

特定原子力施設監視・
評価検討会(第4回)
資料5-1
(第3回資料5-1を一部改定)

福島第一原子力発電所 1～4号機本館建物の基準地震動Ssに対する 耐震安全性評価について

平成25年2月21日
東京電力株式会社



無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

1. 1～4号機原子炉建屋の耐震安全性評価状況一覧
 2. 4号機原子炉建屋の耐震安全性評価
 3. 1～4号機タービン建屋、コントロール建屋、廃棄物処理
建屋の耐震安全性評価状況一覧
 4. コメント回答
- ・ 参考資料



無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

1

1. 1～4号機原子炉建屋の耐震安全性評価 状況一覧



1. 1～4号機原子炉建屋の耐震安全性評価状況一覧

	1号機	2号機	3号機	4号機
(1) 評価対象	耐震壁	耐震壁	耐震壁	耐震壁
(2) 入力地震動	解放基盤表面で定義した基準地震動Ssを一次元波動論により評価			
(3) 建屋のモデル化				
①解析モデル	質点系・埋込みSRモデル			
②材料特性	コンクリート実強度 (35.0N/mm ²)を採用			
③剛性評価	耐震壁のせん断剛性、曲げ剛性を考慮			
④損傷状況	5階から上部の損傷	損傷無し	3階から上部の損傷	2階から上部の損傷
⑤地下滞留水	考慮	考慮	—*1	考慮
⑥瓦礫	存在状態	—	存在状態	撤去状態
⑦その他	建屋ガスを考慮	—	燃料取出用ガスを考慮	燃料取出用ガスを考慮
(4) 地盤のモデル化				
①地盤ばね	底面ばね：水平および回転を考慮 側面ばね：水平および回転を考慮			
(5) 接地率*2 (最小ケース)	64.8%	76.8%	74.6%	84.3%
(6) 評価結果 (せん断ひずみ：最大 ケース)	0.12×10 ⁻³ →OK 評価基準値：4.0×10 ⁻³	0.17×10 ⁻³ →OK 評価基準値：4.0×10 ⁻³	0.14×10 ⁻³ →OK 評価基準値：4.0×10 ⁻³	0.16×10 ⁻³ →OK 評価基準値：4.0×10 ⁻³
(7) 備考	—	—	3D-FEM解析による使用済燃料プール壁・床の詳細評価を実施	3D-FEM解析による使用済燃料プール壁・床の詳細評価を実施

*1 地下滞留水を考慮した条件で、今後評価を実施予定。

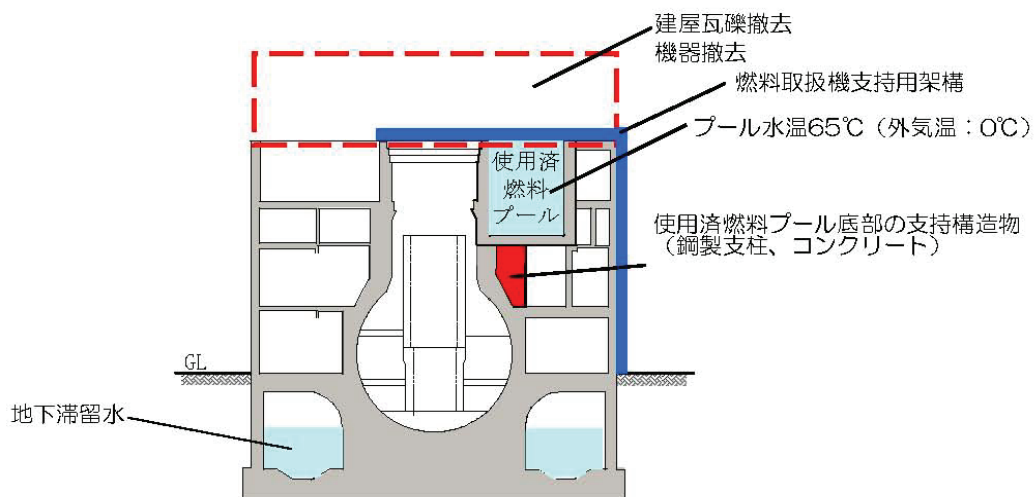
*2 2～4号機については、基礎浮上り非線形を考慮した地震応答解析の適用条件とされている「接地率65%以上」を満足している。1号機については、誘発上下動を考慮した地震応答解析を実施し考慮の有無が応答結果に与える影響は小さく問題ないことを確認している。



2. 4号機原子炉建屋の耐震安全性評価



2. 1 使用済燃料プールの取り出し時における原子炉建屋の状況



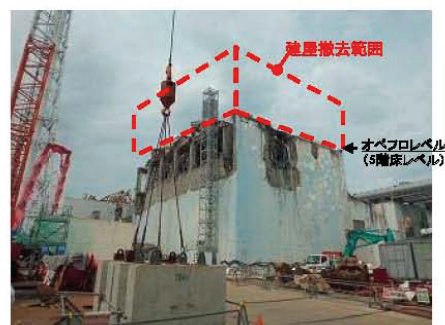
使用済燃料の取り出し時における原子炉建屋の状況



2. 1 使用済燃料プールの取り出し時における原子炉建屋の状況



建屋瓦礫 撤去工事 着手前 [南西面]
撮影日：平成 23年 9月22日



建屋瓦礫 撤去工事 完了後 [南西面]
撮影日：平成 24年 7月 5日



オペフロ上部の機器 [西面]
撮影日：平成 24年 7月 9日



機器の撤去作業 [西面]
撮影日：平成 24年 8月10日

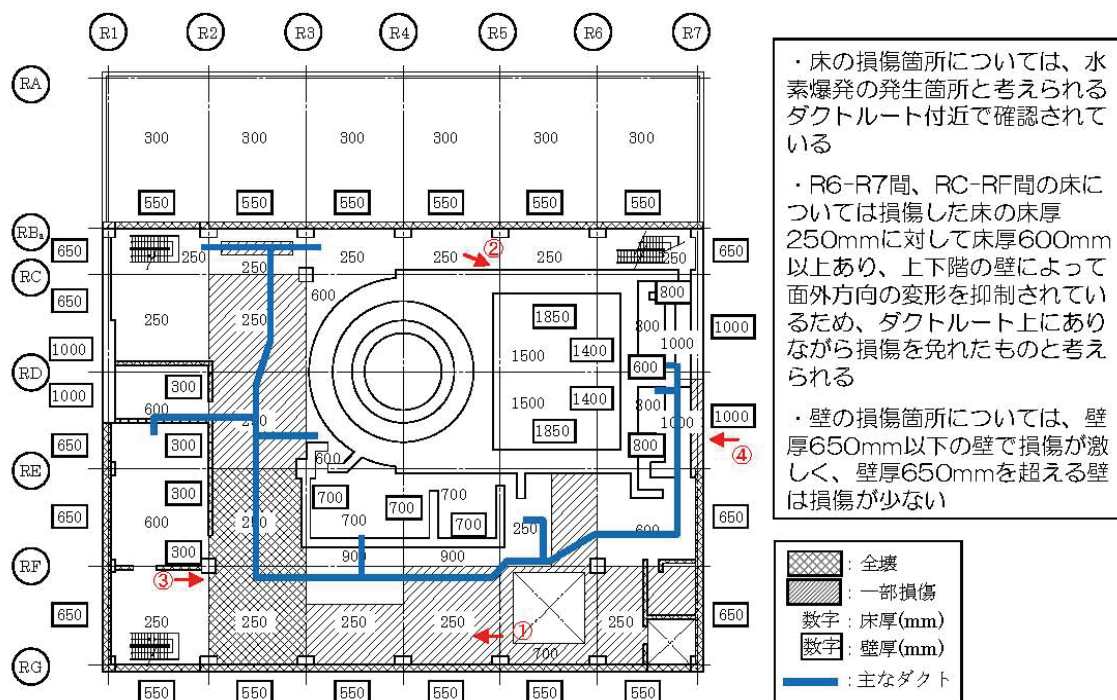


東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

6

2. 2 原子炉建屋躯体の損傷状況（3階）



東京電力

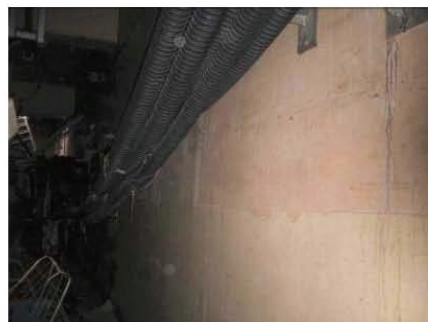
無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

7

2. 3 原子炉建屋躯体の損傷状況（3階写真）



①床変形



②プール壁異常なし



③床崩壊



④外壁一部剥落

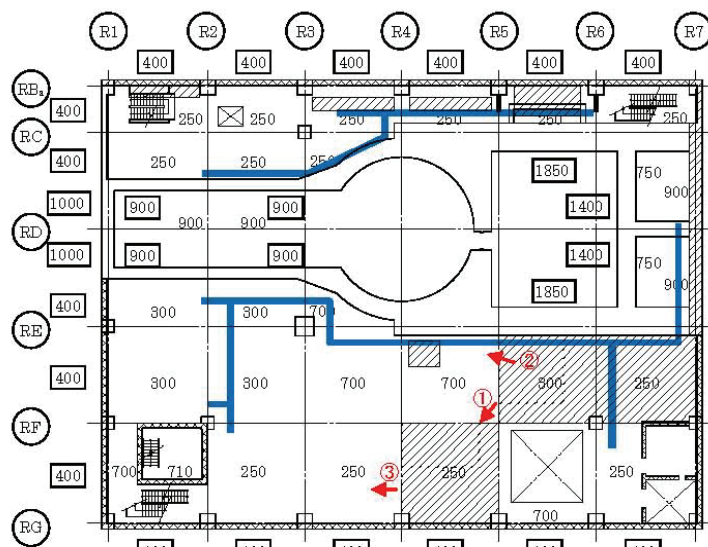


東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

8

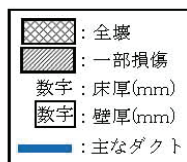
2. 3 原子炉建屋躯体の損傷状況（4階）



・床の損傷箇所については、大物搬入口、EVシャフトおよび階段開口といった圧力の逃げ道がある箇所や、床厚700mmの箇所は損傷を免れていると考えられる

・壁の損傷箇所については、壁厚400mmの壁で損傷が激しく、壁厚400mmを超える壁は損傷が少ない

・床よりも壁の損傷が激しい傾向が見られるのは、床は間仕切り壁等で面外方向の変形を拘束されているのに対し、壁は拘束するものがないためと考えられる



東京電力

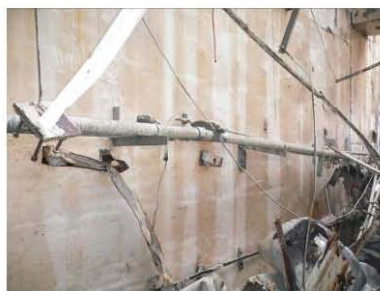
無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

