

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・評価報告書 (建物・構築物編) (案)

平成20年8月8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 . 報告書の概要	3-1
3 . 1 報告書の位置付け	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	3-2
3 . 4 品質保証	3-2
3 . 5 実施体制	3-2
4 . 点検	4-1
4 . 1 点検方法の策定	4-3
4 . 2 力量管理	4-6
4 . 3 点検結果	4-7
4 . 4 第三者機関による確認	4-22
5 . 耐震健全性評価	5-1
5 . 1 原子炉建屋の耐震健全性評価	5-1
5 . 2 タービン建屋の耐震健全性評価	5-40
5 . 3 排気筒の耐震健全性評価	5-68
5 . 4 非常用取水路の耐震健全性評価	5-89
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

本報告書は、「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）」に基づき実施した建物・構築物の点検・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。

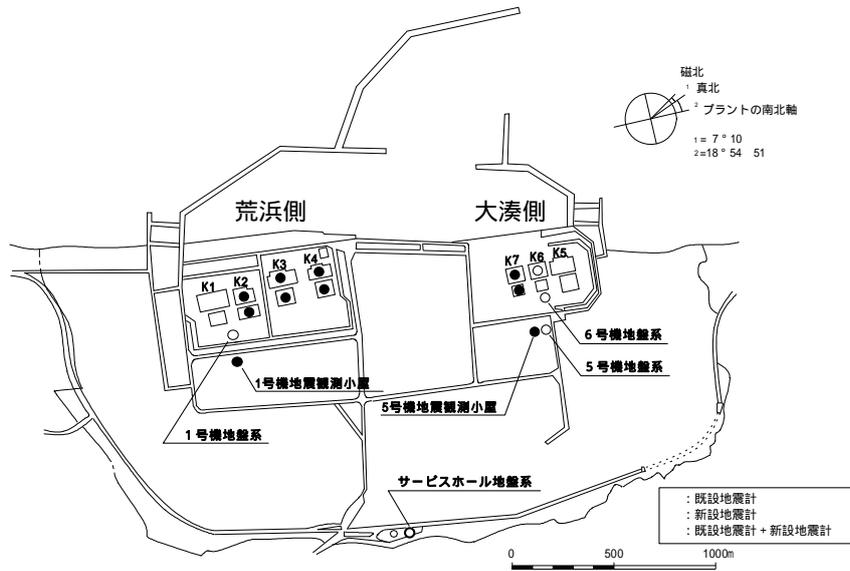


図-2.2.1 柏崎刈羽原子力発電所における地震観測点の配置

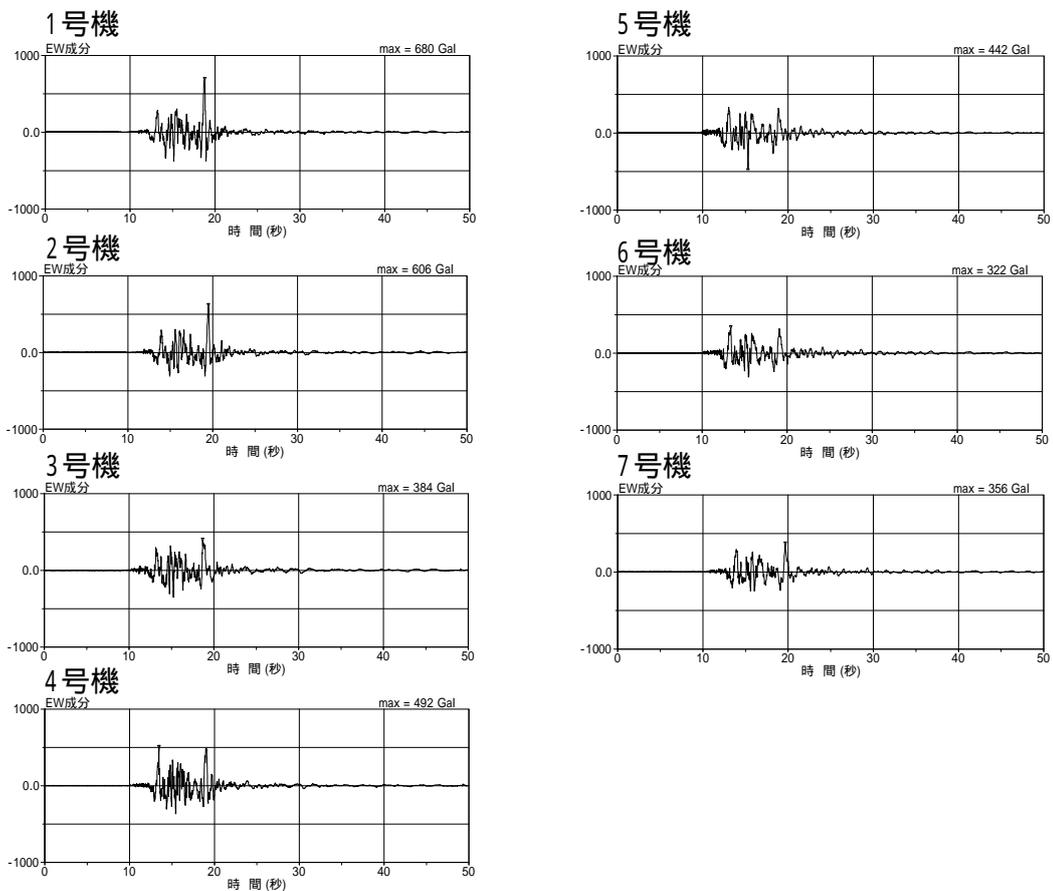


図-2.2.2 原子炉建屋基礎版上で観測された加速度時刻歴波形（東西方向）

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。

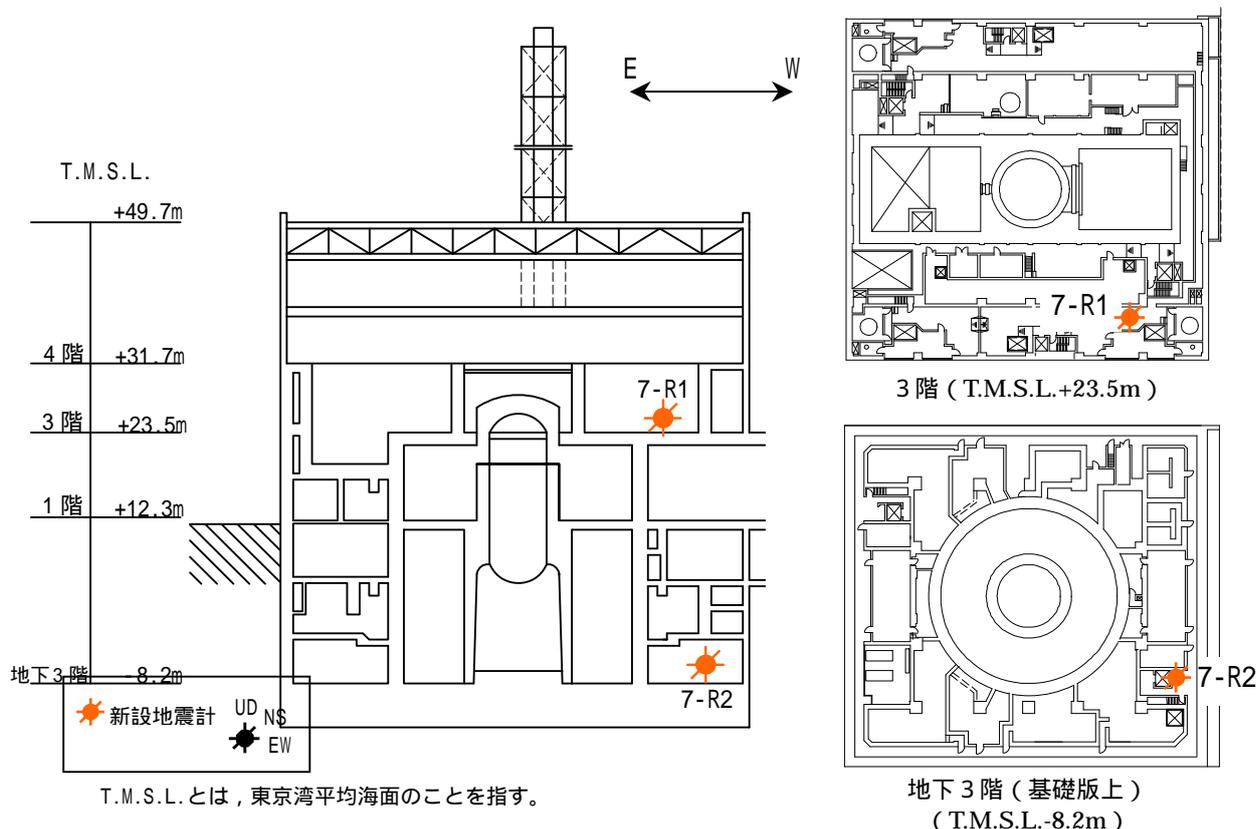


図-2.3.1 7号機 原子炉建屋地震計配置図

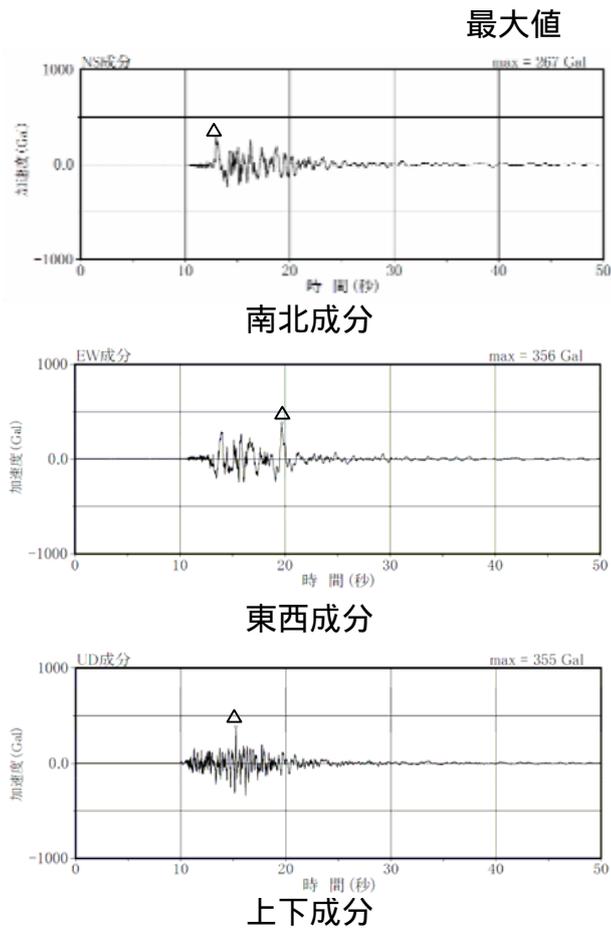


図-2.3.2 7号機 原子炉建屋基礎版上で観測された加速度時刻歴波形

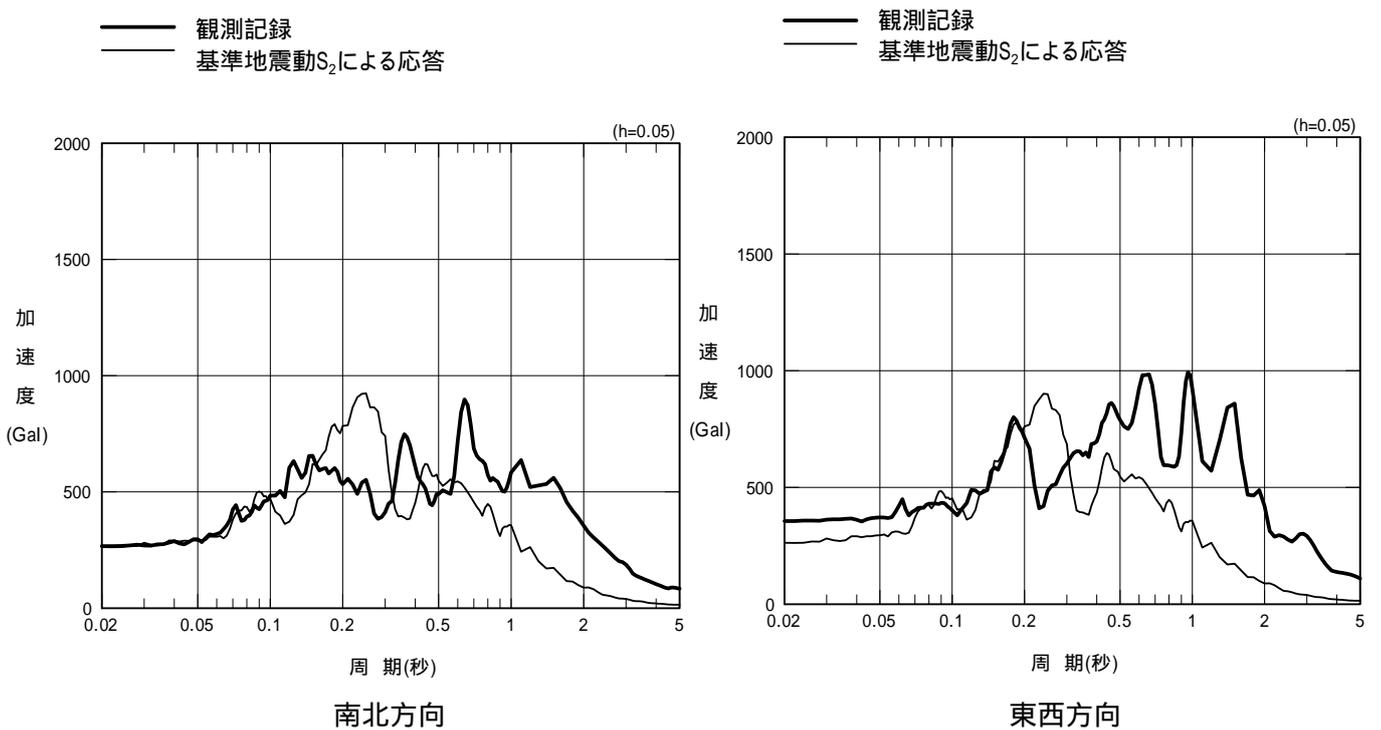


図-2.3.3 7号機 原子炉建屋基礎版上の加速度応答スペクトル

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. 報告書の概要

3.1. 報告書の位置付け

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。

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。

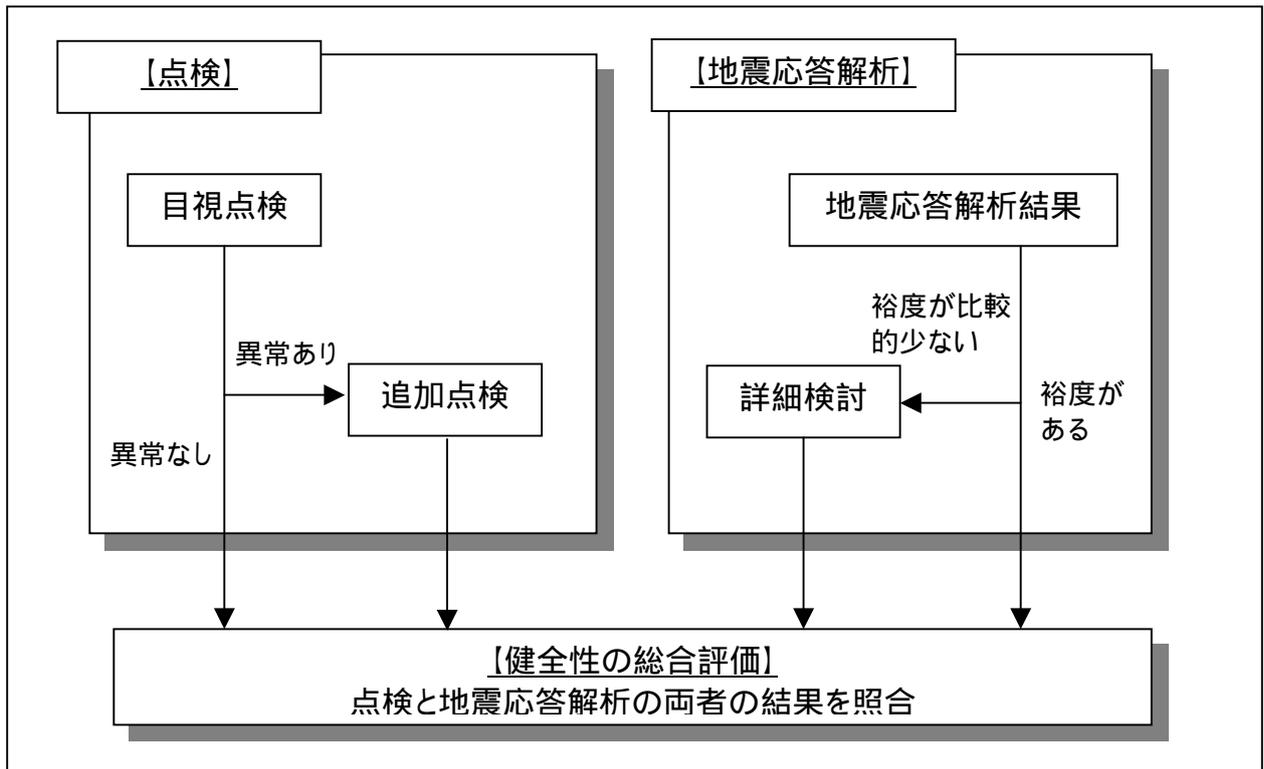


図-3.2.1 建物・構築物の点検・評価の全体フロー

3.3. 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 (2) 1次しゃへい壁 (3) 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

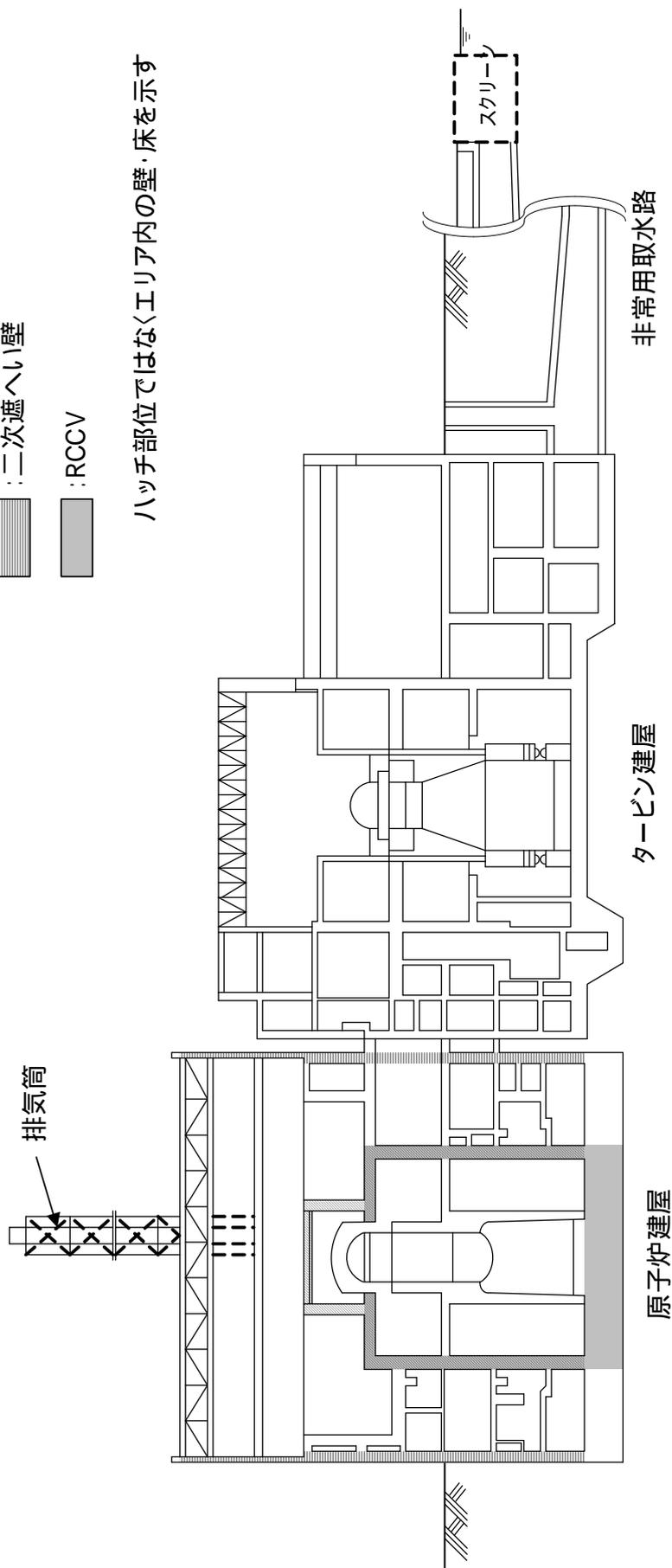


図-3.3.1 点検・評価対象の建物・構築物の断面図

3.3.1. 原子炉建屋の概要

原子炉建屋は、図-3.3.2～図-3.3.10 に示すように地上 4 階、地下 3 階の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）の建物である。

原子炉建屋の平面は、下部では、56.6m（NS）×59.6m（EW）で、ほぼ正方形をなしており、基礎底面からの高さは 63.4m、地上高さ 37.7m である。なお、原子炉建屋の屋根部分には排気筒が設置されている。また、原子炉建屋は隣接する他の建屋と構造的に分離されている。

原子炉建屋の基礎は厚さ 5.5m のベタ基礎で、支持地盤である新第三紀層の泥岩上にマンメイドロックを介して設置されている。

原子炉建屋の中央部には原子炉圧力容器を収容している鉄筋コンクリート製原子炉格納容器（以下、「RCCV」という。）がある。RCCV は、円筒形で基礎スラブ上から立上がり、床スラブによって原子炉建屋と一体構造になっている。この RCCV の高さは底部上端からトップスラブ部下端まで 29.5m、内径は 29.0 m であり、壁厚は 2.0m である。

原子炉建屋の外壁（以下、「ボックス壁」という。）の壁厚は地下部分で 1.7m～1.5m、地上部分では 1.5m～0.3m である。また、RCCV とボックス壁の間に耐震壁（以下、「中間壁」という。）を配置している。

原子炉建屋の耐震壁は RCCV、ボックス壁および中間壁である。主要な耐震壁は建屋の中心に対してほぼ対称に配置しており、開口部も少なく、建屋は全体として非常に剛性の高い構造となっている。建屋に加わる地震時の水平力はすべてこれらの耐震壁に負担させる設計としている。

柱および梁は、耐震壁の一部とつながってラーメン構造を形成している。このラーメン構造部材は地震時に建屋層間変位に対し、追従できるように設計している。

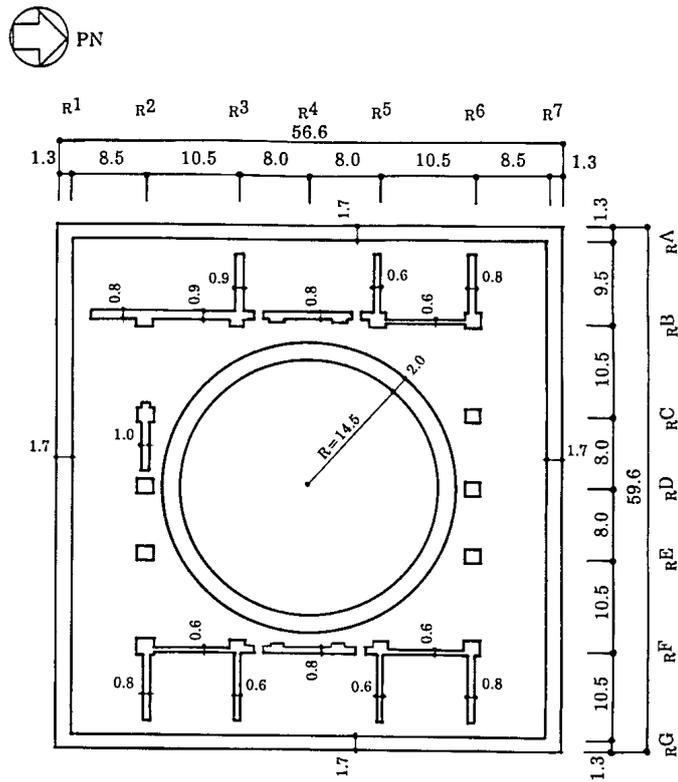


図-3.3.2 地下3階 (T.M.S.L. -8.2m)

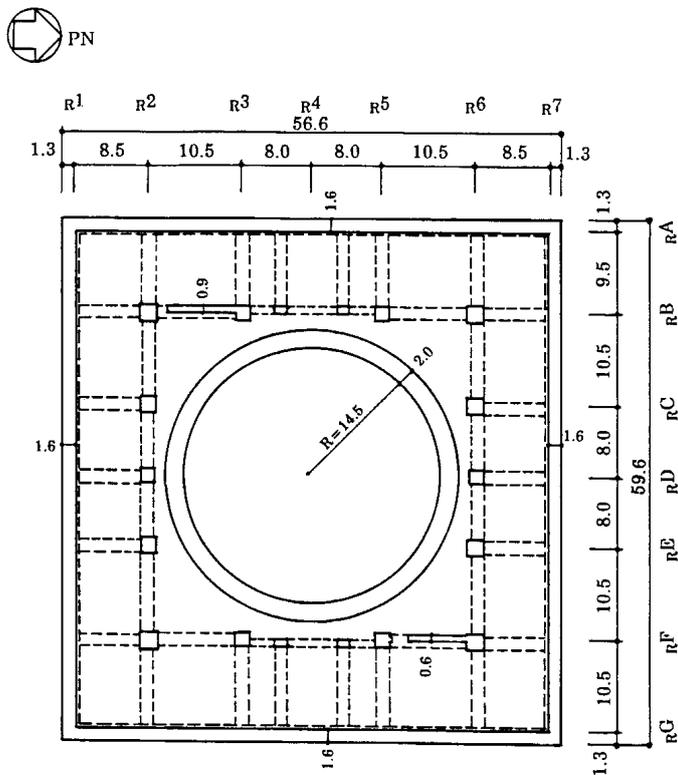


図-3.3.3 地下2階 (T.M.S.L. -1.7m)

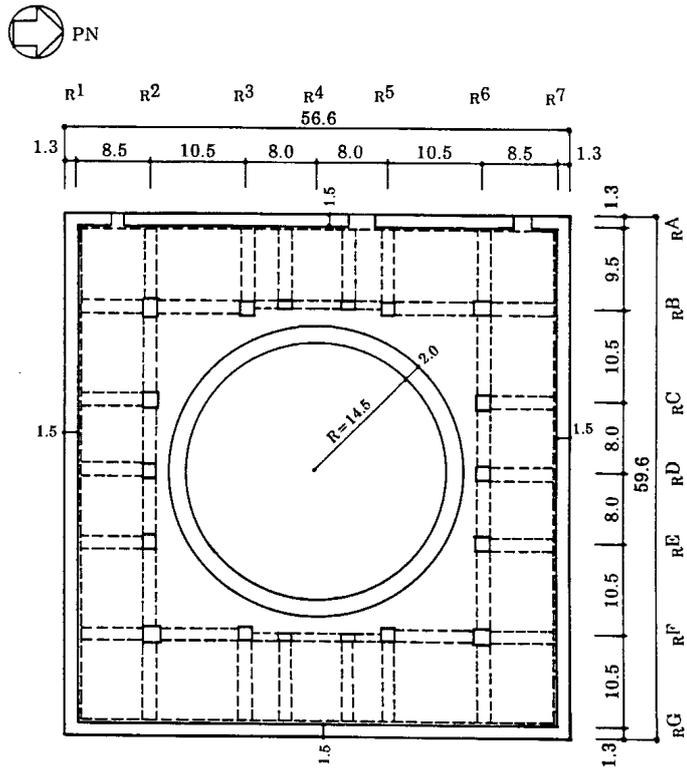


图-3.3.4 地下1階 (T.M.S.L. 4.8m)

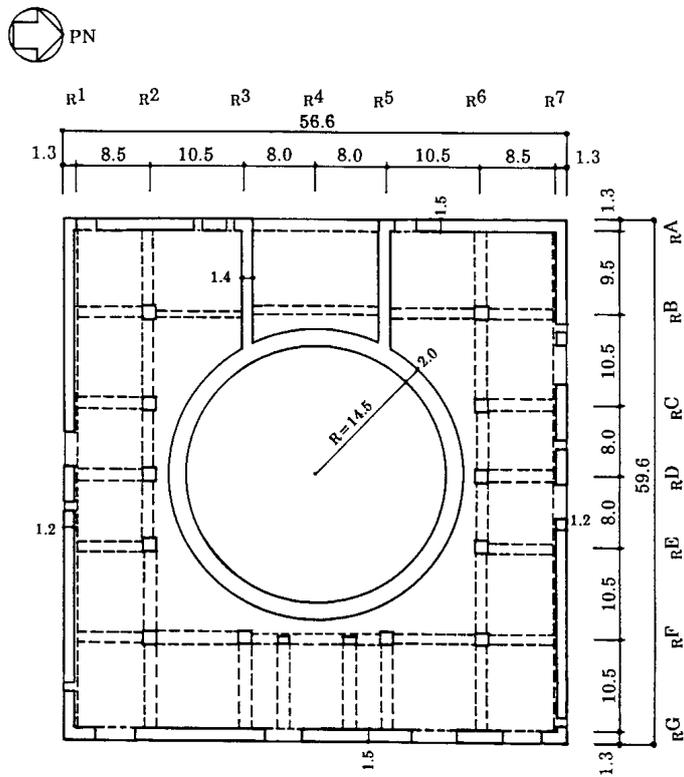


图-3.3.5 1階 (T.M.S.L. 12.3m)

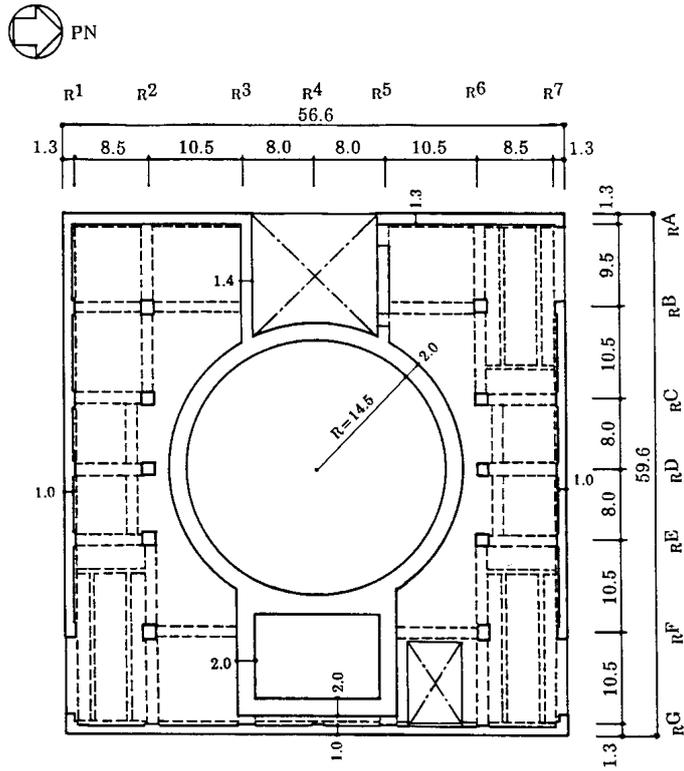


図-3.3.6 2階 (T.M.S.L. 18.1m)

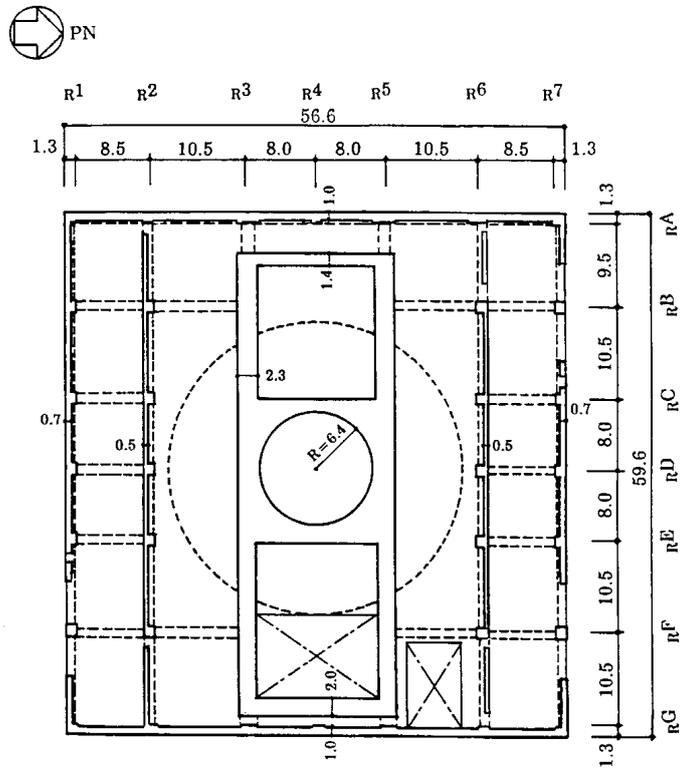


図-3.3.7 3階 (T.M.S.L. 23.5m)

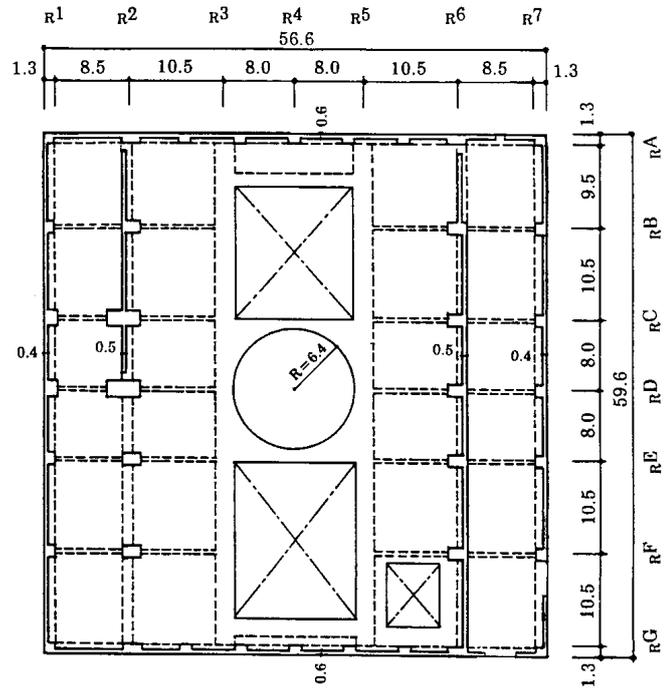


图-3.3.8 4階 (T.M.S.L. 31.7m)

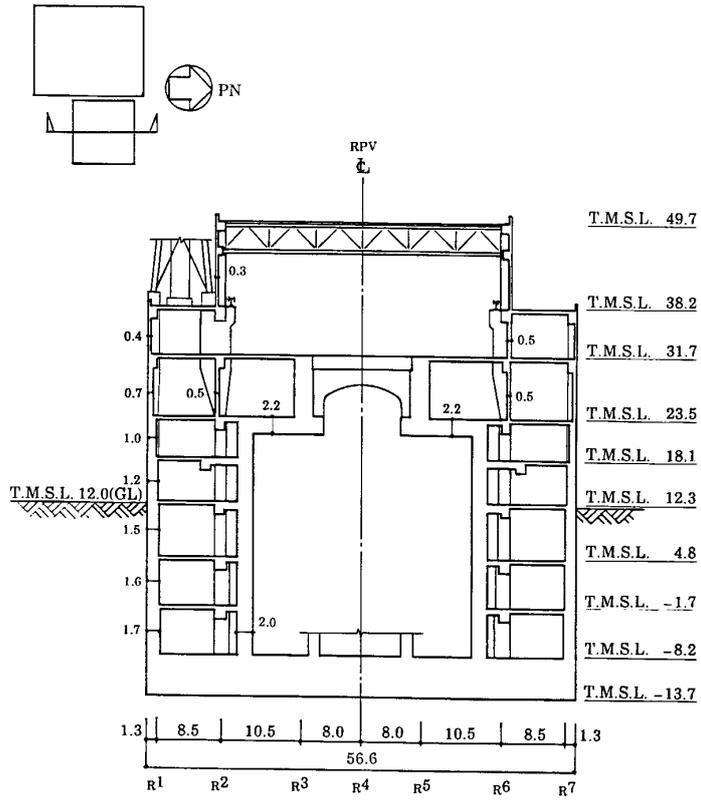


图-3.3.9 NS方向断面图

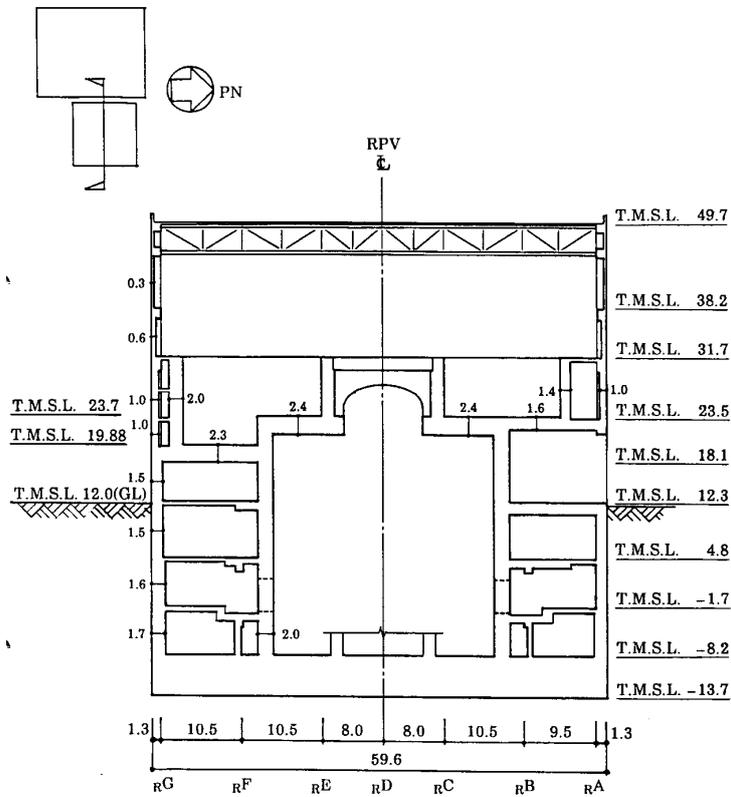


图-3.3.10 EW方向断面图

3.3.2. タービン建屋の概要

タービン建屋は、図-3.3.11～図-3.3.17 に示すように地上2階（一部3階）地下2階の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）の建物であり、基礎底面からの高さは52.2m、平面の長さは97.0m(N S)×82.0m(E W)である。

基礎スラブは、厚さ2.0mのベタ基礎で、支持地盤である新第三紀層の泥岩上に（一部マンメイドロックを介して）設置している。なお、マンメイドロックは支持地盤と同等以上の力学的特性を有しているが、設計上は支持地盤と同等のものとしている。

地震又は風による水平力は、耐震壁、ブレース及びラーメン構造で負担する。更に、耐震壁の配置にあたっては、ねじれを少なくするために各階とも偏心ができるだけ少なくなるようにしている。

タービン建屋は隣接する原子炉建屋及び廃棄物処理建屋と構造的に分離されている。

また、タービン建屋は耐震重要度分類によるBクラスに属する施設であり、建屋そのものに動的解析を要求されていないが、建屋の一部に耐震上重要な機器・配管系が設置されていることから、シミュレーション解析を行い、該当部位の健全性を評価することとした。機能維持部位を図-3.3.18 に示す。解析モデルとして全ての耐震壁及び解析上耐震要素として補助壁を取り込み、解析結果を用いて機能維持部位に対しての構造評価を実施する。

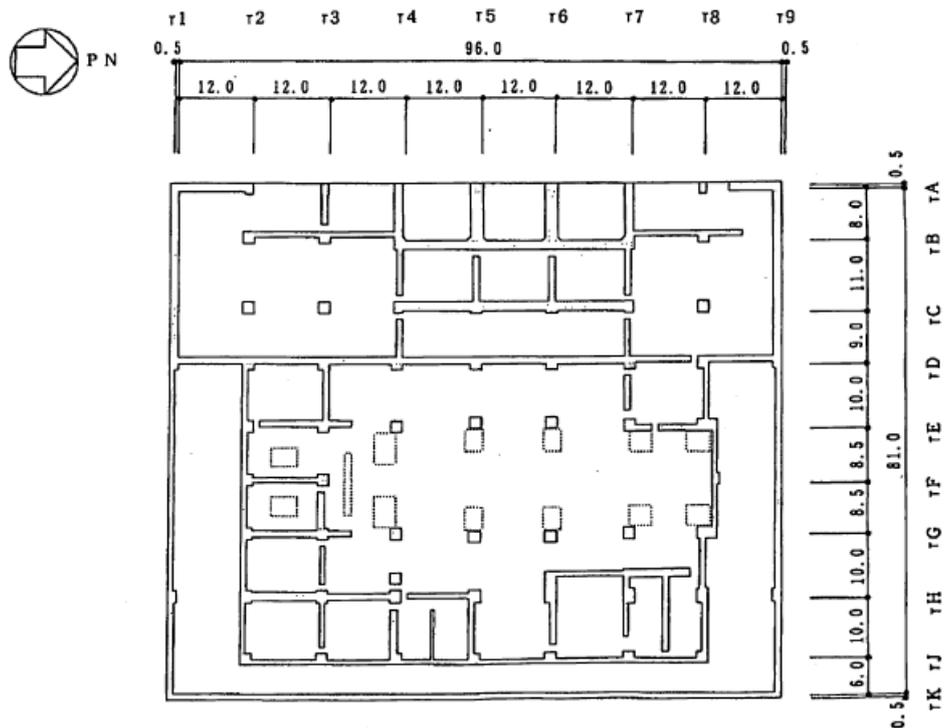


図-3.3.11 地下2階 (T.M.S.L. -5.1m)

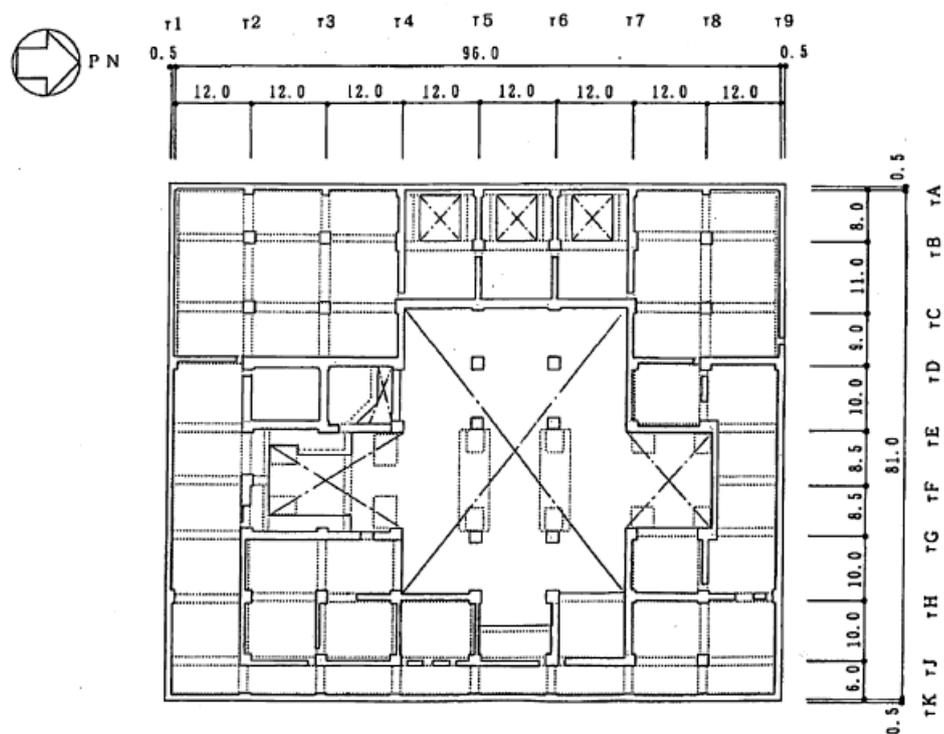


図-3.3.12 地下1階 (T.M.S.L. 4.9m)

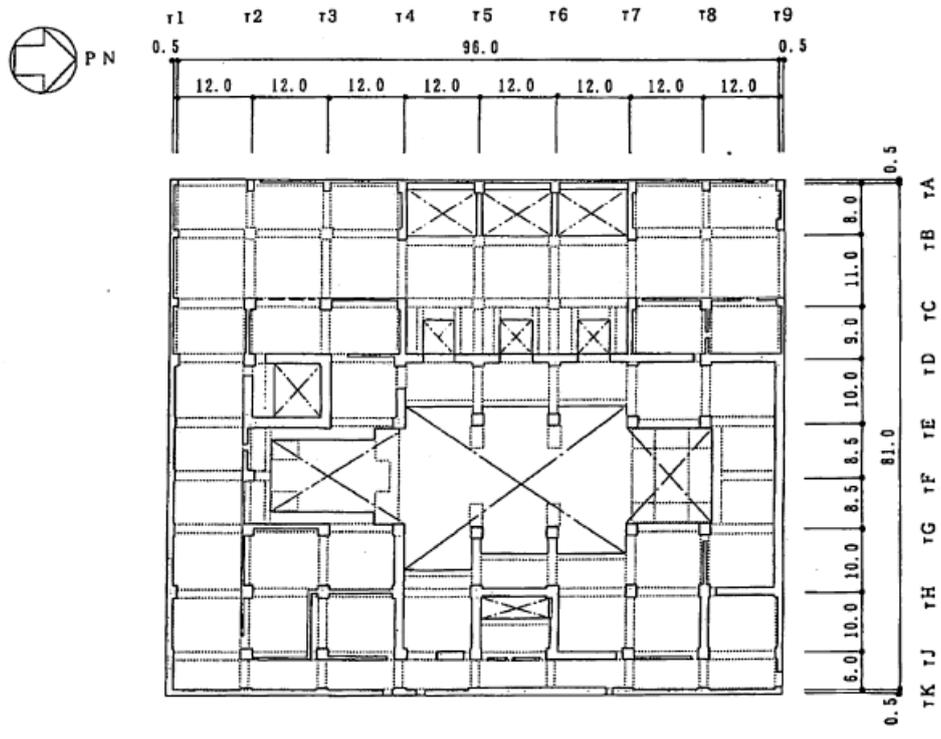


図-3.3.13 1階 (T.M.S.L. 12.3m)

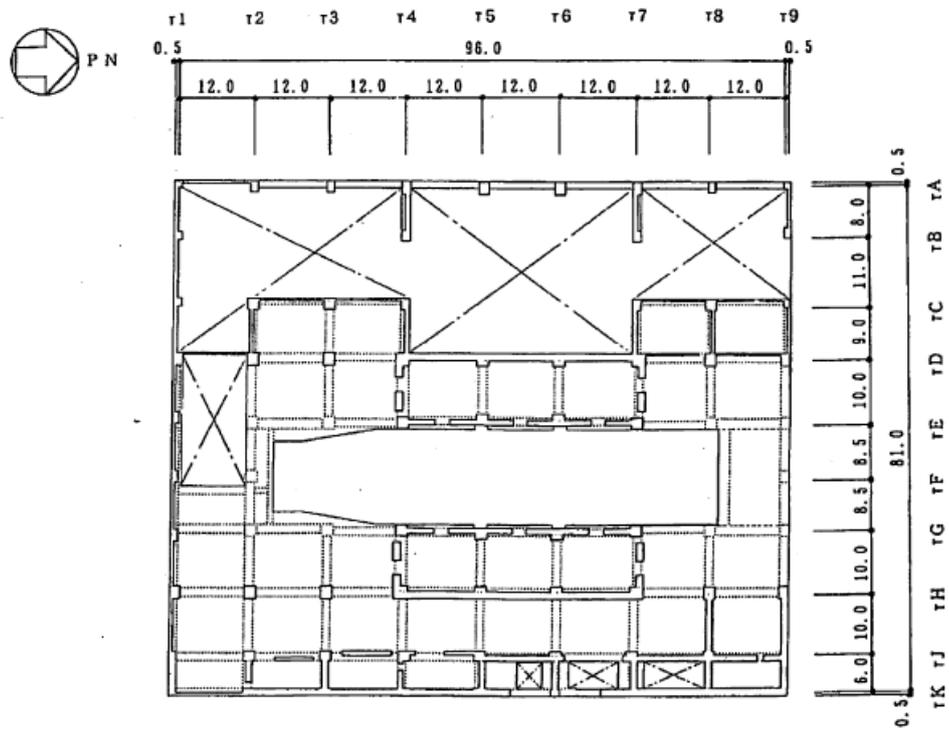


図-3.3.14 2階 (T.M.S.L. 20.4m)

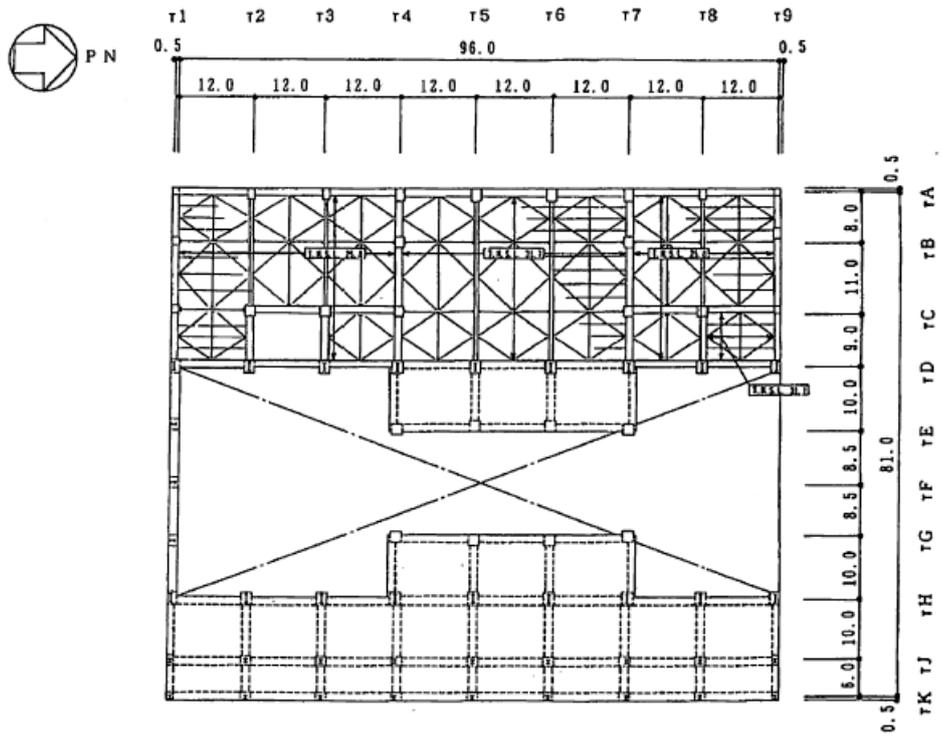


图-3.3.15 3階 (T.M.S.L. 30.9m)

