

柏崎刈羽原子力発電所5号機

新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る
原子炉建屋の点検・評価状況について

平成21年9月1日

東京電力株式会社

目次

1. はじめに	1-1
2. 地震の概要	2-1
2. 1 平成19年新潟県中越沖地震の概要	2-1
2. 2 柏崎刈羽原子力発電所での観測記録	2-1
2. 3 5号機の観測記録	2-3
2. 4 5号機の状況	2-6
3. 報告の概要	3-1
3. 1 報告の位置付け	3-1
3. 2 点検・評価に関する基本的な考え方	3-1
3. 3 点検・評価の対象	3-3
3. 4 品質保証	3-11
3. 5 実施体制	3-11
4. 点検	4-1
4. 1 点検方法の策定	4-1
4. 2 力量管理	4-4
4. 3 点検結果	4-5
4. 4 第三者機関による確認	4-11
5. 耐震健全性評価	5-1
5. 1 解析評価方針	5-1
5. 2 原子炉建屋における観測記録	5-3
5. 3 地震応答解析	5-10
5. 4 地震応答解析結果	5-17
5. 5 耐震健全性評価結果（鉄筋コンクリート部）	5-22
5. 6 耐震健全性評価（鉄骨部）	5-27
6. 総合評価	6-1
6. 1 総合評価の方法	6-1
6. 2 総合評価結果	6-2
7. 添付資料・参考資料一覧	7-1

1. はじめに

本報告は、「新潟県中越沖地震を受けた柏崎刈羽原子力発電所の設備の健全性に係る点検・評価計画について（経済産業省 平成 19・11・06 原院第 2 号 平成 19 年 11 月 9 日）」を受け、原子力安全・保安院に提出した「柏崎刈羽原子力発電所 5 号機 新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価計画書（建物・構築物編）」に基づき実施した、原子炉建屋の点検・評価結果についてとりまとめたものである。

2. 地震の概要

2.1. 平成 19 年新潟県中越沖地震の概要

平成 19 年 7 月 16 日午前 10 時 13 分頃、新潟県中越沖において、大きな地震が発生し、新潟県と長野県で最大震度 6 強を観測した他、北陸地方を中心に東北地方から近畿・中国地方にかけて広い範囲で地震動が観測された。気象庁発表によれば、マグニチュードは 6.8、震源深さは 17 km であり、震央距離 16 km、震源距離約 23 km に位置していた柏崎刈羽原子力発電所は地震発生により大きな地震動を受けた。



図-2.1.1 平成 19 年新潟県中越沖地震の震央と柏崎刈羽原子力発電所の位置

2.2. 柏崎刈羽原子力発電所での観測記録

柏崎刈羽原子力発電所における地震観測点の配置を図-2.2.1 に示す。各号機の原子炉建屋基礎版上の加速度時刻歴波形（東西方向）を図-2.2.2 に示す。

全号機で顕著なパルス波が観測されており、特に荒浜側（1～4号機）で時刻歴波形の後半に大振幅のパルスが見られる。一方、大湊側（5～7号機）では時刻歴波形後半に荒浜側のような大振幅のパルスは確認されていない。

原子炉建屋基礎版上で観測された最大加速度値および設計時の最大加速度応答値を表-2.2.1 に示す。原子炉建屋基礎版上での最大加速度の中で最大のものは、1号機東西方向で 680gal である。

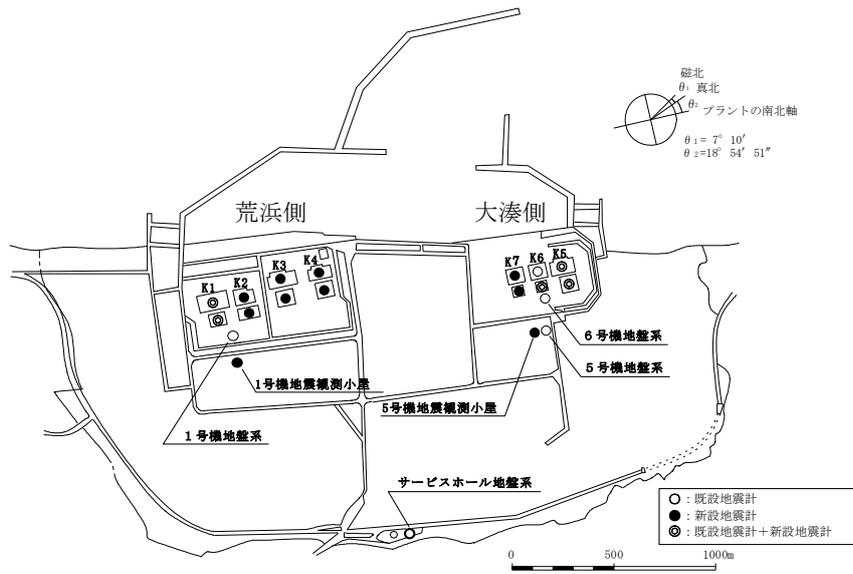


図-2. 2. 1 柏崎刈羽原子力発電所における地震観測点の配置

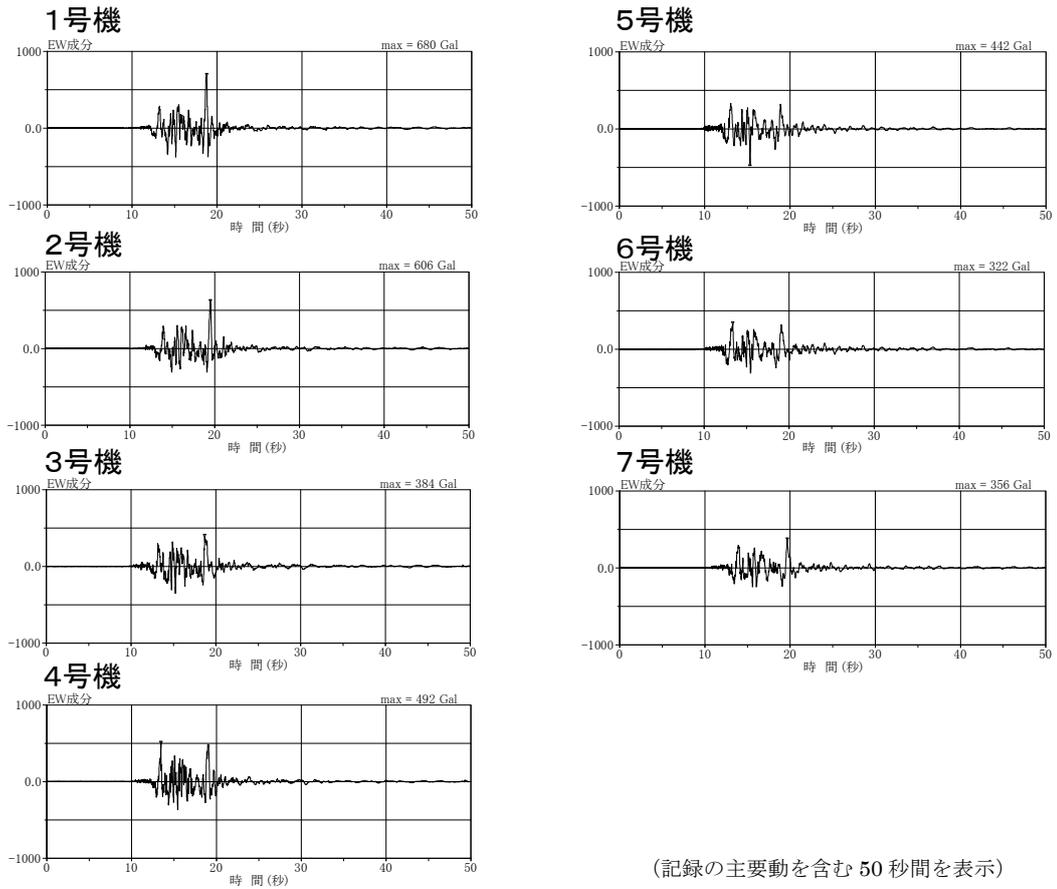


図-2. 2. 2 原子炉建屋基礎版上で観測された加速度時刻歴波形（東西方向）

表-2.2.1 原子炉建屋基礎版上で観測された最大加速度値と設計時の最大加速度応答値

		南北方向 ^{※1}		東西方向 ^{※1}		上下方向 ^{※1}	
		観測	設計 ^{※2}	観測	設計 ^{※2}	観測	設計 ^{※3}
1号機	最下階 (B5F)	311	274	680	273	408	(235)
2号機	最下階 (B5F)	304	167	606	167	282	(235)
3号機	最下階 (B5F)	308	192	384	193	311	(235)
4号機	最下階 (B5F)	310	193	492	194	337	(235)
5号機	最下階 (B4F)	277	249	442	254	205	(235)
6号機	最下階 (B3F)	271	263	322	263	488	(235)
7号機	最下階 (B3F)	267	263	356	263	355	(235)

※1：スクラム設定値 水平方向 120gal、上下方向 100gal

※2：設計時の基準地震動 S₂ (1号機は EL CENTRO 等) による応答値

※3：上下方向については、() 内の値を静的設計で用いている

2.3. 5号機の観測記録

5号機原子炉建屋の地震計の配置を図-2.3.1に、基礎版上で観測された加速度時刻歴波形を図-2.3.2に示す。また、観測された記録に基づく加速度応答スペクトルを、設計時の基準地震動 S₂に基づく床応答スペクトルと比較したものを図-2.3.3に示す。原子炉建屋基礎版上の最大加速度値は、設計時の基準地震動 S₂による最大加速度応答値 254gal に対し東西方向で 442gal であった。

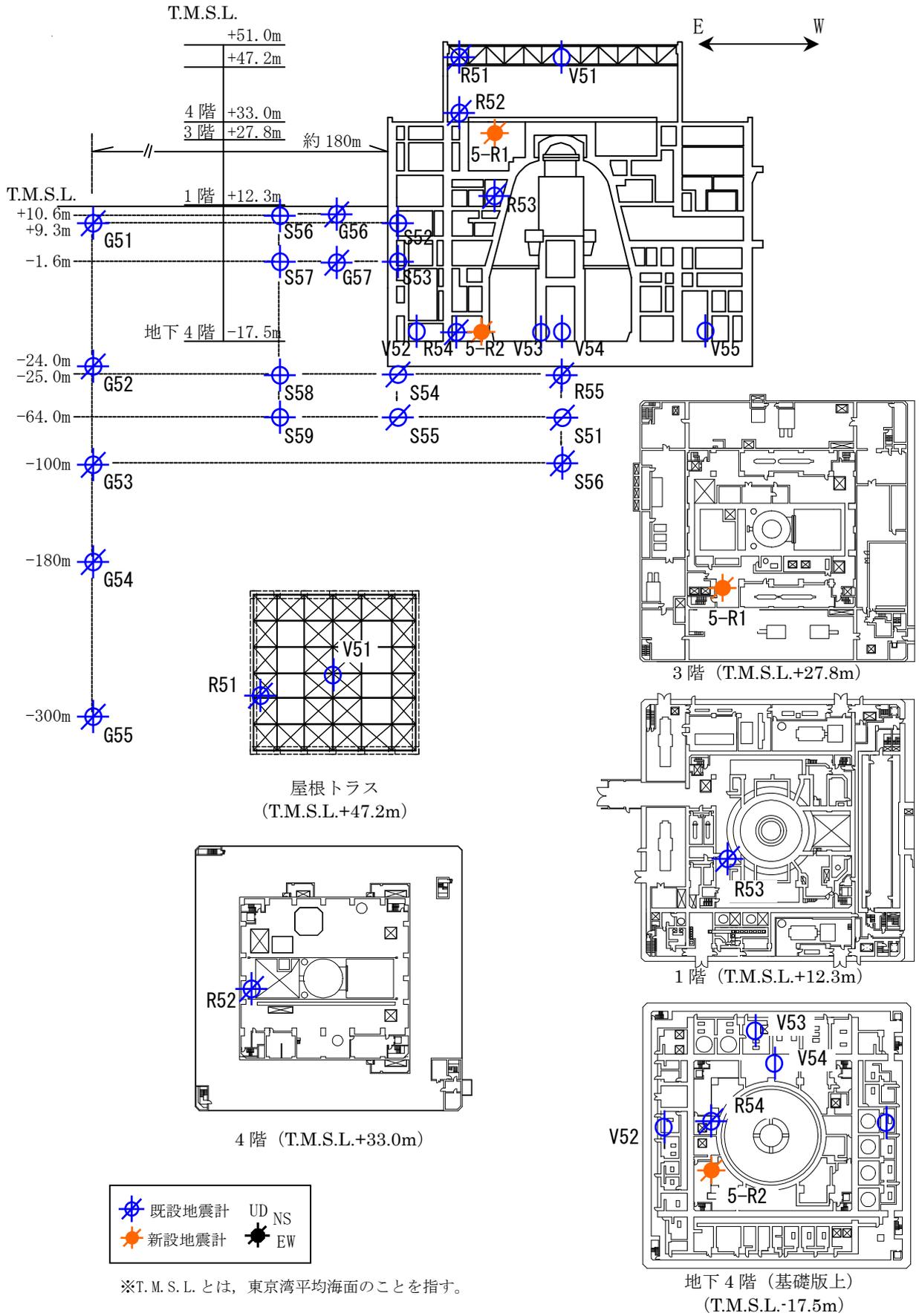


図-2.3.1 5号機 原子炉建屋地震計配置図

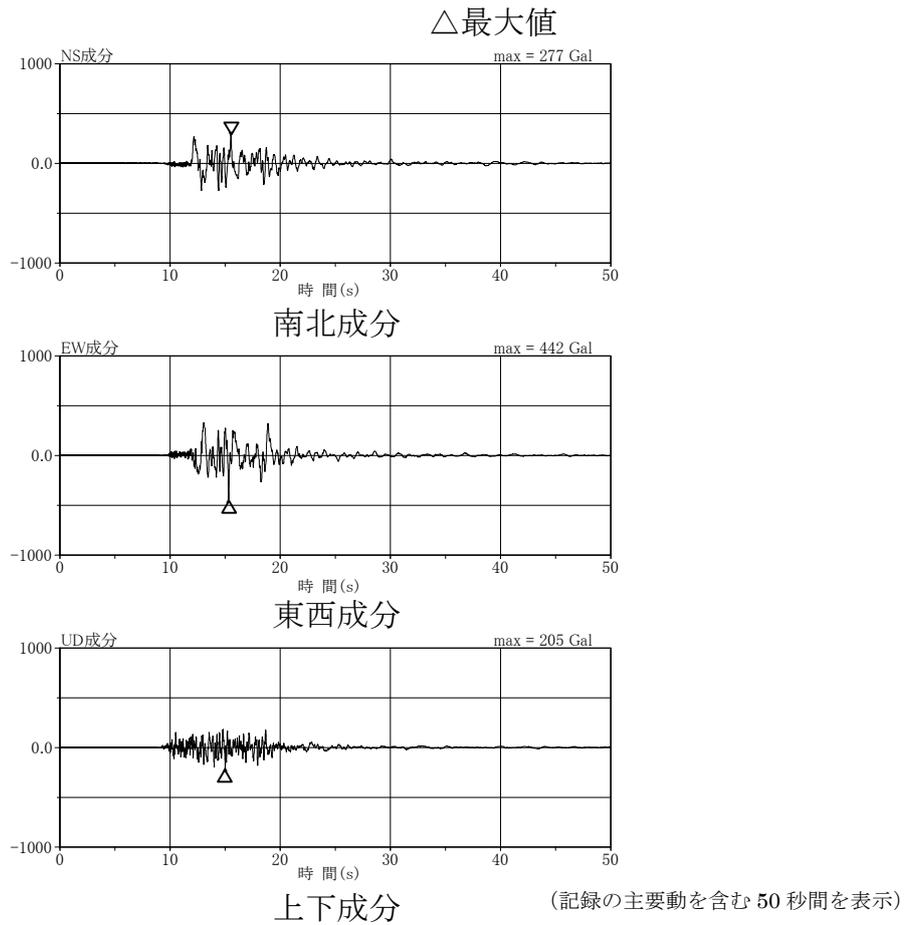


図-2.3.2 5号機 原子炉建屋基礎版上で観測された加速度時刻歴波形 (5-R2)

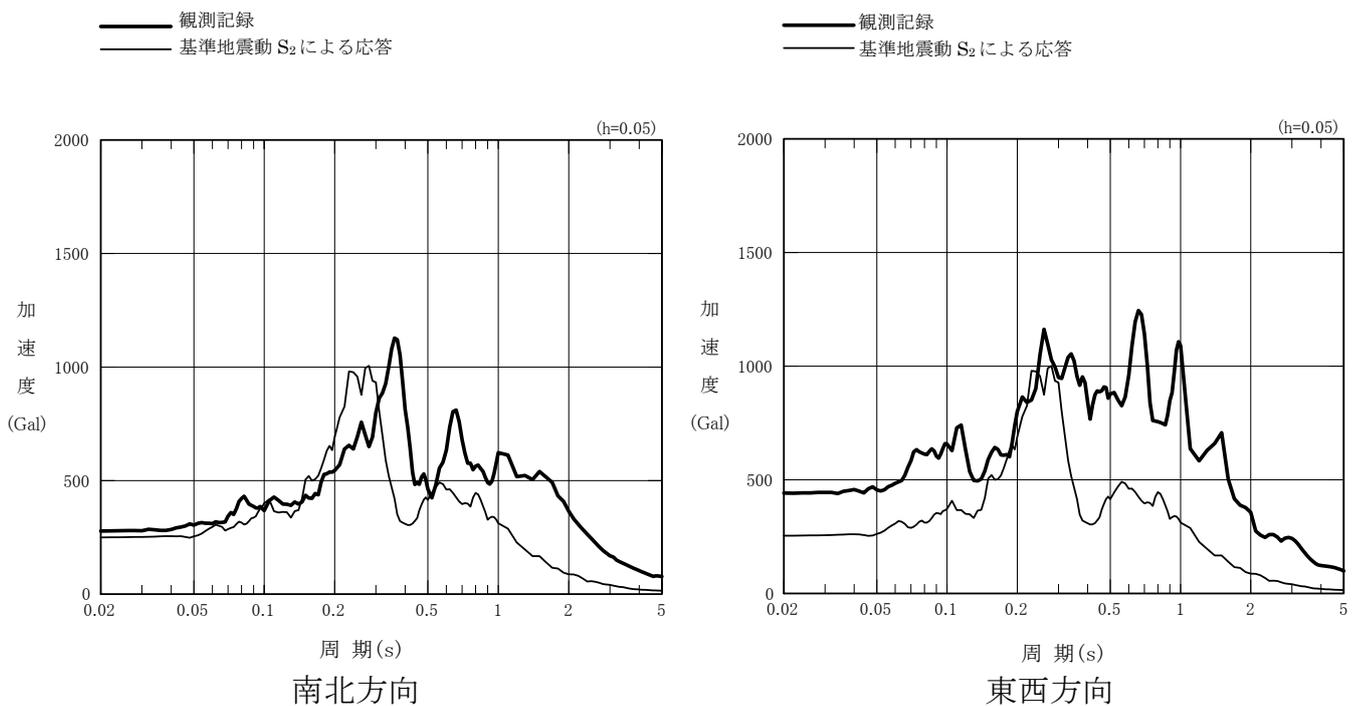


図-2.3.3 5号機 原子炉建屋基礎版上の加速度応答スペクトル (5-R2)

2.4. 5号機の状況

地震発生当時、柏崎刈羽原子力発電所5号機は定期検査中であったが、地震波が到達した後も安定的な冷温停止状態となっている。

3. 報告の概要

3.1. 報告の位置付け

柏崎刈羽原子力発電所は設計時の地震動を上回る地震動を観測したため、新潟県中越沖地震(以下、本地震という。)が柏崎刈羽原子力発電所の設備の健全性に及ぼした影響について評価することを目的に「柏崎刈羽原子力発電所5号機 新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価計画書(建物・構築物編)」に基づき点検・評価作業を実施してきた。この対象となる建物・構築物は、原子炉建屋、タービン建屋、海水熱交換器建屋、排気筒、非常用取水路、原子炉補機冷却系配管ダクトおよび非常用ガス処理系配管ダクトである。

本報告の位置付けは、

- ・原子炉建屋の目視点検作業が概ね終了したこと
- ・原子炉建屋の地震応答解析の結果が得られたこと

から、現段階における原子炉建屋の健全性について評価を行うものである。

3.2. 点検・評価に関する基本的な考え方

本報告における点検・評価とは、建物・構築物について実施する点検、地震応答解析による耐震健全性評価および両者の結果を踏まえた健全性の総合評価をいう。

点検は、各建物・構築物を対象に共通的に実施する目視点検により行う。地震応答解析による評価は、本地震の地震観測記録に基づく各建物・構築物の解析的な評価を実施する。

点検・評価に関しては、以下の基本的な考え方に従った。(図-3.2.1 参照)

- ・耐震安全上重要な建物・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は、非破壊試験等の追加点検を行い、必要に応じて補修を実施することも検討する。
- ・地震応答解析結果において裕度が比較的小さい場合は、詳細検討を行う。

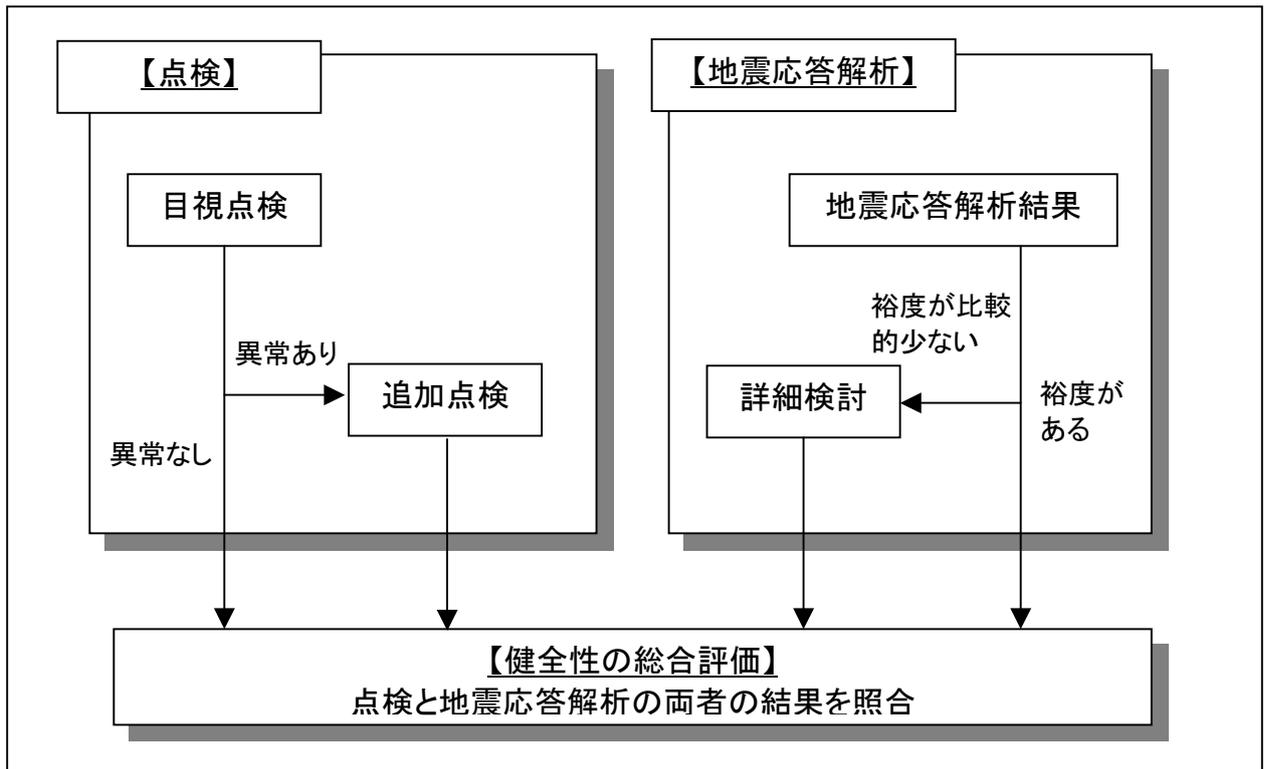


図-3.2.1 建物・構築物の点検・評価の全体フロー

3.3. 点検・評価の対象

電気事業法に基づく事業用電気工作物の工事計画書に記載のあるすべての建物・構築物とする。また、耐震上重要な機器の間接支持構造物に該当する建物・構築物、安全上の重要度分類クラス1に該当する建物・構築物も点検対象とする。(表-3.3.1 および図-3.3.1 参照)

表-3.3.1 柏崎刈羽原子力発電所5号機 点検・評価対象の建物・構築物一覧

	対象電気工作物の名称	対象の建物・構築物 (他号機との共用を除く)
工事計画書本文上に記載のある建物・構築物	<ul style="list-style-type: none"> ・放射線管理設備のうち生体しゃへい装置 (1) 1次しゃへい壁 (2) 2次しゃへい壁 	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋
	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉格納施設 (1) 原子炉建屋 (二次格納施設) 	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋
	<ul style="list-style-type: none"> ・堰その他の設備 (1) 漏えいの拡大を防止するために施設する堰その他の設備 (2) 施設外への漏えいを防止するために施設する堰その他の設備 	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・タービン建屋
	<ul style="list-style-type: none"> ・廃棄設備 (1) 固体廃棄物貯蔵庫 	(該当なし ^{*1})
	<ul style="list-style-type: none"> ・排気筒 (1) 排気筒 	<ul style="list-style-type: none"> ・排気筒
耐震上重要な機器の間接支持構造物に該当する建物・構築物	<ul style="list-style-type: none"> ・耐震安全上重要度が高い設備（耐震クラスがAs、Aクラスの機器設備）を間接支持する建物・構築物 	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・排気筒 ・タービン建屋 ・海水熱交換器建屋 ・原子炉補機冷却系配管ダクト ・非常用ガス処理系配管ダクト
安全上の重要度分類クラス1に該当する建物・構築物	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・非常用取水設備 ・制御室及びそのしゃへい 	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・非常用取水路

^{*1} 1号機における点検・評価対象

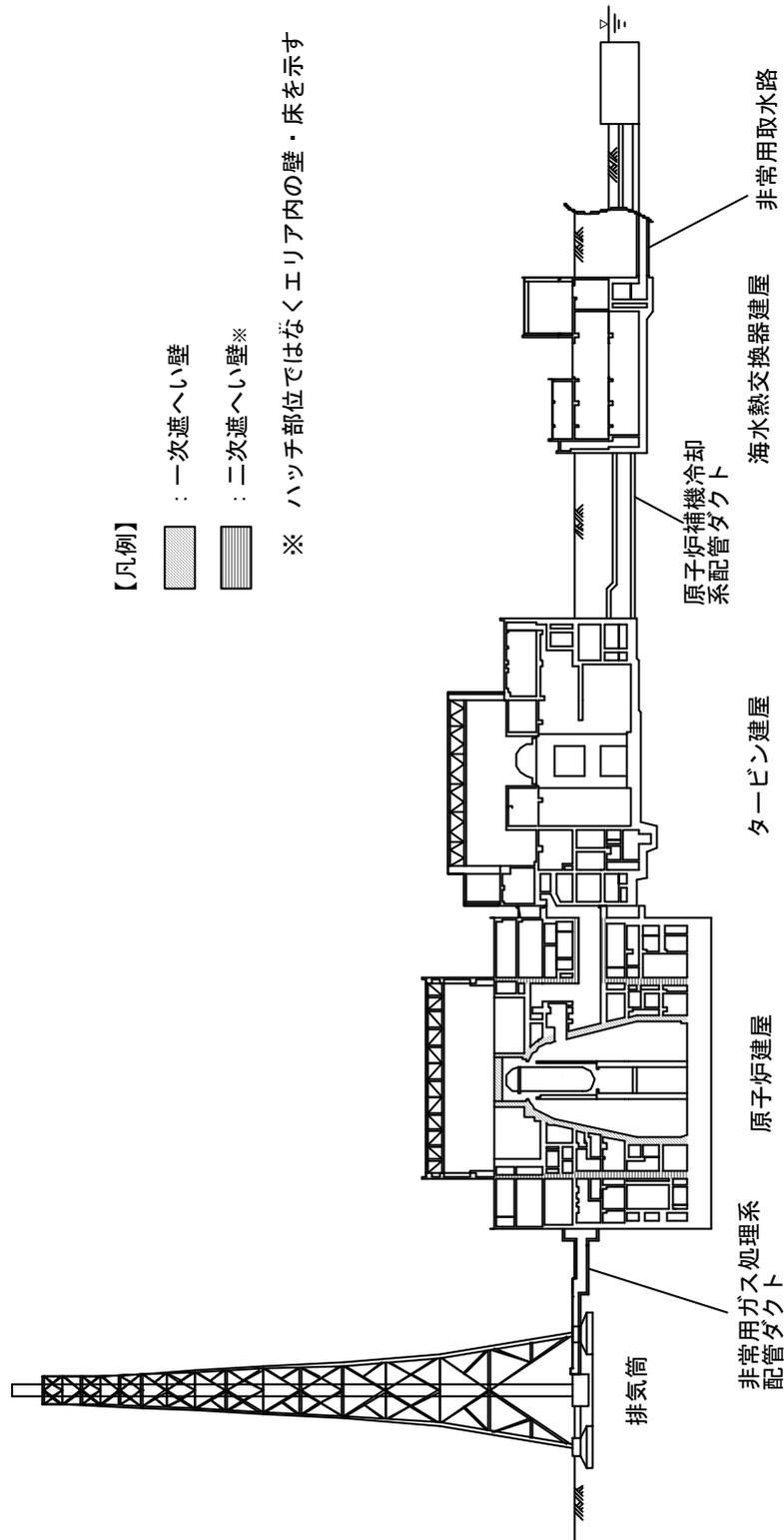


図-3.3.1 点検・評価対象の建物・構築物の断面図

3.3.1. 原子炉建屋の概要

原子炉建屋は、主要構造が鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造を含む）の鉄骨造陸屋根をもつ建物である。

原子炉建屋の平面は、中央部に平面が 51.0m (NS) × 53.0m^{※1} (EW) で地下 4 階、地上 4 階の原子炉棟があり、その周囲に地下 4 階、地上 3 階の付属棟が配置されている。（図-3.3.2～図-3.3.11 参照）

原子炉棟と付属棟とは同一基礎版上に配置された一体構造であり、原子炉建屋の平面は下部では、83.0m (NS) × 83.0m^{※1} (EW) の正方形をなしている。基礎底面からの全体高さは約 75.0m であり、地上高さは約 39.0m、地下深さは 36.0m である。建物は全体として東西方向、南北方向ともほぼ左右対称で下部の平面的な広がり大きくし、地震時の水平力に対する安定性をよくしている。原子炉建屋は隣接するタービン建屋とは構造的に分離されている。

原子炉建屋の基礎は、厚さ 6.5m のべた基礎で支持地盤である新第三紀層の泥岩からなる岩盤上に直接設置されている。

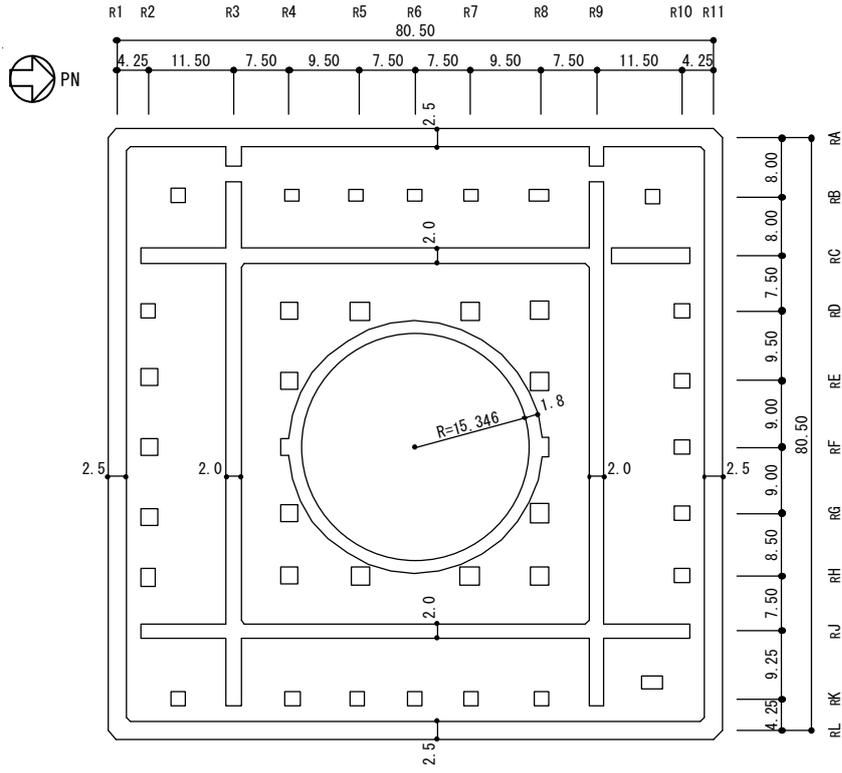
原子炉棟の中央部に原子炉圧力容器を収容している鋼製格納容器があり、その周りを囲んでいる鉄筋コンクリート造遮へい壁（以下、「シェル壁」という。）は、上部が円すい台形、下部は円筒形で基礎版上に固定されている。このシェル壁の全体高さは約 50.5m、円筒部の直径は約 30.7m であり、壁厚は上部で 1.9m、下部では 1.8m である。

原子炉棟の外壁（以下、「内部ボックス壁」という。）は基礎版上から屋根面まで連続しており壁厚は地下部分で 2.0～1.5m、地上部分では 1.3～0.3m である。

付属棟の外壁（以下、「外部ボックス壁」という。）の壁厚は地下部分で 2.5～1.8m、地上部分で 1.4～0.5m である。また、内部ボックス壁と外部ボックス壁の間に壁が適宜、配置されている。

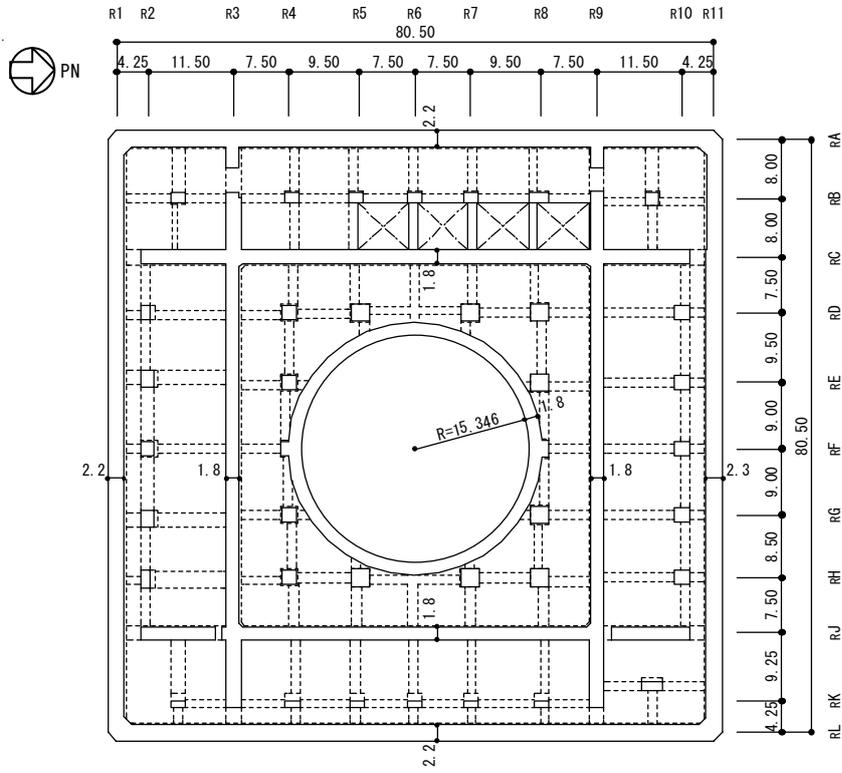
これらの壁は平面的に閉じた形で建物の中心に対してほぼ対称に配置され、開口部も少なく、したがって、建物は全体として非常に剛性の高い設計となっている。

※1 建屋寸法は壁外面寸法



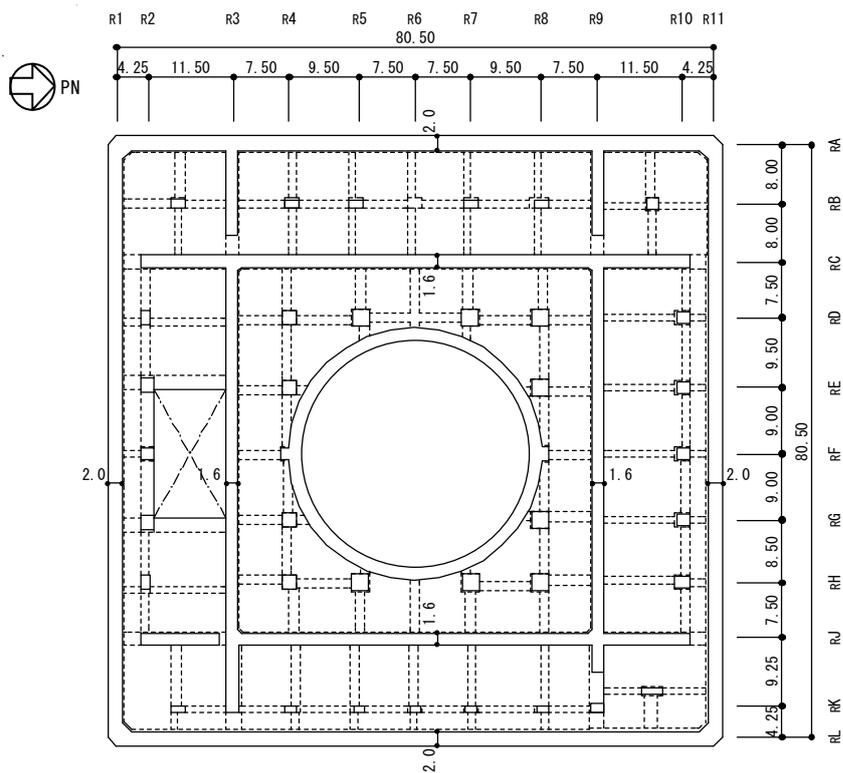
(单位：m)

图-3.3.2 地下4階 (T.M.S.L. -17.5m)



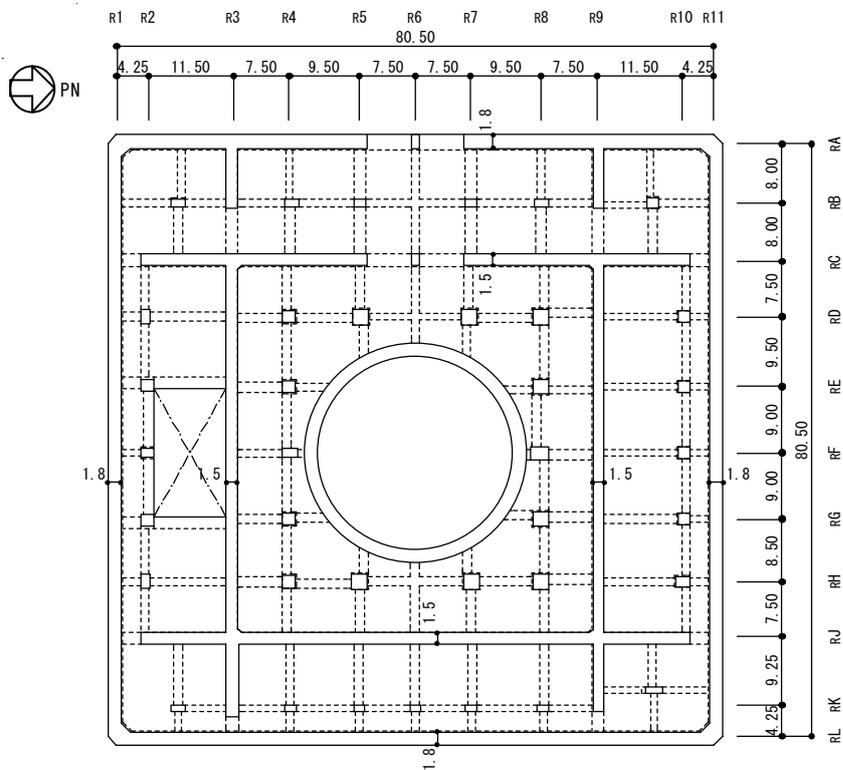
(单位：m)

图-3.3.3 地下3階 (T.M.S.L. -10.1m)



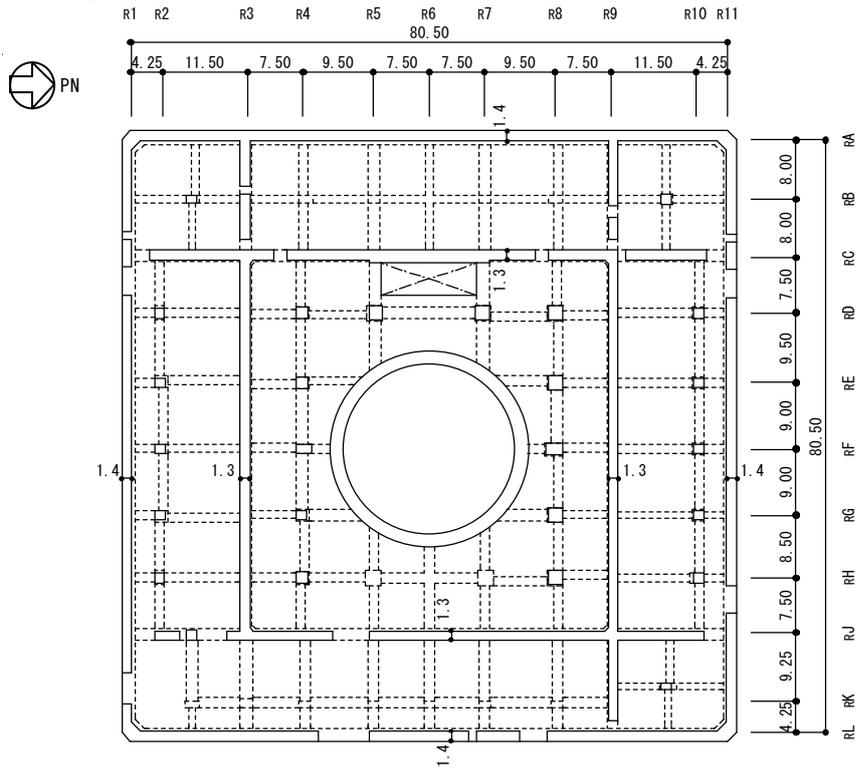
(單位：m)

圖-3.3.4 地下2階 (T.M.S.L. -1.1m)



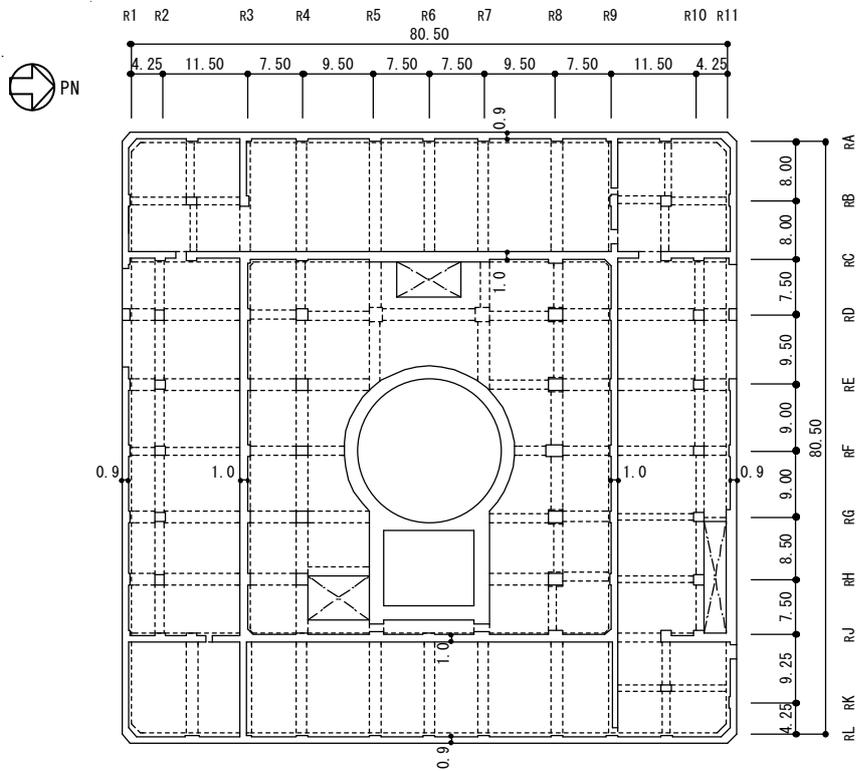
(單位：m)

