

柏崎刈羽原子力発電所5号機

新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る 点検・評価報告書 (建物・構築物編)

平成 22 年5月 21 日

東京電力株式会社

目 次

1. はじめに	1-1
2. 地震の概要	2-1
2. 1 平成 19 年新潟県中越沖地震の概要	2-1
2. 2 柏崎刈羽原子力発電所での観測記録	2-1
2. 3 5号機の観測記録	2-3
2. 4 5号機の状況	2-6
3. 報告書の概要	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	3-3
3. 4 品質保証	3-29
3. 5 実施体制	3-29
4. 点検	4-1
4. 1 点検方法の策定	4-1
4. 2 力量管理	4-10
4. 3 点検結果	4-11
4. 4 第三者機関による確認	4-36
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	5-35
5. 3 海水熱交換器建屋の耐震健全性評価	5-58
5. 4 排気筒の耐震健全性評価	5-75
5. 5 屋外重要土木構造物の耐震健全性評価	5-97
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 5 号機 新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価計画書（建物・構築物編）」に基づき実施した建物・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観測されており、特に荒浜側（1～4号機）で時刻歴波形の後半に大振幅のパルスが見られる。一方、大湊側（5～7号機）では時刻歴波形後半に荒浜側のような大振幅のパルスは確認されていない。

原子炉建屋基礎版上で観測された最大加速度値および設計時の最大加速度応答値を表-2.2.1 に示す。原子炉建屋基礎版上での最大加速度の中で最大のものは、1号機東西方向で 680cm/s^2 である。なお、加速度波形については、記録の主要動を含

む 50 秒間を表記している。

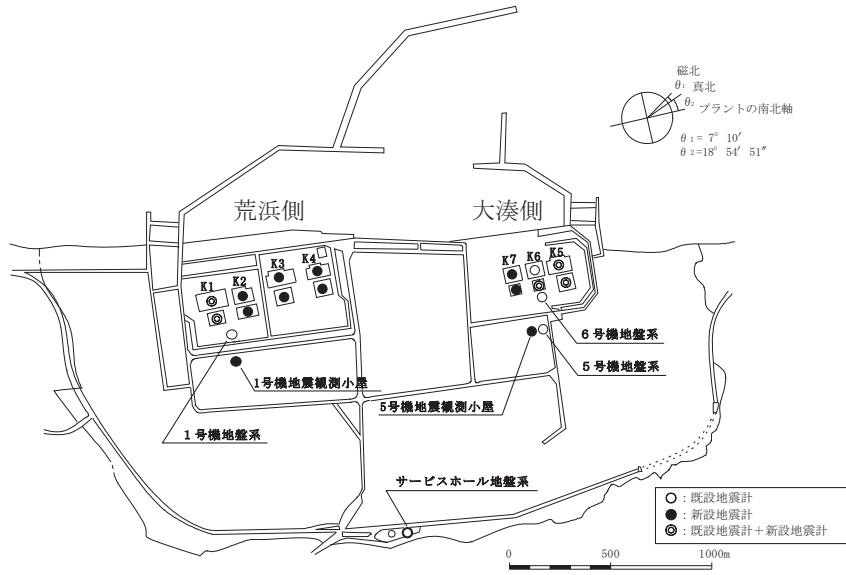
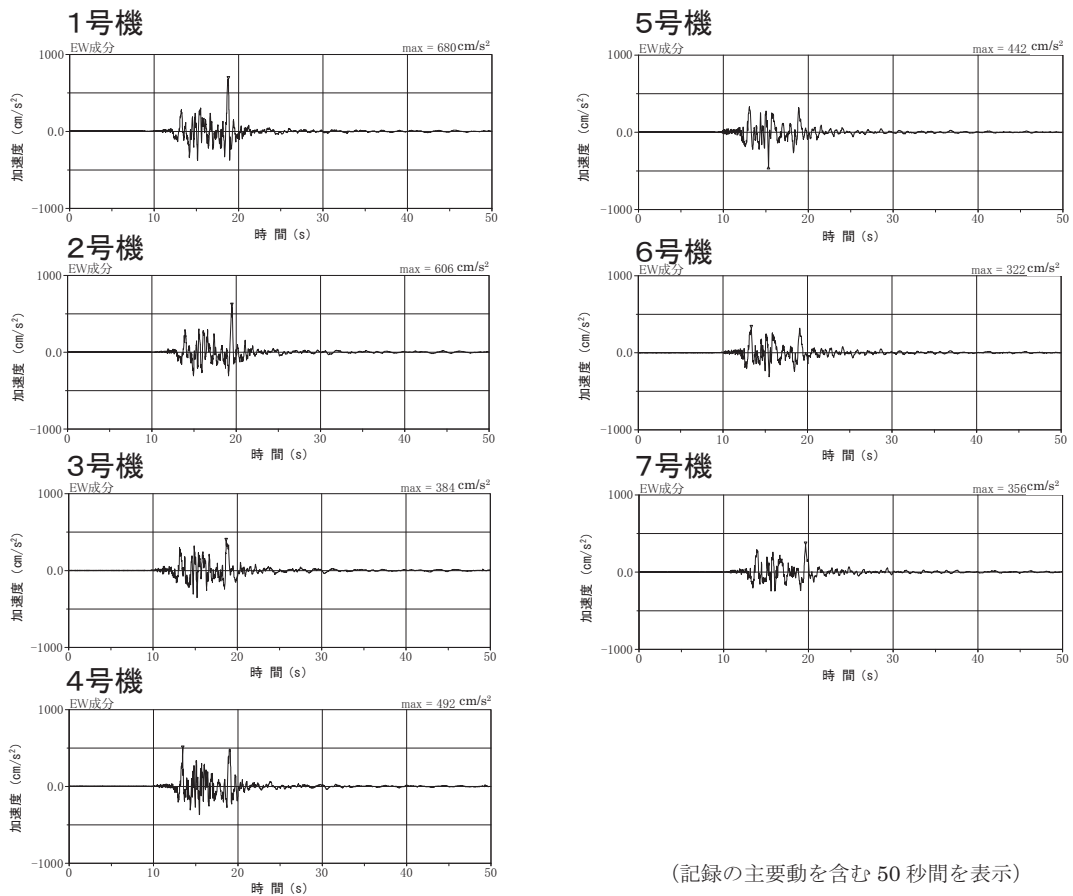


図-2.2.1 柏崎刈羽原子力発電所における地震観測点の配置



(記録の主要動を含む 50 秒間を表示)

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

(単位：cm/s²)

		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 120cm/s²、上下方向 100cm/s²

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

※3：上下方向については、() 内の値を静的設計で用いている

2.3. 5号機の観測記録

5号機原子炉建屋の地震計の配置を図-2.3.1に、基礎版上で観測された加速度時刻歴波形を図-2.3.2に示す。また、観測された記録に基づく加速度応答スペクトルを、設計時の基準地震動 S₂に基づく床応答スペクトルと比較したものを図-2.3.3に示す。原子炉建屋基礎版上の最大加速度値は、設計時の基準地震動 S₂による最大加速度応答値 254cm/s²に対し東西方向で 442cm/s²であった。

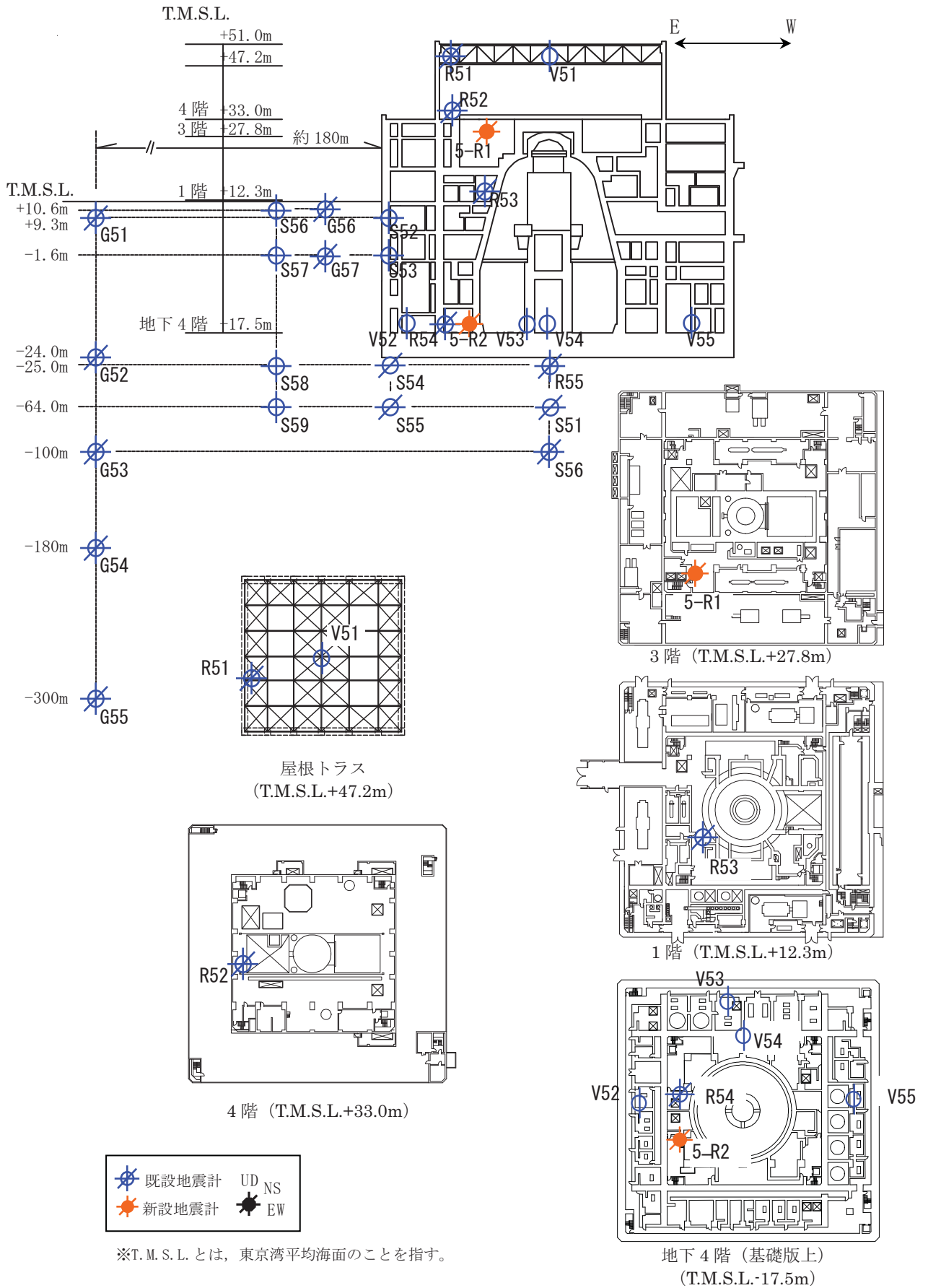


図-2.3.1 5号機 原子炉建屋地震計配置図

△最大値

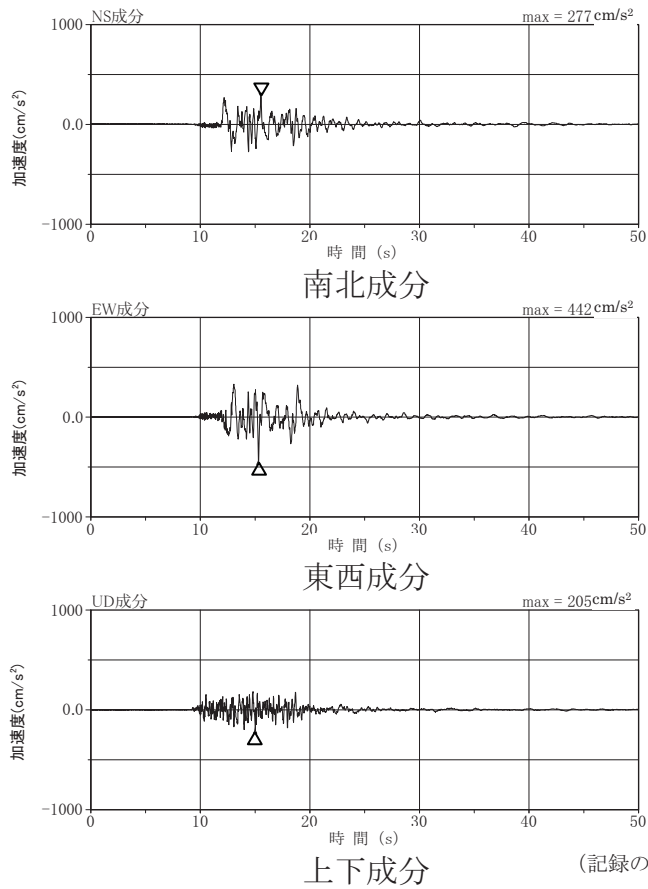


図-2.3.2 5号機 原子炉建屋基礎版上で観測された加速度時刻歴波形 (5-R2)

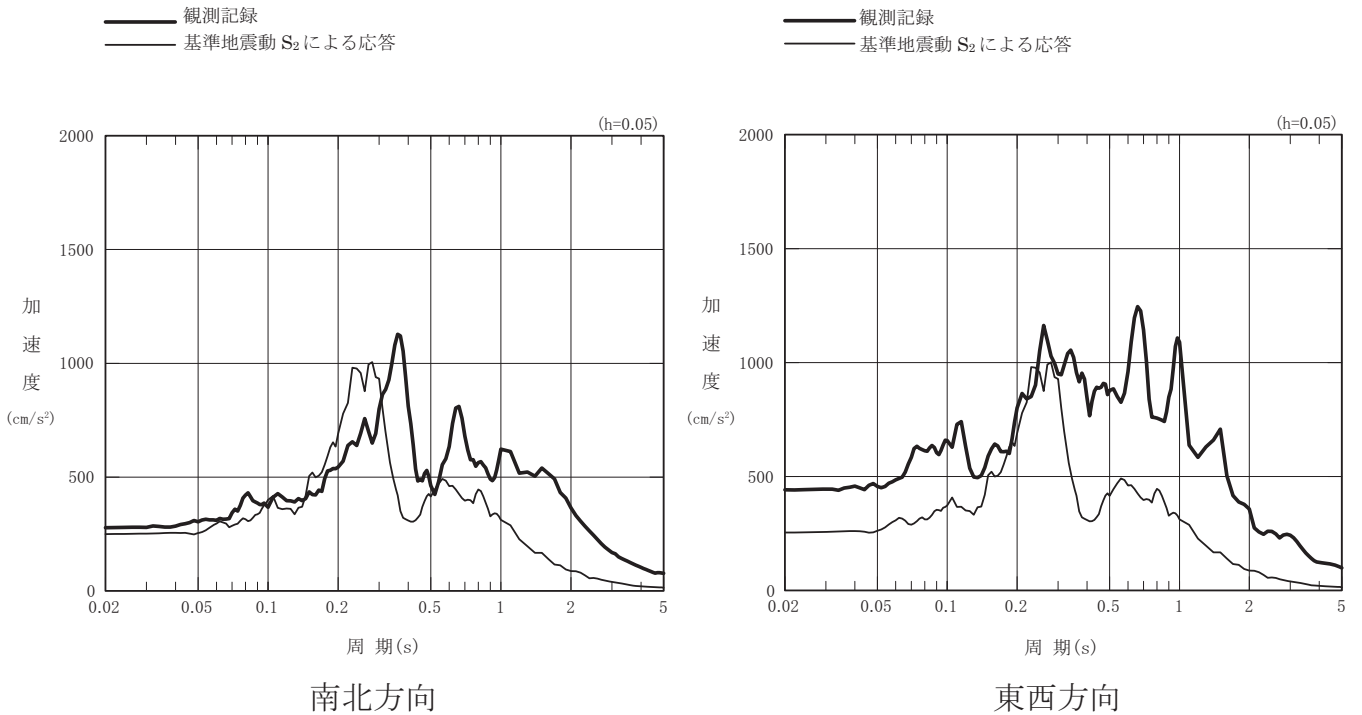


図-2.3.3 5号機 原子炉建屋基礎版上の加速度応答スペクトル (5-R2)

2.4. 5号機の状況

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

3. 報告書の概要

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

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。

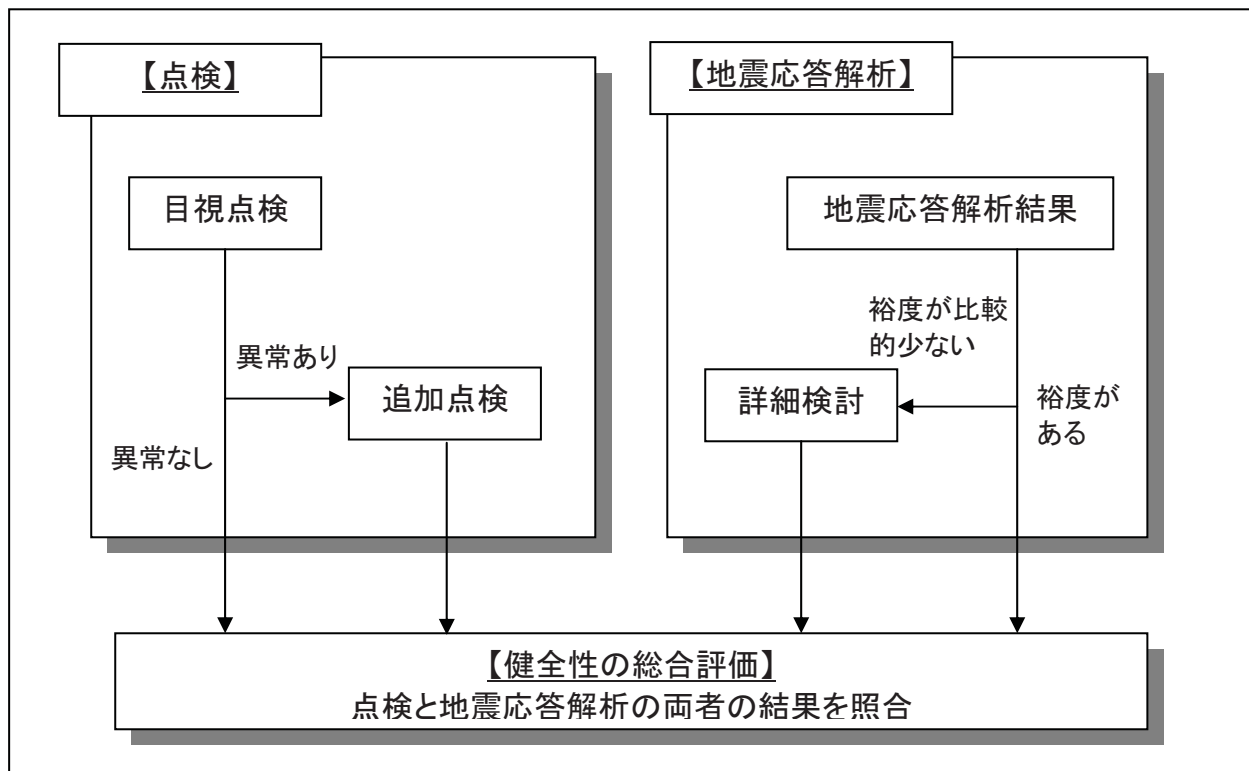


図-3.2.1 建物・構築物の点検・評価の全体フロー

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 5号機 点検・評価対象の建物・構築物一覧

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

※1 1号機における点検・評価対象

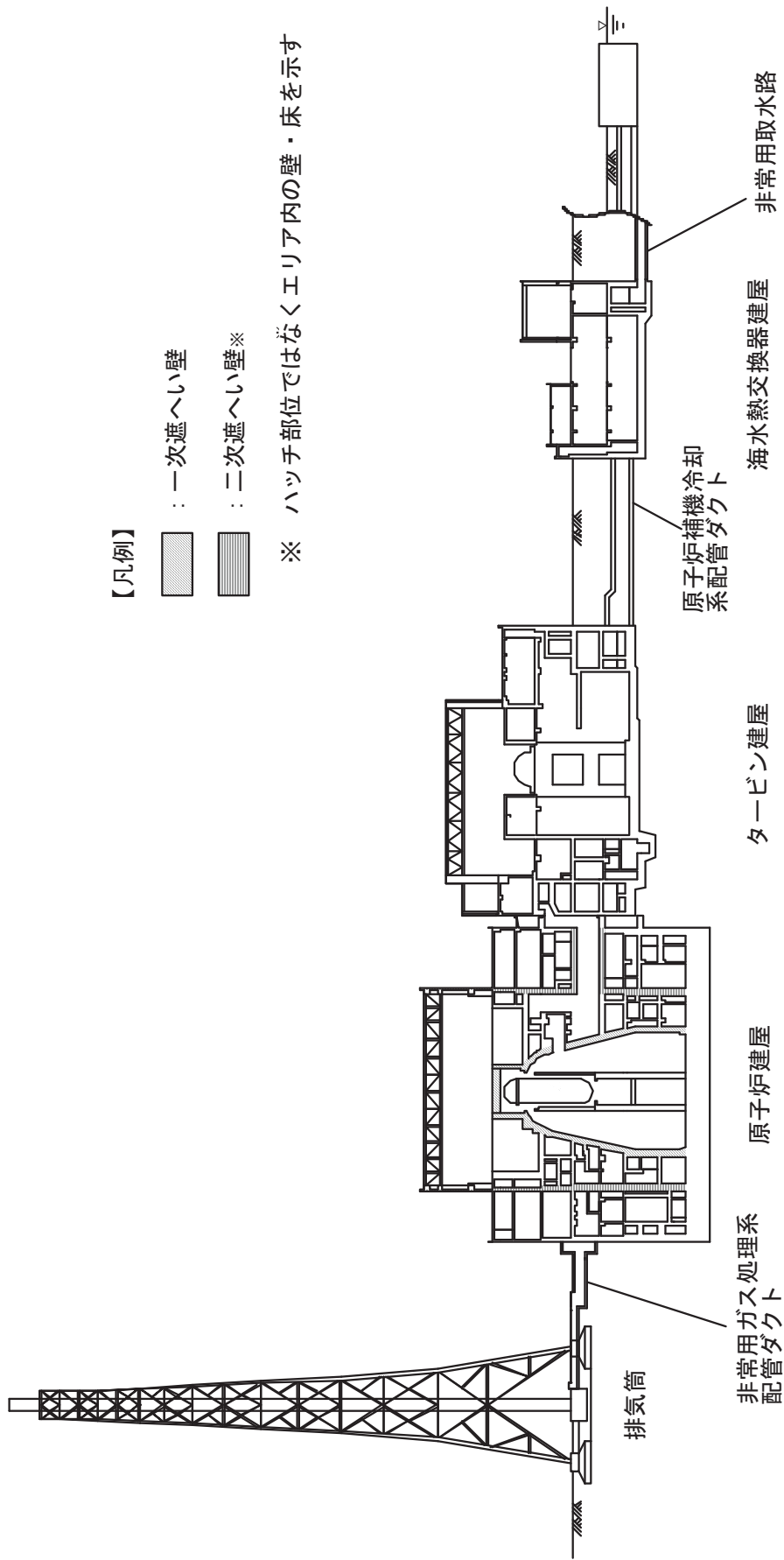


図-3.3.1 点検・評価対象の建物・構築物の断面図

3.3.1. 原子炉建屋の概要

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

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

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

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

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

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

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

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

なお、原子炉建屋の耐震重要度分類は、現在の指針に当てはめると S クラス（当初申請では A クラス）である。

※ 1 建屋寸法は壁外面寸法

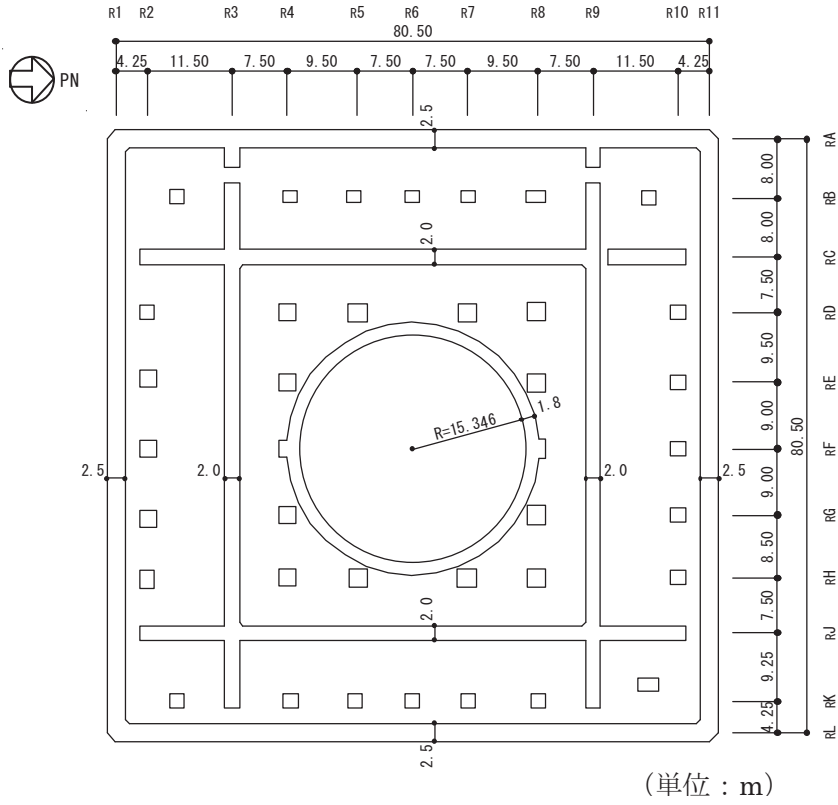


图-3.3.2 地下4階 (T.M.S.L. -17.5m)

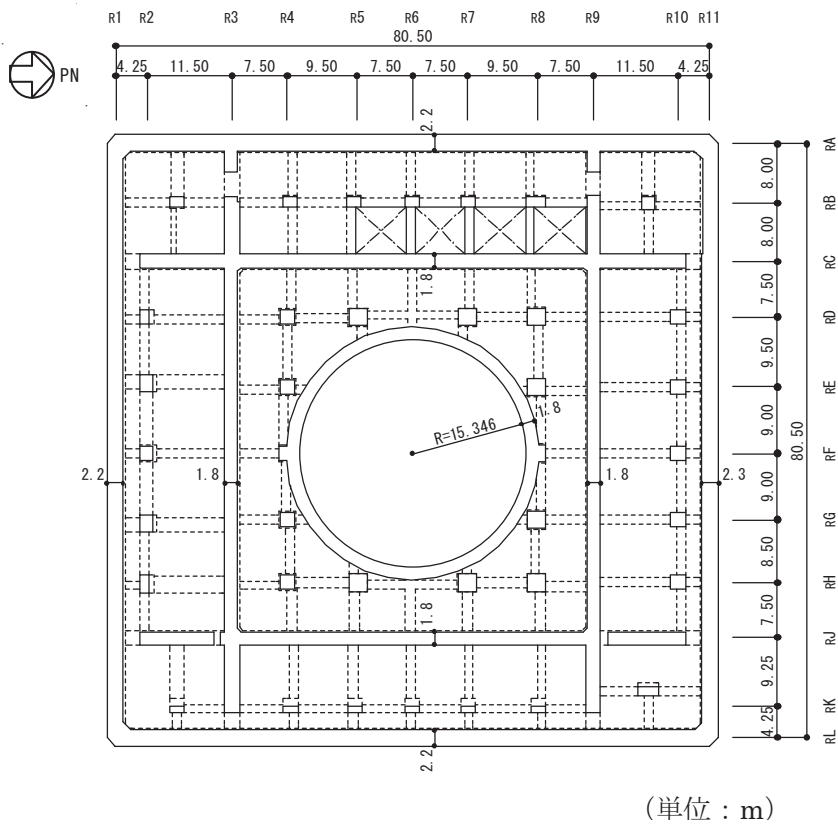
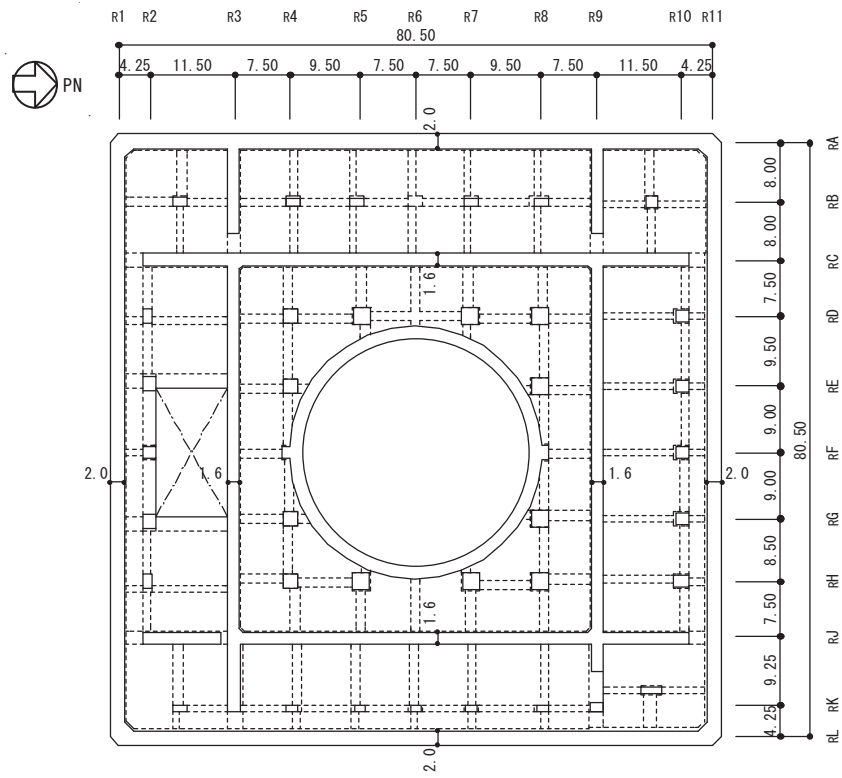
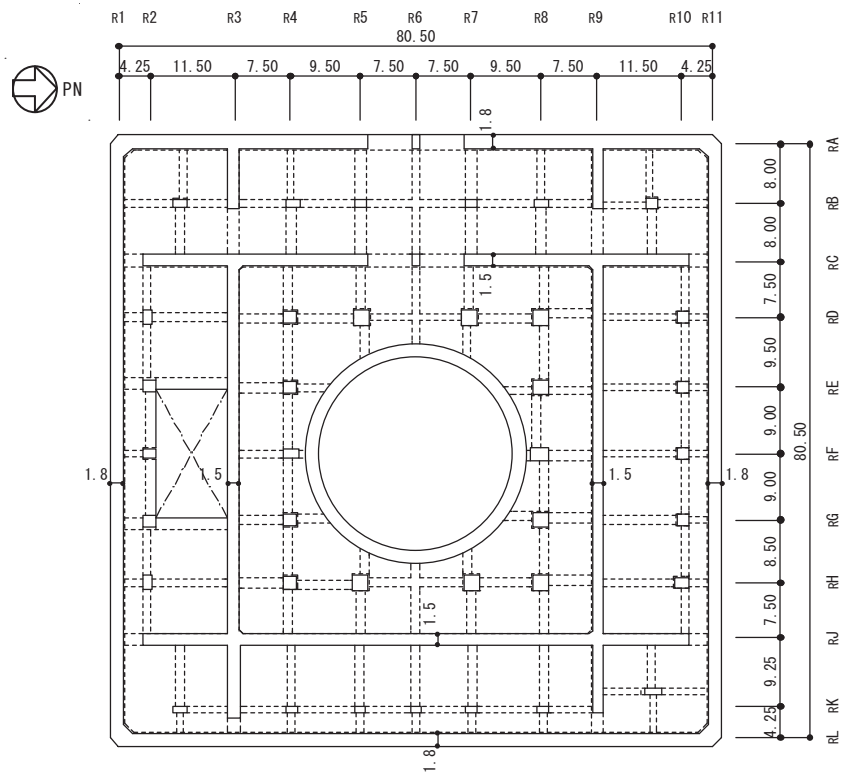


图-3.3.3 地下3階 (T.M.S.L. -10.1m)



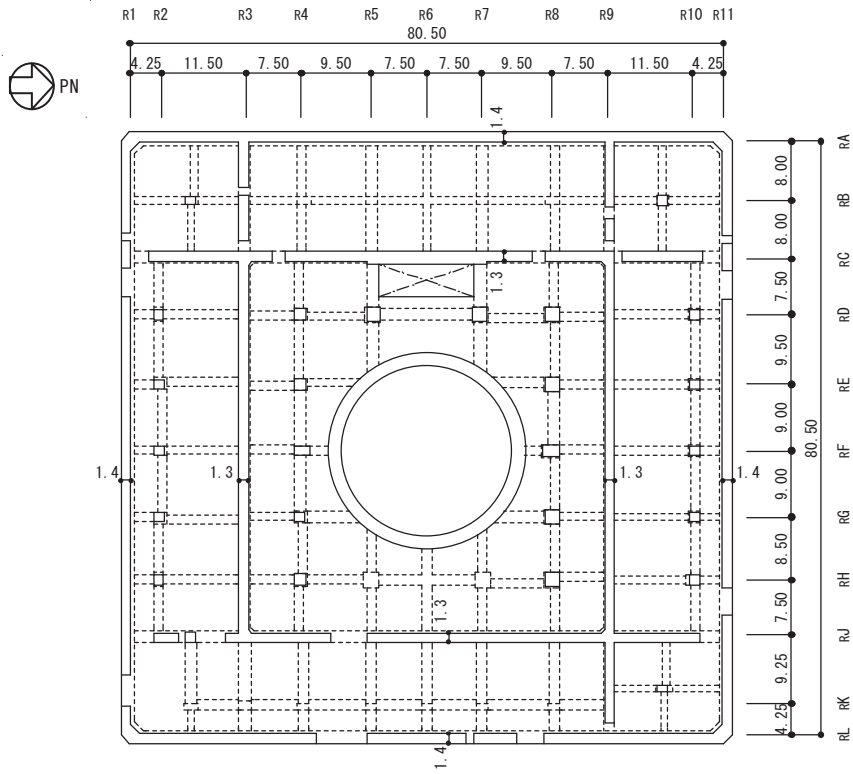
(单位：m)

图-3.3.4 地下2階 (T.M.S.L. -1.1m)



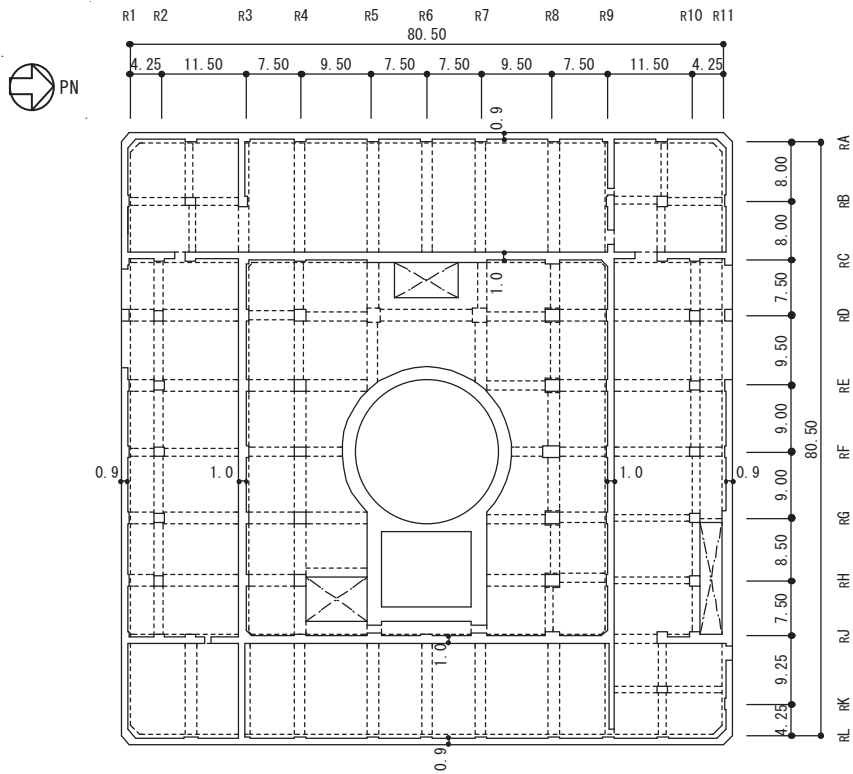
(单位：m)

图-3.3.5 地下1階 (T.M.S.L. 5.3m)



(單位：m)

図-3.3.6 1階 (T.M.S.L. 12.3m)



(單位：m)

図-3.3.7 2階 (T.M.S.L. 20.3m)

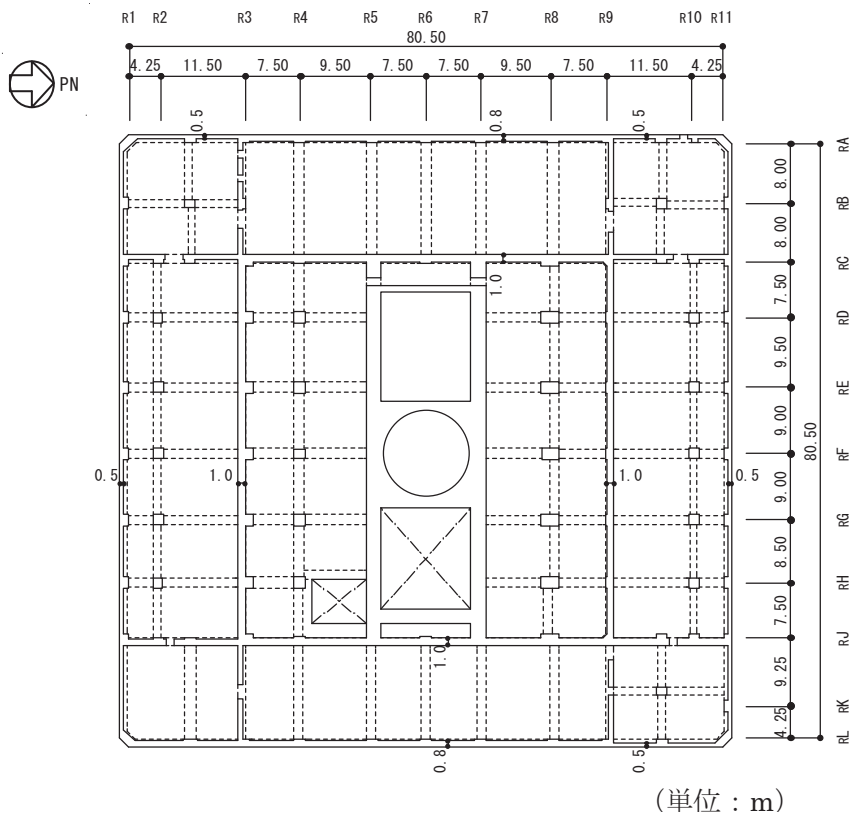


图-3.3.8 3階 (T. M. S. L. 27.8m)

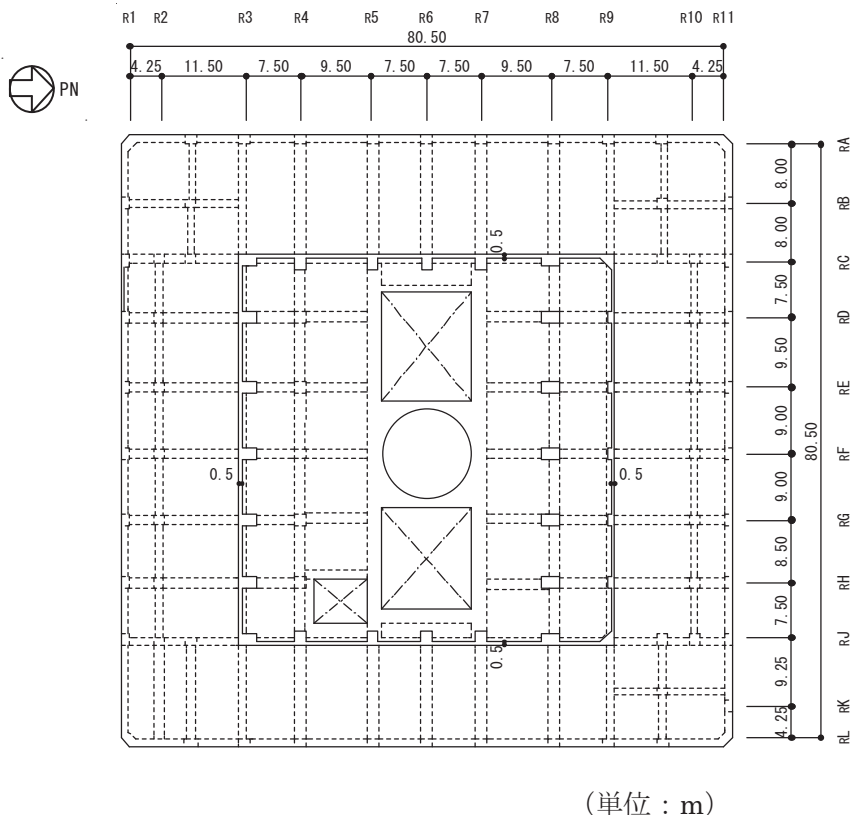


图-3.3.9 4階 (T. M. S. L. 33.0m)

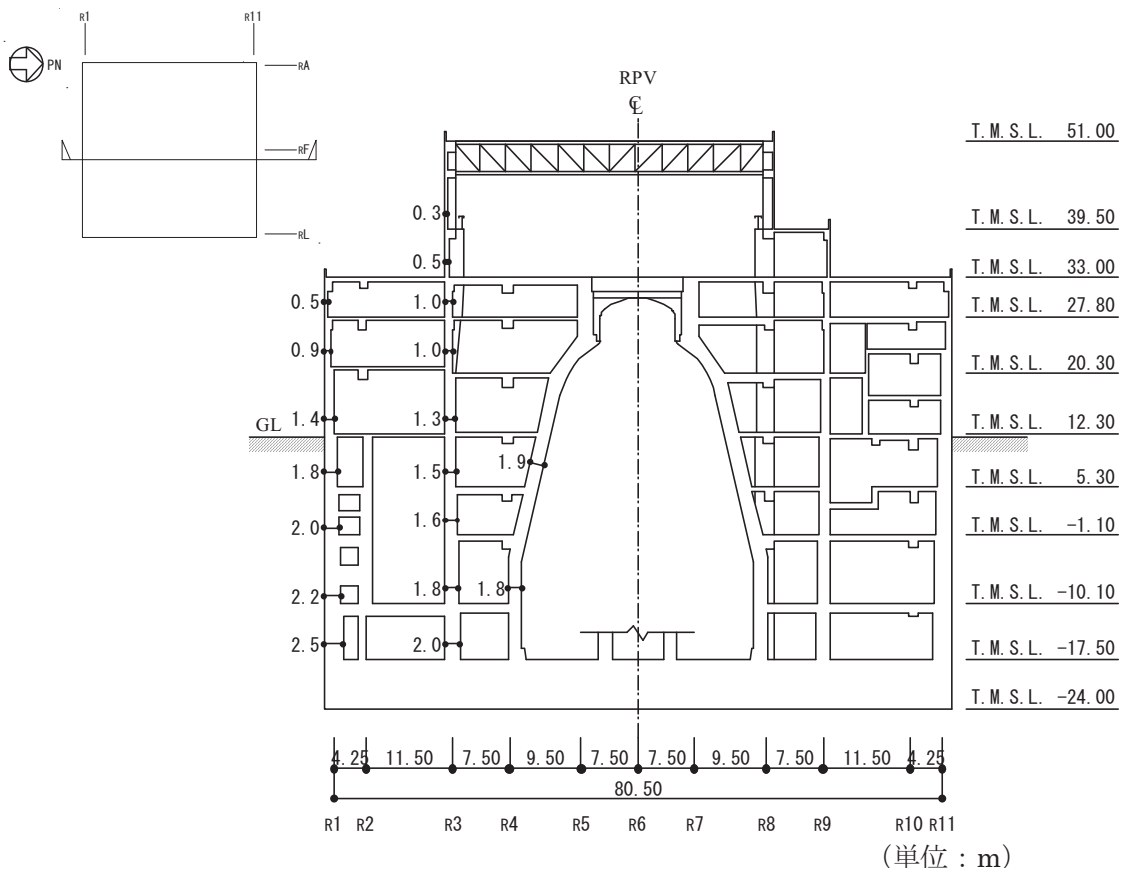


图-3.3.10 南北方向断面图

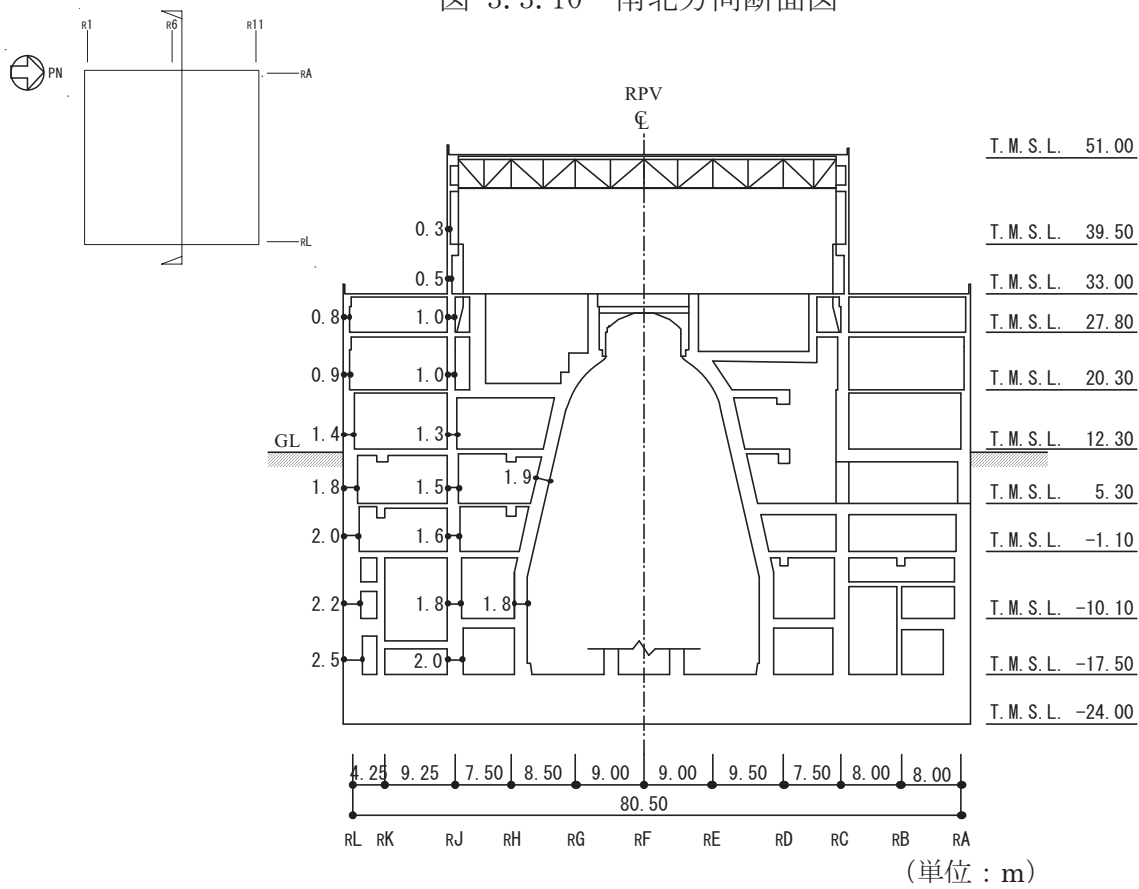


图-3.3.11 东西方向断面图

3.3.2. タービン建屋の概要

タービン建屋は、図-3.3.12～図-3.3.18 に示すように地上2階（一部3階）地下2階の下部鉄筋コンクリート造、上部鉄骨造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造）の建物であり、基礎底面からの高さは49.3m（地上部33.1m、地下部16.2m）、平面の長さは、121.0m（南北方向）×76.0m（東西方向）※1である。

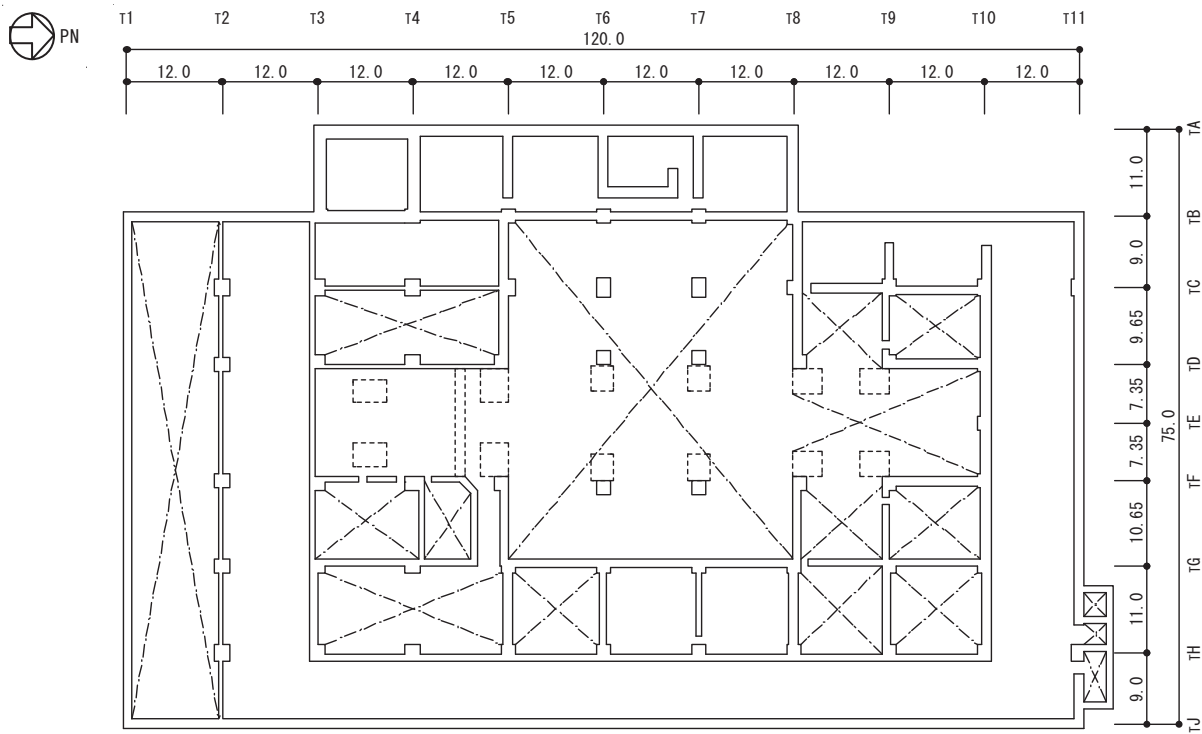
さらに、基礎スラブは厚さ2.3mのべた基礎（蒸気タービンの基礎スラブおよびその周辺部は厚さ2.8m）で、直接またはコンクリートを介して支持地盤である新第三紀層の泥岩盤上に設置されている。

地震または風による水平力に対しては、耐震壁、ブレースおよびラーメン構造で負担する。さらに、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。また、水平力の伝達を平滑にするため各階床レベルは統一している。

タービン建屋は隣接する原子炉建屋とは構造的に分離されている。

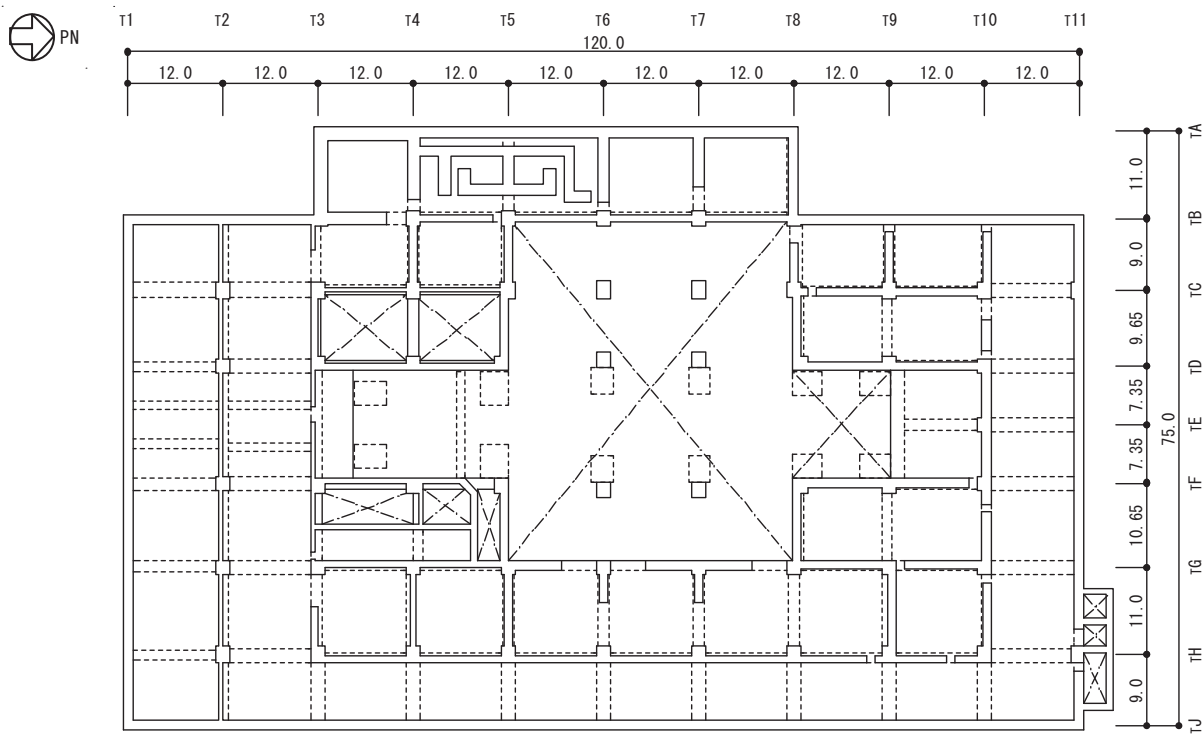
また、タービン建屋は耐震重要度分類によるBクラスに属する施設であり、建屋そのものに動的解析を要求されていないが、建屋の一部に耐震上重要な機器・配管系が設置されていることから、シミュレーション解析を行い、該当部位の健全性を評価することとした。機能維持部位を図-3.3.19 に示す。解析モデルとして全ての耐震壁及び解析上耐震要素として補助壁を取り込み、解析結果を用いて機能維持部位に対しての構造評価を実施する。

※1 建屋寸法は壁外面寸法



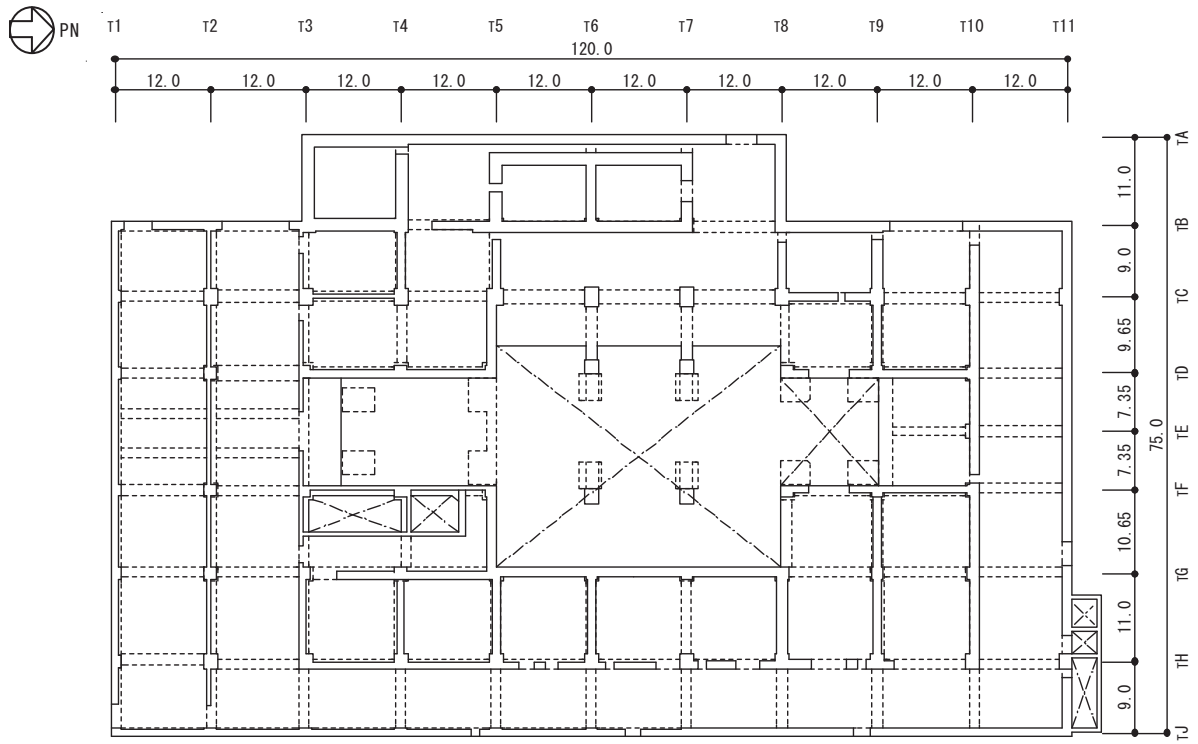
(单位：m)

图-3.3.12 地下2階 (T.M.S.L. 0.5m)



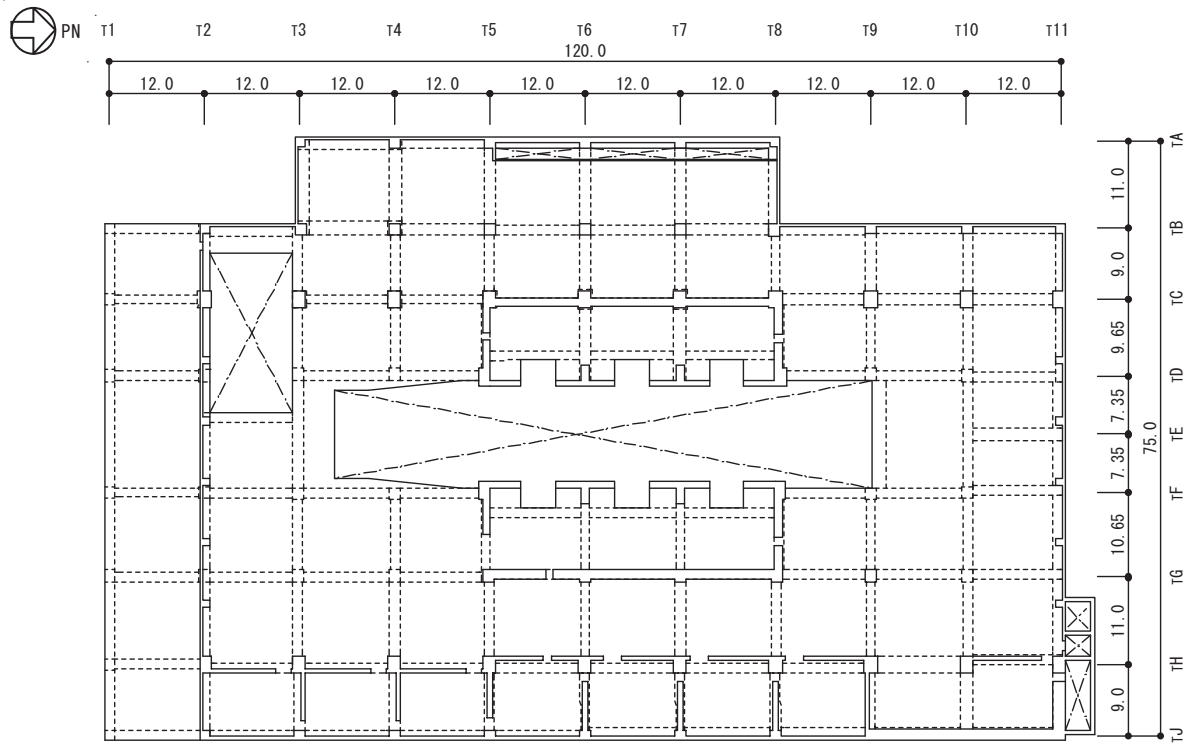
(单位：m)

图-3.3.13 地下1階 (T.M.S.L. 4.9m)



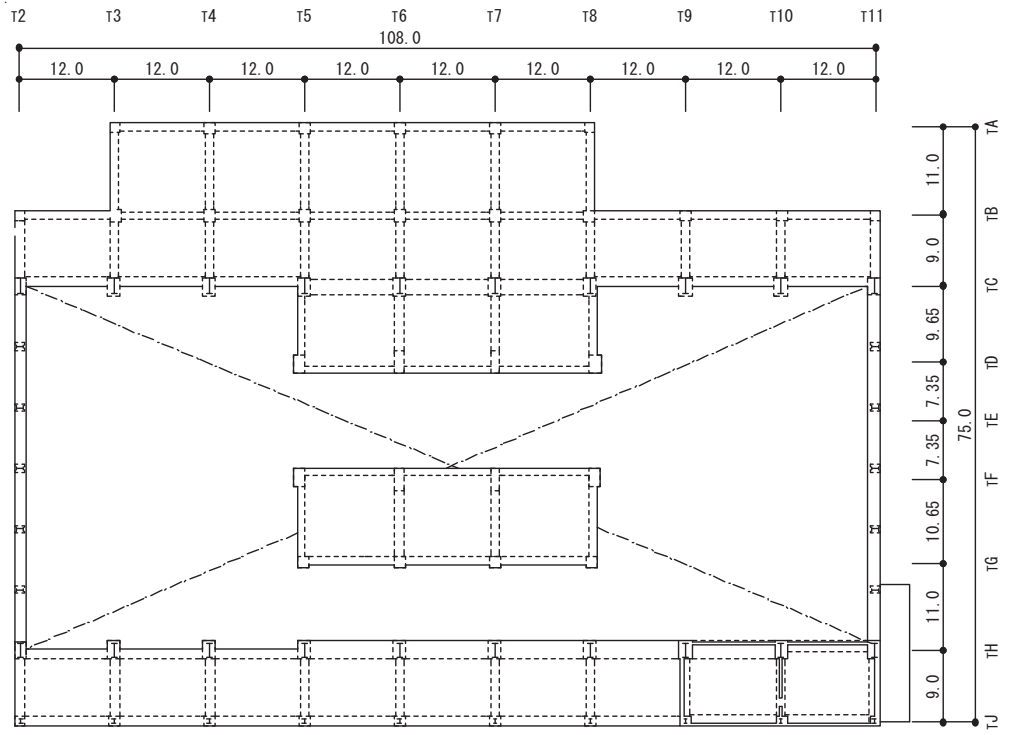
(单位：m)

