

女川原子力発電所 2号炉

設計基準対象施設について (4条 地震による損傷の防止)

平成31年4月

東北電力株式会社

目次

- 4 条 地震による損傷の防止
- 5 条 津波による損傷の防止
- 6 条 外部からの衝撃による損傷の防止（その他外部事象）
- 6 条 外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻）
- 6 条 外部からの衝撃による損傷の防止（火山）
- 6 条 外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）
- 7 条 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止
- 8 条 火災による損傷の防止
- 9 条 溢水による損傷の防止等
- 10 条 誤操作の防止
- 11 条 安全避難通路等
- 12 条 安全施設
- 14 条 全交流動力電源喪失対策設備
- 16 条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設
- 17 条 原子炉冷却材圧力バウンダリ
- 23 条 計測制御系統施設（第 16 条に含む）
- 24 条 安全保護回路
- 26 条 原子炉制御室等
- 31 条 監視設備
- 33 条 保安電源設備
- 34 条 緊急時対策所
- 35 条 通信連絡設備

下線は、今回の提出資料を示す。

本資料のうち、枠囲みの内容は機密事項又は商業機密に属しますので公開できません。

女川原子力発電所 2 号炉

地震による損傷の防止

第4条：地震による損傷の防止

<目次>

第1部

1. 基本方針
 - 1.1 要求事項の整理
 - 1.2 追加要求事項に対する適合性
 - (1) 位置，構造及び設備
 - (2) 安全設計方針
 - (3) 適合性説明
 - 1.3 気象等
 - 1.4 設備等
 - 1.5 手順等

第2部

1. 耐震設計の基本方針
 - 1.1 基本方針
 - 1.2 適用規格
2. 耐震設計上の重要度分類
 - 2.1 重要度分類の基本方針
 - 2.2 耐震重要度分類
3. 設計用地震力
 - 3.1 地震力の算定法
 - 3.2 設計用地震力
4. 荷重の組合せと許容限界
 - 4.1 基本方針
5. 地震応答解析の方針
 - 5.1 建物・構築物
 - 5.2 機器・配管系
 - 5.3 屋外重要土木構造物
 - 5.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備又は津波監視設備が設置された建物・構築物
6. 設計用減衰定数
7. 耐震重要施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響
8. 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針
9. 構造計画と配置計画

(別 添)

- 別添－ 1 設計用地震力
- 別添－ 2 動的機能維持の評価
- 別添－ 3 弾性設計用地震力 S_d ・静的地震力による評価
- 別添－ 4 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別添－ 5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針
- 別添－ 6 屋外重要土木構造物等及び津波防護施設の耐震評価における断面選定の考え方
- 別添－ 7 主要建屋の構造概要及び解析モデルについて
- 別添－ 8 入力地震動について

(別 紙)

- 別紙－ 1 既工認との手法の相違点の整理（設置変更許可申請段階での整理）
- 別紙－ 2 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討
- 別紙－ 3 水平 2 方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について
- 別紙－ 4 サプレッションチェンバ内部水質量の考え方の変更について
- 別紙－ 5 竜巻防護ネットの耐震構造設計について
- 別紙－ 6 原子炉本体の基礎の復元力特性について
- 別紙－ 7 使用済燃料貯蔵ラックの減衰定数について
- 別紙－ 8 規格適用範囲外の動的機能維持の評価
- 別紙－ 9 海水ポンプ室門型クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用
- 別紙－ 1 0 地震時における燃料被覆管の閉じ込め機能の維持について
- 別紙－ 1 1 東北地方太平洋沖地震等による影響を踏まえた建屋耐震設計方法への反映について
- 別紙－ 1 2 埋め込まれた建屋の周辺地盤による影響について
- 別紙－ 1 3 原子炉建屋屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用
- 別紙－ 1 4 原子炉建屋基礎版の応力解析モデルへの弾塑性解析の適用
- 別紙－ 1 5 屋外重要土木構造物等及び津波防護施設の耐震評価における断面選定について
- 別紙－ 1 6 土木構造物の解析手法及び解析モデルの精緻化について
- 別紙－ 1 7 後施工せん断補強筋による耐震補強について
- 別紙－ 1 8 液状化影響の検討方針について
- 別紙－ 1 9 地下水位低下設備について

東北地方太平洋沖地震等による
影響を踏まえた
建屋耐震設計方法への反映について

目 次

1. 概要
2. 初期剛性が設計より低下している要因の検討
 - 2.1 検討の概要
 - 2.2 3.11 地震等に対する主要建屋のシミュレーション解析
 - (1) 検討の目的
 - (2) 2号炉原子炉建屋（水平動，鉛直動）
 - (3) 3号炉原子炉建屋（水平動，鉛直動）
 - (4) 検討結果
 - 2.3 地震等による構造的影響
 - 2.3.1 検討概要
 - 2.3.2 実機の3.11地震等に対する建屋の振動特性の把握
 - (1) 検討の目的
 - (2) 女川原子力発電所主要建屋の剛性低下の傾向分析（水平動，鉛直動）
 - (3) 東通原子力発電所の傾向との比較
 - (4) 検討結果
 - 2.3.3 3.11地震等における構造的損傷の有無の確認
 - (1) 検討の目的
 - (2) 2号炉原子炉建屋の点検評価，解析的評価による構造的影響評価結果の概要
 - (3) 補足検討
 - a. 3次元的なねじれの影響確認
 - b. 残留変形の確認
 - c. 鉛直動の影響の大きい床等の面外応力に対する影響確認
 - (4) 検討結果
 - 2.3.4 3次元FEMモデルによるオペフロ上部の剛性低下（大架構）
 - (1) 検討の目的
 - (2) 検討の概要
 - (3) 検討結果
 - 2.3.5 繰返し試験体（耐震実験[1]）による確認
 - (1) 検討の目的
 - (2) 実験の概要
 - (3) 検討結果
 - 2.3.6 地震等による構造的影響に関する検討結果のまとめ
 - 2.4 コンクリートの乾燥収縮の影響
 - 2.4.1 検討概要
 - 2.4.2 乾燥収縮の影響に関する文献レビュー

- (1) 現状の建物設計における乾燥収縮ひび割れの扱い
- (2) 乾燥収縮と剛性低下の関係を指摘している研究
- 2.4.3 実機の乾燥収縮状態等の把握
 - (1) 検討の目的
 - (2) 乾燥収縮の進行度合い
 - (3) 使用コンクリートに関する材料試験による確認
 - (4) 乾燥収縮ひび割れ調査
 - (5) 検討結果
- 2.4.4 乾燥試験体（耐震実験 [3]）による確認
 - (1) 検討の目的
 - (2) 実験の概要
 - (3) 検討結果
- 2.4.5 コンクリートの乾燥収縮の影響に関する検討結果のまとめ
- 2.5 その他の要因影響
 - 2.5.1 支持地盤の剛性低下の有無の確認
 - (1) 検討の目的
 - (2) 2号炉原子炉建屋シミュレーションによる支持地盤の支持力確認
 - (3) 自由地盤と建屋直下の観測記録の比較
 - (4) 側面地盤が建屋の振動特性に与える影響の確認
 - (5) 検討結果
 - 2.5.2 実機コンクリート圧縮強度の設計基準強度との比較
 - (1) 検討の概要
 - (2) 調査方法
 - (3) 調査結果
 - 2.5.3 その他の要因影響に関する検討結果のまとめ
- 2.6 初期剛性が設計より低下している要因の検討のまとめ
- 3. 初期剛性低下の要因が終局耐力等に与える影響
 - 3.1 検討概要
 - 3.2 地震による事前損傷が終局耐力等に与える影響
 - 3.2.1 事前損傷試験体（耐震実験 [2]）による確認
 - (1) 検討の目的
 - (2) 実験の概要
 - (3) 検討結果
 - 3.3 乾燥収縮が終局耐力等に与える影響
 - 3.3.1 乾燥試験体（耐震実験 [3]）による確認
 - (1) 検討の目的
 - (2) 実験の概要

- (3) 検討結果
- (4) 耐震実験を踏まえた剛性低下の要因分析についての考察
- 3.3.2 乾燥収縮の影響に関する文献レビュー
- 3.4 初期剛性低下の要因が終局耐力等に与える影響のまとめ

- 4. 2号炉原子炉建屋オペフロ上部耐震補強工事
 - 4.1 耐震補強工事の概要
 - 4.2 耐震補強工事の有効性確認
 - 4.3 耐震補強工事の地震応答特性への影響検討

- 5. 設計体系への反映
 - 5.1 地震応答解析モデルの策定
 - 5.1.1 基本モデル策定の考え方
 - 5.1.2 2号炉原子炉建屋の基本モデルの諸元
 - 5.1.3 設計用地震力の評価方針
 - 5.2 地震応答解析モデルに考慮する不確かさに関する検討
 - 5.3 原子炉建屋の代表性
 - 5.3.1 オペフロ上部の検討を踏まえた原子炉建屋の代表性
 - 5.3.2 原子炉建屋以外の既設建屋への水平展開の考え方
 - 5.3.3 新設建屋への初期剛性低下の考慮方針
 - 5.4 部材評価における評価方針
 - 5.5 設備評価への反映方針
 - 5.6 鉄筋コンクリート躯体の乾燥収縮及び地震影響を踏まえた各条文の要求機能に対する機能維持の方針の整理

- 6. まとめ
 - 6.1 検討結果の概要
 - 6.2 剛性低下を踏まえた建屋解析手法の高度化

- 添付 1 東北地方太平洋沖地震等に対する主要建屋のシミュレーション解析
- 添付 2 各建屋の剛性低下（固有振動数低下）の地震観測記録による傾向分析
- 添付 3-1 東北地方太平洋沖地震等に対する構造的影響評価（点検結果）
- 添付 3-2 東北地方太平洋沖地震等に対する構造的影響評価
（追加評価に係る点検結果）
- 添付 3-3 3次元 FEM 等価線形モデルによるシミュレーション解析（原子炉建屋）
- 添付 3-4 3次元 FEM 非線形モデルによるシミュレーション解析
（原子炉建屋オペフロ上部）
- 添付 3-5 3次元立体架構モデルによる屋根トラスのシミュレーション解析
- 添付 3-6 建屋の3次元的なねじれの影響について
- 添付 3-7 オペフロ上部変位計測システムと計測変位
- 添付 3-8 床等の面外応力に対する影響確認
- 添付 4 原子炉建屋オペフロ上部の剛性と耐力に関する検討
- 添付 5 耐震実験による中小地震レベルの繰返し加力による影響検討
（耐震実験[1]）
- 添付 6 乾燥収縮等が初期剛性や終局耐力等に与える影響に関する文献について
- 添付 7 実機の乾燥収縮の状況に関する検討
- 添付 8 耐震実験による乾燥収縮が終局耐力に与える影響検討（耐震実験[3]）
- 添付 9 建屋支持地盤の剛性低下に関する検討
- 添付 10 建屋コンクリートの圧縮強度の確認
- 添付 11 耐震実験による事前損傷が終局耐力に与える影響検討（耐震実験[2]）
- 添付 12 原子炉建屋オペフロ上部の耐震補強
- 添付 13 地震応答解析モデルの基本ケースと不確かさケースの設定
- 添付 14 乾燥収縮ひび割れによる機器アンカーへの影響検討
- 添付 15 床応答スペクトルの拡幅率について
- 添付 16 鉄筋コンクリート躯体のひび割れ（乾燥収縮・地震）による影響評価が必
要となる対象条文の抽出について
- 添付 17 鉄筋コンクリート躯体の乾燥収縮及び地震影響を踏まえた要求機能に対す
る各条文の機能維持の方針の整理

下線は、今回の提出資料を示す。

5. 設計体系への反映

5.1 地震応答解析モデルの策定

・・・添付 13

5.1.1 基本モデル策定の考え方

- 設計よりも初期剛性が低下した要因は、3.11 地震等の地震力の影響と乾燥収縮の影響の重畳と考えられることから、その要因と今後の進展に関するこれまでの検討内容を踏まえて、基本モデルのスケルトンカーブを設定する。

(1) 基本モデルのスケルトンカーブの設定の考え方

事前損傷、乾燥収縮及び大架構は、JEAG 式の評価基準値付近に影響を与えないこと、実機の乾燥収縮はほぼ定常状態にあることから、ベースとするスケルトンカーブは、既工認と同様、JEAG 式を基本モデルに適用する。また、初期剛性の考え方は以下のとおりとする。

【建屋の初期剛性（水平動）】

初期剛性を低下させた 3.11 地震等のシミュレーション解析において、オペフロ上部のように折点を超えるような応答に対しても十分観測記録との整合性が確保できること、また、基準地震動 S_s に対しては第一、第二折点を超えた応答となるため、初期剛性の違いが応答結果に与える影響が小さくなることも踏まえ、初期剛性は 3.11 地震、4.7 地震時の低下した状態を採用する。

【建屋の初期剛性（鉛直動）】

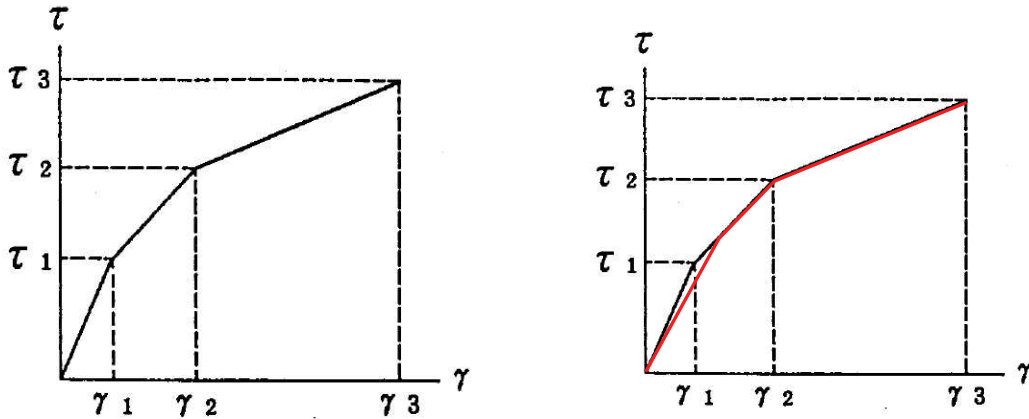
水平動に比べ建設時からの剛性低下は小さく、これまでの地震の経験において設計剛性を下回っていないこと、建屋シミュレーション解析では既工認モデルで記録を再現できたことから、既工認モデルの剛性を採用する。

【基本モデルのせん断スケルトンカーブの概要】

- 耐震壁の初期剛性低下の影響については、トリ・リニア型スケルトン曲線の第一勾配を緩く傾斜させ、元の JEAG のスケルトン曲線に接続することで考慮している。
- せん断力復元力特性モデルは、下右図に示すように元の復元力特性の考え方で剛性が低下していった場合と同様とし、最大点指向型履歴ループを用いる。
- したがって、初期剛性を現在の建屋状態に合わせているが、その力-変形関係は基本的に JEAG に則った復元力特性を用いており、JEAG に適合するものとしている。
- このような初期剛性を低下させた復元力特性モデルでは、最大加速度が 3.11 地震、弾性設計用地震動 S_d レベルの入力の場合には第一勾配内での

応答となり等価線形応答となる。最大加速度が弾性設計用地震動 S_d を超え基準地震動 S_s レベルの入力になると、応答が大きくなり第二勾配（又は第三勾配）に入る非線形応答となる。

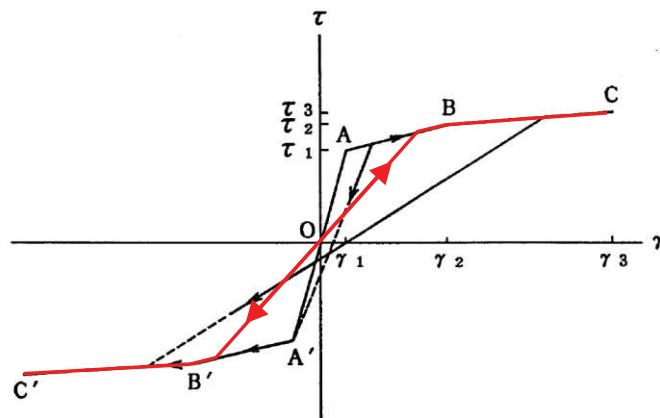
- ・なお、曲げスケルトンカーブについても JEAG に基づく復元力特性とし、初期剛性はせん断と同様に低下させたモデルとする。



設計時のスケルトン曲線

初期剛性を低下させた場合のスケルトン曲線

第 5. 1. 1-1 図 せん断スケルトン曲線の設定



第 5. 1. 1-2 図 初期剛性を低下させたせん断力復元力特性の設定

(2) 基本モデル策定の考え方（その他の解析物性値の設定）

基本モデルの解析物性値の内、スケルトンカーブ以外の建屋内部減衰等の設定は、3.11 地震等の傾向、地盤調査結果及び耐震補強工事を反映する。

第 5.1.1-1 表 基本モデル策定の考え方（その他の解析物性値の設定）

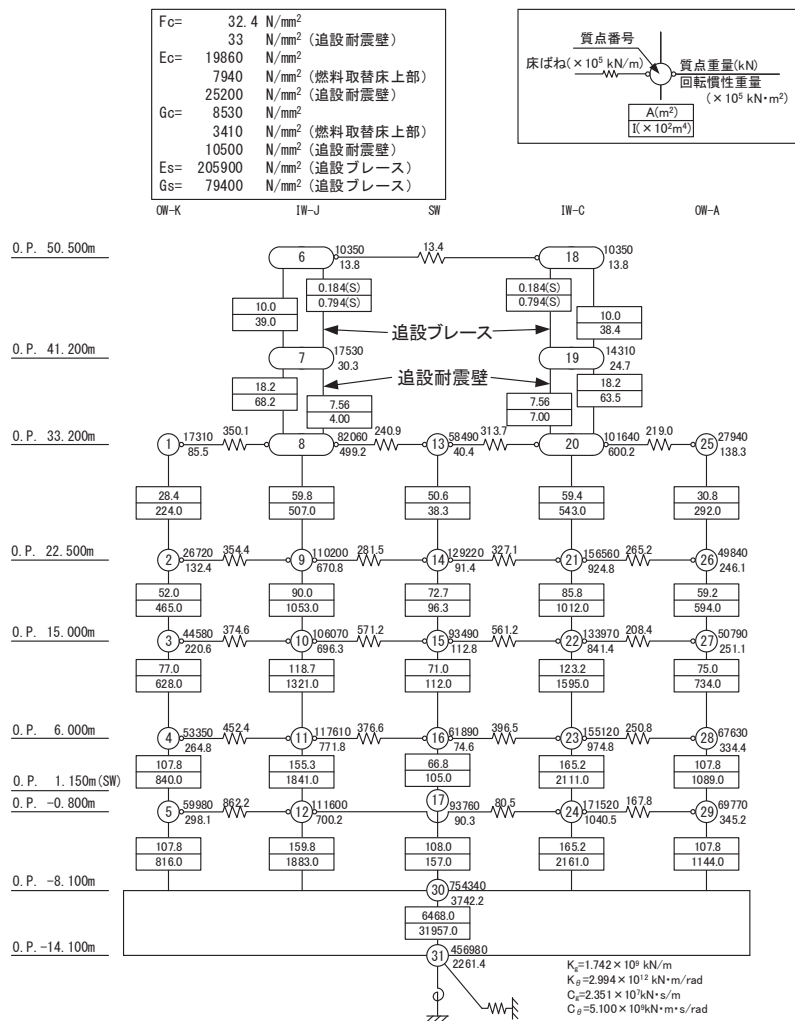
項目	基本モデルへの適用
建屋内部減衰	<p>【水平動】</p> <ul style="list-style-type: none">・ 3.11 地震における建屋内部減衰は 7% と評価されており、これは初期剛性の低下の影響（履歴的な減衰効果）も含まれたものと考えられる。基本モデルにおいては、この効果を安全側に無視し、既工認と同様の減衰 5% を採用する。 <p>【鉛直動】</p> <ul style="list-style-type: none">・ 3.11 地震のシミュレーション解析では既工認と同様の減衰（5%）を採用し観測記録を再現出来たことから、5% を採用する。
底面地盤ばね	<ul style="list-style-type: none">・ 底面地盤については実測した地盤のせん断波速度の平均値を採用。建屋直下の PS 検層を 9 箇所実施し、その平均値よりせん断波速度を設定。
耐震補強部材の反映	<ul style="list-style-type: none">・ オペフロ階～屋上階には耐震補強工事を実施していることから、追設ブレース及び追設耐震壁をモデルに反映する。・ 追設耐震壁は、既存躯体及び鋼製型枠により覆われているため、乾燥収縮の影響を受けにくい構造であり、また、大きな地震を経験していないことから、初期剛性低下は考慮しないこととする。なお、初期剛性の不確かさケースにおいては、追設耐震壁についても一律初期剛性低下を考慮する。

5.1.2 2号炉原子炉建屋の基本モデルの諸元

2号炉原子炉建屋の基本モデルの諸元を第5.1.2-1表及び第5.1.2-1図に示す。また、既工認モデルとの差異を第5.1.2-2表に示す。

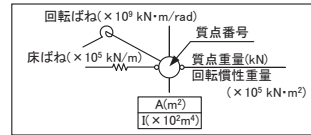
第5.1.2-1表 コンクリート壁の初期剛性の設計値に対する補正係数と建屋減衰

号炉 建屋	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		建屋 減衰
		オペフロ階(3階) ・クレーン階	地下3階~2階	
0-2 R/B	NS	0.30	0.75	0.05
	EW	0.50	0.80	0.05
	UD	1.00	1.00	0.05

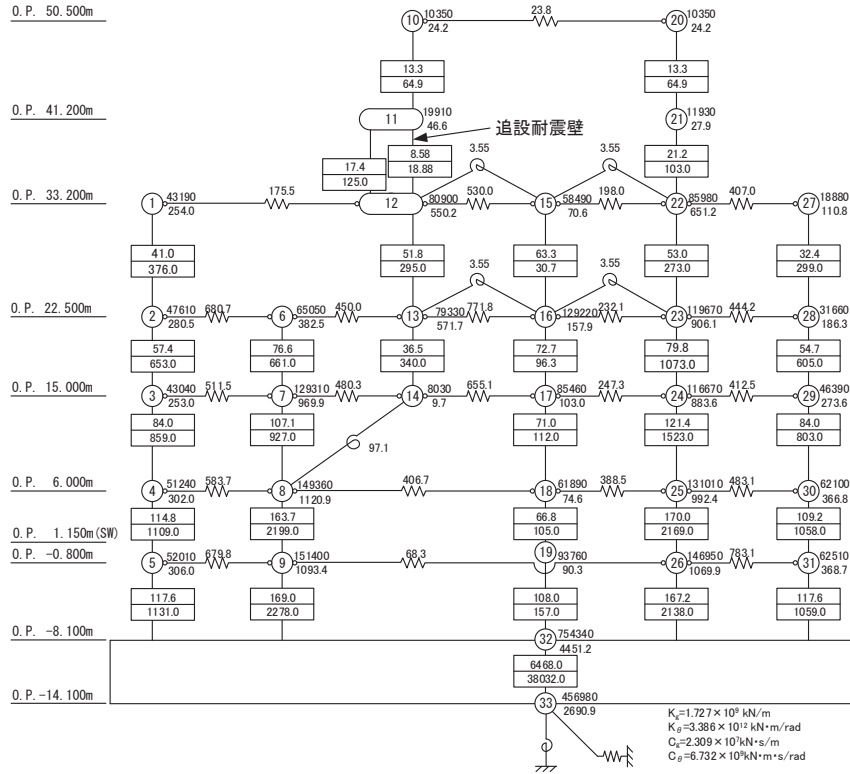


第5.1.2-1図 (1) 2号炉原子炉建屋 地震応答解析モデル NS方向

$F_c =$	32.4	N/mm ²
	33	N/mm ² (追設耐震壁)
$E_c =$	21180	N/mm ²
	13240	N/mm ² (燃料取替床上部)
	25200	N/mm ² (追設耐震壁)
$G_c =$	9100	N/mm ²
	5690	N/mm ² (燃料取替床上部)
	10500	N/mm ² (追設耐震壁)



OW-1 IW-2 IW-4 SW IW-10 OW-11



第 5.1.2-1 図 (2) 2号炉原子炉建屋 地震応答解析モデル EW 方向

第 5.1.2-2 表 既工認モデルとの差異

項目		既工認モデル	今回工認モデル
入力地震動		直接入力	表層地盤の影響を考慮して基礎下の入力地震動を算定
応答計算法		時刻歴応答解析 (非線形解析)	同左
建屋モデル		質点系多軸モデル・床剛 (側面地盤との相互作用は考慮しない)	質点系多軸モデル・床の柔性考慮 (側面地盤との相互作用は考慮しない)
剛性 評価 (RC)	考慮範囲	耐震壁	同左
	ヤング係数 せん断弾性 係数	コンクリートの設計基準強度より算定	3.11 地震等の観測記録との整合を踏まえて剛性低下を考慮
建屋 減衰	鉄筋コンクリート	5%	5% (3.11 地震等のシミュレーション解析では 7% 相当であるが保守的に設定)
解析 モデル	建屋-地盤 相互作用	スウェイ・ロッキングモデル (側面地盤との相互作用は考慮しない)	同左
地盤ばね		JEAG による近似法	同左

5.1.3 設計用地震力の評価方針

(1) 設計用地震力の設定方針

静的地震力の算定に用いる A_i 分布は、初期剛性の低下を考慮した今回工認モデルが現状の地震時の振動特性を持つ精緻なモデルであるため、これにより A_i 分布を算定する。ただし、念のため初期剛性低下を考慮しない設計剛性モデルでの A_i 分布も確認する。

今回工認における設計用地震力は、静的地震力、弾性設計用地震動 S_d による動的地震力により設定し、既工認における設計用地震力も包絡する。

(2) 静的地震力、必要保有水平耐力の設定方法

【静的地震力（水平）】

原子炉建屋の水平の静的地震力は算定用の基準面を基礎スラブ上端(0. P. - 8.1m)とし、地震層せん断力係数を用いて次式によって算定する

$$Q_i = n \cdot Z \cdot C_i \cdot W_i$$
$$C_i = \beta \cdot R_t \cdot A_i \cdot C_0$$

【静的地震力（鉛直）】

鉛直の静的地震力は、次式による鉛直震度から算定する。

$$K_v = R_v \cdot 0.3$$

【必要保有水平耐力】

必要保有水平耐力は、次式によって算定する。

$$Q_{un} = D_S \cdot F_{es} \cdot Q_{ud}$$
$$Q_{ud} = n \cdot Z \cdot C_i \cdot W_i$$
$$C_i = R_t \cdot A_i \cdot C_0$$

ここで、

Q_i : 基準面より上の部分に作用する水平地震力

n : 施設の重要度分類に応じた係数(3.0)

Z : 地震地域係数(1.0 とする)

C_i : 地震層せん断力係数

W_i : 当該部分が支える固定荷重と積載荷重の和

R_t : 振動特性係数(1.0 とし、 β で補正する)

β : 補正係数(0.8)

A_i : 地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数

C_0 : 標準せん断力係数

(静的地震力 : 0.2, 必要保有水平耐力 : 1.0 とする)

K_v : 鉛直震度

- R_v : 鉛直方向振動特性係数(0.8)
- Q_{un} : 各層の必要保有水平耐力
- D_s : 各層の構造特性係数 (0.55 とする)
- F_{es} : 各層の形状特性係数
- Q_{un} : 地震力によって各層に生じる水平力

(3) 静的地震力と動的地震力の比較

今回工認では、すべての階で静的地震力に比べて弾性設計用地震動 Sd による動的地震力の方が大きくなっている。なお、既工認時では、静的地震力に比べて基準地震動 S1 による動的地震力の方が大部分の階で大きく、動的地震力により設計断面が決定される箇所が多い。静的地震力と動的地震力の比較を第 5.1.3-1 表に示す。

第 5.1.3-1 表 (1) 静的地震力と動的地震力の比較 (NS 方向)

レベル O.P. (m)	階高 (m)	今回工認 静的地震力	弾性設計用 地震動 Sd	既工認 設計用地震力	(参考) 既工認 静的地震力	(参考) 既工認 動的地震力 (基準地震動 S1)
		Qi (kN)	Qi (kN)	Qi (kN)	Qi (kN)	Qi (kN)
50.5						
	9.3	45670	60948	51799	50289	34206
41.2						
	8.0	80218	98979	84376	81915	59742
33.2						
	10.7	316519	383901	362787	314166	342203
22.5						
	7.5	615887	664155	788386	596970	723799
15.0						
	9.0	819336	882255	1069582	797310	1005152
6.0						
	6.8	955423	1096217	1287996	942762	1226586
-0.8						
	7.3	1057755	1252113	1493474	1057059	1419140
-8.1						

第 5.1.3-1 表 (2) 静的地震力と動的地震力の比較 (EW 方向)

レベル O.P. (m)	階高 (m)	今回工認 静的地震力	弾性設計用 地震動 Sd	既工認 設計用地震力	(参考) 既工認 静的地震力	(参考) 既工認 動的地震力 (基準地震動 S1)
		Qi (kN)	Qi (kN)	Qi (kN)	Qi (kN)	Qi (kN)
50.5	9.3	44836	48867	44983	43679	29341
	41.2	8.0	81846	96890	78914	76610
33.2	10.7	321619	426109	362797	309812	337800
	22.5	7.5	619143	676276	779129	600226
15.0	9.0	820581	864829	1045850	804773	961022
	6.0	6.8	955423	1054833	1229519	946146
-0.8	7.3	1057755	1207993	1426730	1057069	1334842
	-8.1					

(4) 必要保有水平耐力の比較

既工認と今回工認における必要保有水平耐力は、おおむね同程度の値となっている。3階より上部では、地震等による初期剛性低下や耐震補強工事等の影響により、 A_i 分布が変動した影響として、今回工認モデルの方が、必要保有水平耐力が小さくなっている。必要保有水平耐力の比較を第 5. 1. 3-2 表に示す。

第 5. 1. 3-2 表 既工認と今回工認における必要保有水平耐力の比較

レベル O.P. (m)	階高 (m)	既工認 Qun (kN)		今回工認 Qun (kN)	
		NS	EW	NS	EW
50.5					
	9.3	46101	40041	41874	41109
41.2					
	8.0	75060	70235	73501	75040
33.2					
	10.7	288002	283942	290022	294876
22.5					
	7.5	546927	550496	564863	567550
15.0					
	9.0	731105	737244	751062	751748
6.0					
	6.8	863564	867300	876430	875489
-0.8					
	7.3	968985	968985	969603	969603
-8.1					

5.2 地震応答解析モデルに考慮する不確かさに関する検討 ・・・添付 13

耐震設計に係わる工認審査ガイドでは、

- ・地震応答解析に用いる材料定数のうち解析モデルの剛性評価に用いる定数については、材料のばらつきによる定数の変動幅が適切に設定されていること
- ・材料定数の変動が建物・構築物の振動性状（固有周期、固有モード、等）や応答性状に及ぼす影響を検討し、必要に応じて、建物・構築物の地震力や機器・配管系の入力地震力に及ぼす影響を設計に考慮することを要求している。

ここでは、女川原子力発電所の特徴を踏まえて、地震応答解析結果へ影響を与える材料物性値について検討の上、ばらつきによる変動幅を考慮する項目を抽出する。

建屋の耐震評価に用いる動的地震力は、地震応答解析（時刻歴応答解析法）により求められており、地盤物性、建屋剛性、地盤のばね定数及び減衰定数、地震動の位相特性などの影響を受ける。特に床応答スペクトルの変動に影響を及ぼす要因は、建物剛性及び地盤物性であることが確認されている。

女川では 3.11 地震等の記録によって初期剛性が低下していることが確認されていることから、剛性低下の要因（地震による影響（大架構の影響含む）、乾燥による影響）が建屋初期剛性や終局耐力に与える検討結果を踏まえ、これらの要因に対する不確かさケースについて検討する。また、3.11 地震に対する 2 号炉原子炉建屋のシミュレーション解析では、建屋内部減衰として 7% の値を採用することにより観測記録との整合性が図られており、建屋内部減衰に対する不確かさケースについて検討を行う。

建屋と地盤との相互作用を考慮したモデルによる地震応答解析においては、地盤物性は地盤調査結果から地盤のせん断波速度を用いて算出していること、また、入力地震動の評価において表層地盤の影響を考慮しているが、これについても調査結果を踏まえて地盤モデルを設定していることから、地盤物性に対する不確かさケースについて検討を行う。

以上より、建屋の地震応答解析における材料物性値の内、

①建屋初期剛性、②終局耐力、③建屋内部減衰、④地盤物性
についてばらつきによる変動幅を検討する。

以上を踏まえた地震応答解析モデルへの反映に際しての考え方を第 5.2-1 表に、検討ケース一覧を第 5.2-2 表に示す。

第 5.2-1 表 (1) 基準地震動 Ss に対する不確かさケースの設定の考え方

項目	基本ケースへの適用	不確かさケースへの適用
建屋 初期 剛性	<p>【建屋の初期剛性 (水平動)】</p> <ul style="list-style-type: none"> 初期剛性を低下させた等価線形解析によるシミュレーション解析では、オペフロ上部のように折点を超えるような応答に対しても十分観測記録との整合性が確保できること、また、基準地震動 Ss に対しては第一、第二折点を超えた応答となるため、初期剛性の多少の違いが応答結果に与える影響は小さいことも踏まえ、初期剛性は 3.11 地震等によって低下した状態を採用する。 	<p>【建屋の初期剛性 (水平)】</p> <ul style="list-style-type: none"> 初期剛性の多少の違いが応答結果に与える影響は小さいが、一方で、過去の中小地震も含めた記録では時間経過に伴い剛性が低下する傾向の他に、更新地震によっても剛性が低下する傾向が認められていることから、初期剛性低下の影響を保守的に反映するモデルを不確かさケースとして採用する。 具体的には、更なる剛性低下として、基本モデルを用いた基準地震動 Ss の応答結果として得られる剛性低下 (原子炉建屋の場合 0.78 倍) を考慮する。また、不確かさモデルへの適用にあたっては、この非線形化による剛性低下を初期剛性低下とみなし、全ての耐震壁におけるスケルトンカブの初期剛性の低下として一律に考慮することにより保守性を確保する。 採用する初期剛性低下が、女川の観測記録から類推される基準地震動 Ss-D2 時の剛性低下量よりも小さいことも合わせて確認する。 なお、宮城県沖では、3.11 地震 (巨大プレート間地震) の約一カ月後に 4.7 地震 (プレート内地震) が発生しているが、不確かさケースは大きな地震の一定期間後に基準地震動 Ss の揺れに見舞われる事象に対する保守的評価にも該当する。

項目	基本ケースへの適用	不確かさケースへの適用
建屋初期剛性	<p>【建屋の初期剛性（鉛直動）】</p> <ul style="list-style-type: none"> 水水平動に比べ剛性の低下率は小さく、これまでの経年変化によって設計剛性を下回っていないこと、建屋シミュレーション解析では既工認モデルで記録を再現できたことから、既工認モデルの剛性を採用する。 	<p>【建屋の初期剛性（鉛直）】</p> <ul style="list-style-type: none"> 水水平動に比べ剛性の低下率は小さくこれまでの経年変化によって設計剛性を下回っていないこと、建屋シミュレーション解析では既工認モデルで記録を再現できたこと、また、剛性の変化が建屋応答に与える感度が小さいことから、鉛直動に対しては初期剛性の不確かさは考慮しない。
終局耐力	<ul style="list-style-type: none"> 地震による事前損傷は、JEAG 式の評価基準値付近の耐力低下要因とはならない。 乾燥収縮は初期剛性低下に寄与するもの、JEAG 式の評価基準値付近での耐力は JEAG 式を上回る。乾燥度合が進行したとしても、更なる剛性低下に寄与しない。 建設後の経過年数から 2 号炉建屋の乾燥状態はほぼ定常状態にある。 オペフロ上部の大架構は、設計の評価法に比べ実際の初期剛性は小さいが JEAG 式の評価基準値付近では評価式と同程度。 <p>→ 以上を踏まえ、評価基準値付近のスケルトンカーブについては、既工認と同様、JEAG 式を基本ケースに適用する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 実機のコネクリート強度は設計基準強度より高い傾向にあり、終局耐力はその分高い方の上振れすることが考えられるが、終局耐力の増加は建屋の変形を抑制する方向の評価となることから、これを考慮しない。

項目	基本ケースへの適用	不確かさケースへの適用
建屋内部減衰	<p>【水平動】</p> <ul style="list-style-type: none"> 3.11 地震における建屋内部減衰は7%と評価されており、これは初期剛性の低下の影響（履歴的な減衰効果）も含まれたものと考えられる。基本ケースにおいては、この効果を安全側に無視し、既工認と同様の減衰5%を採用する。 <p>【鉛直動】</p> <ul style="list-style-type: none"> 3.11 地震のシミュレーション解析では既工認と同様の減衰(5%)を採用し観測記録を再現出来たことから、5%を採用する。 	<p>【水平動】</p> <ul style="list-style-type: none"> 基本的には、基本ケースに採用した建屋内部減衰の値を適用する。 基本モデルを用いた基準地震動 S_s の応答値が多く、部位で第二折点を越えるような場合は、剛性低下量を初期剛性に反映した不確かさモデルでは履歴減衰が考慮されないため、建屋内部減衰として基本ケースよりも大きい値が採用可能か検討した上でその値を採用する。 <p>【鉛直動】</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉛直動シミュレーションでは減衰5%を採用しており、不確かさケースでもこれを用いる。
地盤物性	<ul style="list-style-type: none"> 底面地盤については実測した地盤のせん断波速度の平均値を採用。 入力地震動の算定に用いる表層地盤上部、下部とも3.11地震等のシミュレーション解析結果を踏まえた値・手法を採用。 	<ul style="list-style-type: none"> 底面地盤については、実測値のばらつきを考慮。 表層地盤のばらつきが建屋応答に与える影響は小さいが、表層地盤下部については非線形性を考慮せず一定値を採用しているため、底面地盤と同程度のばらつきとして、せん断波速度$\pm 100\text{m/s}$を考慮する。

第 5.2-1 表 (2) 弾性設計用地震動 Sd に対する不確かさケースの設定の考え方

項目	基本ケースへの適用	不確かさケースへの適用
建屋 剛 性、 内部 減衰	<ul style="list-style-type: none"> • 弾性設計用地震動 Sd の建屋応答は 3.11 地震による応答と同程度あることから、3.11 建屋シミュレーション解析の剛性を採用する。 • 内部減衰は 3.11 地震における建屋の内部減衰は 7% と評価されたが、保守的に 5% を採用する。 	<ul style="list-style-type: none"> • 先行プラントでは構造の複雑さによる減衰効果が期待しにくい単純な構造の建物に RC 減衰 3% を適用しているが、2号炉原子炉建屋では弾性設計用地震動 Sd と同等レベルの 3.11 地震において内部減衰 7% の評価結果が得られており、減衰 3% の不確かさは考慮しない。他の建屋については、3.11 地震の傾向や建屋の特徴も踏まえて必要に応じ考慮する。

第 5.2-2 表 検討ケース一覧

対象地震動	ケース名	スケルトンカーブ		建屋内倍減衰	地盤物性	
		初期剛性	終局耐力		入力地震動	底面地盤ばね
基準地震動 Ss (水平動)	ケース1 (基本ケース)	3.11 地震 シミュレーション	設計基準強度を用い JEA 式で評価 (=既工認)	5% (=既工認)	表層上部非線形 表層下部Vs900m/s	標準地盤 (=既工認)
	ケース2	同上	同上	同上	表層上部非線形 表層下部Vs900+100m/s	標準地盤 +σ
	ケース3	同上	同上	同上	表層上部非線形 表層下部Vs900-100m/s	標準地盤 -σ
	ケース4	同上	同上	同上	表層上部非線形 表層下部Vs900m/s	標準地盤 (=既工認)
	ケース5	基本ケースの0.78倍 (原子炉建屋の場合)	同上	5% (原子炉建屋の場合)	表層上部非線形 表層下部Vs900+100m/s	標準地盤 +σ
	ケース6	同上	同上	同上	表層上部非線形 表層下部Vs900-100m/s	標準地盤 -σ
基準地震動 Ss (鉛直動)	ケース1 (基本ケース)	3.11 地震 シミュレーション (=既工認)	-	5% (3.11 地震シミュレー ション) (=既工認)	直接入力 (=既工認)	標準地盤 (=既工認)
	ケース2	同上	-	同上	同上	標準地盤 +σ
	ケース3	同上	-	同上	同上	標準地盤 -σ
弾性設計用 地震動 Sd (水平, 鉛直)	ケース1 (基本ケース)	3.11 地震 シミュレーション	-	5% (水平, 鉛直とも) (=既工認)	(水平) 表層上部非線形 表層下部Vs900m/s (鉛直) 直接入力	標準地盤 (=既工認)
	ケース2	同上	-	同上	表層上部非線形 表層下部Vs900+100m/s	標準地盤 +σ
	ケース3	同上	-	同上	表層上部非線形 表層下部Vs900-100m/s	標準地盤 -σ

5.3 原子炉建屋の代表性

5.3.1 オペフロ上部の検討を踏まえた原子炉建屋の代表性

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 S_s 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。したがって、主要な建屋には地震計が設置されていることから、地震観測記録による固有振動数の分析も含めて設計モデルの策定に際して原子炉建屋同様の考え方を基本とする。

5.3.2 原子炉建屋以外の既設建屋への水平展開の考え方

原子炉建屋以外の既設建屋の地震応答解析モデルの策定は、2号炉原子炉建屋オペフロ上部における検討と同様の考え方を適用することによって構築していく。原子炉建屋以外の既設建屋への水平展開の考え方を第5.3.2-1表に示す。

第 5.3.2-1 表 原子炉建屋以外の既設建屋への水平展開の考え方

検討項目	2号炉原子炉建屋 オペアロ上部	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】	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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, 原子炉建屋オペアロ上部と同様におおむ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。 	<ul style="list-style-type: none"> 全ての建屋*においておおむ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)】	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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の低下を確認。 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】	<ul style="list-style-type: none"> 乾燥収縮ひび割れ状況調査 乾燥収縮の経年的変化の確認 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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】	<ul style="list-style-type: none"> 追設耐震壁, ブレースの設置 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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, オペア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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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等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号炉海水防護施設の間接支持機能

5.3.3 新設建屋への初期剛性低下の考慮方針

(1) 新設建屋の構造的特徴と原子炉建屋との類似性

新設建屋は岩盤に設置し、地下階を有する計画としている。主たる耐震要素は原子炉建屋等と同様に耐震壁としており、全方向に耐震壁が配置されたマツシブな構造となっている。また、基準地震動 S_s に対しておおむね弾性範囲に留まる設計（短期許容応力度設計）を目指している。なお、新設建屋においても既設と同様のコンクリート材料を用いる予定としている。

(2) 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、おおむ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剛性に対し0.8倍程度となっている。

(3) 新設建屋の地震応答解析モデル

新設建屋の地震応答解析においては、基本ケースとしては地震の影響を受けていないことから設計剛性（設計基準強度）を用いた地震応答解析モデルを採用する。

新設建屋は基準地震動 S_s に対して短期許容応力度設計を目指していることから耐震壁の断面厚が厚くなるため、基準地震動 S_s に対して初期剛性が低下したとしても、その低下の度合は、コンクリートの設計基準強度と実強度の乖離分で吸収可能と考える。また、評価基準値（耐震壁のせん断ひずみ： 2.0×10^{-3} ）に対しても十分な余裕を有するため、耐震安全性は基本ケースの解析で確認可能と考える。

ただし、念のため、不確かさケースとして、耐震壁の厚さが厚い原子炉建屋のオペフロ下部の3.11地震に対する剛性低下量（0.8倍程度）を考慮することで設計における保守性を確保する。

なお、具体的な低下量は今後の新設建屋の詳細設計を踏まえ決定する。

5.4 部材評価における評価方針

原子炉建屋の初期剛性低下の要因を分析した結果、その要因は鉄筋コンクリート造の耐震壁の乾燥収縮と地震による揺れが重畳したことによること、また、初期剛性低下による耐力への影響はないことを確認している。

そのため、鉄筋コンクリート造の耐震壁を主体構造としている建物・構築物について、初期剛性（主に地震応答解析）、耐力（主に構造強度評価）に係る設計への反映について第 5.4.1-1 表に整理した。

第 5.4.1-1 表 初期剛性低下の反映に係る考え方

対象		設計への反映	
		初期剛性（主に地震応答解析）	耐力 （主に構造強度評価）
建物 構築物	既設の主要建屋 （耐震壁）	<ul style="list-style-type: none"> ・初期剛性低下を考慮する ・基本ケースでは建屋シミュレーション解析に基づく初期剛性低下を考慮する ・不確かさケースでは基準地震動 S_s による地震応答解析結果による低下量を初期剛性低下に考慮する 	<ul style="list-style-type: none"> ・乾燥収縮の影響はないことから設計値を採用する
	新設の主要建屋 ^{*1} （耐震壁）	<ul style="list-style-type: none"> ・初期剛性低下を不確かさケースとして考慮する ・剛性低下量は、新設建屋の構造的特徴と乾燥試験体の耐震実験 [3] を踏まえ設定 	<ul style="list-style-type: none"> ・乾燥収縮の影響はないことから設計値を採用する
	FEM 部材評価 （基礎版等）	<ul style="list-style-type: none"> ・初期剛性低下を考慮した検討を実施する ・剛性低下量は地震応答解析モデルの低下量を踏まえ考慮する 	<ul style="list-style-type: none"> ・乾燥収縮の影響はないことから設計値を採用する

