

# 柏崎刈羽原子力発電所1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の点検・評価状況について

平成21年5月19日

東京電力株式会社

## 目 次

1. はじめに	1-1
2. 点検・評価に関する基本的な考え方	2-1
3. 屋外重要土木構造物の概要	3-1
4. 点検	4-1
4. 1 点検方法の策定	4-1
4. 2 力量管理	4-3
4. 3 点検結果	4-3
4. 4 第三者機関による確認	4-5
5. 耐震健全性評価	5-1
5. 1 評価手順	5-1
5. 2 地震応答解析	5-3
5. 3 耐震健全性評価結果	5-23
6. 総合評価	6-1
6. 1 総合評価の方法	6-1
6. 2 総合評価結果	6-2
7. 添付資料・参考資料一覧	7-1

## 1. はじめに

本報告は、「新潟県中越沖地震を受けた柏崎刈羽原子力発電所の設備の健全性に係る点検・評価計画について（経済産業省 平成 19・11・06 原院第 2 号 平成 19 年 11 月 9 日）」を受け、原子力安全・保安院に提出した「柏崎刈羽原子力発電所 1 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）」に基づき実施した屋外重要土木構造物の点検・評価状況について取り纏めたものである。

## 2. 点検・評価に関する基本的な考え方

点検・評価とは、屋外重要土木構造物について点検、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屋外重要土木構造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-2.1 参照)

- ・ 耐震安全上重要な屋外重要土木構造物については、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。

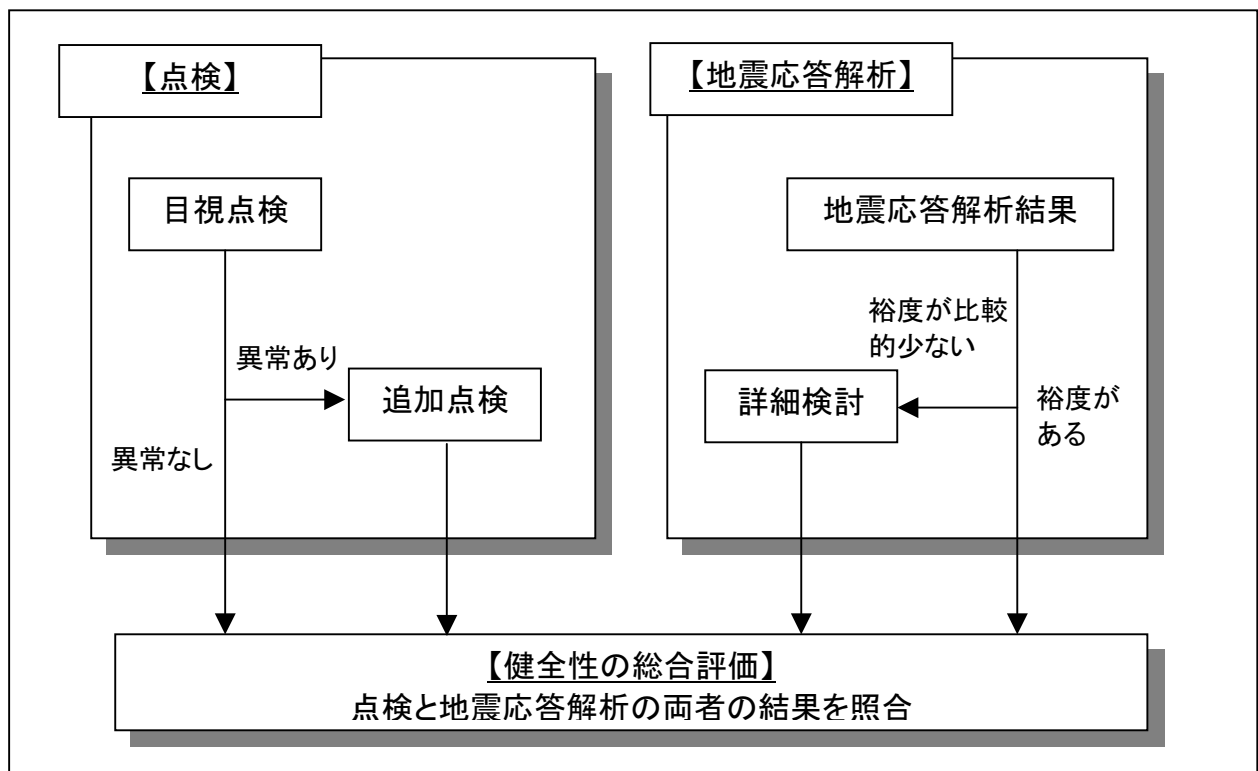


図-2.1 屋外重要土木構造物の点検・評価の全体フロー

### 3. 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-3.1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。

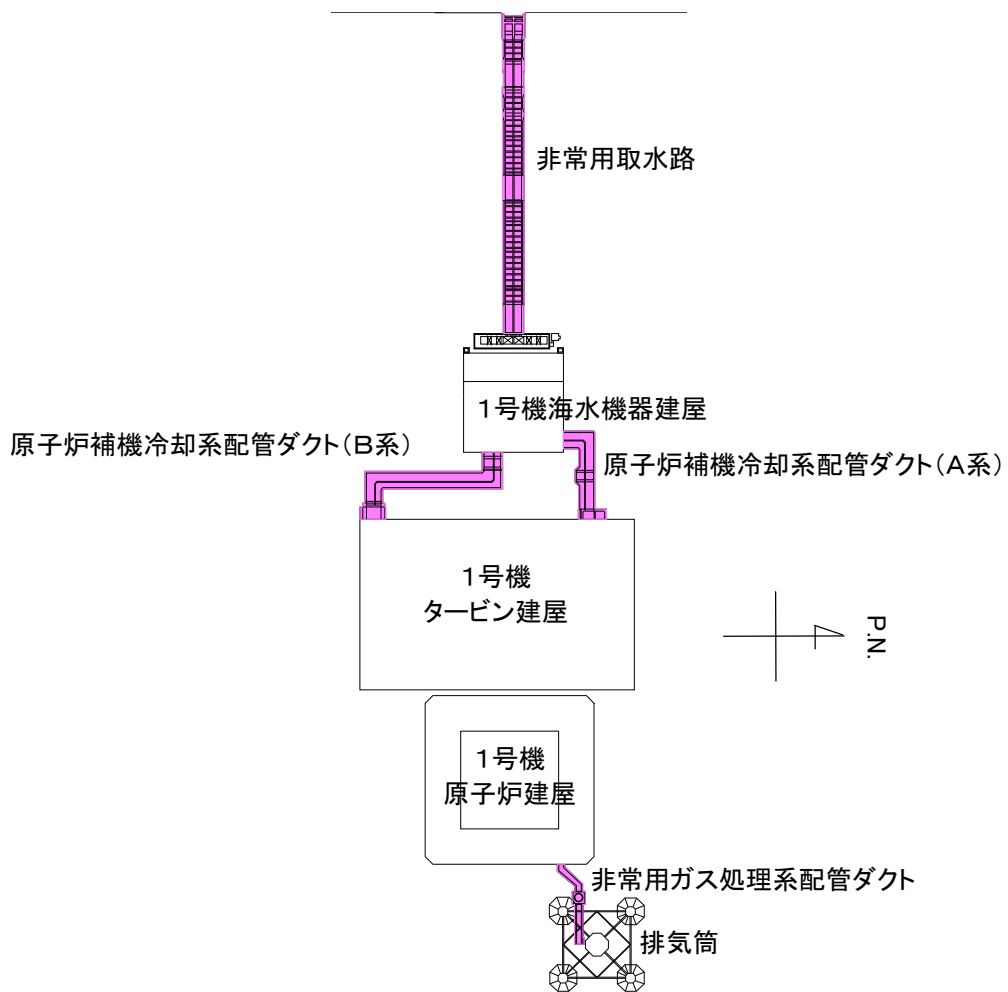
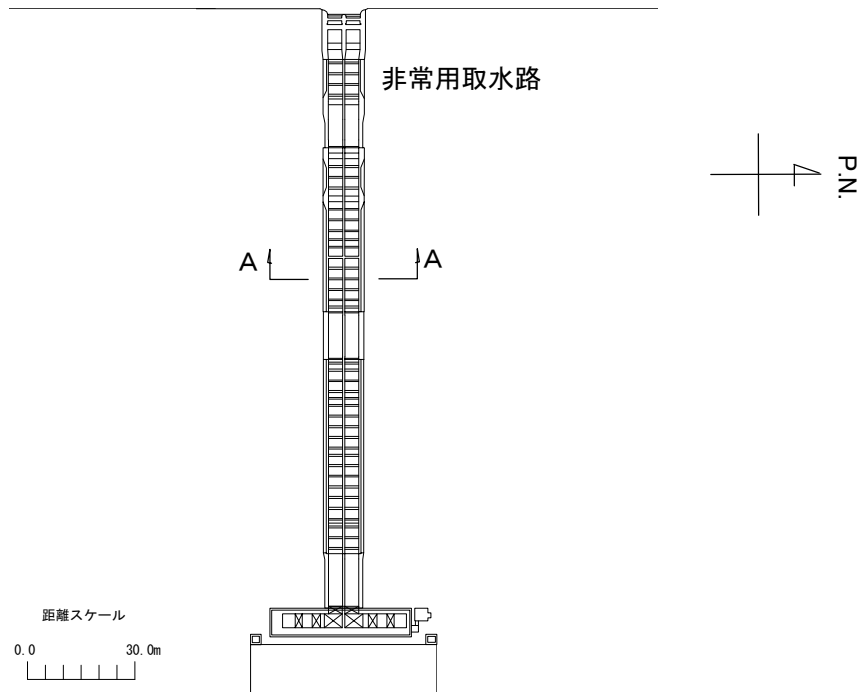


図-3.1 屋外重要土木構造物の配置図

### (1) 非常用取水路

非常用取水路は、前面護岸から海水機器建屋までの鉄筋コンクリート構造の開水路である。平面図を図-3.2 に、断面図を図-3.3 に示す。



1号機海水機器建屋

図-3.2 非常用取水路平面図

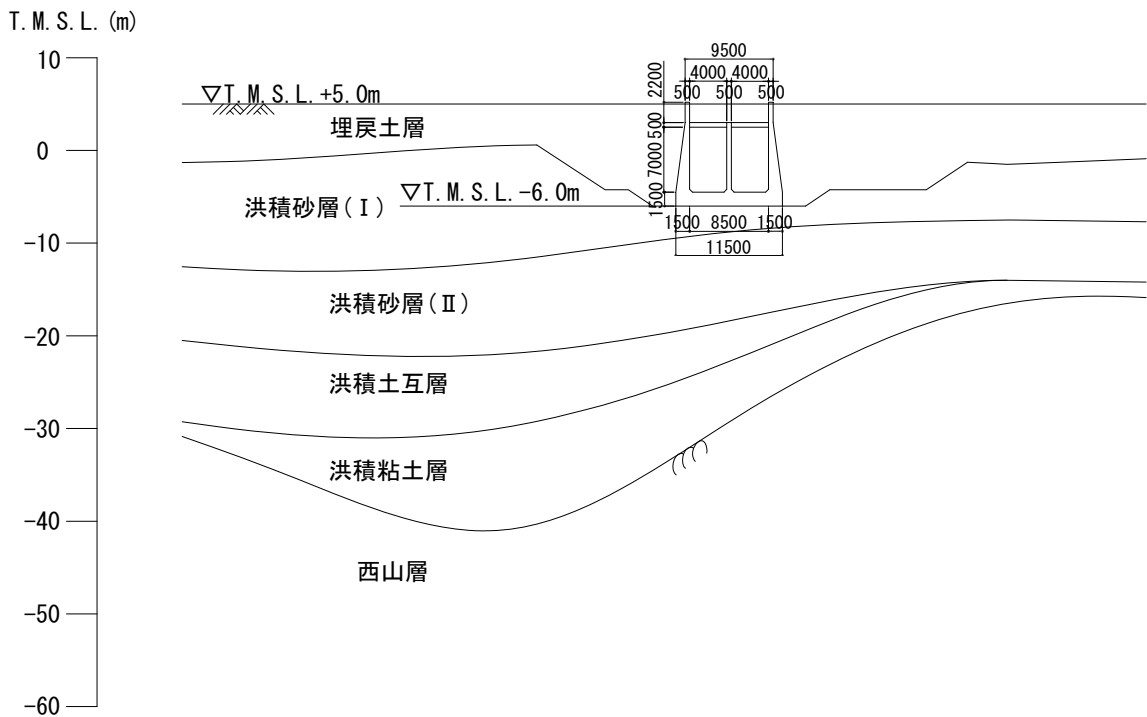


図-3.3 非常用取水路断面図 (A-A 断面)

## (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機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-3.4に、また、A系およびB系の断面図を図-3.5および図-3.6に示す。

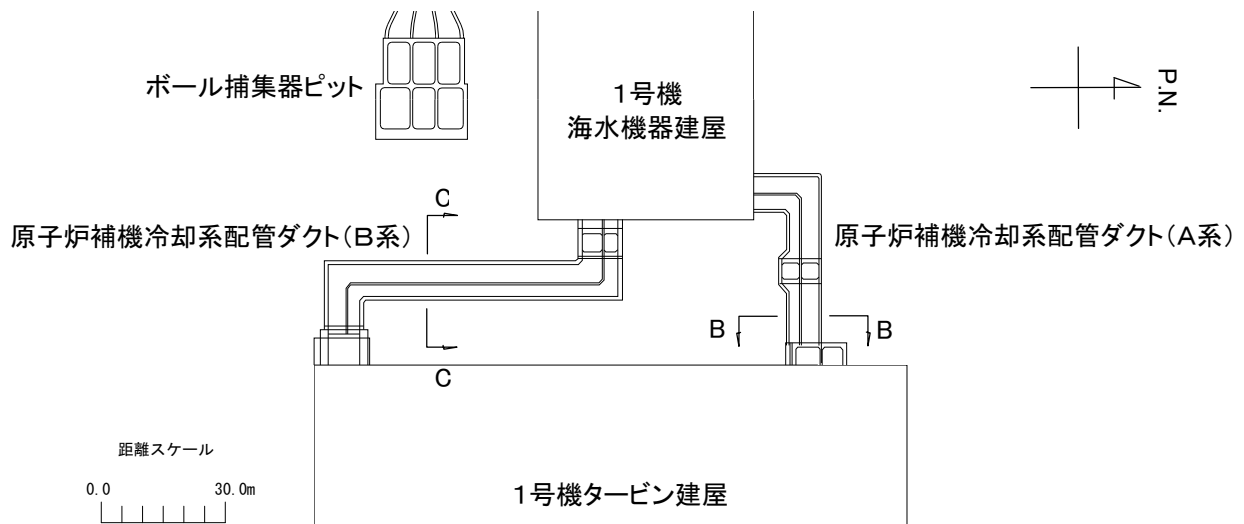


図-3.4 原子炉補機冷却系配管ダクト平面図

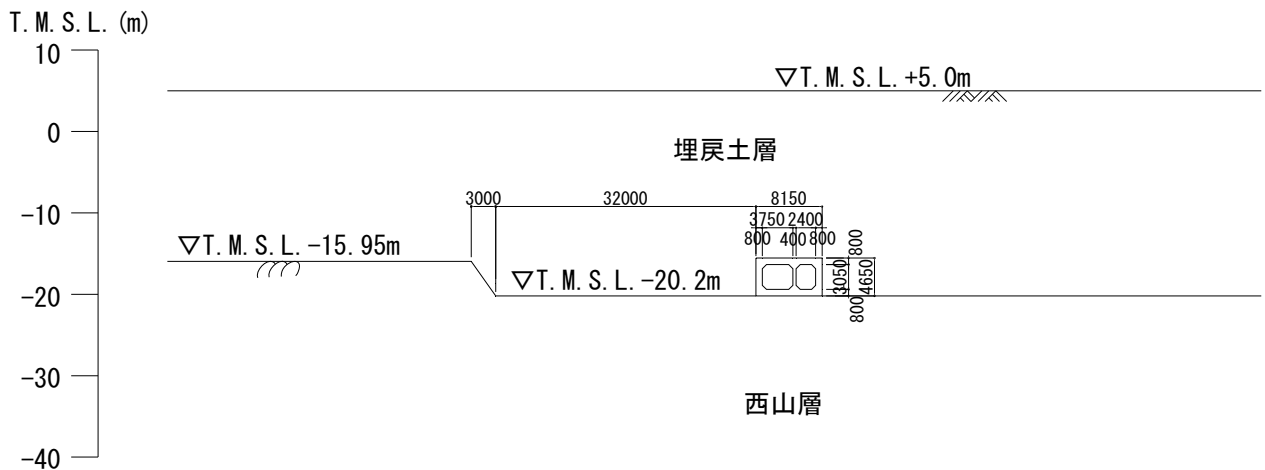


図-3.5 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) 断面図 (B-B断面)

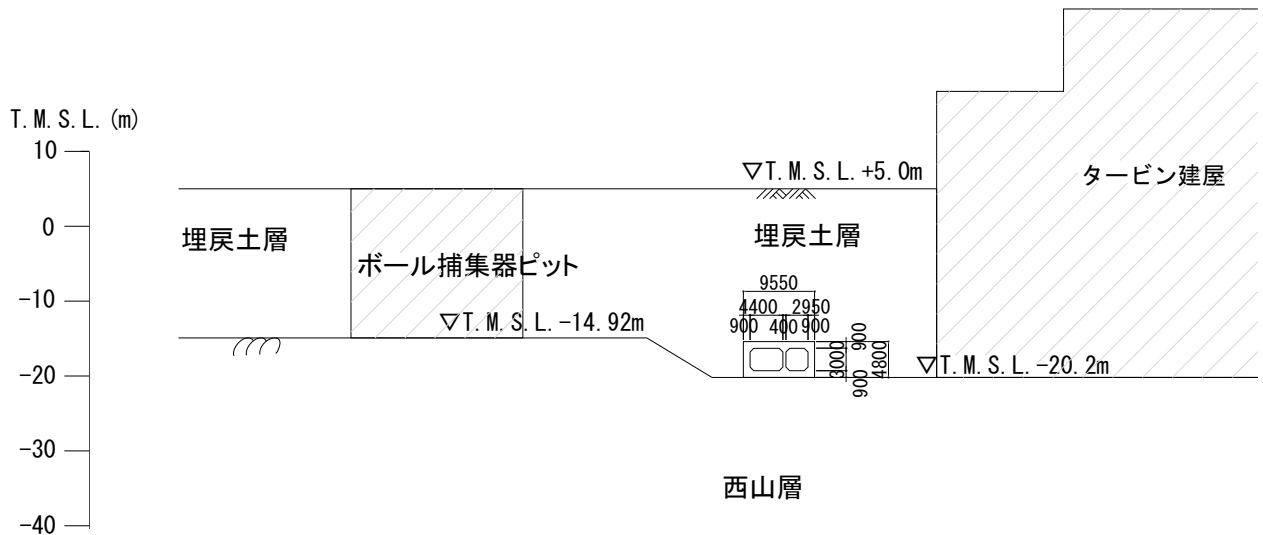


図-3.6 原子炉補機冷却系配管ダクト (B系) 断面図 (C-C 断面)

### (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り、水平部および鉛直部からなる。平面図を図-3.7 に、また、水平部および鉛直部の断面図を図-3.8 および図-3.9 に示す。

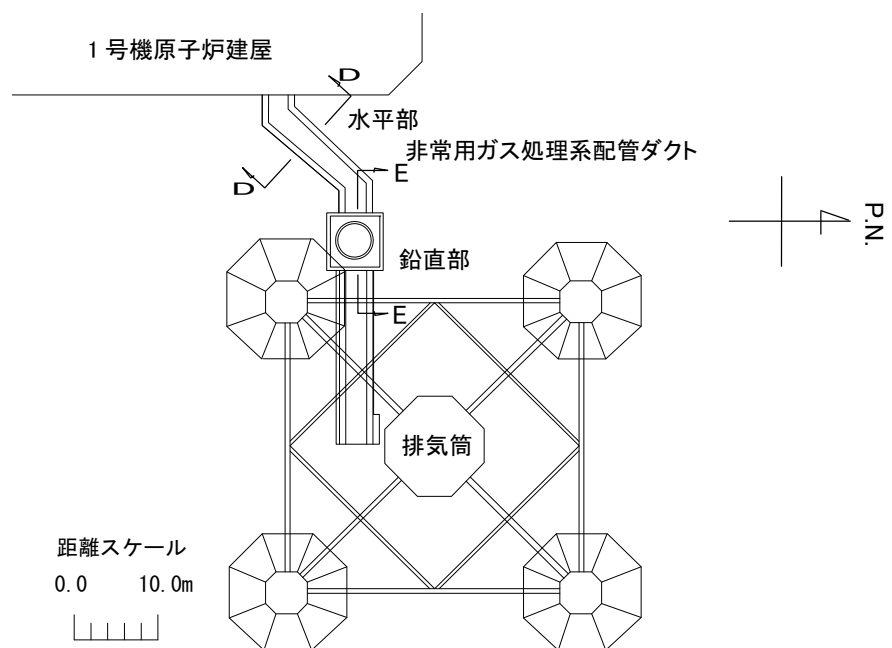


図-3.7 非常用ガス処理系配管ダクト平面図



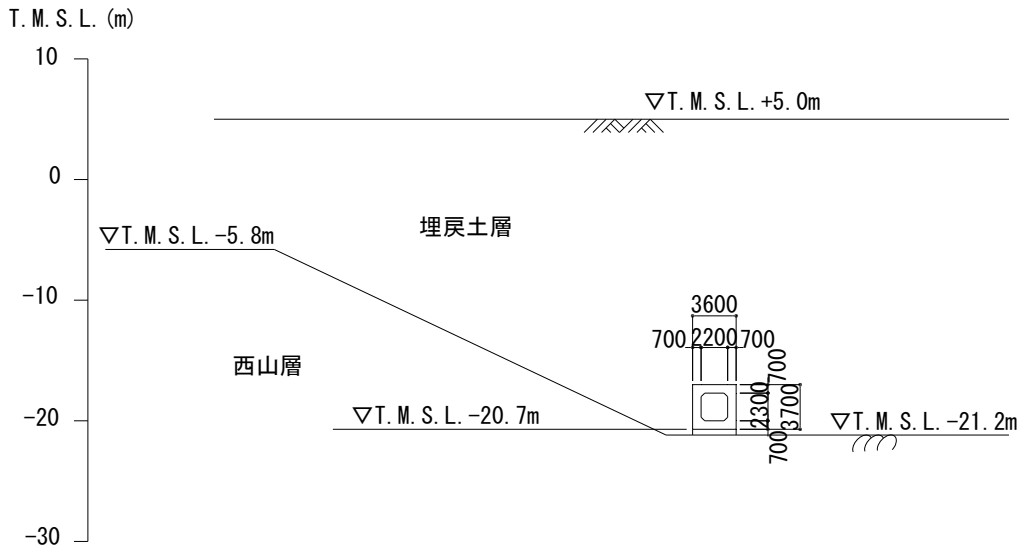


図-3.8 非常用ガス処理系配管ダクト（水平部）断面図（D-D断面）

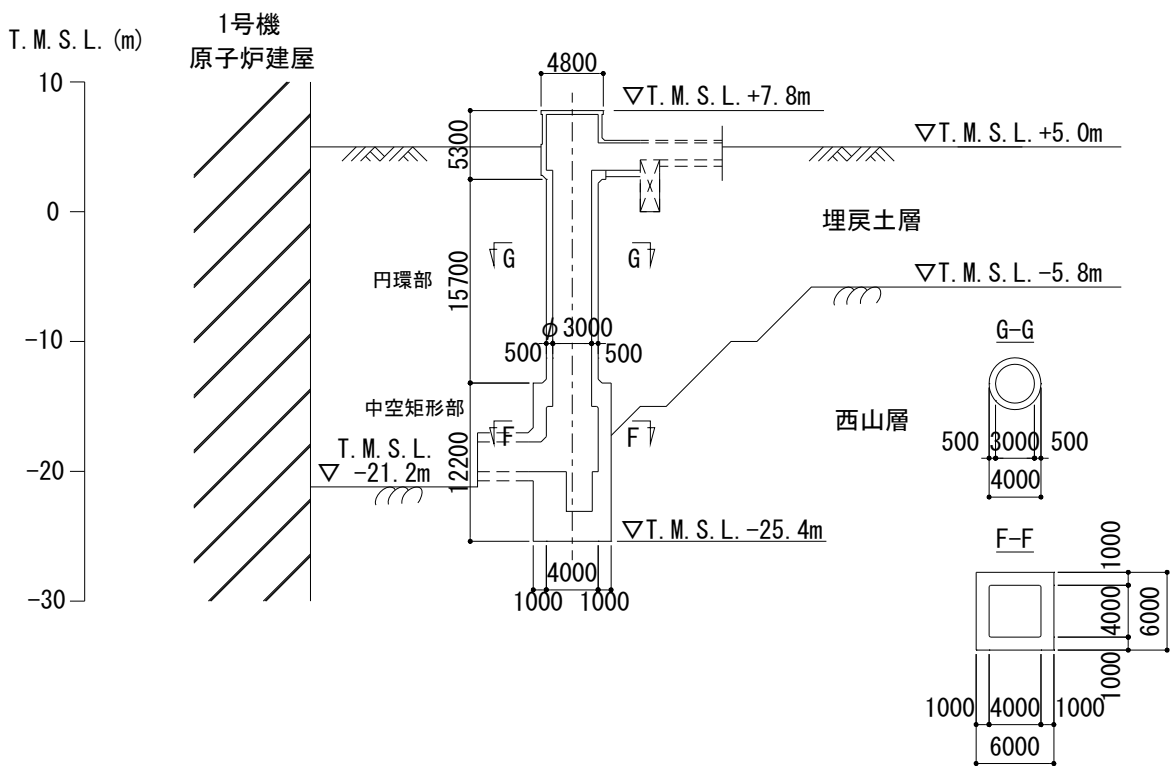
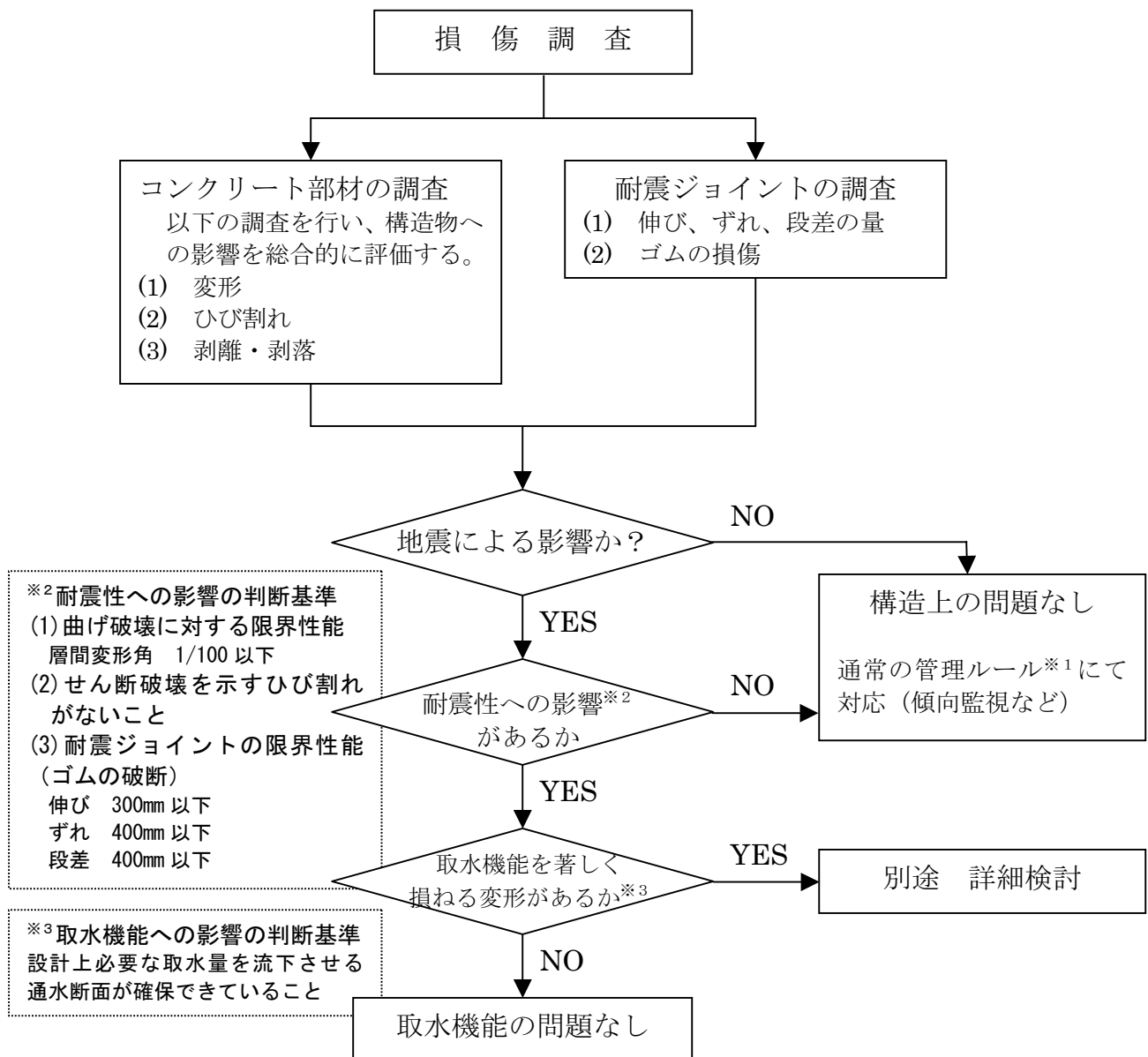


図-3.9 非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部）断面図（E-E, F-F, G-G断面）

## 4. 点検

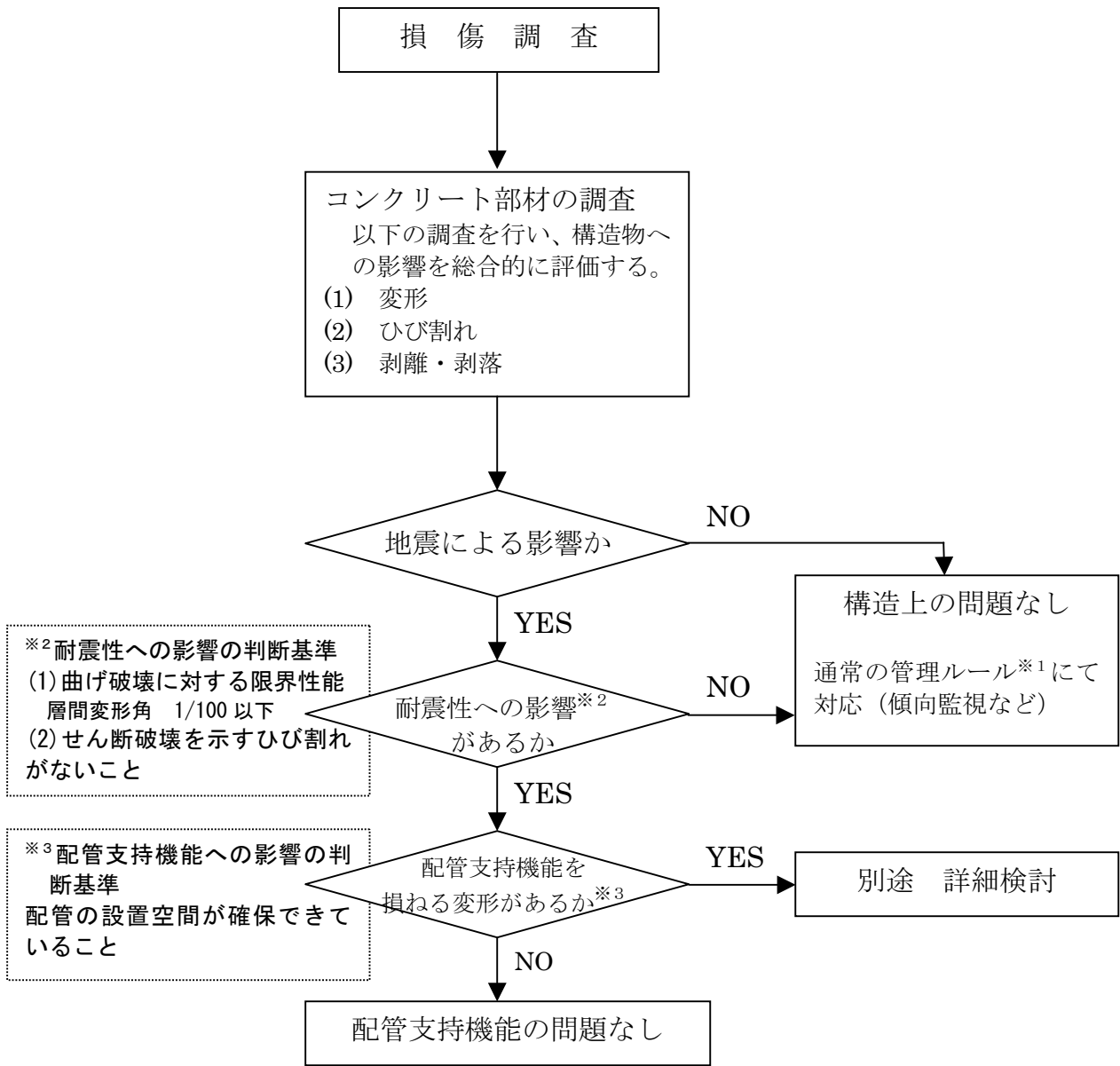
### 4.1. 点検方法の策定

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。非常用取水路の点検の流れを図-4.1.1に、また、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-4.1.2に示す。



※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-4.1.1 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-4.1.2 鉄筋コンクリート構造（配管ダクト）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」に規定の非破壊検査員に要求される近方視力の確認が行われていること。
- ・ 屋外重要土木構造物に関する業務経験等、適切な力量を有するものが配置されていること。
- ・ 地震によって影響を受け破損しやすい箇所等については、必要に応じ設計者に意見を求めることが可能な体制を整えていること。

## 4.3. 点検結果

「柏崎刈羽原子力発電所1号機 新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価計画書（建物・構築物編）」に基づき点検を実施した。各設備の点検結果を、以下に示す。

### （1）非常用取水路の点検結果

非常用取水路の点検による確認状況を表-4.3.1に示す。

点検の結果、護岸取合部（BL1）および擁壁取合部（BL4）の側壁において、隣接設備との地震時相対変位に起因して生じたものと考えられるひび割れおよび剥離・剥落が認められた。護岸取合部の側壁におけるひび割れは一部漏水を伴う。また、耐震ジョイントには最大70mmの伸び、最大110mmの段差、最大80mmのずれが認められた。

非常用取水路の一部には、上記のような局所的な損傷が認められるものの、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、上記損傷箇所については、適切に補修・補強を行う計画としている。（参考資料1）

表-4.3.1 非常用取水路の確認状況

種 類		状 況
コンクリート部材	変形	層間変形角 1/100 を上回る残留変形は認められない
	ひび割れ	側壁：最大幅 20mm
	剥離・剥落	側壁：最大面積 4.7m <sup>2</sup>
耐震ジョイント	変位量	最大伸び 70mm、最大段差 110mm、最大ずれ 80mm
	ゴムの損傷	認められない

## (2) 原子炉補機冷却系配管ダクトの点検結果

原子炉補機冷却系配管ダクトの点検による確認状況を表-4.3.2に示す。

点検の結果、直線ブロック（B系 BL6 および BL7）の側壁ハンチ端部に、直線状の連続的なひび割れ（最大ひび割れ幅 0.1mm）が認められた。これらは、地震によるダクト横断面の変形に伴う曲げひび割れの可能性を否定できないものの、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-4.3.2 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	変形	層間変形角 1/100 を上回る残留変形は認められない
	ひび割れ	側壁（ハンチ端部）：最大幅 0.1mm
	剥離・剥落	認められない

## (3) 非常用ガス処理系配管ダクトの点検結果

非常用ガス処理系配管ダクトの点検による確認状況を表-4.3.3に示す。

点検の結果、非常用ガス処理系配管ダクト（水平部）の一部に微量の漏水を伴うひび割れが認められたが、ひび割れを含むコンクリートコアを採取するなどしてひび割れ性状を調査したところ、地震に起因するひび割れではないと判断した。

以上のことから、点検の結果、非常用ガス処理系配管ダクトには地震の影響による異常は認められないことを確認した。

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-4.3.3 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	変形	層間変形角 1/100 を上回る残留変形は認められない
	ひび割れ	認められない
	剥離・剥落	認められない

#### 4.4. 第三者機関による確認

屋外重要土木構造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。

○ 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1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3月2日）

## 5. 耐震健全性評価

### 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-5.1.1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のうち、非常用取水路、原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）、同（B系）、非常用ガス処理系配管ダクト（水平部）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。非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部）については、軸直交方向断面に加えて、軸方向断面の評価も行う。

評価にあたっては、非常用取水路、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（水平部）については、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（鉛直部）については、軸方向断面の検討では、天端と基部間の相対変位が最大となる時刻の応答値を用いるものとし、軸直交方向断面の検討では、軸方向断面の解析から得られる最大地盤反力を用いて構造物の耐震健全性を評価する。

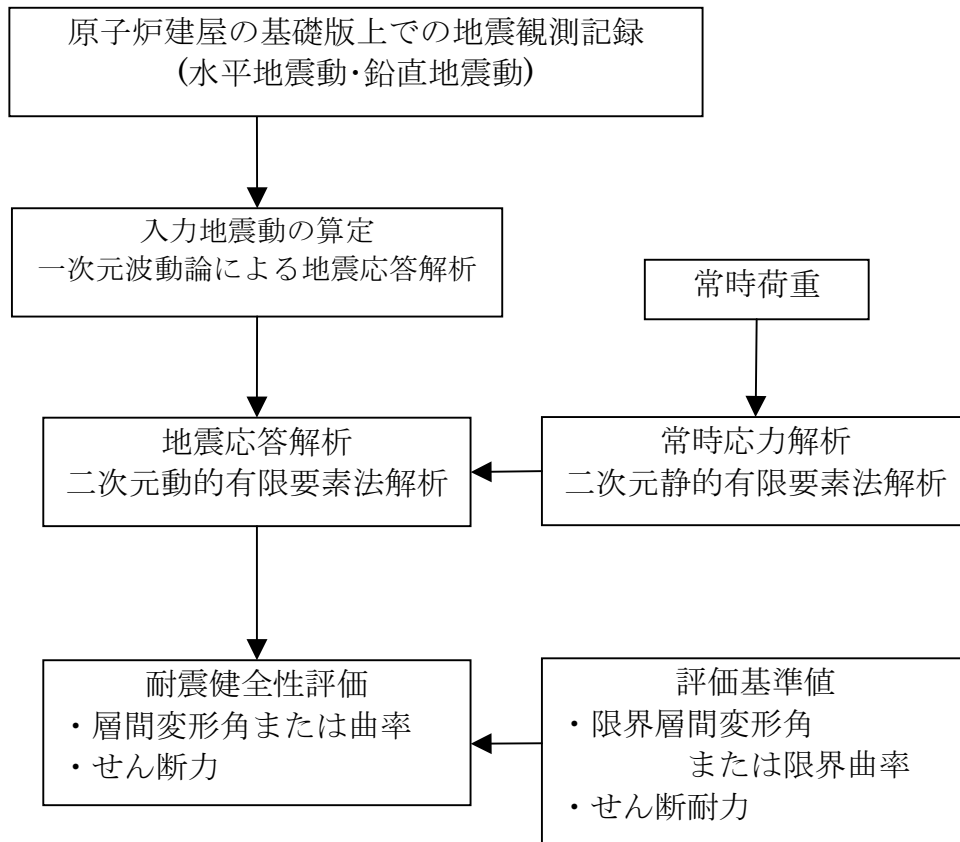


図-5.1.1 耐震健全性評価フロー

また、点検により確認された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、非常用取水路護岸取合部および原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）および同（B系）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1および参考資料3に示す。



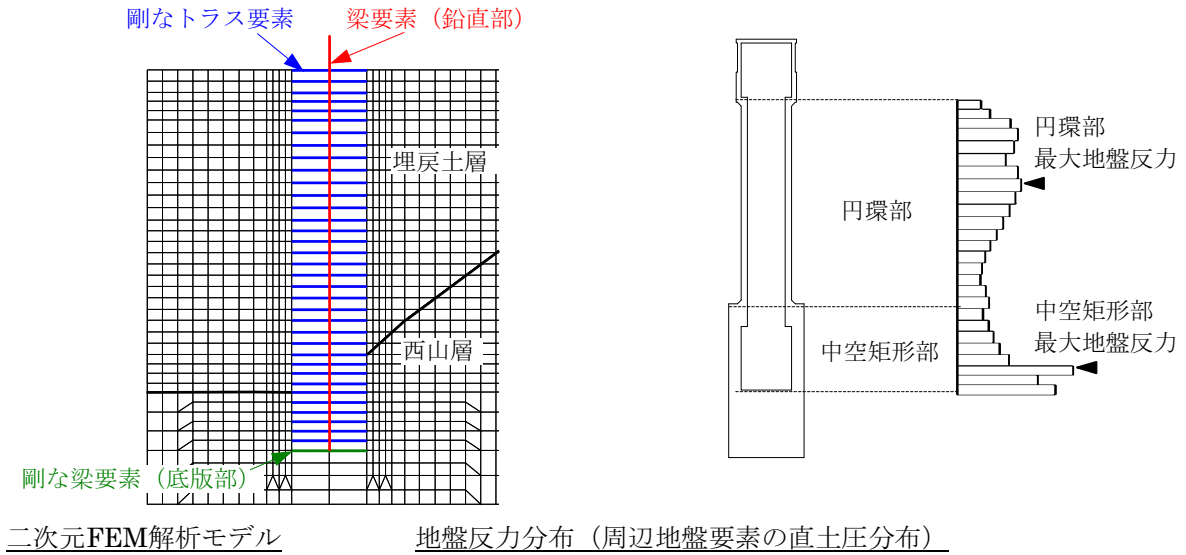
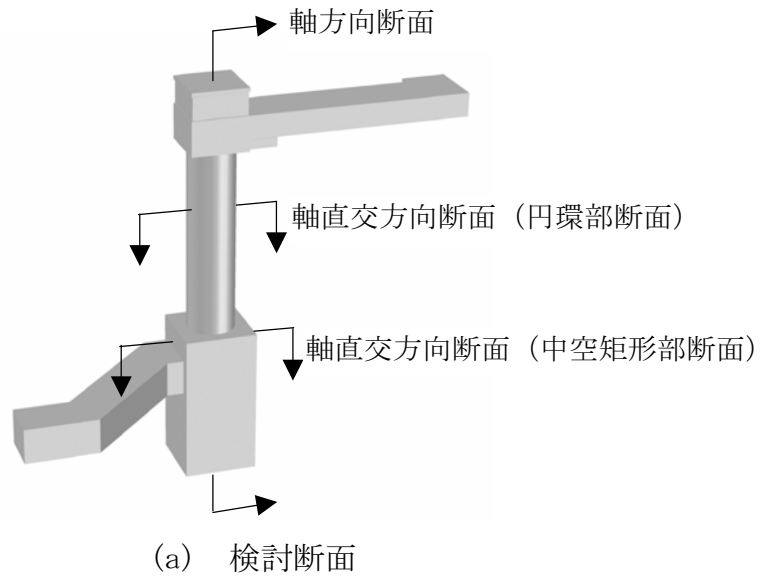
## 5.2. 地震応答解析