图-3.3.14 1階 (T.M.S.L. 12.3m)



(单位：m)

图-3.3.15 2階 (T.M.S.L. 22.1m)



(单位：m)

图-3.3.16 3階 (T.M.S.L. 31.6m)

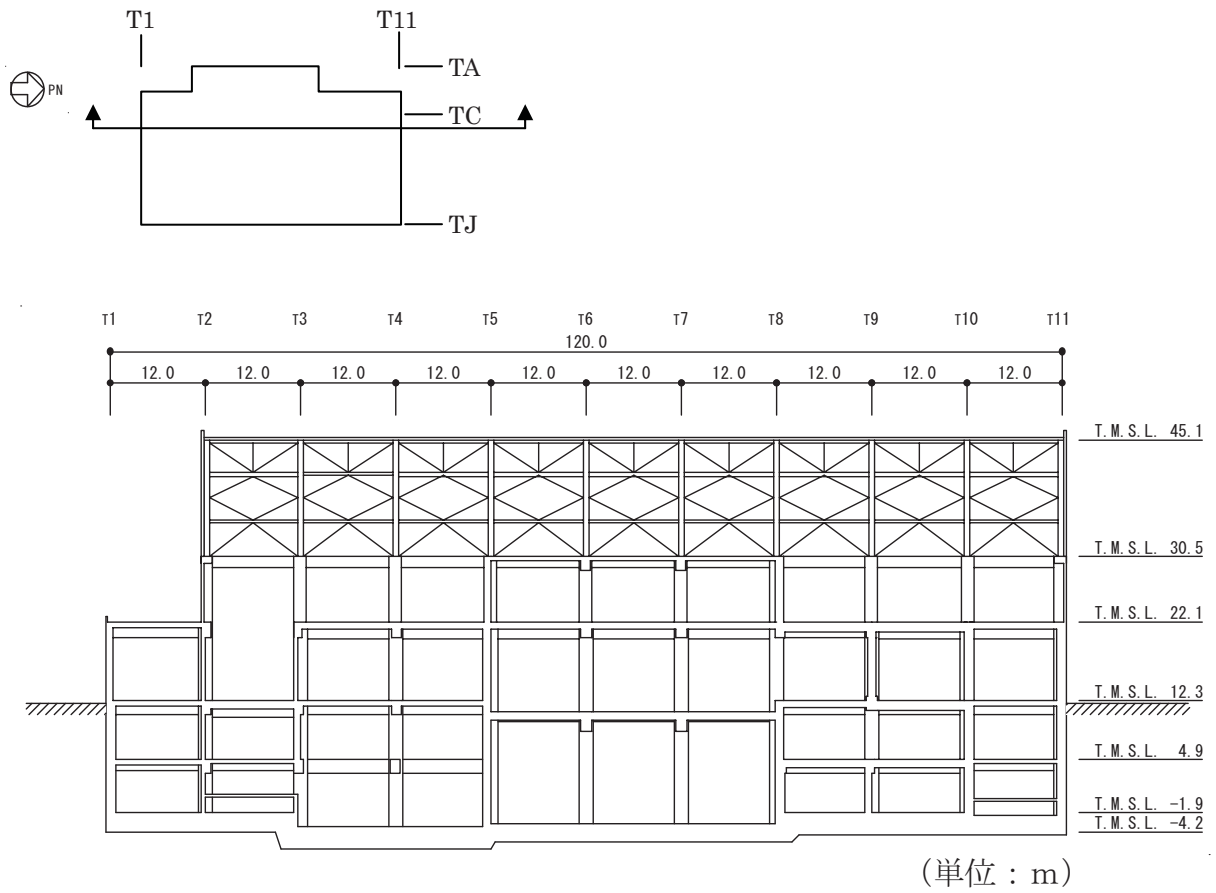


图-3.3.17 南北方向断面图

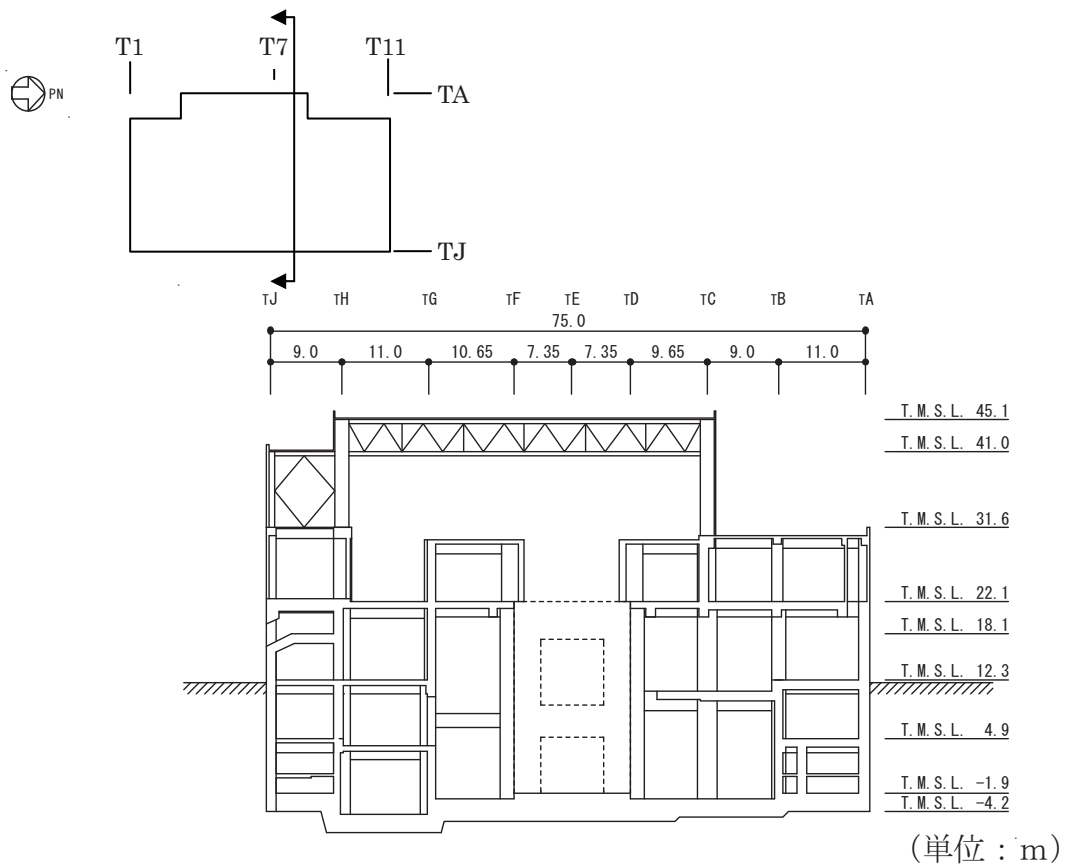
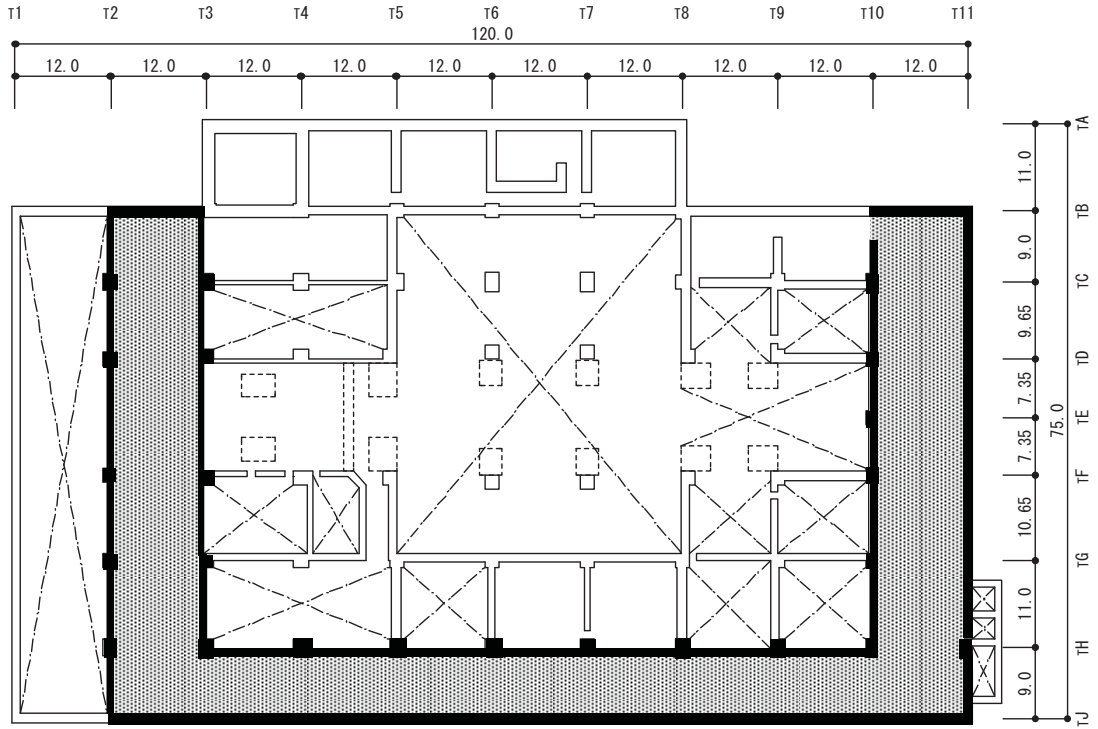


图-3.3.18 东西方向断面图



- 機能維持要求部位の壁 (間接支持機能)
- ▨ 機能維持要求部位の床 (間接支持機能)



地下2階 (T.M.S.L. 0.5m)

図-3.3.19 タービン建屋の機能維持範囲

3.3.3. 海水熱交換器建屋の概要

海水熱交換器建屋は、図-3.3.20～図-3.3.24 に示すように地下2階、地上1階の主要構造が鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）壁付フレーム構造の建物である。

海水熱交換器建屋の高さは、基礎底面から32.2m（地上部13.0m^{※1}、地下部19.2m）、平面は、地下部分で46.5m（南北方向）×46.5m^{※2}（東西方向）の正方形で、地上部分は46.5m（南北方向）×15.85m^{※2}（東西方向）の形状をなしている。

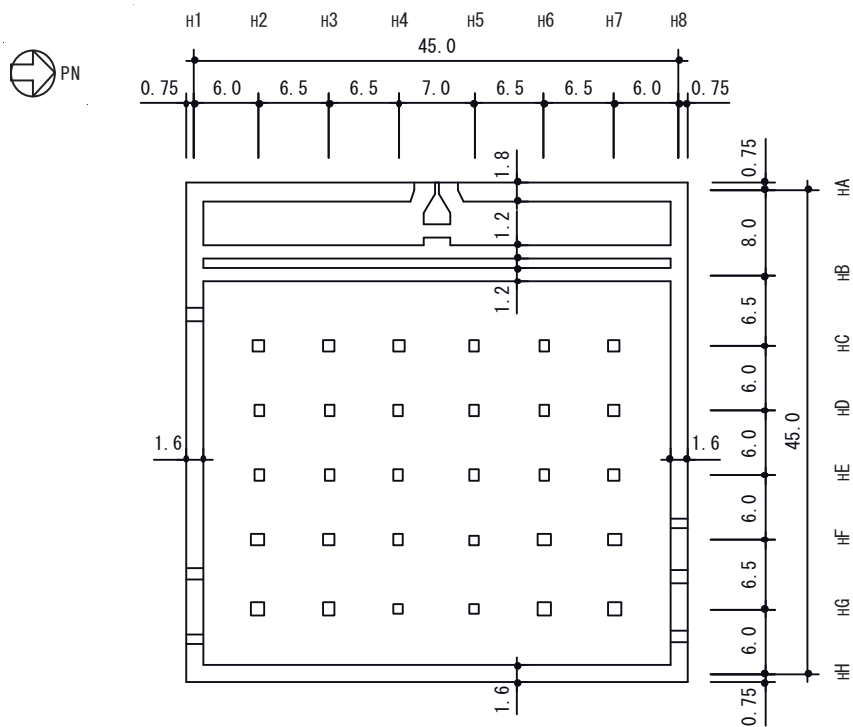
海水熱交換器建屋は、地中深く埋設されているため、地下部分の外壁は土圧・水圧等にも十分耐える構造となっている。なお、基礎は厚さ2.0mのベタ基礎で支持地盤である新第三紀層の泥岩盤上に直接、または人工岩を介して設置されている。

なお、海水熱交換器建屋は、上下階に応力伝達が可能と考えられるような補助壁は存在しないことから設計時と同様の耐震壁のみを耐震要素として考慮している。

また、海水熱交換器建屋の耐震重要度分類はCクラスであり、建屋そのものに動的解析を要求されていないが、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、建屋の耐震性を評価することとした。

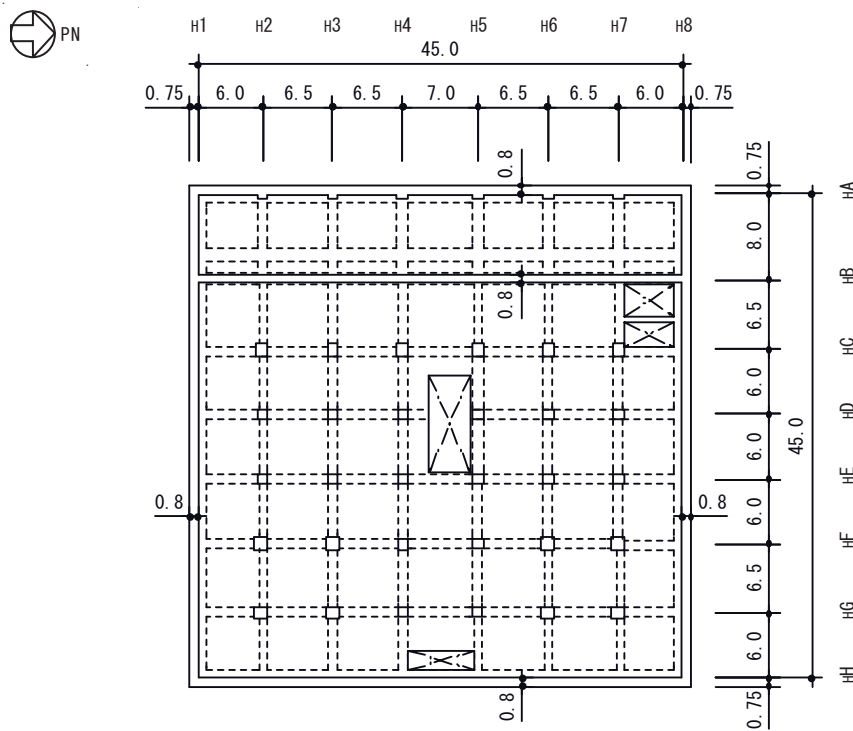
※1 鉄骨はり上端までの高さ

※2 建屋寸法は壁外面寸法



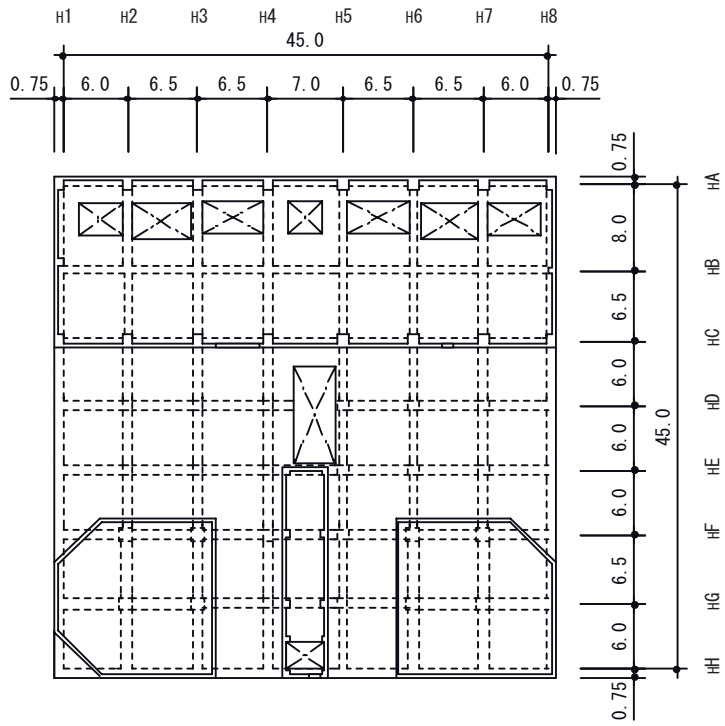
(单位：m)

图-3.3.20 地下2階 (T.M.S.L. -5.2m)



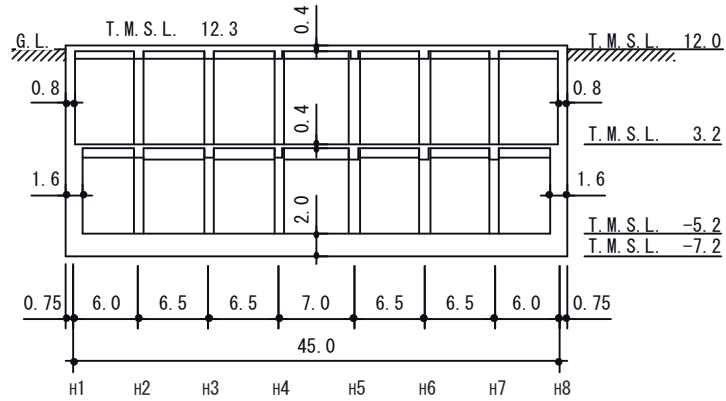
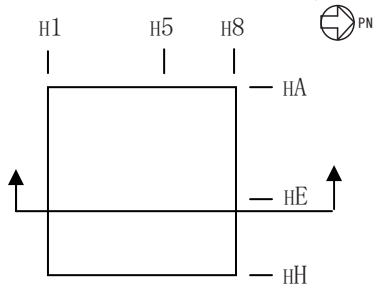
(单位：m)

图-3.3.21 地下1階 (T.M.S.L. 3.2m)



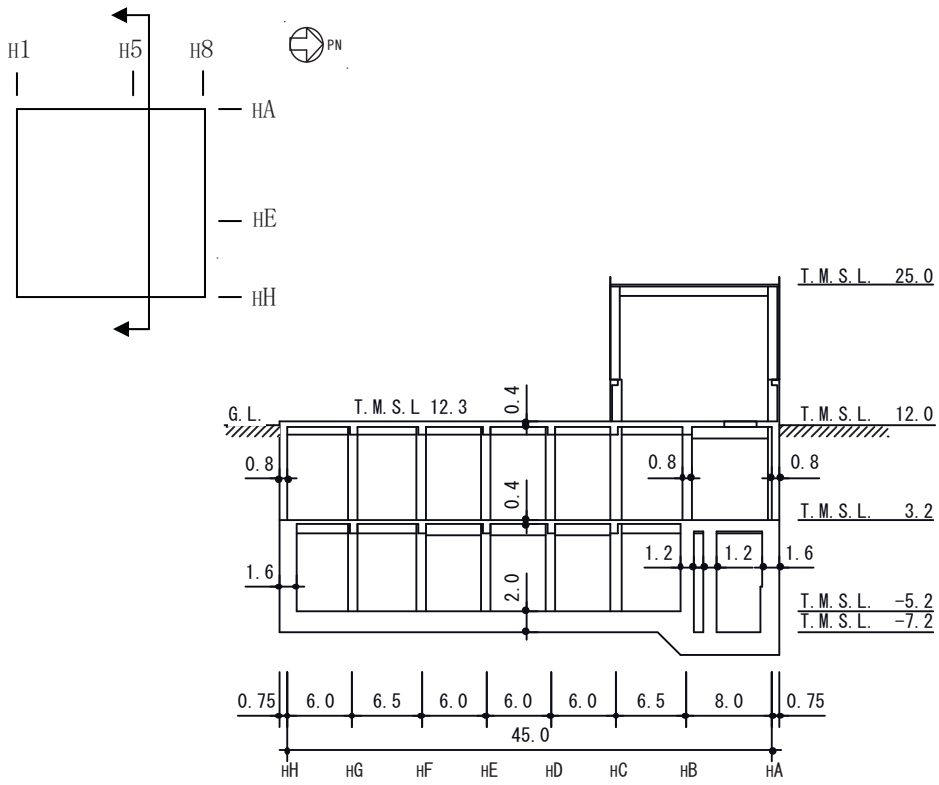
(单位：m)

图-3.3.22 1階 (T.M.S.L. 12.3m)



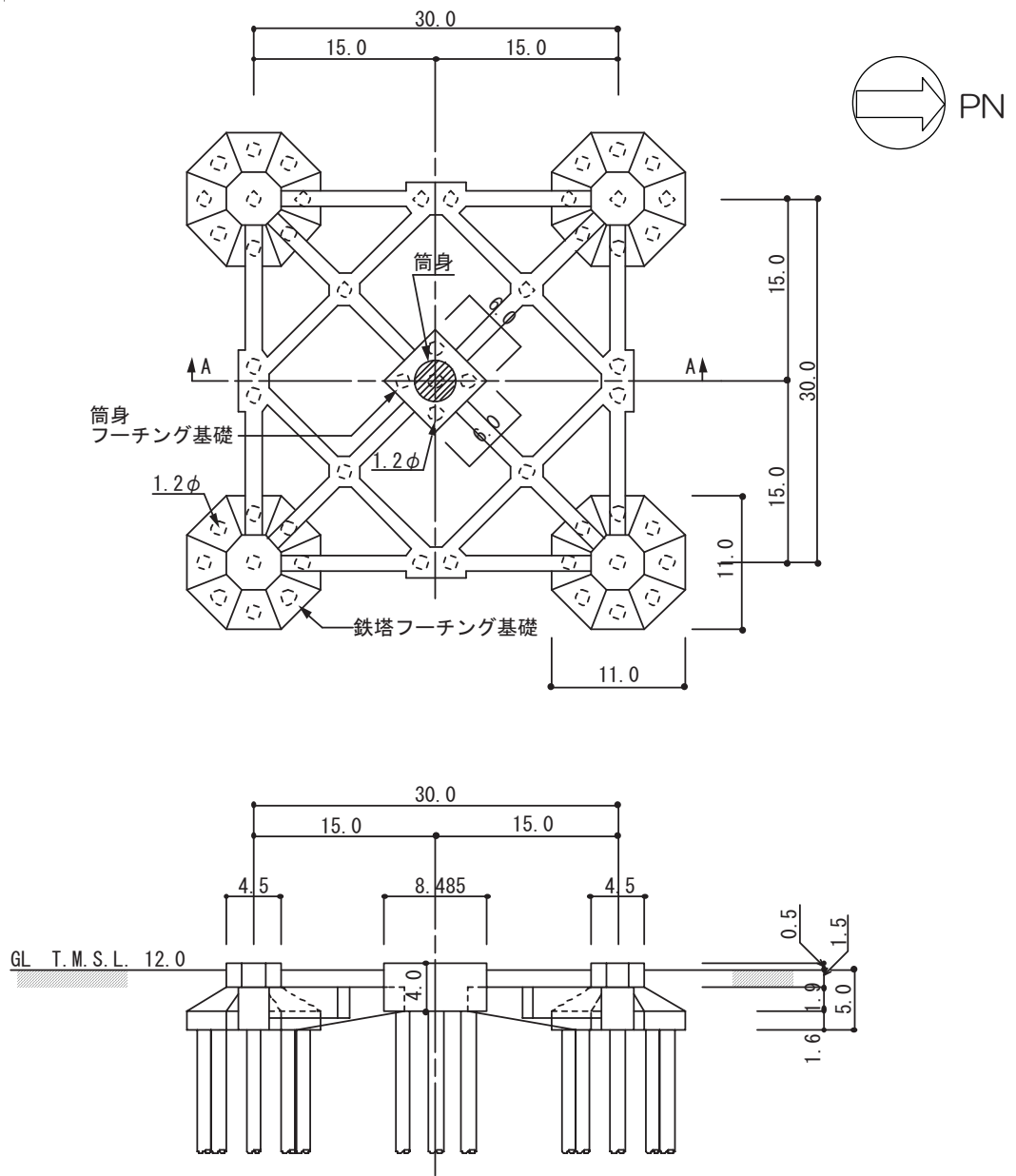
(单位：m)

图-3.3.23 南北方向断面图



(单位：m)

图-3.3.24 东西方向断面图



(単位：m)

図-3.3.26 排気筒基礎の概要図

3.3.5. 屋外重要土木構造物の概要

屋外重要土木構造物の配置図を図-3.3.27 に示す。

安全上の重要度分類クラス1に該当する屋外重要土木構造物として、非常用取水路を、また、耐震上重要な機器の間接支持構造物に該当する屋外重要土木構造物として、原子炉補機冷却系配管ダクトおよび非常用ガス処理系配管ダクトを点検・評価の対象とした。

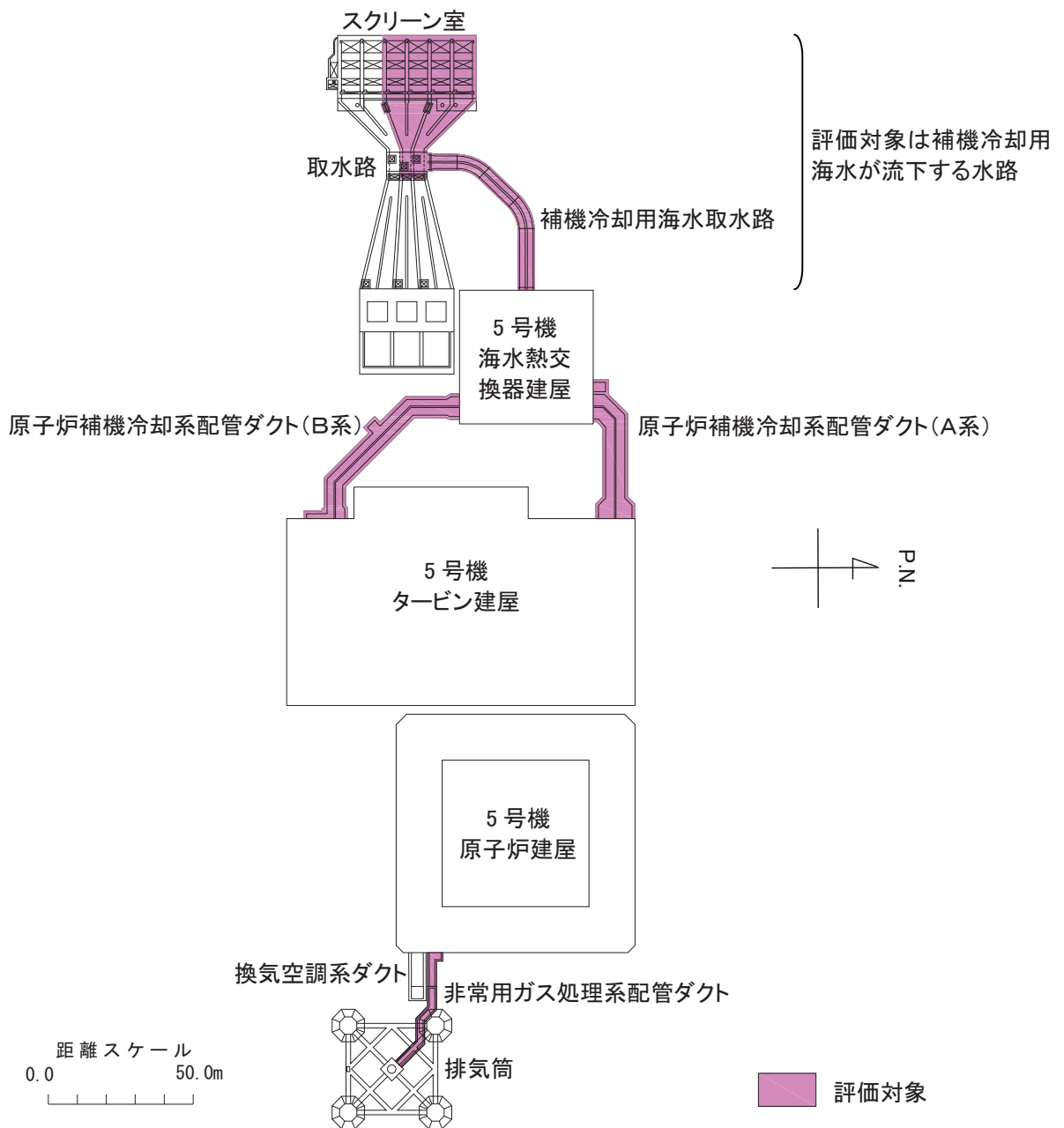


図-3.3.27 屋外重要土木構造物の配置図

3.3.5.1 非常用取水路

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。平面図を図-3.3.28に、断面図を図-3.3.29～図-3.3.31に示す。

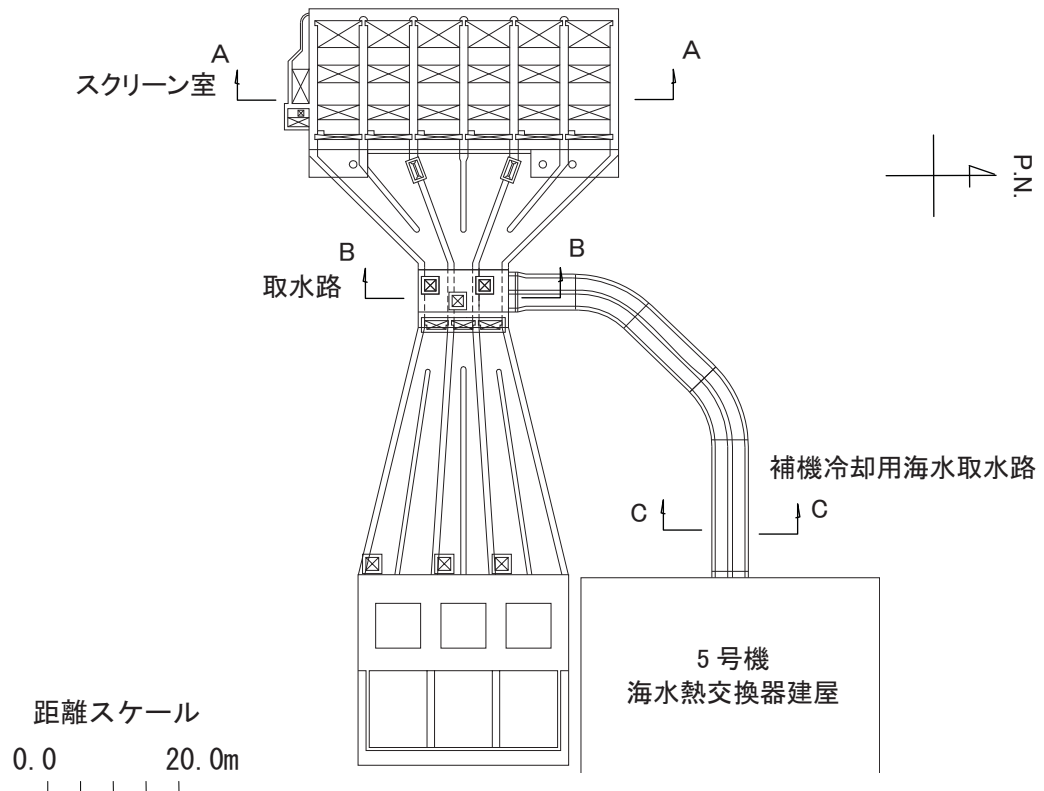


図-3.3.28 非常用取水路平面図

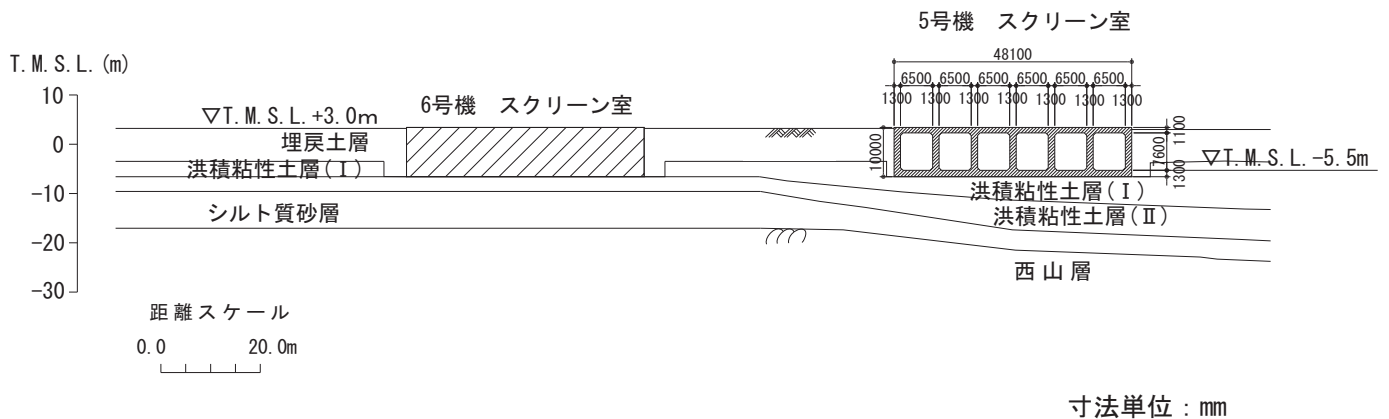


図-3.3.29 スクリーン室断面図 (A-A断面)

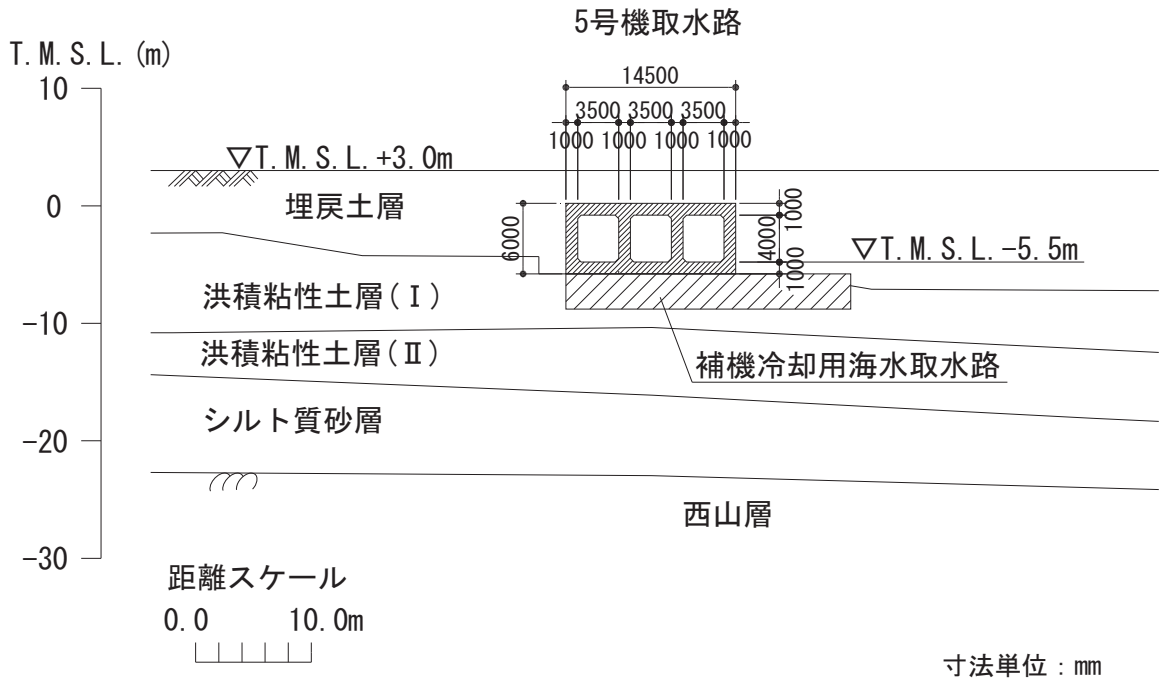


図-3.3.30 取水路断面図 (B-B断面)

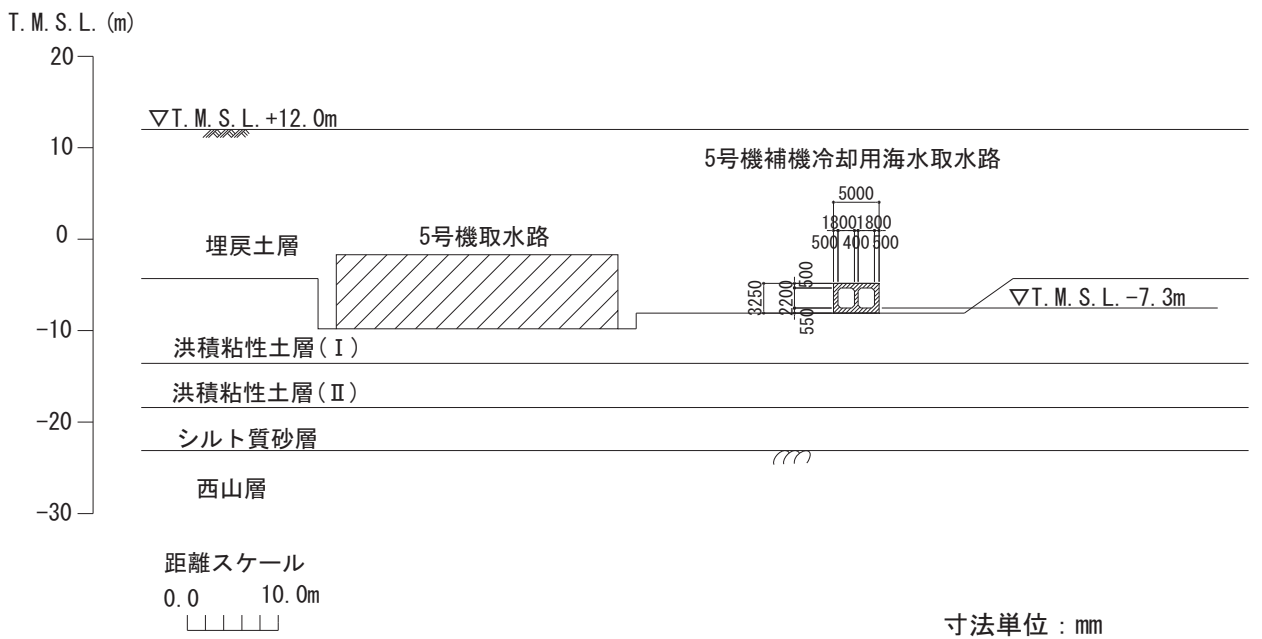


図-3.3.31 補機冷却用海水取水路断面図 (C-C断面)

3.3.5.2 原子炉補機冷却系配管ダクト

原子炉補機冷却系配管ダクトは、タービン建屋と海水熱交換器建屋を連絡している配管等を収容する鉄筋コンクリート構造の地中埋設ダクトであり、A系およびB系からなる。平面図を図-3.3.32に、また、A系およびB系の断面図を図-3.3.33および図-3.3.34に示す。

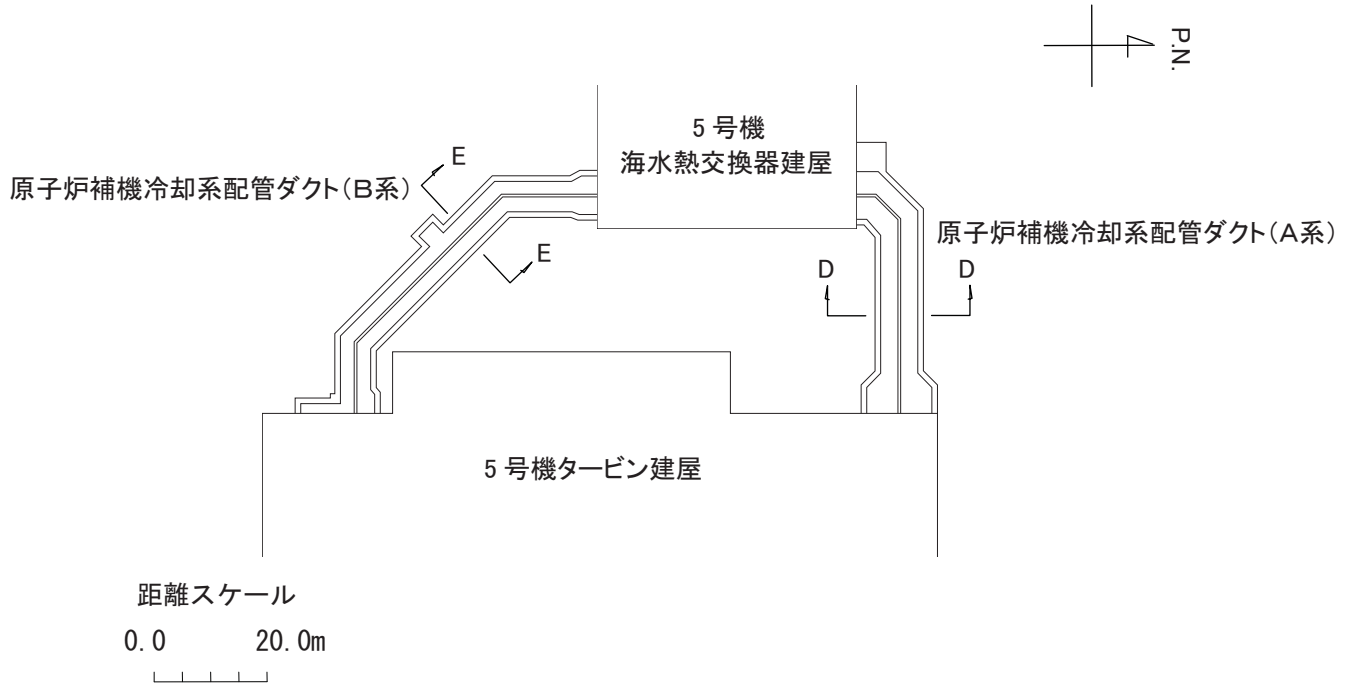


図-3.3.32 原子炉補機冷却系配管ダクト平面図

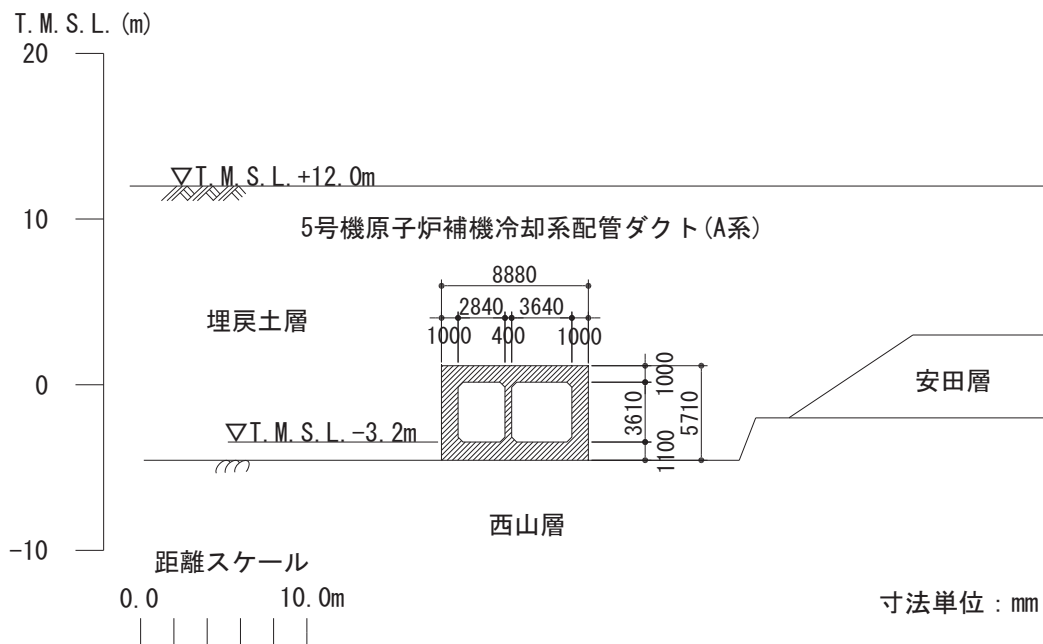


図-3.3.33 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) 断面図 (D-D断面)

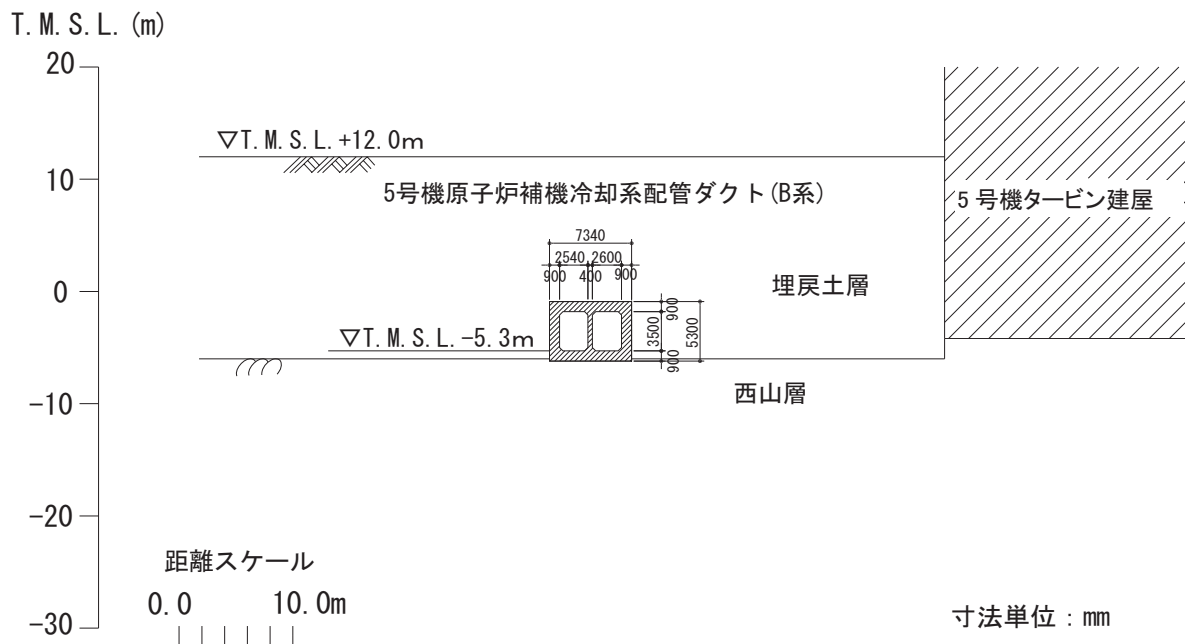


図-3.3.34 原子炉補機冷却系配管ダクト（B系）断面図（E-E断面）

3.3.5.3 非常用ガス処理系配管ダクト

非常用ガス処理系配管ダクトは、原子炉建屋と排気筒を連絡している配管等を収容する鉄筋コンクリート構造のダクトである。平面図を図-3.3.35に、また、断面図を図-3.3.36に示す。

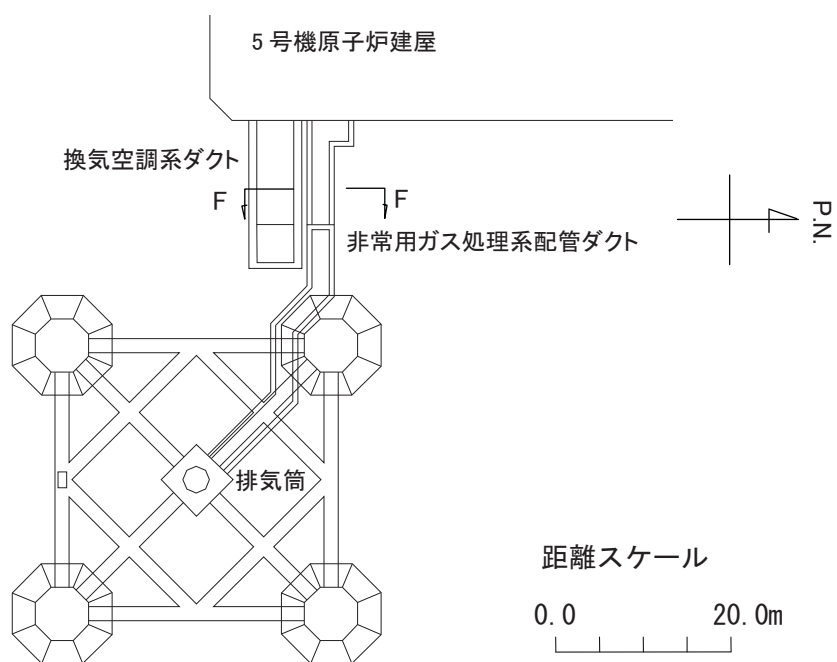


図-3.3.35 非常用ガス処理系配管ダクト平面図

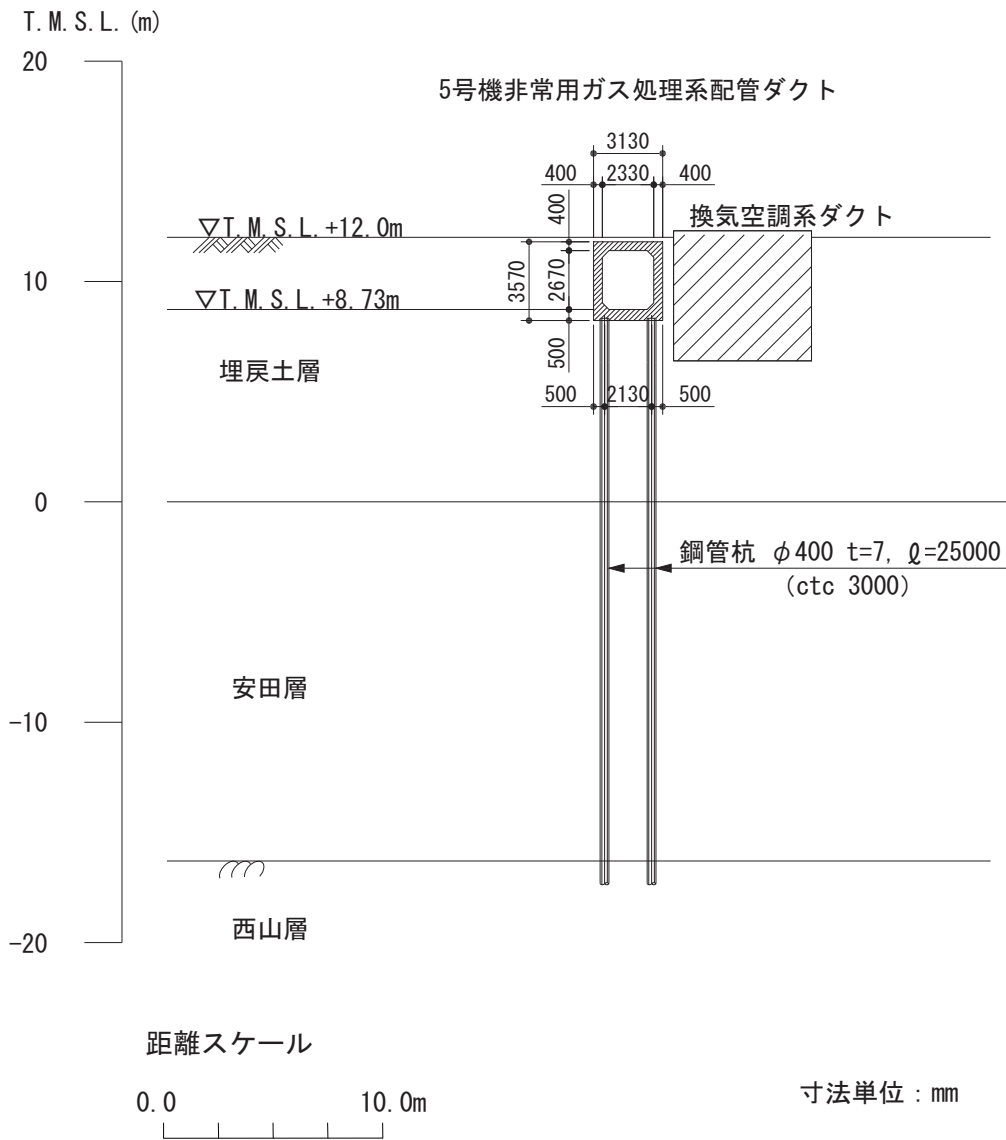


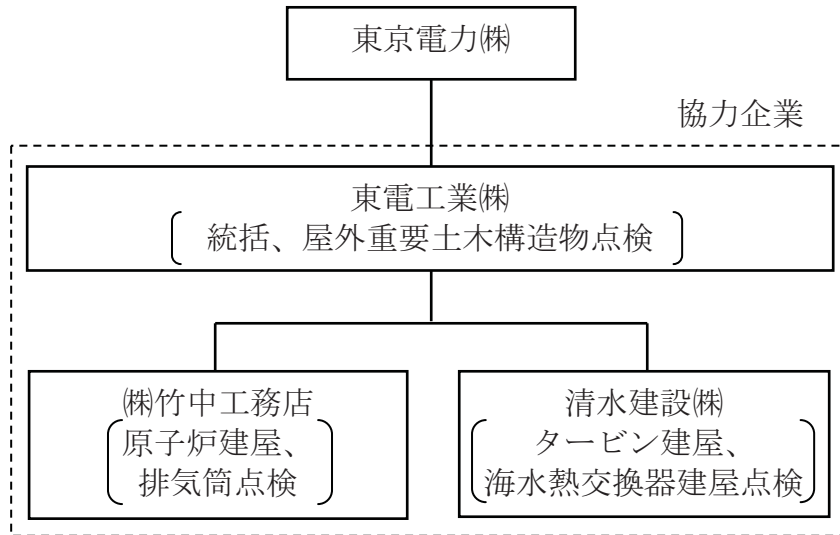
図-3.3.36 非常用ガス処理系配管ダクト断面図 (F-F断面)

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。



	東京電力	協力企業	第三者機関
計画	計画書作成	実施要領書の作成	
	実施要領書の承認		計画書の審査
	計画書への反映	実施要領書への反映	
点検／確認	点検の指示	点検の実施 および報告書の作成	
	報告書の確認 および現場確認※1	追加点検および 補修計画の検討 (異常があった場合)	
			点検結果の妥当性確認 および現場確認※2
	報告書の受領		

※1：現場確認は抜取り確認。

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

図-3.5.1 点検・評価体制および概略業務フロー

4. 点検

4.1. 点検方法の策定

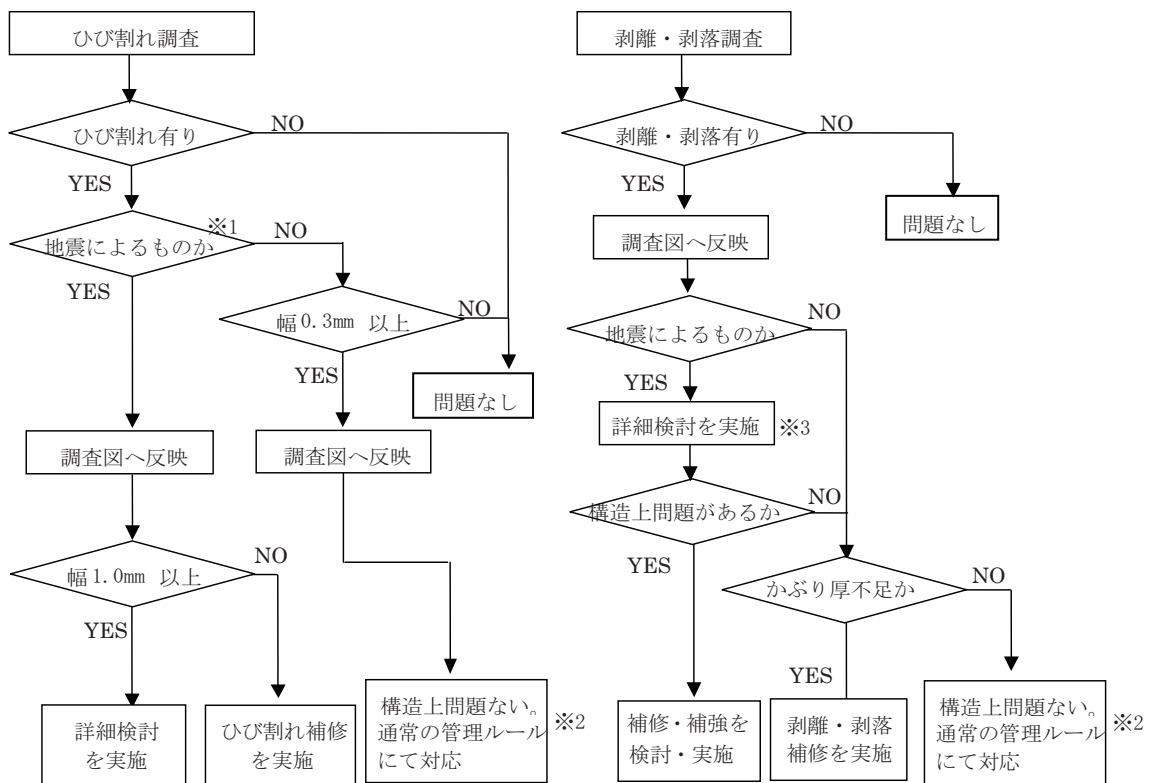
建物・構築物への本地震の影響を把握するにあたり、構造形式に着目した点検を行う必要がある。そこで、要求される性能ごとに、各構造形式への地震の影響を整理し、それに応じた点検を行う。

4.1.1. 耐震性能における点検方法

(1) 鉄筋コンクリート構造（鉄骨鉄筋コンクリート構造を含む）

鉄筋コンクリート構造物への地震の影響については、ひび割れおよび剥離・剥落が想定され、外観の確認が有効であると考えられるため、「日本非破壊検査協会コンクリート構造物の目視試験方法」に準拠し、目視点検を主体とした点検を実施した。原子炉建屋、タービン建屋および海水熱交換器建屋の点検の流れを図-4.1.1 に示す。また、非常用取水路の点検の流れを図-4.1.2 に、原子炉補機冷却系配管ダクトおよび非常用ガス処理系配管ダクトの点検の流れを図-4.1.3 に示す。

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



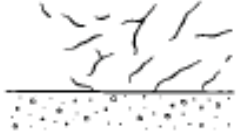
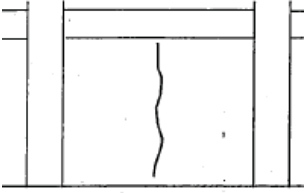
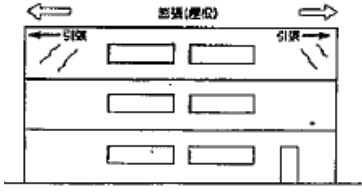
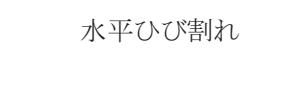
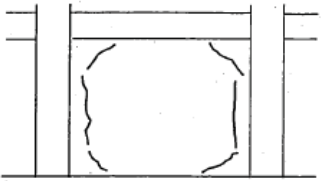
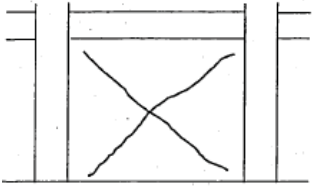
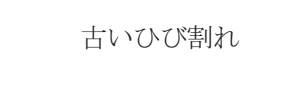
※1 表-4.1.1 により本地震によって発生したことが否定できないひび割れを選定

