

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
提出年月日	2023年2月14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2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
2.3 評価対象断面	14
2.4 使用材料及び材料の物性値	15
2.5 地盤物性値	16
2.6 評価構造物諸元	18
2.7 地下水位	19
2.8 耐震評価フロー	20
3. 地震応答解析	21
3.1 地震応答解析手法	21
3.2 地震応答解析モデルの設定	24
3.2.1 解析モデル領域	24
3.2.2 境界条件	26
3.2.3 構造物のモデル化	28
3.2.4 隣接構造物のモデル化	28
3.2.5 地盤及びMMRのモデル化	31
3.2.6 地震応答解析モデル	33
3.2.7 ジョイント要素の設定	34
3.2.8 材料特性の設定	37
3.3 減衰定数	38
3.4 荷重及び荷重の組合せ	39
3.4.1 機器・配管荷重	40
3.4.2 外水圧	42
3.4.3 内水圧	42
3.4.4 積雪荷重	42
3.4.5 動水圧	43
3.5 地震応答解析の解析ケース	45
3.5.1 耐震評価における解析ケース	45

4.	評価内容	47
4.1	入力地震動の設定	47
4.2	許容限界の設定	60
4.2.1	曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界	60
4.2.2	せん断破壊に対する許容限界	62
5.	評価結果	67
5.1	地震応答解析結果	67
5.1.1	解析ケースと照査値	67
5.1.2	断面力分布（曲げ・軸力系の破壊に対する照査）	68
5.1.3	断面力分布（せん断破壊に対する照査）	71
5.1.4	最大せん断ひずみ分布	74
5.1.5	過剰間隙水圧比分布	76
5.2	曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果	78
5.3	せん断破壊に対する評価結果	80
6.	まとめ	81

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。

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。）を適用するが、鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系及びせん断破壊の許容限界の一部については、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）（以下「土木学会マニュアル2005」という。）及びコンクリート標準示方書2002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 (γ , E , ν)
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み合わせを検討
許容限界	土木学会マニュアル 2005	<p>限界層間変形角を設定した上で，発生層間変形角が限界層間変形角を下回ることを確認</p> <p>せん断破壊に対する照査は，発生せん断力がせん断耐力を下回ることを確認</p>
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

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断面の地質断面図を図2-5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2-6に示すように流路縮小工を間接支持する北側壁並びに、流路縮小工及び北側壁の下位クラス構造物である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を含む構造物である。

図2-7に示す部材の中で、1号取水槽漸拡ダクト部底版については、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、耐震補強を実施する。耐震補強内容としてはせん断破壊に対する補強として、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。PHb工法適用範囲を図2-7に示す。また、その際の配筋図を図2-8に示す。

また、1号機取水槽ピット部の側壁の損傷及び落下に伴う上位クラス施設への衝突を防止するため、1号機取水槽ピット部下部に閉塞版を設置し、1号機取水槽ピット部内をコンクリートで充填する。コンクリート充填箇所は図2-9に示す。1号機取水槽ピット部閉塞版の配筋図を図2-10に示す。以降、1号機取水槽ピット部（閉塞版）及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版を併せて中床版とする。中床版の位置図を図2-11に示す。

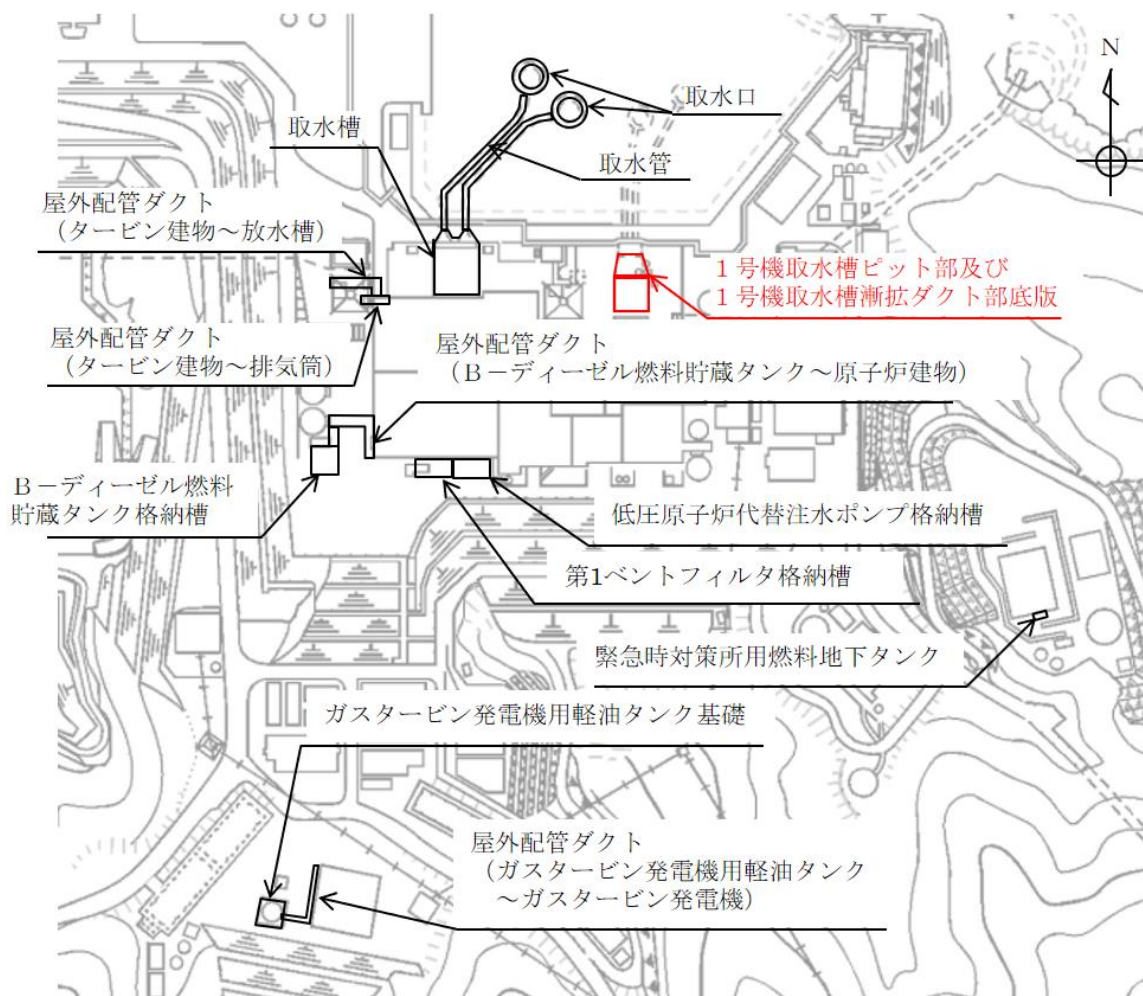
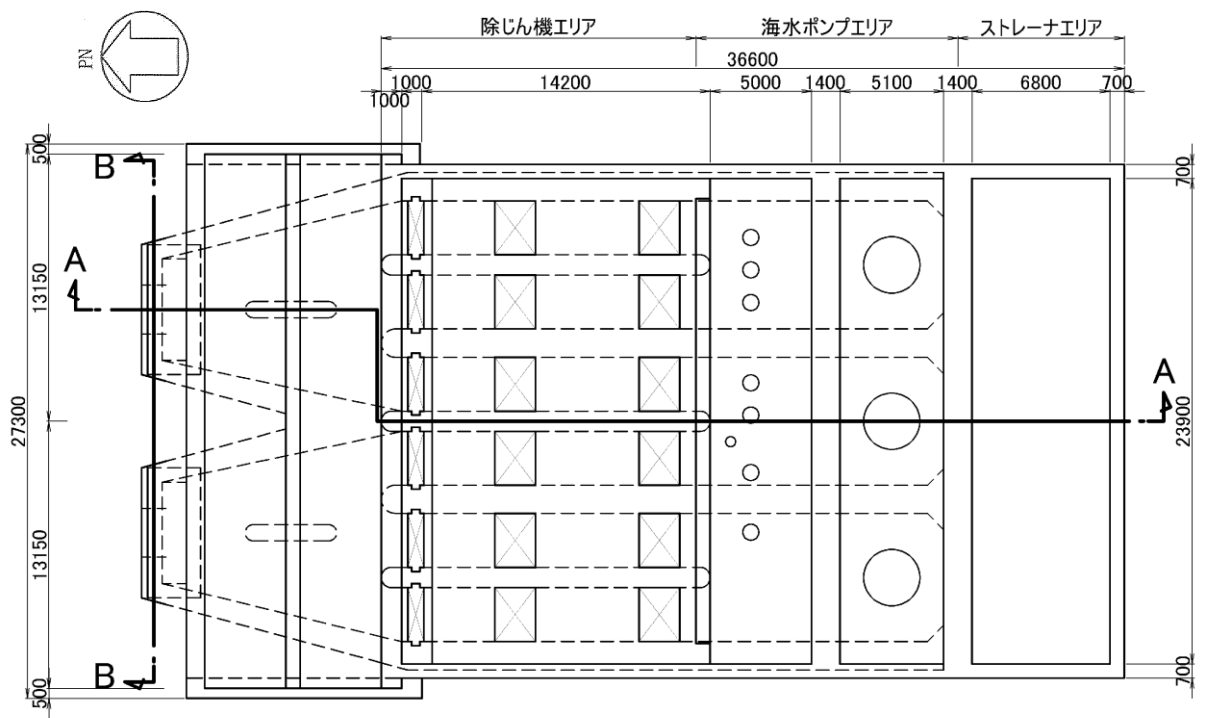


図 2-1 1号取水槽設置位置図



(単位: mm)

図 2-2 1号機取水槽 平面図

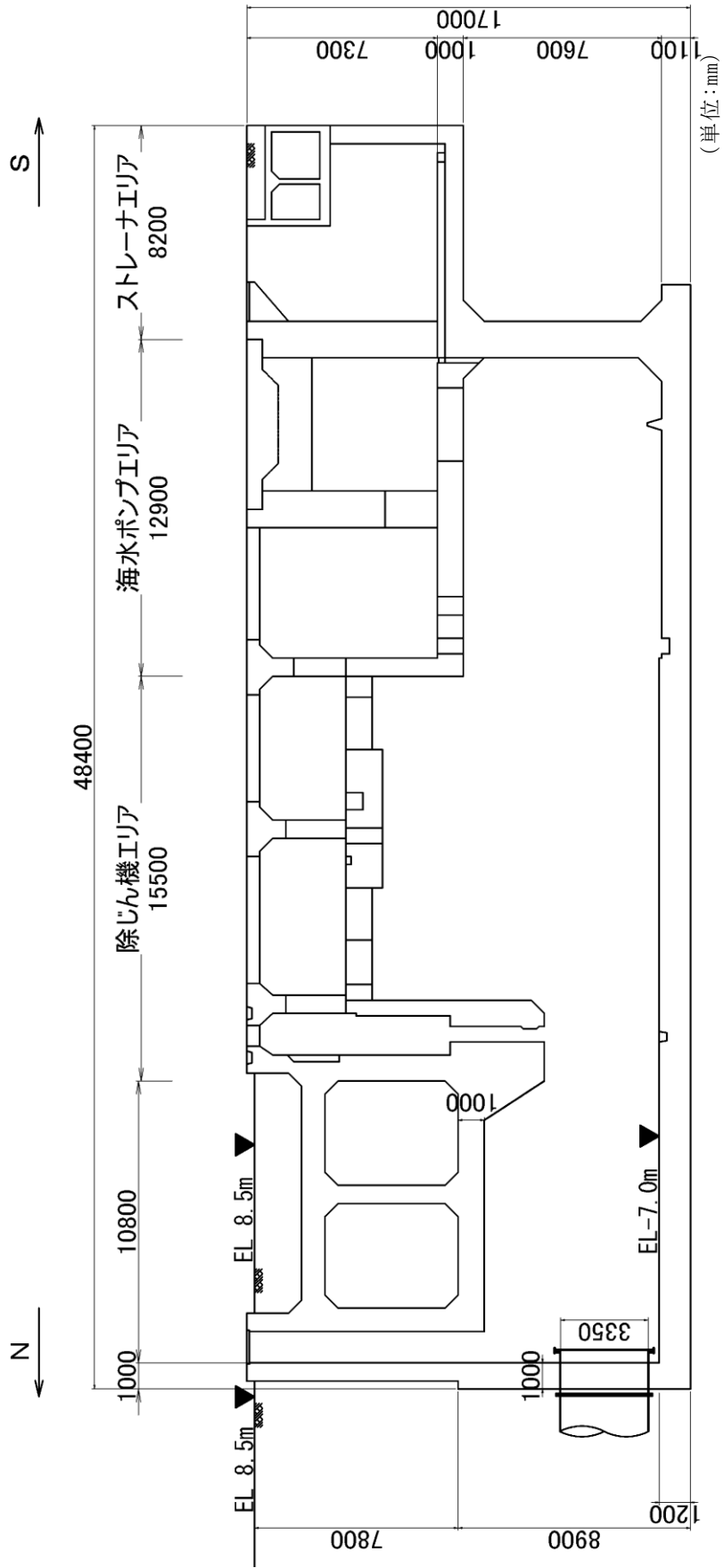


図 2-3 1号機取水槽 断面図(A-A断面)

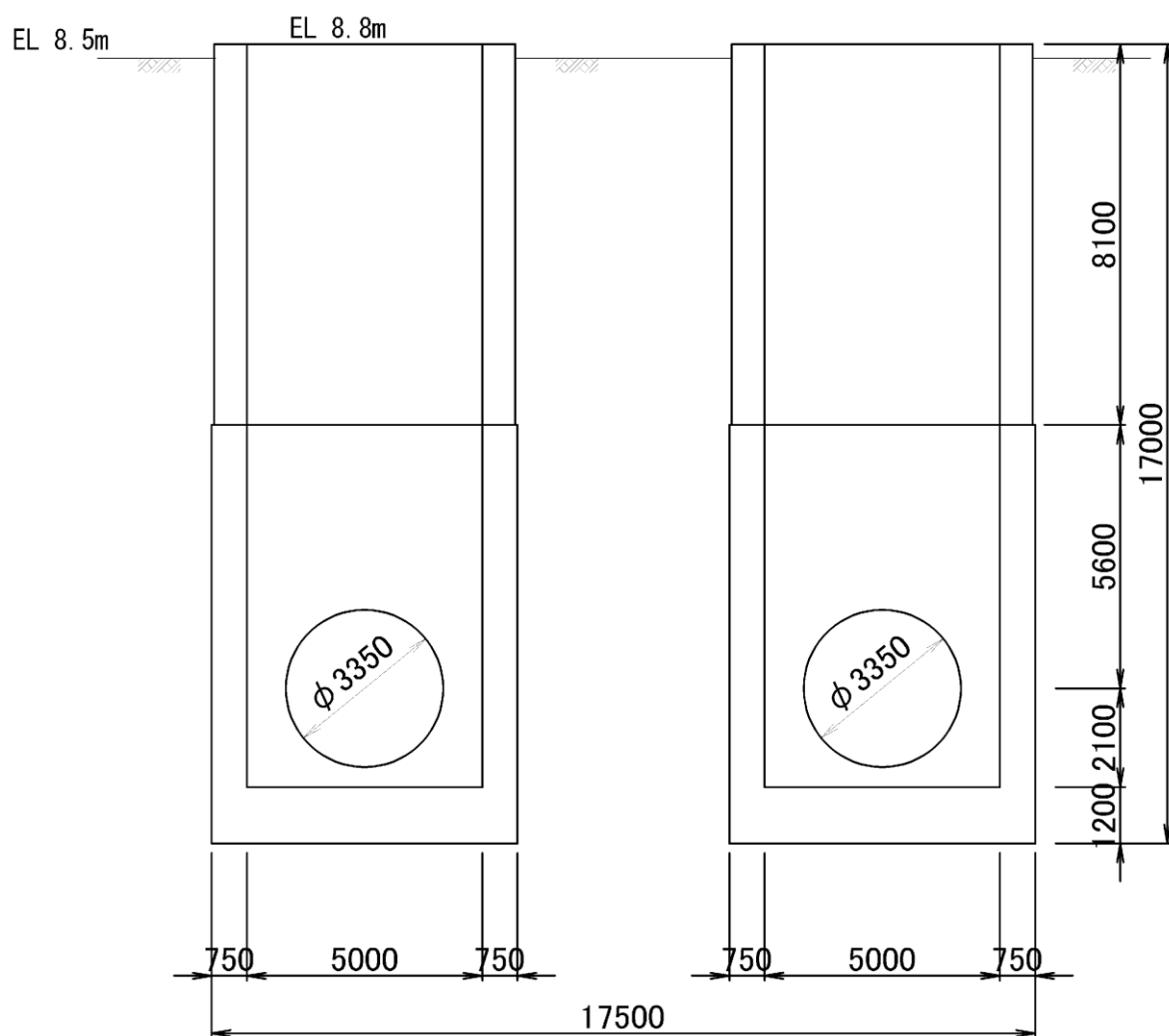
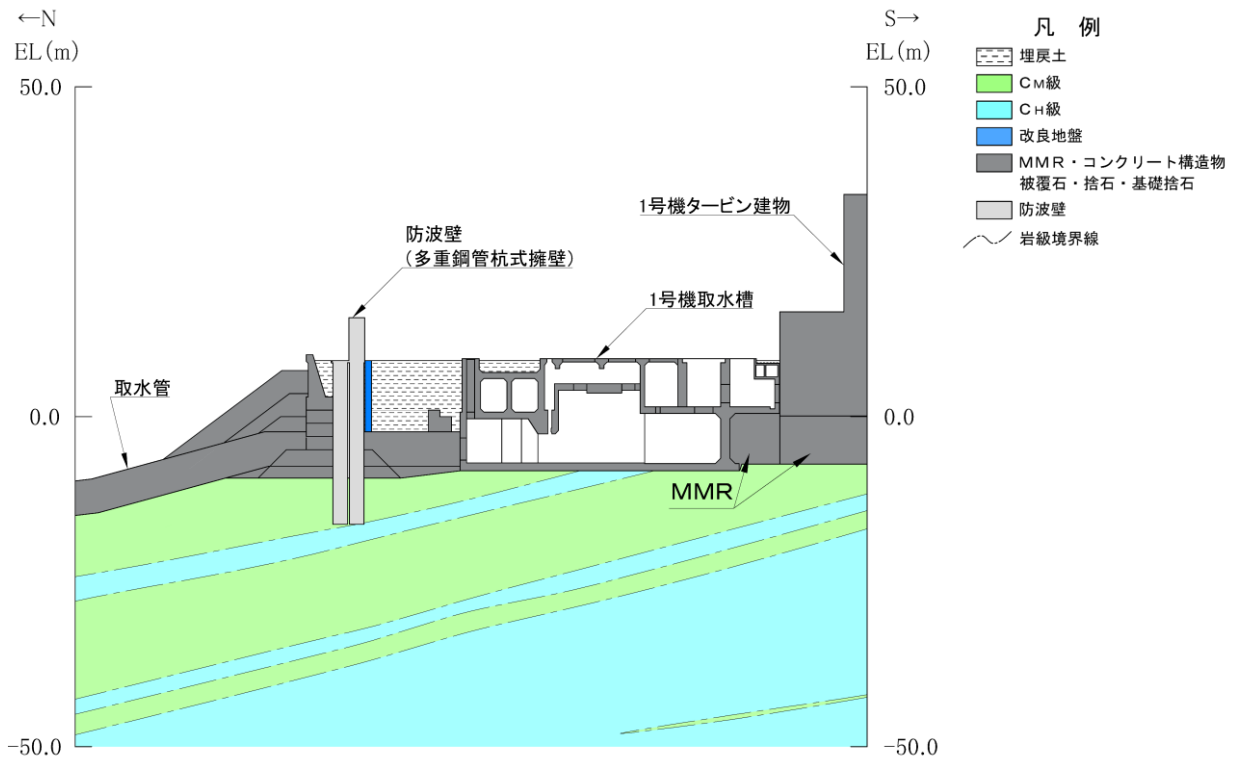
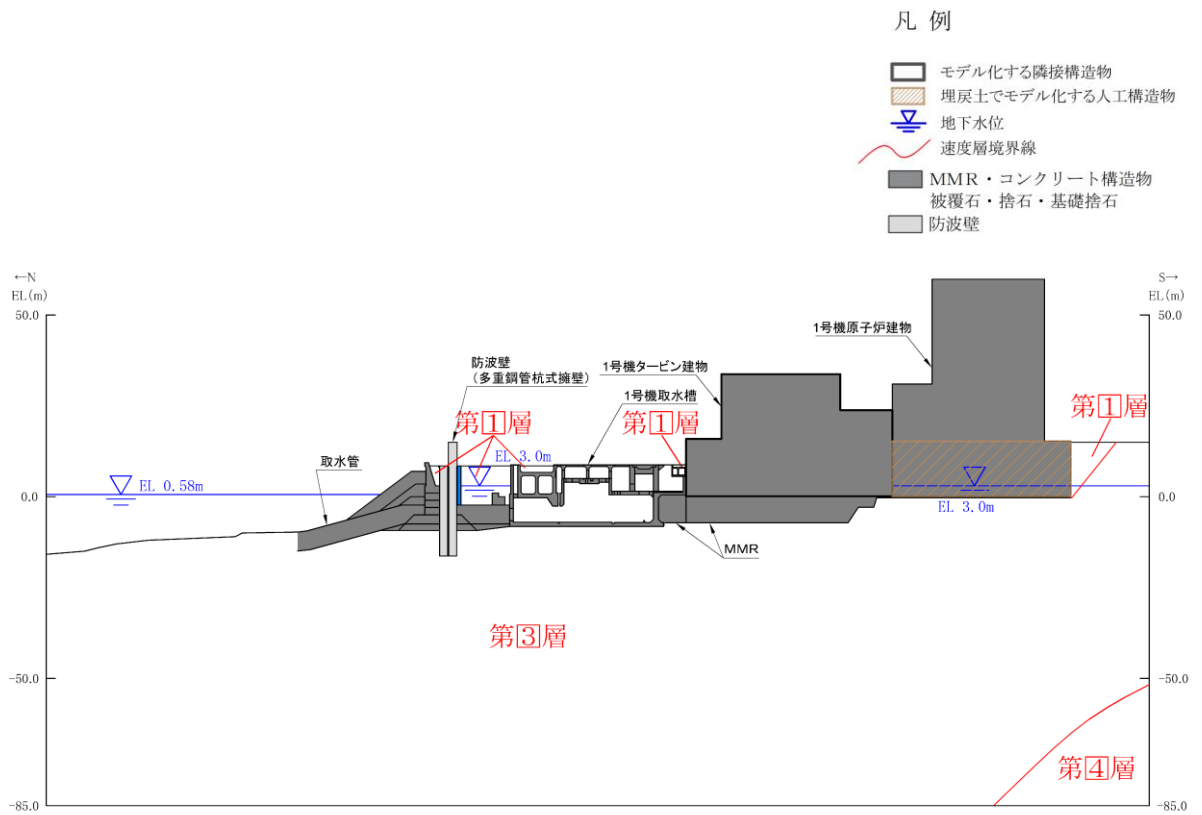


图 2-4 1号機取水槽 断面图(B-B断面)

(单位:mm)



(岩級図)



(速度層図)

注：第1層については解析モデルでは埋戻土の物性を使用

図 2-5 1号機取水槽 地質断面図(A-A断面)

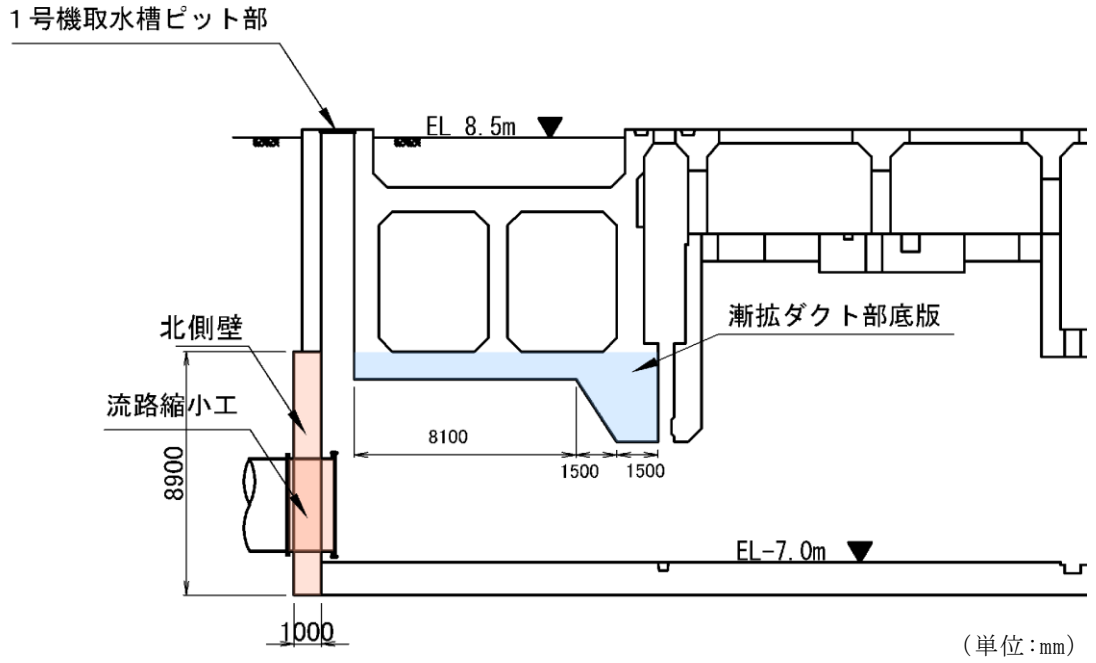
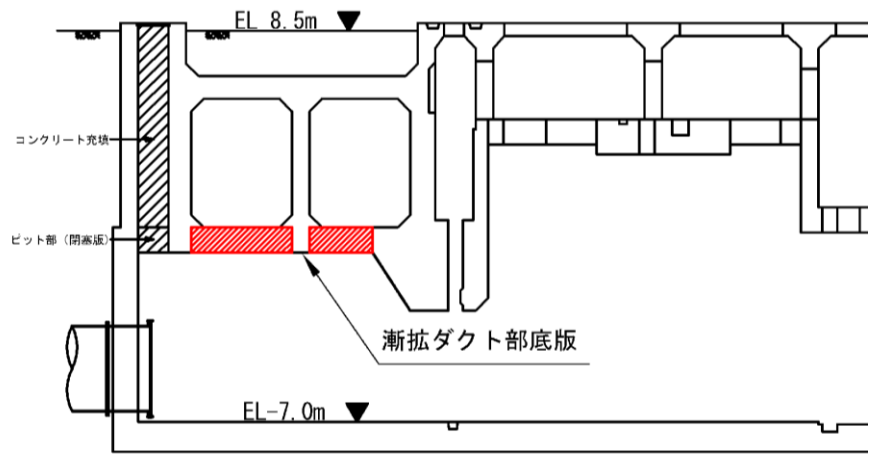


