

東海第二発電所

耐震設計の基本方針について

〔 審査会合時の指摘事項に対する回答 〕

平成29年10月10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	13	屋根トラスと原子炉建屋全体の設計方針を整理して示すこと。	1～3	PD-1-14(改18) 別添-7 別紙-3
機器・配管系	8	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。	4～8	PD-1-14(改18) 別紙-5
	14	極限解析について炉心支持構造物への適用規格を炉内構造物に準用する考え方、妥当性を示すこと。また適用性を補足する試験についての位置付け、方法等の詳細を示すこと。		
	9	動的機能維持評価で、JEA4601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。	9～12	PD-1-14(改18) 別紙-13
	10	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。	13～14	SA設-C-2(改51) 34-4
	16	原子炉建屋クレーンにおけるクレーン本体の落下防止対策について説明すること。	15～17	PD-1-14(改18) 別紙-12
地盤安定性 (液状化)	15	最も厳しい(許容限界に対する裕度が最も小さい)解析ケースに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影響検討(②)を省略する場合の内容について記載すること。	18～20	PD-1-14(改18) 別紙-10
	1	防潮堤の表層地盤は砂層、粘土層、砂礫層等の互層を形成し、液状化の可能性が高い箇所(N値0～10)が敷地内に分布しているため、液状化データの信頼性(代表性、網羅性)の確認が必要である。特に、N値が極端に低い箇所が散見されるが、その位置について平面図、断面図上に示すこと。	21～31	PD-1-14(改18) 別紙-10
	2	各土層の液状化強度試験箇所の代表性に関しては、地層深度や土質を踏まえ標準貫入試験によるデータを分類・整理して提示すること。また、同じ分類でデータにばらつきがある場合には、評価に及ぼす影響を検討すること。		
	11	第3条第1項(支持性能)、第2項(地盤の変状、液状化等による変状による影響の防止)の条文適合に対しての適合方針(適合のための設計方針)を防潮堤での経緯も踏まえて、杭基礎の他の施設に対してどのように設定するか明確にし、第4条の耐震設計方針において説明を行うこと。	32～34	PD-1-14(改18) 別紙-10
	12	基礎地盤安定性のうち支持力評価について、極限支持力に第四紀層の周面摩擦を期待する場合は、今後、第4条の耐震設計方針において、液状化検討対象層に液状化を仮定した場合の杭及びその支持力への影響について説明を行うこと。		

【指摘事項】2017年9月26日 第513回

屋根トラスと原子炉建屋全体の設計方針を整理して示すこと。

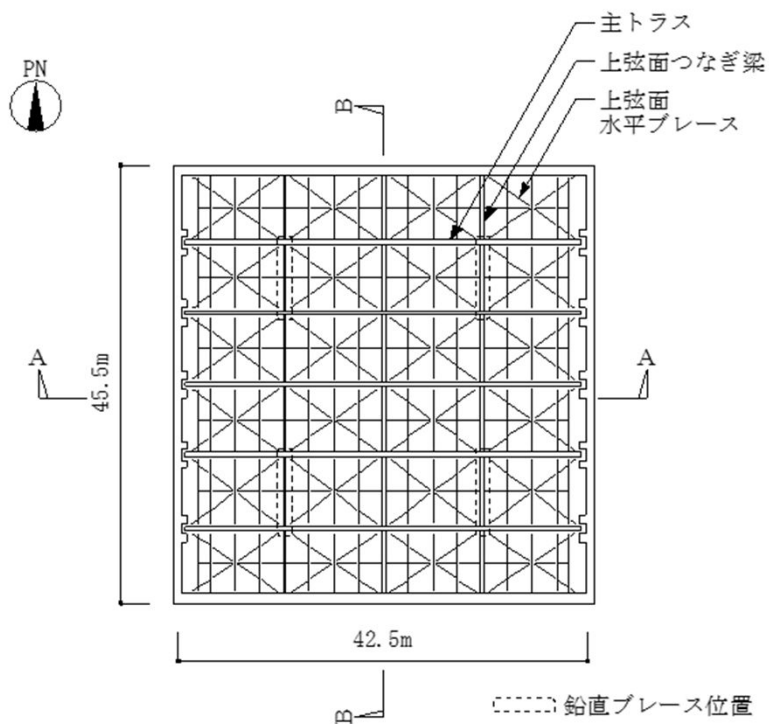
【回答概要】

二次格納施設である原子炉棟は耐震重要度分類Sクラスであり、弾性設計用地震動 S_d による地震力又はSクラスに適用される静的地震力いずれか大きい方の地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられる設計とする。また、基準地震動 S_s に対しては、安全機能が保持できるように設計する。

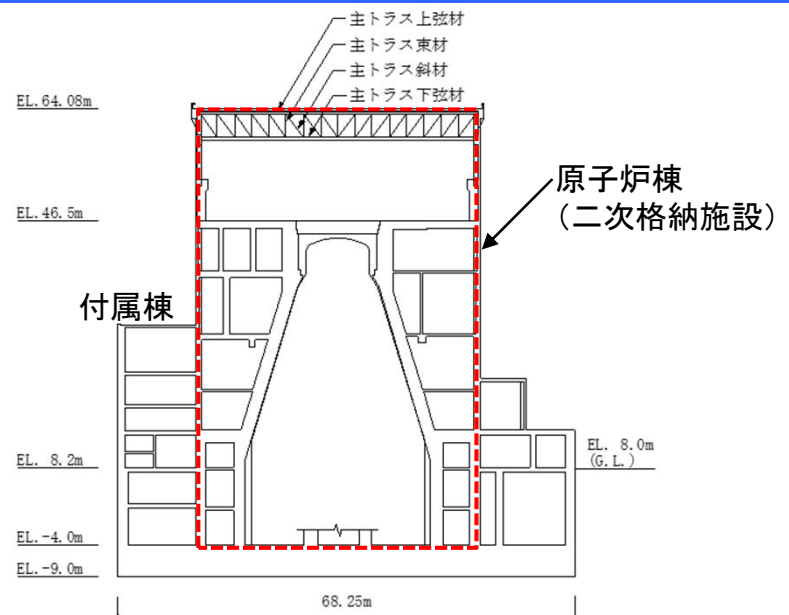
付属棟は耐震重要度分類Sクラスの設備の間接支持構造物であり、基準地震動 S_s に対して、安全機能が保持できるように設計する。

屋根トラスは、二次格納施設である原子炉棟の屋根を構成していることを踏まえ、弾性範囲内であることを確認する。

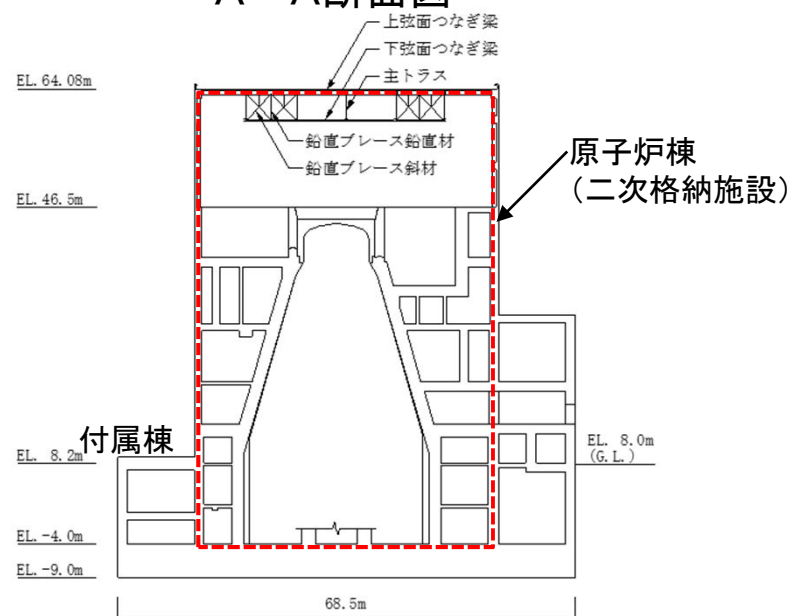
原子炉建屋屋根トラスの概要



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

- 屋根トラスは、二次格納施設である原子炉棟の屋根を構成していることを踏まえ、弾性範囲内であることを確認する。
 ※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。
- 要求機能(気密性及び遮蔽性)を直接担保する屋根スラブについても、機能を維持できることを確認する。

【指摘事項】2017年9月5日 第504回

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。

【指摘事項】2017年9月26日 第513回

極限解析について炉心支持構造物への適用規格を炉内構造物に準用する考え方、妥当性を示すこと。また適用性を補足する試験についての位置付け、方法等の詳細を示すこと。

【回答概要】

今回工認に用いる機器・配管系の評価手法における既工認手法からの変更点について、適用内容に応じて3項目に分類し整理するとともに、炉内構造物の耐震評価に用いる極限解析による評価については、炉心支持構造物の適用規格に定める要求事項を確認することにより、適用性についての確認を行った。

極限解析による評価に対する試験については、極限解析により算出される崩壊荷重の下限が保守性を有することを確認する目的で実施する。その確認方法、試験方法について、極限解析による評価の実施内容を示すとともに整理した。

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、詳細設計段階での適用性を確認した。

	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可能であり、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いるもので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。また先行プラントにて適用実績がある。
		<ul style="list-style-type: none"> ・極限解析による評価の適用 	先行プラントにおける 適用実績が少ないこと 、更に今回工認では炉内構造物に適用するため、具体的な評価手法は 炉心支持構造物の規定を準用すること から、 適用性の確認を行った 。適用性に関する詳細を以降に示す。

炉内構造物に対する極限解析による評価の適用性



- ◇ 炉内構造物である気水分離器及びスタンドパイプの耐震評価は、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。また極限解析は、PWRの炉内構造物での適用実績がある手法である。
- ◇ 今回工認における極限解析の適用に際して炉心支持構造物の規定を準用することになるため、極限解析の具体的な評価手法が規定されたJSME設計・建設規格の炉心支持構造物の要求事項を満足することを確認した。ただし設計に対する要求(CSS-3000)については、当該設備に対する地震時以外の応力として圧力、熱応力等であり、有意になるものでないため、当該規定を満足するものと考え、今後詳細設計段階で要求を満足することを確認する。

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	・炉内構造物は、炉心支持構造物の規定を準用 ・具体的な手法はJSME設計・建設規格を読み込み (JEAG4601では告示501号を読み込み)

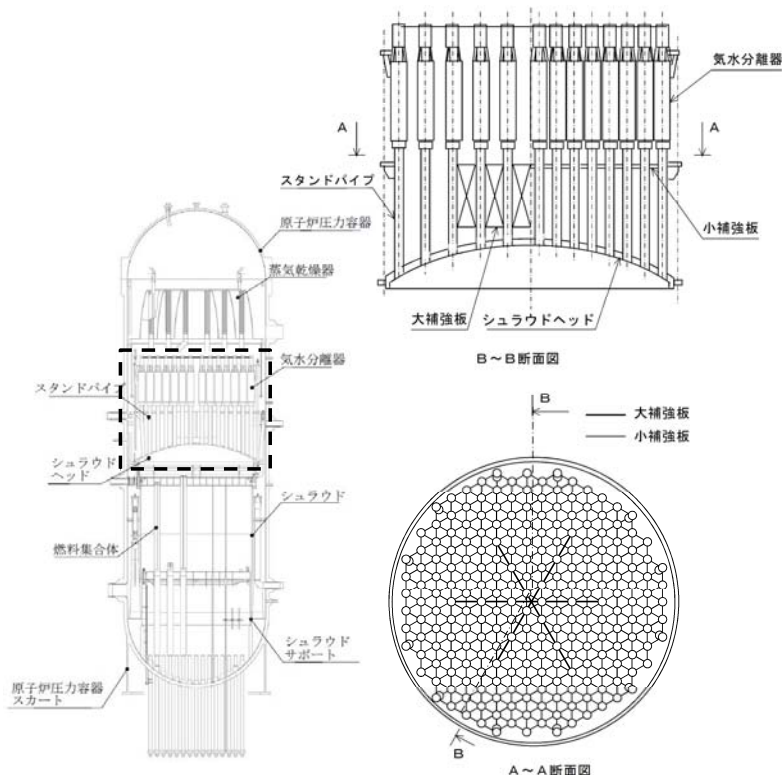
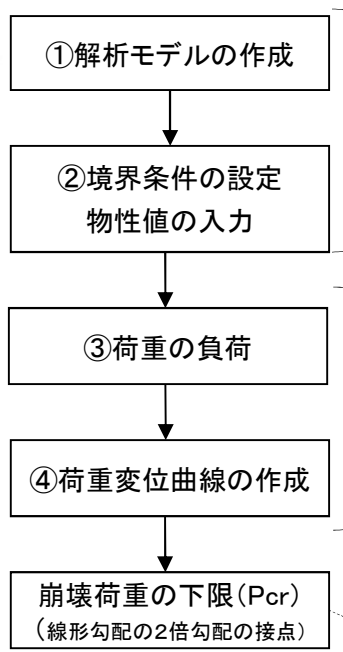
JSME設計・建設規格 炉心支持構造物の要求事項に対する適合性の確認結果の概要

