

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-026-10
提出年月日	2022年10月17日

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地震応答計算書及び
耐震性についての計算書に関する補足説明資料

2022年10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。

1. 評価方法	1
2. 評価条件	1
2.1 適用規格	1
2.2 構造概要	4
2.3 評価対象断面の方向	16
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	21
2.6 地盤物性値	22
2.7 評価構造物諸元	25
2.8 地下水位	28
2.9 耐震評価フロー	29
3. 地震応答解析	30
3.1 地震応答解析手法	30
3.2 地震応答解析モデルの設定	33
3.2.1 解析モデル領域	33
3.2.2 境界条件	34
3.2.3 構造物のモデル化	37
3.2.4 隣接構造物のモデル化	37
3.2.5 地盤及びMMRのモデル化	37
3.2.6 地震応答解析モデル	40
3.2.7 ジョイント要素の設定	43
3.2.8 材料特性の設定	49
3.3 減衰定数	51
3.4 荷重及び荷重の組合せ	54
3.4.1 機器・配管荷重	55
3.4.2 外水圧	56
3.4.3 内水圧	56
3.4.4 積雪荷重	56
3.5 地震応答解析の解析ケース	57
3.5.1 耐震評価における解析ケース	57
3.5.2 機器・配管系に対する応答加速度抽出のための解析ケース	60

4.	評価内容	61
4.1	入力地震動の設定	61
4.1.1	A-A断面及びB-B断面の入力地震動	62
4.1.2	C-C断面の入力地震動	74
4.2	許容限界の設定	86
4.2.1	曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界	86
4.2.2	せん断破壊に対する許容限界	88
4.2.3	基礎地盤の支持機能に対する許容限界	92
5.	評価結果	
5.1	地震応答解析結果	
5.1.1	解析ケースと照査値	
5.1.2	ひずみ時刻歴波形（曲げ・軸力系の破壊に対する照査）	
5.1.3	断面力分布（せん断破壊に対する照査）	
5.1.4	最大せん断ひずみ	
5.2	構造部材の健全性に対する評価結果	
5.2.1	曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果	
5.2.2	せん断破壊に対する評価結果	
5.3	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	
5.3.1	基礎地盤	
5.3.2	MMR（既設）	
6.	まとめ	

参考資料1 安全対策工事着工前の周辺地盤状況を踏まえた耐震安全性評価

参考資料2 機器・配管系の耐震評価に適用する影響検討ケース

1. 評価方法

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、低圧原子炉代替注水ポンプ等を間接支持しており、支持機能が要求される。また、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の一部である低圧原子炉代替注水槽については、貯水機能が要求される。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽については、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度、支持機能及び貯水機能を有していることを確認する。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価により行う。

2. 評価条件

2.1 適用規格

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の耐震評価に当たっては、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。また、基礎地盤の支持性能の許容限界については、コンクリート標準示方書2002及び道路橋示方書・同解説（V耐震設計編）（日本道路協会平成14年3月）を適用する。

表2-1及び表2-2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	確認項目
使用材料及び材料定数	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)	鉄筋コンクリートの材料諸元 (γ , E, ν)	
	コンクリート標準示方書 [設計編] (土木学会, 2017 年制定)	コンクリートの材料定数 (材料非線形解析によるせん断耐力の算定)	
荷重及び荷重の組み合わせ	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)	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	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)	<p>曲げ・軸力系の破壊に対する照査は, 発生ひずみが限界ひずみ (圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%) 以下であることを確認</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>	構造強度を有すること
	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)	<p>曲げ・軸力系の破壊に対する照査においておおむね弾範囲として, 発生ひずみが限界ひずみ (コンクリート圧縮 2000 μ, 主筋ひずみ 1725 μ) を下回ることを確認</p> <p>MMR 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を下回ることを確認</p>	貯水機能を有すること

表 2-2 適用する規格，基準類

項目	適用する規格，基準値	備考	確認項目
許容限界	道路橋示方書・同解説 (V耐震設計編) (日本道路協会平成14年3月)	曲げ・軸力系の破壊に対する照査においておおむね弾性範囲として，発生曲げモーメントが降伏曲げモーメントを下回ることを確認	
	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を下回ることを確認	
地震応答解析	原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 (社団法人日本電気協会 電気技術基準調査委員会)	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 構造概要

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の位置図を図 2-1 に，平面図を図 2-2 に，断面図を図 2-3～図 2-7 に，概略配筋図を図 2-8～図 2-12 に，評価対象断面位置図及び評価対象地質断面図を図 2-13～図 2-15 に示す。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は，低圧原子炉代替注水槽を有し，低圧原子炉代替注水ポンプ等を間接支持する幅 26.6m (EW 方向) ×13.4m (NS 方向)，高さ約 21.2m の鉄筋コンクリート造の地中（一部地上部を含む）構造物であり，直接又はマンメイドロック（以下「MMR」という。）を介して十分な支持性能を有する C_M級及び C_H級岩盤に支持される。また，地上部の一部については，ケミカルアンカーにて一体化をしている。なお，アンカーの評価内容については，追示とする。

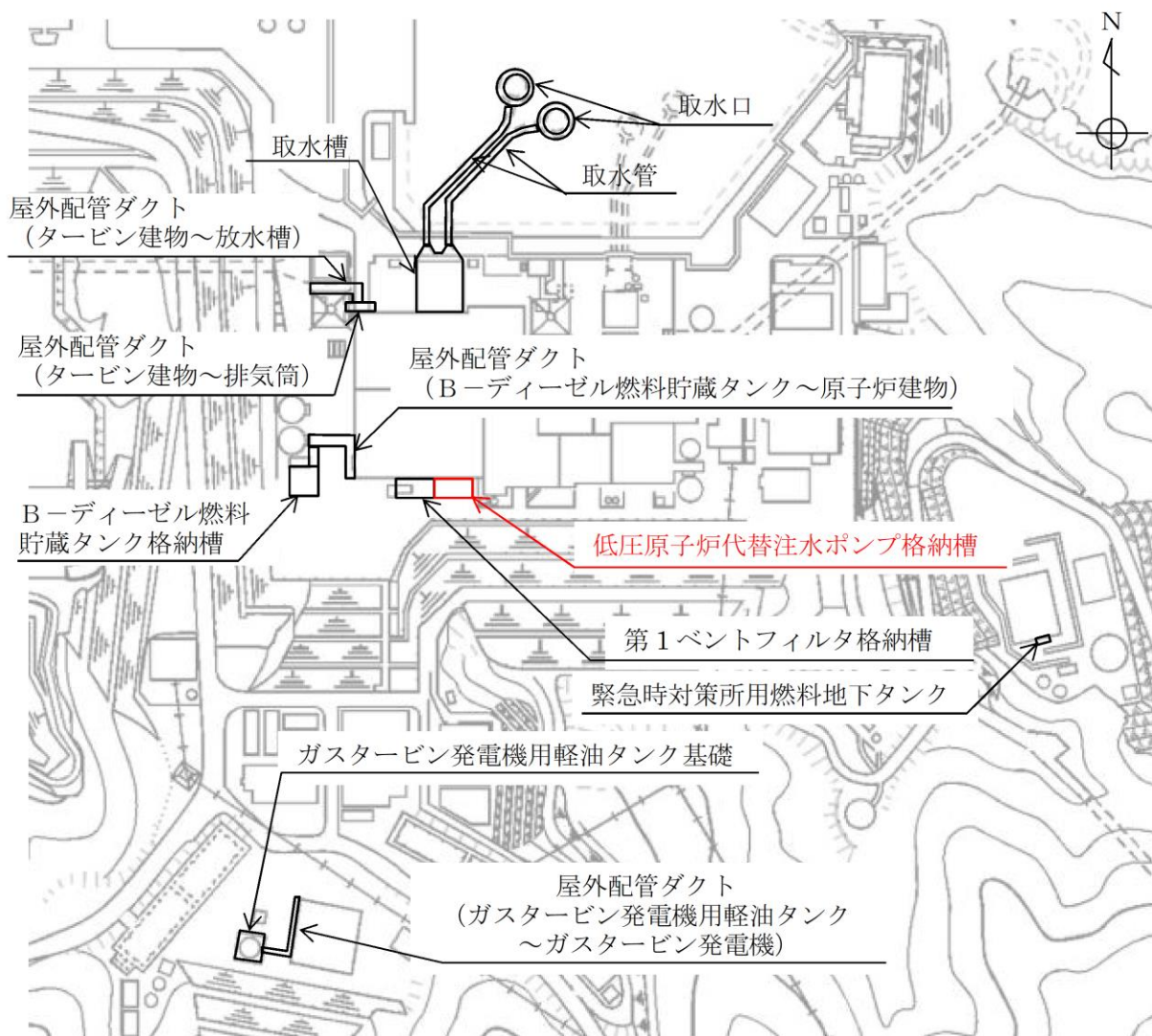


図 2-1 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 位置図

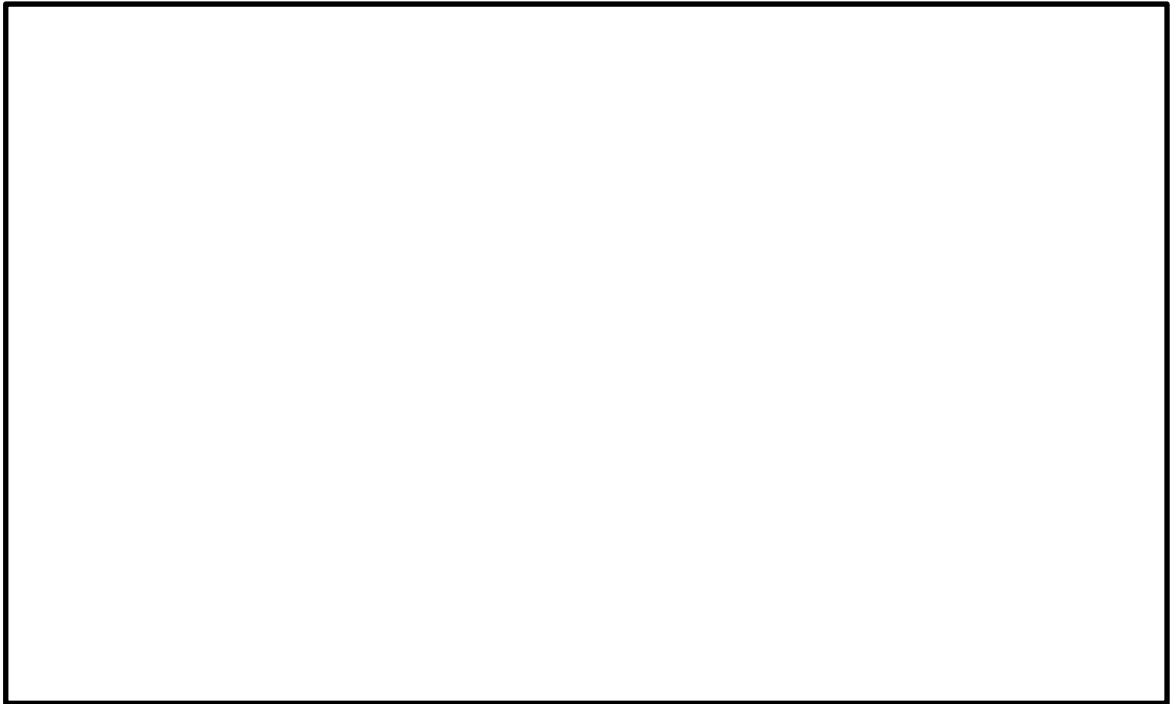


図 2-2 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 平面図

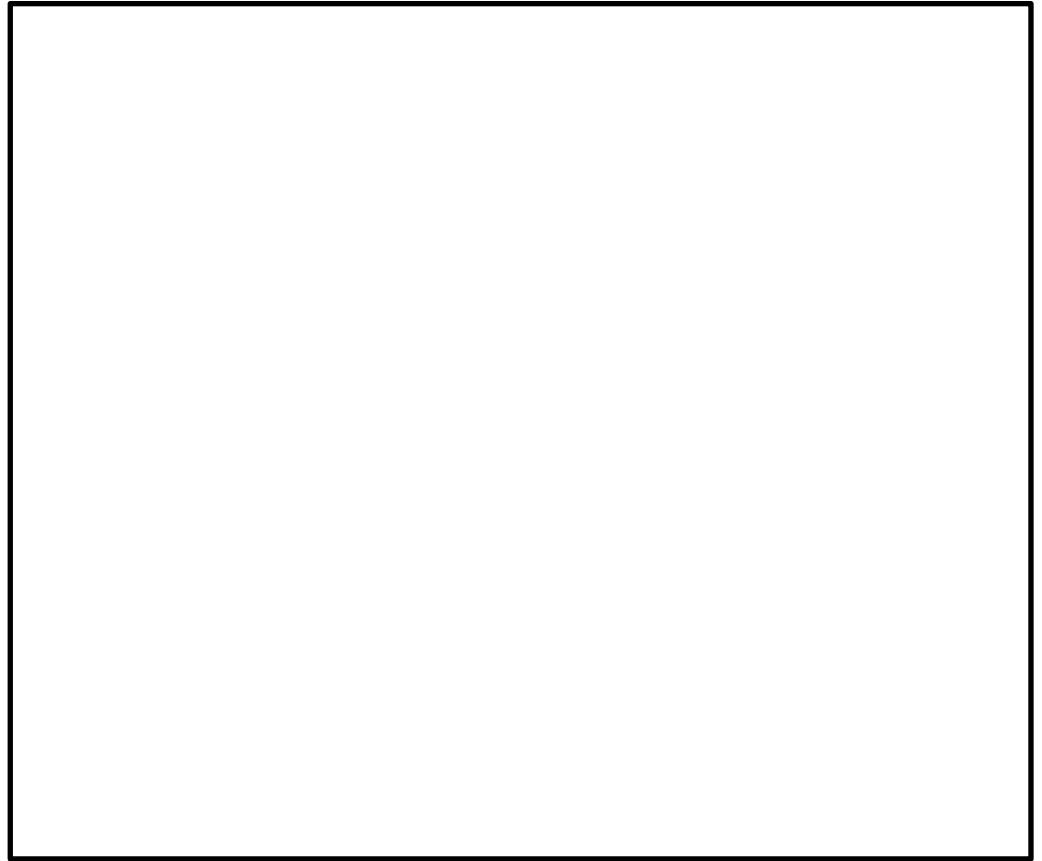


図 2-3 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (A-A断面)

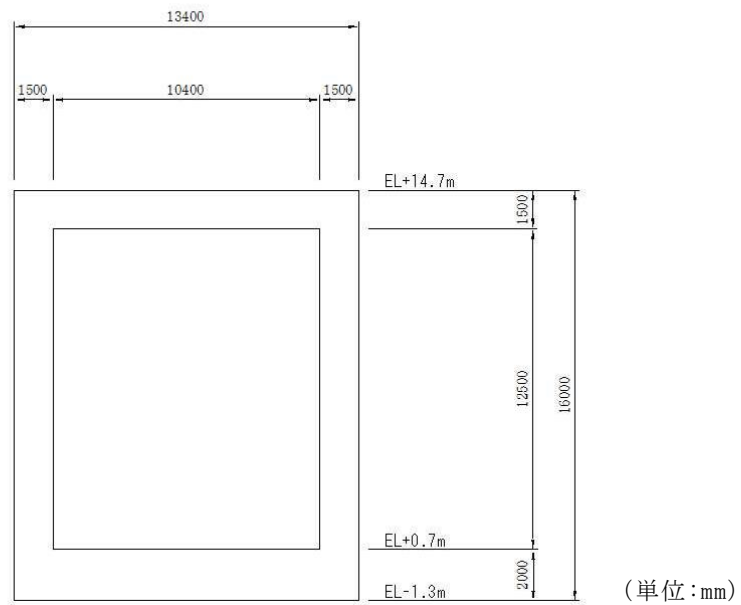
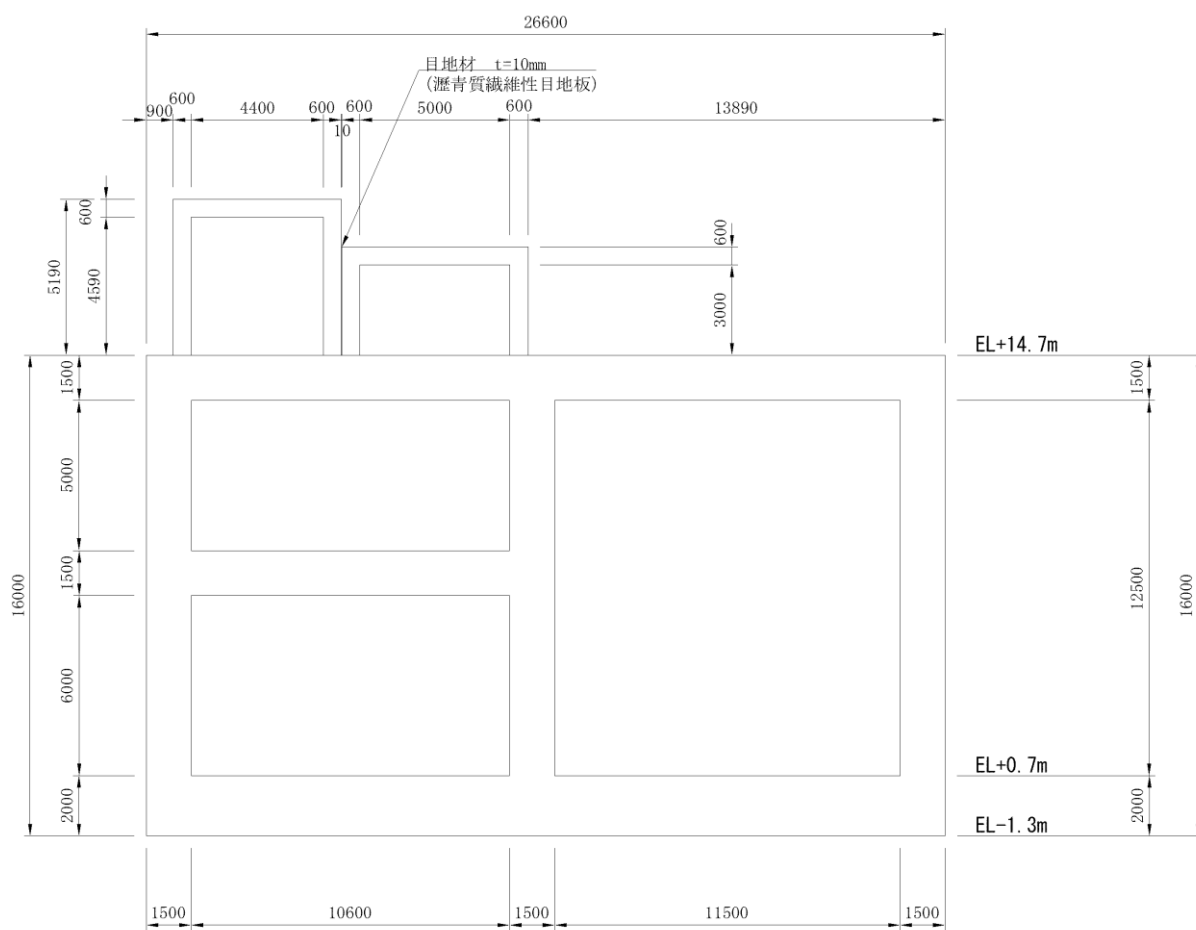


図 2-4 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (B-B断面)



(単位:mm)

図 2-5 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (C-C断面)

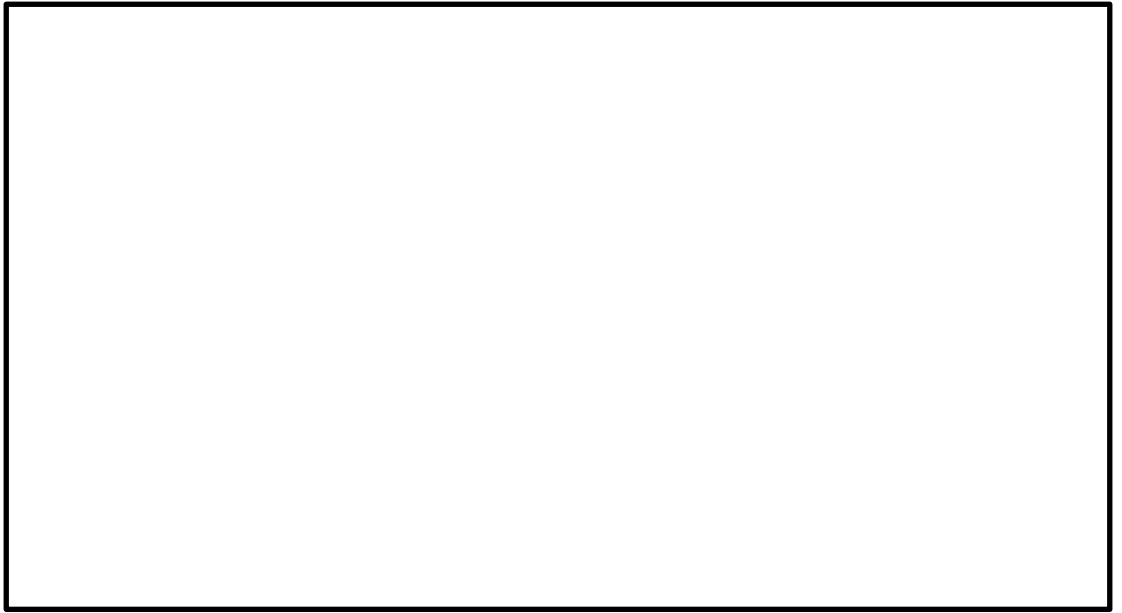


図 2-6 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (D-D断面)

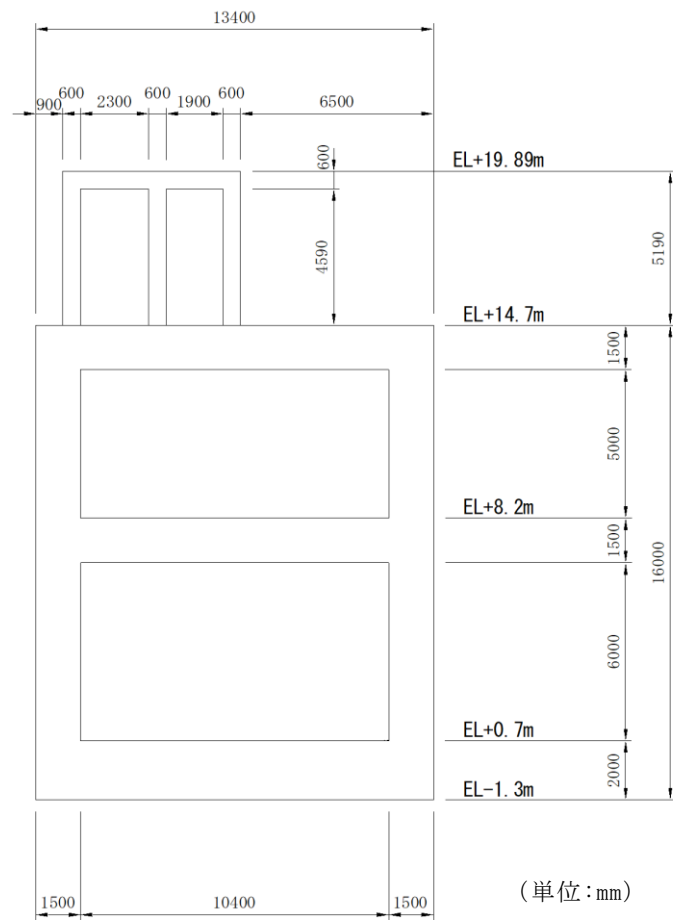


図 2-7 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (E-E断面)

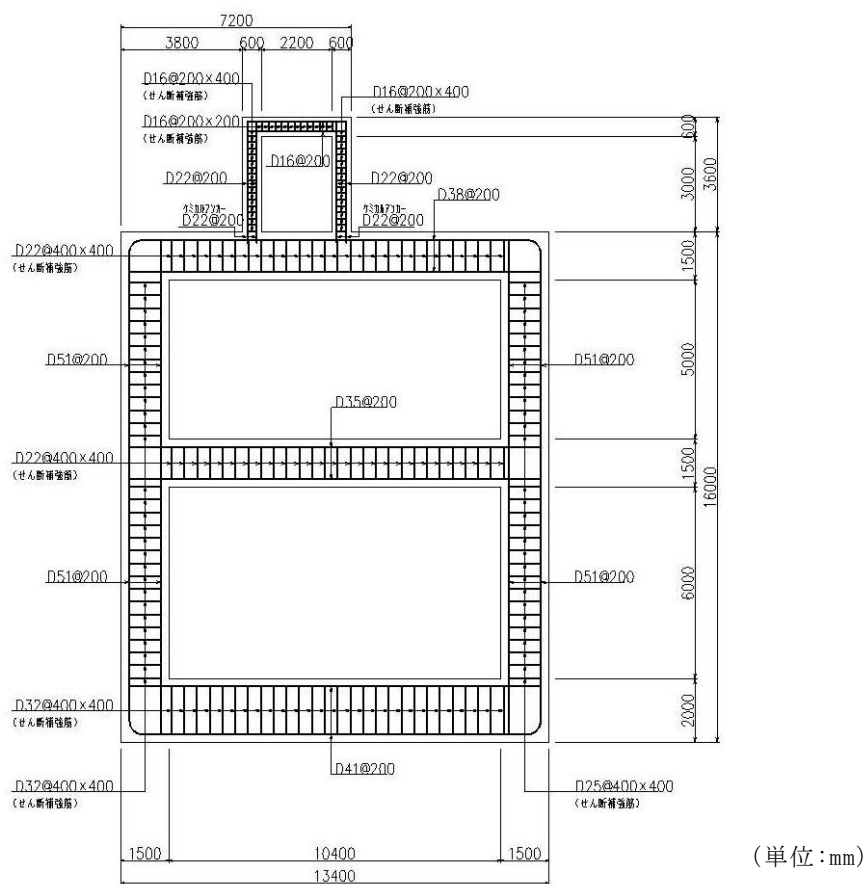


図 2-8 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 概略配筋図 (A-A 断面)

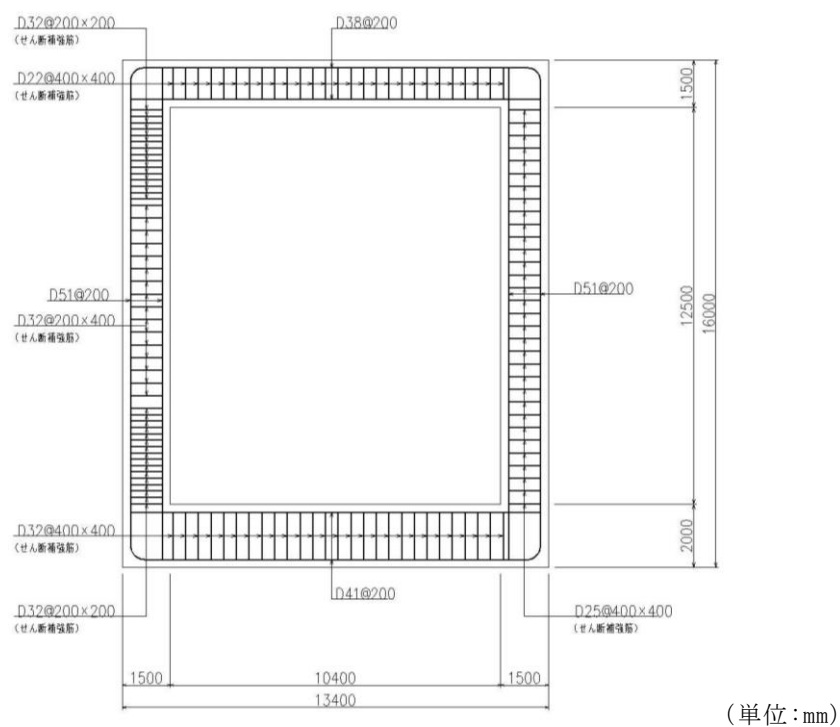


図 2-9 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 概略配筋図 (B-B 断面)

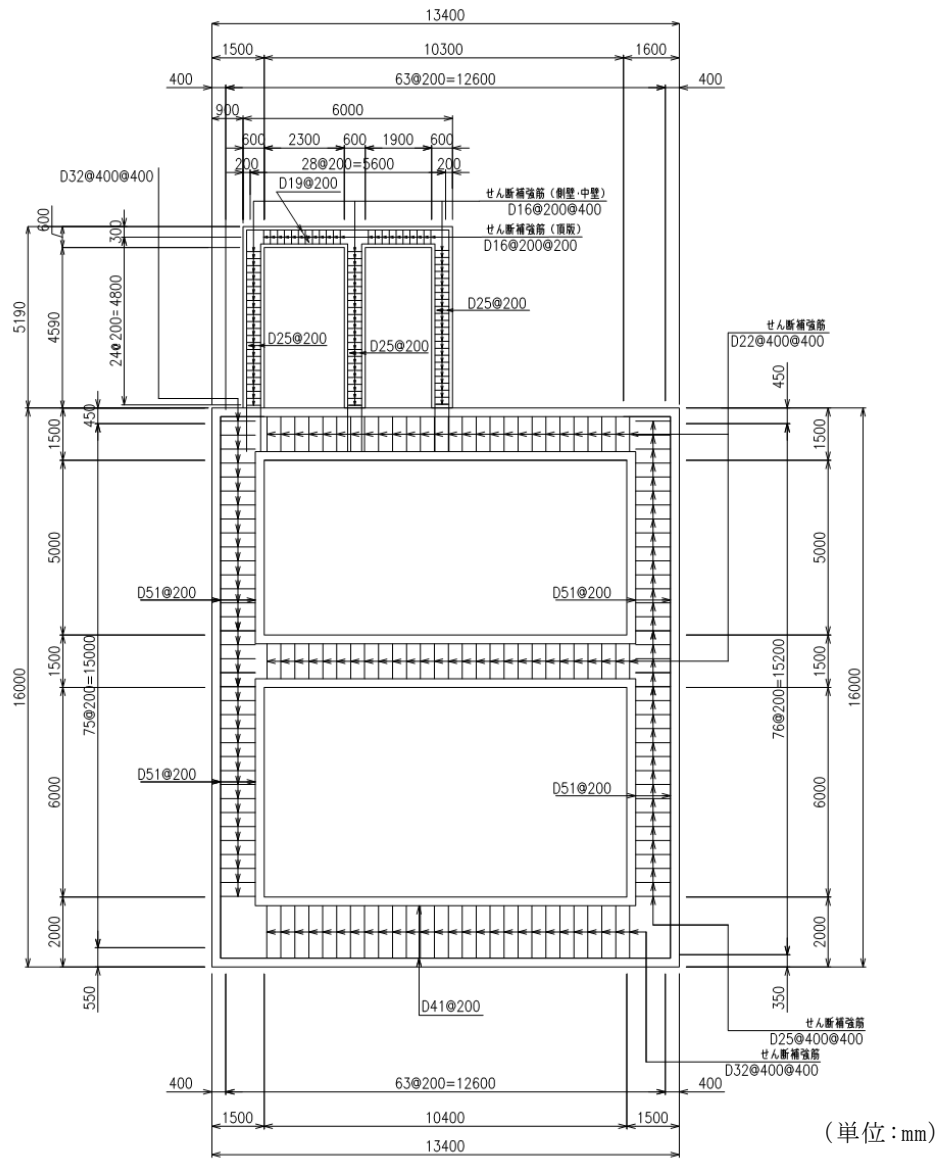
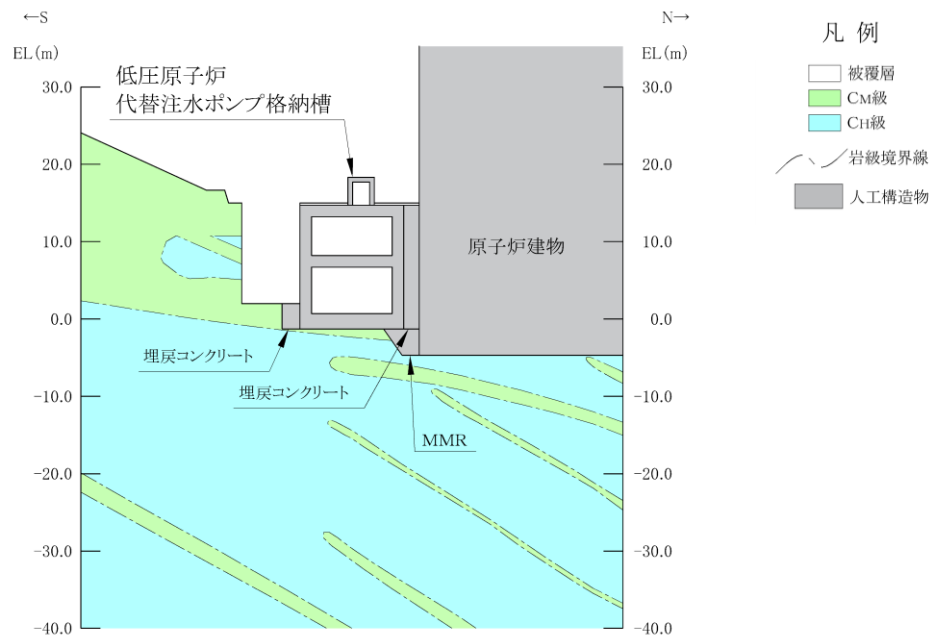
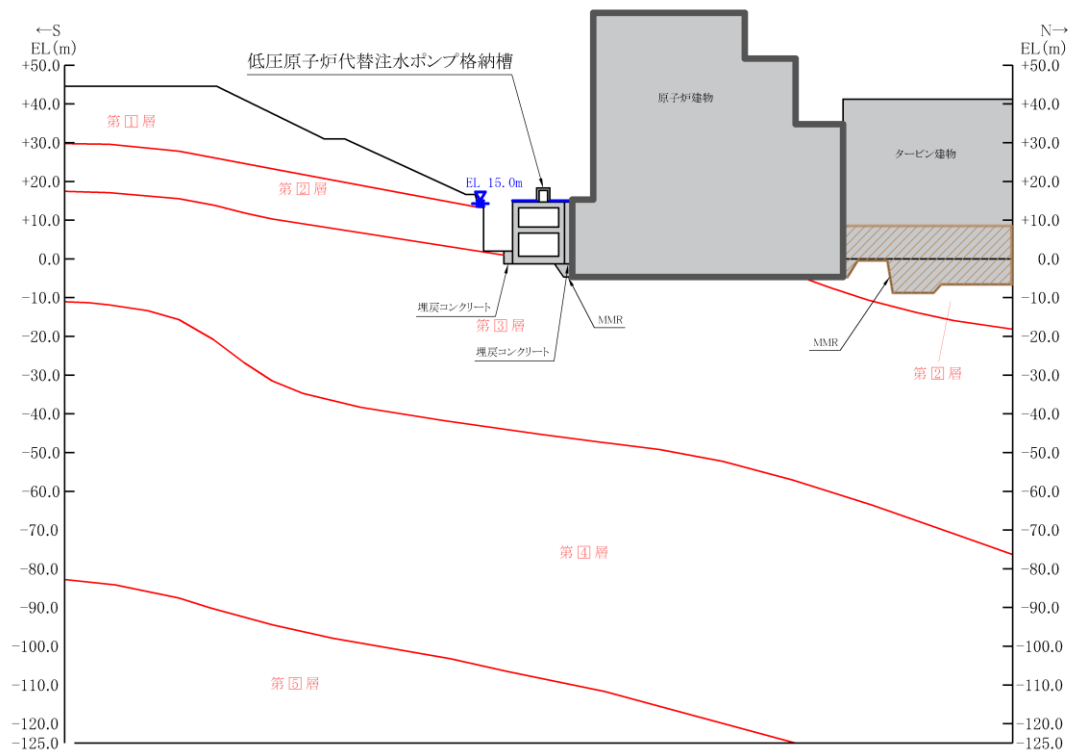
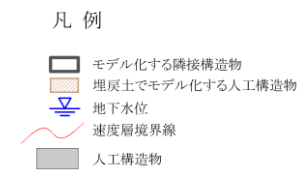