図 2-6 1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版の範囲




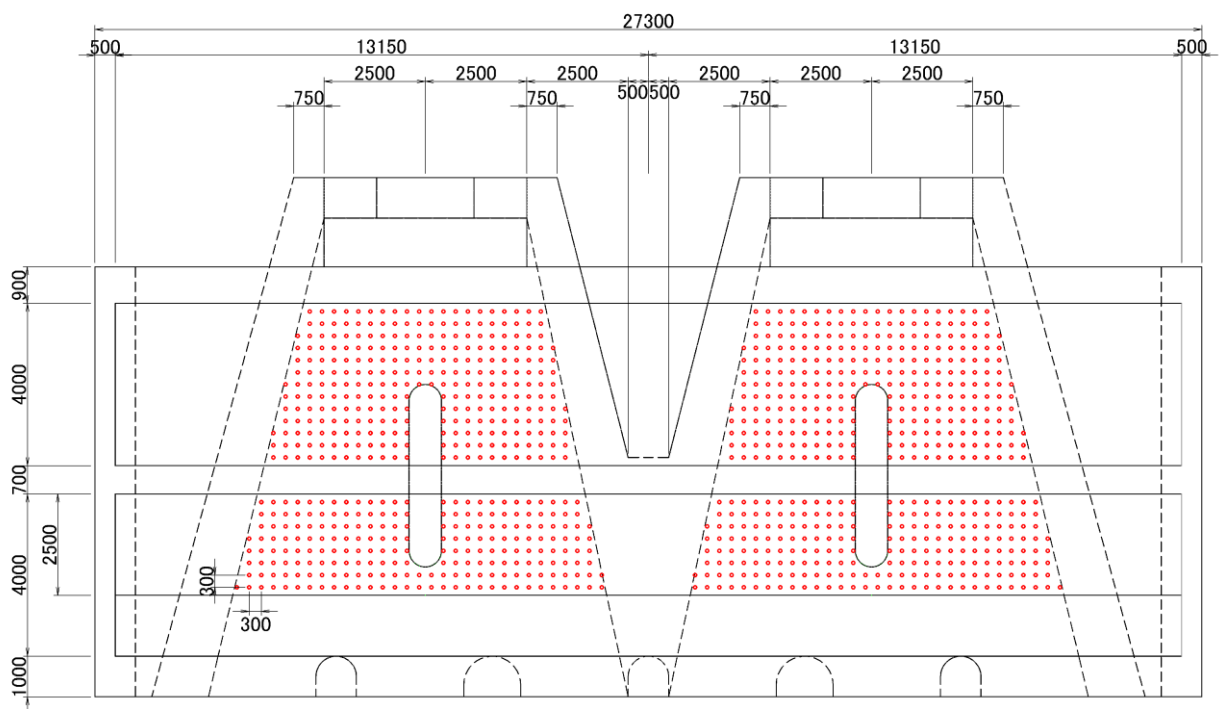
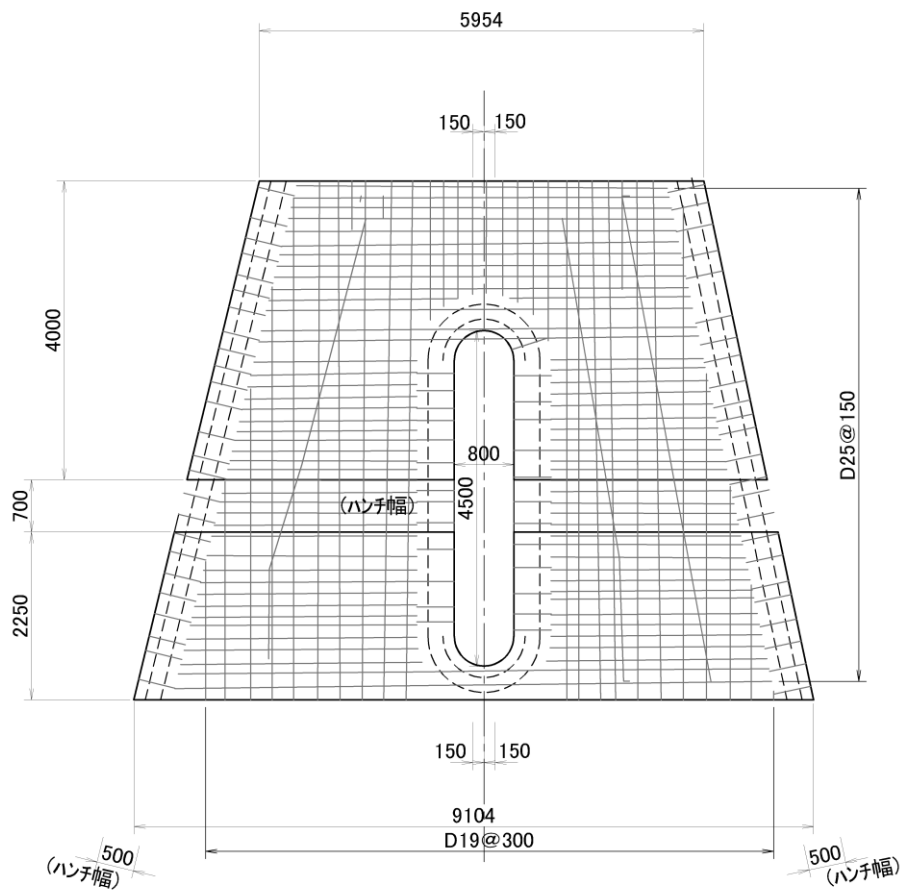
 : PHb 工法適用箇所

図 2-7 PHb 工法適用箇所



○ : ポストヘッドバー工法 : D29@300×300, SD345

(単位: mm)

図 2-8 1号機取水槽漸拡ダクト部底版 PH b せん断補強筋配筋図

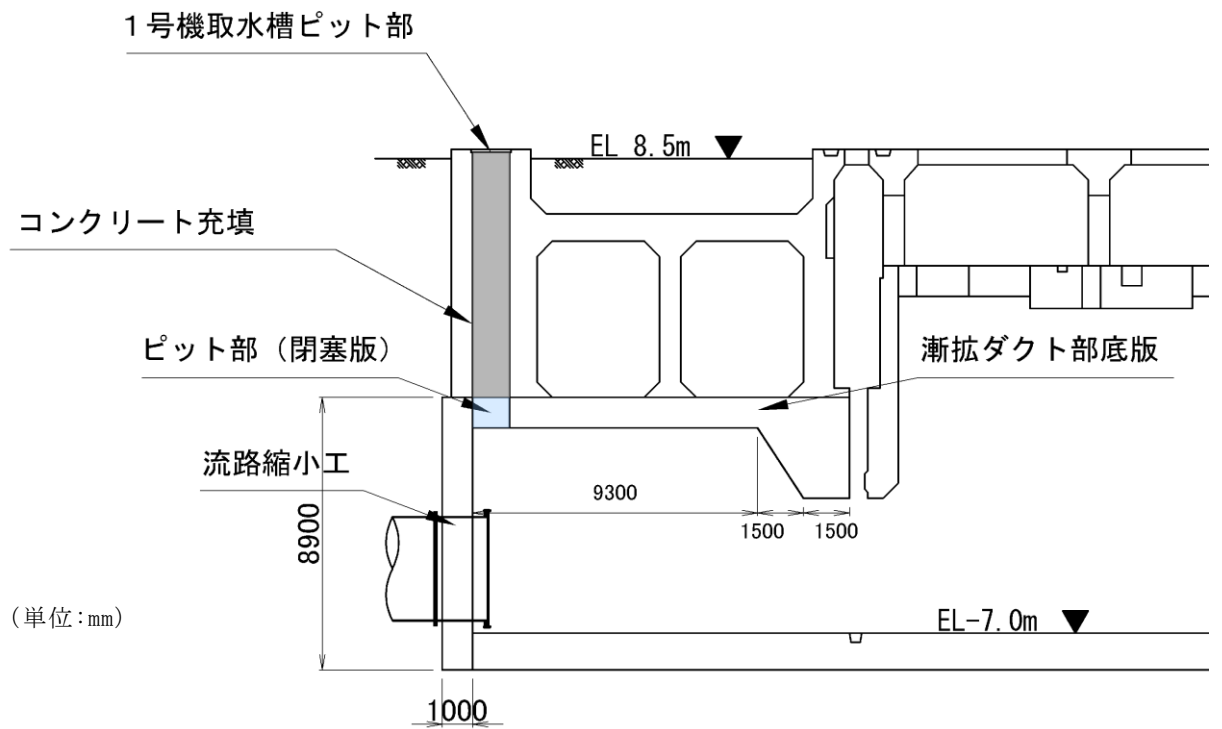


図 2-9 コンクリート充填箇所及びピット部 (閉塞版) 位置図

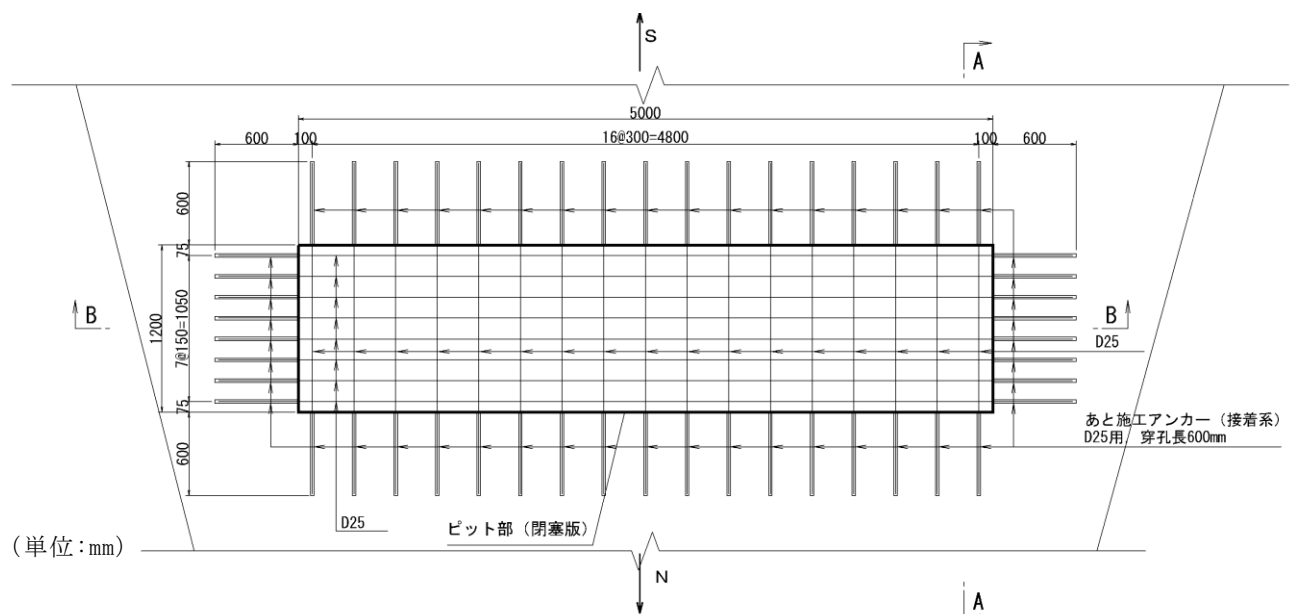
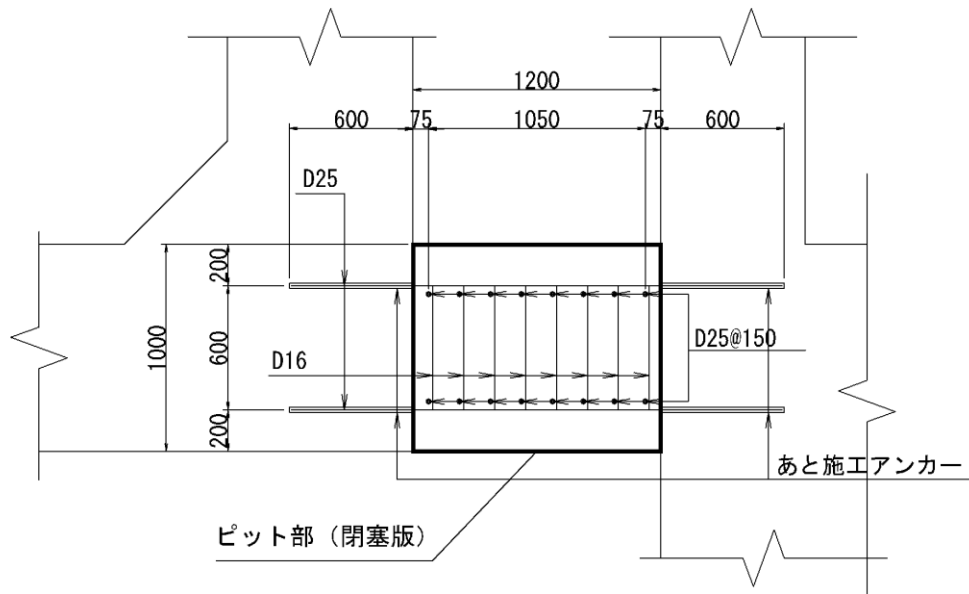
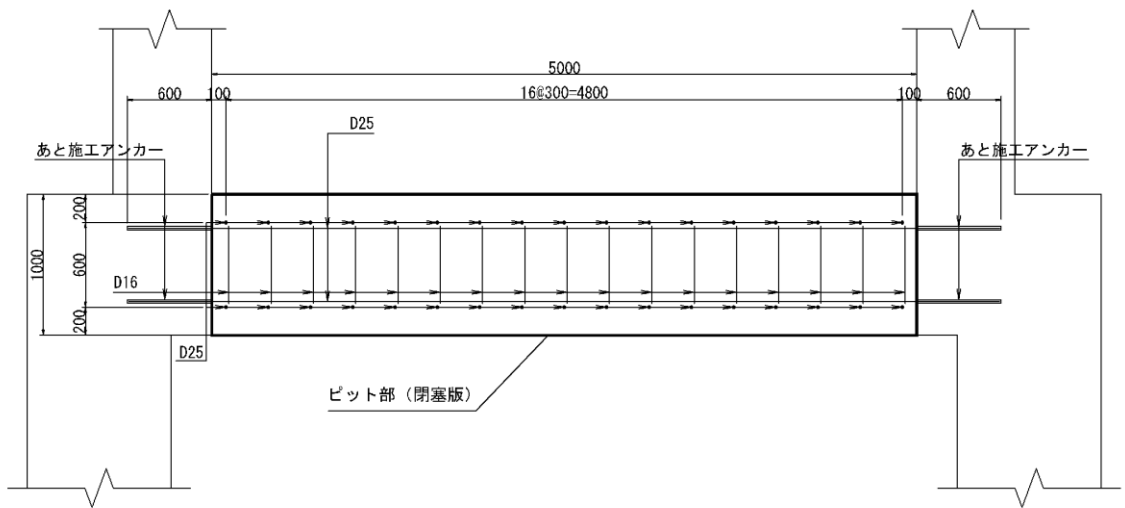


図 2-10(1) 1号機取水槽ピット部 (閉塞版) 配筋図



(A-A断面)



(B-B断面)

(単位:mm)

図 2-10(2) 1号機取水槽ピット部 (閉塞版) 配筋図

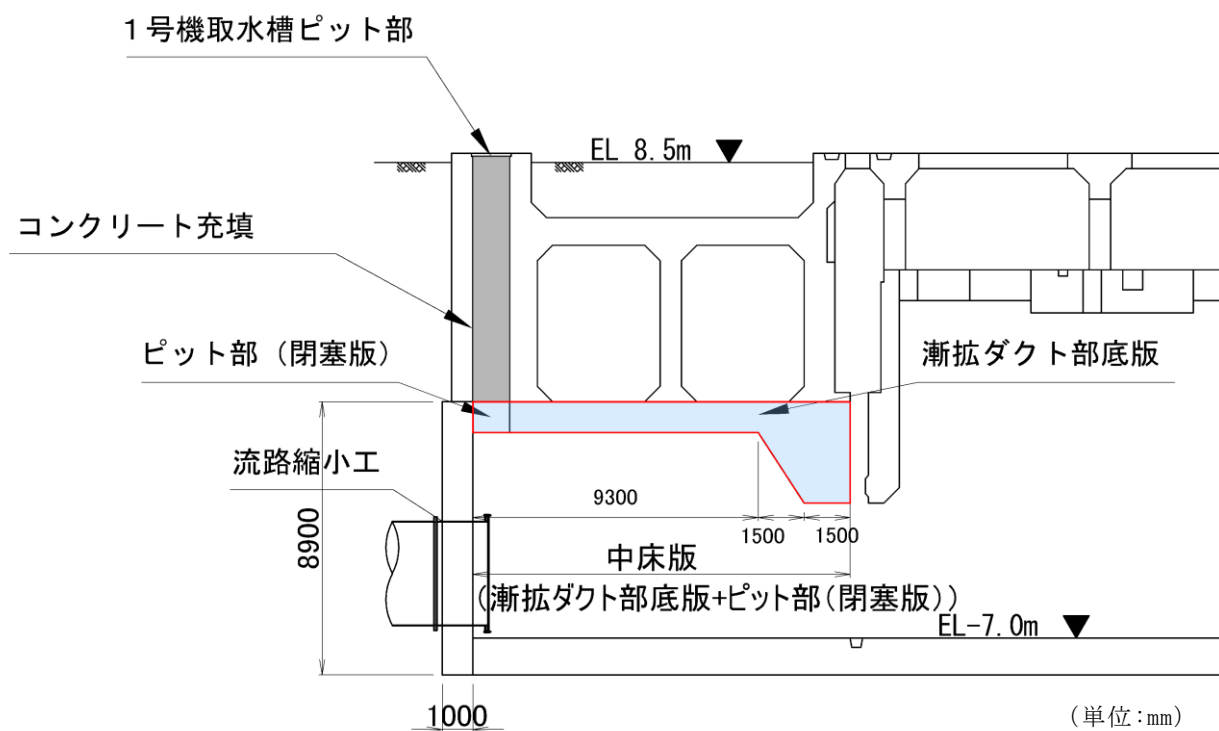


図 2-11 中床版位置図

2.3 評価対象断面

1号機取水槽の中床版については、流路縮小工の波及的影響を考慮して耐震評価を行うが、その際の評価対象断面は流路縮小工の間接支持構造物である北壁の耐震評価に用いたA-A断面とする。

2.4 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 2-2 に、材料の物性値を表 2-3 に示す。

表 2-2 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 ²
	鉄筋	SD345
MMR		設計基準強度 18.0N/mm ²

表 2-3 材料の物性値

材料	ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
構造物 (鉄筋コンクリート 構造物)	2.33×10 ⁴	24.0* ¹	0.2
MMR	2.20×10 ⁴	22.6* ²	

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。

2.5 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2-4～表2-5に示す。

表2-4 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 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	動せん断弾性係数 G_d ($\times 10^5$ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
①層	250	800	20.6	0.446	1.31	3
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 2-5 地盤の有効応力解析における解析用物性値（埋戻土）

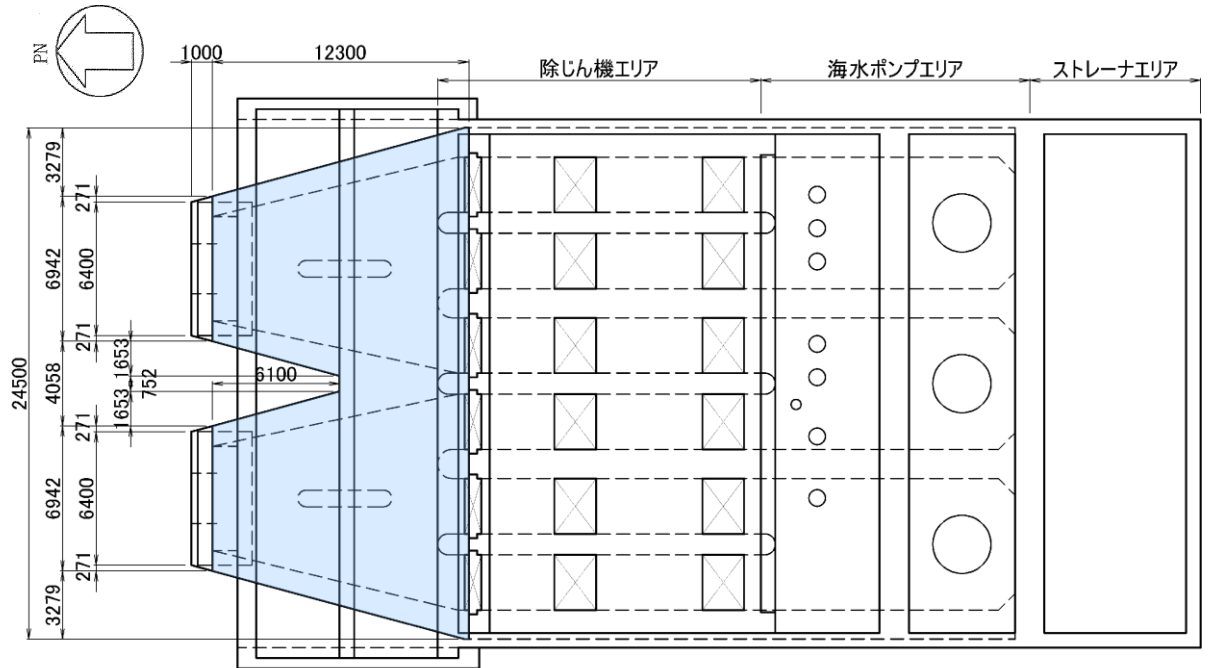
		解析用物性値	
物理特性	密度 ρ^{*1} (g/cm ³)	2.11 【2.00】	
	間隙率 n	0.45	
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma}^{*2} (kN/m ²)	163,600	
	基準平均有効拘束圧 $\rho_{ma}'^{*2}$ (kN/m ²)	98.0	
	ポアソン比 ν	0.33	
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.24	
強度特性	粘着力 c' (N/mm ²)	0.00	
	内部摩擦角 ϕ' (°)	39.75	
液状化特性	変相角 ϕ_p (°)	28.0	
	液状化パラメータ	S_1	0.005
		w_1	7.153
		P_1	0.500
		P_2	0.887
		C_1	3.494

注記*1：括弧内【】の数字は地下水位以浅の数値を表す。

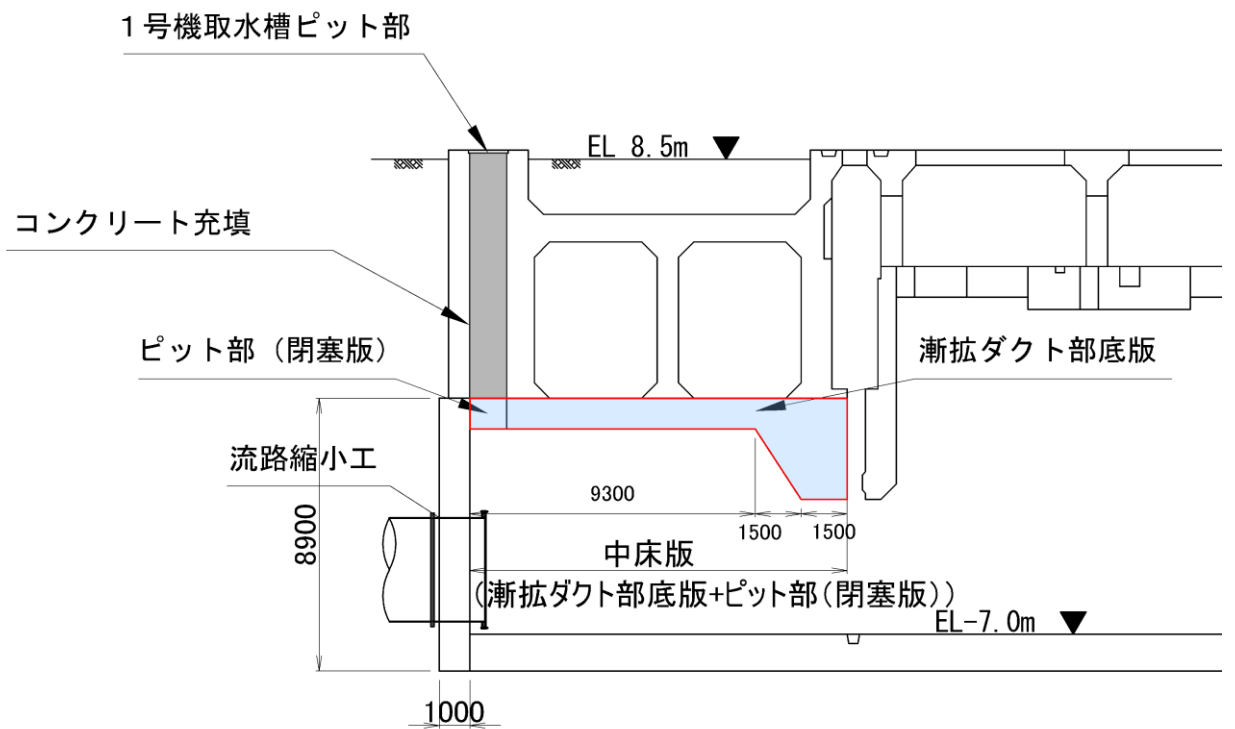
*2：動せん断弾性係数，基準平均有効拘束圧及び液状化パラメータは代表的数値を示す。