圖-3.3.5 地下1階 (T.M.S.L. 5.3m)



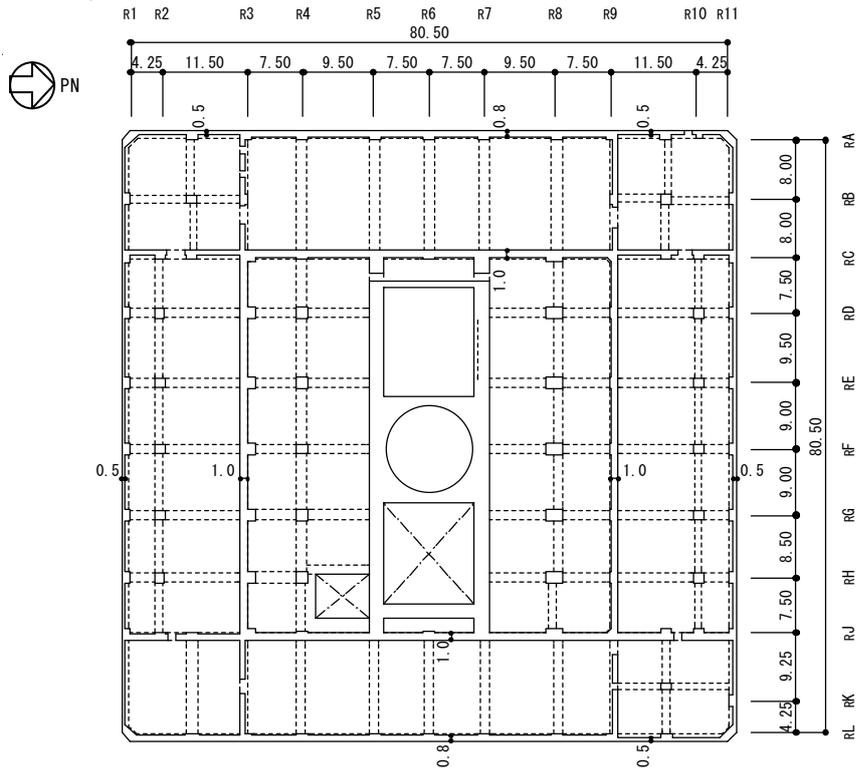
(單位：m)

図-3.3.6 1階 (T.M.S.L. 12.3m)



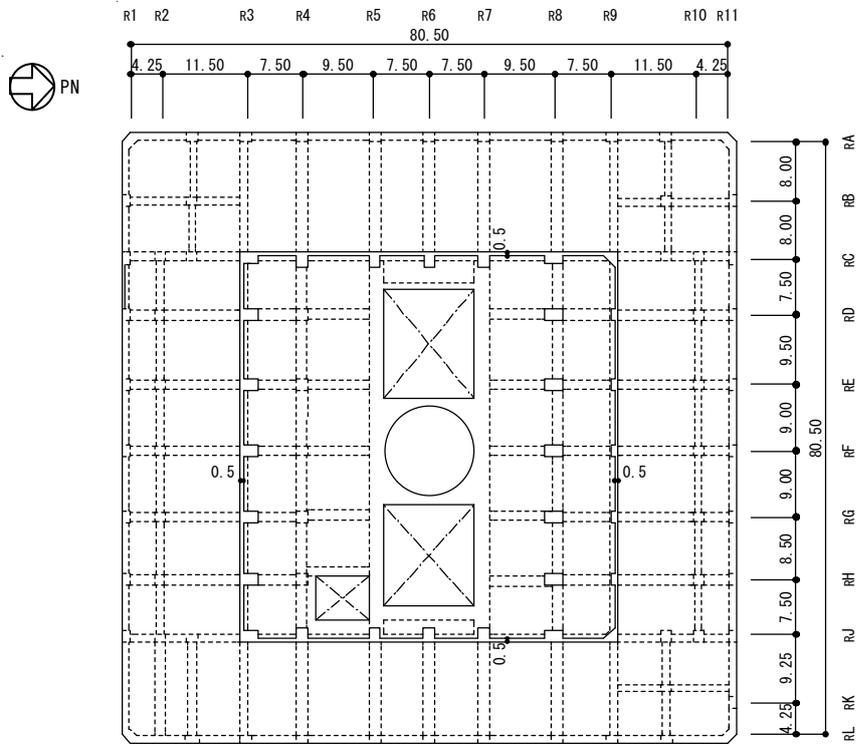
(單位：m)

図-3.3.7 2階 (T.M.S.L. 20.3m)



(单位：m)

图-3.3.8 3階 (T.M.S.L. 27.8m)



(单位：m)

图-3.3.9 4階 (T.M.S.L. 33.0m)

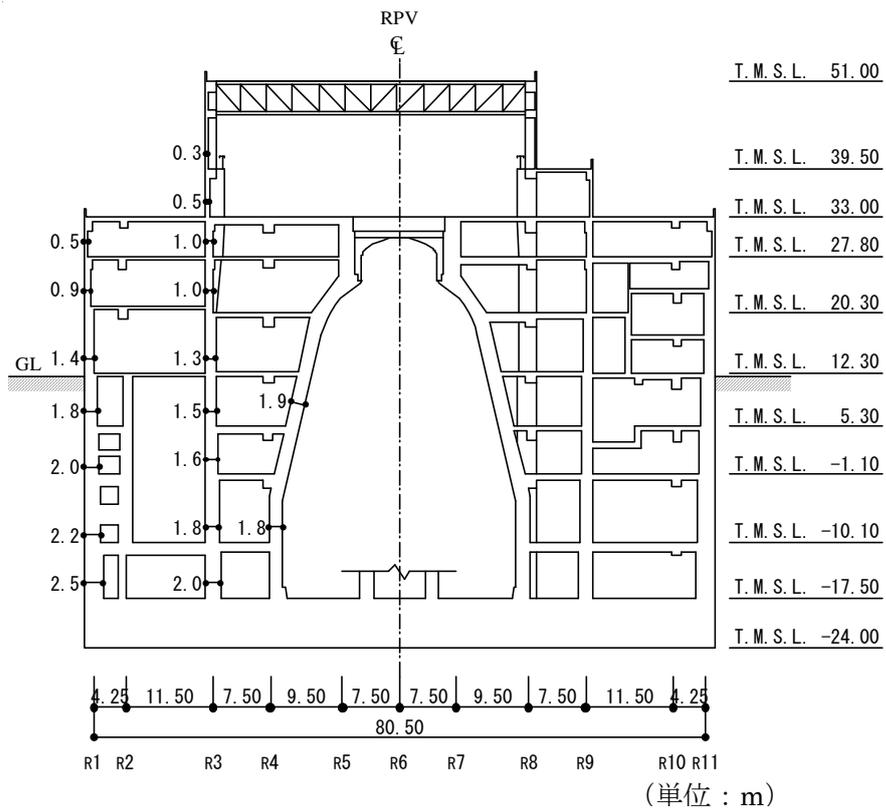


图-3.3.10 NS 方向断面图

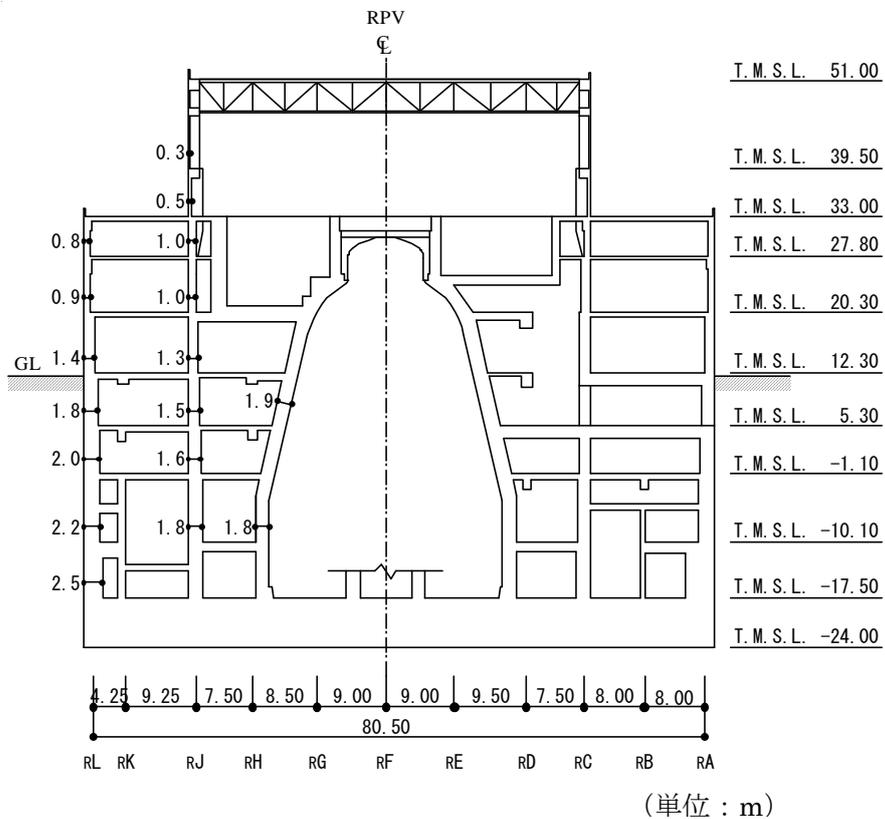


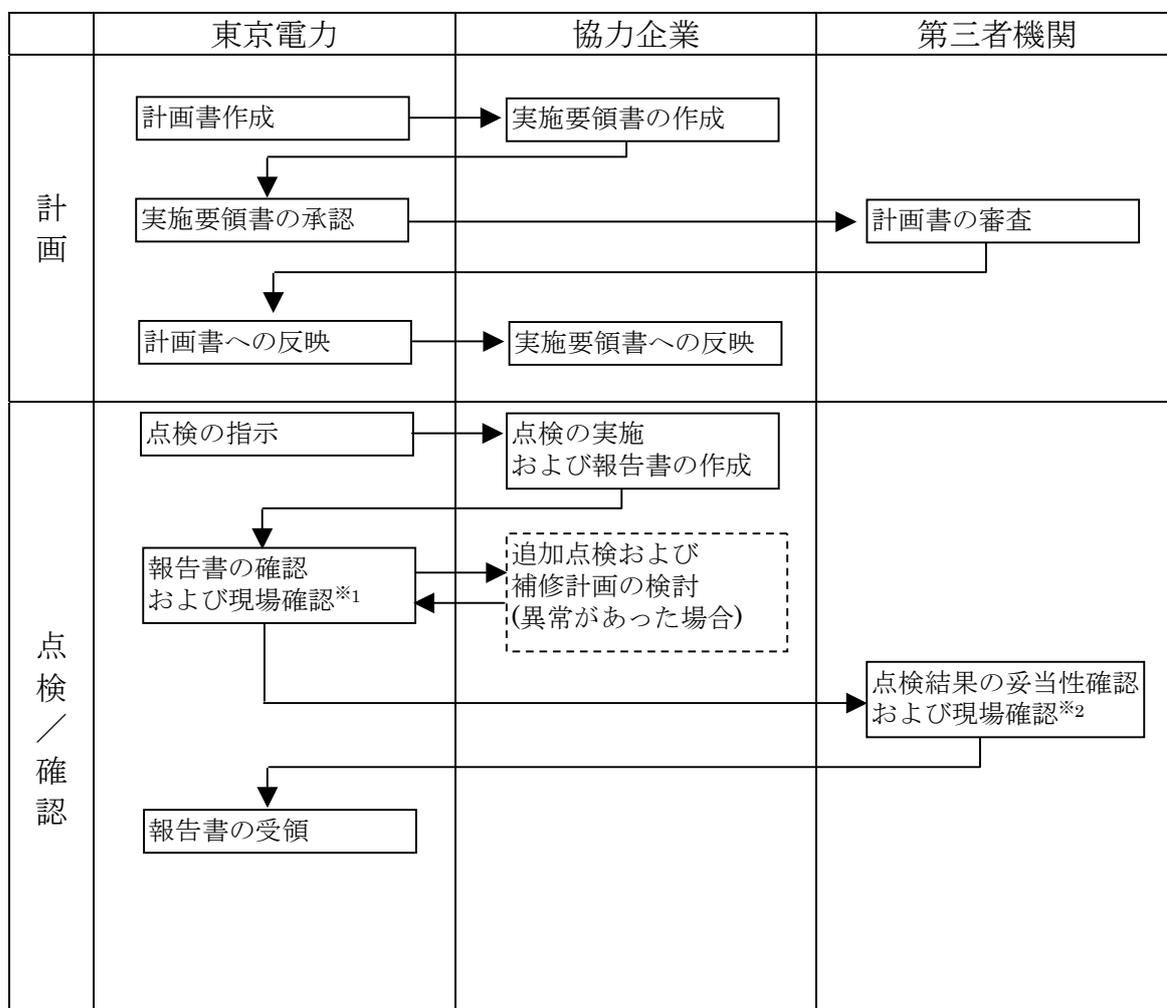
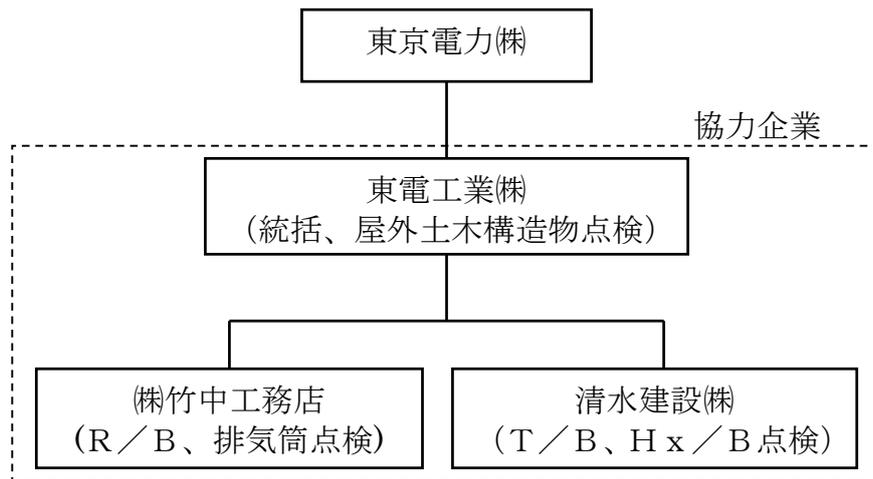
图-3.3.11 EW 方向断面图

3.4. 品質保証

品質保証活動については、柏崎刈羽原子力発電所原子炉施設保安規定にて適用している「原子力発電所における安全のための品質保証規定（JEAC4111-2003）」に基づき行っている。

3.5. 実施体制

点検・評価の主要な体制については、図-3.5.1のとおり。



※1：現場確認は抜取り確認。

※2：ひび割れが発生した等の箇所および第三者機関が選定した箇所について、報告書と現場の整合性を確認し、点検結果を評価する。

図-3.5.1 点検・評価体制および概略業務フロー

4. 点検

4.1. 点検方法の策定

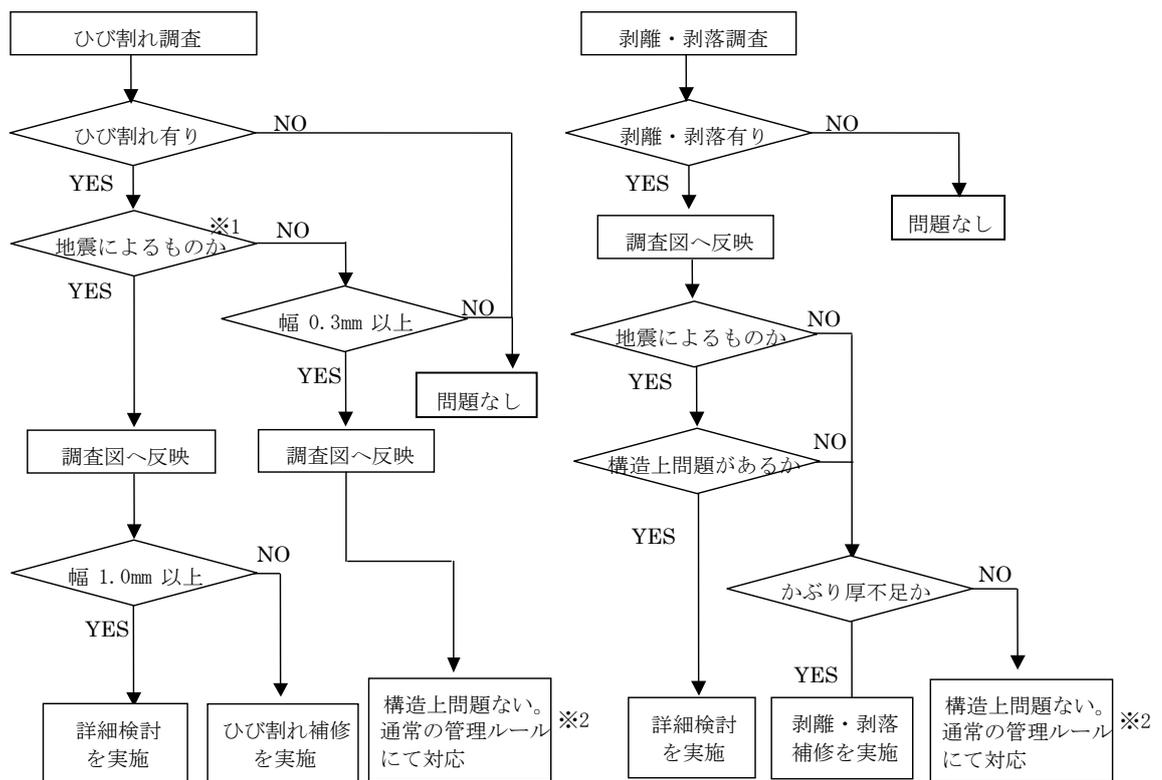
建物・構築物への本地震の影響を把握するにあたり、構造形式に着目した点検を行う必要がある。そこで、要求される性能ごとに、各構造形式への地震の影響を整理し、それに応じた点検を行う。

4.1.1. 耐震性能における点検方法

(1) 鉄筋コンクリート構造（鉄骨鉄筋コンクリート構造を含む）

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、「日本非破壊検査協会コンクリート構造物の目視試験方法」に準拠し、目視点検を主体とした点検を実施した。点検の流れを図-4.1.1に示す。

なお、耐震壁および地震応答解析に上記耐震壁に加えて考慮した補助壁（設計時には構造要素として考慮していなかった壁）を対象に点検を実施した。

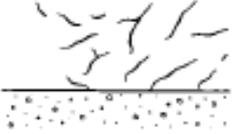
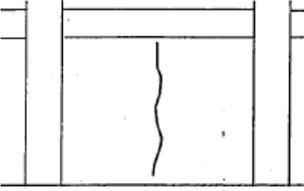
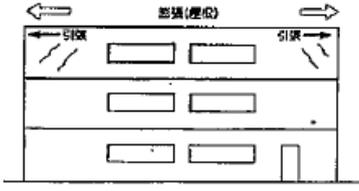
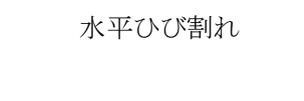
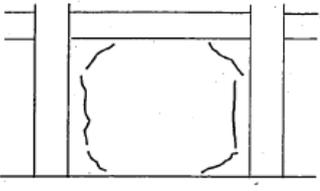
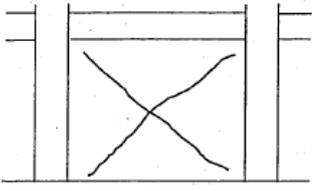
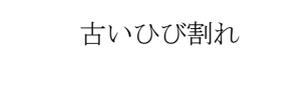


※1 表-4.1.1により本地震によって発生したことが否定できないひび割れを選定

※2 発電所建物ひび管理・補修要領などの社内マニュアル

図-4.1.1 鉄筋コンクリート構造の点検の流れ

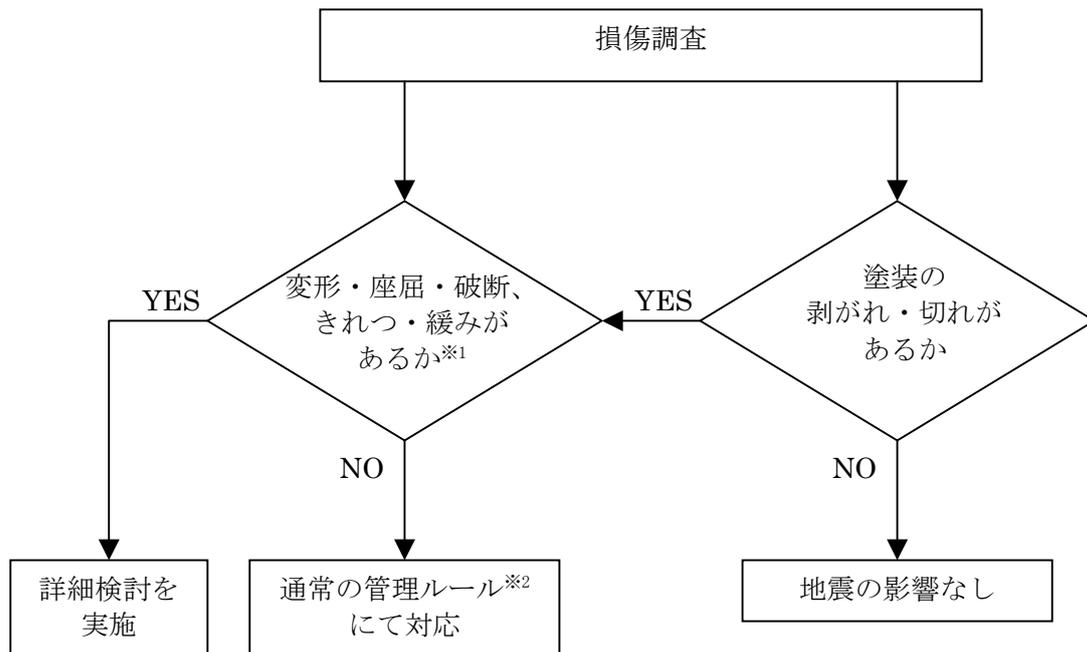
表-4.1.1 ひび割れ種類の分類

番号	ひび割れ種類	発生原因等
①	不規則なひび割れ 	主に躯体表面部の乾燥収縮により発生する、不規則なひび割れ。コンクリート打設後 1～2 年程度で伸展は収束する。
②	縦方向ひび割れ 	周囲を柱・梁等で拘束された壁面の縦方向に生じるひび割れ。コンクリートの乾燥収縮に起因する。コンクリート打設後 1～2 年程度で伸展は収束する。
③	温度収縮ひび割れ 	躯体厚の比較的薄い壁に発生する、一方向のみの斜めひび割れ。昼夜の温度差や乾燥収縮が原因で発生するひび割れ。
④	水平ひび割れ 	躯体の打継ぎ部、打設後に生じたコールドジョイント等に沿って発生した水平方向のひび割れ。
⑤	拘束ひび割れ 	周囲を拘束された境界部に生じる乾燥収縮ひび割れ。柱・梁等により拘束された壁部の境界面に発生する。
⑥	地震時ひび割れ 	地震時水平力により壁部に生じる斜めひび割れ。地震の繰返し荷重により X 型に生じるのが特徴。今回の調査では、下記に示すひび割れを地震によって発生したことが否定できないひび割れとした。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 上記の①～⑤に分類できないひび割れ ・ 既往調査で記録されているひび割れのうち①～⑤に分類されない伸展のあったひび割れ
⑦	古いひび割れ 	ひび割れのエッジ部が丸くなっていたり、ひび割れ部にゴミ等の目詰まり、塗装部の変色、あるいは既往調査跡等、明らかに古いひび割れとわかるもの。(⑥に分類されたひび割れを除く)。

(2) 鉄骨構造

鉄骨構造物の地震の影響については、部材の変形・座屈・破断、溶接接合部のきれつ・破断、ボルト接合部のボルト破断・緩みが想定され、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。点検の流れを図-4.1.2に示す。

なお、原子炉建屋屋根トラスを対象に点検を実施した。



※1 至近の点検記録との比較、鋼材の発生状況により判断

※2 原子力発電所建築設備点検マニュアルなど社内マニュアル

図-4.1.2 鉄骨構造の点検の流れ

4.1.2. 遮へい性能における点検方法

建物・構築物の遮へい性能への地震の影響については、耐震性能の鉄筋コンクリート構造と同様の点検を実施した。点検の流れについても耐震性能の鉄筋コンクリート構造と同様である。

なお、遮へい壁を対象に点検を実施した。

4.1.3. 耐漏えい性能（堰その他の設備）における点検方法

建物・構築物の耐漏えい性能（堰その他の設備）への地震の影響については、鉄筋コンクリート構造と同様の点検を実施した。点検の流れを図-4.2.3に示す。なお、堰その他の設備を対象に点検を実施した。

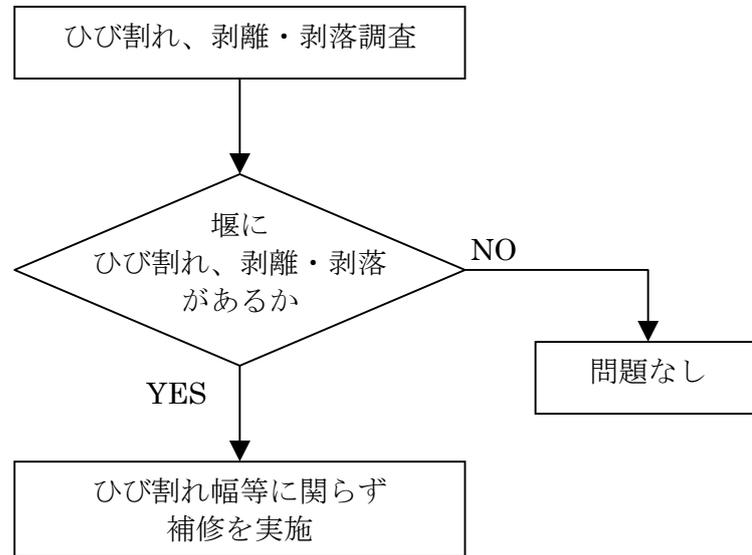


図-4.1.3 耐漏えい性能（堰その他の設備）の点検の流れ

4.2. 力量管理

目視点検に従事する点検実施者（東京電力および協力企業）の力量管理については、以下の項目を確認した。

- ・ JIS Z 2305「非破壊試験－技術者の資格及び認証」に規定の非破壊試験員に要求される近方視力の確認が行われていること。
- ・ 建物・構築物に関する業務経験等、適切な力量を有する者が配置されていること。
- ・ 地震によって影響を受け破損しやすい箇所等については、必要に応じ設計的な観点から意見を求めることが可能な体制を整えていること。

4.3. 点検結果

「柏崎刈羽原子力発電所 5 号機 新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価計画書（建物・構築物編）」に基づき、ひび割れ等の点検を壁、柱、梁等について実施した。主要な性能に対する部位の点検結果を、以下に示す。

4.3.1. 原子炉建屋の点検結果

(1) 耐震性能

a) 耐震壁

耐震壁において、点検により確認された本地震によって発生したことが否定できないひび割れを表-4.3.1 に示す。また、ひび割れ調査図を添付資料 1 に示す。点検の結果、耐震壁においては、ひび割れの発生は確認されたが剥離・剥落は生じておらず、ひび割れ幅についてもすべて評価基準値を下回っていることが確認された。

また、地震応答解析に上記耐震壁に加えて考慮した補助壁（設計時には耐震要素として考慮していなかった壁）において、点検により確認された本地震によって発生したことが否定できないひび割れを表-4.3.2 に示す。点検の結果、補助壁においては、ひび割れの発生は確認されたが剥離・剥落は生じておらず、ひび割れ幅についてもすべて評価基準値を下回っていることが確認された。

以上のことから、点検の結果、耐震壁には異常が認められないと判断した。

なお、耐震壁において今回の点検により確認された、本地震によって発生したことが否定できないひび割れについては、今後適切な補修を行う計画としている。

b) 屋根トラス

屋根トラスの点検による確認状況を表-4.3.3に示す。

点検の結果、屋根トラスにおいては、部材の変形・座屈・破断、溶接接合部のきれつ・破断およびボルト接合部のボルト破断・緩みは確認されず、本地震による影響がないことが確認された。

以上のことから、点検の結果、屋根トラスには異常が認められないと判断した。

c) その他の構造部位

点検の結果、柱、梁などのその他の構造部位については、本地震によって発生したことが否定できないひび割れの発生（最大ひび割れ幅 0.25 mm）は確認されたが剥離・剥落は生じておらず、ひび割れ幅についてもすべて評価基準値を下回っていることが確認された。

以上のことから、点検の結果、柱、梁などのその他の構造部位には異常が認められないと判断した。

なお、柱、梁などのその他の構造部位において今回の点検により確認された、本地震によって発生したことが否定できないひび割れについては、今後適切な補修を行う計画としている。

表-4.3.1 耐震壁のひび割れ状況

階	場所	厚さ (mm)	ひび割れ幅 (mm)	長さ (m)	ひび割れ幅の 評価基準値 (mm)
B4F	R7～8-RF～G	1,800	0.1	2.0	1.0
B3F	R3-RG～H	1,800	0.2	1.5	
	R5～6-RH	1,800	0.1	1.6	
B2F	R4～5-RJ	1,600	0.3	3.0	
	R4～5-RJ	1,600	0.25	3.0	
B1F	R3-RD～E	1,500	0.1	2.4	
	R4～5-RJ	1,500	0.1	2.5	
	R8～9-RJ	1,500	0.3	1.6	
	R9-RC～D	1,500	0.1	2.0	
1F	R1-RG～H	1,400	0.3	2.6	
	R1-RG～H	1,400	0.1	2.5	
	R1-RH～J	1,400	0.2	3.2	
	R1-RH～J	1,400	0.2	2.9	
	R1-RJ～K	1,400	0.2	1.2	
	R1-RJ～K	1,400	0.2	3.1	
	R3～4-RA	1,400	0.15	1.4	
	R3～4-RL	1,400	0.2	1.5	
	R4～5-RL	1,400	0.2	1.9	
	R5～6-RL	1,400	0.1	1.9	
	R6-RL	1,400	0.2	2.2	
	R7～8-RJ	1,300	0.1	1.6	
	R7～8-RJ	1,300	0.1	3.8	
	R9-RG	1,300	0.1	1.6	
	R9-RG～H	1,300	0.2	2.2	
	R9-RG～H	1,300	0.1	1.2	
	R11-RD～E	1,400	0.2	1.9	
	R11-RD～E	1,400	0.15	1.9	
R11-RD～E	1,400	0.2	1.3		
R11-RG～H	1,400	0.2	1.5		
2F	R3-RG～H	1,000	0.1	0.7	
	R3-RG～H	1,000	0.2	2.0	
	R9-RG～H	1,000	0.2	3.0	
3F	R2～3-RA	500	0.2	1.9	
	R2～3-RA	500	0.2	3.3	
	R3-RF～G	1,000	0.2	3.0	
	R3-RJ～K	700	0.3	0.8	
	R9-RJ～K	700	0.6	0.5	
	R9-RK～L	700	0.6	0.5	

表-4.3.2 補助壁のひび割れ状況

階	場所	厚さ (mm)	ひび割れ幅 (mm)	長さ (m)	本数	ひび割れ幅の 評価基準値 (mm)
B4F	R3～4-RG	700	0.1	2.9	1	1.0
B2F	R8～9-RE～F	400	0.25	1.9	1	
3F	R7～8-RE～F	700	0.1	2.4	1	

「各階における最大ひび割れ幅を記載」

表-4.3.3 屋根トラスの確認状況

対 象	項 目	発生の有無
部 材	変形・座屈・破断	なし
溶接接合部	きれつ・破断	なし
ボルト接合部	ボルト破断・緩み	なし

(2) 遮へい性能

a) 遮へい壁

遮へい壁において、点検により確認された本地震によって発生したことが否定できないひび割れを表-4.3.4に示す。ここでは、各壁厚の遮へい壁における最大ひび割れ幅を整理した。

点検の結果、遮へい壁においては、ひび割れの発生は確認されたが剥離・剥落は生じておらず、ひび割れ幅についてもすべて評価基準値を下回っていることが確認された。

以上のことから、点検の結果、遮へい壁には異常が認められないと判断した。

なお、遮へい壁において今回の点検により確認された、本地震によって発生したことが否定できないひび割れについては、今後適切な補修を行う計画としている。

表-4.3.4 遮へい壁のひび割れ状況

階	場所	厚さ (mm)	ひび割れ幅 (mm)	長さ (m)	ひび割れ幅の 評価基準値 (mm)
B3F	R3-RG~H	1,800	0.2	1.5	1.0
B2F	R8~9-RE~F	400	0.25	1.9	
	R4~5-RJ	1,600	0.3	3.0	
B1F	R8~9-RJ	1,500	0.3	1.6	
1F	R6~7-RH~J	600	0.2	2.1	
	R9-RG~H	1,300	0.2	2.2	
	R11-RG~H	1,400	0.2	1.5	
2F	R9-RG~H	1,000	0.2	3.0	
3F	R3~4-RG	300	0.25	2.5	
	R2~3-RA	500	0.2	3.3	
	R9-RJ~K	700	0.6	0.5	
	R9-RK~L	700	0.6	0.5	
	R3-RF~G	1,000	0.2	3.0	

「各壁厚における最大ひび割れ幅を記載」

(3) 耐漏えい性能

a) 堰その他の設備

液体状の放射性物質の漏えい拡大を防止するために設置されている堰において、点検により確認されたひび割れを表-4.3.5に示す。

点検の結果、堰においては、ひび割れが確認されたが、いずれも軽微なものであることが確認された。また、剥離・剥落が生じていないことが確認された。

なお、堰において今回の点検により確認されたひび割れについては、今後適切な補修を行う計画としている。

表-4.3.5 堰その他の設備のひび割れ状況

階	場所	部位	ひび割れ幅 (mm)	長さ (m)	本数
B4F	R1～2-RJ～L	壁	0.1	0.1	1
	R5～6-RB～C	壁	0.1	2.1	2
	R6～7-RB～C	壁	0.1	27.6×2.1 ^{※1}	—
	R7～8-RB～C	壁	0.1	27.6×2.2 ^{※1}	—
	R7～8-RB～C	壁	0.1	2.1	1
	R11-RH～J	壁	0.1	0.2	1
B3F	R2～3-RA～B	床	0.1	0.9	3
	R9～10-RH～J	床	0.1	0.4	2
	R9～10-RH～J	床	0.1	1.5	1
	R9～10-RH～J	壁	0.1	0.2	1
B2F	R1～2-RJ～K	壁	0.1	0.2	1
	R2～3-RH	壁	0.1	1.2×1.1 ^{※1}	—
	R2～3-RH～J	壁	0.1	1.0	2
	R7～8-RB～C	壁	0.3	0.2	2
MB1F	R9～10-RJ～K	壁	0.1	0.2	4
	R9～10-RJ～K	壁	0.1	0.2	3
	R9～10-RJ～K	壁	0.1	2.1×0.2 ^{※1}	—
1F	R9～10-RA～B	壁	0.25	0.2	3
	R9～10-RB～C	壁	0.1	0.2	1

「各箇所における最大ひび割れ幅・長さを記載」

※1：近接した範囲に微少なひび割れが数本発生している場合の「範囲の幅、高さ」を示す

4.4. 第三者機関による確認

建物・構築物の点検の計画および点検結果の妥当性について、第三者機関の確認を受けた。

○建物関係

第三者機関：(社) 建築研究振興協会（国土交通省所管）

- ・「2007 年新潟県中越沖地震後の柏崎刈羽原子力発電所 5 号機原子炉建屋点検結果の妥当性検討結果報告書（平成 20 年 6 月 10 日）」

5. 耐震健全性評価

5.1. 解析評価方針

原子炉建屋の耐震健全性評価は、基礎版上の地震観測記録に基づく入力地震動を用いた地震応答解析によることを基本とし、建物・構築物や地盤の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で行う。

5.1.1. 耐震壁の鉄筋コンクリート部

耐震壁の構造評価については、地震応答解析により得られた各階のせん断応力と、設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度とを比較することによって評価を行うことを原則とする。また、地震応答解析により得られた各階のせん断ひずみについても確認を行うこととする。この結果、目安として設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度に対して地震応答解析により得られた各階のせん断応力が20%以上の余裕がない階については、せん断力分配解析等を行って個別の構造部材毎の応力を算出し、詳細な構造計算によるチェックを行う。

なお、この段階で余裕が比較的少ない場合には、追加点検を含めてさらに詳細な検討を行うこととする。原子炉建屋の地震応答解析の評価手順例を、図-5.1.1に示す。

5.1.2. 屋根トラスの鉄骨部

屋根トラスの構造評価については、地震応答解析により得られた主要な構造部材の発生応力が評価基準値以下であることを確認することを原則とする（座屈評価についても行うこととする）。

なお、この段階で余裕が比較的少ない場合には、追加点検を含めてさらに詳細な検討を行うこととする。

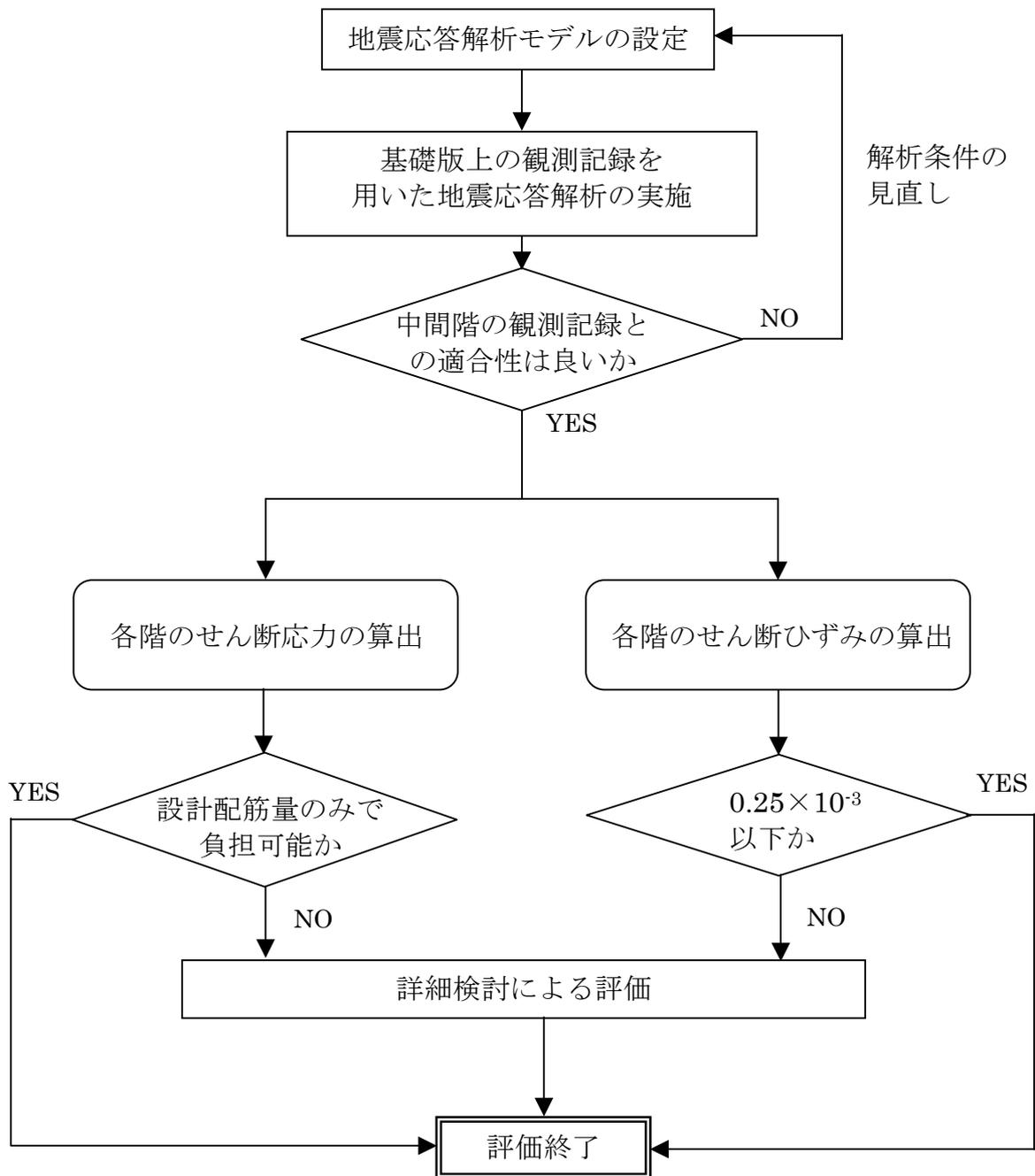


図-5.1.1 地震応答解析の評価手順例

5.2. 原子炉建屋における観測記録

柏崎刈羽原子力発電所における地震観測点の配置を図-5.2.1に示す。このうち、5号機における地震計配置断面図および平面図を、図-5.2.2に示す。

5号機の原子炉建屋の基礎版上および中間階で時刻歴波形を取得している新設地震計の加速度時刻歴波形および観測記録に基づく床応答スペクトルを図-5.2.3～図-5.2.6に示す。