### 5.2.1 解析手法

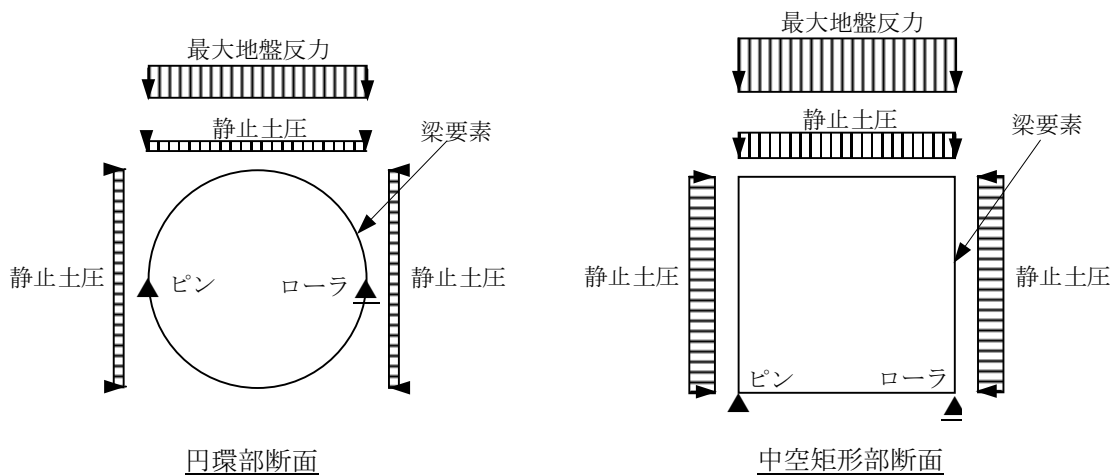
地震応答解析手法は、構造物と地盤の動的相互作用を考慮できる二次元動的有限要素法解析（部材非線形解析）を用いる。地震応答解析モデルでは、構造物を部材の非線形性を考慮した線材要素（梁要素）でモデル化し、鉄筋コンクリート部材の非線形性を考慮する。また、構造物と地盤との境界部分にはジョイント要素を設けることにより、構造物と地盤との剥離を考慮する。解析領域の側方および底面は粘性境界とする。

非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部）の軸方向断面の解析モデルでは、鉛直部躯体を非線形性を考慮した梁要素で、底版を剛な梁要素でモデル化し、周辺地盤と鉛直部躯体を剛なトラス要素で結合する。また、軸直交方向断面の断面計算モデルは、「道路橋示方書・同解説、日本道路協会、平成14年3月」のケーソン基礎の設計方法に準じるものとし、梁要素でモデル化した断面に、軸方向断面の解析で得られる最大地盤反力を作用させて行う。解析モデルの概要と軸直交方向断面の断面計算に用いる最大地盤反力の算定方法について図-5.2.1に示す。

各断面の解析手順としては、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、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。



(b) 軸方向断面の二次元動的有限要素法解析による地盤反力の算定



(c) 軸直交方向断面の断面計算モデル

図-5.2.1 非常用ガス処理系配管ダクト (鉛直部) の検討概要図

### 5.2.2 評価基準

耐震安全性評価では、層間変形角または曲率（非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部）に適用）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。また、限界曲率は、同指針・マニュアルに基づき圧縮縁コンクリートひずみ1.0%に対応する曲率とする。せん断耐力についても、同指針・マニュアルのせん断耐力評価法に基づき評価する。

### 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は、構造物の現実的な地震時挙動を適切に評価するために実強度を用いる。

地盤の物性値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-5.2.1、地盤の物性値を表-5.2.2にそれぞれ示す。

表-5.2.1 材料物性値

解析対象断面	コンクリート				鉄筋 SD345相当 (SD35)		
	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数*1) (kN/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$	単位体積重量*2) (kN/m <sup>3</sup> )	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$
非常用取水路	54.0	33.8	0.2	24	390	200	0.3
原子炉補機冷却系 配管ダクト (A系、B系)	36.0	29.8					
非常用ガス処理系 配管ダクト (水平部、鉛直部)	48.0	32.6					

\*1) 「コンクリート標準示方書 (設計編)、土木学会、2007」  
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-5.2.2 地盤物性値

地層区分	単位体積重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	初期せん断 弾性係数 $G_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	せん断弾性係数と 減衰定数のひずみ依存性 $G/G_0 \sim \nu$ $h \sim \nu$
埋戻土層	19.6 (18.6)*1)	0.33	*2)	図-5.2.2 参照
洪積砂層 (I)	19.1	0.47	$1.53 \times 10^5$	図-5.2.3 参照
洪積砂層 (II)	18.6	0.48	$1.49 \times 10^5$	図-5.2.4 参照
洪積土互層	17.7	0.48	$1.13 \times 10^5$	図-5.2.5 参照
洪積粘土層	16.7	0.48	$1.15 \times 10^5$	図-5.2.6 参照
西山層	16.9	0.43	$5.02 \times 10^5$	図-5.2.7 参照

\*1) ( ) は湿潤単位体積重量

\*2)  $G_0 = 1980 \times \sigma_v^{0.667}$  (kN/m<sup>2</sup>)、 $\sigma_v$ : 有効上載圧 (kN/m<sup>2</sup>)

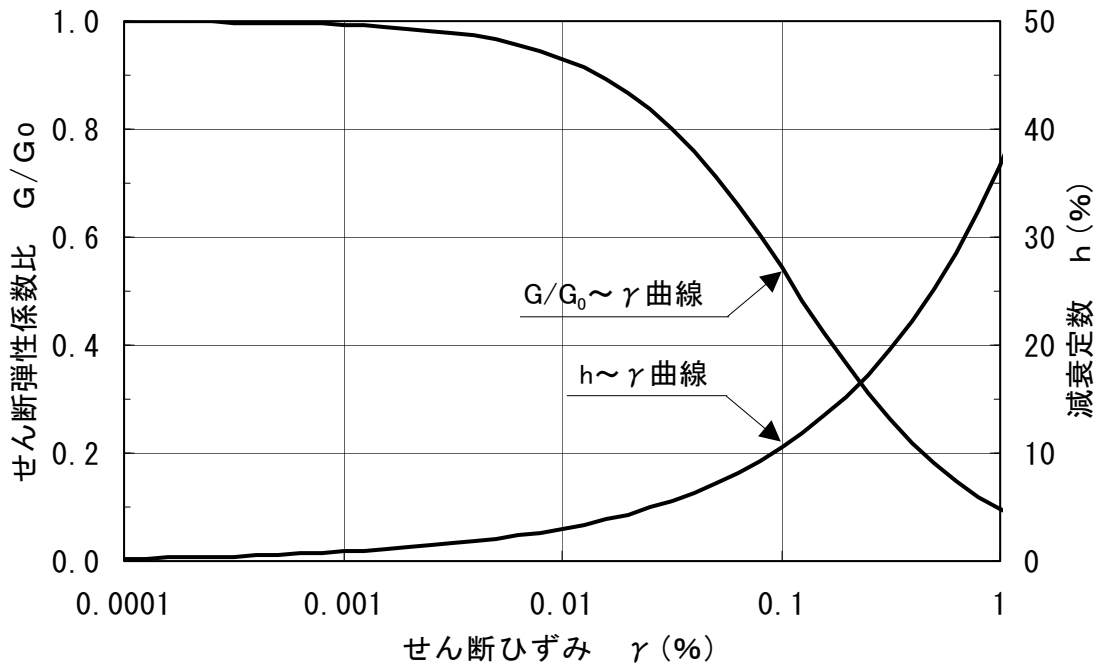


図-5.2.2 埋戻土層のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

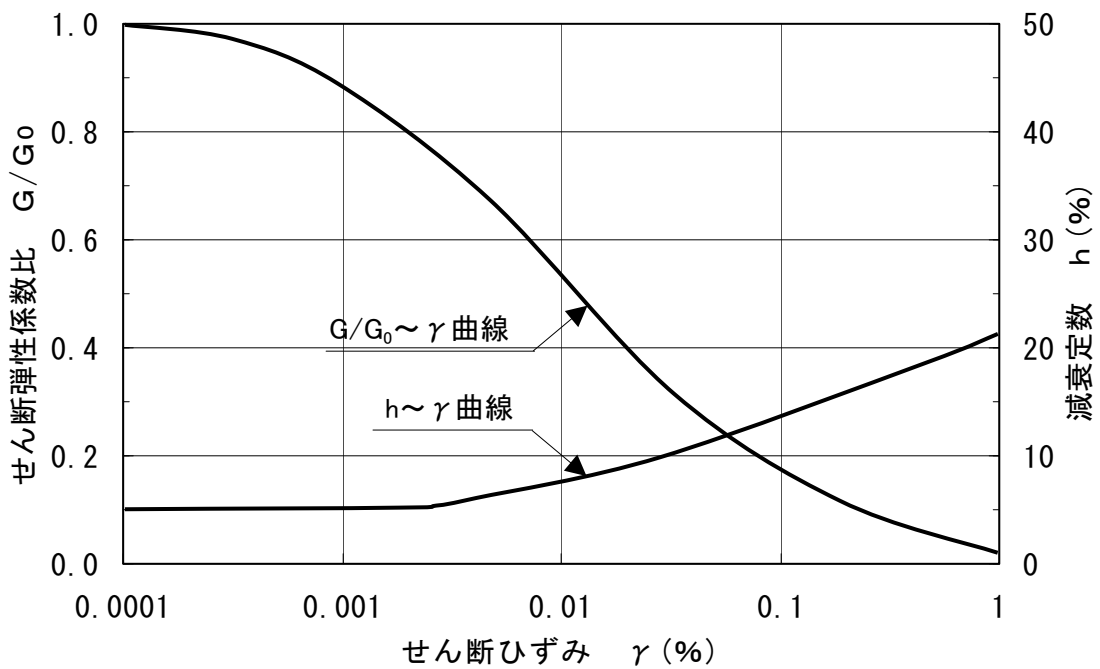


図-5.2.3 洪積砂層 (I) のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

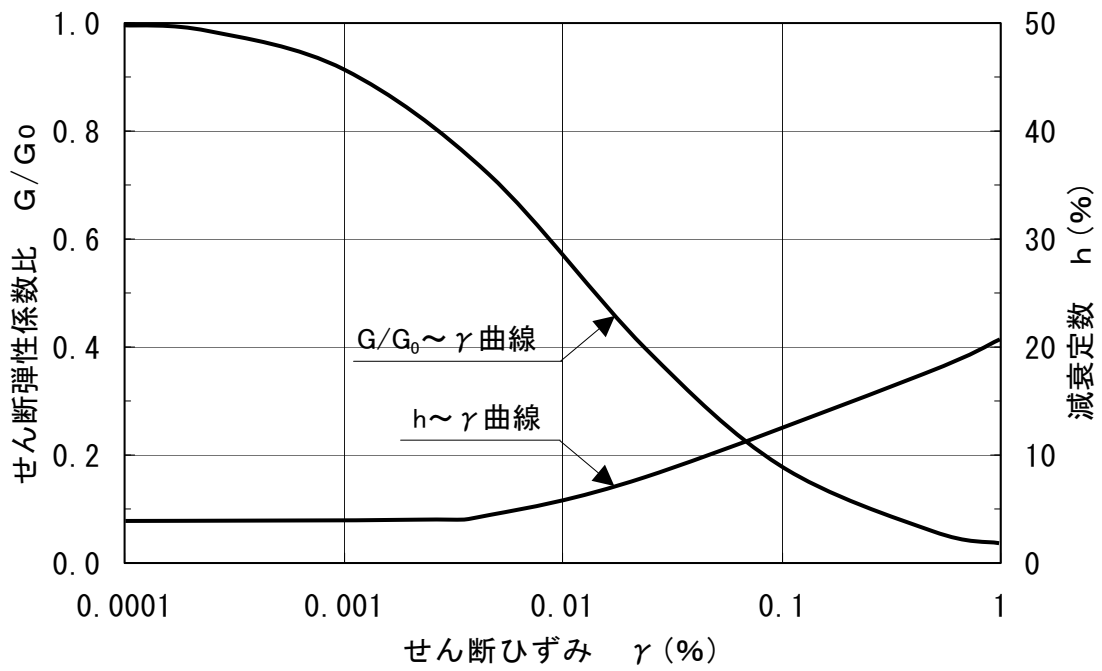


図-5.2.4 洪積砂層（Ⅱ）のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

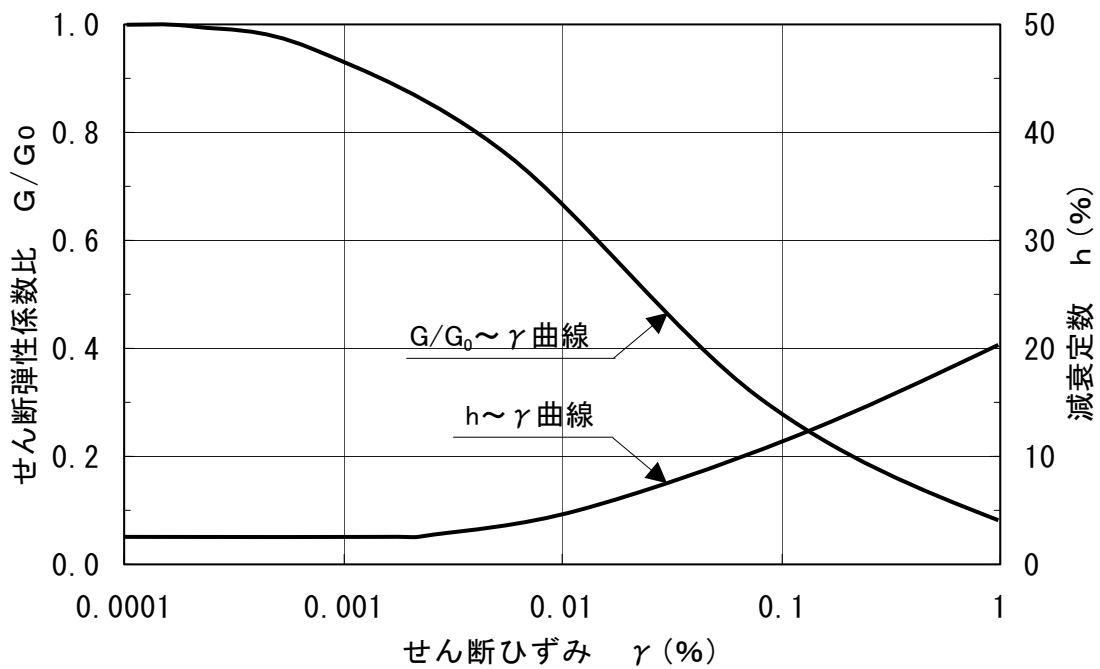


図-5.2.5 洪積土互層のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

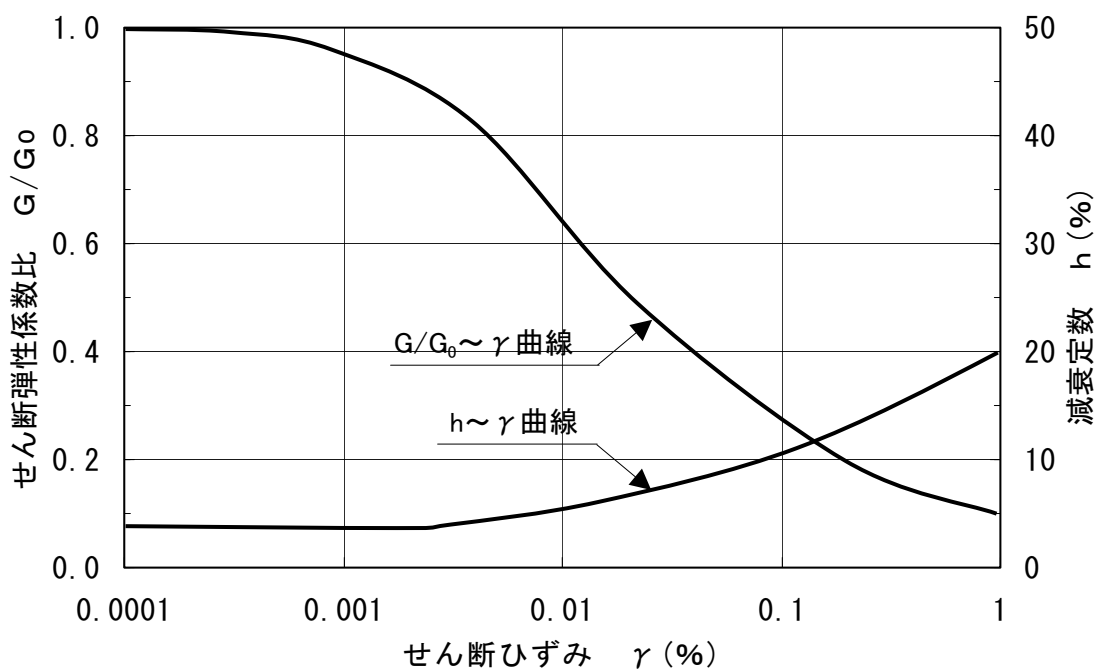


図-5.2.6 洪積粘土層のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

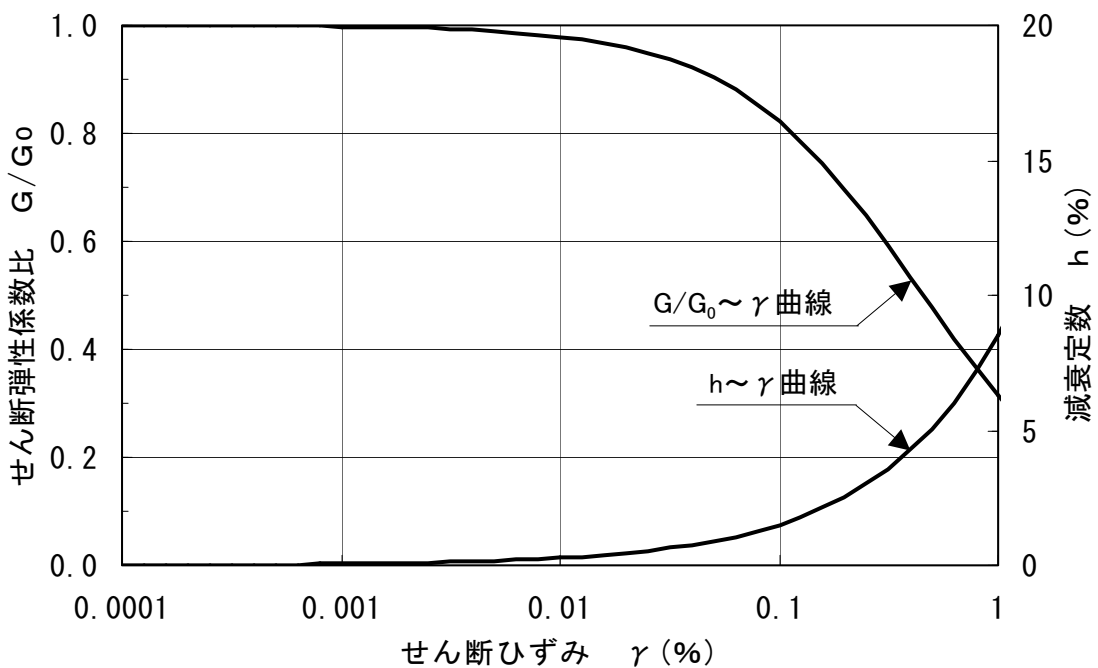


図-5.2.7 西山層のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

## 5.2.4 近接構造物

構造物の現実的な地震時挙動を適切に評価するために、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-5.2.3に示す。

表-5.2.3 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	—
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)	タービン建屋、ボール捕集器ピット (図-3.6)
非常用ガス処理系配管ダクト (水平部)	—
非常用ガス処理系配管ダクト (鉛直部)	原子炉建屋 (図-3.9)

## 5.2.5 入力地震動

新潟県中越沖地震における1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-5.2.8に、解析モデル下端位置での入力地震動を図-5.2.9に示す。

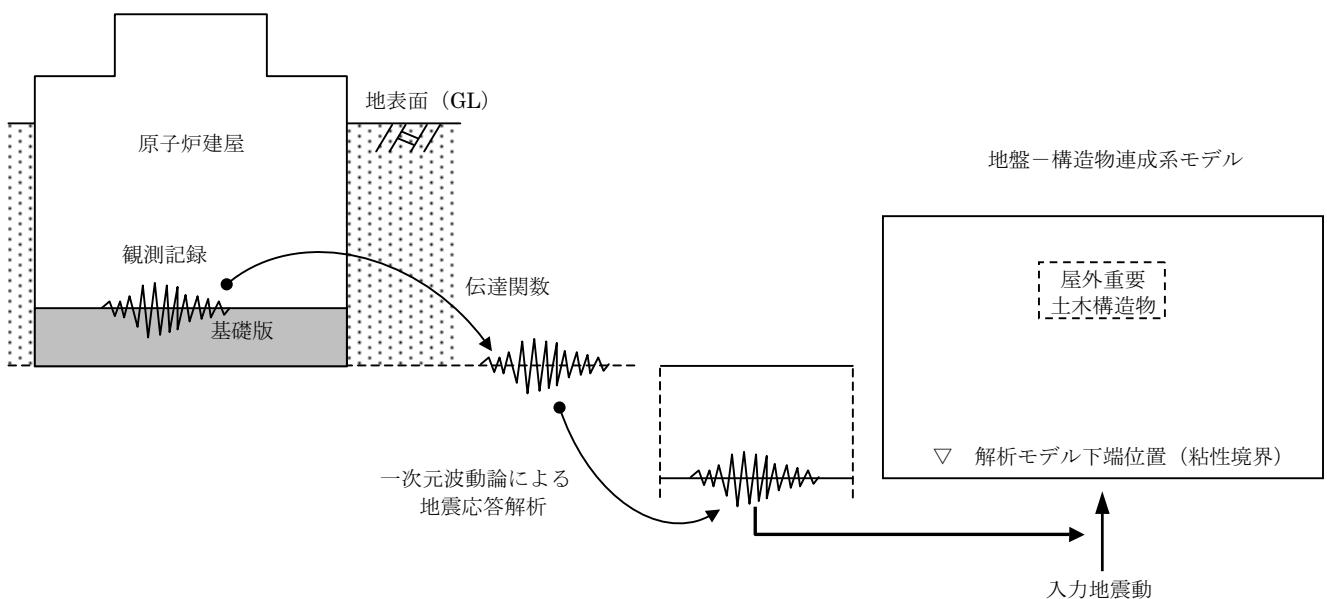
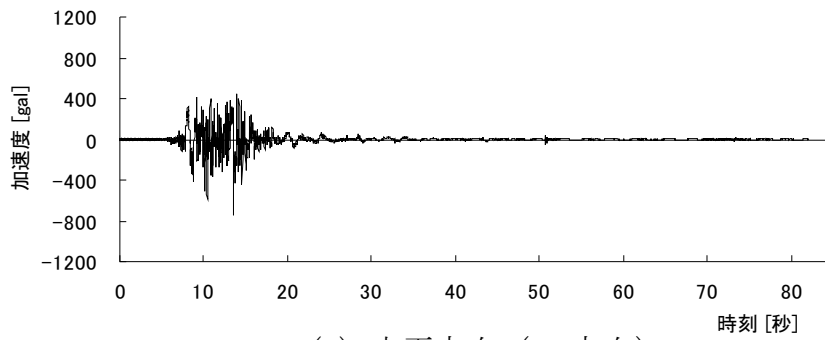
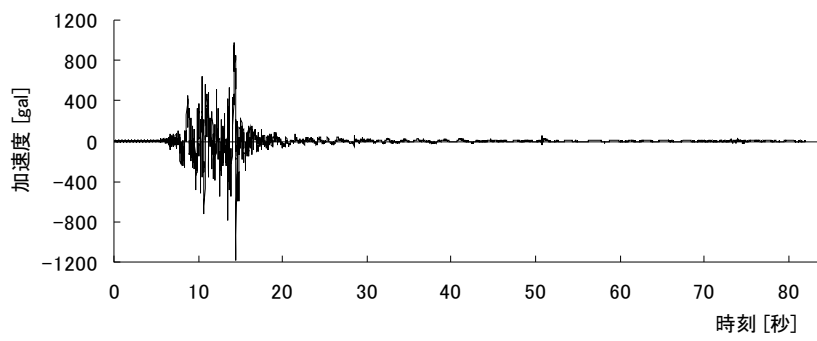


図-5.2.8 入力地震動の作成方法の概念図

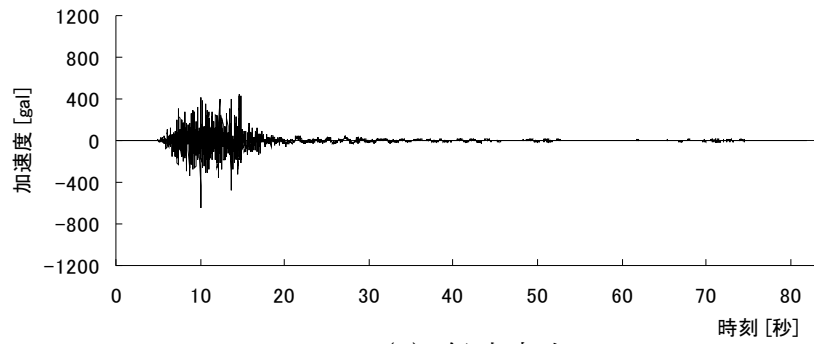




(a) 水平方向 (NS 方向)



(b) 水平方向 (EW 方向)



(c) 鉛直方向

図-5.2.9 解析モデル下端位置での入力地震動

## 5.2.6 解析モデル

非常用取水路、原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）、同（B系）、非常用ガス処理系配管ダクト（水平部）および同（鉛直部）の5断面について、耐震安全性評価を実施した。

各断面の地震応答解析モデルを図-5.2.10～図-5.2.14に示す。

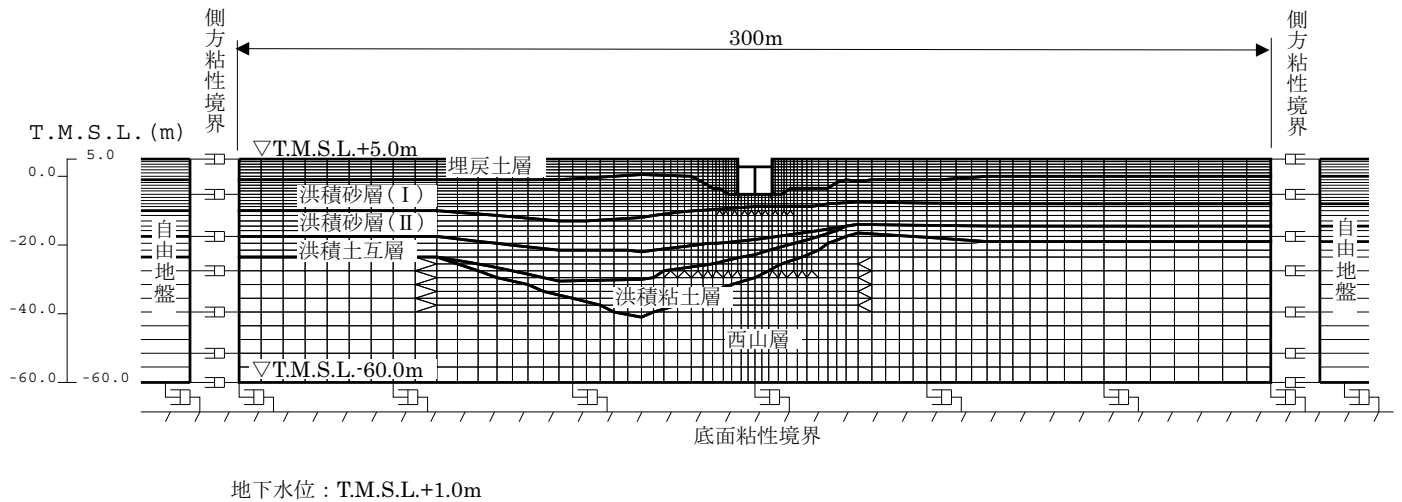
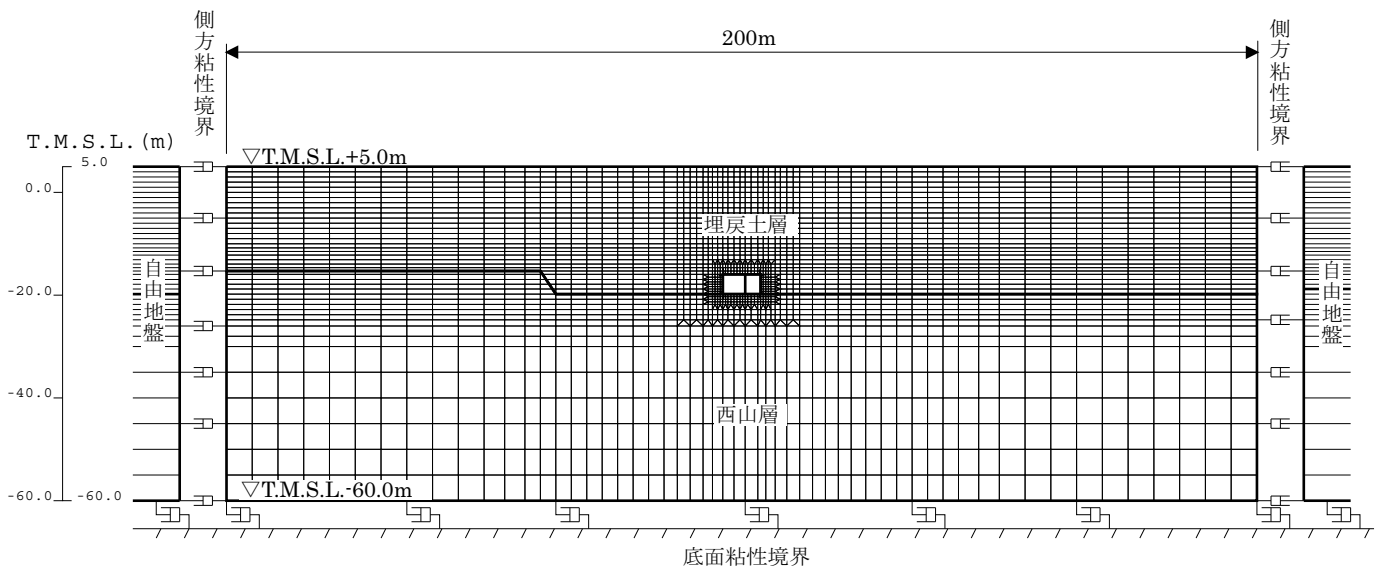
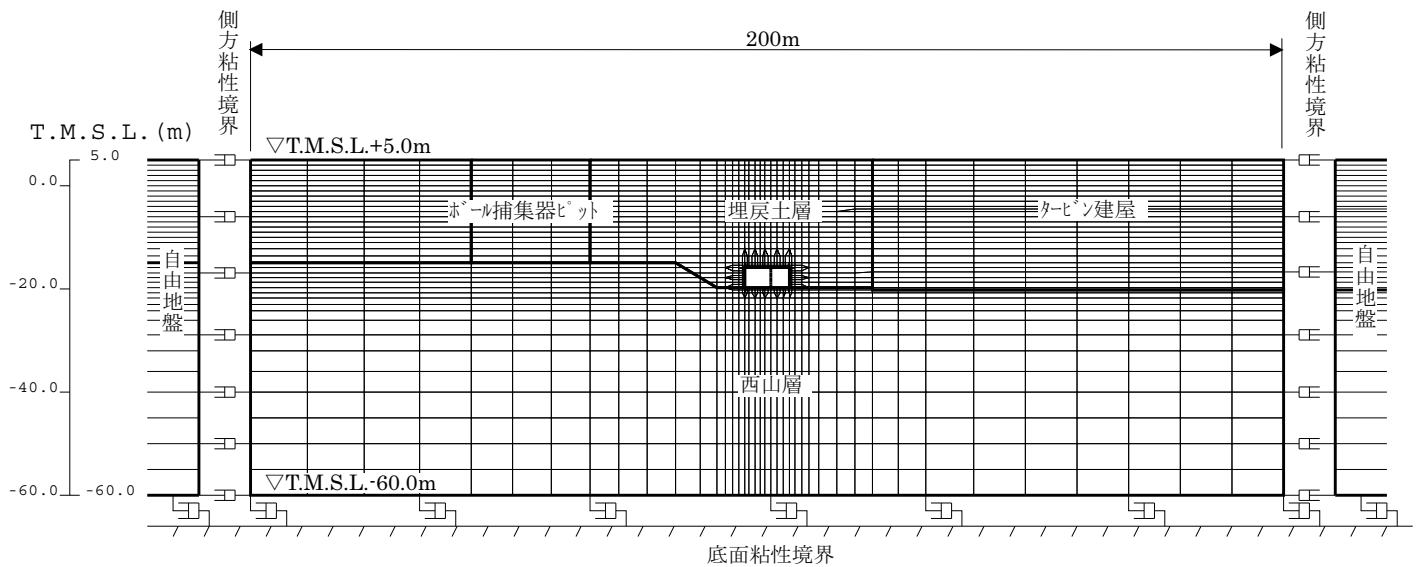


図-5.2.10 非常用取水路 地震応答解析モデル



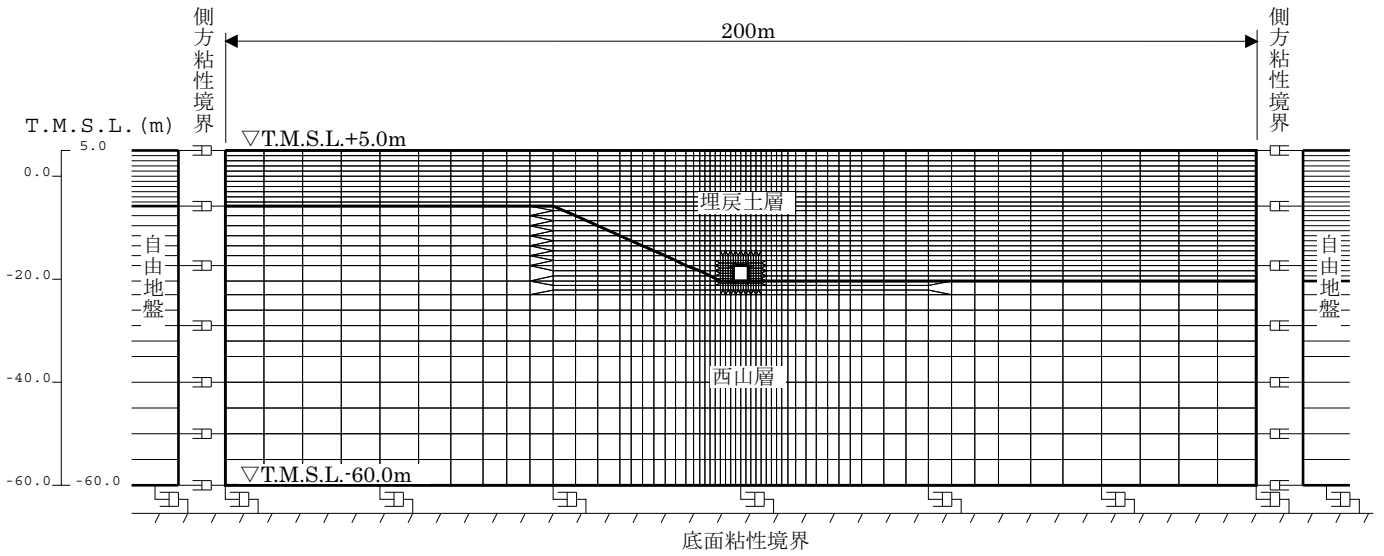
地下水位：T.M.S.L.-12.2m

図-5.2.11 原子炉補機冷却系配管ダクト（A系） 地震応答解析モデル



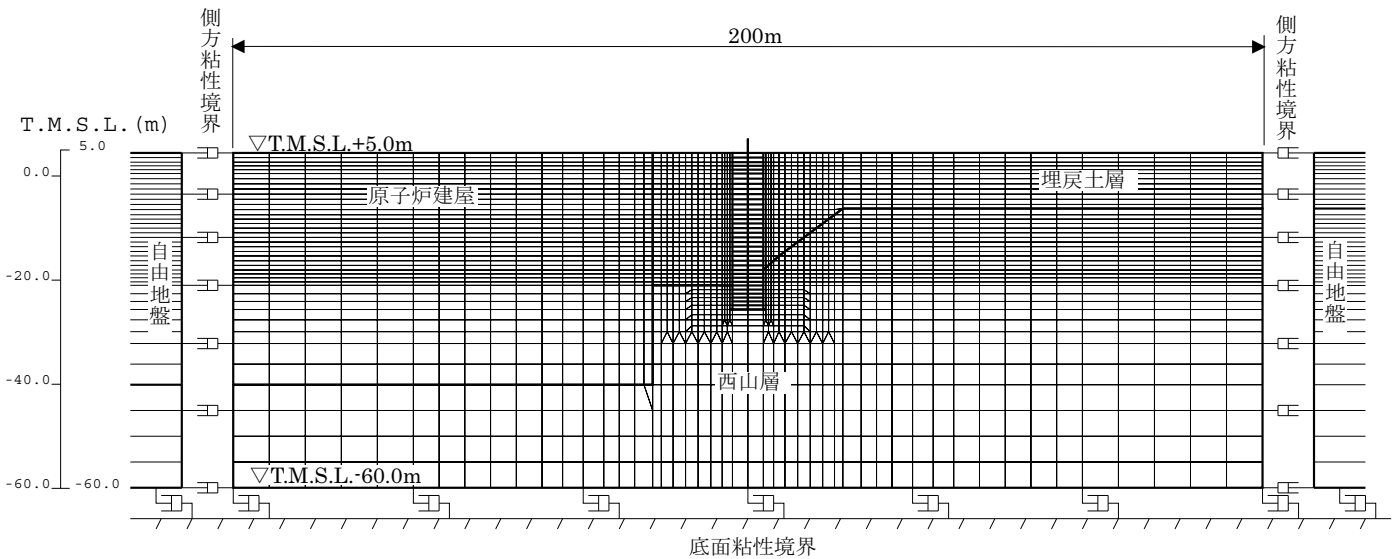
地下水位：T.M.S.L.-12.2m

図-5.2.12 原子炉補機冷却系配管ダクト（B系） 地震応答解析モデル



地下水位：T.M.S.L.-32.0m

図-5.2.13 非常用ガス処理系配管ダクト（水平部） 地震応答解析モデル



地下水位：T.M.S.L.-32.0m

図-5.2.14 非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部） 地震応答解析モデル

## 5.2.7 解析結果

### (1) 非常用取水路

地震応答解析から求められる最大加速度分布図を図-5.2.15 に示す。

また、構造物頂底版間の最大相対変位および発生時刻を表-5.2.4 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-5.2.16 および図-5.2.17 に示す。

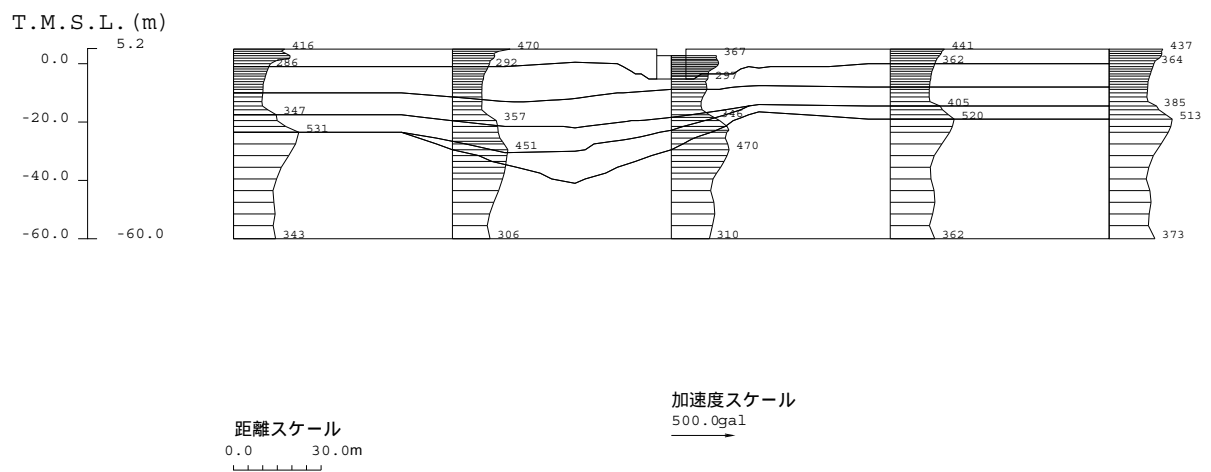


図-5.2.15 非常用取水路 最大加速度分布図

表-5.2.4 非常用取水路 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)
非常用取水路	6.2	9.27