9

2. 3 原子炉建屋躯体の損傷状況（4階写真）



①床変形



②プール壁異常なし

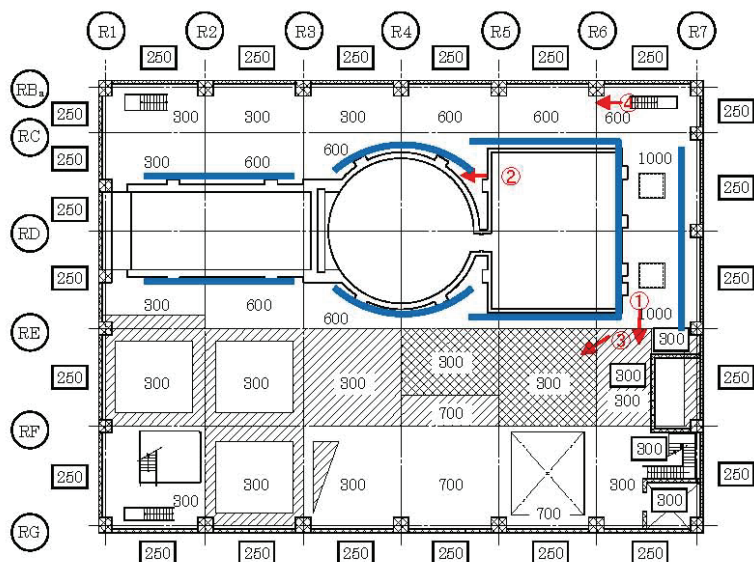


③床異常なし



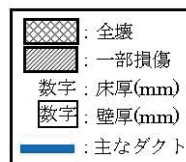
④外壁一部剥落

2. 3 原子炉建屋躯体の損傷状況（5階）



・床の損傷箇所については、水素爆発の発生箇所と考えられる下階のダクトの影響を受けており、大物搬入口、EVシャフトおよび階段開口といった圧力の逃げ道がある箇所や、床厚700mmの箇所は損傷を免れていると考えられる

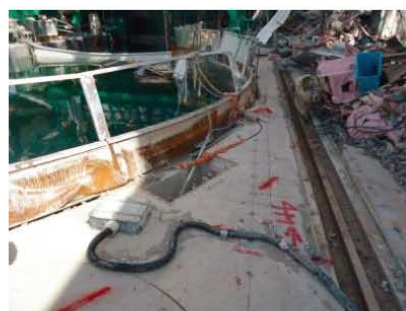
・床よりも壁の損傷が激しい傾向が見られるのは、床は間仕切り壁等で面外方向の変形を拘束されているのに対し、壁は拘束するものがないためと考えられる



2. 3 原子炉建屋躯体の損傷状況（5階写真）



①床変形



②シェル壁異常なし

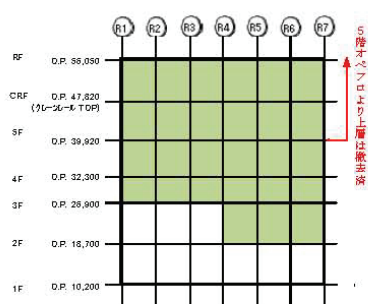


③床崩壊

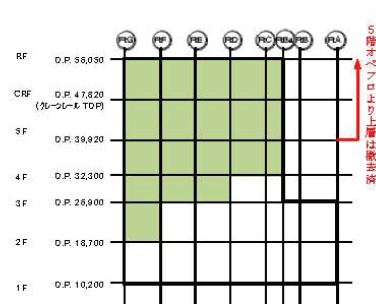


④床異常なし

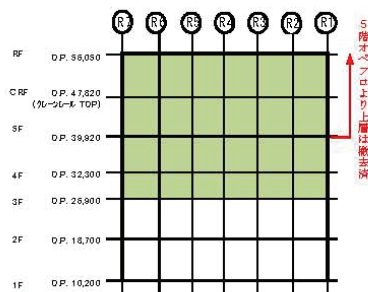
2. 4 原子炉建屋の耐震安全性評価（質点系モデルによる解析）



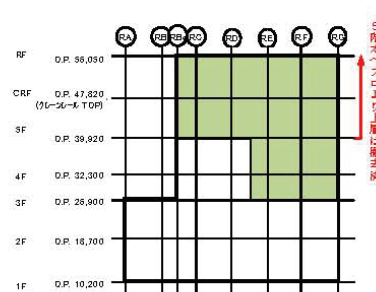
西面



南面



東面

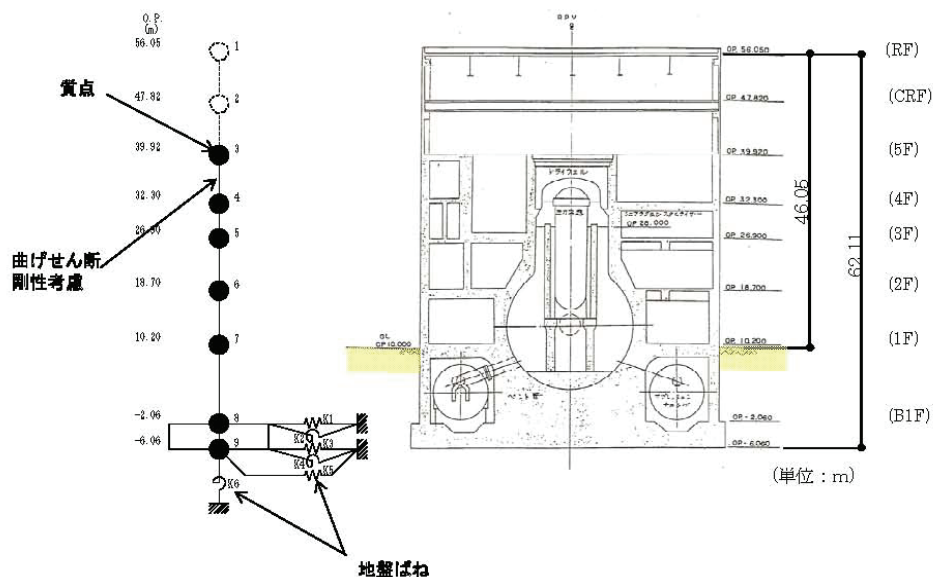


北面

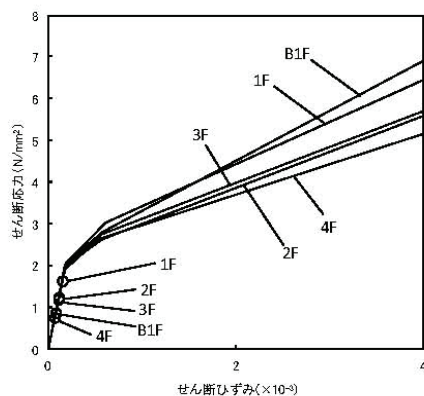
剛性を無視する壁

損傷状況の反映

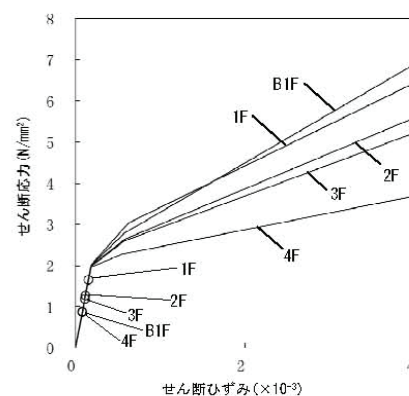
2. 4 原子炉建屋の耐震安全性評価（質点系モデルによる解析）



2. 4 原子炉建屋の耐震安全性評価（質点系モデルによる解析）



せん断スケルトン曲線上の最大応答値
(Ss-1、EW方向)

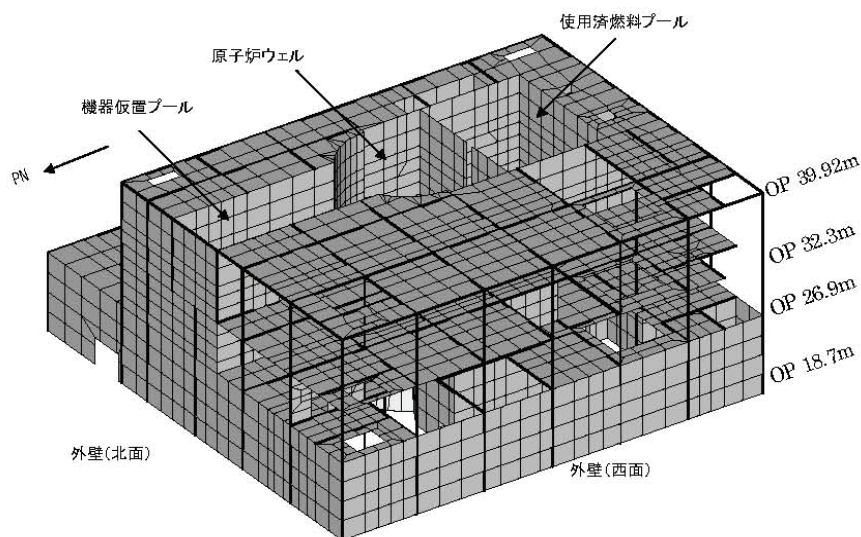


【参考】平成22年耐震バックチェック*時における
せん断スケルトン曲線上の最大応答値
(Ss-1、EW方向)

* 福島第一原子力発電所『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価 中間報告書（改訂2）」（平成22年4月、東京電力株式会社）

耐震壁の最大応答せん断ひずみは、最大で 0.16×10^{-3} であり、評価基準値（ 4.0×10^{-3} ）を満たすことを確認した。

2. 5 使用済燃料プールの耐震安全性評価（3次元FEM解析）



解析モデル図



東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

16

2. 5 使用済燃料プールの耐震安全性評価（3次元FEM解析）

軸力と曲げモーメントによる
コンクリートおよび鉄筋のひずみの検討結果（壁部）

箇所名	検討ひずみ	発生ひずみ ($\times 10^{-6}$) ε	評価基準値 ($\times 10^{-6}$) ε'	検定比 $\varepsilon / \varepsilon'$	判定
W1	ε_c	-150	-3000	$0.05 \leq 1$	可
	ε_s	-90	-5000	$0.02 \leq 1$	可
	ε_t	1180	5000	$0.24 \leq 1$	可

軸力と曲げモーメントによる
コンクリートおよび鉄筋のひずみの検討結果（床部）

箇所名	検討ひずみ	発生ひずみ ($\times 10^{-6}$) ε	評価基準値 ($\times 10^{-6}$) ε'	検定比 $\varepsilon / \varepsilon'$	判定
S1	ε_c	-370	-3000	$0.13 \leq 1$	可
	ε_s	-140	-5000	$0.03 \leq 1$	可
	ε_t	250	5000	$0.05 \leq 1$	可

面外せん断力の検討結果（壁部）

箇所名	発生応力 Q (N/mm)	評価基準値 Q' (N/mm)	検定比 Q / Q'	判定
W2	1120	1860	$0.61 \leq 1$	可

面外せん断力の検討結果（床部）

箇所名	発生応力 Q (N/mm)	評価基準値 Q' (N/mm)	検定比 Q / Q'	判定
S2	580	1270	$0.46 \leq 1$	可

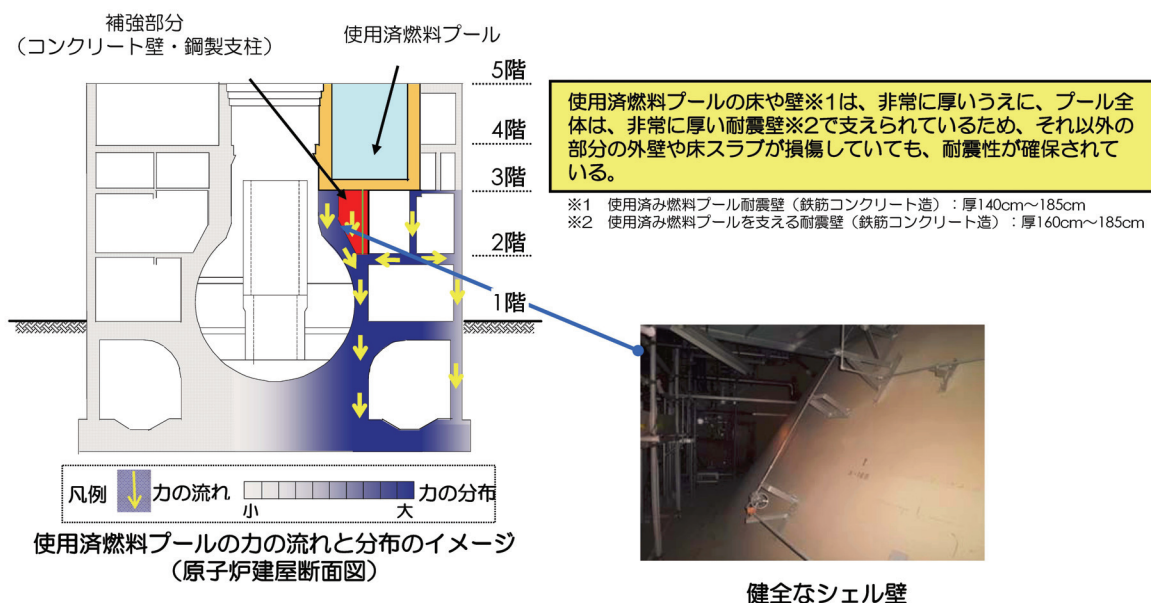


東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

17

2. 5 使用済燃料プールの耐震安全性評価（3次元FEM解析）



3. 1～4号機タービン建屋、コントロール建屋、 廃棄物処理建屋の耐震安全性評価状況一覧

3. 1～4号機タービン建屋、コントロール建屋、廃棄物処理建屋の耐震安全性評価状況一覧

1～4号機タービン建屋、コントロール建屋、廃棄物処理建屋について、地下階に滞留水（汚染水）があることを考慮し、基準地震動 S_s に対し、地下外壁が崩壊しないことを確認する。