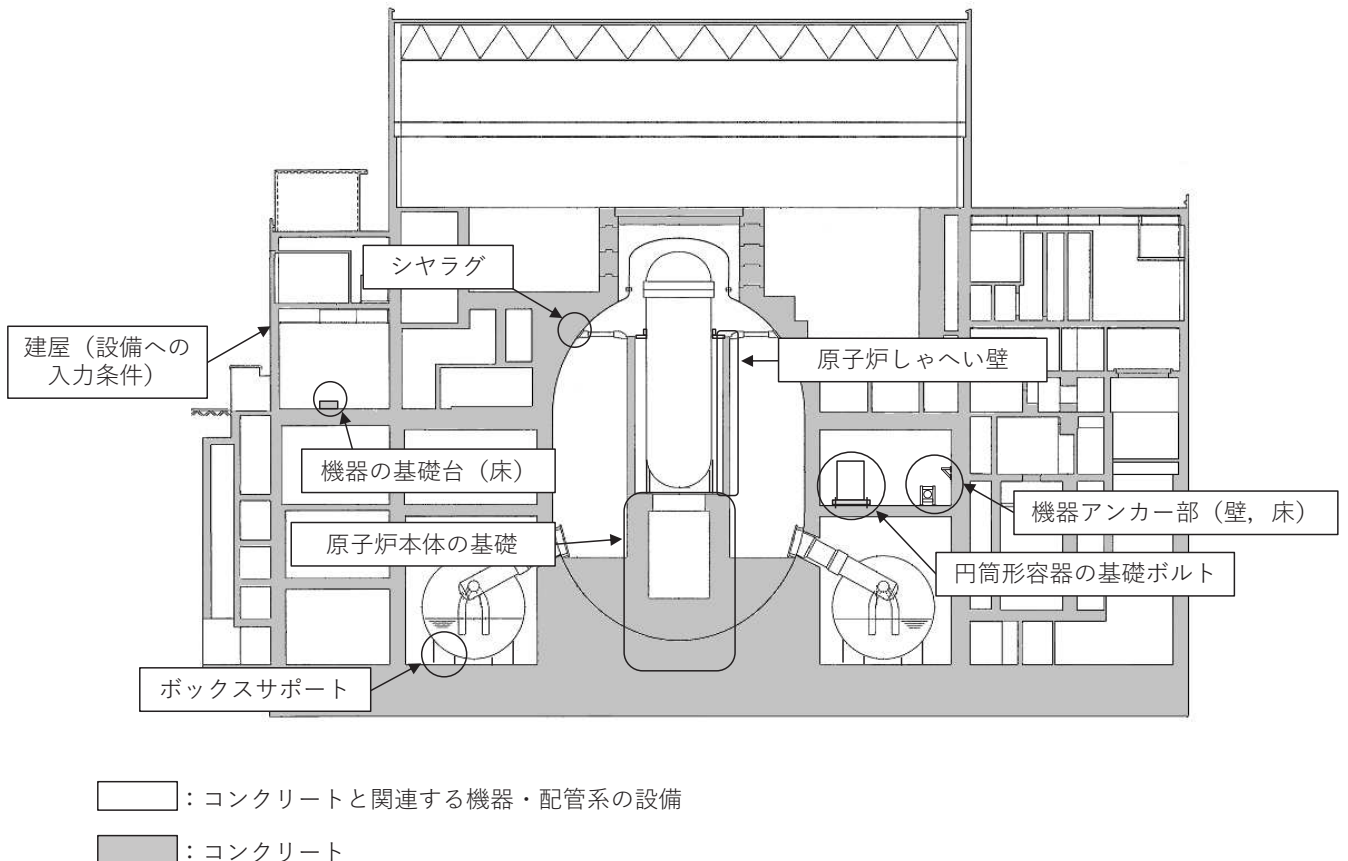
*1：新設建屋の工事に使用するコンクリートの骨材の一部は、既設建屋に用いたコンクリートの骨材と同じものを使用する予定

【参考】屋外重要土木構造物は基本的に弱軸方向を評価対象としており、それらは地中構造物のため、その応答は周囲の地盤の影響が支配的となる。

5.5 設備評価への反映方針

機器・配管系の設備評価においては、5.2 項に示した建屋の地震応答解析モデルにおける材料物性値のばらつきによる変動を考慮した建屋の地震応答解析結果を踏まえることとし、第 5.5-1 表に示す基本ケース及び不確かさケースの地震応答（床応答スペクトル，最大応答加速度，荷重等）を比較し，基本ケースの地震応答を超過する場合，機器・配管系の設計用地震力に及ぼす影響を検討し，設計に反映する。

ここで，材料物性値のうち建屋の初期剛性については，乾燥収縮及び地震影響によるコンクリートのひび割れが建屋の地震応答だけでなく，設備評価への影響の可能性が考えられる機器・配管系の設備を構造的な分類によって抽出し，設備の耐震評価において考慮すべき内容を整理する。第 5.5-1 図に抽出された設備の耐震評価において考慮すべき内容は，コンクリートのひび割れに係る建屋側の影響検討結果（建屋の初期剛性が低下していること，建屋躯体の耐力への影響がないこと），設備の構造特徴等を踏まえて，評価対象部位ごとに地震応答解析及び構造強度評価に区分して検討を行うとともに，その検討結果を第 5.5-2 表にまとめる。



第 5.5-1 図 コンクリートと関連する機器・配管系の設備

第 5.5-1 表 機器・配管系の設備評価において考慮する検討ケース一覧 (第 5.2-2 表再掲)

対象地震動	ケース名	スケルトンカーブ		建屋内増減衰	地盤物性	
		初期剛性	終局耐力		入力地震動	底面地盤ばね
基準地震動 Ss (水平動)	ケース 1 (基本ケース)	3.11 地震 シミュレーション	設計基準強度を用い JEA 式で評価 (=既工認)	5% (=既工認)	表層上部非線形 表層下部 Vs900m/s	標準地盤 (=既工認)
	ケース 2	同上	同上	同上	表層上部非線形 表層下部 Vs900+100m/s	標準地盤 +σ
	ケース 3	同上	同上	同上	表層上部非線形 表層下部 Vs900-100m/s	標準地盤 -σ
	ケース 4	同上	同上	同上	表層上部非線形 表層下部 Vs900m/s	標準地盤 (=既工認)
	ケース 5	基本ケースの 0.78 倍 (原子炉建屋の場合)	同上	5% (原子炉建屋の場合)	表層上部非線形 表層下部 Vs900+100m/s	標準地盤 +σ
	ケース 6	同上	同上	同上	表層上部非線形 表層下部 Vs900-100m/s	標準地盤 -σ
基準地震動 Ss (鉛直動)	ケース 1 (基本ケース)	3.11 地震 シミュレーション (=既工認)	-	5% (3.11 地震シミュレー ション) (=既工認)	直接入力 (=既工認)	標準地盤 (=既工認)
	ケース 2	同上	-	同上	同上	標準地盤 +σ
	ケース 3	同上	-	同上	同上	標準地盤 -σ
弾性設計用 地震動 Sd (水平, 鉛直)	ケース 1 (基本ケース)	3.11 地震 シミュレーション	-	5% (水平, 鉛直とも) (=既工認)	(水平) 表層上部非線形 表層下部 Vs900m/s (鉛直) 直接入力	標準地盤 (=既工認)
	ケース 2	同上	-	同上	表層上部非線形 表層下部 Vs900+100m/s	標準地盤 +σ
	ケース 3	同上	-	同上	表層上部非線形 表層下部 Vs900-100m/s	標準地盤 -σ

第 5.5-2 表 設備の耐震評価上考慮すべき内容の整理結果 (1/2)

評価対象部位	地震応答解析, 発生応力算出に対する考慮		許容限界に対する考慮	
	既工認における評価方法	今回工認における評価方法	既工認における評価方法	今回工認における評価方法
建屋 (設備評価への入力条件)	設計基準強度, 標準地盤の建屋モデルによる建屋応答解析を行い, 機器・配管系の耐震評価を実施している。また, 床応答スペクトルは ±10% 拡幅としている。	建屋の初期剛性低下や地盤物性の不確かさを考慮した建屋モデルを用いた地震応答解析を実施する。床応答スペクトルは, 建屋モデルの基本ケースに対する拡幅率 ±10% と不確かさケースの比較を行い, その結果を設計に反映する (添付 15 参照)。 原子炉建屋と連成解析を行う大型機器は, 建屋の地震応答解析モデル (基本ケース, 不確かさケース) を踏まえた応答解析結果を用いた設計とする。	○	-
原子炉本体の基礎	鋼板とコンクリートの複合構造であるため, コンクリートの剛性を考慮して地震応答解析を実施している。	コンクリートが鋼板で覆われており, 乾燥収縮によるひび割れの影響はないと考えられるが, 念のため, 剛性低下を考慮した地震応答解析を行い, 影響を確認して設計に反映する。	△	×
機器の基礎台	十分に剛な設計であることから, 地震応答解析モデルには考慮していない。	基礎台の剛性は十分に大きい。割れが地震応答解析モデルに与える影響はない。	×	×
機器アーカー一部	建屋躯体と十分深い位置で定着させるため, 地震応答解析モデルには考慮していない。	建屋躯体と十分深い位置で定着させる設計であり, 建屋躯体と一体となつて挙動するため, コンクリートのひび割れが地震応答解析モデルに与える影響はない。	×	×

第 5.5-2 表 設備の耐震評価上考慮すべき内容の整理結果 (2/2)

評価対象部位	地震応答解析, 発生応力算出に対する考慮		許容限界に対する考慮		今回工認における評価方法
	既工認における評価手法	ひび割れ影響有無*	今回工認における評価手法	ひび割れ影響有無*	
円筒形容器の基礎 ボルト	建屋躯体と十分に深い位置で定着させるため、地震応答解析モデルには考慮していない。また、応力算出に用いる鋼材とコンクリートのヤング係数比は、保守的に設定した値を用いている。	×	建屋躯体と十分深い位置で定着させる設計であり、建屋躯体と一体となって挙動するため、コンクリートのひび割れが地震応答解析モデルに与える影響はない。また、既工認と同様のヤング係数比を用いることで、コンクリートのヤング係数の低下の影響を包絡できている。	鋼材のみの物性値により評価を実施している。	既工認と同様、鋼材の物性値のみにより評価を実施する。
原子炉しゃへい壁	鋼板の剛性のみを考慮した地震応答解析を実施している。	×	既工認と同様、鋼板の剛性のみを考慮した地震応答解析を実施するため、コンクリートのひび割れが地震応答解析モデルに与える影響はない。	内部に充填されたモルタルには強度を期待せず、鋼板のみで耐える設計としている。	既工認と同様、モルタルには強度を期待せず、鋼板のみで耐える設計とする。
シヤラダ	地震応答解析に用いるばね定数は、シヤラダ(鋼材)のみの物性値によって設定している。	×	既工認と同様、シヤラダ(鋼材)のみの物性値によってばね定数を設定するため、コンクリートのひび割れが地震応答解析モデルに与える影響はない。	シヤラダ(鋼材)まわりのコンクリート部の圧縮に対する評価は、コンクリートの設計基準強度を用いている。	コンクリート部の圧縮に対してひび割れの影響は無視できること、また、ひび割れによってコンクリートの耐力(設計基準強度)は低下しないことから、影響はない。
ボックスサポート	建屋躯体と十分深い位置で定着させるため、地震応答解析モデルには考慮していない。	×	建屋躯体と十分深い位置で定着させる設計であり、建屋躯体と一体となって挙動するため、コンクリートのひび割れが地震応答解析モデルに与える影響はない。	ボックスサポート(鋼材)まわりのコンクリート部の圧縮に対する評価は、コンクリートの設計基準強度を用いている。	コンクリート部の圧縮に対してひび割れの影響は無視できること、また、ひび割れによってコンクリートの耐力(設計基準強度)は低下しないことから、影響はない。

* ○：ひび割れの影響がある

△：ひび割れの影響はないと考えられるが、念のため影響を確認する

×：ひび割れの影響がない

(1) 建屋（設備評価への入力条件）

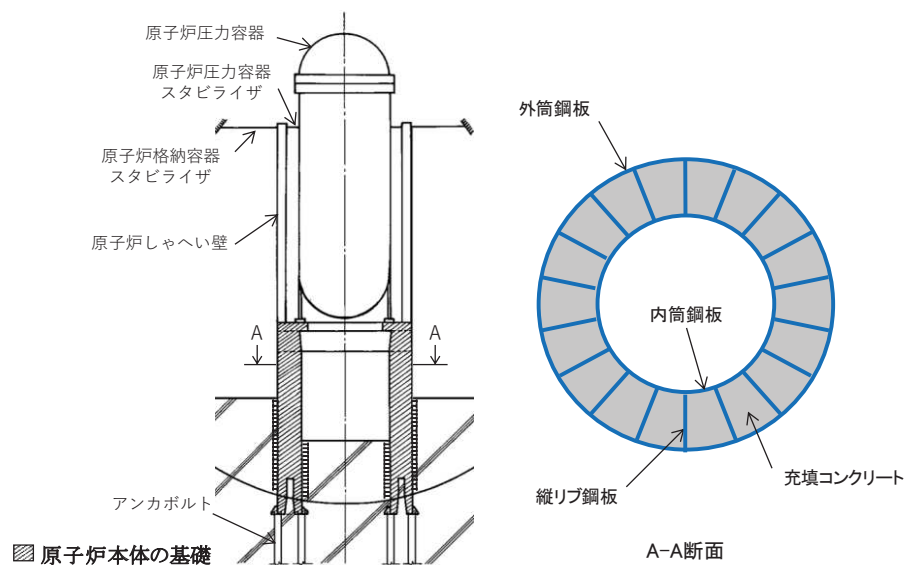
建屋の地震応答は設備評価への入力条件となるため、既工認の評価と同様に建屋の地震応答解析モデルの基本ケースの床応答スペクトルを±10%拡幅して評価に用いる（添付 15 参照）。また、不確かさケースの床応答スペクトルと比較し、不確かさケースの応答が基本ケースの応答を上回る場合には設計に反映する。なお、2号炉原子炉建屋の地震応答解析モデルは、床の柔性を考慮しているため、フロアごとに全質点の応答スペクトルを包絡して評価に用いることを基本とする。

原子炉建屋と連成解析を行う大型機器（原子炉压力容器、原子炉格納容器等）に対する設備評価においても、基本ケースだけでなく、不確かさケースを踏まえた建屋応答解析結果を用いた設計とする。

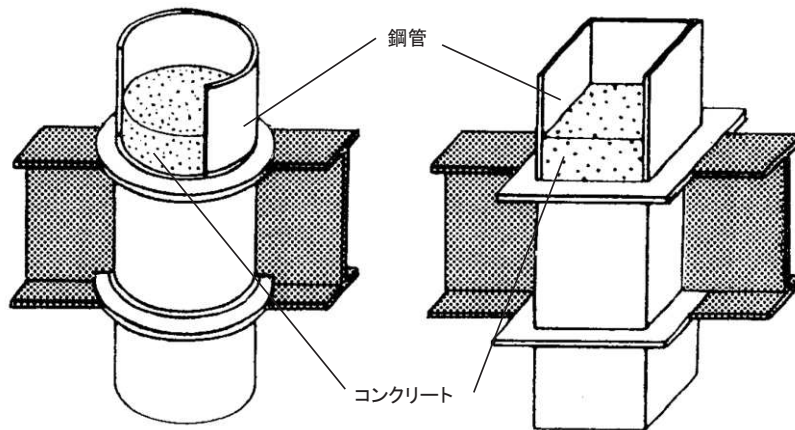
(2) 原子炉本体の基礎

原子炉本体の基礎の構造図を第 5.5-2 図に示す。原子炉本体の基礎は、外筒鋼板と内筒鋼板の間にコンクリートが充填された構造である。原子炉本体の基礎のコンクリートは、鋼板で覆われていることから、乾燥収縮の影響はないと考えられるが、念のため、原子炉本体の基礎のコンクリート剛性について、建屋側と同様に剛性低下を考慮した地震応答解析を行い、影響を確認して設計へ反映する。なお、コンクリートが鋼管によって密閉された状況のもとで固結するとき、乾燥が進まず、ほとんど収縮が起こらないため、コンクリートの乾燥収縮を無視しても差しつかえない、との知見がある⁽¹⁾。

原子炉本体の基礎の強度評価においては、既工認と同様、内部のコンクリート強度には期待せず、鋼板のみで耐える設計としていることから、コンクリートのひび割れの影響はない。



第 5.5-2 図 原子炉本体の基礎の構造図



第 5.5-3 図 CFT 構造のイメージ図 (参考図書(1)より引用)

(3) 機器の基礎台

機器の基礎台に対する設備設計においては、剛性が十分に大きくなるように設計していることから、機器の基礎台は剛構造として扱い、機器の応答解析モデルには考慮しない。

ここで、機器の基礎台が剛構造であることの確認として、耐震 S クラスの機器（原子炉補機冷却水ポンプ、残留熱除去系熱交換器、ほう酸水注入系貯蔵タンク）の基礎台を例として、形状に基づいた剛性を試算する。第 5.5-4 図に、試算における基礎台のイメージ図を示す。

水平荷重 Q が作用した際の曲げによる変位 δ_b 、せん断による変位 δ_s 、基礎台の剛性 K 及び固有振動数 f を式 1～式 4 によって算出する。計算結果を第 5.5-3 表に示す。なお、計算上の扱いとして、固有振動数が小さく算出されるように、機器の基礎台の質量は、重心位置ではなく基礎台頂部に設定している。

$$\delta_b = \frac{Q \cdot h^3}{3E_c \cdot I} \dots \dots \dots \text{式 1}$$

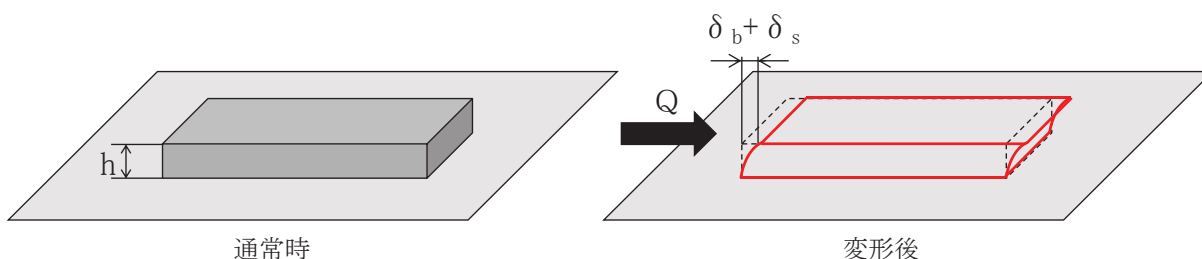
$$\delta_s = \frac{Q \cdot h}{A_s \cdot G_c} \dots \dots \dots \text{式 2}$$

$$Q = K(\delta_b + \delta_s) \dots \dots \dots \text{式 3}$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}} \dots \dots \dots \text{式 4}$$

- Q : 水平荷重
- h : 高さ
- A_s : せん断断面積
- G_c : コンクリートのせん断弾性係数

E_c : コンクリートのヤング係数
 I : 断面二次モーメント
 K : 剛性
 δ_b : 曲げによる変位
 δ_s : せん断による変位
 f : 固有振動数
 m : 質量



第 5.5-4 図 剛性の試算における基礎台のイメージ図

第 5.5-3 表 耐震 S クラス機器の基礎台の剛性及び固有振動数

名称	寸法 (mm)	高さ (mm)	剛性 (kN/mm)		固有振動数 (Hz)	
			短辺方向	長辺方向	短辺方向	長辺方向
原子炉補機冷却水ポンプ基礎台	3,950×1,500	200	3.27×10^5	3.36×10^5	1,690	1,711
残留熱除去系熱交換器基礎台	1,720×1,020	1,350	3.69×10^3	7.18×10^3	126	134
	1,800×1,100		4.65×10^3	8.48×10^3	177	181
ほう酸水注入系貯蔵タンク基礎台	φ 3,300	605	1.49×10^5		546	

第 5.5-3 表のとおり、機器の基礎台の剛性及び固有振動数は非常に大きく、コンクリートにひび割れが生じた場合においても十分剛構造であると考えられるため、コンクリートのひび割れが応答解析モデルに与える影響はない。

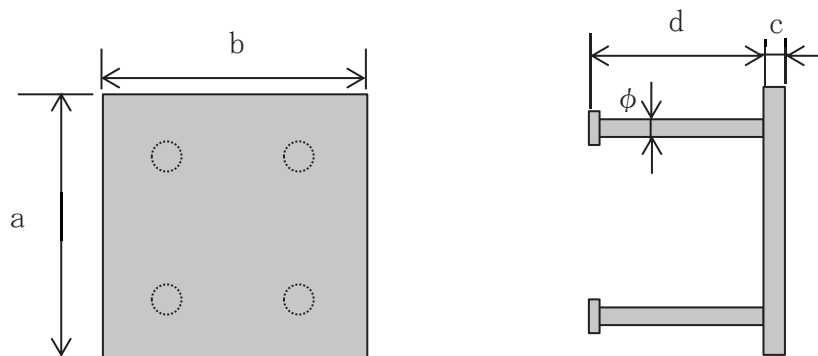
機器の基礎台に対する強度評価においては、建屋躯体と同様の構造であり、耐力への影響はないことから、既工認と同様 JEAG4601 に基づく設計とする。

(5) 機器アンカー部

機器アンカー部の設計においては、建屋躯体と十分に深い位置で定着させており、建屋躯体と一体となって挙動するため、機器の地震応答解析モデルには考慮しない。

ここで、2号炉の機器・配管系に使用する機器アンカー部の標準的な埋め込み金物の形状及び寸法の概要を第 5.5-5 図に、埋め込み金物の仕様を第 5.5-4 表に示す。機器アンカー部の埋め込み金物は、耐震クラスによらず、配管、ト

レイ、空調ダクト、盤等の支持に使用されており、各々の作用荷重やサポートの鋼材のサイズを考慮して選定している。



第 5.5-5 図 埋め込み金物の形状及び寸法

第 5.5-4 表 2号炉の機器・配管系に使用する機器アンカー一部の標準埋め込み金物の仕様一覧

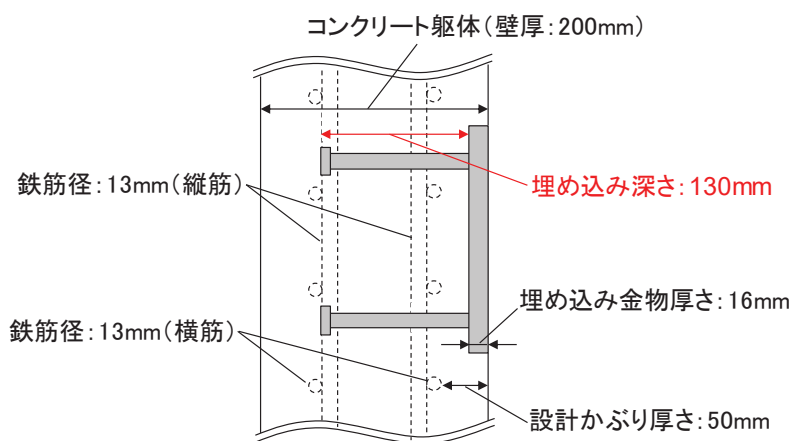
No.	金物寸法 a×b (mm)	埋め込み金物 厚さ c (mm)	埋め込み深さ d (mm)	スタッド本数 φ (mm)× (本)	備考
1	200×200	12	170	φ 16×4	
2	250×250	16	170	φ 16×4	
3	250×250	16	130	φ 16×4	薄壁 (200 mm) 専用
4	300×300	25	220	φ 22×4	
5	300×300	22	180	φ 19×4	
6	400×400	32	300	φ 22×8	
7	450×450	36	300	φ 22×8	
8	250×100	16	160	φ 16×2	
9	400×200	19	160	φ 19×8	使用実績なし*
10	450×250	19	160	φ 16×6	
11	800×125	9	100	φ 13×10	使用実績なし*
12	400 ~ 1300 ×200	19	260	φ 22×6~18	
13	300×300	16	130	φ 16×4	薄壁 (200 mm) 専用

※：2号炉での使用実績がないことを踏まえ、3号炉以降では設計仕様から削除

2号炉のアンカーの埋め込み深さは 100 mm～300 mmであり、使用実績を踏まえると、埋め込み深さが最小となるのは 130 mm（薄壁専用）である。なお、当該の金物は原子炉建屋には使用されておらず、制御建屋の階段室等、壁の薄い箇所（壁厚：200 mm）に使用されており、実機における埋め込み金物の設置状況を第 5.5-6 図に示す。

実機におけるアンカー端部は、設計かぶり厚さ 50 mmと鉄筋径 13 mmを考慮す

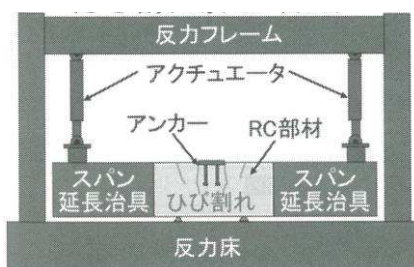
ると、主筋位置よりも十分深い位置で定着されている。



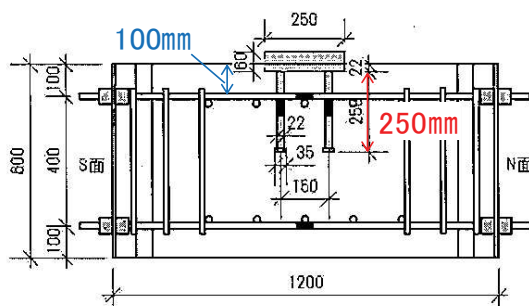
第 5.5-6 図 実機における埋め込み金物の設置状況

アンカー部のひび割れに対する剛性低下に係る参考知見として、ひび割れを付与した機器アンカー部の耐力試験⁽²⁾について確認する。

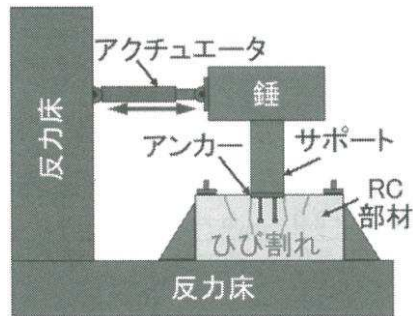
本試験は、ひび割れがアンカー耐力に及ぼす影響を確認することを目的として、アンカーの定着部付近に対して、主筋が降伏する程度の曲げ加力（2点支持，2点载荷）によって、ひび割れを付与した後、鋼製サポートを模擬した片持ち梁及び配管を模擬した錘をアンカープレートに設置し、アクチュエータによる繰返し载荷試験を行った。また、曲げ加力によって試験体に生じるひび割れ幅は約 2 mm であり、2号炉で確認されているひび割れ幅（大部分が 0.3 mm 未満）を上回る、より厳しい条件での試験となっている。第 5.5-7 図にひび割れ導入方法の概要図、第 5.5-8 図に試験体の外形図、第 5.5-9 図に加力試験の概要図を示す。



第 5.5-7 図 ひび割れ導入方法の概要図（参考資料(2)より引用）

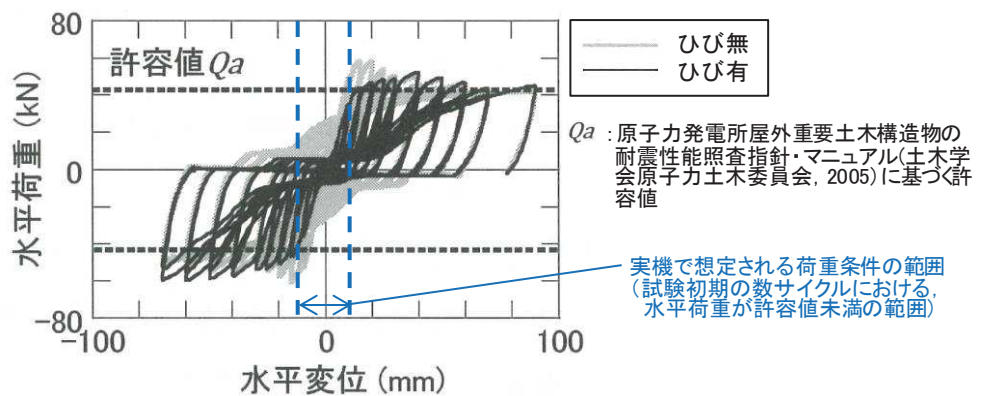


第 5.5-8 図 試験体の外形図（参考資料(2)より引用，一部加筆）



第 5.5-9 図 加力試験の概要図（参考資料(2)より引用）

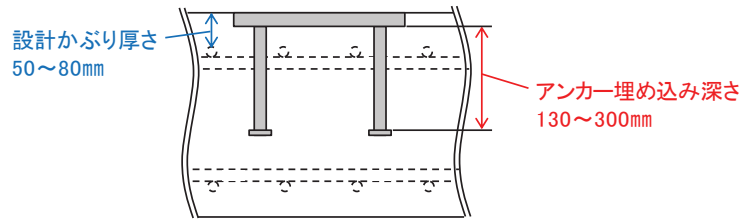
本試験における水平荷重と水平変位の関係を第 5.5-10 図に示す。試験結果は、耐力の低下が確認されるまで荷重を増加させたものであるが、実機で想定される荷重条件（試験初期の数サイクルにおける、水平荷重が許容値未満の範囲）においては、ひびがない場合と比較して剛性低下は僅かであり、耐力の低下も認められないことが分かる。



第 5.5-10 図 水平荷重と水平変位の関係（参考資料(2)より引用，一部加筆）

ここで、第 5.5-11 図に示すとおり、2号炉の実機におけるアンカー端部は、試験体と同様に主筋よりも深い位置にあり、2号炉のひび割れ幅は、試験体よりも小さいことから、コンクリートのひび割れによる剛性低下の影響は小さいと考えられる。

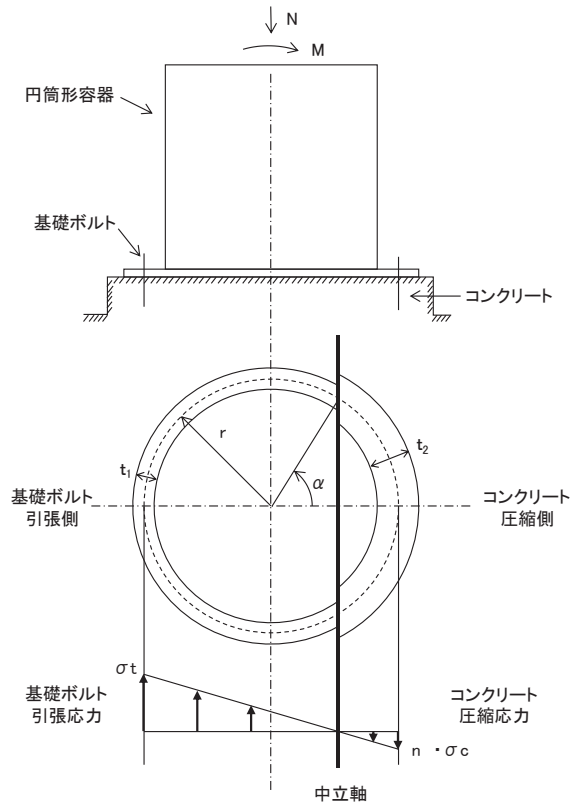
機器アンカー部の強度評価においては、コンクリートのコーン状破壊の評価について、建屋の面内せん断ひずみ度に応じた低減係数を考慮し、既工認と同様、JEAG4601に基づく設計とする（添付 14 参照）。



第 5.5-11 図 2号炉のアンカーと主筋の位置関係

(6) 円筒形容器の基礎ボルト

円筒形容器の基礎ボルトの強度評価においては、第 5.5-12 図に示すとおり、軸力と曲げモーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重の釣り合いを考慮（中立軸の設定）し、基礎ボルト（鋼材）と基礎部（コンクリート）のヤング係数比（鋼材／コンクリート）を用いて下式のとおり基礎ボルトの引張応力を算出する。



第 5.5-12 図 基礎ボルトの等価円筒及び応力分布の考え方

$$\frac{\sigma_t}{n \cdot \sigma_c} = \frac{1 + \cos \alpha}{1 - \cos \alpha}$$

$$\sigma_t = \frac{r(\sin \alpha \cos \alpha - \alpha)N + 2(\sin \alpha - \alpha \cos \alpha)M}{2\pi r^2 t_1 \sin \alpha (1 - \cos \alpha)}$$

$$\sigma_c = \frac{r\{\sin \alpha \cos \alpha + (\pi - \alpha)\}N + 2\{(\pi - \alpha) \cos \alpha + \sin \alpha\}M}{2\pi r^2 t_2 \sin \alpha (1 + \cos \alpha)}$$

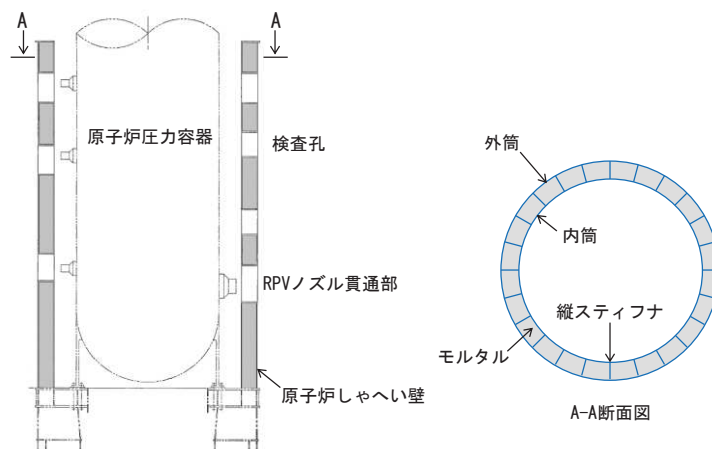
- σ_t : 基礎ボルト (鋼材) の引張応力 (N/mm²)
- σ_c : 基礎部 (コンクリート) の圧縮応力 (N/mm²)
- n : 鋼材とコンクリートのヤング係数比 (-)
- α : 中立軸の位置を表す角度(rad)
- r : 基礎ボルトの等価円筒中心半径 (mm)
- N : 軸力 (N)
- M : 曲げモーメント (N・mm)
- t_1 : 基礎ボルト (引張側) の等価円筒厚さ (mm)
- t_2 : コンクリート (圧縮側) の等価幅 (mm)

ここで、ひび割れによってコンクリートのヤング係数が低下した場合、鋼材とコンクリートのヤング係数比は大きくなるが、既工認の評価から、基礎ボルトの引張応力が大きく算出されるようにヤング係数比を設定しているため (ひび割れやクリープによるコンクリートの剛性低下を想定⁽³⁾) コンクリートのひび割れによる影響はない。なお、原子炉本体の基礎を例にとると、鋼材のヤング係数は $2.1 \times 10^7 \text{t/m}^2$ 、コンクリートのヤング係数は $2.7 \times 10^6 \text{t/m}^2$ であり、コンクリートのヤング係数が 0.7 倍に低下した場合 (建屋の初期剛性低下量を参考に設定) の鋼材とコンクリートのヤング係数比は 11.1 ($2.1 \times 10^7 / (2.7 \times 10^6 \times 0.7)$) となり、既工認での設定値である 15 に包絡される。

(7) 原子炉しゃへい壁

原子炉しゃへい壁の構造図を第 5.5-13 図に示す。原子炉しゃへい壁は、鋼板の剛性のみを考慮した地震応答解析を実施しているため、コンクリートのひび割れの影響はなく、地震応答解析モデルへの反映事項はない。

原子炉しゃへい壁の強度評価においては、内部に充填されたモルタルには強度を期待せず、鋼板のみで耐える設計としていることから、既工認と同様の設計とする。

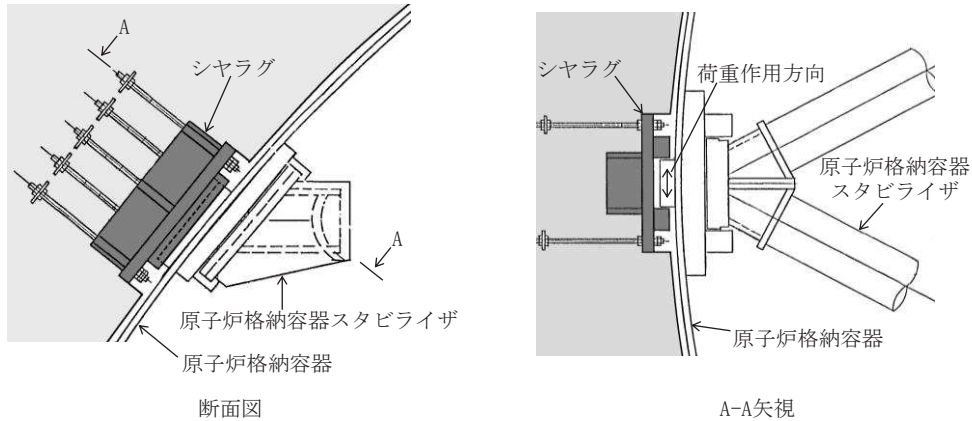


第 5.5-13 図 原子炉しゃへい壁の構造図

(8) シヤラグ

シヤラグの構造図を第 5.5-14 図に示す。シヤラグの地震応答解析に用いるばね定数は、鋼材の物性値により設定されるため、コンクリートのひび割れの影響はなく、地震応答解析モデルへの反映事項はない。

シヤラグの強度評価においては、コンクリートに作用する荷重が圧縮荷重であり、コンクリートの圧縮に係る評価には、設計基準強度を用いており、ひび割れの影響は無視できることから、既工認と同様、JEAG4601 に基づく設計とする。

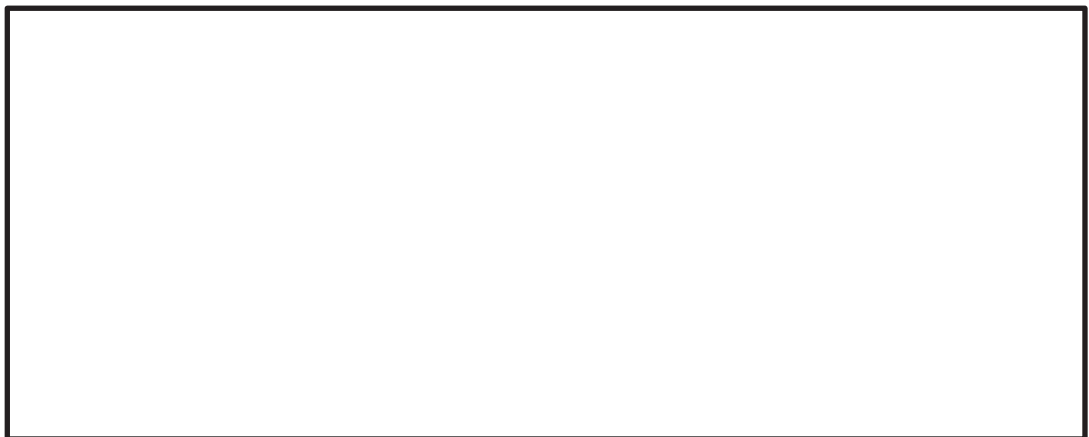


第 5.5-14 図 シヤラグの構造図

(9) ボックスサポート

ボックスサポートの構造図を第 5.5-15 図に示す。ボックスサポートは、建屋躯体と十分に深い位置で定着させており、建屋躯体と一体となって挙動するため、機器の地震応答解析モデルには考慮しない。

ボックスサポートの強度評価においては、コンクリートに作用する荷重が圧縮荷重であり、コンクリートの圧縮に係る評価には、設計基準強度を用いており、ひび割れの影響は無視できることから、既工認と同様、JEAG4601 に基づく設計とする。



第 5.5-15 図 ボックスサポートの構造図

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

参考文献

- (1) 土木学会：鋼・コンクリート複合構造の理論と設計（1）基礎編：理論編
- (2) 土木学会：原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針〈技術資料〉
2018
- (3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 1999

5.6 鉄筋コンクリート躯体の乾燥収縮及び地震影響を踏まえた各条文の要求機能に対する機能維持の方針の整理

5.6.1 影響検討方針

建屋耐震設計においては、鉄筋コンクリート躯体の乾燥収縮等による建屋の初期剛性低下の影響を考慮して設計に反映している。

ここでは、各条文に対する鉄筋コンクリート躯体の乾燥収縮等によるひび割れの影響の有無や設計方針への反映の有無について整理するため、以下の検討手順および影響検討フローで網羅的に検討を実施する。

【STEP1】

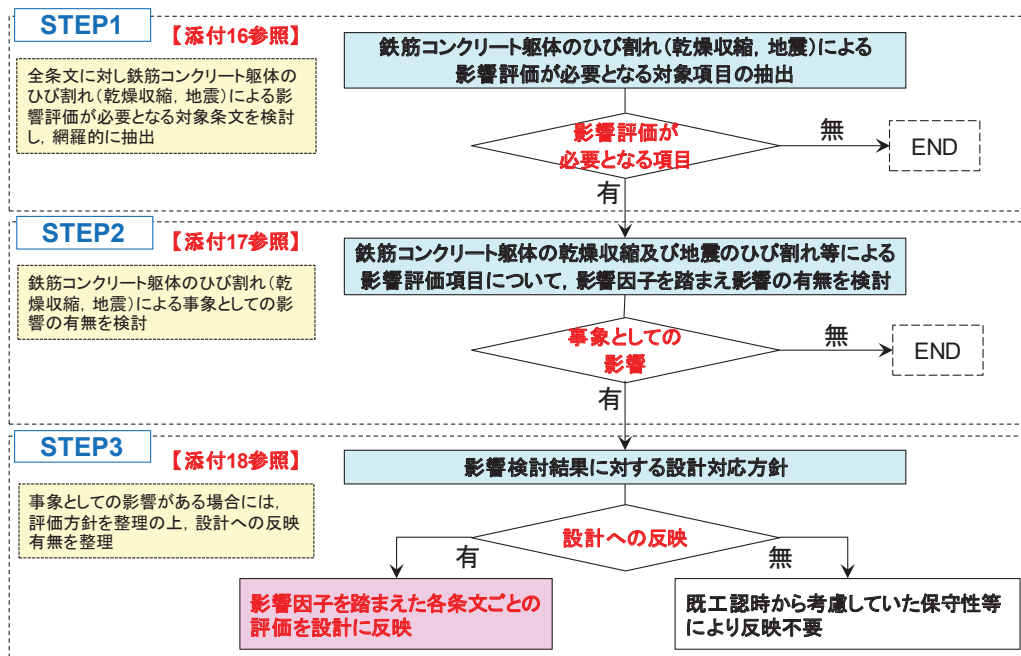
全条文に対し、鉄筋コンクリート躯体のひび割れ（乾燥収縮・地震）による影響評価が必要となる対象条文を抽出する。（添付 16）

【STEP2】

抽出された各条文の要求機能に対して、鉄筋コンクリート躯体のひび割れ（乾燥収縮・地震）による、具体的な事象としての影響の可能性および影響因子を整理の上、事象としての影響の有無を検討する。（添付 17）

【STEP3】

抽出された各条文に対して、事象としての影響「有」の場合に、評価方針を整理の上、設計への反映有無を整理する。（添付 17）



第 5.6.1-1 図 影響検討フロー

5.6.2 影響検討結果 (1)

影響検討フローに基づく影響検討結果のうち、設計への反映が必要と整理した事項の概要は以下のとおり。

<建屋の鉄筋コンクリート躯体に関連する検討概要>

設計への反映が必要と整理した建屋の鉄筋コンクリート躯体に対する影響因子としては、

- ①建屋の初期剛性低下に伴う機器・配管系の耐震性、躯体の変形評価、重量物落下（壁）などへの影響
- ②地震時の建屋躯体のひび割れに伴う地震起因の気密性、止水性、遮蔽性などへの影響

が挙げられ、これらに対しては建屋の初期剛性低下を考慮した地震応答解析モデルを用いて評価を行うことで、乾燥収縮等の影響を考慮した評価方針とする。

<土木構造物，防潮堤，防潮壁の鉄筋コンクリート躯体に関連する検討概要>

設計への反映が必要と整理したそれぞれの構造物に鉄筋コンクリート躯体に対する影響因子としては、

- ①乾燥収縮等による初期剛性低下に伴う地震時の防潮堤，防潮壁の部材の発生断面力等への影響
- ②地震によるひび割れに伴う土木構造物の止水性，貯水機能への影響
- ③地震によるひび割れに伴う津波時の土木構造物，防潮壁，防潮堤の止水性への影響が挙げられ，それぞれに対して以下のとおり設計へ反映することとする。

初期剛性低下の影響（①）を確認するため，防潮堤及び防潮壁について初期剛性低下を考慮した地震応答解析を実施し，部材の発生断面力等を確認する。

地震によるひび割れに対する貯水機能への影響（②）については，土木構造物において貯水機能が要求される部位は地中であり周辺が盛土等であることから，部材を概ね弾性範囲の設計とすることで保守性を確保する。

地震によるひび割れに対する止水性（②，③）については，地震時の面内変形および面外変形に対する評価を行い漏水量を評価するか，許容値に対して余裕を確保する設計とする。

5.6.3 影響検討結果 (2)

フロー図に基づく影響検討結果のうち、設計への反映が不要と整理した事項の概要は以下のとおり。

以下の鉄筋コンクリート躯体に対する影響因子に対しては、検討の結果、設計への反映不要と評価した。

- ・土木建造物の初期剛性低下の影響・・・土木建造物の耐震性
- ・コンクリートのコーン状破壊に対する許容荷重・・・アンカーの支持性能
- ・通常時のコンクリート構造体のひび割れ幅
 - ・・・止水性，気密性，遮蔽性など
- ・コンクリートの構造体としての健全性，圧縮強度，躯体厚さ
 - ・・・耐火性，遮蔽性，重量物落下（屋根），竜巻飛来物に対する裏面剥離評価など
- ・コンクリート温度伝導率・・・外部火災に係るコンクリートの表面温度
- ・コンクリート侵食量・・・MCCI の抑制

<主な検討概要>

土木建造物の耐震評価については、周囲の地盤の振動が支配的となり、主たる荷重である土圧は剛性が小さいほど小さく評価されることから、安全側の評価となるため初期剛性低下の影響はない。

通常時のひび割れ幅については、耐久性の観点から保守管理を実施することから乾燥収縮の影響は無い。なお、最終貯留区画の止水性を確保するためのひび割れの保守管理については、5.6.4 のとおり幅 0.2mm 以上のひび割れを補修する方針とする。

屋根の重量物落下については、5.6.5 のとおり、屋根スラブが鋼板（デッキプレート）の上に鉄筋コンクリート造の屋根を設けた構造であり、地震により落下しない設計であることから影響はない。

コンクリート温度伝導率については、5.6.6 のとおり、乾燥収縮ひび割れがコンクリート温度伝導率（密度，熱伝導率，比熱）に与える影響を保守的に考慮して、外部火災に対する建屋外壁の危険輻射強度を算定した結果、その影響は僅かであるため、影響はない。