図 2-12 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 概略配筋図 (E-E 断面)

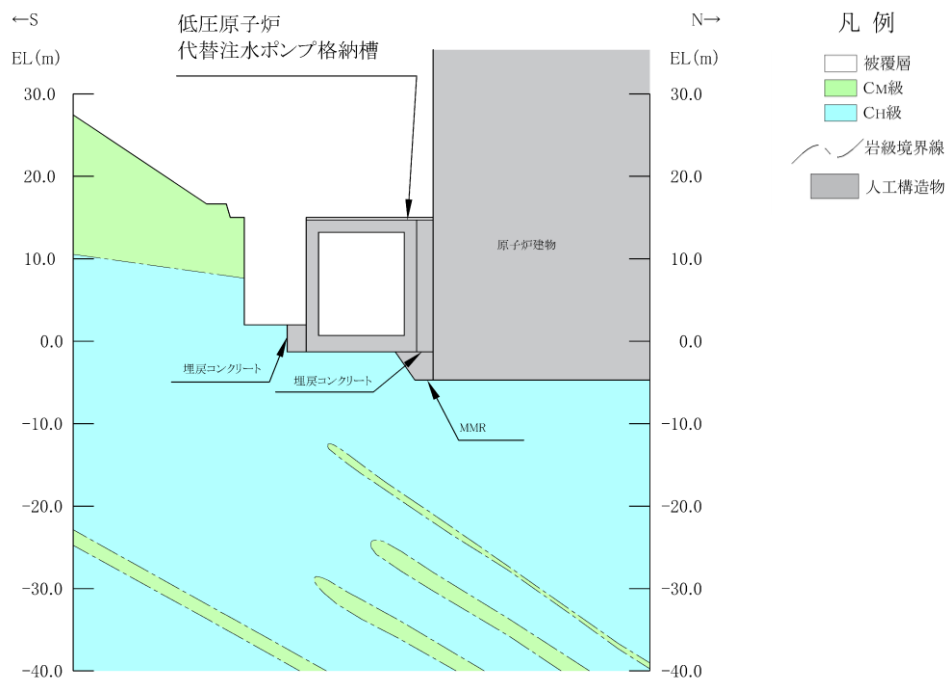


(岩級図)

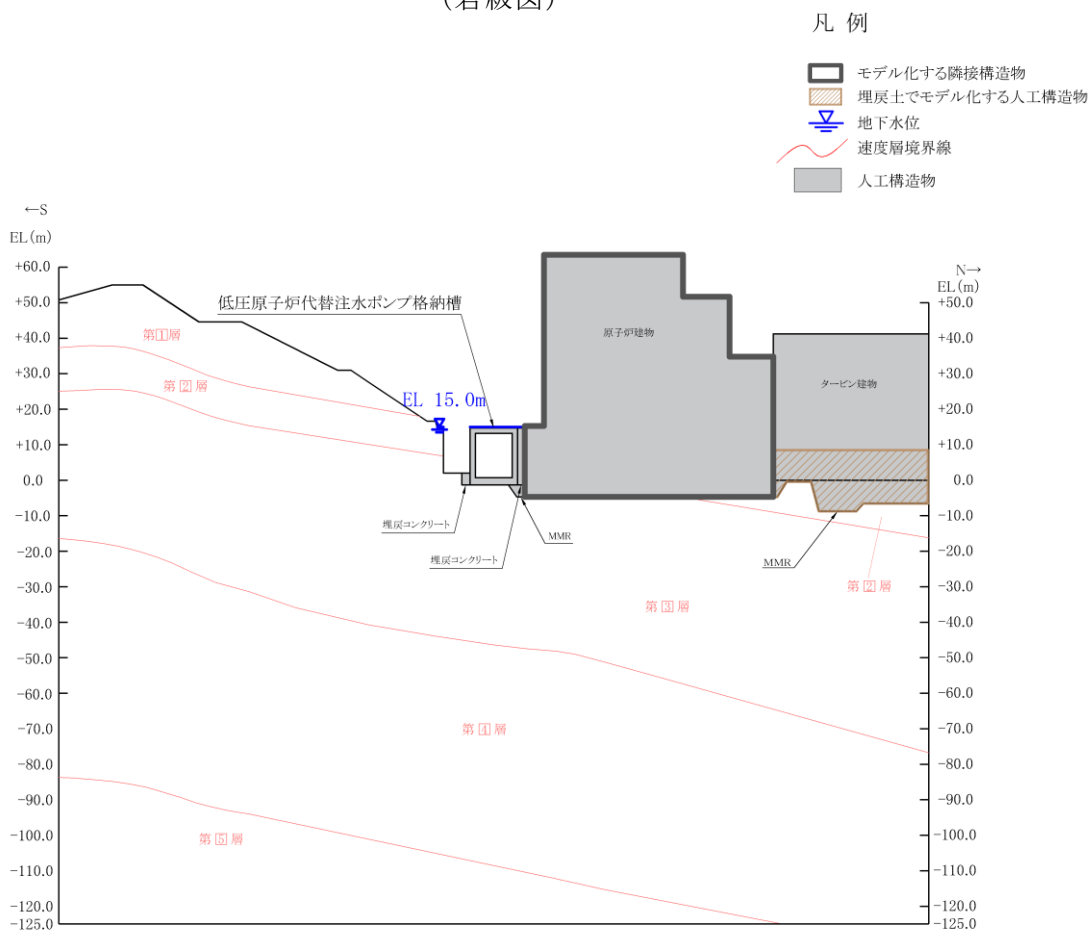


(速度層図)

図 2-13 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 評価対象断面図 (A-A断面)

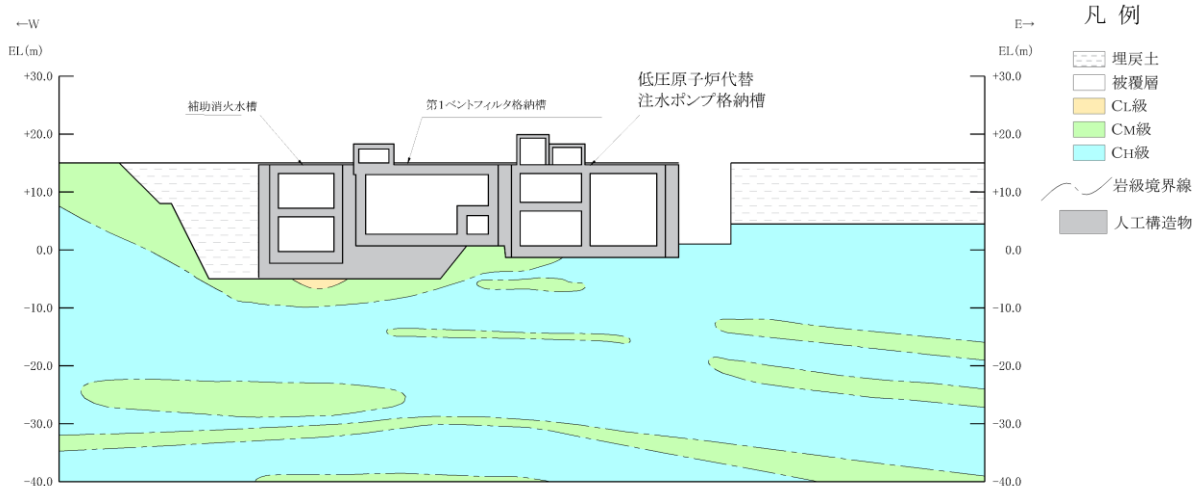


(岩級図)

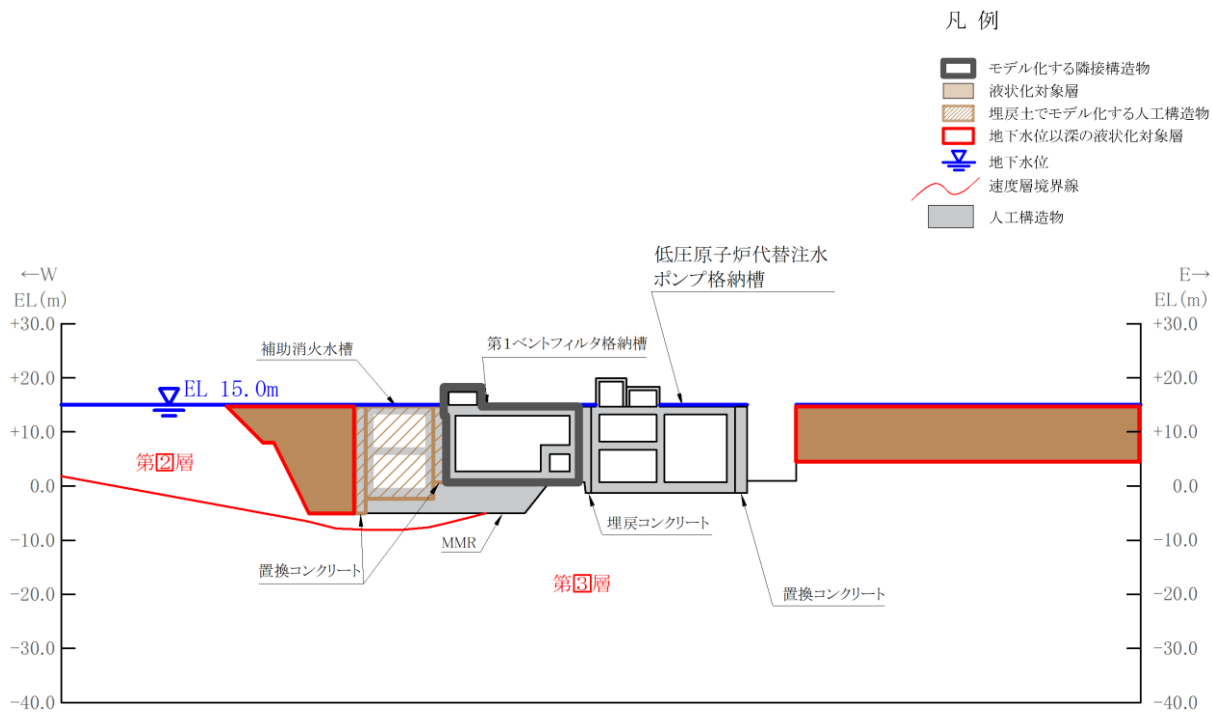


(速度層図)

図 2-14 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 評価対象断面図 (B-B断面)



(岩級図)



(速度層図)

図 2-15 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 評価対象断面図 (C-C断面)

2.3 評価対象断面の方向

長辺方向（東西方向）に加振した場合は，加振方向に直交する方向の構造物の長さに対する加振方向と平行に設置される壁同士の間隔が小さく，妻壁が耐震要素として機能する。

短辺方向（南北方向）は，耐震要素として機能する妻壁同士の離隔が大きく，耐震設計上見込むことが出来ない。

以上より，弱軸断面となる短辺方向（南北方向）を評価対象断面とする。ただし，短辺方向（南北方向）において評価対象外となっている長辺方向（東西方向）の頂版，床版及び側壁の評価を追加実施する。

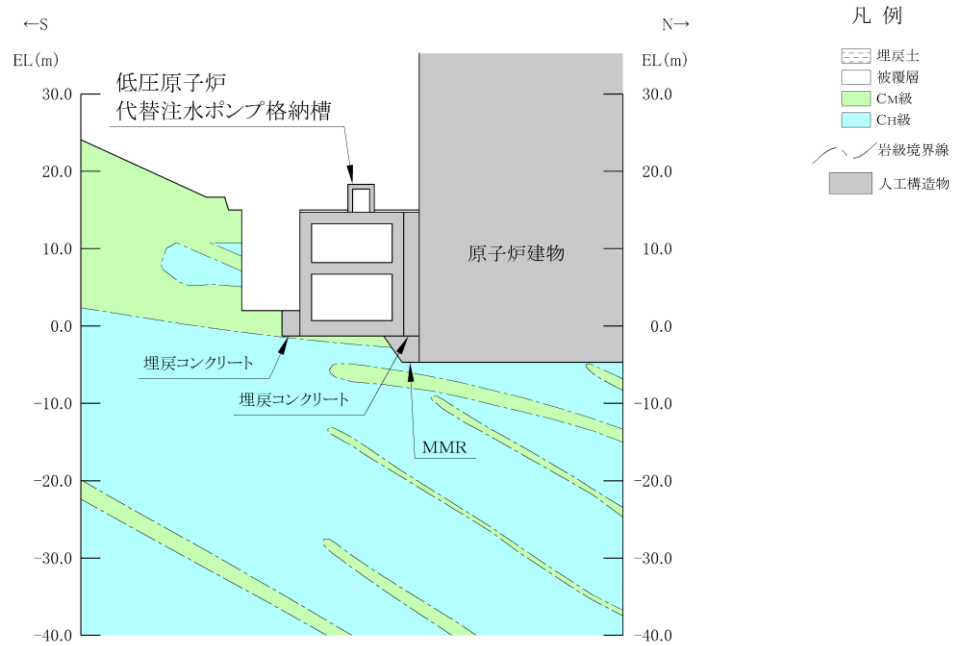
2.4 評価対象断面の選定

2.3 評価対象断面に示すとおり，評価対象断面は，加振方向に平行な部材全体を耐震設計上見込むことが出来ず，弱軸方向となる短辺方向から選定する。短辺方向における各断面の奥行き方向について，部材厚や内空断面及び配筋はおおむね同一であることから，評価対象断面は西側の格納槽では，A－A断面及びE－E断面のうち，中心付近を通るA－A断面，東側の水槽ではB－B断面とする。

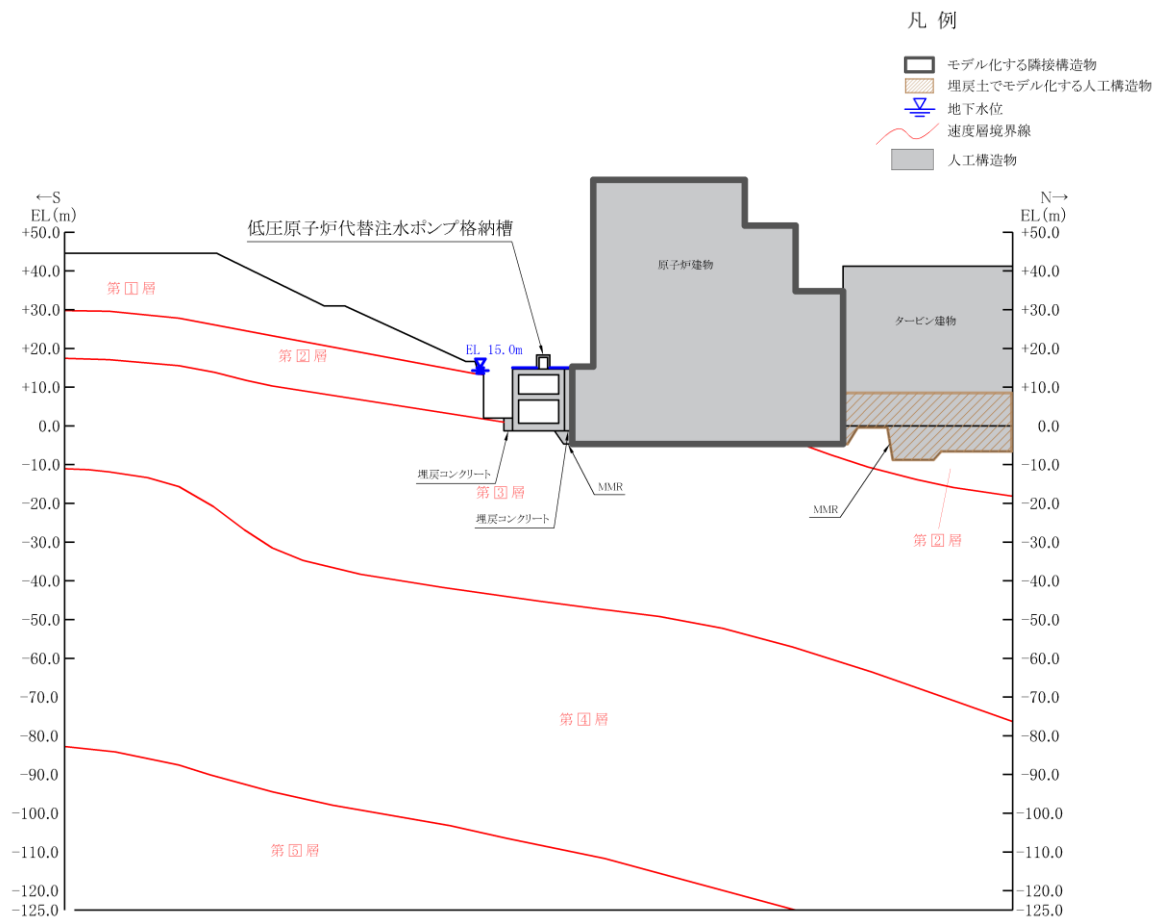
長辺方向については，C－C断面を選定し，短辺方向において評価対象外となっている頂版，床版及び側壁の評価を追加実施する。

D－D断面については，周囲全周を埋戻コンクリートで囲まれていることに加え，他の断面と比較して部材厚に対する内空は小さいが，配筋は同等であるため，評価対象断面として選定しない。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の評価対象断面位置図及び評価対象地質断面図を図2-16～図2-18に示す。

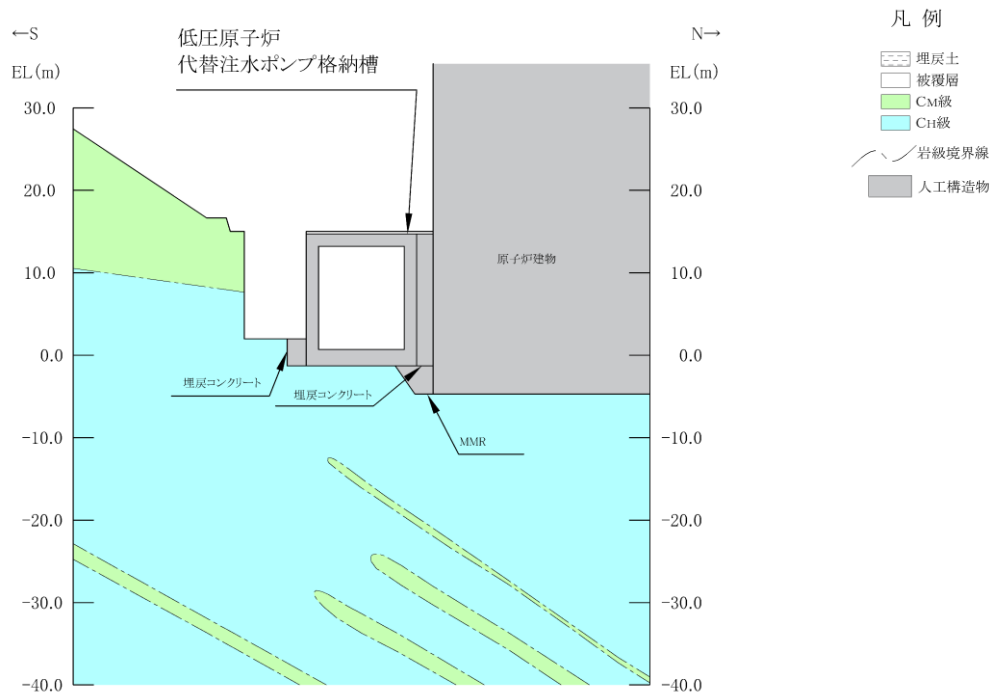


(岩級図)

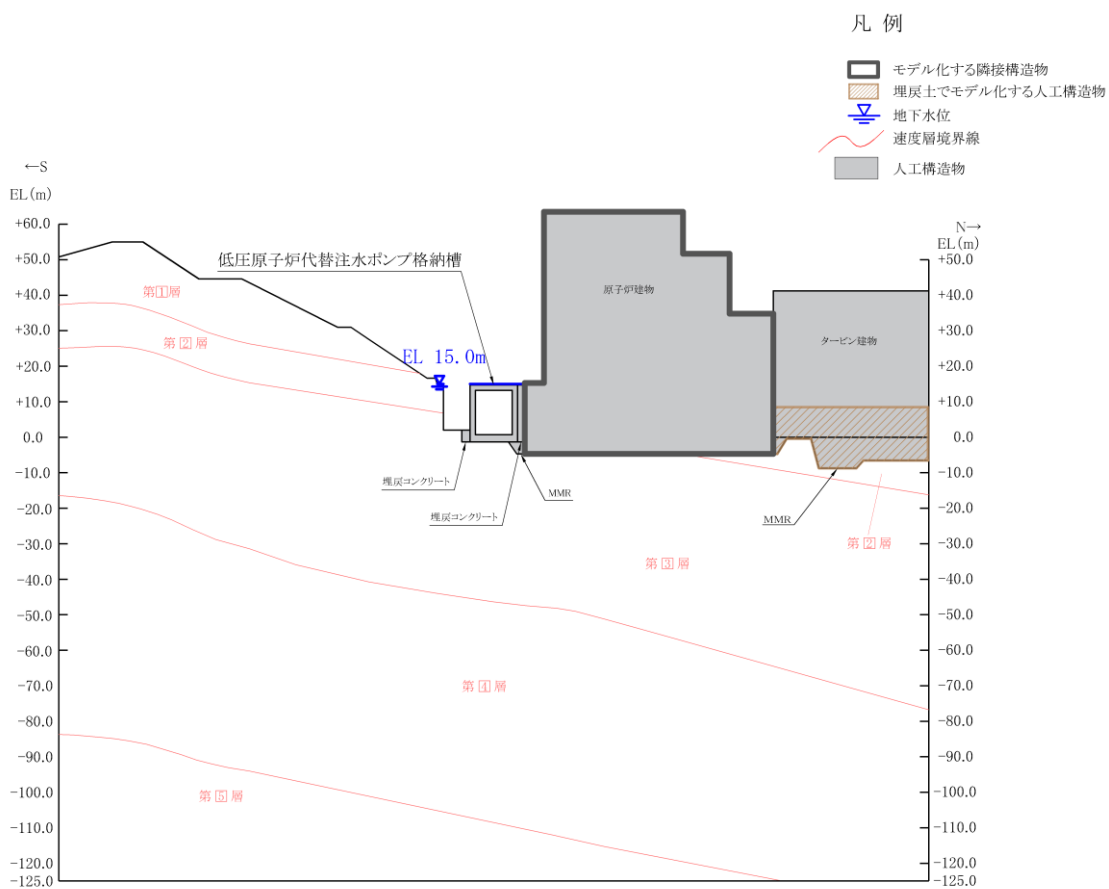


(速度層図)

図 2-16 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 評価対象断面図 (A-A断面)

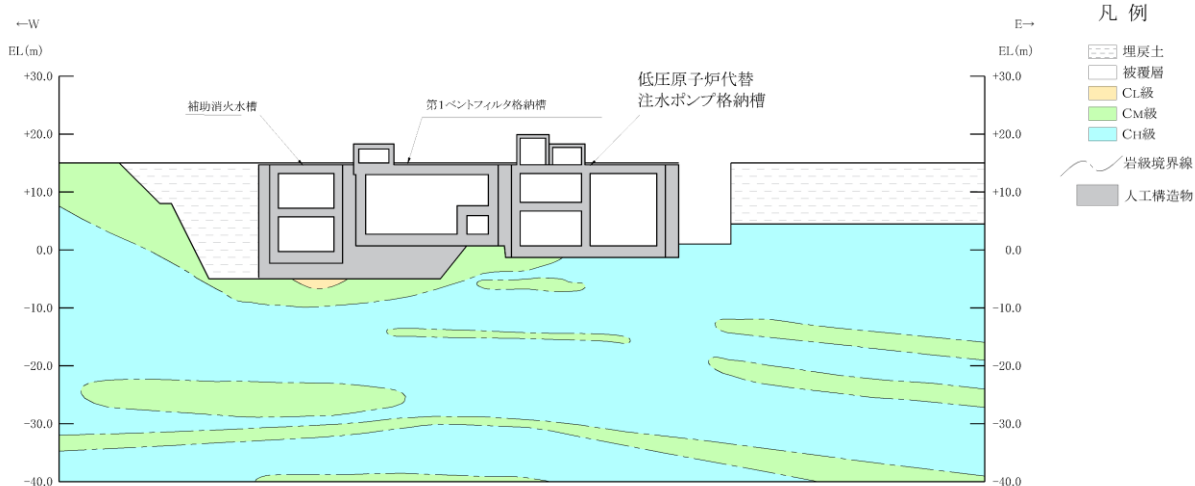


(岩級図)

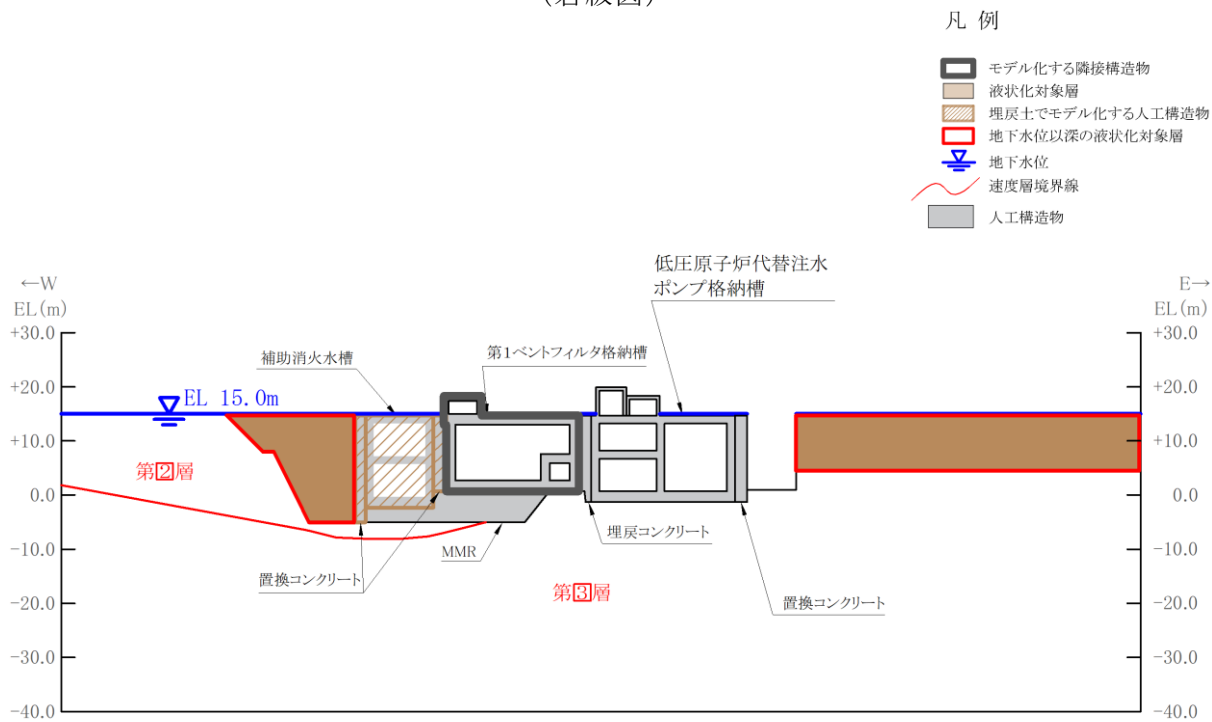


(速度層図)

図 2-17 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 評価対象断面図 (B-B断面)



(岩級図)



(速度層図)

図 2-18 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 評価対象断面図 (C-C断面)

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。

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 24.0N/mm ²
	鉄筋	SD345
埋戻コンクリート		設計基準強度 18.0N/mm ²
MMR		

表 2-4 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	2.50×10 ⁴	24.0* ¹	0.2
埋戻コンクリート	2.20×10 ⁴	22.6* ²	
MMR			

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。

2.6 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	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	せん断弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
	表層①-1	S s	127*	422*	20.7	0.45	0.341*
岩盤①-2		250	800	20.6	0.446	1.31	3
岩盤②		900	2100	23.0	0.388	19.0	3
岩盤③		1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
岩盤④		1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
岩盤⑤		2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
岩盤⑥		2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

注記*：地震動レベル及び試験結果に基づき埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値

表 2-6 地盤の解析用物性値（埋戻土，MMR）

	物理特性		強度特性		静的変形特性		動の変形特性		減衰特性	
	密度 ρ_s (g/cm ³)	せん断 強度 τ_0 (N/mm ²)	せん断 強度 τ_0 (N/mm ²)	内部 摩擦角 ϕ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)	静弾性係数 E (N/mm ²)	静ポアソン 比 ν_s	動せん断 弾性係数 G _d (N/mm ²)	動ポアソン 比 ν_d	減衰定数 h
埋戻土	2.11*	0.22	0.22+	22	0.22+ $\sigma \tan 22^\circ$	E _{0.5} =115 $\sigma^{0.61}$	0.40	G ₀ =749 $\sigma^{0.66}$ (N/mm ²) G/G ₀ =1/(1+ γ /0.0027)	0.45	h=0.095×(1-G/G ₀) h=0.0958×(1-G/G ₀)×0.85
MMR f'ck=18.0N/mm ²	2.30	3.58	3.58+	40	$\sigma \tan 40^\circ$	—	0.20	—	0.20	0.03

注記*：地下水位以深の密度を示す。有効応力解析においては，地下水位以浅の密度として2.00g/cm³を用いる。

2.7 評価構造物諸元

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の諸元を表 2-7～表 2-9 に評価部位を図 2-19～図 2-21 に示す。

表 2-7 評価部位とその仕様(A-A断面)

部位		仕様		材料		要求性能
		部材幅 (mm)	部材厚 (mm)	コンクリート 設計基準強度 f'_{ck} (N/mm ²)	鉄筋	
頂版	①	2200	600	24.0	SD345	支持機能
頂版	②	2300	1500	24.0	SD345	
床版	③	2200	1500	24.0	SD345	
頂版	④	4700	1500	24.0	SD345	
床版	⑤	10400	1500	24.0	SD345	
底版	⑥	10400	2000	24.0	SD345	
側壁	⑦⑧	3000	600	24.0	SD345	
側壁	⑨⑪	5000	1500	24.0	SD345	
側壁	⑩⑫	6000	1500	24.0	SD345	