なお、主に原子炉建屋の水素爆発により飛来した瓦礫による屋根部や鋼製部材の一部に開口、RC部にひび割れが有るものの、上層階であり、耐震要素であるRCの耐震壁に大きな損傷は確認されていないことから、解析上は考慮しない。

	3号機タービン建屋 (代表号機※1)	3号機コントロール建屋 (代表号機※1)	4号機廃棄物処理建屋 (代表号機※1)
(1) 評価対象	地下外壁 (RC)	地下外壁 (RC)	地下外壁 (RC)
(2) 入力地震動	解放基盤表面で定義した基準地震動Ssを一次元波動論により評価		
(3) 建屋のモデル化			
① 解析モデル	質点系、SRモデル		
② 材料特性	コンクリート実強度 (35.0N/mm ²) を採用		
③ 剛性評価	耐震壁を評価		
④ 地下滞留水	考慮	考慮	考慮
(4) 地盤のモデル化			
① 底面ばね	水平および回転を考慮		
(5) 接地率 ^{※2} (最小ケース)	100%	72.3%	92.3%
(6) 評価結果 (せん断ひずみ：最大ケース)	0.15×10 ⁻³ →OK 評価基準値：4.0×10 ⁻³	0.07×10 ⁻³ →OK 評価基準値：4.0×10 ⁻³	0.06×10 ⁻³ →OK 評価基準値：4.0×10 ⁻³

※1：代表号機以外については、今後、代表号機の評価結果を踏まえ、建屋の類似性等を考慮して、評価を実施する。

※2：いずれも、基礎浮上り非線形を考慮した地震応答解析の適用条件とされている「接地率65%以上」を満足している。

⇒ 基準地震動 S_s に対し、地下外壁の耐震安全性は確保されており、滞留水の貯留に問題ない。



4. コメント回答



コメント回答①

①コンクリートの実強度の適用性について。

鉄筋コンクリートの物性値

コンクリート	強度*1 Fc (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	ポアソン比 ν	単位体積重量*2 γ (kN/m ³)
	35.0	2.57×10 ⁴	1.07×10 ⁴	0.2	24
鉄筋	SD345相当 (SD35)				

圧縮強度試験データ分析結果

設計基準強度	22.1	N/mm ²
試験体数	373	本
平均圧縮強度	37.4	N/mm ²
解析採用値	35.0	N/mm ²

* 1 : R/C造部の剛性を評価する際に用いるコンクリート強度は、過去に原子力発電所内で実施された高経年化技術評価、コンクリート健全性評価及び建築設備点検等における圧縮強度試験結果から推定した実強度として、圧縮強度のばらつきを考慮し、平均値をやや下回る値を採用した。

* 2 : 鉄筋コンクリートの値を示す。

総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会構造WG（第25回）Aサブグループ会合（平成22年6月17日）資料『福島第一原子力発電所3号機安全上重要な建物・構築物及び機器・配管系の耐震安全性評価』より



東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

22

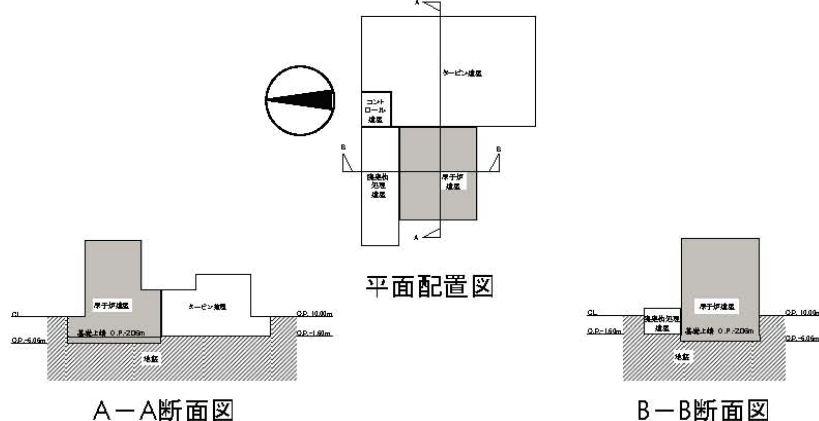
コメント回答②

②地盤による埋め込み効果の適用性について。

JEAC4601-2008では、地下部分の大部分（3面または面積で75%以上）が周辺地盤と接している場合には全面埋込みと同様な埋込み効果が期待できるものとしている。

1～4号機原子炉建屋周辺には隣接建屋があるが、基礎板側面については3面以上が周辺地盤と接しており、埋め込み効果が期待できるものとして、NOVAKの方法による側面ばねを考慮している。なお、タービン建屋・コントロール建屋・廃棄物処理建屋については、埋め込み効果は考慮していない。

原子炉建屋の周辺状況について、4号機を例示する。



4号機原子炉建屋（1F4-R/B）周辺状況



東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

23

コメント回答③

③地下部に滞留水を貯留する建屋において、滞留水に含まれる塩化物による建屋の構造強度及び耐震性の低下のリスクについて

●現状評価

津波による浸水を受けた建屋（キャスク保管建屋）の鉄筋が、腐食による断面欠損を生じていないことを確認した。

また、淡水化装置により、地下滞留水の塩素イオン濃度が低下しており、平成25年度上半期には、全域で水道水の基準値200ppm以下になると推定した。

●今後の対策

今後、地下滞留水の塩素イオン濃度を継続的に確認すると共に、作業安全性が確保された時点で目視点検を実施する。

キャスク保管建屋鉄筋劣化評価結果(H24.8)

試験体	採取箇所	かぶり厚さ	鉄筋径	腐食グレード
N0.1	1階南東エリア	60mm	D13	II
N0.2	1階南西エリア(1)	60mm	D13	I
N0.3	1階南西エリア(2)	50mm	D13	I

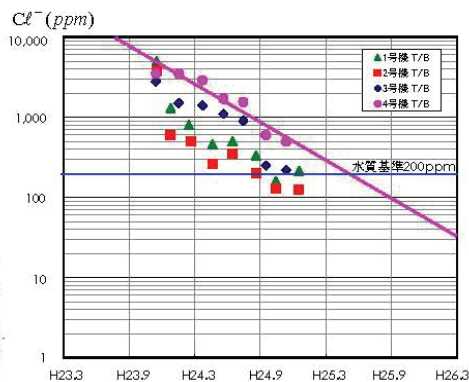
解説 表10.3.3 腐食のグレードと鋼材の状態

腐食グレード	鋼材の状態
I	黒皮の状他、またはさびは生じているが全体的に薄い膜状なさびであり、コンクリート面にさびが付着していることはない。
II	部分的にさびがあるが、小面積の斑状である。
III	断面欠損は目視観察では認められないが、鉄筋の全周または全長にわたってさびが生じている。
IV	断面欠損が生じている。

出展：2007年 コンクリート標準示方書 維持管理編（土木学会）



東京電力



タービン建屋地下滞留水塩素イオン濃度経時変化

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

24

【参考資料】



東京電力

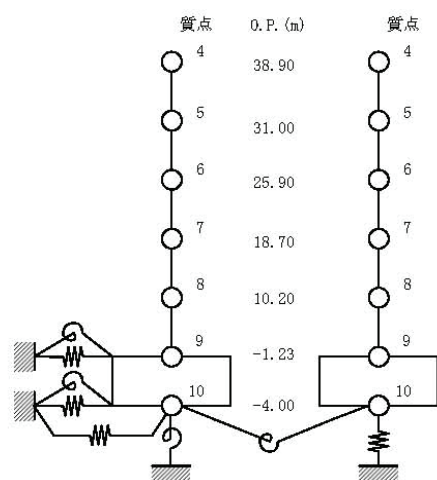
無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

25

参考1 1号機原子炉建屋 誘発上下動を考慮した影響検討

1号機原子炉建屋の地下滞留水を考慮した耐震安全性評価において、基準地震動Ssを用いた地震応答解析による検討を行った結果、NS方向のSs-2を用いた場合に、接地率は64.8%であり、「JEAC-4601-2008」に記載される基礎浮上がり非線形の評価式の適用範囲65%を下回った。

図に示す誘発上下動を考慮した解析モデルを用いて地震応答解析を行い、誘発上下動を無視した場合の応答値との比較を行う。



誘発上下動を考慮した解析モデル

参考1 1号機原子炉建屋 誘発上下動を考慮した影響検討

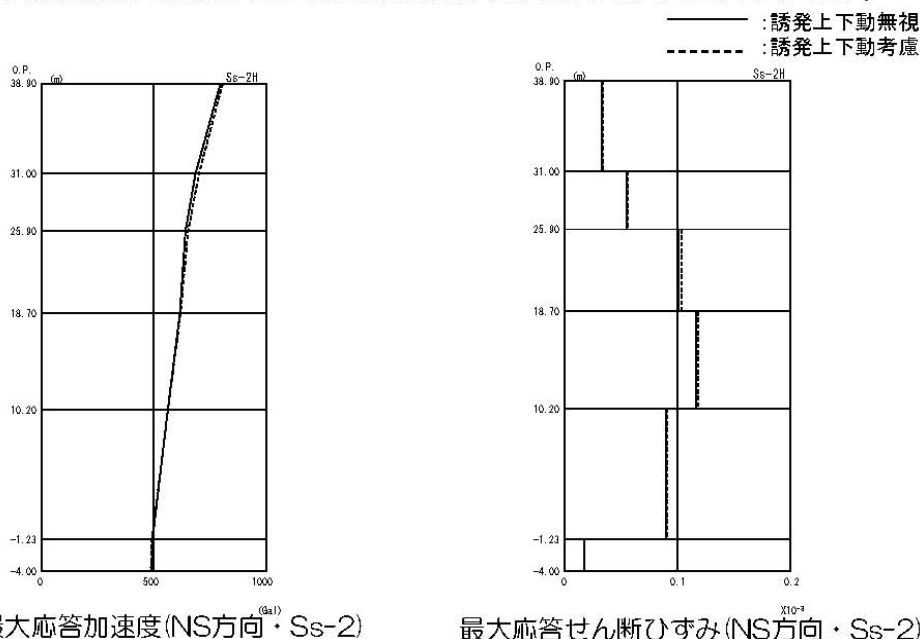
誘発上下動の有無による接地率及び耐震壁に生じるB1Fの最大応答せん断ひずみの比較を下表に示す。

接地率及びB1Fの最大応答せん断ひずみ

地震波	方向	誘発上下動の有無	接地率	B1F 最大応答 せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)
Ss-2H	NS	無視	64.8%	0.09
		考慮	65.6%	0.09

