

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-027-10-104 改 02
提出年月日	2023年4月10日

1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部  
底版の耐震性についての計算書に関する補足説明資料

2023年4月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

## 目 次

1. 評価方法	1
2. 評価条件	1
2.1 適用規格	1
2.2 構造及び補強の概要	3
2.2.1 構造概要	3
2.2.2 補強概要	10
2.3 評価対象部材の選定	13
2.4 評価対象断面の選定	17
2.5 使用材料及び材料の物性値	19
2.6 地盤物性値	20
2.7 地下水位	22
2.8 耐震評価フロー	23
3. 地震応答解析	24
3.1 地震応答解析手法	24
3.2 地震応答解析モデルの設定	27
3.2.1 解析モデル領域	27
3.2.2 境界条件	29
3.2.3 構造物のモデル化	31
3.2.4 地盤及びMMRのモデル化	31
3.2.5 地震応答解析モデル	33
3.2.6 ジョイント要素の設定	34
3.3 減衰定数	37
3.4 荷重及び荷重の組合せ	38
3.4.1 機器・配管荷重	39
3.4.2 外水圧	40
3.4.3 内水圧	40
3.4.4 積雪荷重	40
3.4.5 動水圧	41
3.5 地震応答解析の解析ケース	42
3.5.1 耐震評価における解析ケース	42
4. 評価内容	44
4.1 入力地震動の設定	44
4.1.1 入力地震動の設定	45

4.2	許容限界の設定	57
4.2.1	漸拡ダクト部充填コンクリートの許容限界	57
4.2.2	基礎地盤の支持機能に対する許容限界	57
5.	評価結果	58
5.1	地震応答解析結果	58
5.1.1	最大せん断ひずみ分布	58
5.1.2	最大過剰間隙水圧比分布	60
5.2	漸拡ダクト部充填コンクリートの評価結果	62
5.3	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	65

## 1. 評価方法

1号機取水槽において、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき1号機取水槽漸拡ダクト部（ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版）が上位クラスである1号機取水槽流路縮小工及び1号機取水槽北側壁に対して波及的影響を及ぼさないことについて検討を行う。

評価方法としては、1号機取水槽漸拡ダクト部が十分な構造強度を有することを確認する。

## 2. 評価条件

### 2.1 適用規格

1号機取水槽の耐震評価にあたっては、コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会 2002年制定）（以下「コンクリート標準示方書2002」という。）、原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987（社団法人 日本電気協会 電気技術基準調査委員会）（以下「JEAG 4601-1987」という。）を適用する。

充填コンクリートの健全性評価についてはコンクリート標準示方書2002及びコンクリート標準示方書〔ダムコンクリート編〕（土木学会 2013年）（以下「コンクリート標準示方書2013」という。）を適用する。また、基礎地盤の支持性能の許容限界については、道路橋示方書・同解説（I共通編・IV下部構造編）（日本道路協会平成14年3月）を適用する。表2-1に適用する規格、基準類を示す。

表 2-1 適用する規格，基準類

項目	適用する規格，基準値	備考
使用材料及び材料定数	コンクリート標準示方書 2002	鉄筋コンクリートの材料諸元 ( $\gamma$ , E, $\nu$ )
荷重及び荷重の組合せ	コンクリート標準示方書 2002	永久荷重，偶発荷重等の適切な組合せを検討
許容限界	コンクリート標準示方書 2002	充填コンクリートの健全性評価のうち引張強度における局所安全係数が 1.0 を超えることを確認
	コンクリート標準示方書 2013	充填コンクリートの健全性評価のうちせん断強度における局所安全係数が 1.0 を超えることを確認
	道路橋示方書・同解説（I 共通編・IV 下部構造編）（日本道路協会平成 14 年 3 月）	基礎地盤の支持性能に対する照査は，基礎地盤に発生する応力が極限支持力度を下回ることを確認
地震応答解析	J E A G 4 6 0 1 -1987	有限要素法による二次元モデルを用いた時刻歴非線形解析

## 2.2 構造及び補強の概要

### 2.2.1 構造概要

1号機取水槽の設置位置図を図2-1に、平面図を図2-2に、断面図を図2-3及び図2-4に示す。また、A-A断面及びB-B断面の地質断面図を図2-5及び図2-6に示す。

1号機取水槽は、地下2階構造となっており、上部は除じん機エリア、海水ポンプエリア、ストレナーエリアの3エリアに分かれている。下部は水路となっており、除じん機エリアの下部は6連のボックスカルバート構造、海水ポンプエリアの下部は3連のボックスカルバート構造となっている。

1号機取水槽は、図2-7に示すようにSクラス施設である津波防護施設に分類される1号機取水槽流路縮小工（以下「流路縮小工」という。）の間接支持構造物である北側壁を含む構造物である。

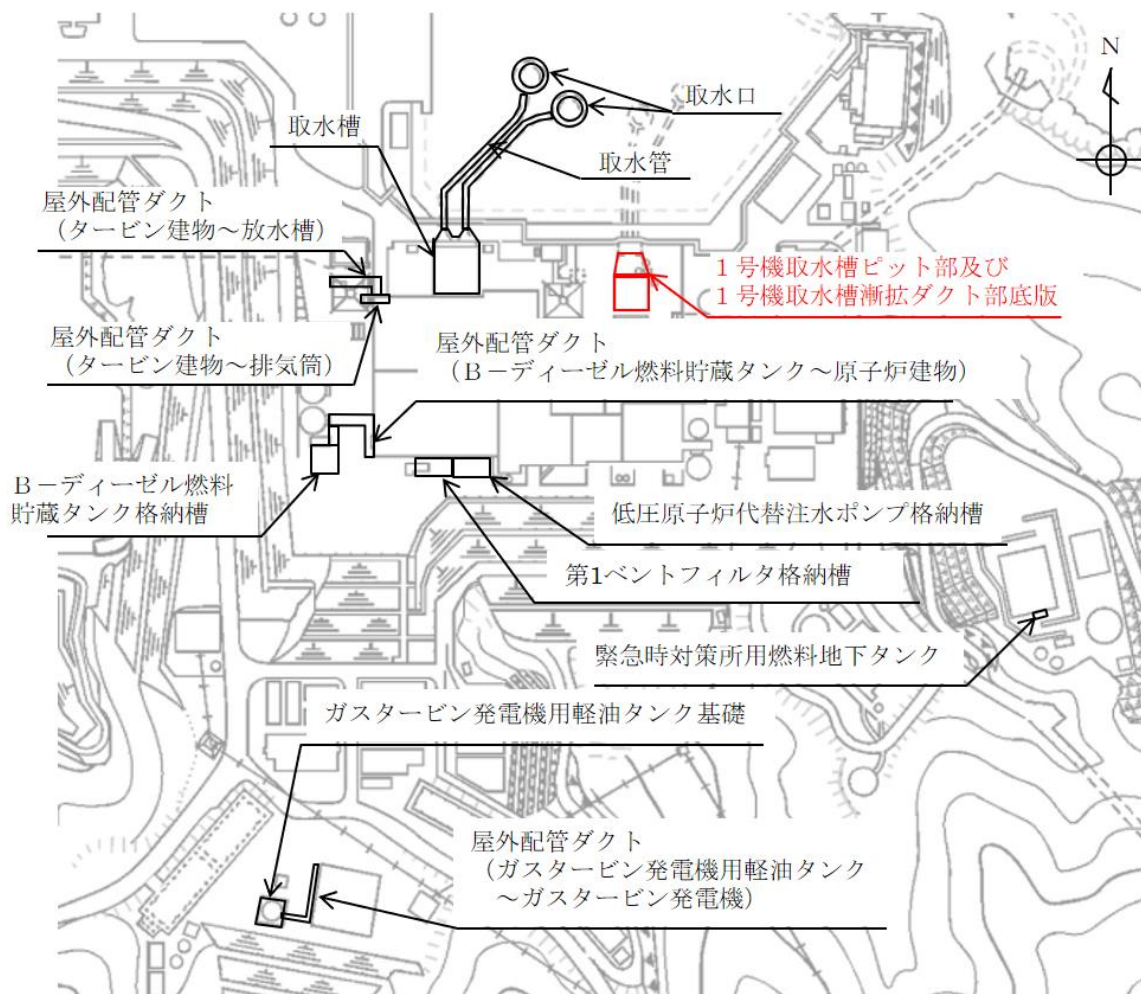


図2-1 1号機取水槽設置位置図

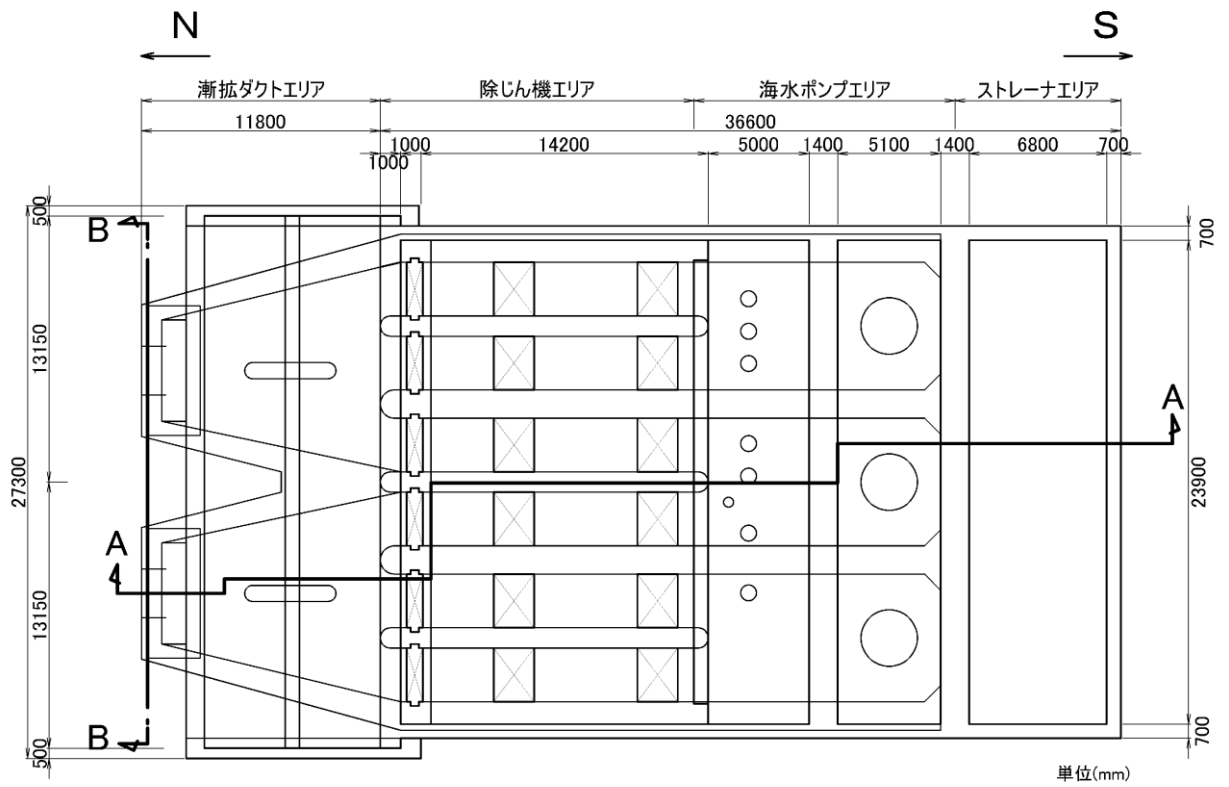


図 2-2 1号機取水槽 平面図

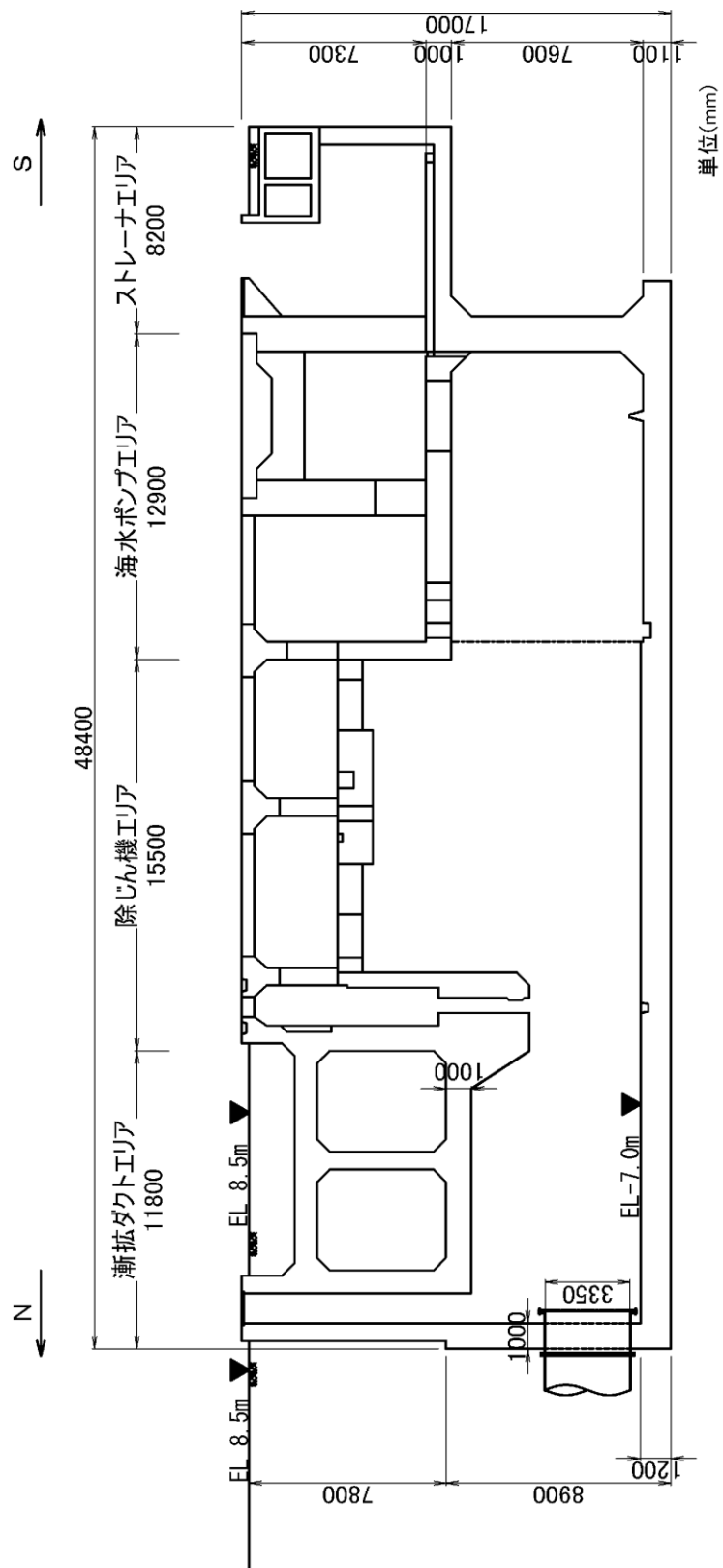


図 2-3 1号機取水槽 断面図(A-A断面)



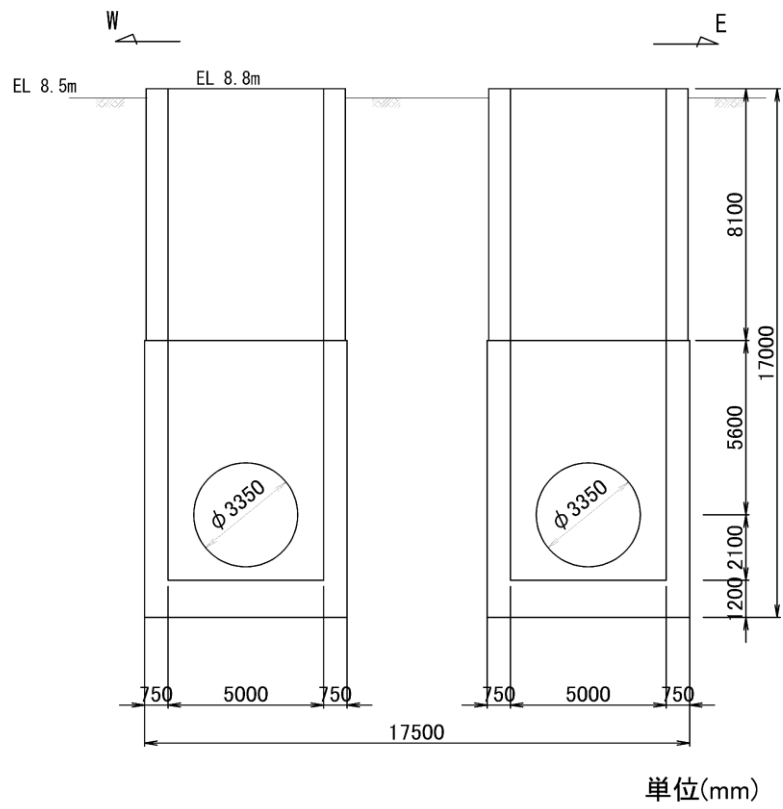
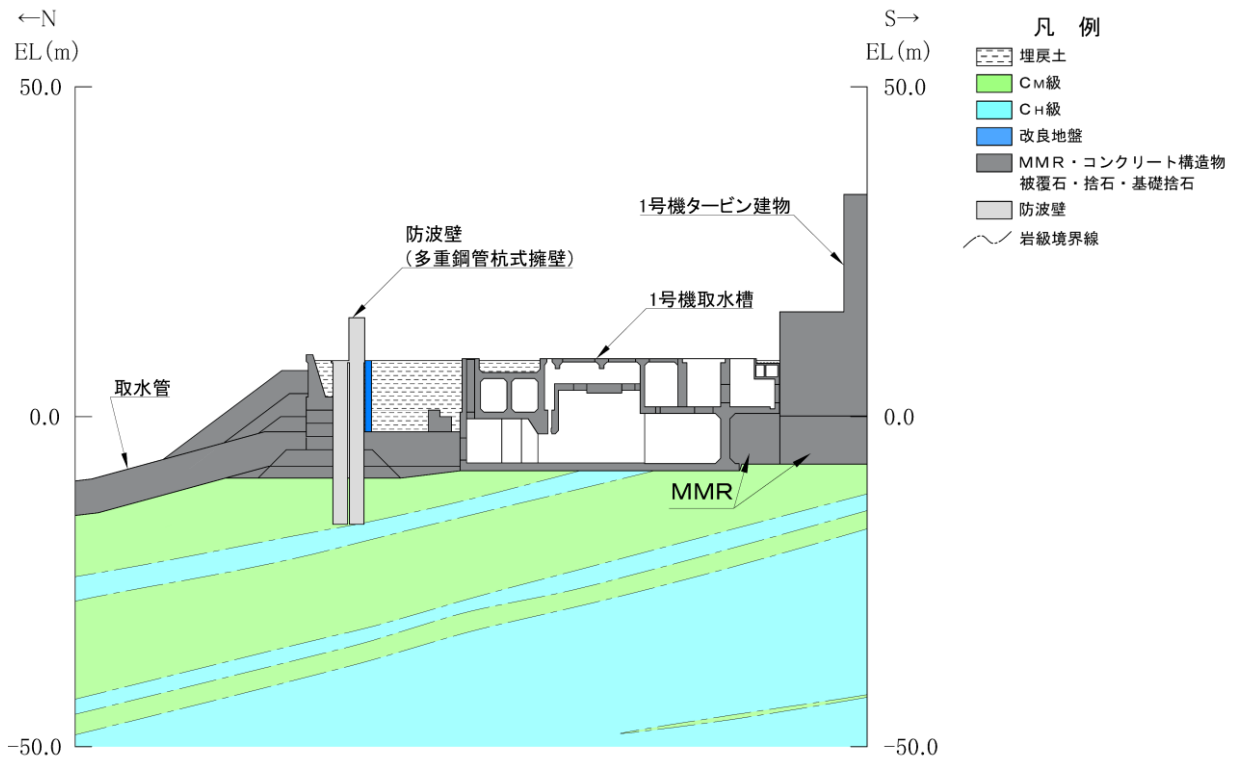
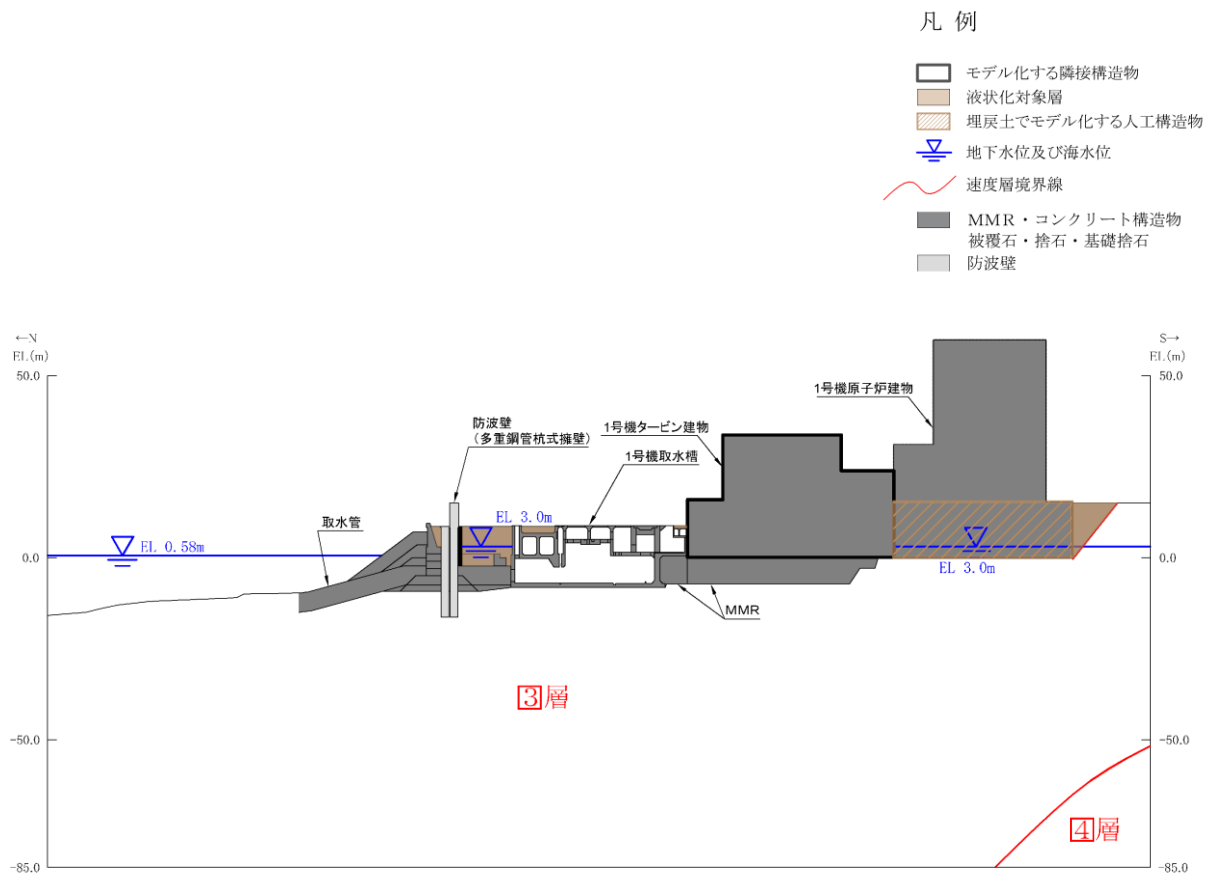


图 2-4 1 号機取水槽 断面图(B-B 断面)