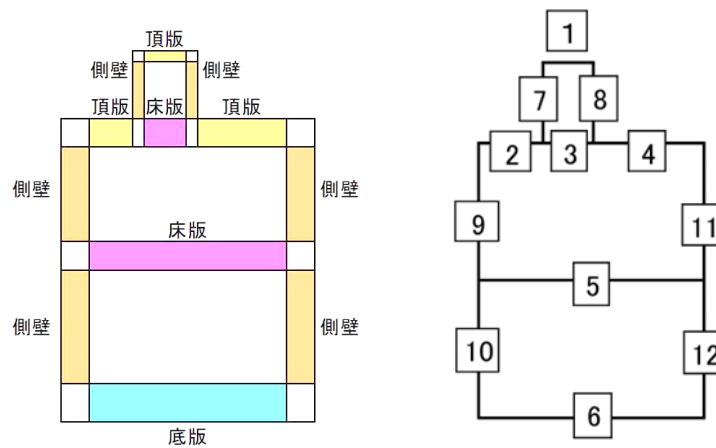


図 2-19 評価部位位置図

表 2-8 評価部位とその仕様評価部位とその仕様 (B-B 断面)

部位		仕様		材料		要求性能
		部材幅 (mm)	部材厚 (mm)	コンクリート 設計基準強度 f'_{ck} (N/mm ²)	鉄筋	
頂版	①	10400	1500	24.0	SD345	支持機能 貯水機能
底版	②	10400	2000	24.0	SD345	
側壁	③④	12500	1500	24.0	SD345	

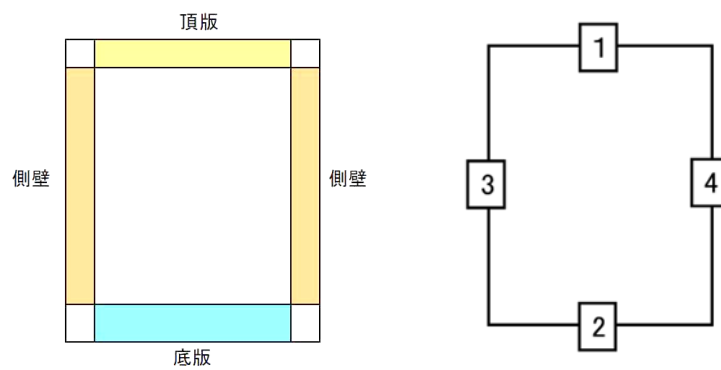


図 2-20 評価部位位置図

表 2-9 評価部位とその仕様(C-C断面)

部位		仕様		材料		要求性能
		部材幅 (mm)	部材厚 (mm)	コンクリート 設計基準強度 f'_{ck} (N/mm ²)	鉄筋	
頂版	①	4400	600	24.0	SD345	支持機能
頂版	②	5000	600	24.0	SD345	支持機能
床版	③	4400	1500	24.0	SD345	支持機能
床版	④	5000	1500	24.0	SD345	支持機能
頂版	⑤	11500	1500	24.0	SD345	支持機能 貯水機能
床版	⑥	10600	1500	24.0	SD345	支持機能
底版	⑦	10600	2000	24.0	SD345	支持機能
底版	⑧	11500	2000	24.0	SD345	支持機能 貯水機能
側壁	⑨⑩	4590	600	24.0	SD345	支持機能
側壁	⑪⑫	3000	600	24.0	SD345	支持機能
側壁	⑬	5000	1500	24.0	SD345	支持機能
側壁	⑭	6000	1500	24.0	SD345	支持機能
側壁	⑮	5000	1500	24.0	SD345	支持機能 貯水機能
側壁	⑯	6000	1500	24.0	SD345	
側壁	⑰	12500	1500	24.0	SD345	

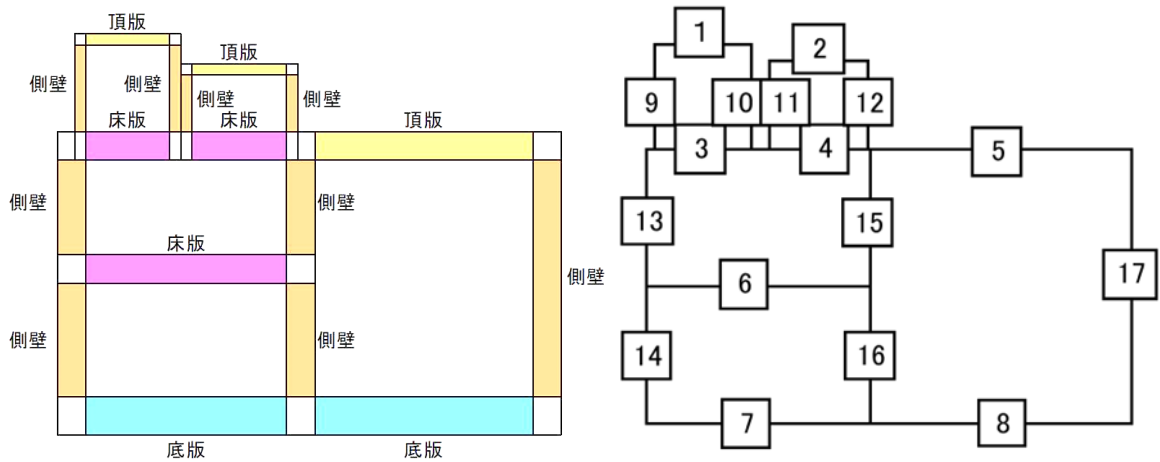


図 2-21 評価部位位置図

2.8 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2-10に示す。

表2-10 設計地下水位の一覧

施設名称	解析断面	設計地下水位 (ELm)
低圧原子炉代替注水 ポンプ格納槽	A-A断面	15.0
	B-B断面	
	C-C断面	

2.9 耐震評価フロー

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の耐震評価フローを図 2-22 に示す。

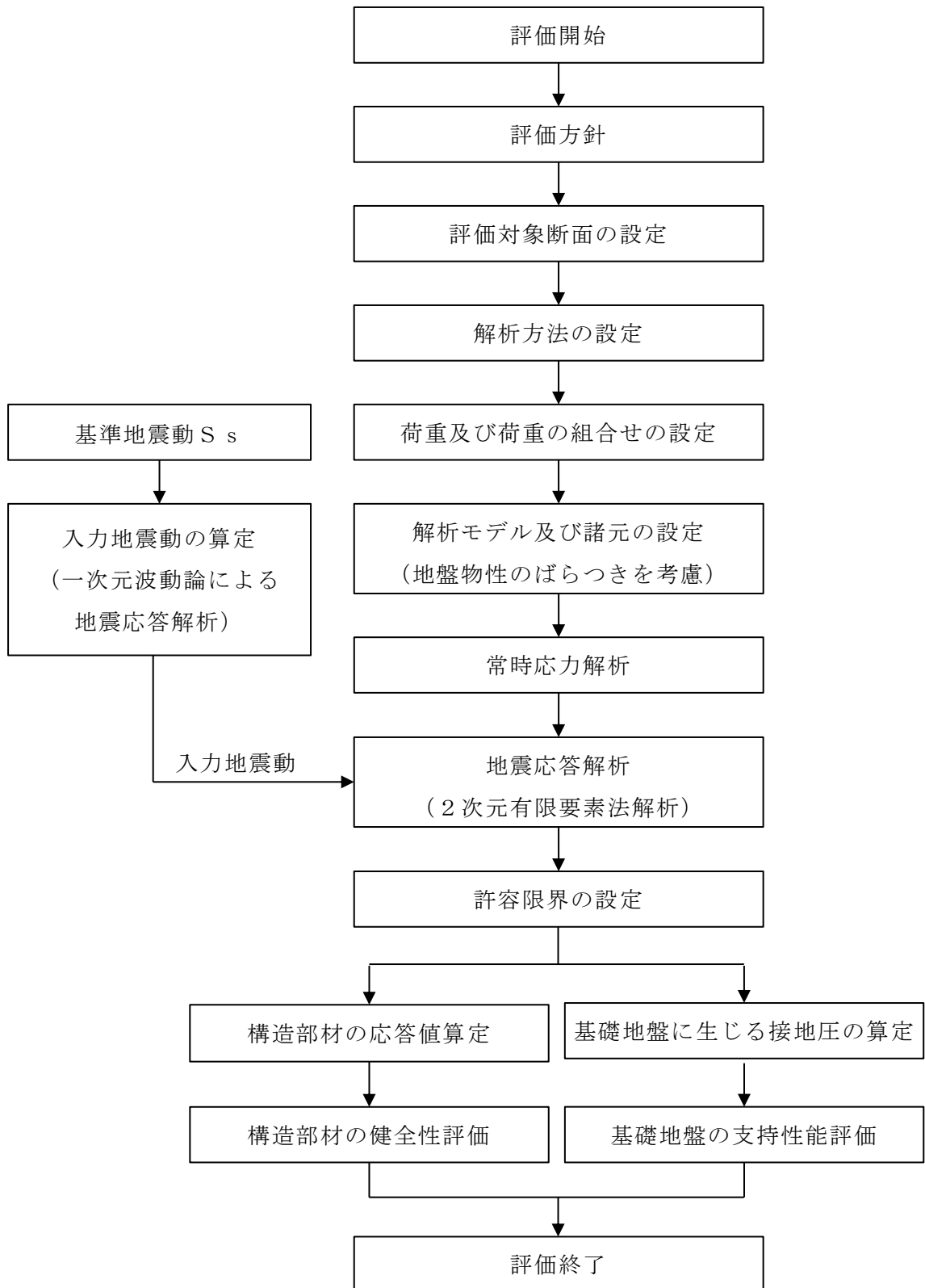


図 2-22 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の耐震評価フロー

3. 地震応答解析

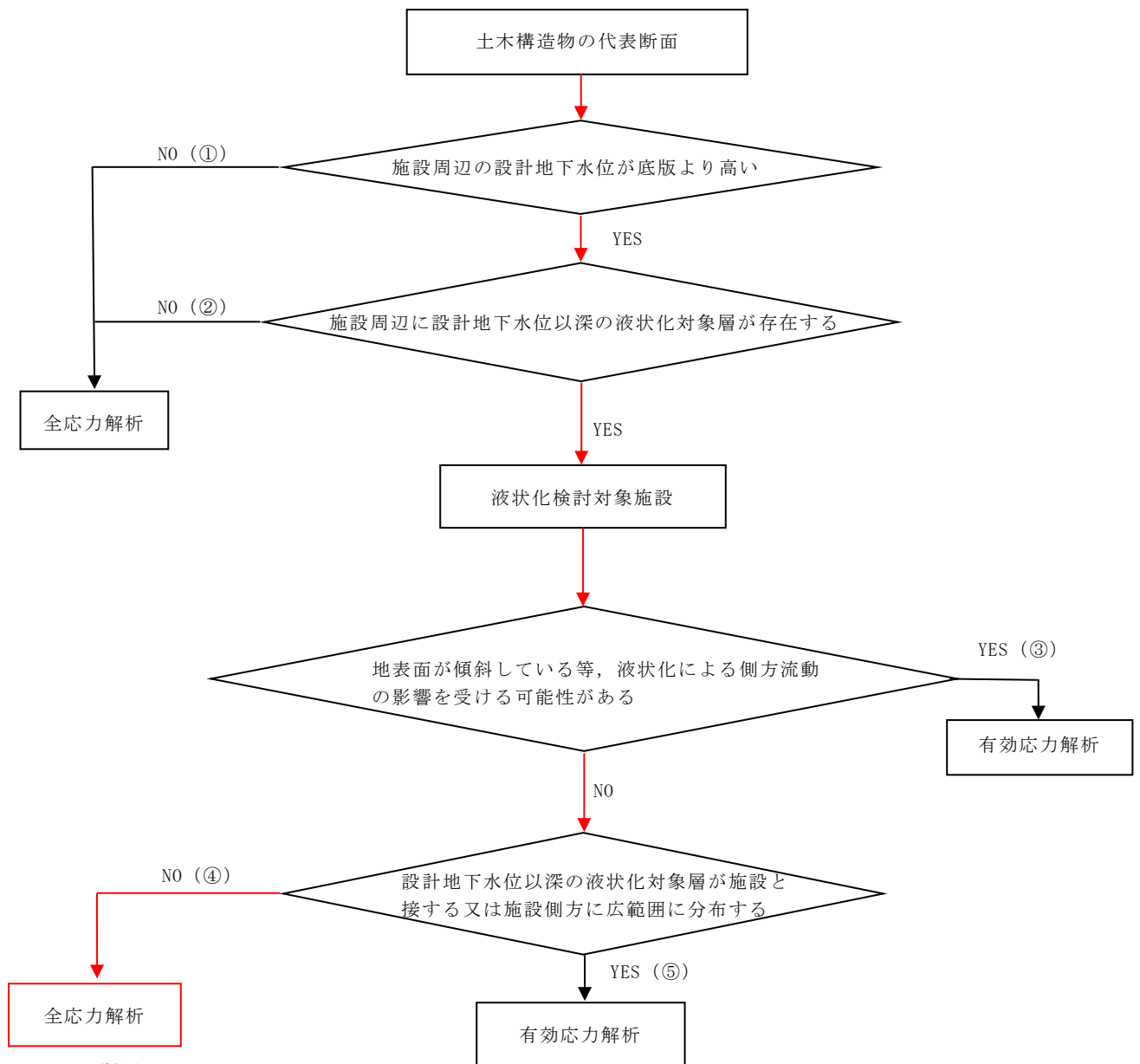
3.1 地震応答解析手法

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2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～C-C断面は、施設周辺の設計地下水位が底版より高いが施設周辺に地下水位以深の液状化対象層が存在しないため解析手法の選定フローに基づき「④全応力解析」を選定する。

構造部材については、ファイバーモデルで考慮する。また、地盤については、平面ひずみ要素でモデル化することとし、岩盤は線形でモデル化する。埋戻土については、地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようマルチスプリングモデルを用いることとし、ばね特性は双曲線モデル（修正GHEモデル）を用いて非線形性を考慮する。なお、埋戻コンクリート及び充填コンクリートについては線形の平面応力要素でモデル化する。地震応答解析については、解析コード「TDA P III」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。



A - A 断面
 B - B 断面
 C - C 断面

図 3-1 解析手法の選定フロー

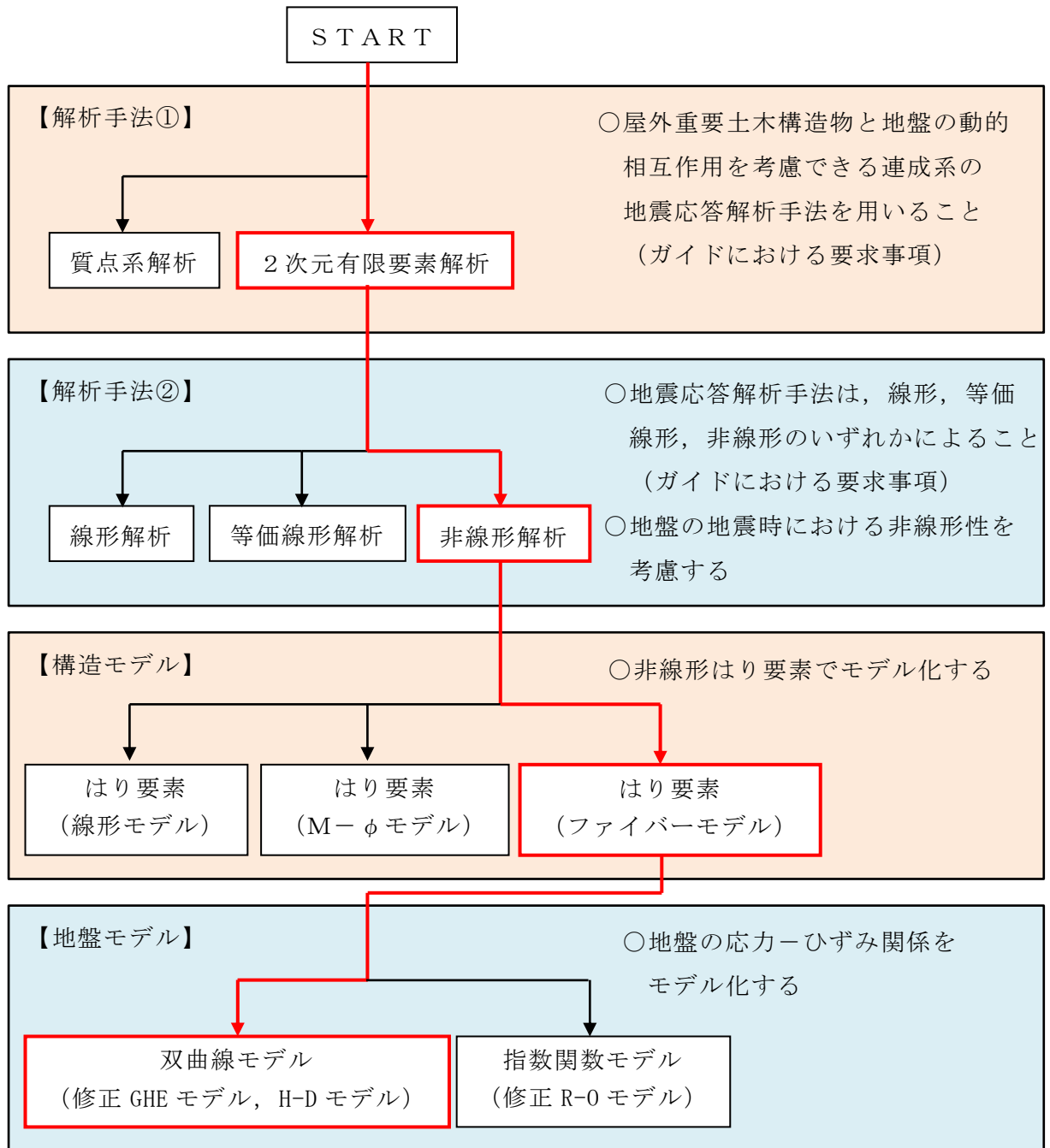


図 3-2 地震応答解析手法の選定フロー

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。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の解析モデル領域については、西側に第1ベントフィルタ格納槽及び北側に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倍程度まで細分割して設定する。

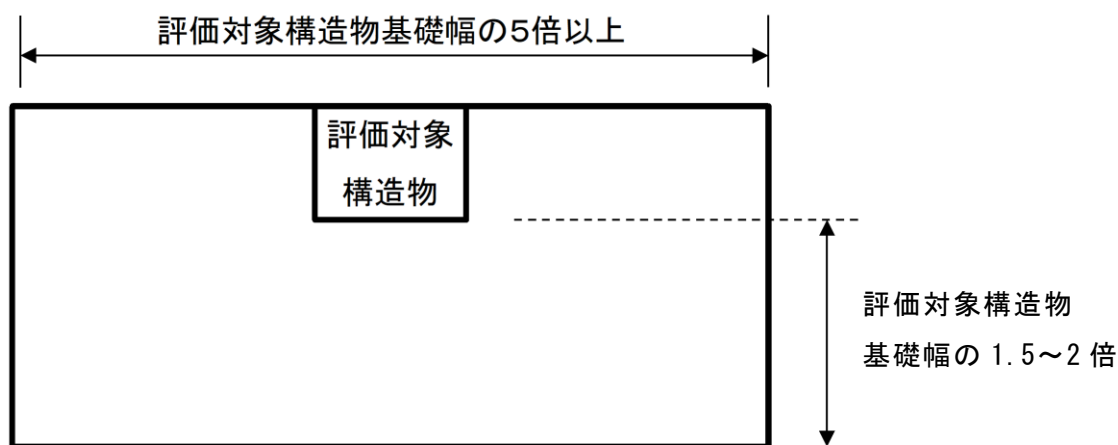


図3-3 モデル化範囲の考え方

3.2.2 境界条件

(1) 固有値解析時

固有値解析を実施する際の境界条件は、境界が構造物を含めた周辺地盤の振動特性に影響を与えないよう設定する。ここで、底面境界は地盤のせん断方向の卓越変形モードを把握するために固定とし、側方境界はフリーとする。境界条件の概念図を図3-4に示す。

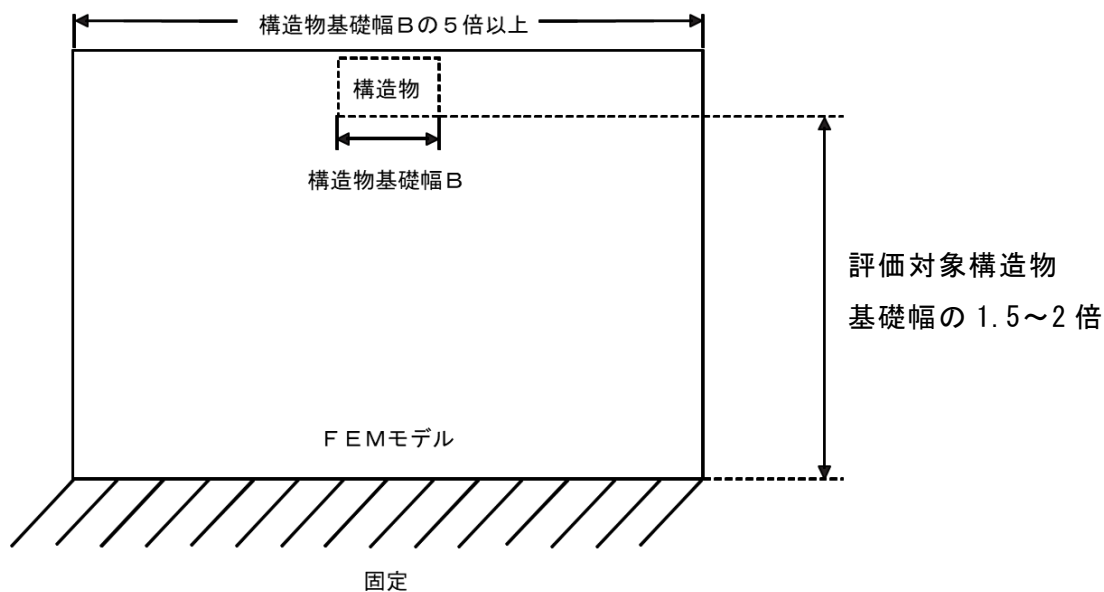


図3-4 固有値解析における境界条件の概念図

(2) 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。

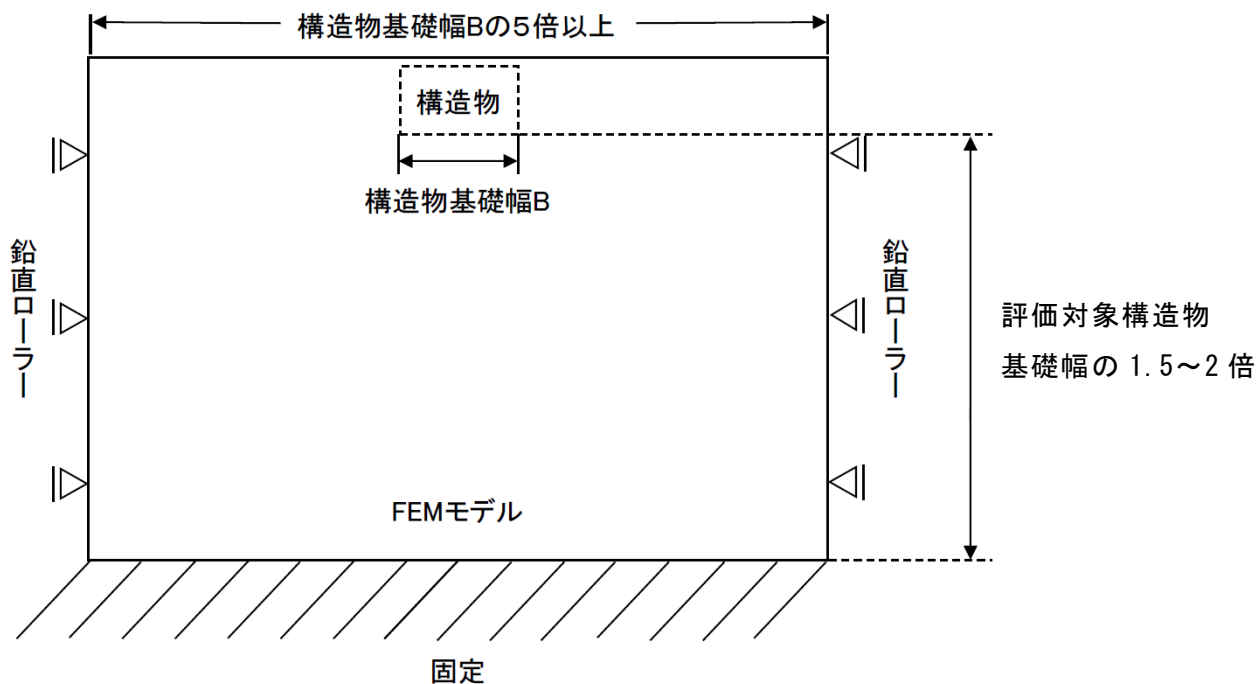


図3-5 常時応力解析における境界条件の概念図

(3) 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。

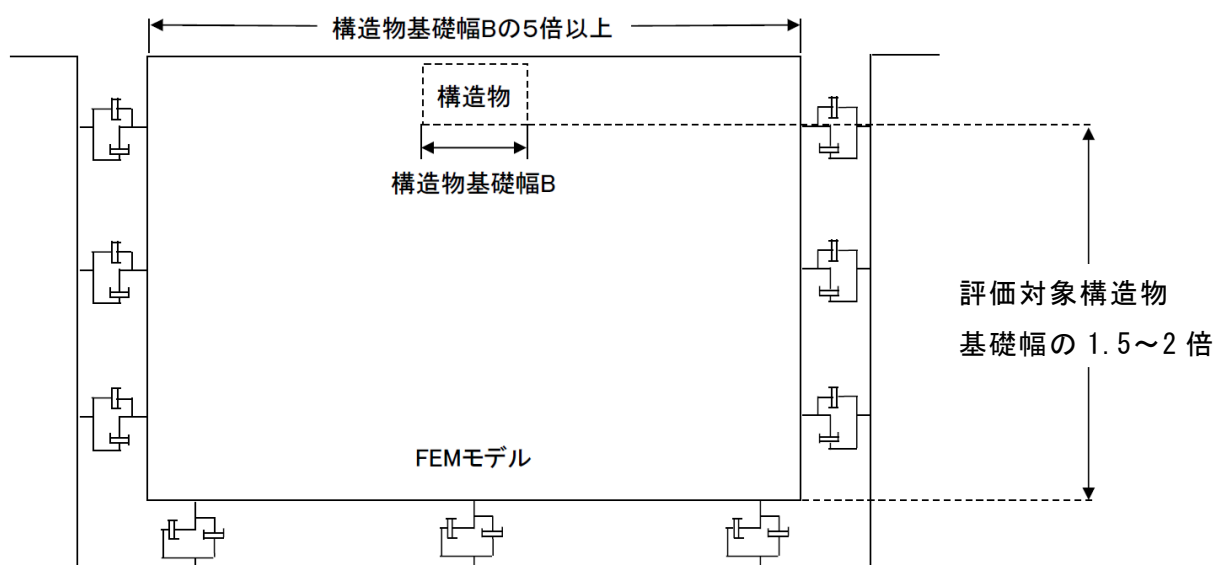


図 3-6 地震応答解析における境界条件の概念図

3.2.3 構造物のモデル化

鉄筋コンクリート部材は非線形はり要素によりモデル化する。

機器・配管荷重は解析モデルに付加質量として与えることで考慮する。

3.2.4 隣接構造物のモデル化

A-A断面及びB-B断面の解析モデル範囲において隣接構造物となる原子炉建物は、等価剛性として線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

C-C断面の解析モデル範囲において隣接構造物となる第1ベントフィルタ格納槽については、耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答値を抽出する必要があることから、非線形はり要素及び平面応力要素でモデル化する。また、補助消火水槽は、保守的に埋戻土でモデル化する。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。

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、安全対策工事に伴う掘削箇所と埋戻土との境界には、耐震性のある土留めを設置することにより崩壊防止策を講じていることから、本検討においては当該箇所に剛梁を設定することにより掘削形状を維持するようモデル化する。

地盤のモデル化に用いる、地質断面図を図3-7～図3-9に示す。

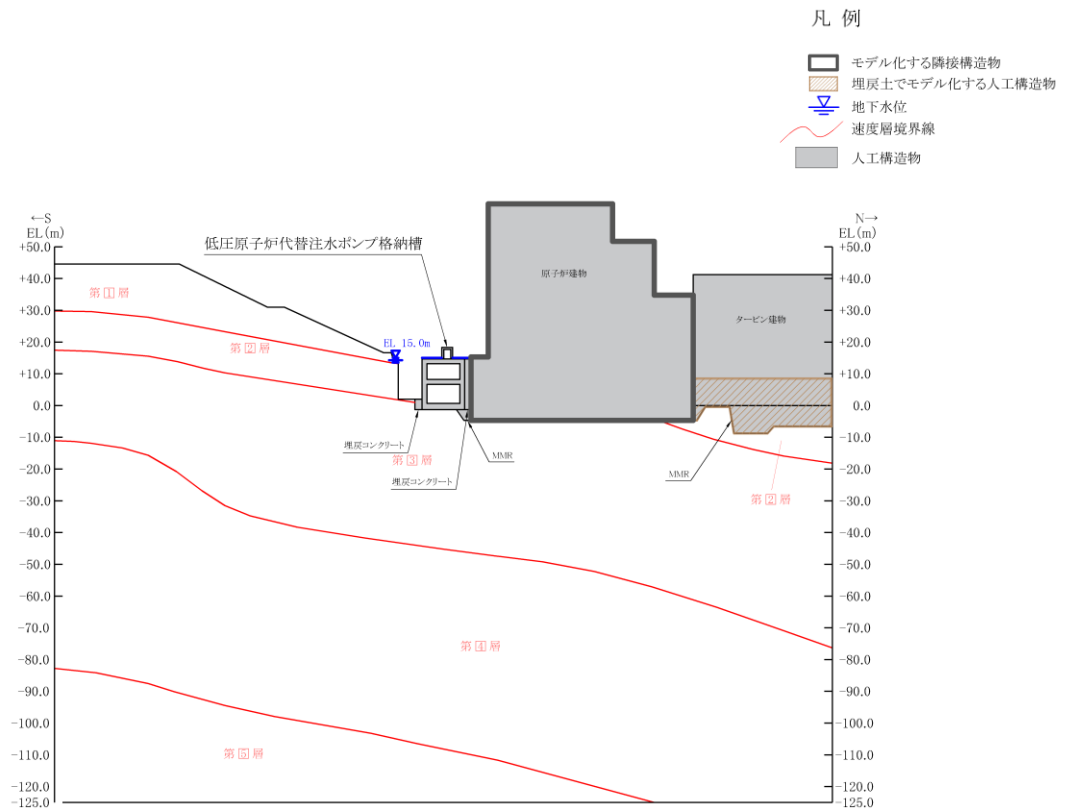


図 3-7 評価対象地質断面図 (A-A 断面)

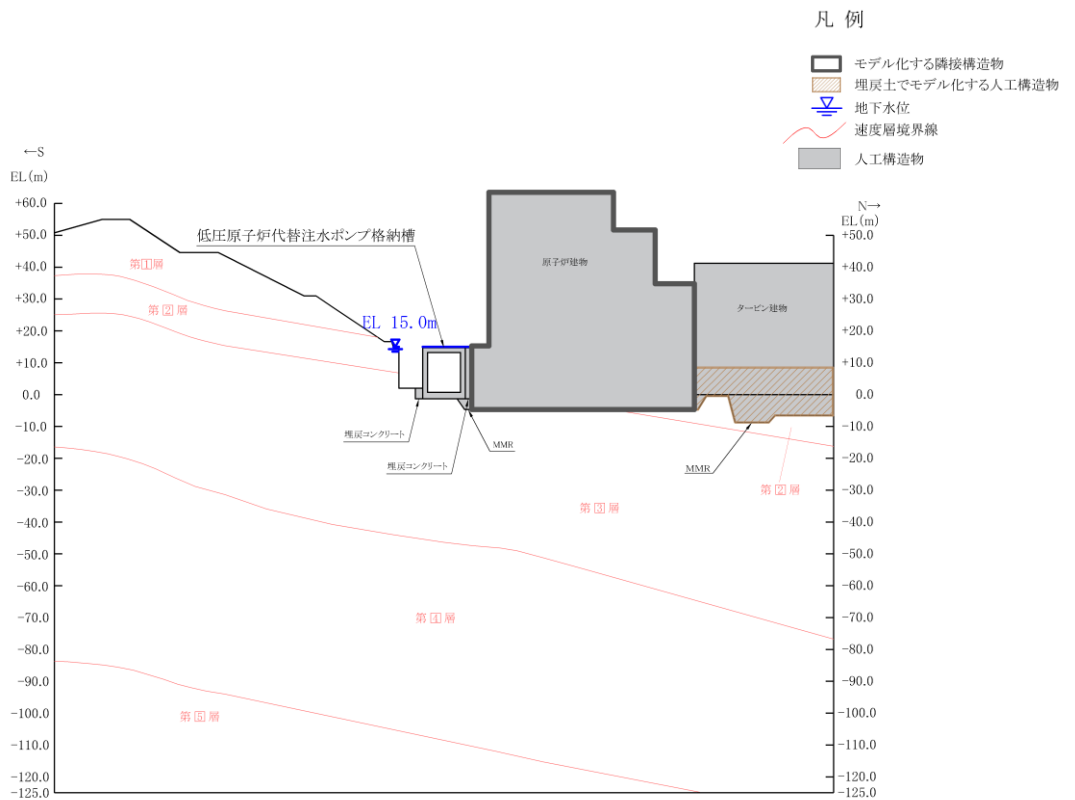


図 3-8 評価対象地質断面図 (B-B 断面)