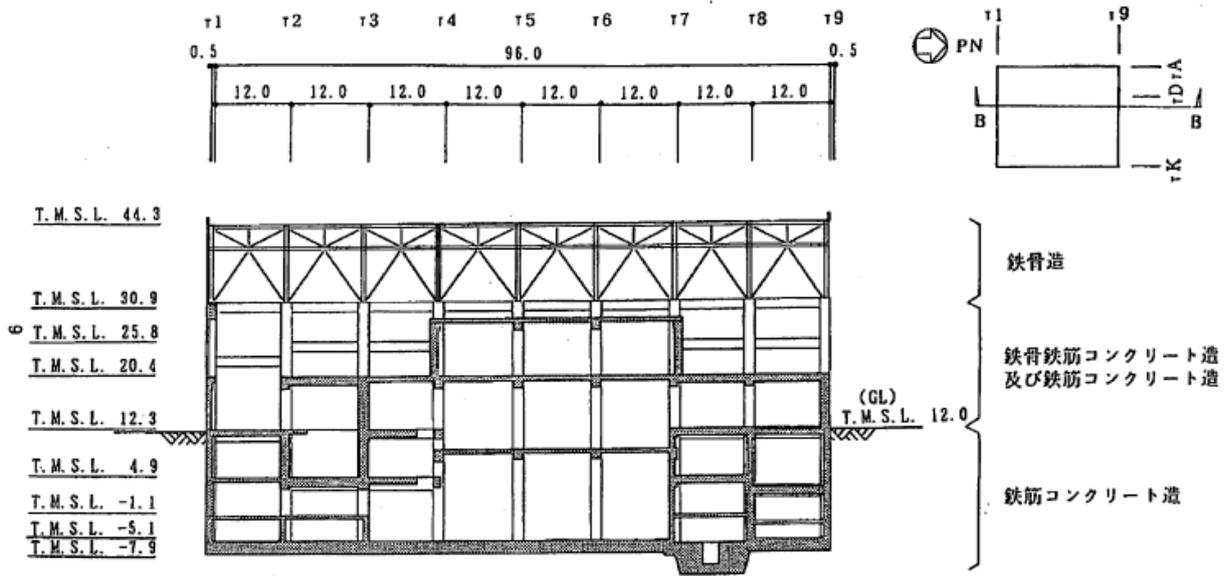


図-3.3.16 NS方向断面図

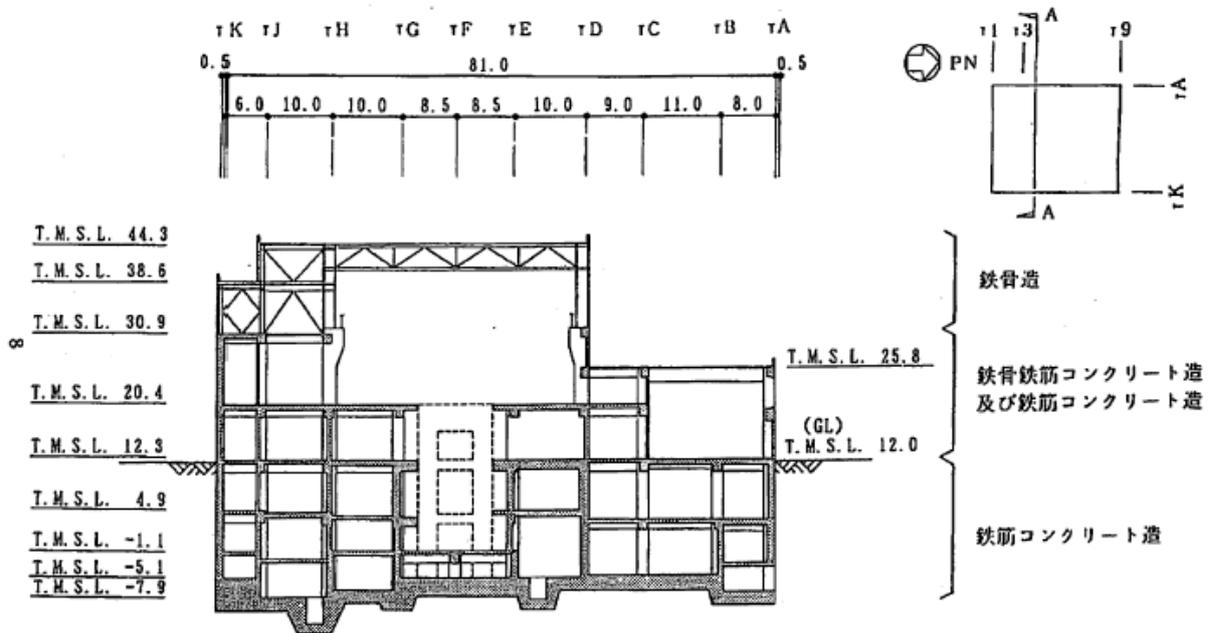
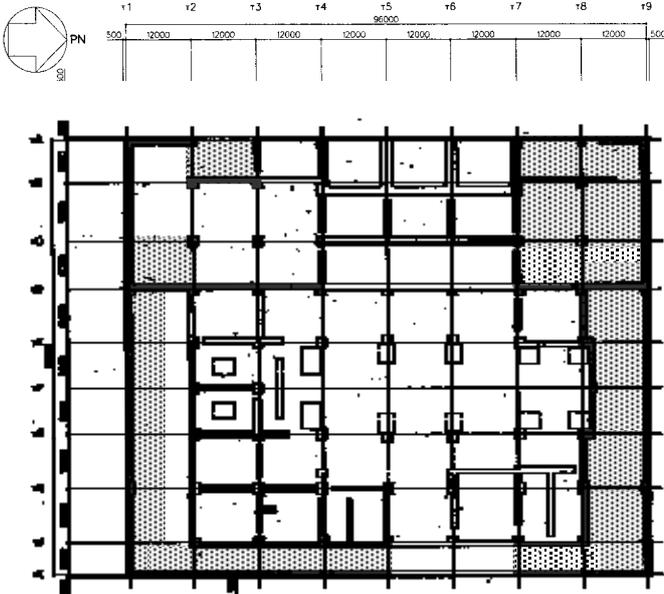


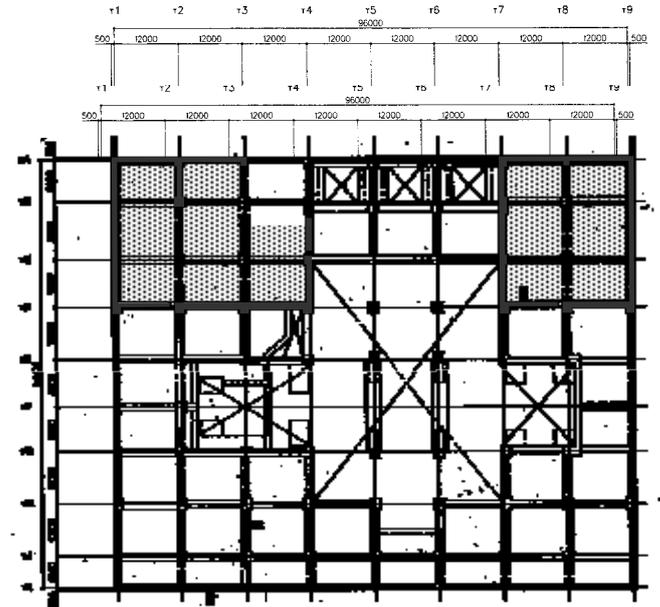
図-3.3.17 EW方向断面図

■ 機能維持要求部位の壁

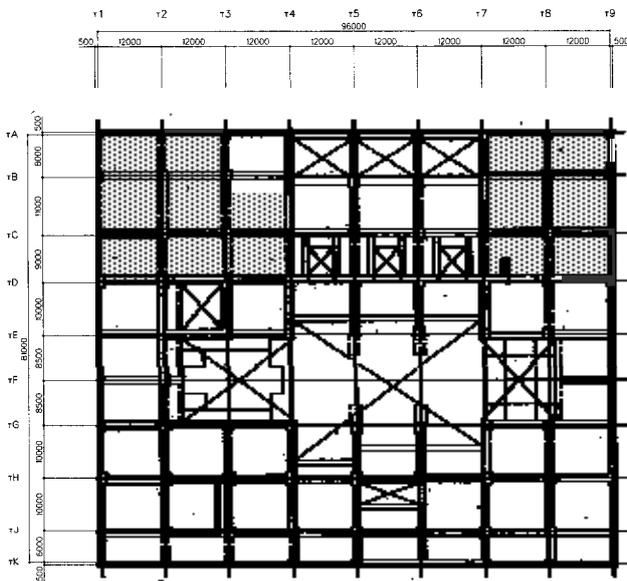
▨ 機能維持要求部位の床



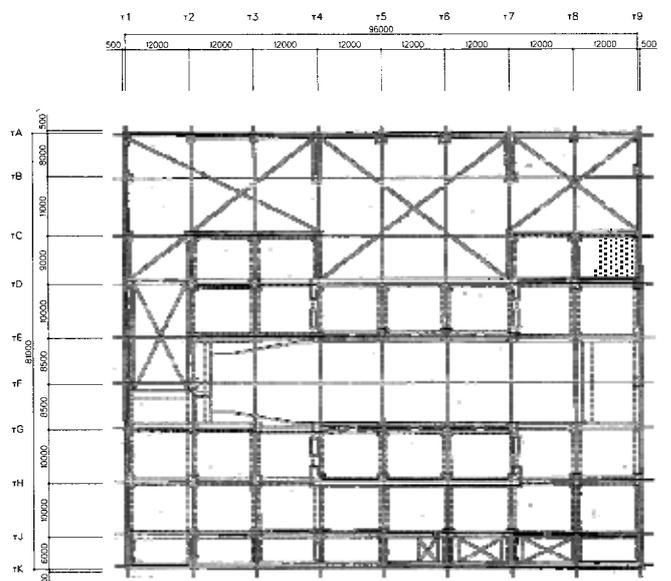
a) 地下2階伏図(T.M.S.L.-5.1m)



b) 地下1階伏図(T.M.S.L. 4.9m)



c) 1階伏図(T.M.S.L. 12.3m)



d) 2階伏図(T.M.S.L. 20.4m)

図-3.3.18 タービン建屋の機能維持範囲

3.3.3. 排気筒の概要

本排気筒は、原子炉建屋 R1 ~ R2, RC ~ RD 間の屋上 (T.M.S.L.38.2m) に位置し、内径 2.4m の鋼板製筒身 (換気空調系排気筒) を鋼管四角形鉄塔で支えた鉄塔支持形排気筒である。

また、筒身内部には、非常用ガス処理系用排気筒が筒身に支持されている。

排気筒の概要図を図-3.3.19 および図-3.3.20 に示す。

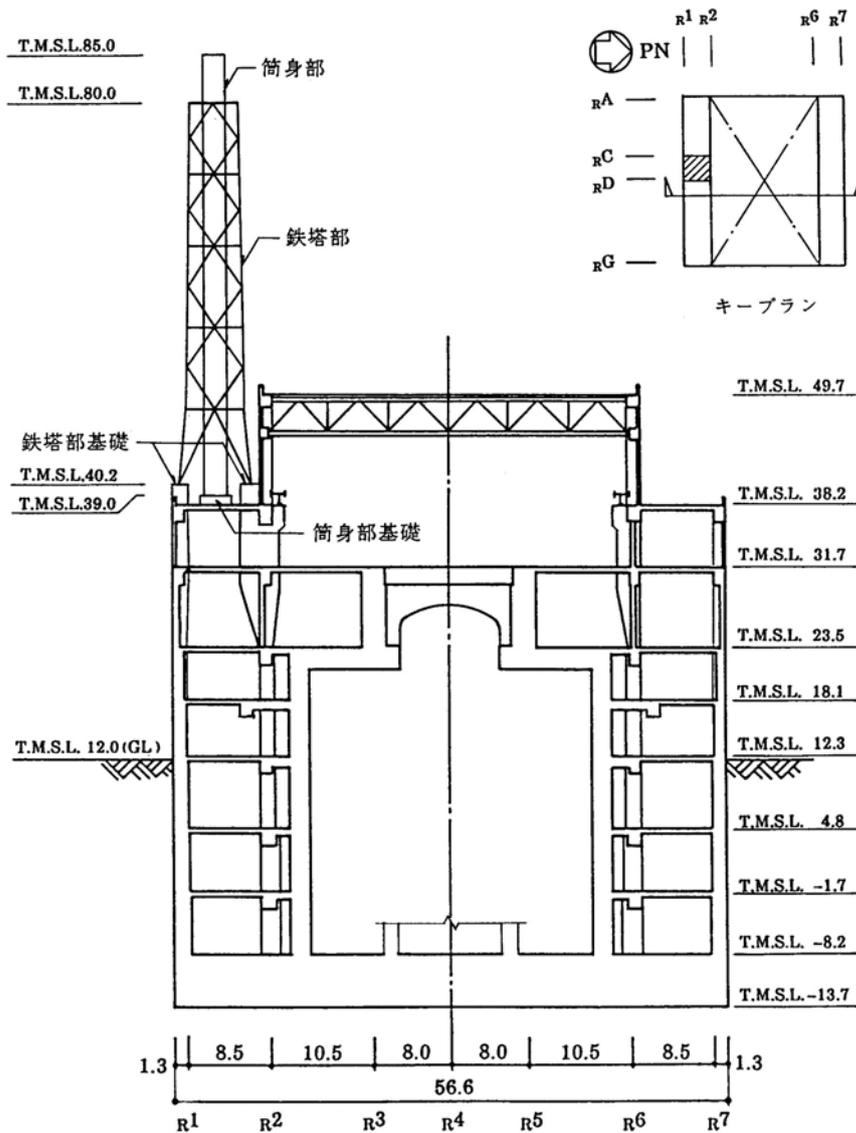
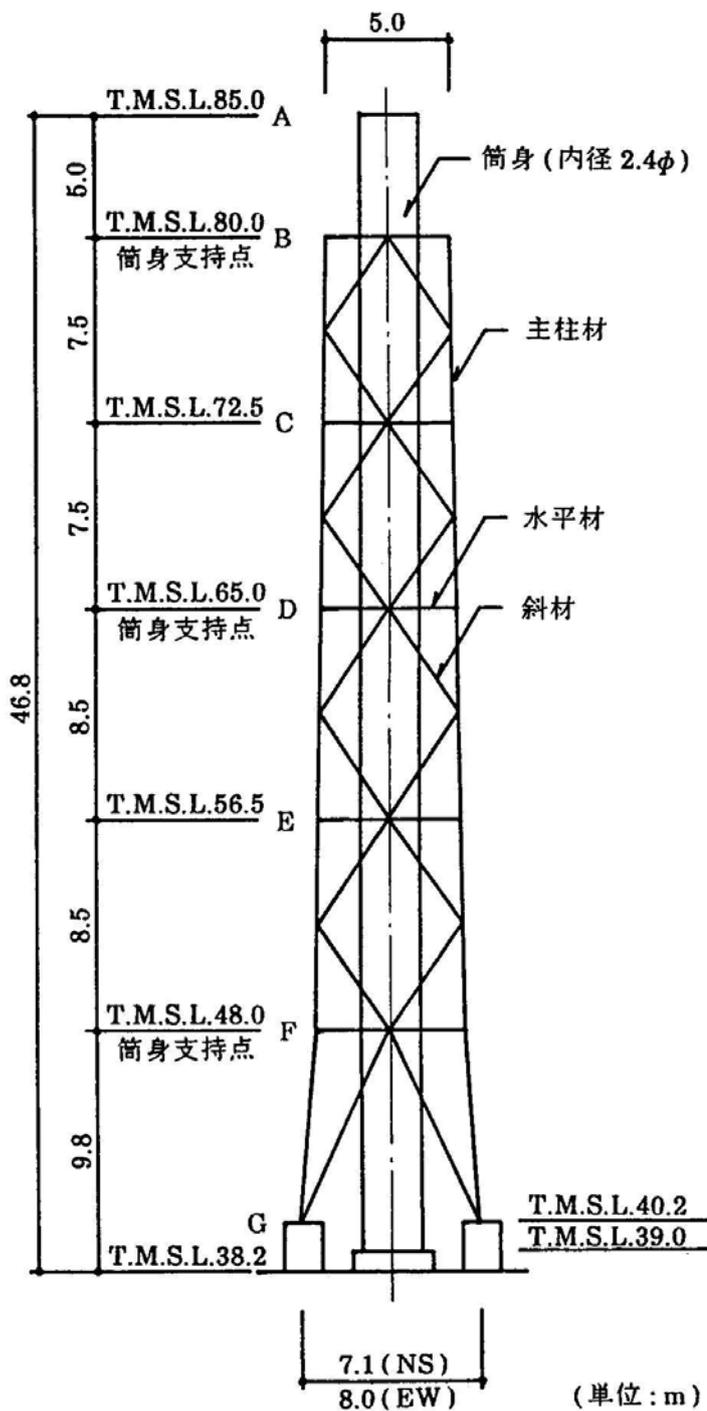


図-3.3.19 排気筒の概要 (その1)



STK50	711.2φ×19	609.6φ×16	508.0φ×7.9	406.4φ×6.4	318.5φ×6	318.5φ×6
STK41	406.4φ×6.4	318.5φ×6			216.3φ×4.5	216.3φ×4.5
STK50	558.8φ×16	406.4φ×12.7	355.6φ×7.9	267.4φ×6	216.3φ×4.5	216.3φ×4.5
SMA41A		t=12	t=8		t=6	t=6
部材リスト (単位: mm)						

図-3.3.20 排気筒の概要 (その2)

3.3.4. 非常用取水路の概要

非常用取水路の配置図を図-3.3.21 に示す。

非常用取水路は、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路を総称したものである。このうちスクリーン室および取水路は、常用取水路（復水器冷却用海水取水路）との共用設備である。

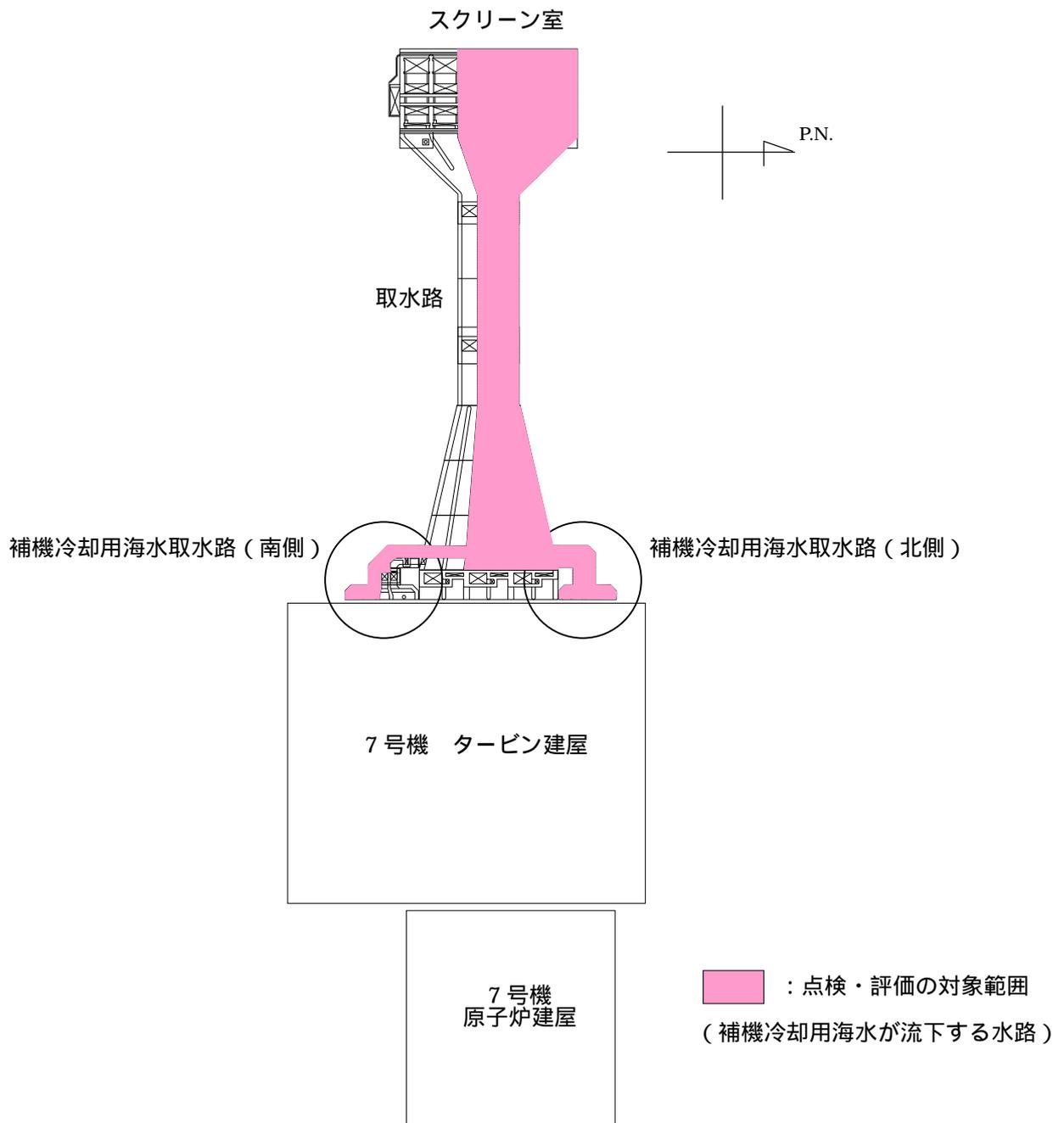


図-3.3.21 屋外重要土木構造物の配置図

非常用取水路の平面図を図-3.3.22 に示す。また、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路（南側）、補機冷却用海水取水路（北側）の断面図を図-3.3.23 ~ 図 3.3.26 に示す。

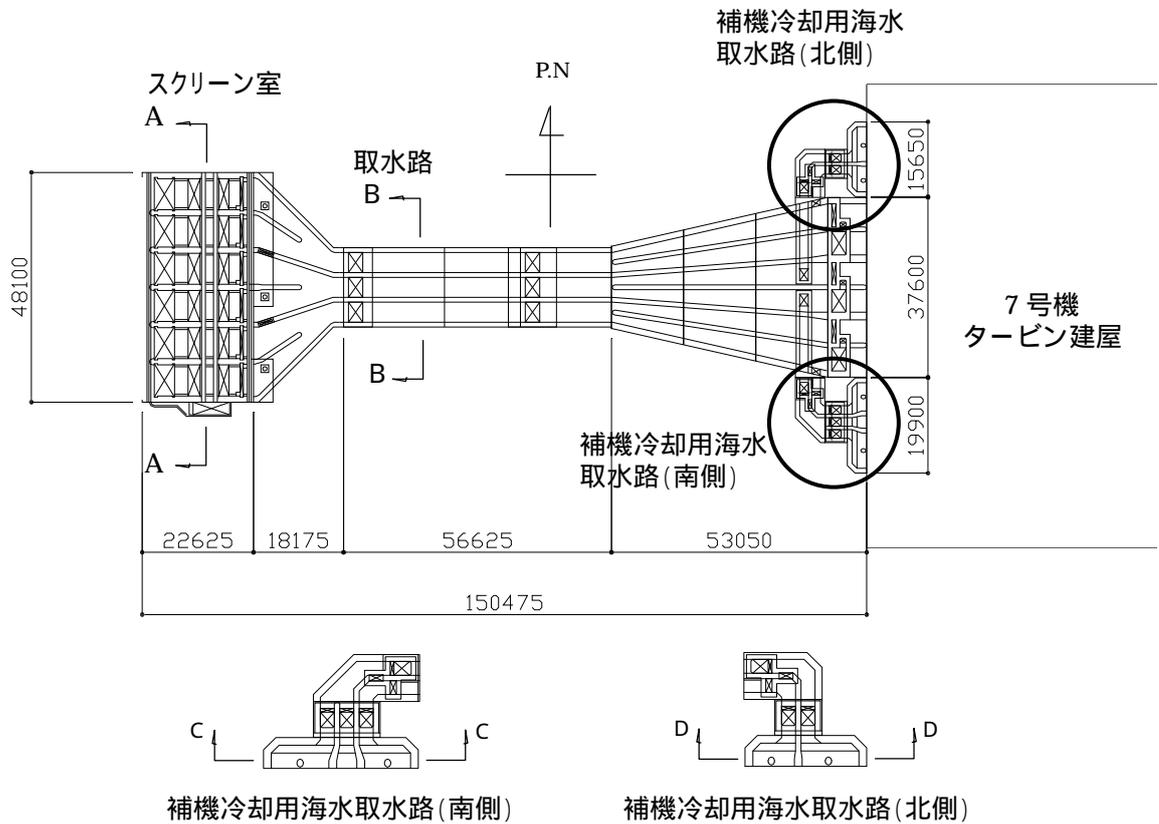


図-3.3.22 非常用取水路平面図

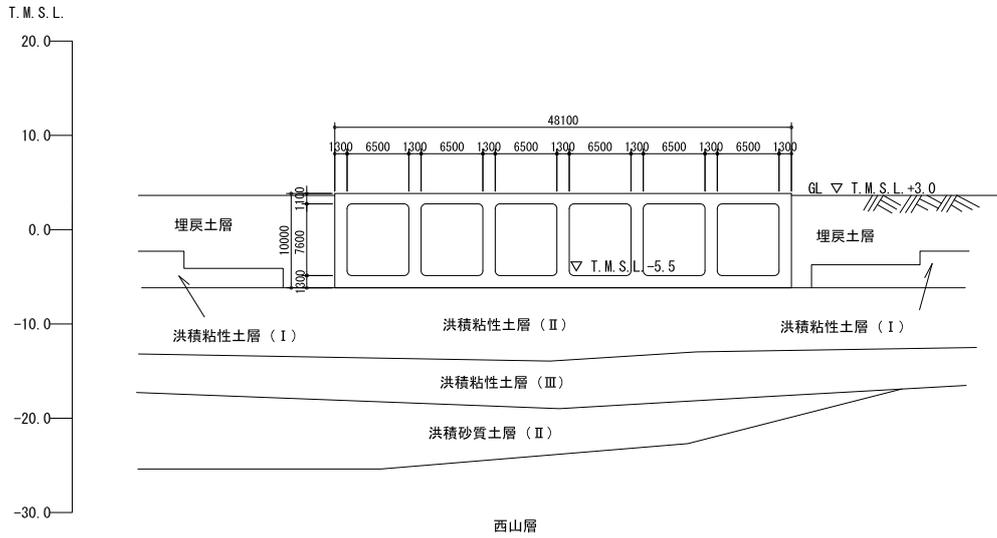


図-3.3.23 スクリーン室断面図 (A - A 断面)

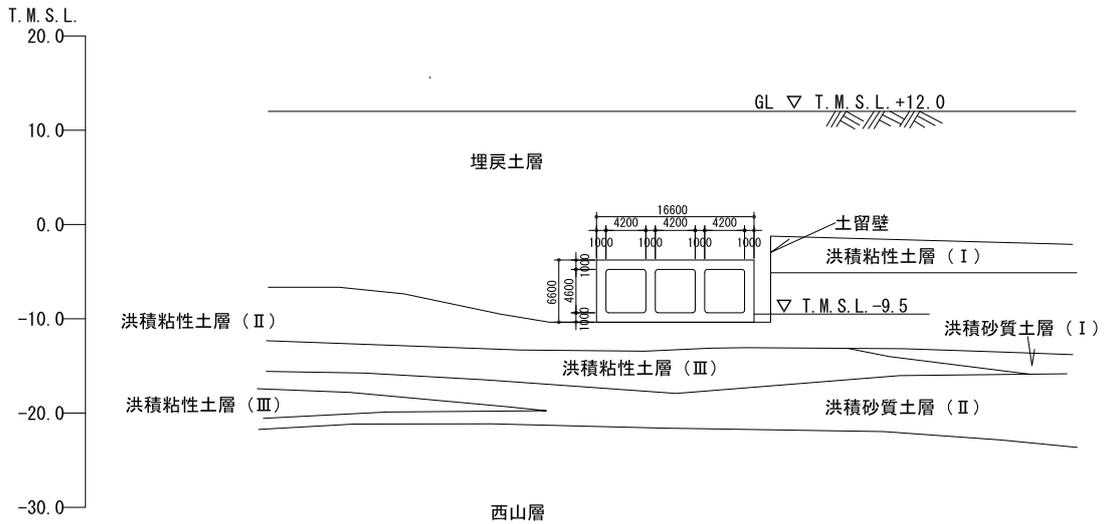


図-3.3.24 取水路断面図 (B - B 断面)

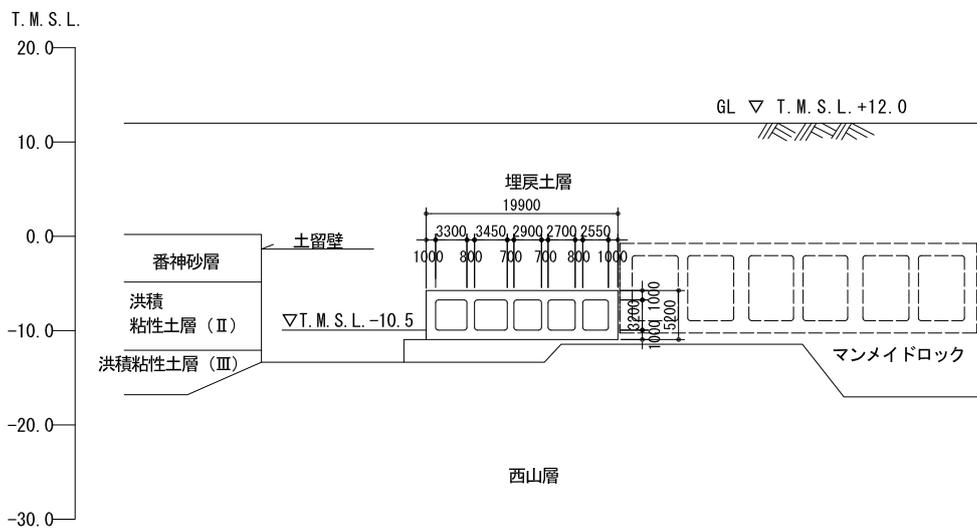


図-3.3.25 補機冷却用海水取水路（南側）断面図（C - C 断面）

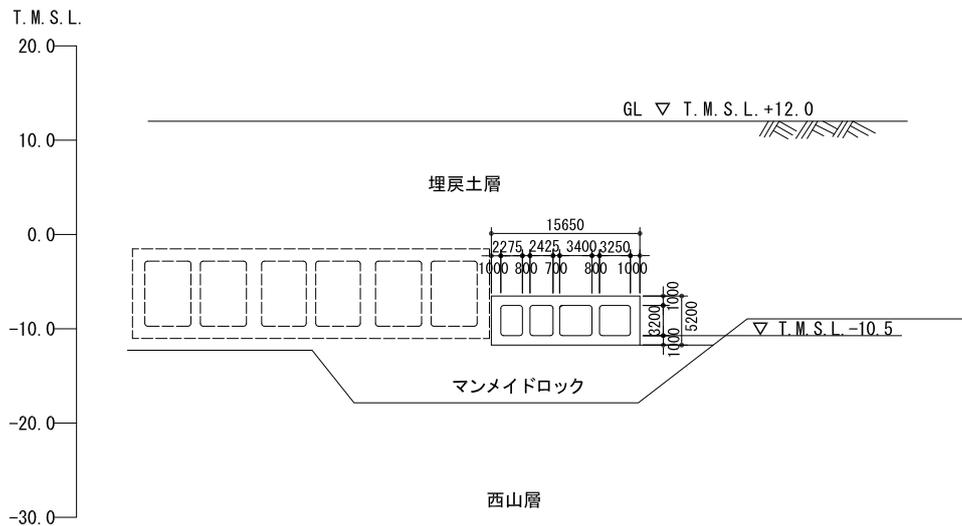


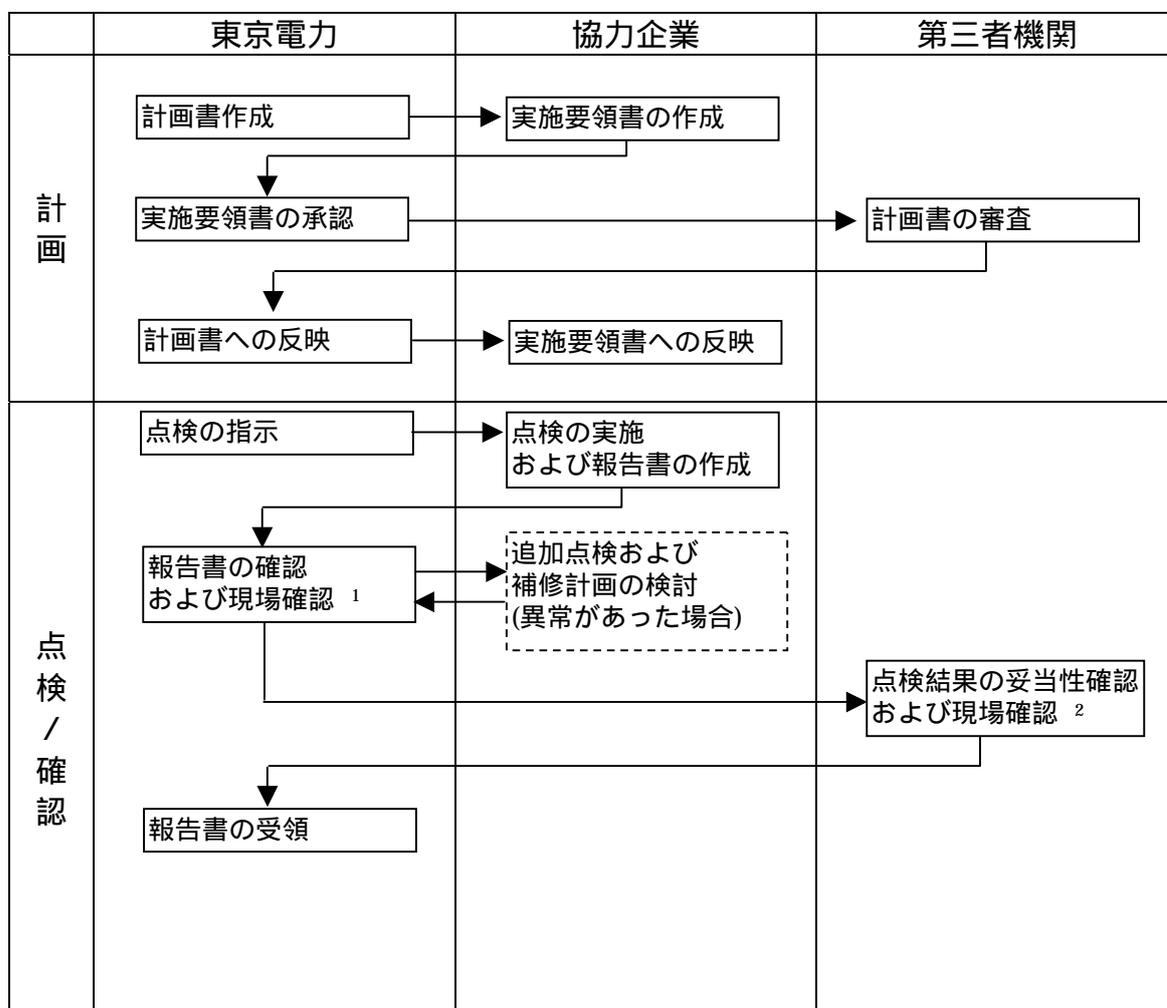
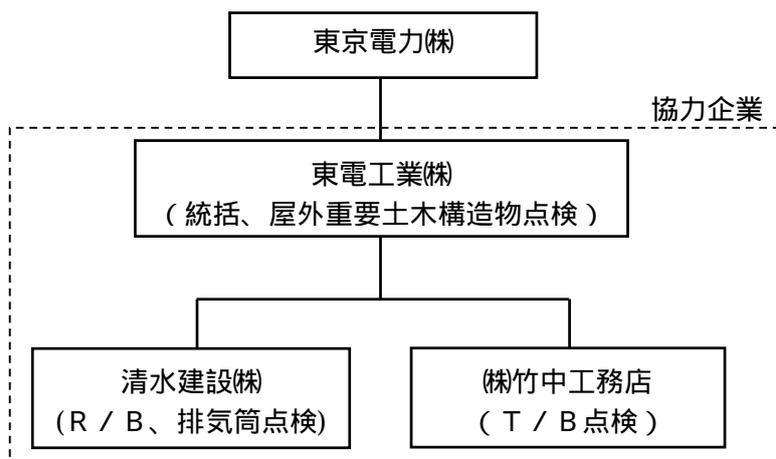
図-3.3.26 補機冷却用海水取水路（北側）断面図（D - D 断面）

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-3.5.1 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

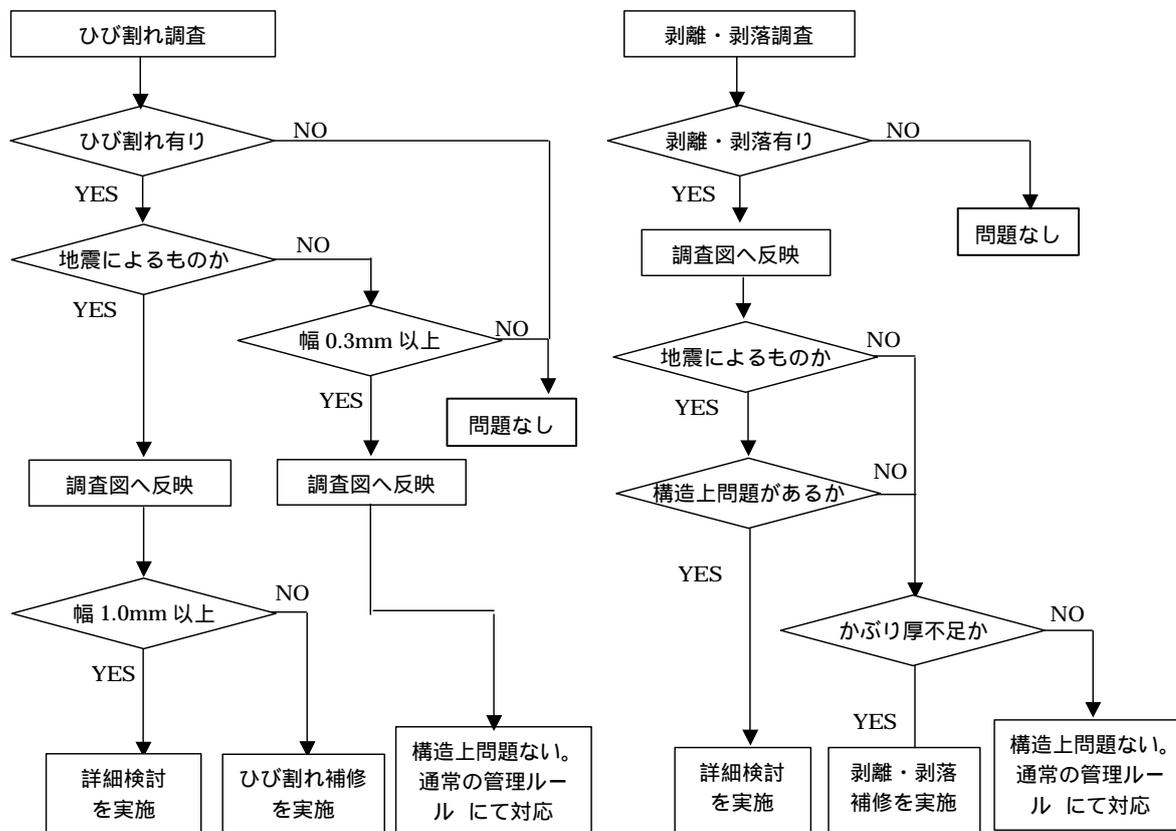
建物・構築物への本地震の影響を把握するにあたり、構造形式に着目した点検を行う必要がある。そこで、要求される性能ごとに、各構造形式への地震の影響を整理し、それに応じた点検を行う。

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）

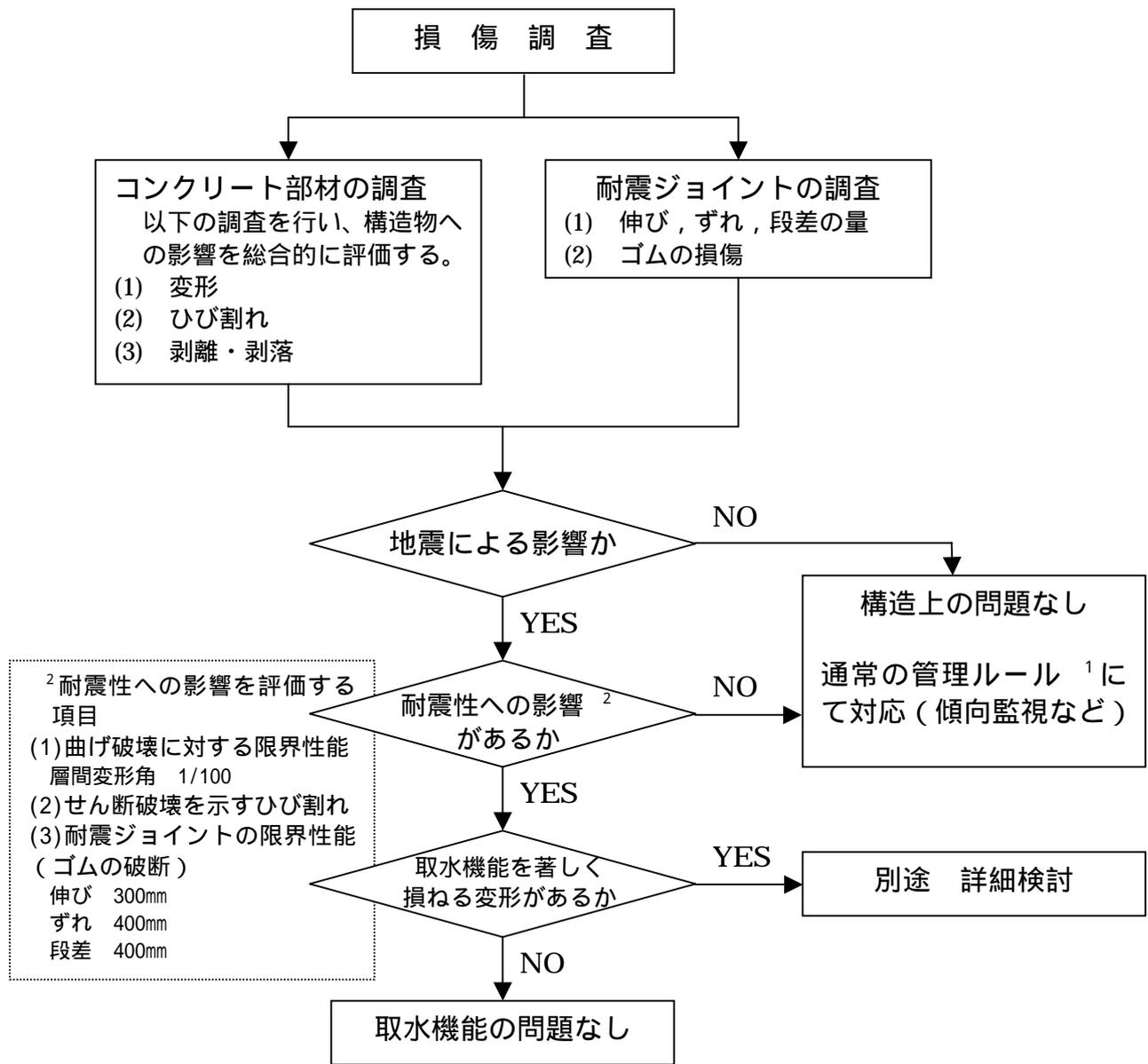
鉄筋コンクリート構築物への地震の影響については、ひび割れおよび剥離・剥落が想定され、外観の確認が有効であると考えられるため、「日本非破壊検査協会コンクリート構築物の目視試験方法」に準拠し、目視点検を主体とした点検を実施した。原子炉建屋およびタービン建屋の点検の流れを図-4.2.1 に示す。また、非常用取水路の点検の流れを図-4.2.2 に示す。

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（原子炉建屋およびタービン建屋）の点検の流れ



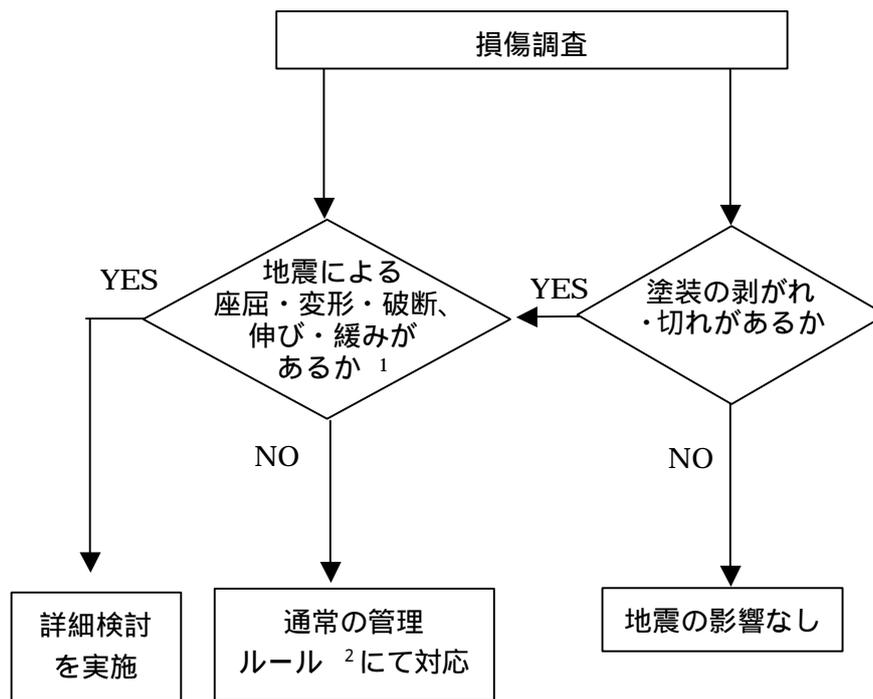
1 「原子力発電所土木設備点検マニュアル (社内マニュアル)」

図-4.2.2 鉄筋コンクリート構造 (非常用取水路) 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-4.2.3 に示す。

なお、原子炉建屋屋根トラスおよび排気筒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-4.2.3 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、原子炉建屋およびタービン建屋の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-4.2.4 に示す。

なお、原子炉建屋およびタービン建屋の堰その他の設備を対象に点検を実施した。

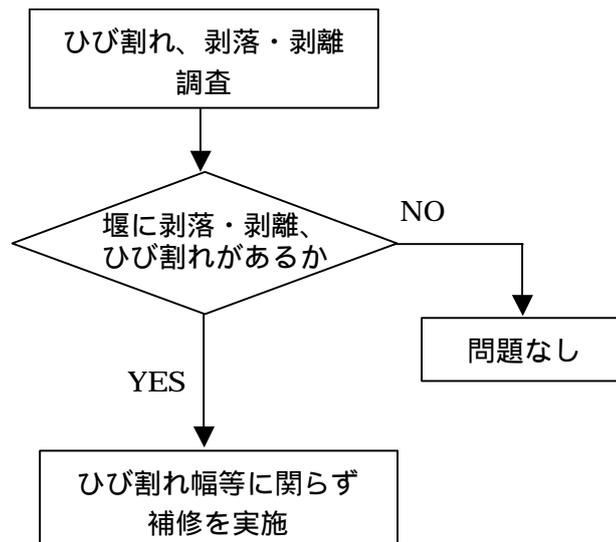


図-4.2.4 耐漏えい性能（堰その他の設備）の点検の流れ

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。

4.3. 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。

4.3.1. 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-4.3.1 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-4.3.2 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。

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地震による影響がないことが確認された。

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も、地震による影響がないことが確認された。

表-4.3.1 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	

表-4.3.2 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-4.3.3 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

(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-4.3.4 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全て評価基準値以下であることが確認された。

表-4.3.4 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)
3F	R2～3 - RA～B	300	0.3	2.4	1.0
2F	R2 - RB～C	400	0.3	2.0	
3F	R2 - RA～B	500	0.3	2.0	
B3F	R6～7 - RA～B	600	0.2	1.9	
B3F	R6～7 - RC～D	700	0.1	1.8	
3F	R1～2 - RA	1,000	0.2	3.0	
2F	R5～6 - RE～F	1,200	0.2	1.0	

「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-4.3.5 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。

なお、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-4.3.5 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」

4.3.2. タービン建屋の点検結果

(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-4.3.6 に示す。また、ひび割れ状況図を添付資料 2 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-4.3.7 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。

b) 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-4.3.6 7号機 タービン建屋 耐震壁のひび割れ状況(その1)

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)
B2F	T1 - TA ~ B	1,400	0.25	1.3	1.0
	T1 - TA ~ B	1,400	0.25	1.5	
	T1 - TB ~ C	1,400	0.1	0.8	
	T1 - TC ~ D	1,400	0.1	1.3	
	T1 - TC ~ D	1,400	0.2	1.1	
	T1 - TC ~ D	1,400	0.2	0.8	
	T1 ~ 2 - TA	1,400	0.2	2.7	
	T2 - TD ~ E	800	0.2	0.5	
	T2 - TD ~ E	800	0.2	1.1	
	T2 - TE ~ F	1,100	0.1	1.8	
	T3 - TD ~ E	800	0.15	3.0	
	T3 - TE ~ F	1,000	0.1	0.8	
	T3 - TF ~ G	700	0.2	2.3	
	T4 ~ 5 - TD	1,400	0.3	1.5	
	T5 - TB ~ C	1,000	0.3	0.6	
	T5 ~ 6 - TJ	800	0.1	1.8	
	T5 ~ 6 - TJ	800	0.1	1.0	
	T5 ~ 6 - TJ	800	0.1	2.1	
	T7 ~ 8 - TG ~ H	1,200	0.15	1.5	
	T7 ~ 8 - TG ~ H	1,200	0.3	0.5	
MB 2F	T2 - TA ~ B	800	0.1	1.0	
	T2 - TA ~ B	800	0.25	2.0	
	T2 - TD ~ E	800	0.1	0.6	
	T2 - TD ~ E	800	0.1	0.3	
	T2 - TD ~ E	800	0.1	1.0	
	T2 - TD ~ E	800	0.1	0.5	
	T2 - TD ~ E	800	0.1	0.8	
	T4 - TH ~ J	1,000	0.1	0.9	
	T4 - TH ~ J	1,000	0.1	2.0	
	T4 ~ 5 - TJ	700	0.2	1.8	
	T5 - TH ~ J	1,000	0.25	1.2	
	T5 - TH ~ J	1,000	0.1	0.4	
	T5 - TH ~ J	1,000	0.1	0.6	
	T5 ~ 6 - TJ	800	0.15	2.5	