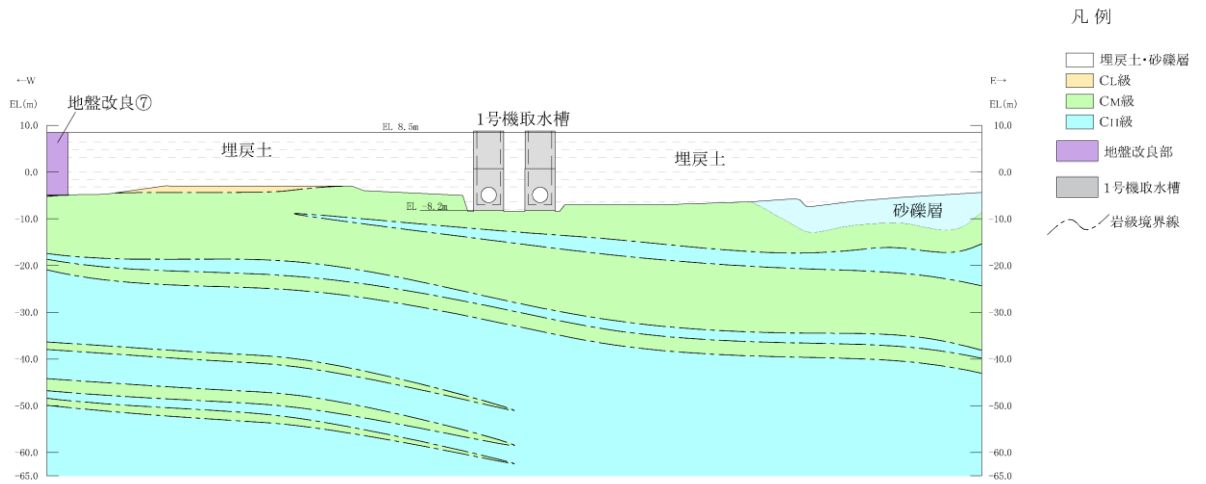


(岩級図)

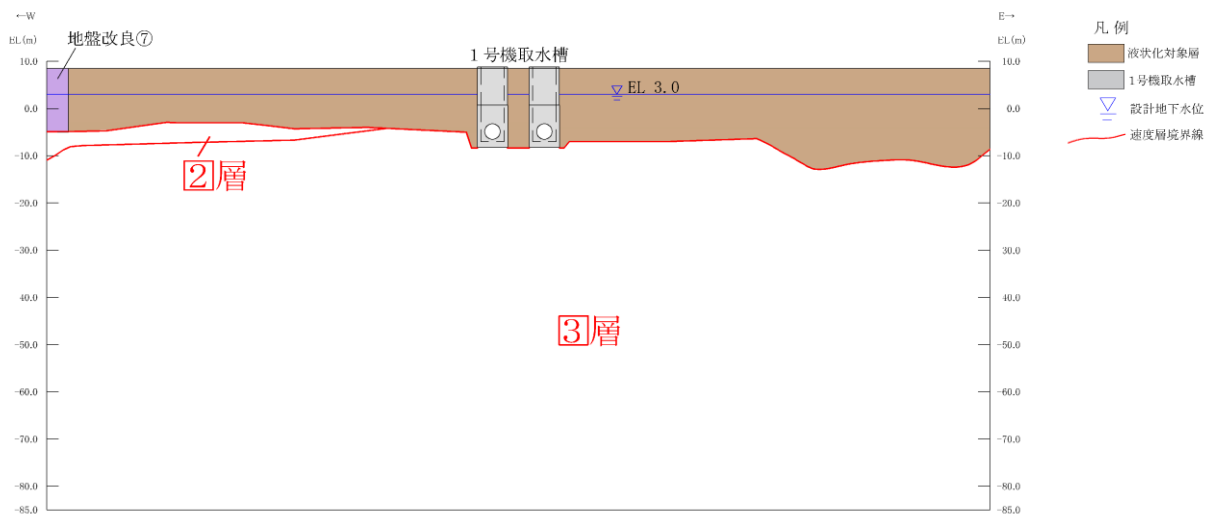


(速度層図)

図 2-5 1号機取水槽 地質断面図(A-A断面)



(岩級図)



(速度層図)

図 2-6 1号機取水槽 地質断面図(B-B断面)

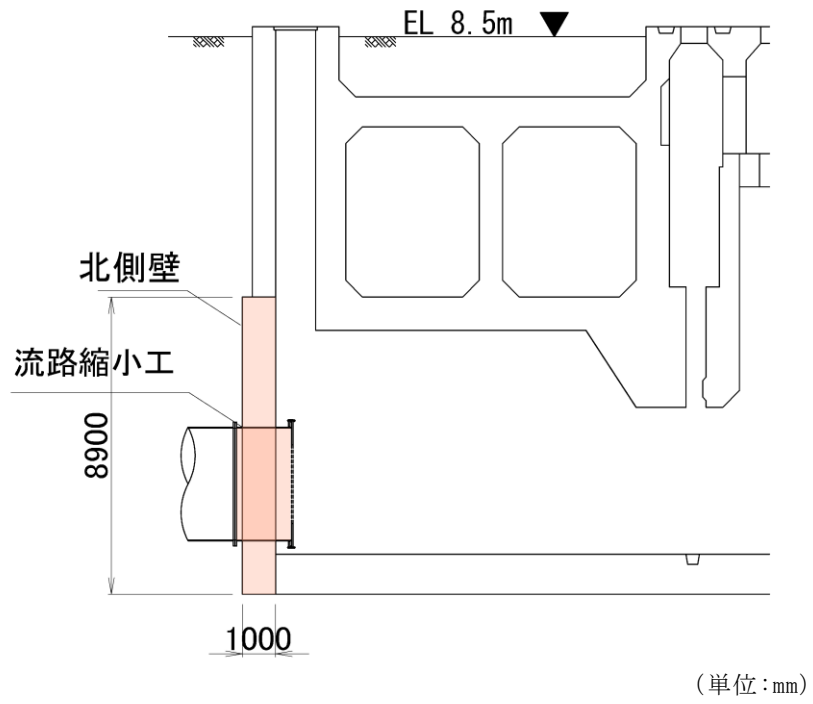


図 2-7 1号機取水槽上位クラス施設位置図

## 2.2.2 補強概要

流路縮小工の間接支持構造物である1号機取水槽北側壁は、設計当時の基準地震動 $S_s$ の増大により、取水槽の耐震性を確保するため、後施工せん断補強工法（ポストヘッドバー工法、以下「PHb工法」という。）によるせん断補強を実施する。

また、1号機取水槽北側壁と接続する部材の補強として漸拡ダクト部にコンクリートを充填する。漸拡ダクト部充填コンクリートは流路縮小工の内径と同じ開口を設け、取水機能を確保する。ここで、漸拡ダクト部充填コンクリートの南北方向の幅については、導流壁との干渉を避けたうえで、流路縮小工の内径以上なるように決定した。なお、漸拡ダクト部充填コンクリートに設置した流路縮小工の内径と同じ開口については、評価上考慮しないものの保守的に開口補強筋を設置する。

なお、1号機取水槽ピット部については下部に閉塞版を設置したのちに、コンクリートを充填し、閉塞する。

補強工事の一覧表を表2-2に示す。また、補強工事の詳細図面を図2-9～図2-12に示す。

表2-2 補強工事一覧表

部材名	部材位置*1	補強工事概要
北側壁	①	PHb
漸拡ダクト部	②	充填コンクリート打設*2
ピット部	③	充填コンクリート打設
ピット部（閉塞版）	④	ピット部閉塞版コンクリート打設

注記\*1：部材位置図については図2-8に示す。

\*2：充填コンクリート内部には流路縮小工と同等の大きさの箱抜きを実施

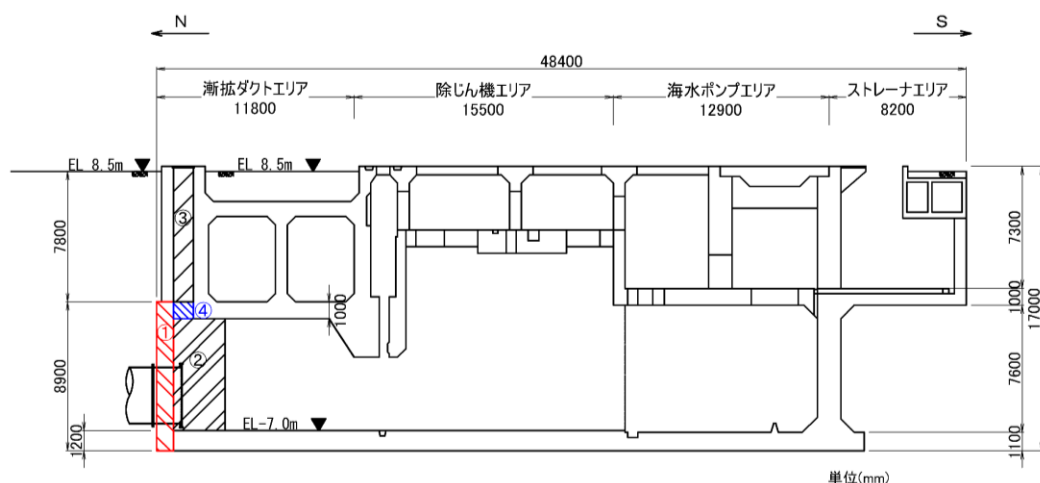


図2-8 補強工事实施部材位置



图 2-9 補強工事实施後平面図

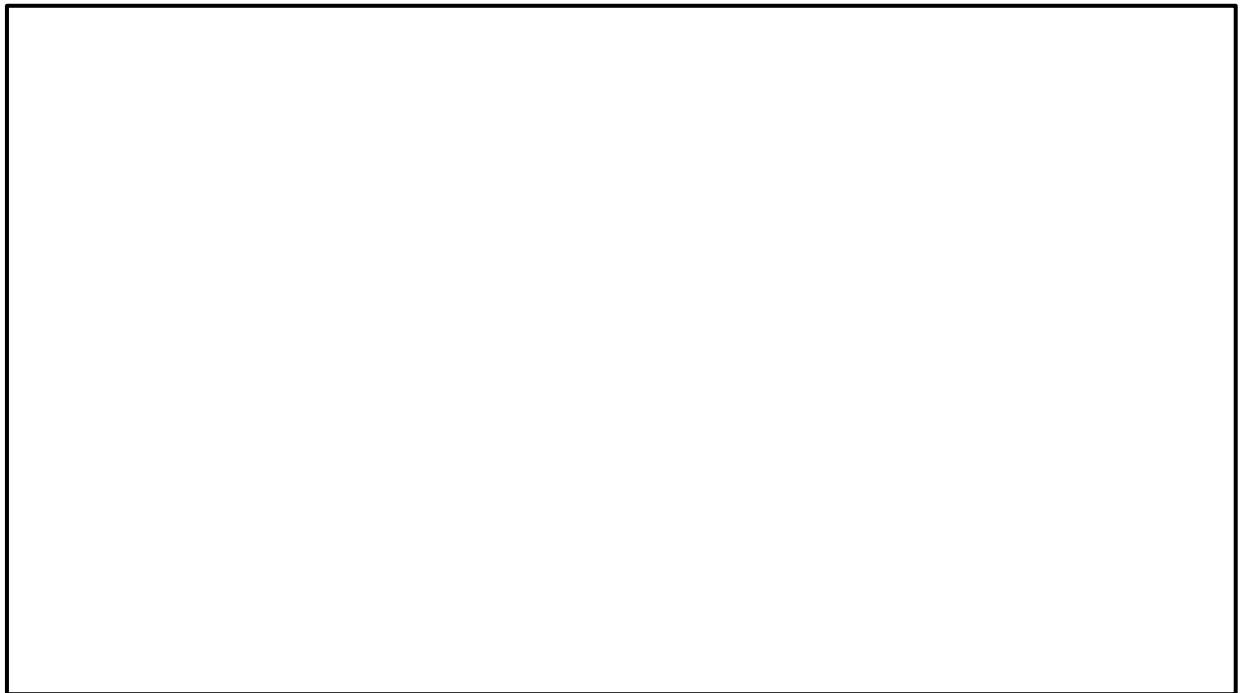


图 2-10 補強工事实施後 A - A 断面図

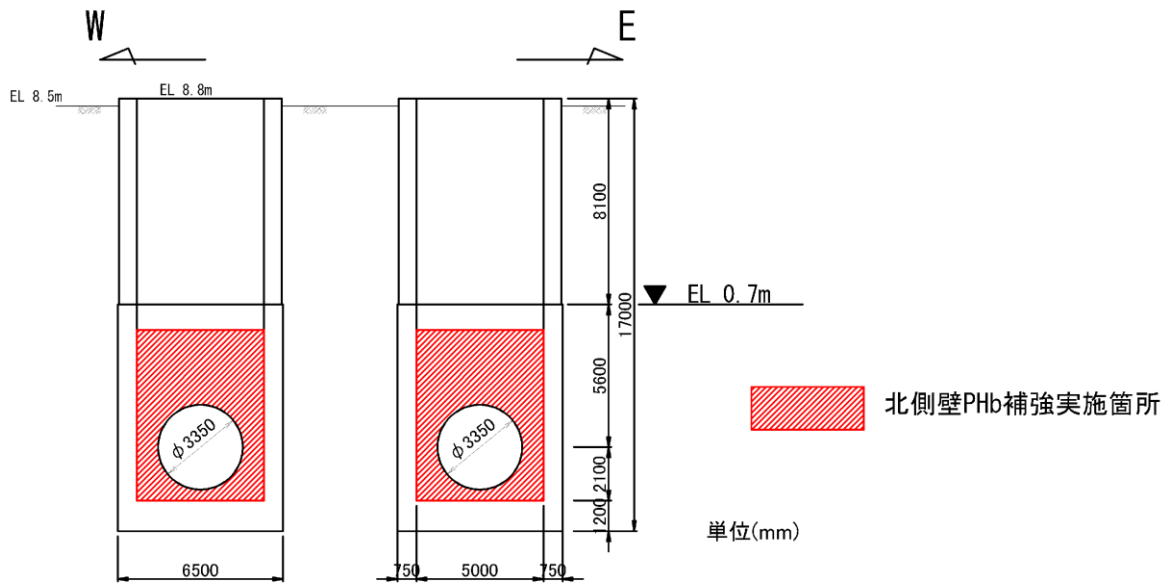


図 2-11 補強工事実施後 B - B 断面図

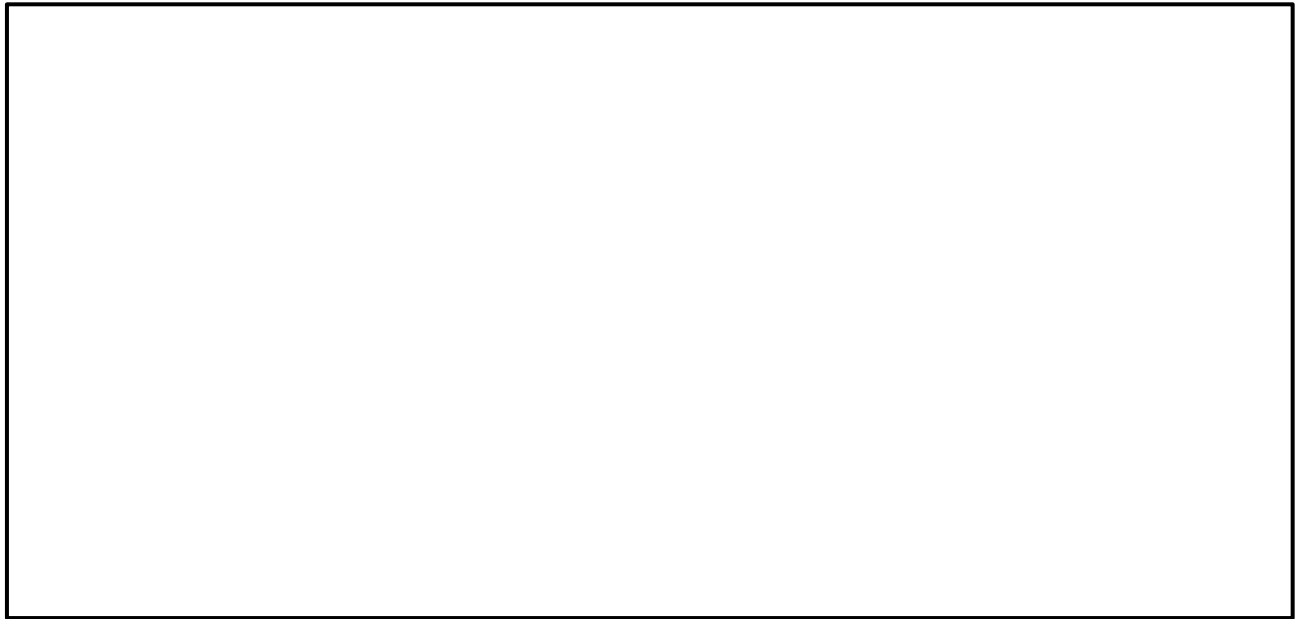


図 2-12 補強工事実施後 C - C 断面図

### 2.3 評価対象部材の選定

1号機取水槽構造物の中で、上位クラスの1号機取水槽流路縮小工及び1号機取水槽北側壁に波及的影響を及ぼす部材の選定は以下の①、②の観点に基づいて行う。

- ① 損傷した部材が流路縮小工に接触することの防止
- ② 北側壁が接続する部材の健全性確保

上記①の観点より、波及的影響を考慮するエリアは図2-13に示す漸拡ダクトエリアであるが、ピット部についてはピット部（閉塞版）を設置したのち、充填コンクリートを打設することにより、ピット部（閉塞版）及び漸拡ダクト部底版（以下「中床版」という。）より上部の部材については、損傷した部材が流路縮小工と接触することが考えられないため、波及影響の対象部材としては選定しない。

上記①の観点から選定される、波及影響対象部材は漸拡ダクト部充填コンクリートである。

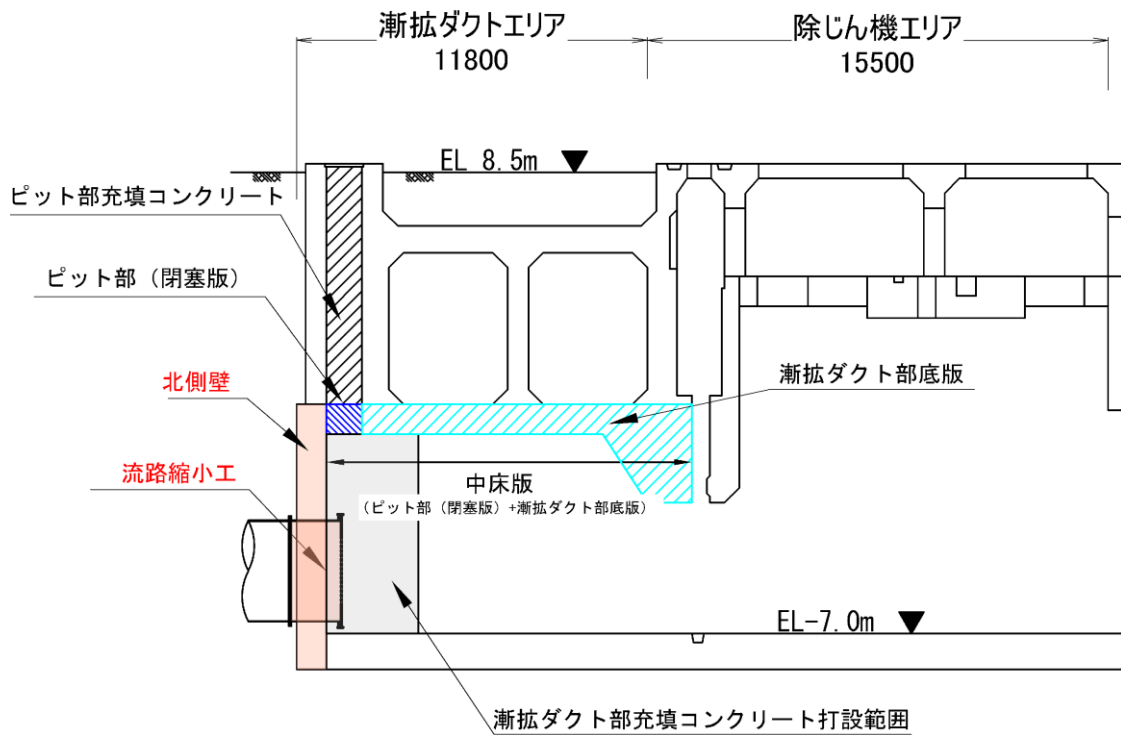
上記②の観点より、北側壁と接続する部材（東西側壁、中床版、底版）が対象となり、対象部材については漸拡ダクト部充填コンクリートを打設することで、充填コンクリート打設範囲内外で区分される。波及的影響の観点では、北側壁の近傍の健全性を確保する必要があるため、**漸拡ダクト部**充填コンクリート打設範囲内外のうち、波及影響の対象範囲は漸拡ダクト部充填コンクリート打設範囲に限定する。

上記②の観点から選定される、波及影響対象部材は漸拡ダクト部充填コンクリート打設範囲内にある中床版、底版、東西側壁、漸拡ダクト部充填コンクリートである。

以上のことから、評価対象部材として漸拡ダクト部充填コンクリート打設範囲内にある中床版、底版、東西側壁及び漸拡ダクト部充填コンクリートを選定する。

波及影響の評価対象部材の平面図及び断面図を図2-14～図2-17に示す。





注：赤字で記した部材は上位クラスの部材を示す。

図 2-13 1号機取水槽評価対象部材断面図 (B-B断面)