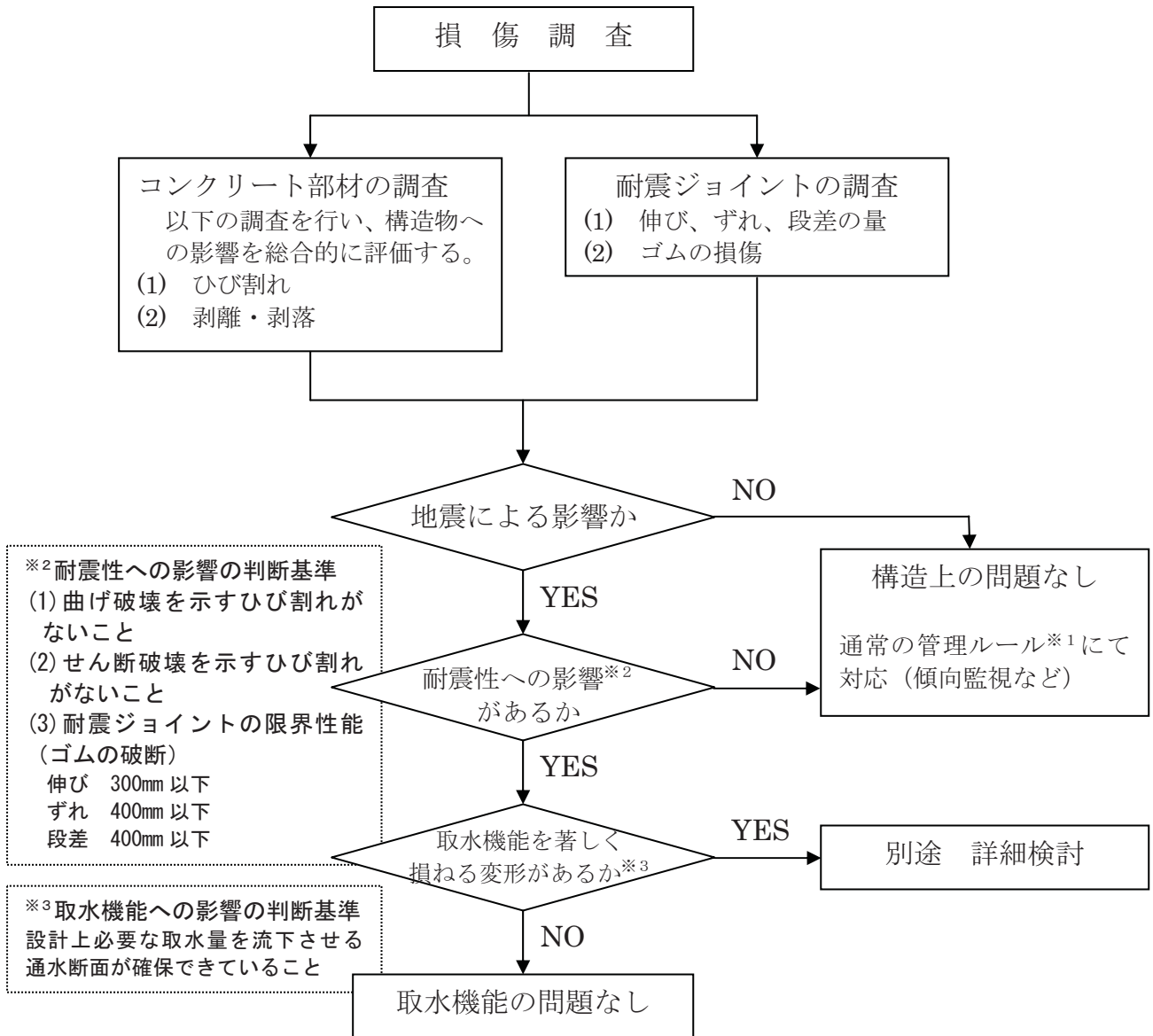
※2 発電所建物ひび管理・補修要領などの社内マニュアル

※3 剥離・剥落箇所の断面検討・詳細調査等

図-4.1.1 鉄筋コンクリート構造（原子炉建屋等）の点検の流れ

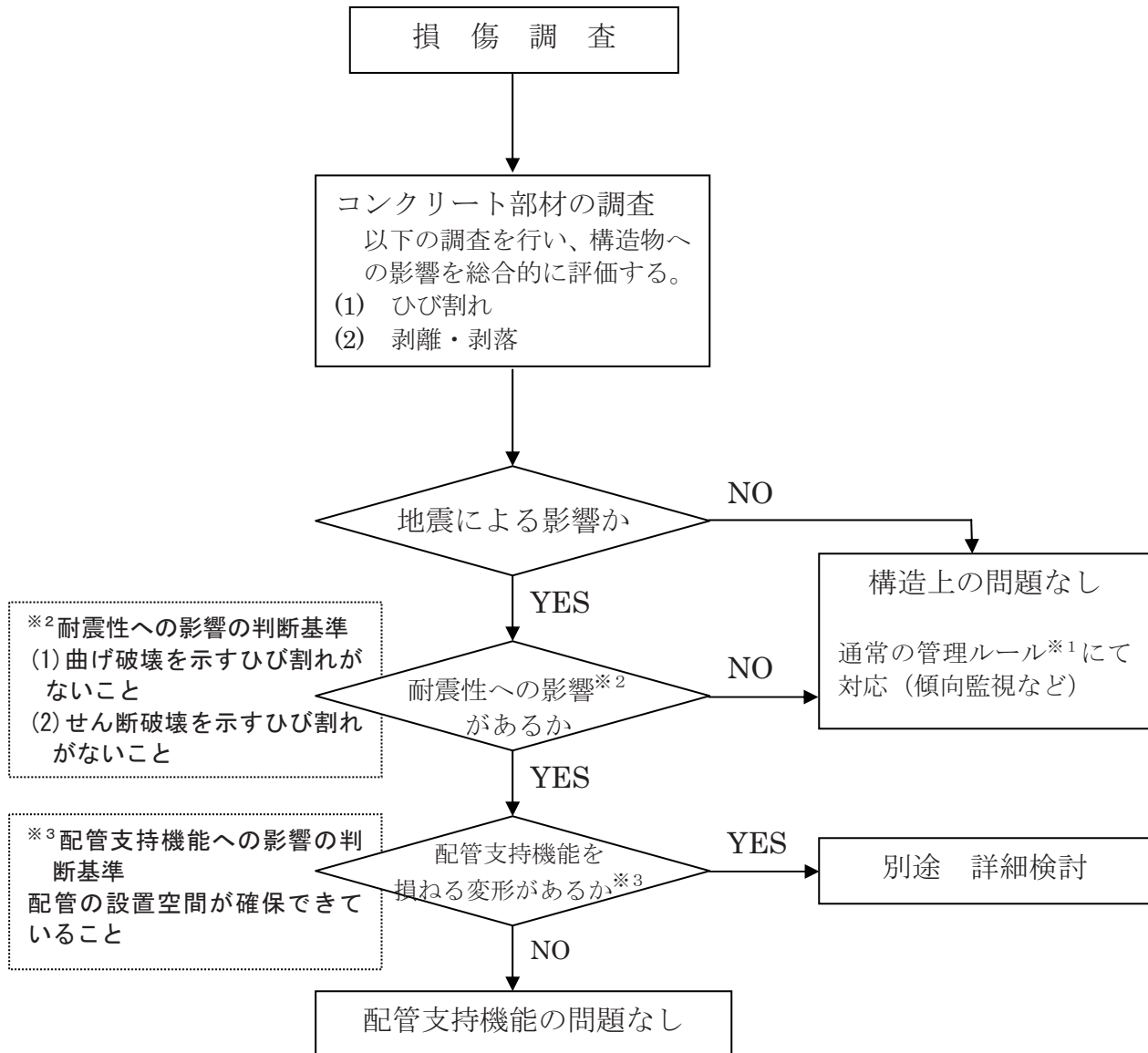
表-4.1.1 ひび割れ種類の分類

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



※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-4.1.2 鉄筋コンクリート構造 (非常用取水路) 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）」

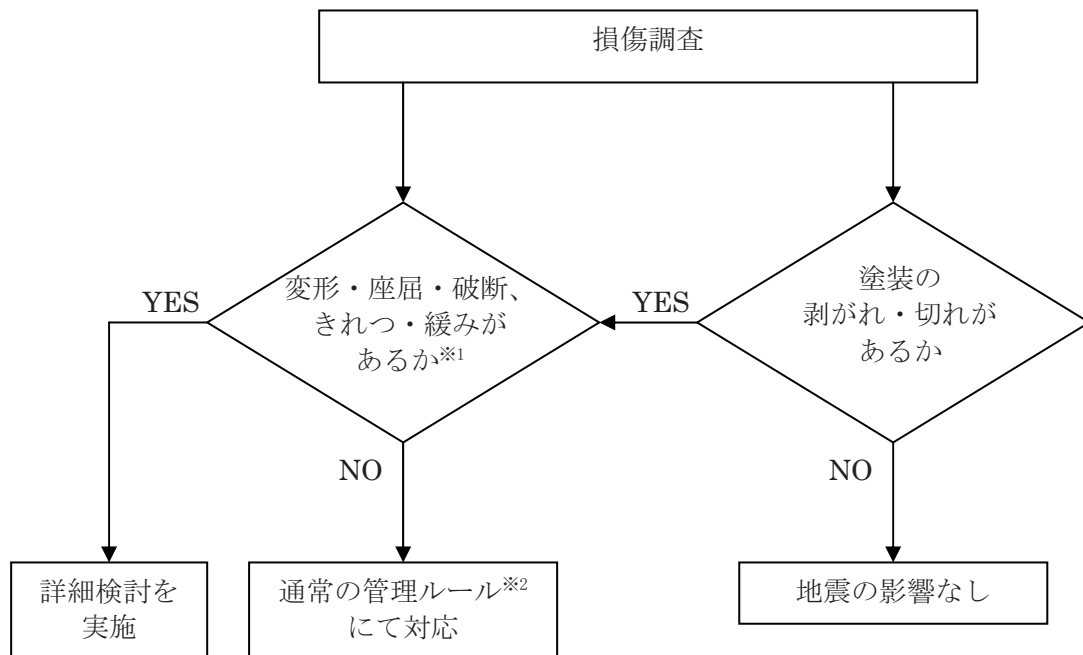
図-4.1.3 鉄筋コンクリート構造（原子炉補機冷却系配管ダクト等）の点検の流れ

(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-4.1.4に示す。

鉄骨構造として、原子炉建屋屋根トラスおよび排気筒（筒身・非常用ガス処理系用排気筒および支持鉄塔）を対象に点検を実施した。

なお、非常用ガス処理系用排気筒については、筒身内部に設置されており、一般的な目視による確認が困難であるため、点検用カメラによる遠隔確認を実施した。



※1 至近の点検記録との比較、鋼材の発錆状況により判断

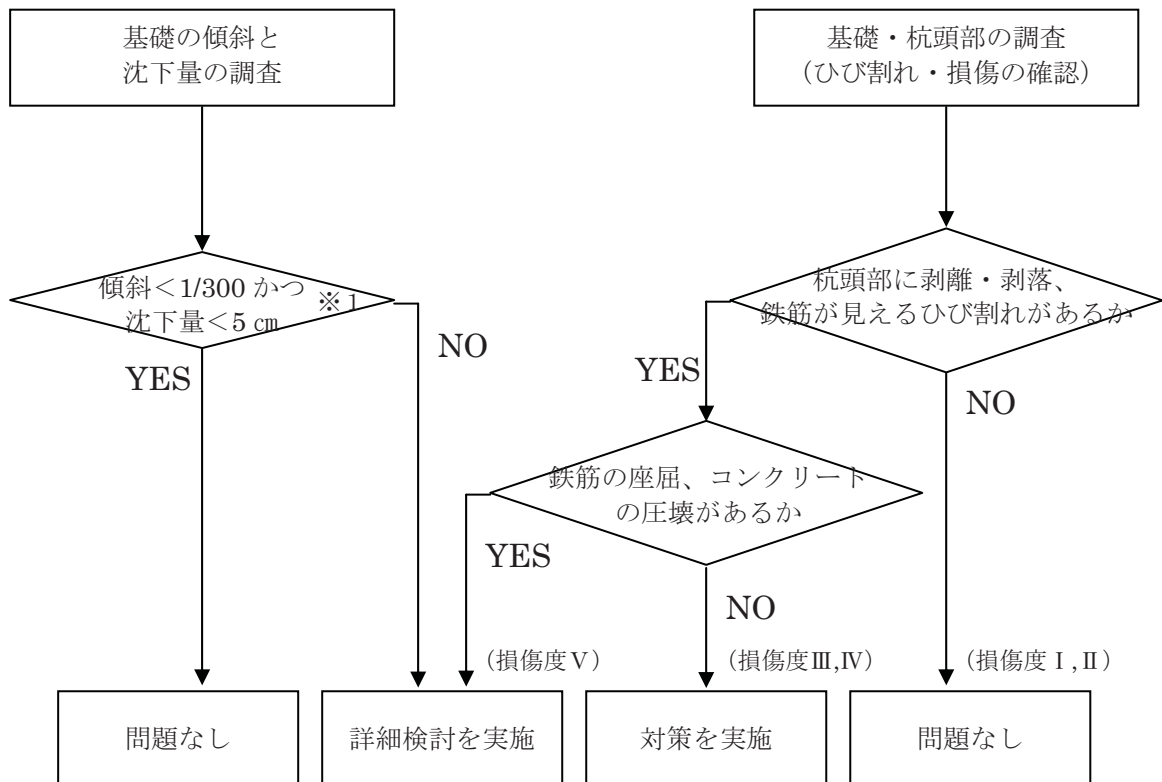
※2 原子力発電所建築設備点検マニュアルなど社内マニュアル

図-4.1.4 鉄骨構造の点検の流れ

(3) 杭基礎構造

排気筒の杭基礎構造については、「兵庫県南部地震における震災建物基礎の被災度調査（日本建築学会技術報告集 第5号，1997年12月）」を参考に傾斜・沈下量の測定を行うとともに杭基礎部の目視点検を実施する。杭頭部の損傷度については、杭の損傷度分類例（図-4.1.6）を参考に設定する。点検の流れを図-4.1.5に示す。

なお、排気筒（杭基礎部）を対象に点検を実施した。



※1「兵庫県南部地震における震災建物基礎の被災度調査」を参考に設定

図-4.1.5 杭基礎構造（排気筒）の点検の流れ

損傷度	I	II	III	IV	V
軸力と曲げによる被害	<p>基礎スラブ 1.5D 以内に 1~3本 0.2mm以下 D</p>	<p>基礎スラブ 1.5D 以内に 1~3本 1mm程度 表面剥離 鉄筋は見えない D</p>	<p>基礎スラブ 1.5D 以内に 3本程度 約10cm または 0.2D 1~2mm程度 局所的な剥離 鉄筋が少し見 えてもよい D</p>	<p>基礎スラブ 表面コンクリ ートの剥落 縦ひび割れ 鉄筋が局部的 に座屈 D</p>	<p>基礎スラブ 軸方向 に縮ん でいる 鉄筋がすべて座屈 鉄筋の破断 D</p>
杭 基 礎	<p>基礎スラブ 1~3D 0.2mm以下 D</p>	<p>基礎スラブ 1~3D 1mm程度 D</p>	<p>基礎スラブ 1~3D コンクリートの剥落 鉄筋は見えない 1~2mm程度 D</p>	<p>基礎スラブ 1~3D コンク リートの剥落 2mm以上 鉄筋が見える 鉄筋は座屈し ていない D</p>	<p>基礎スラブ 軸方向 に縮ん でいる 鉄筋が座屈 鉄筋の破断 D</p>
軸力による被害	<p>基礎スラブ 1D程度 以上 0.2mm以下 D</p>	<p>基礎スラブ 0.5~1D 以下 1mm以下 D</p>	<p>基礎スラブ 0.5~1D 以下 鉄筋がわず かに見える コンクリートの剥落 10cm幅程度 (わずか) 2mm程度 D</p>	<p>基礎スラブ フーチング と離れる 定着鉄筋が 見える コンクリート の剥落 鉄筋の露出 D</p>	<p>基礎スラブ 軸方向 に縮ん でいる 鉄筋が座屈 鉄筋が破断 杭の折れ 曲り D</p>

場所打ちコンクリート杭の損傷度と損傷パターン

(出典：二木幹夫，建築基礎の耐震診断・耐震補強，基礎工，1999.4)

図-4.1.6 杭の損傷度分類

4.1.2. 遮へい性能における点検方法

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

なお、遮へい壁を対象に点検を実施した。

4.1.3. 耐漏えい性能（堰その他の設備）における点検方法

建物・構築物の耐漏えい性能（堰その他の設備）への地震の影響については、鉄筋コンクリート構造と同様の点検を実施した。点検の流れを図-4.1.7に示す。

なお、堰その他の設備を対象に点検を実施した。

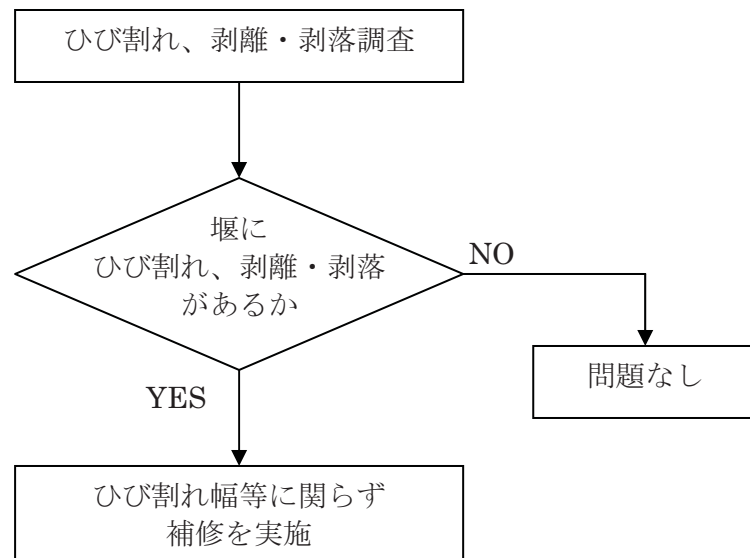


図-4.1.7 耐漏えい性能（堰その他の設備）の点検の流れ

4.2. 力量管理

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

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

4.3. 点検結果

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

4.3.1. 原子炉建屋の点検結果

(1) 耐震性能

a) 耐震壁

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

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

以上のことから、点検の結果、耐震壁には異常が認められないと判断した。

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

b) 屋根トラス

屋根トラスの点検による確認状況を表-4.3.3に示す。

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

以上のことから、点検の結果、屋根トラスには異常が認められないと判断した。

c) その他の構造部位

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

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

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

表-4.3.1 5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)
B4F	R7～8-RF～G	1,800	0.1	2.0	1.0
B3F	R3-RG～H	1,800	0.2	1.5	
	R5～6-RH	1,800	0.1	1.6	
B2F	R4～5-RJ	1,600	0.3	3.0	
	R4～5-RJ	1,600	0.25	3.0	
B1F	R3-RD～E	1,500	0.1	2.4	
	R4～5-RJ	1,500	0.1	2.5	
	R8～9-RJ	1,500	0.3	1.6	
	R9-RC～D	1,500	0.1	2.0	
1F	R1-RG～H	1,400	0.3	2.6	
	R1-RG～H	1,400	0.1	2.5	
	R1-RH～J	1,400	0.2	3.2	
	R1-RH～J	1,400	0.2	2.9	
	R1-RJ～K	1,400	0.2	1.2	
	R1-RJ～K	1,400	0.2	3.1	
	R3～4-RA	1,400	0.15	1.4	
	R3～4-RL	1,400	0.2	1.5	
	R4～5-RL	1,400	0.2	1.9	
	R5～6-RL	1,400	0.1	1.9	
	R6-RL	1,400	0.2	2.2	
	R7～8-RJ	1,300	0.1	1.6	
	R7～8-RJ	1,300	0.1	3.8	
	R9-RG	1,300	0.1	1.6	
	R9-RG～H	1,300	0.2	2.2	
	R9-RG～H	1,300	0.1	1.2	
	R11-RD～E	1,400	0.2	1.9	
	R11-RD～E	1,400	0.15	1.9	
	R11-RD～E	1,400	0.2	1.3	
	R11-RG～H	1,400	0.2	1.5	
2F	R3-RG～H	1,000	0.1	0.7	
	R3-RG～H	1,000	0.2	2.0	
	R9-RG～H	1,000	0.2	3.0	
3F	R2～3-RA	500	0.2	1.9	
	R2～3-RA	500	0.2	3.3	
	R3-RF～G	1,000	0.2	3.0	
	R3-RJ～K	700	0.3	0.8	
	R9-RJ～K	700	0.6	0.5	
	R9-RK～L	700	0.6	0.5	

表-4.3.2 5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)
B4F	R3～4-RG	700	0.1	2.9	1	1.0
B2F	R8～9-RE～F	400	0.25	1.9	1	
3F	R7～8-RE～F	700	0.1	2.4	1	

「各階における最大ひび割れ幅を記載」

表-4.3.3 5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本地震によって発生したことが否定できないひび割れを表-4.3.4に示す。ここでは、各壁厚の遮へい壁における最大ひび割れ幅を整理した。

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

以上のことから、点検の結果、遮へい壁には異常が認められないと判断した。

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

表-4.3.4 5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	R3-RG~H	1,800	0.2	1.5	1.0
B2F	R8~9-RE~F	400	0.25	1.9	
	R4~5-RJ	1,600	0.3	3.0	
B1F	R8~9-RJ	1,500	0.3	1.6	
1F	R6~7-RH~J	600	0.2	2.1	
	R9-RG~H	1,300	0.2	2.2	
	R11-RG~H	1,400	0.2	1.5	
2F	R9-RG~H	1,000	0.2	3.0	
3F	R3~4-RG	300	0.25	2.5	
	R2~3-RA	500	0.2	3.3	
	R9-RJ~K	700	0.6	0.5	
	R9-RK~L	700	0.6	0.5	
	R3-RF~G	1,000	0.2	3.0	

「各壁厚における最大ひび割れ幅を記載」

(3) 耐漏えい性能

a) 堰その他の設備

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

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

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

表-4.3.5 5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
B4F	R1～2-RJ～L	壁	0.1	0.1	1
	R5～6-RB～C	壁	0.1	2.1	2
	R6～7-RB～C	壁	0.1	27.6×2.1 ^{※1}	—
	R7～8-RB～C	壁	0.1	27.6×2.2 ^{※1}	—
	R7～8-RB～C	壁	0.1	2.1	1
	R11-RH～J	壁	0.1	0.2	1
B3F	R2～3-RA～B	床	0.1	0.9	3
	R9～10-RH～J	床	0.1	0.4	2
	R9～10-RH～J	床	0.1	1.5	1
	R9～10-RH～J	壁	0.1	0.2	1
B2F	R1～2-RJ～K	壁	0.1	0.2	1
	R2～3-RH	壁	0.1	1.2×1.1 ^{※1}	—
	R2～3-RH～J	壁	0.1	1.0	2
	R7～8-RB～C	壁	0.3	0.2	2
MB1F	R9～10-RJ～K	壁	0.1	0.2	4
	R9～10-RJ～K	壁	0.1	0.2	3
	R9～10-RJ～K	壁	0.1	2.1×0.2 ^{※1}	—
1F	R9～10-RA～B	壁	0.25	0.2	3
	R9～10-RB～C	壁	0.1	0.2	1

「各箇所における最大ひび割れ幅・長さを記載」

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

4.3.2. 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本地震によって発生したことが否定できないひび割れを表-4.3.6に示す。また、ひび割れ調査図を添付資料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を下回っていることが確認された。

また、地震応答解析に上記耐震壁に加えて考慮した補助壁（設計時には耐震要素として考慮していなかった壁）において、点検により確認された本地震によって発生したことが否定できないひび割れを表-4.3.7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・剥落は生じておらず、ひび割れ幅についても全て評価基準値を下回っていることが確認された。

以上のことから、点検の結果、耐震壁には異常が認められないと判断した。

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

b) その他の構造部位

点検の結果、柱、梁などのその他の構造部位については、本地震によって発生したことが否定できないひび割れ（最大ひび割れ幅 0.3 mm）は確認されたが剥離・剥落は生じておらず、ひび割れ幅についてもすべて評価基準値を下回っていることが確認された。

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

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

表-4.3.6 5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	τ2-τB~C	600	0.3	3.2	1.0
	τ2-τB~C	600	0.2	2.9	
	τ2-τH~J	600	0.2	2.1	
	τ2-τH~J	600	0.4	2.2	
	τ2-τH~J	600	0.1	1.1	
	τ3-τD~E	600	0.1	1.5	
	τ3~4-τJ	1,200	0.3	2.3	
	τ7-τG~H	700	0.1	2.8	
B1F	τ1~2-τB	1,200	0.2	3.0	
	τ2-τC~D	600	0.3	3.8	
	τ3-τE~F	600	0.1	2.1	
	τ3-τE~F	600	0.1	3.0	
	τ4-τA~B	1,600	0.1	1.3	
	τ6-τG~H	1,000	0.1	2.5	
	τ7-τG~H	1,000	0.1	2.3	
	τ7-τG~H	1,000	0.1	2.4	
	τ7-τG~H	1,000	0.1	2.6	
	τ7-τG~H	1,000	0.1	3.6	
	τ10-τB~C	1,000	0.1	2.2	
	τ10-τB~C	1,000	0.1	2.5	
1F	τ2-τE~F	600	0.4	3.3	
	τ2-τE~F	600	0.3	3.0	
	τ2-τF~G	600	0.1	2.1	
	τ2-τF~G	600	0.1	2.3	
	τ3-τB~C	600	0.1	1.2	
	τ3-τB~C	600	0.1	2.3	
	τ3-τB~C	600	0.2	1.7	
	τ3-τB~C	600	0.1	1.6	
	τ3-τB~C	600	0.2	0.9	
	τ3-τD~E	600	0.1	3.0	
	τ3-τD~E	600	0.4	2.8	
	τ3-τD~E	600	0.1	3.2	
	τ3~4-τA	1,700	0.1	5.3	
	τ3~4-τC	600	0.2	2.3	
	τ3~4-τC	600	0.2	4.0	

■ : 機能維持範囲を示す

表-4.3.6 5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)
1F	τ5～6-τH	900	0.3	1.5	1.0
	τ5～6-τH	900	0.2	2.0	
	τ6-τG～H	1,000	0.1	1.7	
	τ6-τG～H	1,000	0.1	2.9	
	τ8～9-τB	1,400	0.3	2.7	
	τ10-τB	1,200	0.2	3.0	
M1F	τ5-τG～H	1,000	0.1	1.8	
2F	τ2-τH～J	400	0.3	3.6	
	τ2-τH～J	400	0.1	1.4	
	τ3-τH～J	600	0.2	3.0	
	τ3-τH～J	600	0.2	2.8	
	τ3-τH～J	600	0.1	1.8	
	τ3-τH～J	600	0.2	3.0	
	τ3-τH～J	600	0.1	0.8	
	τ5～6-τH	500	0.3	5.0	
	τ8-τH～J	800	0.1	3.6	
	τ8-τH～J	800	0.2	1.6	
	τ9-τH～J	600	0.1	2.6	
	τ9-τH～J	600	0.1	1.2	
	τ11-τB～C	400	0.4	3.0	
3F	τ9-τH～J	600	0.1	2.7	
	τ9～10-τH	350	0.1	1.6	
	τ10～11-τH	350	0.1	2.6	
	τ10～11-τH	350	0.4	2.1	
	τ10～11-τH	350	0.2	2.2	
	τ10～11-τH	350	0.2	2.3	
	τ10～11-τH	350	0.1	1.8	
	τ10～11-τH	350	0.2	2.8	
	τ10～11-τH	350	0.2	3.7	
	τ10～11-τH	350	0.1	0.9	
	τ10～11-τH	350	0.1	3.0	
	τ10～11-τH	350	0.3	1.8	
	τ10～11-τH	350	0.3	2.4	
	τ10～11-τH	350	0.2	1.5	

■ : 機能維持範囲を示す

表-4.3.7 5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	T7~8-TG~H	300	0.4	3.6	2	1.0
B1F	T9~10-TB~C	400	0.3	3.2	3	
1F	T7~8-TG~H	400	0.3	5.0	9	

「各階における最大ひび割れ幅を記載」

(2) 耐漏えい性能

a) 堰その他の設備

液体状の放射性物質の漏えい拡大を防止するために設置されている堰において、点検により確認されたひび割れを表-4.3.8に示す。

点検の結果、堰においては、ひび割れの発生（最大ひび割れ幅 0.4 mm）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、堰において今回の点検により確認されたひび割れについては、今後適切な補修を行う計画としている。

表-4.3.8 5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	T2~3-TB	壁	0.1	0.2	2
	T2~3-TB	壁	0.1	0.2	5
	T2~3-TB	床	0.1	1.6	1
	T2~3-TB~C	床	0.1	1.6(0.5) ^{※1}	1
	T2~3-TB~C	床	0.1	1.5	1
	T2~3-TB~J	床	0.1	53.4	1
	T2~3-TC~D	床	0.1	9.0	1
	T2~3-TC~D	床	0.1	1.1	3
	T2~3-TC~D	床	0.1	0.9	1
	T2~3-TC~D	床	0.1	0.6	1
	T2~3-TC~D	床	0.1	1.0	1
	T2~3-TD~E	床	0.1	0.8	1
	T2~3-TD~E	床	0.1	1.1	1
	T2~3-TD~E	床	0.1	1.0	1
	T2~3-TD~E	床	0.1	1.2	1
	T2~3-TD~F	床	0.1	1.3	2
	T2~3-TE	床	0.1	1.5(1.0) ^{※1}	1
	T2~3-TE~F	床	0.1	2.4	1
	T2~3-TE~F	床	0.1	1.3	1
	T2~3-TE~F	床	0.1	2.5(0.7) ^{※1}	1
T2~3-TE~F	床	0.1	0.6	2	
T2~3-TE~F	床	0.1	1.6×0.9 ^{※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-4.3.8 5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	τ2~3-τE~F	床	0.1	0.7	2
	τ2~3-τE~F	床	0.1	1.6	2
	τ2~3-τE~F	床	0.1	1.1	1
	τ2~3-τE~G	床	0.1	1.0	2
	τ2~3-τF~G	床	0.1	1.3	1
	τ2~3-τF~G	床	0.1	1.2	2
	τ2~3-τF~G	床	0.1	0.6	2
	τ2~3-τG~H	床	0.1	0.5(0.2) ^{※1}	1
	τ2~3-τG~H	床	0.1	1.8(1.1) ^{※1}	1
	τ2~3-τG~H	床	0.1	2.1	1
	τ2~3-τG~H	床	0.1	1.8	3
	τ2~3-τG~H	床	0.1	0.6	1
	τ2~3-τG~H	床	0.1	0.4	4
	τ2~3-τG~H	床	0.1	1.1	2
	τ2~3-τH	床	0.1	0.7	1
	τ2~3-τH~J	床	0.1	5.0	1
	τ2~3-τH~J	床	0.1	1.3(0.6) ^{※1}	1
	τ2~3-τH~J	床	0.1	0.5	2
	τ3~4-τB~C	床	0.1	1.2	4
	τ3~4-τB~C	床	0.1	2.2	1
	τ3~4-τB~C	床	0.1	4.3	1
	τ3~4-τD~E	床	0.1	0.6	5
	τ3~4-τD~E	床	0.1	0.7	1
	τ3~4-τD~E	床	0.1	0.9	2
	τ3~4-τD~E	床	0.1	0.4	1
	τ3~4-τD~E	床	0.1	0.5	1
	τ3~4-τD~E	床	0.1	0.6	3
	τ3~4-τE~F	床	0.1	1.5	2
	τ3~4-τE~F	床	0.1	0.3	1
	τ3~4-τE~F	床	0.1	1.2	3
	τ3~4-τE~F	床	0.1	0.6	4
	τ3~4-τE~F	床	0.1	0.5	1
	τ3~4-τF~G	床	0.1	2.5	1
	τ3~4-τF~G	床	0.1	2.1(0.3) ^{※1}	1
τ3~4-τF~G	床	0.1	3.4(1.0) ^{※1}	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-4.3.8 5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	τ3~4-τF~G	床	0.1	2.9(2.0) ^{※1}	1
	τ3~4-τF~G	床	0.1	0.3	2
	τ3~4-τF~G	床	0.1	0.4	1
	τ3~4-τG~H	床	0.1	3.3(2.3) ^{※1}	1
	τ3~4-τG~H	床	0.1	2.4(1.2) ^{※1}	1
	τ3~4-τG~H	床	0.1	5.6(3.7) ^{※1}	1
	τ3~4-τG~H	床	0.1	2.7(2.1) ^{※1}	1
	τ3~4-τG~H	床	0.1	5.3(3.5) ^{※1}	1
	τ3~4-τG~H	床	0.1	3.3	1
	τ3~4-τG~H	床	0.1	3.3	1
	τ3~4-τG~H	床	0.1	1.7	1
	τ3~4-τG~H	床	0.1	1.2	2
	τ3~4-τG~H	床	0.1	1.4	1
	τ3~4-τH~J	床	0.1	3.5(2.6) ^{※1}	1
	τ3~4-τH~J	床	0.1	3.3(1.6) ^{※1}	1
	τ3~4-τH~J	床	0.1	2.3	1
	τ3~4-τH~J	床	0.1	1.1	2
	τ3~4-τH~J	床	0.1	0.8(0.2) ^{※1}	1
	τ3~4-τH~J	床	0.1	2.0(0.3) ^{※1}	1
	τ3~4-τH~J	床	0.1	1.2	1
	τ3~4-τH~J	床	0.1	0.7	1
	τ3~4-τH~J	床	0.1	1.2	1
	τ3~5-τA~B	床	0.1	0.9	2
	τ3~5-τC~D	床	0.1	2.1	6
	τ4~5-τA~B	床	0.1	1.9(0.1) ^{※1}	1
	τ4~5-τA~B	床	0.1	3.0	1
	τ4~5-τB~C	床	0.1	3.3	1
	τ4~5-τB~C	床	0.1	1.3	1
	τ4~5-τD~E	床	0.1	4.6	1
	τ4~5-τE~F	床	0.1	0.3	2
	τ4~5-τE~F	床	0.1	0.8	1
	τ4~5-τE~F	床	0.1	0.5	2
	τ4~5-τE~F	床	0.1	1.4	1
	τ4~5-τF~G	床	0.1	1.9	1
τ4~5-τF~G	床	0.1	0.4	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-4.3.8 5号機 タービン建屋 堰その他の設備のひび割れ状況 (その4)

階	場所	部位	ひび割れ幅 (mm)	長さ (m)	本数
B2F	T4~5-TF~G	床	0.1	0.9	1
	T4~5-TG~H	床	0.1	3.5(1.7) ^{※1}	1
	T4~5-TG~H	床	0.1	5.1(2.5) ^{※1}	1
	T4~5-TG~H	床	0.1	4.5(1.9) ^{※1}	1
	T4~5-TG~H	床	0.1	5.1(4.7) ^{※1}	1
	T4~5-TG~H	床	0.1	1.2	1
	T4~5-TG~H	床	0.1	2.9	1
	T4~5-TG~H	床	0.1	1.7	1
	T4~5-TG~H	床	0.1	1.5(0.7) ^{※1}	1
	T4~5-TG~H	床	0.1	1.1	2
	T4~5-TG~H	床	0.1	1.4	3
	T4~5-TG~H	床	0.1	0.6	2
	T4~5-TG~H	床	0.1	0.7	2
	T4~5-TH~J	床	0.1	2.1(1.7) ^{※1}	1
	T4~5-TH~J	床	0.1	3.6(3.4) ^{※1}	1
	T4~5-TH~J	床	0.1	1.6	1
	T4~5-TH~J	床	0.1	1.0	1
	T4~5-TH~J	床	0.1	1.2	1
	T4~5-TJ	壁	0.1	0.2	4
	T5~6-TA	壁	0.1	0.2	3
	T5~6-TA~B	床	0.1	3.5	1
	T5~6-TA~B	床	0.1	1.6(0.6) ^{※1}	1
	T5~6-TA~B	床	0.1	3.2	2
	T5~6-TA~B	壁	0.2	0.2×0.2 ^{※2}	2
	T5~6-TB~C	床	0.1	1.3	2
	T5~6-TC~D	床	0.1	0.9	3
	T5~6-TD~E	床	0.1	1.0	2
	T5~6-TE~F	床	0.1	2.0	2
	T5~6-TE~F	床	0.1	0.5	1
	T5~6-TE~F	床	0.1	1.5	2
	T5~6-TF~G	床	0.1	1.2	1
	T5~6-TF~G	床	0.1	2.4	1
	T5~6-TF~G	床	0.1	0.3	1
T5~6-TF~G	床	0.1	1.6	2	
T5~6-TF~G	床	0.1	0.4	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-4.3.8 5号機 タービン建屋 堰その他の設備のひび割れ状況（その5）

階	場所	部位	ひび割れ幅 (mm)	長さ (m)	本数
B2F	T5~6-TF~G	床	0.1	0.3	1
	T5~6-TG~H	壁	0.1	1.0	16
	T5~6-TG~H	床	0.1	11.6	7
	T5~6-TG~H	床	0.1	2.0	5
	T5~6-TH~J	床	0.1	6.7	1
	T5~6-TH~J	床	0.1	1.4	4
	T5~6-TJ	壁	0.1	0.2	9
	T5~7-TD~E	床	0.1	0.7	2
	T6~7-TA~B	床	0.1	1.0	2
	T6~7-TA~B	床	0.1	0.5	1
	T6~7-TA~B	床	0.1	3.0(1.9) ^{※1}	1
	T6~7-TB~C	床	0.2	4.2(3.4) ^{※1}	1
	T6~7-TB~C	床	0.2	2.7(0.8) ^{※1}	1
	T6~7-TB~C	床	0.1	3.8	1
	T6~7-TB~C	床	0.1	0.5	2
	T6~7-TB~C	床	0.1	1.8	3
	T6~7-TC~D	床	0.1	1.1	2
	T6~7-TD~E	床	0.1	2.8	1
	T6~7-TE~F	床	0.1	1.9	2
	T6~7-TE~F	床	0.1	0.4	1
	T6~7-TF~G	床	0.1	0.5	1
	T6~7-TF~G	床	0.1	0.6	1
	T6~7-TF~G	床	0.1	1.0	2
	T6~7-TG~H	床	0.1	2.0	2
	T6~7-TG~H	床	0.1	1.4(1.0) ^{※1}	1
	T6~7-TG~H	床	0.1	3.8	1
	T6~7-TG~H	床	0.2	5.0	4
	T6~7-TH~J	床	0.1	0.5	2
	T6~7-TH~J	床	0.1	3.7	1
	T6~8-TF~G	床	0.1	5.0	1
	T6~8-TJ	壁	0.1	0.2	1
	T7~8-TA~B	床	0.1	1.3	2
	T7~8-TA~B	床	0.1	0.6	1
	T7~8-TA~B	床	0.1	0.4	1
T7~8-TB~C	床	0.1	1.3	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-4.3.8 5号機 タービン建屋 堰その他の設備のひび割れ状況（その6）

階	場所	部位	ひび割れ幅 (mm)	長さ (m)	本数
B2F	τ7～8-τB～C	床	0.1	3.5	1
	τ7～8-τB～C	床	0.1	1.9	1
	τ7～8-τB～D	床	0.1	2.2	2
	τ7～8-τC	床	0.1	1.4(0.9) ^{※1}	1
	τ7～8-τC～D	床	0.1	0.4	2
	τ7～8-τD～E	床	0.1	1.0	2
	τ7～8-τF～G	床	0.1	1.3	1
	τ7～8-τF～G	床	0.1	1.4	1
	τ7～8-τF～G	床	0.1	3.0	1
	τ7～8-τF～G	床	0.1	1.0	2
	τ7～8-τF～G	床	0.1	0.5	2
	τ7～8-τF～G	床	0.1	0.3	1
	τ7～8-τG～H	床	0.1	0.4	2
	τ7～8-τG～H	床	0.1	0.5	2
	τ7～8-τG～H	床	0.1	1.2	1
	τ7～8-τG～H	床	0.1	2.0	1
	τ7～8-τG～H	床	0.1	2.1	1
	τ7～8-τG～H	床	0.2	1.1	2
	τ7～8-τG～H	床	0.4	2.3	1
	τ7～8-τH～J	床	0.1	2.5	2
	τ7～8-τH～J	床	0.1	3.1	1
	τ7～8-τH～J	床	0.1	3.6	1
	τ7～8-τH～J	床	0.1	2.8	1
	τ8～9-τC～D	床	0.1	1.4	2
	τ8～9-τC～D	床	0.1	3.0	1
	τ8～9-τC～D	床	0.1	1.0	1
	τ8～9-τC～E	床	0.1	1.3	2
	τ8～9-τD～E	床	0.1	0.6	2
	τ8～9-τD～E	床	0.1	2.2	1
	τ8～9-τD～E	床	0.1	0.8	1
	τ8～9-τD～E	床	0.1	3.3	2
	τ8～9-τD～E	床	0.1	0.7	1
	τ8～9-τE～F	床	0.1	1.1	3
	τ8～9-τE～F	床	0.1	0.7	2
τ8～9-τE～G	床	0.1	3.0	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-4.3.8 5号機 タービン建屋 堰その他の設備のひび割れ状況（その7）

階	場所	部位	ひび割れ幅 (mm)	長さ (m)	本数
B2F	T8~9-TF~G	床	0.1	4.8	1
	T8~9-TF~G	床	0.1	0.9	2
	T8~9-TF~G	床	0.1	0.8	4
	T8~9-TG~H	床	0.1	3.3	5
	T8~9-TG~H	床	0.1	0.7	2
	T8~9-TH~J	床	0.1	2.0(0.6) ^{※1}	1
	T8~9-TJ	壁	0.1	0.2	3
	T8~10-TB	壁	0.1	0.2	11
	T8~10-TJ	壁	0.1	0.2	8
	T9~10-TB~C	床	0.1	0.7	1
	T9~10-TC~D	床	0.1	1.6	1
	T9~10-TC~D	床	0.1	1.3	6
	T9~10-TC~D	床	0.1	2.4(1.6) ^{※1}	1
	T9~10-TD~E	床	0.1	0.5	4
	T9~10-TD~E	床	0.1	3.5	1
	T9~10-TD~E	床	0.1	2.6	1
	T9~10-TD~E	床	0.1	0.9	6
	T9~10-TD~E	床	0.1	0.9	4
	T9~10-TD~E	床	0.1	0.8	4
	T9~10-TD~E	床	0.1	0.8	5
	T9~10-TD~F	床	0.1	2.0	5
	T9~10-TE~F	床	0.1	1.4	3
	T9~10-TE~F	床	0.1	3.2	1
	T9~10-TE~F	床	0.1	0.7	1
	T9~10-TE~F	床	0.1	3.6	1
	T9~10-TE~F	床	0.1	1.0	2
	T9~10-TE~F	床	0.1	1.0	4
	T9~10-TE~F	床	0.1	0.5	2
	T9~10-TF~G	床	0.1	0.7(0.6) ^{※1}	1
	T9~10-TF~G	床	0.1	3.6	1
	T9~10-TF~G	床	0.1	3.2(1.3) ^{※1}	1
	T9~10-TF~G	床	0.1	3.1	8
	T9~10-TF~G	床	0.1	0.4(0.2) ^{※1}	1
	T9~10-TF~G	床	0.1	0.3	3
T9~10-TG~H	床	0.1	2.2	5	

「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-4.3.8 5号機 タービン建屋 堰その他の設備のひび割れ状況（その8）

階	場所	部位	ひび割れ幅 (mm)	長さ (m)	本数
B2F	τ9～10-τG～H	床	0.1	0.4	1
	τ9～10-τG～H	床	0.1	0.8	1
	τ9～10-τH～J	床	0.1	2.1	1
	τ9～10-τH～J	床	0.1	0.6	2
	τ9～10-τJ	壁	0.1	0.2	14
	τ10～11-τB	壁	0.1	0.2	2
	τ10～11-τB	壁	0.1	1.7×0.2 ^{※2}	-
	τ10～11-τB	壁	0.1	0.2	1
	τ10～11-τB～C	床	0.1	1.5	1
	τ10～11-τB～C	床	0.1	0.4	4
	τ10～11-τC～D	床	0.1	1.5	3
	τ10～11-τC～D	床	0.1	4.8(2.7) ^{※1}	1
	τ10～11-τC～D	床	0.1	1.0	1
	τ10～11-τC～D	床	0.1	2.3×3.4 ^{※2}	-
	τ10～11-τD～E	床	0.1	3.2(1.2) ^{※1}	3
	τ10～11-τD～E	床	0.1	3.8	1
	τ10～11-τF	床	0.1	0.9	1
	τ10～11-τF～G	床	0.1	3.7	1
	τ10～11-τF～G	床	0.1	1.4	1
	τ10～11-τF～G	床	0.1	1.8	3
	τ10～11-τF～G	床	0.1	1.4	2
	τ10～11-τF～G	床	0.1	0.7	1
	τ10～11-τG～H	床	0.1	2.8	1
	τ10～11-τG～H	床	0.1	1.5	1
	τ10～11-τG～H	床	0.1	2.0	3
	τ10～11-τG～H	床	0.1	1.8	2
	τ10～11-τG～H	床	0.1	4.3	2
	τ10～11-τG～H	床	0.1	0.9	1
	τ10～11-τH～J	床	0.1	1.8	1
	τ10～11-τH～J	床	0.1	2.1	2
	τ10～11-τH～J	床	0.1	0.4	2
	τ10～11-τH～J	床	0.1	1.0	3

「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. 海水熱交換器建屋の点検結果

(1) 耐震性能

a) 耐震壁

耐震壁において、点検により確認された本地震によって発生したことが否定できないひび割れを表-4.3.9に示す。また、ひび割れ調査図を添付資料3に示す。点検の結果、耐震壁においては、ひび割れの発生は確認されたが剥離・剥落は生じておらず、ひび割れ幅についても全て評価基準値を下回っていることが確認された。

以上のことから、点検の結果、耐震壁には異常が認められないと判断した。

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

b) その他の構造部位

点検の結果、柱、梁などのその他の構造部位については、本地震によって発生したことが否定できないひび割れの発生（最大ひび割れ幅 0.3 mm）は確認されたが剥離・剥落は生じておらず、ひび割れ幅についてもすべて評価基準値を下回っていることが確認された。

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

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

表-4.3.9 5号機 海水熱交換器建屋 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)
B2F	H7~8-HH	1,600	0.2	2.7	1.0
B1F	H1-HG~H	800	0.3	2.3	
	H1~2-HB	800	0.1	1.0	

4.3.4. 排気筒の点検結果

(1) 耐震性能

a) 排気筒（筒身・非常用ガス処理系用排気筒および支持鉄塔）

排気筒（筒身・非常用ガス処理系用排気筒および支持鉄塔）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・非常用ガス処理系用排気筒および支持鉄塔）においては、一部の部材のボルト接合部に塗装の切れ・剥がれが生じており、詳細点検（打診試験）により接合部のボルトの緩みが一部確認された。異常が確認されたボルト接合部の点検結果を添付資料 4 に示す。

一部の部材に異常が確認されたものの、その他の部材には異常が確認されなかった。なお、今回の点検により異常が確認されたボルト接合部については、部材の取替えを実施しており、健全性に与える影響は無いと評価した。

b) 排気筒の杭基礎

排気筒の杭基礎の点検による傾斜および沈下量の確認状況を表-4.3.11 に示す。また、杭頭部において、点検により確認された本地震によって発生したことが否定できないひび割れを表-4.3.12 に、ひび割れ調査図を添付資料 5 に示す。

点検の結果、傾斜および沈下量は評価基準値を下回っていることが確認された。

また、排気筒の杭頭部においては、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。

以上のことから、排気筒の杭基礎には異常が認められないと判断した。

表-4.3.10 5号機 排気筒 の確認状況

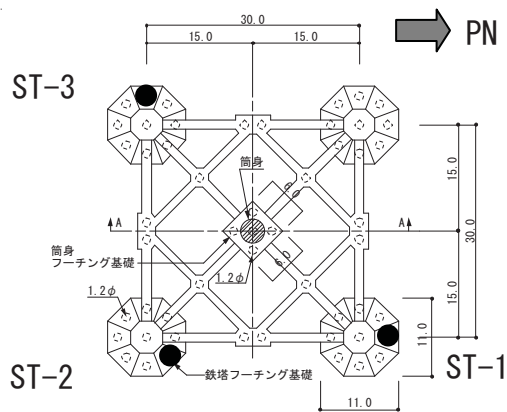
対 象	項 目	発生の有無
部 材	変形・座屈・破断	なし
溶接接合部	きれつ・破断	なし
ボルト接合部	ボルト破断・緩み	あり
	(塗装の切れ・剥がれ)	(あり)

表-4.3.11 5号機 排気筒基礎の傾斜および沈下量

	測定値	評価基準値
最大傾斜量	約 1/13,000	1/300 以下
最大沈下量	2.3 mm	50 mm以下

表-4.3.12 5号機 排気筒杭頭部のひび割れ状況

調査箇所	最大ひび割れ幅 (mm)	長さ (m)	ひび割れ 本数	損傷度
ST-1	ひび割れなし			
ST-2	ひび割れなし			
ST-3	ひび割れなし			



—調査箇所図—

4.3.5. 屋外重要土木構造物の点検結果

各設備の点検結果を以下に示す（添付資料 6 参照）。

4.3.5.1 非常用取水路の点検結果

(1) 耐震性能

非常用取水路の点検による、本地震に起因することを否定できない損傷の確認状況を表-4.3.13 に示す。

非常用取水路には表-4.3.13 のようなひび割れ等が認められるものの、構造上問題となるものではなく、また設計上必要な取水量を流下させる通水断面が確保できていることから、取水機能に影響を及ぼすものではないことを確認した。

なお、非常用取水路において今回の点検により確認された、本地震に起因することを否定できないひび割れおよび剥離・剥落については、今後適切な補修を行う計画としている。

表-4.3.13 非常用取水路の確認状況

種 類		状 況
コンクリート部材	ひび割れ	底版・側壁・隔壁・頂版：最大幅 0.5mm
	剥離・剥落	スクリーン室地上部：最大面積 0.36m ²
耐震ジョイント	変位量	最大伸び 45mm、最大段差 40mm、最大ずれ 40mm
	ゴムの損傷	認められない

4.3.5.2 原子炉補機冷却系配管ダクトの点検結果

(1) 耐震性能

原子炉補機冷却系配管ダクトの点検による、本地震に起因することを否定できない損傷の確認状況を表-4.3.14に示す。

原子炉補機冷却系配管ダクトには表-4.3.14のような剥離・剥落が認められるものの、構造上問題となるものではなく、また配管設置空間が確保できていることから、配管支持機能に影響を及ぼすものではないことを確認した。

なお、原子炉補機冷却系配管ダクトにおいて今回の点検により確認された、本地震に起因することを否定できない剥離・剥落については、今後適切な補修を行う計画としている。

表-4.3.14 原子炉補機冷却系配管ダクトの確認状況

種 類		状 況
コンクリート部材	ひび割れ	認められない
	剥離・剥落	側壁：最大面積 0.14m ²

4.3.5.3 非常用ガス処理系配管ダクトの点検結果

(1) 耐震性能

非常用ガス処理系配管ダクトの点検による、本地震に起因することを否定できない損傷の確認状況を表-4.3.15に示す。

非常用ガス処理系には表-4.3.15のようなひび割れが認められるものの、構造上問題となるものではなく、また配管設置空間が確保できていることから、配管支持機能に影響を及ぼすものではないことを確認した。

躯体内部からの点検の結果、杭基礎の損傷を示唆するひび割れや沈下・移動などの異常は認められないが、念のため、周辺地盤を掘削して鋼管杭および底版下面の追加点検を実施し、損傷が認められないことを確認した（参考資料14）。

なお、非常用ガス処理系配管ダクトにおいて今回の点検により確認された、本地震に起因することを否定できないひび割れについては、今後適切な補修を行う計画としている。

表-4.3.15 非常用ガス処理系配管ダクトの確認状況

種 類		状 況
コンクリート部材	ひび割れ	頂版：最大幅 0.1mm
	剥離・剥落	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。

(1) 建物関係

第三者機関：(社) 建築研究振興協会（国土交通省所管）

- ・「2007 年新潟県中越沖地震後の柏崎刈羽原子力発電所 5 号機原子炉建屋点検結果の妥当性検討結果報告書（平成 21 年 9 月 1 日）」
- ・「2007 年新潟県中越沖地震後の柏崎刈羽原子力発電所 5 号機タービン建屋点検結果の妥当性検討結果報告書（平成 21 年 9 月 1 日）」
- ・「2007 年新潟県中越沖地震後の柏崎刈羽原子力発電所 5 号機海水熱交換器建屋点検結果の妥当性検討結果報告書（平成 21 年 9 月 1 日）」
- ・「2007 年新潟県中越沖地震後の柏崎刈羽原子力発電所 1～5 号機排気筒点検結果の妥当性検討結果報告書（平成 20 年 12 月 10 日）」

(2) 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 5 号機 新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る屋外重要土木構造物点検結果の妥当性確認結果報告書（平成 21 年 6 月 26 日）」

5. 耐震健全性評価

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

なお、この段階で裕度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、この段階で裕度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。

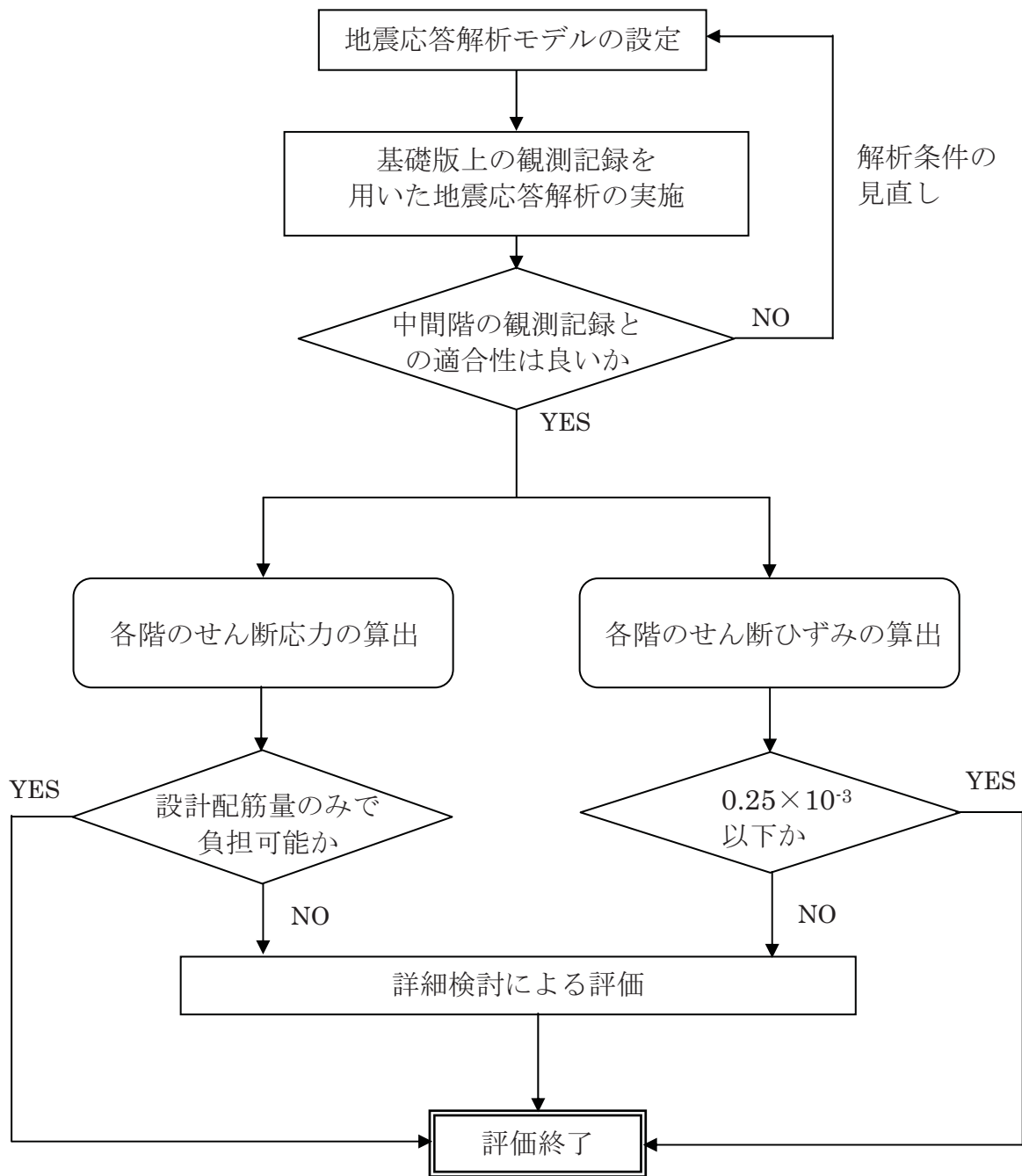


図-5.1.1 原子炉建屋の地震応答解析の評価手順例

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、5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。

5号機の原子炉建屋の基礎版上および中間階で時刻歴波形を取得している新設地震計の加速度時刻歴波形および観測記録に基づく床応答スペクトルを図-5.1.4～図-5.1.7に示す。

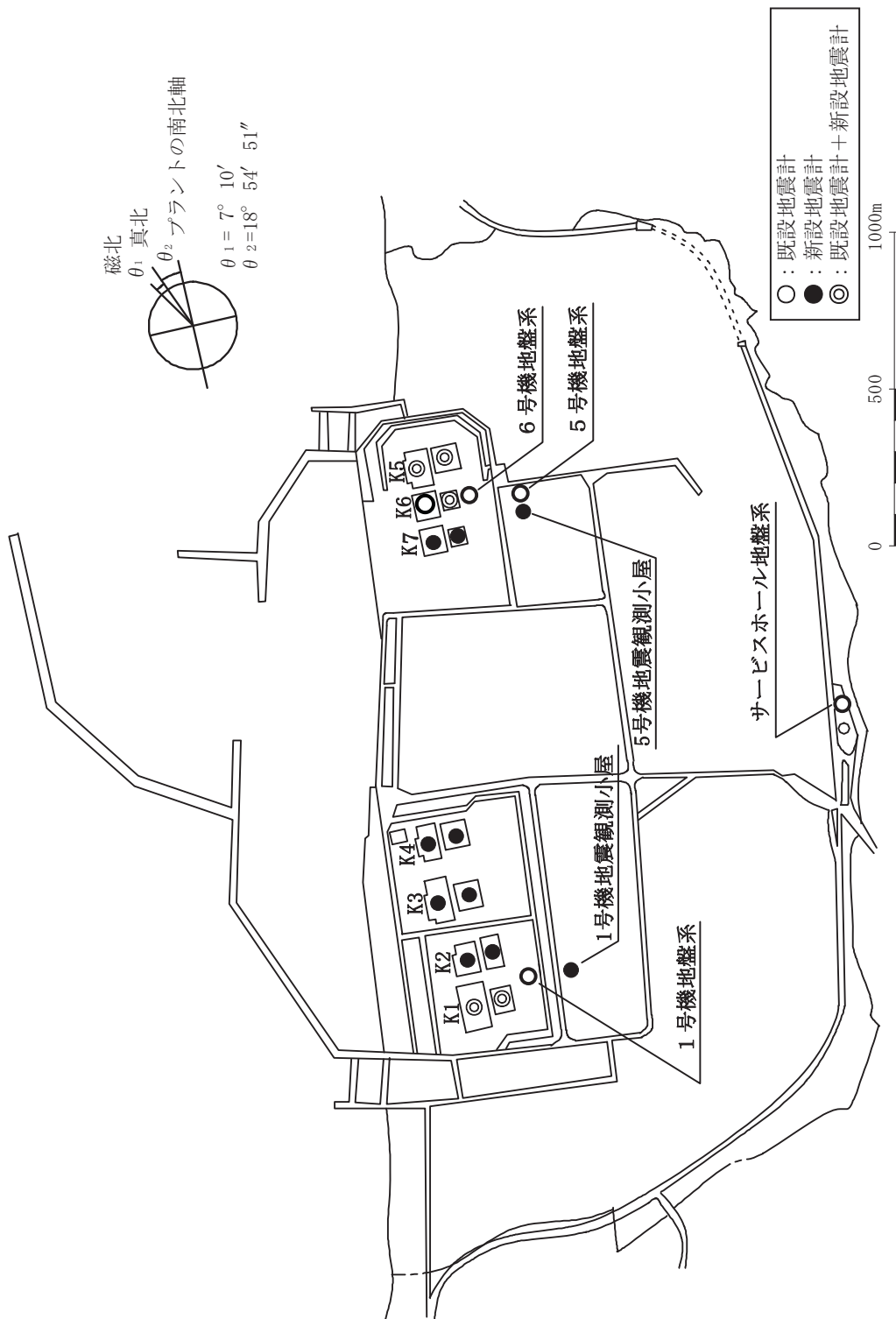
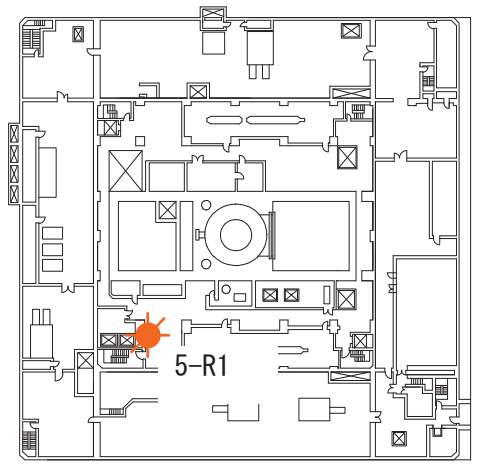
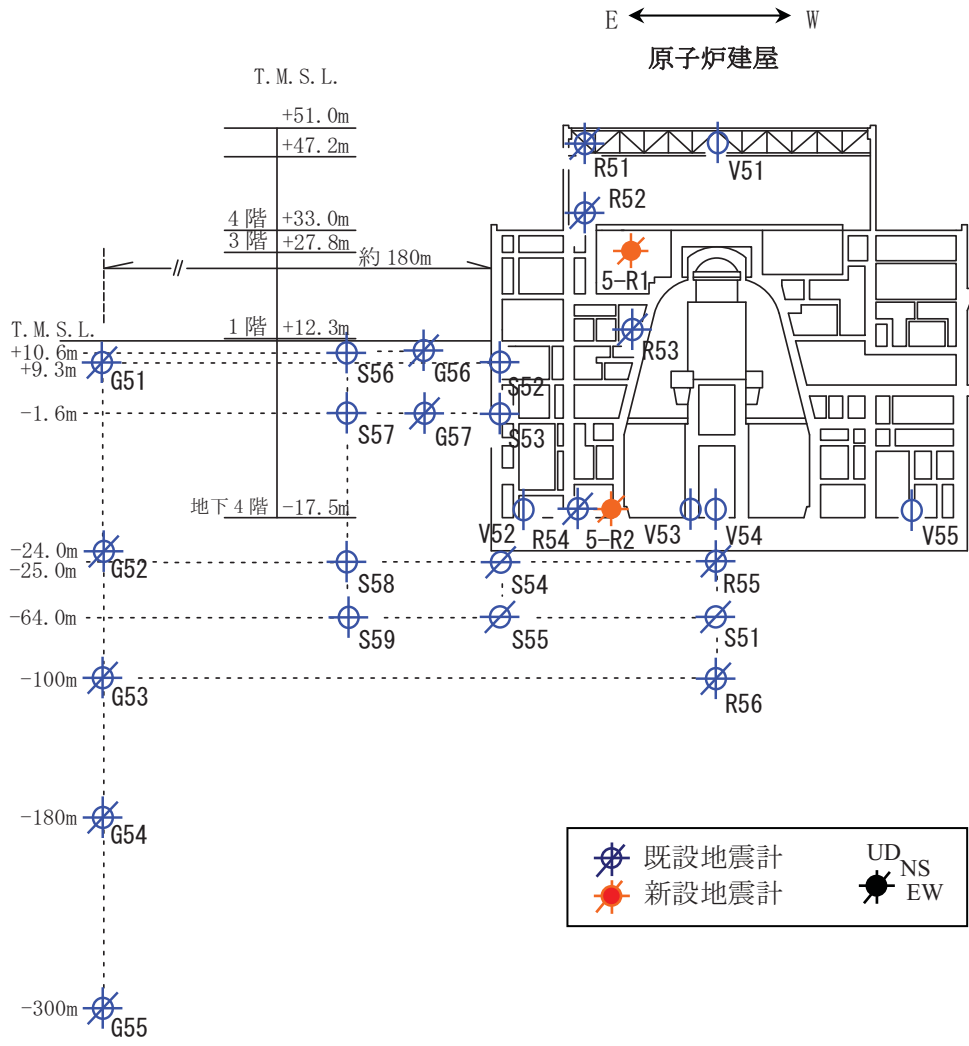
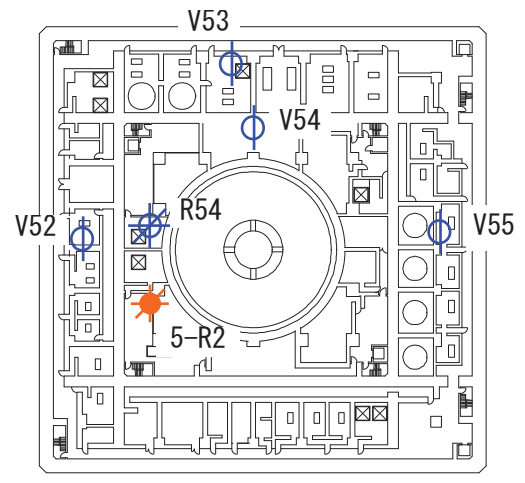