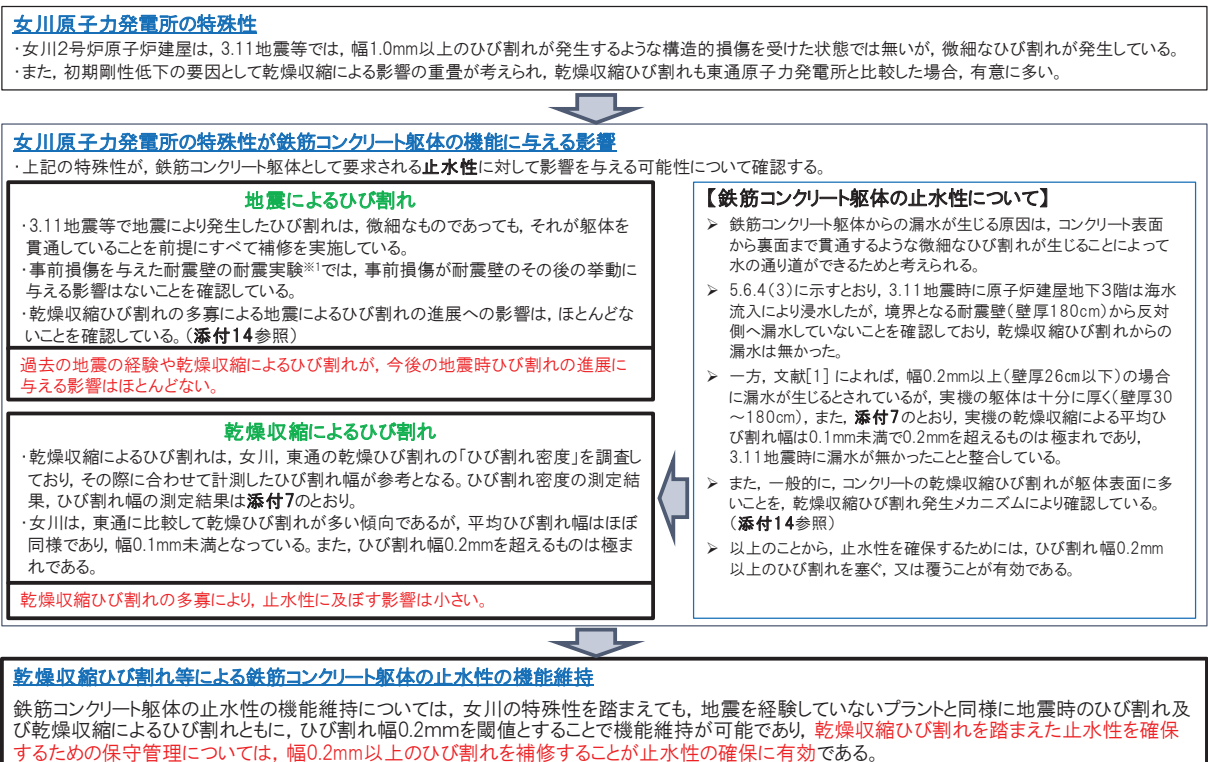
竜巻飛来物に対する裏面剥離評価については、5.6.7 のとおり、裏面剥離限界厚さの算定に鉄筋コンクリートの設計基準強度を用いており、乾燥収縮ひび割れがある躯体でも設計基準強度を上回っており影響はない。

5.6.4 乾燥収縮ひび割れ等による鉄筋コンクリート躯体の止水性について

(1) 乾燥収縮ひび割れ等による鉄筋コンクリート躯体の止水性について

乾燥収縮ひび割れ等による鉄筋コンクリート躯体の止水性について、女川原子力発電所の特殊性がその機能に与える影響について、地震によるひび割れ及び乾燥収縮ひび割れに対して確認を行った。(第5.6.4-1図)

その結果、鉄筋コンクリート躯体の止水性の機能維持については、女川の特殊性を踏まえても、地震を経験していないプラントと同様に地震時のひび割れ及び乾燥収縮によるひび割れとともに、ひび割れ幅0.2mmを閾値とすることで機能維持が可能であり、乾燥収縮ひび割れを踏まえた止水性を確保するための保守管理については、幅0.2mm以上のひび割れを補修することが止水性の確保に有効であると考えられる。



文献[1] コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針—2013—:社団法人 日本コンクリート工学協会

※1 耐震実験[2] 耐震実験による事前損傷が終局耐力に与える影響検討 (添付11)

第5.6.4-1図 乾燥収縮ひび割れ等によるRC躯体の止水性の機能維持方針

(2) 乾燥収縮ひび割れを踏まえた止水性を確保するための保守管理について

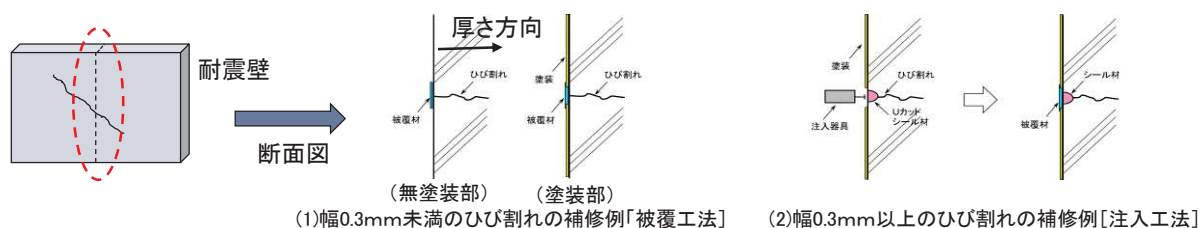
乾燥収縮によるひび割れの補修に際しては、ひび割れ幅 0.2mm 以上のものを補修することで止水性を十分に確保できると考えられるため、内部溢水評価における最終貯留区画の壁・床については、以下のとおり、点検・補修を定期的実施していく方針とする。なお、現在、乾燥収縮は収束しており（添付 7 参照）、乾燥収縮ひび割れが毎年増大していく状態ではない。

①ひび割れ幅 0.05mm を超えるもの～0.2mm 未満のひび割れについては、ひび割れ調査を実施し、乾燥収縮ひび割れの進展状況を観察することとし、ひび割れ幅 0.2mm 以上のひび割れについては、対象となるひび割れすべての調査図を作成し管理する

②ひび割れ幅 0.2mm 以上となったひび割れは、すべて補修を実施する

補修方法については、0.3mm 未満のひび割れ幅ではエポキシ樹脂等の注入は困難であるため、被覆材により表面を覆う工法（被覆工法）とする。

なお、最終貯留区画に集水するまでの経路上の止水性については、階段室、床ドレン、開口部などを通じて下階へ溢水伝播され長時間貯留されることはなく、内部溢水評価への影響はないことから、ひび割れ点検及び補修等の保守管理は一般部と同様に適切に実施する。



第 5.6.4-2 図 鉄筋コンクリート躯体の補修方法

第 5.6.4-1 表 最終貯留区画の止水性を確保するための

ひび割れの保守管理についての整理

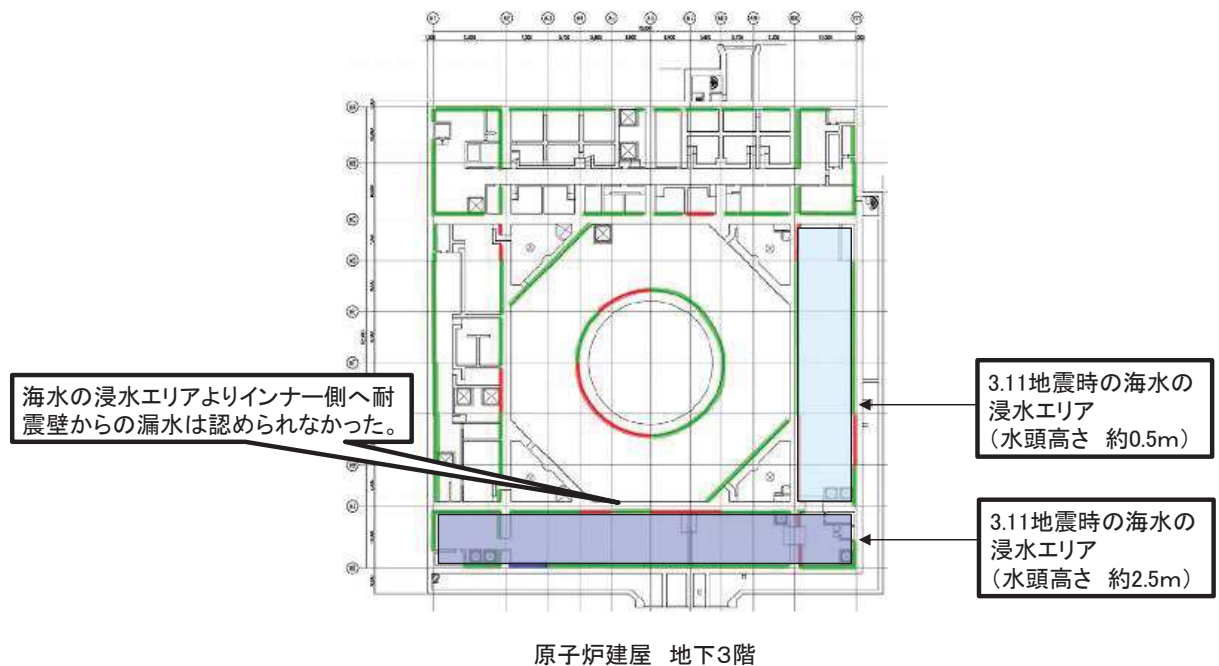
	ひび割れ幅	
	0.05mm 超～0.2mm 未満	0.2mm 以上
通常時	ひび割れ幅 0.05mm を超えるもの～0.2mm 未満の乾燥収縮ひび割れについては、ひび割れ調査を実施し、乾燥収縮ひび割れの進展状況を観察する。	ひび割れ幅 0.2mm 以上のひび割れについては、対象となるひび割れすべての調査図を作成・管理の上、ひび割れ幅 0.2mm 以上となったひび割れは、すべて補修を実施する。
地震後	止水性の確保の観点からは、地震によるひび割れも 0.2mm が閾値となるが、ひび割れが躯体を貫通していることを前提に耐久性の観点から補修を実施する。なお、地震が原因ではない、経年的なひび割れや施工時のものと明確に判断できないひび割れは、保守的に地震によるものとして扱う。	同上

※網掛け部分が基準適合上必要な管理

(3) 3.11 地震時の海水流入の際の乾燥収縮ひび割れ等の影響について

3.11 地震時において、第 5.6.4-3 図に示す原子炉建屋地下 3 階は海水流入により浸水したが、境界となる耐震壁から反対側へ漏水していないことを確認していることから乾燥収縮ひび割れからの漏水はないと言える。

女川の乾燥収縮ひび割れは、添付 7 に示す通りほとんど幅 0.1mm 未満であり、ひび割れ幅 0.2mm を超えるものは極まれである。文献[1]によれば、ひび割れ幅 0.2mm 未満であれば止水性が確保されることから、幅 0.2mm 以上の乾燥収縮によるひび割れを適切に補修することで漏水は生じない。



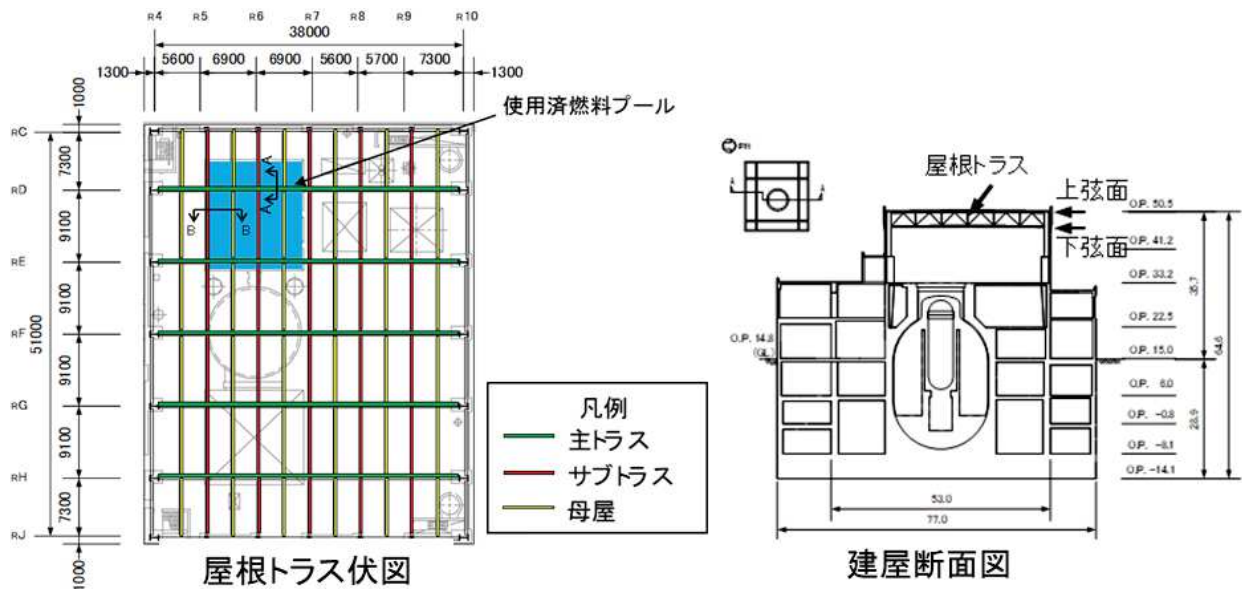
第 5.6.4-3 図 3.11 地震時の海水流入範囲

文献[1] コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針-2013-：社団法人 日本コンクリート工学協会

5.6.5 原子炉建屋原子炉棟屋根の使用済燃料プールへの落下防止対策

原子炉建屋原子炉棟の屋根は、鉄筋コンクリート造の屋根スラブ、鋼板（デッキプレート）、屋根トラス等で構成されており、以下の通り、屋根スラブは使用済燃料プールに落下しない設計とする。

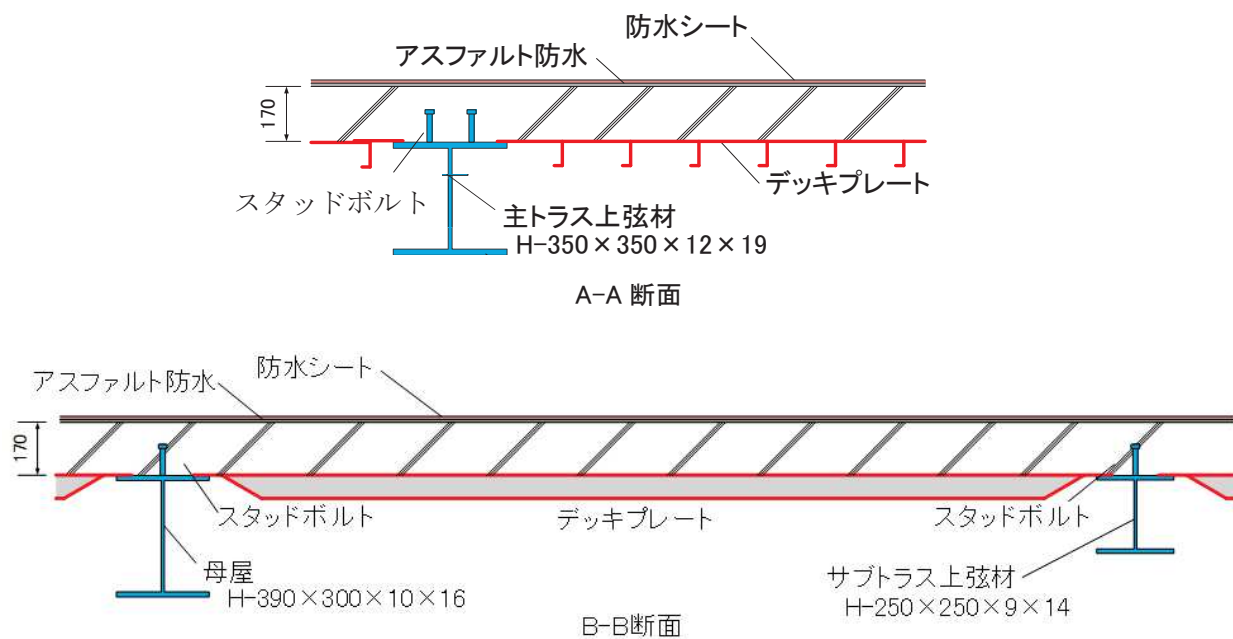
- ①鉄筋コンクリート造屋根スラブは、二次格納施設としての機能維持要求に対して、基準地震動 S_s に対する耐震性を確保する設計とする。
- ②屋根スラブは①の確認により、間接支持構造物である屋根トラス（主トラス、サブトラス、母屋）が損壊しない限り使用済燃料プールに落下することはない。
- ③屋根スラブは、さらに第 5.6.5-1 図に示す構造のデッキプレートと一体で施工されているため、屋根スラブ下面全体が鋼板で覆われていることから、コンクリート片が落下することはない。



第 5.6.5-1 図 原子炉建屋原子炉棟屋根トラス等の概要



第 5.6.5-2 図 原子炉建屋原子炉棟天井の状況



第 5. 6. 5-3 図 原子炉建屋原子炉棟屋根の断面図

5.6.6 外部火災の耐熱性（熱影響評価）への影響について

(1) 外部火災による建屋外壁に対する熱影響評価

外部火災の熱影響評価では、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃に至る輻射強度を危険輻射強度とし、火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、想定する火災の輻射強度が危険輻射強度を越えないことを、危険距離及び離隔距離から確認している。

危険輻射強度を用いる熱影響評価には森林火災、敷地外危険物貯蔵施設、燃料輸送車両及び漂流船舶の火災の影響評価があるが、漂流船舶の火災の評価が判定基準に対して最も厳しい評価となるため、漂流船舶の火災について危険輻射強度への影響を確認する

漂流船舶の火災の影響評価には以下の評価式を用いており、外壁表面の温度 T が 200℃となる輻射強度 E を危険輻射強度として算出する。このうち、コンクリート躯体が関係する物性パラメータは、赤字で示すものであることから、これらのパラメータに対する乾燥収縮ひび割れの影響を確認した。

$$T = T_0 + \frac{2E\sqrt{\alpha t}}{\lambda} \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{4\alpha t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right) \right]$$

T : 外壁表面温度(℃)

T_0 : 初期温度(50[℃])

E : 輻射強度[W/m²]

t : 火災継続時間[s]

x : コンクリート深さ

α : コンクリート温度伝導率 $\left[\alpha = \frac{\lambda}{\rho C_p} \right]$ [m²/s]

λ : コンクリート熱伝導率 (1.74 [W/m/K])

C_p : コンクリート比熱(963 [J/kg/K])

ρ : コンクリート密度(2400[kg/m³])

(2) 乾燥収縮ひび割れが建屋外壁の熱影響評価に与える影響

コンクリート物性に関するパラメータへの影響は、以下の通り確認した。

- コンクリート深さは、外壁表面を算定位置 ($x=0\text{m}$) としているため評価に影響しない。
- コンクリート温度伝導率は、熱伝導率、比熱および密度と関連するため、その影響を試算により確認する。

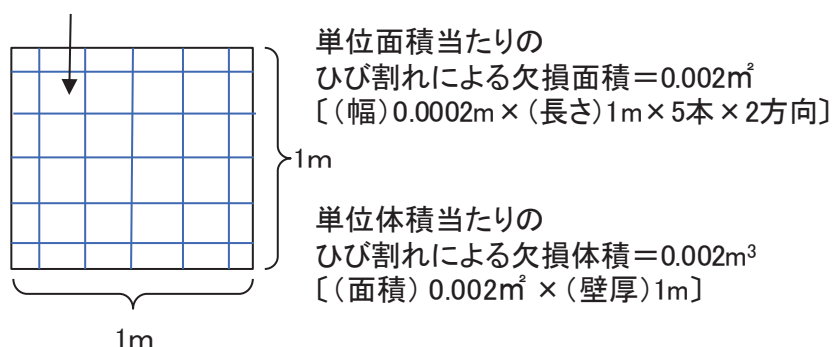
【試算条件】

- ・ 2号炉原子炉建屋の乾燥収縮ひび割れ調査結果（添付7）では、ひび割れ密度（1m 当たりのひび割れ本数）は4～5程度、乾燥収縮ひび割れの平均ひび割れ幅は0.05～0.07 mm程度であり、ひび割れ幅0.2mm以下のひび割れが99.3%であったため、試算条件として保守的に乾燥収縮ひび割れは、0.2mmのひび割れが1m 当たり5本、縦にも横にも貫通して入ると仮定する。
- ・ 上記の仮定に基づき、密度を体積比で算定すると0.2%低下する。熱伝導率および比熱は、0.2%程度の密度の低下では変動量は極めて小さいと考えられることから変化しないと仮定する。

【影響検討結果】

- ・ 最も評価が厳しい漂流船舶の火災による原子炉建屋の危険輻射強度への影響について検討を行ったところ、現状の評価結果である $1086.9\text{W}/\text{m}^2$ に対して $1085.8\text{W}/\text{m}^2$ であり、 $1.1\text{W}/\text{m}^2$ の変動であることから、保守的な条件を仮定しても、乾燥収縮ひび割れによる影響が僅かであり、評価結果に影響を与えないことを確認した。

0.2mmのひび割れが1m 当たり5本、
縦にも横にも貫通して入ると仮定



第5.6.6-1 図 建屋外壁にひび割れが入った場合の試算条件

5.6.7 裏面剥離評価への影響について

(1) 鉄筋コンクリート造構造物の裏面剥離限界厚さの算定方法

竜巻の影響を考慮する施設の構造強度評価のうち、鉄筋コンクリート造構造物の裏面剥離限界厚さの算定式例を以下に示す。

(なお、算定式例は NEI07-13^{*1}に示されている Chang (1981) ^{*2}による算定式を単位換算したもの。)

Chang (1981) は、円柱状の飛来物がコンクリート板に衝突したときに、コンクリート板の裏面に曲げモーメントが生じて板が曲げ降伏することによって裏面剥離が生じると仮定し、飛来物の全運動エネルギーと板の変形による吸収エネルギーのつり合い条件から、裏面剥離限界厚さを算定している。

コンクリート板の変形による吸収エネルギーは、コンクリート板の圧縮側の曲げモーメントが最大となる半径 R (第 5.6.7-1 図参照) の円周上のひずみエネルギーで表されており、その終局曲げモーメントはコンクリートの圧縮強度から算定している。

以上のように Chang (1981) は、コンクリートの圧縮強度を用いた裏面剥離限界厚さの算定式となっている。

(2) 乾燥収縮ひび割れを踏まえた影響検討

本算定式で想定している終局曲げモーメントに達する状態では、多くのひび割れが生じることから、乾燥収縮によるひび割れが終局状態に及ぼす影響は小さい。

また、吸収エネルギーは、R の円周上だけではなく飛来物の衝突部周辺でも、エネルギーが吸収されることから、保守的な評価と考えられる。

評価におけるコンクリートの圧縮強度は設計基準強度を用いており、乾燥収縮ひび割れがあるコア供試体強度が、添付 10 に示すとおり設計基準強度を上回っている。

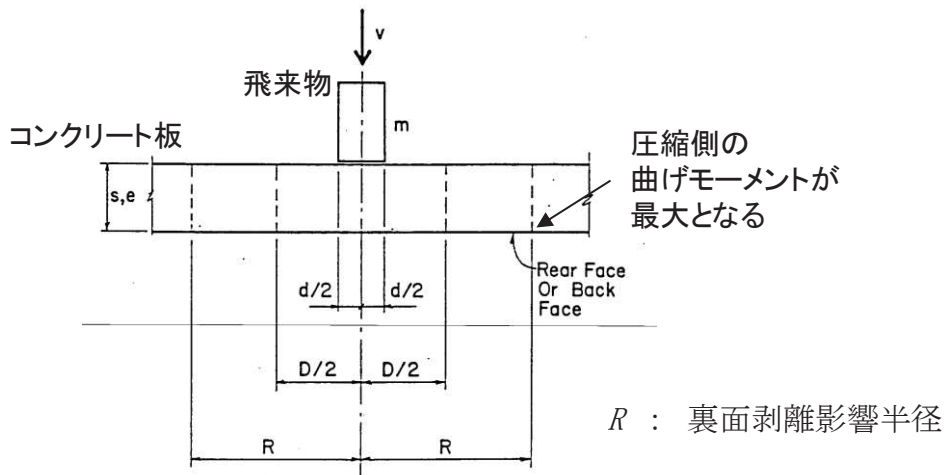
以上のことから、乾燥収縮ひび割れがある躯体に対して、本算定式の適用性にも問題はなく、裏面剥離評価への影響はない。

※1 Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs, Revision 7, 2009

※2 Chang, W.S.: Impact of Solid Missiles on Concrete Barriers, Journal of the Structural Division, ASCE Vol. 107, No. 2, 257-271, 1981.

$$t_s = 1.84 \alpha_s \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0.13} \frac{(WV^2/980)^{0.4}}{d^{0.2} Fc^{0.4}}$$

- t_s : 裏面剥離限界厚さ (cm)
- α_s : 飛来物低減係数 (1.0)
- W : 飛来物の重量 (kgf)
- V_0 : 飛来物基準速度 (=6,096cm/s)
- V : 飛来物の衝突速度 (cm/s)
- d : 飛来物の直径 (cm)
- Fc : コンクリートの設計基準強度 (kgf/cm²)



第 5.6.7-1 図 飛来物衝突によるコンクリート板の裏面剥離

6. まとめ

6.1 検討結果の概要

女川原子力発電所は、3.11地震等による地震動を受けており、主要建屋で観測された地震観測記録から、建屋の剛性が設計で考慮している初期剛性に比べ低下している傾向が確認された。

初期剛性が設計より低下している要因としては地震動と乾燥収縮の影響の重畳と考えられるが、それぞれの因子が終局耐力に影響を与えないことを確認した上で、基準地震動 S_s に対する地震応答解析モデルを策定した。また、不確かさケースとして、更なる初期剛性の低下を考慮したモデルを策定した。なお、静的地震力の評価や基礎版（FEMモデル）においても剛性低下の影響を確認する。

鉄筋コンクリートの耐震以外の機能（支持性能、気密性、遮蔽性、止水性）に対しても女川の状況を踏まえ、保守性を考慮した評価を適用するとともに、モニタリングの充実^{※1}を図る。

※1 モニタリングの充実

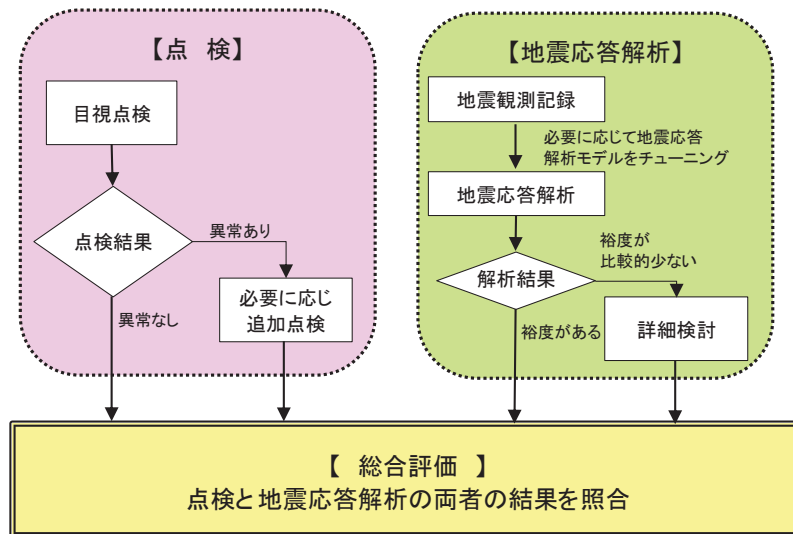
- ・これまで耐震壁の保守管理における点検では、乾燥収縮等によるひび割れは幅 0.2mm 以上のみ概略位置を記録していたが、乾燥収縮等によるひび割れをより詳細に記録するための点検、記録方法の充実を図り、地震後の点検との比較評価が可能となるようにする。
- ・また、層間変位計測システムにより計測された変位より、オペフロ上部には耐震性に影響はないが、わずかな残留変位が認められた。残留変位とひび割れ本数、幅との関係について、更なる検討を進め、今後の維持管理に反映していく。
- ・新たに設置する安全上重要な建屋については、地震観測装置を設置する。また、既設建屋についても 3.11 地震に対する振動性状の詳細検討結果に応じて観測の充実を図る。

また、将来地震に見舞われた時は、特別な保全計画に基づく地震後健全性評価に加え、3.11地震等の影響を踏まえて設計体系に反映した事項（初期剛性低下の考慮等）について分析し、設計の妥当性を確認する。なお、必要に応じてその結果を踏まえた基準地震動 S_s に対する健全性確認を行う。

上記の方針については、既設建屋及び新設建屋ともに確認を行うこととし、設置許可段階での申請上は、「添付書類八 原子炉施設の安全設計に関する説明書 1.3 耐震設計」に、『耐震性の確認』の項目として反映^{※2}する。

※2 具体的な反映事項

- ・新たに設置する安全上重要な建屋については、地震観測装置を設置する。また、既設建屋についても 3.11 地震に対する振動性状の詳細検討結果に応じて観測の充実を図る。
- ・将来地震に見舞われた時は、3.11 地震等の影響を踏まえて設計体系に反映した事項（初期剛性低下の考慮等）について分析し、設計の妥当性を確認する。



第 6.1-1 図 特別な保全計画に基づく地震後健全性評価の全体フロー

6.2 剛性低下を踏まえた建屋解析手法の高度化

地震による建屋の剛性低下について、動的振動台を用いた実験等を通じ、剛性低下を反映した建屋解析手法の高度化等、以下の検討に取り組む。

(1) 大入力に対する建屋挙動

- ・ 建屋 3 次元 FEM 解析による建屋挙動に関する知見の蓄積

(2) 実建屋の地震観測による 3 次元振動特性同定法開発

- ・ 建屋の 3 次元振動特性評価手法

(3) 地震経験を考慮した地震荷重評価法の開発

- ・ 地震後剛性低下を考慮した RC 部材の地震荷重評価法の整備

これらの取り組みには、原子力リスク研究センターが主体となって進めるが、情報共有して進めていく。

鉄筋コンクリート躯体のひび割れ（乾燥収縮・地震）による影響評価が必要となる対象条文の抽出について

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
<p>第三条（設計基準対象施設の地盤）</p> <p>設計基準対象施設は、次条第二項の規定により算定する地震力（設計基準対象施設のうち、地震の発生によって生ずるおそれがあるその安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度が特に大きいもの（以下「耐震重要施設」という。）にあっては、同条第三項に規定する基準地震動による地震力を含む。）が作用した場合においても当該設計基準対象施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。</p> <p>2 耐震重要施設は、変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない。</p> <p>3 耐震重要施設は、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。</p>	<p>地盤の支持性能への影響評価</p> <p>○</p>	<p>設計基準対象施設に要求される共通条文であり、要求対象となる個別条文側での再掲は省略</p>	
<p>第四条（地震による損傷の防止）</p> <p>設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。</p> <p>2 前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。</p> <p>3 耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（以下「基準地震動による地震力」という。）に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</p> <p>4 耐震重要施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</p> <p>5 炉心内の燃料被覆材は、基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</p>	<p>-</p> <p>(地盤そのものに対する要求)</p> <p>-</p> <p>○</p> <p>耐震性（建屋、土木構造物、機器・配管系）への影響</p> <p>-</p> <p>(周辺斜面に対する要求)</p> <p>-</p> <p>(燃料被覆材に対する要求)</p>	<p>設計基準対象施設に要求される共通条文であり、要求対象となる個別条文側での再掲は省略</p>	

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第五條（津波による損傷の防止）	設計基準対象施設は、その供用中に当該設計基準対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波（以下「基準津波」という。）に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならぬ。	浸水防護（止水性）への影響 （貯水機能については、第22条に記載）	設計基準対象施設に要求される共通条文であり、要求対象となる個別条文側での再掲は省略
第六條（外部からの衝撃による損傷の防止）	安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならぬ。 2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならぬ。 3 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であつて人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならぬ。	建屋の構造健全性（外殻としての機能、耐熱性、止水性、気密性）への影響	安全施設（一部、重要安全施設に限る）に要求される共通条文であり、要求対象となる個別条文側での再掲は省略
第七條（発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止）	工場等には、発電用原子炉施設への人の不法な侵入、発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他の人に危害を与え、又は他の物件を損傷するおそれがある物件が持ち込まれること及び不正アクセス行為（不正アクセス行為の禁止等に関する法律（平成十一年法律第二十八号）第二条第四項に規定する不正アクセス行為をいう。第二十四条第六号において同じ。）を防止するための設備を設けなければならない。	侵入等の防止（必要となるコンクリート厚さの維持）への影響	

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
<p>第八条（火災による損傷の防止）</p> <p>設計基準対象施設は、火災により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないう、火災の発生を防止することができ、かつ、早期に火災発生を感知する設備（以下「火災感知設備」という。）及び消火を行う設備（以下「消火設備」といい、安全施設に属するものに限る。）並びに火災の影響を軽減する機能を有するものでなければならぬ。</p> <p>2 消火設備（安全施設に属するものに限る。）は、破損、誤作動又は誤操作が起きた場合においても発電用原子炉を安全に停止させるための機能を損なわなければならない。</p>	耐火性（遮熱性）への影響	○	設計基準対象施設に要求される共通条文であり、要求対象となる個別条文側での再掲は省略
<p>第九条（溢水による損傷の防止等）</p> <p>安全施設は、発電用原子炉施設内における溢水が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。</p> <p>2 設計基準対象施設は、発電用原子炉施設内の放射性物質を含む液体を内包する容器、配管その他の設備から放射性物質を含む液体があふれ出た場合において、当該液体が管理区域外へ漏えいしないものでなければならない。</p>	止水性への影響	○	安全施設に要求される共通条文であり、要求対象となる個別条文側での再掲は省略
<p>第十条（誤操作の防止）</p> <p>設計基準対象施設は、誤操作を防止するための措置を講じたものでなければならない。</p> <p>2 安全施設は、容易に操作することができるものでなければならない。</p>	操作性への影響	○	設計基準対象施設、安全施設に要求される共通条文であり、要求対象となる個別条文側での再掲は省略

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
<p>第十一条 (安全避難通路等)</p> <p>発電用原子炉施設には、次に掲げる設備を設けなければならない。</p> <p>一 その位置を明確かつ恒久的に表示することにより容易に識別できる安全避難通路</p> <p>二 照明用の電源が喪失した場合においても機能を損なわない避難用の照明</p> <p>三 設計基準事故が発生した場合に用いる照明（前号の避難用の照明を除く。）及びその専用の電源</p>	安全避難通路確保への影響	○	設計基準対象施設、安全施設に要求される共通条文であり、要求対象となる個別条文側での再掲は省略
<p>第十二条 (安全施設)</p> <p>安全施設は、その安全機能の重要度に応じて、安全機能が確保されたものでなければならない。</p> <p>2 安全機能を有する系統のうち、安全機能の重要度が特に高い安全機能を有するものは、当該系統を構成する機械又は器具の単一故障（単一の原因によって一つの機械又は器具が所定の安全機能を失うこと（従属要因による多重故障を含む。）をいう。以下同じ。）が発生した場合であって、外部電源が利用できない場合においても機能できるよう、当該系統を構成する機械又は器具の機能、構造及び動作原理を考慮して、多重性又は多様性を確保し、及び独立性を確保するものでなければならない。</p> <p>3 安全施設は、設計基準事故時及び設計基準事故に至るまでの間に想定される全ての環境条件において、その機能を発揮することができるものでなければならない。</p> <p>4 安全施設は、その健全性及び能力を確認するため、その安全機能の重要度に応じ、発電用原子炉の運転中又は停止中に試験又は検査ができるものでなければならない。</p> <p>5 安全施設は、蒸気タービン、ポンプその他の機器又は配管の損壊に伴う飛散物により、安全性を損なわないものでなければならない。</p>	<p>—</p> <p>(コンクリートの評価に影響しない)</p> <p>—</p> <p>安全機能の確保への影響</p> <p>—</p> <p>(試験・検査実施に対する要求)</p> <p>—</p> <p>(コンクリートの評価に影響しない)</p>	<p>—</p> <p>○</p> <p>—</p> <p>—</p>	<p>安全施設に要求される共通条文であり、要求対象となる個別条文側での再掲は省略</p>

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第十二条 (安全施設)			
6 重要安全施設は、二以上の発電用原子炉施設において共用し、又は相互に接続するものであってはならない。ただし、二以上の発電用原子炉施設と共用し、又は相互に接続することによって当該二以上の発電用原子炉施設の安全性が向上する場合は、この限りでない。	- (共用・相互接続に対する要求)	-	
第十三条 (運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止)			
設計基準対象施設は、次に掲げる要件を満たすものでなければならない。 一 運転時の異常な過渡変化時において次に掲げる要件を満たすものであること。 イ 最小限界熱流束比（燃料被覆材から冷却材への熱伝達が低下し、燃料被覆材の温度が急上昇し始める時の熱流束（単位時間及び単位面積当たりの熱量をいう。以下同じ。）と運転時の熱流束との比の最小値をいう。）又は最小限界出力比（燃料体に沸騰遷移が発生した時の燃料体の出力と運転時の燃料体の出力との比の最小値をいう。）が許容限界値以上であること。 ロ 燃料被覆材が破損しないものであること。 ハ 燃料材のエンタルピーが燃料要素の許容損傷限界を超えないこと。 ニ 原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力が最高使用圧力の一・一倍以下となること。	- (コンクリートの評価に影響しない)	-	

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
<p>第十三条（運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止）</p> <p>二 設計基準事故時において次に掲げる要件を満たすものであること。</p> <p>イ 炉心の著しい損傷が発生するおそれがないものであり、かつ、炉心を十分に冷却できるものであること。</p> <p>ロ 燃料材のエンタルピーが炉心及び原子炉冷却材圧力バウンダリの健全性を維持するための制限値を超えないこと。</p> <p>ハ 原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力が最高使用圧力の一・二倍以下となること。</p> <p>ニ 原子炉格納容器バウンダリにかかる圧力及び原子炉格納容器バウンダリにおける温度が最高使用圧力及び最高使用温度以下となること。</p> <p>ホ 設計基準対象施設が工場等周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないものであること。</p>	遮蔽性への影響	○	設計基準対象施設に要求される共通条文であり、要求対象となる個別条文側での再掲は省略
<p>第十四条（全交流動力電源喪失対策設備）</p> <p>発電用原子炉施設には、全交流動力電源喪失時から重大事故等に対処するために必要な電力の供給が交流動力電源設備から開始されるまでの間、発電用原子炉を安全に停止し、かつ、発電用原子炉の停止後に炉心を冷却するための設備が動作するとともに、原子炉格納容器の健全性を確保するための設備が動作することができるよう、これらの設備の動作に必要な容量を有する蓄電池その他の設計基準事故に対処するための電源設備（安全施設に属するものに限る。）を設けなければならない。</p>	- (個別設備の設置要求)	-	
<p>第十五条（炉心等）</p> <p>設計基準対象施設は、原子炉固有の出力抑制特性を有するとともに、発電用原子炉の反応度を制御することにより核分裂の連鎖反応を制御できる能力を有するものでなければならない。</p>	- (燃料に対する要求事項)	-	

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第十五条（炉心等）			
2 炉心は、通常運転時又は運転時の異常な過渡変化時に発電用原子炉の運転に支障が生ずる場合において、原子炉冷却系統、原子炉停止系統、反応度制御系統、計測制御系統及び安全保護回路の機能と併せて機能することにより燃料要素の許容損傷限界を超えないものでなければならない。			
3 燃料体、減速材及び反射材並びに炉心支持構造物は、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、発電用原子炉を安全に停止し、かつ、停止後に炉心の冷却機能を維持できるものでなければならない。			
4 燃料体及び反射材並びに炉心支持構造物、熱遮蔽材並びに一次冷却系統に係る容器、管、ポンプ及び弁は、一次冷却材又は二次冷却材の循環、沸騰その他の一次冷却材又は二次冷却材の挙動により生ずる流体振動又は温度差のある流体の混合その他の一次冷却材又は二次冷却材の挙動により生ずる温度変動により損傷を受けないものでなければならない。	- (燃料に対する要求事項)	-	
5 燃料体は、通常運転時における圧力、温度及び放射線に起因する最も厳しい条件において、必要な物理的及び化学的性質を保持するものでなければならない。			
6 燃料体は、次に掲げるものでなければならない。			
一 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における発電用原子炉内の圧力、自重、附加荷重その他の燃料体に加わる負荷に耐えるものとする。			
二 輸送中又は取扱中において、著しい変形を生じないものとする。			

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第十六条（燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設） 発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、通常運転時に使用する燃料体又は使用済燃料（以下この条において「燃料体等」という。）の取扱施設（安全施設に係るものに限る。）を設けなければならない。 一 燃料体等を取り扱う能力を有するものとする事。 二 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする事。 三 崩壊熱により燃料体等が溶融しないものとする事。 四 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする事。 五 燃料体等の取扱中における燃料体等の落下を防止できるものとする事。 2 発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、燃料体等の貯蔵施設（安全施設に属するものに限る。以下この項において同じ。）を設けなければならない。 一 燃料体等の貯蔵施設は、次に掲げるものである事。 イ 燃料体等の落下により燃料体等が破損して放射性物質の放出により公衆に放射線障害を及ぼすおそれがある場合において、放射性物質の放出による公衆への影響を低減するため、燃料貯蔵設備を格納するもの及び放射性物質の放出を低減するものとする事。 ロ 燃料体等を必要に応じて貯蔵することができる容量を有するものとする事。 ハ 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする事。	重量物落下に関する影響 ○		
		ー （個別設備の設置要求）	ー

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第十六条（燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設） 二 使用済燃料の貯蔵施設（使用済燃料を工場等内に貯蔵する乾式キャスク（以下「キャスク」という。）を除く。）にあっては、前号に掲げるもののほか、次に掲げるものであること。 イ 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。こと。 ロ 貯蔵された使用済燃料が崩壊熱により溶融しないものであって、最終ヒートシンクへ熱を輸送できる設備及びその浄化系を有するものとする。こと。 ハ 使用済燃料貯蔵槽（安全施設に属するものに限る。以下この項及び次項において同じ。）から放射性物質を含む水があふれ、又は漏れないものであって、使用済燃料貯蔵槽から水が漏えいした場合において水の漏えいを検知することができるものとする。こと。 ニ 燃料体等の取扱中に想定される燃料体等の落下時及び重量物の落下時においてもその機能が損なわれないものとする。こと。	遮蔽性、重量物落下に関する影響 ○		
3 発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、使用済燃料貯蔵槽の水位及び水温並びに燃料取扱場所の放射線量を測定できる設備を設けなければならない。 一 使用済燃料貯蔵槽の水位及び水温並びに燃料取扱場所の放射線量の異常を検知し、それを原子炉制御室に伝え、又は異常が生じた水位及び水温を自動的に制御し、並びに放射線量を自動的に抑制することができるものとする。こと。 二 外部電源が利用できない場合においても温度、水位その他の発電用原子炉施設の状態を示す事項（以下「パラメータ」という。）を監視することができるものとする。こと。	一 （個別設備の設置要求）	一	一

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第十六条（燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設） 4 キャスクを設ける場合には、そのキャスクは、第二項第一号に定めるもののほか、次に掲げるものでなければならない。 一 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。こと。 二 使用済燃料の崩壊熱を適切に除去することができるものとする。こと。 三 使用済燃料が内包する放射性物質を閉じ込めることができ、かつ、その機能を適切に監視することができるものとする。こと。	- (キャスクに対する要求)	-	
第十七条（原子炉冷却材圧力バウンダリ） 発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器（安全施設に属するものに限る。以下この条において同じ。）を設けなければならない。 一 通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時に生ずる衝撃、炉心の反応度の変化による荷重の増加その他の原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器に加わる負荷に耐えるものとする。こと。 二 原子炉冷却材の流出を制限するため隔離装置を有するものとする。こと。 三 通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時に瞬間的破壊が生じないよう、十分な破壊じん性を有するものとする。こと。 四 原子炉冷却材圧力バウンダリからの原子炉冷却材の漏えいを検出する装置を有するものとする。こと。	(個別設備の設置要求)	-	

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第十八条（蒸気タービン）			
蒸気タービン（安全施設に属するものに限る。以下この条において同じ。）は、当該蒸気タービンが損壊し、又は故障した場合においても、発電用原子炉施設の安全性を損なわないものでなければならぬ。	-	-	
2 蒸気タービンには、当該蒸気タービンが損壊し、又は故障した場合においても発電用原子炉施設の安全性を損なわないよう、その運転状態を監視できる設備を設けなければならない。	(個別設備の設置要求)	-	
第十九条（非常用炉心冷却設備）			
発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、非常用炉心冷却設備（安全施設に属するものに限る。）を設けなければならない。			関連する条文第 22 条 (最終ヒートシンクへ熱を輸送することができる設備) の記載は再掲しない
一 一次冷却材を喪失した場合においても、燃料被覆材の温度が燃料材の溶融又は燃料体の著しい損傷を生ずる温度を超えて上昇することを防止できるものとする。	-	-	
二 一次冷却材を喪失した場合においても、燃料被覆材と冷却材との反応により著しく多量の水素を生じないものとする。	(個別設備の設置要求)		
第二十条（一次冷却材の減少分を補給する設備）			
発電用原子炉施設には、通常運転時又は一次冷却材の小規模漏えい時に発生した一次冷却材の減少分を補給する設備（安全施設に属するものに限る。）を設けなければならない。	-	-	
第二十一条（残留熱を除去することができる設備）			
発電用原子炉施設には、発電用原子炉を停止した場合において、燃料要素の許容損傷限界及び原子炉冷却材圧力バウンダリの健全性を維持するために必要なパラメータが設計値を超えないようにするため、原子炉圧力容器内において発生した残留熱を除去することができる設備（安全施設に属するものに限る。）を設けなければならない。	(個別設備の設置要求)	-	関連する条文第 22 条 (最終ヒートシンクへ熱を輸送することができる設備) の記載は再掲しない

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
<p>第二十二條（最終ヒートシンクへ熱を輸送することができる設備）</p> <p>発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、最終ヒートシンクへ熱を輸送することができる設備（安全施設に属するものに限る。）を設けなければならない。</p> <p>一 原子炉圧力容器内において発生した残留熱及び重要安全施設において発生した熱を除去することができるものとする。</p> <p>二 津波、溢水又は工場等内若しくはその周辺における発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であつて人為によるものに対して安全性を損なわないものとする。</p>	<p>通水機能，貯水機能への影響</p> <p>○</p>	<p>第十九條及び第二十一條にも適用</p>	
<p>第二十三條（計測制御系統施設）</p> <p>発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、計測制御系統施設を設けなければならない。</p> <p>一 炉心、原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリ並びにこれらに関連する系統の健全性を確保するために監視することが必要なパラメータは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時においても想定される範囲内に制御できるものとする。</p> <p>二 前号のパラメータは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時においても想定される範囲内で監視できるものとする。</p> <p>三 設計基準事故が発生した場合の状況を把握し、及び対策を講じるために必要なパラメータは、設計基準事故時に想定される環境下において、十分な測定範囲及び期間にわたり監視できるものとする。</p>	<p>— (個別設備の設置要求)</p> <p>—</p>		

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第二十三条（計測制御系統施設）			
四 前号のパラメータのうち、発電用原子炉の停止及び炉心の冷却に係るものについては、設計基準事故時においても二種類以上監視し、又は推定することができるものとする。			
五 発電用原子炉の停止及び炉心の冷却並びに放射性物質の閉じ込めの機能の状況を監視するために必要なパラメータは、設計基準事故時においても確実に記録され、及び当該記録が保存されるものとする。	- (個別設備の設置要求)	-	
第二十四条（安全保護回路）			
発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、安全保護回路（安全施設に属するものに限る。以下この条において同じ。）を設けなければならない。			
一 運転時の異常な過渡変化が発生する場合において、その異常な状態を検知し、及び原子炉停止系統その他系統と併せて機能することにより、燃料要素の許容損傷限界を超えないようにできるものとする。			
二 設計基準事故が発生する場合において、その異常な状態を検知し、原子炉停止系統及び工学的安全施設を自動的に作動させるものとする。	- (個別設備の設置要求)	-	
三 安全保護回路を構成する機械若しくは器具又はチャンネルは、単一故障が起きた場合又は使用状態からの単一の取り外しを行った場合において、安全保護機能を失わないよう、多重性を確保するものとする。			
四 安全保護回路を構成するチャンネルは、それぞれ互いに分離し、それぞれのチャンネル間において安全保護機能を失わないように独立性を確保するものとする。			

