

柏崎刈羽原子力発電所7号機

新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る 点検・評価に関する中間とりまとめ (建物・構築物編) (改訂版)

本資料は、構造 W14-2-4 で報告した7号機原子炉建屋の点検・評価状況について、その後の構造 WG での指摘事項を反映し改訂したものである。

平成 20 年 7 月 24 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 7号機の観測記録	2-3
2 . 4 7号機の状況	2-5
3 . 中間とりまとめの概要	3-1
3 . 1 中間とりまとめの位置付け	3-1
3 . 2 点検・評価に関する基本的な考え方	3-1
3 . 3 品質保証	3-2
3 . 4 実施体制	3-2
4 . 点検	4-1
4 . 1 点検の対象	4-1
4 . 2 点検方法の策定	4-3
4 . 3 力量管理	4-5
4 . 4 点検結果	4-6
5 . 原子炉建屋の耐震健全性評価	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 耐震健全性評価結果の概要	5-22
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

柏崎刈羽原子力発電所7号機については、「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7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・評価を実施している。

現時点において、原子炉建屋の点検ならびに地震応答解析が概ね終了したことから、本報告では、原子炉建屋の点検・評価結果について取り纏めたものである。

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。

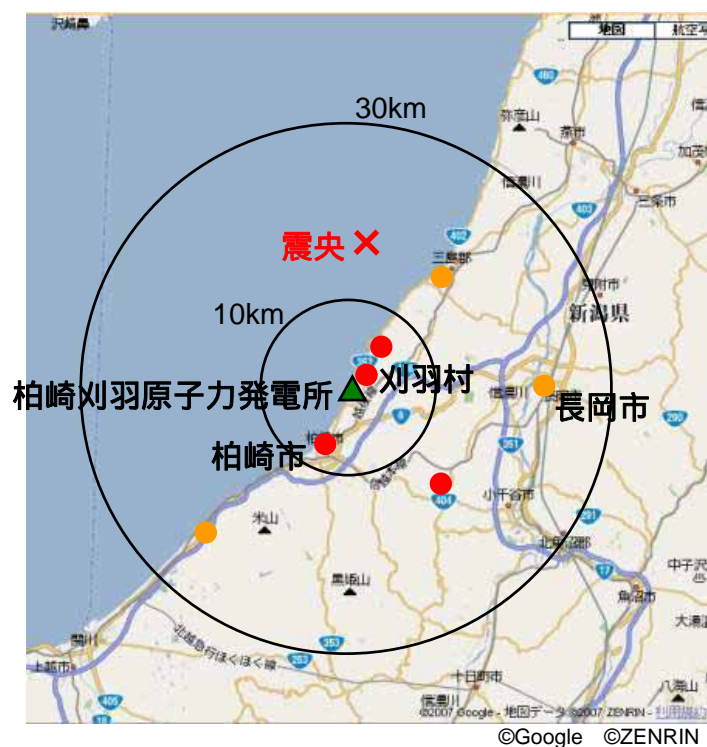


図-2.1.1 平成 19 年新潟県中越沖地震の震央と柏崎刈羽原子力発電所の位置

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発生しており、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のパルスが低減されているのが確認できる。

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。

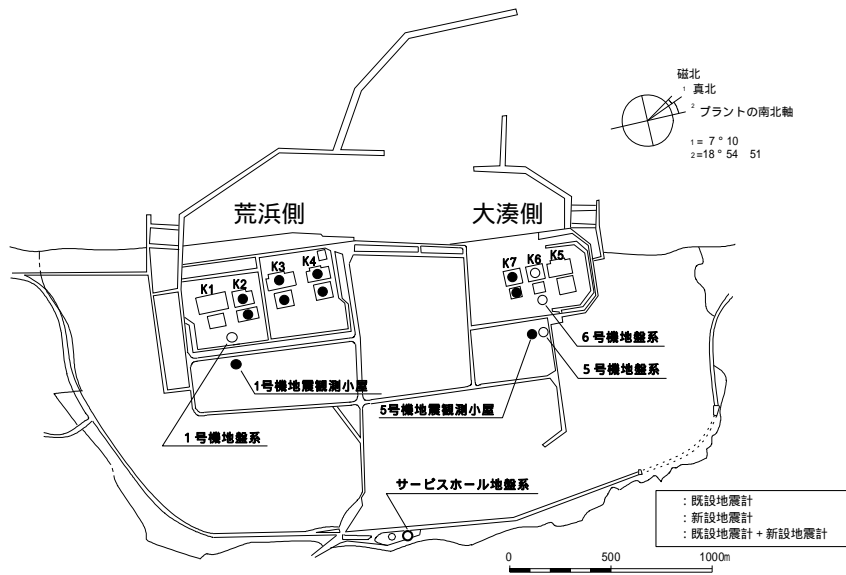


図-2.2.1 柏崎刈羽原子力発電所における地震観測点の配置

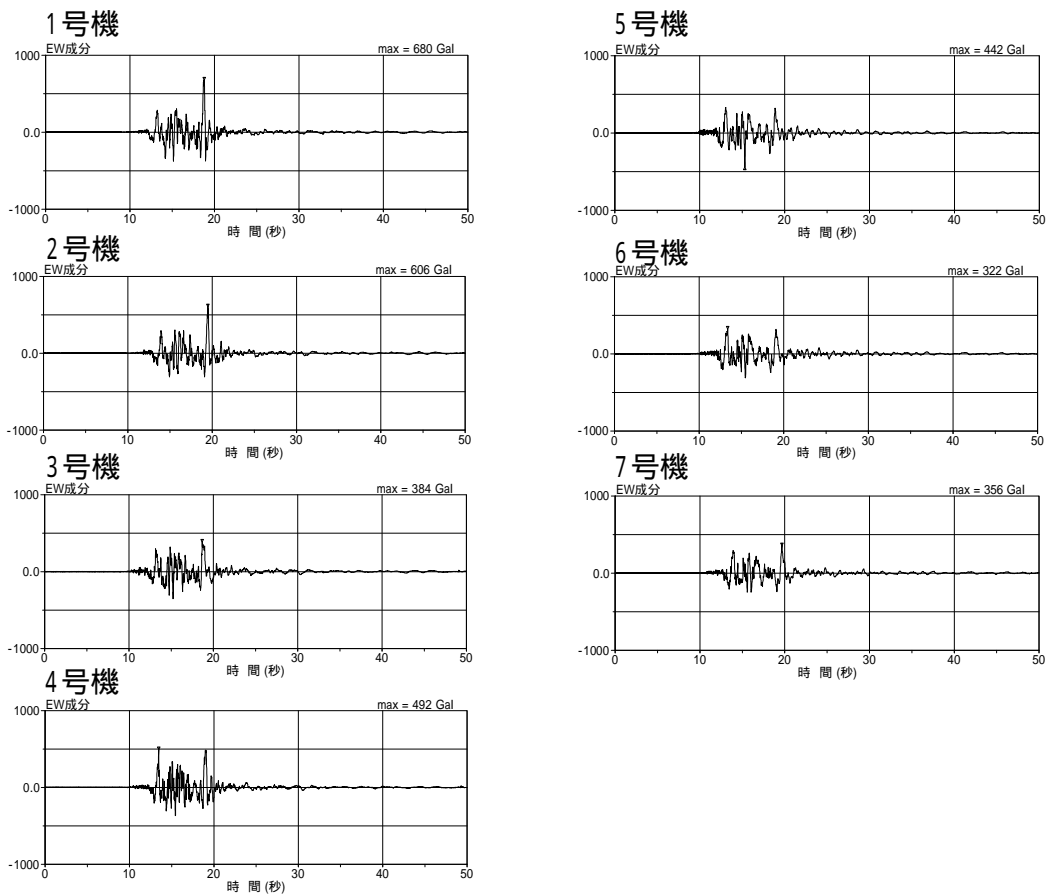


図-2.2.2 原子炉建屋基礎版上で観測された加速度時刻歴波形（東西方向）

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)

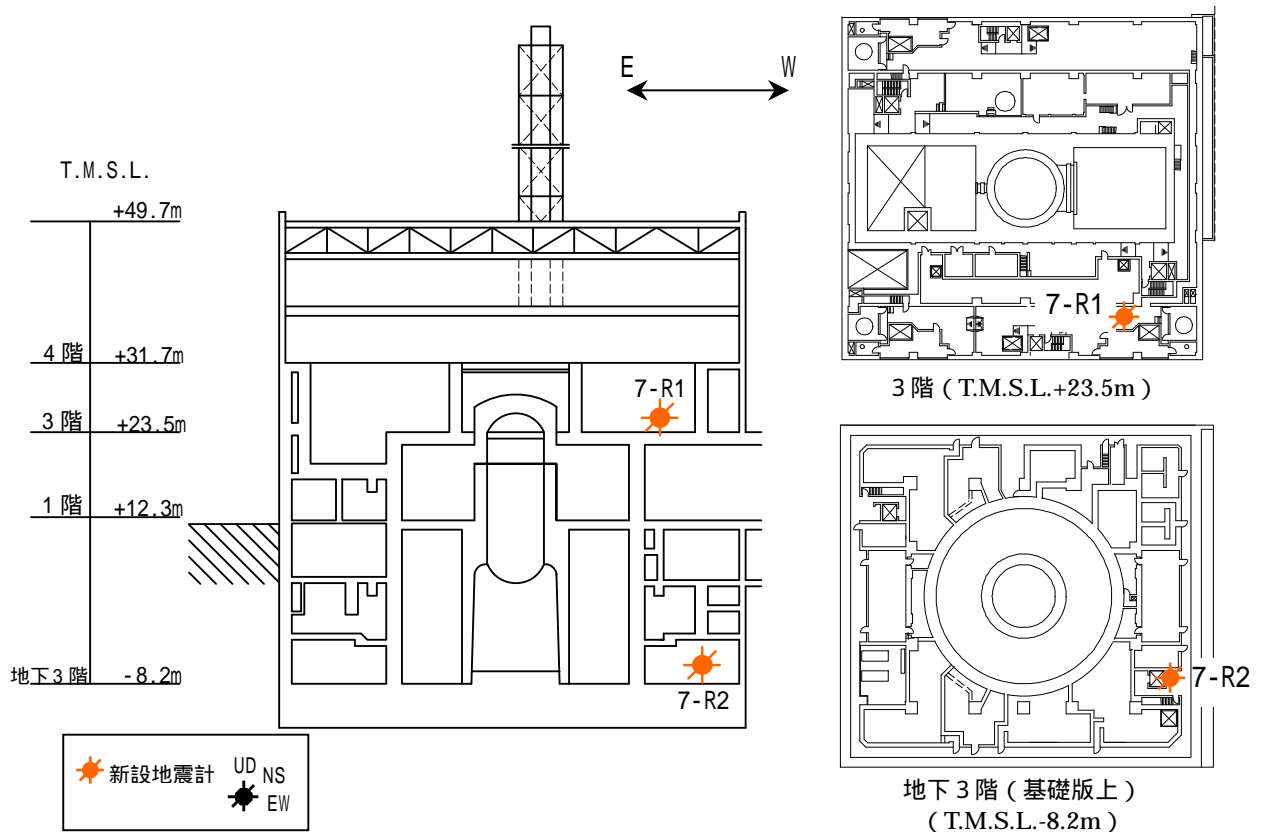
1: スクラム設定値 水平方向 120gal、上下方向 100gal

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. 7号機の観測記録

7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 263gal に対し東西方向で 356gal であった。



T.M.S.L.とは、東京湾平均海面のことを指す。

図-2.3.1 7号機 原子炉建屋地震計配置図

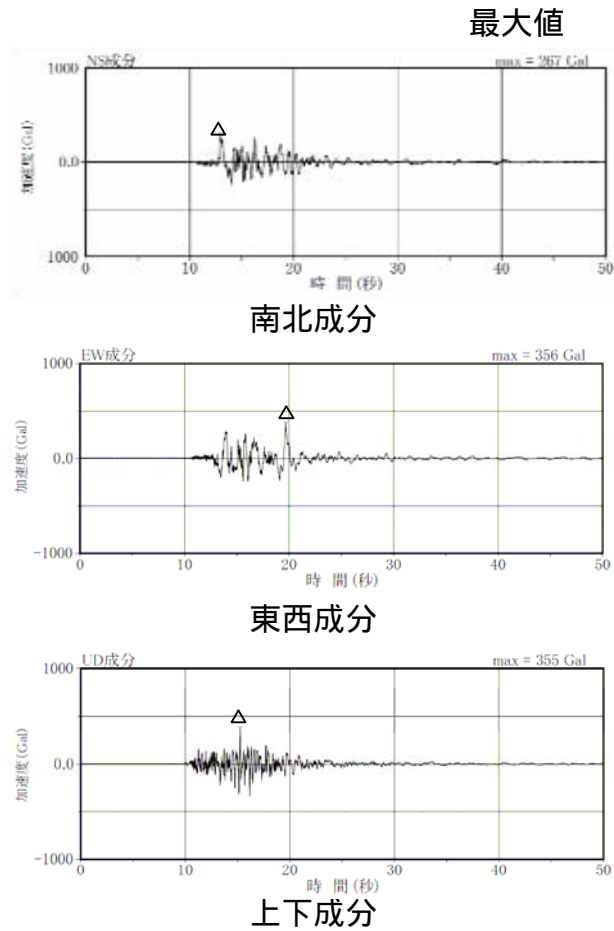


図-2.3.2 7号機 原子炉建屋基礎版上で観測された加速度時刻歴波形

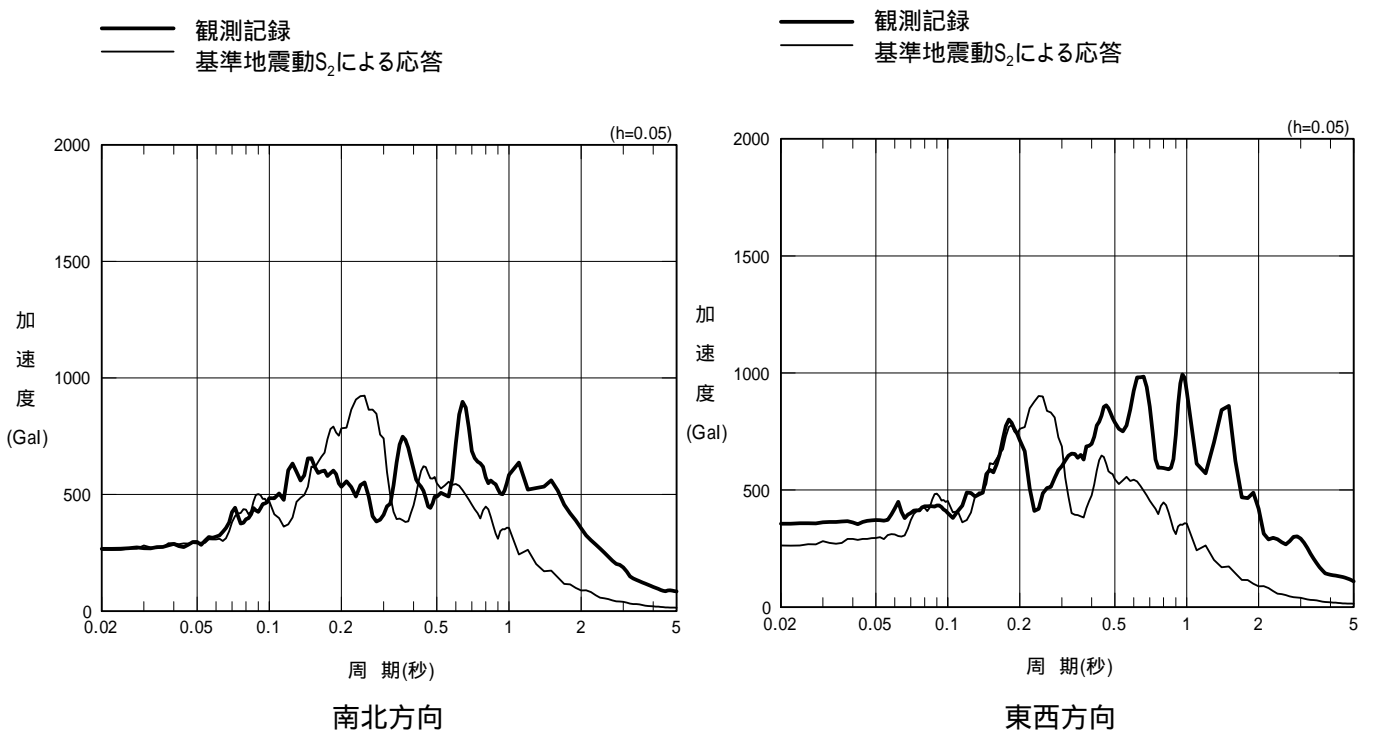


図-2.3.3 7号機 原子炉建屋基礎版上の加速度応答スペクトル

2.4. 7号機の状況

地震発生当時、柏崎刈羽原子力発電所7号機は定格熱出力一定運転中であったが、地震波が到達した直後に原子炉が自動停止し、その後の運転操作により安定的な冷温停止状態に移行した。

3. 中間とりまとめの概要

3.1. 中間とりまとめの位置付け

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7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、排気筒、非常用取水路である。

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

点検・評価とは、建物・構築物について点検、地震応答解析による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。地震応答解析では、本地震の観測波に基づく各建物・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。

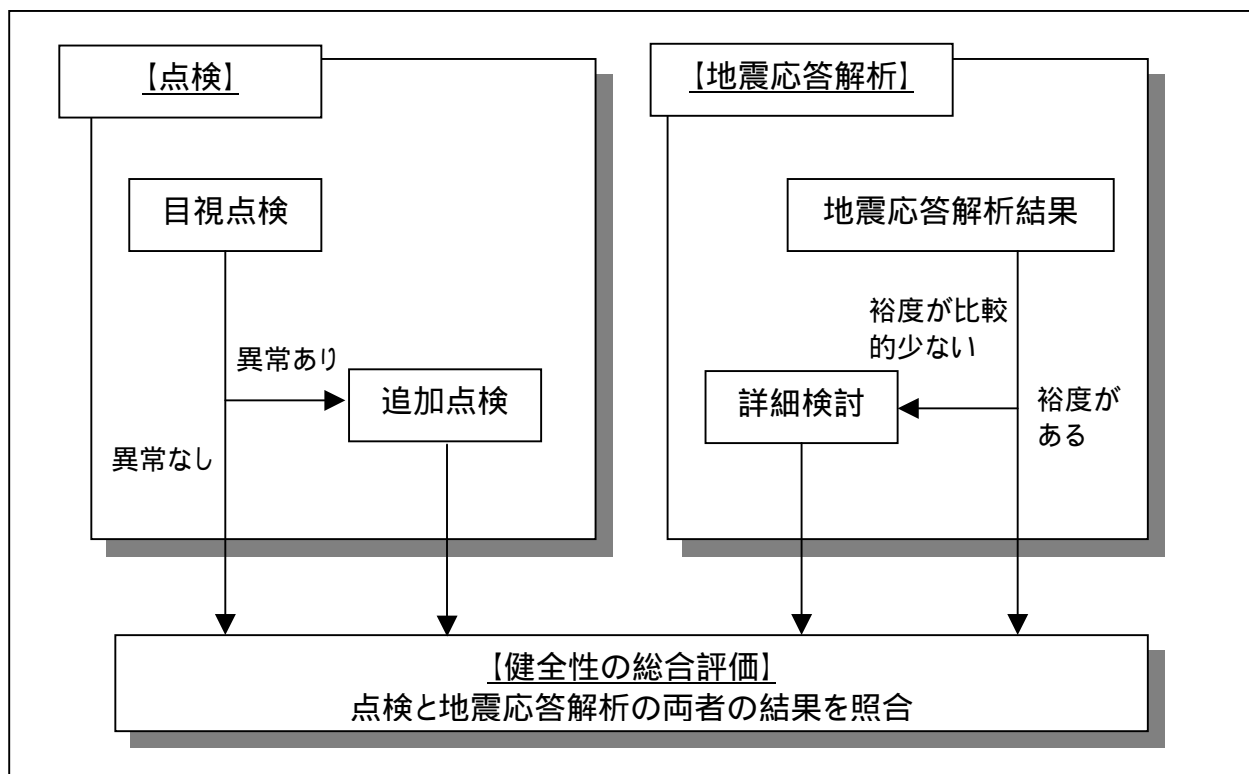


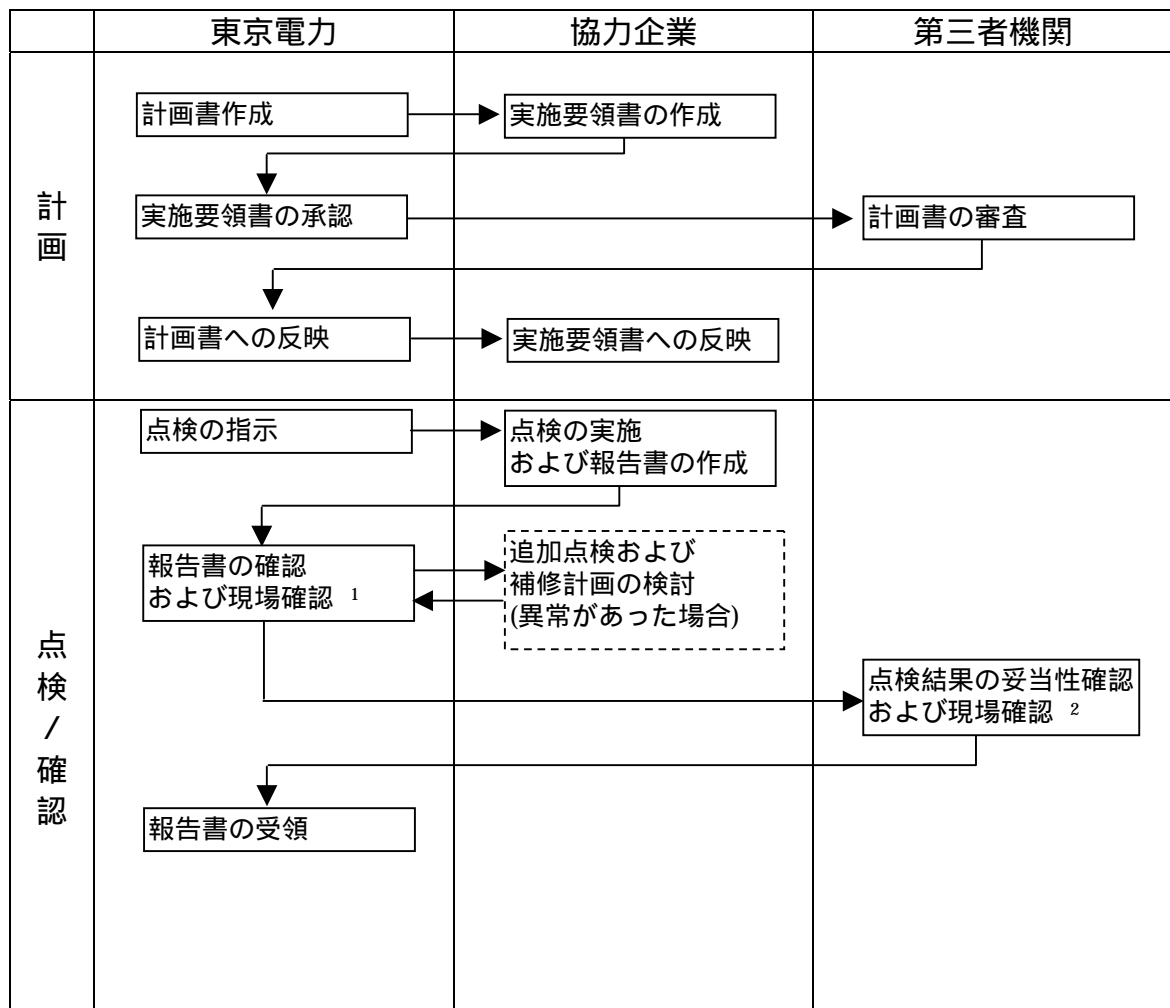
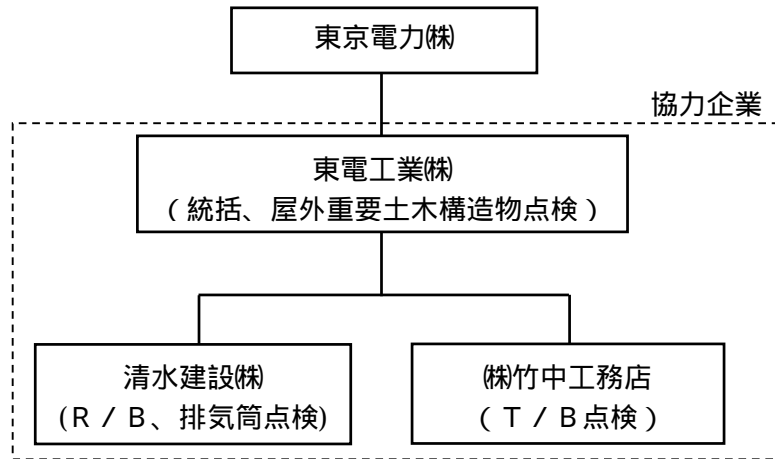
図-3.2.1 建物・構築物の点検・評価の全体フロー

3.3. 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。

3.4. 実施体制

点検・評価の主要な体制については、図-3.4.1 のとおり。



1 : 現場確認は抜き取り確認。

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-3.4.1 点検・評価体制および概略業務フロー

4. 点検

4.1. 点検の対象

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-4.1.1 および図-4.1.1 参照)

本報告においては、原子炉建屋を点検対象としている。


表-4.1.1 柏崎刈羽原子力発電所7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	・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	・原子炉建屋
	・原子炉格納施設 (1) 原子炉格納容器(RCCV) (一次格納施設) (2) 原子炉建屋原子炉区域 (二次格納施設)	・原子炉建屋
	・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	・原子炉建屋
	・廃棄設備 (1) 固体廃棄物貯蔵庫	・(該当なし ¹⁾)
	・排気筒 (1) 排気筒	・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	・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	・原子炉建屋 ・排気筒 ・タービン建屋
安全上の重要度分類クラス1に該当する建物・構築物	・原子炉建屋 ・非常用取水設備 ・制御室及びそのしゃへい	・原子炉建屋 ・非常用取水路 ・(該当なし ²⁾)

1: 1号機における点検・評価対象 2: 6号機における点検・評価対象

【凡例】

 : 一次遮へい壁

 : 二次遮へい壁

 : RCCV

ハッチ部位ではなくエリア内の壁・床を示す

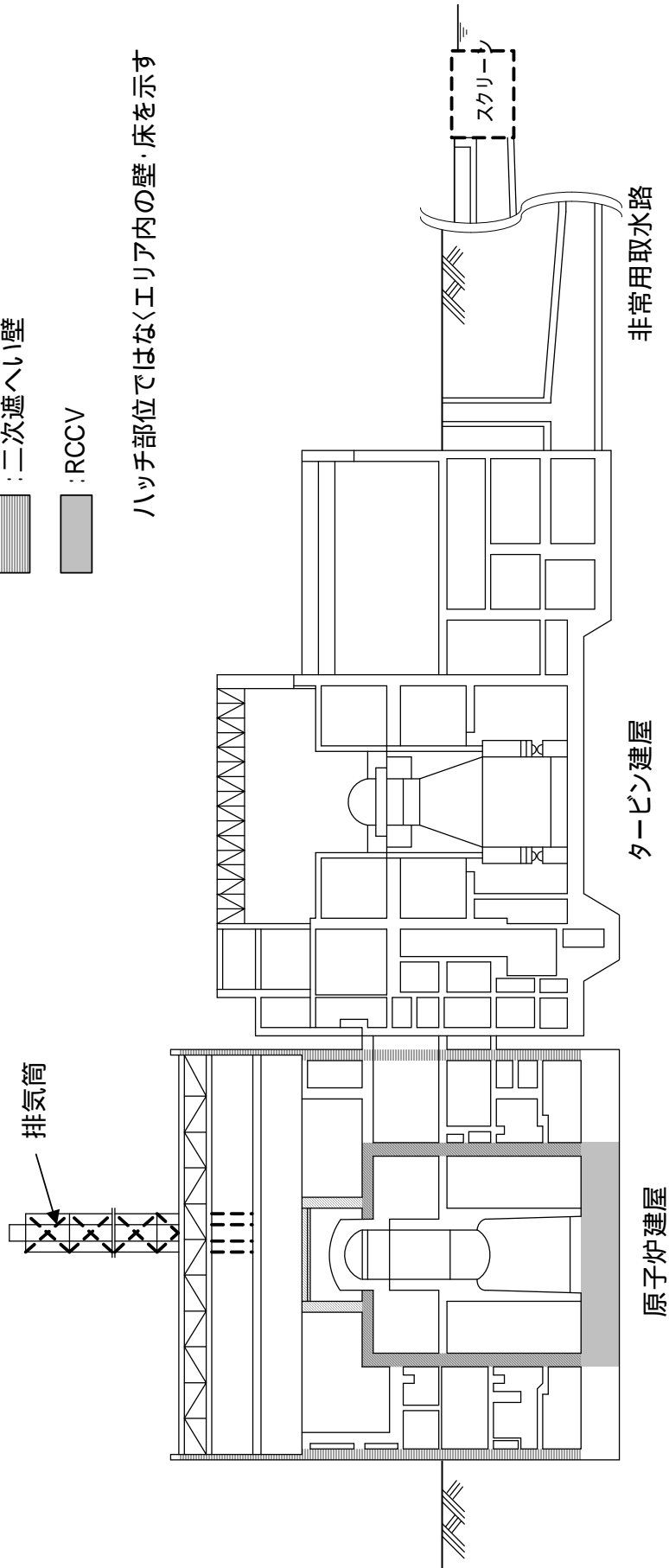


図-4.1.1 点検・評価対象の建物・構築物の断面図

4.2. 点検方法の策定

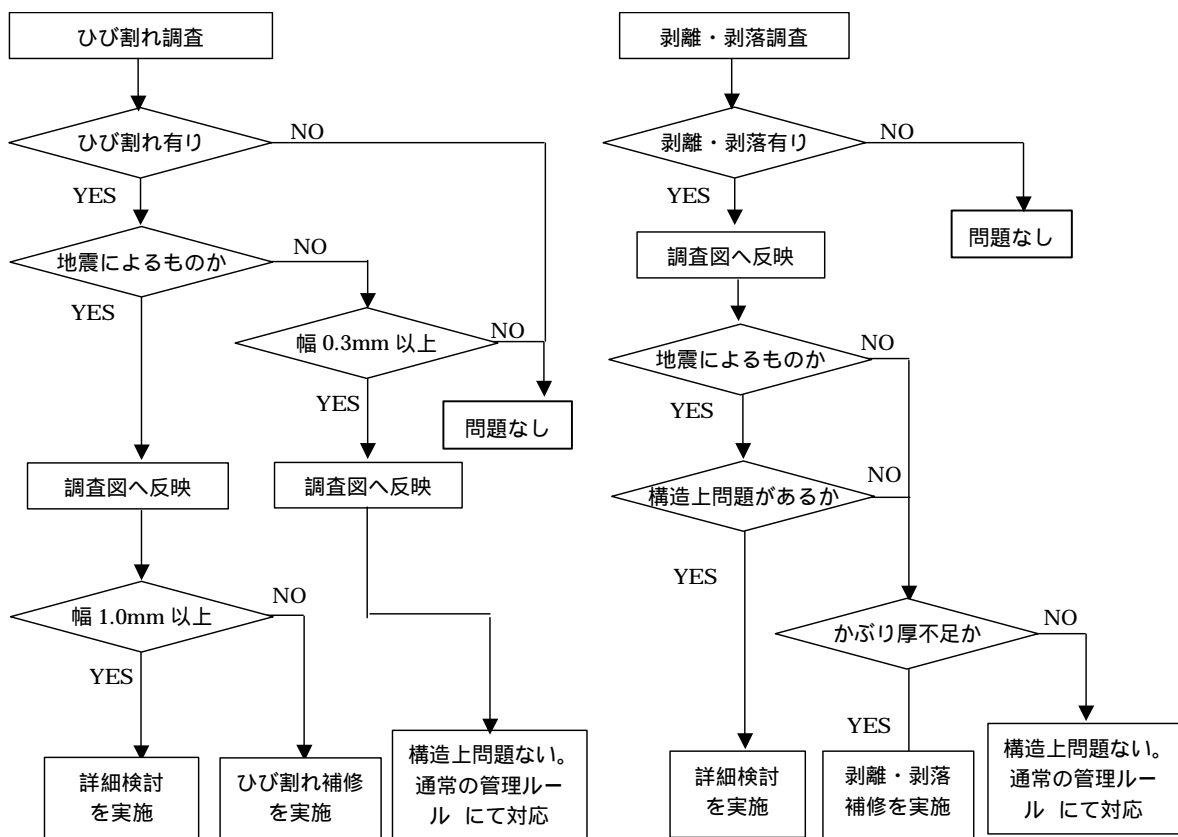
建物・構築物への本地震の影響を把握するにあたり、構造形式に着目した点検を行う必要がある。そこで、要求される機能ごとに、各構造形式への地震の影響を整理し、それに応じた点検を行う。

4.2.1. 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築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築物の目視試験方法」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-4.2.1 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（設計時においては構造上考慮していなかった壁）を対象に点検を実施した。



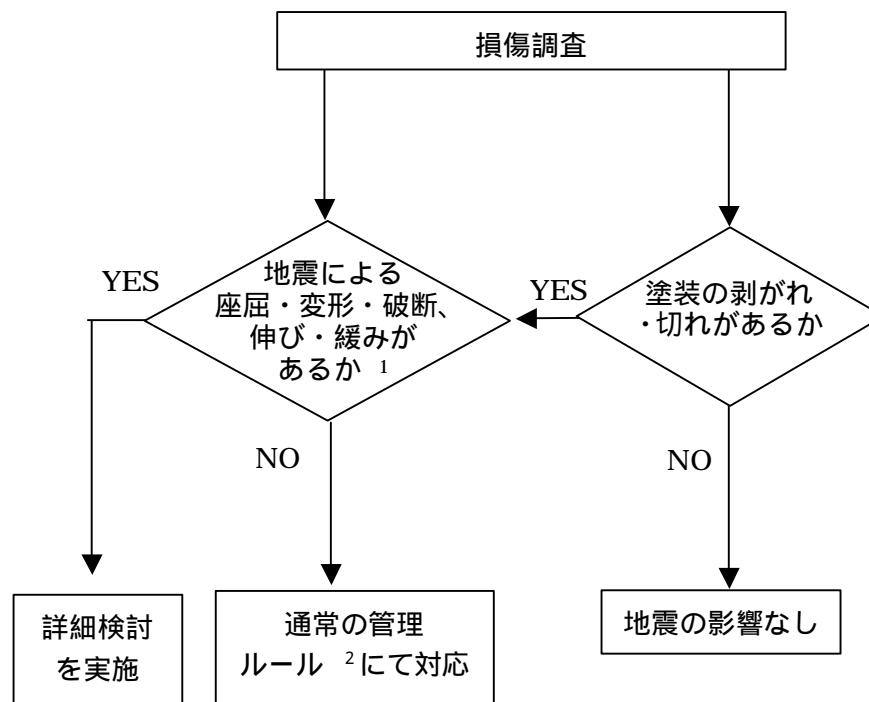
発電所建物ひび管理・補修要領などの社内マニュアル

図-4.2.1 鉄筋コンクリート構造の点検の流れ

(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-4.2.2 に示す。

なお、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、鋼材の発錆状況により評価

² 原子力発電所建築設備点検マニュアルなどの社内マニュアル

図-4.2.2 鉄骨構造の点検の流れ

4.2.2. 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。

4.2.3. 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。

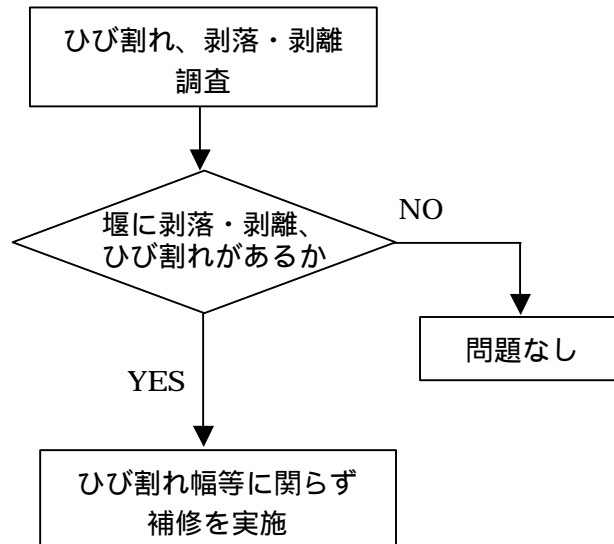


図-4.2.3 耐漏えい機能（堰その他の設備）の点検の流れ

4.3. 力量管理

目視点検に従事する点検実施者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、必要に応じ設計者に意見を求めることが可能な体制を整えていること。

4.4. 点検結果

「柏崎刈羽原子力発電所7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。

4.4.1. 耐震性能

(1) 耐震壁

耐震壁において、点検により確認された今回の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-4.4.1 に示す。また、ひび割れ状況図を添付資料1 に示す。点検の結果、耐震壁においては、ひび割れの発生はわずかに確認されたが剥離・剥落は生じておらず、ひび割れ幅についても全て評価基準値以下であ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（設計時においては構造上考慮していなかった壁）において、点検により確認された今回の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-4.4.2 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・剥落は生じていないことが確認された。

なお、鉄筋コンクリート製格納容器（RCCV）においては、地震によって発生したことが否定できないひび割れおよび剥離・剥落は生じていないことが確認された。

(2) 屋根トラス

屋根トラスの点検による確認状況を表-4.4.3 に示す。

点検の結果、屋根トラスにおいて地震による影響がないことが確認された。

(3) 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も、地震による影響がないことが確認された。

表-4.4.1 7号機 原子炉建屋 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)
B1F	R5 ~ 6 - RA	1,500	0.3	1.7	1.0
1F	R1 - RF ~ G	1,200	0.1	1.6	
3F	R1 ~ 2 - RA	1,000	0.2	3.0	
	R1 ~ 2 - RG	1,000	0.3	2.1	
	R2 - RA ~ B	500	0.3	2.0	
	R2 - RA ~ B	500	0.2	2.0	
	R2 - RA ~ B	500	0.3	1.8	
	R2 - RB ~ C	500	0.1	2.1	
M3F	R2 - RF ~ G	500	0.3	2.0	
4F	R6 - RC ~ D	500	0.2	2.5	

表-4.4.2 7号機 原子炉建屋 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)
B3F	R6 ~ 7 - RA ~ B	600	0.2	1.9	7	1.0
B2F	R6 - RD ~ E	600	0.1	2.0	2	
B1F	R5 ~ 6 - RD	300	0.3	0.7	8	
1F	R2 ~ 3 - RF ~ G	300	0.2	3.5	13	
2F	R1 ~ 2 - RB	300	0.2	2.5	10	
3F	R5 ~ 6 - RE	400	0.2	2.4	10	

「各階における最大ひび割れ幅を記載」

表-4.4.3 7号機 原子炉建屋 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

4.4.2. 遮へい性能

(1) 遮へい壁

遮へい壁において、点検により確認された今回の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-4.4.4 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全て評価基準値以下であることが確認された。

表-4.4.4 7号機 原子炉建屋 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	R6～7 - RA～B	600	0.2	1.9	1.0
	R6～7 - RC～D	700	0.1	1.8	
2F	R2 - RB～C	400	0.3	2.0	
	R5～6 - RE～F	1,200	0.2	1.0	
3F	R1～2 - RA	1,000	0.2	3.0	
	R2 - RA～B	500	0.3	2.0	
	R2～3 - RA～B	300	0.3	2.4	

「各壁厚における最大ひび割れ幅を記載」

4.4.3. 耐漏えい性能

(1) 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今回の地震によって発生したことが否定できないひび割れ発生状況を表-4.4.5 に示す。