図-5.1.2 柏崎刈羽原子力発電所における地震観測点の配置



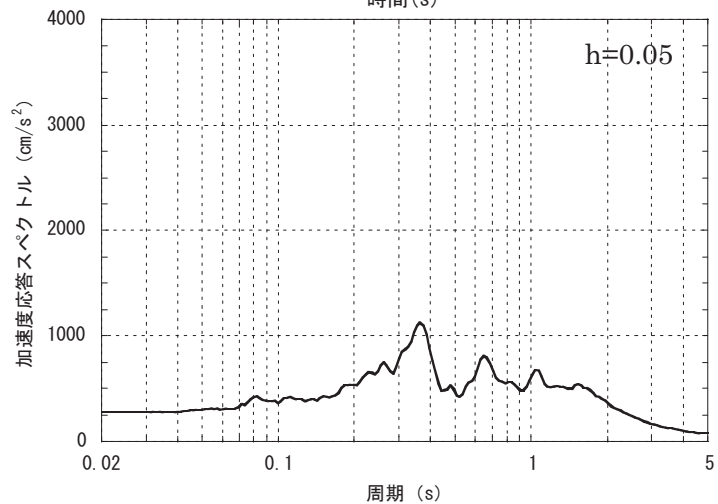
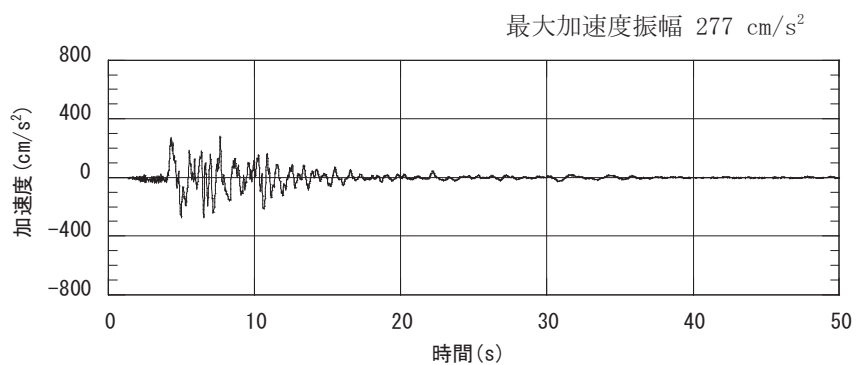
3階 (T. M. S. L. +27.8m)



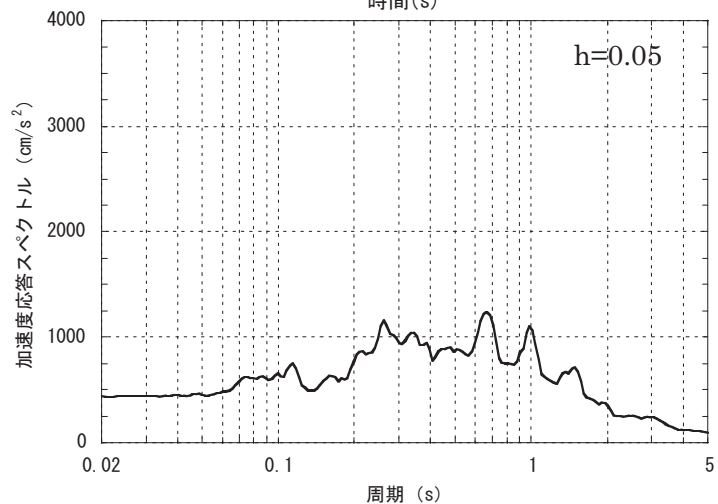
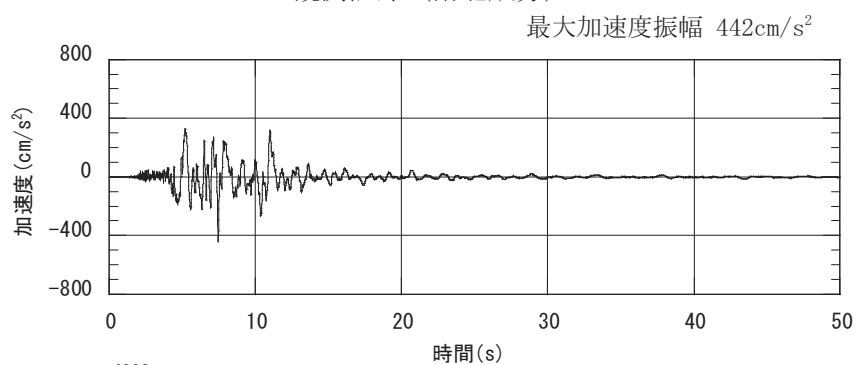
地下4階 (基礎版上)
(T. M. S. L. -17.5m)

※T.M.S.L.とは東京湾平均海面のことを指す。

図-5.1.3 5号機原子炉建屋地震計配置断面図および平面図

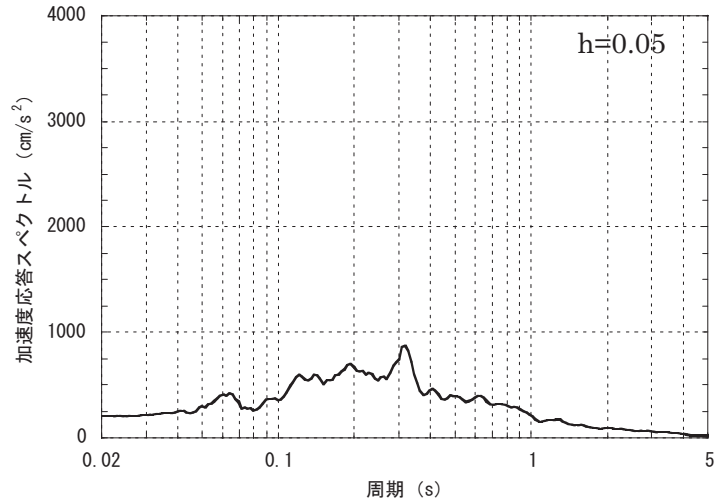
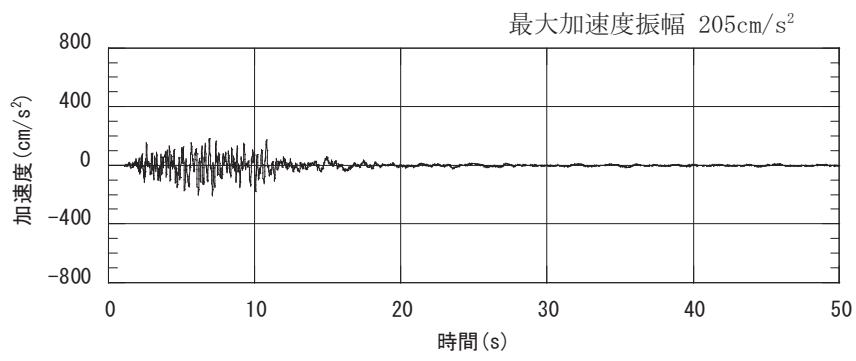


観測記録 (南北成分)



観測記録 (東西成分) (記録の主要動を含む 50 秒間を表示)

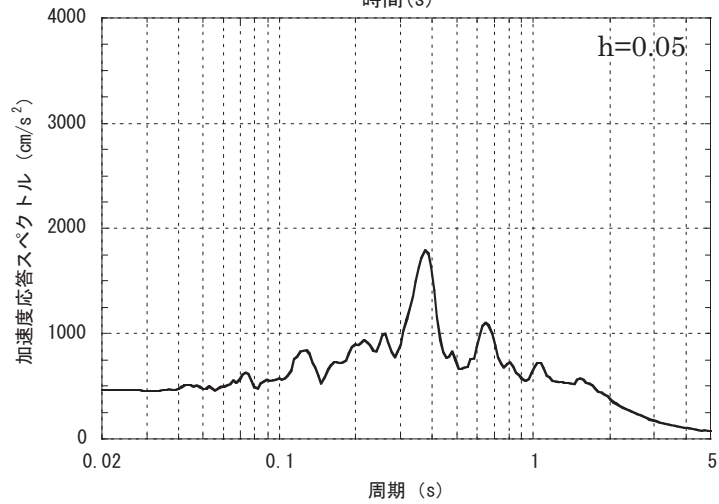
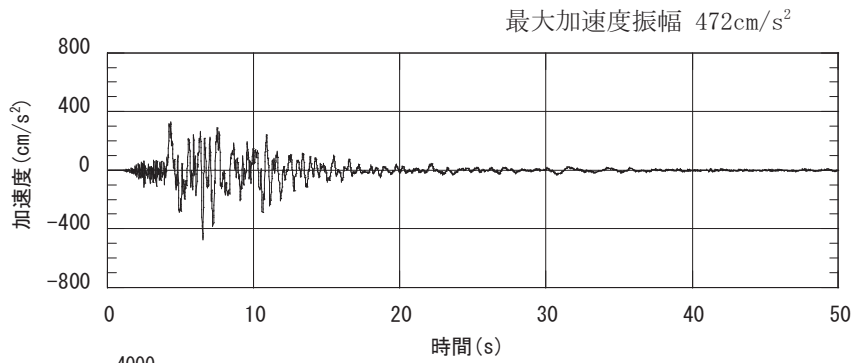
図-5.1.4 5号機原子炉建屋地下4階(基礎版上:5-R2観測点)の加速度時刻歴波形、加速度応答スペクトル(水平方向)



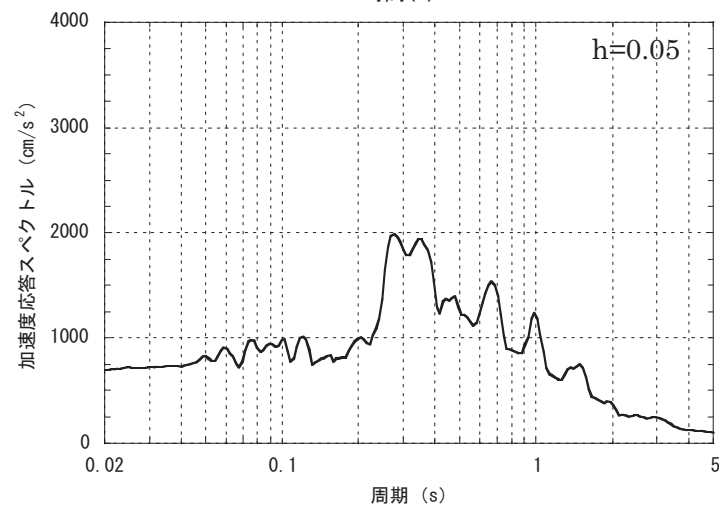
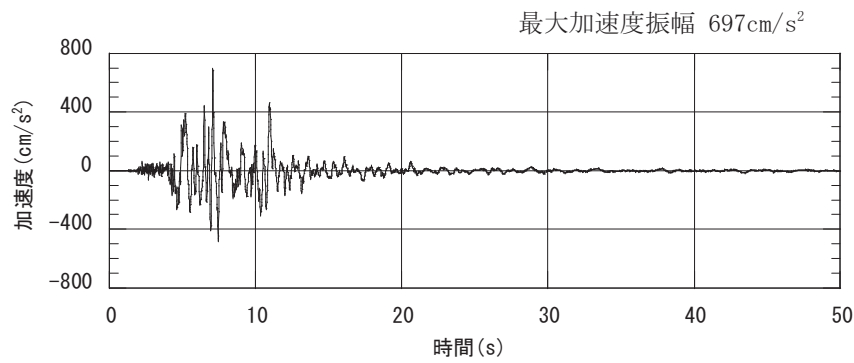
観測記録（鉛直成分）

（記録の主要動を含む 50 秒間を表示）

図-5.1.5 5号機原子炉建屋地下4階（基礎版上：5-R2観測点）の
加速度時刻歴波形、加速度応答スペクトル（鉛直方向）



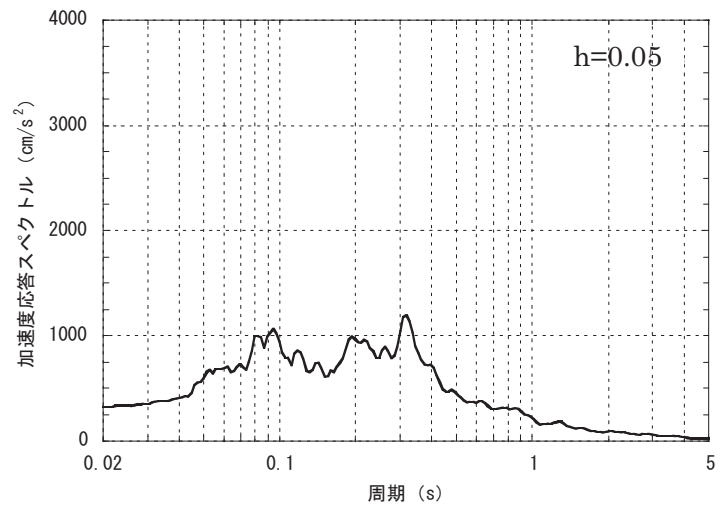
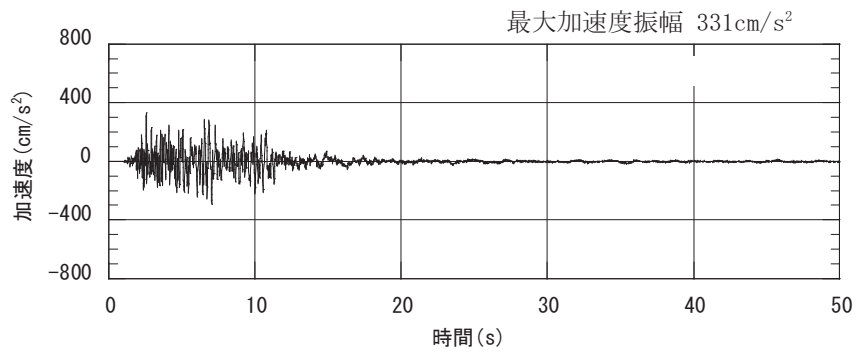
観測記録 (南北成分)



観測記録 (東西成分)

(記録の主要動を含む 50 秒間を表示)

図-5.1.6 5号機原子炉建屋3階(中間階:5-R1観測点)の
加速度時刻歴波形、加速度応答スペクトル(水平方向)



観測記録（鉛直成分）

（記録の主要動を含む 50 秒間を表示）

図-5.1.7 5号機原子炉建屋3階（中間階：5-R1 観測点）の
 加速度時刻歴波形、加速度応答スペクトル（鉛直方向）

5.1.3. 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弾性応答解析による。

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。

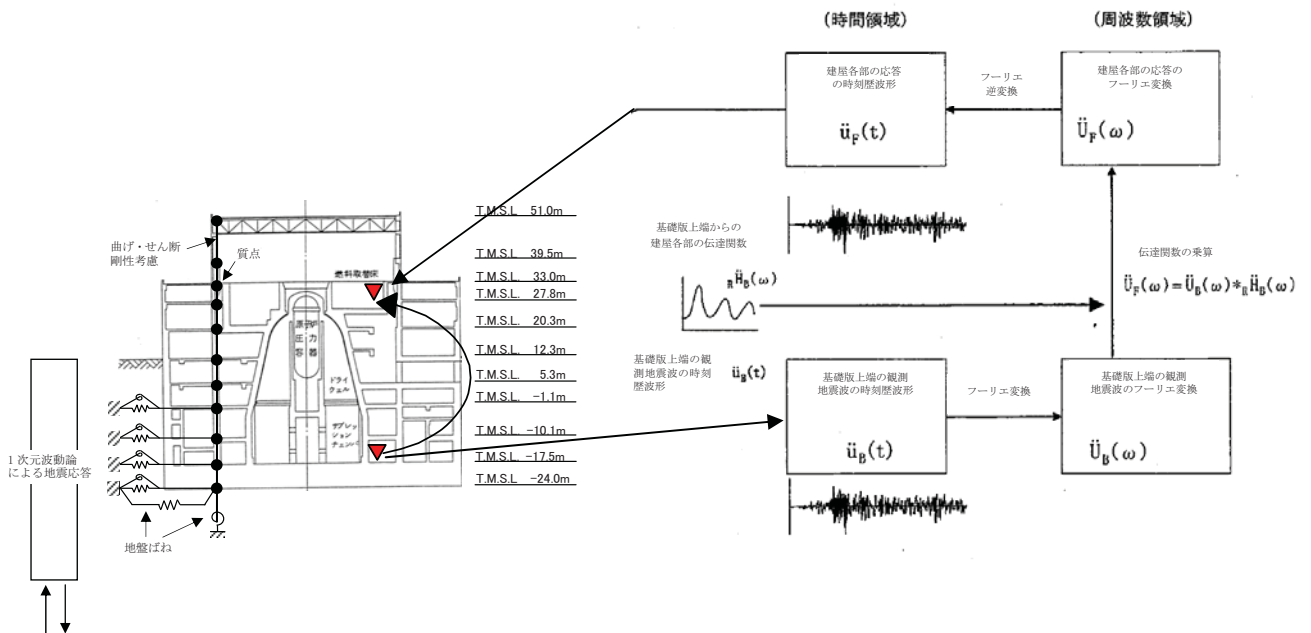


図-5.1.8 解析フロー図

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3階）について、地震観測記録と解析結果が整合するように解析モデルを修正しながら構築することとし、次の4項目について設計時に用いた解析モデルから修正して新たな解析モデルを構築することとしている。

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

(1) 水平方向の地震応答解析モデル

水平方向の地震応答解析モデルは、図-5.1.9 に示すように、建屋を曲げ変形とせん断変形をする質点系とし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。建屋モデルで考慮するコンクリートの物性値を、表-5.1.1 に示す。建屋－地盤連成系としての効果は、地盤ばねおよび対応する入力地震動によって評価される。

地盤定数は、水平成層地盤と仮定し、地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を、表-5.1.2 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-5.1.10 に示すようにばね定数 (K_c) として実部の静的な値を、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。

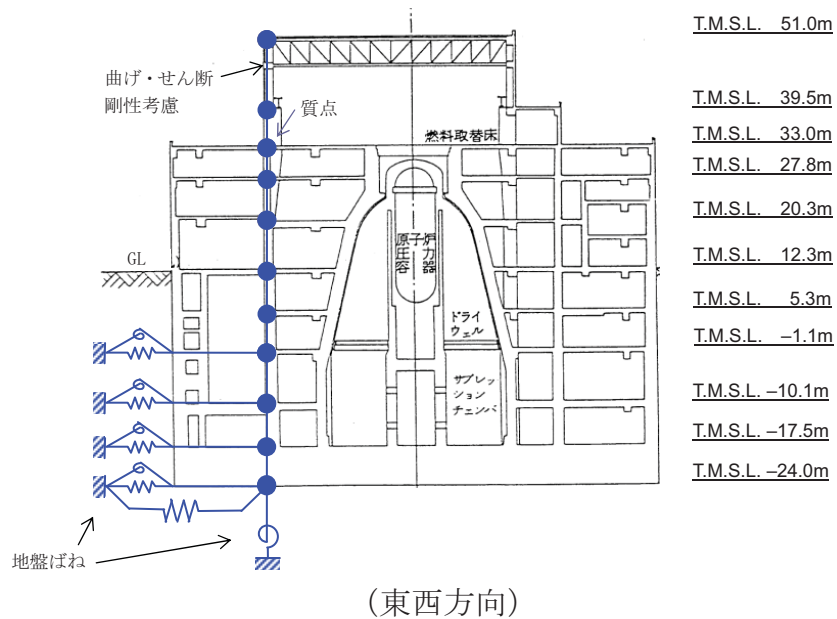
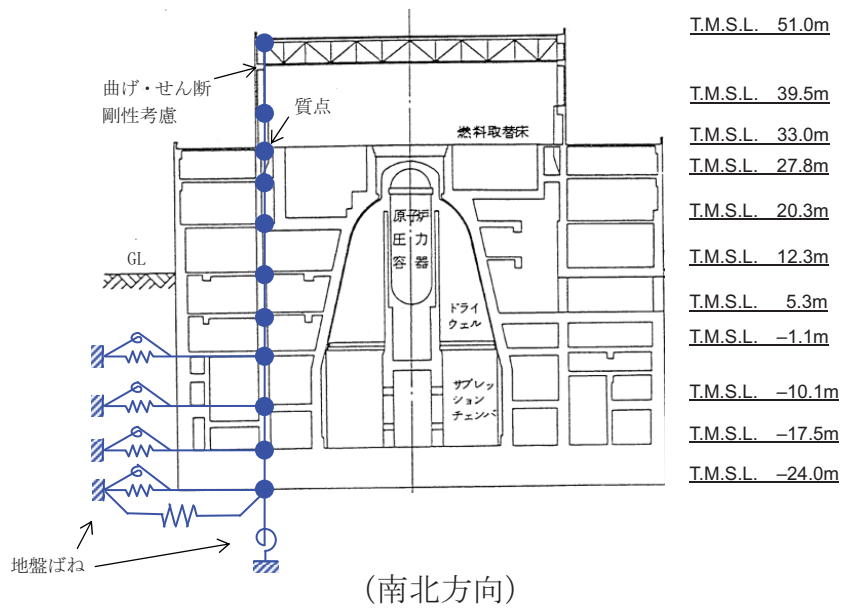


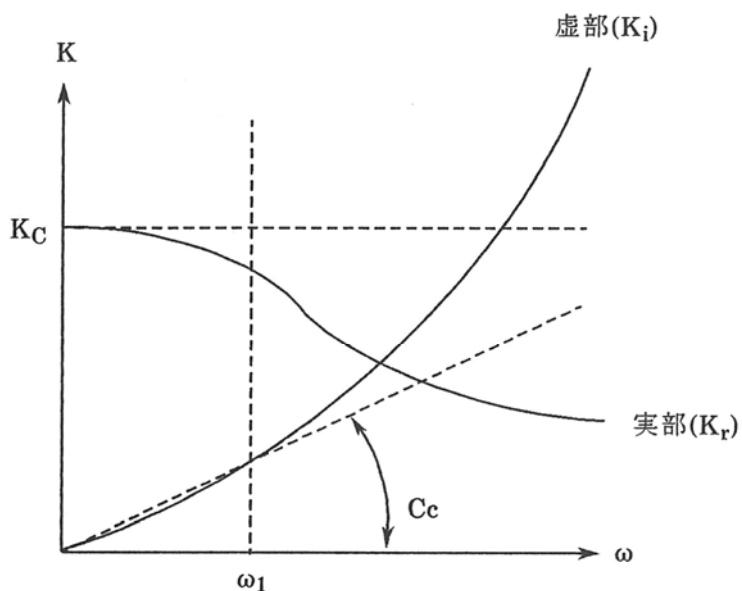
図-5.1.9 地震応答解析モデル (水平方向)

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

表-5.1.2 地盤定数

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	初期せん断 弾性係数 G_0 (N/mm ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h (%)
12.0	(砂層)	140	17.9	0.41	34.6	0.40	14
8.0		170		0.40	54.9	0.40	14
4.0		200			69.6	0.40	14
0.0	安田層	310	17.5	0.48	171	0.75	4
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	409	0.85	3
-60.0		560	17.2	0.44	550	0.85	3
-100.0		610	18.0	0.43	683	0.85	3
-134.0	(解放基盤)	710	19.9	0.42	1,020	1.00	—



ω_1 : 建屋-地盤連成系の1次固有振動数

図-5.1.10 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弾性応答解析については、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-5.1.11 に示すように、軸変形をする内外壁・シェル壁部および曲げ変形とせん断変形をする屋根トラス部から成る質点系とし、地盤を等価なばねで評価した建屋-地盤連成系モデルとする。建屋モデルで考慮するコンクリートおよび鉄骨の物性値を、表-5.1.3 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-5.1.10 に示すようにばね定数 (K_c) として実部の静的な値を、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。

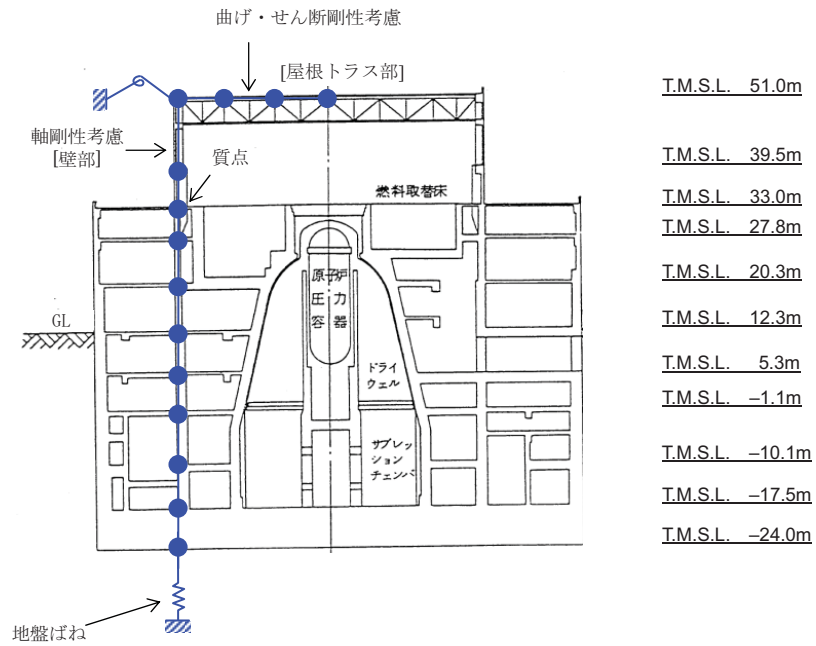


図-5.1.11 地震応答解析モデル（鉛直方向）

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

5.1.4. 地震応答解析結果

地震応答解析により求められた南北方向、東西方向、鉛直方向の最大応答加速度を図-5.1.12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-5.1.13～図-5.1.15に示す。これより、南北方向および東西方向の中間階における観測記録と解析結果は、最大応答加速度、加速度応答波形、加速度応答スペクトル共に十分整合していることを確認した。また、鉛直方向については、加速度応答スペクトルの解析結果が一部の周期帯で大きめの評価となっているが、その部分を除けば観測記録と解析結果が整合していることを確認した。

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

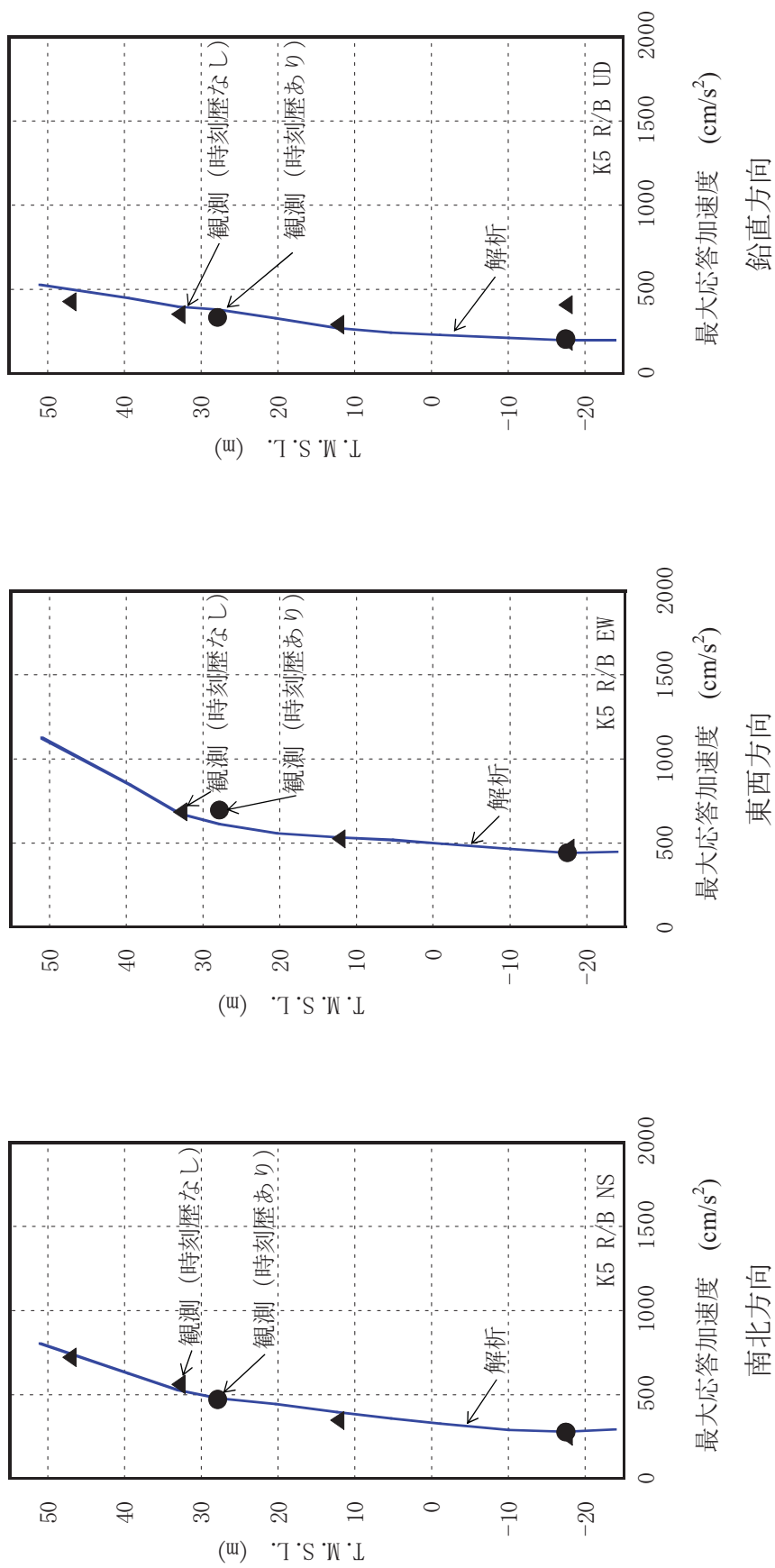


図-5.1.12 最大応答加速度の比較

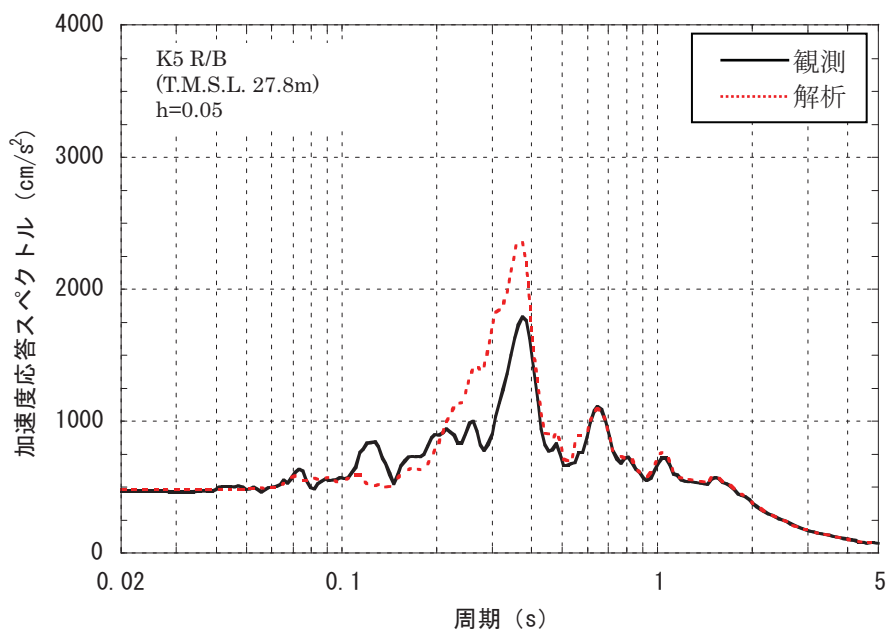
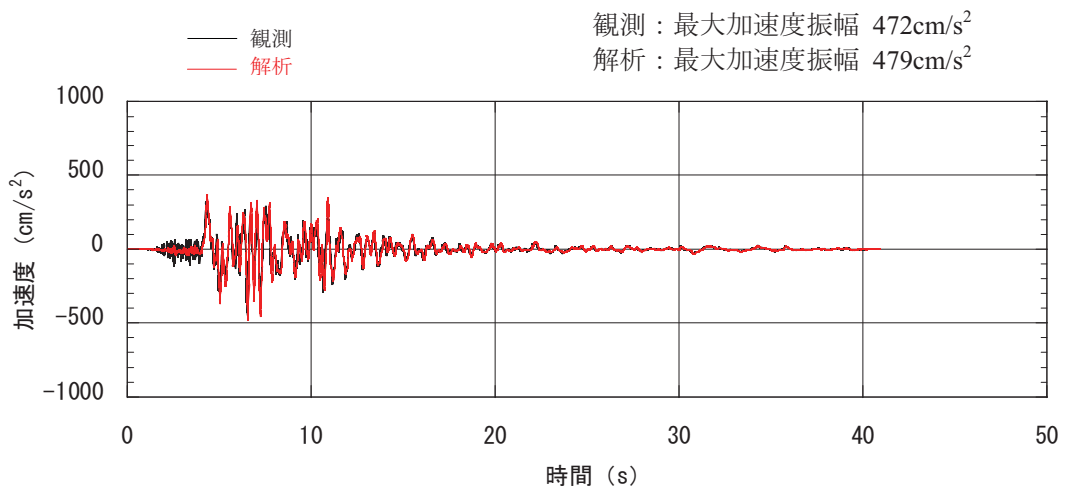


図-5.1.13 加速度応答波形および加速度応答スペクトルの比較
 中間階 (T. M. S. L. 27.8m)、南北方向

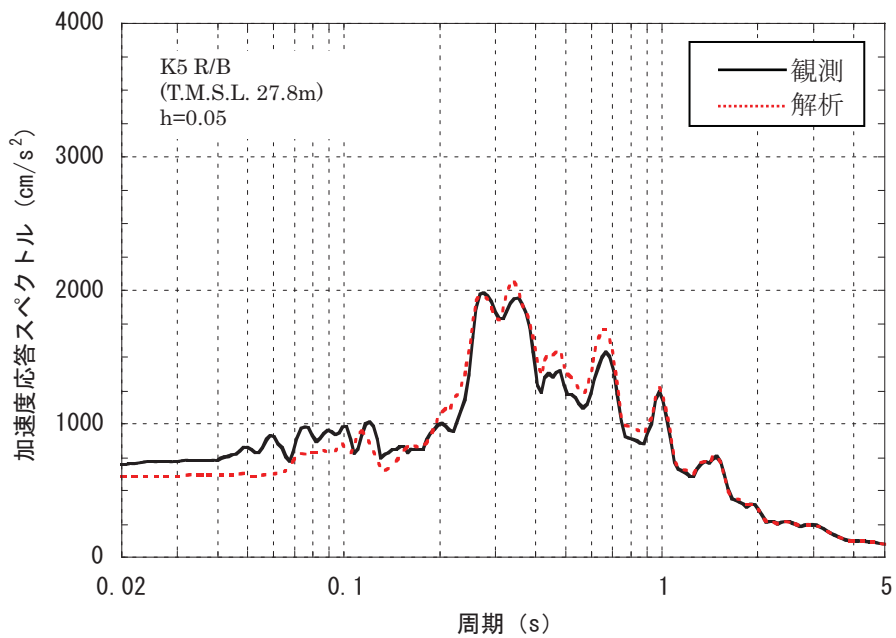
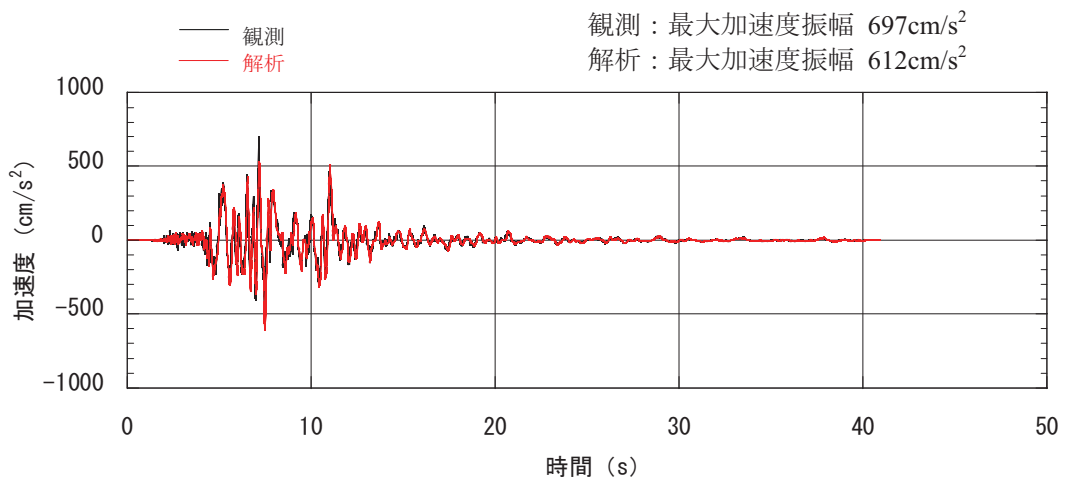


図-5.1.14 加速度応答波形および加速度応答スペクトルの比較
 中間階 (T. M. S. L. 27.8m)、東西方向

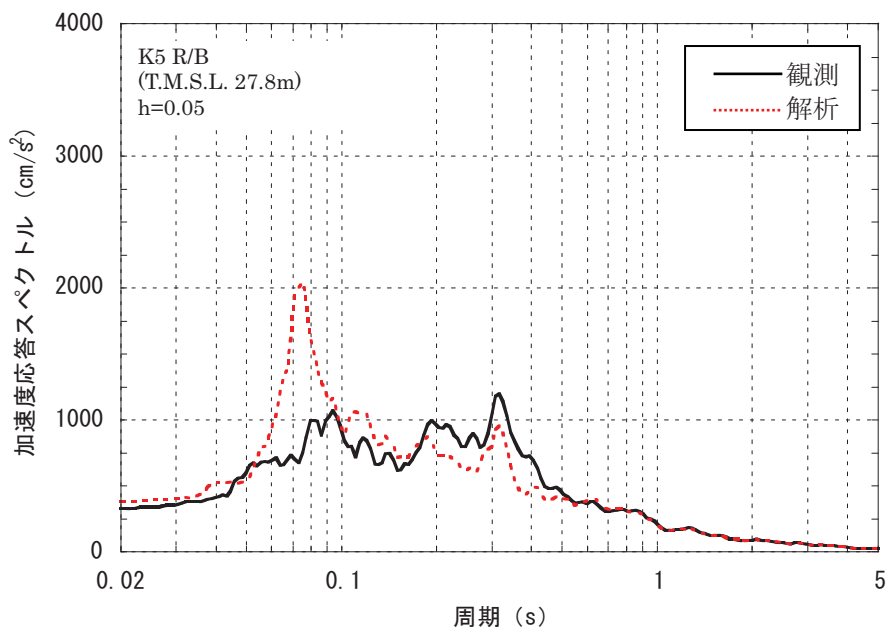
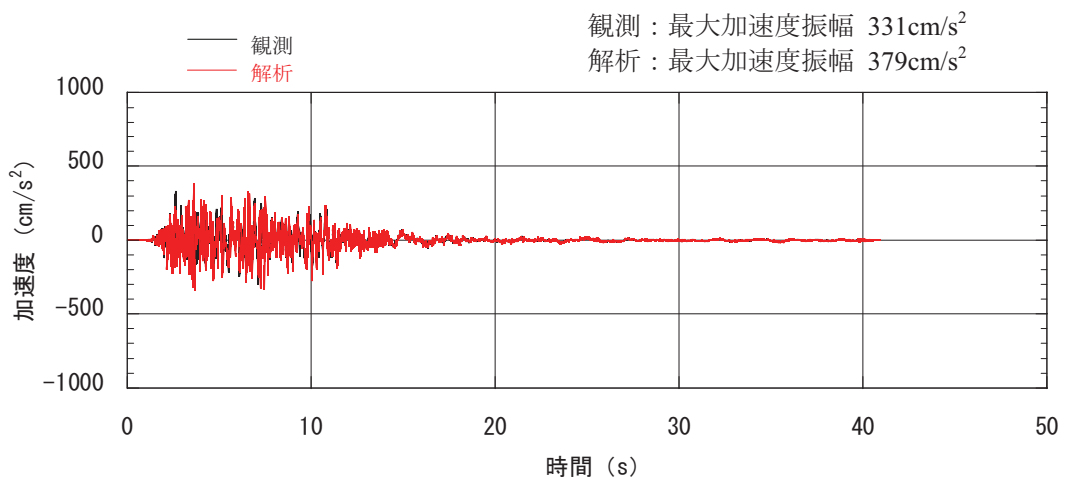


図-5.1.15 加速度応答波形および加速度応答スペクトルの比較
中間階 (T.M.S.L. 27.8m)、鉛直方向

5.1.5. 耐震健全性評価結果（鉄筋コンクリート部）

(1) 耐震壁の鉄筋コンクリート部

地震応答解析により得られた各階のせん断応力を、設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度 ($p_w \cdot \sigma_y^{*1}$) と併せて図-5.1.16 および図-5.1.17 に示す。これより、各階のせん断応力は、設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度に対して 20%以上余裕のある結果が出ている。

また、地震応答解析により得られた各階のせん断ひずみを、壁のひび割れが発生するひずみの目安値と併せて図-5.1.18 および図-5.1.19 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-5.1.16 および図-5.1.19 に示す原子炉建屋の耐震壁とは、設計時に耐震要素として考慮していなかった補助壁の分を含めて評価している。

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

※ 1 : p_w 耐震壁の設計鉄筋比

σ_y 鉄筋の短期許容引張応力度 (SD345 : 345N/mm²)

(参考)

図-5.1.16 および図-5.1.17 にはコンクリートのせん断ひび割れ発生応力（「JEAG4601-1991」による）を示している。

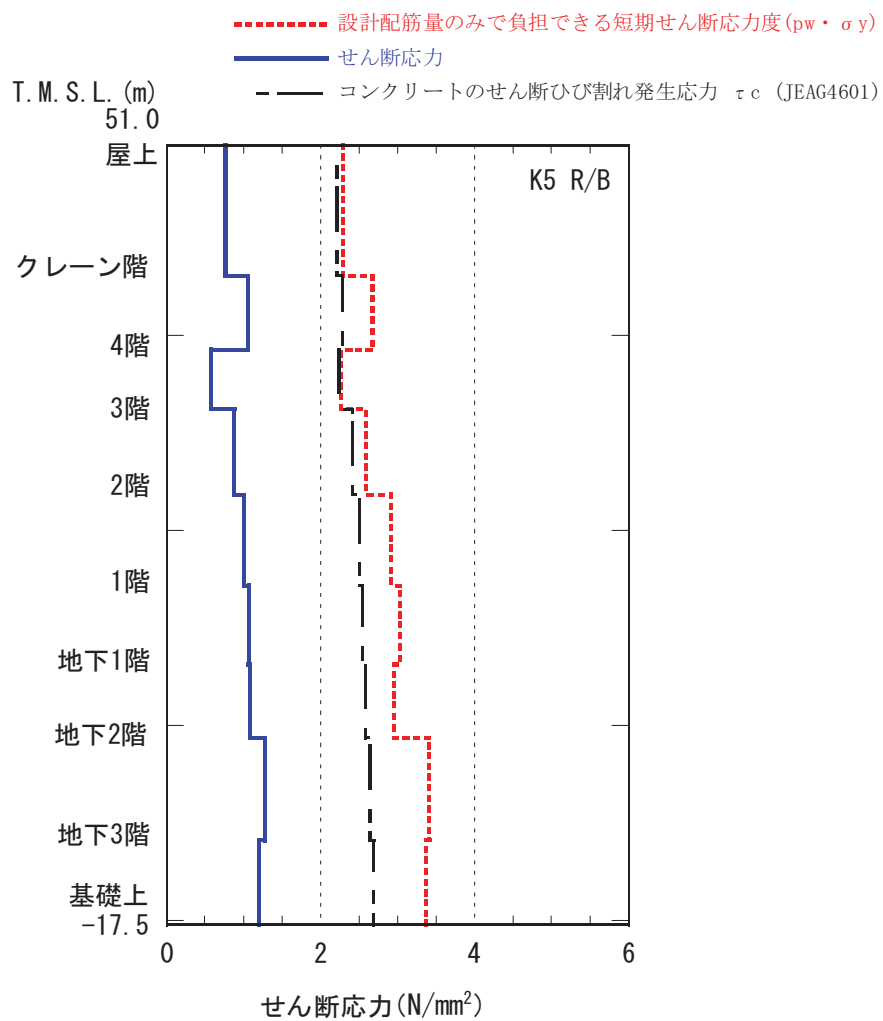


図-5.1.16 原子炉建屋 耐震壁のせん断応力 (南北方向)

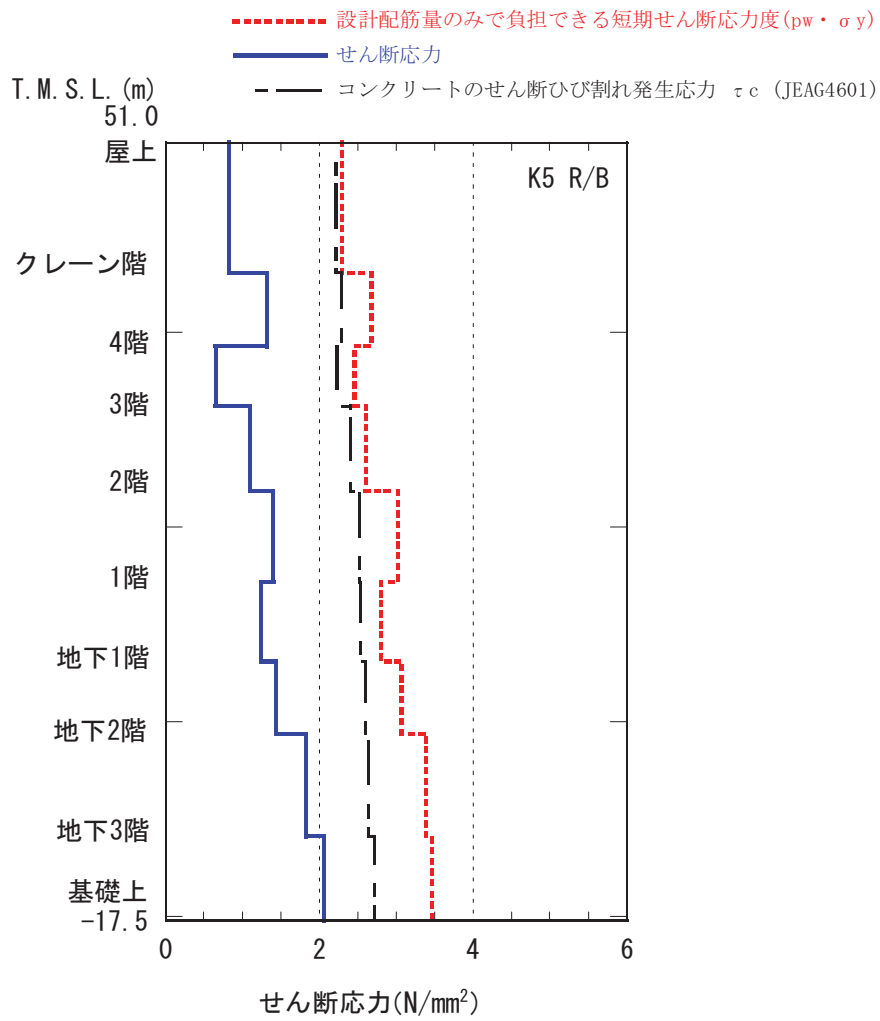
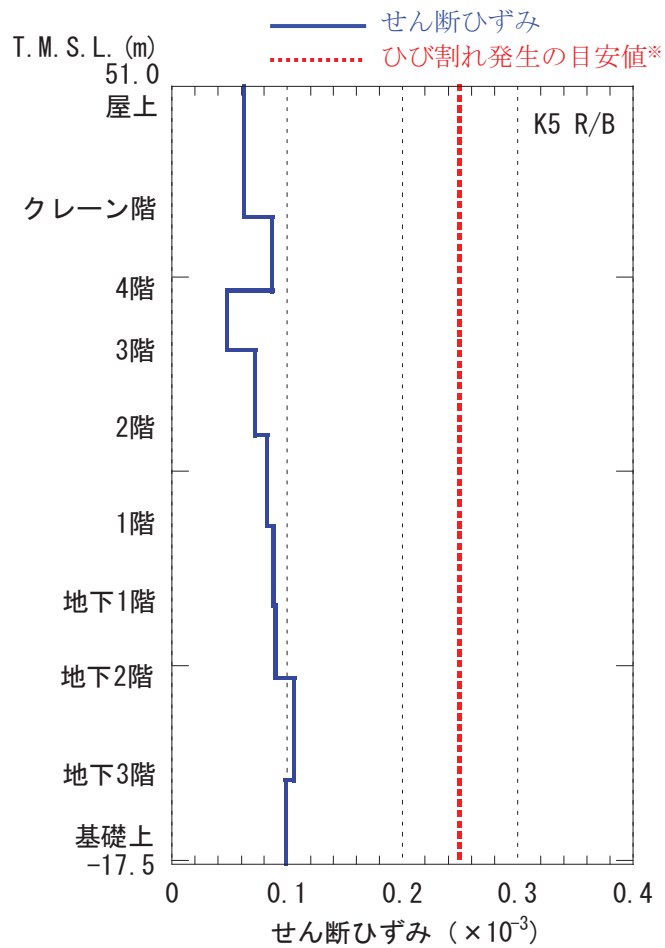
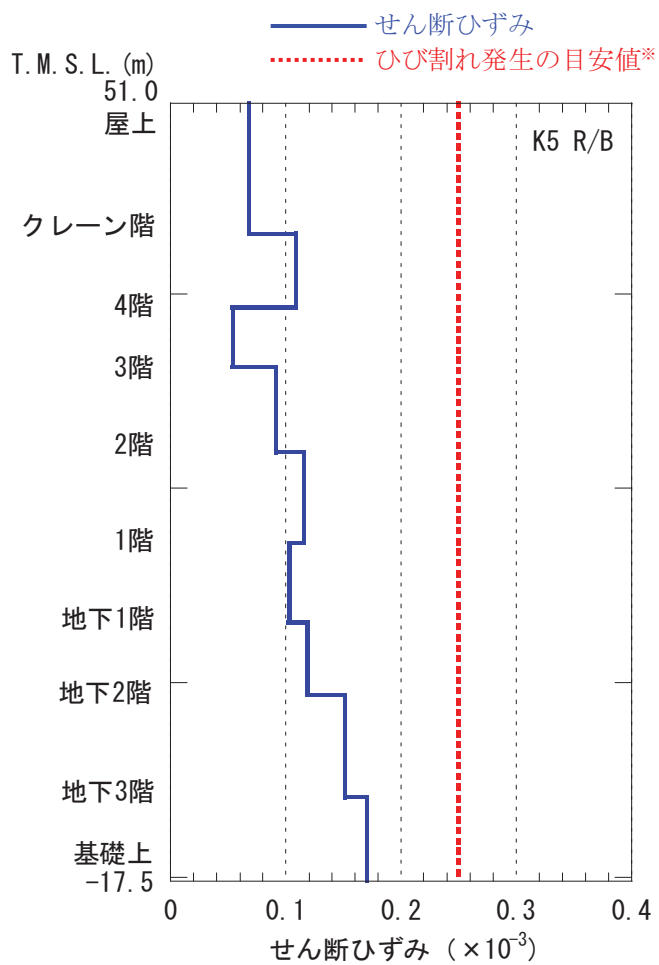


図-5.1.17 原子炉建屋 耐震壁のせん断応力 (東西方向)



※過去の実験結果の平均的な値による目安値であり、せん断初ひび割れが発生するせん断ひずみの値にはばらつきがある。

図-5.1.18 原子炉建屋 耐震壁のせん断ひずみ (南北方向)



※過去の実験結果の平均的な値による目安値であり、せん断初ひび割れが発生するせん断ひずみの値にはばらつきがある。

図-5.1.19 原子炉建屋 耐震壁のせん断ひずみ (東西方向)

5.1.6. 耐震健全性評価（鉄骨部）

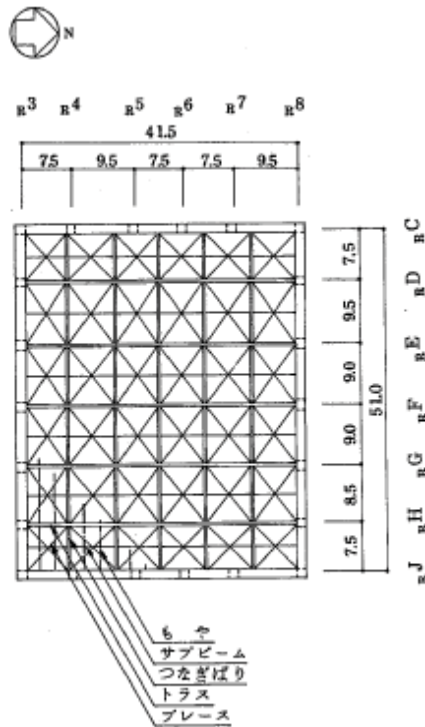
(1) 屋根トラス

a) 屋根トラスの概要

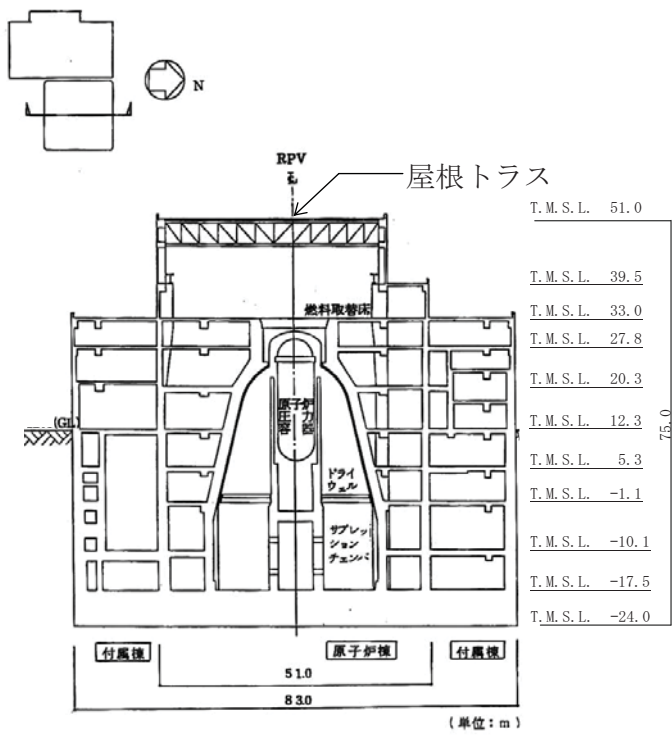
5号機原子炉建屋の上部構造は、鉄骨造陸屋根をもつ屋根トラスで構成されている。屋根トラスの平面は、41.5m（南北方向）×51.0m（東西方向）の長方形をなしており、オペフロレベル（T. M. S. L. 33.0m）からの高さは18.0mである。

屋根トラスの概要を図-5.1.20に示す。

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



屋根伏図 (T.M.S.L. 51.0m)



断面図(南北方向)

図-5.1.20 5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. 33.0m) より上部の鉄筋コンクリート造の柱、梁、壁および鉄骨造の屋根トラス、屋根面水平ブレース等を線材、面材により立体的にモデル化した立体架構モデルとする。

屋根トラス部は、主トラス、つなぎ梁、屋根上下面水平ブレース、サブビームをモデル化する。各鉄骨部材は軸、曲げ変形を考慮した梁要素（トラスの上下弦材、主トラスの束材等）と軸変形のみを考慮したトラス要素（屋根面水平ブレース、トラスの斜材等）としてモデル化する。また、耐震壁および外周梁は各々シェル要素および軸、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-5.1.21 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. 33.0m) の応答結果を用いることとし、オペフロ位置を固定として入力する（水平2成分、鉛直成分、回転2成分）。

このうち、水平2成分と鉛直成分の加速度波形を、図-5.1.22 に、回転2成分を図-5.1.23 に示す。

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

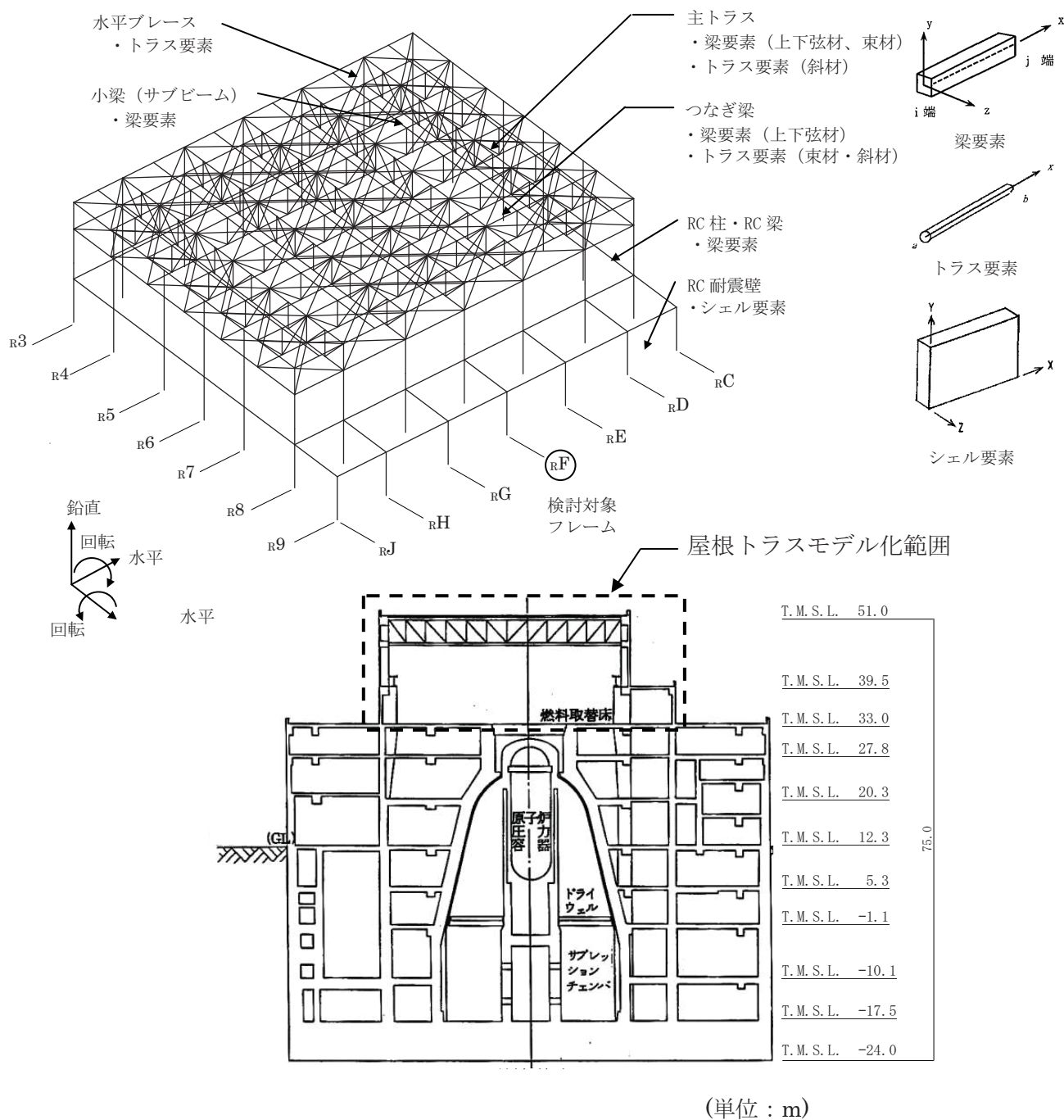


図-5.1.21 屋根トラス (オペフロ上部架構) の解析モデル図と入力イメージ

表-5.1.4 地震応答解析に用いる物性値

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

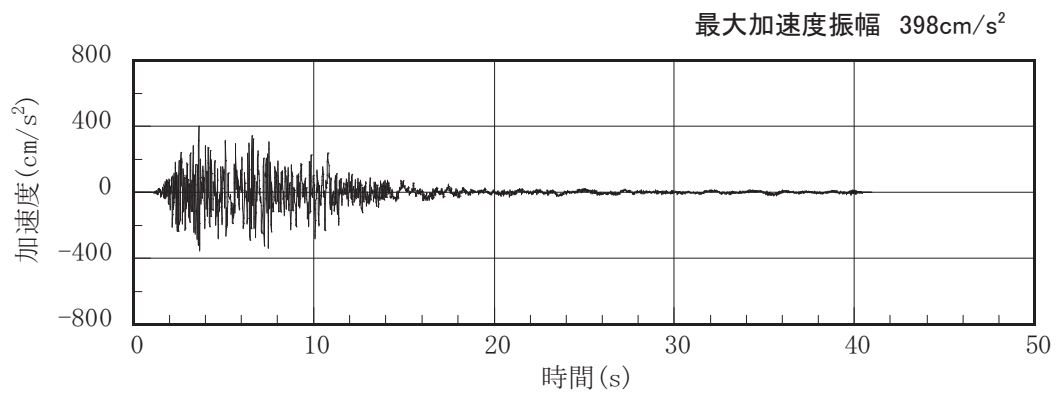
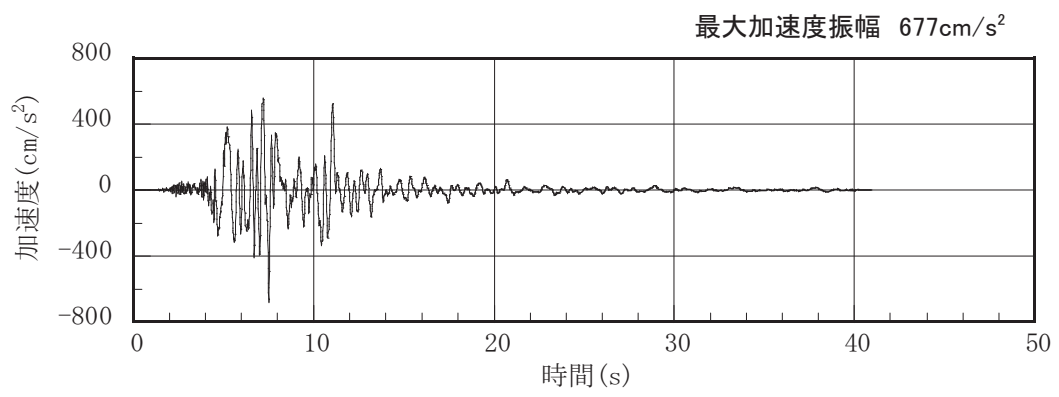
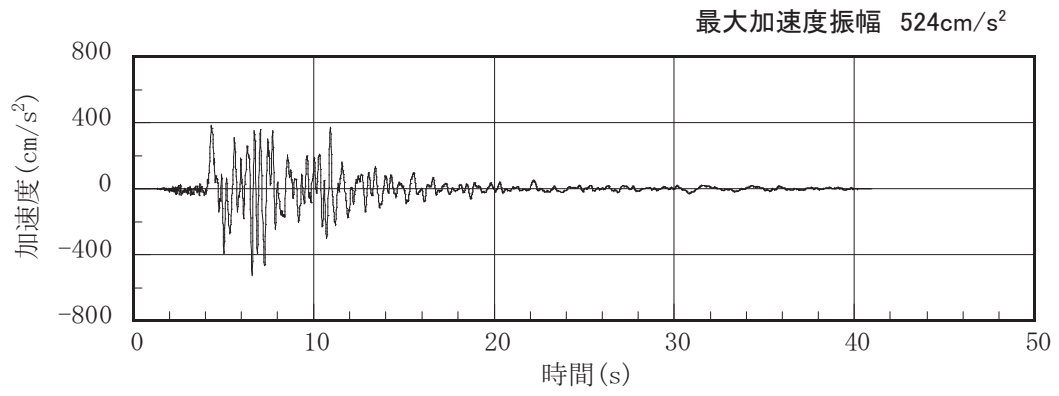
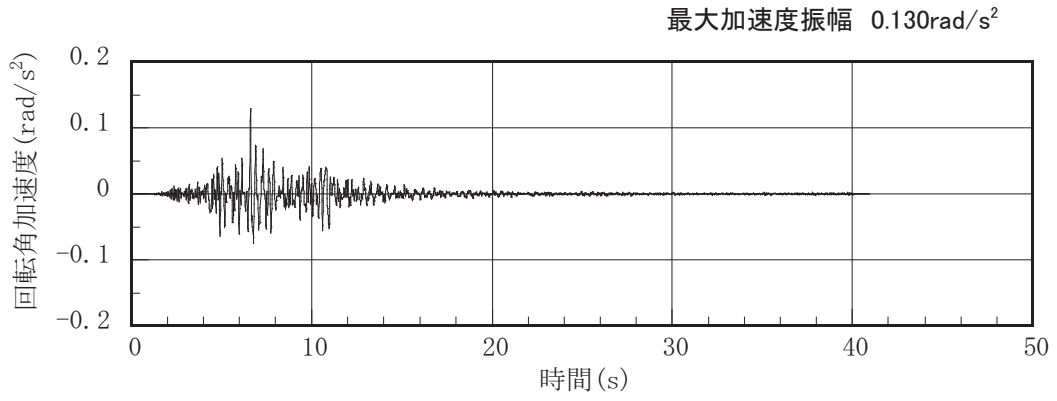
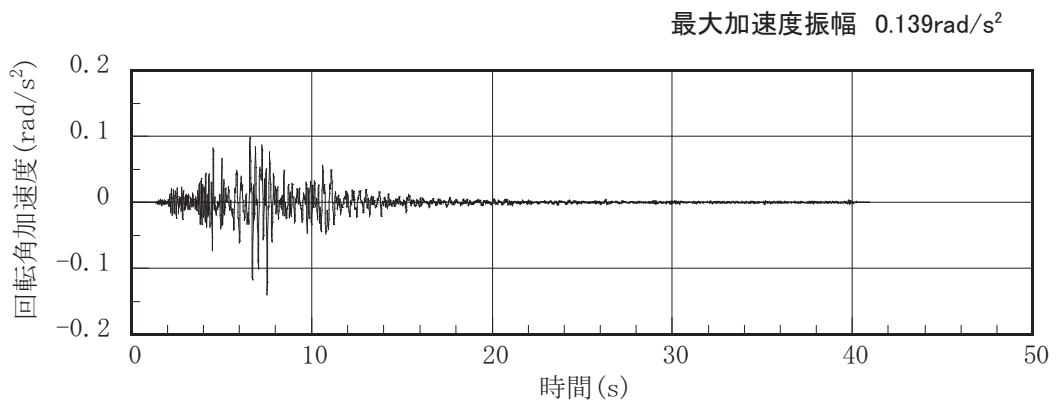