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第二十四条（安全保護回路）			
五 駆動源の喪失、系統の遮断その他の不利な状況が発生した場合においても、発電用原子炉施設をより安全な状態に移行するか、又は当該状態を維持することにより、発電用原子炉施設の安全上支障がない状態を維持できるものとする。			
六 不正アクセス行為その他の電子計算機に使用目的に沿うべき動作をさせず、又は使用目的に反する動作をさせる行為による被害を防止することができるものとする。			
七 計測制御系統施設の一部を安全保護回路と共用する場合には、その安全保護機能を失わないよう、計測制御系統施設から機能的に分離されたものとする。	- (個別設備の設置要求)	-	
第二十五条（反応度制御系統及び原子炉停止系統）			
発電用原子炉施設には、反応度制御系統（原子炉停止系統を含み、安全施設に係るものに限る。次項において同じ。）を設けなければならない。			
2 反応度制御系統は、計画的な出力変化に伴う反応度変化を燃料要素の許容損傷限界を超えることなく制御できる能力を有し、かつ、次に掲げるものでなければならない。			
一 制御棒、液体制御材その他反応度を制御するものによる二以上の独立した系統を有するものとする。			
二 通常運転時の高温状態において、二以上の独立した系統がそれぞれ発電用原子炉を未臨界に移行し、及び未臨界を維持できるものであり、かつ、運転時の異常な過渡変化時の高温状態においても反応度制御系統のうち少なくとも一つは、燃料要素の許容損傷限界を超えることなく発電用原子炉を未臨界に移行し、及び未臨界を維持できること。この場合において、非常用炉心冷却設備その他の発電用原子炉施設の安全性を損なうおそれがある場合に作動する設備の作動に伴って注入される液体制御材による反応度値を加えることができる。	- (個別設備の設置要求)	-	

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第二十五条（反応度制御系統及び原子炉停止系統）			
<p>三 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における低温状態において、反応度制御系統のうち少なくとも一つは、発電用原子炉を未臨界に移行し、及び未臨界を維持できると。</p> <p>四 一次冷却材喪失その他の設計基準事故時において、反応度制御系統のうち少なくとも一つは、発電用原子炉を未臨界へ移行することができ、かつ、少なくとも一つは、発電用原子炉を未臨界に維持できること。この場合において、非常用炉心冷却設備その他の発電用原子炉施設の安全性を損なうおそれがある場合に作動する設備の作動に伴って注入される液体制御材による反応度価値を加えることができる。</p> <p>五 制御棒を用いる場合にあつては、反応度価値の最も大きな制御棒一本が固着した場合においても第二号から前号までの規定に適合すること。</p> <p>3 制御棒の最大反応度価値及び反応度添加率は、想定される反応度投入事象（発電用原子炉に反応度が異常に投入される事象をいう。）に対して原子炉冷却材圧力バウンダリを破損せず、かつ、炉心の冷却機能を損なうような炉心、炉心支持構造物及び原子炉圧力容器内部構造物の損壊を起こさないものでなければならない。</p> <p>4 制御棒、液体制御材その他の反応度を制御する設備は、通常運転時における圧力、温度及び放射線に起因する最も厳しい条件において、必要な物理的及び化学的性質を保持するものでなければならない。</p>			
	<p>（個別設備の設置要求）</p> <p>（第4項に対しては、12条第3項で評価）</p>	-	

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第二十六条（原子炉制御室等）			
発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、原子炉制御室（安全施設に属するものに限る。以下この条において同じ。）を設けなければならない。			
一 設計基準対象施設の健全性を確保するために必要なパラメータを監視できるものとする。			
二 発電用原子炉施設の外の状況を把握する設備を有するものとする。			
三 発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な操作を手動により行うことができるものとする。	— (個別設備の設置要求)	—	
2 発電用原子炉施設には、火災その他の異常な事態により原子炉制御室が使用できない場合において、原子炉制御室以外の場所から発電用原子炉を高温度停止の状態に直ちに移行させ、及び必要なパラメータを想定される範囲内に制御し、その後、発電用原子炉を安全な低温停止の状態に移行させ、及び低温停止の状態を維持させるために必要な機能を有する装置を設けなければならない。			
3 一次冷却系統に係る発電用原子炉施設の損壊又は故障その他の異常が発生した場合に発電用原子炉の運転の停止その他の発電用原子炉施設の安全性を確保するための措置をとるため、従事者が支障なく原子炉制御室に入り、又は一定期間とどまり、かつ、当該措置をとるための操作を行うことができるよう、次の各号に掲げる場所の区分に応じ、当該各号に定める設備を設けなければならない。			
一 原子炉制御室及びその近傍並びに有毒ガスの発生源の近傍 工場等内における有毒ガスの発生を検出するための装置及び当該装置が有毒ガスの発生を検出した場合に原子炉制御室において自動的に警報するための装置	居住性確保（気密性、遮蔽性）への影響	○	

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第二十六条（原子炉制御室等）			
二 原子炉制御室及びこれに連絡する通路並びに運転員その他の従事者が原子炉制御室に出入りするための区域 遮蔽壁その他の適切に放射線から防護するための設備、気体状の放射性物質及び原子炉制御室外の火災により発生する燃焼ガスに対し換気設備を隔離するための設備その他の適切に防護するための設備	居住性確保（気密性，遮蔽性）への影響	○	
第二十七条（放射性廃棄物の処理施設）			
工場等には、次に掲げるところにより、通常運転時において放射性廃棄物（実用炉規則第二条第二項第二号に規定する放射性廃棄物をいう。以下同じ。）を処理する施設（安全施設に係るものに限る。以下この条において同じ。）を設けなければならない。			
一 周辺監視区域の外の空気中及び周辺監視区域の境界における水中の放射性物質の濃度を十分に低減できるよう、発電用原子炉施設において発生する放射性廃棄物を処理する能力を有するものとする。	止水性への影響	○	
二 液体状の放射性廃棄物の処理に係るものにあつては、放射性物質を処理する施設から液体状の放射性廃棄物が漏えいすることを防止し、及び工場等外へ液体状の放射性廃棄物が漏えいすることを防止できるものとする。			
三 固体状の放射性廃棄物の処理に係るものにあつては、放射性廃棄物を処理する過程において放射性物質が散逸し難いものとする。			

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第二十八條（放射性廃棄物の貯蔵施設）			
工場等には、次に掲げるところにより、発電用原子炉施設において発生する放射性廃棄物を貯蔵する施設（安全施設に係るものに限る。）を設けなければならない。			
一 放射性廃棄物が漏えいし難いものとする。	一	一	
二 固体状の放射性廃棄物を貯蔵する設備を設けるものにあつては、放射性廃棄物による汚染が広がらないものとする。	（個別設備の設置要求）		
第二十九條（工場等周辺における直接ガンマ線等からの防護）			
設計基準対象施設は、通常運転時において発電用原子炉施設からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による工場等周辺の空間線量率が十分に低減できるものでなければならない。	遮蔽性への影響	○	
第三十條（放射線からの放射線業務従事者の防護）			
設計基準対象施設は、外部放射線による放射線障害を防止する必要がある場合には、次に掲げるものでなければならない。			
一 放射線業務従事者（実用炉規則第二条第二項第七号に規定する放射線業務従事者をいう。以下同じ。）が業務に従事する場所における放射線量を低減できるものとする。	遮蔽性、気密性、止水性への影響	○	
二 放射線業務従事者が運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、迅速な対応をするために必要な操作ができるものとする。			
2 工場等には、放射線から放射線業務従事者を防護するため、放射線管理施設を設けなければならない。			
3 放射線管理施設には、放射線管理に必要な情報を原子炉制御室その他当該情報を伝達する必要がある場所に表示できる設備（安全施設に属するものに限る。）を設けなければならない。	（個別設備の設置要求）	一	

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第三十一条（監視設備） 発電用原子炉施設には、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時に おいて、当該発電用原子炉施設及びその境界付近における放射性物質の濃度及び放射線量 を監視し、及び測定し、並びに設計基準事故時における迅速な対応のために必要な情報を原子 炉制御室その他当該情報を伝達する必要がある場所に表示できる設備（安全施設に属するも のに限る。）を設けなければならない。	- (個別設備の設置要求)	-	
第三十二条（原子炉格納施設） 原子炉格納容器は、一次冷却系統に係る発電用原子炉施設が損壊し、又は故障した場合に おいて漏えいする放射性物質が公衆に放射線障害を及ぼさないようにするため、想定される最大 の圧力、最高の温度及び適切な地震力に十分に耐えることができ、かつ、適切に作動する隔離 機能と併せて所定の漏えい率を超えることがないものでなければならない。 2 原子炉格納容器バウンダリを構成する設備は、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時 及び設計基準事故時に瞬間的破壊が生じないよう、十分な破壊じん性を有するものでなけれ ばならない。 3 原子炉格納容器を貫通する配管には、隔離弁（安全施設に属するものに限る。次項及び 第五項において同じ。）を設けなければならない。ただし、計測装置又は制御棒駆動装置に 関連する配管であって、当該配管を通じての漏えい量が十分許容される程度に抑制されている ものについては、この限りでない。 4 主要な配管（事故の収束に必要な系統の配管を除く。）に設ける隔離弁は、設計基準事 故時に隔離機能の確保が必要となる場合において、自動的、かつ、確実に閉止される機能を 有するものでなければならない。		- (個別設備に対する要求)	

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第三十二条（原子炉格納施設）			
5 発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより隔離弁を設けなければならない。			
一 原子炉格納容器に近接した箇所を設置するものとする。			
二 原子炉格納容器内に開口部がある配管又は原子炉冷却材圧力バウンダリに接続している配管のうち、原子炉格納容器の外側で閉じていないものについては、原子炉格納容器の内側及び外側にそれぞれ一つの隔離弁を設けるものとする。ただし、その一方の側の設置箇所における配管の隔離弁の機能が、湿気その他隔離弁の機能に影響を与える環境条件によって著しく低下するおそれがあると認められるときは、貫通箇所の外側であって近接した箇所に二個の隔離弁を設けることをもって、これに代えることができる。			
三 原子炉格納容器を貫通し、貫通箇所の内側又は外側において閉じている配管にあっては、原子炉格納容器の外側に一つの隔離弁を設けるものとする。ただし、当該格納容器の外側に隔離弁を設けることが困難である場合においては、原子炉格納容器の内側に一個の隔離弁を適切に設けることをもって、これに代えることができる。			
四 前二号の規定にかかわらず、配管に圧力開放板を適切に設けるときは、原子炉格納容器の内側又は外側に通常時において閉止された一個の隔離弁を設けることをもって、前二号の規定による隔離弁の設置に代えることができる。			
五 閉止後において駆動動力源が喪失した場合においても隔離機能が失われのないものとする。			
	一 (個別設備の設置要求)	一	

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第三十二条（原子炉格納施設）			
6 発電用原子炉施設には、一次冷却系統に係る発電用原子炉施設が損壊し、又は故障した際に生ずる原子炉格納容器内の圧力及び温度の上昇により原子炉格納容器の健全性に支障が生ずることを防止するため、原子炉格納容器内において発生した熱を除去する設備（安全施設に属するものに限る。）を設けなければならない。	- (個別設備の設置要求)	-	
7 発電用原子炉施設には、一次冷却系統に係る発電用原子炉施設が損壊し、又は故障した際に原子炉格納容器から気体状の放射性物質が漏えいすることにより公衆に放射線障害を及ぼすおそれがある場合は、放射性物質の濃度を低減させるため、原子炉格納施設内の雰囲気浄化系（安全施設に係るものに限る。）を設けなければならない。	気密性への影響	○	
8 発電用原子炉施設には、一次冷却系統に係る発電用原子炉施設が損壊し、又は故障した際に生ずる水素及び酸素により原子炉格納容器の健全性を損なうおそれがある場合は、水素及び酸素の濃度を抑制するため、可燃性ガス濃度制御系（安全施設に係るものに限る。）を設けなければならない。	- (個別設備の設置要求)	-	
第三十三条（保安電源設備）			
発電用原子炉施設は、重要安全施設がその機能を維持するために必要となる電力を当該重要安全施設に供給するため、電力系統に連系したものでなければならない。			
2 発電用原子炉施設には、非常用電源設備（安全施設に属するものに限る。以下この条において同じ。）を設けなければならない。			
3 保安電源設備（安全施設へ電力を供給するための設備をいう。）は、電線路、発電用原子炉施設において常時使用される発電機及び非常用電源設備から安全施設への電力の供給が停止することがないよう、機器の損壊、故障その他の異常を検知するとともに、その拡大を防止するものでなければならない。	- (個別設備の設置要求)	-	

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第三十三条（保安電源設備）			
4 設計基準対象施設に接続する電線路のうち少なくとも二回線は、それぞれ互いに独立したものであって、当該設計基準対象施設において受電可能なものであり、かつ、それにより当該設計基準対象施設を電力系統に連系するものでなければならない。			
5 前項の電線路のうち少なくとも一回線は、設計基準対象施設において他の回線と物理的に分離して受電できるものでなければならない。			
6 設計基準対象施設に接続する電線路は、同一の工場等の二以上の発電用原子炉施設を電力系統に連系する場合には、いずれの二回線が喪失した場合においても電力系統からこれらの発電用原子炉施設への電力の供給が同時に停止しないものでなければならない。			
7 非常用電源設備及びその附属設備は、多重性又は多様性を確保し、及び独立性を確保し、その系統を構成する機械又は器具の単一故障が発生した場合であっても、運転時の異常な過渡変化時又は設計基準事故時において工学的安全施設及び設計基準事故に対処するための設備がその機能を確保するために十分な容量を有するものでなければならない。			
8 設計基準対象施設は、他の発電用原子炉施設に属する非常用電源設備及びその附属設備から受電する場合には、当該非常用電源設備から供給される電力に過度に依存しないものでなければならない。			
	<p style="text-align: center;">-</p> <p style="text-align: center;">(個別設備の設置要求)</p>	-	

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第三十四条（緊急時対策所）			
工場等には、一次冷却系統に係る発電用原子炉施設の損壊その他の異常が発生した場合に適切な措置をとるため、緊急時対策所を原子炉制御室以外の場所に設けなければならない。	- (個別設備の設置要求)	-	
2 緊急時対策所及びその近傍並びに有毒ガスの発生源の近傍には、有毒ガスが発生した場合に適切な措置をとるため、工場等内における有毒ガスの発生を検出するための装置及び当該装置が有毒ガスの発生を検出した場合に緊急時対策所において自動的に警報するための装置その他の適切に防護するための設備を設けなければならない。	居住性確保（気密性、遮蔽性）への影響	○	
第三十五条（通信連絡設備）			
工場等には、設計基準事故が発生した場合において工場等内の人に対し必要な指示ができるよう、警報装置（安全施設に属するものに限る。）及び多様性を確保した通信連絡設備（安全施設に属するものに限る。）を設けなければならない。			
2 工場等には、設計基準事故が発生した場合において発電用原子炉施設外の通信連絡を必要がある場所と通信連絡ができるよう、多様性を確保した専用通信回線を設けなければならない。	- (個別設備の設置要求)	-	
第三十六条（補助ボイラー）			
発電用原子炉施設には、設計基準事故に至るまでの間に想定される使用条件に応じて必要な蒸気を供給する能力がある補助ボイラー（安全施設に属するものに限る。次項において同じ。）を設けなければならない。			
2 補助ボイラーは、発電用原子炉施設の安全性を損なわないものでなければならない。	- (個別設備の設置要求)	-	

設置許可基準規則	【STEPI】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第三十七条（重大事故等の拡大の防止等）			
発電用原子炉施設は、重大事故に至るおそれがある事故が発生した場合において、炉心の著しい損傷を防止するために必要な措置を講じたものでなければならない。			
2 発電用原子炉施設は、重大事故が発生した場合において、原子炉格納容器の破損及び工場等外への放射性物質の異常な水準の放出を防止するために必要な措置を講じたものでなければならない。			
3 発電用原子炉施設は、重大事故に至るおそれがある事故が発生した場合において、使用済燃料貯蔵槽内の燃料体又は使用済燃料（以下「貯蔵槽内燃料体等」という。）の著しい損傷を防止するために必要な措置を講じたものでなければならない。	- (有効性評価に係る要求)	-	
4 発電用原子炉施設は、重大事故に至るおそれがある事故が発生した場合において、運転停止中における発電用原子炉内の燃料体（以下「運転停止中原子炉内燃料体」という。）の著しい損傷を防止するために必要な措置を講じたものでなければならない。			
第三十八条（重大事故等対処施設の地盤）			
重大事故等対処施設は、次に掲げる施設の区分に応じ、それぞれ次に定める地盤に設けなければならない。			
一 重大事故防止設備のうち常設のもの（以下「常設重大事故防止設備」という。）であつて、耐震重要施設に属する設計基準事故対処設備が有する機能を代替するもの（以下「常設耐震重要重大事故防止設備」という。）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。） 基準地震動による地震力が作用した場合においても当該重大事故等対処施設を十分に支持することができる地盤	地盤の支持性能への影響	○	重大事故等対処施設に要求される共通条文であり、要求対象となる個別条文側での再掲は省略

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第三十八條（重大事故等対処施設の地盤）			
二 常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止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。） 第四条第二項の規定により算定する地震力が作用した場合においても当該重大事故等対処施設を十分に支持することができる地盤	地盤の支持性能への影響	○	
三 重大事故緩和設備のうち常設のもの（以下「常設重大事故緩和設備」という。）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。） 基準地震動による地震力が作用した場合においても当該重大事故等対処施設を十分に支持することができる地盤			
四 特定重大事故等対処施設 第四条第二項の規定により算定する地震力が作用した場合及び基準地震動による地震力が作用した場合においても当該特定重大事故等対処施設を十分に支持することができる地盤	申請対象外		
2 重大事故等対処施設（前項第二号の重大事故等対処施設を除く。次項及び次条第二項において同じ。）は、変形した場合においても重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない。	-	-	重大事故等対処施設に要求される共通条文であり、要求対象となる個別条文側での再掲は省略
3 重大事故等対処施設は、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。	（地盤そのものに対する要求）	-	
第三十九條（地震による損傷の防止）			
重大事故等対処施設は、次に掲げる施設の区分に応じ、それぞれ次に定める要件を満たすものでなければならない。			
一 常設耐震重要重大事故防止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。） 基準地震動による地震力に対して重大事故に至るおそれがある事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであること。	耐震性（建屋、土木構造物、機器・配管系）への影響	○	

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第三十九条（地震による損傷の防止）			
二 常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止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。） 第四条第二項の規定により算定する地震力に十分に耐えることができるものであること。	耐震性（建屋，土木構造物，機器・配管系）への影響	○	
三 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。） 基準地震動による地震力に対して重大事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであること。			
四 特定重大事故等対処施設 第四条第二項の規定により算定する地震力に十分に耐えることができ、かつ、基準地震動による地震力に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであること。	申請対象外		
2 重大事故等対処施設は、第四条第三項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものでなければならぬ。	- (周辺斜面に対する要求)	-	重大事故等対処施設に要求される共通条文であり、要求対象となる個別条文側での再掲は省略
第四十条（津波による損傷の防止）			
重大事故等対処施設は、基準津波に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものでなければならぬ。	浸水防護（止水性）への影響	○	
第四十一条（火災による損傷の防止）			
重大事故等対処施設は、火災により重大事故等に対処するために必要な機能を損なうおそれがないよう、火災の発生を防止することができ、かつ、火災感知設備及び消火設備を有するものでなければならぬ。	耐火性（遮熱性）への影響	○	
第四十二条（特定重大事故等対処施設）			
	申請対象外		

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第四十三条（重大事故等対処設備）			
重大事故等対処設備は、次に掲げるものでなければならぬ。			
一 想定される重大事故等が発生した場合における温度、放射線、荷重その他の使用条件において、重大事故等に対処するために必要な機能を有効に発揮するものであること。	耐震性（建屋，土木構造物，機器・配管系），浸水防護（止水性），建屋の構造健全性（外殻としての機能，耐熱性，止水性，気密性），耐火性（遮熱性），止水性，遮蔽性，アクセス通路等の確保への影響		
二 想定される重大事故等が発生した場合において確実に操作できるものであること。			
三 健全性及び能力を確認するため、発電用原子炉の運転中又は停止中に試験又は検査ができるものであること。			
四 本来の用途以外の用途として重大事故等に対処するために使用する設備にあつては、通常時に使用する系統から速やかに切り替えられる機能を備えるものであること。	（重大事故等対処設備の系統構成に係る要求）	○	重大事故等対処設備に要求される共通条文であり，要求対象となる個別条文側での再掲は省略
五 工場等内の他の設備に対して悪影響を及ぼさないものであること。			
六 想定される重大事故等が発生した場合において重大事故等対処設備の操作及び復旧作業を行うことができるよう、放射線量が高くなるおそれがない設置場所の選定、設置場所への遮蔽物の設置その他の適切な措置を講じたものであること。	耐震性（建屋，土木構造物，機器・配管系），浸水防護（止水性），建屋の構造健全性（外殻としての機能，耐熱性，止水性，気密性），耐火性（遮熱性），止水性，遮蔽性，アクセス通路等の確保への影響		
2 重大事故等対処設備のうち常設のもの（重大事故等対処設備のうち可搬型のもの（以下「可搬型重大事故等対処設備」という。）と接続するものにあつては、当該可搬型重大事故等対処設備と接続するために必要な発電用原子炉施設内の常設の配管、弁、ケーブルその他の機器を含む。以下「常設重大事故等対処設備」という。）は、前項に定めるもののほか、次に掲げるものでなければならぬ。			
一 想定される重大事故等の収束に必要な容量を有するものであること。			

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第四十三条（重大事故等対処設備）			
二 二以上の発電用原子炉施設において共用するものでないこと。ただし、二以上の発電用原子炉施設と共用することによって当該二以上の発電用原子炉施設の安全性が向上する場合であって、同一の工場等内の他の発電用原子炉施設に対して悪影響を及ぼさない場合は、この限りでない。	（重大事故等対処設備の系統構成に係る要求）		
三 常設重大事故防止設備は、共通要因によって設計基準事故対処設備の安全機能と同時にその機能が損なわれるおそれがないよう、適切な措置を講じたものであること。	耐震性（建屋、土木構造物、機器・配管系）、浸水防護（止水性）、建屋の構造健全性（外殻としての機能、耐熱性、止水性、気密性）、耐火性（遮熱性）、止水性、遮蔽性、アクセス通路等の確保への影響		
3 可搬型重大事故等対処設備に関しては、第一項に定めるもののほか、次に掲げるものでなければならぬ。			
一 想定される重大事故等の収束に必要な容量に加え、十分に余裕のある容量を有するものであること。			
二 常設設備（発電用原子炉施設と接続されている設備又は短時間に発電用原子炉施設と接続することができる常設の設備をいう。以下同じ。）と接続するものにあつては、当該常設設備と容易かつ確実に接続することができ、かつ、二以上の系統又は発電用原子炉施設が相互に使用することができるよう、接続部の規格の統一その他の適切な措置を講じたものであること。	（重大事故等対処設備の系統構成に係る要求）	○	重大事故等対処設備に要求される共通条文であり、要求対象となる個別条文側での再掲は省略
三 常設設備と接続するものにあつては、共通要因によって接続することができなくなることや防止するため、可搬型重大事故等対処設備（原子炉建屋の外から水又は電力を供給するものに限る。）の接続口をそれぞれ互いに異なる複数の場所に設けるものであること。	耐震性（建屋、土木構造物、機器・配管系）、浸水防護（止水性）、建屋の構造健全性（外殻としての機能、耐熱性、止水性、気密性）、耐火性（遮熱性）、止水性、遮蔽性、アクセス通路等の確保への影響		

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第四十三条（重大事故等対処設備）	<p>四 想定される重大事故等が発生した場合において可搬型重大事故等対処設備を設置場所に据え付け、及び常設設備と接続することができるよう、放射線量が高くなるおそれが少ない設置場所の選定、設置場所への遮蔽物の設置その他の適切な措置を講じたものであること。</p> <p>五 地震、津波その他の自然現象又は故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムによる影響、設計基準事故対処設備及び重大事故等対処設備の配置その他の条件を考慮した上で常設重大事故等対処設備と異なる保管場所に保管すること。</p> <p>六 想定される重大事故等が発生した場合において可搬型重大事故等対処設備を運搬し、又は他の設備の被害状況を把握するため、工場等内の道路及び通路が確保できるよう、適切な措置を講じたものであること。</p> <p>七 重大事故防止設備のうち可搬型のものは、共通要因によって、設計基準事故対処設備の安全機能、使用済燃料貯蔵槽の冷却機能若しくは注水機能又は常設重大事故防止設備の重大事故に至るおそれがある事故に対処するために必要な機能と同時にその機能が損なわれるおそれがないよう、適切な措置を講じたものであること。</p>	<p>耐震性（建屋、土木構造物、機器・配管系）、浸水防護（止水性）、建屋の構造健全性（外殻としての機能、耐熱性、止水性、気密性）、耐火性（遮熱性）、止水性、遮蔽性、アクセス通路等の確保への影響</p>	<p>重大事故等対処設備に要求される共通条文であり、要求対象となる個別条文側での再掲は省略</p>
第四十四条（緊急停止失敗時に発電用原子炉を未臨界にするための設備）	<p>発電用原子炉施設には、運転時の異常な過渡変化時において発電用原子炉の運転を緊急に停止することができない事象が発生するおそれがある場合又は当該事象が発生した場合においても炉心の著しい損傷を防止するため、原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器の健全性を維持するとともに、発電用原子炉を未臨界に移行するために必要な設備を設けなければならない。</p>	<p>— (個別設備の設置要求)</p>	<p>—</p>

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第四十五条（原子炉冷却材圧力バウンダリ高圧時に発電用原子炉を冷却するための設備） 発電用原子炉施設には、原子炉冷却材圧力バウンダリが高圧の状態であって、設計基準事故対処設備が有する発電用原子炉の冷却機能が喪失した場合においても炉心の著しい損傷を防止するため、発電用原子炉を冷却するために必要な設備を設けなければならない。	- (個別設備の設置要求)	-	
	第四十六条（原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧するための設備） 発電用原子炉施設には、原子炉冷却材圧力バウンダリが高圧の状態であって、設計基準事故対処設備が有する発電用原子炉の減圧機能が喪失した場合においても炉心の著しい損傷及び原子炉格納容器の破損を防止するため、原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧するために必要な設備を設けなければならない。	流路機能（気密性）への影響	○
第四十七条（原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備） 発電用原子炉施設には、原子炉冷却材圧力バウンダリが低圧の状態であって、設計基準事故対処設備が有する発電用原子炉の冷却機能が喪失した場合においても炉心の著しい損傷及び原子炉格納容器の破損を防止するため、発電用原子炉を冷却するために必要な設備を設けなければならない。	- (個別設備の設置要求)	-	関連する条文第 48 条（最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備）の記載は再掲しない
	第四十八条（最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備） 発電用原子炉施設には、設計基準事故対処設備が有する最終ヒートシンクへ熱を輸送する機能が喪失した場合においても炉心の著しい損傷及び原子炉格納容器の破損（炉心の著しい損傷が発生する前に生ずるものに限る。）を防止するため、最終ヒートシンクへ熱を輸送するために必要な設備を設けなければならない。	通水機能、貯水機能への影響	○

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第四十九条（原子炉格納容器内の冷却等のための設備） 発電用原子炉施設には、設計基準事故対処設備が有する原子炉格納容器内の冷却機能が喪失した場合において炉心の著しい損傷を防止するため、原子炉格納容器内の圧力及び温度を低下させるために必要な設備を設けなければならない。	-	-	関連する条文第 48 条 （最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備）の記載は再掲しない
2 発電用原子炉施設には、炉心の著しい損傷が発生した場合において原子炉格納容器の破損を防止するため、原子炉格納容器内の圧力及び温度並びに放射性物質の濃度を低下させるために必要な設備を設けなければならない。	（個別設備の設置要求）	-	
第五十条（原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備） 発電用原子炉施設には、炉心の著しい損傷が発生した場合において原子炉格納容器の過圧による破損を防止するため、原子炉格納容器バウンダリを維持しながら原子炉格納容器内の圧力及び温度を低下させるために必要な設備を設けなければならない。			
2 発電用原子炉施設（原子炉格納容器の構造上、炉心の著しい損傷が発生した場合において短時間のうちに原子炉格納容器の過圧による破損が発生するおそれがあるものに限る。）には、前項の設備に加えて、原子炉格納容器内の圧力を大気中に逃がすために必要な設備を設けなければならない。	（個別設備の設置要求）	-	
3 前項の設備は、共通要因によって第一項の設備の過圧破損防止機能（炉心の著しい損傷が発生した場合において原子炉格納容器の過圧による破損を防止するために必要な機能をいう。）と同時にその機能が損なわれるおそれがないよう、適切な措置を講じたものでなければならない。			

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第五十一条（原子炉格納容器下部の溶融炉心を冷却するための設備） 発電用原子炉施設には、炉心の著しい損傷が発生した場合において原子炉格納容器の破損を防止するため、溶融し、原子炉格納容器の下部に落下した炉心を冷却するために必要な設備を設けなければならない。	溶融炉心・コンクリート相互作用 用，流路機能への影響	○	関連する条文第 48 条 （最終ヒートシンクへ熱を輸 送するための設備）の記載 は再掲しない
第五十二条（水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備） 発電用原子炉施設には、炉心の著しい損傷が発生した場合において原子炉格納容器内における水素による爆発（以下「水素爆発」という。）による破損を防止する必要がある場合には、水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するために必要な設備を設けなければならない。	- （個別設備の設置要求）	-	
第五十三条（水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備） 発電用原子炉施設には、炉心の著しい損傷が発生した場合において原子炉建屋その他の原子炉格納容器から漏えいする気体状の放射性物質を格納するための施設（以下「原子炉建屋等」という。）の水素爆発による損傷を防止する必要がある場合には、水素爆発による当該原子炉建屋等の損傷を防止するために必要な設備を設けなければならない。	流路機能（気密性）への影響	○	

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第五十四条（使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備）			
<p>発電用原子炉施設には、使用済燃料貯蔵槽の冷却機能又は注水機能が喪失し、又は使用済燃料貯蔵槽からの水の漏えいその他の要因により当該使用済燃料貯蔵槽の水位が低下した場合において貯蔵槽内燃料体等を冷却し、放射線を遮蔽し、及び臨界を防止するために必要な設備を設けなければならない。</p> <p>2 発電用原子炉施設には、使用済燃料貯蔵槽からの大量の水の漏えいその他の要因により当該使用済燃料貯蔵槽の水位が異常に低下した場合において貯蔵槽内燃料体等の著しい損傷の進行を緩和し、及び臨界を防止するために必要な設備を設けなければならない。</p>	- (個別設備の設置要求)	-	関連する条文第 48 条（最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備）の記載は再掲しない
第五十五条（工場等外への放射性物質の拡散を抑制するための設備）			
<p>発電用原子炉施設には、炉心の著しい損傷及び原子炉格納容器の破損又は貯蔵槽内燃料体等の著しい損傷に至った場合において工場等外への放射性物質の拡散を抑制するために必要な設備を設けなければならない。</p>	- (個別設備の設置要求)	-	
第五十六条（重大事故等の収束に必要な水の供給設備）			
<p>設計基準事故の収束に必要な水源とは別に、重大事故等の収束に必要な十分な量の水を有する水源を確保することに加えて、発電用原子炉施設には、設計基準事故対処設備及び重大事故等対処設備に対して重大事故等の収束に必要な十分な量の水を供給するために必要な設備を設けなければならない。</p>	- (個別設備の設置要求)	-	関連する条文第 48 条（最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備）の記載は再掲しない

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第五十七条（電源設備）	<p>発電用原子炉施設には、設計基準事故対処設備の電源が喪失したことにより重大事故等が発生した場合において炉心の著しい損傷、原子炉格納容器の破損、貯蔵槽内燃料体等の著しい損傷及び運転停止中原子炉内燃料体の著しい損傷を防止するために必要な電力を確保するために必要な設備を設けなければならない。</p> <p>2 発電用原子炉施設には、第三十三条第二項の規定により設置される非常用電源設備及び前項の規定により設置される電源設備のほか、設計基準事故対処設備の電源が喪失したことにより重大事故等が発生した場合において炉心の著しい損傷、原子炉格納容器の破損、貯蔵槽内燃料体等の著しい損傷及び運転停止中原子炉内燃料体の著しい損傷を防止するための常設の直流電源設備を設けなければならない。</p>	- (個別設備の設置要求)	-
第五十八条（計装設備）	<p>発電用原子炉施設には、重大事故等が発生し、計測機器（非常用のものを含む。）の故障により当該重大事故等に対処するために監視するために必要なパラメータを計測することが困難となった場合において当該パラメータを推定するために有効な情報を把握できる設備を設けなければならない。</p>	- (個別設備の設置要求)	-
第五十九条（運転員が原子炉制御室にとどまるための設備）	<p>発電用原子炉施設には、炉心の著しい損傷が発生した場合（重大事故等対処設備（特定重大事故等対処施設を構成するものを除く。）が有する原子炉格納容器の破損を防止するための機能が損なわれた場合を除く。）においても運転員が第二十六条第一項の規定により設置される原子炉制御室にとどまるために必要な設備を設けなければならない。</p>	居住性確保（気密性、遮蔽性）への影響	○

設置許可基準規則	【STEP1】対象条文の抽出		備考
	評価が必要となる内容	評価対象	
第六十条（監視測定設備）			
発電用原子炉施設には、重大事故等が発生した場合に工場等及びその周辺（工場等の周辺海域を含む。）において発電用原子炉施設から放出される放射性物質の濃度及び放射線量を監視し、及び測定し、並びにその結果を記録することができる設備を設けなければならない。	-	-	
2 発電用原子炉施設には、重大事故等が発生した場合に工場等において風向、風速その他の気象条件を測定し、及びその結果を記録することができる設備を設けなければならない。	(個別設備の設置要求)		
第六十一条（緊急時対策所）			
第三十四条の規定により設置される緊急時対策所は、重大事故等が発生した場合においても当該重大事故等に対処するための適切な措置が講じられるよう、次に掲げるものでなければならぬ。			
一 重大事故等に対処するために必要な指示を行う要員がとどまることができるよう、適切な措置を講じたものであること。	居住性確保（気密性、遮蔽性）への影響	○	
二 重大事故等に対処するために必要な指示ができるよう、重大事故等に対処するために必要な情報を把握できる設備を設けたものであること。			
三 発電用原子炉施設の内外の通信連絡をする必要のある場所と通信連絡を行うために必要な設備を設けたものであること。			
第六十二条（通信連絡を行うために必要な設備）			
発電用原子炉施設には、重大事故等が発生した場合において当該発電用原子炉施設の内外の通信連絡をする必要のある場所と通信連絡を行うために必要な設備を設けなければならない。	(個別設備の設置要求)	-	

鉄筋コンクリート躯体の乾燥収縮及び地震影響を踏まえた要求機能に対する各条文の機能維持の方針の整理

No.	設置許可基準 規則		要求機能	鉄筋コンクリート躯体の 乾燥収縮及び地震影響による 影響の可能性	該当部	影響因子	[STEP2] 事象としての影響検討		[STEP3] 設計への反映※	
	条文	項目					影響因子を踏まえた 検討結果	影響 有無	影響因子を踏まえた 評価方針	設計 反映 有無
1	第三条	地盤設計基準対象施設の	地盤の支持性能	乾燥収縮によるひび割れの影響により、建屋の振動特性が変化し、地震時に建屋から基礎地盤へ伝達される荷重が変わる可能性がある。	原子炉建屋基礎地盤	建屋の初期剛性	・地盤の安定性評価に、建屋の初期剛性低下を考慮する必要がある。	有	・初期剛性低下を考慮した建屋地震応答解析モデルに基づき地盤安定解析用 FEM モデルを作成し、地盤の安定性を確認する。	有 (EP)
2	第四条	地震による損傷の防止	耐震性 (建屋)	建屋の振動特性が変化している。 (初期剛性の低下)	原子炉建屋等	建屋の初期剛性	・建屋の耐震設計に、初期剛性低下を考慮する必要がある。	有	・初期剛性低下を考慮した建屋地震応答解析モデルに基づき耐震設計を行う。また、不確かさケースとしてさらに初期剛性が低下したケースによる評価も実施する。	有
3			気密性 (建屋) [地震起因]	地震時のひび割れの影響により、気密性が保たなくなり、放射性物質や有毒ガスが建屋内に流入する可能性がある。	原子炉建屋等	建屋の初期剛性 地震時のひび割れ幅	・地震時の気密性については、面内変形に対しては、耐震壁のせん断ひずみがおおむね弾性状態にとどまることを基本とし、おおむね弾性状態を超える場合は、地震応答解析による耐震壁のせん断ひずみから算定した空気漏えい量が設置する換気設備の性能を下回ることで必要な気密性を維持する設計とし、面外変形に対しては、地震時に生じる応力に対して鉄筋が降伏しないことを確認(鉄筋が降伏する場合は別途詳細検討)することで、気密性を維持する設計としていたため、耐震壁のせん断ひずみ等の評価に建屋の初期剛性低下の影響を考慮する必要がある。	有	・地震時のひび割れについては、実験により乾燥収縮が地震時のひび割れ発生に大きな影響を与えないことを確認している。 ・初期剛性低下を考慮した建屋地震応答解析モデルを用いた地震応答解析によって、耐震壁のせん断ひずみ等を評価する。 ・空気漏洩量の算定においては、「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書「耐震安全解析コード改良試験 原子炉建屋の弾塑性試験 試験結果の評価に関する報告書 平成5年度」(財団法人 原子力発電技術機構)にて提案されている評価式について、乾燥収縮ひび割れのある建屋における気密性能検査から十分な保守性を確認した上で適用する。	有

※設置許可段階で評価結果を示す項目は、「(EP)」を付している。

No.	設置許可基準 規則		要求機能	鉄筋コンクリート躯体の 乾燥収縮及び地震影響による 影響の可能性	該当部	影響因子	【STEP2】事象としての影響検討		【STEP3】設計への反映※	
	条文	項目					影響因子を踏まえた 検討結果	影響 有無	影響因子を踏まえた 評価方針	設計 反映 有無
4	第四条	地震による損傷の防止	止水性 (建屋) [地震起因]	地震時のひび割れの影響により、使用済燃料プール等で発生したスロッシングによる溢水が想定していない経路を通じて他の区画に流入し、安全上特に重要な系統・設備が機能喪失する若しくは放射性物質を含む液体が管理区域外へ漏えいする可能性がある。 屋外タンク等の地震時の破損による溢水影響評価において、地震時のひび割れの影響により、屋外の溢水が建屋内等に流入し、安全上特に重要な系統・設備が機能喪失する可能性がある。	原子炉建屋内 壁	地震時のひび割れ幅、 建屋の初期 剛性	・地震時の止水性については、せん断ひずみ度から残留ひび割れ幅を算定し、0.2mm未満であることを確認することにより止水性を維持する方針であるため、せん断ひずみの算定において、建屋の初期剛性低下の影響を考慮する必要がある。	・地震時のひび割れについては、実験により乾燥収縮が地震時のひび割れ発生に大きな影響を与えないことを確認している。 ・初期剛性低下を考慮した建屋地震応答解析モデルを用いた地震応答解析によって、耐震壁のせん断ひずみを評価し、せん断ひずみ度から残留ひび割れ幅を算定し、0.2mm未満であることを確認することにより止水性を維持する。	有	有
5			止水性 (土木構造物) [地震起因]	屋外タンク等の地震時の破損による溢水影響評価において、地震時のひび割れの影響により、屋外の溢水が建屋内等に流入し、安全上特に重要な系統・設備が機能喪失する可能性がある。	原子炉建屋、 制御建屋外壁	地震時のひび割れ幅	・地震によりコンクリートに生じたひび割れからの漏水について評価する必要がある。	・地震後に受ける荷重（水圧）として最も大きい津波時の評価 [No.22 第五条 津波による損傷の防止 浸水防護（土木構造物の止水性）に同じ] で代表する。	有	有
6			遮蔽性 (建屋) [地震起因]	地震時のひび割れの影響により、遮蔽機能が低下する可能性がある。	原子炉建屋等	地震時の遮蔽体(壁)の形状、厚さ 建屋の初期 剛性	・地震動に対して構造強度を確保し、遮蔽体の形状及び厚さを確保することで、地震後における残留ひずみを小さくし、ひび割れがほぼ閉鎖し、貫通するひび割れが直線的に残留しないこととすることで、遮蔽性を維持する設計としていることから、地震時の耐震壁のせん断ひずみの算定において、建屋の初期剛性低下の影響を考慮する必要がある。	・初期剛性低下を考慮した建屋地震応答解析モデルを用いた地震応答解析によって、耐震壁のせん断ひずみを評価する。	有	有

※設置許可段階で評価結果を示す項目は、「(EP)」を付している。

No.	設置許可基準		要求機能	鉄筋コンクリート躯体の乾燥収縮及び地震影響による影響の可能性	該当部	影響因子	【STEP2】事象としての影響検討		【STEP3】設計への反映※	
	規則	項目					影響因子を踏まえた検討結果	影響の有無	影響因子を踏まえた評価方針	設計反映の有無
8	第四十条	地震による損傷の防止	安全避難通路の確保 (建物) [地震起因]	乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、安全避難通路を確保できなくなる可能性がある。	原子炉建屋等	コンクリート片の剥落等 建屋の初期剛性	・地震時に対象建屋が倒壊等によって波及的影響を与えないことを確認する際に、初期剛性低下を考慮する必要がある。	有	・初期剛性低下を考慮した建屋地震応答解析モデルを用いた地震応答解析によって、倒壊等しないことを評価する。	有
9		耐震性 (機器・配管系)	乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、建物・構築物(土木構築物含む)の振動特性が変化し、地震時に建屋から機器・配管系へ伝達される荷重が変わる可能性がある。	建屋・土木構築物に設置されている機器・配管系各設備	初期剛性	・初期剛性低下によって、建屋の振動特性が変化することが確認されたため、機器・配管系の耐震設計には、建屋の初期剛性低下を考慮する必要がある。 ・土木構築物は、地中構築物のため、応答は周囲の地盤の振動が支配的となることから、初期剛性の影響は小さい。	有	・初期剛性低下を考慮した建屋地震応答解析モデルによる地震応答解析結果を用いて、各設備の耐震設計を行う。また、建屋-大型機器連成解析モデルにも建屋初期剛性低下を考慮し、耐震設計を行う。 ・土木構築物については、設計剛性を用いた地震応答解析モデルを基本とするが、念のため、初期剛性低下の影響を確認する。	有	
10			乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、設備の振動特性が変化しうる可能性がある。	各設備のアンカー部	初期剛性	・建屋躯体と十分深い位置で定着させられたため、振動特性への影響はない。	無	-	-	-
11				機器の基礎台	初期剛性	・剛性が十分に大きくなるように設計しており、コンクリートにひび割れが生じた場合でも十分剛構造であることから、既工認と同様の設計で問題ない。	無	-	-	-
12			乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、設備の発生応力が変化する可能性がある。	円筒形容器の基礎ボルト	コンクリートのヤング係数	・鋼材とコンクリートのヤング係数比に影響するが、基礎ボルトの引張応力が大きく算出されるようにヤング係数比を設定しているため、影響は小さい。	有	・ヤング係数比は、既工認と同様に、基礎ボルトの引張応力が大きく算出されるように設定する。	無	
13			乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、コンクリートのコーン状破壊に対する許容荷重が低下し、設備のアンカー部の支持性能が低下する可能性がある。	各設備のアンカー部	コンクリートのコーン状破壊に対する許容荷重	・コンクリートのコーン状破壊に対する許容荷重については、既往実験によりひび割れの影響が小さいことが確認されているが、適切な低減係数を考慮する必要がある。	有	・建屋及び屋外重要土木構築物に設置される設備の支持機能(アンカー部)は、既工認と同様に JEAG4601 及び各種合成構造設計指針・同解説に基づき、低減係数を考慮した設計を実施する。	無	
14			乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、設備の耐力が低下する可能性がある。	機器の基礎台	コンクリートの設計基準強度	・ひび割れによってコンクリートの設計基準強度は低下しないことから、影響はない。	無	-	-	-

※設置許可段階で評価結果を示す項目は、「(EP)」を付している。

No.	設置許可基準 規則		要求機能	鉄筋コンクリート躯体の 乾燥収縮及び地震影響による 影響の可能性	該当部	影響因子	【STEP2】事象としての影響検討		【STEP3】設計への反映※	
	条文	項目					影響因子を踏まえた 検討結果	影響 有無	影響因子を踏まえた 評価方針	設計 反映 有無
15	第四条	地震による損傷の防止	耐震性 (土木構造物)	乾燥収縮によるひび割れによる初期剛性の低下により、地盤との動的相互作用が変化し、土圧等の評価が変わる可能性がある。	屋外重要土木 構造物等 (RC 部材全 般)	初期剛性	土木構造物は、地中構造物のため応答は周囲の地盤の振動が支配的となるため、初期剛性の影響は小さい。	土木構造物に作用する主たる荷重である土圧は、剛性が小さいほど小さく評価されることから、作用外力としては乾燥収縮と地震の重畳による剛性低下を見込まないほうが安全側の評価となる。以上から初期剛性を低下させず地盤応答解析を行う。	無	
16				乾燥収縮によるひび割れの影響により、終局状態に対する耐震性評価が変わる可能性がある。		終局耐力	実験の結果、乾燥収縮ひび割れによる設計基準強度への影響は無いことから、終局耐力に影響はない。	-	-	
17			通水機能 (土木構造物)	地震によるひび割れの影響により、取水路等からの溢水が発生し、十分な通水機能を確保できなくなる。	屋外重要土木 構造物 (取水口～海 水ポンプ室)	[No.15,16 第四条 地震による損傷の防止 耐震性 (土木構造物) に同じ]	第四條 地震による損傷の防止 耐震性 (土木構造物) に同じ			
18			貯水機能 (土木構造物)	地震によるひび割れの影響により、取水路等からの溢水が発生し、十分な貯水量を確保できなくなる。	屋外重要土木 構造物 (取水口～海 水ポンプ室)	ひび割れ幅	地震によりコンクリートに生じたひび割れからの津波時の漏水について評価する必要がある。	貯水機能が要求される施設の周辺は盛土等の地盤であることから、概ね弾性範囲の設計とすることにより貯水性能への保守性を確保する。	有	
19			耐震性 (防潮壁)	乾燥収縮によるひび割れの影響により、構造物の振動特性が変化し、部材の発生断面力等が変わる可能性がある。	防潮壁 (RC 遮水壁)	初期剛性	・ 地中に設置する杭と一体となった構造であり、応答は周囲の地盤の振動が支配的となるため、初期剛性の影響は小さい。	・ 設計剛性 (設計基準強度) を用いた地震応答解析モデルを基本とするが、念のため、初期剛性低下の影響を考慮した地震応答解析を行い、部材の発生断面力等を確認する。	有	
20			耐震性 (防潮壁)	乾燥収縮によるひび割れの影響により、終局状態に対する耐震性評価が変わる可能性がある。		終局耐力	実験の結果、設計基準強度への影響は無いことから、終局耐力に影響はない。	-	-	
21			耐震性 (防潮堤)	乾燥収縮によるひび割れの影響により、構造物の振動特性が変化し、部材の発生断面力等が変わる可能性がある。	防潮堤 (置換コンク リート、鋼管 杭等)	初期剛性	防潮堤全体の応答は周囲の地盤の振動が支配的となるため、置換コンクリート等の初期剛性の影響は防潮堤を構成する部位に与える影響は小さい。	・ 設計剛性 (設計基準強度) を用いた地震応答解析モデルを基本とするが、念のため、初期剛性低下の影響を考慮した地震応答解析を行い、置換コンクリートや鋼管杭等の発生断面力等に与える影響を確認する	有	

