

女川原子力発電所2号炉 東北地方太平洋沖地震等による影響を踏まえた 耐震設計への反映について (コメント回答)

平成30年 9月25日
東北電力株式会社

審査会合における指摘事項

No.	審査会合日	項目	対応状況
81	平成30年8月30日	EW方向屋上において、質点系モデルの建屋シミュレーション解析から得られた加速度応答スペクトルと観測記録に差異が生じた理由を提示すること。	まとめ資料 別紙11 に反映
82	平成30年8月30日	コンクリートの材料の圧縮強度の確認において、設計基準強度との比較に加え、3. 11地震の前後における圧縮強度の比較を行い、解釈を提示すること。	本資料にて回答
83	平成30年8月30日	鉄筋コンクリート躯体の要求性能について、乾燥収縮及び地震による影響を踏まえ、設置許可基準規則の各条文との関係性を整理し提示すること。また、機能維持の方針についても対象構造物等の役割及び要求機能並びに維持管理指針を踏まえた妥当性を各条文との関係性の整理とともに提示すること。	次回以降説明予定
84	平成30年8月30日	設計モデルの策定において、原子炉建屋を代表とする妥当性の説明及び他の建屋へ適用する妥当性の説明を表等により提示すること。	本資料にて回答
85	平成30年8月30日	原子炉建屋の代表性に関して、原子炉建屋から得られた知見が既設及び新設の建物・構築物への初期剛性低下の反映における課題を網羅していることを整理して提示すること。	本資料にて回答
86	平成30年8月30日	変形追従部材である柱・梁およびフレーム構造として地震力を負担させる柱・梁における初期剛性低下の設計への反映方針を提示すること。	本資料にて回答
87	平成30年8月30日	不確かさを考慮した機器・配管系の耐震設計について、工認段階での対応方針を整理して提示すること。	まとめ資料 別紙11 に反映
88	平成30年8月30日	設備の耐震設計方針における評価方法、条件等について、床応答スペクトルの拡幅以外に、乾燥収縮及び地震の影響を踏まえた検討事項がないか再度整理して提示すること。	本資料にて回答
89	平成30年8月30日	床応答スペクトルの10%拡幅について、乾燥収縮及び地震の影響を踏まえ、女川2号機設備への適用の妥当性を整理して提示すること。	本資料にて回答

指摘事項No.82に対する回答

No	審査会合日	項目
82	平成30年8月30日	コンクリートの材料の圧縮強度の確認において、設計基準強度との比較に加え、3.11地震の前後における圧縮強度の比較を行い、解釈を提示すること。

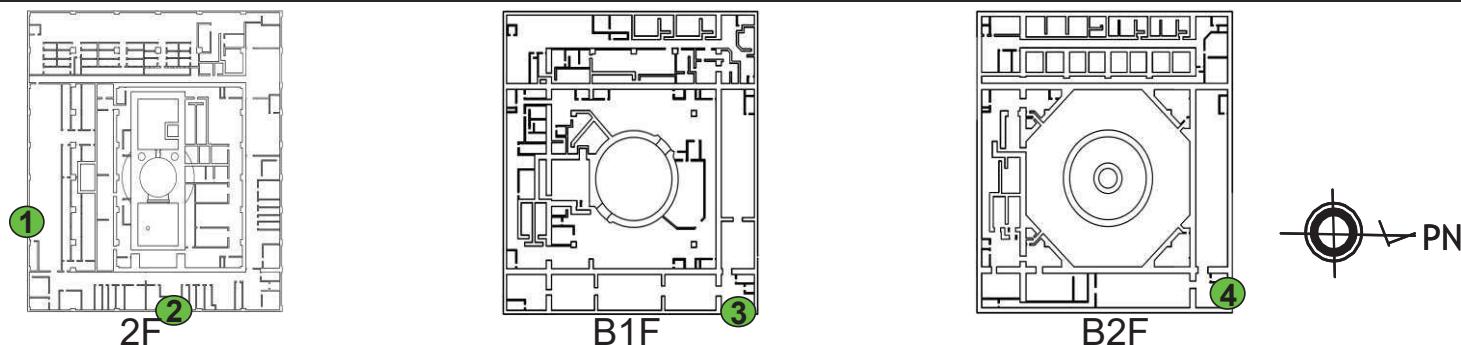
コンクリート圧縮強度の低下の有無(1)

■ コンクリート圧縮強度の確認目的・方法

- 初期剛性の低下の要因について、コンクリート材料の圧縮強度の低下による可能性を検討することを目的として、実機のコンクリート強度を確認する。
- 2号炉原子炉建屋のB2階、B1階、2階において、耐震壁から4箇所(計12本)のコンクリートコアを採取し、3.11地震前後のコンクリート強度及び静弾性係数を確認する。コア採取位置は下図のとおりである。

■ コンクリート圧縮強度の確認結果

- 個々のコアの圧縮強度は設計基準強度 32.4N/mm^2 を上回る値が得られた。



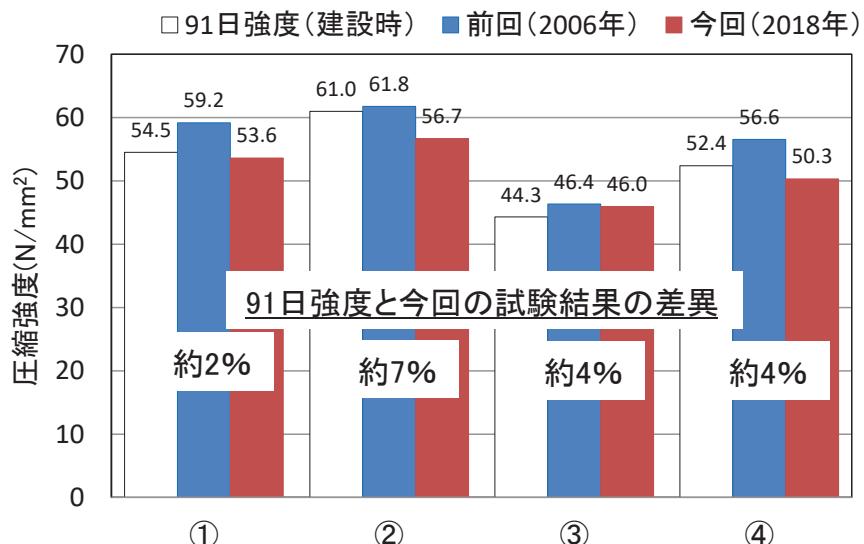
2号炉原子炉建屋におけるコア採取位置

圧縮強度試験結果 ※3.11地震前は2006年度に、3.11地震後は2018年度に実施(設計値 設計基準強度: 32.4N/mm^2)