2.6 評価構造物諸元

1号機取水槽の評価部位を図2-12に示す。



(平面図)



(断面図)

(単位: mm)

図2-12 評価部位位置図

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 2-6 に示す。

表 2-6 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	A-A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2-13に示す。

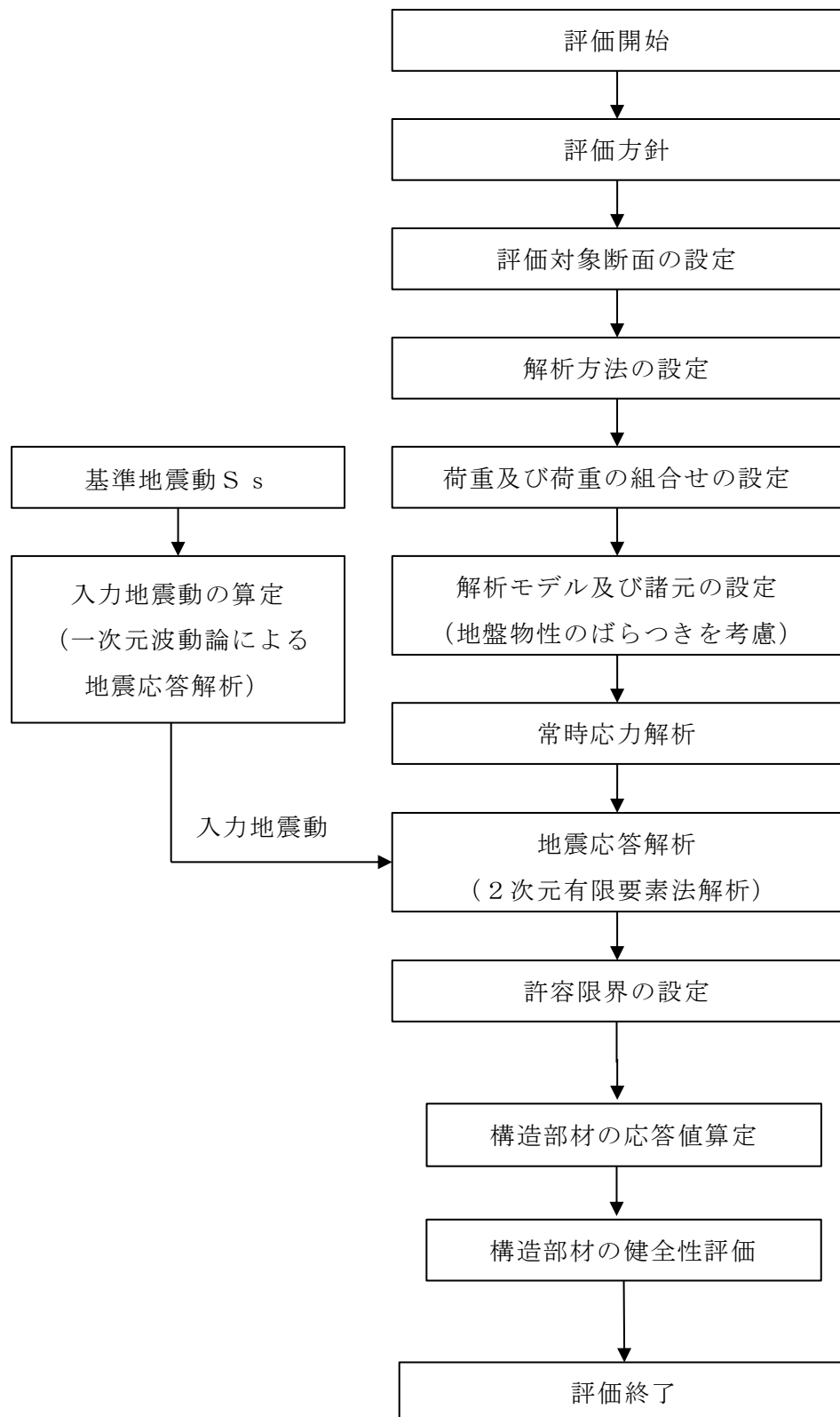


図2-13 1号機取水槽の耐震評価フロー

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。

A-A 断面は、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。

構造部材の非線形特性については、鉄筋コンクリートの $M-\phi$ 関係を適切にモデル化し、地盤については平面ひずみ要素でモデル化することとする。このうち岩盤及び MMR については、線形でモデル化する。埋戻土については、地盤の剛性及び減衰のひずみ依存性を適切に考慮できるマルチスプリング要素でモデル化することとし、ばね特性は双曲線モデルを用いて非線形性を考慮する。

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。

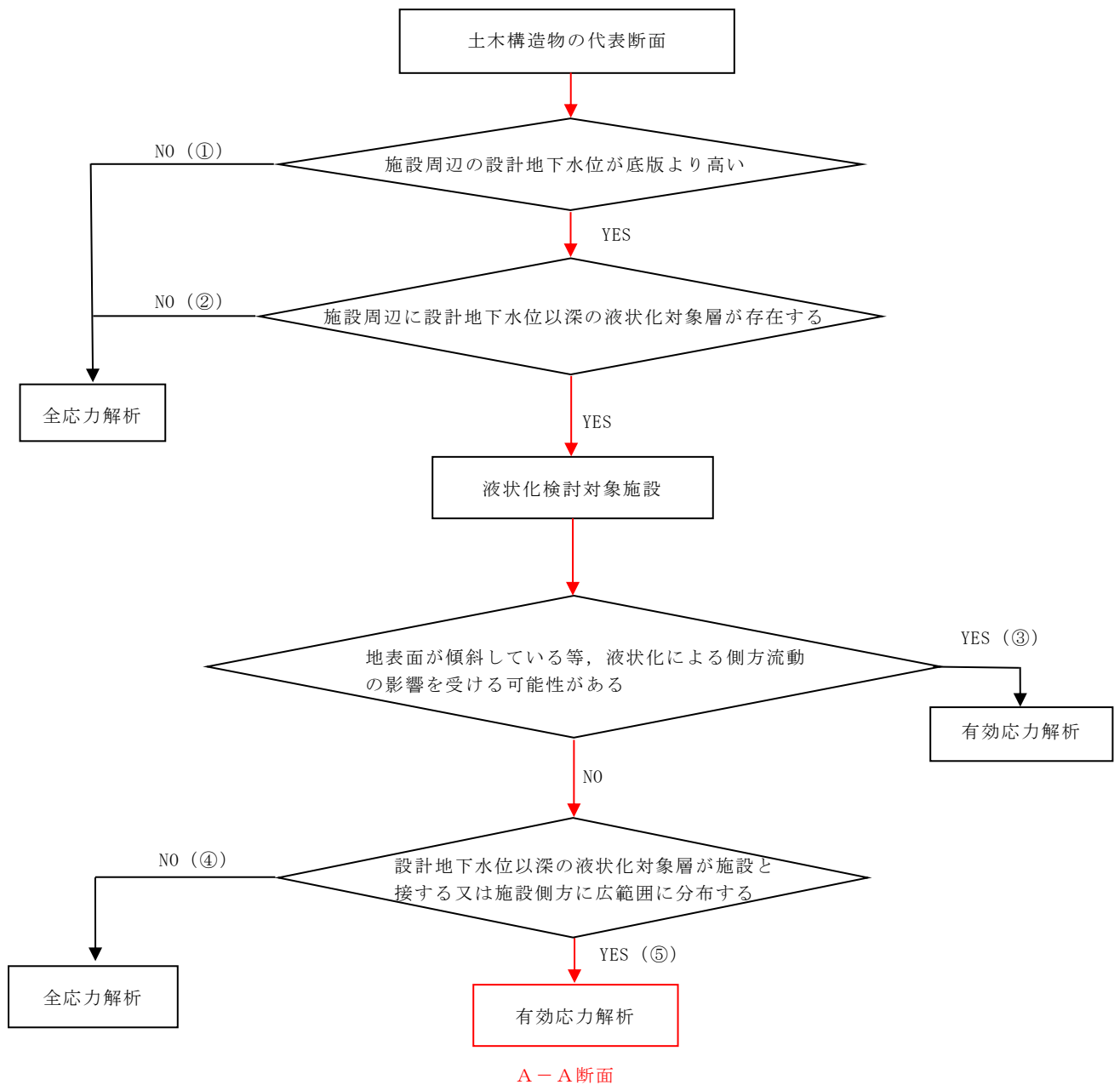


図 3-1 解析手法の選定フロー

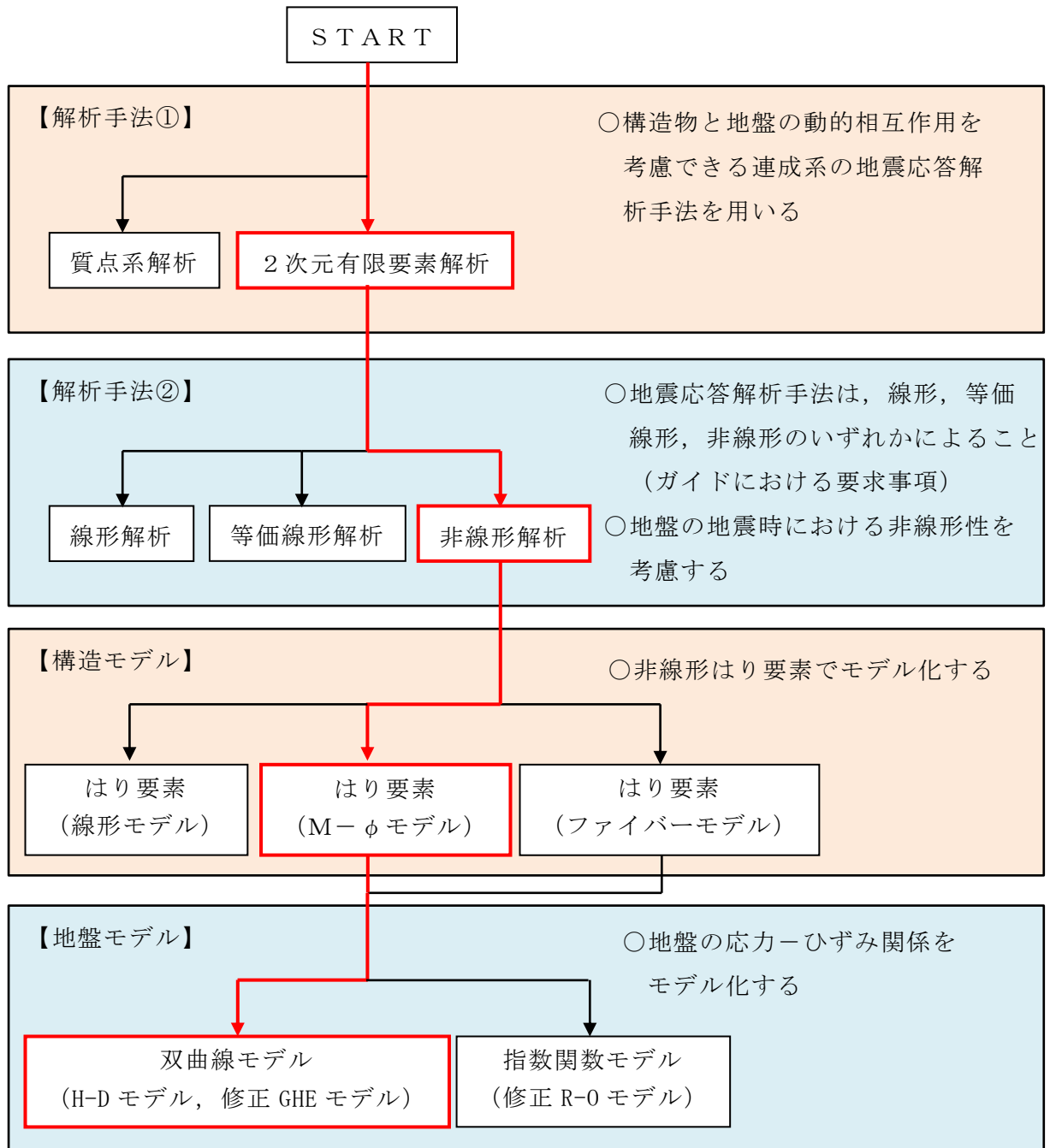


図 3-2 地震応答解析手法の選定フロー

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、土木学会マニュアル2005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。

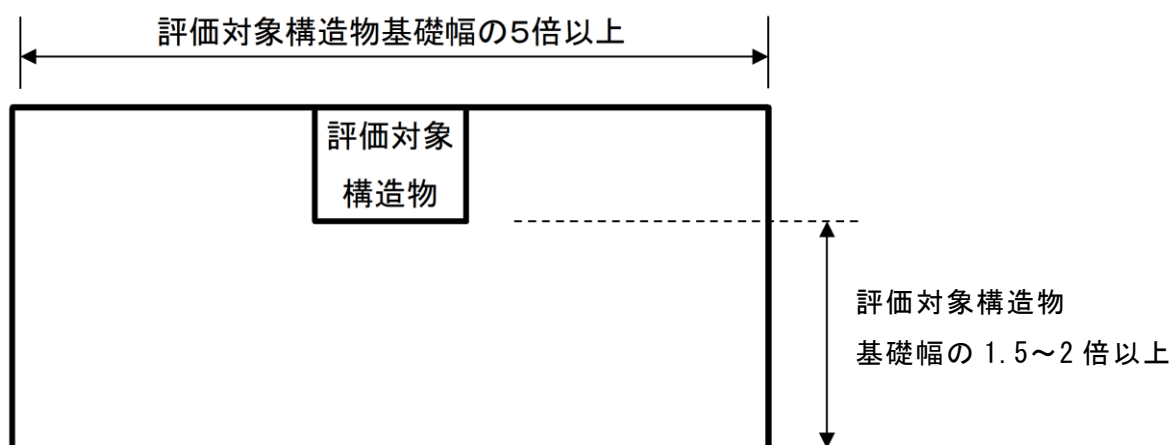


図3-3 モデル化範囲の考え方

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。

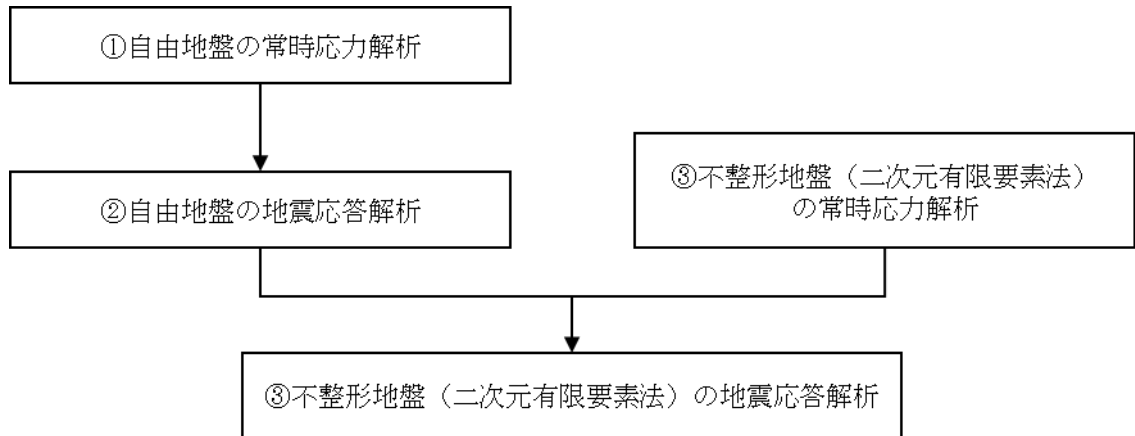


図 3-4 自由地盤の常時応力解析から不整形地盤（二次元有限要素法）の地震応答解析までのフロー（有効応力解析）

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。

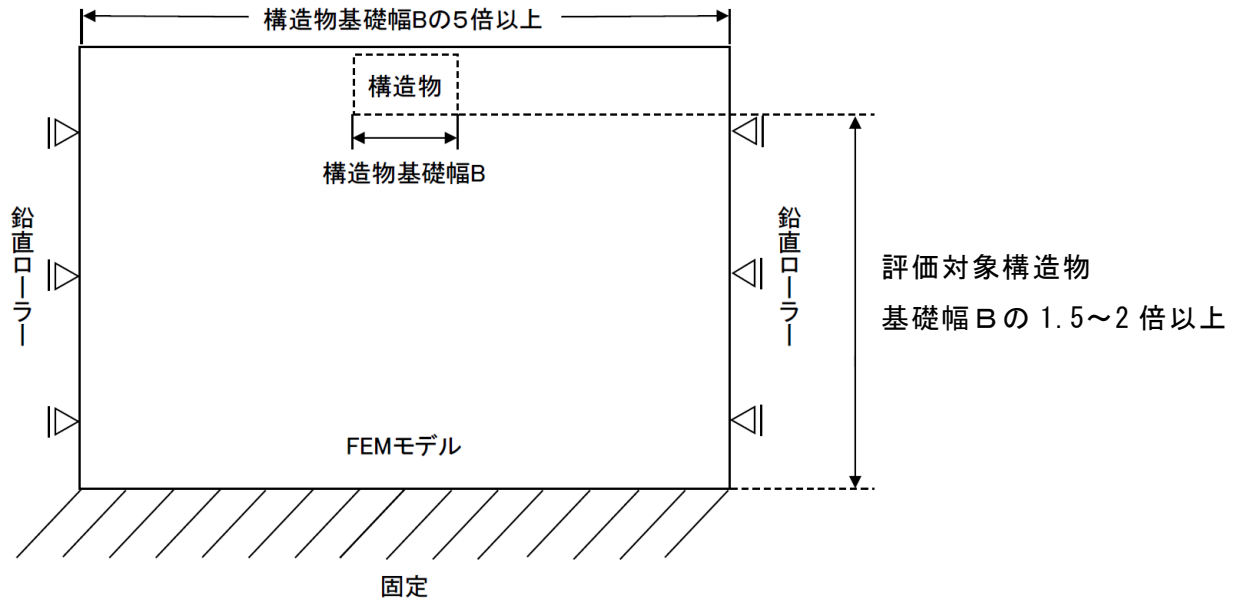


図3-5 常時応力解析における境界条件の概念図

(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。

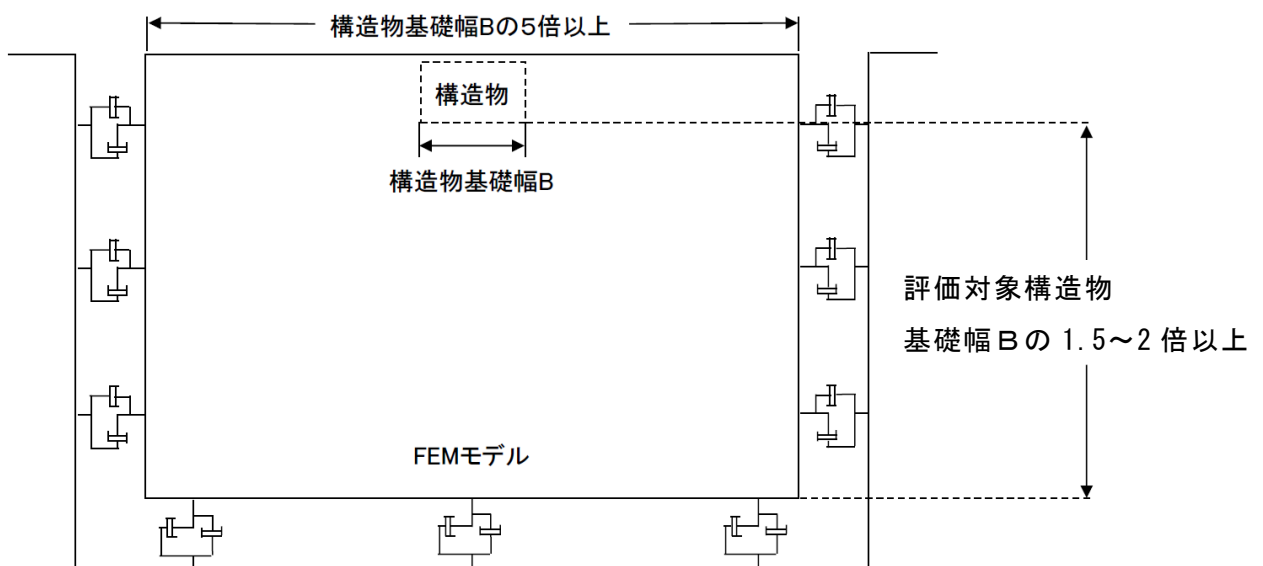


図 3-6 地震応答解析における境界条件の概念図

3.2.3 構造物のモデル化

中床版等の鉄筋コンクリート部材は非線形はり要素及び線形はり要素でモデル化し、妻壁及びピット部コンクリート充填部は平面応力要素でモデル化する。

3.2.4 隣接構造物のモデル化

A-A断面において、1号機タービン建物及び防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は取水槽の隣接構造物に該当するため、1号機タービン建物及び防波壁（多重鋼管杭式擁壁）をモデル化する。

以下に、それぞれの構造物のモデル化方針を示す。

(1) 1号機タービン建物

A-A断面の解析モデル範囲において隣接構造物となる1号機タービン建物は、等価剛性として線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

1号機タービン建物は「VI-2-11-2-1-2 1号機タービン建物の耐震性についての計算書」における多質点系モデル（多軸床柔多質点系モデル（水平））を基に図3-7に示す手順で有限要素モデルを作成する。まず、多質点系モデルのフロア毎に重量を、層毎に剛性を集約し、多質点系モデルと振動的に等価な単軸モデル（水平、鉛直）を作成し、1次モードの固有周期が同等となるよう単軸モデルのせん断断面積及び断面2次モーメントを補正する。その後、図3-8に示す関係式を用いて、単軸モデルの水平剛性 K_H 、鉛直剛性 K_V 及び曲げ剛性 K_ϕ を有限要素モデルのせん断剛性 G 、ポアソン比 ν 及びばね定数 k_s に変換し、単軸モデルと有限要素モデルが振動的に等価となるよう一致させる。なお、重量については、各節点の分担長に応じて層毎に設定する。