※設置許可段階で評価結果を示す項目は、「(EP)」を付している。

No.	設置許可基準		要求機能	鉄筋コンクリート躯体の乾燥収縮及び地震影響による影響の可能性	該当部	影響因子	【STEP2】事象としての影響検討		【STEP3】設計への反映※	
	規則	項目					影響因子を踏まえた検討結果	影響の有無	影響因子を踏まえた評価方針	設計反映の有無
22	第五條	津波による損傷の防止	浸水防護 (土木構造物の止水性)	乾燥収縮によるひび割れおよび地震によるひび割れの影響により、津波時にコンクリートに生じたひび割れから漏水し、止水性に影響を及ぼす可能性がある。	海水ポンプ室 (スクリーン エリアー補機 ポンプエリア 間の隔壁等)	ひび割れ幅	【通常時】 ・乾燥収縮ひび割れ等を考慮した保守管理を実施することから、止水性に影響は無い。 【地震時】 ・地震によりコンクリートに生じたひび割れからの津波時の漏水について評価する必要がある。	無	-	-
23			浸水防護 (津波防護施設の止水性)	乾燥収縮によるひび割れおよび地震によるひび割れの影響により、津波時にコンクリートに生じたひび割れから漏水し、止水性に影響を及ぼす可能性がある。	防潮壁 (RC 遮水壁)	ひび割れ幅	【通常時】 【No.22 第五條 津波による損傷の防止 浸水防護 (土木構造物の止水性) に同じ】 【地震時】 【No.22 第五條 津波による損傷の防止 浸水防護 (土木構造物の止水性) に同じ】	無	-	-
24				乾燥収縮によるひび割れおよび地震によるひび割れの影響により、津波時にコンクリートに生じたひび割れから漏水し、止水性に影響を及ぼす可能性がある。	防潮堤 (置換コンクリート等)	ひび割れ幅	【通常時】 【No.22 第五條 津波による損傷の防止 浸水防護 (土木構造物の止水性) に同じ】 【地震時】 ・地震によりコンクリートに生じたひび割れからの津波時の漏水について評価する必要がある。	無	-	-
25	第六條	損傷外部衝撃部からの防止	風 (台風) に 対する建屋の 構造健全性 (外殻として の機能)	風 (台風) の荷重の影響については、竜巻の風荷重による評価に崩落されるため、【No.26 第六條 外部からの衝撃による損傷の防止 (竜巻)】に記載。	-	-		有	・地震に伴うひび割れの影響は軽微であることとを地震応答解析による要素破壊判定により確認する。 ・なお、置換コンクリート等を保守的に盛土相当の透水係数とした場合の浸透流解析により津波時の止水機能に影響が無いことを確認している (EP)。	有

※設置許可段階で評価結果を示す項目は、「(EP)」を付している。

No.	設置許可基準 規則		要求機能	鉄筋コンクリート躯体の 乾燥収縮及び地震影響による 影響の可能性	該当部	影響因子	【STEP2】事象としての影響検討		【STEP3】設計への反映※	
	条文	項目					影響因子を踏まえた 検討結果	影響 有無	影響因子を踏まえた 評価方針	設計 反映 有無
26	第六条	外部からの衝撃による損傷の防止	竜巻に対する建屋の構造健全性(外殻としての機能)	乾燥収縮ひび割れの影響によるコンクリートの圧縮強度低下によって、竜巻の荷重に対する建屋等の構造健全性(外殻としての機能等)が低下する可能性がある。	原子炉建屋 制御建屋 タービン建屋 軽油タンク室	コンクリートの構造体としての健全性、圧縮強度	無	-	-	-
27		竜巻随伴事象(火災)に対する建屋の構造健全性(外殻としての機能)	竜巻の随伴事象である火災については、建屋外の火災が考えられるが、[No.39 第六条 外部からの衝撃による損傷の防止(外部火災)]の影響評価と同様である。			コンクリートの構造体の変形	有	・竜巻による各荷重に対する原子炉建屋等の全体的変形評価においては、初期剛性低下を考慮した地震応答解析モデルの荷重-変形関係を用い、乾燥収縮等の影響を考慮した評価を実施する。	-	有
28		竜巻随伴事象(溢水)に対する建屋の構造健全性(外殻としての機能)	竜巻の随伴事象である溢水については、建屋外の溢水が考えられるが、[No.45 第九条 溢水による損傷の防止等 止水性]の影響評価と同様である。				-	-	-	-

※設置許可段階で評価結果を示す項目は、「(EP)」を付している。

No.	設置許可基準		要求機能	鉄筋コンクリート躯体の乾燥収縮及び地震影響による影響の可能性	該当部	影響因子	【STEP2】事象としての影響検討		【STEP3】設計への反映※	
	規則	項目					影響因子を踏まえた検討結果	影響の有無	影響因子を踏まえた評価方針	設計反映の有無
29	第六條	外部からの衝撃による損傷の防止	竜巻随伴事象（外部電源喪失）に対する建屋の構造健全性（外殻としての機能）	外部電源喪失はコンクリートの圧縮強度低下による建屋等の構造健全性（外殻としての機能等）に影響しない。	-	-	-	-	-	-
30		凍結に対する建屋の構造健全性（外殻としての機能）	乾燥収縮によるひび割れ部の内部で凍結が発生することで、ひびが進展し、建屋等の構造健全性（外殻としての機能等）が低下する可能性がある。	原子炉建屋 制御建屋 タービン建屋 軽油タンク室	コンクリートの構造体のひび割れ幅	・ 建屋根スラブはアスファルト防水等により機能を確保しており、また、外壁部については、防食塗装を施工している。アスファルト防水等及び外壁塗装は乾燥収縮によるひび割れに追従する構造であるため、水の侵入による凍結の影響はない。 ・ その他の設備は乾燥収縮ひび割れ等を考慮した保守管理をすることから影響はない。	無	-	-	
31		流体の凍結による配管等の閉塞は鉄筋コンクリート躯体の乾燥収縮に影響しない。		-	-	-	-	-	-	-
32		降水に対する建屋の構造健全性（止水性）	乾燥収縮によるひび割れを通じ、降水により建屋内等への漏水が発生し、安全機能が喪失する可能性がある。	原子炉建屋 制御建屋 タービン建屋 軽油タンク室	コンクリートの構造体のひび割れ幅	・ 建屋根スラブはアスファルト防水等により機能を確保しており、また、外壁部については、防食塗装を施工している。アスファルト防水等及び外壁塗装は乾燥収縮によるひび割れに追従する構造であるため、浸水の影はない。 ・ その他の設備は乾燥収縮ひび割れ等を考慮した保守管理をすることから影響はない。	無	-	-	-
33		積雪に対する建屋の構造健全性（外殻としての機能）	乾燥収縮ひび割れの影響によるコンクリートの圧縮強度低下によって、積雪の荷重に対する建屋等の構造健全性（外殻としての機能等）が低下する可能性がある。	原子炉建屋 制御建屋 タービン建屋 軽油タンク室	コンクリートの構造体としての健全性、圧縮強度	・ 乾燥収縮は、建屋等の剛性として力学的性質に影響を与えるが、乾燥収縮はコンクリート材料の一般的な性質であり、実機からコア抜きによりコンクリートの圧縮強度が設計基準強度を上回っていること、また、耐震実験により乾燥収縮が終局耐力に影響を与えないことを確認しており構造体として問題はなく外殻としての機能の評価への影響はない。	無	-	-	-

※設置許可段階で評価結果を示す項目は、「(EP)」を付している。

No.	設置許可基準		要求機能	鉄筋コンクリート躯体の乾燥収縮及び地震影響による影響の可能性	該当部	影響因子	【STEP2】事象としての影響検討		【STEP3】設計への反映※	
	条文	項目					影響因子を踏まえた検討結果	影響の有無	影響因子を踏まえた評価方針	設計反映の有無
34	第六条	外部からの衝撃による損傷の防止	落雷に対する建屋の構造健全性(外殻としての機能)	落雷による雷撃電流に対して、避雷設備を設ける等の対策をしている。また、電氣的影響は鉄筋コンクリート躯体の乾燥収縮及び地震影響に影響しない。	-	-	-	-	-	-
35		火山(降下火砕物の荷重)に対する建屋の構造健全性(外殻としての機能)	コンクリートの圧縮強度低下により、降下火砕物の荷重に対して、建屋当の構造健全性(外殻としての機能等)が低下する可能性がある。	原子炉建屋 制御建屋 タービン建屋 軽油タンク室	コンクリートの構造体としての健全性、圧縮強度	乾燥収縮は、建屋等の剛性として力学的性質に影響を与えるが、乾燥収縮はコンクリート材料の一般的な性質であり、実機からのコア抜きによりコンクリートの圧縮強度が設計基準強度を上回っていること、また、耐震実験により乾燥収縮が終局耐力に影響を与えないことを確認しており構造体として問題はなく外殻としての機能の評価への影響はない。	-	-	-	
36		火山(降下火砕物による腐食)に対する建屋の構造健全性(外殻としての機能)	乾燥収縮によるひび割れ部に降下火砕物が侵入した場合にコンクリートの腐食が助長される可能性がある(外殻としての機能等)が低下する可能性がある。	原子炉建屋 制御建屋 タービン建屋 軽油タンク室	コンクリートの構造体のひび割れ幅	・建屋屋根スラブはアスファルト防水等により機能を確保しており、また、外壁部については、防食塗装を施工している。アスファルト防水等及び外壁塗装は乾燥収縮及び地震によるひび割れに追随する構造であるため影響はない。 ・その他の設備は乾燥収縮ひび割れ等を考慮した保守管理をすることから影響はない。	-	-	-	
37		火山(降下火砕物による閉塞・摩耗、絶縁低下、大気汚染等)に対する建屋の構造健全性(外殻としての機能)	降下火砕物による閉塞・摩耗、絶縁低下、大気汚染等)に対する建屋の構造健全性(外殻としての機能)に影響しない。	-	-	-	-	-	-	-
38		生物学的事象に対する建屋の構造健全性(外殻としての機能)	生物学的事象による閉塞や電氣的影響は鉄筋コンクリート躯体の乾燥収縮及び地震影響に影響しない。	-	-	-	-	-	-	-

※設置許可段階で評価結果を示す項目は、「(EP)」を付している。

No.	設置許可基準 規則 項目 条文		要求機能	鉄筋コンクリート躯体の 乾燥収縮及び地震影響による 影響の可能性	該当部	影響因子	【STEP2】事象としての影響検討		【STEP3】設計への反映※	
	影響因子を踏まえた 検討結果	影響 有無					影響因子を踏まえた 評価方針	設計 反映 有無		
39	外部からの衝撃による損傷の防止	外部火災（森林火災及び近隣工場等の火災）に対する建屋の構造健全性（耐熱性）	乾燥収縮によるひび割れの影響により、コンクリート温度伝導率に影響が及ぶ場合は、原子炉施設の外壁等の放射熱に対する耐熱性を示す危険放射強度が低下する可能性がある。	原子炉建屋外壁等	コンクリート温度伝導率（密度、熱伝導率、比熱）	<ul style="list-style-type: none"> 建屋の外壁の耐熱性は壁厚、コンクリート温度伝導率（密度、熱伝導率、比熱）に左右され、外壁の温度がコンクリートの健全性が確保される200℃（加熱温度と圧縮強度の関係を実験で確認した文献より設定）に到達する外部火災の放射強度を危険放射強度として、外部火災により外部事象防護対象施設の安全性を損なわない制限値としてい。 乾燥収縮ひび割れがコンクリート温度伝導率（密度、熱伝導率、比熱）に影響を与え、危険放射強度が変動する可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 乾燥収縮ひび割れがコンクリート温度伝導率（密度、熱伝導率、比熱）に与える影響を保守的に考慮して、外部火災に対する建屋外壁の危険放射強度を算定した結果、最も評価が厳しい漂流船舶の火災影響評価においても、その影響は現状の評価結果である1086.9W/m²に対して1.1W/m²の変動であり僅かであることから、評価結果に影響を与えないことを確認した。 	無		
40		有毒ガスに対する建屋の構造健全性（気密性）	乾燥収縮によるひび割れの影響により、気密性が保てなくなり、有毒ガスが建屋内に流入する可能性がある。	原子炉建屋制御建屋	コンクリートの構造体のひび割れ幅	<ul style="list-style-type: none"> 通常時の気密性については、乾燥収縮ひび割れ等を考慮した保守管理をすることから影響はない。 	無	-	-	
41	発電用原子炉施設への侵入等の防止	侵入等の防止	乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、必要なコンクリート厚さが維持できなくなる可能性がある。	原子炉建屋外壁等、土木構造物、津波防護施設等	鉄筋コンクリートの躯体体厚さ	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート厚さが要求事項となるが、実際の建屋外壁は要求の閾値に対して、十分な余裕を確保した厚さを有しており、ひび割れによる影響はない。 	無	-	-	
42	止火による損傷の防止	耐火性（遮熱性）	内部火災の耐火性の評価としては、150mm以上のコンクリート壁が3時間耐火性能をもつことを文献で確認している。乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、3時間耐火性能が確保できなくなる可能性がある。	3時間耐火壁（原子炉建屋内壁、制御建屋内壁、海水ポンプ室隔壁等）	鉄筋コンクリートの躯体厚さ、遮熱特性係数	<ul style="list-style-type: none"> 壁厚やコンクリートの種類に応じた遮熱特性係数により耐火性能時間を算定しており、乾燥収縮はコンクリート材料の一般的な性質で、躯体厚さや遮熱特性係数へ影響を及ぼすものではないことから、内部火災の耐火性に影響を与えるものではない。 	無	-	-	

※設置許可段階で評価結果を示す項目は、「(EP)」を付している。

No.	設置許可基準		要求機能	鉄筋コンクリート躯体の乾燥収縮及び地震影響による影響の可能性	該当部	影響因子	【STEP2】事象としての影響検討		【STEP3】設計への反映※	
	規則	項目					影響因子を踏まえた検討結果	影響の有無	影響因子を踏まえた評価方針	設計反映の有無
43	第九条	溢水による損傷の防止等	止水性	常用海水系の想定破損による溢水影響評価において、乾燥収縮によるひび割れからの漏水が発生し、安全上特に重要な系統・設備が機能喪失する可能性がある。	海水ポンプ室(循環水ポンプエリアー補機ポンプエリア間の隔壁)	コンクリートの構造体のひび割れ幅	・乾燥収縮ひび割れ等を考慮した保守管理を実施することから、止水性に影響はない。	-	-	
44				想定破損による溢水影響評価において、乾燥収縮によるひび割れの影響により、溢水が想定していない経路を通じ他の区画に流入し、安全上特に重要な系統・設備が機能喪失する可能性がある。	原子炉建屋内壁 制御建屋内壁 屋外重要土木構造物	コンクリートの構造体のひび割れ幅	・乾燥収縮ひび割れ等を考慮した保守管理を実施することから、乾燥収縮によるひび割れの影響により、溢水が想定していない経路を通じ他の区画に流入することはなく、安全上特に重要な系統・設備がその機能を喪失することはない。	-	-	
45				屋外タンク等の地震時の破損による溢水影響評価において、乾燥収縮によるひび割れの影響により、屋外の溢水が建屋内等に流入し、安全上特に重要な系統・設備が機能喪失する可能性がある。	原子炉建屋外壁 制御建屋外壁 屋外重要土木構造物	コンクリートの構造体のひび割れ幅	・屋外タンク等の破損による溢水の影響を受ける外壁部については、防食塗装を施工している。外壁の塗装は乾燥収縮によるひび割れに追従する構造であるため影響はない。 ・その他の設備は乾燥収縮ひび割れ等を考慮した保守管理をすることから影響はない。 ・地震時のひび割れに対しては、【No.4 第四条 地震による損傷の防止 止水性(建屋) [地震起因]】に同じ。	-	-	
46	第十条	止 誤 操 作 の 防	操作性	乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、運転員が容易に設備を運転できなくなる可能性がある。	制御建屋等	【No.2~21 第四条 地震による損傷の防止】に同じ 【No.22~24 第五条 津波による損傷の防止】に同じ 【No.25~40 第六条 外部からの衝撃による損傷の防止】に同じ 【No.42 第八条 火災による損傷の防止】に同じ 【No.43~45 第九条 溢水による損傷の防止等】に同じ				
47	第十一条	安全避難通路等	安全避難通路の確保	乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、安全避難通路を確保できなくなる可能性がある。	原子炉建屋等	【No.2~21 第四条 地震による損傷の防止】に同じ 【No.22~24 第五条 津波による損傷の防止】に同じ 【No.25~40 第六条 外部からの衝撃による損傷の防止】に同じ 【No.42 第八条 火災による損傷の防止】に同じ 【No.43~45 第九条 溢水による損傷の防止等】に同じ				
48	第十二条	安全施設	安全機能の確保	乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、安全機能を確保できなくなる可能性がある。	原子炉建屋等	【No.2~21 第四条 地震による損傷の防止】に同じ 【No.22~24 第五条 津波による損傷の防止】に同じ 【No.25~40 第六条 外部からの衝撃による損傷の防止】に同じ 【No.42 第八条 火災による損傷の防止】に同じ 【No.43~45 第九条 溢水による損傷の防止等】に同じ				

※設置許可段階で評価結果を示す項目は、「(EP)」を付している。

No.	設置許可基準 規則		要求機能	鉄筋コンクリート躯体の 乾燥収縮及び地震影響による 影響の可能性	該当部	影響因子	【STEP2】事象としての影響検討		【STEP3】設計への反映※	
	条文	項目					影響因子を踏まえた 検討結果	影響 有無	影響因子を踏まえた 評価方針	設計 反映 有無
49	第十三条	運転時の異常な過渡事故の拡大の防止	遮蔽性	乾燥収縮によるひび割れの影響により、遮蔽機能が低下する可能性がある。	原子炉建屋等	通常時の遮蔽体(壁)の形状、厚さ、密度	無	・通常時は、乾燥収縮ひび割れ等を考慮した保守管理を実施することから、安全上特に重要な系統・設備がその機能を喪失することはない。 ・乾燥収縮ひび割れは躯体の形状、厚さに影響を及ぼさないため、遮蔽機能への影響はない。 ・遮蔽計算に用いるコンクリートの密度は、建設時に乾燥単位容積質量で管理を実施していることから乾燥収縮の影響はない。 ・地震時のひび割れに対しては、[No.7 第四条 地震による損傷の防止 遮蔽性(建屋) [地震起因]]に同じ。	-	-
50	第十六条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	想定外の重量 物落下が生じ ないこと	乾燥収縮によるひび割れの影響で、屋根スラブ等の強度が低下し、コンクリート片が使用済燃料プールへ落下する可能性がある。	原子炉建屋 根	コンクリート片の剥落等	無	・屋根スラブは、鋼板(デッキプレート)の上鉄筋コンクリート造の屋根を設けた構造であり、地震により剥落しない設計であることから影響はない。	-	-
51					原子炉建屋壁 (3階床面より上部を構成する壁)	コンクリート片の剥落等	有	・3階床面より上部を構成する壁については、鉄筋コンクリート造の耐震壁であり、3階床面より下部の耐震壁とあわせて地震により落下しないことを確認するが、建屋の初期剛性低下の影響を考慮する必要がある。	・地震応答解析においては、初期剛性低下を考慮した建屋地震応答解析モデルを用いることから、乾燥収縮等の影響を考慮した評価としている。	有
52					原子炉建屋	建屋の初期剛性	有	・天井クレーンの間接支持構造物としての原子炉建屋の耐震設計に、初期剛性低下を考慮する必要がある。	・地震応答解析においては、初期剛性低下を考慮した建屋地震応答解析モデルを用いることから、乾燥収縮等の影響を考慮した評価としている。	有
53			遮蔽性	乾燥収縮によるひび割れの影響により、遮蔽機能が低下する可能性がある。	使用済燃料プール内面壁、 底部壁	通常時の遮蔽体(壁)の形状、厚さ	無	[No.49 第十三条 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止 遮蔽性]に同じ	-	-

※設置許可段階で評価結果を示す項目は、「(EP)」を付している。

No.	設置許可基準 規則		要求機能	鉄筋コンクリート躯体の 乾燥収縮及び地震影響による 影響の可能性	該当部	影響因子	【STEP2】事象としての影響検討		【STEP3】設計への反映※	
	条文	項目					影響因子を踏まえた 検討結果	影響 有無	影響因子を踏まえた 評価方針	設計 反映 有無
54	第二十二條	最終ヒートシンクへ熱を輸送することができ	通水機能 (土木構造物)	乾燥収縮によるひび割れの影 響により、取水路等からの溢水 が発生し、十分な通水機能を確 保できなくなる。	屋外重要土木 構造物 (取水口～海 水ポンプ室)	通常時のひ び割れ幅	・通常時は、乾燥収縮ひび割れ等を考慮した 保守管理を実施することから、通水機能へ の影響はない。 ・地震時のひび割れに対しては、【No.17 第四條 地震による損傷の防止 通水機能 (土木構造物)】に同じ。	-	-	
55			貯水機能 (土木構造物)	乾燥収縮によるひび割れの影 響により、取水路等からの溢水 が発生し、十分な貯水量を確保 できなくなる。	屋外重要土木 構造物 (取水口～海 水ポンプ室)	通常時のひ び割れ幅	・通常時は、乾燥収縮ひび割れ等を考慮した 保守管理を実施することから、貯水機能へ の影響はない。 ・地震時のひび割れに対しては、【No.18 第四條 地震による損傷の防止 貯水機能 (土木構造物)】に同じ。	-	-	
56	第二十六條	原子炉制御室等	居住性確保 (気密性)	乾燥収縮によるひび割れの影 響により、気密性が保たなくな り、放射性物質や有毒ガスが原 子炉制御室に流入する可能性 がある。	原子炉制御室	【No.3 第四條 地震による損傷の防止 気密性 (建屋) 【地震起因】】に同じ 【No.40 第六條 外部からの衝撃による損傷の防止 有毒ガス (気密性)】に同じ				
57			居住性確保 (遮蔽性)	乾燥収縮によるひび割れの影 響により、遮蔽機能が低下し、 原子炉制御室にいる運転員の 被曝量が増加する可能性がある。 る。	原子炉制御室	【No.49 第十三條 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止 遮蔽性】に同じ				
58	第二十七條	放射性廃棄物の処理施設	止水性	乾燥収縮によるひび割れの影 響により、液体状の放射性廃棄 物が漏えいする可能性がある。	原子炉建屋等	【No.43 第九條 溢水による損傷の防止等 止水性】に同じ				

※設置許可段階で評価結果を示す項目は、「(EP)」を付している。

No.	設置許可基準		要求機能	放射線コンクリート躯体の乾燥収縮及び地震影響による影響の可能性	該当部	影響因子	【STEP2】事象としての影響検討		【STEP3】設計への反映※	
	条文	規則項目					影響因子を踏まえた検討結果	影響の有無	影響因子を踏まえた評価方針	設計反映の有無
59	第二十九条	工場等周辺における直接ガンマ線等からの防護	遮蔽性	乾燥収縮によるひび割れの影響により、遮蔽機能が低下し、発電所周辺の空間線量率が上昇する可能性がある。	原子炉建屋等	[No.49 第十三条 運転時の異常な過度変化及び設計基準事故の拡大の防止 遮蔽性] に同じ	影響因子を踏まえた検討結果	影響の有無	影響因子を踏まえた評価方針	設計反映の有無
60				地震時のひび割れの影響により、遮蔽機能が低下し、発電所周辺の空間線量率が上昇する可能性がある。	原子炉建屋等	[No.49 第十三条 運転時の異常な過度変化及び設計基準事故の拡大の防止 遮蔽性] に同じ				
61	第三十条	放射線からの放射線業務従事者の防護	遮蔽性	乾燥収縮によるひび割れの影響により、遮蔽機能が低下し、放射線業務従事者の作業性に影響を与える可能性がある。	原子炉建屋等	[No.49 第十三条 運転時の異常な過度変化及び設計基準事故の拡大の防止 遮蔽性] に同じ				
62			気密性	乾燥収縮によるひび割れの影響により、気密性が保てなくなり、放射線業務従事者の作業性に影響を与える可能性がある。	原子炉建屋等	[No.3 第四条 地震による損傷の防止 気密性 (建物) [地震起因]] に同じ [No.40 第六条 外部からの衝撃による損傷の防止 有毒ガス (気密性)] に同じ				
63			止水性	乾燥収縮によるひび割れの影響により、止水性が保てなくなり、放射線業務従事者の作業性に影響を与える可能性がある。	原子炉建屋等	[No.32 第六条 外部からの衝撃による損傷の防止 降水 (止水性)] に同じ [No.43 第九条 漏水による損傷の防止等 止水性] に同じ				
64	第三十一条	原子炉格納施設	気密性	乾燥収縮によるひび割れの影響により、気密性が保てなくなり、非常用ガス処理系の放射性物質の濃度低減機能が維持できなくなる可能性がある。	原子炉建屋等	[No.3 第四条 地震による損傷の防止 気密性 (建物) [地震起因]] に同じ [No.40 第六条 外部からの衝撃による損傷の防止 有毒ガス (気密性)] に同じ				

※設置許可段階で評価結果を示す項目は、「(EP)」を付している。

No.	設置許可基準 規則		要求機能	鉄筋コンクリート躯体の 乾燥収縮及び地震影響による 影響の可能性	該当部	影響因子	【STEP2】事象としての影響検討		【STEP3】設計への反映※	
	条文	項目					影響因子を踏まえた 検討結果	影響 有無	影響因子を踏まえた 評価方針	設計 反映 有無
65	第三十四条	緊急時対策所	居住性確保 (気密性)	乾燥収縮によるひび割れの影 響により、気密性が保たなくな り、放射性物質や有毒ガスが緊 急時対策所に流入する可能性 がある。	緊急時対策所	[No.3 第四条 地震による損傷の防止 気密性 (建物) [地震起因]] に同じ [No.40 第六条 外部からの衝撃による損傷の防止 有毒ガス (気密性)] に同じ	影響因子を踏まえた 検討結果	影響 有無	影響因子を踏まえた 評価方針	設計 反映 有無
66			居住性確保 (遮蔽性)	乾燥収縮によるひび割れの影 響により、遮蔽機能が低下し、 緊急時対策所における対応要員 の被曝量が増加する可能性が ある。	緊急時対策所	[No.49 第十三条 運転時の異常な過度変化及び設計基準事故の拡大の防止 遮蔽性] に同じ				
67	第三十八条	重大事故等対処施設 の地盤	地盤の支持性 能	乾燥収縮によるひび割れの影 響により、建屋の振動特性が変 化し、地震時に建屋から基礎地 盤へ伝達される荷重が変わる 可能性がある。	緊急時対策建 屋基礎地盤 [新設建屋]	建屋の初期 剛性	地震の影響を受けていないこと、建屋の設 計は基準地震動 Ss に対しておおむね弾性 範囲にとどめる設計とすることから、設計 剛性を用いた地震応答解析モデルに基づ き、FEM モデルを作成し地盤の安定性を確 保する。	無	- ※初期剛性低下を考慮した建屋地震応答解析 モデルにより基礎地盤へ伝達される荷重が 変わらないことを確認している。(EP)	-
68	第三十九条	地震による損傷の防止	耐震性(建物)	建屋の振動特性が変化する可 能性がある。 (初期剛性の低下)	緊急時対策建 屋等 [新設建屋]	建屋の初期 剛性	地震の影響を受けていないこと、基準地震 動 Ss に対しておおむね弾性範囲に留める 設計を目指していることから初期剛性低下 の影響は無い。	無	-	-
69					原子炉建屋等 [既設建屋]	[No.2 第四条 地震による損傷の防止 耐震性 (建物)] に同じ				
70			アクセス通路等 の確保 [地震起因]	地震時のひび割れの影響によ りコンクリート片等が落下す ることにより、可搬型重大事故 等対処設備を運搬し、又は他の 設備の被害状況を把握するた めの通路及び通路が確保でき なくなる可能性がある。	原子炉建屋等	コンクリー ト片の剥落 等 建屋の初期 剛性	地震時に対象建屋が倒壊などによって波及 的影響を与えないことを確認する際に、初 期剛性低下を考慮する必要がある。	有	・初期剛性低下を考慮した建屋地震応答解析 モデルを用いた地震応答解析によって、倒 壊などしないことを評価する。	有

※設置許可段階で評価結果を示す項目は、「(EP)」を付している。

No.	設置許可基準		要求機能	鉄筋コンクリート躯体の乾燥収縮及び地震影響による影響の可能性	該当部	影響因子	【STEP2】事象としての影響検討		【STEP3】設計への反映※	
	規則	項目					影響因子を踏まえた検討結果	影響の有無	影響因子を踏まえた評価方針	設計反映の有無
71	第三十九条	地震による損傷の防止	耐震性(機器・配管系)	建屋の振動特性が変化し、地震時に建屋から機器・配管系へ伝達される荷重が変わる可能性がある。	建屋内に設置されている機器・配管系の各設備(緊急時対策建屋等)[新設建屋]	建屋の初期剛性	・新設施設は、地震の影響を受けていないことから、新設施設に設置される機器・配管系の設備への影響は無い。	-	-	
72					建屋内に設置されている機器・配管系の各設備(原子炉建屋等)[既設建屋]	[No.9 第四条 地震による損傷の防止 耐震性(機器・配管系)] に同じ				
73				乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、設備の振動特性が変化する可能性がある。	各設備のアンカー部(緊急時対策建屋等)[新設建屋]	初期剛性	・新設施設は、乾燥収縮及び地震の影響を受けていないことから、新設施設に設置される機器・配管系の設備への影響は無い。	-	-	
74					各設備のアンカー部(原子炉建屋等)[既設建屋]	[No.10 第四条 地震による損傷の防止 耐震性(機器・配管系)] に同じ				
75					機器の基礎台(緊急時対策建屋等)[新設建屋]	初期剛性	・新設施設は、乾燥収縮及び地震の影響を受けていないことから、新設施設に設置される機器・配管系の設備への影響は無い。	-	-	
76					機器の基礎台(原子炉建屋等)[既設建屋]	[No.11 第四条 地震による損傷の防止 耐震性(機器・配管系)] に同じ				

※設置許可段階で評価結果を示す項目は、「(EP)」を付している。

No.	設置許可基準		要求機能	鉄筋コンクリート躯体の乾燥収縮及び地震影響による影響の可能性	該当部	影響因子	【STEP2】事象としての影響検討		【STEP3】設計への反映※	
	条文	規則項目					影響因子を踏まえた検討結果	影響の有無	影響因子を踏まえた評価方針	設計反映の有無
77	第三十九条	地震による損傷の防止	耐震性(機器・配管系)	乾燥収縮及び地震によるひび割れの発生により、設備の発生応力が変化する可能性がある。	円筒形容器の基礎ポルト(緊急時対策建屋等) [新設建屋]	コンクリートのヤング係数	・新設施設は、乾燥収縮及び地震の影響を受けていないことから、新設施設に設置される機器・配管系の設備への影響は無い。	無	-	-
78				乾燥収縮及び地震によるひび割れの発生により、設備の発生応力が変化する可能性がある。	円筒形容器の基礎ポルト(原子炉建屋等) [既設建屋]	[No.12 第四条	地震による損傷の防止 耐震性(機器・配管系)] に同じ			
79				乾燥収縮及び地震によるひび割れの発生により、コンクリートのコンクリートに対する許容荷重が低下し、設備のアンカ一部が支持性能が低下する可能性がある。	各設備のアンカー部(緊急時対策建屋等) [新設建屋]	コンクリートのコンクリートに対する許容荷重	・新設施設は、乾燥収縮及び地震の影響を受けていないことから、新設施設に設置される機器・配管系の設備への影響は無い。	無	-	-
80					各設備のアンカー部(原子炉建屋等) [既設建屋]	[No.13 第四条	地震による損傷の防止 耐震性(機器・配管系)] に同じ			
81				乾燥収縮及び地震によるひび割れの発生により、設備の耐力が低下する可能性がある。	機器の基礎台(緊急時対策建屋等) [新設建屋]	コンクリートの設計基準強度	・新設施設は、乾燥収縮及び地震の影響を受けていないことから、新設施設に設置される機器・配管系の設備への影響は無い。	無	-	-
82					機器の基礎台(原子炉建屋等) [既設建屋]	[No.14 第四条	地震による損傷の防止 耐震性(機器・配管系)] に同じ			

※設置許可段階で評価結果を示す項目は、「(EP)」を付している。

No.	設置許可基準		要求機能	鉄筋コンクリート躯体の乾燥収縮及び地震影響による影響の可能性	該当部	影響因子	【STEP2】事象としての影響検討		【STEP3】設計への反映※	
	条文	項目					影響因子を踏まえた検討結果	影響の有無	影響因子を踏まえた評価方針	設計反映の有無
83	第三十九条	地震による損傷の防止	耐震性 (土木構造物)	乾燥収縮によるひび割れによる初期剛性の低下により、土木構造物の剛性低下により、地盤との動的相互作用が変化し、土圧等の評価が変わる可能性がある。 乾燥収縮によるひび割れの影響により、終局状態に対する耐震性評価が変わる可能性がある。	土木構造物 (屋外重要土木構造物等のRC部材全般)	[No.15,16 第四条 地震による損傷の防止 耐震性 (土木構造物)] に同じ	影響の有無	影響因子を踏まえた評価方針	設計反映の有無	
84										
85		通水機能 (土木構造物)		地震によるひび割れの影響により、取水路等からの溢水が発生し、十分な通水機能を確保できなくなる。	屋外重要土木構造物 (取水口～海水ポンプ室)	[No.17 第四条 地震による損傷の防止 通水機能 (土木構造物)] に同じ				
86		貯水機能 (土木構造物)		地震によるひび割れの影響により、取水路等からの溢水が発生し、十分な貯水量を確保できなくなる。	屋外重要土木構造物 (取水口～海水ポンプ室)	[No.18 第四条 地震による損傷の防止 貯水機能 (土木構造物)] に同じ				
87		耐震性 (防潮壁)		乾燥収縮によるひび割れの影響により、構造物の振動特性が変化し、部材の発生断面力等が変わる可能性がある。	防潮壁 (RC遮水壁)	[No.19,20 第四条 地震による損傷の防止 耐震性 (防潮壁)] に同じ				
88				乾燥収縮によるひび割れの影響により、終局状態に対する耐震性評価が変わる可能性がある。						
89		耐震性 (防潮堤)		乾燥収縮によるひび割れの影響により、構造物の振動特性が変化し、部材の発生断面力等が変わる可能性がある。	防潮堤 (置換コンクリート、鋼管杭等)	[No.21 第四条 地震による損傷の防止 耐震性 (防潮堤)] に同じ				

※設置許可段階で評価結果を示す項目は、「(EP)」を付している。

No.	設置許可基準		要求機能	鉄筋コンクリート躯体の乾燥収縮及び地震影響による影響の可能性	該当部	影響因子	[STEP2] 事象としての影響検討		[STEP3] 設計への反映※	
	規則	項目					影響因子を踏まえた検討結果	影響因子を踏まえた評価方針	設計反映	有無
90	第四十条	津波による損傷の防止	浸水防護 (土木構造物の止水性)	乾燥収縮によるひび割れおよび地震によるひび割れの影響により、津波時にコンクリートに生じたひび割れから漏水し、止水性に影響を及ぼす可能性がある。	海水ポンプ室 (スクリーン エリアー補機 ポンプエリア 間の隔壁等)	[No.22 第五条 津波による損傷の防止 浸水防護 (土木構造物の止水性)] に同じ	影響因子を踏まえた	影響因子を踏まえた	設計反映	有無
91			浸水防護 (津波防護施設の止水性)	乾燥収縮によるひび割れおよび地震によるひび割れの影響により、津波時にコンクリートに生じたひび割れから漏水し、止水性に影響を及ぼす可能性がある。	防潮壁 (RC 遮水壁)	[No.23 第五条 津波による損傷の防止 浸水防護 (津波防護施設の止水性)] に同じ				
92			浸水防護 (津波防護施設の止水性)	乾燥収縮によるひび割れおよび地震によるひび割れの影響により、津波時にコンクリートに生じたひび割れから漏水し、止水性に影響を及ぼす可能性がある。	防潮堤 (置換コンクリート等)	[No.24 第五条 津波による損傷の防止 浸水防護 (津波防護施設の止水性)] に同じ				
93	第四十一条	火災による損傷の防止	耐火性 (遮熱性)	乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、3時間耐火性能が確保できなくなる可能性がある。	3時間耐火壁 (原子炉建屋 内壁, 制御建 屋内壁, 海水 ポンプ室隔壁 等)	[No.42 第八条 火災による損傷の防止 耐火性 (遮熱性)] に同じ				
94	第四十二条	重大事故等対処設備	環境条件	乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、重大事故等対処設備の環境条件(温度, 湿度, 圧力, 放射線)を維持できず、重大事故等対処設備の機能を損なう可能性がある。	原子炉建屋等	[No.2~21 第四条 地震による損傷の防止] に同じ [No.22~24 第五条 津波による損傷の防止] に同じ [No.25~40 第六条 外部からの衝撃による損傷の防止] に同じ [No.42 第八条 火災による損傷の防止] に同じ [No.43~45 第九条 溢水による損傷の防止等] に同じ [No.49 第十三条 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止] に同じ				
95			操作性	乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、重大事故等対処設備の確実な操作ができなくなる可能性がある。	原子炉建屋等	[No.2~21 第四条 地震による損傷の防止] に同じ [No.22~24 第五条 津波による損傷の防止] に同じ [No.25~40 第六条 外部からの衝撃による損傷の防止] に同じ [No.42 第八条 火災による損傷の防止] に同じ [No.43~45 第九条 溢水による損傷の防止等] に同じ [No.49 第十三条 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止] に同じ				

※設置許可段階で評価結果を示す項目は、「(EP)」を付している。

No.	設置許可基準 規則		要求機能	鉄筋コンクリート躯体の 乾燥収縮及び地震影響による 影響の可能性	該当部	影響因子	【STEP2】事象としての影響検討		【STEP3】設計への反映※	
	条文	項目					影響因子を踏まえた 検討結果	影響 有無	影響因子を踏まえた 評価方針	設計 反映 有無
96	第四十三條	重大事故等対処設備	試験・検査性	乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響による重大事故等対処設備の試験又は検査性への影響はない。	—	—	—	—	—	—
97			代替性	乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響による重大事故等対処設備の代替性への影響はない。	—	—	—	—	—	—
98			悪影響防止	乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響による重大事故等対処設備の他の設備に対する悪影響防止への影響はない。	—	—	—	—	—	—
99		設置場所		乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、放射線量が高くなることで、重大事故等対処設備の操作及び想定される重大事故等の復旧作業への影響を生じる可能性がある。	原子炉建屋等	[No.2~21 第四条 地震による損傷の防止] [同じ] [No.22~24 第五条 津波による損傷の防止] [同じ] [No.25~40 第六条 外部からの衝撃による損傷の防止] [同じ] [No.42 第八条 火災による損傷の防止] [同じ] [No.43~45 第九条 溢水による損傷の防止等] [同じ] [No.49 第十三条 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止] [同じ]				
100		常設重大事故等対処設備の容量		乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、重大事故等対処設備の必要な容量を確保できなくなる可能性がある。	原子炉建屋等	[No.2~21 第四条 地震による損傷の防止] [同じ] [No.22~24 第五条 津波による損傷の防止] [同じ] [No.25~40 第六条 外部からの衝撃による損傷の防止] [同じ] [No.42 第八条 火災による損傷の防止] [同じ] [No.43~45 第九条 溢水による損傷の防止等] [同じ] [No.49 第十三条 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止] [同じ]				
101		共用の禁止		女川2号炉は単号炉申請であるため、乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響による影響はない。	—	—	—	—	—	—
102		常設重大事故防止設備の共通要因故障防止		乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、共通要因により常設重大事故防止設備が、設計基準事故対処設備等と同様に機能を損なう可能性がある。	原子炉建屋等	[No.2~21 第四条 地震による損傷の防止] [同じ] [No.22~24 第五条 津波による損傷の防止] [同じ] [No.25~40 第六条 外部からの衝撃による損傷の防止] [同じ] [No.42 第八条 火災による損傷の防止] [同じ] [No.43~45 第九条 溢水による損傷の防止等] [同じ] [No.49 第十三条 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止] [同じ]				

※設置許可段階で評価結果を示す項目は、「(EP)」を付している。

No.	設置許可基準		要求機能	鉄筋コンクリート躯体の乾燥収縮及び地震影響による影響の可能性	該当部	影響因子	【STEP2】事象としての影響検討		【STEP3】設計への反映※	
	条文	規則項目					影響因子を踏まえた検討結果	影響の有無	影響因子を踏まえた評価方針	設計反映の有無
103	第四十三条	重大事故等対処設備	可搬型重大事故等対処設備の容量	乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、重大事故等対処設備の必要な容量を確保できなくなる可能性がある。	原子炉建屋等	[No.2~21 第四条 地震による損傷の防止] [同じ] [No.22~24 第五条 津波による損傷の防止] [同じ] [No.25~40 第六条 外部からの衝撃による損傷の防止] [同じ] [No.42 第八条 火災による損傷の防止] [同じ] [No.43~45 第九条 溢水による損傷の防止等] [同じ] [No.49 第十三条 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止] [同じ]	—	—	—	—
104		可搬型重大事故等対処設備との接続性	可搬型重大事故等対処設備の接続性	乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響による可搬型重大事故等対処設備が常設設備との接続性に対する影響はない。	—	—	—	—	—	—
105		異なる複数の接続箇所の確保	異なる複数の接続箇所の確保	乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、可搬型重大事故等対処設備の常設設備との接続箇所が、共通要因により接続できなくなる可能性がある。	原子炉建屋等	[No.2~21 第四条 地震による損傷の防止] [同じ] [No.22~24 第五条 津波による損傷の防止] [同じ] [No.25~40 第六条 外部からの衝撃による損傷の防止] [同じ] [No.42 第八条 火災による損傷の防止] [同じ] [No.43~45 第九条 溢水による損傷の防止等] [同じ] [No.49 第十三条 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止] [同じ]	—	—	—	—
106		可搬型重大事故等対処設備の設置場所	可搬型重大事故等対処設備の設置場所	乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、放射線量が高くなることで、可搬型重大事故等対処設備の設置場所への据え付け、常設設備との接続への影響が生じる可能性がある。	原子炉建屋等	[No.2~21 第四条 地震による損傷の防止] [同じ] [No.22~24 第五条 津波による損傷の防止] [同じ] [No.25~40 第六条 外部からの衝撃による損傷の防止] [同じ] [No.42 第八条 火災による損傷の防止] [同じ] [No.43~45 第九条 溢水による損傷の防止等] [同じ] [No.49 第十三条 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止] [同じ]	—	—	—	—
107		可搬型重大事故等対処設備の保管場所	可搬型重大事故等対処設備の保管場所	乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、設計基準事故等対処設備との異なる保管場所を確保できなくなる可能性がある。	原子炉建屋等	[No.2~21 第四条 地震による損傷の防止] [同じ] [No.22~24 第五条 津波による損傷の防止] [同じ] [No.25~40 第六条 外部からの衝撃による損傷の防止] [同じ] [No.42 第八条 火災による損傷の防止] [同じ] [No.43~45 第九条 溢水による損傷の防止等] [同じ] [No.49 第十三条 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止] [同じ]	—	—	—	—
108		アクセス通路等の確保	アクセス通路等の確保	乾燥収縮によるひび割れの影響によりコンクリート片等が落下することにより、可搬型重大事故等対処設備を運搬し、又は他の設備の被害状況を把握するための道路及び通路が確保できなくなる可能性がある。	原子炉建屋等	[No.2~21 第四条 地震による損傷の防止] [同じ] [No.22~24 第五条 津波による損傷の防止] [同じ] [No.25~40 第六条 外部からの衝撃による損傷の防止] [同じ] [No.42 第八条 火災による損傷の防止] [同じ] [No.43~45 第九条 溢水による損傷の防止等] [同じ] [No.49 第十三条 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止] [同じ] コンクリート片の剥落等 ・通常時は、乾燥収縮ひび割れ等を考慮した保守管理を実施することから、コンクリート片等が落下することはない。アクセス通路等の確保に影響はない。 ・地震時については、[No.70 第三十九条 地震による損傷の防止 アクセス通路等の確保 [地震起因]] [同じ]。	—	—	—	—

※設置許可段階で評価結果を示す項目は、「(EP)」を付している。

No.	設置許可基準 規則 項目 条文	要求機能	鉄筋コンクリート躯体の 乾燥収縮及び地震影響による 影響の可能性	該当部	影響因子	【STEP2】事象としての影響検討		【STEP3】設計への反映※	
						影響因子を踏まえた 検討結果	影響 有無	影響因子を踏まえた 評価方針	設計 反映 有無
109	第四十三条	可搬型重大事故防止設備の 共通要因故障 防止	乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、共通要因により可搬型重大事故防止設備が、設計基準事故対処設備等及び常設重大事故防止設備と同時に関能を損なう可能性がある。	原子炉建屋等	[No.2~21 第四条 地震による損傷の防止] [同じ] [No.22~24 第五条 津波による損傷の防止] [同じ] [No.25~40 第六条 外部からの衝撃による損傷の防止] [同じ] [No.42 第八条 火災による損傷の防止] [同じ] [No.43~45 第九条 溢水による損傷の防止等] [同じ] [No.49 第十三条 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止] [同じ]				
110	第四十六条	流路機能 (気密性)	乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、流路としての機能が保てなくなり、プローアウトパネルによる蒸気排出機能が維持できなくなる可能性がある。	原子炉建屋原 子炉棟	[No.3 第四条 地震による損傷の防止 気密性 (建屋) [地震起因]] [同じ] [No.40 第六条 外部からの衝撃による損傷の防止 有毒ガス (気密性)] [同じ]				
111	第四十八条	通水機能	乾燥収縮によるひび割れの影響により、取水路等からの溢水が発生し、十分な通水機能を保てなくなる。	屋外重要土木 構造物 (取水口~海 水ポンプ室)	[No.54 第二十二条 最終ヒートシンクへ熱を輸送することができる設備 通水機能 (土木構造物)] [同じ]				
112		貯水機能	乾燥収縮によるひび割れの影響により、取水路等からの溢水が発生し、十分な貯水量を保てなくなる。	屋外重要土木 構造物 (取水口~海 水ポンプ室)	[No.55 第二十二条 最終ヒートシンクへ熱を輸送することができる設備 貯水機能 (土木構造物)] [同じ]				

