

第11回 女川原子力発電所2号機の安全性に関する検討会 説明資料の修正について

資料-4

第12回安全性検討会資料

●資料3：地震後の設備健全性確認の状況

ページ数	ご指摘内容	修正内容
P4	「特別な状態」において点検対象となる「比較的広範な機器」とはどのようなものを指すのか、表現を工夫して欲しい（長谷川副座長）	「自然災害や事故等により発電所を停止し、発電所設備全般に対して点検を実施する」旨に修正
P10、22	地震応答解析フローにおいて、裕度が比較的少ない場合に行う「詳細検討」について、具体的に記載して欲しい（長谷川副座長）	「応答解析結果の応力を用いて各部材の断面評価や3D-FEMによる評価等を実施する」旨を追記
P15、 参考資料P6	「高所・高線量エリアにおける調査は困難であるため点検を行わない」というのは言葉不足であり、それに代わる評価等を行っているのであれば記載すべき（長谷川副座長、栗田委員）	「高所・高線量エリアは、構造的に類似した部位の点検結果および解析結果を踏まえて健全性を確認する」旨を追記
P26、 P35～38	3.11地震と4.7地震の床応答スペクトルに差があることについて、その妥当性の説明を加えること（長谷川副座長）	「設定したシミュレーションモデルは、各々地震時の建屋応答を再現できている」旨を追記
P27、39	原子炉建屋の場合、終局耐力に対して妥当な裕度を有しているのは当然であるため、基準値に対して十分余裕があるのかどうかという観点での記述にした方が良い（栗田委員）	「評価基準値に対して十分小さな値である」旨に修正

●資料5：ヒューマンエラー低減に向けた対応

ページ数	ご指摘内容	修正内容
P2	今回の対策では、管理職は非常に重要なファンクションを持っていないてはならない。ヒューマンエラー対策等の管理面で適切な力量を持った方が管理職となっていることを一文追加した方が良い（鈴木委員）	「指揮監督等必要な力量を有する」旨を追記
P11 (追加)	過去にも色々な事象があり、これまでも様々な対応を行ってきたが、今までどのような部分が弱くて、どのような対策を講じてきたのか、その歴史を示してもらえると分かりやすい（長谷川副座長）	「ヒューマンエラーに係わる継続的な改善・強化の内容」について、資料を1枚追加

修正版

資料－3

第11回安全性検討会資料

女川原子力発電所2号機 地震後の設備健全性確認の状況

<(2)確認手法>(No.16,18関連)

<(7)点検・評価結果>(No.31,32,33,36関連)

平成29年3月24日
東北電力株式会社

* 当日の配布資料に対する委員
コメントを踏まえて一部修正



目 次

1. 地震後の設備点検の全体像

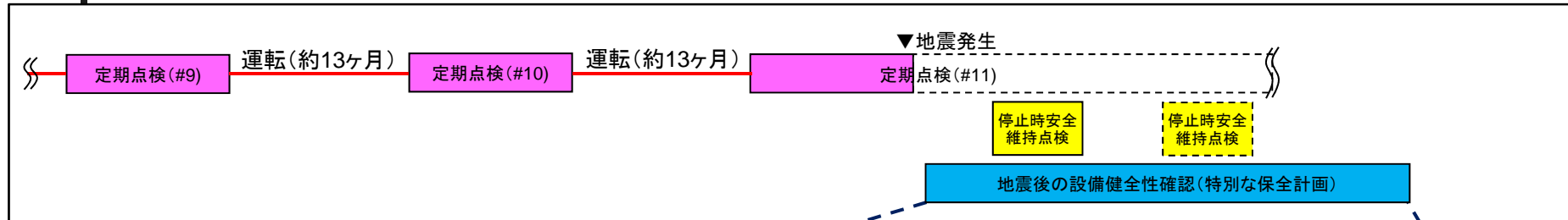
2. 機器・系統に関する健全性評価の概要

3. 建物・構築物に関する健全性評価の概要

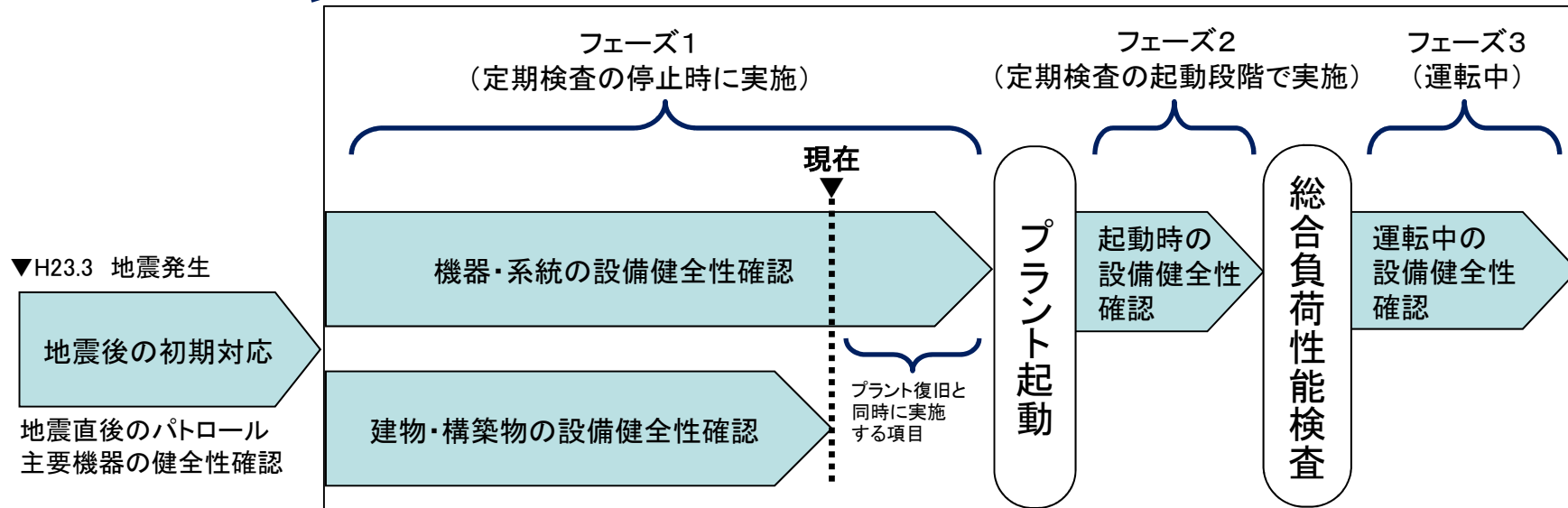
・点検結果及びシミュレーションモデルによる解析結果の概要を説明

第1回安全性検討会
説明内容の振り返り

1.1 地震後の設備点検の全体像



H23.8 保全計画書(特別な保全計画)届出



注記 フェーズ1：定期検査の停止期間中における機器・系統レベルの点検・評価
 フェーズ2：定期検査の起動段階におけるプラント全体の健全性確認
 フェーズ3：運転期間中における地震影響の継続監視(データ採取)

1. 2 地震後点検の初期対応

- 地震後の初期対応として以下の点検を実施し、地震・津波による設備への影響を早期に把握した。
- 停止時の安全確保に必要な機器の運転状態に異常はなく、健全性を確認した。

1. 地震直後のパトロール

【実施内容】

対 象： 1, 2, 3号機本館建屋, 屋外設備(開閉所, 港湾等)

パトロールの視点: 外観目視による損傷の有無確認, 運転機器の異常の有無確認

実施者: 運転員, 設備担当グループ員

2. 地震直後の主要機器の健全性確認

停止時の安全確保に必要な主要設備健全性を確認

主要機器の動作確認を実施

対 象: 安全確保に必要な機器

(非常用炉心冷却系ポンプ手動起動試験,
非常用ディーゼル発電機手動起動試験など)

その他機器など

3. 結果

地震・津波の影響による法令トラブル等の事象5件および主要設備の軽微な被害61件を確認した。(H27.7までに全61件の対応完了)

1.3 設備健全性確認に関する法令要求

* 当日の配布資料に対する
委員コメントを踏まえて修正

「**实用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則**」(以下、「**实用炉規則**」という)第81条第1項第7号(3.11地震, 4.7地震発生当時は同規則第11条第1項第7号)に基づき,

- ①原子炉の運転を相当期間停止する場合,
- ②**その他発電用原子炉施設がその保守管理を行う観点から特別な状態※1にある場合**

においては, 当該原子炉施設の状態に応じて特別な措置を講じる必要がある。

※1:「特別な状態」とは, 自然災害や事故等により発電所を停止して, 発電所設備全般に対して追加的な点検等を実施する必要がある場合。*

現行の基準地震動 S_s (580ガル)を
一部周期帯で上回る地震動を観測

特別な状態に
あると判断

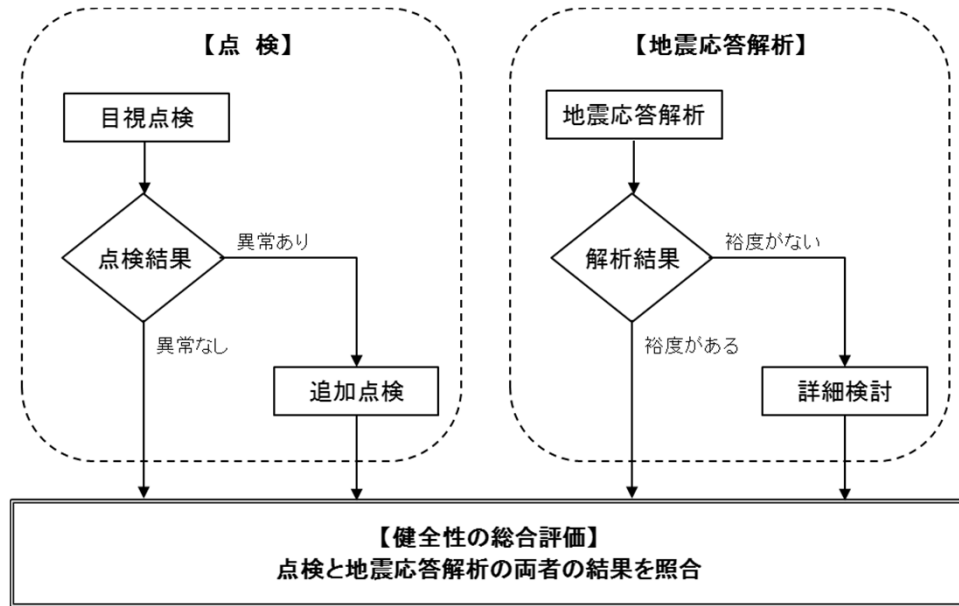


設備健全性確認の計画※2
(特別な保全計画)を策定
(H23.8保安規程届出)

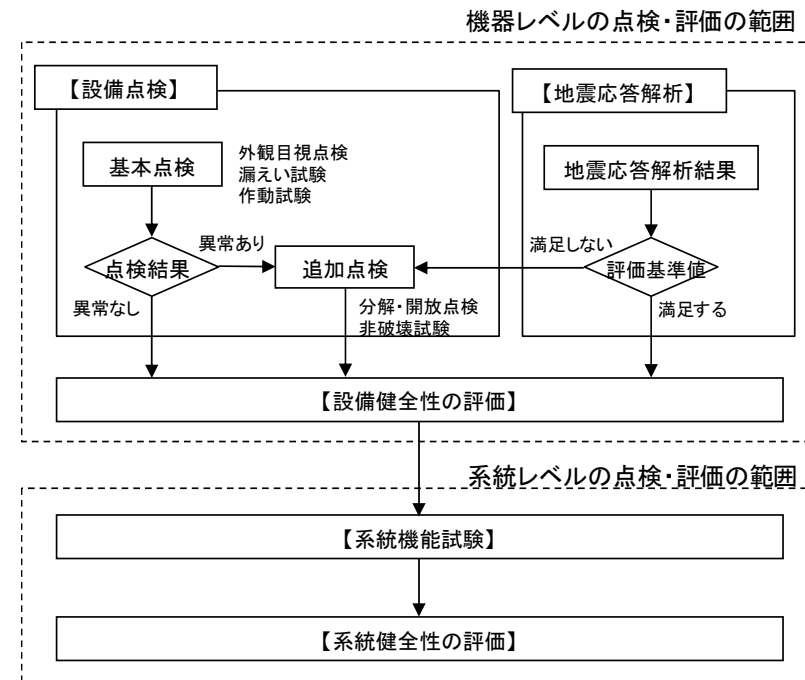
※2 設備健全性確認の結果は, 定期検査・保安検査等で確認を適宜受けていく。

1.4 地震後の設備健全性確認の全体像－1

建物・構築物



機器・系統



1.4 地震後の設備健全性確認の全体像－2

○機器・系統の設備健全性確認

【対象】

- 全設備(事務所, 点検工具等除く)

【内容】

- 各設備が受けた地震による影響を外観目視点検, 漏えい試験, 作動試験等により確認。
- 本地震の観測波に基づく設備の解析的な評価を実施。
- 系統試験を実施し, 系統全体の機能が正常に発揮されることを評価。

○建物・構築物の設備健全性確認

【対象】

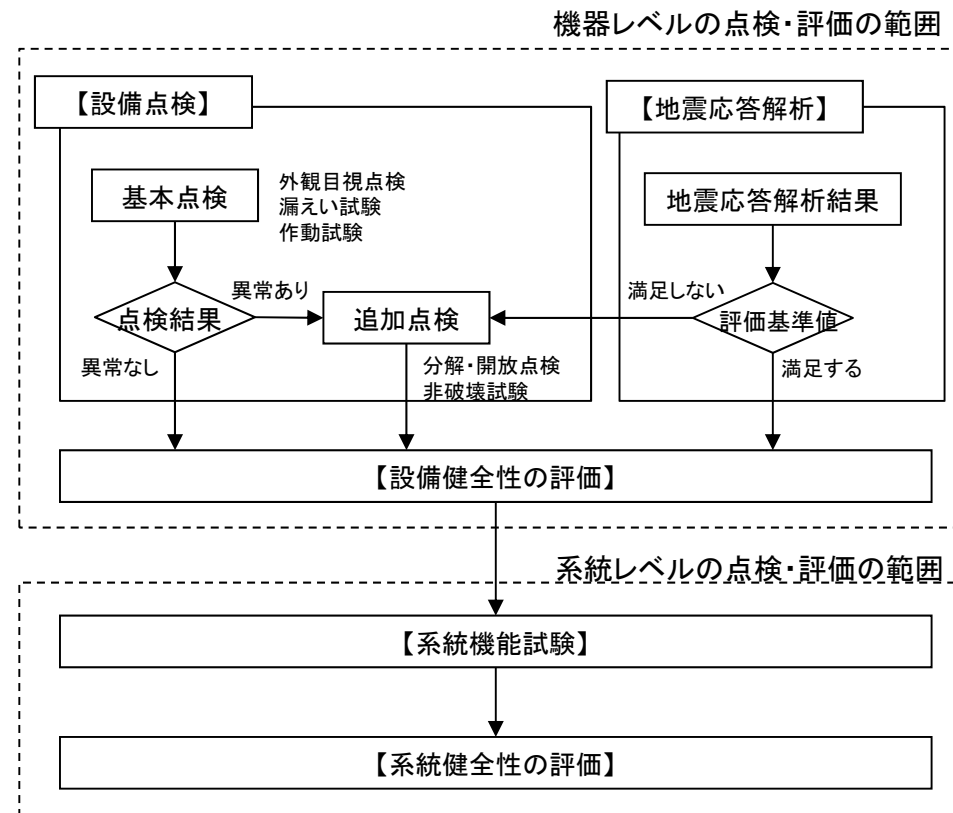
- 発電所の施設として, 建設時の工事計画書本文に記載のある建物・構築物
(例: 原子炉建屋, 制御建屋)
- 重要度の高い建物・構築物
(例: 海水ポンプ室, 原子炉補機冷却海水系取水路)