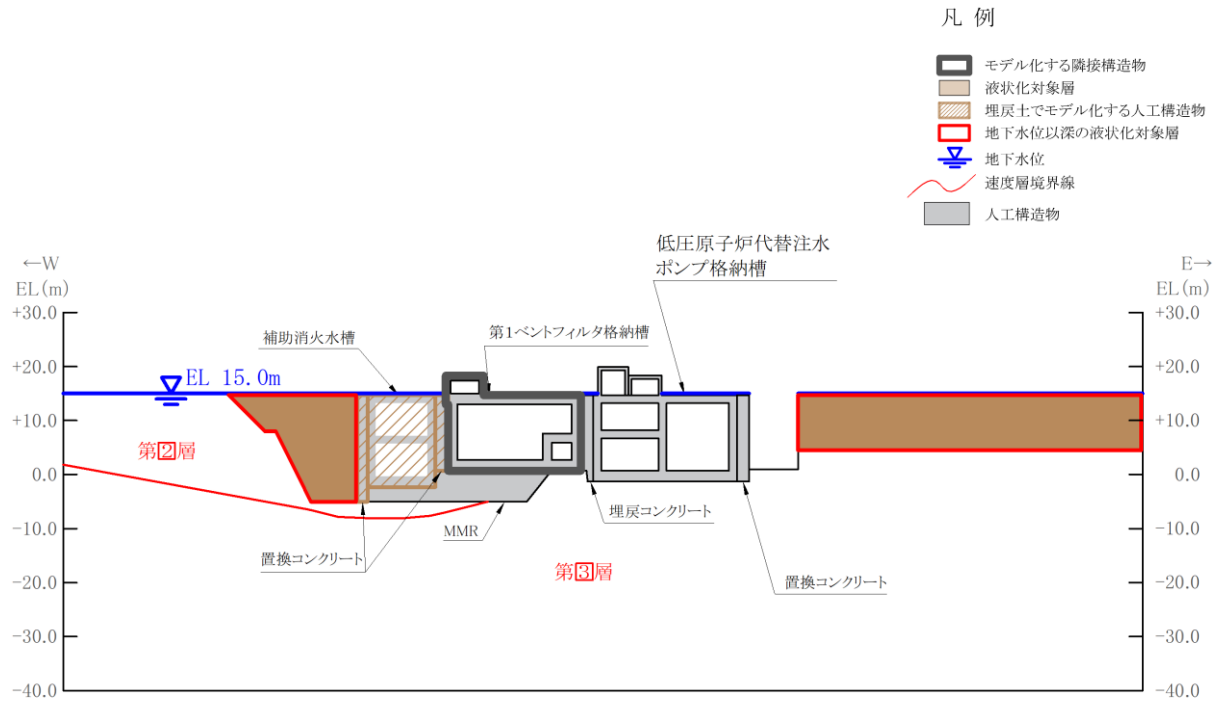
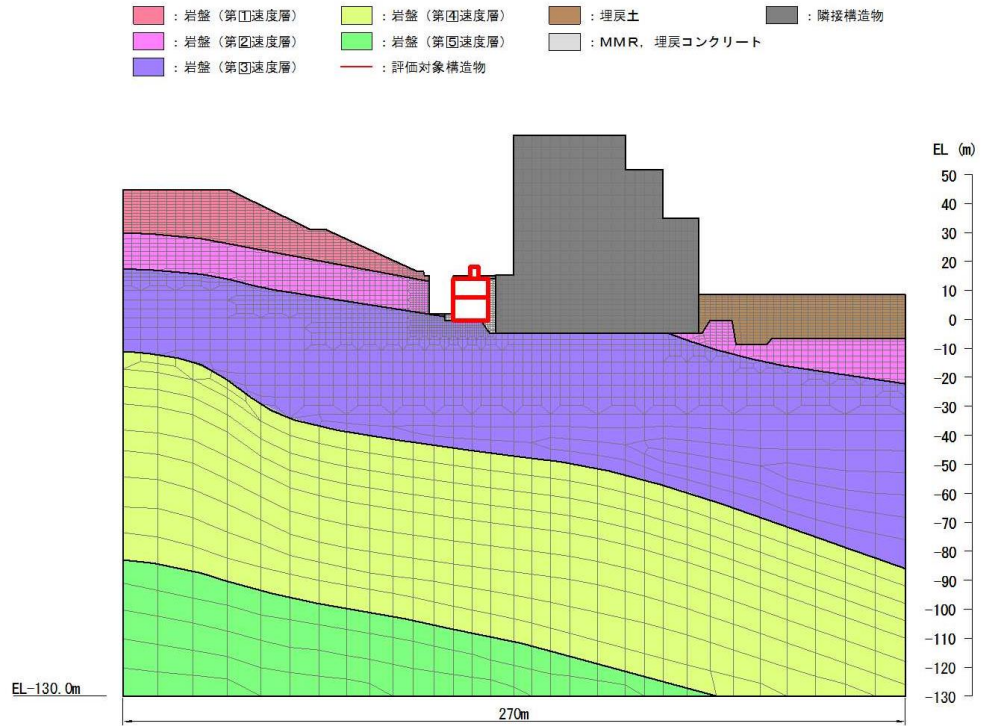


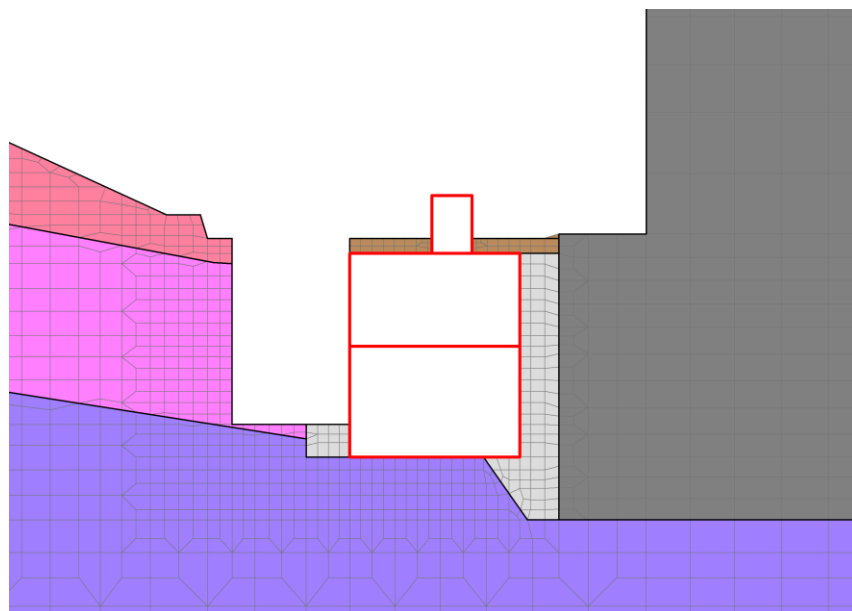
図 3-9 評価対象地質断面図 (C-C 断面)

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3-10～図3-12に示す。

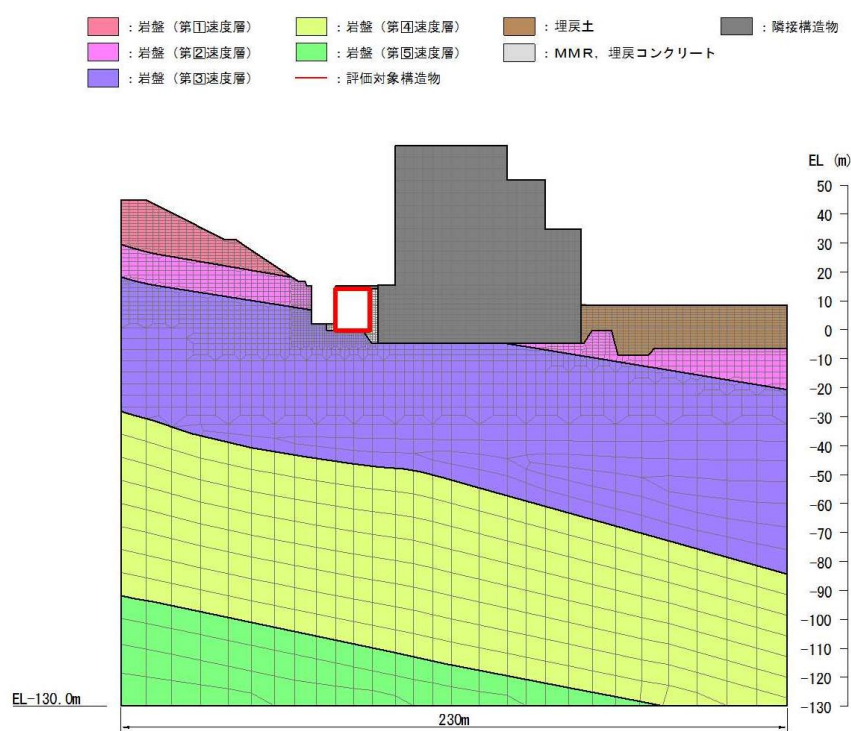


(全体図)

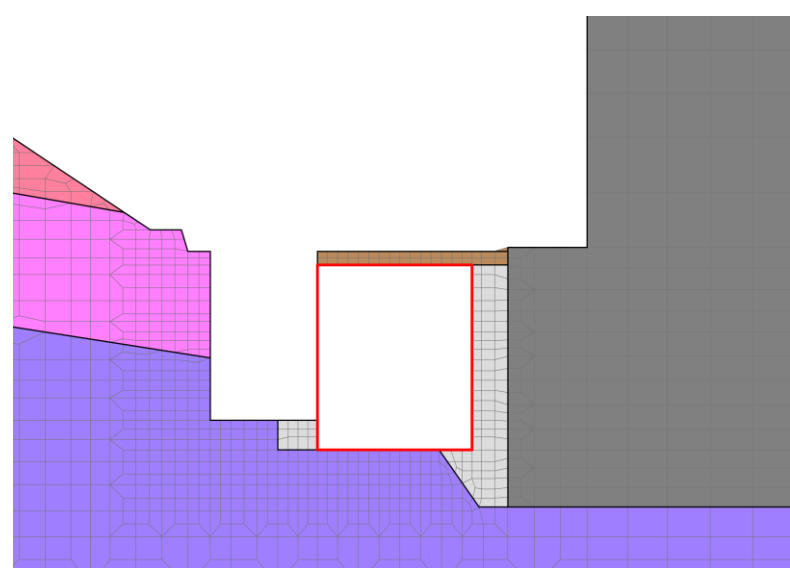


(拡大図)

図3-10 地震応答解析モデル図 (A-A断面)












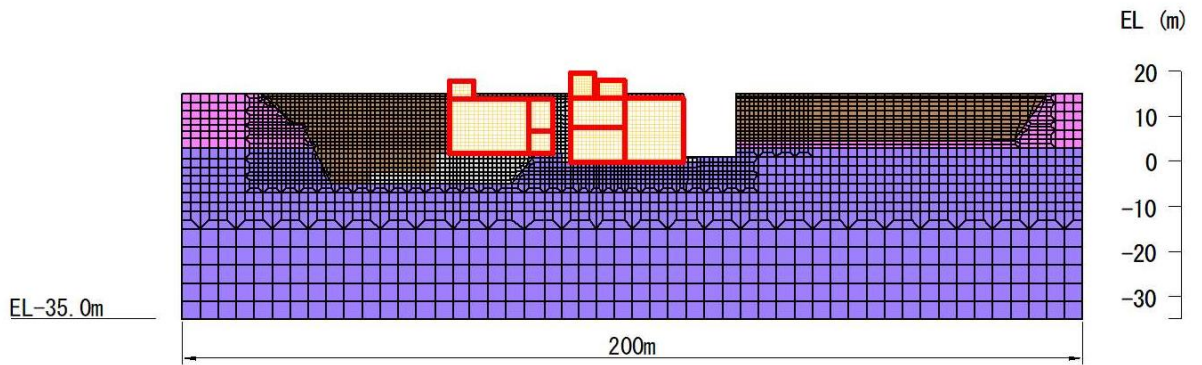
(全体図)



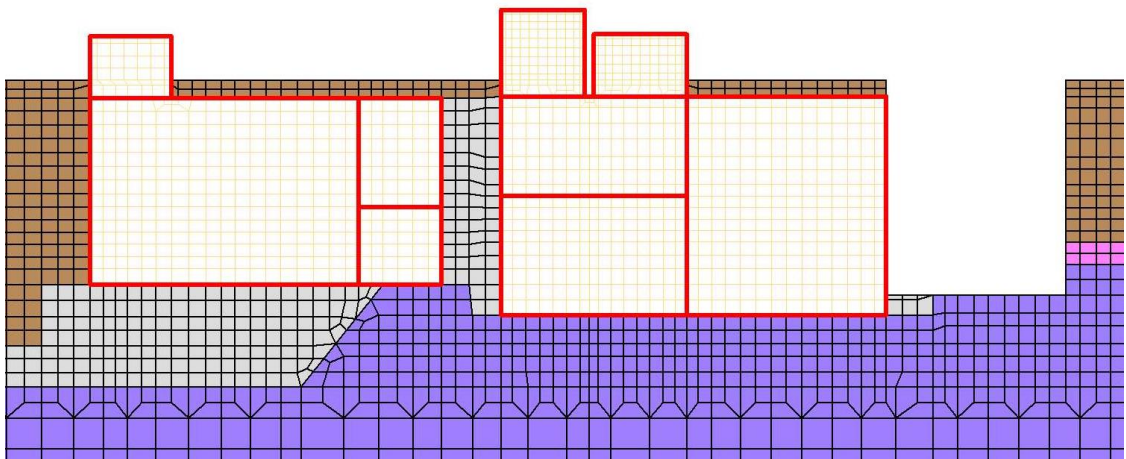
(拡大図)

図 3-11 地震応答解析モデル図 (B-B 断面)

- | | | | | | |
|---|--------------|---|--------------|---|-----------------|
|  | : 岩盤 (第Ⅰ速度層) |  | : 岩盤 (第Ⅳ速度層) |  | : 埋戻土 |
|  | : 岩盤 (第Ⅱ速度層) |  | : 岩盤 (第Ⅴ速度層) |  | : MMR, 埋戻コンクリート |
|  | : 岩盤 (第Ⅲ速度層) |  | : 評価対象構造物 | | |
|  | : 構造物 (面内壁) | | | | |



(全体図)



(拡大図)

図 3-12 地震応答解析モデル図 (C-C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抵抗力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 3-1 のとおりとする。また、要素間の粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は表 3-2 のとおり設定する。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の直下には C_M 級～ C_H 級の岩盤が分布するが、せん断強度の設定においては一律 C_M 級岩盤の粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ を用いる。

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

ここに、 τ_f : せん断強度
 c : 粘着力
 ϕ : 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 ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
岩盤 (C_M 級)	1.23	52
埋戻コンクリート・MMR	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 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
	改良地盤	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
改良地盤	無筋コンクリート*1	材料 1 の c	材料 1 の ϕ
	埋戻土	材料 2 の c	材料 2 の ϕ
	$C_H \cdot C_M$ 級岩盤	材料 1 の c	材料 1 の ϕ
	C_L 級岩盤	材料 2 の c	材料 2 の ϕ
無筋コンクリート*1	無筋コンクリート*1	設計基準強度が 小さい材料の c	設計基準強度が 小さい材料の ϕ
	埋戻土	材料 2 の c	材料 2 の ϕ
	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 3-3 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 3-13 に，ジョイント要素の配置を図 3-14～図 3-16 に示す。

表 3-3 ジョイント要素のばね定数

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

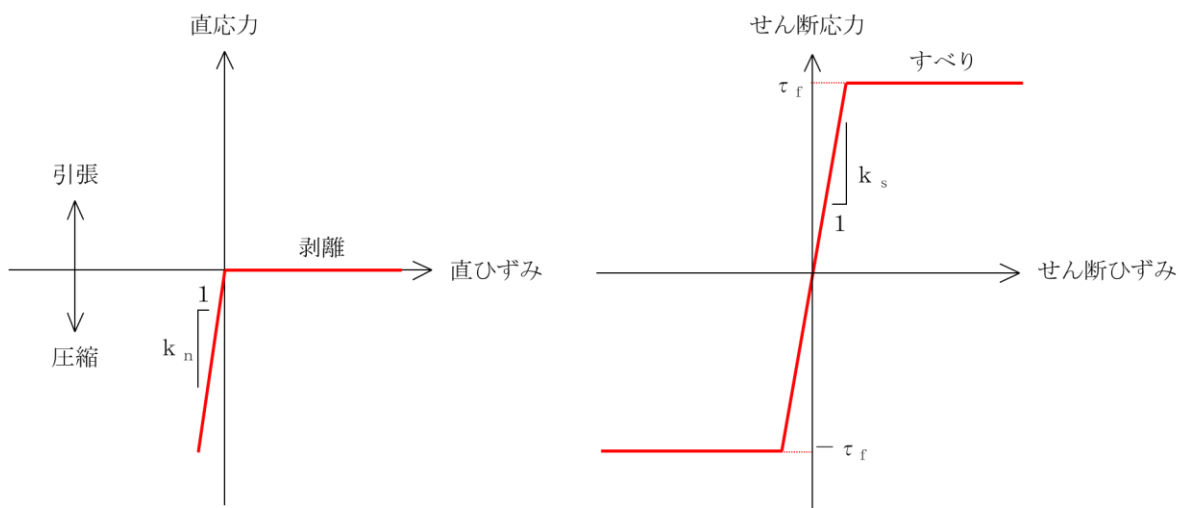
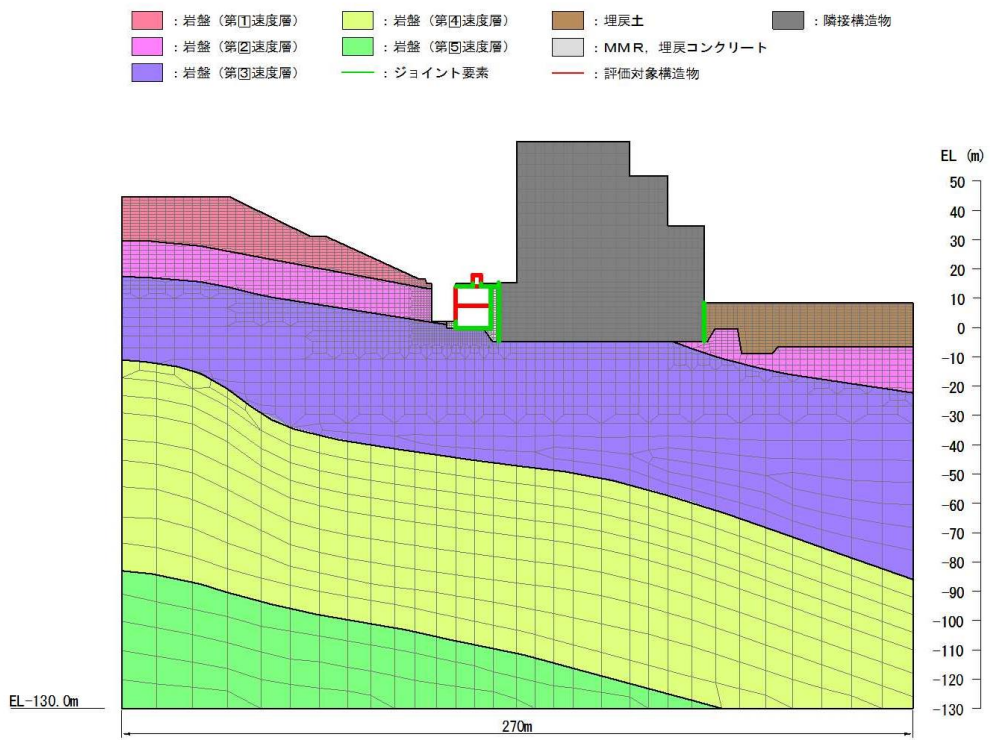
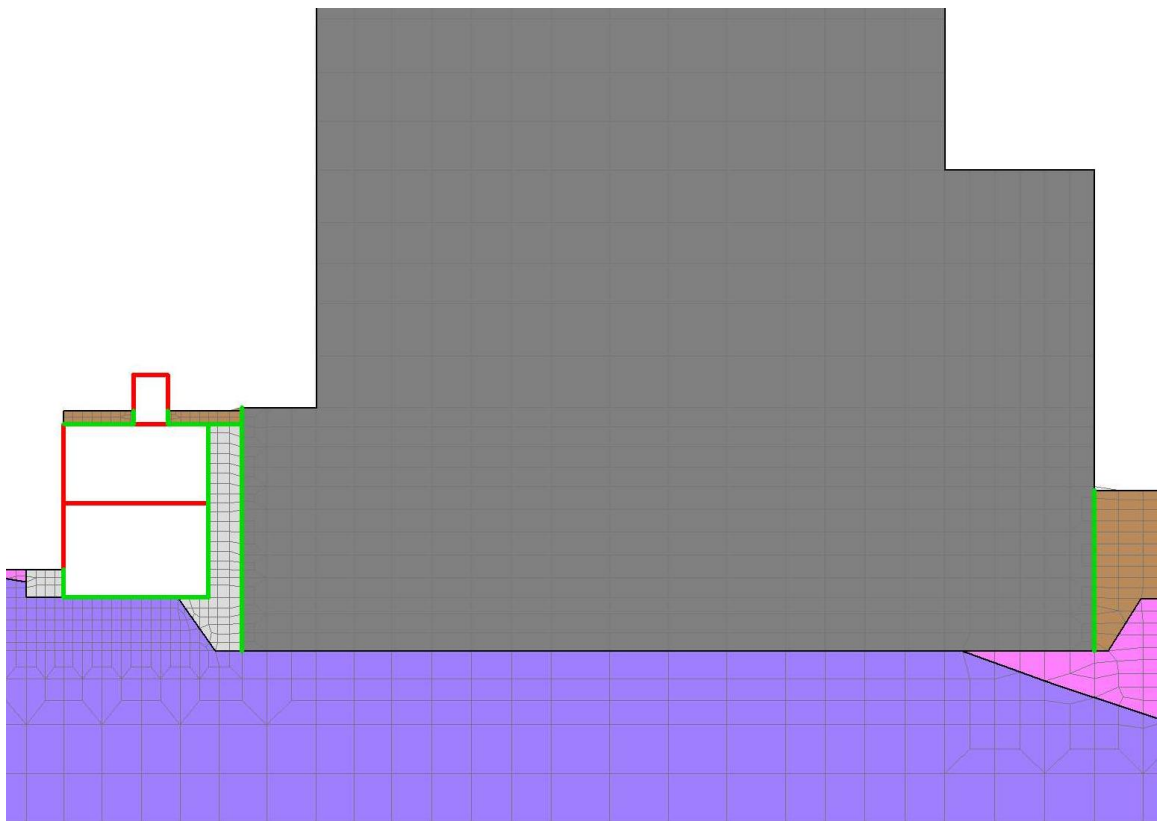


図 3-13 ジョイント要素の力学特性



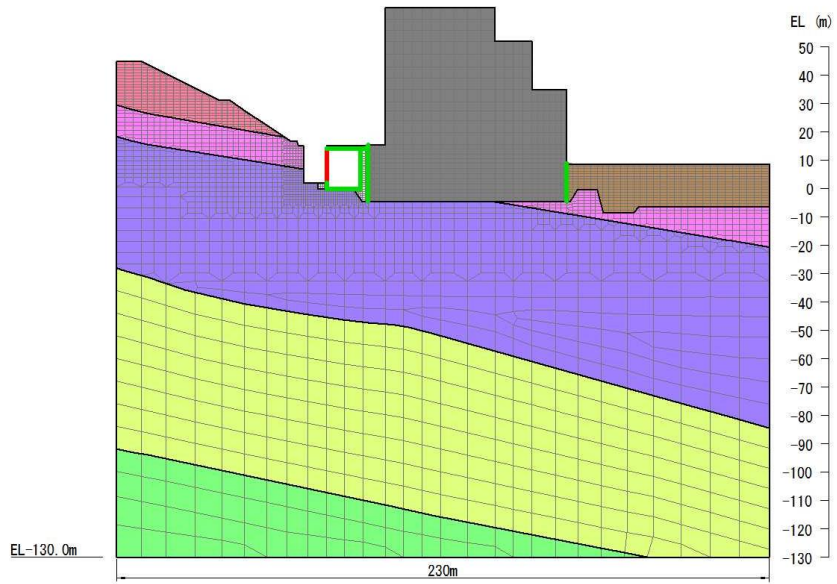
(全体図)



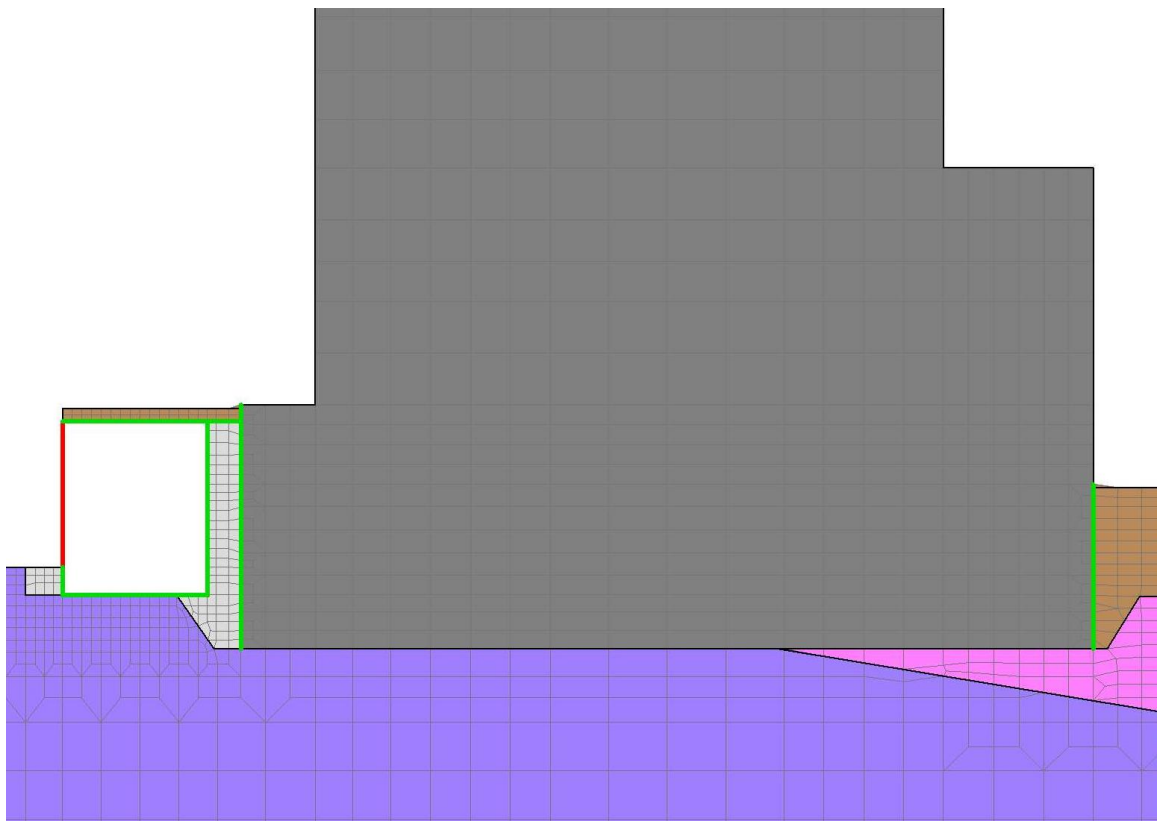
(拡大図)

図 3-14 ジョイント要素の配置 (A-A断面)

- | | | | |
|----------------|----------------|-------------------|-----------|
| ■ : 岩盤 (第Ⅰ速度層) | ■ : 岩盤 (第Ⅳ速度層) | ■ : 埋戻土 | ■ : 隣接構造物 |
| ■ : 岩盤 (第Ⅱ速度層) | ■ : 岩盤 (第Ⅲ速度層) | ■ : MMR, 埋戻コンクリート | |
| ■ : 岩盤 (第Ⅳ速度層) | — : ジョイント要素 | — : 評価対象構造物 | |













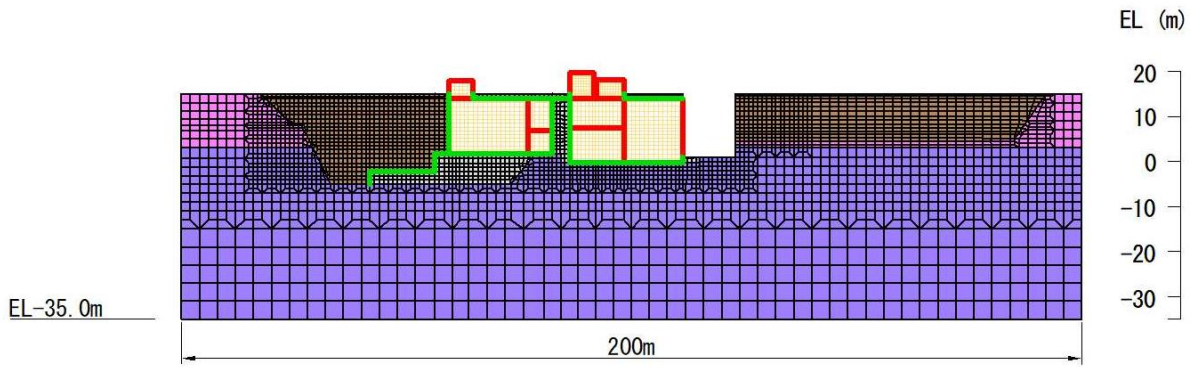
(全体図)



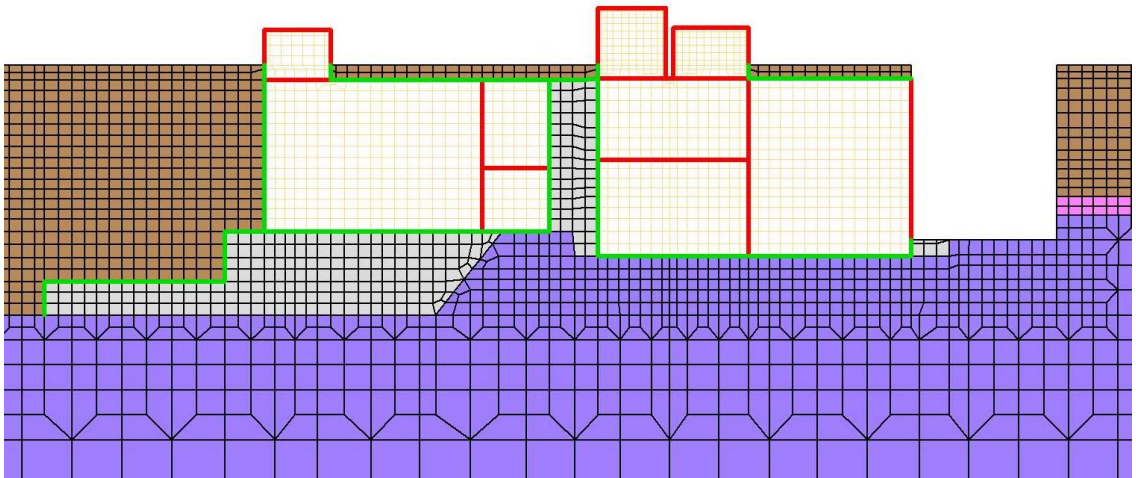
(拡大図)

図 3-15 ジョイント要素の配置 (B-B断面)

- | | | |
|--|--|--|
|  : 岩盤 (第①速度層) |  : 岩盤 (第④速度層) |  : 埋戻土 |
|  : 岩盤 (第②速度層) |  : 岩盤 (第⑤速度層) |  : MMR、埋戻コンクリート |
|  : 岩盤 (第③速度層) |  : 評価対象構造物 |  : ジョイント要素 |
|  : 構造物 (面内壁) | | |



(全体図)



(拡大図)