■ : 機能維持範囲を示す

表-4.3.6 7号機 タービン建屋 耐震壁のひび割れ状況(その2)

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)
MB 2F	T5~6-TJ	800	0.2	2.5	1.0
	T7~8-TJ	500	0.1	1.7	
	T8-TH~J	800	0.1	1.0	
	T8-TH~J	800	0.1	0.5	
	T8-TH~J	800	0.1	0.3	
	T8-TH~J	800	0.2	1.3	
	T8~9-TG	800	0.3	1.2	
	T8~9-TG	800	0.3	1.8	
B1F	T1-TD~E	950	0.1	1.2	
	T1-TD~E	950	0.1	1.3	
	T1-TF~G	950	0.1	0.9	
	T1-TF~G	950	0.1	0.9	
	T1-TG~H	950	0.1	1.0	
	T1-TG~H	950	0.1	0.6	
	T2-TA~B	400	0.1	0.8	
	T2-TA~B	400	0.2	1.9	
	T2-TA~B	400	0.2	1.0	
	T2-TA~B	400	0.2	1.6	
	T2-TA~B	400	0.1	0.8	
	T2-TA~B	400	0.2	1.0	
	T2-TA~B	400	0.15	1.4	
	T3-TA~B	400	0.2	3.7	
	T3~4-TG	1,200	0.1	3.0	
	T4-TB~C	1,000	0.2	3.0	
	T4-TB~C	1,000	0.15	1.3	
	T4-TB~C	1,000	0.35	2.2	
	T4~5-TH	1,000	0.2	4.0	
	T7-TD~E	1,000	0.35	1.4	
1F	T1-TF~G	800	0.1	0.8	
	T1-TF~G	800	0.15	2.0	
	T2-TC~D	600	0.65	1.7	
	T2-TE~F	400	0.1	1.2	
	T2-TE~F	400	0.1	1.8	
	T2-TE~F	400	0.2	0.9	

■ : 機能維持範囲を示す

表-4.3.6 7号機 タービン建屋 耐震壁のひび割れ状況(その3)

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)
1F	T2 - TE ~ F	400	0.15	0.7	1.0
	T2 ~ 3 - TK	800	0.1	0.1	
	T2 ~ 3 - TK	800	0.1	1.2	
	T3 - TD ~ E	1,600	0.3	0.6	
	T3 - TD ~ E	1,600	0.2	2.0	
	T3 ~ 4 - TJ	500	0.1	1.5	
	T3 ~ 4 - TJ	500	0.1	1.2	
	T3 ~ 4 - TJ	500	0.2	1.2	
	T3 ~ 4 - TK	800	0.1	1.4	
	T4 - TG ~ H	1,500	0.1	2.0	
	T4 - TG ~ H	1,500	0.1	1.3	
	T4 ~ 5 - TK	800	0.1	1.5	
	T6 ~ 7 - TK	800	0.1	1.4	
	T7 ~ 8 - TA	400	0.2	1.7	
	T7 ~ 8 - TD	1,400	0.1	1.1	
	T7 ~ 8 - TD	1,400	0.1	0.4	
	T7 ~ 8 - TD	1,400	0.1	0.4	
	T7 ~ 8 - TD	1,400	0.1	1.2	
	T7 ~ 8 - TD	1,400	0.1	2.0	
	T7 ~ 8 - TD	1,400	0.1	0.9	
T7 ~ 8 - TD	1,400	0.1	1.4		
T8 - TG ~ H	800	0.1	1.5		
T9 - TC ~ D	600	0.3	2.5		
2F	T1 - TE ~ F	400	0.1	3.5	
	T1 - TE ~ F	400	0.1	1.7	
	T1 ~ 2 - TK	400	0.1	0.9	
	T1 ~ 2 - TK	400	0.1	0.7	
	T1 ~ 2 - TK	400	0.1	1.8	
	T3 ~ 4 - TK	1,000	0.1	2.0	
	T4 ~ 5 - TE	900	0.1	1.6	
	T4 ~ 5 - TK	1,000	0.3	2.8	
	T5 ~ 6 - TE	900	0.3	1.1	
	T5 ~ 6 - TE	900	0.1	1.6	
	T5 ~ 6 - TE	900	0.1	1.0	
	T5 ~ 6 - TE	900	0.15	1.2	

■ : 機能維持範囲を示す

表-4.3.6 7号機 タービン建屋 耐震壁のひび割れ状況 (その4)

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)
2F	T6 ~ 7 - TE	900	0.1	2.0	1.0
	T6 ~ 7 - TE	900	0.1	0.9	
	T6 ~ 7 - TE	900	0.1	0.8	
	T6 ~ 7 - TK	1,200	0.15	1.4	
	T6 ~ 7 - TK	1,200	0.1	0.9	
	T7 ~ 8 - TJ	1,000	0.1	0.8	
	T7 ~ 8 - TJ	1,000	0.1	0.5	
	T7 ~ 8 - TJ	1,000	0.1	0.1	
	T7 ~ 8 - TK	1,200	0.1	0.6	
	T7 ~ 8 - TK	1,200	0.1	1.1	
	T7 ~ 8 - TK	1,200	0.2	3.3	
	T8 - TJ ~ K	1,000	0.1	1.9	
	T8 - TJ ~ K	1,000	0.1	1.0	
	T8 ~ 9 - TD	400	0.15	1.3	
	T8 ~ 9 - TD	400	0.15	1.3	
	T8 ~ 9 - TD	400	0.1	1.1	
	T8 ~ 9 - TD	400	0.1	0.8	
	T8 ~ 9 - TD	400	0.15	1.5	
	T8 ~ 9 - TD	400	0.1	1.1	
	T8 ~ 9 - TH	400	0.1	1.3	
T8 ~ 9 - TH	400	0.1	1.0		

■ : 機能維持範囲を示す

表-4.3.7 7号機 タービン建屋 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)
B2F	T5 ~ 6 - TH ~ J	400	0.25	2.0	7	1.0
MB2F	T7 ~ 8 - TH ~ J	300	0.1	3.5	4	
B1F	T7 ~ 8 - TB ~ C	300	0.45	2.4	3	

「各階における最大ひび割れ幅を記載」

(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-4.3.8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-4.3.8 7号機 タービン建屋 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)
B2F	T1 ~ 2 - TE	300	0.15	1.5	1.0
	T5 ~ 6 - TH ~ J	400	0.25	2.0	
	T2 - TE ~ F	1,100	0.1	1.8	
	T7 ~ 8 - TG ~ H	1,200	0.3	0.5	
	T4 ~ 5 - TD	1,400	0.3	1.5	
MB2F	T8 ~ 9 - TG	800	0.3	1.8	
B1F	T7 - TD ~ E	1,000	0.35	1.4	
1F	T3 ~ 4 - TJ	500	0.2	1.2	
	T2 - TC ~ D	600	0.65	1.7	
	T4 - TG ~ H	1,500	0.1	2.0	
	T3 - TD ~ E	1,600	0.3	0.6	
2F	T5 ~ 6 - TE	900	0.3	1.1	

「各壁厚における最大ひび割れ幅を記載」

(3) 耐漏えい機能

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-4.3.9 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。

なお、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-4.3.9 7号機 タービン建屋 堰その他の設備のひび割れ状況(その1)

階	場所	部位	ひび割れ幅 (mm)	長さ (m)	本数
B2F	T1 - TE ~ G	壁	0.1	0.2	1
	T1 ~ 2 - TF ~ H	床	0.1	14.1(8.7) ¹	1
	T2 ~ 3 - TF ~ G	床	0.1	3.5	1
	T2 ~ 3 - TH ~ J	床	0.1	1.0	1
	T2 ~ 3 - TH ~ J	床	0.1	2.0	1
	T2 ~ 3 - TH ~ J	床	0.1	0.5	1
	T2 ~ 3 - TJ ~ K	床	0.1	3.1(1.2) ¹	1
	T2 ~ 4 - TK	壁	0.1	0.2	7
	T3 ~ 4 - TD ~ E	床	0.1	4.4	1
	T3 ~ 4 - TD ~ E	床	0.1	0.7	2
	T3 ~ 4 - TE ~ F	床	0.1	0.6	1
	T3 ~ 4 - TE ~ F	床	0.1	2.3	1
	T3 ~ 4 - TE ~ F	床	0.2	1.5	1
	T3 ~ 4 - TF ~ G	床	0.1	0.5	1
	T3 ~ 4 - TG ~ H	床	0.1	2.0 × 2.1 ²	-
	T3 ~ 4 - TJ ~ K	床	0.1	2.4(0.7) ¹	1
	T4 - TJ ~ K	床	0.1	1.5(0.4) ¹	1
	T4 ~ 5 - TE ~ F	床	0.1	0.5	1
	T4 ~ 5 - TF ~ G	床	0.1	1.5	1
	T4 ~ 5 - TG ~ H	床	0.1	0.3	3
T4 ~ 5 - TG ~ H	床	0.1	0.3	2	

「各箇所における最大ひび割れ幅・長さを記載」

1 : 今回の地震により変動した可能性のあるひび割れを示す [() は記録がある地震前の値]

2 : 近接した範囲に微小なひび割れが数本発生している場合の「範囲の幅, 長さ」を示す

表-4.3.9 7号機 タービン建屋 堰その他の設備のひび割れ状況（その2）

階	場所	部位	ひび割れ幅 (mm)	長さ (m)	本数
B2F	T4~5 - TH~J	壁	0.1	0.7	1
	T5~6 - TD~E	床	0.1	0.5	1
	T5~6 - TD~E	床	0.1	0.3	1
	T5~6 - TE~F	床	0.1	0.8	1
	T5~6 - TE~F	床	0.1	0.8	1
	T5~6 - TF~G	床	0.1	0.6	1
	T5~6 - TG~H	床	0.1	1.1	2
	T5~6 - TG~H	床	0.1	1.0	1
	T5~6 - TG~H	床	0.1	0.9	1
	T5~6 - TG~H	床	0.1	0.4	1
	T5~6 - TG~H	床	0.1	0.5	1
	T5~6 - TG~H	床	0.1	0.4	1
	T5~6 - TG~H	床	0.1	0.3	1
	T5~6 - TG~H	床	0.1	0.5	1
	T5~6 - TJ~K	床	0.1	4.0(2.7) ¹	1
	T5~6 - TK	壁	0.1	0.2	1
	T5~6 - TK	壁	0.1	0.2	1
	T5~6 - TK	壁	0.1	0.2	1
	T5~7 - TK	壁	0.1	0.2	4
	T6 - TG~H	床	0.1	1.2	1
	T6~7 - TD~E	床	0.1	0.6	1
	T6~7 - TD~E	床	0.1	0.5	2
	T6~7 - TD~E	床	0.1	0.5	1
	T6~7 - TE~F	床	0.1	1.5	1
	T6~7 - TE~F	床	0.1	0.5	1
	T6~7 - TE~F	床	0.1	0.5	1
	T6~7 - TE~F	床	0.1	0.3	1
	T6~7 - TE~G	床	0.1	0.6	3
	T6~7 - TF~G	床	0.1	0.3	3
	T6~7 - TF~G	床	0.1	2.0	1
	T6~7 - TF~G	床	0.1	0.4	1
	T6~7 - TG~H	床	0.1	0.5(0.4) ¹	4
	T6~7 - TG~H	床	0.1	0.9	1
T6~7 - TG~H	床	0.1	0.3	1	
T6~7 - TJ~K	床	0.1	0.5	1	

「各箇所における最大ひび割れ幅・長さを記載」

1：今回の地震により変動した可能性のあるひび割れを示す〔（ ）は記録がある地震前の値〕

2：近接した範囲に微小なひび割れが数本発生している場合の「範囲の幅，長さ」を示す

表-4.3.9 7号機 タービン建屋 堰その他の設備のひび割れ状況(その3)

階	場所	部位	ひび割れ幅 (mm)	長さ (m)	本数
B2F	T7 - TH ~ J	床	0.4	1.0	1
	T7 ~ 8 - TG ~ J	床	0.1	0.7	5
	T7 ~ 8 - TH ~ J	床	0.1	2.1	2
	T7 ~ 8 - TJ ~ K	床	0.1	3.7	1
	T7 ~ 8 - TJ ~ K	床	0.1	1.6	1
	T7 ~ 8 - TJ ~ K	床	0.1	2.4	1
	T7 ~ 8 - TK	壁	0.1	0.2	2
	T7 ~ 8 - TK	壁	0.1	0.2	1
	T8 ~ 9 - TD	壁	0.1	3.2(2.0) ×0.2 ^{1, 2}	-
	T8 ~ 9 - TK	壁	0.1	0.2	6
	T8 ~ 9 - TK	壁	0.1	0.2	2
	T9 - TE ~ H	壁	0.1	0.2	6

「各箇所における最大ひび割れ幅・長さを記載」

- 1 : 今回の地震により変動した可能性のあるひび割れを示す [() は記録がある地震前の値]
 2 : 近接した範囲に微小なひび割れが数本発生している場合の「範囲の幅, 長さ」を示す

4.3.3. 排気筒の点検結果

(1) 耐震性能

a) 排気筒（筒身および支持鉄塔）

排気筒（筒身および支持鉄塔）の点検による確認状況を表-4.3.10 に示す。

点検の結果、排気筒（筒身および支持鉄塔）において地震による影響がないことが確認された。

表-4.3.10 7号機 排気筒（筒身および支持鉄塔）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

4.3.4. 非常用取水路の点検結果

(1) 耐震性能

a) 屋外重要土木構造物

「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）」に基づき点検を実施した。

非常用取水路の点検による確認状況を表-4.3.11に示す。また、損傷一覧表および展開図を添付資料に示す。

点検の結果、取水路側壁、隔壁および底版にひび割れが、また、スクリーン室地上部にひび割れおよび剥離・剥落が認められるものの、構造的に問題のある損傷ではないと考えられる。また限界性能を上回る変形は認められない。以上のことから、これらの損傷は取水機能に影響を及ぼすものではないことが確認された。

一部の耐震ジョイントにはわずかな変位（伸び、段差、ずれ）が認められるが、これらの相対変位量は耐震ジョイント変形量の限界性能と比べて十分に小さいことから、取水機能に影響を及ぼすものではないことが確認された。

表-4.3.11 非常用取水路の確認状況

対象	項目	確認状況
コンクリート部材	変形	層間変形角 1/100 以上の残留変形は認められない
	ひび割れ	取水路側壁、隔壁および底版：最大幅 0.3mm（長さ 2.6m） スクリーン室地上部：最大幅 0.2mm（長さ 2.7m）
	剥離・剥落	スクリーン室地上部：最大面積 0.13m ²
耐震ジョイント	変位量	最大伸び 10mm、最大段差 25mm、最大ずれ 10mm
	ゴムの損傷	認められない

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)

- ・「柏崎刈羽原子力発電所7号機(原子炉建屋および排気筒) 新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検結果報告書(建物・構築物編)(平成20年5月30日)」
- ・「柏崎刈羽原子力発電所7号機(タービン建屋) 新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検結果報告書(建物・構築物編)(平成20年5月30日)」

屋外重要土木構造物関係

第三者機関：(社)土木学会(文部科学省所管)

- ・「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結果報告書(屋外重要土木構造物編)(平成20年6月2日)」

5.1. 原子炉建屋の耐震健全性評価

5.1.1. 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。

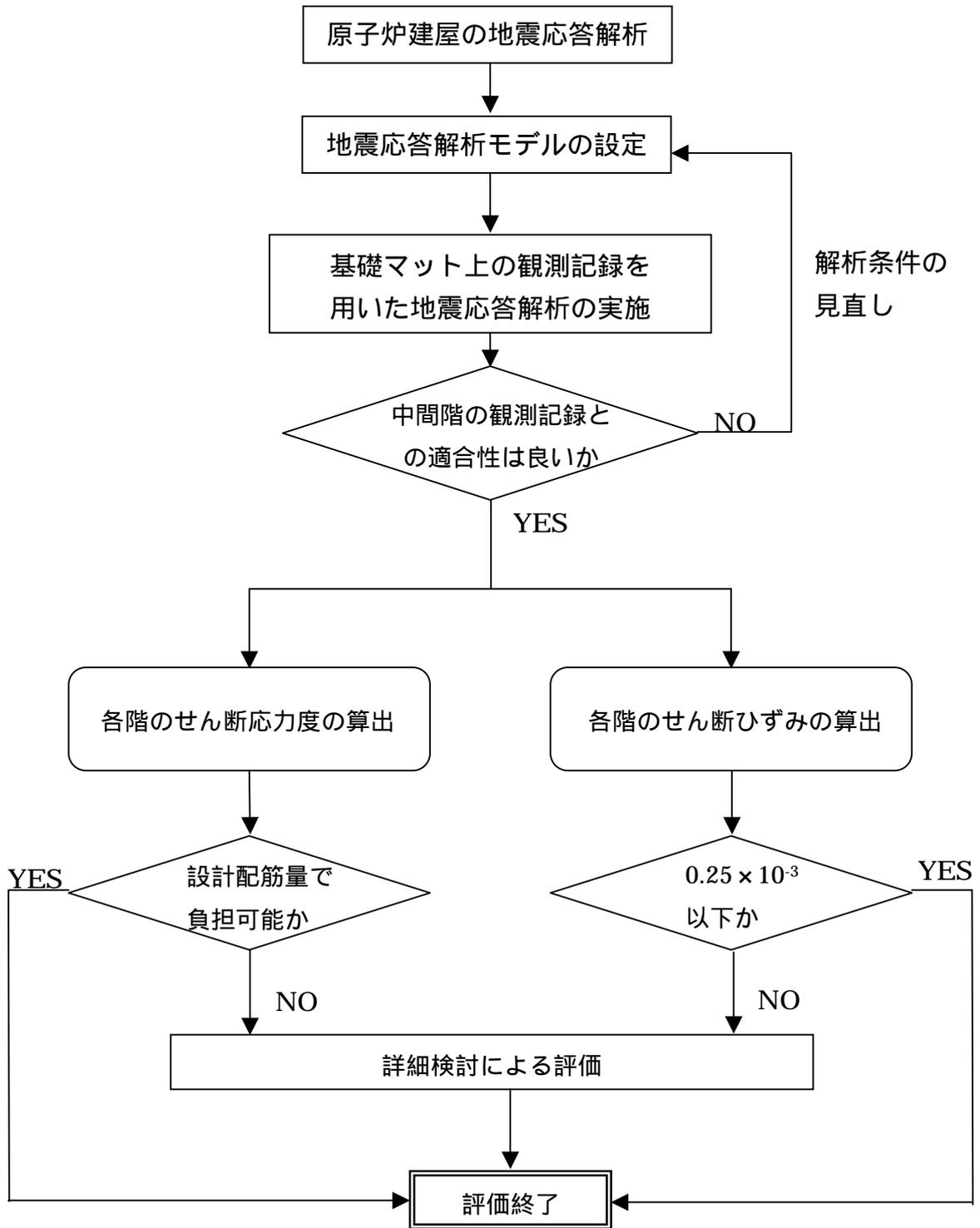


図-5.1.1 原子炉建屋の地震応答解析の評価手順例

5.1.2. 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-5.1.2 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-5.1.3 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-5.1.4～図-5.1.7 に示す。

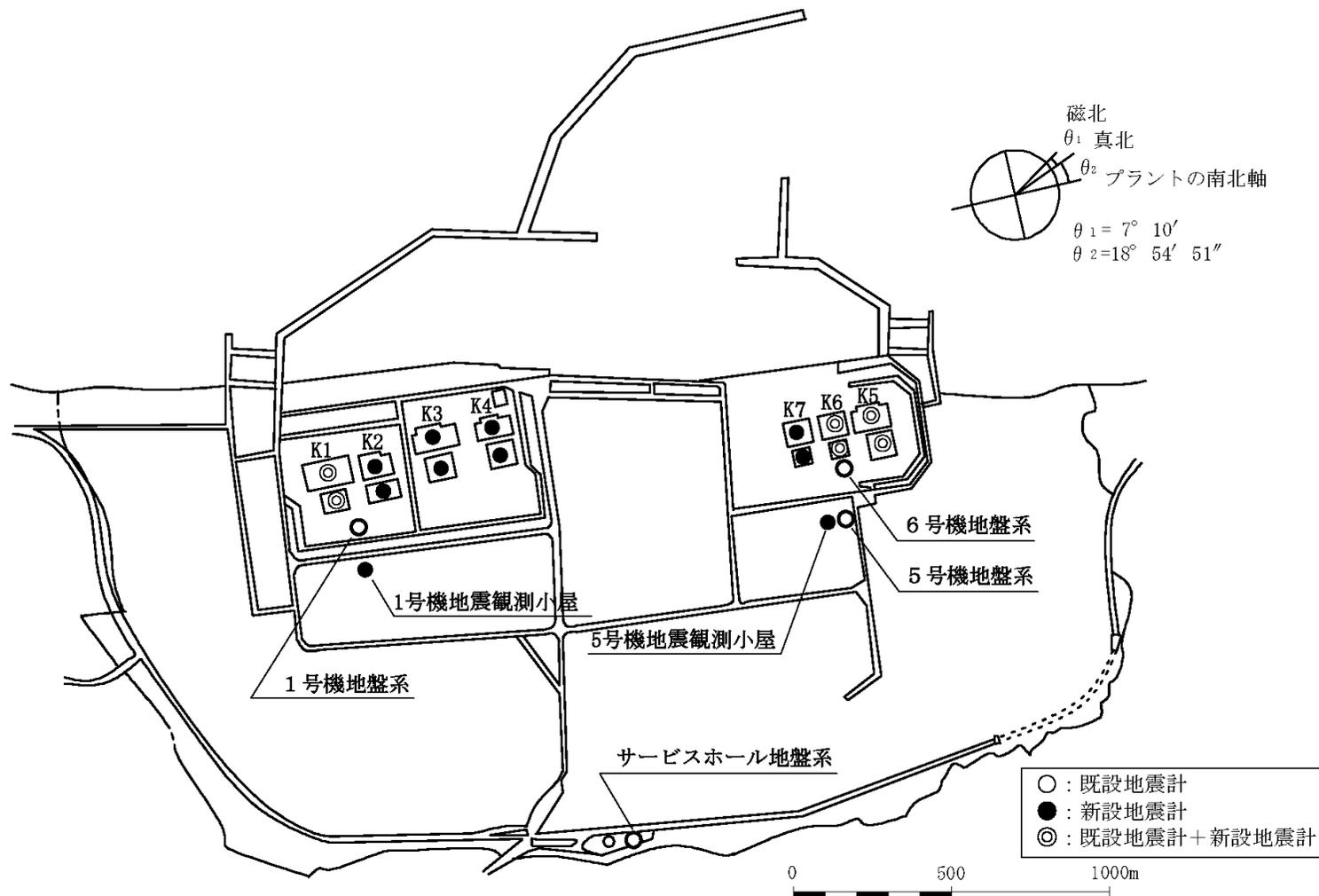
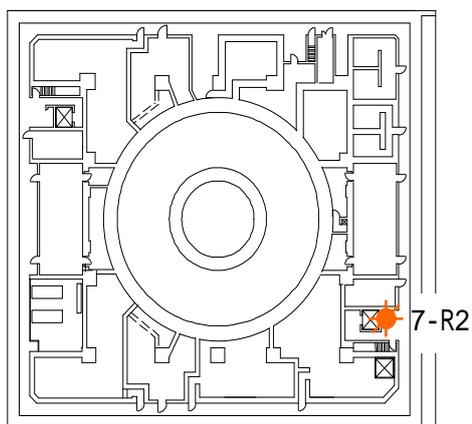
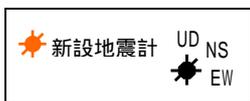
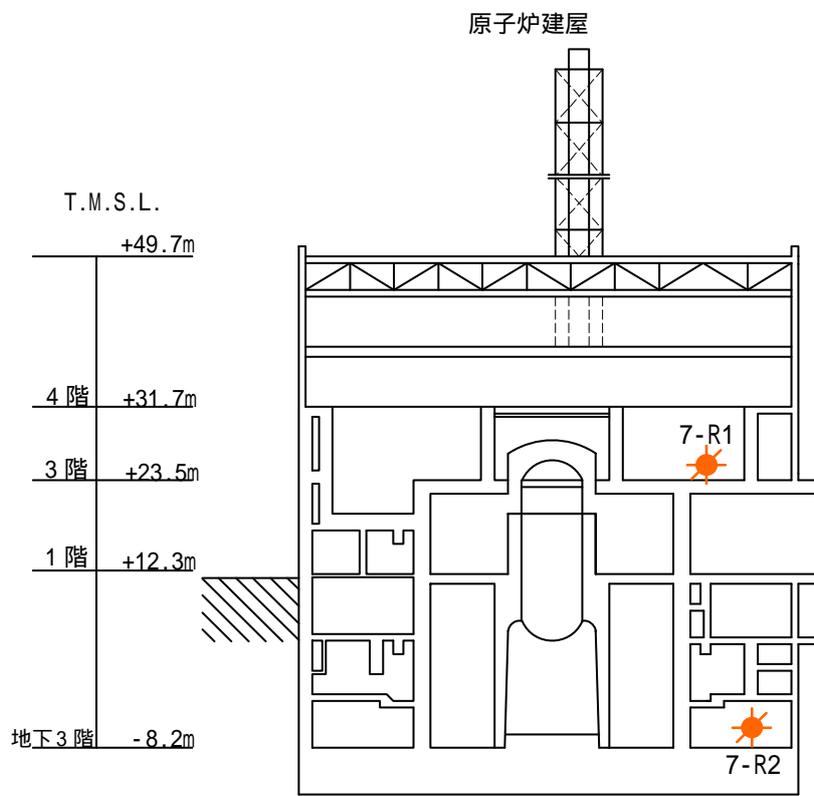
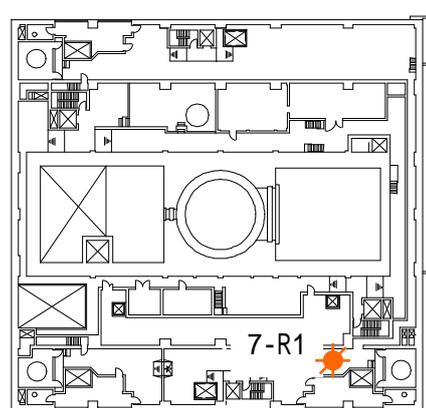


図-5.1.2 柏崎刈羽原子力発電所における地震観測点の配置

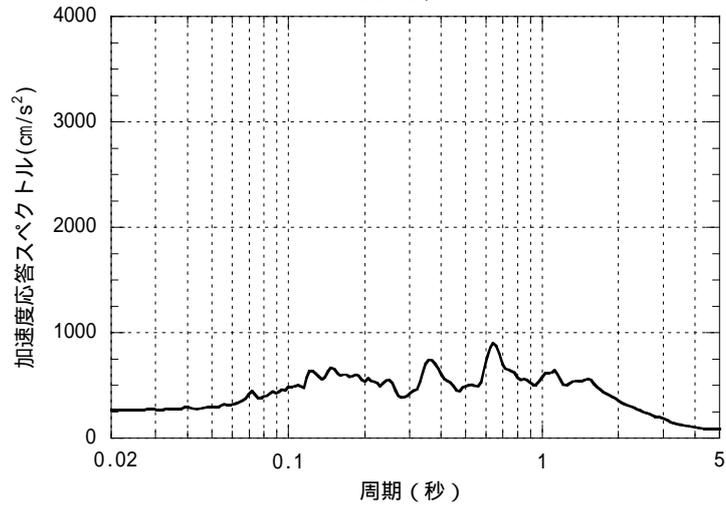
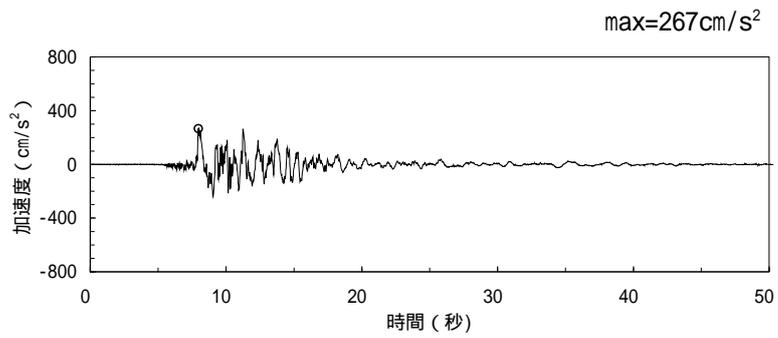


地下3階 (基礎版上)
(T.M.S.L.-8.2m)

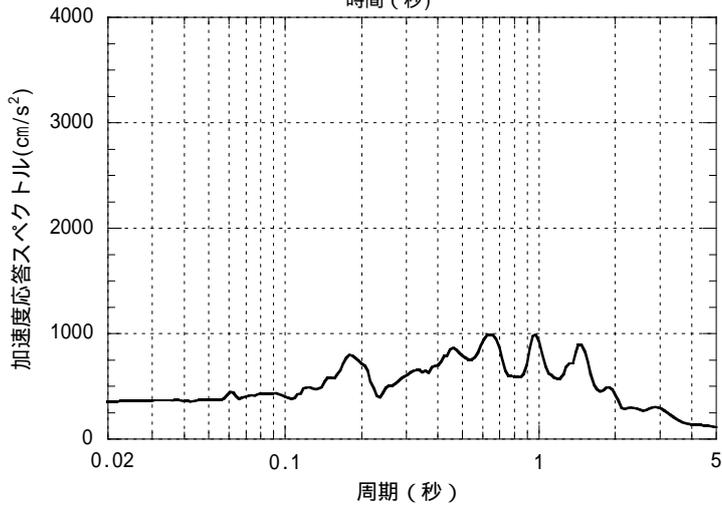
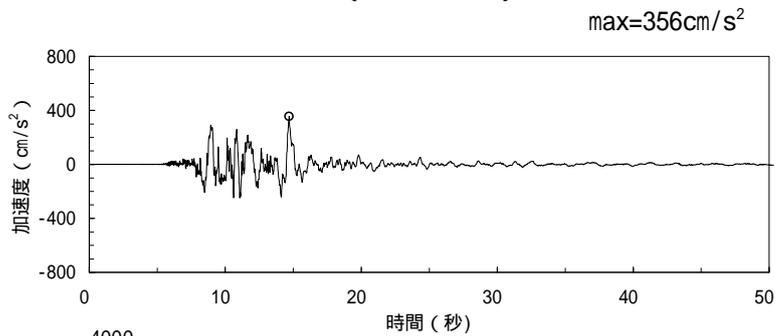


3階(T.M.S.L.+23.5m)

図-5.1.3 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-5.1.4 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(水平方向)

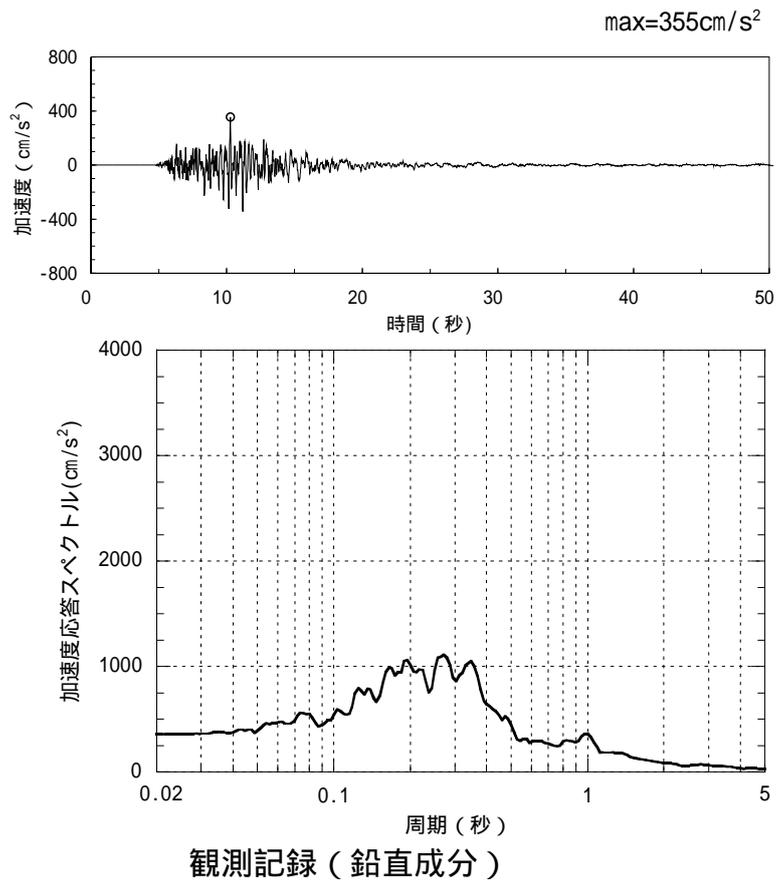
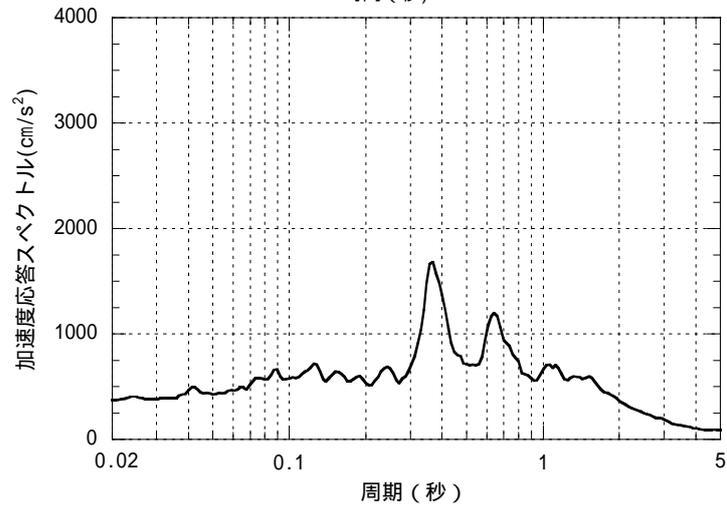
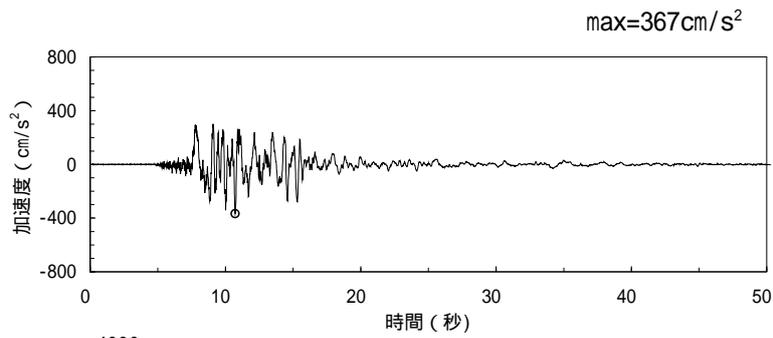
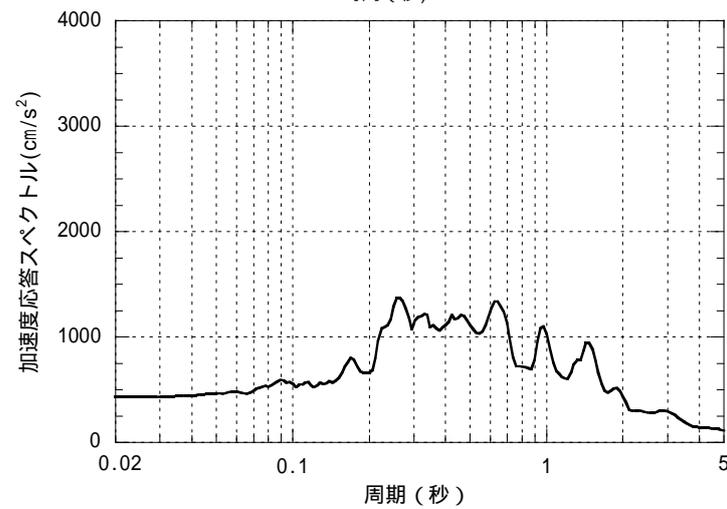
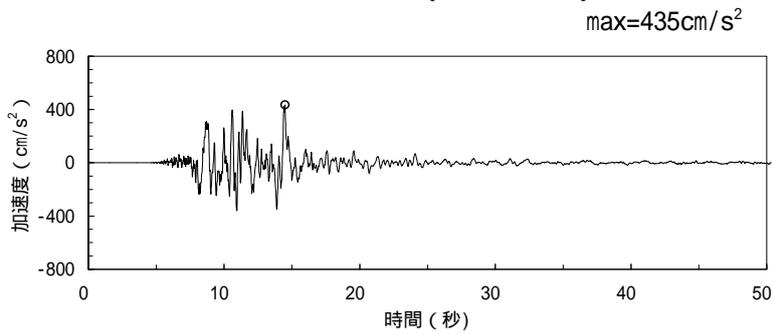


図-5.1.5 7号機原子炉建屋地下3階（基礎版上：7-R2観測点）の
 加速度時刻歴波形、加速度応答スペクトル（鉛直方向）

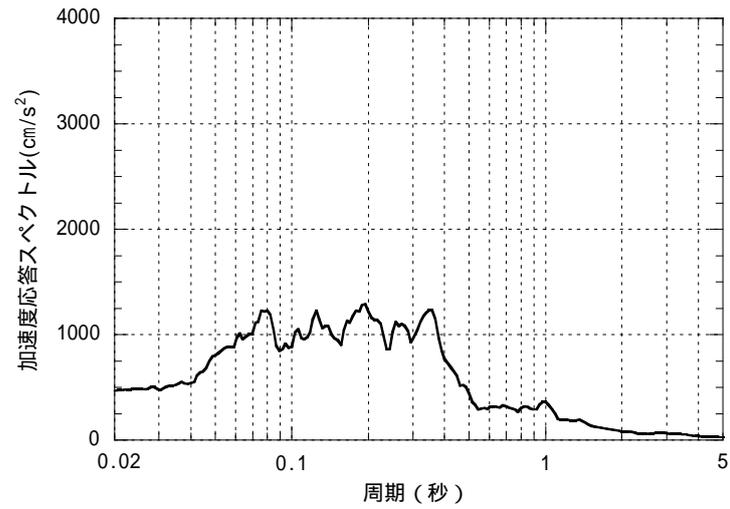
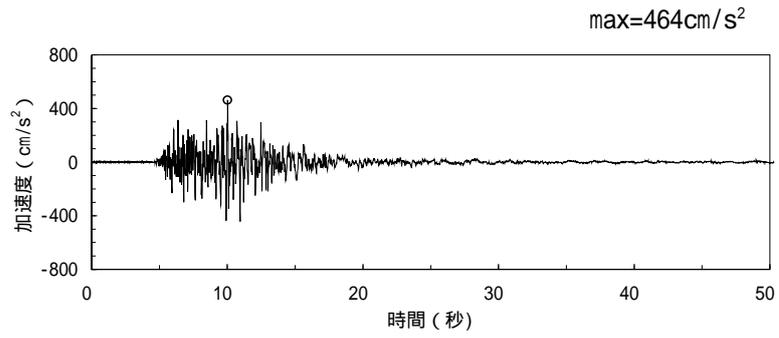


観測記録 (南北成分)



観測記録 (東西成分)

図-5.1.6 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(水平方向)



観測記録 (鉛直成分)

図-5.1.7 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)

5.1.3. 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-5.1.4～図-5.1.5）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-5.1.8 に示す。

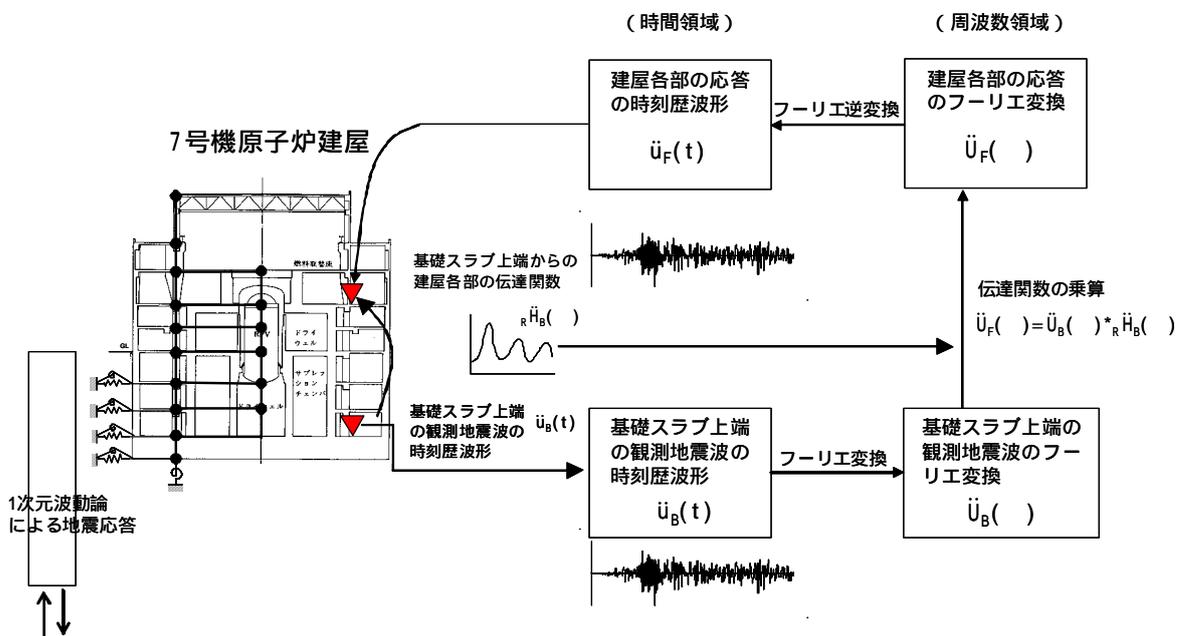


図-5.1.8 解析フロー図

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。

(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-5.1.10 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-5.1.1 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-5.1.2 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-5.1.11 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。

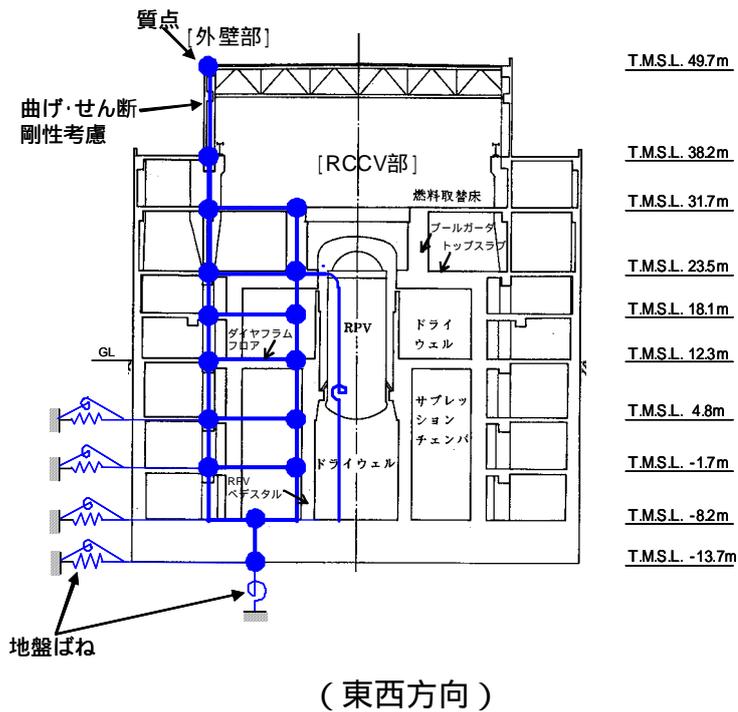
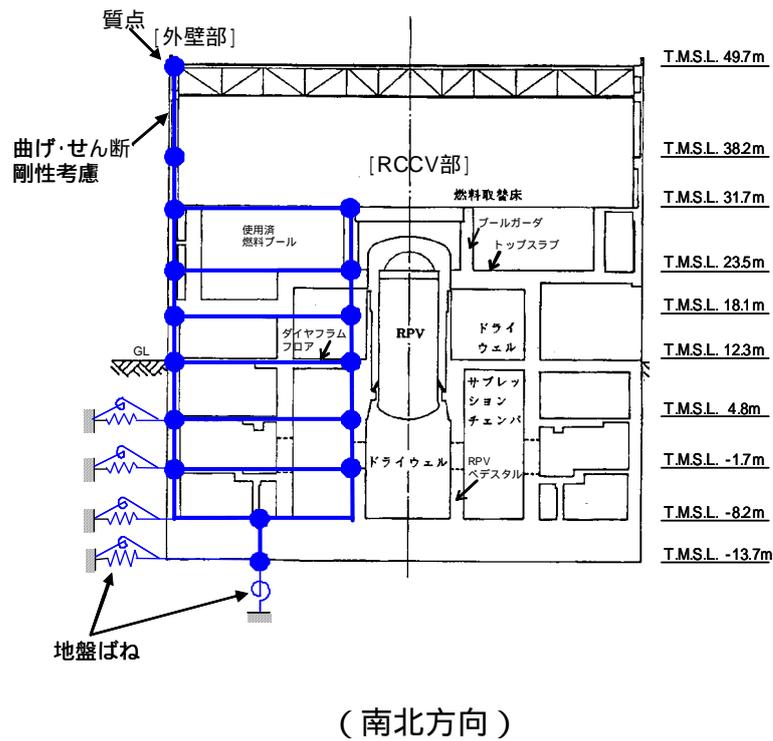


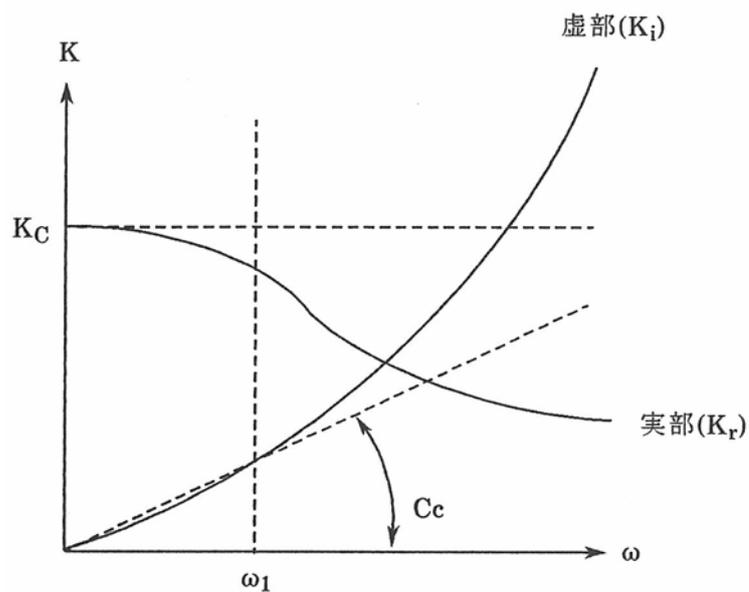
図-5.1.10 地震応答解析モデル (水平方向)

表-5.1.1 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-5.1.2 地盤定数

標高 T.M.S.L (m)	地質	せん断波 速度 Vs(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-5.1.11 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-5.1.12 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-5.1.3 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-5.1.11 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。

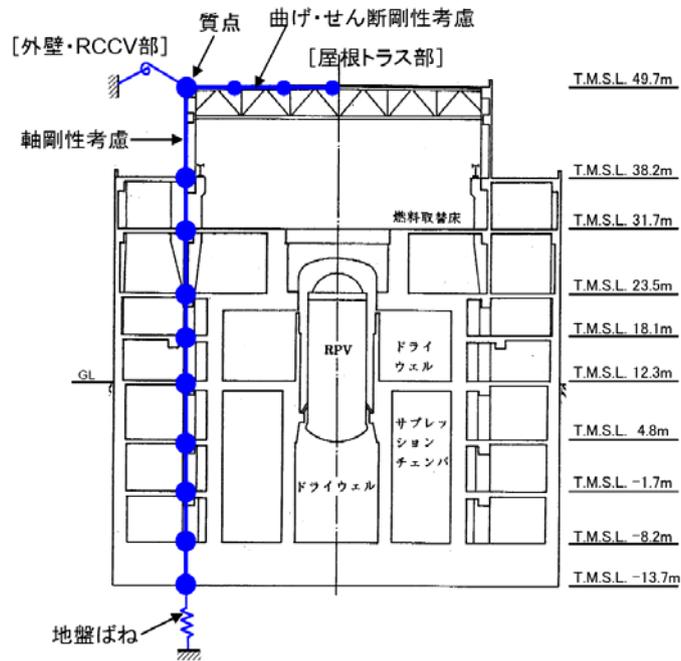


図-5.1.12 地震応答解析モデル（鉛直方向）

表-5.1.3 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-5.1.13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-5.1.14～図-5.1.16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、概ね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、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。