【内容】

- 建物・構築物が受けた地震による影響を目視点検により確認。
- 本地震による地震応答解析を実施

2.1 機器・システムに関する設備健全性評価の概要

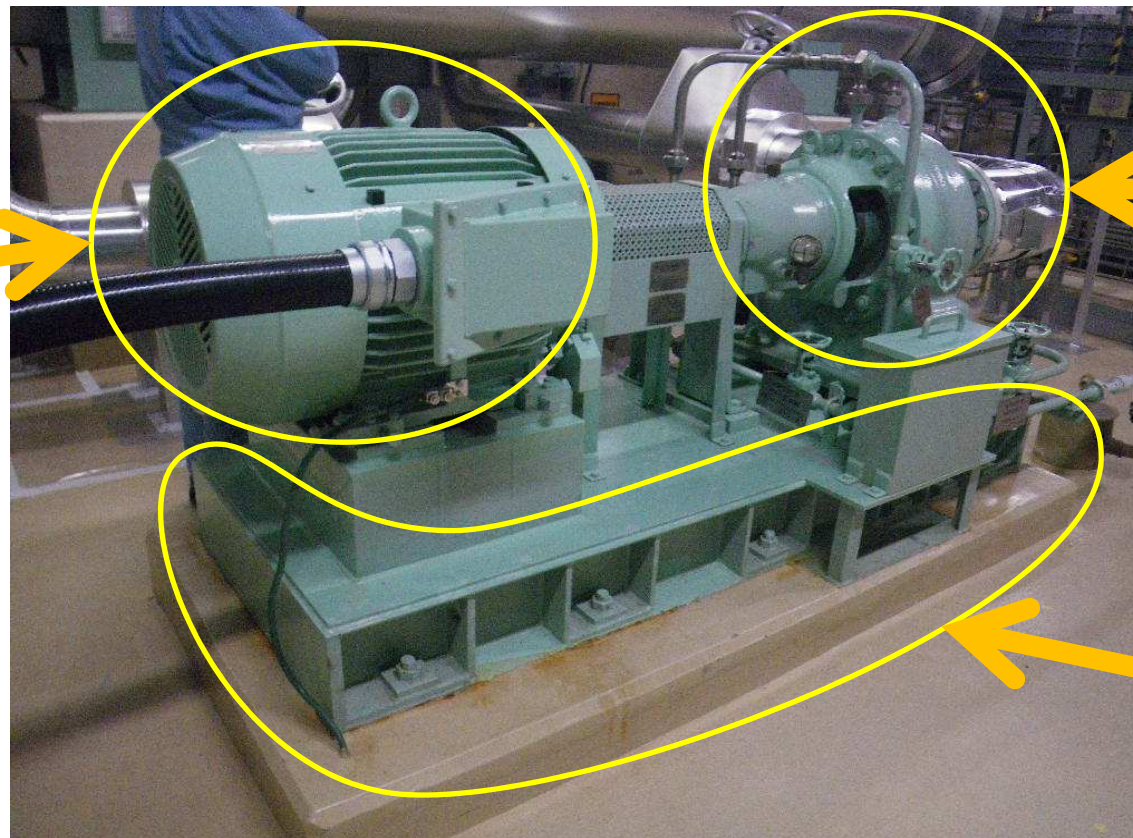
- 安全上重要な機器については、設備点検と地震応答解析を実施し、両者の結果を照合して健全性の評価を行う。
- 基本点検で異常が確認された場合、あるいは地震応答解析で評価基準値を満足しない場合は追加点検を行う。
- 設備の健全性評価後、系統単位による機能試験を実施し、系統の健全性の評価を行う。



2.2 設備点検(基本点検)

基本点検においては、各設備の種類や設置方法等によって、地震時に想定される損傷の形態が異なることから、「原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601)」を参考に、地震による機能・構造への影響が類似していると考えられる機種(54機種:付録2)に分類し、機器単位の地震の損傷要因モードに対応した点検を実施。

電動機
(外観目視,
絶縁抵抗測定,
運転確認等)



ポンプ
(外観目視,
手廻し,
運転確認,
漏えい確認等)

基礎部
(ボルト頂部外観
目視, 打診,
基礎コンクリート
外観目視等)

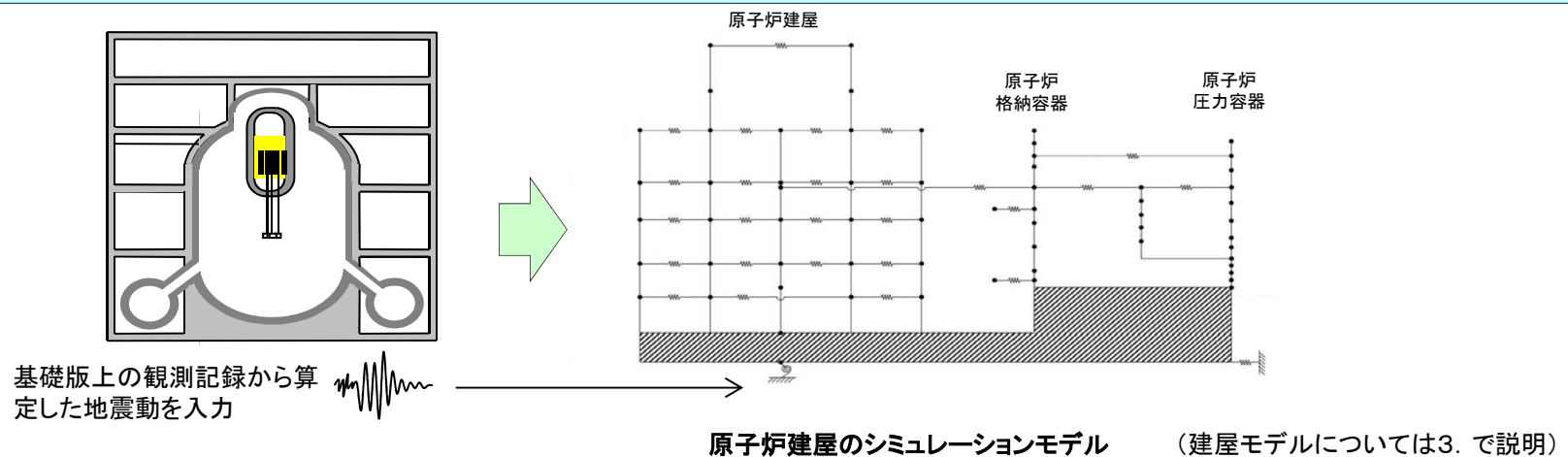
横型ポンプの例

2.3 地震応答解析の概要

3.11地震および4.7地震における地震観測記録

地震時の建屋応答の再現解析(シミュレーションモデルの作成)

原子炉建屋・大型機器(原子炉压力容器, 原子炉格納容器等)の地震応答解析



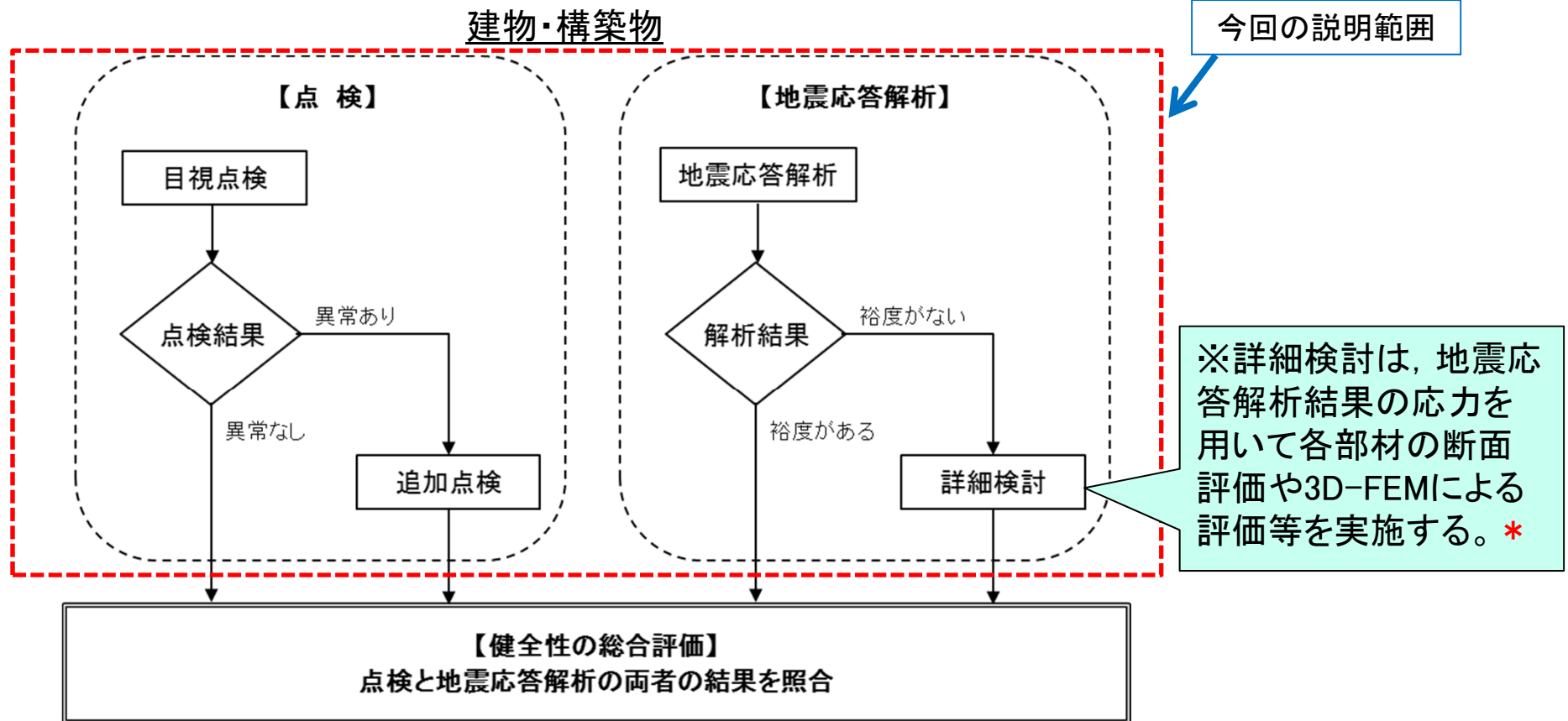
設備への影響評価

- 構造強度評価 (疲労評価含む)
地震により作用する力によって設備が損傷しないことを確認する。
- 動的機能維持評価
地震時, 地震後に作動しなければならない設備が動作可能であったことを確認する。

3. 建物・構築物に関する健全性評価の概要

* 当日の配布資料に対する
委員コメントを踏まえて修正

- 安全上重要な建物・構築物については、点検と地震応答解析を実施し、両者の結果を照合して健全性の総合評価を行う。
- 目視点検で異常が確認された場合には、追加点検を行う。
- 地震応答解析結果において裕度がない場合は、詳細検討を行う。



点検計画および点検結果等の妥当性について、第三者機関で確認を実施

3. 建物・構築物に関する健全性評価の概要

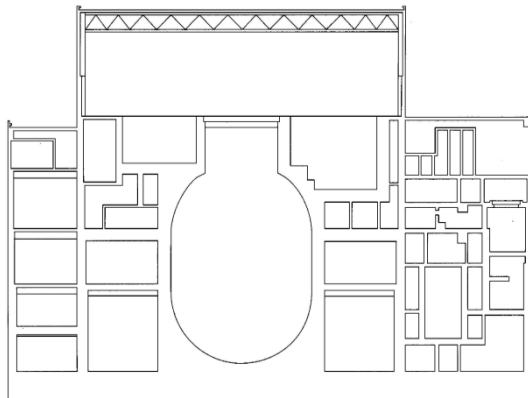
 : 今回の説明対象

➤ 点検対象

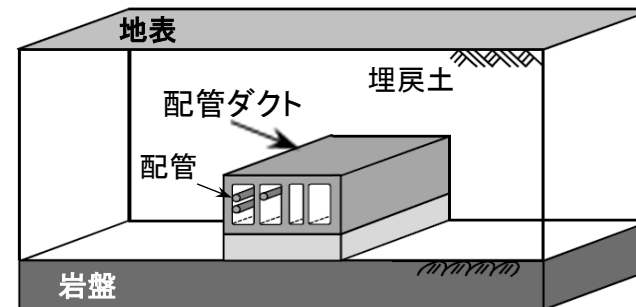
建 物	構 築 物
<ul style="list-style-type: none"> ・生体遮へい装置 (原子炉建屋, タービン建屋, 制御建屋) ・原子炉格納施設(原子炉建屋) ・堰その他の設備 	<ul style="list-style-type: none"> ・排気筒(基礎を含む) ・非常用ガス処理系配管ダクト ・原子炉補機冷却海水系配管ダクト ・海水ポンプ室 ・原子炉補機冷却海水系取水路

➤ 判定基準

構造形式	判定基準
鉄筋コンクリート構造	<ul style="list-style-type: none"> ・遮へい性能に影響を与える断面欠損がないこと ・構造上問題となるひび割れ, 剥離, 剥落がないこと ・耐漏えい性能に影響を与えるひび割れがないこと
鉄骨構造	<ul style="list-style-type: none"> ・構造上問題となる変状(変形・座屈等)がないこと



原子炉建屋(断面)



3. 建物・構築物に関する健全性評価の概要

➤ 健全性の総合評価に関する考え方

- ✓ 安全上重要な建物・構築物については地震応答解析を実施。
- ✓ 地震後の健全性は、点検による評価および地震応答解析の結果に基づく構造評価の双方から行う。

点検と地震応答解析による総合評価

		点検による評価	
		異常なし	異常あり
地震応答解析の結果に基づく構造評価	余裕がある	評価終了 (異常なし)	<ul style="list-style-type: none"> ・損傷の原因究明 ・損傷の健全性への影響を評価
	余裕がない	下記検討を実施 ・より詳細な追加解析 ・モックアップ試験等	



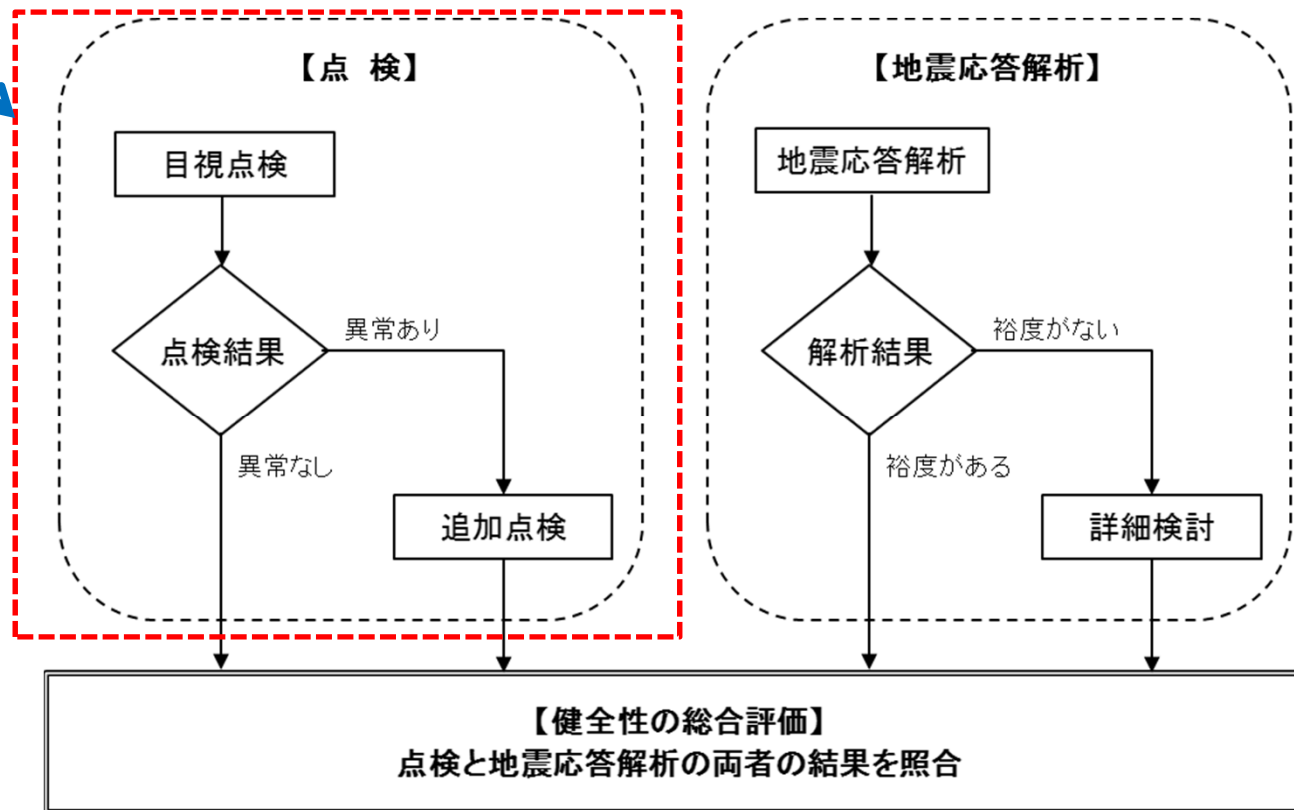
地震後点検評価の概要

3. 建物・構築物に関する健全性評価の概要

3.1 原子炉建屋の地震後点検評価の概要

こちらの説明

建物・構築物



3. 建物・構築物に関する健全性評価の概要

* 当日の配布資料に対する
委員コメントを踏まえて修正

3.1 原子炉建屋の地震後点検評価の概要

原子炉建屋の鉄筋コンクリート躯体に関する点検方法および判定基準

- 鉄筋コンクリート構造物への地震の影響については、ひび割れおよび剥離・剥落が想定され、外観の確認が有効であると考えられるため、目視点検を主体とした点検を実施した。
- 追加点検の判断の目安を下表に示す。
- 「基本的な考え方」に従い、作業員被ばく低減または人身安全等の観点から、高所および高線量エリアの点検は行わないものの、構造的に類似した部位の点検結果および解析結果を踏まえて健全性を確認する。*
- 一方、建屋内部の3階(上部)については、建設時の仮設材が壁面を覆いコンクリート躯体の確認が行えないことから、外壁に足場を設け、外壁塗膜を除去した上で点検を実施した。