	①			②			③			④		
3.11前※ 圧縮強度 (N/mm^2)	60.7	61.6	55.3	66.4	58.7	60.2	43.0	44.4	51.7	54.1	57.3	58.3
平均 59.2			平均 61.8			平均 46.4			平均 56.6			
3.11後※ 圧縮強度 (N/mm^2)	50.1	56.4	54.4	60.3	54.3	55.4	46.9	43.5	47.5	49.8	49.3	51.9
平均 53.6			平均 56.7			平均 46.0			平均 50.3			
3.11前※ 静弾性係数 (kN/mm^2)	36.5	38.1	34.4	38.5	38.3	39.2	30.5	32.1	34.3	31.5	32.3	33.2
平均 36.3			平均 38.7			平均 32.3			平均 32.3			
3.11後※ 静弾性係数 (kN/mm^2)	31.5	30.4	33.0	31.7	31.3	32.4	32.4	33.5	33.3	32.8	29.0	29.8
平均 31.6			平均 31.8			平均 33.1			平均 30.5			

東北地方太平洋沖地震前後で採取したコンクリート強度の違いについて

- 今回採取した2号炉原子炉建屋のB2階、B1階、2階における3.11地震前(2006年)と3.11地震後(2018年)のコンクリート強度は、全て設計基準強度を上回っているが、地震前後を比較すると、地震後の方が僅かではあるが全て小さい結果が得られている。
- 建設時の91日強度(標準養生)のコンクリート強度と比較すると3.11地震前後の強度はそれと同程度であり、91日強度と今回の試験結果の差異は最大でも7%程度である。建設時の91日強度の変動係数は温度補正を考慮すると建屋全体で7~8%程度であり、3.11地震後の低下幅はそのばらつきの範囲内となっている。また、同時期に実施した反発度法による測定結果においては、地震前後で有意な違いは認められない。従って、地震後の試験結果の僅かな低下自体は傾向的なものではないと考えられる。



各時期における圧縮強度の比較

反発度測定結果

	①	②	③	④
3.11地震前※圧縮強度 (N/mm ²)	48.8	47.5	43.5	51.4
3.11地震後※圧縮強度 (N/mm ²)	47.5	47.5	46.1	54.1

※3.11地震前は2006年度に、3.11地震後は2018年度に実施。
(設計値 設計基準強度:32.4N/mm²)

乾燥収縮ひび割れ箇所から採取したコア試験体による圧縮強度試験結果

- 参考に、躯体表面に乾燥収縮ひび割れがある箇所から敢えてコンクリートコアを採取し、圧縮強度試験を実施した。その結果、躯体表面にひび割れがない場合に比べ強度は若干低下しているものの、圧縮強度は設計基準強度 32.4N/mm^2 を上回る値が得られた。
- 今後も建屋のコンクリート強度の経年変化の有無、長期的傾向について確認していくが、試験に当たっては、圧縮試験はコアの採取箇所の状態によっても左右されるため、採取箇所の状態を踏まえた代表性に留意して実施していく。

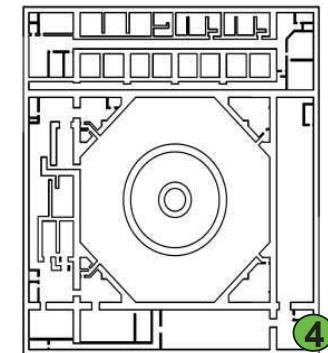
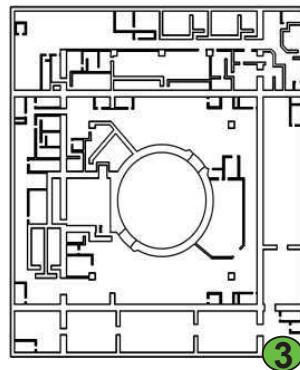
乾燥収縮ひび割れ箇所から採取したコア試験体による圧縮強度試験結果 (供試体3本による平均値)

	③	④
3.11地震後の圧縮強度 (N/mm ²) 【躯体表面の目視によるひび割れなし】	46.0	50.3
3.11地震後の圧縮強度 (N/mm ²) 【躯体表面の目視によるひび割れあり】	43.2	48.7

採取したコアの表面50mmについてはカットし更に成形した上で圧縮強度試験を実施



写真：ひび割れ箇所から採取した
コンクリートコアの例(採取位置:④)



2号炉原子炉建屋におけるコンクリート強度確認位置

指摘事項No.84, 85に対する回答

No	審査会合日	項目
84	平成30年8月30日	設計モデルの策定において、原子炉建屋を代表とする妥当性の説明及び他の建屋へ適用する妥当性の説明を表等により提示すること。
85	平成30年8月30日	原子炉建屋の代表性に関して、原子炉建屋から得られた知見が既設及び新設の建物・構築物への初期剛性低下の反映における課題を網羅していることを整理して提示すること。

原子炉建屋の代表性と他建屋への水平展開の考え方

- 設計体系に反映すべき事項の整理にあたっては、原子炉建屋のオペフロ上部を対象として3.11地震等による初期剛性低下とその耐力への影響についても検討を行っているが、オペフロ上部は以下の特徴がある。
 - ①原子炉建屋のオペフロ上部は、地震によるひび割れが多く確認されており、他建屋の地震後点検を踏まえても、原子炉建屋オペフロ上部の方がひび割れが多い傾向にある
 - ②原子炉建屋のオペフロ上部の初期剛性低下は、他の主要建屋の初期剛性低下よりも大きく評価されている
 - ③耐震壁の厚さが比較的薄く(25cm, 40cm)、他建屋と比較しても、オペフロ上部の耐震壁の方が薄い
 - ④基準地震動Ssに対し所要の耐震性を確保するために、補強工事を実施している
- これらの特徴から、その他の原子炉建屋よりも規模が小さい建屋、比較的壁の薄い建屋等へも同様の考え方を適用可能と考えられる。