参考1 1号機原子炉建屋 誘発上下動を考慮した影響検討

誘発上下動の有無による最大応答加速度及び最大応答せん断ひずみを下図に示す。



⇒ 結果より誘発上下動の有無が、最大応答値に与える影響は小さい。



東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

28

参考2 4号機原子炉建屋耐震安全性評価結果の概要

○原子炉建屋の耐震安全性評価（質点系モデルによる解析）

- ・ 4号機原子炉建屋について、使用済燃料取り出し時の状況を質点重量に反映するとともに、損傷状況の調査において損傷が確認された箇所および平成24年6月報告書*1において外壁の一部膨らみが確認された箇所の剛性を無視したモデルを作成し、基準地震動Ssに対する地震応答解析を実施。
- ・ 解析の結果、耐震壁に発生するせん断ひずみは評価基準値を大きく下回っていることから、原子炉建屋は十分な耐震安全性を有しているものと評価した。

○使用済燃料プールの耐震安全性評価（3次元FEM解析）

- ・ 使用済燃料プールについて、使用済燃料取り出し時の状況における重量変化および使用済燃料プール底部の支持構造物等を反映するとともに、損傷状況の調査において損傷が確認された箇所および平成24年6月報告書*1において外壁の一部膨らみが確認された箇所の剛性を無視したモデルを作成し、基準地震動Ssに対する応力解析を実施。
- ・ 解析の結果、使用済燃料プールにおける鉄筋のひずみ、面外せん断力は評価基準値に対して十分余裕があることから、使用済燃料プールは十分な耐震安全性を有しているものと評価した。

*1「福島第一原子力発電所4号機原子炉建屋の外壁の局所的な膨らみを考慮した耐震安全性に関する検討に係る報告書」（平成24年6月、東京電力株式会社）



東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

29

参考2 4号機原子炉建屋耐震安全性評価結果の概要

福島第一原子力発電所第4号機原子炉建屋において、燃料取り出し用力バーの設計および瓦礫撤去の進捗に伴い、使用済燃料の取り出し時における建屋の状況および躯体の損傷状況が明らかになってきた。



平成23年5月28日に報告した「福島第一原子力発電所の原子炉建屋の現状の耐震安全性および補強等に関する検討に係る報告書（その1）」（東京電力株式会社）（以下、平成23年報告書という）から、状況の変化を反映し、使用済燃料の取り出し時を想定した4号機原子炉建屋および使用済燃料プールの耐震安全性に関する検討を実施した。



東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

30

参考3 4号機使用済燃料プールの取り出し時における原子炉建屋の状況

No	考慮した項目	内容
①	オペフロ上部の瓦礫撤去	R階およびCR階から崩落した瓦礫を撤去
②	オペフロからの機器撤去	オペフロ上から機器を撤去
③	燃料取扱機支持用架構の設置	燃料取扱機支持用架構を設置
④	雨水浸入対策のための構造物の設置	燃料取り出し用力バーで覆われない範囲に雨水浸入対策のための構造物を設置
⑤	使用済燃料プール底部の支持構造物	使用済燃料プール底部の支持構造物（鋼製支柱、コンクリート）を設置
⑥	ヤード整備の実施	ヤード整備のため、西側下屋上に1m程度の覆土を実施
⑦	地下滞留水の考慮	B1階からMB1階までに滞留した水の存在を考慮
⑧	使用済燃料プールの循環冷却の開始	使用済燃料プールの循環冷却の開始により水温が低下（管理温度65℃）

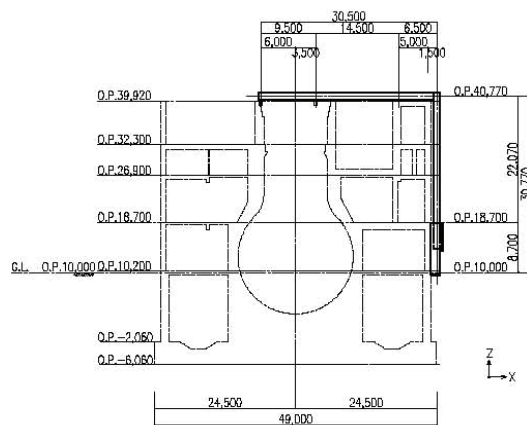


東京電力

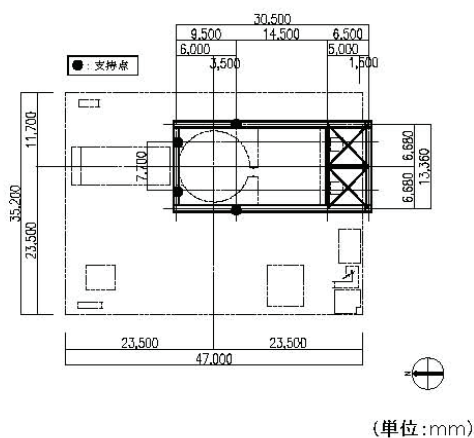
無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

31

参考3 4号機使用済燃料プールの取り出し時における原子炉建屋の状況



燃料取扱機支持用架構
南北断面図



燃料取扱機支持用架構
梁伏図 (O.P. 41,420)

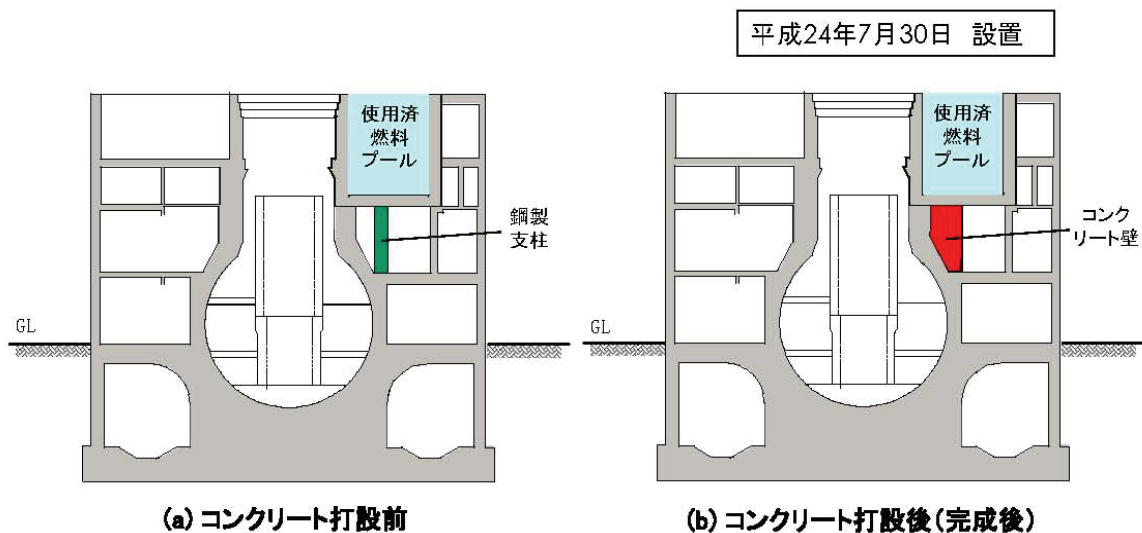


東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

32

参考3 4号機使用済燃料プールの取り出し時における原子炉建屋の状況



使用済燃料プール底部の支持構造物のイメージ(南北断面図)

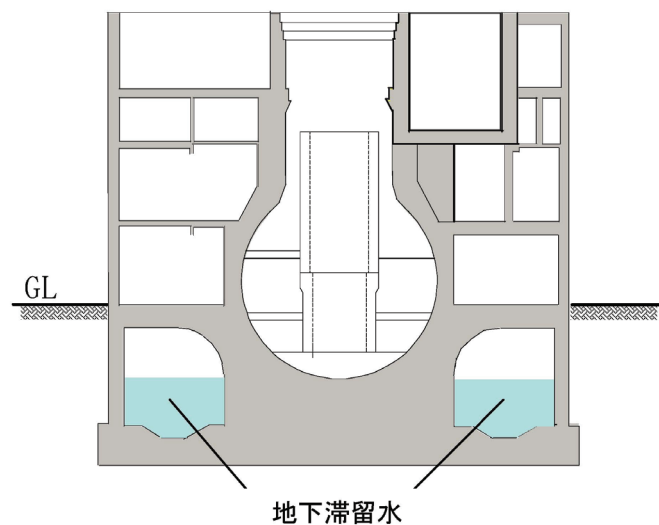


東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

33

参考3 4号機使用済燃料プールの取り出し時における原子炉建屋の状況



地下滞留水のイメージ(南北断面図)

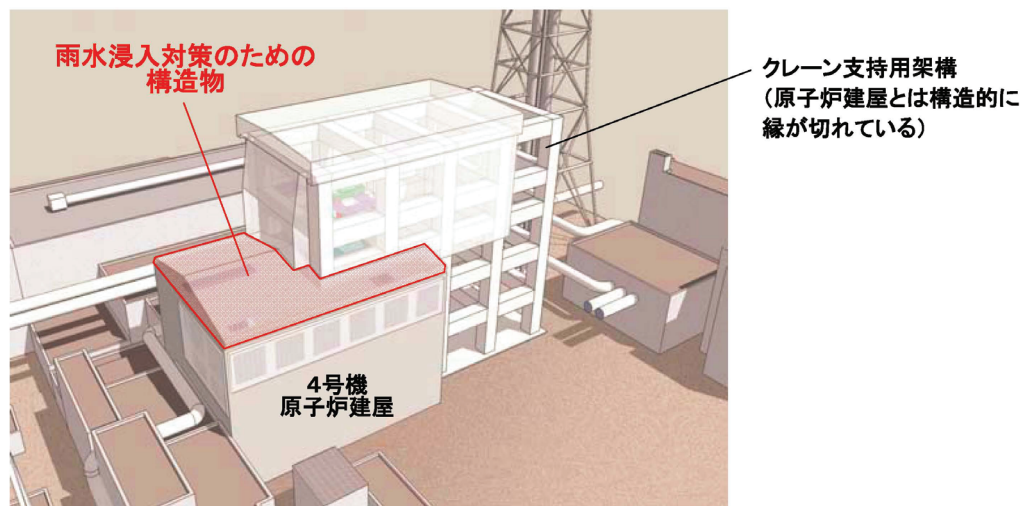


東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

34

参考3 4号機使用済燃料プールの取り出し時における原子炉建屋の状況



雨水浸入対策のための構造物のイメージ

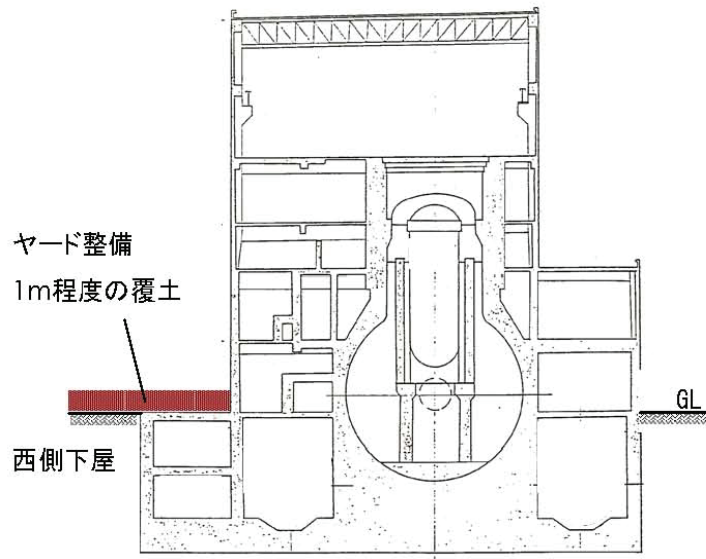


東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

35

参考3 4号機使用済燃料プールの取り出し時における原子炉建屋の状況



ヤード整備のイメージ(東西断面図)