点検結果、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。

尚、堰において確認されたひび割れについては幅に関らず全て補修する。

表-4.4.5 7号機 原子炉建屋 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
B3F	R1 - RF ~ G	壁	0.1	0.2	1
	R1 ~ 2 - RB ~ C	床	0.1	0.4	1
	R1 ~ 2 - RC ~ D	床	0.1	1.4	1
	R2 ~ 3 - RB	壁	0.1	0.5	4
	R2 ~ 3 - RB ~ C	壁	0.1	0.5	6
	R2 ~ 3 - RB ~ C	床	0.1	1.6	1
	R2 ~ 3 - RB ~ C	床	0.1	1.6	2
	R2 ~ 3 - RB ~ C	壁	0.1	0.5	6
	R2 ~ 3 - RF ~ G	床	0.1	0.4	1
	R3 ~ 4 - RE ~ F	床	0.1	2.2	1
	R3 ~ 4 - RF ~ G	床	0.1	1.2	1
	R3 ~ 4 - RF ~ G	床	0.1	2.4	1
	R5 ~ 6 - RD ~ E	床	0.1	0.9	2
	R5 ~ 6 - RF ~ G	床	0.1	0.8	6
	R6 ~ 7 - RB ~ C	床	0.1	1.4	2
	R6 ~ 7 - RB ~ C	床	0.1	1.5	1
	R6 ~ 7 - RB ~ C	床	0.1	0.4	1
	R6 ~ 7 - RC ~ D	床	0.1	0.6	1
	R6 ~ 7 - RE ~ F	床	0.1	1.0	1
	R6 ~ 7 - RF ~ G	床	0.1	0.8	1
R6 ~ 7 - RG	壁	0.1	0.2	1	
R7 - 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」

5. 原子炉建屋の耐震健全性評価

5.1. 解析評価方針

原子炉建屋の耐震健全性評価は、基礎上観測記録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。

(1) 原子炉建屋

a) 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度と、設計配筋量によって負担できる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によって負担できる短期許容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度が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。

b) 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。

(2) RCCV の鉄筋コンクリート部

RCCV の構造評価については、原子炉建屋の耐震壁と同様に、地震応答解析により得られたせん断応力度に対して、設計配筋量によって負担できる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。この設計配筋量によって負担できるせん断応力度の算出にあたっては、日本機械学会「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格」を参考とする。また、地震応答解析により得られたせん断ひずみについても確認を行うこととする。

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。

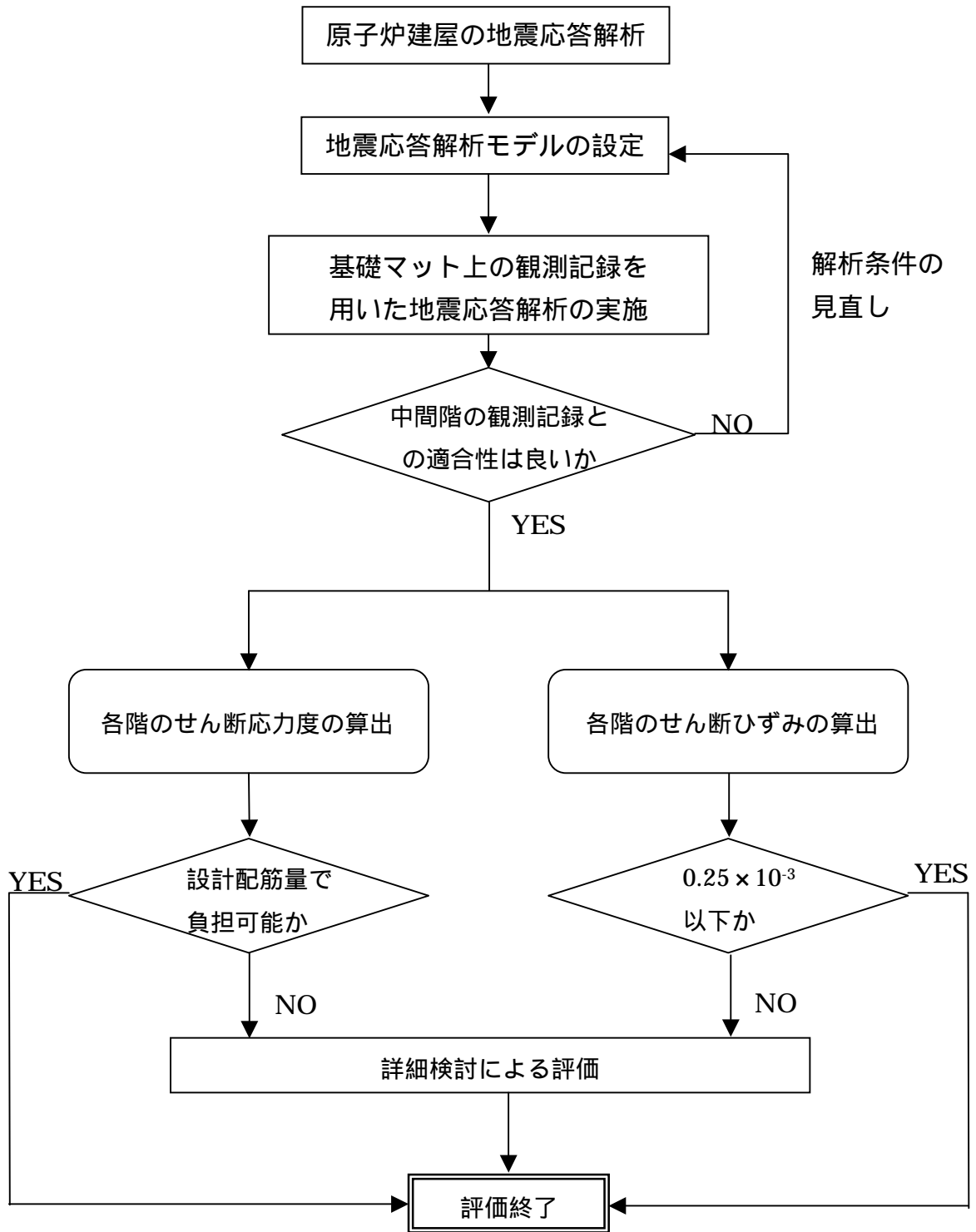


図-5.1.1 原子炉建屋の地震応答解析の評価手順例

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、7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。

7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。

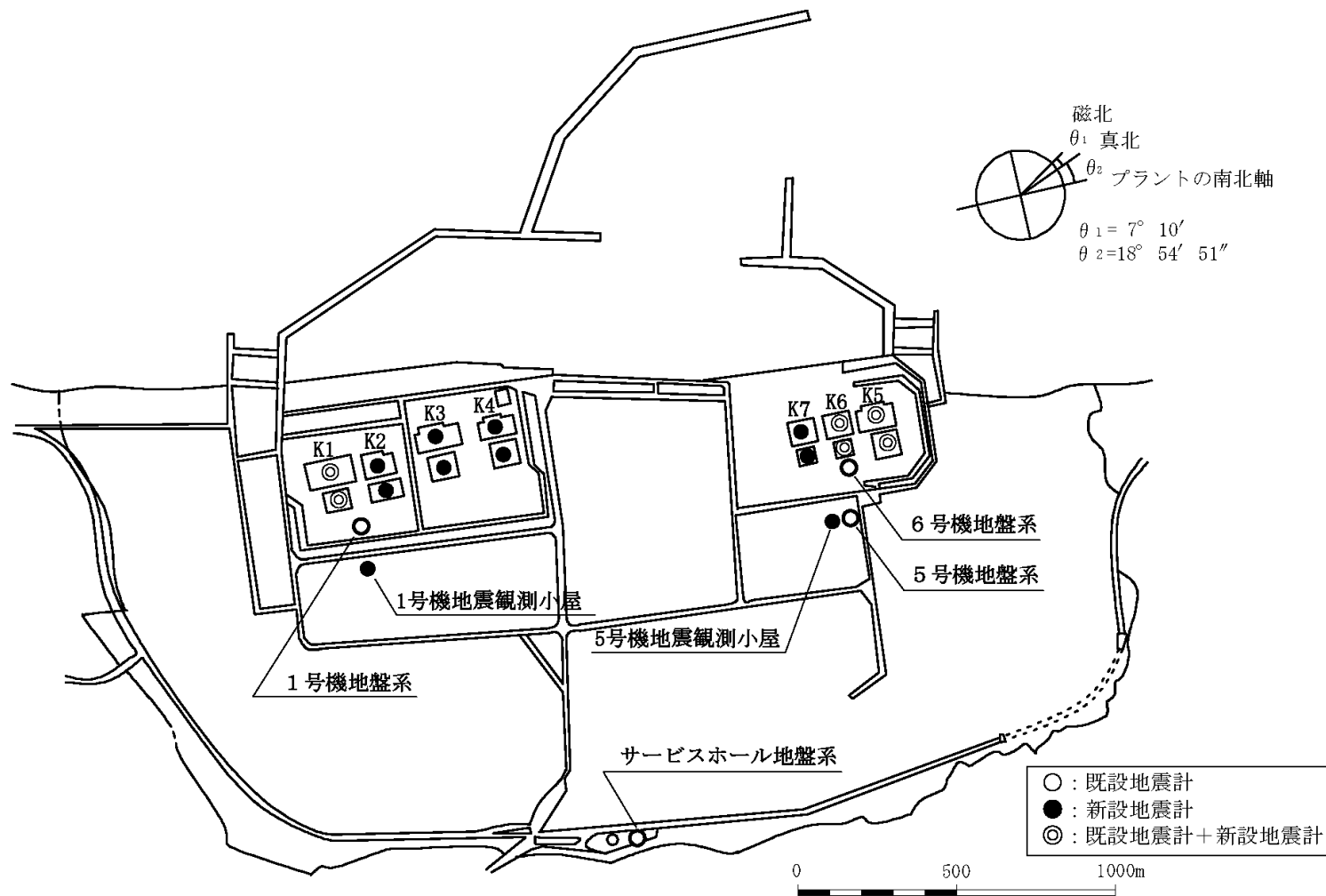


図-5.2.1 柏崎刈羽原子力発電所における地震観測点の配置

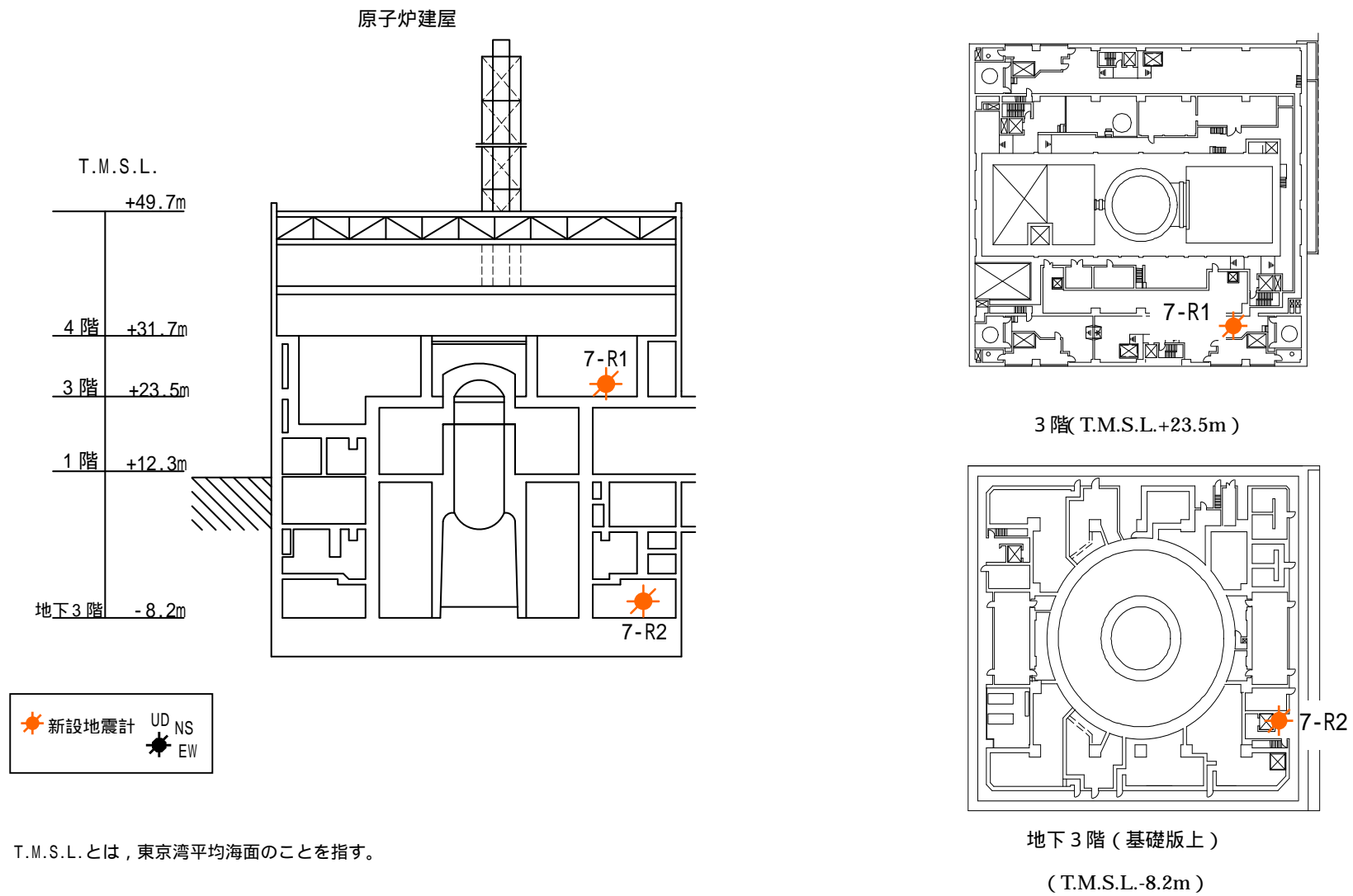
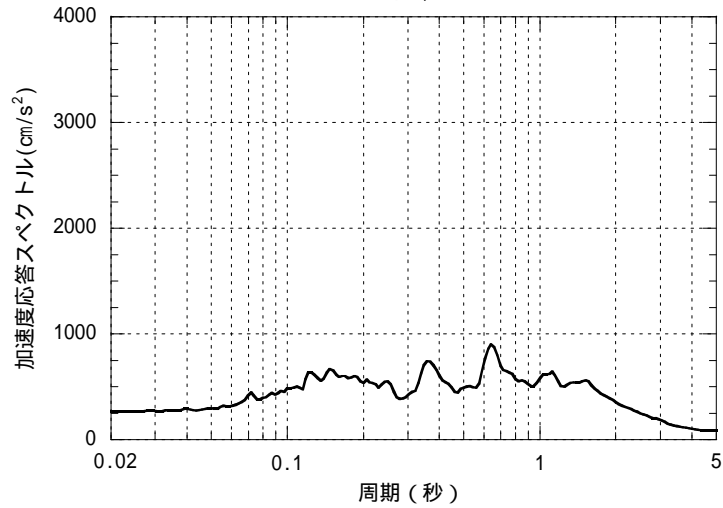
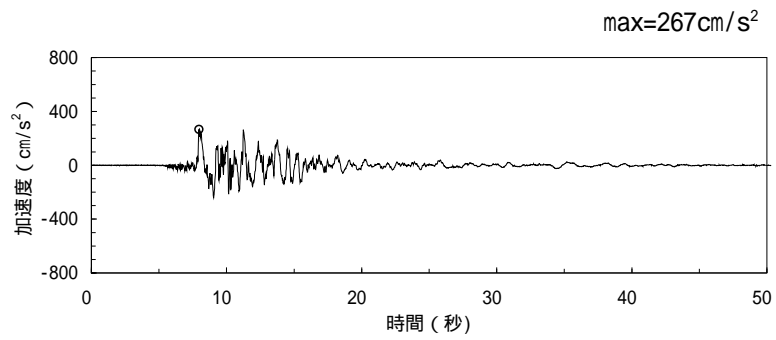
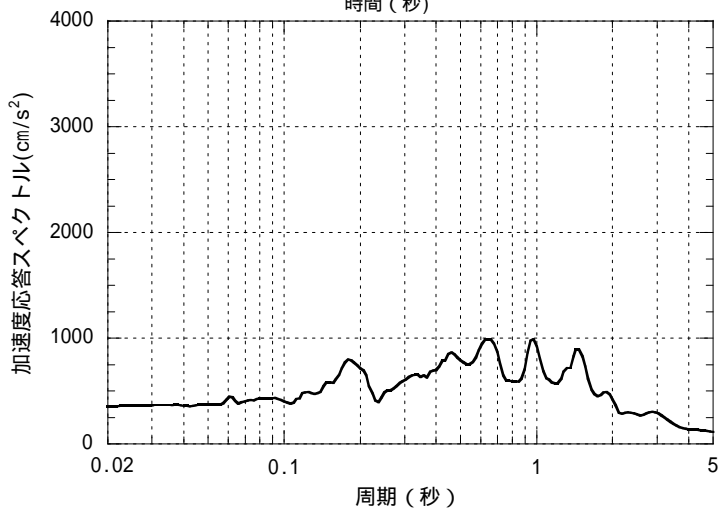
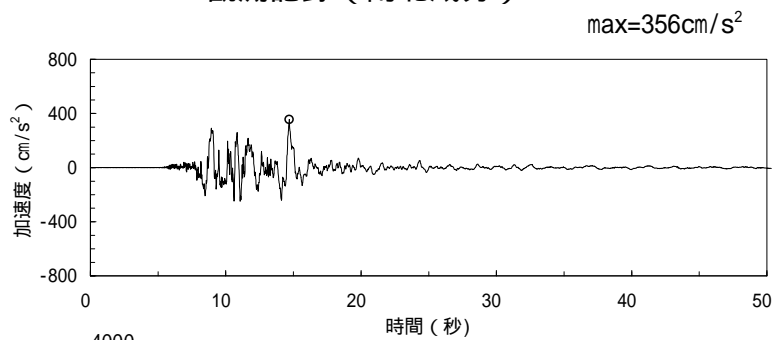


図-5.2.2 7号機原子炉建屋地震計配置断面図および平面図



観測記録 (南北成分)



観測記録 (東西成分)

図-5.2.3 7号機原子炉建屋地下3階(基礎版上:7-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)

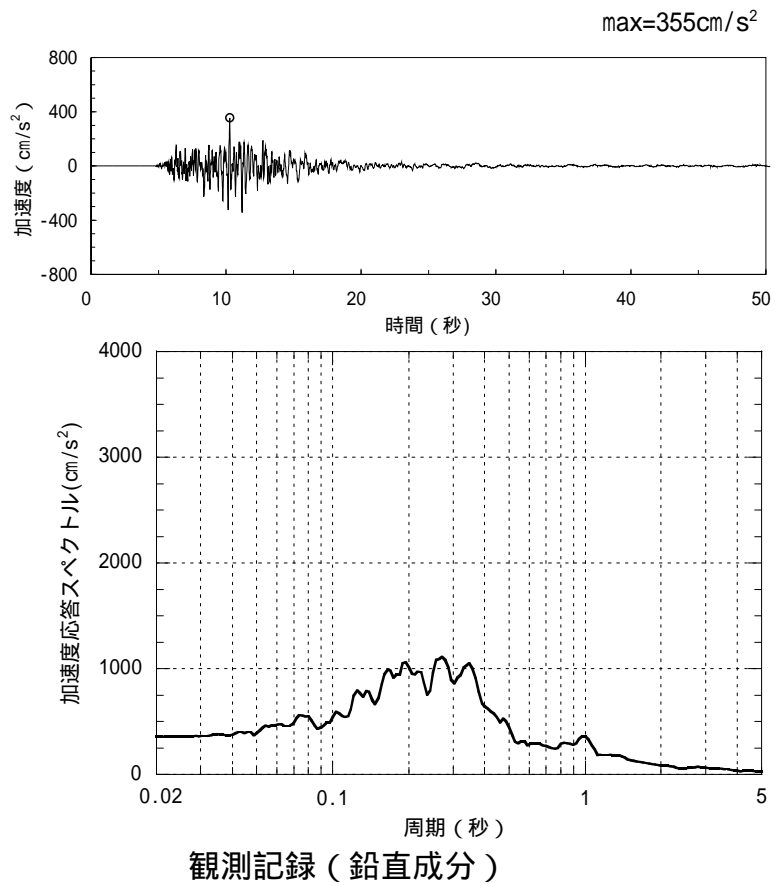
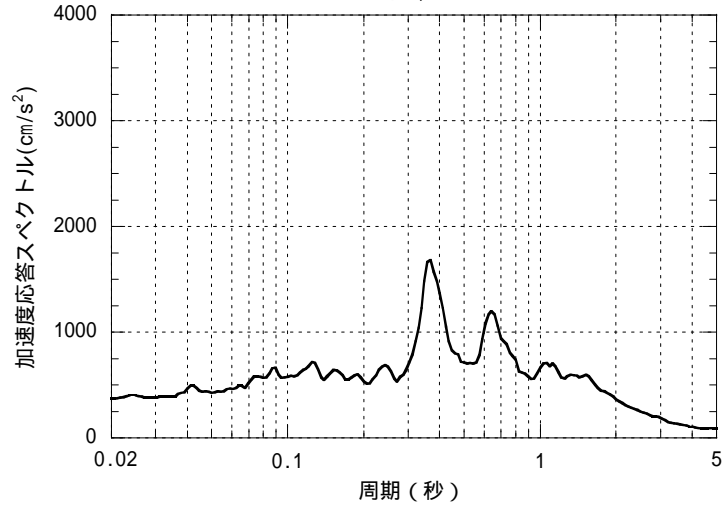
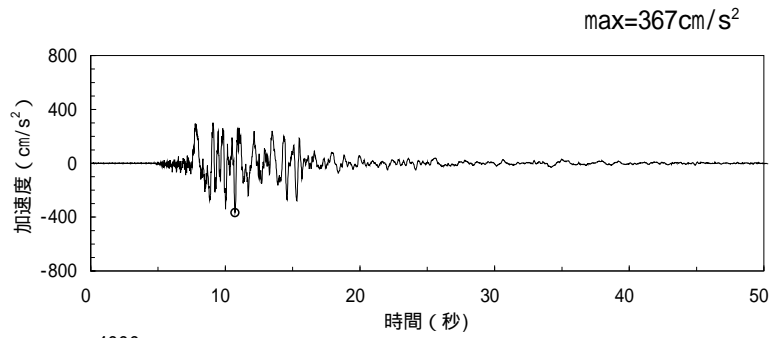
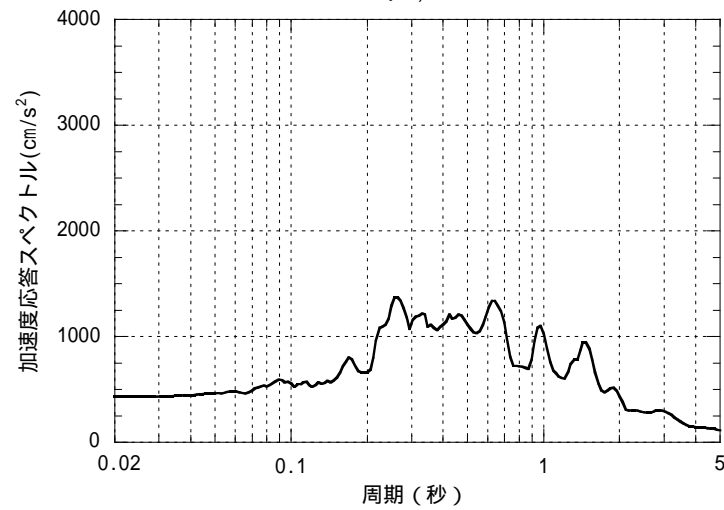
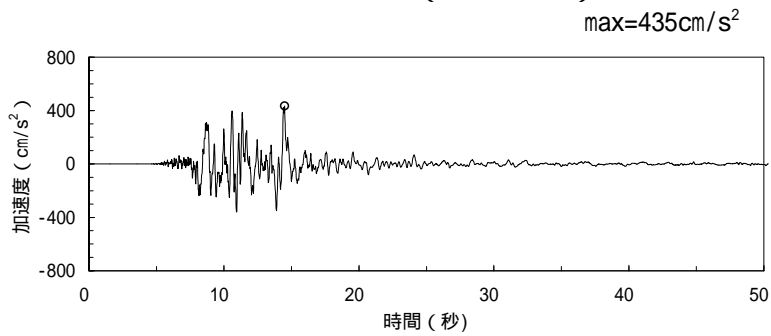


図-5.2.4 7号機原子炉建屋地下3階（基礎版上：7-R2観測点）の
 加速度時刻歴波形、加速度応答スペクトル（鉛直方向）

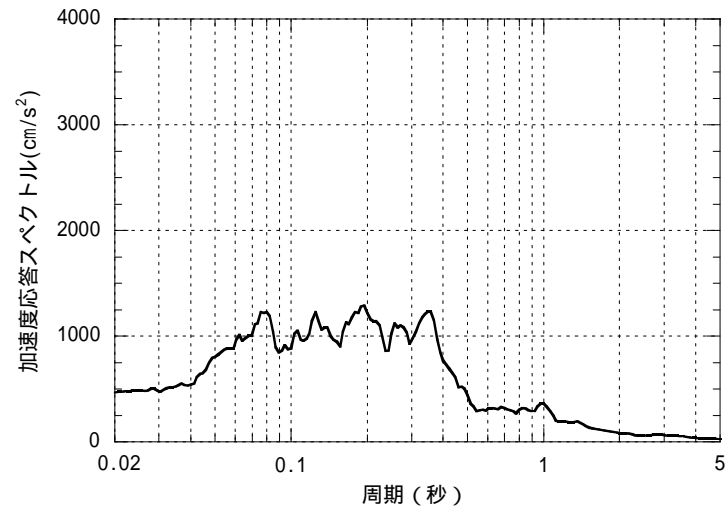
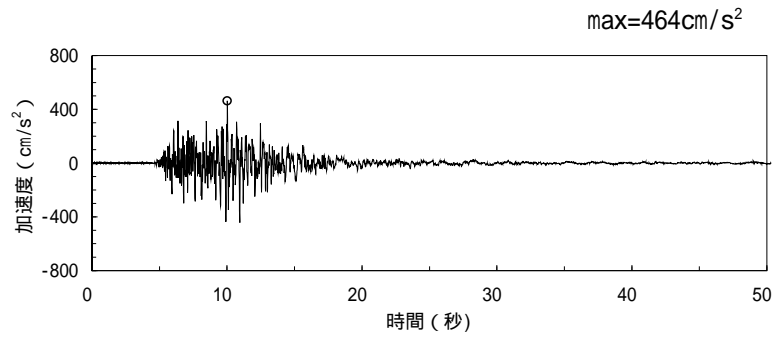


観測記録 (南北成分)



観測記録 (東西成分)

図-5.2.5 7号機原子炉建屋3階(中間階7-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)

図-5.2.6 7号機原子炉建屋3階 (中間階:7-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

本地震に対する原子炉建屋の地震応答解析は、地震時に観測した基礎マット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。

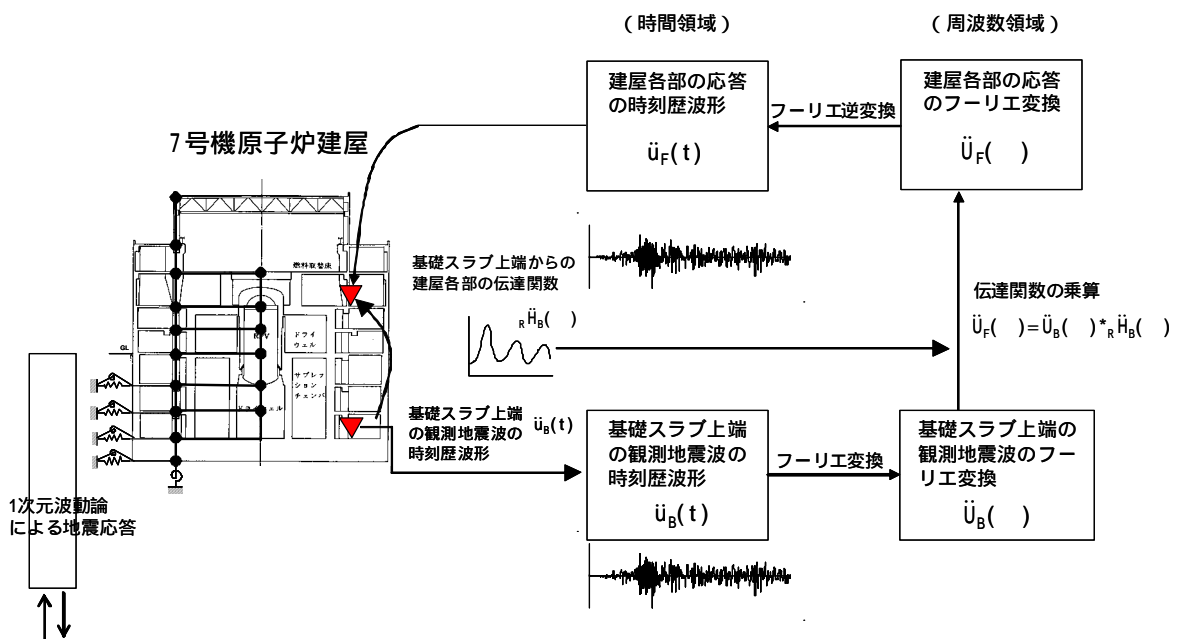


図-5.3.1 解析フロー図

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 2 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。

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。

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。

設計時には、建物と地盤の相互作用を反映するために側面ばねとして Novak の水平ばねを考慮していたが、Novak の回転ばねも新たに考慮することとする。

設計時には、地盤表層部も地盤ばねとして考慮していたが、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、この部分のばね評価を行わないこととする。

5.3.1. 地震応答解析モデル

(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マット上における水平方向の地震観測記録を用いた動的解析は、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 RCCV 部と外壁部に分けた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。なお、東西方向については、プール壁が RCCV 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、地盤ばねおよび対応する入力地震動によって評価される。

地盤は、水平成層地盤と仮定し、地震時のせん断ひずみ度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、振動アドミッ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。

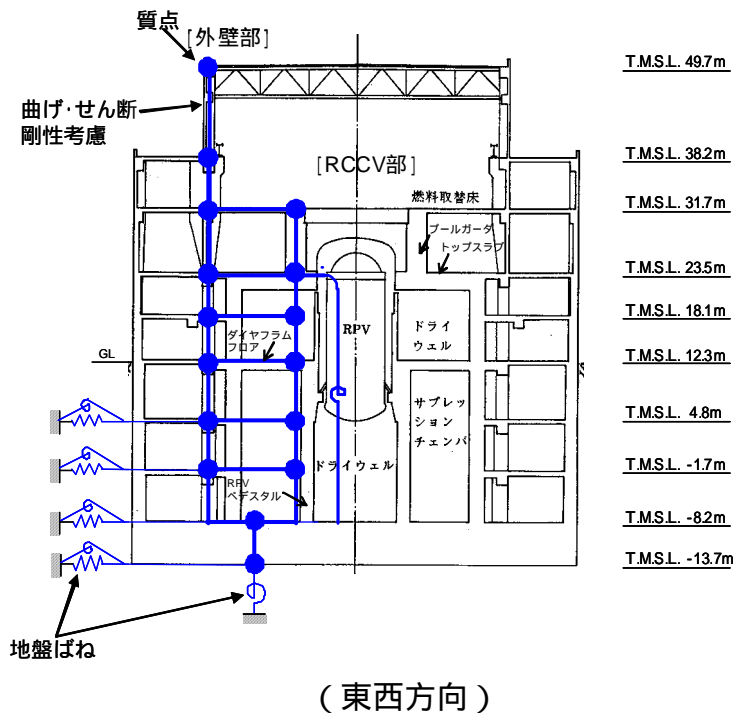
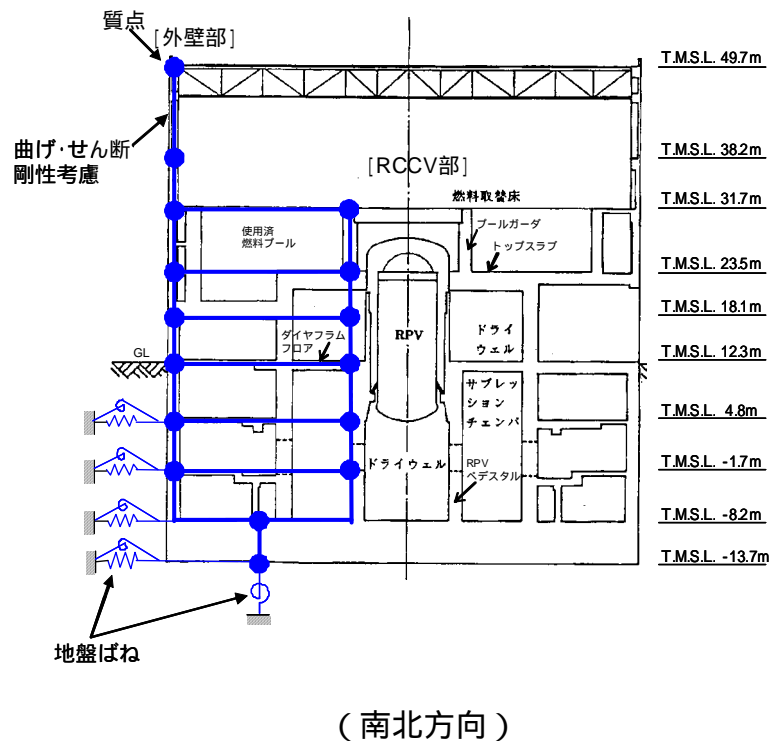


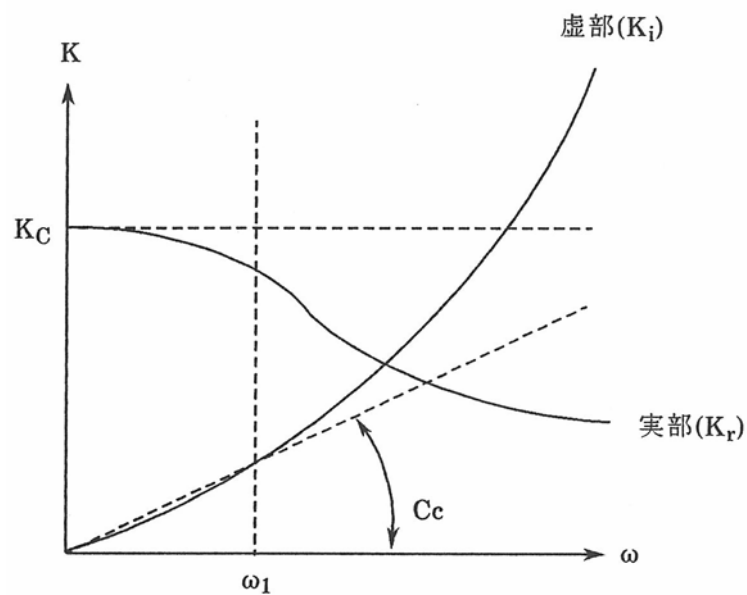
図-5.3.2 地震応答解析モデル (水平方向)

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	減衰定数 h
コンクリート	3.13×10^4	1.31×10^4	0.20	0.05

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 (kN/m ³)	ポアソン 比	初期せん断 弾性係数 G_0 (kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h (%)
+12.0	砂層	150	16.1	0.347	36,900	0.25	23
+8.0		200	16.1	0.308	65,700	0.25	23
+4.0	安田層	330	17.3	0.462	192,000	0.60	5
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	416,000	0.90	3
-33.0		530	16.6	0.446	475,000	0.90	3
-90.0		590	17.3	0.432	614,000	0.90	3
-136.0		650	19.3	0.424	832,000	0.90	3
-155.0 解放基盤	西山層	720	19.9	0.416	1,050,000	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

(2) 鉛直方向の地震応答解析モデル

鉛直方向の地震観測記録を用いた動的解析については、水平方向の解析モデルに用いた解析諸元を基に新たに構築した解析モデルを基本としている。

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、軸変形をする外壁・RCCV 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対応する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、振動アドミッ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。

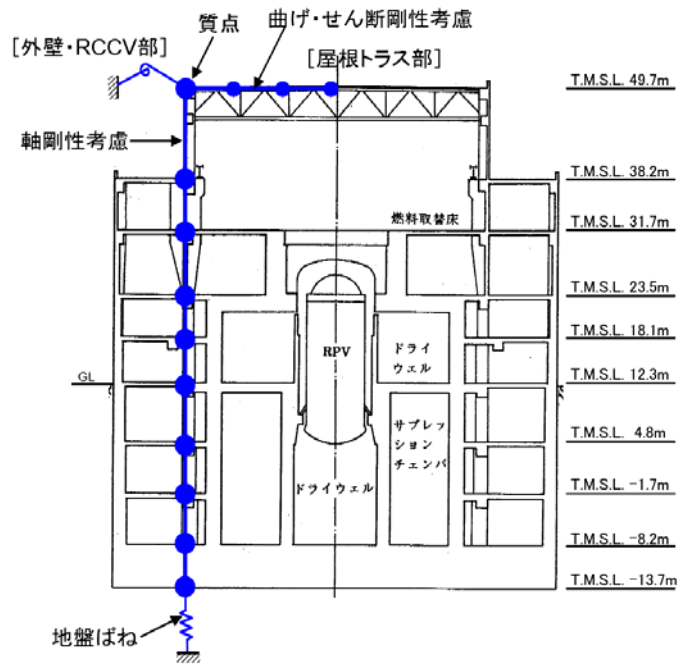


図-5.3.4 地震応答解析モデル（鉛直方向）

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	減衰定数 h
コンクリート	3.13×10^4	1.31×10^4	0.20	0.05
鉄 骨	2.05×10^5	7.90×10^4	0.30	0.02

5.3.2.地震応答解析結果

(1) 地震応答解析の妥当性の確認

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-5.3.5 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-5.3.6～図-5.3.8 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結果と解析結果は、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、概ね観測結果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、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。