検討項目	女川2号炉原子炉建屋 オペフロ上部	既設建屋※への展開と 地震応答解析モデルへの反映	既設建屋の 現状の具体的検討状況
【3.11地震等に対する建屋状態の評価】	・地震後点検、コンクリートコア強度等の現地調査、また、質点系モデルや3次元FEMモデルによるシミュレーション解析による解析的検討により建屋の状態を評価。	・点検と解析的検討の両面から、3.11地震後の建屋状態について評価し、原子炉建屋オペフロ上部と同様に概ね弾性範囲であることを確認。 ・仮に耐力低下の傾向が認められる場合は、必要な処置(補強工事等)を取る。 ・解析は質点系モデルによるシミュレーション解析を実施する。また、必要に応じてFEM系の詳細解析も実施する。	・全ての建屋*において概ね弾性範囲となっている。
【初期剛性低下の傾向分析(観測記録による検討)】	・過去の地震観測記録の傾向分析 ・質点系モデルによるシミュレーション解析 ・大架構部分の3次元FEM解析	・過去の地震観測記録の傾向分析を実施し剛性低下の傾向について確認する。 ・質点系シミュレーション解析に基づき建屋初期剛性や建屋内部減衰を評価し、剛性低下については基本ケースに反映。 ・建屋内部減衰については5%以上の値が得られることを確認。なお、地震応答解析モデルの減衰として5%以上の値を採用する場合は、解析結果の保守性や振動レベルと減衰の相関性について検討した上で適用。 ・比較的薄い耐震壁が配置されている箇所については、質点系シミュレーション解析の信頼性をFEM解析等で確認する。	・程度の違いはあるが、全ての建屋*において設計剛性に対し初期剛性的低下を確認。 ・比較的壁の薄い2号炉制御建屋についてはFEM解析を実施。 ・建屋減衰は全ての建屋*で5%を採用予定。
【乾燥収縮の状態確認】	・乾燥収縮ひび割れ状況調査 ・乾燥収縮の経年変化の確認	・2号炉と建設時期が異なる建屋については、乾燥収縮状況について確認・評価し、乾燥収縮の程度・傾向が2号炉建屋と相違する場合は、その違いを不確かさケースに反映。	・建設時期の新しい3号炉海水熱交換器建屋の乾燥収縮ひび割れ状態はほぼ同等であることを確認。
【補強工事】	・追設耐震壁、プレースの設置 ・観測記録による補強工事効果の確認 ・補強工事の悪影響の有無の確認	・基準地震動Ssに対し所要の耐震性を確保するための補強工事については検討結果を踏まえ必要に応じ実施。 ・その際は、オペフロ上部同様に効果の確認、悪影響の有無について検討を実施し、効果を確認した上で、地震応答解析モデルに反映。	・基準地震動Ssの応答結果を踏まえ補強工事を計画している建屋は、現状では無い。

※2号炉に関連した建屋で、基準地震動Ssに対し機能を有する建屋

2号炉制御建屋:Sクラス(中央制御室しゃへい壁), Sクラス設備の間接支持機能

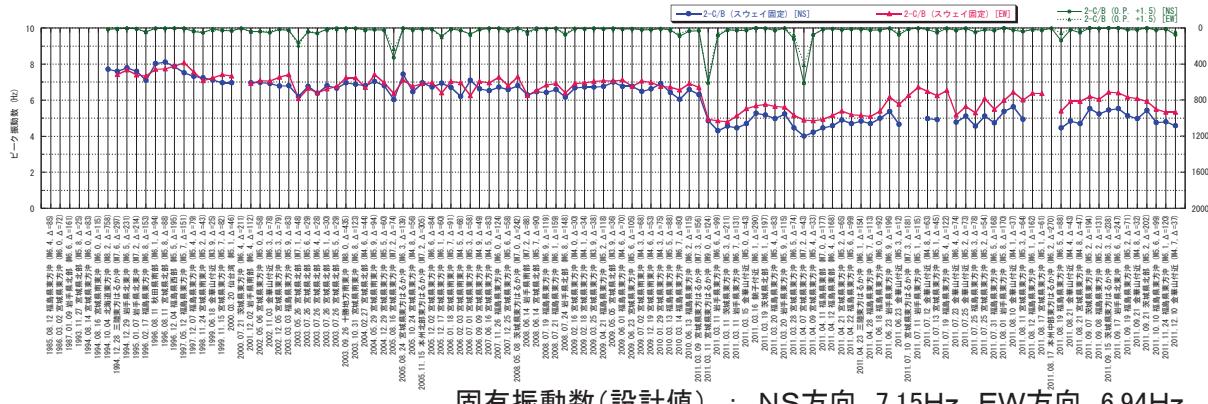
2号炉タービン建屋:Bクラス(補助しゃへい壁), Bクラス設備(Sd機能維持設備含む)の間接支持機能

3号炉海水熱交換器建屋:2号炉浸水防護施設の間接支持機能

女川2号炉制御建屋の概要と振動数低下の状況

■女川2号炉制御建屋への水平展開の検討の概要

- 要求機能:Sクラス(中央制御室しゃへい壁), Sクラス設備の間接支持機能
- 3.11地震に対する建屋状態は、概ね弾性範囲
- 観測記録による分析の結果、初期剛性の低下を確認
- 比較的、耐震壁が薄いことを踏まえて、3次元FEM解析により質点系シミュレーション解析の信頼性を確認
- 今回工認モデルでは、建屋減衰は5%を採用予定
- 補強工事の計画は無い