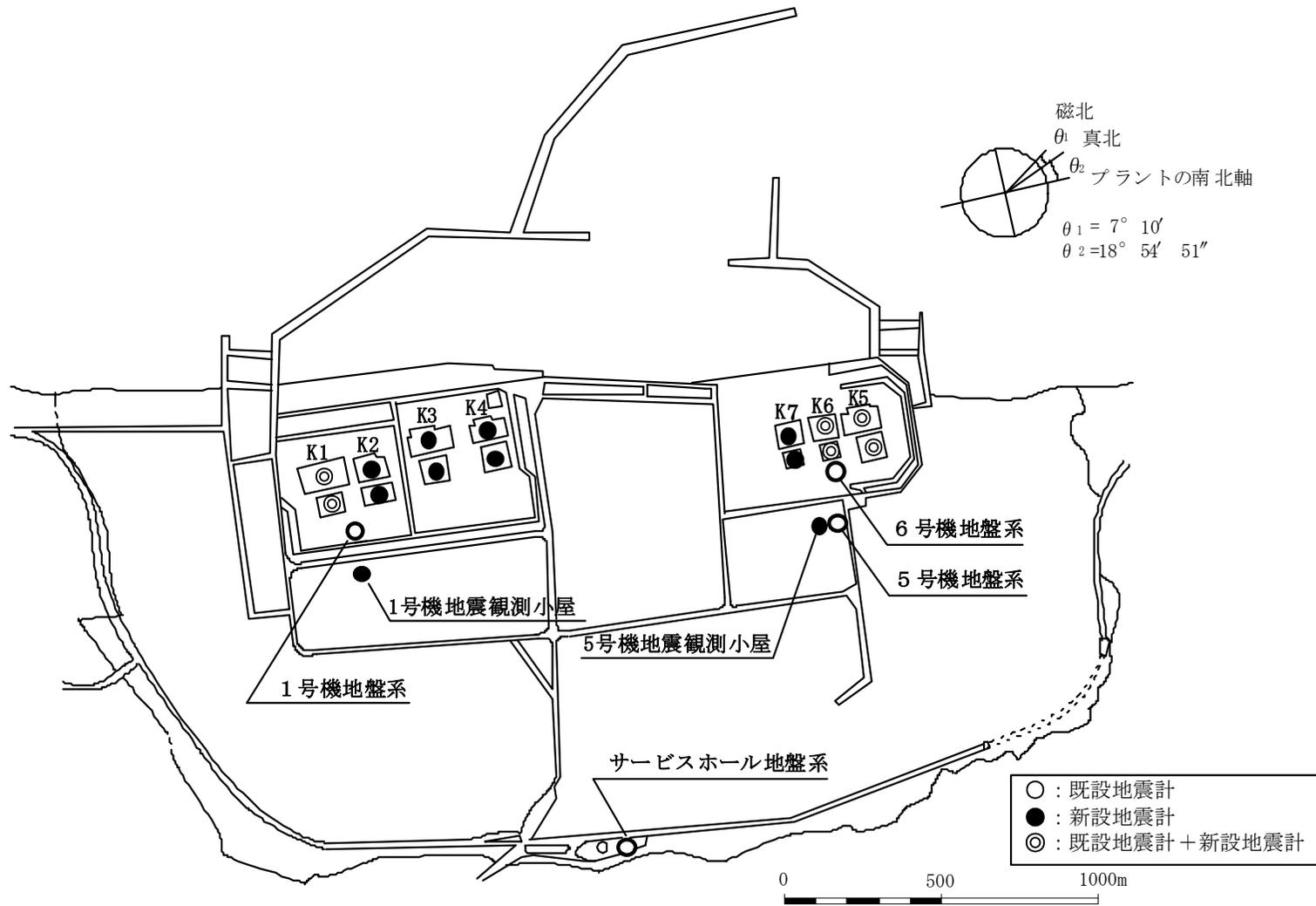
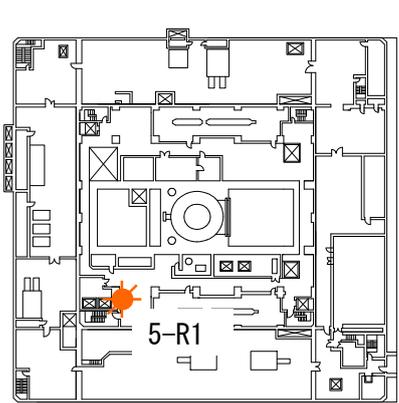
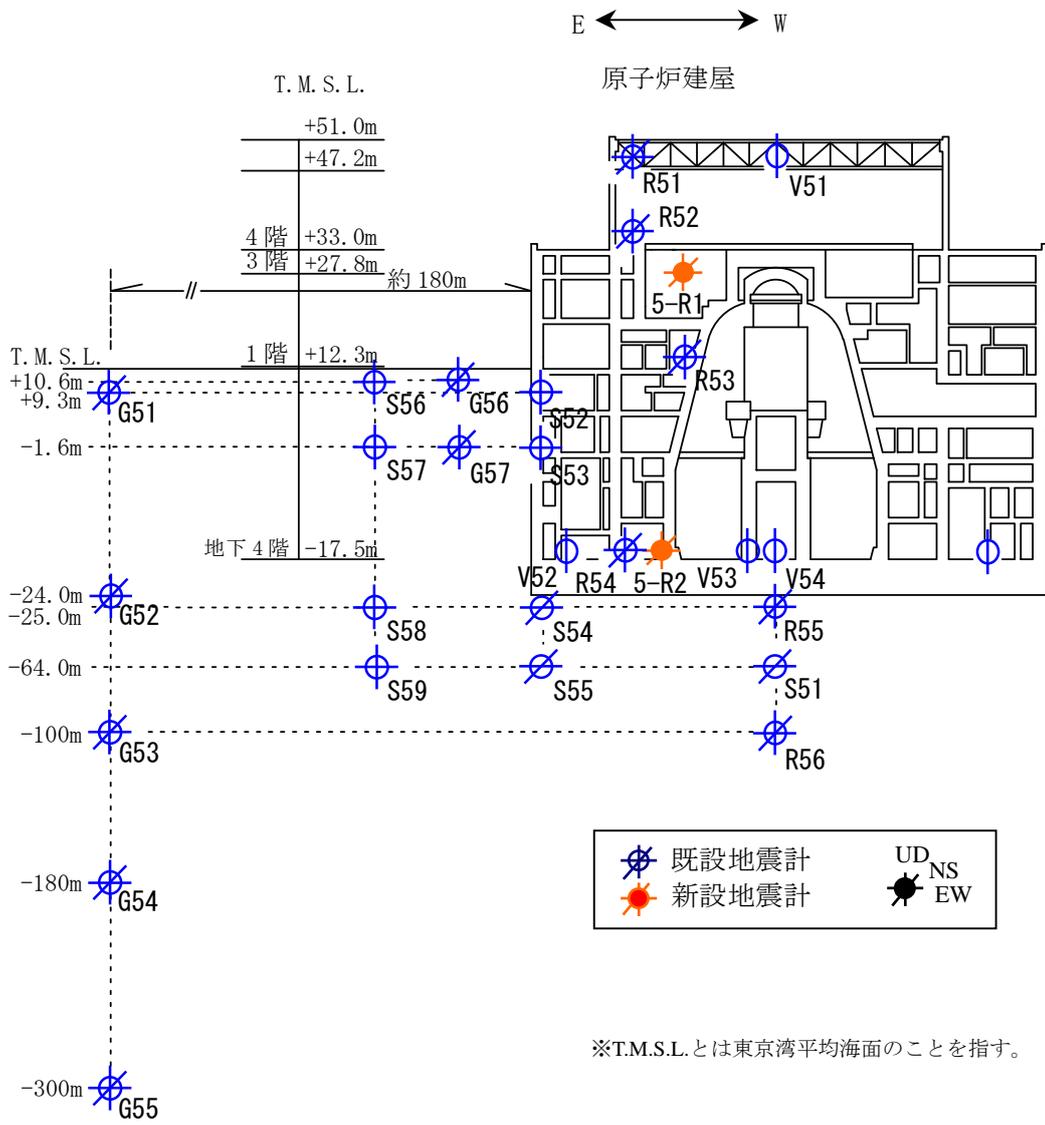
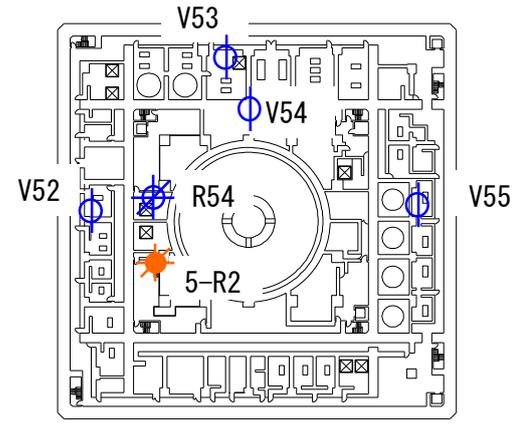


図-5. 2. 1 柏崎刈羽原子力発電所における地震観測点の配置

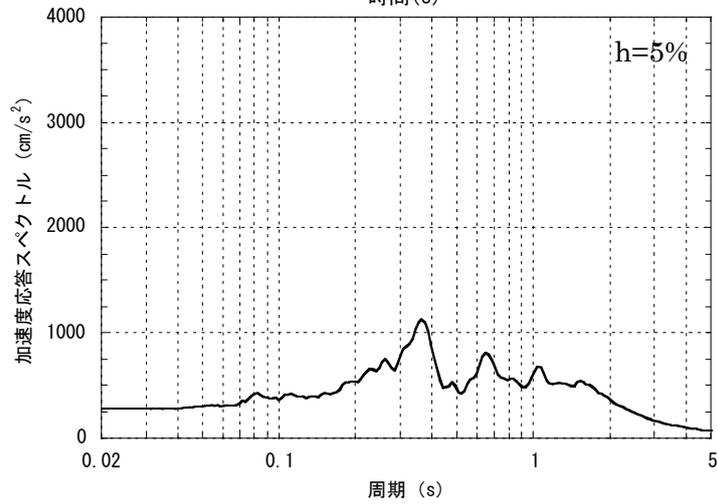
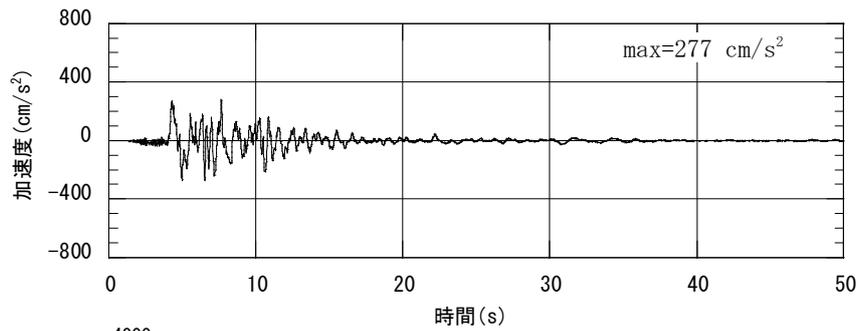


3階 (T. M. S. L. +27. 8m)

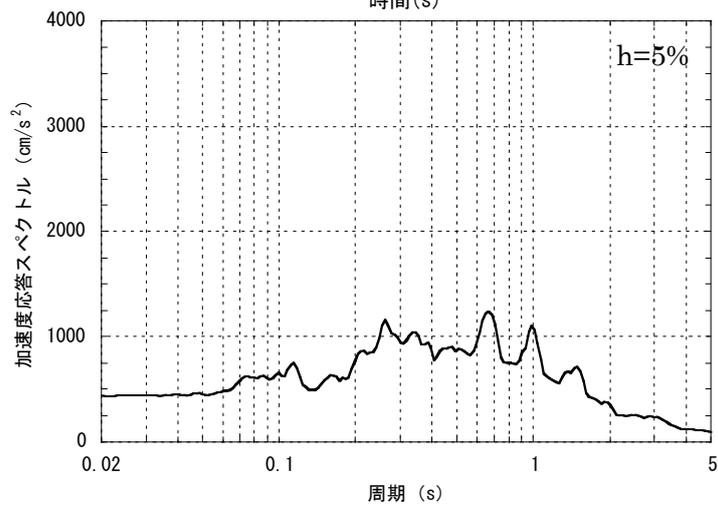
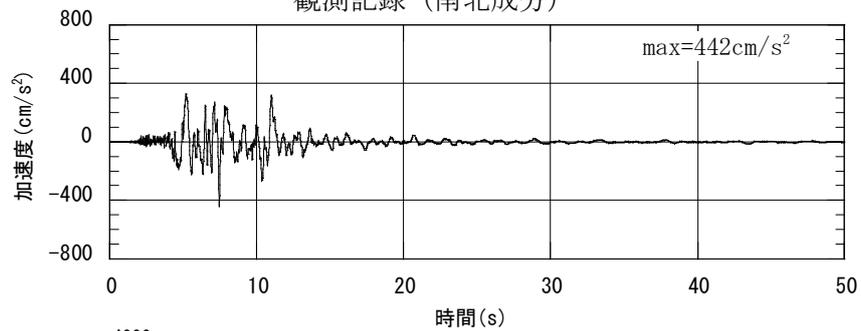


地下4階 (基礎版上)
(T. M. S. L. -17. 5m)

図-5. 2. 2 5号機原子炉建屋地震計配置断面図および平面図



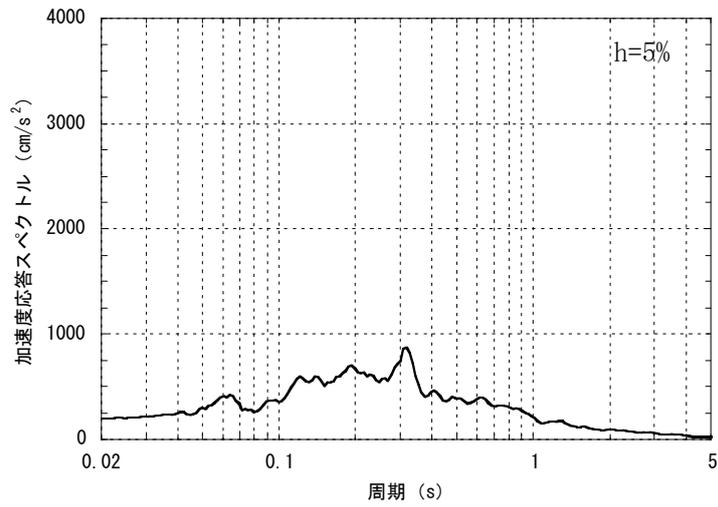
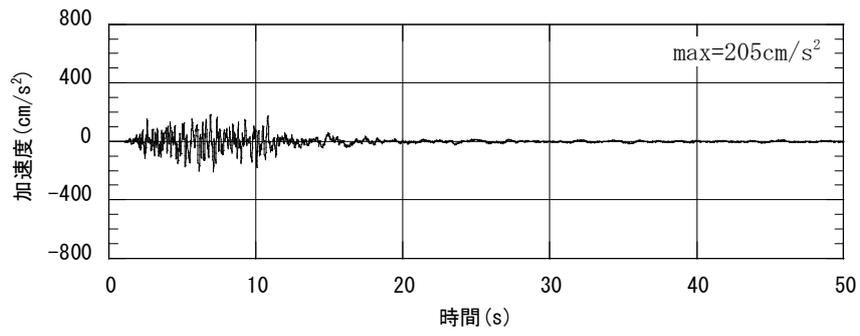
観測記録 (南北成分)



観測記録 (東西成分)

(記録の主要動を含む 50 秒間を表示)

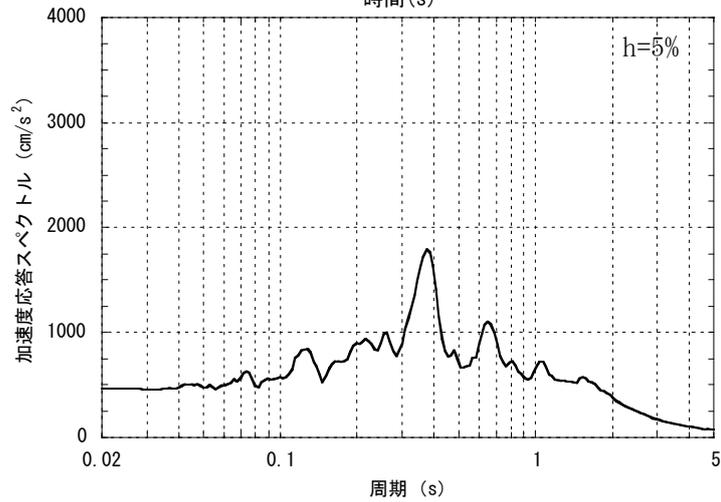
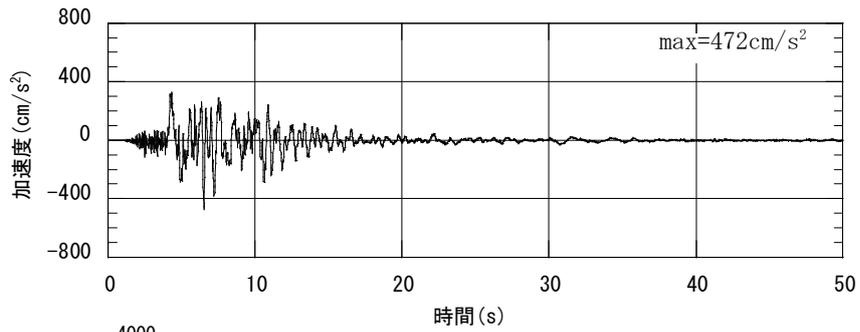
図-5.2.3 5号機原子炉建屋地下4階(基礎版上:5-R2観測点)の
加速度時刻歴波形、加速度応答スペクトル(水平方向)



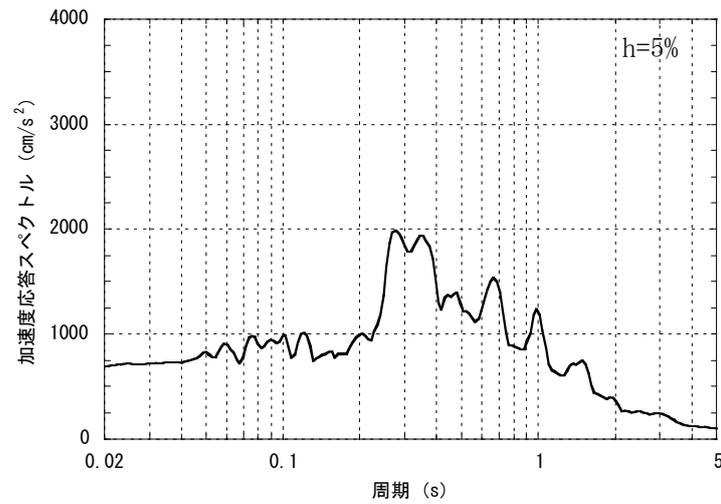
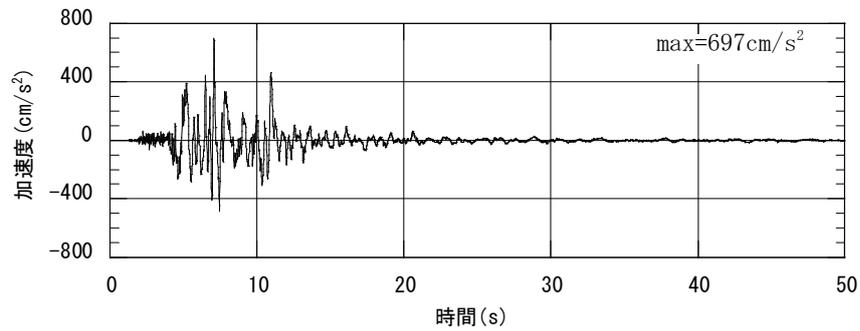
観測記録（鉛直成分）

（記録の主要動を含む 50 秒間を表示）

図-5.2.4 5号機原子炉建屋地下4階（基礎版上：5-R2 観測点）の
加速度時刻歴波形、加速度応答スペクトル（鉛直方向）



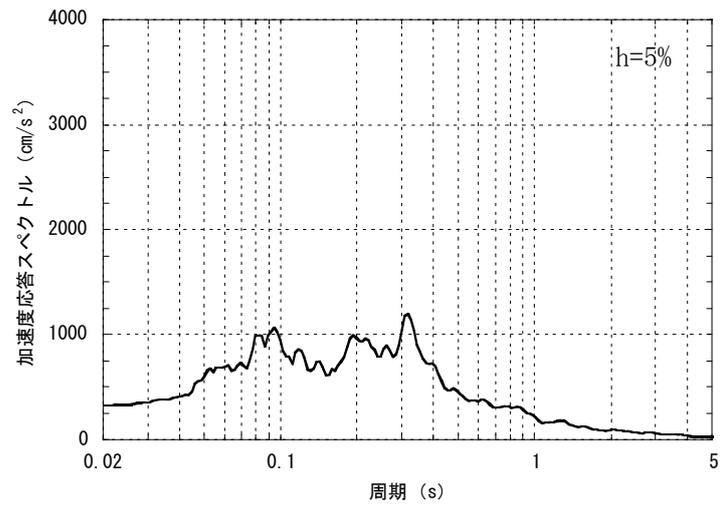
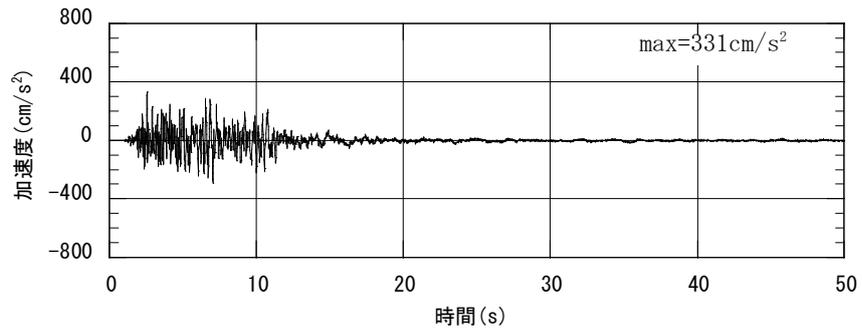
観測記録（南北成分）



観測記録（東西成分）

(記録の主要動を含む50秒間を表示)

図-5.2.5 5号機原子炉建屋3階（中間階5-R1観測点）の
加速度時刻歴波形、加速度応答スペクトル（水平方向）



観測記録（鉛直成分）

（記録の主要動を含む 50 秒間を表示）

図-5.2.6 5号機原子炉建屋3階（中間階：5-R1観測点）の
加速度時刻歴波形、加速度応答スペクトル（鉛直方向）

5.3. 地震応答解析

本地震に対する地震応答解析は、地震時に観測した基礎版上における水平方向及び鉛直方向の地震観測記録を用いた動的解析による。

建屋各部位の応答は、原子炉建屋の基礎版上での観測記録波（図-5.2.3～図-5.2.4）を解析モデルの基礎版上に入力し、基礎版上からの建屋各部の伝達関数を用いて算定する。

解析結果と観測記録の整合性は、原子炉建屋中間階における観測記録との比較によって評価する。

シミュレーション解析における地震応答解析のフローを図-5.3.1に示す。

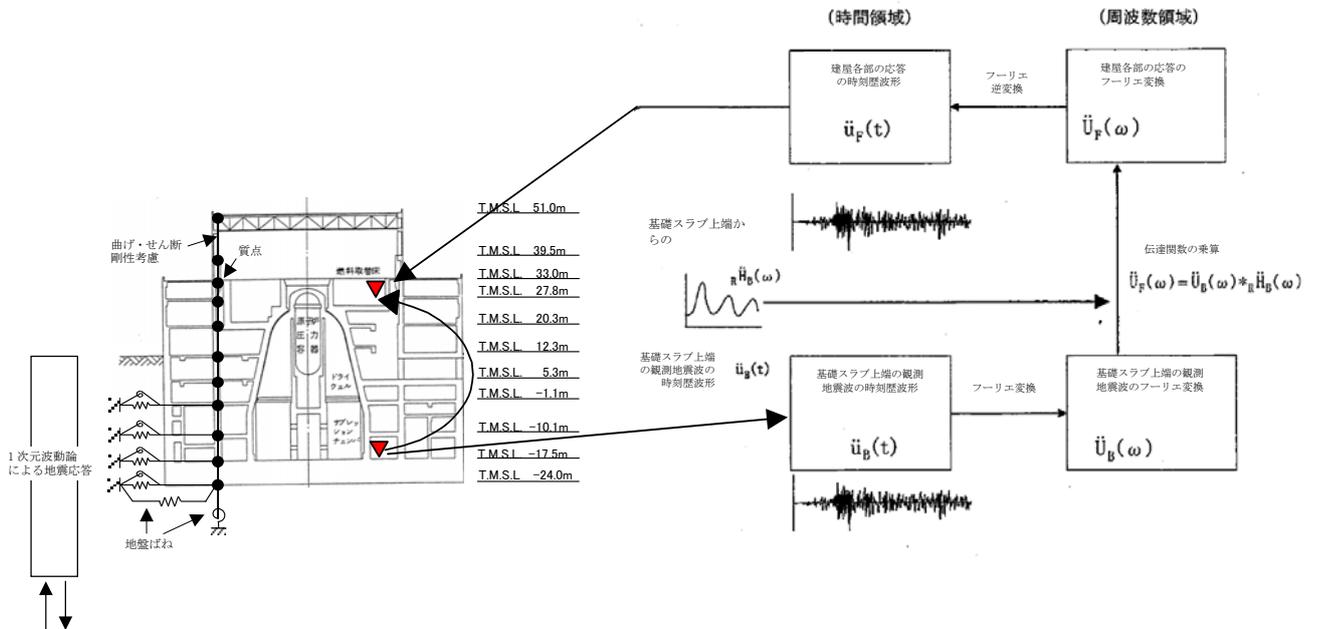


図-5.3.1 解析フロー図

本検討では、地震時に水平方向および鉛直方向の地震観測記録が得られている中間階（地上3階）について、地震観測記録と解析結果が整合するように解析モデルを修正しながら構築することとし、次の4項目について設計時に用いた解析モデルから修正して新たな解析モデルを構築することとしている。

- ① 本検討では、柏崎刈羽原子力発電所7号機等の耐震健全性評価に用いた解析モデルと同様にスウェイ・ロッキングモデルを用いることとする。
- ② 設計時にはコンクリートの設計基準強度を基に算定していた鉄筋コンクリート部の剛性評価を、コンクリートの実際の平均的な強度を基に算定して見直すこととする。
- ③ 設計時には耐震要素として考慮していなかった補助壁について、上下階に応力伝達が可能と考えられる壁を再評価して、新たに耐震要素に取り入れることとする。
- ④ 設計時には、多質点系並列地盤モデルである格子型モデルにより建物と地盤の相互作用を考慮していたが、本検討では、底面を振動アドミッタンス、側面をNovakの方法により算定した水平及び回転地盤ばねを考慮する。なお、今回は地震時の表層地盤の変状を踏まえ、地盤－建屋相互作用効果が見込めないと判断し、表層部分のばね評価を行わないこととする。

5.3.1. 水平方向の地震応答解析モデル

地震時に観測した基礎版上における水平方向の地震観測記録を用いた弾性応答解析は、設計時に用いた解析モデルを基本としている。

水平方向の地震応答解析モデルは、図-5.3.2に示すように、建屋を曲げ変形とせん断変形をする質点系とし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。建屋モデルで考慮するコンクリートの物性値を、表-5.3.1に示す。建屋－地盤連成系としての効果は、地盤ばねおよび入力地震動によって評価される。

地盤定数は、水平成層地盤と仮定し、地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を、表-5.3.2に示す。

水平方向の解析モデルにおいて、基礎底面地盤ばねについては、「原子力発電所耐震設計技術指針 追補版 JEAG 4601-1991」（以下「JEAG 4601-1991」という。）に示された手法を参考にして、成層補正を行ったのち、振動アドミタンス理論に基づいて、スウェイおよびロッキングばね定数を近似的に評価する。また、埋め込み部分の建屋側面地盤ばねについては、建屋側面位置の地盤定数を用いて、水平および回転ばねを「JEAG 4601-1991」に示された手法を参考にして、Novak ばねに基づく近似法により評価する。

いずれのばねも振動数に依存した複素剛性として得られるが、図-5.3.3に示すようにばね定数として実部の静的な値 (K_c) を、また、減衰係数 (C_c) として建屋－地盤連成系の1次固有振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。

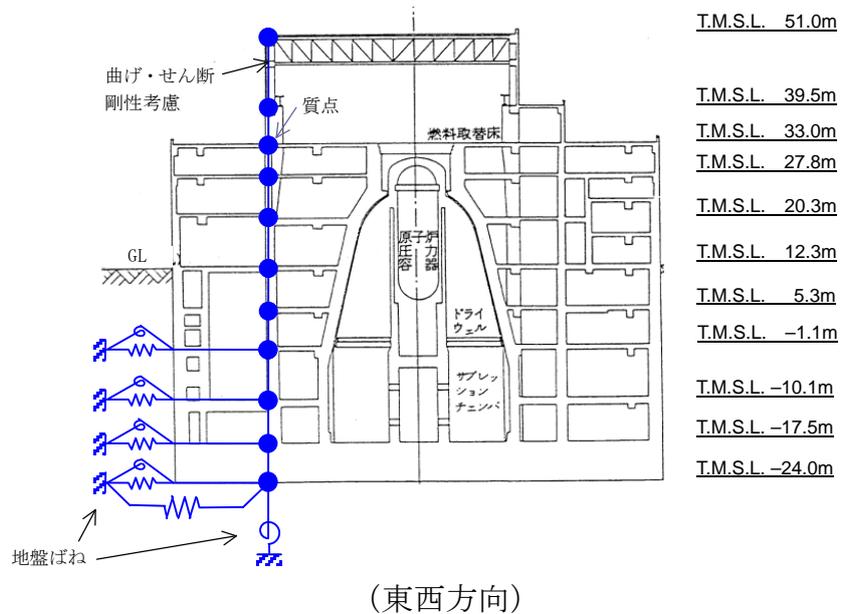
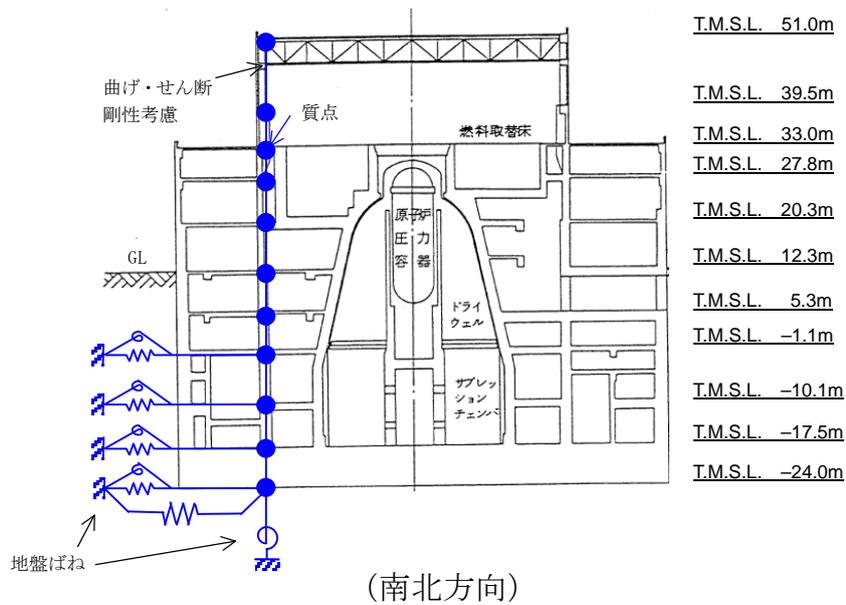


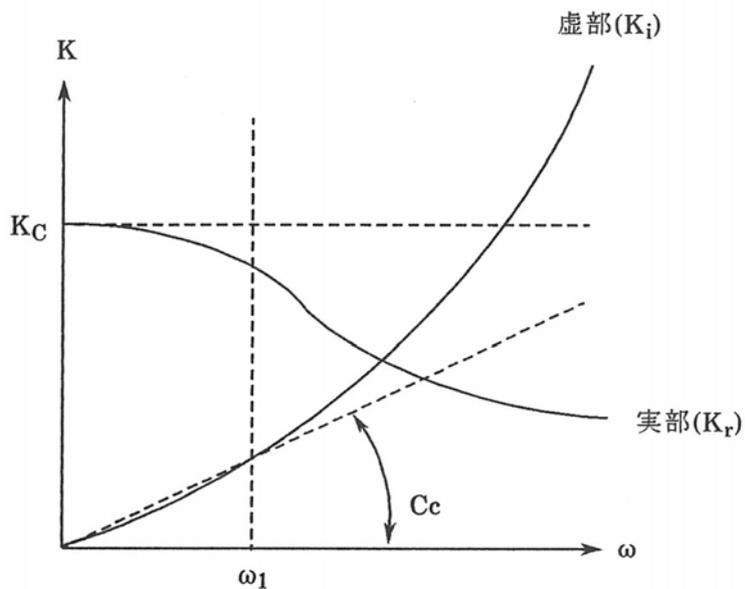
図-5.3.2 地震応答解析モデル (水平方向)

表-5.3.1 地震応答解析に用いる物性値

材料	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	減衰定数 h (%)
コンクリート	2.90×10^4	1.21×10^4	0.20	5

表-5.3.2 地盤定数

標高 T. M. S. L. (m)	地質	せん断波 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 (N/mm ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h (%)
+12.0	[砂層]	140	17.9	0.41	34.6	0.40	14
+8.0		170		0.40	54.9	0.40	14
+4.0		200			69.6	0.40	14
0.0	安田層	310	17.5	0.48	171	0.75	4
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	409	0.85	3
-60.0		560	17.2	0.44	550	0.85	3
-100.0		610	18.0	0.43	683	0.85	3
-134.0	[解放基盤]	710	19.9	0.42	1,020	1.00	—



ω_1 : 建屋-地盤連成系の1次固有振動数

図-5.3.3 地盤ばねの近似

5.3.2. 鉛直方向の地震応答解析モデル

鉛直方向の地震応答解析モデルは、図-5.3.4に示すように、軸変形をする内外壁・シェル壁部および曲げ変形とせん断変形をする屋根トラス部から成る質点系とし、地盤を等価なばねで評価した建屋-地盤連成系モデルとする。建屋モデルで考慮するコンクリートおよび鉄骨の物性値を、表-5.3.3に示す。なお、屋根トラス端部の柱が屋根トラス部の曲げ変形を拘束する影響を考慮して回転ばねを取り付けている。建屋-地盤連成系としての効果は地盤ばねおよび入力地震動によって評価される。

地盤は、水平方向の地震応答解析モデルと同様な地盤定数を用いる。

鉛直方向の解析モデルにおいて、基礎底面地盤ばねについては、スウェイおよびロッキングばね定数の評価法と同様、成層補正を行ったのち、振動アドミタンス理論に基づいて、鉛直ばね定数を近似的に評価する。

鉛直ばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが、図-5.3.3に示すようにばね定数として実部の静的な値 (K_c) を、また、減衰係数 (C_c) として建屋-地盤連成系の1次固有振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。

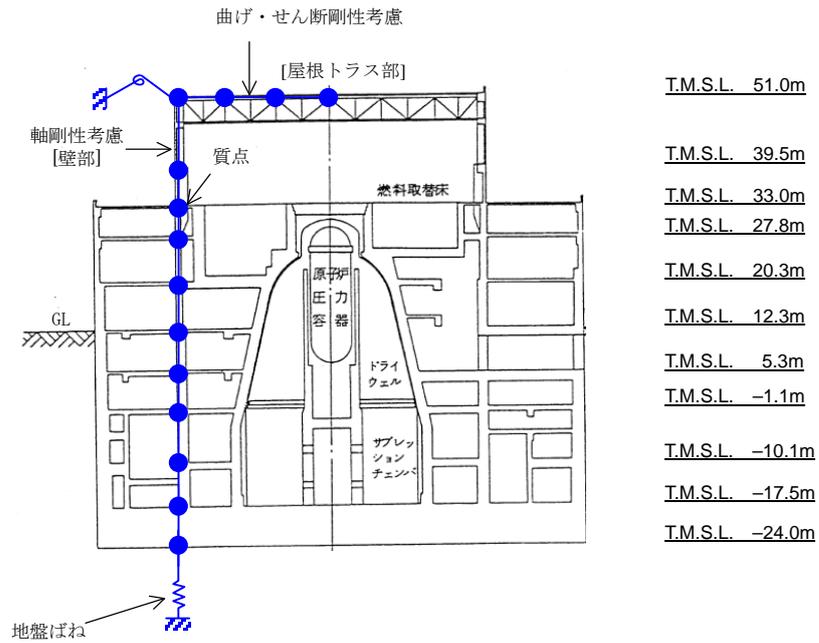


図-5.3.4 地震応答解析モデル（鉛直方向）

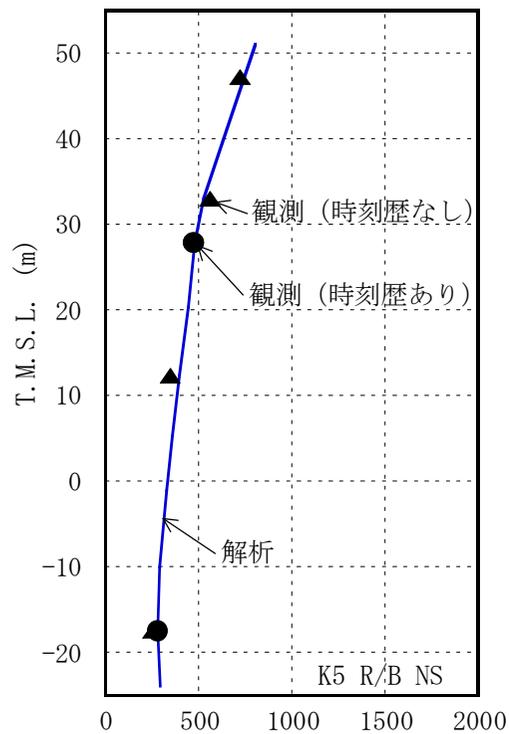
表-5.3.3 地震応答解析に用いる物性値

材料	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	減衰定数 h (%)
コンクリート	2.90×10^4	1.21×10^4	0.20	5
鉄骨	2.05×10^5	7.90×10^4	0.30	2

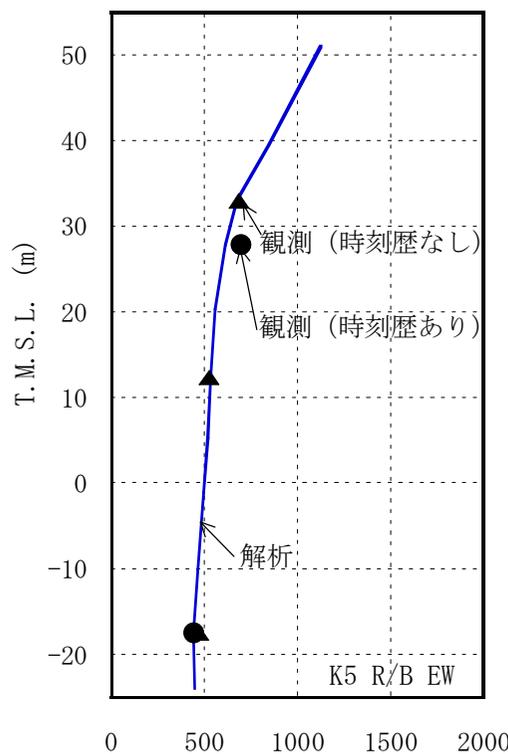
5.4. 地震応答解析結果

地震応答解析により求められた南北方向、東西方向、鉛直方向の最大応答加速度を図-5.4.1に示す。また、加速度応答波形および加速度応答スペクトルについて、観測記録と比較して図-5.4.2～図-5.4.4に示す。これより、南北方向および東西方向の中間階における観測記録と解析結果は、最大応答加速度、加速度応答波形、加速度応答スペクトル共に十分整合していることを確認した。また、鉛直方向については、加速度応答スペクトルの解析結果が一部の周期帯で大きめの評価となっているが、その部分を除けば観測記録と解析結果が整合していることを確認した。

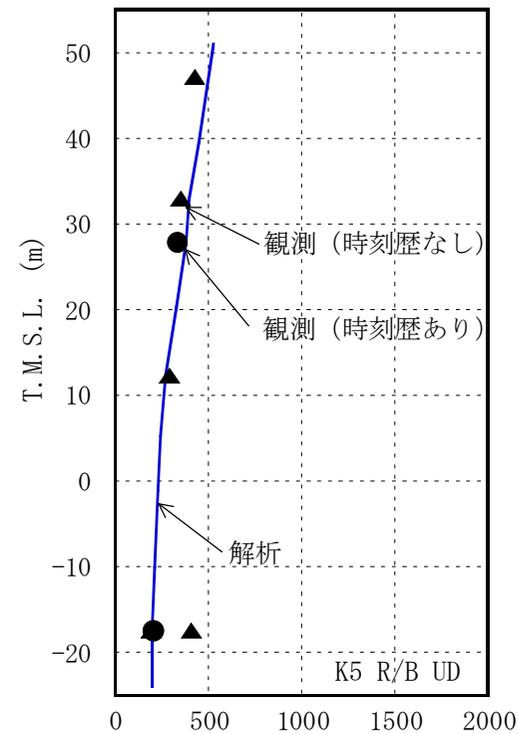
特に、鉛直方向の加速度応答スペクトルにおける周期0.07秒前後のピークについては、観測記録よりも大きめの評価結果となっており建物の健全性評価においては影響がほぼ無いと考えられるものの、今後も別途解析モデルの精度向上に向けての継続的な検討を行うこととする。



最大応答加速度 (cm/s²)
南北方向



最大応答加速度 (cm/s²)
東西方向



最大応答加速度 (cm/s²)
鉛直方向

図-5.4.1 最大応答加速度の比較

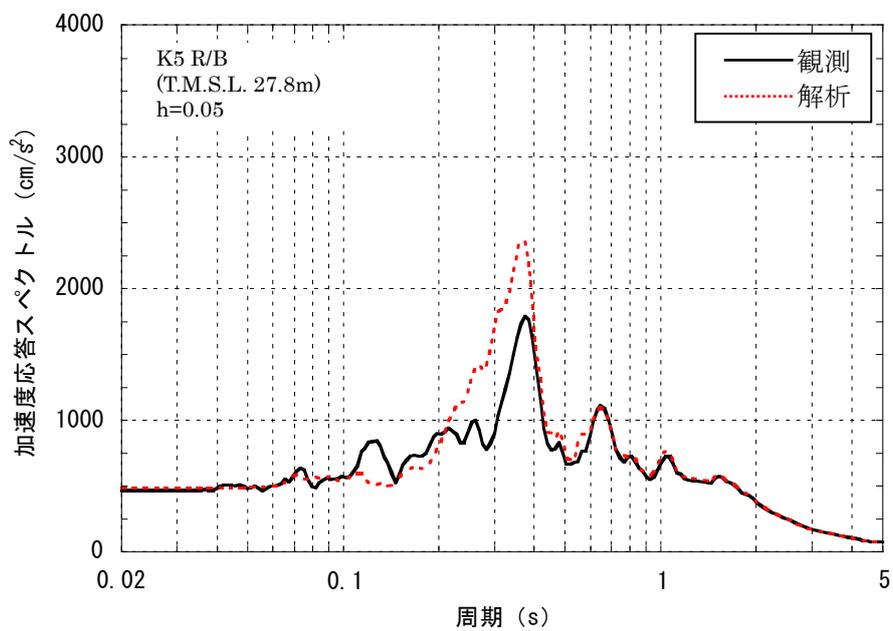
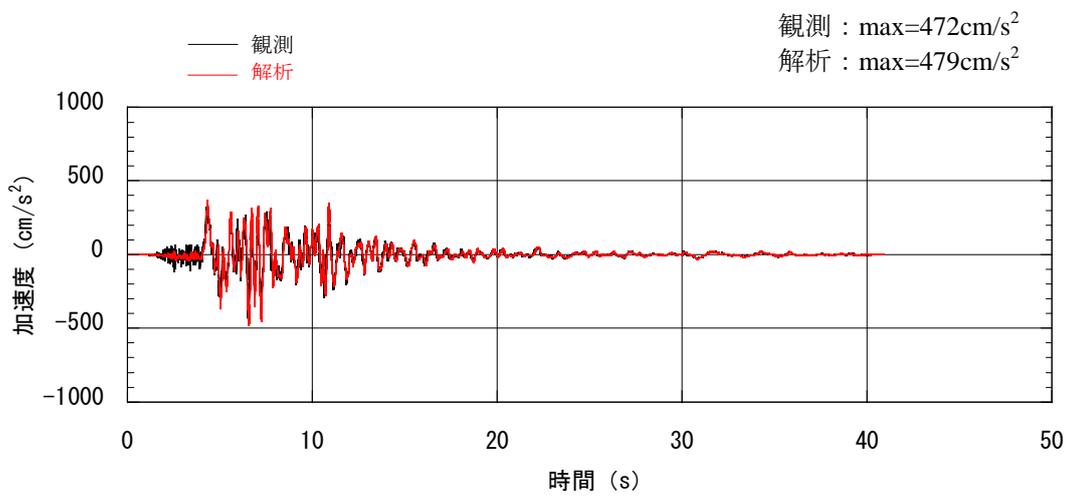