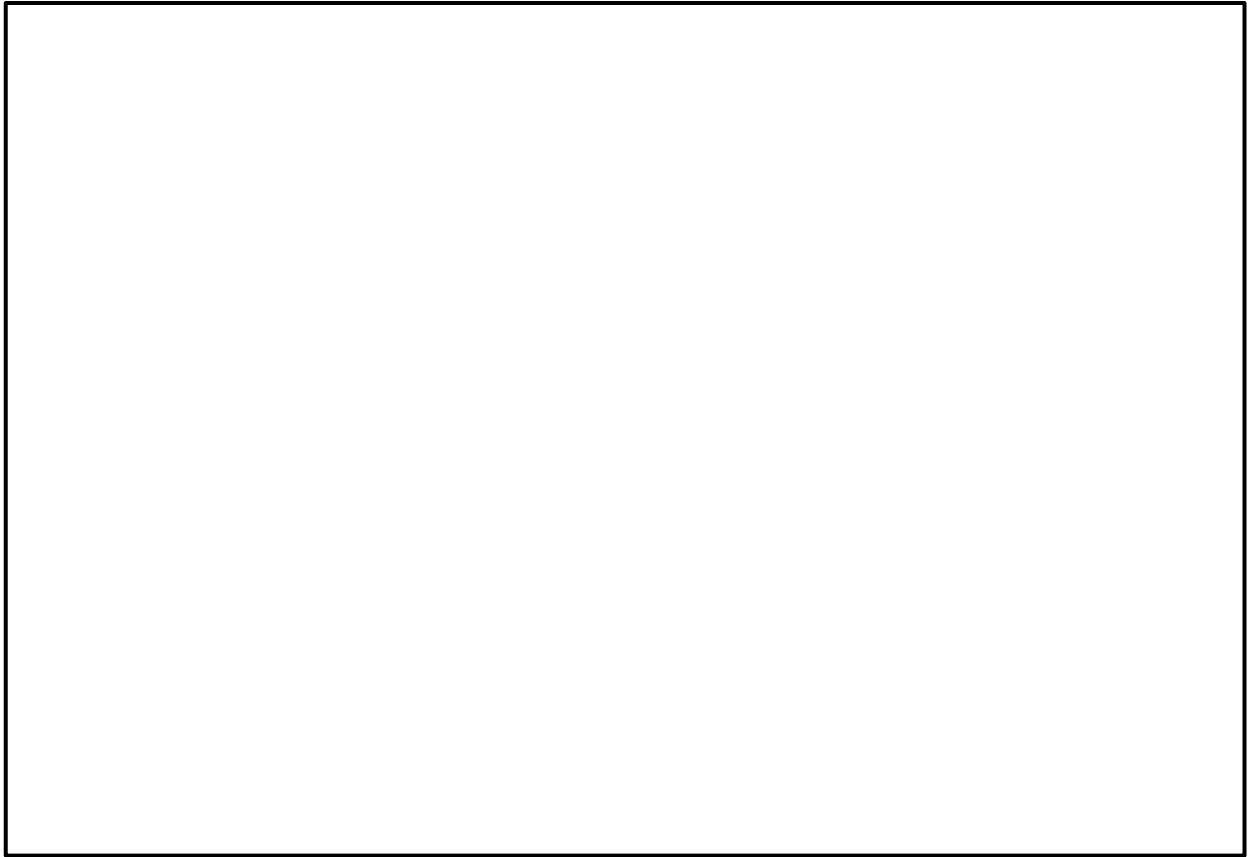


图 2-14 1 号機取水槽評価対象部材平面図

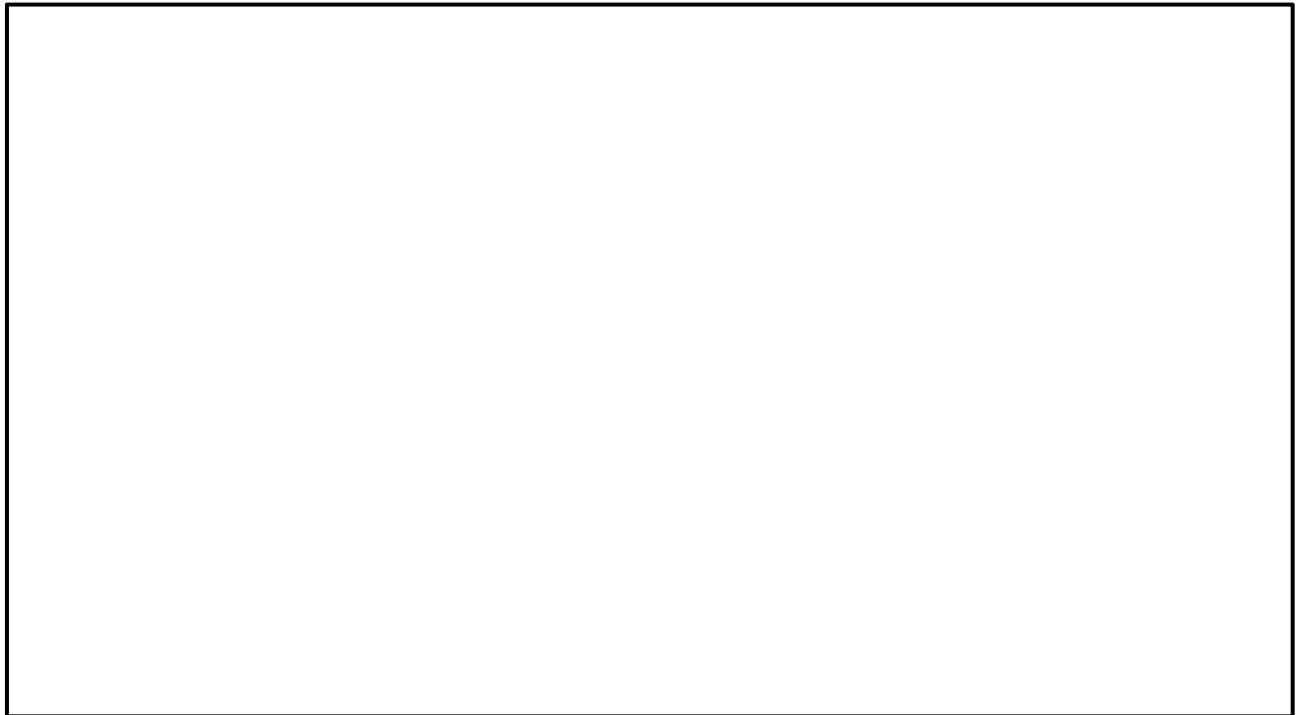


图 2-15 1 号機取水槽評価対象部材断面図 (A - A 断面)

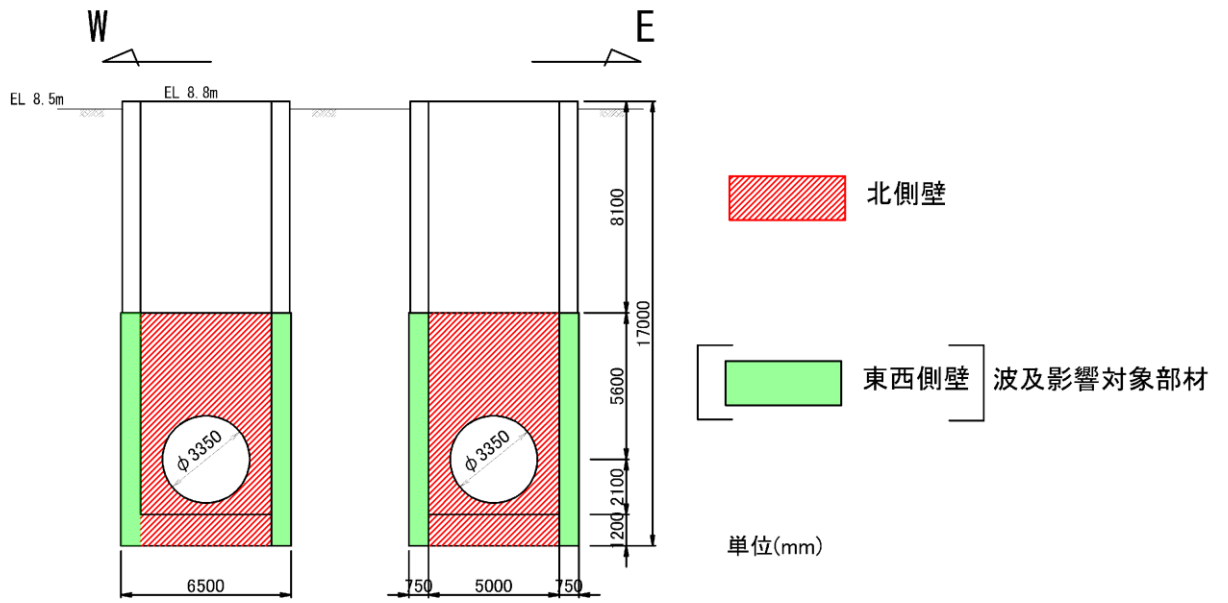


图 2-16 1 号機取水槽評価対象部材断面図 (B-B 断面)

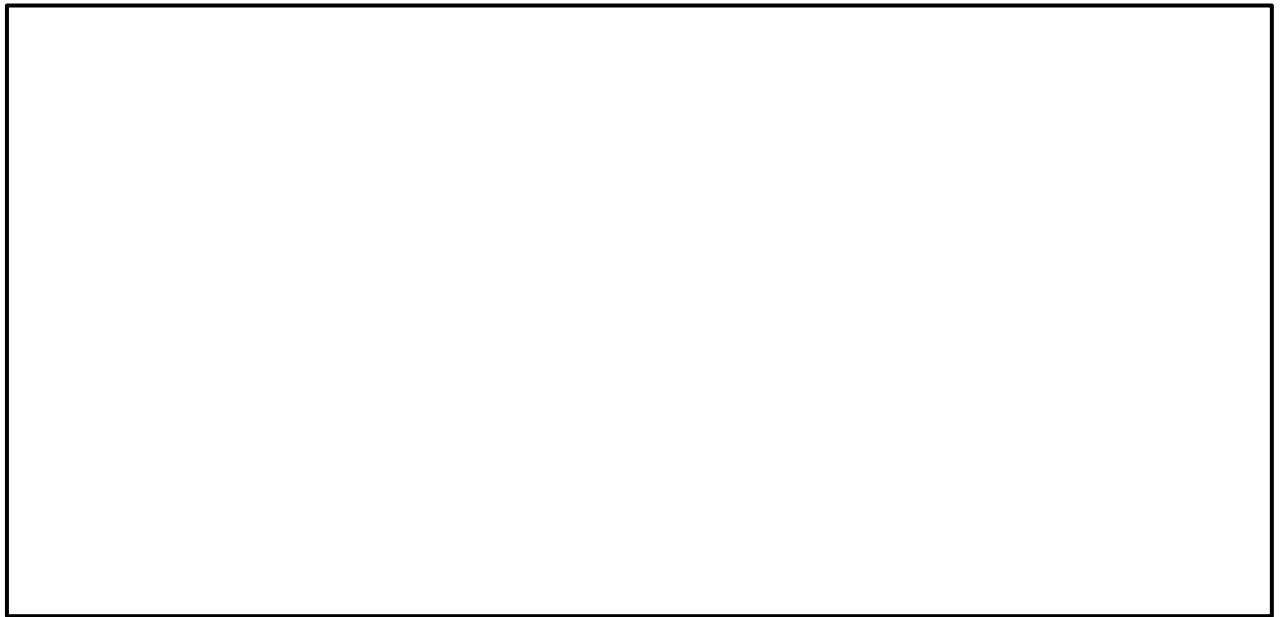


图 2-17 1 号機取水槽評価対象部材断面図 (C-C 断面)

#### 2.4 評価対象断面の選定

波及的影響の評価対象部材に選定した北側壁が接続する部材（東西側壁，中床版，底版）及び漸拡ダクト部充填コンクリートにとって弱軸方向断面である東西方向断面を評価対象断面として選定する。ここで，北側壁から漸拡ダクト部充填コンクリート打設範囲については，断面内における円形箱抜き割合が大きい箇所が保守的な断面となることから，東西の幅が最も狭いB-B断面を評価対象断面として選定し，この断面内に漸拡ダクト部充填コンクリート，中床版，底版，東西側壁を投影した保守的な断面を評価する。

評価対象部材の平面図，B-B断面の断面図及び評価対象部材を投影した断面図を図2-18～図2-20に示す。



図2-18 1号機取水槽評価対象部材平面図

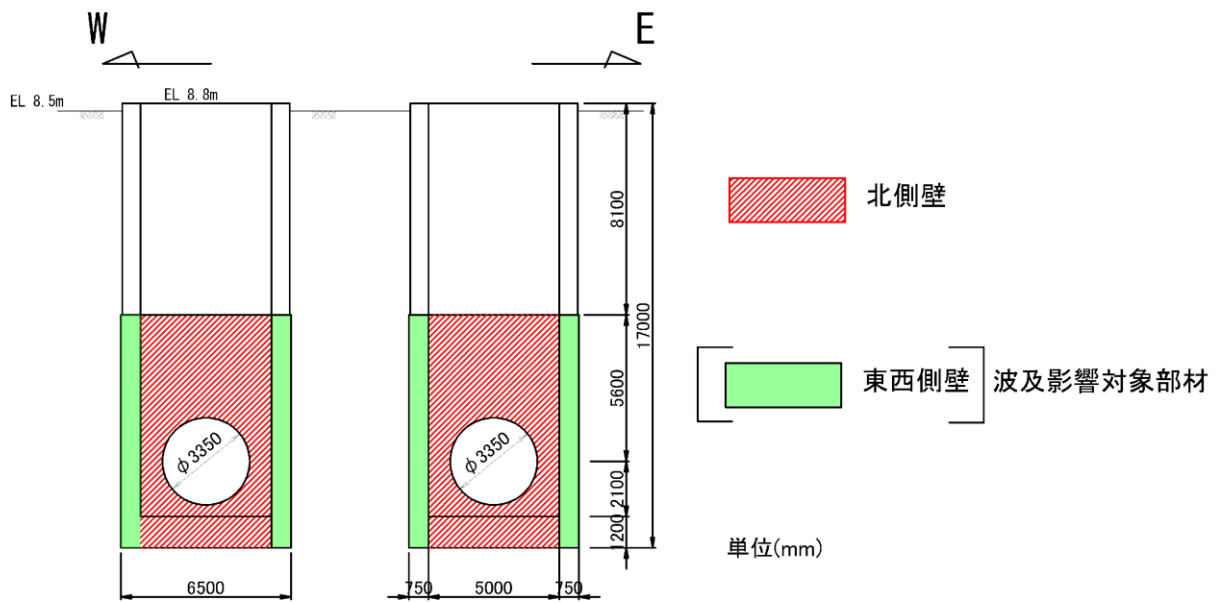


図 2-19 1号機取水槽評価対象部材断面図 (B-B断面)

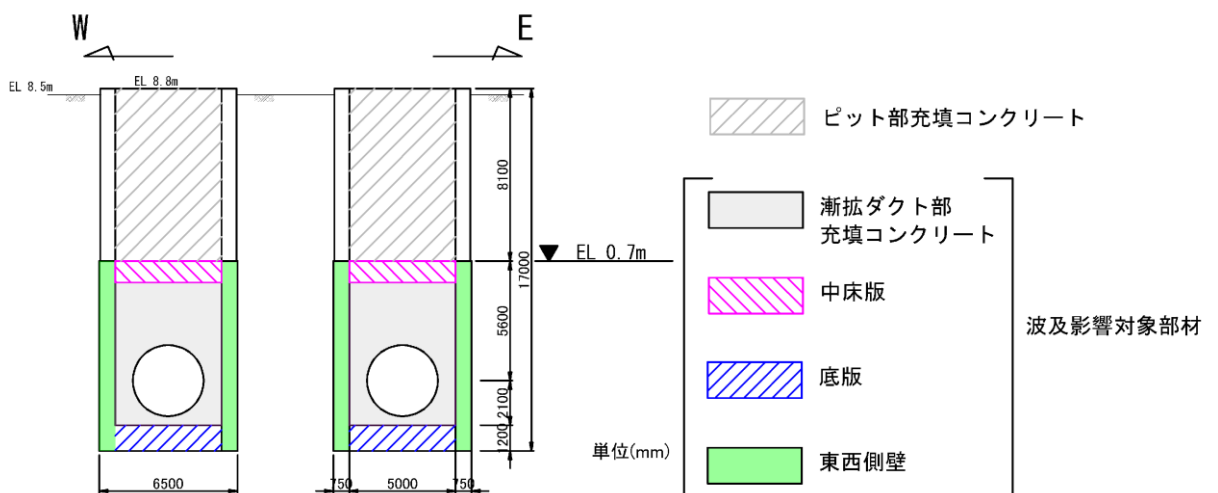


図 2-20 1号機取水槽評価対象断面図 (B-B断面)  
(評価対象部材を投影)

## 2.5 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 2-3 に、材料の物性値を表 2-4 に示す。ここで、ピット部及び漸拡ダクト部の充填コンクリートのヤング係数については、構造物と同様な値を設定する。また、漸拡ダクト部充填コンクリートの単位体積重量については、開口補強筋を設置するため、鉄筋コンクリートの単位体積重量を使用し、ピット部充填コンクリートの単位体積重量については、保守的に鉄筋コンクリートの単位体積重量を使用する。

表 2-3 使用材料

材料		仕様
構造物	コンクリート	設計基準強度 20.6N/mm <sup>2</sup>
	充填コンクリート	設計基準強度 21.0N/mm <sup>2</sup>
	鉄筋	SD345
MMR		設計基準強度 18.0N/mm <sup>2</sup>

表 2-4 材料の物性値

材料	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比
構造物 (鉄筋コンクリート 構造物)	2.33×10 <sup>4</sup>	24.0* <sup>1</sup>	0.2
構造物 (漸拡ダクト部充填 コンクリート) * <sup>3</sup>	2.33×10 <sup>4</sup>	24.0* <sup>1</sup>	
構造物 (ピット部充填コン クリート) * <sup>3</sup>	2.33×10 <sup>4</sup>	24.0* <sup>1</sup>	
MMR	2.20×10 <sup>4</sup>	22.6* <sup>2</sup>	

注記\*1：鉄筋コンクリートの単位体積重量を示す。

\*2：無筋コンクリートの単位体積重量を示す。

\*3：ヤング係数については設計基準強度 20.6N/mm<sup>2</sup>の鉄筋コンクリート構造物と同様の値を設定し、単位体積重量については鉄筋コンクリートの重量を設定する。

## 2.6 地盤物性値

地盤については，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。地盤の物性値を表 2-5 及び表 2-6 に示す。

表 2-5 地盤の解析用物性値（岩盤）

層番号	S波速度 $V_s$ (m/s)	P波速度 $V_p$ (m/s)	単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	動せん断弾性係数 $G_d$ ( $\times 10^5$ kN/m <sup>2</sup> )	減衰定数 h (%)
③層	1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
④層	1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
⑤層*	2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
⑥層*	2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

注記\*：入力地震動の算定においてのみ用いる解析用物性値

表 2-6 地盤の有効応力解析における解析用物性値（埋戻土）

		解析用物性値	
物理特性	密度 $\rho^{*1}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.11 【2.00】	
	間隙率 $n$	0.45	
変形特性	動せん断弾性係数 $G_{ma}^{*2}$ (kN/m <sup>2</sup> )	163,500	
	基準平均有効拘束圧 $\rho_{ma}'^{*2}$ (kN/m <sup>2</sup> )	98.0	
	ポアソン比 $\nu$	0.33	
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	0.095	
強度特性	粘着力 $c'$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.00	
	内部摩擦角 $\phi'$ (°)	39.75	
液状化特性	変相角 $\phi_p$ (°)	28.0	
	液状化パラメータ <sup>*2</sup>	$S_1$	0.005
		$w_1$	4.257
		$P_1$	0.500
		$P_2$	0.990
		$C_1$	2.018

注記\*1：括弧内【】の数字は地下水位以浅の数値を表す。

\*2：動せん断弾性係数，基準平均有効拘束圧及び液状化パラメータは代表的数値を示す。



## 2.7 地下水位

設計地下水位は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計地下水位の一覧を表 2-7 に示す。

表 2-7 設計地下水位の一覧

施設名称	解析断面	設計地下水位 (EL m)
1号機取水槽	B-B断面	3.0

## 2.8 耐震評価フロー

1号機取水槽の耐震評価フローを図2-21に示す。

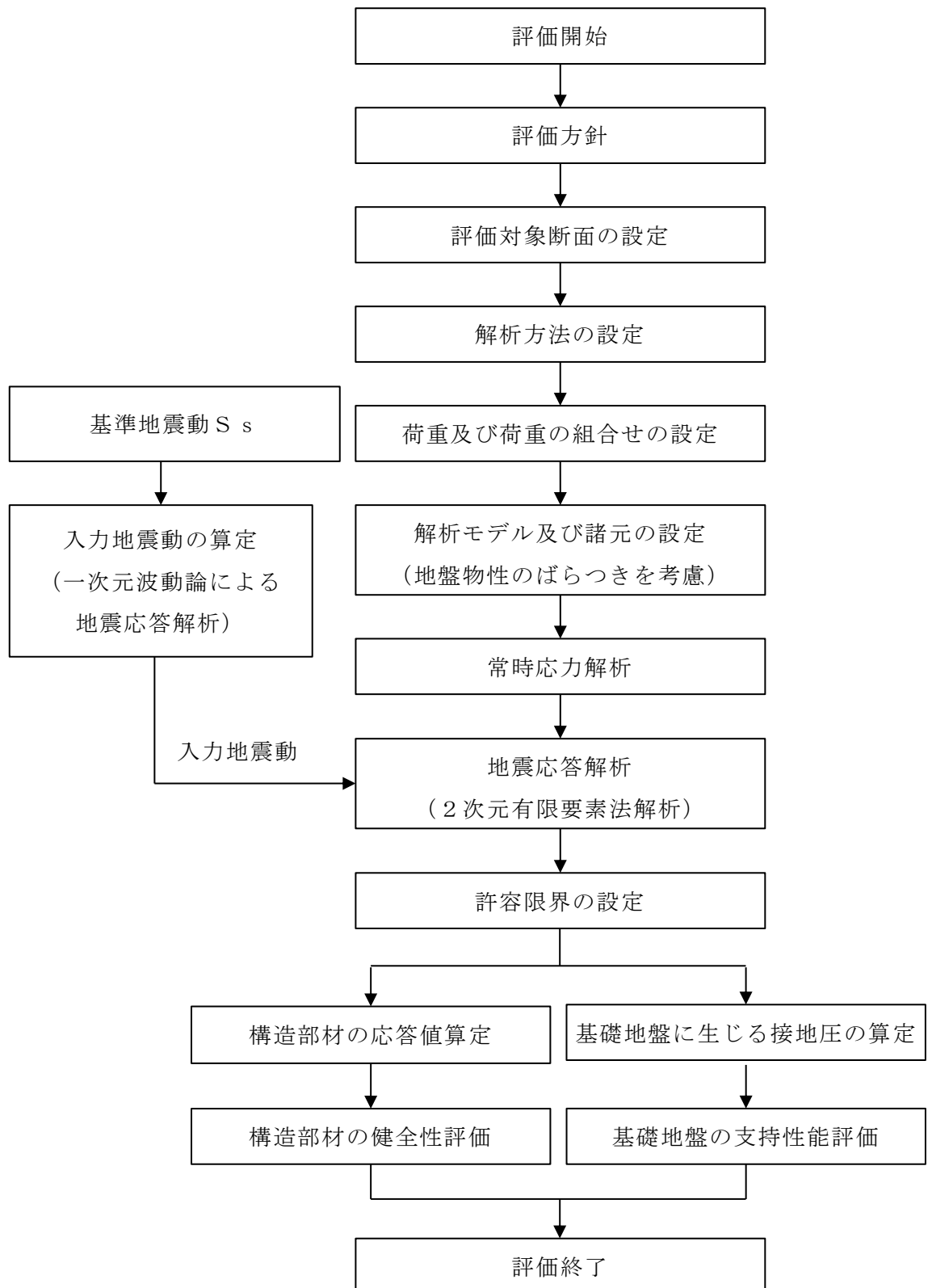


図2-21 1号機取水槽の耐震評価フロー

### 3. 地震応答解析

#### 3.1 地震応答解析手法

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる二次元有限要素法により、基準地震動  $S_s$  に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行うこととし、解析手法については、図 3-1 に示す解析手法の選定フローに基づき選定する。

B-B 断面については、設計地下水位以深の液状化対象層が施設と接するため解析手法のフローに基づき「⑤有効応力解析」を選定する。なお、有効応力解析に加え、液状化しない場合の影響を確認するため、全応力解析も実施する。

構造部材のモデル化については、保守的に全構造部材を充填コンクリートとしてモデル化する。充填コンクリートのモデル化は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

地震応答解析の解析コードについては、有効応力解析及び全応力解析で「FLIP」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