点検・評価計画書(建物・構築物編)の「判定基準例一覧」

点検対象	判定基準
生体遮へい装置 (原子炉建屋, タービン建屋, 制御建屋)	・遮へい性能に影響を与える断面欠損がないこと
原子炉格納施設 (原子炉建屋)	・構造上問題となるひび割れがないこと (幅1.0mm以上のひび割れがないこと※) ・構造上問題となる剥離・剥落がないこと

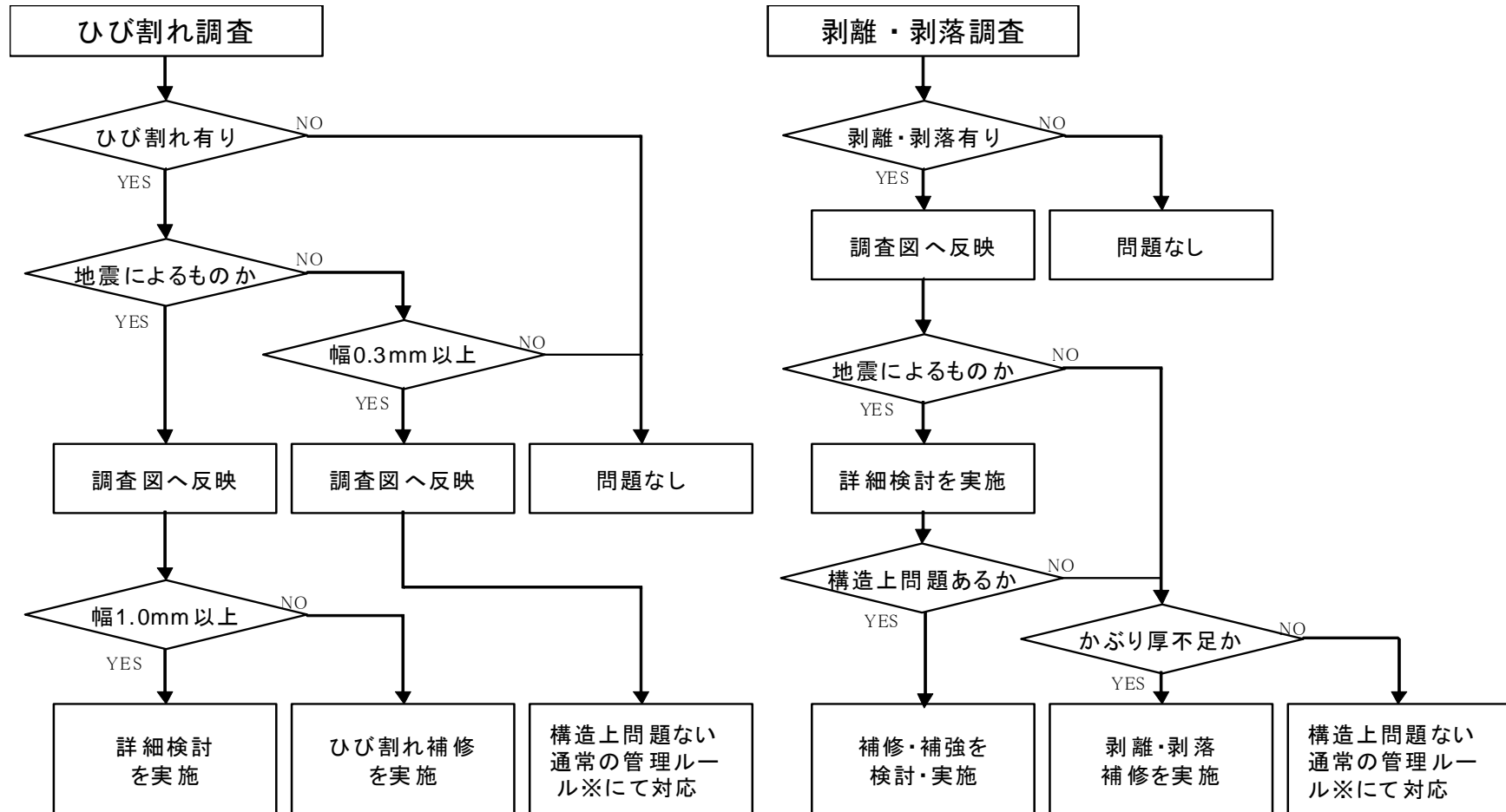
※ EPRI(米国電力研究所) NP-6695 Guidelines for Nuclear Plant Response to an Earthquakeにおける以下の記載等を参考に設定。

- ① 幅0.06インチ(約1.5mm)を超えて新しく地震によって生じたひび割れ, コンクリートの剥離, 目視で確認できるフレームの変形を重大な損傷とする。(0.06インチ以上のコンクリートひび割れは鉄筋の降伏を示している)
- ② コンクリート構造物のわずかなヘアークラックのような微細なひび割れは重要な被害ではない。

3. 建物・構築物に関する健全性評価の概要

3.1 原子炉建屋の地震後点検評価の概要

➤ 原子炉建屋の耐震壁(巻末参考資料P.41参照)の点検に基づく評価は、以下に示す流れで実施している。

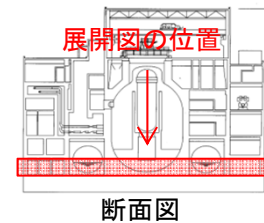
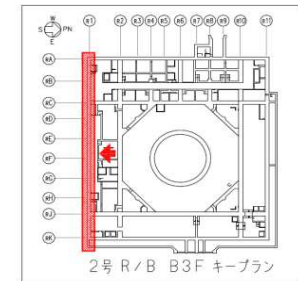
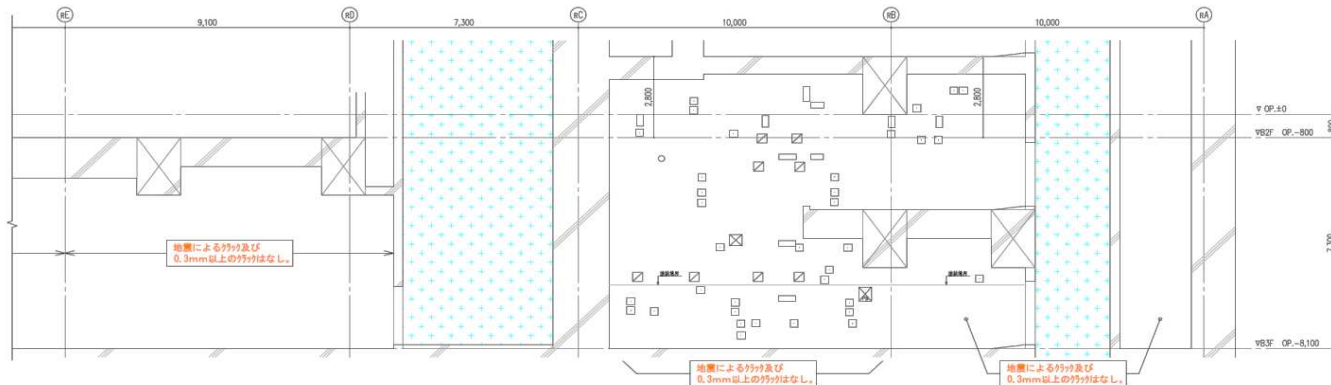
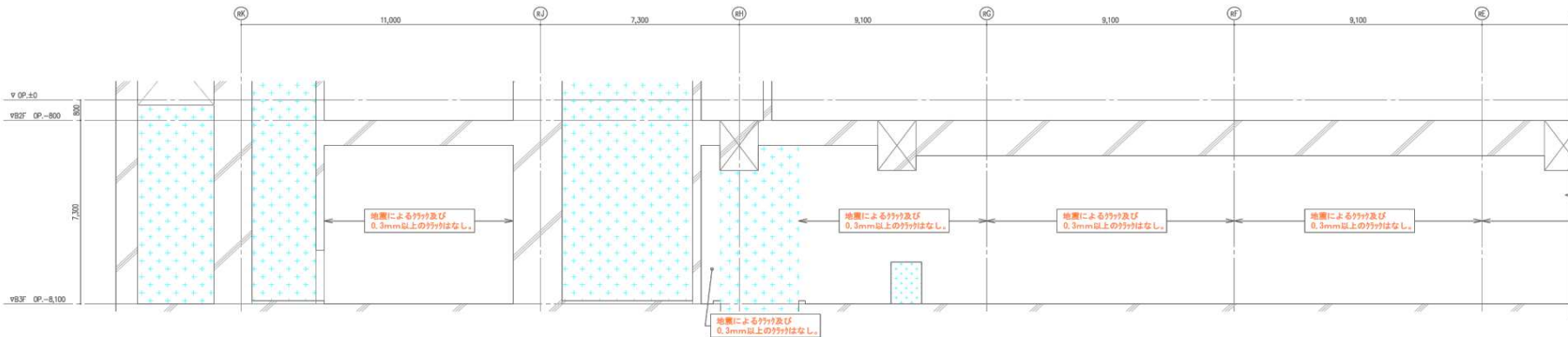


※発電所ひび割れ管理・補修要領などの社内マニュアルによる。
学協会等の指針等を参照し、0.3mm以上のひび割れを目安として調査図に反映することとしている。

3. 建物・構築物に関する健全性評価の概要

3.2 地震後点検結果の概要(2号炉原子炉建屋 地下3階の例)

点検の結果、ひび割れはほとんど認められず、追加調査の目安となる、地震により生じた幅1.0mm以上のひび割れは確認されなかった。

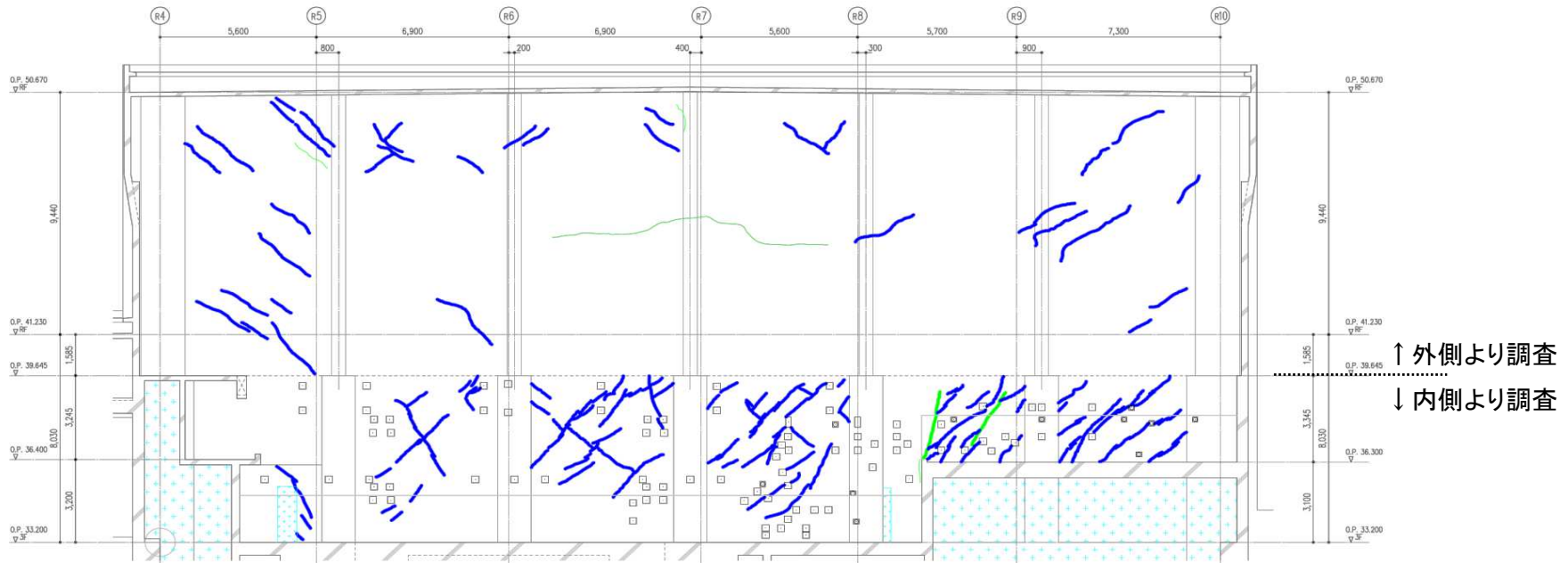


地震による		地震以外		
—	0.3mm未満	—	0.3mm以上～1.0mm未満	幅未確認
—	0.3mm以上～1.0mm未満	—	1.0mm以上	はくらく
—	1.0mm以上	+	確認不能の範囲	

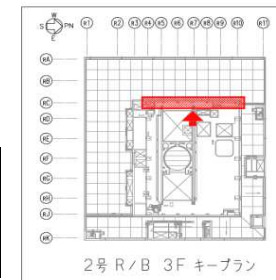
3. 建物・構築物に関する健全性評価の概要

3.2 地震後点検結果の概要(2号炉原子炉建屋 地上3階の例)

点検の結果, 0.3mm未満の微小なひび割れは比較的多く認められたが, 追加調査の目安となる, 地震により生じた幅1.0mm以上のひび割れは確認されなかった。

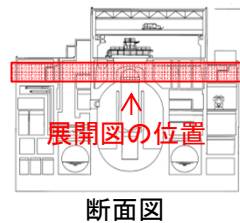
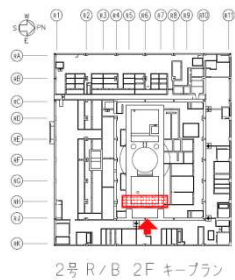
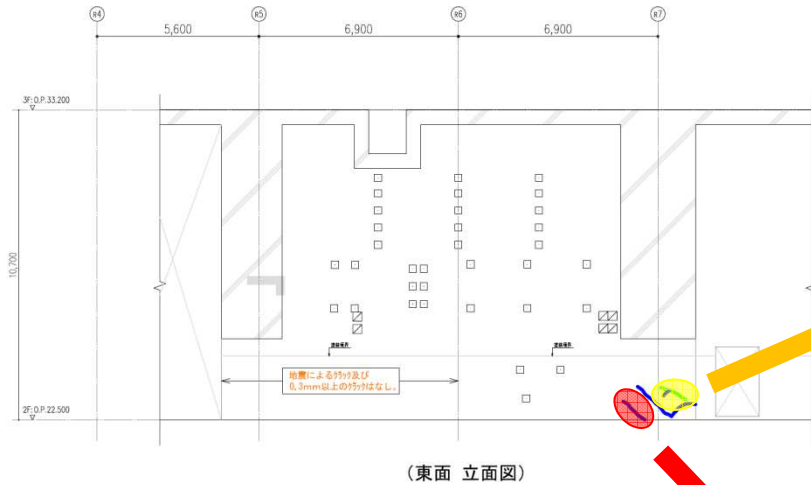


地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上~1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上~1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲



3. 建物・構築物に関する健全性評価の概要

3.2 地震後点検結果の概要(2号炉原子炉建屋 地上2階の例)



地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上~1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上~1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲



3. 建物・構築物に関する健全性評価の概要

3.2 地震後点検結果の概要(2号炉原子炉建屋)

- 点検の結果, 3階(オペフロ階)に比較的多くの微小なひび割れが認められた。
- 但し, 全ての階において, 追加調査の目安となる, 地震により生じた幅1.0mm以上のひび割れは確認されなかった。

当該地震により発生したことが否定できないひび割れ及び剥離・剥落(耐震壁)

部位	ひび割れ箇所数 (延べ長さ [m]) ※ ¹			基準値	剥離・剥落※ ²
	W<0.3	0.3≦W<1.0	1.0≦W		
3階 (O. P. 33.2m)	699 (852.9)	35 (68.6)	0 (0.0)	1.0mm	0
2階 (O. P. 22.5m)	139 (127.5)	15 (18.8)	0 (0.0)		7 (0.03)
1階 (O. P. 15.0m)	37 (41.7)	7 (6.6)	0 (0.0)		0
地下1階 (O. P. 6.0m)	82 (72.7)	12 (17.8)	0 (0.0)		0
地下2階 (O. P. -0.8m)	76 (64.7)	7 (9.1)	0 (0.0)		0
地下3階 (O. P. -8.1m)	13 (12.6)	8 (5.8)	0 (0.0)		0