規格番号	規格名称	規格内容(概要)	炉内構造物への極限解析適用に 対する確認結果又は方針	確認結果 (○:適合性等を確認)
CSS-1000	一般要求事項	適用範囲、記号の定義及び評価すべき応力分類を定めている。	規定内容に従った確認を行う。	○
CSS-2100	炉心支持構造物に使用可能な材料	規格に適合する又はこれと同等以上の化学成分及び機械的強度を有するものを使用することを定めている。	使用材料はSUS304TP相当(ASME SA-312 Gr.TP304)であり適合していることを確認した。	○
CSS-2200	破壊靱性試験要求	使用する材料に対して破壊靱性試験を行い規格に定める判定基準を満足することを定めている。	使用材料はオーステナイト系ステンレス鋼であり、当該要求は不要である。	○
CSS-2400	非破壊試験要求	使用する材料に対する非破壊試験の要求及び判定基準を定めている。	規格要求に定められた超音波探傷試験及び浸透探傷試験が実施されていること及び判定基準を満足していることを確認した。	○
CSS-2500	溶接材料	溶接に用いる材料は、溶接規格N-1040に適合することを定めている。	溶接規格N-1040に適合していることを確認した。	○
CSS-3000	炉心支持構造物の設計	各供用状態に対する応力強さの要求を定め、それを満足することを定めている。 設計に考慮すべき荷重を定めている。	各供用状態における応力強さ、疲労評価等が規定を満足することを詳細設計段階で確認する方針とする。 また、評価を実施する際、考慮する荷重は、適切に選定し設計上考慮する方針とする。	詳細設計段階 で確認
CSS-5000	完成検査	設計仕様書に定められた要求事項に従って、完了検査を満足することを定めている。	完成後、要求事項に従い、外観検査、寸法検査を行い、満足していることを確認した。	○

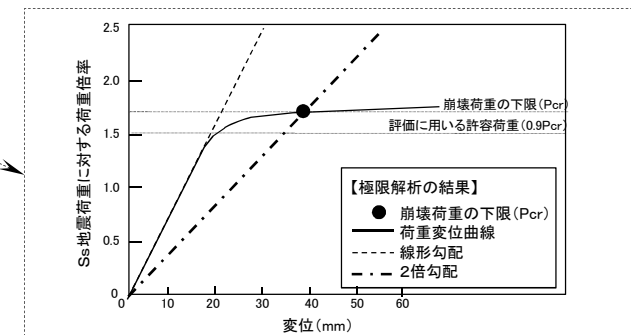
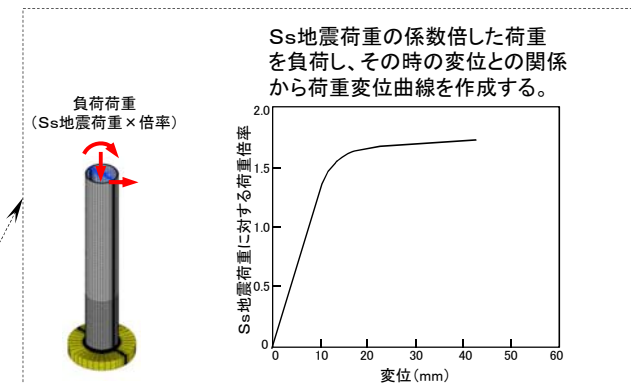
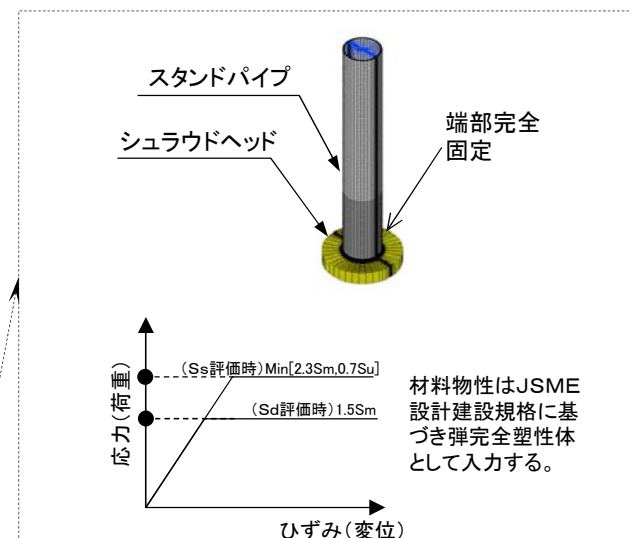
極限解析及び試験による確認

- ◇ 先行プラントにおける極限解析の適用実績が少ないことを踏まえて、極限解析に対して試験による確認を行う。
- ◇ 本試験による確認は、試験にて得られた限界荷重が極限解析にて得られた崩壊荷重の下限(P_{cr})よりも大きいことを確認することで、極限解析の保守性を確認する目的で実施する。
- ◇ 極限解析の実施手順を示す。極限解析は、3次元FEMモデルに、 S_s 地震時の荷重を係数倍した荷重として負荷し、その時の変位との関係(荷重変位曲線)により崩壊荷重の下限(P_{cr})を算定する手法である。また S_s 地震に対する評価は、許容荷重($0.9P_{cr}$)と S_s 地震時の荷重とを比較することにより行う。

極限解析による崩壊荷重の下限(P_{cr})の算定



気水分離器及びスタンドパイプ概要図

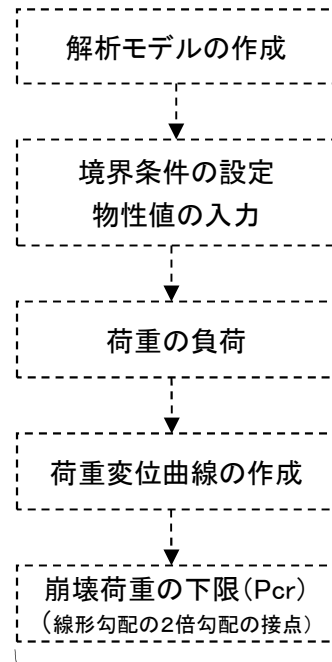


極限解析及び試験による確認

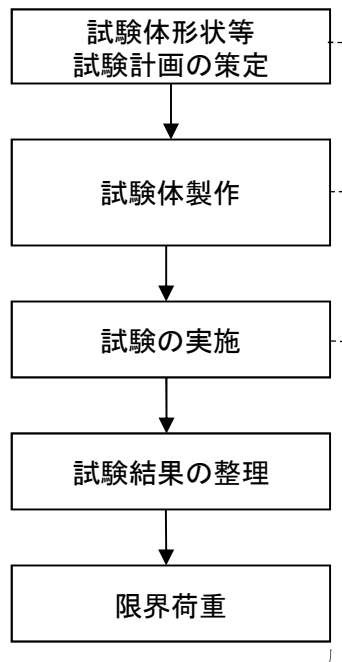


- ◇ 試験に用いるスタンドパイプの試験体は1/3スケールとし、試験体材料は実機と同等のものを使用する。評価対象は高温下での使用となるため、試験は実機同様の高温状態を模擬した状態で試験を実施する。
- ◇ 試験にて得られた限界荷重が極限解析にて得られた崩壊荷重の下限(P_{cr})より大きいことを確認することで、極限解析における保守性を確認する。

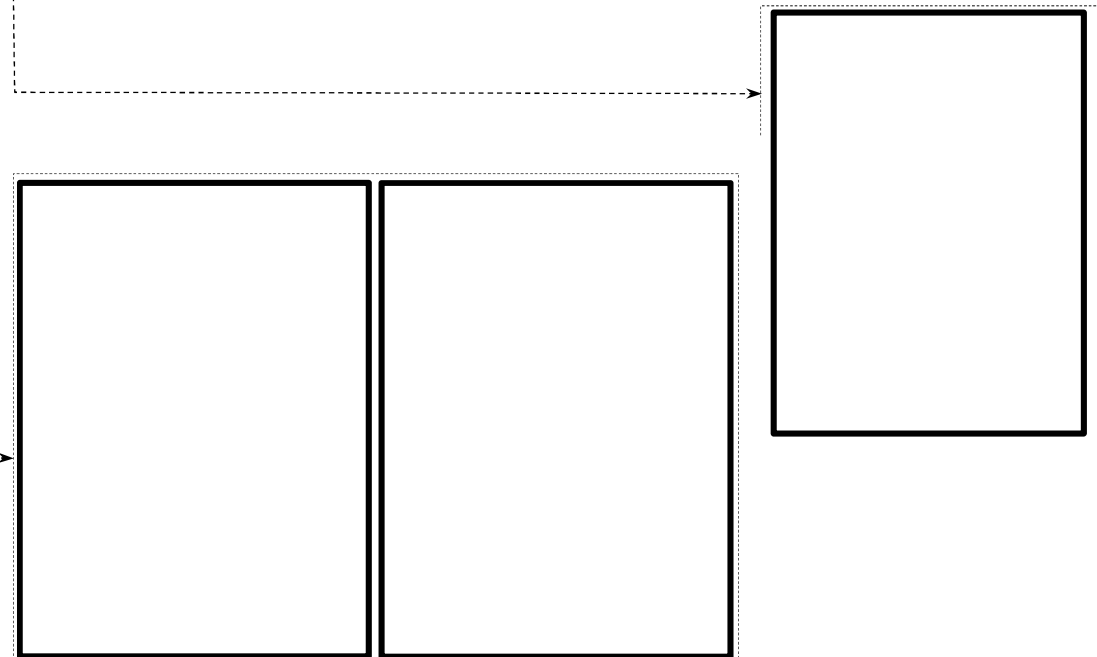
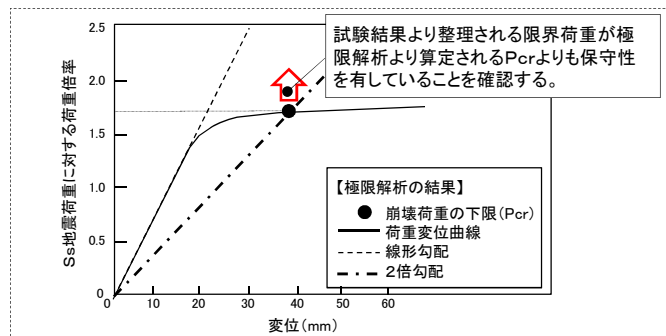
極限解析による崩壊荷重の下限(P_{cr})の算定



試験による限界荷重の算定



項目		試験仕様	実機仕様	
温度		301°C	301°C (耐震設計上考慮する最高温度)	
スタンドパイプ	寸法	外径 (1/3スケール)	56.10mm	168.3mm
		板厚 (1/3スケール)	2.37mm	7.11mm
	材料	SUS304TP	SUS304TP相当 (ASME SA-312 Gr.TP304)	
シュラウドヘッド	板厚	32mm	50.8mm	
	材料	SUS304	SUS304相当 (ASME SA-240 TYPE304)	



指摘事項9 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】2017年9月5日 第504回

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】

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)及び至近の先行審査を踏まえて、動的機能維持評価の検討方針を整理した。