※設置許可段階で評価結果を示す項目は、「(EP)」を付している。

No.	設置許可基準		要求機能	鉄筋コンクリート躯体の乾燥収縮及び地震影響による影響の可能性	該当部	影響因子	【STEP2】事象としての影響検討		【STEP3】設計への反映※	
	規則	項目					影響因子を踏まえた検討結果	影響の有無	影響因子を踏まえた評価方針	設計反映の有無
113	第五十一条	原子炉格納容器下部の溶融炉心を冷却するための設備	溶融炉心・コンクリート相互作用(MCCI)の抑制	乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響がMCCIの抑制及び溶融炉心による原子炉格納容器バウナダリへの接触の防止を阻害する可能性がある。	原子炉格納容器下部(ペデスタル)	コンクリート侵食量	<p>影響因子を踏まえた検討結果</p> <ul style="list-style-type: none"> 格納容器下部の床面及び壁面は鋼板で覆われていることから、コンクリートの乾燥収縮の影響はない。 また、仮に乾燥収縮ひび割れを想定した場合であっても、女川2号炉原子炉建屋のひび割れ調査による平均ひび割れ幅は最大でも約0.07mmであり、ひび割れに入り込む溶融炉心の量は少量であるため、即座に除熱、固化することから影響はない。 なお、コンクリート侵食量評価の解析条件において最も支配的なのは溶融炉心からブール水への熱流束であり、コンクリートの変化による感度は小さい。乾燥収縮及び地震によるひび割れはコンクリートの成分に影響を与えないため、コンクリート侵食量評価に影響はない。 	無	-	-
114			流路機能(止水性)	乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、流路としての機能が保てなくなり、格納容器スプレイによる原子炉格納容器下部への注水機能を阻害する可能性がある。	原子炉格納容器(ドライウエル床)	[No.43~45]	第九条 漏水による損傷の防止等 止水性] に同じ			
115	第五十二条	水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備	流路機能(気密性)	乾燥収縮及び地震によるひび割れの影響により、流路としての機能が保てなくなり、静的触媒式水素再結合装置による原子炉建屋原子炉棟内の水素濃度上昇の抑制機能を阻害する可能性がある。	原子炉建屋原子炉棟	[No.3 No.40]	<p>地震による損傷の防止 気密性(建屋) [地震起因]] に同じ</p> <p>外部からの衝撃による損傷の防止 有毒ガス(気密性)] に同じ</p>			

※設置許可段階で評価結果を示す項目は、「(EP)」を付している。

No.	設置許可基準		要求機能	鉄筋コンクリート躯体の乾燥収縮及び地震影響による影響の可能性	該当部	影響因子	【STEP2】事象としての影響検討		【STEP3】設計への反映※	
	条文	規則項目					影響因子を踏まえた検討結果	影響の有無	影響因子を踏まえた評価方針	設計反映の有無
116	第五十九条	運転員が原子炉制御室にじりこむための設備を備え、緊急時対策所	居住性確保 (気密性)	乾燥収縮によるひび割れの影響により、気密性が保たなくなり、放射性物質や有毒ガスが原子炉制御室に流入する可能性がある。	原子炉制御室	[No.3 第四条 地震による損傷の防止 気密性 (建屋) [地震起因]] に同じ [No.40 第六条 外部からの衝撃による損傷の防止 有毒ガス (気密性)] に同じ	影響の有無	影響因子を踏まえた評価方針	設計反映の有無	
117			居住性確保 (遮蔽性)	乾燥収縮によるひび割れの影響により、遮蔽機能が低下し、原子炉制御室に流入する可能性がある。	原子炉制御室	[No.49 第十三条 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止 遮蔽性] に同じ				
118	第六十一条	緊急時対策所	居住性確保 (気密性)	乾燥収縮によるひび割れの影響により、気密性が保たなくなり、放射性物質や有毒ガスが緊急時対策所に流入する可能性がある。	緊急時対策所	[No.3 第四条 地震による損傷の防止 気密性 (建屋) [地震起因]] に同じ [No.40 第六条 外部からの衝撃による損傷の防止 有毒ガス (気密性)] に同じ				
119			居住性確保 (遮蔽性)	乾燥収縮によるひび割れの影響により、遮蔽機能が低下し、緊急時対策所における対応要員の被曝量が増加する可能性がある。	緊急時対策所	[No.49 第十三条 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止 遮蔽性] に同じ				

※設置許可段階で評価結果を示す項目は、「(EP)」を付している。

原子炉建屋基礎版の
応力解析モデルへの弾塑性解析の適用

目 次

1. 概要
 2. 原子炉建屋基礎版の概要
 - 2.1 原子炉建屋基礎版の構造概要
 - 2.2 基礎版における地震観測
 3. 既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異に対する扱い
 - 3.1 既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異について
 - 3.2 既工認との差異の扱い
 4. 弾塑性解析採用の論点に対する対応について
 - 4.1 弾塑性解析を採用する目的とその効果
 - 4.2 弾塑性解析を採用するに当たっての具体的論点
 5. 材料構成則の妥当性・適用性について
 - 5.1 コンクリート（引張側）
 - 5.2 コンクリート（圧縮側）
 - 5.3 鉄筋（引張側，圧縮側）
 6. 既往研究に基づく弾塑性解析の妥当性・適用性
 7. まとめ
-
- 添付 1 CCV 規格等における許容限界設定の考え方について
 - 添付 2 シェル壁内部の構造物から基礎版に伝達される荷重等の考え方について
 - 添付 3 基礎版と耐震壁の剛性の組合せの考え方について
-
- 参考資料 1 2号炉原子炉建屋 地震計配置
 - 参考資料 2 弾塑性解析の適用に関する先行プラントとの比較
 - 参考資料 3 地震観測記録に基づく基礎版の剛性低下に係る試検討

1. 概要

2号炉原子炉建屋の基礎版等の応力解析においては、既工認では弾性解析を採用しているが、今回工認では弾塑性解析を採用する予定である。

本資料は、基礎版の3次元弾塑性解析の妥当性・適用性について説明するものである。

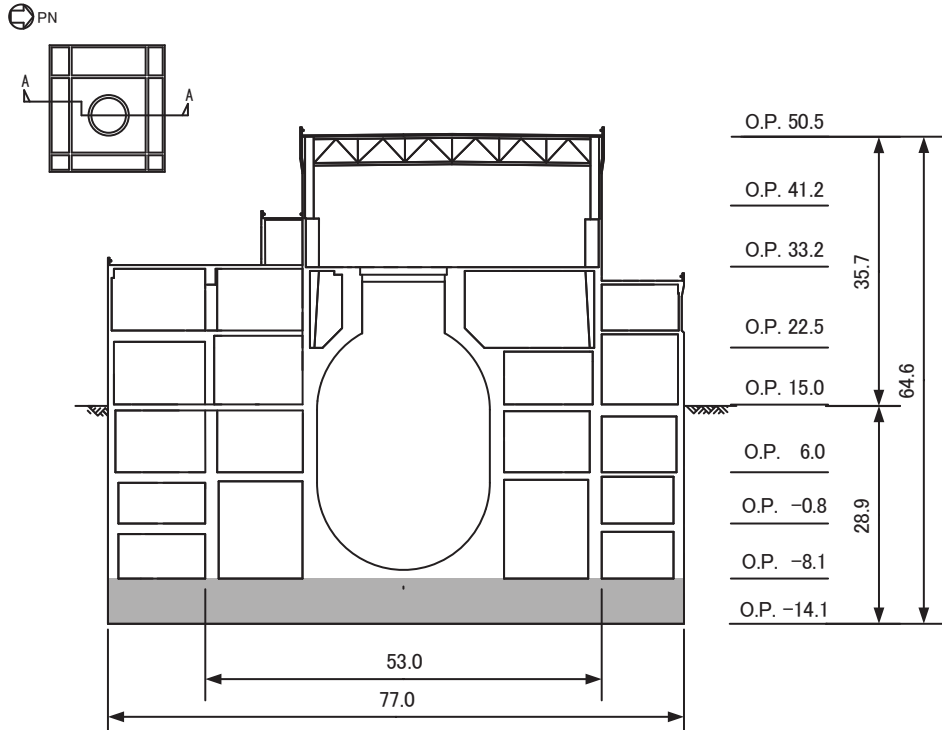
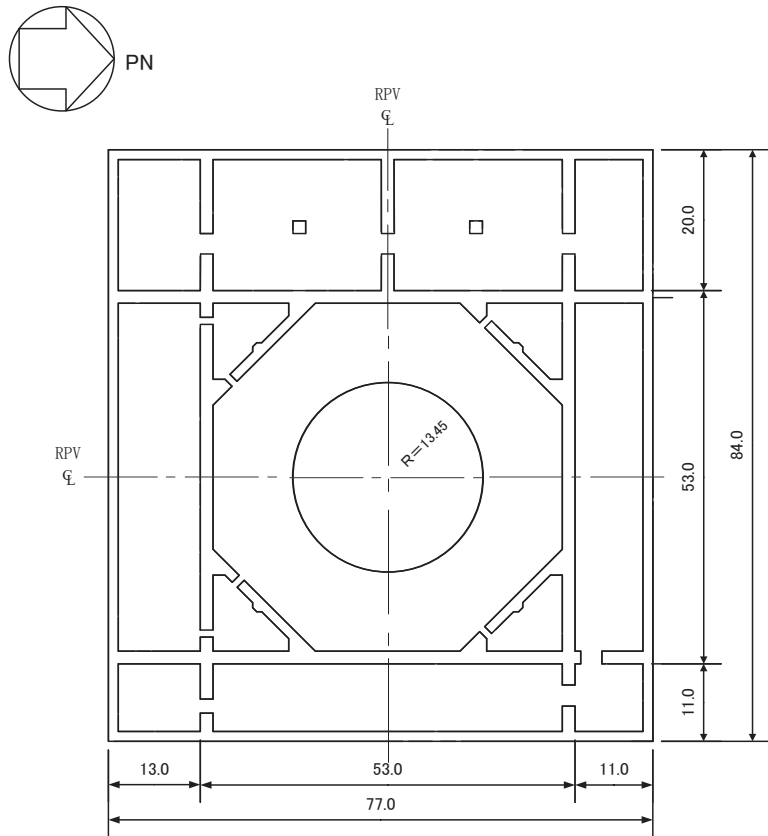
2. 原子炉建屋基礎版の概要

2.1 原子炉建屋基礎版の構造概要

基礎版は厚さ 6.0m の鉄筋コンクリートの平板であり、外部ボックス壁、内部ボックス壁、火打ち壁、シェル壁、RPV ペデスタル等から伝わる上部構造物や機器配管系の荷重を支持する部材である。第 2-1 図に基礎版の概要を示す。

2.2 基礎版における地震観測

基礎版上には地震計を複数設置して地震観測を実施しており、東北地方太平洋沖地震等の観測記録が得られている。解析モデルの策定に当たっては、これらの記録の分析結果を考慮する。



第 2-1 図 基礎版の概要 (単位:m)

3. 既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異に対する扱い

3.1 既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異について

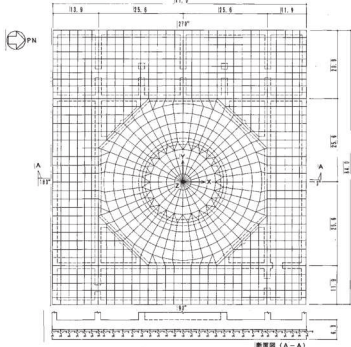
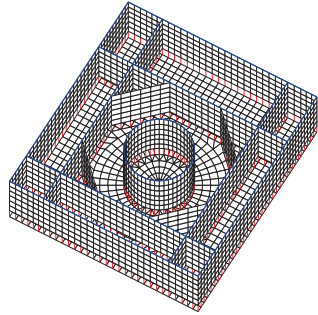
既工認で採用した基礎版の解析モデルと今回工認で採用する予定の解析モデルとの差異を整理し、論点となり得る項目を整理する。

既工認における基礎版の解析モデルと今回工認で採用予定の解析モデルの比較表を第 3-1 表に示す。また、今回工認で採用予定の解析モデルの境界条件、拘束条件を第 3-2 表、第 3-1 図に示す。

第 3-1 表で整理したとおり、既工認と今回工認ともシェル要素による FEM モデルを基本としているが、解析モデルとして、今回工認では応力解析に弾塑性解析を採用することに加え、以下の 2 点に差異がある。

- (1) 一部耐震壁をシェル要素でモデル化すること
- (2) コンクリートの物性値（ヤング係数，ポアソン比）

第 3-1 表 応力解析モデル及び手法の比較（基礎版）

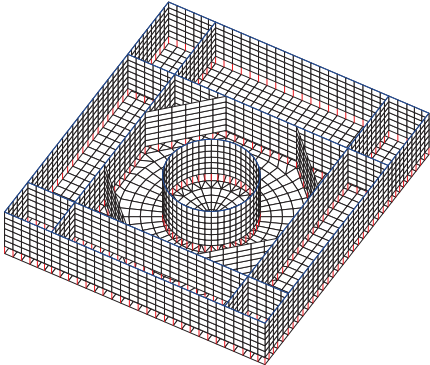
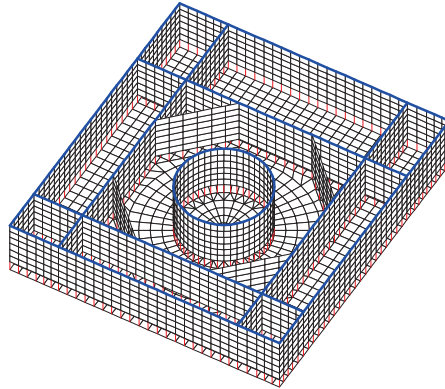
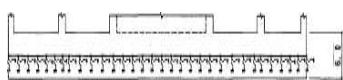
項目		既工認時	今回工認時
解析手法		・弾性地盤上に支持された厚さ6.0mの一枚の版として有限要素法により解析する。	・同左
解析コード		・NASTRAN	・ABAQUS
荷重		・固定荷重, 機器配管荷重, 積載荷重, 地震荷重(S2), 土圧等	・固定荷重, 機器配管荷重, 積載荷重, 地震荷重(Ss), 土圧等
モデル化	モデル化範囲	・基礎版全体と剛性の高い一部壁をモデル化する。	・同左
	メッシュサイズ	・モデル全体でおおむね1～3m程度	・同左
	要素タイプ	・基礎版全体をシェル要素でモデル化する。 ・外部、内部ボックス壁、火打ち壁、シェル壁等の剛性の高い壁は、等価な剛性を考慮した梁要素でモデル化する。	・同左 ・地下部分の一部はシェル要素でモデル化し、壁の立体的な形状による剛性への寄与を考慮する。
材料物性		・コンクリートのヤング係数 $E=2.7 \times 10^9 \text{ t/m}^2$ ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.167$	・コンクリートのヤング係数 $E=2.51 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ ※1 ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$ ※1
評価方法	応力解析	・弾性解析	・弾塑性解析※2
	許容限界	(機能維持) 部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。接地圧が地盤の許容支持力度を超えないことを確認する。	(機能維持) 部材に生じる応力、ひずみが許容限界を超えないことを確認する。※3 接地圧が地盤の許容支持力度を超えないことを確認する。
モデル		<p>基礎版より立ち上がっている耐震壁はその剛性を考慮して梁要素としてモデル化、底面には支持地盤と等価な弾性ばねをモデル化</p> 	<p>基礎版より立ち上がっている耐震壁はその剛性を考慮してシェル要素及び梁要素でモデル化、底面には支持地盤と等価な弾性ばねをモデル化</p> 

※1：コンクリートのヤング係数及びポアソン比は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説・許容応力度設計法-1999」による計算式に基づく値を用いる。なお、地震応答解析モデルと同様の初期剛性低下については、地震観測記録の分析等を踏まえて、その影響を考慮することとする。

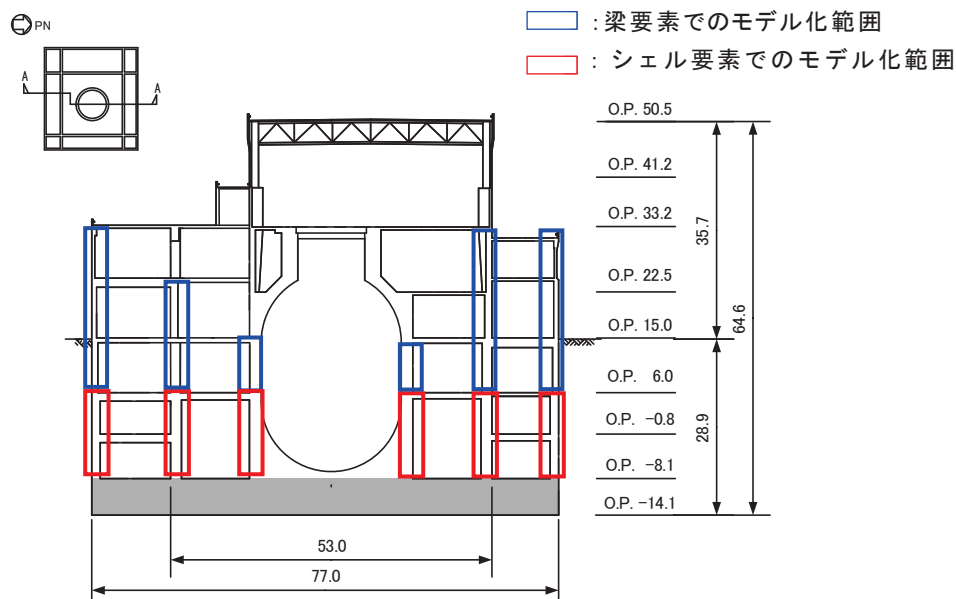
※2：終局強度設計の許容値に基づく評価を実施することとした。

※3：許容限界についてはCCV規格によるものを基本とし、設定の考え方については添付1に示す。

第 3-2 表 基礎版の応力解析におけるモデル化，境界条件，拘束条件

モデル概要	境界条件, 拘束条件
<p>○モデル化範囲 基礎版, B3F耐震壁, B2F耐震壁, B1F耐震壁, 1F耐震壁, 2F耐震壁</p> <p>○使用要素 シェル要素, 梁要素</p>	<p>本解析モデルではB3FとB2Fの耐震壁をシェル要素でモデル化する。それより上部の耐震壁の剛性はO.P.6.0m位置に梁要素でモデル化する。</p> <p>基礎底面各節点にはウインクラ型の地盤ばねと浮上りを考慮するためのGAP要素をモデル化する。</p>
 <p>モデル全体図</p> <p><small>*青太線は、梁要素を示す。 *赤太線は、剛体を示す。</small></p>	 <p>梁要素による建屋上部剛性のモデル化(青色部)</p>  <p>地盤ばね</p>

※モデル化については本条件を基本とし，荷重の入力方法含め詳細設計段階にて検討していく。このうち，シェル壁内部の構造物から基礎版に伝達される荷重等の考え方については添付 2 に示す。



第 3-1 図 耐震壁のモデル化範囲 (単位:m)

3.2 既工認との差異の扱い

(1) 弾塑性解析の採用

a. 採用目的

応力解析に弾塑性解析を採用することについては、基準地震動 S_s による入力が増大に伴い、原子炉建屋の鉄筋コンクリート構造全体としての挙動が塑性域に入ると考えられるため、その塑性域の挙動を適切に評価するために採用するものである。

b. 準拠する規格・基準

女川2号炉原子炉建屋の基礎版に要求される機能は、基準地震動 S_s に対する間接支持構造物としての機能であり、許容限界としては機能維持となる。一方、鉄筋コンクリート造構造物に関する規格である「日本機械学会 発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（以下、CCV規格）」は、基準地震動 S_s に対して主要施設としての機能確保が必要な施設に対する設計規格であるため、女川2号炉原子炉建屋基礎版の弾塑性解析はCCV規格に基づき実施する。

c. 主な論点

コンクリートの弾塑性状態における材料構成則（応力-ひずみ関係）の設定方法の妥当性、また、女川の場合、建屋の地震応答解析において認められた初期剛性の低下について、応力解析への反映方法の適切性が論点として整理される。

なお、弾塑性解析の採用に当たって解析コードとして「ABAQUS」を採用しているが、汎用の有限要素解析コードであり、ここでは論点として取り上げないこととする。なお、今回工認では、添付資料として「計算機プログラム（解析コード）の概要」を添付し、その妥当性を説明する予定である。

(2) 一部耐震壁のシェル要素でのモデル化

既工認時は、ボックス壁、火打ち壁、シェル壁等の剛性の高い壁を等価な剛性を考慮した梁要素でモデル化している。このうち地下部分の一部をシェル要素でモデル化することは、壁の立体的な形状による剛性への寄与を考慮することを目的に採用するものである。概念図を第3-2図に示す。

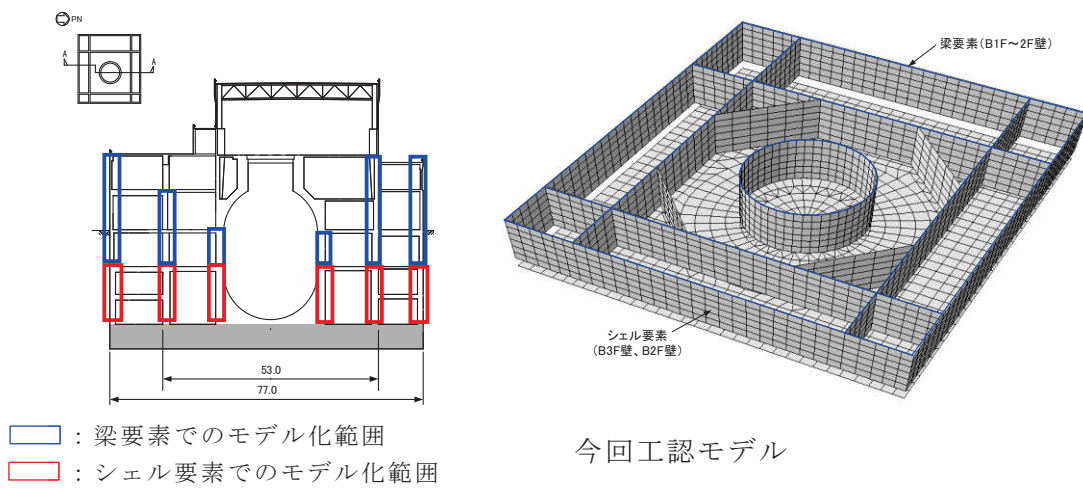
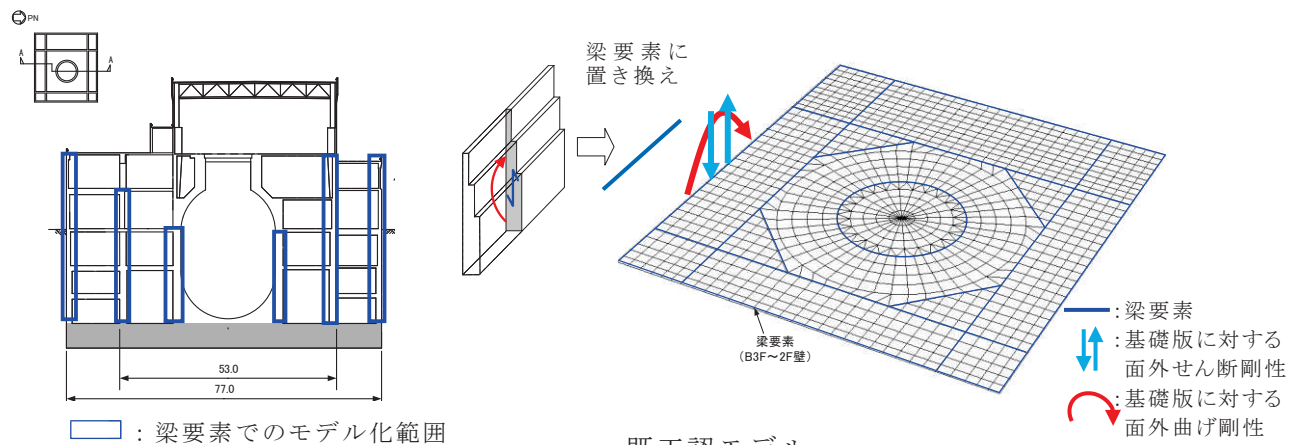
この既工認との差異は、より実状に近い構造挙動となるため、本資料における論点としては取り扱わないこととするが、既工認時には梁要素でモデル化している耐震壁について、地下部分の一部をシェル要素でモデル化することによる影響を以下に示す。また、既工認と今回工認の耐震壁の剛性評価及び解析上の影響について第3-3表に示す。

既工認時はボックス壁、火打ち壁、シェル壁等の剛性の高い壁を等価な剛性を考慮した梁要素でモデル化しているが、考慮している剛性は基礎版面外方向の剛性のみとしている。本来、基礎版より上階において直交する耐震壁は相互につながっているが、その効果は考慮されない。

一方、今回工認では B3F、B2F の壁をシェル要素でモデル化していることから、既工認時に梁要素で考慮していた基礎版に対する面外剛性に加えて、耐震壁の面外剛性、面内剛性も考慮される。これらの壁が全体として基礎版への拘束部材となり、より実状に近い構造挙動となる。例えば、地震荷重時に基礎版が面外に変形しながら浮上りを生ずる挙動に対して、地震方向の耐震壁と直交方向の耐震壁が一体性を保持しつつ、立体的に抵抗することとなる。また、既工認モデルの梁要素は中立軸を耐震壁の図心として評価したものを基礎版中心位置に設定しており偏心が考慮されないのに対し、今回工認モデルではシェル要素を基礎版上端より立ち上げるため、基礎版中心（モデル化位置）と耐震壁の図心の偏心距離が考慮されることにより曲げ剛性が大きく評価される。これらの結果、基礎版の面外変形が既工認モデルに比較して小さくなり、基礎版の応力は低減することとなる。

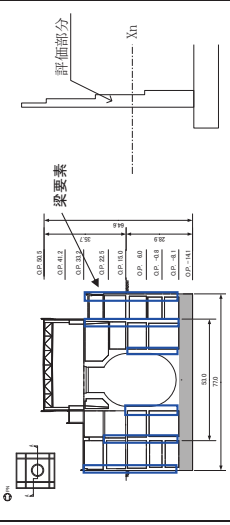
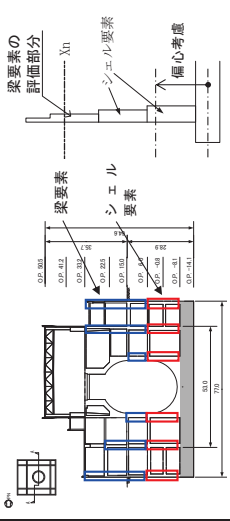
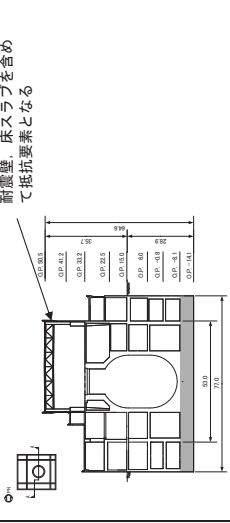
ただし、実機では基礎版上端から上部全体の耐震壁及び床スラブが一体として拘束効果を発揮するのに対し、今回工認モデルではシェル要素でモデル化するのは基礎版直上の 2 層分の耐震壁のみであり、拘束効果は実機より小さく保守的である。

なお、耐震壁の地震力算定に用いる地震応答解析では基礎版を剛体として扱っているため、基礎版の柔性等の実際の柔らかさを考慮する場合に対し基本的に耐震壁が負担する地震力を保守的に評価している。また、耐震壁の土圧荷重の評価においては一方向版を仮定し、基礎版との接続部で固定とする等の評価を実施していることなどから耐震壁には十分な余裕があるが、シェル要素でモデル化した耐震壁に発生する応力については、念のため詳細設計段階でその影響について確認する。



第3-2図 既工認モデルと今回工認モデルの概念図

第3-3表 一部耐震壁をシエル要素へ変更したことに伴う解析上の影響

項目	既工認	今回工認	実機の状態(想定される実現象)
<p>影響範囲 (モデル化 範囲)</p> <p>上部躯体の剛性</p>	<p>地下3階から地上2階までの外部、内部ボックス壁、火打ち壁、シエル壁等の剛性の高い壁</p> 	<p>同左</p> 	<p>建屋全体として、耐震壁、床スラブも抵抗要素となる</p> 
要素タイプ	<p>モデル化範囲の耐震壁は、等価な剛性を考慮した梁要素でモデル化</p>	<p>地下3階から地下2階までをシエル要素、地下1階より上部は梁要素でモデル化</p>	—
剛性評価	<p>地下3階から地上2階までの壁を対象としたせん断断面積、断面二次モーメントから等価な1本の梁要素に置き換えている。 ⇒拘束効果は実機及び今回工認モデルより弱い。 壁の曲げ剛性は壁の図心位置で評価したものを基礎版中心位置に設定しており偏心が考慮されないため、今回工認モデルより小さい。</p>	<p>地下3階及び地下2階は層毎に中立軸に対する曲げ剛性を考慮しており、既工認モデルに比べてより実機の状態に近いモデルとなっている。 ⇒拘束効果は実機より弱い。 壁の曲げ剛性は基礎版中心からの偏心が考慮されており既工認より大きい、実機よりは小さい。</p>	<p>床スラブの拘束等により、およそ層毎に中立軸に対する曲げ剛性が動くと考えられ、建屋上部躯体全体として拘束効果を発揮する。</p>
抵抗要素	<p>基礎版のみ</p>	<p>基礎版及びシエル要素でモデル化した耐震壁 (地下3階及び地下2階)</p>	<p>基礎版及び地下耐震壁 (地下3階から地表まで)</p>
土圧の負担要素	<p>土圧による荷重はすべて基礎版が負担するモデルとなっている。 ⇒実機及び今回工認モデルより負担要素は少ない。</p>	<p>基礎版に加え直上の2層の耐震壁をモデル化することにより、耐震壁の面外剛性及び直交する耐震壁の面内剛性を考慮し、既工認モデルよりも実機に近いモデルとし、荷重を負担させる。 ⇒実機より負担要素は少ない。</p>	<p>基礎版に加え地下3階から地表までの3層分の耐震壁及び各階の床スラブが荷重を負担する。</p>
基礎版の評価における特徴及び保守性	<p>既工認モデルは当時の計算能力の制約もあり、上部躯体の立体的構造をモデル化しないシンブルなモデルと比べて負担するモデルとなっている。 このようなモデル化により、基礎版の評価において実挙動に対して保守的なモデルとなっている。</p>	<p>今回工認モデルは基礎版以外の床スラブはモデル化していないため、これらの床スラブを含めた建屋上部躯体全体としての拘束効果は考慮されていない。 このようなモデル化により、基礎版の評価において実挙動に対して保守的なモデルとなっている。</p>	—

(3) コンクリートの物性値（ヤング係数，ポアソン比）

コンクリートの物性値のうち，ヤング係数については，設計基準強度に基づき算定した値を採用する予定である。なお，地震応答解析モデルと同様の初期剛性低下については，地震観測記録の分析等を踏まえて，その影響を考慮することとする。その考え方については4.2にて示す。

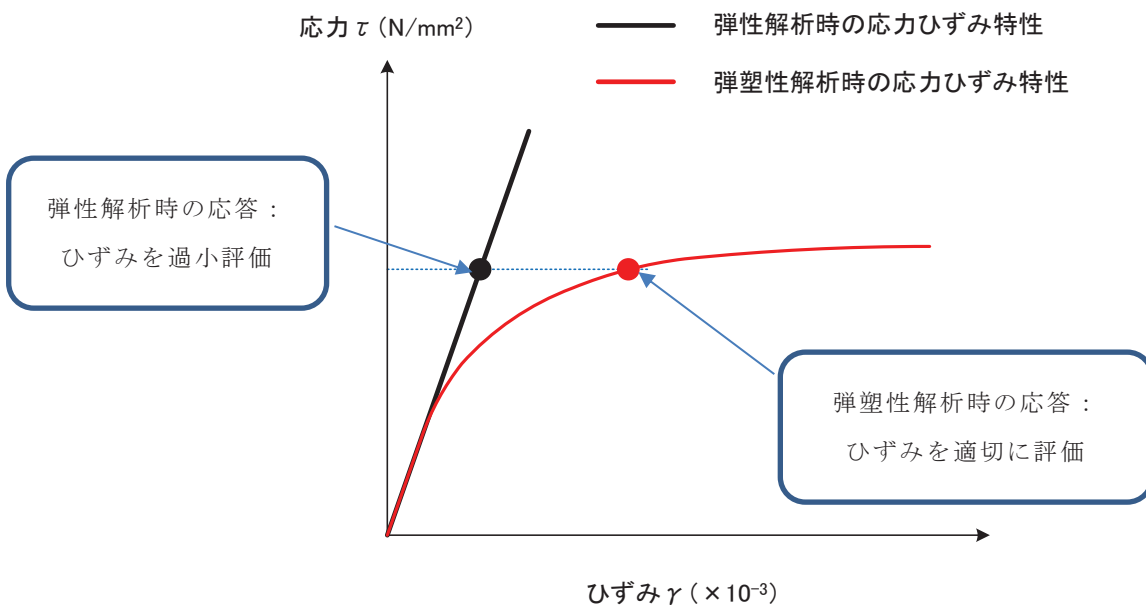
一方，ポアソン比の変更については適用規準を日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説・許容応力度設計法-1999」に見直したことによるものであり，同様の変更については先行審査でも認可実績があり，論点とはならないと考えている。

4. 弾塑性解析採用の論点に対する対応について

4.1 弾塑性解析を採用する目的とその効果

弾性解析と弾塑性解析の応答性状の違いを示した概念図を第4-1図に示す。弾性解析は、どれだけ入力が大きくなっても初期の剛性が維持され続けるという仮定での解析を実施することとなるため、入力レベルが小さい場合は実現象を精度良く再現することができるが、入力の増大により挙動が塑性域に入るような場合、部材の塑性化により剛性が低下する現象を模擬できない。そのため、実挙動が塑性域に入る場合に弾性解析を用いると、応力を過大に評価する場合やひずみ（変形量）を過小に評価する場合がある。第4-1図は入力を応力で与える場合の傾向を示しており、入力する応力が大きくなるに従い、ひずみが過小に評価される傾向を示している。

今回工認では、基準地震動 S_s による入力の増大に伴い、原子炉建屋の鉄筋コンクリート構造全体としての挙動が塑性域に入ると考えられることから、入力レベルに応じた構造物の挙動を適切に評価することを目的として弾塑性解析を採用することが必要であると判断した。



第4-1図 弾性解析と弾塑性解析の違い（概念図）

4.2 弾塑性解析を採用するに当たっての具体的論点

(1) 材料構成則の妥当性

基礎版の応力解析に弾塑性解析を取り入れることによる利点は、既工認で採用していた弾性解析では表現できないような大入力時の弾塑性挙動を評価できることにある。弾塑性挙動を適切に評価するには、塑性域を含めた鉄筋及びコンクリートの材料構成則（材料の応力とひずみの関係をモデル化したもの）を適切に設定し解析を実施する必要がある。

今回工認で採用予定の材料構成則を第 4-2 図に示す。ここで、コンクリート（圧縮側）は CEB-FIP^[1]モデル、コンクリート（引張側）は RC 規準^[2]（ひび割れ点の評価）と岡村・出雲モデル^[3]（ひび割れ点以降の引張軟化曲線）、鉄筋（圧縮・引張側）は完全弾塑性型を用いているが、弾塑性挙動へ与える影響が大きいため、その設定の妥当性・適用性については十分に確認する必要があると判断し、「材料構成則の設定の妥当性」を弾塑性解析採用に当たっての論点として位置づけ、その妥当性・適用性を検討することとする。

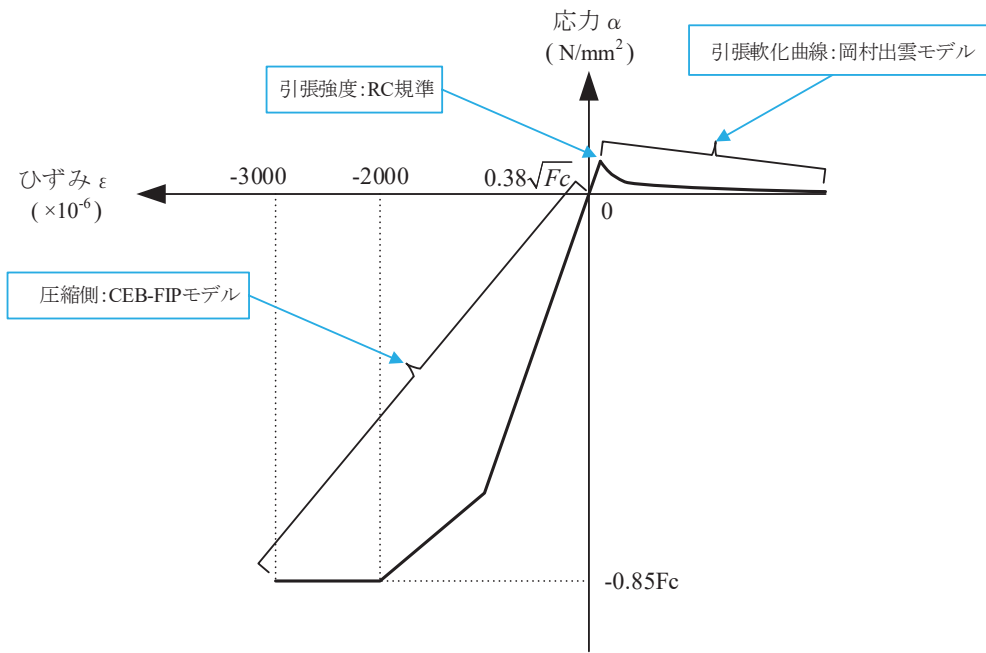
(2) 鉄筋コンクリート構造物の初期剛性低下

東北地方太平洋沖地震に対する女川 2 号炉原子炉建屋の質点系モデルを用いたシミュレーション解析では、耐震壁の初期剛性を低下させることにより観測記録との整合性が図られており、その傾向を基礎版の弾塑性解析にも適用する。

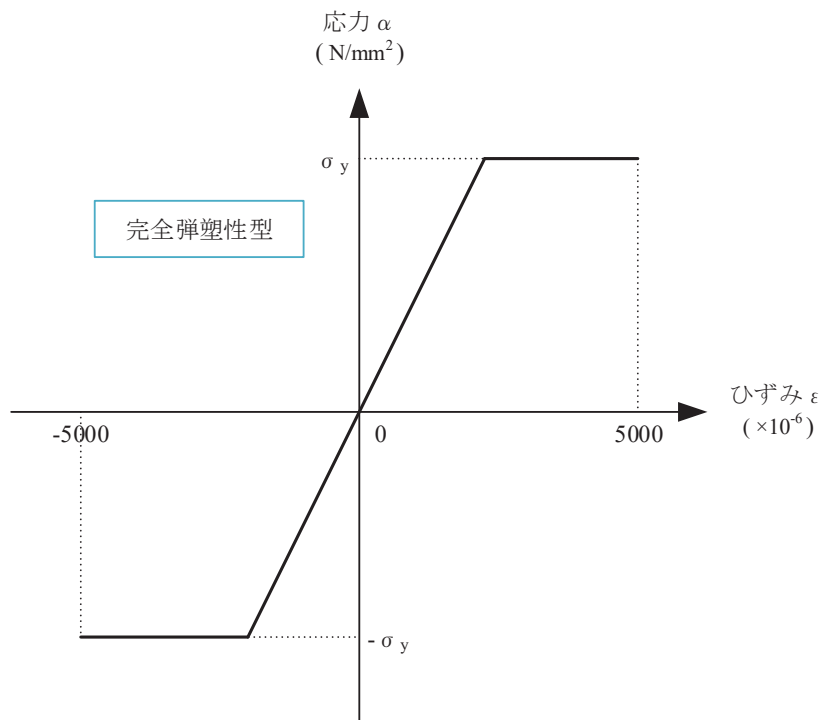
具体的には、以下の解析を実施する。

- ・基礎版の弾塑性解析では、基礎版の剛性を低下させた解析が、低下させない解析と比較し、必ずしもすべてのメッシュが安全側に評価される訳ではないことから、解析としては基礎版の初期剛性を既工認と同様に設計基準強度ベースで評価したケースと、それから初期剛性低下を考慮したケースの 2 ケースを実施する。
- ・東北地方太平洋沖地震に関する点検・解析結果では、基礎版には地震によるひび割れは発生していないことを踏まえ、既工認と同様に設計基準強度ベースで剛性を評価したケースを基本ケースとし、初期剛性を低下させるケースは不確かさケースとして扱う。
- ・不確かさケースに用いる初期剛性の低下量については、参考資料 3 に示す基礎版上に設置されている地震観測記録の分析等を踏まえ設定する。材料構成則への反映方法は、コンクリートの材料構成則の初期剛性を低下させることとし、圧縮側も引張側も同じ値で低下させることとする。
- ・壁部分については、質点系モデルの基本ケースにおける耐震壁の初期剛性に整合するよう剛性を補正したものを基本ケースとし、質点

系モデルの不確かさケースにおける耐震壁の初期剛性に整合するよう剛性を補正したものを不確かさケースとして扱う。シェル要素についてはコンクリートの材料構成則の初期剛性を低下させることとし、圧縮側も引張側も質点系モデルと整合する値で低下させることとする。梁要素については上部耐震壁の質点系モデルの初期剛性低下に整合するように補正する。補正の考え方を第 4-3 図，第 4-4 図に示す。また，基礎版と耐震壁の剛性の組合せの考え方を添付 3 に示す。



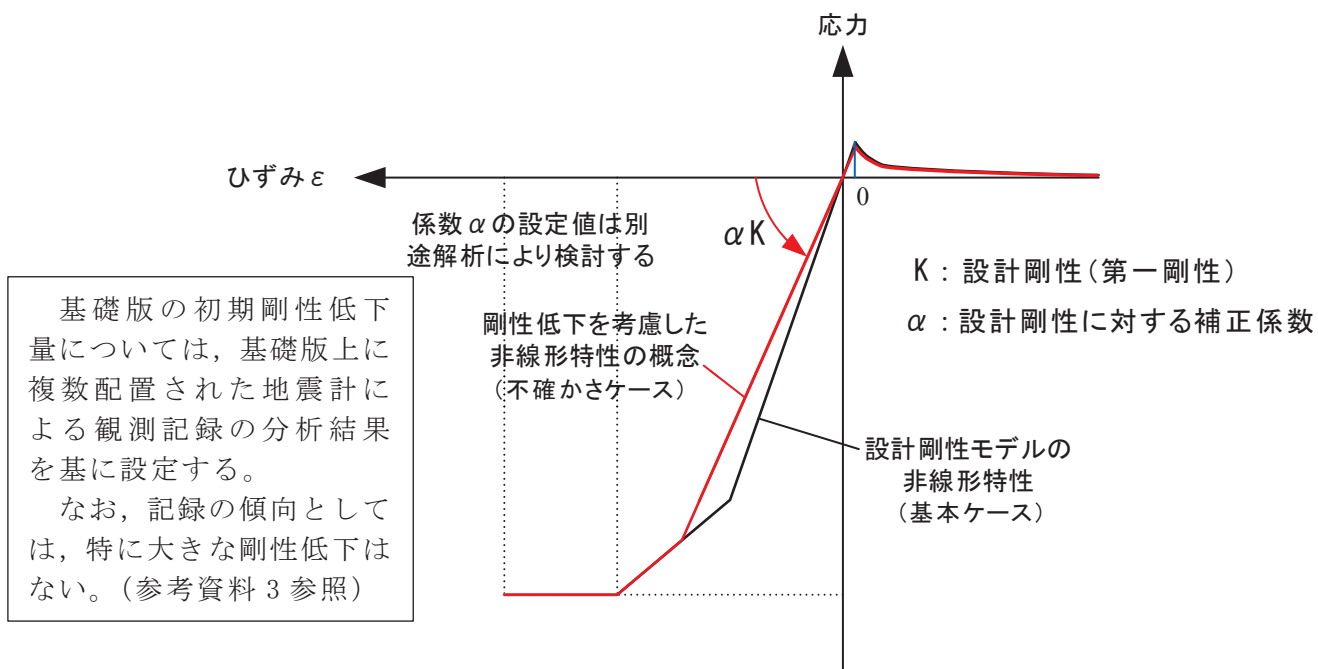
(a) コンクリートの応力-ひずみ関係



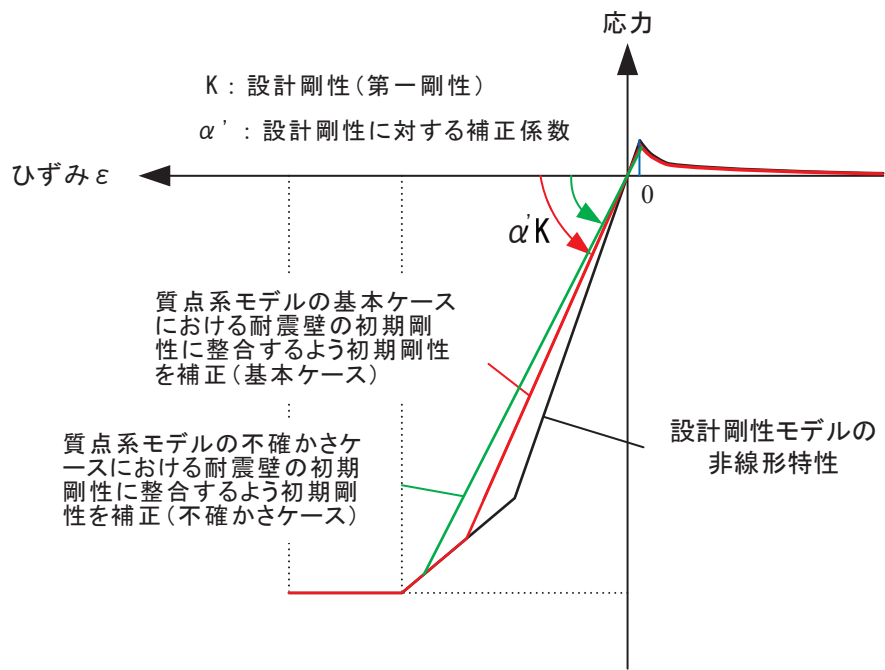
(b) 鉄筋の応力-ひずみ関係

F_c :コンクリートの設計基準強度, σ_y :鉄筋の降伏強度

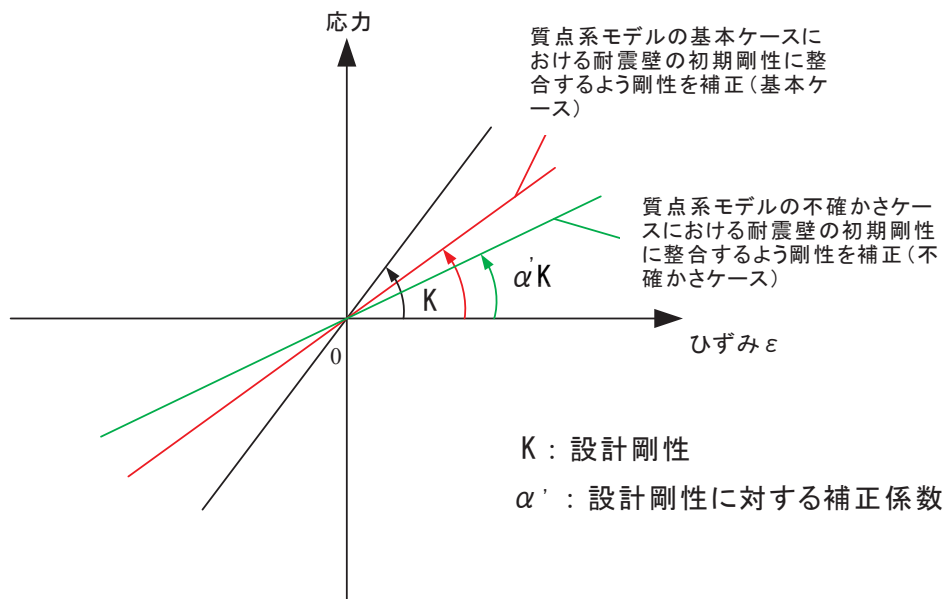
第 4-2 図 採用予定の材料構成則



第 4-3 図 基礎版の剛性低下の考え方



(a) シェル要素



(b) 梁要素

第 4-4 図 耐震壁の剛性低下の考え方

5. 材料構成則の妥当性・適用性について

基礎版の応力解析では、基準地震動 S_s による外力の増大に伴い、鉄筋コンクリート部材の塑性化が想定されることから、鉄筋コンクリートの弾塑性挙動を踏まえた適切な評価を実施するために弾塑性解析を採用する予定である。その中でも適用した材料構成則が弾塑性挙動に直結する項目であることから、弾塑性解析を採用する上での論点として位置づけ、以下で設定に当たって適用した文献の内容を整理し、その妥当性・適用性を検討する。