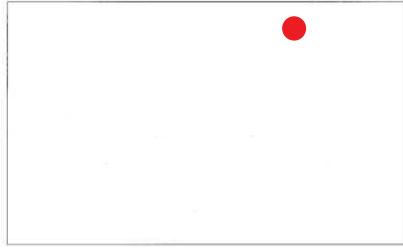


枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

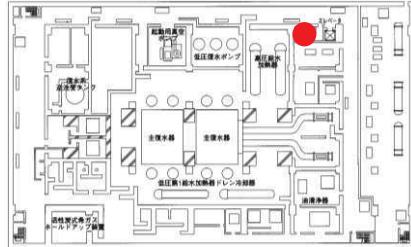
女川2号炉タービン建屋の概要と振動数低下の状況

■女川2号炉タービン建屋への水平展開の検討の概要

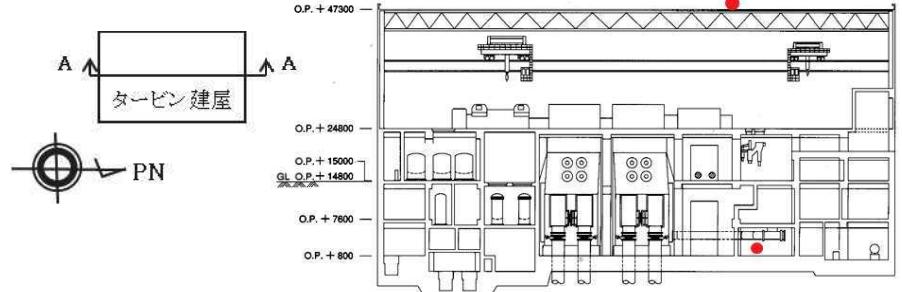
- 要求機能:Bクラス(補助しやへい壁), Bクラス設備(Sd機能維持設備含む)の間接支持機能
- 3.11地震に対する建屋状態は、概ね弾性範囲
- 観測記録による分析の結果、初期剛性の低下を確認
- 今回工認モデルでは、建屋減衰は5%を採用予定
- 補強工事の計画は無い



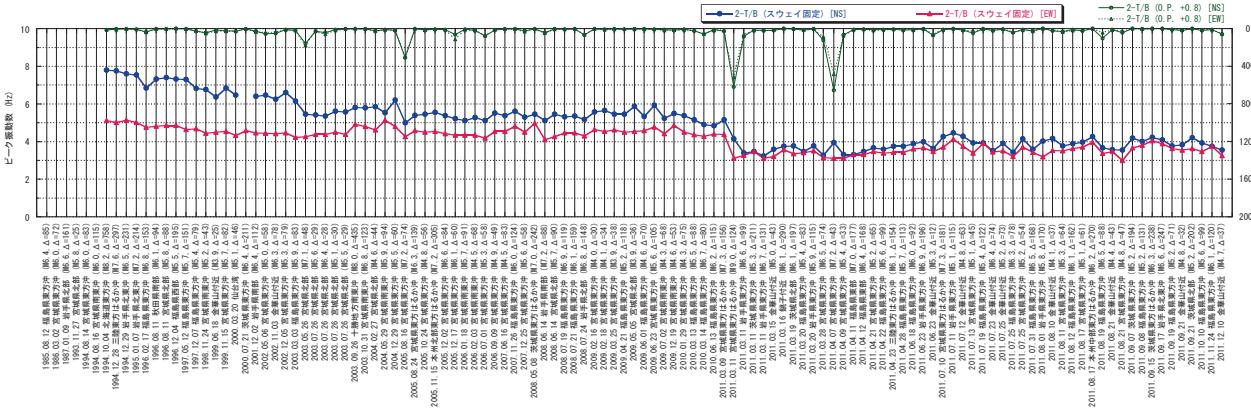
R階 (O.P.47.47m)



基礎版上 (O. P. 0. 8m)



女川2号炉タービン建屋の地震計位置



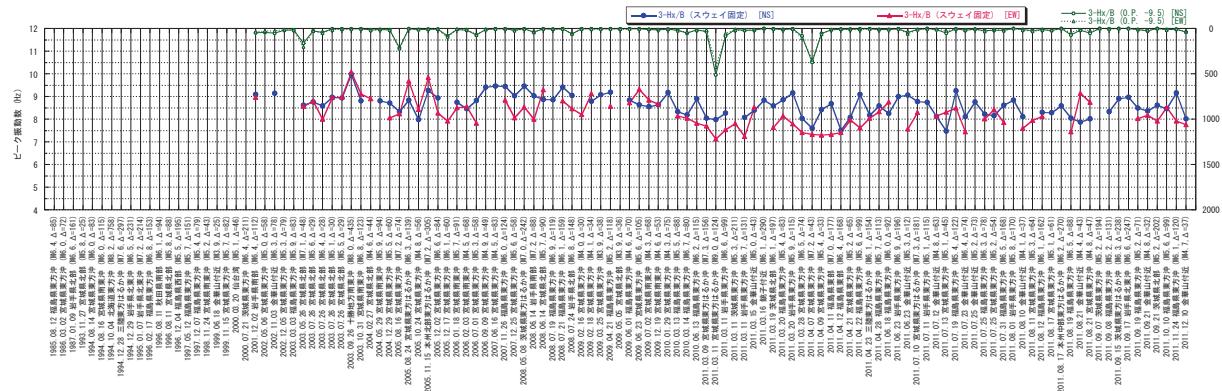
固有振動数(設計値) : NS方向 6.78Hz, EW方向 5.21Hz

ピーク振動数の評価結果(女川2号炉タービン建屋)(1994年~2011年)

女川3号炉海水熱交換器建屋の概要と振動数低下の状況

■女川3号炉海水熱交換器建屋への水平展開の検討の概要

- 要求機能:2号炉浸水防護施設の間接支持機能
- 3.11地震に対する建屋状態は、概ね弾性範囲
- 観測記録による分析の結果、初期剛性の低下を確認
- 今回工認モデルでは、建屋減衰は5%を採用予定
- 乾燥収縮ひび割れ状態は、2号炉原子炉建屋とほぼ同等であることを確認
- 補強工事の計画は無い



ピーク振動数の評価結果(女川3号炉海水熱交換器建屋)(2001年~2011年)

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

新設建屋への初期剛性低下の考慮方針

- 新設建屋の地震応答解析においても、不確かさケースとして初期剛性の低下を考慮する。

【新設建屋の特徴】

- 新設建屋は地下階を有する計画としており、外壁は原子炉建屋並みのマッシブな構造となる。また、基準地震動Ssに対しても概ね弾性範囲に留まる設計を目指している。
- 新設建屋においても既設と同様のコンクリートを用いる予定。

【類似建屋の3.11地震に対する剛性低下の特徴】

- 2号炉原子炉建屋のオペフロ下部は、3.11地震に対し、概ね第一折点程度の応答を示したが、その際の剛性低下は設計に対し0.8程度となっている。

【新設建屋の地震応答解析モデル】

- 基本ケースとしては設計剛性を用いた地震応答解析モデルを採用する。
- 不確かさケースとしては、原子炉建屋の3.11地震に対するオペフロ下部の剛性低下量(0.8程度)を考慮する。

【地震後の振動性状の確認を踏まえた検討の実施】

- 今後弾性設計用地震動Sd程度以上の地震動に見舞われた場合は、その振動性状について分析し、分析結果を踏まえた基準地震動Ssに対する耐震性について検討を行う。

シミュレーション解析における初期剛性の低下傾向 (女川2号炉原子炉建屋)