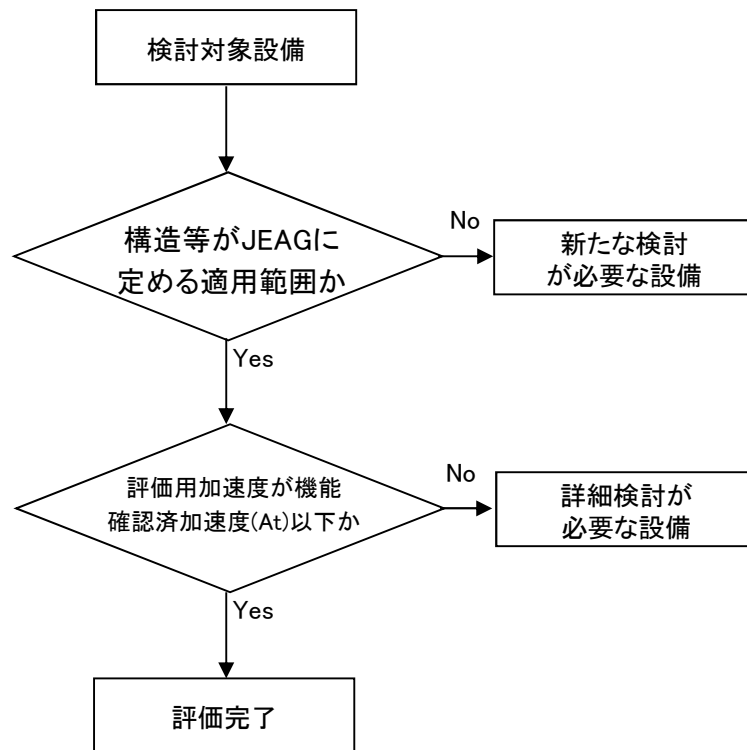
「新たな検討が必要な設備」及び「詳細検討が必要な設備」については、耐特委等の公知化された検討を参考として機能維持評価を行う方針とする。

配管系に設置される弁の機能維持評価に用いる応答加速度の算出は、JEAG4601の評価手法に対して一定の裕度を考慮するとともに、スペクトルモーダル解析を用いる場合には高振動数領域まで考慮した解析を行う方針とする。

新たな検討及び詳細検討が必要な設備の検討方針



- ◇ 動的機能維持要求が必要な設備において、JEAG4601に定められた適用範囲から外れ新たな検討が必要な設備又は評価用加速度が機能維持確認済加速度を超えるため詳細検討が必要な設備についての動的機能維持のための基本方針を示す。



検討項目	検討方針
新たな検討が必要な設備 (表1に整理)	<ul style="list-style-type: none"> ・新たな検討が必要な設備については、公知化された検討として(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。 ・耐特委では動的機能の評価においては、地震時に考え得る異常状態を抽出し、その分析により動的機能上の評価点を検討し、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、基本的な構造は類似している機種/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。
詳細検討が必要な設備 (表2に整理)	<ul style="list-style-type: none"> ・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。

新たな検討及び詳細検討が必要な設備の検討方針



表1 新たな検討が必要な設備

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 *1
<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 *2

*1 遠心Vベルト方式ファンは、ケーシング内に配置されたインペラを電動機により回転させる基本構造は同じである遠心直結式ファンを参考とし、機能維持評価を実施する。

*2 スクリュー式及びギヤ式横形ポンプは、電動機からの動力を軸継手を介してポンプ側に伝達する方式であること及びケーシング内にて軸系が回転し内部流体を吐出する機構を有しており基本構造が同じである遠心式横型ポンプを参考とし、機能維持評価を実施する。

表2 詳細検討が必要な設備

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／ディスク 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

弁の機能維持評価に用いる応答加速度の算定方針



- ◇ 配管系に設置される弁の機能維持評価に適用する加速度値の算定はJEAG4601に基づく設計手法に対し一定の余裕を考慮するとともに、地震応答の影響を踏まえて高周波数領域の振動モードを考慮した地震応答解析を適用する。
- ◇ 今回工認における東海第二発電所の具体的な評価方針
 - a. 剛の場合
配管系が剛な場合は、最大加速度に一定の余裕を考慮し1.2倍した値(1.2ZPA)を用いて弁駆動部の応答加速度を算出し、機能維持評価を実施する。
 - b. 柔の場合
配管系の固有値が柔の場合は、JEAG4601の手順と同様にスペクトルモーダル解析を行い弁駆動部の応答加速度を算出した値に加えて、剛領域の振動モードの影響を考慮する観点から1.2倍した最大加速度(1.2ZPA)による弁駆動部の応答加速度を算定し、何れか大きい加速度を用いて機能維持評価を行う方針とする。
また、弁駆動部の応答加速度の算定に用いる配管系のスペクトルモーダル解析において、剛領域の振動モードの影響により応答加速度の増加が考えられる場合には、剛領域の振動モードの影響を考慮するため、高周波数域の振動モードまで考慮した地震応答解析を行う。
なお、考慮する高周波数域の範囲については、高周波数域を考慮した地震応答解析での検討を踏まえた上で決定する。

配管系の固有値	JEAG4601	東海第二の方針
剛の場合	最大加速度(1.0ZPA)を適用する。	最大加速度の1.2倍した値(1.2ZPA)を適用する。
柔の場合	スペクトルモーダル解析により算出した弁駆動部の応答を適用する。	高周波数域の振動モードまで考慮したスペクトルモーダル解析により算出した弁駆動部の応答又は最大加速度の1.2倍した値(1.2ZPA)の何れか大きい方を適用する。

【指摘事項】2017年9月5日 第504回

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、 S_o と運転状態V(L)の荷重、 S_g と運転状態V(LL)の荷重の組合せを行うことを基本的な考え方としているが、格納容器バウンダリは、SA発生時における最終障壁となることから、保守的に S_o とSA発生後の最高圧力と最高温度を組み合わせることとしている。

組み合わせる荷重の考え方

◇ 地震荷重とSA荷重の組合せの基本的な考え方

地震荷重とSA荷重は基本的に以下に従い、組み合わせることとしている。

- ・ S_d と運転状態V(L) (10^{-2} 年 $\sim 2 \times 10^{-1}$ 年)の荷重
- ・ S_s と運転状態V(LL) (2×10^{-1} 年 \sim)の荷重

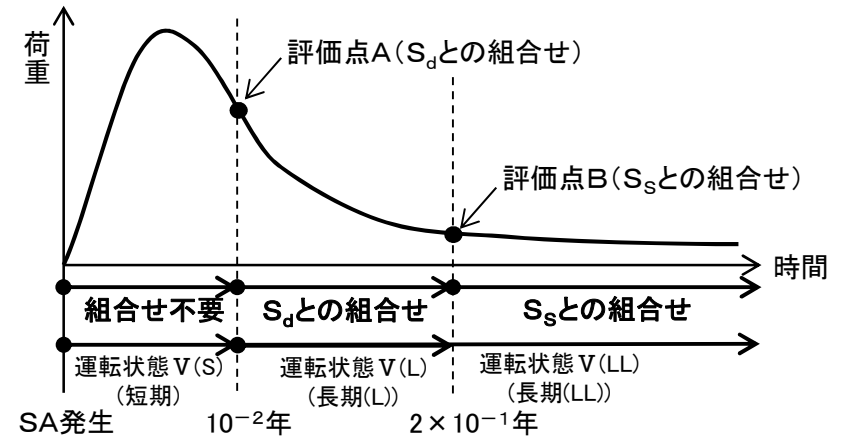
◇ SA条件における格納容器バウンダリの組合せ荷重

格納容器バウンダリはSA発生時における最終障壁となることから、その重要性を考慮し、バウンダリの S_d と組み合わせる荷重は、保守的にSA発生後の最大荷重(最高圧力, 最高温度)とすることとした。

なお、この考え方は、DB条件における荷重の組合せの考え方と同様である。

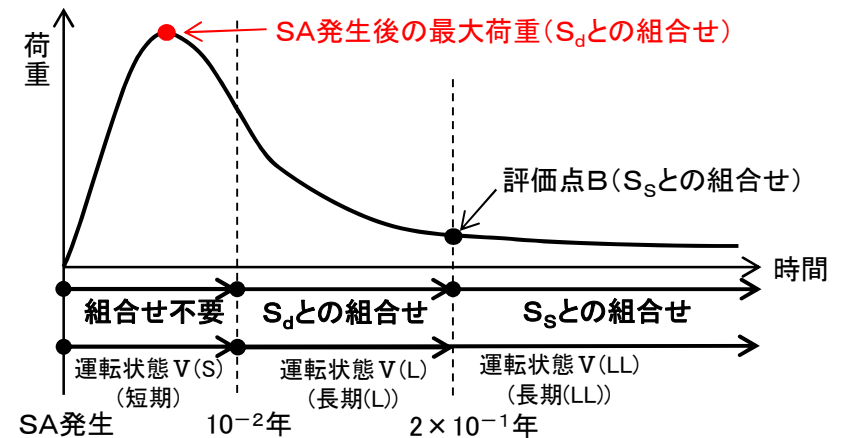
JEAG4601抜粋

原子炉格納容器は、LOCA後の最終障壁となることから、構造体全体としての安全裕度を確認する意味でLOCA後の最大内圧と S_1 地震動(又は静的地震力)との組合せを考慮する。



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(イメージ)

指摘事項16 原子炉建屋クレーンの落下防止対策



【指摘事項】2017年9月26日 第513回

原子炉建屋クレーンにおけるクレーン本体の落下防止対策について説明すること。

【回答概要】

原子炉建屋クレーンは、地震時における波及的影響防止の観点から落下防止が求められる。クレーン本体について落下防止のため実施する構造変更について説明する。

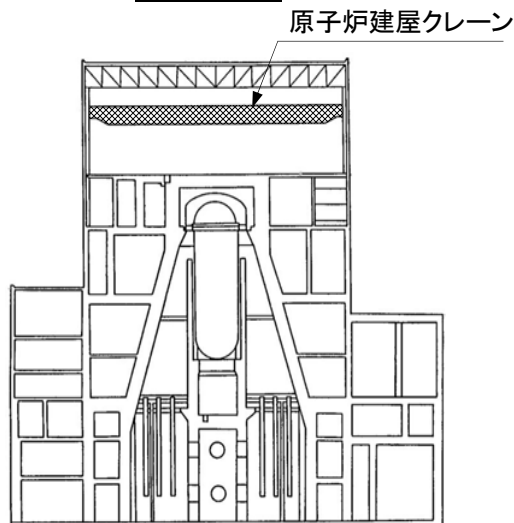
原子炉建屋クレーンの地震時落下防止対策について



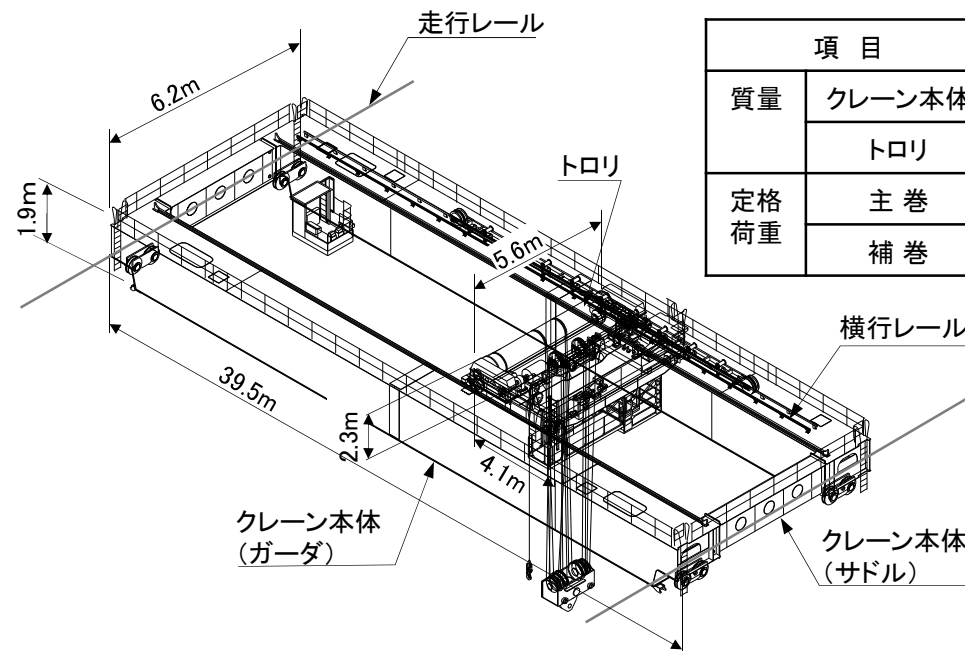
- ◇ 原子炉建屋クレーンは、使用済燃料の取扱い装置として耐震Bクラスであり、事故時等における安全機能を有しないが、耐震Sクラスである使用済燃料プール等の上部に設置していることから、基準地震動Ssにより落下しないことの確認が必要となるため、落下防止の対策を実施する。
- ◇ 原子炉建屋クレーンは、原子炉建屋に設置された走行レール上をガーダ及びサドル(以下「クレーン本体」という。)が走行する構造である。クレーン本体の落下防止対策を以下に述べる。