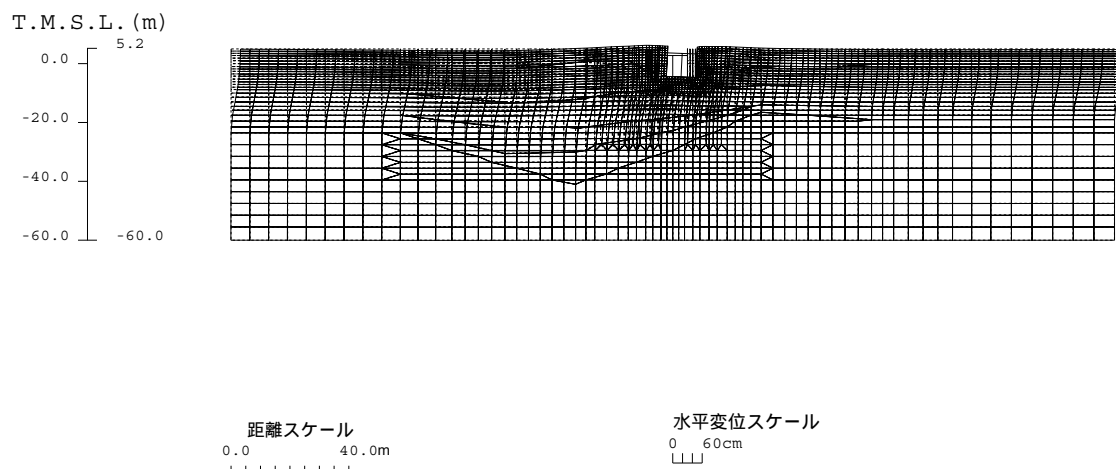


図-5.2.16 非常用取水路 変形図 (9.27 秒)

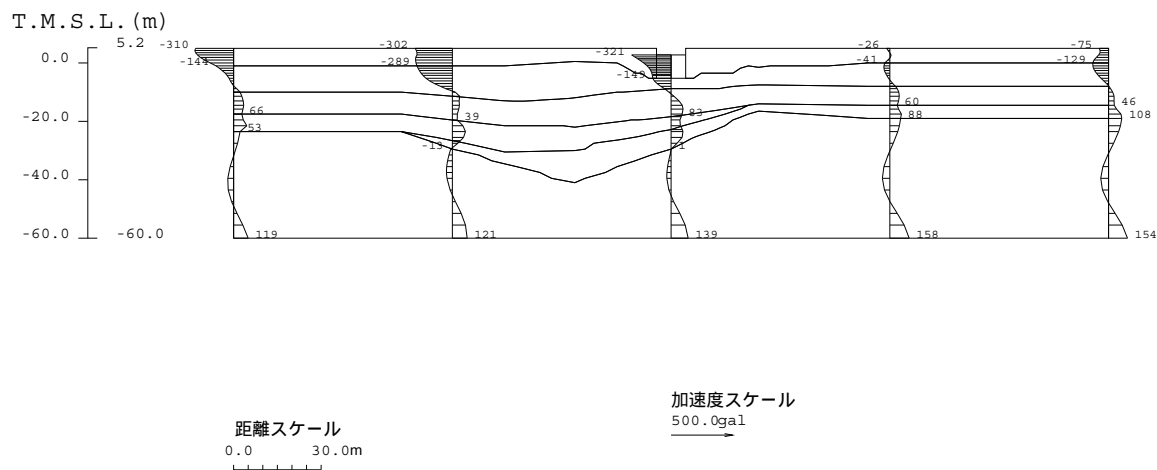


図-5.2.17 非常用取水路 加速度分布図 (9.27 秒)

## (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-5.2.18 および図-5.2.19 に示す。

また、構造物頂底版間の最大相対変位および発生時刻を表-5.2.5 に、最大相対変位発生時刻の変形図および加速度分布図を図-5.2.20～図-5.2.23 に示す。

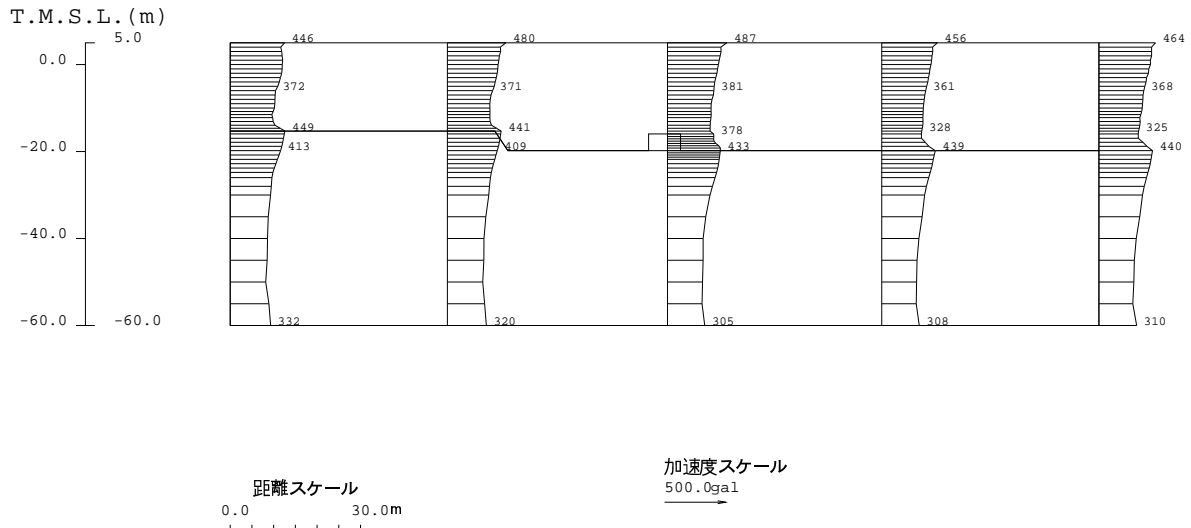


図-5.2.18 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) 最大加速度分布図

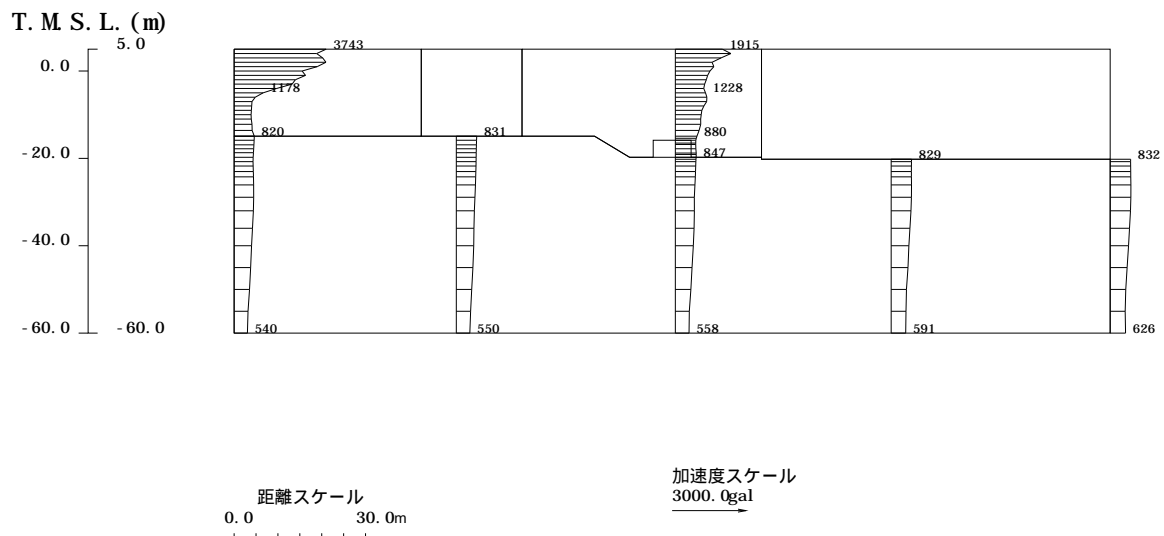


図-5.2.19 原子炉補機冷却系配管ダクト (B系) 最大加速度分布図

表-5.2.5 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)	20.4	8.96
原子炉補機冷却系配管ダクト (B系)	11.0	14.47

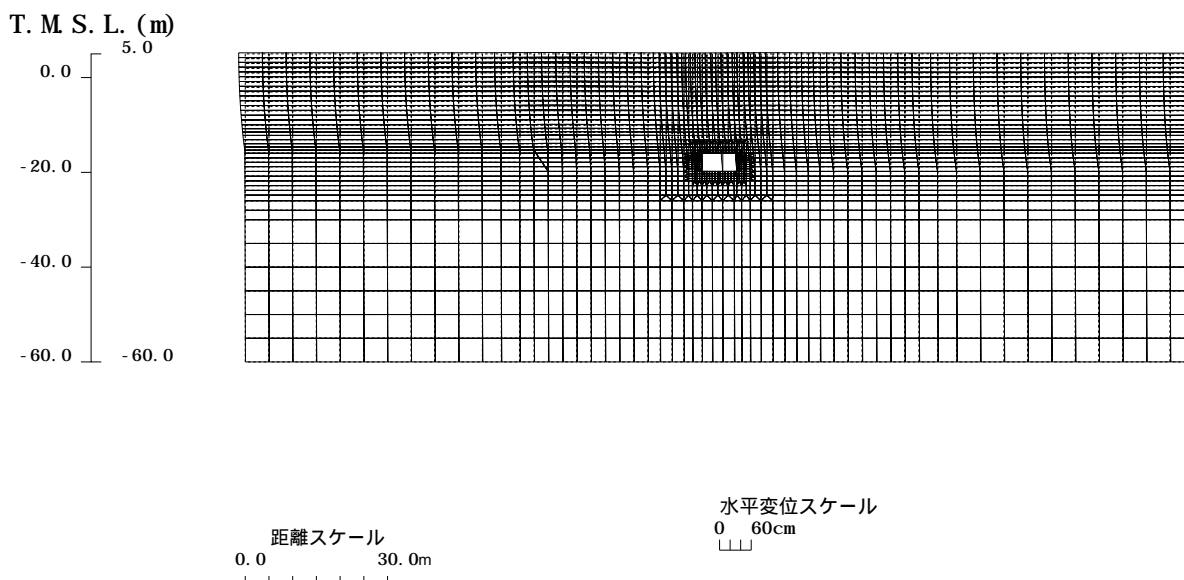


図-5.2.20 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) 変形図 (8.96 秒)

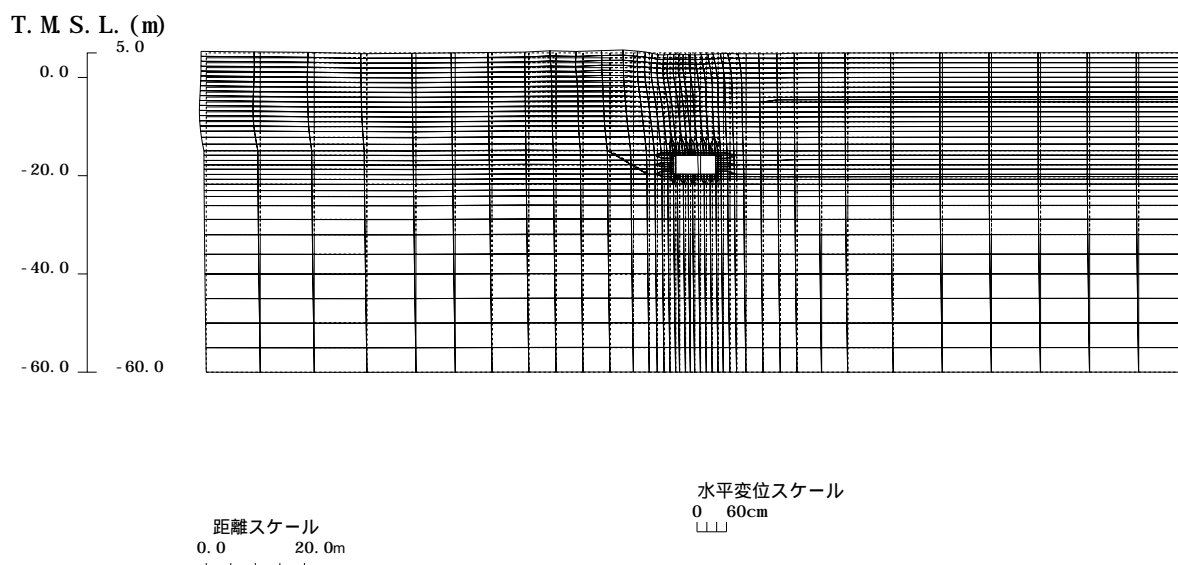


図-5.2.21 原子炉補機冷却系配管ダクト (B系) 変形図 (14.47 秒)



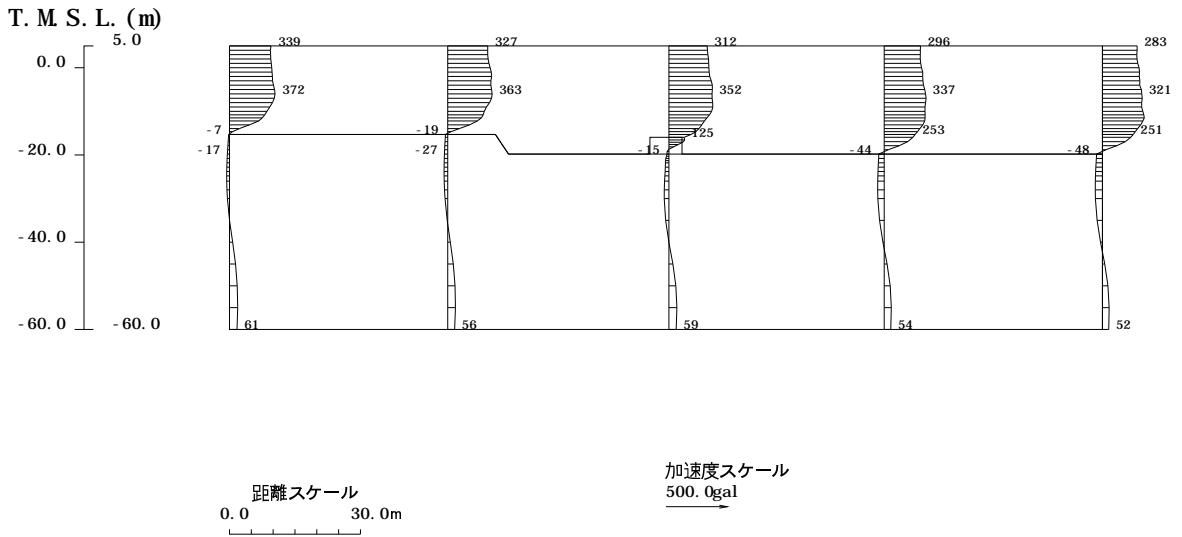


図-5.2.22 原子炉補機冷却系配管ダクト（A系） 加速度分布図（8.96秒）

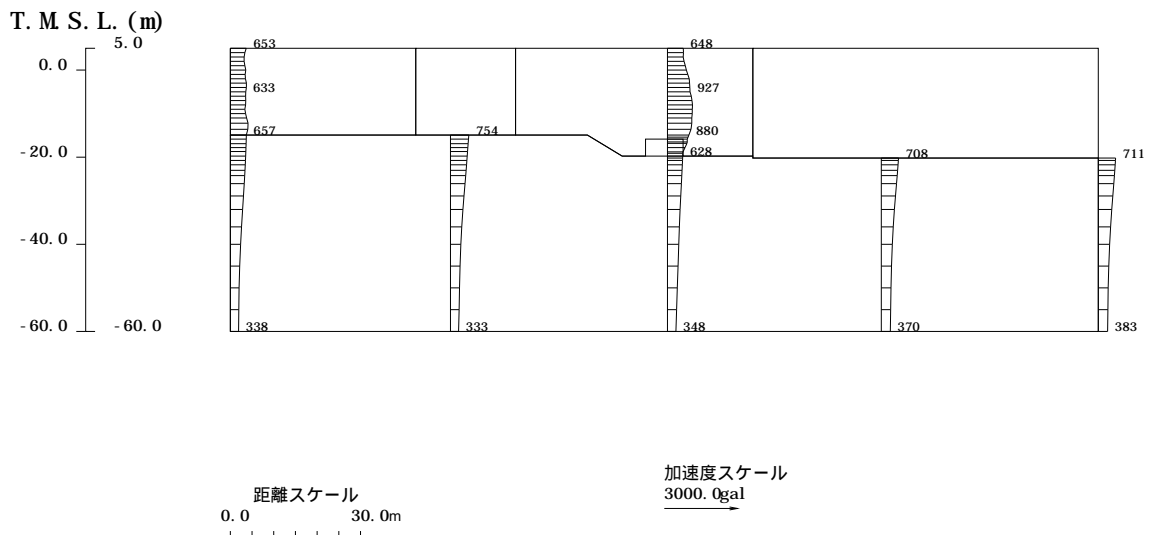


図-5.2.23 原子炉補機冷却系配管ダクト（B系） 加速度分布図（14.47秒）

### (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-5.2.24 および図-5.2.25 に示す。

また、構造物頂底版間の最大相対変位および発生時刻を表-5.2.6 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図-5.2.26～図-5.2.29 に示す。

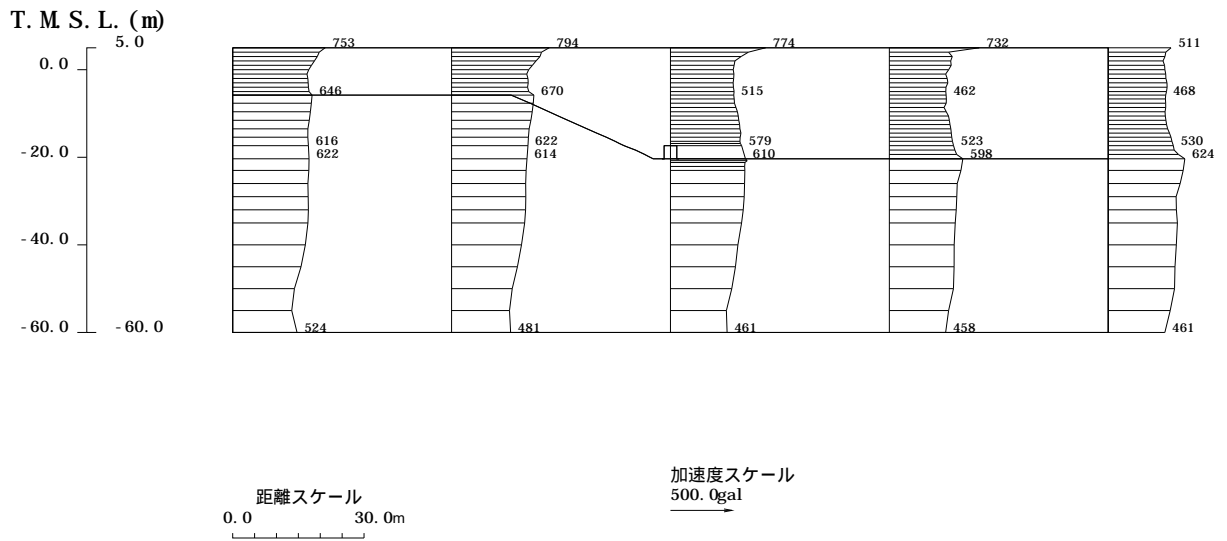


図-5.2.24 非常用ガス処理系配管ダクト（水平部） 最大加速度分布図

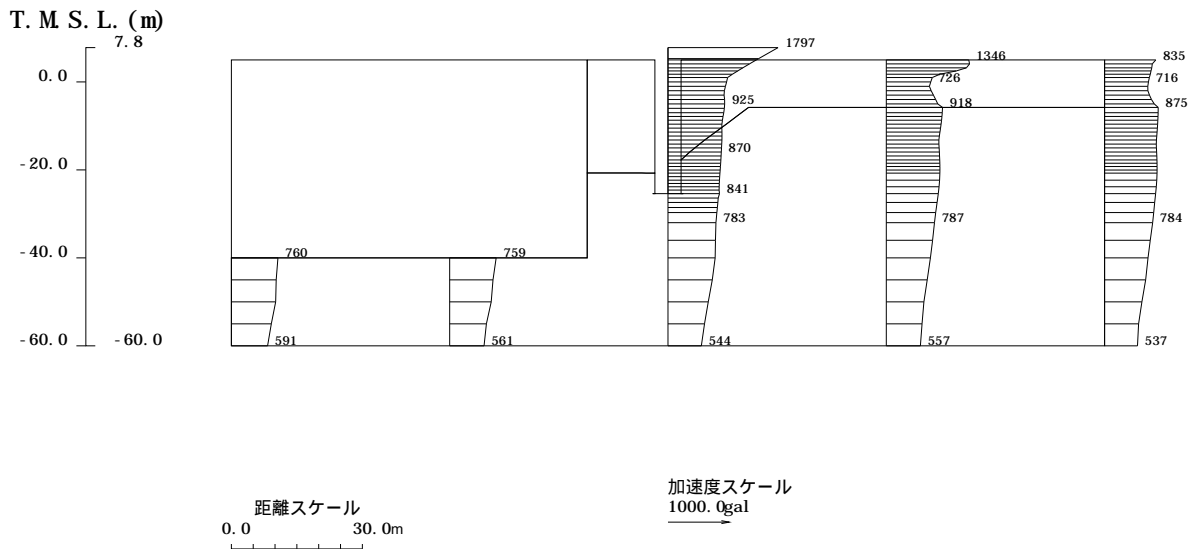


図-5.2.25 非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部） 最大加速度分布図

表-5.2.6 非常用ガス処理系配管ダクト 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)
非常用ガス処理系配管ダクト (水平部)	10.7	14.53
非常用ガス処理系配管ダクト (鉛直部)	133.7 ※	14.53

※ 非常用ガス処理系配管ダクト (鉛直部) は天端-基部間

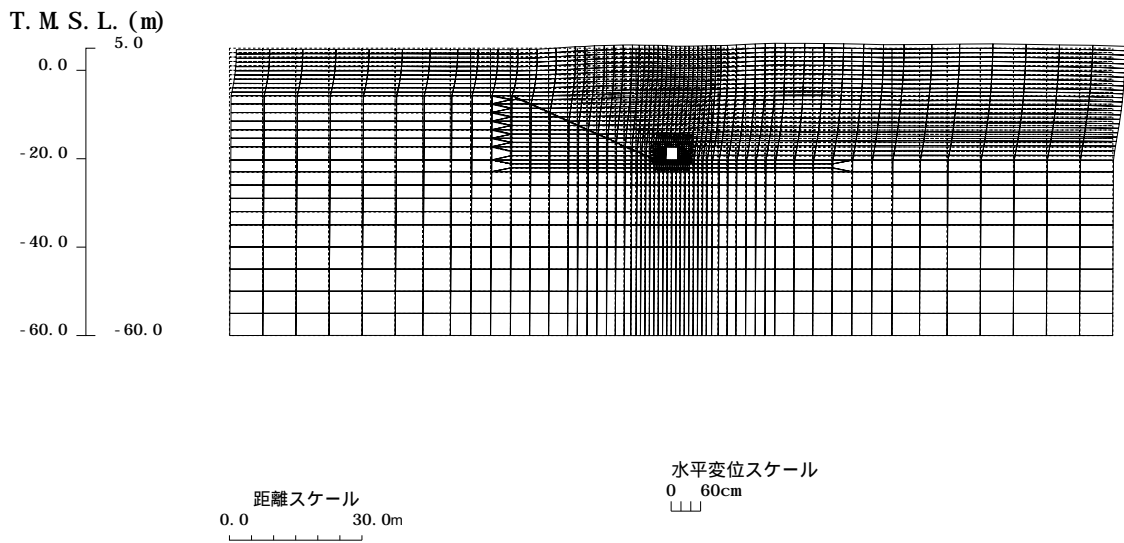


図-5.2.26 非常用ガス処理系配管ダクト (水平部) 変形図 (14.53 秒)

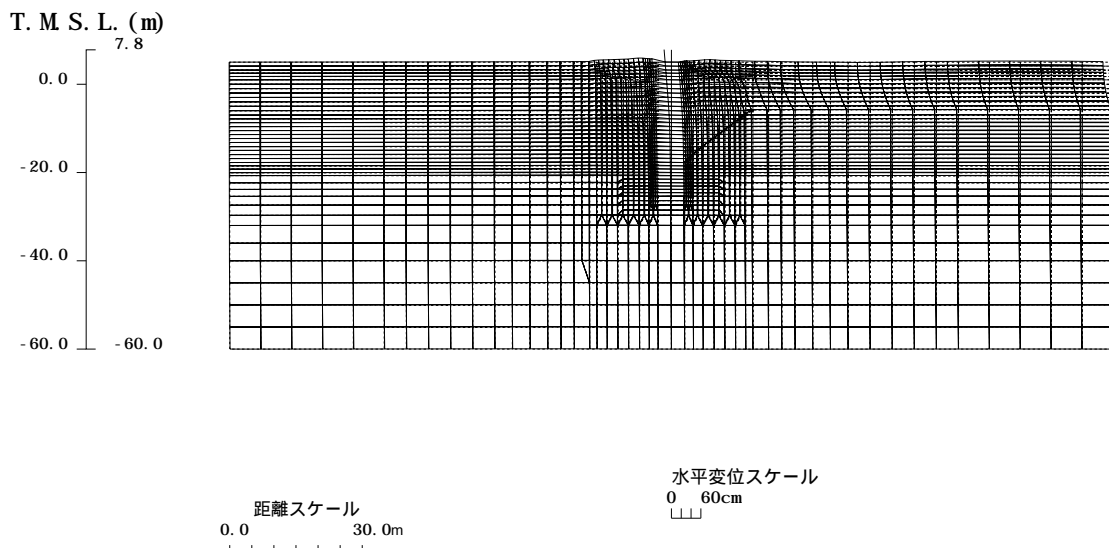


図-5.2.27 非常用ガス処理系配管ダクト (鉛直部) 変形図 (14.53 秒)

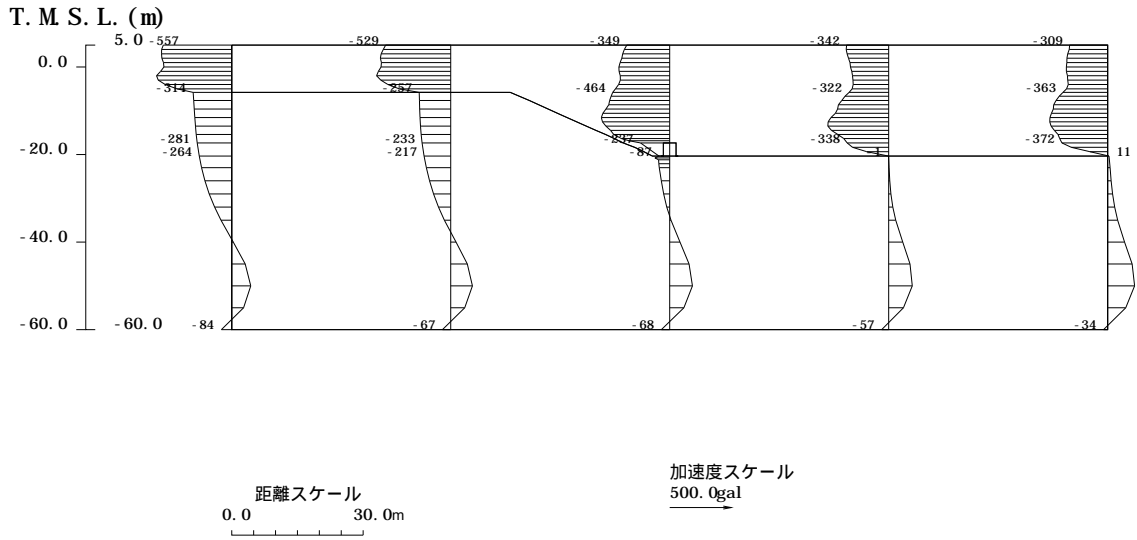


図-5.2.28 非常用ガス処理系配管ダクト（水平部） 加速度分布図（14.53秒）

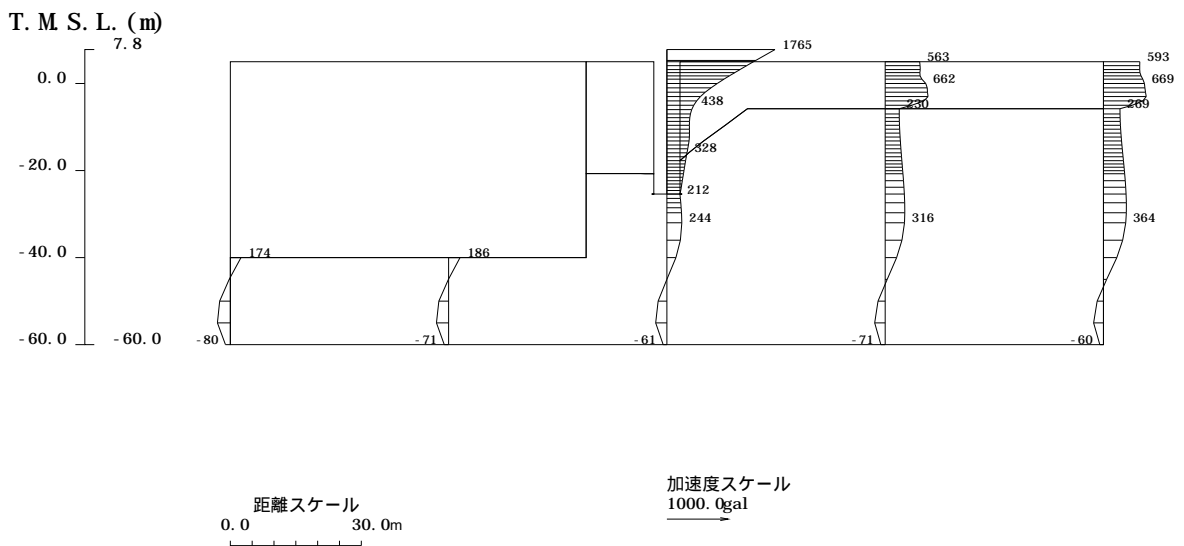


図-5.2.29 非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部） 加速度分布図（14.53秒）

### 5.3. 耐震健全性評価結果

層間変形角および曲率による照査結果を表-5.3.1、表-5.3.2に、また、せん断力による照査結果を表-5.3.3に示す。層間変形角または曲率による照査の結果、評価位置において、照査用層間変形角または照査用曲率が、限界層間変形角または限界曲率を下回ることを、また、せん断力による照査の結果、評価位置において照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認した。

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、「1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2参照）。

表-5.3.1 層間変形角による照査結果

解析対象断面	評価位置	照査用 層間変形角 $R_d$	限界 層間変形角 $R_u$	$R_d/R_u$
非常用取水路	頂版～底版	0.0769/100	1/100	0.077
原子炉補機冷却系 配管ダクト（A系）	頂版～底版	0.530/100	1/100	0.53
原子炉補機冷却系 配管ダクト（B系）	頂版～底版	0.282/100	1/100	0.28
非常用ガス処理系 配管ダクト（水平部）	頂版～底版	0.357/100	1/100	0.36

表-5.3.2 曲率による照査結果

解析対象断面	評価位置	照査用曲率 $\phi_d$ (1/m)	限界曲率 $\phi_u$ (1/m)	$\phi_d/\phi_u$
非常用ガス処理系 配管ダクト（鉛直部） 軸直交方向断面	円環部	0.000275	0.141	0.0020
	中空矩形部	0.000313	0.137	0.0023
非常用ガス処理系 配管ダクト（鉛直部） 軸方向断面	円環部	0.000602	0.0149	0.040
	中空矩形部	0.0000440	0.0255	0.0017

表-5.3.3 せん断力による照査結果

解析対象断面	評価位置	照査用せん断力 $V_d$ (kN)	せん断耐力 $V_{yd}$ (kN)	$V_d/V_{yd}$
非常用取水路	底版	351	841	0.42
	側壁	351	979	0.36
	隔壁	55	538	0.10
原子炉補機冷却系 配管ダクト (A系)	頂版	420	959	0.44
	底版	588	959	0.61
	側壁	720	2558	0.28
	隔壁	424	606	0.70
原子炉補機冷却系 配管ダクト (B系)	頂版	318	887	0.36
	底版	294	758	0.39
	側壁	750	2149	0.35
	隔壁	369	580	0.64
非常用ガス処理系 配管ダクト (水平部)	頂版	648	1029	0.63
	底版	223	406	0.55
	側壁	573	890	0.64
非常用ガス処理系 配管ダクト (鉛直部) 軸直交方向断面	円環部	108	376	0.29
	中空矩形部	519	1205	0.43
非常用ガス処理系 配管ダクト (鉛直部) 軸方向断面	円環部	6878	8655	0.79
	中空矩形部	4538	20324	0.22

## 6. 総合評価

### 6.1. 総合評価の方法

「4. 点検」および「5. 耐震健全性評価」の結果を踏まえ、屋外重要土木構造物の健全性の総合評価を行う（表-6.1 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が得られた屋外重要土木構造物については、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屋外重要土木構造物については、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屋外重要土木構造物（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、要求性能への損傷の影響を評価し、健全性を評価する。

表-6.1 総合評価（解析-点検）

		点検による評価	
		異常なし	異常あり
地震応答解析の結果に基づく構造評価	裕度がある	評価終了 (健全)	・ 損傷の原因究明 ・ 損傷の健全性への影響を評価
	裕度が比較的少ない	・ より詳細な追加解析	

## 6.2. 総合評価結果

点検においては、非常用取水路の一部に局所的な損傷は認められたものの、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の各部位において要求性能を損なうような事象は確認されなかった。

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

以上のように、点検と地震応答解析の両面から評価を行った結果、1号機の非常用取水路、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 1号機屋外重要土木構造物の点検結果

参考資料 1 1号機非常用取水路護岸取合部および擁壁取合部のひび割れ、剥離・剥落ならびに除塵機室接合部の沈下について

参考資料 2 1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 3 三次元地震応答解析による原子炉補機冷却系配管ダクトの耐震健全性評価について

参考資料 4 1号機非常用取水路の軸方向の評価

## 添付資料1 1号機屋外重要土木構造物の点検結果

本資料の損傷一覧表・展開図には、新潟県中越沖地震発生後に実施した点検により確認された、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・剥落を記載している。

ただし、地震発生前の点検結果と照合することにより、地震前に既に発生していたことが明確な損傷（図中緑色で表記）と、それ以外のもの（図中赤色で表記）を区分して記載した。

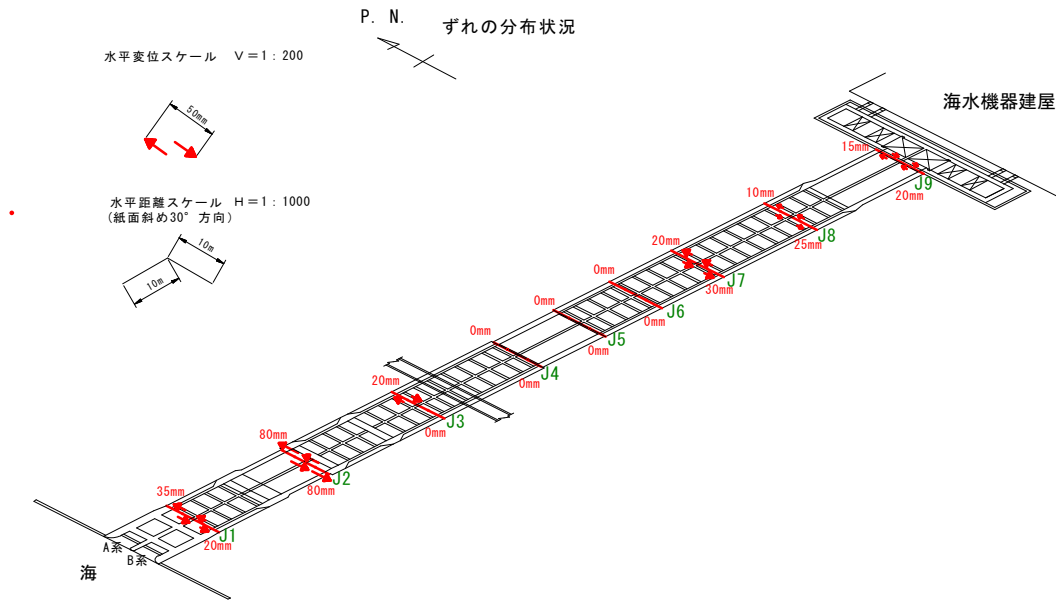
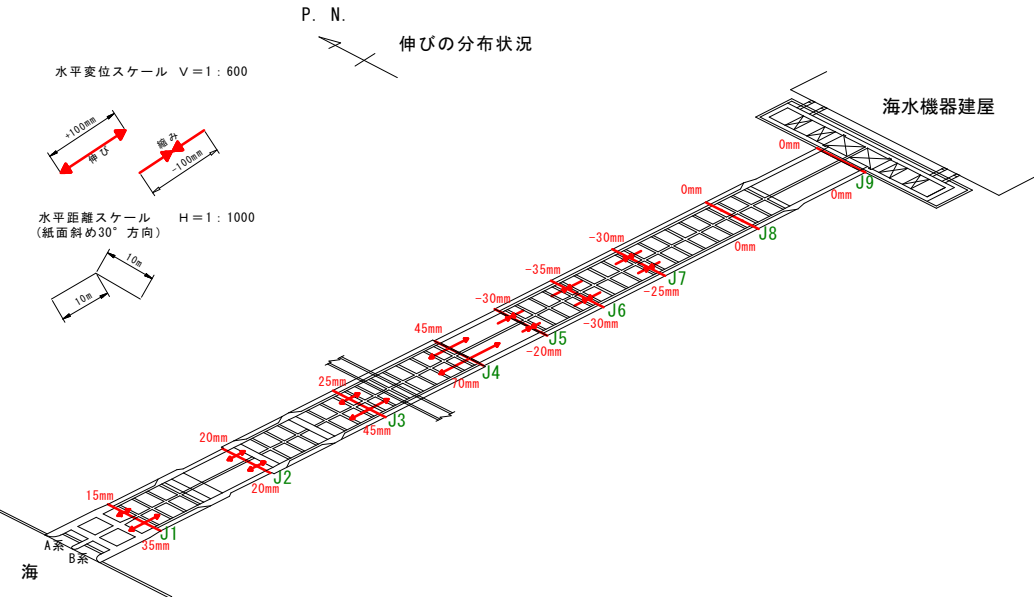
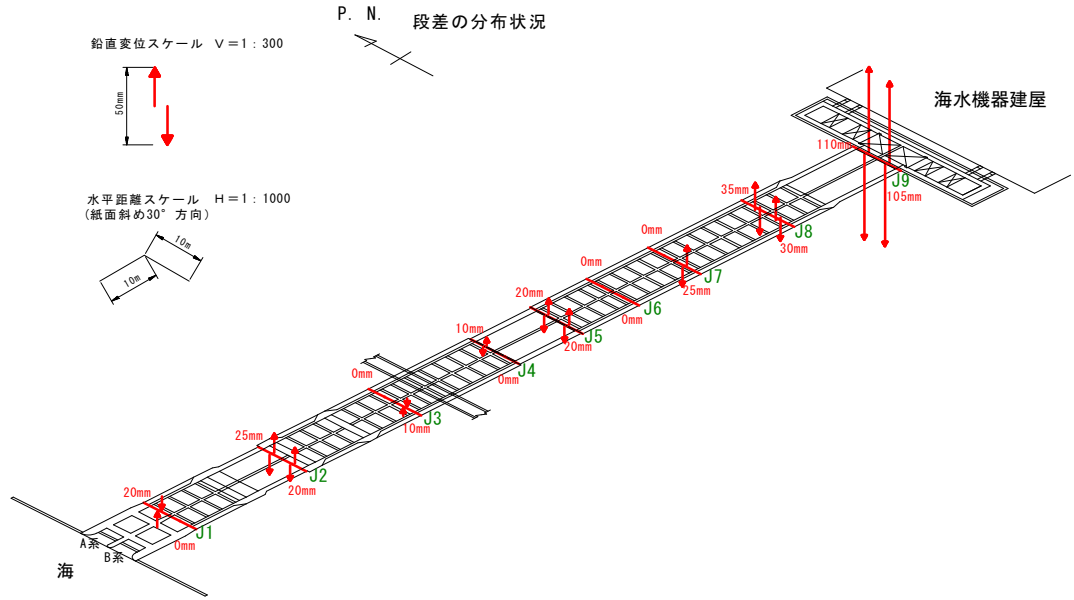
損傷一覧表 1号機非常用取水路

部位	損傷No	損傷種類	諸元			今回の地震以前の点検による確認の有無	備考
			延長(m)	幅(mm)	面積(m <sup>2</sup> )		
A系	1	ひび割れ	2.3	5.0	—	無	
	2	ひび割れ	5.6	20.0	—	無	
	3	ひび割れ	1.2	7.0	—	無	
	4	ひび割れ	2.8	2.0	—	無	
	5	ひび割れ	2.2	20.0	—	無	
	6	ひび割れ	1.3	3.0	—	無	
	7	剥離・剥落	—	—	0.04	無	形状□0.20m×0.20m, t=1cm
	8	剥離・剥落	—	—	0.90	無	形状□4.50m×0.20m, t=7cm
	9	ひび割れ	0.7	3.0	—	無	
	10	ひび割れ	1.9	2.0	—	無	
	11	ひび割れ	1.1	4.0	—	無	
	12	ひび割れ	0.8	3.0	—	無	
	13	ひび割れ	7.0	15.0	—	無	
	14	ひび割れ	2.3	7.0	—	無	
	15	ひび割れ	0.5	3.0	—	無	
	16	ひび割れ	6.4	15.0	—	無	
	17	ひび割れ	1.5	4.0	—	無	
	18	剥離・剥落	—	—	0.02	無	形状□0.20m×0.10m, t=2cm
	19	ひび割れ	0.6	0.5	—	無	
	20	ひび割れ	0.5	0.5	—	無	
	21	ひび割れ	0.9	0.7	—	無	
	22	ひび割れ	1.3	2.0	—	無	
	23	ひび割れ	0.7	1.0	—	無	
	24	ひび割れ	0.2	0.5	—	無	
	25	ひび割れ	0.6	2.5	—	無	

部位	損傷No	損傷種類	諸元			今回の地震以前の点検による確認の有無	備考
			延長(m)	幅(mm)	面積(m <sup>2</sup> )		
B系	26	ひび割れ	0.8	5.0	—	無	
	27	剥離・剥落	—	—	0.12	無	形状□1.10m×0.11m, t=15cm
	28	剥離・剥落	—	—	0.03	無	形状□0.50m×0.06m, t=1.7cm
	29	ひび割れ	2.7	7.0	—	無	
	30	ひび割れ	1.2	1.5	—	無	
	31	剥離・剥落	—	—	0.33	無	形状□0.83m×0.40m, t=3cm
	32	ひび割れ	3.8	6.0	—	無	
	33	ひび割れ	0.4	0.3	—	無	
	34	ひび割れ	3.2	5.0	—	無	
	35	ひび割れ	0.5	0.2	—	無	
	36	ひび割れ	3.2	0.6	—	無	
	37	ひび割れ	2.8	0.6	—	無	
	38	ひび割れ	3.3	1.5	—	無	
	39	剥離・剥落	—	—	4.70	無	形状□2.85m×1.65m, t=7cm
	40	剥離・剥落	—	—	1.17	無	形状□2.28m×0.51m, t=5cm
	41	ひび割れ	2.0	4.0	—	無	