号炉 建屋	地震	方向	コンクリート壁の 初期剛性の設計値に 対する補正係数 (観測記録と整合する 等価な剛性)
地下3階～2階			
O-2 R/B	3.11	NS	0.75
	4.7	EW	0.80

新設建屋の例(緊急時対策建屋)

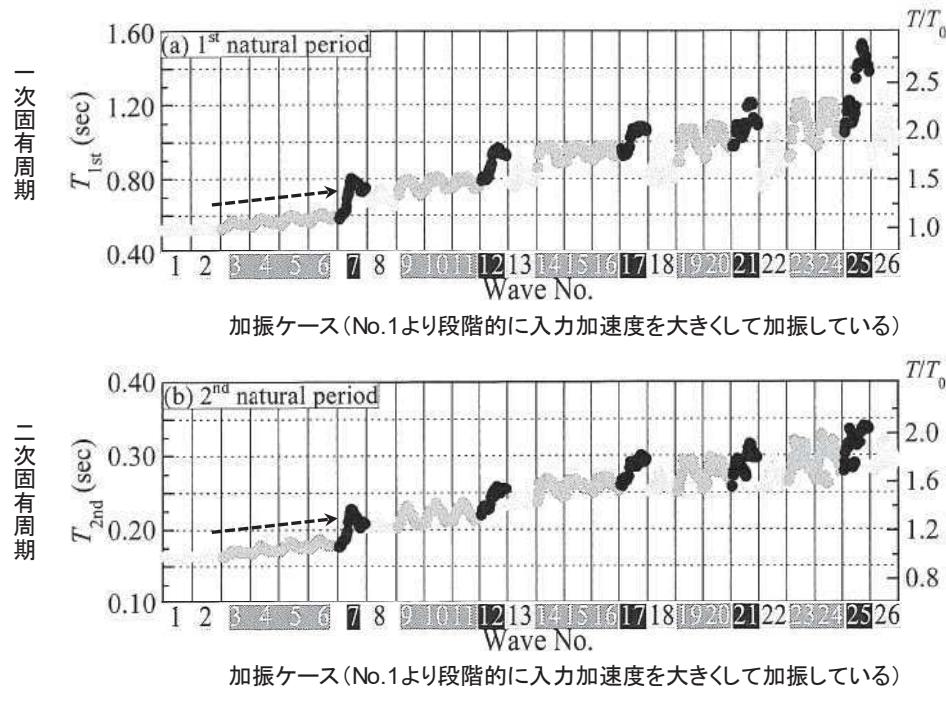
枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

指摘事項No.86に対する回答

No	審査会合日	項目
86	平成30年8月30日	変形追従部材である柱・梁およびフレーム構造として地震力を負担させる柱・梁における初期剛性低下の設計への反映方針を提示すること。

柱、梁等の変形追従部材に対する初期剛性低下の反映について

- 原子力施設建屋の耐震設計では地震力は全て壁で負担し、柱や梁などのフレーム部材には地震力を負担させないこと、また、フレーム部材は耐震壁と一体となって挙動することから、フレーム部材については耐震壁の変形で生じる層間変形に追従可能のように設計している。
- 一方、一般建築では、柱・梁で構成されフレームで地震力を負担する設計としているが、RC造ラーメン構造において微小変形レベルでも徐々に剛性が低下することが指摘されている。
- 以上を踏まえ、フレーム部材において耐震壁に生じる水平変位を強制変形として与え応力を算定する解析にあたっては、フレームの剛性に対しても耐震壁と同程度の剛性低下を考慮するが、低下量を過大に評価することは応力算定上は過小になるため、2号炉原子炉建屋のオペフロ下部の剛性低下量(0.8)を考慮する。



振動レベルと固有周期の関係 (東城ほか(2017)に一部加筆)

・東城ほか(2017)では、E-ディフェンスで過去に実施された加振実験のうち**RC造建物(ラーメン構造)**について、各試験体の固有周期などの振動特性とその変化について整理、検討しており、おむね弹性応答範囲からわずかに非線形化に入るレベルの小振幅を繰返し受ける場合も、1次および2次の固有周期は漸増しながら変動する傾向にあること(図中→部分)、これは微小な損傷の累積による影響と推察されることを述べている。

指摘事項No.88, 89に対する回答

No	審査会合日	項目
88	平成30年8月30日	設備の耐震設計方針における評価方法、条件等について、床応答スペクトルの拡幅以外に、乾燥収縮及び地震の影響を踏まえた検討事項がないか再度整理して提示すること。
89	平成30年8月30日	床応答スペクトルの10%拡幅について、乾燥収縮及び地震の影響を踏まえ、女川2号機設備への適用の妥当性を整理して提示すること。

乾燥収縮および地震影響のひびを踏まえた機器・配管系の耐震評価に係る条件設定

- 乾燥収縮および地震影響のひびを踏まえ、機器・配管系の耐震評価に係る条件設定について整理する。
- 機器・配管系の耐震評価に対する建屋躯体コンクリートのひびの影響は、建屋応答解析における建屋躯体コンクリートの初期剛性、評価基準値における機器アンカ一部の耐力(建屋のせん断ひずみ度に応じた低減係数)として反映する。
- 今後の工認段階において、床応答スペクトルに影響を与える因子のばらつき検討を行い、基本ケースに対する拡幅率±10%の床応答スペクトルとの比較を実施し、その結果を設計に反映する。なお、女川2号炉原子炉建屋の地震応答解析モデルは、3.11地震の観測記録を踏まえ、床の柔軟性を考慮している。

	耐震評価の項目	評価条件の設定方針	備考
建屋躯体コンクリートのひびの影響	応答解析 建屋 (床応答スペクトル)	基本ケースに対する拡幅率±10%の床応答スペクトルと他のケースとの比較を行い、その結果を設計に反映する。なお、フロア毎に全質点の拡幅スペクトルを包絡した設計を基本とする。	添付-1
	建屋 (大型機器)	原子炉建屋と連成解析を行う大型機器は、建屋解析モデルを反映した地震応答解析結果を用いた設計とする。	
	原子炉本体の基礎	鋼板で覆われているため、乾燥収縮の影響はないと考えられるが、念のため、建屋側と同様の剛性低下を考慮した応答解析を行い、その影響を考慮した設計とする。	添付-2
評価基準値	原子炉本体の基礎	コンクリートには強度を期待せず、鋼板のみで耐える設計とする(既工認同様)。	添付-2
	機器アンカ一部	JEAG4601に基づく設計とする(コンクリートのコーン状破壊に対する建屋の面内せん断ひずみ度に応じた低減係数の考慮、既工認同様)。	添付-3