図 3-16 ジョイント要素の配置 (C-C断面)

3.2.8 材料特性の設定

鉄筋コンクリート部材は、ファイバーモデルによる非線形はり要素でモデル化する。ファイバーモデルは、はり要素の断面を層状に分割し各層に材料の非線形特性を考慮する材料非線形モデルであり（図3-17参照）、図3-18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3-19に鉄筋の応力-ひずみ関係を示す。

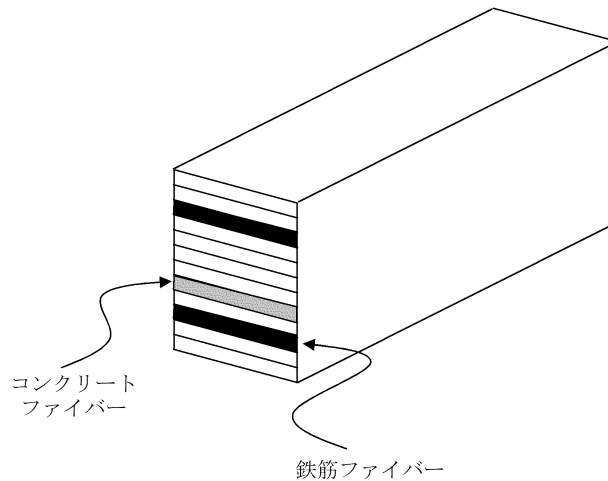
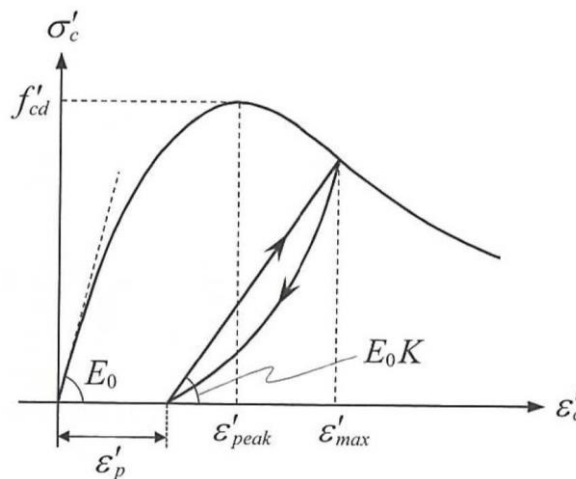
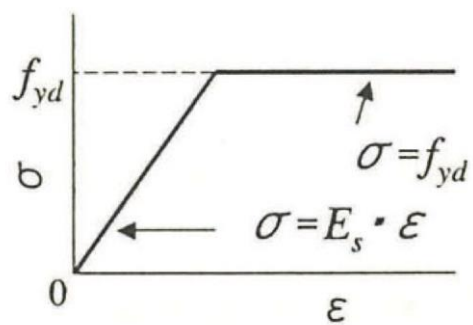


図3-17 ファイバーモデルの概念図



（コンクリート標準示方書[設計編]（土木学会，2017年制定）より引用）

図3-18 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 3-19 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

減衰定数は、「補足-026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「9. 地震応答解析における減衰定数」に基づき、粘性減衰及び履歴減衰で考慮する。

粘性減衰は、固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。

Rayleigh 減衰の設定フローを図 3-20 に示す。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

[C] : 減衰係数マトリックス

[M] : 質量マトリックス

[K] : 剛性マトリックス

α , β : 係数

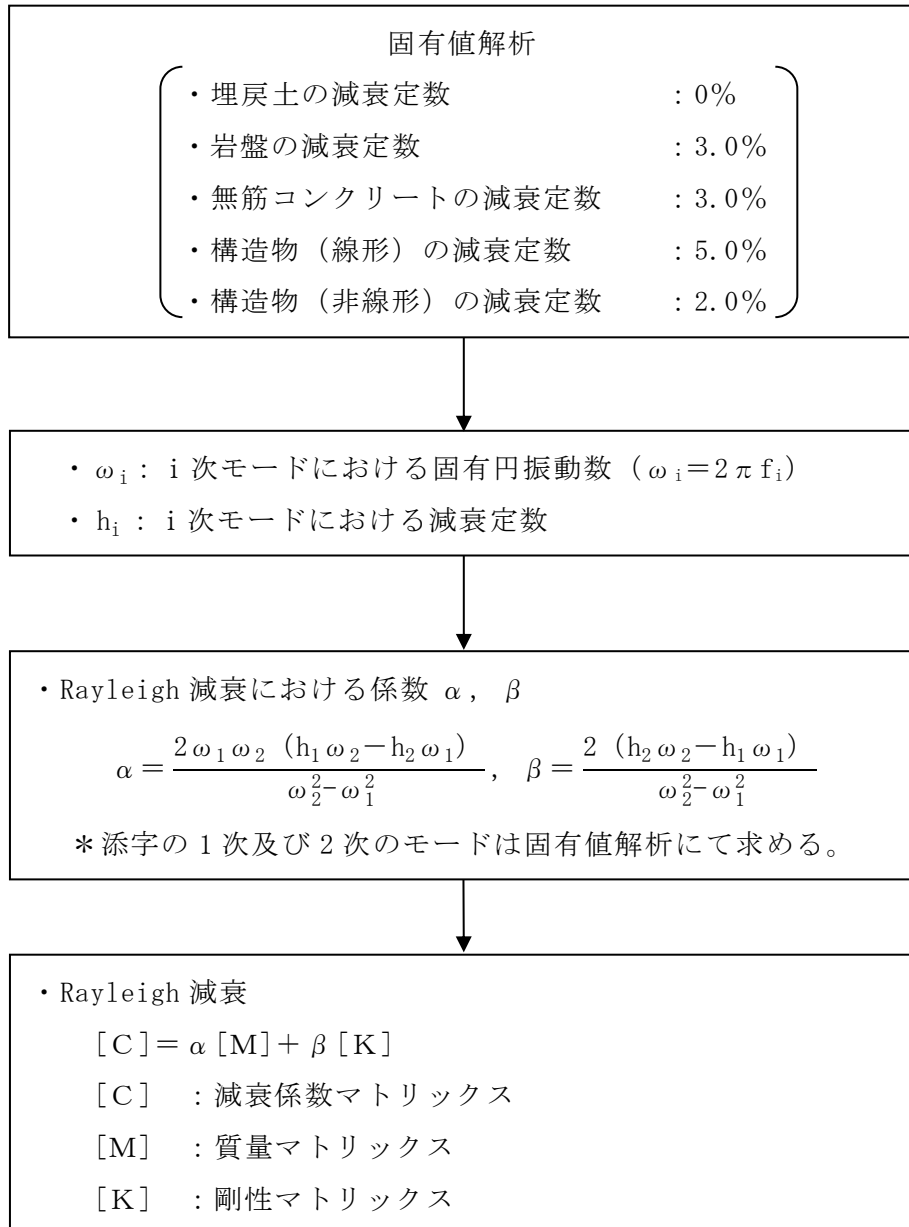


図 3-20 Rayleigh 減衰の設定フロー

Rayleigh 減衰における係数 α , β は、低次のモードの変形が支配的となる地中埋設構造物に対して、その特定の振動モードの影響が大きいことを考慮して、固有値解析結果より得られる卓越するモードの減衰と Rayleigh 減衰が一致するように設定する。なお、卓越するモードは全体系の固有値解析における刺激係数及びモード図にて決定するが、係数 α , β が負値となる場合は当該モードを選定しない。

なお、固有値解析結果は追示とする。

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。

地震時に低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽に作用する機器・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。

なお、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の運転時、設計基準事故時及び重大事故時の状態における荷重条件は変わらないため、評価は設計基準対象施設の評価結果に包括されることから、設計基準対象施設の評価結果を用いた重大事故等対処施設の評価を行う。

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	○	低圧原子炉代替注水槽内の容液による静水として考慮する。 保守的に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	○		

3.4.1 機器・配管荷重

地震時に低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽に作用する機器・配管系の荷重図を図3-21に示す。機器・配管荷重は、常時・地震時ともに付加質量でモデル化する。

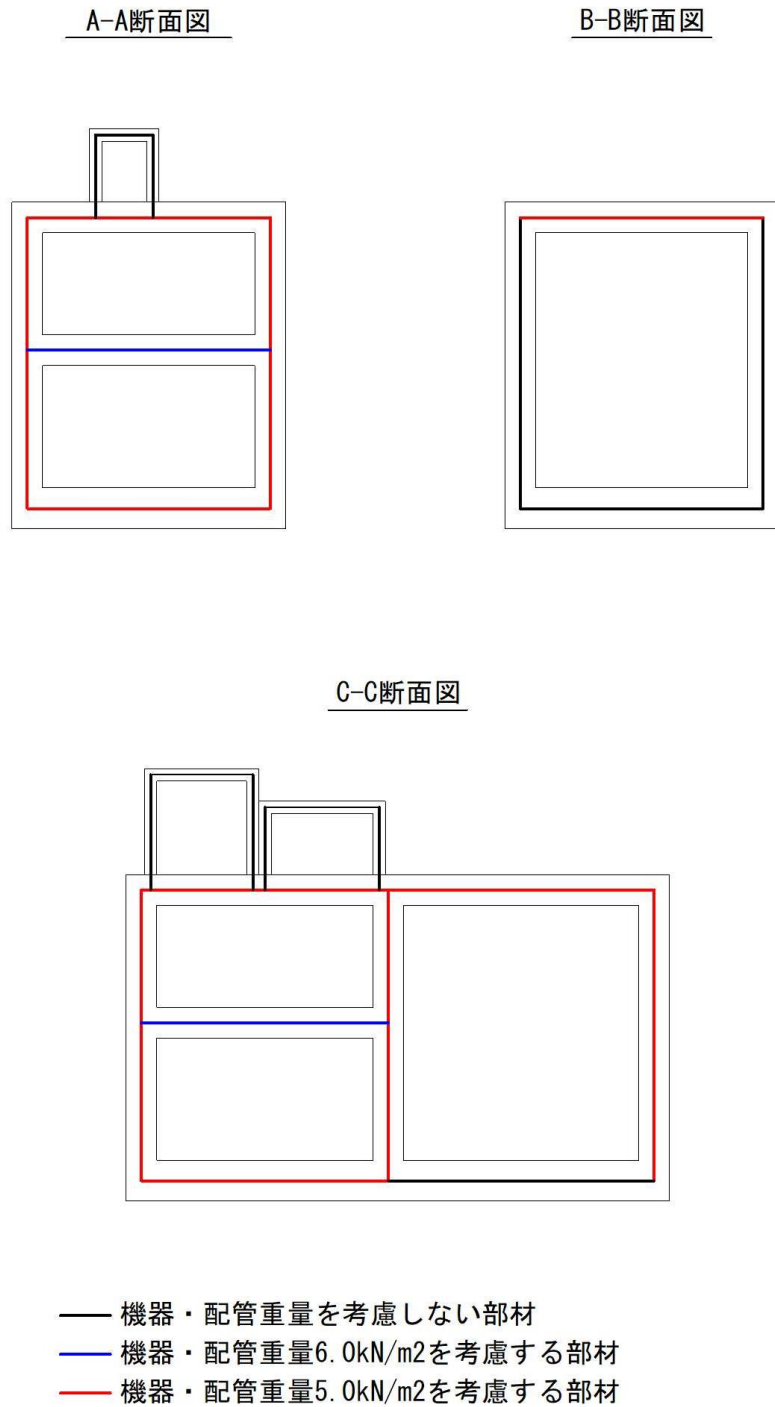


図3-21 解析用機器・配管荷重図

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、「2.7 地下水位」のとおりとし、地下水の密度として 1.00g/cm^3 を考慮する。

3.4.3 内水圧

低圧原子炉代替注水槽の内水位は、EL11.2m とする。

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35.0cm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 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

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

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は地中に埋設された鉄筋コンクリート造の地中構造物であり，周辺には埋戻土のような動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しておらず，主にC_M級及びC_H級岩盤が分布していることから，これらの地盤が地震時の構造物への応答に大きく影響を与えると判断し，岩盤の動せん断弾性係数のばらつきを考慮する。

ばらつきを考慮する物性値は地盤のせん断変形を定義するせん断弾性係数とし，平均値を基本ケース（表 3-5 及び表 3-5 に示すケース①）とした場合に加えて，平均値±1.0×標準偏差（ σ ）のケース（表 3-5 及び表 3-5 に示すケース②及び③）について確認を行う。

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 3-5 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽における解析ケース

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)	全応力解析	平均値	平均値
ケース②	全応力解析	平均値	平均値 + 1 σ
ケース③	全応力解析	平均値	平均値 - 1 σ

(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（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、せん断破壊及び地盤の支持力照査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3-6に示す解析ケース（ケース②及び③）を実施する。すべての照査項目の照査値がいずれも0.5以下の場合には、照査値が最も厳しくなる地震動を用いて、解析ケース②及び③を実施する。耐震評価における解析ケースを表3-6に示す。また、追加解析ケースを実施する地震動の選定フローを図3-22に示す。

表3-6 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ)を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ)を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○	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① (基本ケース) を実施し、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査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②及び③を実施する。 すべての照査項目の照査値がいずれも0.5以下の場合には、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③を実施する。
		-+*	○	
		+ - *	○	
		--*	○	
	$S_s - F1$	++*	○	
	$S_s - F2$	++*	○	
	$S_s - N1$	++*	○	
		-+*	○	
	$S_s - N2$ (NS)	++*	○	
		-+*	○	
$S_s - N2$ (EW)	++*	○		
	-+*	○		

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。

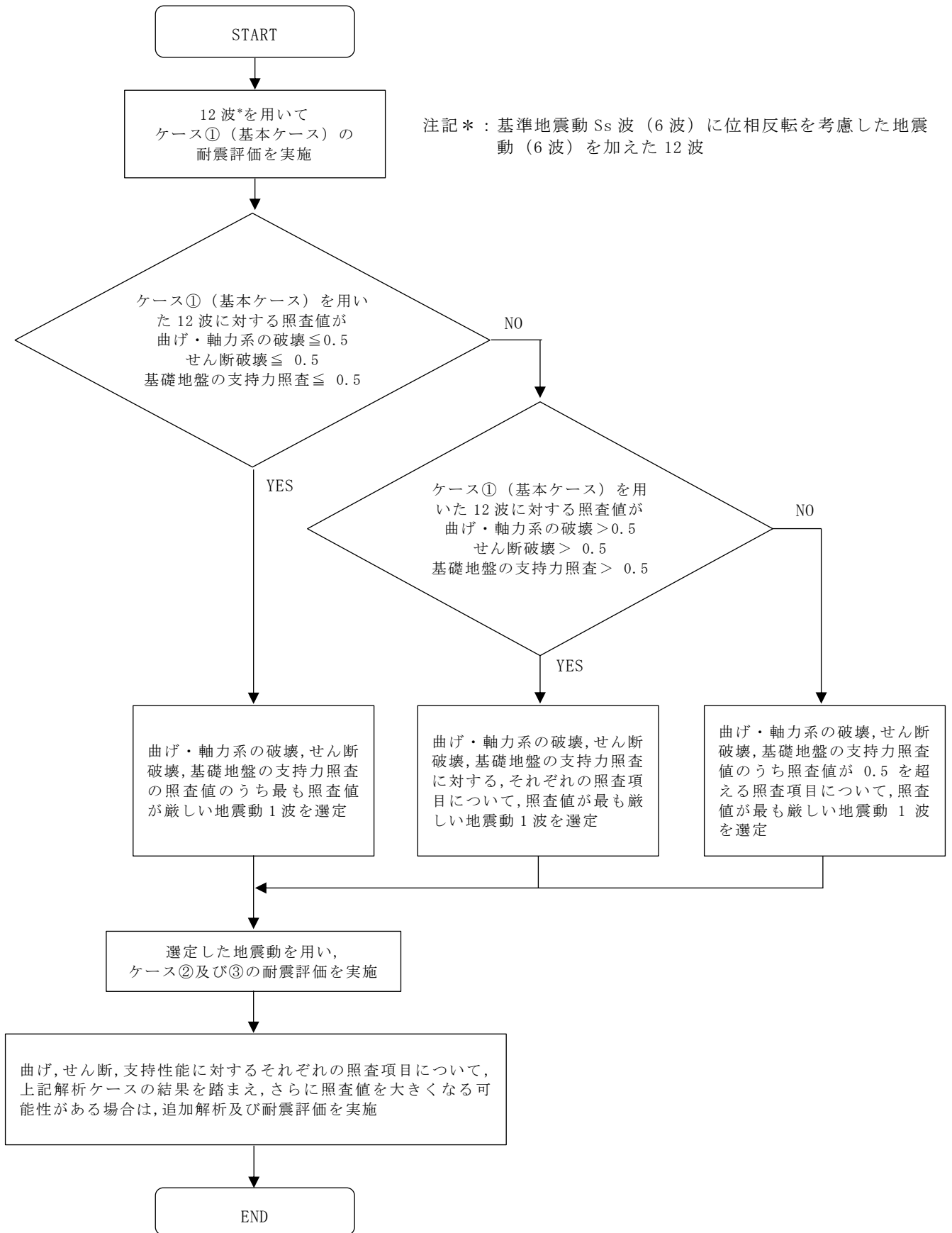


図 3-22 追加解析を実施する地震動の選定フロー

3.5.2 機器・配管系に対する応答加速度抽出のための解析ケース

機器・配管系に対する応答加速度抽出においては、床応答への保守的な配慮として基本ケースに加え表 3-7 に示す解析ケース②及び③を実施する。

表 3-7 機器・配管系の応答加速度抽出のための解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③	
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ)を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ)を考慮した解析ケース	
地盤物性		平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ	
地震動 (位相)	S s - D	++*	○	○	○
		-+*	○	○	○
		+-*	○	○	○
		--*	○	○	○
	S s - F 1	++*	○	○	○
	S s - F 2	++*	○	○	○
	S s - N 1	++*	○	○	○
		-+*	○	○	○
	S s - N 2 (NS)	++*	○	○	○
		-+*	○	○	○
	S s - N 2 (EW)	++*	○	○	○
		-+*	○	○	○

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。

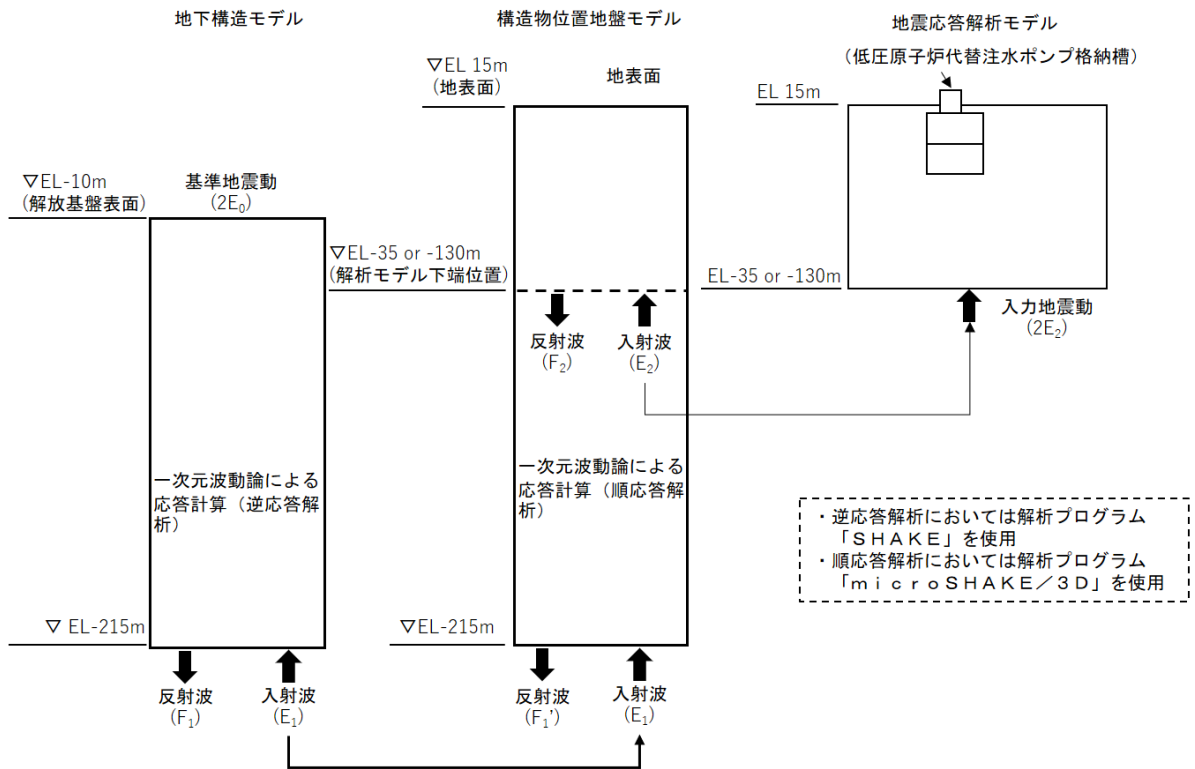
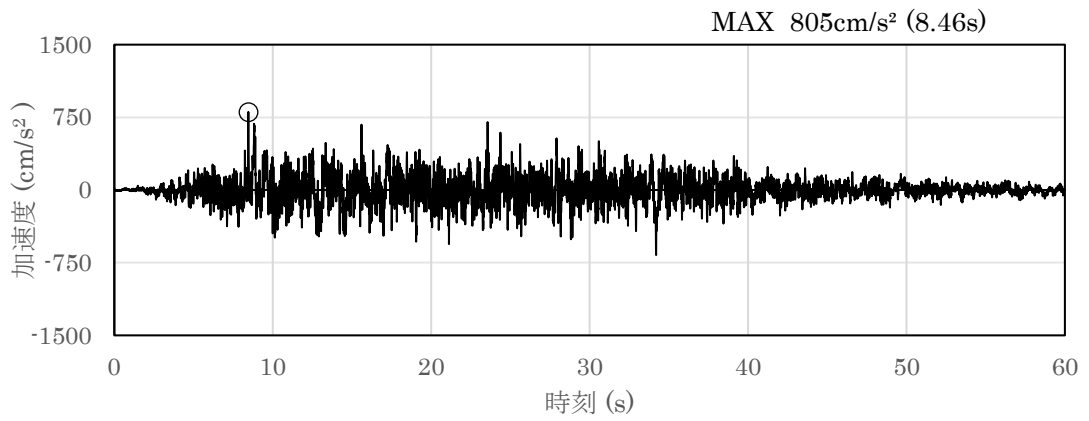


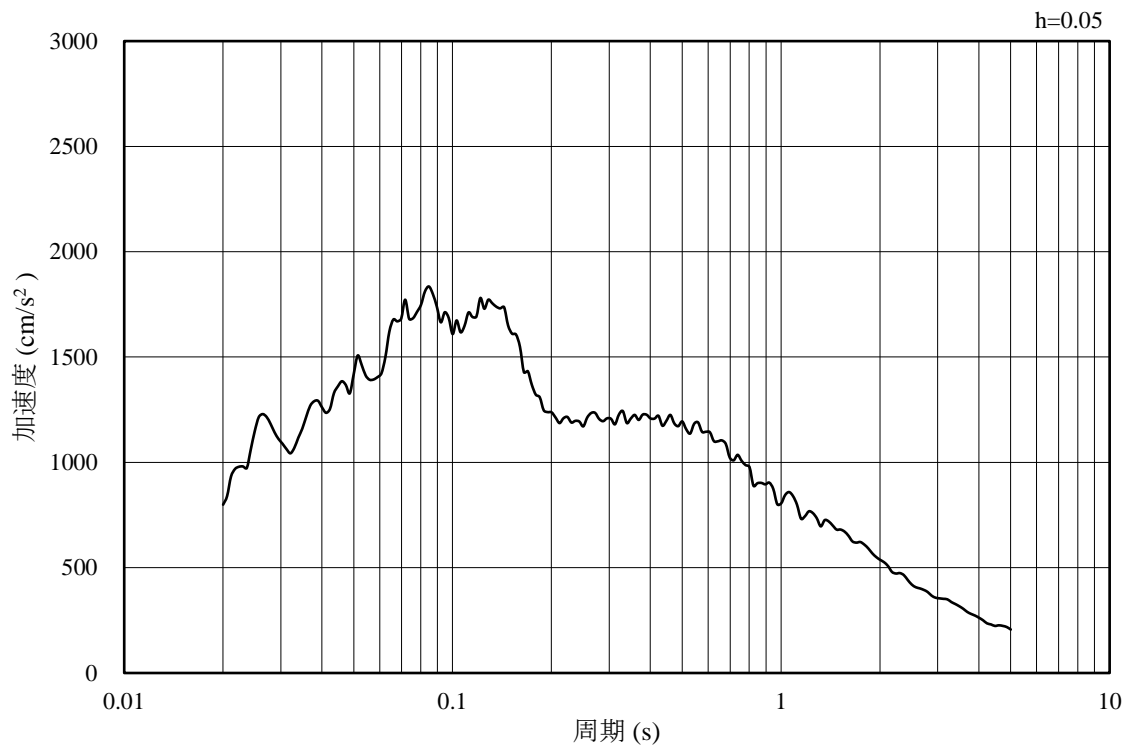
図4-1 入力地震動算定の概念図

4.1.1 A-A断面及びB-B断面の入力地震動

図4-2～図4-13にA-A断面及び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。

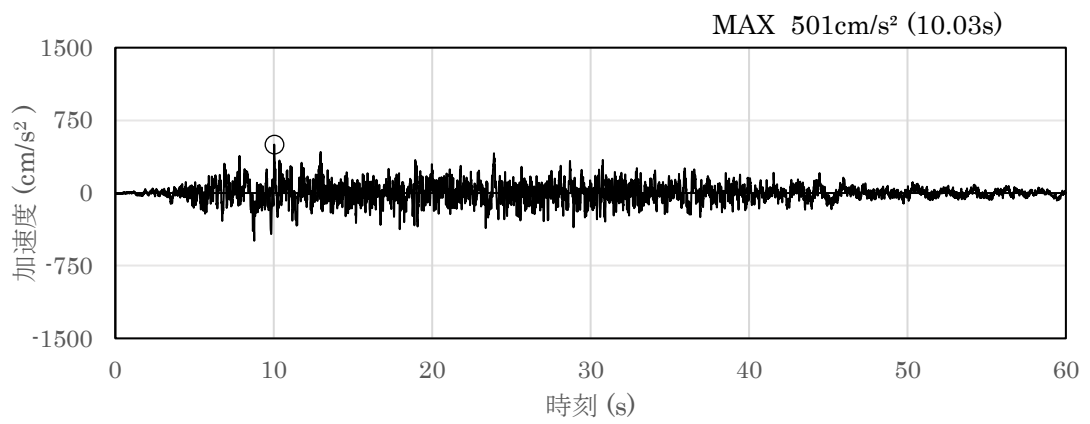


(a) 加速度時刻歴波形

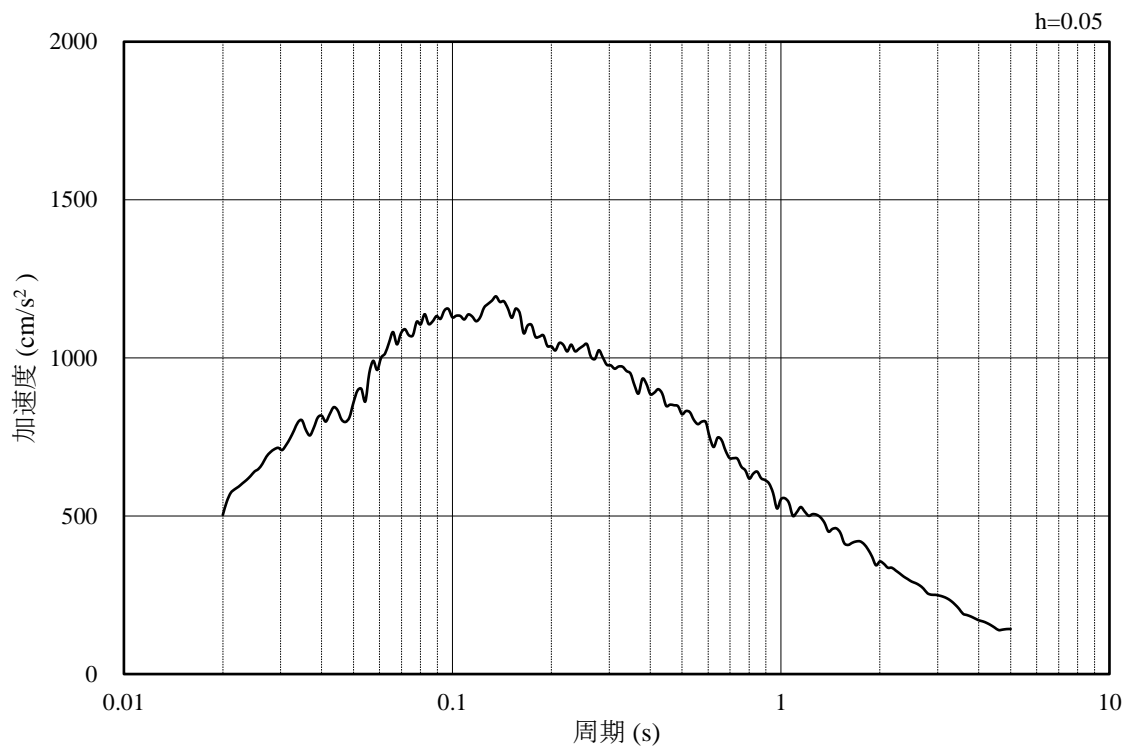


(b) 加速度応答スペクトル

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, EL-130m)

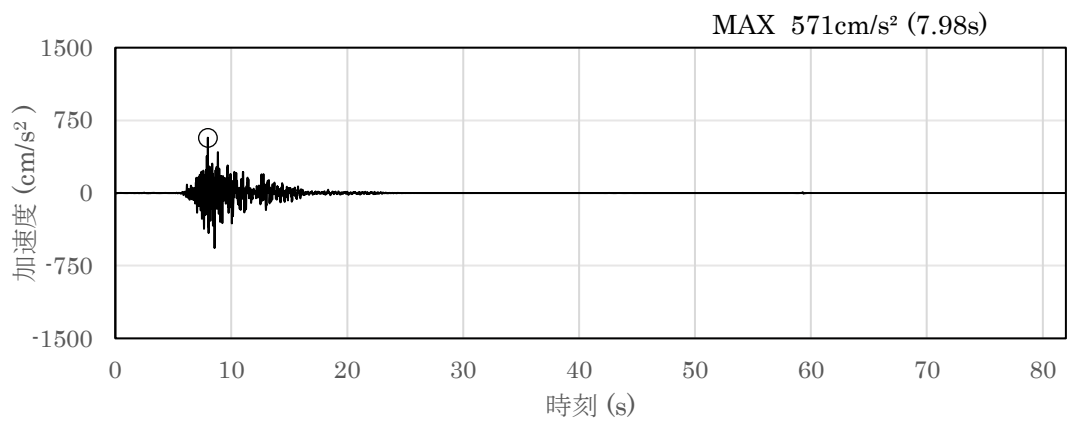


(a) 加速度時刻歴波形

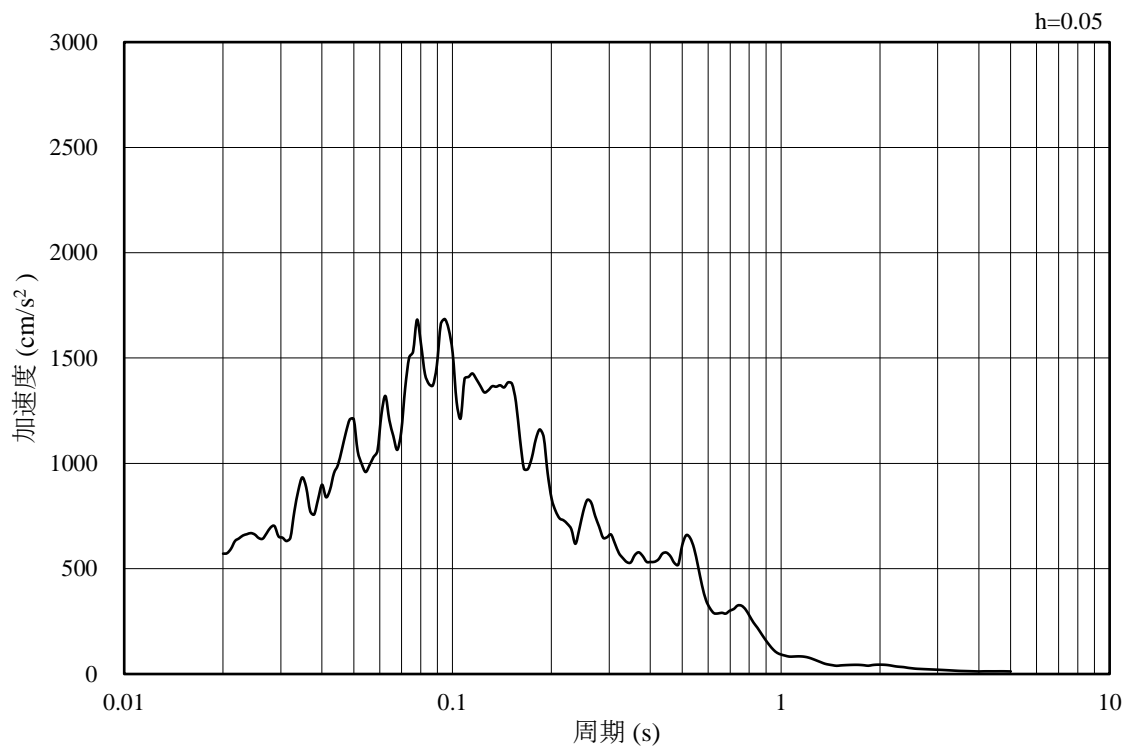


(b) 加速度応答スペクトル

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, EL-130m)

