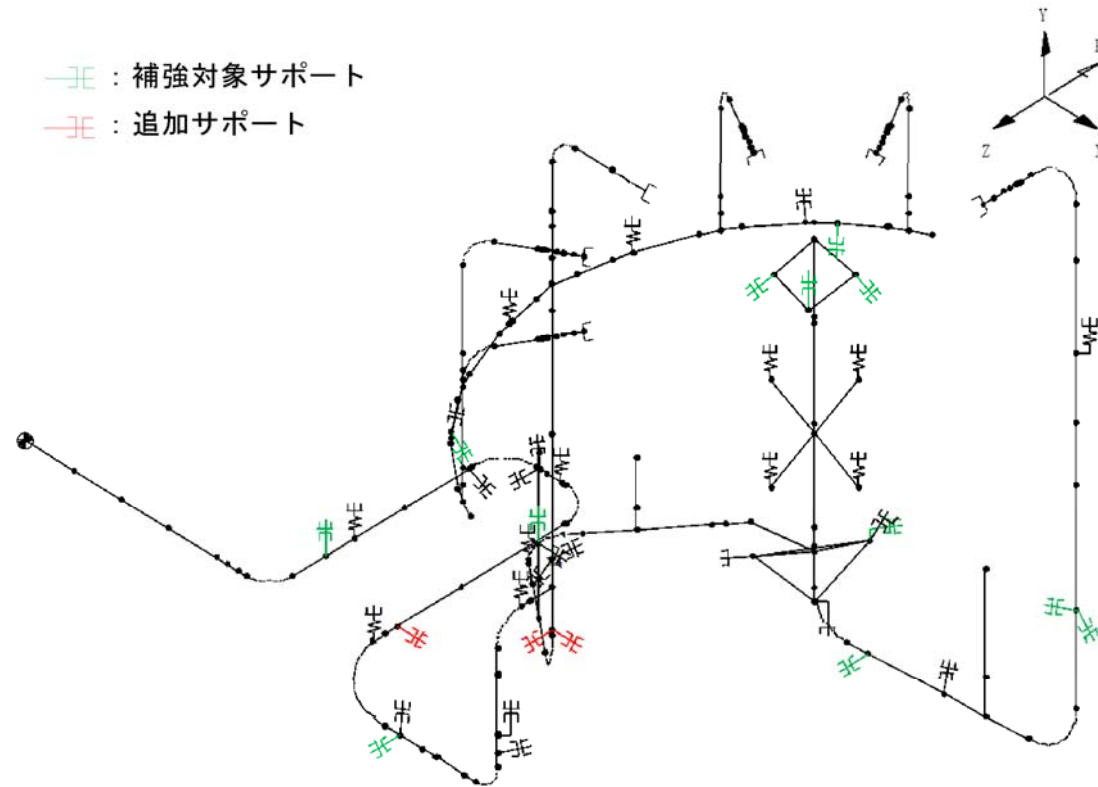
格納容器スタビライザの耐震補強概要図



原子炉建屋クレーンの耐震補強概要図

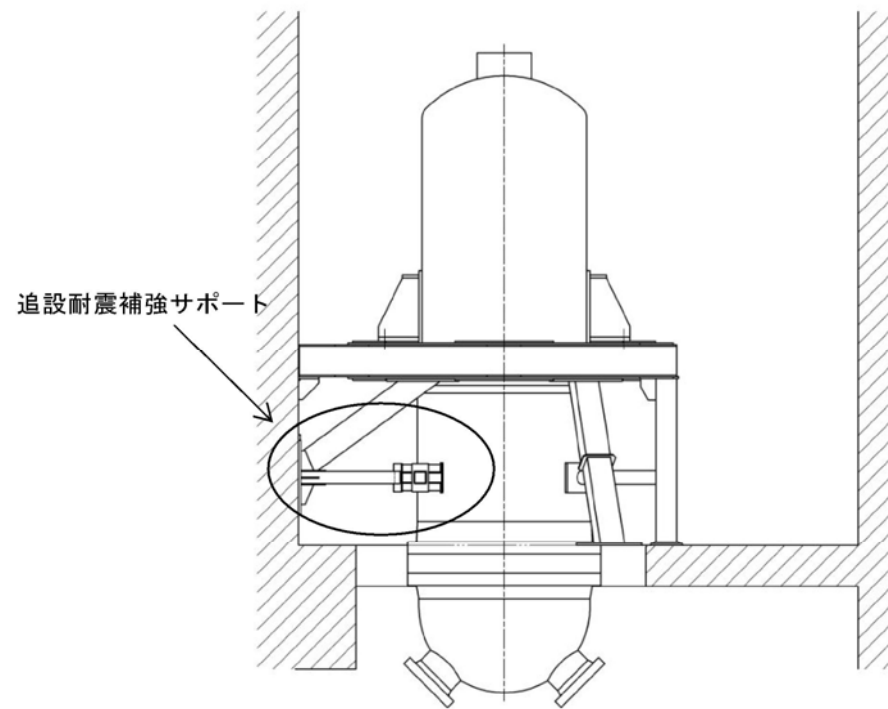


燃料取替機の耐震補強概要図



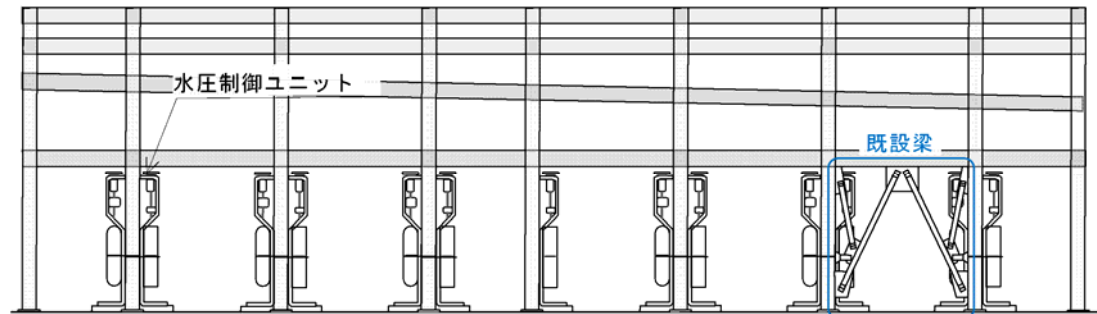
原子炉再循環系配管の耐震補強の例

配管系の耐震補強概要図

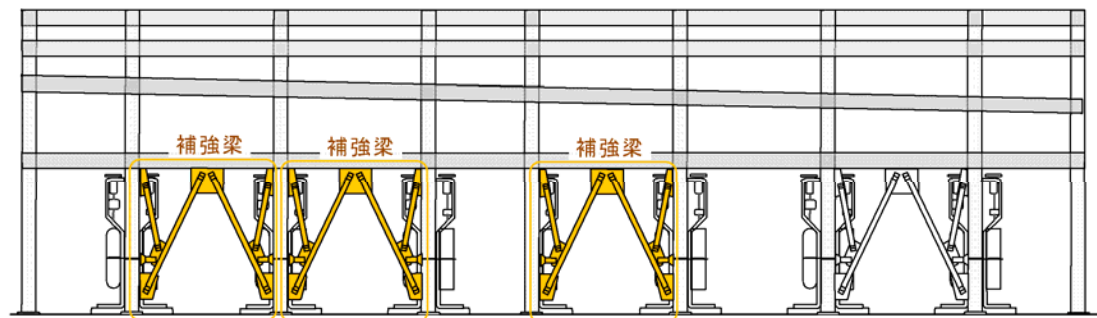


残留熱除去系熱交換器の耐震補強概要図

水圧制御ユニットの耐震補強概要

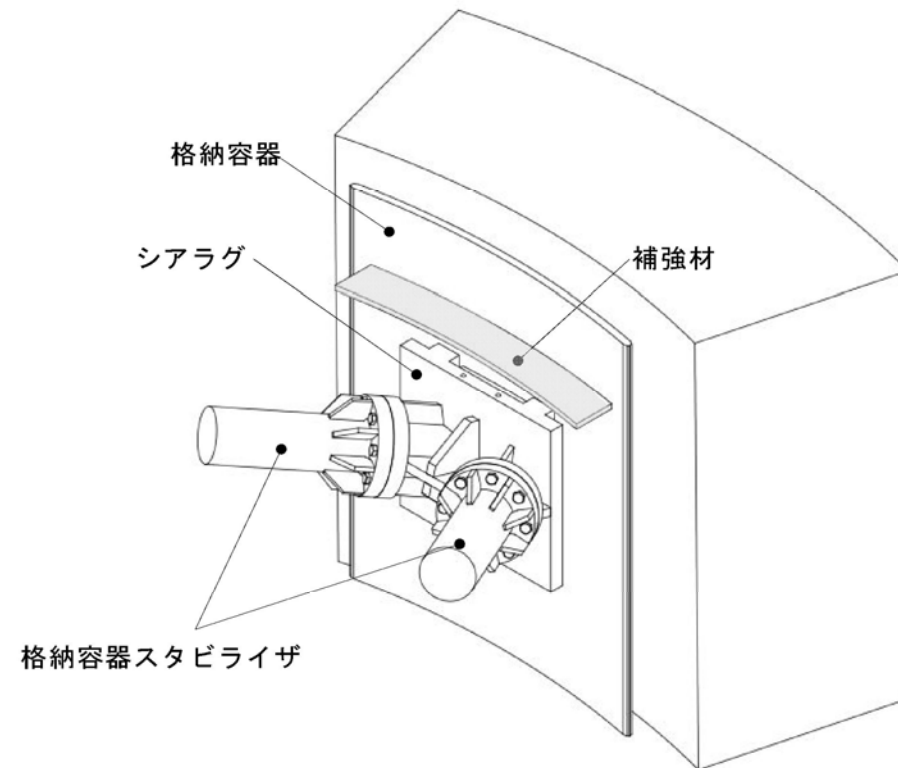


現行構造

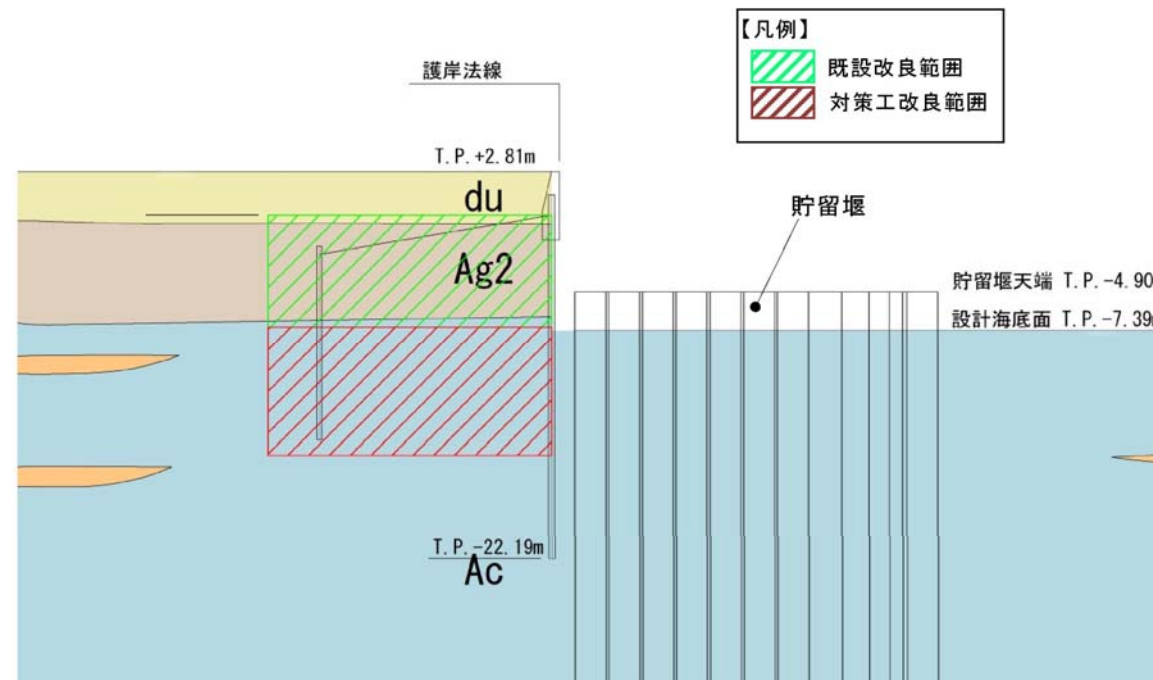


補強構造

水圧制御ユニットの耐震補強概要図

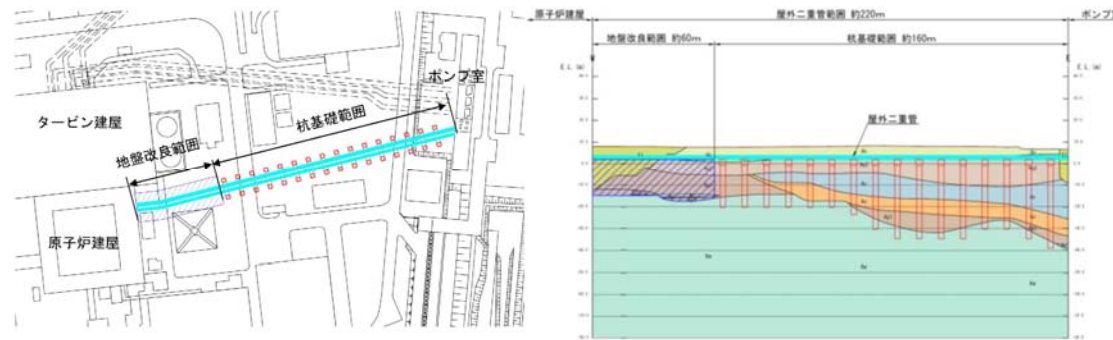


格納容器シアラグ部の耐震補強概要図



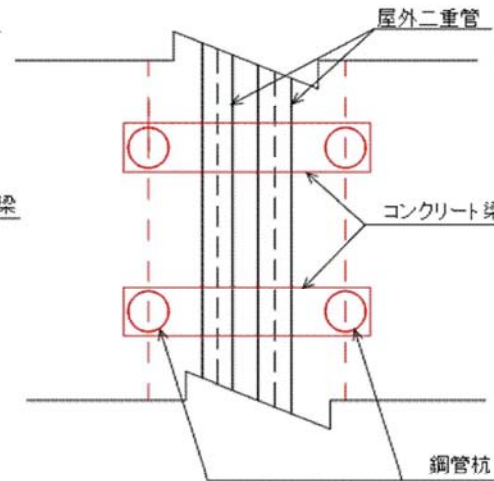
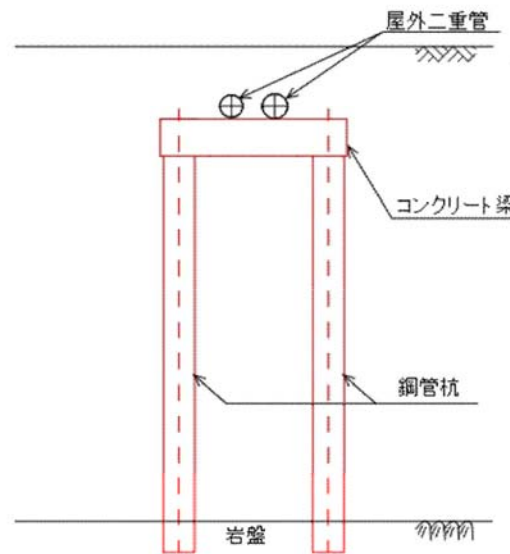
貯留堰取付護岸の耐震補強概要図