地震応答解析手法の選定フローを図 3-2 に示す。

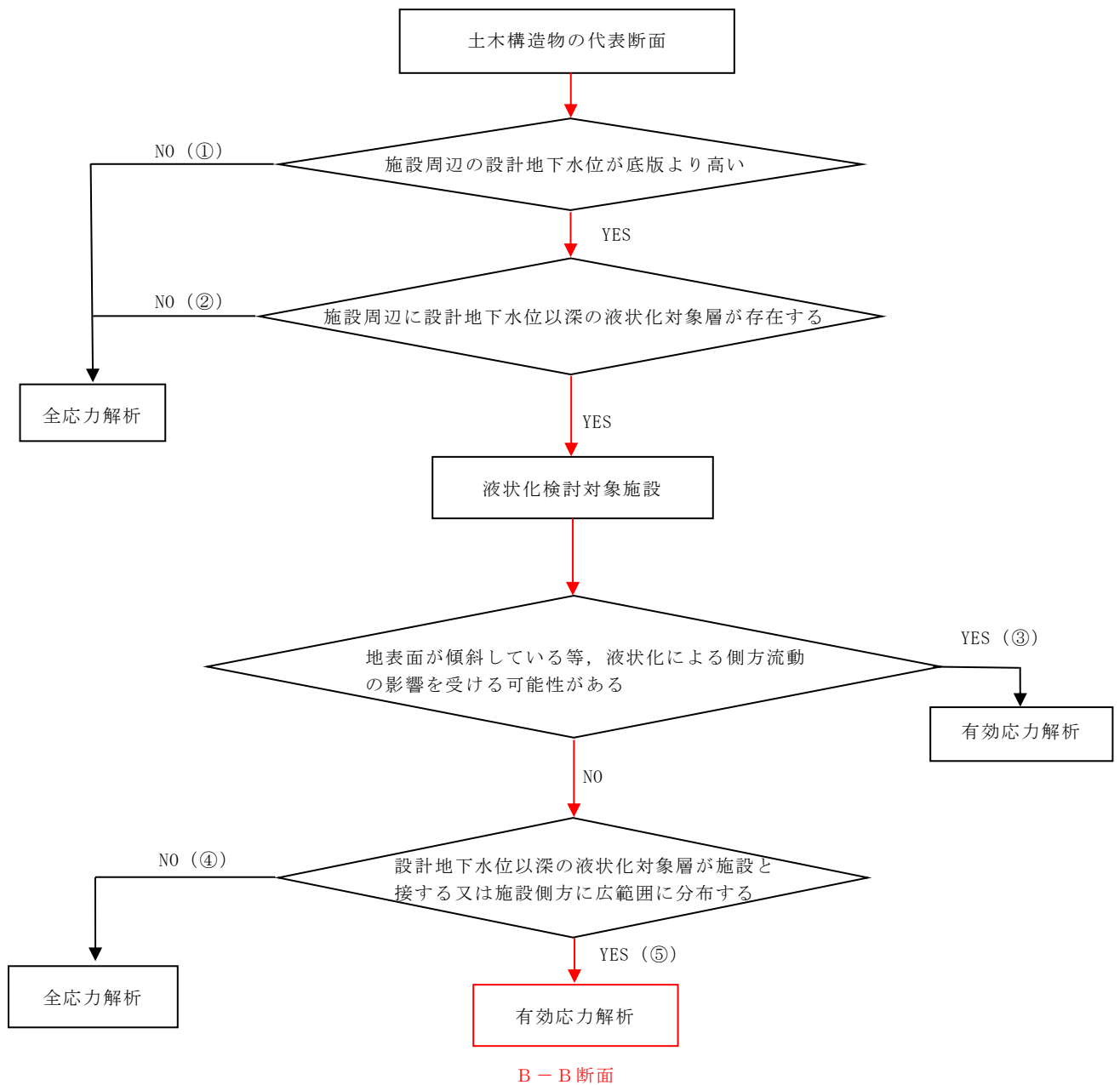


図 3-1 解析手法の選定フロー

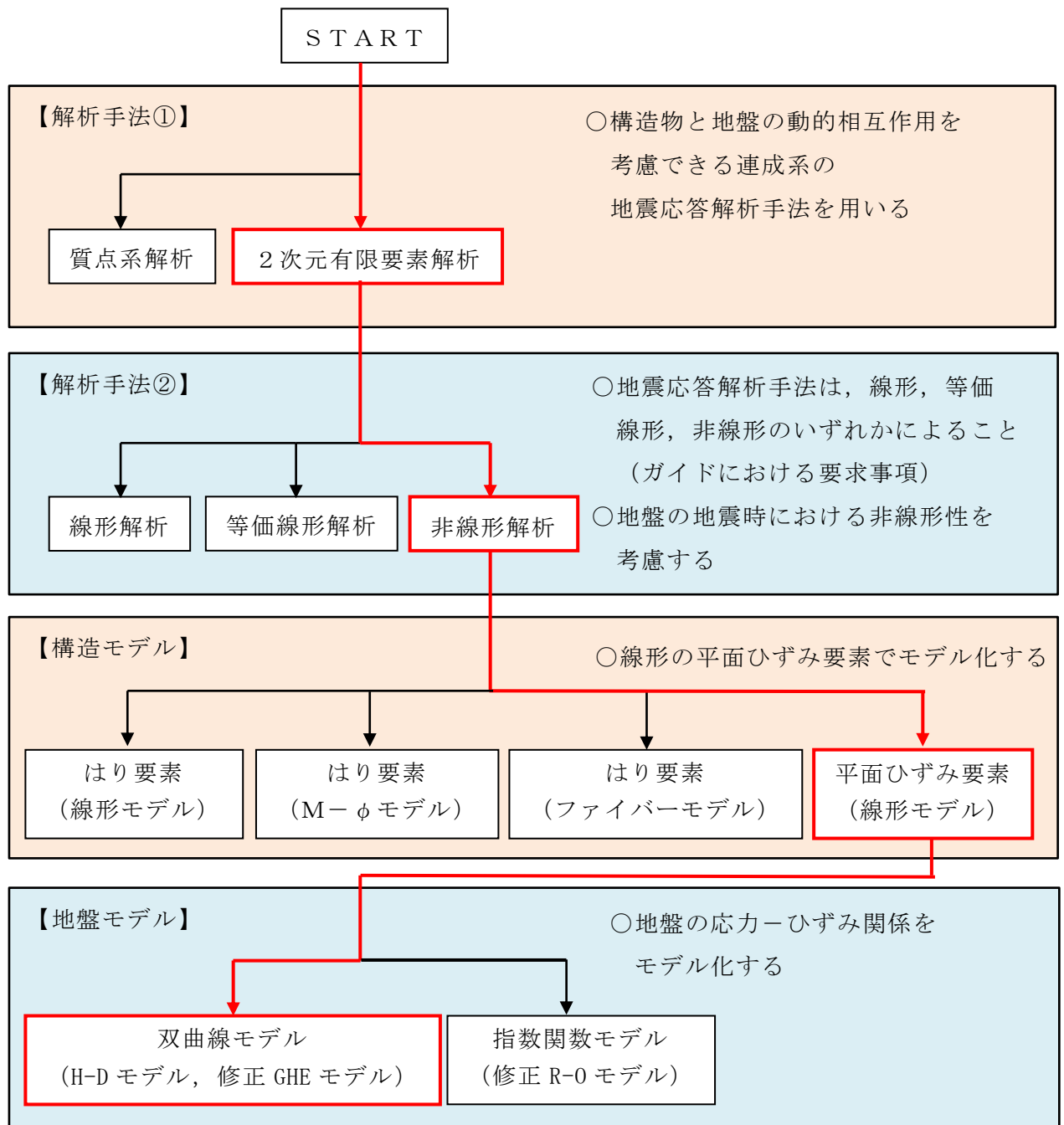


図 3-2 地震応答解析手法の選定フロー

### 3.2 地震応答解析モデルの設定

#### 3.2.1 解析モデル領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。「J E A G 4 6 0 1 -1987」を参考に、図 3-3 に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の 5 倍以上、モデル高さを構造物基礎幅の 1.5 倍～2 倍以上とする。

1号機取水槽の解析モデル領域については、南側に1号機タービン建物及び1号機原子炉建物が隣接しているため、上記の考え方に加えて、隣接構造物外側の地盤応答を適切に表現できる範囲までモデル化領域を拡大して設定する。

なお、解析モデルの境界条件は、側面及び底面ともに粘性境界とする。

地盤の要素分割については、波動をなめらかに表現するために、対象とする波長の 5 分の 1 程度を考慮し、要素高さを 1m 程度まで細分割して設定する。

構造物の要素分割については、「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（2005年6月 土木学会 原子力土木委員会）」に従い、要素長さを部材の断面厚さ又は有効高さの 2.0 倍以下とし、1.0 倍程度まで細分して設定する。

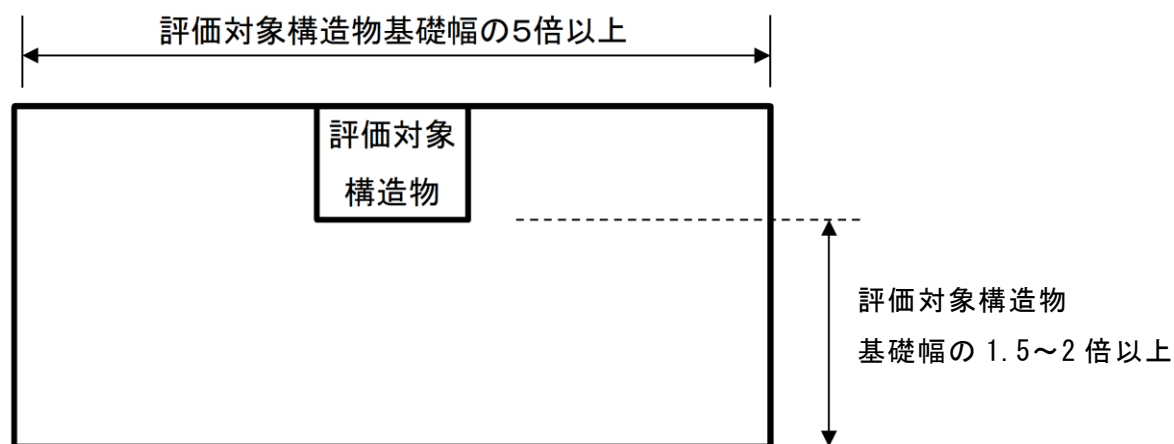


図 3-3 モデル化範囲の考え方

有効応力解析において、二次元地震応答解析モデルは、検討対象構造物とその周辺地盤をモデル化した不整形地盤に加え、この不整形地盤の左右に広がる地盤をモデル化した自由地盤で構成される。この自由地盤は、不整形地盤の左右端と同じ地質構成を有する一次元地盤モデルである。二次元地震応答解析における自由地盤の常時応力解析から不整形地盤の地震応答解析までのフローを図 3-4 に示す。

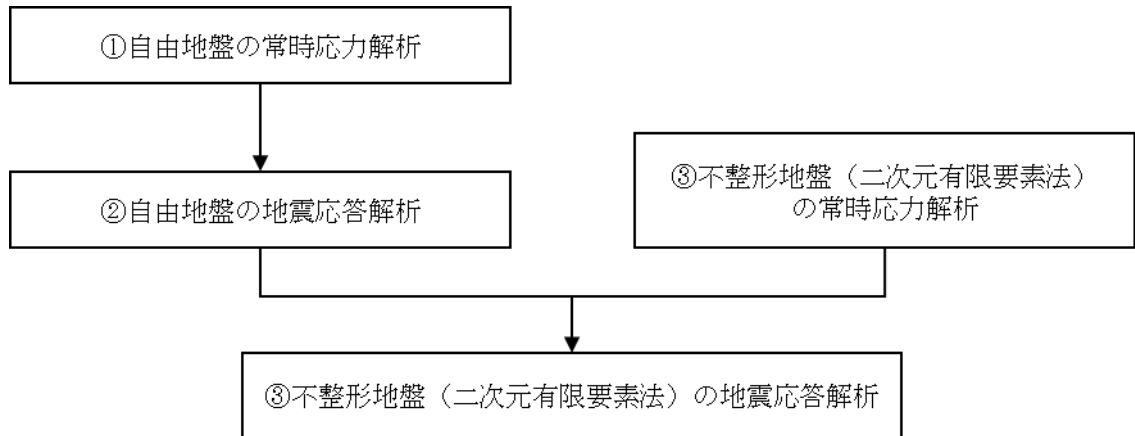


図 3-4 自由地盤の常時応力解析から不整形地盤（二次元有限要素法）の地震応答解析までのフロー（有効応力解析）

### 3.2.2 境界条件

#### (1) 常時応力解析時

常時応力解析は、地盤や構造物の自重等の静的な荷重を載荷することによる常時応力を算定するために行う。そこで、常時応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。境界条件の概念図を図3-5に示す。

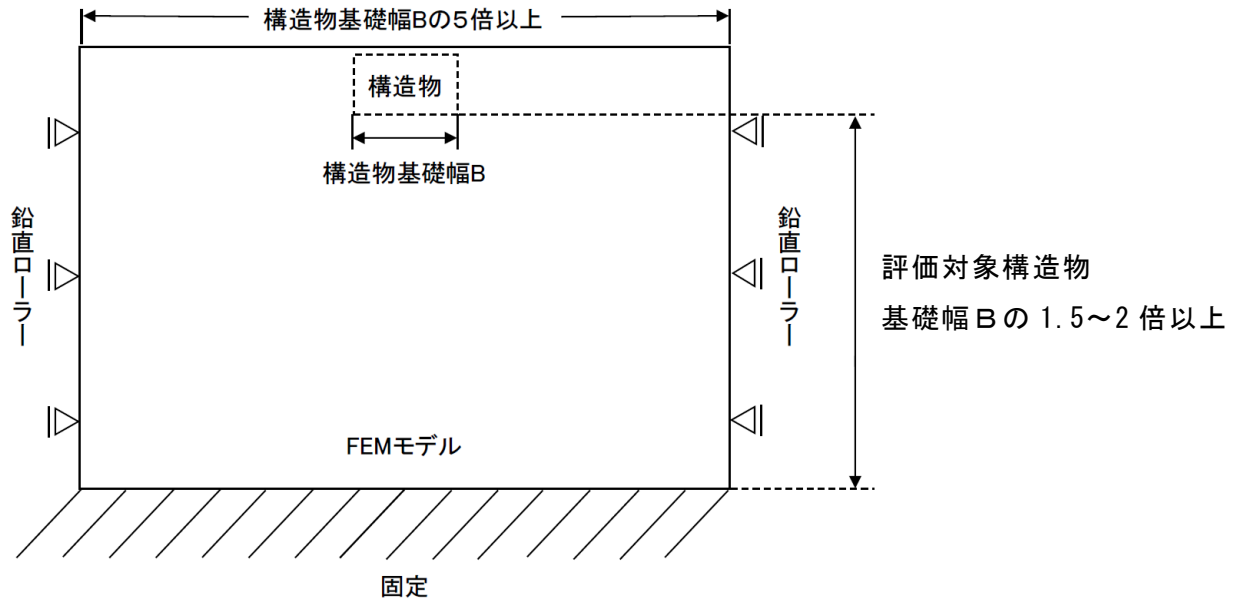


図3-5 常時応力解析における境界条件の概念図



(2) 地震応答解析時

地震応答解析時の境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。底面の粘性境界については、地震動の下降波がモデル底面境界から半無限地盤へ通過していく状態を模擬するため、ダッシュポットを設定する。側方の粘性境界については、自由地盤の地盤振動と不整形地盤側方の地盤振動の差分が側方を通過していく状態を模擬するため、自由地盤の側方にダッシュポットを設定する。

境界条件の概念図を図 3-6 に示す。

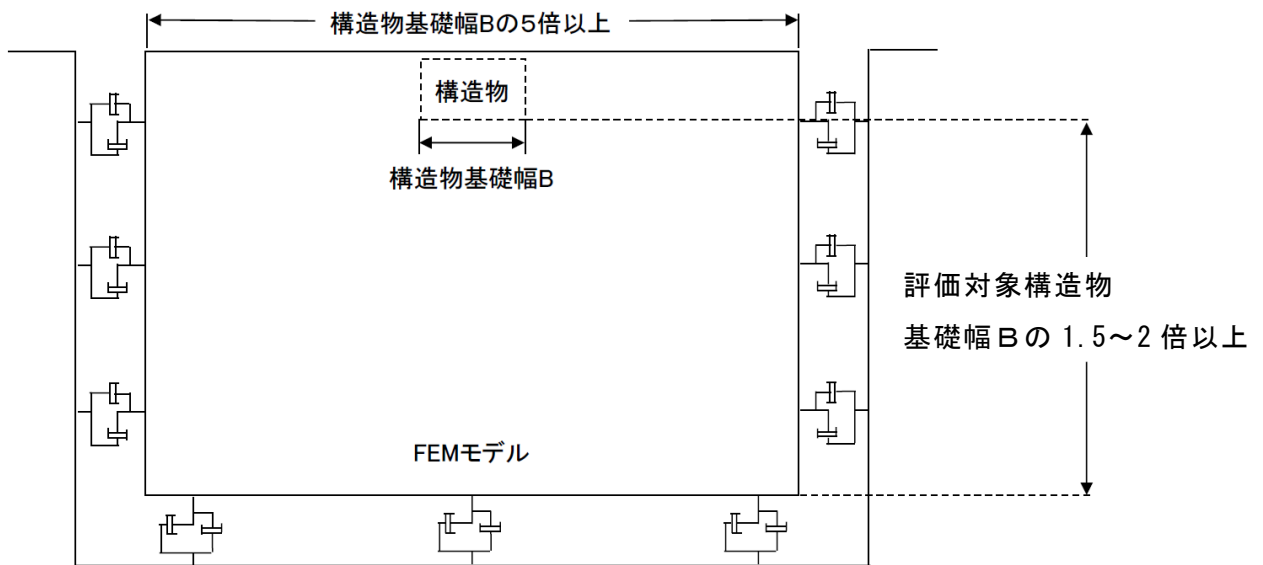


図 3-6 地震応答解析における境界条件の概念図

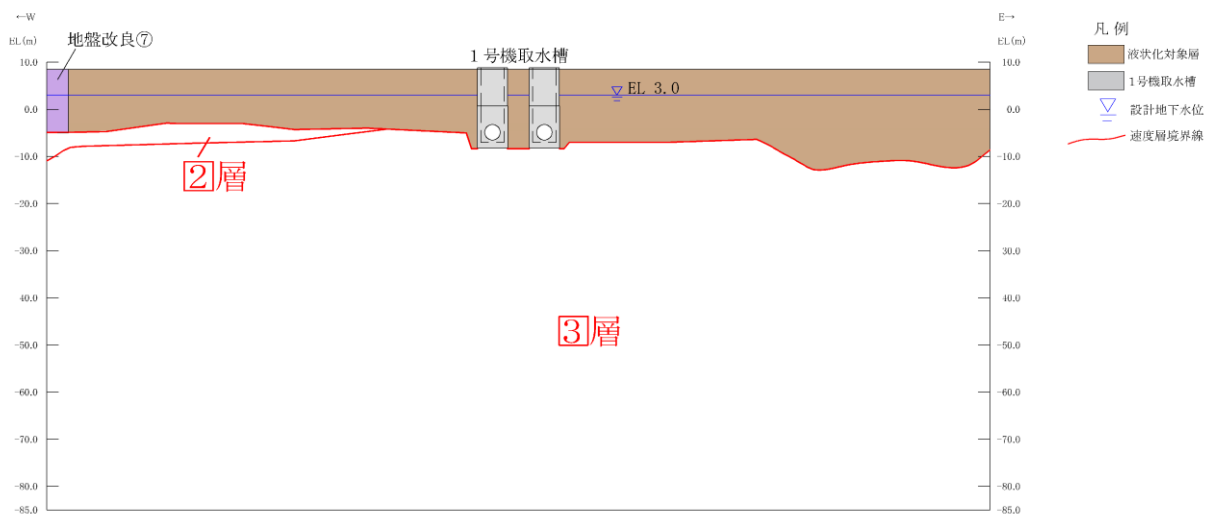
### 3.2.3 構造物のモデル化

評価対象部材である中床版，底版及び東西側壁は，漸拡ダクト部充填コンクリートの一部として，線形のひずみ要素でモデル化する。同様に中床版上部の部材は，ピット部充填コンクリートの一部として線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

### 3.2.4 地盤及びMMRのモデル化

岩盤及びMMRは線形の平面ひずみ要素でモデル化する。埋戻土は，地盤の非線形性をマルチスプリング要素で考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。

地盤のモデル化に用いる，地質断面図を図3-7に示す。

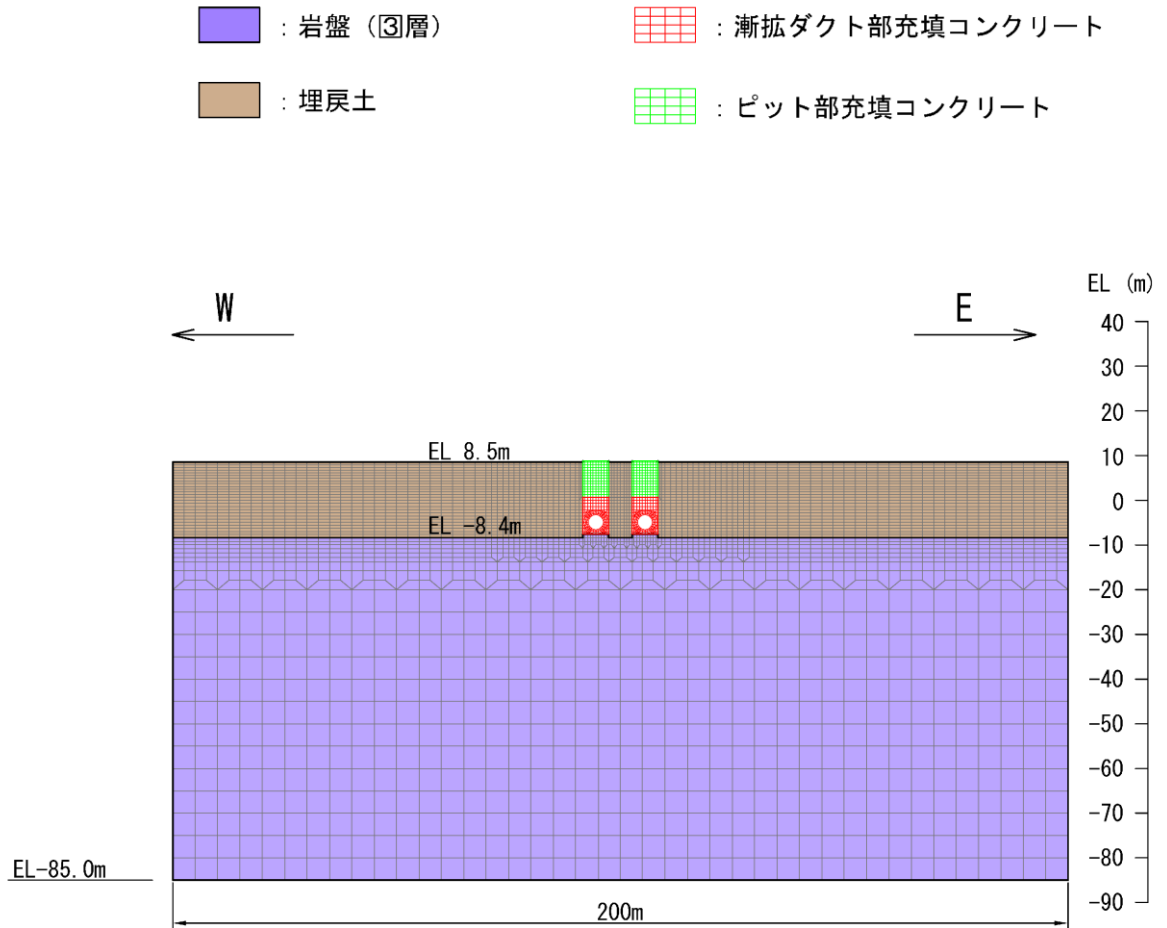


(速度層図)

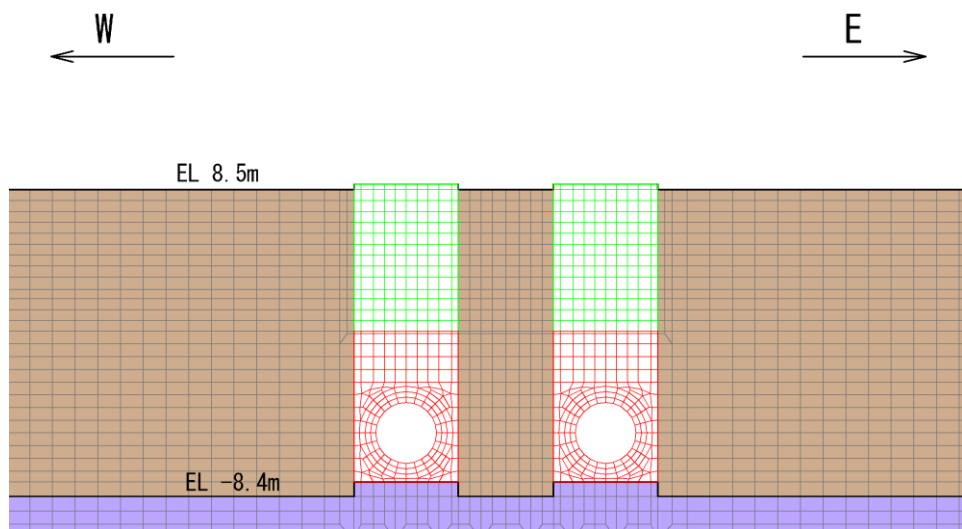
図 3-7 評価対象地質断面図 (B-B 断面)