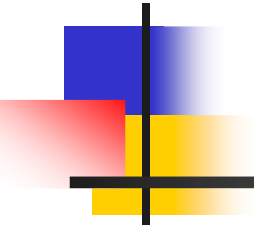
合計1130箇所

※¹ ひび割れ凡例 W:ひび割れ幅(mm)
 ※² 剥離・剥落の凡例 箇所数(延べ面積(m²))

ひび割れについては、
既に順次補修している

幅1.0mm以上の
ひび割れはない

点検結果からは構造
上の問題はない

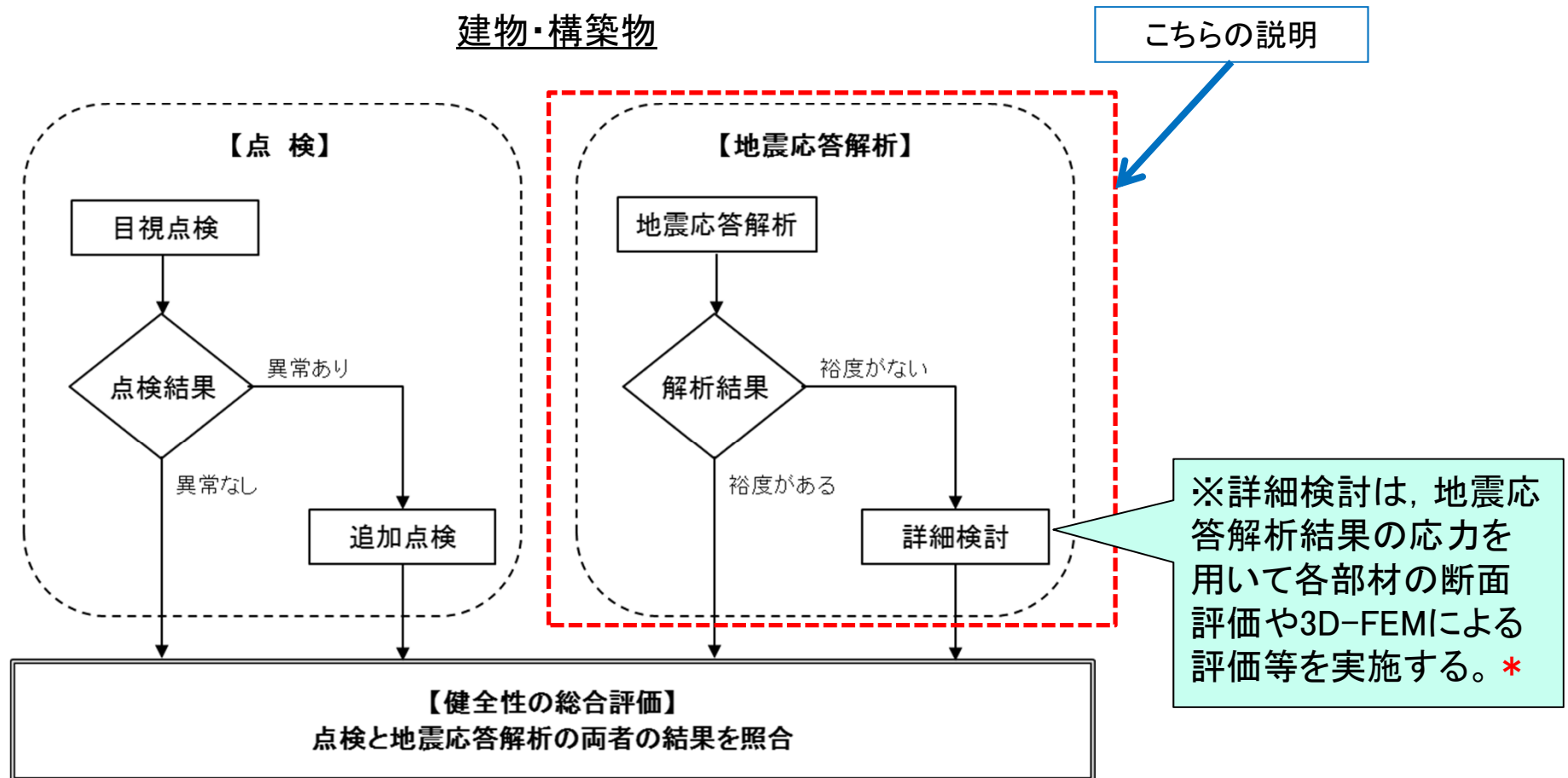


地震応答解析の概要

3. 建物・構築物に関する健全性評価の概要

* 当日の配布資料に対する
委員コメントを踏まえて修正

3.3 東北地方太平洋沖地震等の地震観測に基づく原子炉建屋の地震応答解析の概要



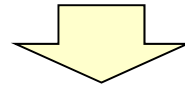
3. 建物・構築物に関する健全性評価の概要

3.3 東北地方太平洋沖地震等の地震観測に基づく原子炉建屋の地震応答解析の概要

- 3.11地震, 4.7地震に対する2号炉原子炉建屋の解析的検討は, 以下の手順で実施。

シミュレーションモデルによる検討

- ・地震観測記録の再現解析のために, 解析結果と観測記録との整合性を確認しながら解析モデルを最適化(パラメータを調整)することでシミュレーションモデルを構築。
- ・構築したモデルによる地震応答解析より得られた応力を用い, 耐震壁が概ね弾性範囲^{※1}であったことを確認。



詳細検討

3階から上部については, シミュレーション解析から得られた応答値に対し, 弾性限耐力^{※2}の裕度が比較的少ないため, 詳細検討も実施し, 健全性の確認を行った。

※1: 力と変形の関係が比例関係にあり, 力の解放後には変形が残らずもとに戻ることが出来る範囲

※2: 鉄筋(設計配筋量)のみで負担できる弾性範囲の耐力で, 短期許容応力度($P_w \times \sigma_y$)から算定

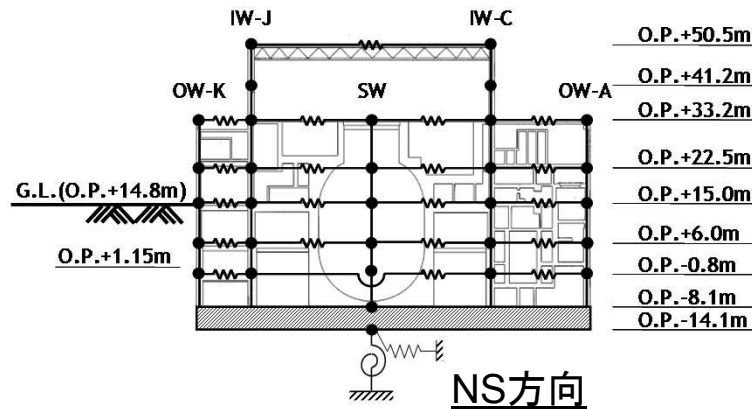
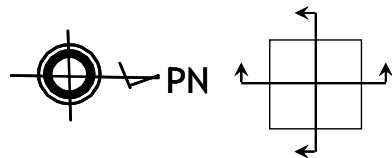
本資料では詳細検討の記載は省略

3. 建物・構築物に関する健全性評価の概要

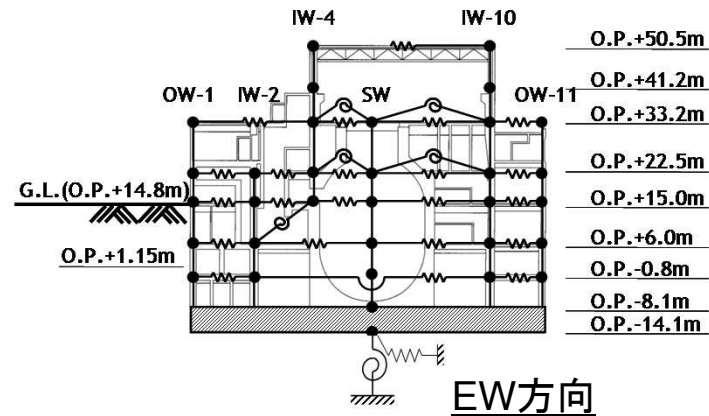
3.3 東北地方太平洋沖地震等の地震観測に基づく原子炉建屋の地震応答解析の概要

・シミュレーションモデルを用いた応答評価(解析モデル)

観測記録と整合するシミュレーションモデルを作成し、その応答結果に基づいた建屋の健全性評価を実施した。
従来よりも固有振動数が低下していることから、剛性を補正した。



コンクリートの物性値(設計値)
 設計基準強度: 32.4N/mm² (330kgf/cm²)
 ヤング係数: 2.65 × 10⁴N/mm² (2.70 × 10⁶tf/m²)
 せん断弾性係数: 1.14 × 10⁴N/mm² (1.16 × 10⁶tf/m²)



号炉 建屋	地震	方向	コンクリート壁の初期剛性の設計値に対する補正係数※ (観測記録と整合する等価な剛性)		建屋の 減衰定数
			3階	地下3階～2階	
2号炉 原子炉 建屋	3.11 4.7	NS (南北)	0.3	0.75	0.07
		EW (東西)	0.5	0.80	0.07

※コンクリート壁の初期剛性の設計値に対する補正係数は、観測記録との整合を確認しながら設定している。(補正係数の設定方法は、次ページ参照)

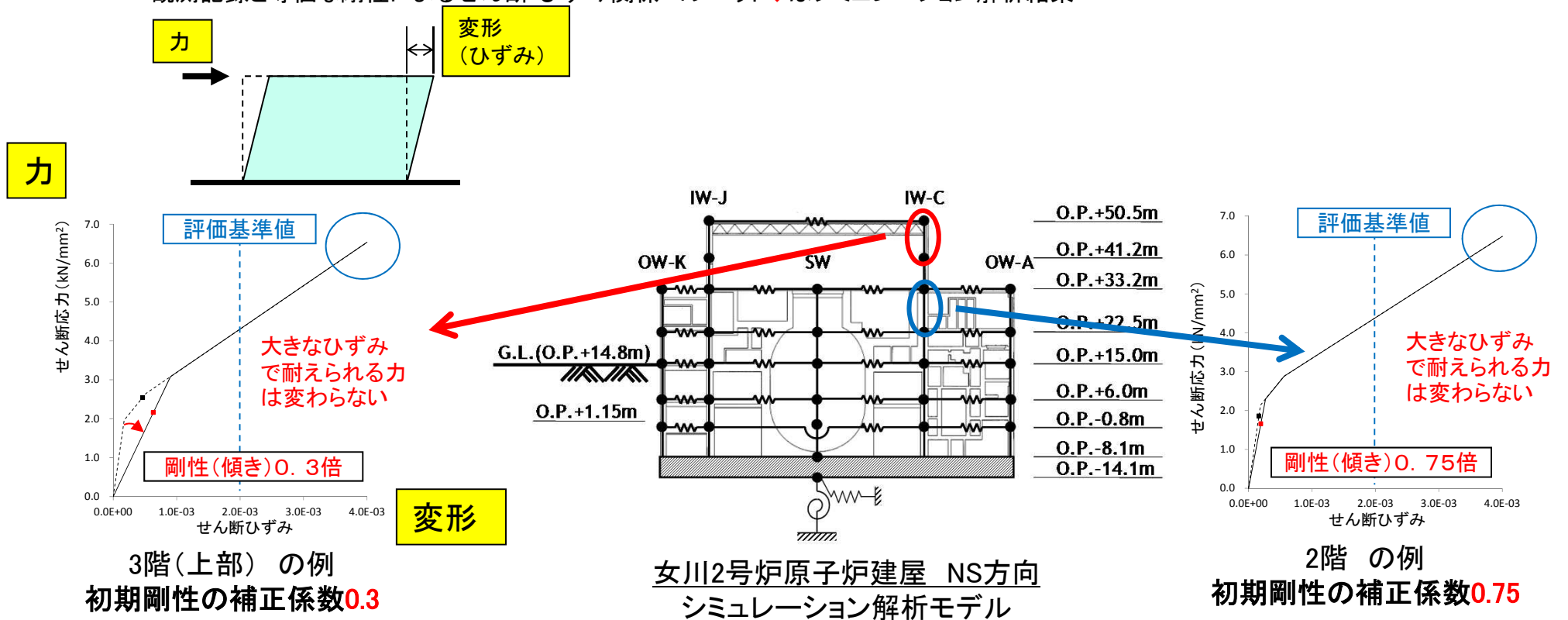
3. 建物・構築物に関する健全性評価の概要

3.3 東北地方太平洋沖地震等の地震観測に基づく原子炉建屋の地震応答解析の概要

・シミュレーション解析の耐震壁の補正係数の設定について (力(せん断力)-変形(ひずみ)関係の設定の考え方)

- 観測記録と整合するように耐震壁のせん断力-ひずみ関係を表す骨格曲線(復元力特性)のはじめの勾配(初期剛性)を設計値から下図のように低減し設定した。

----- 設計値の剛性によるせん断力-ひずみ関係 : プロット■は元のモデルによる基礎版上記録を用いた解析結果
 ———— 観測記録と等価な剛性によるせん断-ひずみ関係 : プロット◆はシミュレーション解析結果



女川2号炉原子炉建屋 NS方向 せん断力-ひずみ関係の比較 3.11地震

3. 建物・構築物に関する健全性評価の概要

* 当日の配布資料に対する
委員コメントを踏まえて修正

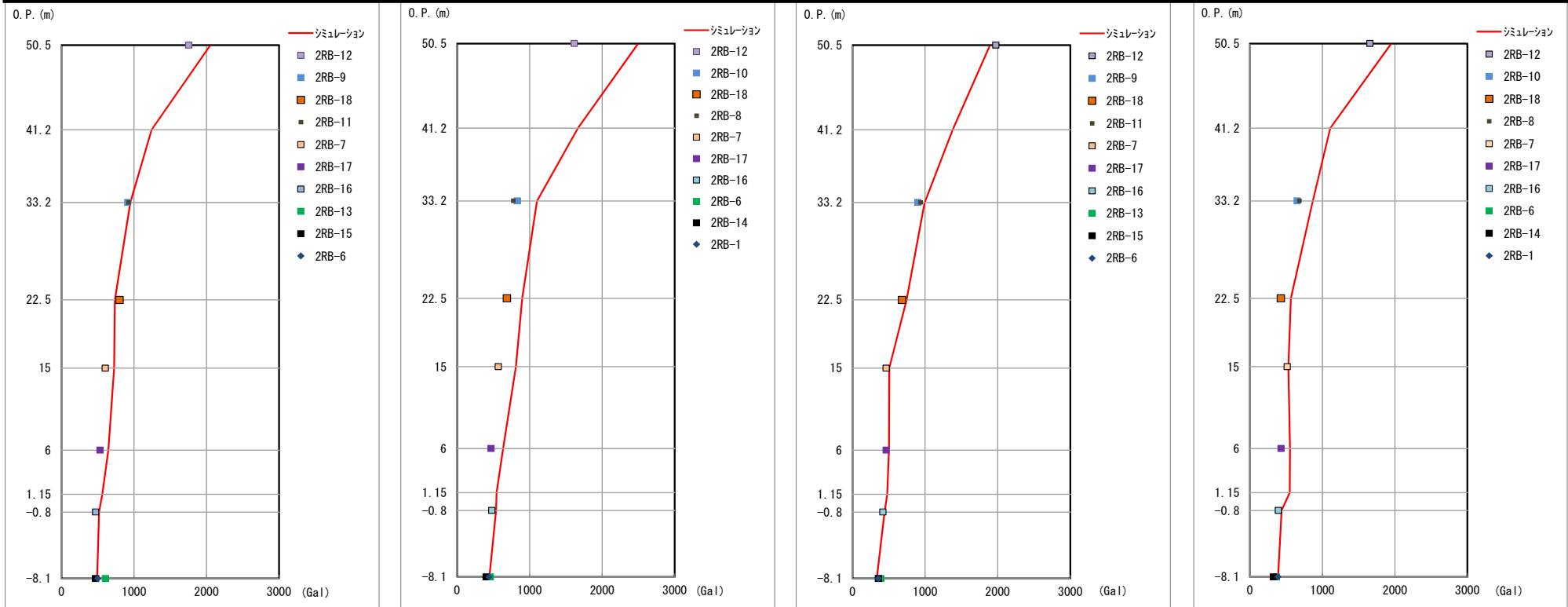
3.3 東北地方太平洋沖地震等の地震観測に基づく原子炉建屋の地震応答解析の概要

・シミュレーションモデルを用いた解析結果

■ 女川2号炉原子炉建屋の最大加速度分布の比較

解析結果と観測記録の整合性の確認結果

解析結果の最大加速度分布は、3.11地震および4.7地震とも概ね各階の観測記録の傾向を捉えており、設定したシミュレーションモデルは地震時の建屋応答を再現できている。*