屋外二重管の耐震補強概要



基礎平面配置図

基礎縦断配置図



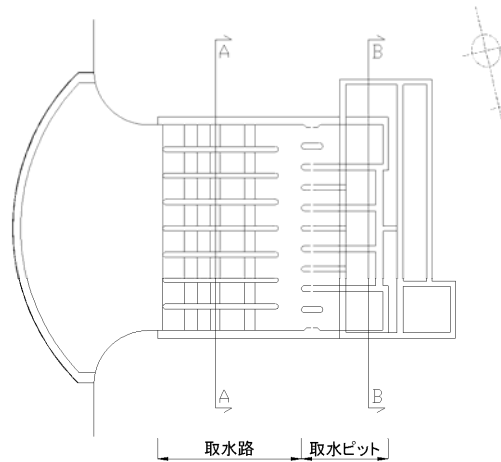
基礎構造図(管軸直角方向イメージ)

基礎構造図(管軸方向イメージ)

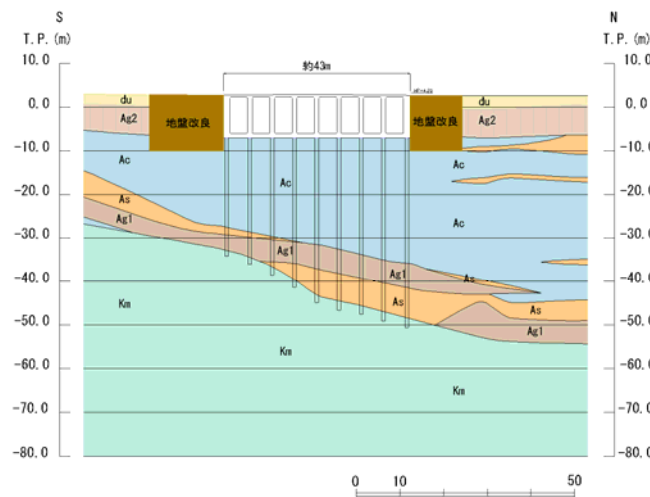
(注記) 赤色表示部は追設する基礎構造物を示す。

屋外二重管の耐震補強概要図

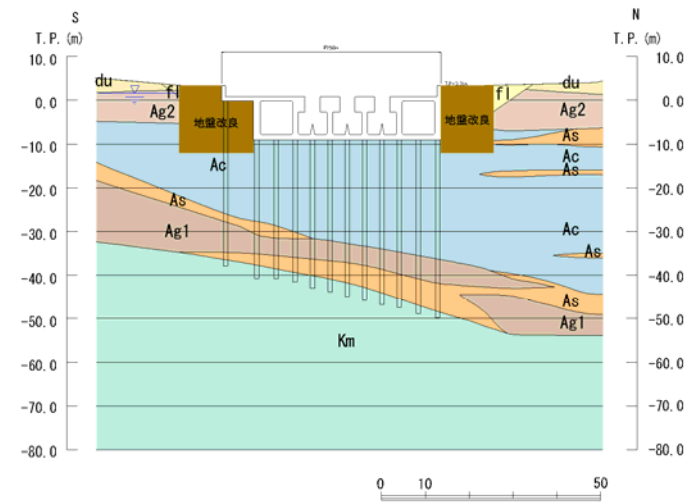
取水構造物の耐震補強概要



平面図



横断面図 (A-A断面：取水路)



横断面図 (B-B断面：取水ピット)

取水構造物の耐震補強概要図

指摘事項7 豊浦標準砂により液状化を仮定したモデルの結果を踏まえた設計への反映方法



【指摘事項】

防潮堤以外の施設についても、地盤物性のデータの信頼性に応じて豊浦標準砂を仮定したモデルでの評価を行う等、安全側の評価を検討すること。

【回答概要】

- ・ 耐震重要施設等の耐震設計において液状化影響の検討を行う場合は、原地盤に基づく液状化強度特性を用いて基準地震動 S_g に対する有効応力解析による検討を行うことを基本とし、更に、当該検討において最も厳しい(安全率が低い)解析ケースに対して、豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的な液状化を仮定した有効応力解析による検討を追加で行う。上記の検討の組合せは、個別の施設設置位置における液状化強度特性が確認されているか否かを考慮し、施設毎に設定する。
なお、詳細設計検討において、液状化の影響検討が不要と考えられる場合(①)及び豊浦標準砂を仮定したモデルでの評価(②)を省略することが可能と考えられる場合は、その旨を説明した上で①もしくは②の対応とする場合がある。
- ・ また、現在実施中の追加地質調査について概要を提示した。今後、更に地質データの精度を高め、詳細設計に用いられる条件を精査していく。

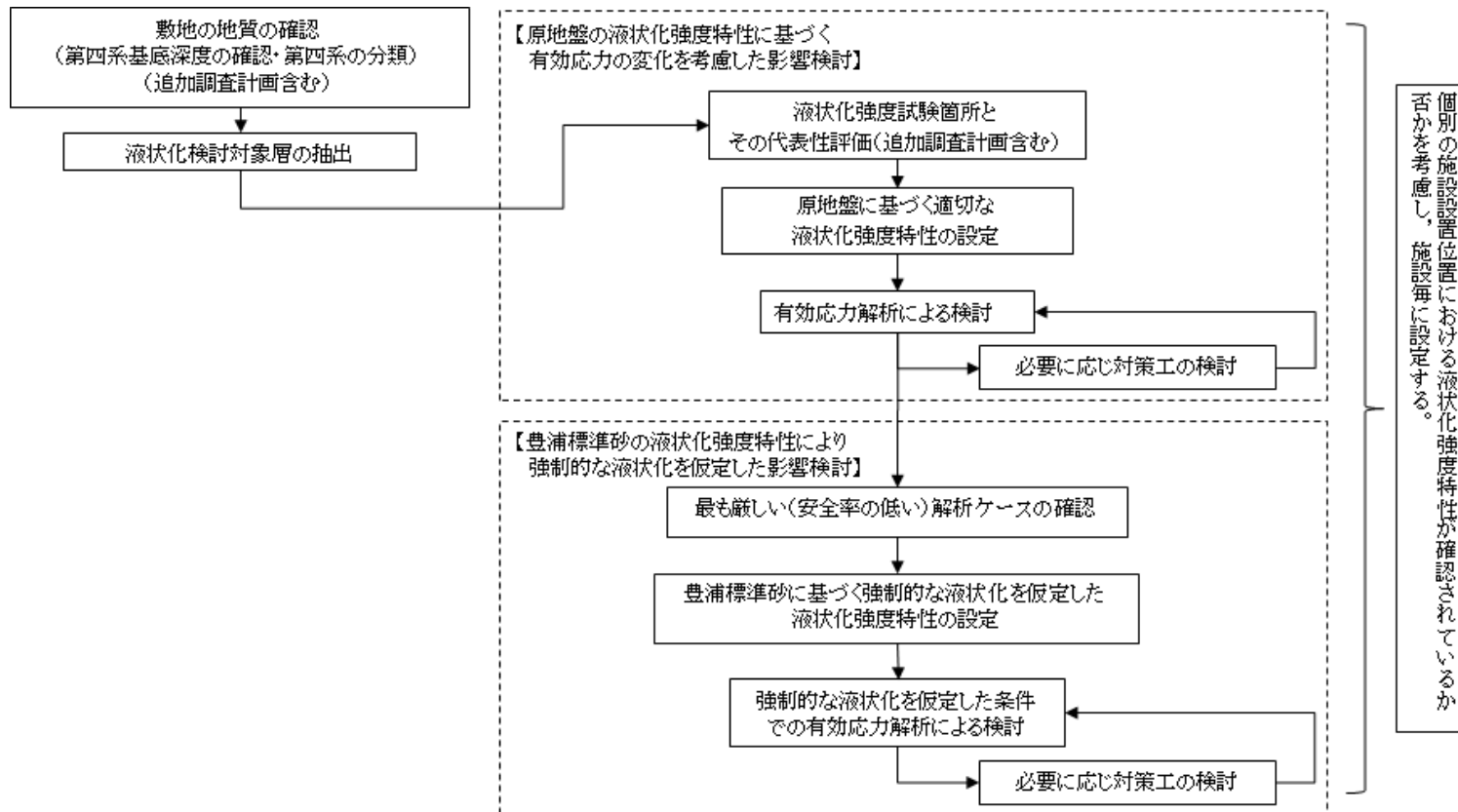
1. 液状化影響の検討の基本方針	36
2. 敷地の地質及び追加地質調査計画について	38
3. 液状化検討対象層の抽出	50
4. 施設毎の液状化影響検討の組合せ	52
5. 有効応力解析の検討方針	55
6. 保守的な液状化強度特性(豊浦標準砂)の仮定について	60

1. 液状化影響の検討の基本方針

液状化影響の検討のフロー

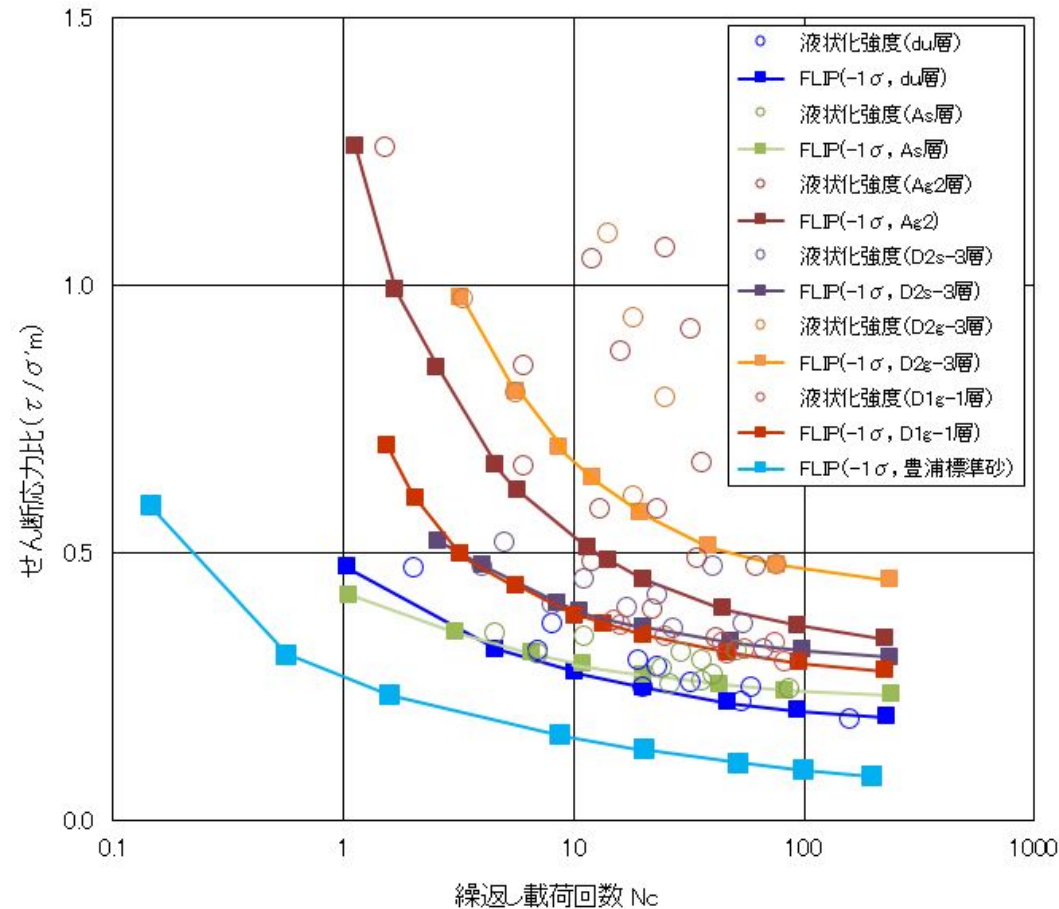
以下に液状化影響の検討のフローを示す。

- 東海第二発電所の液状化影響評価については道路橋示方書を基本とし、道路橋示方書では液状化検討対象外とされているG.L. -20m以深及び更新統についても液状化検討対象層として扱う。
- 原地盤の各液状化検討対象層に対する試験結果に基づき、液状化強度特性を設定し、有効応力解析によって構造物への影響評価を実施する。設定する原地盤の各液状化検討対象層の液状化強度特性は試験データのバラツキを考慮し、液状化強度の平均値と標準偏差を考慮した適切な設定とする。
- ・ 耐震重要施設等の耐震設計において液状化影響の検討を行う場合は、原地盤に基づく液状化強度特性を用いて基準地震動 S_g に対する有効応力解析による検討を行うことを基本とし、更に、当該検討において最も厳しい(安全率が低い)解析ケースに対して、豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的な液状化を仮定した有効応力解析による検討を追加で行う。上記の検討の組合せは、個別の施設設置位置における液状化強度特性が確認されているか否かを考慮し、施設毎に設定する。
- ・ なお、詳細設計検討において液状化の影響検討が不要と考えられる場合(①)及び豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的な液状化を仮定した有効応力解析による検討を省略することが可能と考えられる場合(②)は、その旨を説明した上で①あるいは②の対応とする場合がある。



■ 東海第二発電所の原地盤の液状化強度試験データとその全てを保守側で包含するFLIPの液状化強度特性(豊浦標準砂)

豊浦標準砂の液状化強度特性は原地盤の液状化強度特性の全てを保守側で包含しており, これを用いる有効応力解析は強制的な液状化の仮定による影響を考慮した評価となる。



敷地の地質



・敷地の地質は、下位から先白亜系の日立古生層(日立変成岩類)、白亜系の那珂湊層群、新第三系の離山層、新第三系鮮新統～第四系下部更新統の久米層、第四系更新統の東茨城層群及び段丘堆積物、第四系完新統の沖積層及び砂丘砂層からなる。