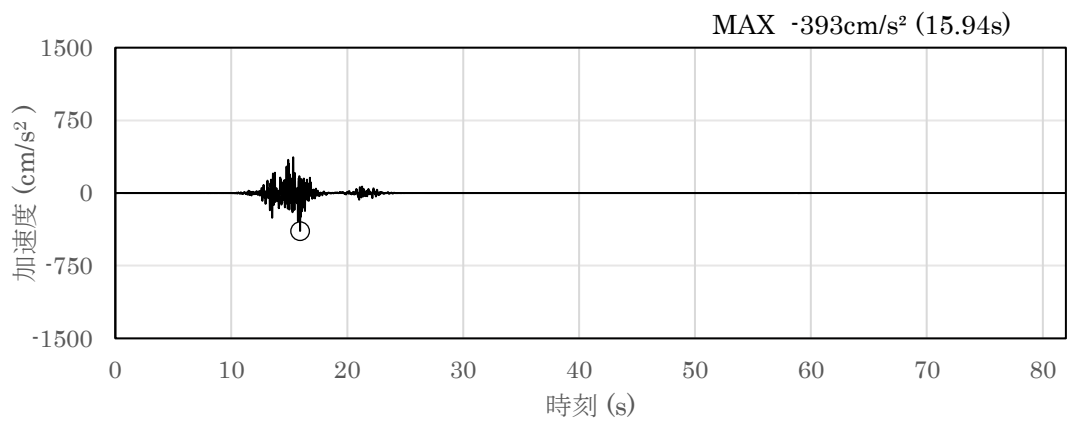


(a) 加速度時刻歴波形

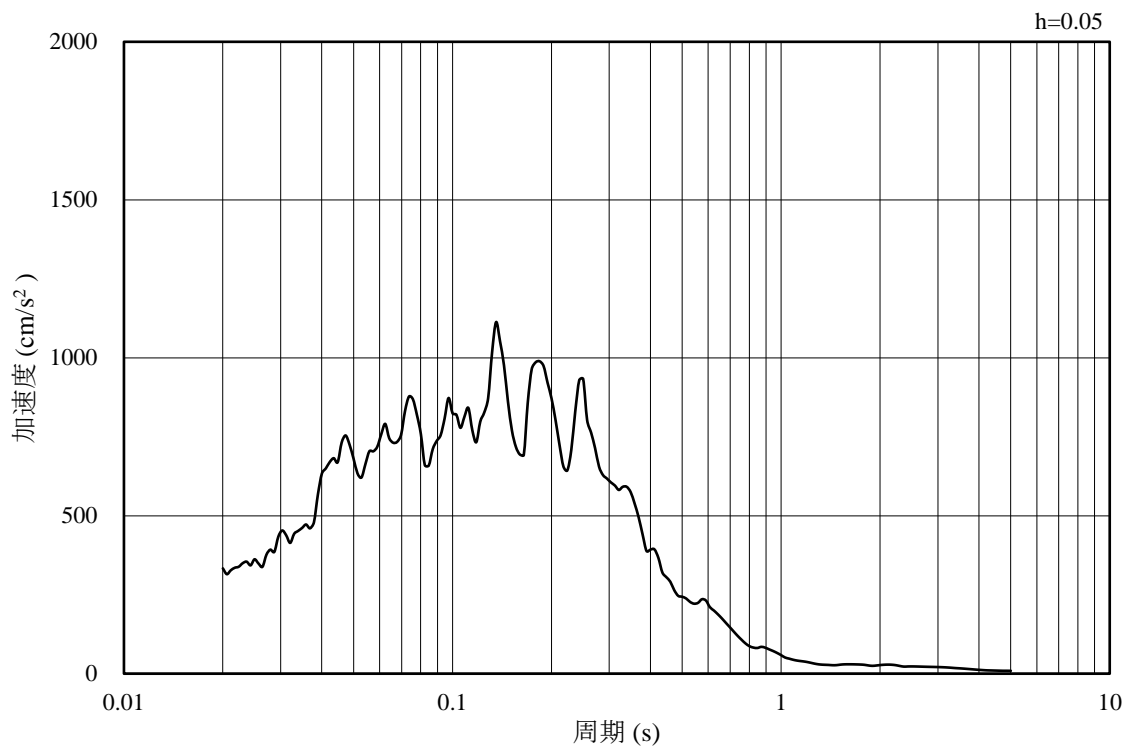


(b) 加速度応答スペクトル

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, EL-130m)

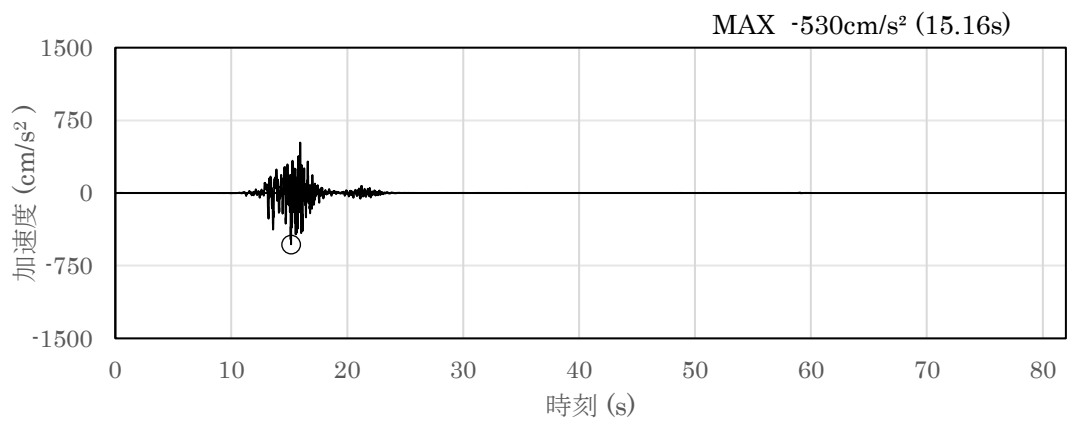


(a) 加速度時刻歴波形

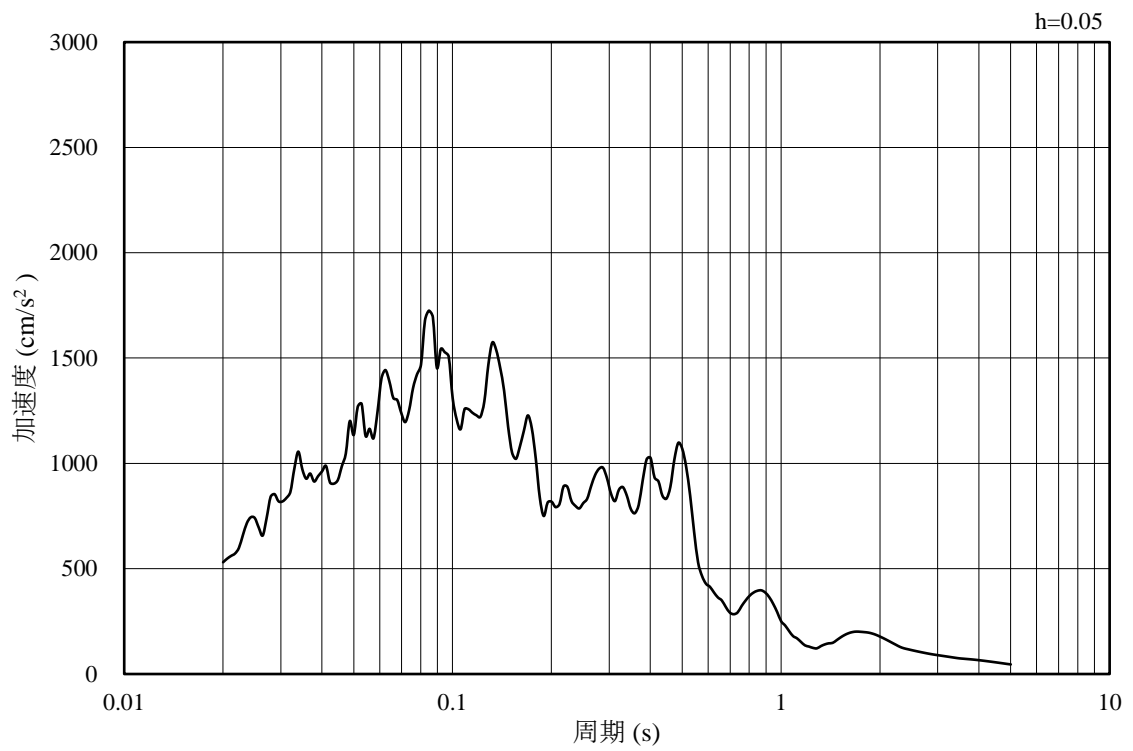


(b) 加速度応答スペクトル

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, EL-130m)

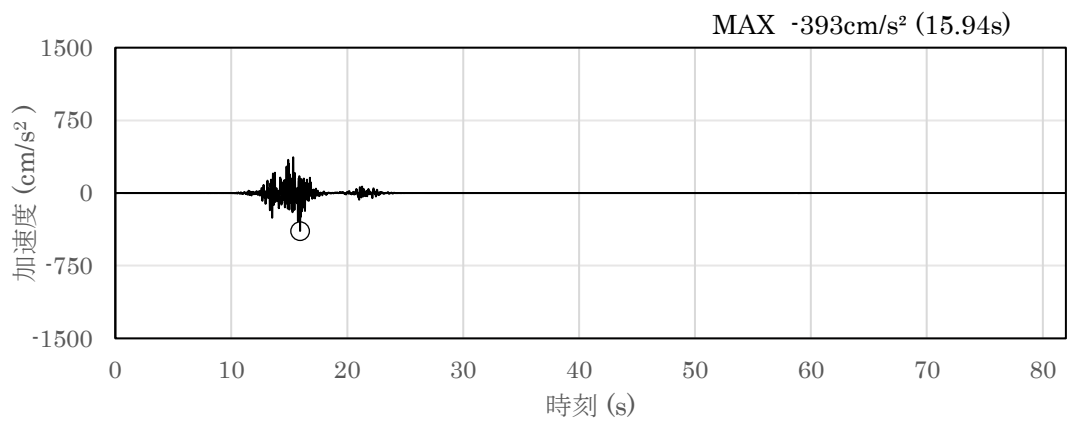


(a) 加速度時刻歴波形

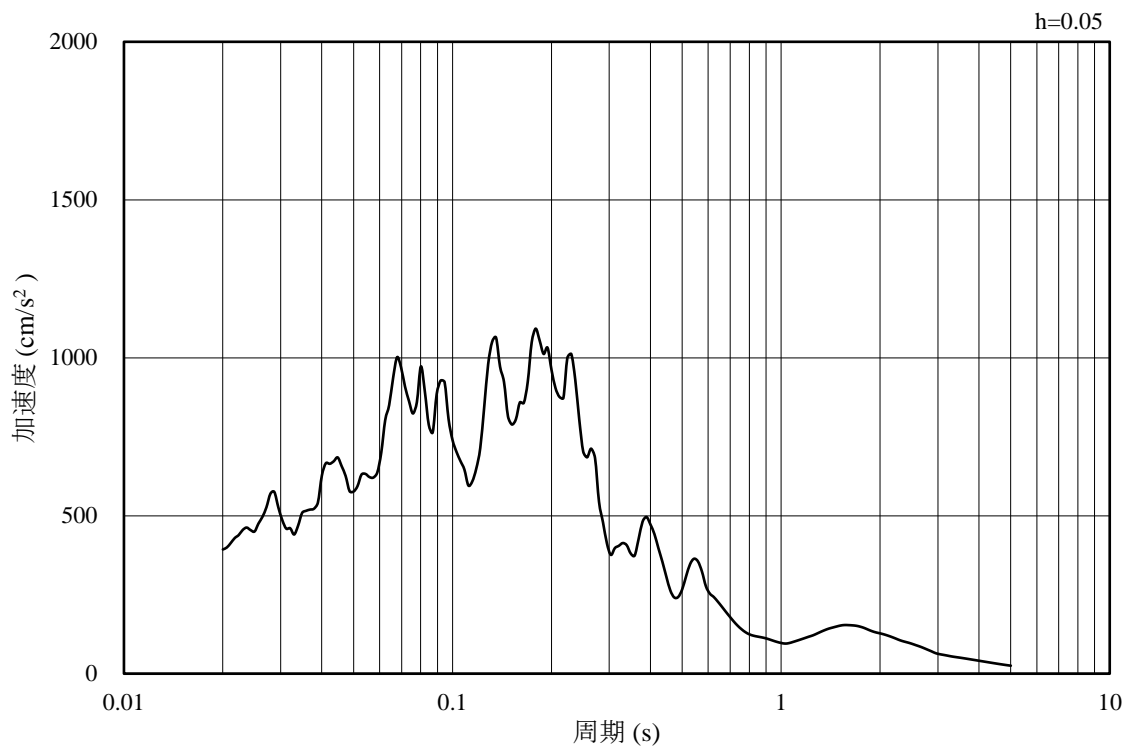


(b) 加速度応答スペクトル

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, EL-130m)

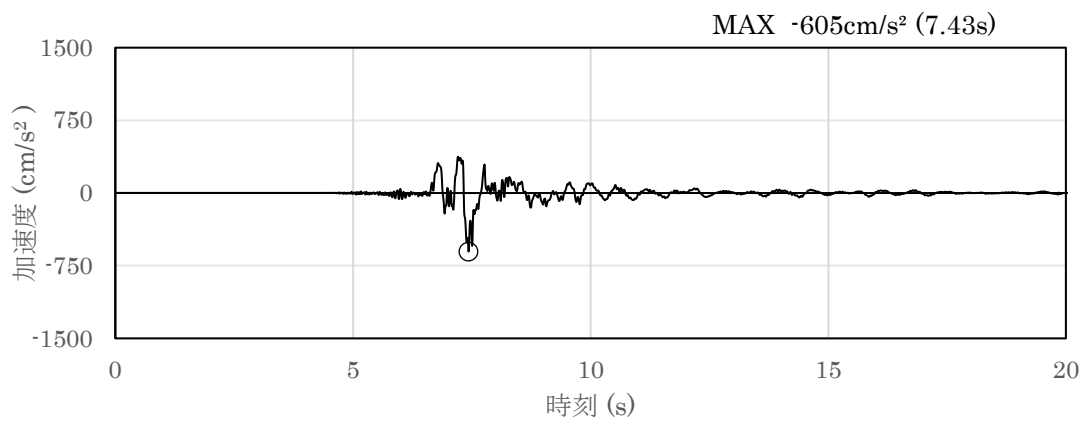


(a) 加速度時刻歴波形

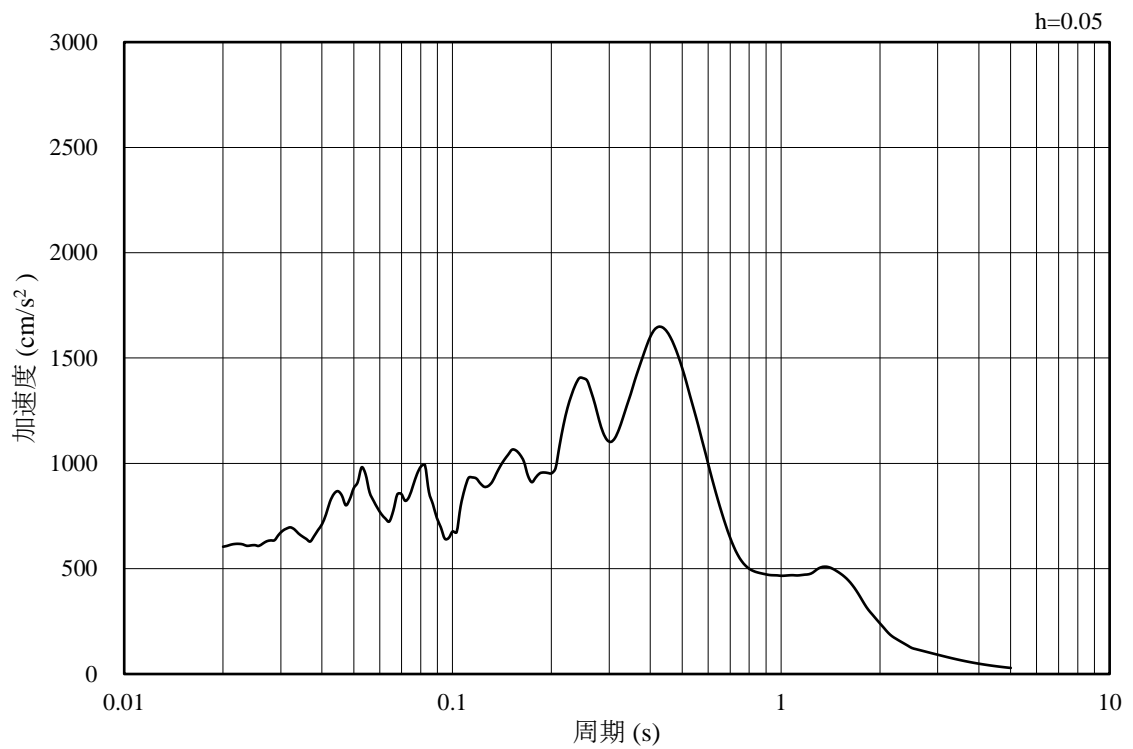


(b) 加速度応答スペクトル

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, EL-130m)

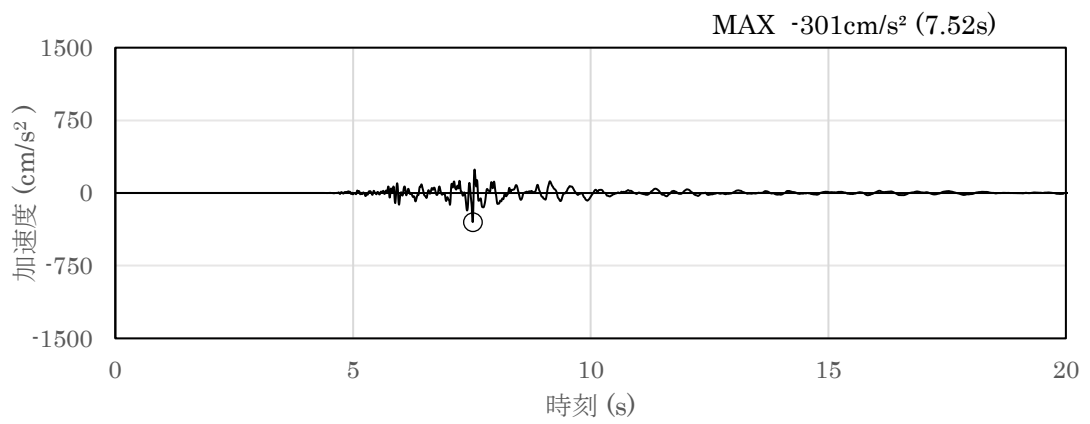


(a) 加速度時刻歴波形

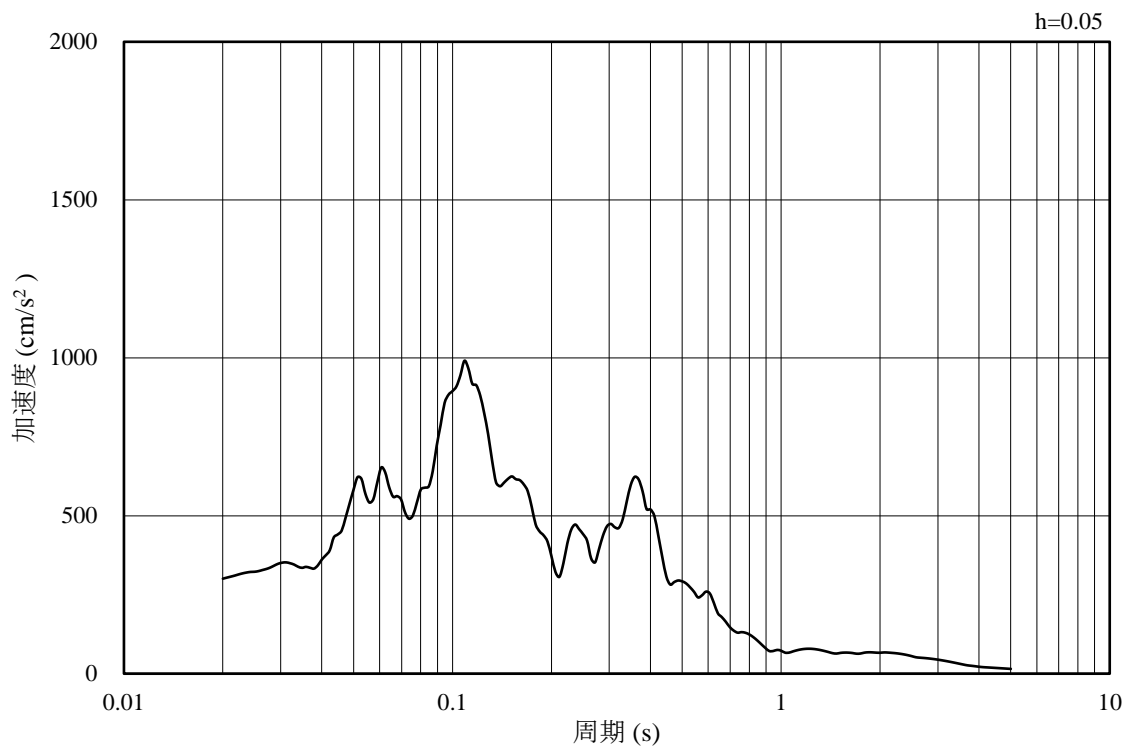


(b) 加速度応答スペクトル

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, EL-130m)

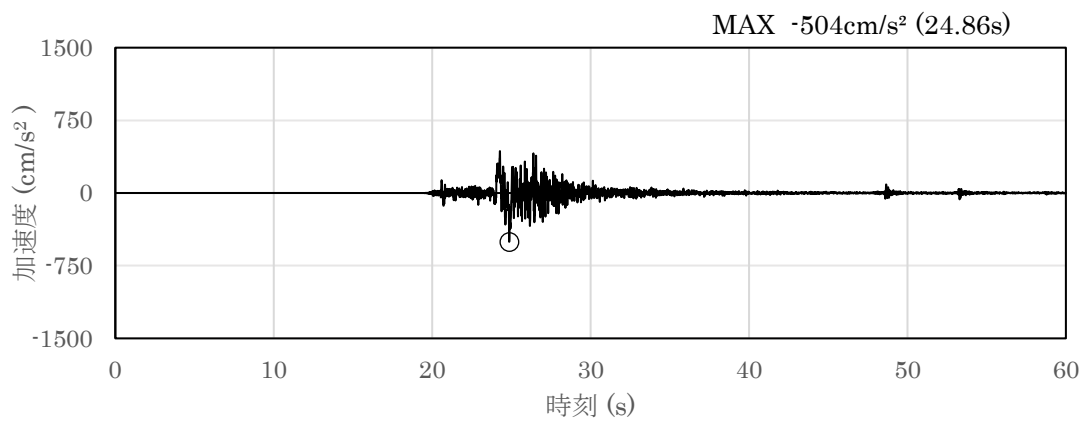


(a) 加速度時刻歴波形

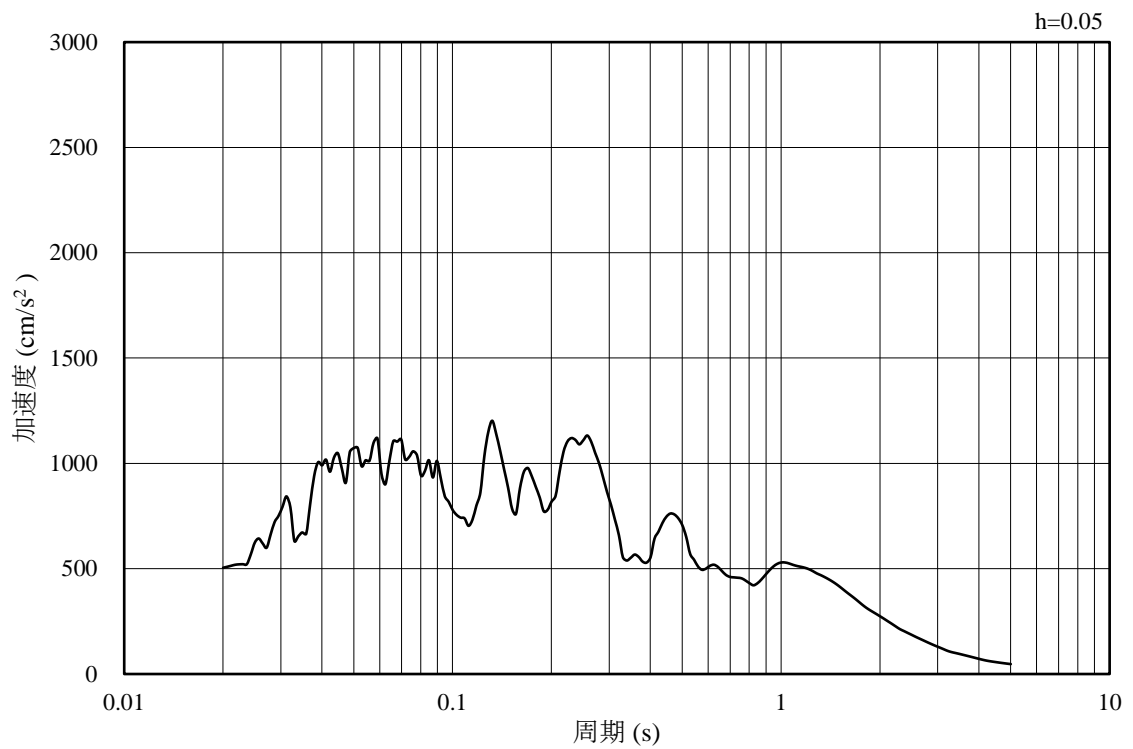


(b) 加速度応答スペクトル

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, EL-130m)

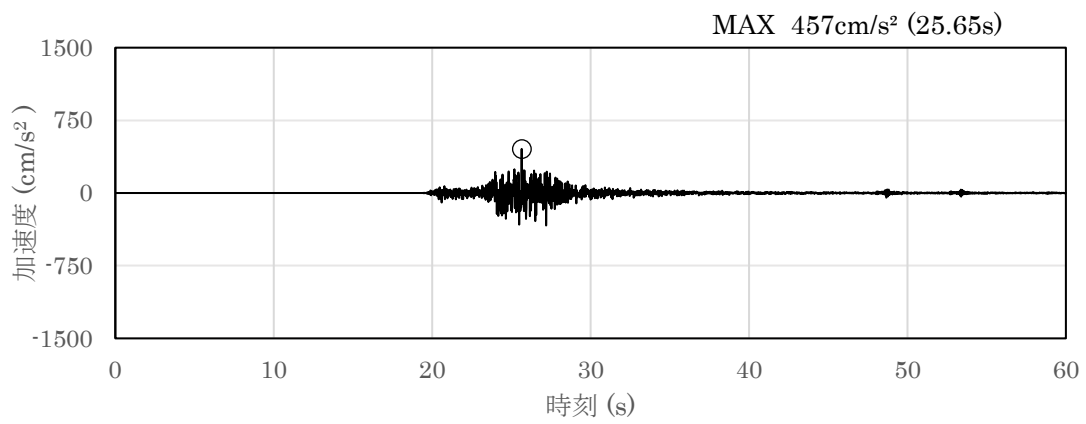


(a) 加速度時刻歴波形

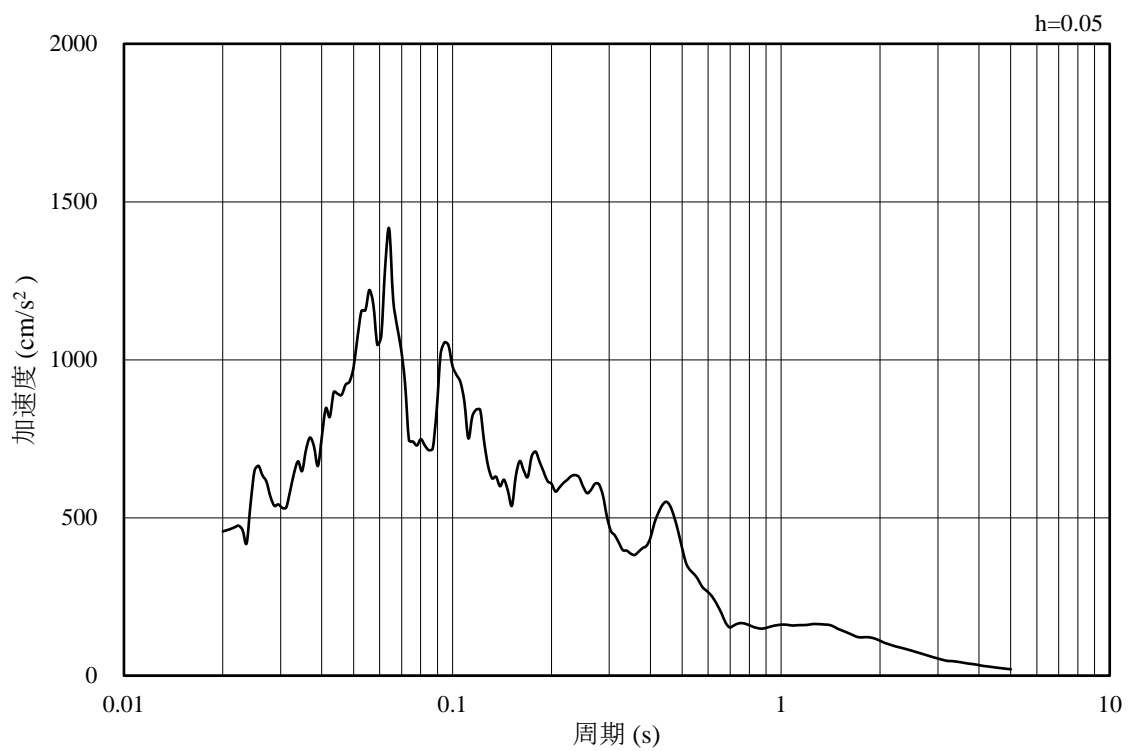


(b) 加速度応答スペクトル

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 方向, EL-130m)