NS方向
EW方向
女川2号炉原子炉建屋 3.11地震
最大加速度分布の比較

NS方向
EW方向
女川2号炉原子炉建屋 4.7地震
最大加速度分布の比較

※シミュレーションの最大加速度分布は各階の最大値としている。

※地震計位置は別紙1参照。

3. 建物・構築物に関する健全性評価の概要

* 当日の配布資料に対する
委員コメントを踏まえて修正

3.3 東北地方太平洋沖地震等の地震観測に基づく原子炉建屋の地震応答解析の概要

・シミュレーションモデルを用いた解析結果

■ 女川2号炉原子炉建屋 耐震壁の最大応答せん断ひずみ

今回の地震による耐震壁の応答は、3階より下部は最大応答せん断ひずみは $0.2 \sim 0.3 \times 10^{-3}$ であった。3階でひずみが大きくなるが、機能保持限界との対応も考慮された評価基準値 2.0×10^{-3} に対して十分小さな応答であることを確認した。*

原子炉建屋耐震壁の最大応答せん断ひずみ

		シミュレーション解析結果		評価基準値
		最大応答せん断ひずみ	部位 (P24図面参照)	
3.11地震	NS(南北)方向	0.63×10^{-3}	IW-C 3階上部	2.0×10^{-3}
	EW(東西)方向	0.50×10^{-3}	IW-4 3階	
4.7地震	NS方向	0.62×10^{-3}	IW-C 3階上部	
	EW方向	0.32×10^{-3}	IW-4 3階	

※各耐震壁のせん断骨格曲線上での応答値は別紙1参照
評価基準値は、JEAG(電気技術指針:原子力発電所耐震設計技術指針)による

3. 建物・構築物に関する健全性評価の概要

3.3 東北地方太平洋沖地震等の地震観測に基づく原子炉建屋の地震応答解析の概要

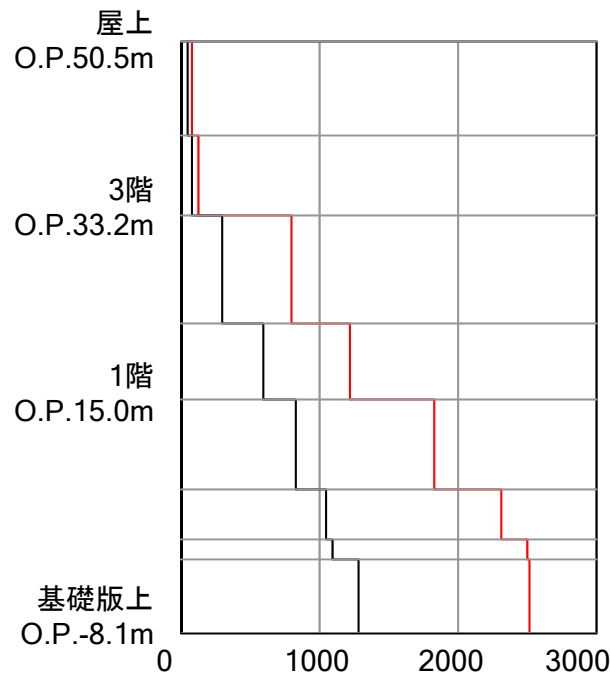
・シミュレーションモデルを用いた解析結果(3.11地震)

■ 女川2号炉原子炉建屋 各階の層せん断力

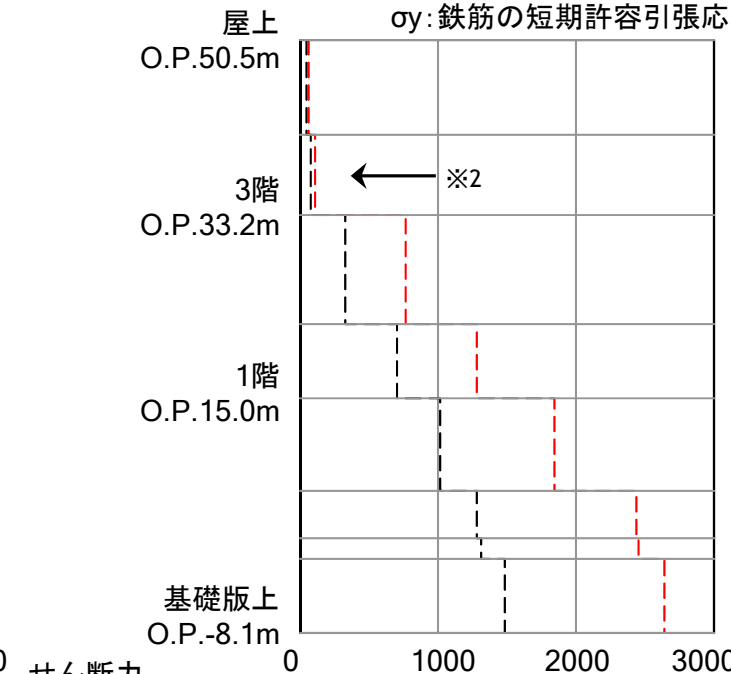
耐震壁の応答は、オペフロ上部でひずみが大きくなるが、各階の層せん断力は弾性限耐力^{※1}以下であり、鉄筋については弾性範囲であることを確認している。

なお、オペフロ上部については比較的裕度が小さいことから、断面検討や3次元FEM解析による詳細検討も実施し、鉄筋については弾性範囲であることを確認している(本資料では記載を省略)。

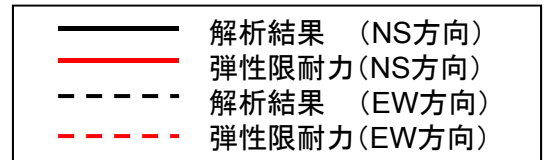
※1 弾性限耐力:鉄筋(設計配筋量)のみで負担できる短期許容応力度($P_w \times \sigma_y$)から算定
 P_w :せん断力を負担する耐震壁の鉄筋比
 σ_y :鉄筋の短期許容引張応力度



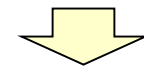
3.11地震 NS方向



3.11地震 EW方向



赤線の弾性限耐力が
黒線の解析結果を上
回っている



鉄筋は弾性範囲

※2 比率(各階の層せん断力/弾性限耐力)の最大値:0.72(EW方向)
→約3割の余裕がある

3. 建物・構築物に関する健全性評価の概要

3.3 東北地方太平洋沖地震等の地震観測に基づく原子炉建屋の地震応答解析の概要

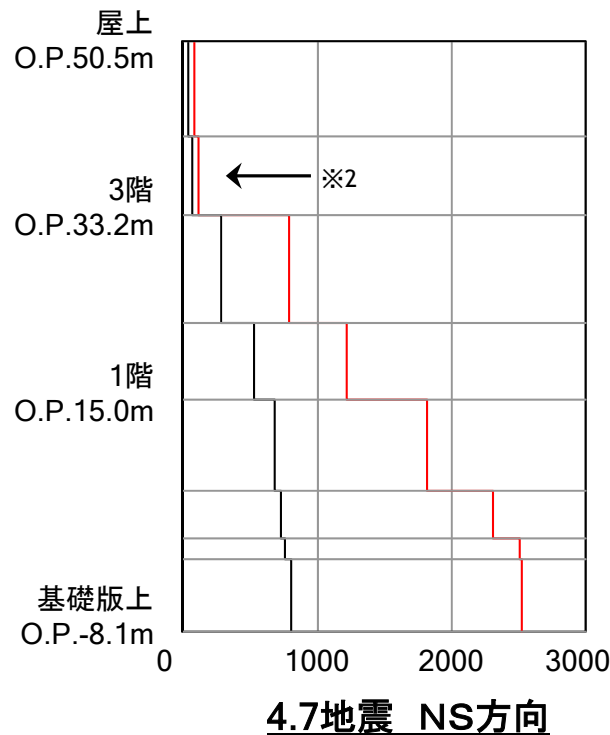
・シミュレーションモデルを用いた解析結果(4.7地震)

■ 女川2号炉原子炉建屋 各階の層せん断力

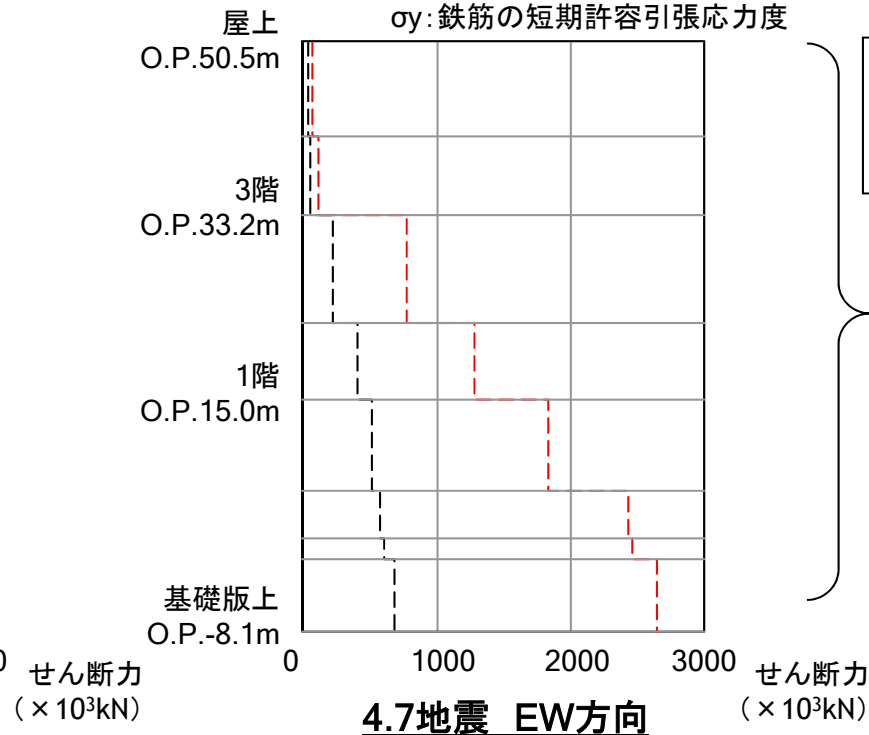
耐震壁の応答は、オペフロ上部でひずみが大きくなるが、各階の層せん断力は弾性限耐力^{※1}以下であり、鉄筋については弾性範囲であることを確認している。

なお、オペフロ上部については比較的裕度が小さいことから、断面検討や3次元FEM解析による詳細検討も実施し、鉄筋については弾性範囲であることを確認している(本資料では記載を省略)。

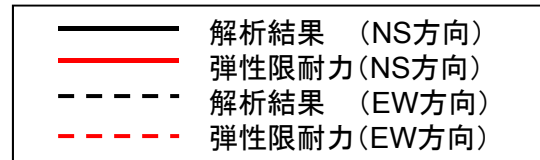
※1 弾性限耐力:鉄筋(設計配筋量)のみで負担できる短期許容応力度($P_w \times \sigma_y$)から算定
 P_w :せん断力を負担する耐震壁の鉄筋比
 σ_y :鉄筋の短期許容引張応力度



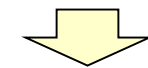
4.7地震 NS方向



4.7地震 EW方向



赤線の弾性限耐力が
黒線の解析結果を上
回っている



鉄筋は弾性範囲

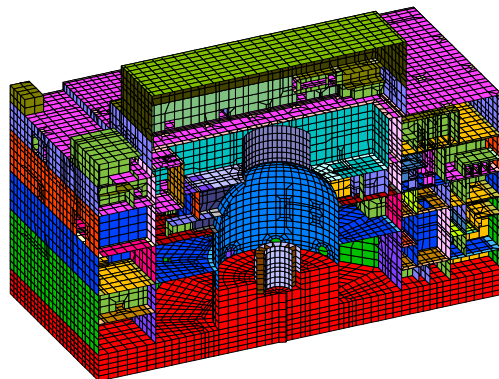
※2 比率(各階の層せん断力/弾性限耐力)の最大値:0.60(NS方向)
→約4割の余裕がある

3. 建物・構築物に関する健全性評価の概要

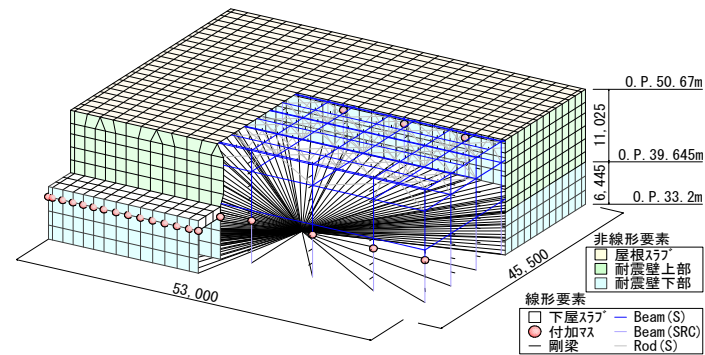
3.4 その他の地震応答解析にかかわる検討内容

【原子炉建屋の健全性に関わるその他の検討内容】

- 3次元FEM(有限要素法)による建屋応答解析結果と地震後点検の結果との対応なども含めた詳細な評価
- 建屋3階の健全性についての3次元FEM非線形解析
- 初期剛性低下の要因分析
- 初期剛性低下が耐力に影響を与えないことの確認(実験)

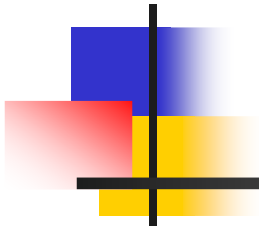


原子炉建屋
建屋全体3次元FEM解析



原子炉建屋3階
3次元FEM非線形解析

原子炉建屋の健全性評価のまとめ (経過報告)



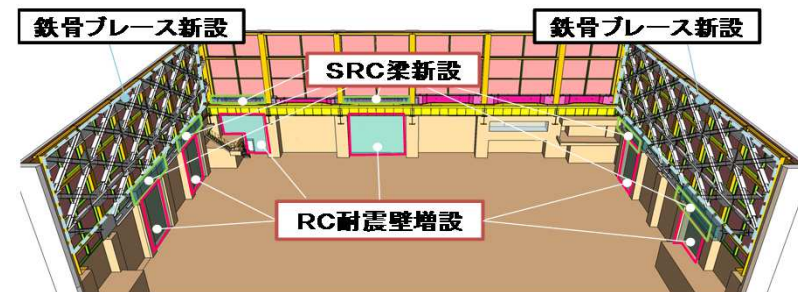
3. 建物・構築物に関する健全性評価の概要

3.5 原子炉建屋の健全性評価のまとめ(経過報告)

【原子炉建屋の健全性について】

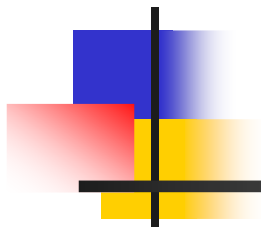
- 地震後点検の結果、建屋の耐震壁にはひび割れの発生が認められたものの**構造上問題となるひび割れは生じていなかった**。
- シミュレーション解析の結果から、建屋の固有振動数が低下しているが耐震壁の鉄筋は弾性範囲にあり健全であることが確認された。従って、**建屋は「概ね弾性範囲」であった**。

今後、本安全性検討会において、詳細な評価結果を説明するとともに、地震後の建屋の状態を反映し、さらに耐震裕度向上工事も含めて基準地震動 S_s に対する耐震安全性について説明する。