地質層序表

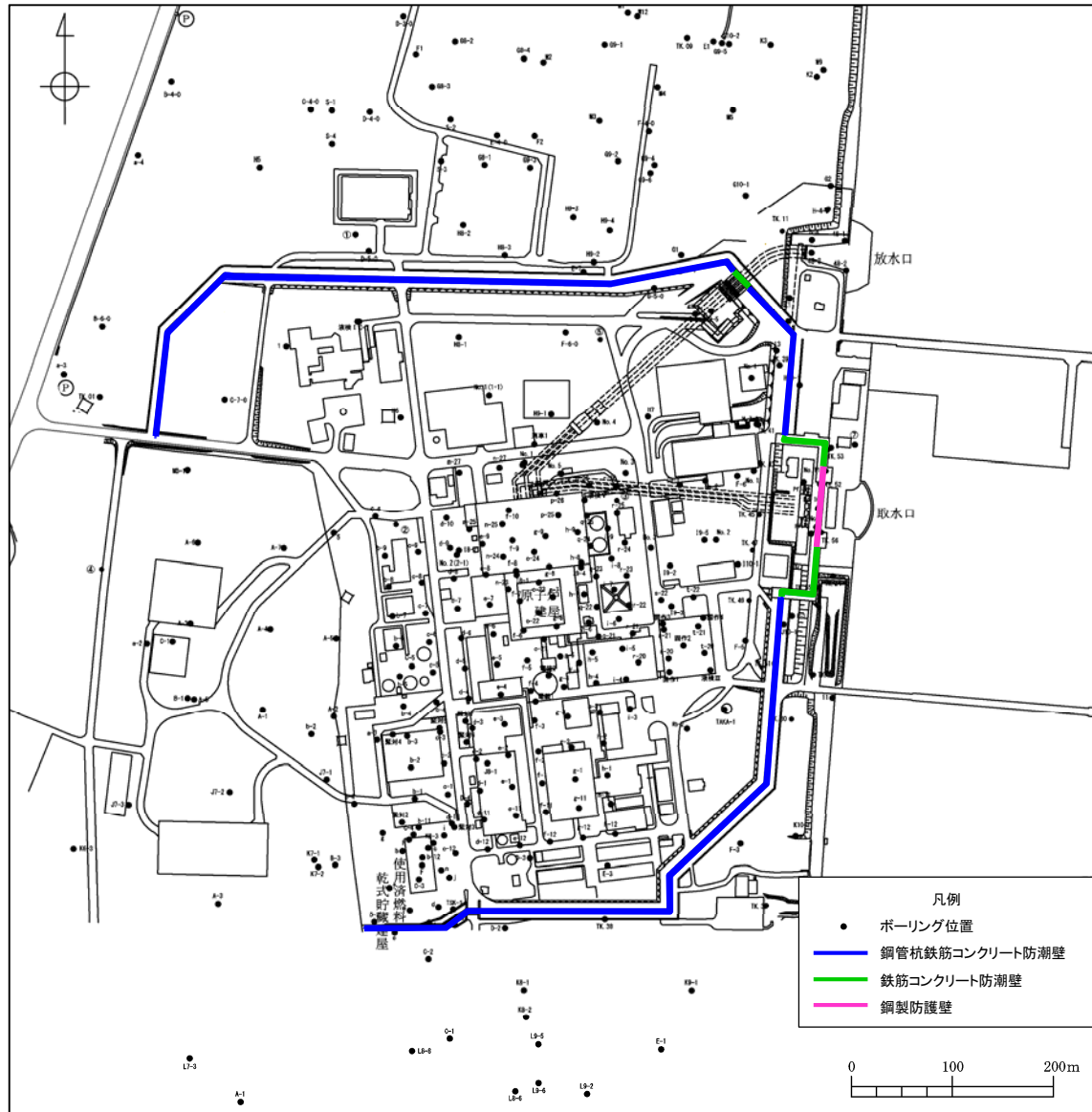
年代層序区分		地層区分	地質記号	主な層相			備考		
新生界	第四系	完新統	砂丘砂層	du	砂		灰褐色～黄灰色の砂～中粒砂	敷地全体に広く分布する。	
			沖積層	al	Ag2	砂礫		暗青灰色～灰褐色の粘土・砂 灰褐色～黄褐色の礫混じり砂	最上位の砂層は敷地全体に広く分布する。 久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。
		Ac			粘土				
		As			砂				
		Ag1			砂礫				
		更新統	段丘堆積物	D2	D2c-3	シルト		黄褐色～青灰色の砂礫・砂・シルト	敷地南部に分布する。 敷地周辺のL1段丘堆積物に対比される。 シルト層中の炭物質の年代： 40,830±2,670年BP～48,330±年BPオーバー (14C年代測定法)
					D2s-3	砂			
	D2g-3				砂礫				
	D2c-2				シルト				
	D2g-2				砂礫				
	D1				lm	ローム			
					D1c-1	シルト			
		D1g-1	砂礫						
	新第三系	鮮新統	東茨城層群	Hi	暗灰色～褐色の砂及びシルト 灰褐色～青灰色の砂礫		敷地西部のごく一部に分布する。		
久米層			Km	暗オリーブ灰色の砂質泥岩		敷地全体に広く分布する。 原子炉建屋等の基礎岩盤である。			
離山層			Hn	泥岩・凝灰岩		敷地では北部を中心に久米層の下位に認められる。			
那珂湊層群			Nk	泥岩・砂岩		敷地全体で久米層、離山層の下位に認められる。			
日立古生層 (日立変成岩類)			Hp	泥岩・砂岩・礫岩		1孔のボーリングで那珂湊層群の下位に認められる。			
白亜系									

~~~~~ : 不整合



## 2. 敷地の地質及び追加地質調査計画について ボーリング調査位置図

- 敷地の地質・地質構造評価に係る地質調査のうち、ボーリングの位置を右図に示す。
- なお、右図については、第四系の詳細な堆積構造を把握するためのボーリングも含め全てのボーリングを示している。

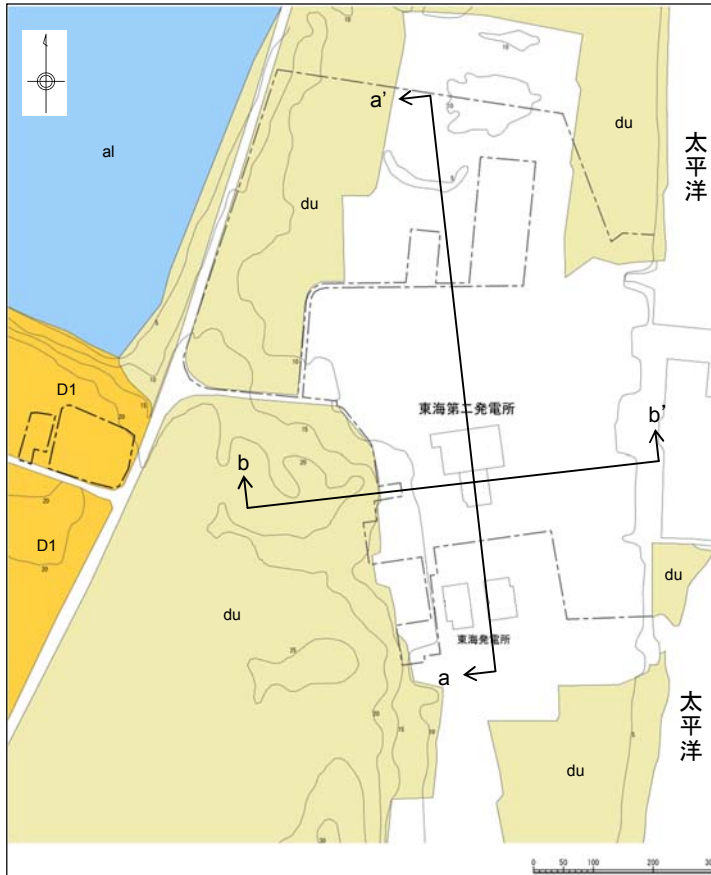


## 2. 敷地の地質及び追加地質調査計画について 地質平面図



第486回審査会合  
資料1-1-3再掲

敷地に分布する地層のうち、最下位の日立古生層(日立変成岩類)は硬質な泥岩、砂岩及び礫岩からなる。那珂湊層群は硬質な泥岩、砂岩及び礫岩からなる。離山層は泥岩、凝灰岩からなる。久米層は砂質泥岩を主としている。東茨城層群と段丘堆積物は砂礫、砂及びシルトからなり、沖積層は粘土を主として砂及び礫混じり砂を挟む。各層は不整合関係で接している。砂丘砂層は均質な細～中粒砂からなり、敷地全体に広く分布する。



敷地の地質平面図

地質層序表

| 年代層序区分            |           | 地層区分  | 地質記号  | 主な層相          | 備考                             |                                                                                                    |
|-------------------|-----------|-------|-------|---------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 新<br>生<br>界       | 完新統       | 砂丘砂層  | du    | 灰褐色～黄灰色の砂～中粒砂 | 敷地全体に広く分布する。                   |                                                                                                    |
|                   |           | 沖積層   | al    | Ag2 砂礫        | 暗青灰色～灰褐色の粘土・砂<br>灰褐色～黄褐色の礫混じり砂 | 最上位の砂層は敷地全体に広く分布する。<br>久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。                                                       |
|                   |           |       |       | Ac 粘土         |                                |                                                                                                    |
|                   | As 砂      |       |       |               |                                |                                                                                                    |
|                   | 第四系       | 段丘堆積物 | D2    | Ag1 砂礫        | 黄褐色～青灰色の砂礫・砂・シルト               | 敷地南部に分布する。<br>敷地周辺のL1段丘堆積物に対比される。<br>シルト層中の炭物質の年代：<br>40,830±2,670年BP～48,330±年BPオーバー<br>(14C年代測定法) |
|                   |           |       |       | D2c-3 シルト     |                                |                                                                                                    |
|                   |           |       |       | D2s-3 砂       |                                |                                                                                                    |
|                   |           |       |       | D2g-3 砂礫      |                                |                                                                                                    |
|                   |           |       |       | D2c-2 シルト     |                                |                                                                                                    |
|                   |           |       |       | D2g-2 砂礫      |                                |                                                                                                    |
|                   |           |       |       | D1            |                                |                                                                                                    |
|                   | D1c-1 シルト |       |       |               |                                |                                                                                                    |
|                   | 新第三系      | 鮮新統   | 東茨城層群 | Hi            | 暗灰色～褐色の砂及びシルト<br>灰褐色～青灰色の砂礫    | 敷地西部のごく一部に分布する。                                                                                    |
|                   |           |       |       | 久米層           | Km                             | 暗オリーブ灰色の砂質泥岩                                                                                       |
|                   | 白亜系       | 先白亜系  | 那珂湊層群 | Nk            | 泥岩・砂岩                          | 敷地全体で久米層、離山層の下位に認められる。                                                                             |
| 日立古生層<br>(日立変成岩類) |           |       |       | Hp            | 泥岩・砂岩・礫岩                       | 1孔のボーリングで那珂湊層群の下位に認められる。                                                                           |
|                   |           |       |       | ~~~~~ : 不整合   |                                |                                                                                                    |

| 凡例 |        |
|----|--------|
|    | 盛土・埋戻土 |
|    | 砂丘砂層   |
|    | 沖積層    |
|    | 段丘堆積物  |
|    | 敷地境界線  |

## 2. 敷地の地質及び追加地質調査計画について

### 敷地の地質層序



第486回審査会合  
資料1-1-3再掲

| 年代層序区分 |       | 地層区分 | 地質記号  |       | 主な層相          | 代表的なコア写真                       |                  |  |
|--------|-------|------|-------|-------|---------------|--------------------------------|------------------|--|
| 新生界    | 第四系   | 砂丘砂層 | du    |       | 灰褐色～黄灰色の砂～中粒砂 |                                |                  |  |
|        |       | 沖積層  | al    | Ag2   | 砂礫            | 暗青灰色～灰褐色の粘土・砂<br>灰褐色～黄褐色の礫混じり砂 |                  |  |
|        |       |      |       | Ac    | 粘土            |                                |                  |  |
|        |       |      |       | As    | 砂             |                                |                  |  |
|        |       |      |       | Ag1   | 砂礫            |                                |                  |  |
|        |       | 更新統  | 段丘堆積物 | D2    | D2c-3         | シルト                            | 黄褐色～青灰色の砂礫・砂・シルト |  |
|        |       |      |       |       | D2s-3         | 砂                              |                  |  |
|        |       |      |       | D1    | D2g-3         | 砂礫                             |                  |  |
|        | D2c-2 |      |       |       | シルト           |                                |                  |  |
|        | D1    |      |       | D2g-2 | 砂礫            |                                |                  |  |
|        |       |      |       | lm    | ローム           |                                |                  |  |
|        |       |      | D1    | D1c-1 | シルト           |                                |                  |  |
|        |       |      | D1    | D1g-1 | 砂礫            |                                |                  |  |

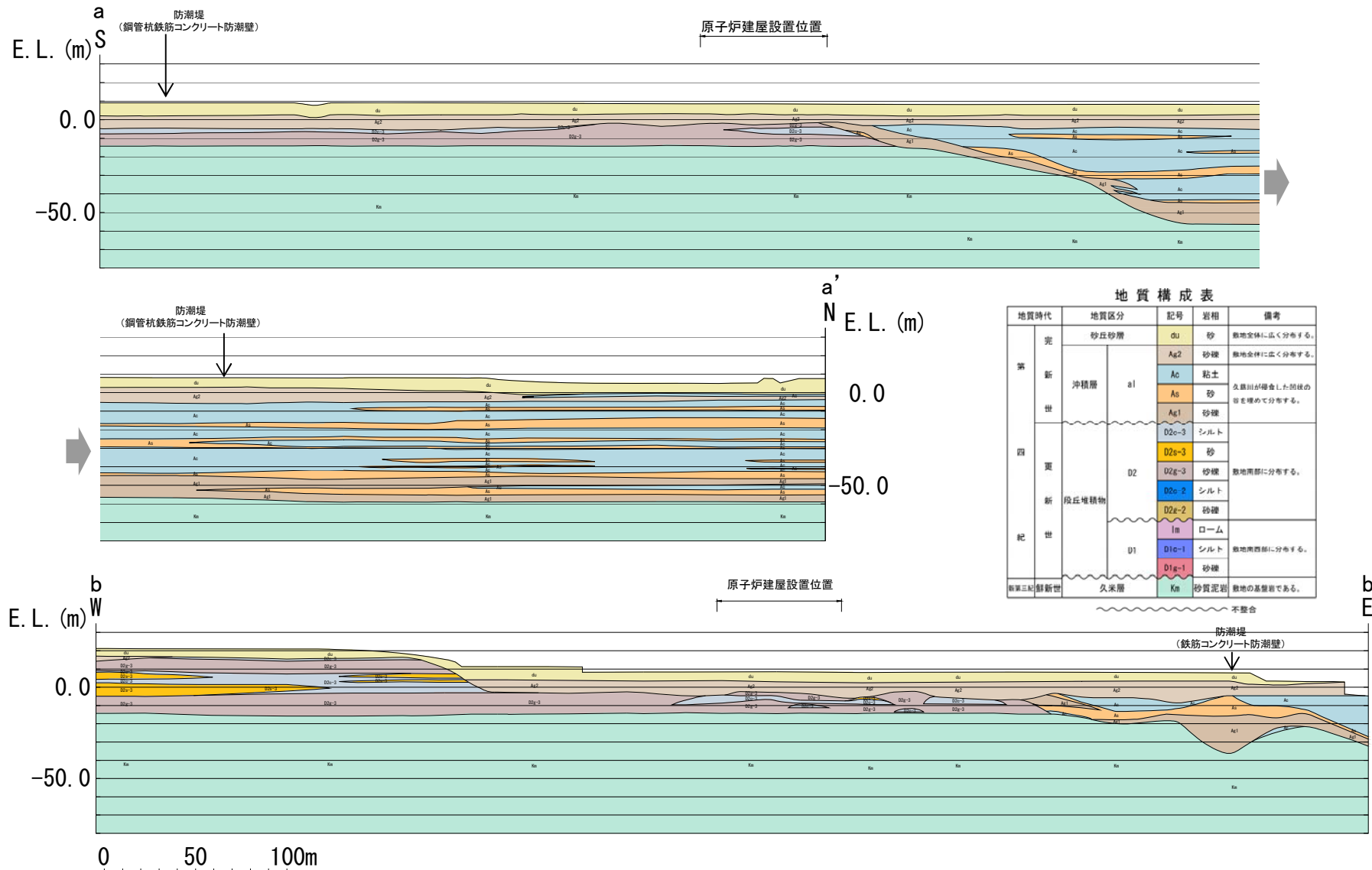
~~~~~ : 不整合

2. 敷地の地質及び追加地質調査計画について 地質断面図(第四系)



第486回審査会合
資料1-1-3再掲

敷地には、敷地全域にわたって新第三系鮮新統～第四系下部更新統の久米層が分布し、その上位に第四系更新統の東茨城層群及び段丘堆積物、第四系完新統の沖積層及び砂丘砂層が分布する。