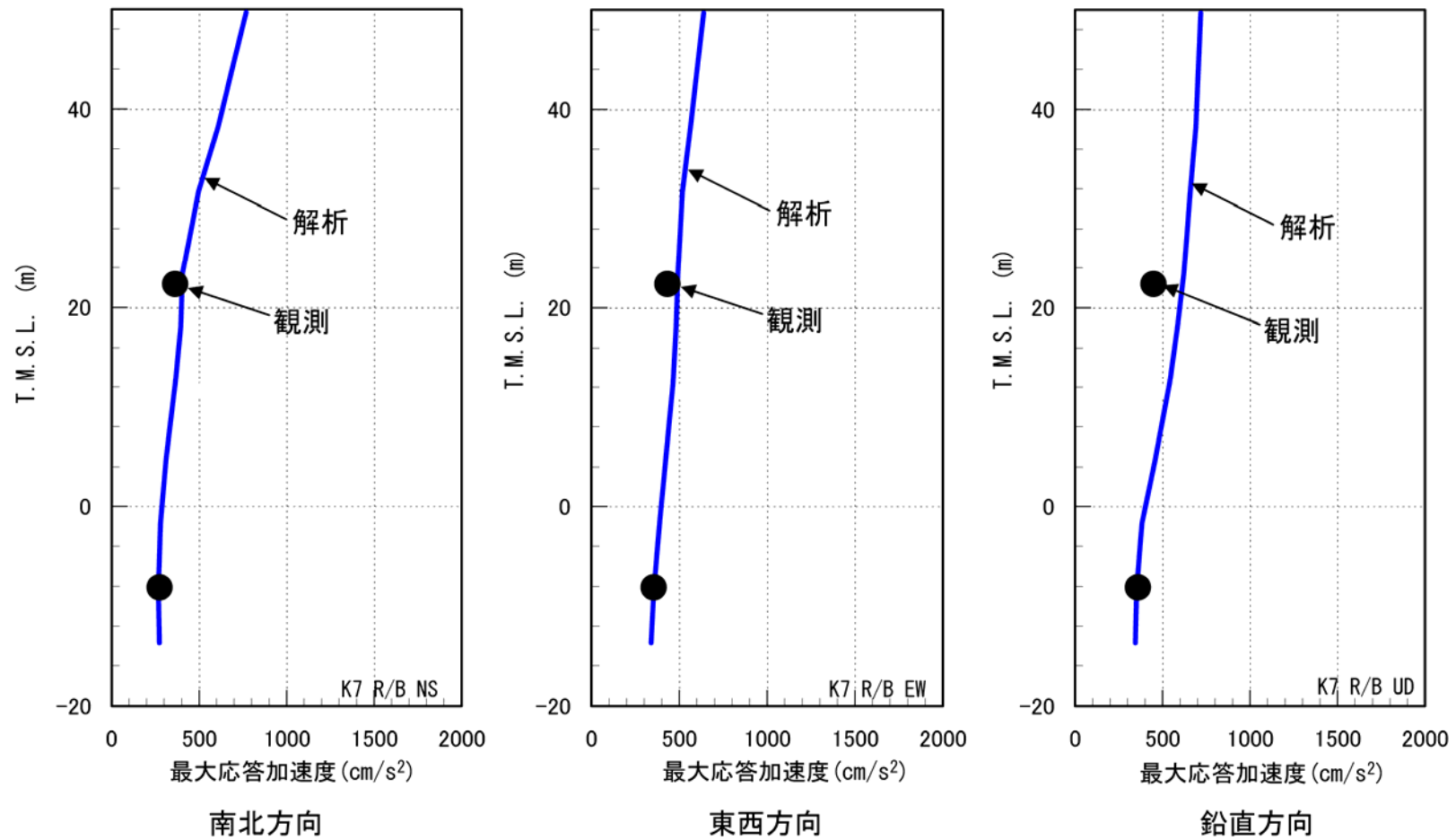


図-5.3.5 最大応答加速度の比較

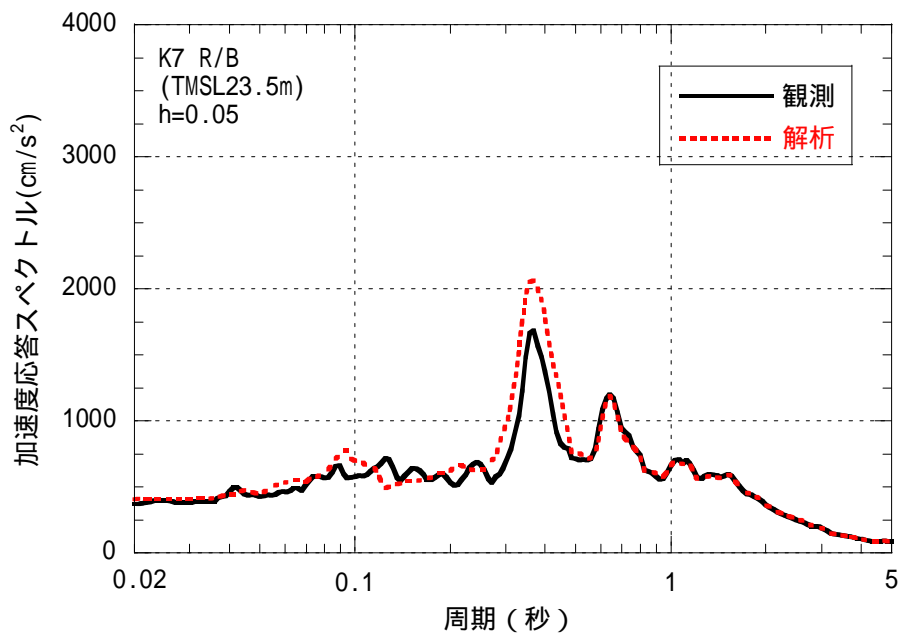
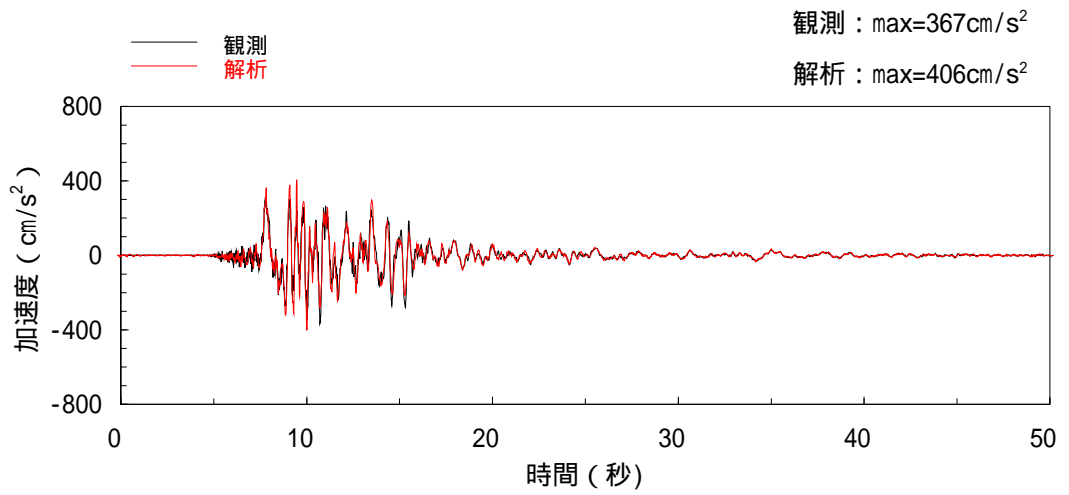


図-5.3.6 加速度応答波形および加速度応答スペクトルの比較
 中間階 (T.M.S.L. 23.5m) 南北方向

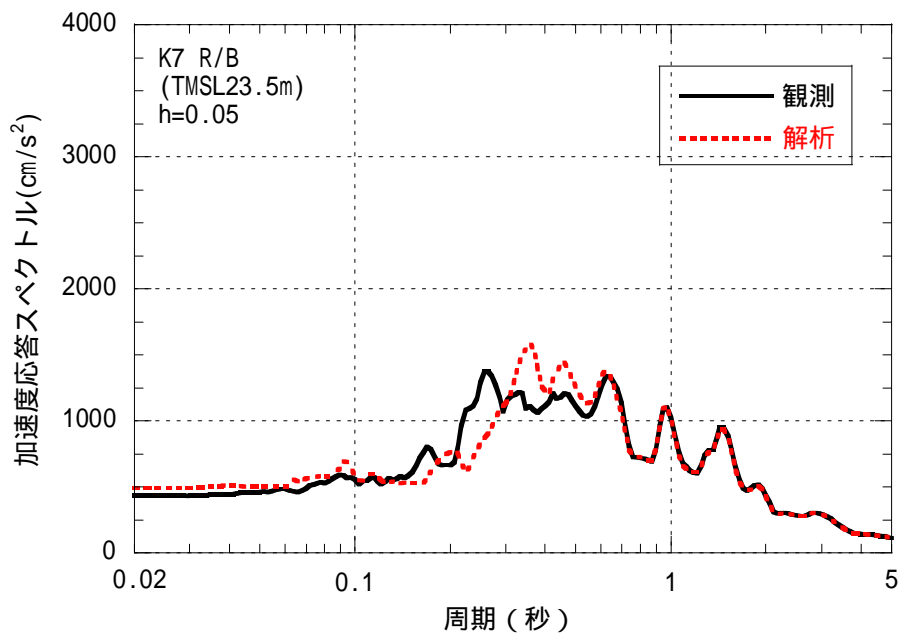
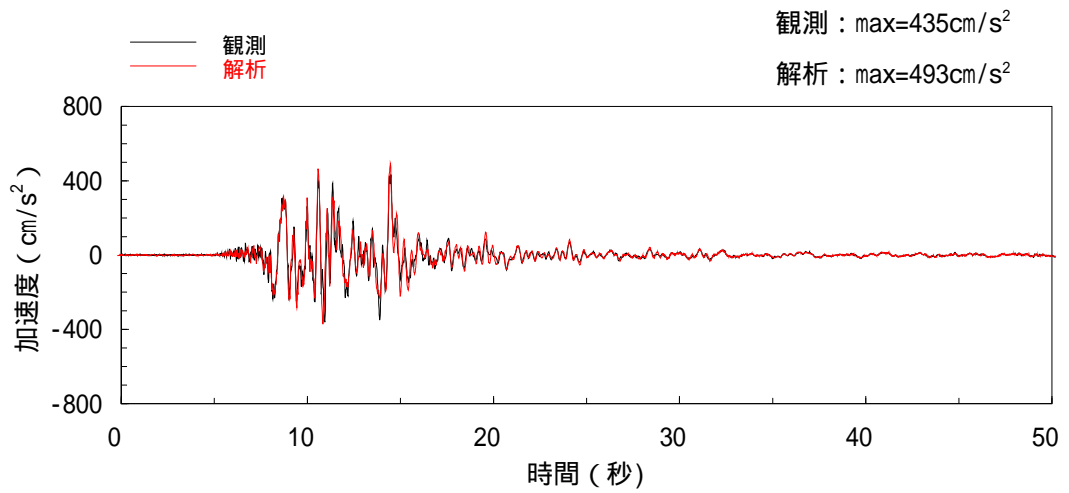


図-5.3.7 加速度応答波形および加速度応答スペクトルの比較
中間階 (T.M.S.L. 23.5m) 東西方向

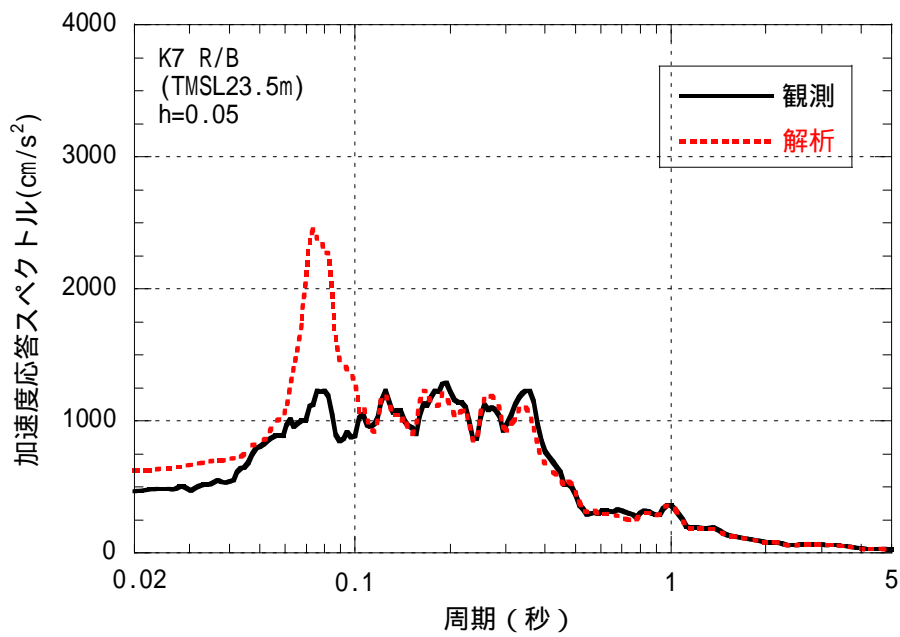
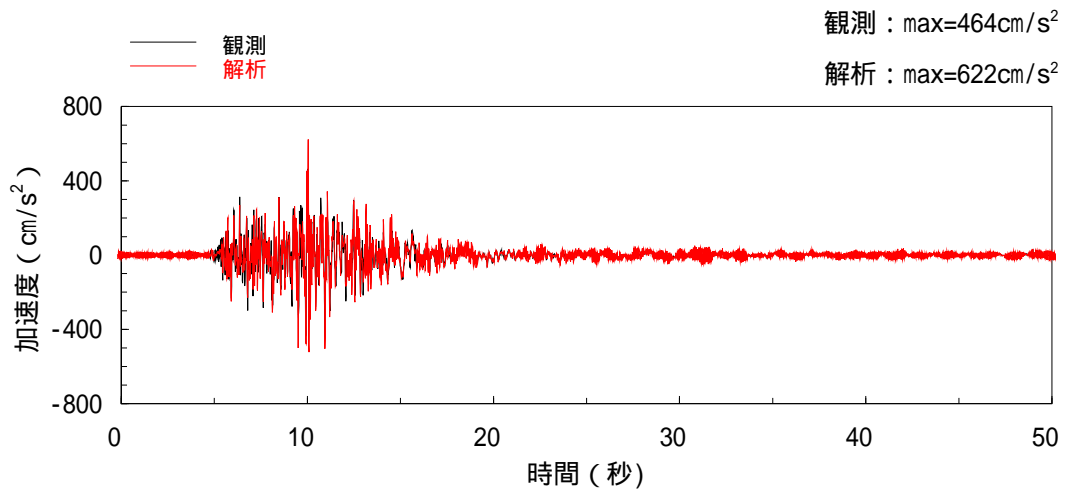


図-5.3.8 加速度応答波形および加速度応答スペクトルの比較
中間階 (T.M.S.L. 23.5m) 鉛直方向

5.4. 耐震健全性評価結果

5.4.1. 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度を、設計配筋量によって負担できるせん断応力度 ($p_w \cdot \sigma_y$) と併せて図-5.4.1 および図-5.4.2 に示す。これより、各階のせん断応力度は、設計配筋量によって負担できる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-5.4.3 および図-5.4.4 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-5.4.1～図-5.4.4 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。

以上より、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、耐震健全性は確保されていると評価した。

- 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)

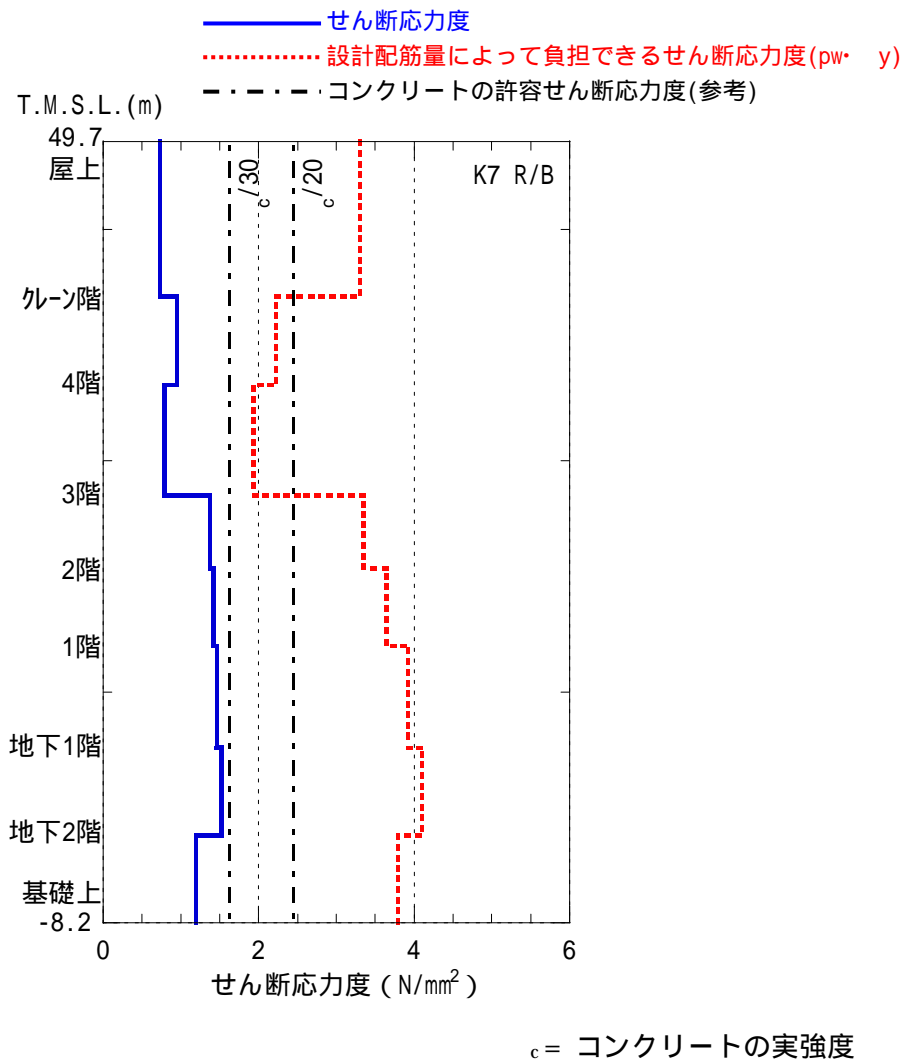
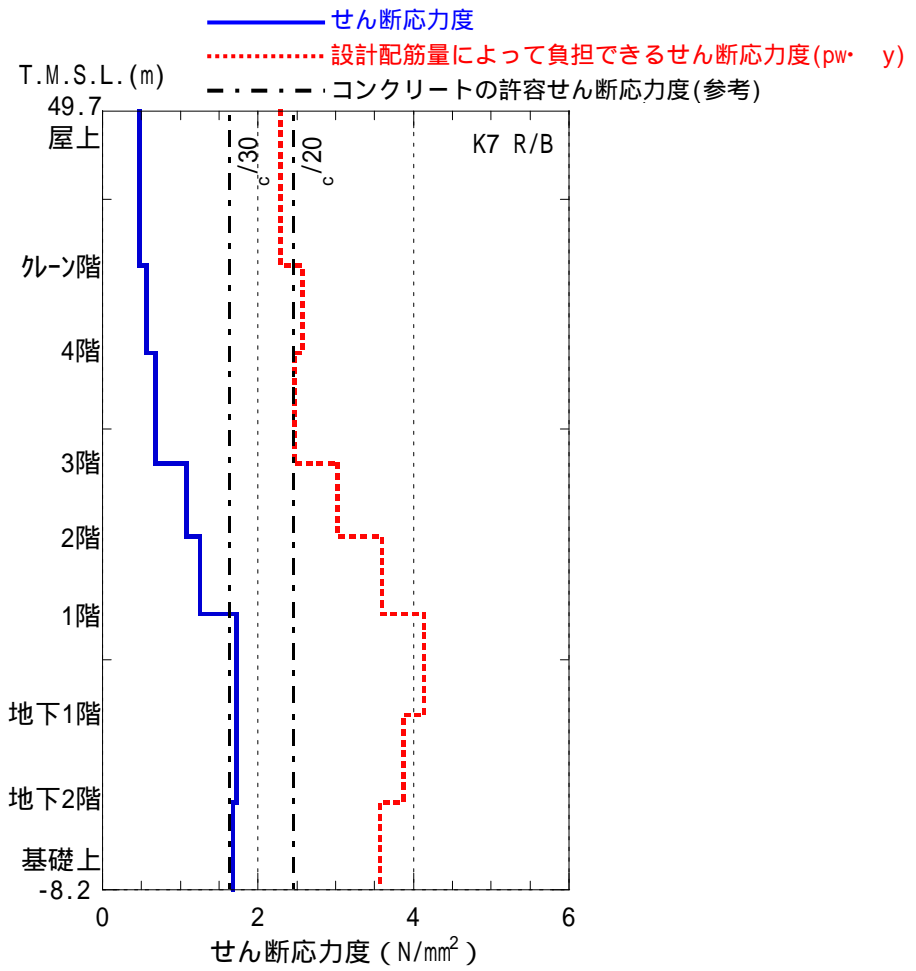


図-5.4.1 原子炉建屋 耐震壁のせん断応力度 (南北方向)



c = コンクリートの実強度

図-5.4.2 原子炉建屋 耐震壁のせん断応力度 (東西方向)

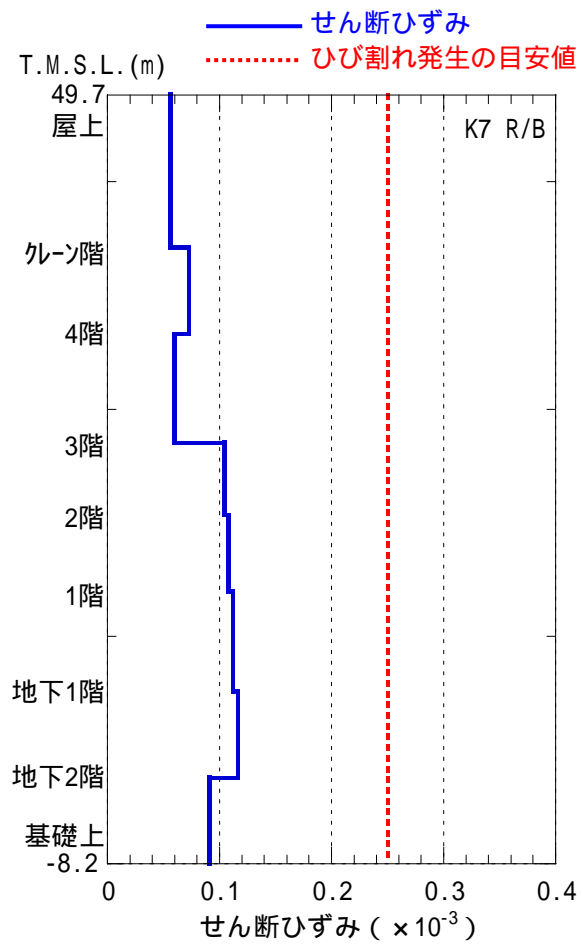


図-5.4.3 原子炉建屋 耐震壁のせん断ひずみ (南北方向)

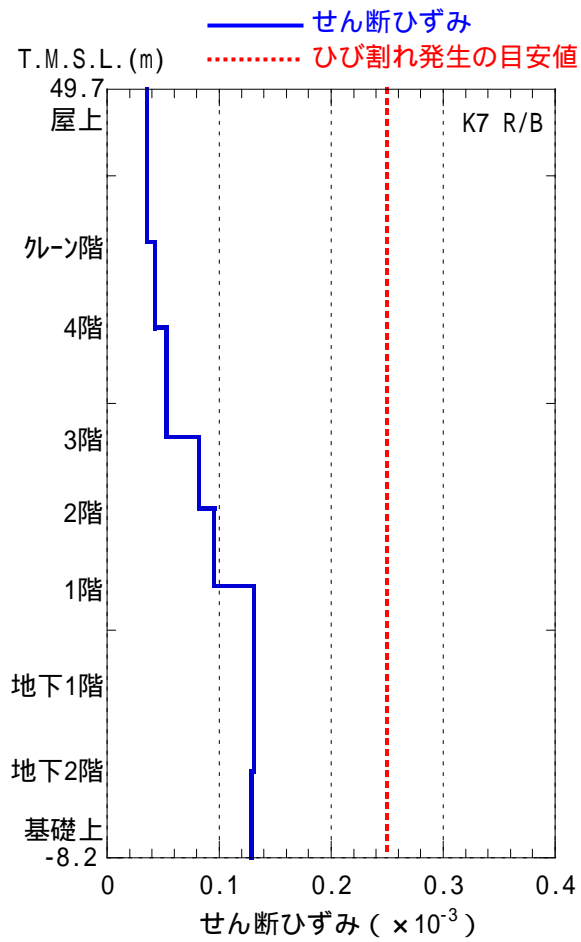


図-5.4.4 原子炉建屋 耐震壁のせん断ひずみ (東西方向)

5.4.2. RCCV の鉄筋コンクリート部

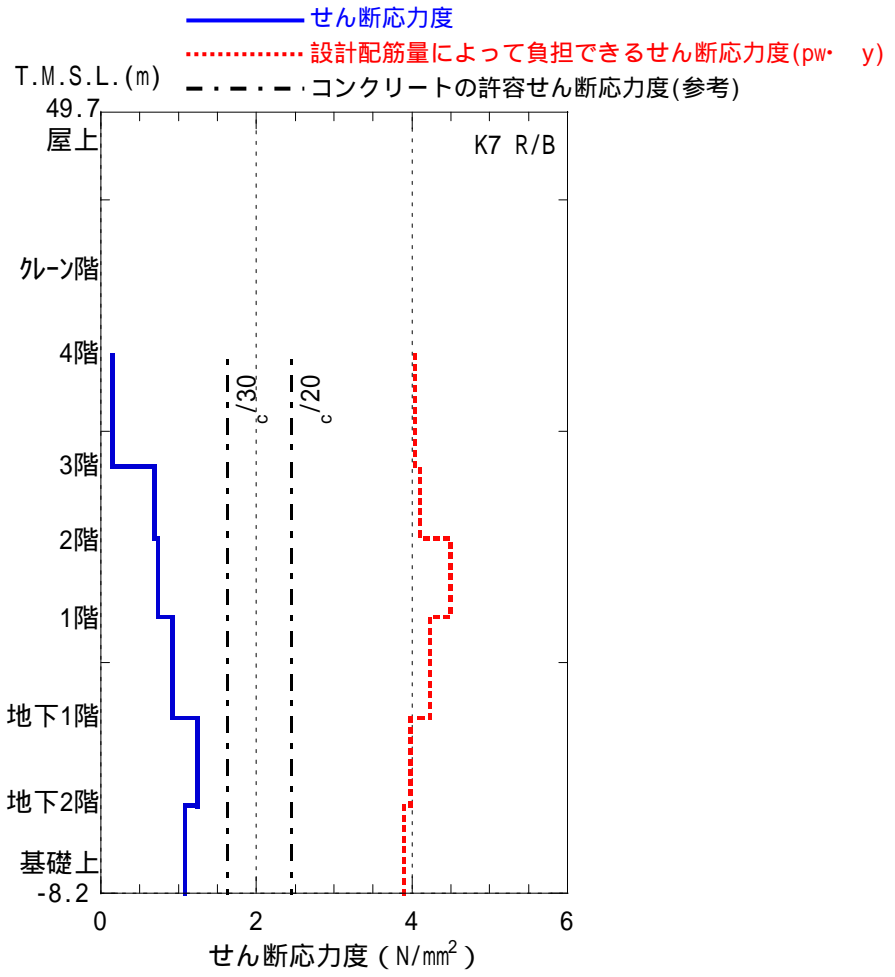
解析により得られた各階のせん断応力度を、RCCV の鉄筋コンクリート部の設計配筋量によって負担できるせん断応力度 ($p_w \cdot \sigma_y^{-1}$) と併せて図-5.4.5 および図-5.4.6 に示す。これより、各階のせん断応力度は、設計配筋量によって負担できるせん断応力度に対して 20%以上余裕のあることが分かる。

また、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-5.4.7 および図-5.4.8 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-5.1.20～図-5.1.23 に示す RCCV については、RCCV の近傍に存在する原子炉建屋の補助壁の分を含めて評価している。

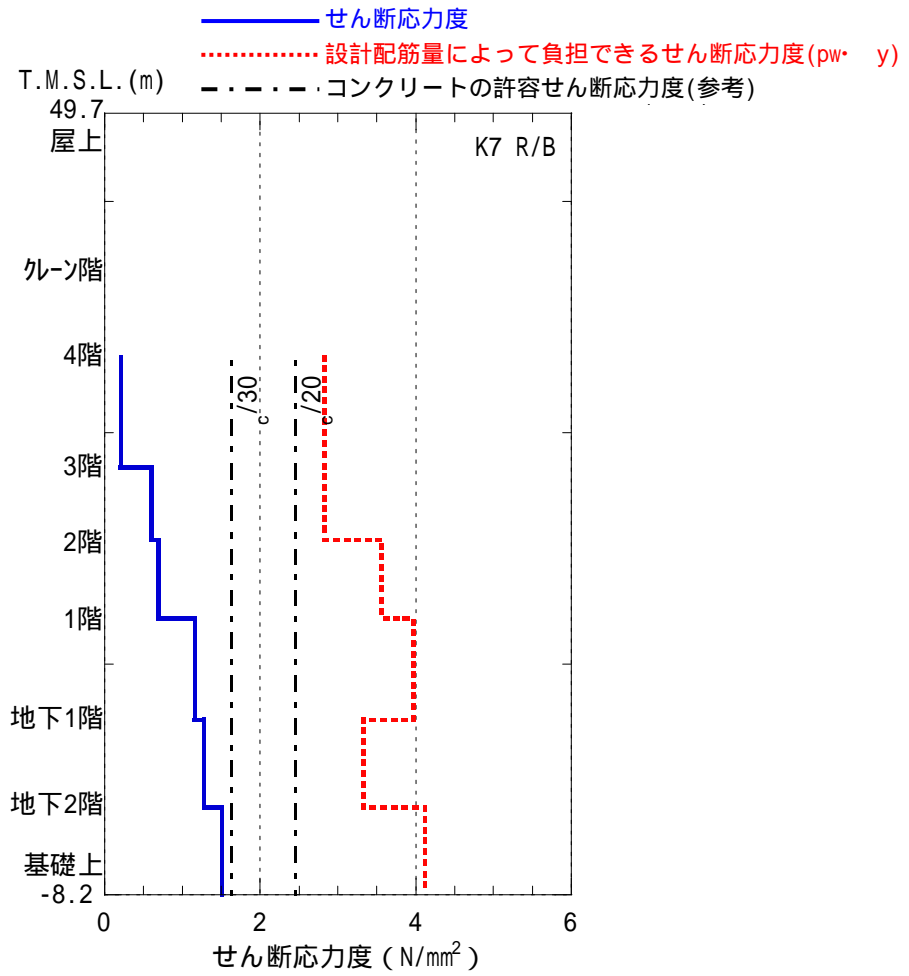
以上より、RCCV の鉄筋コンクリート部は概ね弾性範囲にあると判断され、耐震健全性は確保されていると評価した。

- 1 : p_w シェル部の設計鉄筋比
y 鉄筋の荷重状態 における許容引張応力度 (SD390 : 390N/mm²)



c = コンクリートの実強度

図-5.4.5 RCCVの鉄筋コンクリート部のせん断応力度 (南北方向)



c = コンクリートの実強度

図-5.4.6 RCCVの鉄筋コンクリート部のせん断応力度(東西方向)

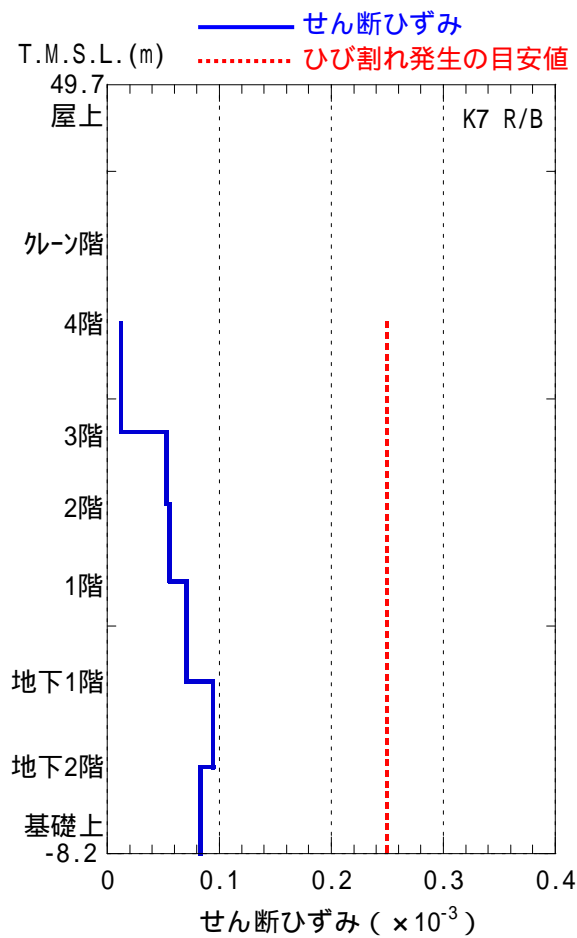


図-5.4.7 RCCV の鉄筋コンクリート部のせん断ひずみ (南北方向)

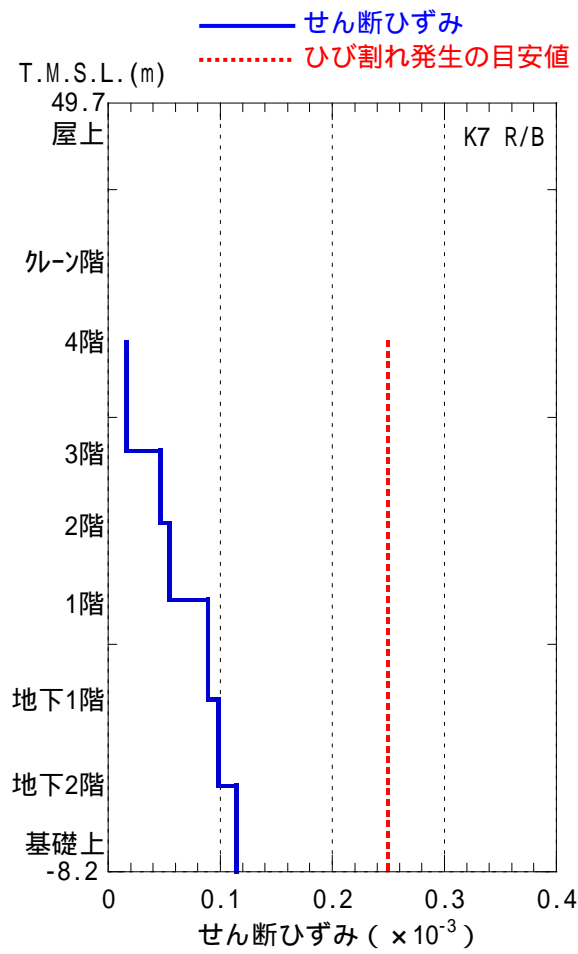


図-5.4.8 RCCVの鉄筋コンクリート部のせん断ひずみ(東西方向)

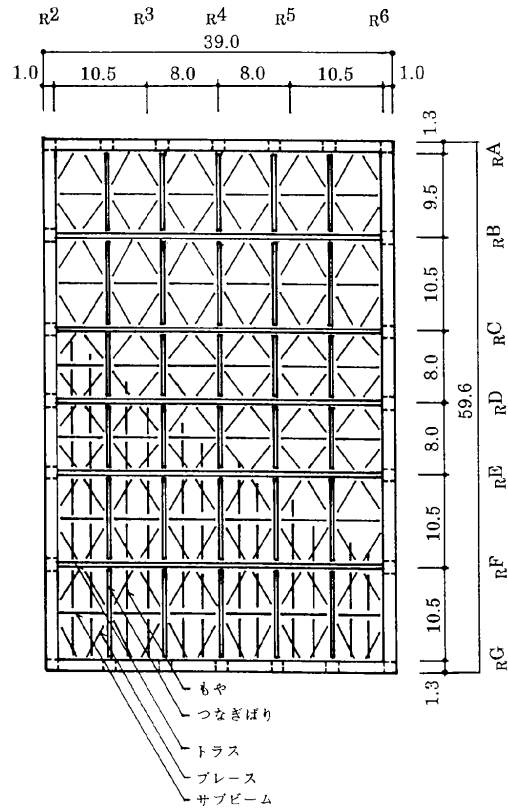
5.4.3. 屋根トラスの鉄骨部

(1) 屋根トラスの概要

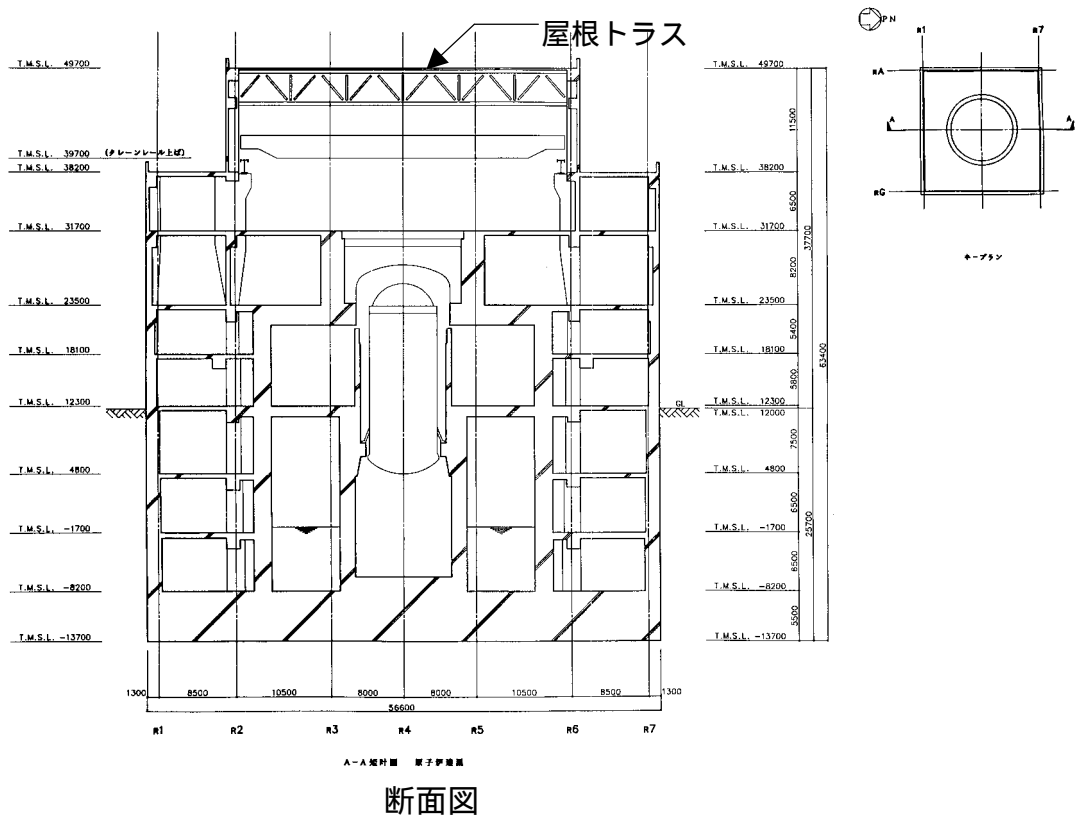
7号機原子炉建屋の上部構造は、鉄骨造陸屋根をもつ屋根トラスで構成されている。屋根トラスの平面は、39.0m(南北)×59.6m(東西)の長方形をなしており、オペフロレベル(T.M.S.L. 31.7m)からの高さは18.0mである。

屋根トラスの概要を図-5.4.9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. 49.7m)



断面図

図-5.4.9 7号機屋根トラスの概要

(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. 31.7m) 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。

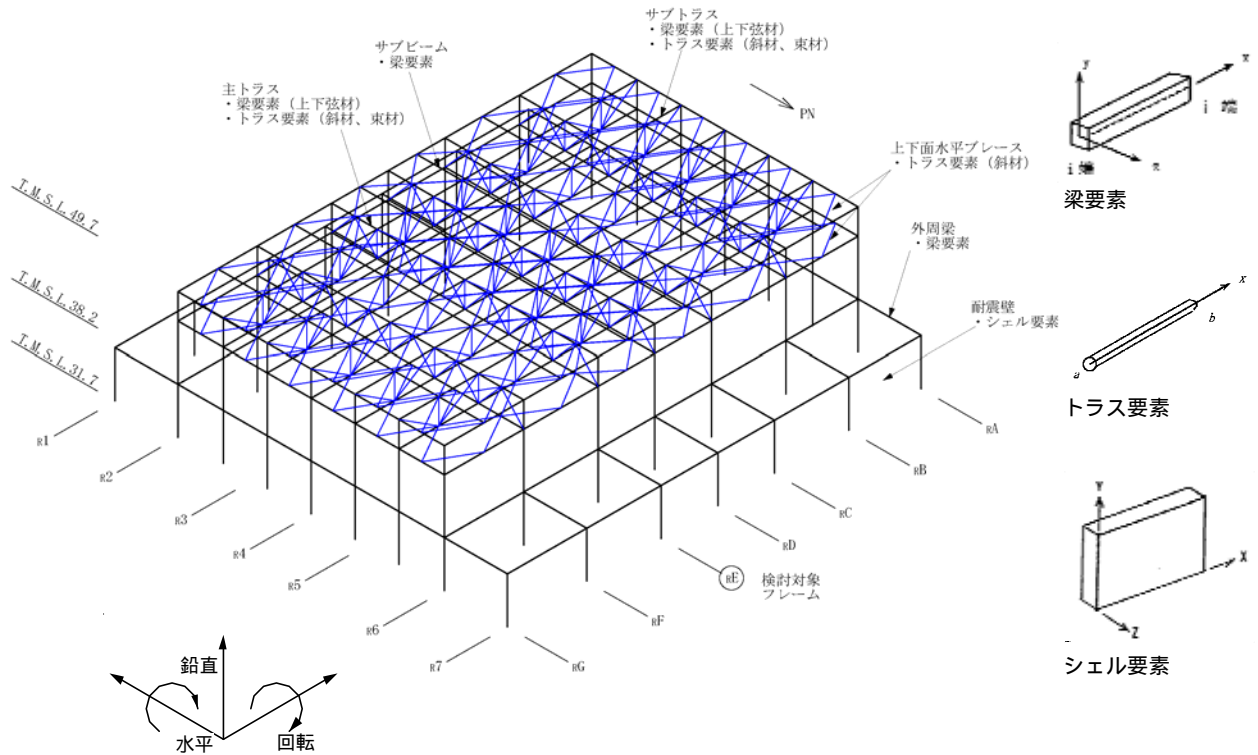
母屋、胴縁を除く構造部材を全てモデル化する。屋根トラス部は、主トラス、サブトラス、屋根上下面水平ブレース、サブビームをモデル化する。各鉄骨部材は軸、曲げ変形を考慮した梁要素 (トラスの上下弦材) と軸変形のみを考慮したトラス要素 (屋根面水平ブレース、トラスの斜材、束材等) としてモデル化する。また、耐震壁及び外周梁は各々シェル要素及び軸、曲げ変形を考慮した梁要素としてモデル化し、耐震壁の開口部についても考慮する。柱脚の条件は固定とする。