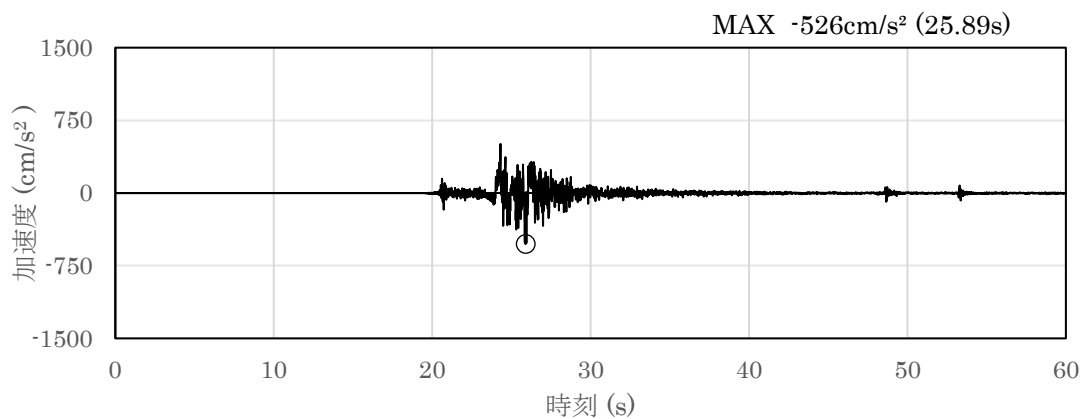


(a) 加速度時刻歴波形

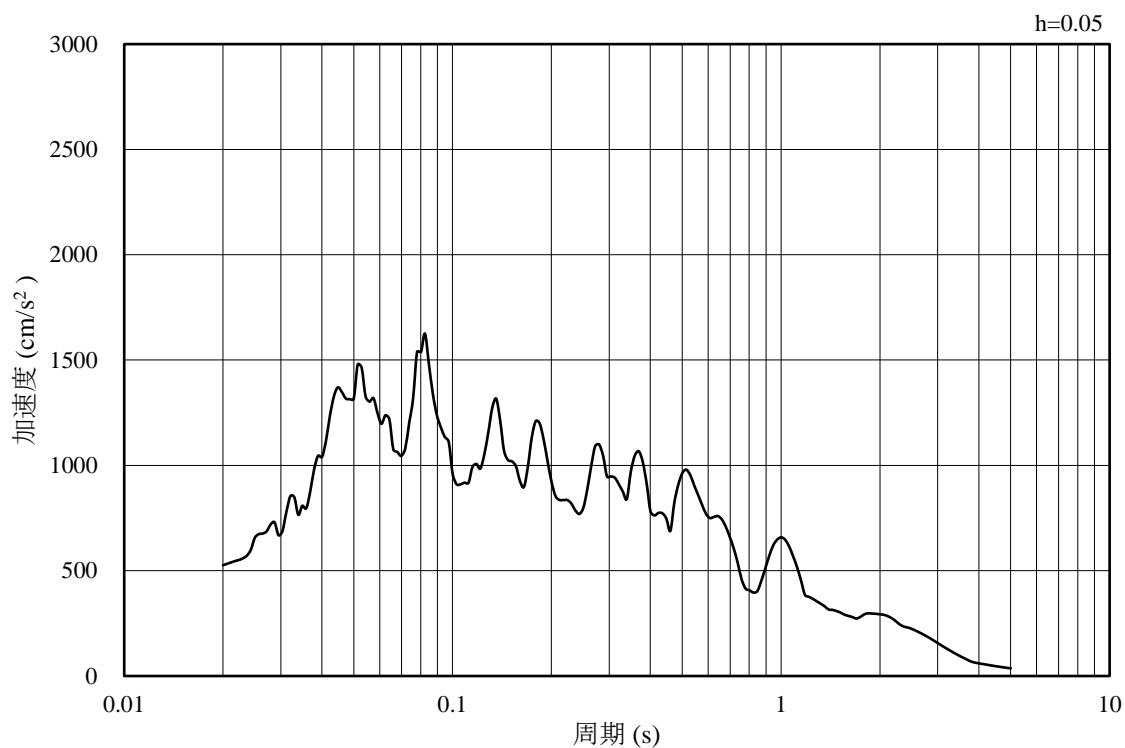


(b) 加速度応答スペクトル

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 方向, EL-130m)

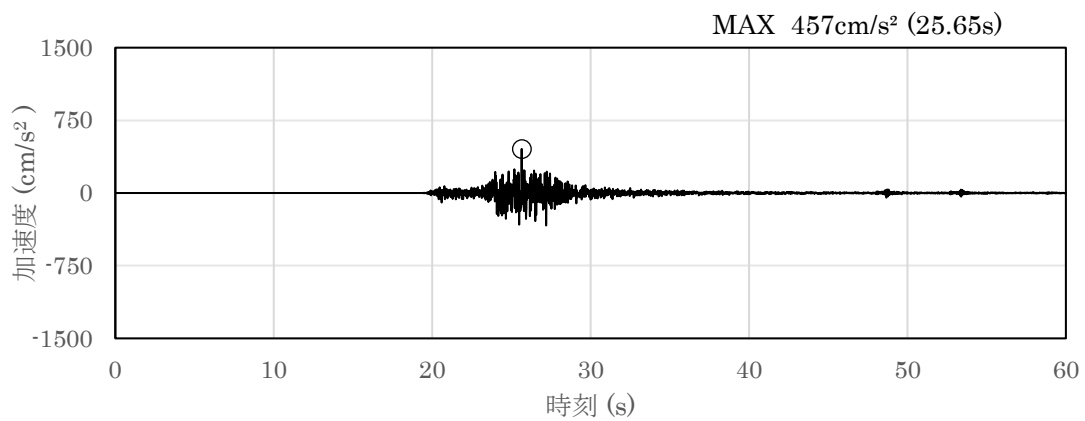


(a) 加速度時刻歴波形

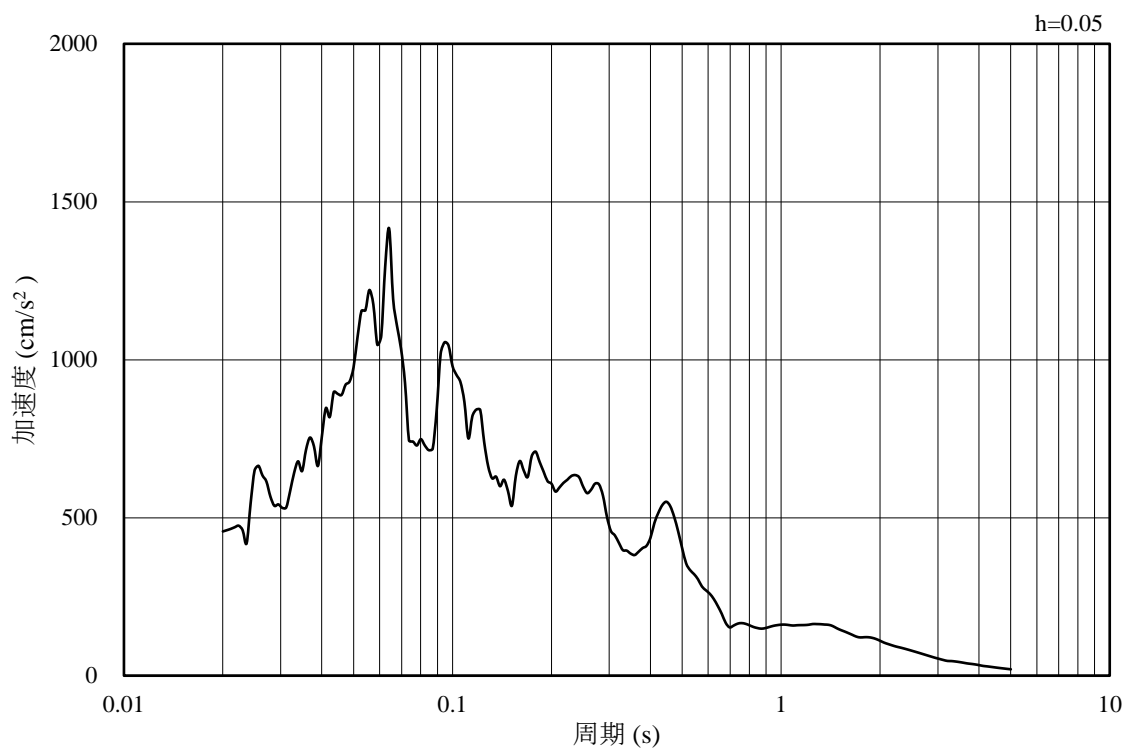


(b) 加速度応答スペクトル

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方向, EL-130m)



(a) 加速度時刻歴波形

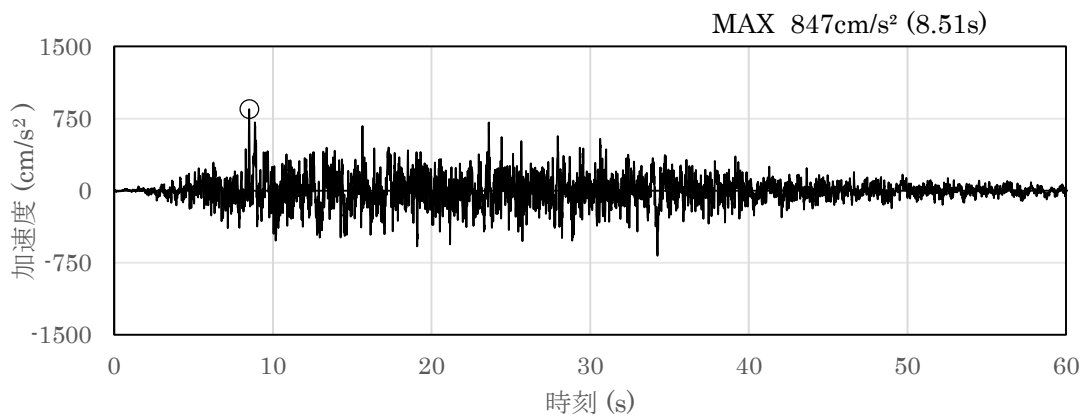


(b) 加速度応答スペクトル

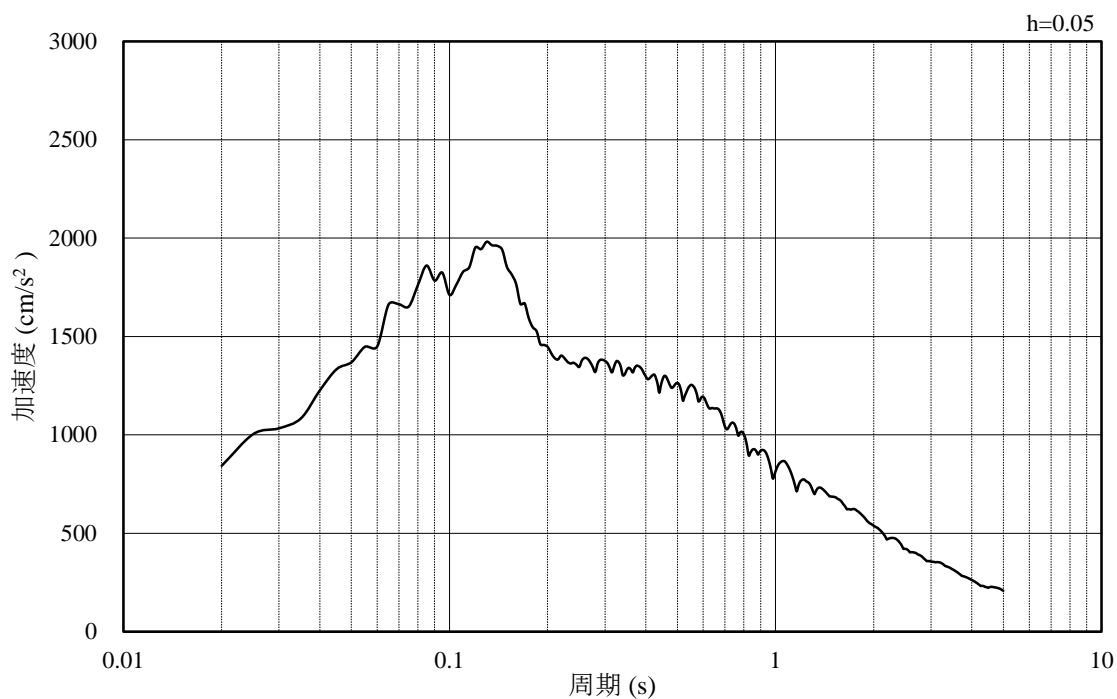
図 4-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2, E W方向, EL-130m)

4.1.2 C-C断面の入力地震動

図4-14～図4-25にC-C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。

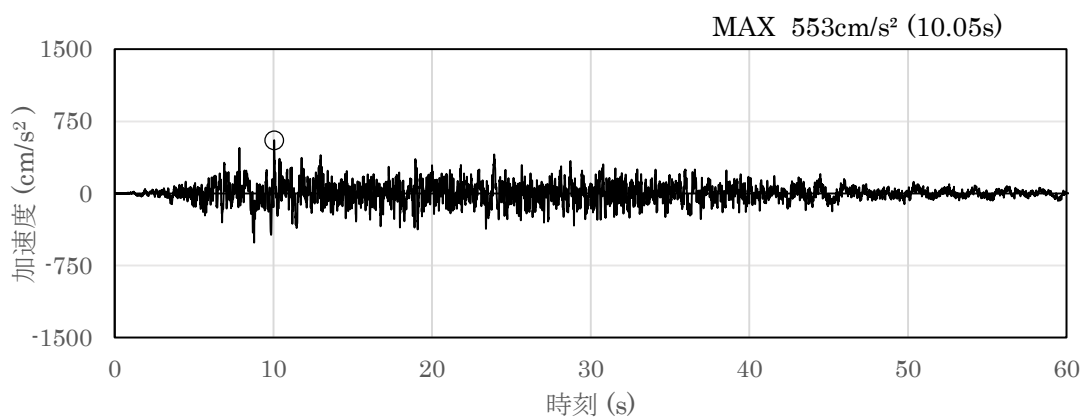


(a) 加速度時刻歴波形

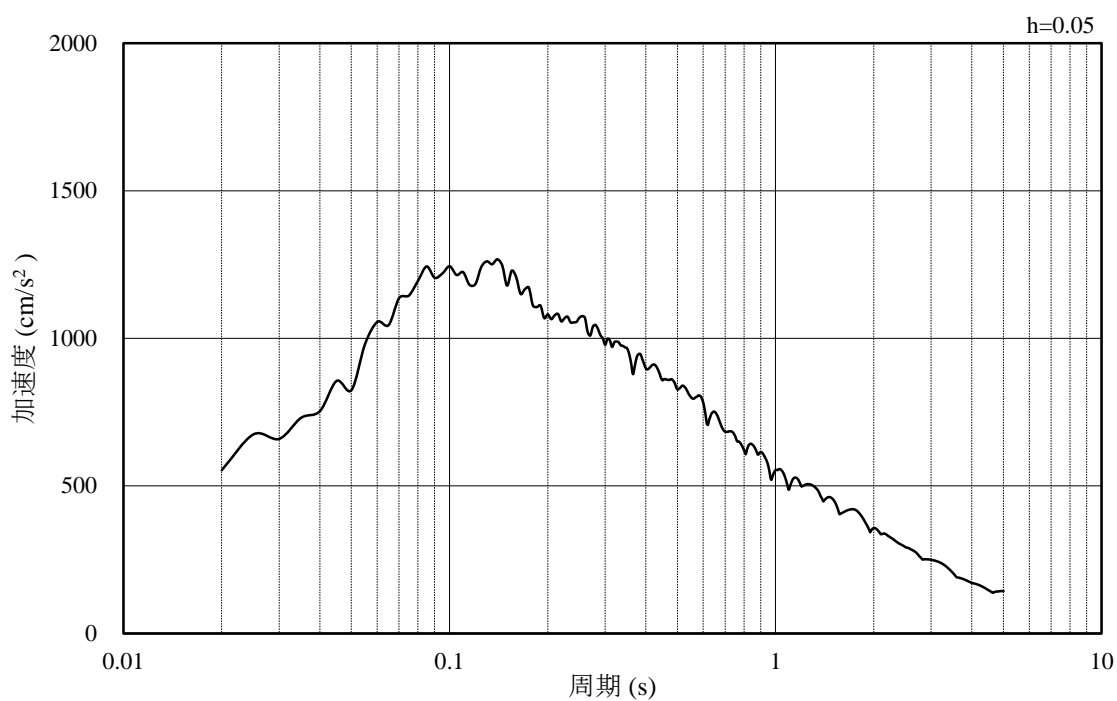


(b) 加速度応答スペクトル

図4-14 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, EL-35m)

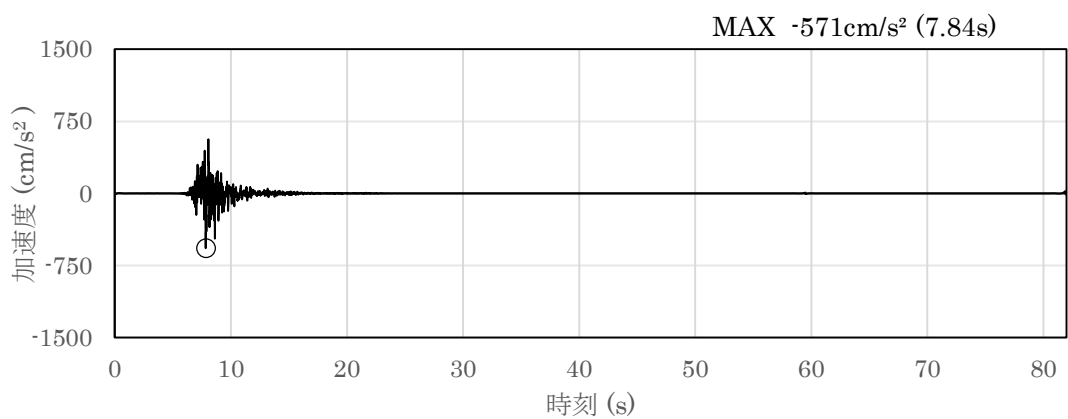


(a) 加速度時刻歴波形

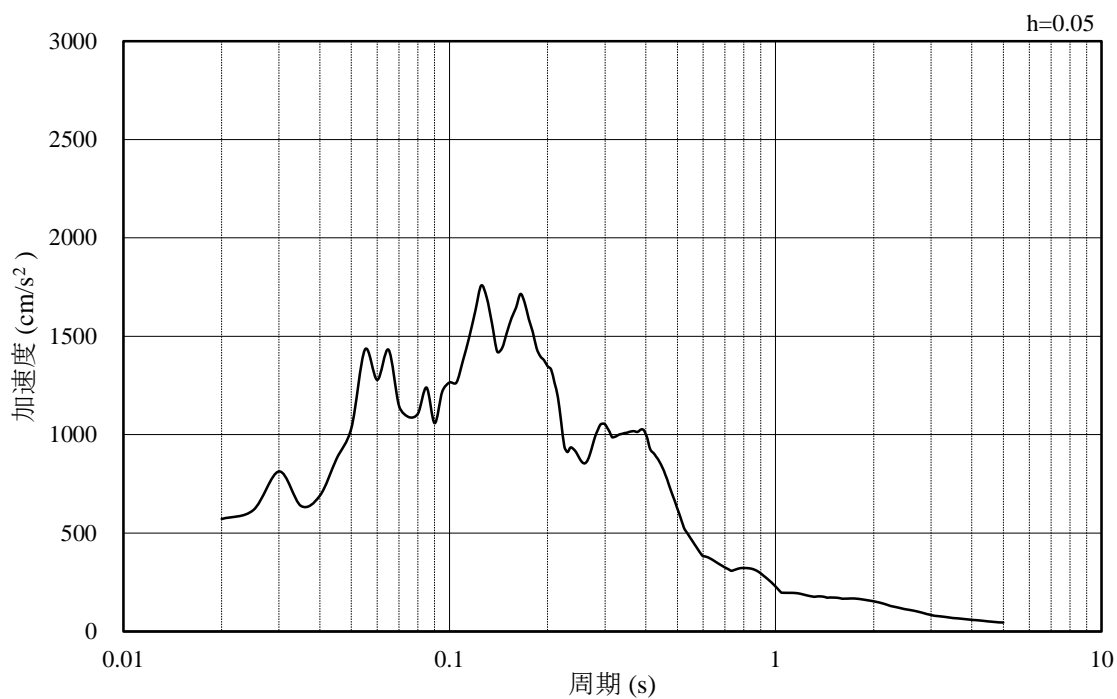


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-15 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, EL-35m)

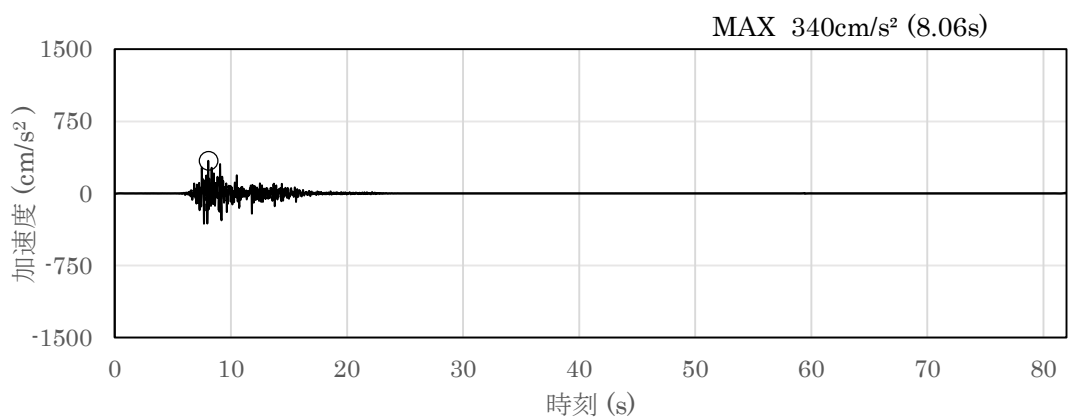


(a) 加速度時刻歴波形

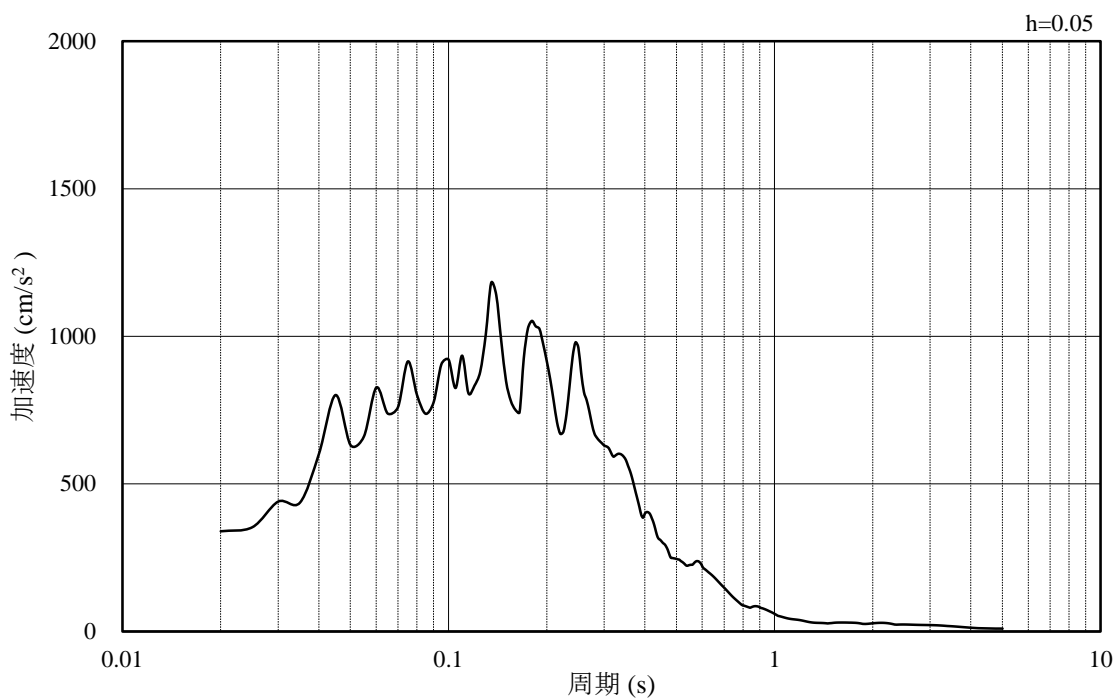


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-16 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 , EL-35m)

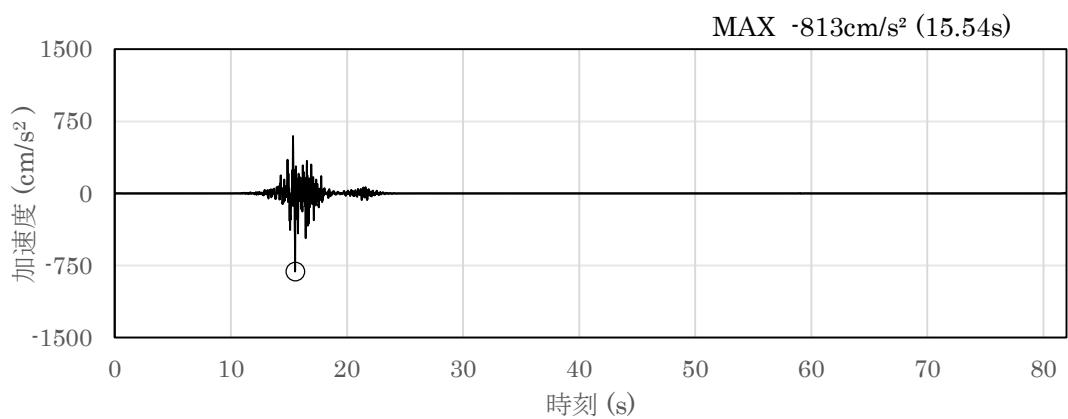


(a) 加速度時刻歴波形

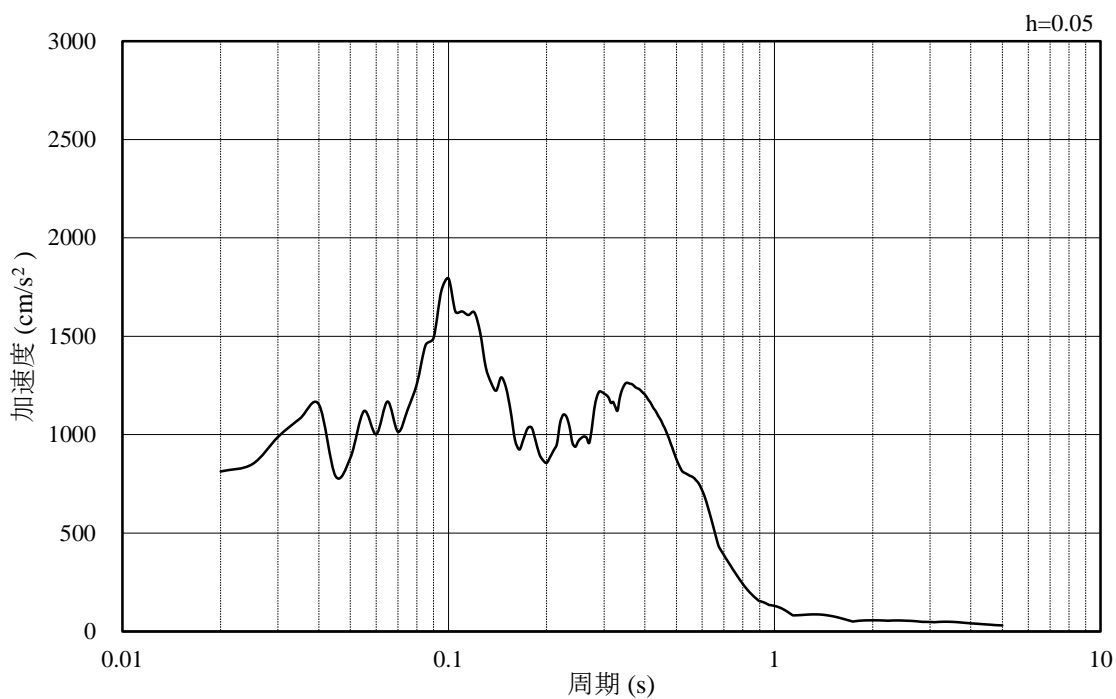


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-17 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-F1, EL-35m)

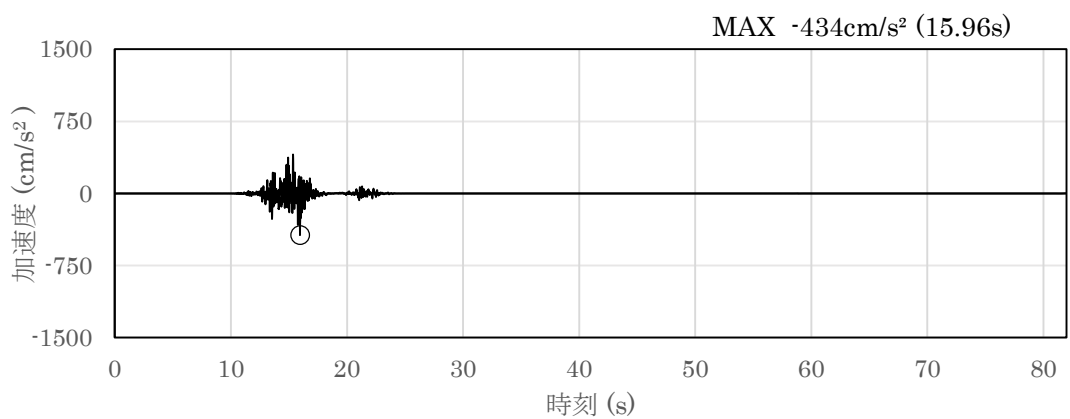


(a) 加速度時刻歴波形

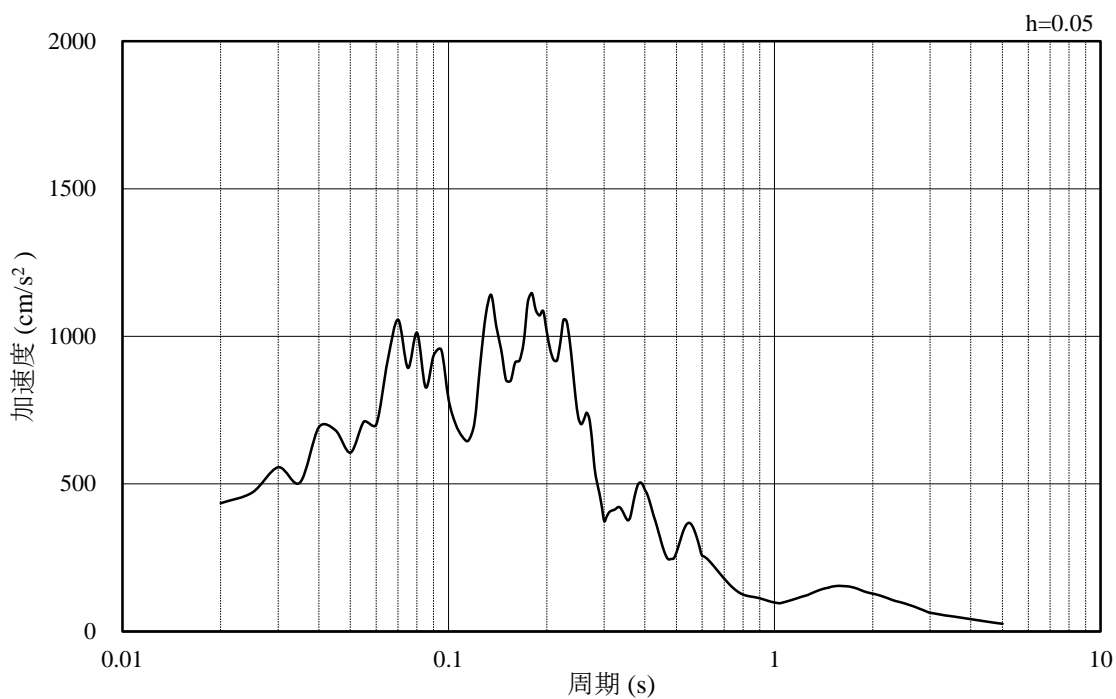


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-18 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-F2, EL-35m)

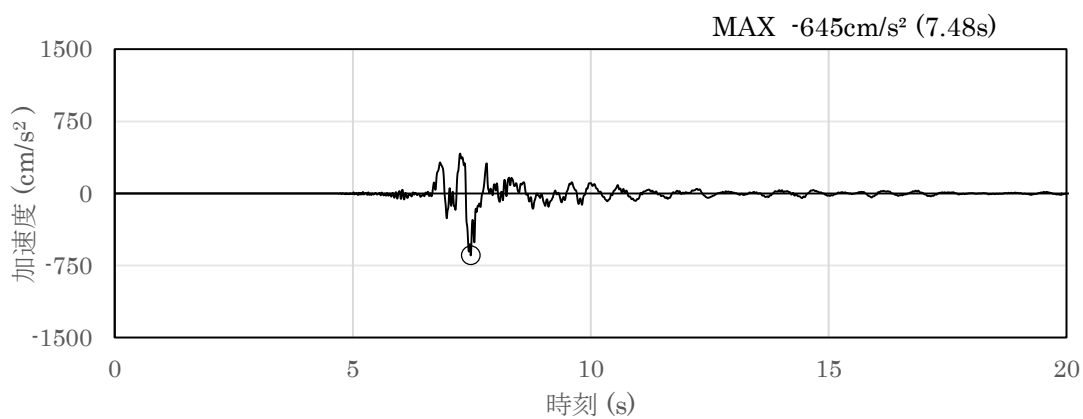


(a) 加速度時刻歴波形

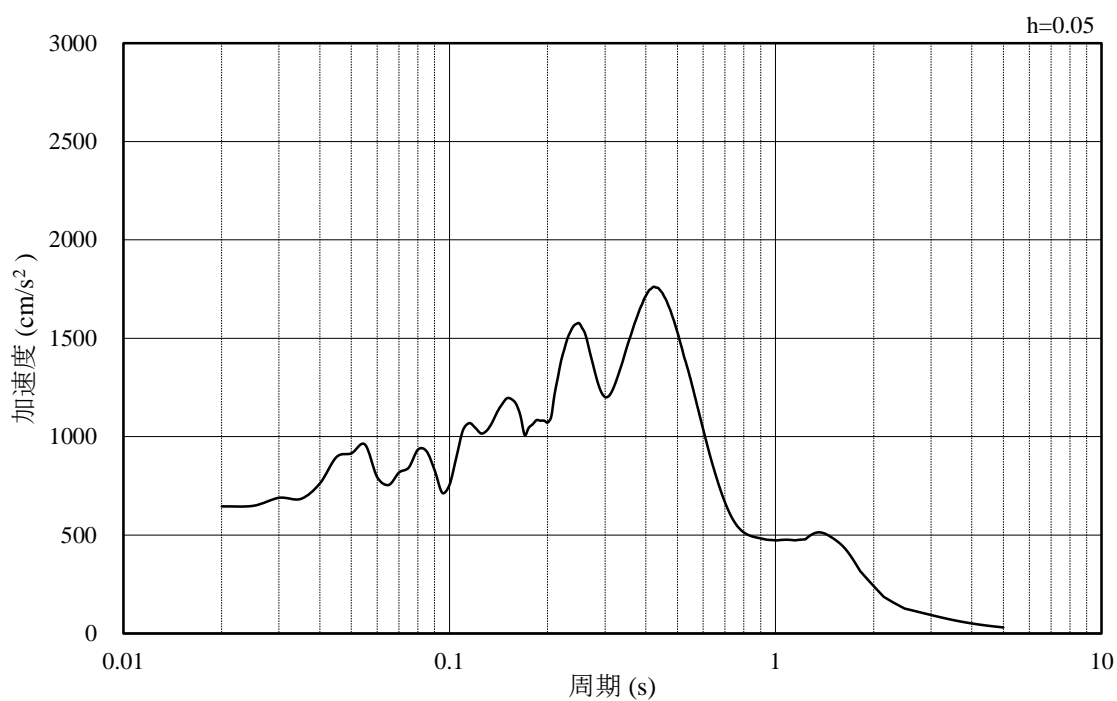


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-19 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-F2, EL-35m)