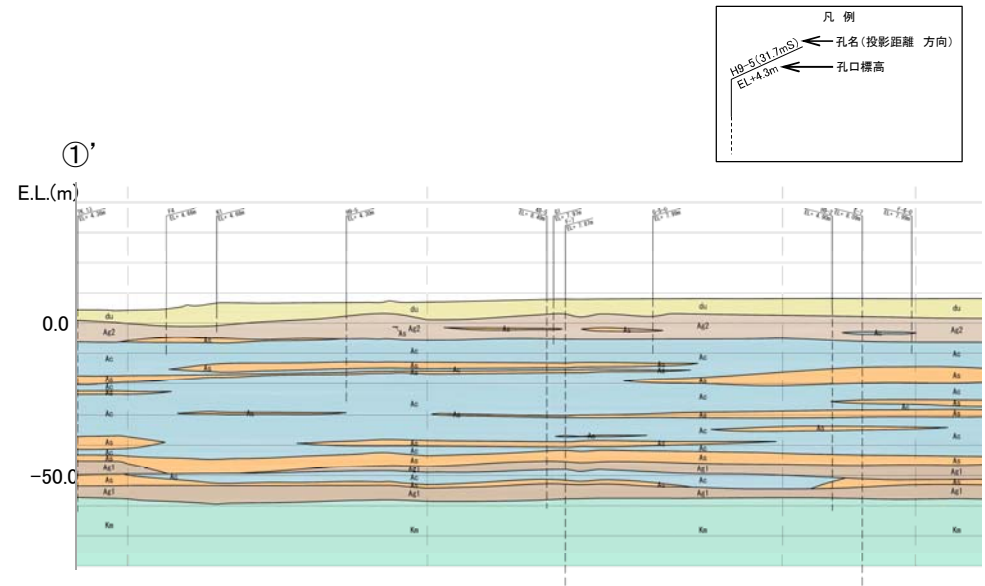
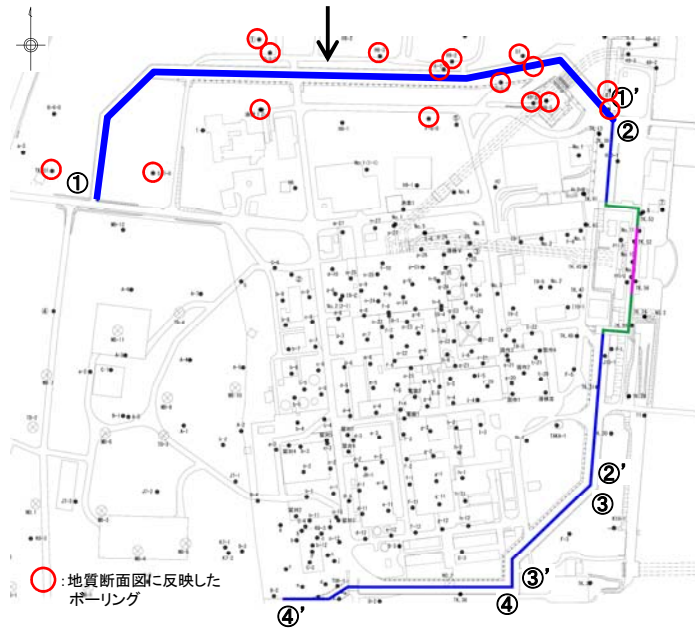


2. 敷地の地質及び追加地質調査計画について 防潮堤地質縦断面図(1/3)



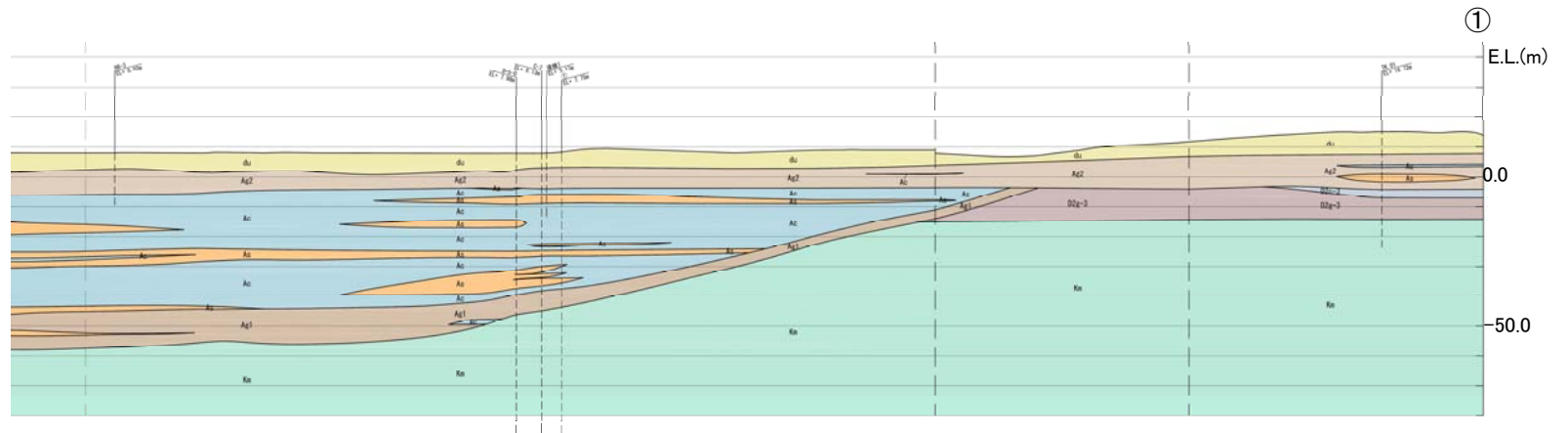
第486回審査会合
資料1-1-3修正

- ボーリング調査結果に基づき、防潮堤位置の地質断面図を作成した。
- 地質断面図の作成にあたっては、当該断面からの最も近いボーリング調査の結果を重視するとともに、周辺のボーリングで確認された地層の走向・傾斜や分布の連続性等を加味して作成した。

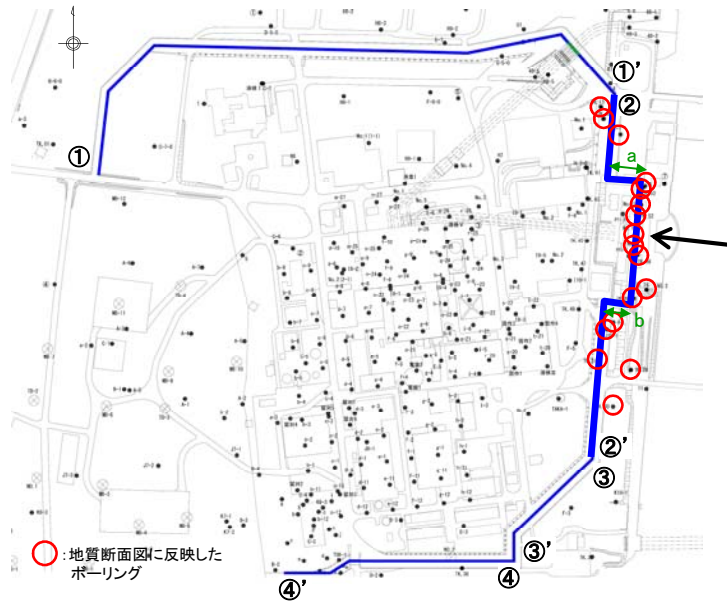


| 地質構成表 | | | |
|-------|-------|-------|------|
| 地質時代 | 地質区分 | 記号 | 岩相 |
| 完新世 | 砂丘砂層 | du | 砂 |
| | | Ag2 | 砂礫 |
| 第四紀 | 沖積層 | a1 | 粘土 |
| | | Ac | 砂 |
| | | Ag1 | 砂礫 |
| 更新世 | 段丘堆積物 | D2c-3 | シルト |
| | | D2c-3 | 砂 |
| | | D2g-3 | 砂礫 |
| | | D2c-2 | シルト |
| | | D2g-2 | 砂礫 |
| 旧第三紀 | 久米層 | Im | ローム |
| | | D1 | シルト |
| | | D1g-1 | 砂礫 |
| 新第三紀 | 新第三紀 | Kn | 砂質泥岩 |

不整合



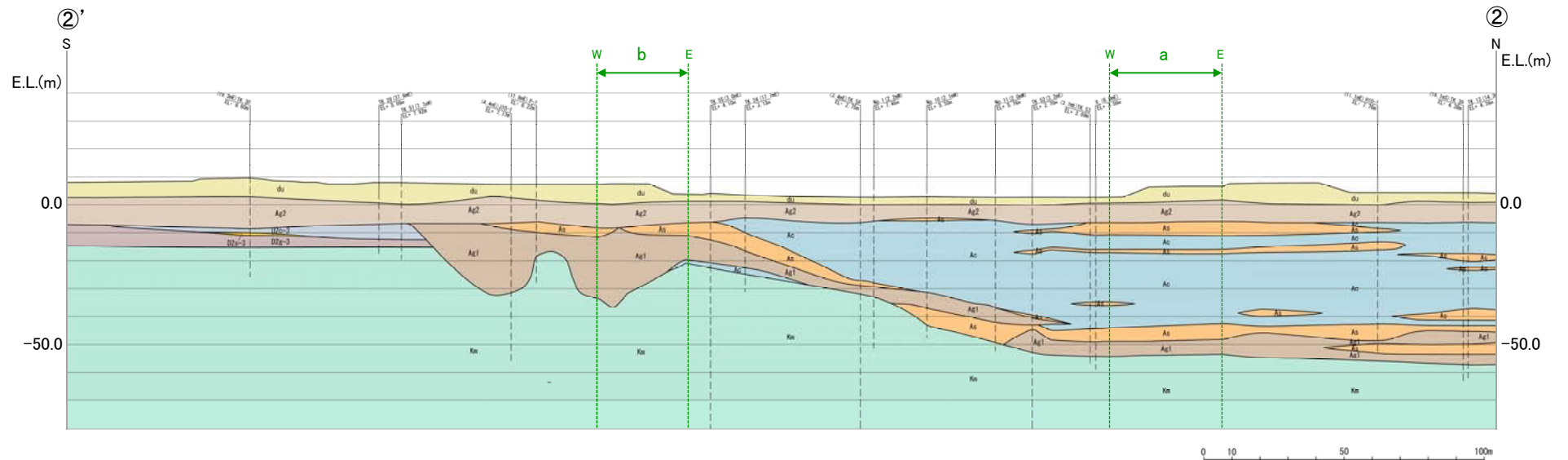
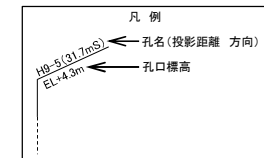
3. 敷地の地質について 防潮堤地質縦断面図(2/3)



地質構成表

| 地質時代 | 地質区分 | 記号 | 岩相 | |
|------------------|-------------|-------|-------|------|
| 新
世 | 砂丘砂層 | du | 砂 | |
| | | Ag2 | 砂礫 | |
| | 沖積層 | Ac | 粘土 | |
| | | As | 砂 | |
| 四
更
紀
世 | D2 | Ag1 | 砂礫 | |
| | | D2c-3 | シルト | |
| | 段丘堆積物 | D2s-3 | 砂 | |
| | | D2g-3 | 砂礫 | |
| | D1 | D2c-2 | シルト | |
| | | D2g-2 | 砂礫 | |
| | D1 | Im | ローム | |
| | | D1o-1 | シルト | |
| | 新第三紀
鮮新世 | 久米層 | D1g-1 | 砂礫 |
| | | | Km | 砂質泥岩 |

~~~~~ 不整合



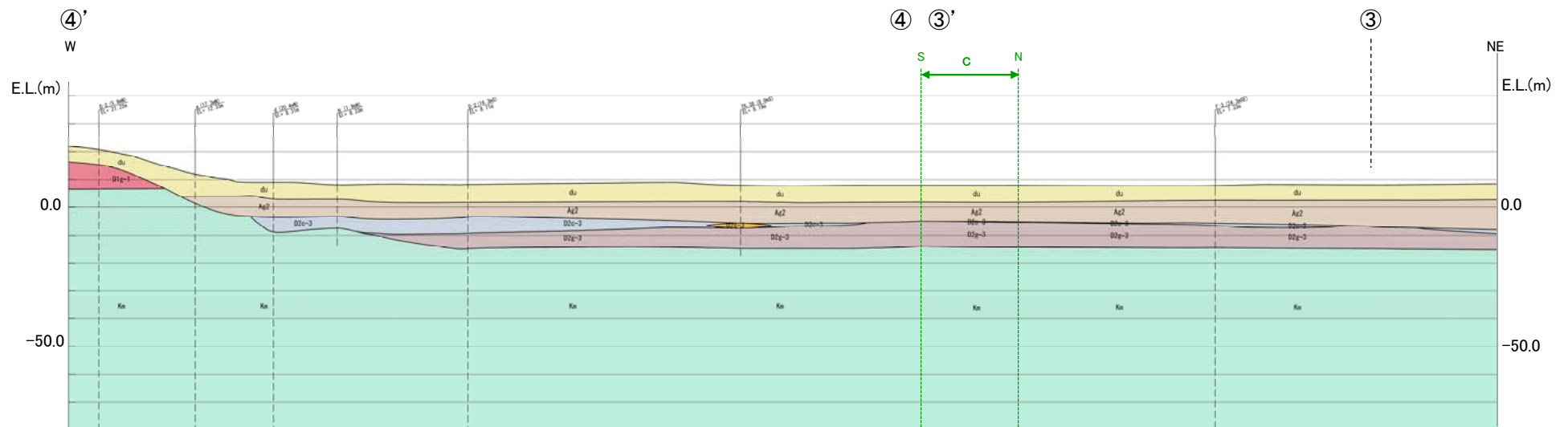
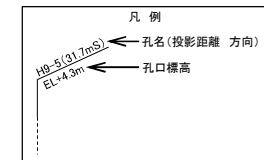
### 3. 敷地の地質について 防潮堤地質縦断面図(3/3)



地質構成表

| 地質時代             | 地質区分                       | 記号    | 岩相  |      |
|------------------|----------------------------|-------|-----|------|
| 第<br>新<br>世      | 砂丘砂層                       | du    | 砂   |      |
|                  |                            | Ag2   | 砂礫  |      |
|                  | 沖積層                        | Ac    | 粘土  |      |
|                  |                            | As    | 砂   |      |
|                  |                            | Ag1   | 砂礫  |      |
| 四<br>更<br>紀<br>世 | 新<br>段<br>丘<br>堆<br>積<br>物 | D2c-3 | シルト |      |
|                  |                            | D2s-3 | 砂   |      |
|                  |                            | D2g-3 | 砂礫  |      |
|                  |                            | D2c-2 | シルト |      |
|                  |                            | D2g-2 | 砂礫  |      |
|                  | 久<br>米<br>層                | Im    | ローム |      |
|                  |                            | D1c-1 | シルト |      |
|                  |                            | D1g-1 | 砂礫  |      |
|                  |                            | 久米層   | Km  | 砂質泥岩 |
|                  |                            |       |     |      |

~~~~~ 不整合

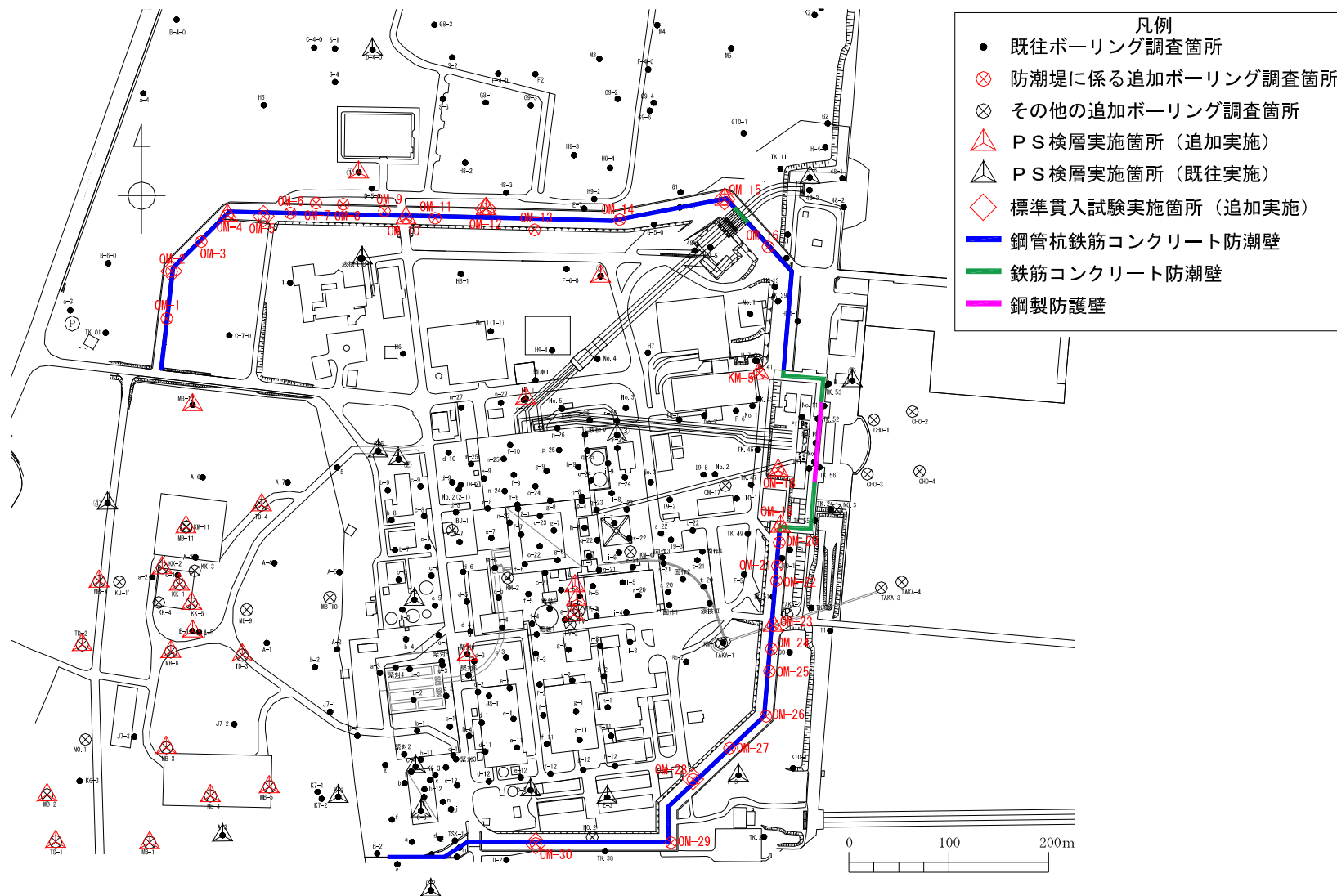


2. 敷地の地質及び追加地質調査計画について

第四系の地質構造に関する追加調査について(1/4)