図-5.4.2 加速度応答波形および加速度応答スペクトルの比較
中間階 (T. M. S. L. 27.8m)、南北方向

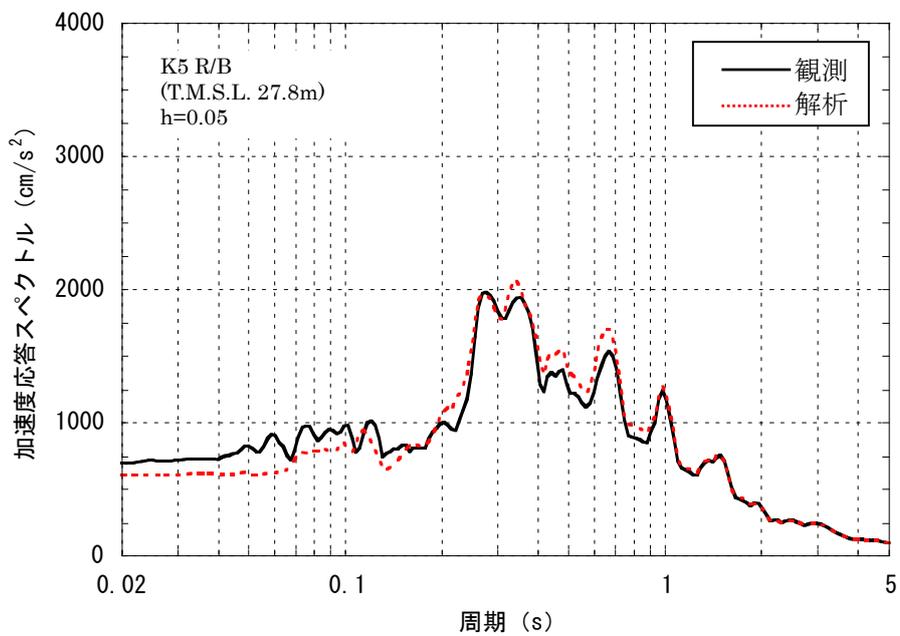
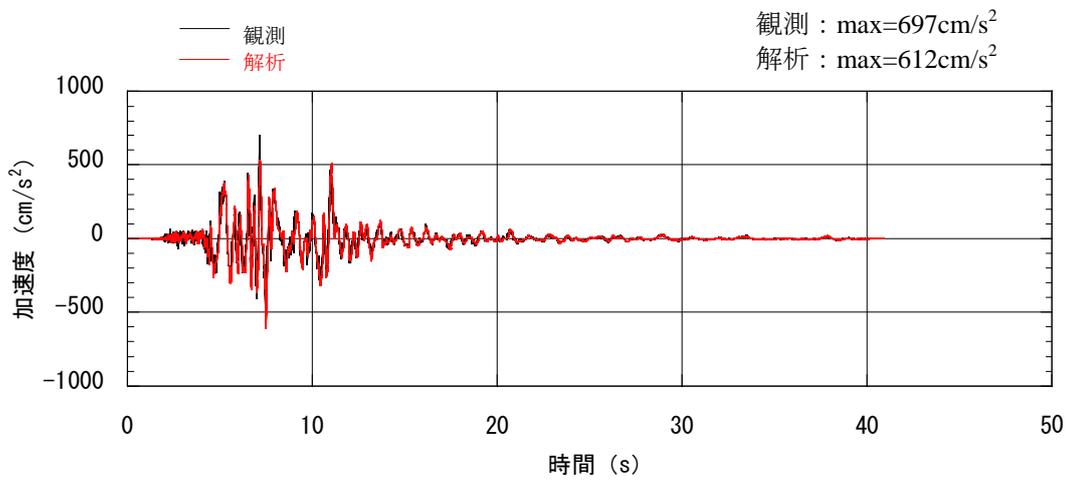


図-5.4.3 加速度応答波形および加速度応答スペクトルの比較
 中間階 (T.M.S.L. 27.8m)、東西方向

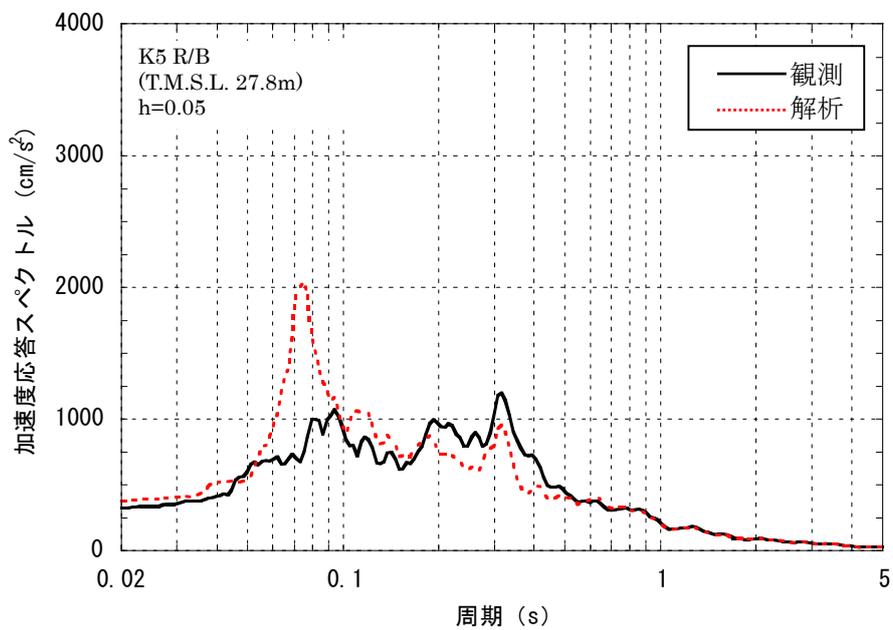
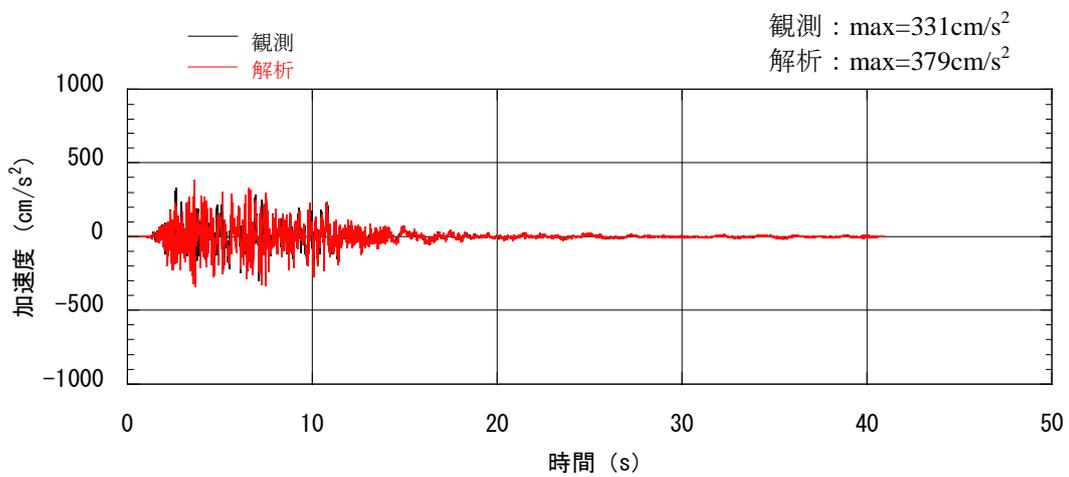


図-5.4.4 加速度応答波形および加速度応答スペクトルの比較
 中間階 (T.M.S.L. 27.8m)、鉛直方向

5.5. 耐震健全性評価結果（鉄筋コンクリート部）

5.5.1. 耐震壁の鉄筋コンクリート部

地震応答解析により得られた各階のせん断応力を、設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度 ($p_w \cdot \sigma_y^{*1}$) と併せて図-5.5.1 および図-5.5.2 に示す。これより、各階の耐震壁のせん断応力は、設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度に対して 20%以上余裕のある結果が出ている。

また、地震応答解析により得られた各階のせん断ひずみを、壁のひび割れが発生するひずみの目安値と併せて図-5.5.3 および図-5.5.4 に示す。これより、各階の壁のひずみは目安値を下回っている。

なお、図-5.5.1～図-5.5.4 に示す原子炉建屋の耐震壁とは、設計時に耐震要素として考慮していなかった補助壁の分を含めて評価している。

以上のことから、耐震壁の鉄筋コンクリート部は概ね弾性範囲にあると判断されるとともに裕度を有しており、耐震健全性は確保されているものと評価した。

※1 : p_w 耐震壁の設計鉄筋比

σ_y 鉄筋の短期許容引張応力度 (SD345 : 345N/mm²)

(参考)

図-5.5.1～図-5.5.4 にはコンクリートのみでの許容せん断応力度の目安値を示している。(短期相当 : $\sigma_c^{*2}/20$ 、長期相当 : $\sigma_c/30$)

※2 : σ_c コンクリートの実強度

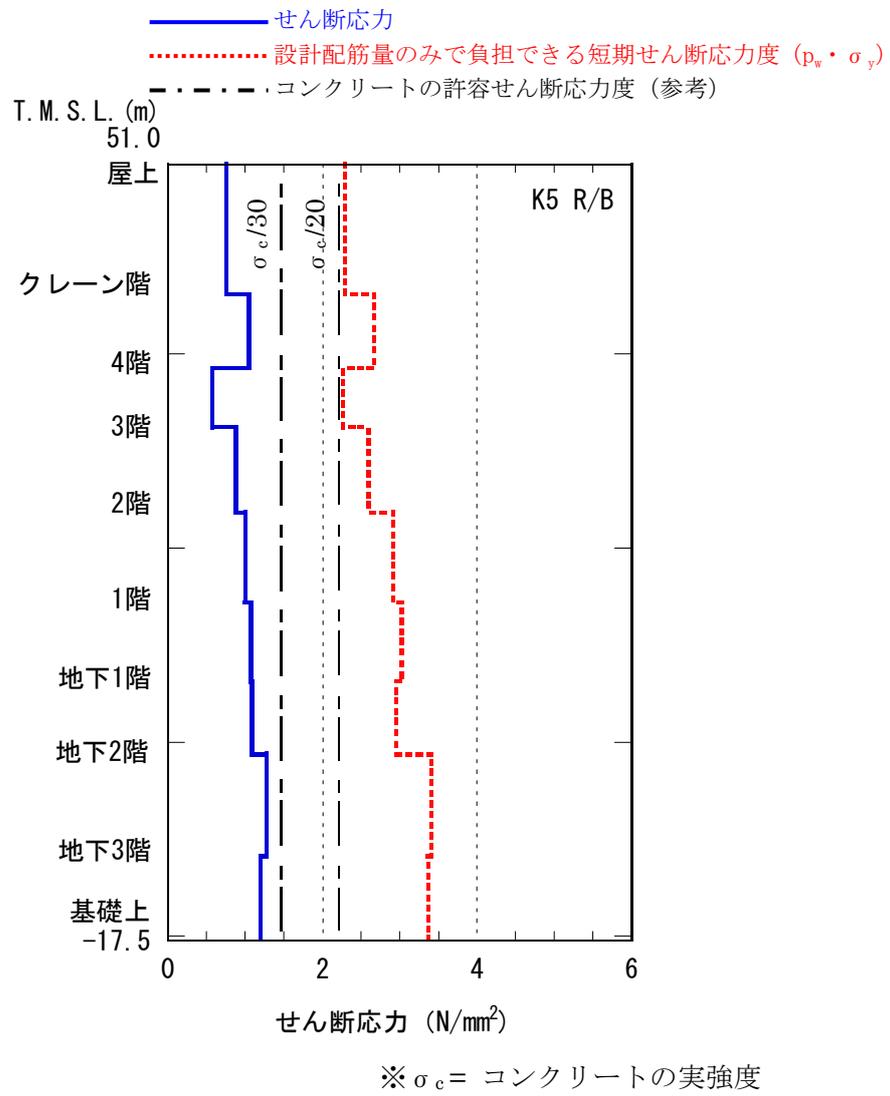


図-5.5.1 原子炉建屋 耐震壁のせん断応力 (南北方向)

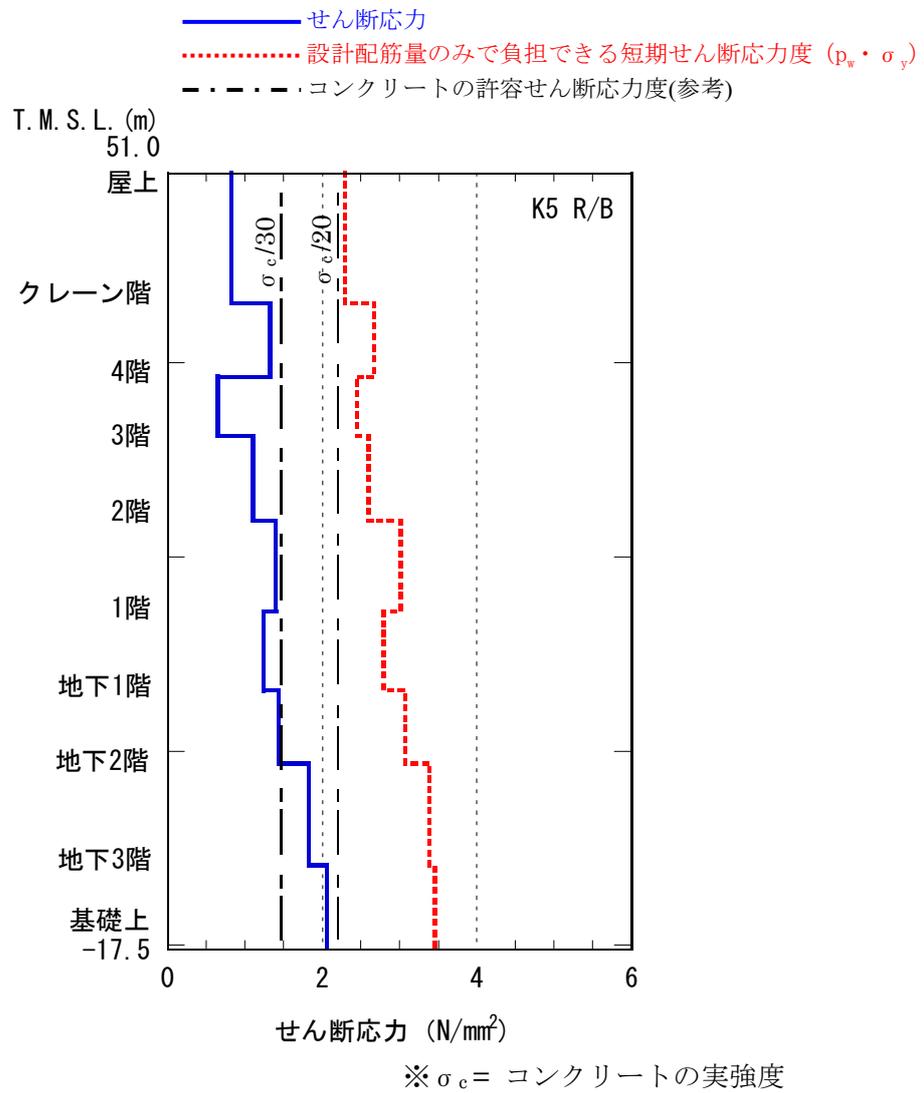


図-5.5.2 原子炉建屋 耐震壁のせん断応力 (東西方向)

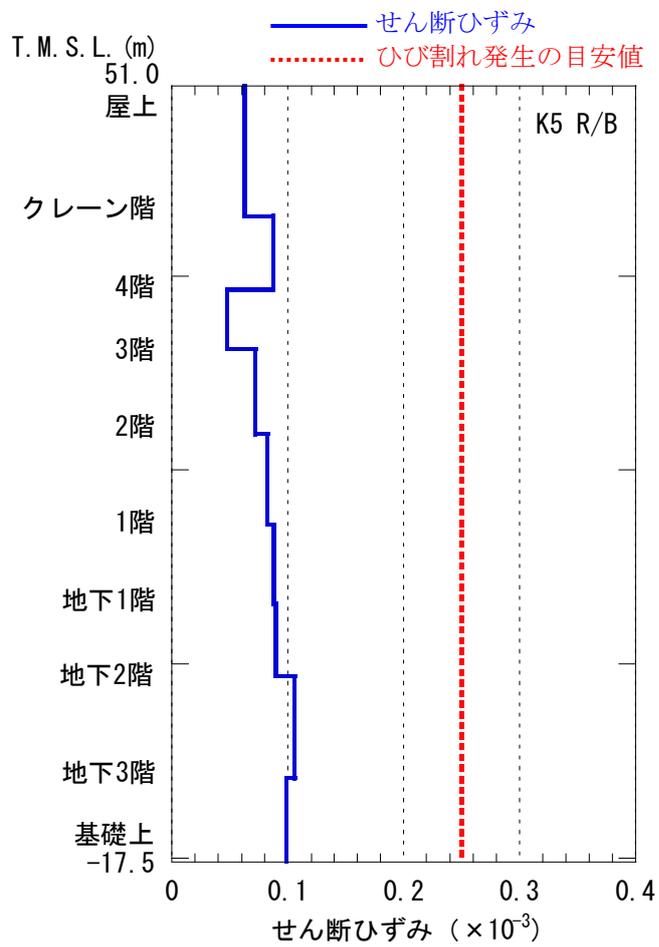


図-5.5.3 原子炉建屋 耐震壁のせん断ひずみ (南北方向)

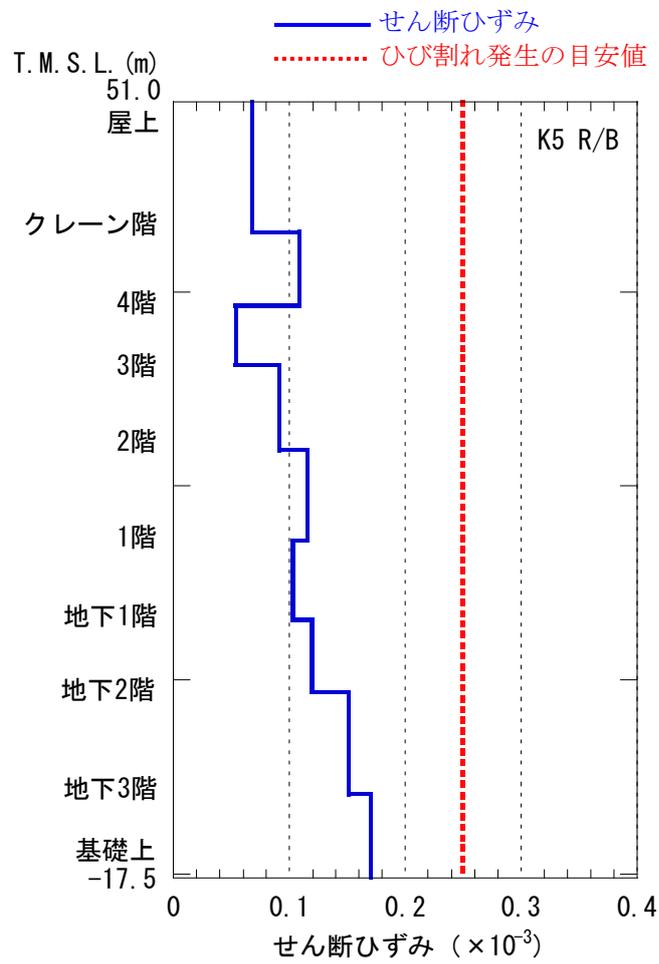


図-5.5.4 原子炉建屋 耐震壁のせん断ひずみ (東西方向)

5.6. 耐震健全性評価（鉄骨部）

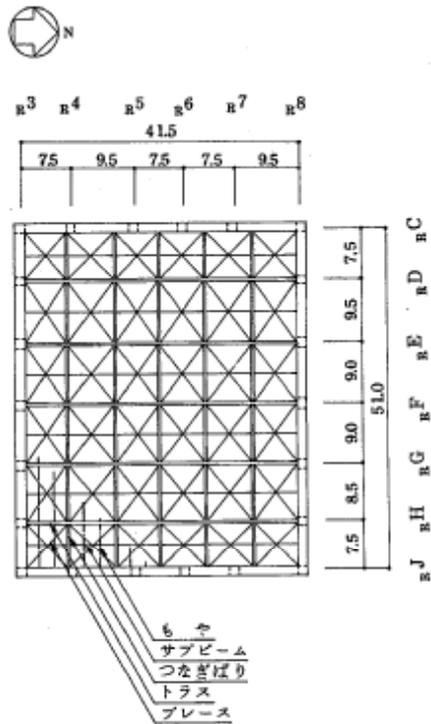
5.6.1. 屋根トラス

(1) 屋根トラスの概要

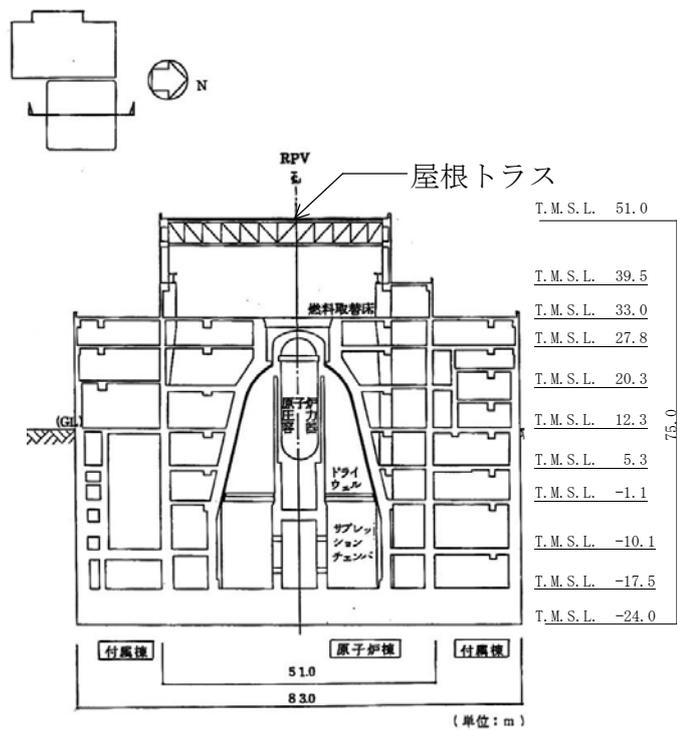
5号機原子炉建屋の上部構造は、鉄骨造陸屋根をもつ屋根トラスで構成されている。屋根トラスの平面は、41.5m (NS) × 51.0m (EW) の長方形をなしており、オペフロレベル (T. M. S. L. 33.0m) からの高さは18.0mである。

屋根トラスの概要を図-5.6.1に示す。

屋根トラスは、鉛直方向の地震動の影響を受けやすいと考え、水平方向と鉛直方向の同時入力による評価を行うため、3次元モデルによる地震応答解析を行うこととした。



屋根伏図 (T.M.S.L. 51.0m)



断面図(南北方向)

図-5.6.1 屋根トラスの概要

(2) 地震応答解析モデル

屋根トラスの地震応答解析モデルは、オペフロレベル (T. M. S. L. 33.0m) より上部の鉄筋コンクリート造の柱、梁、壁及び鉄骨造の屋根トラス、屋根面水平ブレース等を線材、面材により立体的にモデル化した立体架構モデルとする。

屋根トラス部は、主トラス、つなぎ梁、屋根上下面水平ブレース、サブビームをモデル化する。各鉄骨部材は軸、曲げ変形を考慮した梁要素（トラスの上下弦材、主トラスの束材等）と軸変形のみを考慮したトラス要素（屋根面水平ブレース、トラスの斜材等）としてモデル化する。また、耐震壁及び外周梁は各々シェル要素及び軸、曲げ変形を考慮した梁要素としてモデル化し、耐震壁の開口部についても考慮する。柱脚の条件は固定とする。

解析モデルの概要を図-5.6.2に示す。また、解析に用いる材料の物性値を表-5.6.1に示す。

解析モデルへの入力は、前述した原子炉建屋全体の地震応答解析結果から得られるオペフロレベル (T. M. S. L. 33.0m) の応答結果を用いることとし、オペフロ位置を固定として入力する（水平2成分、鉛直成分、回転2成分）。

このうち、水平2成分と鉛直成分の加速度波形を、図-5.6.3に、回転2成分を図-5.6.4に示す。

また、地震応答解析における減衰評価は、剛性比例型減衰を用いている（鉄骨造の減衰として2%、コンクリート造の減衰として5%を与えることとしている）。

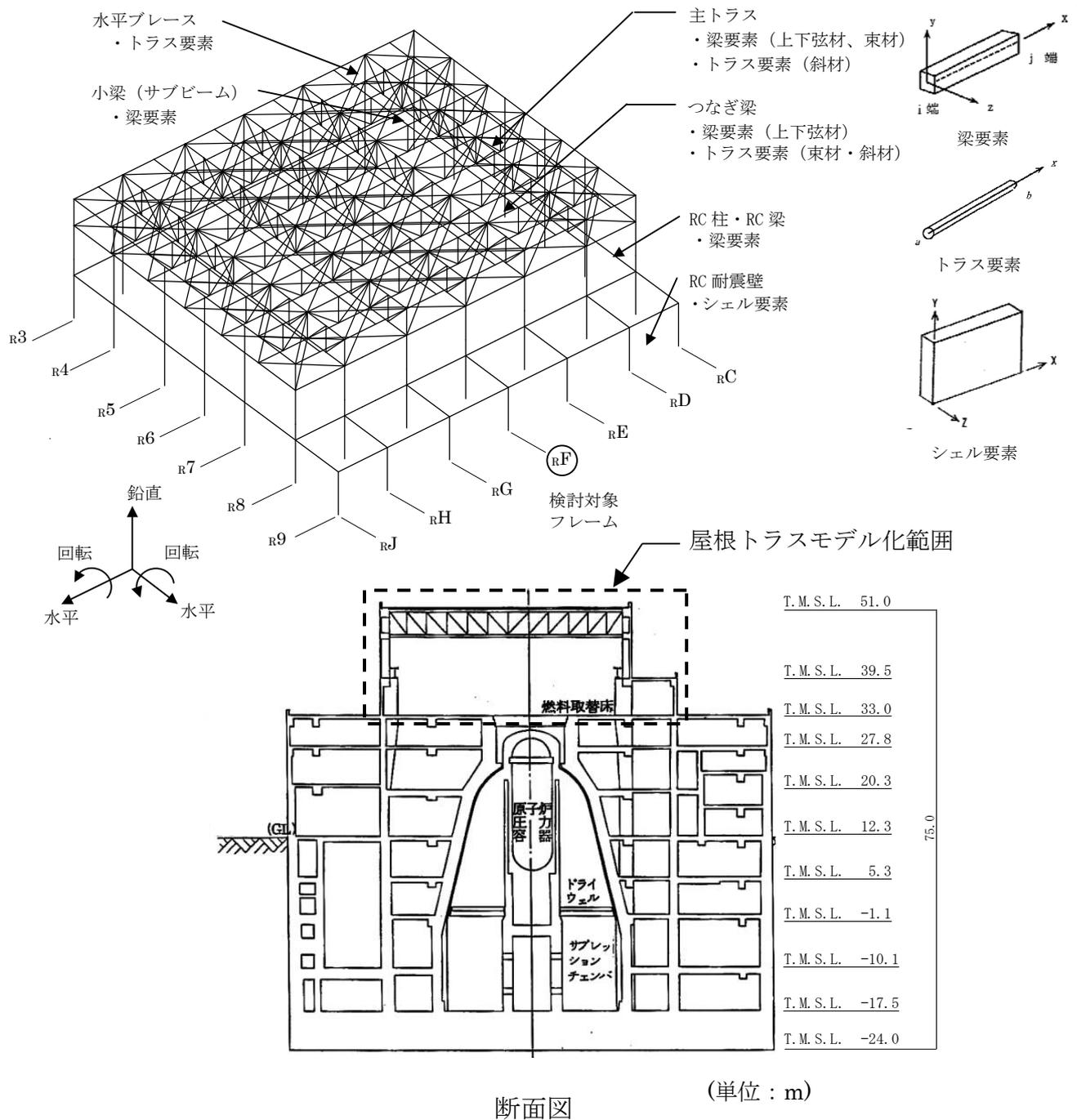
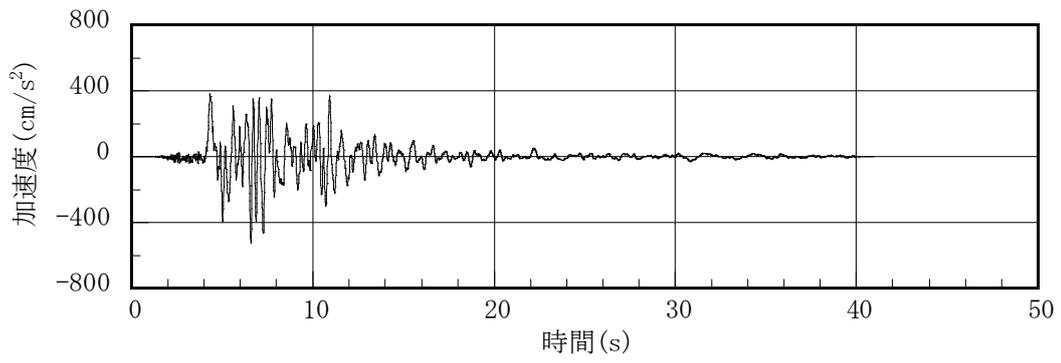


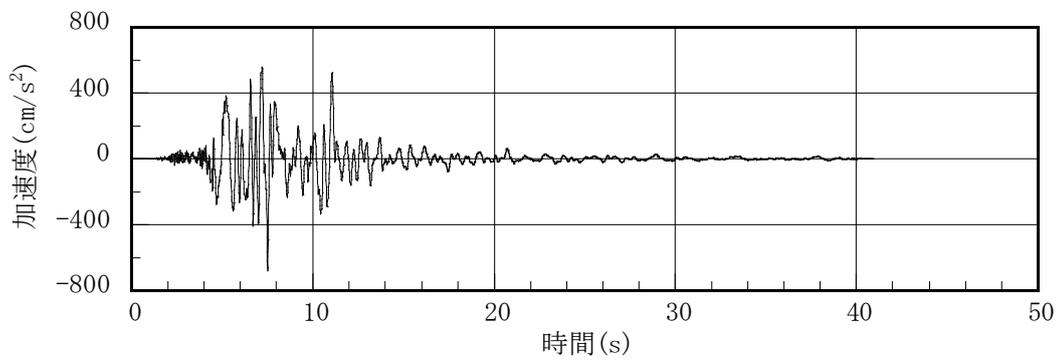
図-5.6.2 屋根トラス（オペフロ上部架構）の解析モデル図と入力イメージ

表-5.6.1 解析に用いた材料定数

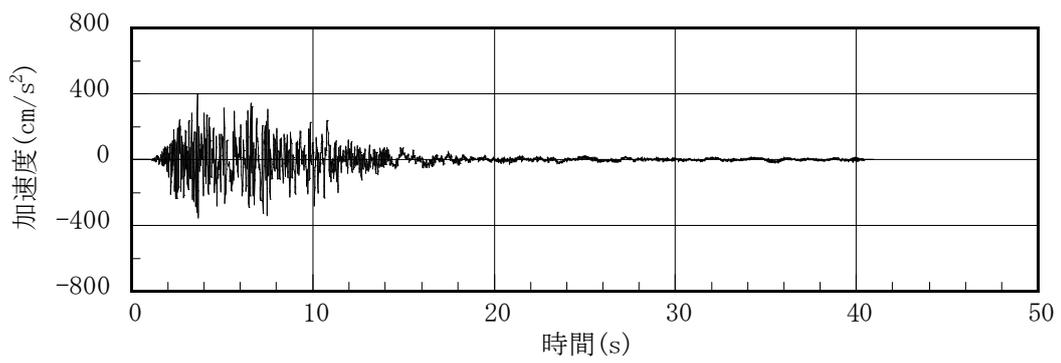
部位	材料	ヤング係数 N/mm ²	ポアソン比	単位体積重量 kN/m ³	減衰定数 h (%)
屋根トラス	鉄骨	2.05×10 ⁵	0.30	77.0	2
躯体	コンクリート	2.90×10 ⁴	0.20	24.5	5



(a) 南北方向

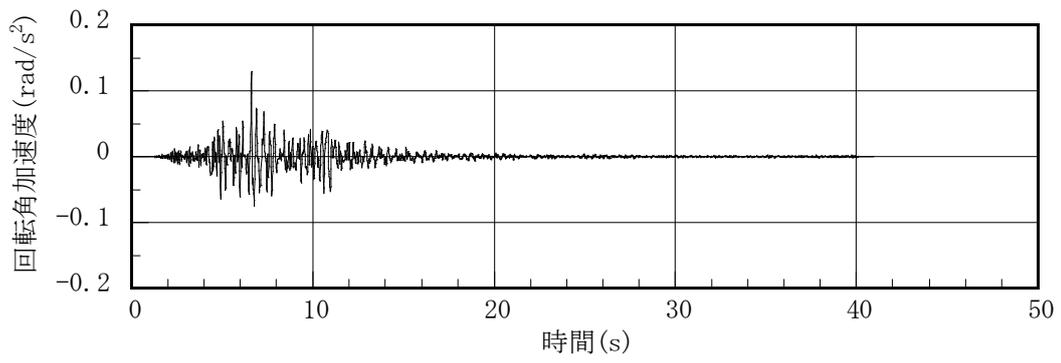


(b) 東西方向

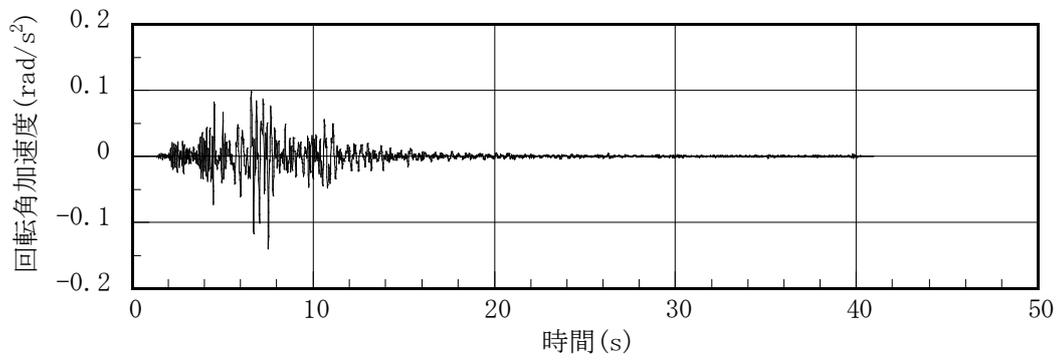


(c) 鉛直方向

図-5.6.3 屋根トラスへの入力地震動（水平、鉛直成分）



(a) 南北方向



(b) 東西方向

図-5.6.4 屋根トラスへの入力地震動（回転成分）

(3) 評価基準

3次元モデルの時刻歴地震応答解析により生じる各部材応力が評価基準値以下であることを確認する。

屋根トラスを構成する各構面の上下弦材・斜材・束材を対象として、地震時に生じる軸力および曲げモーメントより短期許容応力度に対する断面検定について、下式を用いて行う。

(圧縮)

$$\frac{s\sigma_N}{sf_c} + \frac{s\sigma_b}{sf_b} \leq 1.0$$

ここに、 $s\sigma_N$: 地震時における部材の軸応力

$s\sigma_b$: 地震時における部材の曲げ応力

sf_c : 短期許容圧縮応力度

(座屈の影響を考慮して細長比等により求めた数値)

sf_b : 短期許容曲げ応力度

(引張)

$$\frac{s\sigma_N}{sf_t} + \frac{s\sigma_b}{sf_b} \leq 1.0$$

ここに、 $s\sigma_N$: 地震時における部材の軸応力

$s\sigma_b$: 地震時における部材の曲げ応力

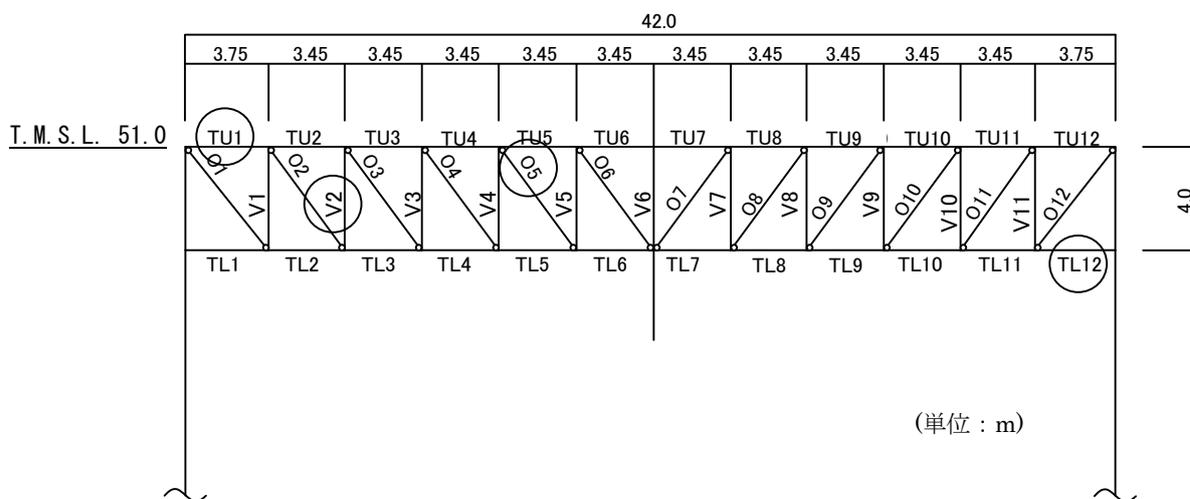
sf_t : 短期許容引張応力度

sf_b : 短期許容曲げ応力度

(4) 評価結果

各部材の評価結果のうち、屋根トラスを構成する主トラス方向のフレームの発生応力と評価基準値の比（発生応力／評価基準値）が最も大きい部材を含む_RF 通りについて、評価部位を図-5.6.5 に、評価結果を表-5.6.2 に示す。

屋根トラスの各部材における発生応力は評価基準値以下であり、弾性範囲にあると判断されるとともに裕度を有しており、耐震健全性は確保されているものと評価した。



○ : (発生応力/評価基準値)が最大となる位置を示す

図-5.6.5 評価部位 (_RF 通り)

表-5.6.2 最大応力比(_RF 通り)

部材		発生応力 (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)	発生応力/ 評価基準値	位置	使用部材
上弦材	(引張)	17.7	325	0.23	TU1	H-428×407×20×35
	(曲げ)	55.9	325			
下弦材	(圧縮)	66.2	225	0.47	TL12	H-428×407×20×35
	(曲げ)	58.7	325			
斜材	(引張)	81.3	235	0.35	O5	2[s-250×90×9×13
束材	(圧縮)	102.4	274	0.40	V2	H-344×348×10×16
	(曲げ)	7.3	325			

6. 総合評価

6.1. 総合評価の方法

「4. 点検」及び「5. 耐震健全性評価」の結果を踏まえ、建物・構築物の健全性の総合評価を行う（表-6.1.1 参照）。

- ①点検結果において異常がなく、かつ、地震応答解析において裕度がある評価結果（鉄筋等が短期許容応力度レベル以下であることなど）が得られた建物・構築物については、健全性を満足するものと評価する。
- ②点検結果において異常がないにもかかわらず、地震応答解析において裕度が比較的少ないとの結果が得られた建物・構築物については、地震応答解析において保守的な配慮が行われている可能性を考慮し、より詳細な追加解析やモックアップ試験等により十分な構造強度を有することが確認できる場合には、健全性を満足するものと評価する。
- ③点検結果において異常が認められた建物・構築物（判定基準を満足できないもの）については、原則として、損傷原因の究明を行うとともに、必要に応じてモックアップ試験等により要求性能への損傷の影響がないことを確認できる場合には、健全性を満足するものと評価する。

表-6.1.1 総合評価（解析-点検）

		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	裕度がある	評価終了 (健全)	<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
	裕度が比較的少ない	下記検討を実施。 <ul style="list-style-type: none"> ・ より詳細な追加解析 ・ モックアップ試験等 	

6.2. 総合評価結果

点検においては、原子炉建屋の各部位で要求性能を損なうような事象は確認されなかった。

地震応答解析においても、評価基準を満足するとともに裕度を有していることを確認したことから、設備健全性が確保されているものと評価した。

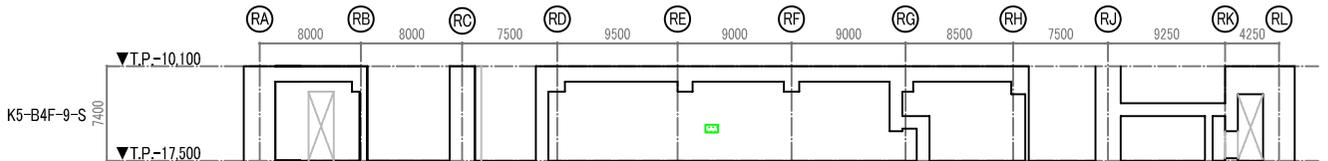
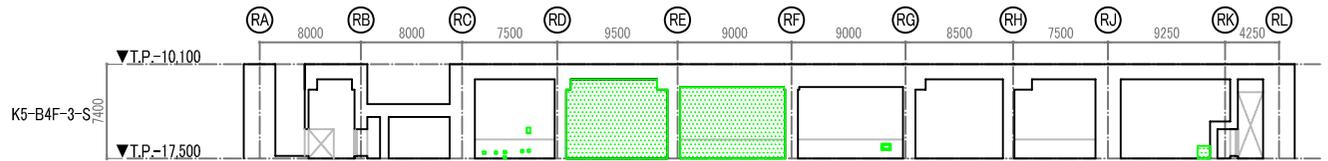
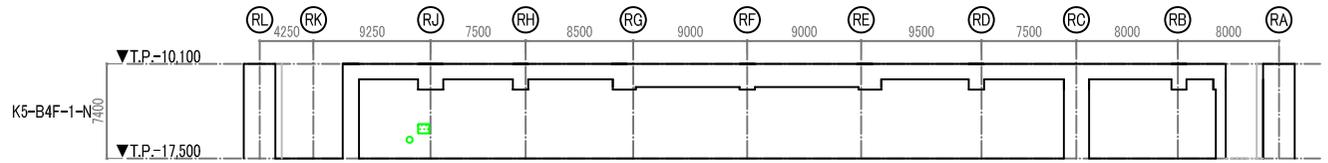
以上のように、点検と地震応答解析の両面から評価を行った結果、5号機の原子炉建屋の健全性が確保されているものと評価した。

7. 添付資料・参考資料一覧

添付資料 1 5号機原子炉建屋ひび割れ状況図

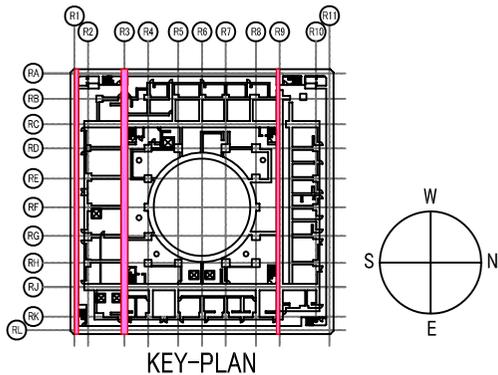
参考資料 1 原子炉建屋の地震応答解析結果

参考資料 2 追加検討モデルによる応答結果の比較

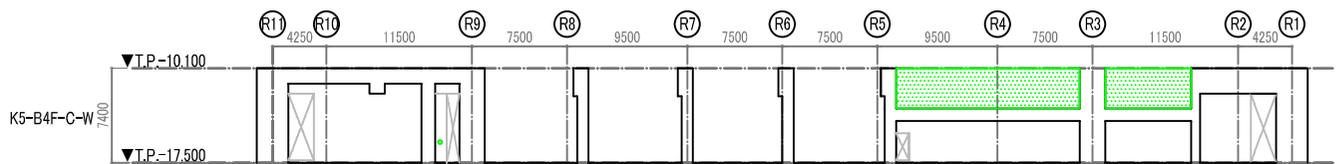
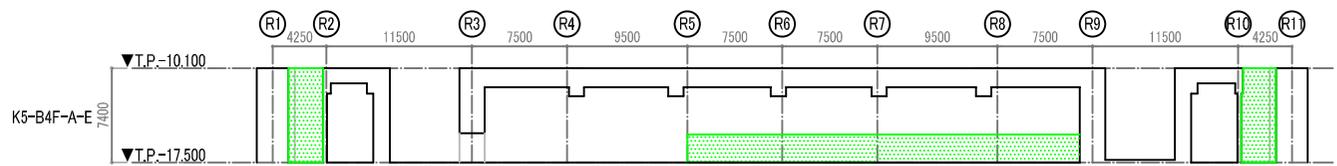
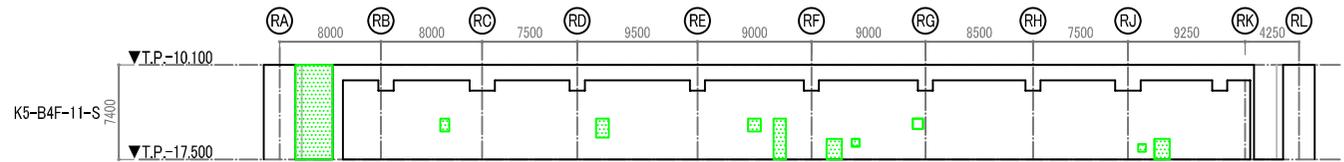
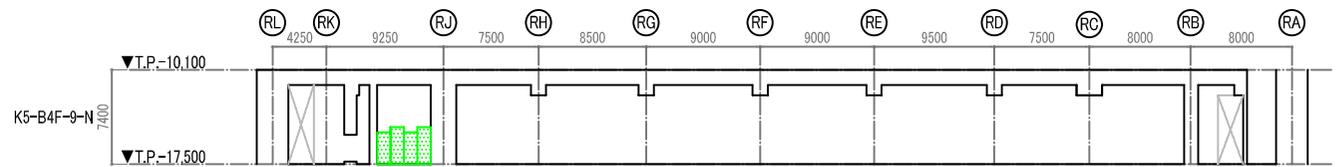