1号機タービン建物の有限要素モデル図を図3-9に、有限要素モデルの平面ひずみ要素の物性値を表3-1に、1次モードの固有周期の調整結果を表3-2に示す。

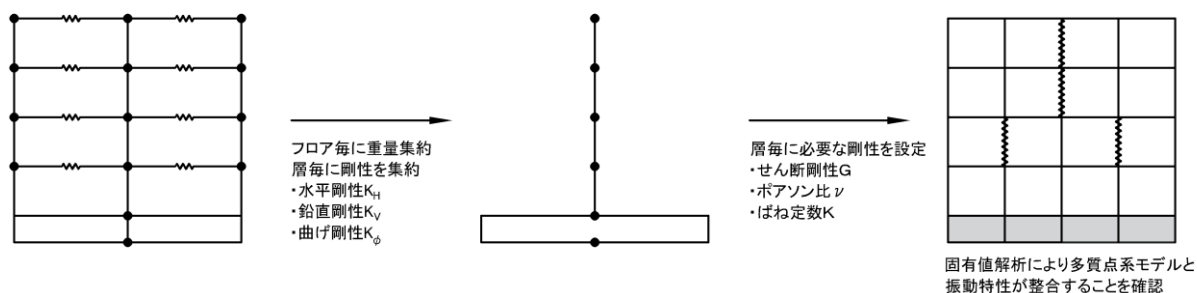


図3-7 1号機タービン建物の有限要素モデル作成の考え方

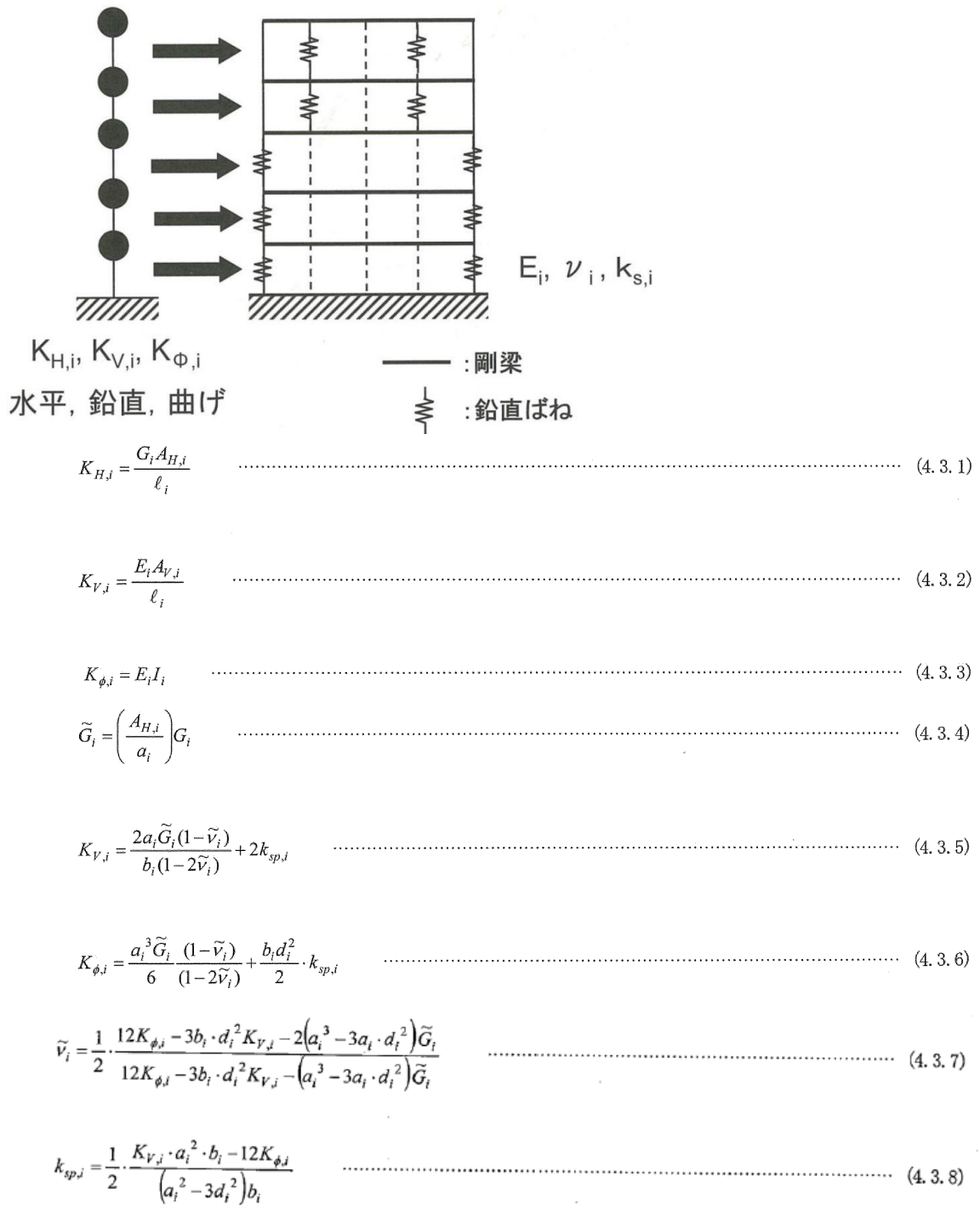


図 3-8 質点系モデルから有限要素モデルへのモデル化概要
 (原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術<技術資料>
 (土木学会, 原子力土木委員会, 2009年2月) より抜粋)

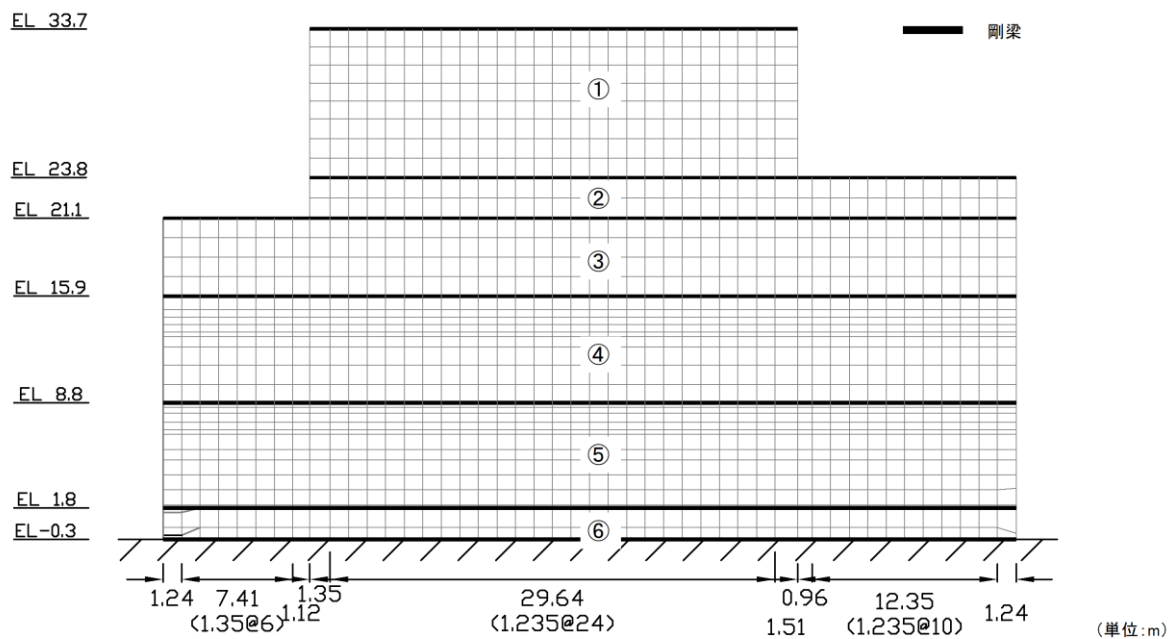


図 3-9 1号機タービン建物 有限要素モデル図

表 3-1 原子炉建物（平面ひずみ要素）の物性値

物性 番号	せん断弾性係数G (kN/m ²)	ヤング係数E (kN/m ²)	ポアソン比 ν
①	7.870×10^4	2.359×10^5	0.49873
②	1.477×10^5	4.405×10^5	0.49120
③	1.436×10^5	3.367×10^6	0.17235
④	5.036×10^5	1.469×10^6	0.45850
⑤	5.398×10^5	1.571×10^6	0.45517
⑥	8.758×10^6	1.795×10^7	0.02478

表 3-2 固有周期（1次モード）の調整結果

	有限要素モデル	多質点系モデル (地盤ばねなし)
水平方向	0.1135	0.1135
鉛直方向	0.0416	0.0416

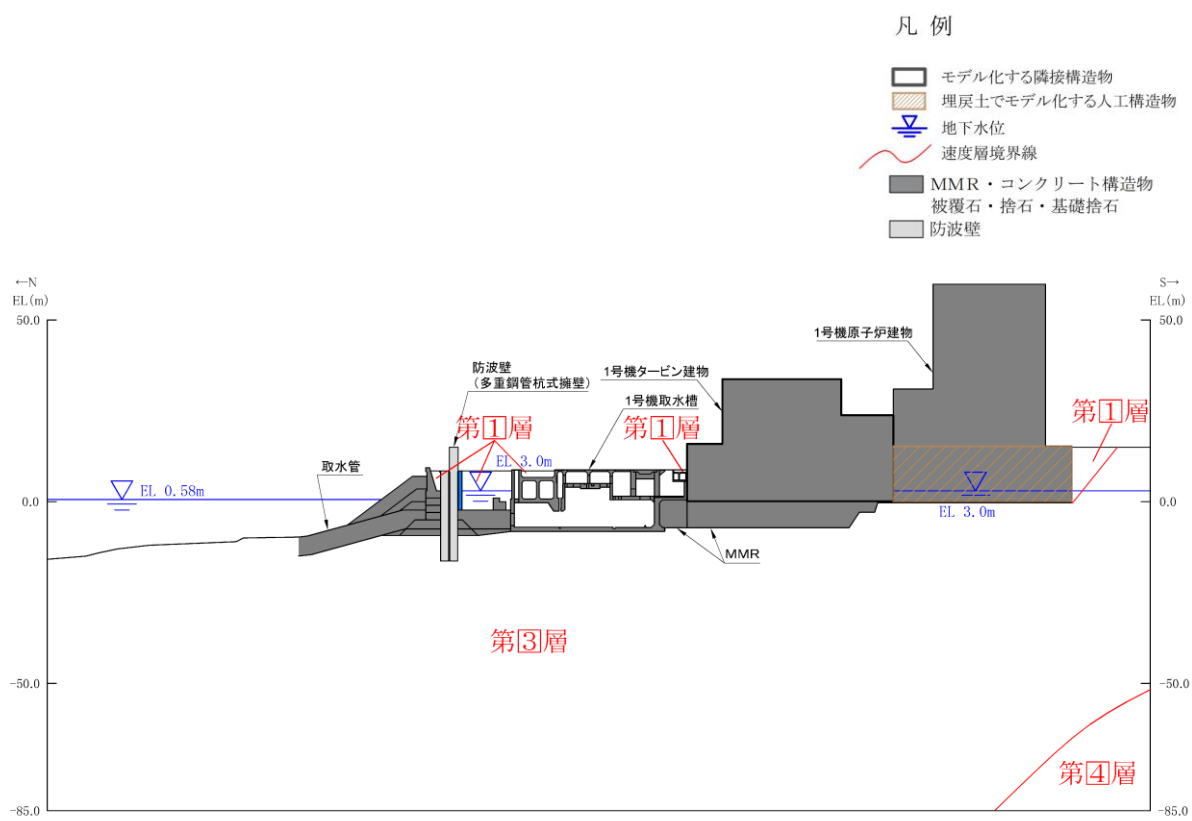
(2) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、VI-2-10-2-3-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震性についての計算書」に基づき、線形はり要素でモデル化する。

3.2.5 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。また、改良地盤については評価対象構造物から離れていること、分布が局所的であることから埋戻土としてモデル化する。

地盤のモデル化に用いる、地質断面図を図3-10に示す。

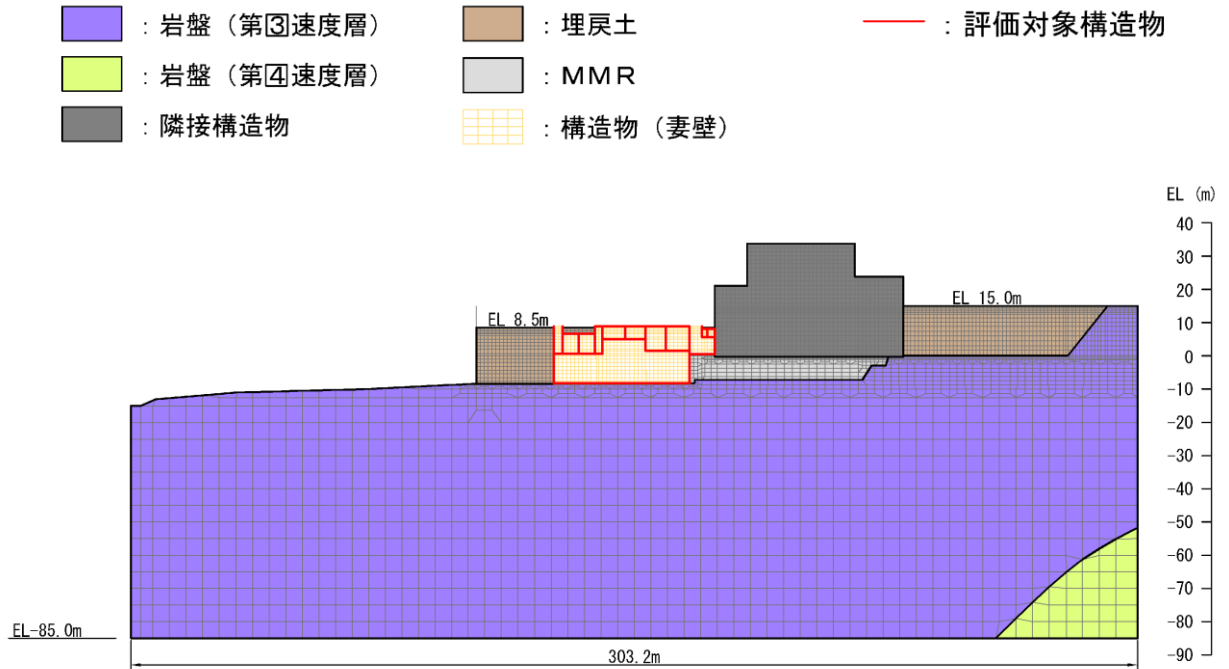


注：第1層については解析モデルでは埋戻土の物性を使用

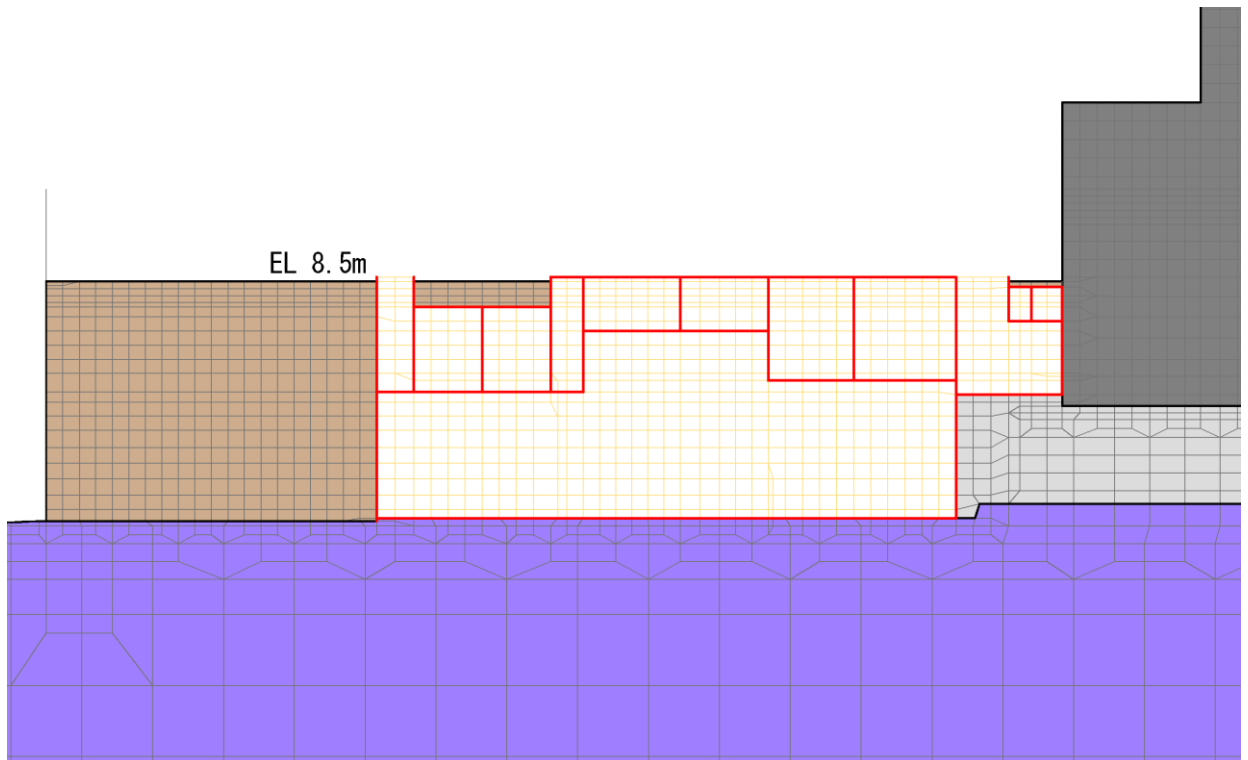
図 3-10 評価対象地質断面図

3.2.6 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図を図3-11に示す。



(全体図)



(拡大図)

図3-11 地震応答解析モデル図 (A-A断面)

3.2.7 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 τ_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 ϕ は周辺地盤の c ， ϕ 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 3-3 のとおりとする。また，要素間の粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は表 3-4 のとおり設定する。

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

ここに， τ_f : せん断強度

c : 粘着力 (= 初期せん断強度 τ_0)

ϕ : 内部摩擦角

表 3-3 周辺地盤との境界に用いる強度特性

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

表 3-4 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 ϕ ($^\circ$)
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 ϕ
	埋戻土	材料 2 の c	材料 2 の ϕ
	岩盤	材料 2 の c	材料 2 の ϕ
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，土木学会マニュアル 2005 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 3-5 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 3-12 に，ジョイント要素の配置を図 3-13 に示す。

表 3-5 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)
1.0×10^7	1.0×10^7

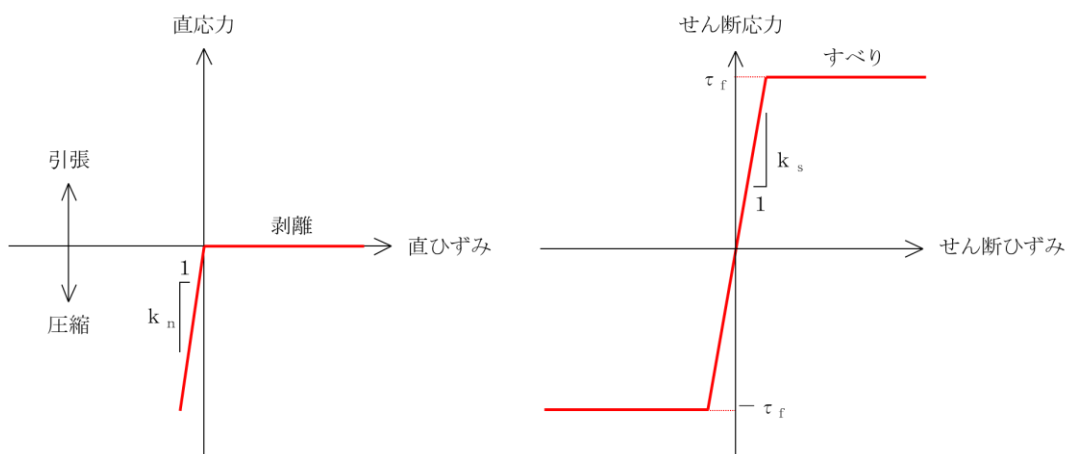








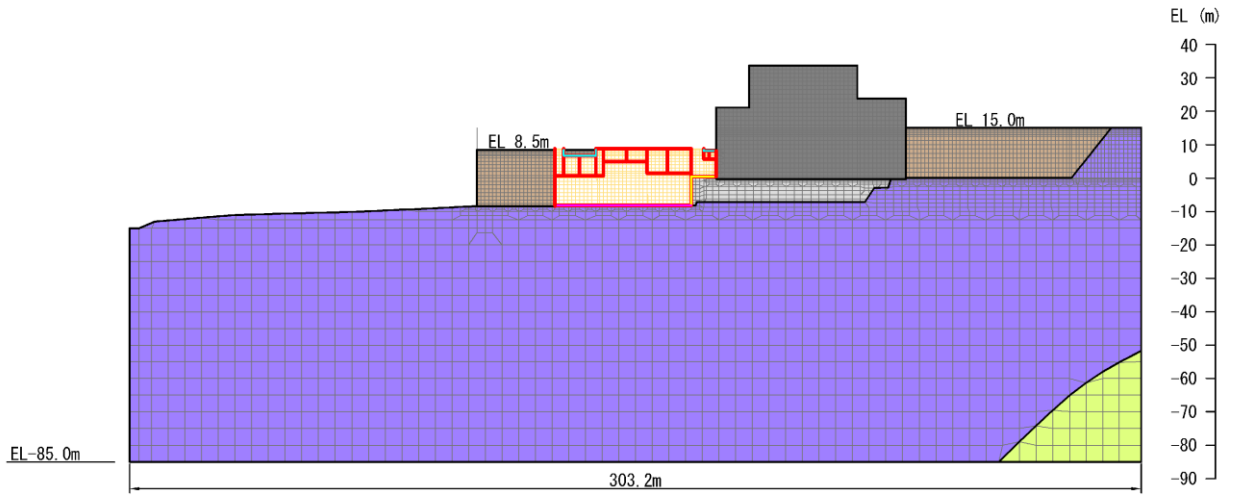
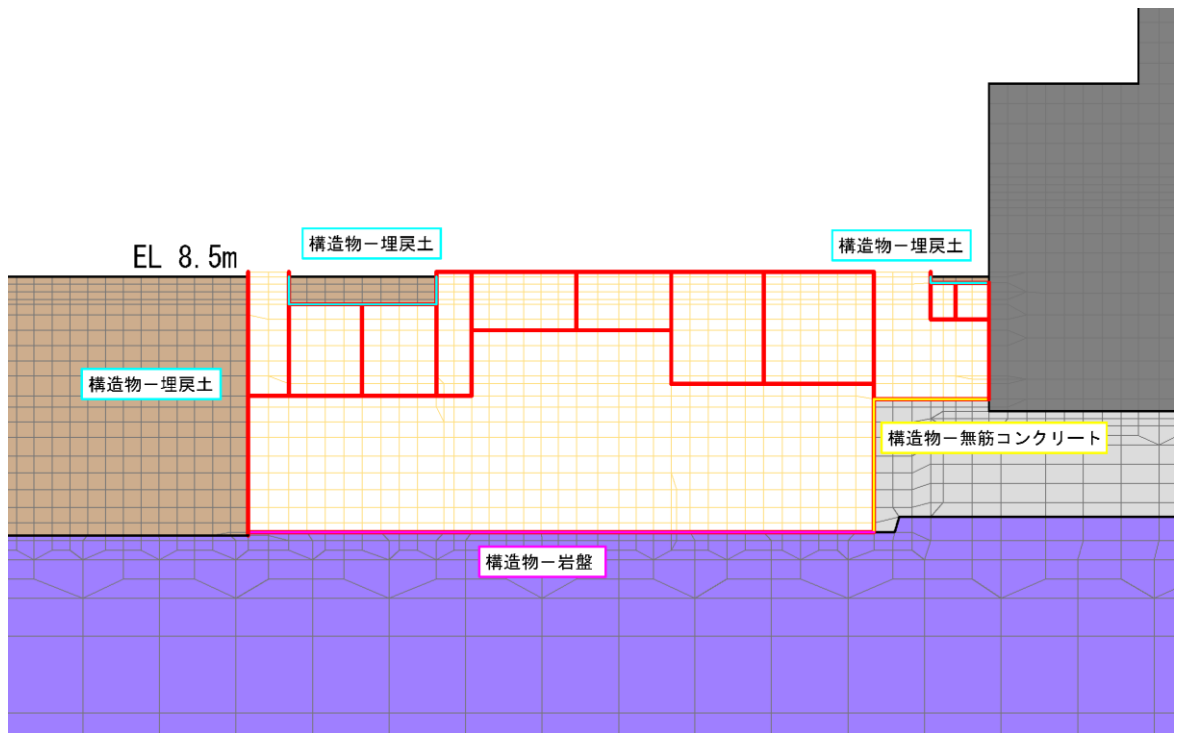


図 3-12 ジョイント要素の力学特性

- | | | | | | |
|---|--------------|---|------------|---|-----------|
|  | : 岩盤 (第③速度層) |  | : 埋戻土 |  | : 評価対象構造物 |
|  | : 岩盤 (第④速度層) |  | : MMR |  | : ジョイント要素 |
|  | : 隣接構造物 |  | : 構造物 (妻壁) | | |



(全体図)



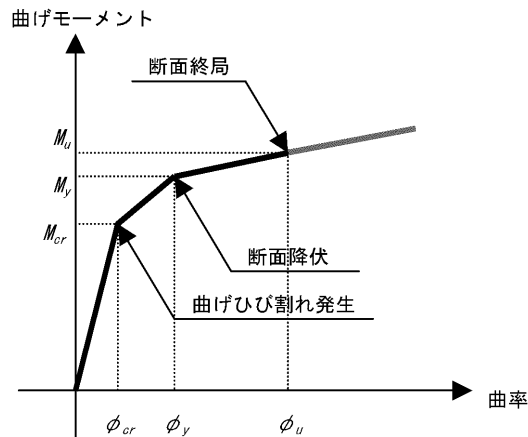
(拡大図)

図 3-13 ジョイント要素の配置 (A-A断面)

3.2.8 材料特性の設定

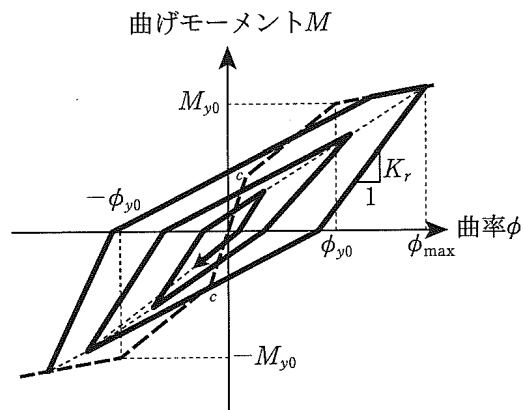
有効応力解析における鉄筋コンクリート部材は、非線形はり要素でモデル化することとし、図3-14に示すM- ϕ 関係のトリリニアモデルとする。履歴特性は、図3-15に示すとおり修正武田モデルを適用し、図3-16に示すコンクリートの応力-ひずみ関係を考慮する。

また、図3-17に鉄筋の応力-ひずみ関係を示す。



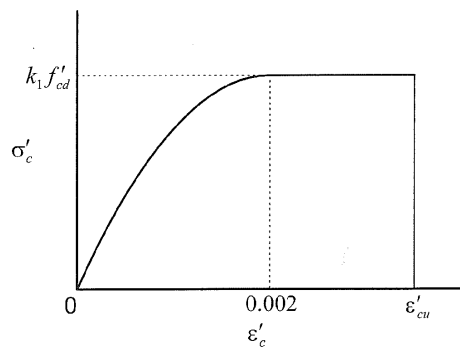
(土木学会マニュアル 2005 より引用)

図3-14 鉄筋コンクリート部材のM- ϕ 関係



(道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 (日本道路協会, 2002年) より引用)

図3-15 鉄筋コンクリート部材の履歴特性 (修正武田モデル)



$$k_1 = 1 - 0.003 f'_{ck} \leq 0.85$$

$$\varepsilon'_{cu} = \frac{155 - f'_{ck}}{30000} \quad 0.0025 \leq \varepsilon'_{cu} \leq 0.0035$$