耐震ジョイント部の変位量分布図

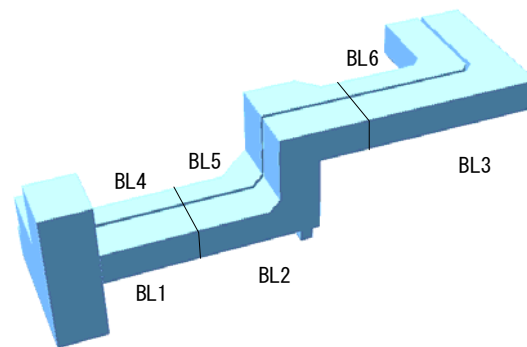
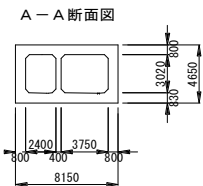
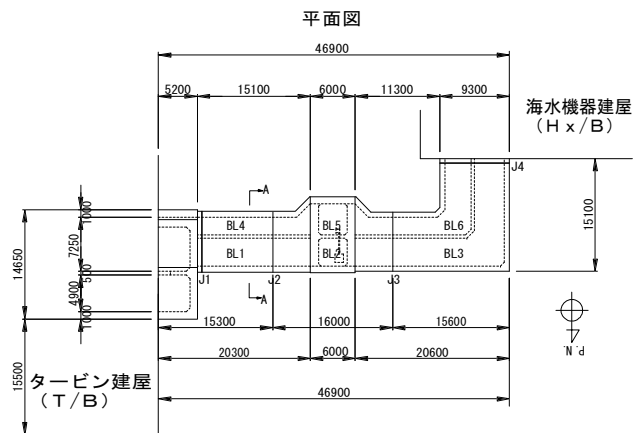


## 損傷一覧表 1号機原子炉補機冷却系配管ダクト

部位	損傷No	損傷種類	諸元			今回の地震以前の点検による 確認の有無 (報告書名称)	備考
			延長(m)	幅(mm)	面積(m <sup>2</sup> )		
B系	1	ひび割れ	8.1	0.1	—	無	
	2	ひび割れ	2.5	0.1	—	無	
	3	ひび割れ	1.9	0.1	—	無	
	4	ひび割れ	5.1	0.1	—	無	
	5	ひび割れ	20.0	0.1	—	無	

※原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) には、地震に起因することを否定できない損傷は認められない。

損傷展開図 1号機原子炉補機冷却系配管ダクト (A系)

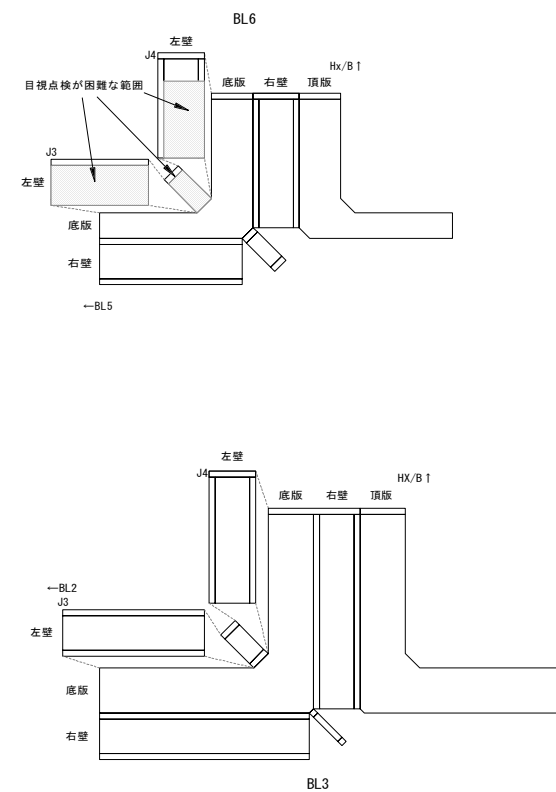
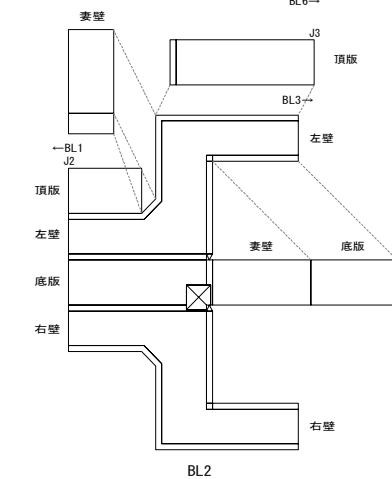
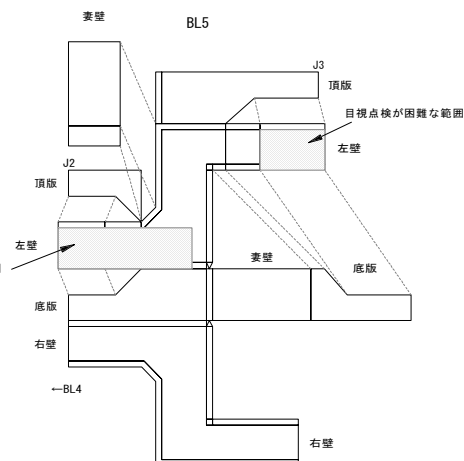
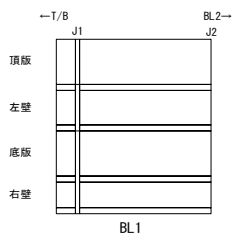
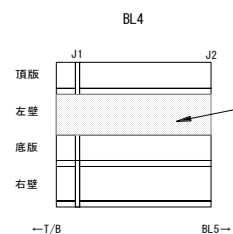


—凡例—

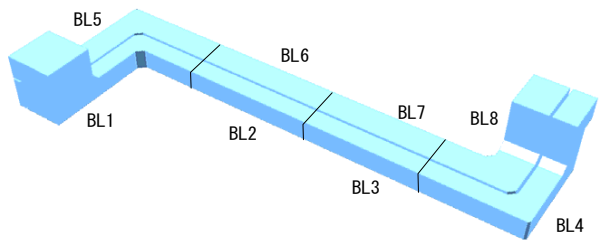
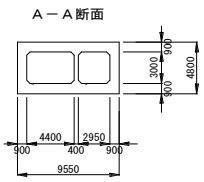
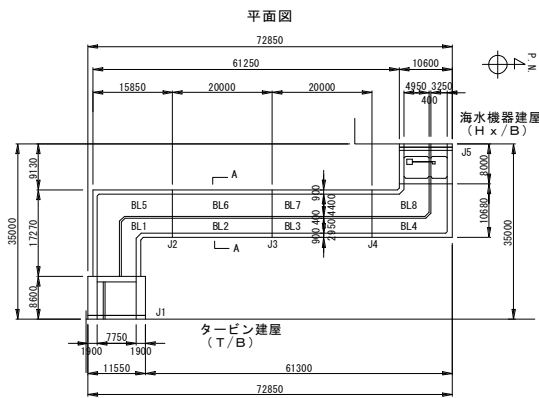
	ひび割れ		剝離・剥落
--	------	--	-------

緑色：地震に起因することを否定できない損傷のうち  
今回の地震以前の点検により確認されていたもの

赤色：地震に起因することを否定できない損傷のうち  
今回の地震以前の点検により確認されていなかったもの



損傷展開図 1号機原子炉補機冷却系配管ダクト (B系)

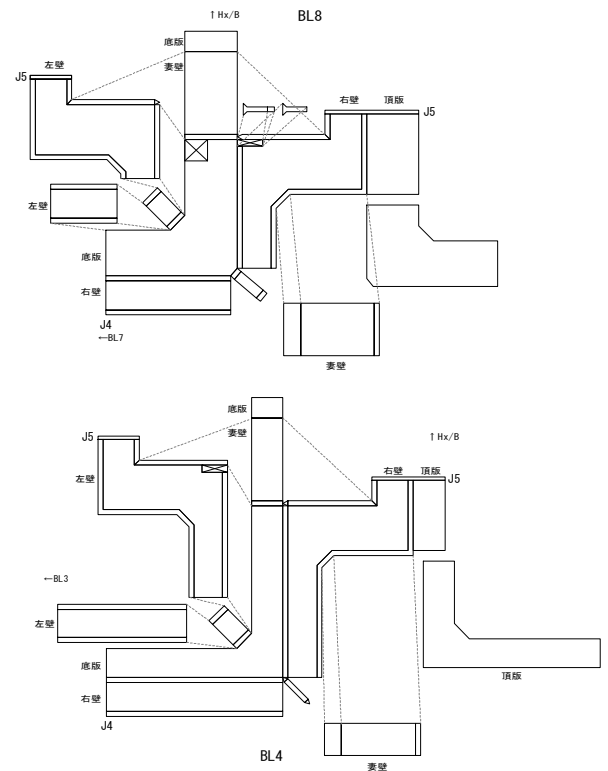
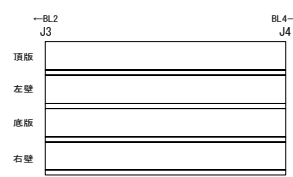
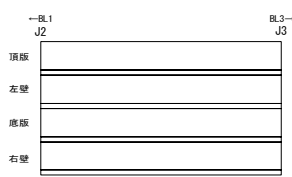
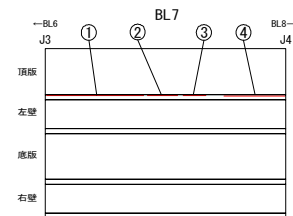
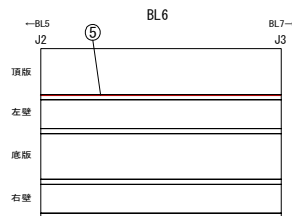
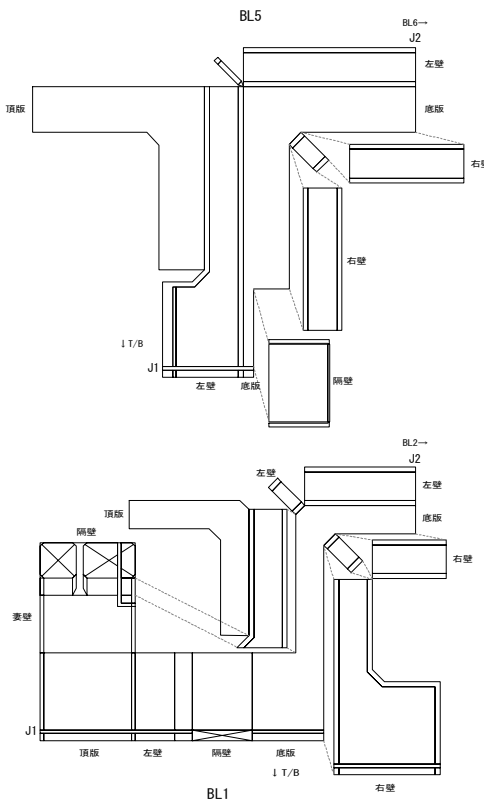


— 凡例 —

□ : ひび割れ    ■ : 剥離・剥落

緑色 : 地震に起因することを否定できない損傷のうち  
今回の地震以前の点検により確認されていたもの

赤色 : 地震に起因することを否定できない損傷のうち  
今回の地震以前の点検により確認されていなかったもの

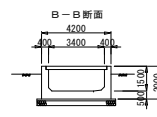
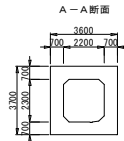
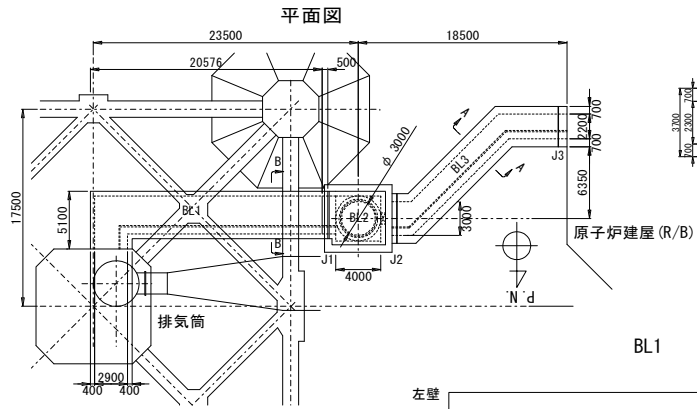




## 損傷一覧表 1号機非常用ガス処理系配管ダクト

※地震に起因することを否定できない損傷は認められない。

損傷展開図 1号機非常用ガス処理系配管ダクト

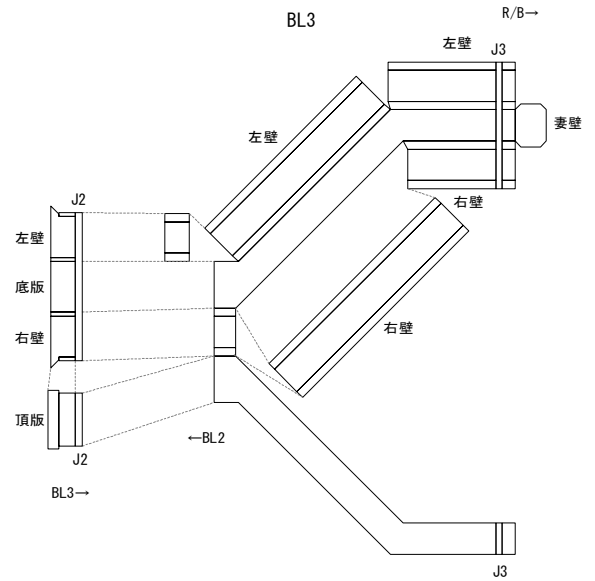
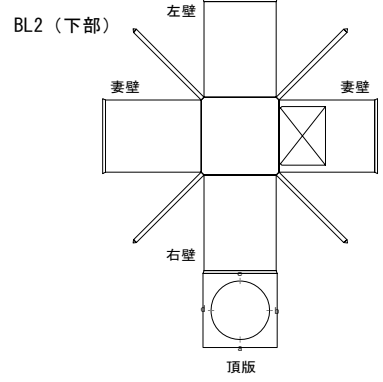
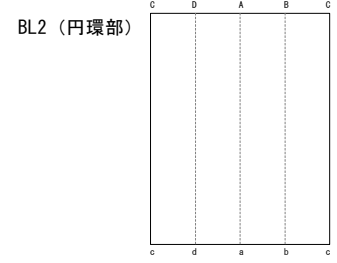
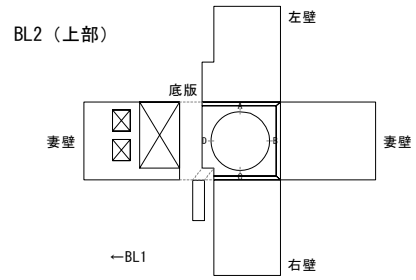
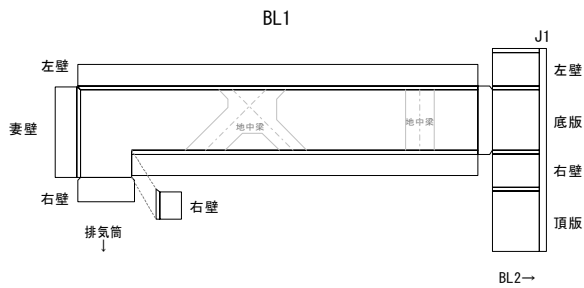
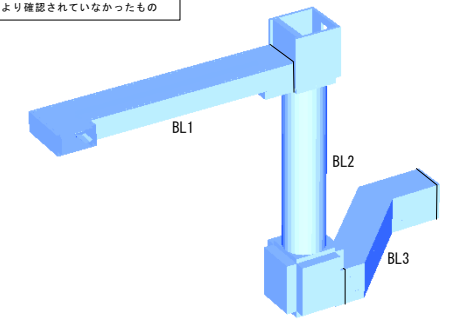


—凡例—

□ : ひび割れ    ■ : 剥離・剥落

緑色 : 地震に起因することを否定できない損傷のうち  
今回の地震以前の点検により確認されていたもの

赤色 : 地震に起因することを否定できない損傷のうち  
今回の地震以前の点検により確認されていなかったもの

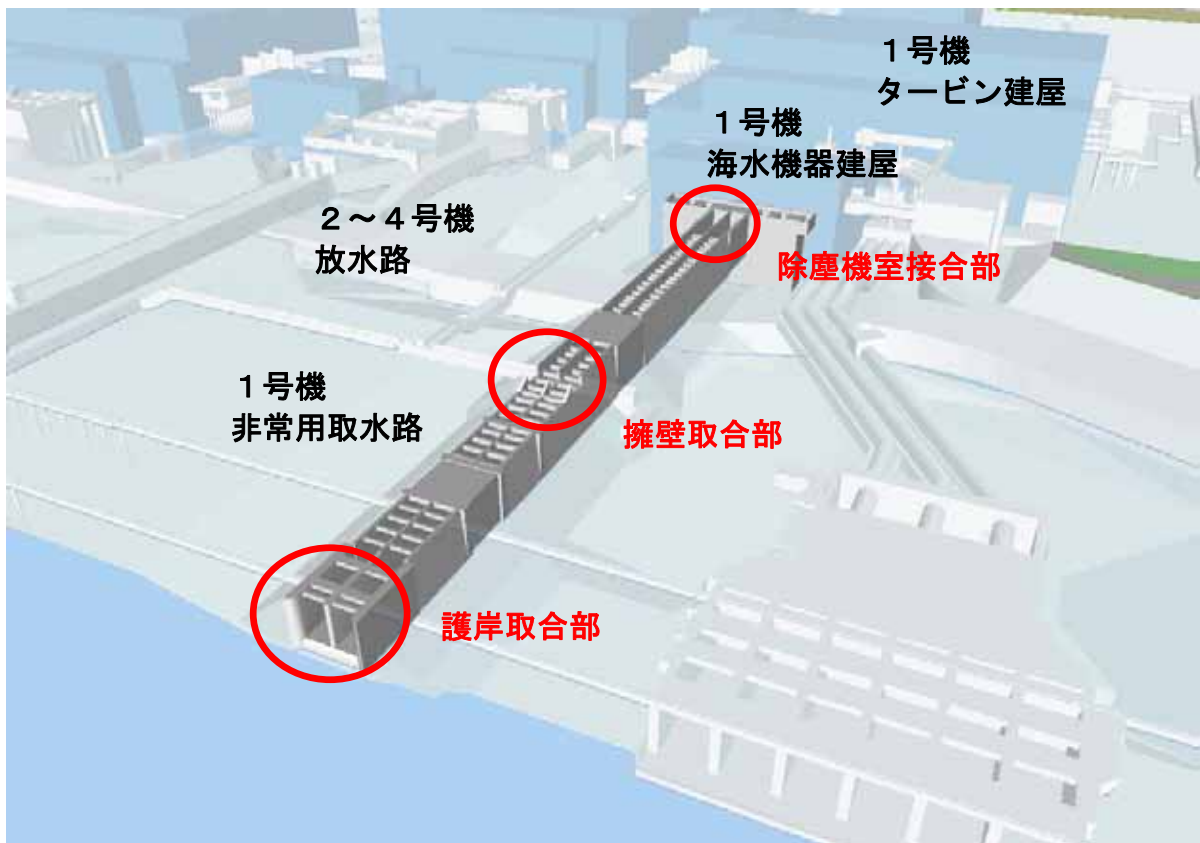


参考資料 1 1号機非常用取水路護岸取合部および擁壁取合部のひび割れ、剥離・剥落  
ならびに除塵機室接合部の沈下について

(1) はじめに

1号機非常用取水路は、新潟県中越沖地震によって、護岸取合部側壁および擁壁取合部側壁にひび割れおよび剥離・剥落が、また、除塵機室接合部において沈下が生じた。(添付資料1)。

本資料では、これらの損傷の発生状況、原因の推定および補修・補強計画について述べる。

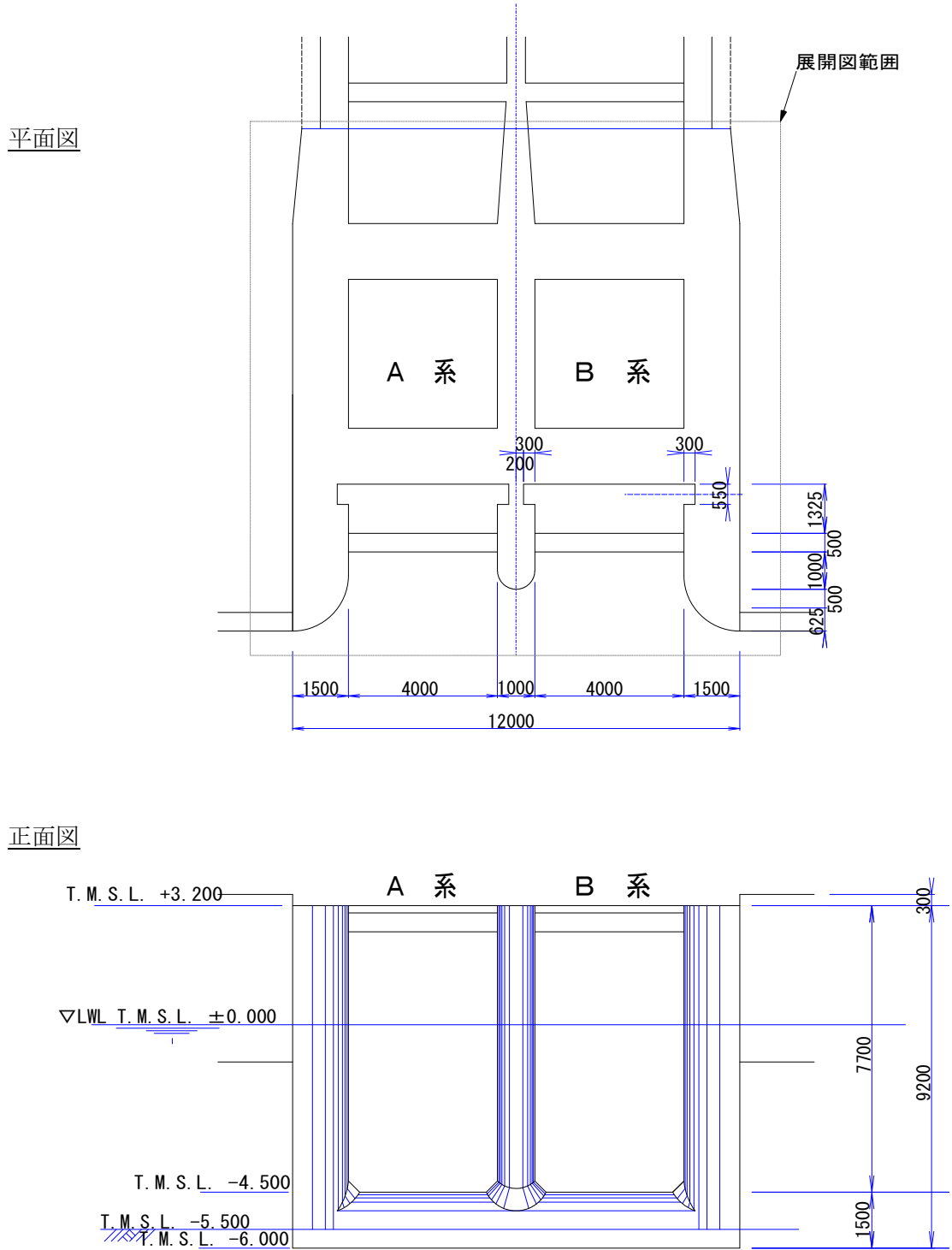


参図-1.1 1号機非常用取水路の全景

(2) 護岸取合部側壁のひび割れおよび剥離・剥落

a) 損傷の状況

参図-1.2～参図-1.4 に、損傷箇所をの平面図・正面図、損傷展開図、鳥瞰図を、また参写真-1.1、参写真-1.2 に各部位の写真を示す。



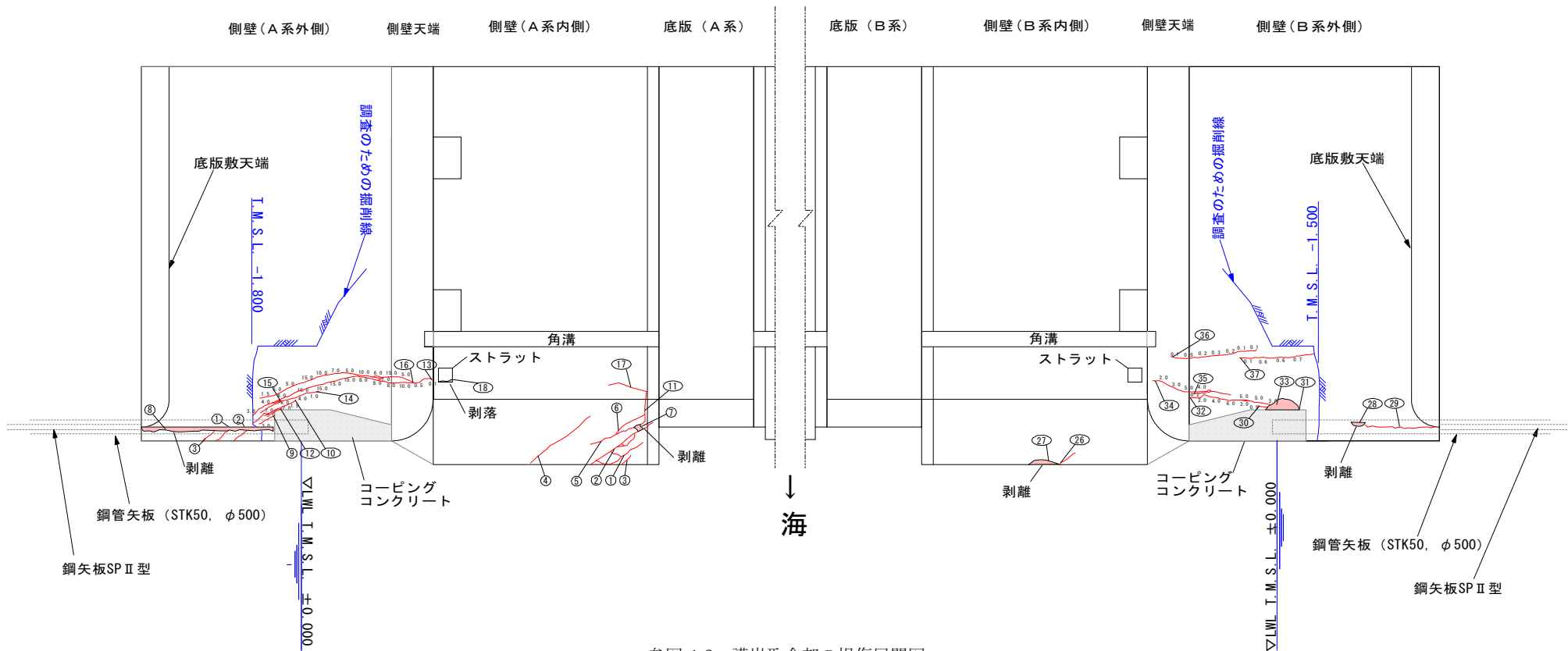
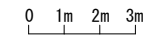
参図-1.2 護岸取合部の平面図・正面図

損傷No	損傷種類	諸元			備考
		延長 (m)	幅 (mm)	面積 (m <sup>2</sup> )	
1	ひび割れ	2.3	5.0	—	段差10mm
2	ひび割れ	5.6	20.0	—	段差25mm
3	ひび割れ	1.2	7.0	—	段差15mm
4	ひび割れ	2.8	2.0	—	—
5	ひび割れ	2.2	20.0	—	段差7mm
6	ひび割れ	1.3	3.0	—	—
7	剥離・剥落	—	—	0.04	形状口0.20m×0.20m t=1cm
8	剥離・剥落	—	—	0.90	形状口4.50m×0.20m t=7cm
9	ひび割れ	0.7	3.0	—	—
10	ひび割れ	1.9	2.0	—	—
11	ひび割れ	1.1	4.0	—	—

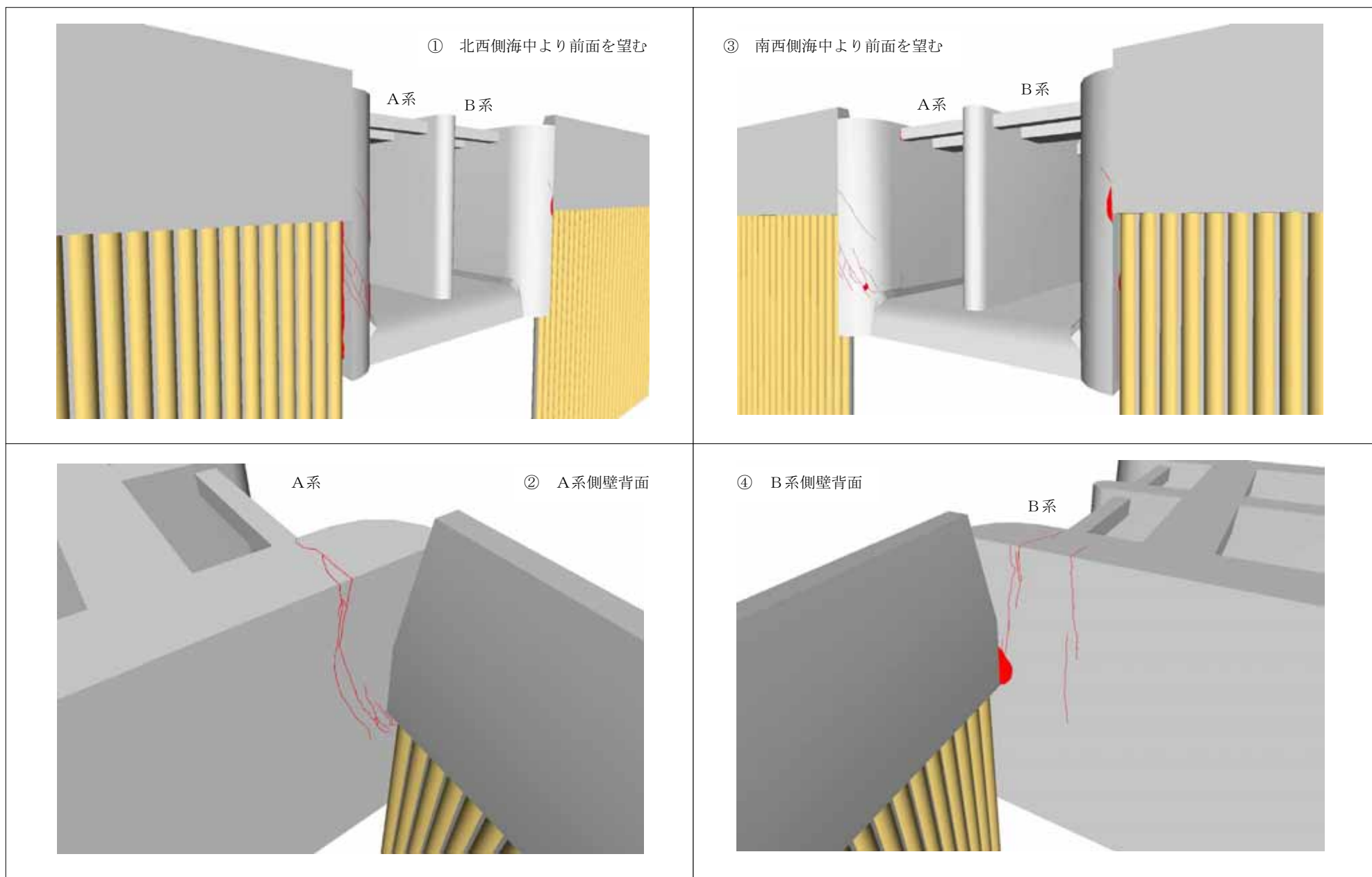
損傷No	損傷種類	諸元			備考
		延長 (m)	幅 (mm)	面積 (m <sup>2</sup> )	
12	ひび割れ	0.8	3.0	—	—
13	ひび割れ	7.0	15.0	—	—
14	ひび割れ	2.3	7.0	—	—
15	ひび割れ	0.5	3.0	—	—
16	ひび割れ	6.4	15.0	—	—
17	ひび割れ	1.5	4.0	—	段差3mm
18	剥離・剥落	—	—	0.02	形状口0.20m×0.10m t=2cm

損傷No	損傷種類	諸元			備考
		延長 (m)	幅 (mm)	面積 (m <sup>2</sup> )	
25	ひび割れ	0.8	5.0	—	—
27	剥離・剥落	—	—	0.12	形状口1.10m×0.11m t=15cm
28	剥離・剥落	—	—	0.03	形状口0.50m×0.06m t=1.7cm
29	ひび割れ	2.7	7.0	—	段差13mm
30	ひび割れ	1.2	1.5	—	—
31	剥離・剥落	—	—	0.33	形状口0.83m×0.40m t=3cm
32	ひび割れ	3.8	6.0	—	—
33	ひび割れ	0.4	0.3	—	—
34	ひび割れ	3.2	5.0	—	—
35	ひび割れ	0.5	0.2	—	—
36	ひび割れ	3.2	0.6	—	—

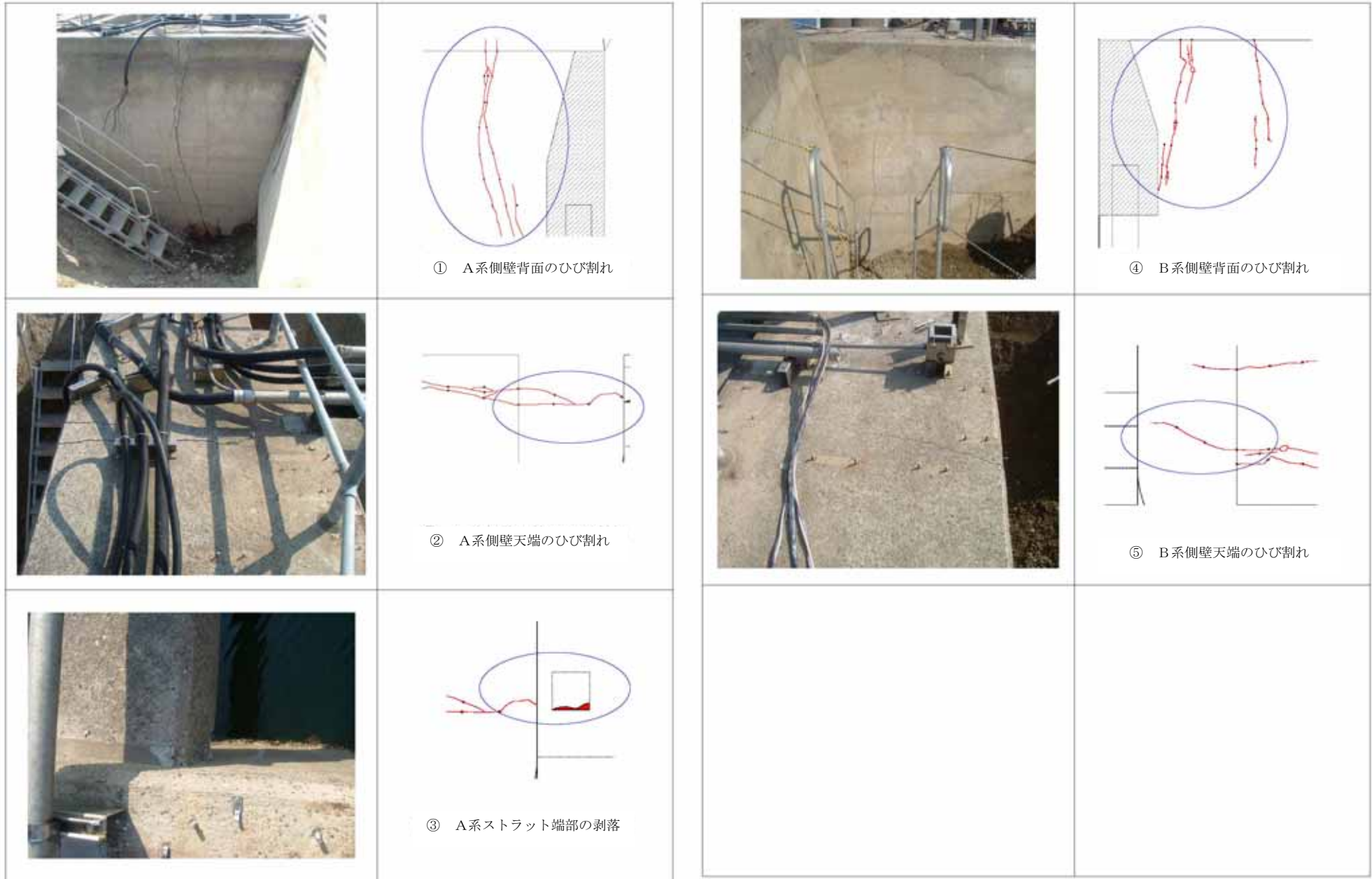
損傷No	損傷種類	諸元			備考
		延長 (m)	幅 (mm)	面積 (m <sup>2</sup> )	
37	ひび割れ	2.8	0.6	—	—



参図-1.3 護岸取合部の損傷展開図

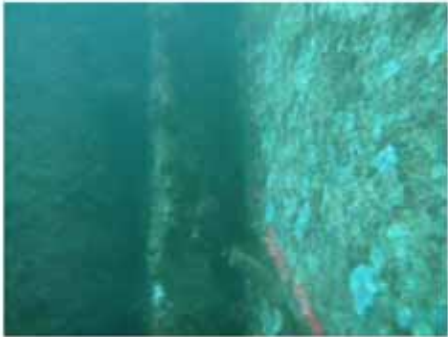
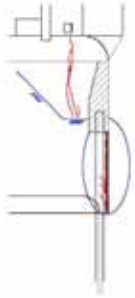





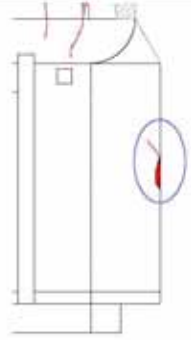

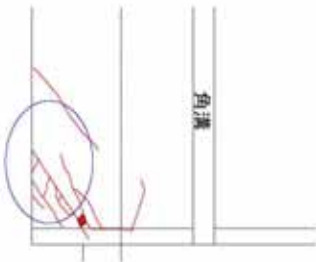
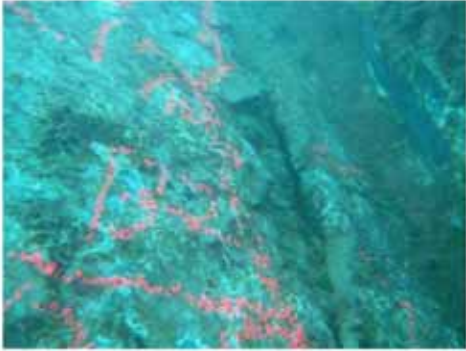
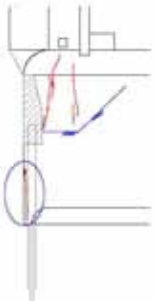


参図-1.4 護岸取合部の鳥瞰図



参写真-1.1 護岸取合部の損傷状況（気中部）



	 <p>① A系側壁 鋼管矢板近傍のひび割れ</p>		 <p>④ A系側壁のひび割れ</p>
	 <p>② A系底版ハンチ近傍 側壁下部のひび割れ</p>		 <p>⑤ B系側壁のひび割れ</p>
	 <p>③ A系側壁のひび割れ</p>		 <p>⑥ B系側壁 鋼管矢板近傍のひび割れ</p>

参写真-1.2 護岸取合部の損傷状況（水中部）



非常用取水路天端や隔壁・側壁内面上部の目視点検が容易な範囲に加え、側壁背面については周辺地盤を掘削して、また、水中部については潜水調査により、損傷状況を確認した。

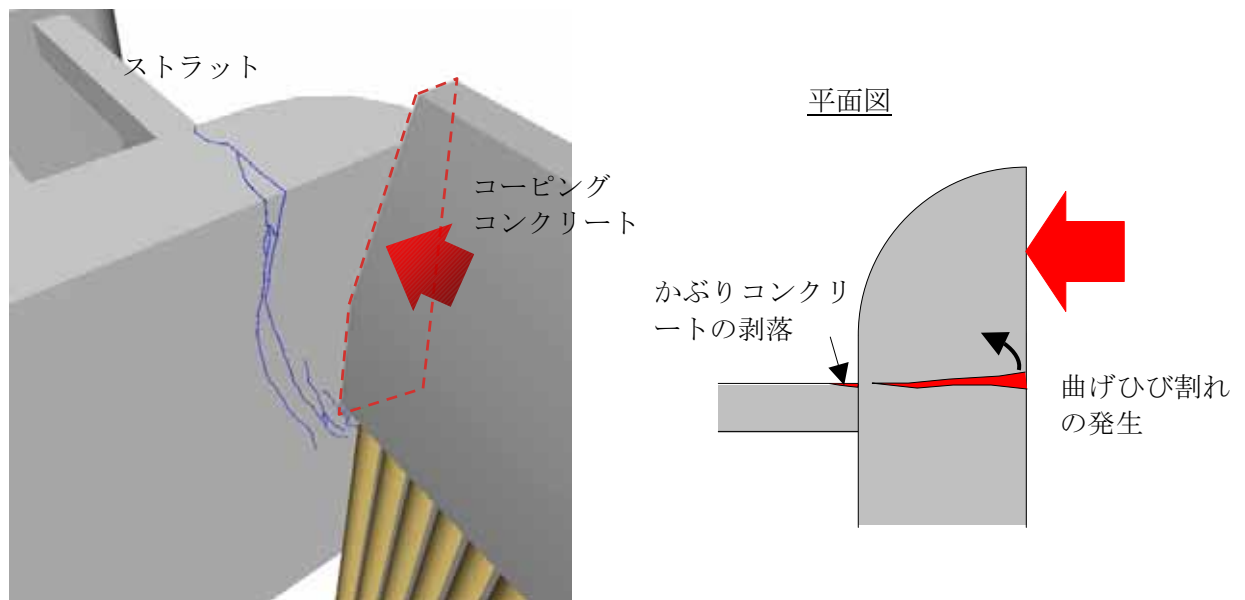
A系およびB系の側壁上部において、側壁背面からストラットの基部に向けて最大ひび割れ幅 15mm の取水路軸直交方向ひび割れが生じている。側壁上部のひび割れ幅はA系、B系ともに側壁背面が大きく、側壁内面においては目視ではひび割れを確認できない。このひび割れに連続して、A系の側壁下部（水中部）においては、最大ひび割れ幅 20mm の斜めひび割れが認められる。