解析モデルの概要を図-5.4.10 に示す。また、解析に用いる材料の物性値を表-5.4.1 に示す。

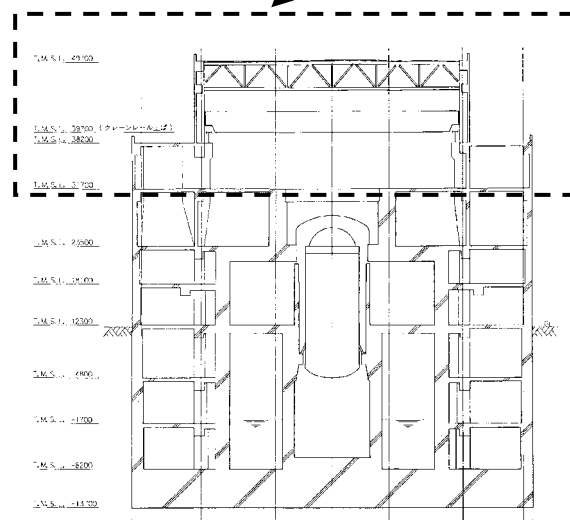
解析モデルへの入力は、前述した原子炉建屋全体の地震応答解析結果から得られるオペフロレベル (T.M.S.L. 31.7m) の応答結果を用いることとし、オペフロ位置を固定として入力する (水平 2 成分、鉛直成分、回転 2 成分)。

このうち、水平 2 成分と鉛直成分の加速度波形を、図-5.4.11 に、回転 2 成分を図-5.4.12 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 0.02、コンクリート造の減衰として 0.05 を与えることとしている)。



屋根トラスモデル化範囲

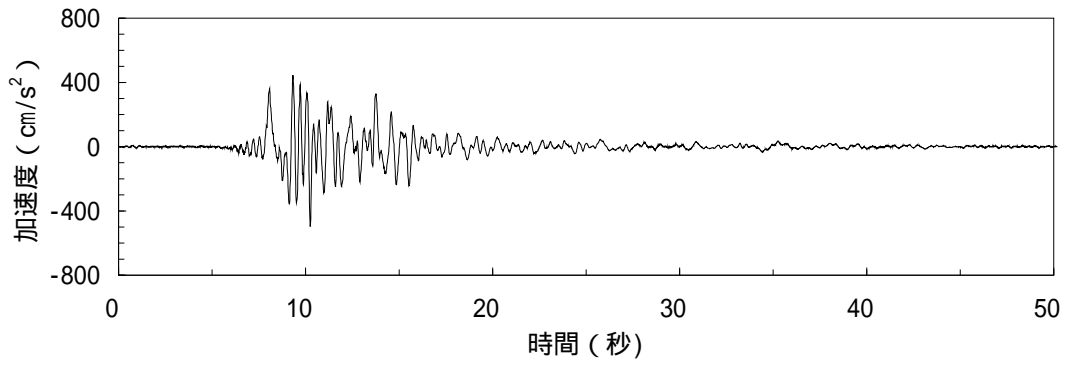


断面図

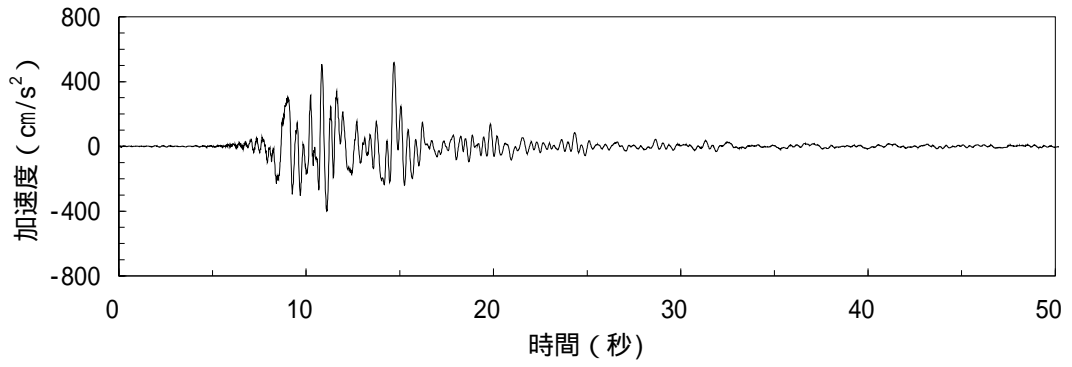
図-5.4.10 屋根トラス（オペフロ上部架構）の解析モデル図と入力イメージ

表-5.4.1 解析に用いた材料定数

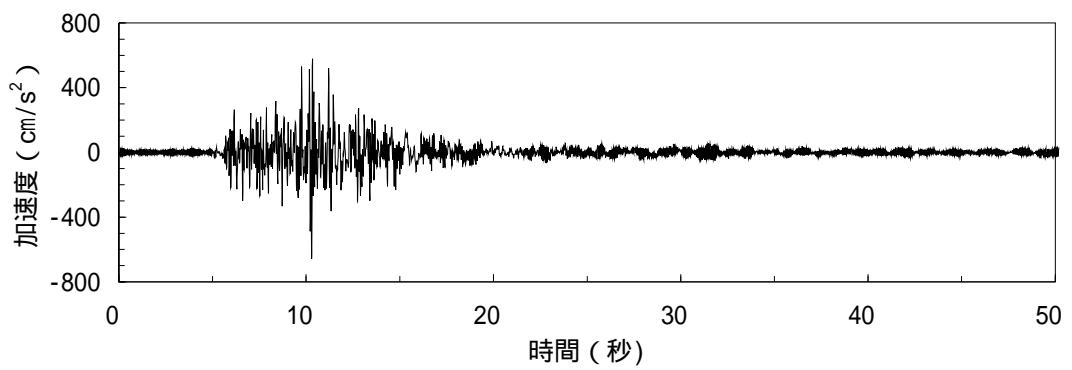
部位	材料	ヤング係数 N/mm ²	ポアソン比	単位体積重量 kN/m ³	減衰定数 h
屋根トラス	鉄骨	2.05 × 10 ⁵	0.3	77.0	0.02
躯体	コンクリート	3.13 × 10 ⁴	0.2	25.0	0.05



(a) 南北方向

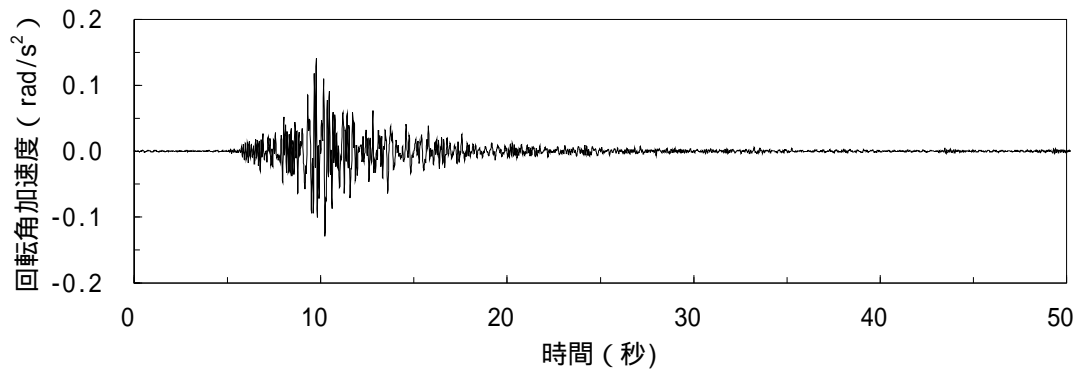


(b) 東西方向

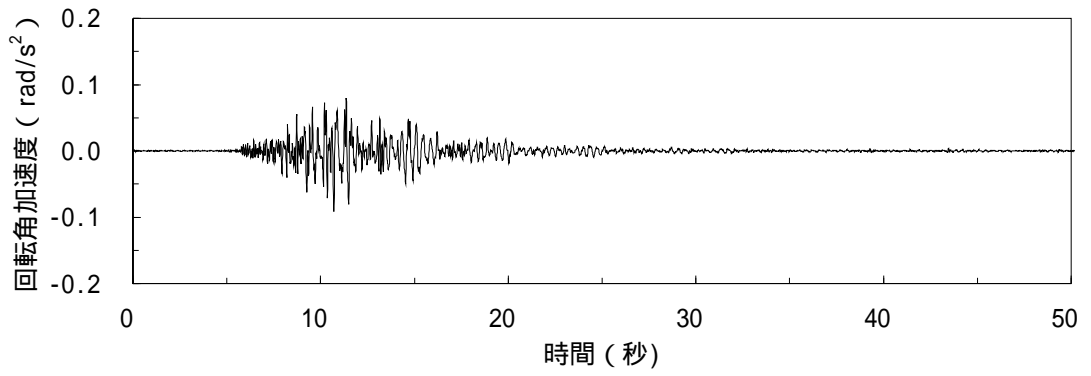


(c) 鉛直方向

図-5.4.10 屋根トラスへの入力地震動（水平、鉛直成分）



(d) 南北方向



(e) 東西方向

図-5.4.11 屋根トラスへの入力地震動 (回轉成分)

(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)

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

ここに、 $s\sigma_N$: 地震時における部材の軸応力度

$s\sigma_b$: 地震時における部材の曲げ応力度

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)

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

ここに、 $s\sigma_N$: 地震時における部材の軸応力度

$s\sigma_b$: 地震時における部材の曲げ応力度

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度と評価基準値の比（発生応力度 / 評価基準値）が最も大きい部材を含む_RE 通りについて、評価部位を図-5.4.12 に、評価結果を表-5.4.2 に示す。

屋根トラスについて各部材の発生応力度は、評価基準値以下であり、耐震健全性は確保されている。

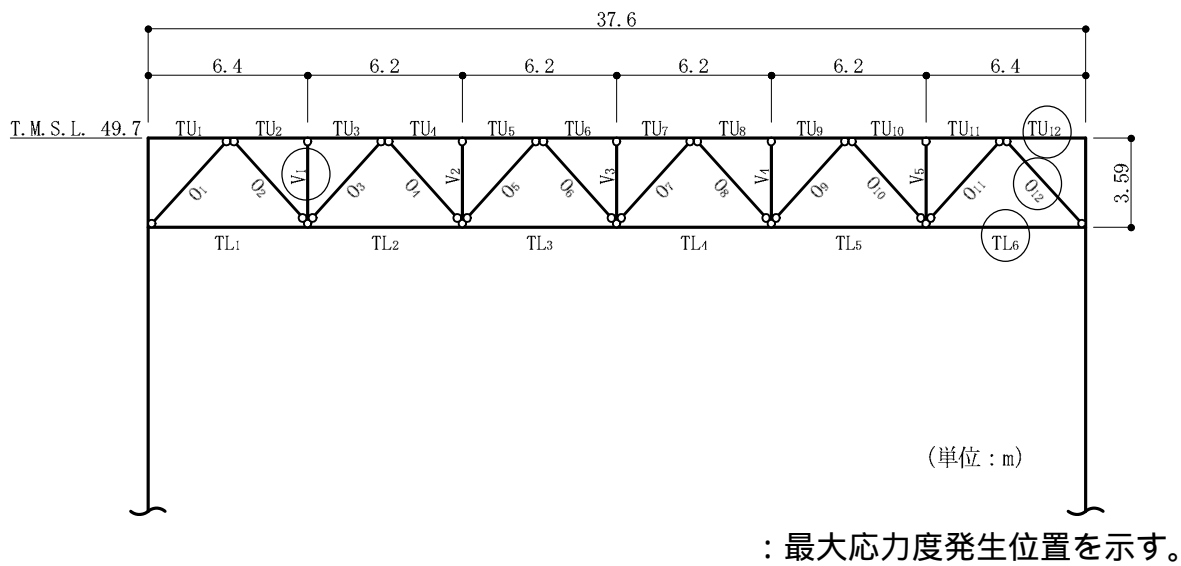


図-5.4.12 評価部位 (_RE 通り)

表-5.4.2 最大応力度比(_RE 通り)

部 材		発生応力度 (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)	発生応力度 / 評価基準値	位 置
上弦材	(引張)	50.9	325.0	0.22	TU12
	(曲げ)	21.2	325.0		
下弦材	(圧縮)	65.4	228.0	0.42	TL6
	(曲げ)	44.3	325.0		
斜 材	(圧縮)	103.3	273.0	0.38	O ₁₂
束 材	(圧縮)	22.4	166.0	0.13	V ₁

6. 総合評価

6.1 総合評価の方法

「4.点検」及び「5.原子炉建屋の耐震健全性評価」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）。

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。

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。

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）	・ 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。 ・ 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。

また、今回の新潟県中越沖地震で発生したものと評価し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。

なお、今回の報告は原子炉建屋に限定した総合評価であり、残りのタービン建屋、排気筒、及び非常用取水路の点検作業の終了後に最終的な総合評価を行うものとする。

7. 添付資料・参考資料一覧

添付資料 1 7号機原子炉建屋ひび割れ状況図

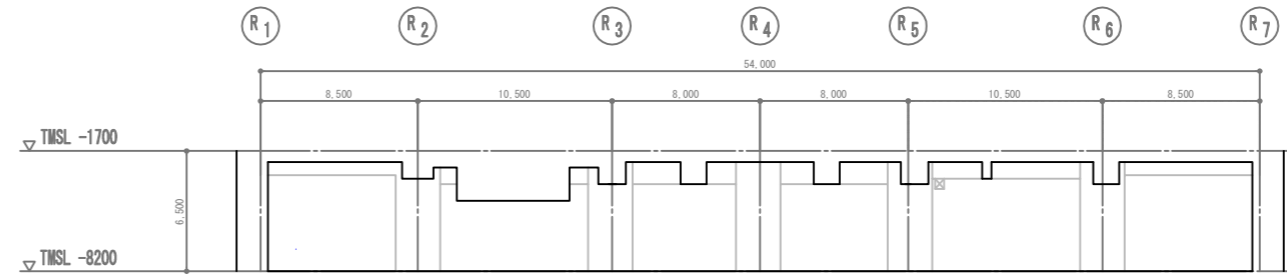
添付資料 2 コンクリートの実強度に基づくヤング係数の評価方法

添付資料 3 補助壁の評価について（7号機原子炉建屋）

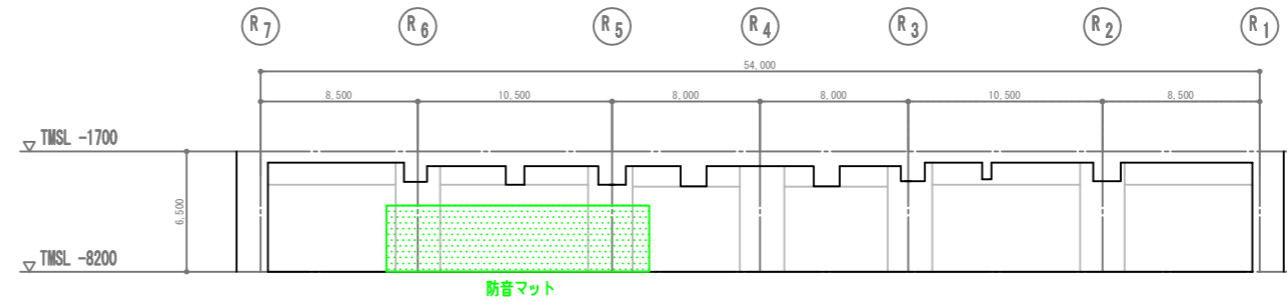
参考資料 1 地震応答解析結果

参考資料 2 追加検討モデルによる応答結果比較

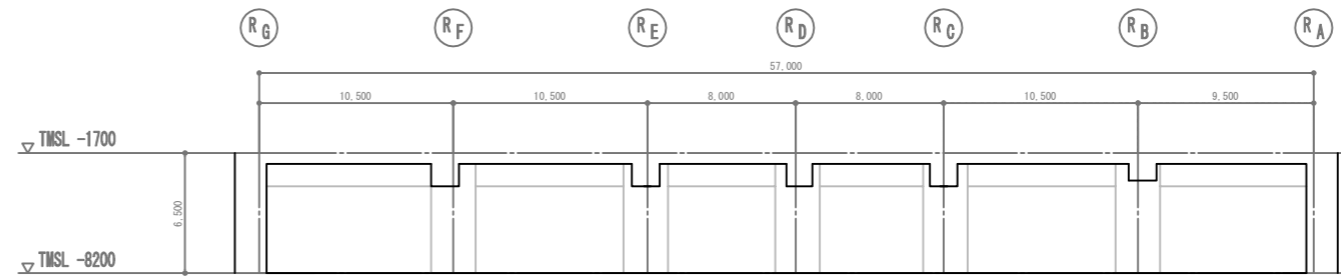
K7-B3F-A-E



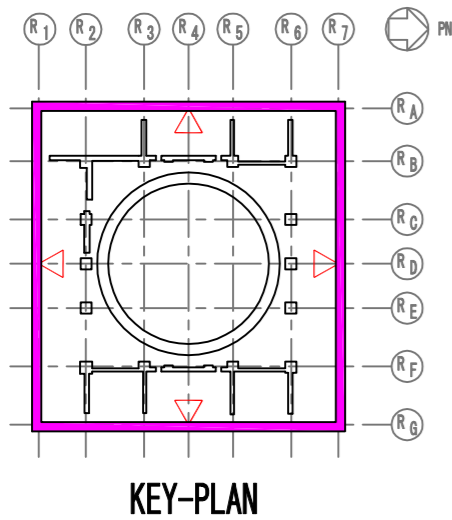
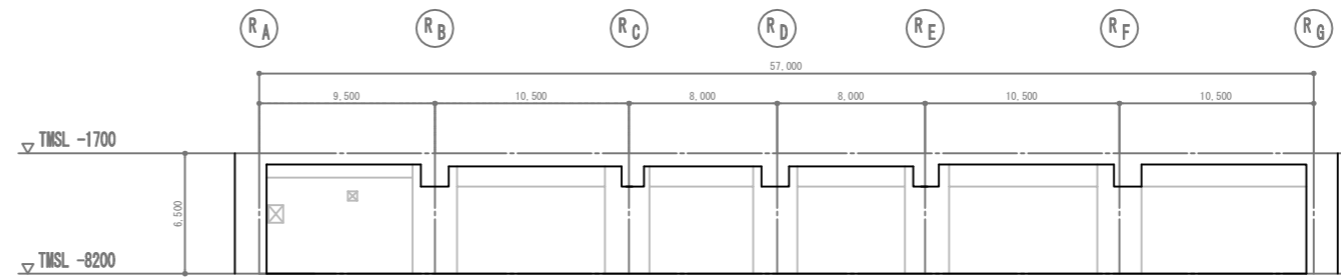
K7-B3F-G-W



K7-B3F-1-N



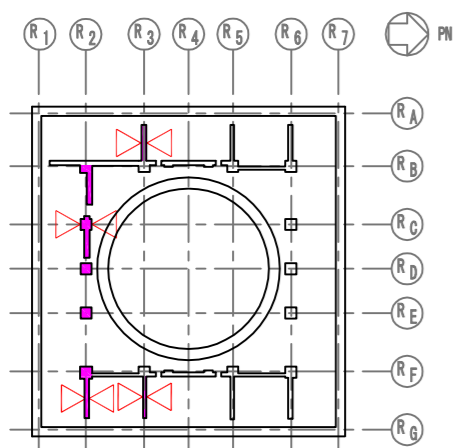
K7-B3F-7-S



- 凡 例
- 地震によるひび割れ
 - 目視点検が困難な範囲

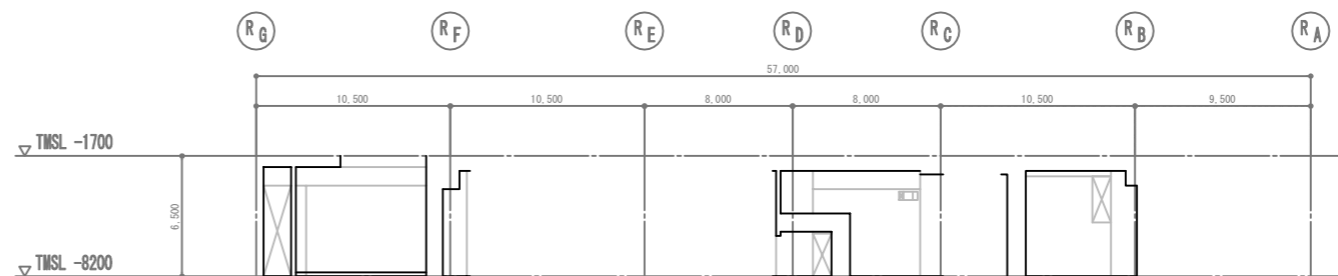
ひび割れ調査図 (展開図)

建屋名	7号機原子炉建屋	階数	地下3階	部位	外部耐震壁 - R1, R7, RA, RG通り
-----	----------	----	------	----	--------------------------

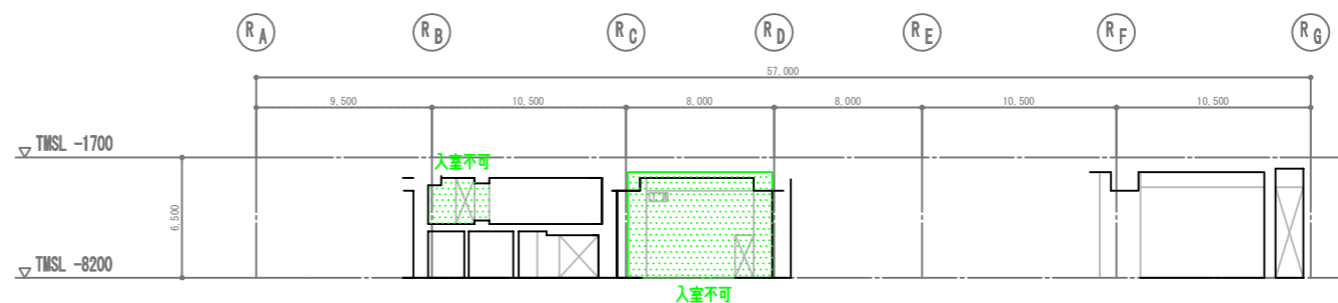


KEY-PLAN

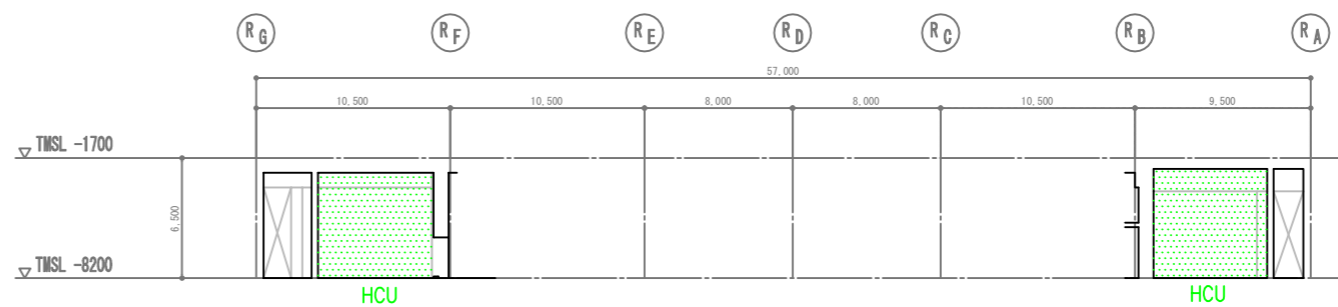
K7-B3F-2-N



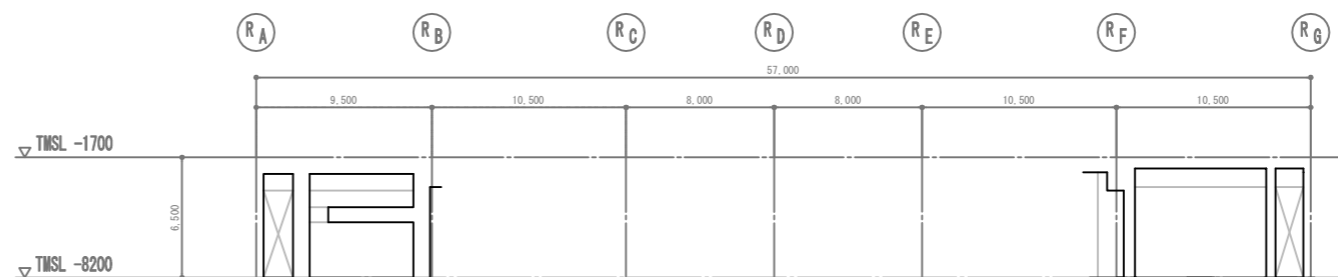
K7-B3F-2-S



K7-B3F-3-N



K7-B3F-3-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

7号機原子炉建屋

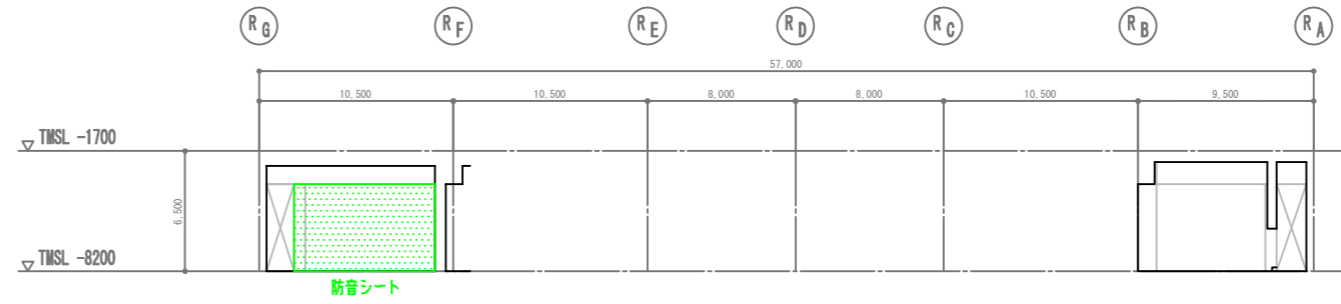
階数

地下3階

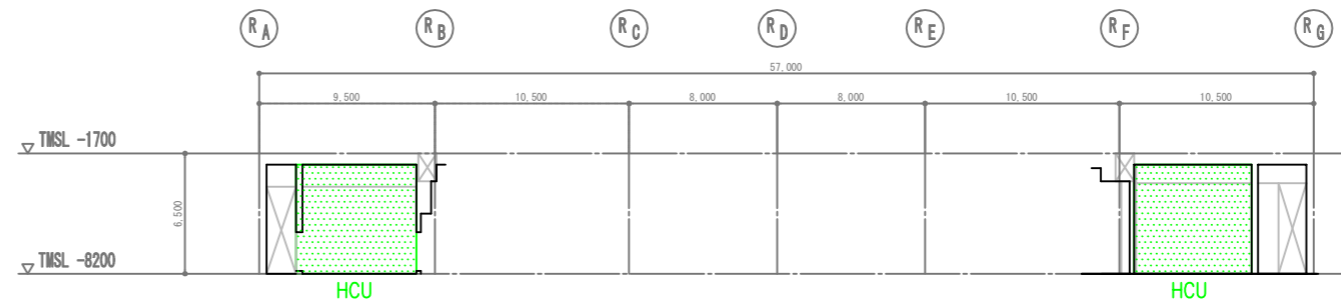
部位

内部耐震壁 - R2, R3通り

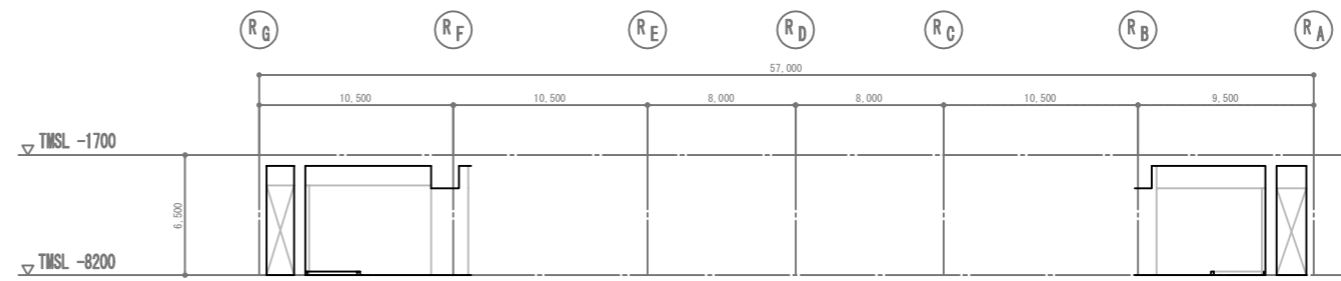
K7-B3F-5-N



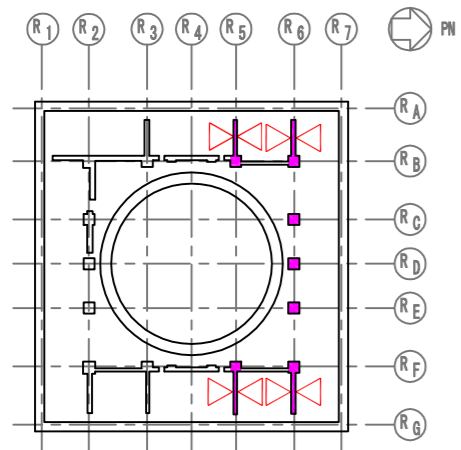
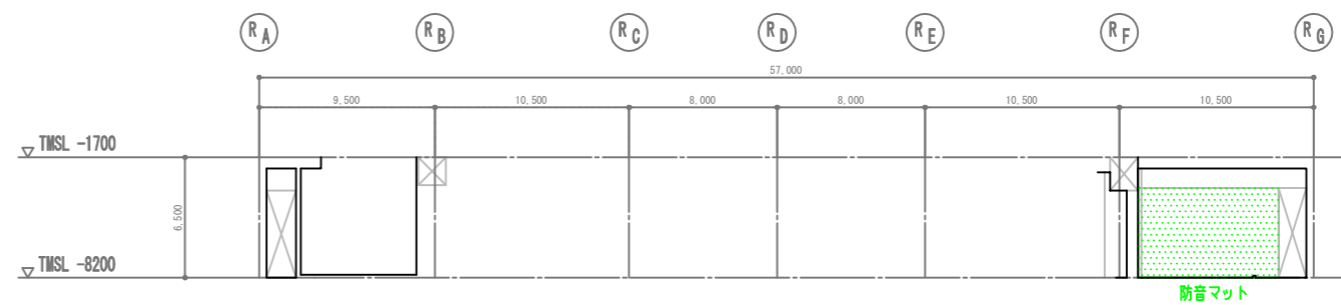
K7-B3F-5-S



K7-B3F-6-N



K7-B3F-6-S



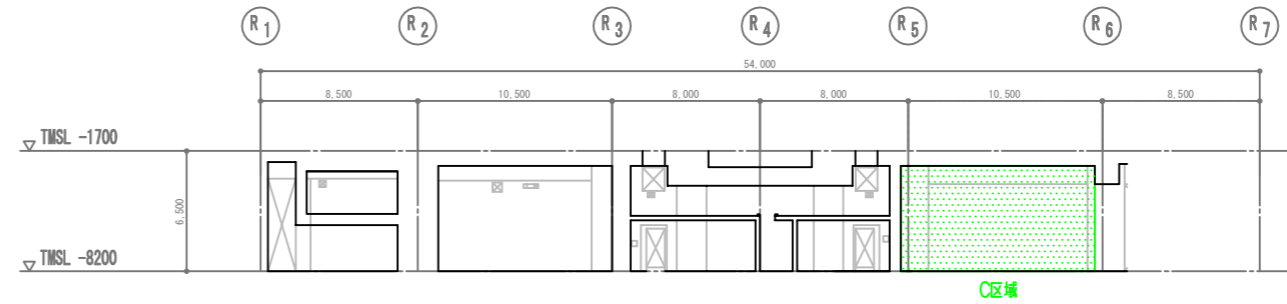
KEY-PLAN

- 凡 例
- 地震によるひび割れ
 - 目視点検が困難な範囲

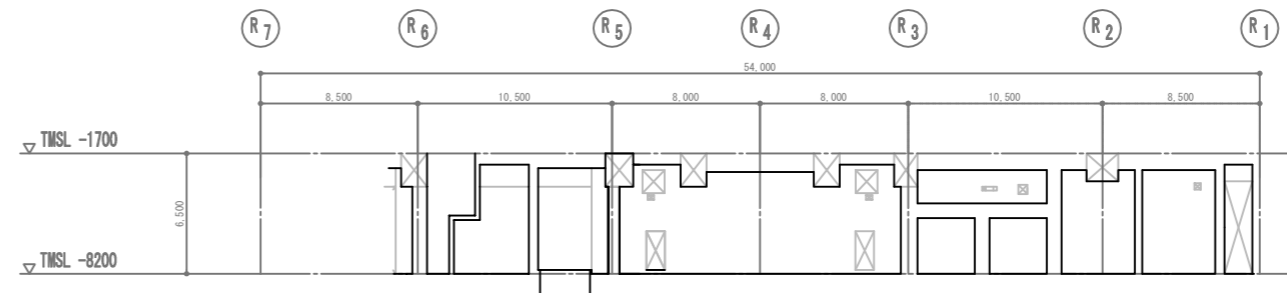
ひび割れ調査図 (展開図)

建屋名	7号機原子炉建屋	階数	地下3階	部位	内部耐震壁 - R5, R6通り
-----	----------	----	------	----	------------------

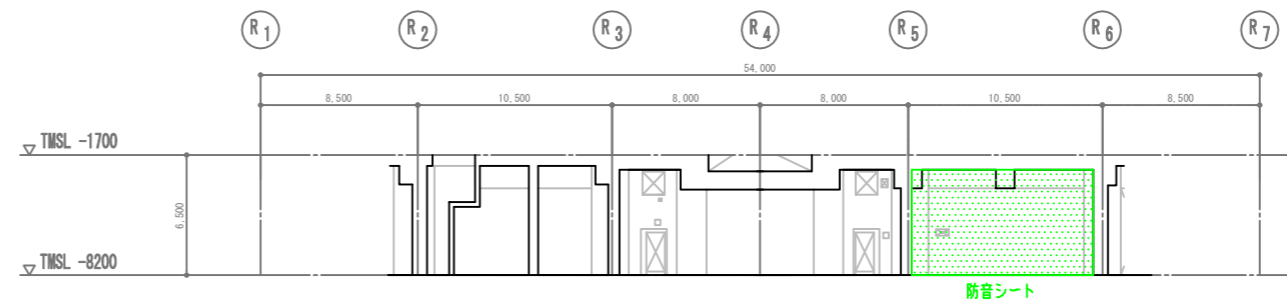
K7-B3F-B-E



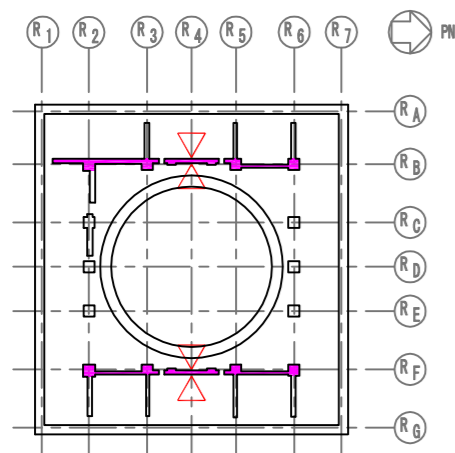
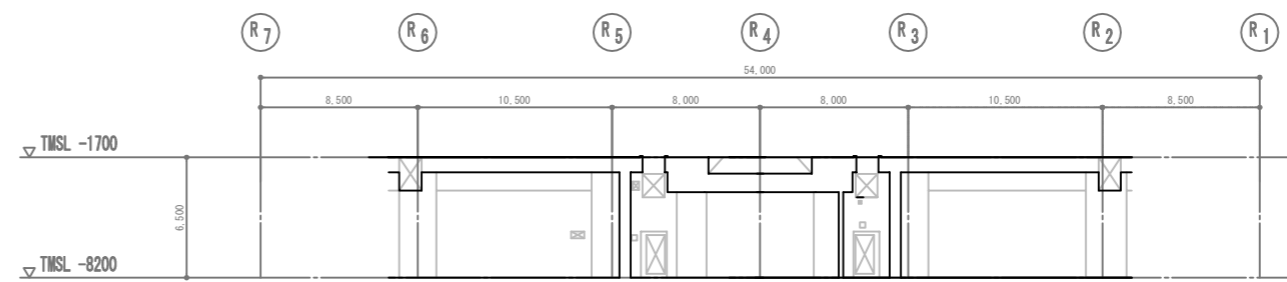
K7-B3F-B-W



K7-B3F-F-E



K7-B3F-F-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

7号機原子炉建屋

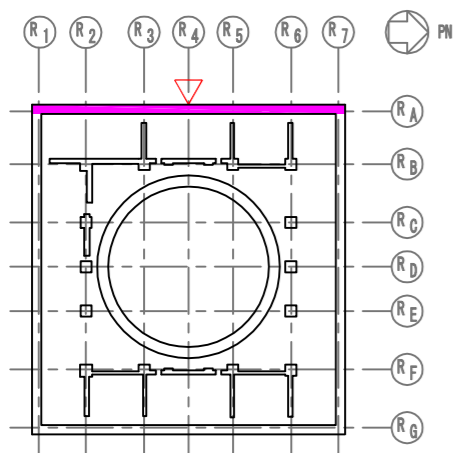
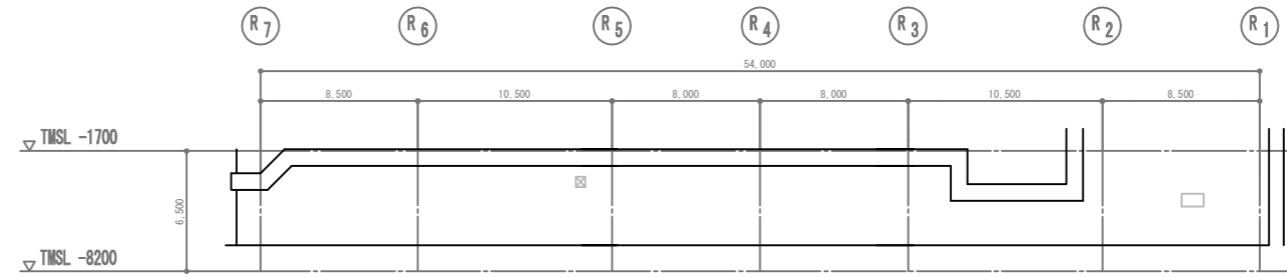
階数