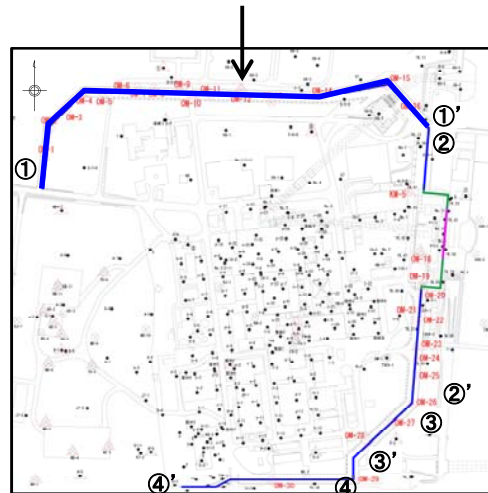
- 今後、防潮堤地質縦断面図における第四系の地質構成や岩盤までの深度について、更に精度を高め設計・施工に反映させるため追加ボーリング調査（地質調査、PS検層、標準貫入試験等）を実施する。



2. 敷地の地質及び追加地質調査計画について

第四系の地質構造に関する追加調査について(2/4)

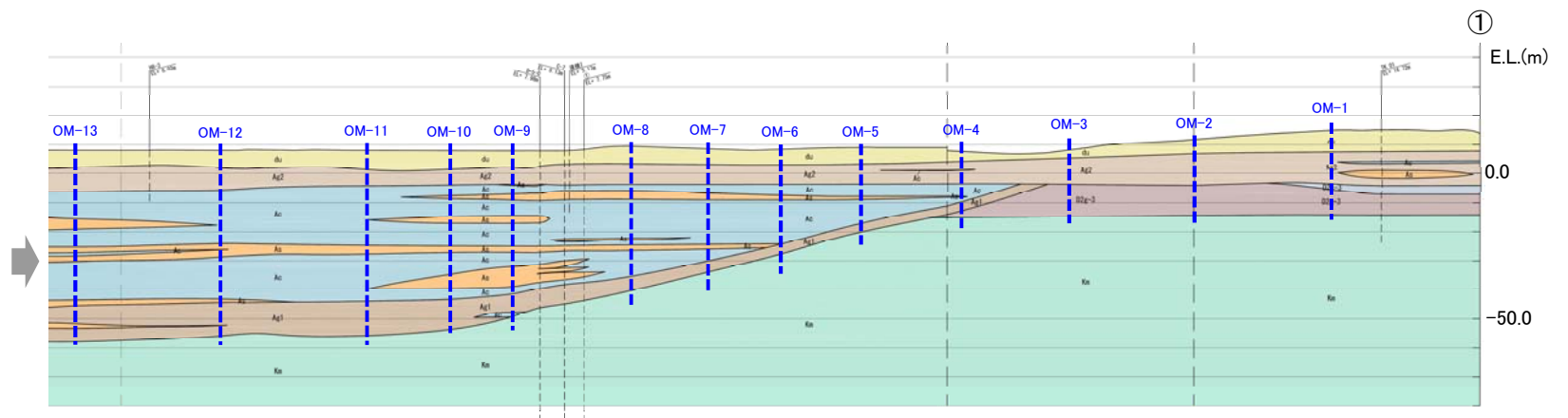
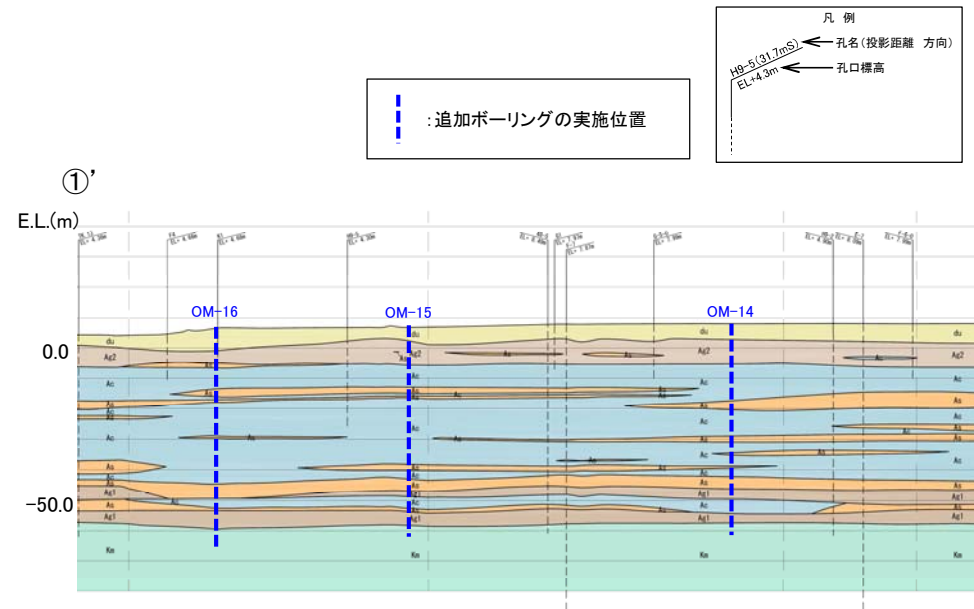
- 今後、防潮堤地質縦断面図における第四系の地質構成や岩盤までの深度について、更に精度を高め設計・施工に反映させるため追加ボーリング調査（地質調査、PS検層、標準貫入試験等）を実施する。



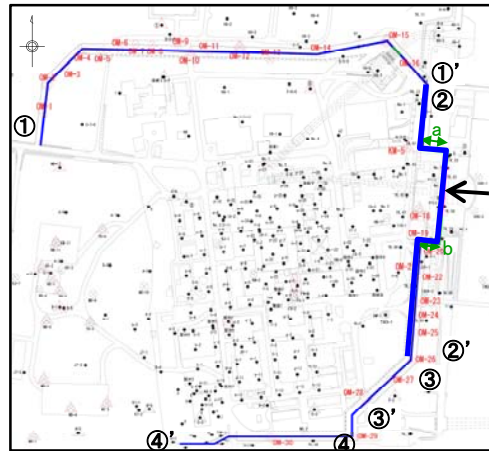
地質構成表

| 地質時代 | 地質区分 | 記号 | 岩相 |
|----------|----------|-------|------|
| 完 | 砂丘砂層 | du | 砂 |
| | | Ag2 | 砂礫 |
| | | Ag1 | 砂礫 |
| 新 | 沖積層 a1 | Ac | 粘土 |
| | | As | 砂 |
| | | Ag1 | 砂礫 |
| 更 | 段丘堆積物 D2 | D2o-3 | シルト |
| | | D2s-3 | 砂 |
| | | D2o-2 | シルト |
| | | D2s-2 | 砂礫 |
| | | Im | ローム |
| 新 | 段丘堆積物 D1 | D1o-1 | シルト |
| | | D1s-1 | 砂礫 |
| 新第三紀 鮮新世 | 久米層 | Kn | 砂質泥岩 |

不整合



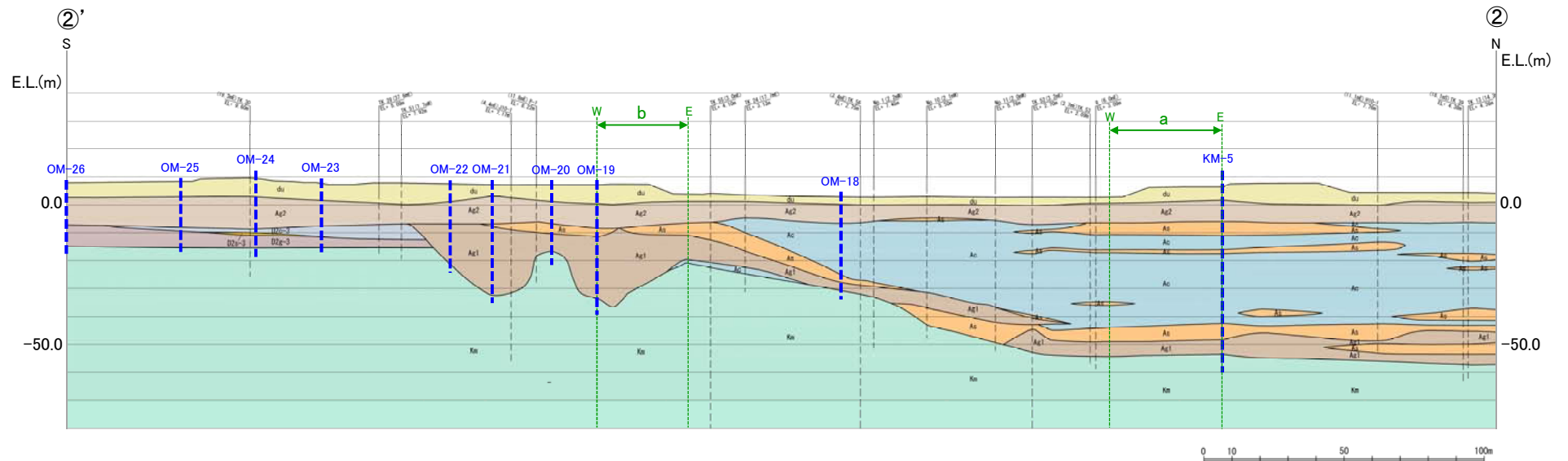
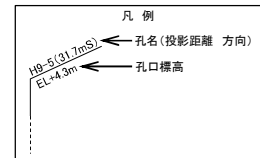
2. 敷地の地質及び追加地質調査計画について 第四系の地質構造に関する追加調査について(3/4)

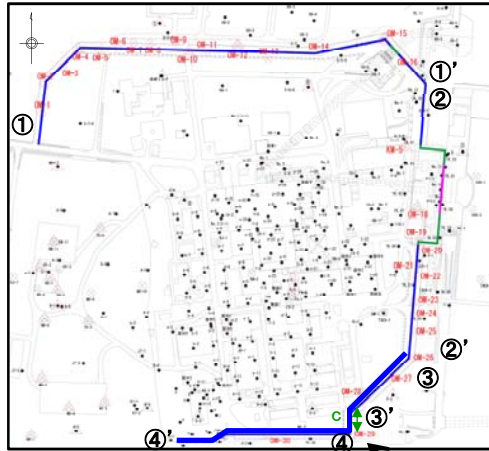


地質構成表

| 地質時代 | 地質区分 | 記号 | 岩相 |
|-------------|-------|-------|------|
| 第四紀
世 | 沖積層 | du | 砂 |
| | | Ag2 | 砂礫 |
| | | Ac | 粘土 |
| | | As | 砂 |
| | | Ag1 | 砂礫 |
| 第四紀
更 | 段丘堆積物 | D2c-3 | シルト |
| | | D2s-3 | 砂 |
| | | D2g-3 | 砂礫 |
| | | D2c-2 | シルト |
| | | D2g-2 | 砂礫 |
| | | Im | ローム |
| | | D1c-1 | シルト |
| 第四紀
紀 | 久米層 | D1g-1 | 砂礫 |
| | | Km | 砂質泥岩 |
| 新第三紀
鮮新世 | | | 不整合 |

追加ボーリングの実施位置



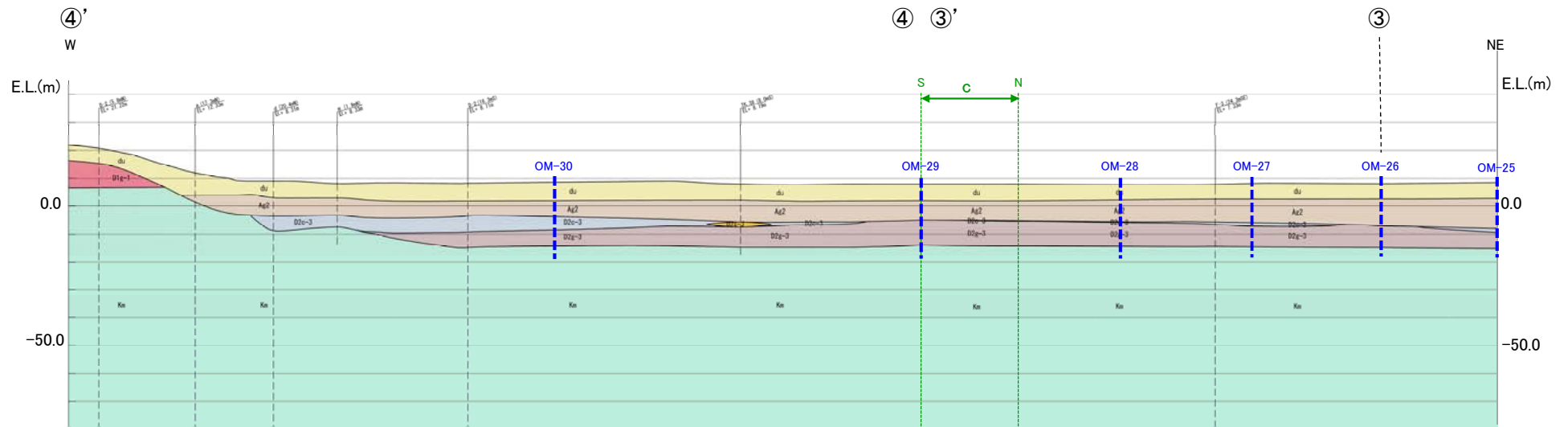
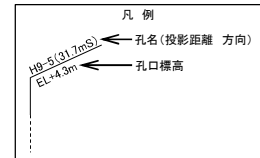


地質構成表

| 地質時代 | 地質区分 | 記号 | 岩相 |
|------|---------|-------|-----|
| 新世 | 砂丘砂層 | du | 砂 |
| | | Ag2 | 砂礫 |
| | 沖積層 | Ac | 粘土 |
| | | As | 砂 |
| | | Ag1 | 砂礫 |
| 第四紀 | D2 | D2c-3 | シルト |
| | | D2s-3 | 砂 |
| | 新段丘堆積物 | D2g-3 | 砂礫 |
| | | D2c-2 | シルト |
| | | D2g-2 | 砂礫 |
| | | Im | ローム |
| | D1 | D1e-1 | シルト |
| | | D1g-1 | 砂礫 |
| | | 久米層 | Km |
| | 第三紀 鮮新世 | | |