図-5.1.22 屋根トラスへの入力地震動（水平、鉛直成分）



(a) 南北方向



(b) 東西方向

図-5.1.23 屋根トラスへの入力地震動（回転成分）

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)

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

ここに、 $s\sigma_N$: 地震時における部材の軸応力

$s\sigma_b$: 地震時における部材の曲げ応力

sf_c : 短期許容圧縮応力度

(座屈の影響を考慮して細長比等により求めた数値)

sf_b : 短期許容曲げ応力度

(引張)

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

ここに、 $s\sigma_N$: 地震時における部材の軸応力

$s\sigma_b$: 地震時における部材の曲げ応力

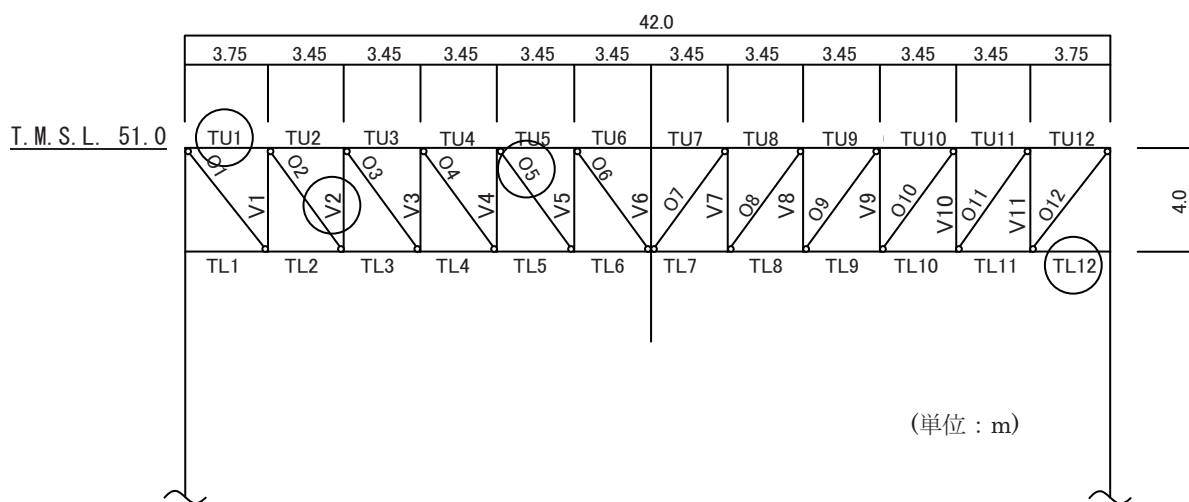
sf_t : 短期許容引張応力度

sf_b : 短期許容曲げ応力度

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断面検定結果（以下、応力比という。）が最も大きい部材を含む R_F 通りについて、評価部位を図-5.1.24に、評価結果を表-5.1.5に示す。

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



○ : 応力比が最大となる位置を示す

図-5.1.24 評価部位 (R_F 通り)

表-5.1.5 最大応力比 (R_F 通り)

部材		発生応力 (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)	応力比	位置	使用部材
上弦材	(引張)	17.7	325	0.23	TU1	H-428×407×20×35
	(曲げ)	55.9	325			
下弦材	(圧縮)	66.2	225	0.47	TL12	H-428×407×20×35
	(曲げ)	58.7	325			
斜材	(引張)	81.3	235	0.35	O5	2Cs-250×90×9×13
束材	(圧縮)	102.4	274	0.59	V2	H-344×348×10×16
	(曲げ)	68.8	325			

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・配管系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、5号機原子炉建屋基礎上観測記録に基づく入力地震動を用いた地震応答解析によることを基本とし、建物・構築物や地盤の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で行う。

解析モデルは、地下2階に設置された耐震上重要な機器・配管系を含む建屋全域を多軸質点系モデルとし、当該階の耐震壁を機能維持部位として耐震健全性を評価する。

耐震壁の評価は、地震応答解析により得られた該当部位のせん断応力に対して、設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度と比較することによって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確認を行うこととする。

なお、この段階で裕度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。

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。

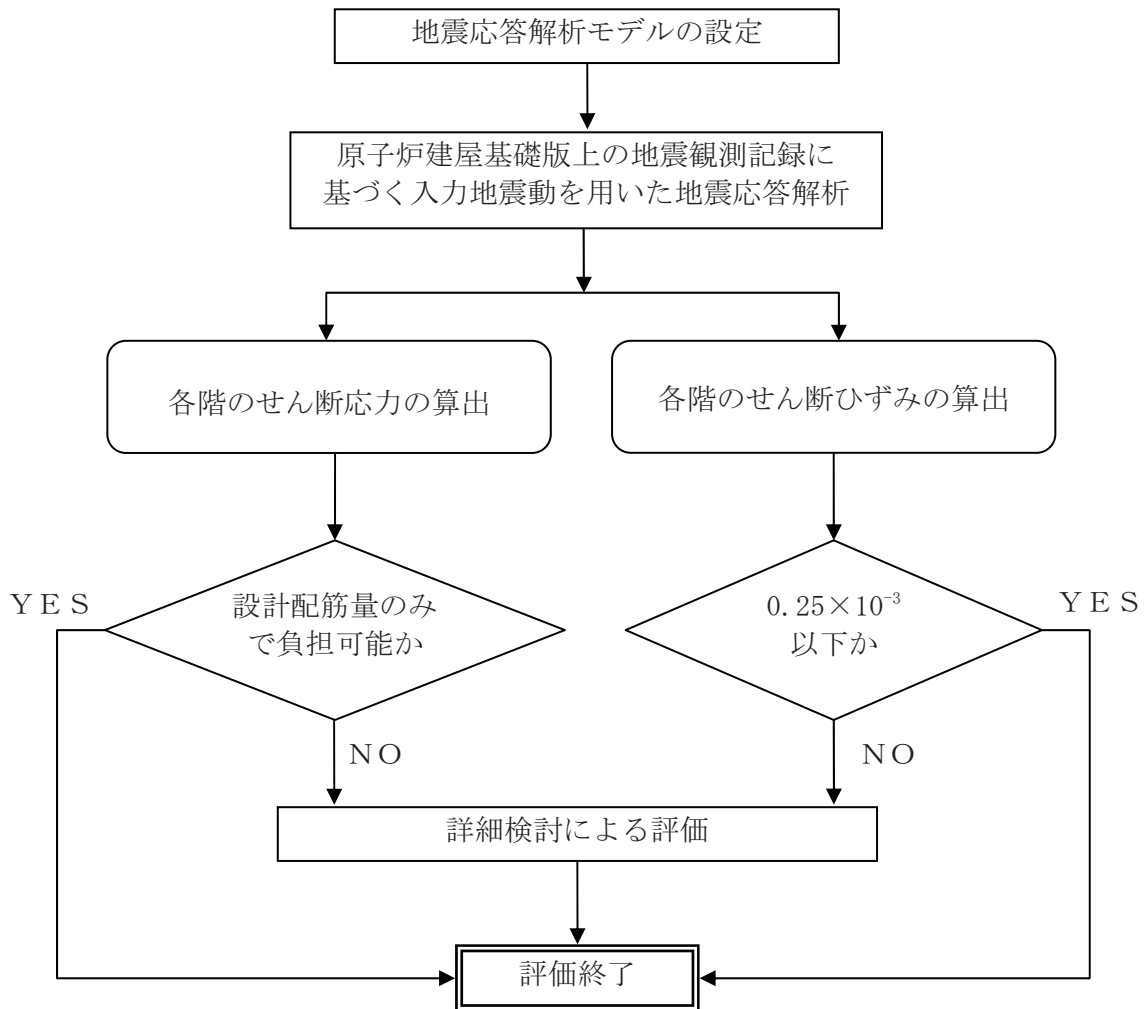


図-5.2.1 タービン建屋の地震応答解析の評価手順例

5.2.2. 解析に用いる入力地震動

タービン建屋は地震観測記録のない建屋であることから、本地震に対する地震応答解析は、5号機原子炉建屋基礎版上における水平方向および鉛直方向の地震観測記録に基づく入力地震動を用いた動的解析による。

このタービン建屋の地震応答解析に用いる入力地震動は、図-5.2.2に示すように、5号機原子炉建屋の基礎版上での観測記録波から原子炉建屋の解析モデルの伝達関数を用いて基礎下端における入力地震動①を算出し、それをタービン建屋の地盤モデルの同一レベル位置に定義し、地盤の応答解析を実施してタービン建屋の入力地震動②を求める手順で行う。

以上の考え方より求めたタービン建屋の基礎下端レベル（T.M.S.L. -4.2m）における入力地震動を図-5.2.3および図-5.2.4に示す。

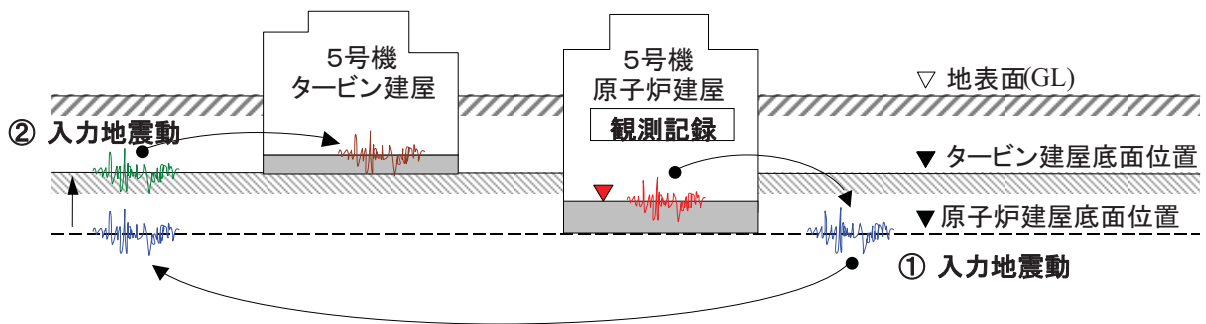
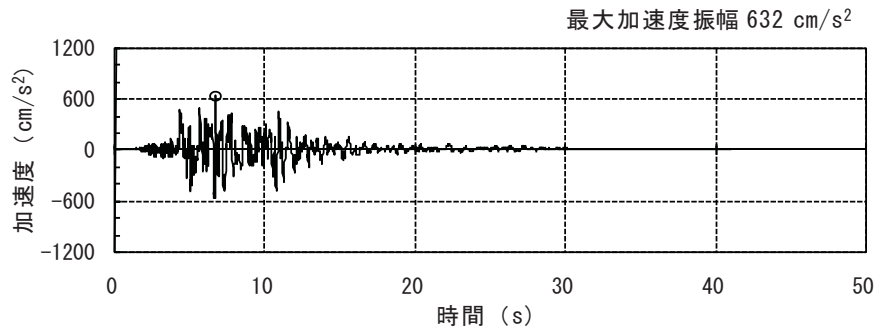
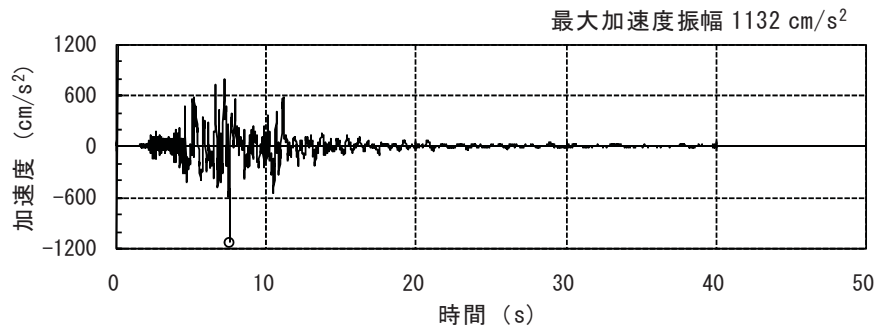


図-5.2.2 タービン建屋の地震応答解析に用いる入力地震動の考え方



(南北成分)



(東西成分)

図-5.2.3 タービン建屋の解析に用いる
入力地震動の加速度時刻歴波形 (水平方向)

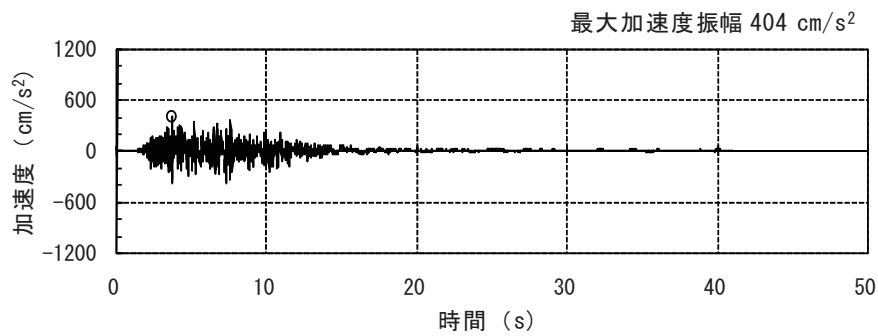


図-5.2.4 タービン建屋の解析に用いる
入力地震動の加速度時刻歴波形 (鉛直方向)

5.2.3. 地震応答解析モデル

本地震に対するタービン建屋の地震応答解析は、「5.2.2. 解析に用いる入力地震動」で算定した入力地震動を用いた動的解析による。

本検討では、5号機原子炉建屋の地震応答解析方針と次の5項目に基づき設計時の解析モデルから修正して新たな解析モデルを構築することとしている。

- ①本検討では、柏崎刈羽原子力発電所7号機等の耐震健全性評価に用いたスウェイ・ロッキングモデルを用いることとする。
- ②設計時にはコンクリートの設計基準強度を基に算定していた鉄筋コンクリート部の剛性評価を、コンクリートの実際の平均的な強度を基に算定して見直すこととする。
- ③設計時には耐震要素として考慮していなかった補助壁について、上下階に応力伝達が可能と考えられる壁を再評価して、新たに耐震要素に取り入れることとする。
- ④設計時には、多質点系並列地盤モデルである格子型モデルにより建物と地盤の相互作用を考慮していたが、本検討では、側面はNovakの水平および回転地盤ばねを、底面は振動アドミッタンス理論により算定した水平および回転地盤ばねを考慮する。なお、今回は地震時の表層地盤の変状を踏まえ、地盤－建屋相互作用効果が見込めないと判断し、表層部分のばね評価を行わないこととする。
- ⑤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

水平方向の地震応答解析モデルは、図-5.2.5 および図-5.2.6 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。

地盤定数は、水平成層地盤と仮定し、地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を表-5.2.2 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。

いずれの地盤ばねも振動数に依存した複素剛性として得られるが、図-5.2.7 に示すようにばね定数 (K_c) として実部の静的な値を、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。

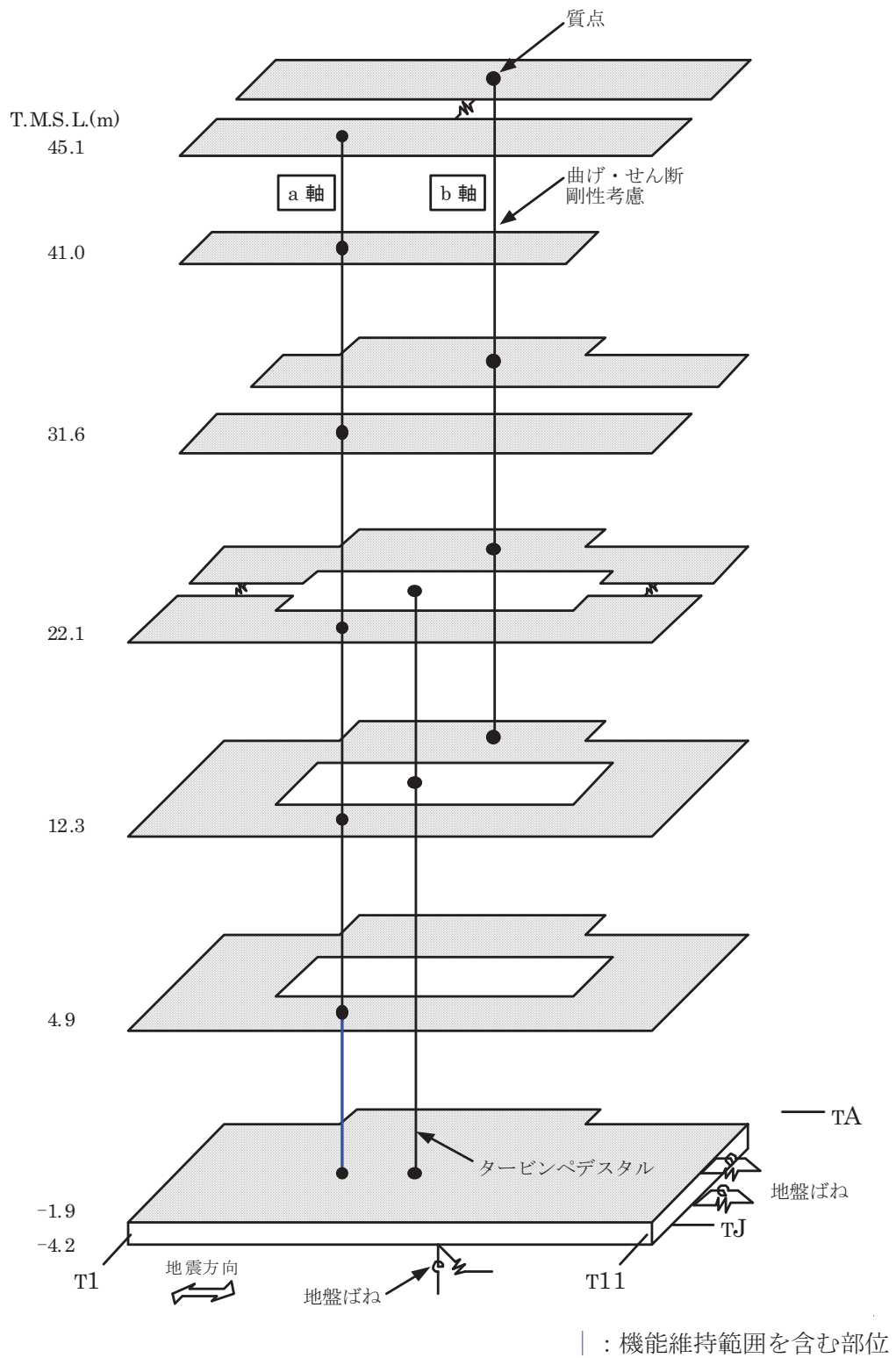


図-5.2.5 地震応答解析モデル (南北方向)

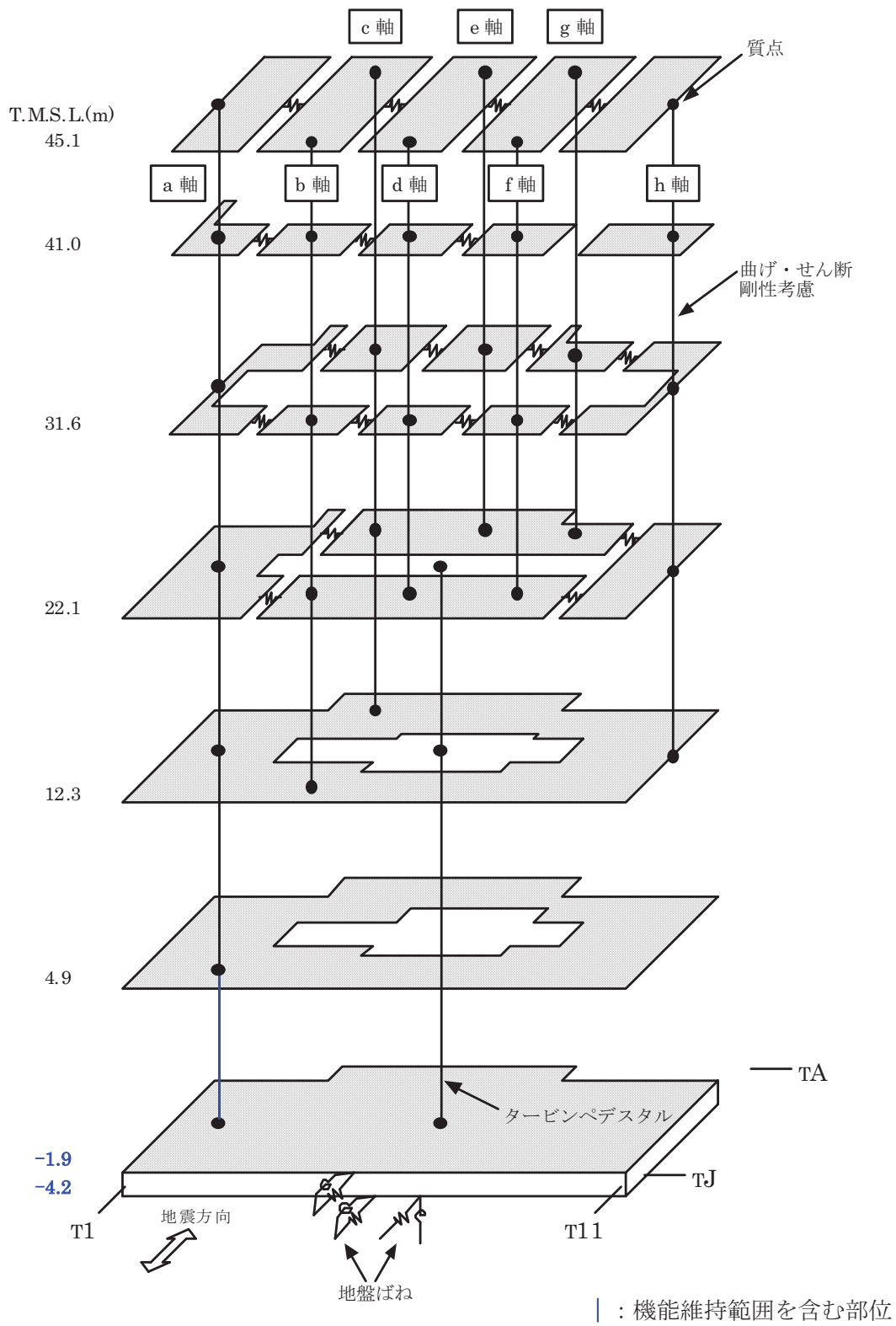


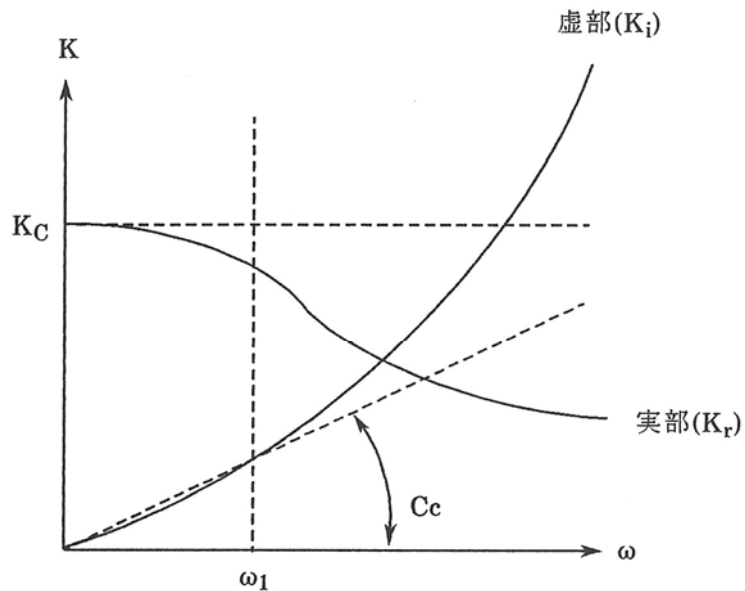
図-5.2.6 地震応答解析モデル（東西方向）

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

表-5.2.2 地盤定数

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_s (kN/m ³)	ポアソン 比 ν	初期せん断 弾性係数 G_0 (N/mm ²)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h (%)
12.0	(砂層)	140	17.9	0.41	34.6	0.40	14
8.0		170	17.9	0.40	54.9	0.40	14
4.0		200	17.9	0.40	69.6	0.40	14
0.0	安田層	310	17.5	0.48	171	0.75	4
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	409	0.85	3
-60.0		560	17.2	0.44	550	0.85	3
-100.0		610	18.0	0.43	683	0.85	3
-134.0	(解放基盤)	710	19.9	0.42	1,020	1.00	-



ω_1 : 建屋-地盤連成系の1次固有振動数

図-5.2.7 地盤ばねの近似

(2) 鉛直方向の地震応答解析モデル

鉛直方向の地震応答解析モデルは、図-5.2.8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-5.2.7に示すようにばね定数 (K_c) として実部の静的な値を、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。

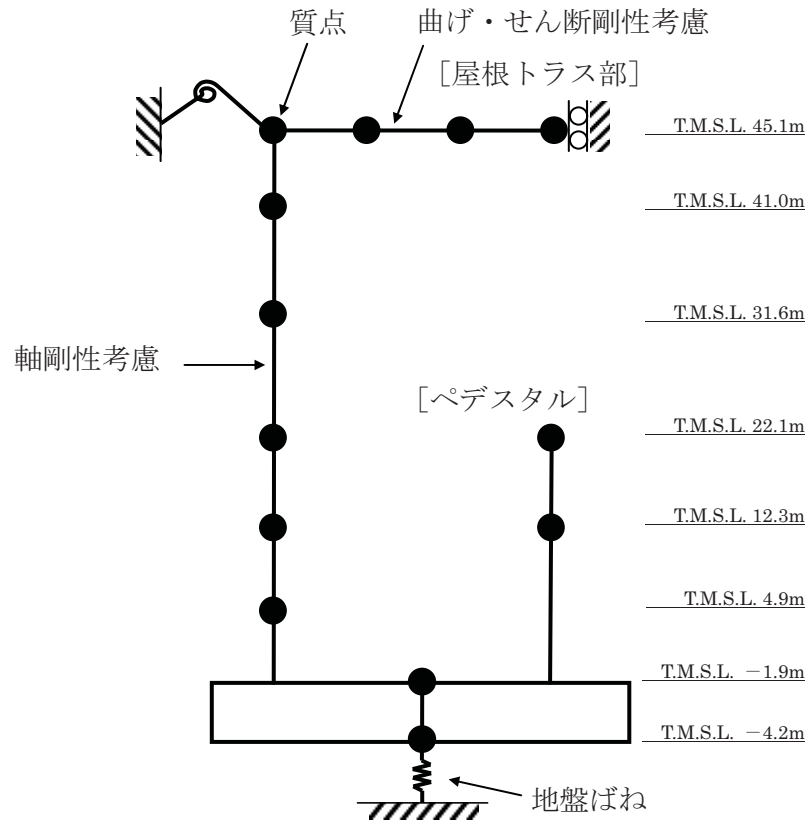


図-5.2.8 地震応答解析モデル（鉛直方向）

5.2.4. 地震応答解析結果

地震応答解析により求められた南北方向、東西方向、鉛直方向の最大応答加速度を図-5.2.9～図-5.2.11に示す。

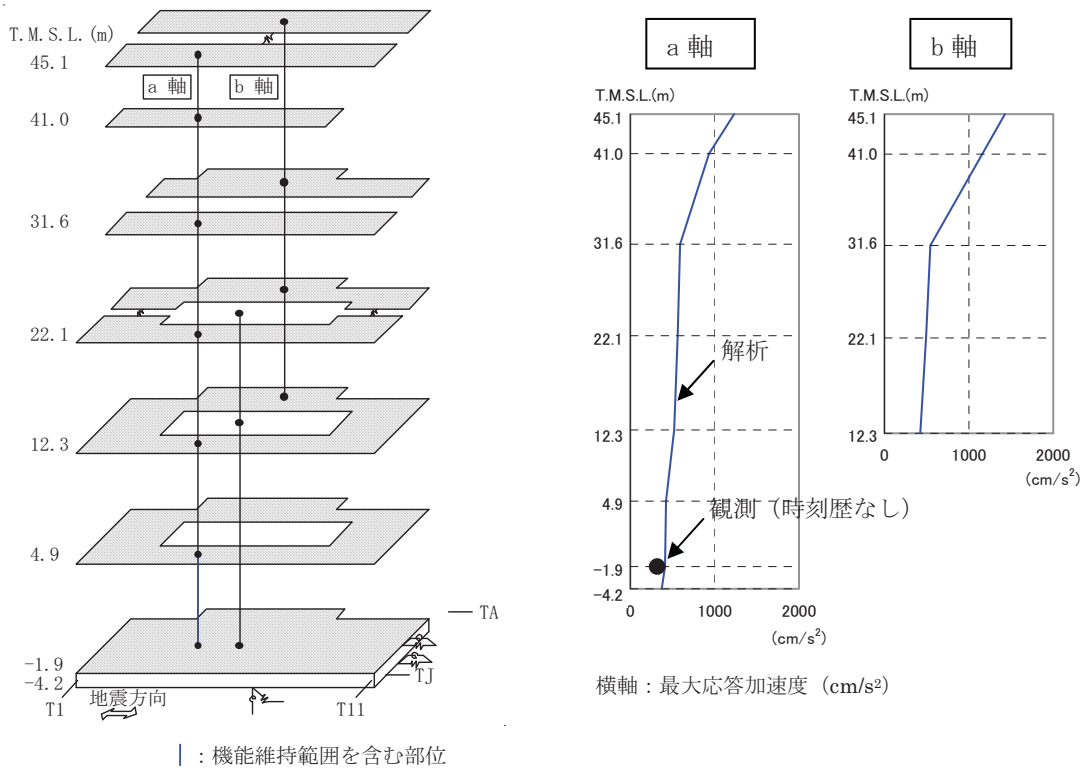


図-5.2.9 最大応答加速度 (南北方向)

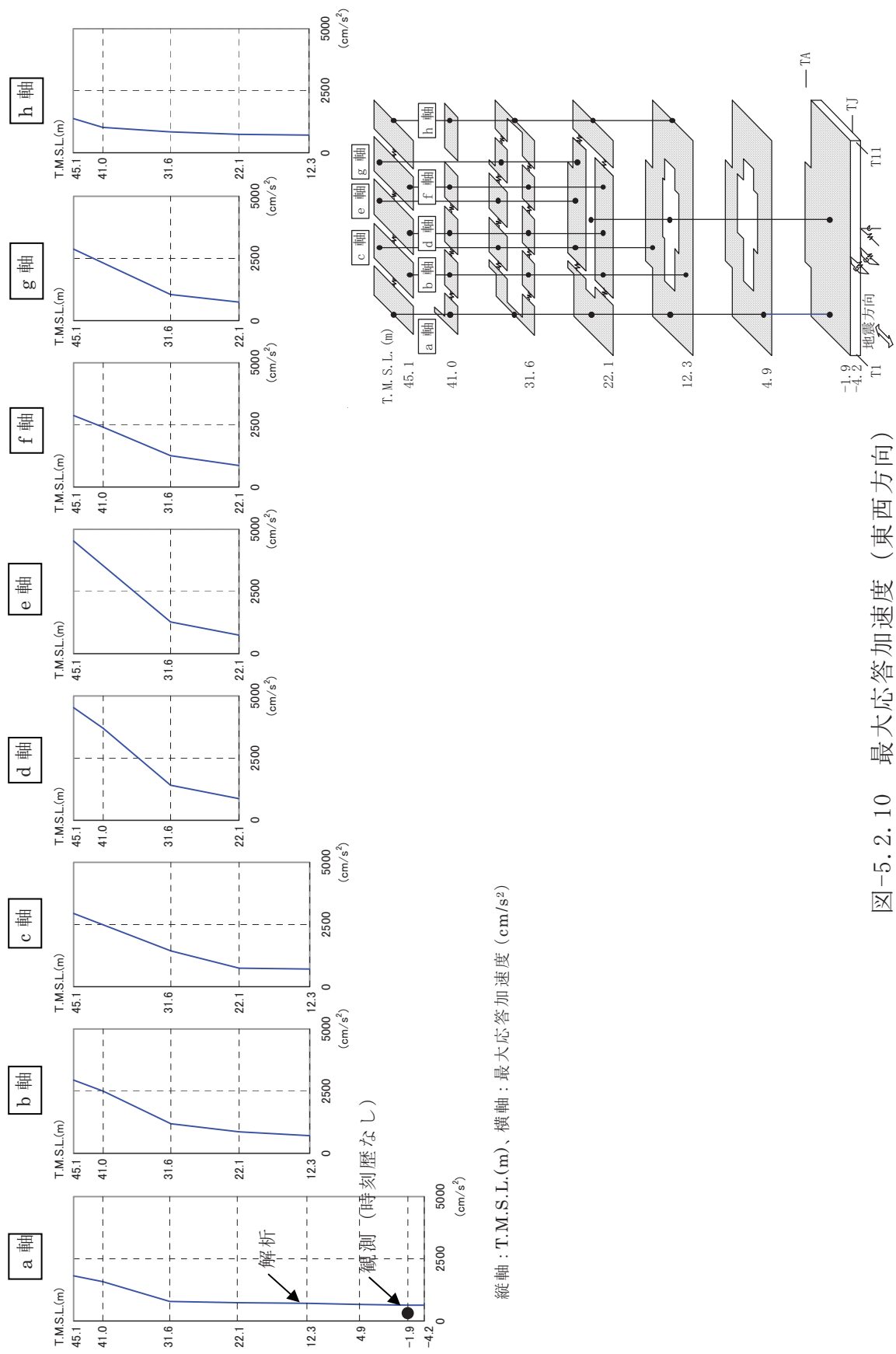


図-5.2.10 最大応答加速度（東西方向）

┆ : 機能維持範囲を含む部位

縦軸：T.M.S.L.(m)、横軸：最大応答加速度 (cm/s²)

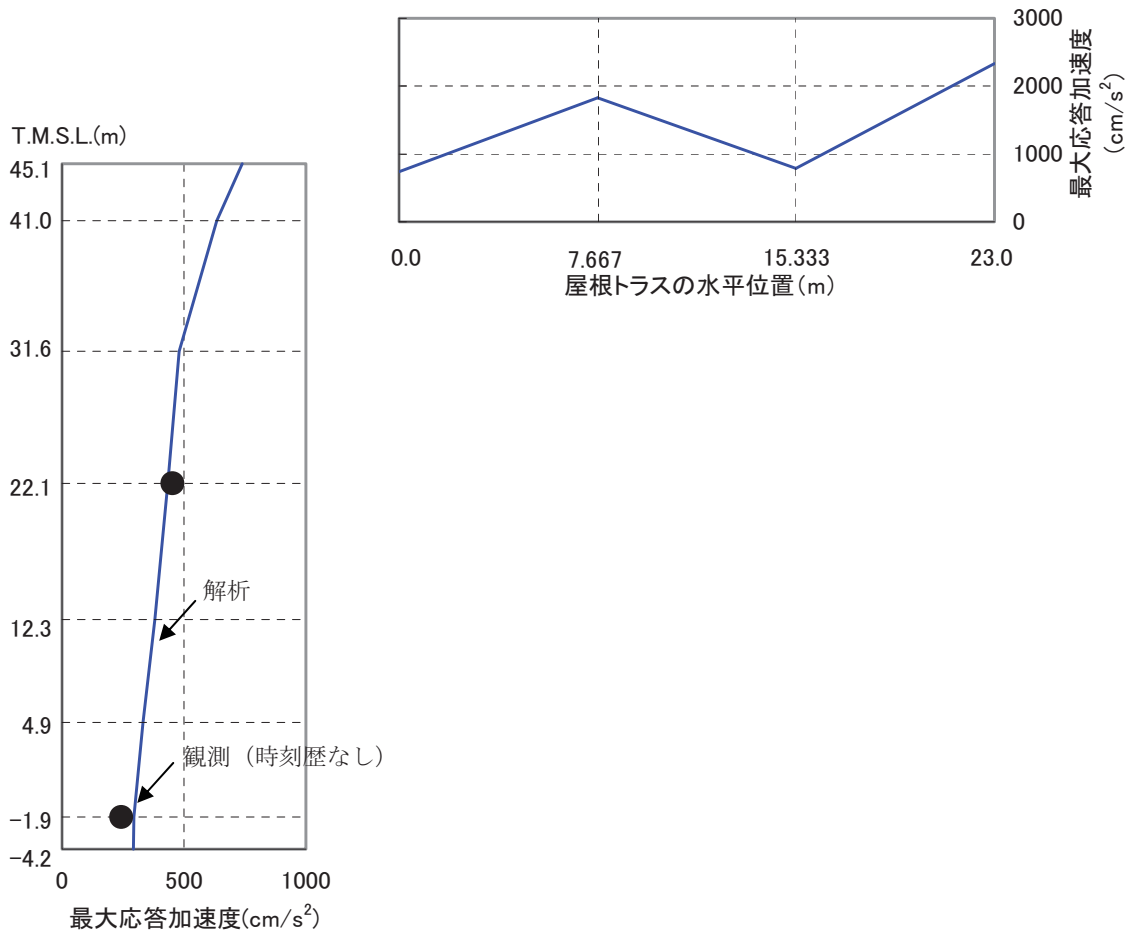
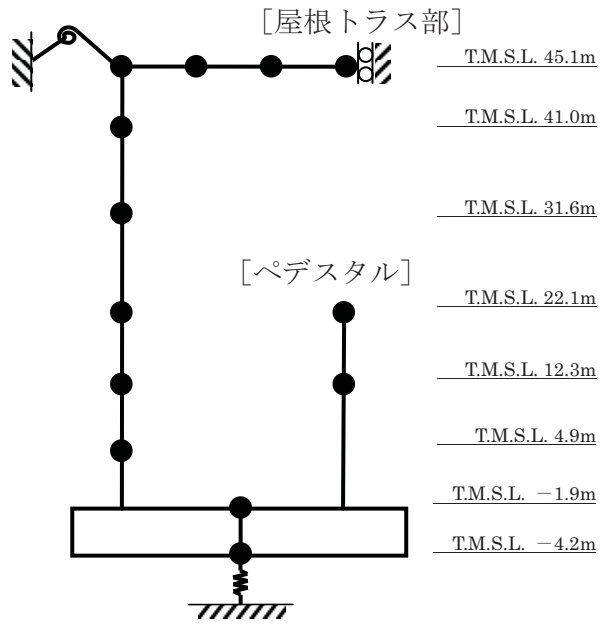


図-5. 2. 11 最大応答加速度 (鉛直方向)

5.2.5. 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を、設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度 ($p_w \cdot \sigma_y^{*1}$) と併せて図-5.2.12 および図-5.2.13 に示す。これより、機能維持部位のせん断応力は、南北方向は設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度を下回っているが、東西方向は設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度をわずかに上回る状態にある。

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-5.2.14 および図-5.2.15 に示している。これより、各階の壁のひずみは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おり、機能維持範囲を含む部位について、応答結果をスケルトン曲線上にプロットしたものを図-5.2.16 および図-5.2.17 に示す。なお、図-5.2.12～図-5.2.17 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。なお、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も同じ図に示している。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。

タービン建屋は、東西方向で設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度をわずかに上回る結果となったが、これは壁に生じるせん断力をコンクリートの負担分を考慮せずに全て鉄筋で負担すると考えた場合に若干不足する配筋量であることを意味する。ただし、図-5.2.17 に示す結果から、耐震壁のせん断応力は、コンクリートの負担分を考慮したスケルトン曲線上の応答としては第1折点を下回るレベルであったため、弾性範囲にあると判断される。

以上のことから、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。

なお、本評価と同一の手法により、「柏崎刈羽原子力発電所における平成19年新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動に係る報告書」(平成20年9月22日補正、東京電力株式会社)に示されている、5号機原子炉建屋基礎版上の記録を用いて推定された解放基盤表面の地震動(以下、「5号機解放基盤波」という)を用いて地震応答解析を実施した結果、本評価と

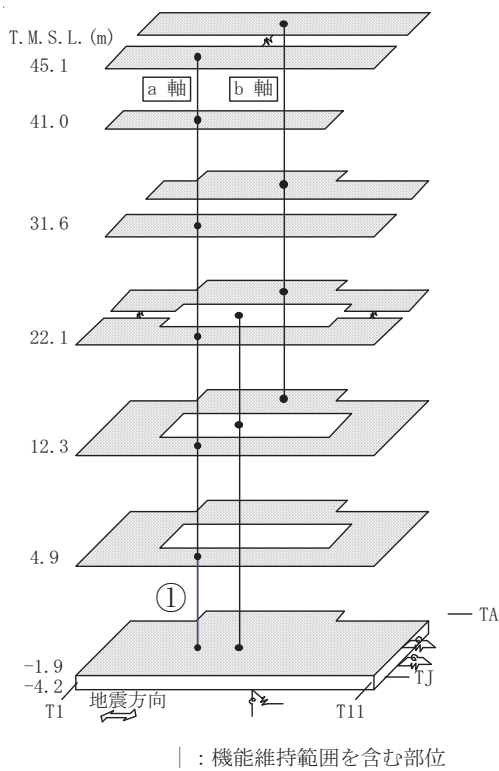
同様に、耐震壁の鉄筋コンクリート部は、概ね弾性範囲にあると判断され、耐震健全性は確保されているものと評価した。(参考資料 4 参照)

※ 1 : p_w 耐震壁の設計鉄筋比

σ_y 鉄筋の短期許容引張応力度 (SD345 : 345N/mm²)

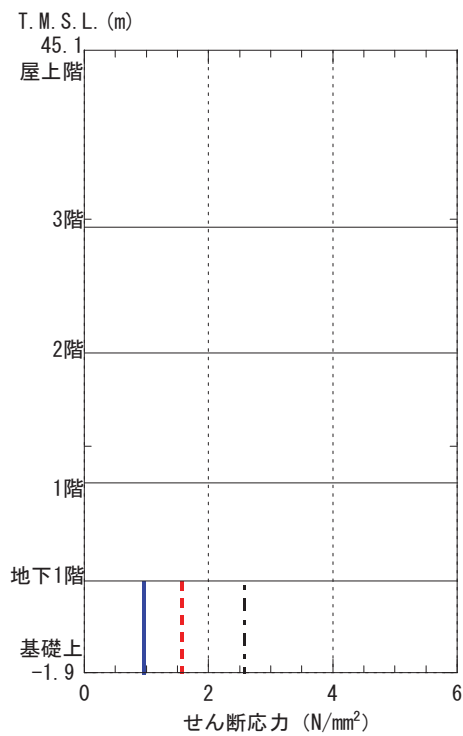
(参考)

図-5.2.12～図-5.2.13 には、コンクリートのせん断ひび割れ発生応力 (「JEAG 4601-1991」による) を示している。



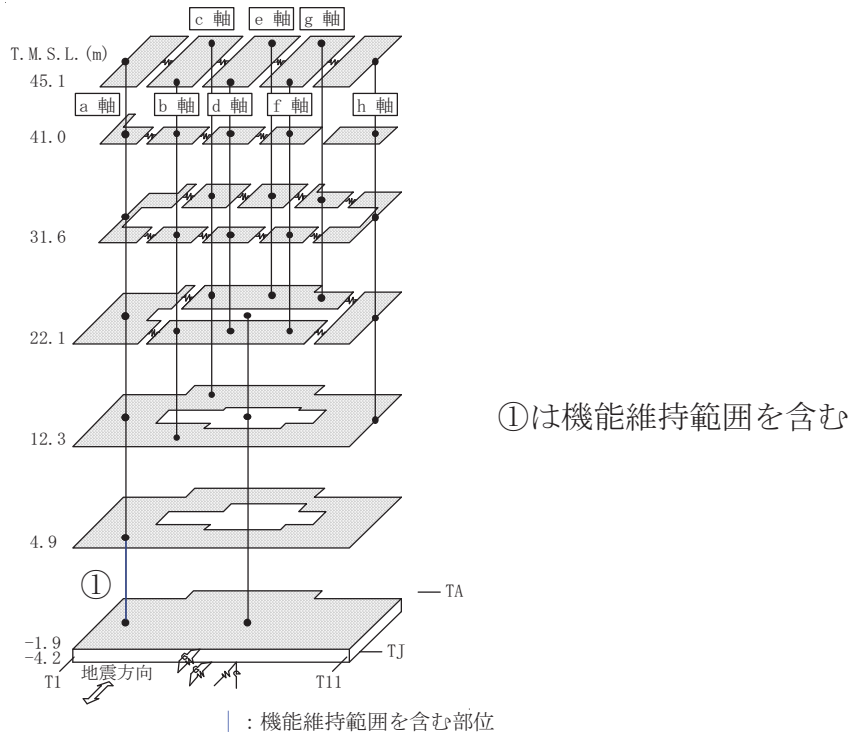
①は機能維持範囲を含む

- せん断応力
- 設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度 ($p_w \cdot \sigma_y$)
- - - - コンクリートのせん断ひび割れ発生応力 τ_c (JEA64601)

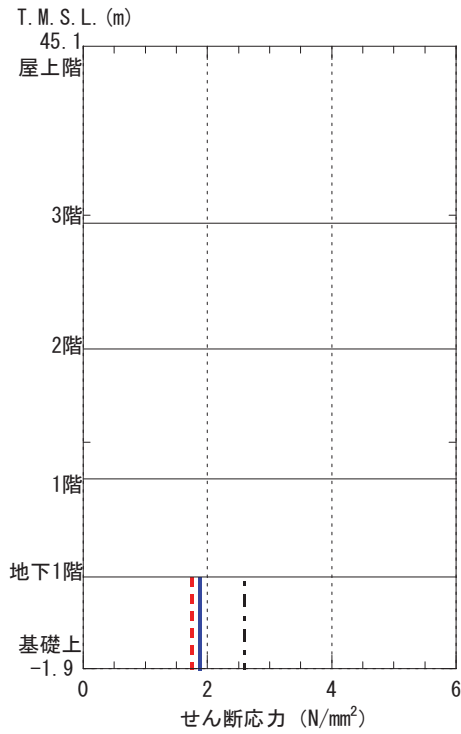


機能維持部位①

図-5.2.12 機能維持部位のせん断応力 (南北方向)

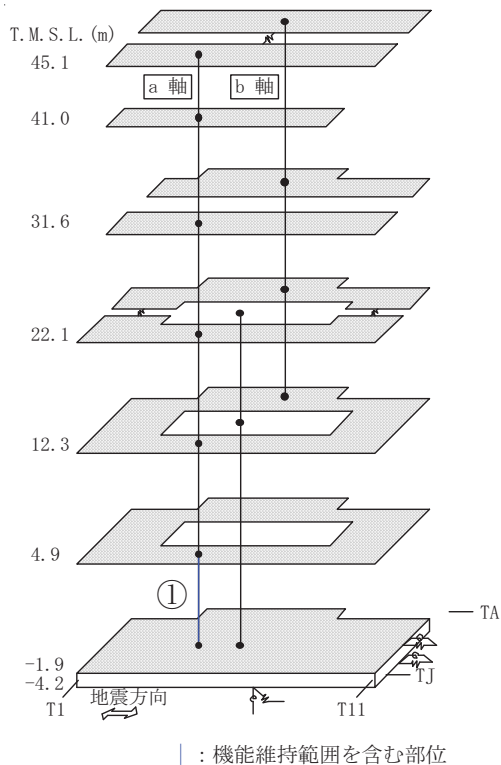


— せん断応力
 設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度 ($p_w \cdot \sigma_y$)
 - - - - - コンクリートのせん断ひび割れ発生応力 τ_c (JEA64601)



機能維持部位①

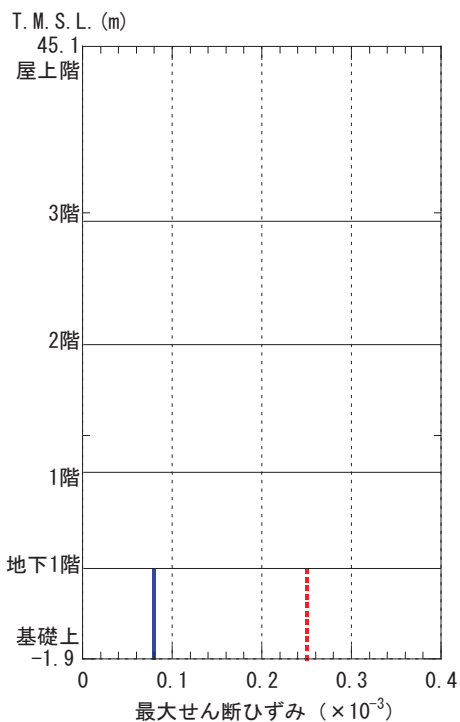
図-5.2.13 機能維持部位のせん断応力 (東西方向)



①は機能維持範囲を含む

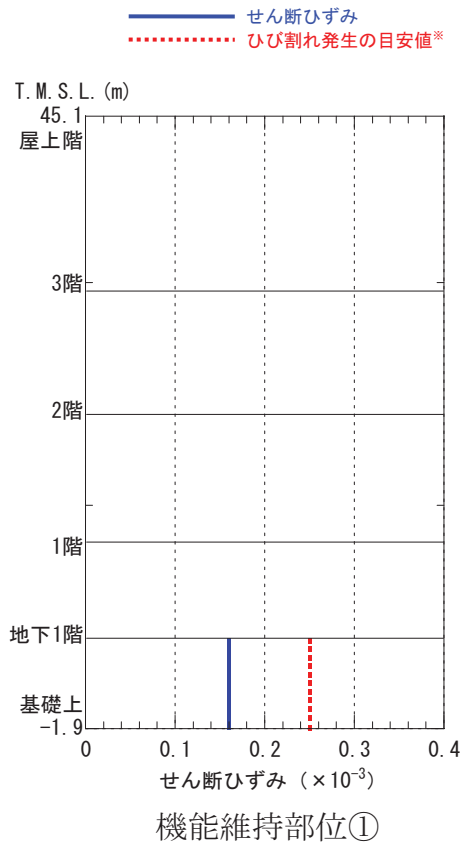
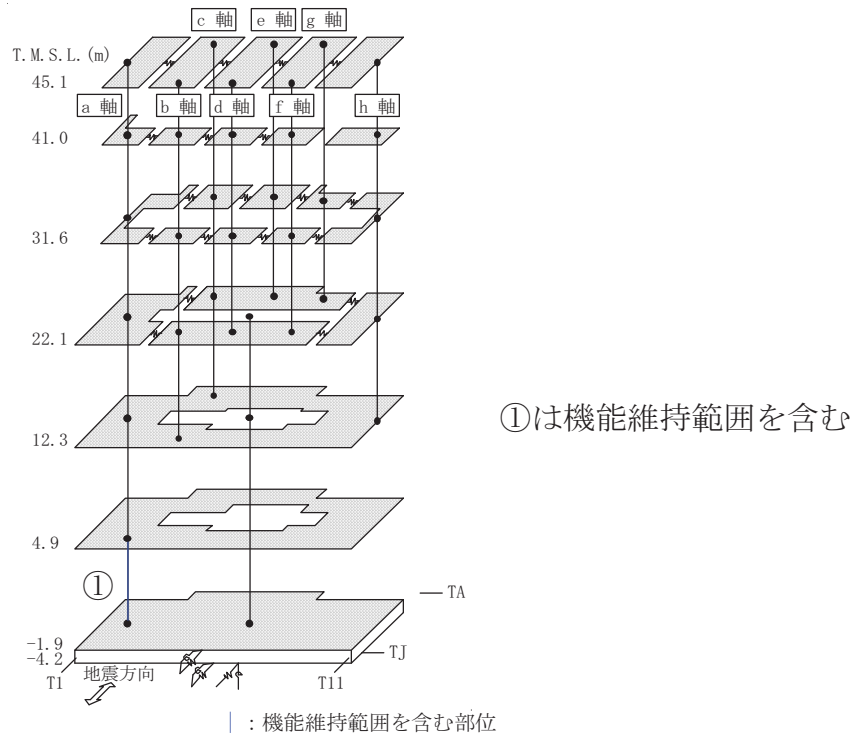
— せん断ひずみ
 ひび割れ発生の目安値*

※過去の実験結果の平均的な値による目安値であり、せん断初ひび割れが発生するせん断ひずみの値にはばらつきがある。



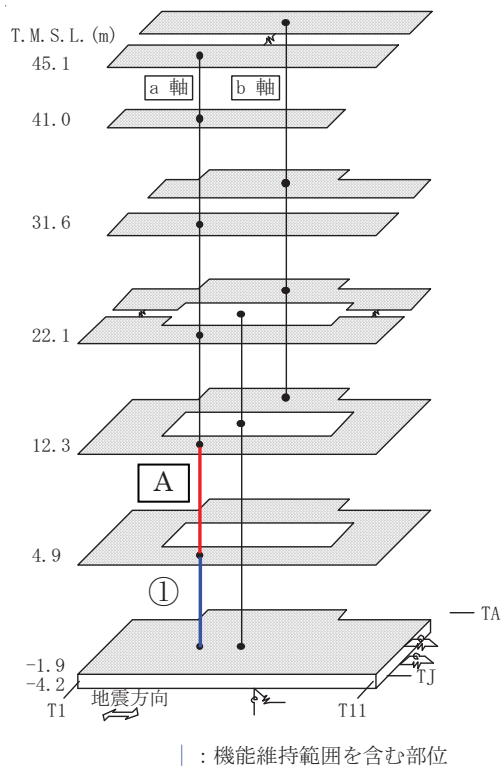
機能維持部位①

図-5.2.14 機能維持部位のせん断ひずみ (南北方向)



※過去の実験結果の平均的な値による目安値であり、せん断初ひび割れが発生するせん断ひずみの値にはばらつきがある。

図-5.2.15 機能維持部位のせん断ひずみ（東西方向）



①は機能維持範囲を含む
○はせん断スケルトン曲線上の最大応答値を表す。

機能維持部位①

機能維持範囲を含まない部位で耐震壁のせん断ひずみが最も大きかった部位 A

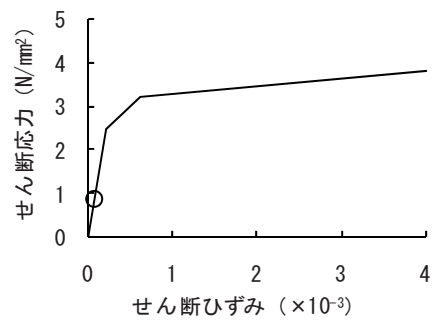
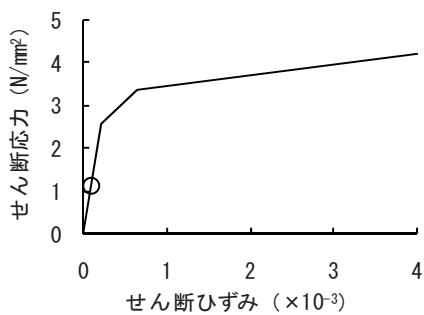
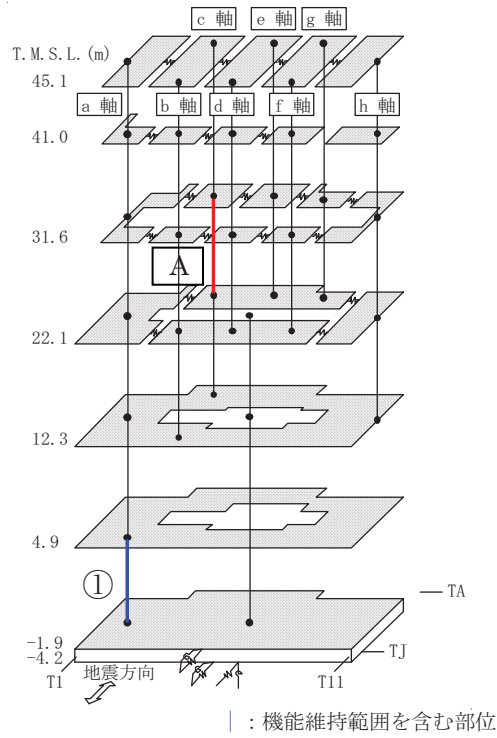


図-5.2.16 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (南北方向)



①は機能維持範囲を含む
○はせん断スケルトン曲線上の最大応答値を表す。

機能維持範囲を含まない部位で耐震壁のせん断ひずみが最も大きかった部位 A

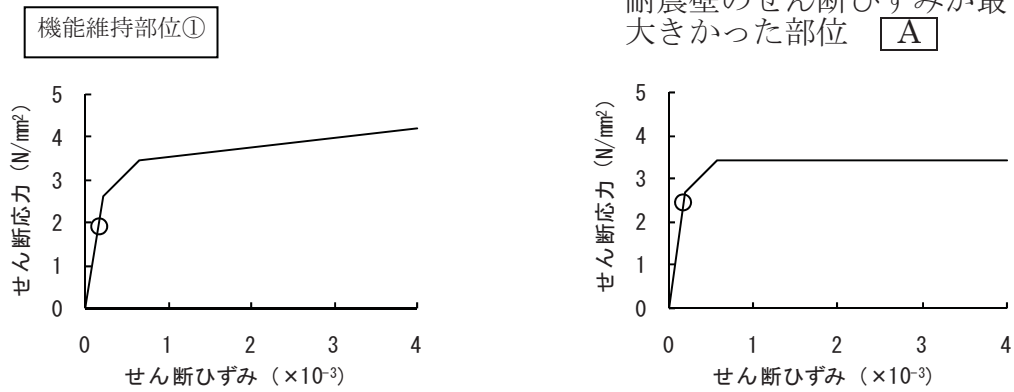


図-5.2.17 せん断スケルトン曲線上の最大応答値（東西方向）

5.3 海水熱交換器建屋の耐震健全性評価

5.3.1. 解析評価方針

海水熱交換器建屋の耐震健全性評価は、5号機原子炉建屋基礎版上の地震観測記録に基づく入力地震動を用いた地震応答解析によることを基本とし、建物・構築物や地盤の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で行う。

解析モデルは、地下2階、地下1階および1階に設置された耐震上重要な機器・配管系を含む建屋全域を1軸質点系モデルとし、当該床を支持する耐震壁を機能維持部位として耐震安全性を評価する。