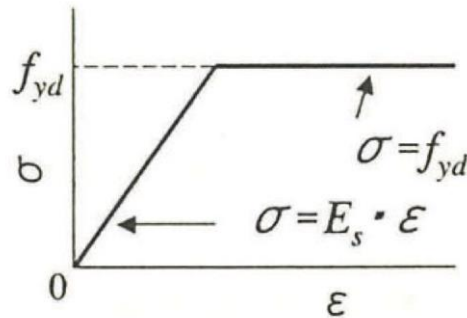
ここで、 f'_{ck} の単位は N/mm^2

曲線部の応力ひずみ式

$$\sigma'_c = k_1 f'_{cd} \times \frac{\varepsilon'_c}{0.002} \times \left(2 - \frac{\varepsilon'_c}{0.002} \right)$$

(コンクリート標準示方書 2002 より引用)

図 3-16 構造部材の非線形特性 (コンクリートの応力-ひずみ関係)



(コンクリート標準示方書 2002 より引用)

図 3-17 構造部材の非線形特性 (鉄筋の応力-ひずみ関係)

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 α を 0 として設定し、低振動数帯で減衰 α [m] の影響がない剛性比例型減衰としている。また、係数 β 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、それぞれを組合せて設定する。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3-6に示す。

表3-6 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	○ 常時応力解析により設定する。
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

地震時に1号機取水槽に作用する機器・配管系の荷重図を図3-18に荷重一覧表を表3-7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。

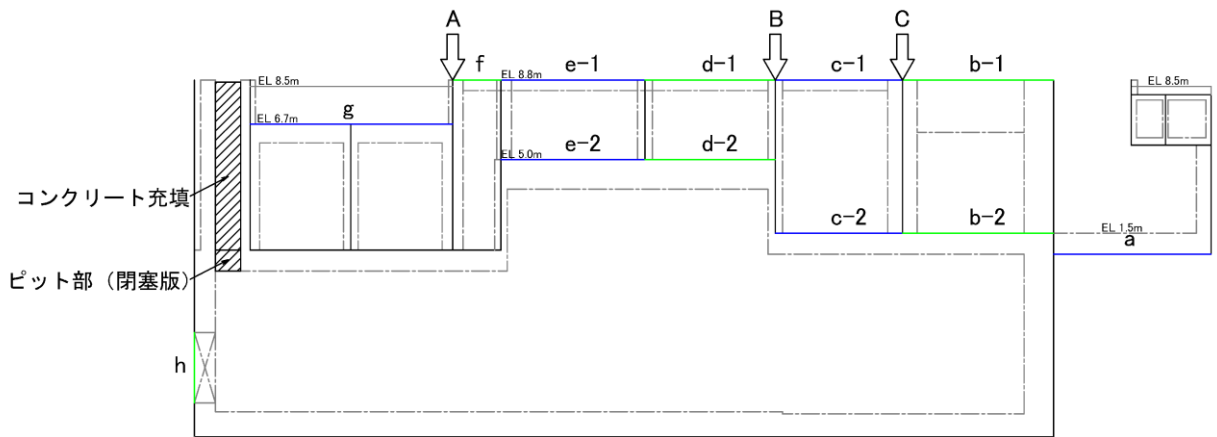


図3-18 解析用機器・配管荷重図

表3-7(1) 機器配管荷重一覧 (分布荷重)

範囲	位置	機器荷重	配管荷重	浸水防止壁	縮小工	合計 (kN/m ²)
a	EL 1.500	1.29	8.90	-	-	10.19
b-1	EL 8.800	6.71	-	-	-	6.71
b-2	EL 1.500	3.71	1.50	-	-	5.21
c-1	EL 8.800	-	-	0.23	-	0.23
c-2	EL 1.500	2.79	4.50	-	-	7.29
d-1	EL 8.800	-	-	0.25	-	0.25
d-2	EL 5.000	5.49	-	-	-	5.49
e-1	EL 8.800	-	-	0.25	-	0.25
e-2	EL 5.000	5.56	-	-	-	5.56
f	EL 8.800	-	-	0.29	-	0.29
g	EL 6.700	1.59	-	-	-	1.59
h	開口部	-	-	-	5.71	5.71

表 3-7(2) 機器配管荷重一覽 (集中荷重)

範圍	合計 (kN/m)
A	4.59
B	2.19
C	2.19

3.4.2 外水圧

外水圧は、地下水位に応じた静水圧を設定する。地下水位については、「2.8 地下水位」のとおりとし、地下水の密度として $1.00\text{g}/\text{cm}^3$ を考慮する。

3.4.3 内水圧

取水槽の内部には、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、 $1.03\text{g}/\text{cm}^3$ を考慮する。

内水圧図を図 3-19 に示す。

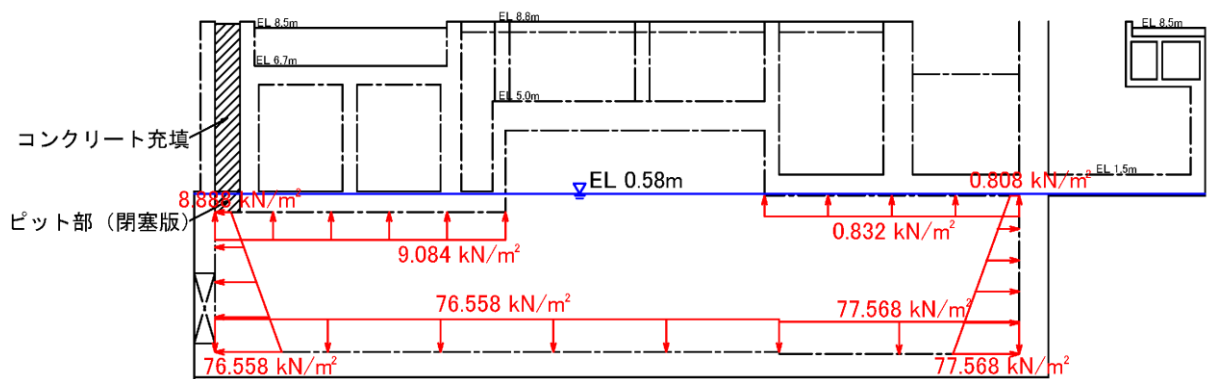


図 3-19 内水圧図

3.4.4 積雪荷重

積雪荷重は、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 35.0 cm 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 1 cm ごとに $20\text{N}/\text{m}^2$ 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

動水圧は Westergaard 式から算定する。

(1) 水平方向の動水圧

取水槽内部の水を固定水として扱い、次式で算定する。水平方向動水圧の概念図を図 3-20 に示す。

$$p_w = \frac{7}{8} \times c \times \gamma_w \times \sqrt{(h \times y)} \times k_H$$

p_w : 動水圧

c : 補正係数

$L/h < 1.5$ の場合, $c = L / (1.5h)$

$L/h \geq 1.5$ の場合, $c = 1.0$

L : 水路幅

h : 水深

γ_w : 海水の単位体積重量

y : 水面から動水圧を求める点までの深さ

k_H : 水平震度

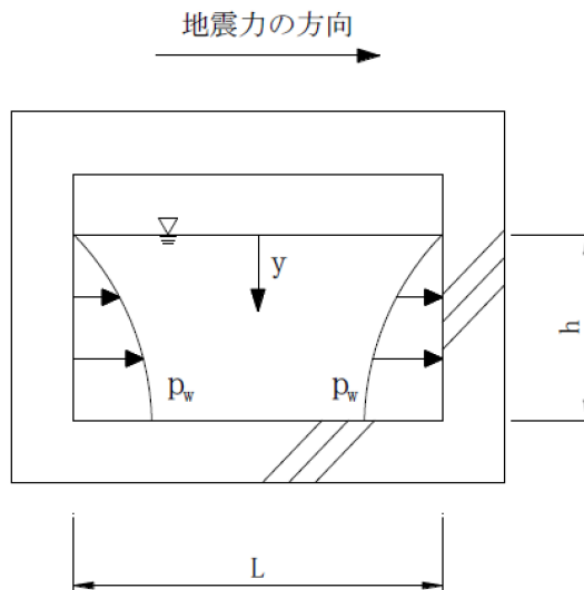


図 3-20 水平方向の動水圧概念図

(2) 鉛直方向の動水圧

取水槽内部の水を固定水として扱い，次式で算定する。鉛直方向動水圧の概念図を図 3-21 に示す。

$$p_w = k_v \times \gamma_w \times h$$

p_w : 動水圧

k_v : 鉛直震度

γ_w : 海水の単位体積重量

h : 水深

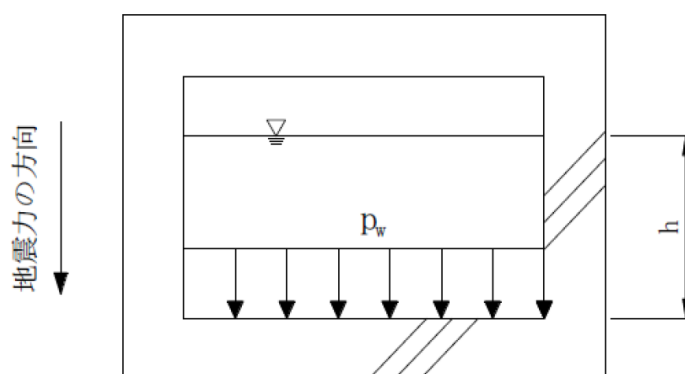


図 3-21 鉛直方向の動水圧分布図

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

A-A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3-8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 3-8 解析ケース（A-A断面）

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 σ	平均値
ケース③	有効応力解析	平均値 - 1 σ	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 σ	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3-9に示すケース①）を実施する。基本ケースにおいて、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊の照査項目ごとに照査値が0.5を超える照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いて、表3-9に示す解析ケース②～⑤を実施する。すべての照査項目の照査値がいずれも0.5以下の場合、照査値が最も厳しくなる地震動を用いて、解析ケースを実施する。耐震評価における解析ケースを表3-9に示す。

表 3-9 耐震評価における解析ケース (A-A断面)

解析ケース	有効応力解析			全応力解析	
	ケース①	ケース②	ケース③	ケース④	ケース⑤
基本ケース	平均値	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース	非液化化の条件を仮定した解析ケース	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮して非液化化の条件を仮定した解析ケース
地盤物性	平均値	平均値 + 1σ	平均値 - 1σ	平均値	平均値 + 1σ
地震動 (位相)	++*	○			
	-+*	○			
	+ -*	○			
	- -*	○			
	++*	○			
	++*	○			
	++*	○			
	++*	○			
	-+*	○			
	++*	○			
	-+*	○			
	-+*	○			

基準地震動 S_s (6波) 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、ケース④ (基本ケース) を実施し、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊の各照査項目ごとに照査値が 0.5 を超える照査項目に対して、最も厳しい (許容限界に対する裕度が最も小さい) 地震動を用いてケース⑤~⑧を実施する。

すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース⑤~⑧を実施する。

注記* : 地震動の位相について、++の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

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。

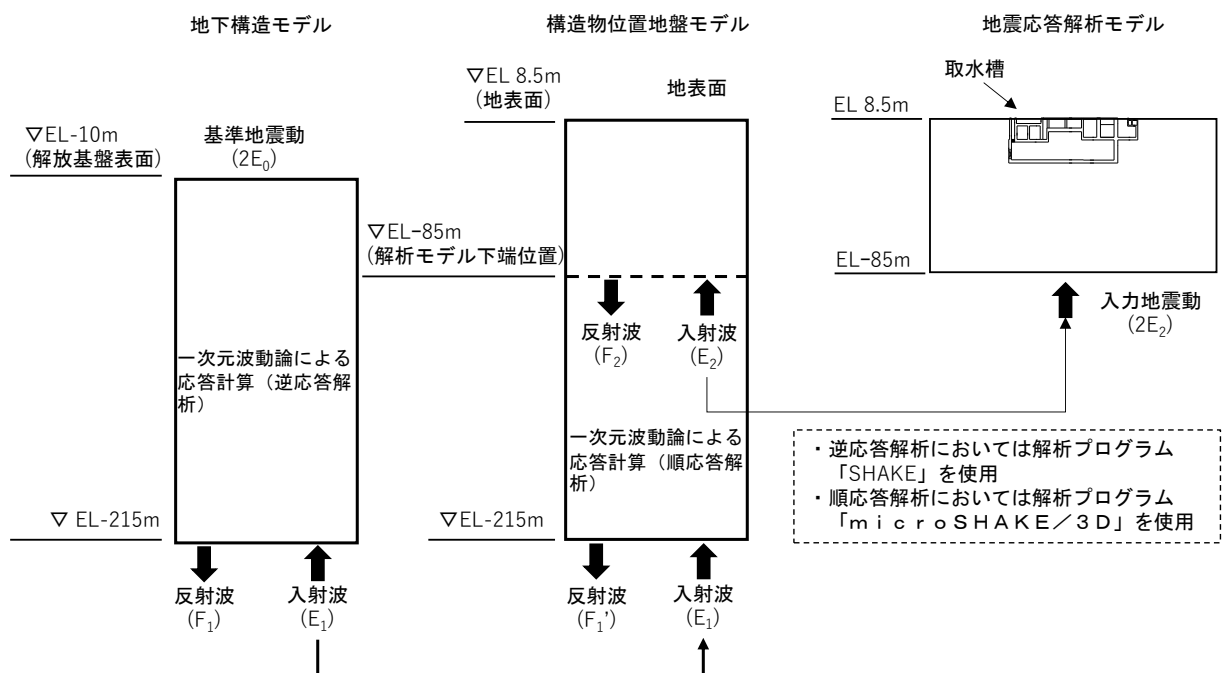
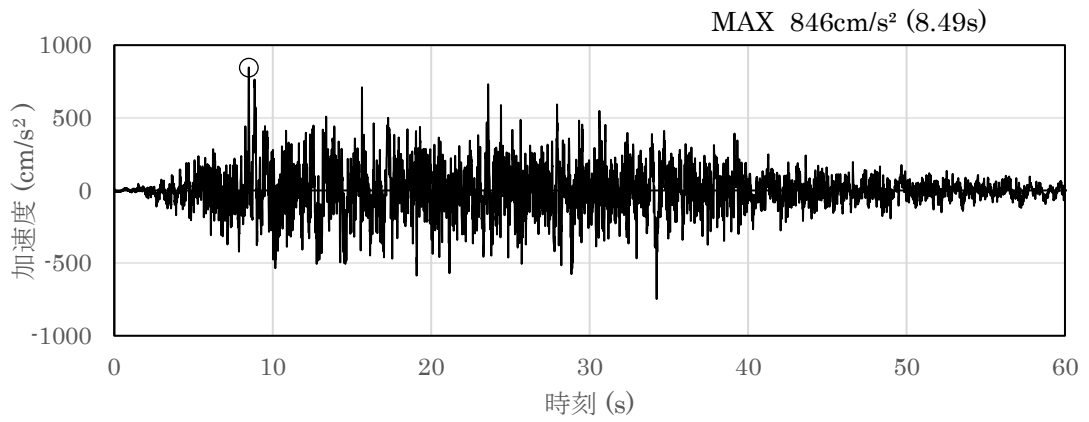
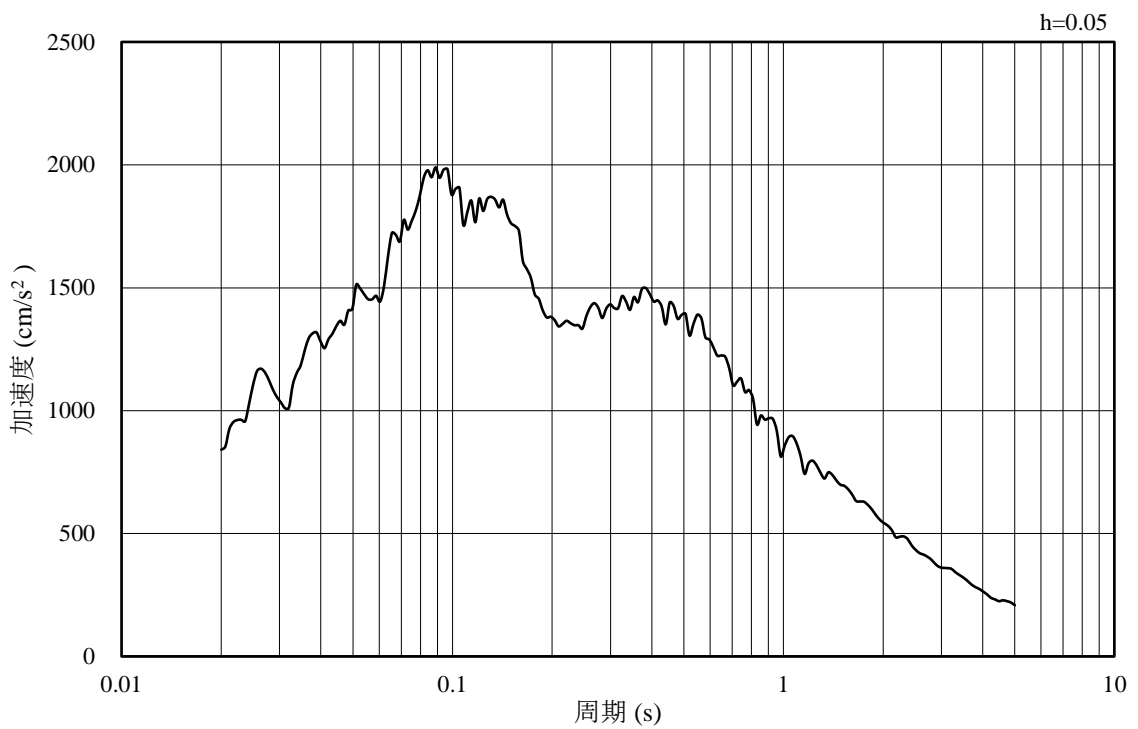


図4-1 入力地震動算定の概念図

図 4-2～図 4-13 に A-A 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。

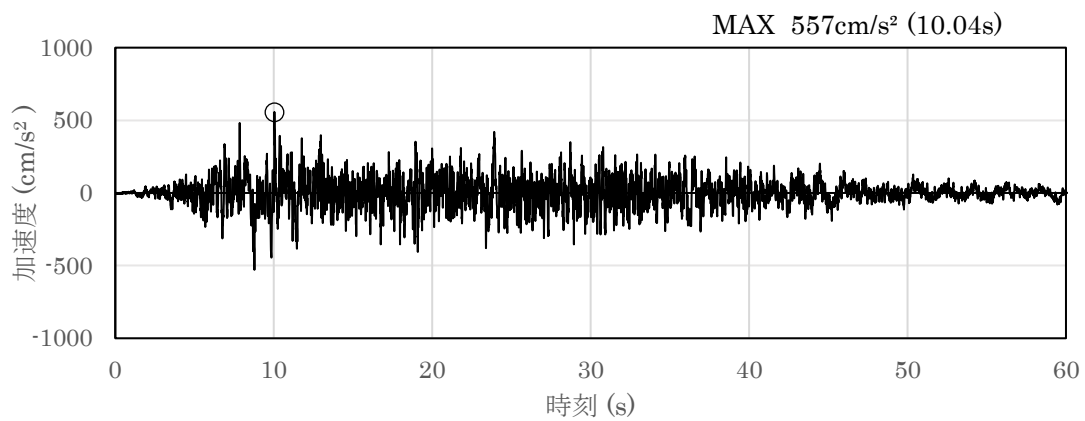


(a) 加速度時刻歴波形

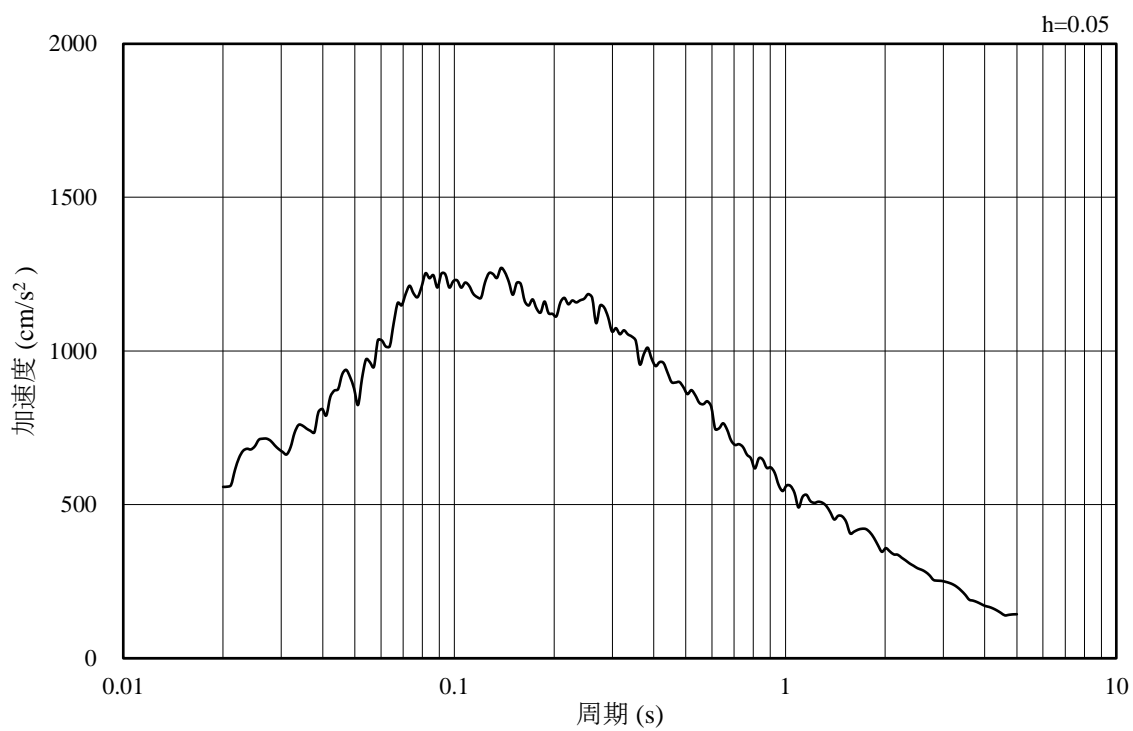


(b) 加速度応答スペクトル

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)

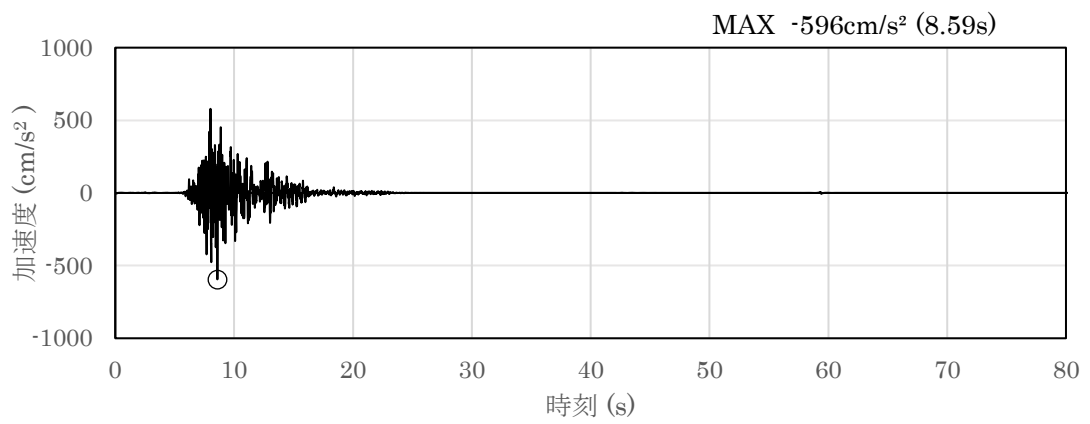


(a) 加速度時刻歴波形

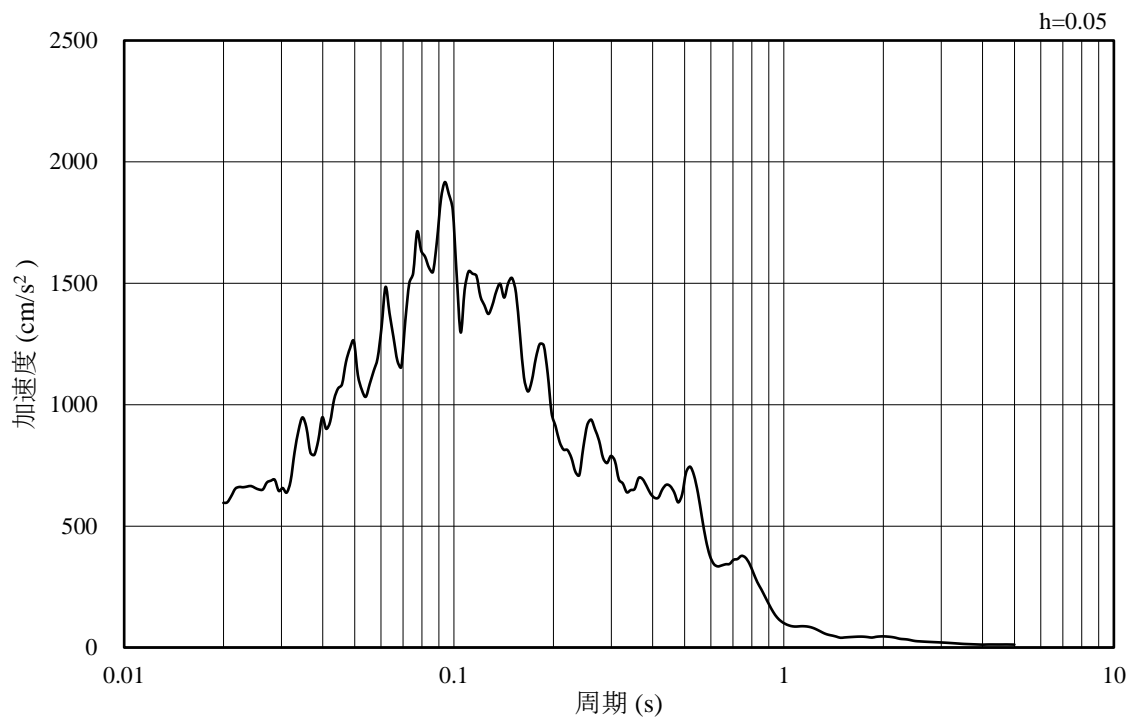


(b) 加速度応答スペクトル

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)