### 3.2.5 地震応答解析モデル

評価対象地質断面図を踏まえて設定した地震応答解析モデルを図 3-8 に示す。



(全体図)



(拡大図)

図 3-8 地震応答解析モデル図

### 3.2.6 ジョイント要素の設定

地盤と構造物との接合面にジョイント要素を設けることにより，地震時の地盤と構造物の接合面における剥離及びすべりを考慮する。

ジョイント要素は，地盤と構造物の接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向については，常時状態以上の引張荷重が生じた場合，剛性及び応力をゼロとし，剥離を考慮する。せん断方向については，地盤と構造物の接合面におけるせん断強度以上のせん断荷重が生じた場合，せん断剛性をゼロとし，すべりを考慮する。

せん断強度  $\tau_f$  は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。粘着力  $c$  及び内部摩擦角  $\phi$  は周辺地盤の  $c$ ， $\phi$  とし，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき表 3-1 のとおりとする。また，要素間の粘着力  $c$  及び内部摩擦角  $\phi$  は表 3-2 のとおり設定する。

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi$$

ここに，  $\tau_f$  : せん断強度

$c$  : 粘着力 (= 初期せん断強度  $\tau_0$ )

$\phi$  : 内部摩擦角

表 3-1 周辺地盤との境界に用いる強度特性

地盤	粘着力 $c$ (N/mm <sup>2</sup> )	内部摩擦角 $\phi$ (°)
埋戻土	0.22	22
岩盤 (C <sub>M</sub> 級)	1.23	52
MMR ( $f'_{ck} = 18.0\text{N/mm}^2$ )	3.58	40

表 3-2 要素間の粘着力と内部摩擦角

接合条件		粘着力 $c$ ( $N/mm^2$ )	内部摩擦角 $\phi$ ( $^\circ$ )
材料 1	材料 2		
構造物	無筋コンクリート*1	材料 2 の $c$	材料 2 の $\phi$
	埋戻土	材料 2 の $c$	材料 2 の $\phi$
	岩盤	材料 2 の $c$	材料 2 の $\phi$
無筋コンクリート*1	岩盤	— *2	— *2

注記\*1：MMR，置換コンクリート及び埋戻コンクリートの総称

\*2：表面を露出させて打継処理が可能である箇所については，ジョイント要素を設定しない。

ジョイント要素のばね定数は，「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（2005年6月 土木学会 原子力土木委員会）」を参考に，数値計算上，不安定な挙動を起こさない程度に周囲材料の剛性よりも十分に大きな値を設定する。表 3-3 にジョイント要素のばね定数を示す。

また，ジョイント要素の力学特性を図 3-9 に，ジョイント要素の配置を図 3-10 に示す。

表 3-3 ジョイント要素のばね定数

圧縮剛性 $k_n$ ( $kN/m^3$ )	せん断剛性 $k_s$ ( $kN/m^3$ )
$1.0 \times 10^7$	$1.0 \times 10^7$

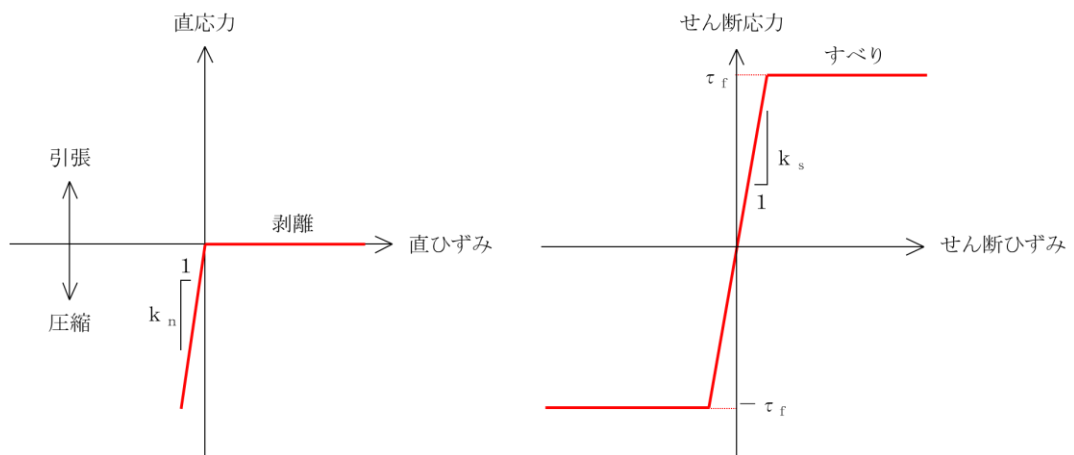
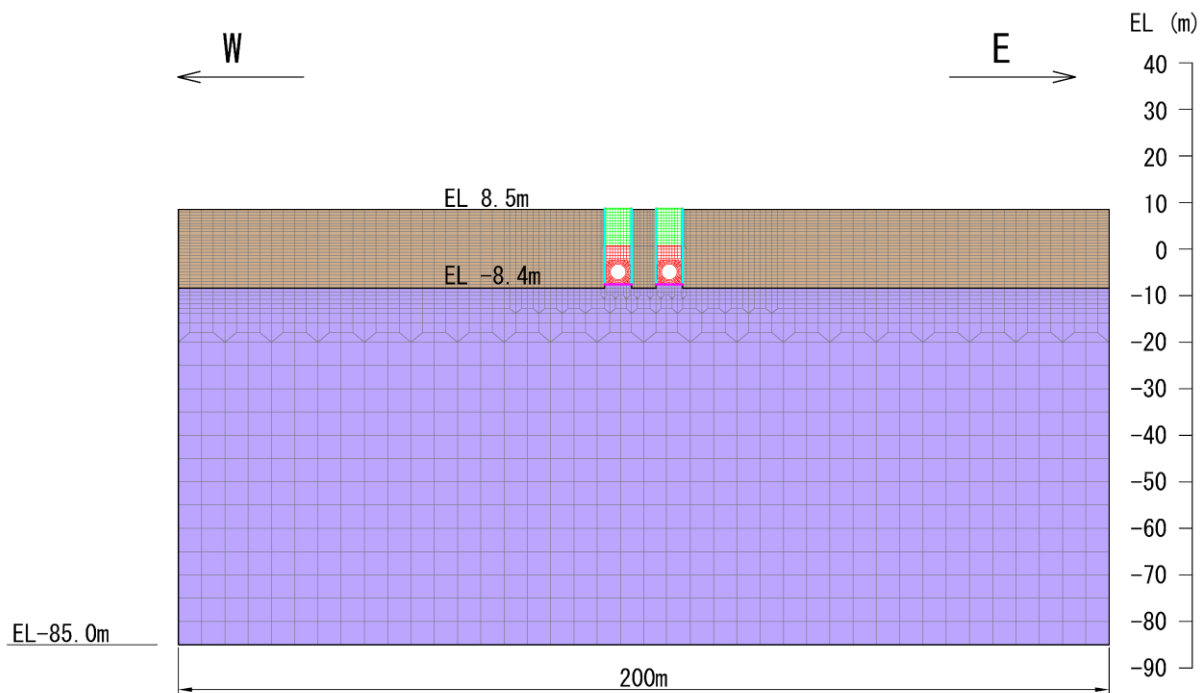
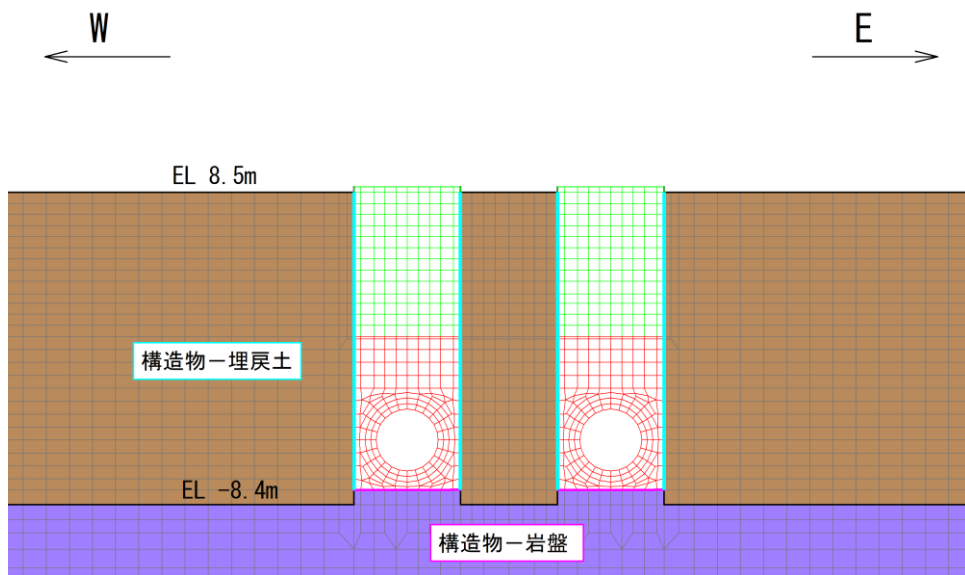


図 3-9 ジョイント要素の力学特性

- : 岩盤 (3層)
- : 埋戻土
- : 漸拡ダクト部充填コンクリート
- : ピット部充填コンクリート
- : ジョイント要素



(全体図)



(拡大図)

図 3-10 ジョイント要素の配置

### 3.3 減衰定数

有効応力解析及び全応力解析における Rayleigh 減衰は，地震力による時系列での地盤剛性の軟化に伴う 1 次固有振動数の低振動数側へのシフトに応じて，地盤応答の保守的な評価が行われるよう係数  $\alpha$  を 0 として設定し，低振動数帯で減衰  $\alpha$  [m] の影響がない剛性比例型減衰としている。また，係数  $\beta$  は，「FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ [理論編]」に基づき  $\beta = 0.002$  と設定する。



### 3.4 荷重及び荷重の組合せ

耐震評価にて考慮する荷重は、通常運転時の荷重（永久荷重）及び地震荷重を抽出し、それぞれを**組み合わせ**て設定する。地震荷重には、地震時土圧及び機器・配管系からの反力による荷重が含まれるものとする。

地震時に1号機取水槽に作用する機器・配管系からの反力については、機器・配管系を解析モデルに付加質量として与えることで考慮する。

荷重の組合せを表3-4に示す。

表3-4 荷重の組合せ

種別	荷重		算定方法の概要
永久荷重 (常時荷重)	固定荷重	躯体自重	○ 設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管荷重	○ 機器・配管系の重量に基づいて設定する。
	積載荷重	静止土圧	○ 常時応力解析により設定する。
		外水圧	○ 地下水位に応じた静水圧として考慮する。 地下水の密度を考慮する。
		内水圧	○ 内水位に応じた静水圧として考慮する。 海水の密度を考慮する。
		積雪荷重	○ 地表面及び構造物天端に考慮する。
		土被り荷重	— 土被り荷重がないため考慮しない。
永久上載荷重	— 地表面に恒常的に置かれる設備等はないことから考慮しない。		
偶発荷重 (地震荷重)	水平地震動	○	基準地震動 $S_s$ による水平・鉛直同時加振を考慮する。
	鉛直地震動	○	
	動水圧	○	水位条件及び密度は、永久荷重のうち内水圧と同様とする。 地震時動水圧を付加質量により考慮する。

### 3.4.1 機器・配管荷重

地震応答解析時に考慮する機器・配管系の荷重図を図3-11に荷重一覧表を表3-5に示す。機器・配管荷重は、常時・地震時ともに付加質量としてモデル化する。

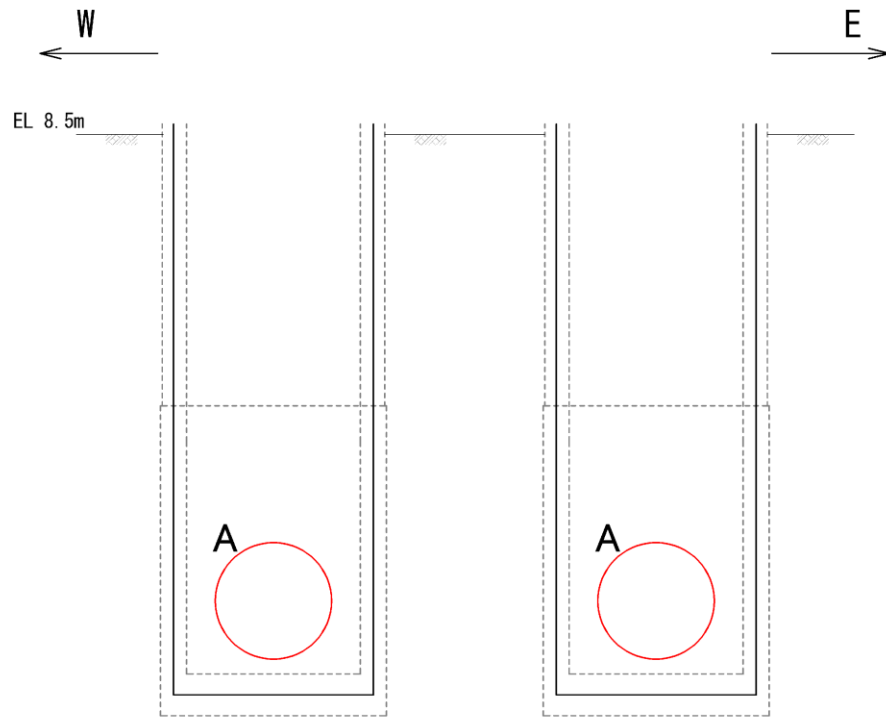


図3-11 解析用機器・配管荷重図

表3-5 機器配管荷重一覧（分布荷重）

範囲	位置	流路 縮小工	合計 (kN/m <sup>2</sup> )
A	開口部	5.71	5.71

### 3.4.2 外水圧

外水圧を地下水位に応じた静水圧として設定する。地下水位については、「2.7 地下水位」のとおりとし、地下水の密度として  $1.00\text{g/cm}^3$  を考慮する。

### 3.4.3 内水圧

内水位については、取水槽の内部に EL 0.58m を内水位として設定する。設定の際は、海水の密度として、 $1.03\text{g/cm}^3$  を考慮する。

B-B断面の内水圧図を図3-12に示す。

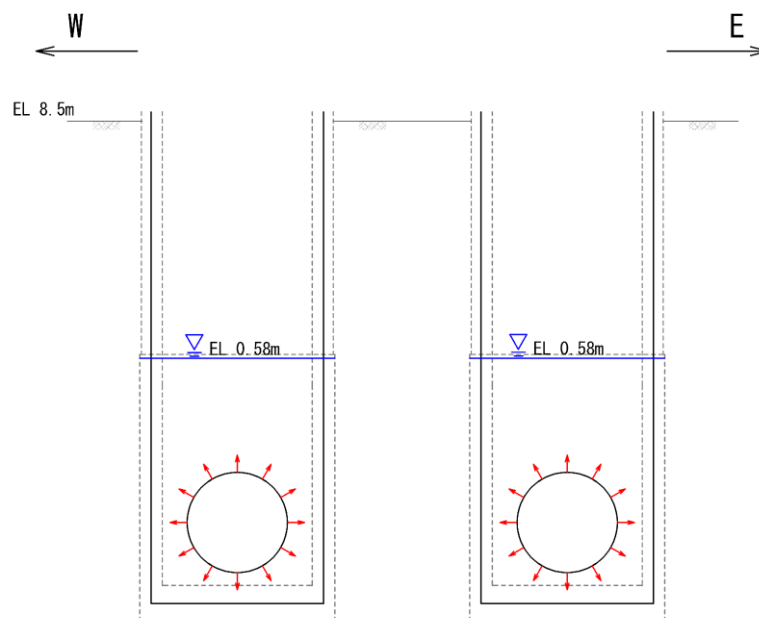


図3-12 内水圧概念図

### 3.4.4 積雪荷重

積雪荷重については、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等における損傷の防止に関する基本方針」に基づき、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量1cmごとに  $20\text{N/m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

### 3.4.5 動水圧

動水圧については箱抜き実施箇所に地震時動水圧を付加質量として考慮する。

なお、各構成節点の付加質量は、取水管内空面積の分担を考慮して、図 3-13 に示すとおり水平成分と鉛直成分で個別に算定する。

$$P_{dwhi} = \pm k_{hi} \cdot \gamma_w \cdot A_{hi}$$

$$P_{dwvi} = \pm k_{vi} \cdot \gamma_w \cdot A_{vi}$$

ここに、 $P_{dwhi}$  :  $i$  節点の動水圧の水平成分

$P_{dwvi}$  :  $i$  節点の動水圧の鉛直成分

$k_{hi}$  :  $i$  節点の水平震度 ( $= \alpha_{hi}/g$ )

$k_{vi}$  :  $i$  節点の鉛直震度 ( $= \alpha_{vi}/g$ )

$\alpha_{hi}$  :  $i$  節点の水平加速度

$\alpha_{vi}$  :  $i$  節点の鉛直加速度

$g$  : 重力加速度 ( $= 9.80665 \text{ m/s}^2$ )

$\gamma_w$  : 海水重量 ( $= 10.1 \text{ kN/m}^3$ )

$A_{hi}$  :  $i$  節点の水平成分の分担面積 (図 3-13 参照)

$A_{vi}$  :  $i$  節点の鉛直成分の分担面積 (図 3-13 参照)

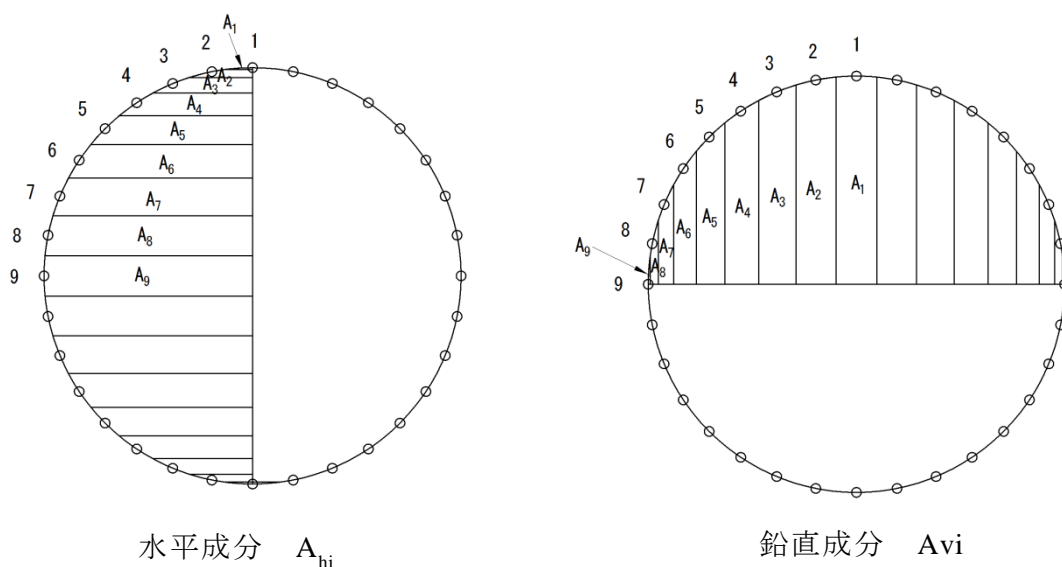


図 3-13 動水圧概念図

### 3.5 地震応答解析の解析ケース

#### 3.5.1 耐震評価における解析ケース

##### (1) 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース

B-B断面の周辺には主に埋戻土が分布していることから、埋戻土の初期せん断弾性係数のばらつきを考慮する。

解析ケースについては、非液状化の条件を仮定した解析ケース（表3-6に示すケース④及び⑤）を実施することにより、地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

地盤のばらつきの設定方法の詳細は、「補足-023-01 地盤の支持性能について」に示す。

表3-6 解析ケース

解析ケース	解析手法	地盤物性	
		埋戻土 ( $G_0$ : 初期せん断 弾性係数)	岩盤 ( $G_d$ : 動せん断 弾性係数)
ケース① (基本ケース)	有効応力解析	平均値	平均値
ケース②	有効応力解析	平均値 + 1 $\sigma$	平均値
ケース③	有効応力解析	平均値 - 1 $\sigma$	平均値
ケース④	全応力解析	平均値	平均値
ケース⑤	全応力解析	平均値 + 1 $\sigma$	平均値

##### (2) 耐震評価における解析ケースの組合せ

耐震評価においては、基準地震動  $S_s$  全波（6波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（6波）を加えた全12波に対し、基本ケース（表3-7に示すケース①）を実施する。基本ケースにおいて、局所安全係数による照査及び基礎地盤の支持力照査の各照査項目で照査値が最も厳しくなる地震動を用いて、表3-7に示す解析ケース②～⑤を実施する。耐震評価における解析ケースを表3-7に示す。



#### 4. 評価内容

##### 4.1 入力地震動の設定

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動  $S_s$  を一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図4-1に入力地震動算定の概念図を示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」及び「microSHAKE/3D」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

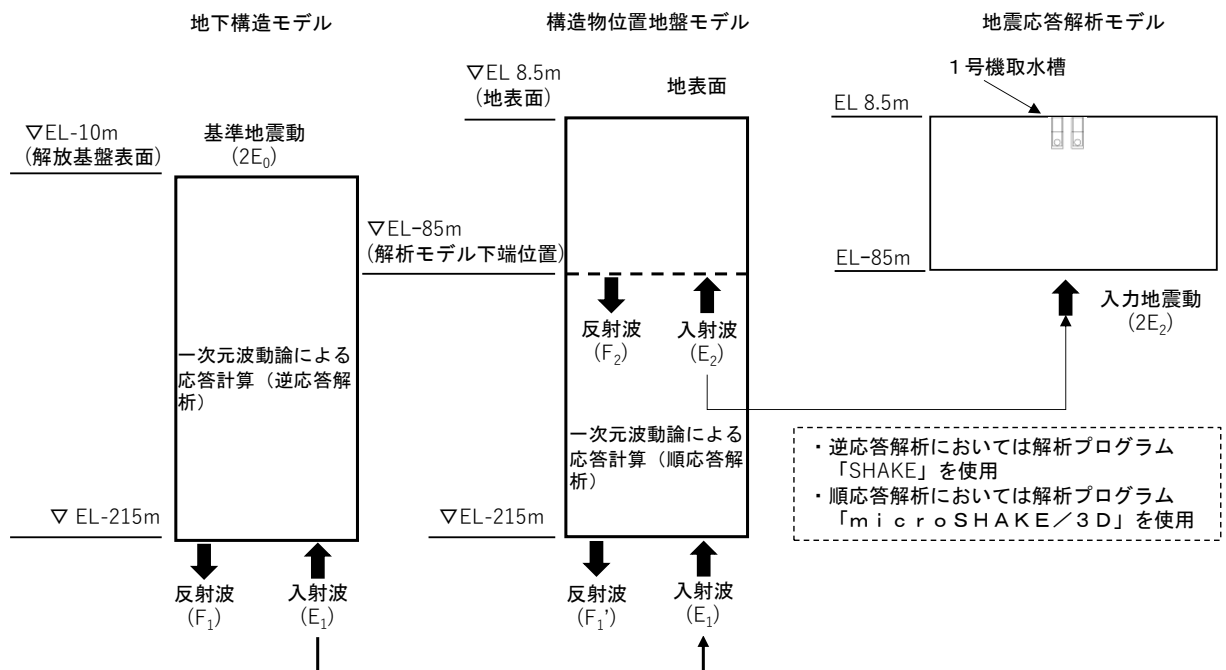
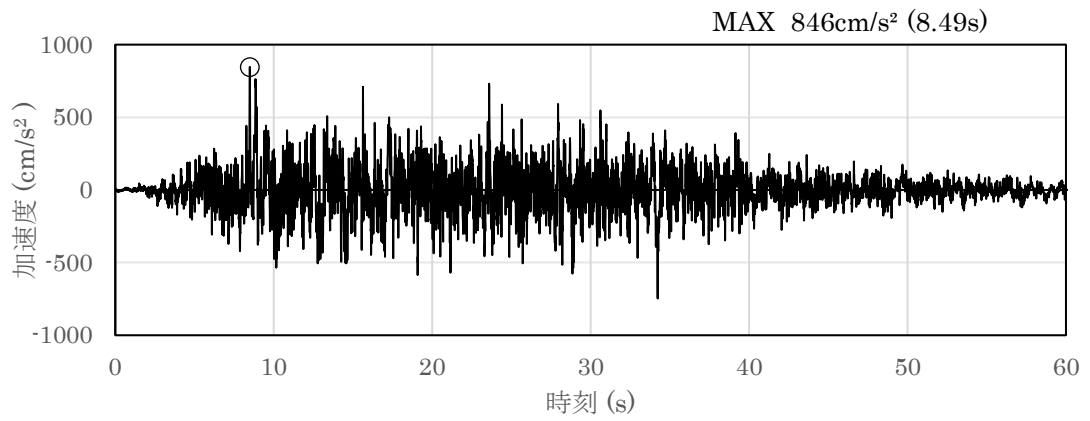