耐震壁の評価は、地震応答解析により得られた該当部位のせん断応力に対して、設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度と比較することによって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確認を行うこととする。

なお、この段階で裕度が比較的少ない場合には、さらに詳細な検討を行うこととする。

海水熱交換器建屋の地震応答解析の評価手順例を図-5.3.1に示す。

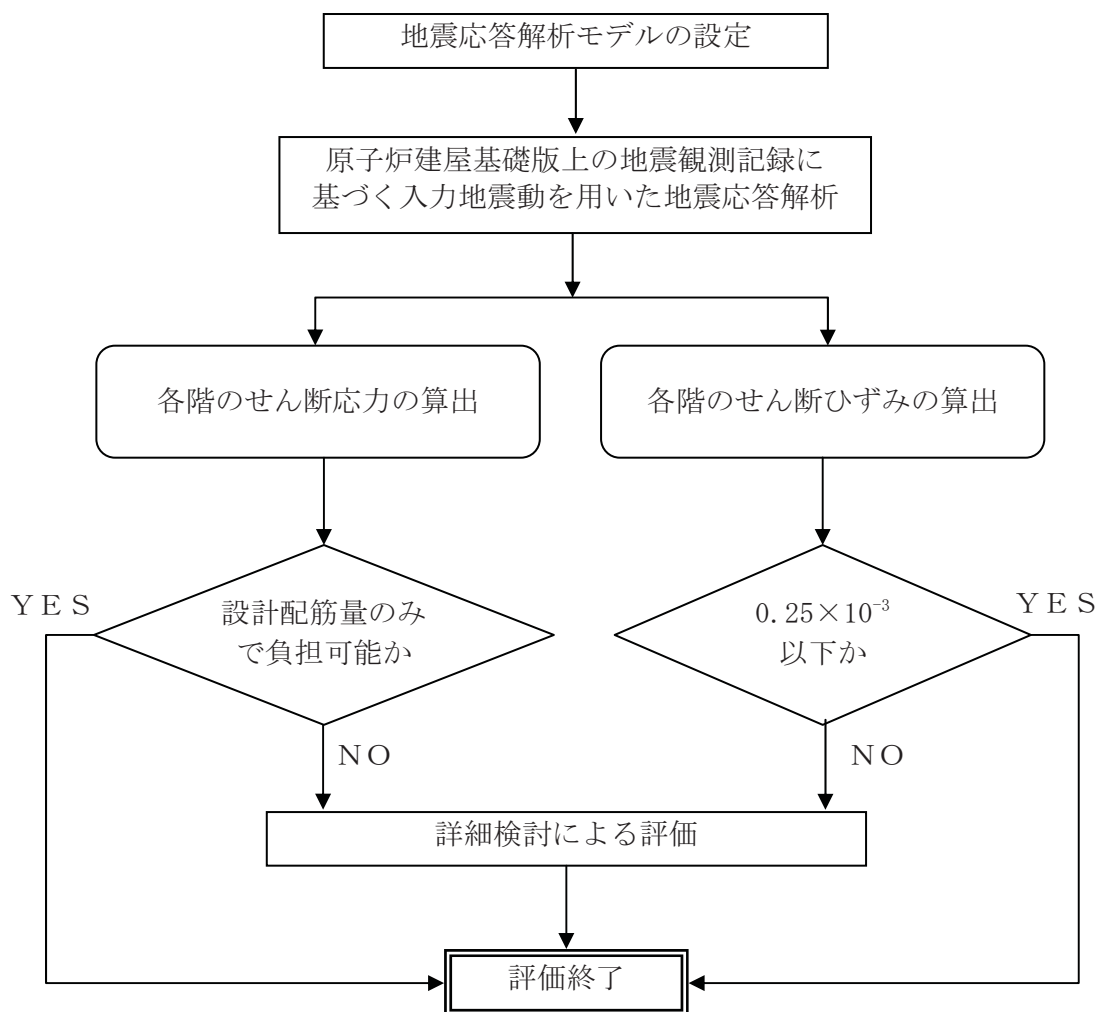


図-5.3.1 海水熱交換器建屋の地震応答解析の評価手順例

5.3.2. 解析に用いる入力地震動

海水熱交換器建屋は地震観測記録のない建屋であることから、本地震に対する地震応答解析は、5号機原子炉建屋基礎版上における水平方向および鉛直方向の地震観測記録に基づく入力地震動を用いた動的解析による。

この海水熱交換器建屋の地震応答解析に用いる入力地震動は、図-5.3.2 に示すように、5号機原子炉建屋基礎版上での地震観測記録から原子炉建屋の解析モデルの伝達関数を用いて基礎下端における入力地震動①を算出し、それを海水熱交換器建屋の地盤モデルの同一レベル位置に定義し、地盤の応答解析を実施して海水熱交換器建屋の入力地震動②を求める手順で行う。

以上の考え方より求めた海水熱交換器建屋の基礎下端レベル (T.M.S.L. -7.2m) における入力地震動を図-5.3.3 および図-5.3.4 に示す。

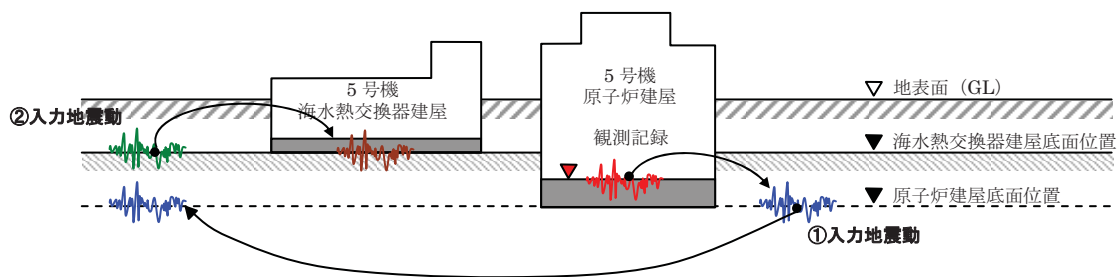
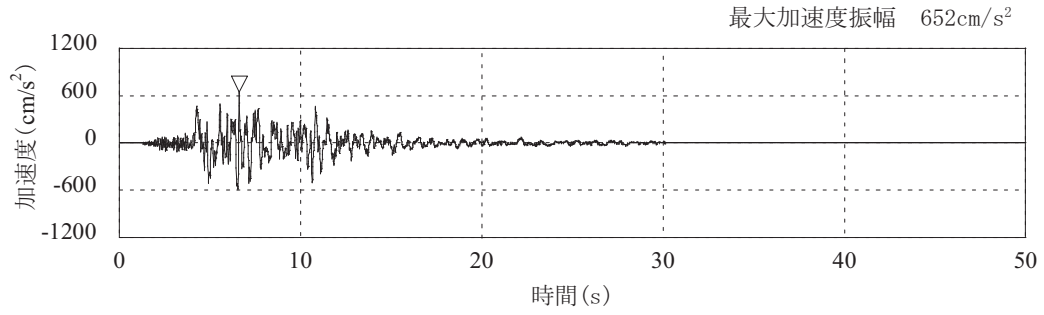
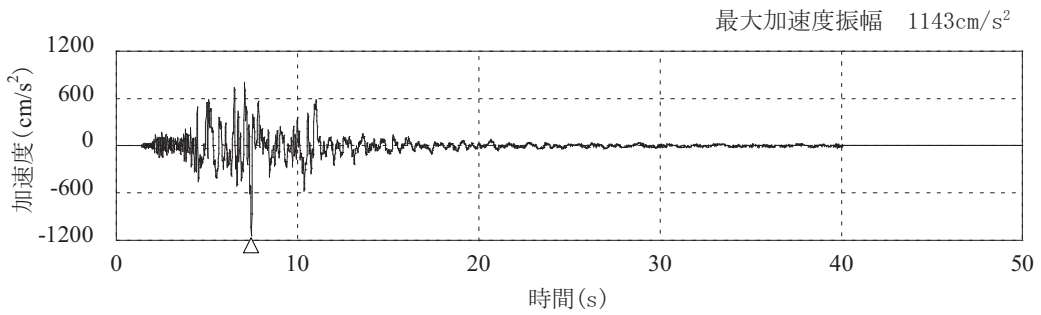


図-5.3.2 地震応答解析に用いる入力地震動の考え方



(南北成分)



(東西成分)

図-5.3.3 解析に用いる入力地震動の加速度時刻歴波形 (水平方向)

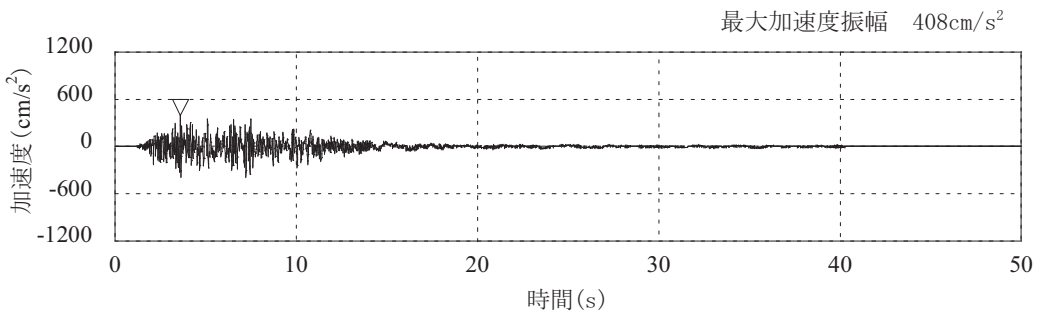


図-5.3.4 解析に用いる入力地震動の加速度時刻歴波形 (鉛直方向)

5.3.3. 地震応答解析モデル

本地震に対する海水熱交換器建屋の地震応答解析は、「5.3.2. 解析に用いる入力地震動」で算定した入力地震動を用いた動的解析による。

本検討では、5号機原子炉建屋の地震応答解析方針と次の3項目に基づき設計時の解析モデルを修正し、新たな解析モデルを構築することとしている。

- ①本検討では、柏崎刈羽原子力発電所7号機等の耐震健全性評価に用いたスウェイ・ロッキングモデルを用いることとする。
- ②設計時にはコンクリートの設計基準強度を基に算定していた鉄筋コンクリート部の剛性評価を、コンクリートの実際の平均的な強度を基に算定して見直すこととする。
- ③設計時には、多質点系並列地盤モデルである格子型モデルにより建物と地盤の相互作用を考慮していたが、本検討では、底面を振動アドミタンス、側面をNovakの方法により算定した水平および回転地盤ばねを考慮する。なお、今回は地震時の表層地盤の変状を踏まえ、地盤－建屋相互作用効果が見込めないと判断し、表層部分のばね評価を行わないこととする。

(1) 水平方向の地震応答解析モデル

水平方向の地震応答解析モデルは、図-5.3.5 および図-5.3.6 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-5.3.1 に示す。

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

水平方向の解析モデルにおいて、基礎底面地盤ばねについては、「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。

地盤ばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが、図-5.3.7 に示すようにばね定数 (K_c) として実部の静的な値を、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。

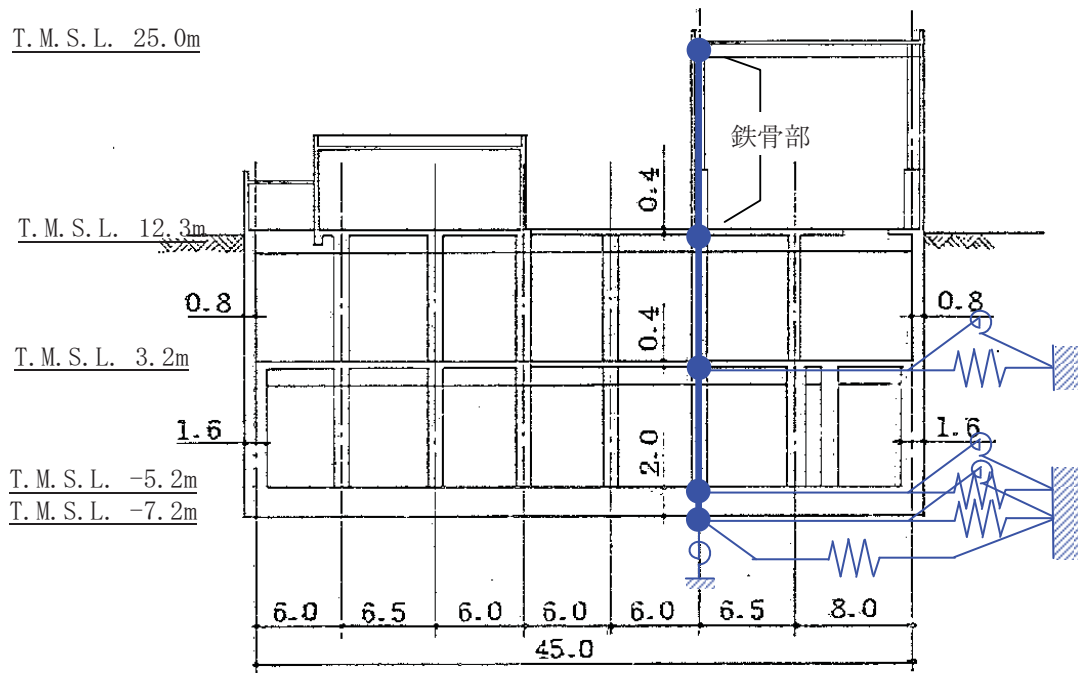


図-5.3.5 地震応答解析モデル（南北方向）

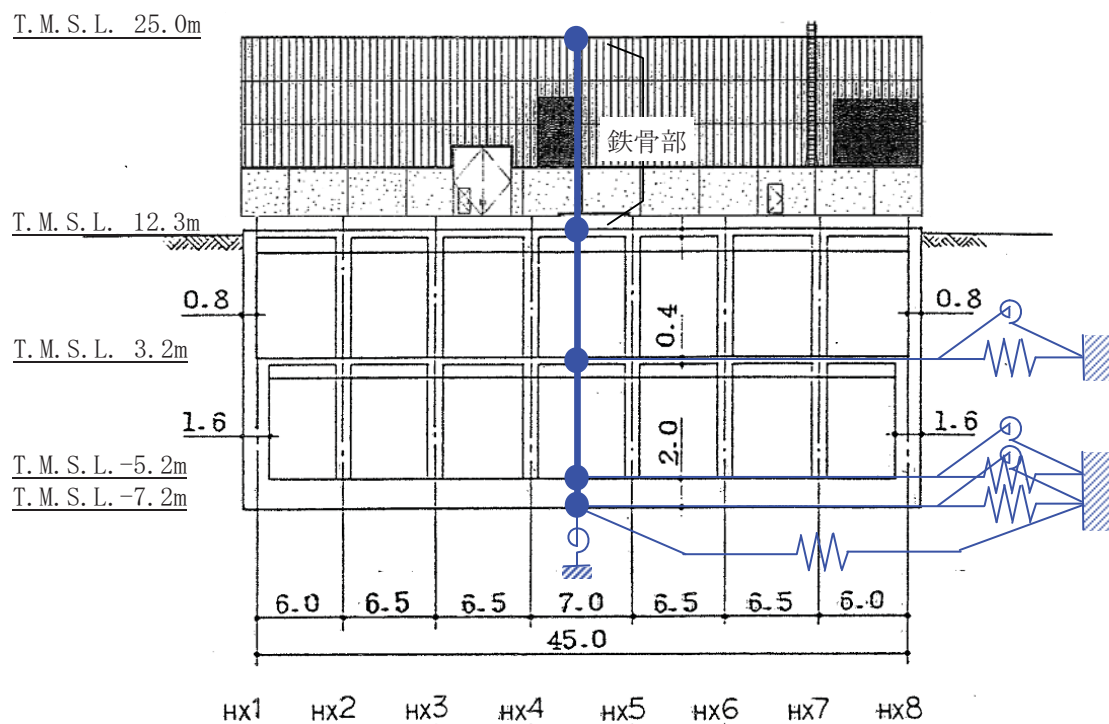


図-5.3.6 地震応答解析モデル（東西方向）

表-5.3.1 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 ν	減衰定数 h (%)
コンクリート	2.90×10^4	1.21×10^4	0.20	5
鉄骨	2.05×10^5	7.90×10^4	0.30	2

表-5.3.2 地盤定数

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m^3)	ポアソン比 ν	初期 せん断 弾性係数 G_0 (N/mm^2)	剛性 低下率 G/G_0	減衰定数 h (%)
12.0	(砂層)	140	17.9	0.41	34.6	0.40	14
8.0		170		0.40	54.9	0.40	14
4.0		200			69.6	0.40	14
0.0	安田層	310	17.5	0.48	171	0.75	4
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	409	0.85	3
-60.0		560	17.2	0.44	550	0.85	3
-100.0		610	18.0	0.43	683	0.85	3
-134.0		(解放基盤)	710	19.9	0.42	1,020	1.00

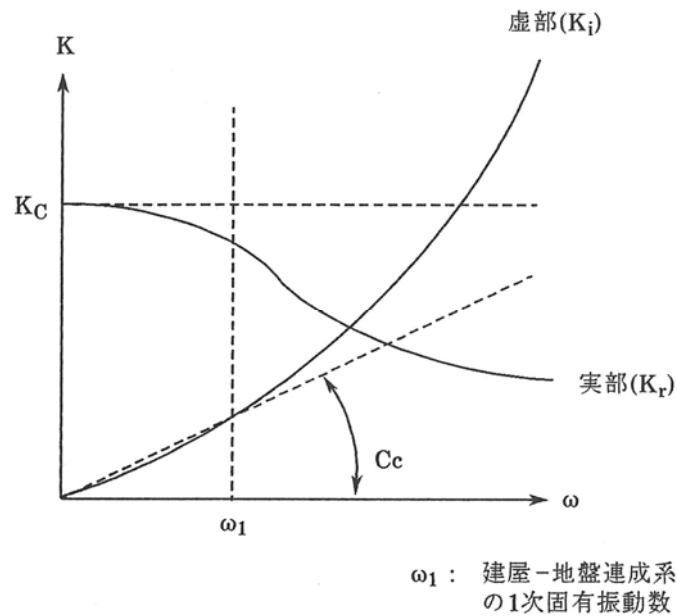


図-5.3.7 地盤ばねの近似

(2) 鉛直方向の地震応答解析モデル

鉛直方向の地震応答解析モデルは、図-5.3.8 に示すように、軸変形をする外壁および曲げ変形とせん断変形をする屋根鉄骨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、屋根鉄骨端部の柱が屋根鉄骨部の曲げ変形を拘束する影響を考慮して回転ばねを取り付けている。建屋-地盤連成系としての効果は地盤ばねおよび入力地震動によって評価される。

地盤は水平方向の地震応答解析モデルと同様な地盤定数を用いる。

鉛直方向の解析モデルにおいて、基礎底面地盤ばねについては、スウェイおよびロッキングばね定数の評価法と同様、成層補正を行ったのち、振動アドミ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-5.3.7 に示すようにばね定数 (K_c) として実部の静的な値を、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。

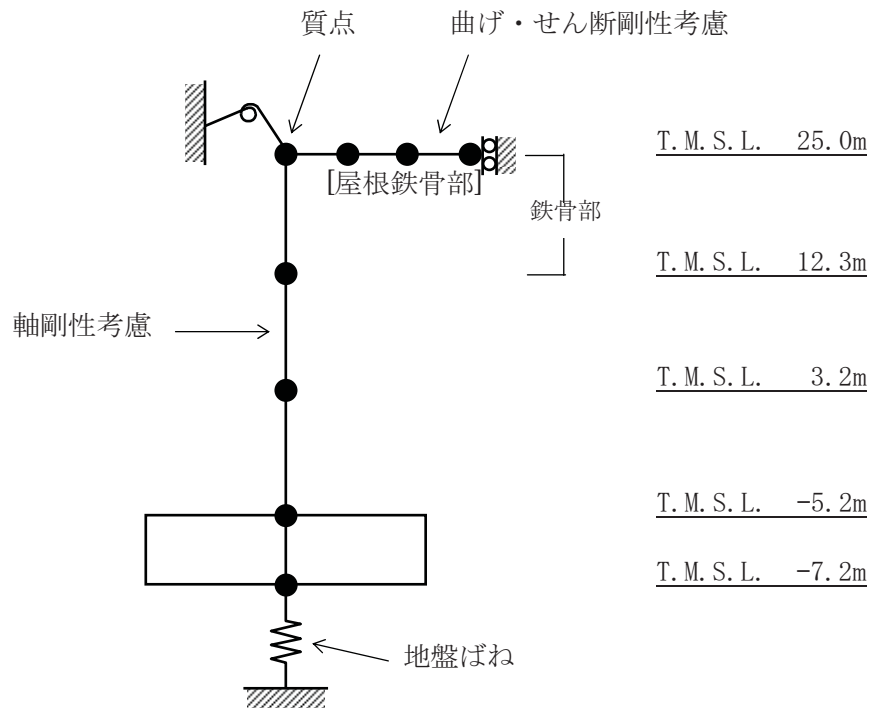


図-5.3.8 地震応答解析モデル（鉛直方向）

5.3.4. 地震応答解析結果

地震応答解析により求められた南北方向、東西方向、鉛直方向の最大応答加速度を図-5.3.9～図-5.3.11に示す。

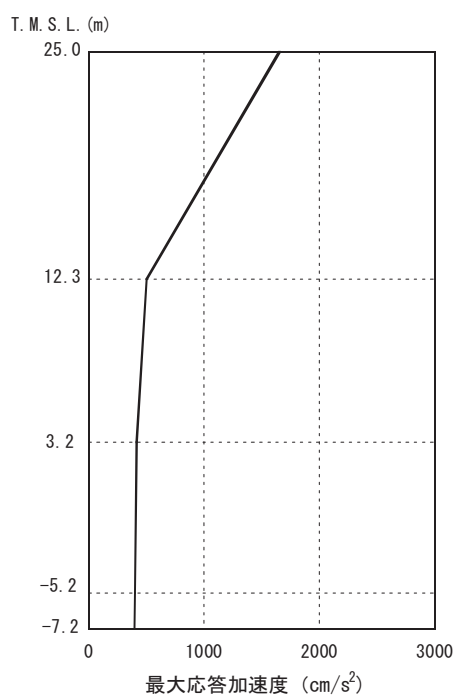


図-5.3.9 最大応答加速度（南北方向）

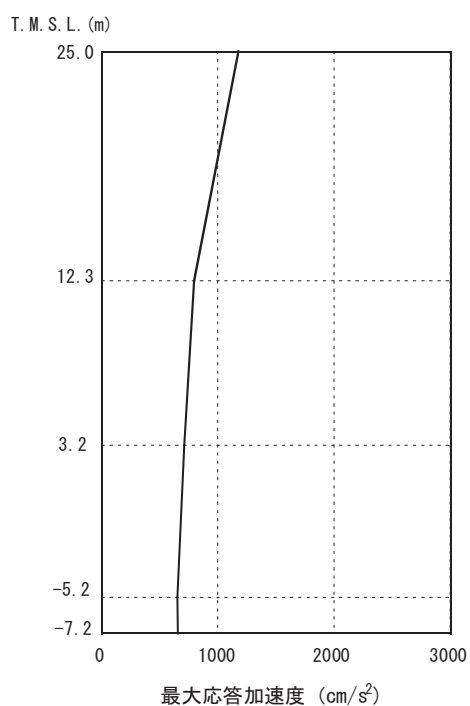


図-5.3.10 最大応答加速度（東西方向）

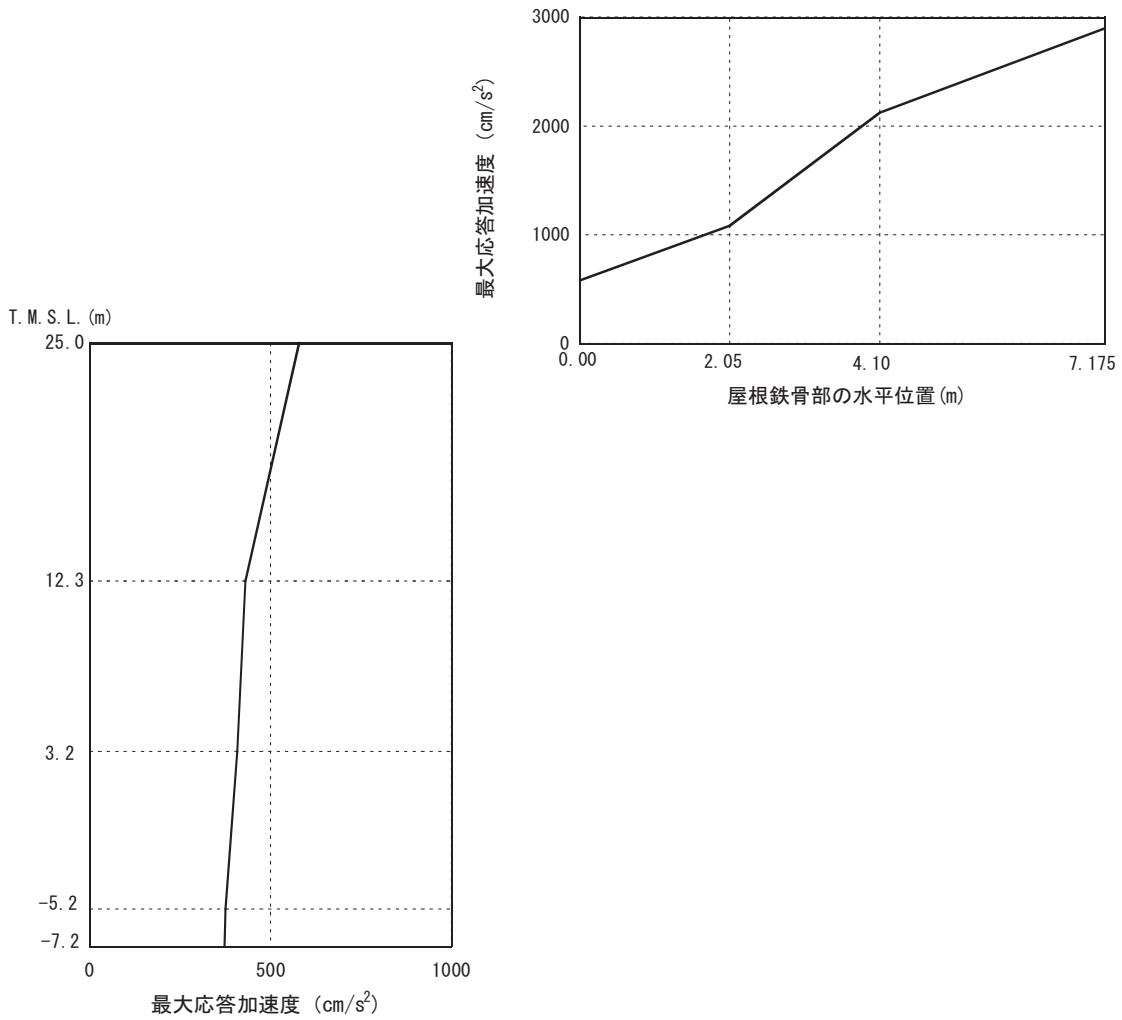
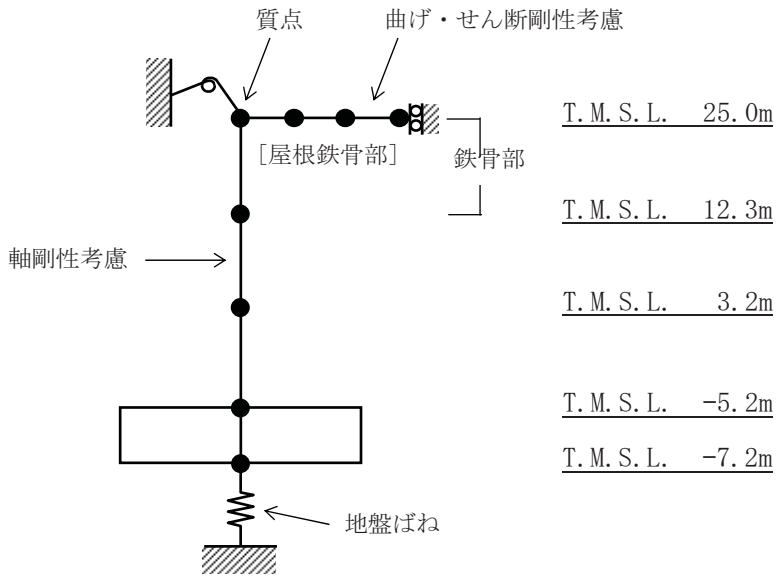


図-5.3.11 最大応答加速度 (鉛直方向)

5.3.5. 耐震健全性評価結果

地震応答解析により得られたせん断応力を、設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度 ($p_w \cdot \sigma_y^{※1}$) と併せて図-5.3.12 および図-5.3.13 に示す。

これより、南北方向の地震応答解析による応答せん断応力は設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度に比べ余裕のある値となっている。東西方向の地下1階の応答せん断応力も余裕があるが、地下2階はほぼ同程度となっている。

また、地震応答解析により得られたせん断ひずみを、壁のひび割れが発生するひずみの目安値と併せて図-5.3.14 および図-5.3.15 に示す。各階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り、余裕のある値となっている。

地下2階の東西方向の応答せん断応力が $p_w \cdot \sigma_y$ に近い値であったことから「JEAG 4601-1991」により当該部位のせん断応力—ひずみ関係を算定し、応答値との関係を確認した。結果を図-5.3.16 に示す。これより、耐震壁のせん断応力は、コンクリートの負担分を考慮したスケルトン曲線上の応答としては第1折点を下回るレベルであることから、弾性範囲にあると判断される。

以上のことから、耐震壁の機能維持部位は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。

なお、本評価と同一の手法により、「5号機解放基盤波」を用いて地震応答解析を実施した結果、本評価と同様に、耐震壁の鉄筋コンクリート部は、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ものと評価した。(参考資料6参照)

※1： p_w 耐震壁の設計鉄筋比

σ_y 鉄筋の短期許容引張応力度(SD345：345N/mm²)

(参考)

図-5.3.12 および図-5.3.13 には、コンクリートのせん断ひび割れ発生応力(「JEAG 4601-1991」による)を示している。

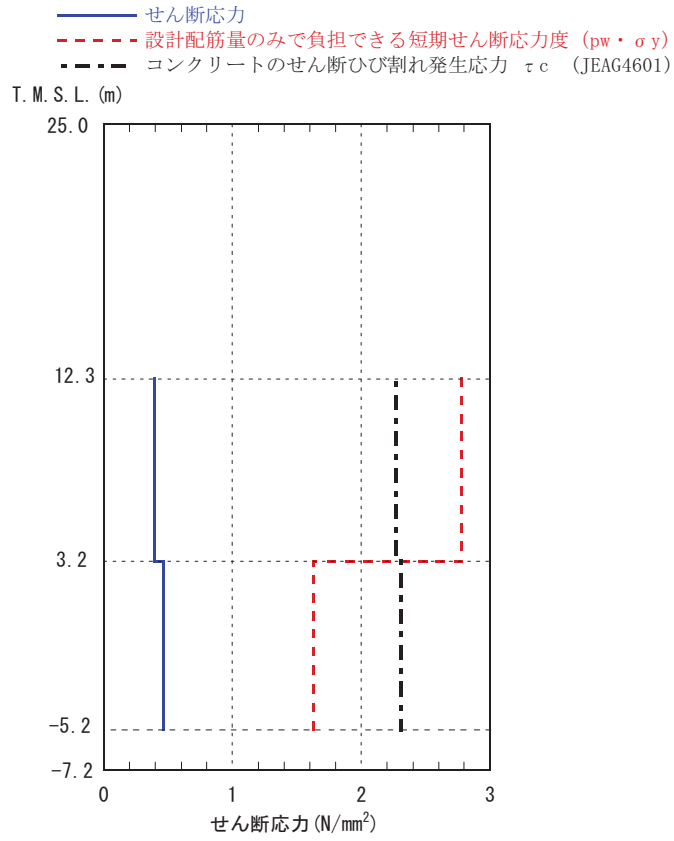


図-5.3.12 耐震壁のせん断応力（南北方向）

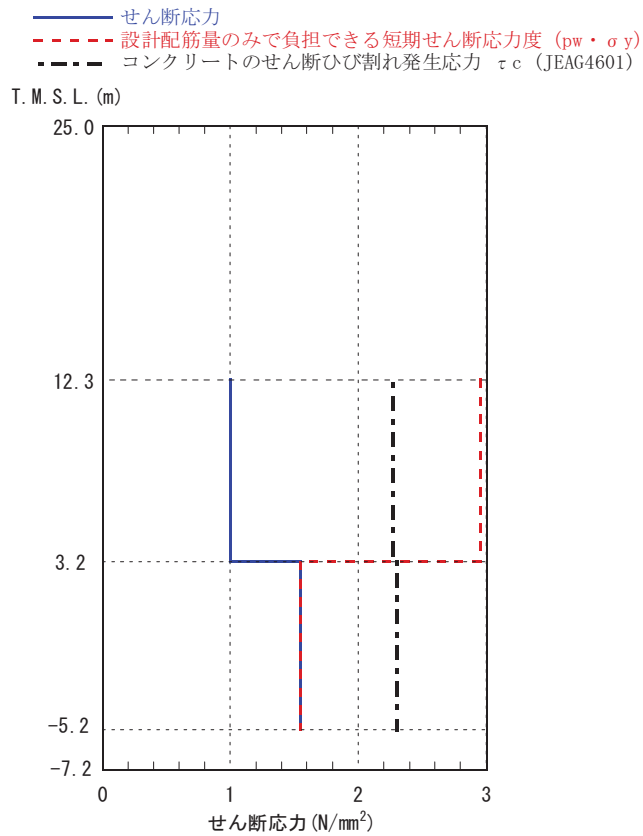


図-5.3.13 耐震壁のせん断応力（東西方向）

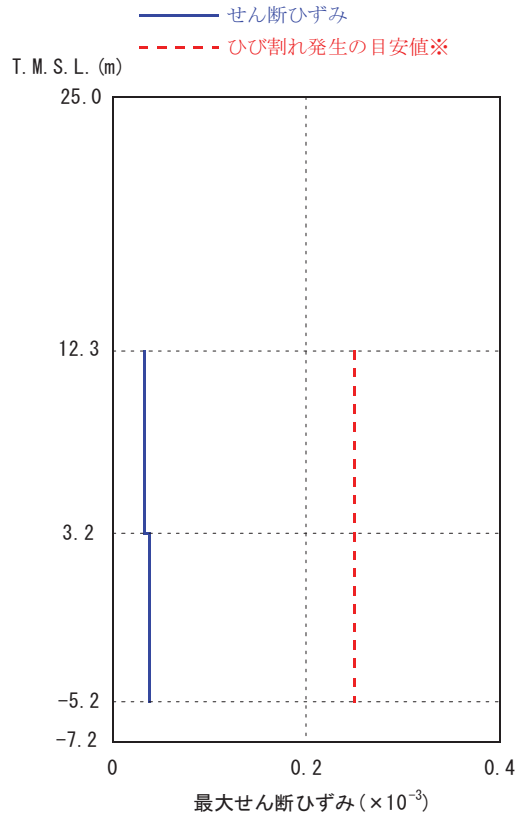


図-5. 3. 14 耐震壁のせん断ひずみ (南北方向)

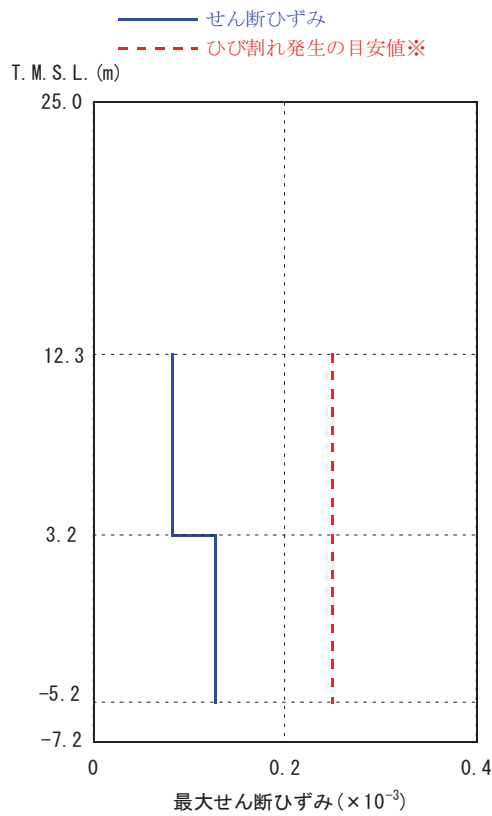
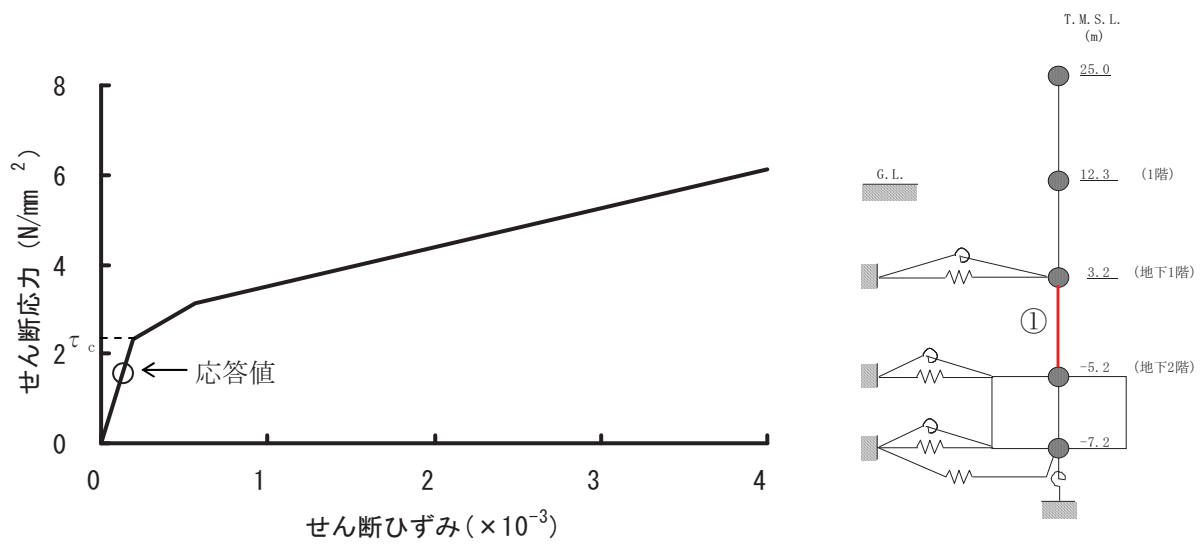


図-5. 3. 15 耐震壁のせん断ひずみ (東西方向)



τ_c : コンクリートのせん断ひび割れ発生応力 (JEAG4601)

①は対象の部位を示す

図-5.3.16 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (東西方向、地下2階)

5.4. 排気筒の耐震健全性評価

5.4.1. 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、杭-上部構造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-5.4.1 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、図-5.4.2 に示すように、5号機原子炉建屋基礎版上での地震観測記録から原子炉建屋の基礎下端における入力地震動①を算出し、それを排気筒の地盤モデルの同一レベル位置に定義し、表-5.4.2 に示す地盤モデルを用いて入力地震動②を求める手順で行う。このうち、杭先端位置レベルの水平2成分と鉛直成分の入力地震動を図-5.4.3 および図-5.4.4 に示す。

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

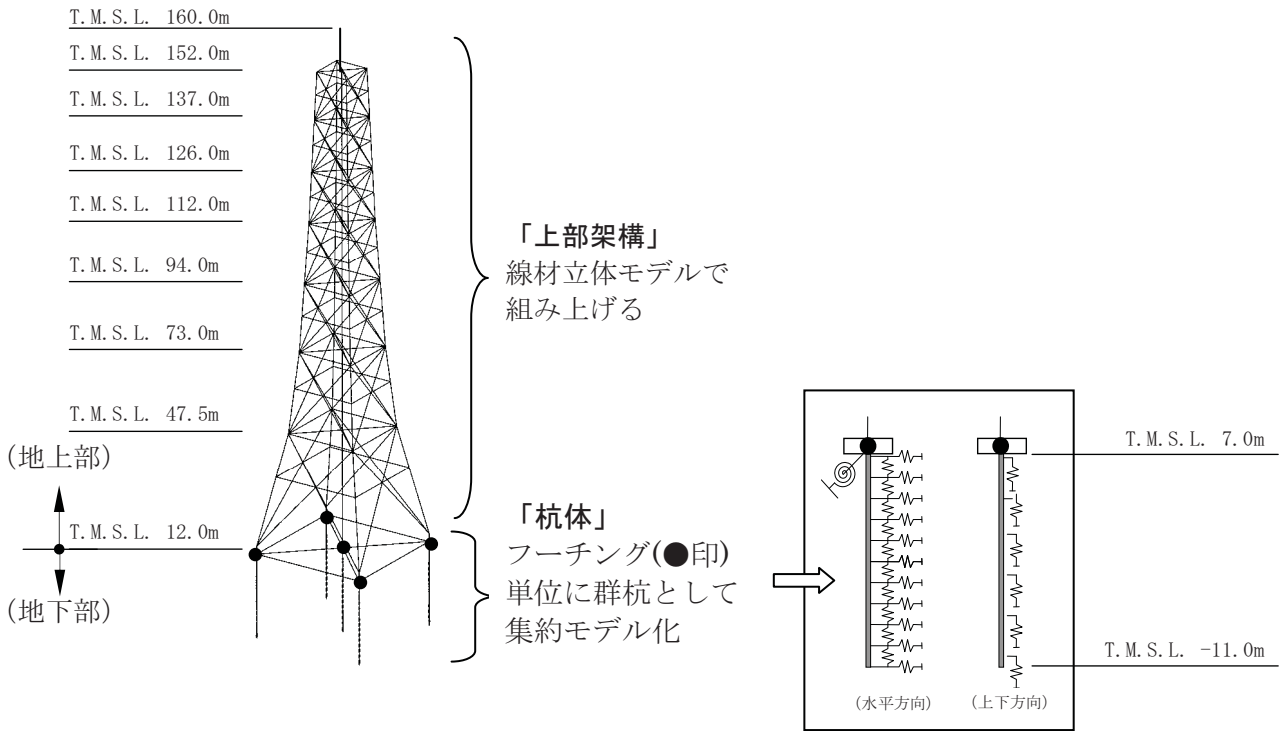


図-5.4.1 5号機排気筒の地震応答解析モデル

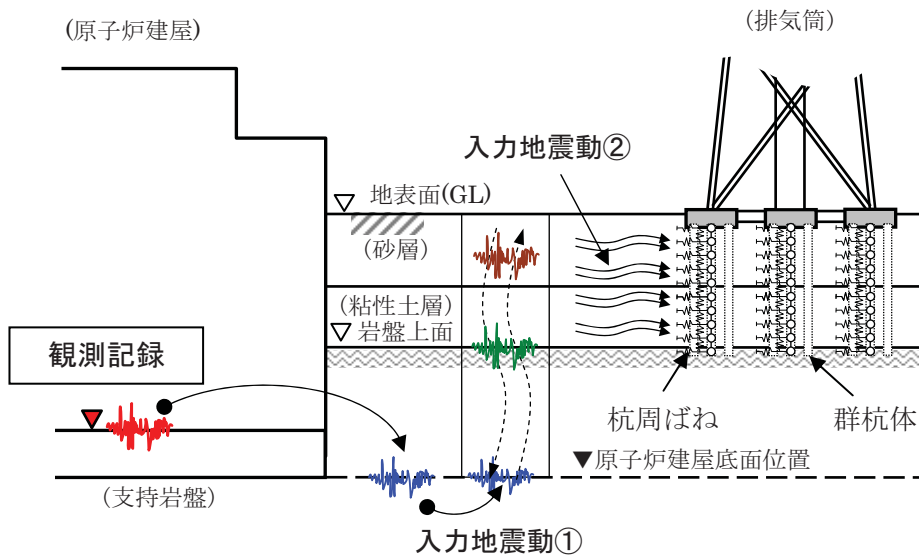


図-5.4.2 地上型排気筒の入力地震動の考え方

表-5.4.1 地震応答解析に用いる物性値

部 位	材 料	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (kN/m ³)	減衰定数 h (%)
鉄塔部 筒身部	鉄 骨	2.05×10 ⁵	0.3	77.0	2
基 礎 杭 体	コンクリート	2.90×10 ⁴ 2.25×10 ⁴	0.2	24.5 24.0	5

表-5.4.2 地盤定数

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	初期せん断 弾性係数 Go (N/mm ²)	剛性低下率 G/Go	減衰定数 h (%)
 12.0 8.0 4.0 0.0 -9.0 -60.0 -100.0 -134.0	(砂層)	140	17.9	0.41	34.6	0.48	16
		170		0.40	54.9	0.23	24
		200		0.40	69.6	0.22	24
	安田層	310	17.5	0.48	171	0.76	5
(西山層)	490	16.7	0.45	409	0.85	3	
	560	17.2	0.44	550	0.85	3	
	610	18.0	0.43	683	0.85	3	
	(解放基盤)	710	19.9	0.42	1,020	1.00	—

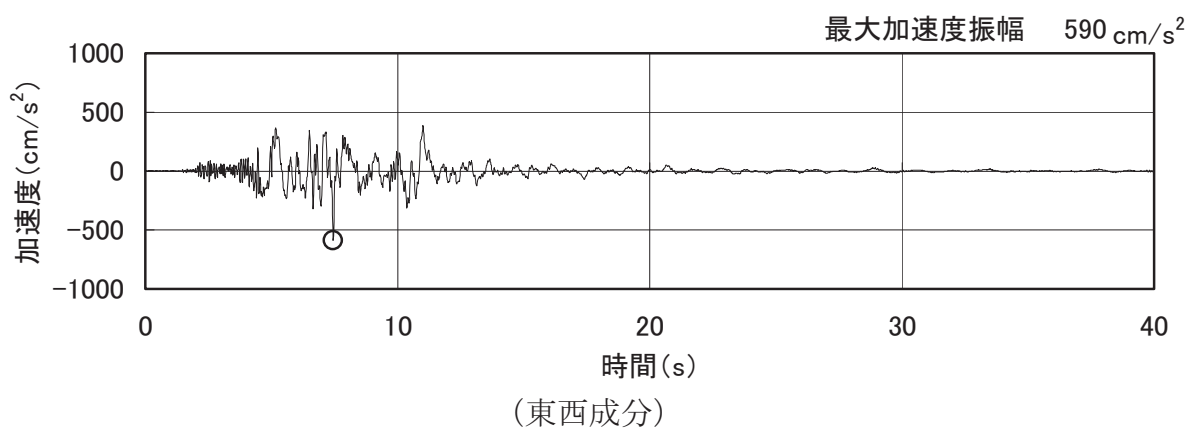
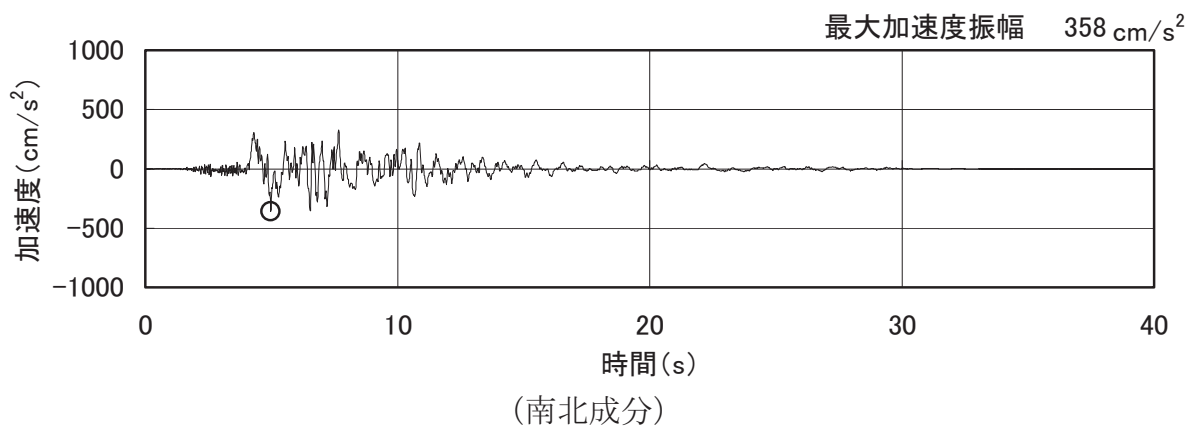


図-5.4.3 排気筒への入力地震動（水平成分）
（杭先端レベル：主要動を含む 40 秒間を表示）

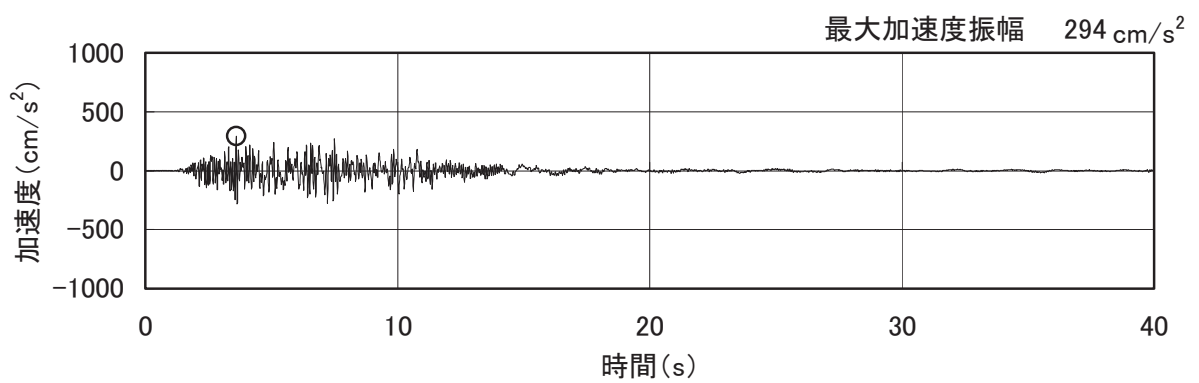


図-5.4.4 排気筒への入力地震動（鉛直成分）
（杭先端レベル：主要動を含む 40 秒間を表示）

(2) 地震応答解析結果

a) 固有値解析結果

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-5.4.3 および図-5.4.5 に示す。

表-5.4.3 固有値解析結果

		周 期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数 ^{注)}	備 考
南北 方向	1 次	1.254	0.797	1.952	全体 1 次
	2 次	0.429	2.333	-2.351	全体 3 次
	3 次	0.257	3.894	4.618	全体 5 次
東西 方向	1 次	1.254	0.797	1.952	全体 2 次
	2 次	0.429	2.333	-2.351	全体 4 次
	3 次	0.257	3.894	4.618	全体 6 次
鉛直 方向	1 次	0.155	6.444	2.379	全体 12 次
	2 次	0.136	7.379	2.420	全体 13 次
	3 次	0.095	10.567	-1.958	全体 18 次

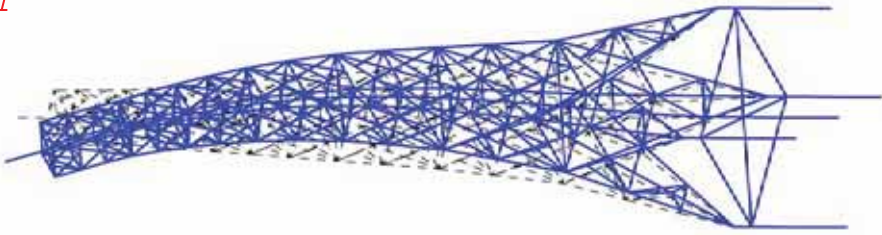
注) モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に規準化して得られる刺激係数を示す。

1.0 I



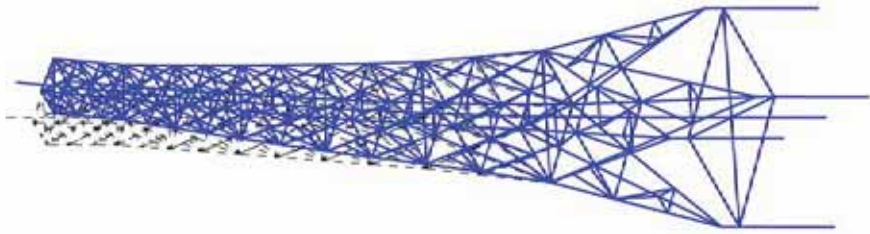
3次

1.0 I



2次

1.0 I



1次

图-5.4.5(a) 固有值解析結果 (刺激関数 南北方向)

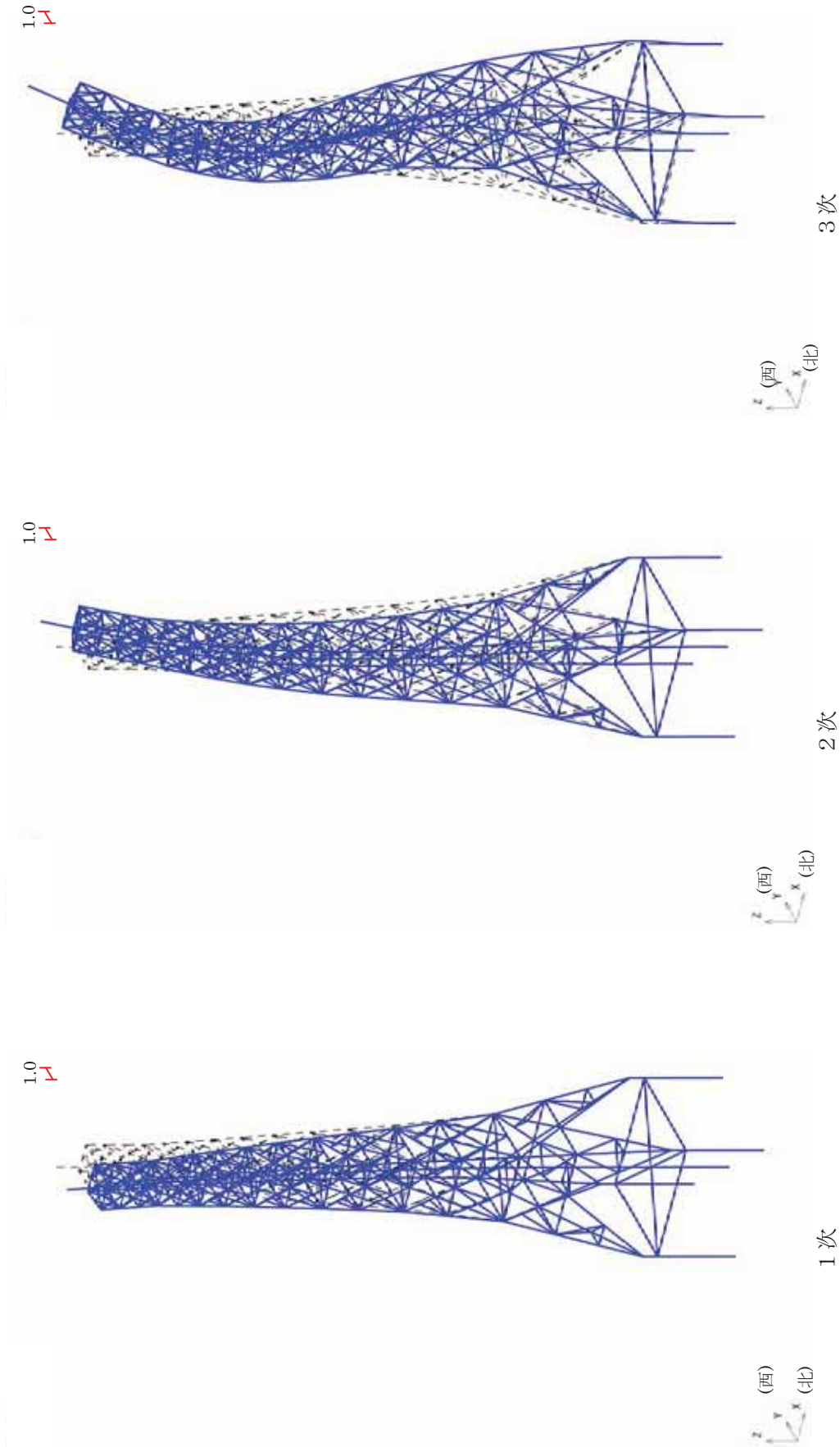
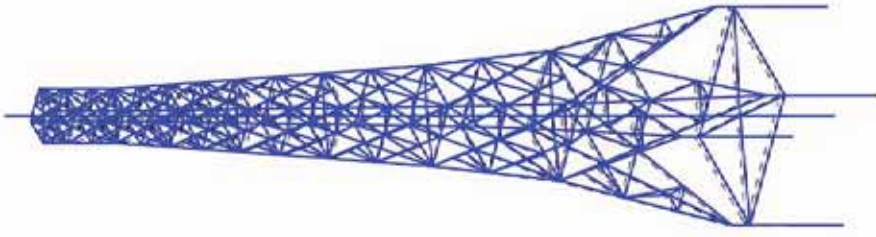


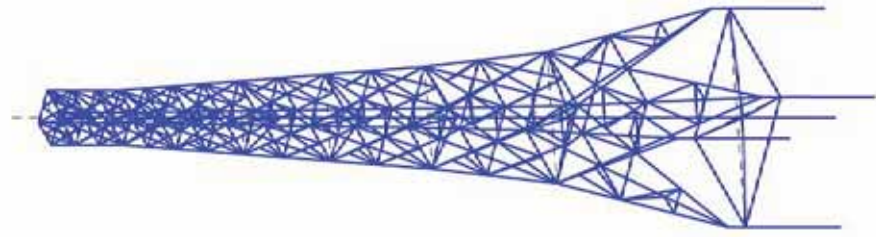
图-5.4.5(b) 固有值解析結果 (刺激関数 東西方向)

I 1.0



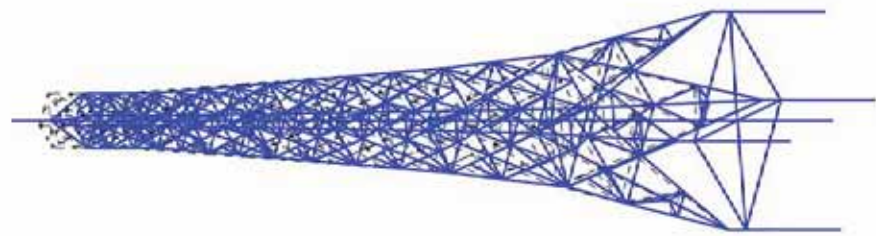
3次

I 1.0



2次

I 1.0



1次

图-5.4.5(c) 固有值解析結果 (刺激関数 鉛直方向)

b) 応答解析結果

排気筒の地震応答解析より得られた鉄塔部および筒身部の最大応答加速度を図-5.4.7に、最大応答変位を図-5.4.8に示す。また、鉄塔部（主柱材）および筒身部の部材単位の最大応答値（軸力、曲げモーメント）をそれぞれ図-5.4.9 および図-5.4.10に示す。

なお、最大応答値のうち、図-5.4.10に示す部材単位の曲げモーメントは、部材の2つの軸廻りに生じる個材曲げモーメントを以下の方法で合成した値を示す。また、全体座標及び部材座標（柱・筒身）と検討応力の関係を図-5.4.6に示す。

$$\cdot \text{個材曲げモーメントの合成} : M = \sqrt{(M_y)^2 + (M_z)^2}$$

「記号の説明」

- ・ X : 全体座標の X 方向（+方向）
- ・ Y : 全体座標の Y 方向（+方向）
- ・ Z : 全体座標の Z 方向（+方向）
- ・ x : 部材座標の x 方向（+方向）
- ・ y : 部材座標の y 方向（+方向）
- ・ z : 部材座標の z 方向（+方向）
- ・ N_x : 部材座標 x 軸方向力（部材軸力）（+方向）
- ・ M_y : 部材座標 y 軸廻りの部材曲げモーメント（+方向）
- ・ M_z : 部材座標 z 軸廻りの部材曲げモーメント（+方向）