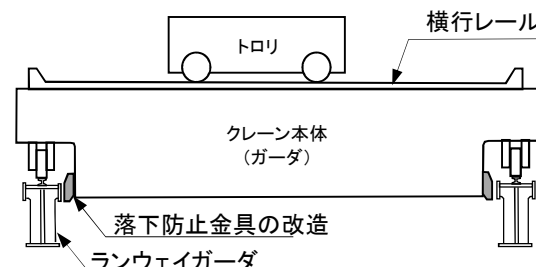
6階平面図



原子炉建屋断面図



項目		諸元
質量	クレーン本体	118 ton
	トロリ	48ton
定格荷重	主巻	125ton
	補巻	5ton

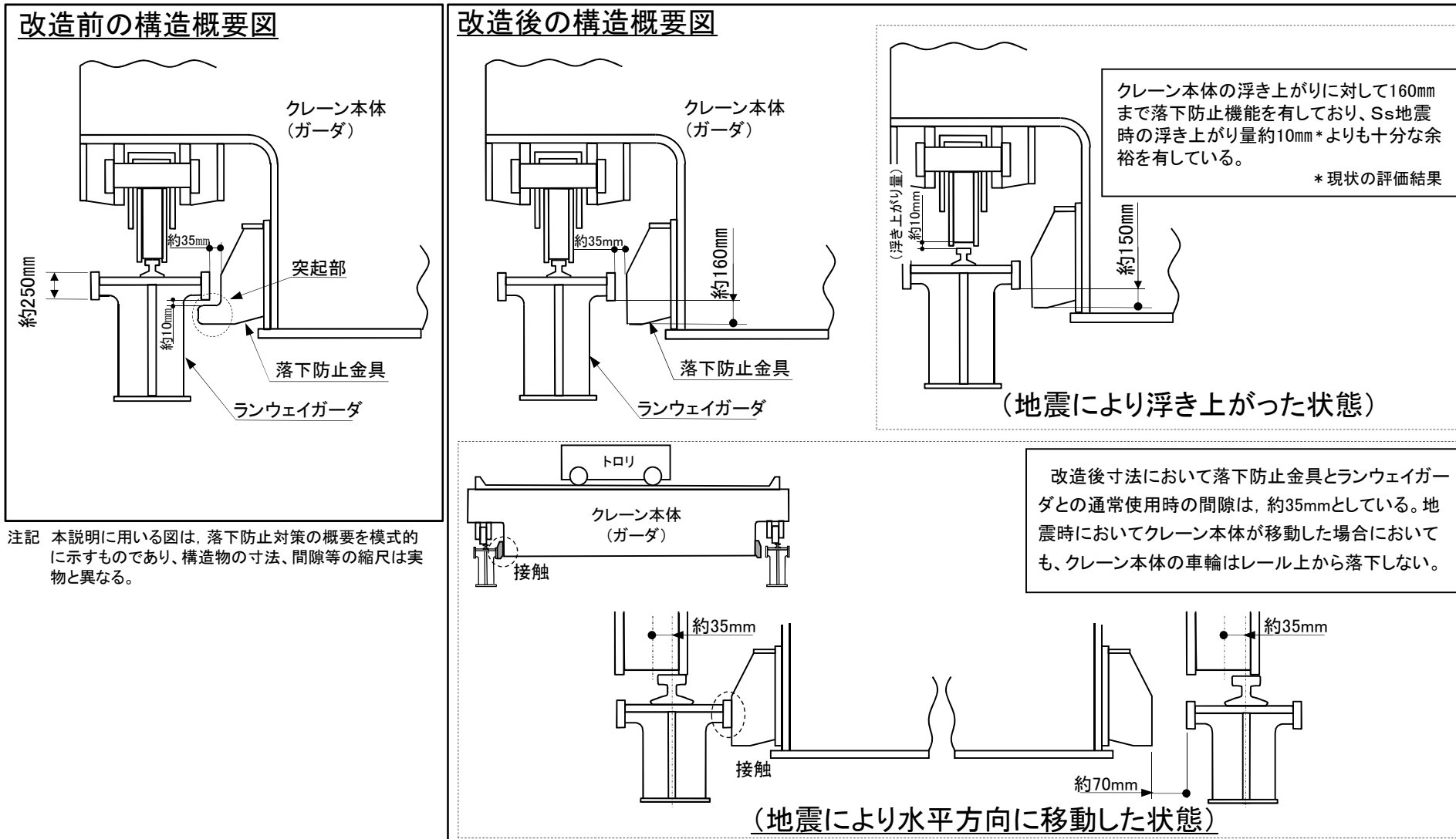


クレーン本体の落下防止対策

原子炉建屋クレーン(クレーン本体)の落下防止対策について



- ・ 今回工認では鉛直地震を動的な影響を考慮するため、地震による浮き上がりを考慮した解析を実施するため、改造前の構造においては、落下防止金具の突起部がランウェイガーダに衝突する可能性がある。この衝突による落下防止金具の突起部の破損により落下等の波及的影響の可能性はある。
- ・ これより地震時における落下防止金具とランウェイガーダとの関係からクレーン本体の浮き上がり量に対して余裕を有する観点で構造変更を実施した。



注記 本説明に用いる図は、落下防止対策の概要を模式的に示すものであり、構造物の寸法、間隙等の縮尺は実物と異なる。

【指摘事項】2017年9月26日 第513回

最も厳しい(許容限界に対する裕度が最も小さい)解析ケースに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影響検討(②)を省略する場合の内容について記載すること。

【回答概要】

- 指摘事項を踏まえ、記載の適正化を図った。
 - 個別の施設設置位置の液状化強度特性が十分な信頼性を有するかを確認し、確認できない場合は、②の影響検討を追加で行う。
 - 個別の施設設置位置の液状化強度特性が十分な信頼性を有する場合は、その液状化強度特性を考慮した影響検討を行うことを基本とするが、その液状化強度特性が①の液状化強度特性より大きい場合は、保守性を考慮して、①の影響検討を採用する。
 - 個別の施設設置位置における液状化強度特性が①の液状化強度特性より大きいことが確認できない場合は②の影響検討を追加で行う。

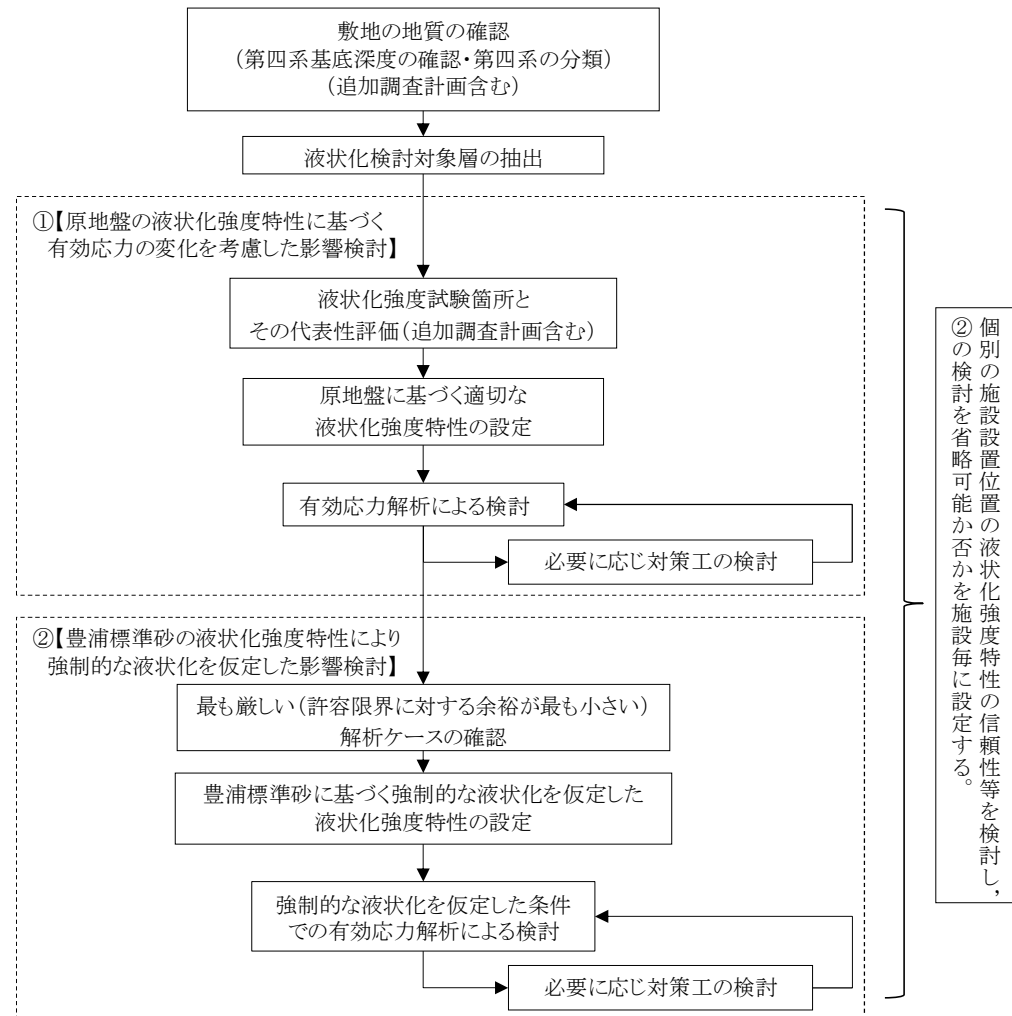
液状化影響検討の概要



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の液状化強度試験結果に基づき、液状化強度特性を設定し、有効応力解析により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、液状化強度試験データの最小二乗法による回帰曲線と、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差を用いて適切に設定する。
- ① 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する。
 - ② 更に、当該検討において最も厳しい(許容限界に対する余裕が最も小さい)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。