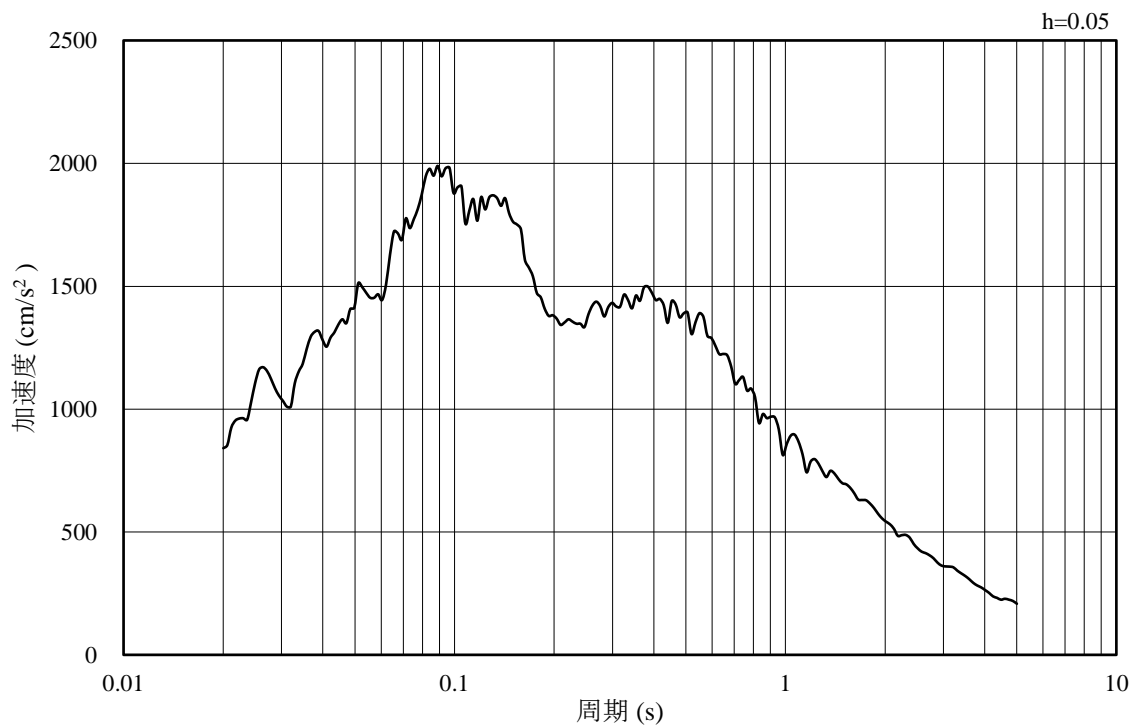
図 4-1 入力地震動算定の概念図

#### 4.1.1 入力地震動の設定

図 4-2～図 4-13 に B - B 断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。



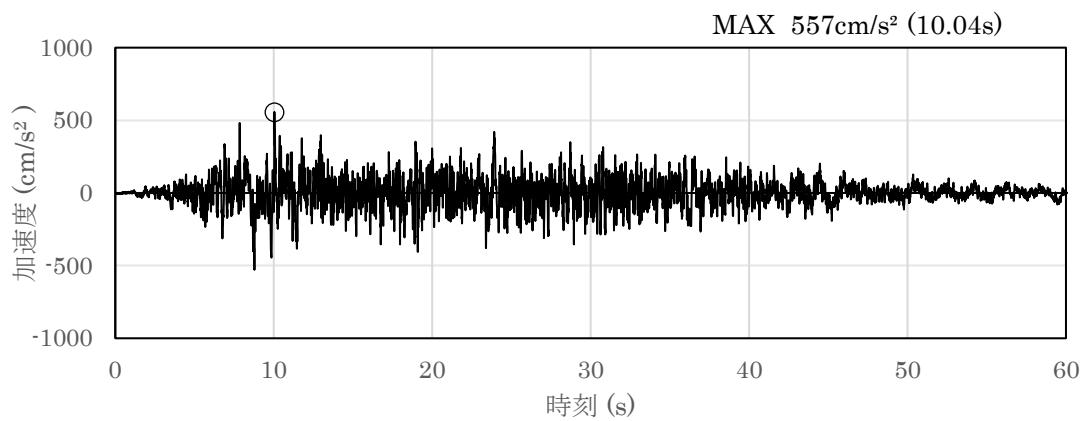
(a) 加速度時刻歴波形



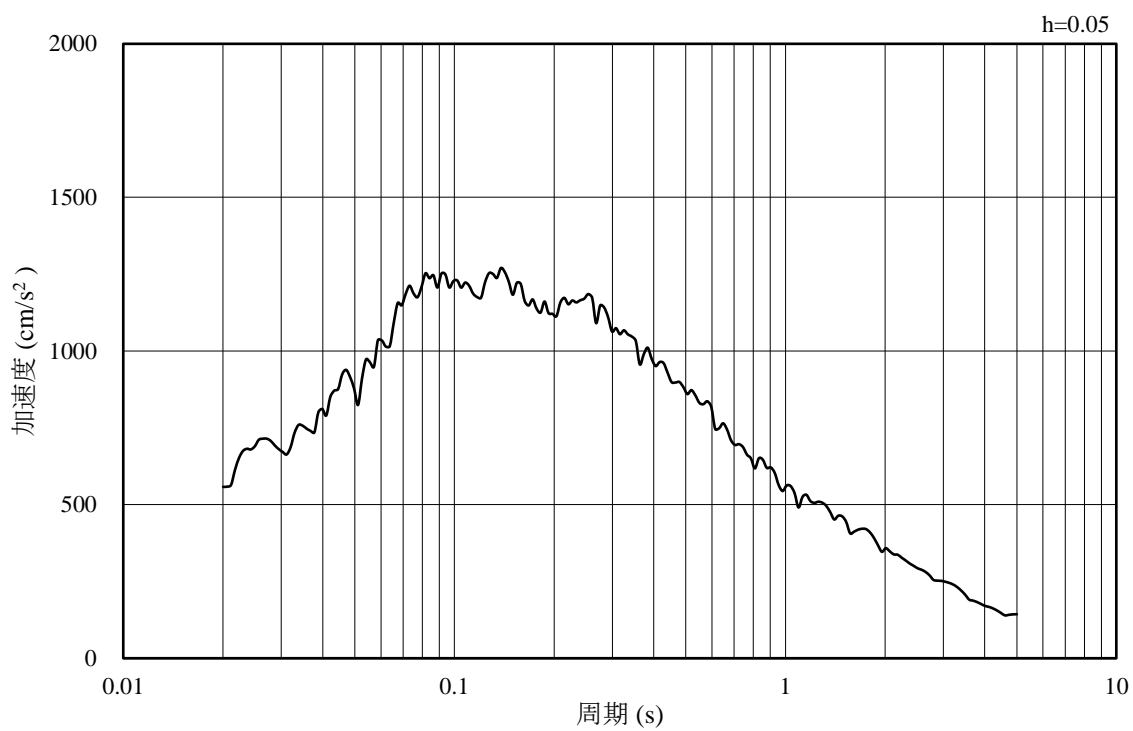
(b) 加速度応答スペクトル

図 4-2 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平成分 : S s - D)



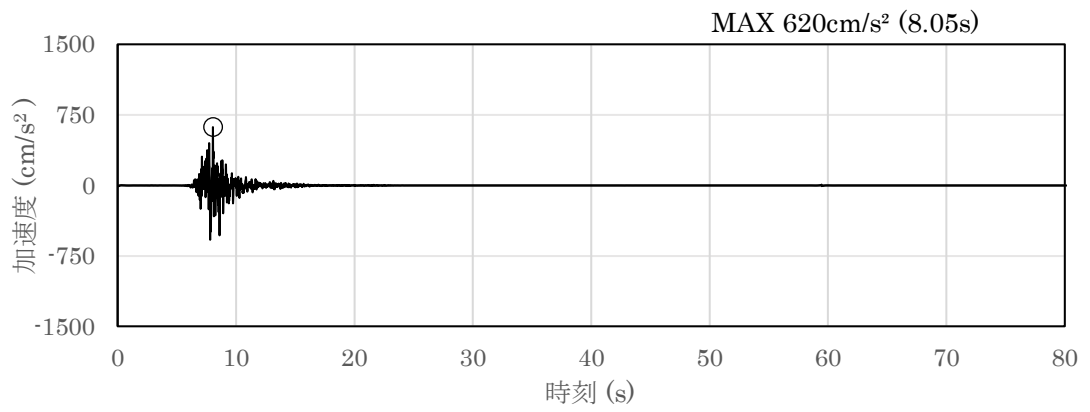


(a) 加速度時刻歴波形

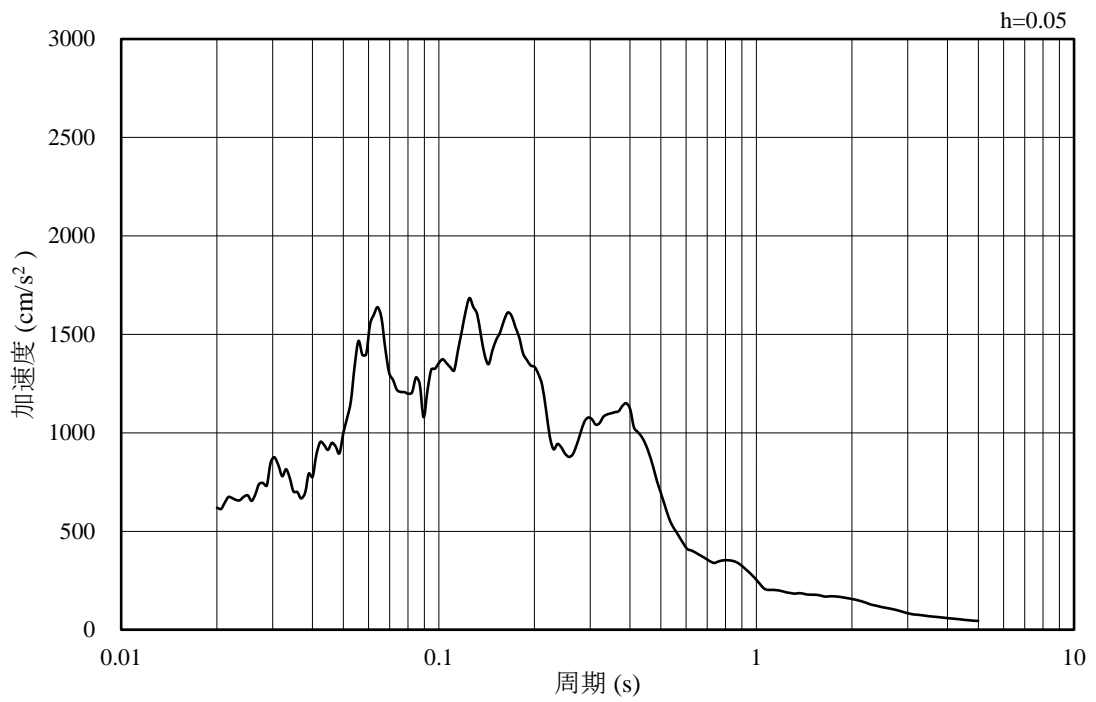


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-3 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直成分：S s - D)

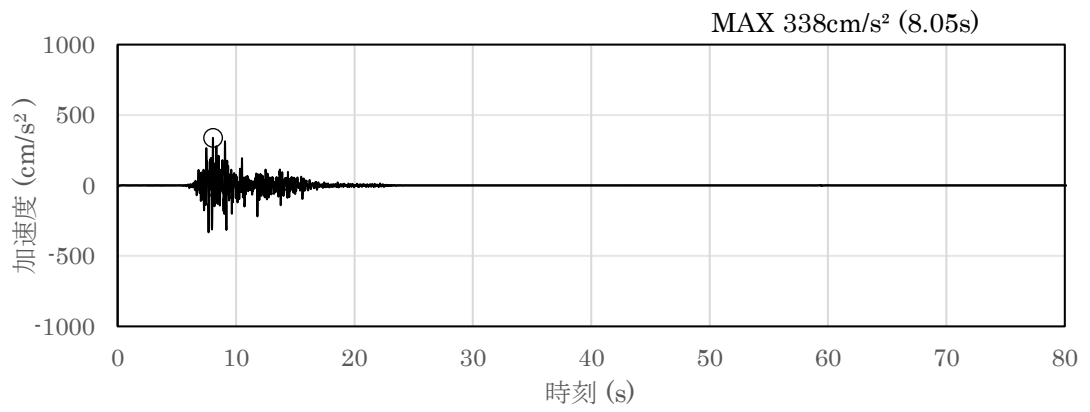


(a) 加速度時刻歴波形

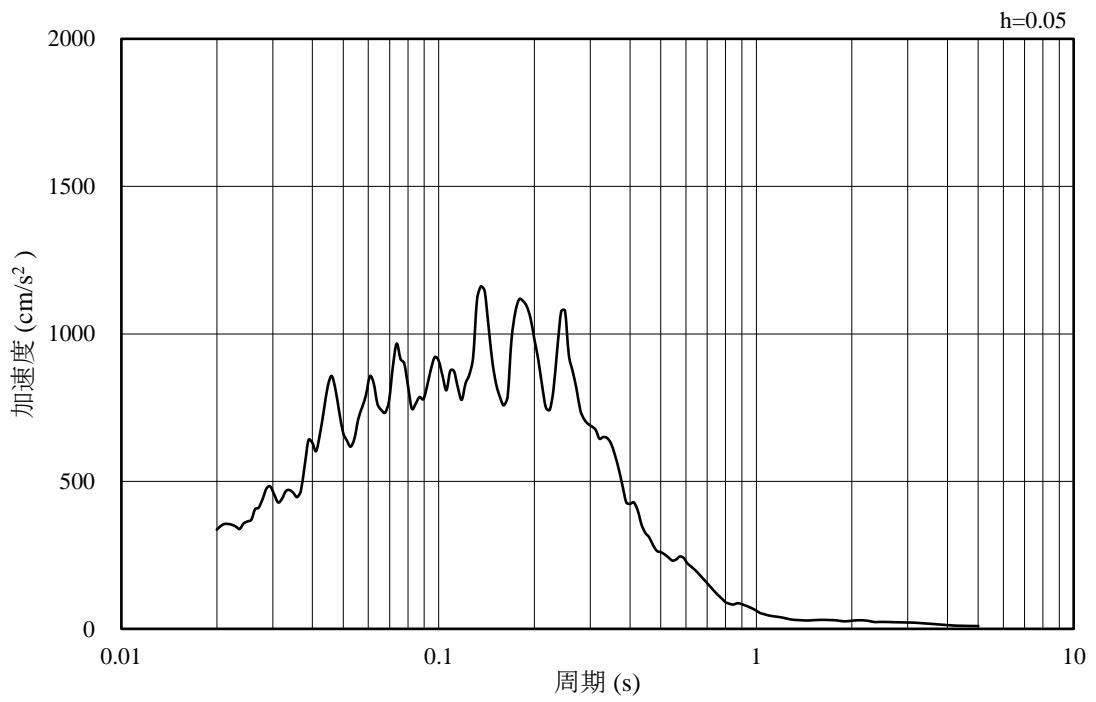


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-4 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平成分 : S s - F 1)

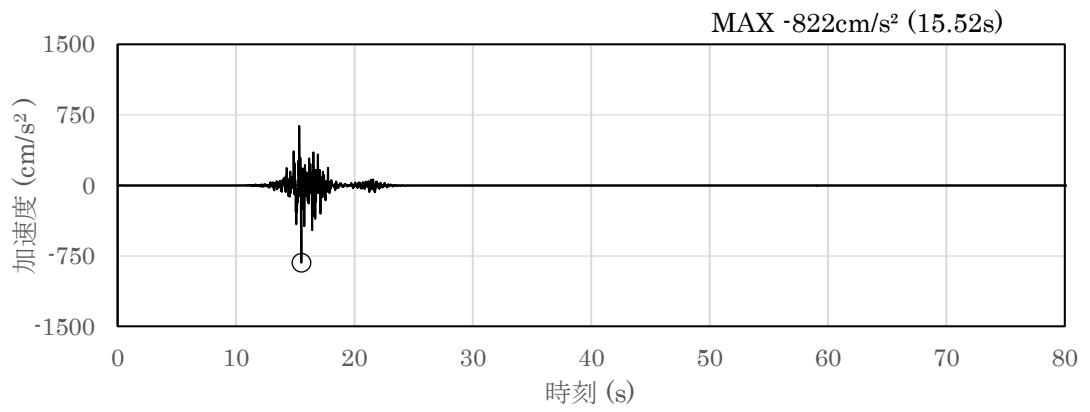


(a) 加速度時刻歴波形

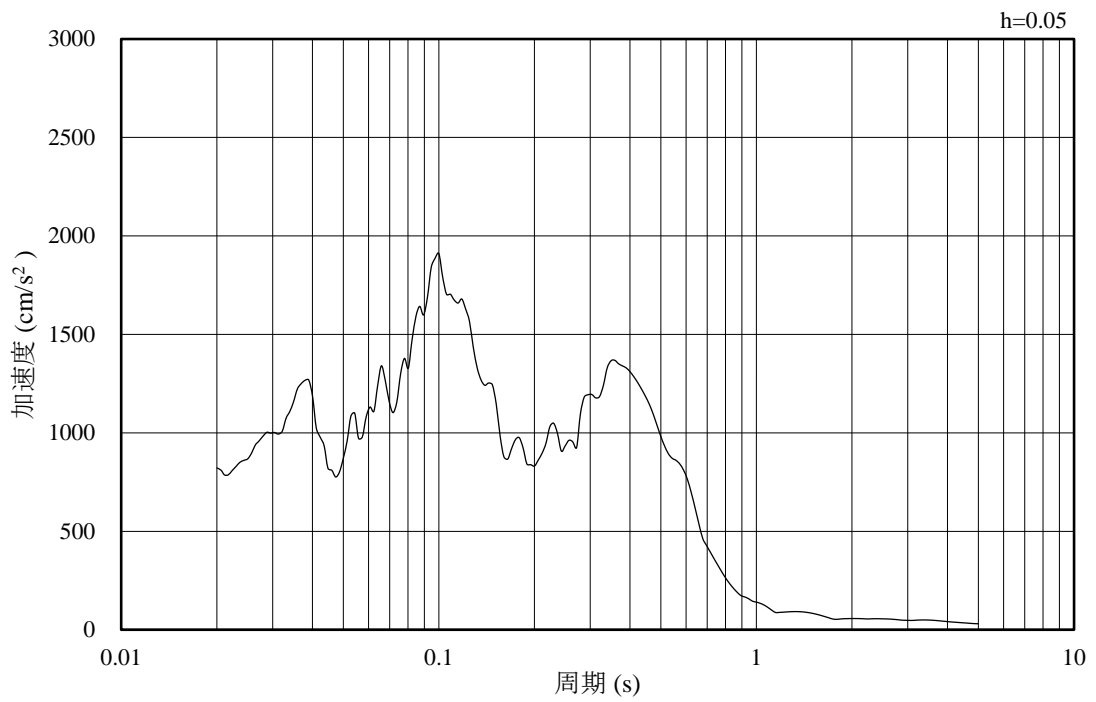


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-5 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直成分：S s - F 1)

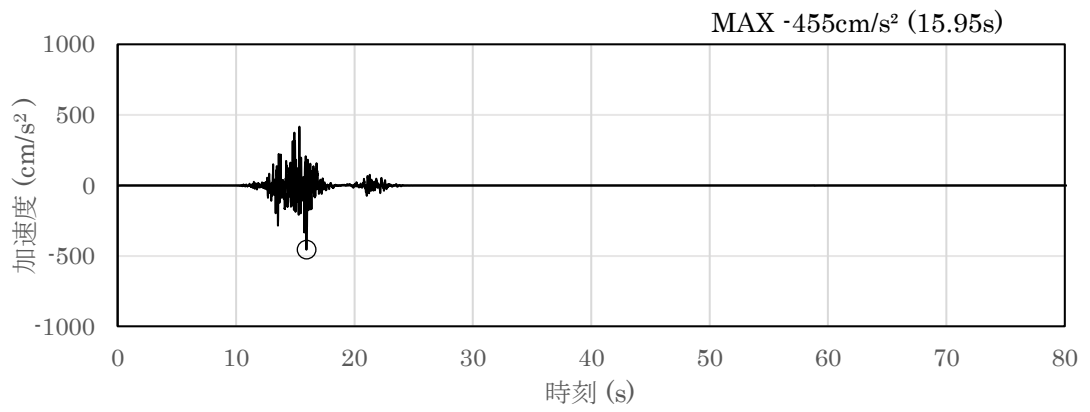


(a) 加速度時刻歴波形

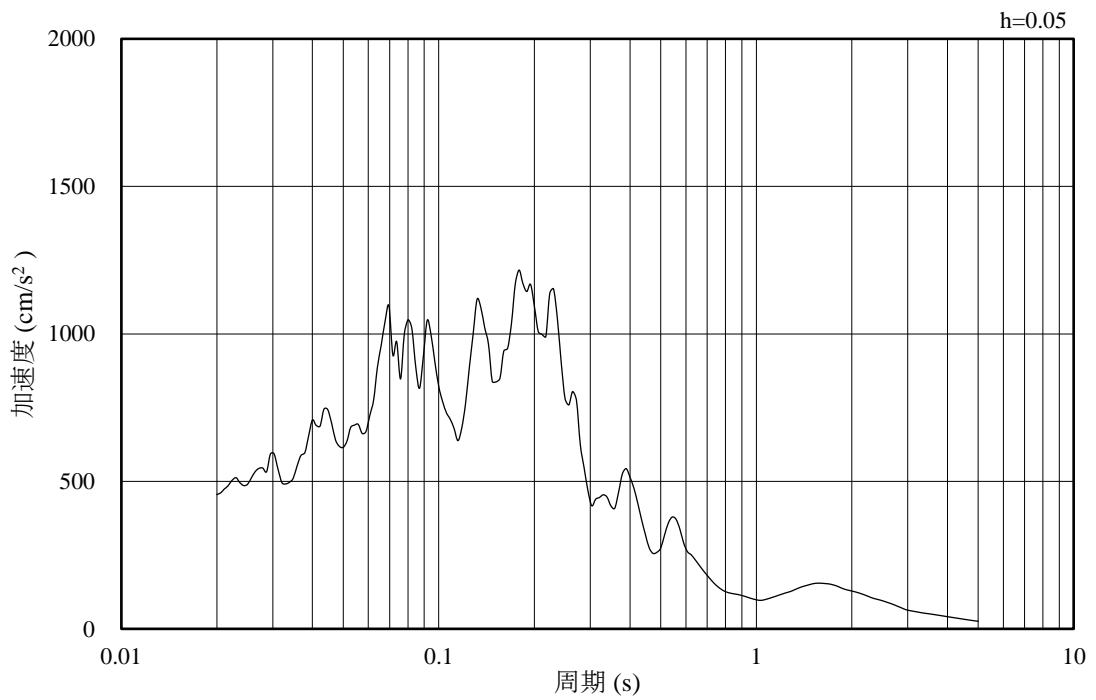


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-6 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平成分 : S s - F 2)