凡 例

-  地震によるひび割れ
-  目視点検が困難な範囲

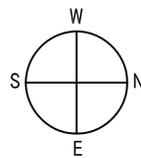
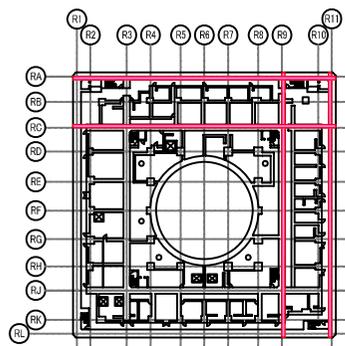


ひび割れ調査図（展開図）	建屋名	5号機原子炉建屋	階数	地下4階 1/4	部位	耐震壁 R1通り・R3通り・R9通り
--------------	-----	----------	----	----------	----	--------------------



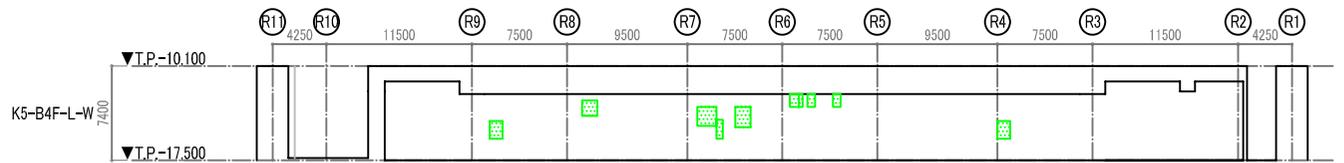
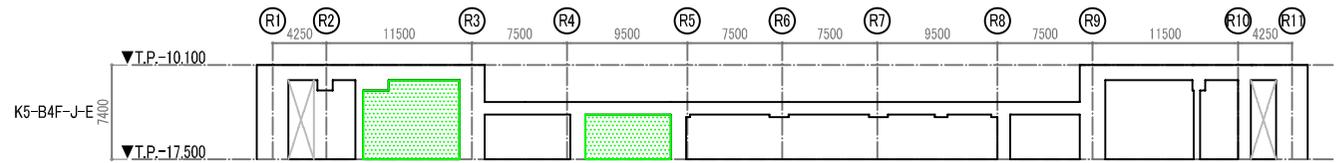
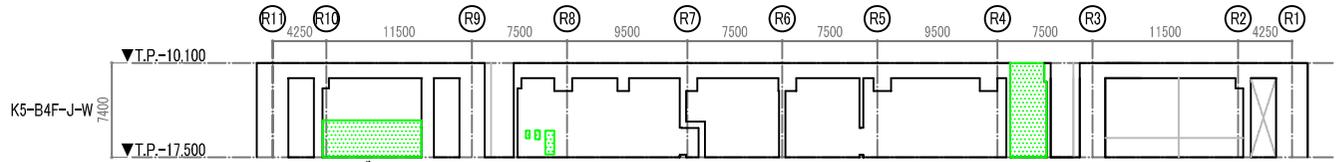
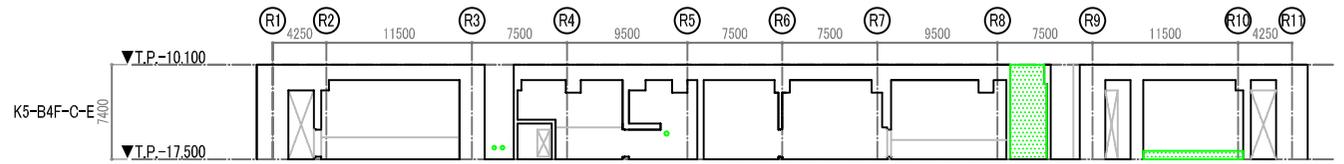
凡 例

- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲



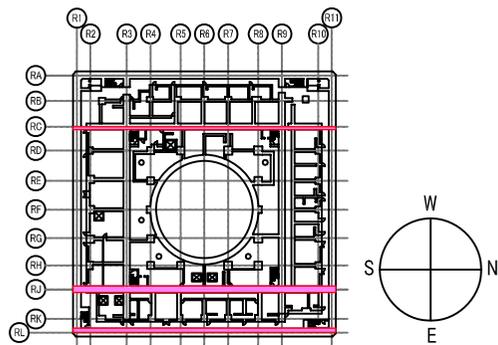
KEY-PLAN

ひび割れ調査図（展開図）	建屋名	5号機原子炉建屋	階数	地下4階 2/4	部位	耐震壁 R9通り・R11通り・RA通り・RC通り
--------------	-----	----------	----	----------	----	--------------------------



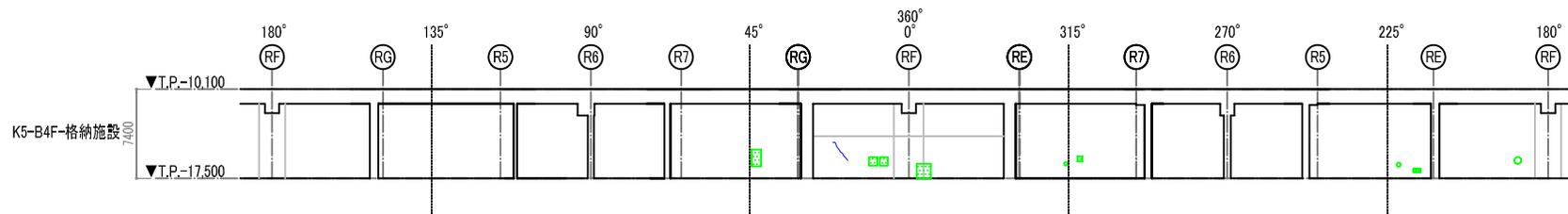
凡 例

-  地震によるひび割れ
-  目視点検が困難な範囲



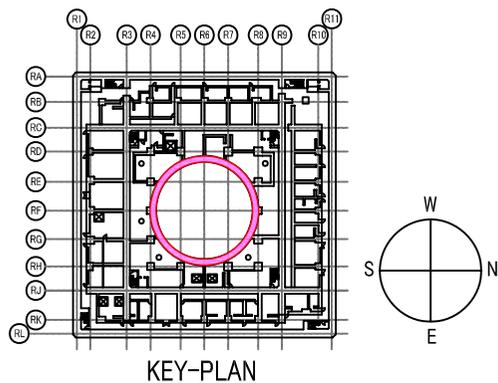
KEY-PLAN

ひび割れ調査図（展開図）	建屋名 5号機原子炉建屋	階数 地下4階 3/4	部位	耐震壁RC通り・RJ通り・RL通り
--------------	--------------	-------------	----	-------------------

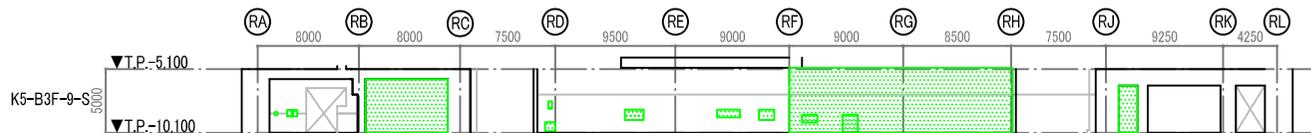
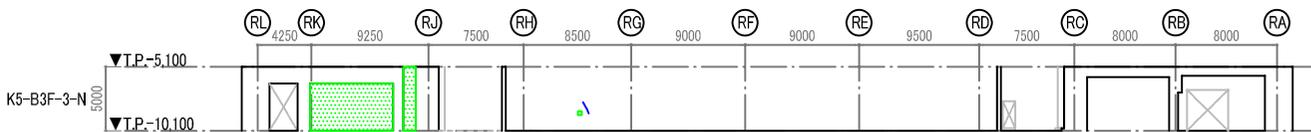
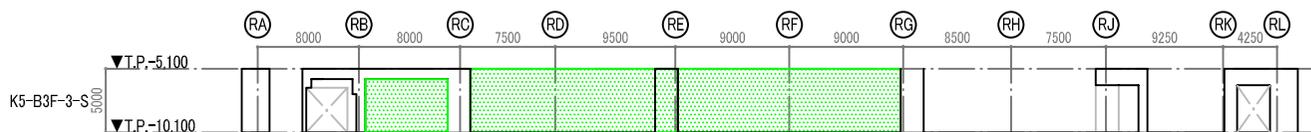
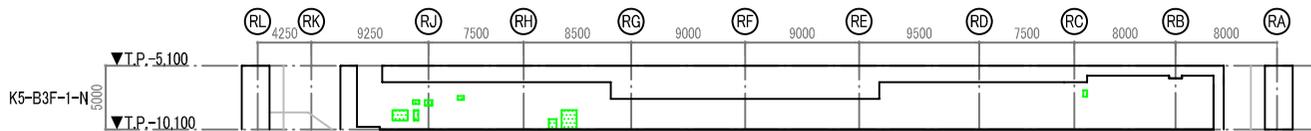


凡 例

-  地震によるひび割れ
-  目視点検が困難な範囲

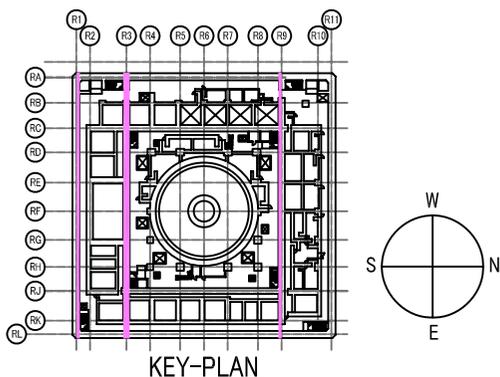


ひび割れ調査図（展開図）	建屋名 5号機原子炉建屋	階数 地下4階 4/4	部位	格納施設
--------------	--------------	-------------	----	------

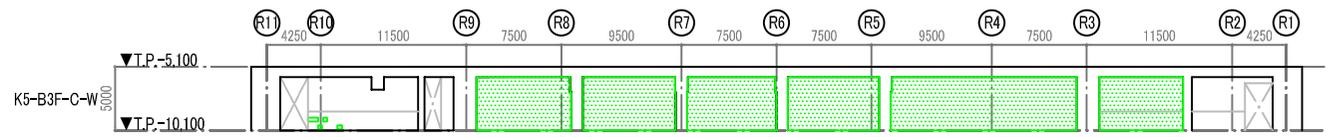
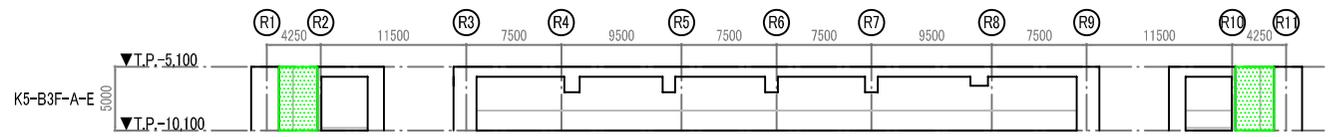
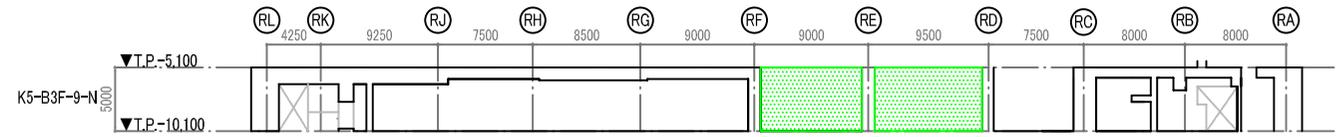


凡 例

- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲

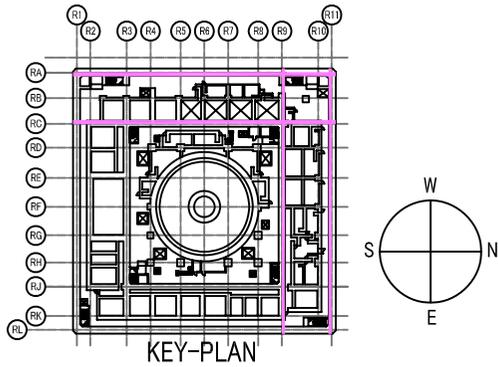


ひび割れ調査図（展開図）	建屋名	5号機原子炉建屋	階数	地下3階 1/4	部位	耐震壁 R1通り・R3通り・R9通り
--------------	-----	----------	----	----------	----	--------------------

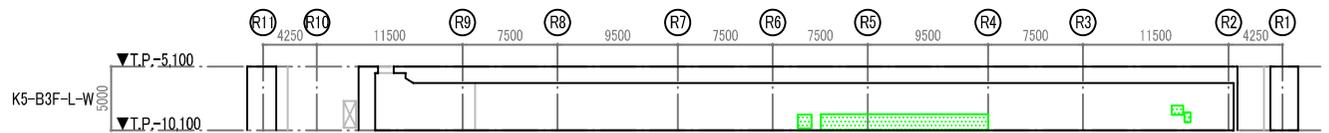
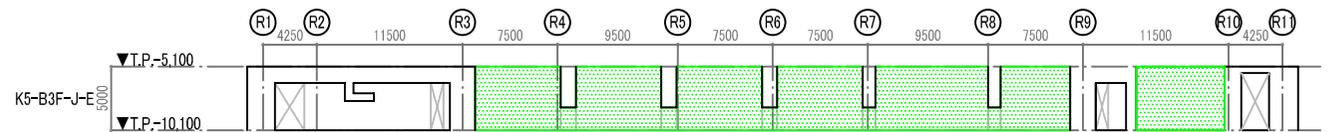
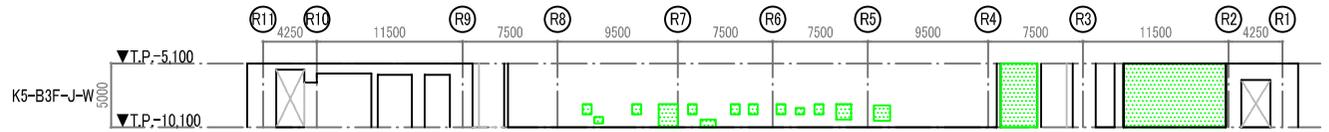
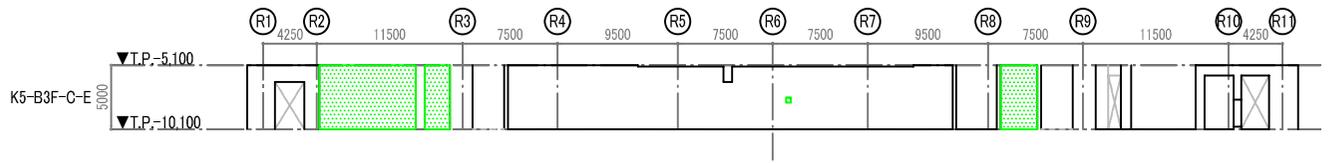


凡 例

- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲

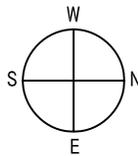
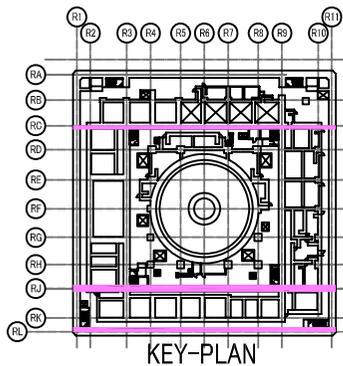


ひび割れ調査図（展開図）	建屋名	5号機原子炉建屋	階数	地下3階 2/4	部位	耐震壁 R9通り・R11通り・RA通り・RC通り
--------------	-----	----------	----	----------	----	--------------------------



凡 例

- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲



ひび割れ調査図（展開図）

建屋名

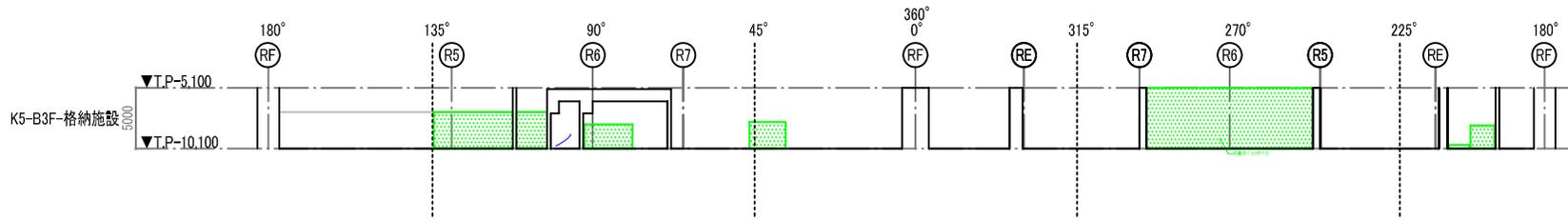
5号機原子炉建屋

階数

地下3階 3/4

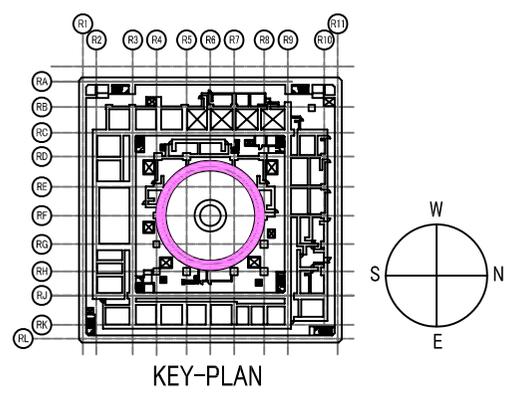
部位

耐震壁RC通り・RJ通り・RL通り

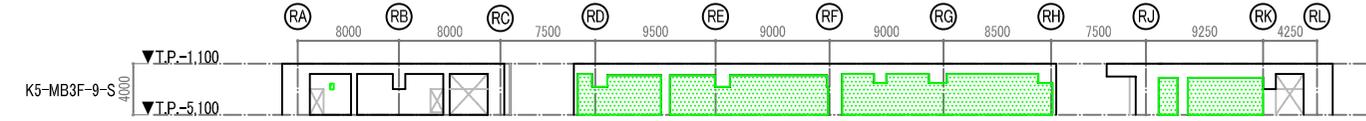
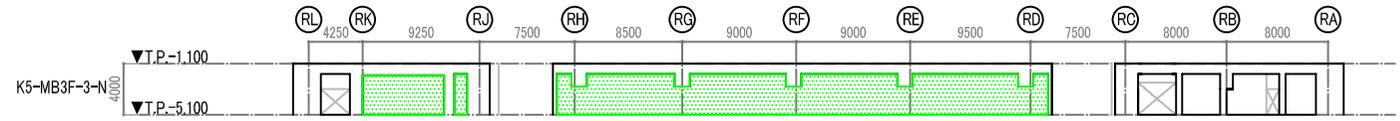
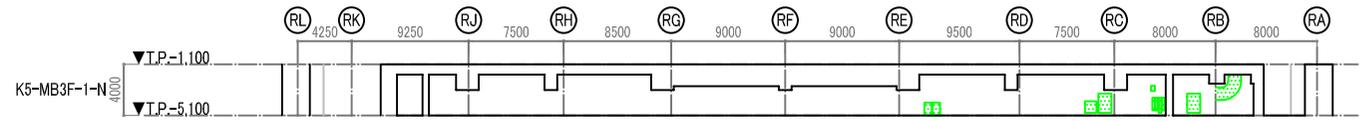


凡 例

-  地震によるひび割れ
-  目視点検が困難な範囲

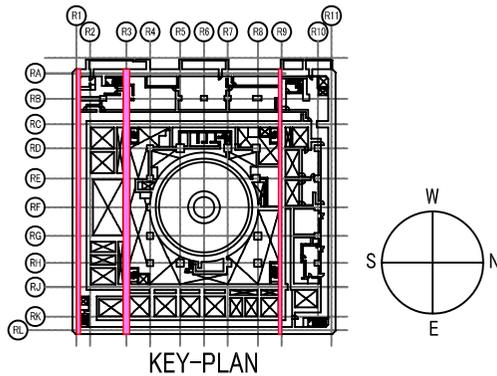


ひび割れ調査図 (展開図)	建 屋 名 5号機原子炉建屋	階 数 地下3階 4/4	部 位	格納施設
---------------	----------------	--------------	-----	------

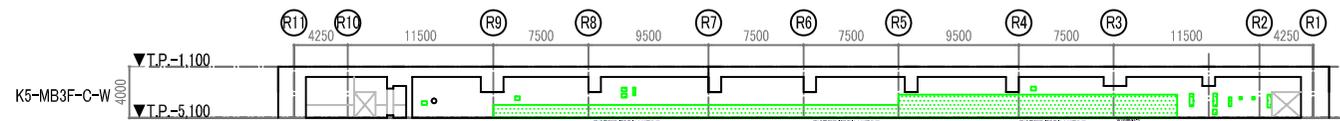
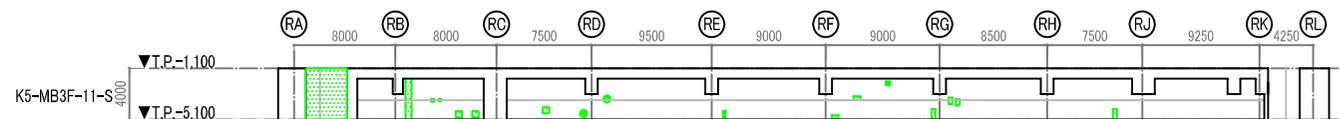
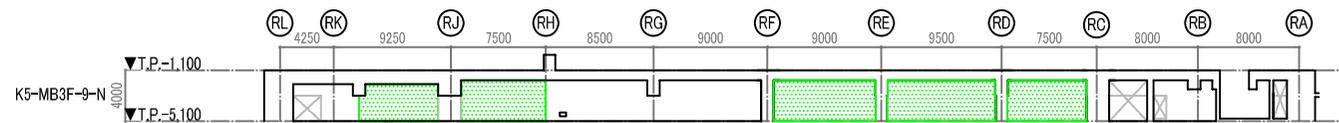


凡 例

- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲

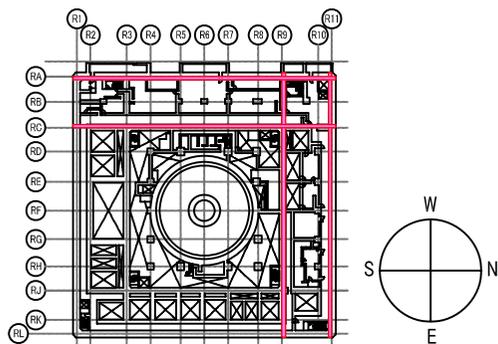


ひび割れ調査図 (展開図)	建屋名	5号機原子炉建屋	階数	地下中3階 1/4	部位	耐震壁 R1通り・R3通り・R9通り
---------------	-----	----------	----	-----------	----	--------------------



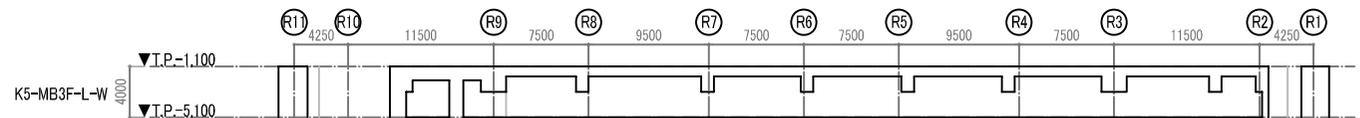
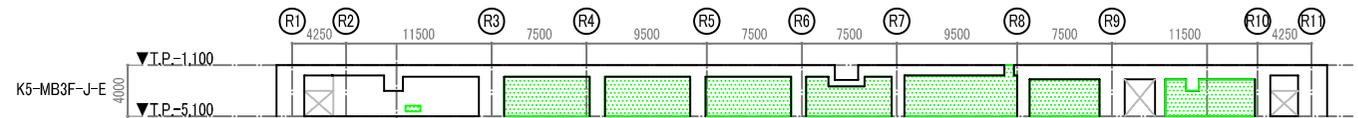
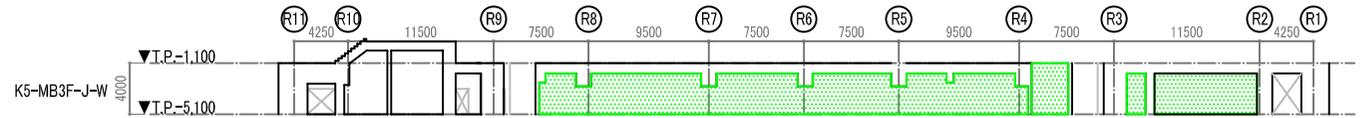
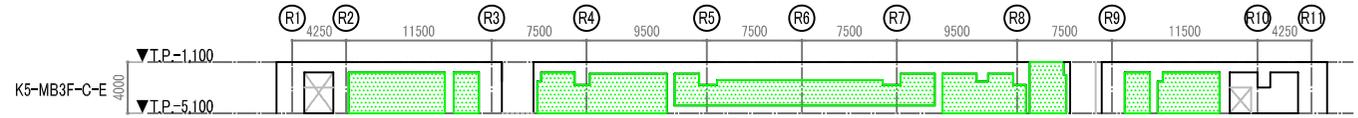
凡 例

- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲



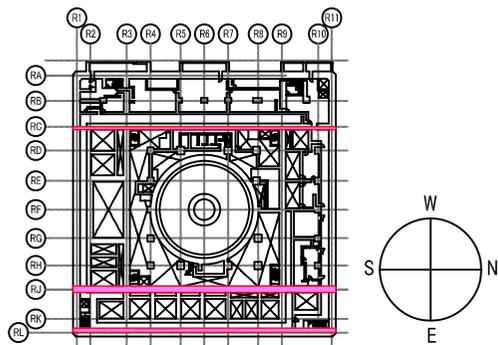
KEY-PLAN

ひび割れ調査図（展開図）	建屋名	5号機原子炉建屋	階数	地下中3階 2/4	部位	耐震壁 R9通り・R11通り・RA通り・RC通り
--------------	-----	----------	----	-----------	----	--------------------------



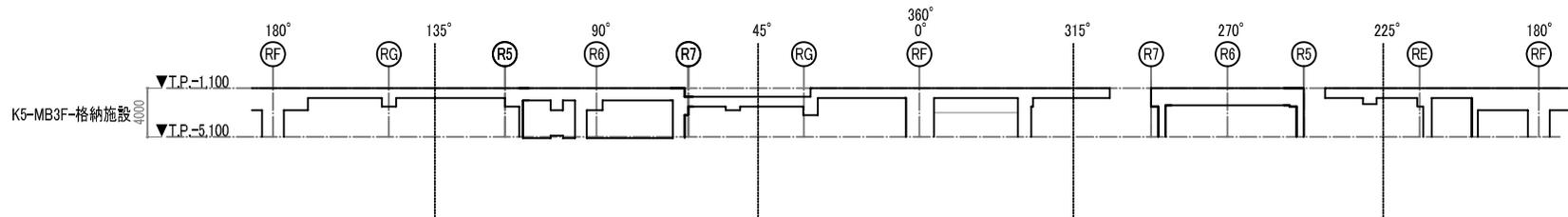
凡 例

- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲



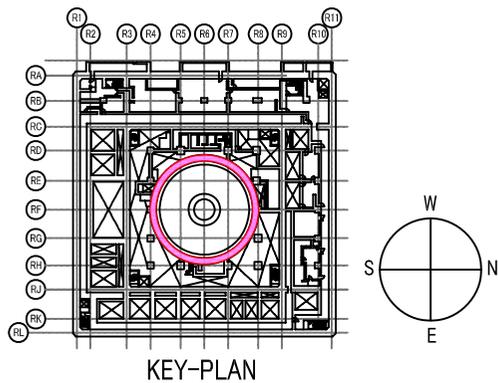
KEY-PLAN

ひび割れ調査図（展開図）	建屋名	5号機原子炉建屋	階数	地下中3階 3/4	部位	耐震壁 RC通り・RJ通り・RL通り
--------------	-----	----------	----	-----------	----	--------------------



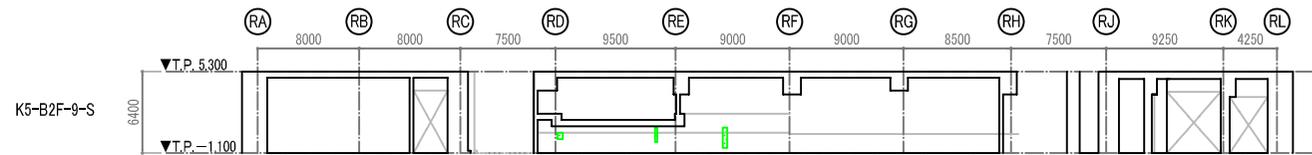
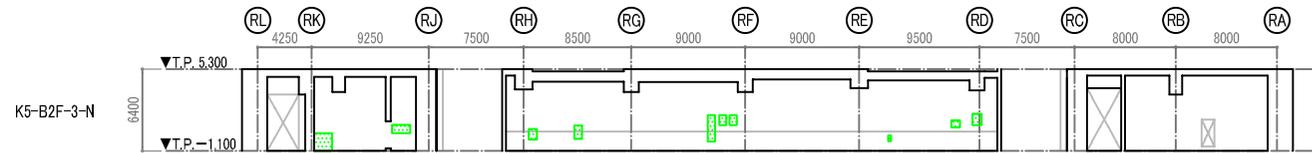
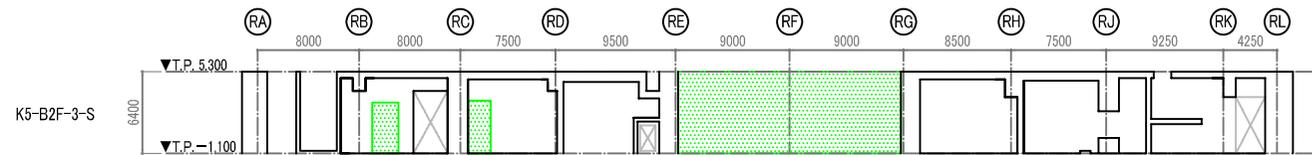
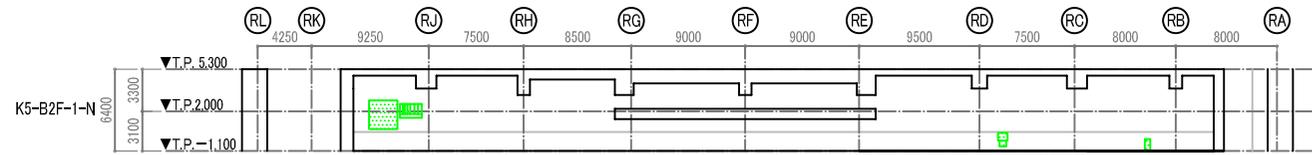
凡 例

- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲



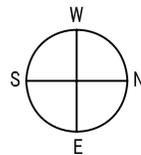
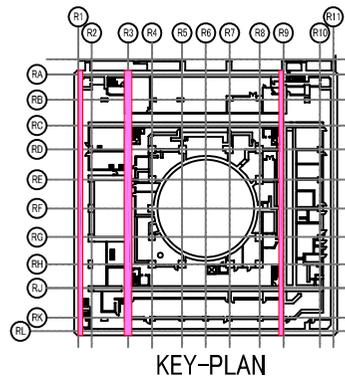
KEY-PLAN

ひび割れ調査図（展開図）	建屋名	5号機原子炉建屋	階数	地下中3階 4/4	部位	格納施設
--------------	-----	----------	----	-----------	----	------



凡 例

- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲



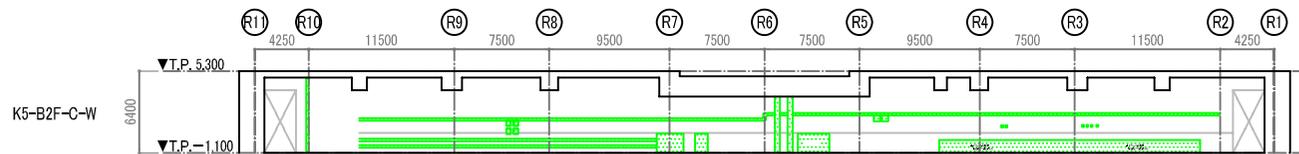
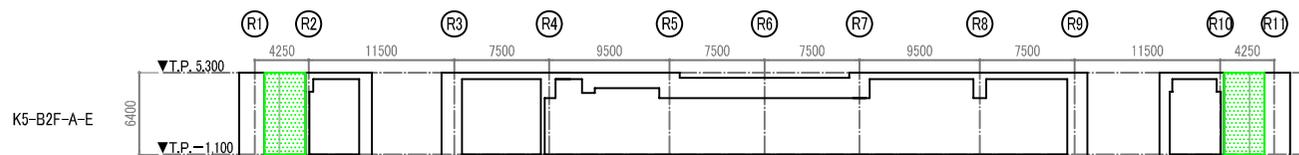
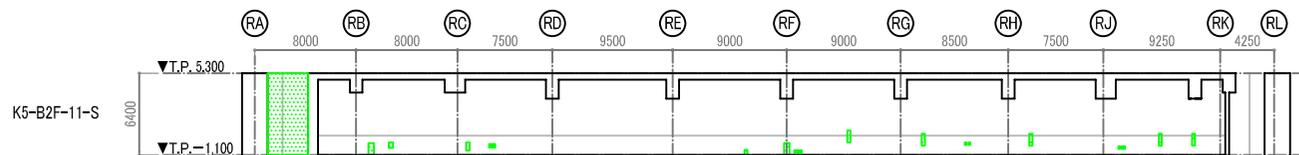
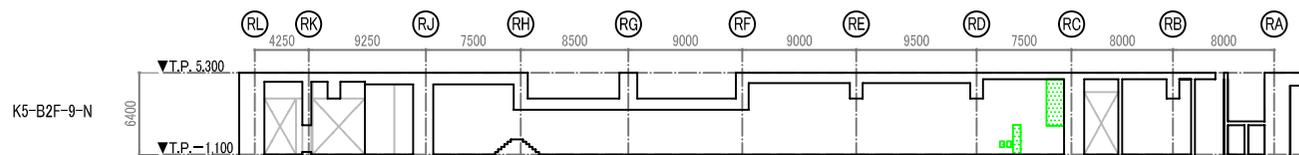
ひび割れ調査図（展開図）

建屋名 5号機原子炉建屋

階数 地下2階 1/4

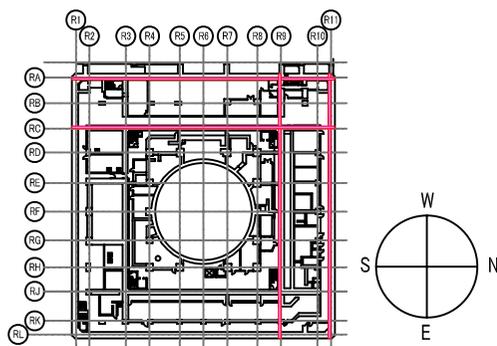
部位

耐震壁R1通り・R3通り・R9通り



凡 例

- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲



KEY-PLAN

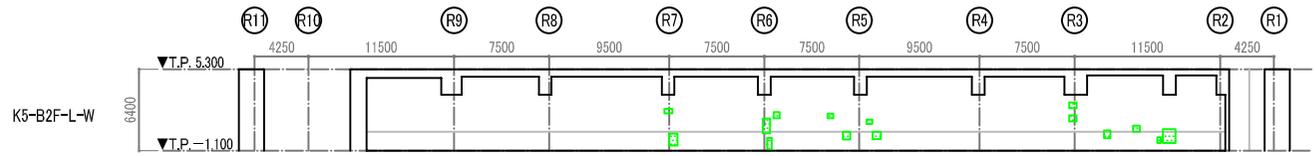
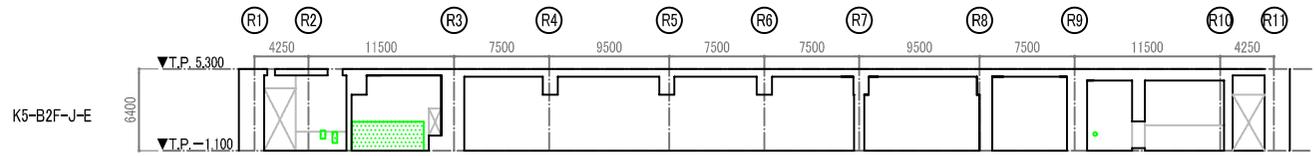
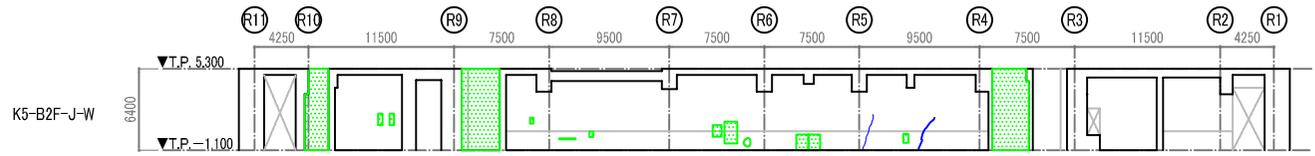
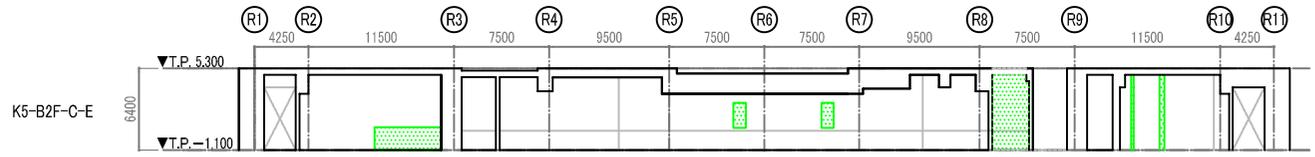
ひび割れ調査図（展開図）

建屋名 5号機原子炉建屋

階数 地下2階 2/4

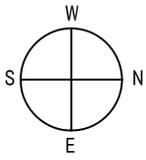
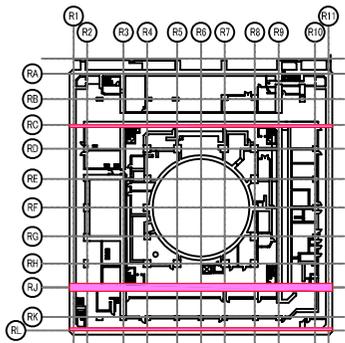
部位

耐震壁R9通り・R11通り・RA通り・RC通り



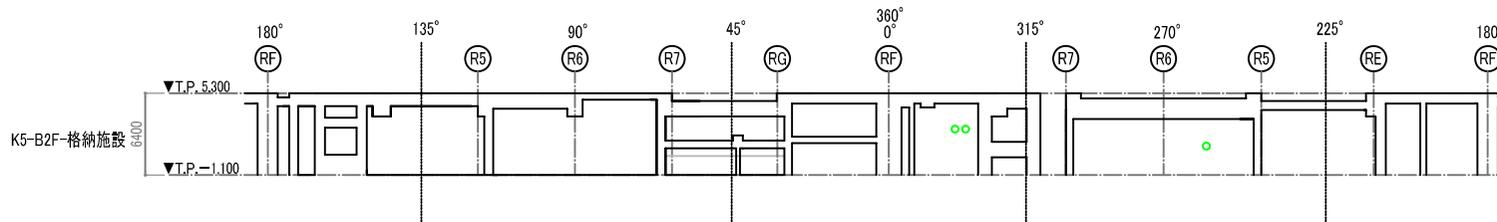
凡 例

- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲



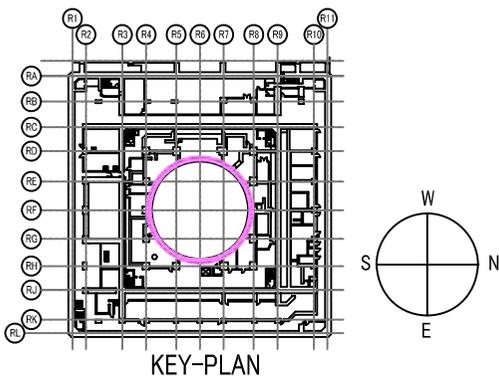
KEY-PLAN

ひび割れ調査図（展開図）	建屋名	5号機原子炉建屋	階数	地下2階 3/4	部位	耐震壁RC通り・RJ通り・RL通り
--------------	-----	----------	----	----------	----	-------------------



凡 例

- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲



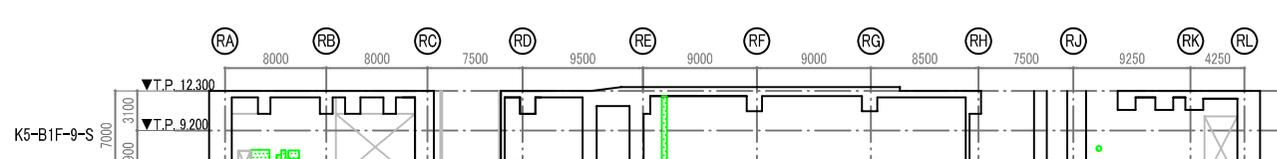
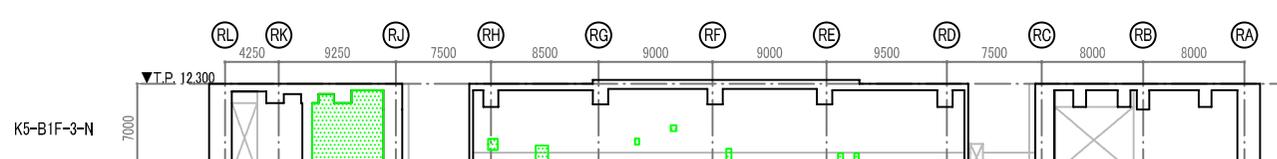
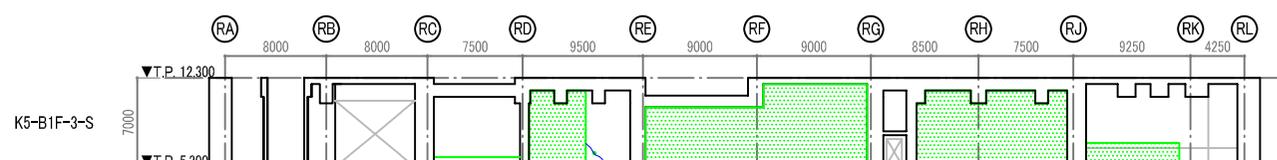
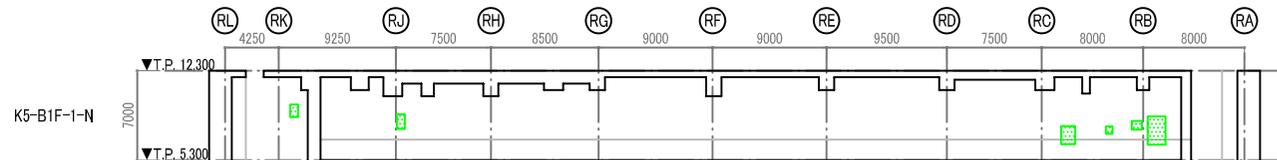
ひび割れ調査図（展開図）