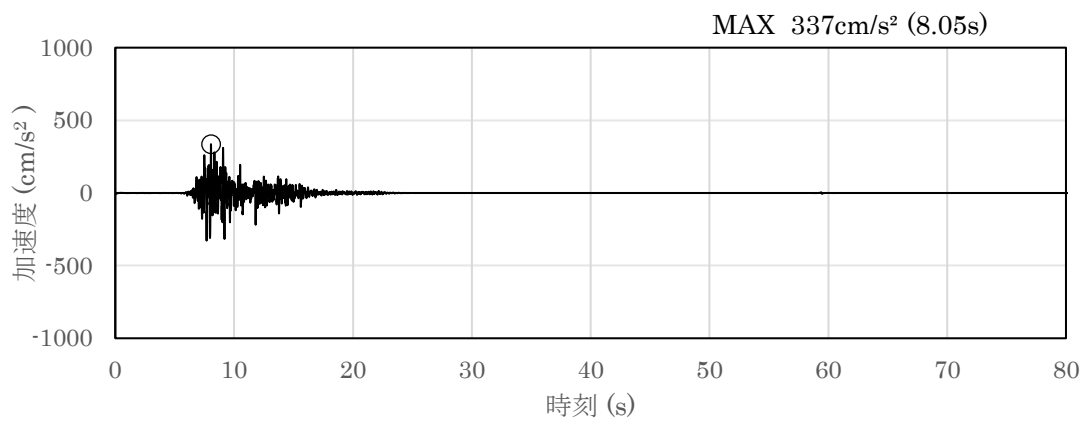


(a) 加速度時刻歴波形

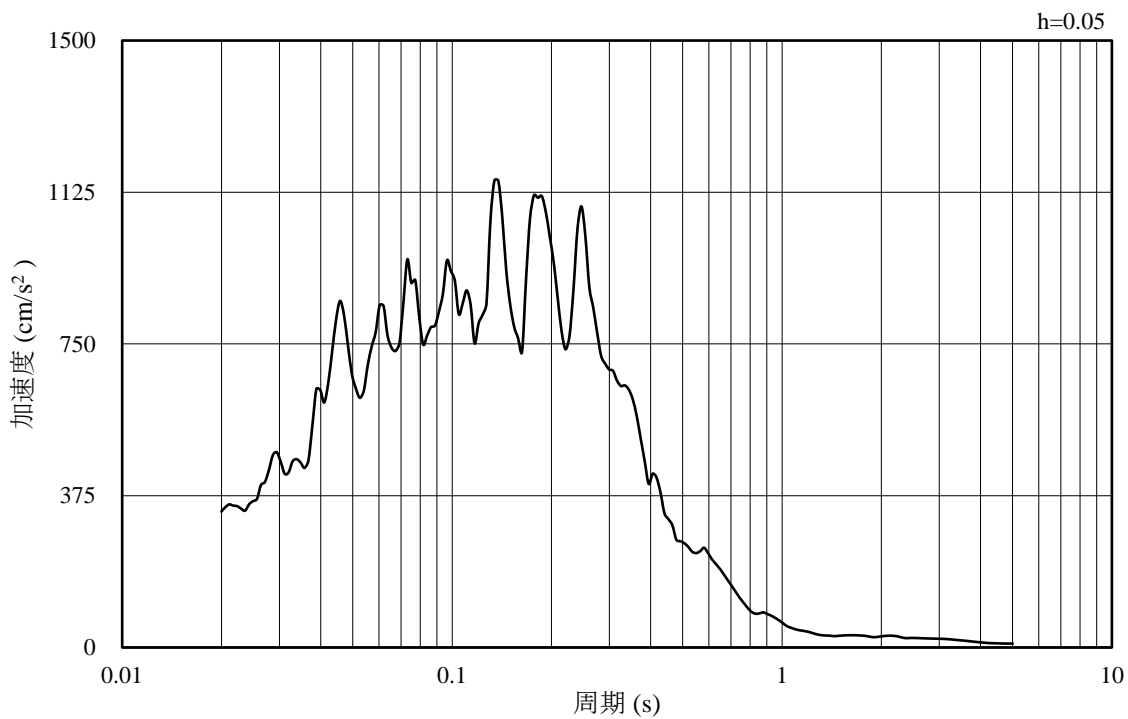


(b) 加速度応答スペクトル

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)

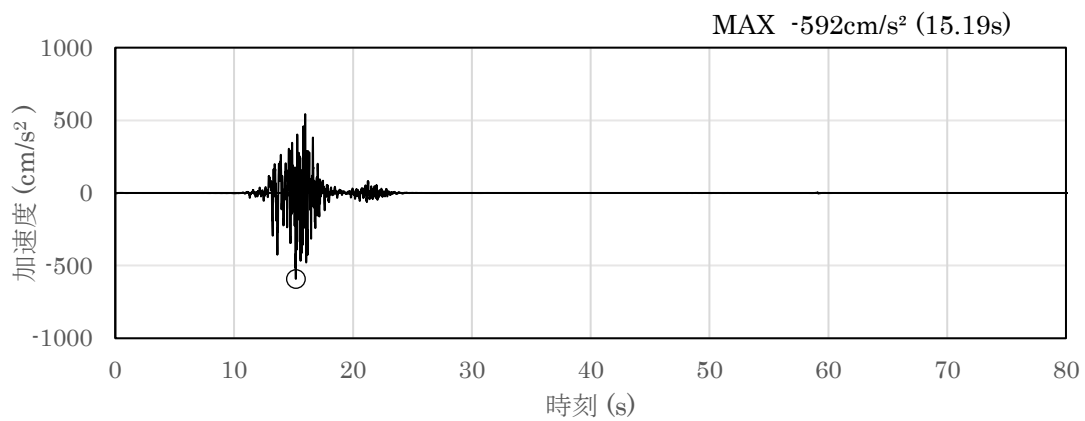


(a) 加速度時刻歴波形

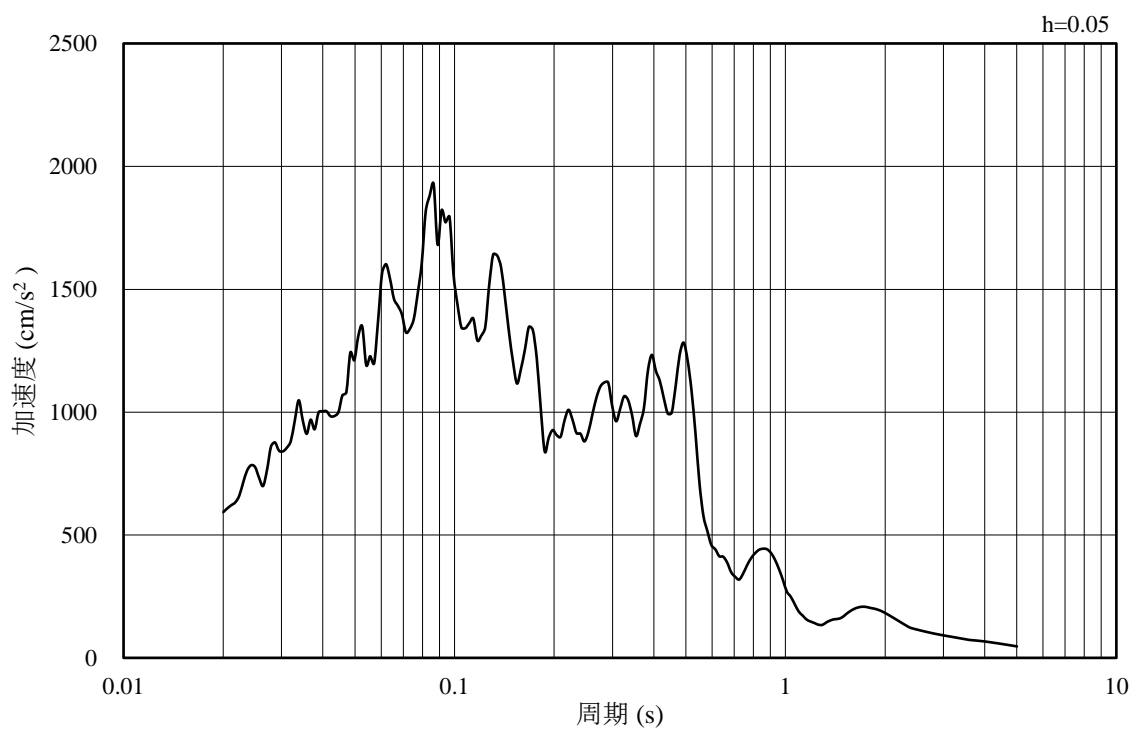


(b) 加速度応答スペクトル

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)

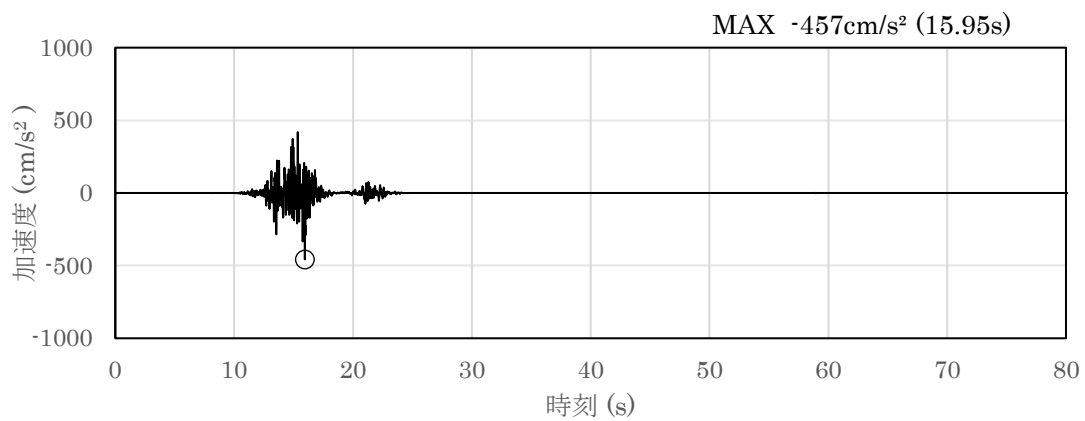


(a) 加速度時刻歴波形

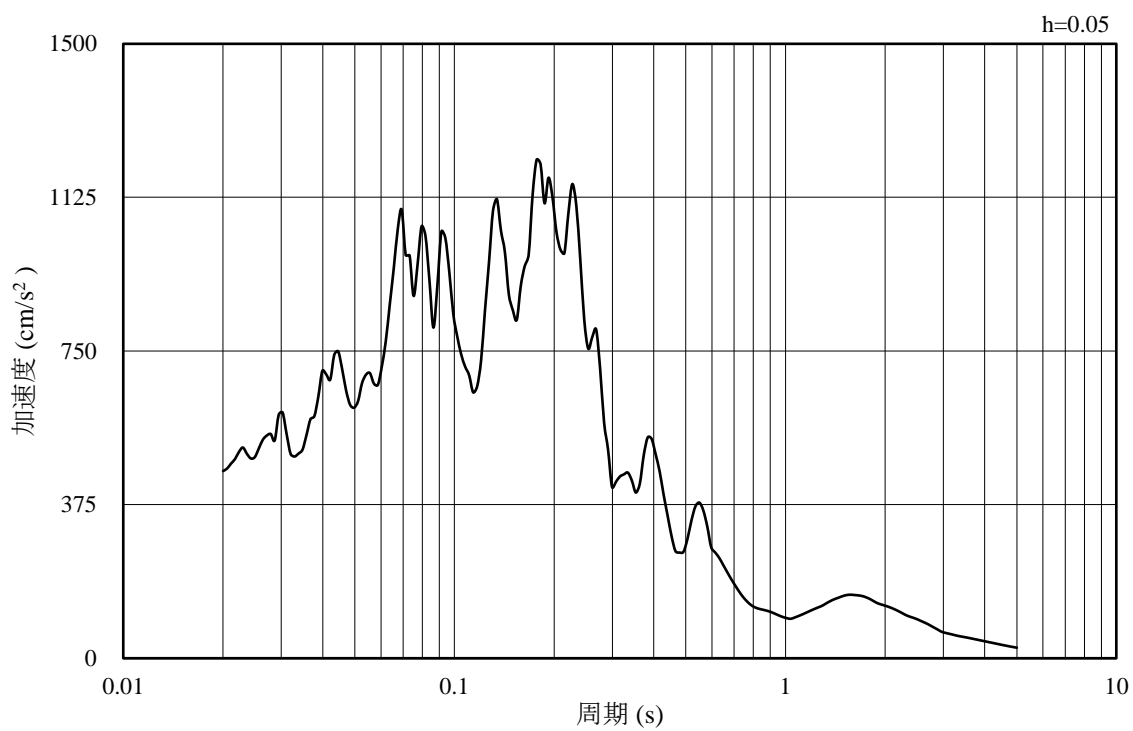


(b) 加速度応答スペクトル

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)

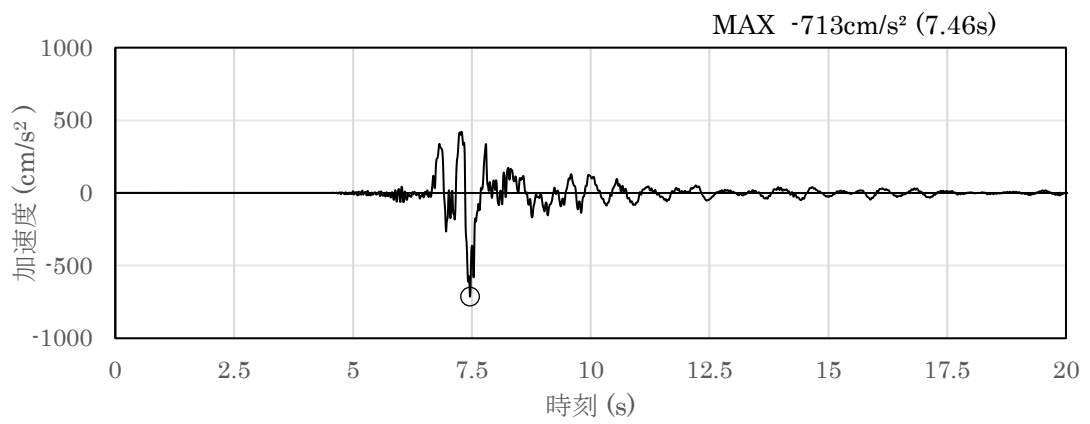


(a) 加速度時刻歴波形

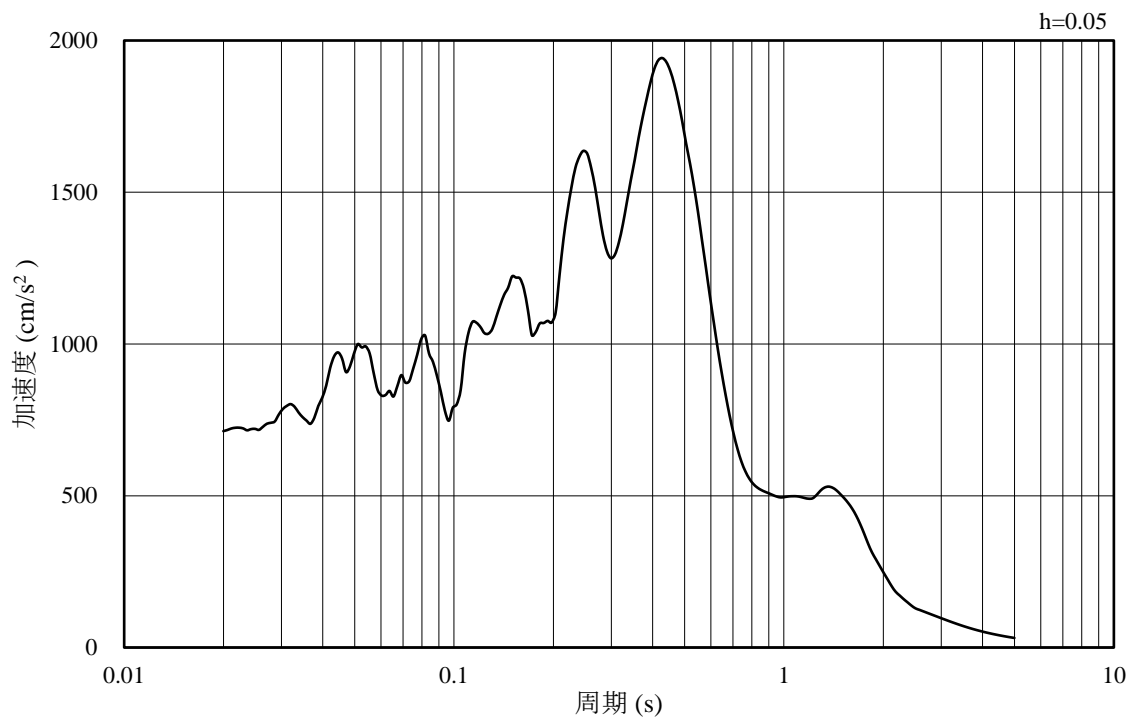


(b) 加速度応答スペクトル

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)

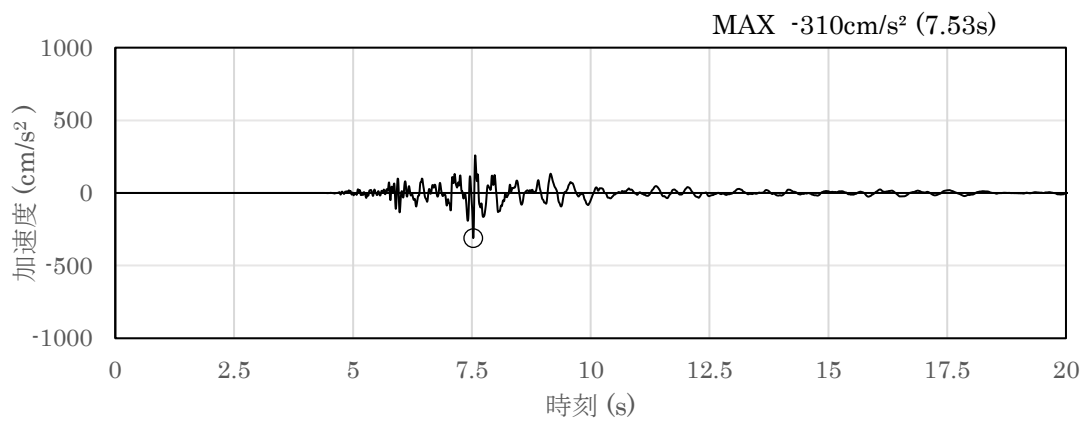


(a) 加速度時刻歴波形

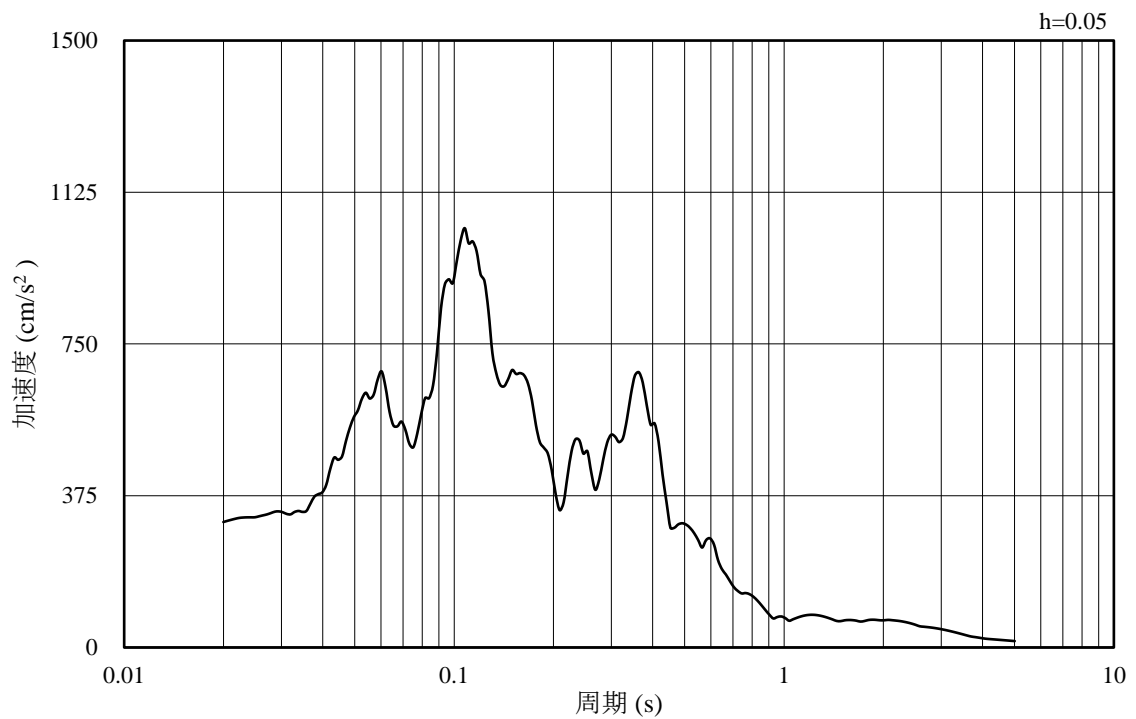


(b) 加速度応答スペクトル

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)

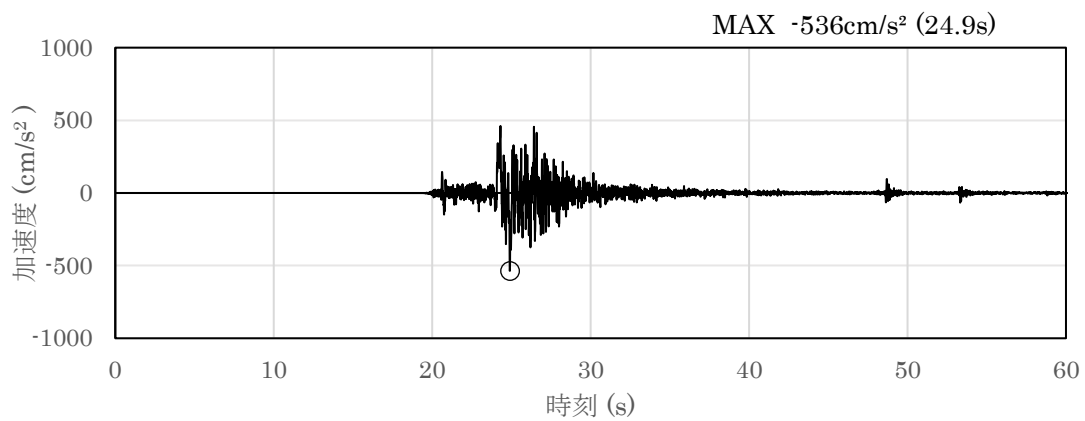


(a) 加速度時刻歴波形

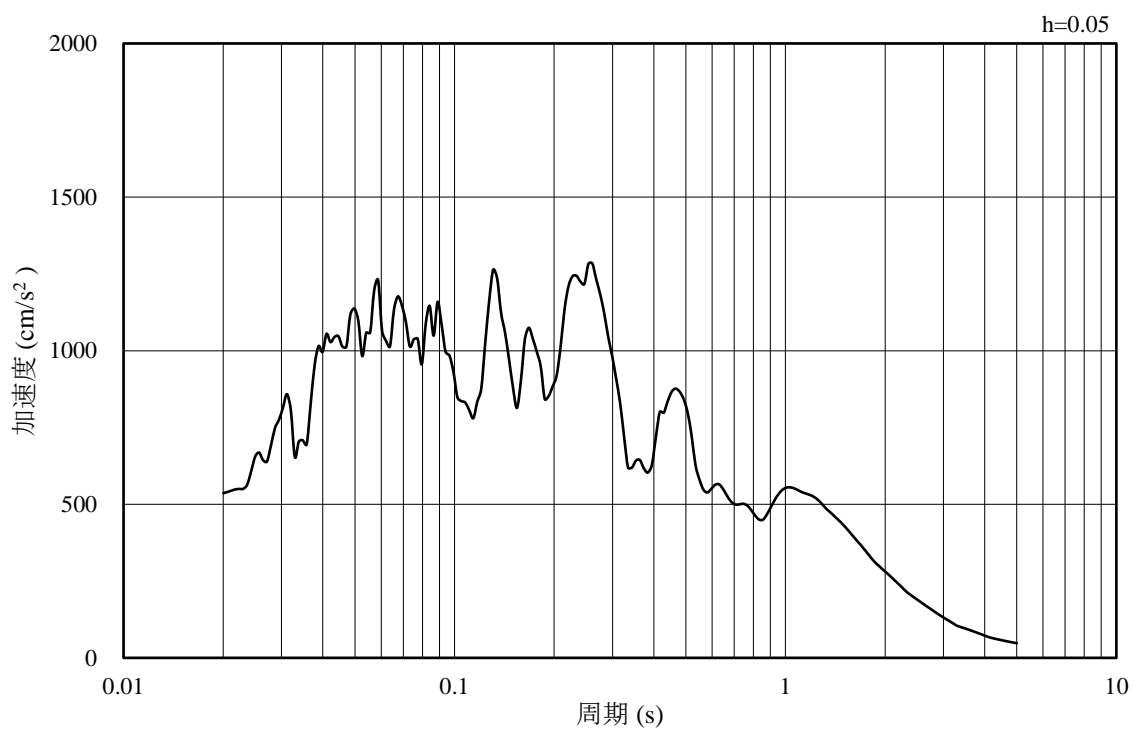


(b) 加速度応答スペクトル

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)