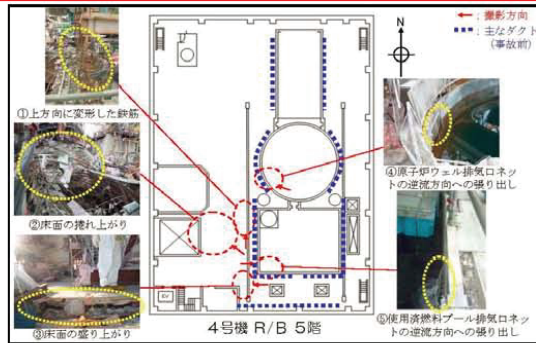


東京電力

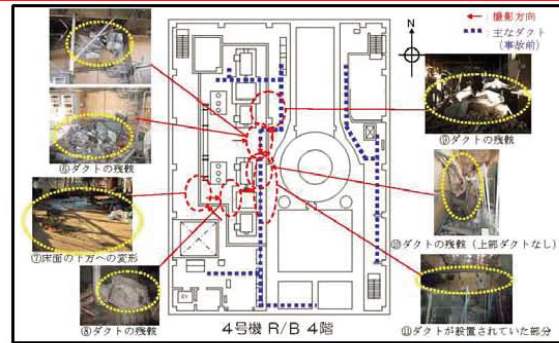
無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

36

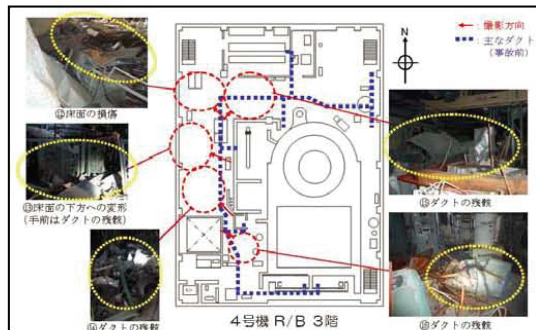
参考4 4号機原子炉建屋躯体の損傷状況



5階



4階



3階

建屋内の損傷状況に関する調査結果 (3～5階)

事故調査報告書（平成24年6月、東京電力株式会社）より

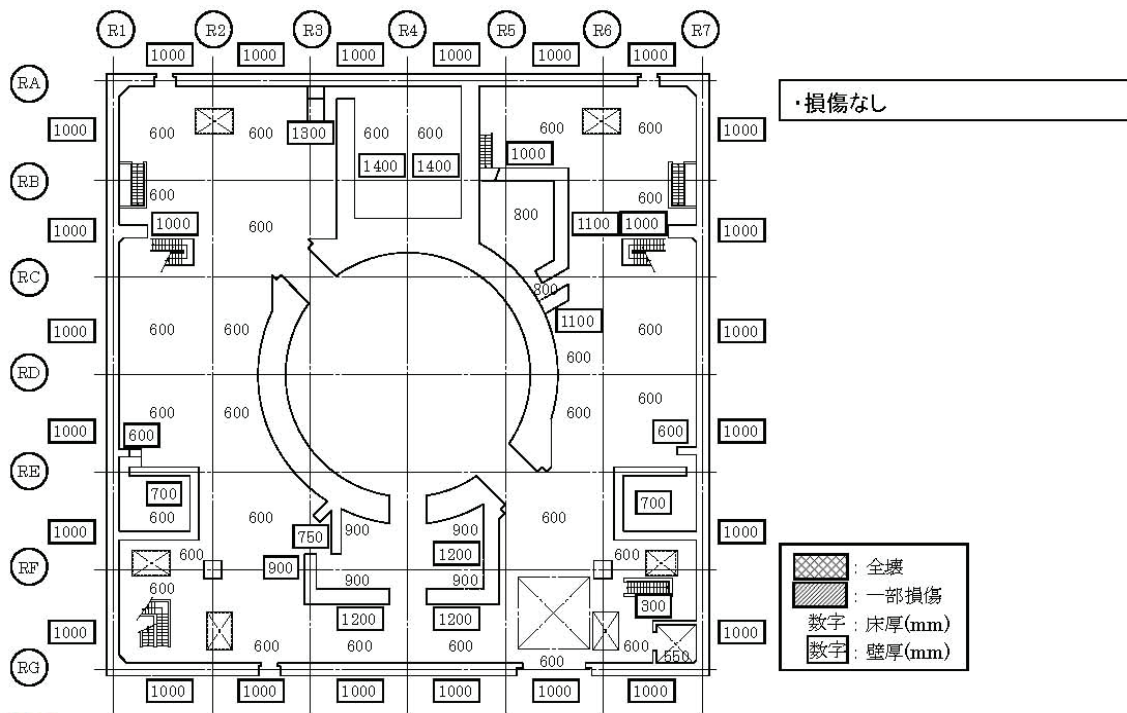


東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

37

参考4 4号機原子炉建屋躯体の損傷状況（1階）

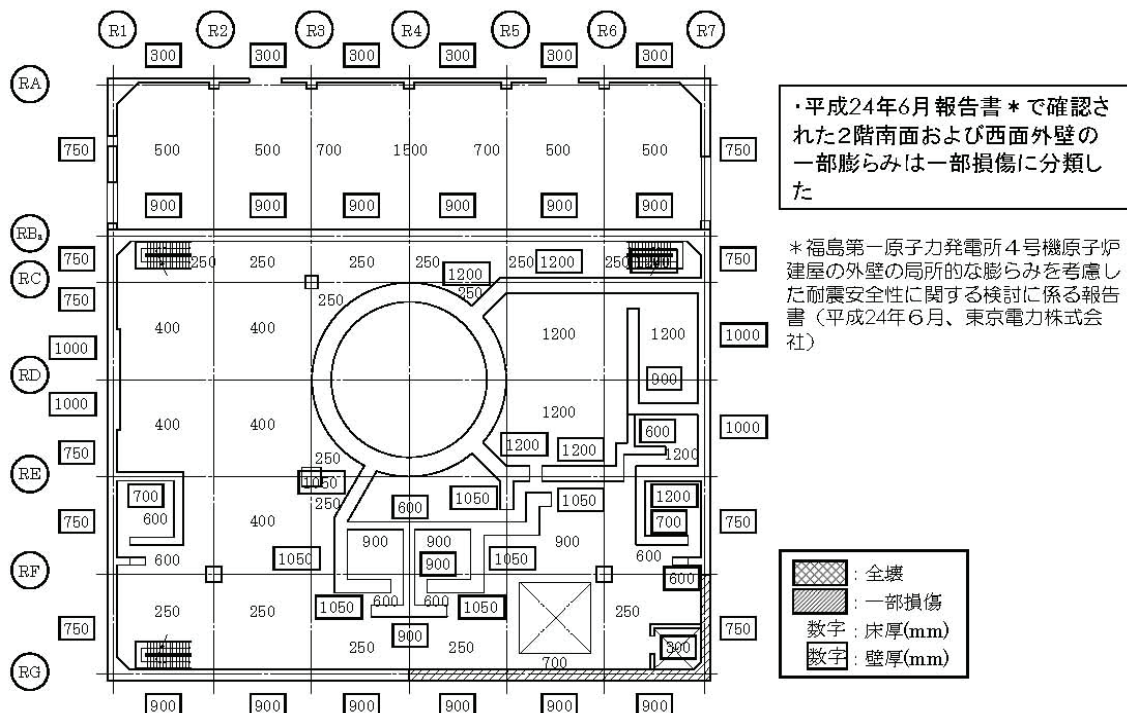


東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

38

参考4 4号機原子炉建屋躯体の損傷状況（2階）

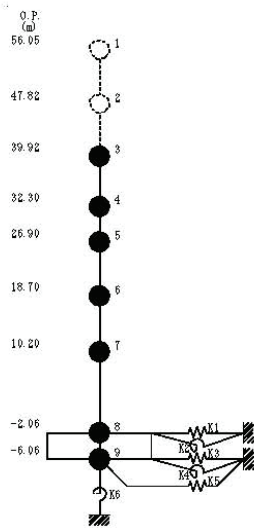


東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

39

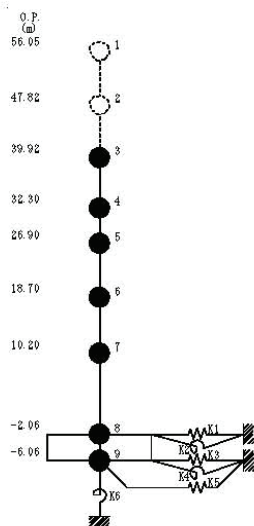
参考5 4号機原子炉建屋の耐震安全性評価（質点系モデルによる解析）



質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_g (\times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{m}^2)$	せん断断面積 $A_s (\text{m}^2)$	断面2次モーメント $I (\text{m}^4)$
1	—	—	—	—
2	—	—	—	—
3	69,940	128.73	—	—
4	87,140	160.44	147.1	10,080
5	127,760	235.14	102.2	14,387
6	129,030	237.57	202.7	32,567
7	218,480	402.18	175.4	46,774
8	353,740	707.83	460.4	114,194
9	132,390	264.88	2,812.6	562,754
合計	1,118,480	ヤング係数 E_c せん断弾性係数 G ポアソン比 ν 減衰 h 基礎形状	$2.57 \times 10^7 (\text{kN/m}^2)$ $1.07 \times 10^7 (\text{kN/m}^2)$ 0.20 5% 49.0m(NS方向) $\times$ 57.4m(EW方向)	

建屋モデル（NS方向）

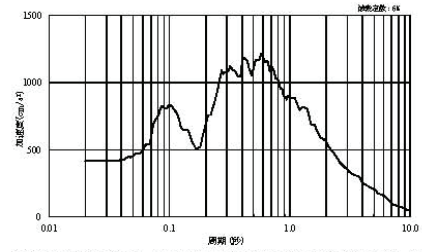
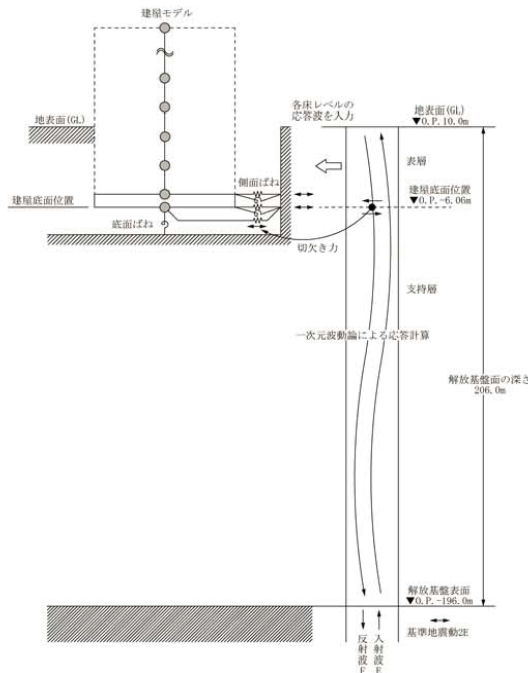
参考5 4号機原子炉建屋の耐震安全性評価（質点系モデルによる解析）



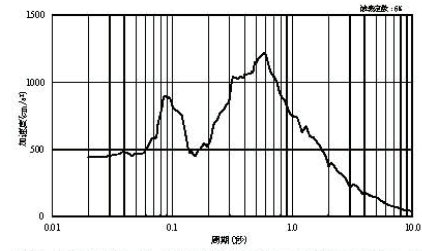
質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_g (\times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{m}^2)$	せん断断面積 $A_s (\text{m}^2)$	断面2次モーメント $I (\text{m}^4)$
1	—	—	—	—
2	—	—	—	—
3	69,940	72.20	—	—
4	87,140	89.98	73.0	5,928
5	127,760	235.14	98.3	6,182
6	129,030	237.57	161.6	23,344
7	218,480	599.92	166.4	46,303
8	353,740	1021.56	424.5	136,323
9	132,390	346.27	2,812.6	772,237
合計	1,118,480	ヤング係数 E_c せん断弾性係数 G ポアソン比 ν 減衰 h 基礎形状	$2.57 \times 10^7 (\text{kN/m}^2)$ $1.07 \times 10^7 (\text{kN/m}^2)$ 0.20 5% 49.0m(NS方向) $\times$ 57.4m(EW方向)	