【①, ②の検討の組合せについて】
次頁に組合せの設定フローを記載する

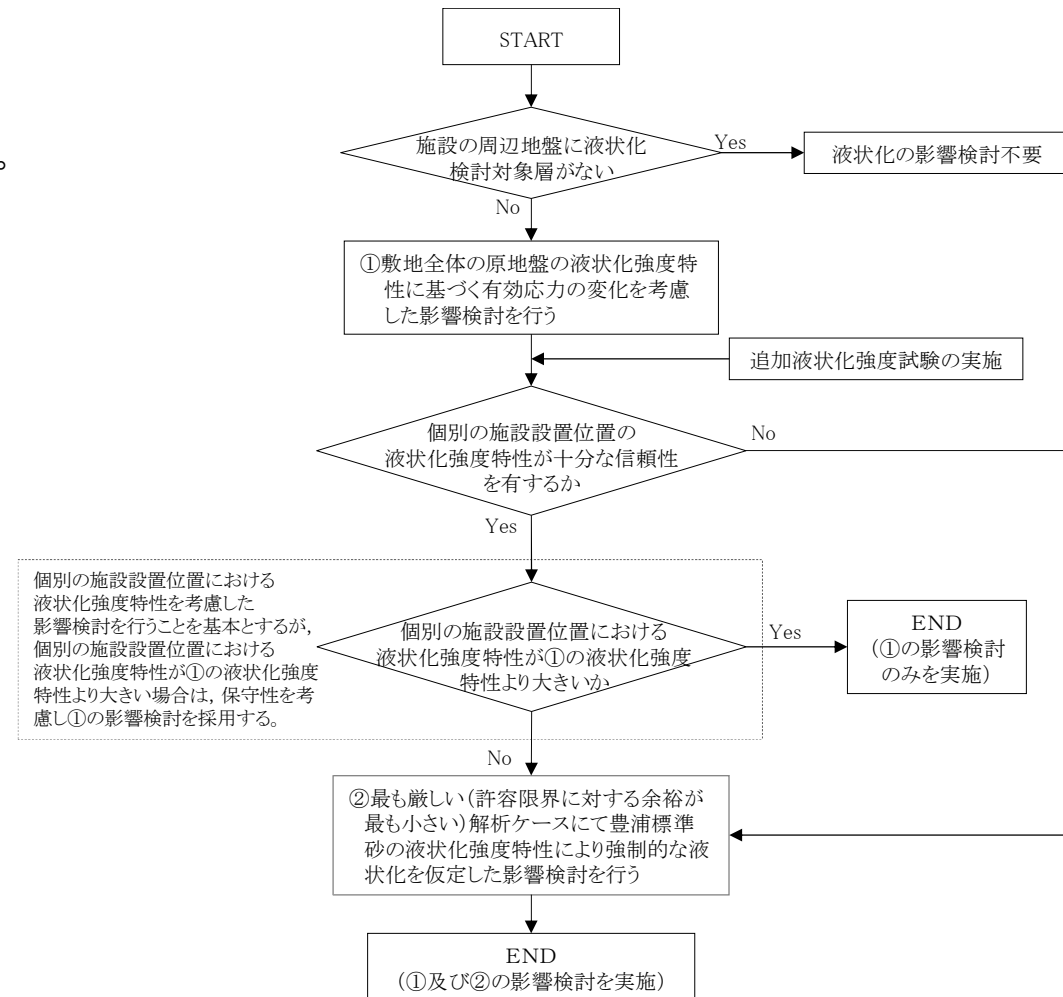


施設毎の液状化影響検討の組合せの設定



以下に施設毎の液状化影響検討の組合せの設定フローを示す。

- 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。
- 上記に該当しない施設について、基準地震動 S_g に対して、敷地全体の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影響検討を行う(①)。
- 個別の施設設置位置の液状化強度特性が十分な信頼性を有するかを確認し、確認できない場合は、①の検討において最も厳しい(許容限界に対する余裕が最も小さい)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(②)。
- 個別の施設設置位置の液状化強度特性が十分な信頼性を有する場合は、個別の施設設置位置における液状化強度特性を考慮した影響検討を行うことを基本とするが、個別の施設設置位置における液状化強度特性が①の液状化強度特性より大きい場合は、保守性を考慮して、①の影響検討を採用する。
- 個別の施設設置位置における液状化強度特性が①の液状化強度特性より大きいことが確認できない場合は、②の影響検討を追加で行う。



【指摘事項】2017年6月29日 第481回

防潮堤の表層地盤は砂層, 粘土層, 砂礫層等の互層を形成し, 液状化の可能性が高い箇所(N値0~10)が敷地内に分布しているため, 液状化データの信頼性(代表性, 網羅性)の確認が必要である。特に, N値が極端に低い箇所が散見されるが, その位置について平面図, 断面図上に示すこと。

各土層の液状化強度試験箇所の代表性に関しては, 地層深度や土質を踏まえ標準貫入試験によるデータを分類・整理して提示すること。また, 同じ分類でデータにばらつきがある場合には, 評価に及ぼす影響を検討すること。

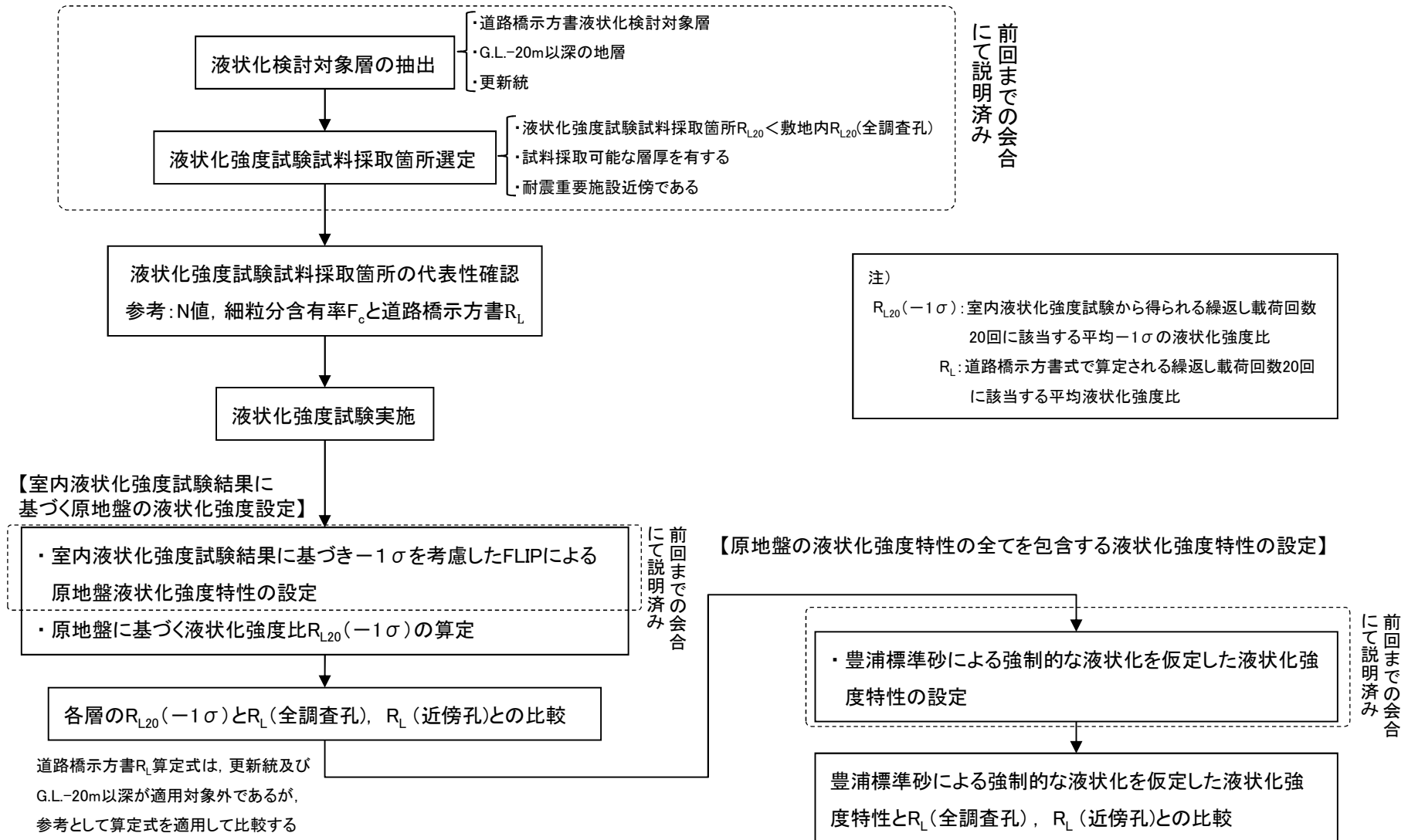
【回答概要】

- 各地層の敷地全体の調査孔に比べ平均N値が小さい側にある試料採取箇所の近傍調査孔の道路橋示方書式による液状化強度比 R_L と, 有効応力解析に適用している原地盤に基づく液状化強度特性の R_{L20} とを比較し完新統の液状化強度特性が道路橋示方書式による R_{L20} に比べ保守的なものであることを確認した。
- 現在実施中の追加調査を踏まえ, 各液状化検討対象層の液状化強度特性について今後も引き続き検討を進め, 各施設設置位置における液状化検討対象層の液状化強度特性に関する信頼性が確認できない場合は, 豊浦標準砂の液状化強度特性に基づく強制的な液状化を仮定した影響検討に基づき設計を行う。

液状化強度比の比較検討フロー



室内液状化強度試験結果の R_{L20} と道路橋示方書式による R_L との比較検討の概要を以下に示す。



室内液状化強度試験結果の R_{L20} と道路橋示方書式による R_L との比較検討の概要



- 各土質について、敷地全体の調査孔のN値及び細粒分含有率 F_c から道路橋示方書式で算定される液状化強度比(以下、 R_L とする)と、室内液状化強度試験試料採取箇所の近傍調査孔の R_L とを比較し、室内液状化強度試験試料採取箇所の代表性を確認する。

- 各土質について代表性を確認した液状化強度試験試料採取箇所の不攪乱試料を用いた室内液状化強度試験を実施し、試験結果に基づき -1σ を考慮した液状化強度特性を設定する(原地盤に基づく液状化強度特性の設定)。

前回までの会合にて説明済み

- 原地盤に基づく液状化強度試験結果から、繰り返し載荷回数20回に該当する液状化強度比(以下、 R_{L20} とする)を算定する。

- 各土質について、敷地の全調査孔の R_L 、液状化強度試験試料採取箇所の近傍調査孔の R_L 及び原地盤に基づく液状化強度特性の R_{L20} とを比較し、有効応力解析に用いる原地盤の液状化強度特性の保守性を確認する。

- さらに、地盤を強制的に液状化させる解析条件を仮定した影響評価検討のため、敷地の原地盤には存在しない均質さで極めて液状化しやすい豊浦標準砂の液状化強度試験データに基づき -1σ を考慮した液状化強度特性も設定する(豊浦標準砂を仮定した液状化強度特性の設定)。

前回までの会合にて説明済み

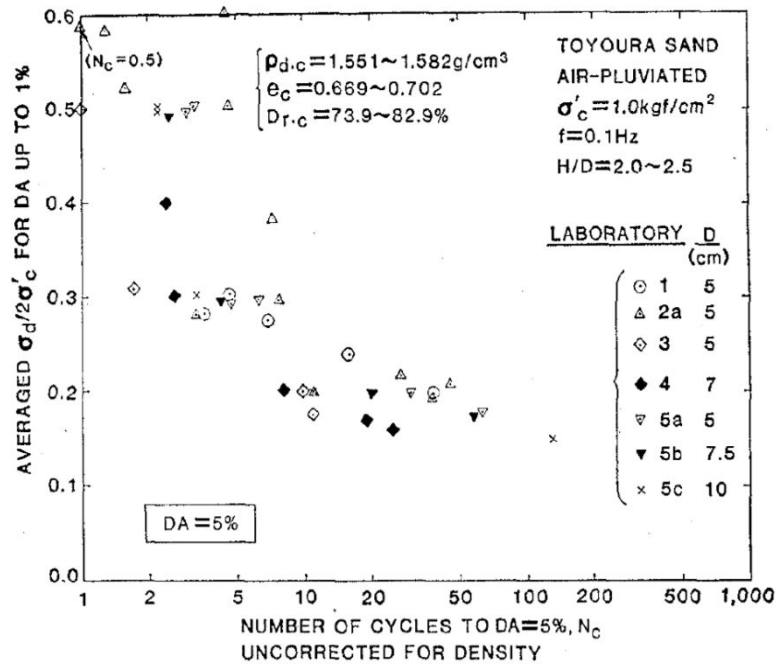
- 豊浦標準砂を仮定した液状化強度特性は、原地盤の液状化強度特性、 R_L (全調査孔)及び R_L (近傍調査孔)を全て包含していることを確認する。

■ 豊浦標準砂※¹に基づく液状化強度特性の仮定

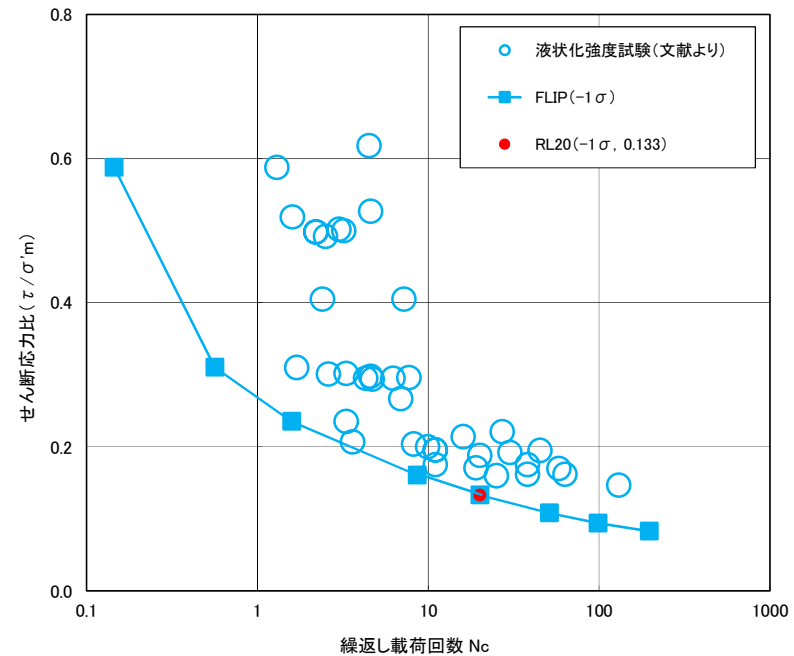
文献※²から引用した相対密度73.9~82.9%の豊浦標準砂の液状化強度試験データに対し、それらを全て包含するFLIPの液状化特性を設定する。