建屋名 5号機原子炉建屋

階数 地下2階 4/4

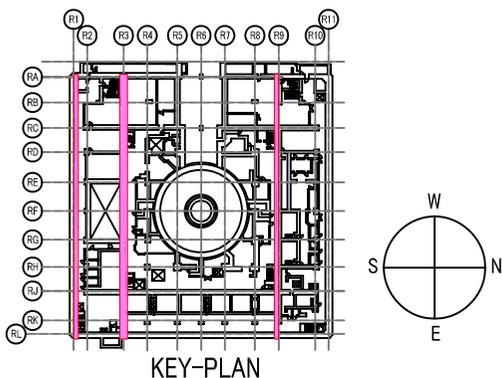
部位

格納施設



凡 例

- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲



KEY-PLAN

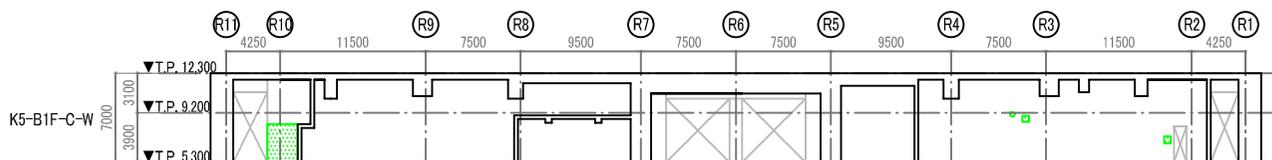
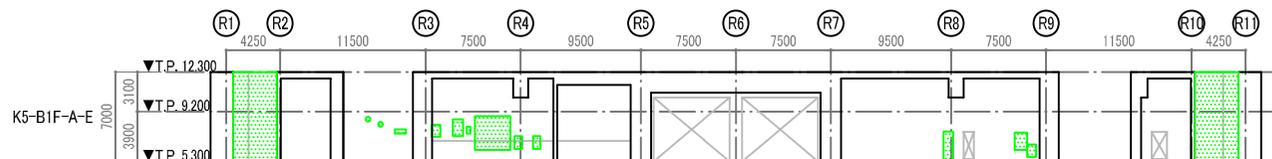
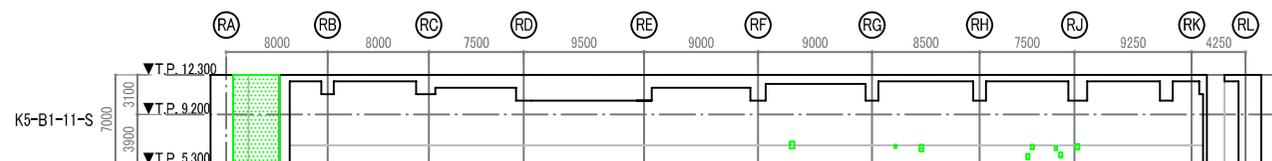
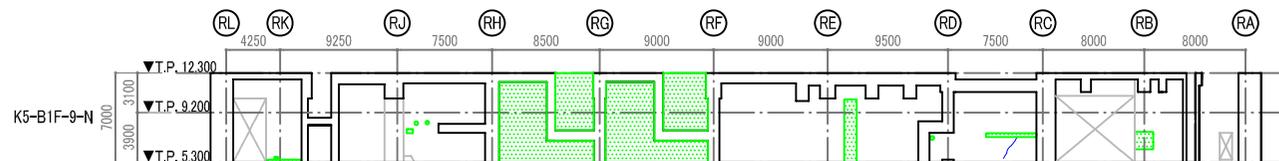
ひび割れ調査図（展開図）

建屋名 5号機原子炉建屋

階数 地下1階 1/4

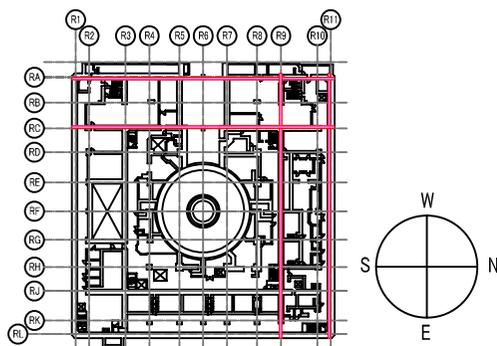
部位

耐震壁R1通り・R3通り・R9通り



凡 例

- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲



KEY-PLAN

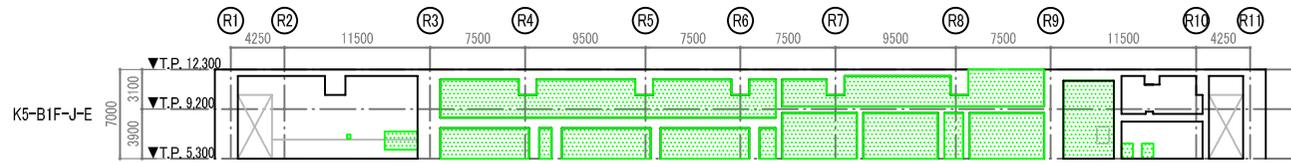
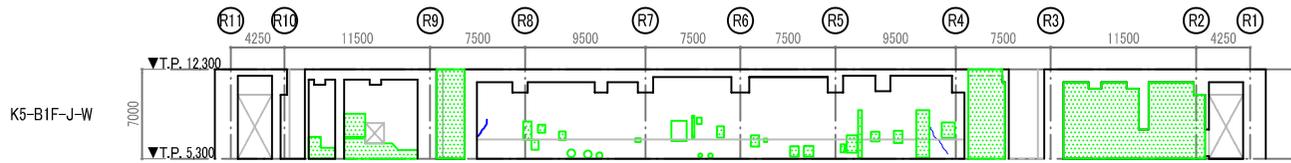
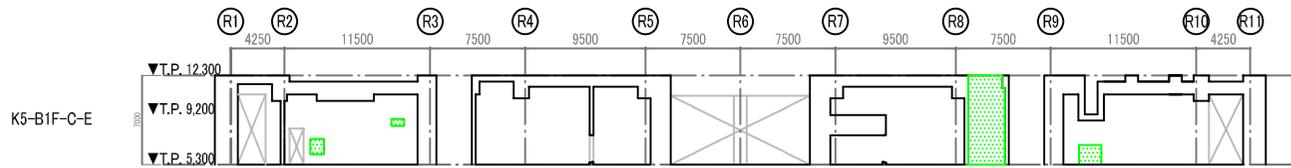
ひび割れ調査図（展開図）

建 屋 名 5号機原子炉建屋

階 数 地下1階 2/4

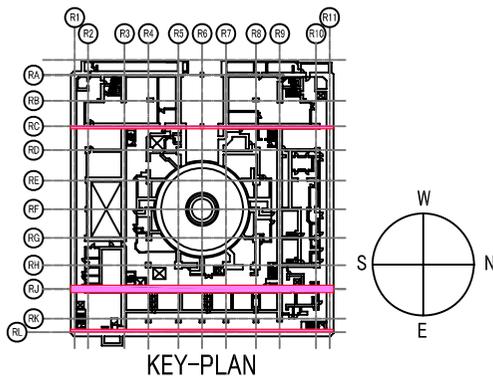
部 位

耐震壁R9通り・R11通り・RA通り・RC通り



凡 例

- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲



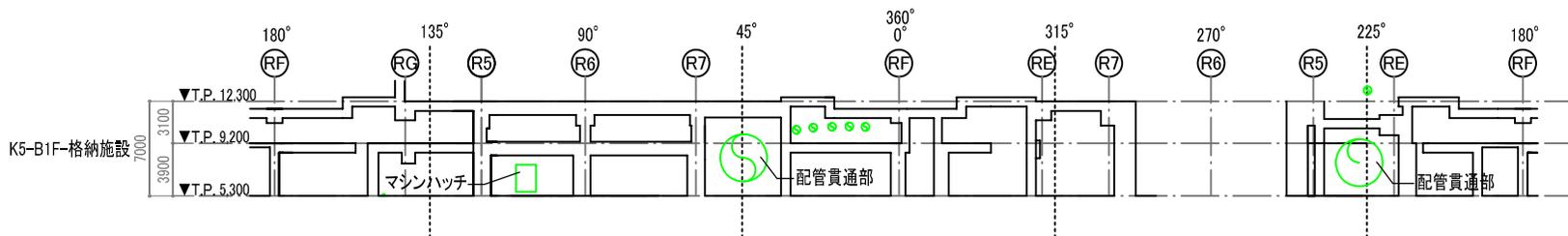
ひび割れ調査図（展開図）

建屋名 5号機原子炉建屋

階数 地下1階 3/4

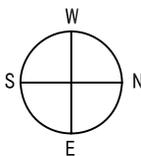
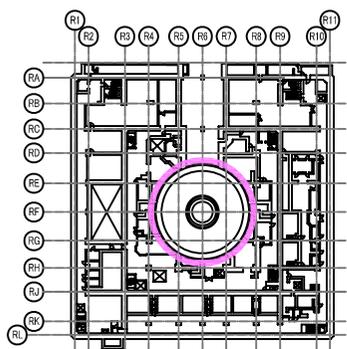
部位

耐震壁RC通り・RJ通り・RL通り



凡 例

- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲



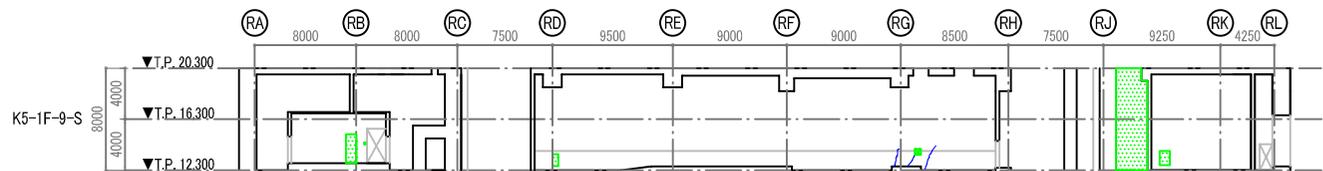
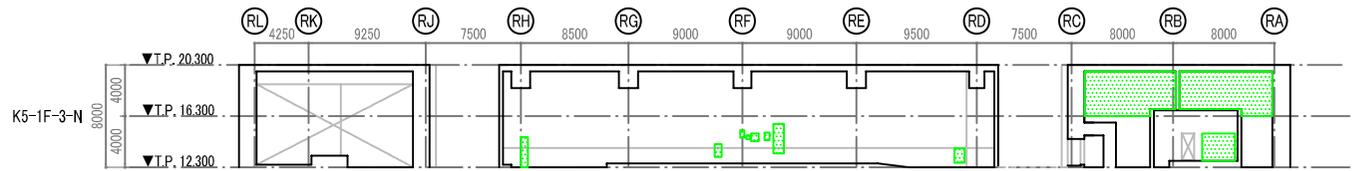
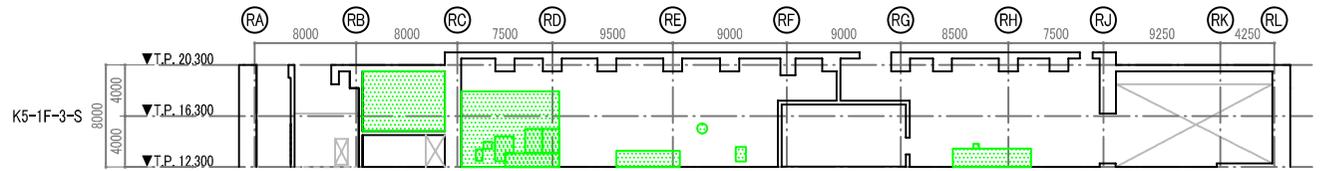
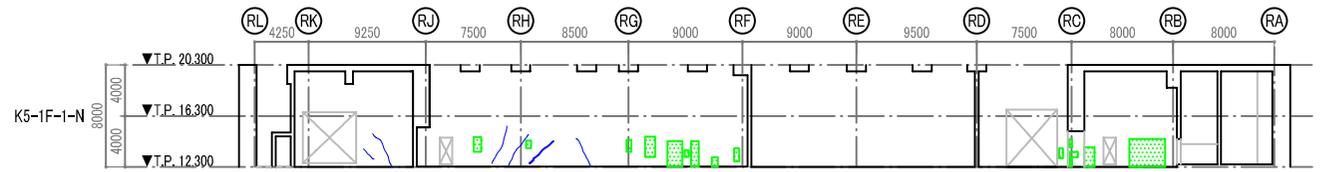
ひび割れ調査図（展開図）

建屋名 5号機原子炉建屋

階数 地下1階 4/4

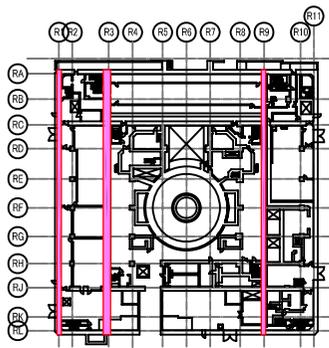
部位

格納施設

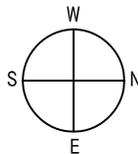


凡 例

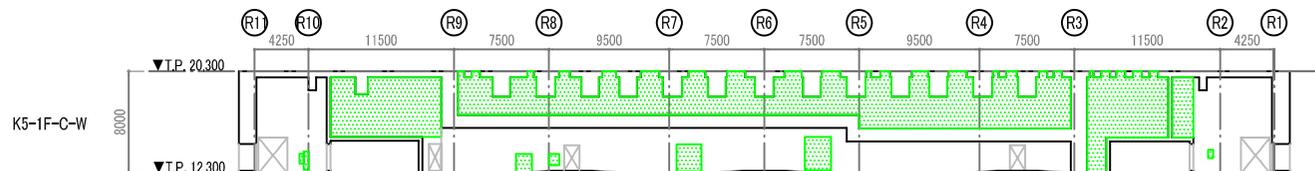
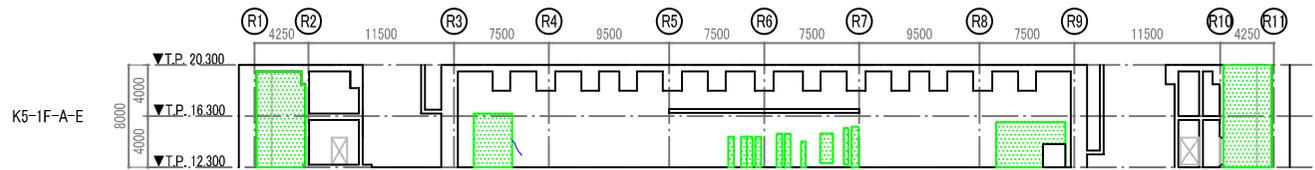
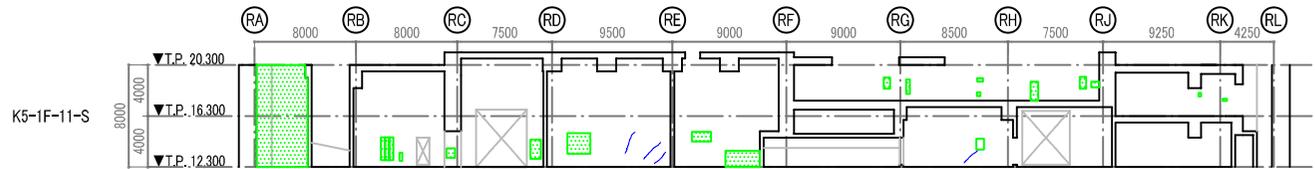
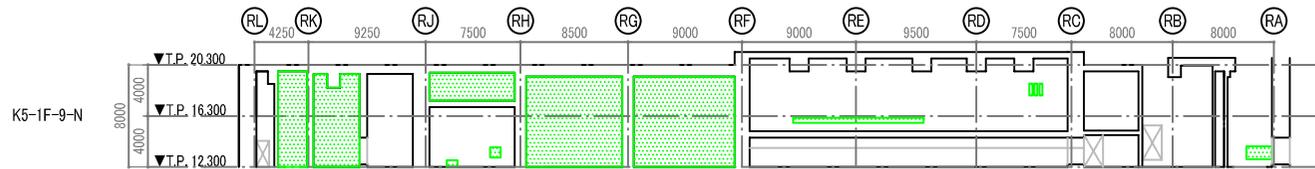
- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲



KEY-PLAN

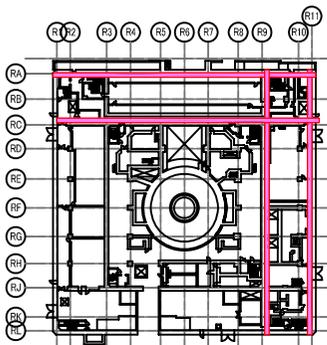


ひび割れ調査図（展開図）	建屋名	5号機原子炉建屋	階数	1階 1/4	部位	耐震壁R1通り・R3通り・R9通り
--------------	-----	----------	----	--------	----	-------------------

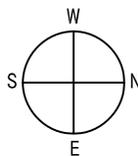


凡 例

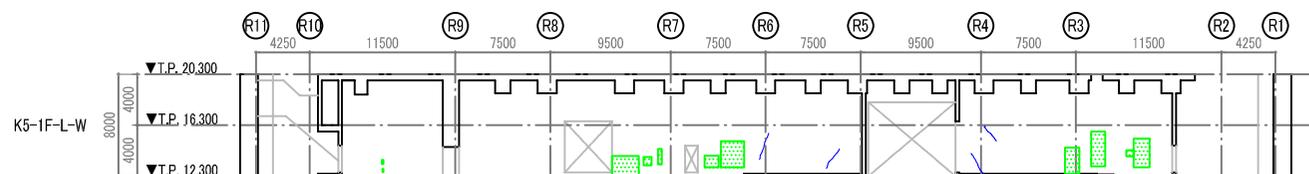
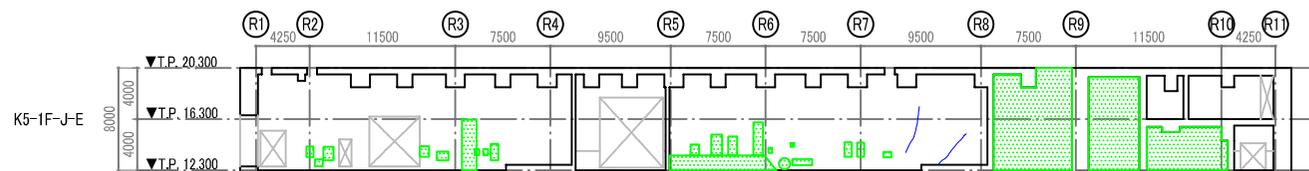
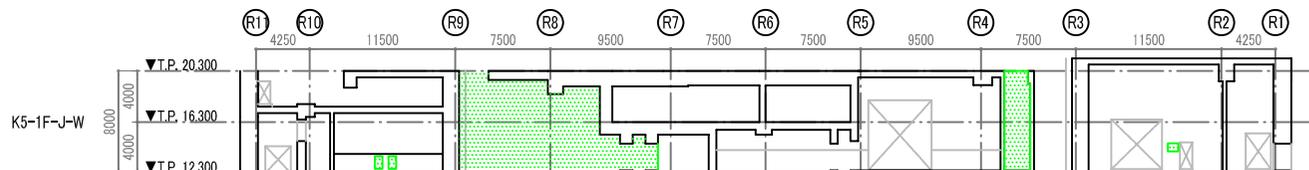
- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲



KEY-PLAN

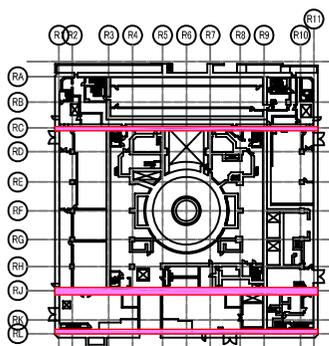


ひび割れ調査図（展開図）	建屋名	5号機原子炉建屋	階数	1階 2/4	部位	耐震壁R9通り・R11通り・RA通り・RC通り
--------------	-----	----------	----	--------	----	-------------------------

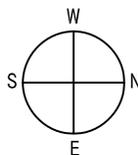


凡 例

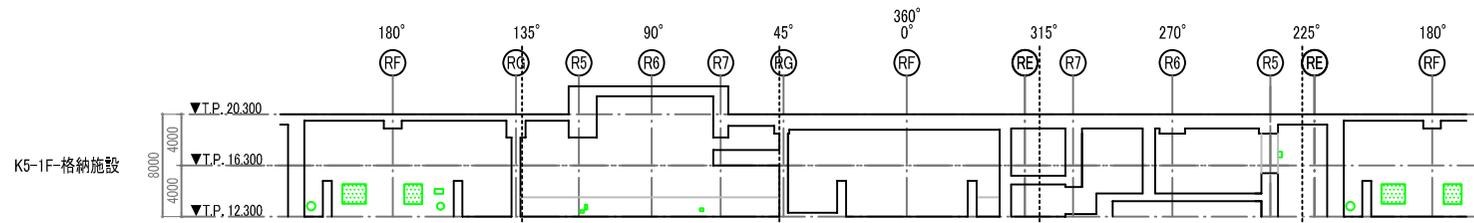
- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲



KEY-PLAN

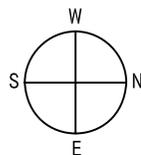
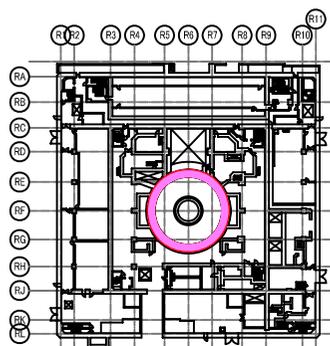


ひび割れ調査図（展開図）	建屋名	5号機原子炉建屋	階数	1階 3/4	部位	耐震壁RC通り・RJ通り・RL通り
--------------	-----	----------	----	--------	----	-------------------



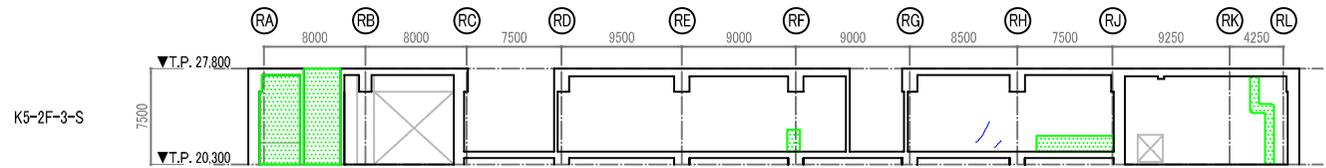
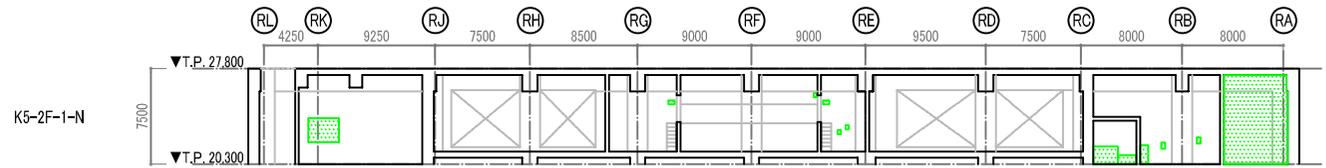
凡 例

- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲



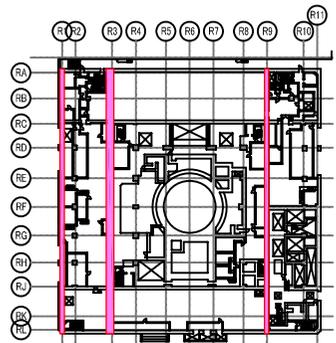
KEY-PLAN

ひび割れ調査図（展開図）	建屋名	5号機原子炉建屋	階数	1階 4/4	部位	格納施設
--------------	-----	----------	----	--------	----	------

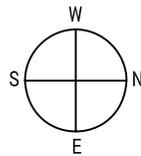


凡 例

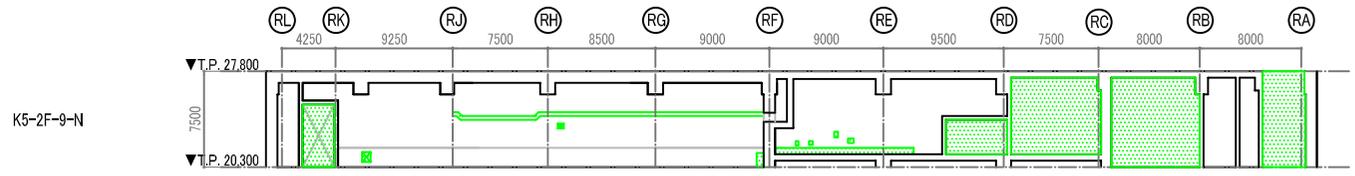
- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲



KEY-PLAN



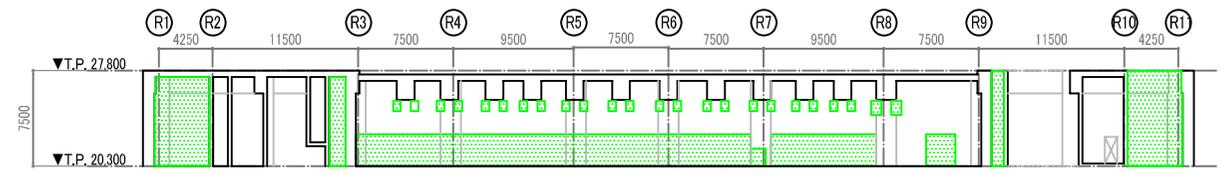
ひび割れ調査図（展開図）	建屋名	5号機原子炉建屋	階数	2階 1/4	部位	耐震壁R1通り・R3通り・R9通り
--------------	-----	----------	----	--------	----	-------------------



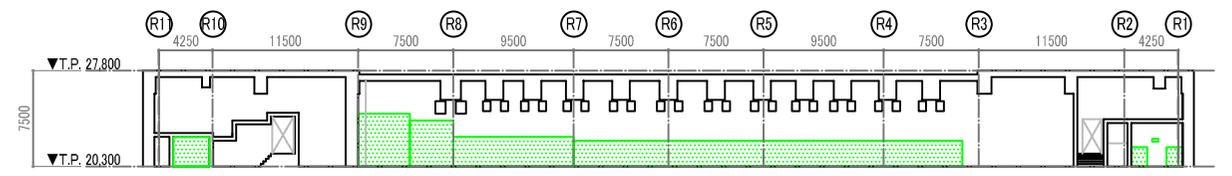
K5-2F-9-N



K5-2F-11-S



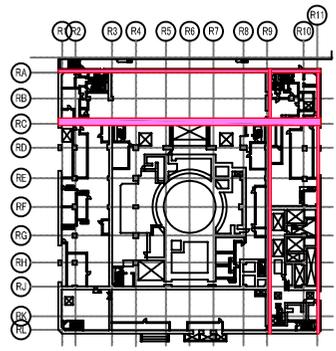
K5-2F-A-E



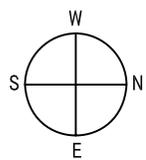
K5-2F-C-W

凡 例

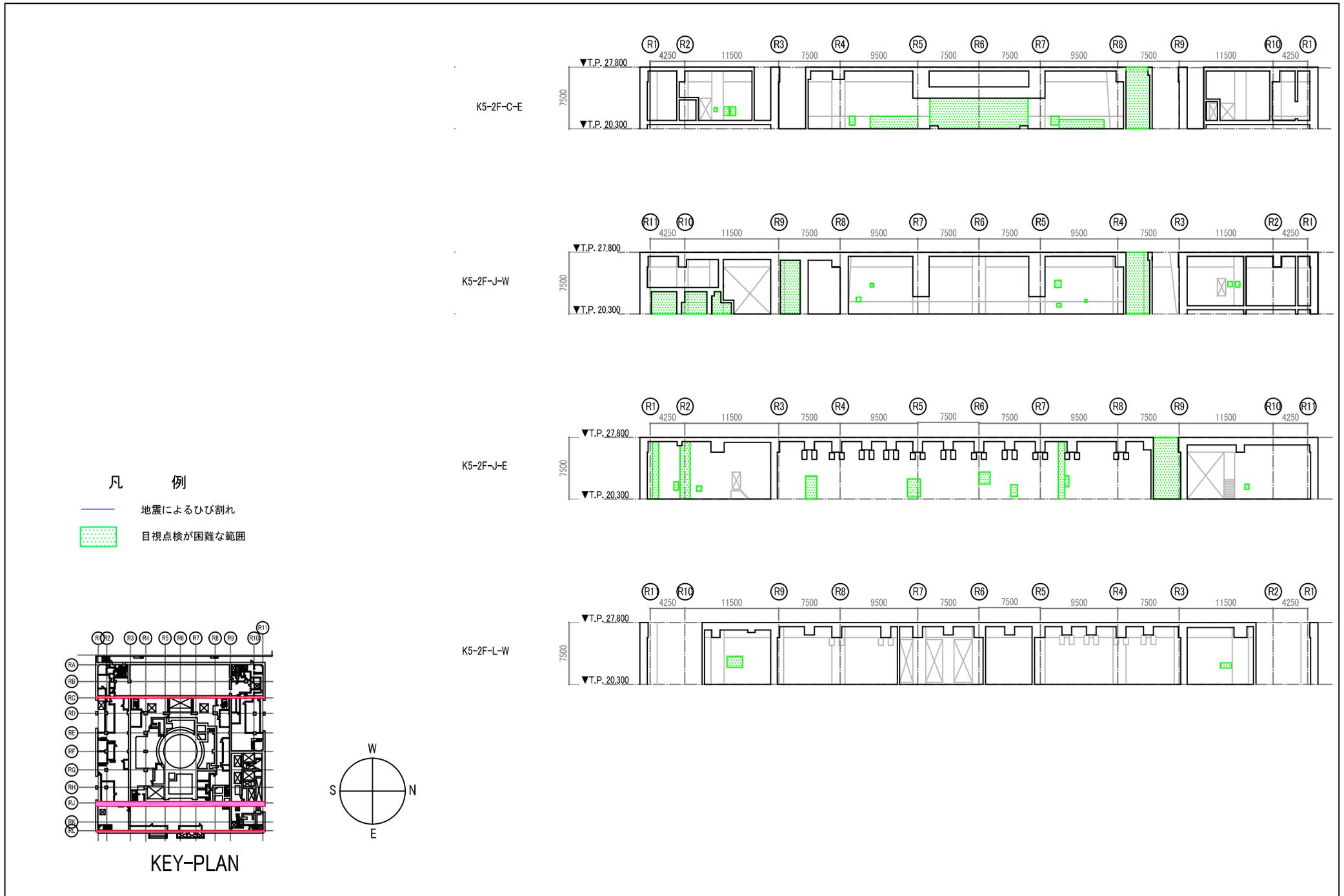
- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲



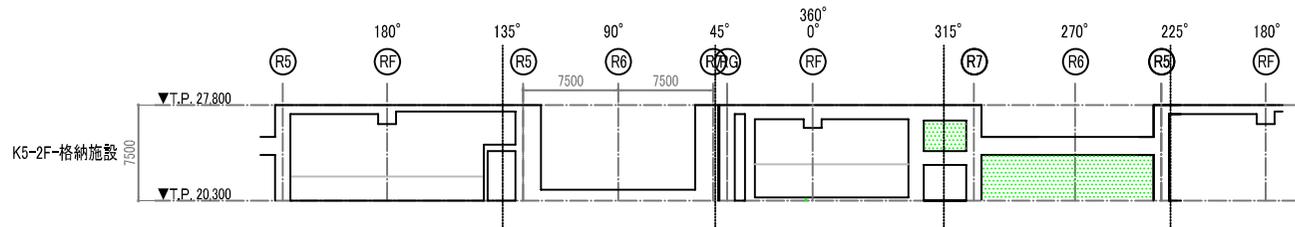
KEY-PLAN



ひび割れ調査図 (展開図)	建屋名	5号機原子炉建屋	階数	2階 2/4	部位	耐震壁R9通り・R11通り・RA通り・RC通り
---------------	-----	----------	----	--------	----	-------------------------

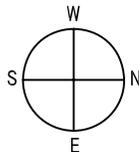
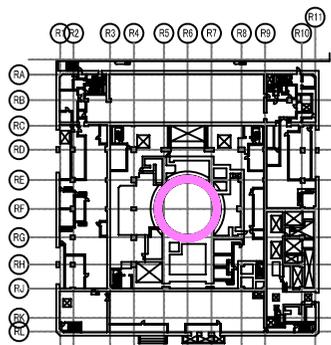


ひび割れ調査図（展開図）	建屋名	5号機原子炉建屋	階数	2階 3/4	部位	耐震壁RC通り・RJ通り・RL通り
--------------	-----	----------	----	--------	----	-------------------



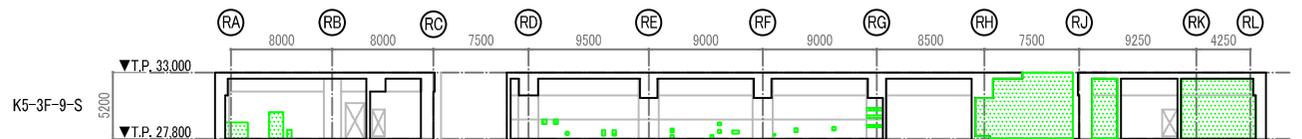
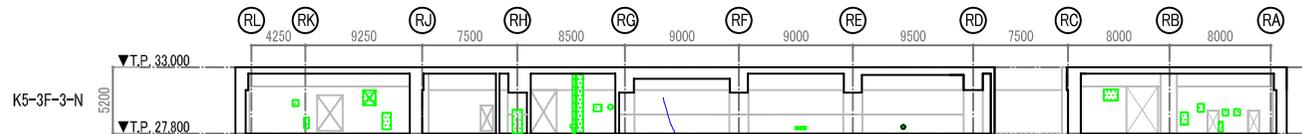
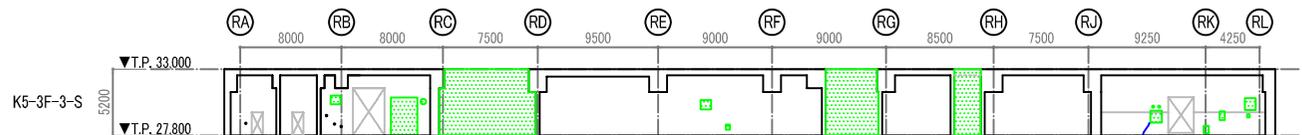
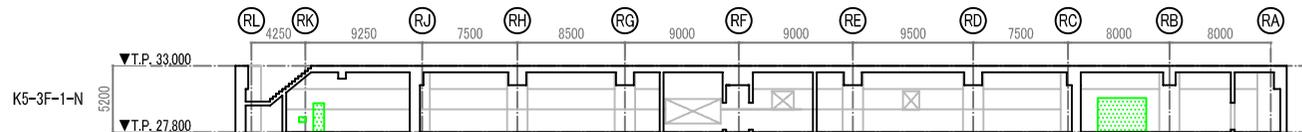
凡 例

- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲



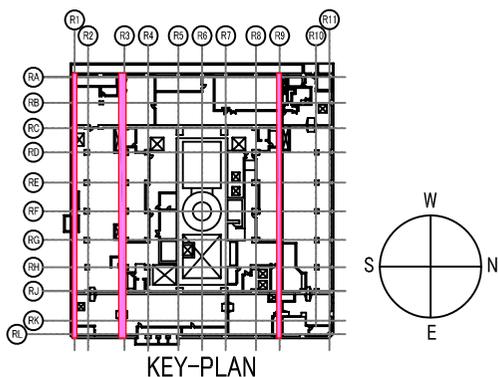
KEY-PLAN

ひび割れ調査図（展開図）	建屋名	5号機原子炉建屋	階数	2階 4/4	部位	格納施設(R5通り・R7通り)
--------------	-----	----------	----	--------	----	-----------------

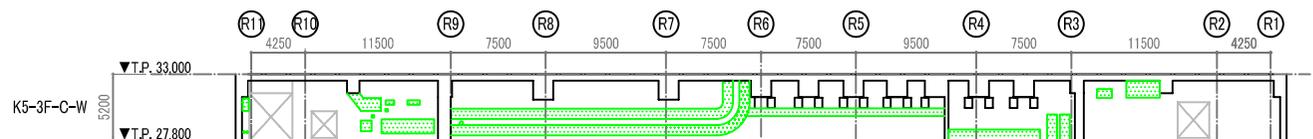
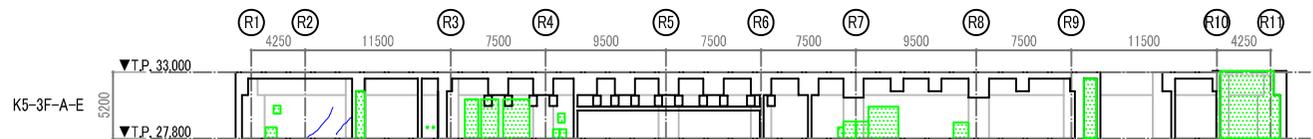
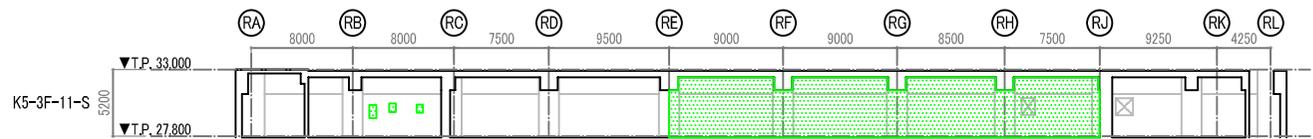
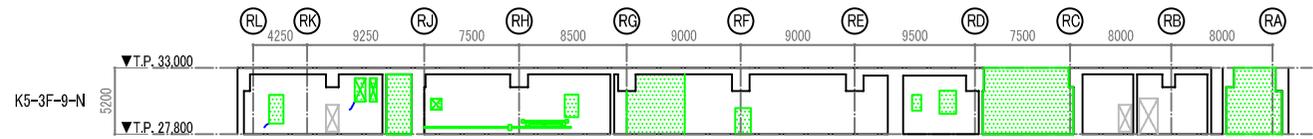


凡 例

- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲

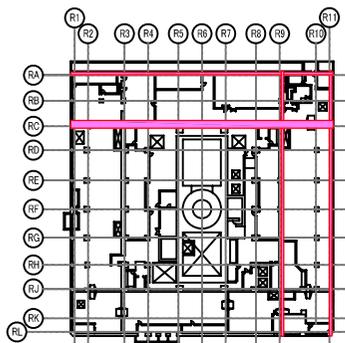


ひび割れ調査図（展開図）	建屋名	5号機原子炉建屋	階数	3階 1/4	部位	耐震壁R1通り・R3通り・R9通り
--------------	-----	----------	----	--------	----	-------------------

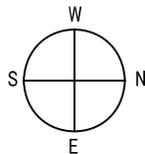


凡 例

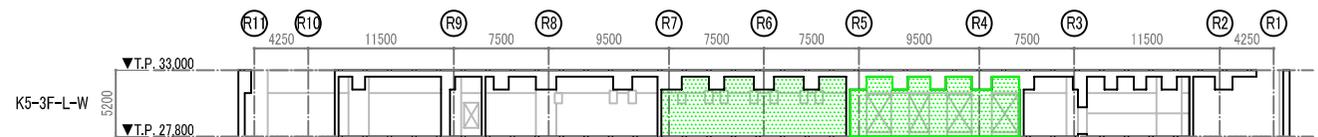
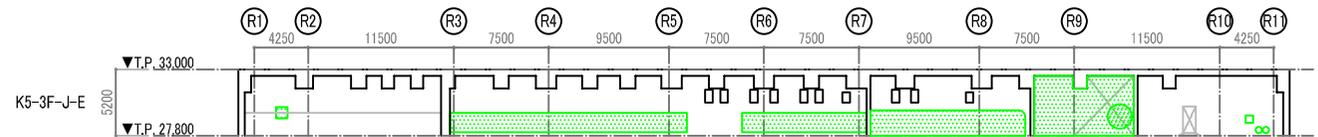
- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲



KEY-PLAN

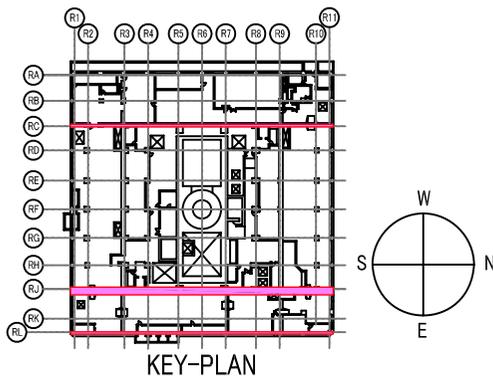


ひび割れ調査図（展開図）	建屋名	5号機原子炉建屋	階数	3階 2/4	部位	耐震壁R9通り・R11通り・RA通り・RC通り
--------------	-----	----------	----	--------	----	-------------------------

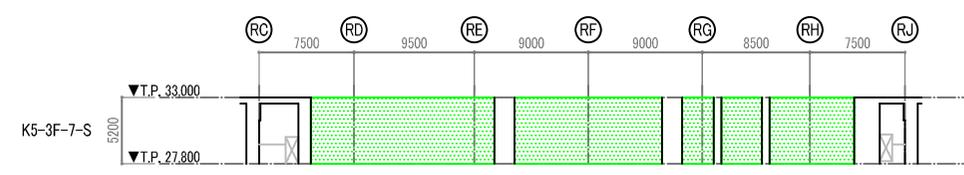
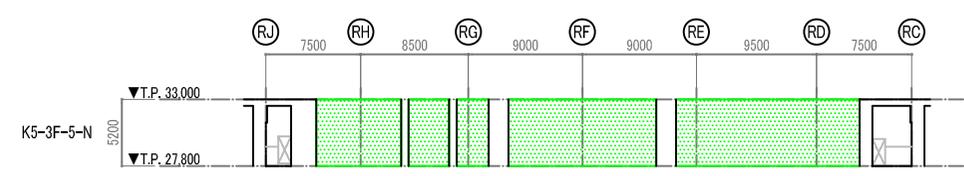
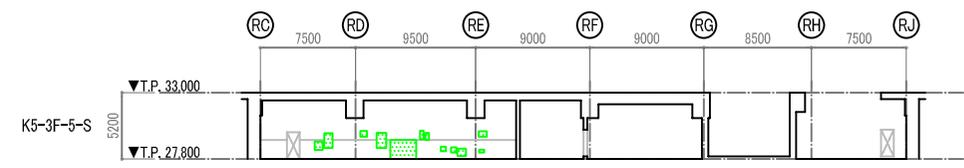


凡 例

- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲



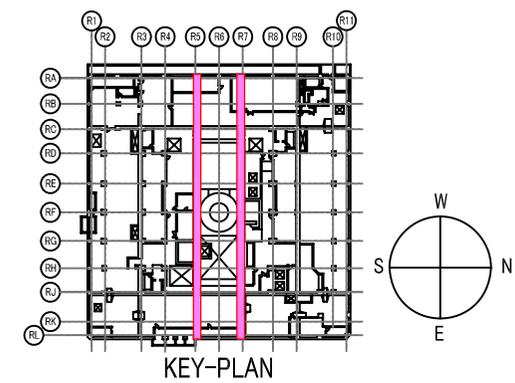
ひび割れ調査図（展開図）	建屋名	5号機原子炉建屋	階数	3階 3/4	部位	耐震壁RC通り・RJ通り・RL通り
--------------	-----	----------	----	--------	----	-------------------