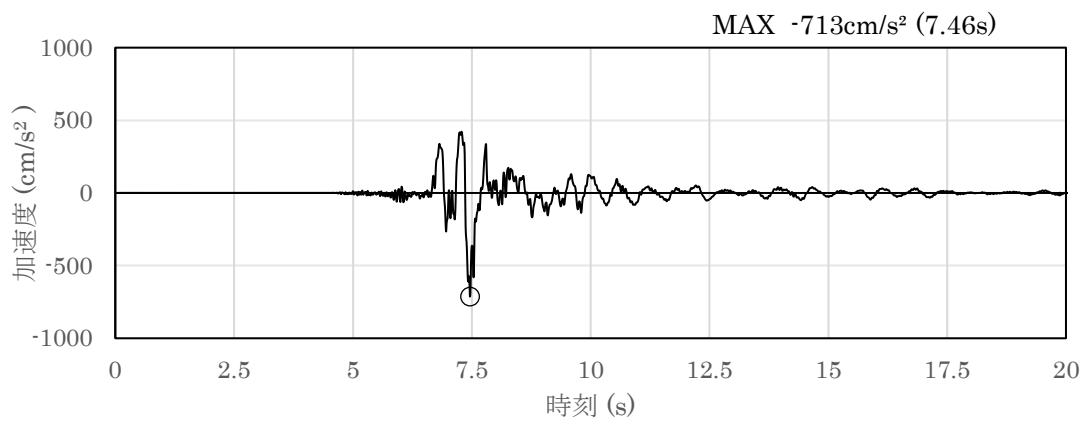


(a) 加速度時刻歴波形

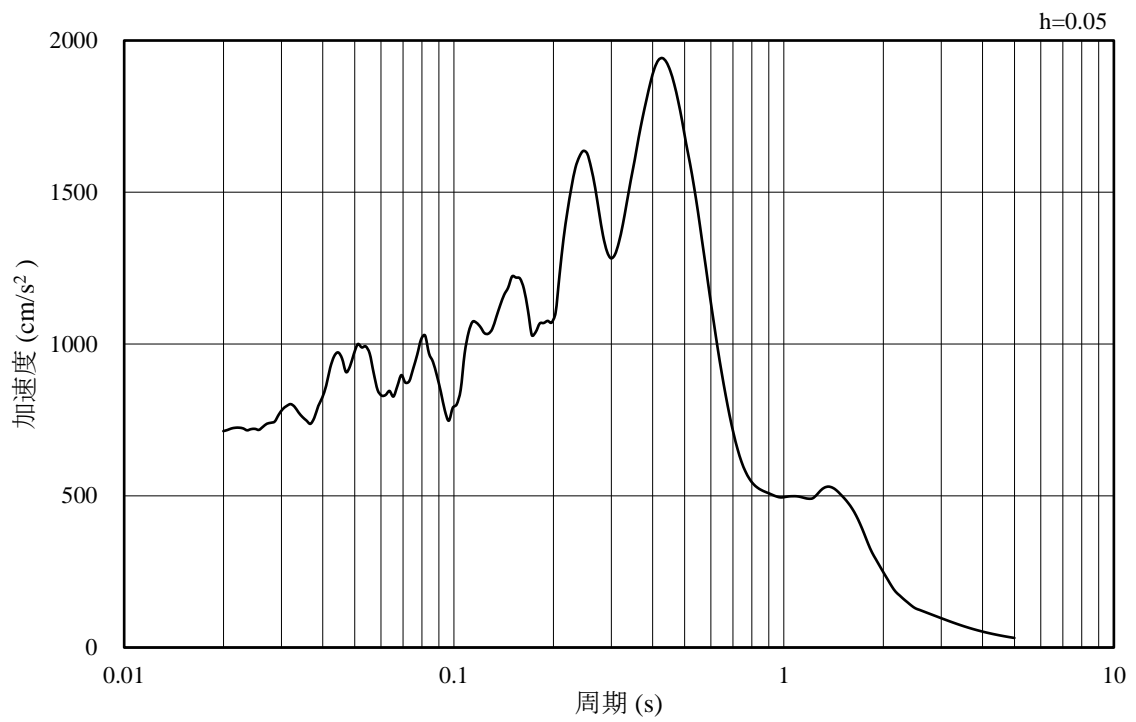


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-7 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直成分：S s - F 2)

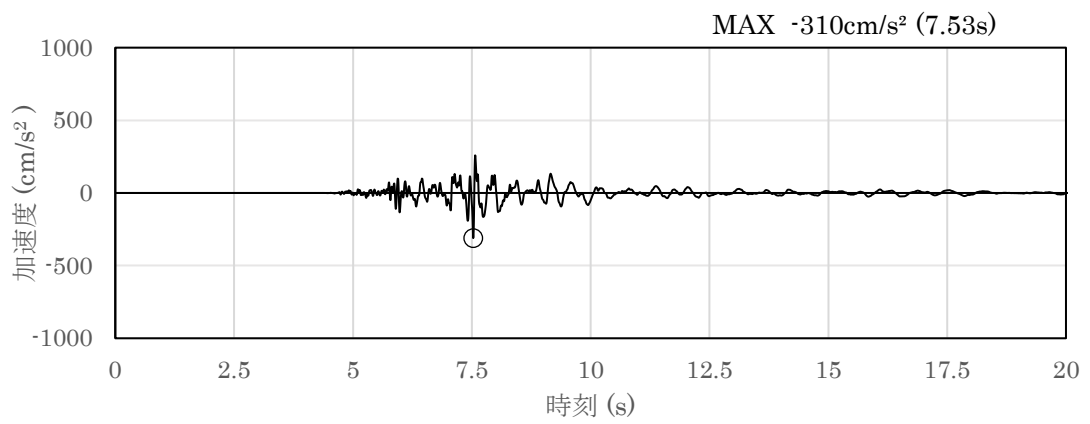


(a) 加速度時刻歴波形

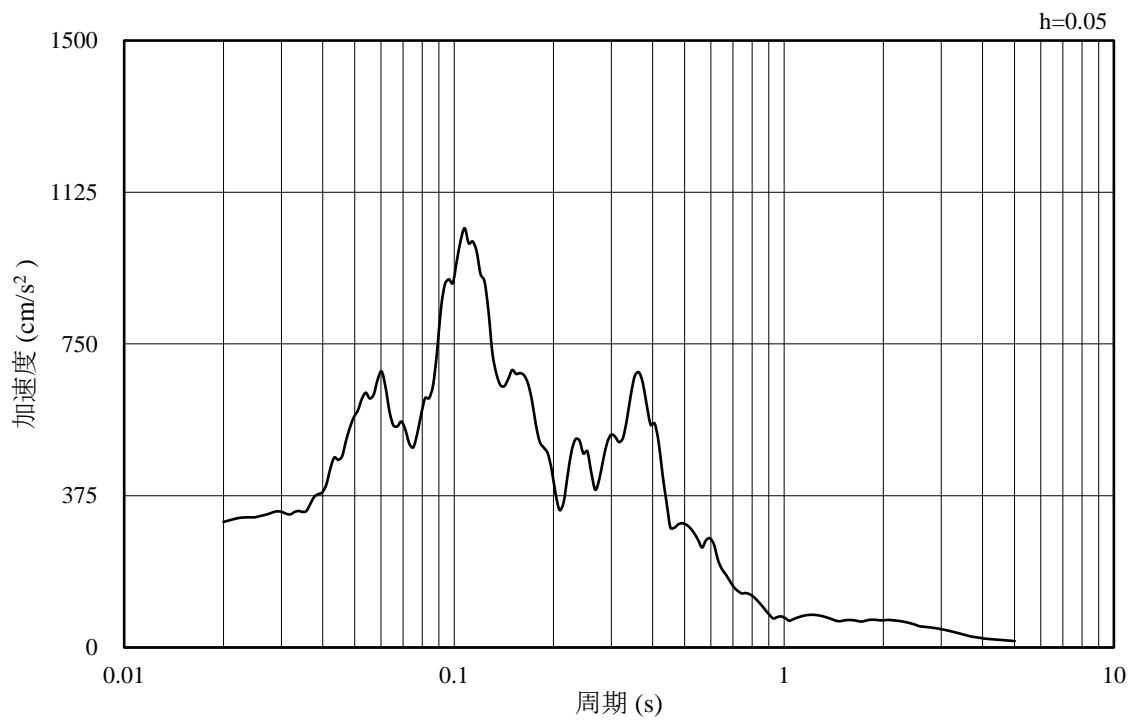


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-8 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平成分 : S s - N 1)

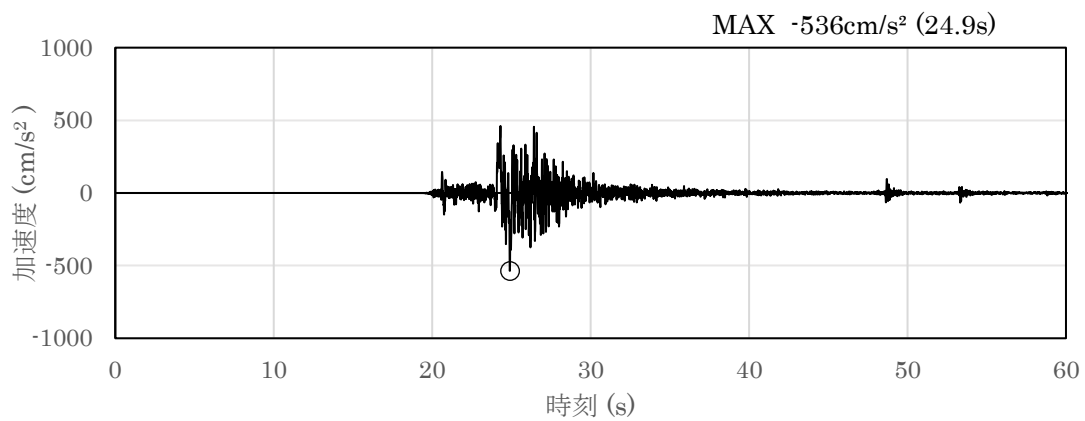


(a) 加速度時刻歴波形

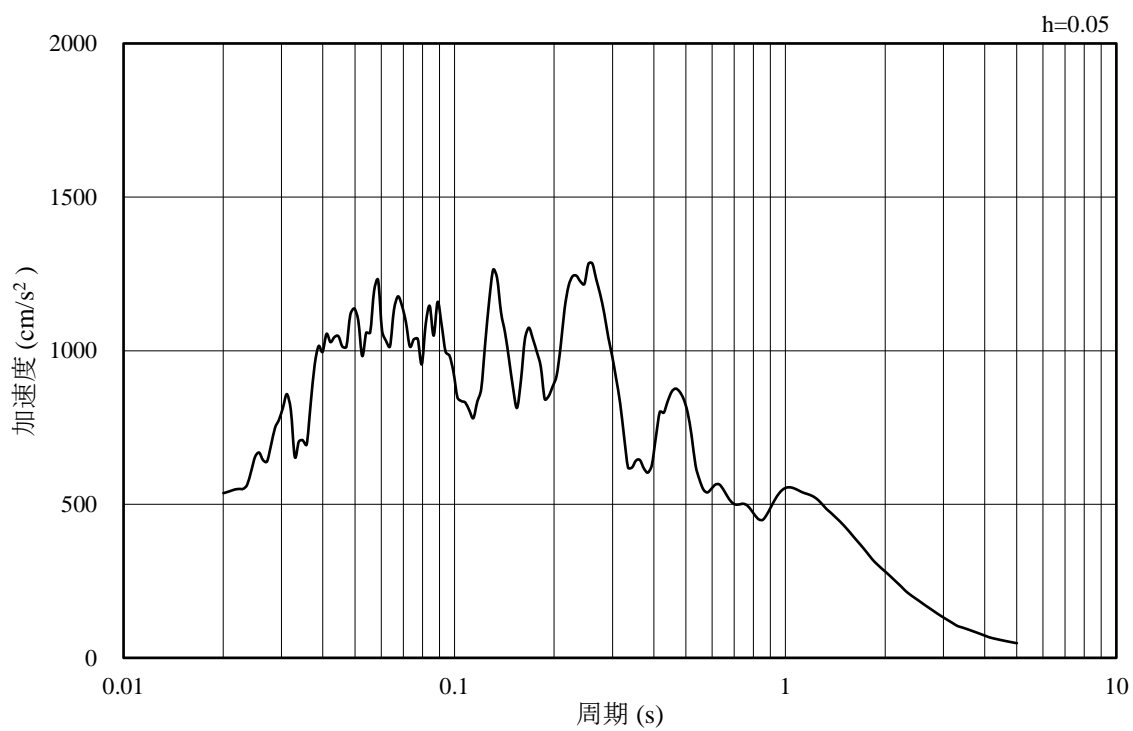


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-9 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直成分：S s - N 1)



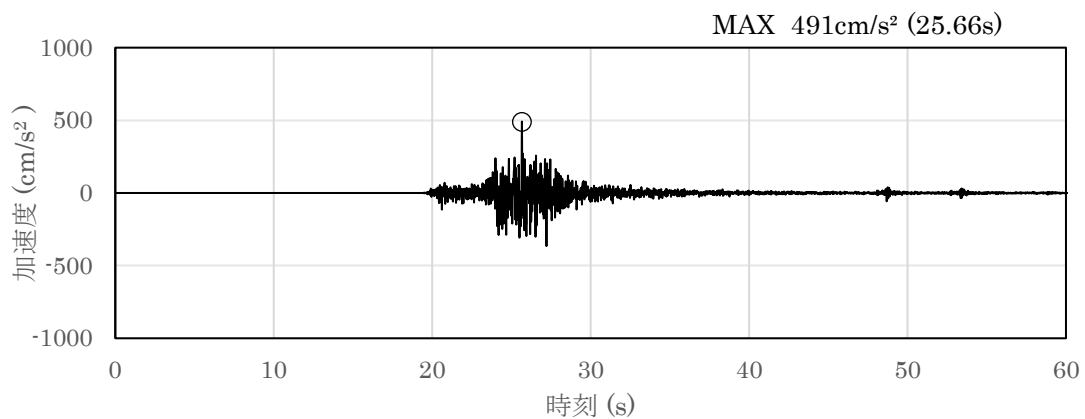
(a) 加速度時刻歴波形



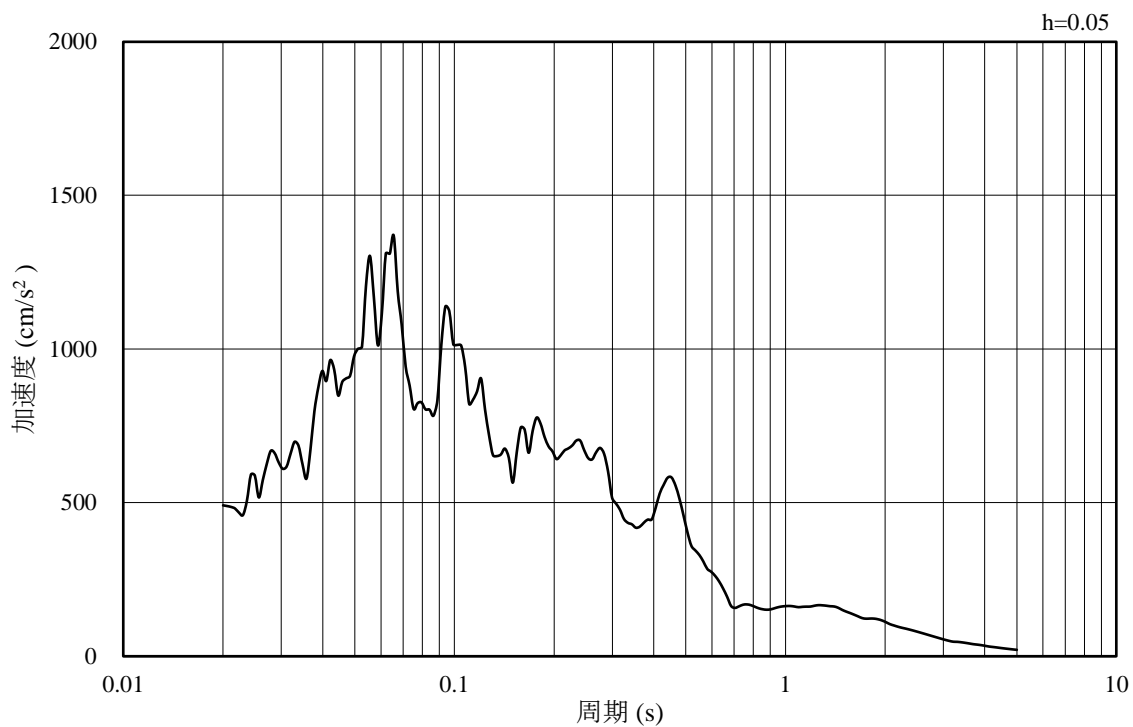
(b) 加速度応答スペクトル

図 4-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平成分：S s - N 2 (N S))



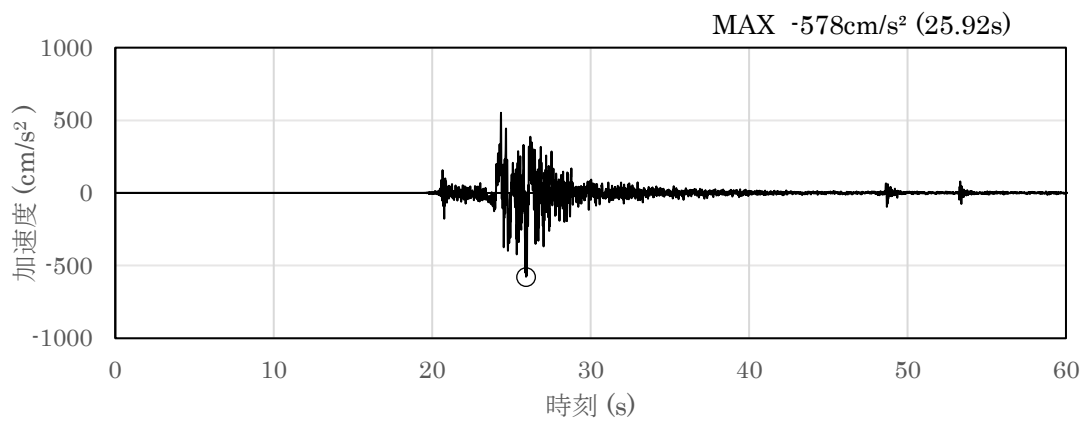


(a) 加速度時刻歴波形

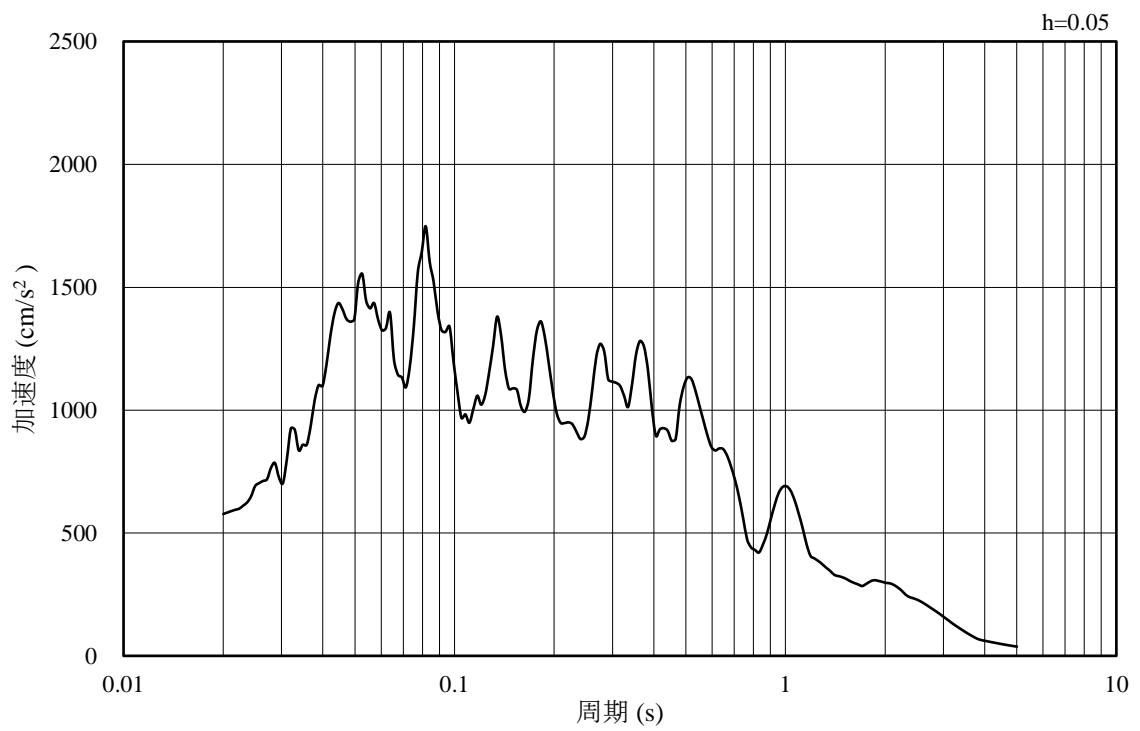


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直成分：S s - N 2 (N S))

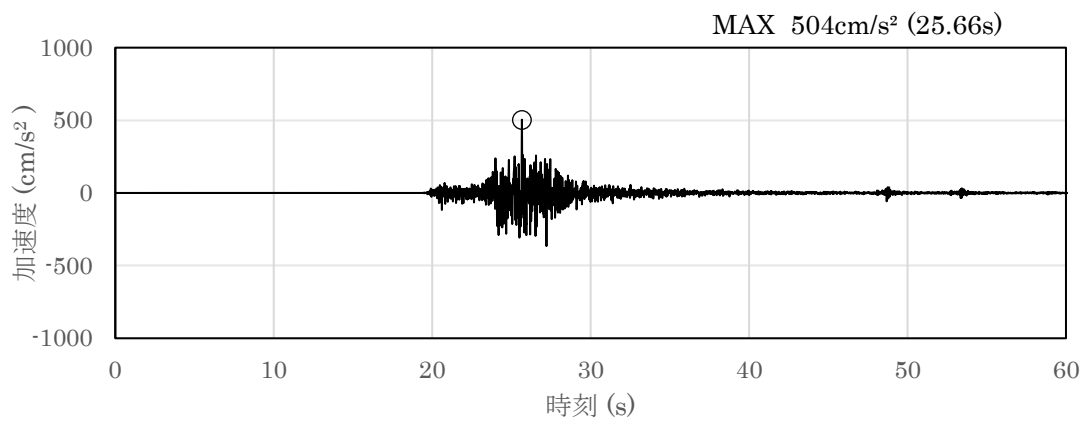


(a) 加速度時刻歴波形

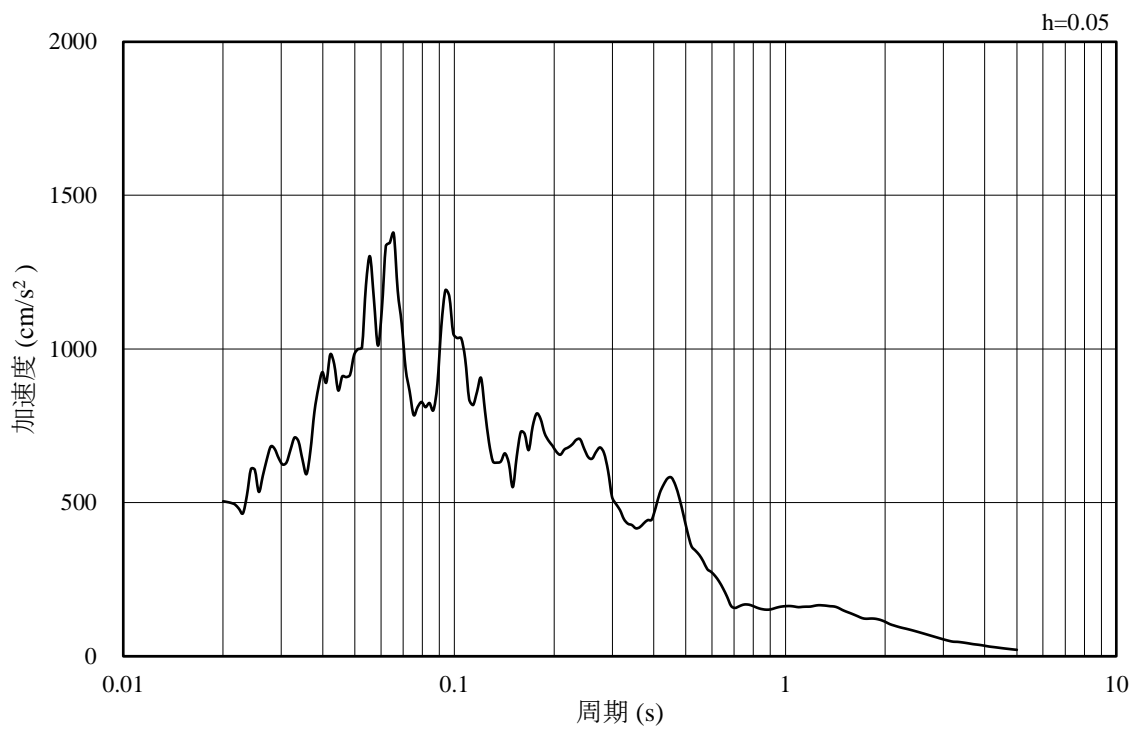


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-12 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平成分：S s - N 2 (E W))