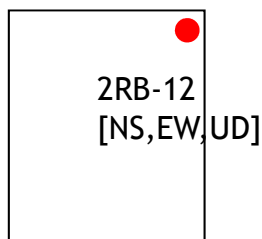
原子炉建屋
3階耐震裕度向上工事概要

シミュレーションモデルを用いた解析結果
各階の加速度応答スペクトルの比較

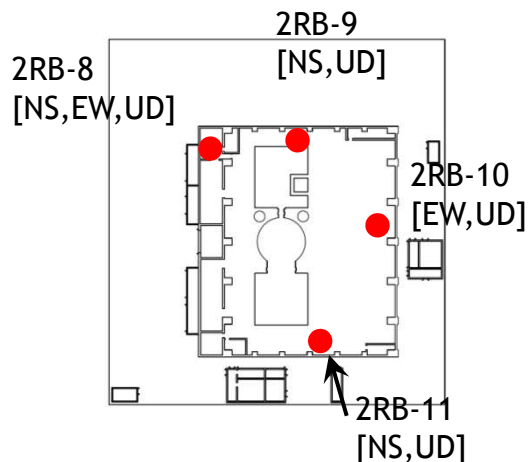


シミュレーションモデルを用いた解析結果

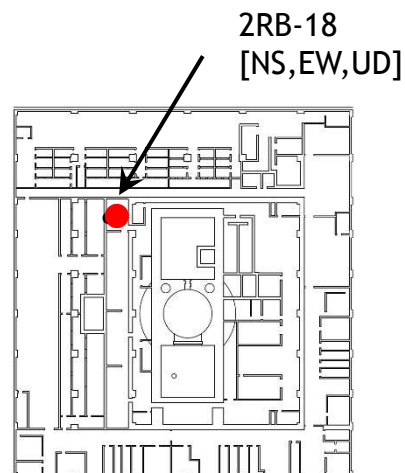
■女川2号炉原子炉建屋地震計位置図



RF (O.P.50.5m)

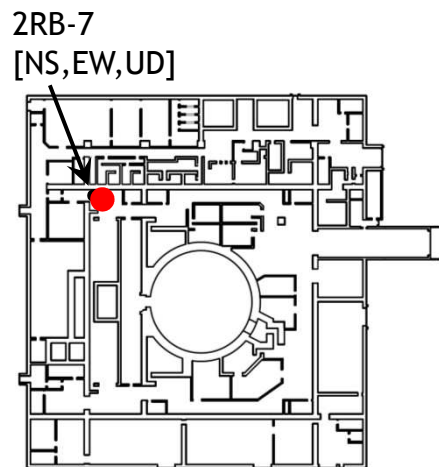


3F (O.P.33.2m)

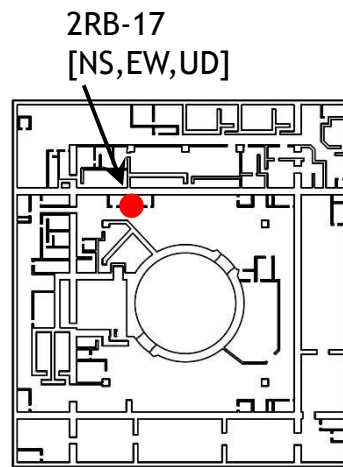


2F (O.P.22.5m)

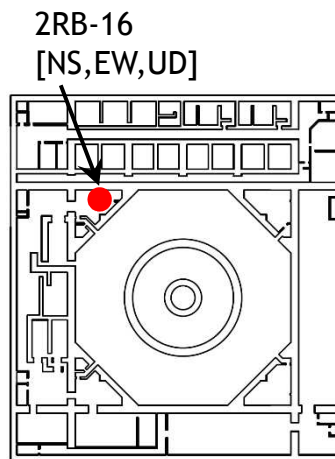
NS: 南北方向
EW: 東西方向
UD: 鉛直方向



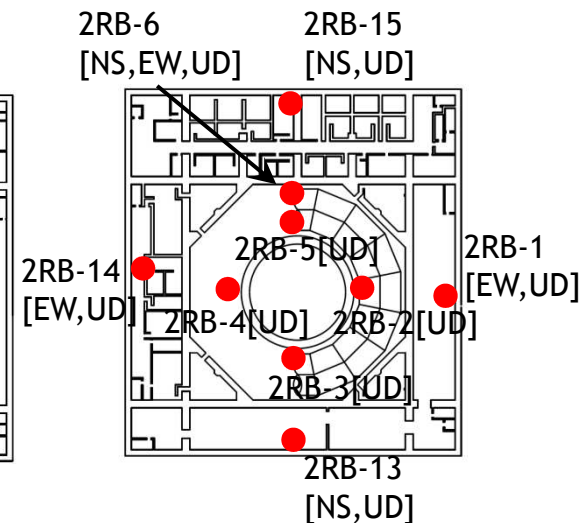
1F (O.P.15.0m)



B1F (O.P.6.0m)



B2F (O.P.-0.8m)

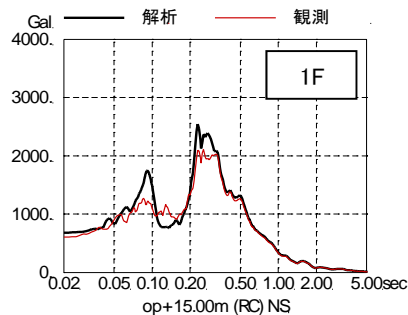
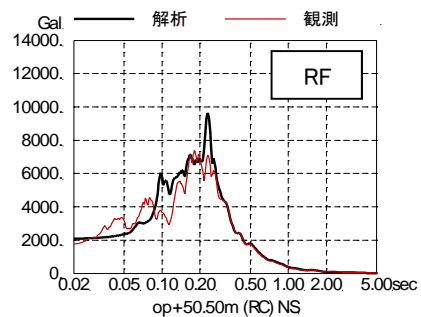


基礎版上 (O.P.-8.1m)

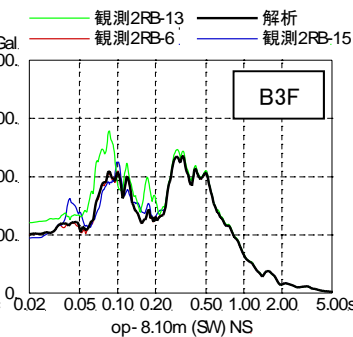
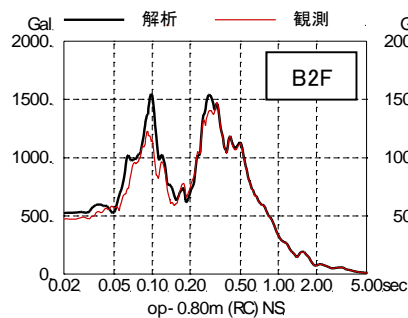
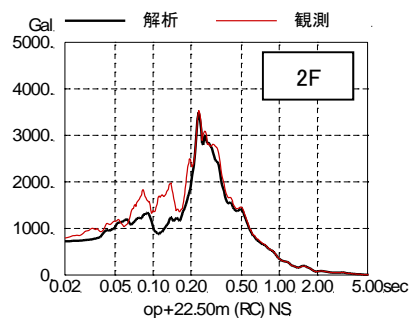
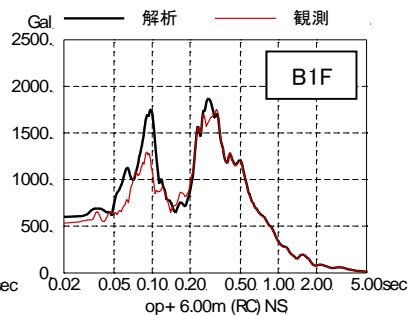
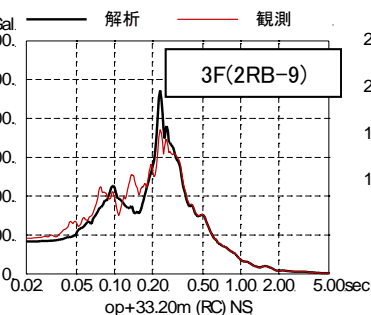
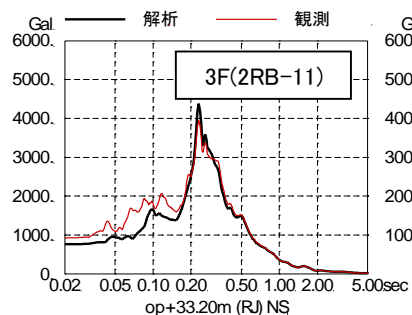
シミュレーションモデルを用いた解析結果

* 当日の配布資料に対する
委員コメントを踏まえて修正

■ 女川2号炉原子炉建屋の加速度応答スペクトルの比較(3.11地震)



解析結果と観測記録の整合性の確認結果
解析結果は、観測記録の卓越周期および振幅の傾向を捉えており、設定したシミュレーションモデルは地震時の建屋応答を再現できている。*



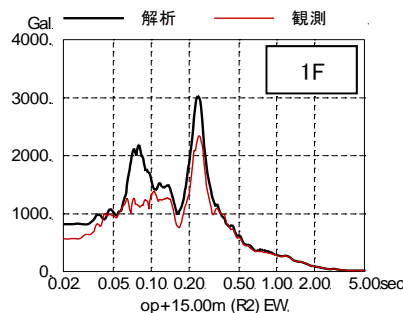
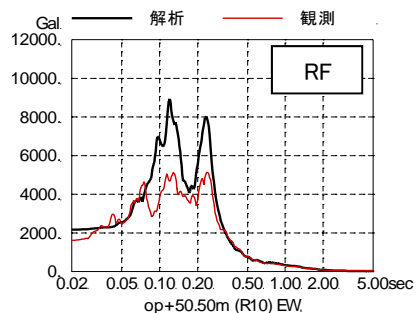
NS方向

h=5%

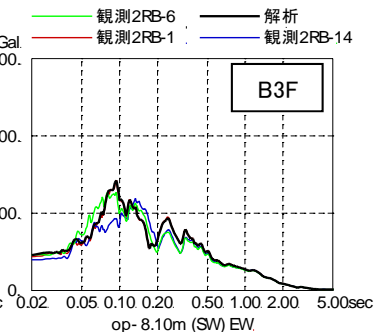
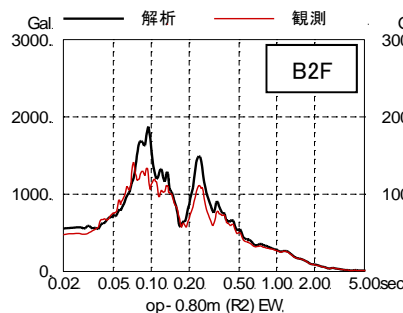
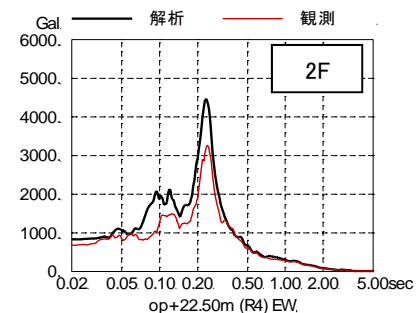
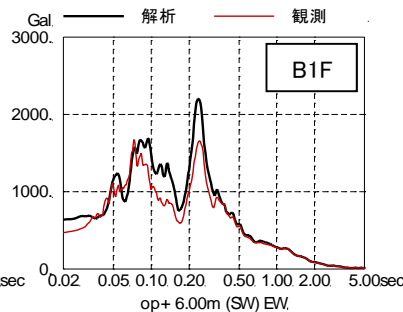
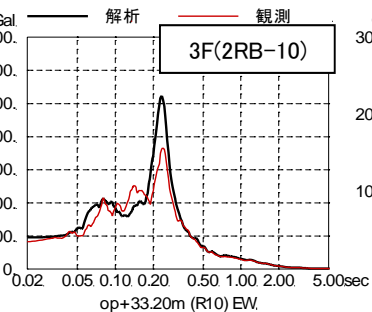
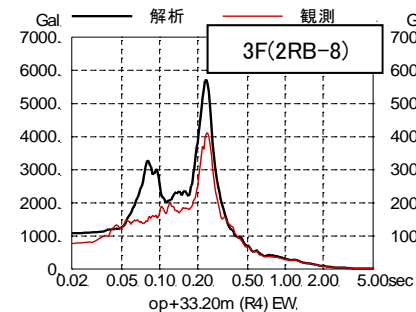
シミュレーションモデルを用いた解析結果

* 当日の配布資料に対する
委員コメントを踏まえて修正

■ 女川2号炉原子炉建屋の加速度応答スペクトルの比較(3.11地震)



解析結果と観測記録の整合性の確認結果
 解析結果は、観測記録を若干上回っているところもあるが、観測記録の卓越周期および振幅の傾向を捉えており、設定したシミュレーションモデルは地震時の建屋応答を再現できている。*



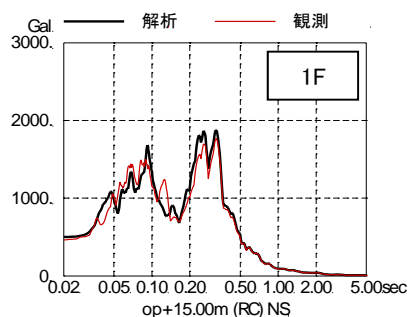
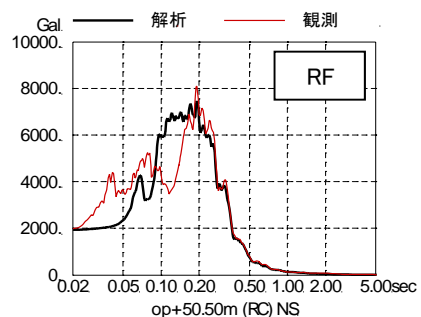
EW方向

h=5%

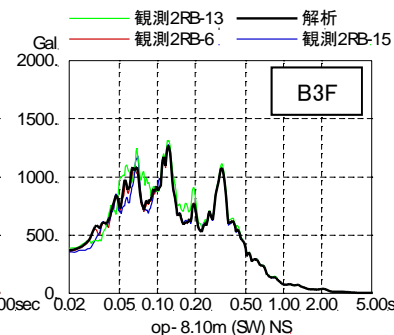
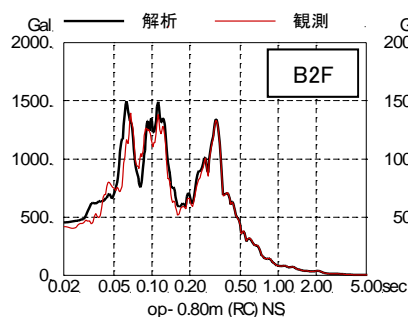
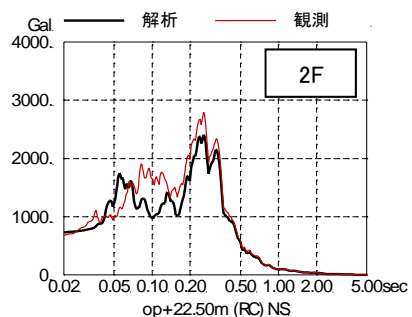
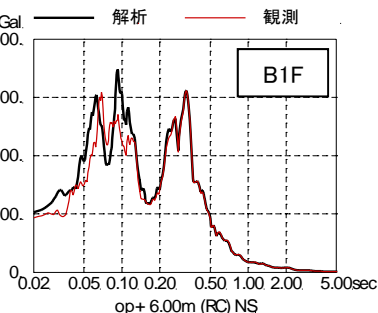
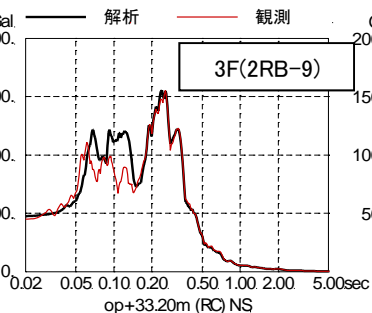
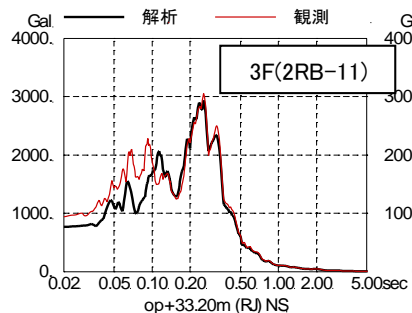
シミュレーションモデルを用いた解析結果

* 当日の配布資料に対する
委員コメントを踏まえて修正

■ 女川2号炉原子炉建屋の加速度応答スペクトルの比較(4.7地震)



解析結果と観測記録の整合性の確認結果
解析結果は、観測記録の卓越周期および振幅の傾向を捉えており、設定したシミュレーションモデルは地震時の建屋応答を再現できている。*