不整合

追加ボーリングの実施位置



液状化検討対象層の抽出方針

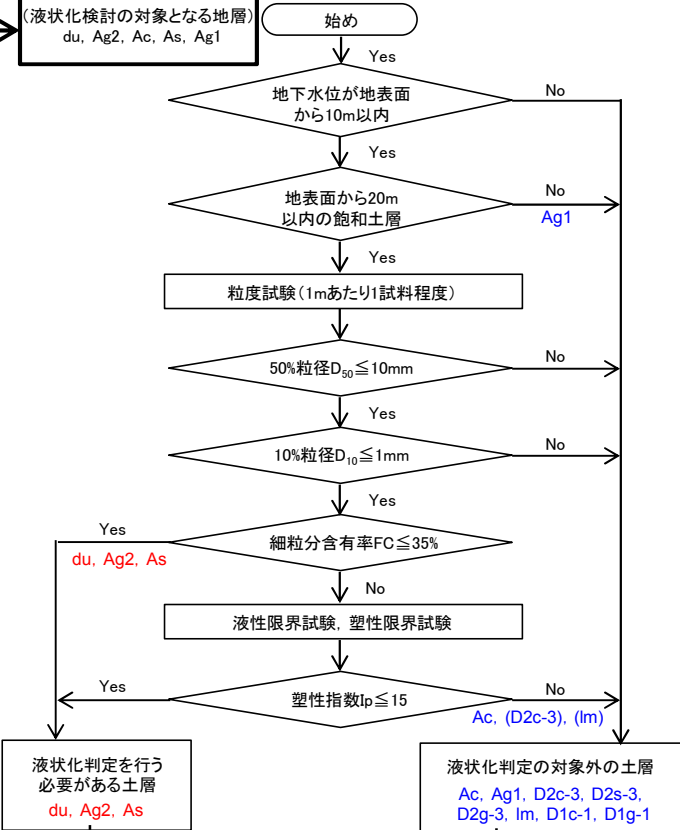
■道路橋示方書に基づく液状化検討対象層の抽出 (Step①)

✓ 「道路橋示方書・同解説(V耐震設計編)平成24年3月」のフローに基づき液状化検討対象層を抽出する。

液状化検討対象層の抽出根拠となる物理特性等

| 地層名 | 時代 | 地表面から20m以内の分布の有無 | 細粒分含有率 (%) | | | 塑性指数 Ip | | |
|-------|-----|------------------|------------|------|------|---------|------|------|
| | | | 平均 | 標準偏差 | データ数 | 平均 | 標準偏差 | データ数 |
| du | 完新統 | 有 | 5.2 | 2.5 | 48 | — | — | — |
| Ag2 | 完新統 | 有 | 5.2 | 4.8 | 121 | — | — | — |
| Ac | 完新統 | 有 | 90.3 | 12.2 | 222 | 38.5 | 12.8 | 81 |
| As | 完新統 | 有 | 27.2 | 15.0 | 73 | — | — | — |
| Ag1 | 完新統 | 無 | 12.3 | 9.2 | 27 | — | — | — |
| D2c-3 | 更新統 | 有 | 79 | 16.0 | 63 | 24.5 | 5.8 | 38 |
| D2s-3 | 更新統 | 有 | 26.5 | 17.4 | 39 | — | — | — |
| D2g-3 | 更新統 | 有 | 8.1 | 5.8 | 45 | — | — | — |
| lm | 更新統 | 有 | 88.8 | 4.6 | 4 | 72.8 | 20.1 | 4 |
| D1c-1 | 更新統 | 有 | — | — | — | — | — | — |
| D1g-1 | 更新統 | 有 | 12.7 | 6.5 | 6 | — | — | — |

- 道路橋示方書における液状化検討対象層
- 道路橋に基づき液状化検討対象外とした根拠となるデータ



■保守的な液状化検討対象層の設定 (Step②)

- ✓ 道路橋示方書においては、液状化検討対象層を地表面から20m以内の完新統としているが、当社では以下のものも液状化検討対象層として考慮する。
- ⇒地表面から20m以深も考慮
 - ⇒更新統(D1層 ~D2層)についても考慮

※道路橋の抽出フローにて、「更新統」と「20m以深」の項目で対象外と判定されているAg1, D2s-3, D2g-3, D1g-1を加える。

当社の液状化検討対象層
du, Ag2, As, Ag1, D2s-3, D2g-3, D1g-1

液状化検討対象層の抽出結果

■ 前項の検討により液状化検討対象層とした土質について、以下の表にとりまとめる。

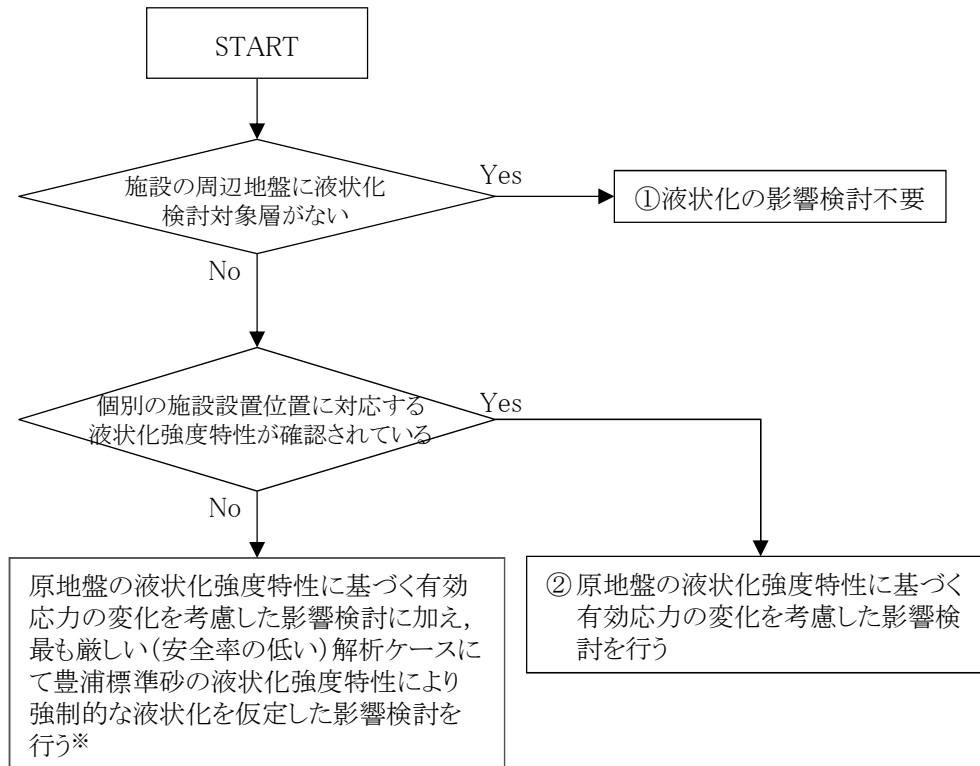
液状化検討対象層の抽出結果

| 地質記号 | 層相 | 道路橋示方書
における液状
化検討対象層 | 当社における液
状化検討対象層 | 備考 |
|------|-------|----------------------------|--------------------|--|
| du | 砂 | ○ | ○ | |
| al | Ag2 | ○ | ○ | |
| | Ac | — | — | |
| | As | ○ | ○ | ・ 20m以深に分布する範囲
についても保守的に検討
対象とする。 |
| | Ag1 | — | □ | ・ 20m以深に分布するが保
守的に検討対象とする。 |
| D2 | D2c-3 | — | — | |
| | D2s-3 | — | □ | ・ 更新統であるが保守的
に検討対象とする。 |
| | D2g-3 | — | □ | ・ 更新統であるが保守的
に検討対象とする。
・ 20m以深に分布する範囲
についても保守的に検討
対象とする。 |
| D1 | lm | — | — | |
| | D1c-1 | — | — | |
| | D1g-1 | — | □ | ・ 更新統であるが保守的
に検討対象とする。 |

○: 検討対象
□: 保守的に検討対象とするもの
—: 検討対象外

□: 液状化検討対象と
するもの

4. 施設毎の液状化影響検討の組合せ(1/3)



※ 詳細設計検討において①あるいは②の対応とすることが可能と考えられる場合は、その旨を説明した上で①あるいは②の対応とする場合がある。

■ 液状化影響検討の組合せの設定方針

施設の詳細設計において、その周辺地盤に液状化検討対象層が存在しない場合は、液状化の影響検討は不要とする(①)。

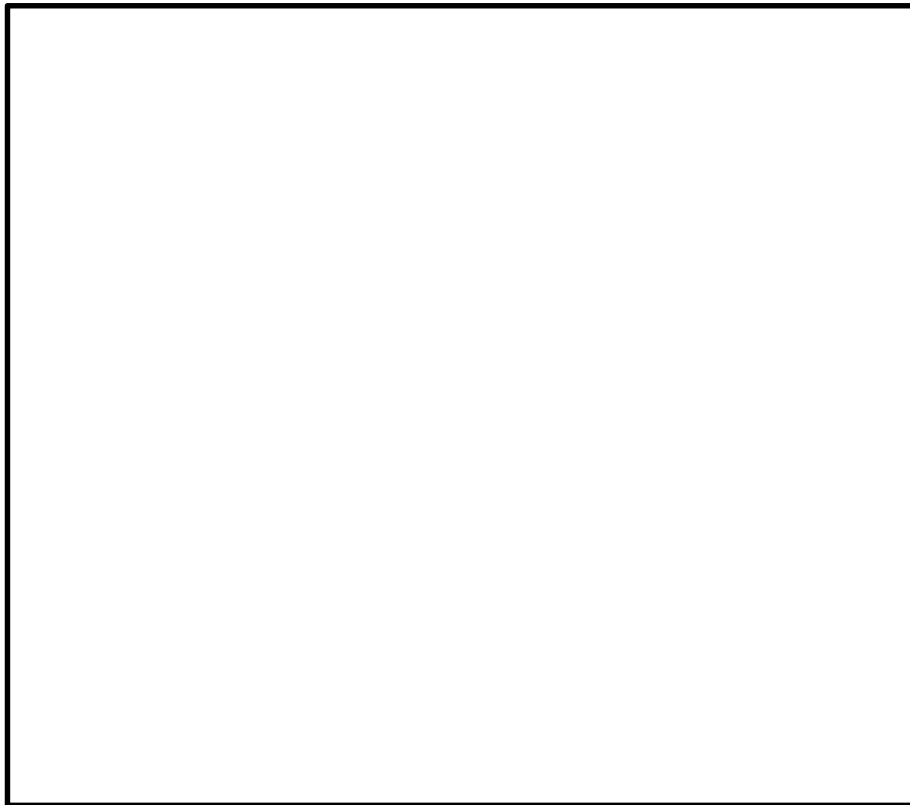
上記に該当しない施設について、個別の施設設置位置に対応する液状化強度特性が確認されている場合は、基準地震動 S_g に対して、原地盤に基づく液状化強度特性を用いた有効応力解析による検討を行う(②)。個別の施設設置位置に対応する液状化強度特性が確認されない場合は、上記の検討において最も厳しい(安全率が低い)解析ケースに対して、豊浦標準砂に基づく液状化強度特性により強制的な液状化を仮定した影響検討を追加で行う。

なお、詳細設計検討において①あるいは②の対応とすることが可能と考えられる場合は、その旨を説明した上で①あるいは②の対応とする場合がある。

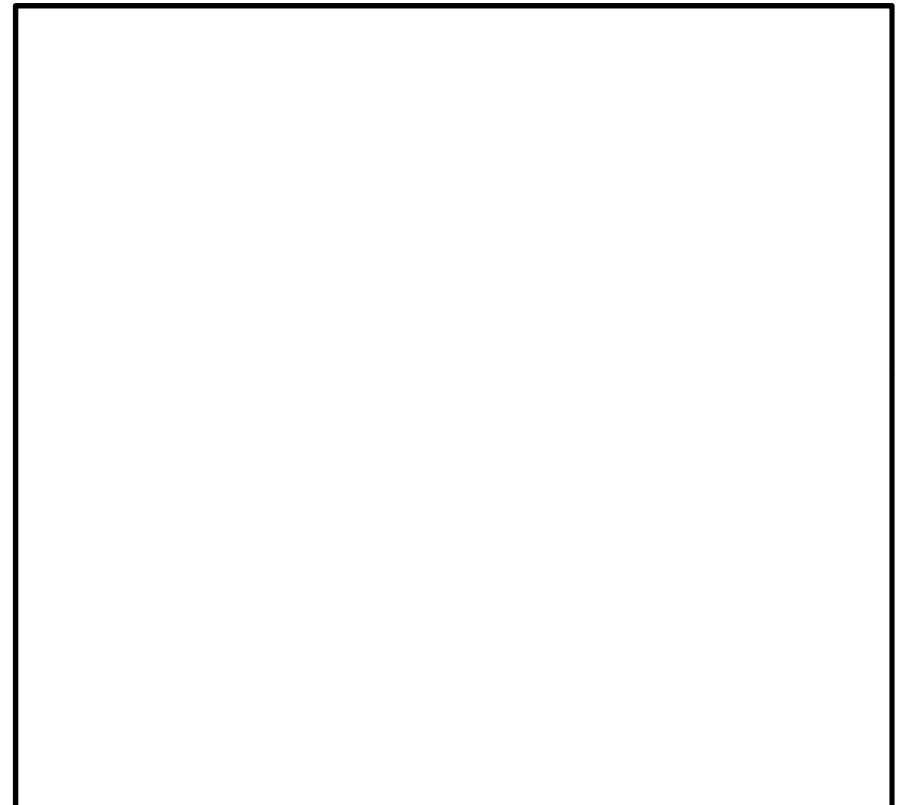
4. 施設毎の液状化影響検討の組合せ(2/3)



各施設の設置位置, 追加液状化強度試験計画を下図に示す。
今後, 当該試験結果を踏まえ, 詳細設計にて用いられる液状化強度特性を精査していく。



各施設の設置位置



追加液状化強度試験計画

4. 施設毎の液状化影響検討の組合せ(3/3)