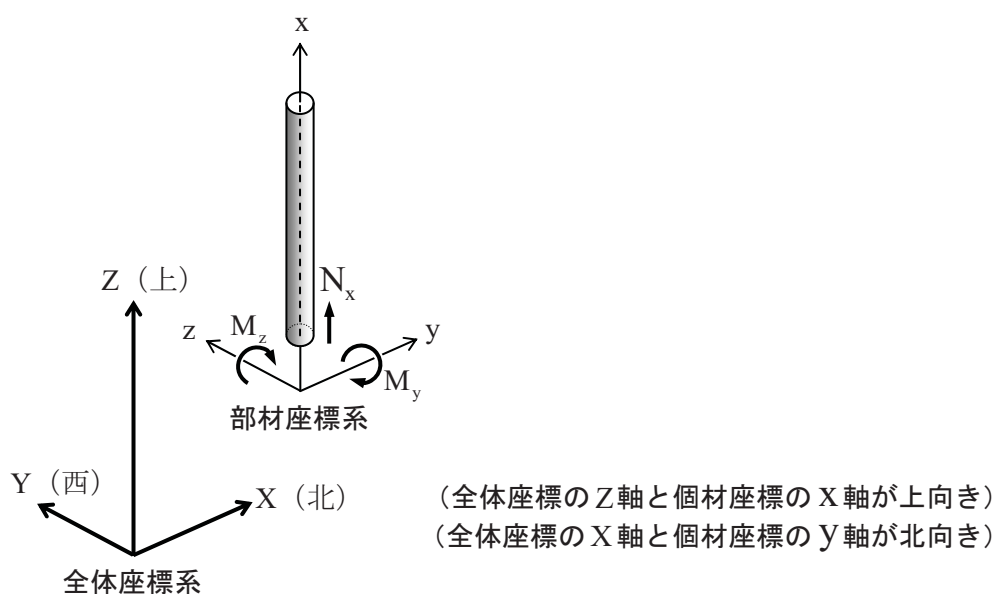
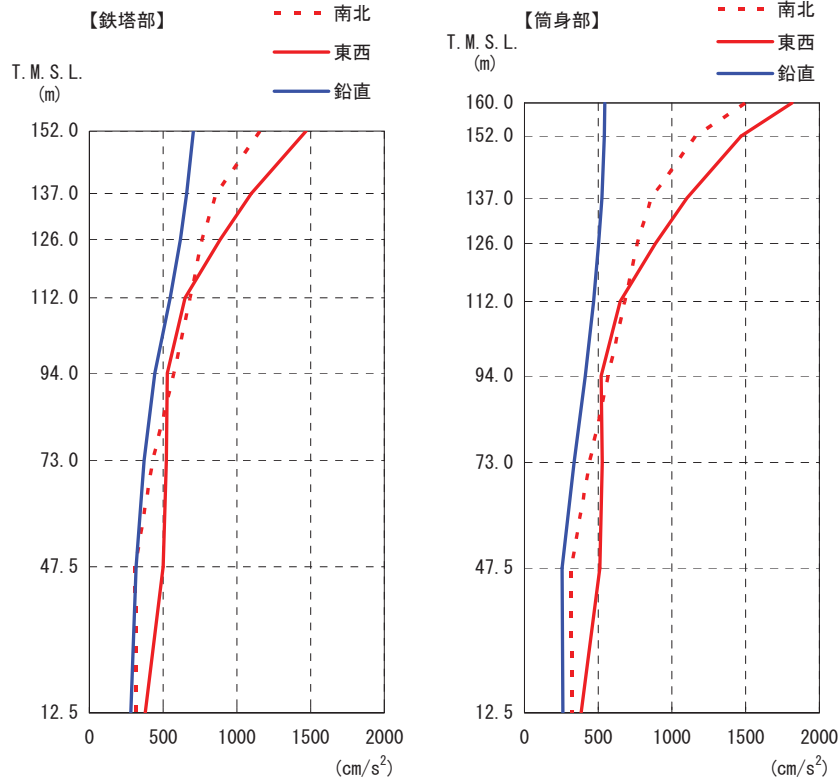
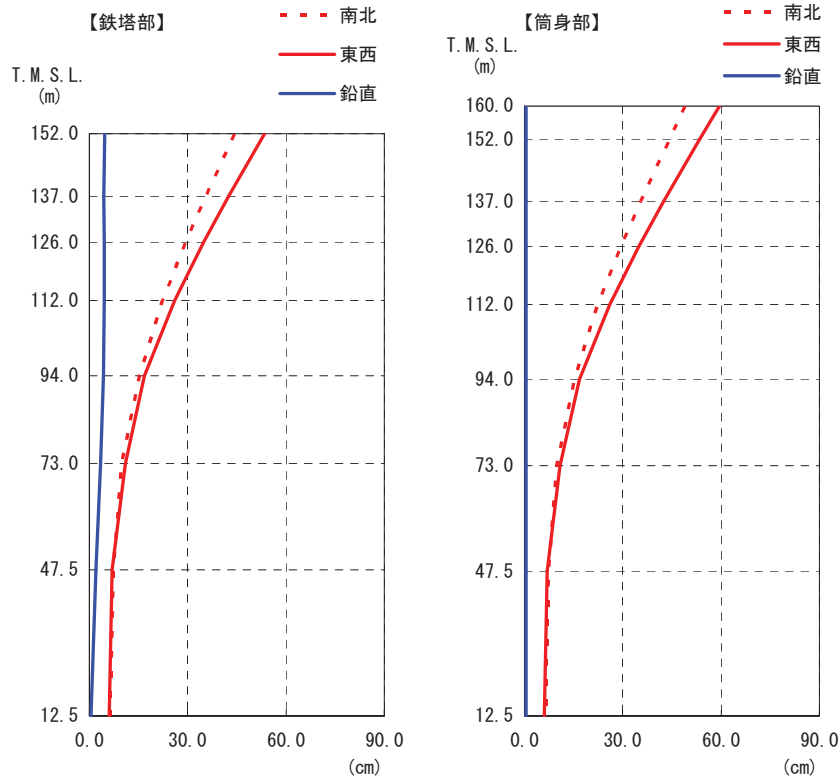


図-5.4.6 全体座標及び部材座標（柱・筒身）と検討応力の関係



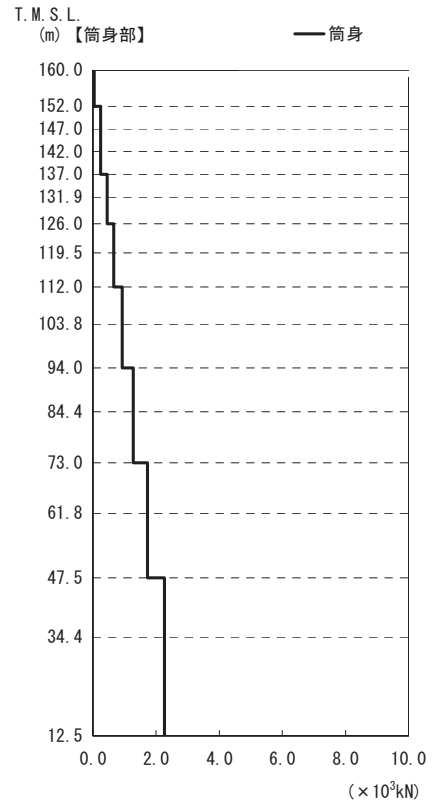
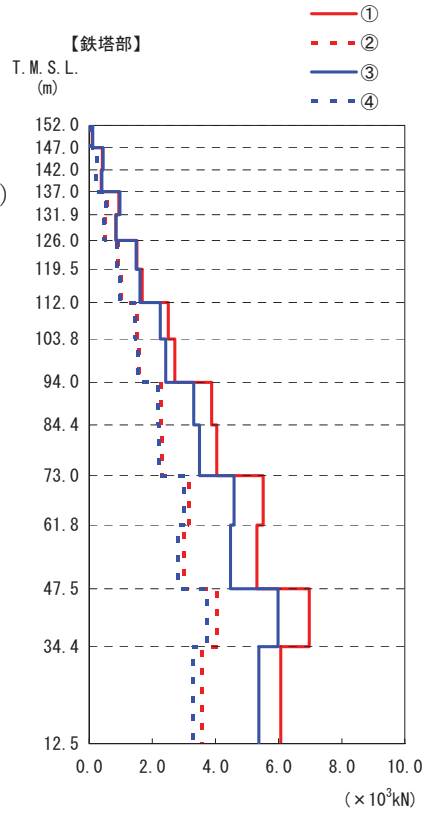
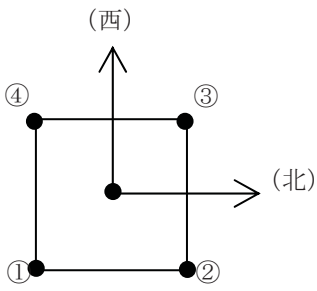
(a) 鉄塔部 (b) 筒身部

図-5.4.7 最大応答加速度



(a) 鉄塔部 (b) 筒身部

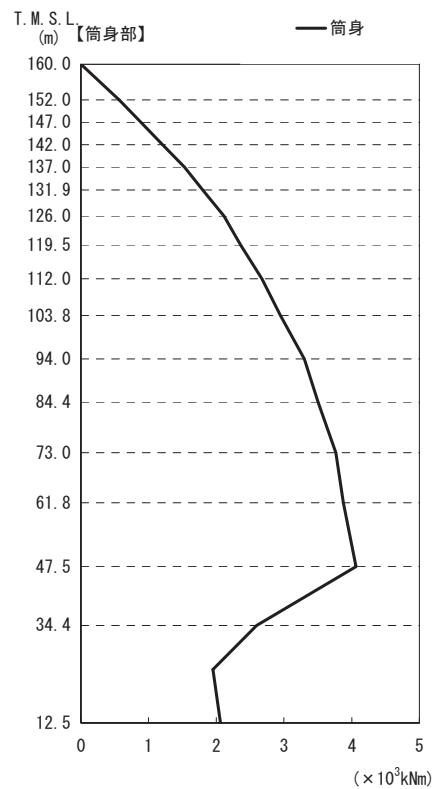
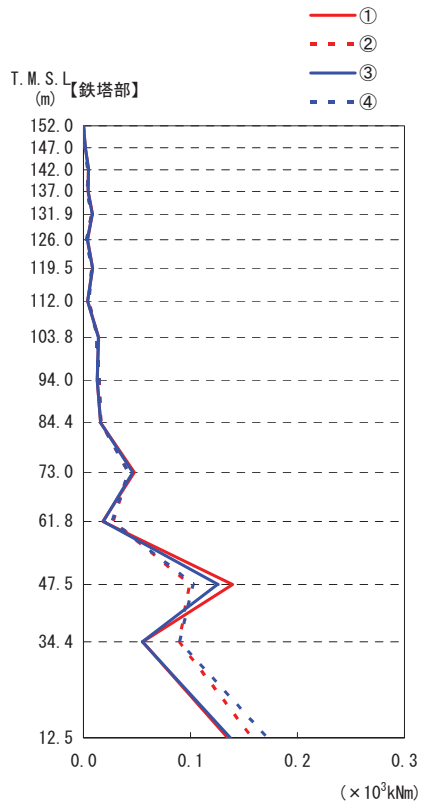
図-5.4.8 最大応答変位



(a) 鉄塔部 (主柱材)

(b) 筒身部 (筒身材)

図-5.4.9 最大応答軸力



(a) 鉄塔部 (主柱材)

(b) 筒身部 (筒身材)

図-5.4.10 最大応答曲げモーメント

5.4.2. 耐震健全性評価結果

(1) 鉄塔部、筒身部

鉄塔部の支柱材、斜材、水平材および筒身材を対象として、地震時に生じる軸力と曲げモーメントの組み合わせに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)

$$\frac{{}_s\sigma_c}{{}_s f_c} + \frac{{}_s\sigma_b}{{}_s f_b} \leq 1.0$$

ここに、 ${}_s\sigma_c$: 地震時における部材の軸応力 (${}_s\sigma_c = N/A$)

${}_s\sigma_b$: 地震時における部材の曲げ応力 (${}_s\sigma_b = M/Z$)

${}_s f_c$: 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)

${}_s f_b$: 短期許容曲げ応力度

(引張)

$$\frac{{}_s\sigma_t}{{}_s f_t} + \frac{{}_s\sigma_b}{{}_s f_b} \leq 1.0$$

ここに、 ${}_s\sigma_c$: 地震時における部材の軸応力 (${}_s\sigma_t = N/A$)

${}_s\sigma_b$: 地震時における部材の曲げ応力 (${}_s\sigma_b = M/Z$)

${}_s f_t$: 短期許容引張応力度

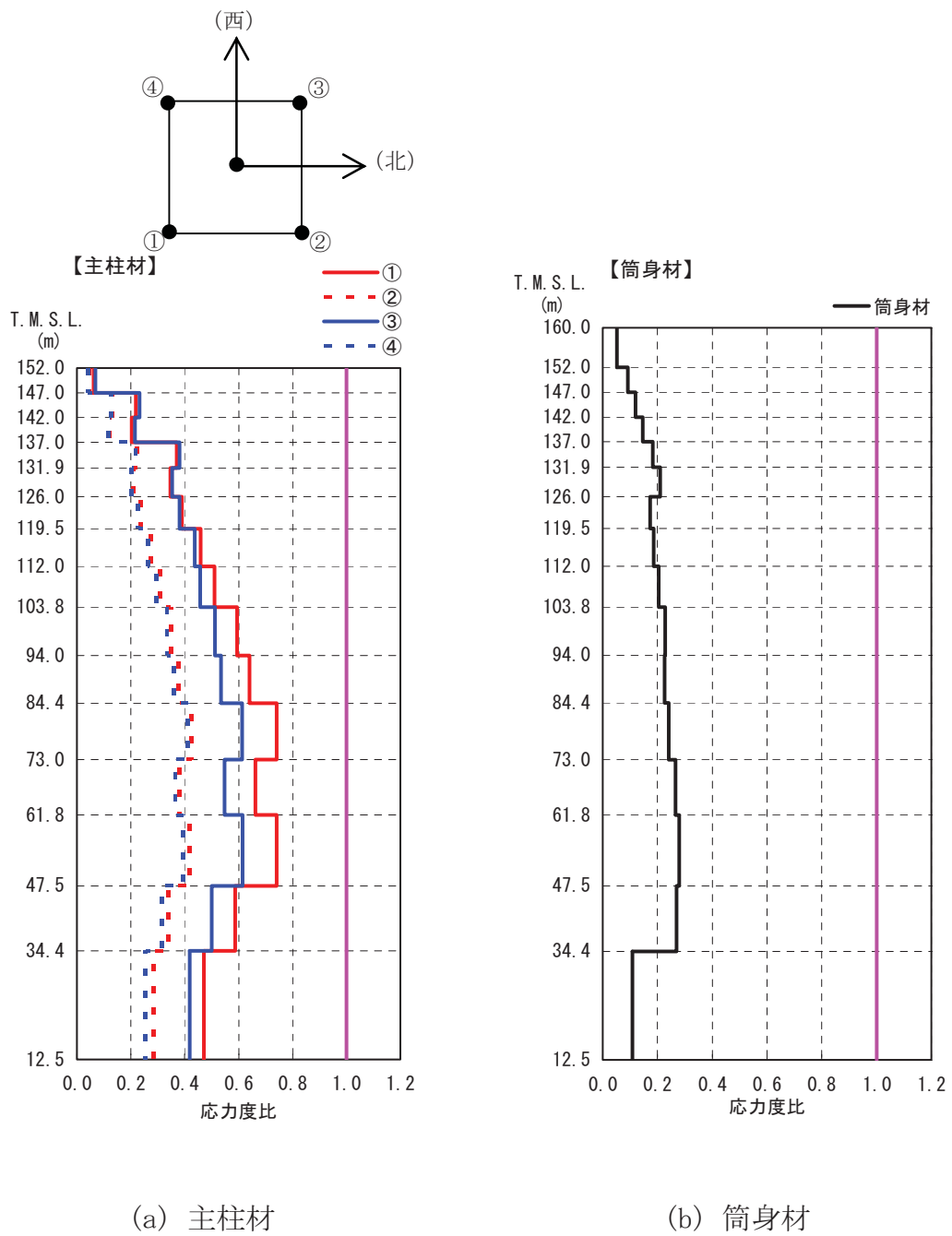
${}_s f_b$: 短期許容曲げ応力度

各部材の評価結果のうち、支柱材および筒身材の応力比の高さ方向の分布を図-5.4.11に示す。また、各部材種別毎の応力比が最大となる部材の評価結果を表-5.4.4に、その部材の具体的な位置を図-5.4.12にそれぞれ示す。

なお、図-5.4.11に示した応力比分布は、軸力と曲げモーメントの時々刻々の変動を考慮して断面検定して求めている。

排気筒について、各部材の軸力と曲げモーメントの組み合わせによる応力比は、評価基準値以下であり、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ものと評価した。

なお、本評価と同一の手法により、「5号機解放基盤波」を用いて地震応答解析を実施した結果、本評価と同様に、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ものと評価した。(参考資料8参照)



(a) 主柱材

(b) 筒身材

図-5.4.11 高さ方向の応力度分布

(主柱材及び筒身材：時刻歴による組み合わせ $\frac{s\sigma_c}{s f_c} + \frac{s\sigma_b}{s f_b}$)

表-5.4.4 各部の最大応力比

箇所	部材	N (kN)	M (kNm)	A ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	Z ($\times 10^3 \text{mm}^3$)	σ_s (N/mm^2)	f_s (N/mm^2)	f_b (N/mm^2)	$\frac{\sigma_s}{f_s} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
鉄塔	主柱材	4039	46	225	3301	179.3	256.5	325.0	0.74
	斜材	1148	—	88	659	131.1	259.7	—	0.50
	水平材	646	—	69	522	94.3	186.4	—	0.51
筒身	—	3828	1073	91275	13.2	189.8	200.8	0.28	

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

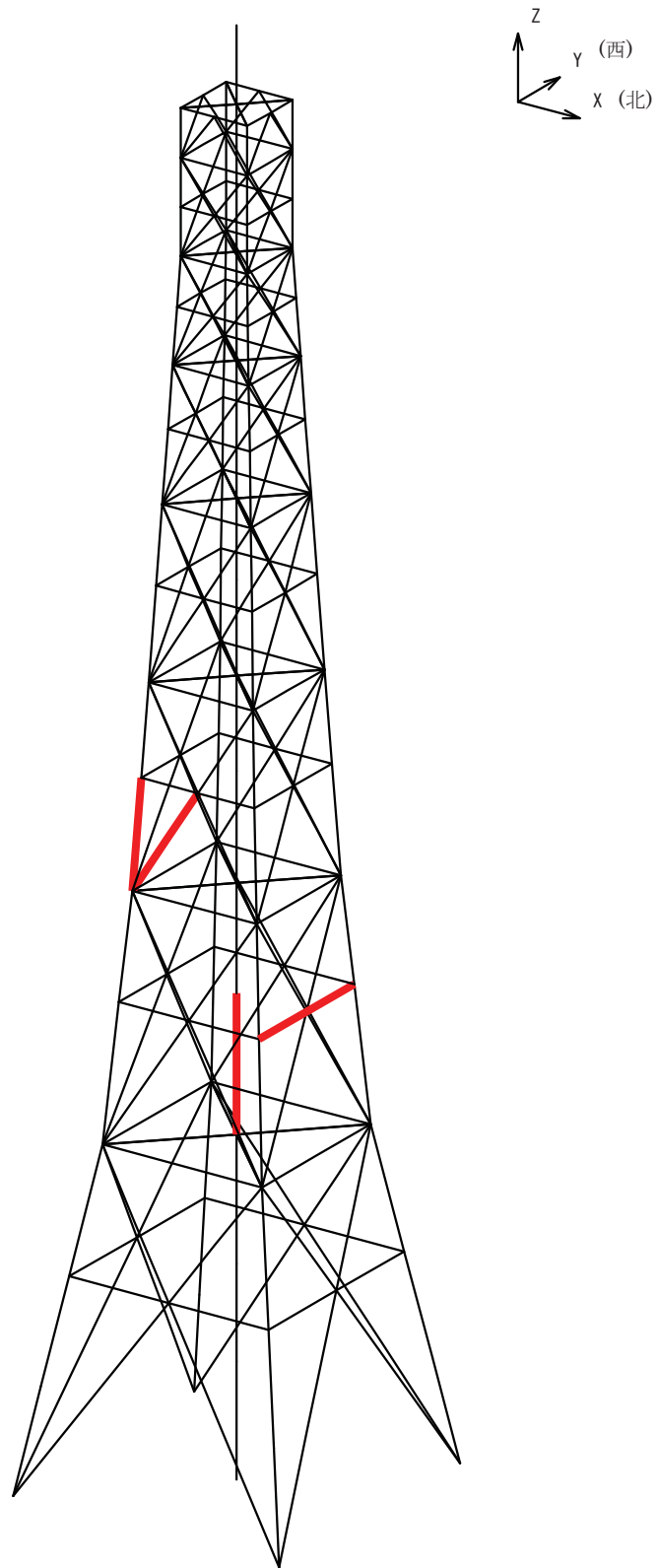
Z : 断面係数

f_s : 許容圧縮応力度

f_b : 許容曲げ応力度

σ_s : 圧縮応力 (N/A)

σ_b : 曲げ応力 (M/Z)



— : 最大応力発生位置 (部材種別毎) を示す。

図-5. 4. 12 排気筒の応答評価部位

(2) 杭の支持力の確認

排気筒のフーチング基礎部と杭配置の概要を図-5.4.13に示す。

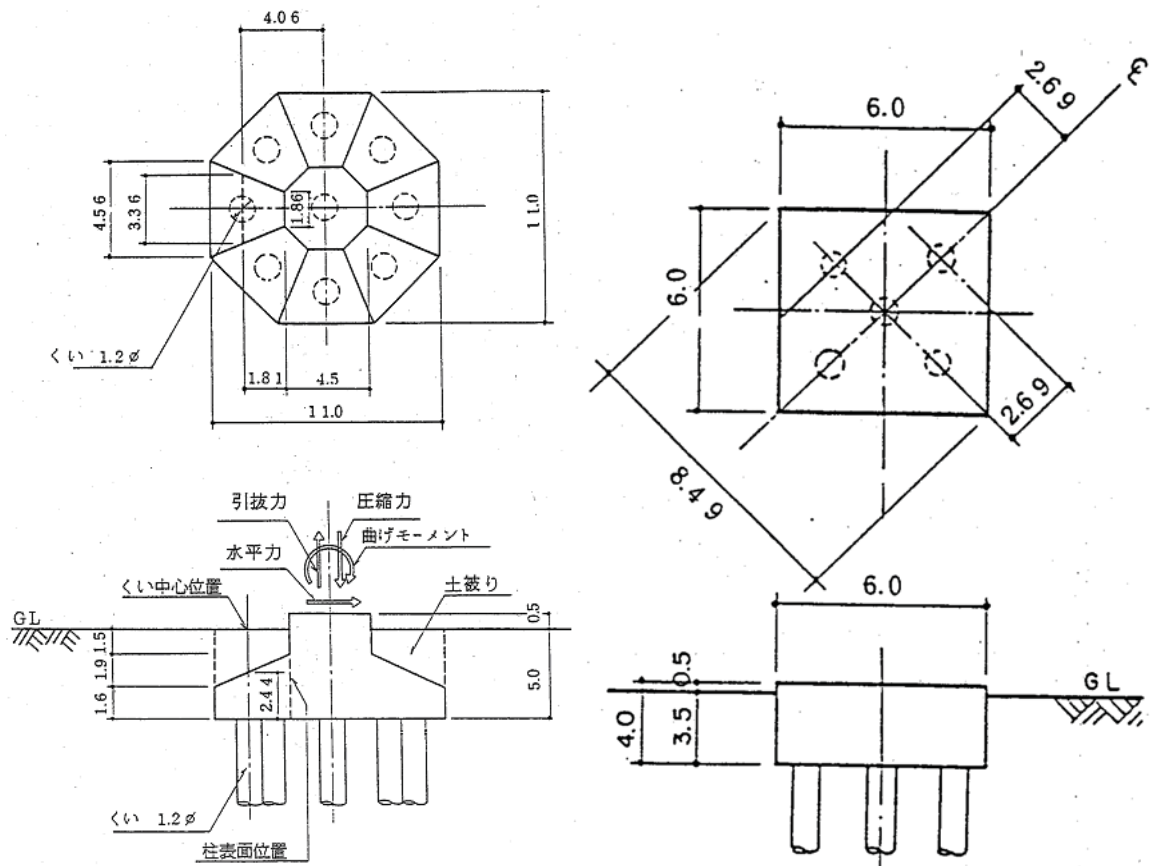
表-5.4.5に上部架構からフーチング基礎に伝達される荷重を示す。また、表-5.4.6および表-5.4.7に杭の支持力確認結果を示す。

これらの結果より、上部架構からフーチング基礎に伝達される荷重から算定された杭の発生応力が評価基準値を下回ることを確認した。

表-5.4.5 上部架構からフーチング基礎に伝達される荷重

		鉄塔部	筒身部	備考
上部から伝達される荷重	圧縮力 (kN/脚)	7,747	2,155	長期軸力含む
	引抜き力 (kN/脚)	5,592	(生じない)	
	水平力 (kN/脚)	1,987	118	南北方向及び東西方向のベクトル和
	曲げモーメント (kNm/脚)	163	1,963	
杭支持力の確認用荷重 (フーチング下面)	フーチング基礎下端位置の曲げモーメント (kNm/脚)*	11,092	2,436	南北方向及び東西方向のベクトル和
	フーチング基礎廻り自重 (kN/脚)	12,876	4,962	基礎梁及び土被り重量含む

注) *: 水平力×フーチング基礎高さ (鉄塔部 5.5m、筒身部 4.0m) + 曲げモーメント



(a) 鉄塔部フーチング基礎

(b) 筒身部フーチング基礎

図-5.4.13 フーチング基礎の概要

表-5.4.6 杭の鉛直支持力等の確認（鉄塔部）

検定項目	発生応力	評価基準値	発生応力 評価基準値
全体引抜き力の確認 (kN/脚)	5,592 (最大引抜き力)	12,876 (抵抗力*)	0.43
杭の支持力の確認 (最外縁杭：kN/本)	2,974 (最大圧縮力)	3,922 (短期許容支持力)	0.76

注) *フーチング+基礎梁+土被り

表-5.4.7 杭の鉛直支持力等の確認（筒身部）

検定項目	発生応力	評価基準値	発生応力 評価基準値
全体引抜き力の確認 (kN/脚)	— (引抜きは生じない)	4,962 (抵抗力*)	—
杭の支持力の確認 (最外縁杭：kN/本)	1,876 (最大圧縮力)	3,922 (短期許容支持力)	0.48

注) *フーチング+基礎梁+土被り

表-5.4.6 および表-5.4.7 に示した杭の短期許容支持力（3,922 kN）は、建設時の設計で採用している値（400ton・f）をSI単位に換算して用いている。この短期許容支持力は、日本建築学会編『建築基礎構造設計規準・同解説』（1974改）に示される設定手順に従い、①「杭の支持力算定式から求めた許容支持力」と②「杭材としての長期許容軸力」より求めた値のうち、最も不利なもの（最小値）を保守的に評価して長期許容支持力とし、その長期許容支持力の2倍を短期許容支持力として採用しているものである。また、杭の支持力算定には杭周面の摩擦は考慮していない。

なお、本評価と同一の手法により、「5号機解放基盤波」を用いて地震応答解析を実施し、発生応力が評価基準値を下回ることを確認した。（参考資料8参照）

(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 という。）用排気筒は熱による変形を考慮し、上下方向は拘束せず、水平方向のみを拘束し、筒身の変形に追従する支持構造となっている。排気筒の筒身部および SGTS 用排気筒の概要を図-5.4.14 に示す。SGTS 用排気筒の剛性は筒身の剛性に比べて小さい。これらのことから、SGTS 用排気筒の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、最大応力で耐震健全性を評価する。

表-5.4.8 に筒身の変位を、表-5.4.9 に SGTS 用排気筒の発生応力および評価結果を示す。

SGTS 用排気筒の発生応力は評価基準値以下であり、弾性範囲にあると判断され、耐震健全性は確保されているものと評価した。

なお、本評価と同一の手法により、「5号機解放基盤波」を用いて地震応答解析を実施した結果、本評価と同様に、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ものと評価した。（参考資料8参照）

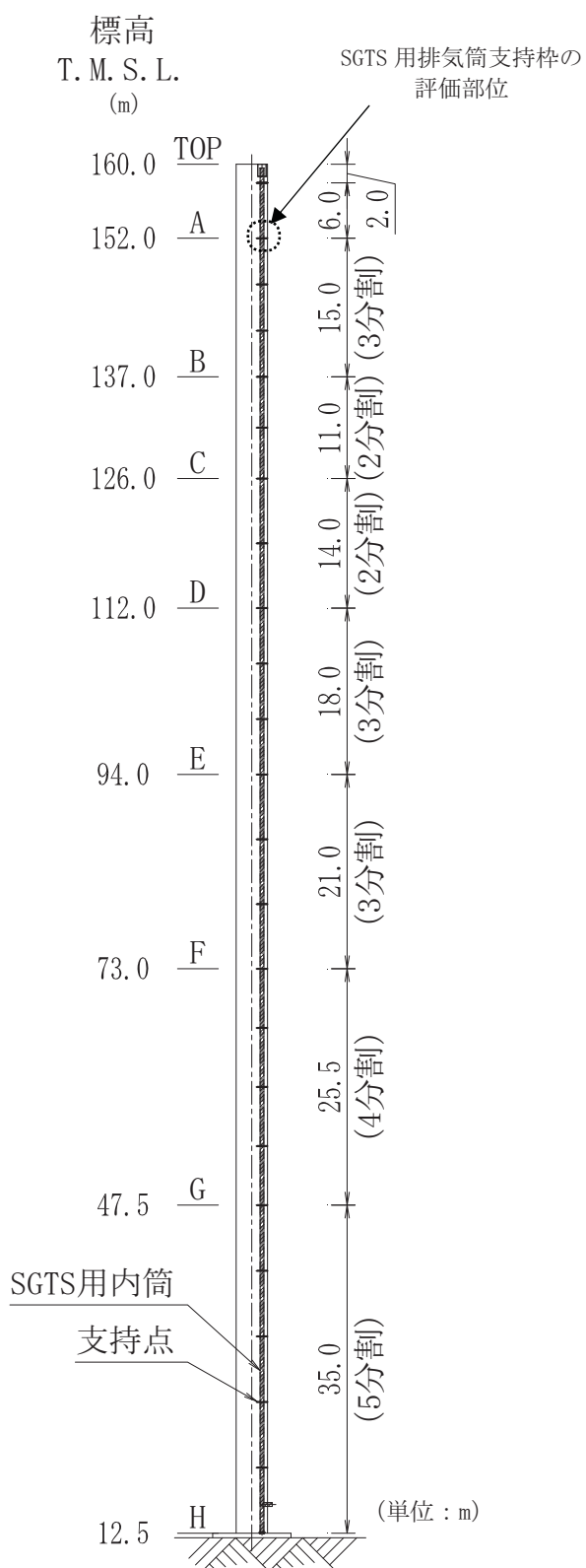


図-5.4.14 筒身部およびSGTS用排気筒の概要図

表-5.4.8 筒身の変位

支持点	標高 T. M. S. L. (m)	地震応答解析結果 (mm)
TOP	160.0	689
A	152.0	619
B	137.0	493
C	126.0	406
D	112.0	304
E	94.0	191
F	73.0	90
G	47.5	23

表-5.4.9 SGTS 用排気筒の評価結果

支持点 T. M. S. L. (m)	N (kN)	M (kNm)	A ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	Z ($\times 10^3 \text{mm}^3$)	${}_s \sigma_c$ (N/mm ²)	${}_s \sigma_b$ (N/mm ²)	${}_s f_c$ (N/mm ²)	${}_s f_b$ (N/mm ²)	$\frac{{}_s \sigma_c + {}_s \sigma_b}{{}_s f_c + {}_s f_b}$
160.0~ 152.0	11.3	1.0	94.0	920	1.2	1.1	218	245	0.01
152.0~ 137.0	28.3	1.9			3.0	2.0	226		0.02
137.0~ 126.0	40.0	2.5			4.3	2.7	222		0.03
126.0~ 112.0	55.3	3.1			5.9	3.3	210		0.04
112.0~ 94.0	74.7	3.5			7.9	3.8	218		0.05
94.0~ 73.0	97.2	5.0			10.3	5.4	210		0.07
73.0~ 47.5	123.9	5.0			13.2	5.4	215		0.08
47.5~ 12.5	157.6	3.4			16.8	3.6	210		0.09

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

${}_s f_c$: 許容圧縮応力度

${}_s f_b$: 許容曲げ応力度

${}_s \sigma_c$: 圧縮応力 (N/A)

${}_s \sigma_b$: 曲げ応力 (M/Z)

b) 支持部

SGTS 用排気筒の支持部は、図-5.4.15 に示すとおり、筒身に SGTS 用排気筒を水平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。応力が最大となる部材を図-5.4.14 に示し、評価結果を表-5.4.10 に示す。

支持部の応力比は、評価基準値以下であり、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ものと評価した。

なお、本評価と同一の手法により、「5号機解放基盤波」を用いて地震応答解析を実施した結果、本評価と同様に、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ものと評価した。(参考資料8 参照)

表-5.4.10 SGTS 用排気筒支持部材の評価結果

N (kN)	M (kNm)	A ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	Z ($\times 10^3 \text{mm}^3$)	$s\sigma_c$ (N/mm ²)	$s\sigma_b$ (N/mm ²)	$s f_c$ (N/mm ²)	$s f_b$ (N/mm ²)	$\frac{s\sigma_c + s\sigma_b}{s f_c + s f_b}$
2.0	1.2	22.1	102	0.9	11.8	221	235	0.05

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
	$s f_c$: 許容圧縮応力度
	$s f_b$: 許容曲げ応力度
	$s\sigma_c$: 圧縮応力 (N/A)
	$s\sigma_b$: 曲げ応力 (M/Z)

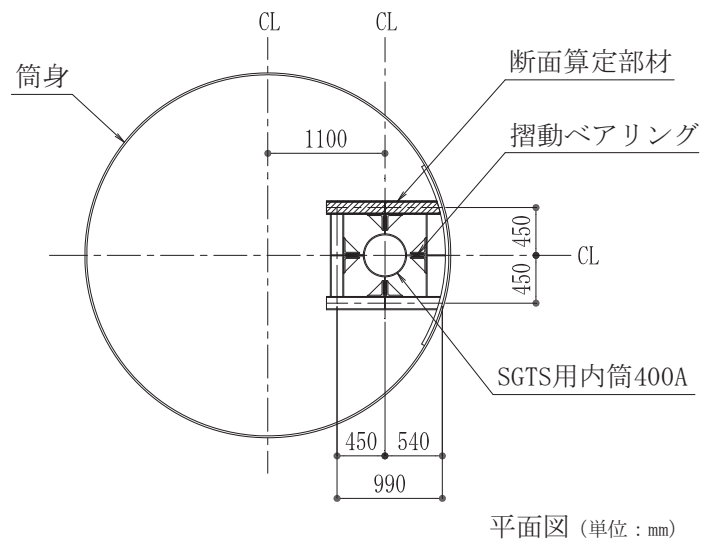


図-5.4.15 SGTS 用排気筒支持部の概要

5.5. 屋外重要土木構造物の耐震健全性評価

5.5.1. 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-5.5.1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、耐震健全性評価にあたっては、原子炉建屋の基礎版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。

評価対象とする構造物は、非常用取水路のうち、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路の3断面、原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）、同（B系）、および非常用ガス処理系配管ダクトとする。これらの構造物については、軸方向に構造上問題となるような応力が生じないように、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や伸縮目地を設けていることから、解析断面は軸直交方向断面とする。各断面の評価にあたっては、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。

また、非常用ガス処理系配管ダクトは杭基礎（鋼管杭）によって支持されているため、当該断面においては、杭基礎の耐震健全性評価として、曲げ・せん断照査および支持力照査を実施する。杭基礎の評価にあたっては、杭の曲率、せん断力、および杭頭部反力（軸力）の最大値を用いる。

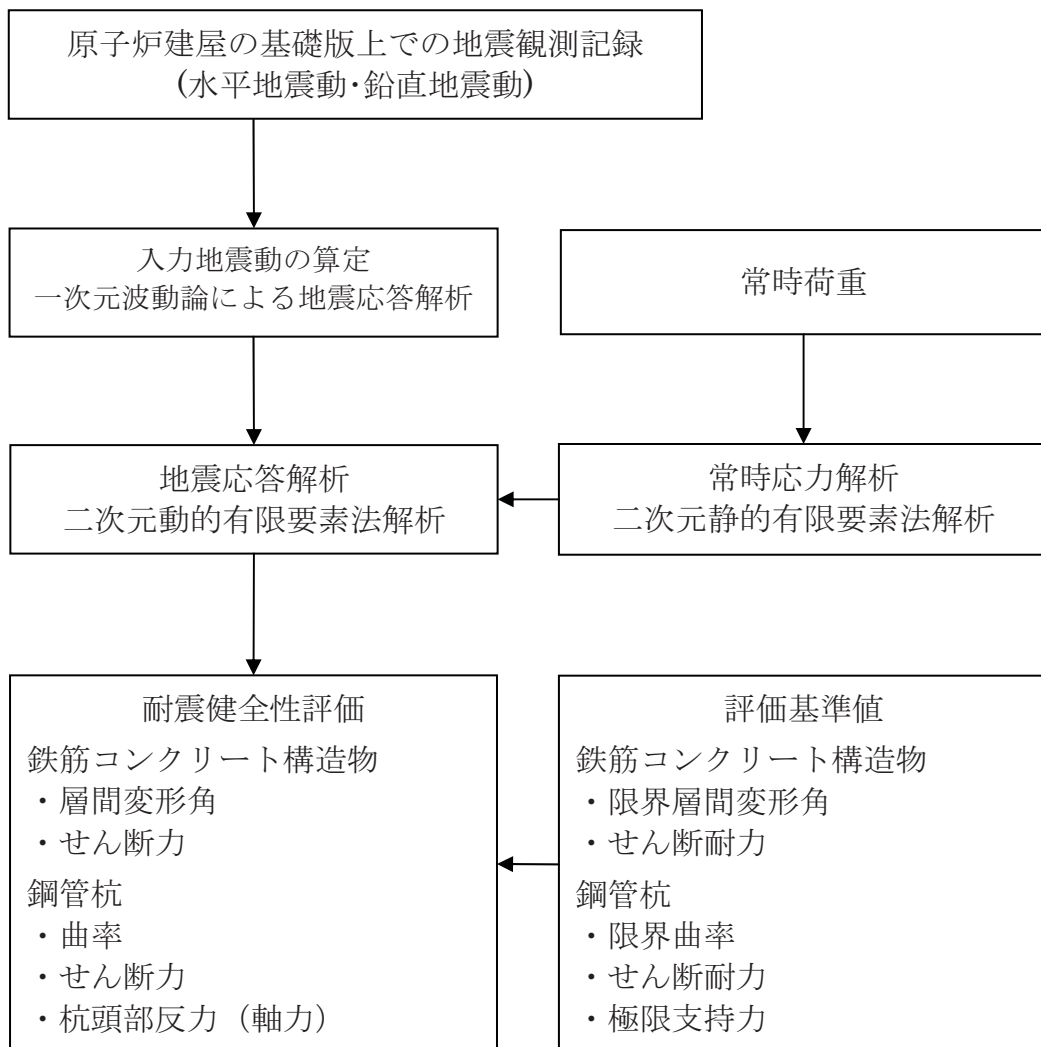


図-5.5.1 耐震健全性評価フロー

また、点検により確認された本地震に起因することを否定できないひび割れの発生原因について検討することを目的として、補機冷却用海水取水路について解析による詳細検討を実施した。検討内容を参考資料 11 に示す。

5.5.2. 地震応答解析

5.5.2.1 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、鉄筋コンクリート構造物および非常用ガス処理系配管ダクトの鋼管杭を部材の非線形性を考慮した線材要素（梁要素）で、また、地盤および近接構造物を平面要素でモデル化する。また、鉄筋コンクリート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、構造物と地盤とのすべりや剥離を考慮する。解析領域の側方および底面は粘性境界とする。

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・配管荷重、土被り荷重、静止土圧および地下水圧を考慮する。

5.5.2.2 評価基準

鉄筋コンクリート構造物の耐震健全性評価では、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、「せん断耐力評価式を用いた方法」により求めた値を評価基準値とする。

鋼管杭の耐震健全性評価では、曲率とせん断力、ならびに支持力について評価する。

限界曲率は「乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程 JEAC4616-2009、日本電気協会原子力規格委員会、2009年12月」に基づき、鉛直および水平方向の荷重に対する保持能力を喪失しないようにするため、局部座屈が発生する点に相当する曲率とする。せん断耐力は、同指針のせん断耐力により求めた値を評価基準値とする。極限支持力は「道路橋示方書・同解説 下部構造編、日本道路協会、平成14年3月」に基づき求めた値を評価基準値とする。

5.5.2.3 解析用物性値

地震応答解析に必要な諸定数のうち、屋外重要土木構造物のコンクリートおよび鉄筋の材料定数については、実機のコア供試体および鉄筋の材料試験結果に基づいた平均的な強度を用いるものとする。また、鋼管杭の材料定数については、設計用値を用いる。

地盤の物性値については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。地盤のせん断弾性係数と減衰定数については、ひずみ依存性を考慮する。

屋外重要土木構造物の材料物性値を表-5.5.1および表-5.5.2に示す。また、地盤の物性値のうち非常用取水路の解析に用いる値を表-5.5.3に、原子炉補機冷却系配管ダクトおよび非常用ガス処理系配管ダクトに用いる値を表-5.5.4に示す。

表-5.5.1 材料物性値（鉄筋コンクリート）

解析対象断面	コンクリート				鉄筋 SD345 相当 (SD35)		
	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数*1) (kN/mm ²)	ポアソン比	単位体積重量*2) (kN/m ³)	降伏強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	ポアソン比
非常用取水路 (スクリーン室、 取水路、補機冷却 用海水取水路)	48.0	32.6	0.2	24	390	200	0.3
原子炉補機冷却系 配管ダクト (A系、B系)	46.0	32.2					
非常用ガス処理系 配管ダクト							

*1) 「2007年制定コンクリート標準示方書（設計編）、土木学会」に示された圧縮強度とヤング係数の関係を用いて算定

*2) 鉄筋コンクリートとしての単位体積重量

表-5.5.2 材料物性値（鋼管杭）

解析対象断面	鋼管杭 SKK400 相当 (SKK41)			
	降伏強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m ³)
非常用ガス処理系 配管ダクト	235	200	0.3	77

表-5.5.3 地盤物性値（非常用取水路）

地層区分	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	初期せん断 弾性係数 G_0 (kN/m ²)	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	19.6 *1)	0.33	$1980 \times \sigma_v^{0.667}$ *2)	図-5.5.2 参照
洪積粘性土層 (I)	17.7	0.49	9.90×10^4	図-5.5.3 参照
洪積粘性土層 (II)	17.7	0.48	1.41×10^5	図-5.5.4 参照
シルト質砂層	18.1	0.48	1.95×10^5	図-5.5.5 参照
西山層	16.7	0.45	4.09×10^5	図-5.5.7 参照

*1) 地下水位以浅は 18.6 kN/m³ (湿潤単位体積重量)

*2) σ_v : 有効上載圧 (kN/m²)

表-5.5.4 地盤物性値（原子炉補機冷却系配管ダクト、非常用ガス処理系配管ダクト）

地層区分	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	初期せん断 弾性係数 G_0 (kN/m ²)	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	19.6 *1)	0.33	$1980 \times \sigma_v^{0.667}$ *2)	図-5.5.2 参照
安田層	17.5	0.48	1.72×10^5	図-5.5.6 参照
西山層	16.7	0.45	4.09×10^5	図-5.5.7 参照

*1) 地下水位以浅は 18.6 kN/m³ (湿潤単位体積重量)

*2) σ_v : 有効上載圧 (kN/m²)

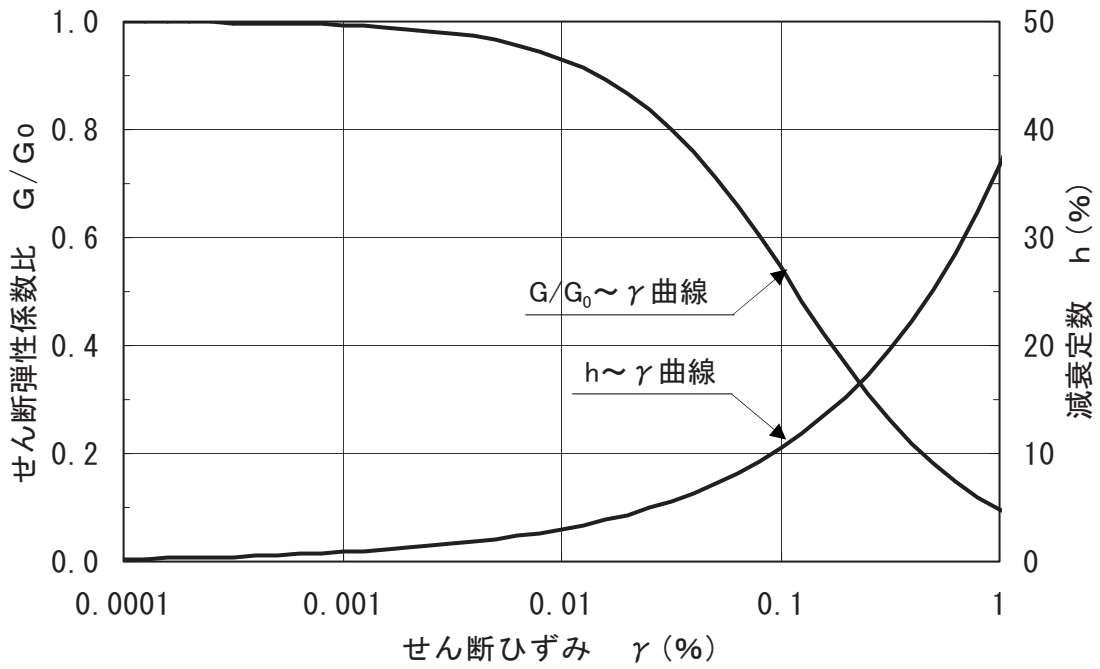


図-5.5.2 埋戻土層のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

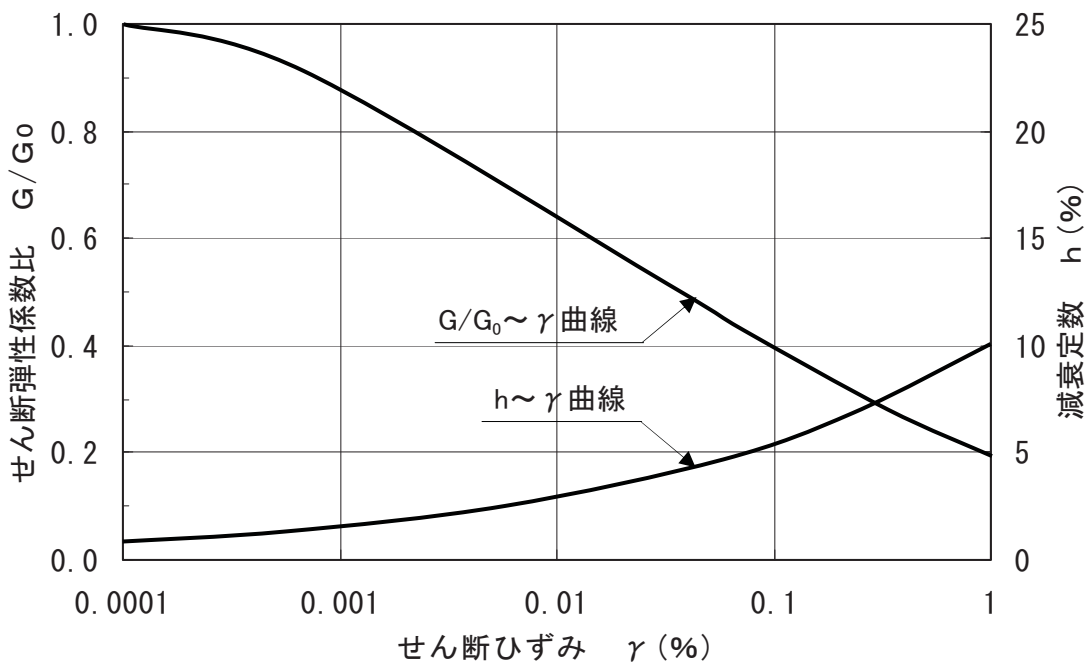


図-5.5.3 洪積粘性土層 (I) のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

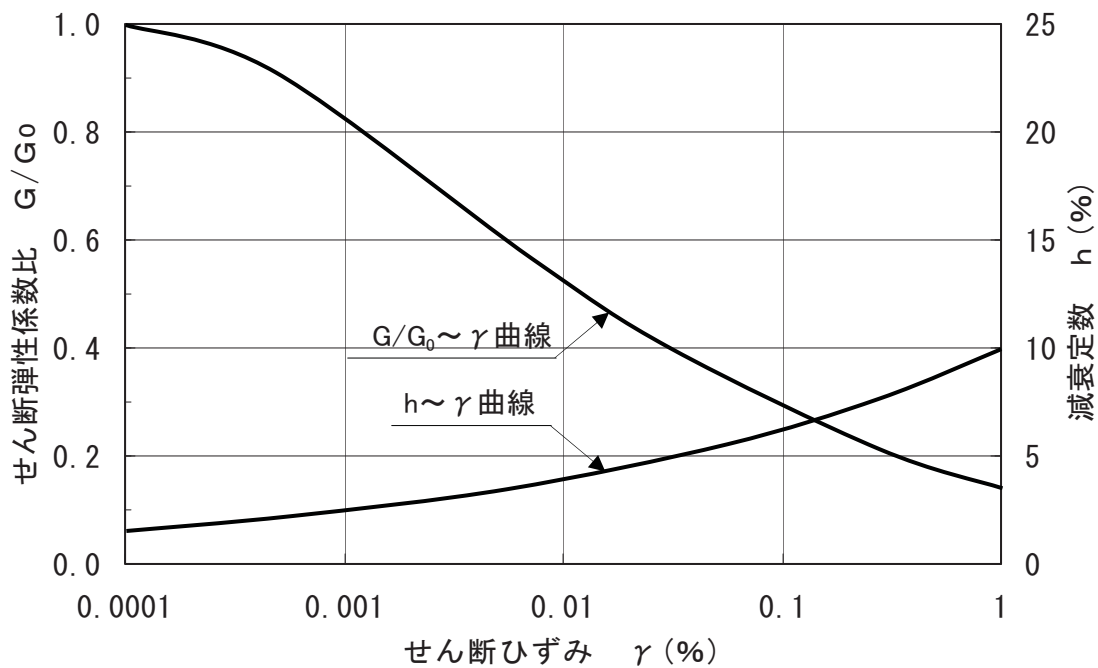


図-5.5.4 洪積粘性土層（Ⅱ）のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

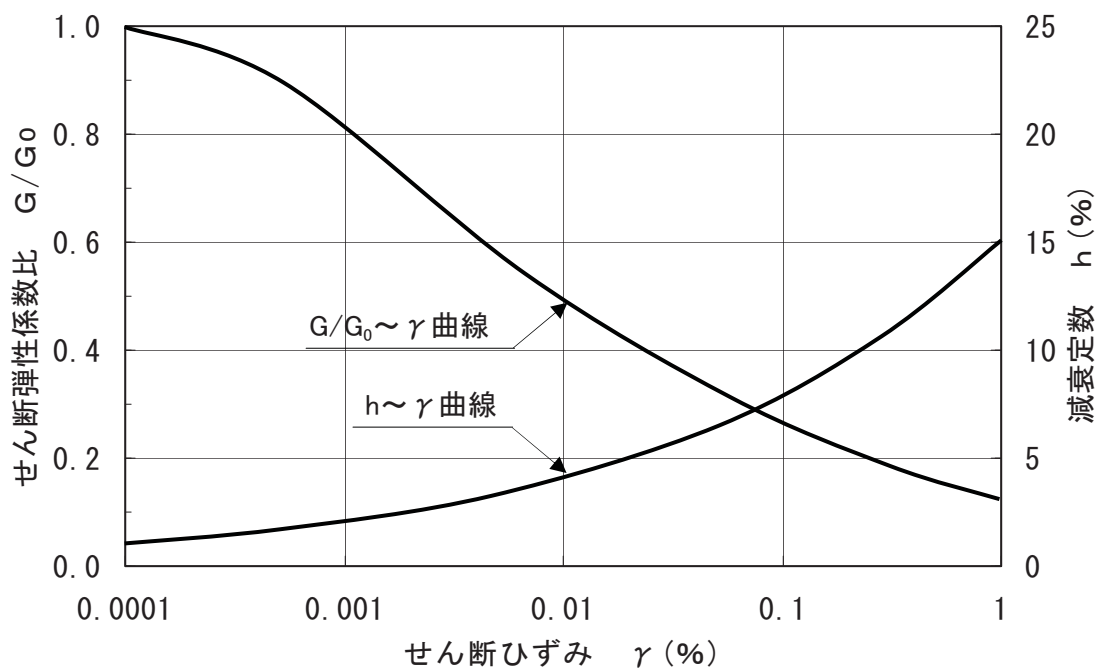


図-5.5.5 シルト質砂層のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

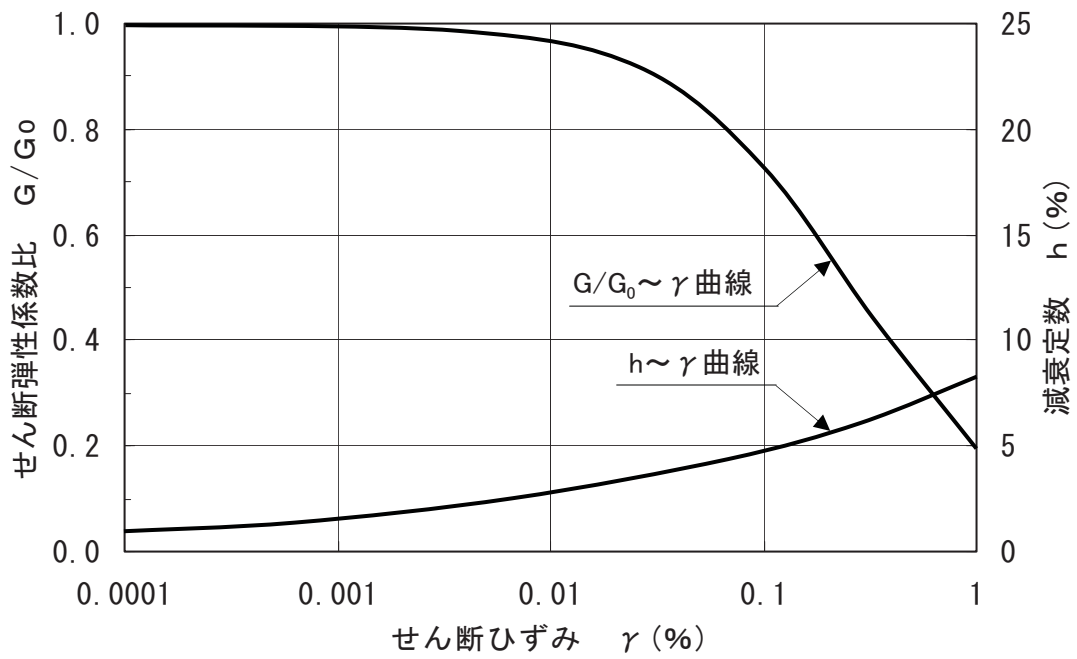


図-5.5.6 安田層のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

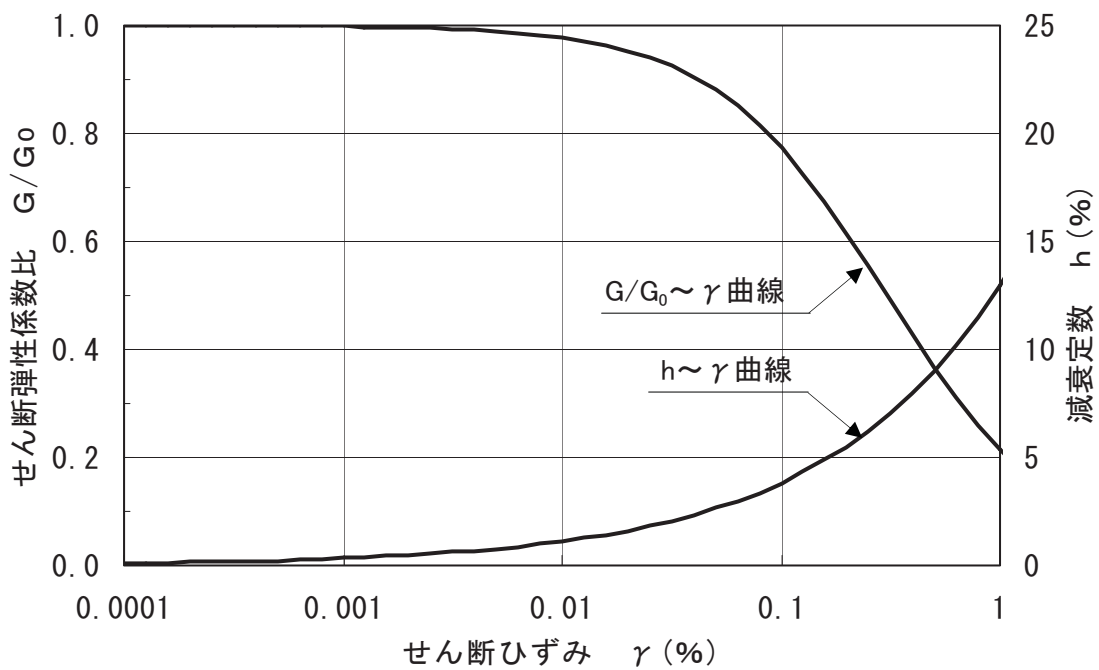


図-5.5.7 西山層のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

5.5.2.4 近接構造物

対象設備の地震時挙動に影響を及ぼす可能性がある近接構造物を解析モデルに反映する。考慮した近接構造物を表-5.5.5に示す。

表-5.5.5 解析モデルに反映する近接構造物

解析対象断面	考慮した近接構造物
非常用取水路(スクリーン室)	6号機スクリーン室 (図-3.3.29)
非常用取水路(取水路)	5号機補機冷却用海水取水路 (図-3.3.30)
非常用取水路(補機冷却用海水取水路)	5号機取水路 (漸拡部) (図-3.3.31)
原子炉補機冷却系配管ダクト(A系)	—
原子炉補機冷却系配管ダクト(B系)	5号機タービン建屋 (図-3.3.34)
非常用ガス処理系配管ダクト	5号機換気空調系ダクト (図-3.3.36)

5.5.2.5 入力地震動

新潟県中越沖地震における5号機原子炉建屋の基礎版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-5.5.8に、解析モデル下端位置での入力地震動を図-5.5.9に示す。

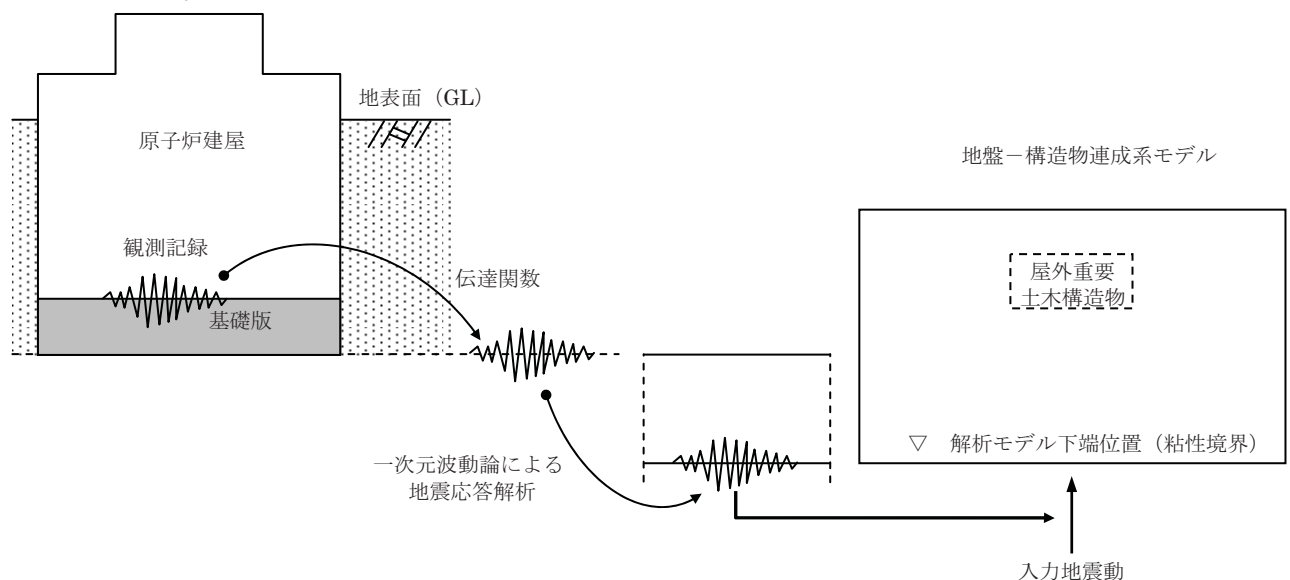
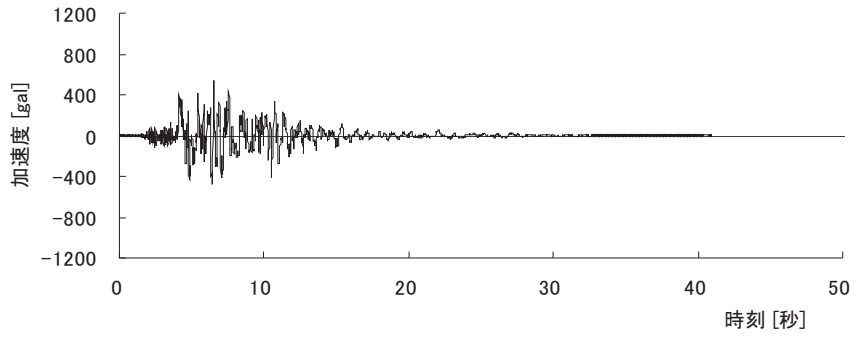
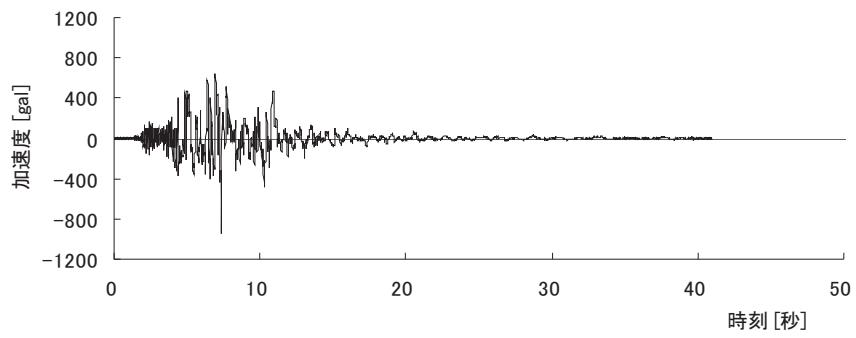


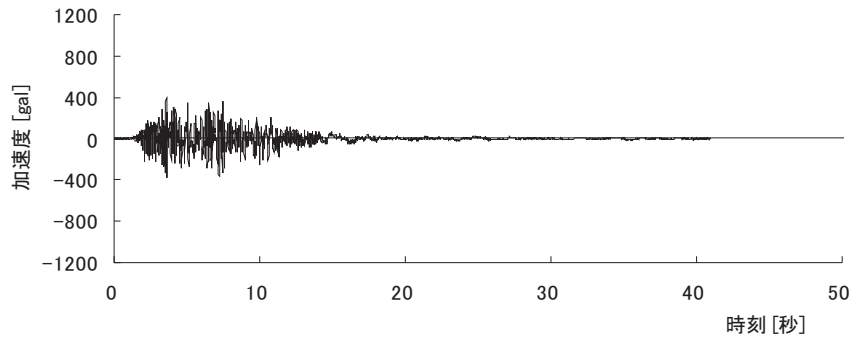
図-5.5.8 入力地震動の作成方法の概念図



(a) 水平方向 (NS方向)



(b) 水平方向 (EW方向)



(c) 鉛直方向

図-5.5.9 解析モデル下端位置での入力地震動

5.5.2.6 解析モデル

非常用取水路のうち、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路の3断面、および原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）、同（B系）、ならびに非常用ガス処理系配管ダクトの計6断面について、耐震健全性評価を実施した。