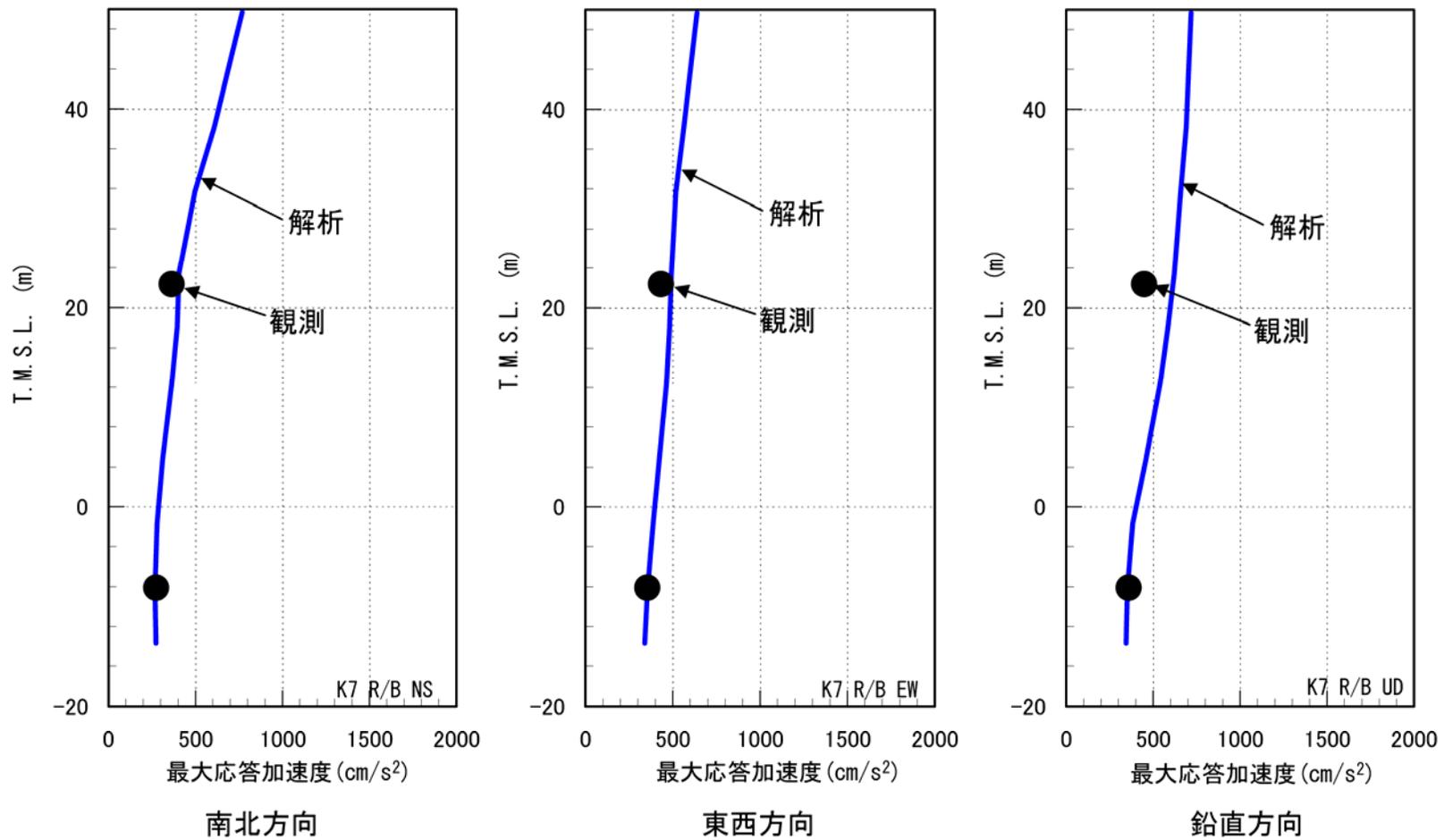


図-5.1.13 最大応答加速度の比較

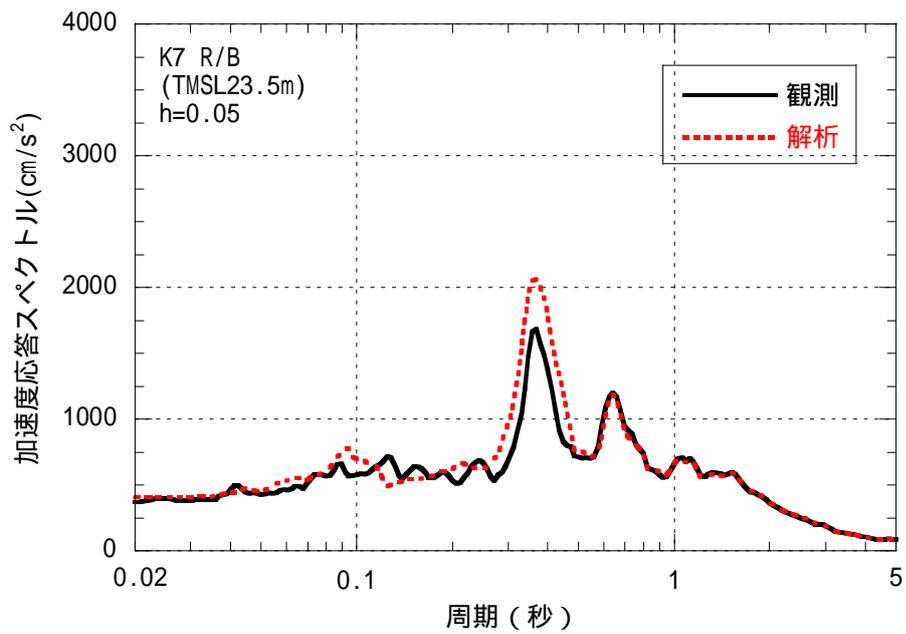
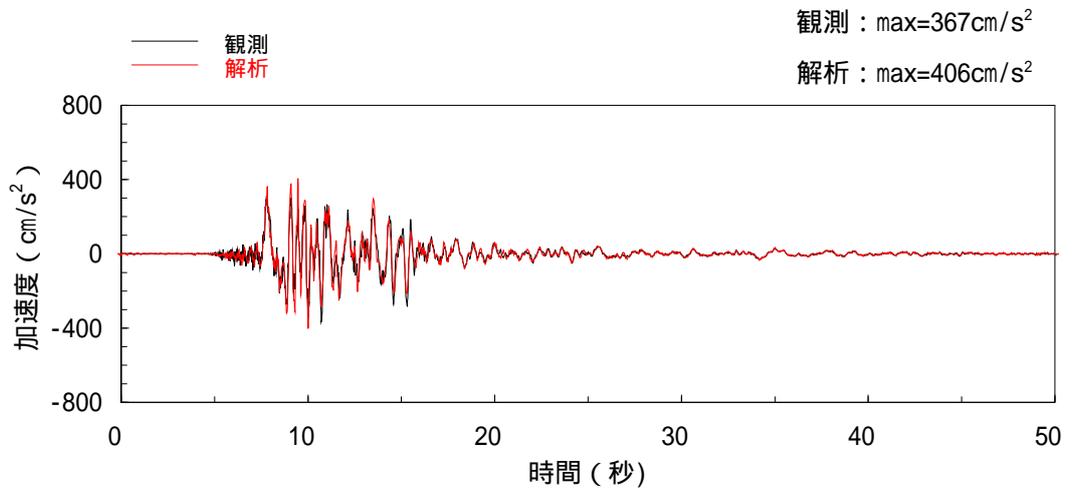


図-5.1.14 加速度応答波形および加速度応答スペクトルの比較
 中間階 (T.M.S.L. 23.5m)、南北方向

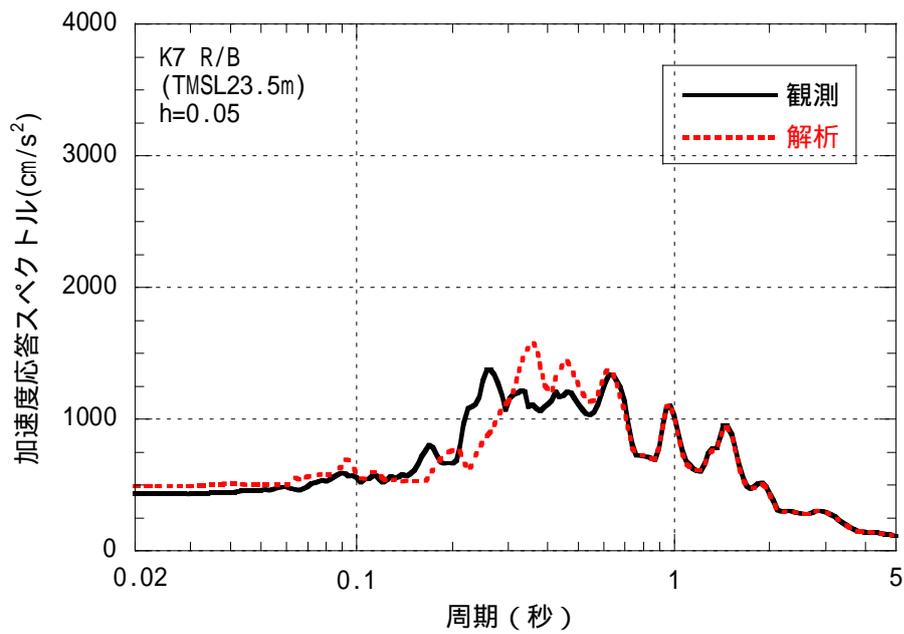
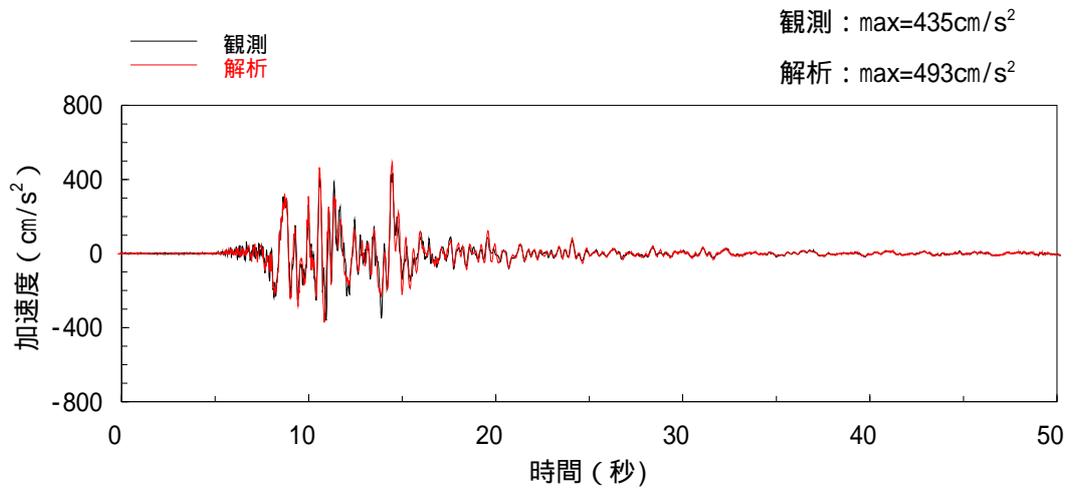


図-5.1.15 加速度応答波形および加速度応答スペクトルの比較
中間階 (T.M.S.L. 23.5m) 東西方向

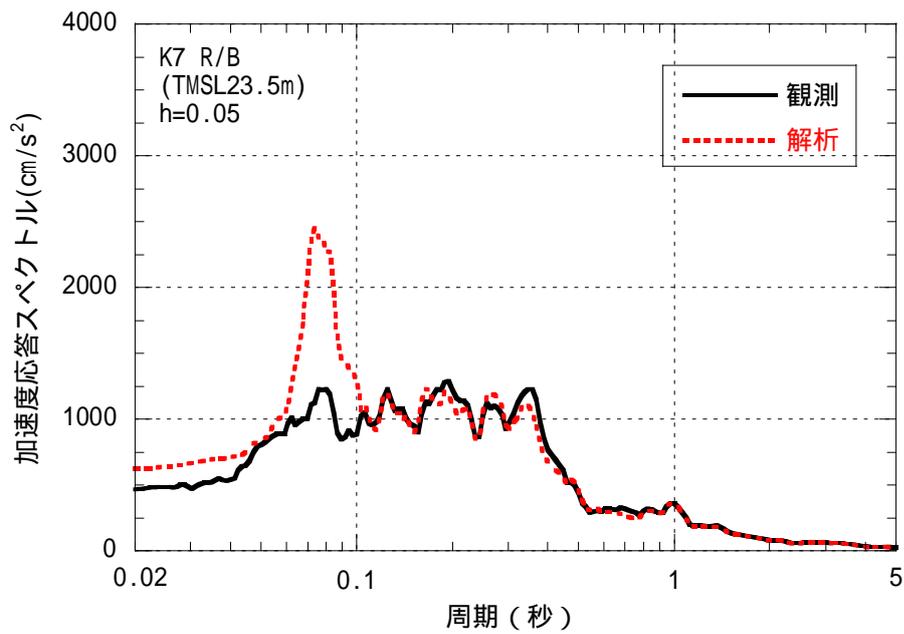
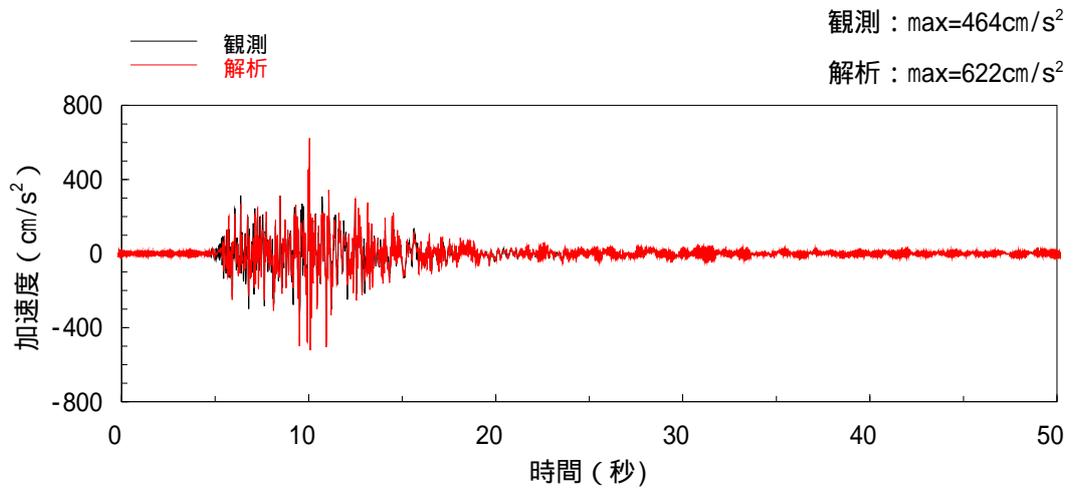


図-5.1.16 加速度応答波形および加速度応答スペクトルの比較
 中間階 (T.M.S.L. 23.5m) 鉛直方向

5.2.4. 耐震健全性評価結果

(1) 耐震壁の鉄筋コンクリート部

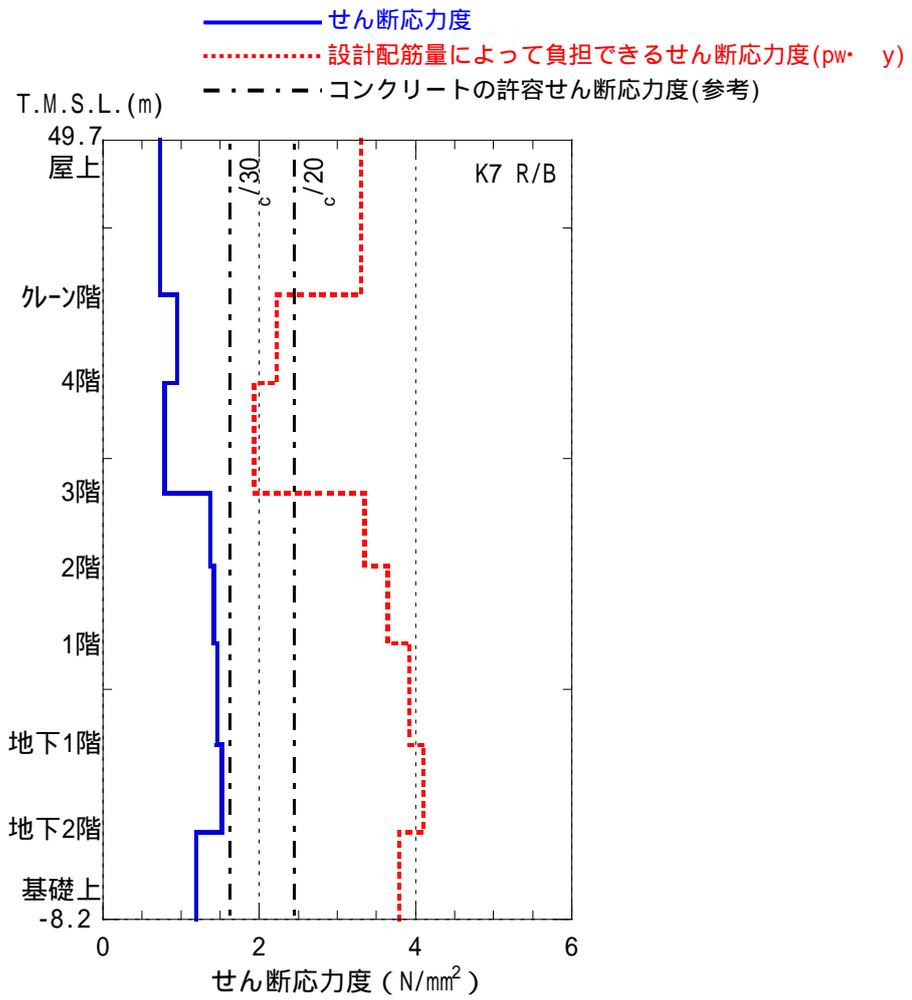
地震応答解析により得られた各階のせん断応力度を、設計配筋量によって負担できるせん断応力度($p_w \cdot \sigma_y$)と併せて図-5.1.17 および図-5.1.18 に示す。これより、各階のせん断応力度は、設計配筋量によって負担できるせん断応力度に対して 20%以上余裕のある結果が出ている。

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-5.1.19 および図-5.1.20 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-5.1.17～図-5.1.20 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。

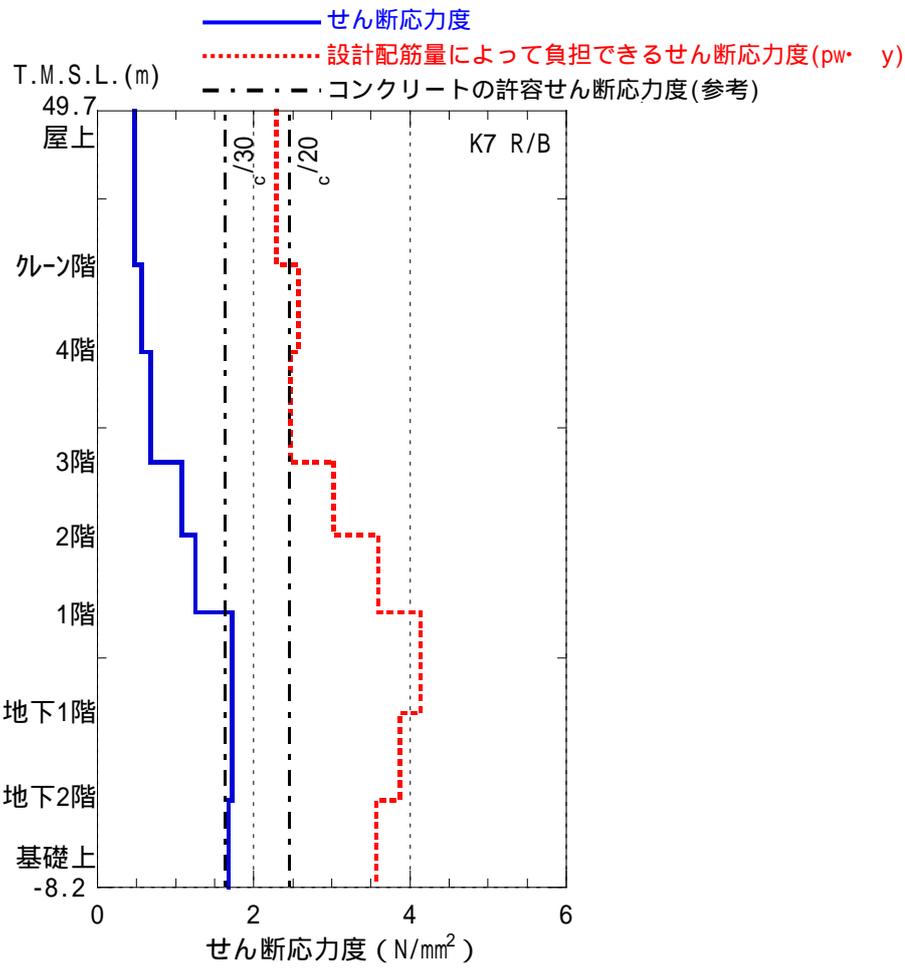
以上より、耐震壁の鉄筋コンクリート部は概ね弾性範囲にあると判断され、耐震健全性は確保されていると評価した。

- 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)



c = コンクリートの実強度

図-5.1.17 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-5.1.18 原子炉建屋 耐震壁のせん断応力度 (東西方向)

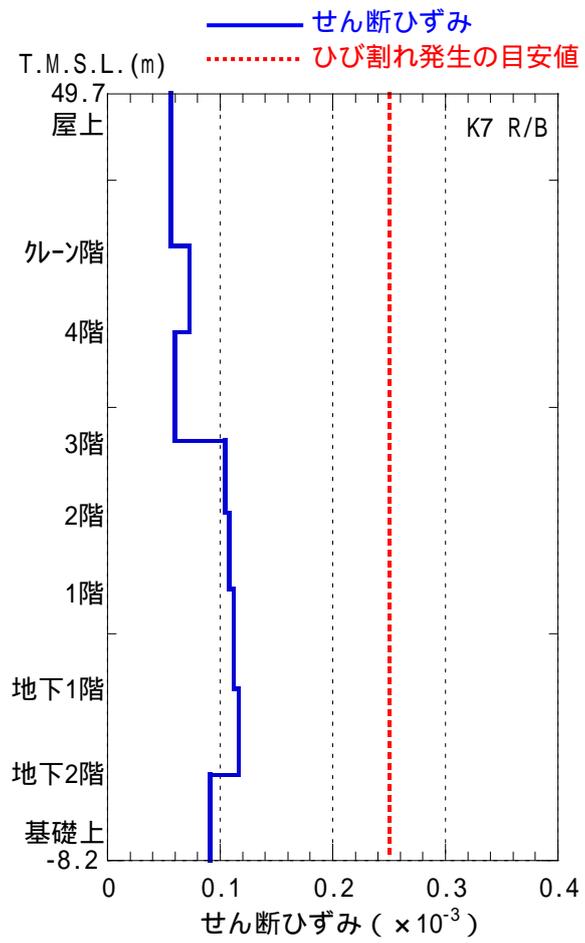


図-5.1.19 原子炉建屋 耐震壁のせん断ひずみ (南北方向)

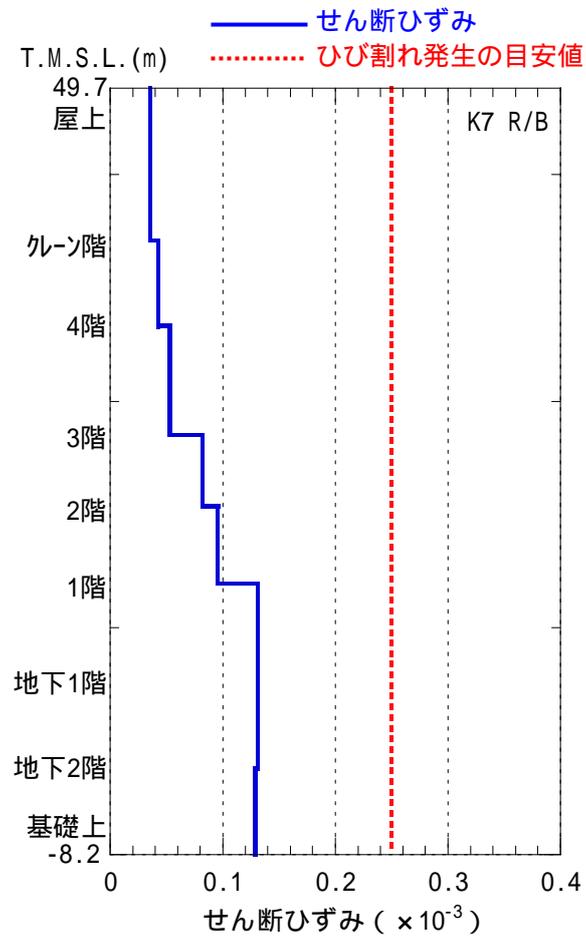


図-5.1.20 原子炉建屋 耐震壁のせん断ひずみ (東西方向)

5.4.2. RCCV の鉄筋コンクリート部

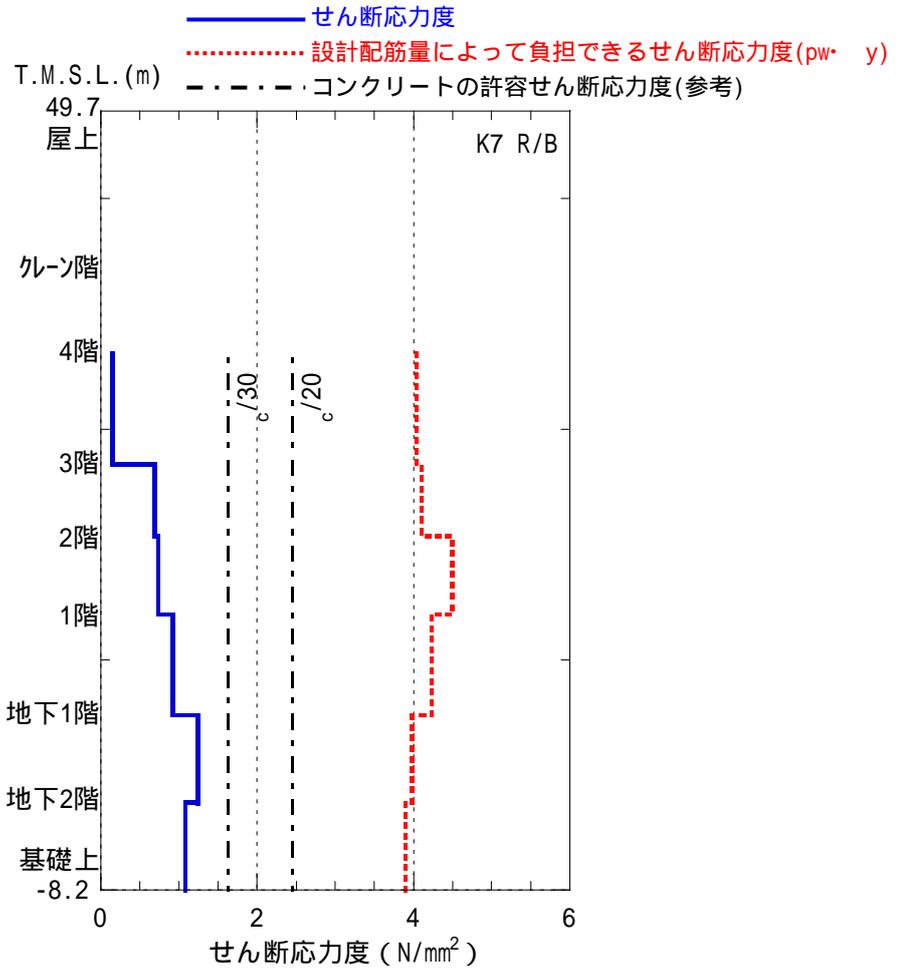
解析により得られた各階のせん断応力度を、RCCV の鉄筋コンクリート部の設計配筋量によって負担できるせん断応力度 ($\rho_w \cdot \sigma_y$) と併せて図-5.1.21 および図-5.1.22 に示す。これより、各階のせん断応力度は、設計配筋量によって負担できるせん断応力度に対して 20%以上余裕のあることが分かる。

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-5.1.23 および図-5.1.24 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-5.1.21～図-5.1.24 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。

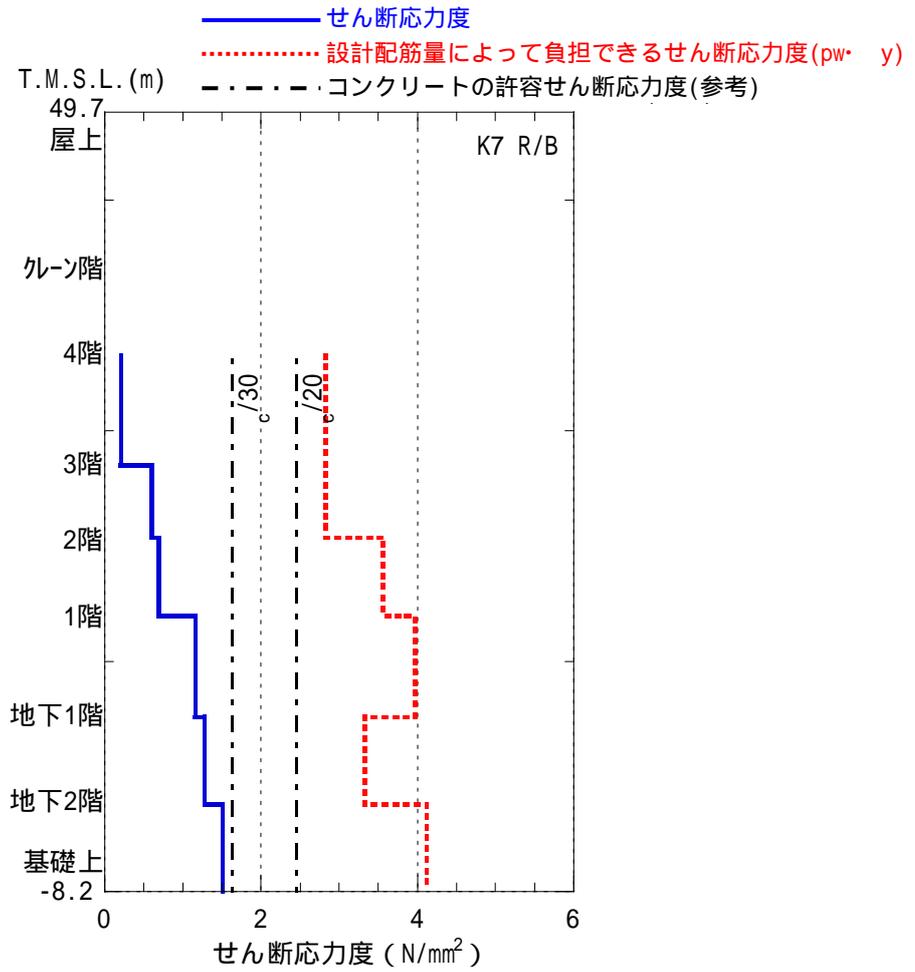
以上より、RCCV の鉄筋コンクリート部は概ね弾性範囲にあると判断され、耐震健全性は確保されていると評価した。

- 1 : ρ_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-5.1.21 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-5.1.22 RCCVの鉄筋コンクリート部のせん断応力度（東西方向）

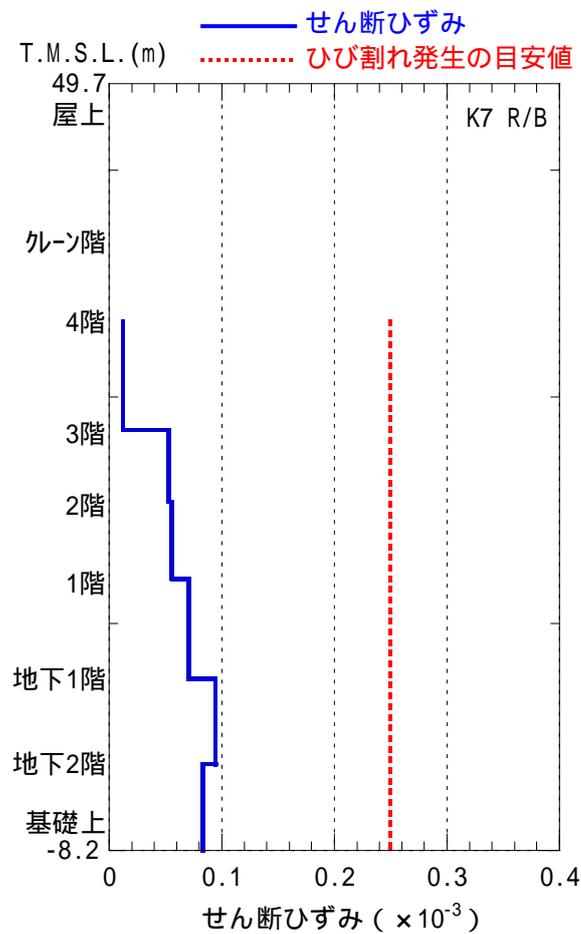


図-5.1.23 RCCVの鉄筋コンクリート部のせん断ひずみ(南北方向)

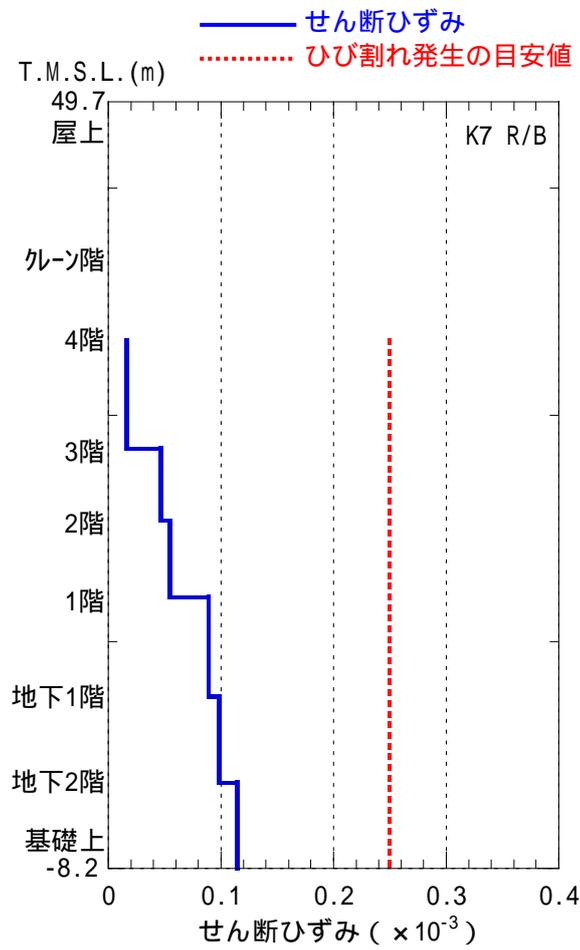


図-5.1.24 RCCVの鉄筋コンクリート部のせん断ひずみ(東西方向)

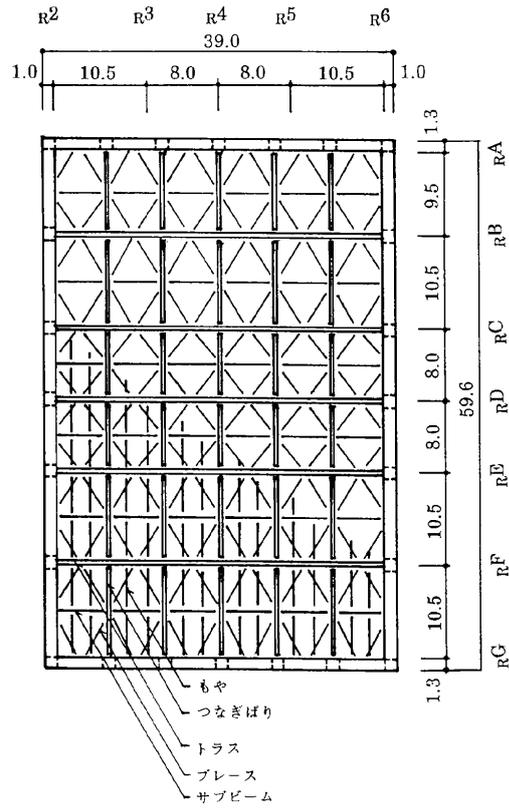
(3) 屋根トラスの鉄骨部

a) 屋根トラスの概要

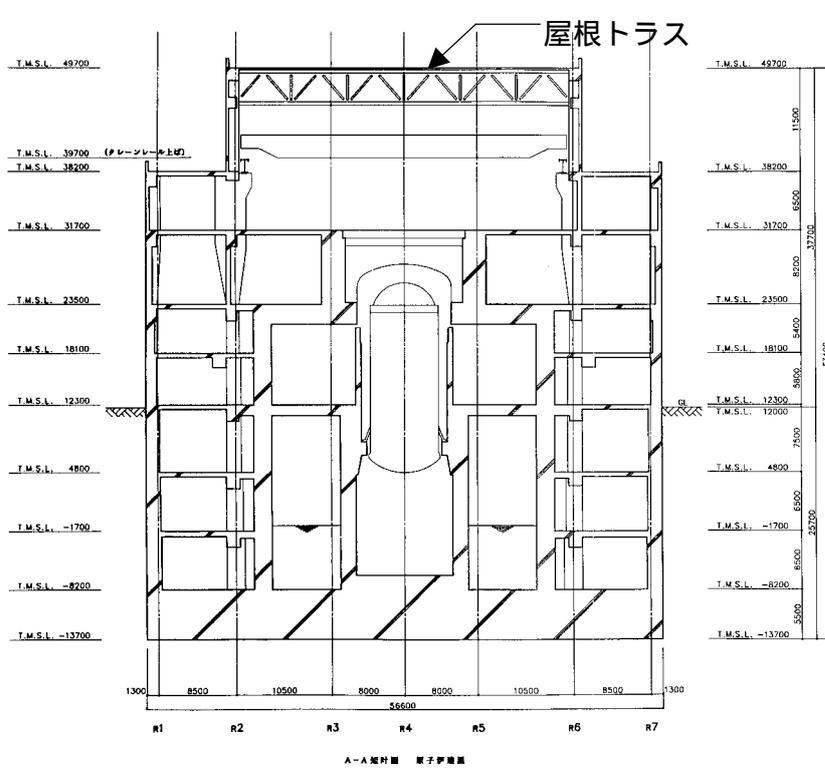
7号機原子炉建屋の上部構造は、鉄骨造陸屋根をもつ屋根トラスで構成されている。屋根トラスの平面は、39.0m(南北)×59.6m(東西)の長方形をなしており、オペフロレベル(T.M.S.L. 31.7m)からの高さは18.0mである。

屋根トラスの概要を図-5.1.25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

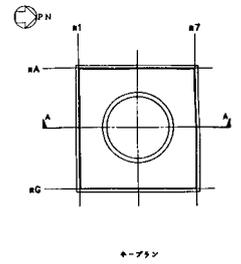


図-5.1.25 7号機屋根トラスの概要

b) 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。

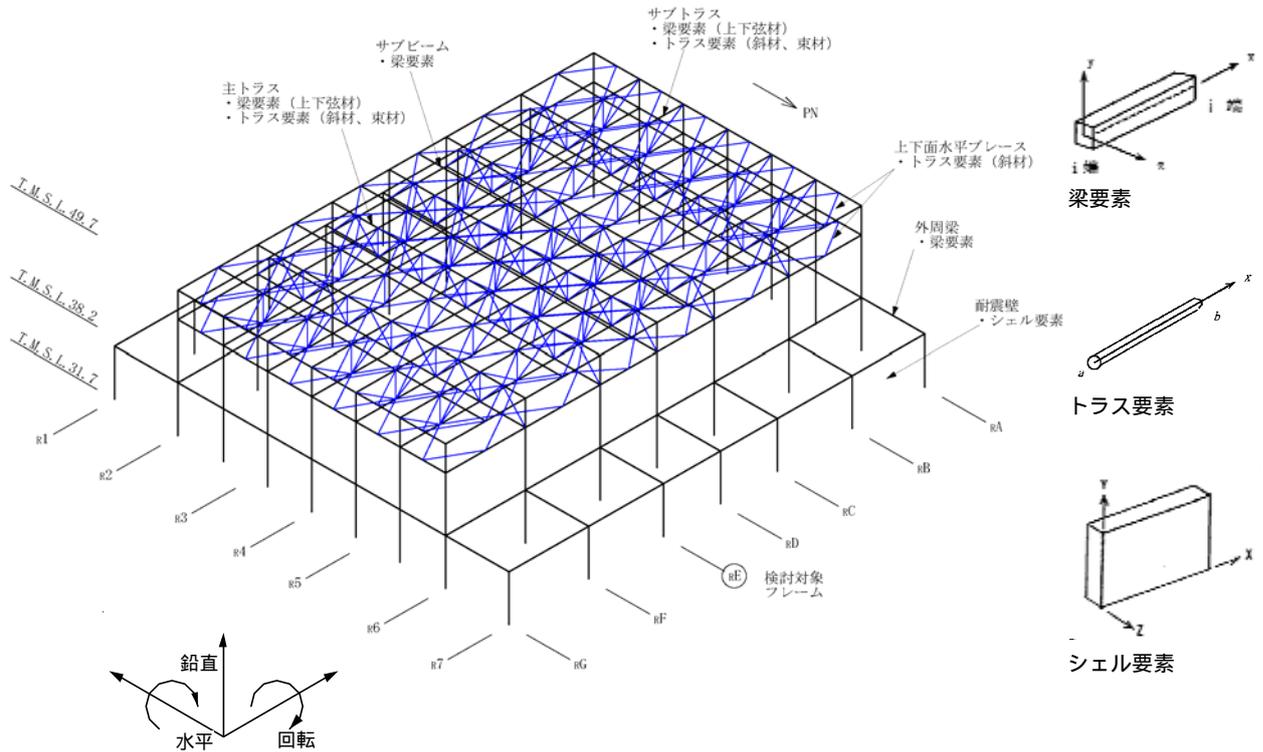
母屋、胴縁を除く構造部材を全てモデル化する。屋根トラス部は、主トラス、サブトラス、屋根上下面水平ブレース、サブビームをモデル化する。各鉄骨部材は軸、曲げ変形を考慮した梁要素 (トラスの上下弦材) と軸変形のみを考慮したトラス要素 (屋根面水平ブレース、トラスの斜材、束材等) としてモデル化する。また、耐震壁及び外周梁は各々シェル要素及び軸、曲げ変形を考慮した梁要素としてモデル化し、耐震壁の開口部についても考慮する。柱脚の条件は固定とする。

解析モデルの概要を図-5.1.26 に示す。また、解析に用いる材料の物性値を表-5.1.4 に示す。

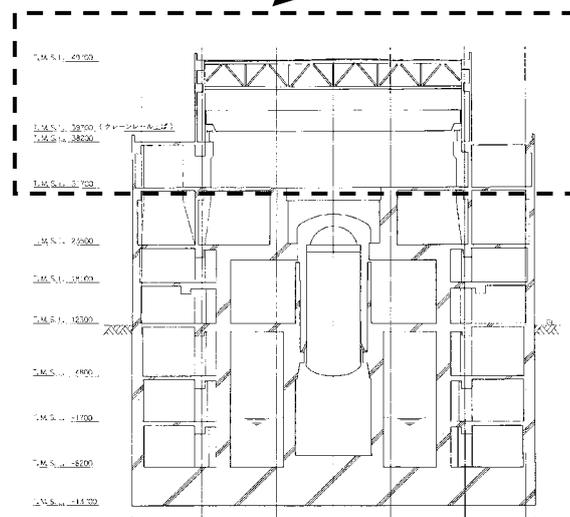
解析モデルへの入力は、前述した原子炉建屋全体の地震応答解析結果から得られるオペフロレベル (T.M.S.L. 31.7m) の応答結果を用いることとし、オペフロ位置を固定として入力する (水平 2 成分、鉛直成分、回転 2 成分)。

このうち、水平 2 成分と鉛直成分の加速度波形を、図-5.1.27 に、回転 2 成分を図-5.1.28 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

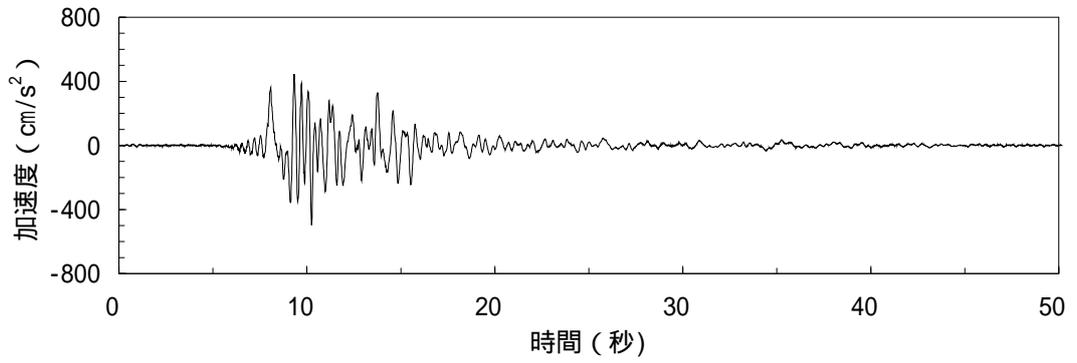


断面図

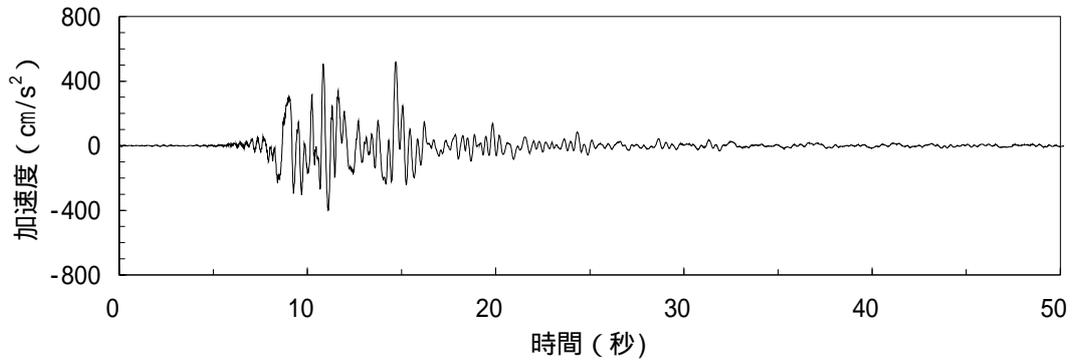
図-5.1.26 屋根トラス（オペフロ上部架構）の解析モデル図と入力イメージ

表-5.1.4 解析に用いた材料定数

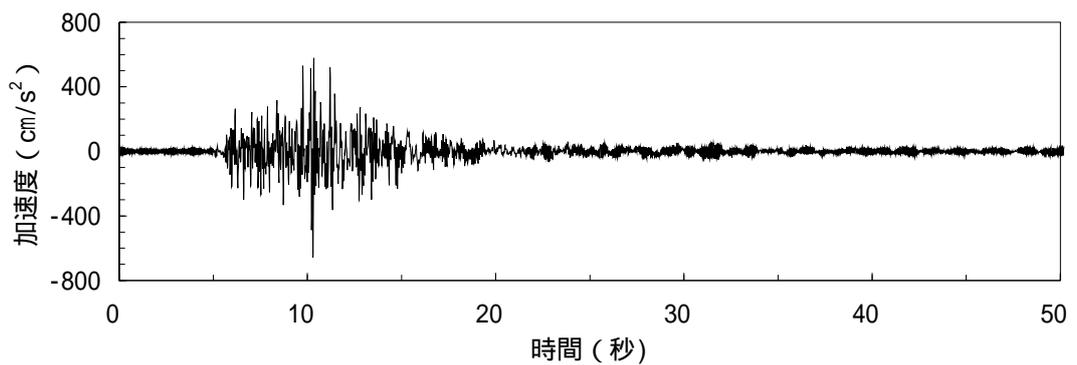
部位	材料	ヤング係数 N/mm ²	ポアソン比	単位体積重量 kN/m ³	減衰定数 h
屋根トラス	鉄骨	2.05 × 10 ⁵	0.3	77.0	0.02
躯体	コンクリート	3.13 × 10 ⁴	0.2	25.0	0.05



(a) 南北方向

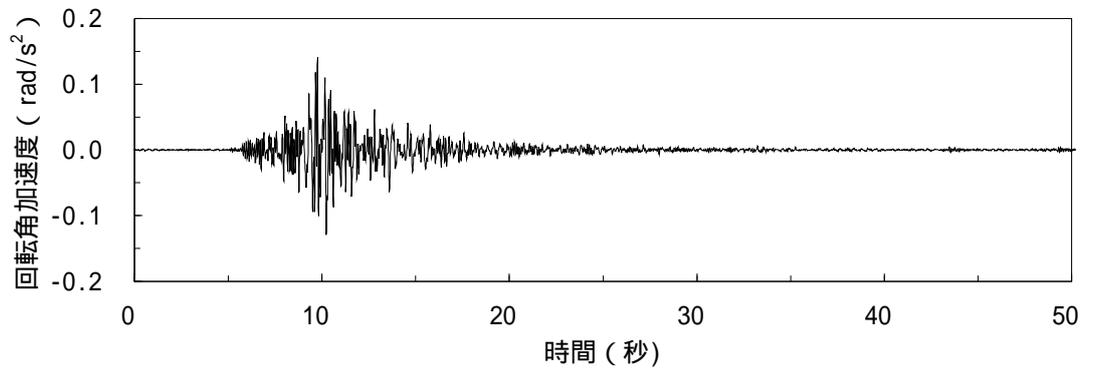


(b) 東西方向

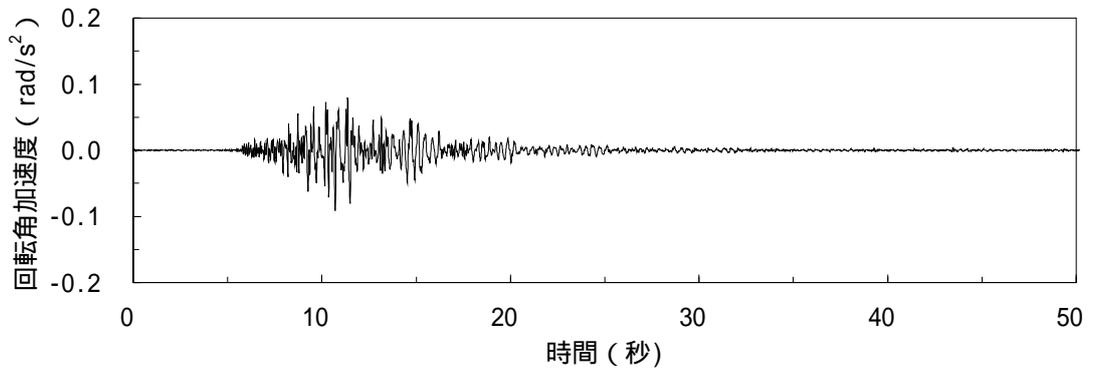


(c) 鉛直方向

図-5.1.27 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-5.1.28 屋根トラスへの入力地震動 (回轉成分)

c) 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

d) 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-5.1.29 に、評価結果を表-5.1.5 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。