※¹: 豊浦標準砂は、山口県豊浦で産出される天然の珪砂であり、敷地には存在しないものである。豊浦標準砂は、淡黄色の丸みのある粒から成り、粒度が揃い均質で非常に液状化しやすい特性を有していることから、液状化強度特性に関する研究等における実験などで多く用いられている。

※²: 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※²からの引用)



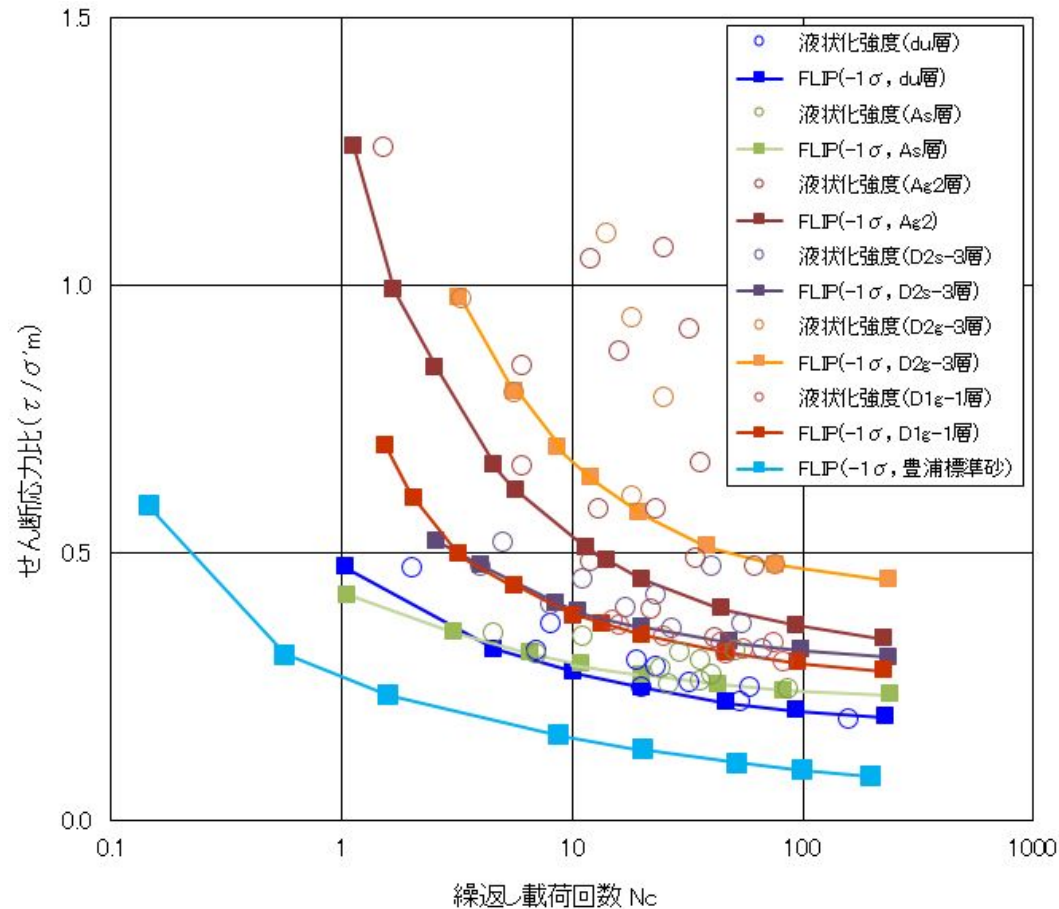
凡例中の-1 σ は、試験データのバラツキを考慮し、液状化強度試験データの最小二乗法による回帰曲線と、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差である。

FLIPによる液状化強度特性(-1 σ , 豊浦標準砂)

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)



- 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包含している。
- 豊浦標準砂は、敷地に存在しないものであるが、極めて液状化しやすい液状化強度特性を有していることから、豊浦標準砂の液状化強度特性を仮定した有効応力解析は、強制的に液状化させることを仮定した影響評価となる。

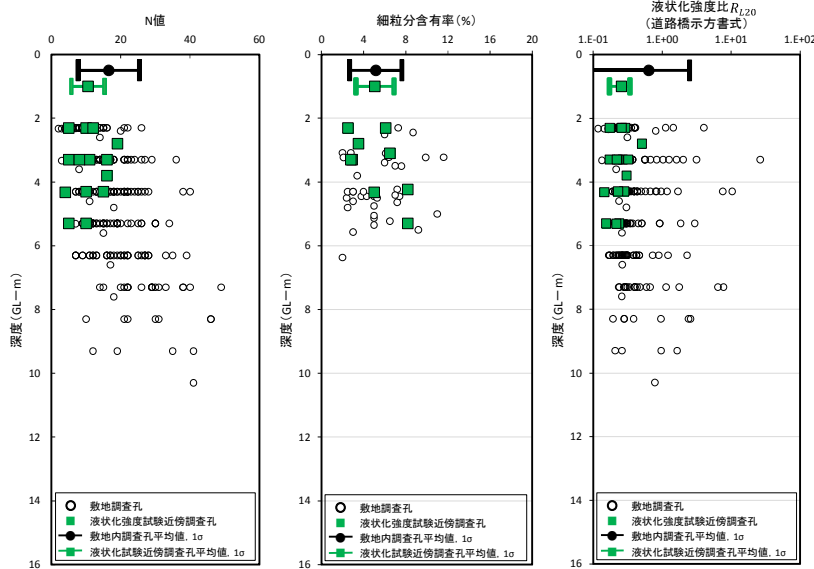
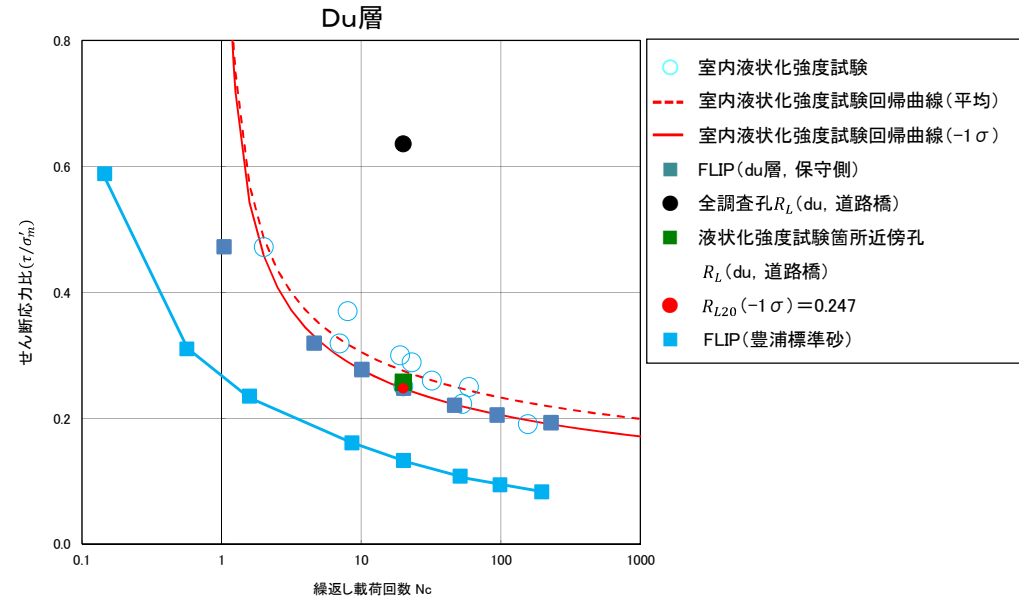


凡例中の -1σ は、試験データのバラツキを考慮し、液状化強度試験データの最小二乗法による回帰曲線と、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差である。

室内液状化強度試験結果と道路橋示方書式による R_{L20} との比較検討(du層)



調査孔と液状化強度試験試料採取地点の位置



N値深度分布

細粒分含有率Fc深度分布

道路橋示方書 R_L 値深度分布

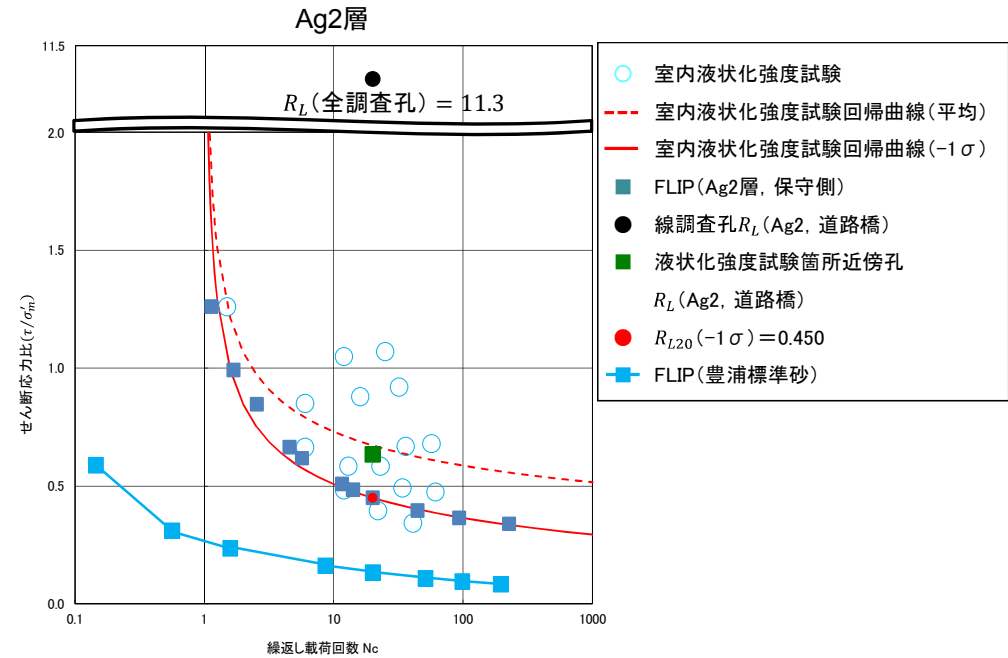
注) $R_{L20}(-1\sigma)$: 室内液状化強度試験から得られる繰返し载荷回数20回に該当する平均 -1σ の液状化強度比
 R_L : 道路橋示方書式で算定される繰返し载荷回数20回に該当する平均液状化強度比

- ・ $R_{L20}(-1\sigma)$ は, R_L (全調査孔)より小さい。
- ・ $R_{L20}(-1\sigma)$ は, R_L (近傍孔)より小さい。
- ・ 豊浦標準砂の液状化強度特性(-1σ)は, 原地盤の液状化強度試験データ及び R_L を包含している。

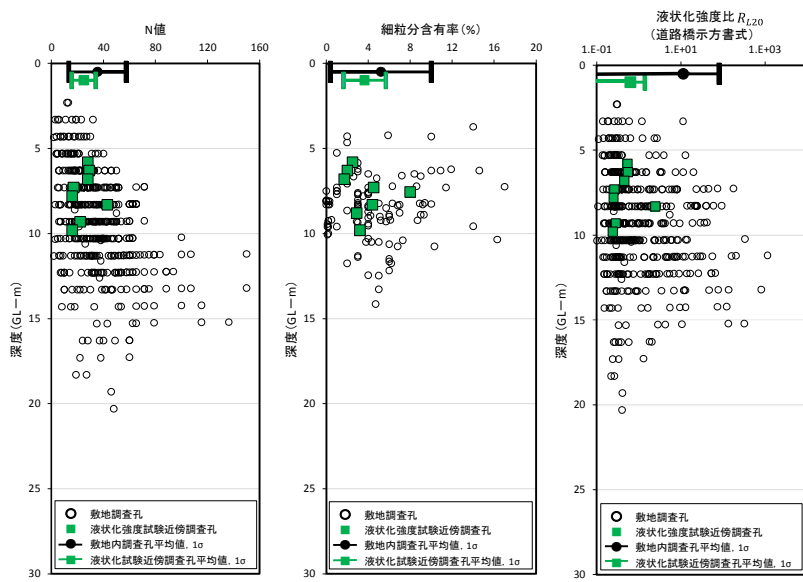
室内液状化強度試験結果と道路橋示方書式による R_{L20} との比較検討(Ag2層)