地下3階

部位

内部耐震壁 - RB, RF通り

K7-B3F-A-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

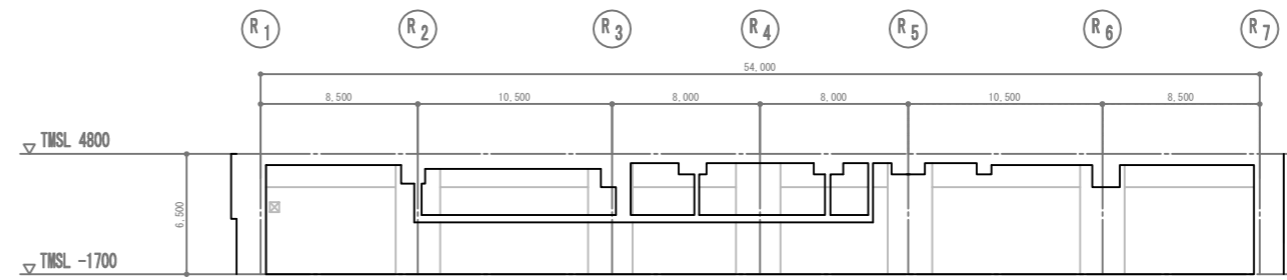
7号機原子炉建屋

階数

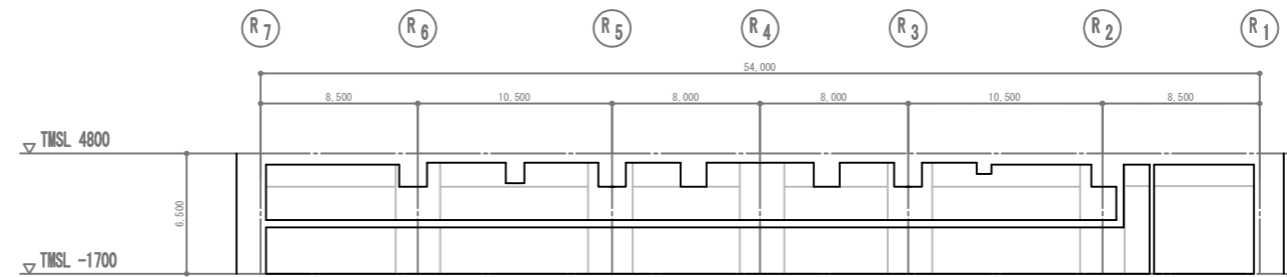
地下3階

部位

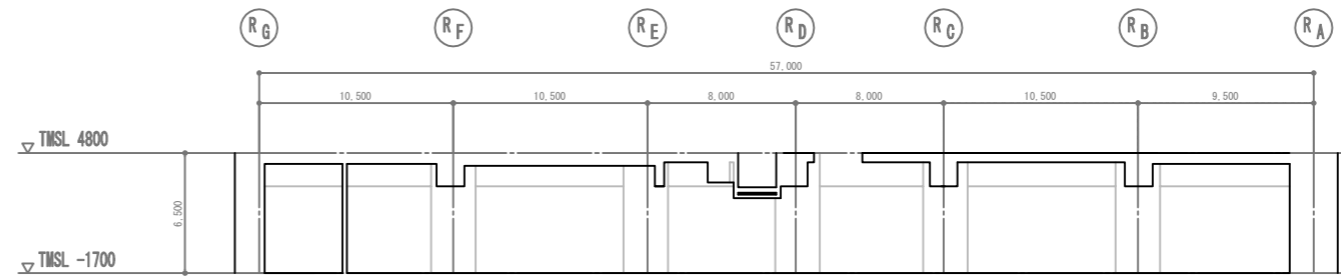
外部耐震壁 - RA通り



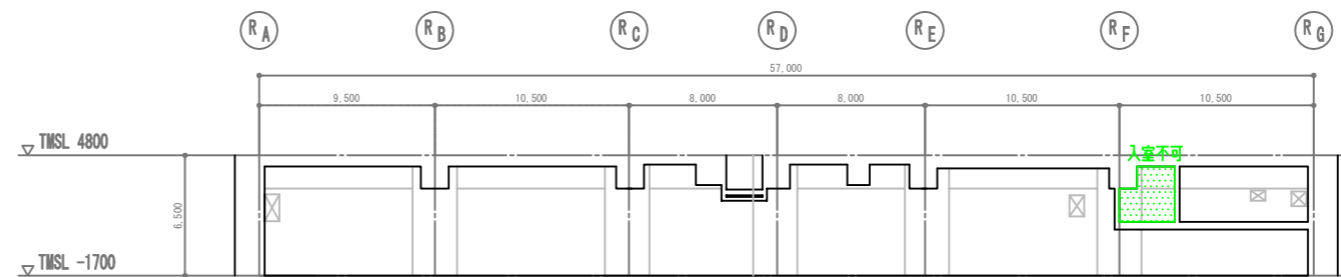
K7-B2F-A-E



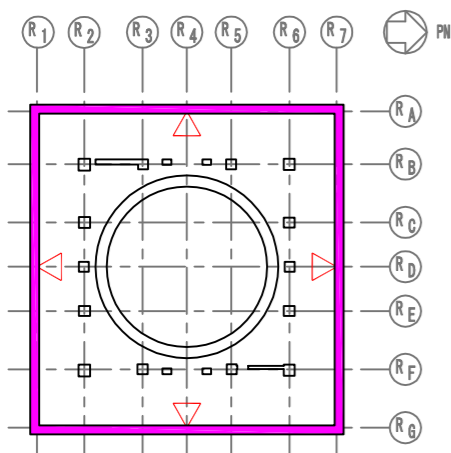
K7-B2F-G-W



K7-B2F-1-N



K7-B2F-7-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

7号機原子炉建屋

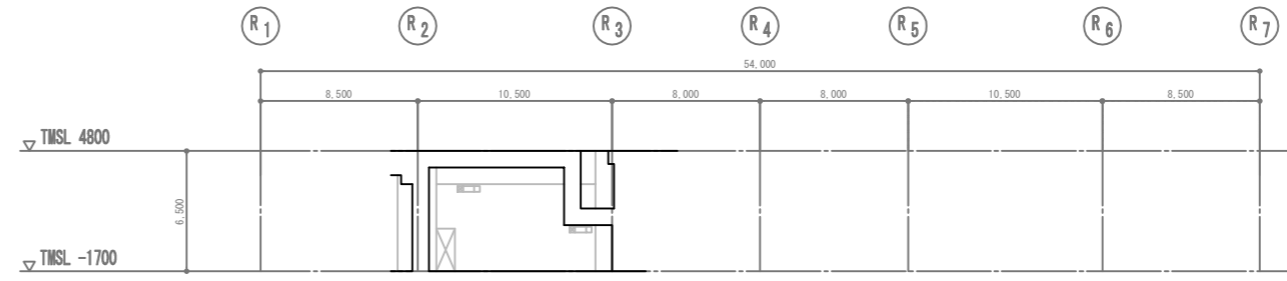
階数

地下2階

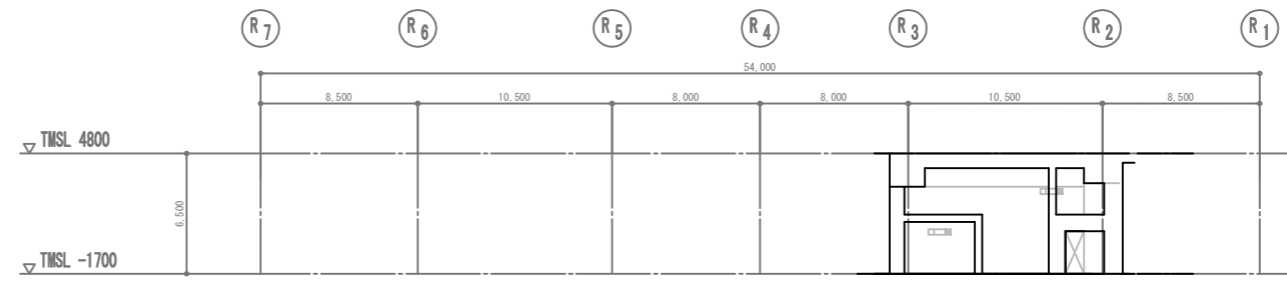
部位

外部耐震壁 - R1, R7, RA, RG通り

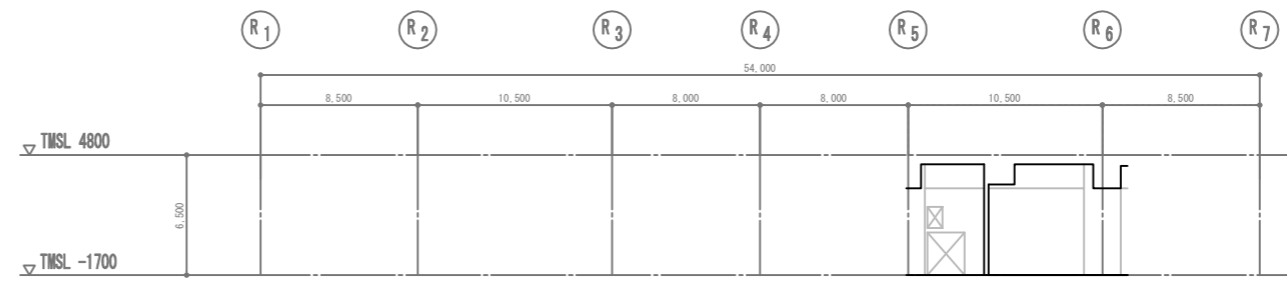
K7-B2F-B-E



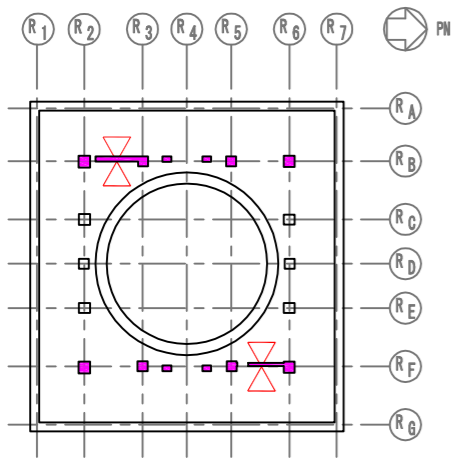
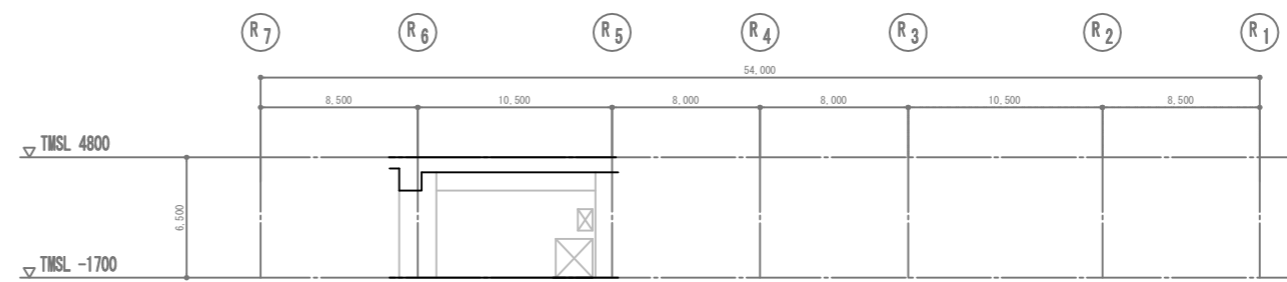
K7-B2F-B-W



K7-B2F-F-E



K7-B2F-F-W



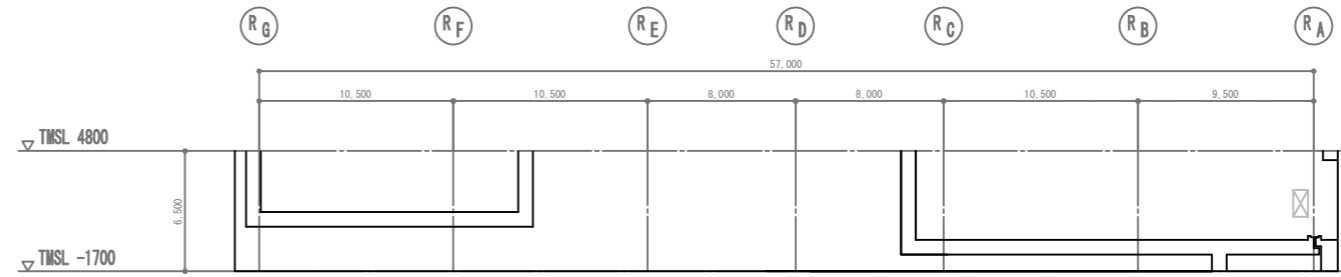
KEY-PLAN

- 凡 例
- 地震によるひび割れ
 - 目視点検が困難な範囲

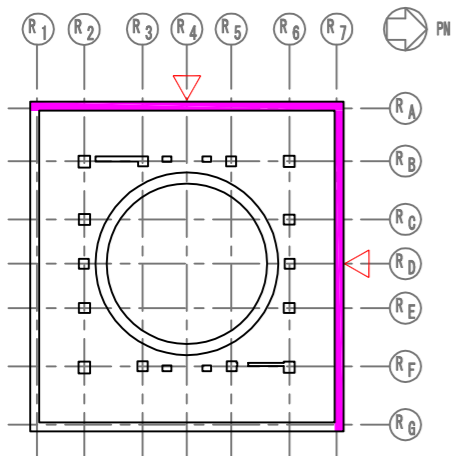
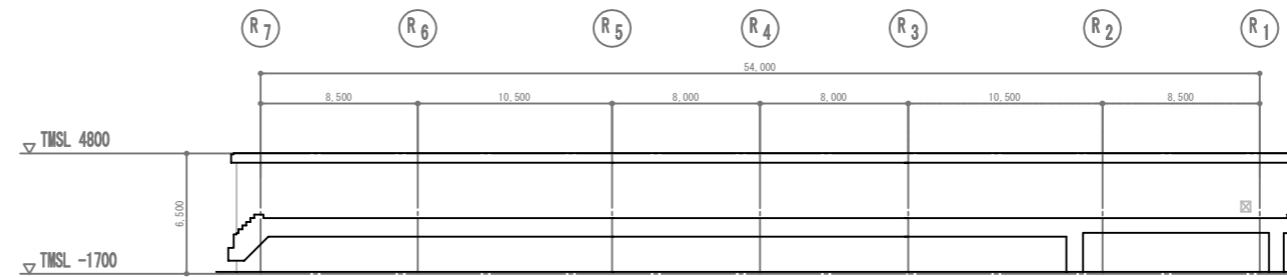
ひび割れ調査図 (展開図)

建屋名	7号機原子炉建屋	階数	地下2階	部位	内部耐震壁 - RB, RF通り
-----	----------	----	------	----	------------------

K7-B2F-7-N



K7-B2F-A-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

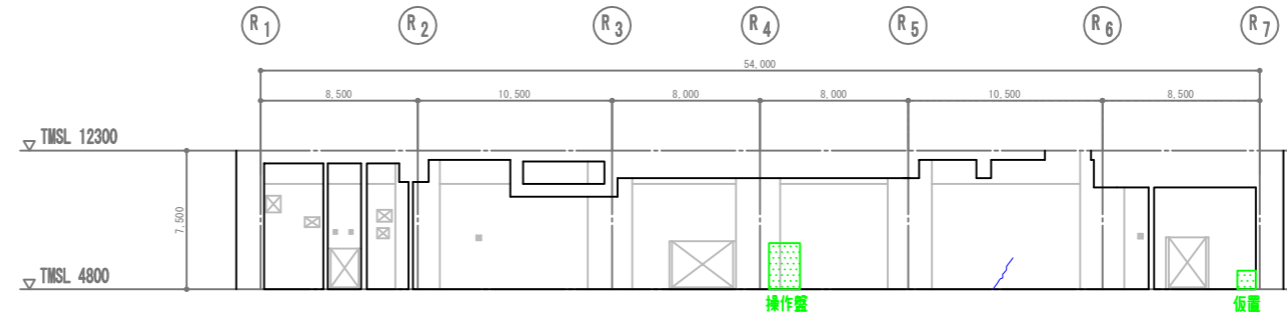
7号機原子炉建屋

階数

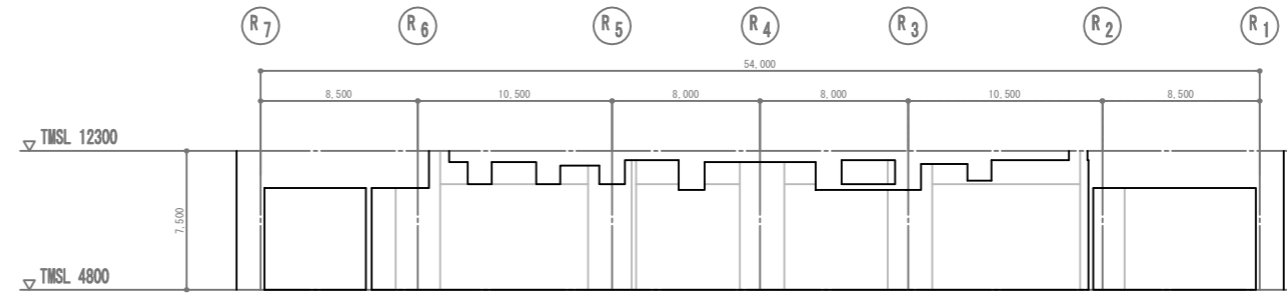
地下2階

部位

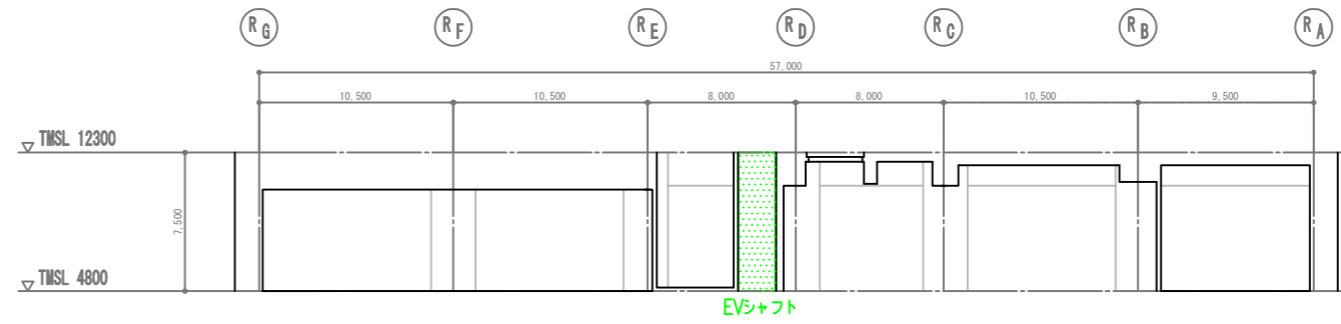
外部耐震壁 - R7・RA通り



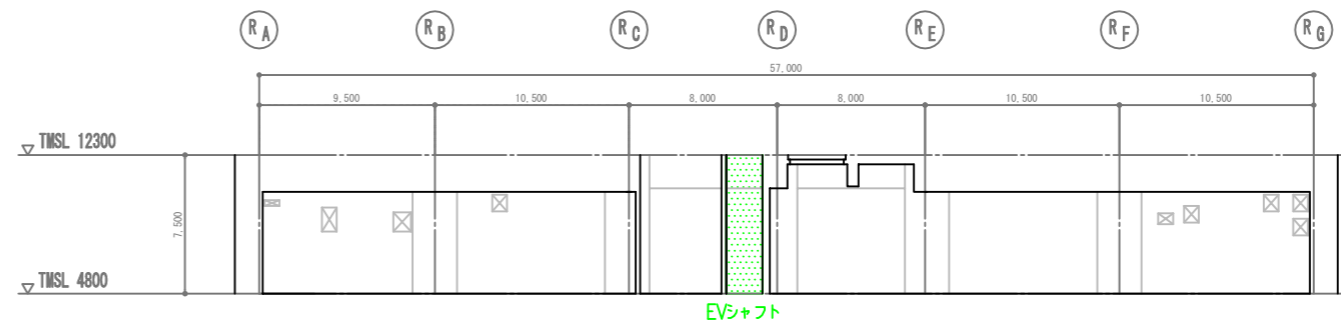
K7-B1F-A-E



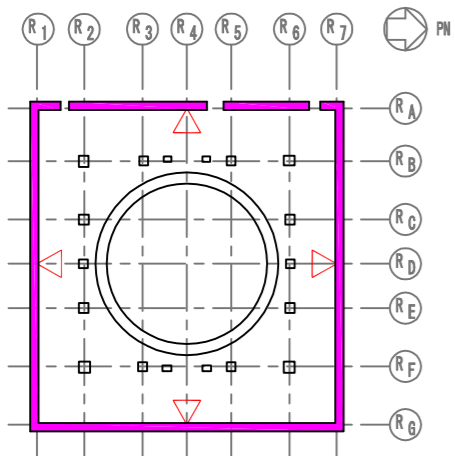
K7-B1F-G-W



K7-B1F-1-N



K7-B1F-7-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

7号機原子炉建屋

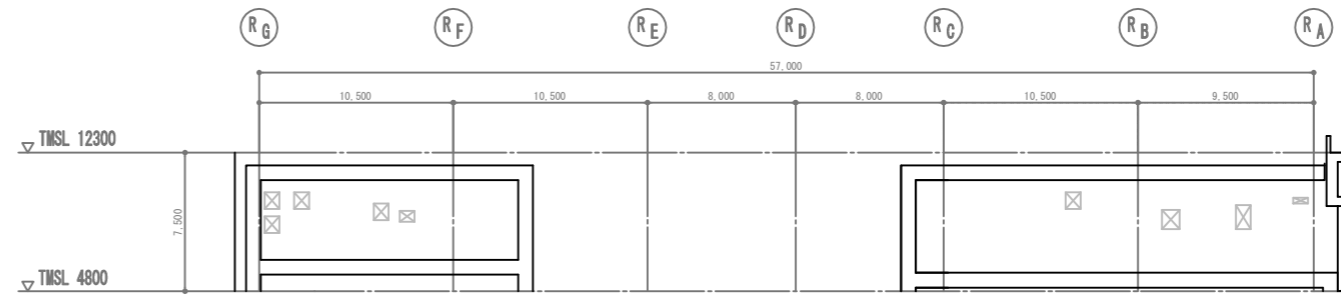
階数

地下1階

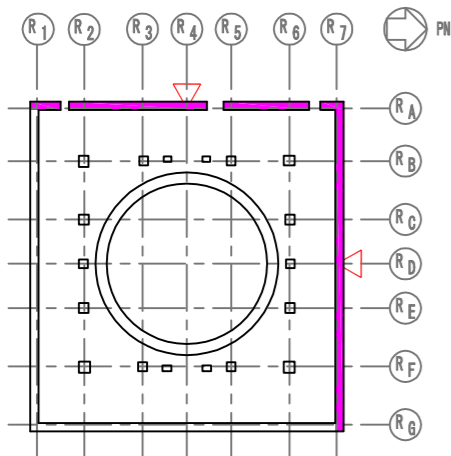
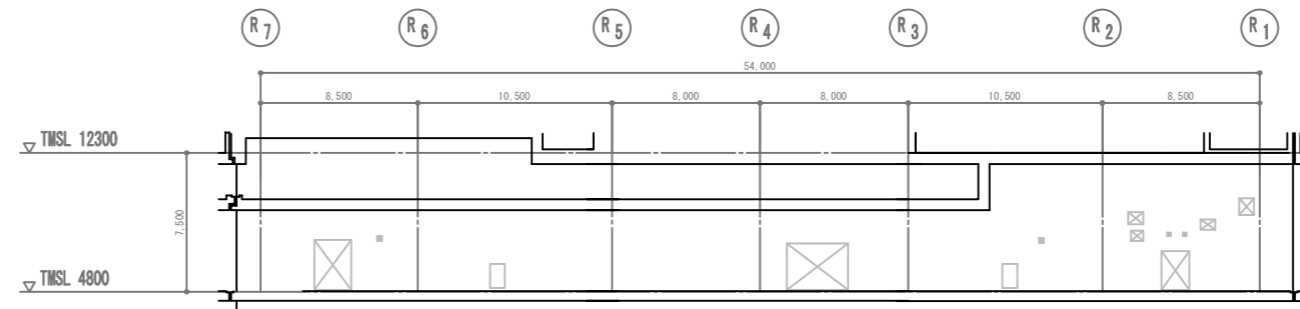
部位

外部耐震壁 - R1, R7, RA, RG通り

K7-B1F-7-N



K7-B1F-A-W



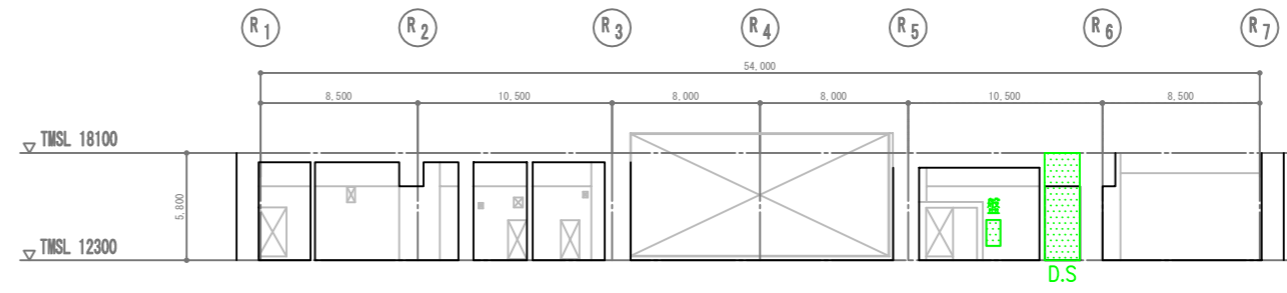
KEY-PLAN

- 凡 例
- 地震によるひび割れ
 - 目視点検が困難な範囲

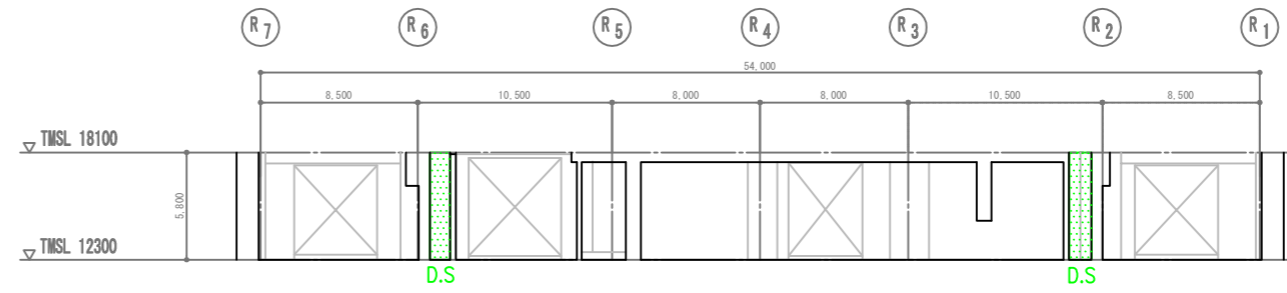
ひび割れ調査図 (展開図)

建屋名	7号機原子炉建屋	階数	地下1階	部位	外部耐震壁 - R7・RA通り
-----	----------	----	------	----	-----------------

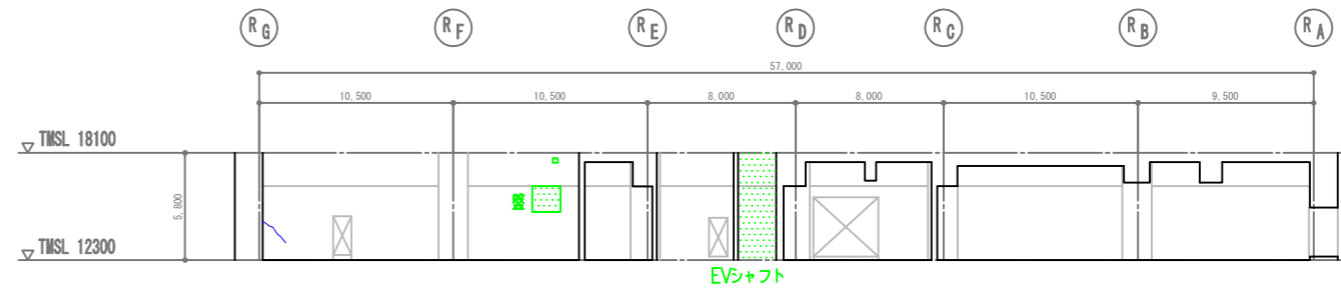
K7-1F-A-E



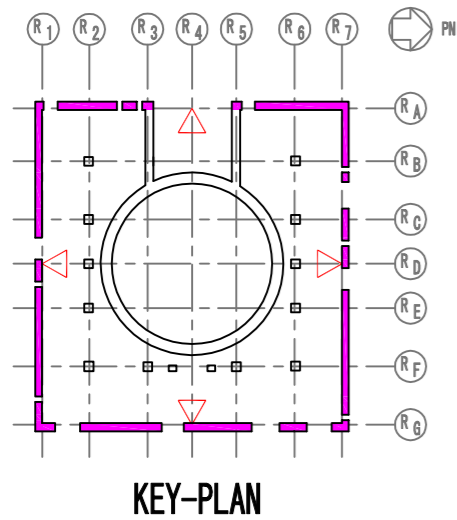
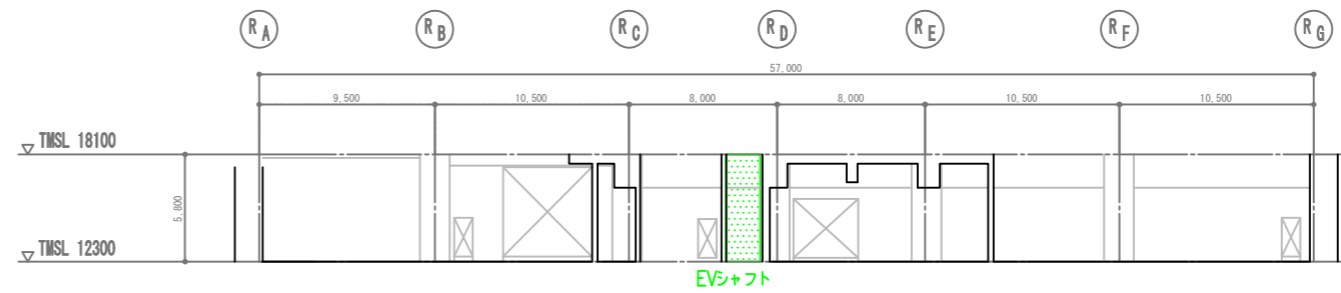
K7-1F-G-W



K7-1F-1-N



K7-1F-7-S

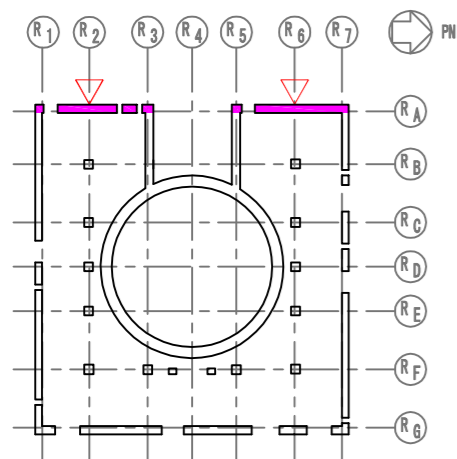
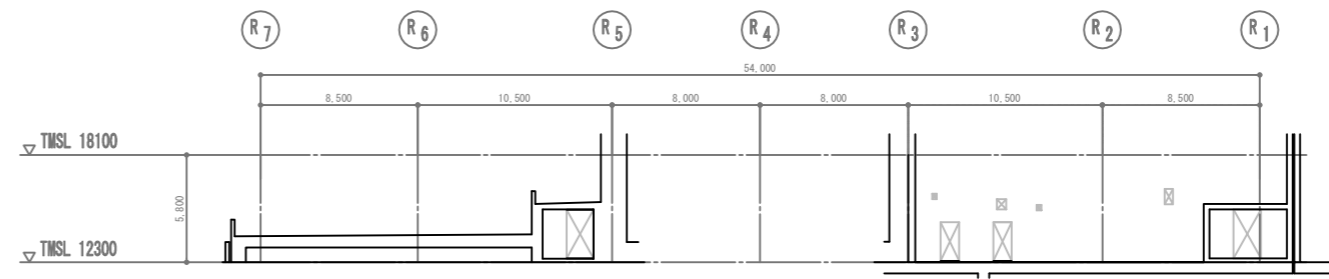


- 凡 例
- 地震によるひび割れ
 - 目視点検が困難な範囲

ひび割れ調査図 (展開図)

建屋名	7号機原子炉建屋	階数	1階	部位	外部耐震壁 - R1, R7, RA, RG通り
-----	----------	----	----	----	--------------------------

K7-1F-A-W



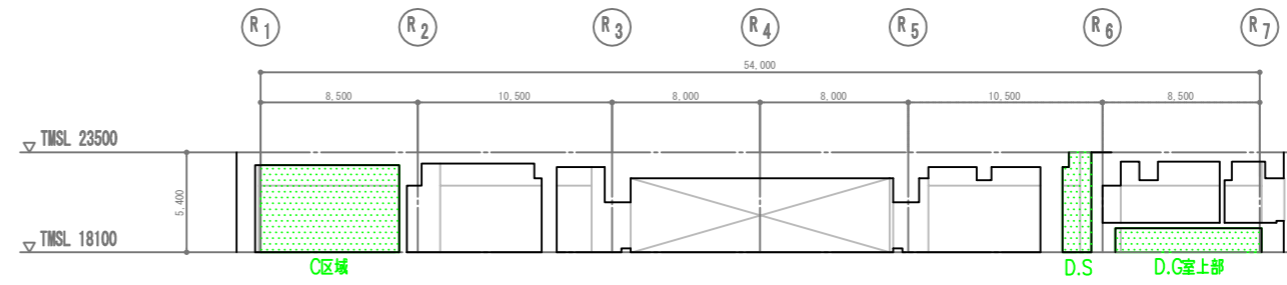
KEY-PLAN

- 凡 例
- 地震によるひび割れ
 - 目視点検が困難な範囲

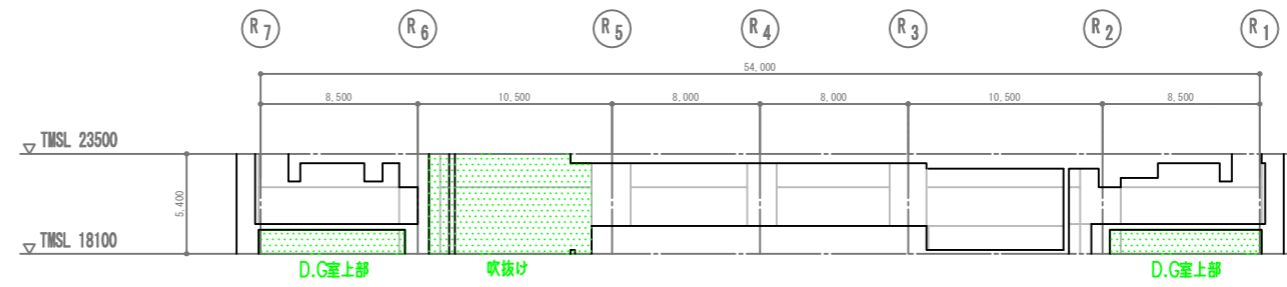
ひび割れ調査図 (展開図)

建屋名	7号機原子炉建屋	階数	1階	部位	外部耐震壁 - RA通り
-----	----------	----	----	----	--------------

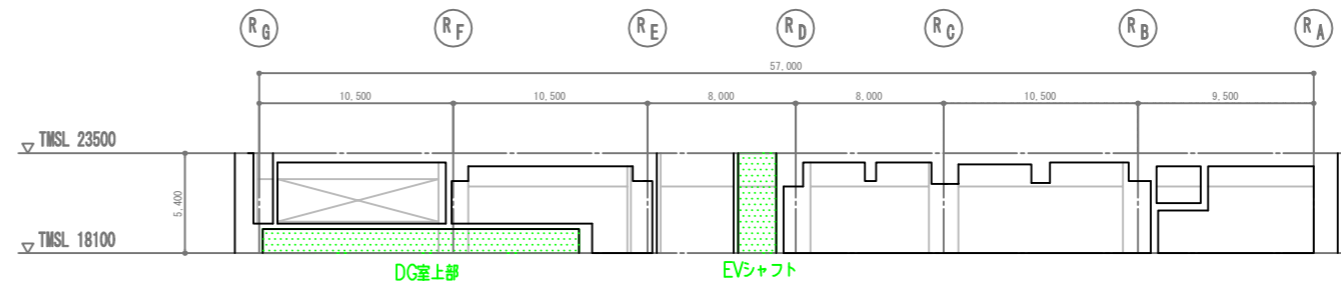
K7-2F-A-E



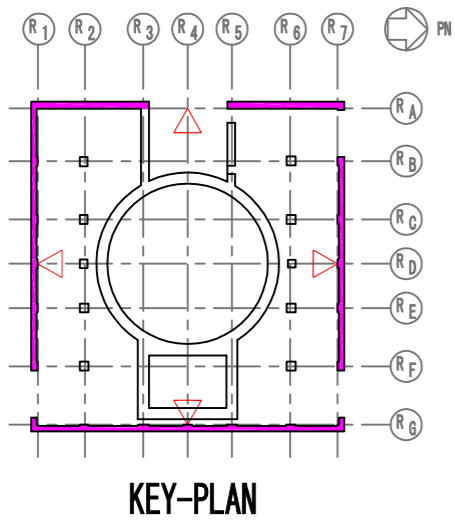
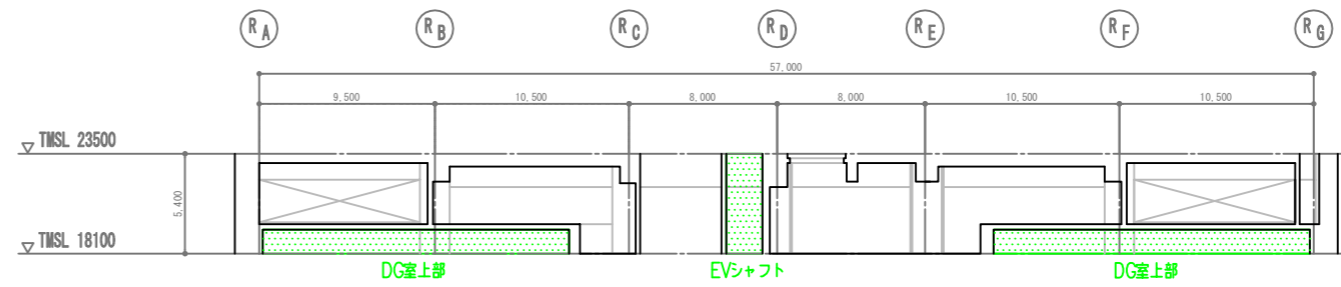
K7-2F-G-W