施設毎の液状化影響検討の組合せを下表に示す。

| 設備分類 | 設備名称
【間接支持している設備名称】 | 下部工の構造 | 支持層 | 周辺地盤の地層のうち、
液状化検討対象層 | 液状化の
影響検討
不要(①) | 原地盤に基づく液状
化強度特性を用いた
評価を実施(②) | 豊浦標準砂に基づく液
状化強度特性を用いた
検討を実施※2 |
|---|---|--------------------|------|---|-----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 対処
設計
施設
基準 | 使用済燃料乾式貯蔵建屋 | 杭支持構造 | 久米層 | du層, Ag2層, D2g-3層 | | ● | ● |
| | 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁 | 杭支持構造 | 久米層 | du層, Ag2層, As層, Ag1層,
D2s-3層, D2g-3層, D1-g1層 | | ● | ● |
| | 鋼製防護壁 | 地中連続壁 | 久米層 | du層, Ag2層, As層, Ag1層 | | ● | ● |
| | 鉄筋コンクリート防潮壁 | 地中連続壁 | 久米層 | du層, Ag2層, As層, Ag1層 | | ● | ● |
| | 鉄筋コンクリート防潮壁(放水路放水路エリア) | 地中連続壁 | 久米層 | du層, Ag2層, As層, Ag1層 | | ● | ● |
| 設計
基準
対処
施設
及び
重大
事故
等
対処
施設 | 原子炉建屋 | MMRを介して
岩盤に直接支持 | 久米層 | 無し※1 | ● | — | — |
| | 取水構造物
【非常用海水取水ポンプ及び非常用海水系配管】 | 杭支持構造 | 久米層 | du層, Ag2層, As層, Ag1層 | | ● | ● |
| | 排気筒
【非常用ガス処理系排気筒】 | 杭支持構造 | 久米層 | du層, Ag2層, D2s-3層, D2g-3層 | ● | — | — |
| | 屋外二重管
【非常用海水系配管】 | 杭支持構造 | 久米層 | du層, Ag2層, As層, Ag1層 | | ● | ● |
| | 貯留堰 | 岩盤に直接支持 | 久米層 | du層, Ag2層, As層, Ag1層 | | ● | ● |
| | 常設代替高压電源装置置場
【常設代替高压電源装置及び軽油タンク】 | 岩盤に直接支持 | 久米層 | du層, Ag2層, D2g-3層 | | ● | ● |
| | 常設代替高压電源装置用カルバート(トンネル部)
【常設代替高压電源装置電路, 燃料移送配管】 | 岩盤中に直接設置 | 久米層 | 無し(岩盤中に直接設置) | ● | — | — |
| | 常設代替高压電源装置用カルバート(立坑部)
【常設代替高压電源装置電路, 燃料移送配管】 | 岩盤に直接支持 | 久米層 | 無し※1 | ● | — | — |
| 常設代替高压電源装置用カルバート(カルバート部)
【常設代替高压電源装置電路, 燃料移送配管】 | MMRを介して
岩盤に直接支持 | 久米層 | 無し※1 | ● | — | — | |
| 重大
事故
等
対処
施設 | 緊急時対策所 | 鋼管コンクリート杭 | 久米層 | du層, D2s-3層, D2g-3層 | | ● | ● |
| | 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎
【緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク】 | 杭支持構造 | 久米層 | du層, D2s-3層, D2g-3層 | | ● | ● |
| | 緊急用海水ポンプピット
【緊急用海水ポンプ】 | 岩盤に直接支持 | 久米層 | 無し※1 | ● | — | — |
| | 緊急用海水取水管 | 岩盤中に直接設置 | 久米層 | 無し(岩盤中に直接設置) | ● | — | — |
| | SA用海水ピット | 岩盤に直接支持 | 久米層 | du層, Ag2層, D2g-3層 | | ● | ● |
| | 海水引込み管 | 岩盤中に直接設置 | 久米層 | 無し(岩盤中に直接設置) | ● | — | — |
| | SA用海水ピット取水塔 | 岩盤に直接支持 | 久米層 | du層, Ag2層, D2g-3層 | | ● | ● |
| | 格納容器圧力逃がし装置格納槽 | 岩盤に直接支持 | 久米層 | du層, Ag2層, D2g-3層 | | ● | ● |
| | 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート
【格納容器圧力逃がし装置用配管】 | MMRを介して
岩盤に直接支持 | 久米層 | 無し※1 | ● | — | — |
| | 代替淡水貯槽 | 岩盤に直接支持 | 久米層 | du層, du層, Ag2層, D2g-3層 | | ● | ● |
| | 常設低圧代替注水系ポンプ室
【常設低圧代替注水系ポンプ】 | 岩盤に直接支持 | 久米層 | 無し※1 | ● | — | — |
| | 常設低圧代替注水系配管カルバート
【常設低圧代替注水系配管】 | MMRを介して
岩盤に直接支持 | 久米層 | 無し※1 | ● | — | — |
| | 可搬型設備用軽油タンク基礎(西側)
【可搬型設備用軽油タンク】 | 杭支持構造 | 久米層 | du層, D2s-3層, D2g-3層 | | ● | ● |
| | 可搬型設備用軽油タンク基礎(南側)
【可搬型設備用軽油タンク】 | 杭支持構造 | 久米層 | du層, D1g-1層 | | ● | ● |

※1: 排水設備により、地下水位を久米層分布深度以下にしていることから、地下水位以下に液状化検討対象層はない。

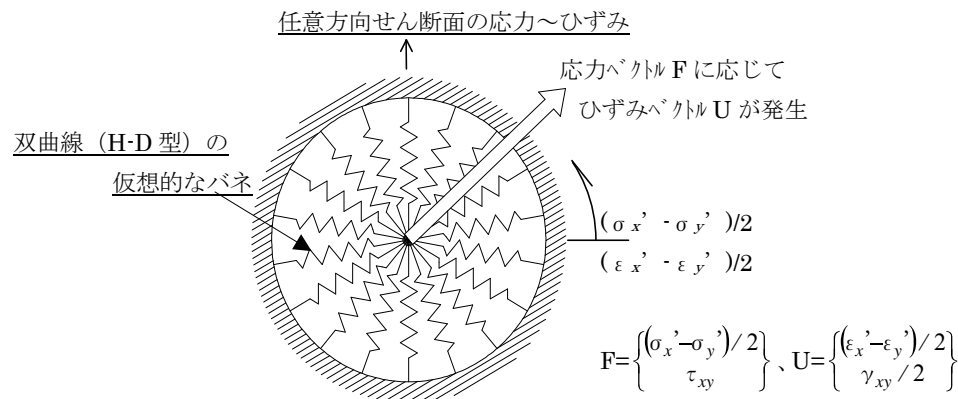
※2: 詳細設計検討において①あるいは②の検討とすることが可能である場合は、その旨を説明した上で①あるいは②の対応とする場合がある。

解析コード「FLIP」の構成則と特徴

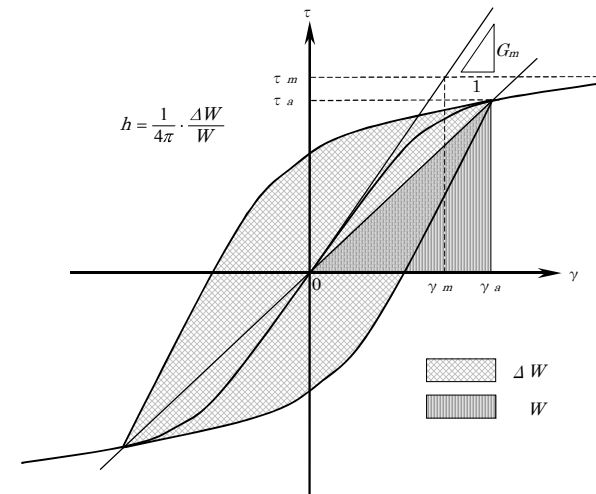
- ・ FLIP (Finite element analysis of Liquefaction Program) は、1988年に運輸省港湾技術研究所(現、(独)港湾空港技術研究所)において開発された平面ひずみ状態を対象とする有効応力解析法に基づく、2次元地震応答解析プログラムである。
- ・ FLIPの主な特徴として、以下の①～⑤を挙げることが出来る。
 - ①有限要素法に基づくプログラムである。
 - ②平面ひずみ状態を解析対象とする。
 - ③地盤の液状化を考慮した地震応答解析を行い、部材断面力や残留変形等を計算する。
 - ④土の応力-ひずみモデルとして、マルチスプリングモデルを採用している。
 - ⑤液状化現象は有効応力法により考慮する。そのために必要な過剰間隙水圧発生モデルとして井合モデルを用いている。

砂の応力-ひずみモデル(マルチスプリングモデル)

- ・ 砂の変形特性を規定するマルチスプリングモデルは、任意方向のせん断面において仮想的な単純せん断バネの作用があるものとし、これらのせん断バネの作用により、土全体のせん断抵抗が発揮されるものである。
- ・ 土の応力-ひずみ関係は、このせん断バネの特性によって種々の表現が可能であるが、「FLIP」では双曲線(Hardin-Drnevich)型モデルを適用している。また、履歴ループについては、その大きさを任意に調整可能なように拡張したMasing則を用いている。



マルチスプリングモデルの概念図



非排水条件での土の応力-ひずみ関係の概念図

地下水水位分布



- 敷地においては、水位観測に基づき水位コンターを設定している。
(2017年6月時点にてデータの取り纏めを行い、コンターを作成)
- 今後、防潮堤の設置に伴う敷地内の地下水水位の変化を想定し、有効応力解析は地下水水位を地表面に設定して行うものとする。

観測最高地下水水位一覧表

| 観測孔名 | 計測期間 | 最高水位 (T.P.+m) | 最高水位 計測時期 |
|------|----------------------|---------------|-------------|
| a | 1995~1999 | 3.49 | 1998年10月8日 |
| b | 1995~1999 | 2.52 | 1998年9月25日 |
| c | 1995~1999 | 2.53 | 1998年9月22日 |
| d | 1995~1999 | 2.28 | 1998年9月22日 |
| a-1 | 1995~1999, 2004~2009 | 15.42 | 2006年8月7日 |
| a-2 | 2004~2009 | 13.60 | 2006年7月28日 |
| b-2 | 2004~2009 | 9.06 | 2006年7月30日 |
| c-0 | 1995~1999, 2004~2009 | 2.05 | 1998年9月19日 |
| c-2 | 1995~1999, 2004~2017 | 2.58 | 2012年7月7日 |
| c-3 | 2004~2017 | 2.49 | 2012年7月7日 |
| c-4 | 2004~2017 | 2.00 | 2012年6月25日 |
| d-1 | 1995~1999, 2004~2009 | 1.50 | 1998年9月18日 |
| d-3 | 2004~2017 | 1.44 | 2013年10月27日 |
| d-6 | 2004~2017 | 1.58 | 2013年10月28日 |
| e-2 | 2004~2017 | 1.38 | 2006年10月8日 |
| e-3 | 2004~2017 | 1.50 | 2013年10月16日 |
| e-5 | 2004~2017 | 1.30 | 2013年10月21日 |
| e-6 | 2004~2017 | 1.26 | 2013年10月21日 |
| B-1 | 2005~2017 | 2.90 | 2006年7月30日 |
| B-2 | 2005~2017 | 3.09 | 2006年7月30日 |
| B-4 | 2005~2017 | 3.56 | 2006年7月31日 |
| B-6 | 2005~2017 | 5.51 | 2006年8月17日 |
| C-4 | 2005~2017 | 3.17 | 2012年6月27日 |
| C-7 | 2005~2017 | 4.99 | 2006年8月18日 |
| D-0 | 2006~2017 | 2.37 | 2012年6月22日 |
| D-3 | 2005~2017 | 2.88 | 2006年10月7日 |
| D-4 | 2006~2017 | 2.76 | 2012年6月25日 |
| D-5 | 2006~2017 | 2.54 | 2012年7月16日 |
| E-4 | 2006~2017 | 2.26 | 2012年6月25日 |
| F-2 | 2005~2015 | 1.74 | 2013年10月30日 |
| F-4 | 2005~2017 | 1.55 | 2013年10月27日 |
| F-6 | 2005~2017 | 1.77 | 2012年6月24日 |
| G-5 | 2005~2017 | 1.53 | 2013年10月27日 |
| H-4 | 2006~2017 | 2.13 | 2013年10月16日 |
| H-7 | 2005~2017 | 1.33 | 2013年10月27日 |



観測最高地下水水位コンター図 (T.P.+m)



- 有効応力解析コード「FLIP」での地震応答解析結果により算出される各地盤要素の間隙水圧に対し、液状化の定義を明確にした上で、評価基準値を以下のように設定し、液状化判定を行う。

○液状化の定義

レベル2地震動による液状化研究小委員会活動成果報告(土木学会, 2003)では、地盤の液状化の事象の定義として、以下のように記載されている。

【液状化】

地震の繰返しせん断力などによって、飽和した砂や砂礫などの緩い非粘性土からなる地盤内での間隙水圧が上昇・蓄積し、有効応力がゼロまで低下し液体状となり、その後地盤の流動を伴う現象。

○規格・基準における液状化と過剰間隙水圧に関する記載事例

地盤材料試験の方法と解説(公益社団法人地盤工学会, 2009)では、液状化と関連する過剰間隙水圧について、以下のように記載されている。

【土の液状化強度特性を求めるための繰返し非排水三軸試験(p.730~749)】

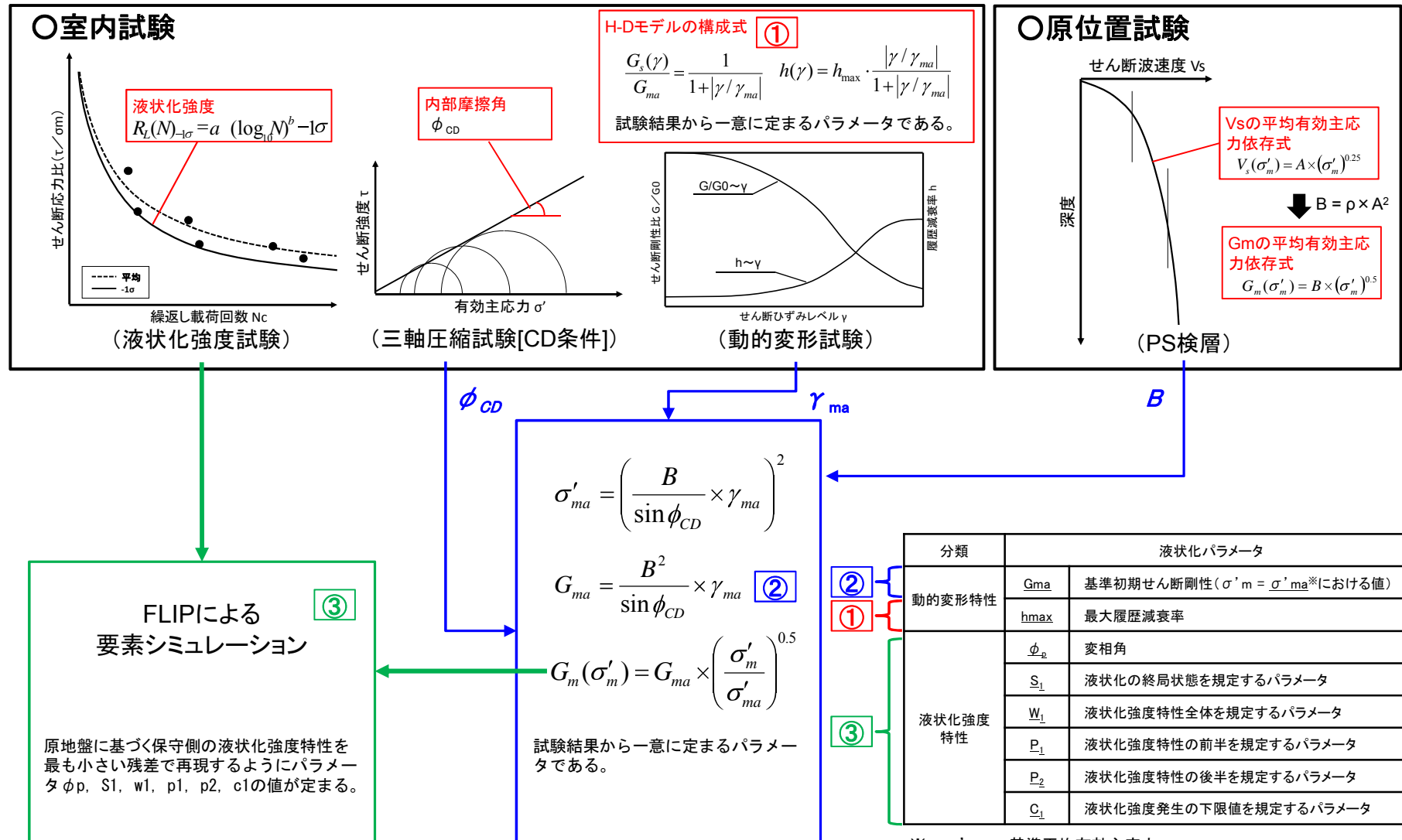
各繰返しサイクルにおける過剰間隙水圧 Δu の最大値が有効拘束圧 σ'_0 の95%になったときの繰返し載荷回数 N_{u95} を求める。