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 4-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直成分：S s - N 2 (E W) )

## 4.2 許容限界の設定

漸拡ダクト部充填コンクリートの健全性評価は、以下に示すように許容限界を設定し照査を行う。また、漸拡ダクト部充填コンクリートには開口補強筋を設置するが、保守的に無筋コンクリートとして評価を行う。

### 4.2.1 漸拡ダクト部充填コンクリートの許容限界

漸拡ダクト部充填コンクリートの健全性評価としては、局所安全係数に対する照査を実施する。局所安全係数に対する照査は各要素において、全時刻で実施する。

$$f_s = R / S$$

ここに、 $f_s$  : 局所安全係数

R : 表 4-1 に示すせん断強度又は引張強度

S : 発生せん断応力又は発生引張応力

表 4-1 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

	評価項目	算定式	許容限界
漸拡ダクト部 充填コンクリート $f'_{ck} = 20.6 \text{ (N/mm}^2\text{)}$	せん断強度 (N/mm <sup>2</sup> )	$1/5 f'_{ck}$	4.12
	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	$0.23 f'_{ck}^{2/3}$	1.72

### 4.2.2 基礎地盤の支持機能に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力度とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表 4-2 に示す。

表 4-2 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力度	C <sub>M</sub> 級又はC <sub>H</sub> 級岩盤	9.8

## 5. 評価結果

### 5.1 地震応答解析結果

地震応答解析結果として、漸拡ダクト部充填コンクリートの引張破壊及びせん断破壊に対する照査及び地盤の支持力に対する照査で照査値が最も厳しくなるケースの地盤の「最大せん断ひずみ分布」，「過剰間隙水圧比分布」を記載する。なお，断面力分布は単位奥行きあたりの断面力を図示する。

#### 5.1.1 最大せん断ひずみ分布

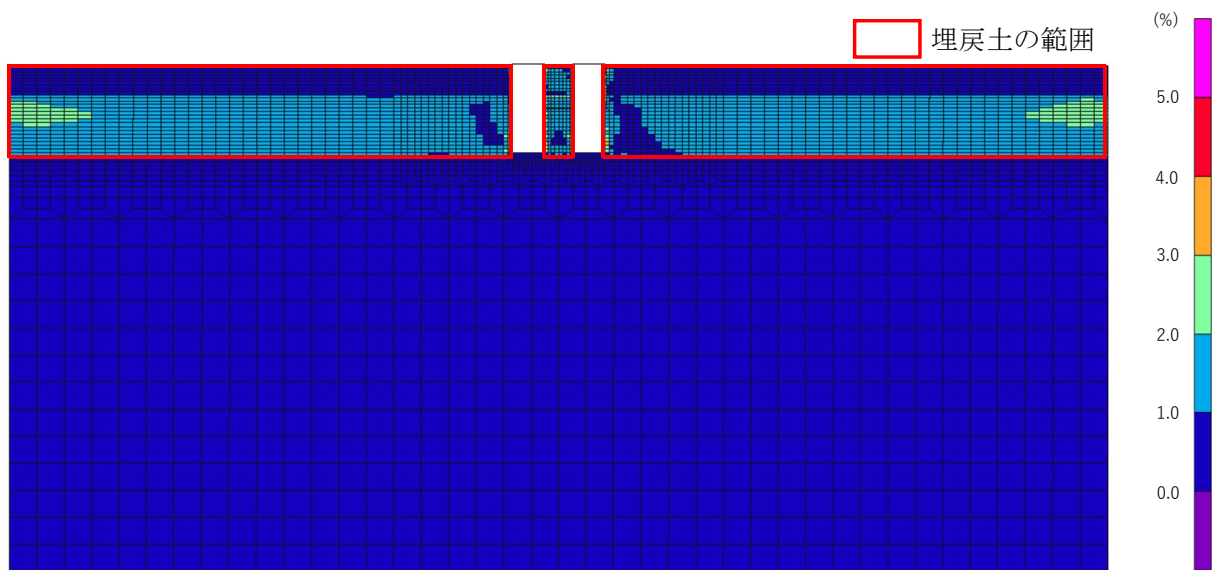
漸拡ダクト部充填コンクリートの引張破壊及びせん断破壊に対する照査及び地盤の支持力に対する照査で照査値が最も厳しくなるケースについて，地盤に発生した最大せん断ひずみを確認する。

照査値が最も厳しくなるケースの解析ケースの一覧を表 5-1 に，最大せん断ひずみ分布図を図 5-1 に示す。

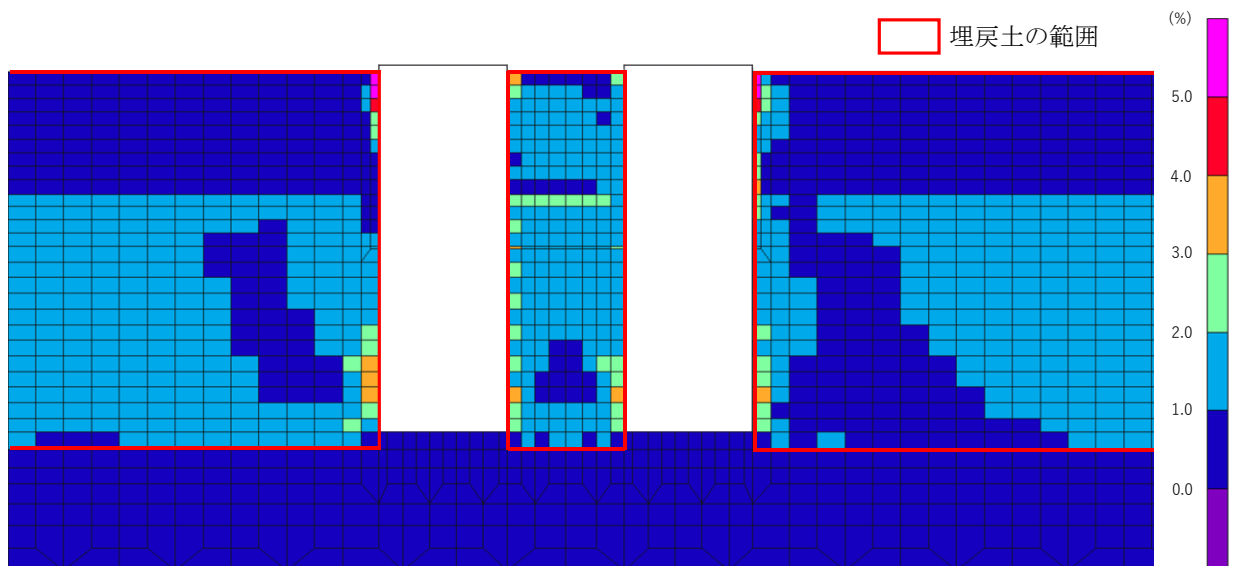
B-B断面においては，有効応力解析を実施していることから，構造物側方の埋戻土において，1%を超えるせん断ひずみが発生している。

表 5-1 最大照査値を示すケースの一覧

対象断面	対象ケース	照査項目
B-B断面	解析ケース② S s - N 1 (++)	漸拡ダクト部充填コンクリートの 引張破壊に対する照査



(全体図)



(拡大図)

図 5-1 最大せん断ひずみ分布図 (B-B 断面)  
(解析ケース②, S<sub>s</sub>-N1 (++) )

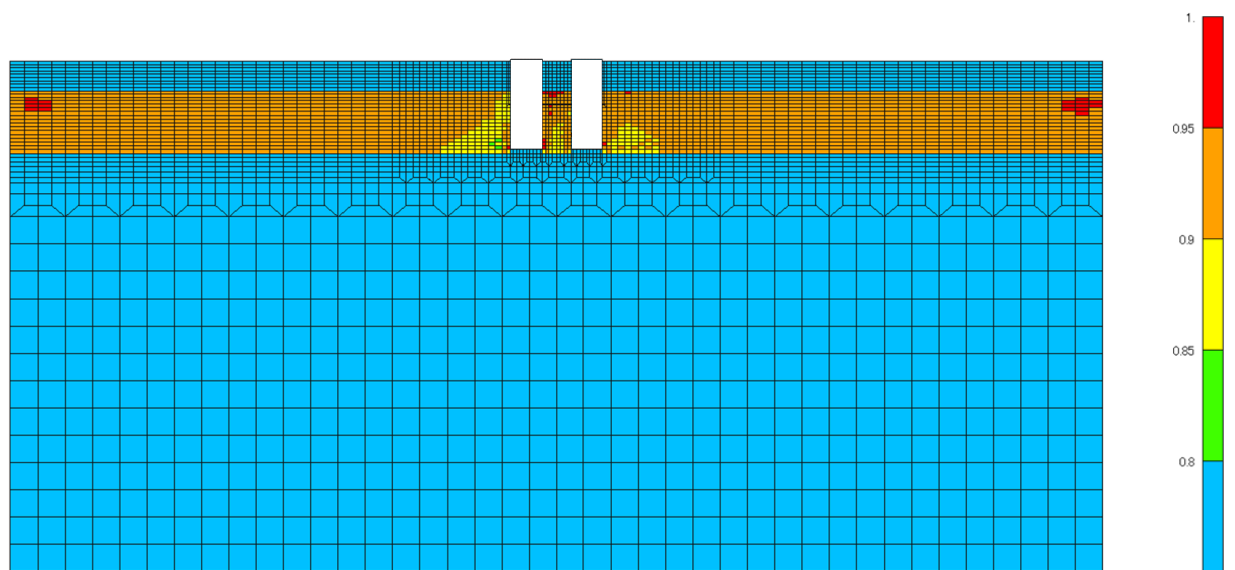
### 5.1.2 最大過剰間隙水圧比分布

漸拡ダクト部充填コンクリートのせん断破壊及び引張破壊に対する照査及び地盤の支持力に対する照査で照査値が最も厳しくなるケースについて、地盤に発生した過剰間隙水圧比分布を確認する。

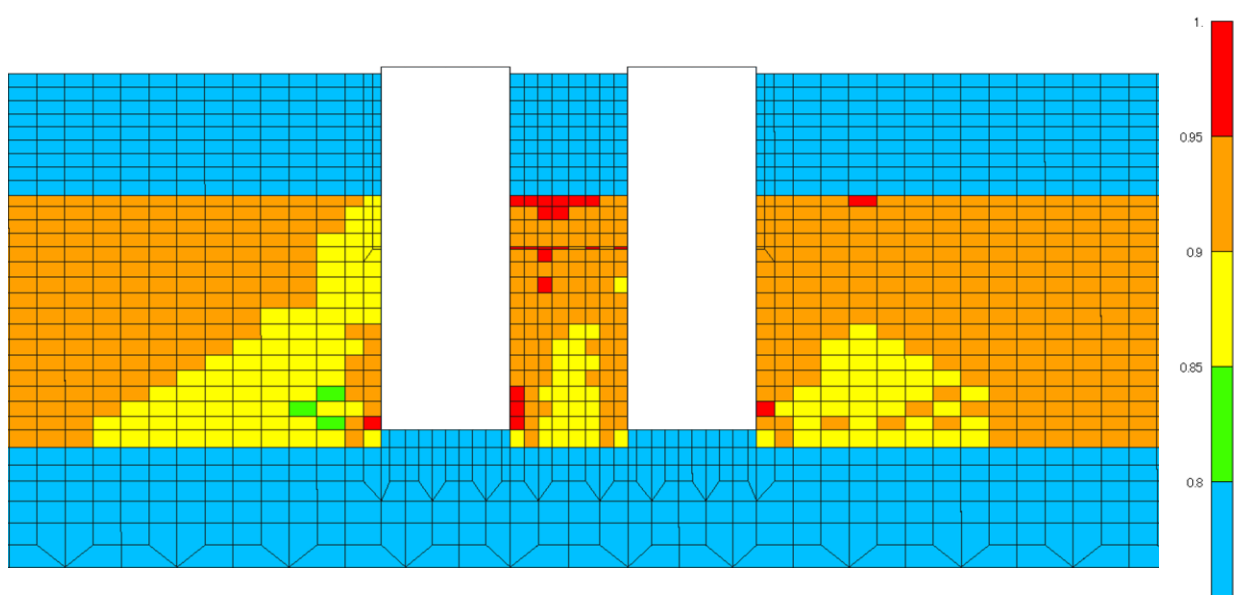
照査値が最も厳しくなるケースの解析ケースの一覧を表 5-2 に、最大過剰間隙水圧比分布図を図 5-2 に示す。

表 5-2 最大照査値を示すケースの一覧

対象断面	対象ケース	照査項目
B-B 断面	解析ケース② S s - N 1 (++)	充填コンクリートの 引張破壊に対する照査



(全体図)



(拡大図)

図 5-2 最大過剰間隙水圧比分布図 (B-B 断面)  
 (解析ケース②,  $S_s - N1$  (++) )



## 5.2 漸拡ダクト部充填コンクリートの評価結果

漸拡ダクト部充填コンクリートのせん断破壊に対する局所安全係数を表 5-3 に、引張破壊に対する局所安全係数を表 5-4 に示す。局所安全係数については全時刻における最小の値を記す。

また、局所安全係数が最小となる地震動のせん断及び引張に対する全時刻における最小局所安全係数分布図を図 5-3 及び図 5-4 に示す。

表 5-3 及び表 5-4 よりせん断破壊及び引張破壊の局所安全係数が 1.0 を下回る地震動はあるが、図 5-3 及び図 5-4 に示すようにせん断破壊及び引張破壊は局所的であることを確認した。

表 5-3 充填コンクリートのせん断破壊に対する局所安全係数

解析 ケース	地震動		せん断応力 S (N/mm <sup>2</sup> )	せん断強度 R (N/mm <sup>2</sup> )	局所安全係数 f <sub>s</sub>
	①	S <sub>s</sub> -D	++	4.41	4.12
+ -			4.44	4.12	0.93
S <sub>s</sub> -F 1		++	2.18	4.12	1.89
S <sub>s</sub> -F 2		++	3.05	4.12	1.35
S <sub>s</sub> -N 1		++	3.87	4.12	1.06
S <sub>s</sub> -N 2 (E W)		++	3.41	4.12	1.21
S <sub>s</sub> -N 2 (N S)		++	3.55	4.12	1.16
②	S <sub>s</sub> -N 1	++	3.93	4.12	1.05
③	S <sub>s</sub> -N 1	++	3.89	4.12	1.06
④	S <sub>s</sub> -N 1	++	3.61	4.12	1.14
⑤	S <sub>s</sub> -N 1	++	3.62	4.12	1.14

表 5-4 充填コンクリートの引張破壊に対する局所安全係数

解析 ケース	地震動		引張応力 S (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 R (N/mm <sup>2</sup> )	局所安全係数 f <sub>s</sub>
	①	S <sub>s</sub> -D	++	2.43	1.72
+ -			2.17	1.72	0.79
S <sub>s</sub> -F 1		++	1.64	1.72	1.05
S <sub>s</sub> -F 2		++	1.52	1.72	1.13
S <sub>s</sub> -N 1		++	3.09	1.72	0.56
S <sub>s</sub> -N 2 (E W)		++	1.67	1.72	1.03
S <sub>s</sub> -N 2 (N S)		++	2.22	1.72	0.78
②	S <sub>s</sub> -N 1	++	3.10	1.72	0.56
③	S <sub>s</sub> -N 1	++	3.08	1.72	0.56
④	S <sub>s</sub> -N 1	++	2.78	1.72	0.62
⑤	S <sub>s</sub> -N 1	++	2.83	1.72	0.61

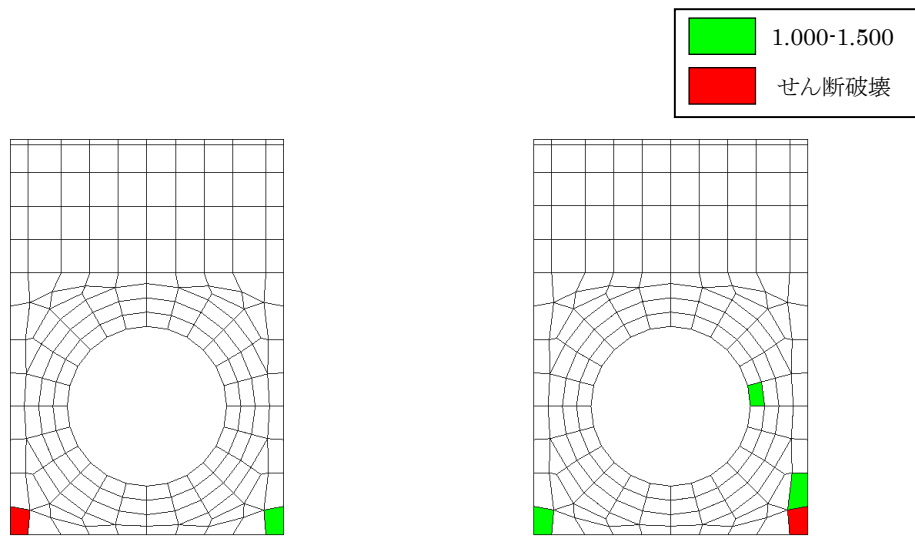


図 5-3 最小局所安全係数分布図（せん断破壊）（全時刻）  
 (S<sub>s</sub>-D (+-) 解析ケース①)

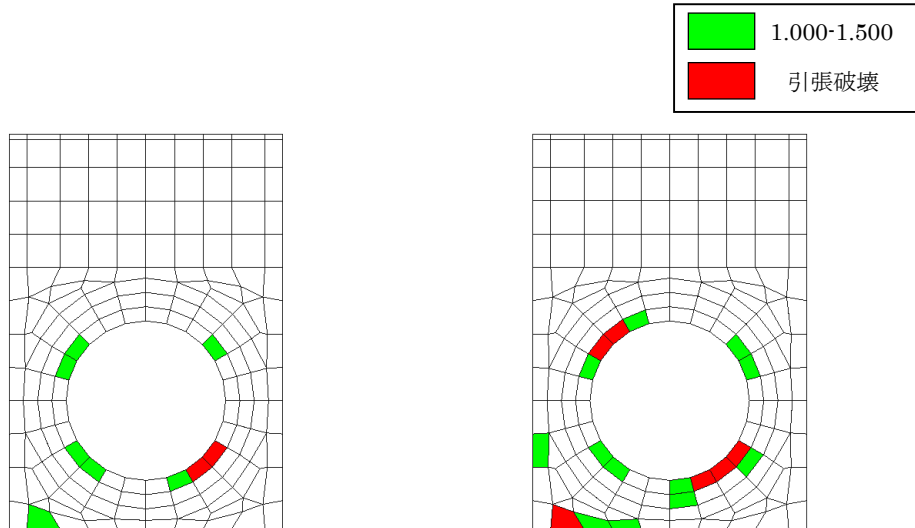


図 5-4 最小局所安全係数分布図（引張破壊）（全時刻）  
 (S<sub>s</sub>-N1 (++) 解析ケース②)

### 5.3 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能に対する評価結果を表 5-5 に示す。また、最大接地圧分布図を図 5-5 に示す。

同表より、基礎地盤に発生する最大接地圧が、極限支持力度を下回ることを確認した。

表 5-5 地盤の支持性能に対する評価結果一覧表

解析 ケース	地震動		最大接地圧 $R_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 度 $R_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_d/R_u$
①	S <sub>s</sub> -D	++	9.00	9.8	0.92
		+ -	8.11	9.8	0.83
	S <sub>s</sub> -F 1	++	6.21	9.8	0.64
	S <sub>s</sub> -F 2	++	6.81	9.8	0.70
	S <sub>s</sub> -N 1	++	9.14	9.8	0.94
	S <sub>s</sub> -N 2 (EW)	++	6.26	9.8	0.64
	S <sub>s</sub> -N 2 (NS)	++	7.89	9.8	0.81
②	S <sub>s</sub> -N 1	++	9.21	9.8	0.94
③	S <sub>s</sub> -N 1	++	9.17	9.8	0.94
④	S <sub>s</sub> -N 1	++	8.54	9.8	0.88
⑤	S <sub>s</sub> -N 1	++	8.62	9.8	0.88

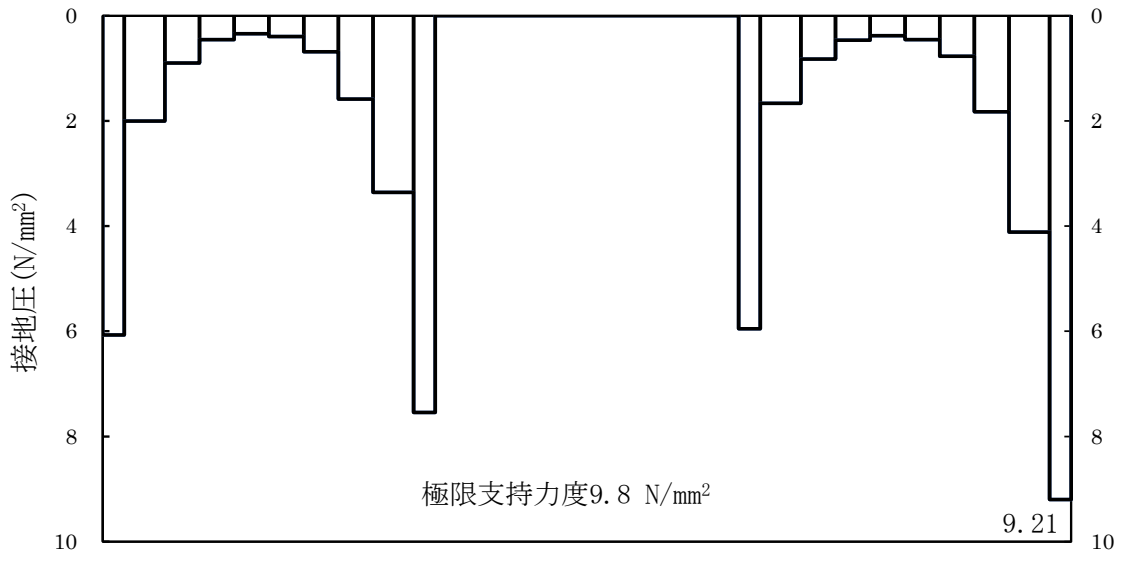


図 5-5 最大接地圧分布図 (S<sub>s</sub>-N1(++) 解析ケース②)