K7-2F-1-N



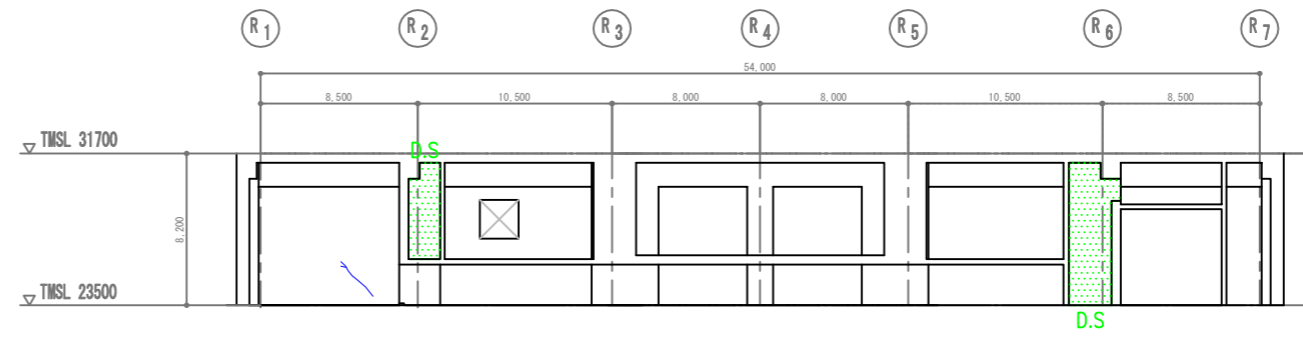
K7-2F-7-S



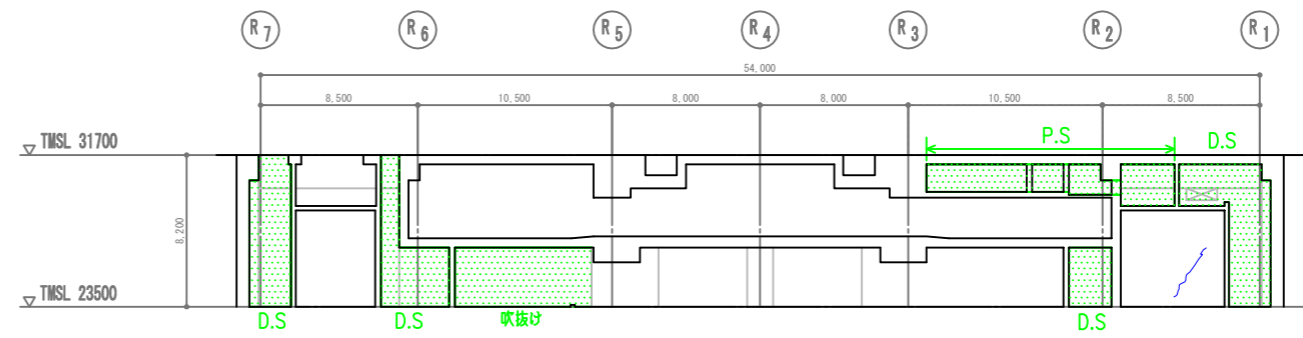
凡 例
 — 地震によるひび割れ
 ■ 目視点検が困難な範囲

ひび割れ調査図 (展開図)

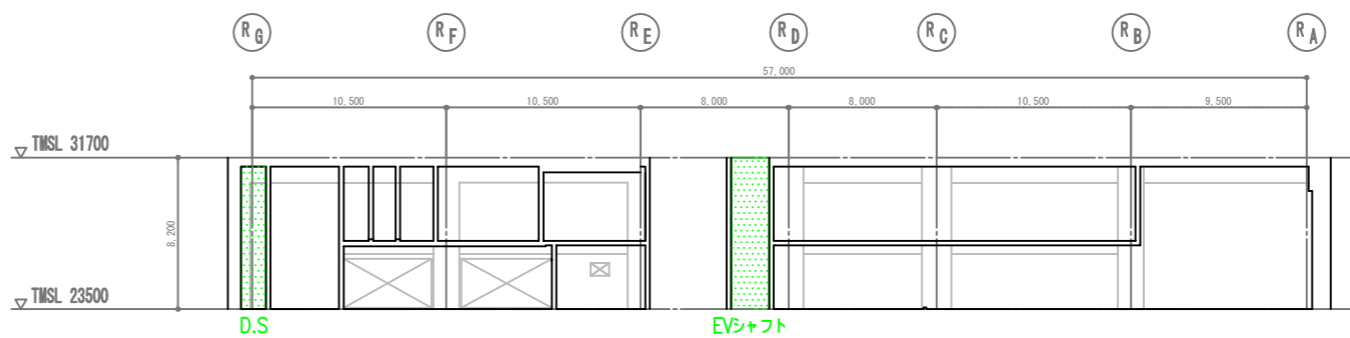
建屋名	7号機原子炉建屋	階数	2階	部位	外部耐震壁 - R1, R7, RA, RG通り
-----	----------	----	----	----	--------------------------



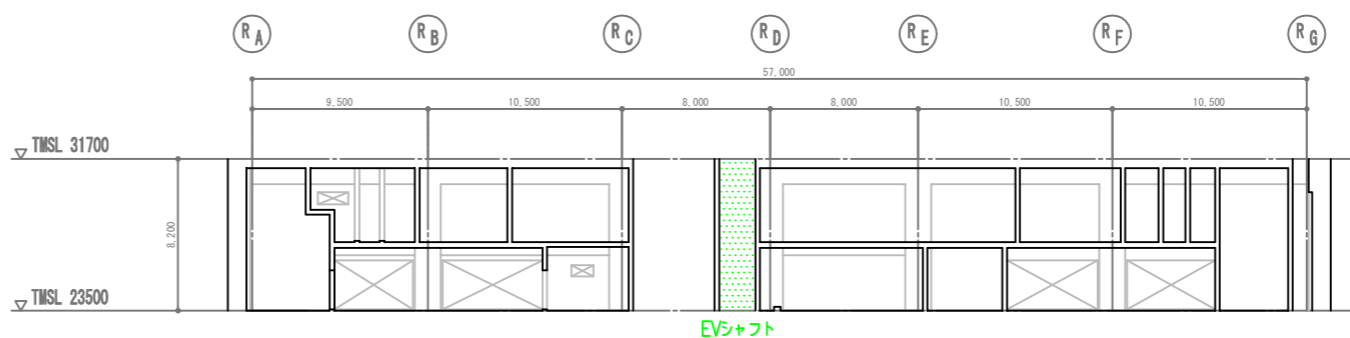
K7-3F-A-E



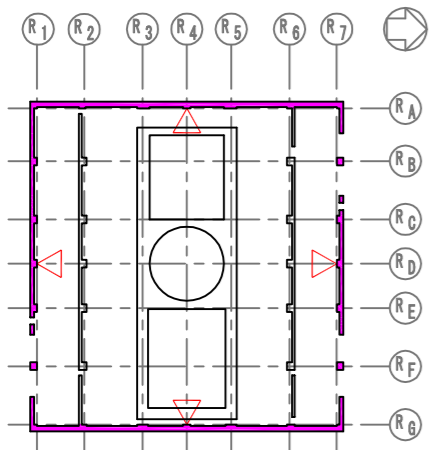
K7-3F-G-W



K7-3F-1-N



K7-3F-7-S



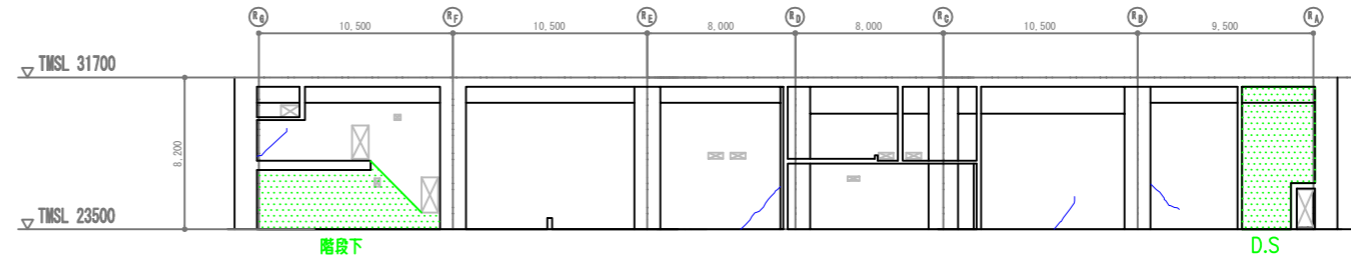
KEY-PLAN

- 凡 例
- 地震によるひび割れ
 - 目視点検が困難な範囲

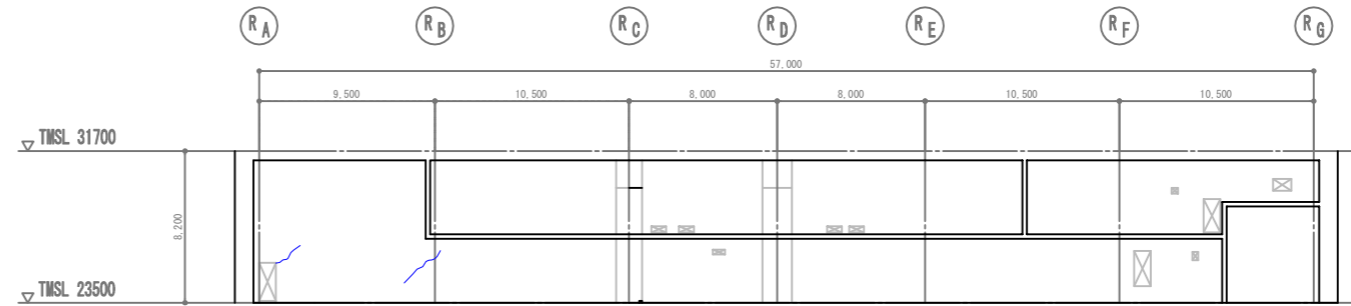
ひび割れ調査図 (展開図)

建屋名	7号機原子炉建屋	階数	3階	部位	外部耐震壁 - R1, R7, RA, RG通り
-----	----------	----	----	----	--------------------------

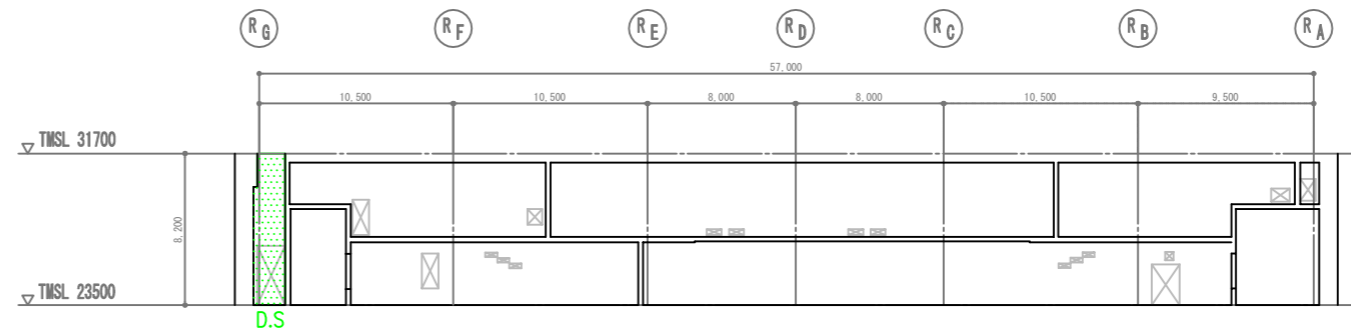
K7-3F-2-N



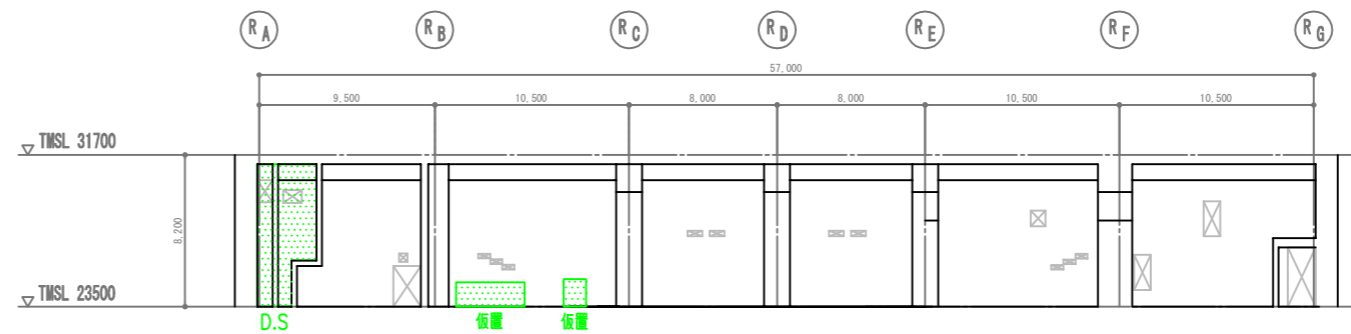
K7-3F-2-S



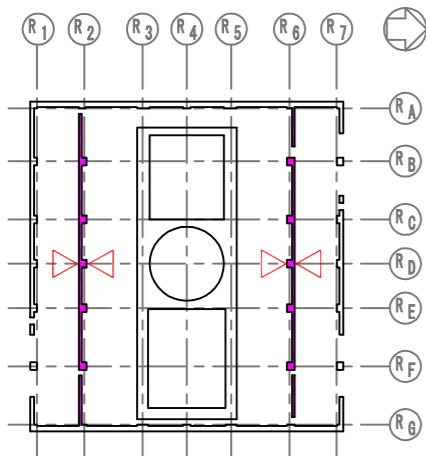
K7-3F-6-N



K7-3F-6-S



- 凡 例
- 地震によるひび割れ
 - 目視点検が困難な範囲

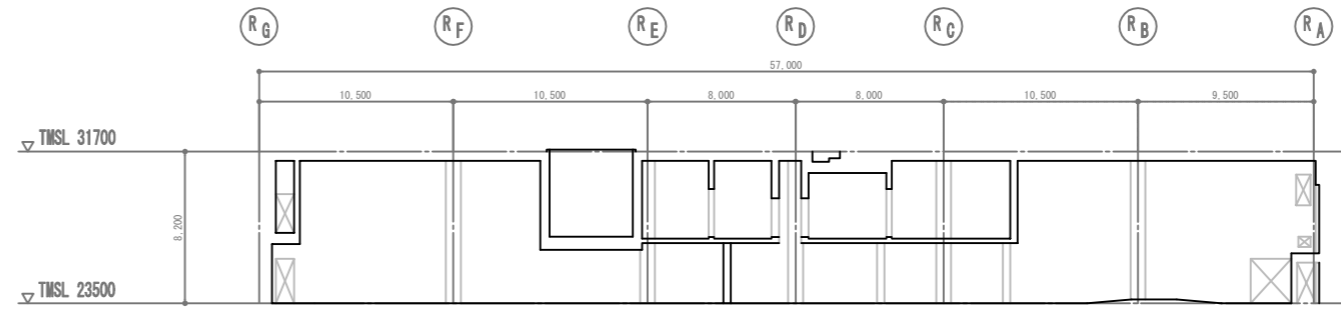


KEY-PLAN

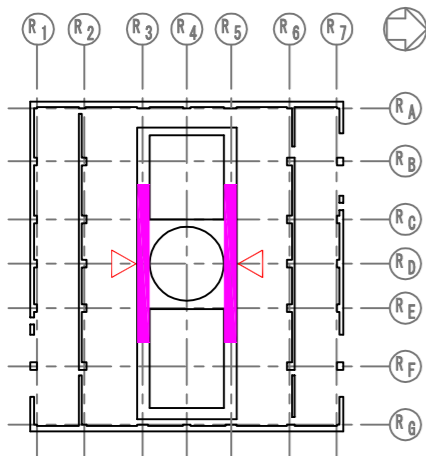
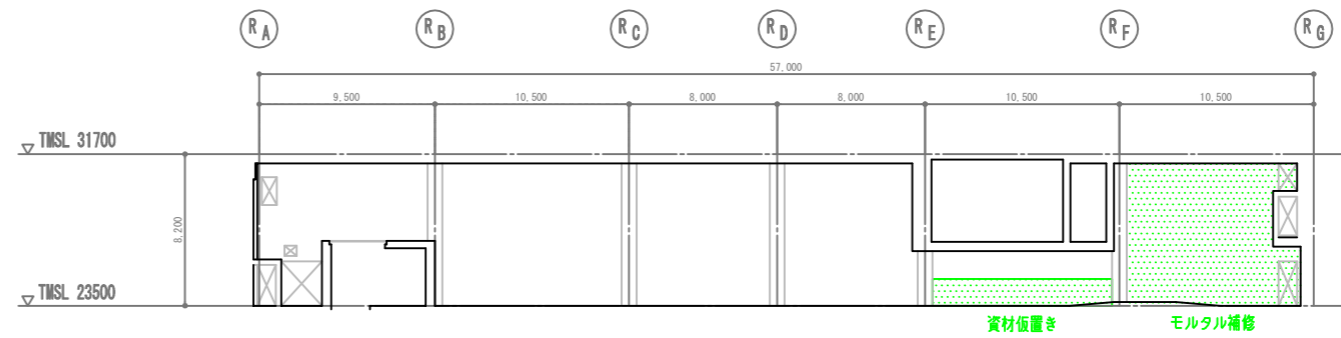
ひび割れ調査図 (展開図)

建屋名	7号機原子炉建屋	階数	3階	部位	内部耐震壁 - R2, R6通り
-----	----------	----	----	----	------------------

K7-3F-5-N



K7-3F-3-S



KEY-PLAN

凡 例

- ひび割れ
- 点検不可範囲

ひび割れ調査図 (展開図)

建屋名

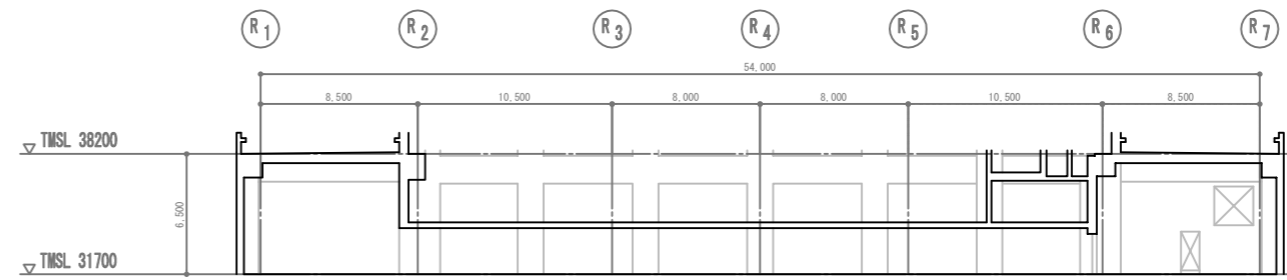
7号機原子炉建屋

階数

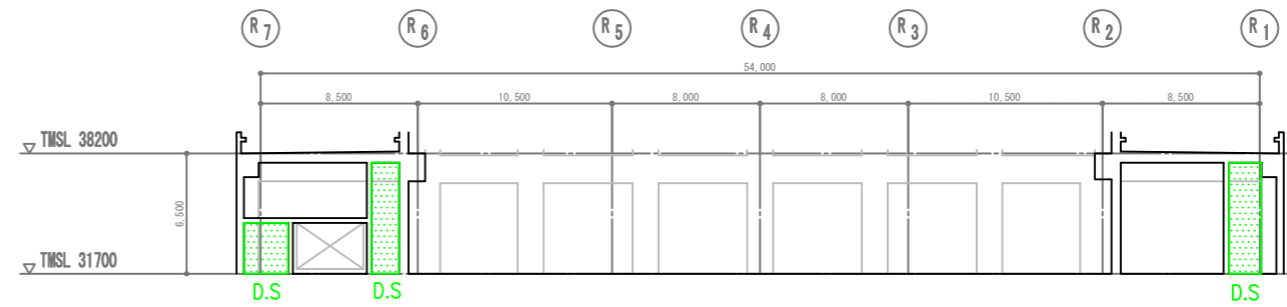
3階

部位

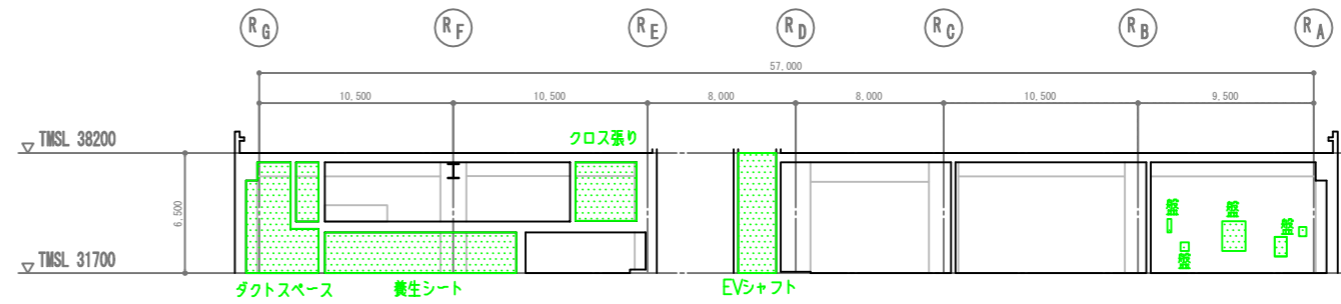
格納施設



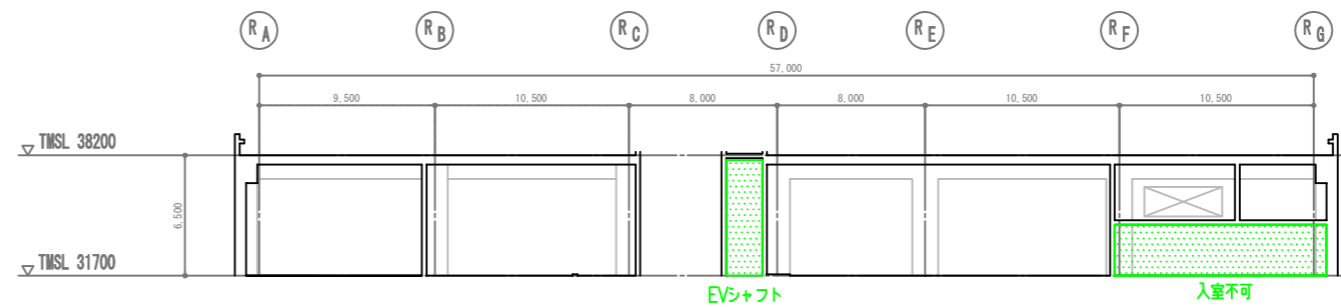
K7-4F-A-E



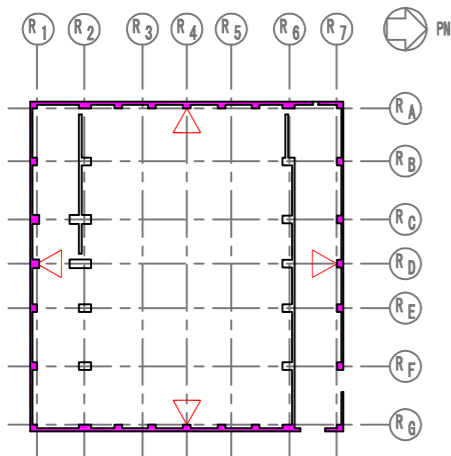
K7-4F-G-W



K7-4F-1-N



K7-4F-7-S

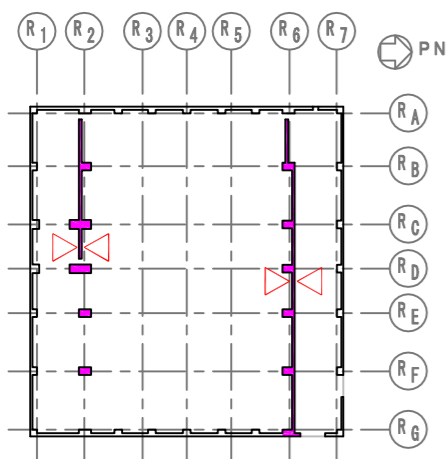


KEY-PLAN

- 凡 例
- 地震によるひび割れ
 - 目視点検が困難な範囲

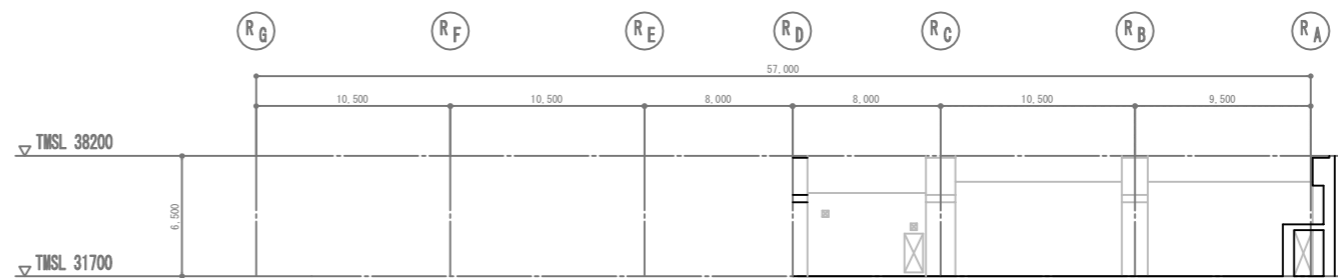
ひび割れ調査図 (展開図)

建屋名	7号機原子炉建屋	階数	4階	部位	外部耐震壁 - R1, R7, RA, RG通り
-----	----------	----	----	----	--------------------------

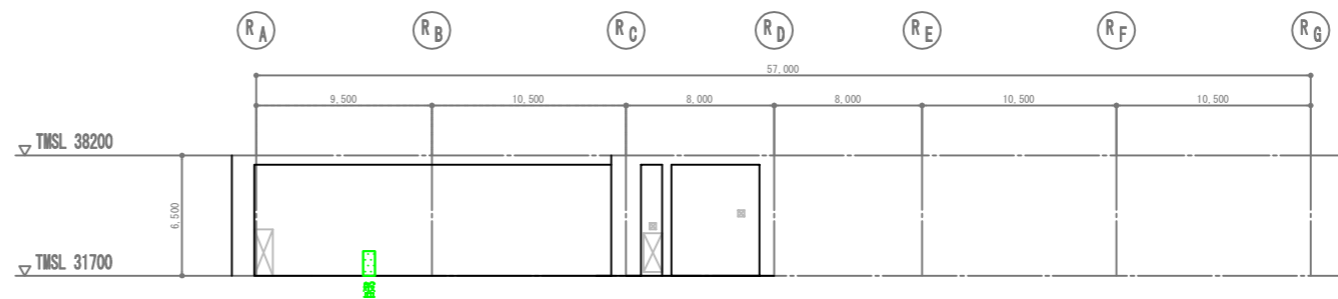


KEY-PLAN

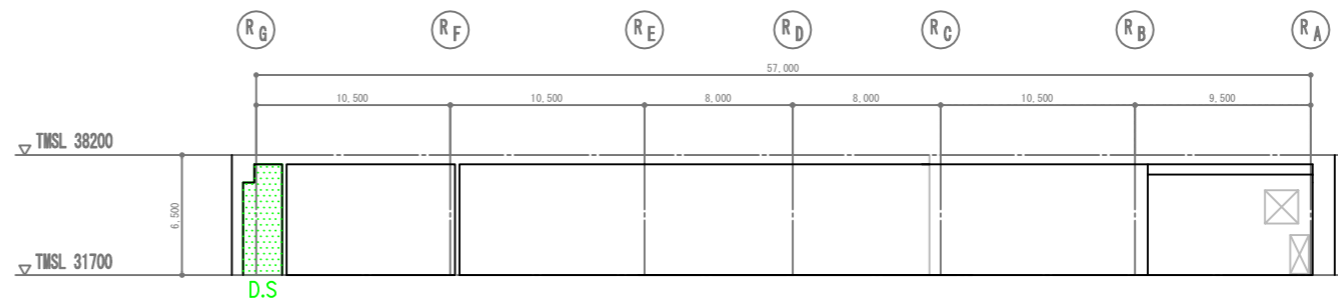
K7-4F-2-N



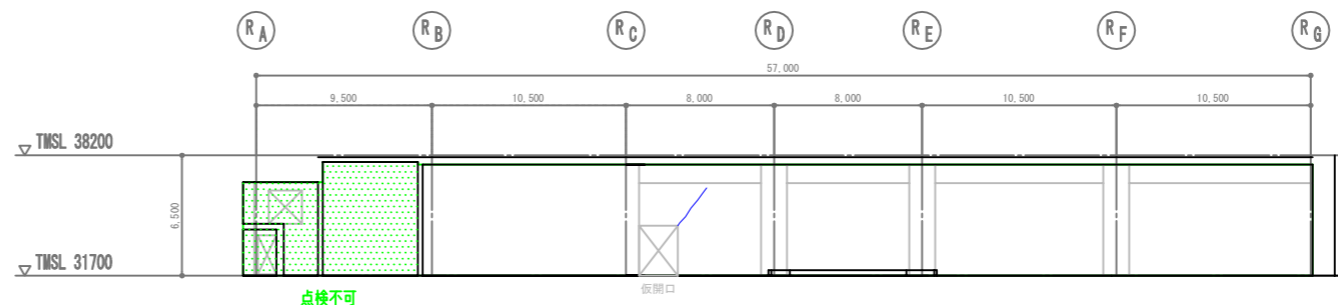
K7-4F-2-S



K7-4F-6-N



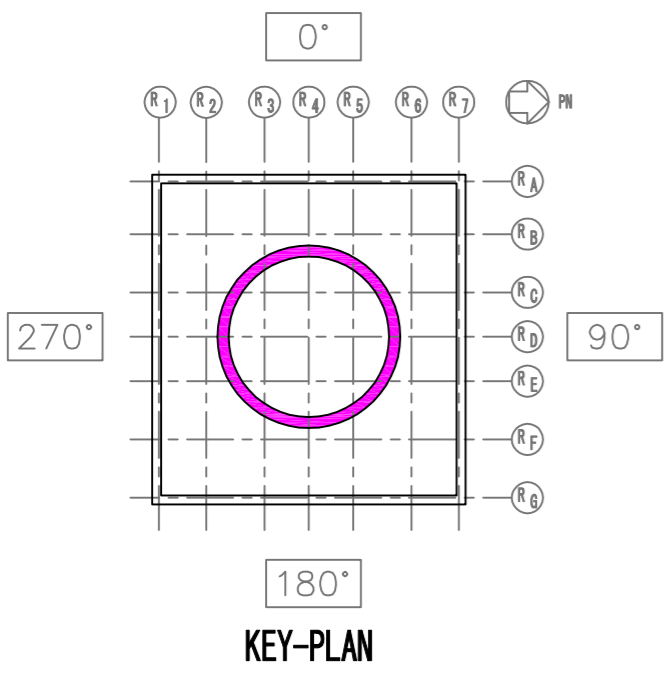
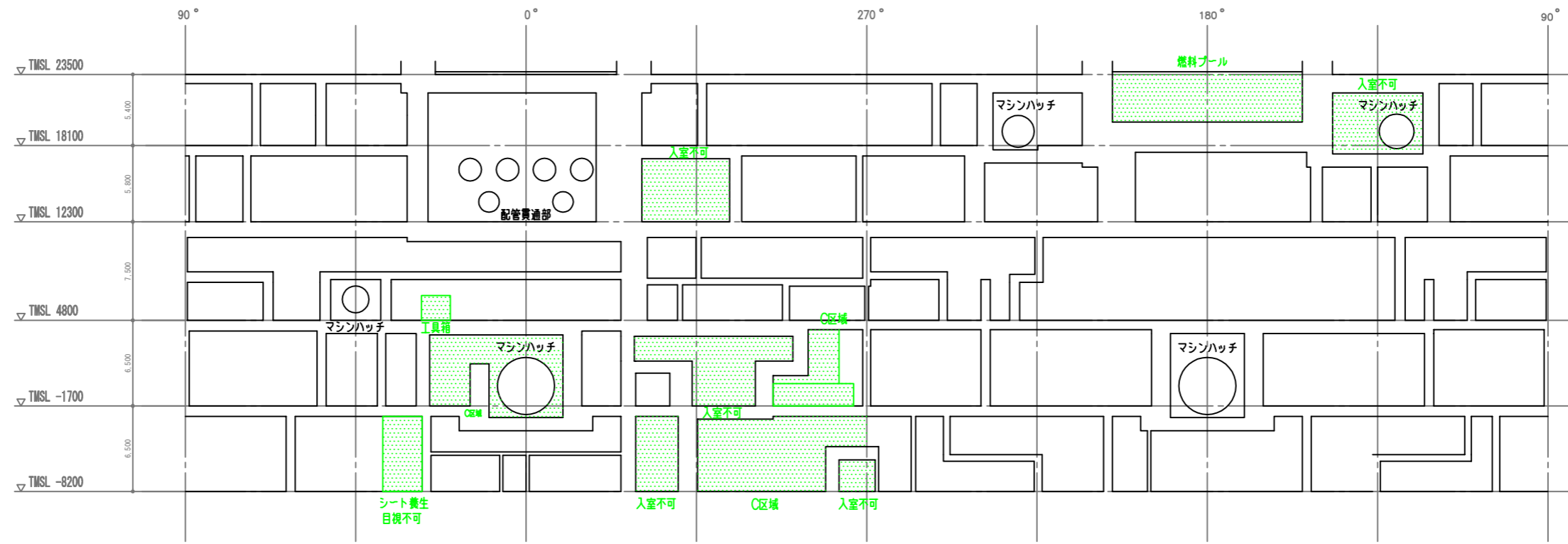
K7-4F-6-S



- 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	7号機原子炉建屋	階数	4階	部位	内部耐震壁 - R2, R6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	7号機原子炉建屋	階数	2階～ 地下3階	部位	原子炉格納容器
---------------	-----	----------	----	-------------	----	---------

添付資料2 コンクリートの実強度に基づくヤング係数の評価方法

(1) 実強度に基づくヤング係数について

ヤング係数は、設計基準強度の同じ号機をまとめた実強度の採用値を設計基準強度 F_c と読み替えて、日本建築学会編『鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(1999年版)』(以下、RC規準という)に示される下式により算定している。

$$E = 3.35 \times 10^4 \times \left(\frac{\gamma}{24}\right)^2 \times \left(\frac{F_c}{60}\right)^{\frac{1}{3}}, \text{ (普通コンクリートの場合: } 18 < F_c < 60 \text{)} \text{ (式 - 1)}$$

E : ヤング係数 (N/mm^2) F_c : 設計基準強度 (N/mm^2) γ : コンクリートの気乾単位体積重量 (kN/m^3)

シミュレーション解析に用いたヤング係数(静弾性係数)を表-1に示す。

付表-1 シミュレーション解析に用いたヤング係数の計算

号機	部位	コンクリート強度			ヤング係数の計算				
		設計基準強度	実強度 (kg/cm^2)	採用値 (kg/cm^2) [N/mm^2]	単位体積重量 γ (kN/m^3)	ヤング係数 E (N/mm^2)			
1号機	外壁	240	457	450 [44.1]	23.5 ($36 < F_c < 48$)	29.0×10^3			
	内壁		423						
2号機	外壁		511						
	内壁		447						
5号機	外壁		470						
	内壁		488						
3号機	外壁		330	560			500 [49.0]	24.0 ($48 < F_c < 60$)	31.3×10^3
	内壁			473					
4号機	外壁	513							
	内壁	501							
6号機	外壁	677							
	内壁	516							
7号機	外壁	613							
	内壁	572							
備考				γ は鉄筋コンクリートの単位体積重量から1を差し引いた値とする(RC規準5条、7条)					

(2) コンクリートの静弾性係数の試験結果について

実強度を求める際、日本工業規格コンクリートの静弾性係数試験方法 JIS A1149 (2001) に記載された手順で弾性係数を求める試験を行っている。各供試体ごとに応力 - ひずみ曲線 (付図 - 1) を作成し、それに基づき、以下に示す式を用いて各供試体の静弾性係数を算出している。

$$E_c = \frac{S_1 - S_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \times 10^{-3} \quad (\text{式 - 2})$$

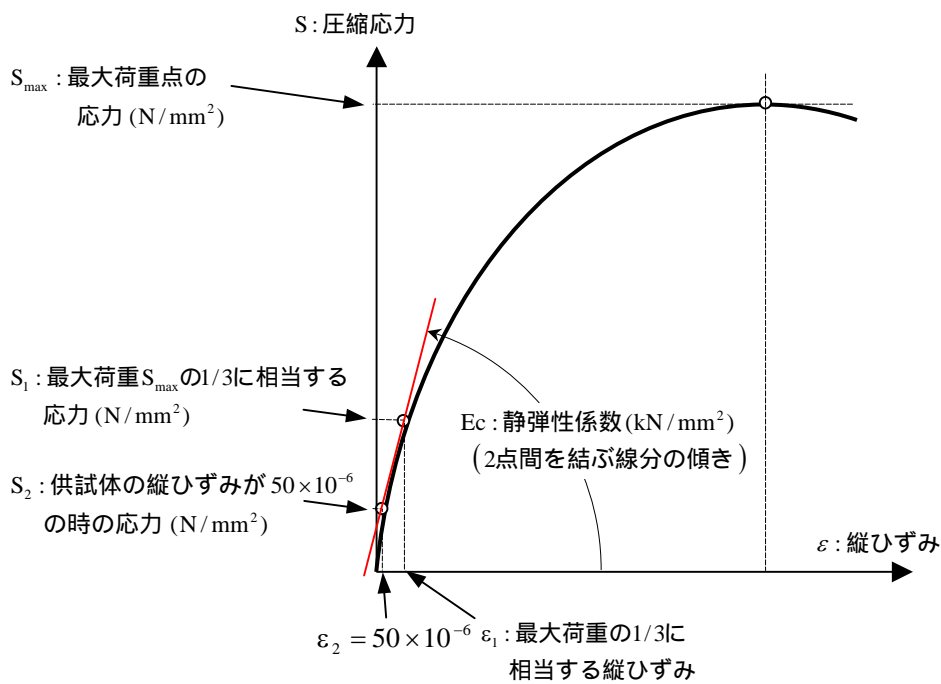
E_c : 各供試体の静弾性係数 (kN/mm²)

S_1 : 最大荷重の 1/3 に相当する応力 (N/mm²)

S_2 : 供試体の縦ひずみが 50×10^{-6} のときの応力 (N/mm²)

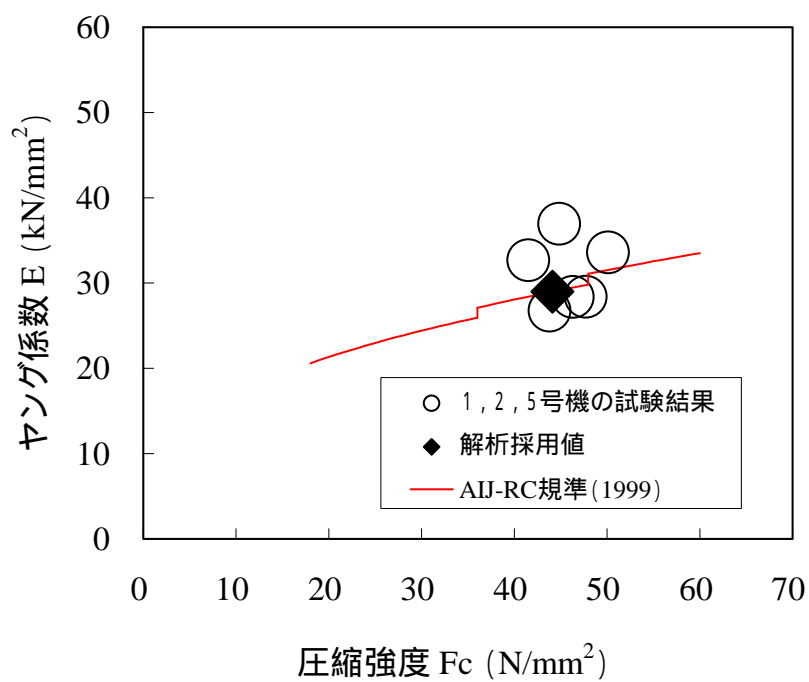
ε_1 : 応力 S_1 により生じる供試体の縦ひずみ

ε_2 : 50×10^{-6}

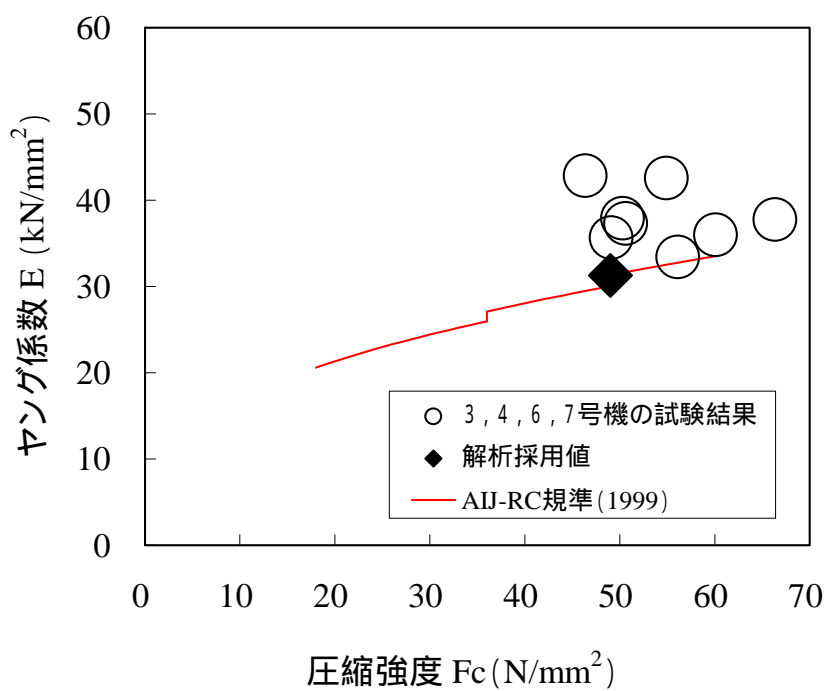


付図 - 1 コンクリートの応力-ひずみ曲線の概念図

以上のようにして求めた各号機ごとのコンクリート圧縮強度と静弾性係数の関係を次頁に示す。なお、参考として、シミュレーション解析で採用した値、及び前述した式 - 1 による曲線を併記した。(付図 - 2、3)