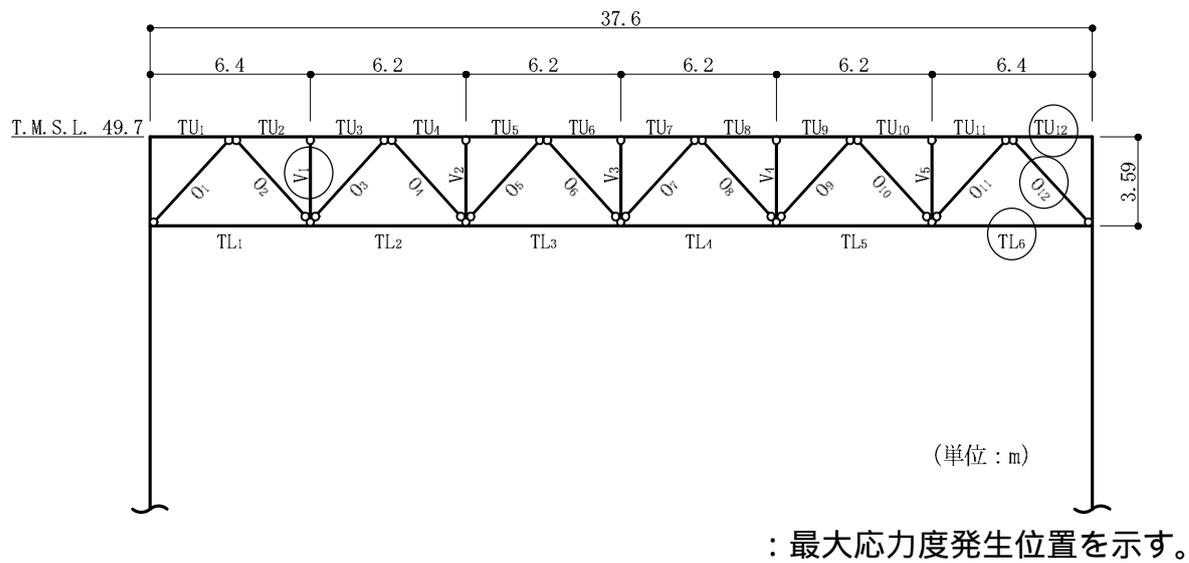


図-5.1.29 評価部位 (_RE 通り)

表-5.1.5 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

5.2. タービン建屋の耐震健全性評価

5.2.1. 解析評価方針

タービン建屋の構造評価については、タービン建屋の一部に耐震上重要な機器の間接支持機能が要求されることから、該当部位の機能維持について評価することとする。

タービン建屋の耐震健全性評価は、タービン建屋の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。この時には、機能維持部位だけでなく建屋全体をモデル化することとする。

機能維持部位の構造評価を行う具体的方法としては、地震応答解析により得られた該当部位の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。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評価を行うこととする。

なお、この段階で裕度が比較的小さい場合には、追加点検を含めてさらに詳細な検討を行うこととする。

タービン建屋の地震応答解析の評価手順例を図-5.2.1 に示す。

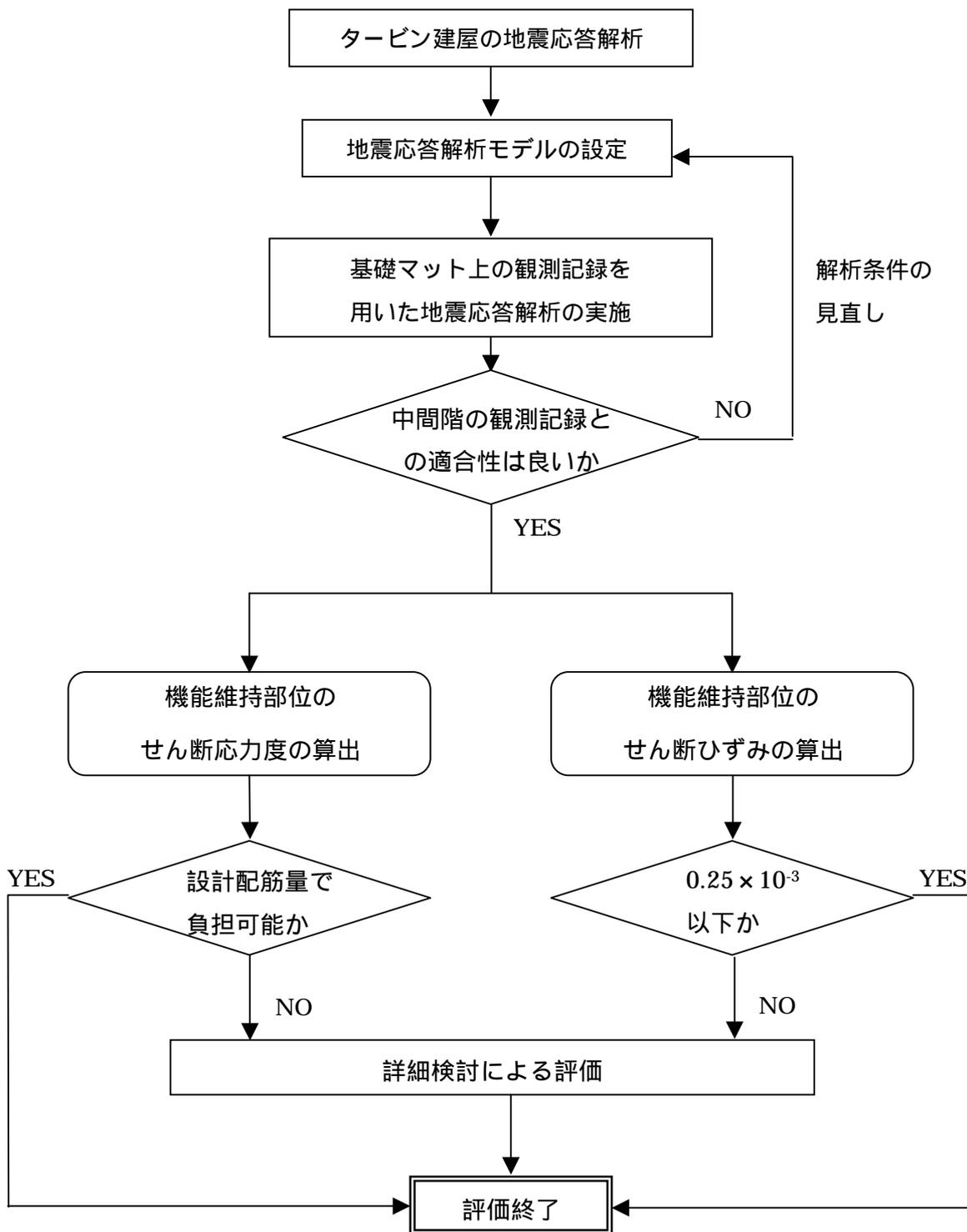
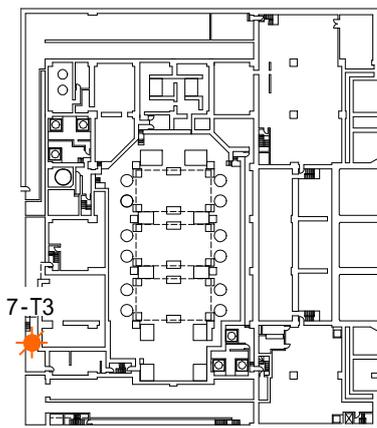
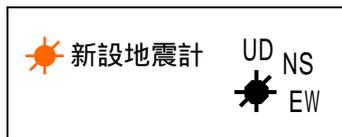
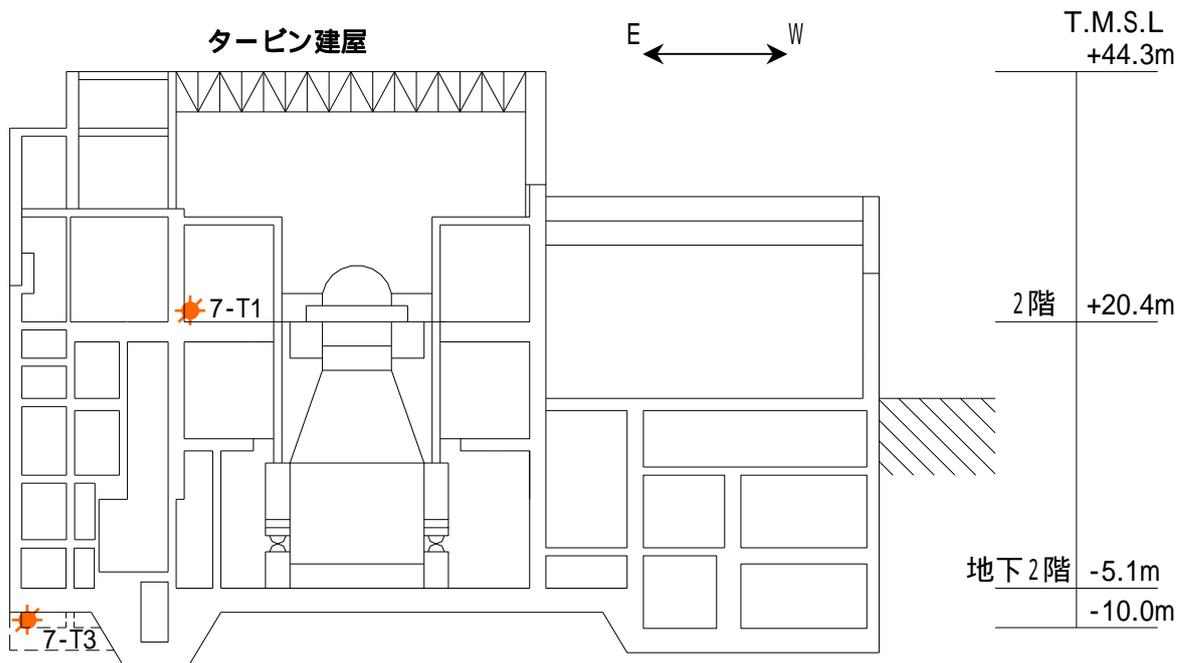


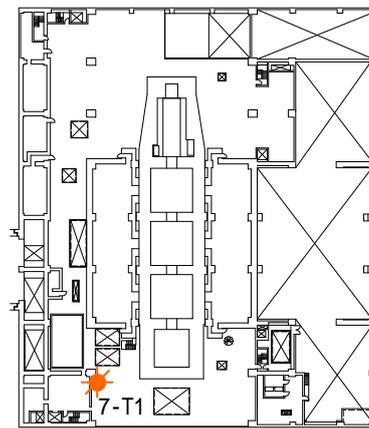
図-5.2.1 タービン建屋の地震応答解析の評価手順

5.2.2. タービン建屋における観測記録

7号機のタービン建屋においては、図-5.2.2 に示すように新潟県中越沖地震本震の際に基礎版上、2階で新設地震計により加速度時刻歴波形を取得している。7号機タービン建屋で取得された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。



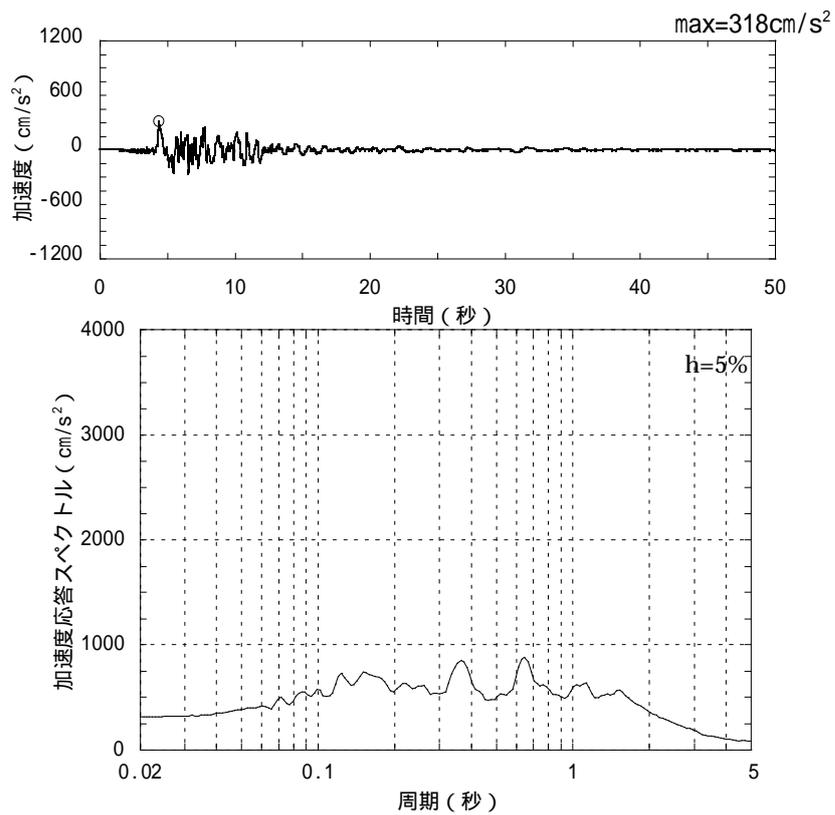
地下2階(T.M.S.L. 10.0m)



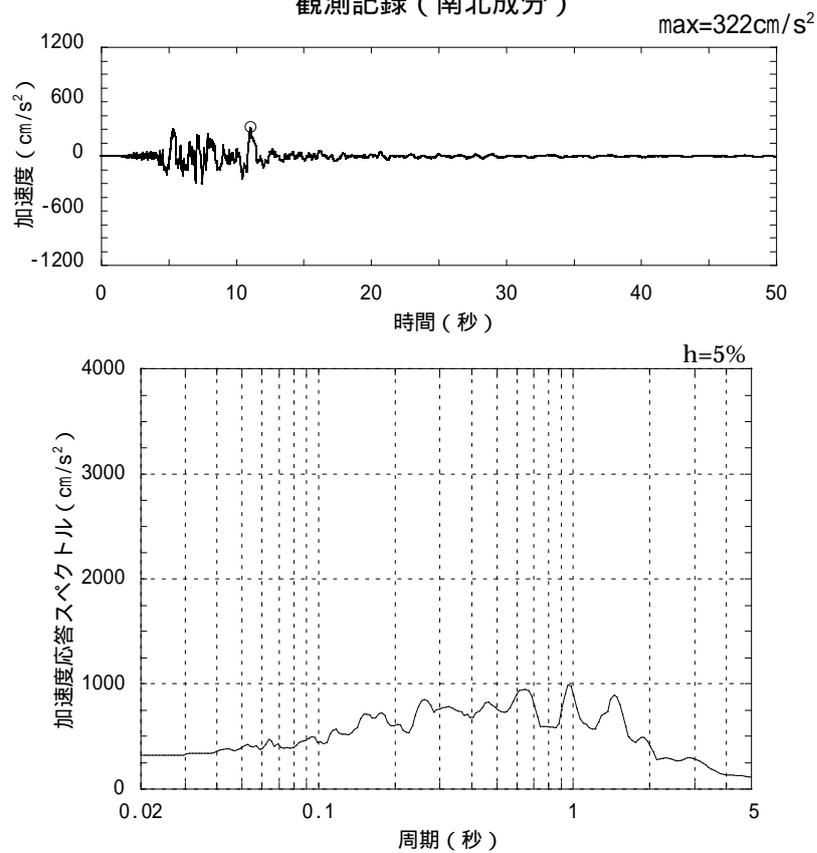
2階(T.M.S.L. +20.4m)

T.M.S.L.とは、東京湾平均海面のことを指す。

図-5.2.2 7号機タービン建屋地震計配置断面図および平面図

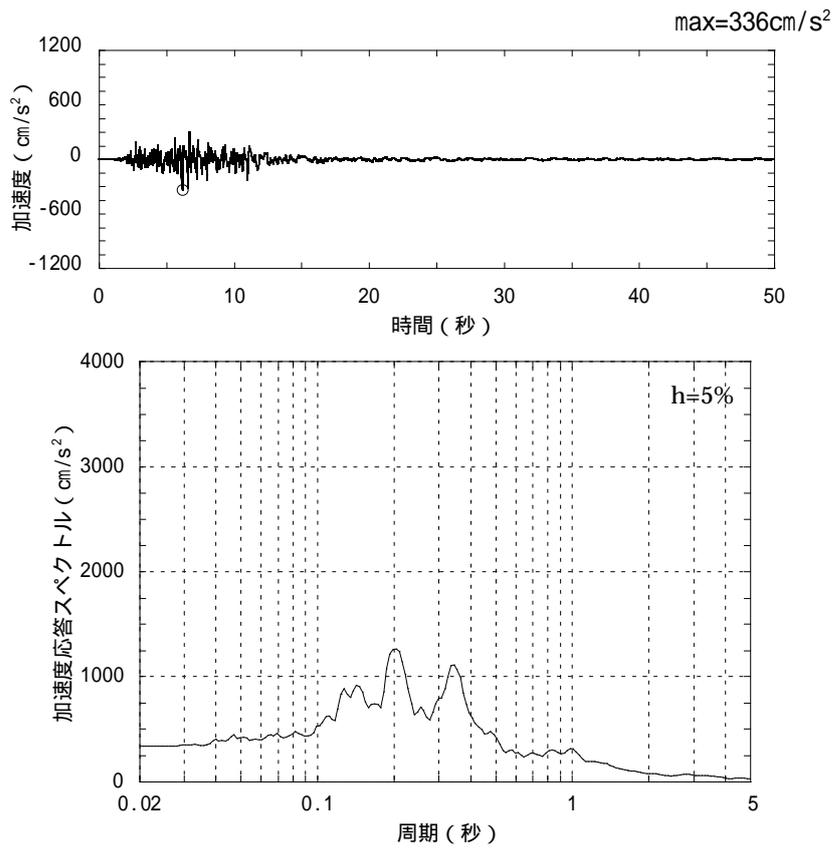


観測記録 (南北成分)



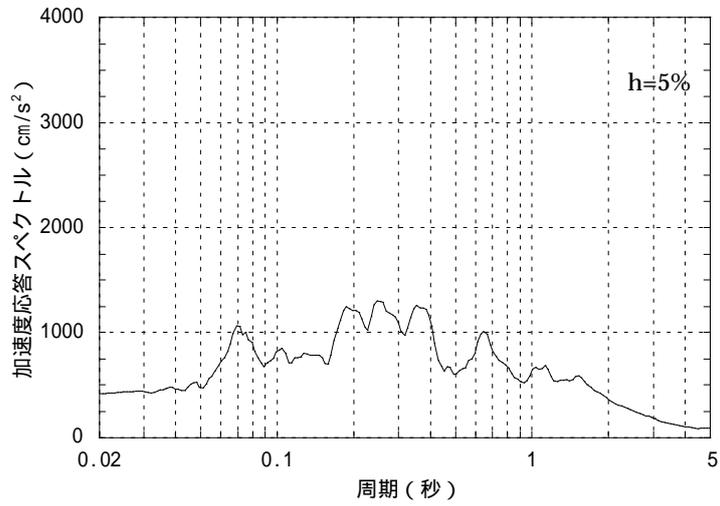
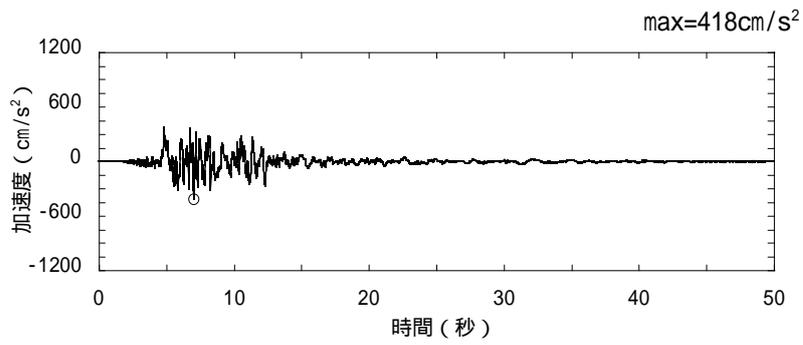
観測記録 (東西成分)

図-5.2.3 7号機タービン建屋地下2階(基礎版上:7-T3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)

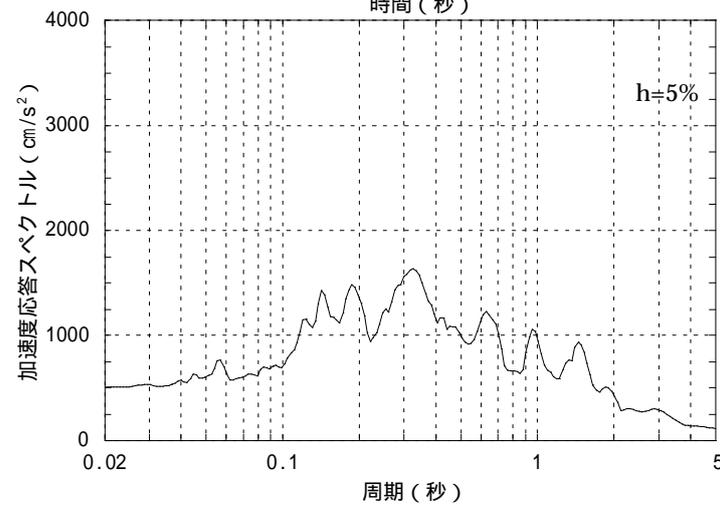
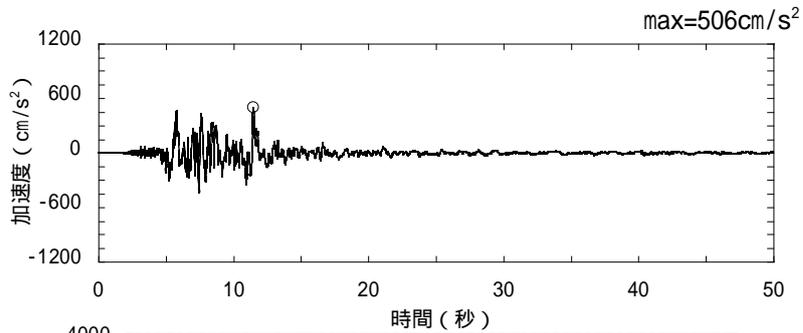


観測記録（鉛直成分）

図-5.2.4 7号機タービン建屋地下2階（基礎版上：7-T3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号機タービン建屋2階(7-T1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)

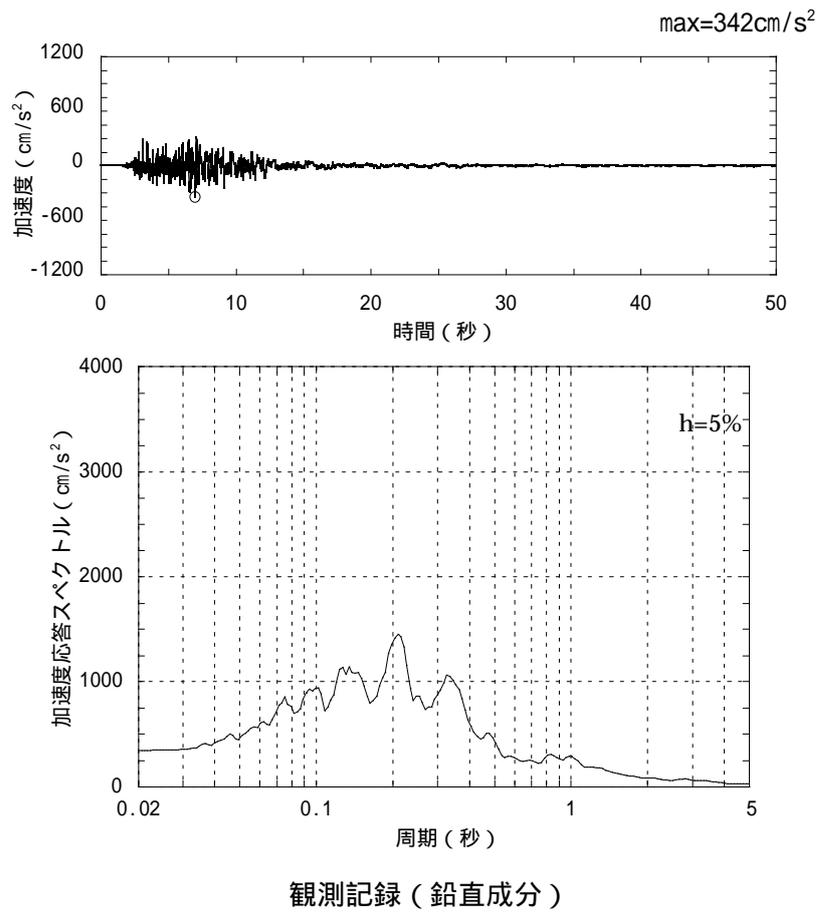


図-5.2.6 7号機タービン建屋2階(7-T1観測点)の
 加速度時刻歴波形、加速度応答スペクトル(鉛直方向)

5.2.3. 地震応答解析

本地震に対するタービン建屋の地震応答解析は、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、タービン建屋の基礎版上での観測記録波（図-5.2.3～図-5.2.4）から基礎底面位置における地盤の応答波を求め、これを振動モデルに入力して算定する。

解析結果と観測記録の整合性は、タービン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。

本検討では、7号機原子炉建屋の地震応答解析方針と同様に、次の5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。

設計時には地震応答解析は弾性応答解析であったが、弾塑性応答解析を行うこととする。復元力特性については、「JEAG 4601-1991」に示された手法に従うことを基本とする。

(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-5.2.7～図-5.2.8 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 - 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。解析に用いるコンクリートおよび鉄骨の材料定数を表-5.2.1 に示す。

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地盤定数を定めた。解析に用いた地盤定数を表-5.2.2 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、「JEAG 4601-1991」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-5.2.9 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。

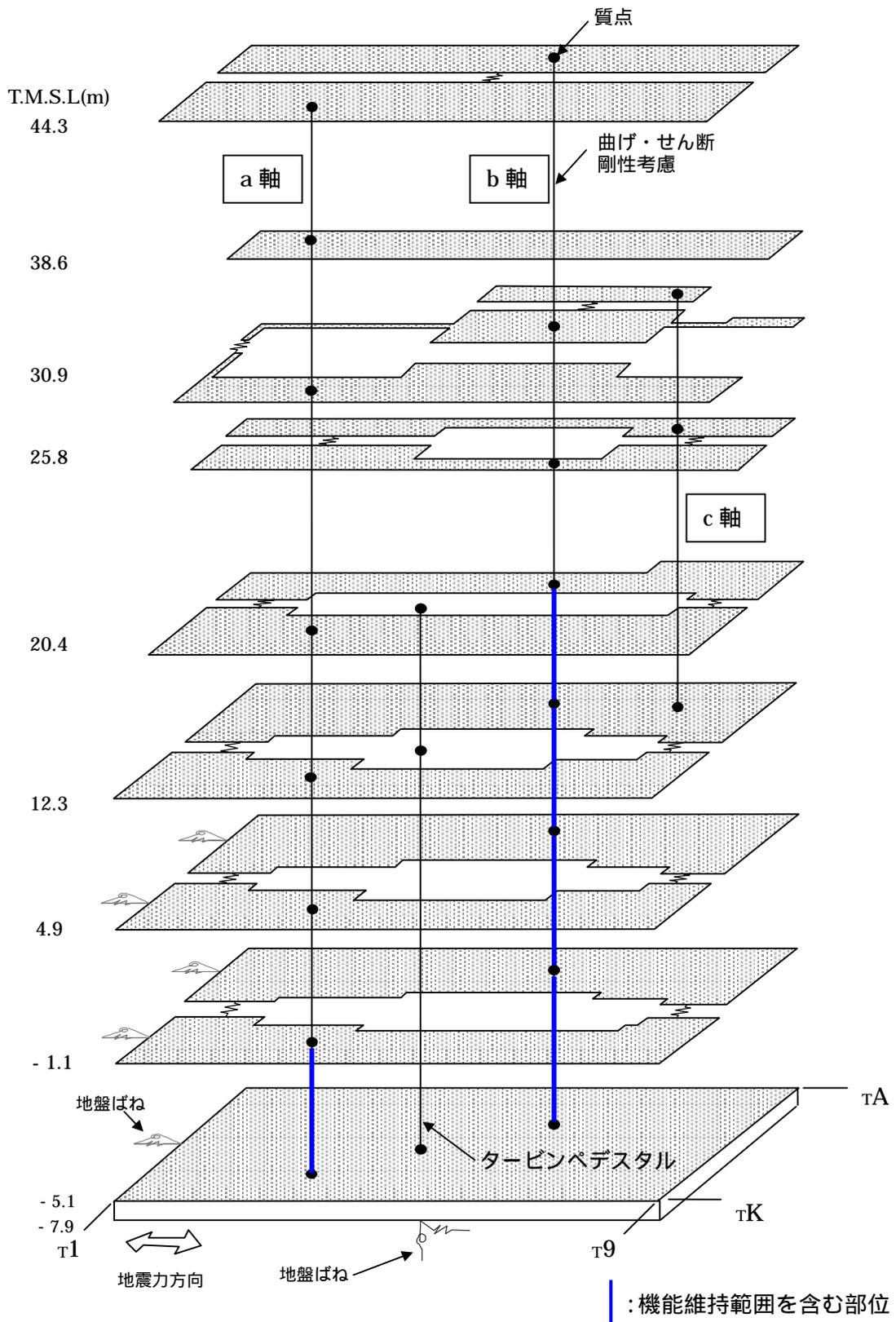
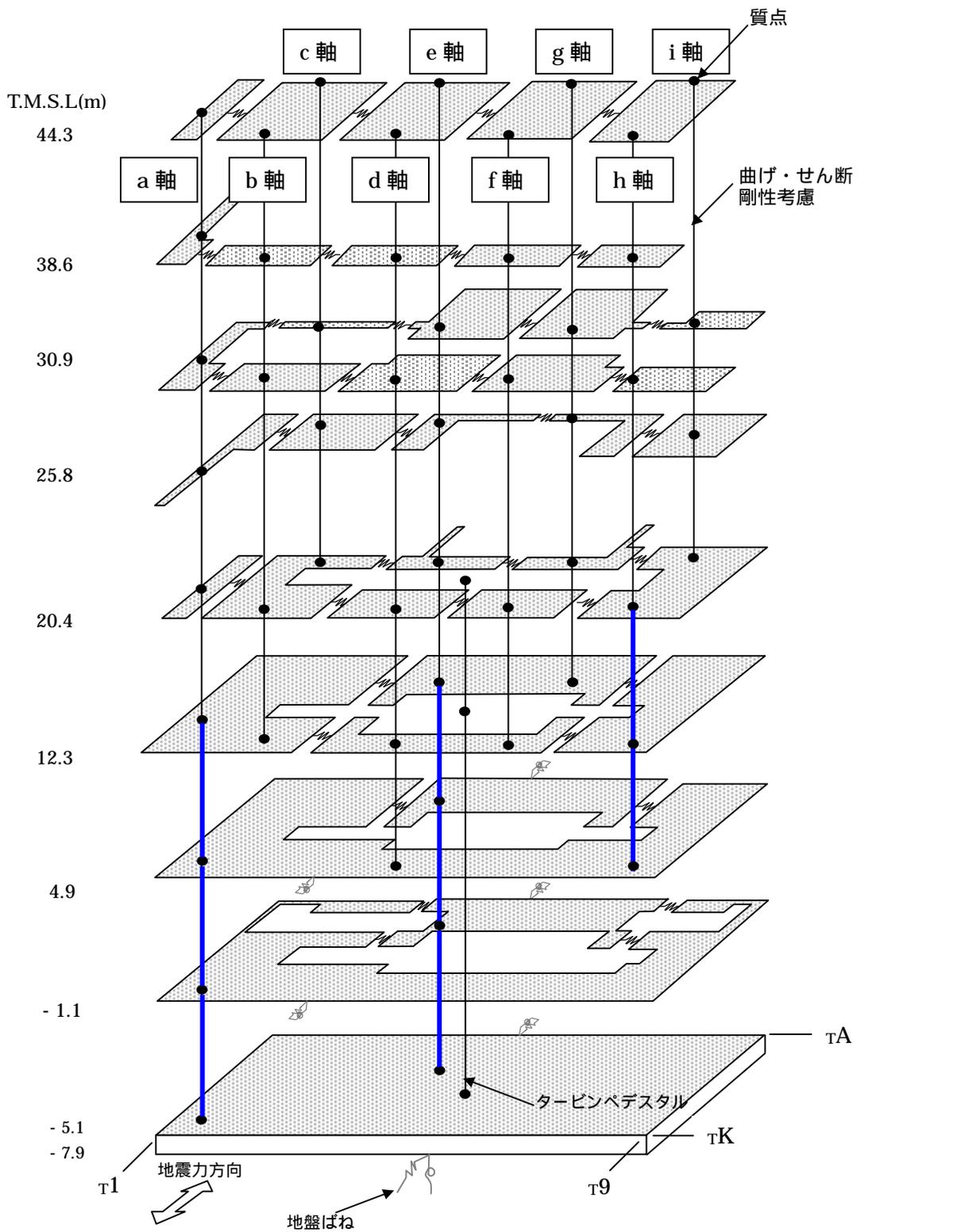


図-5.2.7 地震応答解析モデル(南北方向)



：機能維持範囲を含む部位

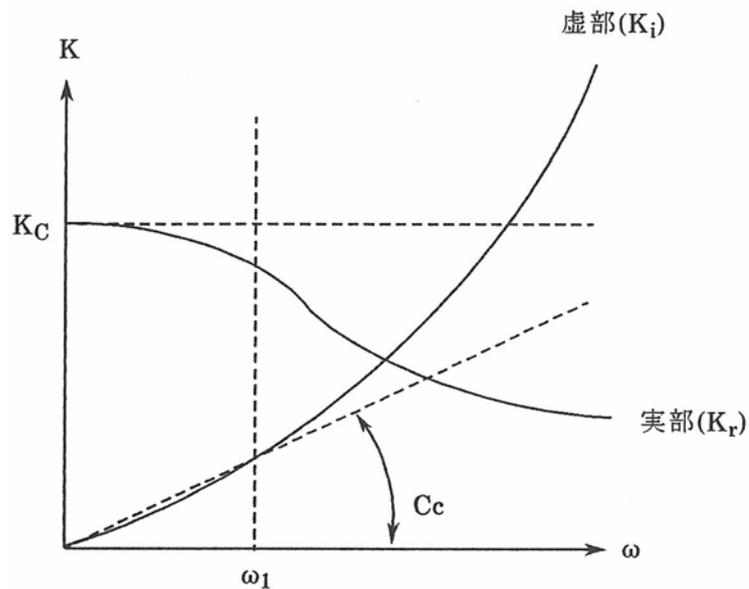
図-5.2.8 地震応答解析モデル（東西方向）

表-5.2.1 材料定数

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

表-5.2.2 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-5.2.9 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-5.2.10 に示すように、軸変形をする外壁・内壁、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。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-5.2.9 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。

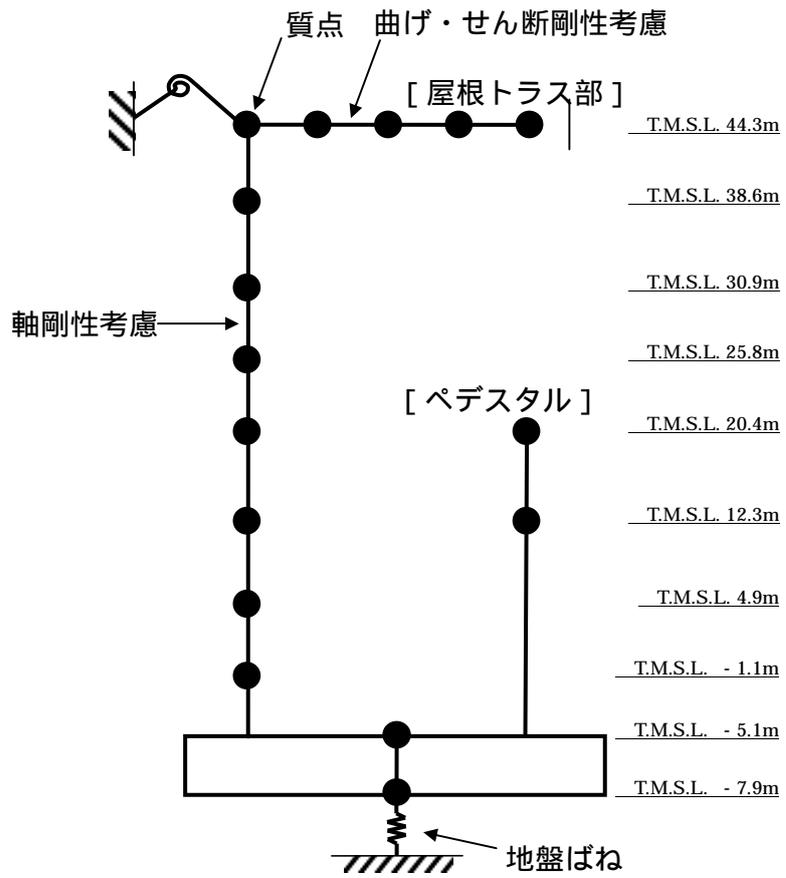


図-5.2.10 地震応答解析モデル（鉛直方向）

5.3.3. 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-5.2.11～図-5.2.13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、観測記録と比較したものを図-5.2.14～図-5.2.16に示す。これより、南北方向および東西方向については、加速度応答スペクトルの解析結果が一部の周期帯で不整合な部分はあるものの、概ね観測記録と解析結果が整合していることを確認した。また、鉛直方向についても、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ものの、概ね観測記録と解析結果が整合していることを確認した。

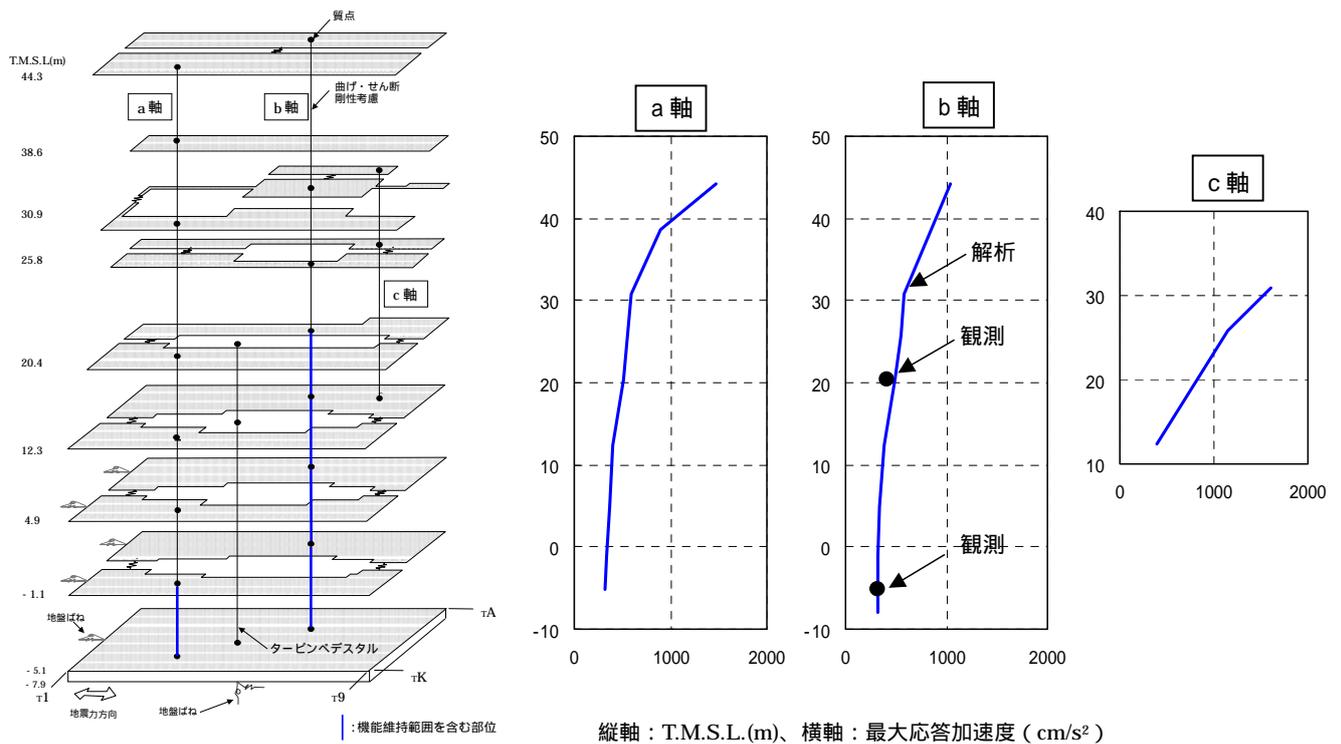


図-5.2.11 最大応答加速度（南北方向）

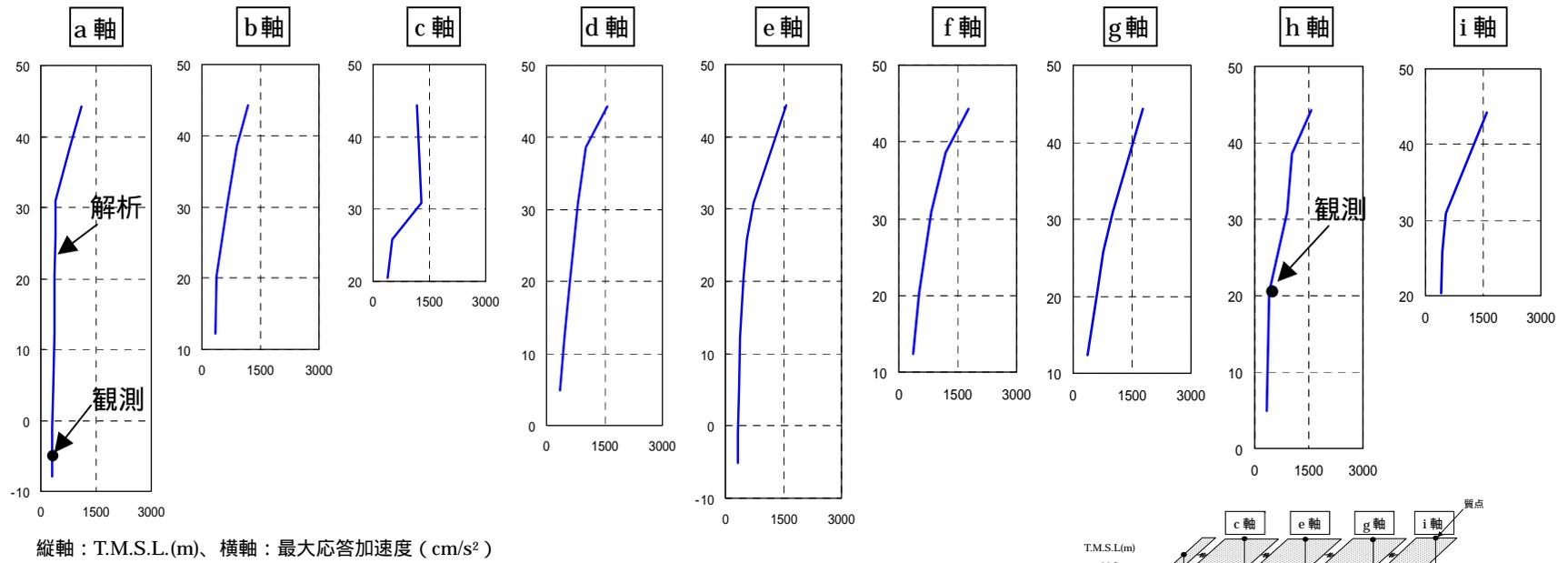
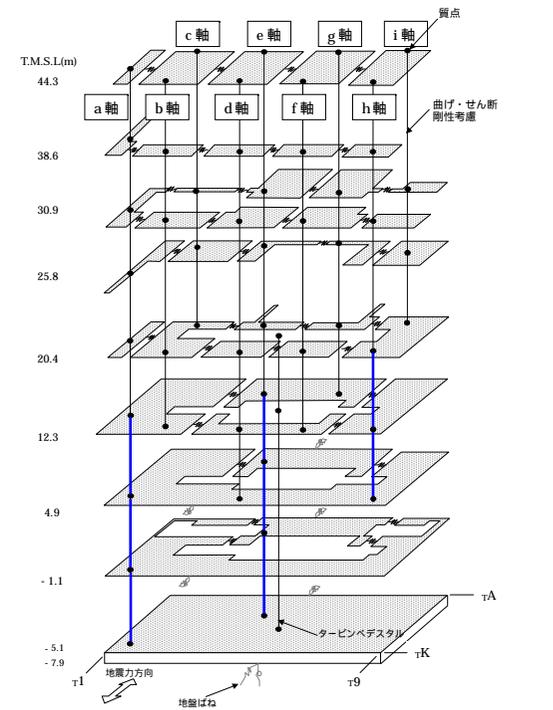


図-5.2.12 最大応答加速度 (東西方向)



：機能維持範囲を含む部位

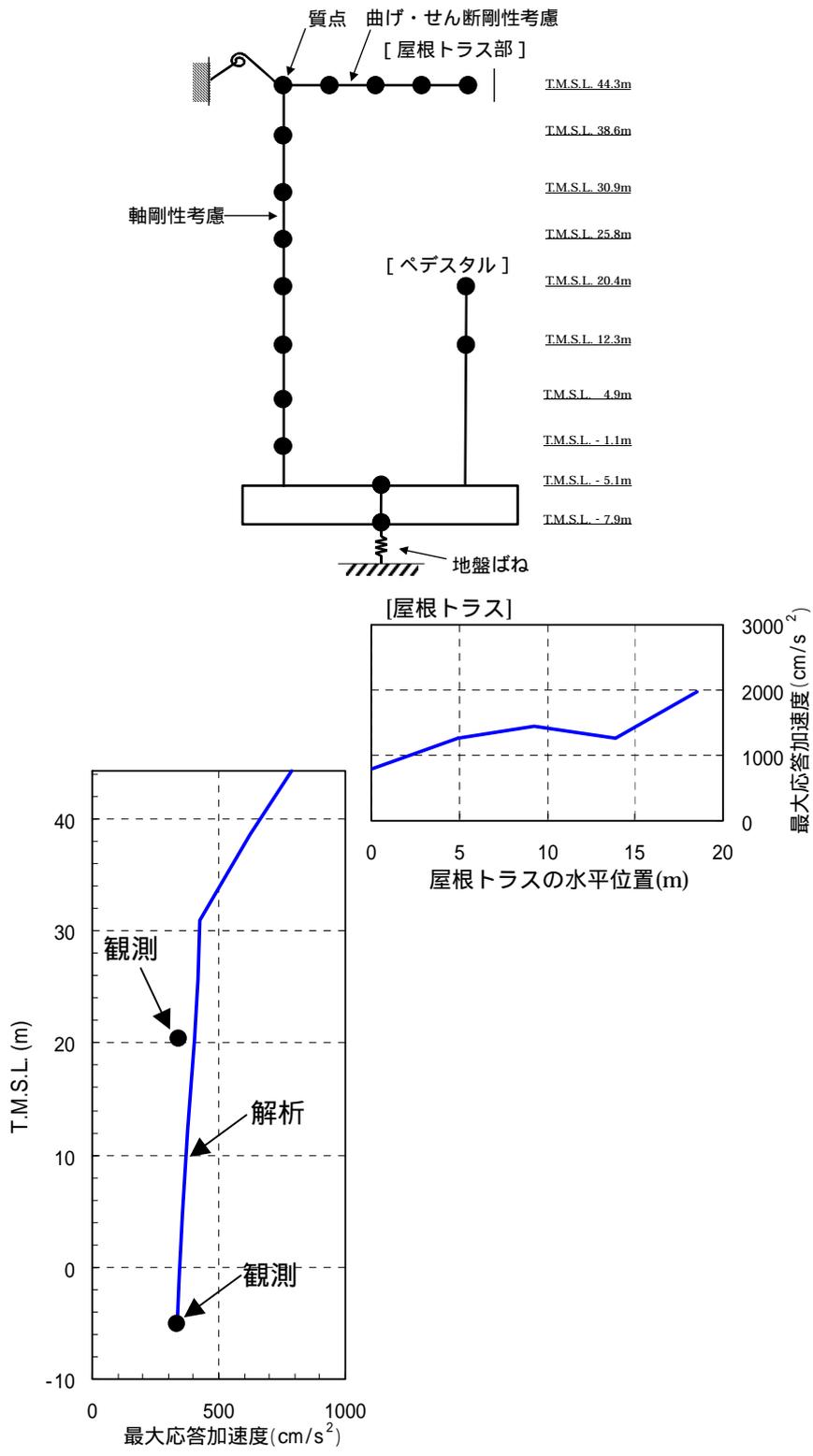


図-5.2.13 最大応答加速度（鉛直方向）

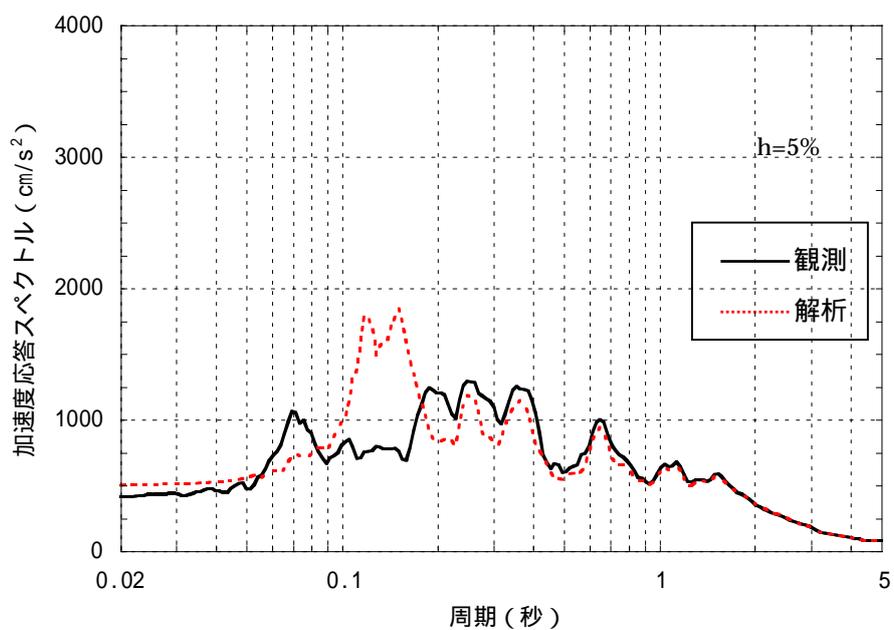
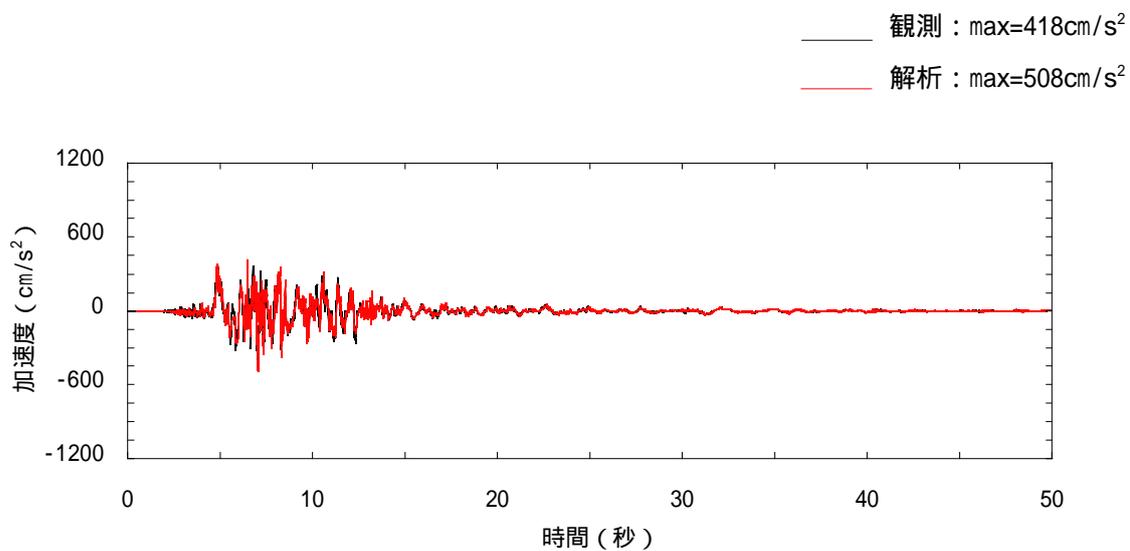