各断面の地震応答解析モデルを図-5.5.10～図-5.5.15に示す。

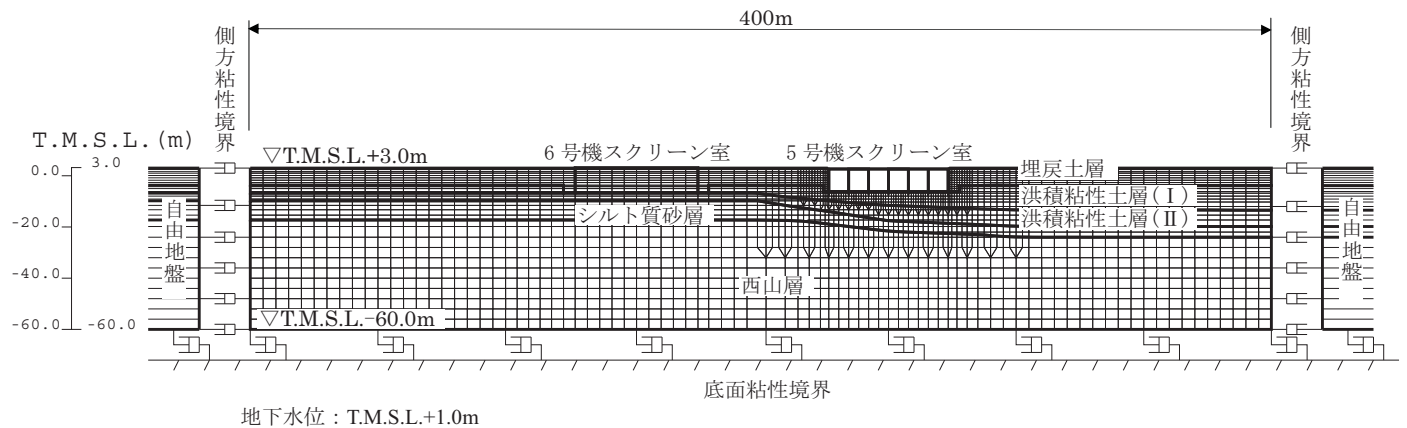


図-5.5.10 スクリーン室 地震応答解析モデル

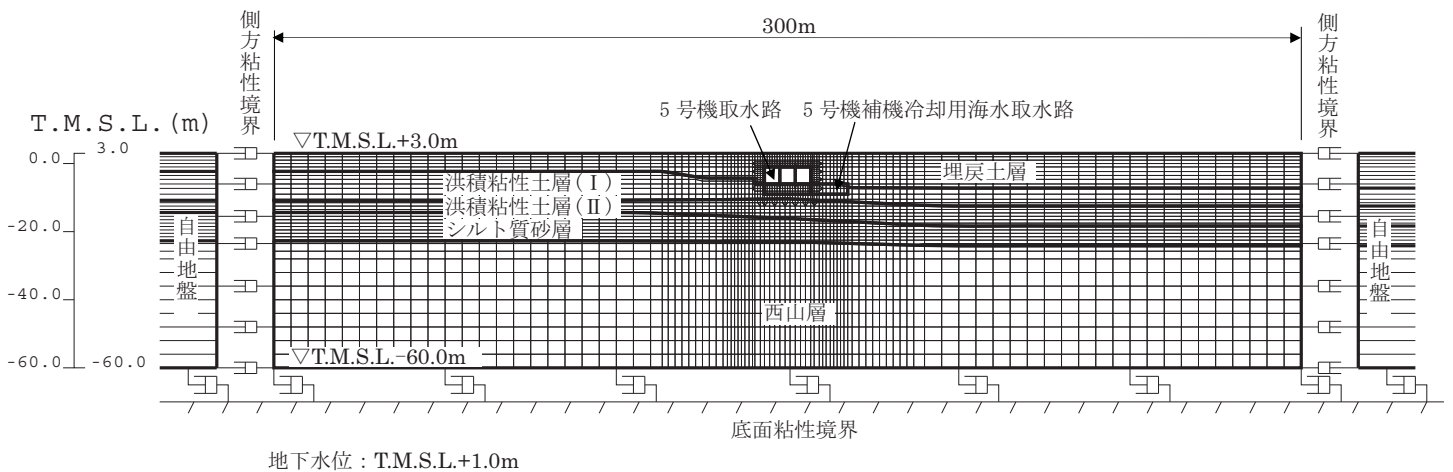


図-5.5.11 取水路 地震応答解析モデル

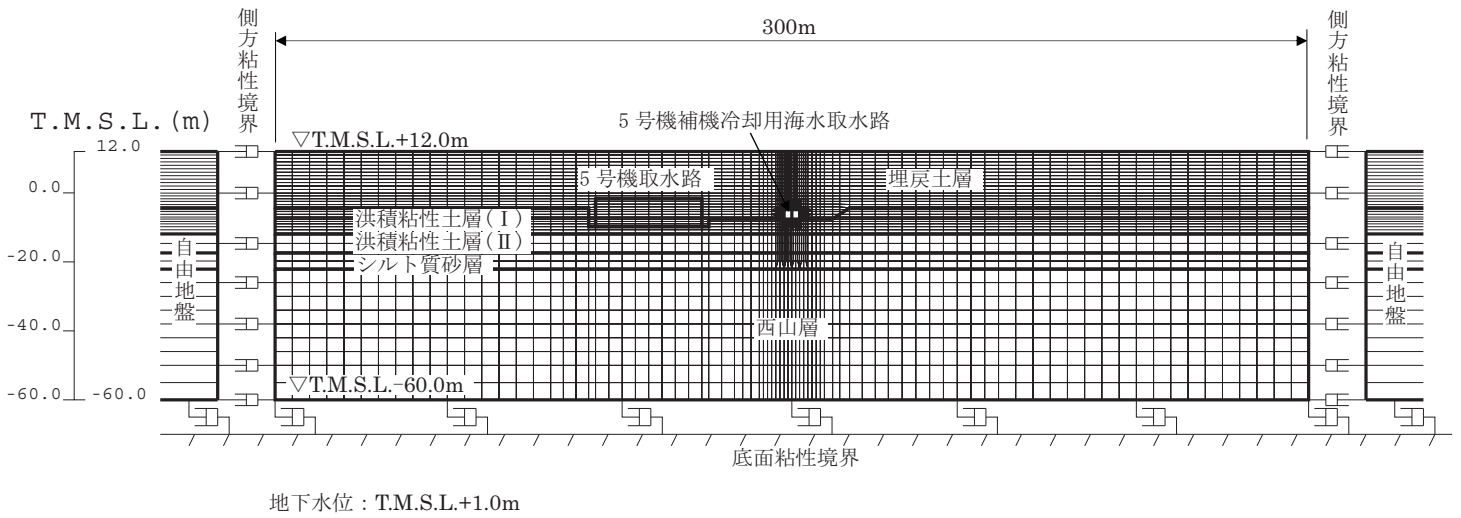


図-5.5.12 補機冷却用海水取水路 地震応答解析モデル

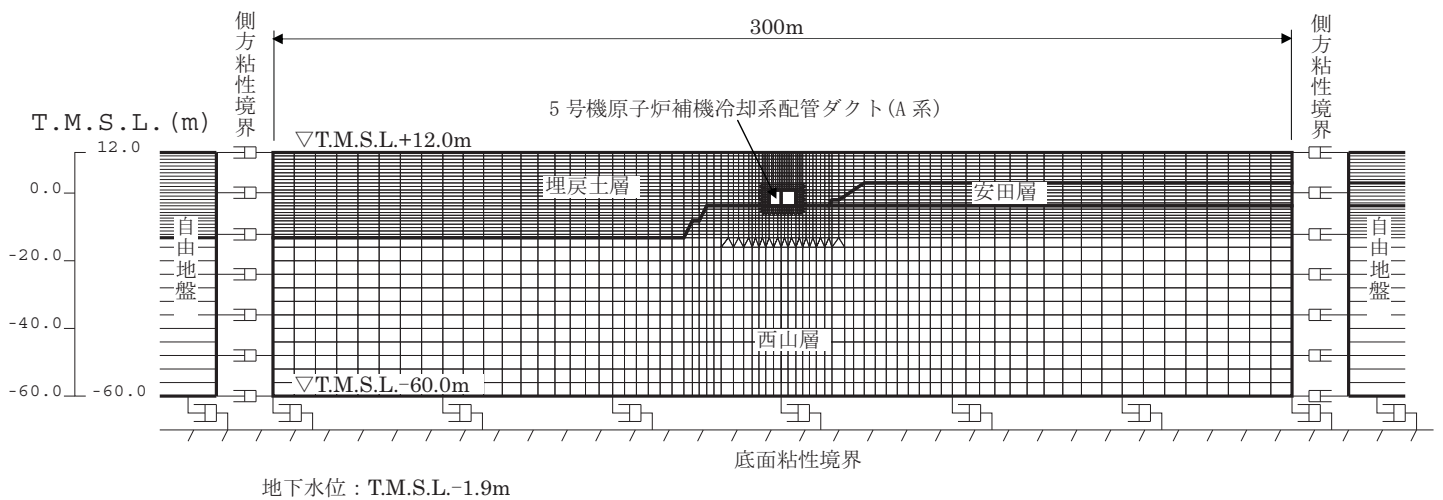


図-5.5.13 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) 地震応答解析モデル

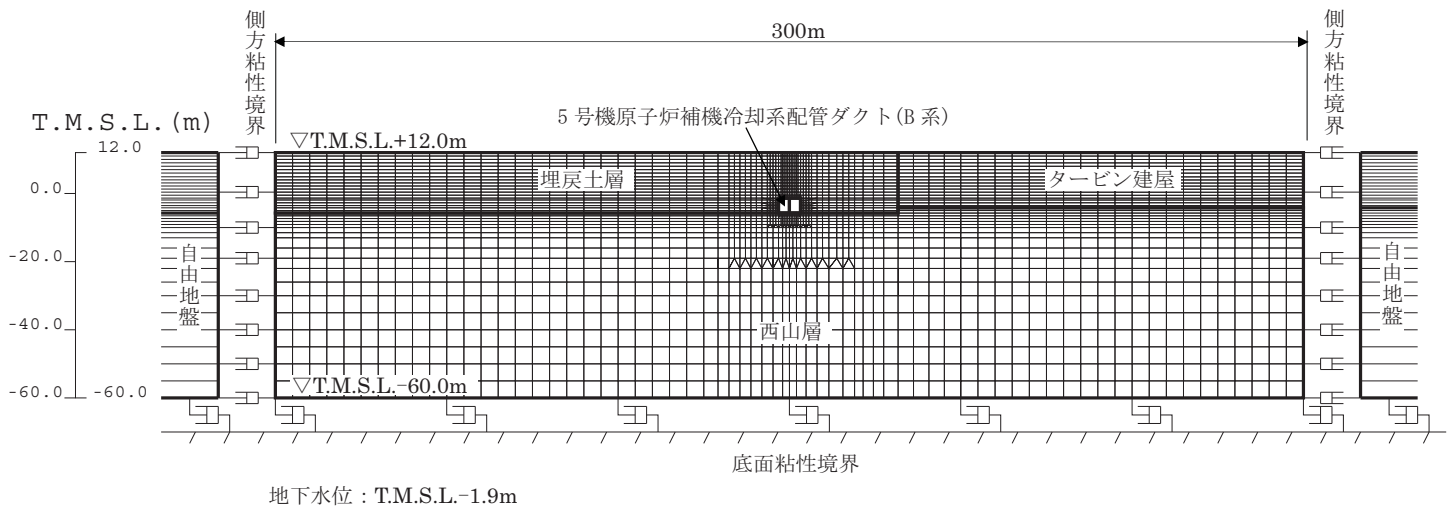


図-5.5.14 原子炉補機冷却系配管ダクト (B系) 地震応答解析モデル

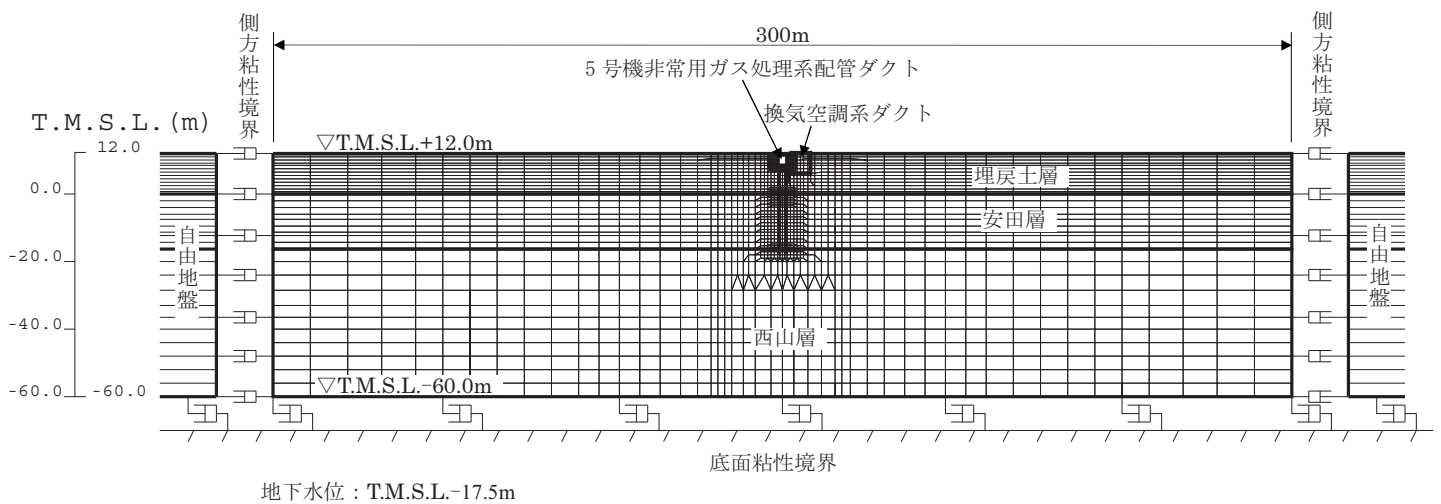


図-5.5.15 非常用ガス処理系配管ダクト 地震応答解析モデル

5.5.2.7 解析結果

(1) 非常用取水路

スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路の地震応答解析から求められる最大加速度分布図を図-5.5.16～図-5.5.18 に、各断面の構造物頂底版間の最大相対変位および発生時刻を表-5.5.6 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-5.5.19～図-5.5.21、図-5.5.22～図-5.5.24 に示す。

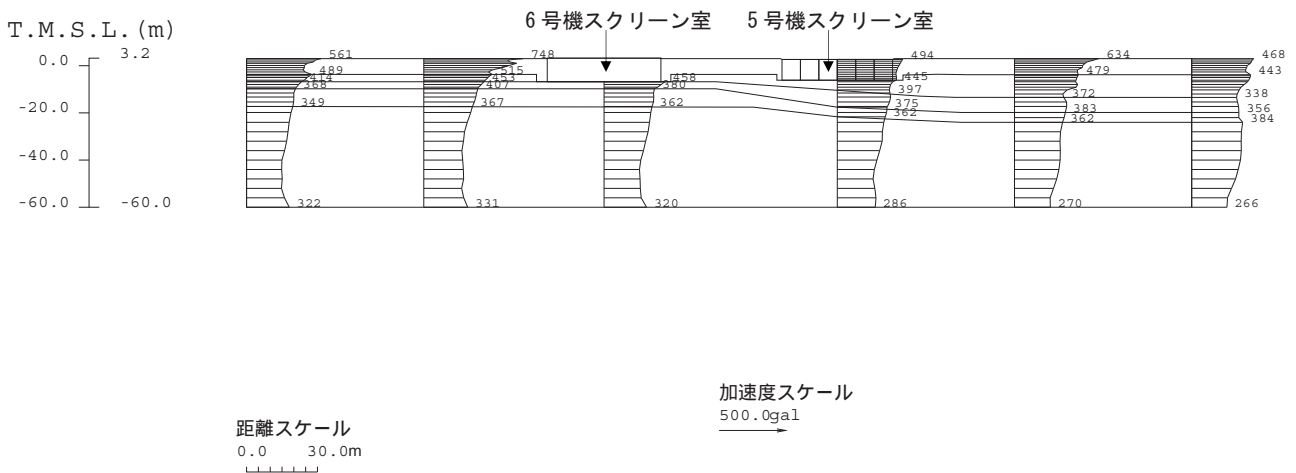


図-5.5.16 スクリーン室 最大加速度分布図

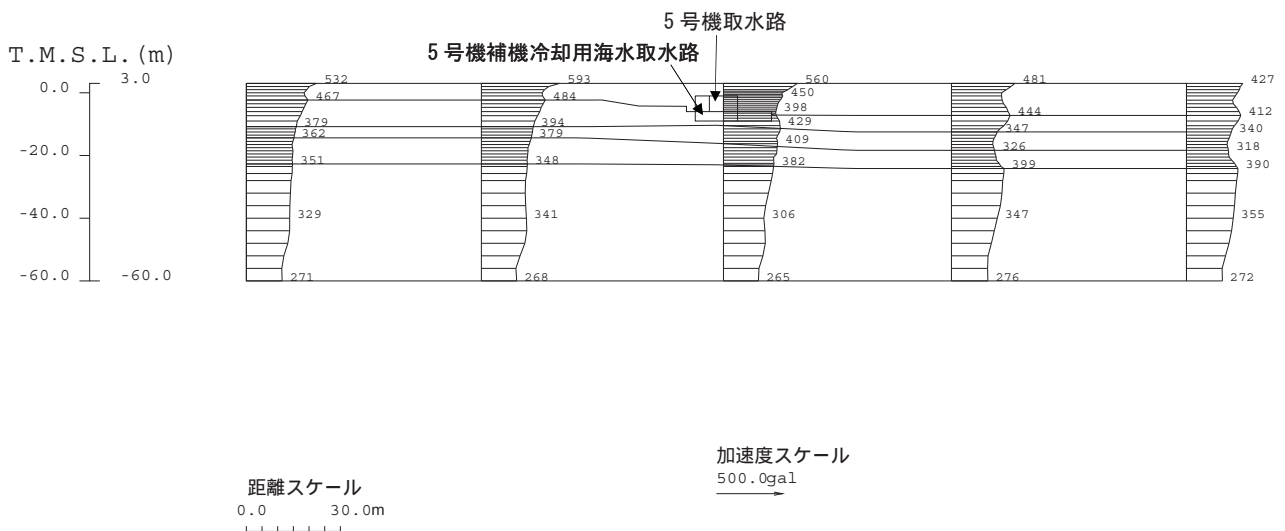


図-5.5.17 取水路 最大加速度分布図

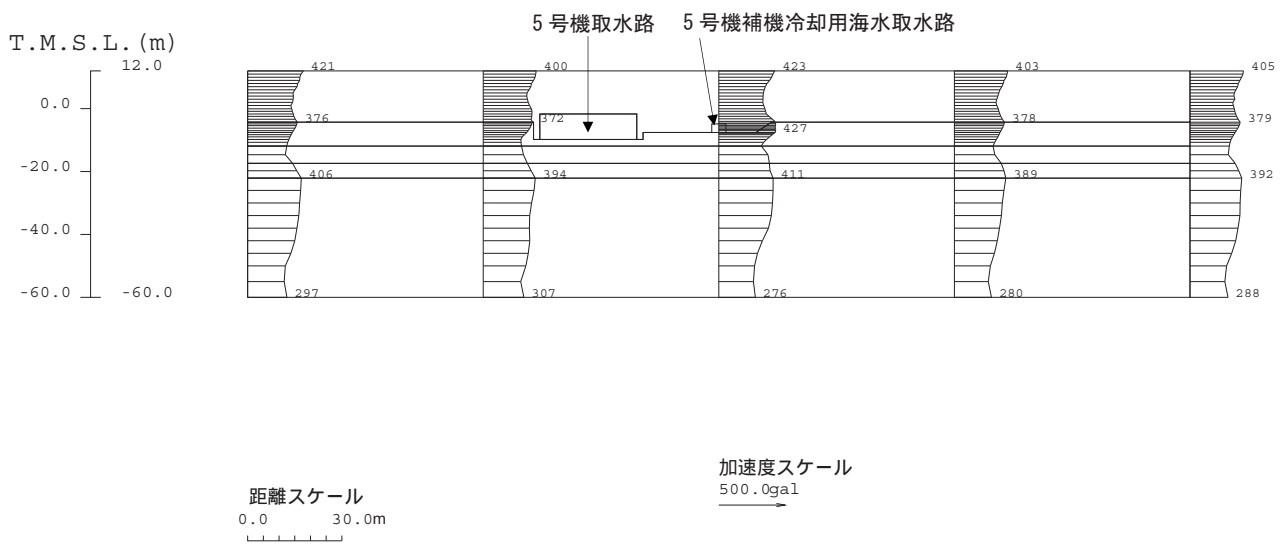


図-5.5.18 補機冷却用海水取水路 最大加速度分布図

表-5.5.6 非常用取水路 頂底板間の最大相対変位

解析対象断面	最大相対変位 (mm)	時刻 (秒)
スクリーン室	4.0	7.79
取水路	5.3	7.80
補機冷却用海水取水路	6.5	4.57

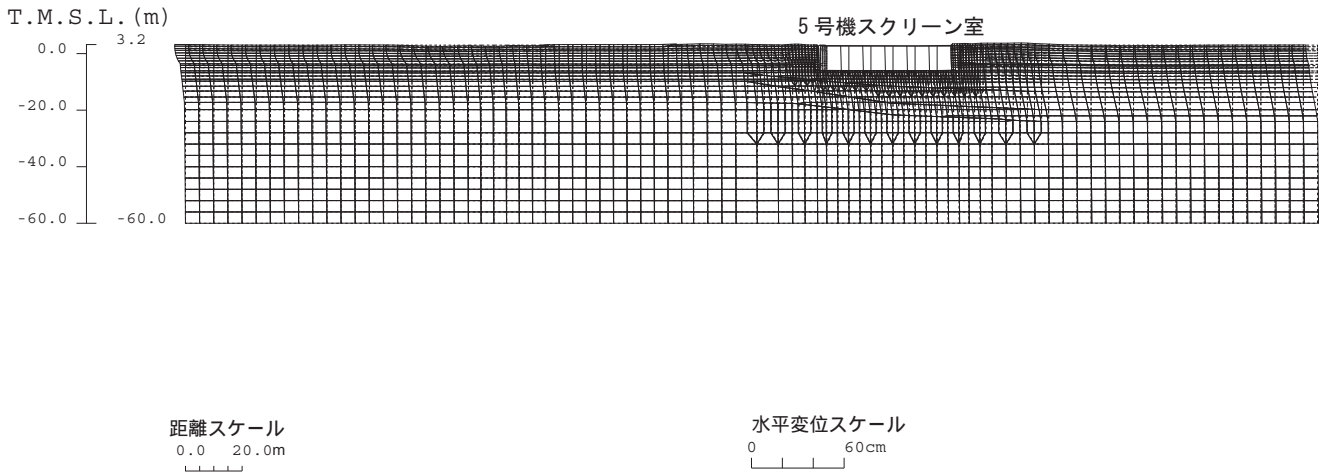


図-5.5.19 スクリーン室 変形図 (7.79 秒)

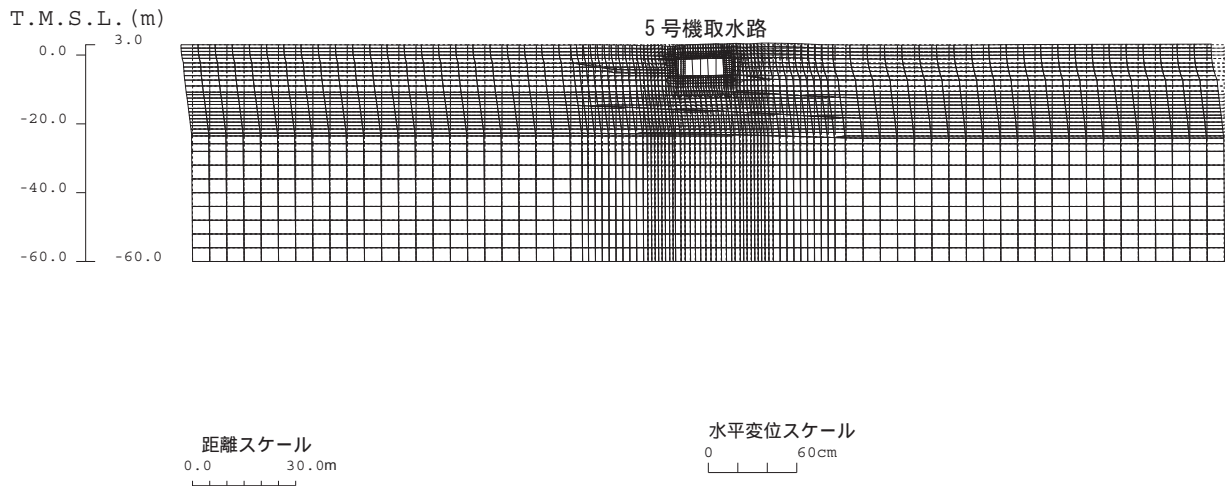


図-5.5.20 取水路 変形図 (7.80 秒)

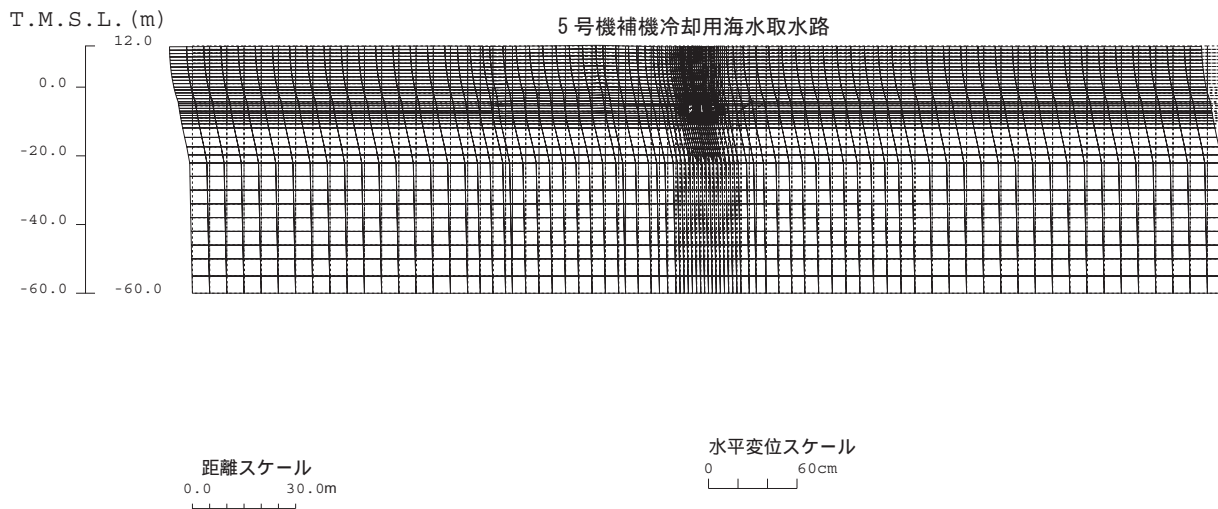


図-5.5.21 補機冷却用海水取水路 変形図 (4.57 秒)

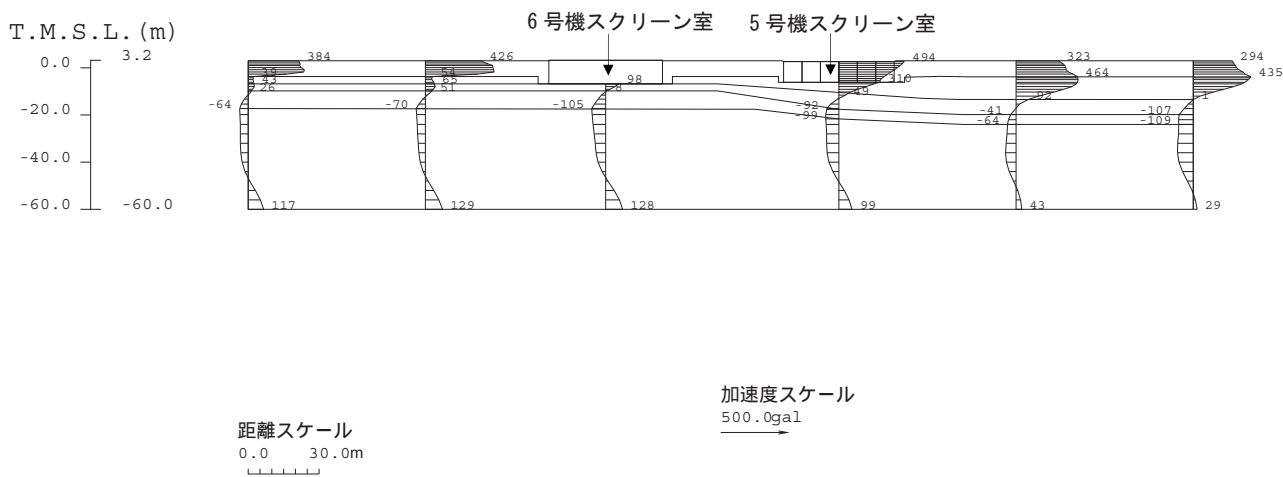


図-5.5.22 スクリーン室 加速度分布図 (7.79 秒)

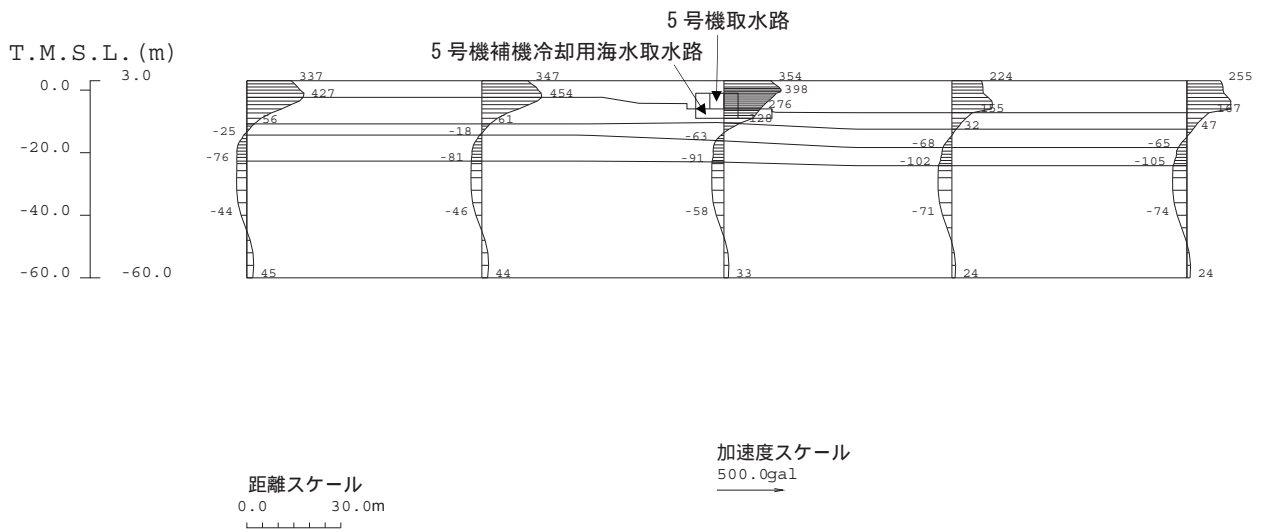


図-5.5.23 取水路 加速度分布図 (7.80 秒)

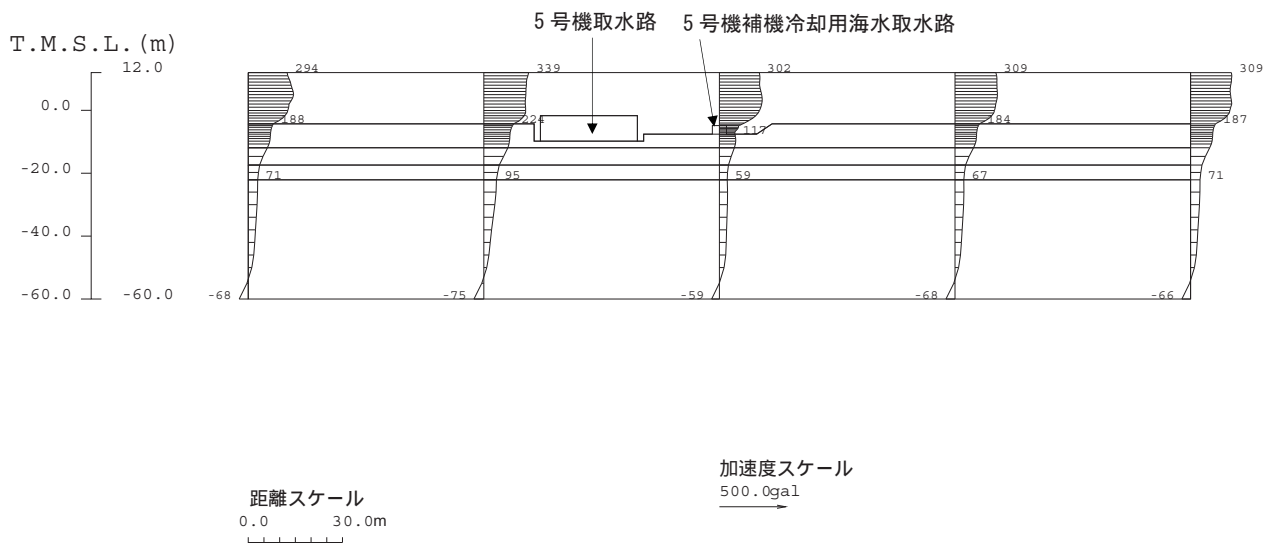


図-5.5.24 補機冷却用海水取水路 加速度分布図 (4.57 秒)

(2) 原子炉補機冷却系配管ダクト

地震応答解析から求められる最大加速度分布図を図-5.5.25 および図-5.5.26 に、構造物頂底版間の最大相対変位および発生時刻を表-5.5.7 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図-5.5.27～図-5.5.30 に示す。

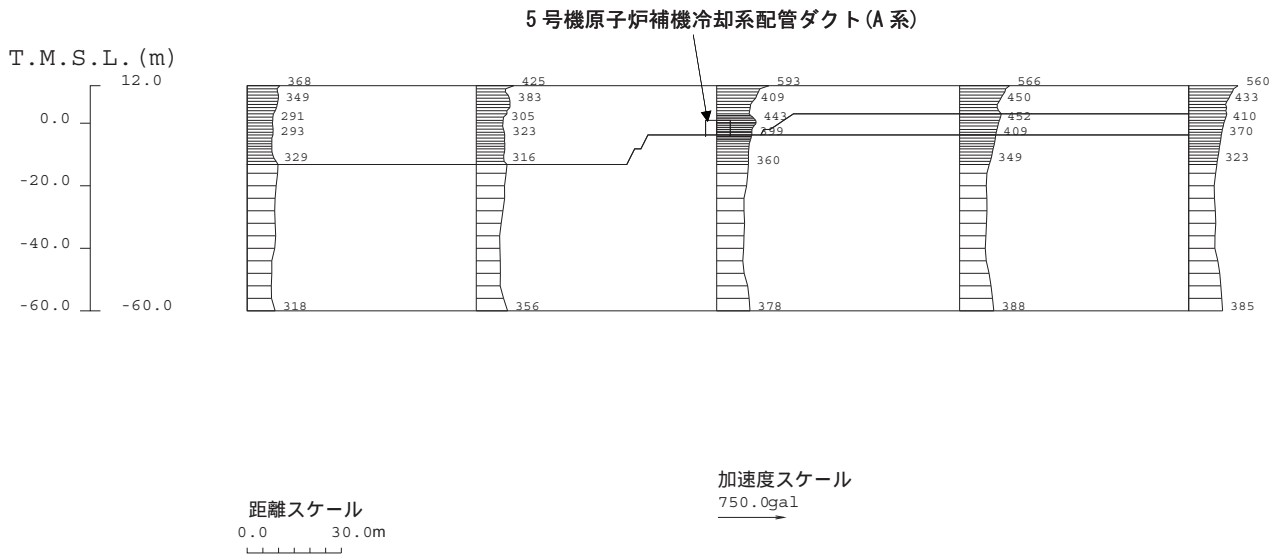


図-5.5.25 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) 最大加速度分布図

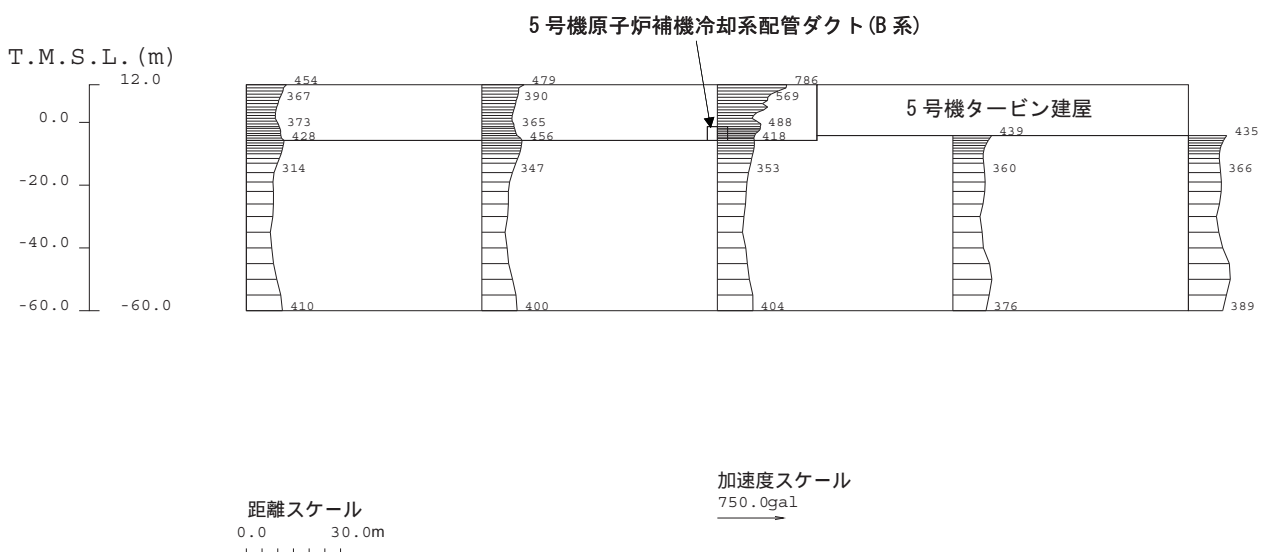


図-5.5.26 原子炉補機冷却系配管ダクト (B系) 最大加速度分布図

表-5.5.7 原子炉補機冷却系配管ダクト 頂底板間の最大相対変位

解析対象断面	最大相対変位 (mm)	時刻 (秒)
原子炉補機冷却系配管ダクト (A系)	6.2	7.73
原子炉補機冷却系配管ダクト (B系)	10.7	11.10

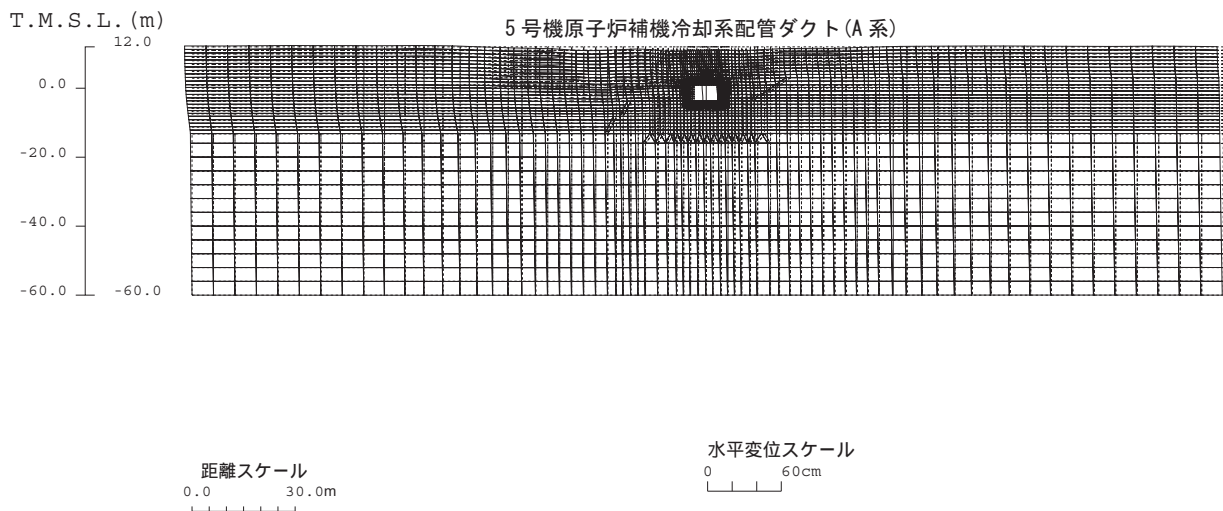


図-5.5.27 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) 変形図 (7.73 秒)

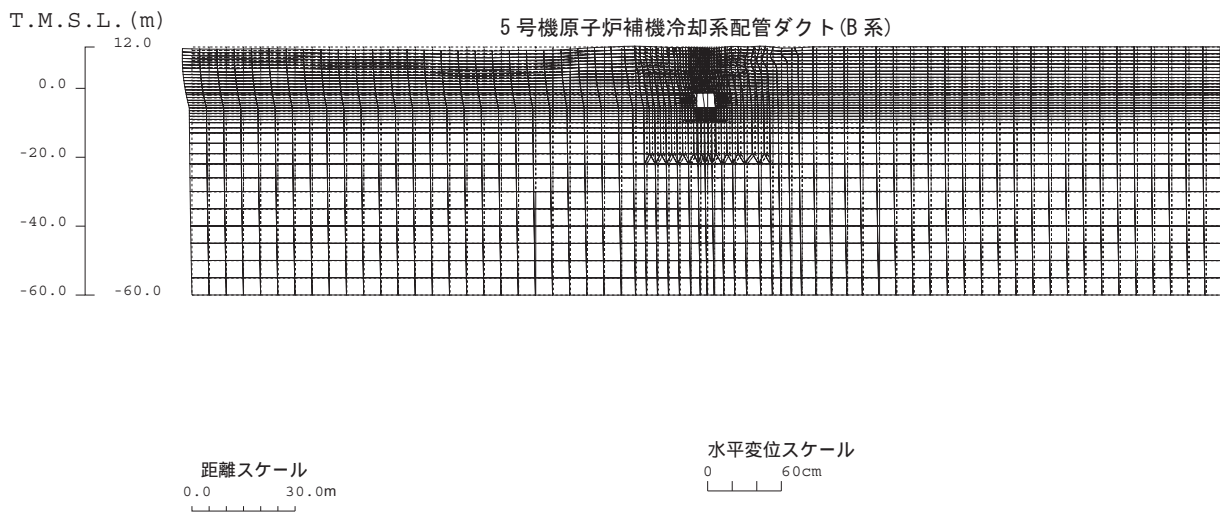


図-5.5.28 原子炉補機冷却系配管ダクト (B系) 変形図 (11.10 秒)

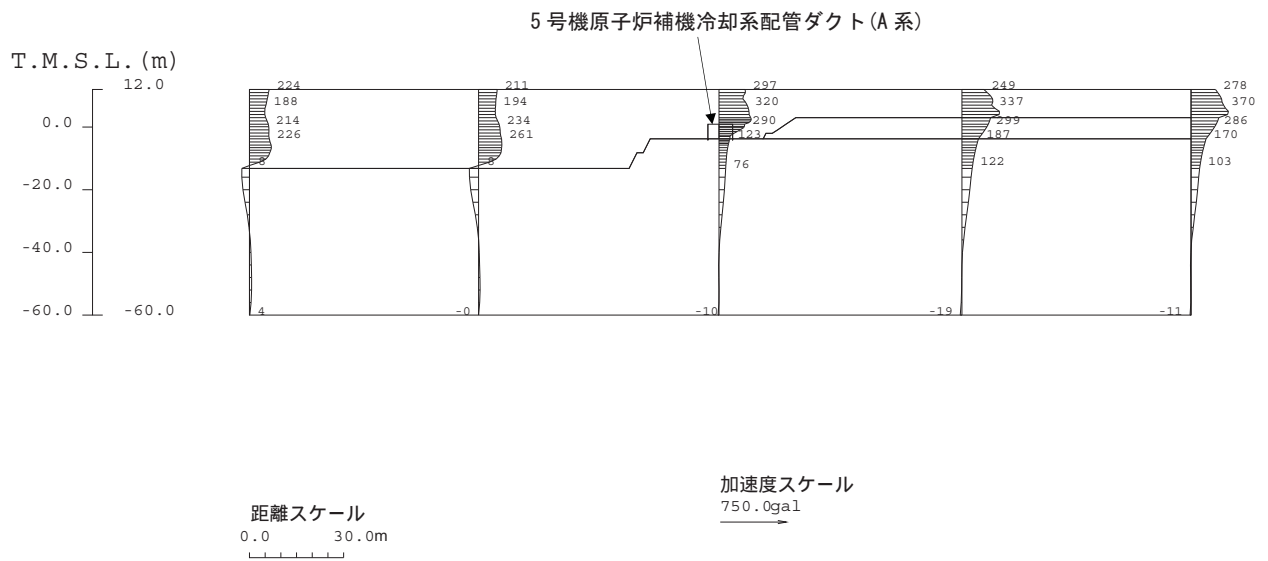


図-5.5.29 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) 加速度分布図 (7.73 秒)

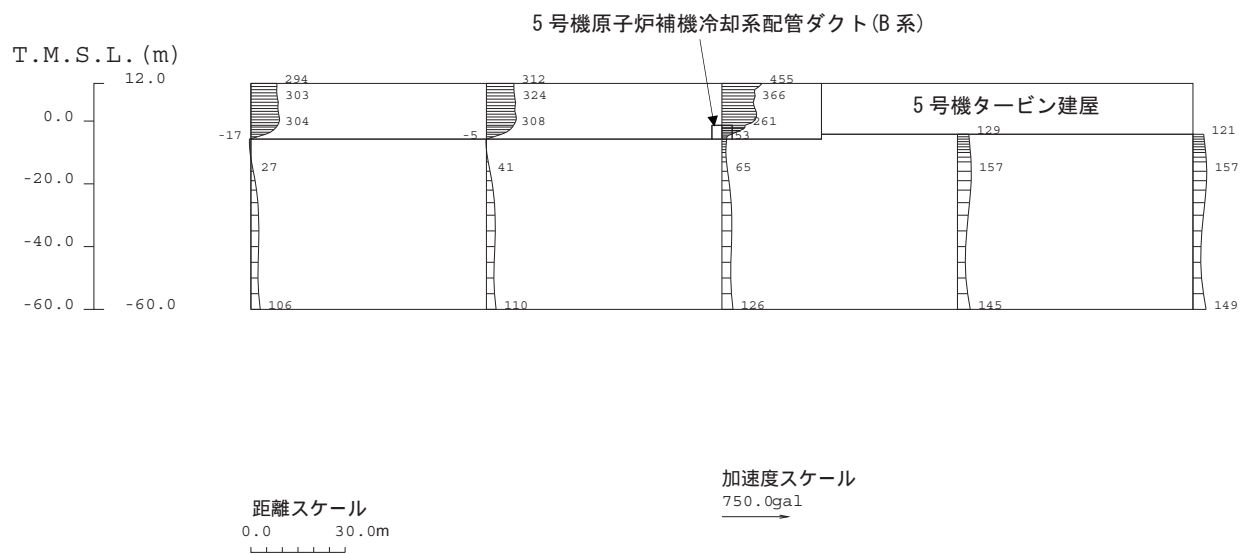


図-5.5.30 原子炉補機冷却系配管ダクト (B系) 加速度分布図 (11.10 秒)

(3) 非常用ガス処理系配管ダクト

地震応答解析から求められる最大加速度分布図を図-5.5.31に、構造物頂底版間の最大相対変位および発生時刻を表-5.5.8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図-5.5.32および図-5.5.33に示す。

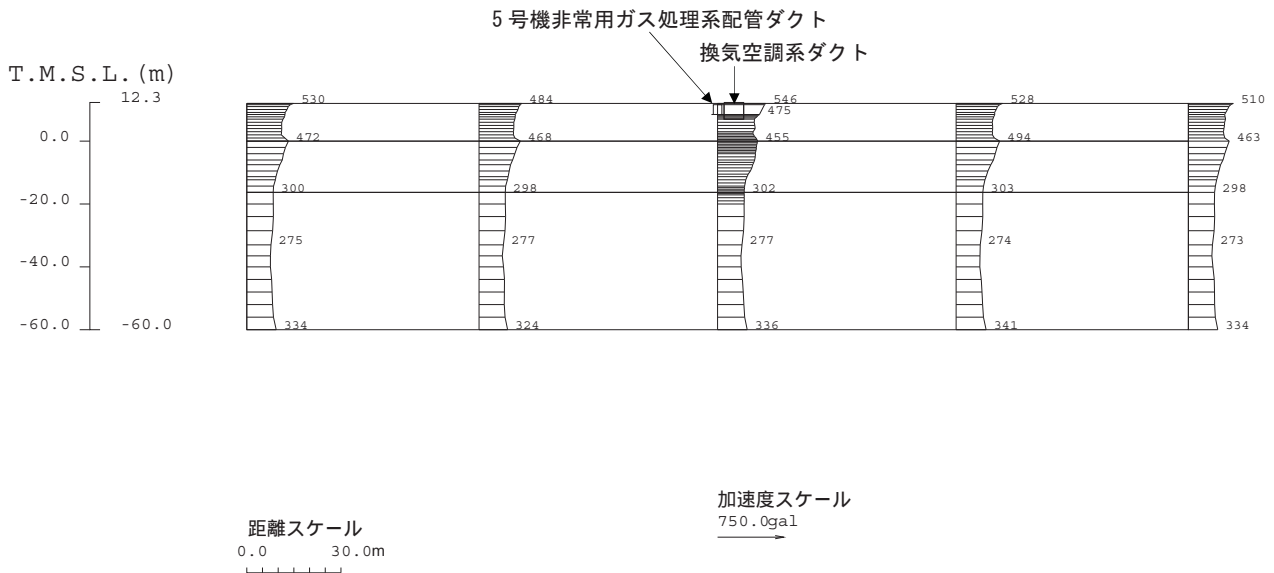


図-5.5.31 非常用ガス処理系配管ダクト 最大加速度分布図

表-5.5.8 非常用ガス処理系配管ダクト 頂底版間の最大相対変位

解析対象断面	最大相対変位 (mm)	時刻 (秒)
非常用ガス処理系配管ダクト	4.5	6.51

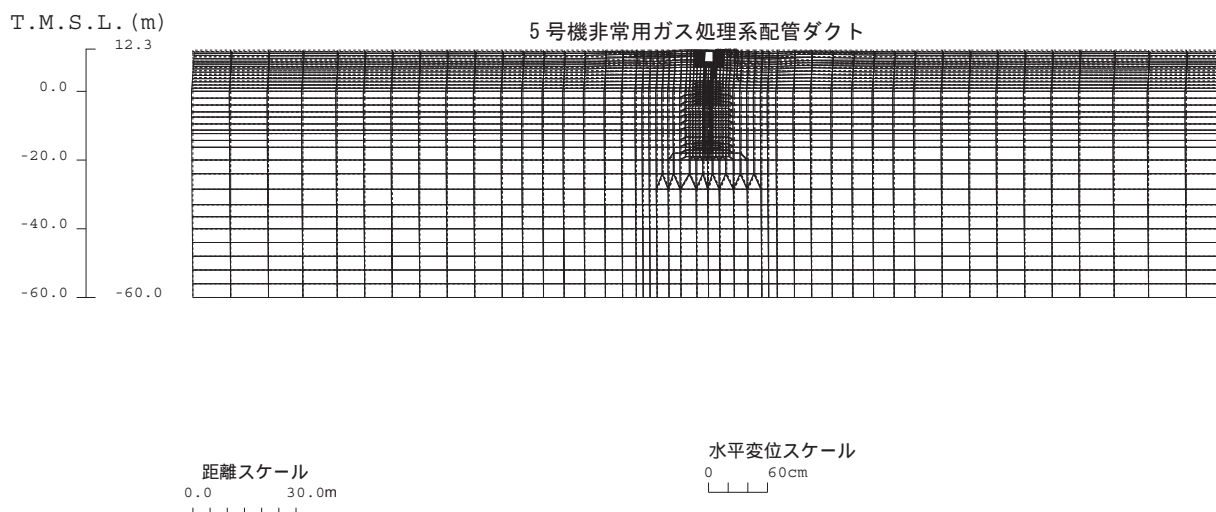


図-5.5.32 非常用ガス処理系配管ダクト 変形図 (6.51 秒)

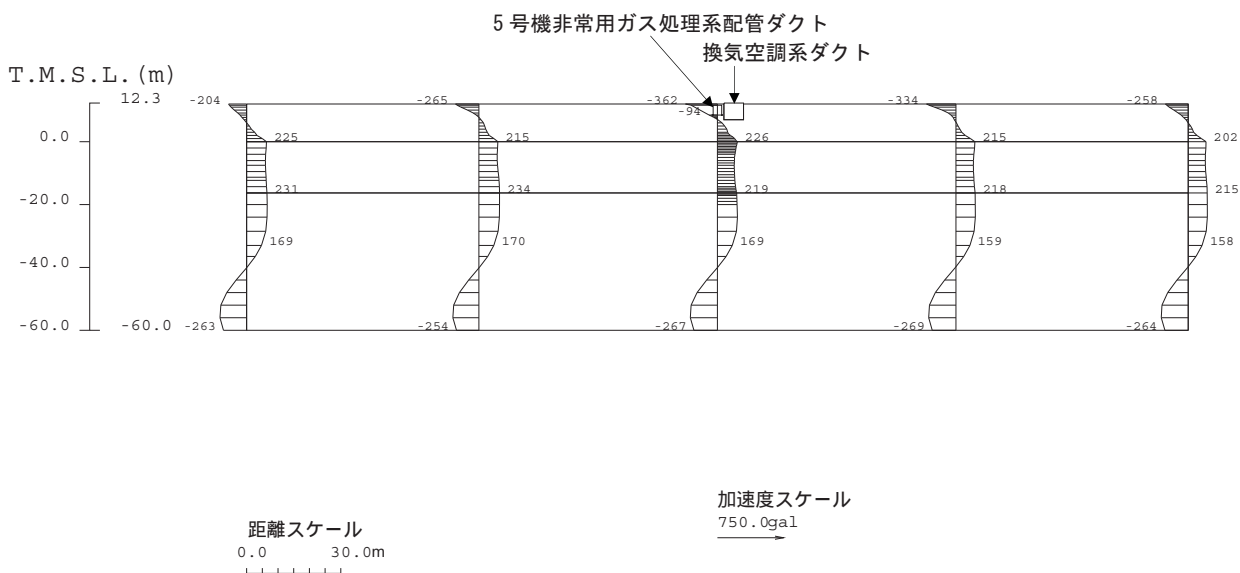


図-5.5.33 非常用ガス処理系配管ダクト 加速度分布図 (6.51 秒)

5.5.3. 耐震健全性評価結果

5.5.3.1 鉄筋コンクリート構造物

層間変形角による照査結果を表-5.5.9に、また、せん断力による照査結果を表-5.5.10に示す。層間変形角による照査の結果、評価位置における照査用応答値（照査用層間変形角 R_d ）は評価基準値（限界層間変形角 R_u ）を下回ることを確認した。また、せん断力による照査の結果、評価位置における照査用応答値（照査用せん断力 V_d ）は評価基準値（せん断耐力 V_{yd} ）を下回ることを確認した。

以上のことから、曲げ、せん断のいずれも評価基準を満足するとともに裕度を有しており、耐震健全性は確保されているものと評価した。

なお、本評価と同一の手法により、「5号機解放基盤波」を用いて地震応答解析を実施した結果、本評価と同様に、曲げ、せん断のいずれも評価基準を満足するとともに裕度を有しており、耐震健全性は確保されているものと評価した（参考資料12参照）。

表-5.5.9 層間変形角による照査結果（鉄筋コンクリート構造物）

解析対象断面	評価位置	照査用 応答値	評価 基準値	照査用応答値 ／評価基準値
非常用取水路 (スクリーン室)	頂版～ 底版	0.0453/100	1/100	0.045
非常用取水路 (取水路)	頂版～ 底版	0.107/100	1/100	0.11
非常用取水路 (補機冷却用海水取水路)	頂版～ 底版	0.237/100	1/100	0.24
原子炉補機冷却系 配管ダクト (A系)	頂版～ 底版	0.133/100	1/100	0.13
原子炉補機冷却系 配管ダクト (B系)	頂版～ 底版	0.244/100	1/100	0.24
非常用ガス処理系 配管ダクト	頂版～ 底版	0.146/100	1/100	0.15

表-5.5.10 せん断力による照査結果（鉄筋コンクリート構造物）

解析対象断面	評価位置	照査用 応答値 (kN)	評価 基準値 ^{※1} (kN)	照査用応答値 ／評価基準値
非常用取水路 (スクリーン室)	頂版	149	669	0.22
	底版	306	1823	0.17
	側壁	621	3475	0.18
	隔壁	396	1454	0.27
非常用取水路 (取水路)	頂版	299	1415	0.21
	底版	417	1499	0.28
	側壁	339	1690	0.20
	隔壁	419	1232	0.34
非常用取水路 (補機冷却用海水取水路)	頂版	334	729	0.46
	底版	489	1192	0.41
	側壁	375	764	0.49
	隔壁	288	482	0.60
原子炉補機冷却系 配管ダクト（A系）	頂版	501	1694	0.30
	底版	369	1432	0.26
	側壁	616	1750	0.35
	隔壁	148	583	0.25
原子炉補機冷却系 配管ダクト（B系）	頂版	501	1277	0.39
	底版	452	1172	0.39
	側壁	574	1376	0.42
	隔壁	177	569	0.31
非常用ガス処理系 配管ダクト	頂版	33	409	0.081
	底版	94	593	0.16
	側壁	59	581	0.10

※1 せん断耐力評価式を用いた方法による

5.5.3.2 鋼管杭

非常用ガス処理系配管ダクトの杭基礎に対して実施した曲げの照査結果を表-5.5.11に、せん断の照査結果を表-5.5.12に、支持力の照査結果を表-5.5.13にそれぞれ示す。

曲げおよびせん断については、照査用応答値（最大曲率 ϕ_d および最大せん断力 V_d ）が、それぞれ評価基準値（限界曲率 ϕ_u およびせん断耐力 V_{yd} ）を下回ることを確認した。支持力についても、照査用応答値（杭頭部の最大反力（最大軸力 N'_d ））が評価基準値（極限支持力 R_u ）を下回ることを確認した。

以上のことから、曲げ、せん断、支持力のいずれも評価基準を満足するとともに裕度を有しており、耐震健全性は確保されているものと評価した。

なお、本手法と同一の手法により、「5号機解放基盤波」を用いて地震応答解析を実施した結果、本評価と同様に、曲げ、せん断、支持力のいずれも評価基準を満足するとともに裕度を有しており、耐震健全性は確保されているものと評価した（参考資料12参照）。

表-5.5.11 曲率による照査結果（鋼管杭）

解析対象断面	評価位置	照査用 応答値 (1/m)	評価 基準値 (1/m)	照査用応答値 ／評価基準値
非常用ガス処理系 配管ダクト	杭頭部	0.00348	0.0308	0.11
	地中部	0.00306	0.0238	0.13

表-5.5.12 せん断力による照査結果（鋼管杭）

解析対象断面	評価位置	照査用 応答値 (kN)	評価 基準値 (kN)	照査用応答値 ／評価基準値
非常用ガス処理系 配管ダクト	杭頭部	133	587	0.23
	地中部	206	587	0.35

表-5.5.13 支持力の評価結果（鋼管杭）

解析対象断面	評価位置	照査用 応答値 (kN)	評価 基準値 (kN)	照査用応答値 ／評価基準値
非常用ガス処理系 配管ダクト	杭頭部	609	2531	0.24

6. 総合評価

6.1. 総合評価の方法

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

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

表-6.1.1 総合評価（解析-点検）

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

6.2. 総合評価結果

点検においては、原子炉建屋、タービン建屋、海水熱交換器建屋、排気筒および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、原子炉建屋、タービン建屋、海水熱交換器建屋、排気筒および屋外重要土木構造物について、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。

以上のように、点検と地震応答解析の両面から評価を行った結果、5号機の原子炉建屋、タービン建屋、海水熱交換器建屋、排気筒および屋外重要土木構造物についての健全性が確保されているものと評価した。

7. 添付資料・参考資料一覧

添付資料 1	5号機原子炉建屋ひび割れ状況図
添付資料 2	5号機タービン建屋ひび割れ状況図
添付資料 3	5号機海水熱交換器建屋ひび割れ状況図
添付資料 4	5号機排気筒点検結果（支持鉄塔）
添付資料 5	5号機排気筒点検結果（基礎杭）
添付資料 6	5号機屋外重要土木構造物の点検結果
添付資料 7	5号機タービン建屋耐震壁における補修の検討を目的としたひび割れ深さ調査結果
参考資料 1	原子炉建屋地震応答解析結果
参考資料 2	原子炉建屋の追加検討モデルによる応答結果比較
参考資料 3	タービン建屋地震応答解析結果
参考資料 4	5号機解放基盤波を用いたタービン建屋の耐震健全性評価
参考資料 5	海水熱交換器建屋地震応答解析結果
参考資料 6	5号機解放基盤波を用いた海水熱交換器建屋の耐震健全性評価
参考資料 7	杭頭付近の目視点検結果と解析結果との対応について

- 参考資料 8 5号機解放基盤波を用いた排気筒の耐震健全性評価
- 参考資料 9 非常用ガス処理系用排気筒脚部のコンクリートの評価について
- 参考資料 10 地震応答解析結果に基づく地盤支持力の評価
- 参考資料 11 5号機補機冷却用海水取水路のひび割れについて
- 参考資料 12 5号機解放基盤波を用いた屋外重要土木構造物の耐震健全性評価
- 参考資料 13 5号機非常用取水路の軸方向の評価
- 参考資料 14 5号機非常用ガス処理系配管ダクトの杭基礎の点検結果について
- 参考資料 15 原子炉建屋の観測記録と解析結果との相違の影響検討について
- 参考資料 16 原子炉建屋の設計時に想定していた地震時応力と中越沖地震時の応力との比較について