5.1 コンクリート（引張側）

コンクリートの引張側の材料構成則のうち、ひび割れが発生するまでのコンクリートの剛性は圧縮側の初期剛性と同様の値とし、引張強度については、RC 規準^[2]における曲げひび割れ時のコンクリート引張強度に関する記載である(5.1)式を参考に、その下限値を設定している。なお、RC 規準は、既工認でも適用実績のある規格規準である。

$${}_c\sigma_t = (0.38 \sim 0.75) \sqrt{\sigma_B} \quad (5.1)$$

${}_c\sigma_t$: コンクリートの引張強度

σ_B : コンクリートの圧縮強度

また、ひび割れ発生後は応力再配分により力の大部分は鉄筋が負担することとなるものの、実現象としては、鉄筋とコンクリート間の付着によりひび割れ後のコンクリートも構造全体に生じる応力の一部を負担することから、ひび割れ後の性状を考慮するために、ひび割れ点以降のコンクリートの構成則として引張軟化曲線を定義している。引張軟化曲線としては、弾塑性解析で使用する計算機コード「ABAQUS」で、各種実験結果との対応が良いことが確認されている岡村・出雲モデル^[3]を採用する予定である。

岡村・出雲モデルは、既往文献における知見を参照して設定した項目であり、既工認で適用実績がないため、以下で、モデルの概要（モデルが提唱された論文における妥当性検証の内容含む）について整理した上で、既往の検討例を整理することにより基礎版の弾塑性解析への適用性を検討する。

(1) 岡村・出雲モデルの概要

岡村・出雲モデルは、文献^[3]に示されるコンクリートの引張軟化曲線であり、ひび割れた鉄筋コンクリートの引張軟化曲線を評価する際に設定する。鉄筋に関係なく、ひび割れ後のコンクリートの平均応力-平均ひずみの関係を与えているのが特徴であり、下記の式により表現される。

$$\frac{\sigma_t}{f_t} = \left(\frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_t} \right)^c \quad (5.2)$$

σ_t : ひび割れと直角方向のコンクリートの平均引張応力

f_t : 2軸応力下のコンクリートの引張強度

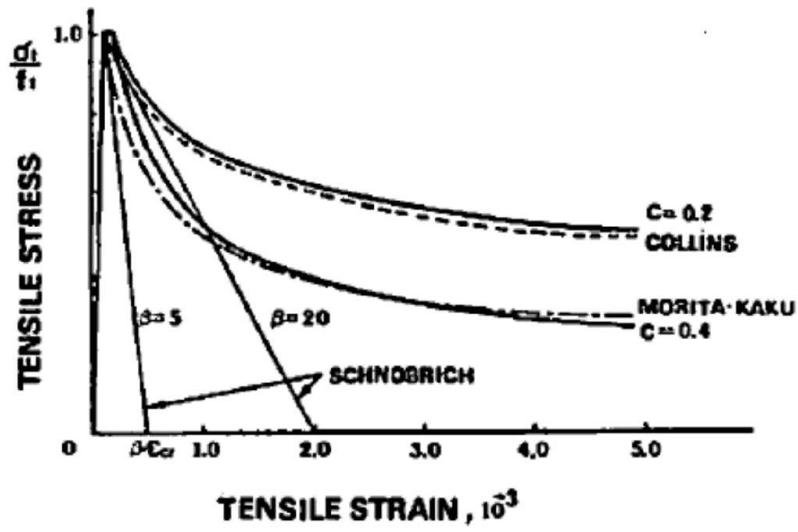
ε_{cr} : ひび割れ発生時の平均引張ひずみ

ε_t : ひび割れと直角方向の平均引張ひずみ

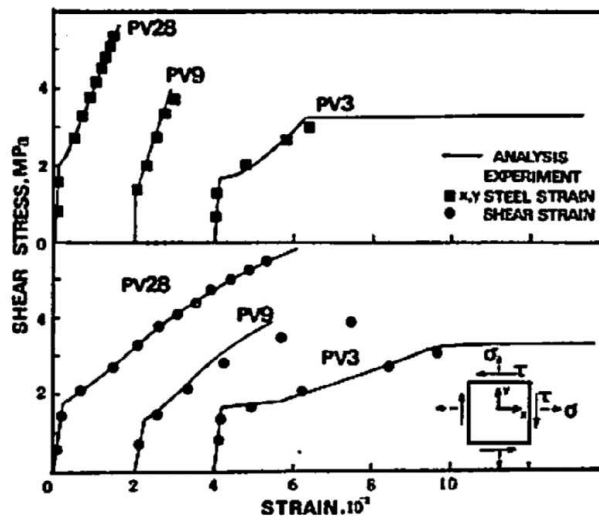
c : 付着性状を表すパラメータ

本モデルの妥当性については、原論文においても既往の実験結果との比較により検証されているため、以下ではその概要について記載する。

原論文では、(5.2)式を用いることで既往の実験 (Collins-Vecchio の実験^[4]、森田・角の実験^[5]) から求められたコンクリートの平均応力-平均ひずみ曲線をほぼ再現できることを確認している (第 5-1 図)。ここで、付着性状を表すパラメータ c としては、鉄筋として溶接された金網を用いた Collins-Vecchio の実験^[4]では $c=0.2$ 、異形鉄筋を用いた森田・角の実験^[5]は $c=0.4$ が採用されている。また、ひび割れ後のコンクリートの構成則として(5.2)式を用いた検討を実施し、既往の実験時の挙動を再現できるかを確認している。ここでは、既往の実験 (Collins-Vecchio の実験^[4]及び青柳・山田の実験^[6]) からコンクリートの引張剛性の影響を受ける供試体を選定し、鉄筋コンクリート部材の挙動 (せん断ひずみ、鉄筋のひずみ) が実験値とよく一致する結果となることを確認している (第 5-2 図)。このことから岡村・出雲モデルがひび割れ後の挙動をよく表現できるモデルであるとしている。



第 5-1 図 岡村・出雲モデルと他のモデルとの比較 ([3]より引用)



第 5-2 図 コンクリート引張剛性モデルの検証結果 ([3]より引用)

(2) 解析プログラム「ABAQUS」を用いた検討例

日本建築学会「コンクリート系構造の部材解析モデルと設計への応用」^[7]には、基礎版の応力解析でも用いる予定の解析プログラム「ABAQUS」を使用した解析例が示されている。

ここでもコンクリートの引張軟化曲線として岡村・出雲モデルを用いた検討例が示されており、既往の試験結果と解析結果との対応が良好であることが確認されている。

本文献においては、簡易要素ベンチマークテスト、梁せん断試験、床曲げ試験の検討例が示されている。以下にその概要を述べる。

梁せん断破壊試験については、既往の文献^[8]に示される試験体を模擬して、試験体中央部に鉛直方向単調荷重を変位制御で載荷する静的漸増非線形解析を実施し、「ABAQUS」で用いる塑性損傷モデルに係るパラメータを検討したものである（第 5-3 図）。ここでの検討の結論としても、コンクリートの引張軟化曲線は、岡村・出雲モデルを用いた検討ケースが文献における実験結果との対応が良好とされている。

鉄筋コンクリート床の曲げ破壊試験については、既往の文献^[9]に示される試験体を模擬し、荷重積載部に鉛直方向単位荷重を変位制御で載荷する静的漸増非線形解析を実施し、「ABAQUS」で用いる塑性損傷モデルに係るパラメータを検討したものである（第 5-4 図）。ここでの検討の結論としても、コンクリートの引張軟化曲線は、岡村・出雲モデルを用いた検討ケースが文献における実験結果との対応が良好とされている。

また、弾塑性解析による既往の検討^{[10][11]}では、基礎版をシェル要素でモデル化した場合の面外せん断変形時の応力分布性状に関する比較検討を行っており、AIJ 指針、道路橋示方書、鉄道構造物等設計標準、Eurocode に記述されている柱・梁部材の塑性ヒンジ領域の長さや部材せいの関係におおむね整合する解析結果が得られることを示している（第 5-5 図）。

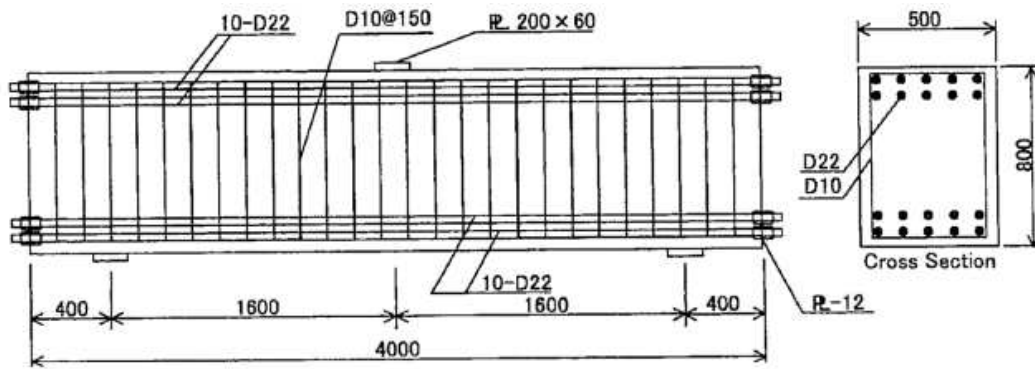


図-4.3.9 試験体諸元 (単位: mm)

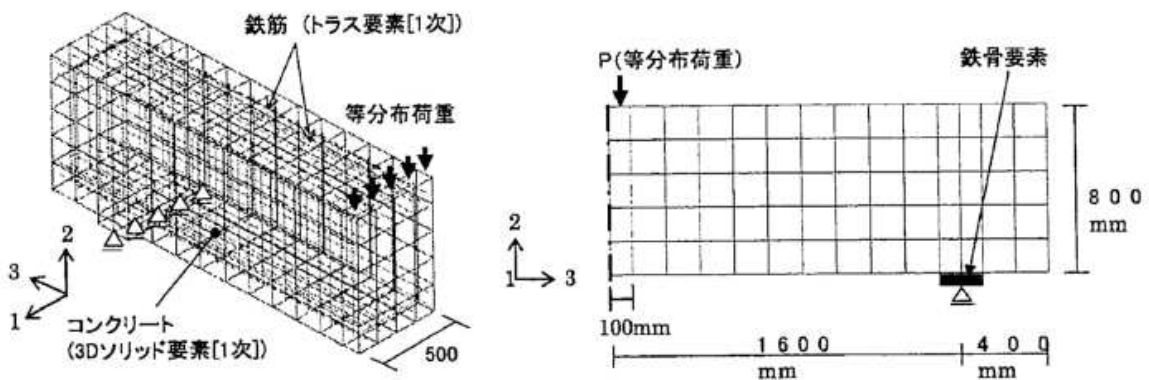


図-4.3.10 解析モデル

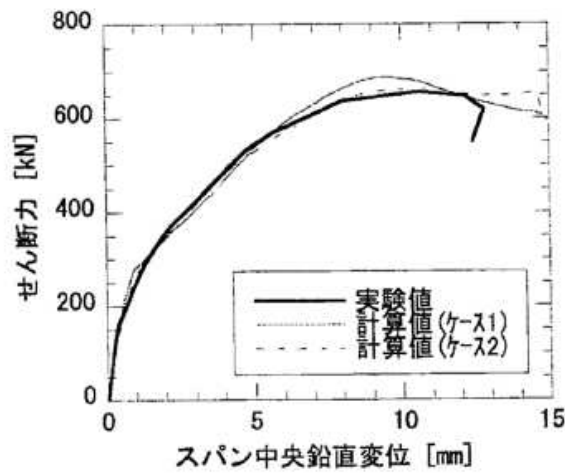


図-4.3.11 せん断力-スパン中央鉛直変位関係

第 5-3 図 梁せん断破壊試験に基づく検証結果 ([7]より引用)

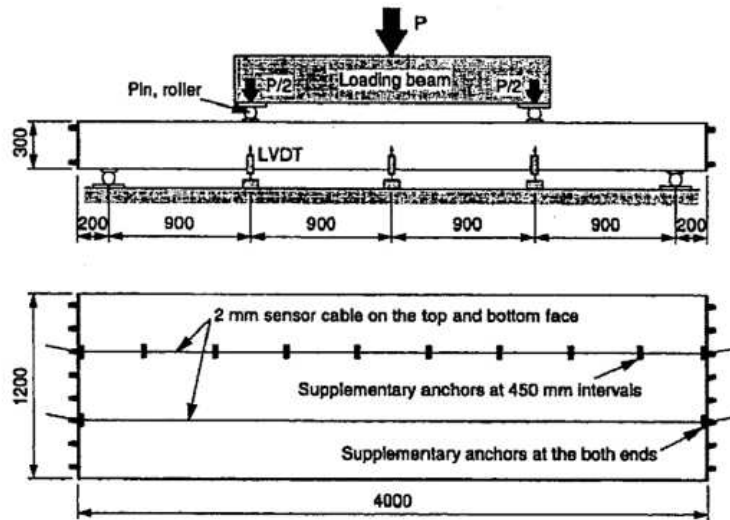


図-4.3.12 試験体諸元

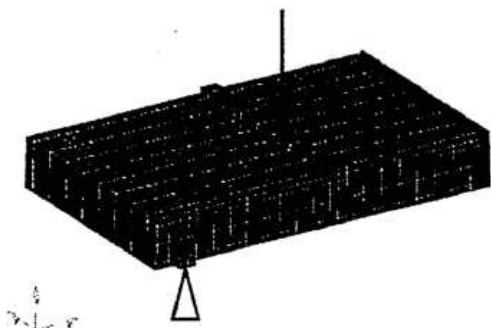


図-4.3.13 解析モデル

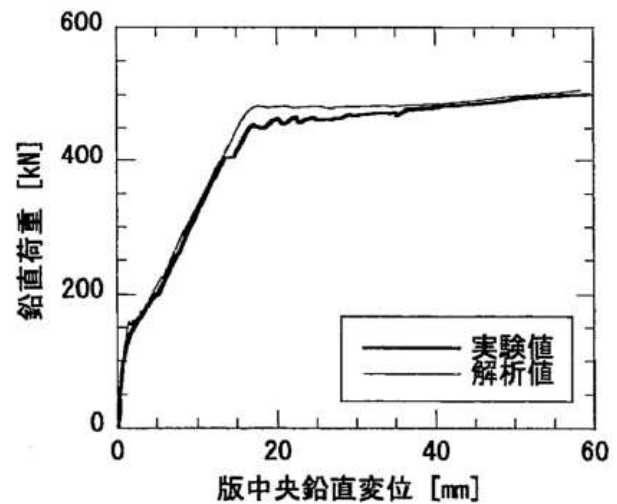


図-4.3.14 鉛直荷重—版中央鉛直変位関係

第 5-4 図 鉄筋コンクリートの曲げ破壊試験に基づく検証結果
([7]より引用)

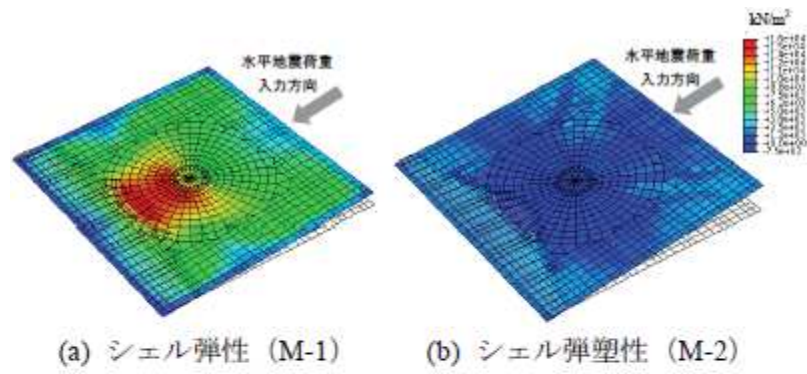


図-5 基礎スラブコンクリート部の最大主応力分布

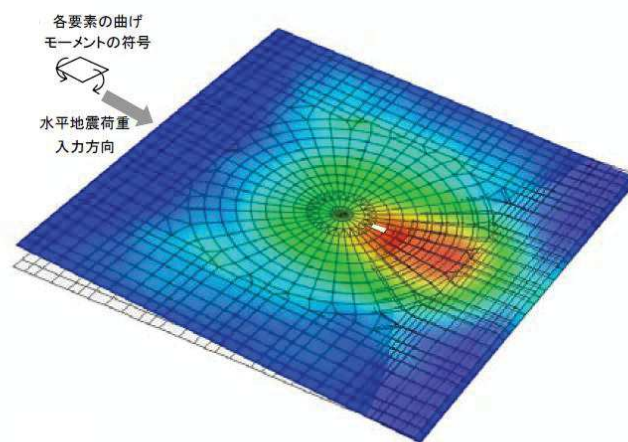


図-3 弾塑性解析 (M-2) による曲げモーメント分布

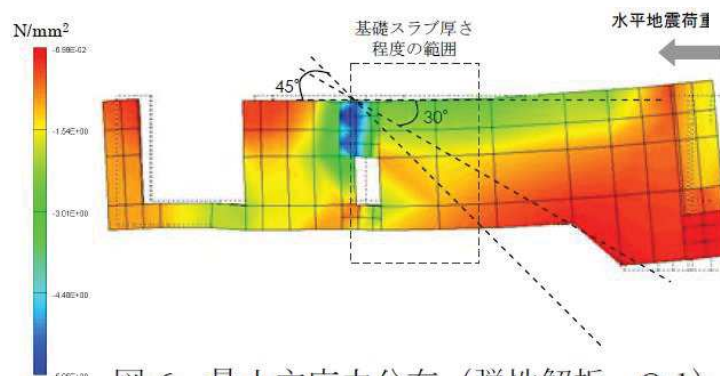


図-6 最小主応力分布 (弾性解析、Q-1)

第 5-5 図 弾塑性解析による既往の検討例
([10], [11]より引用)

(3) 岡村・出雲モデルの基礎版応力解析への適用性について

岡村・出雲モデルは、提案時より既往の複数の実験結果を用いて妥当性が十分に検証されていることから、3次元 FEM モデルによる弾塑性解析を実施する際のコンクリート（引張側）の構成則（引張軟化曲線）として、採用することは妥当であると考えられる。

5.2 コンクリート(圧縮側)

コンクリートの圧縮応力度とひずみの関係は、CCV規格の図 CVE3511.2-1を参考にした上で、パラボラ型の応力ひずみ曲線を想定するに当たって標準的なCEB-FIP Model Code^[1]に基づき設定している。

CEB-FIP Model Codeにおけるコンクリート(圧縮側)の構成則は以下の(5.3)式により規定されている。なお、(5.3)式に基づく場合、女川2号のコンクリート圧縮強度は50MPa(N/mm²)以下であるため、終局ひずみは0.0035となるが、CCV規格における終局ひずみは0.003であるため基礎版の応力解析で用いるのは0.003までの範囲内とする。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{cd} &= 0.85f_{cd} \left[2\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cl}}\right) - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cl}}\right)^2 \right] && (\varepsilon_c < \varepsilon_{cl} \text{ の場合}) \\ \sigma_{cd} &= 0.85f_{cd} && (\varepsilon_{cl} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu} \text{ の場合}) \\ \sigma_{cd} &= 0 && (\varepsilon_{cu} < \varepsilon_c \text{ の場合}) \end{aligned} \right\} \quad (5.3)$$

ここで $\varepsilon_{cl} = 0.002$

$$\varepsilon_{cu} = 0.0035 \quad (f_{ck} \leq 50\text{MPa} \text{ の場合})$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.0035 \left(\frac{50}{f_{ck}} \right) \quad (50\text{MPa} \leq f_{ck} \leq 80\text{MPa} \text{ の場合})$$

σ_{cd} : コンクリートの応力

ε_c : コンクリートのひずみ

ε_{cu} : コンクリートの終局ひずみ

f_{cd}, f_{ck} : コンクリート圧縮強度

5.3 鉄筋(引張側, 圧縮側)

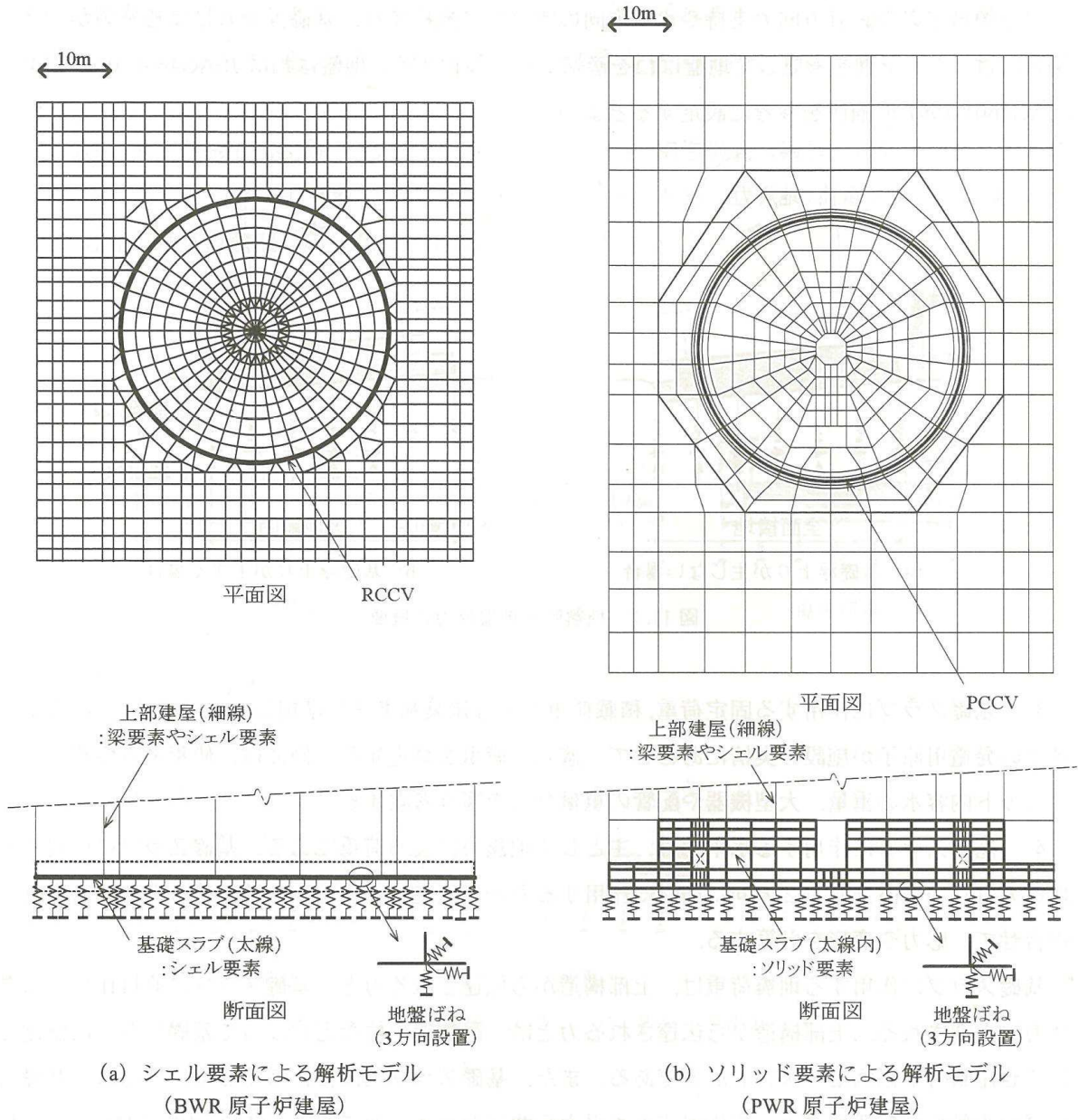
鉄筋の非線形特性については、CCV規格(CVE-3511.2の記載)に基づき完全弾塑性型として設定している。このことから、第4-2図(b)に示した鉄筋の非線形特性を採用することは妥当であると考えられる。

6. 既往研究に基づく弾塑性解析の妥当性・適用性

(1) 基礎版の応力解析における適用要素の規基準類上の扱い

「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 1987 (社) 日本電気協会」の「5.3.2 応力解析」には、「格納施設の基礎マット等の厚いコンクリート構造の FEM 解析のモデル化については、基礎の幾何学的形状、上部構造及び基礎の解析モデル作成上の整合性を考慮して適切な要素を選択しなければならない。一般的に、原子炉建屋の基礎マットのようにマット厚の厚い部位の 3次元 FEM 解析にはソリッド要素、又は面外せん断を考慮した平板要素を採用するのが良い。」と記載されている。ここで、面外せん断を考慮した平板要素とは、今回適用するシェル要素に該当する。

「原子炉施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 2005 (社) 日本建築学会」の「8条 構造解析の基本事項」の解説には、「基礎スラブは荷重状態が複雑なため、弾性地盤に支持された板として FEM でモデル化する場合が多い。要素としてはシェル要素またはソリッド要素が用いられる。」とされており、また、「11条 基礎スラブ」の解説には、「原子炉建屋の基礎スラブの解析モデルは図 11.1 に示すように基礎スラブの形状に応じて、シェル要素やソリッド要素によりモデル化する。また、ボックス壁やボックス壁に接合する上層の床スラブによる全体変形の拘束効果を適切に反映する。」として、シェル要素を用いた基礎版のモデル化例(第 6-1 図)が記載されている。



第 6-1 図 FEM による解析モデルの例 (文献 [12] より引用)

(2) 弾塑性解析を用いた解析的検討

小柳他が実施した「原子炉建屋基礎スラブの合理的応力評価方法に関する解析的検討」^{[10] [11]}においては、基礎版をシェル要素でモデル化した場合とソリッド要素でモデル化した場合の弾性解析及び弾塑性解析を実施し、曲げモーメント及びせん断力の応力性状について比較検討することにより、合理的な応力評価法について検討している。

検討に当たっては、曲げモーメントについては、厚さ 5.5m 程度の基礎版を対象に積層シェル要素を、面外せん断力に対しては厚さ 8m 程度の基礎版を対象にソリッド要素をそれぞれ用いて検討を実施している。解析結果の概要を第 6-2 図及び第 6-3 図に示す。

第 6-2 図に示したシェル要素によるモデルでは、弾塑性解析結果の各要素の曲げモーメントと弾性解析結果の曲げモーメントの比率の分析から、これらの比率が一定とみなせる範囲を評価している。この結果、基礎版程度の厚さの範囲では応力比率がほぼ一定であり、弾塑性モデルにおいてコンクリートのひび割れ等により応力が平均化されていると評価している。また、この結果は既往知見に基づく柱・梁接合部の塑性ヒンジ領域と同等であるとしている。

第 6-3 図に示したソリッド要素によるモデルの場合は、基礎版の断面内の応力分布から圧縮ストラット角度を 30~45° と評価し、柱・梁部材に関する既往知見とおおむね対応することを示している。圧縮ストラット角度から面外せん断力に関する平均化応力の範囲を基礎版厚さの 0.8 倍~1.4 倍、平均的には 1.0 倍程度と想定できると評価している。また、この結果は実験等による既往知見ともおおむね対応しているとしている。

本文献は、塑性化が生じる応力レベルの基礎版の部位についての合理的な応力評価法について検討した文献であり、検討の過程において厚さ 5.5m 程度の基礎版の曲げモーメントに対してはシェル要素の弾性解析及び弾塑性解析を、厚さ 8m 程度の基礎版の面外せん断力に対してはソリッド要素を用いて検討を実施している。これらより、曲げモーメントに関しては、弾性解析結果と弾塑性解析結果の比較により平均化応力の範囲を検討し、既往知見の塑性ヒンジ領域と同等であることが確認された。また、検討に用いているモデルは違うものの、シェル要素とソリッド要素を用いた検討では同程度の平均化応力の範囲を示していることが確認された。

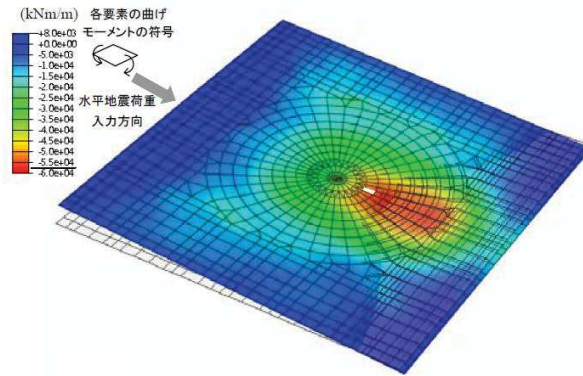


図-3 弾塑性解析 (M-2) による曲げモーメント分布

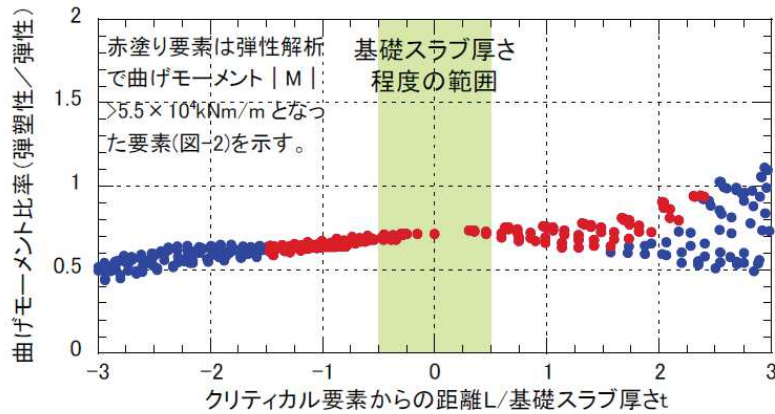


図-4 白塗り要素中心からの距離と曲げモーメント比率

第 6-2 図 シェル要素を用いた基礎版の弾塑性解析結果の概要
(文献 [11] より引用)

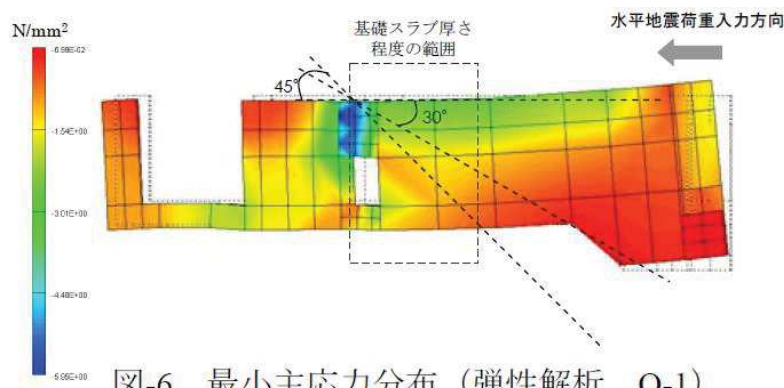


図-6 最小主応力分布 (弾性解析、Q-1)

第 6-3 図 ソリッド要素を用いた基礎版の弾塑性解析結果の概要
(文献 [11] より引用)

(3) ソリッド要素と梁要素及びシェル要素の比較検討

山田が実施した「FEMにおける構造モデリング—ソリッド要素と構造要素（はり，シェル）の選択—」^[13]においては、「コンピュータ性能の飛躍的な進歩により，非常に大規模な連続体の数値シミュレーションが可能となっている現状では，はり要素やシェル要素によってモデル化されてきた対象を，連続体としてソリッド要素によってモデル化し，大規模問題として複雑な構造物の応力解析を行うことが可能となっている。しかしながら，工学的観点で計算の精度や効率を考えたとき，すべてをソリッド要素でモデル化することは必ずしも適切ではない」との観点に基づき，モデル化の選択について考察を加えている。本文献では，はり要素やシェル要素の構造要素とソリッド要素とした場合について，片持ちはりを対象とした解析を行い，たわみの理論値との比較から要素選定に関する検討を行っている。

第6-1表及び第6-4図は，せん断変形の影響が表れる問題として，片持ちはりの長さが比較的短い場合の結果であり，たわみの数値をソリッド要素（双1次四辺形要素）とティモシェンコはり要素で比較したものである。表中の値は，ソリッド要素を用いた詳細な分割（1000×2000）による結果を参照解として正規化したものである。局所的な応力集中がなく曲げとほぼ一様なせん断変形が支配的な状況においては，はり要素が適用可能であること，また，ある程度詳細な要素分割を行うことで，ソリッド要素についても適用可能であることが分かる。「以上では，はりにより議論を進めてきたが，シェル要素についても基本的には同様である」とされている。

なお，基礎版に支配的な地震時においては，ほぼ同様な応力状態にあると考えられる。

本論文では，はり，シェルの構造要素について，「一般に構造要素が適用可能な場合には，連続体としてソリッド要素によりモデル化するよりも効率的で精度の高いシミュレーションが可能となる」としている。

第6-1表 梁モデルを用いたソリッド要素と梁要素の解析結果の概要

（文献 [13] より引用）

表3 短い片持ちはりに対するたわみ

L	双1次四辺形要素			ティモシェンコ はり要素	
	分割	変位型	改良型	分割	1次要素
3	3×2	0.697	0.952	5	0.995
	6×4	0.898	0.984	10	1.002
	12×8	0.971	0.995	20	1.004
5	5×2	0.703	0.978	5	0.993
	10×4	0.902	0.992	10	1.000
	20×8	0.973	0.997	20	1.002

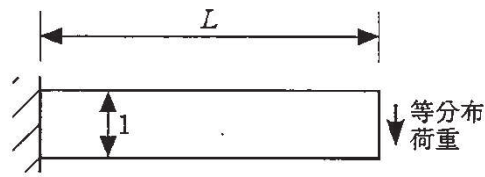


図7 一定断面片持ちはりの問題

第6-4図 梁モデルを用いたソリッド要素と梁要素の解析検討モデル概要図
(文献 [13] より引用)

(4) まとめ

既往研究に基づき、弾塑性解析の妥当性・適用性についての検討を行った結果、シェル要素を用いた基礎版の応力解析については規基準類上採用できること、また既往文献における適用実績があることを確認した。

以上より、原子炉建屋の基礎版の応力解析において、シェル要素を用いた弾塑性解析による手法を採用することは妥当であると考えられる。

また、シェル要素を用いた応力解析の検証の観点から、面外せん断応力が大きい場合には、詳細設計段階において代表ケースを選定してソリッド要素で基礎版をモデル化した解析を行い、モデル化手法による比較を行うこととする。

7. まとめ

基礎版の応力解析で採用予定の解析モデルについて、既工認との手法の差異を整理した。論点として、弾塑性挙動に与える影響が大きい材料構成則（鉄筋、コンクリート）を抽出した。その上で適用文献の内容を整理し、その妥当性・適用性を確認した。また、女川2号炉原子炉建屋で確認されている初期剛性低下について、材料構成則への反映方法を確認した。

以上より、今回採用予定の応力解析モデルの妥当性を確認した。

<参考文献>

- [1] Comite Euro-International du Beton : CEB-FIP MODEL CODE 1990 (DESIGN CODE), 1993
- [2] 日本建築学会 : 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説-許容応力度設計法-1999, 1999年
- [3] 出雲, 島, 岡村 : 面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル, コンクリート工学, Vol.25, No.9.1987.9
- [4] M.P.Collins, F.J. Vecchio: The response of reinforced concrete to in-plane shear and normal stresses, University of Toronto, March 1982
- [5] 森田司郎・角徹三 : 鉄筋コンクリート部材の引張試験による付着効果の研究, セメント技術年報, Vol.18, pp.426-430, 昭39
- [6] 山田一字・青柳征夫 : ひび割れ面におけるせん断伝達, 第2回 鉄筋コンクリート構造物のせん断問題に対する解析的研究に関するコロキウム論文集, pp.19-26, 1983.10
- [7] 日本建築学会 : コンクリート系構造の部材解析モデルと設計への応用, 2008年
- [8] Saito,H et al. : Ultimate strength of reinforced concrete members subjected to transient high temperature distribution, Transactions of the 12th international conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT), Volume H, pp.31-36, Aug. 1993
- [9] Kumagai,H. et al.:Fiber optic distributed sensor for concrete structures,Proceeding of the 1st fib Congress, Session 15, pp.179-184,2002
- [10] 小柳他 : 原子炉建屋基礎スラブの合理的応力評価方法に関する解析的検討(その1) 基礎スラブの試解析, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造Ⅱ, pp.1039-1040, 2009
- [11] 小林他 : 原子炉建屋基礎スラブの合理的応力評価方法に関する解析的検討(その2) 合理的応力評価法(案), 日本建築学会学術講演梗概集, 構造Ⅱ, pp.1041-1042, 2009
- [12] 日本建築学会 : 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 2005年
- [13] 山田貴博 : FEMにおける構造モデリング—ソリッド要素と構造要素(はり, シェル)の選択—, 精密工学会誌 Vol.77, No.9, 2011

CCV 規格等における許容限界設定の考え方について

CCV 規格等におけるコンクリート及び鉄筋のひずみ，面外せん断力の許容限界設定の考え方について以下に示す。

1. コンクリート

CCV 規格においてコンクリートのひずみの許容値としては， $0.003(3000\mu)$ が採用されている。

これは，American Concrete Institute「Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-02)」の Chapter 10 Flexural and axial loads の記載に基づき設定されている。

コンクリートのひずみが 3000μ に達した状態は，最大圧縮強度時のひずみ (2000μ 程度) を超えた応力下降域 (軟化域) の状態にあり，若干のひび割れが入っているものの，ある程度の強度を有している状態である。また，一般的に，コンクリートのひび割れは，スリット状ではなく，複雑な形状で生じるため，放射線の低減効果が期待でき，遮蔽性能に与える影響は無い。

なお，コンクリートの最大圧縮強度については，American Concrete Institute「Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-02)」の Chapter 10 Flexural and axial loads の記載に基づき， $0.85F_c$ (設計基準強度の 0.85 倍) に制限しており，実際のコンクリートの最大圧縮強度に対して余裕を見込んだ数値が設定されている。

2. 鉄筋

CCV 規格において鉄筋のひずみの許容値としては， $0.005(5000\mu)$ が採用されている。

鉄筋のひずみを 5000μ とした理由について，CCV 規格の解説に「部材の変形が過大にならないように配慮して定めた」とし，「一般的に多く使用されている SD345 及び SD390 の降伏ひずみ (中略) は 0.0017 及び 0.0019 であり，鉄筋の最大ひずみはこれら降伏ひずみの 2 から 3 倍程度とした」と記載されている。

一般に，鉄筋のひずみが 5000μ に達した状態は，降伏ひずみの $2\sim 3$ 倍程度であり，最大引張強度に至るまでには程遠い状態である。また，JIS に示される鉄筋の機械的性質としては，SD345 及び SD390 の場合，伸びが $16\sim 19\%$ ($160000\sim 190000\mu$) 以上とされており， 5000μ は破断に対しても十分余裕のある状態にあるといえる。

3. 鉄筋コンクリートの面外せん断力

面外せん断力の許容値は，短期許容応力度を基本とし，発生値が短期許容応力度を上回る場合には RC-N 規準（2005）に記載の荒川平均式等の適用を検討する。

なお，荒川平均式等を適用した場合における設備の支持性能については，地震によってコンクリートにひび割れが発生した場合の設備への影響を詳細設計段階で説明を行う。

シェル壁内部の構造物から基礎版に伝達される荷重等の考え方について

1. はじめに

原子炉建屋基礎版の応力解析において、シェル壁内部の構造物に関するモデル化、及び基礎版へ伝達する荷重の考え方を以下に示す。

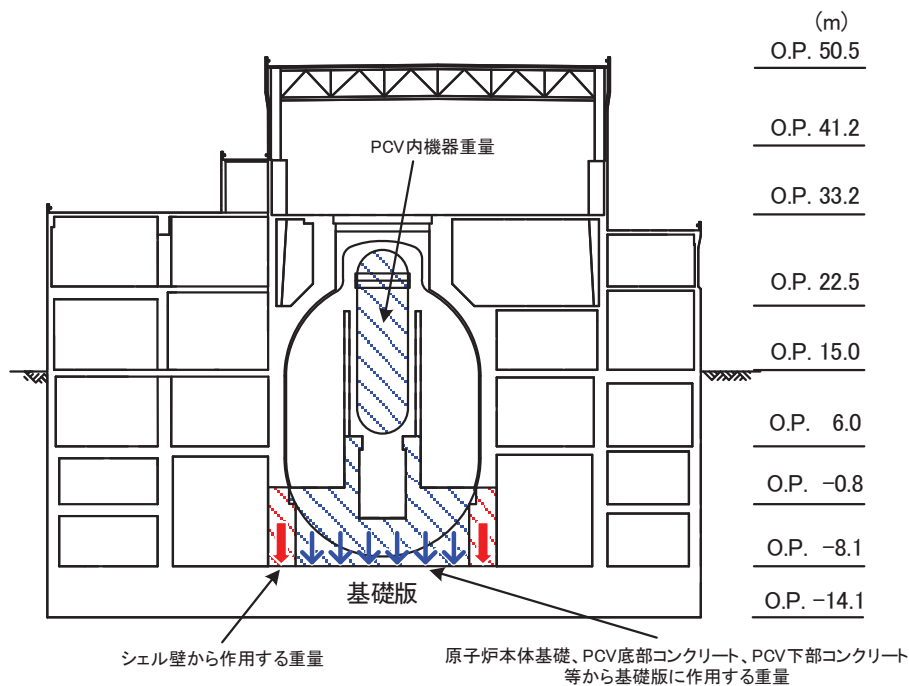
2. 基礎版モデルの考え方

基礎版の解析モデルでは、基礎版は一律 6m の厚さとしてモデル化しており、原子炉本体基礎や PCV 底部コンクリート、PCV 下部コンクリートについてはモデル化上は考慮していない。ただし、これらの常時荷重、地震時の慣性力は考慮しており、既工認と同様の考え方である。

3. 基礎版へ伝達する荷重の考え方

(1) 鉛直荷重の考え方

シェル壁内部の鉛直荷重については、基礎に作用する荷重を当該作用位置に応じて入力する。原子炉本体基礎他 PCV 内機器、PCV 底部コンクリート、PCV 下部コンクリートの自重は、基礎版に直接作用する荷重として入力しており、第 3-1 図に鉛直荷重の考え方を示す。また、シェル壁内部以外の荷重についても考え方は同様である。