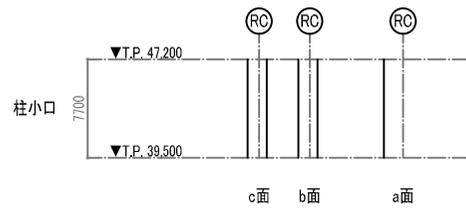
凡 例

— 地震によるひび割れ

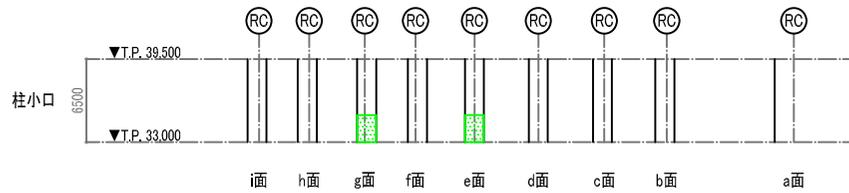
■ 目視点検が困難な範囲



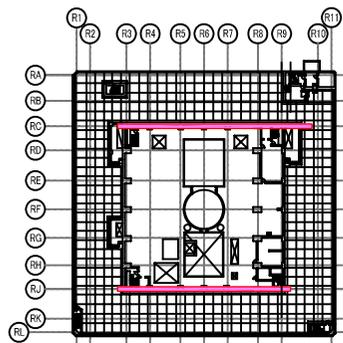
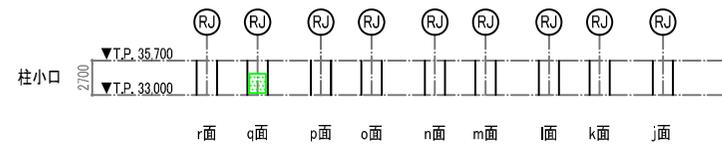
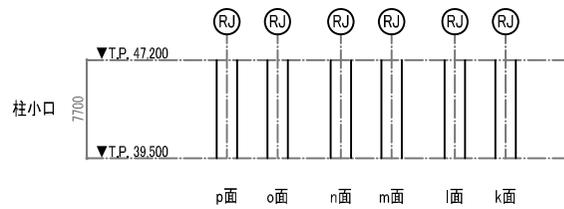
ひび割れ調査図 (展開図)	建屋名	5号機原子炉建屋	階数	3階 4/4	部位	格納施設(R5通り・R7通り)
---------------	-----	----------	----	--------	----	-----------------



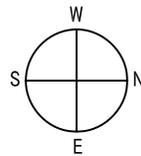
K5-4F-C-E



K5-4F-J-W



KEY-PLAN



凡 例

- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲

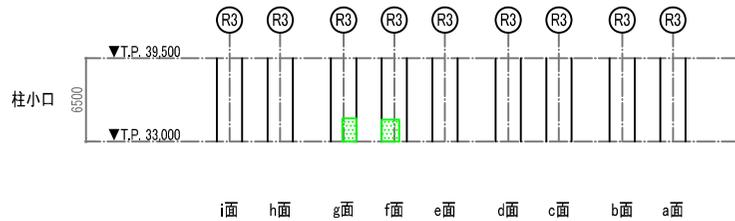
ひび割れ調査図 (展開図)

建 屋 名 5号機原子炉建屋

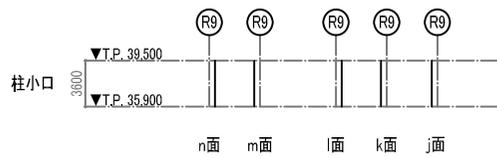
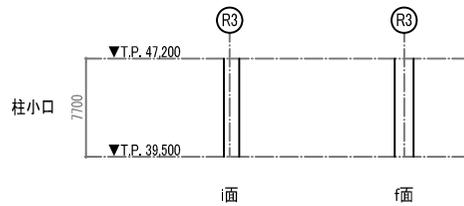
階 数 4階 1/3

部 位

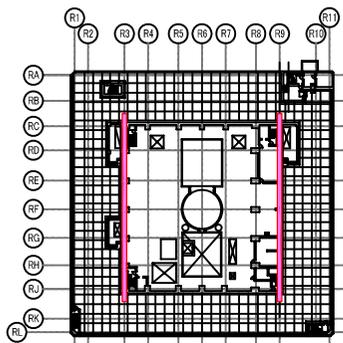
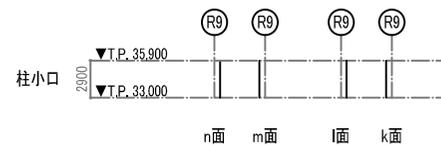
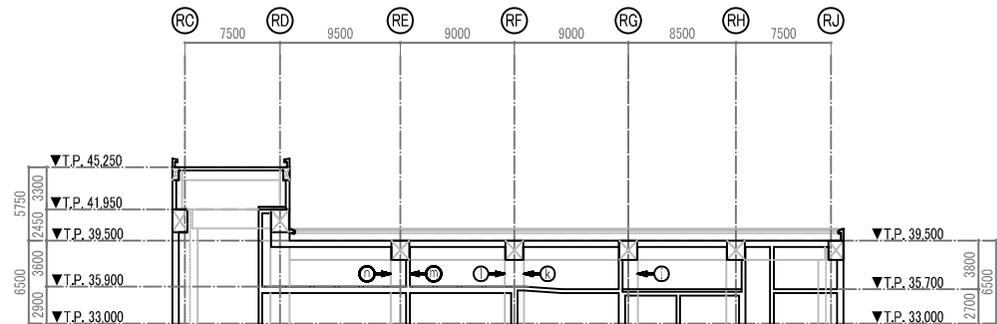
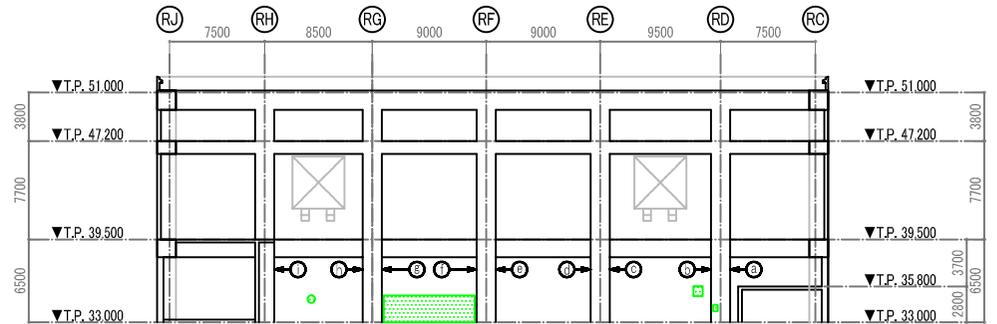
耐震壁RC通り・RJ通り



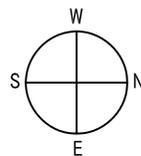
K5-4F-3-N



K5-4F-9-S



KEY-PLAN



凡 例

- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲

ひび割れ調査図（展開図）

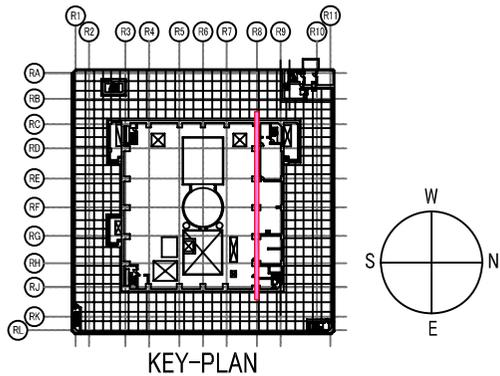
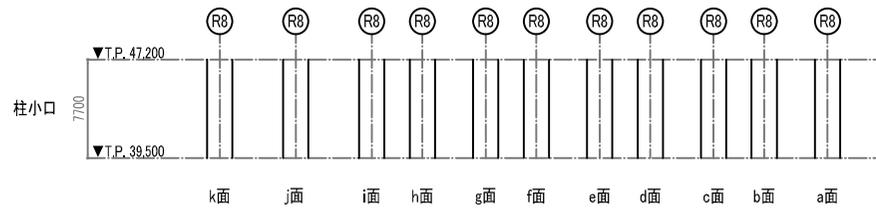
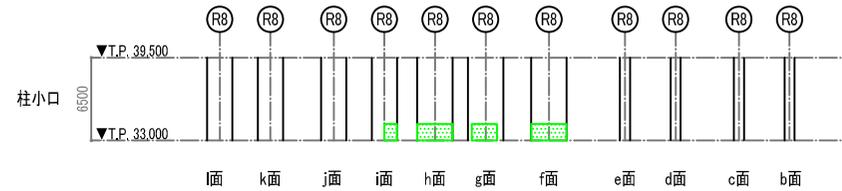
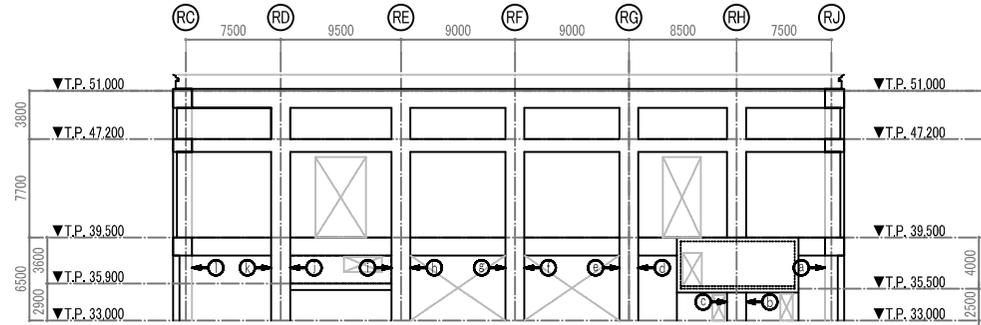
建屋名 5号機原子炉建屋

階数 4階 2/3

部位

耐震壁R3通り・R9通り

K5-4F-8-S



- 凡 例
- 地震によるひび割れ
 - 目視点検が困難な範囲

ひび割れ調査図 (展開図)	建屋名	5号機原子炉建屋	階数	4階 3/3	部位	耐震壁R8通り
---------------	-----	----------	----	--------	----	---------

参考資料 1 原子炉建屋の地震応答解析結果

地震応答解析モデルの固有値（固有周期および固有振動数）を、参表-1.1 に示す。

地震応答解析（水平）により求められた最大応答値を、参図-1.1～参図-1.6 に示す。

地震応答解析（鉛直）により求められた最大応答値を、参図-1.7 および参図-1.8 に示す。

参表-1.1 固有値解析結果

(南北方向)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*
1	0.484	2.06	1.55
2	0.236	4.24	-0.59
3	0.094	10.67	-0.09
4	0.081	12.41	0.21
5	0.064	15.69	-0.08

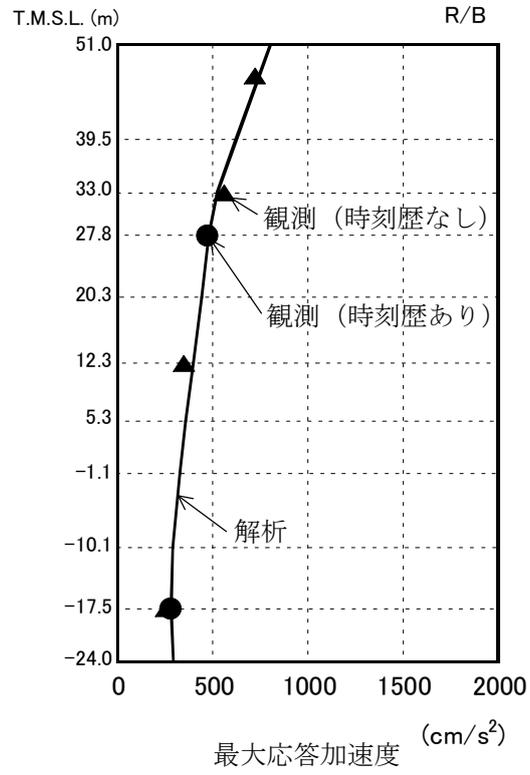
(東西方向)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*
1	0.484	2.07	1.54
2	0.236	4.25	-0.58
3	0.092	10.81	-0.08
4	0.078	12.83	0.18
5	0.061	16.35	-0.08

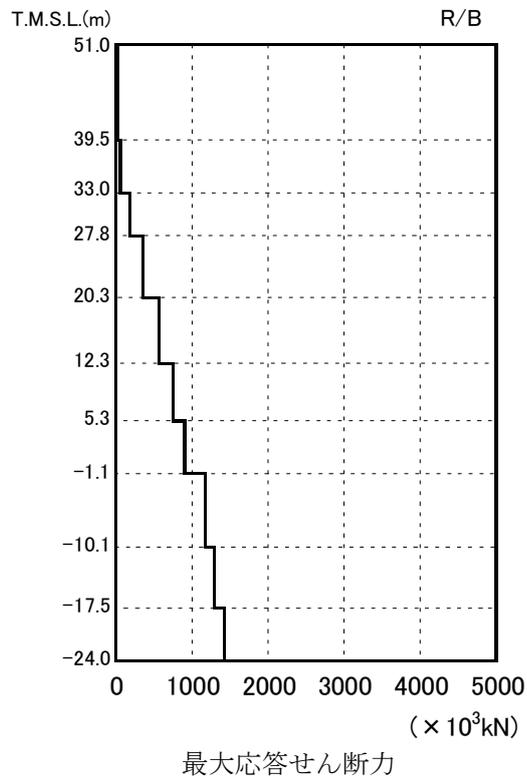
(鉛直方向)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*
1	0.326	3.07	4.96
2	0.280	3.57	-4.01
3	0.080	12.57	0.08
4	0.057	17.47	-0.11
5	0.054	18.64	0.12

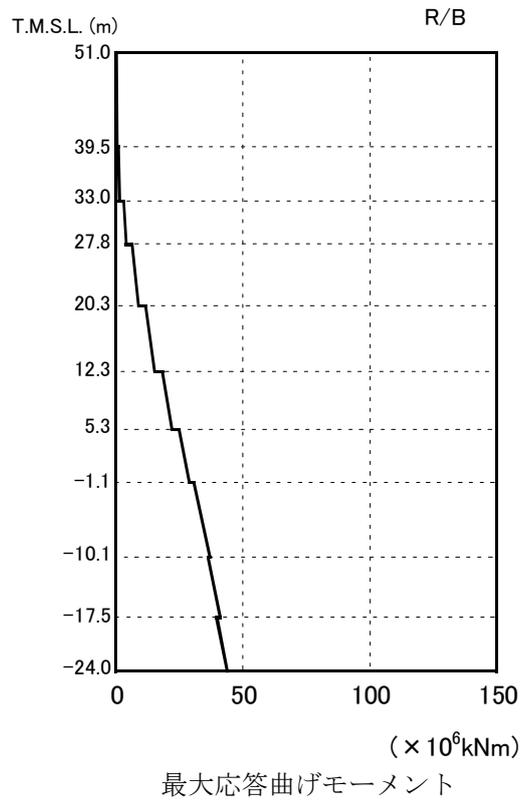
注*：各モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。



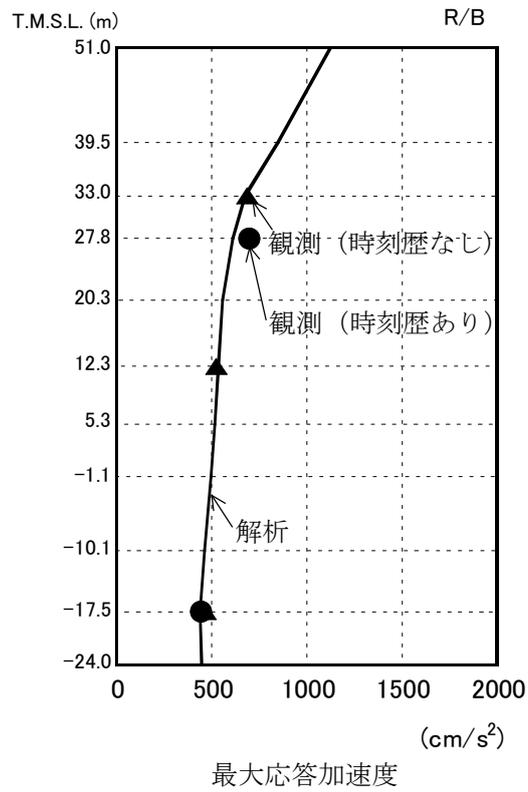
参図-1.1 最大応答加速度 (南北方向)



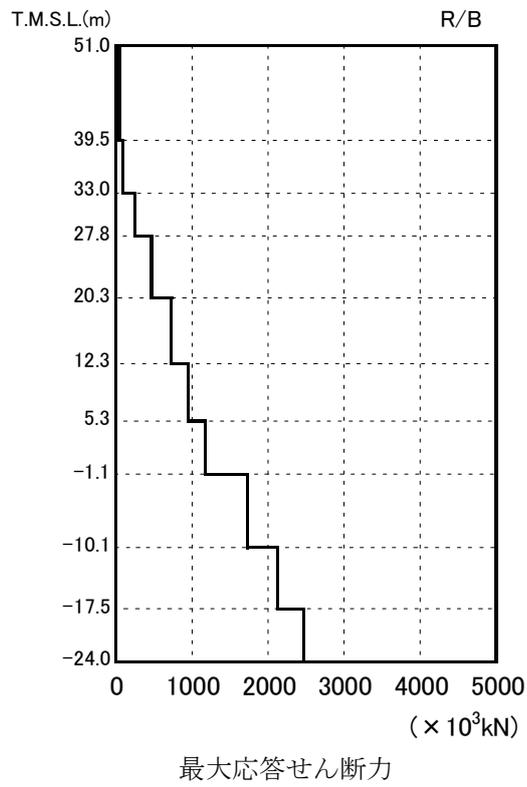
参图-1.2 最大応答せん断力 (南北方向)



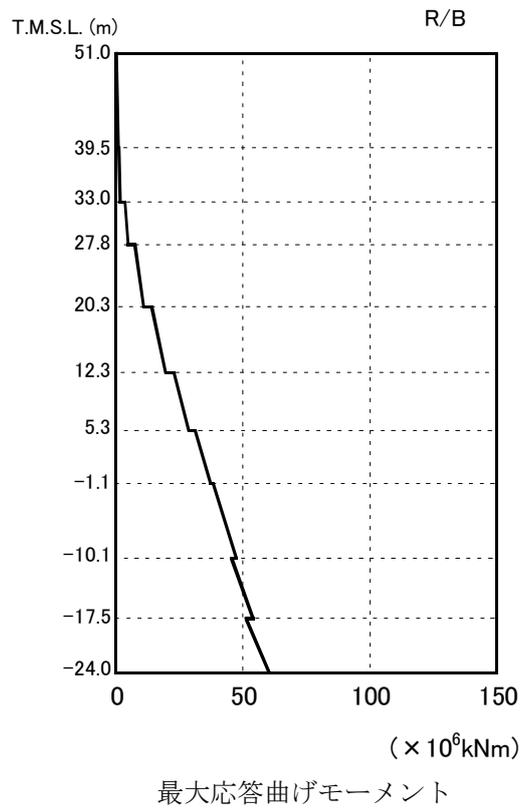
参図-1.3 最大応答曲げモーメント（南北方向）



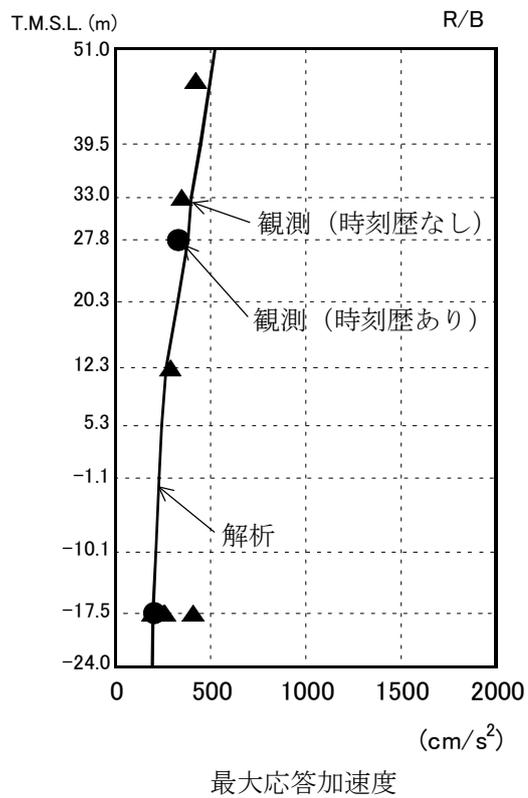
参図-1.4 最大応答加速度 (東西方向)



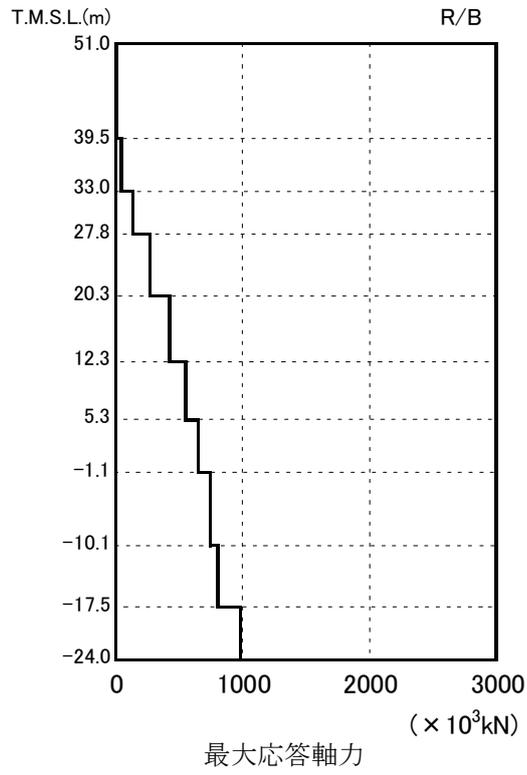
参图-1.5 最大応答せん断力（東西方向）



参図-1.6 最大応答曲げモーメント（東西方向）



参図-1.7 最大応答加速度 (鉛直方向)



参图-1.8 最大応答軸力（鉛直方向）

建屋の接地率は、JEAG4601-1991 に基づき、地震応答解析の結果得られた最大転倒モーメントを用い、地盤反力を三角形分布と仮定して算出する。

基礎浮上りの検討結果を参表-1.2 に示す。

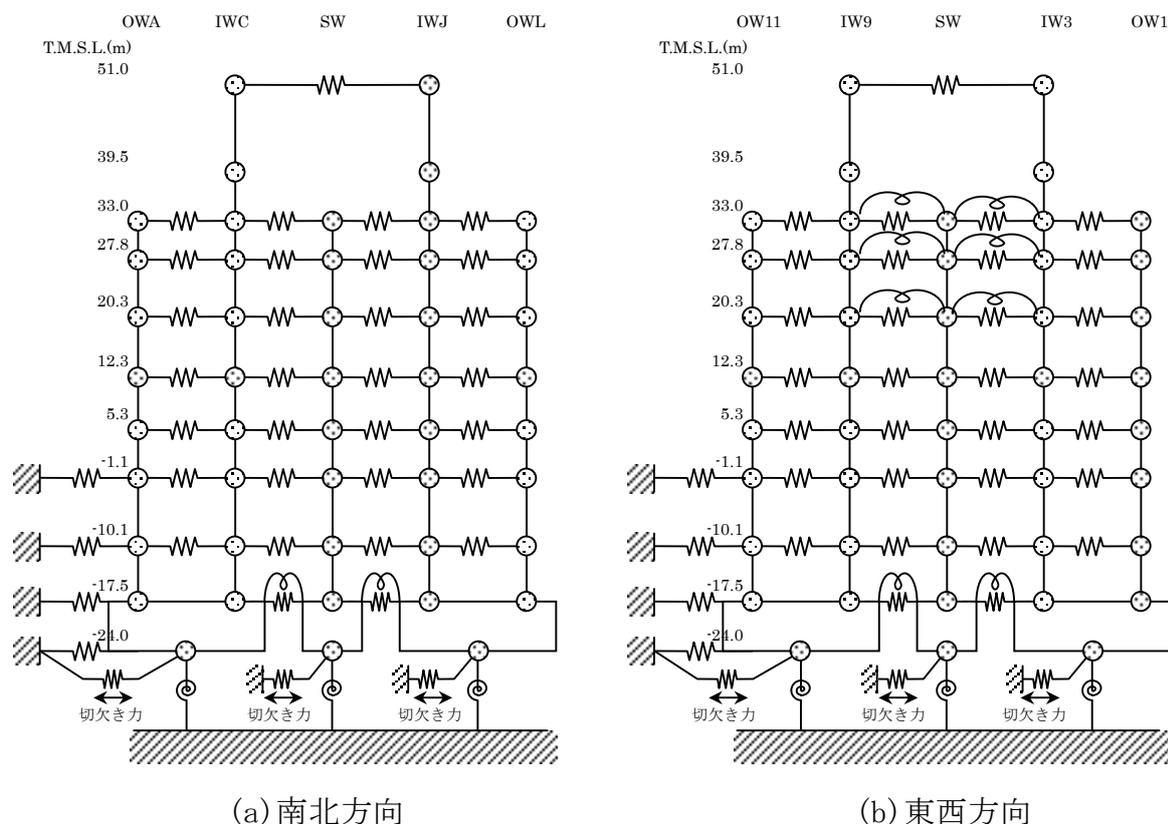
参表-1.2 浮上りの検討結果

	浮上り限界モーメント M_0 (kNm)	最大転倒モーメント M_{max} (kNm)	接地率 η (%)
南北方向	6.58×10^7	4.19×10^7	100
東西方向	6.58×10^7	5.77×10^7	100

参考資料2 追加検討モデルによる応答結果の比較

1. はじめに

シミュレーション解析の一連の検討結果に基づき、追加検討モデルによる地震応答解析を実施し、現状のシミュレーション解析モデル（剛床仮定のモデル）による結果との比較を行う。追加検討モデルは、参図-2.1 に示すとおり、水平方向については床の柔性を考慮した多軸質点系モデルとする。なお、地盤ばね及び入力動は、シミュレーション解析モデルと同一条件とする。



参図-2.1 追加検討モデル

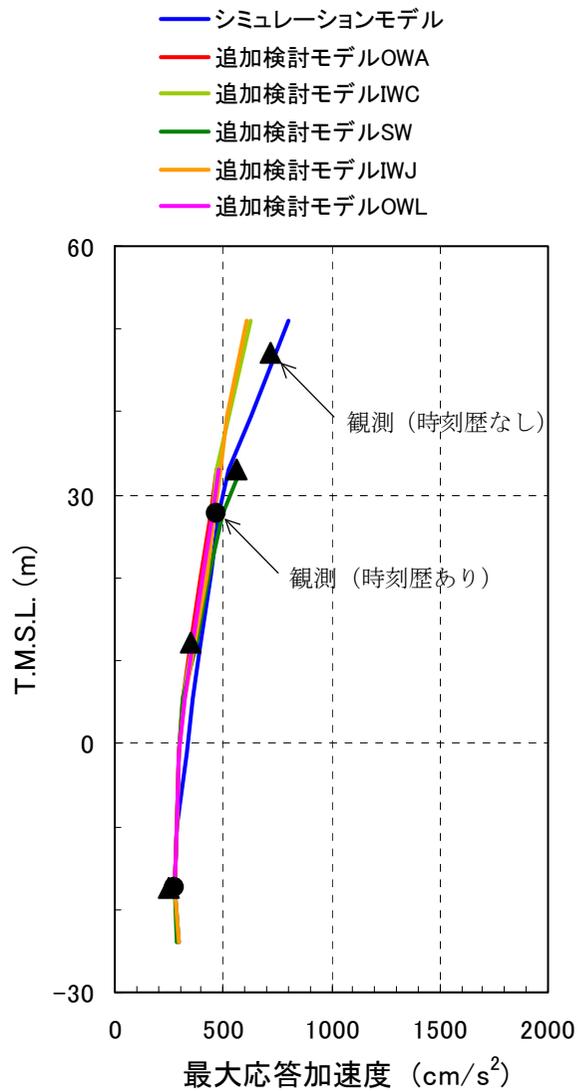
2. 追加検討モデルによる応答結果

参図-2.2 に最大応答加速度、参図-2.3～参図-2.4 に中間階の加速度応答スペクトルの比較を示す。また、参考として、追加検討モデルによる各床レベルの加速度応答スペクトルを参図-2.5～参図-2.6 に示す。中間階の加速度応答スペクトルの比較を見ると、追加検討モデルとシミュレーション解析モデルとで大きな違いは無いものと考えられる。

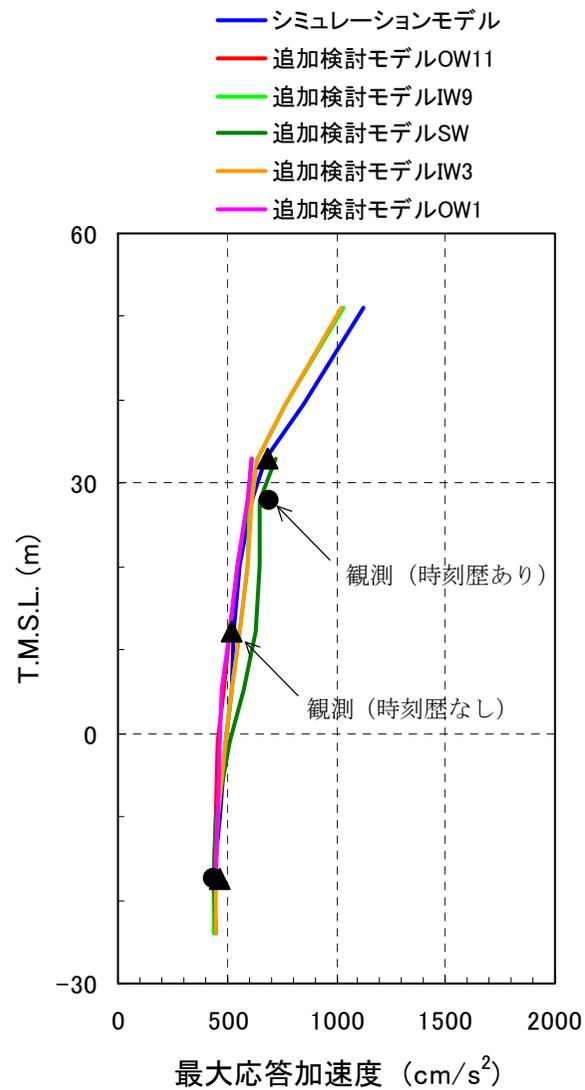
3. 建屋の健全性評価

参図-2.7～参図-2.18 に耐震壁（外部ボックス壁[OW]、内部ボックス壁[IW]、シェル壁[SW]）のせん断応力とせん断ひずみの比較を示す。各耐震壁のせん断応力は設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度を下回っており、かつ、各耐震壁のせん断ひずみもひび割れ発生の目安値を下回っている。

また、参考としてシミュレーション解析モデルと追加検討モデルによる層せん断力の比較を参図-2.19～参図-2.20 に示す。各層の耐震壁を集約して評価したせん断力は、シミュレーション解析モデルの結果とほぼ同等であり、建屋の健全性評価に与える影響は小さいと考えられる。

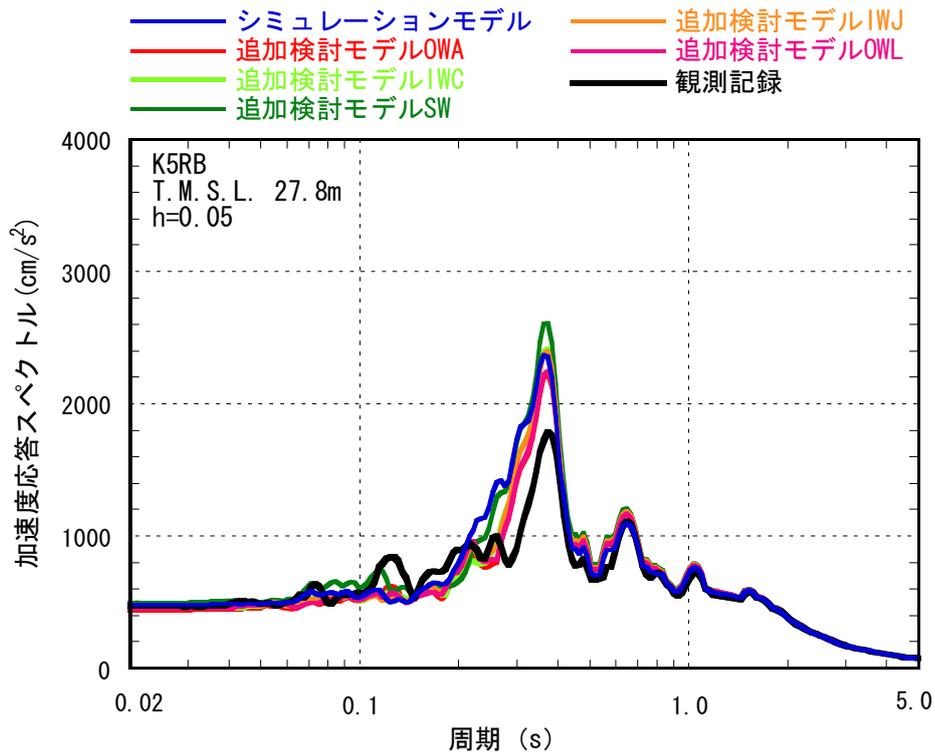


(a) 南北方向

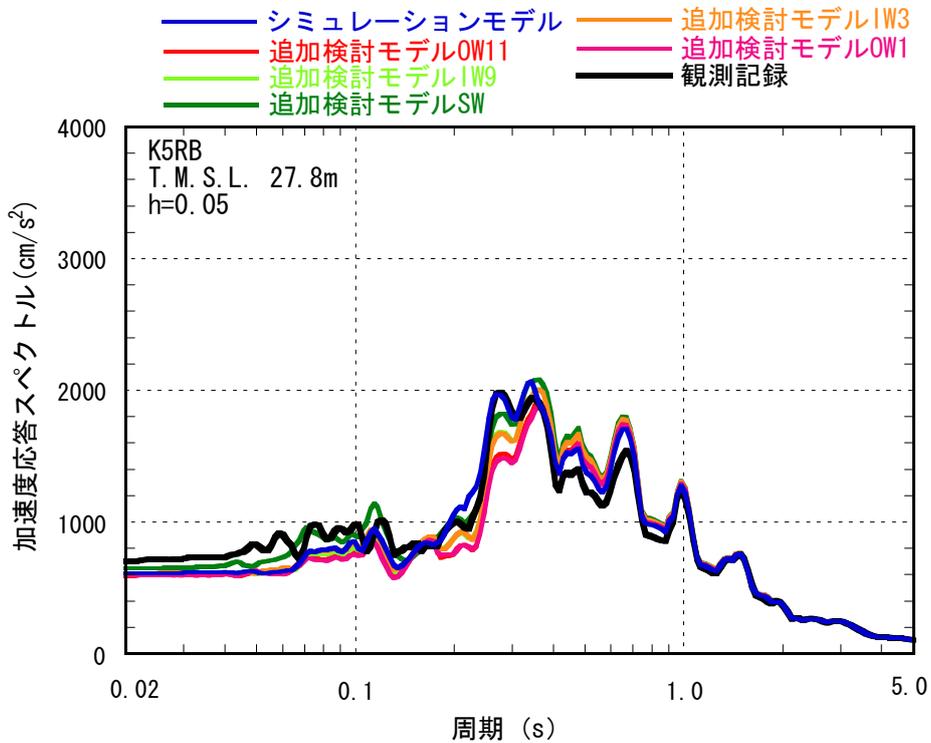


(b) 東西方向

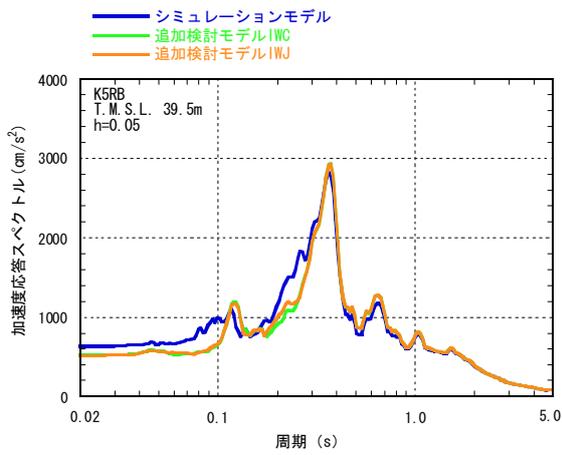
参図-2.2 最大応答加速度の比較



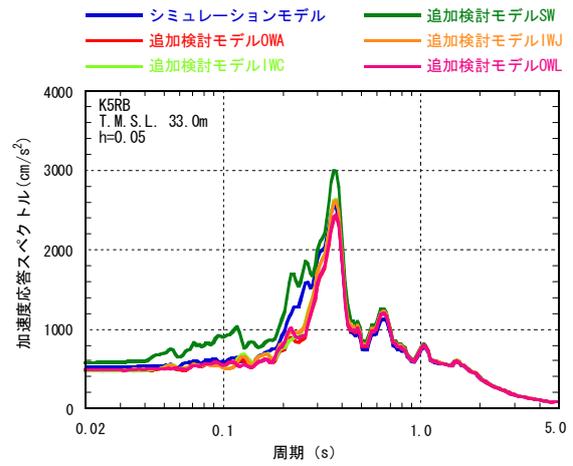
参図-2.3 加速度応答スペクトルの比較
 中間階(T. M. S. L. 27.8m)、南北方向



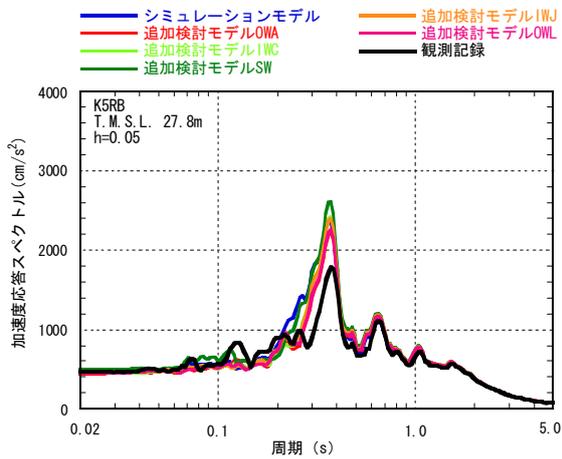
参図-2.4 加速度応答スペクトルの比較
 中間階(T. M. S. L. 27.8m)、東西方向



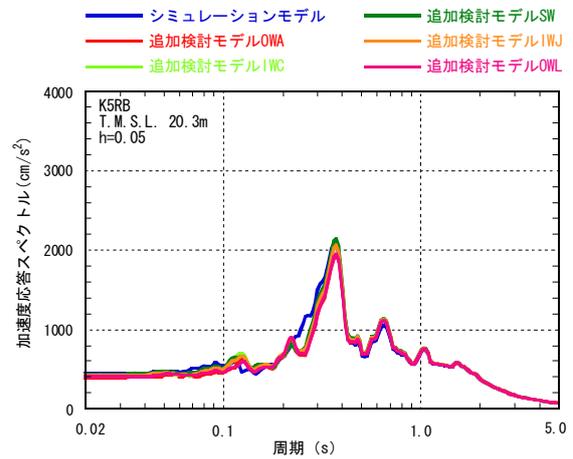
①T.M.S.L. 39.5m



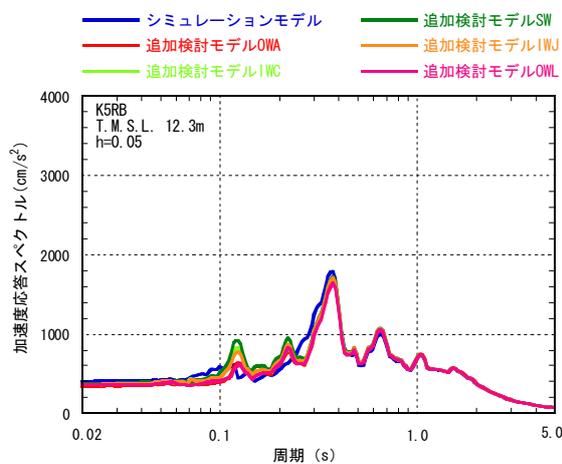
②T.M.S.L. 33.0m



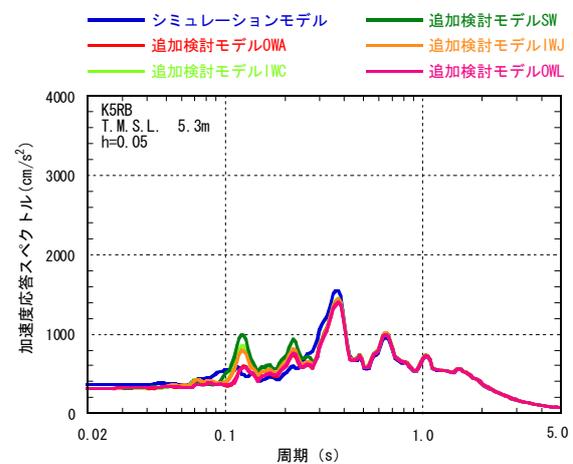
③T.M.S.L. 27.8m



④T.M.S.L. 20.3m

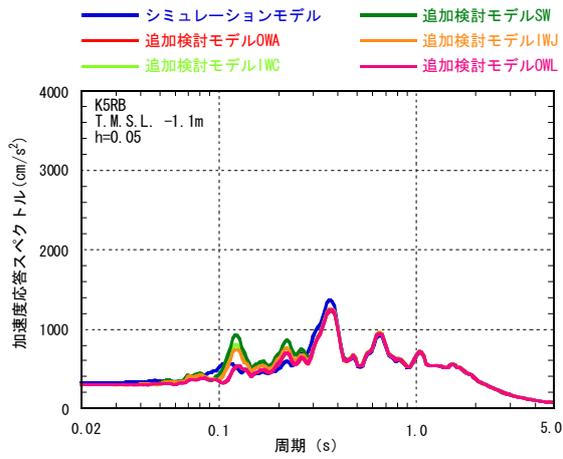


⑤T.M.S.L. 12.3m

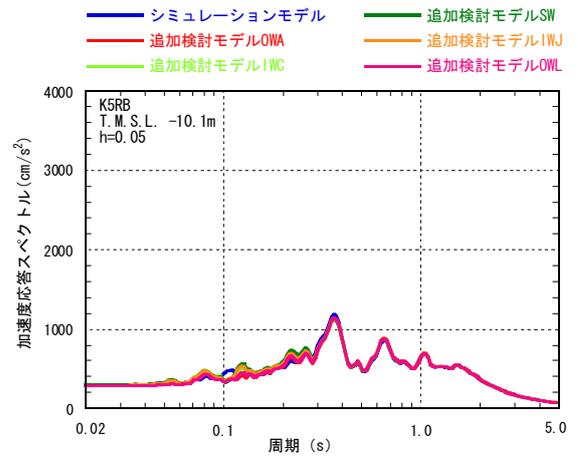


⑥T.M.S.L. 5.3m

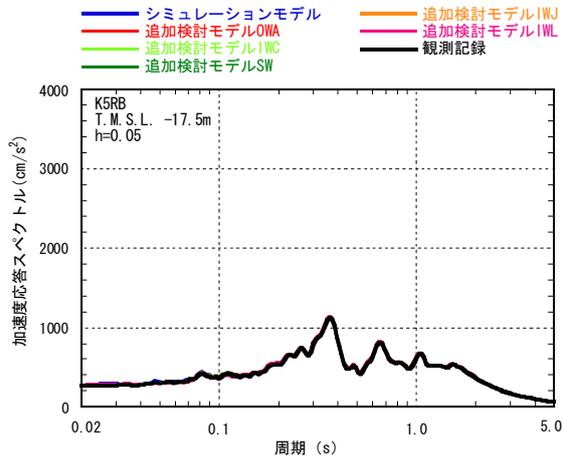
参図-2.5 各床レベルの加速度応答スペクトル(南北方向)(その1)