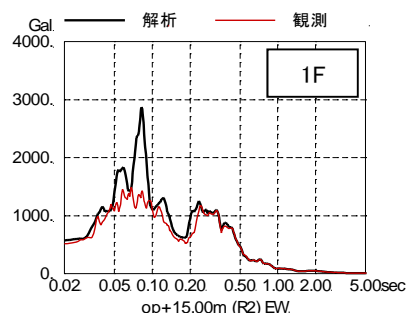
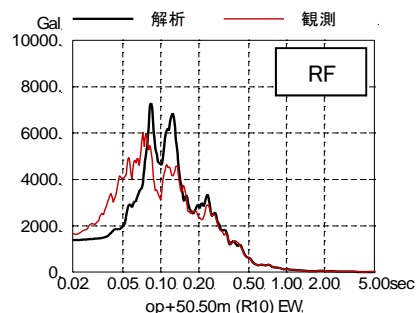
NS方向

h=5%

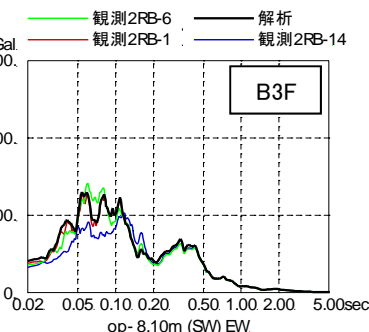
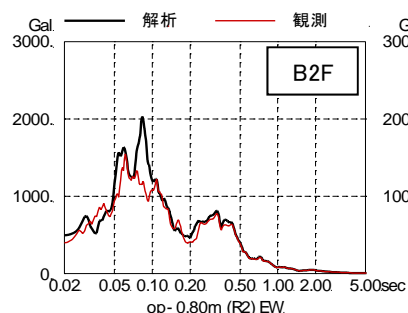
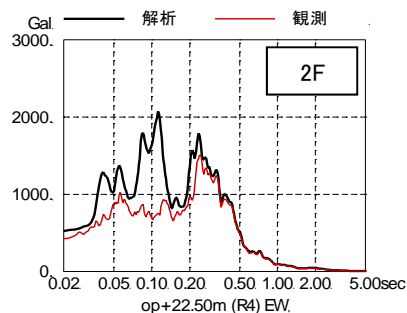
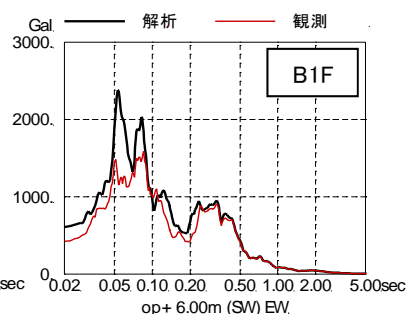
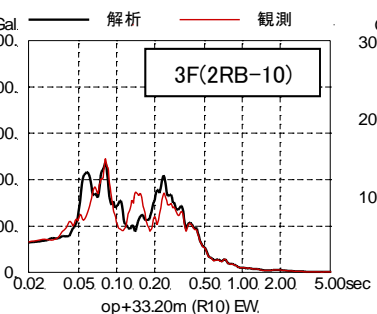
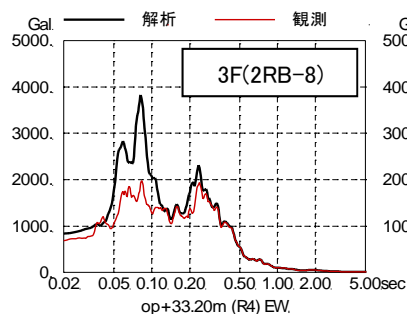
シミュレーションモデルを用いた解析結果

* 当日の配布資料に対する
委員コメントを踏まえて修正

■ 女川2号炉原子炉建屋の加速度応答スペクトルの比較(4.7地震)



解析結果と観測記録の整合性の確認結果
 解析結果は、観測記録を若干上回っているところもあるが、観測記録の卓越周期および振幅の傾向を捉えており、設定したシミュレーションモデルは地震時の建屋応答を再現できている。*



EW方向

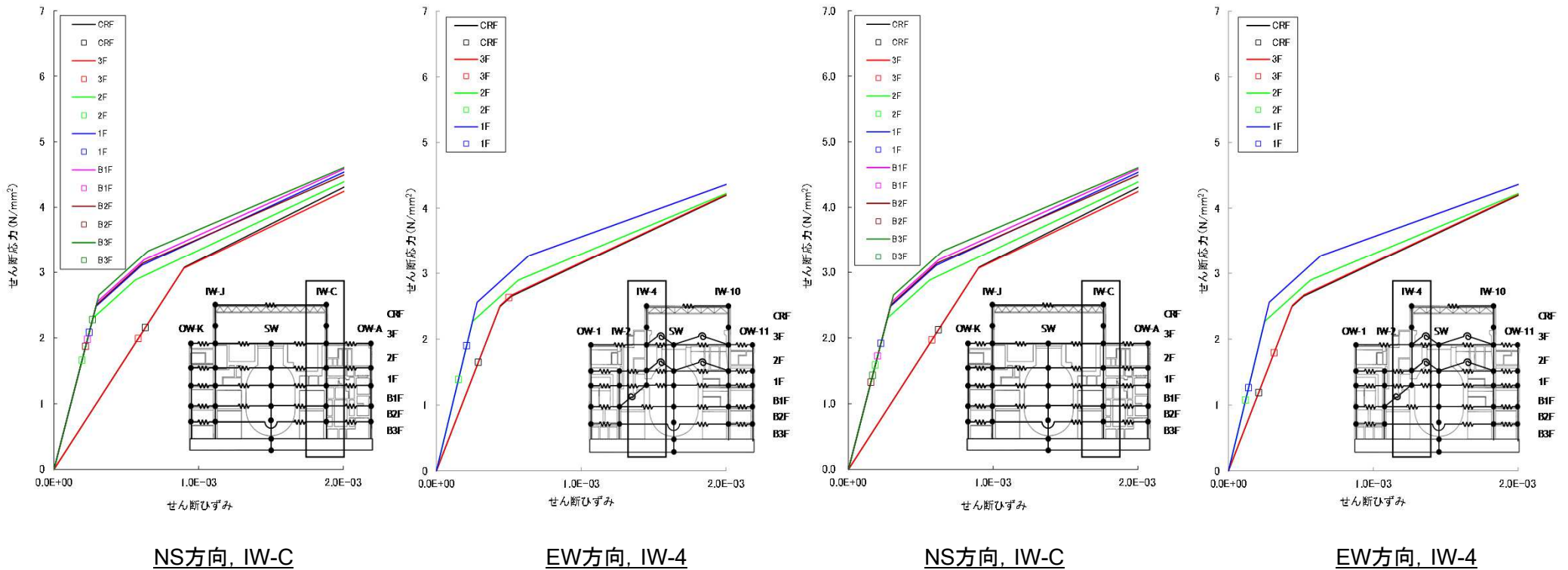
h=5%

シミュレーションモデルを用いた解析結果

* 当日の配布資料に対する
委員コメントを踏まえて修正

■ 女川2号炉原子炉建屋 耐震壁の最大応答せん断ひずみ

今回の地震による耐震壁の応答は、オペフロ下部は最大で $0.2 \sim 0.3 \times 10^{-3}$ であった。オペフロ上部でひずみが大きくなるが、機能保持限界との対応も考慮された評価基準値 2.0×10^{-3} に対して十分小さな応答であることを確認した。*



3.11地震

4.7地震

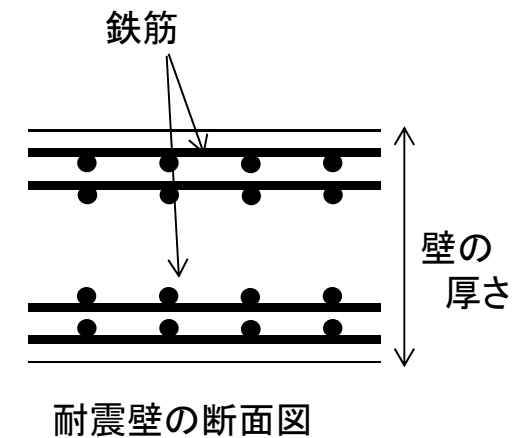
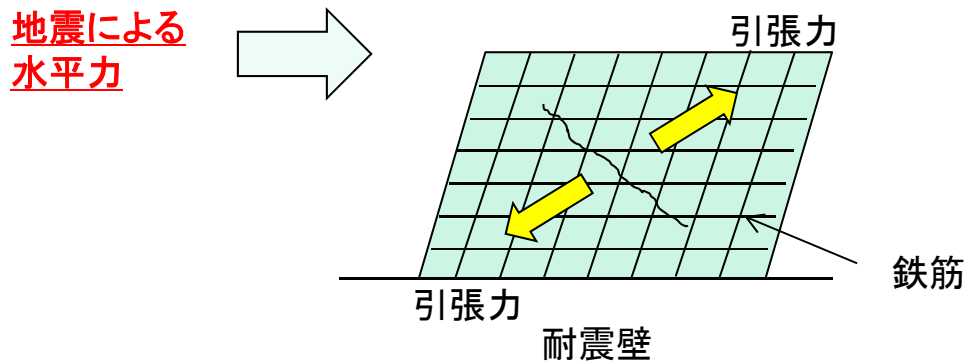
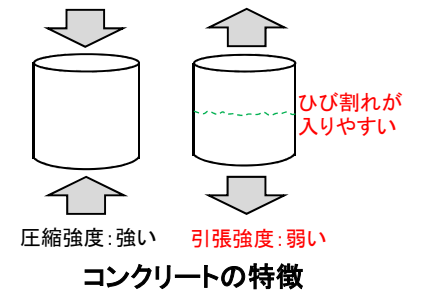
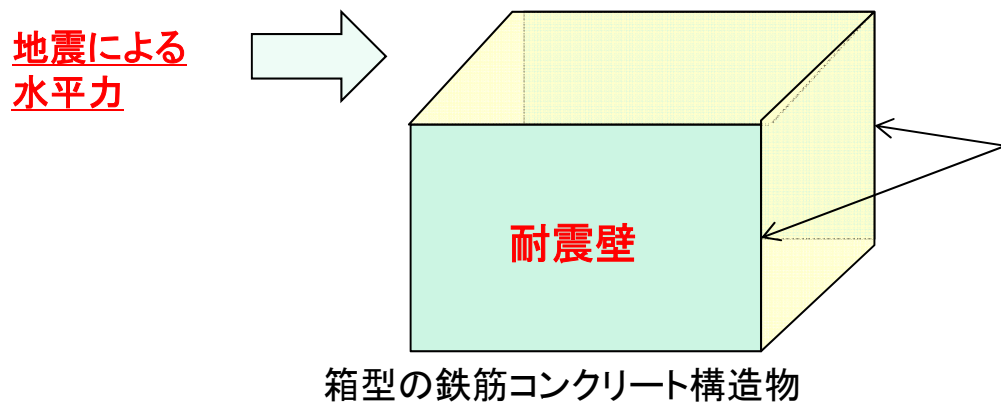
女川2号炉原子炉建屋 せん断スケルトン上の最大応答値



參考資料

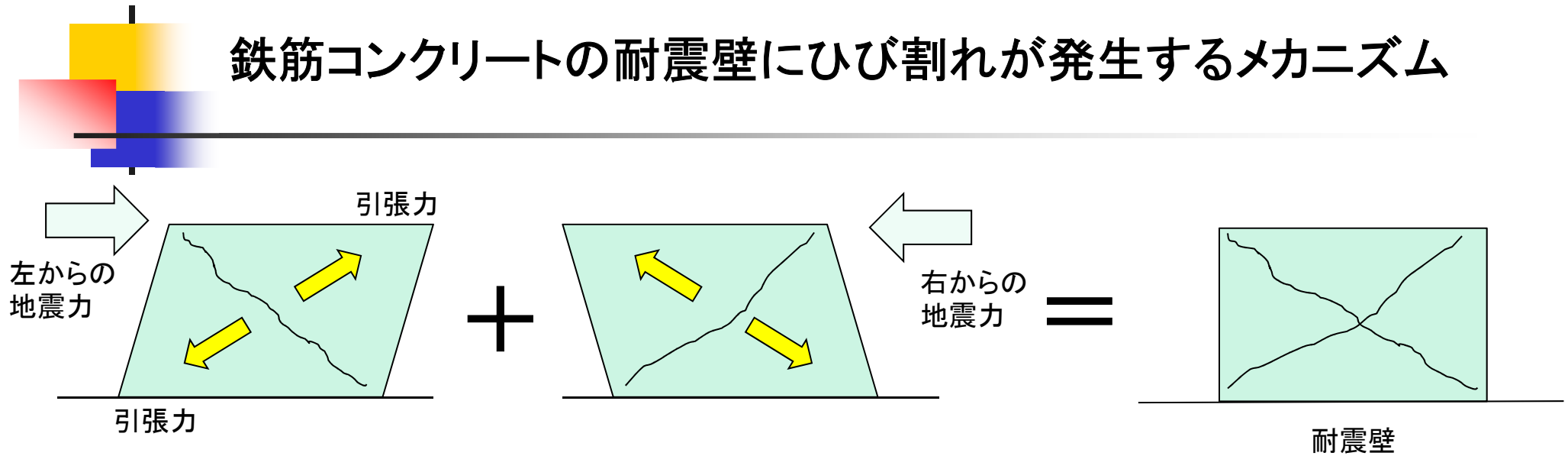
鉄筋コンクリート構造の特徴(耐震壁)

- 鉄筋コンクリート構造は、コンクリートはもともと引張力に対して弱いため、引張力を鉄筋で、圧縮力をコンクリートで負担するような複合構造物である。
- コンクリートのひび割れは引張力が作用することにより発生するが、ひび割れ発生後は鉄筋が引張力を負担するため、鉄筋が健全であれば、ひび割れが生じても直ちに健全性を損なうことはなく、地震に対して抵抗する力を失うことはない。



鉄筋が健全であれば安全性に全く問題はない。

鉄筋コンクリートの耐震壁にひび割れが発生するメカニズム



コンクリートは引張力に弱いため、壁には引張力により斜め方向のひび割れが発生

X型のひび割れとなる

■地震時の被災度は一般にひび割れ幅に基づき評価することができる

水平力により耐震壁に変形が生じると、引張力によって斜め方向のひび割れが発生

変形が増大すると、ひび割れ幅も増大

ひび割れ幅により被災度を評価することができる

設備健全性確認の現状の取組み

項目		H23.3.11地震	保全計画届出 H23.8	現在	プラント 起動	総合負荷 性能検査
地震後の初期対応 (地震後のパトロール, 主要機器の機能確認)		[黒塗り]				
地震後の 設備健全性確認	機器・系統の 設備健全性確認		機器・系統レベルの点検※ (フェーズ1)	機器・系統レベルの点検 (フェーズ1, 系統復旧後実施項目)	プラント全体の健全性確認(フェーズ2)	地震影響の継続監視(フェーズ3)
	建物・構築物の 設備健全性確認		点検	地震応答解析	地震影響の継続監視(フェーズ3)	

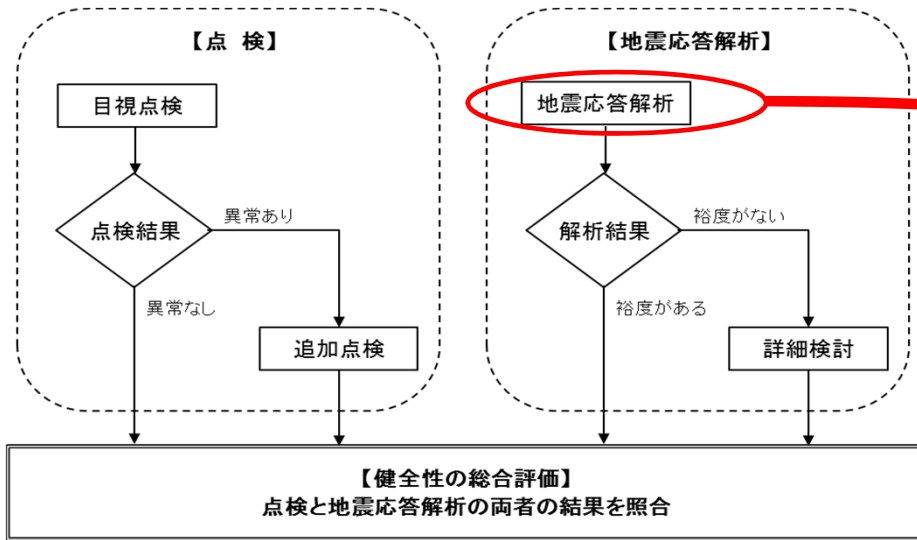
完了 ▲

※：今後のプラント復旧と同時に実施する必要のある項目および運用上の制約から計画的に点検を行っている項目を除く。

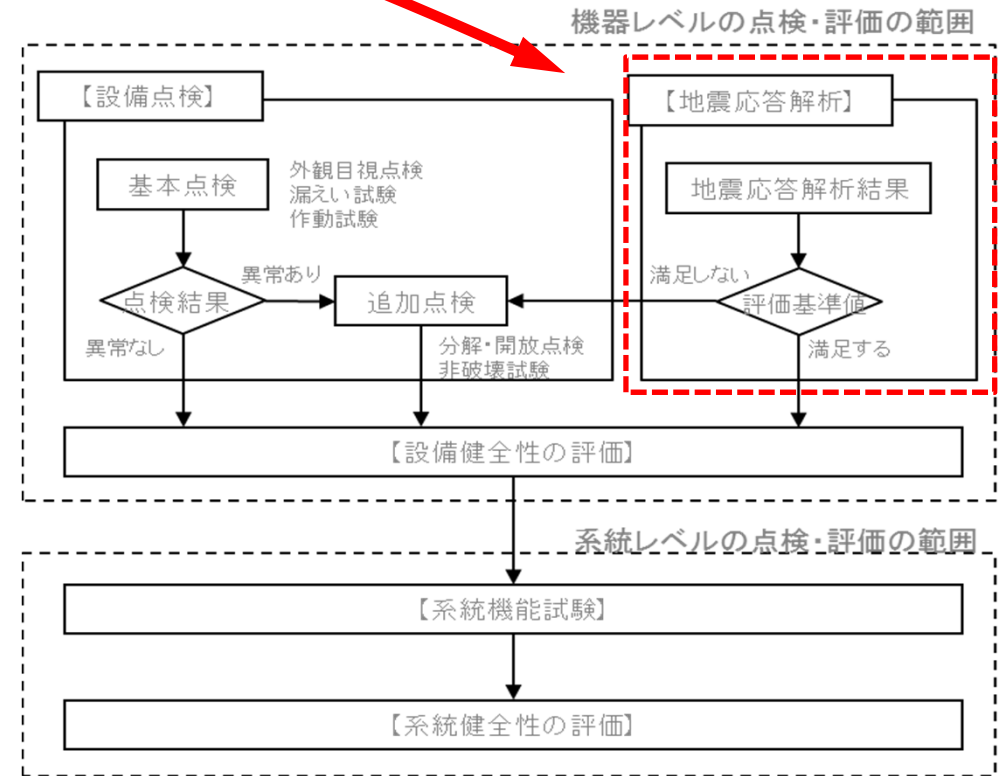
設備健全性確認の現状の取組み(機器・系統の設備健全性確認)