調査孔と液状化強度試験試料採取地点の位置



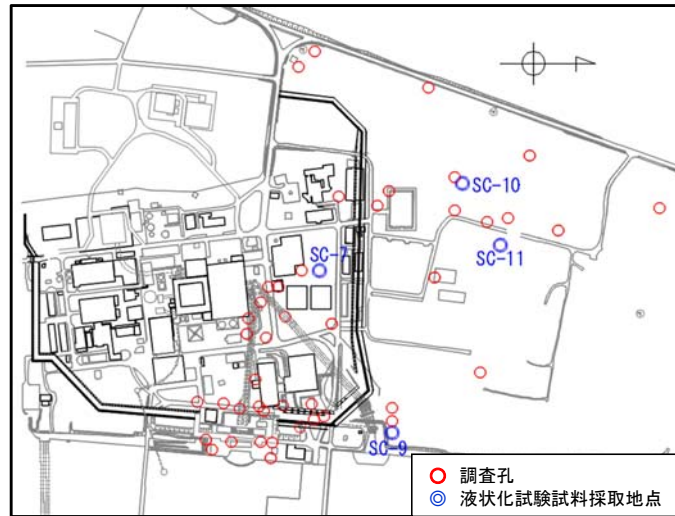
注) $R_{L20}(-1\sigma)$: 室内液状化強度試験から得られる繰返し載荷回数20回に該当する平均 -1σ の液状化強度比
 R_L : 道路橋示方書式で算定される繰返し載荷回数20回に該当する平均液状化強度比



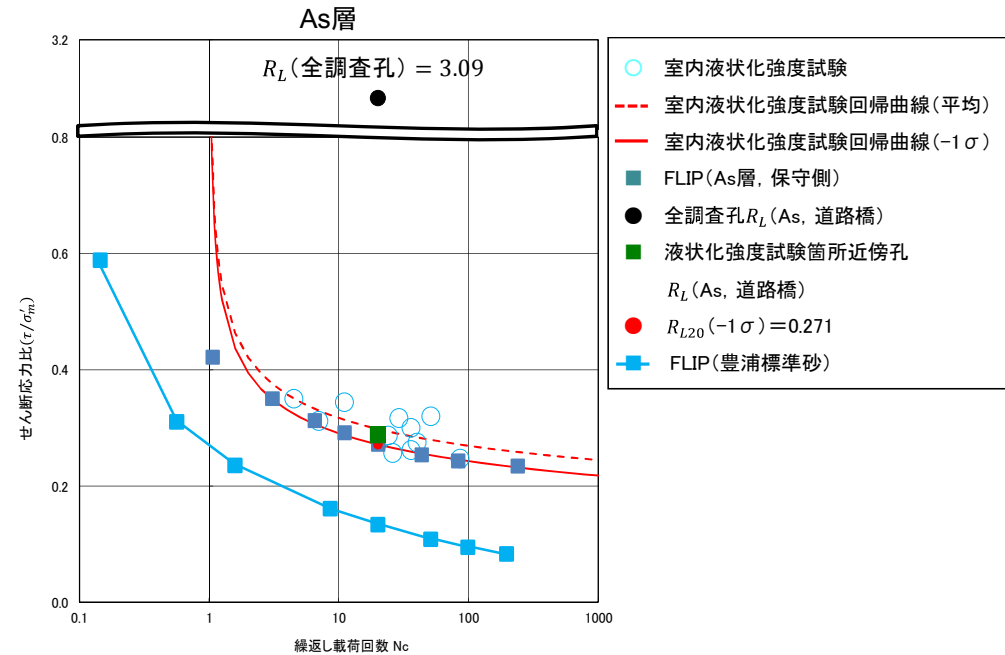
N値深度分布 細粒分含有率 F_c 深度分布 道路橋示方書 R_L 値深度分布

- ・ $R_{L20}(-1\sigma)$ は、 R_L (全調査孔)より小さい。
- ・ $R_{L20}(-1\sigma)$ は、 R_L (近傍孔)より小さい。
- ・ 豊浦標準砂の液状化強度特性(-1σ)は、原地盤の液状化強度試験データ及び R_L (全調査孔)、 R_L (近傍孔)を包含している。

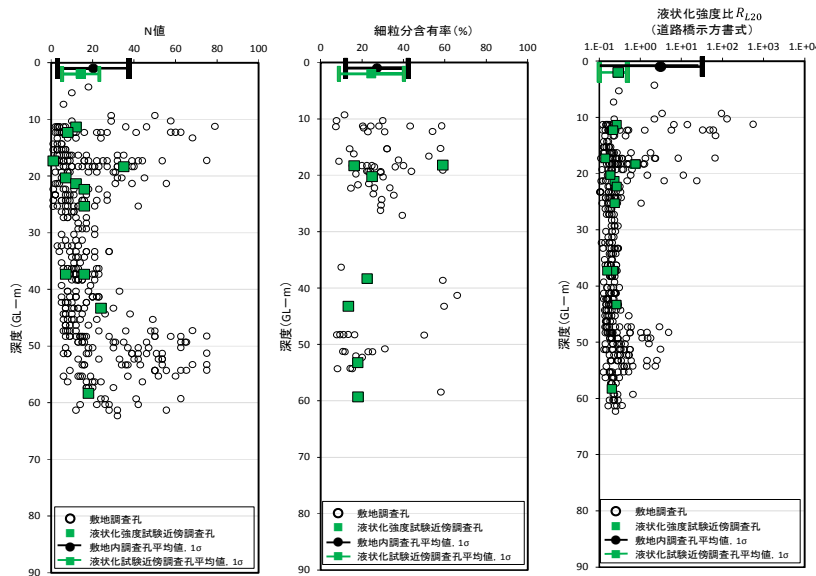
室内液状化強度試験結果と道路橋示方書式による R_{L20} との比較検討(As層)



調査孔と液状化強度試験試料採取地点の位置



注) $R_{L20}(-1\sigma)$: 室内液状化強度試験から得られる繰返しせん断応力比
回数20回に該当する平均 -1σ の液状化強度比
 R_L : 道路橋示方書式で算定される繰返しせん断応力比回数20回に該当する平均液状化強度比



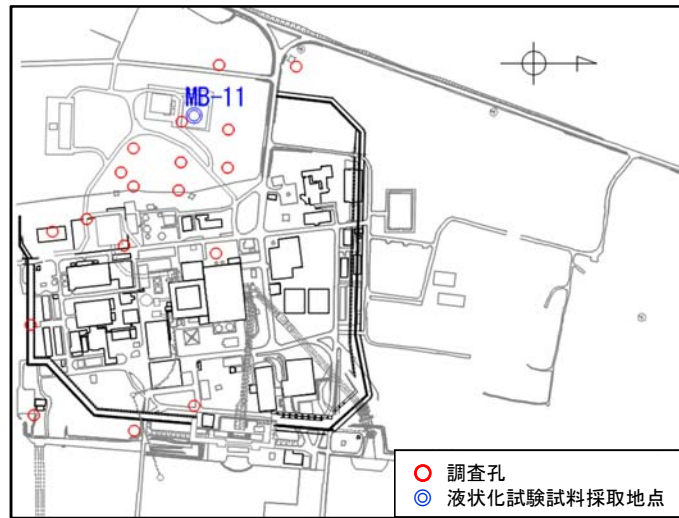
N値深度分布

細粒含有率 F_c 深度分布

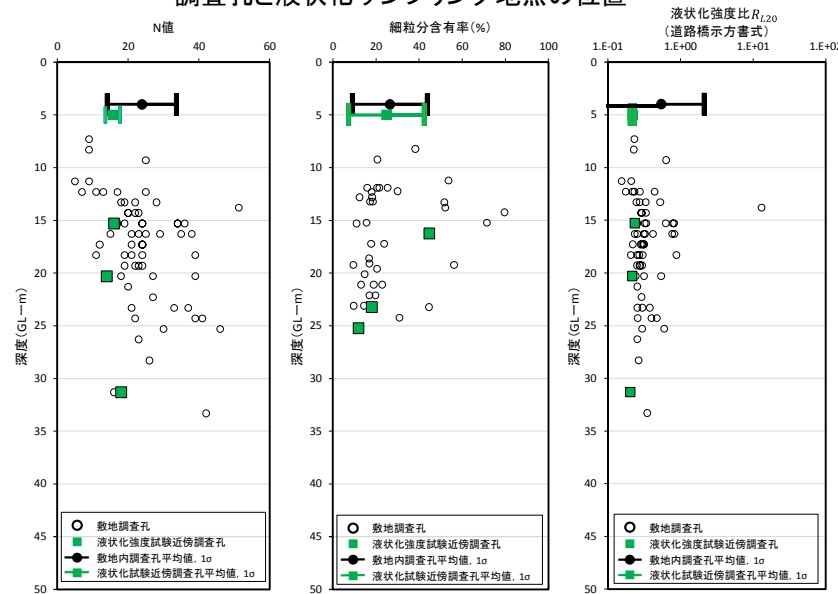
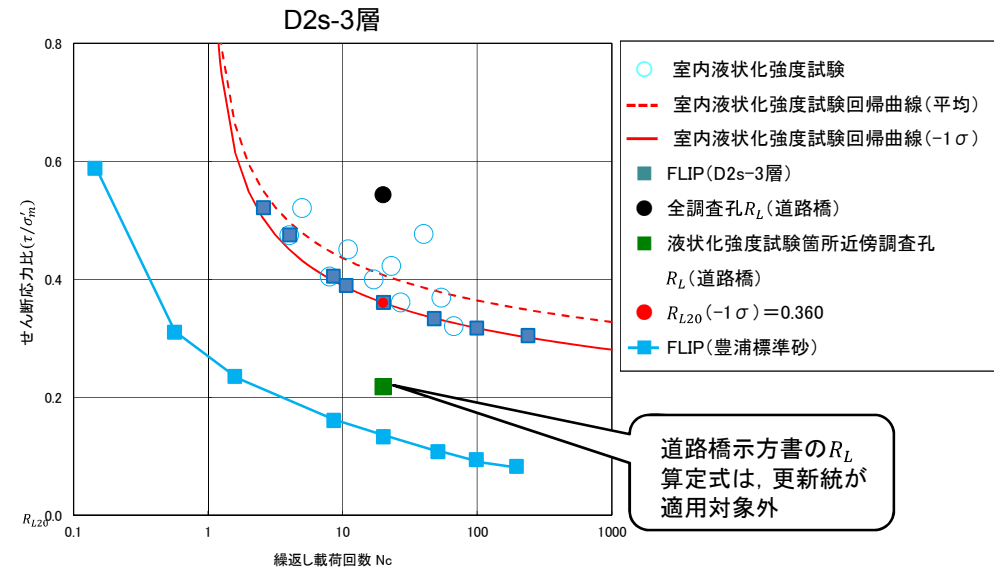
道路橋示方書 R_L 値深度分布

- $R_{L20}(-1\sigma)$ は, R_L (全調査孔) より小さい。
- $R_{L20}(-1\sigma)$ は, R_L (近傍孔) より小さい。
- 豊浦標準砂の液状化強度特性 (-1σ) は, 原地盤の液状化強度試験データ及び R_L (全調査孔), 平均 R_L (近傍孔) を包含している。

参考：室内液状化強度試験結果と道路橋示方書式による R_{L20} との比較検討(D2s-3層)