図-5.2.14 加速度応答波形および加速度応答スペクトルの比較
 2階 (T.M.S.L. 20.4m) 南北方向

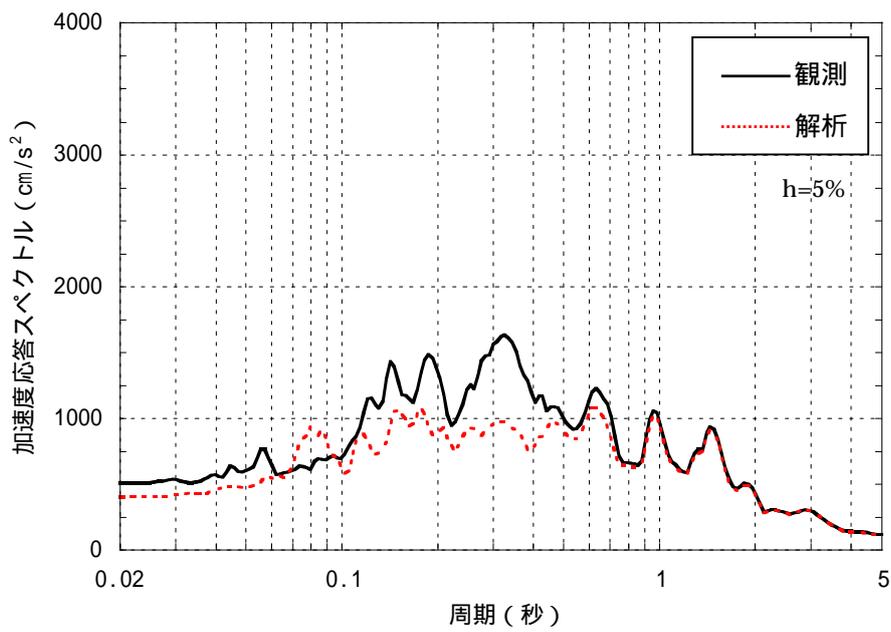
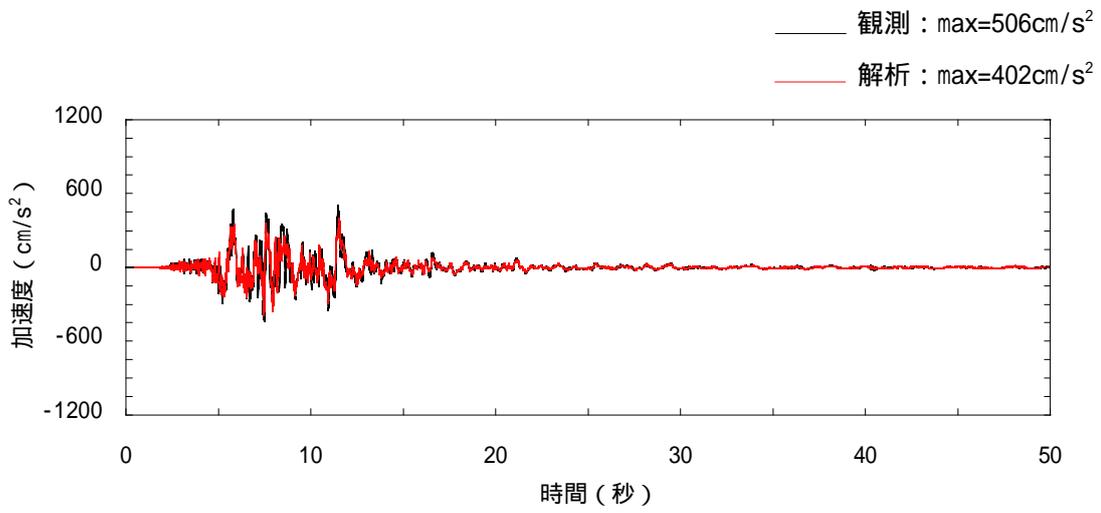


図-5.2.15 加速度応答波形および加速度応答スペクトルの比較
2階 (T.M.S.L. 20.4m) 東西方向

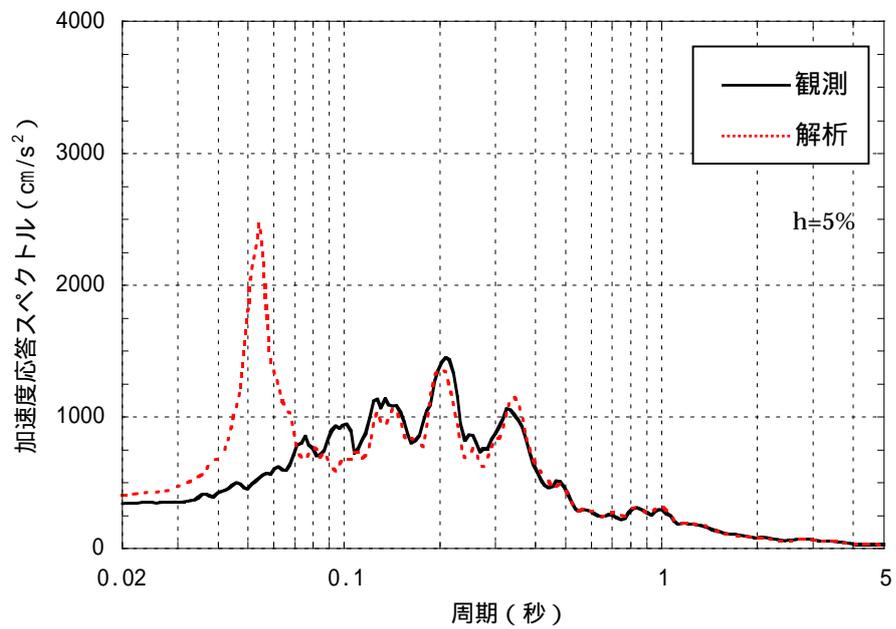
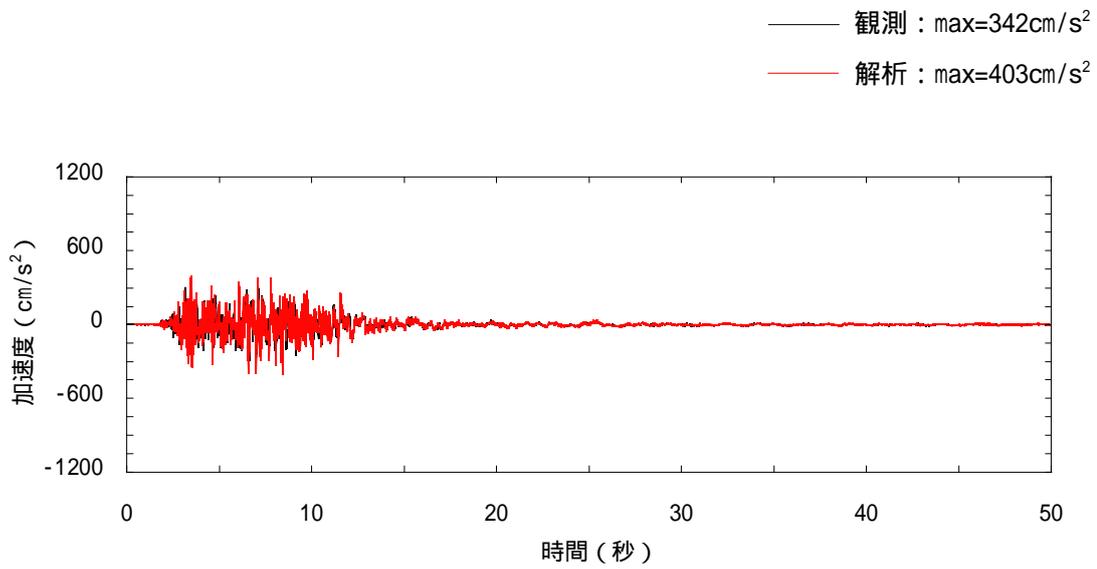


図-5.2.16 加速度応答波形および加速度応答スペクトルの比較
 2階 (T.M.S.L. 20.4m) 鉛直方向

5.2.4. 耐震健全性評価結果

地震応答解析により得られた機能維持部位のせん断応力度を、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-5.2.17 および図-5.2.18 に示す。これより、機能維持部位のせん断応力度は、設計配筋量によって負担できるせん断応力度に対して余裕がある状態にある。

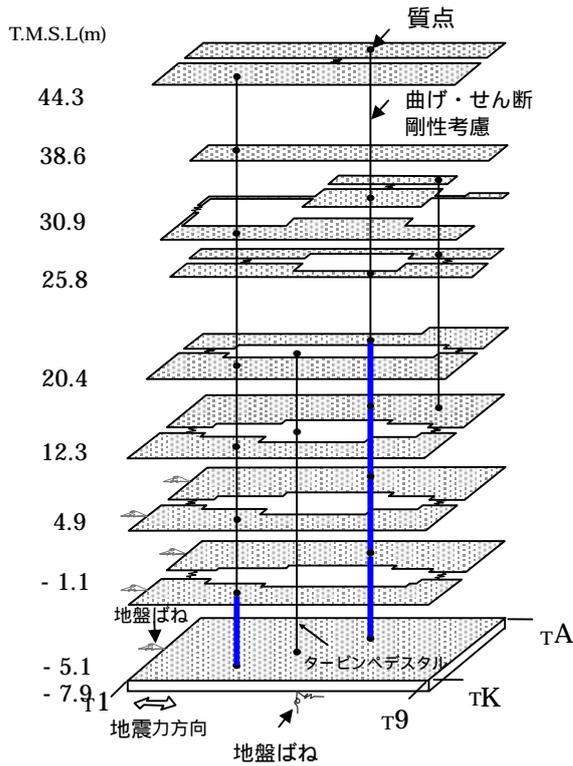
また、地震応答解析により得られた機能維持部位のせん断ひずみを、壁のひび割れが発生するひずみの目安値と併せて図-5.2.19 および図-5.2.20 に示す。これより、機能維持部位のせん断ひずみは、壁のひび割れが発生するひずみの目安値を下回っている。

タービン建屋については、弾塑性解析を行っている。機能維持範囲を含む部位及び機能維持範囲を含まない部位で最もひずみの大きかった部位について、応答結果をスケルトン曲線上にプロットしたものを図-5.2.21 および図-5.2.22 に示す。タービン建屋の耐震壁のせん断ひずみについては、最もひずみの大きかった耐震壁において、ほぼ第1折点の近傍となっている。

なお、図-5.2.17～図-5.2.22 に示す機能維持範囲を含む部位については、耐震壁に加えて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も含めて評価している。

以上より、タービン建屋の機能維持部位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。

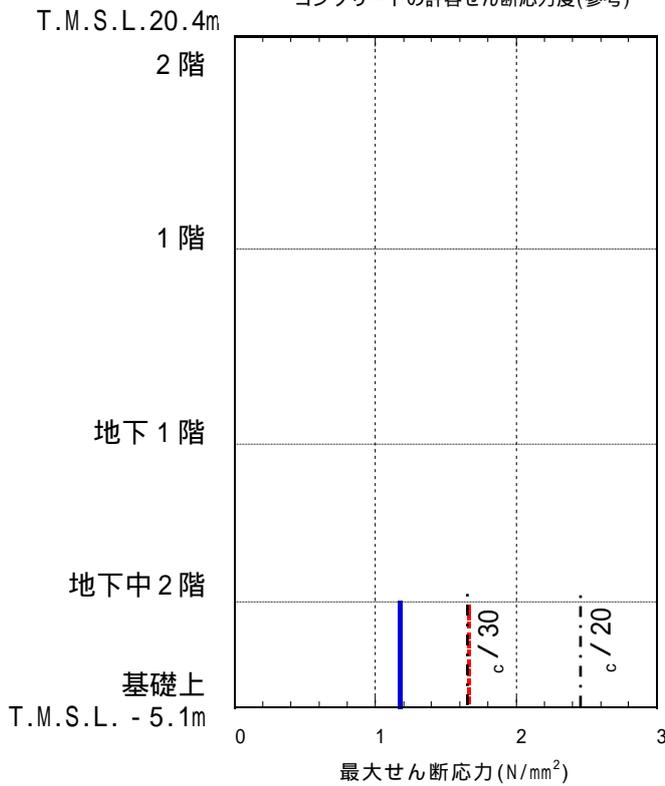
- 1 : p_w 耐震壁の設計鉄筋比
y 鉄筋の短期許容引張応力度 (SD345 : 345N/mm²)



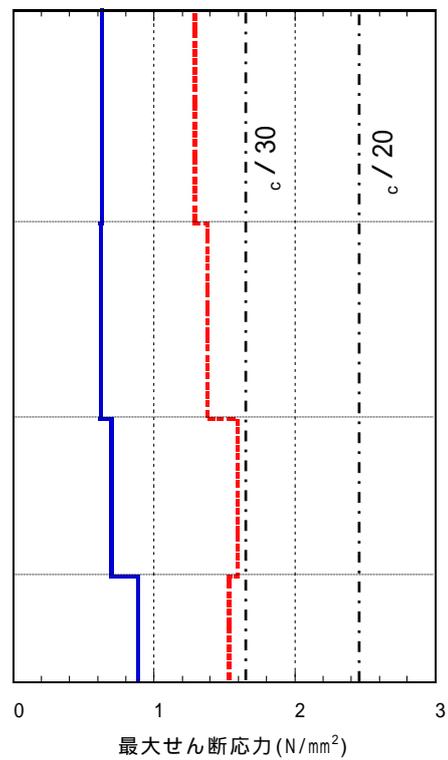
~ は機能維持範囲を含む

- せん断応力度
- 設計配筋量によって負担できるせん断応力度 ($p_w \cdot y$)
- - - コンクリートの許容せん断応力度 (参考)

- c : コンクリートの実強度
- $c/30$: コンクリートの長期許容せん断応力度相当
- $c/20$: コンクリートの短期許容せん断応力度相当



機能維持部位



機能維持部位 ~

図-5.2.17 機能維持部位のせん断応力度 (南北方向)

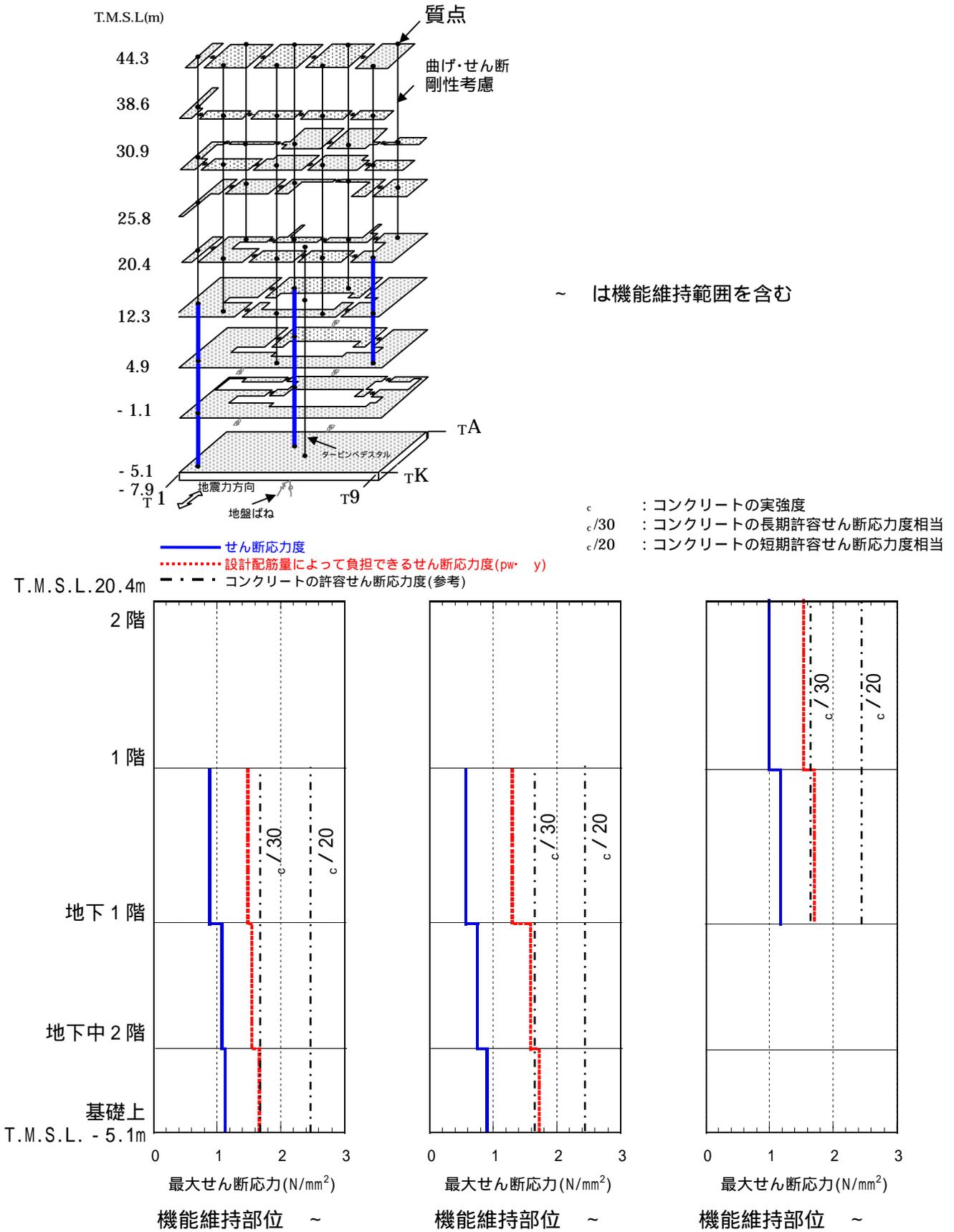
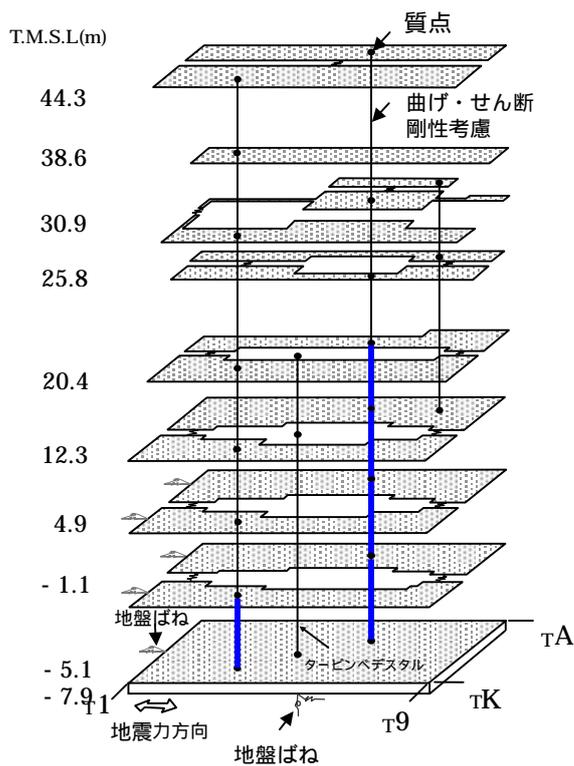


図-5.2.18 機能維持部位のせん断応力度 (東西方向)



～ は機能維持範囲を含む

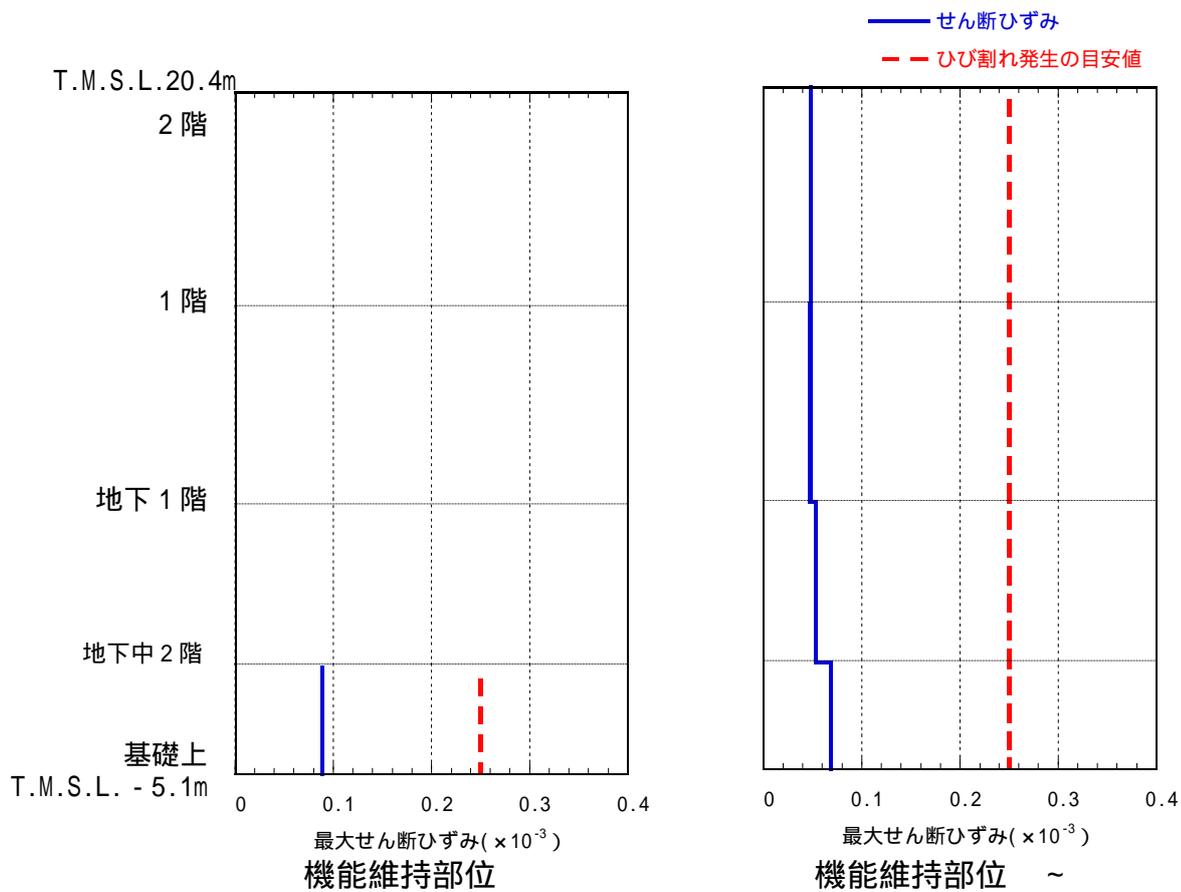
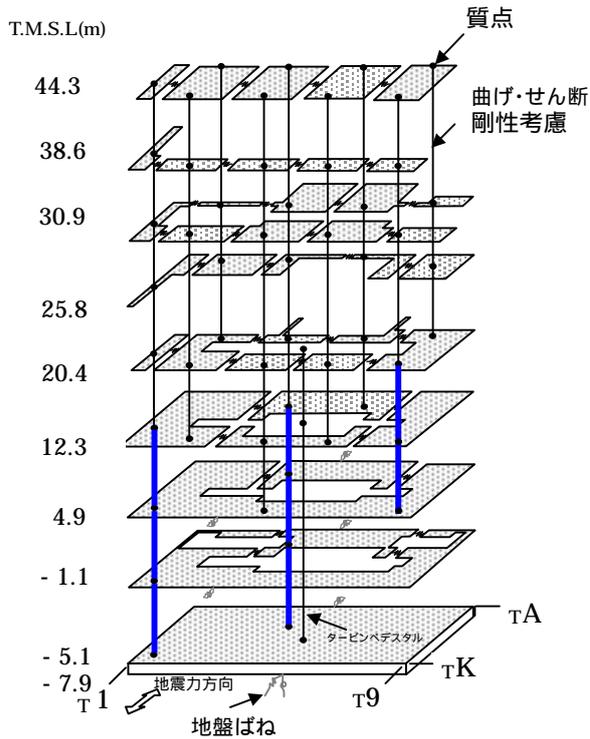
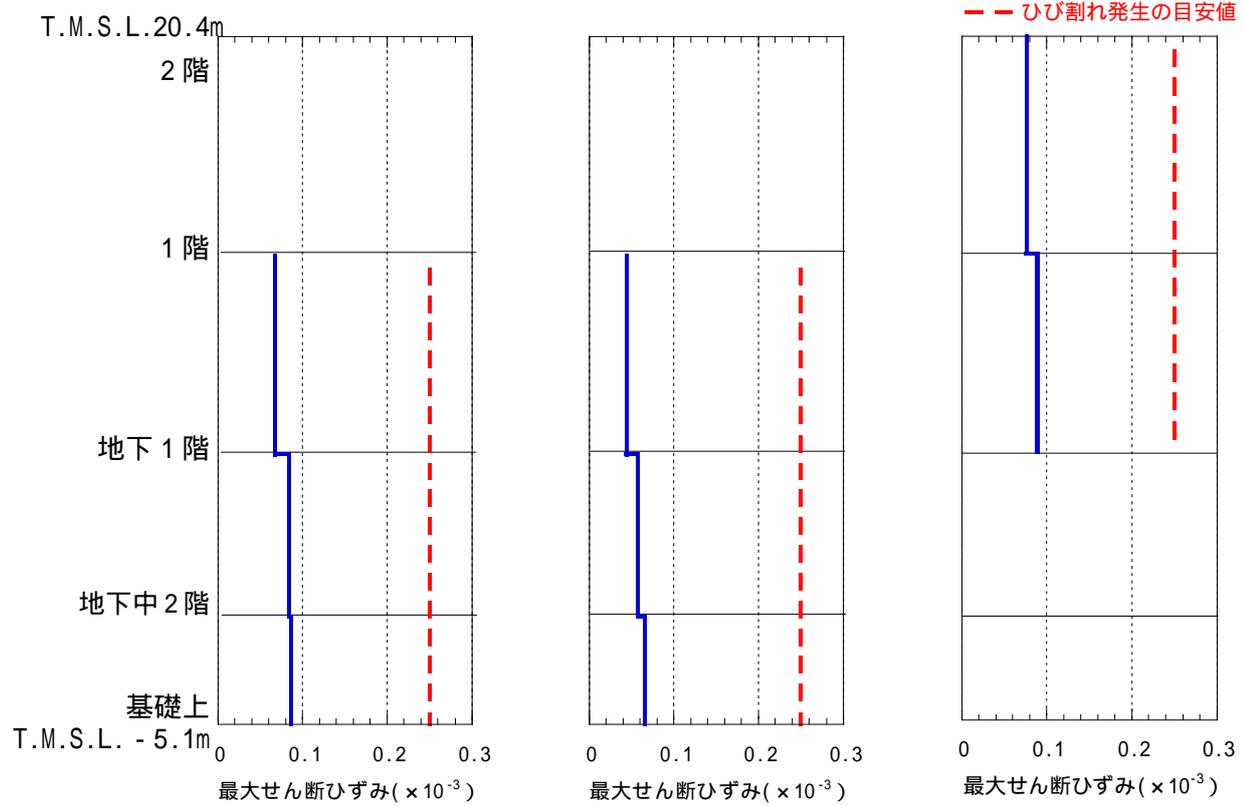


図-5.2.19 機能維持部位のせん断ひずみ（南北方向）



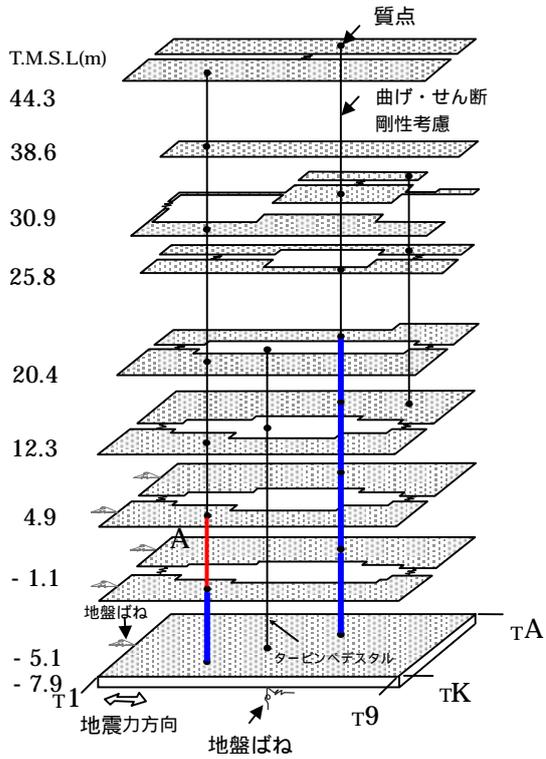
～ は機能維持範囲を含む

— せん断ひずみ
 - - ひび割れ発生目安値

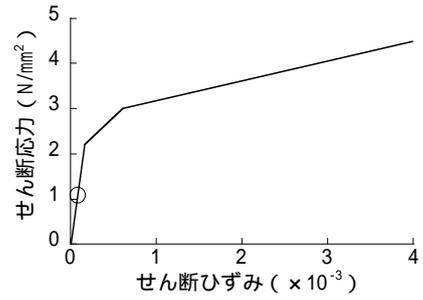


機能維持部位 ～ 機能維持部位 ～ 機能維持部位 ～

図-5.2.20 機能維持部位のせん断ひずみ (東西方向)



～ は機能維持範囲を含む



機能維持範囲を含まない部位で第1折点に最も近い部位 **A**

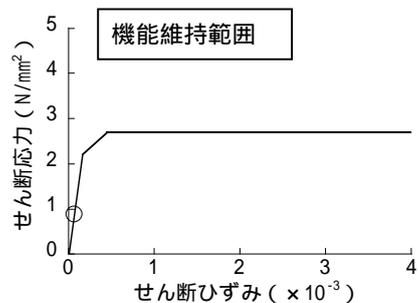
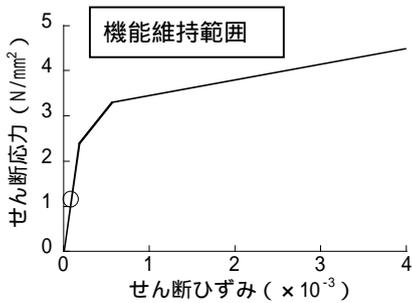
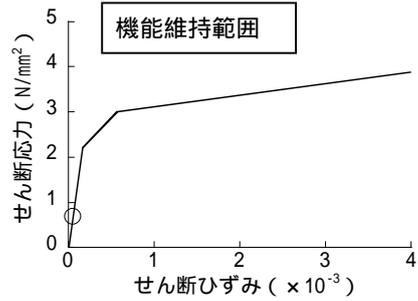
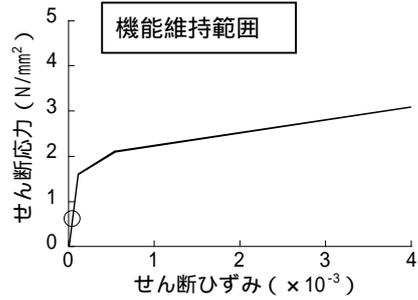
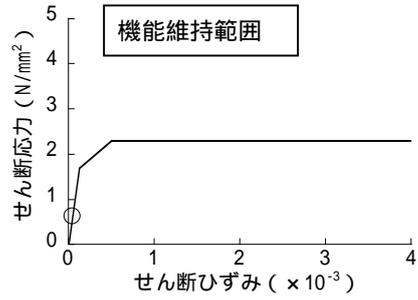
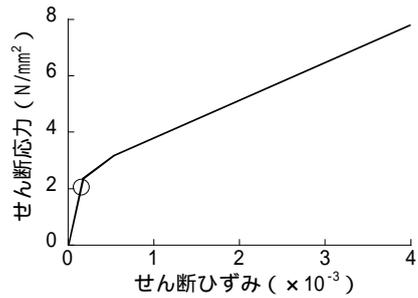
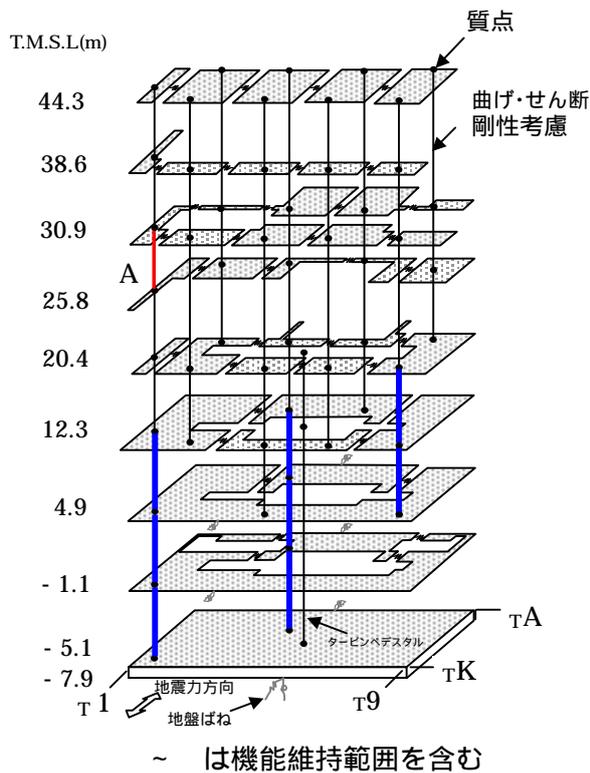


図-5.2.21 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (南北方向)



機能維持範囲を含まない部位で
第1折点に最も近い部位 **A**

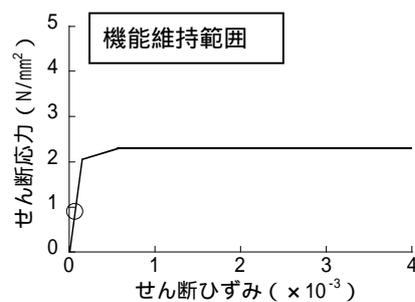
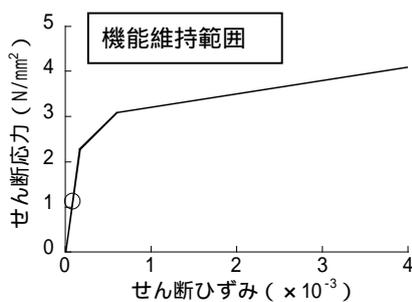
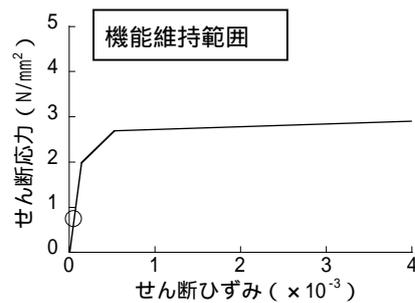
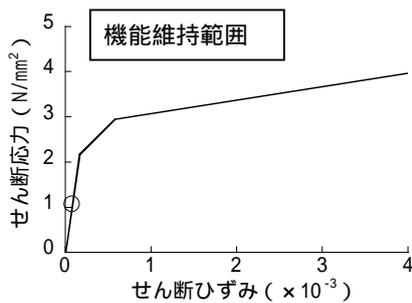
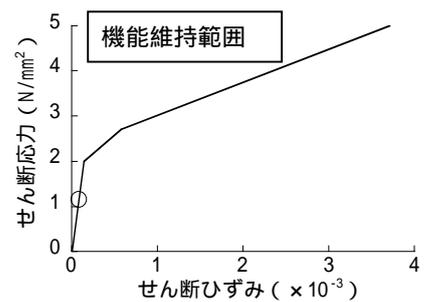
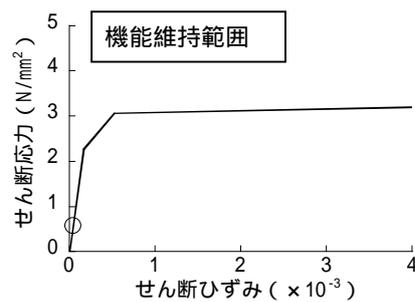
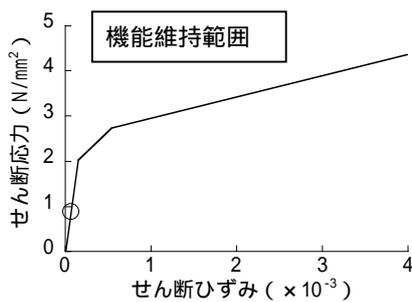
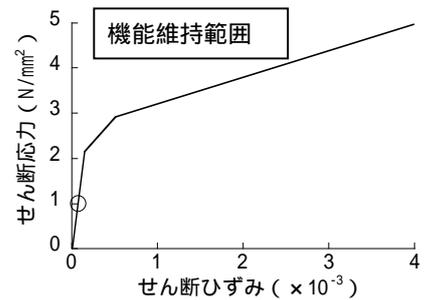


図-5.2.22 せん断スケルトン曲線上の最大応答値（東西方向）

5.3. 排気筒の耐震健全性評価

5.3.1. 地震応答解析

(1) 地震応答解析モデル

排気筒の地震応答解析モデルは、屋上（T.M.S.L.38.2m）より上部を立体的にモデル化した立体架構モデルとする。

解析モデルの概要を図-5.3.1 に示す。また、解析に用いる材料の物性値を表-5.3.1 に示す。

解析モデルへの入力は、原子炉建屋全体の地震応答解析結果から得られる屋上レベル（T.M.S.L.38.2m）における応答結果を用いることとし、排気筒の基礎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-5.3.2 に、回転 2 成分を図-5.3.3 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）。

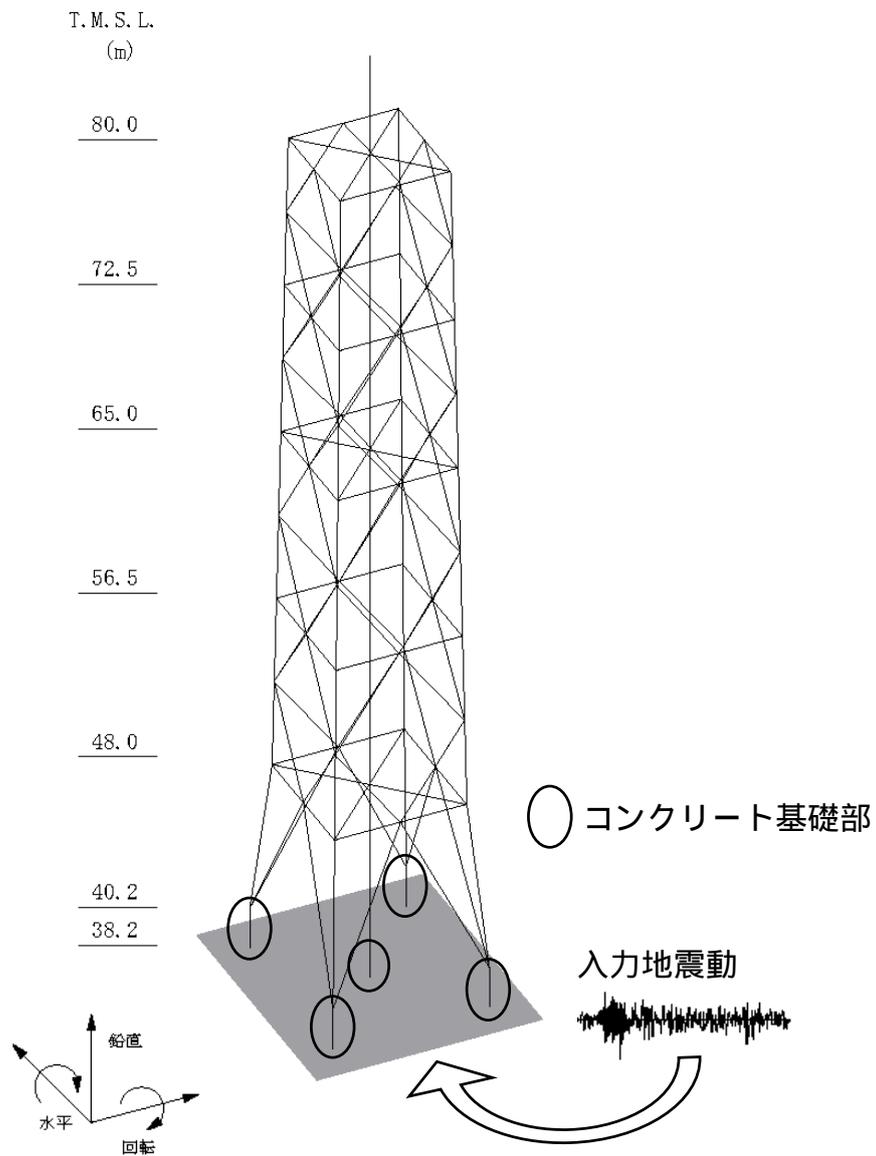
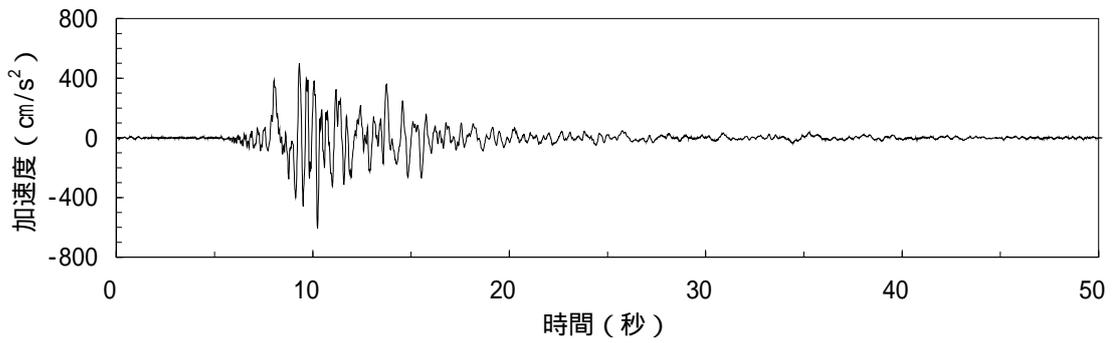


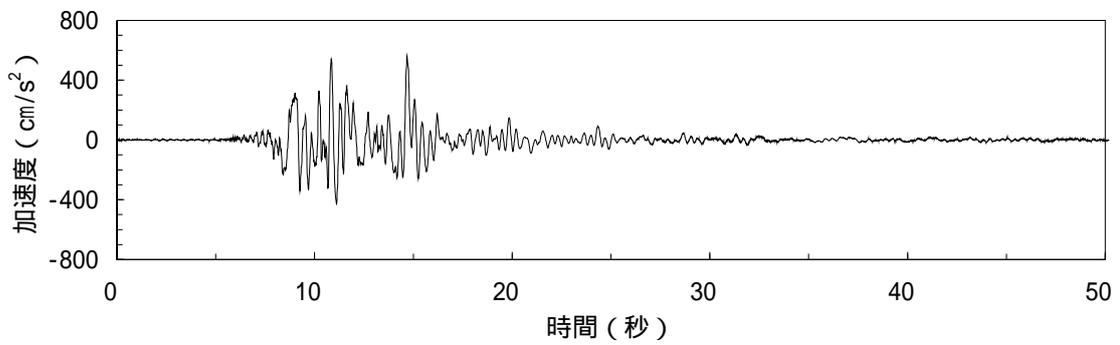
図-5.3.1 7号機排気筒の地震応答解析モデル

表-5.3.1 7号機排気筒の材料諸元

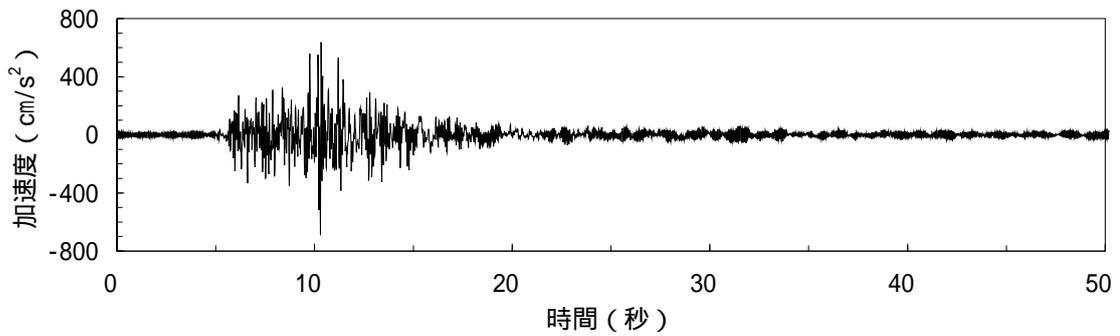
部位	材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m ³)	減衰定数 h
鉄塔部 筒身部	鉄骨	2.05 × 10 ⁵	0.3	77.0	0.02
基礎	コンクリート	3.13 × 10 ⁴	0.2	25.0	0.05



(a) 南北方向

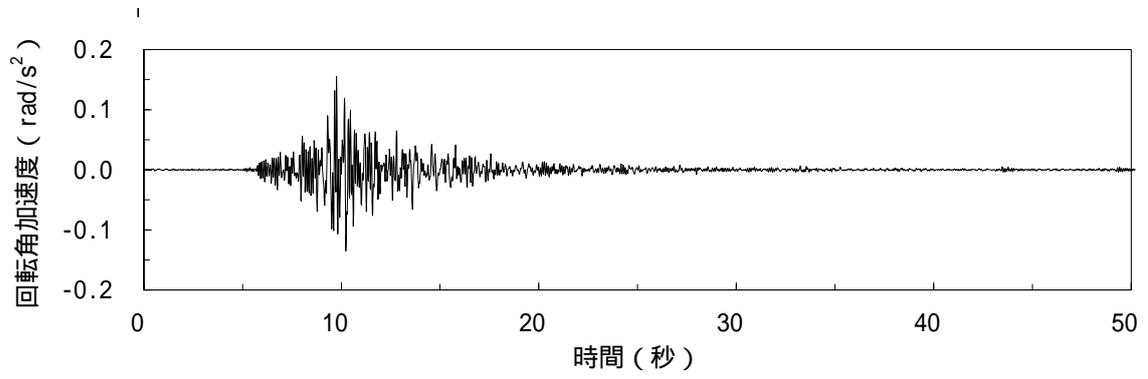


(b) 東西方向

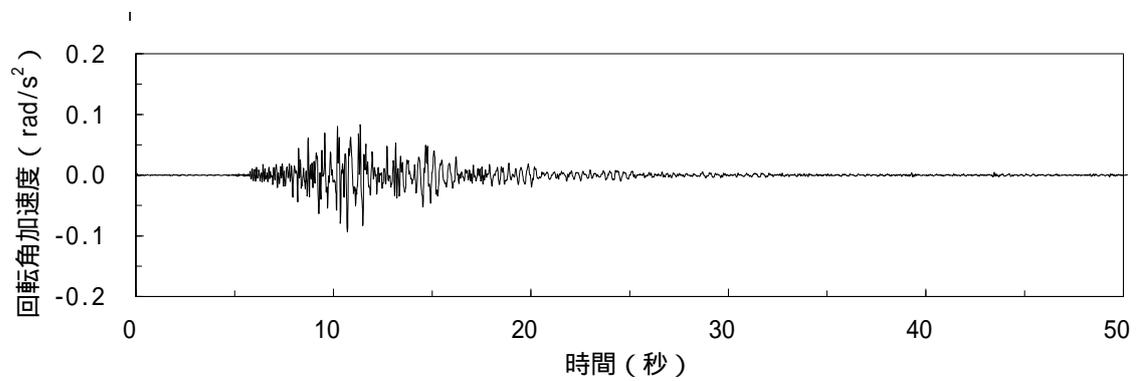


(c) 鉛直方向

図-5.3.2 排気筒への入力地震動（水平、鉛直成分）



(d) 南北方向



(e) 東西方向

図-5.3.3 排気筒への入力地震動（回転成分）

(2) 地震応答解析結果

排気筒の地震応答解析に用いた立体架構モデルの固有値解析結果を表-5.3.2及び図-5.3.4に示す。

表-5.3.2 固有値解析結果

次数	振動数 (Hz)	周期 (sec)	刺激係数			備考
			X	Y	Z	
1	3.29	0.304	1.912	0.000	0.000	南北方向1次
2	3.32	0.301	0.000	1.868	0.000	東西方向1次
17	23.79	0.042	-0.002	0.000	1.793	鉄塔鉛直1次
18	24.13	0.041	0.000	0.000	1.380	筒身鉛直1次