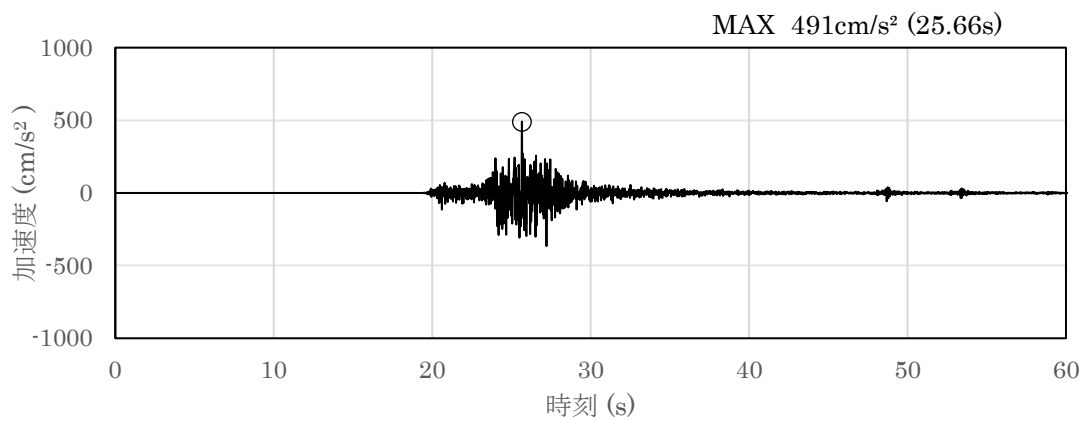


(a) 加速度時刻歴波形

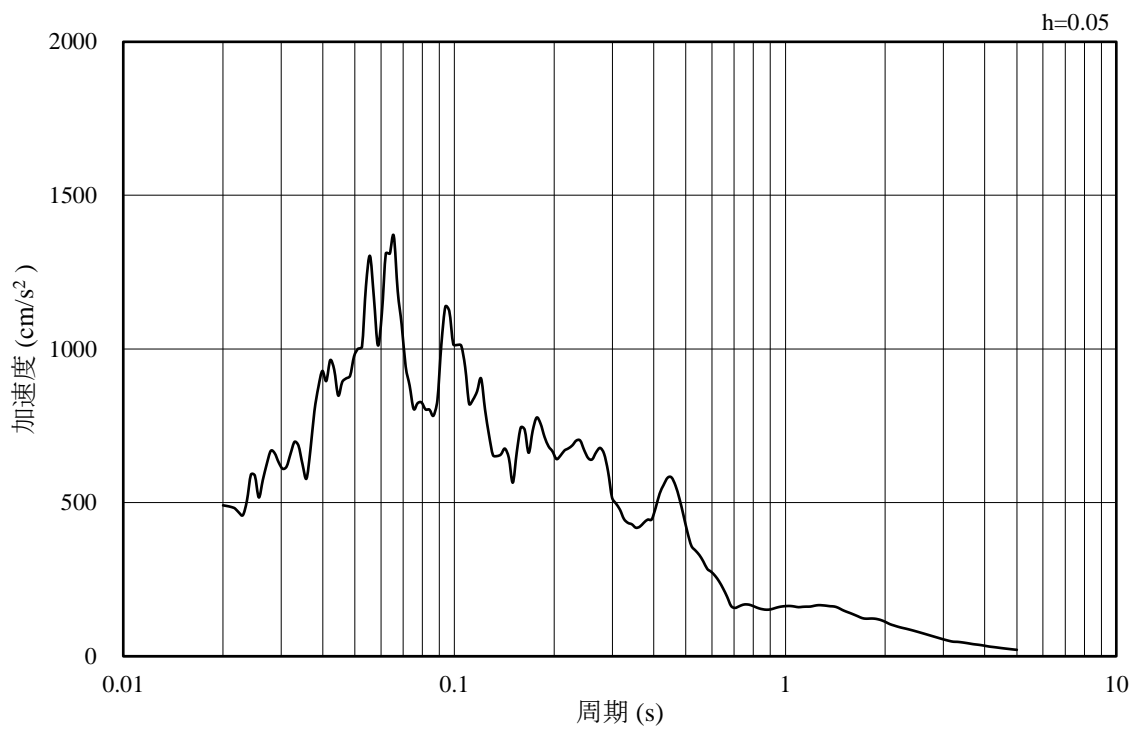


(b) 加速度応答スペクトル

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))

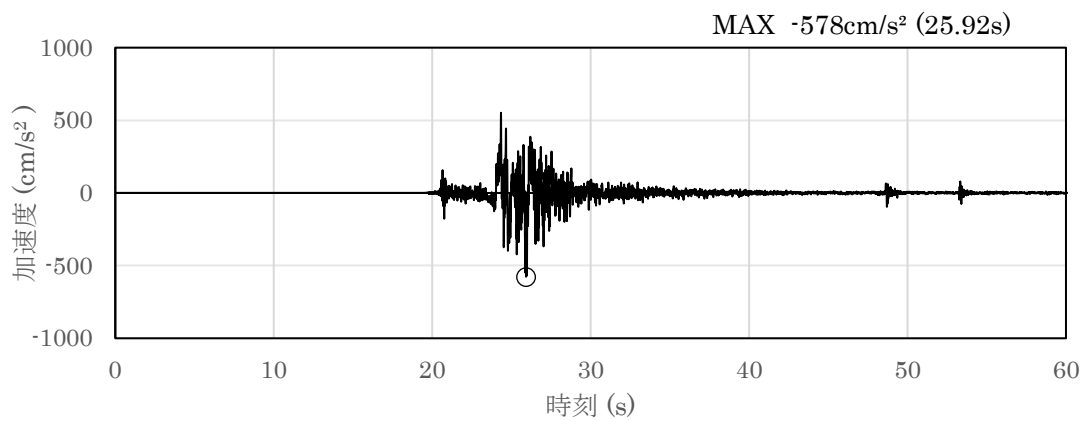


(a) 加速度時刻歴波形

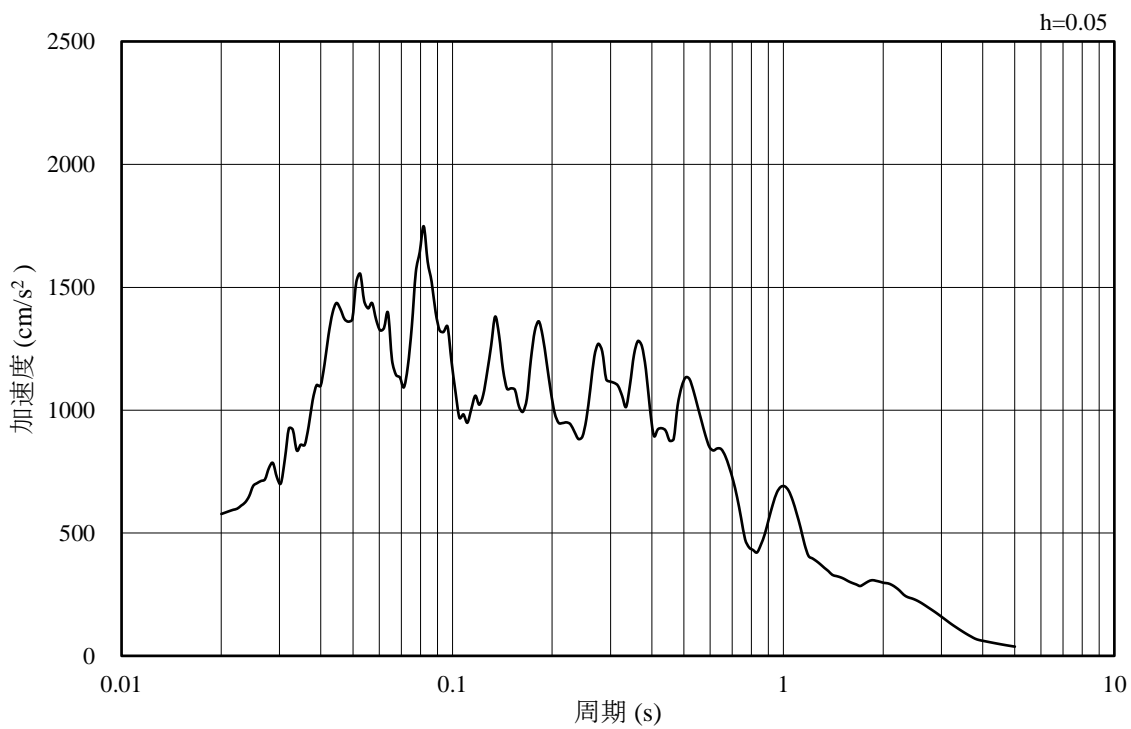


(b) 加速度応答スペクトル

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))

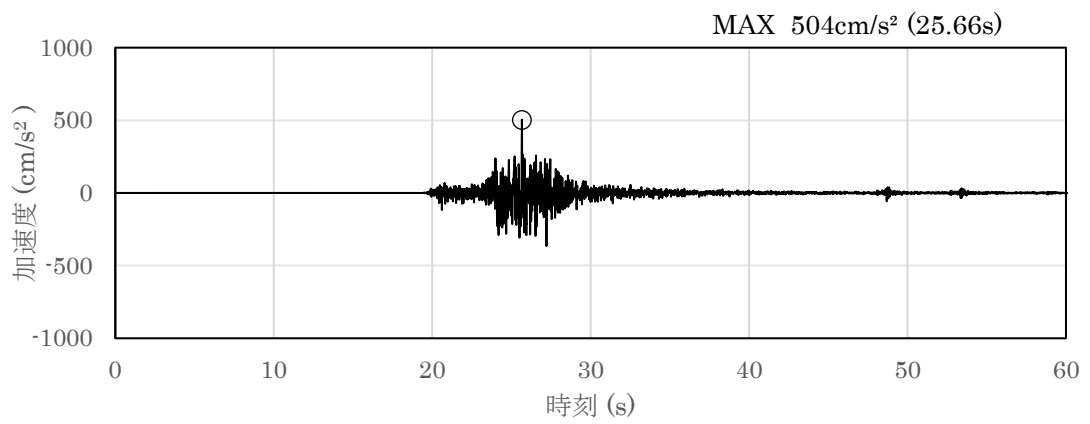


(a) 加速度時刻歴波形

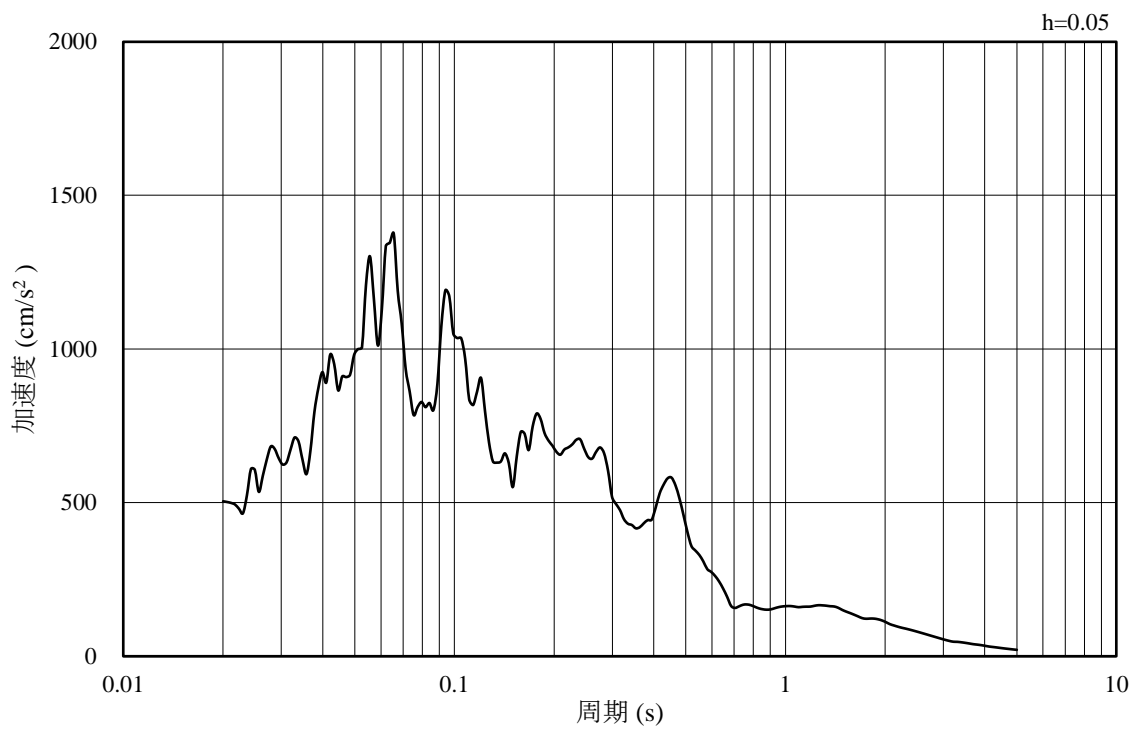


(b) 加速度応答スペクトル

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

1号機取水層中床版の耐震安全性評価は、以下に示すように許容限界を設定し照査を行う。

耐震安全性評価は、限界状態設計法を用いることとし、限界状態設計法については以下に詳述する。

4.2.1 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、土木学会マニュアル 2005に基づき、限界層間変形角（1/100）とする。

土木学会マニュアル 2005 では、層間変形角 1/100 の状態はかぶりコンクリートが剥落する前の状態であることが、屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。この状態を限界値とすることで構造全体としての安定性が確保できるとして設定されたものである。また、PHb 工法を適用する部材について、PHb 工法はおおむね弾性範囲となる状況下でを使用することから、構造部材に発生する曲げモーメントが鉄筋降伏に相当する降伏モーメントを下回ることを確認する。

鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界を表 4-1 に示す。

曲げ・軸力系の破壊に対する照査において、変形による照査に用いる層間変形角は地震応答解析により得られた応答値に安全係数（構造解析係数）1.2 を乗ずることにより、曲げ・軸力系の破壊に対する安全余裕を見込んだ評価を実施する。

断面力による照査の際にも安全係数を見込むこととし、考慮する安全係数の一覧を表 4-2 に示す。

表 4-1 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

確認項目	許容限界	
	構造強度を有すること	限界層間変形角
曲げモーメント		降伏モーメント* ²

注記*1: $\gamma_i \frac{R_d}{R_u} < 1.0$

ここで、

γ_i : 構造物係数 ($\gamma_i = 1.0$)

R_u : 限界層間変形角 (=1/100)

R_d : 照査用層間変形角 ($R_d = \gamma_a \cdot R$)

γ_a : 構造解析係数 ($\gamma_a = 1.2$)

R : 発生層間変形角

*2: $\gamma_i \frac{M_d}{M_y} < 1.0$

ここで、

γ_i : 構造物係数 ($\gamma_i = 1.0$)

M_y : 鉄筋降伏に相当する曲げモーメント

M_d : 照査用曲げモーメント ($M_d = \gamma_a \cdot M$)

γ_a : 構造解析係数 ($\gamma_a = 1.0$)

M : 発生曲げモーメント

表 4-2 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（断面力）において考慮している安全係数

安全係数			曲げ・軸力系の破壊に対する照査		内容
			応答値算定	限界値算定	
材料係数	コンクリート	$\gamma_{m c}$	1.0	1.3	コンクリートの特性値を低減
	鉄筋	$\gamma_{m s}$	1.0	1.0	—
部材係数		γ_b	—	1.15	曲げ耐力（断面終局に相当する曲げモーメント）を低減

4.2.2 せん断破壊に対する許容限界

構造部材のせん断破壊に対する許容限界は、「(1) 棒部材式」で求まるせん断耐力とする。PHb工法を用いる構造部材については「(2) PHbによりせん断補強された部材のせん断耐力式」を用いる。また、土木学会マニュアル2005におけるせん断耐力式による評価においては、表4-3に示すとおり、複数の安全係数が見込まれていることから、せん断破壊に対して安全余裕を見込んだ評価を実施することが可能である。

表4-3 せん断耐力式による評価において考慮している安全係数

安全係数			せん断照査		内容
			応答値算定	限界値算定	
材料係数	コンクリート	$\gamma_{m c}$	1.0	1.3	コンクリートの特性値を低減
	鉄筋	$\gamma_{m s}$	1.0	1.0	—
部材係数*	コンクリート	$\gamma_{b c}$	—	1.3	せん断耐力（コンクリート負担分）を低減
	鉄筋	$\gamma_{b s}$	—	1.1	せん断耐力（鉄筋負担分）を低減
構造解析係数		γ_a	1.05	—	応答値（断面力）の割り増し

注記*：土木学会マニュアルでは、部材係数 $\gamma_b = \gamma_{b 1} \cdot \gamma_{b 2}$ とされている。

$$\gamma_{b 1} = \begin{cases} 1.3 & (\text{コンクリート}) \\ 1.1 & (\text{鉄筋}) \end{cases}$$

$$\gamma_{b 2} = \begin{cases} 1.0 & (R \leq 0.01) \\ \frac{100R + 2}{3} & (0.01 < R \leq 0.025) \\ 1.5 & (R > 0.025) \end{cases}$$

ここで、R：層間変形角

$\gamma_{b 2}$ は層間変形角の値によらず、部材が降伏していない状態であれば、 $\gamma_{b 2} = 1.0$ としてよいとされている。

(1) 棒部材式

$$V_{y d} = V_{c d} + V_{s d}$$

ここで、 $V_{y d}$: せん断耐力

$V_{c d}$: コンクリートが分担するせん断耐力

$V_{s d}$: せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{c d} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{v c d} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{b c}$$

$$f_{v c d} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{c d}} \quad \text{ただし、} f_{v c d} > 0.72(\text{N/mm}^2) \quad \text{となる場合は}$$

$$f_{v c d} = 0.72(\text{N/mm}^2)$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d \text{ [m]}) \quad \text{ただし、} \beta_d > 1.5 \quad \text{となる場合は} \beta_d = 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v} \quad \text{ただし、} \beta_p > 1.5 \quad \text{となる場合は} \beta_p = 1.5$$

$$\beta_n = 1 + M_o / M_d \quad (N_d \geq 0) \quad \text{ただし、} \beta_n > 2.0 \quad \text{となる場合は} \beta_n = 2.0$$
$$= 1 + 2M_o / M_d \quad (N_d < 0) \quad \text{ただし、} \beta_n < 0 \quad \text{となる場合は} \beta_n = 0$$

$$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d} \quad \text{ただし、} \beta_a < 1.0 \quad \text{となる場合は} \beta_a = 1.0$$

ここで、

$f'_{c d}$: コンクリート圧縮強度の設計用値(N/mm²)で設計基準強度 $f'_{c k}$ を材料係数 $\gamma_{m c}$ 除したもの

$$p_v : \text{引張鉄筋比} \quad p_v = A_s / (b_w \cdot d)$$

A_s : 引張側鋼材の断面積

b_w : 部材の有効幅

d : 部材の有効高さ

N'_d : 設計軸圧縮力

M_d : 設計曲げモーメント

M_o : M_d に対する引張縁において、軸力方向によって発生する応力を打ち消すのに必要なモーメント (デコンプレッションモーメント) $M_o = N'_d \cdot D / 6$

D : 断面高さ

a/d : せん断スパン比

$\gamma_{b c}$: 部材係数

$\gamma_{m c}$: 材料係数

$$V_{s d} = \left\{ A_w f_{w y d} (\sin \alpha + \cos \alpha) / s \right\} z / \gamma_{b s}$$

ここで,

- A_w : 区間 s におけるせん断補強鉄筋の総断面積
- $f_{w y d}$: せん断補強鉄筋の降伏強度を $\gamma_{m s}$ で除したもので, 400N/mm^2 以下とする。ただし, コンクリート圧縮強度の特性値 $f'_{c k}$ が 60N/mm^2 以上のときは 800N/mm^2 以下とする。
- α : せん断補強鉄筋と部材軸のなす角度
- s : せん断補強鉄筋の配置間隔
- z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で $d/1.15$ とする。
- $\gamma_{b s}$: 部材係数

(2) PHb によりせん断補強された部材のせん断耐力式

後施工せん断補強（ポストヘッドバー（PHb））を配置した構造部材のせん断耐力については、「建設技術審査証明報告書 技術名称 後施工プレート定着型せん断補強鉄筋「Post-Head-bar」，一般財団法人土木研究センター」（以下「建設技術証明書」という。）に示されている以下の設計式により求める。

$$V_{pyd} = V_{cd} + V_{sd} + V_{phb}$$

$$V_{phb} = \beta_{aw} \cdot V_{awd} = \beta_{aw} \{ A_{aw} f_{awy} (\sin \alpha_{aw} + \cos \alpha_{aw}) / S_{aw} \} Z / \gamma_b$$

$$\beta_{aw} = 1 - I_y / \{ 2 \cdot (d - d') \} \quad \text{ただし,} \quad \beta_{aw} \leq 0.9$$

ここで、

V_{cd} : せん断補強鋼材を用いない RC 部材の単位長さ当たりのせん断耐力

V_{sd} : 既存のせん断補強鋼材により受け持たれる壁部材の単位幅当たりのせん断耐力

V_{phb} : PHb により受け持たれる RC 部材の単位長さ当たりのせん断耐力

V_{awd} : PHb を通常のスターラップと見なして求められる単位長さ当たりのせん断耐力

β_{aw} : PHb のせん断耐力の向上への有効性を示す係数

A_{aw} : 単位長さ当たりの区間 S_{aw} における PHb の総断面積

f_{awy} : PHb の設計降伏強度で $400\text{N}/\text{mm}^2$ 以下とする。

α_{aw} : PHb が部材軸となす角度

S_{aw} : PHb の配置間隔

z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で一般に $d/1.15$ としてよい。

γ_b : 部材係数（一般に 1.10 としてよい）

I_y : PHb の埋込側に必要な定着長

$d - d'$: 補強対象部材の圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔（ $d - d' \geq I_y$ ）

PHb が負担するせん断耐力は、先端型定着体の定着長が $3.5D \sim 5.5D$ であることから、通常のせん断鉄筋に比べ補強効率が低下する。PHb が負担するせん断耐力は同定着長と補強対象部材の主鉄筋間隔から算出される有効率 β_{aw} を通常のせん断補強鉄筋の負担分に乗じることにより考慮されている。図 4-14 に有効率算定における概念図を示す。



図 4-14 ポストヘッドバー (PHb) の有効率算定の概念図

なお、設計上の保守的な配慮として、ポストヘッドバー (PHb) によるせん断補強を配置する場合は、対象とする構造部材の主鉄筋の降伏以下の場合に適用することとし、せん断破壊に対する照査値は 0.80 程度とする。

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曲げ・軸力系の破壊に対する照査において最も厳しい照査値に対する「断面力分布」，断面力に対し照査を行っている項目のうち最も厳しい照査値に対する「断面力分布」，曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断破壊に対する照査で最大照査値を示すケースの地盤の「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 解析ケースと照査値

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，基本ケースを実施する。基本ケースにおいて，曲げ・軸力系の破壊，せん断破壊の照査項目ごとに照査値が0.5を超える照査項目に対して，最も厳しい地震動を用いて，解析ケース②～⑤を実施する。すべての照査項目の照査値がいずれも0.5以下の場合は，照査値が最も厳しくなる地震動を用いて，解析ケース②～⑤を実施する。

ここで解析ケース④及び⑤については追而とする。

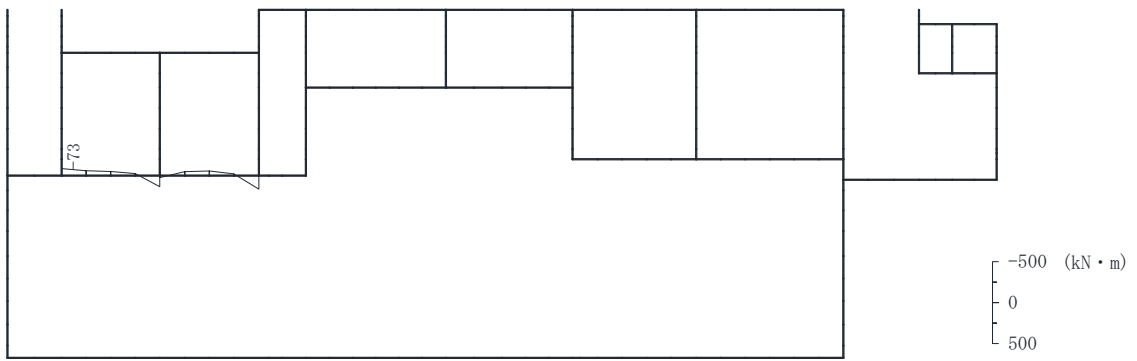
解析ケース②～⑤を実施する地震動について，表5-1に示す。

表 5-1 解析ケース②～⑤を実施する地震動

断面		解析ケース②～⑤を実施する地震動	備考
A-A断面	中床版	$S_s - D$ (++)	曲げ・軸力系の破壊から選定

5.1.2 断面力分布（曲げ・軸力系の破壊に対する照査）

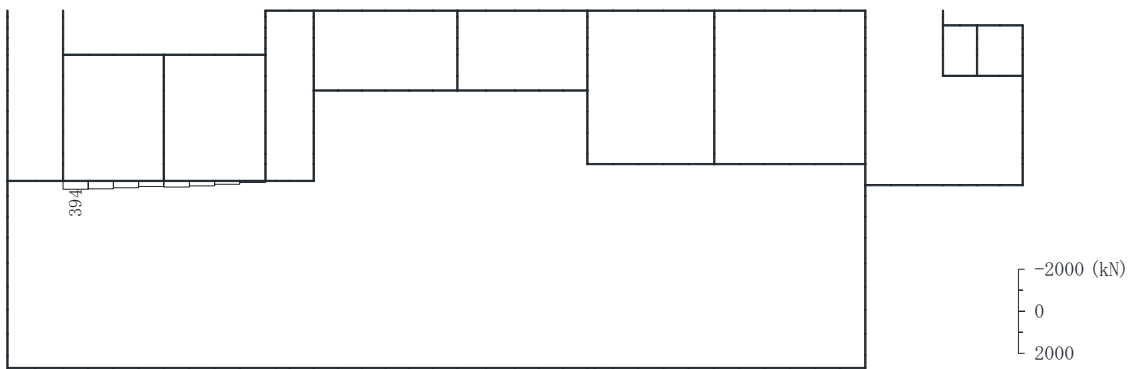
曲げ・軸力系の破壊に対する照査照査において、最も厳しい照査値となる解析ケースの照査時刻における断面力分布図（曲げモーメント，軸力，せん断力）を図 5-1 に示す。