建屋モデル（EW方向）

参考5 4号機原子炉建屋の耐震安全性評価（質点系モデルによる解析）



建屋基礎底面への入力地震動の応答スペクトル
(Ss-1、基礎底面E+F)



建屋基礎底面への入力地震動の応答スペクトル
(Ss-2、基礎底面E+F)

地震応答解析の概要



東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

42

参考5 4号機原子炉建屋の耐震安全性評価（質点系モデルによる解析）

固有値解析結果（Ss-1、NS方向）

モード 次数	1	2	3
固有振動数 (Hz)	2.67	5.71	13.90
固有周期 (s)	0.374	0.175	0.072
固有モード			



東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

43

参考5 4号機原子炉建屋の耐震安全性評価（質点系モデルによる解析）

固有値解析結果（Ss-1、EW方向）

モード 次数	1	2	3
固有振動数 (Hz)	2.75	5.76	11.97
固有周期 (s)	0.363	0.174	0.084
固有モード			

参考5 4号機原子炉建屋の耐震安全性評価（質点系モデルによる解析）

固有値解析結果（Ss-2、NS方向）

モード 次数	1	2	3
固有振動数 (Hz)	2.72	5.80	13.94
固有周期 (s)	0.368	0.172	0.072
固有モード			

参考5 4号機原子炉建屋の耐震安全性評価（質点系モデルによる解析）

固有値解析結果（Ss-2、EW方向）

モード 次数	1	2	3
固有振動数 (Hz)	2.80	5.85	12.03
固有周期 (s)	0.358	0.171	0.083
固有モード			

参考5 4号機原子炉建屋の耐震安全性評価（質点系モデルによる解析）

地盤定数（Ss-1）

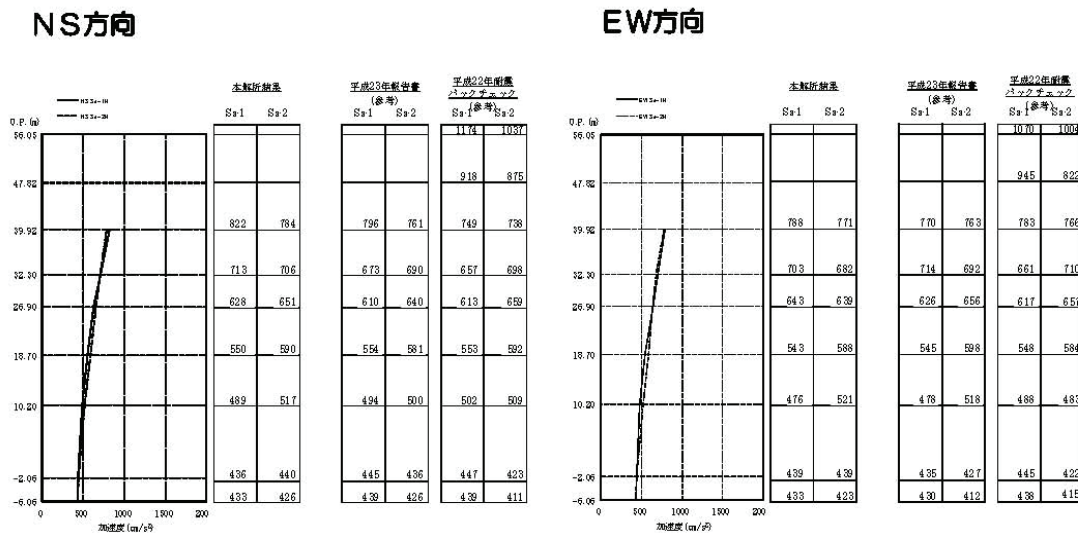
標高 O.P. (m)	地質	S波速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m^3)	ポアソン比 ν	初期せん断 弾性係数 G_0 (kN/m^2)	剛性低下率 G/G_0	せん断弾性 係数 G (kN/m^2)	剛性低下後 S波速度 V_s (m/s)	減衰定数 h (%)
10.0									
1.9	砂岩	380	17.8	0.473	262,000	0.85	223,000	351	3
-10.0	泥岩	450	16.5	0.464	341,000	0.78	266,000	398	3
-80.0		500	17.1	0.455	436,000		340,000	442	
-108.0		560	17.6	0.446	563,000		439,000	495	
-196.0		600	17.8	0.442	653,000		509,000	530	
	解放基盤	700	18.5	0.421	924,000	1.00	924,000	700	—

参考5 4号機原子炉建屋の耐震安全性評価（質点系モデルによる解析）

地盤定数（S s-2）

標高 O.P. (m)	地質	S波速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m^3)	ポアソン比 ν	初期せん断 弾性係数 G_0 (kN/m^2)	剛性低下率 G/G_0	せん断弾性 係数 G (kN/m^2)	剛性低下後 S波速度 V_s (m/s)	減衰定数 h (%)
10.0	砂岩	380	17.8	0.473	262,000	0.85	223,000	351	3
1.9		450	16.5	0.464	341,000	0.81	276,000	405	3
-10.0		500	17.1	0.455	436,000		353,000	450	
-80.0		560	17.6	0.446	563,000		456,000	504	
-108.0		600	17.8	0.442	653,000		528,000	540	
-196.0	解放基盤	700	18.5	0.421	924,000	1.00	924,000	700	—

参考5 4号機原子炉建屋の耐震安全性評価（質点系モデルによる解析）



参考5 4号機原子炉建屋の耐震安全性評価（質点系モデルによる解析）

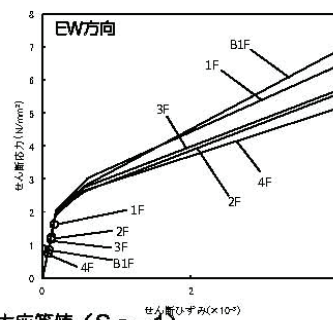
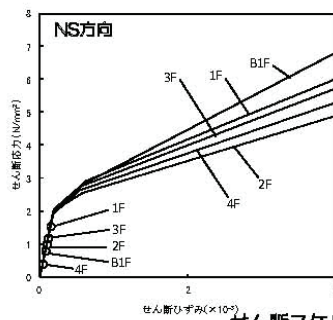
耐震壁の最大応答せん断ひずみ一覧（最大応答せん断ひずみ、NS方向）
($\times 10^{-3}$)

階	本検討		平成22年耐震 バックチェック		評価 基準値
	Ss-1	Ss-2	Ss-1	Ss-2	
CRF	-	-	0.10	0.09	4.0
5F	-	-	0.17	0.15	
4F	0.04	0.04	0.05	0.05	
3F	0.11	0.11	0.08	0.08	
2F	0.10	0.10	0.09	0.09	
1F	0.15	0.15	0.15	0.16	
B1F	0.08	0.08	0.08	0.08	

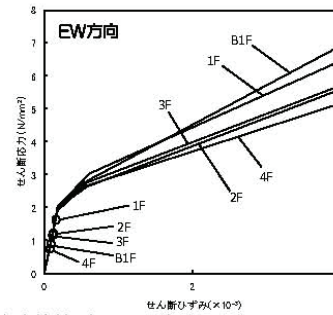
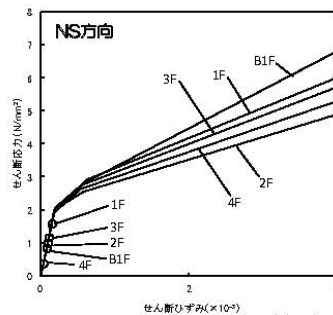
耐震壁の最大応答せん断ひずみ一覧（最大応答せん断ひずみ、EW方向）
($\times 10^{-3}$)

階	本検討		平成22年耐震 バックチェック		評価 基準値
	Ss-1	Ss-2	Ss-1	Ss-2	
CRF	-	-	0.12	0.12	4.0
5F	-	-	0.30	0.20	
4F	0.08	0.07	0.08	0.08	
3F	0.12	0.11	0.11	0.11	
2F	0.12	0.12	0.12	0.12	
1F	0.16	0.16	0.16	0.17	
B1F	0.09	0.09	0.08	0.09	

参考5 4号機原子炉建屋の耐震安全性評価（質点系モデルによる解析）

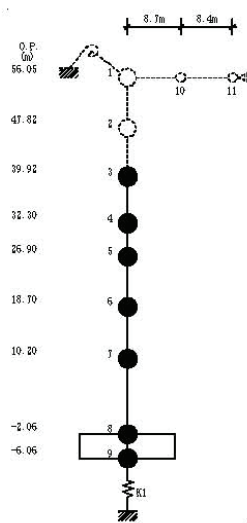


せん断スkeleton曲線上的最大応答値 (Ss-1)



せん断スkeleton曲線上的最大応答値 (Ss-2)

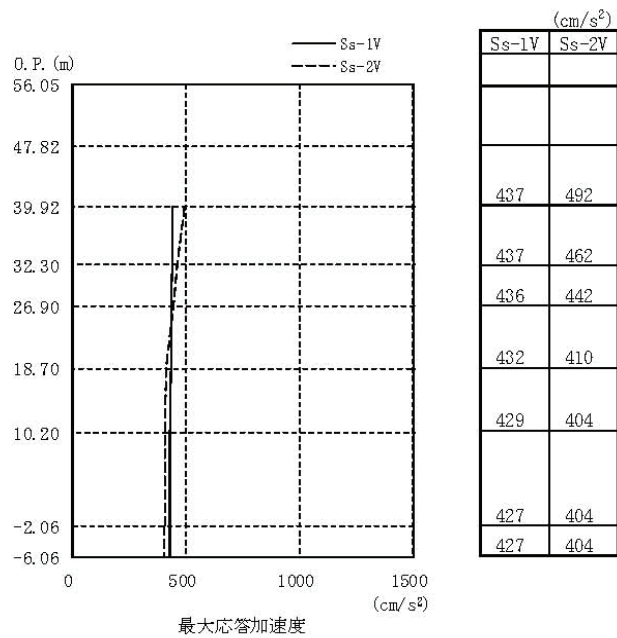
参考5 4号機原子炉建屋の耐震安全性評価（質点系モデルによる解析）



質点番号	質点重量 W (kN)	軸断面積 A _N (m ²)	軸ばね剛性 K _A (×10 ⁸ kN/m)
1	—	—	—
2	—	—	—
3	69,940	204.5	6.90
4	87,140	210.7	10.03
5	127,760	354.5	11.11
6	129,030	340.6	10.30
7	218,480	654.7	13.72
8	353,740	2,812.6	180.71
9	132,390		
合計	1,118,480	ヤング係数E _c 2.57×10 ⁷ (kN/m ²) せん断弾性係数G 1.07×10 ⁷ (kN/m ²) ポアソン比ν 0.20 減衰δ 5% 基礎形状 49.0m (NS方向) × 57.4m (EW方向)	