また、最も海側に位置するストラットのA系側壁基部において、海側の面のかぶりコンクリートが厚さ 20mm 程度剥落している。

非常用取水路の一部には、上記のような局所的な損傷が認められるものの、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。

## b) 原因の推定

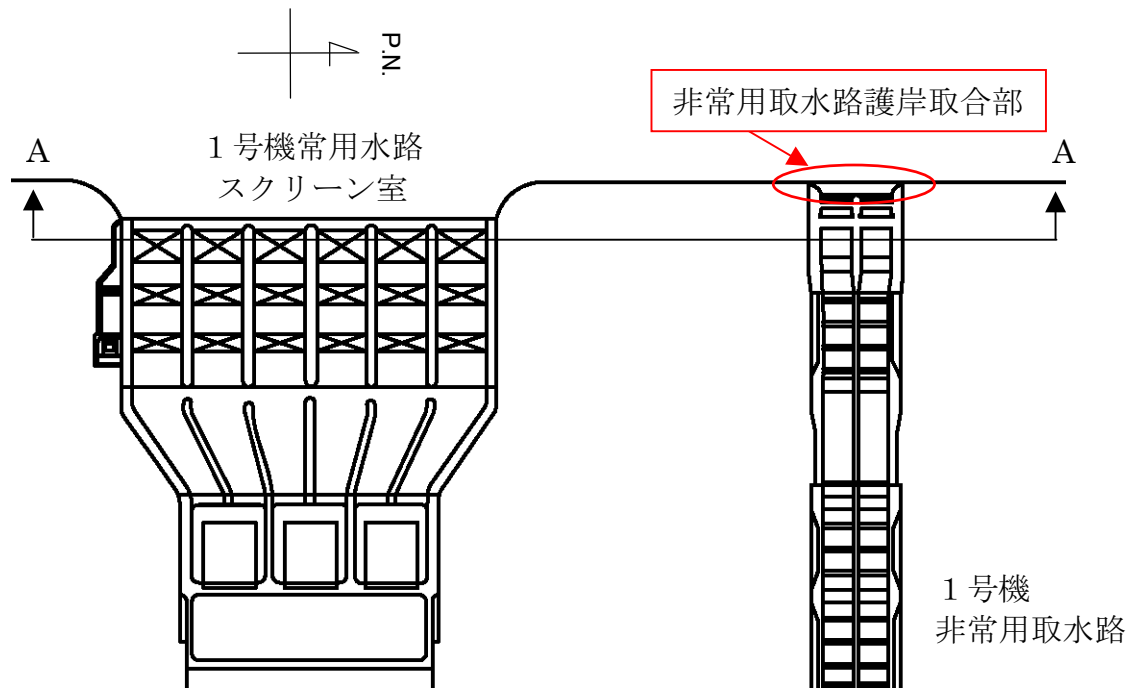
非常用取水路側壁の海側端部は、厚さ 10mm のアスファルト系緩衝材を介して鋼管矢板式護岸と接しており、護岸と非常用取水路の地震時相対変位によってコーピングコンクリートが取水路側壁を内面方向に支圧したためにひび割れが生じたものと考えられる（参図-1.5）。側壁上部のひび割れは、作用の支点となったと考えられるストラット取り付け部に向けて、部材に取水路軸直交方向にひび割れが生じていること、側壁内面よりも背面のひび割れ幅が大きいこと等から、曲げひび割れと推定される。



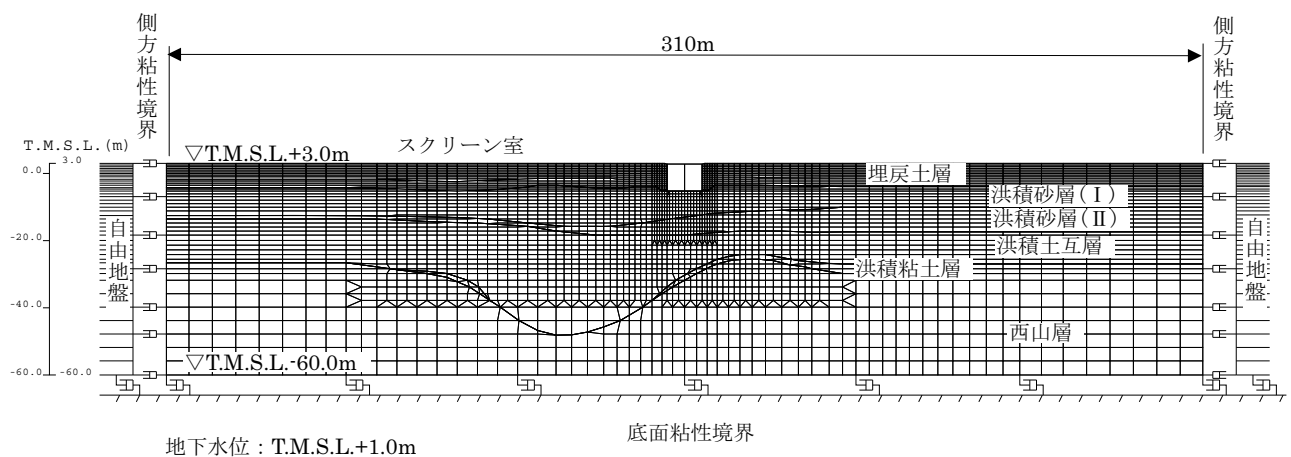
参図-1.5 ひび割れの発生機構

点検により確認されたひび割れの発生原因について検討するために、詳細解析を実施した。

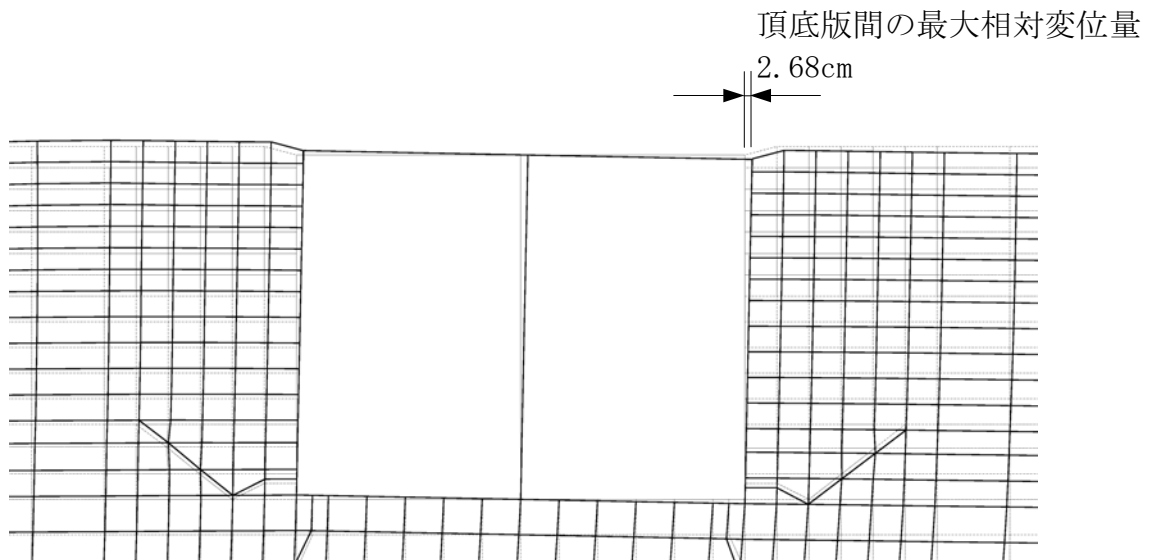
非常用取水路の地震時相対変位量を求めるために、参図-1.6 に示す汀線平行断面 (A-A 断面) の二次元解析モデル (参図-1.7) について地震時応答解析を実施した結果、非常用取水路の頂底版間最大相対変位量は約 3cm である (参図-1.8)。



参図-1.6 非常用取水路平面図

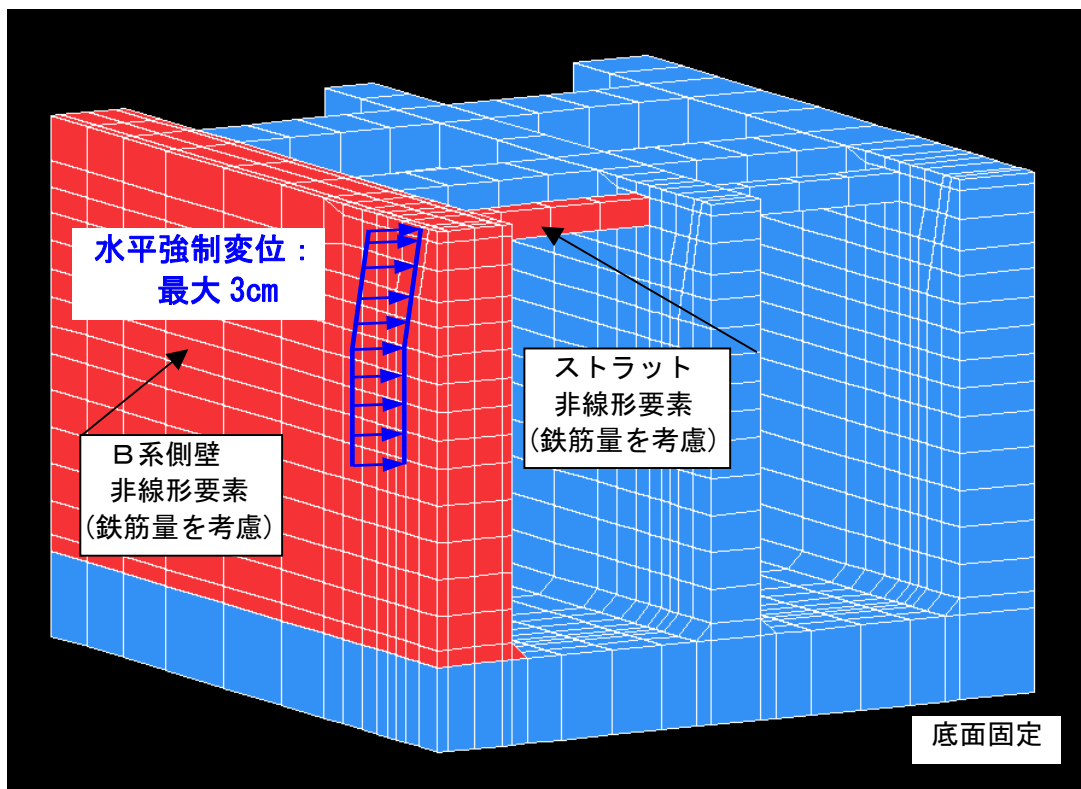


参図-1.7 非常用取水路 地震時応答解析モデル(A-A 断面)



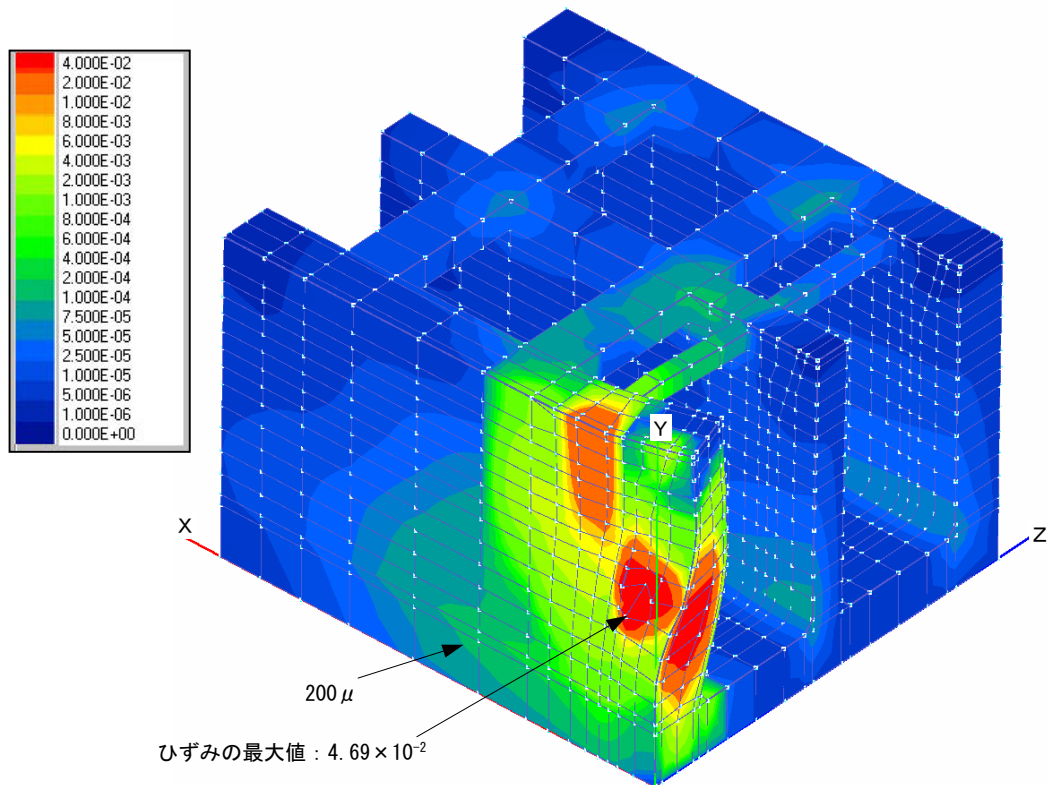
参図-1.8 最大変形時の変位分布図

次に、ひび割れの発生原因について検討するために、参図-1.9 に示す三次元解析モデルを用いて、取水路側壁のコーピングコンクリート接触部に強制変位を与える静的非線形解析を実施した。ここでは、前述で求めた最大相対変位量を強制変位として0.1cm ずつ3cm まで作用させた。



参図-1.9 1号機非常用取水路護岸取合部の三次元解析モデル図

解析により求めた変形図及び第一主ひずみ分布図を参図-1.10 に示す。この図において、取水路側壁が内側に変形することにより、側壁上部ではストラットを支点とする曲げによるひずみが外面側に大きく発生し、側壁下部にもひずみが大きく発生しており、点検により確認された取水路側壁のひび割れ性状をよく再現している。



参図-1.10 三次元解析結果(変形図及び第一主ひずみ分布図)

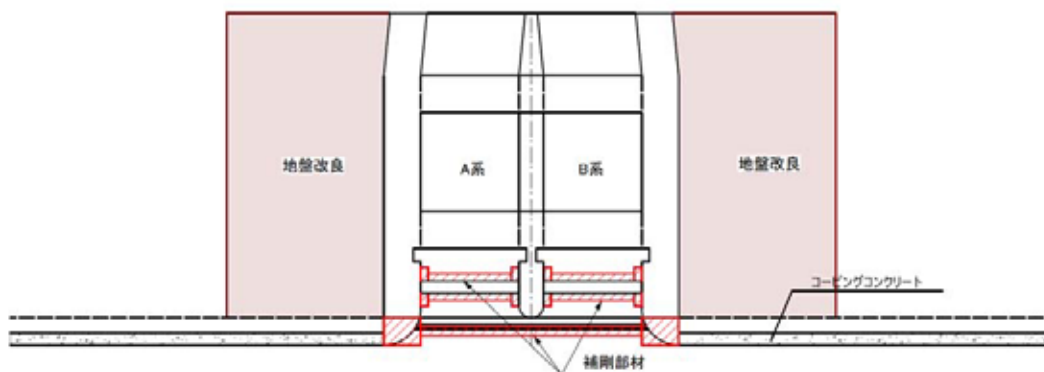
以上のことから、1号機非常用取水路護岸部側壁のひび割れは、取水路躯体と護岸の変位差によって取水路側壁と護岸のコーピングコンクリートが接触し、側壁が内側に支圧されたために生じたと推定される。

### c) 補修・補強に関する計画

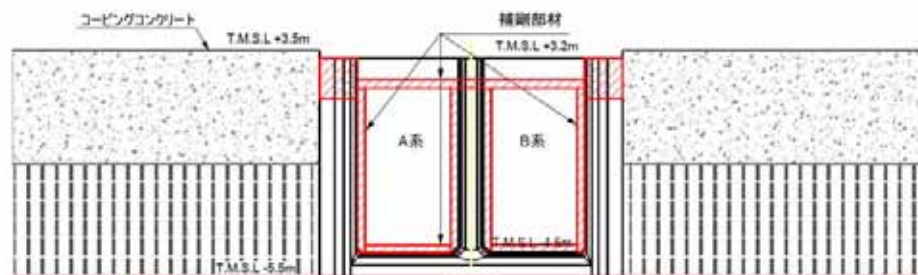
地下水位より下方の地盤の掘削を行い、ポンプで揚水してひび割れ周辺を気中状態にする。ひび割れ周辺のコンクリートをはつり、断面を修復する。鉄筋には防錆処理を施す。なお、地震の影響により鉄筋が損傷を受けている場合は、切断して継ぎ筋等により復旧する。水中部については、水中施工用のひび割れ補修材を注入することにより断面修復する。

また、護岸取合部の断面剛性を高めるために取水路の海側端部に補剛部材を設置するとともに、取水路に影響を及ぼす側方地盤の地震時変形を低減するために護岸取合部周辺を地盤改良する。(参図-1.11)

#### 平面図

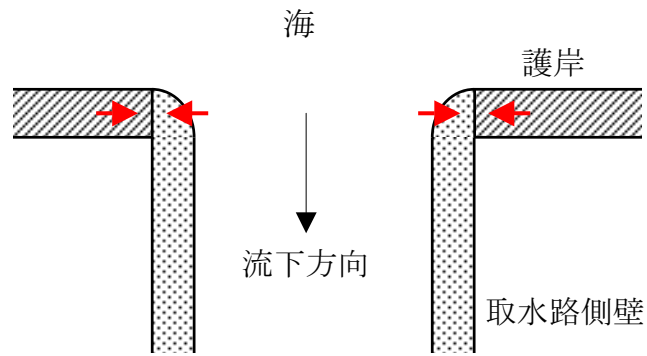


#### 正面図

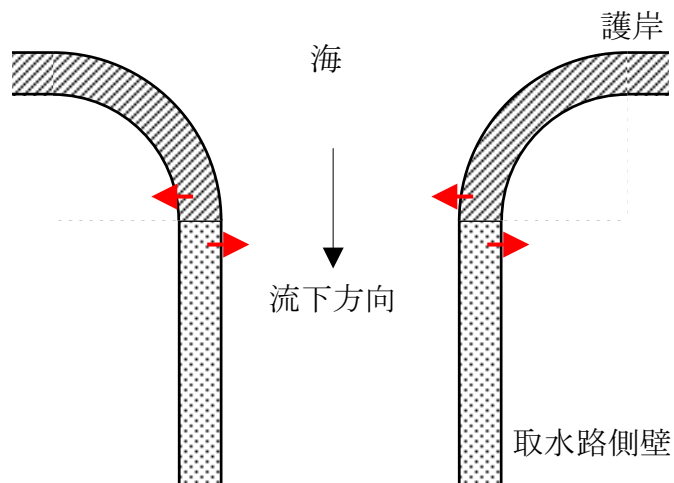


参図-1.11 護岸取合部の補強方針 (概念図)

なお、1号機以外の非常用取水路の護岸取合部は、取水路側壁の背面に護岸が接していない（参図-1.12 参照）ことから、本号機にて確認されたような面外力による損傷は生じにくい構造となっている。



(a) 1号機非常用取水路護岸取合部（平面形状）



(b) 2～7号機非常用取水路護岸取合部（平面形状）

参図-1.12 非常用取水路護岸取合部の構造（概念図）

### (3) 擁壁取合部側壁のひび割れおよび剥離・剥落

#### a) 損傷の状況

参図-1.13 に損傷箇所の展開図を、また参写真-1.3 に各部位の写真を示す。

損傷発生部位は、T.M.S.L.+3.0m 盤と T.M.S.L.+5.0m 盤の境界部に位置し、法面ブロック積み擁壁と接している。擁壁より 1.3m 山側には、電源ケーブルトレンチ（耐震Cクラス構造物）が水路上部を横断して設置されており、側壁上部の損傷箇所は、トレンチに画された三角形状の土留壁として機能している。

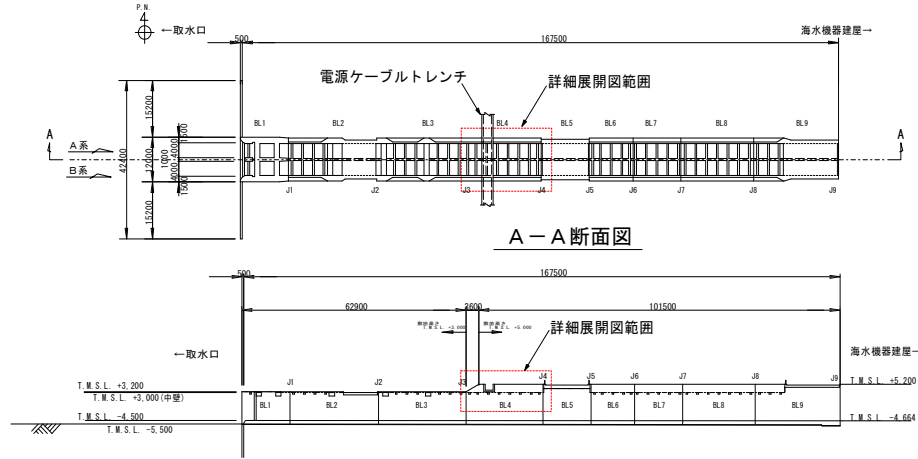
側壁の損傷はB系側において著しく、側壁背面から内面に向けて部材が変形し、コンクリートが圧壊するとともに主筋が座屈している。A系においても側壁背面に最大幅 2.5mm のひび割れが生じている。取水路上部を横断する電源ケーブルトレンチは 30cm 程度北側に滑動するとともに平面的に時計回りにわずかに回転し、B系においては海側側壁と、A系側壁においては山側側壁と接触している。

側壁のストラットより下部にはひび割れは認められないものの、B系側壁内面に最大厚さ 7cm、面積 4.7m<sup>2</sup>程度のかぶりコンクリートの剥離・剥落が生じている。

以上のように局所的な損傷は認められるものの、ひび割れの発生はストラットより上部に限られ、通水断面に及んでいないことから、取水機能に影響を及ぼすものではない。



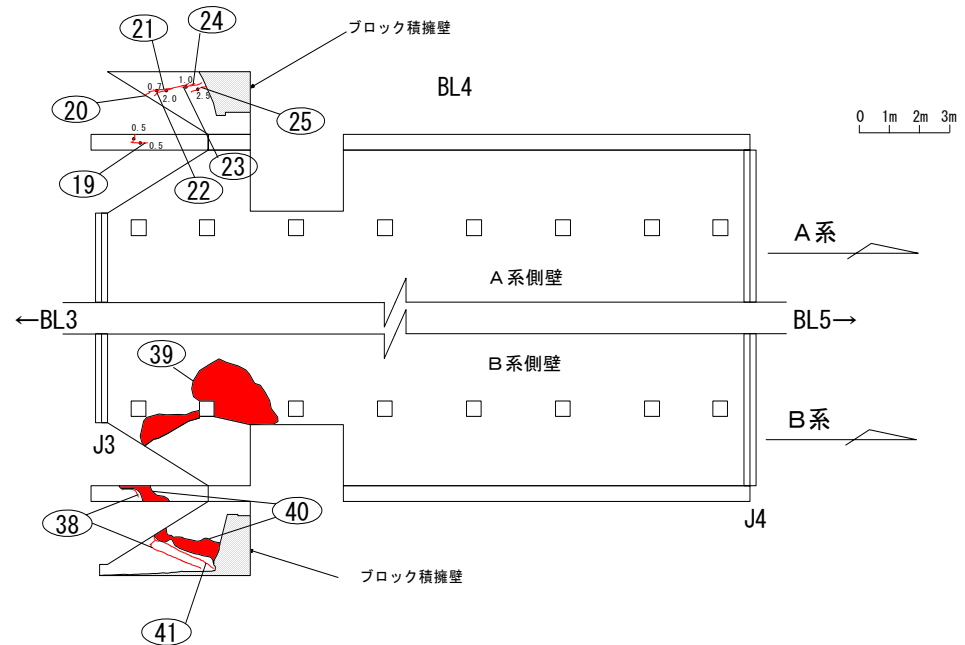
平面図



損傷一覧表

損傷No	損傷種類	諸元		備考
		延長(m)	幅(mm)	
19	ひび割れ	0.6	0.5	-
20	ひび割れ	0.5	0.5	-
21	ひび割れ	0.9	0.7	-
22	ひび割れ	1.3	2.0	-
23	ひび割れ	0.7	1.0	-
24	ひび割れ	0.2	0.5	-
25	ひび割れ	0.6	2.5	-
38	ひび割れ	3.3	1.5	-
39	剥離・剥落	-	-	4.70 形状口2.85m×1.65m, t=7cm
40	剥離・剥落	-	-	1.17 形状口2.28m×0.51m, t=5cm
41	ひび割れ	2.0	4.0	-

BL4展開図



参図-1.13 擁壁取合部の損傷展開図



A系側壁背面



A系側壁内面



B系側壁背面



B系側壁内面

参写真-1.3 擁壁取合部の損傷状況

## b) 原因の推定

A系、B系とも、側壁に接しているブロック積み擁壁およびその背後地盤が、側壁を内側に変形する方向に変位したために、側壁に背面からの面外荷重が作用し、ひび割れが生じたものと考えられる。このひび割れは、側壁内面よりも背面のひび割れ幅が大きいこと等から曲げひび割れと推定される。

さらに、B系においては、上記に加えて電源ケーブルトレンチの平面的な回転によって三角形状の擁壁が海側に押され、曲げひび割れに沿って面内せん断されたものと考えられる。(参図-1.14 参照)



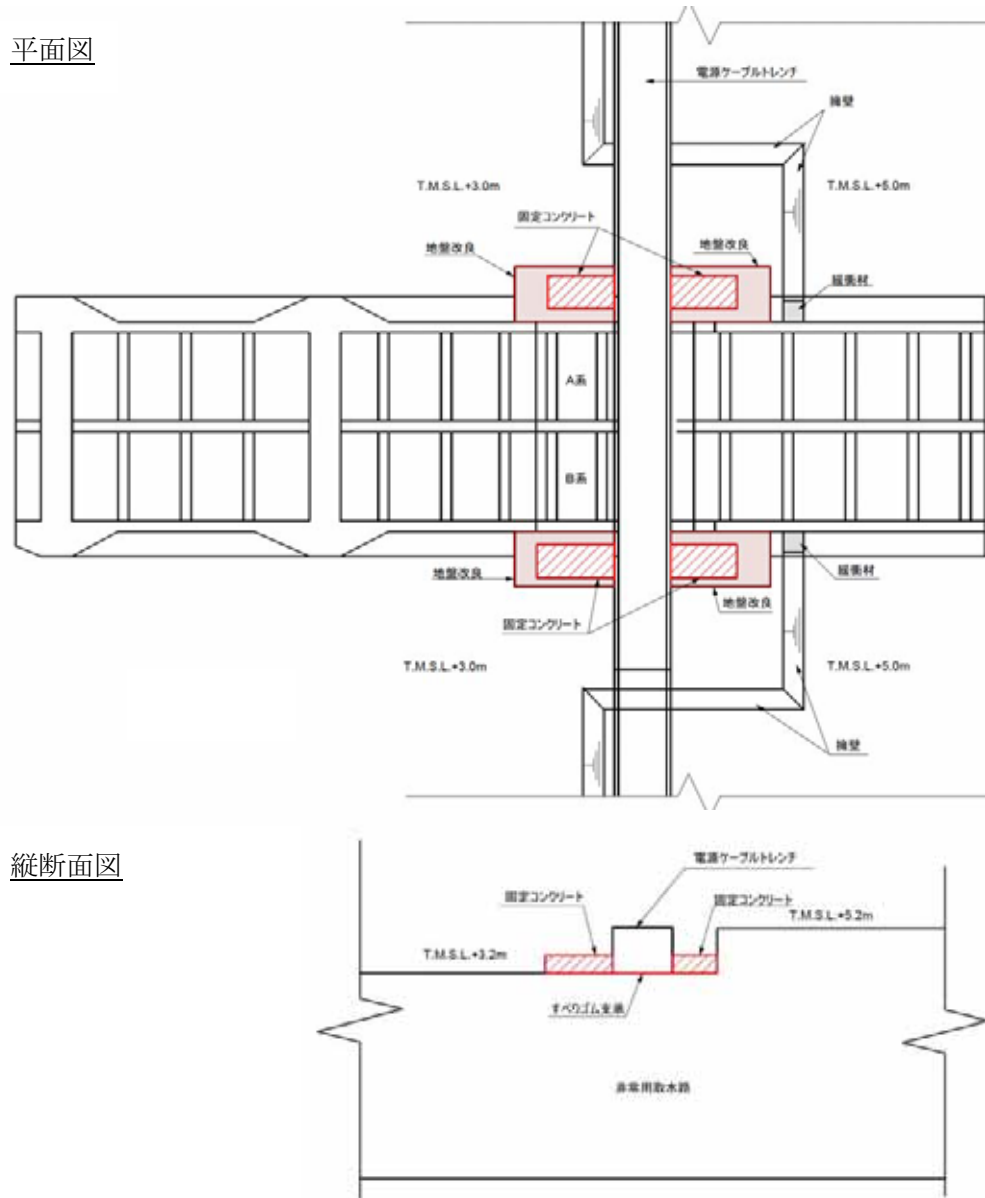
参図-1.14 擁壁取合部のひび割れの発生機構

c) 補修ならびに損傷原因の除去に関する方針

ブロック積み擁壁を撤去して、水路側壁のうち損傷を受けた部位を除去し、鉄筋コンクリート部材を断面修復する。

地震により今回と同様な損傷が生じないように、ブロック積み擁壁を山側に移動させ、取水路側壁上部の三角形の土留壁を撤去するとともに、ブロック積み擁壁と非常用取水路との接触位置には緩衝材を配置する。

また、電源ケーブルトレンチは非常用取水路の両側壁を径間として水路上を横断するように構造を変更するものとし、電源ケーブルトレンチと非常用取水路の間にはすべりゴム支承を設置する。(参図-1.15)



参図-1.15 擁壁取合部の補強方針 (概念図)

#### (4) 除塵機室との接合部における段差

##### a) 損傷の状況

非常用取水路と除塵機室との接合部において、非常用取水路側が相対的に沈下する段差が発生した。B系取水路底版における耐震ジョイントの段差の最大値は110mmであった（添付資料1、参写真-1.4参照）。

なお、耐震ジョイントの変位量は限界値（伸び300mm、ずれ及び段差400mm）より小さく、漏水も認められないことから、今回の地震により発生した除塵機室との接合部における段差は取水機能に影響を及ぼすものではない。



参写真-1.4 除塵機室との接合部における段差

##### b) 原因の推定

A系水路敷高の鉛直変動量測量結果を参図-1.16に示す。計画高に比べて±20mm程度の範囲を超える変位が生じている箇所は、BL7より山側に限られており、取水路下方を交差する2～4号機放水路の構築のために洪積層を掘削し、埋め戻した箇所と一致している。このことから、地震により埋戻土に大きなせん断ひずみが生じ、体積圧縮したために非常用取水路が沈下したものと考えられる。



1号機非常用取水路 (A系) 縦断面図

S=1/500 (H), S=1/10 (V), S=1/5 (A-B)

計測基準点 (0.000m)  
除塵機室敷天井

1号機  
海水機器建屋→

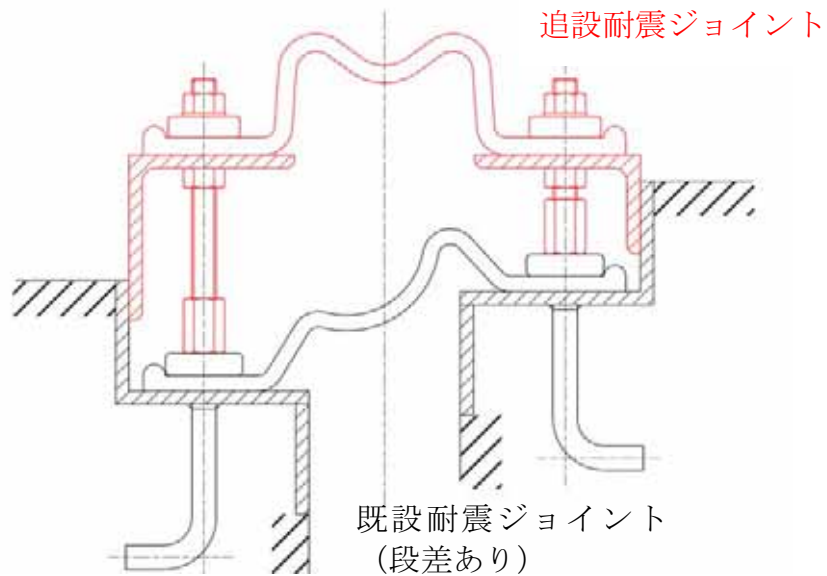


測点	放水設備 (No)	実測高A (m)	計画高B (m)	A-B (m)
NO. 1	3, 960	0.170	0.164	-0.006
NO. 2 NO. 3 (41)	13, 500 13, 500	0.130 0.126	0.154 0.154	-0.024 -0.028
NO. 4 NO. 5 (42)	36, 300 36, 300	0.125 0.141	0.130 0.130	-0.005 -0.011
NO. 6 NO. 7 (43)	62, 900 62, 900	0.110 0.103	0.105 0.105	-0.011 -0.002
NO. 8 NO. 9 (44)	84, 500 84, 500	0.097 0.096	0.093 0.093	-0.004 -0.002
NO. 10 NO. 11 (45)	96, 000 96, 000	0.037 0.034	0.070 0.070	-0.033 -0.014
NO. 12 NO. 13 (46)	110, 300 110, 300	0.053 0.053	0.056 0.056	-0.004 -0.005
NO. 14 NO. 15 (47)	122, 750 122, 750	0.040 0.018	0.044 0.044	-0.020 -0.026
NO. 16 NO. 17 (48)	144, 150 144, 150	-0.024 -0.026	0.024 0.024	-0.048 -0.042
NO. 18 NO. 19 (49)	166, 000 166, 000	-0.110 -0.100	0.000 0.000	-0.111 0.000

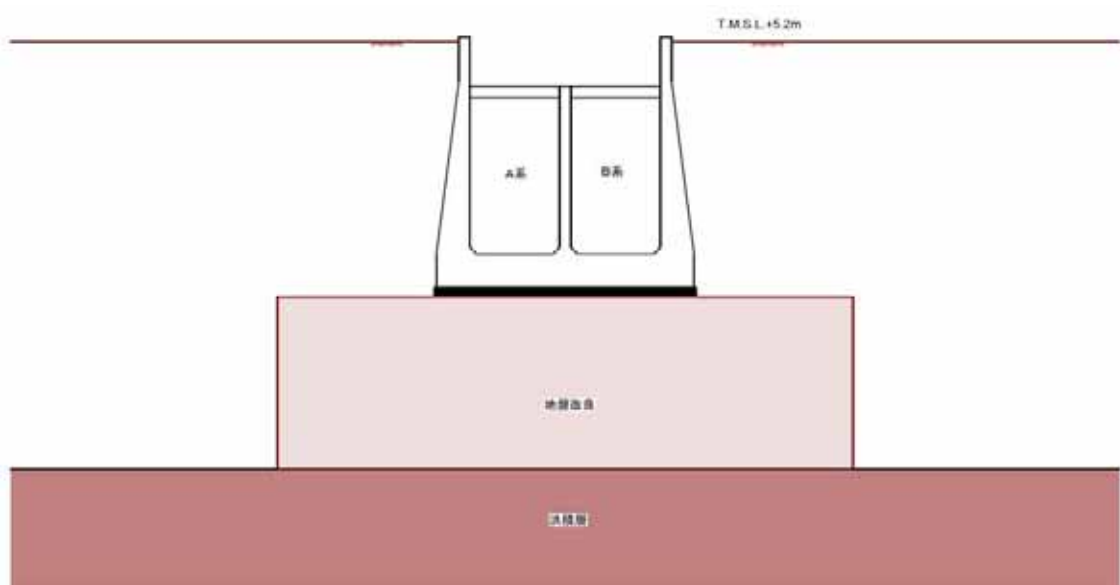
参図-1.16 B系水路敷高の鉛直変動量測定結果

c) 補修ならびに損傷原因の除去に関する計画

耐震ジョイントの変位に対する余裕を回復するために、耐震ジョイントを追設（二重化）する（参図-1.17 参照）。また、ソイルセメント置換箇所については、地震による体積圧縮に伴う沈下を防ぐことを目的として、地盤改良を実施する（参図-1.18）。



参図-1.17 耐震ジョイント二重化方法（概念図）



参図-1.18 除塵機室接合部の沈下対策方針（概念図）

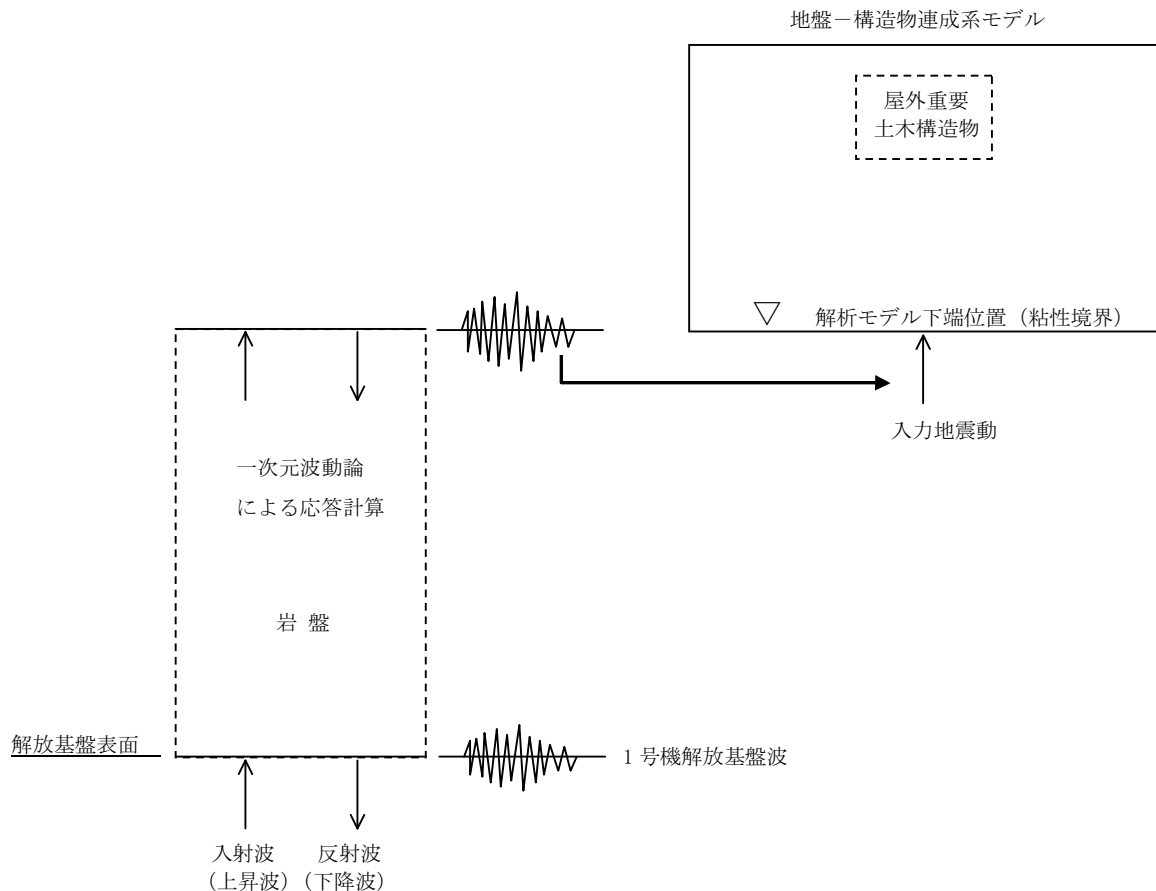
## 参考資料 2 1号機解放基盤波を用いた屋外重要土木構造物の耐震健全性評価

「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、1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、「1号機解放基盤波」という）を用いて1号機屋外重要土木構造物の耐震健全性評価を行う。

### (1) 検討方法

「1号機解放基盤波」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参図-2.1に示す。

その他の検討条件は、本編の「5. 耐震健全性評価」に示された評価手順、地震応答解析手法、評価基準と同一である。



参図-2.1 入力地震動の作成方法の概念図

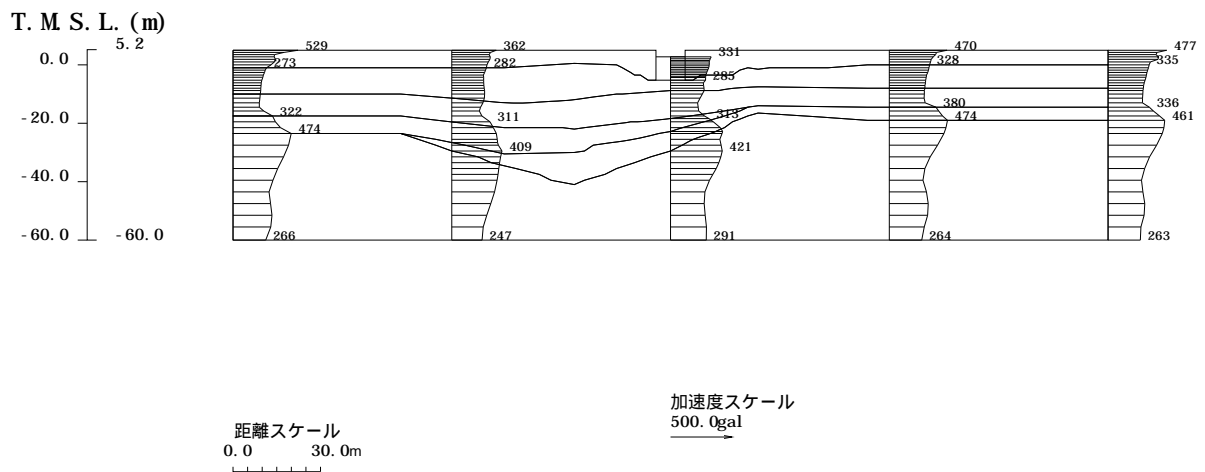


(2) 地震応答解析結果

a) 非常用取水路

地震応答解析から求められる最大加速度分布図を参図-2.2 に示す。

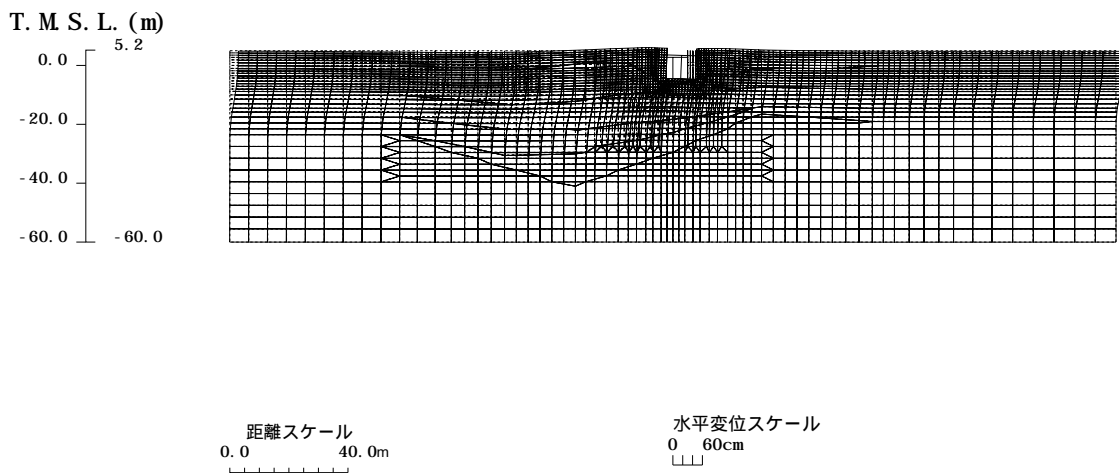
また、構造物頂底版間の最大相対変位および発生時刻を参表-2.1 に、最大相対変位発生時刻の変形図および加速度分布図を参図-2.3，参図-2.4 に示す。