調査孔と液状化サンプリング地点の位置



N値深度分布

細粒含有率Fc深度分布

道路橋示方書 R_L 値深度分布

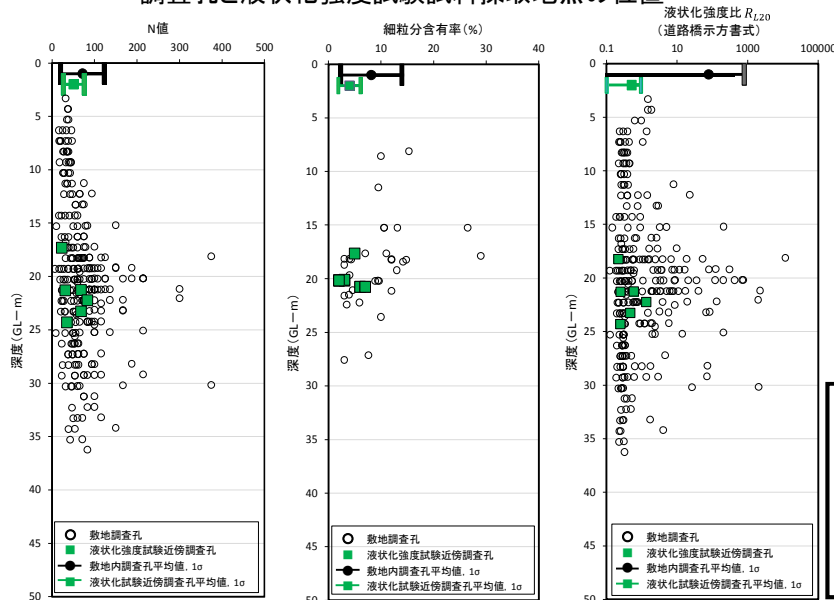
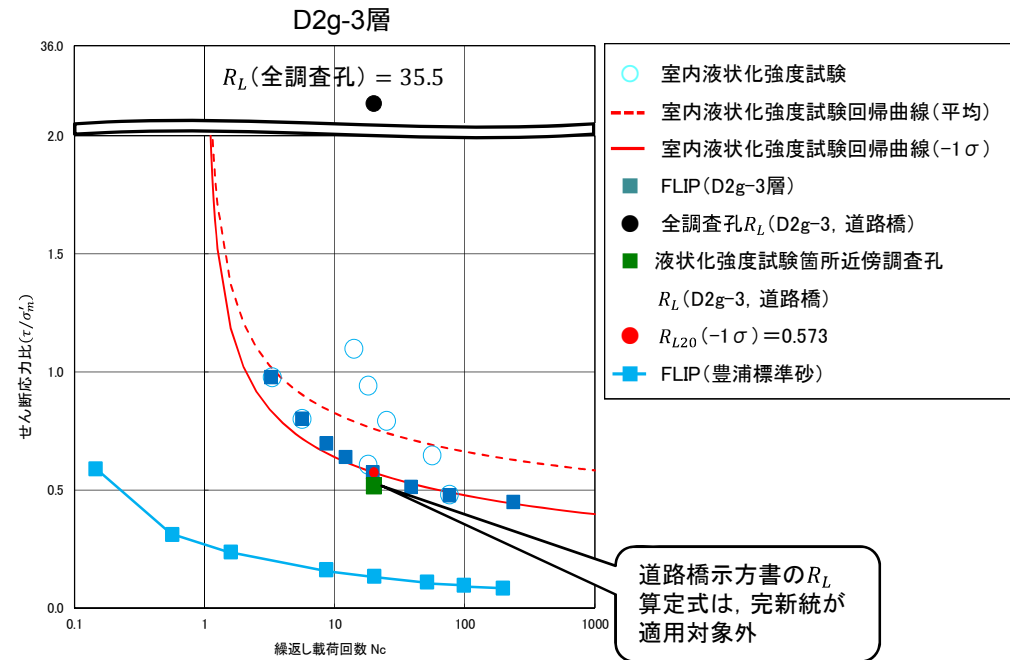
注) $R_{L20}(-1\sigma)$: 室内液状化強度試験から得られる繰返し載荷回数20回に該当する平均 -1σ の液状化強度比
 R_L : 道路橋示方書式で算定される繰返し載荷回数20回に該当する平均液状化強度比

- ・ $R_{L20}(-1\sigma)$ は、N値とFcを用いての R_L (全調査孔)より小さい。
- ・ $R_{L20}(-1\sigma)$ は、N値とFcを用いての R_L (近傍孔)よりやや大き目であるものの、豊浦標準砂の液状化強度特性 (-1σ) は、原地盤の液状化強度試験データ及び R_L (全調査孔)、 R_L (近傍孔)を包含している。

参考：室内液状化強度試験結果と道路橋示方書式による R_{L20} との比較検討(D2g-3層)



調査孔と液状化強度試験試料採取地点の位置



N値深度分布

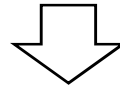
細粒分含有率Fc深度分布

道路橋示方書 R_L 値深度分布

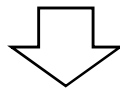
注) $R_{L20}(-1\sigma)$: 室内液状化強度試験から得られる繰返し載荷回数20回に該当する平均 -1σ の液状化強度比
 R_L : 道路橋示方書式で算定される繰返し載荷回数20回に該当する平均液状化強度比

- $R_{L20}(-1\sigma)$ は、N値とFcを用いての R_L (全調査孔)より小さい。
- $R_{L20}(-1\sigma)$ は、N値とFcを用いての R_L (近傍孔)よりやや大き目であるものの、豊浦標準砂の液状化強度特性(-1σ)は、原地盤の液状化強度試験データ及び R_L (全調査孔), R_L (近傍孔)を包含している。

今回の検討では、敷地内の液状化検討対象層に対して、原地盤に基づく液状化強度特性、原地盤に基づく液状化強度特性の R_{L20} 、 R_L （全調査孔）、 R_L （近傍孔）及び豊浦標準砂を仮定した液状化強度特性との比較検討を行った。



- 各土層の原地盤に基づく液状化強度特性の R_{L20} は、何れの土層においても R_L （全調査孔）より小さい。
- 完新統（du層、As層、Ag2層）の液状化強度試験結果の R_{L20} は、それに対応する R_L （近傍孔）より小さい。
- 更新統（D2g-3層、D2s-3層）の液状化強度試験結果の R_{L20} は、それに対応する R_L （近傍孔）よりやや大きめの値を示している。しかし、道路橋示方書の R_L 算定式は、完新統のN値及び細粒分含有率 F_c と完新統の液状化強度比との関係から定められた式であり、更新統の液状化強度が一般的に高めの傾向となる要因である年代効果の続成作用等の影響を考慮できる評価式になっておらず、更新統は本来適用対象外である。
よって、完新統のN値及び細粒分含有率 F_c に基づく道路橋示方書の R_L 算定式をあえて更新統に適用した場合には、当該層の液状化強度試験結果よりやや小さ目に R_L を評価する結果となっている。
- 豊浦標準砂を仮定した液状化強度特性は、原地盤の液状化強度特性及び全ての土層の R_L （近傍孔）を包含している。



現在実施中の追加調査を踏まえ、各液状化検討対象層の液状化強度特性について、今後も引き続き検討を進め、各施設設置位置における液状化検討対象層の液状化強度特性に関する信頼性が確認できない場合は、豊浦標準砂の液状化強度特性に基づく強制的な液状化を仮定した影響検討に基づき設計を行う。

【指摘事項】2017年9月8日 第506回

第3条第1項(支持性能), 第2項(地盤の変状, 液状化等による変状による影響の防止)の条文適合に対しての適合方針(適合のための設計方針)を防潮堤での経緯も踏まえて, 杭基礎の他の施設に対してどのように設定するか明確にし, 第4条の耐震設計方針において説明を行うこと。

基礎地盤安定性のうち支持力評価について, 極限支持力に第四紀層の周面摩擦を期待する場合は, 今後, 第4条の耐震設計方針において, 液状化検討対象層に液状化を仮定した場合の杭及びその支持力への影響について説明を行うこと。

【回答概要】

＜設置許可基準規則第3条第1項, 第2項に対する条文適合方針について＞

- 当社における耐震重要施設等は, 直接または杭を介して十分な支持性能を有する岩盤(久米層)で支持する。(第1項適合)
- 杭基礎構造物においては, 豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した場合においても, 支持機能及び杭本体の構造が成立するよう設計する。また, 液状化を仮定した際の地盤変状を考慮した場合においても, その安全機能が損なわれないよう, 適切な対策を講ずる設計とする。(第1項及び第2項適合)

＜基礎地盤の支持力＞

- 耐震重要施設等の杭基礎については, 仮に基準地震動 S_s により地盤変状が生じたとしても杭体の健全性が確保されるよう設計する。すなわち, 耐震設計において, 強制的な液状化を仮定する有効応力解析により求められた杭基礎による基礎岩盤への最大鉛直力度(接地圧)に対する支持力評価を行うと共に, 杭体の健全性を確認する。

杭基礎に対する設置許可基準規則第3条第1項、第2項の条文適合方針、耐震設計方針及び基礎地盤安定性評価方針



【設置許可基準規則第3条第1項、第2項に対する条文適合方針について】

- ◆ 当社における耐震重要施設等※は、直接または杭を介して十分な支持性能を有する岩盤(久米層)で支持する。(第1項適合)
- ◆ 杭基礎構造物においては、豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した場合においても、支持機能及び杭本体の構造が成立するよう設計する。また、液状化を仮定した際の地盤変状を考慮した場合においても、その安全機能が損なわれないよう、適切な対策を講ずる設計とする。(第1項及び第2項適合)



【上記の条文適合方針を踏まえた杭基礎の震設計方針及び基礎地盤安定性評価方針】

基礎地盤のすべり

耐震重要施設※の杭基礎については、豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した場合においても、杭本体の構造が成立するよう設計することから、基礎地盤安定性評価においては、杭体を貫通横断するような仮想すべり面は想定しない。

したがって、杭基礎構造を有する耐震重要施設※については、杭基礎の先端以深の支持岩盤を通る仮想すべり面を対象とした安定性評価を実施するとともに、第四紀層のせん断強度をゼロと仮定した場合の安定性評価も実施する。

基礎地盤の支持力

耐震重要施設等※の杭基礎については、仮に基準地震動 S_s により地盤変状が生じたとしても杭体の健全性が確保されるよう設計する。すなわち、耐震設計において、強制的な液状化を仮定する有効応力解析により求められた杭基礎による基礎岩盤への最大鉛直力度(接地圧)に対する支持力評価を行うと共に、杭体の健全性を確認する。

なお、基礎地盤の安定性評価においては、第四紀層の杭周面摩擦力を支持力として考慮した支持力評価を行うとともに、第四紀層の杭周面摩擦力を支持力として考慮しない仮定においても、杭基礎による基礎岩盤への最大鉛直力度(接地圧)に対する支持力評価を行う。

※ 常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設(特定重大事故等対処施設を除く)

(参考) 基設置許可基準規則第3条第1項, 第2項の条文適合方針を踏まえた基礎地盤安定性評価方針



2. 基礎地盤の安定性評価 2.1 評価方針

設置許可基準規則第3条第1項, 第2項の条文適合方針を踏まえた基礎地盤安定性評価方針

【設置許可基準規則第3条第1項, 第2項に対する条文適合方針について】

- ◆ 当社における耐震重要施設等※は, 直接または杭を介して十分な支持性能を有する岩盤(久米層)で支持する。(第1項適合)
- ◆ 杭基礎構造物においては, 豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した場合においても, 支持機能及び杭本体の構造が成立するよう設計する。また, 液状化を仮定した際の地盤変状を考慮した場合においても, その安全機能が損なわれないよう, 適切な対策を講ずる設計とする。(第1項及び第2項適合)



【上記の条文適合方針を踏まえた基礎地盤安定性評価方針】

基礎地盤のすべり

耐震重要施設※の杭基礎については, 豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した場合においても, 杭本体の構造が成立するように設計することから, 基礎地盤安定性評価においては, 杭体を貫通横断するような仮想すべり面は想定しない。

したがって, 杭基礎構造を有する耐震重要施設※については, 杭基礎の先端以深の支持岩盤を通る仮想すべり面を対象とした安定性評価を実施するとともに, 第四紀層のせん断強度をゼロと仮定した場合の安定性評価も実施する。

基礎地盤の支持力

基礎地盤の安定性評価においては, 第四紀層の杭周面摩擦力を支持力として考慮した支持力評価を行うとともに, 第四紀層の杭周面摩擦力を支持力として考慮しない仮定においても, 杭基礎による基礎岩盤への最大鉛直力度(接地圧)に対する支持力評価を行う。

※ 常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設(特定重大事故等対処施設を除く)