構造スケール 0 2(m)

応答値スケール -500 0 500 (kN·m)

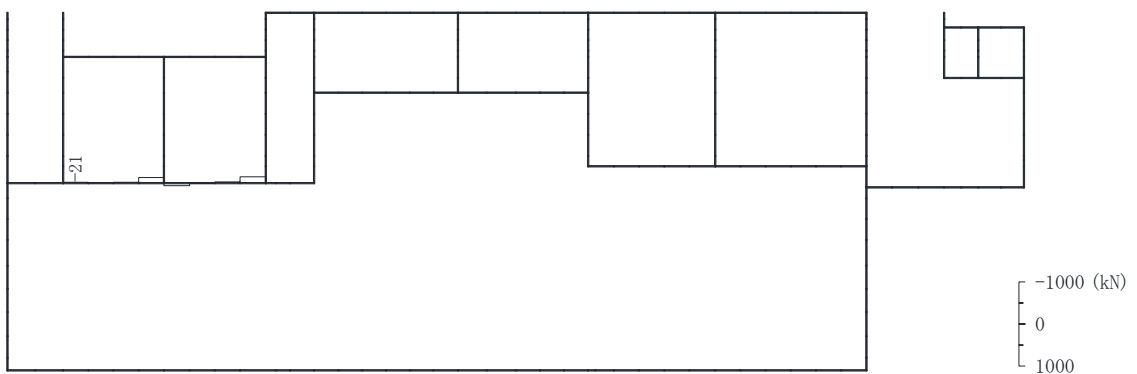
(a) 曲げモーメント (kN·m)



構造スケール 0 2(m)

応答値スケール -2000 0 2000 (kN)

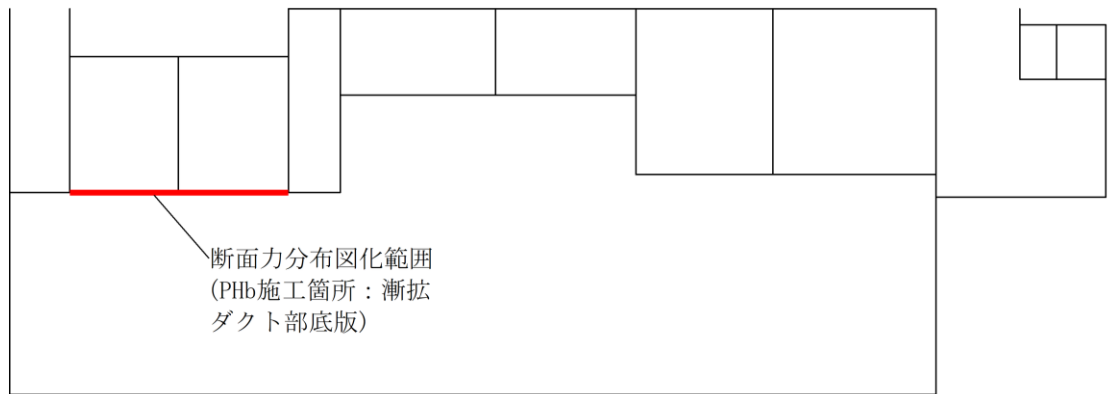
(b) 軸力 (kN) (+ : 引張, - : 圧縮)



構造スケール 0 2(m)

応答値スケール -1000 0 1000 (kN)

(c) せん断力 (kN)

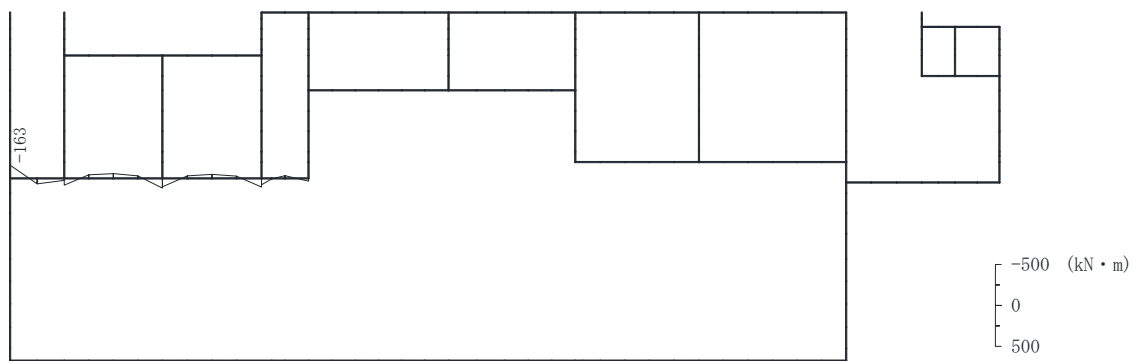


(d) 断面力分布図化範囲

図 5-1 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力図
(A-A断面, 解析ケース③, S s - D (++))

5.1.3 断面力分布（せん断破壊に対する照査）

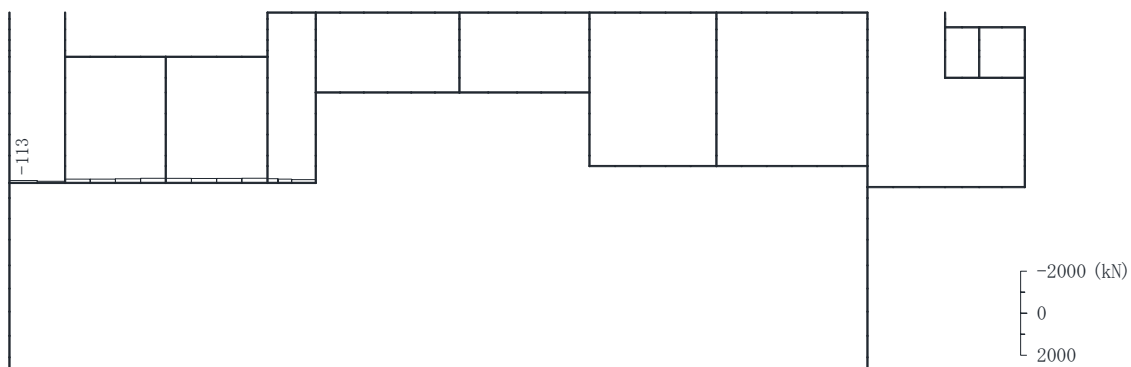
せん断破壊に対する照査において、最も厳しい照査値となる解析ケースの照査時刻における断面力分布図（曲げモーメント、軸力、せん断力）を図 5-2 に示す。



構造スケール 0 2(m)

応答値スケール -500 0 500 (kN·m)

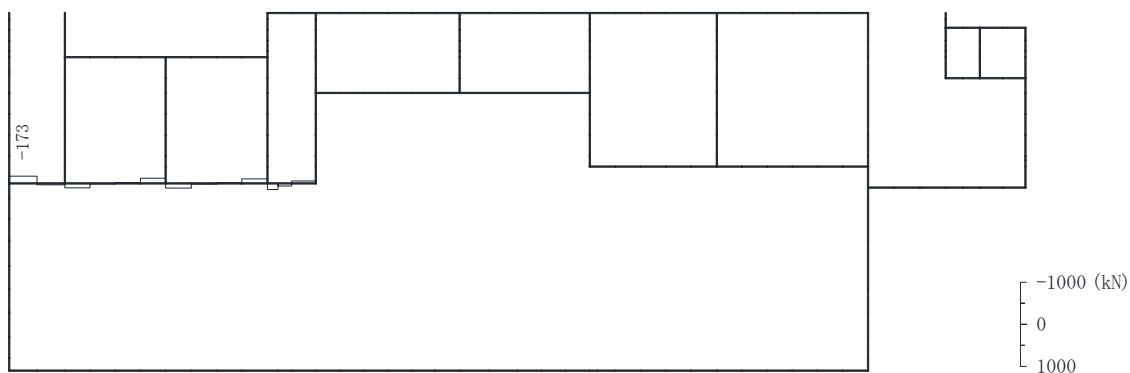
(a) 曲げモーメント (kN·m)



構造スケール 0 2(m)

応答値スケール -2000 0 2000 (kN)

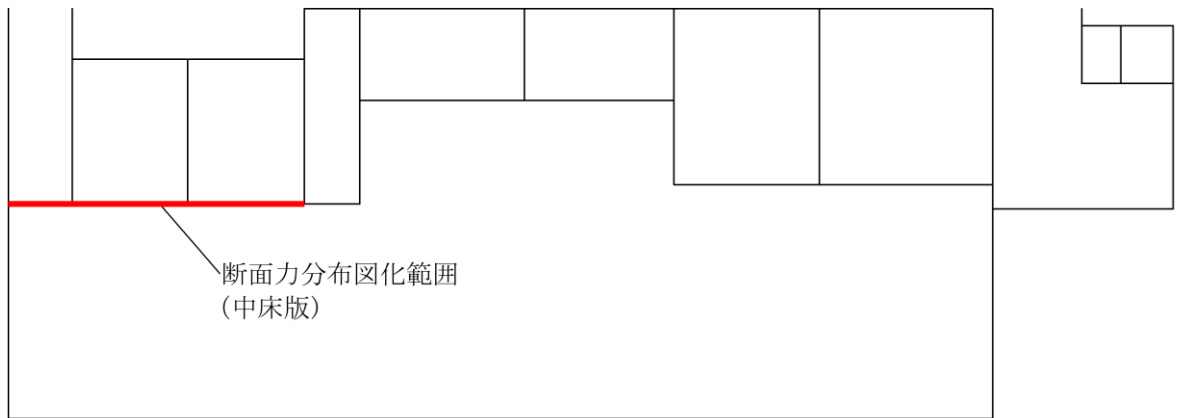
(b) 軸力 (kN) (+ : 引張, - : 圧縮)



構造スケール 0 2(m)

応答値スケール -1000 0 1000 (kN)

(c) せん断力 (kN)



(d) 断面力分布図化範囲

図 5-2 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図

(A-A断面, 解析ケース①, S s - D (-+))

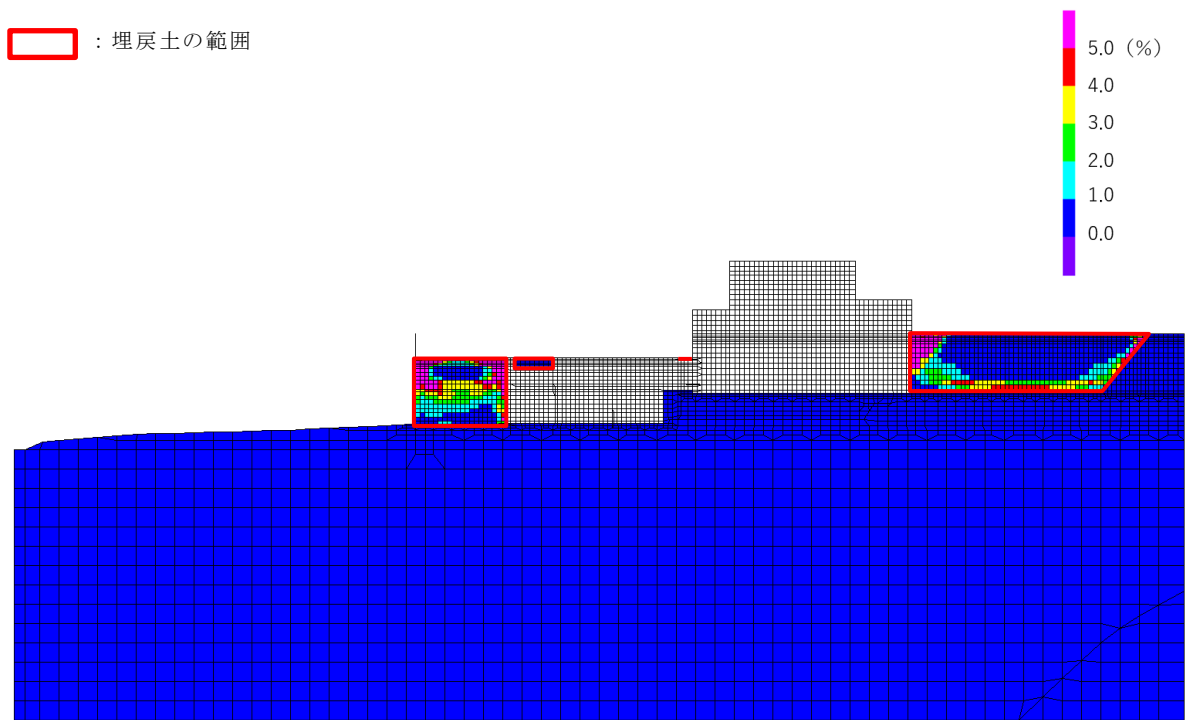
5.1.4 最大せん断ひずみ分布

曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断破壊に対する照査で最大照査値を示すケースについて、発生した最大せん断ひずみを確認する。

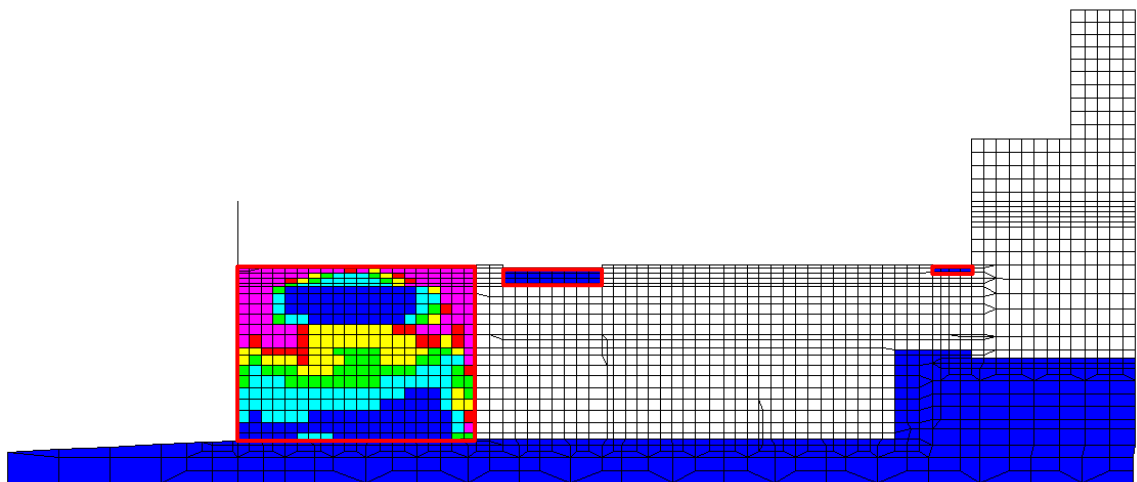
最大照査値を示す解析ケースの一覧を表 5-2 に、最大せん断ひずみ分布図を図 5-3 に示す。

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
A-A断面	中床版	解析ケース③ S s - D (++)	曲げ・軸力系の破壊から選定



(全体図)



(拡大図)

図 5-3 最大せん断ひずみ分布図 (A-A 断面)
 (解析ケース③, $S_s - D(++)$)


5.1.5 過剰間隙水圧比分布

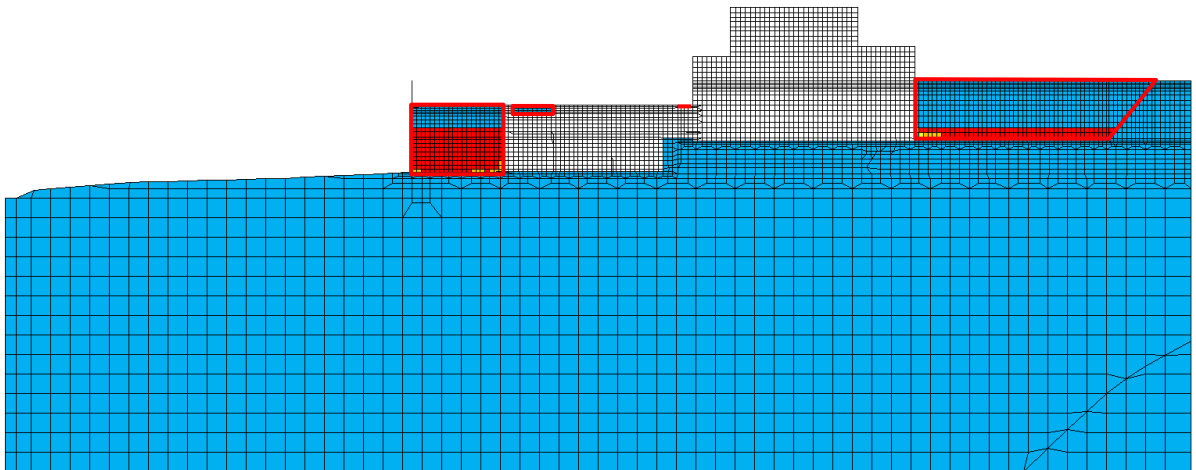
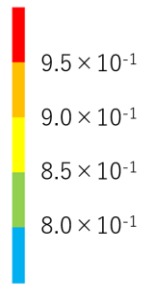
曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断破壊に対する照査で最大照査値を示す結果について、地盤に発生した過剰間隙水圧比分布を確認する。

最大照査値を示す解析ケースの一覧を表 5-3 に、最大せん断ひずみ分布図を図 5-4 に示す。

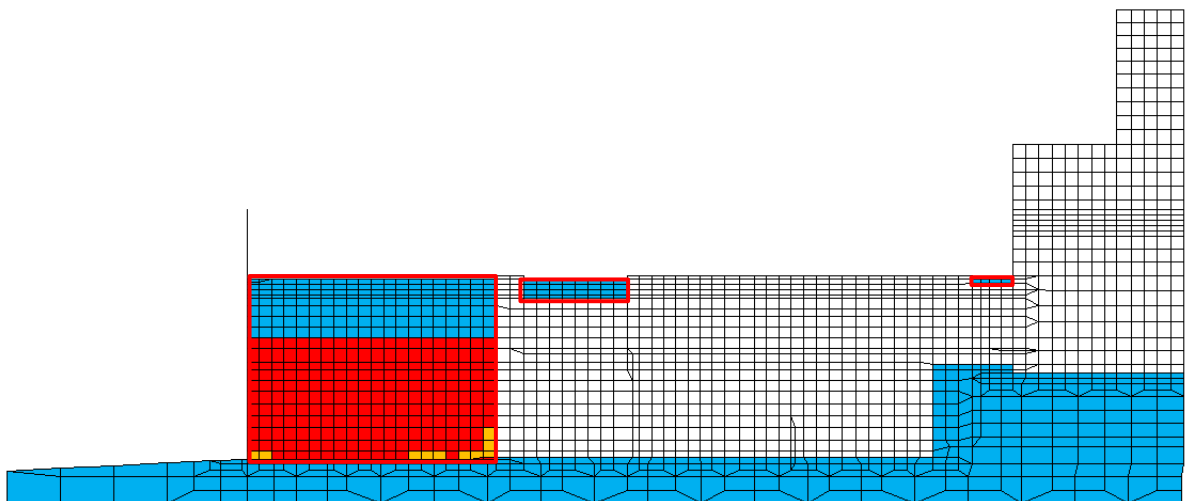
表 5-3 最大照査値を示すケースの一覧

対象断面		対象ケース	照査項目
A-A断面	中床版	解析ケース③ S s - D (++)	曲げ・軸力系の破壊から選定

 : 埋戻土の範囲



(全体図)



(拡大図)

図 5-4 最大過剰間隙水圧比分布図 (A-A 断面)
(解析ケース③, $S_s - D(++)$)

5.2 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果

中床版及び北壁について構造強度を有することの確認における曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果を表5-4に示す。

また、PHb工法の適用範囲内の確認における曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果を表5-5に示す。

照査値は、応力度を許容限界で除した値として時々刻々求め、全時刻において最大となる照査値を記載する。

表5-4及び表5-5のとおり、全ケースにおいて、コンクリートの照査用層間変形角が限界層間変形角(1/100)を下回ること、照査用モーメントが降伏モーメントを下回ることを確認した。

表5-4 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果(構造強度を有することの確認)

解析 ケース	地震動		照査用 層間変形角 R_d^*	限界 層間変形角 R_u	照査値 R_d/R_u
①	S s - D	++	8.46×10^{-5}	1.0×10^{-2}	0.01
		-+	8.89×10^{-5}	1.0×10^{-2}	0.01
		+ -	8.55×10^{-5}	1.0×10^{-2}	0.01
		--	9.40×10^{-5}	1.0×10^{-2}	0.01
	S s - F 1	++	5.38×10^{-5}	1.0×10^{-2}	0.01
	S s - F 2	++	6.59×10^{-5}	1.0×10^{-2}	0.01
	S s - N 1	++	6.75×10^{-5}	1.0×10^{-2}	0.01
		-+	7.19×10^{-5}	1.0×10^{-2}	0.01
	S s - N 2 (NS)	++	6.18×10^{-5}	1.0×10^{-2}	0.01
		-+	6.71×10^{-5}	1.0×10^{-2}	0.01
	S s - N 2 (EW)	++	6.06×10^{-5}	1.0×10^{-2}	0.01
		-+	5.64×10^{-5}	1.0×10^{-2}	0.01
②	S s - D	++	8.29×10^{-5}	1.0×10^{-2}	0.01
③	S s - D	++	8.13×10^{-5}	1.0×10^{-2}	0.01
④	S s - D	++	追而		
⑤	S s - D	++	追而		

注記* : 照査用層間変形角 R_d = 最大層間変形角 R × 構造解析係数 γ_a (=1.2)

表 5-5 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果 (PHb 工法の適用範囲内の確認)

解析 ケース	地震動		照査用 モーメント M_d^* (kN・ m)	軸力 (kN/m)	降伏 モーメント M_y (kN・ m)	照査値 M_d/M_y
①	S s - D	++	-68	399	-75	0.91
		-+	161	-1361	304	0.53
		+ -	-58	395	-77	0.76
		--	-62	362	-91	0.69
	S s - F 1	++	127	-935	304	0.42
	S s - F 2	++	141	-1233	304	0.47
	S s - N 1	++	138	-1377	304	0.46
		-+	-52	254	-138	0.38
	S s - N 2 (NS)	++	115	-1026	304	0.38
		-+	146	-1242	304	0.49
S s - N 2 (EW)	++	128	-1279	304	0.43	
	-+	125	-991	304	0.42	
②	S s - D	++	-70	373	-87	0.81
③	S s - D	++	-73	394	-77	0.95
④	S s - D	++	追而			
⑤	S s - D	++	追而			

注記* : 照査用モーメント = 発生モーメント $M \times$ 構造解析係数 γ_a (= 1.0)

5.3 せん断破壊に対する評価結果

構造強度を有することの確認におけるせん断破壊に対する評価結果を表 5-6 に示す。照査値は、せん断力を許容限界で除した値として時々刻々求め、全時刻において最大となる照査値を記載する。

同表より、全ケース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。また、その際の照査値がおおむね 0.8 に収まっていることから、PHb 工法の適用範囲内であることを確認した。

表 5-6 せん断破壊に対する評価結果

解析ケース	地震動		照査用 せん断力 V_d^* (kN)	せん断 耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d/V_{y d}$
①	S s - D	++	165	697	0.24
		-+	182	697	0.27
		+ -	171	711	0.25
		--	167	703	0.24
	S s - F 1	++	152	698	0.22
	S s - F 2	++	149	716	0.21
	S s - N 1	++	145	708	0.21
		-+	154	741	0.21
	S s - N 2 (N S)	++	155	707	0.22
		-+	149	706	0.22
	S s - N 2 (E W)	++	155	715	0.22
		-+	150	692	0.22
②	S s - D	++	170	715	0.24
③	S s - D	++	172	727	0.24
④	S s - D	++	追而		
⑤	S s - D	++	追而		

注記*：照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 $\gamma_a (=1.05)$

6. まとめ

1号機取水槽流路縮小工及び流路縮小工を間接支持する北側壁への波及的影響を考慮する1号機取水層中床版については、基準地震動 S_s による耐震評価として、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊に対する評価を実施した。

構造部材の健全性評価については、層間変形角、曲げモーメント及びせん断力が要求性能に応じた許容限界を下回ることを確認した。

以上から、1号機取水槽中床版については、構造強度を有することを確認した。