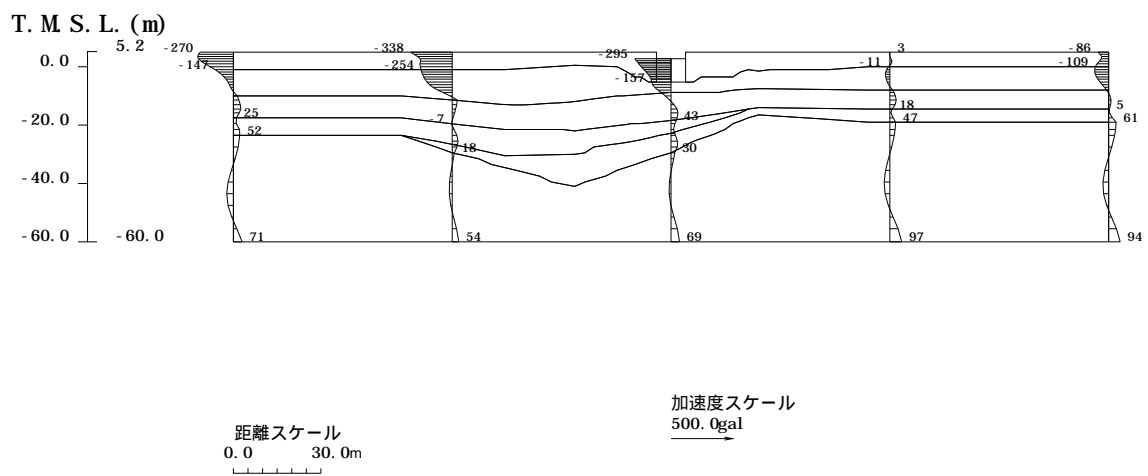
参図-2.2 非常用取水路 最大加速度分布図

参表-2.1 非常用取水路 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)
非常用取水路	5.2	4.64



参図-2.3 非常用取水路 変形図 (4.64 秒)

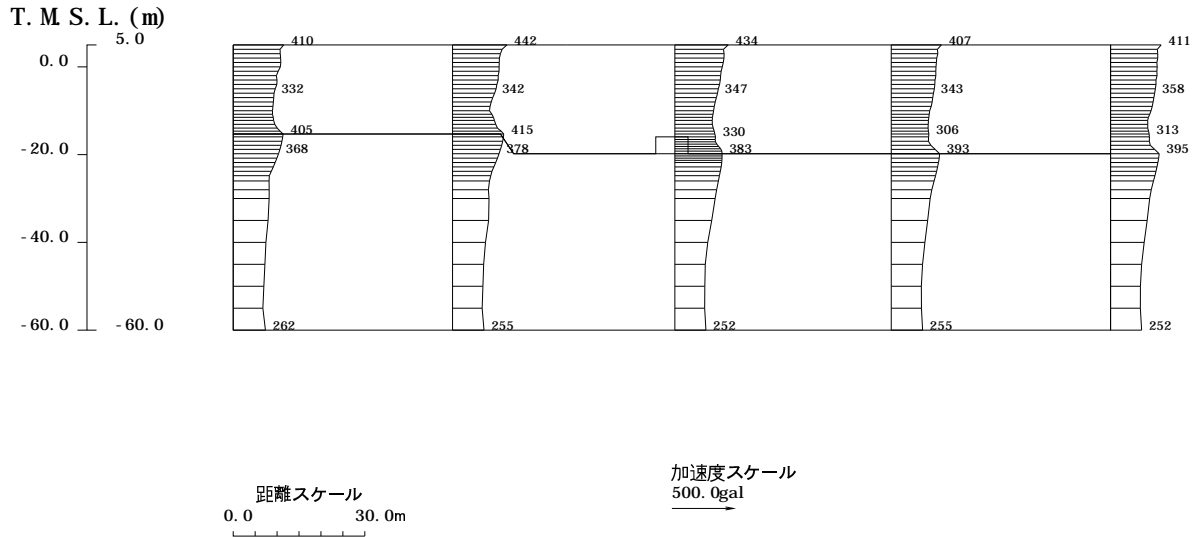


参図-2.4 非常用取水路 加速度分布図 (4.64 秒)

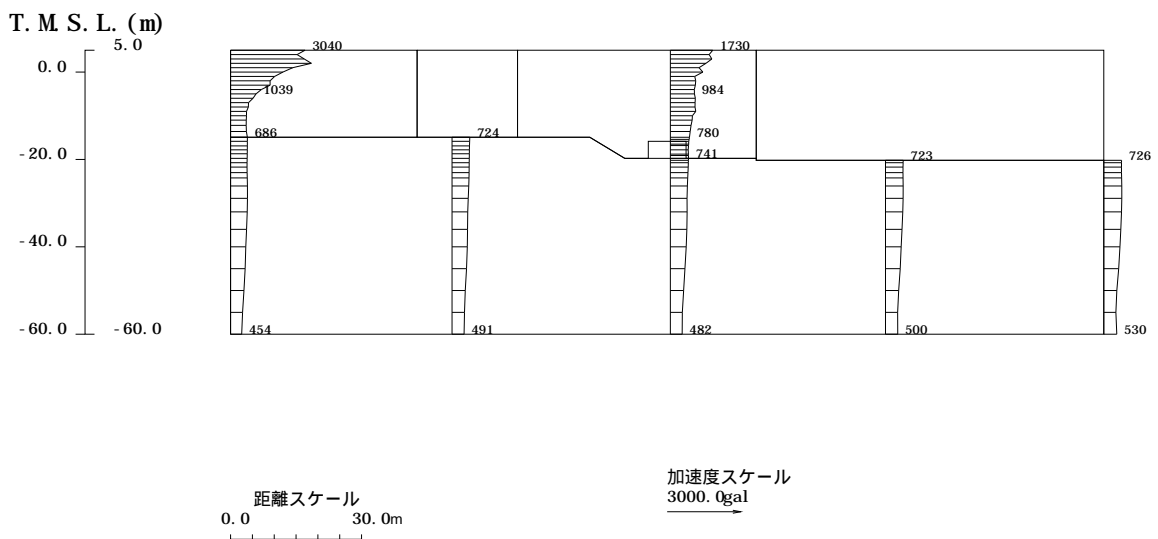
b) 原子炉補機冷却系配管ダクト

地震応答解析から求められる最大加速度分布図を参図-2.5, 参図-2.6 に示す。

また、構造物頂底版間の最大相対変位および発生時刻を参表-2.2 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参図-2.7～参図-2.10 に示す。



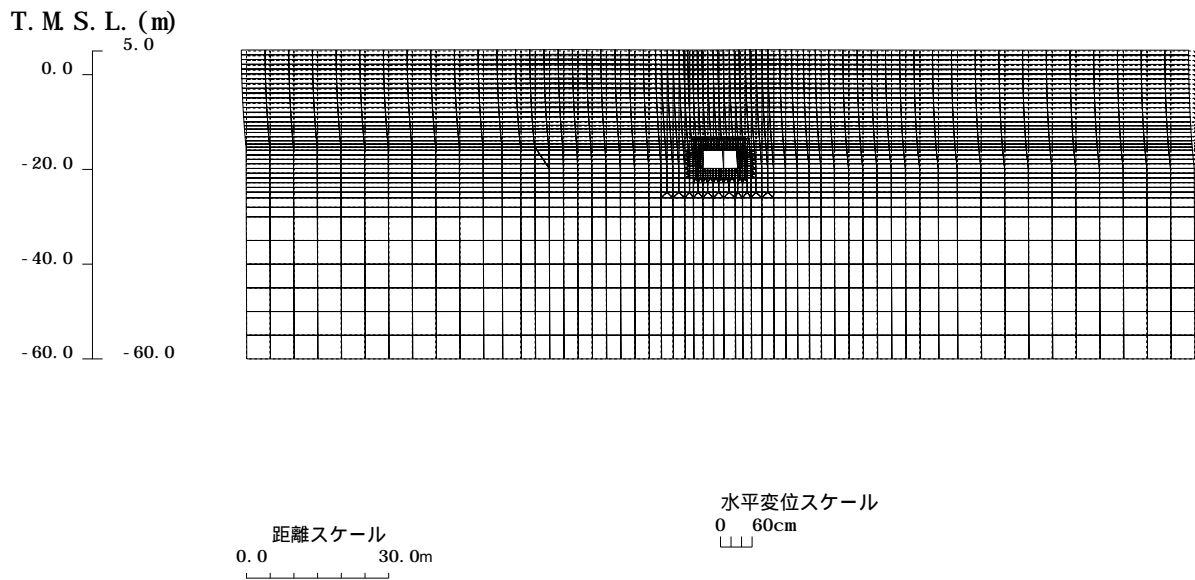
参図-2.5 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) 最大加速度分布図



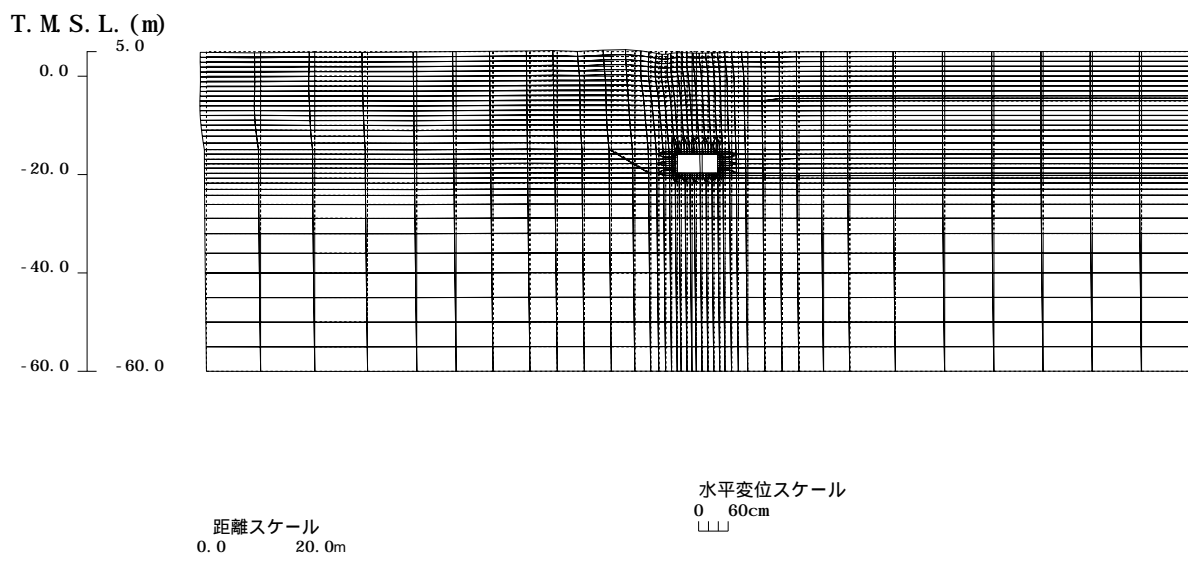
参図-2.6 原子炉補機冷却系配管ダクト (B系) 最大加速度分布図

参表-2.2 原子炉補機冷却系配管ダクト 頂底板間の最大相対変位

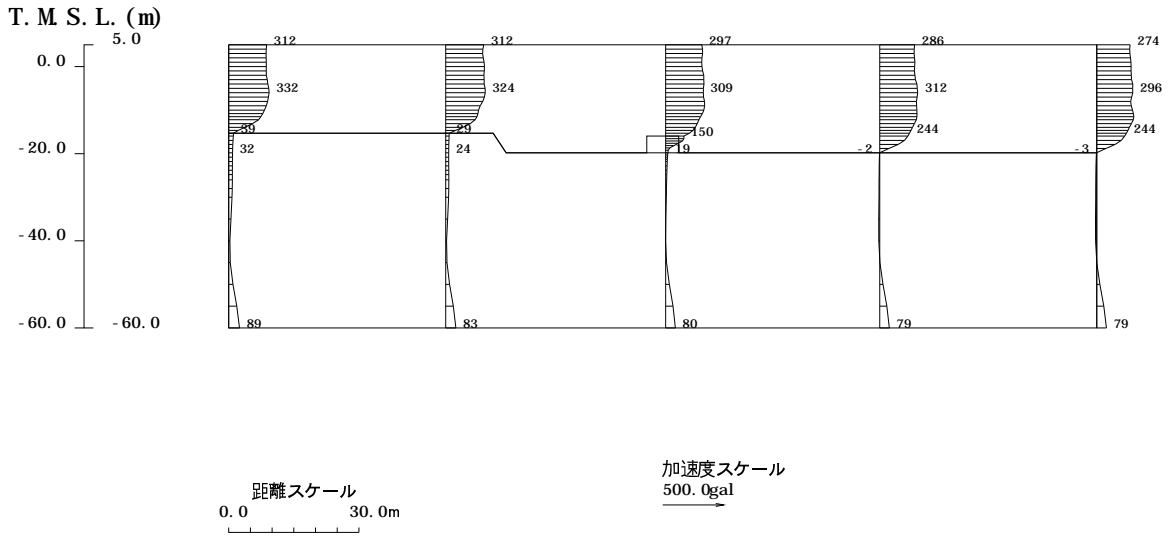
解析対象断面	最大相対変位 (mm)	時刻 (秒)
原子炉補機冷却系 配管ダクト (A系)	16.2	4.32
原子炉補機冷却系 配管ダクト (B系)	8.7	9.83



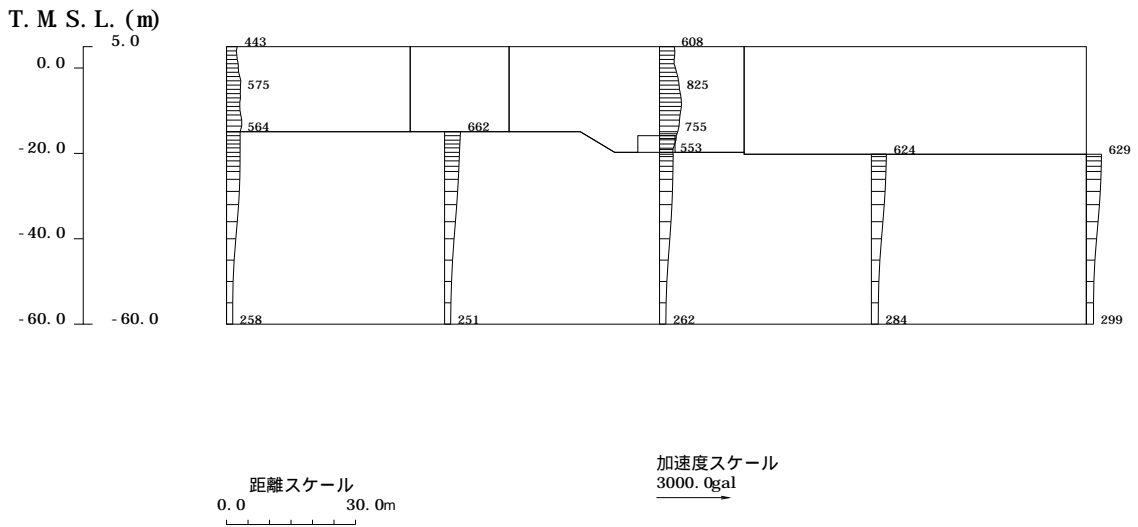
参図-2.7 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) 変形図 (4.32 秒)



参図-2.8 原子炉補機冷却系配管ダクト (B系) 変形図 (9.83 秒)



参図-2.9 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) 加速度分布図 (4.32 秒)

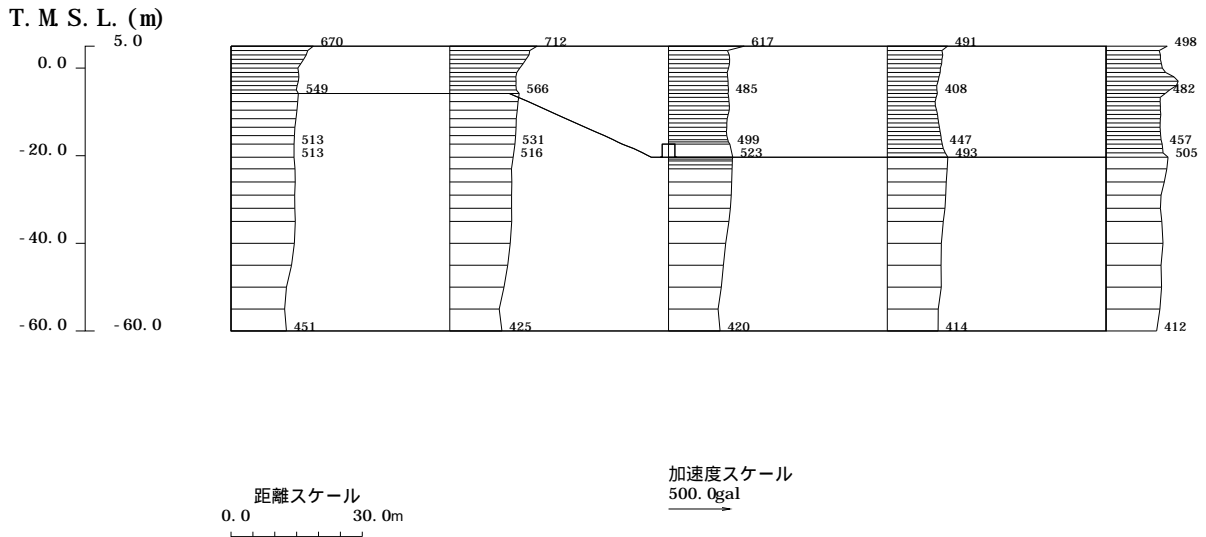


参図-2.10 原子炉補機冷却系配管ダクト (B系) 加速度分布図 (9.83 秒)

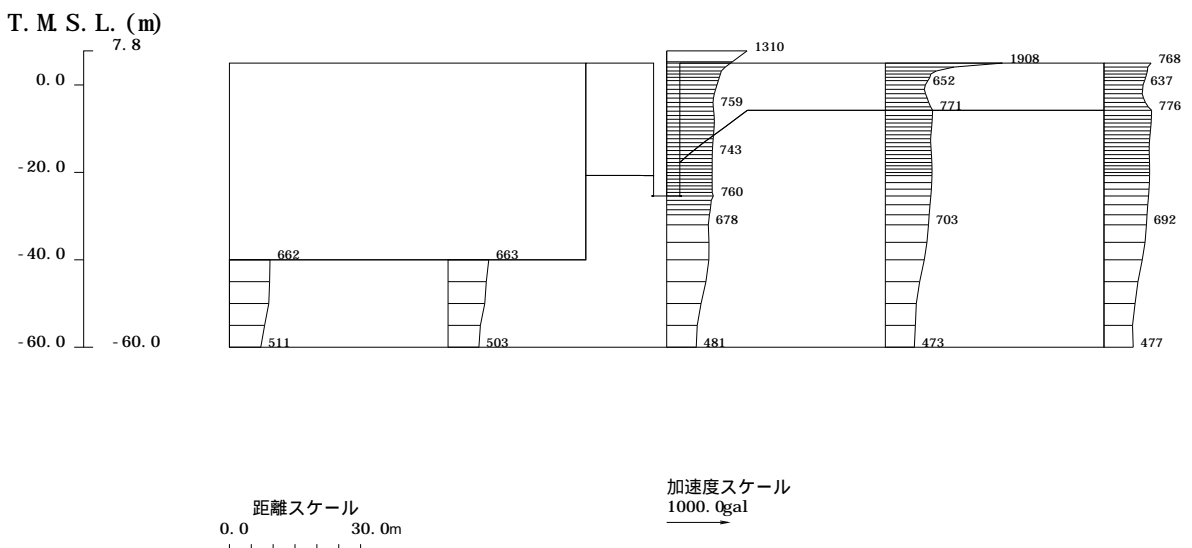
c) 非常用ガス処理系配管ダクト

地震応答解析から求められる最大加速度分布図を参図-2.11, 参図-2.12 に示す。

また、構造物頂底版間の最大相対変位および発生時刻を参表-2.3 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参図-2.13～参図-2.16 に示す。



参図-2.11 非常用ガス処理系配管ダクト（水平部） 最大加速度分布図

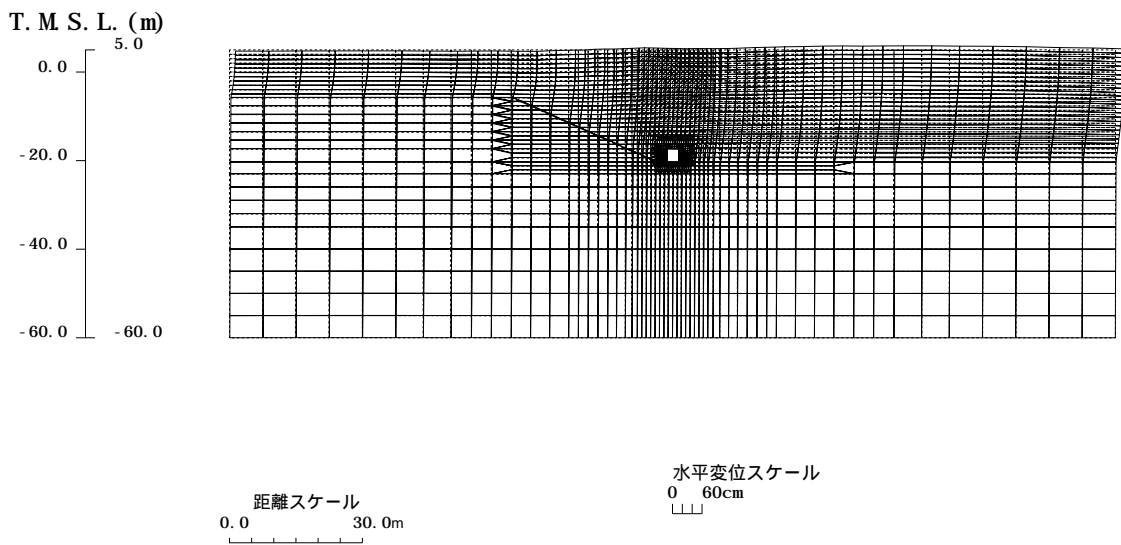


参図-2.12 非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部） 最大加速度分布図

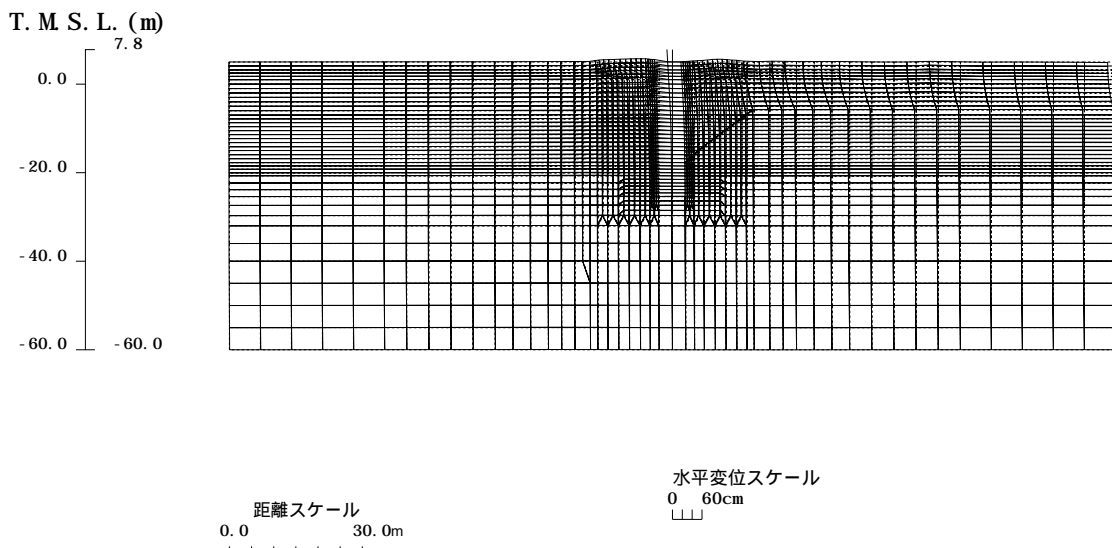
参表-2.3 非常用ガス処理系配管ダクト 頂底板間の最大相対変位

解析対象断面	最大相対変位 (mm)	時刻 (秒)
非常用ガス処理系配管ダクト (水平部)	8.6	9.90
非常用ガス処理系配管ダクト (鉛直部)	96.8 ※	9.89

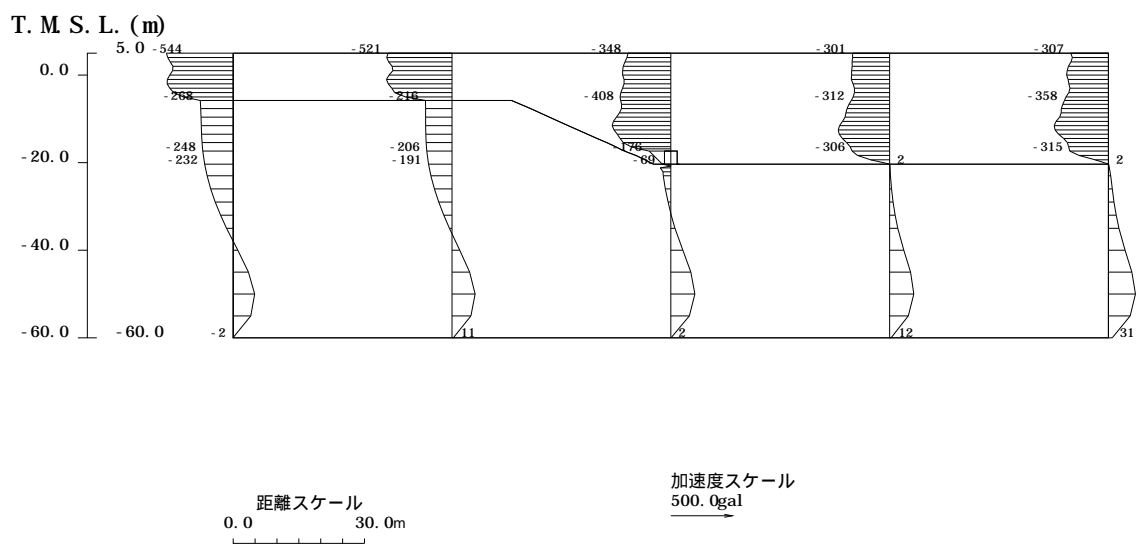
※非常用ガス処理系配管ダクト (鉛直部) は天端—基部間



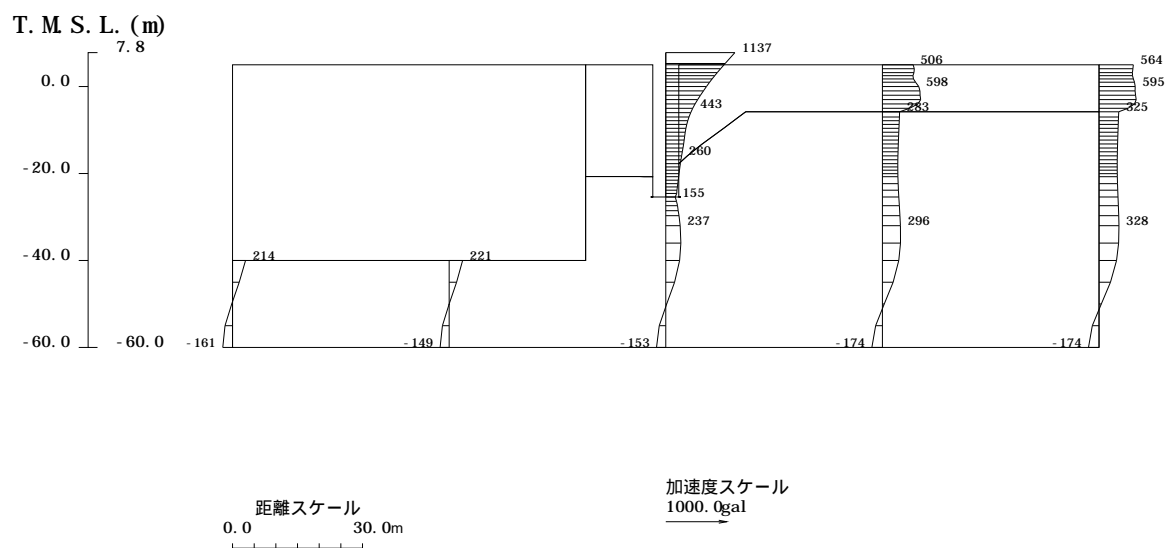
参図-2.13 非常用ガス処理系配管ダクト (水平部) 変形図 (9.90 秒)



参図-2.14 非常用ガス処理系配管ダクト (鉛直部) 変形図 (9.89 秒)



参図-2.15 非常用ガス処理系配管ダクト（水平部）加速度分布図（9.90秒）



参図-2.16 非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部）加速度分布図（9.89秒）



### (3) 耐震健全性評価結果

層間変形角および曲率による照査結果を参表-2.4、参表-2.5に示す。また、せん断力による照査結果を参表-2.6示す。層間変形角または曲率による照査の結果、評価位置において、照査用層間変形角または照査用曲率が限界層間変形角または限界曲率を下回ることを、また、せん断力による照査の結果、評価位置において照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認した。

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。

参表-2.4 層間変形角による照査結果

解析対象断面	評価位置	照査用 層間変形角 $R_d$	限界 層間変形角 $R_u$	$R_d/R_u$
非常用取水路	頂版～底版	0.0653/100	1/100	0.065
原子炉補機冷却系 配管ダクト (A系)	頂版～底版	0.421/100	1/100	0.42
原子炉補機冷却系 配管ダクト (B系)	頂版～底版	0.224/100	1/100	0.22
非常用ガス処理系 配管ダクト (水平部)	頂版～底版	0.287/100	1/100	0.29

参表-2.5 曲率による照査結果

解析対象断面	評価位置	照査用曲率 $\phi_d$ (1/m)	限界曲率 $\phi_u$ (1/m)	$\phi_d/\phi_u$
非常用ガス処理系 配管ダクト (鉛直部) 軸直交方向断面	円環部	0.000258	0.142	0.0018
	中空矩形部	0.000330	0.136	0.0024
非常用ガス処理系 配管ダクト (鉛直部) 軸方向断面	円環部	0.000429	0.0149	0.029
	中空矩形部	0.0000354	0.0255	0.0014

参表-2.6 せん断力による照査結果

解析対象断面	評価位置	照査用せん断力 $V_d$ (kN)	せん断耐力 $V_{yd}$ (kN)	$V_d/V_{yd}$
非常用取水路	底版	335	756	0.44
	側壁	361	974	0.37
	隔壁	55	540	0.10
原子炉補機冷却系 配管ダクト (A系)	頂版	784	2000	0.39
	底版	524	968	0.54
	側壁	667	2564	0.26
	隔壁	422	606	0.70
原子炉補機冷却系 配管ダクト (B系)	頂版	339	916	0.37
	底版	698	3201	0.22
	側壁	726	2165	0.34
	隔壁	314	566	0.55
非常用ガス処理系 配管ダクト (水平部)	頂版	279	425	0.66
	底版	201	394	0.51
	側壁	533	897	0.59
非常用ガス処理系 配管ダクト (鉛直部) 軸直交方向断面	円環部	100	363	0.28
	中空矩形部	526	1205	0.44
非常用ガス処理系 配管ダクト (鉛直部) 軸方向断面	円環部	5175	8670	0.60
	中空矩形部	3761	20373	0.18

(参考)

原子炉建屋基礎版における観測波を入力条件とした解析（本編5章参照）と、解放基盤波を入力条件とした解析（本参考資料）の比較を参表-2.7～参表-2.9に示す。

参表-2.7 層間変形角による照査結果の比較

解析対象断面	評価位置	$R_d/R_u$	
		基礎版観測波	解放基盤波
非常用取水路	頂版～底版	0.077	0.065
原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）	頂版～底版	0.53	0.42
原子炉補機冷却系配管ダクト（B系）	頂版～底版	0.28	0.22
非常用ガス処理系配管ダクト（水平部）	頂版～底版	0.36	0.29

参表-2.8 曲率による照査結果の比較

解析対象断面	評価位置	$\phi_d/\phi_u$	
		基礎版観測波	解放基盤波
非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部） 軸直交方向断面	円環部	0.0020	0.0018
	中空矩形部	0.0023	0.0024
非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部） 軸方向断面	円環部	0.040	0.029
	中空矩形部	0.0017	0.0014

参表-2.9 せん断力による評価結果の比較

解析対象断面	評価位置	$V_d/V_{yd}$	
		基礎版観測波	解放基盤波
非常用取水路	底版	0.42	0.44
	側壁	0.36	0.37
	隔壁	0.10	0.10
原子炉補機冷却系 配管ダクト (A系)	頂版	0.44	0.39
	底版	0.61	0.54
	側壁	0.28	0.26
	隔壁	0.70	0.70
原子炉補機冷却系 配管ダクト (B系)	頂版	0.36	0.37
	底版	0.39	0.22
	側壁	0.35	0.34
	隔壁	0.64	0.55
非常用ガス処理系 配管ダクト (水平部)	頂版	0.63	0.66
	底版	0.55	0.51
	側壁	0.64	0.59
非常用ガス処理系 配管ダクト (鉛直部) 軸直交方向断面	円環部	0.29	0.28
	中空矩形部	0.43	0.44
非常用ガス処理系 配管ダクト (鉛直部) 軸方向断面	円環部	0.79	0.60
	中空矩形部	0.22	0.18

### 参考資料 3 三次元地震応答解析による原子炉補機冷却系配管ダクトの耐震健全性評価について

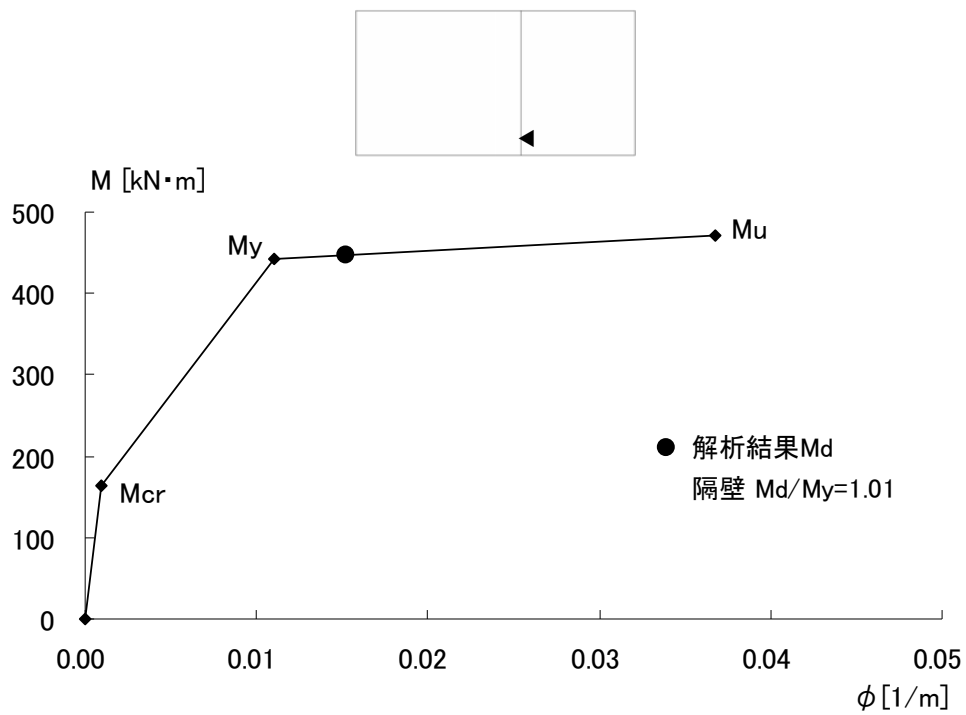
1号機原子炉補機冷却系配管ダクトについて、近接構造物による地盤変位抑制効果を考慮して、三次元地震応答解析を実施するとともに、曲げひび割れの発生の可能性について材料非線形解析による検討を実施し、それらの結果に基づいた耐震健全性評価を行う。

#### (1) 三次元地震応答解析による検討

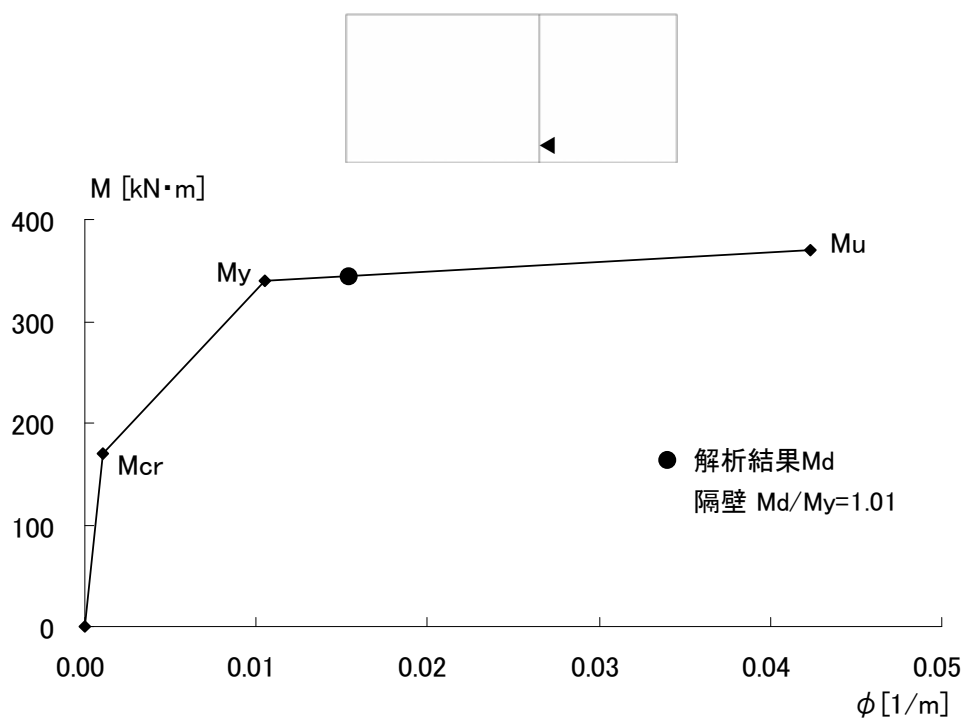
##### a) 検討目的

1号機原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）および同（B系）の二次元地震応答解析（本編5章参照）について、鉛直部材のうち発生曲げモーメント $M_d$ と降伏曲げモーメント $M_y$ の比 $M_d/M_y$ が最も大きい部位における最大応答値を $M-\phi$ スケルトン上にプロットした結果を参図-3.1 および参図-3.2 に示す。図中の $M_{cr}$ はひび割れ発生曲げモーメントを、 $M_u$ は最大曲げモーメントをそれぞれ表している。このように、二次元解析においてはA系、B系ともに鉄筋降伏に至る解析結果となる。

しかしながら、1号機原子炉補機冷却系配管ダクトはタービン建屋や海水機器建屋等に囲まれた狭隘な場所に設置されており、実際にはこれら近接構造物により周辺地盤の変位が抑制されているものと考えられる。そこで、この効果を直接的に考慮するために、二次元地震応答解析に代えて、三次元地震応答解析を実施する。