過剰間隙水圧を指標とした液状化の評価基準値について、“液状化の定義”及び“規格・基準における記載事例”に基づき、以下のように設定する。

- ・過剰間隙水圧 Δu の最大値が有効拘束圧 σ'_0 の95%に達した状態を液状化と判定する。

■ FLIPの入力パラメータの設定方法について、その概要を以下に記載する。



液状化パラメータ設定の流れ

※ σ'_{ma} : 基準平均有効主応力

■ 各層の液状化パラメータを以下に示す。

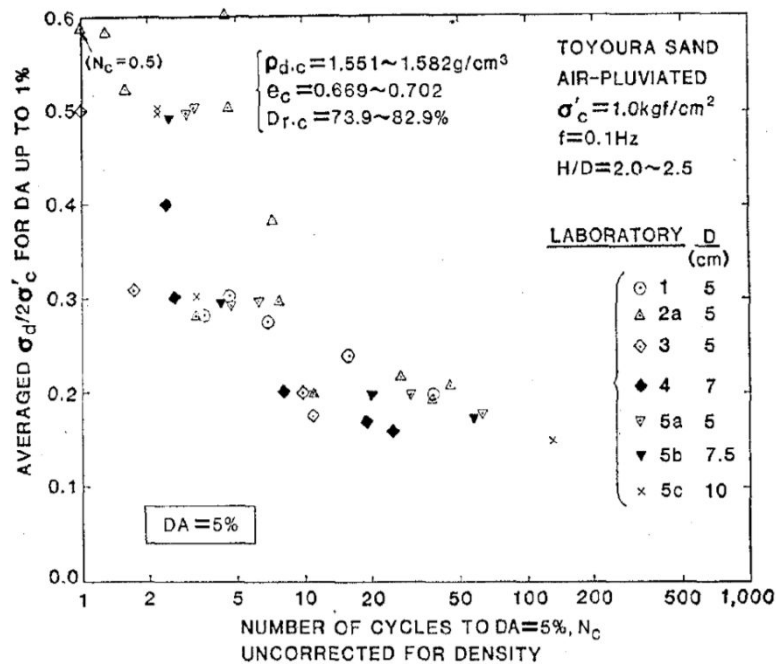
各層の液状化パラメータ

| | 液状化パラメータ | | | | | | | | | |
|-------|---------------------------------|---|---|-----------------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 間隙比
e | 基準平均有効
主応力 σ'_{ma}
[kN/m ²] | 基準初期
せん断剛性G _{ma}
[kN/m ²] | 最大履歴減衰率
h _{max} | ϕ_p
[度] | S ₁ | W ₁ | P ₁ | P ₂ | C ₁ |
| 埋戻土 | 0.75 | 358
(312)
※()は地下水位以浅 | 253,529
(220,739)
※()は地下水位以浅 | 0.220 | 34.8 | 0.047 | 6.5 | 1.26 | 0.80 | 2.00 |
| 第四系 | du | 358
(312)
※()は地下水位以浅 | 253,529
(220,739)
※()は地下水位以浅 | 0.220 | 34.8 | 0.047 | 6.5 | 1.26 | 0.80 | 2.00 |
| | Ag2 | 497
(299)
※()は地下水位以浅 | 278,087
(167,137)
※()は地下水位以浅 | 0.233 | 34.9 | 0.028 | 56.5 | 9.00 | 0.60 | 3.40 |
| | Ac | 480 | 121,829 | 0.200 | 非液状化層 | | | | | |
| | As | 378 | 143,284 | 0.216 | 38.3 | 0.046 | 6.9 | 1.00 | 0.75 | 2.27 |
| | Ag1 | 814
(814)
※()は地下水位以浅 | 392,073
(392,073)
※()は地下水位以浅 | 0.221 | 34.9 | 0.029 | 51.6 | 12.00 | 0.60 | 3.35 |
| | D2c-3 | 696 | 285,223 | 0.186 | 非液状化層 | | | | | |
| | D2s-3 | 966 | 650,611 | 0.192 | 33.4 | 0.048 | 17.6 | 4.80 | 0.96 | 3.15 |
| | D2g-3 | 1,167
(1,167)
※()は地下水位以浅 | 1,362,035
(1,362,035)
※()は地下水位以浅 | 0.130 | 41.4 | 0.030 | 45.2 | 8.00 | 0.60 | 3.82 |
| | lm | 223 | 35,783 | 0.151 | 非液状化層 | | | | | |
| | D1c-1 | 696 | 285,223 | 0.186 | 非液状化層 | | | | | |
| D1g-1 | 1,695
(1,710)
※()は地下水位以浅 | 947,946
(956,776)
※()は地下水位以浅 | 0.233 | 34.9 | 0.020 | 10.5 | 7.00 | 0.50 | 2.83 | |

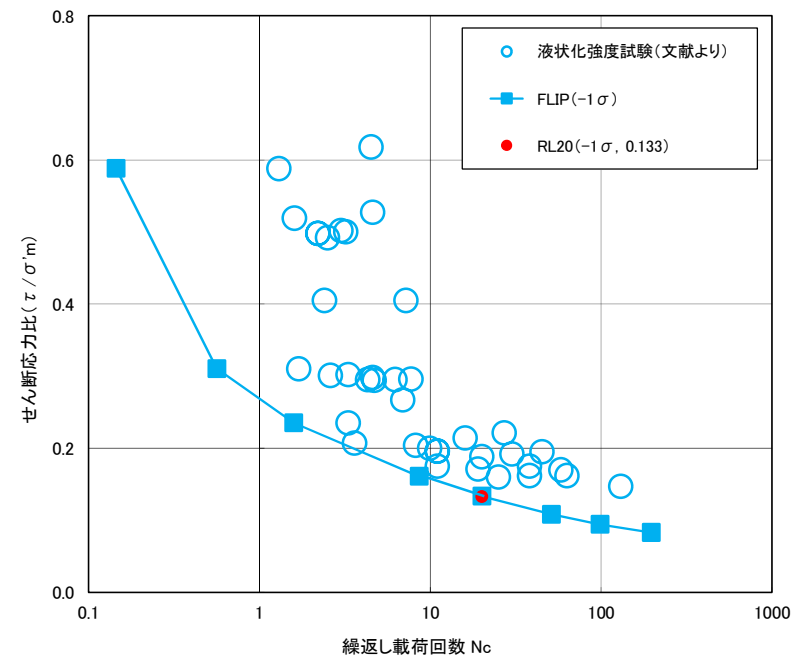
6. 保守的な耐震設計検討で仮定する液状化強度特性(豊浦標準砂)について
 豊浦標準砂の液状化パラメータ

■ 豊浦標準砂の保守的な液状化強度特性
 文献※から引用した相対密度73.9~82.9%の豊浦標準砂の液状化強度試験データに対し、それらを全て保守側で包含するFLIPの液状化特性を設定する。

※CYCLIC UNDRAINED TRIAXIAL STRENGTH OF SAND BY A COOPERATIVE TEST PROGRAM
 [Soils and Foundations, JSSMFE. 26-3. (1986)]



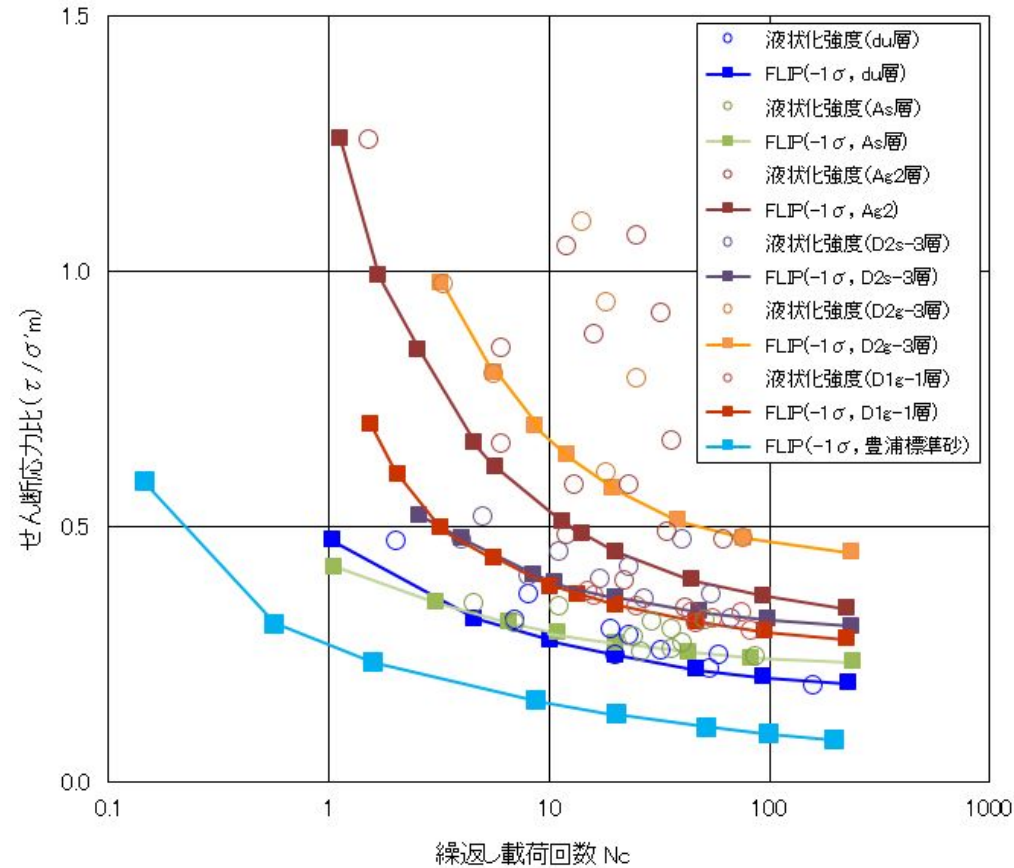
豊浦標準砂の液状化強度試験データ(文献※からの引用)



FLIPによる保守的な液状化強度特性(-1 σ , 豊浦標準砂)

6. 保守的な耐震設計検討で仮定する液状化強度特性(豊浦標準砂)について
 FLIPで設定するより一層保守側の液状化強度特性

FLIPで設定する敷地の原地盤の保守的な液状化強度特性に比べ、より一層保守側の液状化強度特性を以下に示す。

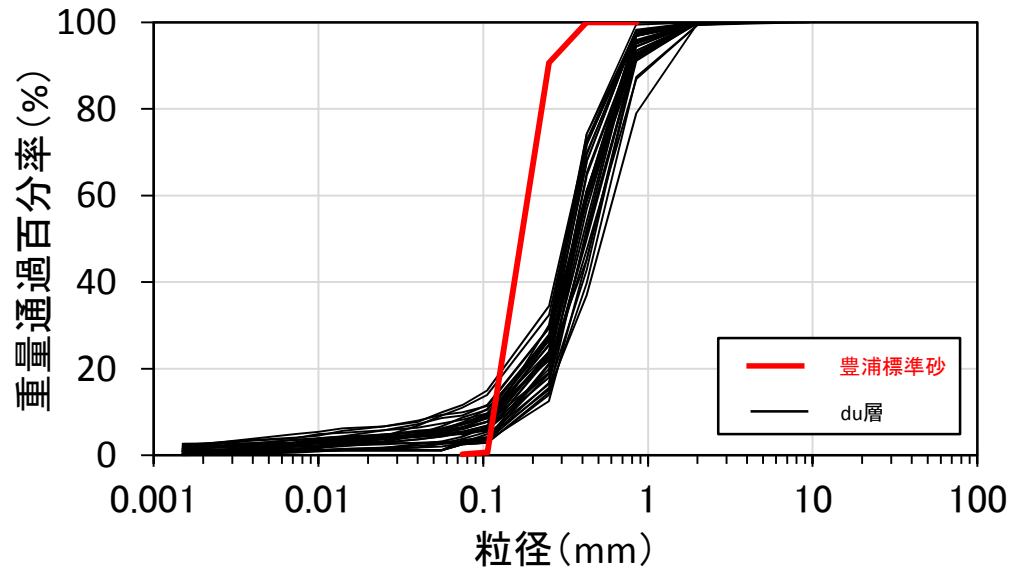


東海第二発電所の原地盤の液状化強度試験データとその全てを包含するFLIPの液状化強度特性(豊浦標準砂)

より一層保守側の液状化影響評価を行うため、FLIPで東海第二発電所の全地層の液状化強度試験データを保守側で包含する液状化強度特性(豊浦標準砂)により強制的な液状化を仮定した有効応力解析も行い、耐震評価を実施する。

6. 保守的な耐震設計検討で仮定する液状化強度特性(豊浦標準砂)について
 豊浦標準砂とdu層の粒度分布比較

■ 豊浦標準砂とdu層の粒度分布※について比較した結果を以下に示す。



※豊浦標準砂の粒度については、文献「豊浦砂の粒度分布[土木学会第64回年次学術講演会(平成21年9月)]」よりデータを引用している。

粒径加積曲線による比較

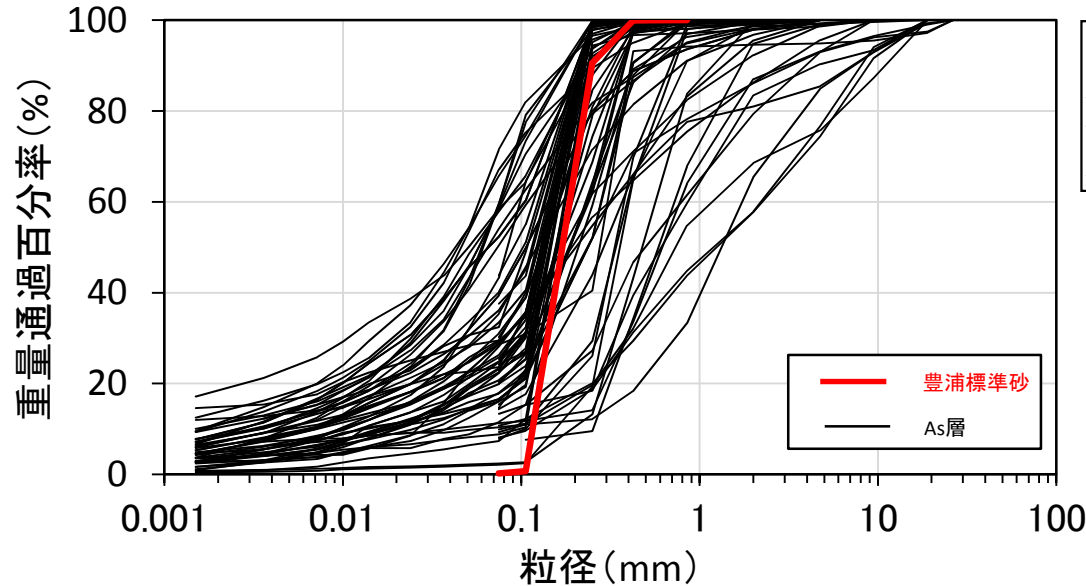
平均粒径と細粒分含有率

| | 平均粒径(mm) | 細粒分含有率(%) |
|-------|----------|-----------|
| 豊浦標準砂 | 0.202 | 0.24 |
| du層 | 0.384 | 5.2 |

豊浦標準砂とdu層の粒度分布について比較した結果、豊浦標準砂は細粒分含有率が低く、均質な粒径であることから、より液状化し易い砂であると言える。

6. 保守的な耐震設計検討で仮定する液状化強度特性(豊浦標準砂)について
 豊浦標準砂とAs層の粒度分布比較

■ 豊浦標準砂とAs層の粒度分布※について比較した結果を以下に示す。



※豊浦標準砂の粒度については、文献「豊浦砂の粒度分布[土木学会第64回年次学術講演会(平成21年9月)]」よりデータを引用している。

粒径加積曲線による比較

平均粒径と細粒分含有率

| | 平均粒径(mm) | 細粒分含有率(%) |
|-------|----------|------------|
| 豊浦標準砂 | 0.202 | 0.24 |
| As層 | 0.201 | 2.1 ~ 71.5 |

豊浦標準砂とAs層の粒度分布について比較した結果、豊浦標準砂は細粒分含有率が低く、均質な粒径であることから、より液状化し易い砂であると言える。