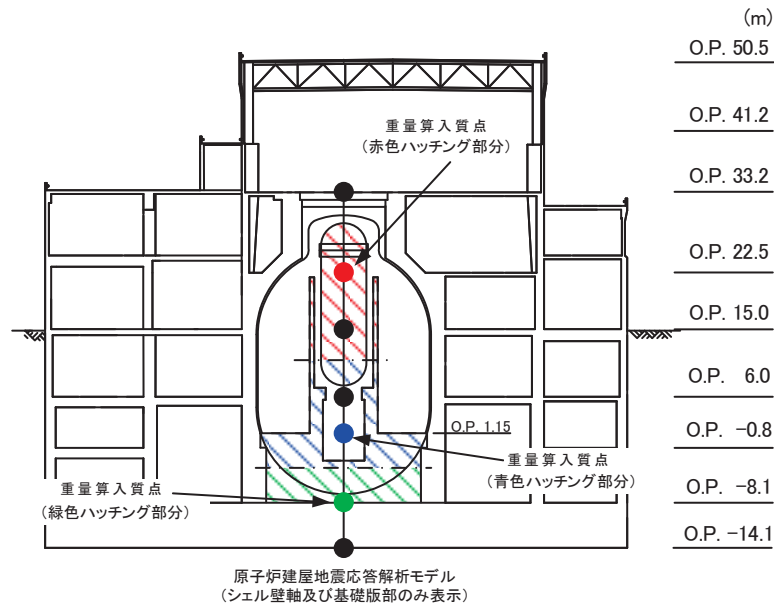


第 3-1 図 シェル壁内部の鉛直荷重の考え方

(2) 水平荷重の考え方

原子炉本体基礎他 PCV 内機器，PCV 底部コンクリート，PCV 下部コンクリートの重量は，質点系モデル上はシェル壁軸の質点重量に集約している。

重量を算入する質点レベルは，RPV スタビライザや原子炉本体基礎脚部の位置を考慮して，第 3-2 図に示すように算入している。



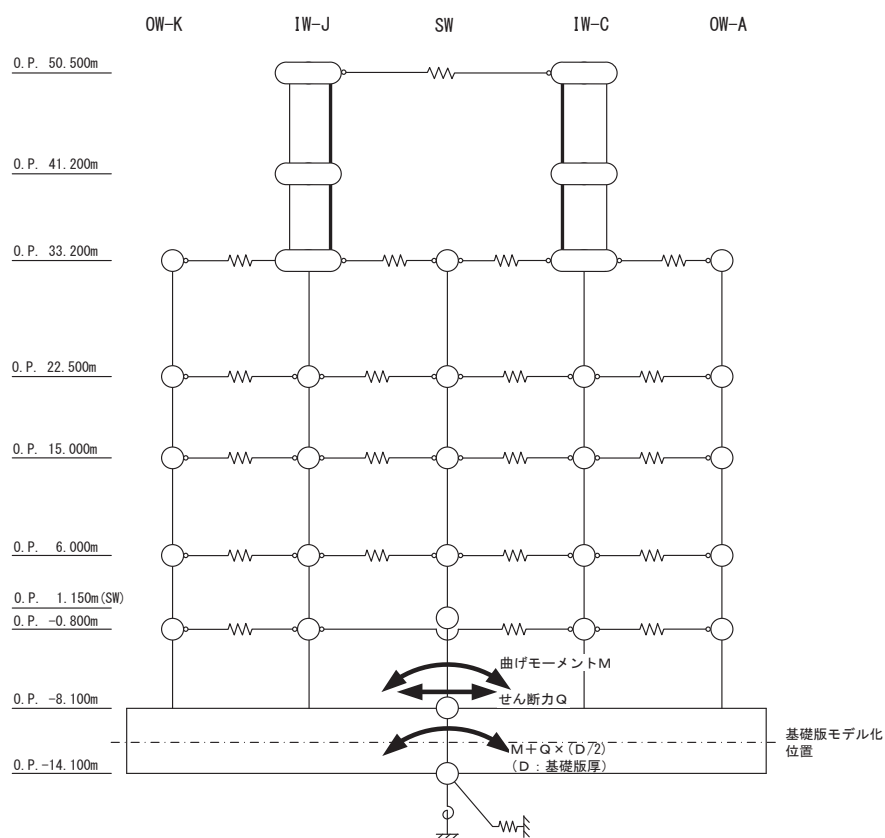
第 3-2 図 原子炉本体基礎他 PCV 内機器，PCV 底部コンクリート，PCV 下部コンクリートの重量算入質点の考え方

シェル壁内部の構造物に作用する水平地震時慣性力は，原子炉建屋地震応答解析により得られるシェル壁軸の応答（せん断力，曲げモーメント）に含まれ，曲げモーメントは各重量算入質点の高さを考慮した値として得られる。

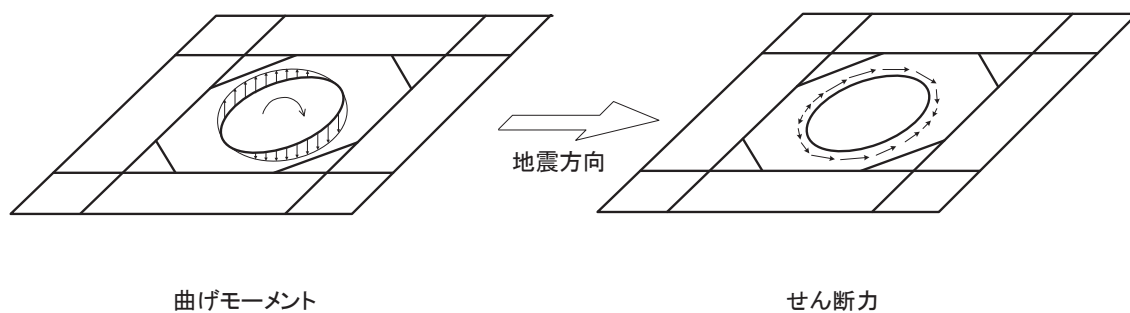
基礎版の解析に用いる水平地震荷重は，質点系モデルによる地震応答解析結果より得られるシェル壁脚部のせん断力，曲げモーメントを用い，基礎上端 (O.P. -8.1m) と基礎版のモデル化位置である基礎版中心 (O.P. -11.1m) との離間距離により付加される曲げモーメント分についても考慮のうえ，シェル壁位置に入力^{*}する。また，シェル壁内部以外の荷重についても考え方は同様である。

曲げモーメントの補正方法を第 3-3 図に，シェル壁から伝達する水平地震荷重の基礎版解析における入力イメージを第 3-4 図に示す。

^{*}耐震設計上，当該レベルの耐震要素として評価しているシェル壁部で地震力を負担することとしているが，原子炉本体基礎からの反力等についてはその影響に応じて詳細設計段階で検討していく。



第 3-3 図 基礎版の解析モデルに用いる曲げモーメントの補正方法



第 3-4 図 シェル壁から伝達する水平地震荷重の基礎版の解析モデルにおける入力イメージ

基礎版と耐震壁の剛性の組合せの考え方について

基礎版の評価を主体として考えた場合、定性的には基礎版の剛性が低くかつ耐震壁の剛性が低い場合が基礎版の変形が大きく評価される。従って基礎版の評価を主体とする検討においては、基礎版の剛性低下を考慮する不確かさケースと組み合わせる耐震壁の剛性は、質点系モデルの不確かさケースに合わせ低下させた値を採用する。

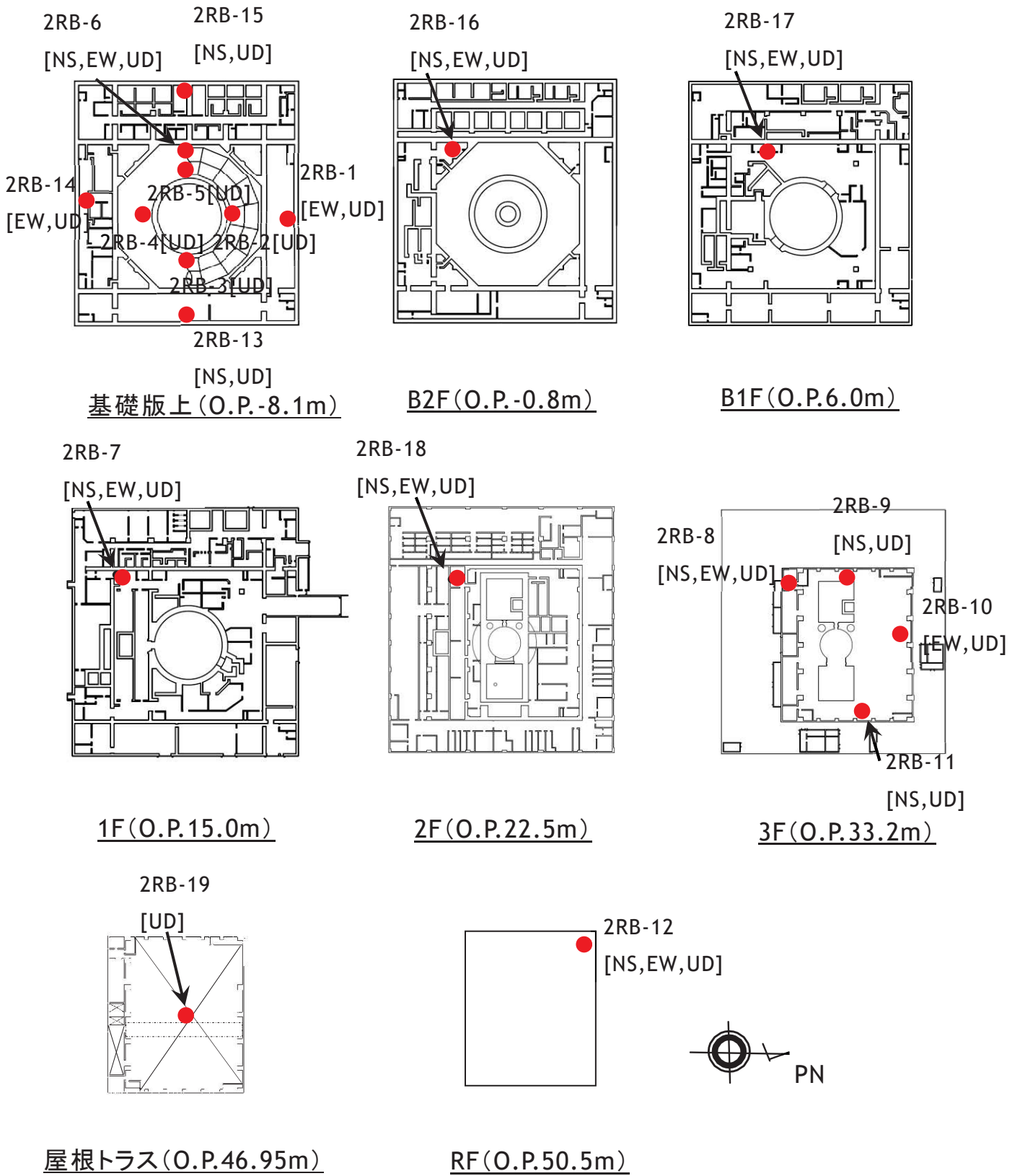
耐震壁の評価を主体として考えた場合、定性的には基礎版の剛性が低くかつ耐震壁の剛性が高い方が、耐震壁が負担する応力は大きく評価される。しかし、剛性低下の傾向は耐震壁は顕著であるものの基礎版は小さいもしくは認めにくいこと、また、もともと耐震壁の設計は保守性を有していることから、耐震壁の評価を主体とする検討においては、基礎版の剛性としては設計剛性を採用する基本ケースを用い、それと組み合わせる耐震壁の剛性は、質点系モデルの基本ケースに合わせ低下させた値を採用する。検討の結果、耐震壁の拘束効果が耐震壁の評価に及ぼす影響が大きい場合は、基礎版の剛性を低下させたケースとの組み合わせについても検討する。

第 1 表 基礎版と耐震壁の剛性の組合せの考え方

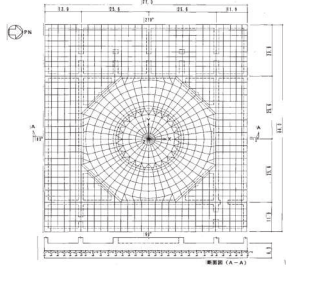
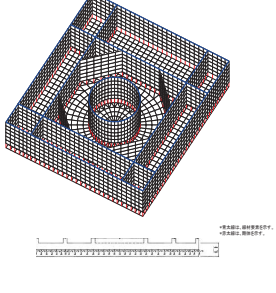
		耐震壁	
		【基本ケース】 質点系モデルの基本 ケースにおける耐震 壁の初期剛性に整合	【不確かさケース】 質点系モデルの不確かさ ケースにおける耐震壁の 初期剛性に整合
基 礎 版	【基本ケース】 設計基準強度による剛性	○	—
	【不確かさケース】 地震観測記録の分析等を 踏まえ初期剛性を低下	—※1	○

※1：検討の結果、耐震壁の拘束効果が耐震壁の評価に及ぼす影響が大きい場合は、基礎版の剛性を低下させたケースとの組み合わせについても検討する。

2号炉原子炉建屋 地震計配置



弾塑性解析の適用に関する先行プラントとの比較

プラント		女川2号炉		柏崎刈羽6号及び7号炉(参考)※
部位		原子炉建屋の基礎		RCCVコンクリート部
項目		既工認時	今回工認時	今回工認時
分類		間接支持構造物 (検討用地震動:S2)		主要設備(Sクラス)
解析手法		・弾性地盤上に支持された厚さ6.0mの一枚の版として有限要素法により解析する。		・3次元FEMモデルを用いた応力解析
解析コード		・NASTRAN		・NASTRAN ・ABAQUS
荷重状態		-		荷重状態Ⅰ～Ⅲ 荷重状態Ⅳ
考慮する荷重		・固定荷重, 機器配管荷重, 積載荷重, 地震荷重(S2), 土圧等		・死荷重, 運転時圧力等 ・死荷重, 運転時圧力, 地震荷重等
モデル化	モデル化範囲	・基礎版全体と剛性の高い一部壁をモデル化		・360° 全周をモデル化
	メッシュサイズ	・モデル全体でおおむね1~3m程度		・モデル全体でおおむね1~2m程度
	要素タイプ	・基礎版全体をシェル要素でモデル化する。 ・外部、内部ボックス壁、火打ち壁、シェル壁等の剛性の高い壁は、等価な剛性を考慮した梁要素でモデル化する。		・同左 ・地下部分の一部はシェル要素でモデル化し、壁の立体的な形状による剛性への寄与を考慮する。 シェル要素:シェル部, トップスラブ部 ROD要素, BAR(梁)要素:境界条件の設定に使用
材料物性		・コンクリートのヤング係数 $E=2.7 \times 10^6 \text{ t/m}^2$ ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.167$		・コンクリートのヤング係数 $E=2.51 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ ※1 ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$ ※1
評価方法	応力解析	・弾性解析		・弾性解析 ・弾塑性解析
	許容限界	(機能維持) 部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。接地圧が地盤の許容支持力度を超えないことを確認する。		(弾性範囲内) (終局) 部材に発生する応力・ひずみが許容限界を超えないことを確認する。 ※3 接地圧が地盤の許容支持力度を超えないことを確認する。
境界条件及びモデル図		<p>基礎版より立ち上がっている耐震壁はその剛性を考慮して梁要素としてモデル化、底面には支持地盤と等価な弾性ばねをモデル化</p> 		<p>基礎版より立ち上がっている耐震壁はその剛性を考慮してシェル要素及び梁要素でモデル化、底面には支持地盤と等価な弾性ばねをモデル化 ※4</p> 
備考		<p>※1: コンクリートのヤング係数及びポアソン比は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説・許容応力度設計法-1999」による計算式に基づく値を用いる。なお、地震応答解析モデルと同様の初期剛性低下については、地震観測記録の分析等を踏まえて、その影響を考慮することとする。</p> <p>※2: 終局強度設計の許容値に基づく評価を実施することとする。</p> <p>※3: 許容限界についてはOCV規格によるものを基本とする。</p> <p>※4: 基準地震動Ss以外の荷重(常時荷重及び弾性設計用地震動Sd)に対して検討する場合については、基準地震動Ssに対する検討に用いる解析モデルを採用する予定である。また、そのクライテリアはそれぞれの荷重に対する要求機能を踏まえた設定とする。</p>		<p>・荷重状態Ⅰ～Ⅲに対しては弾性解析を実施する。荷重状態Ⅰ～Ⅲについては、RCCVの挙動を弾性範囲内に収めようという設計思想に基づき設計が行われており許容値も弾性範囲内とされていること、並びに、温度荷重により発生する熱応力については荷重状態Ⅰ及び荷重状態Ⅱにおいては弾性剛性を1/2に荷重状態Ⅲにおいては弾性剛性を1/3に一律低減して算定することにより考慮することから既工認時と同様に弾性解析を実施することし、荷重状態Ⅳについては評価基準値が塑性化を許容した終局強度設計を行っており許容値も塑性化を考慮した数値となっていることから、弾塑性解析を実施することとした。</p> <p>・許容限界については既工認時「通商産業省告示452号「コンクリート製原子炉格納容器に関する構造等の技術基準」今回工認:OCV規格に基づき設定しているが数値は同じである。荷重状態Ⅳ(Ss既工認時はS2)を含む荷重組合せ等の場合は、鉄筋5000μ、コンクリート3000μ</p>

※他サイトの情報に係る記載内容については、公開資料を基に弊社の責任において独自に解釈したものです。

地震観測記録に基づく基礎版の剛性低下に係る試検討

1. はじめに

基礎版の応力解析モデルについては、既工認と同様に設計基準強度ベースで剛性を評価したケースを基本ケースとし、更に初期剛性を低下させるケースは不確かさケースとして扱う方針としている。不確かさケースに用いる初期剛性の低下量については、基礎版上に設置されている地震観測記録の分析を踏まえ設定する方針としており、ここではその検討例を示す。

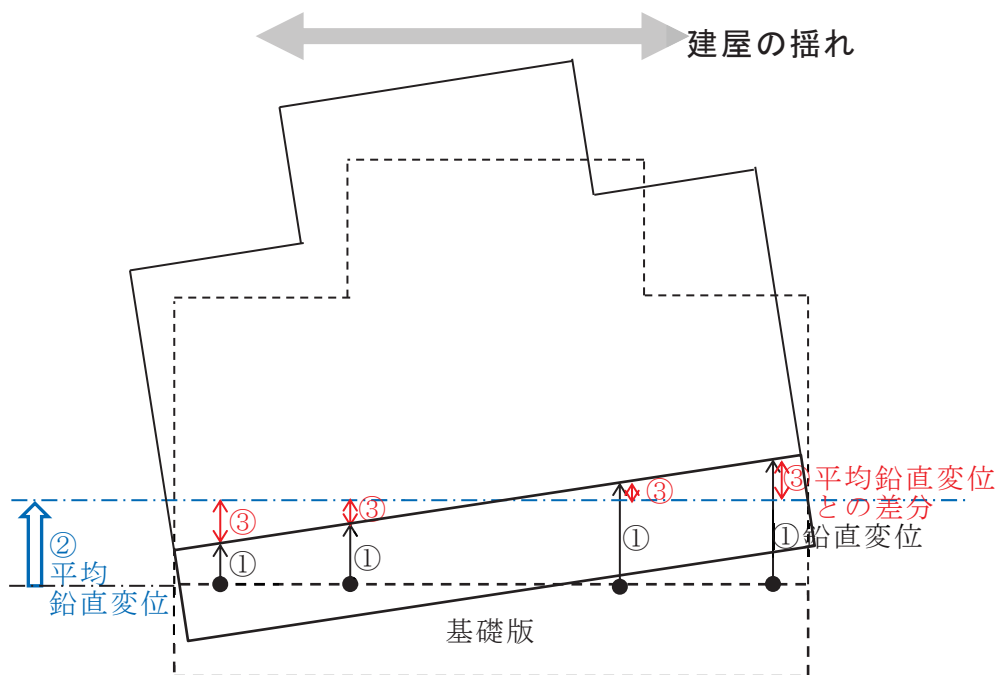
2. 検討方法

基礎版上には鉛直方向の地震動を観測する地震計が NS 方向，EW 方向に各 4 箇所配置されており，3.11 地震を含めた複数地震に対して，鉛直方向の平均変位に対する相対変位量と，基礎版に作用した地震力の大きさの相関性について，以下の手順にて検討する。

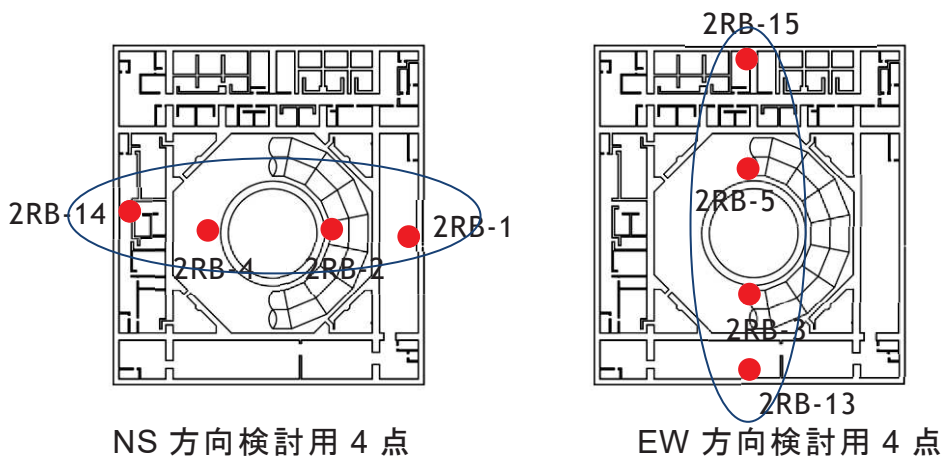
検討方法の概念図を参考第 2-1 図に，地震観測位置を参考第 2-2 図に示す。

- ① 鉛直方向の加速度記録を積分して変位波形を算定する。
- ② 直線上に並ぶ 4 点の変位波形から平均変位波形を時刻歴上で算定する。
- ③ 平均変位波形と各観測点の変位波形の差分の最大値（絶対値）を算定する。
- ④ 算定した各観測点の変位差分の最大値と建屋への入力地震動の大きさ（例えば質点系モデルを用いたシミュレーション解析より算定されるベースシャー係数（最下層の層せん断力係数））の関係をプロットする。
- ⑤ プロットしたベースシャー係数と鉛直変位の関係より基礎版の剛性を分析する。

（おおむね比例関係であれば，特に大きな剛性低下はないと考えられる）



参考第 2-1 図 検討方法の概念図



基礎版上 (O.P.-8.1m)

参考第 2-2 図 地震観測位置 (2号炉原子炉建屋基礎版, 鉛直方向)

3. 検討結果

参考第 3-1 表に示す過去の代表地震について、前述の方法により算定した鉛直変位とベースシャー係数の関係を参考第 3-1 図～参考第 3-4 図に示す。また、3.11 地震前後の中小地震に対する検討結果を参考第 3-5 図～参考第 3-8 図に示す。

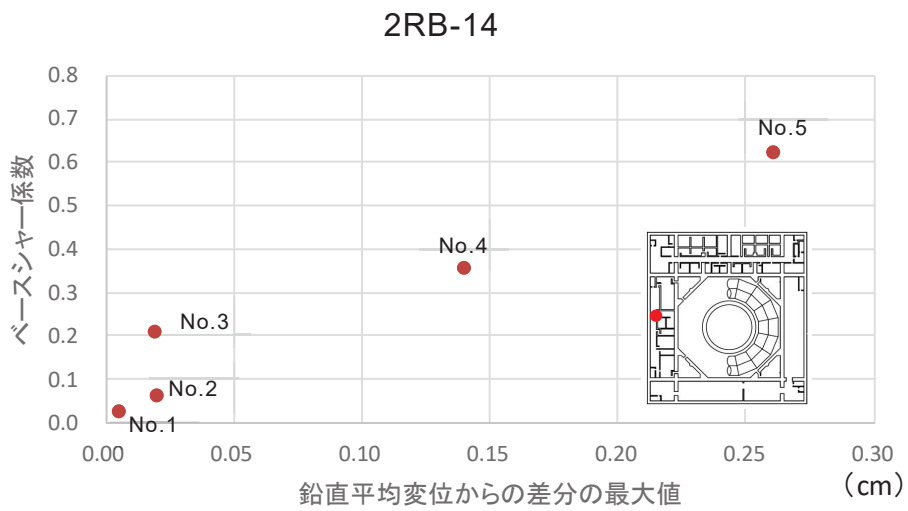
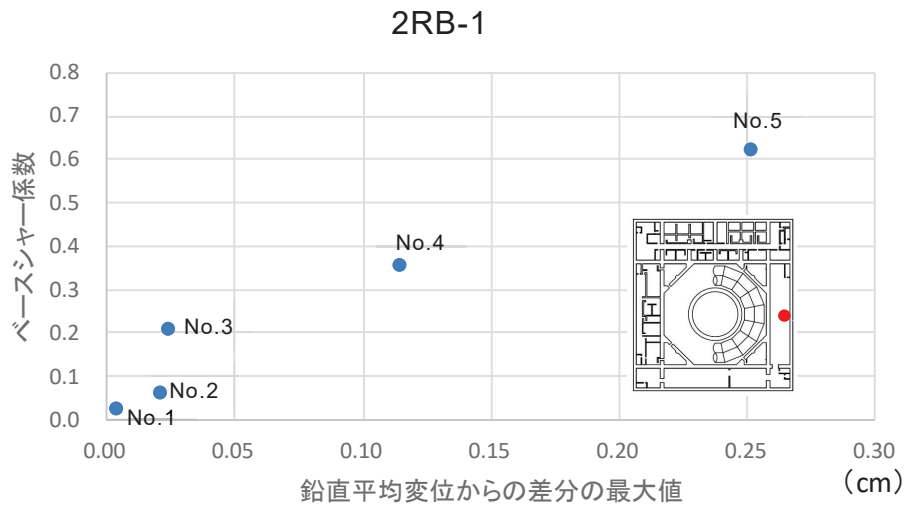
ここで、過去の代表地震は、比較的大きな地震観測記録として、基礎版上の最大加速度を更新した地震を選定した。3.11 地震前後の検討においては、M5 以上かつ基礎版上で 20cm/s^2 以上の観測記録を条件に、3.11 地震前については 2005 年 8 月 16 日宮城県沖の地震以降の 7 地震を選定し、3.11 地震後については、4.7 地震以降の発生順に 7 地震を選定した。

検討の結果、代表地震の比較では鉛直変位とベースシャー係数の関係が比例関係となっており、3.11 地震前後の比較でも大きな傾向の違いは認められなかった。

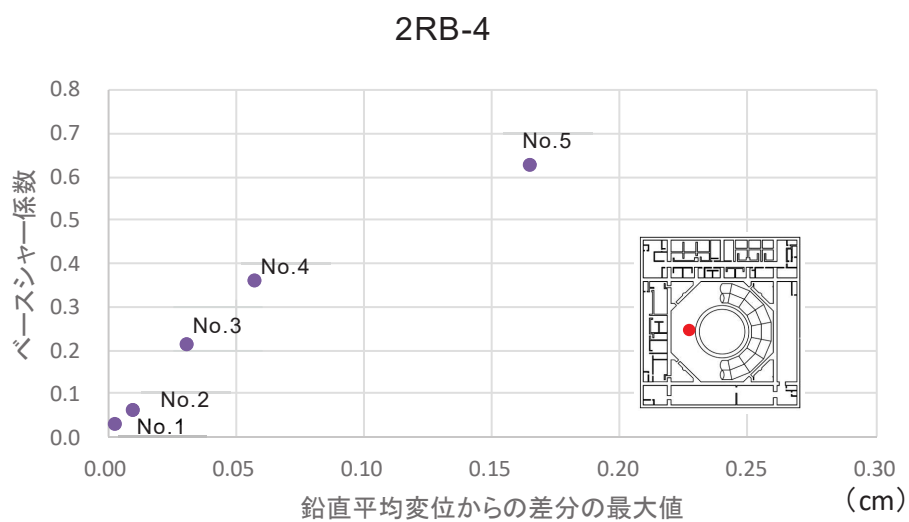
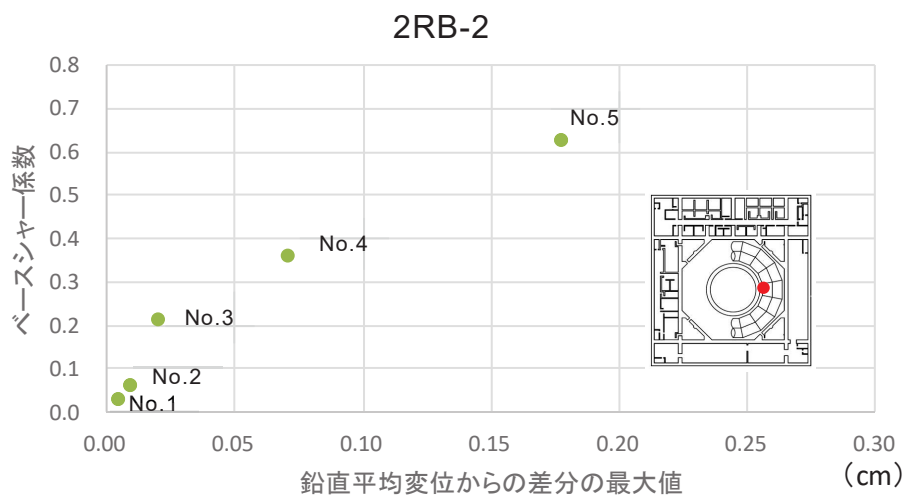
なお、他の地震記録を含めた影響等については、詳細設計段階において検討する。

参考第 3-1 表 過去の代表地震

No.	日時	検討用地震	ベースシャー係数	
			NS 方向	EW 方向
1	1994/10/4 22:22	北海道東方沖の地震	0.03	0.02
2	1996/2/17 0:22	福島県沖の地震	0.06	0.05
3	2003/5/26 18:24	宮城県沖の地震	0.21	0.20
4	2005/8/16 11:46	宮城県沖の地震	0.36	0.20
5	2011/3/11 14:46	東北地方太平洋沖地震	0.63	0.74

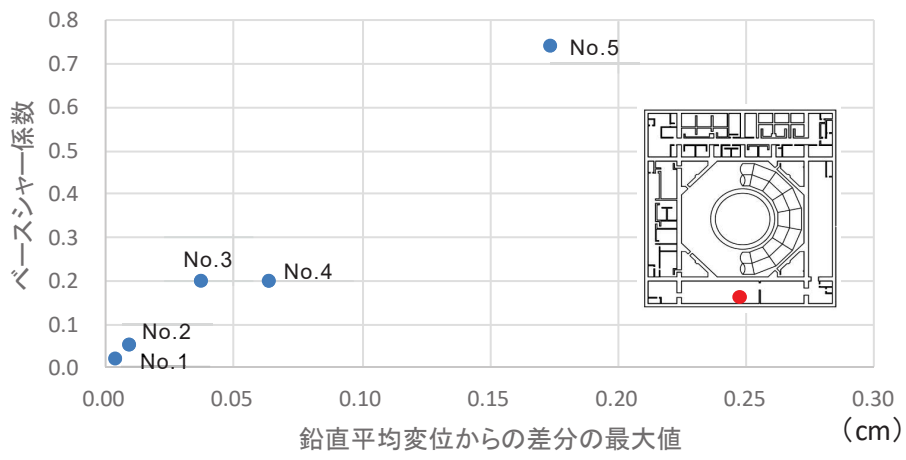


参考第 3-1 図 ベースシャー係数と鉛直変位の比較 (NS 方向)
(代表地震) (1/2)

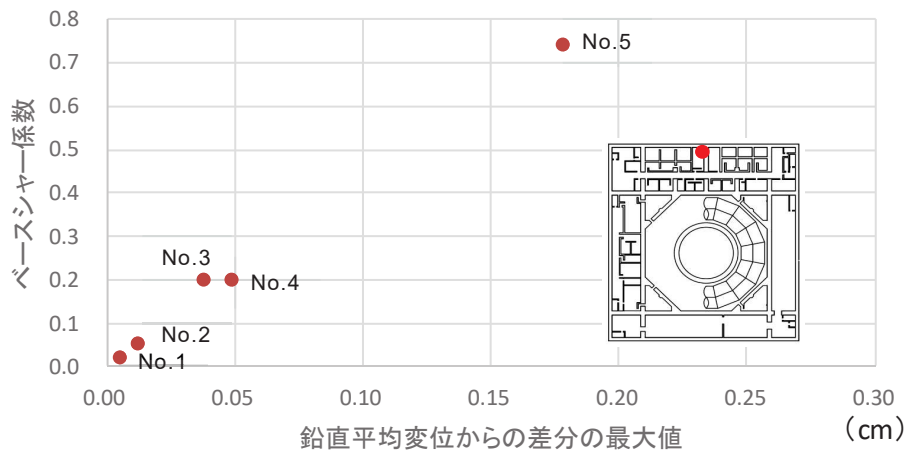


参考第 3-2 図 ベースシャー係数と鉛直変位の比較 (NS 方向)
(代表地震) (2/2)

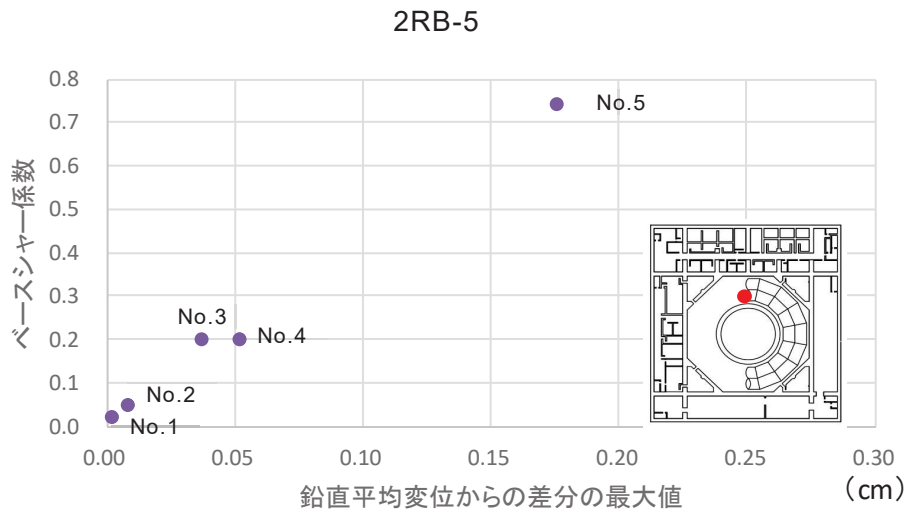
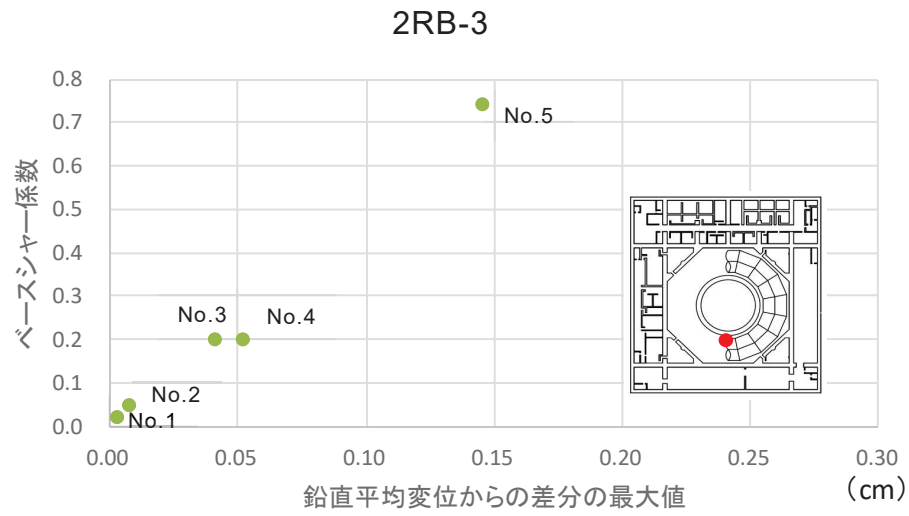
2RB-13



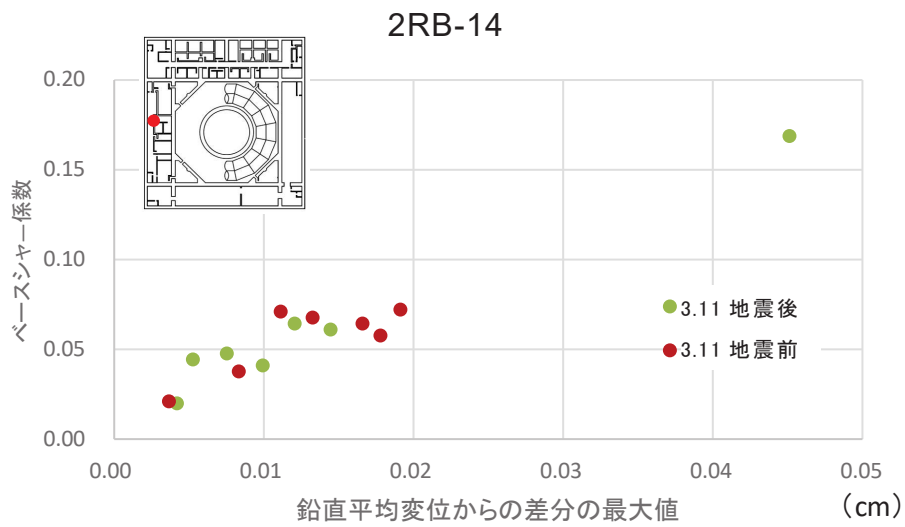
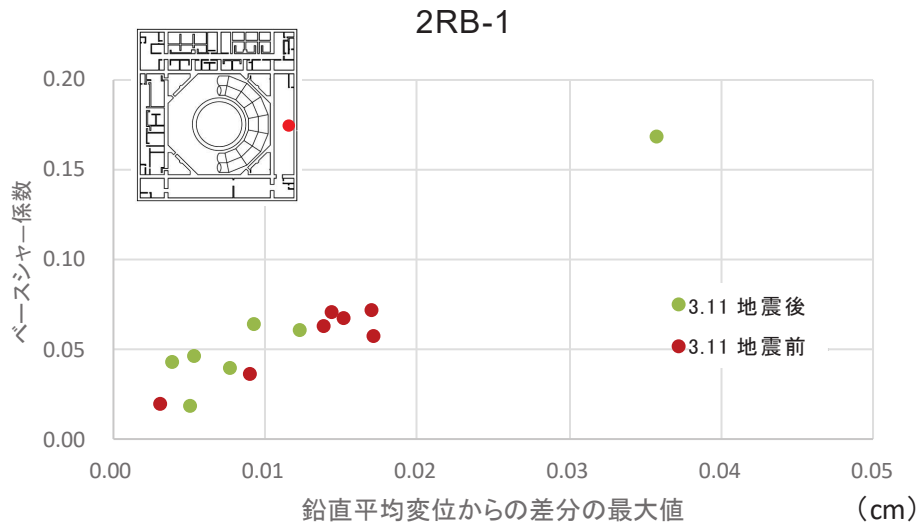
2RB-15



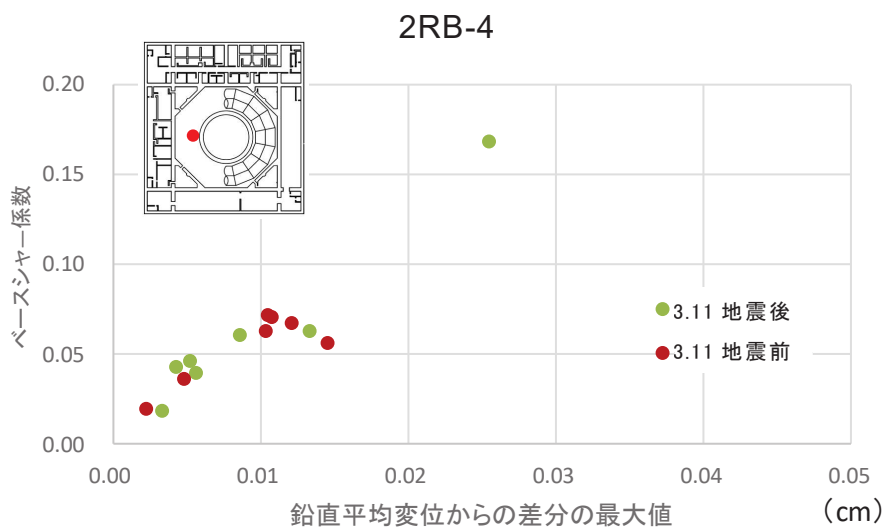
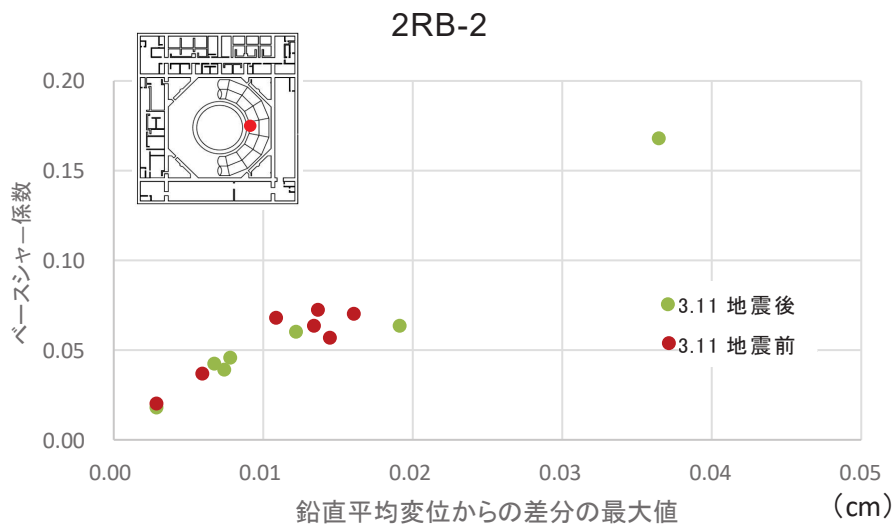
参考第 3-3 図 ベースシャー係数と鉛直変位の比較 (EW 方向)
(代表地震) (1/2)



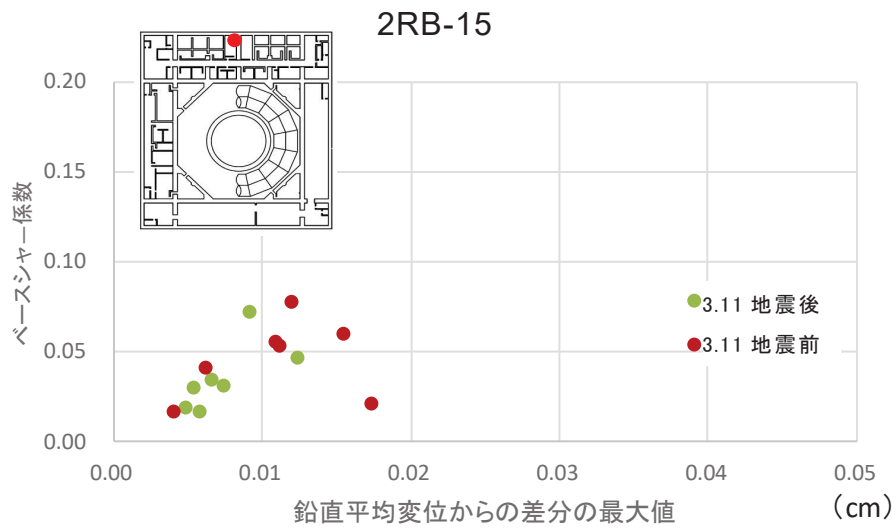
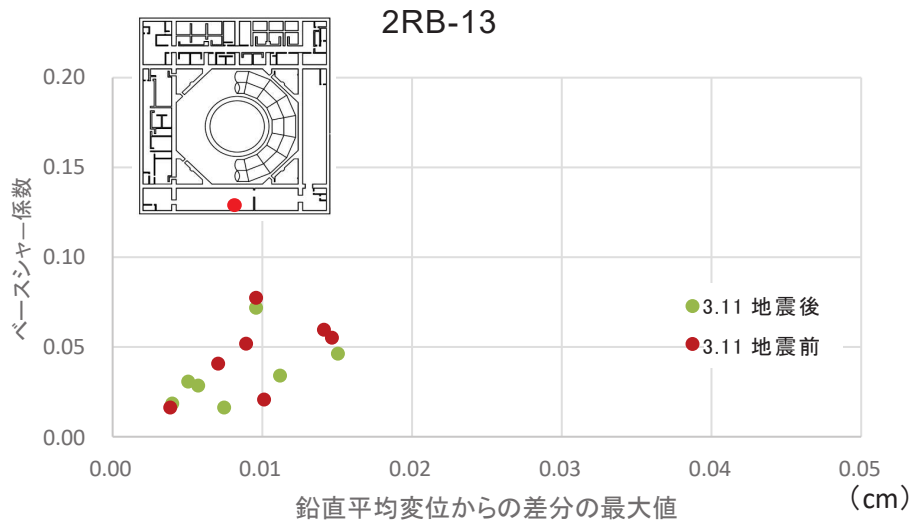
参考第 3-4 図 ベースシャー係数と鉛直変位の比較 (EW 方向)
(代表地震) (2/2)



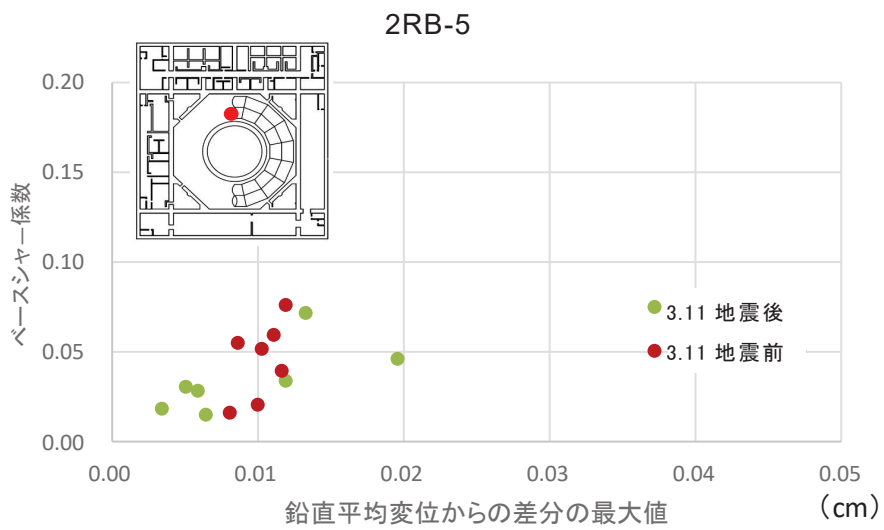
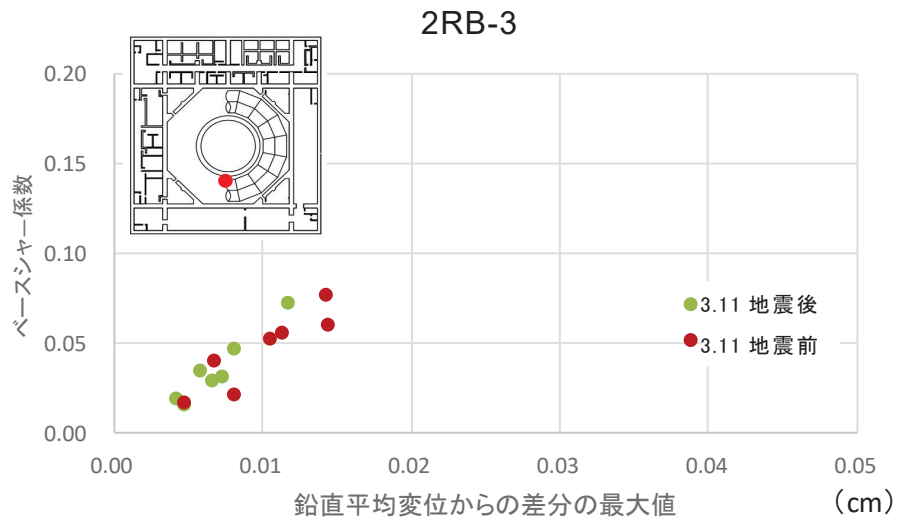
参考第 3-5 図 ベースシャー係数と鉛直変位の比較 (NS 方向)
(3.11 地震前後の中小地震) (1/2)



参考第 3-6 図 ベースシャー係数と鉛直変位の比較 (NS 方向)
(3.11 地震前後の中小地震) (2/2)



参考第 3-7 図 ベースシャー係数と鉛直変位の比較 (EW 方向)
(3.11 地震前後の中小地震) (1/2)



参考第 3-8 図 ベースシャー係数と鉛直変位の比較 (EW 方向)
(3.11 地震前後の中小地震) (2/2)