付図 - 2 ヤング係数の分布図 (K 1、K 2、K 5)



付図 - 3 ヤング係数の分布図 (K 3、K 4、K 6、K 7)

添付資料3 補助壁の評価について（7号機原子炉建屋）

(1) 耐震壁の規定と補助壁として考慮した壁の選定条件

原子力施設における耐震壁の一般的な規定としては、以下に示すとおりである。

日本建築学会 RC-N 規準* における耐震壁の規定（算定外の規定）

<ul style="list-style-type: none"> ・ 壁厚 200mm 以上、かつ、壁板の内法寸法の 1/30 以上 ・ せん断補強筋は、0.25%以上（直交する 2 方向それぞれ） <p>（付帯ラーメンのない場合のせん断補強筋比は、壁筋の許容引張応力度に対するコンクリートの許容せん断応力度との比以上を確保）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 壁筋は複筋配置とする ・ 壁筋は D13 以上の異形鉄筋を用いる <p>（壁の見付け面に対する間隔は 300mm 以下）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 開口補強筋は D13 以上、かつ、壁筋と同径以上の異形鉄筋を用いる ・ 付帯ラーメンがある場合には、その柱・梁に適切な靱性を確保させる
--

* 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（2005）

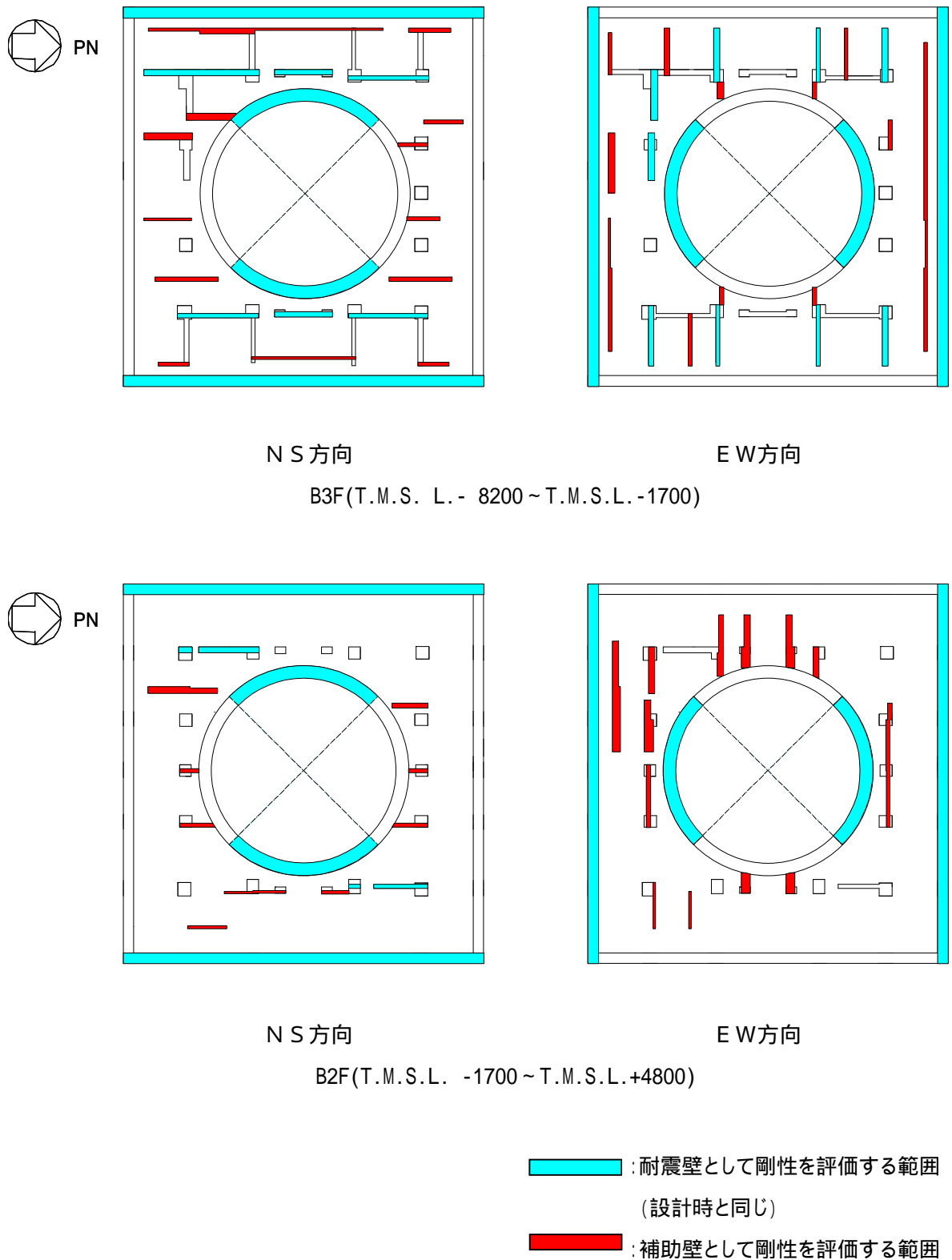
一方、柏崎刈羽原子力発電所において設計モデルに採用している耐震壁は、付表 - 1 に示すとおりである。また、今回のシミュレーション解析に採用した補助壁の判断基準についても付表 - 1 に合わせて示す。

付表 - 1 シミュレーション解析に採用した耐震壁と補助壁の選定条件

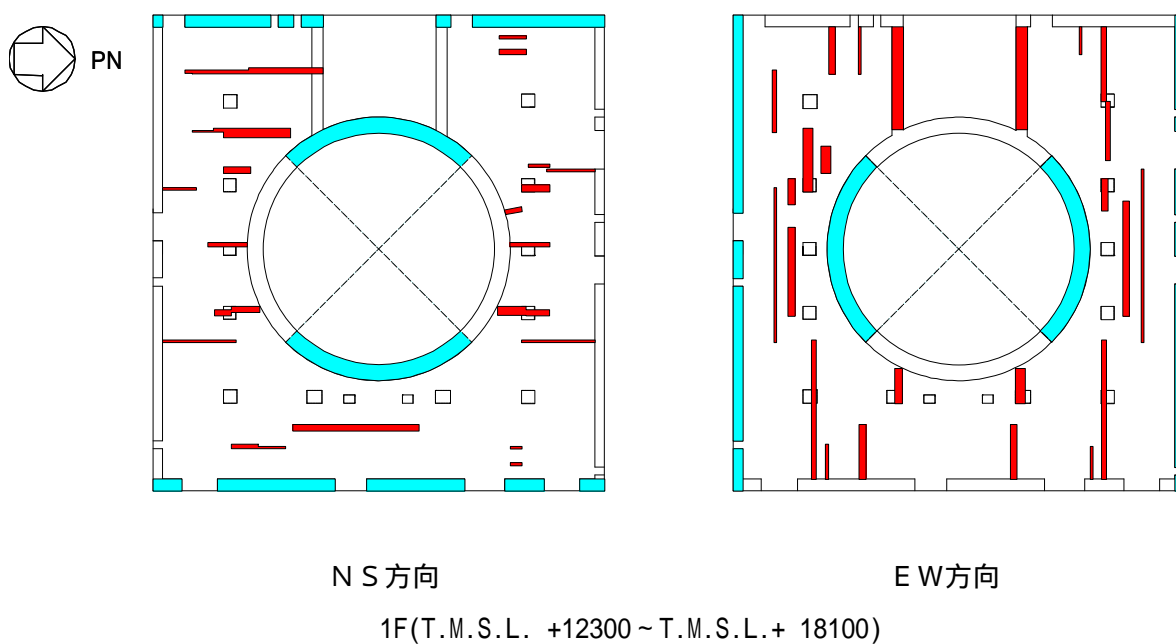
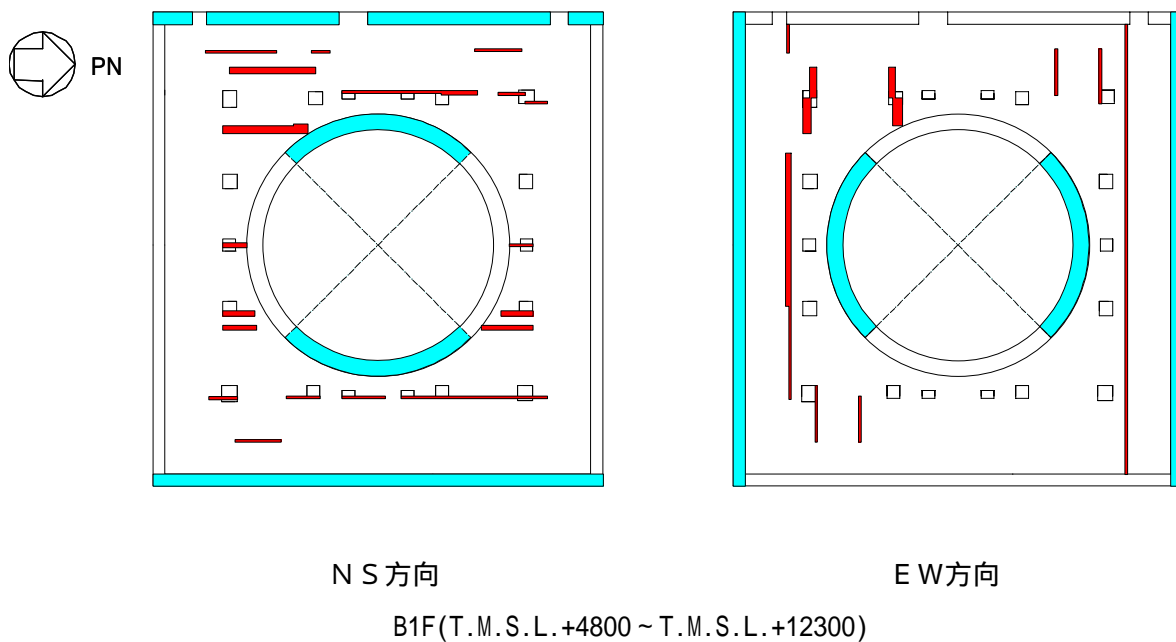
耐震壁	補助壁
・ 壁の厚さは 300mm 以上、かつ壁の内法高さの 1/30 以上	同左
・ 壁のせん断補強筋比は、直交する各方向に関し、それぞれ 0.6%以上	・ 壁のせん断補強筋比は、直交する各方向に関し、それぞれ 0.25%以上
・ 基礎スラブから連続して立ち上がっている壁	・ 下階まで壁が連続している、もしくは床スラブを介して壁に生じるせん断力を下階の耐震壁に伝達できる壁
・ フレーム構面内（柱、梁間）の壁	・ フレーム構面外でも上記を満たす壁

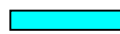
(2) 補助壁として考慮した壁の範囲


原子炉建屋の地震応答解析時に剛性を評価する範囲を以下に示す。



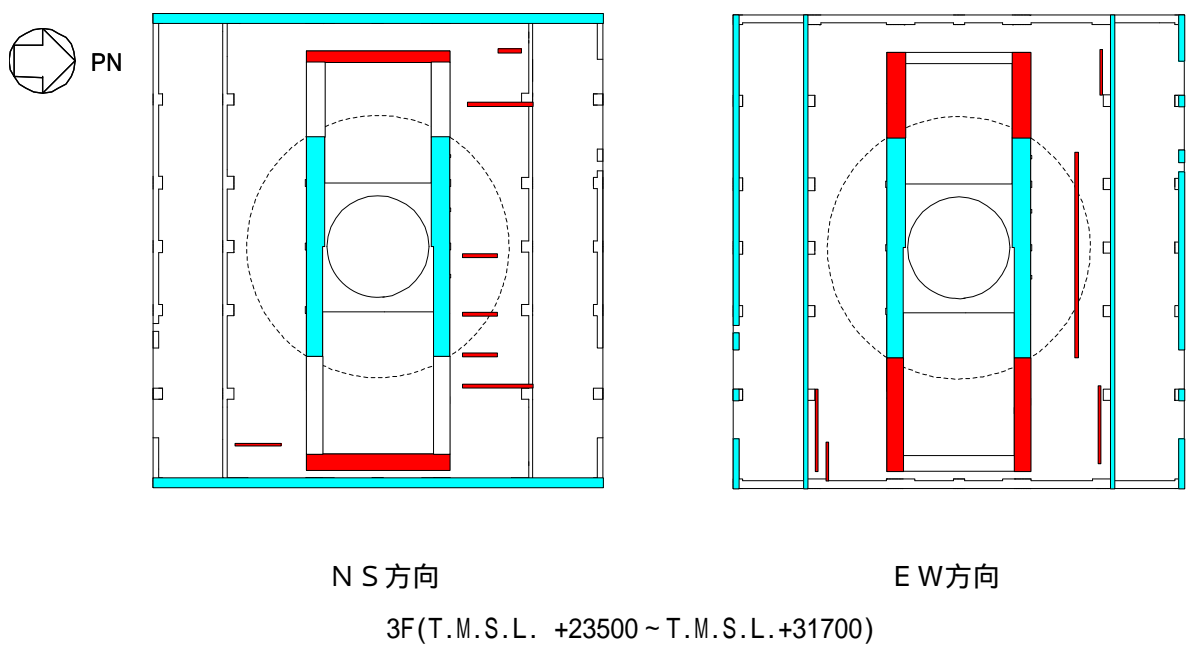
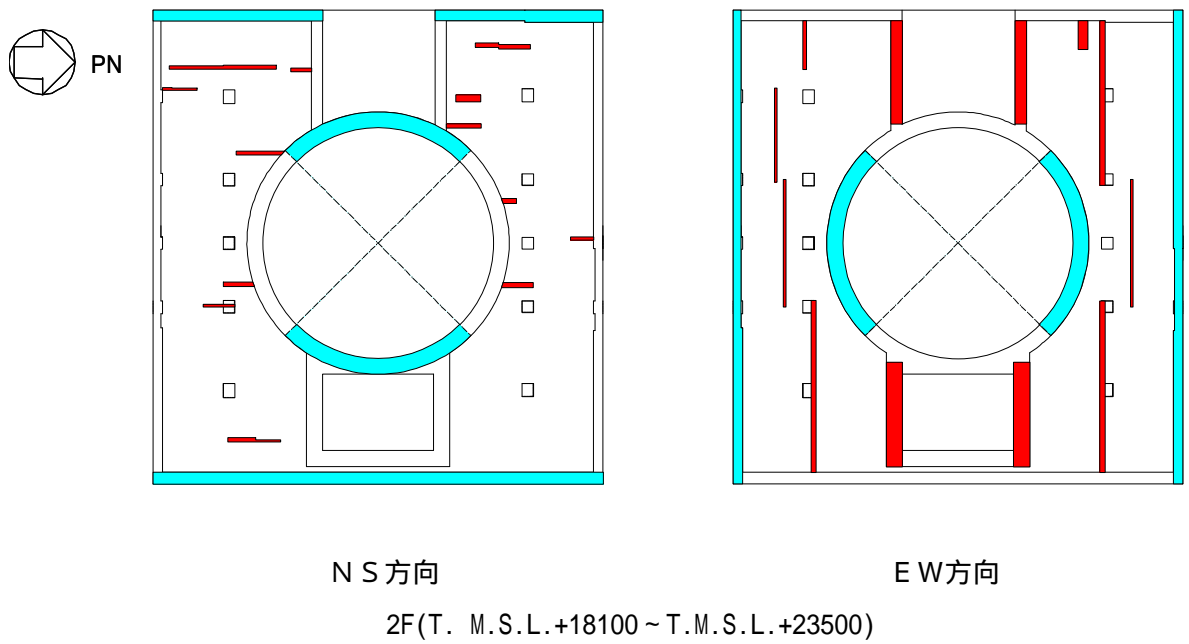
付図 - 1 剛性を評価する壁の範囲





 : 耐震壁として剛性を評価する範囲
(設計時と同じ)

 : 補助壁として剛性を評価する範囲

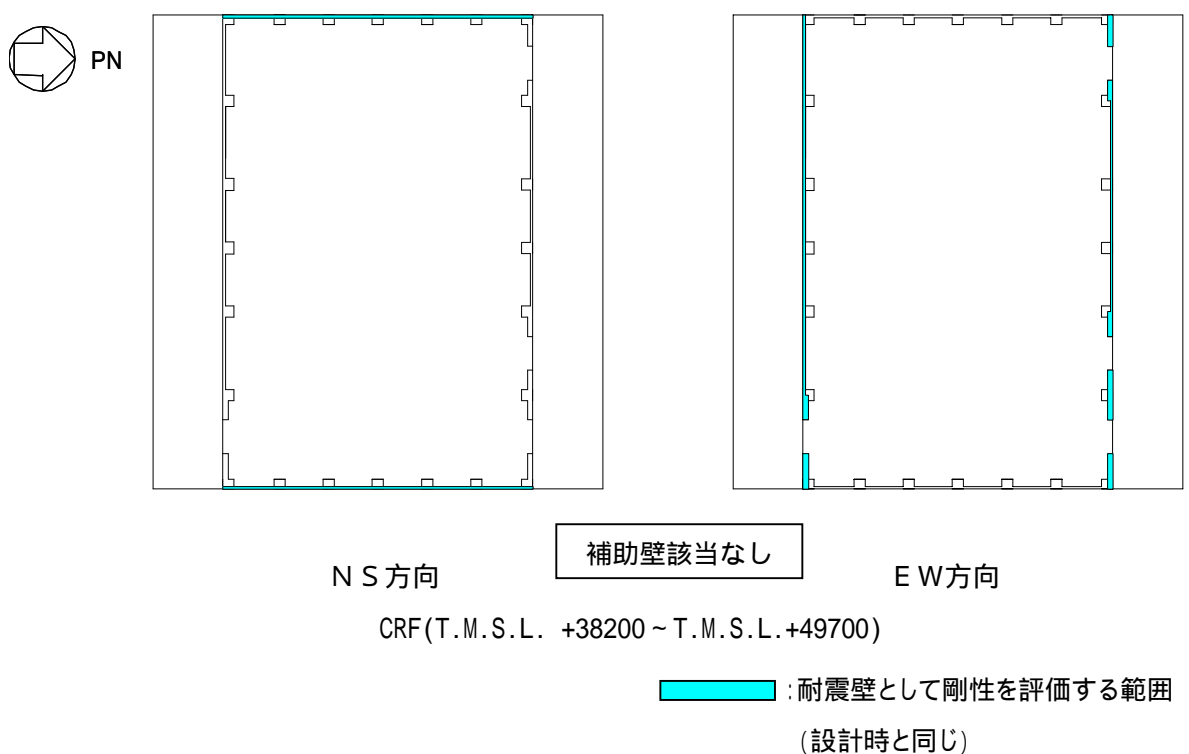
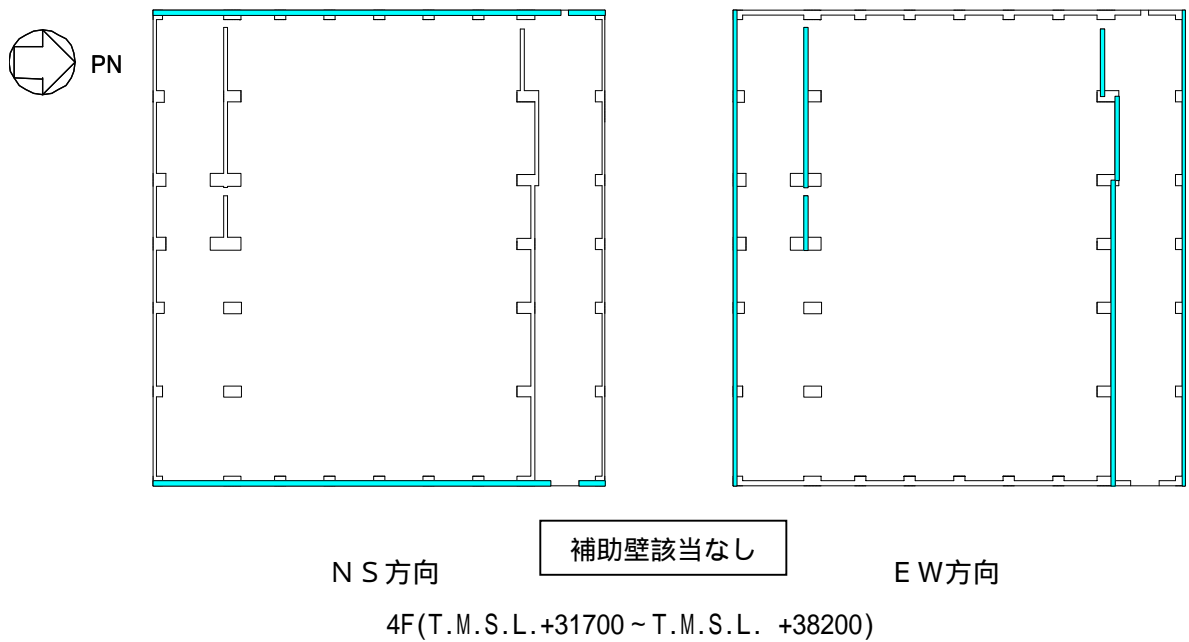
付図 - 2 剛性を評価する壁の範囲



 :耐震壁として剛性を評価する範囲
(設計時と同じ)

 :補助壁として剛性を評価する範囲

付図 - 3 剛性を評価する壁の範囲



付図 - 4 剛性を評価する壁の範囲

(3) 補助壁の評価結果

今回のシミュレーション解析モデルにおいて剛性を考慮した壁の断面積(= 耐震壁 + 補助壁) を7号機を例として付表 - 2 に示す。設計モデルに対するシミュレーションモデルの壁量の比は約 1.1~1.7 程度である。

付表 - 2 補助壁の評価結果

T.M.S.L. (m)	階	耐震壁		補助壁		シミュレーション 解析モデル		比率	
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	シミュレーション / 設計	
		m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	NS方向	EW方向
49.7	屋上階								
38.2	外-1階	41.0	54.7	0*	0*	41.0	54.7	1.00	1.00
31.7	4F	83.0	122.9	0*	0*	83.0	122.9	1.00	1.00
23.5	3F	231.8	267.7	75.7	124.0	307.5	391.7	1.33	1.46
18.1	2F	214.5	207.3	31.0	147.3	245.5	354.6	1.14	1.71
12.3	1F	215.8	228.9	71.2	145.2	287.0	374.1	1.33	1.63
4.8	地下1F	261.9	275.8	57.7	55.7	319.6	331.5	1.22	1.20
-1.7	地下2F	281.6	288.2	34.1	103.3	315.7	391.5	1.12	1.36
-8.2	地下3F	337.2	343.6	72.7	80.3	409.9	423.9	1.22	1.23

* 上部階については補助壁を考慮していない。

参考資料 1 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 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-1~参図-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-7 および参図-8 に示す。

參表-1 固有值解析結果

(南北方向)

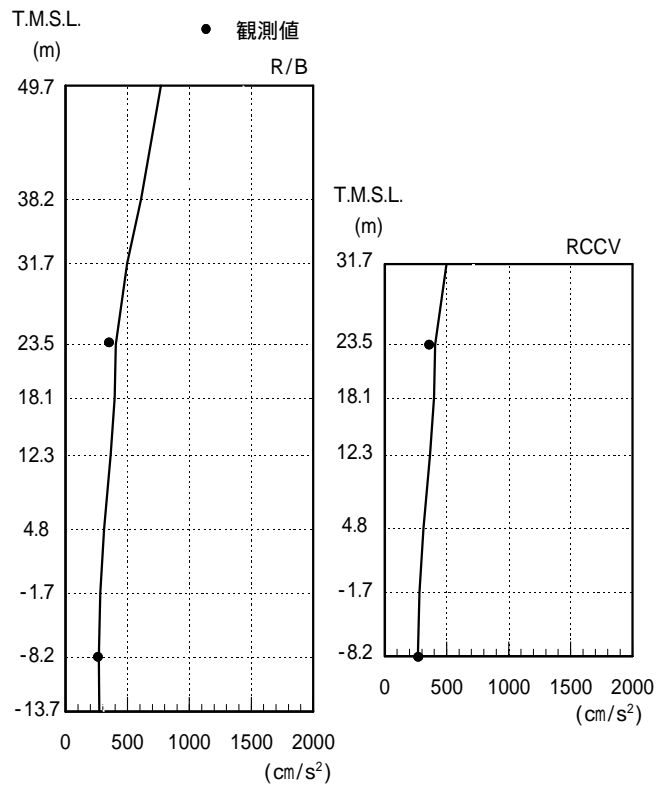
次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数
1	0.431	2.32	1.580
2	0.190	5.26	-0.682
3	0.087	11.54	0.060
4	0.074	13.44	0.060
5	0.074	13.51	0.024

(東西方向)

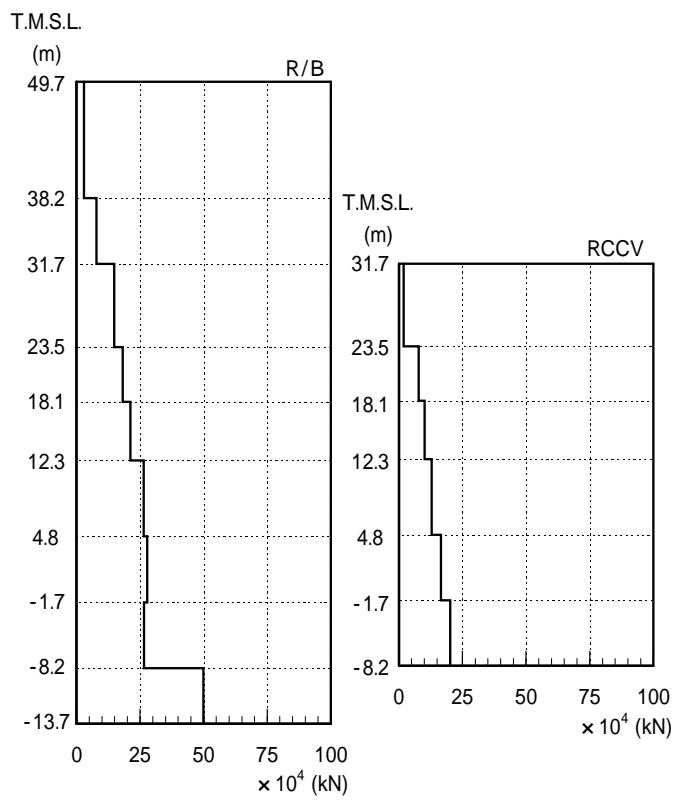
次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数
1	0.422	2.37	1.543
2	0.189	5.30	-0.607
3	0.079	12.71	-0.029
4	0.074	13.53	0.130
5	0.068	14.62	-0.043

(鉛直方向)

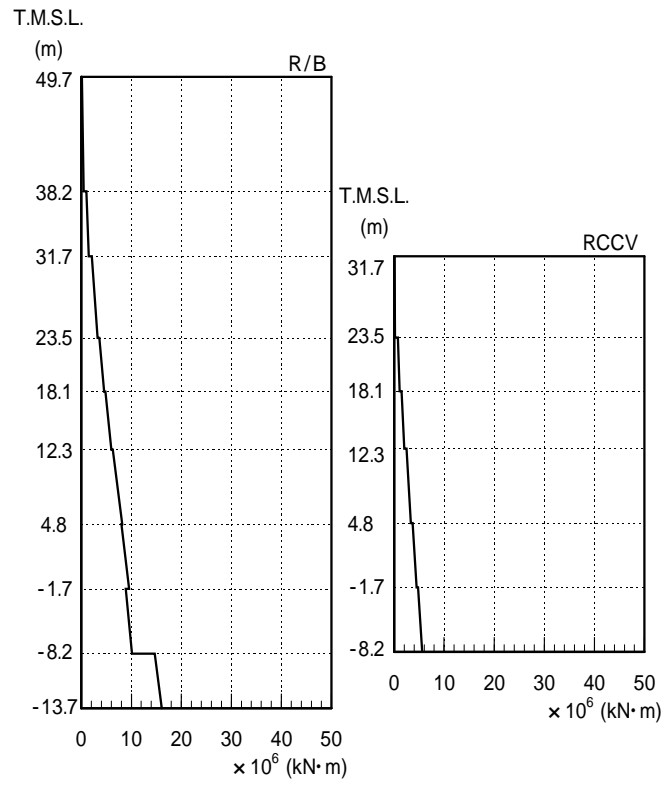
次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数
1	0.269	3.72	11.160
2	0.252	3.97	-10.217
3	0.074	13.55	0.086
4	0.049	20.33	-0.114
5	0.045	22.20	0.111



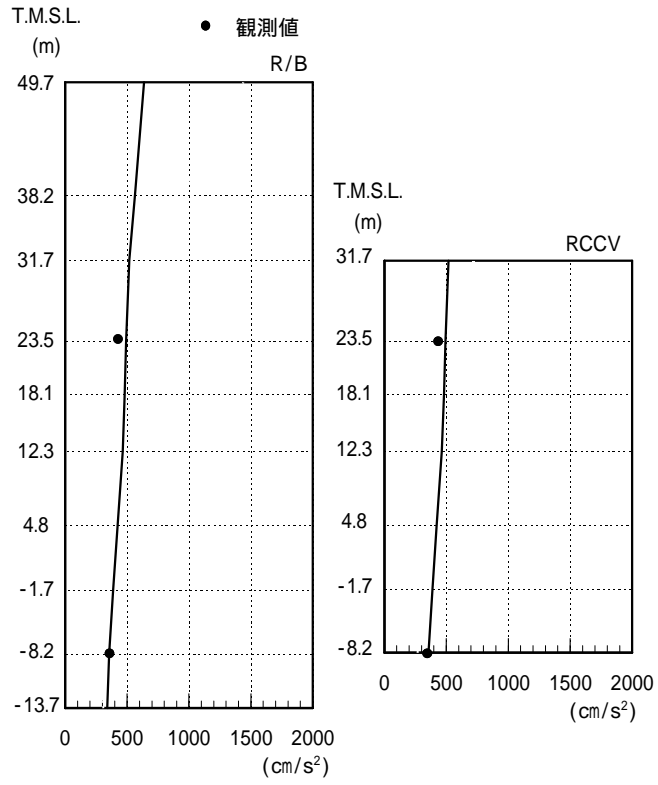
参図-1 最大応答加速度（南北方向）



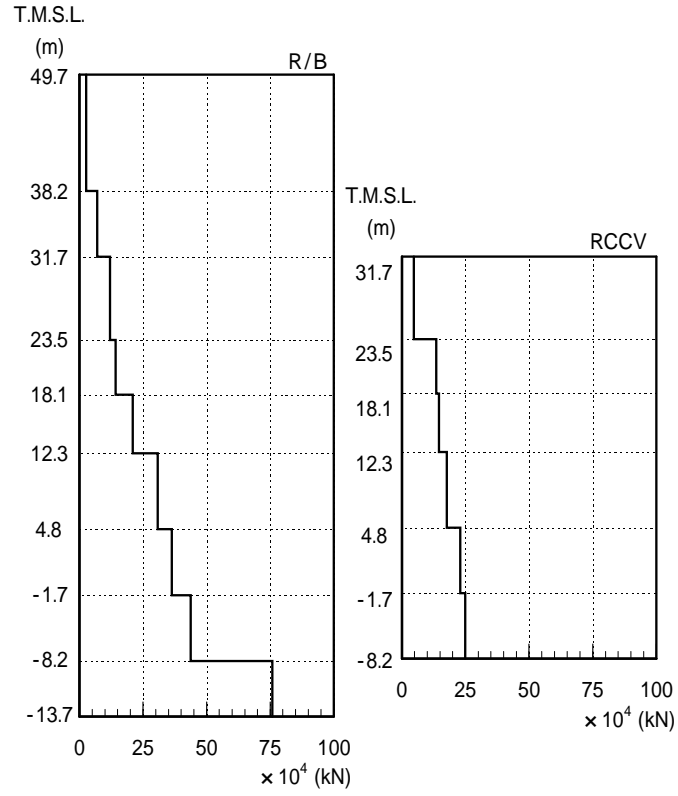
参图-2 最大応答せん断力（南北方向）



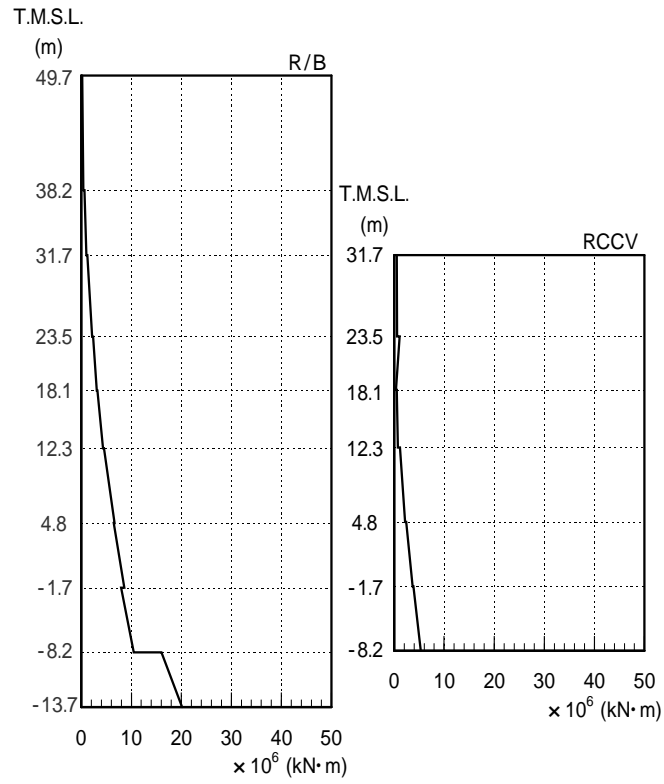
参図-3 最大応答曲げモーメント（南北方向）



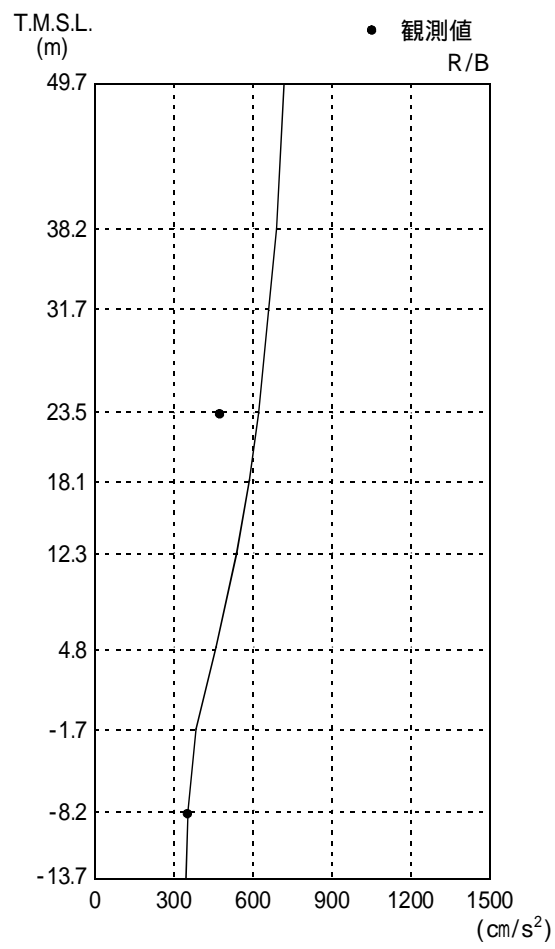
参図-4 最大応答加速度（東西方向）



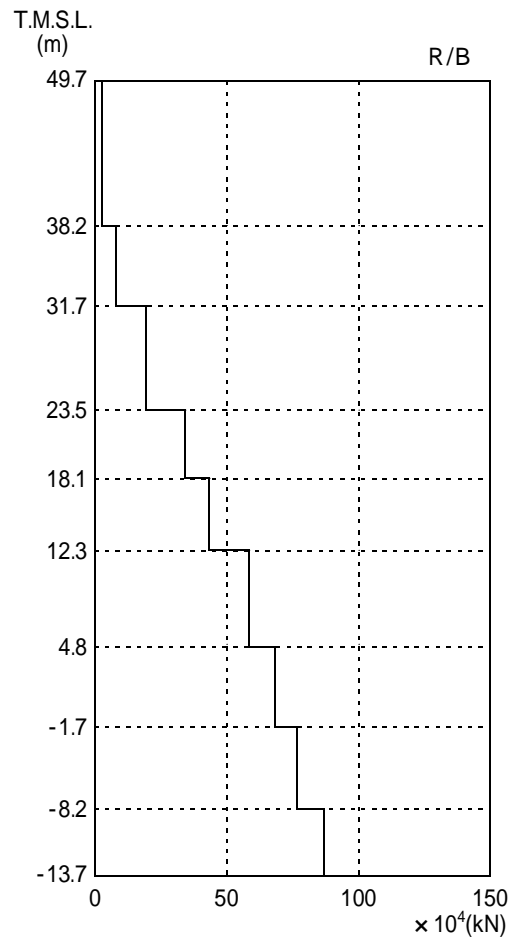
参图-5 最大応答せん断力（東西方向）



参図-6 最大応答曲げモーメント（東西方向）



参図-7 最大応答加速度 (鉛直方向)



参図-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。

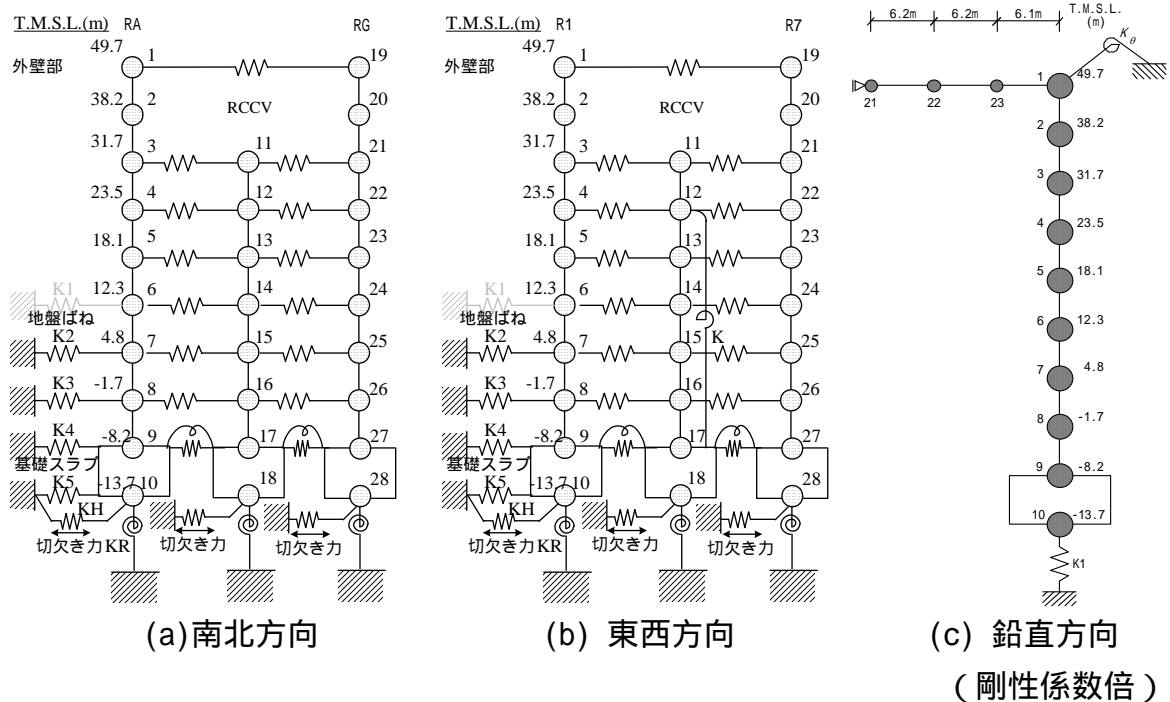
基礎浮上りの検討結果を参表-2 に示す。

参表-2 浮上りの検討結果

	浮上り限界モーメント M_0 (kN·m)	最大転倒モーメント M_{max} (kN·m)	接地率 (%)
南北方向	1.88×10^7	1.54×10^7	100.0
東西方向	1.98×10^7	1.93×10^7	100.0