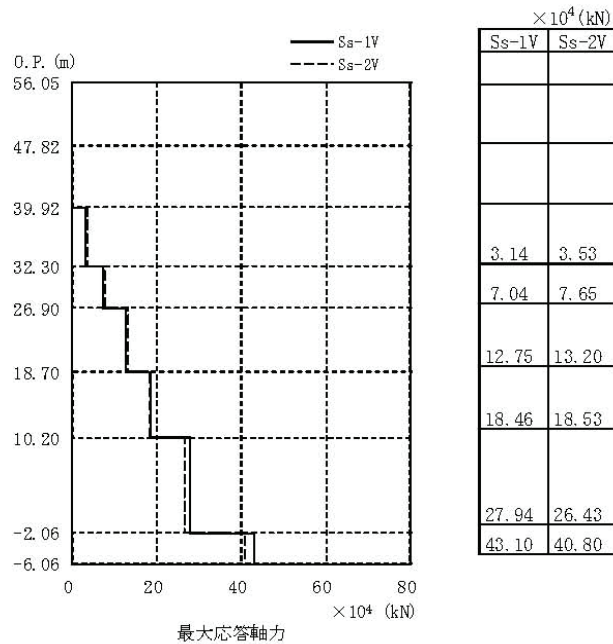
建屋モデル（鉛直方向）

参考5 4号機原子炉建屋の耐震安全性評価（質点系モデルによる解析）



最大応答加速度（鉛直方向）

参考5 4号機原子炉建屋の耐震安全性評価（質点系モデルによる解析）



最大応答加速度（鉛直方向）



東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

54

参考6 4号機使用済燃料プールの耐震安全性評価（3次元FEM解析）

解析条件

項目		内容
モデル	壁 (プール・シェル含む)	全壊・一部損傷の壁の剛性を0%とする
	床 (プール含む)	全壊・一部損傷の床の剛性を0%とする
	補強効果	使用済燃料プール底部の支持構造物の鋼製支柱を模擬
荷重	死荷重	オペフロ上部瓦礫撤去、燃料取扱機支持用架構荷重等を反映
	静水圧	使用済燃料プール、原子炉ウェル、機器仮置プールが満水状態にあると仮定した場合の静水圧を考慮
	温度荷重	一律内部65℃、外部0℃、炉内40℃
	地震荷重	損傷を考慮した質点系モデルによる基準地震動Ssに対する地震応答解析結果に基づき、水平および鉛直方向の地震荷重を考慮
	その他の荷重	地震時動水圧 燃料取扱機支持用架構反力
		損傷を考慮した質点系モデルによる基準地震動Ssに対する地震応答解析結果に基づき、地震時に作用するプール水の動水圧を考慮 燃料取扱機支持用架構の反力を考慮する

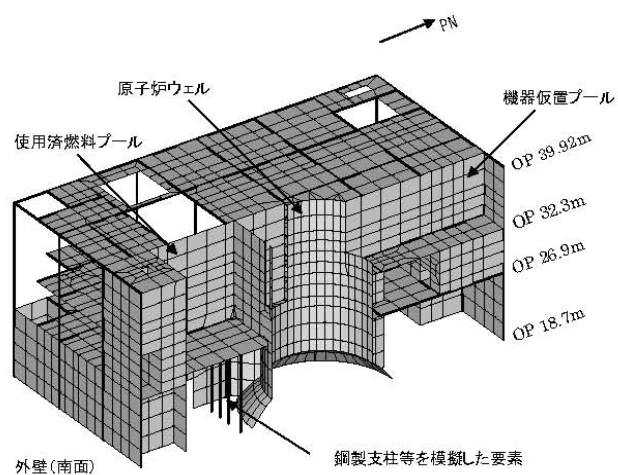


東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

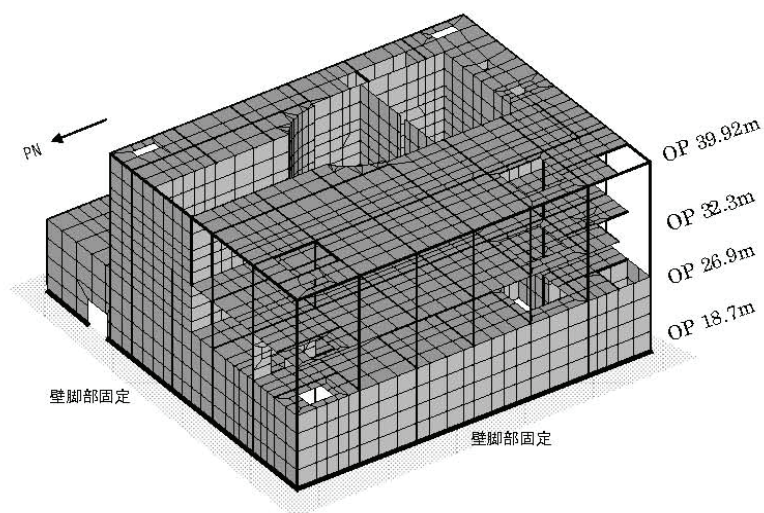
55

参考6 4号機使用済燃料プールの耐震安全性評価（3次元FEM解析）



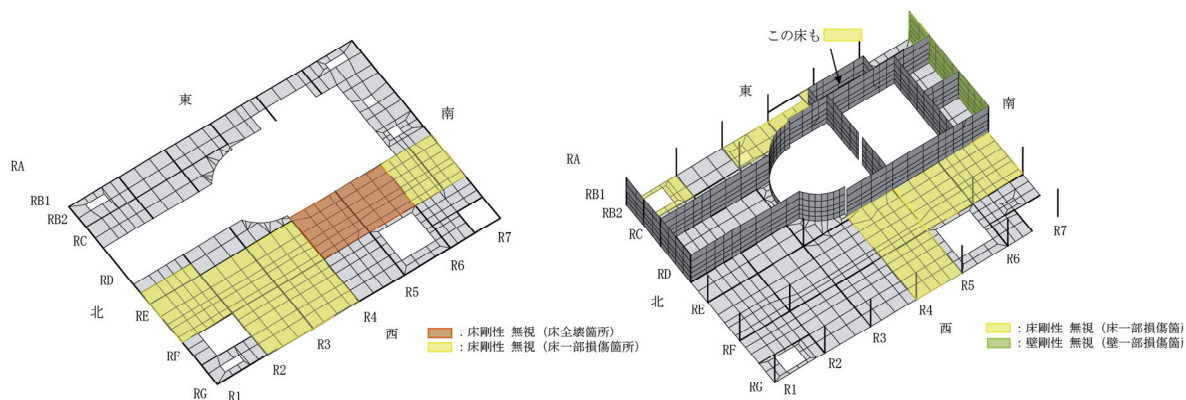
断面

参考6 4号機使用済燃料プールの耐震安全性評価（3次元FEM解析）

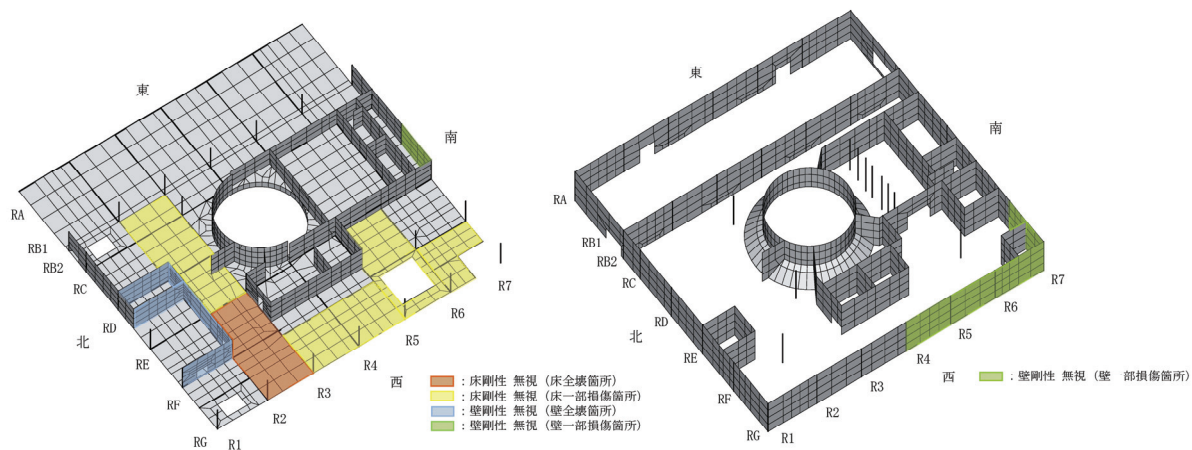


境界条件

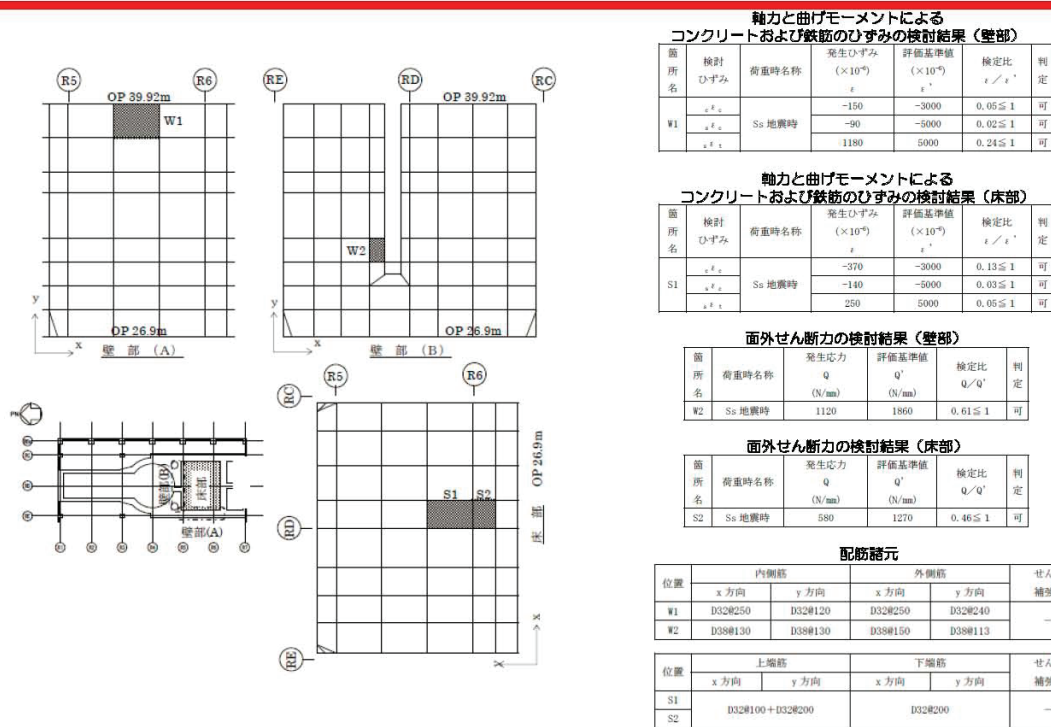
参考6 4号機使用済燃料プールの耐震安全性評価（3次元FEM解析）



参考6 4号機使用済燃料プールの耐震安全性評価（3次元FEM解析）



参考6 4号機使用済燃料プールの耐震安全性評価（3次元FEM解析）



東京電力

評価結果と配筋諸元

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

60

参考6 4号機使用済燃料プールの耐震安全性評価（3次元FEM解析）

【パラメトリックスタディ】

基本ケースとの剛性の設定の比較

ケース	壁の剛性の設定			床スラブの剛性の設定	
	全壊箇所*1	一部損傷箇所*1	膨らみ部*2	全壊箇所*1	一部損傷箇所*1
基本ケース	0%	0%	0%	0%	0%
パラメータケース	0%	50%	50%	0%	50%



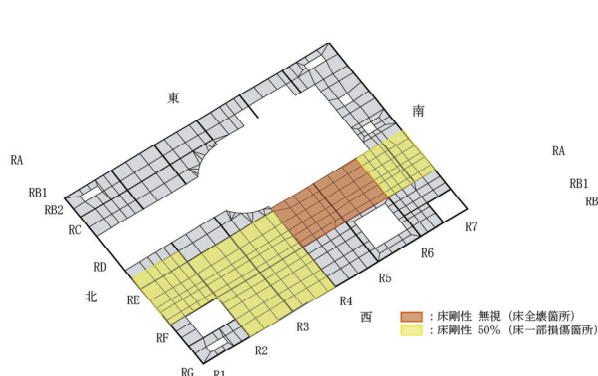
東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