建物・構築物の健全性確認

機器・系統の健全性確認



地震時の建屋応答の再現解析に基づき
機器の解析評価を実施



今後の予定

3.11地震および4.7地震における地震観測記録

地震時の建屋応答の再現解析(シミュレーションモデルの作成)

原子炉圧力容器, 原子炉格納容器等の地震応答解析

適合性審査状況

- 東北地方太平洋沖地震等後の点検結果や初期剛性の低下を考慮した地震応答解析モデルの妥当性について、当社はこれまでに3回の審査会合でその概要を説明

主な質問, 指摘事項

主な質問・指摘事項	回答状況
建屋の地震後の健全性について、点検調査結果及び解析結果等を踏まえ総合的に説明すること	今後審査会合において説明
建屋の剛性低下の要因について、詳細に説明すること	今後審査会合において説明
建屋の剛性低下が、基準地震動 S_s に対する耐震安全性評価に与える影響を説明すること	今後審査会合において説明

修正版(抜粋)

資料-3【参考資料】

第11回安全性検討会資料

女川原子力発電所2号炉

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震等の後の 点検の実施状況(原子炉建屋)

東北電力株式会社

* 当日の配布資料に対する委員
コメントを踏まえて一部修正

1. 4 鉄筋コンクリート躯体に関する点検方法および判定基準

- 鉄筋コンクリート構造物への地震の影響については、ひび割れおよび剥離・剥落が想定され、外観の確認が有効であると考えられるため、目視点検を主体とした点検を実施した。
- 追加点検の判断の目安を下表に示す。
- 「基本的な考え方」に従い、作業員被ばく低減または人身安全等の観点から、高所および高線量エリアの点検は行わないものの、構造的に類似した部位の点検結果および解析結果を踏まえて健全性を確認する。*****
- 一方、建屋内部のオペフロ上部については、建設時の仮設材が壁面を覆いコンクリート躯体の確認が行えないことから、外壁に足場を設け、外壁塗膜を除去した上で点検を実施した。

点検・評価計画書(建物・構築物編)の「判定基準例一覧」

点検対象	判定基準
生体遮へい装置	・遮へい性能に影響を与える断面欠損がないこと
原子炉格納施設	・構造上問題となるひび割れがないこと (幅1.0mm以上のひび割れがないこと※) ・構造上問題となる剥離・剥落がないこと

※ EPRI NP-6695 Guidelines for Nuclear Plant Response to an Earthquakeにおける以下の記載等を参考に設定。

- ① 幅0.06インチ(約1.5mm)を超えて新しく地震によって生じたひび割れ、コンクリートの剥離、目視で確認できるフレームの変形を重大な損傷とする。(0.06インチ以上のコンクリートひび割れは鉄筋の降伏を示している)
- ② コンクリート構造物のわずかなヘアークラックのような微細なひび割れは重要な被害ではない。

*** 当日の配布資料に対する
委員コメントを踏まえて修正**

修正版

女川原子力発電所におけるヒューマンエラー 低減に向けた対応について

< 関連報告 >

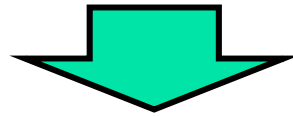
平成29年3月24日
東北電力株式会社

* 当日の配布資料に対する委員
コメントを踏まえて一部修正

女川原子力発電所におけるヒューマンエラー低減に向けた対応について（1／2）

➤ 経緯

- 平成28年7月8日、女川2号機において、安全対策工事中に原子炉建屋の地震計を誤って作動させ、原子炉が地震を感知して自動停止した際に鳴る警報を作動させる事象が発生した。
- 本事象を受け、平成28年7月22日、原子力規制庁女川原子力規制事務所から、女川原子力発電所における作業管理の改善に係る指導文書を受領した。



- 当社は、女川2号機の警報発生事象について要因分析を行うとともに、平成27年9月に発生した女川1号機停電事象、至近に発生した他のヒューマンエラー事象等も含めて、共通する要因の分析と対策の検討を進め、平成29年1月、再発防止対策を策定*した。
- 現在、対策を着実に実行し、ヒューマンエラー低減に向け取り組んでいる。

*：再発防止対策をとりまとめるにあたり、外部機関（（一社）原子力安全推進協会）から指導・助言を受けている。

女川原子力発電所におけるヒューマンエラー低減に向けた 対応について (2/2)

* 当日の配布資料に対する
委員コメントを踏まえて修正

共通要因分析と再発防止対策

【共通要因分析】

- ヒューマンエラーを未然に防ぐための「リスク想定」や「基本動作の徹底」が不十分であった。

共通要因	
組織	[リスク想定・基本動作の徹底] ● 基本動作の遵守に関する教育や作業上のリスクの問いかけ等に関する管理職の関与が不十分
	[基本動作の徹底] ● OJTに重きが置かれ、基本動作の重要性に関する教育内容や基本動作の実施状況を確認する仕組みが不十分
	[リスク想定] ● 作業の事前検討などにおいて、管理職が問いかけるなどの仕組みが不十分
個人	[リスク想定・基本動作の徹底] ● 緊張感の低下や慣れによる思い込みなど、作業上のリスクに対する意識や感度の低下
	[リスク想定] ● 作業に対する理解不足により、作業前の事前検討や未経験の作業に対する管理職等のサポートが不十分

【再発防止対策】

- 「リスク想定」および「基本動作の徹底」による作業の進め方を再構築し、定着を図っていく。

(1) リスク想定と基本動作の徹底に関する基盤整備 (⇒P3)

[リスク想定・基本動作の徹底]

- 作業の各段階で、どのようなリスクがあるのかを想定する
- 安全処置※に関する理解促進のためのガイドを作成し、教育を実施
- 作業を確実に実施するための基本動作に関する教育を実施

(2) 作業の各段階におけるリスク想定の実施および基本動作の確認

作業計画時	[リスク想定の実施] (⇒P4) ● 指揮監督等必要な力量を有する管理職（以下、「管理職」という）*が自らの経験を踏まえたアドバイス等を実施
作業前	[管理職サポートの実施およびセルフチェックの実施] (⇒P4, 5) ● ヒューマンエラーによるリスク抽出のため、管理職は担当者に対し、問いかけや動機付けを実施 ● 担当者自らが作業前に、もう一度立ち止まり、作業前のセルフチェック（リスク想定ドリル等の活用）を実施
作業中	[管理職による基本動作の実施状況の確認] (⇒P6) ● 管理職が担当者の基本動作の実施状況を直接確認および指導を実施
終了後	[気づき事項等のフィードバック] (⇒P7) ● 作業結果を振り返り、改善点を洗い出し、次回の作業に反映

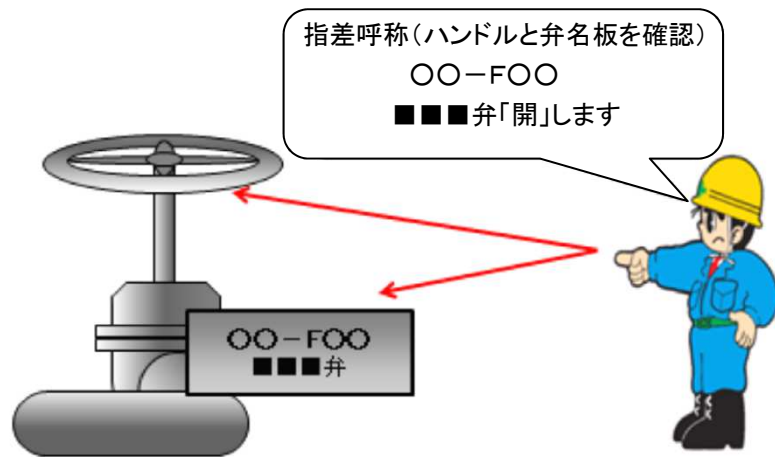
※ 作業を安全に実施するために、予め機器の電源を切るなどの必要な処置

➤ リスク想定と基本動作の徹底に関する基盤整備

- リスク想定を充実させた作業前ミーティングの実施
- 基本動作の重要性を認識させるための継続的な教育の実施（1回／半期）
 - ーテキストによる基本動作（セルフチェック，相互確認の実施方法等）に関する教育
 - ー現場作業における模範行動について，わかりやすい解説付動画形式による教育

(1) セルフチェック

中央制御室の運転操作や現場の弁操作，電源操作および安全処置のための作業札の取付け・取外し作業時に操作対象を「指差呼称」する。



10

■ 基本動作に関する教育のテキスト（抜粋）



■ 動画形式による基本動作の教育

ヒューマンエラー低減に向けた再発防止対策の具体的な取組み（2 / 5）

■ 作業前ミーティングの様子



➤ 作業計画時

作業前のリスク想定

- 管理職を交え、作業全体にわたる内容について、チェックシートを用いてリスク想定を実施する。
 - 作業前の準備事項
 - 現場での安全配慮
 - 作業手順の確認
 - 操作時の注意事項
 - 管理職からのアドバイス 等

作業のリスク想定 チェックシート(イメージ)

- | |
|--|
| <input type="checkbox"/> 起こりえるリスクは何か。
・
・ |
| <input type="checkbox"/> リスクに対する対策は何か。
・
・ |
| <input type="checkbox"/> 管理職からの指導・助言
・
・ |
| <input checked="" type="checkbox"/> リスクを回避して安全作業ヨシ! |
| <input checked="" type="checkbox"/> 地域社会の信頼の維持・継続ヨシ! |

作業前

セルフチェックによる
安全確認

- 作業担当者は、現場で作業に伴う操作を行う前に、もう一度気持ちを落ち着かせ、安全確認をするために、1分間ドリルを実施する。

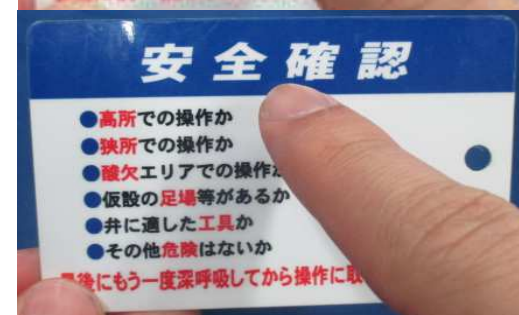


作業担当者

表



裏



ヒューマンエラー低減に向けた再発防止対策の具体的な取組み（4 / 5）

作業中

基本動作の実施

- 作業担当者は、現場で作業をする際、作業手順に基づき、指差呼称、ダブルチェック等を確実に実施する。

管理職による現場指導

- 管理職（観察者）は、作業担当者の基本動作の実施状況、作業への取り組み状況を観察し、指導や助言を行う。



➤ 終了後

作業の振り返り

- 作業担当者は、管理職に作業結果をチェックシートにて報告し、作業の振り返りを実施する。
 - 気づき事項
 - 良好事例
 - 今後への改善点 等



作業の振り返り チェックシート(イメージ)

- | |
|--|
| <input type="checkbox"/> 手順に問題がなかったか
:
. |
| <input type="checkbox"/> 作業中に立ち止まった事例はなかったか。
:
. |
| <input type="checkbox"/> 良好な対応はあったか。
:
. |
| <input type="checkbox"/> 次回の作業(他作業)に水平展開する事例はなかったか。
. |

女川原子力発電所におけるヒューマンエラー低減に向けたさらなる取り組みについて

➤ ヒューマンエラー低減に向けた強化期間の設定

- 「より、現場へ」をスローガンに、「リスク想定」および「基本動作の徹底」を発電所員に根付かせる活動を展開していく。今年度は、1月から3月まで強化期間に設定している。

- 発電所長を含めた幹部がパトロールを実施・指導
- 社内専門家（5分野：[機械, 電気計装, 環境燃料, 土木建築, 運転管理]）による作業内容の観察・指導の実施

ヒューマンエラー防止強化月間（平成29年1月～3月）
「より現場へ～今こそチーム女川の現場力を発揮するとき～」

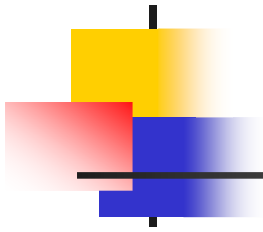
■ 女川原子力発電所スローガン



■ 発電所長など幹部による現場作業の確認状況



■ 社内専門家による現場作業の観察・指導状況



参 考 资 料

共通要因分析対象としたヒューマンエラー事象等の概要

■ 女川1号機所内電源停電事象（平成27年9月29日発生）

設備更新工事後の試験中に1号機の所内電源（常用・非常用）が停電し、非常用ディーゼル発電機が自動起動した事象。その後の復旧過程で再度、所内電源（常用）に停電が発生。

■ 女川2号機軽油補給先誤り（平成27年12月25日発生）

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機の定期試験終了後、高圧炉心スプレイ系油タンクへ軽油を補給するところ誤って非常用ディーゼル発電機（B）の油タンクへ補給した事象。速やかに接続誤りに気づき軽油の補給を中止したことから軽油の漏えいや設備の故障といった事象には至らなかった。

■ 不適合管理票の発行遅れ（平成28年1月13日発生）

計器（圧力指示計等）移設工事後に耐圧漏えい試験中に計装元弁のシートリークが確認された。このため試験を中断し、他グループに弁の修繕依頼を口頭で行った。その後、試験担当者が再試験に向けた作業の調整に伴い不適合状況を確認したところ不適合管理票が作成されていないことが確認された事象。

■ 女川2号機原子炉建屋地震加速度大トリップ警報発生事象（平成28年7月8日発生）

安全対策工事に伴い、原子炉建屋の地震計のケーブルを一時撤去するため、地震計を停止。その後、同ケーブルの復旧に際して地震計を復旧したところ、当該警報が発生した事象。

■ 火災発生情報誤発信（平成28年7月27日発生）

3号機中央制御室の火災用緊急連絡装置のディスプレイ交換時、ディスプレイの電源ケーブルを外すため、ディスプレイの向きを変えようとした際、国、自治体等の関係者の電話へ、火災発生情報が誤発信された事象。

■ 女川1号機海水漏えい事象（平成28年11月28日発生）

機器の点検終了後、配管内に海水を通したところ、本来閉じておくべき弁が開いた状態となっていた。このため、海水が排水用の溜め升より溢れ出た事象。

ヒューマンエラーに係わる継続的な改善・強化 ～品質保証体制総点検(平成18年)以降～

* 当日の配布資料に対する委員コメントを踏まえて本頁追加

- 平成18年, 品質保証体制の総点検を行い, トップマネジメントの強化, トラブル情報等の社内情報伝達と対応の明確化, 人員の適正配分と評価・検証などの品質保証体制の強化
- 平成21年, 女川1号誤信号による非常用炉心冷却系の作動等のヒューマンエラーが発生し, 対策として計画外作業の管理を強化
- 上記, 対策の取組みを行なっている中, 平成27年以降, 女川1号所内電源停電事象等が発生していることから, ヒューマンエラー低減活動を定着させる取組みを展開中