参考資料2 追加検討モデルによる応答結果比較

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結果を実施し、現状のシミュレーション解析モデルによる結果と比較を行なう。参図-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、鉛直方向については剛性を係数倍したモデルを追加検討モデルとする。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。

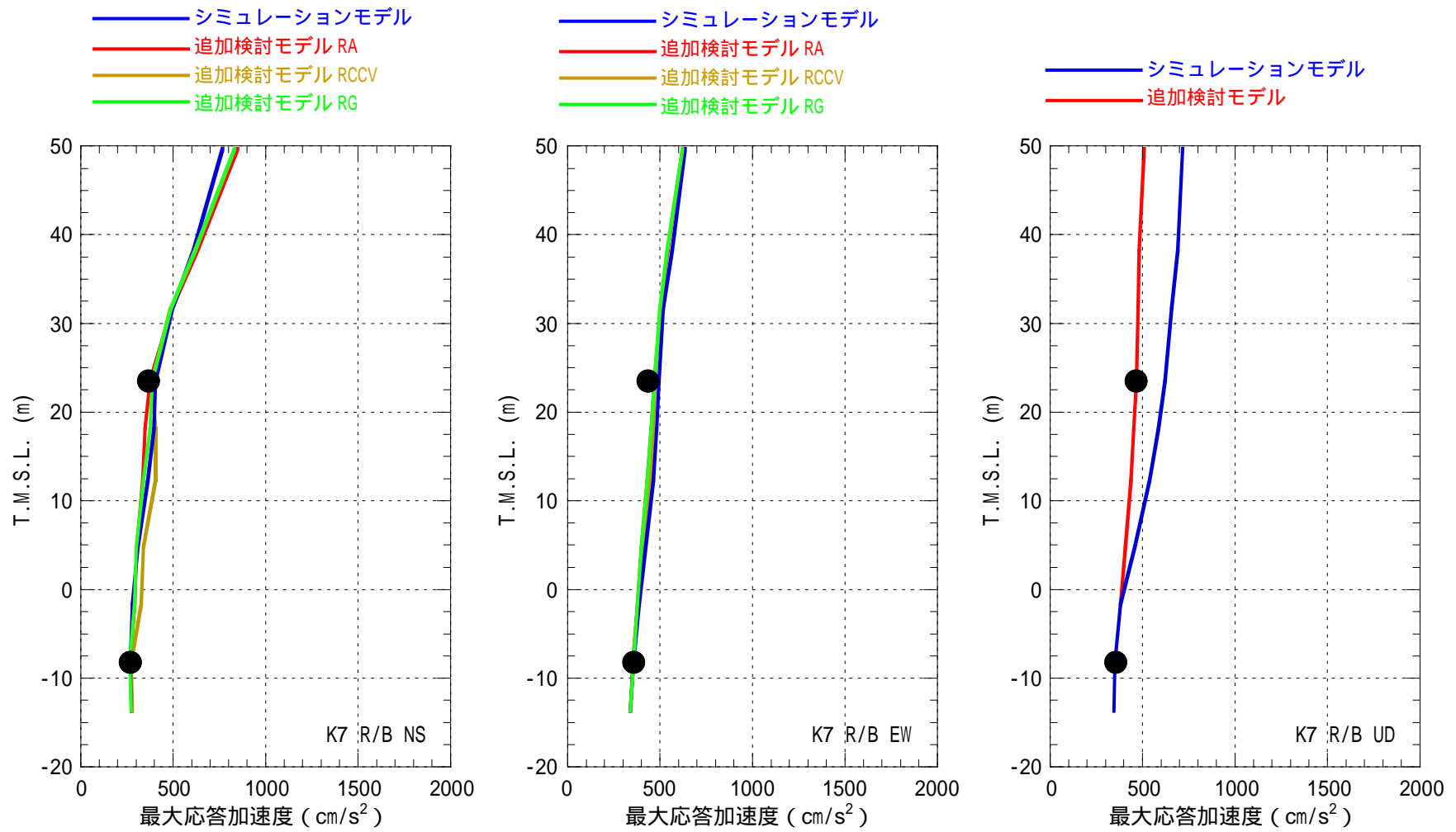


参図-1 追加検討モデル

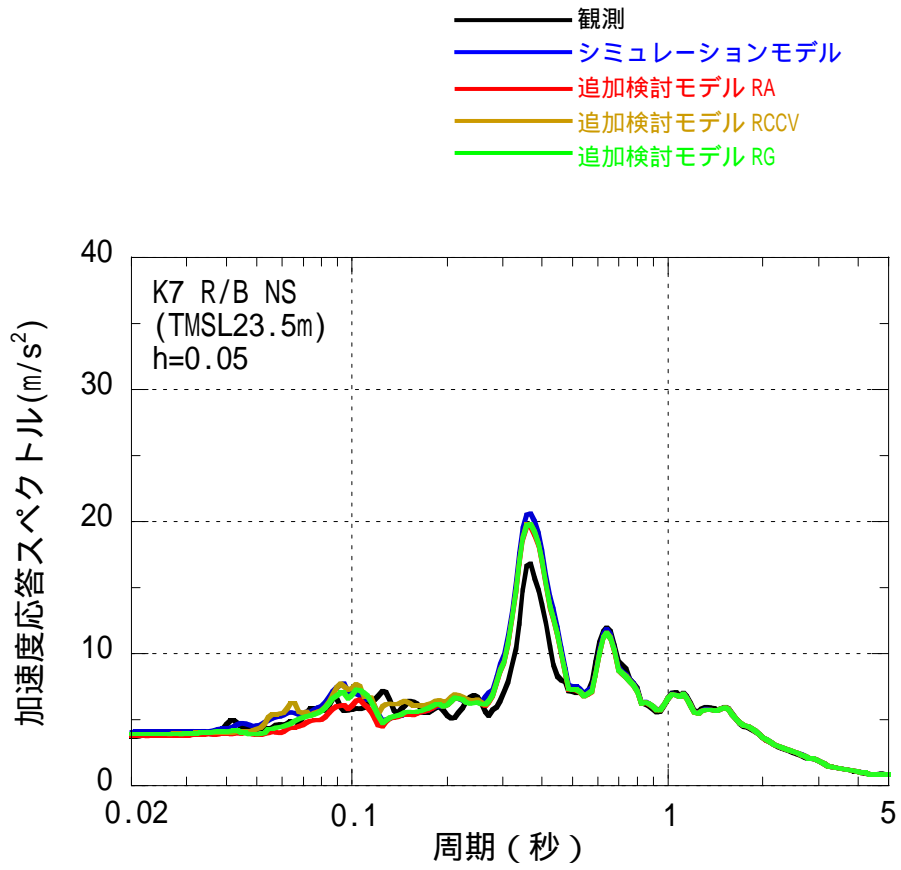
参図-2 に最大応答加速度、参図-3～参図-5 に中間階の加速度応答スペクトルの比較を示す。水平方向については、追加検討モデルとシミュレーション解析モデルによる結果はほぼ同等である。鉛直方向については、追加検討モデルと観測記録との適合度は改善される。

参図-6～参図-9 に外壁のせん断応力度とせん断ひずみの比較、参図-10～参図-13 に RCCV のせん断応力度とせん断ひずみの比較を示す。追加検討モデルは床の柔性を考慮しているため、重量の大きい RCCV の応答が若干大きくなる傾向がある。ただし、外壁と RCCV 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。

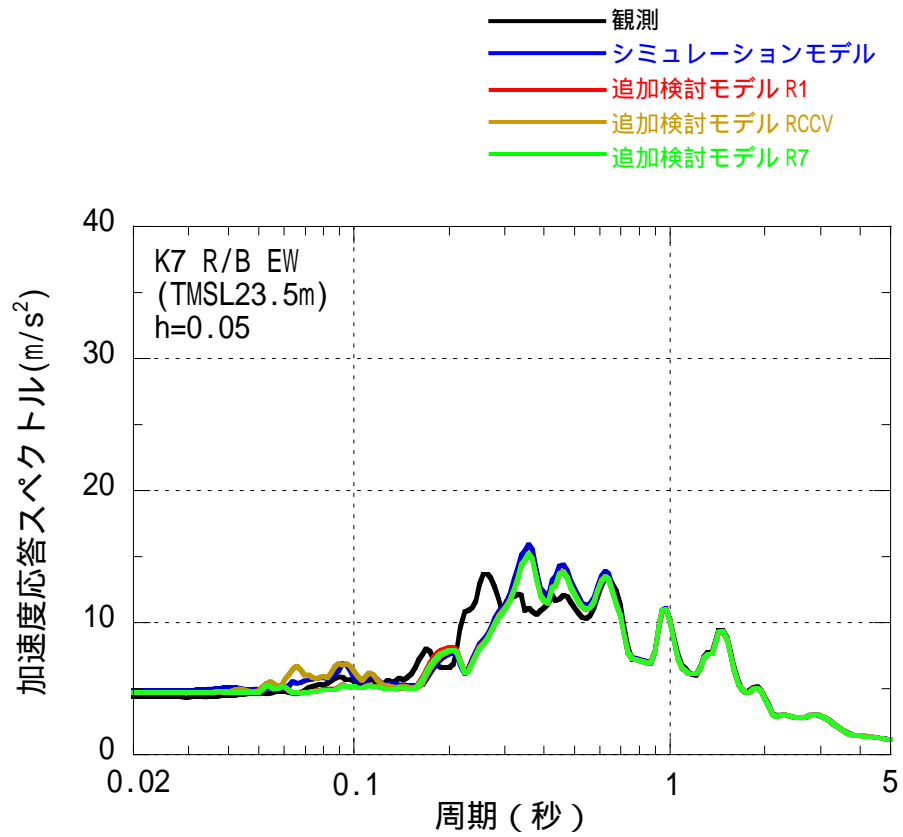
また、参考としてシミュレーション解析モデルと追加検討モデルによる層せん断力の比較を参図-14～参図-15 に示す。



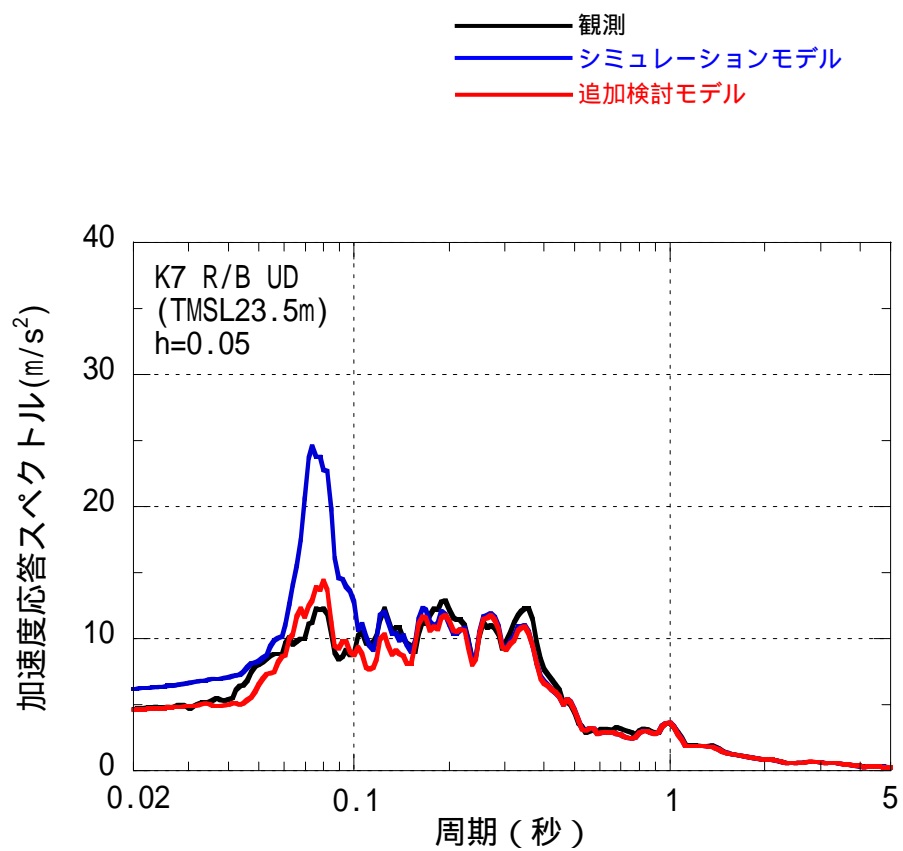
参図-2 最大応答加速度の比較



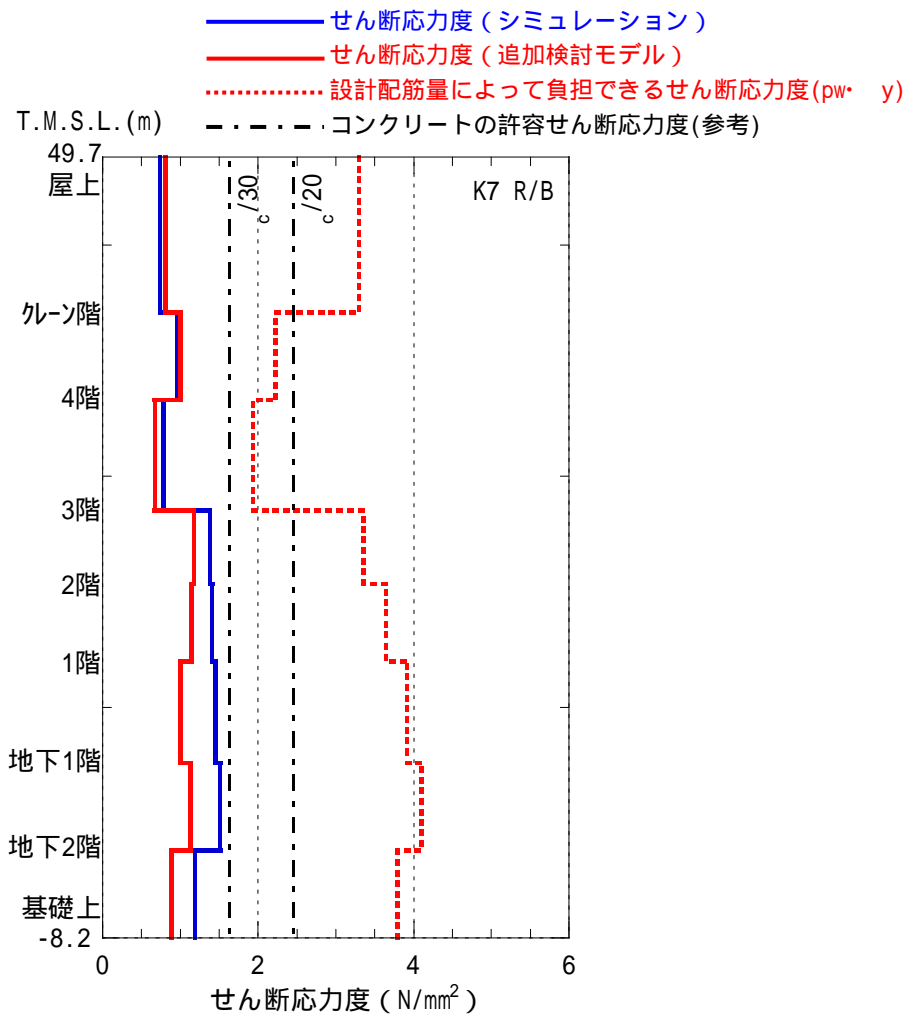
参図-3 加速度応答波形および加速度応答スペクトルの比較
中間階 (T.M.S.L. 23.5m) 南北方向



参図-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. 23.5m) 東西方向

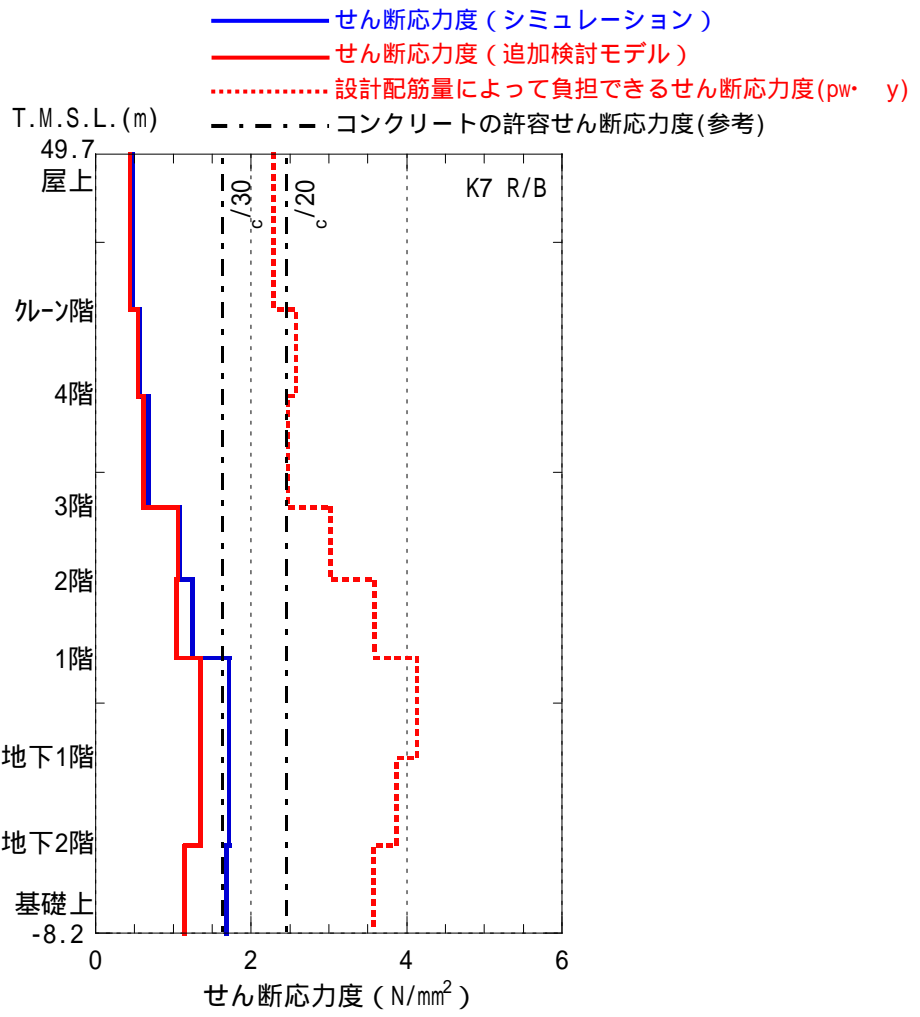


参図-5 加速度応答波形および加速度応答スペクトルの比較
 中間階 (T.M.S.L. 23.5m) 鉛直方向



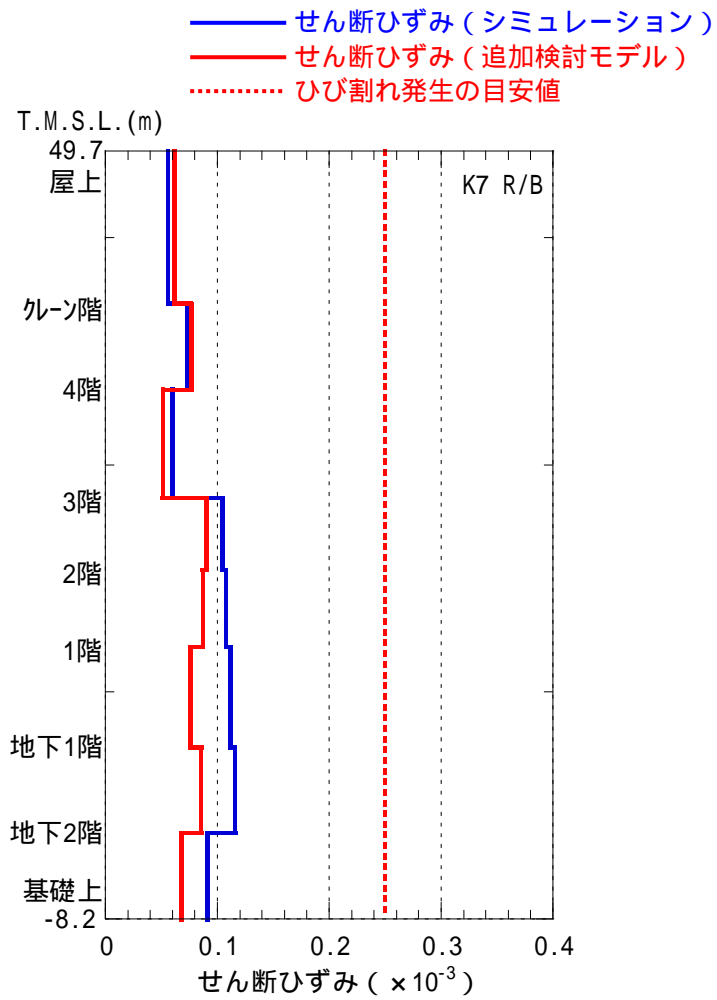
c = コンクリートの実強度

参図-6 原子炉建屋 耐震壁のせん断応力度 (南北方向)

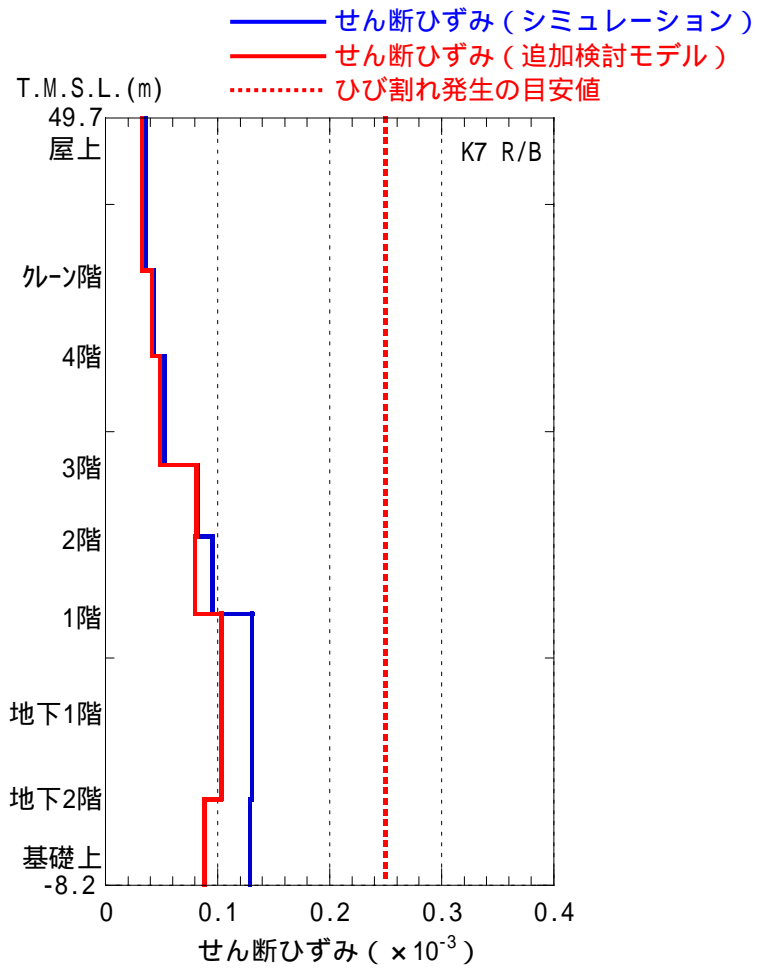


c = コンクリートの実強度

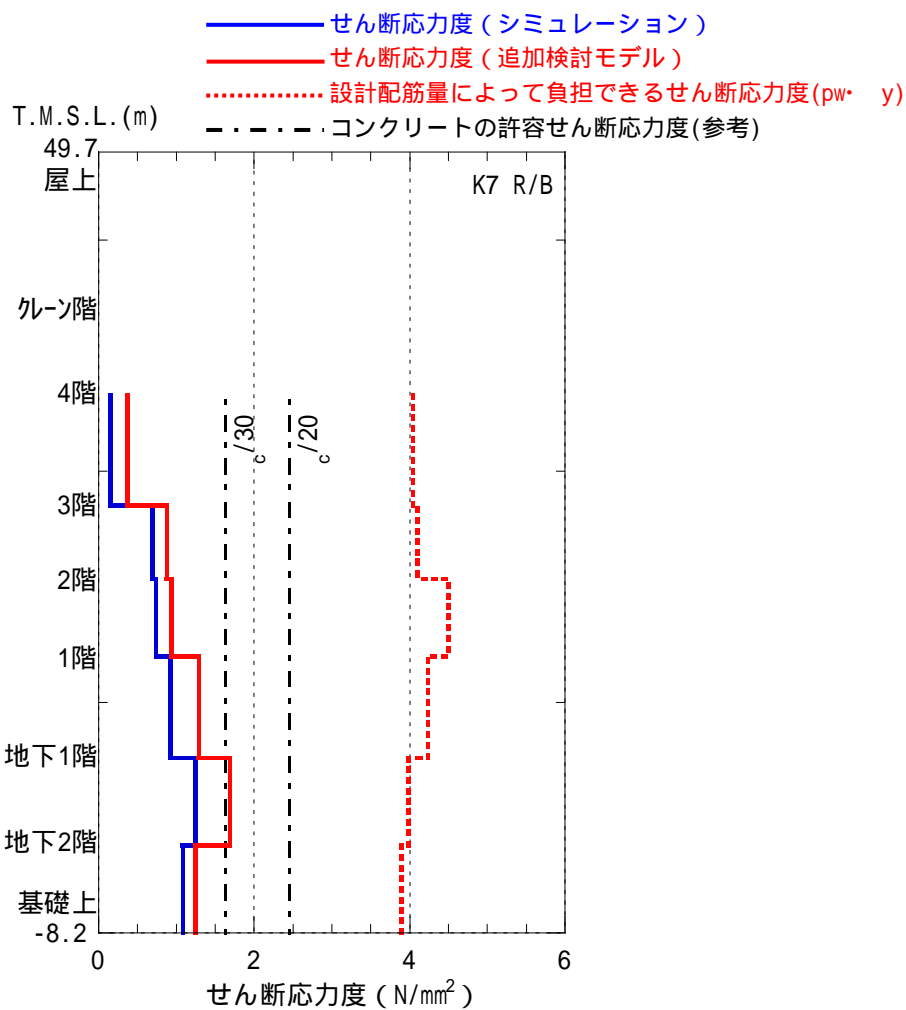
参図-7 原子炉建屋 耐震壁のせん断応力度 (東西方向)



参図-8 原子炉建屋 耐震壁のせん断ひずみ (南北方向)

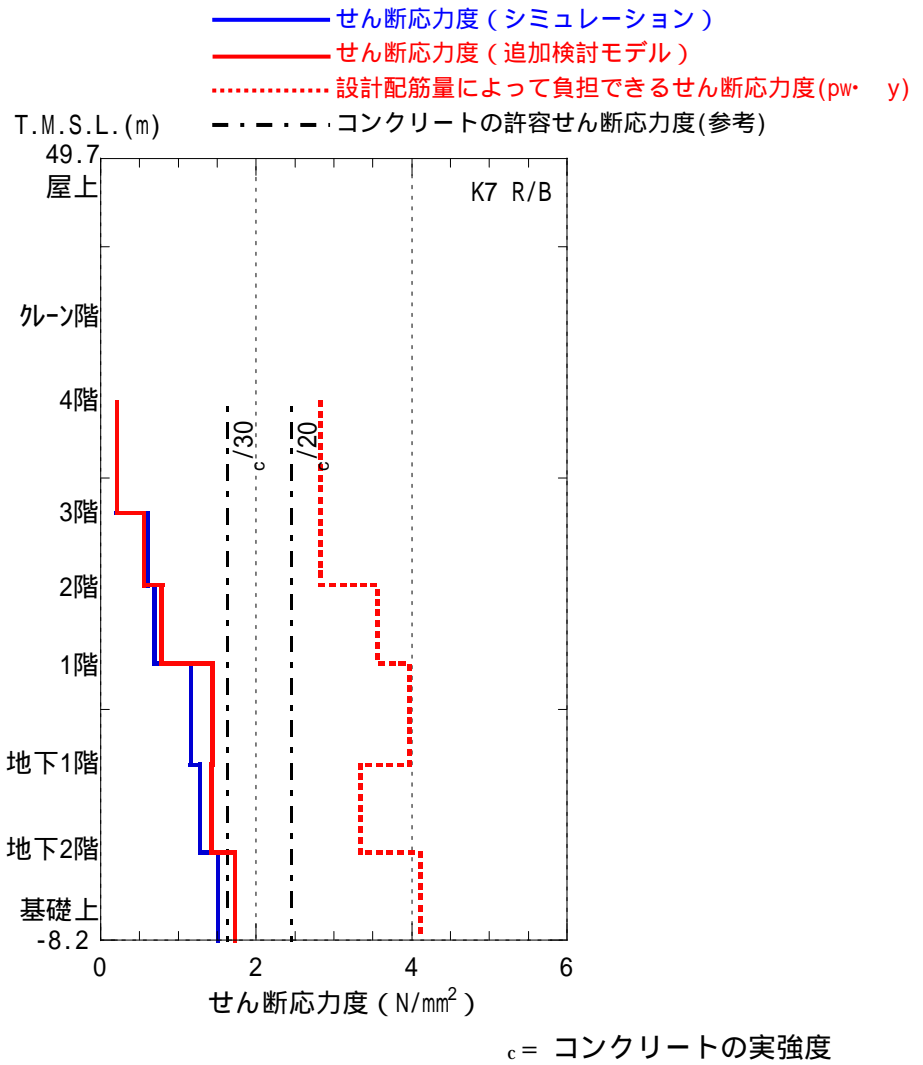


参図-9 原子炉建屋 耐震壁のせん断ひずみ (東西方向)

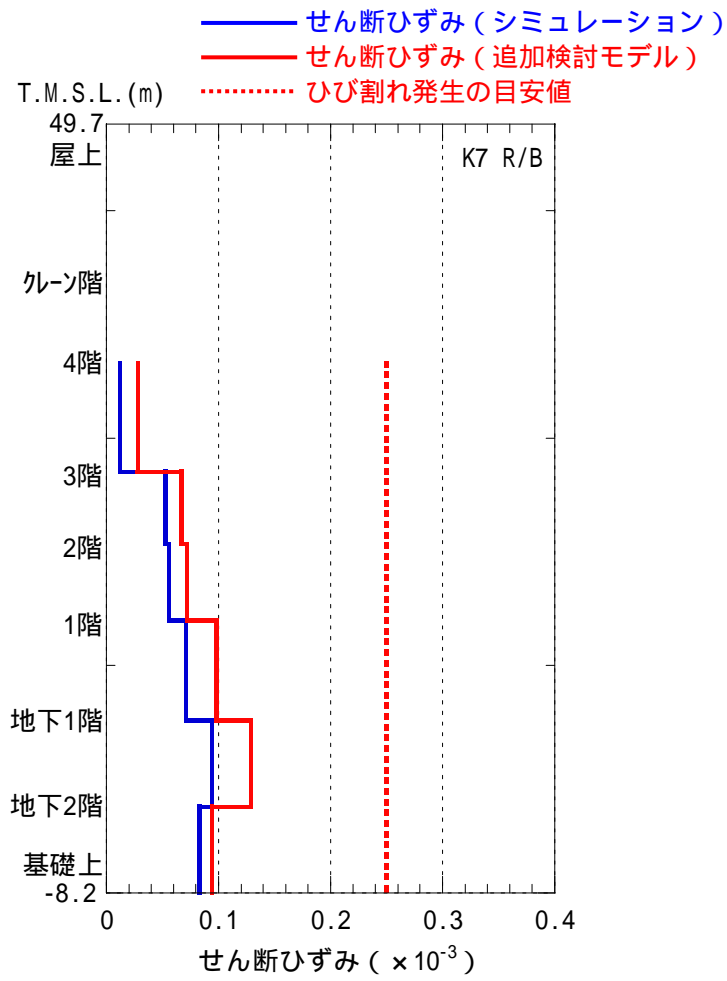


c = コンクリートの実強度

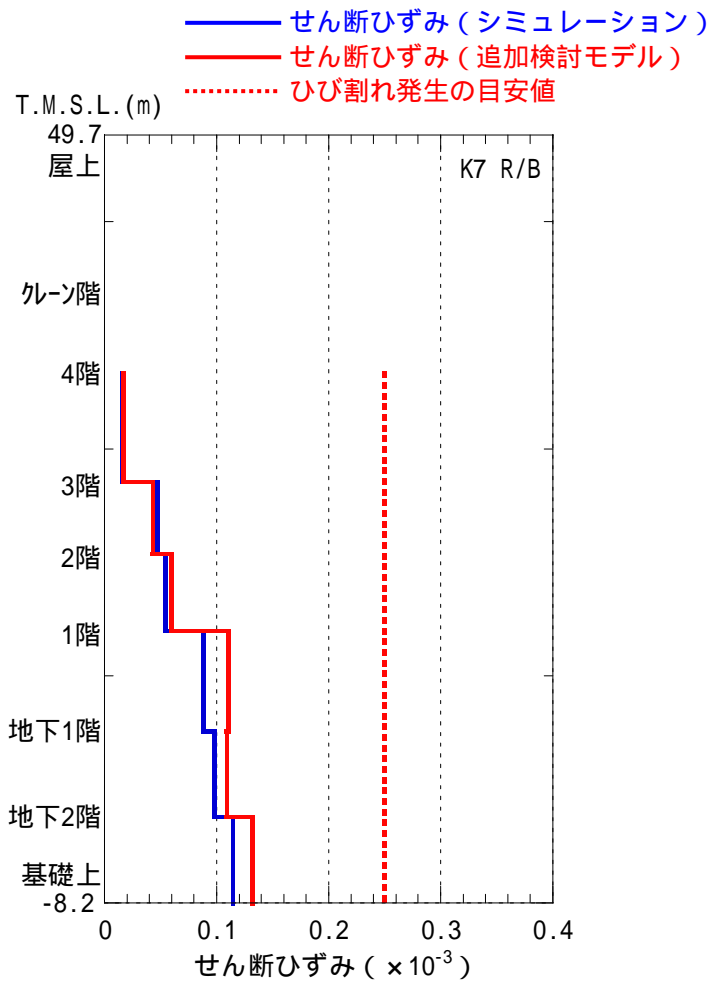
参図-10 RCCVの鉄筋コンクリート部のせん断応力度 (南北方向)



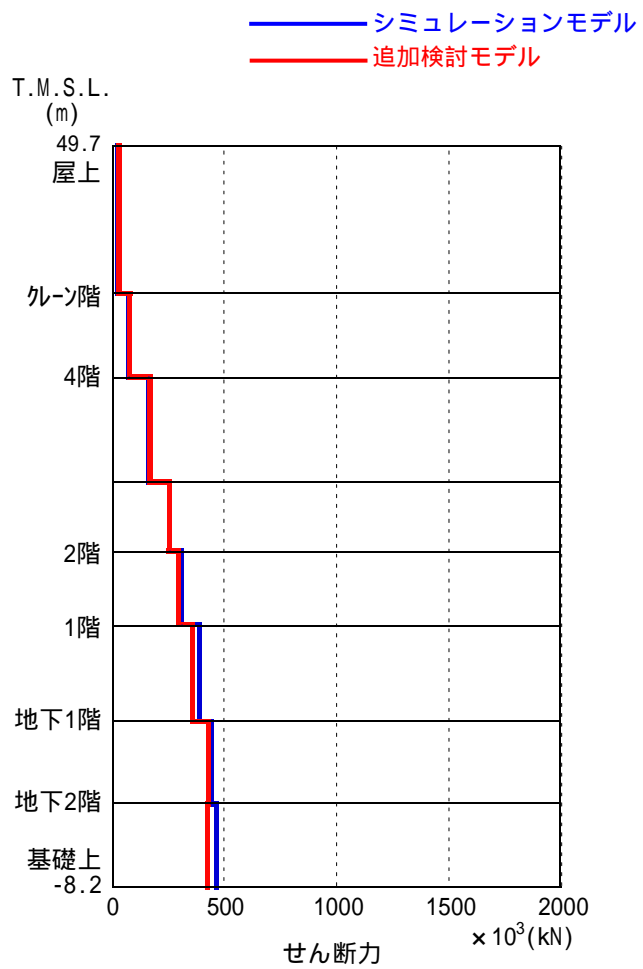
参図-11 RCCV の鉄筋コンクリート部のせん断応力度 (東西方向)



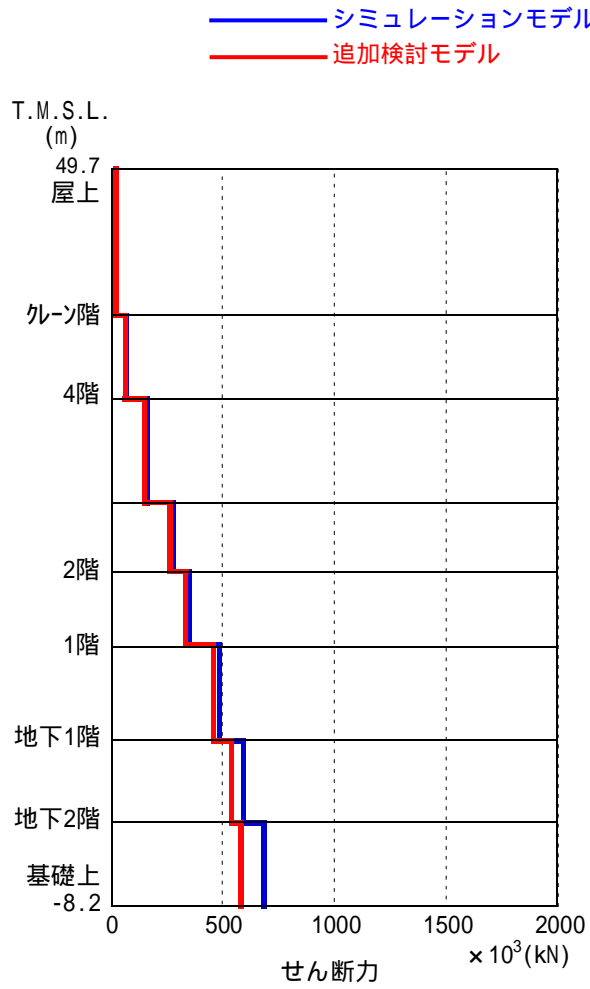
参図-12 RCCVの鉄筋コンクリート部のせん断ひずみ(南北方向)



参図-13 RCCV の鉄筋コンクリート部のせん断ひずみ (東西方向)



参図-14 原子炉建屋 最大応答せん断力 (南北方向)



参図-15 原子炉建屋 最大応答せん断力（東西方向）