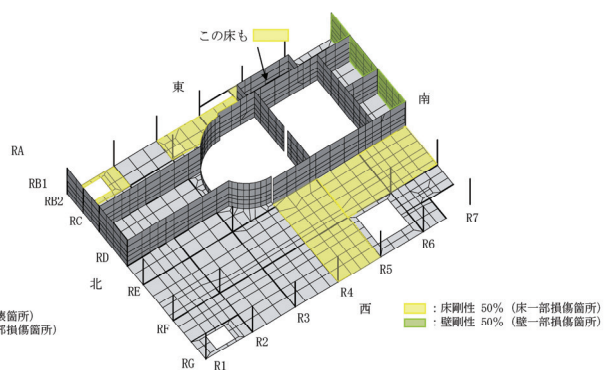
61

参考6 4号機使用済燃料プールの耐震安全性評価（3次元FEM解析）

【パラメトリックスタディ】



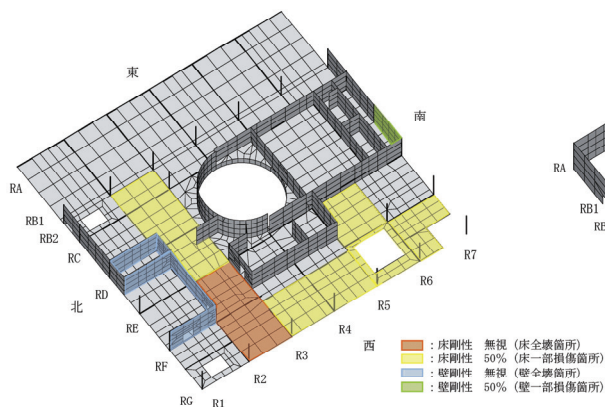
損傷モデル アイソメ図 5階



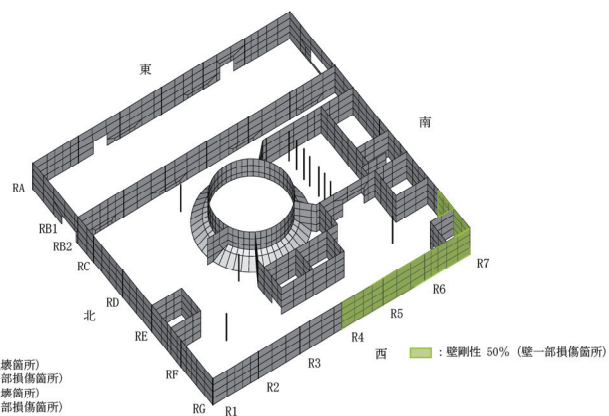
損傷モデル アイソメ図 4階

参考6 4号機使用済燃料プールの耐震安全性評価（3次元FEM解析）

【パラメトリックスタディ】



損傷モデル アイソメ図 3階



損傷モデル アイソメ図 2階

参考6 4号機使用済燃料プールの耐震安全性評価（3次元FEM解析）

【パラメトリックスタディ】

評価基準値に対する発生ひずみもしくは発生応力の比（検定比*1）の比較

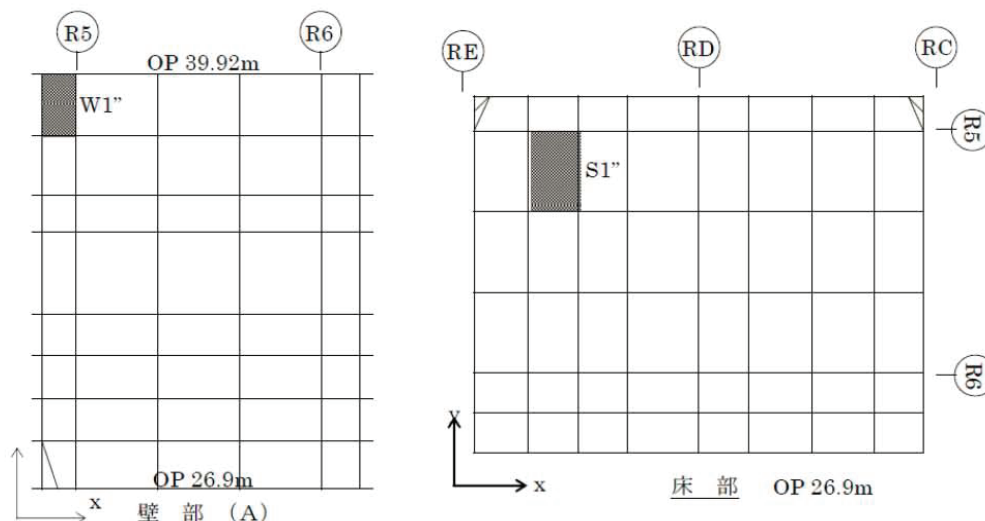
	箇所名	評価項目	基本ケース	パラメータケース
プール壁	W1	鉄筋ひずみ	0.24	0.22 ^{*2}
		コンクリートひずみ	0.05	0.06 ^{*2}
	W2	面外せん断力	0.61	0.43
プール床	S1	鉄筋ひずみ	0.05	0.05 ^{*2}
		コンクリートひずみ	0.13	0.13 ^{*2}
	S2	面外せん断力	0.46	0.48

*1：表中の値は、1以下であれば評価基準を満たしていることを示している。

*2：プール壁及びプール床のひずみは、評価基準値に対する発生ひずみおよび発生応力の比（検定比）が最大となる箇所が基本ケースとパラメータケースで異なっており、上記表上のパラメータケースにおけるひずみには、検定比が最大となる箇所の値ではなく、基本ケースと同じ箇所の値を記載している。なお、パラメータケースにおける検定比が最大となる箇所は図-5に示す壁部(A)のW1"および、床部のS1"であり、検定比はW1"の鉄筋ひずみで0.24、S1"のコンクリートひずみで0.13である。

参考6 4号機使用済燃料プールの耐震安全性評価（3次元FEM解析）

【パラメトリックスタディ】



パラメータケースにおけるプール壁の面外せん断力の裕度が最大となる箇所

参考6 4号機使用済燃料プールの耐震安全性評価（3次元FEM解析）

【パラメトリックスタディ】

コンクリートおよび鉄筋のひずみの検討結果（壁部）

箇所名	検討ひずみ	荷重時名称	発生ひずみ ($\times 10^{-4}$) ϵ	評価基準値 ($\times 10^{-4}$) ϵ^*	検定比 ϵ/ϵ^*	判定
W1	ϵ_{x-c}	Ss地震時	-180	-3000	$0.06 \leq 1$	可
	ϵ_{y-c}		-90	-5000	$0.02 \leq 1$	可
	ϵ_{x-t}		1080	5000	$0.22 \leq 1$	可
W1''	ϵ_{x-c}	Ss地震時	-320	-3000	$0.11 \leq 1$	可
	ϵ_{y-c}		-240	-5000	$0.05 \leq 1$	可
	ϵ_{x-t}		1200	5000	$0.24 \leq 1$	可

面外せん断力の検討結果（壁部）

箇所名	荷重時名称	発生応力 Q (N/mm)	評価基準値 Q' (N/mm)	検定比 Q/Q'	判定
W2	Ss地震時	790	1860	$0.43 \leq 1$	可

軸力と曲げモーメントによるコンクリートおよび鉄筋のひずみの検討結果（床部）

箇所名	検討ひずみ	荷重時名称	発生ひずみ ($\times 10^{-4}$) ϵ	評価基準値 ($\times 10^{-4}$) ϵ^*	検定比 ϵ/ϵ^*	判定
S1	ϵ_{x-c}	Ss地震時	-370	-3000	$0.13 \leq 1$	可
	ϵ_{y-c}		-150	-5000	$0.03 \leq 1$	可
	ϵ_{x-t}		240	5000	$0.05 \leq 1$	可
S1''	ϵ_{x-c}	Ss地震時	-370	-3000	$0.13 \leq 1$	可
	ϵ_{y-c}		-200	-5000	$0.04 \leq 1$	可
	ϵ_{x-t}		180	5000	$0.04 \leq 1$	可

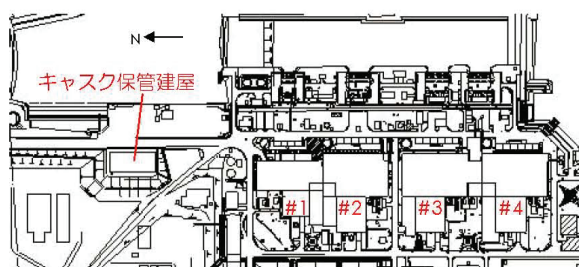
面外せん断力の検討結果（床部）

箇所名	荷重時名称	発生応力 Q (N/mm)	評価基準値 Q' (N/mm)	検定比 Q/Q'	判定
S2	Ss地震時	600	1270	$0.48 \leq 1$	可

参考7 滞留水に含まれる塩化物による建屋劣化リスク

H23.12まで津波による浸水を受けたキャスク保管建屋の鉄筋コンクリート壁に対して、H24.8に劣化調査を実施したところ、鉄筋の腐食による断面欠損は生じていないことを確認した。

これより、地下滞留水を貯留する建物についても、現時点において構造に影響を与えるような塩分浸透による劣化はないものと評価した。



キャスク保管建屋配置図



鉄筋採取位置(No.1)

キャスク保管建屋鉄筋劣化評価結果

試験体	採取箇所	かぶり厚さ	鉄筋径	腐食グレード
NO. 1	1階南東エリア	60mm	D13	II
NO. 2	1階南西エリア(1)	60mm	D13	I
NO. 3	1階南西エリア(2)	50mm	D13	I



No.1 (腐食グレードII)



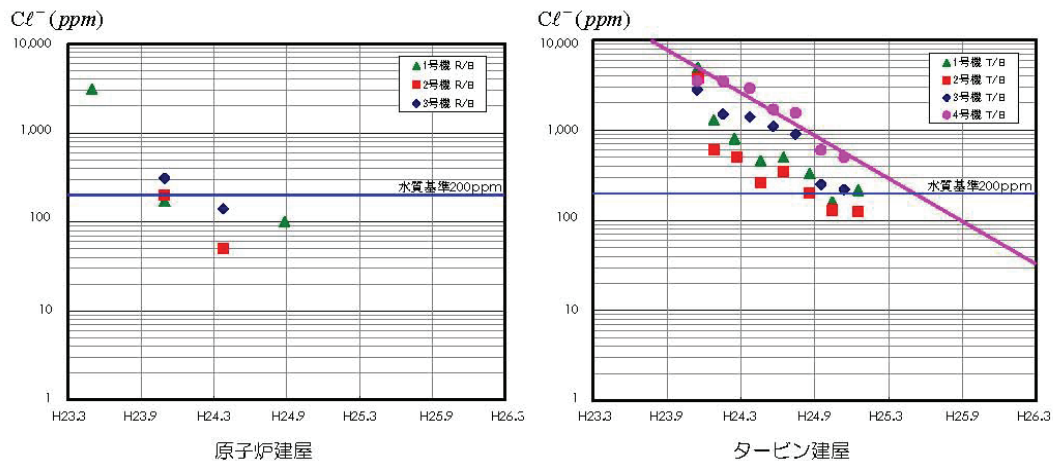
No.2 (腐食グレードI)



No.3 (腐食グレードI)

参考7 滞留水に含まれる塩化物による建屋劣化リスク

- 塩分除去した水を注水することにより、地下滞留水の塩素イオン濃度は、経時的に減少している。
- ・原子炉建屋では、すでに水道水の塩素イオン基準値200ppmを下回っている。
 - ・タービン建屋では、平成25年上半期には、概ね200ppm以下になると推定した。
- これから、地下滞留水を貯留する建物については、平成25年度下半期以降は構造に影響を与えるような塩分浸透による劣化はないものと評価した。



地下滞留水塩素イオン濃度経時変化