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。

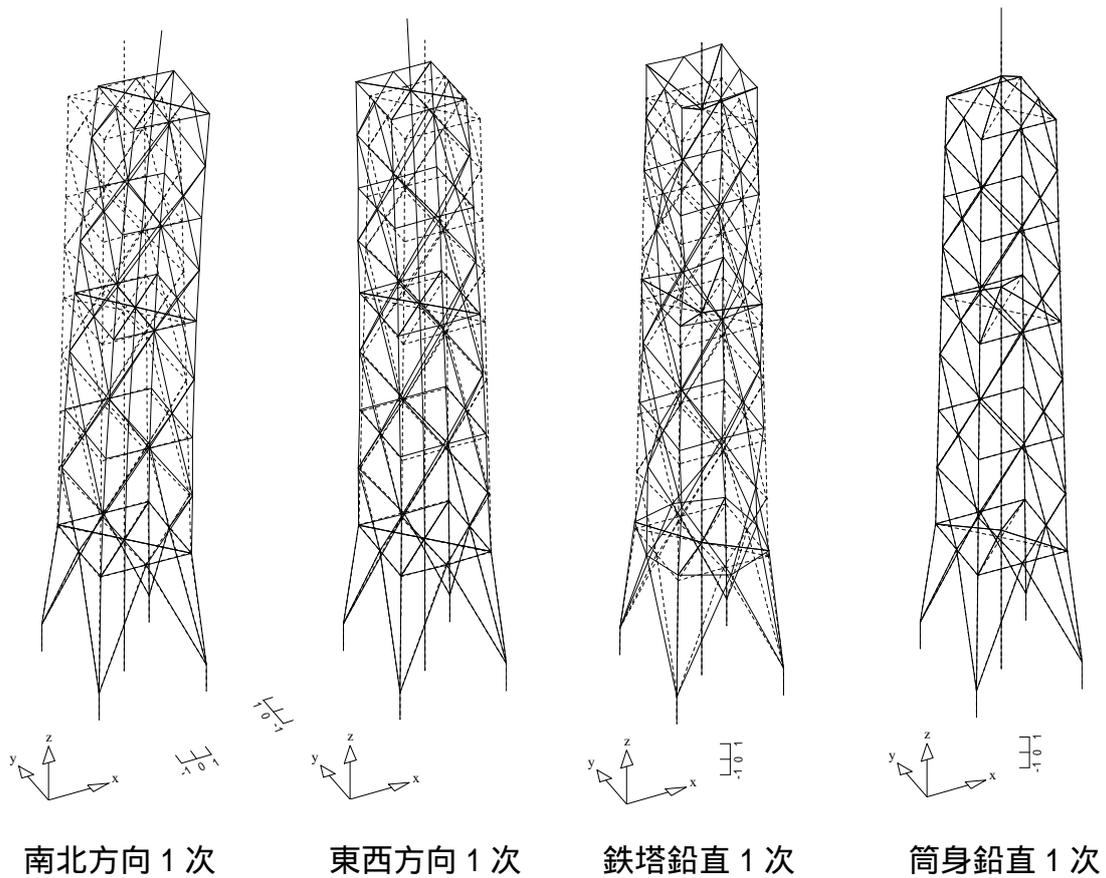


図-5.3.4 固有値解析結果（刺激関数）

排気筒の地震応答解析より得られた鉄塔部及び筒身部の最大応答加速度を図-5.3.5に、最大応答変位を図-5.3.6に示す。

また、鉄塔部及び筒身部の最大応答値を図-5.3.7及び図-5.3.8に示す。

鉄塔部の最下部は、鉄筋コンクリート部の基礎の応答を示す。また、その上部（T.M.S.L.40.2m～）は鉄筋コンクリート部の基礎から立ち上がる支柱材と斜材のうち、支柱材に発生する応力を示している。鉄筋コンクリート部の基礎と鉄骨の支柱材では剛性が異なるため、応答曲げモーメントが異なる結果となっている。

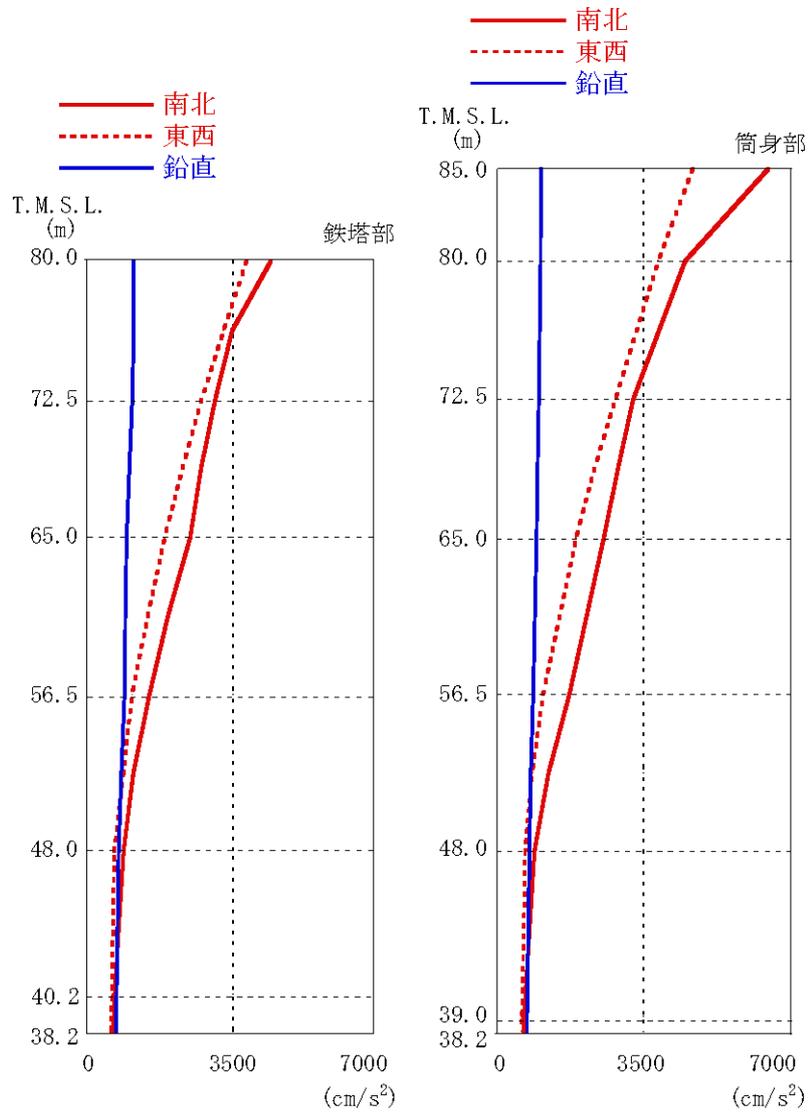


图-5.3.5 最大応答加速度

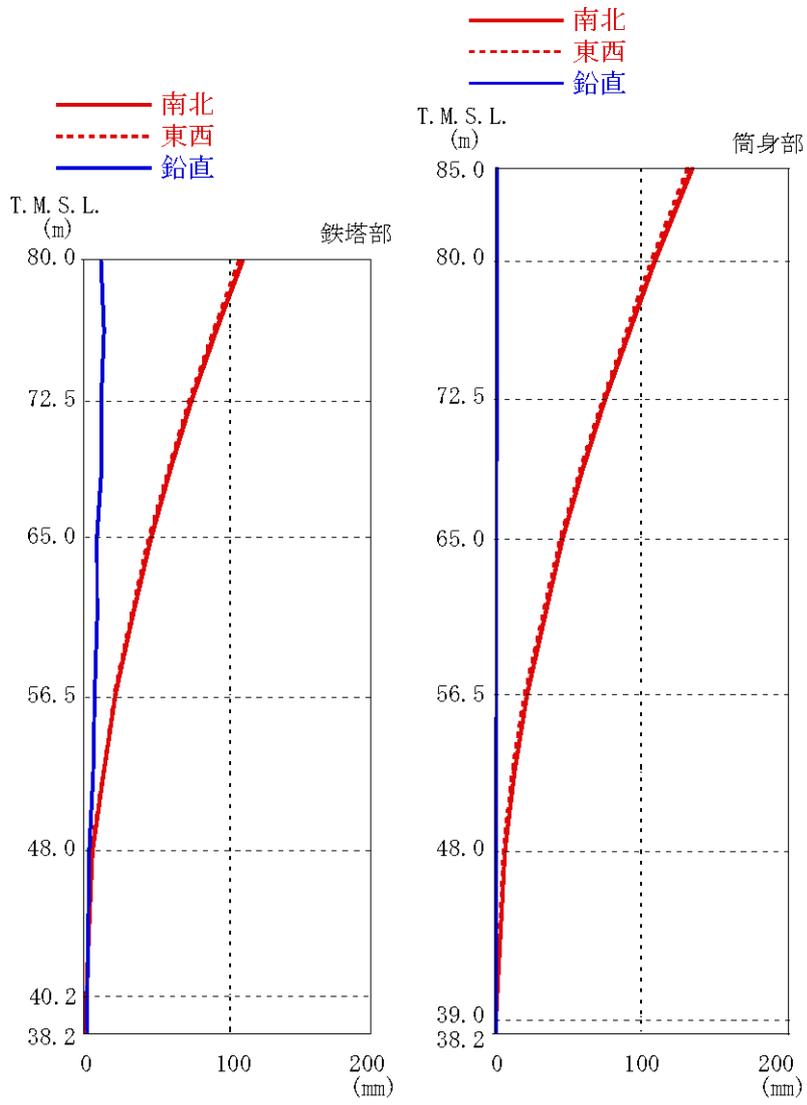
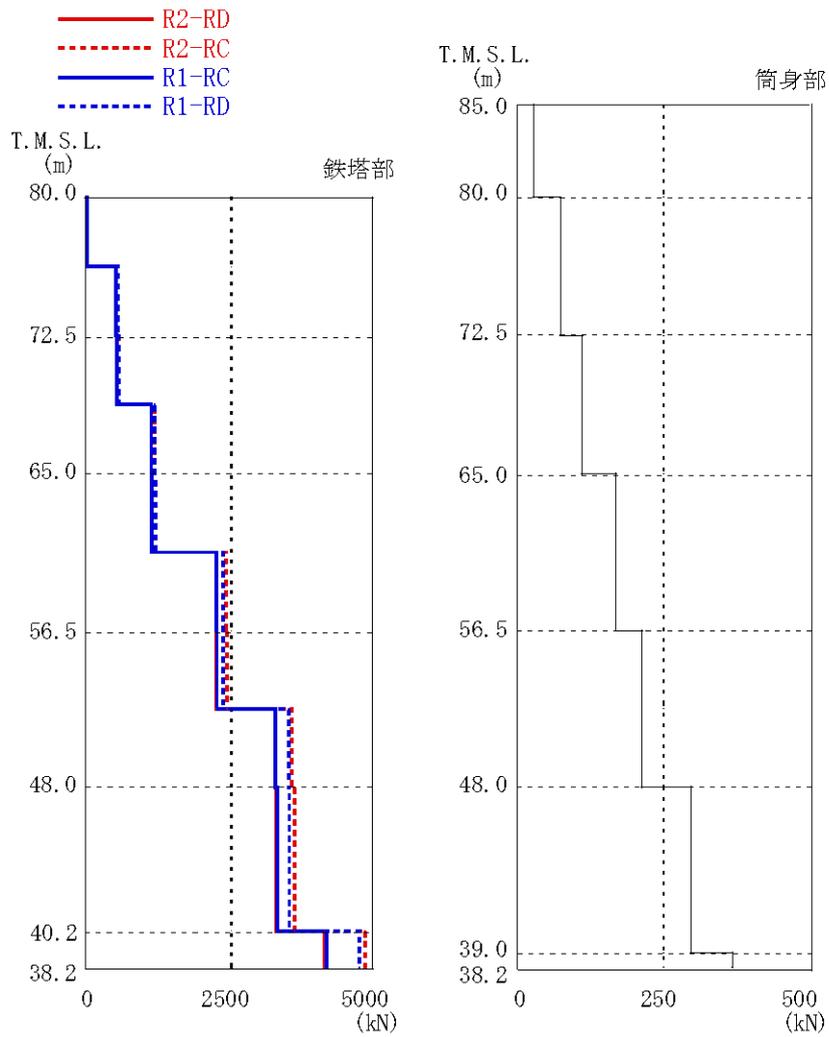


图-5.3.6 最大応答変位



* : 凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の r_1 通りと r_C 通りの交点に位置する主柱材を示す。(他も同様)

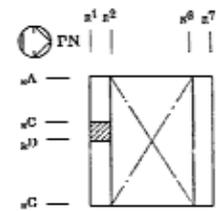
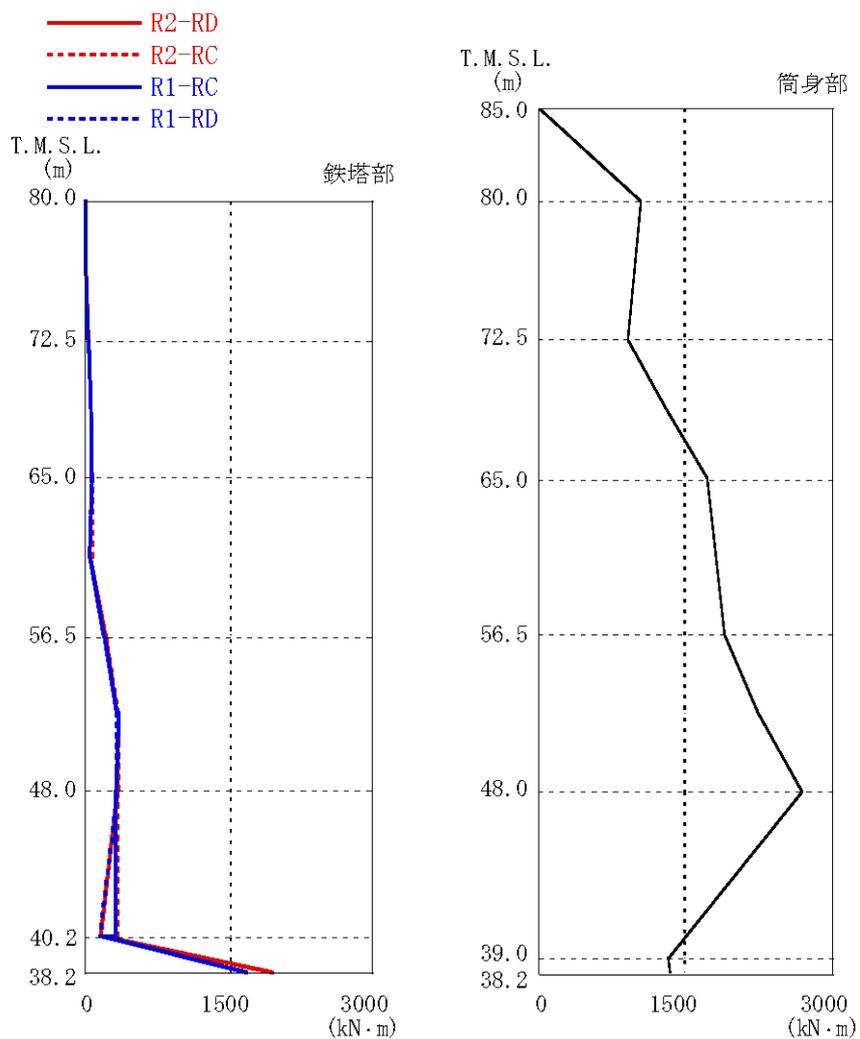


図-5.3.7 最大応答軸力



* : 凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の r_1 通りと r_C 通りの交点に位置する主柱材を示す。(他も同様)

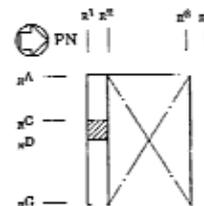


図-5.3.8 最大応答曲げモーメント

5.3.2. 耐震健全性評価結果

(1) 鉄塔部、筒身部

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。

鉄塔部の支柱材、斜材、水平材及び筒身部材を対象として、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)

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

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低減した数値)

sf_b : 短期許容曲げ応力度

(引張)

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

ここに、 $s\sigma_N$: 地震時における部材の軸応力度

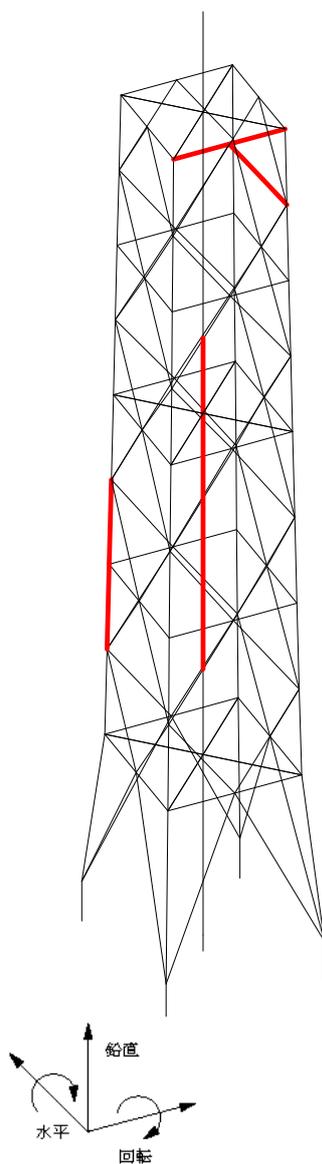
$s\sigma_b$: 地震時における部材の曲げ応力度

sf_t : 短期許容引張応力度

sf_b : 短期許容曲げ応力度

各部材の評価結果のうち、発生応力度と評価基準値の比(発生応力度/評価基準値)が最も大きい部材について、評価部位を図-5.3.9に、評価結果を表-5.3.3に示す。

排気筒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。



: 最大応力度発生位置を示す .

図-5.3.9 7号機排気筒の応答評価部位

表-5.3.3 各部の最大応力度比

箇所	部材	N (kN)	M (kN・m)	A (cm ²)	Z (cm ³)	c (N/mm ²)	b (N/mm ²)	fc (N/mm ²)	fb (N/mm ²)	$\frac{c}{fc} + \frac{b}{fb}$
鉄塔	主柱材	2559	352	298.4	4320	85.8	81.5	314.0	325.0	0.52
	斜材	274	-	29.94	-	91.5	-	241.0	-	0.38
	水平材	155	-	29.94	-	51.8	-	220.0	-	0.24
筒身	-	437	2258	454	27200	9.6	83.0	185.0	197.0	0.47

記号の説明

- N : 軸力 (圧縮を正とする。)
M : 曲げモーメント
A : 断面積
Z : 断面係数
fc : 許容圧縮応力度
fb : 許容曲げ応力度
c : 圧縮応力度 (N/A)
b : 曲げ応力度 (M/Z)

(2) 基礎

排気筒の基礎の概要を図-5.3.10に示す。

鉄塔部及び筒身部の基礎のボルト、鉄筋コンクリート部及び鋼管について、各部位の評価結果を表-5.3.4に示す。

排気筒基礎について各部位の発生応力度は、評価基準値以下であり、耐震健全性は確保されている。

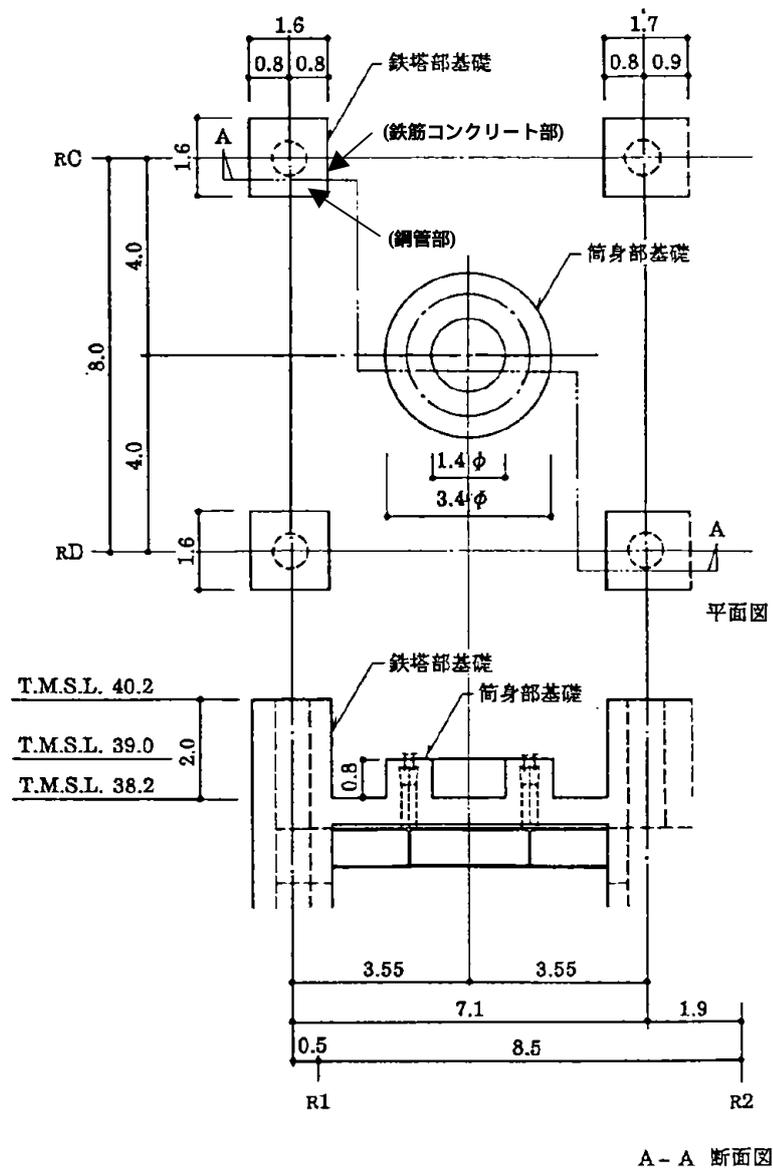


図-5.3.10 排気筒の基礎の概要図

表-5.3.4 各部位の最大応力度比

箇所	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
		(引張)	(せん断)	(引張)	(せん断)	
鉄塔部 基礎	基礎 アンカーボルト	(引張)	81.3	180.0	*1	0.45
		(せん断)	17.6	135.0	*2	0.13
	基礎 コンクリート	(曲げ)	215.3	345.0	*3	0.62
		(せん断)	0.57	1.47	*4	0.39
	鋼管	(圧縮)	111.9	325.0	*5	0.34
筒身部 基礎	基礎 アンカーボルト	(引張)	50.9	180.0	*1	0.28

*1：ボルトの短期許容引張応力度を示す。

*2：ボルトの短期許容せん断応力度を示す。

*3：鉄筋の短期許容引張応力度を示す。

*4：コンクリートの短期許容せん断応力度（実強度）を示す。

*5：鋼管の短期許容圧縮応力度を示す。

(3) 非常用ガス処理系用排気筒

a) 筒身部

非常用ガス処理系（以下、「SGTS」と呼ぶ。）用排気筒は筒身（換気空調系用）内部の図-5.3.11 に示す位置で筒身に支持されている。SGTS 用排気筒の剛性は筒身の剛性に比べて小さいので、変形は筒身の変形に追従する。したがって、筒身の変位を SGTS 用排気筒に強制的に与えることにより応力を算出し、最大応力で健全性の確認を行う。

表-5.3.5 に筒身の変位を、図-5.3.11 に排気筒筒身部及び SGTS 用排気筒概要を、表-5.3.6、表-5.3.7 に SGTS 用排気筒応力及び評価結果を示す。

SGTS 用排気筒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。

表-5.3.5 筒身の変位

支持点	標高 T.M.S.L. (m)	地震応答 解析結果 (mm)
A	85.0	125.2
B	80.0	100.8
C	72.5	68.2
D	65.0	40.7
E	56.5	17.7
F	48.0	4.2

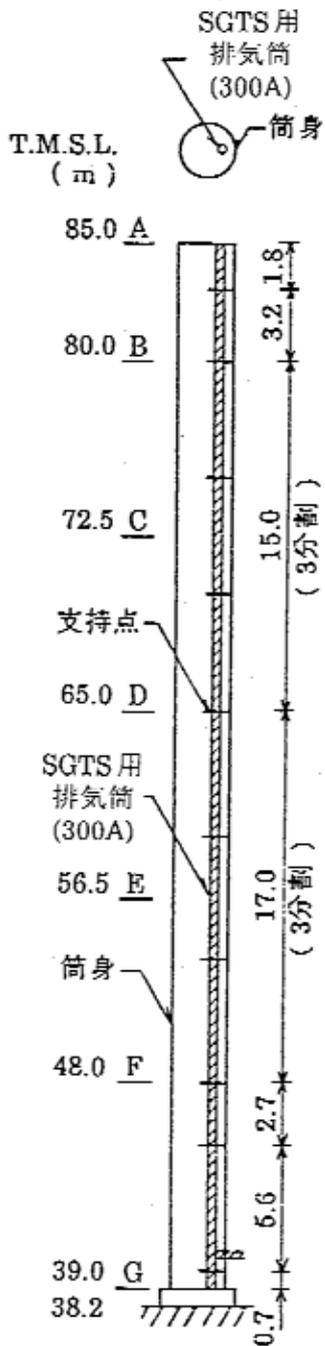


表-5.3.6 SGTS 用排気筒応力表

部材間	鉛直荷重 N(kN)	曲げモーメント M(kN・m)
A-B	7.4	2.9
B-C	15.3	2.9
C-D	23.2	3.0
D-E	32.1	3.2
E-F	41.0	3.4
F-G	52.9	3.3

図-5.3.11 排気筒筒身部及びSGTS 用排気筒概要図

表-5.3.7 SGTS 用排気筒の評価結果

部材間	部材長 (m)	c (N/mm ²)	b (N/mm ²)	f _c (N/mm ²)	f _b (N/mm ²)	$\frac{c}{f_c} + \frac{b}{f_b}$
A-B	3.20	0.91	4.75	232.0	245.0	0.02
B-C	5.00	1.89	4.75	216.0		0.03
C-D	5.00	2.87	4.91	216.0		0.03
D-E	5.67	3.97	5.24	207.0		0.04
E-F	5.67	5.07	5.56	207.0		0.05
F-G	5.60	6.54	5.40	208.0		0.05

b) 支持部

SGTS 用排気筒の支持部は図-5.3.12 に示すとおり、筒身に SGTS 用排気筒を水平方向に支持する構造である。

支持部の評価に用いる応力としては、支持部に発生する最大水平力を考慮する。応力度が最大となる部材を図-5.3.13 に示し、評価結果を表-5.3.8 に示す。

支持部に発生する応力度は、評価基準値以下であり、耐震健全性は確保されている。

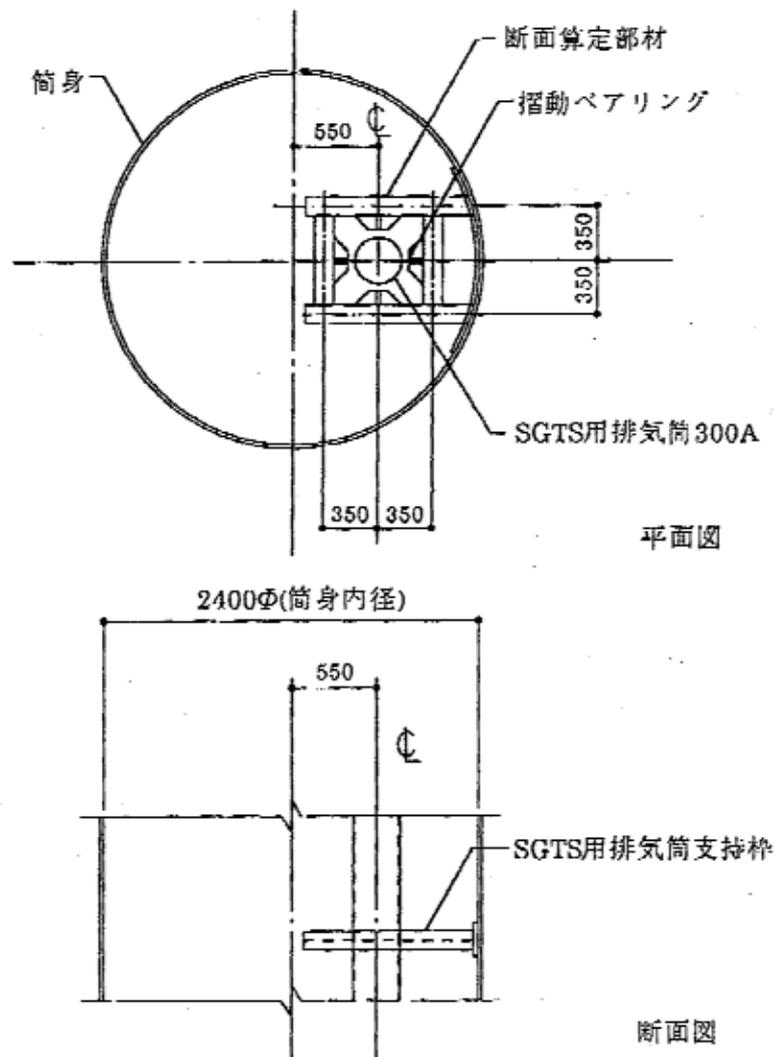


図-5.3.12 支持部の概要 (単位 : mm)

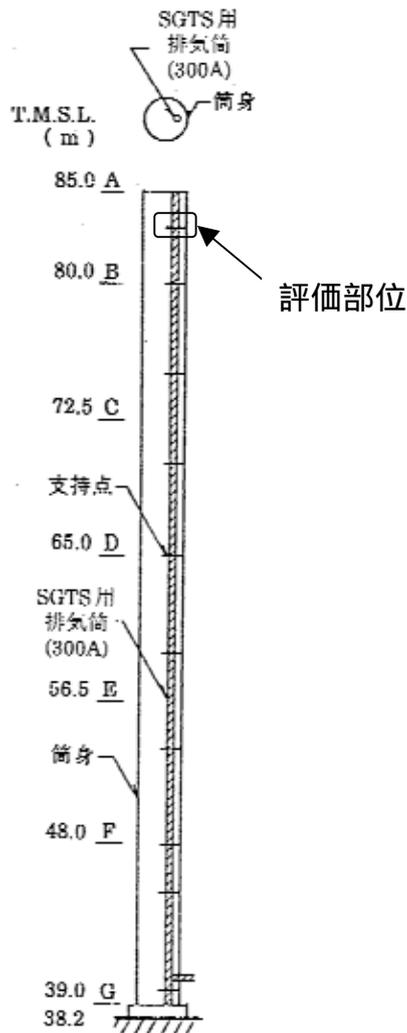


図-5.3.13 応力度が最大となる部材

表-5.3.8 SGTS用排気筒支持部材の評価結果

部材長 (m)	c (N/mm^2)	b (N/mm^2)	f_c (N/mm^2)	f_b (N/mm^2)	$\frac{c}{f_c} + \frac{b}{f_b}$
0.95	0.0	77.7	151.0	235.0	0.33

5.4. 耐震健全性評価

5.4.1. 評価手順

屋外重要土木構造物の耐震健全性評価フローを図-5.4.1に示す。

屋外重要土木構造物の場合には地震観測を行っていないことから、耐震安全性評価にあたっては、原子炉建屋の基礎マット上での地震観測記録から地盤-構造物連成系の解析モデル下端における地震動を算定し、これを入力地震動として地震応答解析を実施する。解析により求められた構造物の応力、変形等の応答値をもとに、曲げについては変形性能照査を、また、せん断については耐力照査をそれぞれ行い、評価基準を満足することを確認する。なお、評価には、構造物頂底版間の相対変位が最大となる時刻の応答値を用いる。

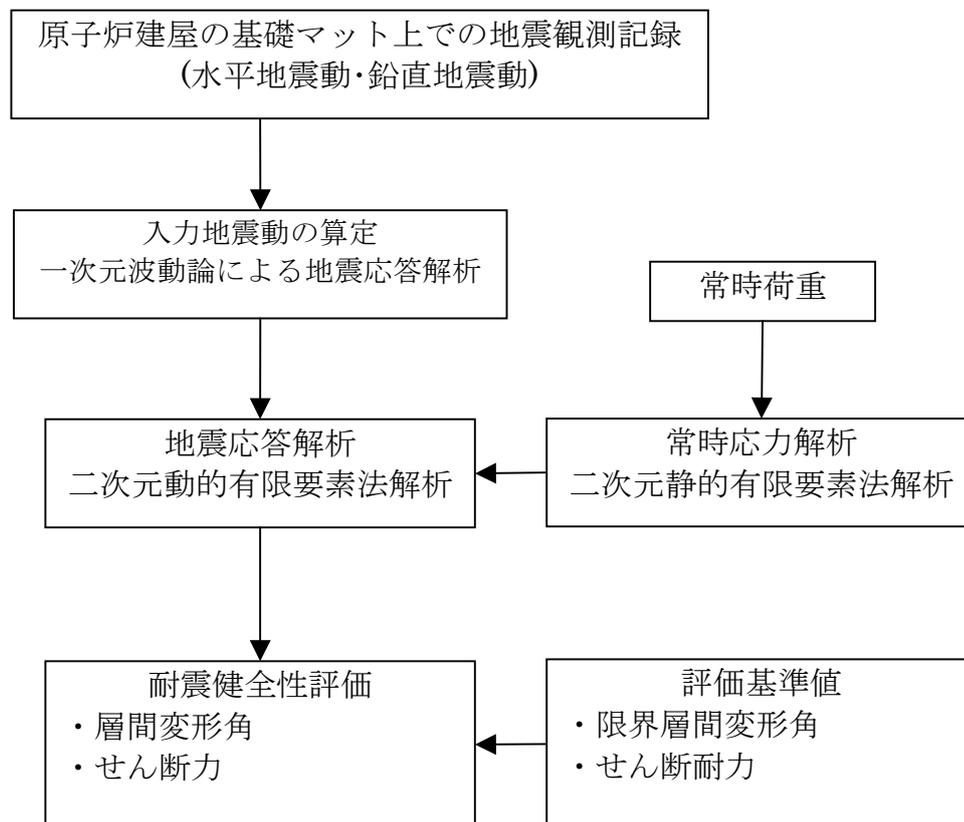


図-5.4.1 耐震健全性評価フロー

5.4.2. 地震応答解析

(1) 解析手法

地震応答解析手法は、構造物と地盤の動的相互作用を考慮できる二次元動的有限要素法解析（部材非線形解析）を用いる。地震応答解析モデルでは、構造物を部材の非線形性を考慮した線材要素（梁要素）でモデル化し、鉄筋コンクリート部材の非線形性を考慮する。また、構造物と地盤との境界部分にはジョイント要素を設けることにより、構造物と地盤との剥離を考慮する。

解析手順としては、まず常時応力解析を行い、次に、常時応力を保持した状態で水平地震動と鉛直地震動を同時入力とした時刻歴応答解析を行う。常時応力解析に用いる常時荷重については、自重、内水圧、機器荷重、土被り荷重、静止土圧および地下水圧を考慮する。

なお、軸方向については構造上問題となるような応力が生じないように、軸方向における構造の変化等を考慮してブロック分割し、その間に耐震ジョイントを設けていることから、解析対象はスクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路（南側）および補機冷却用海水取水路（北側）の軸直交方向断面とした。

(2) 評価基準

耐震安全性評価では、層間変形角およびせん断力について評価する。

限界層間変形角は「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル、土木学会原子力土木委員会、2005年6月」に基づき1/100とする。

せん断耐力は、同指針・マニュアルのせん断耐力評価法のうち「等価せん断スパン比を用いた方法」により求めた値を評価基準値とする。

(3) 解析用物性値

地震応答解析に必要な地盤および屋外重要土木構造物の諸定数は、各種材料試験、地盤調査や文献調査の結果をもとに設定された設計時の値を用いる。使用材料およびその物性値をそれぞれ表-5.4.1、表-5.4.2に、地盤およびマンメイドロックの物性値をそれぞれ表-5.4.3、表-5.4.4に示す。

表-5.4.1 使用材料

コンクリート	設計基準強度 23.5N/mm ² (240kg/cm ²)
鉄筋	SD345 相当(SD35)

表-5.4.2 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (kN/mm ²)	ポアソン比
コンクリート	24 ※	25	0.2
鉄筋		200	0.3

※ 鉄筋コンクリートとしての単位体積重量

表-5.4.3 地盤物性値

地層区分		単位体積重量 $\gamma_t(\text{kN/m}^3)$	ポアソン比 ν	初期せん断 弾性係数 $G_0(\text{kN/m}^2)$	せん断弾性係数と 減衰定数のひずみ依存性 $G/G_0 \sim \gamma$ $h \sim \gamma$
埋戻土層		18.6 (19.6) ^{*1)}	0.41	^{*2)}	図-5.4.2 参照
洪積粘性土層(I)		17.8	0.49	9.63×10^4	図-5.4.3 参照
洪積粘性土層(II)		17.7	0.49	1.13×10^5	図-5.4.4 参照
洪積粘性土層(III)		18.2	0.48	1.56×10^5	
洪積砂質土層(I)		18.6	0.48	1.83×10^5	図-5.4.5 参照
洪積砂質土層(II)		18.6	0.48	2.07×10^5	
番神砂層		18.0	0.43	1.83×10^5	図-5.4.6 参照
西山層	~T.M.S.L.-33.0m	17.0	0.45	4.15×10^5	図-5.4.7 参照
	~T.M.S.L.-60.0m	16.6	0.45	4.75×10^5	

*1) () は飽和単位体積重量

*2) $G_0=1980 \times \sigma_v^{0.667}(\text{kN/m}^2)$ 、 σ_v :有効上載圧 (kN/m^2)、 G_0 の下限値 $2.75 \times 10^4(\text{kN/m}^2)$

表-5.4.4 マンメイドロックの物性値

	単位体積重量 $\gamma_t(\text{kN/m}^3)$	ポアソン比 ν	初期せん断 弾性係数 $G_0(\text{kN/m}^2)$	せん断弾性係数と 減衰定数のひずみ依存性 $G/G_0 \sim \gamma$ $h \sim \gamma$
マンメイドロック	17.2	0.36	1.90×10^6	図-5.4.8 参照

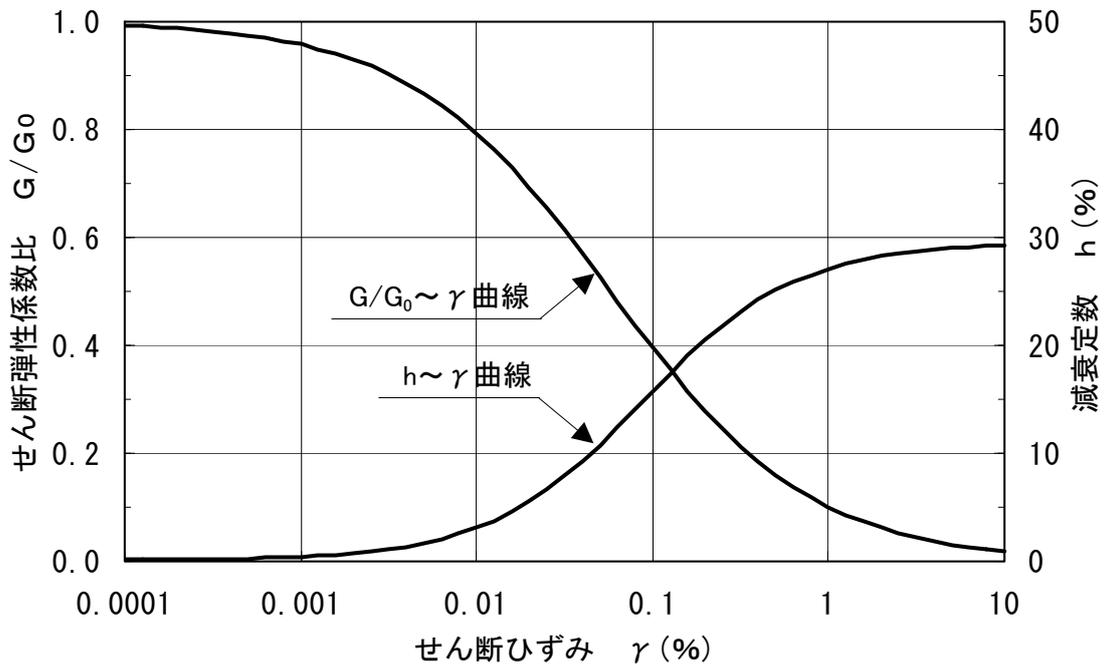


図-5.4.2 埋戻土層のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

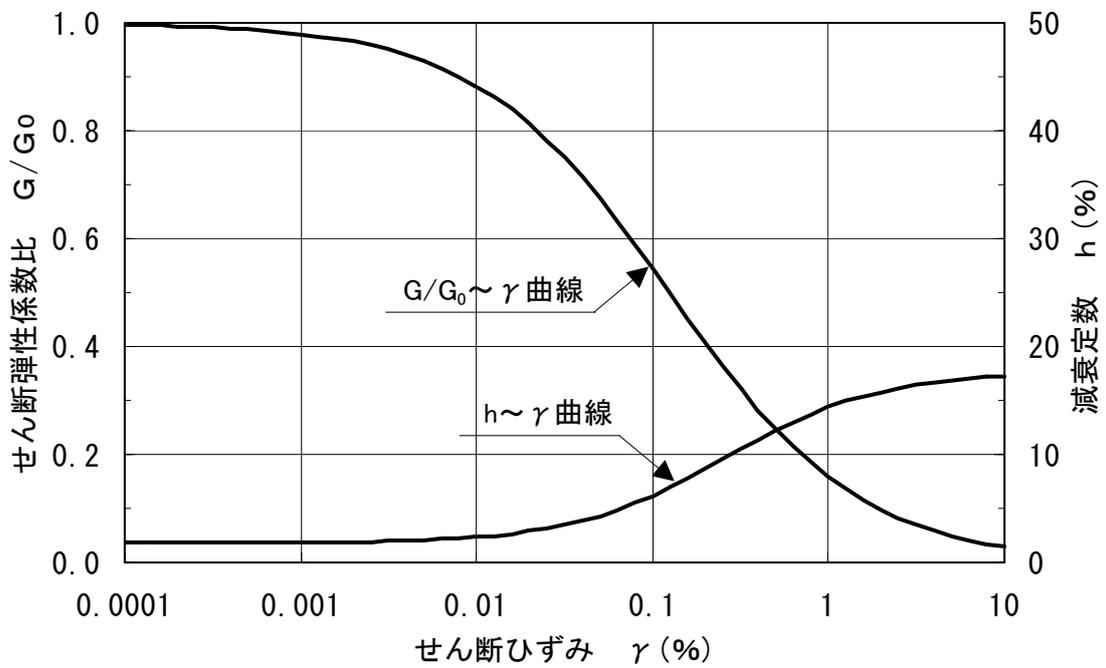


図-5.4.3 洪積粘性土層(I)のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

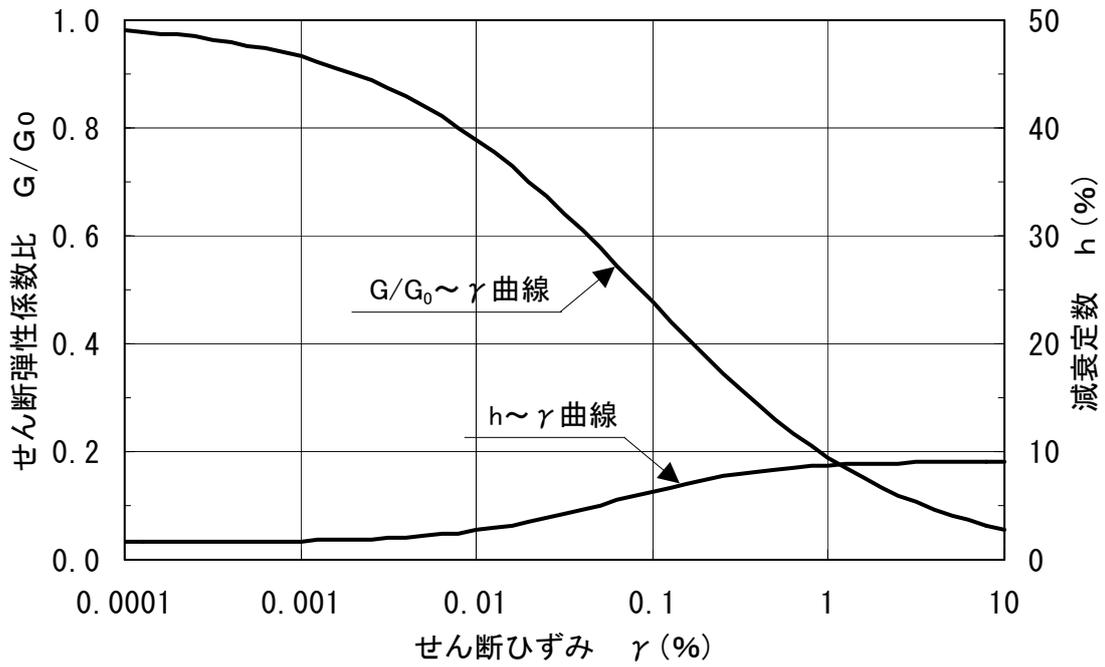


図-5.4.4 洪積粘性土層(Ⅱ)、(Ⅲ)のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

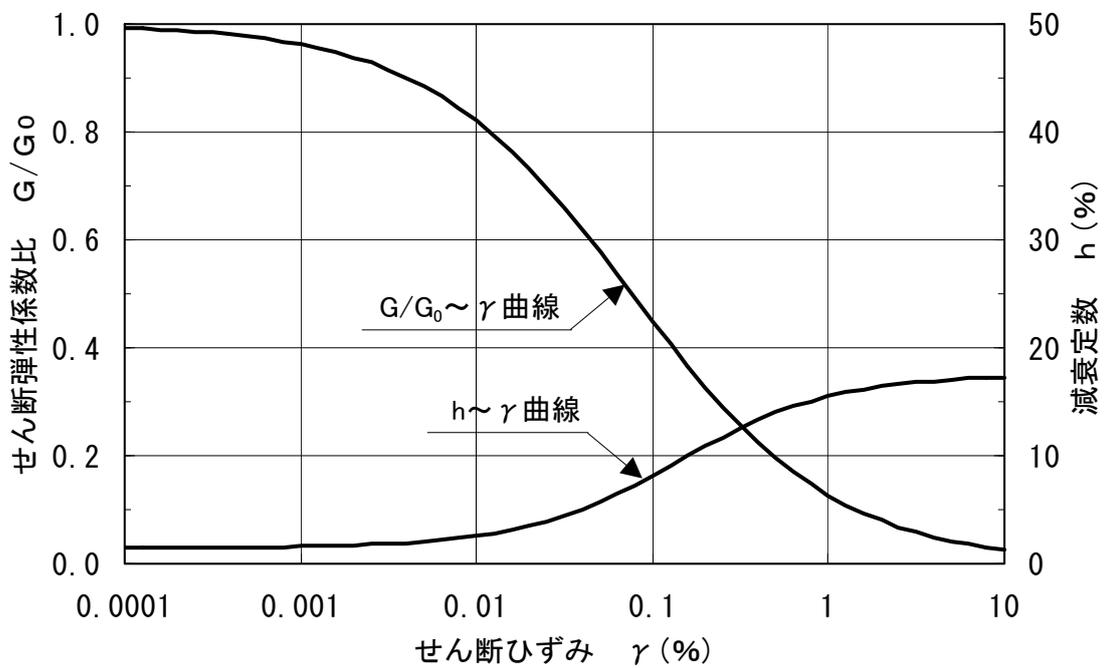


図-5.4.5 洪積砂質土層(Ⅰ)、(Ⅱ)のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

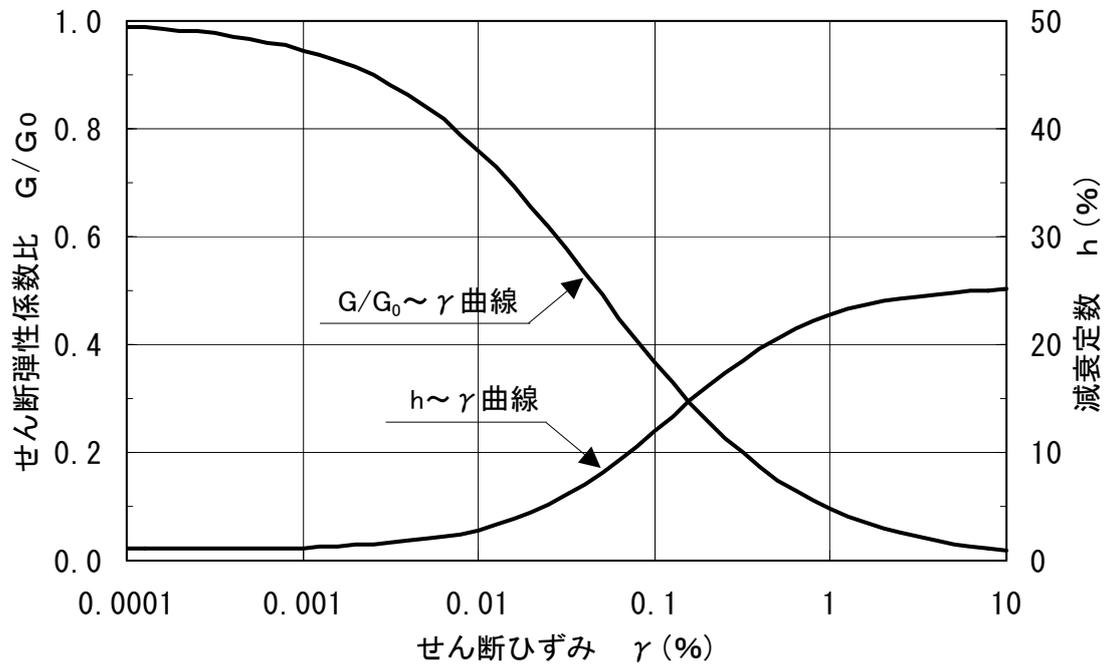


図-5.4.6 番神砂層のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

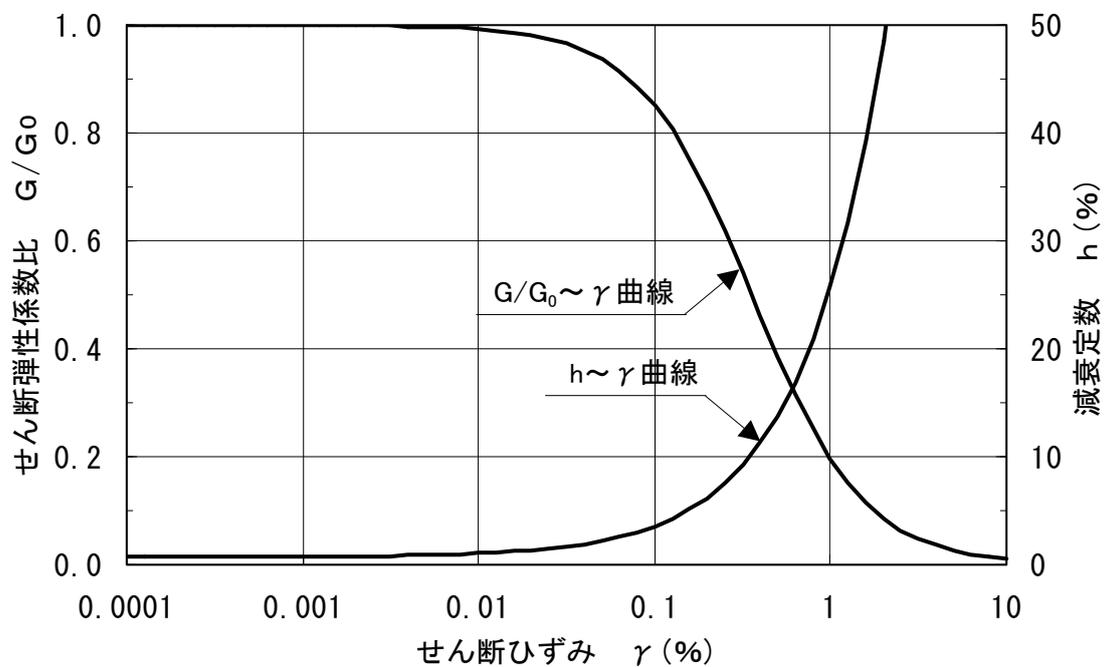


図-5.4.7 西山層のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

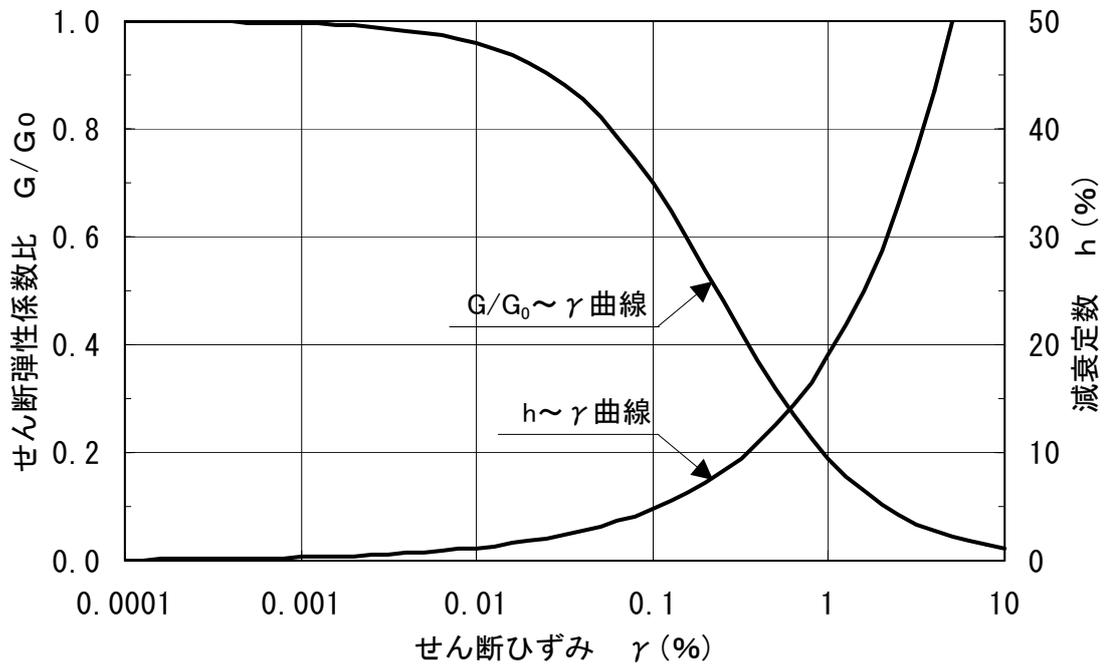


図-5.4.8 マンメイドロックのせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

(4) 入力地震動

新潟県中越沖地震における7号機原子炉建屋の基礎マット上での観測記録を用いて一次元波動論による地震応答解析を行い、地盤-構造物連成系の地震応答解析モデル下端位置で評価したものを入力地震動とする。入力地震動の作成方法の概念図を図-5.4.9に、解析モデル下端位置での入力地震動を図-5.4.10に示す。