床応答スペクトルの拡幅率10%に関する既往の検討

通商産業省(現 経済産業省)において検討が進められた軽水炉の改良・標準化の中でまとめられた「昭和55年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書 別冊2(機器系)」では以下の検討等を行い、床応答スペクトルの拡幅率10%としている。ここでは、BWRの検討例を示す。

○検討条件

検討対象 : BWR1100MWe級基本モデルを用いた標準的原子炉建屋

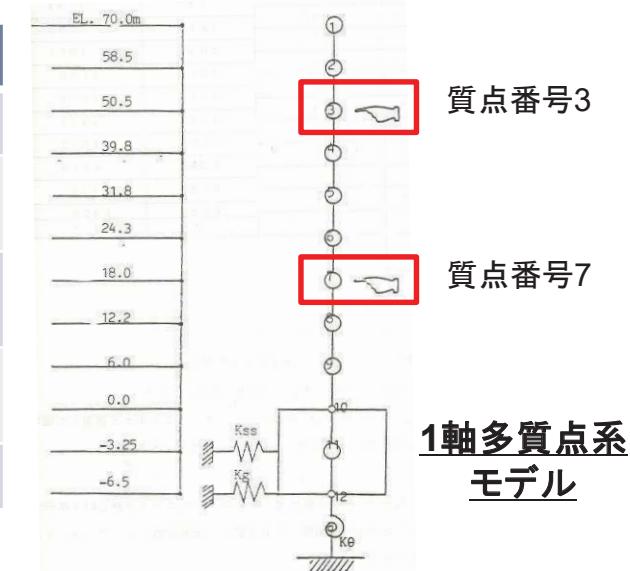
解析モデル: 地盤ばねを考慮した1軸多質点系モデル

解析条件 : 下表に示す解析パラメーターのばらつきを考慮

検討方法 : 1軸多質点系モデルの質点番号3と7の応答結果を用いて、各パラメーターが床応答スペクトルに与える影響を検討

検討条件

地盤剛性	$E=7 \times 10^4 \sim 4 \times 10^6 \text{ t/m}^2$ で変動
地盤ばね定数の算出法	標準地盤($V_s = 500, 1000, 1500 \text{ m/s}$)より算出 多治見式・Whitman式・Barkan式の3式を使用
建屋剛性(ばらつき考慮)	±20%のばらつきを考慮し 建屋剛性を0.8倍、1.0倍、1.2倍に設定
地盤ばねの減衰定数	一定値($K_g = 20\%$ $K_\theta = 7.5\%$ $K_{ss} = 5\%$) および 逸散減衰定数(振動アドミッタンス)
入力地震波	高地震地帯向S1(遠地) M8.4 286.15Gal



○検討結果

「地盤Eの変動による床応答スペクトル変動を論議する際には現実的な地盤減衰定数をカップルして考えることが必須であり、このベースに立てば、Eの変動範囲中、機器設計に対して最も厳しい(剛側の)地盤Eを基準とすれば拡幅率±10%は十分安全側である。

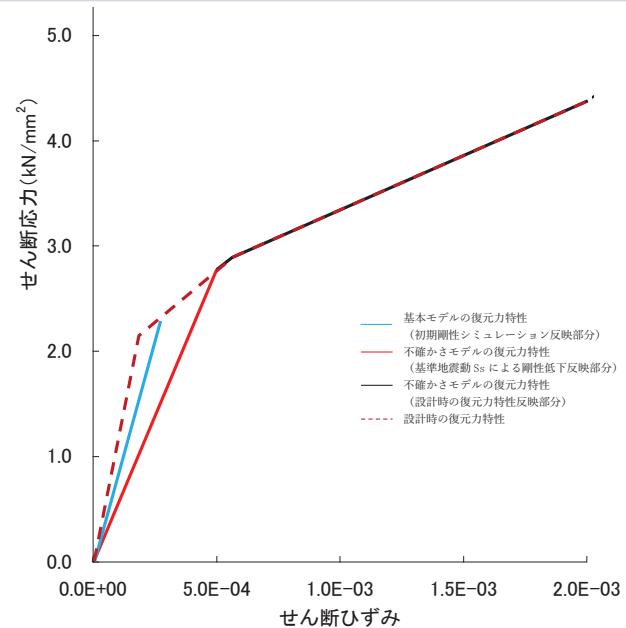
地盤Eの変動に建屋剛性の±20%程度までの変動を重ねて考えても、地盤減衰定数にアドミッタンスを適用すれば拡幅率は±10%程度で包絡可能と推測される。(昭和55年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書 別冊2(機器系)より抜粋)とされている。

上記の検討により、床応答スペクトルに対する拡幅率は10%として設計が行われている。

女川2号炉における拡幅スペクトルの設定状況

- 床応答スペクトルの拡幅率10%の検討条件に対し、今後以下のばらつき検討を行い、基本ケースに対する拡幅率±10%の床応答スペクトルとの比較を実施し、その結果を設計に反映する。

検討条件	女川の特徴
地盤剛性、地盤ばね定数の算出法、地盤ばねの減衰定数	JEAGに基づく手法を採用。底面地盤ばねのばらつきを考慮する。
入力地震波	表層地盤の影響を考慮した入力地震動を評価。表層地盤の物性のばらつきを考慮する。
建屋剛性(ばらつき考慮)	3.11地震並みの初期剛性の低下(0.8倍程度)に加え、更なる初期剛性の低下(更に0.78倍の低下)を考慮する。なお、終局耐力付近のスケルトンカーブはJEAG式を採用しており、床応答スペクトルに与える影響検討として、設計基準強度と実強度の違いを終局耐力に反映したばらつきを考慮する。