参図-3.1 原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）M- $\phi$ スケルトン



参図-3.2 原子炉補機冷却系配管ダクト（B系）M- $\phi$ スケルトン

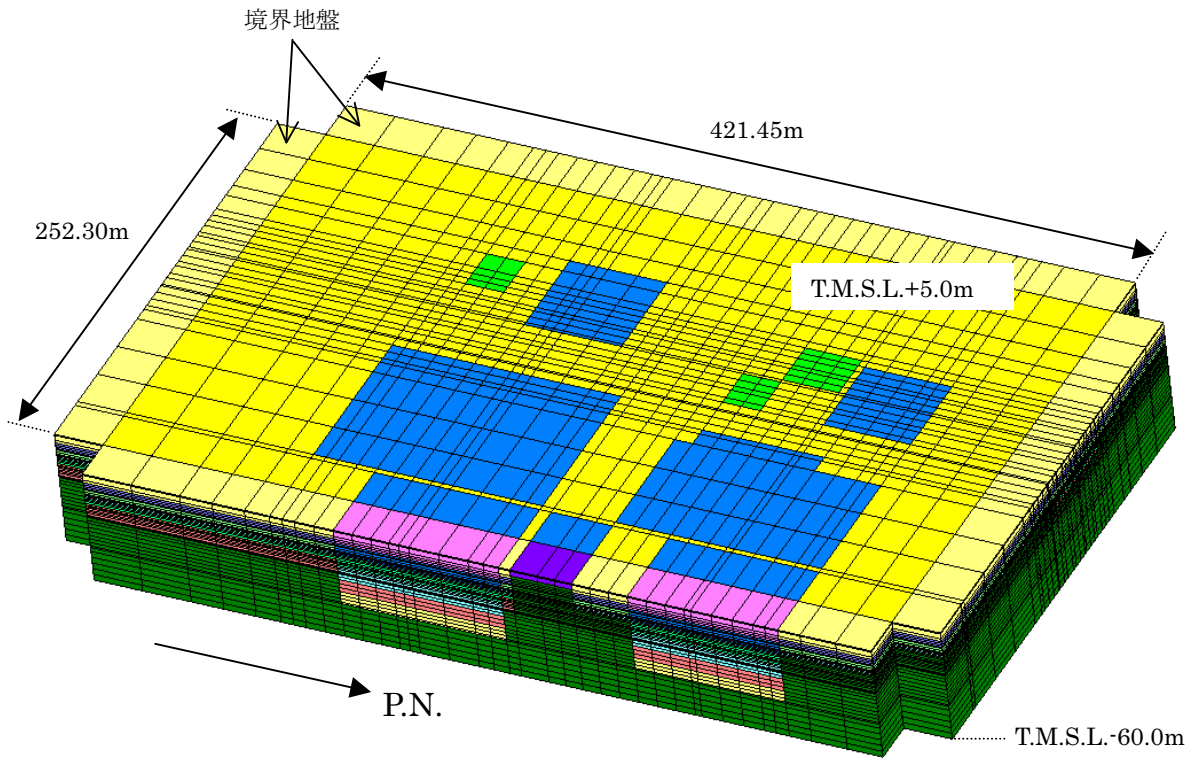
## b) 検討方法

本編に示された評価手順、評価基準を基本とし、二次元地震応答解析にかえて三次元地震応答解析を適用する。

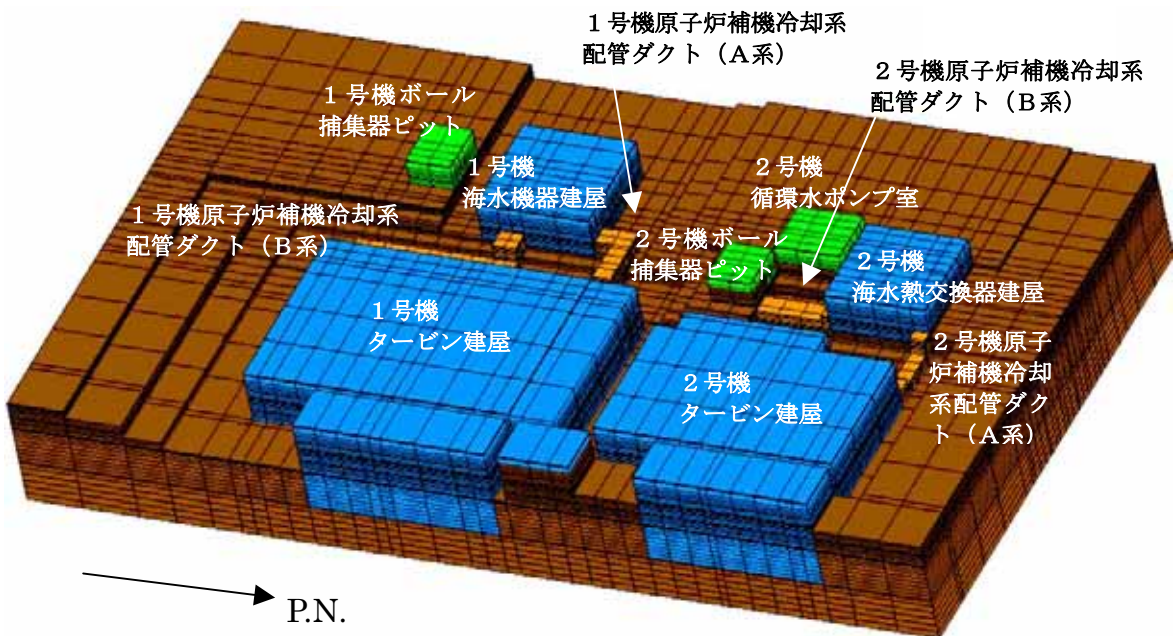
三次元地震応答解析手法の概要は次のとおりである。

原子炉補機冷却系配管ダクト、および、タービン建屋、海水機器建屋などの周辺構造物を三次元要素でモデル化し、三方向同時入力の地震応答解析を実施する。解析モデルを参図-3.3～参図-3.5に示す。

解析モデルにおいては地盤、構造物ともソリッド要素でモデル化する。検討対象構造物である原子炉補機冷却系配管ダクトは、軸直交方向のせん断剛性を有する等価剛性モデルとする。また、タービン建屋、原子炉建屋等のその他の構造物についてはN-S方向とE-W方向の平均せん断剛性による等価剛性モデルとする。地盤は非線形性を考慮する。1号機の他に、近接する2号機の構造物についても同様にモデル化し、境界条件は下方、側方とも粘性境界とする。

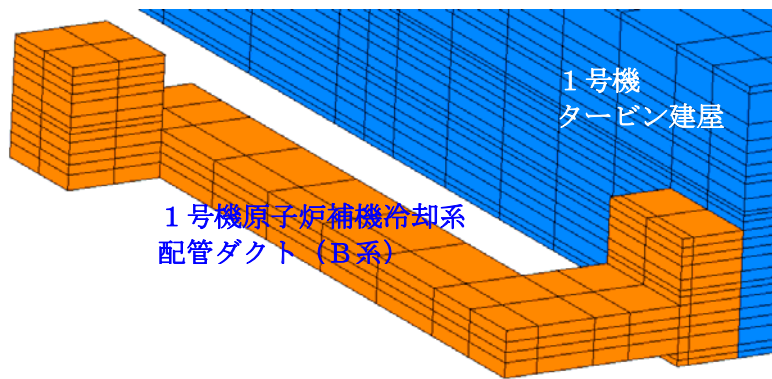
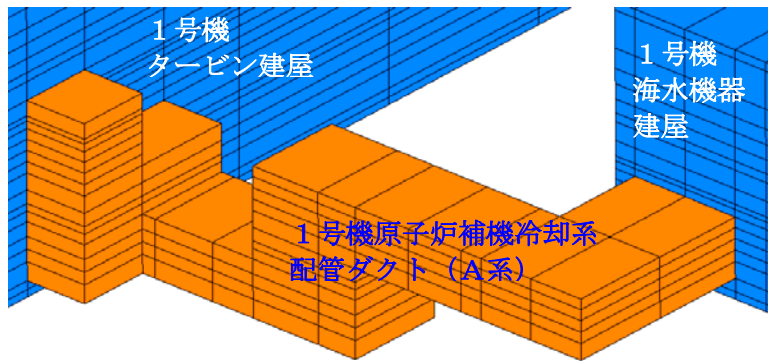


参図-3.3 解析モデル (全体図)



参図-3.4 解析モデル (構造物と西山層)





参図-3.5 検討対象構造物のモデル化

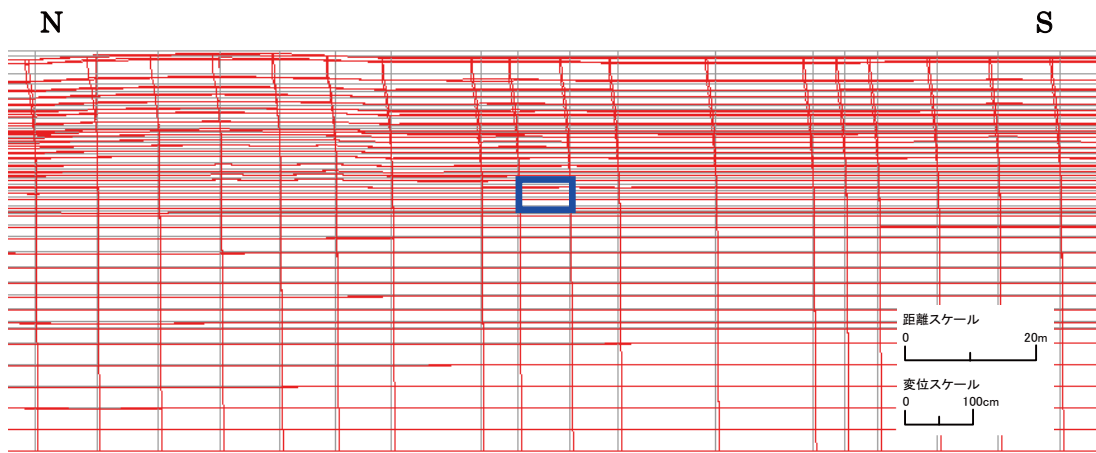
c) 地震応答解析結果

三次元地震応答解析による原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）、同（B系）の構造物頂底版間の最大層間変形角および発生時刻を、二次元地震応答解析の結果と比較して参表-3.1 に示す。三次元解析による層間変形角は二次元解析よりも小さい。

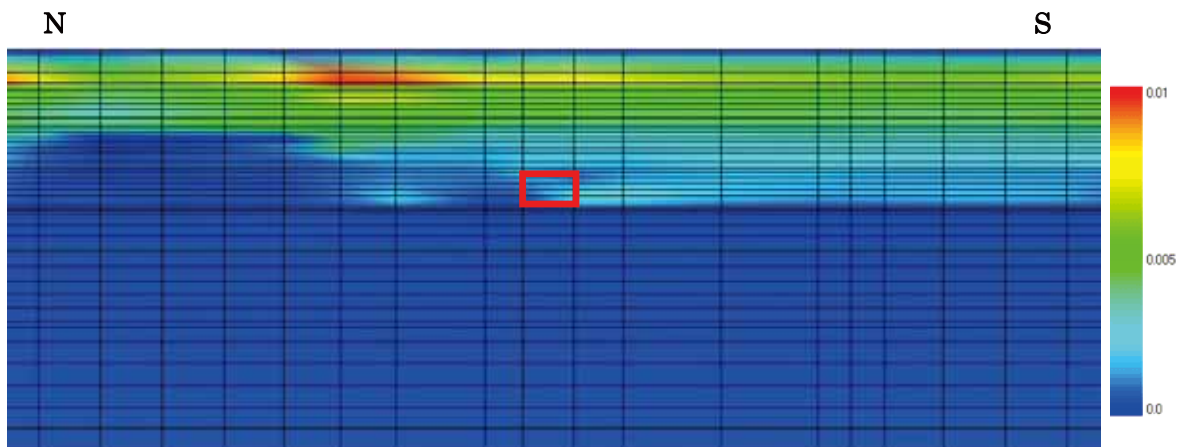
原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）の層間変形角最大時の変形図およびせん断ひずみ分布図を参図-3.6、参図-3.7 に、同（B系）の層間変形角最大時の変形図およびせん断ひずみ分布図を参図-3.8、参図-3.9 にそれぞれ示す。

参表-3.1 最大層間変形角

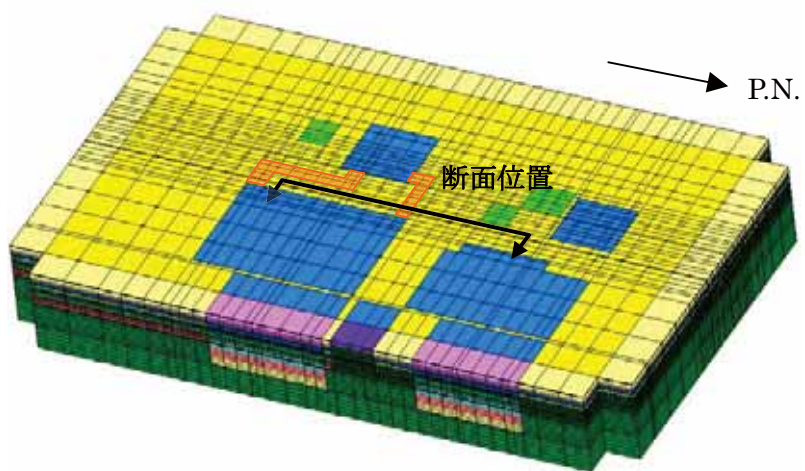
	三次元地震応答解析		二次元地震応答解析	
	最大層間変形角	時刻(秒)	最大層間変形角	時刻(秒)
原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）	0.194/100	13.87	0.530/100	8.96
原子炉補機冷却系配管ダクト（B系）	0.251/100	14.48	0.282/100	14.47



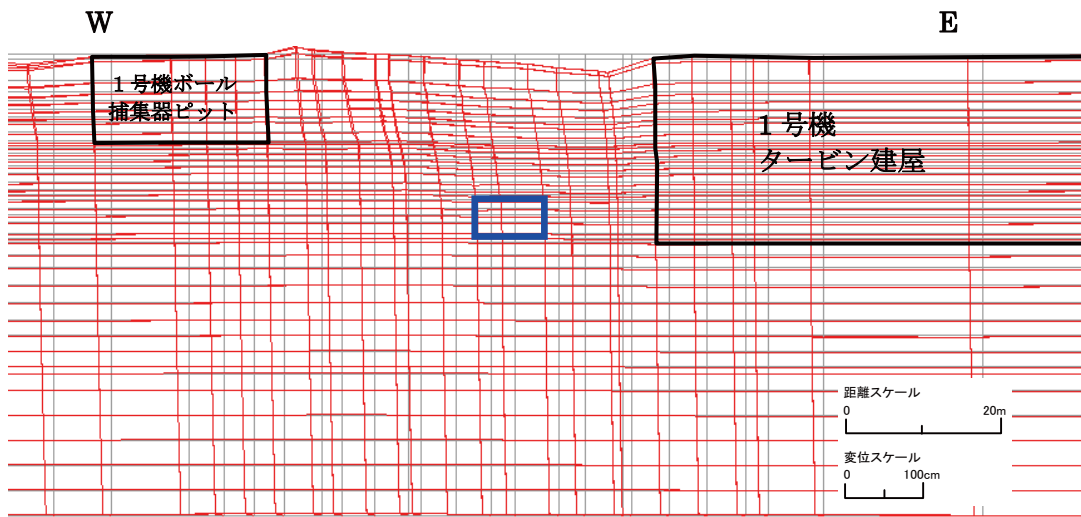
参図-3.6 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) 変形図 (13.87 秒)



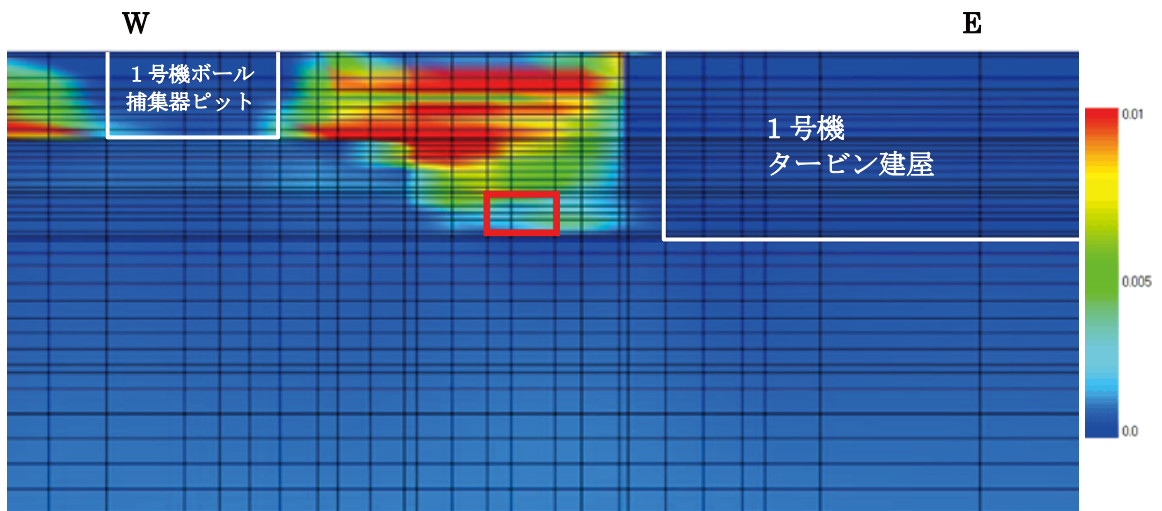
参図-3.7 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) せん断ひずみ分布図 (13.87 秒)



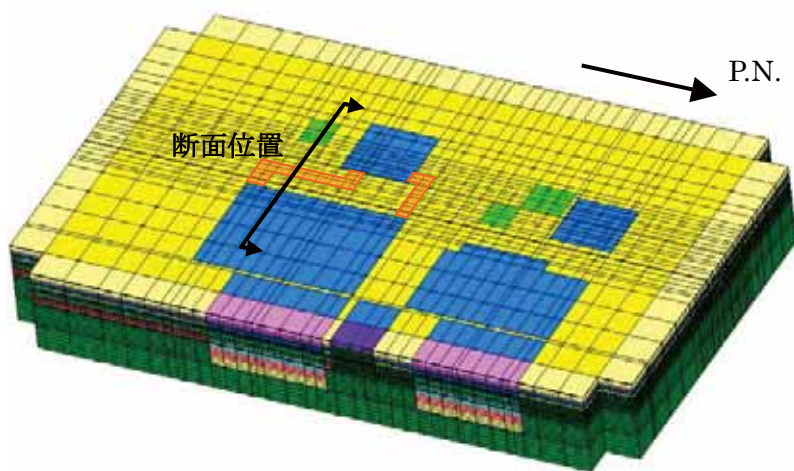
(断面位置)



参図-3.8 原子炉補機冷却系配管ダクト (B系) 変形図 (14.48 秒)



参図-3.9 原子炉補機冷却系配管ダクト (B系) せん断ひずみ分布図 (14.48 秒)



(断面位置)

## (2) 曲げひび割れ発生の可能性に関する検討

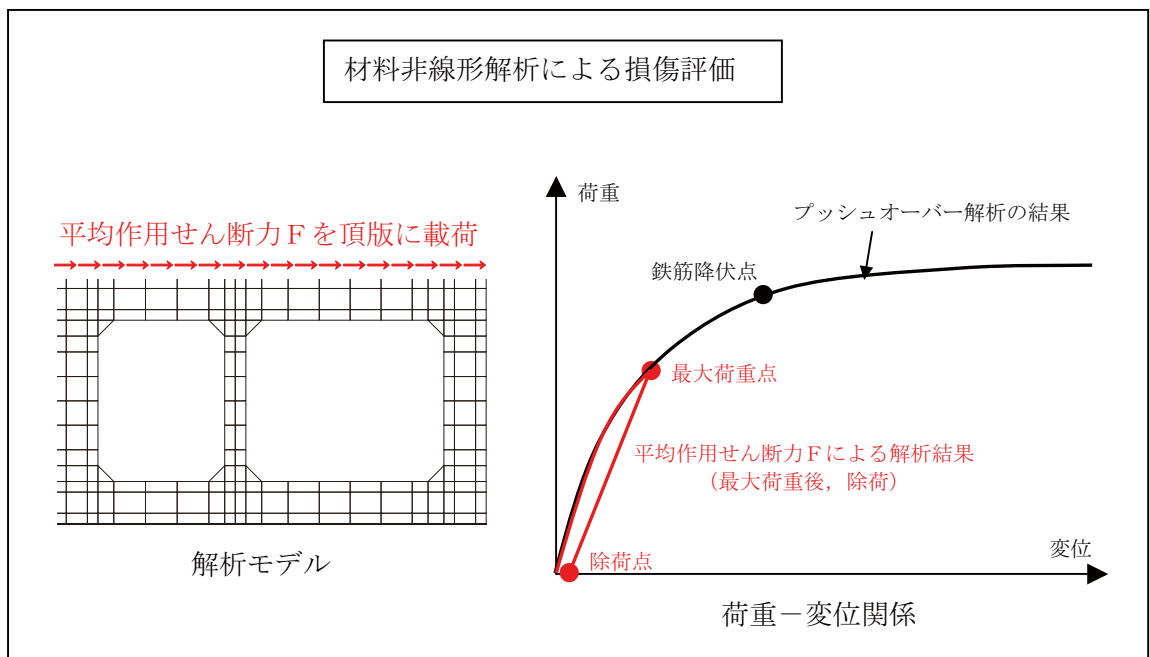
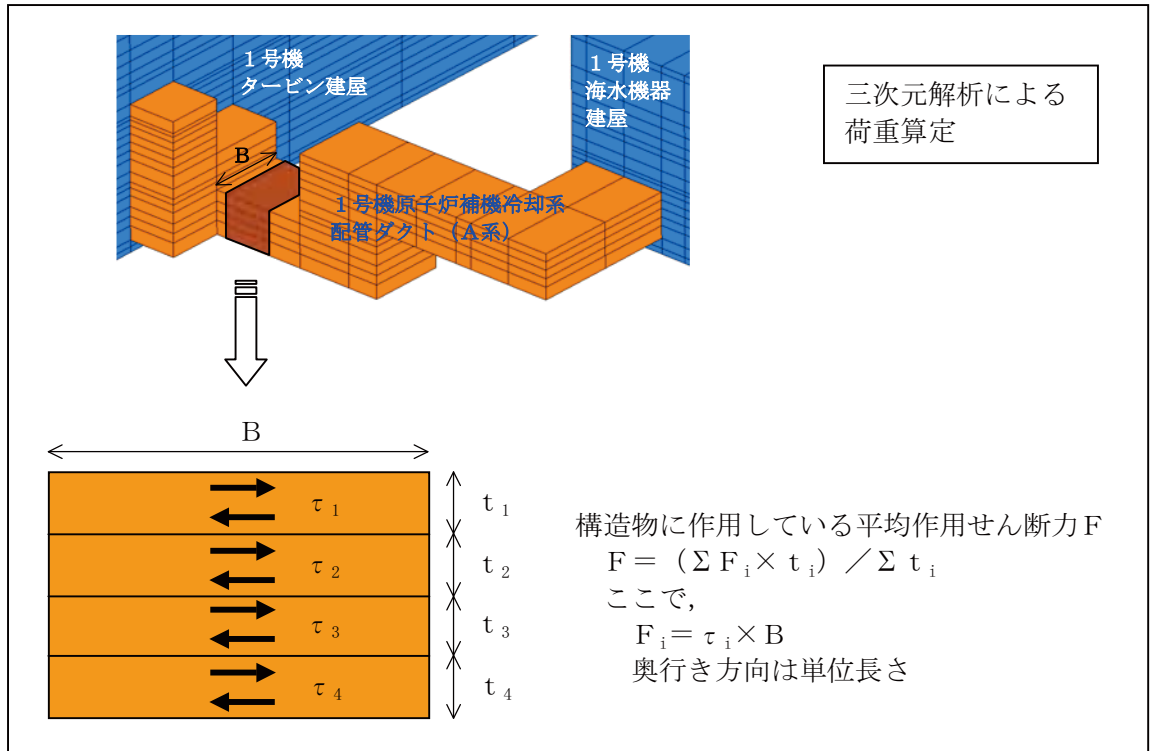
1号機原子炉補機冷却系配管ダクトにおける曲げひび割れ発生の可能性について、材料非線形解析を用いて詳細な検討を行う。

### a) 検討方法

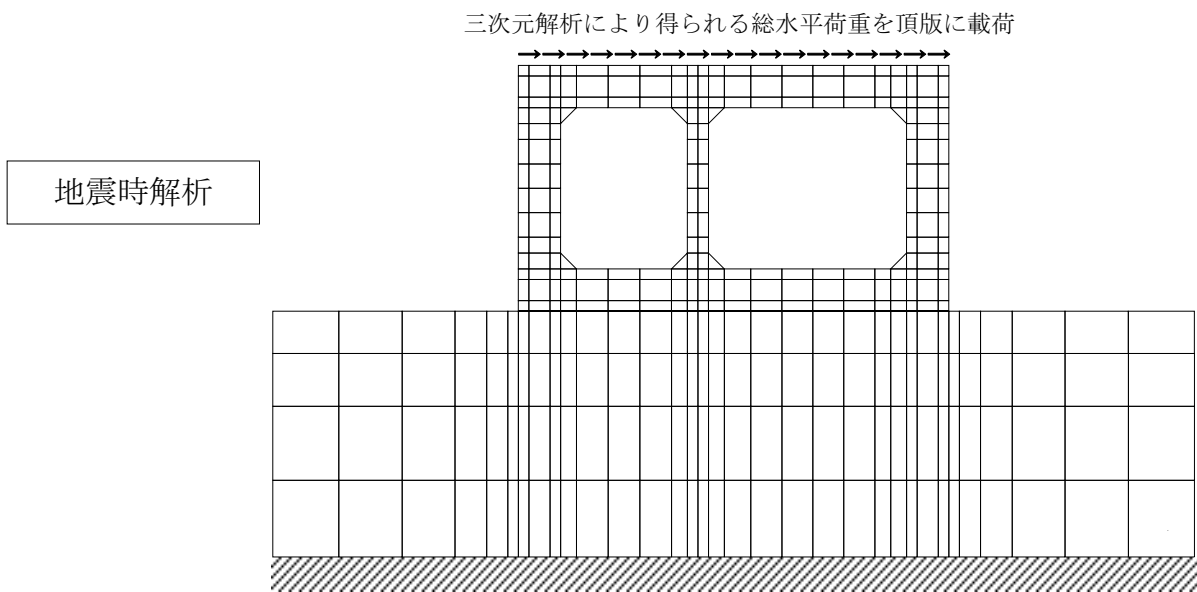
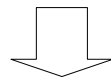
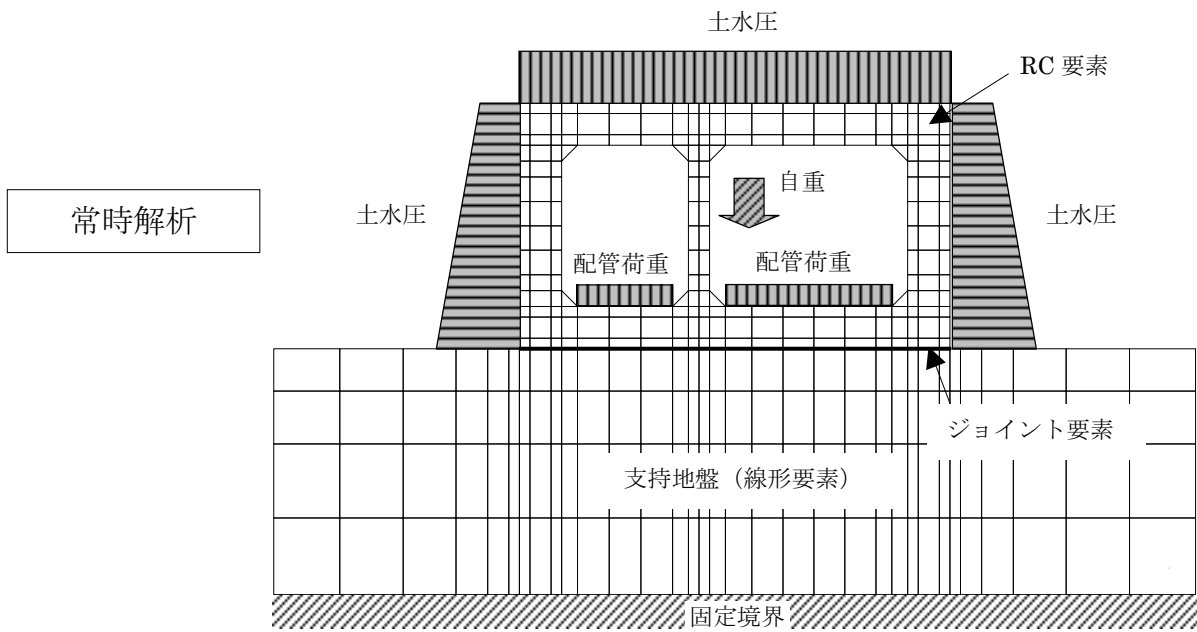
三次元地震応答解析により求めた水平荷重を頂版に載荷して、二次元構造物単体モデルの材料非線形解析を実施し、構造物の損傷状態を確認する。

「(1) 三次元地震応答解析による検討」に述べたとおり、三次元解析モデルにおいて原子炉補機冷却系配管ダクトは、軸直交断面方向のせん断剛性を有するソリッド要素でモデル化している。そこで、まず、層間変形角最大時のソリッド要素の発生せん断応力から、構造物に作用している水平荷重（平均作用せん断力）を算出する。次に、材料非線形を考慮した二次元構造物単体モデルの頂版に平均作用せん断力を載荷する解析を行い、要素平均ひずみから最大ひび割れ幅（最大荷重時）と残留ひび割れ幅（除荷時）を求める。

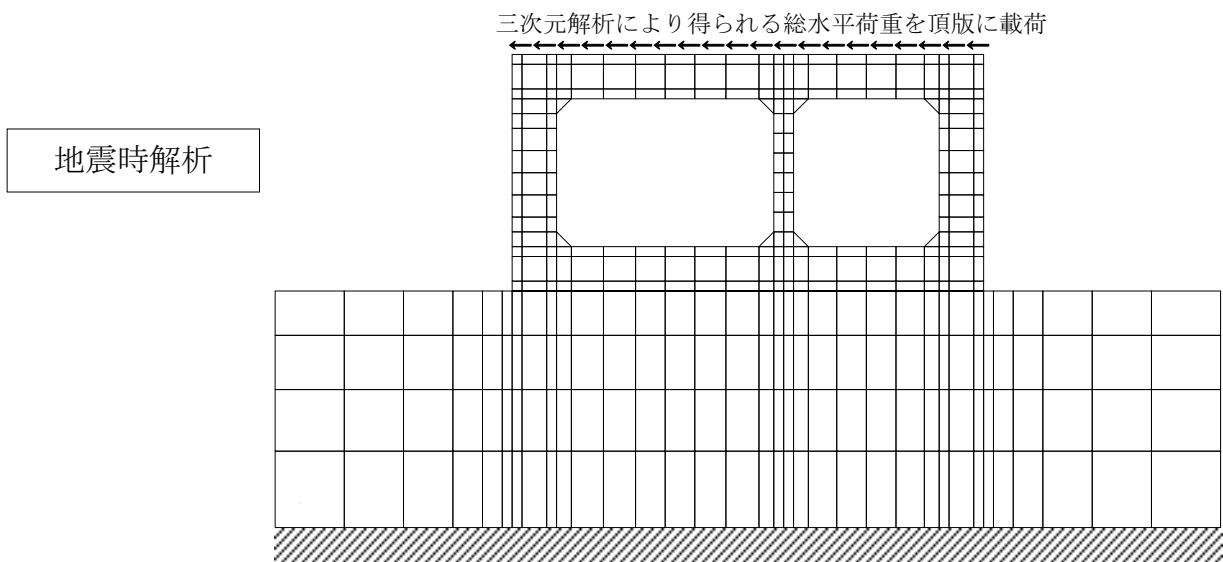
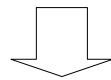
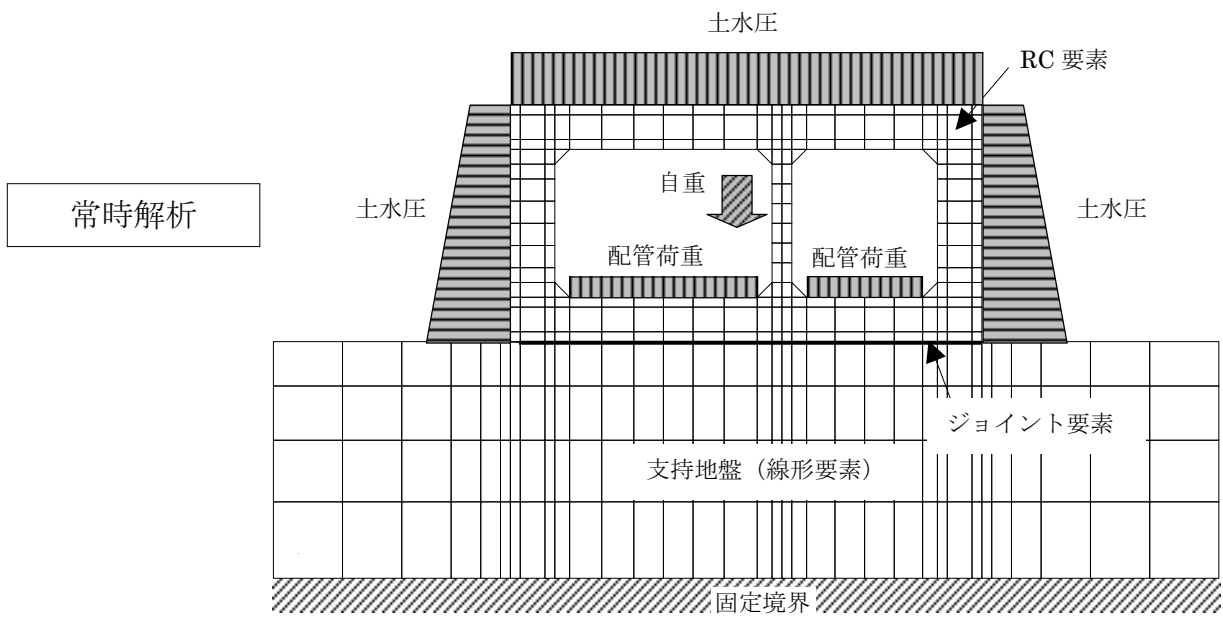
検討方法の概念を参図-3.10 に、材料非線形解析に用いる構造物単体モデルおよび荷重載荷方法を参図-3.11 および参図-3.12 に、層間変形角最大時の平均作用せん断力を参表-3.2 にそれぞれ示す。



参図-3.10 検討方法の概念



参図-3.11 材料非線形解析に用いる構造物単体モデル  
(原子炉補機冷却系配管ダクト (A系))



参図-3.12 材料非線形解析に用いる構造物単体モデル  
(原子炉補機冷却系配管ダクト (B系))



参表-3.2 層間変形角最大時の平均作用せん断力

	平均作用せん断力 (kN)	時刻 (秒)
原子炉補機冷却系 配管ダクト (A系)	954	13.87
原子炉補機冷却系 配管ダクト (B系)	1460	14.48

## b) 材料非線形解析結果

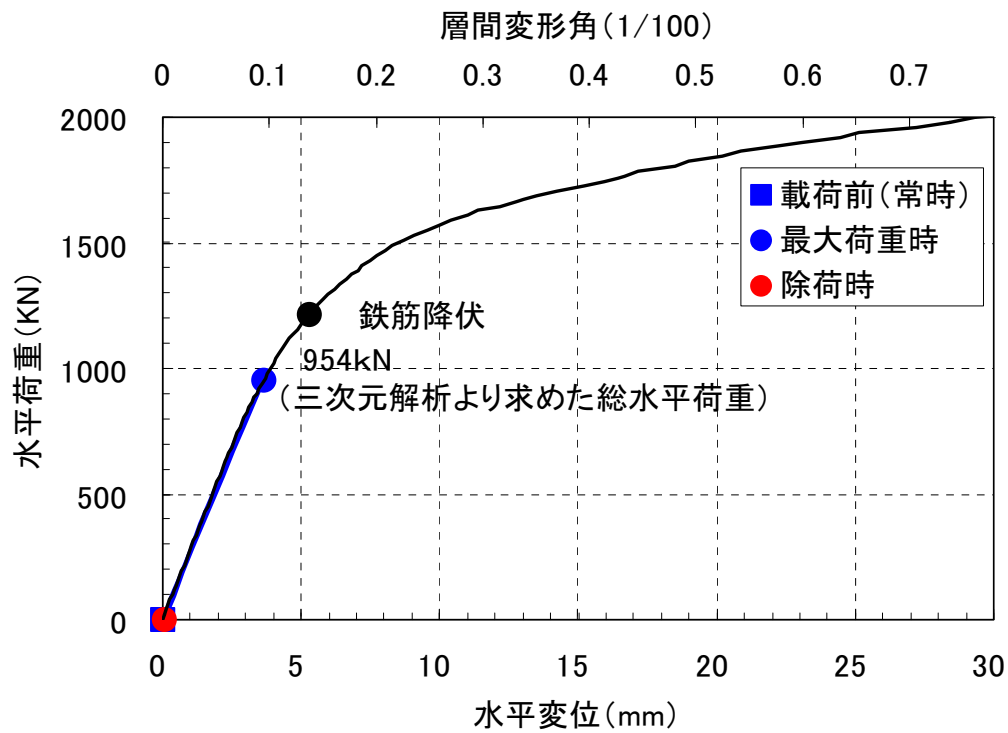
構造物単体モデルの材料非線形解析においては、常時荷重を載荷した後、三次元地震応答解析により求めた平均作用せん断力を構造物単体モデルの頂版各節点に一樣に分布させて一方向に漸増載荷し、最大荷重に達してから除荷した。

荷重－変位関係を参図-3.13、参図-3.14に、最大荷重載荷時および除荷後のひび割れ図を参図-3.15、参図-3.16に示す。原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）、同（B系）とも、鉄筋降伏には至っていない。

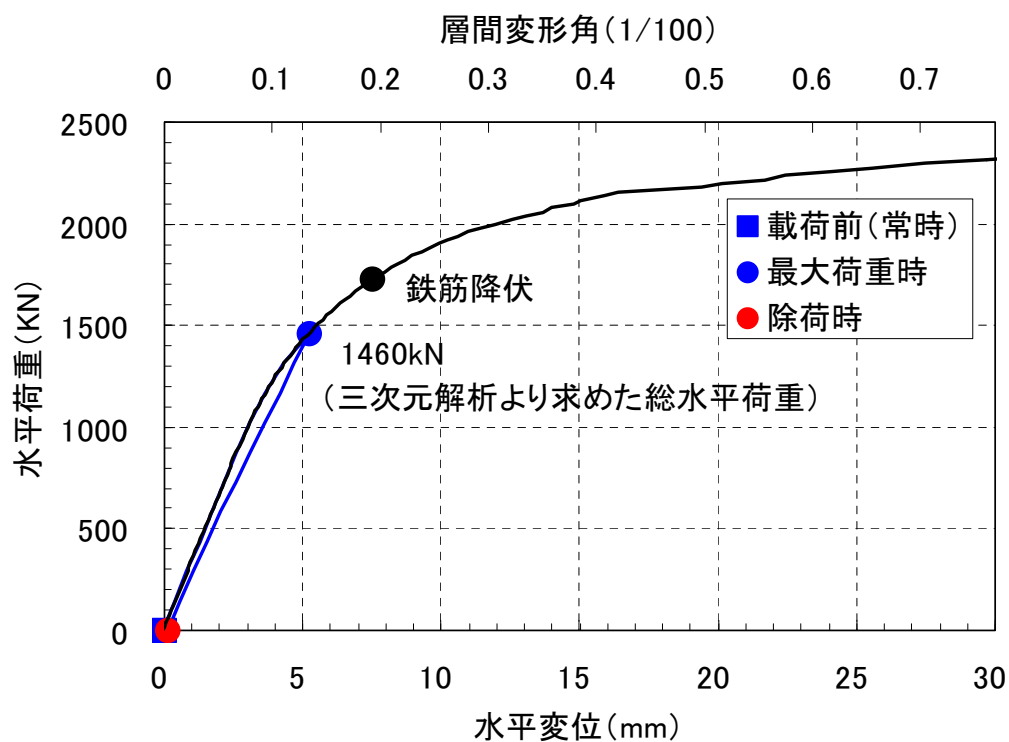
原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）の隔壁では最大荷重時に最大  $53\mu$  の要素平均ひずみが生じ、コンクリート標準示方書（設計編、土木学会、2007）に示された曲げひび割れ幅算定式に基づきひび割れ幅を求めると、最大  $0.03\text{mm}$  程度となる。同様に、同（B系）の隔壁では最大ひずみ  $198\mu$ 、最大ひび割れ幅  $0.11\text{mm}$  となる。

1号機原子炉補機冷却系配管ダクトの場合、土かぶりが約  $20\text{m}$  あり、鉛直部材に高い軸圧縮応力（ $3.7\sim 4.6\text{N/mm}^2$  程度）が作用しているため、除荷後の要素平均ひずみは圧縮となり、引張ひずみは発生しない。

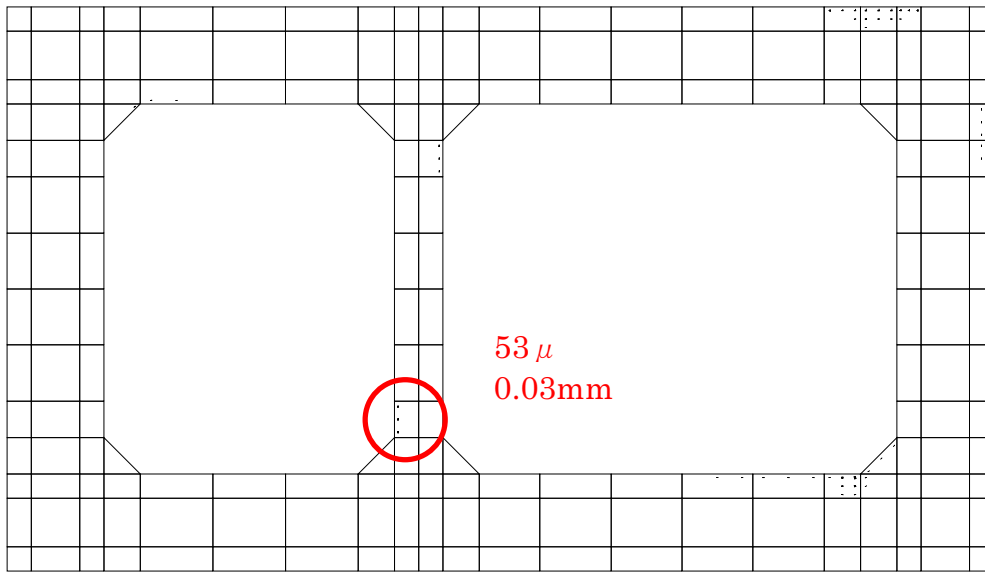
隔壁下端部のRC要素の要素平均応力－ひずみ関係を参図-3.17、参図-3.18に示す。除荷後の要素平均ひずみは圧縮ひずみ状態になっている。



参図-3.13 荷重-変位関係 (原子炉補機冷却系配管ダクト (A系))