⑦T.M.S.L. -1.1m

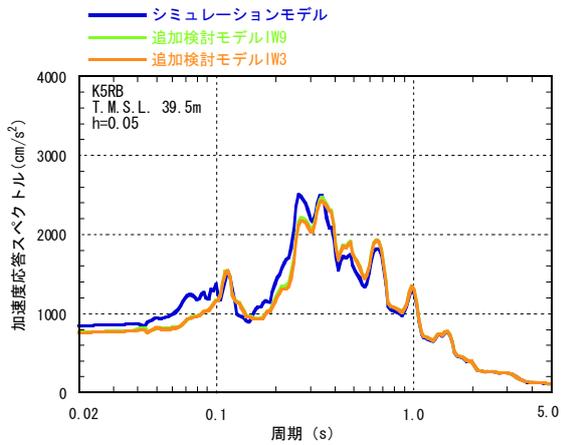


⑧T.M.S.L. -10.1m

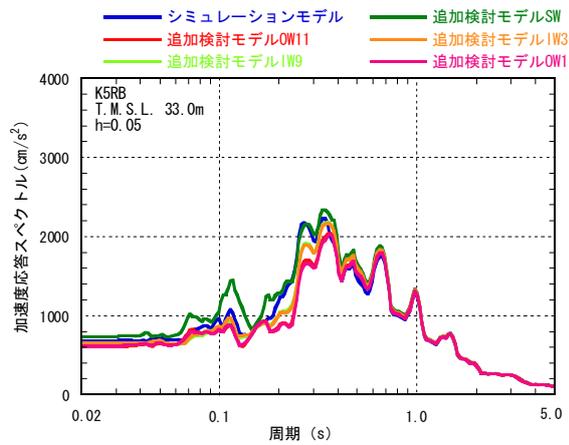


⑨T.M.S.L. -17.5m

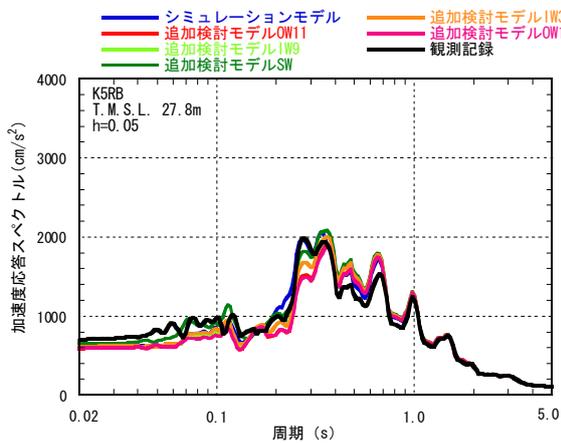
参図-2.5 各床レベルの加速度応答スペクトル(南北方向)(その2)



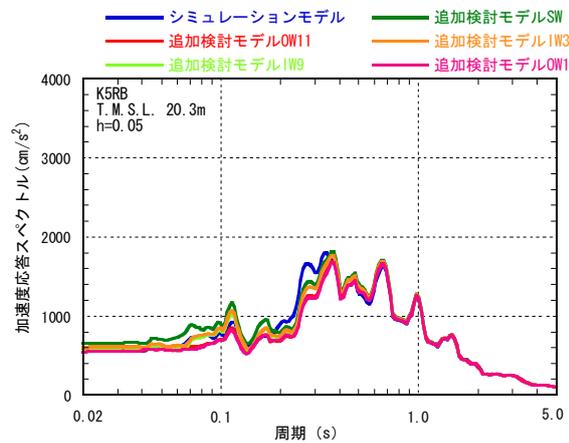
① T.M.S.L. 39.5m



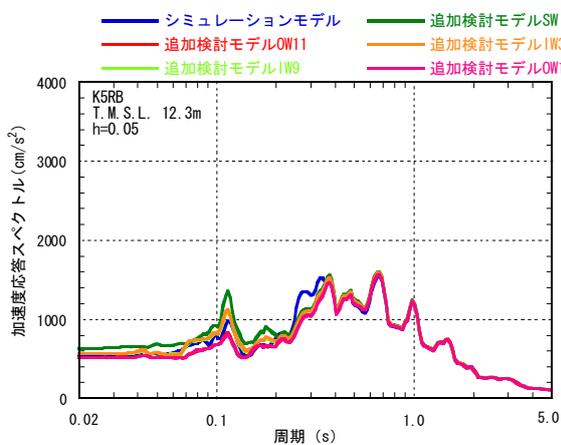
② T.M.S.L. 33.0m



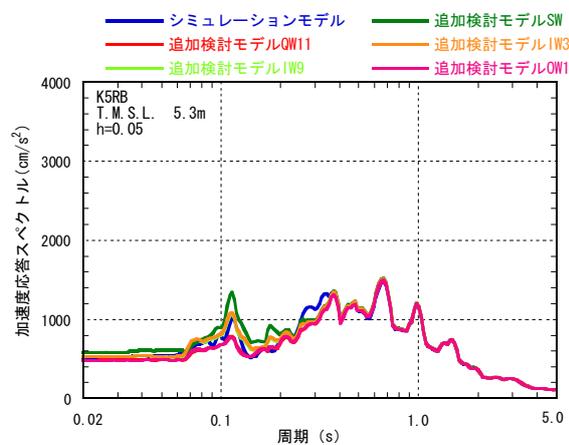
③ T.M.S.L. 27.8m



④ T.M.S.L. 20.3m

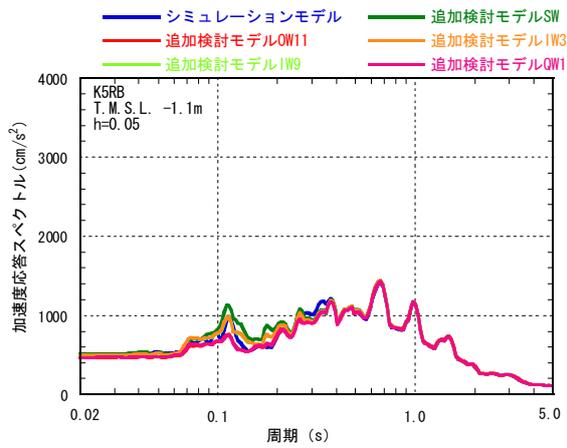


⑤ T.M.S.L. 12.3m

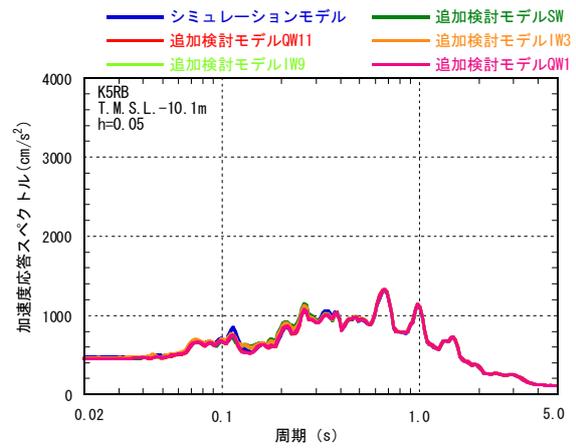


⑥ T.M.S.L. 5.3m

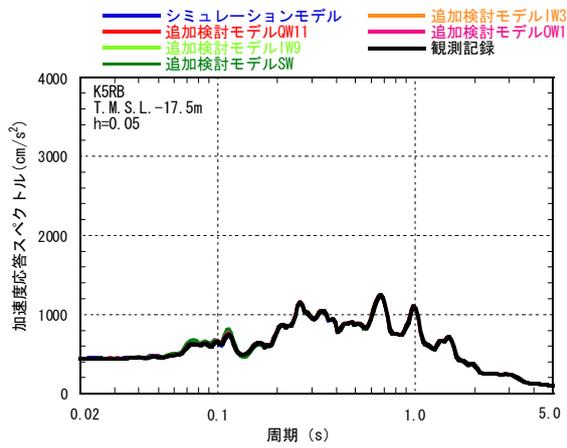
参図-2.6 各床レベルの加速度応答スペクトル(東西方向)(その1)



⑦ T.M.S.L. -1.1m

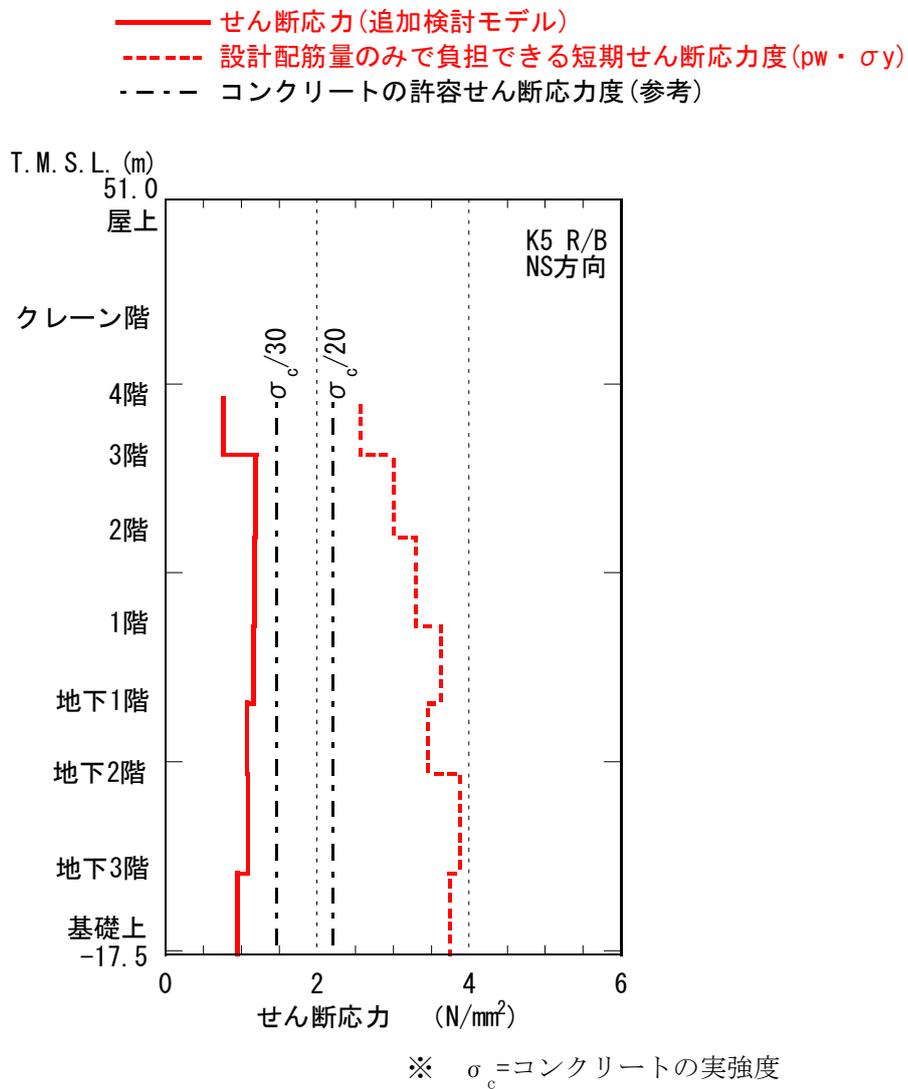


⑧ T.M.S.L. -10.1m

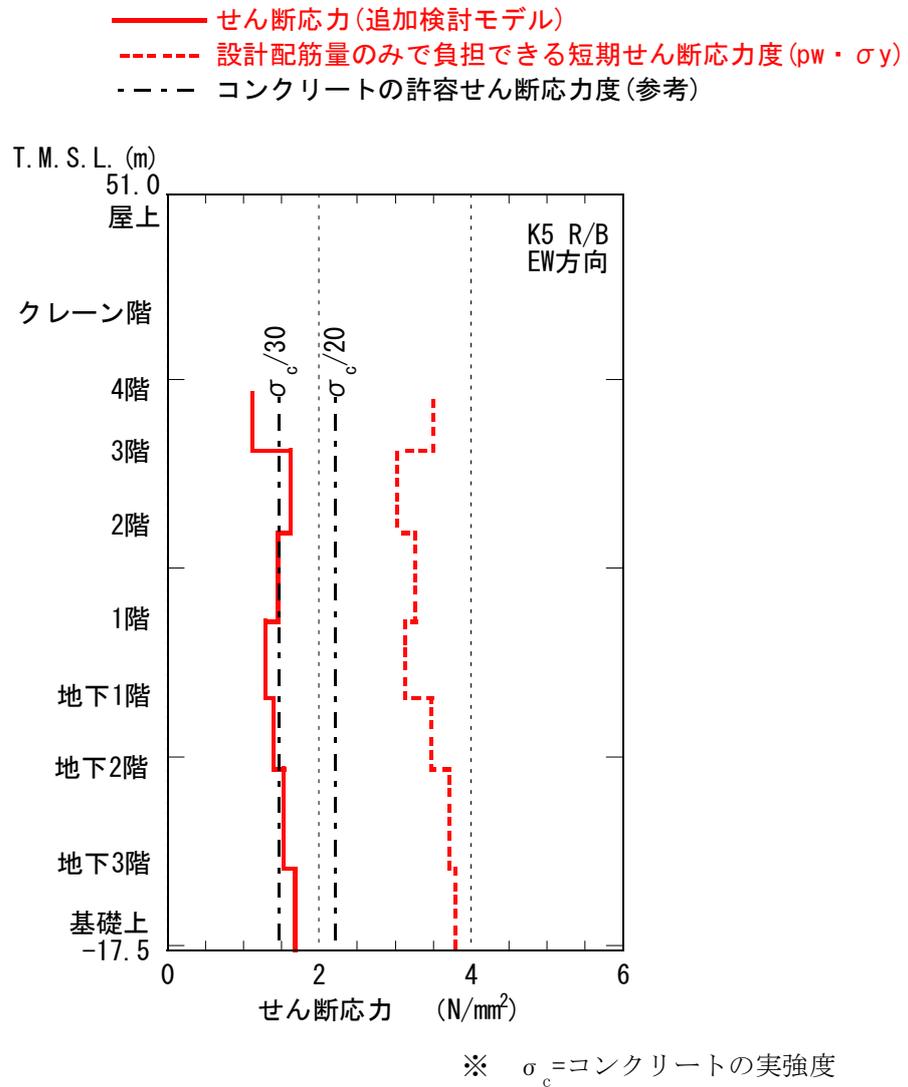


⑨ T.M.S.L. -17.5m

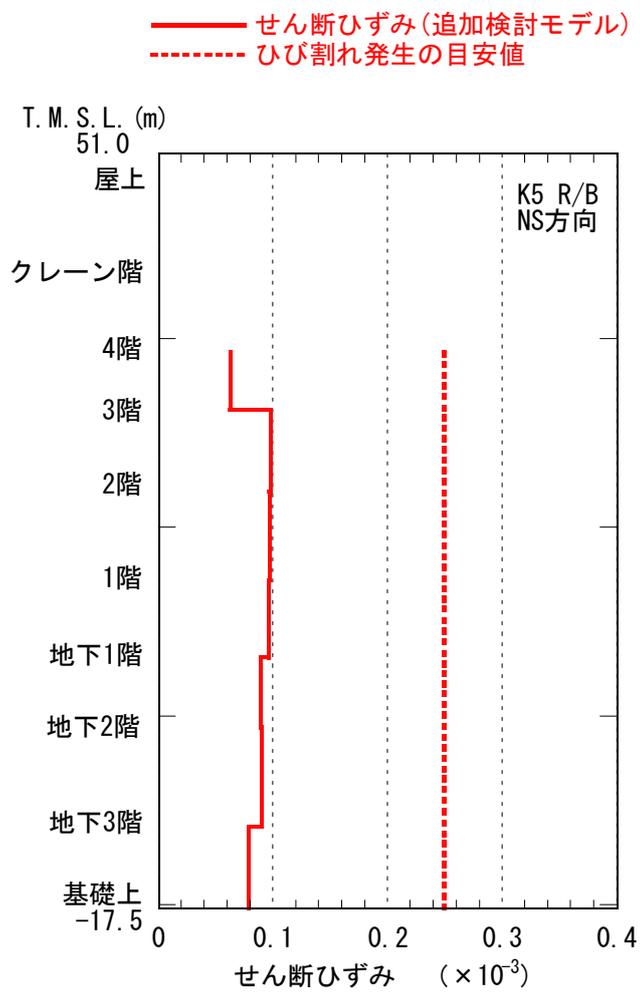
参図-2.6 各床レベルの加速度応答スペクトル(東西方向)(その2)



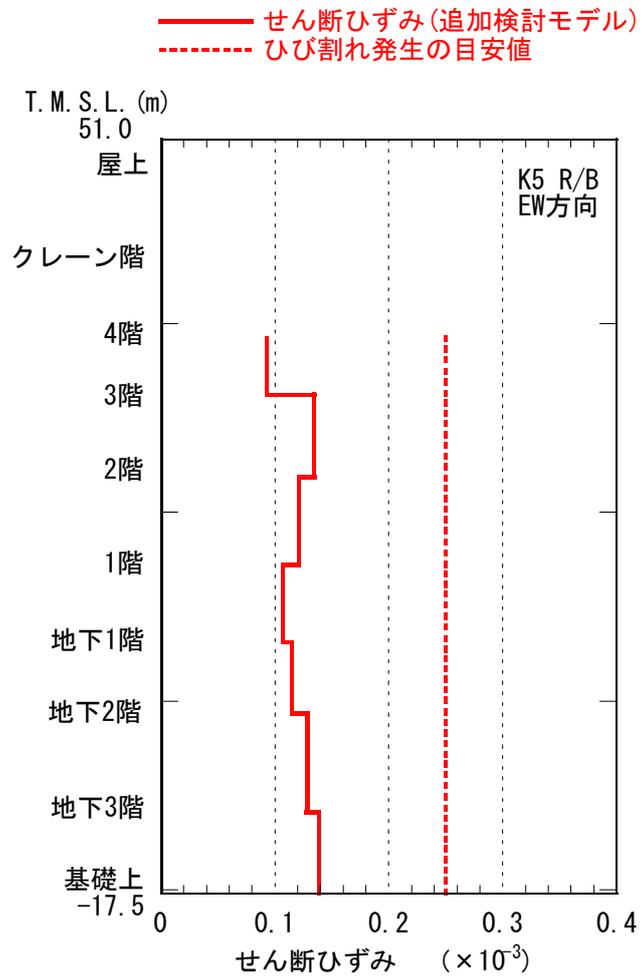
参図-2.7 原子炉建屋 耐震壁 (外部ボックス壁) のせん断応力 (南北方向)



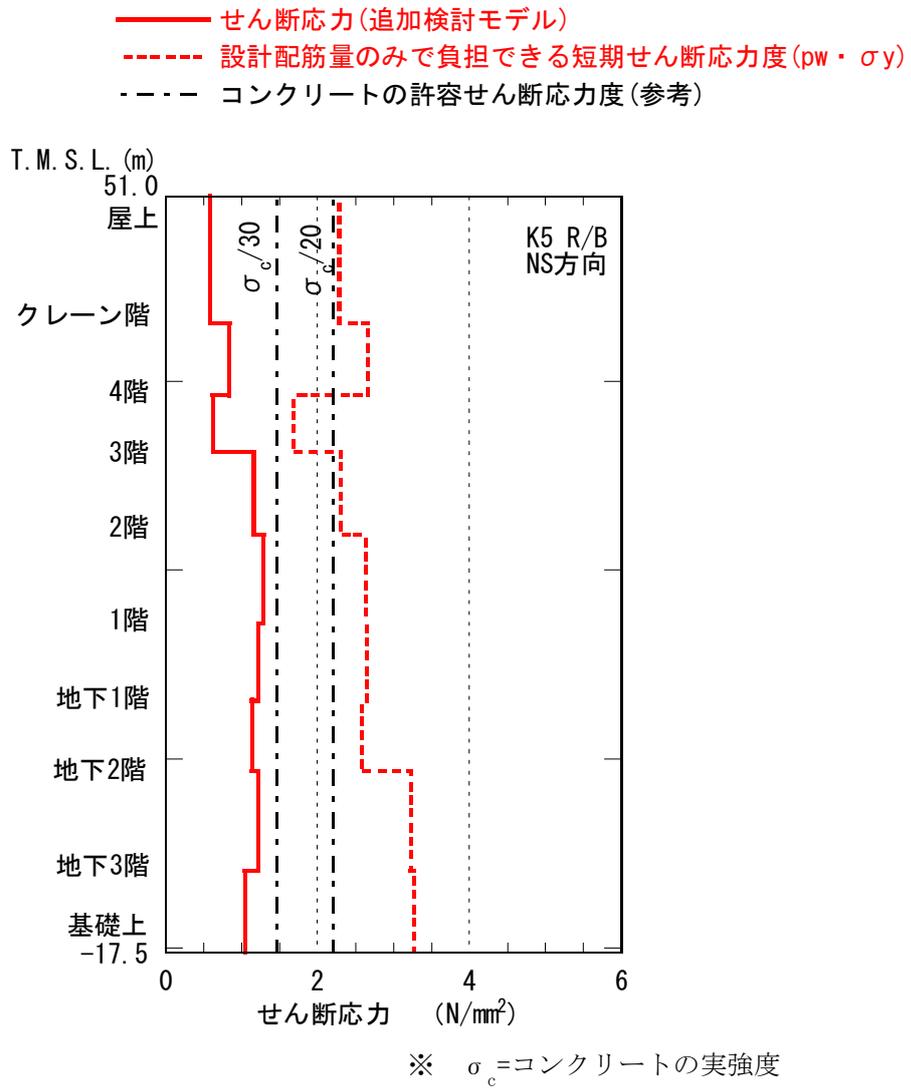
参図-2.8 原子炉建屋 耐震壁 (外部ボックス壁) のせん断応力 (東西方向)



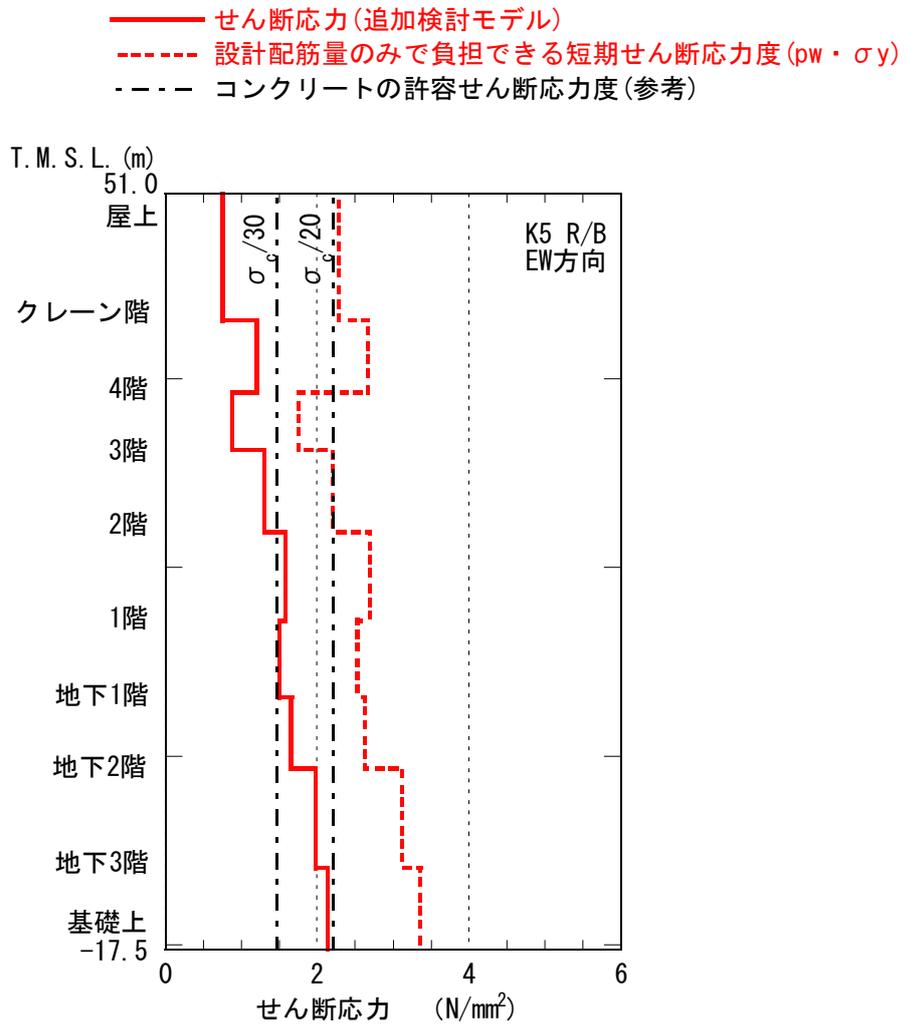
参図-2.9 原子炉建屋 耐震壁 (外部ボックス壁) のせん断ひずみ (南北方向)



参図-2.10 原子炉建屋 耐震壁 (外部ボックス壁) のせん断ひずみ (東西方向)

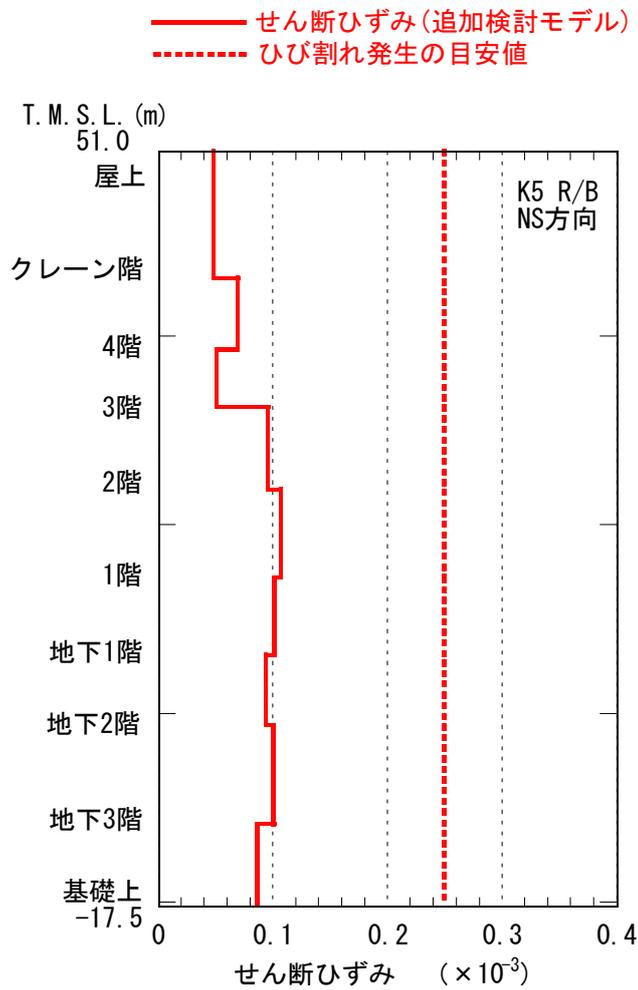


参図-2.11 原子炉建屋 耐震壁 (内部ボックス壁) のせん断応力 (南北方向)

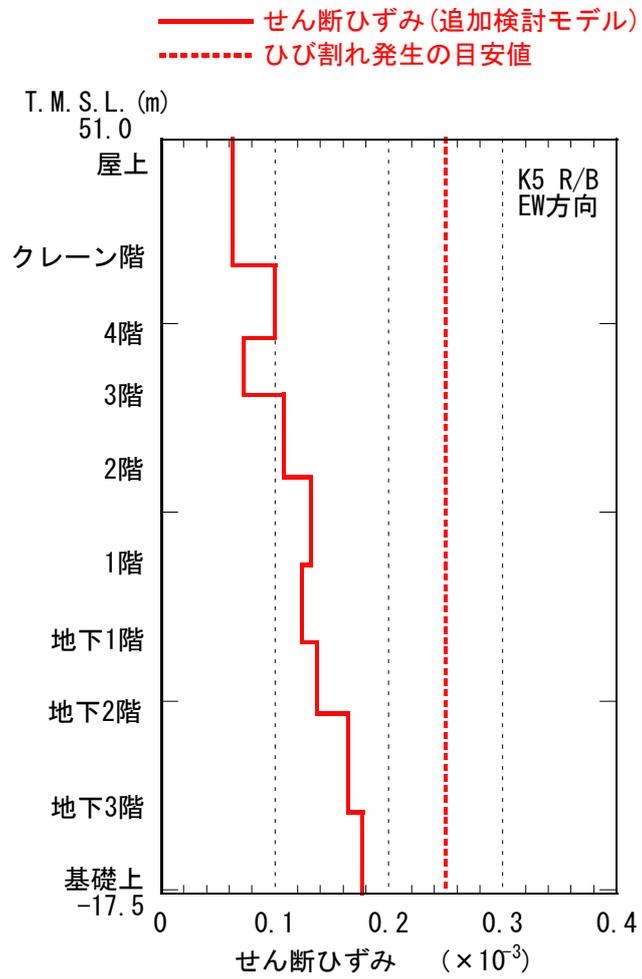


※ σ_c = コンクリートの実強度

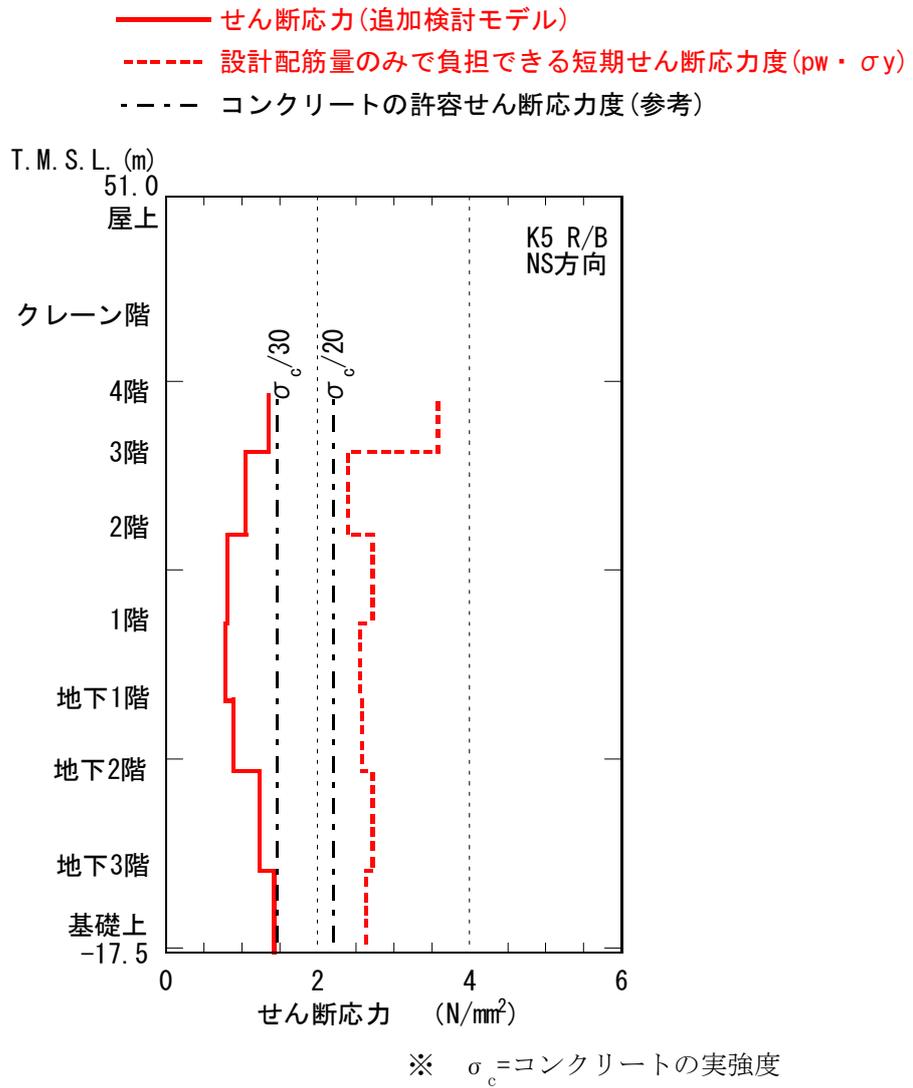
参図-2.12 原子炉建屋 耐震壁 (内部ボックス壁) のせん断応力 (東西方向)



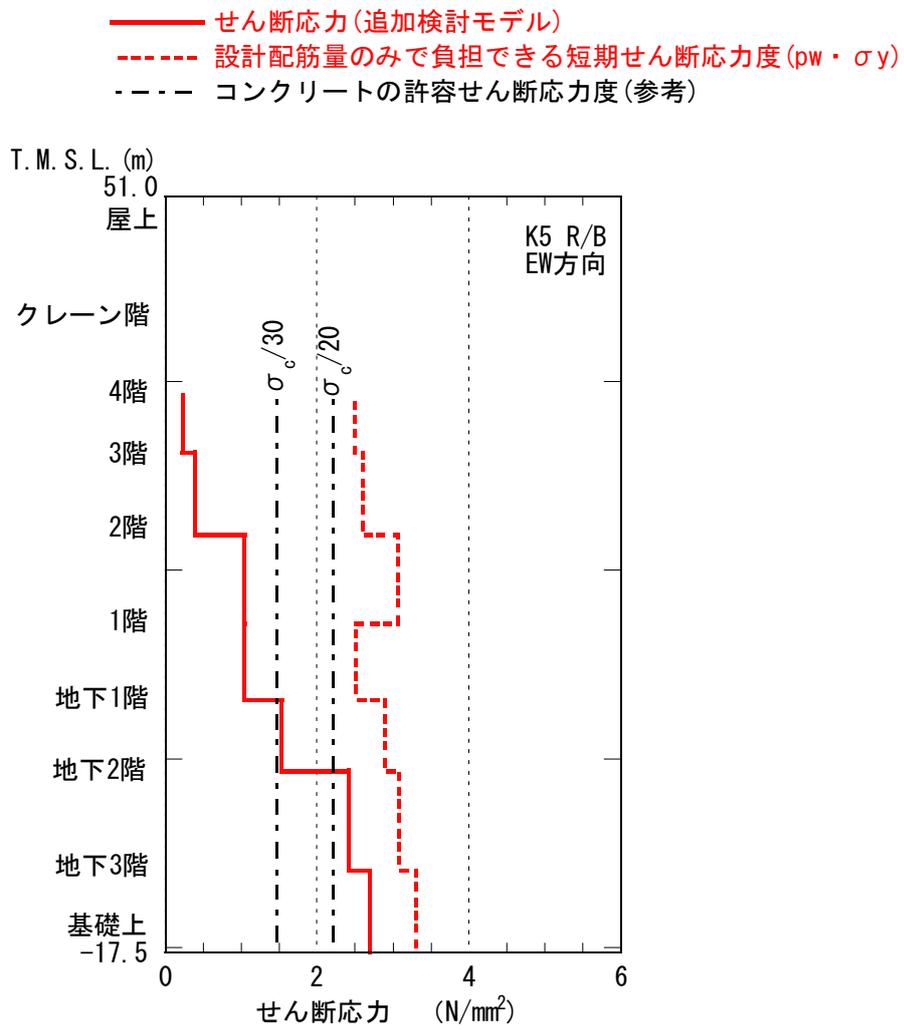
参図-2.13 原子炉建屋 耐震壁（内部ボックス壁）のせん断ひずみ（南北方向）



参図-2.14 原子炉建屋 耐震壁 (内部ボックス壁) のせん断ひずみ (東西方向)

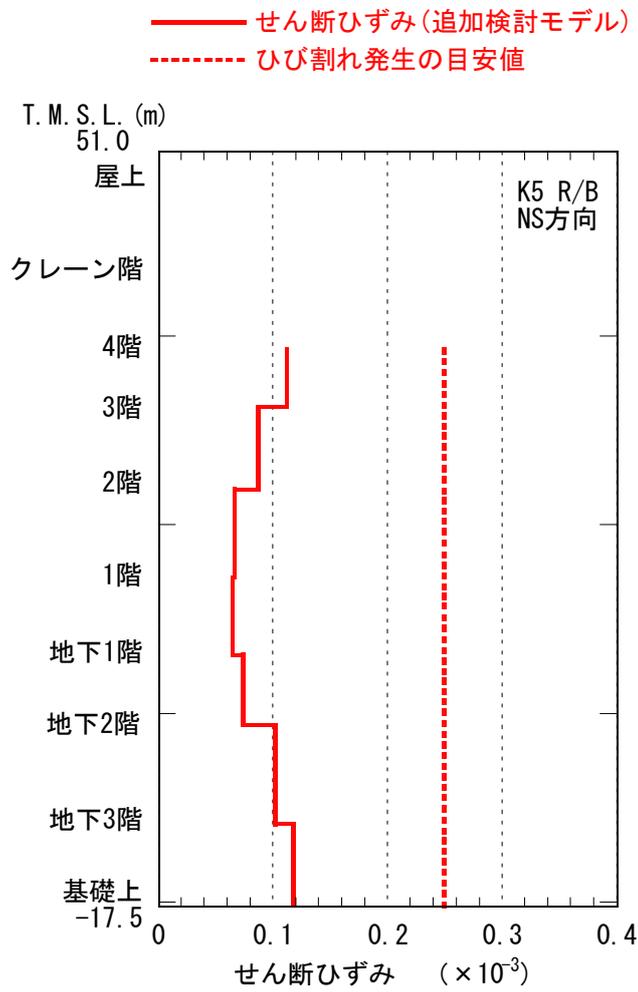


参図-2.15 原子炉建屋 耐震壁 (シェル壁) のせん断応力 (南北方向)

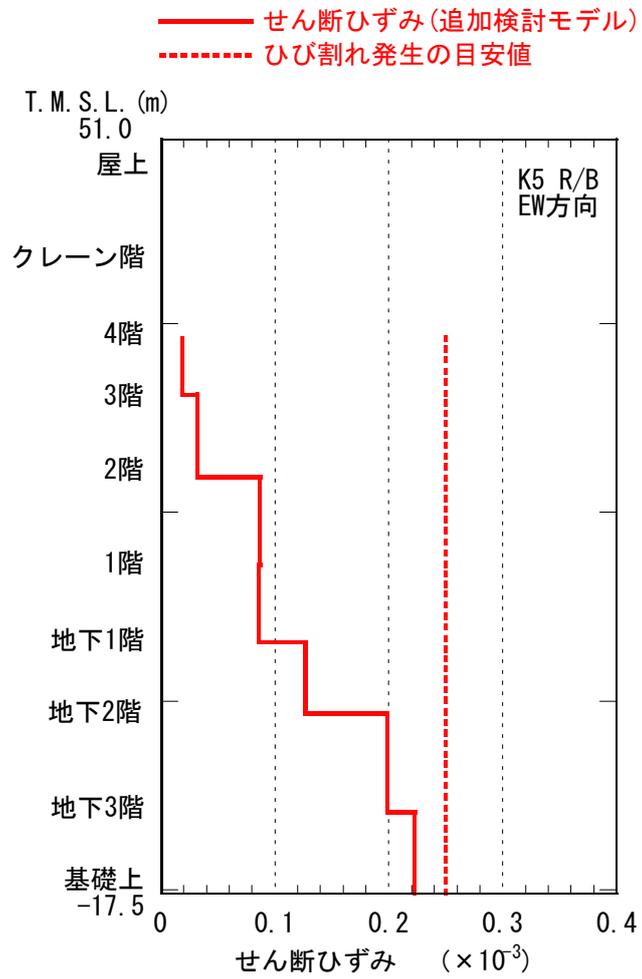


※ σ_c = コンクリートの実強度

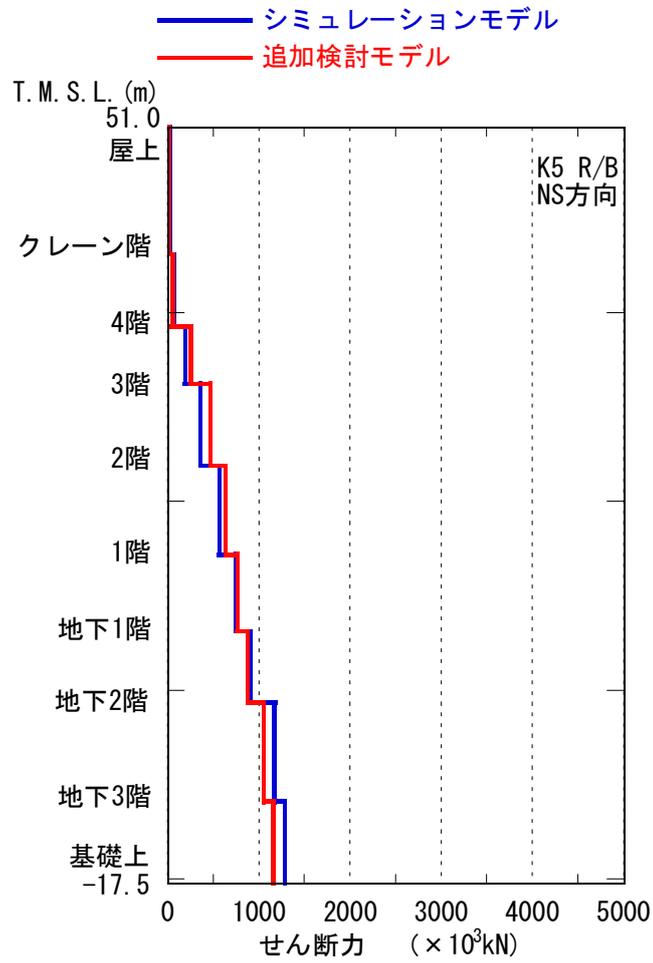
参図-2.16 原子炉建屋 耐震壁 (シェル壁) のせん断応力 (東西方向)



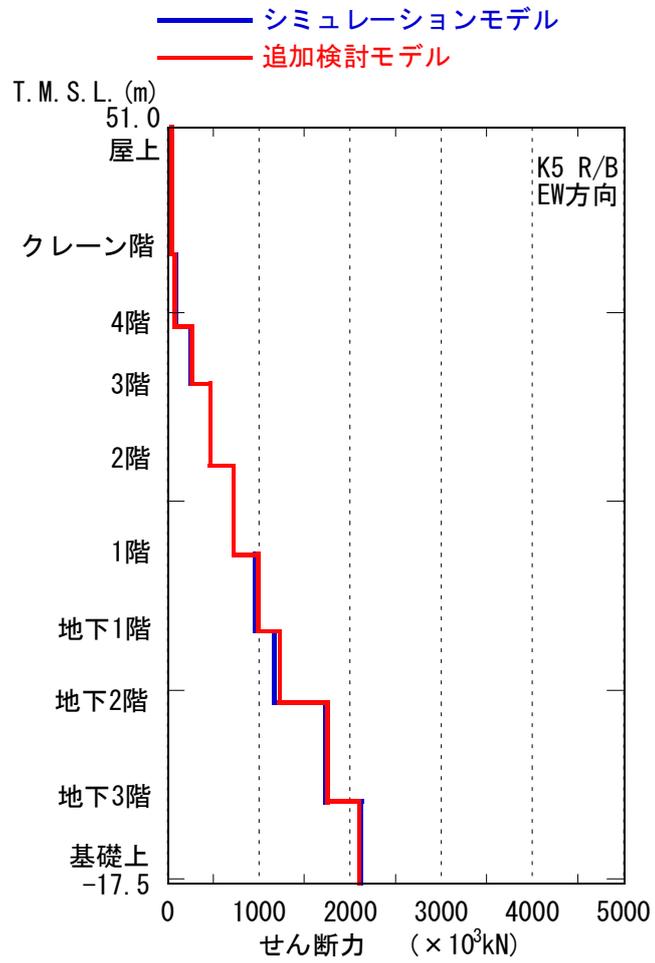
参図-2.17 原子炉建屋 耐震壁 (シェル壁) のせん断ひずみ (南北方向)



参図-2.18 原子炉建屋 耐震壁 (シェル壁) のせん断ひずみ (東西方向)



参図-2.19 原子炉建屋 最大応答せん断力 (南北方向)



参図-2.20 原子炉建屋 最大応答せん断力 (東西方向)