今回工認で採用するスケルトンカーブ

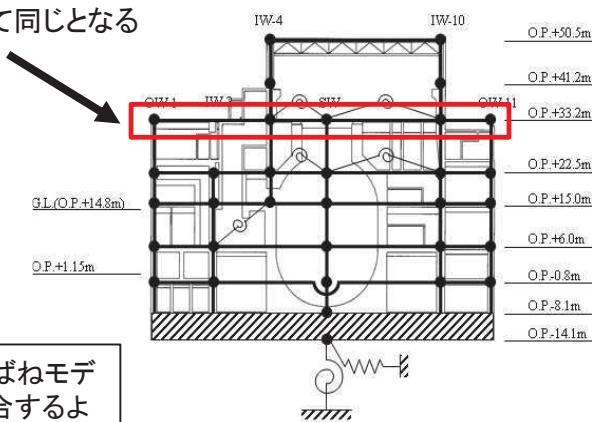
添付-1 乾燥収縮および地震影響のひびを踏まえた機器・配管系の耐震評価に係る条件設定
 (参考)既工認に対する保守性(床ばねモデルの採用)

18

- 前項で説明した調査報告書では拡幅率を検討する際に、一軸の質点系モデル(床剛モデル)を基にしているが、女川では多軸の質点系モデル(床の柔軟考慮モデル)としている。
- 床剛モデルでは、同一フロアの床応答は質点によらず全て同じとなるが、床の柔軟考慮モデルの場合は質点毎に異なる。床の柔軟考慮モデルにおいて、**床応答スペクトルとして全ての質点の拡幅スペクトルを包絡するスペクトルを採用した場合、床剛モデルの拡幅スペクトルに比べ保守的となる**。女川2号炉の今回工認における床応答スペクトルには、フロア毎に全質点の拡幅スペクトルを包絡したものを探用する予定である。

床剛のため

応答はすべて同じとなる

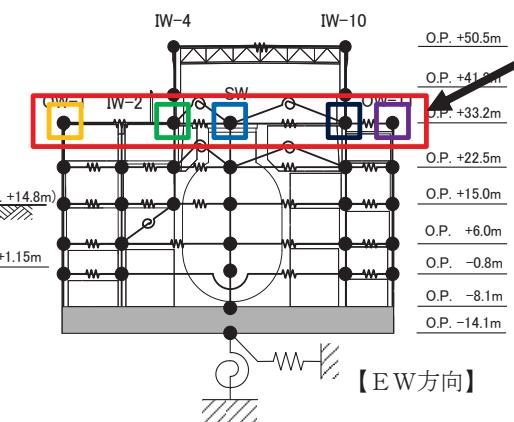


床剛モデルは、床ばねモデルの1次周期と整合するように低下させた剛性を採用

(床剛モデル)

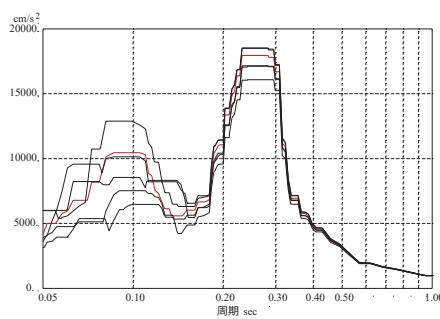
女川2号炉原子炉建屋質点系モデル

床の柔軟を考慮しているため、各節点ごとに異なる応答が出力される

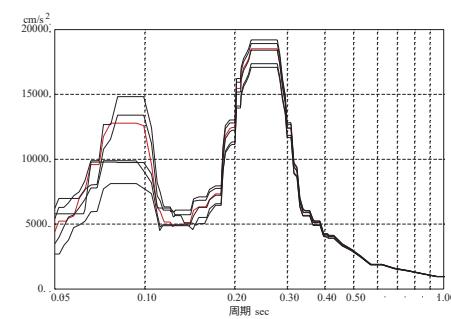


(床の柔軟を考慮)