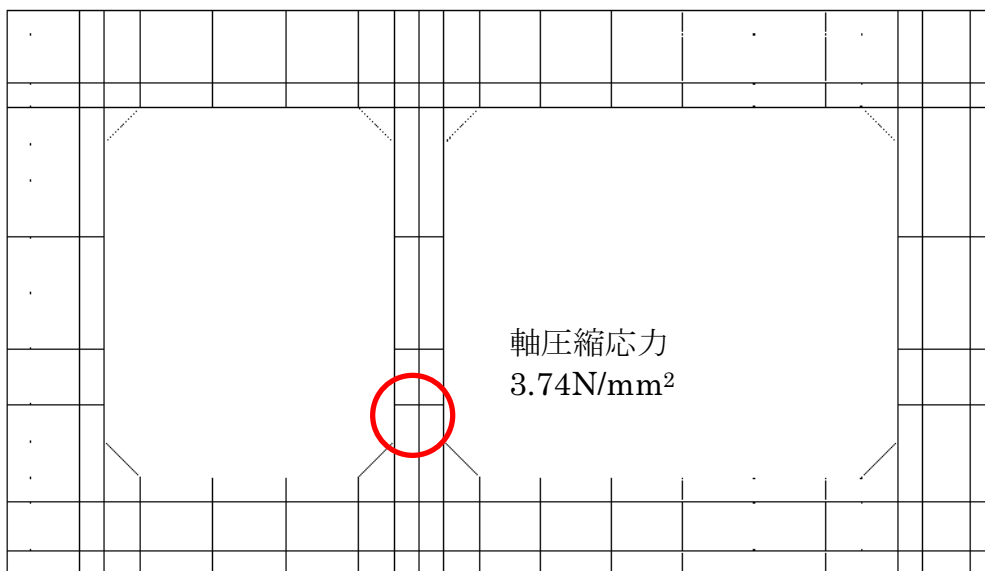


参図-3.14 荷重-変位関係 (原子炉補機冷却系配管ダクト (B系))



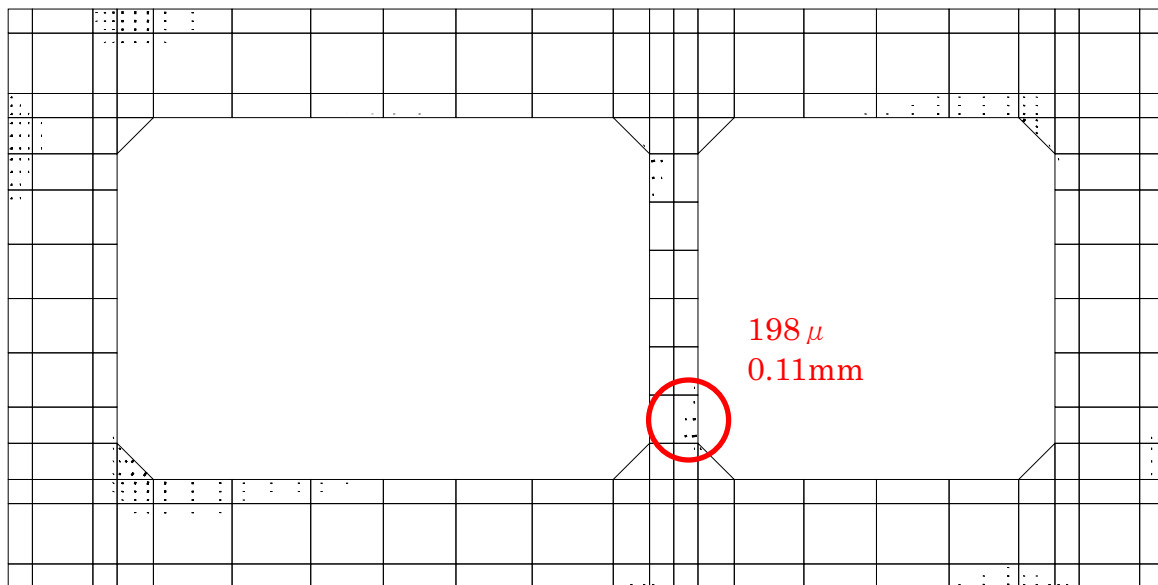
(a) 最大荷重時

残留ひずみは圧縮  
(残留ひび割れなし)



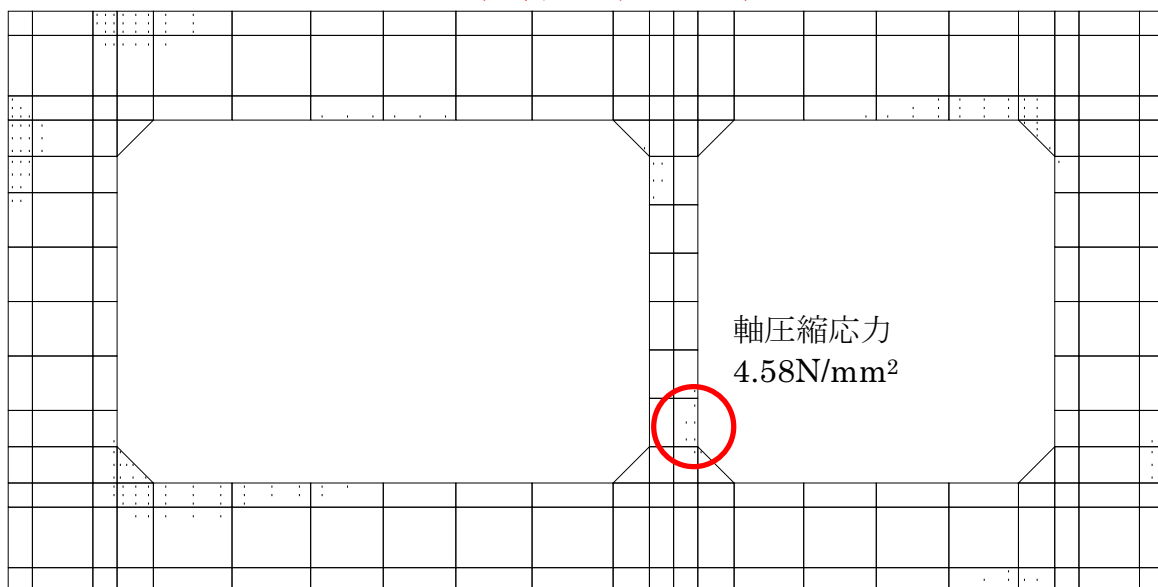
(b) 除荷時

参図-3.15 ひび割れ図 (原子炉補機冷却系配管ダクト (A系))



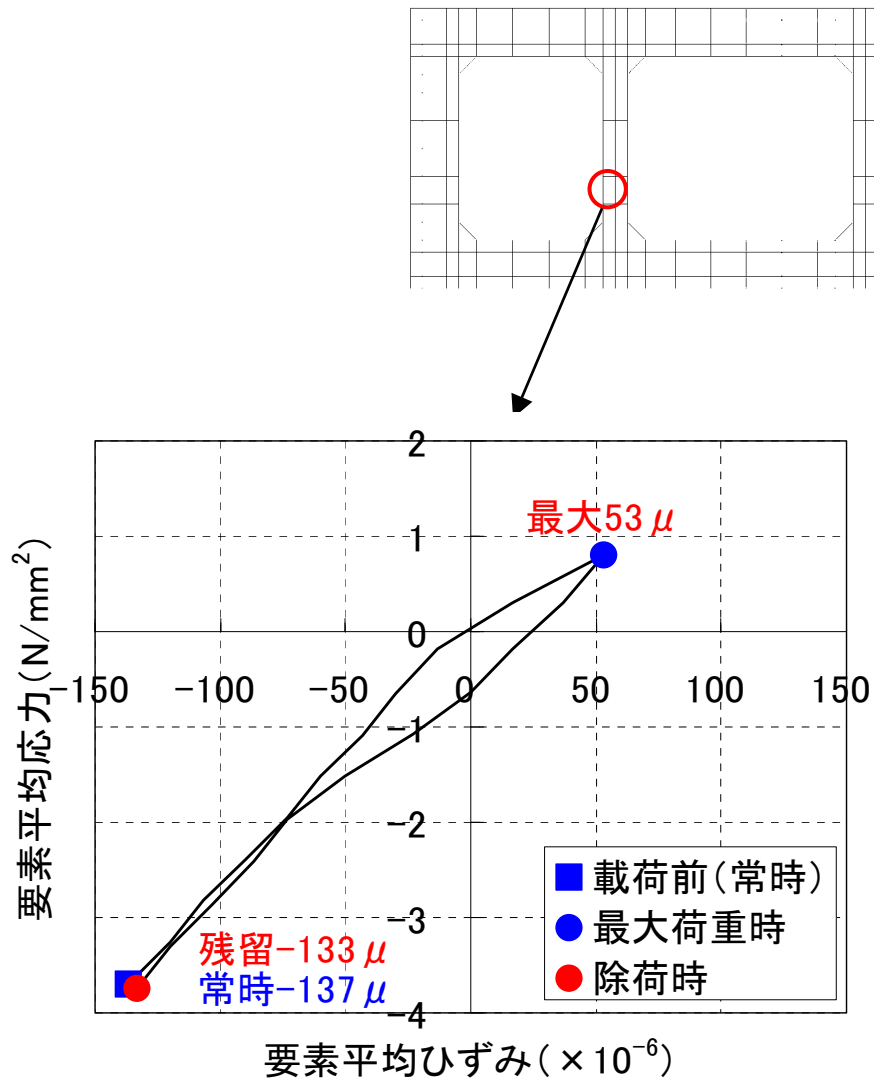
(a) 最大荷重時

残留ひずみは圧縮  
(残留ひび割れなし)

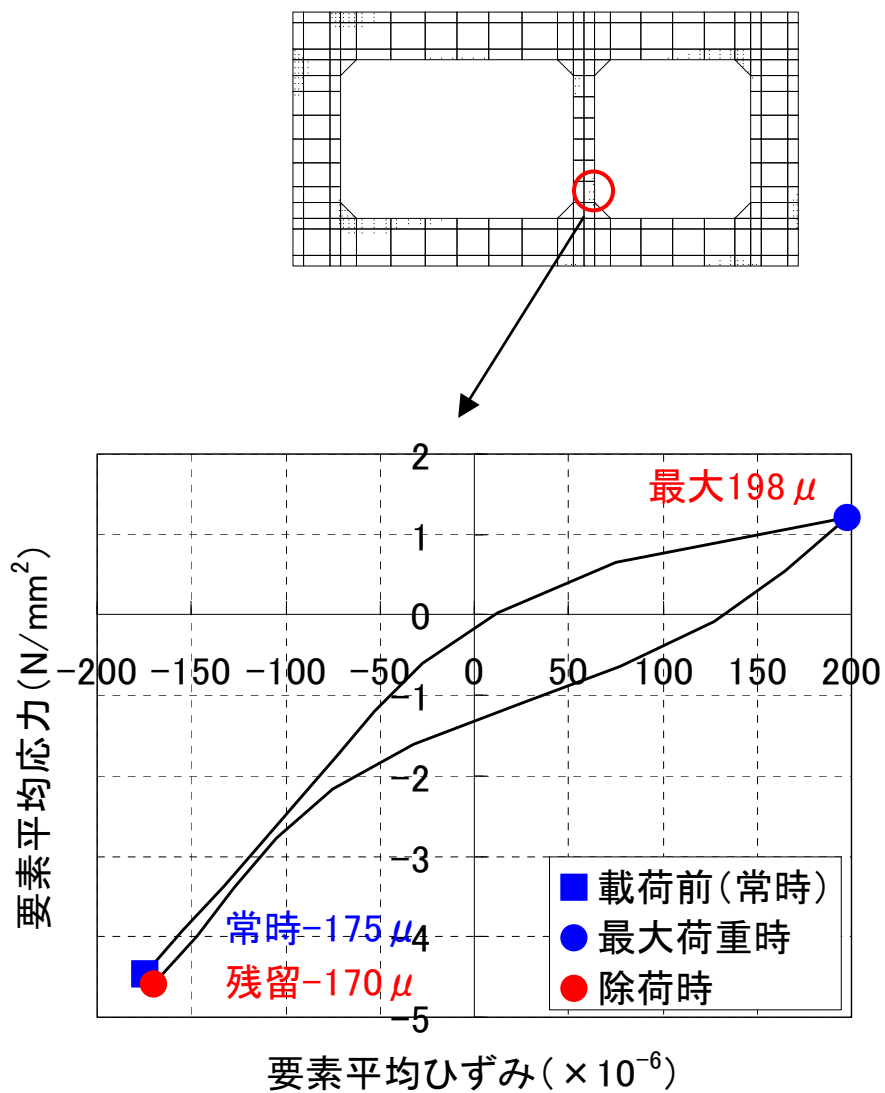


(b) 除荷時

参図-3.16 ひび割れ図 (原子炉補機冷却系配管ダクト (B系))



参図-3.17 応力-ひずみ関係 (原子炉補機冷却系配管ダクト (A系))



参図-3.18 応力-ひずみ関係 (原子炉補機冷却系配管ダクト (B系))

### (3) 耐震健全性評価結果

本編の二次元地震応答解析（部材非線形解析）では、層間変形角による照査の結果、評価位置において照査用層間変形角が限界層間変形角を下回ることを、また、せん断力による照査の結果、評価位置において照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認し、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いることから、耐震健全性は確保されているものと評価した。

本資料では、1号機原子炉補機冷却系配管ダクトについて、近接構造物による地盤変位抑制効果を考慮して、三次元地震応答解析を実施するとともに、曲げひび割れの発生の可能性について材料非線形解析による検討を実施した。

検討の結果、原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）、同（B系）とも、鉄筋降伏には至らない。局所的に0.1mm程度（瞬間最大値）の曲げひび割れが発生した可能性があるものの、当該構造物の土かぶりは約20mで、常時軸圧縮力が大きいことから、残留ひび割れが認められる程度には至っていないと考えられる。



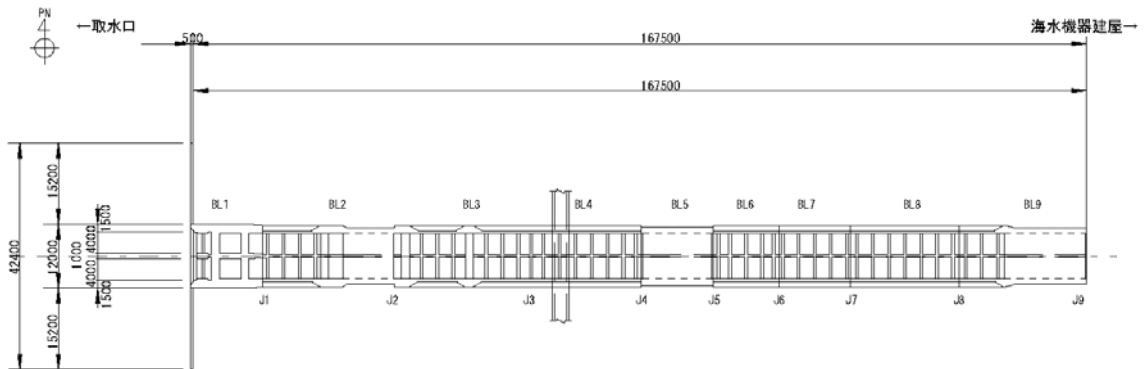
## 参考資料 4 1号機非常用取水路の軸方向の評価

### (1) 軸方向におけるブロック分割の考え方

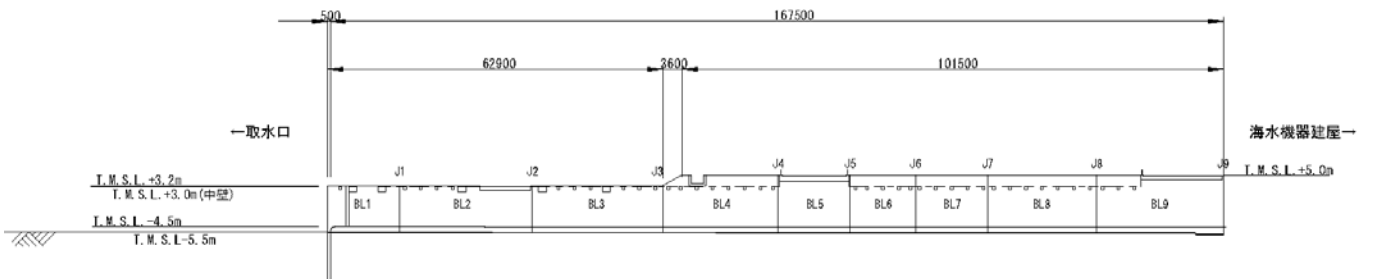
非常用取水路の設計では、取水路軸方向について構造的に問題となるような応力が生じないように、軸方向における構造の変化等を考慮してブロック分割し、その間に耐震ジョイントを設けている。

このような考え方に沿って、1号機非常用取水路は、参図-4.1に示すようにブロック分割されている。なお、軸方向の長さが比較的長いブロックについては、概ね 25m 以下となるよう分割されている。

平面図



縦断面図



J: 耐震ジョイント

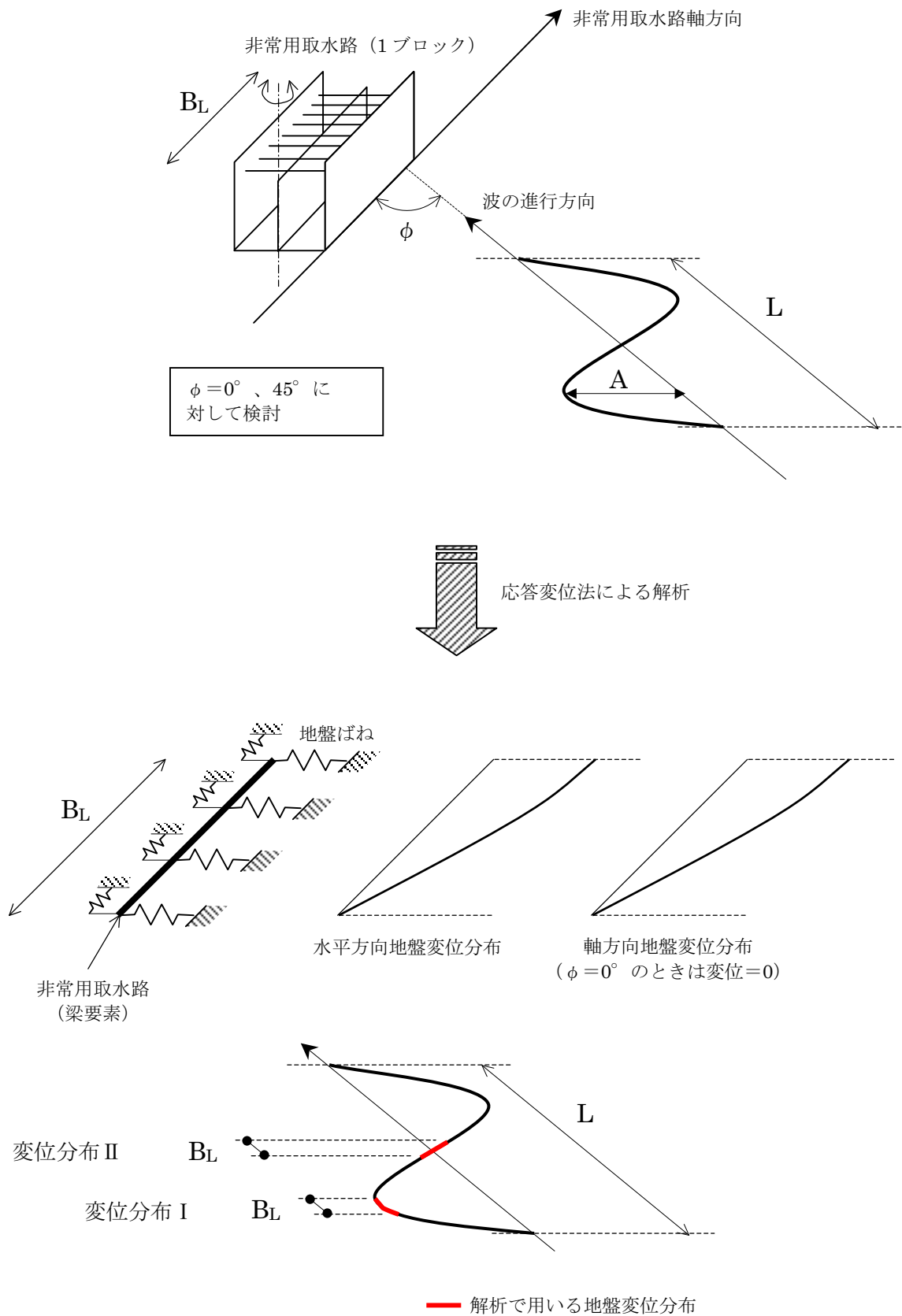
参図-4.1 1号機非常用取水路のブロック分割

## (2) 応力度に関する評価

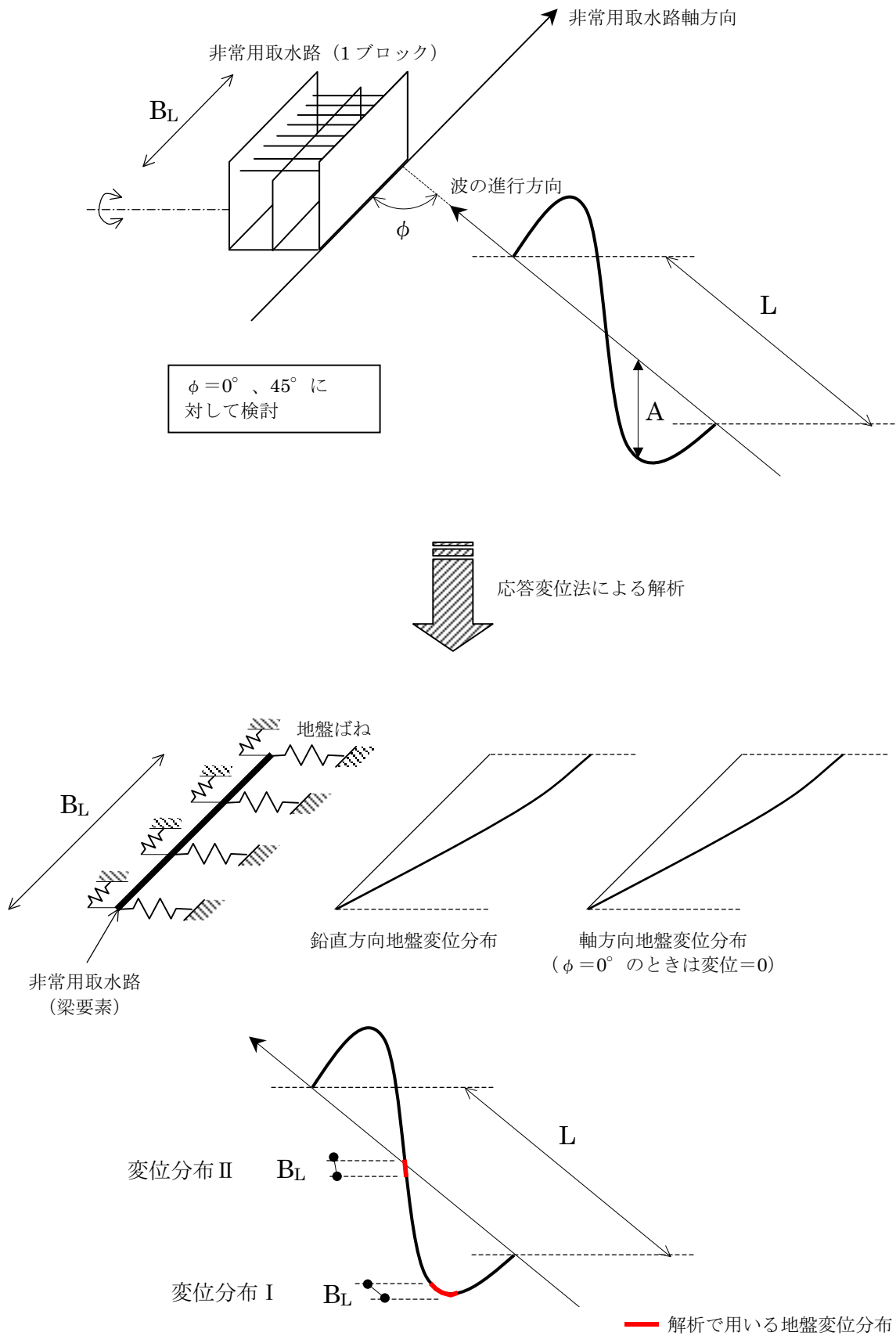
(1)で述べたとおり、軸方向のブロック間には耐震ジョイントが設けられ、軸方向に応力が伝達しない設計となっている。そこで、軸方向の応力度の評価にあたっては、単独のブロックでの解析を行い、そこで得られた断面力に基づいて応力度を評価する。

評価対象は、非常用取水路とし、ブロック長については、非常用取水路の最も長いブロック長である24.8mとした。これは、ブロック長が長いほど軸方向の曲げ剛性は低くなり、曲げ応力度の照査がより厳しくなることを考慮したものである。

検討方法の概念は参図-4.2に示すとおりであり、梁要素と地盤ばねからなる非常用取水路1ブロックの解析モデルに、静的に地盤変位分布（水平方向および鉛直方向）を与えて断面力を算出し、応力度を照査する。

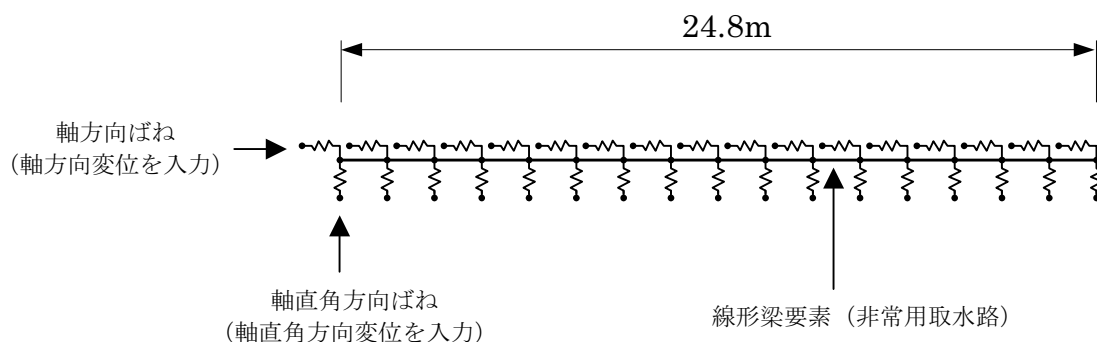


参図-4.2(a) 軸方向の検討方法の概念 (水平方向)



参図-4.2(b) 軸方向の検討方法の概念 (鉛直方向)

解析モデルを参図-4.3 に示す。構造物の全長は、非常用取水路の最大ブロック長を参照して 24.8m とする。地盤ばねは「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）」の考え方に従い、地盤物性値から推定される地盤反力係数を用いて、経験式に基づき算定する。解析に用いた諸定数を参表-4.1 に示す。



※ 別途算定した変位分布に従い、軸直角方向変位および軸方向の変位を各節点の地盤ばねを介して入力。

参図-4.3 解析モデル

参表-4.1 解析に用いた諸定数

	ヤング率 E (kN/mm <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント I (m <sup>4</sup> )	断面積 A (m <sup>2</sup> )	軸方向 ばね定数 K <sub>1</sub> (kN/m)	軸直角方向 ばね定数 K <sub>2</sub> (kN/m)
水平変位 入力モデル	33.8	581.0	38.2	4.69×10 <sup>4</sup>	6.78×10 <sup>4</sup>
鉛直変位 入力モデル	33.8	340.6	38.2	4.69×10 <sup>4</sup>	5.74×10 <sup>4</sup>

※K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>は単位長さあたりのばね定数

地盤ばねに与える地盤変位は、「共同溝設計指針（日本道路協会、昭和 61 年 3 月）」の考え方に従い、以下のとおり算出する。

非常用取水路における地盤の波長と最大変位振幅を参表-4.2 に示す。

$$\text{波長 } L = \frac{2L_1 \times L_2}{L_1 + L_2}$$

$$L_1 = V_{DS} \times T_S, \quad L_2 = V_{BS} \times T_S$$

ここに、

$V_{DS}$  : 表層地盤のせん断弾性波速度 (m/s)

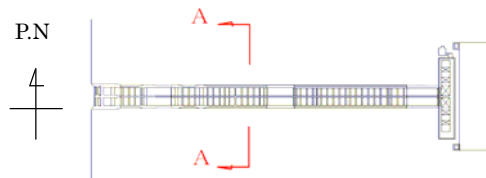
$V_{BS}$  : 基盤のせん断弾性波速度 (m/s)

$T_S$  : 表層地盤の固有周期 (s)

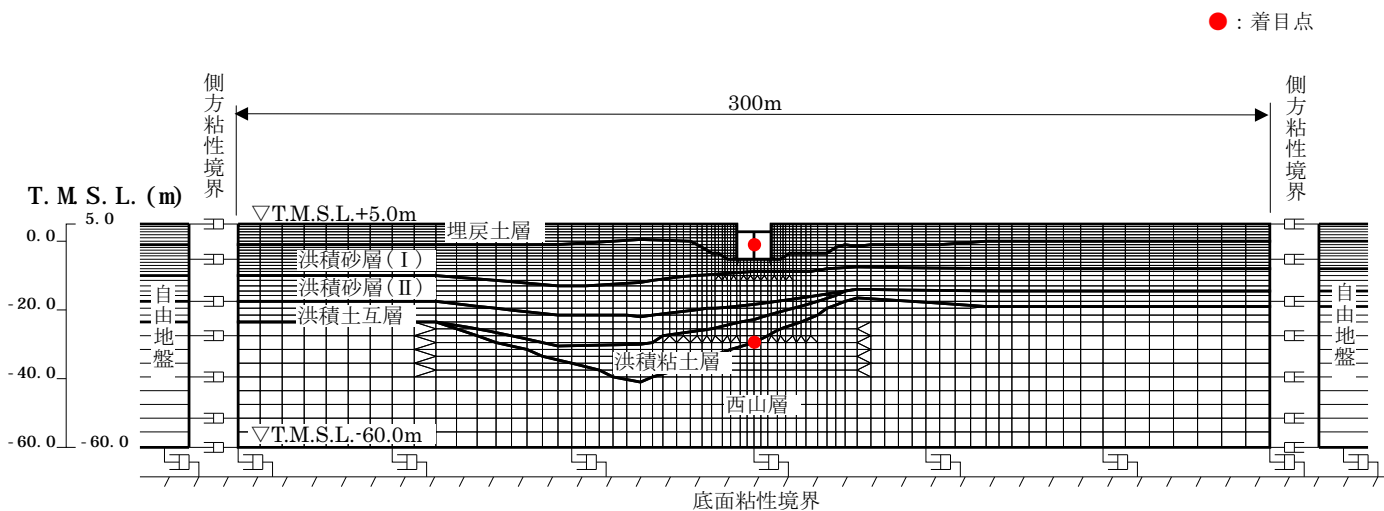
最大変位振幅  $A$  : 非常用取水路の二次元地盤—構造物連成モデル部材非線形解析（本編 5 章参照）における構造物高さ中心—西山層上面間の最大相対変位（水平方向および鉛直方向）（参図-4.4）

参表-4.2 非常用取水路における地盤の波長と最大変位振幅

	波長 L (m)	最大変位振幅 A (mm)
水平方向	251.4	199
鉛直方向	251.4	55.6



断面図



地下水位：T.M.S.L.+1.0m

参図-4.4 非常用取水路高さ中心－西山層上面間の最大相対変位算出位置

解析モデルに作用させる変位分布は、構造物の軸方向と波の進行方向がなす角を  $0^\circ$  と  $45^\circ$  に仮定し、参図-4.2 のように水平変位および鉛直変位についてそれぞれ 2 種類の変位分布を設定する。変位分布 I は変位の変化率が大きくなり、変位分布 II はブロック両端の相対変位が大きくなる。

曲げ・軸力による照査結果を参表-4.3 に、せん断力による照査結果を参表-4.4 に示す。軸方向に発生する応力はコンクリート引張強度に対して最大で 1/14 程度であり、発生せん断力もせん断耐力に対して十分に小さい。

なお、1号機非常用取水路のコンクリート躯体の目視点検結果によれば、軸方向の曲げおよびせん断に起因するひび割れおよび剥離・剥落は認められず、上記の解析による評価は点検結果と整合している。



参表-4.3 曲げ・軸力による照査結果

	構造物と地震波 進行方向のなす 角度 $\phi$ (°)	変位 分布	発生応力度 $\sigma_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート 引張強度 $f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_d / f_t$
水平方向 変位	0	I	0.0840	3.29	0.026
		II	0.00154	3.29	0.00047
	45	I	0.0309	3.29	0.0094
		II	0.233	3.29	0.071
鉛直方向 変位	0	I	0.0468	3.29	0.014
		II	0.000860	3.29	0.00026
	45	I	0.0169	3.29	0.0051
		II	0.0652	3.29	0.020

参表-4.4 せん断力による照査結果

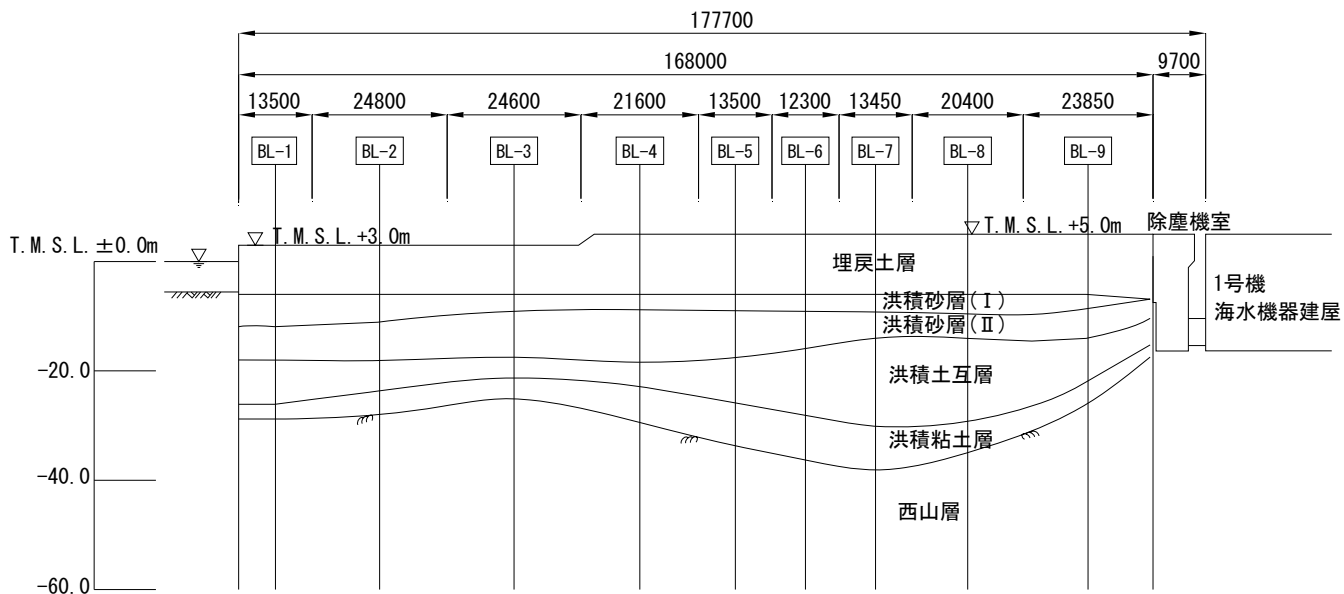
	構造物と地震波 進行方向のなす 角度 $\phi$ (°)	変位 分布	照査用せん断力 $V_d$ (kN)	せん断耐力 $V_{yd}$ (kN)	$V_d / V_{yd}$
水平方向 変位	0	I	1040	34300	0.030
		II	42.5	34300	0.0012
	45	I	368	31900	0.012
		II	10.7	30100	0.00035
鉛直方向 変位	0	I	245	104000	0.0024
		II	10.1	104000	0.000097
	45	I	87.0	103000	0.00085
		II	2.44	102000	0.000024

### (3) ブロック間相対変位量に関する評価

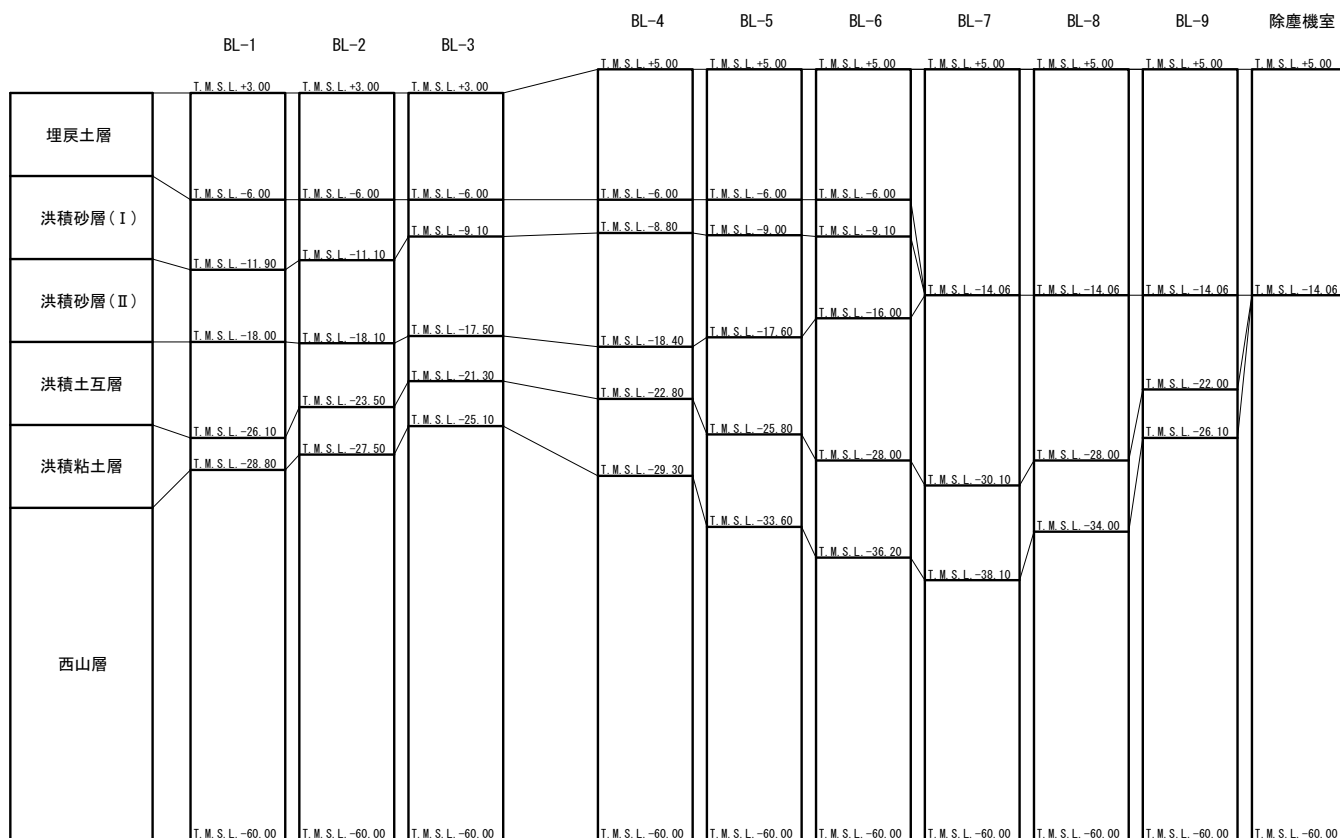
非常用取水路のブロック間相対変位の検討結果を以下に示す。ブロック間相対変位は地盤の非線形性を考慮した一次元地震応答解析によって検討するものとし、解析に用いる地盤モデルは、参図-4.5に示す地質縦断図に基づいて非常用取水路の各ブロック区間ごとに作成している。一次元地盤モデルを参図-4.6に示す。

ブロック間の相対変位量は、地震応答解析結果から、各ブロックの構造物設置レベル（T. M. S. L. -6.0m）の変位時刻歴を算出し、隣接するブロックの変位時刻歴からブロック間の相対変位時刻歴を算出することによって評価する。

一次元地震応答解析の結果から算出した各ブロック間の最大相対変位量を参表-4.5に、また、残留水平相対変位量を参表-4.6に示す。隣接するブロック間の最大相対変位量は、地表面レベルが3mから5mに変化するBL-3とBL-4の区間、地層構成が比較的大きく変化するBL-8とBL-9の区間、およびBL-9と除塵機室の区間で大きい。いずれのブロック間の最大相対変位量も、耐震ジョイントの限界性能（伸び30cm、ずれ40cm）を上回らないことを確認した。



参図-4.5 地質縦断面図



参図-4.6 一次元地盤モデル

参表-4.5 ブロック間最大相対変位量

単位 [mm]

区 間	軸方向		軸直交方向	
	最大水平 相対変位	最大鉛直 相対変位	最大水平 相対変位	最大鉛直 相対変位
[BL-1]-[BL-2]	31.0	0.120	18.0	0.108
[BL-2]-[BL-3]	56.0	0.210	31.3	0.150
[BL-3]-[BL-4]	118	0.480	70.4	0.590
[BL-4]-[BL-5]	68.0	0.370	39.0	0.335
[BL-5]-[BL-6]	36.0	0.190	21.0	0.180
[BL-6]-[BL-7]	62.1	0.151	13.0	0.229
[BL-7]-[BL-8]	69.0	0.280	47.0	0.246
[BL-8]-[BL-9]	118	0.670	97.3	0.559
[BL-9]-[除塵機室]	182	0.890	118	0.816

参表-4.6 ブロック間残留相対変位量

単位 [mm]

区 間	軸方向		軸直交方向	
	残留水平 相対変位	残留鉛直 相対変位	残留水平 相対変位	残留鉛直 相対変位
[BL-1]-[BL-2]	3.60	0.0172	1.51	0.0250
[BL-2]-[BL-3]	5.10	0.0102	1.46	0.00500
[BL-3]-[BL-4]	8.70	0.0342	4.85	0.0210
[BL-4]-[BL-5]	0.600	0.105	0.580	0.0190
[BL-5]-[BL-6]	2.40	0.0236	0.676	0.0230
[BL-6]-[BL-7]	44.9	0.0241	0.323	0.0100
[BL-7]-[BL-8]	14.0	0.00960	4.01	0.0390
[BL-8]-[BL-9]	27.0	0.0879	10.1	0.0170
[BL-9]-[除塵機室]	27.0	0.118	20.8	0.161

#### (4) まとめ

1号機非常用取水路について、軸方向の応力度と、ブロック間相対変位量について検討を行った。

軸方向に発生する応力はコンクリート引張強度に対して十分に小さく、発生せん断力もせん断耐力に比べて十分に小さいことを確認した。

また、隣接するブロック間の相対変位により、取水機能に影響が及ばないことを確認した。