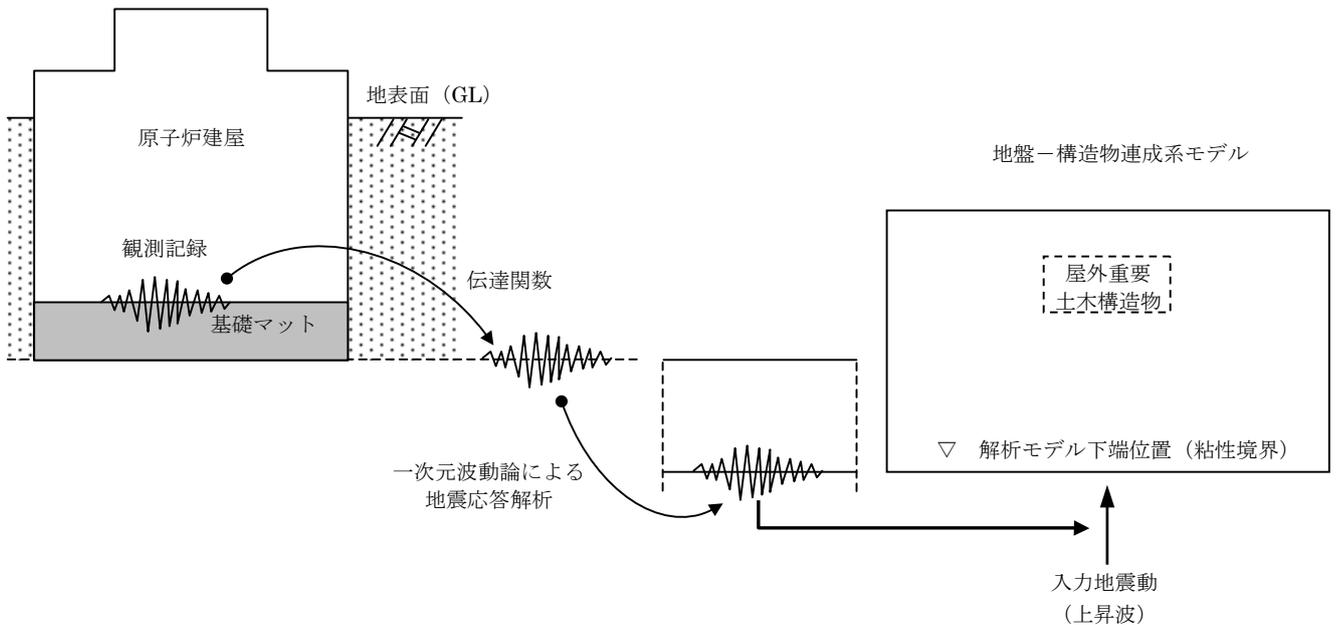
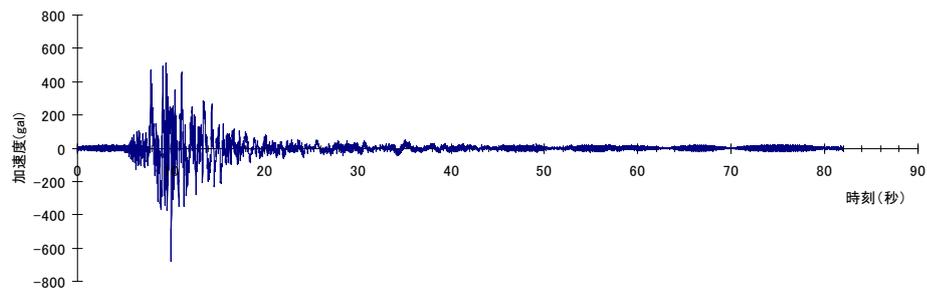
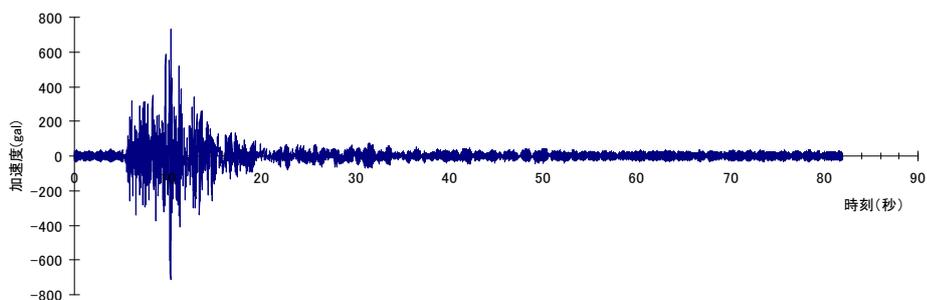


図-5.4.9 入力地震動の作成方法の概念図



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

図-5.4.10 解析モデル下端位置での入力地震動

(5) 解析モデル

非常用取水路を構成するスクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路（南側）、補機冷却用海水取水路（北側）の4断面について、耐震安全性評価を実施した。各断面の地震応答解析モデルを図-5.4.11～図-5.4.14に示す。

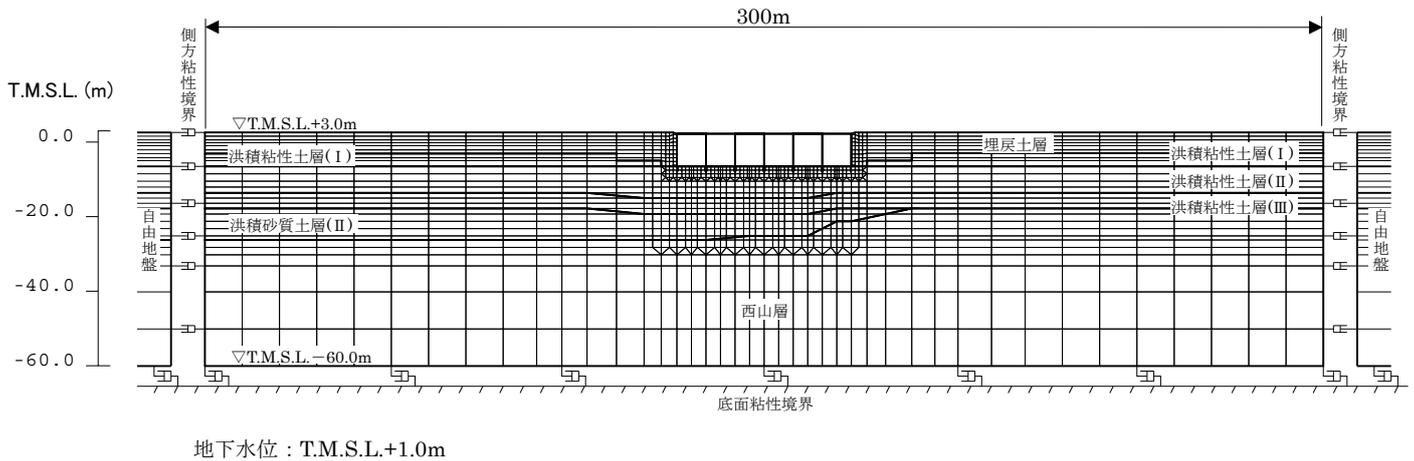


図-5.4.11 スクリーン室地震応答解析モデル

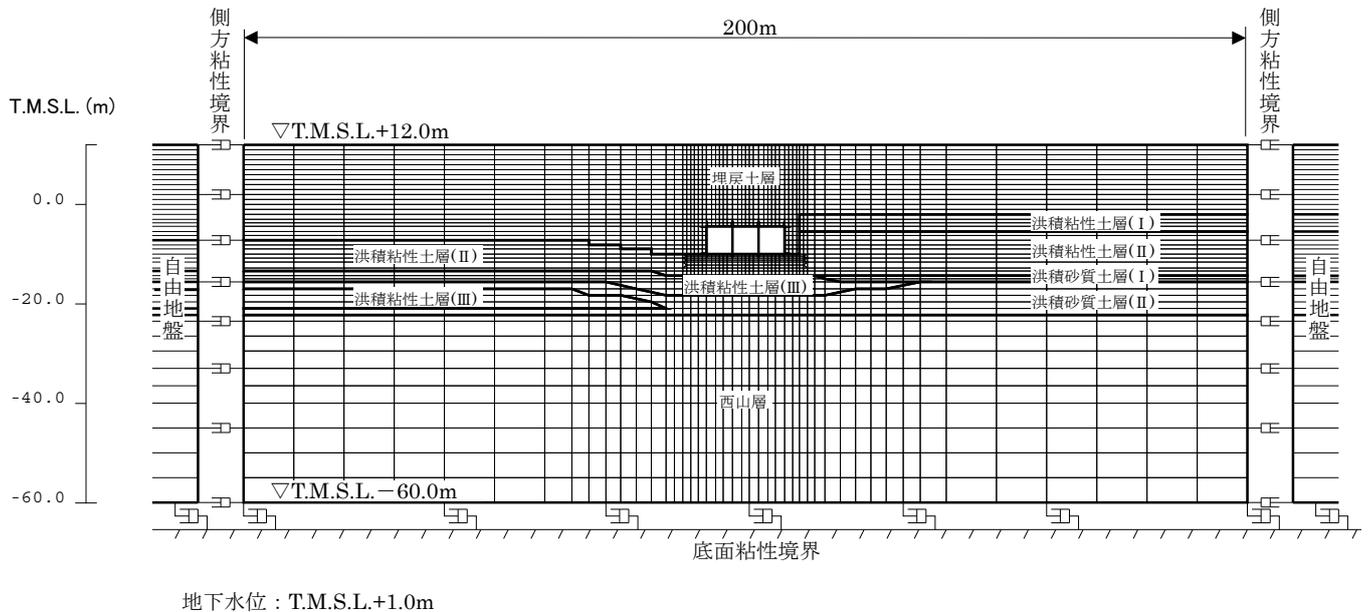


図-5.4.12 取水路地震応答解析モデル

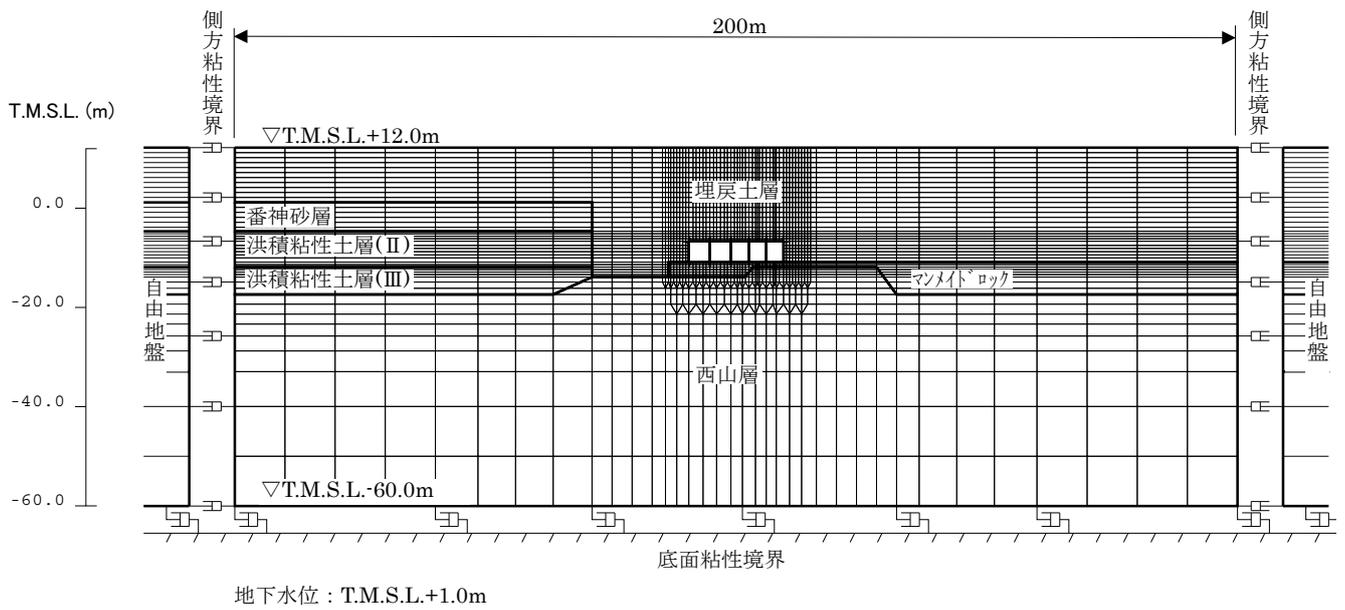


図-5.4.13 補機冷却用海水取水路（南側）地震応答解析モデル

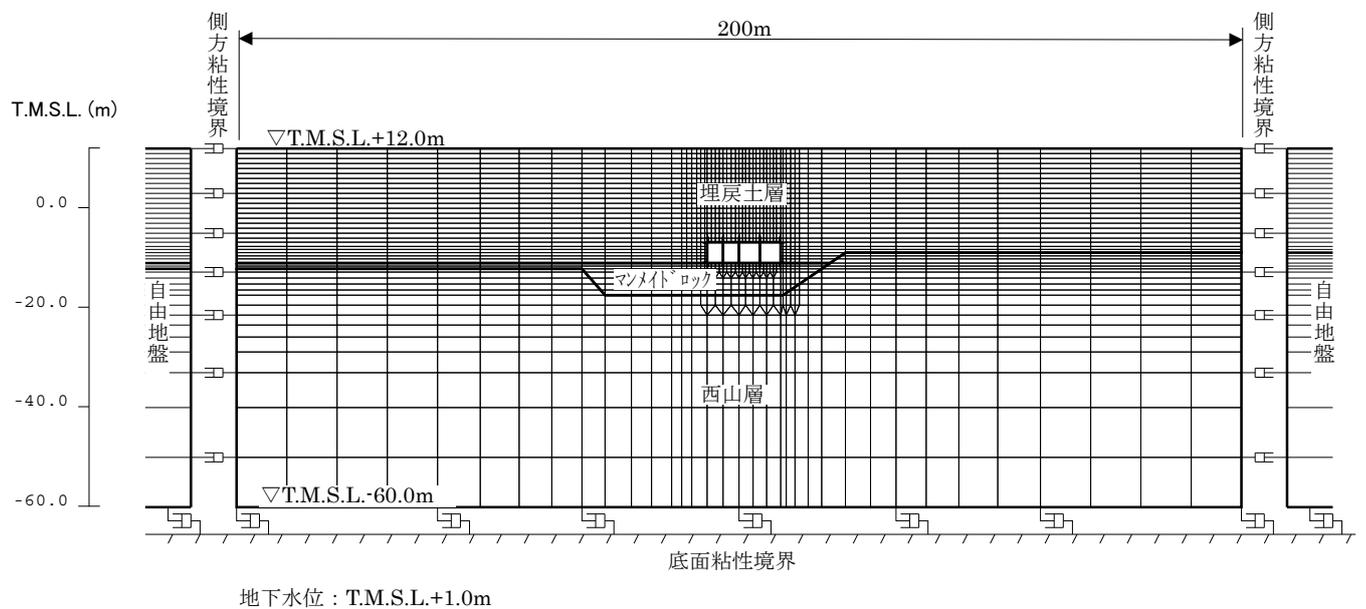


図-5.4.14 補機冷却用海水取水路（北側）地震応答解析モデル

(6) 解析結果

地震応答解析から求められる最大加速度分布図を図-5.4.15～図-5.4.18 に示す。

また、構造物頂底版間の最大相対変位および発生時刻を表-5.4.5 に、最大相対変位発生時刻の変形図および加速度分布図をそれぞれ図-5.4.19～図-5.4.22、図-5.4.23～図-5.4.26 に示す。

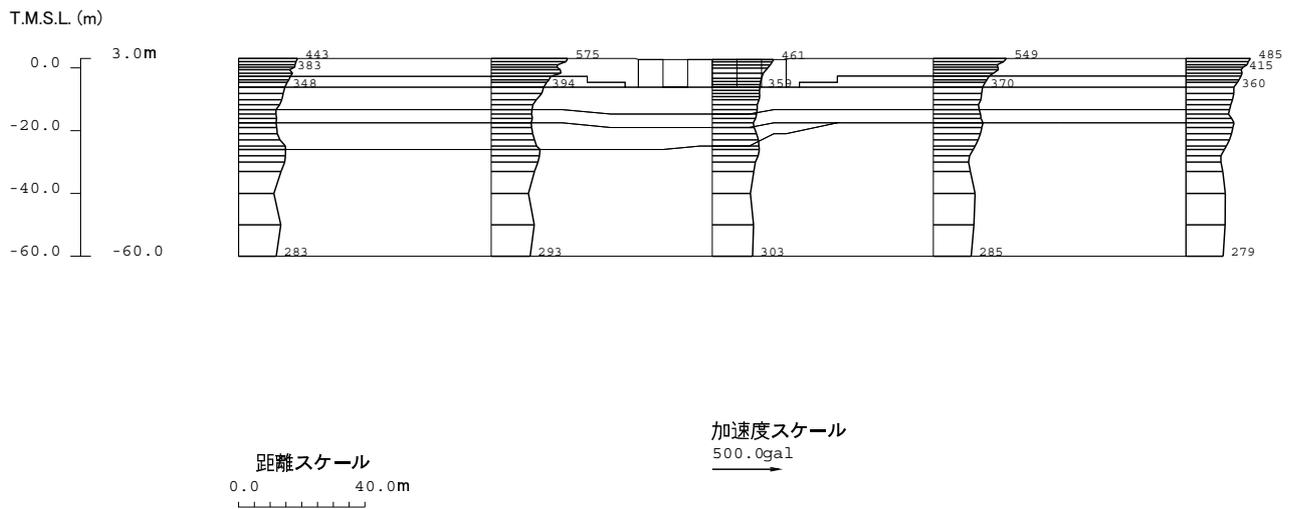


図-5.4.15 スクリーン室最大加速度分布図

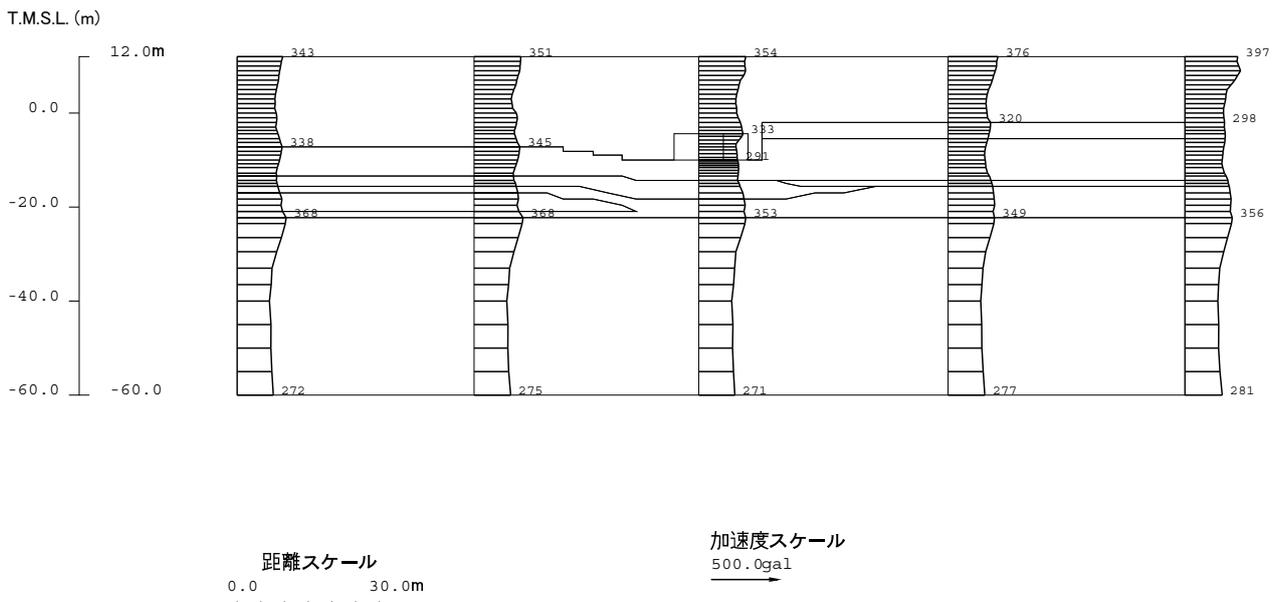


図-5.4.16 取水路最大加速度分布図

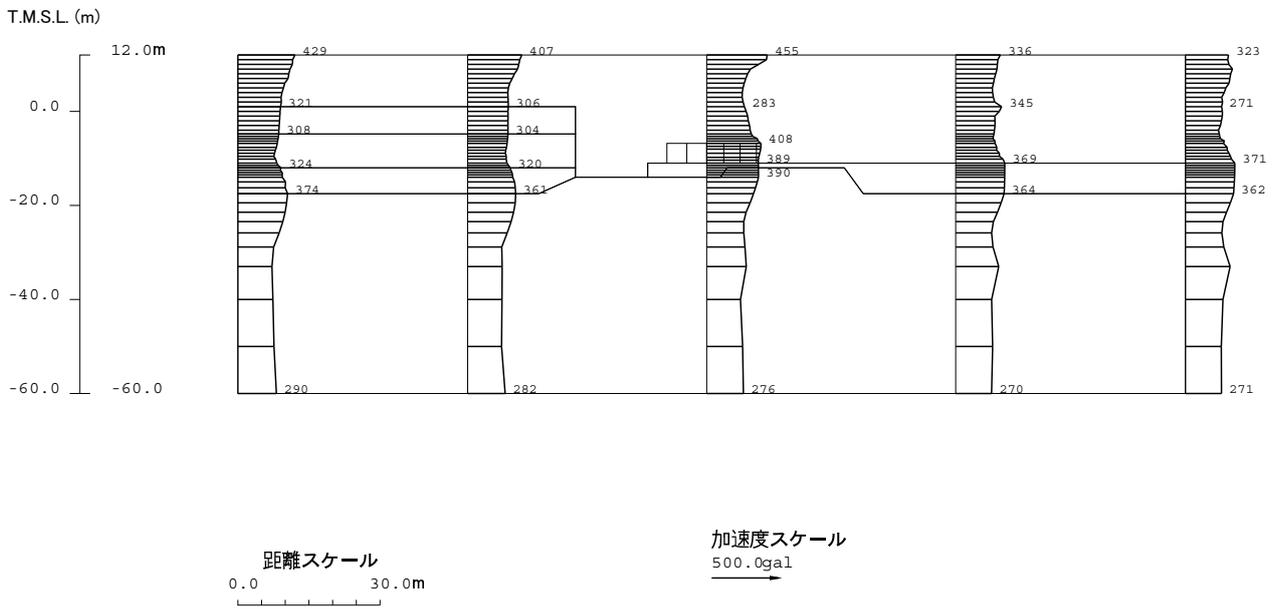


図-5.4.17 補機冷却用海水取水路（南側）最大加速度分布図

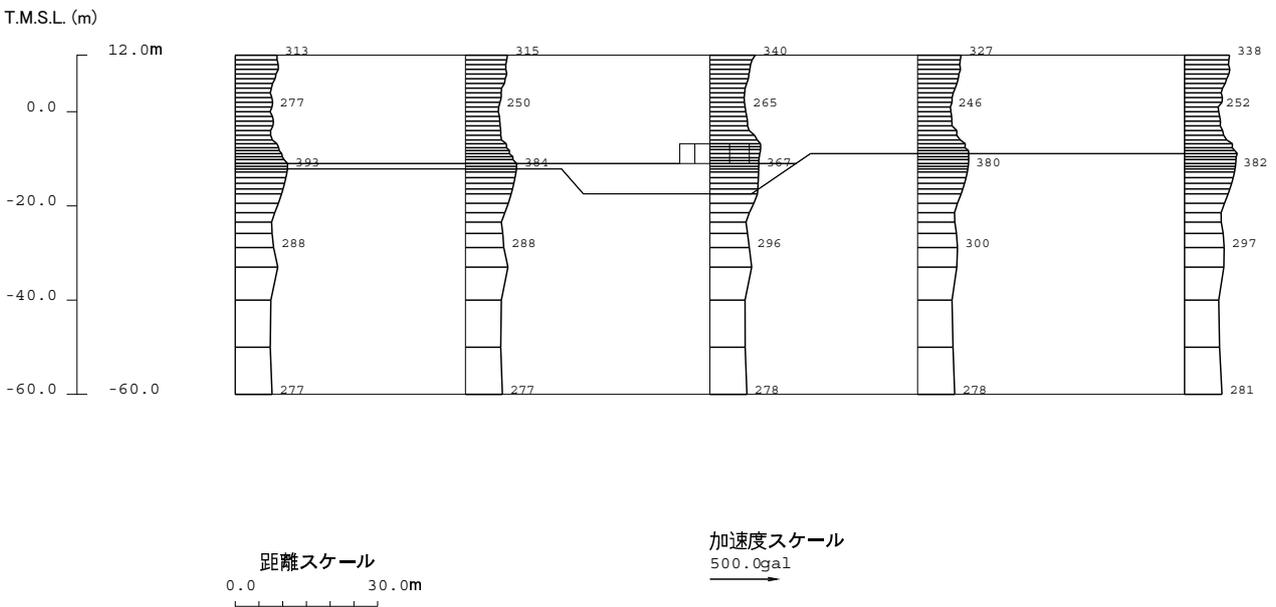


図-5.4.18 補機冷却用海水取水路（北側）最大加速度分布図

表-5.4.5 頂底板間の最大相対変位

	最大相対変位(mm)	時刻(秒)
スクリーン室	5.4	11.40
取水路	12.6	8.21
補機冷却用海水 取水路 (南側)	5.1	8.16
補機冷却用海水 取水路 (北側)	5.1	8.16

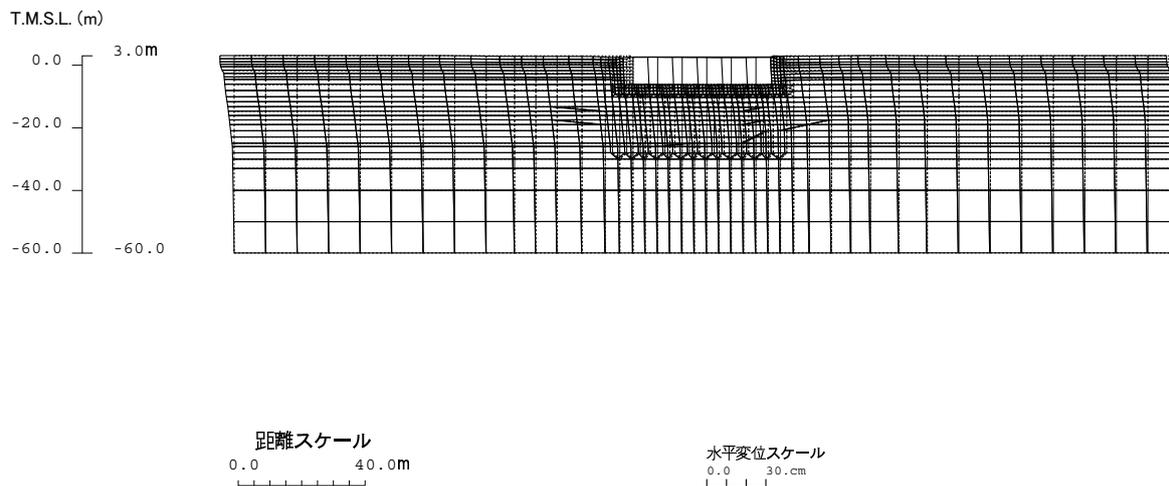


図-5.4.19 スクリーン室変形図 (11.40 秒)

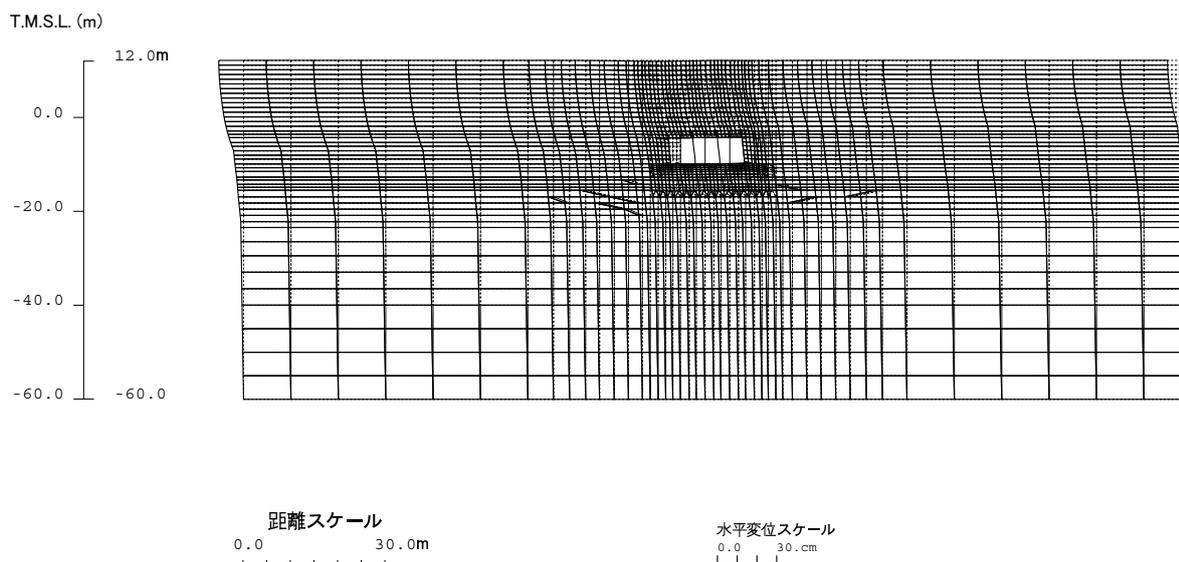


図-5.4.20 取水路変形図 (8.21 秒)

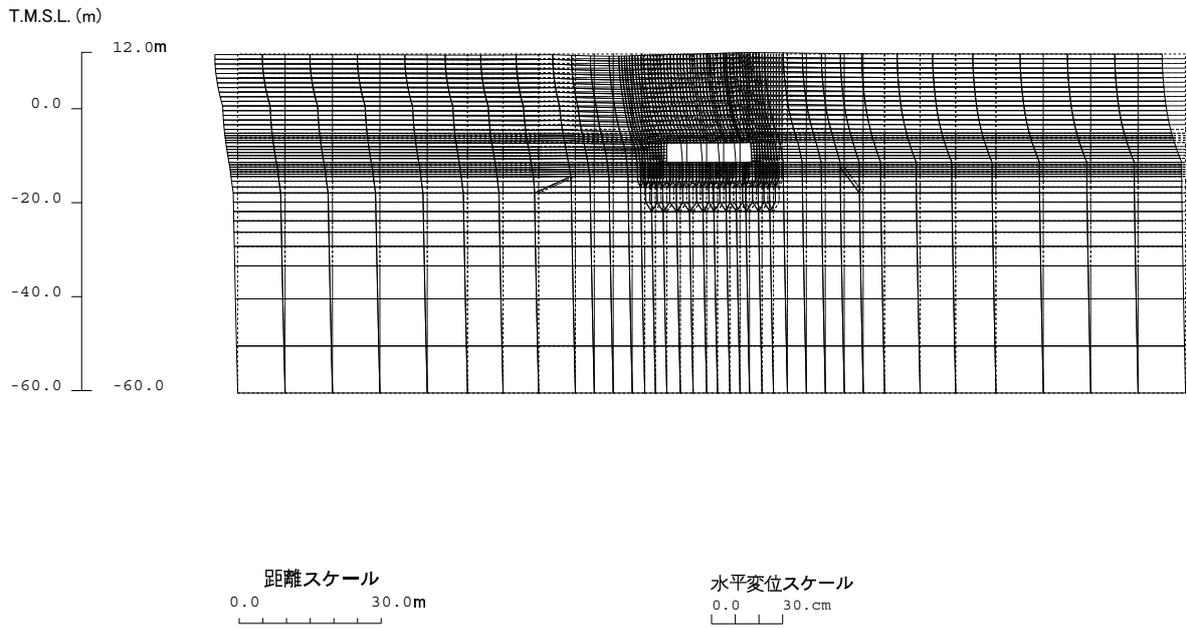


図-5.4.21 補機冷却用海水取水路（南側）変形図（8.16秒）

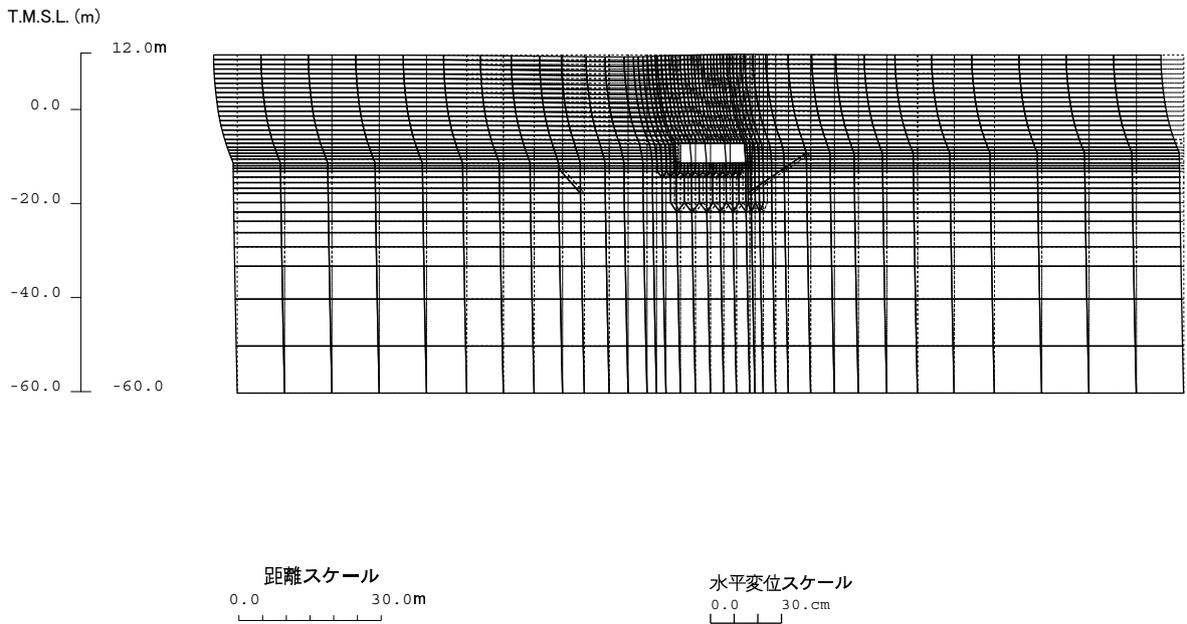


図-5.4.22 補機冷却用海水取水路（北側）変形図（8.16秒）

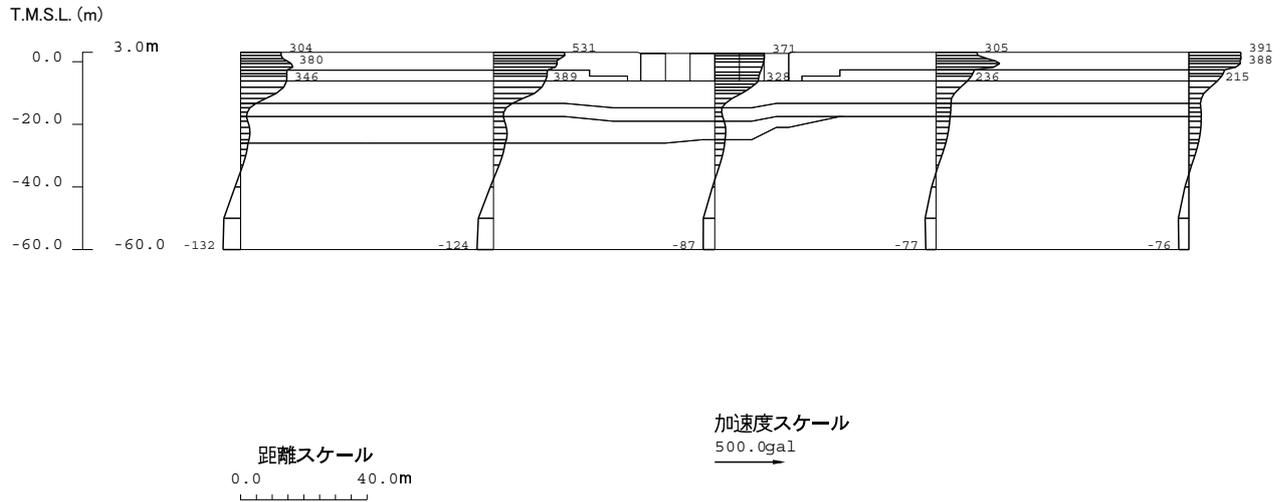


図-5.4.23 スクリーン室加速度分布図 (11.40 秒)

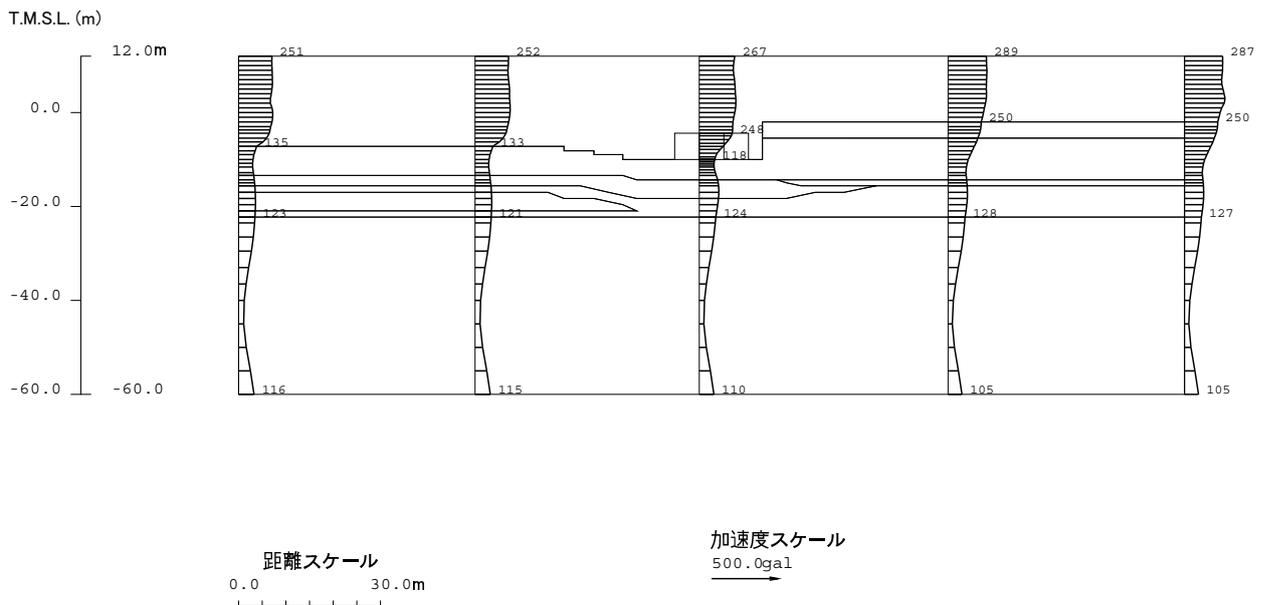


図-5.4.24 取水路加速度分布図 (8.21 秒)

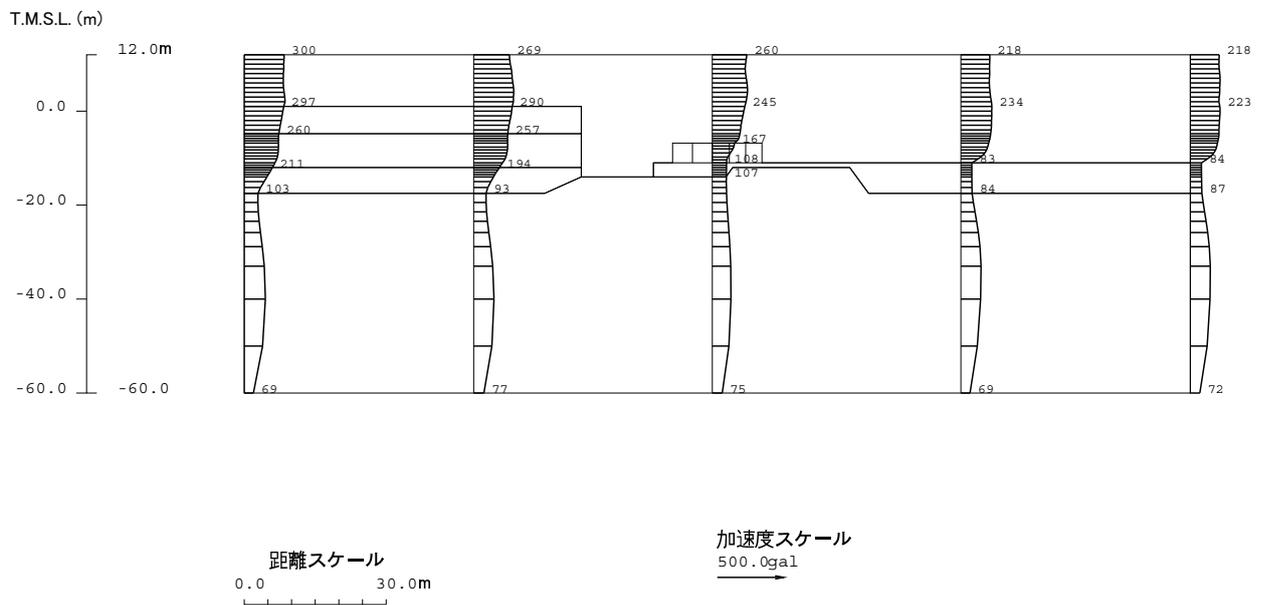


図-5.4.25 補機冷却用海水取水路（南側）加速度分布図（8.16秒）

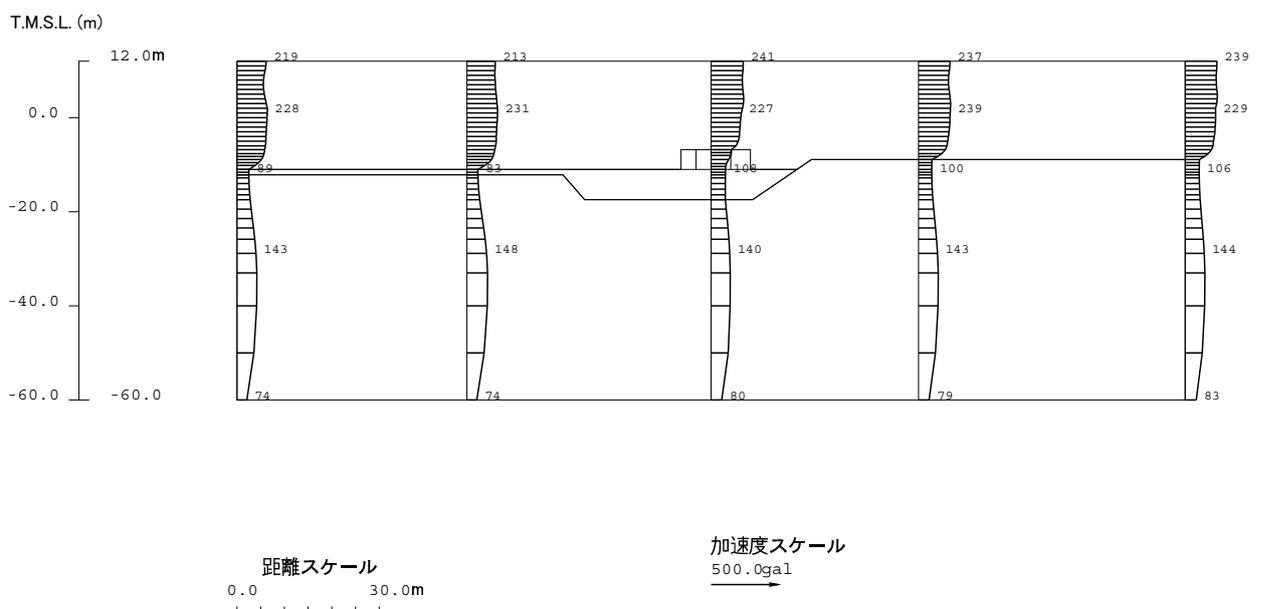


図-5.4.26 補機冷却用海水取水路（北側）加速度分布図（8.16秒）

5.4.3. 耐震健全性評価結果

(1) 層間変形角による照査結果

層間変形角による照査結果を表-5.4.6 に示す。層間変形角による照査の結果、評価位置において照査用層間変形角が限界層間変形角を下回ることを確認した。

表-5.4.6 層間変形角による照査結果

	評価位置	照査用層間変形角 R_d	限界層間変形角 R_u	R_d/R_u
スクリーン室	頂版 ～底版	0.0614/100	1/100	0.061
取水路	頂版 ～底版	0.225/100	1/100	0.23
補機冷却用海水 取水路（南側）	頂版 ～底版	0.122/100	1/100	0.12
補機冷却用海水 取水路（北側）	頂版 ～底版	0.122/100	1/100	0.12

(2) せん断力による照査結果

せん断力による照査結果を表-5.4.7に示す。せん断力による照査の結果、評価位置において照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認した。

表-5.4.7 せん断力による照査結果

	評価位置	照査用せん断力 V_d (kN)	せん断耐力 V_{yd}^{*1} (kN)	V_d/V_{yd}
スクリーン室	頂版	119	386	0.31
	底版	302	1401	0.22
	側壁	385	1884	0.20
	隔壁	377	1331	0.28
取水路	頂版	746	3009	0.25
	底版	816	3070	0.27
	側壁	546	1568	0.35
	隔壁	767	1065	0.72
補機冷却用海水 取水路（南側）	頂版	759	2507	0.30
	底版	560	2371	0.24
	側壁	503	1672	0.30
	隔壁	662	907	0.73
補機冷却用海水 取水路（北側）	頂版	753	4287	0.18
	底版	636	4499	0.14
	側壁	519	1416	0.37
	隔壁	619	867	0.71

※1 等価せん断スパン比を用いた方法による。

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）。

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小さ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
	裕度が比較的小さい	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、タービン建屋、排気筒、屋外重要土木構造物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。

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	7号機タービン建屋ひび割れ状況図
添付資料 3	7号機非常用取水路の点検結果
参考資料 1	コンクリートの実強度に基づくヤング係数の評価方法
参考資料 2	補助壁の評価について(7号機原子炉建屋)
参考資料 3	中越沖地震における耐震壁の応力の分析(7号機原子炉建屋)
参考資料 4	7号機原子炉建屋地震応答解析結果
参考資料 5	追加検討モデルによる応答結果比較(7号機原子炉建屋)
参考資料 6	補助壁の評価について(7号機タービン建屋)
参考資料 7	7号機タービン建屋のモデル化範囲について
参考資料 8	7号機タービン建屋地震応答解析結果
参考資料 9	7号機非常用取水路のより現実的な地震時挙動の推定に基づく健全性評価