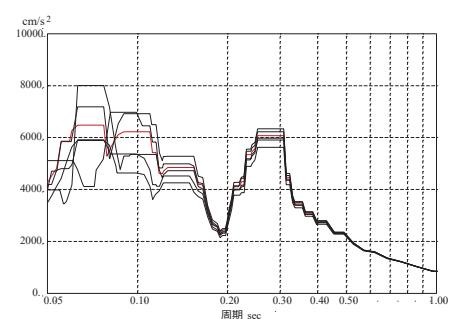
—— 床の柔軟考慮
 —— 床剛



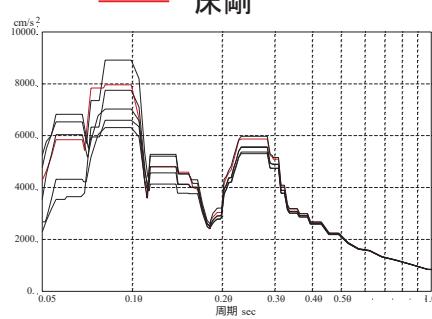
地上3階NS方向



地上3階EW方向



地下1階NS方向

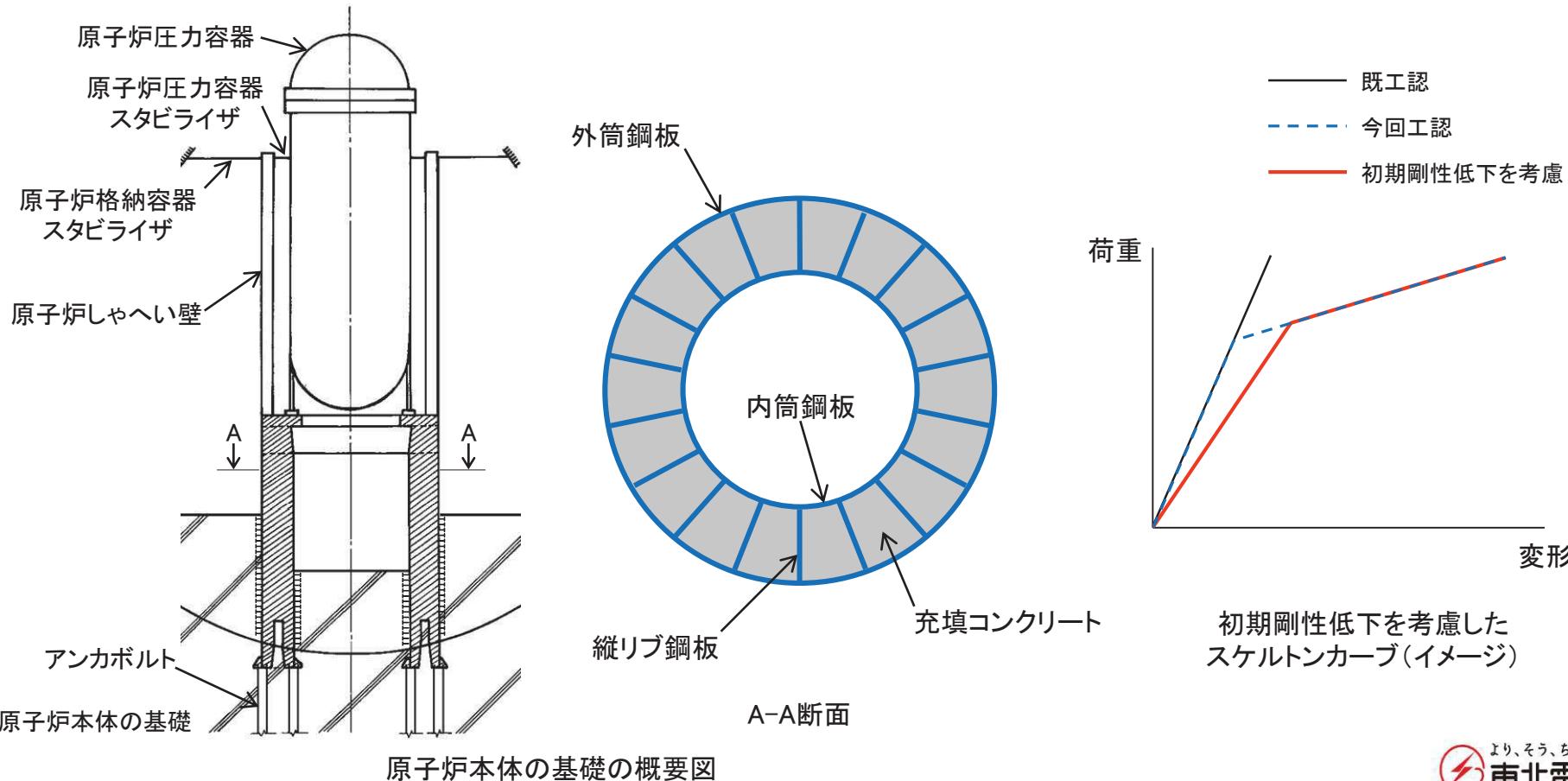


地下1階EW方向

拡幅スペクトルの比較(試算例)

原子炉本体基礎に対する考慮

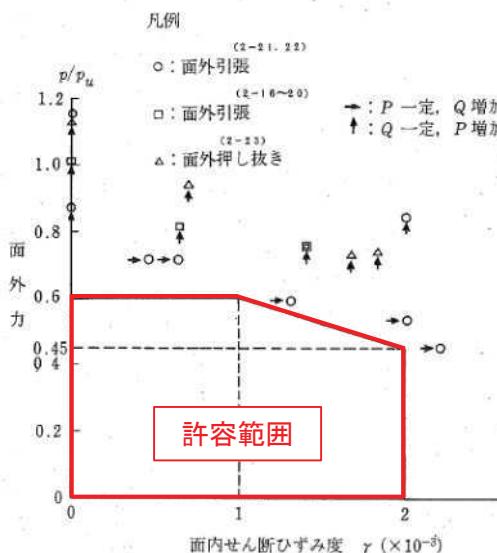
- 既工認では、原子炉本体の基礎の剛性を一定として線形解析していたが、今回工認では、鋼板が降伏に至らない範囲でコンクリートのひび割れ後の剛性変化を考慮したスケルトンカーブを適用する。
- 原子炉本体の基礎のコンクリートは、鋼板（外筒鋼板、内筒鋼板、縦リブ鋼板）の間に充填され、表面が覆われているため、乾燥収縮の影響はないと考えられるが、念のため、建屋側と同様の剛性低下を考慮した応答解析を行い、その影響を検討する。
- 構造強度評価は、既工認同様、コンクリートには強度を期待せず、鋼板のみで耐える設計とする。



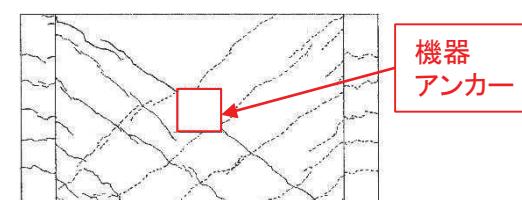
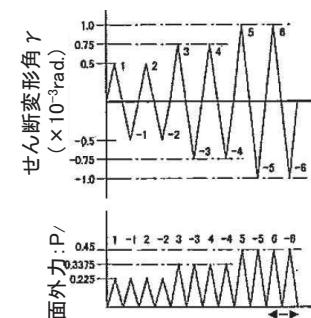
添付-3 乾燥収縮および地震影響のひびを踏まえた機器・配管系の耐震評価に係る条件設定 機器アンカ一部に対する考慮

20

- JEAG4601-1991では、機器アンカ一部の耐震評価として、建屋のせん断ひずみ度に応じた許容範囲(許容耐力の低減値)が設定されている。これは、躯体コンクリートにせん断ひずみ(面内荷重)及び機器アンカーに引抜荷重(面外荷重)を組み合わせて繰返し載荷した試験結果に対して保守的な値を採用している。
- また、JNES試験※1では、機器アンカ一部に事前にひびを生じさせた状態で試験が実施されており、機器アンカ一部に加力によるひびが付与された状態であってもJEAGの許容耐力の低減値を満足することが確認されている。
- 女川2号炉原子炉建屋のせん断ひずみ度は、東北地方太平洋沖地震時で最大 0.6×10^{-3} 程度、基準地震動Ssに対して最大 1.0×10^{-3} 程度であり、JEAGの許容範囲に示されたせん断ひずみ度($\sim 2 \times 10^{-3}$)の範囲内である。
- 乾燥収縮によるひびは躯体表面のひびであり、地震によるひびに比べて機器アンカ一部への影響は小さいこと、また、地震力が大きくなりひずみが進んだ状態においては、地震によるひびが支配的になるため、JEAG4601に基づく設計が適用できると考えられる。



面内せん断ひずみ度に関する
コーン状破壊耐力に対する許容範囲
(JEAG4601-1991)



試験体のひび割れ状況
(試験体4, せん断ひずみ度: 1.0×10^{-3} 付与後)

P : 面外引張力
Pu : 定着部コンクリートのコーン破壊耐力
 $Pu = 0.31 \cdot Ac \cdot \sqrt{F_c}$