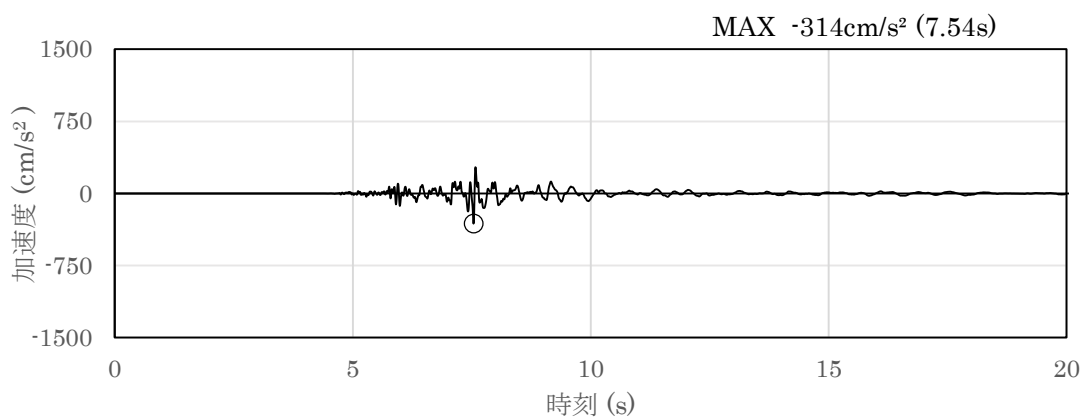


(a) 加速度時刻歴波形

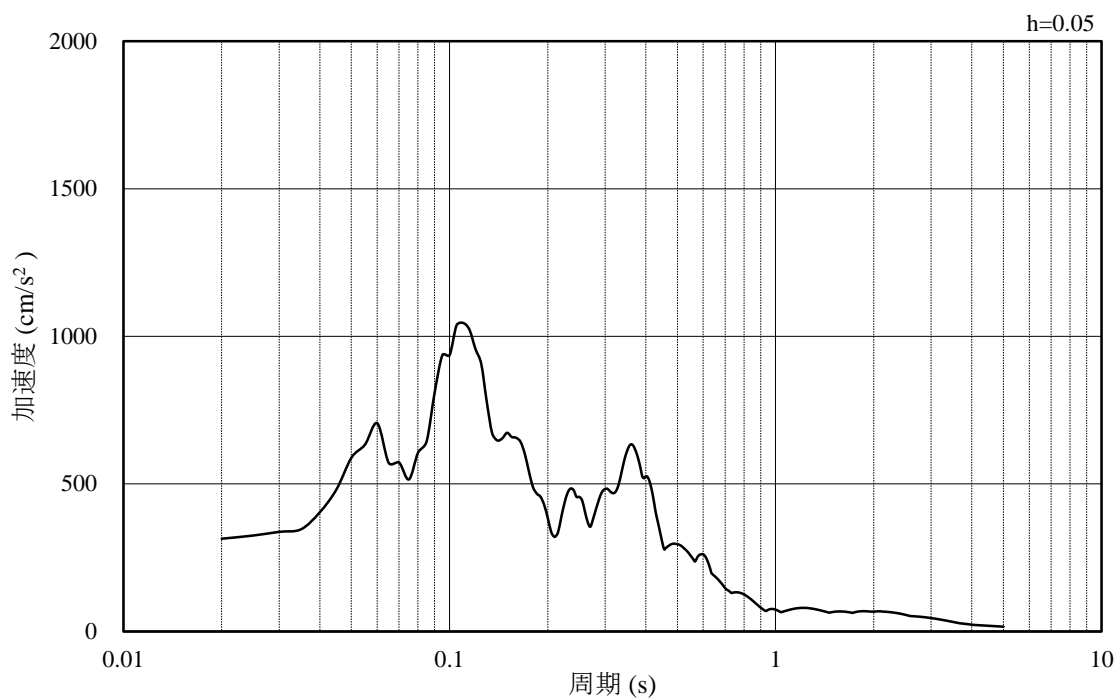


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-20 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 , EL-35m)

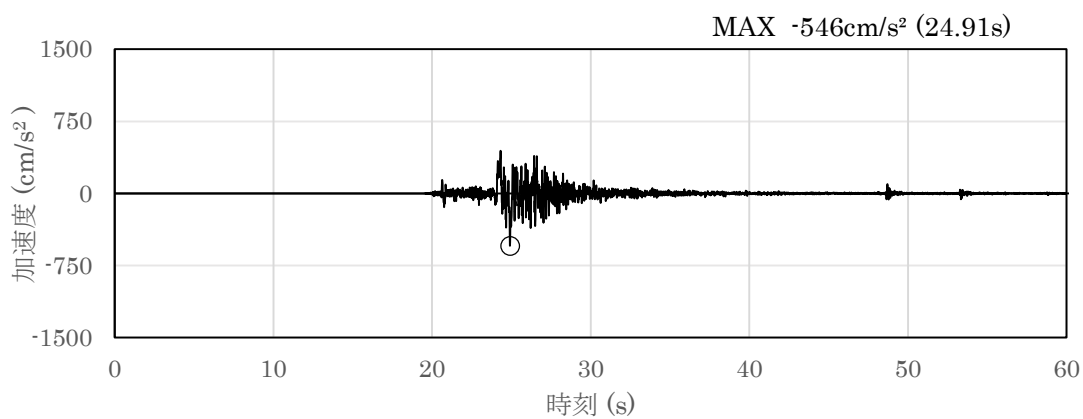


(a) 加速度時刻歴波形

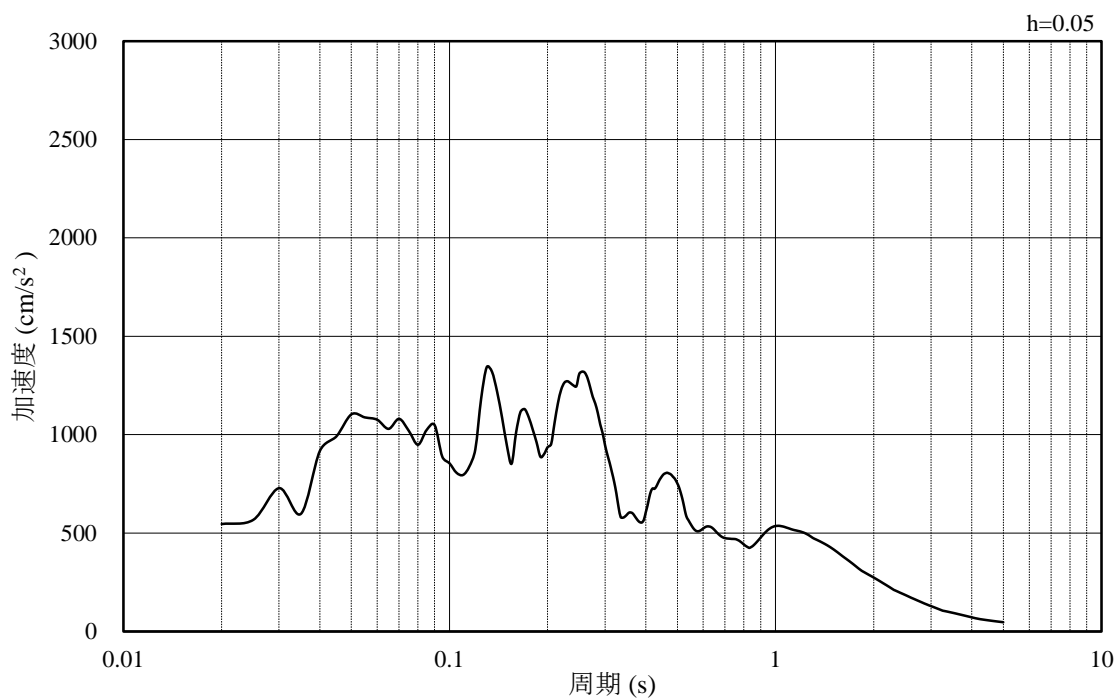


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-21 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, EL-35m)

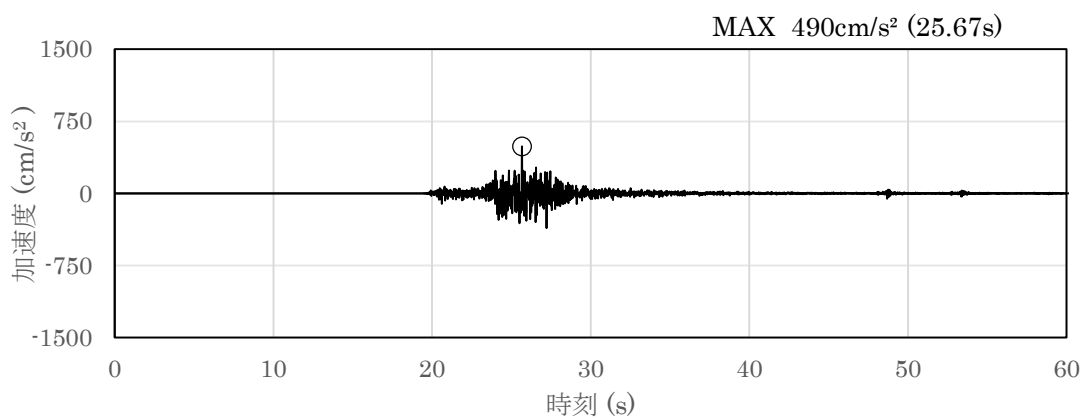


(a) 加速度時刻歴波形

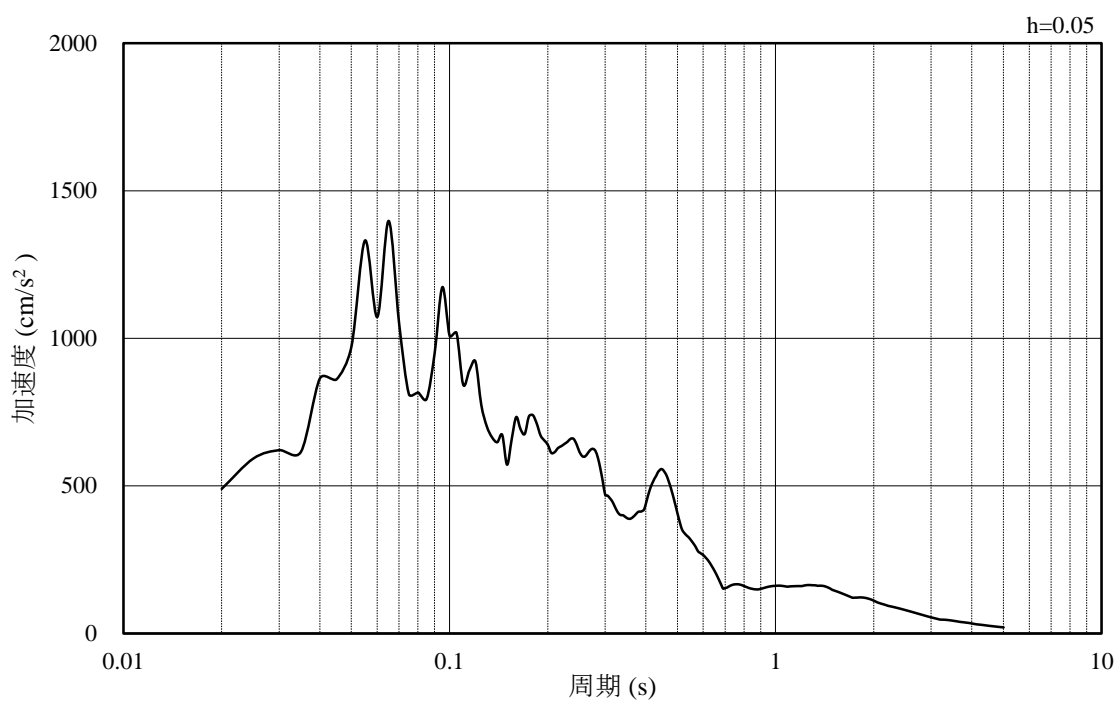


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-22 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 方向 , EL-35m)

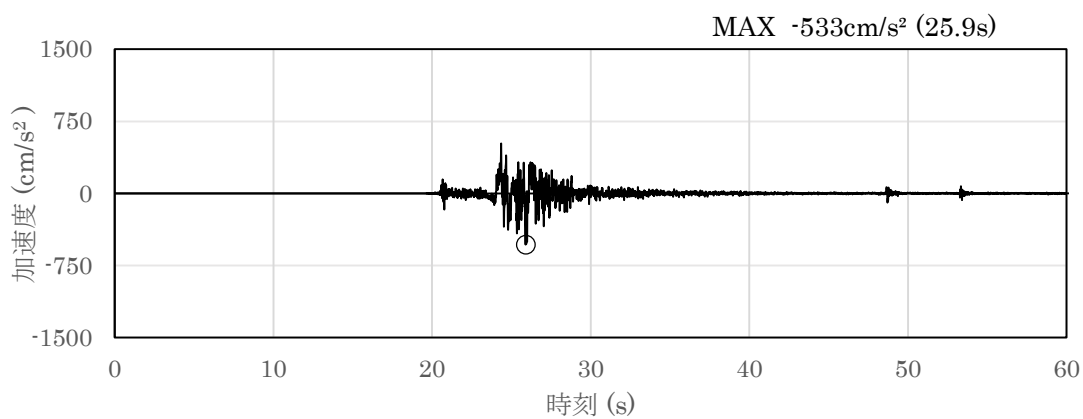


(a) 加速度時刻歴波形

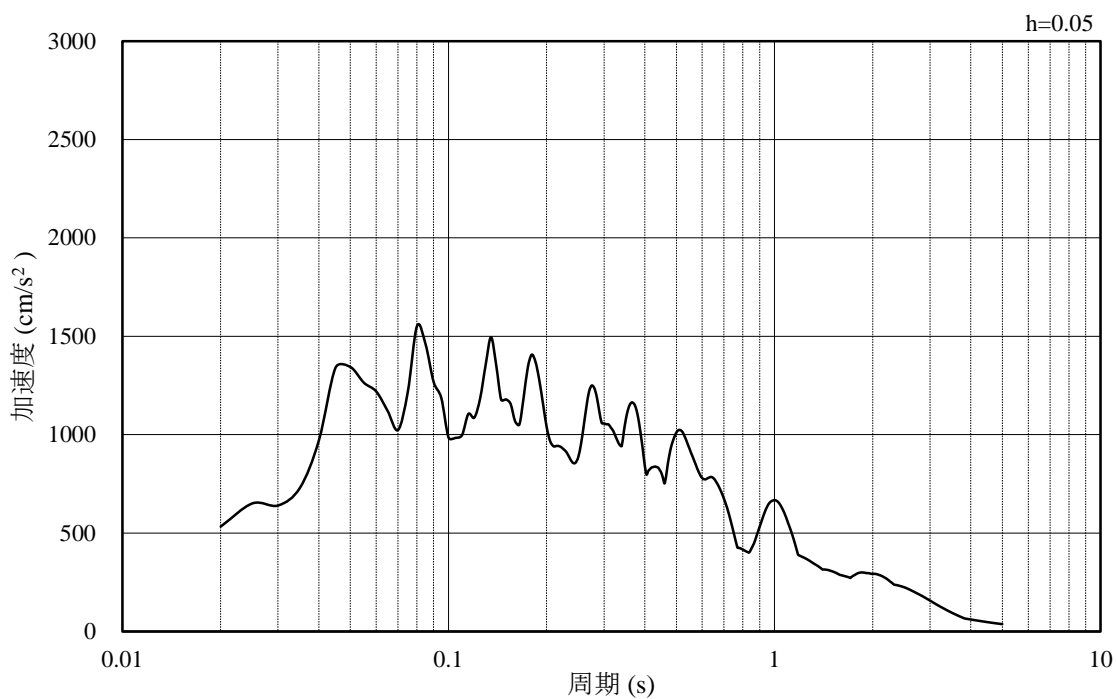


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-23 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-N₂，NS方向，EL-35m)

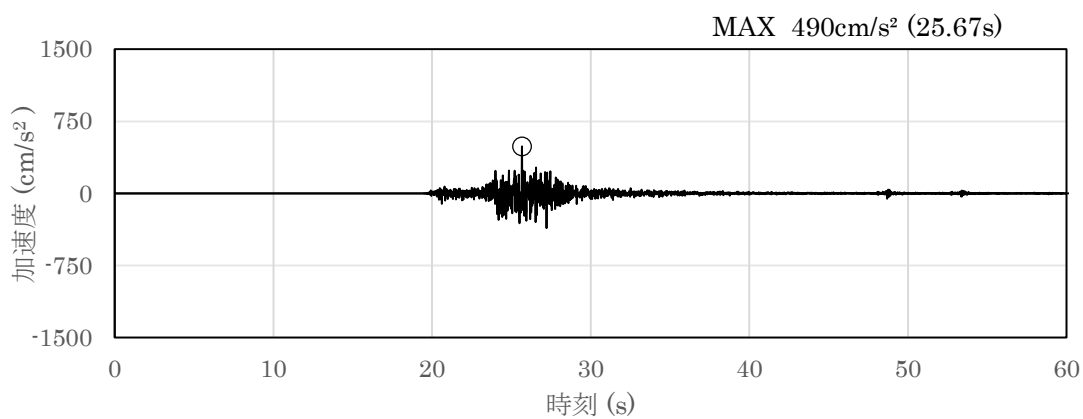


(a) 加速度時刻歴波形

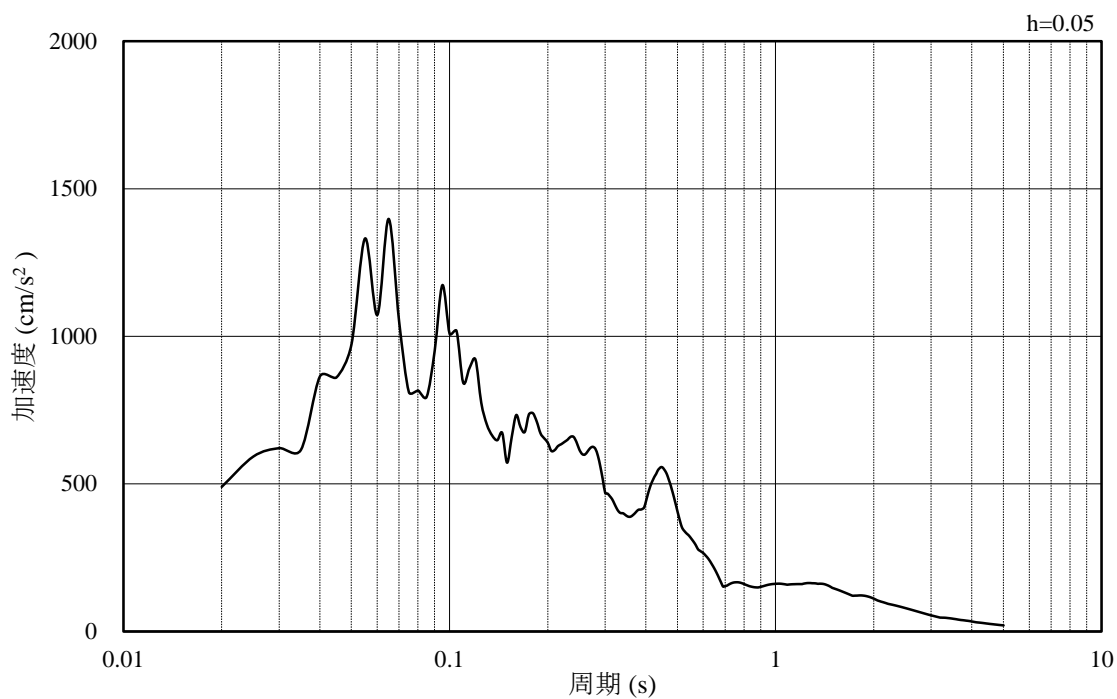


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-24 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方向, EL-35m)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 4-25 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方向, EL-35m)

4.2 許容限界の設定

屋外重要土木建造物の耐震安全性評価は、「補足-026-01 屋外重要土木建造物の耐震安全性評価について」のうち「2. 屋外重要土木建造物の要求機能と要求機能に対する耐震評価内容」に示すとおり、各建造物の要求機能と要求機能に応じた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、原子力発電所屋外重要土木建造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）（以下「土木学会マニュアル」という。）に基づき、限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ1.0%）とする。

土木学会マニュアルでは、曲げ・軸力系の破壊に対する限界状態は、コンクリートの圧縮縁のかぶりが剥落しないこととされており、圧縮縁コンクリートひずみ1.0%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、屋外重要土木建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、貯水機能を損なわないことの確認においては、コンクリート標準示方書に基づき、コンクリートの圧縮ひずみ及び主筋ひずみについて、部材降伏に相当する限界ひずみ（コンクリート：2000 μ ，主鉄筋：1725 μ ）とする。

曲げ・軸力系の破壊に対する照査に用いる照査用ひずみは、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を乗じることにより、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。

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。

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	限界ひずみ	圧縮縁コンクリートひずみ 1.0% (10000 μ) * ¹
貯水機能を損なわないこと		コンクリート : 2000 μ * ² 主鉄筋 (SD345) : 1725 μ * ²

注記*1 : $\gamma_i \frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_R} < 1.0$

ここで, γ_i : 構造物係数 ($\gamma_i = 1.0$)

ε_R : 限界ひずみ (圧縮縁コンクリートひずみ 10000 μ)

ε_d : 照査用ひずみ ($\varepsilon_d = \gamma_a \cdot \varepsilon$)

γ_a : 構造物解析係数 ($\gamma_a = 1.2$)

ε : 圧縮縁の発生ひずみ

*2 : $\gamma_i \frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_R} < 1.0$

ここで, γ_i : 構造物係数 ($\gamma_i = 1.0$)

ε_R : 限界ひずみ (圧縮ひずみ 2000 μ , 主筋ひずみ 1750 μ)

ε_d : 照査用ひずみ ($\varepsilon_d = \gamma_a \cdot \varepsilon$)

γ_a : 構造物解析係数 ($\gamma_a = 1.2$)

ε : 発生ひずみ

4.2.2 せん断破壊に対する許容限界

棒部材式で求まるせん断耐力とする。

また、せん断耐力式による照査において照査用せん断力が上記のせん断耐力を上回る場合、より詳細に材料非線形解析を用いて部材のせん断耐力を求め許容限界とする。せん断破壊に対する耐力評価のフローを図 4-26 に示す。

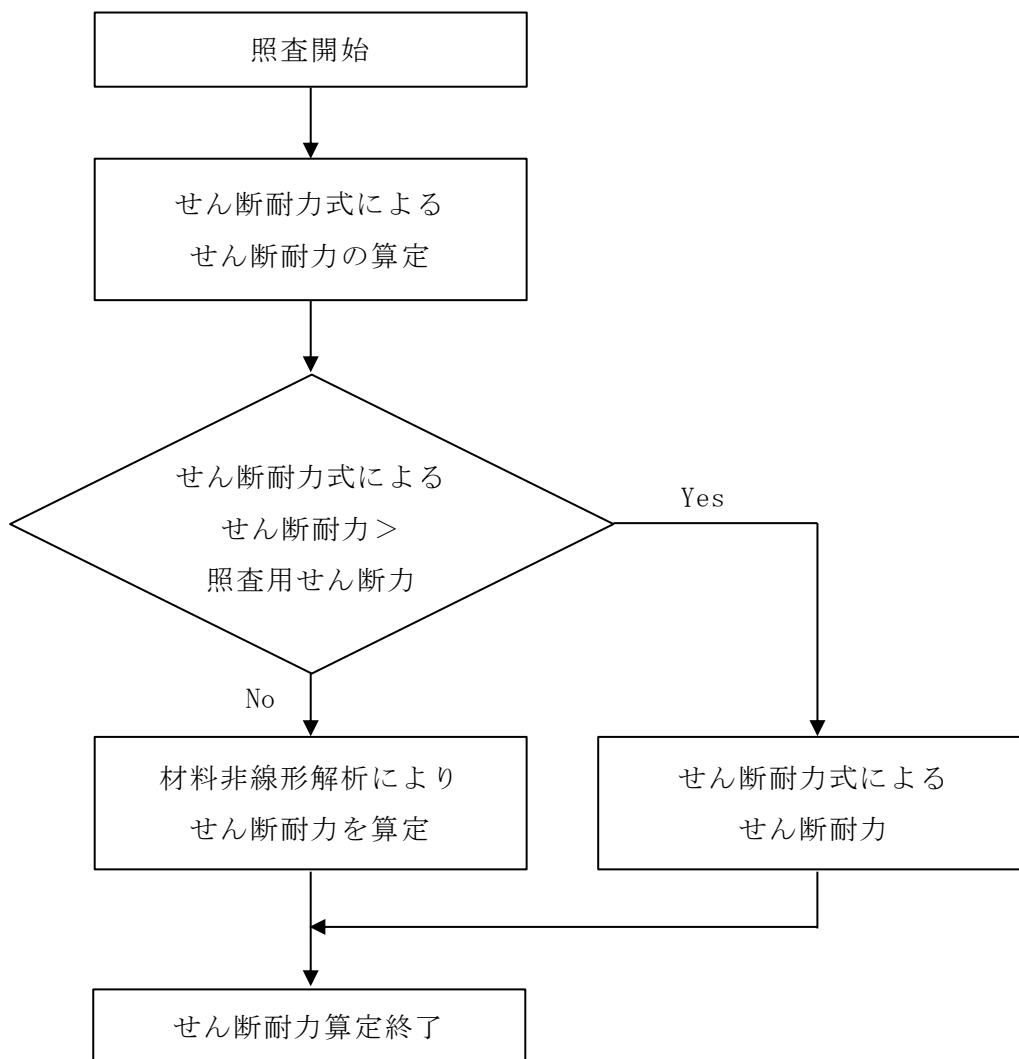


図 4-26 せん断破壊に対する耐力評価フロー

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ここで、 $f'_{c d}$: コンクリート圧縮強度の設計用値 (N/mm^2) 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'_{ck} 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
 $\gamma_{m s}$: 材料係数

また、土木学会マニュアルにおけるせん断耐力式による評価においては、表 4-2 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 4-2 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 $\gamma_b = \gamma_{b 1} \cdot \gamma_{b 2}$

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

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

ここで、R：層間変形角とされている。

$\gamma_{b 2}$ 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。

4.2.3 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4-3に示す。

表4-3 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	C _M 級又はC _H 級岩盤	9.8

参考資料 1 安全対策工事着工前の周辺地盤状況を踏まえた耐震安全性評価

目 次

1. 概要	1
2. 評価条件	1
2.1 適用規格	1
2.2 構造概要	1
2.3 評価対象断面の方向	1
2.4 評価対象断面の選定	2
2.5 使用材料及び材料の物性値	6
2.6 地盤物性値	6
2.7 評価構造物諸元	6
2.8 地下水位	6
2.9 耐震評価フロー	6
3. 地震応答解析	7
3.1 地震応答解析手法	7
3.2 地震応答解析モデルの設定	10
3.2.1 解析モデル領域	10
3.2.2 境界条件	10
3.2.3 構造物のモデル化	10
3.2.4 隣接構造物のモデル化	10
3.2.5 地盤及びMMRのモデル化	10
3.2.6 地震応答解析モデル	12
3.2.7 ジョイント要素の設定	16
3.2.8 材料特性の設定	20
3.3 減衰定数	20
3.4 荷重及び荷重の組合せ	28
3.5 地震応答解析の解析ケース	28
3.5.1 耐震評価における解析ケース	28
3.5.2 機器・配管系に対する応答加速度抽出のための解析ケース	29
4. 評価内容	30
4.1 入力地震動の設定	30
4.2 許容限界の設定	30
5. 評価結果	31
5.1 地震応答解析結果	31
5.1.1 ひずみの時刻歴波形	32
5.1.2 断面力分布（せん断破壊に対する照査）	34
5.1.3 最大せん断ひずみ分布	38

5.2	構造部材の健全性に対する評価結果	42
5.2.1	曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果	42
5.2.2	せん断破壊に対する評価結果	46
5.3	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	51
6.	まとめ	54

1. 概要

島根2号機周辺では、第3系統直流電源設備設置工事等の安全対策工事に伴い掘削を実施しており、第1ベントフィルタ格納槽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は掘削箇所付近に近接している。補足説明資料本文においては、安全対策工事に伴う掘削を考慮した周辺地盤状況に基づき断面選定及び解析手法の選定方針をしているため、本項では安全対策工事着工前の周辺地盤状況における耐震安全性評価結果を示す。

2. 評価条件

2.1 適用規格

本文「2.1 適用規格」と同様の規格、基準を適用する。

2.2 構造概要

本文「2.2 構造概要」と同様の構造概要である。

2.3 評価対象断面の方向

本文「2.3 評価対象断面の方向」と同様の方向とする。

2.4 評価対象断面の選定

評価対象断面は、「資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「(参考資料6) 安全対策工事着工前の周辺地盤状況を踏まえた断面選定及び解析手法の選定について」の「3. 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽」に示すとおり、構造的特徴や周辺状況等を踏まえ、A-A断面及びB-B断面を評価対象断面として、C-C断面は強軸方向のため、機器・配管系に対する床応答算定断面として選定する。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の評価対象断面位置図及び評価対象地質断面図を図2-1～図2-3に示す。

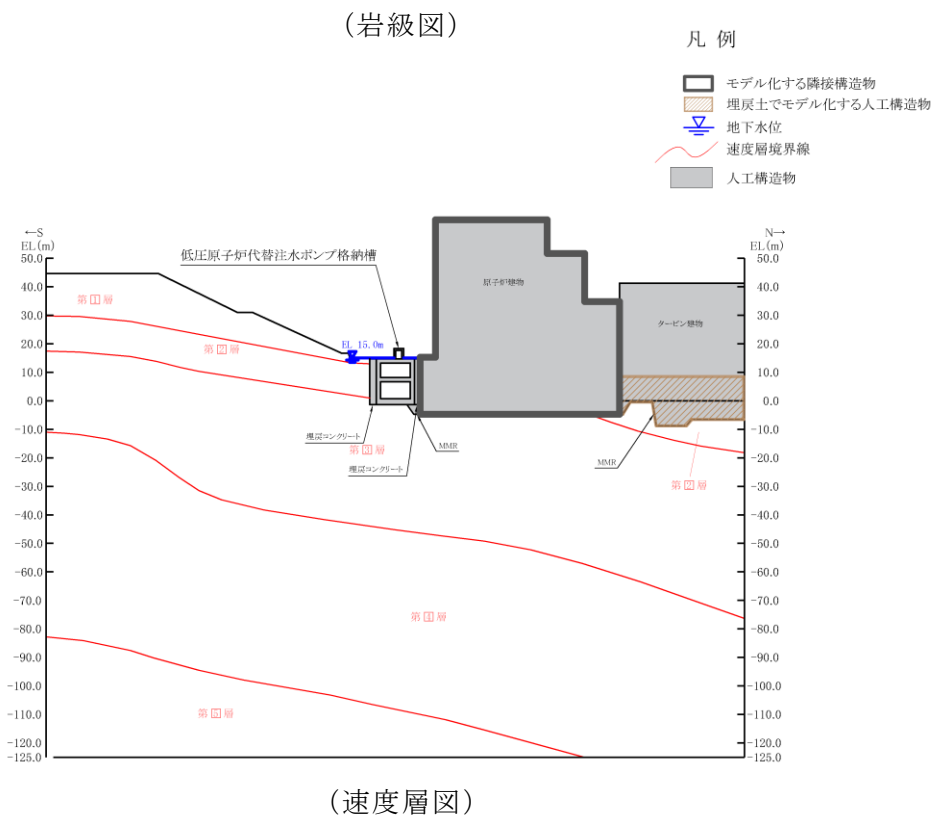
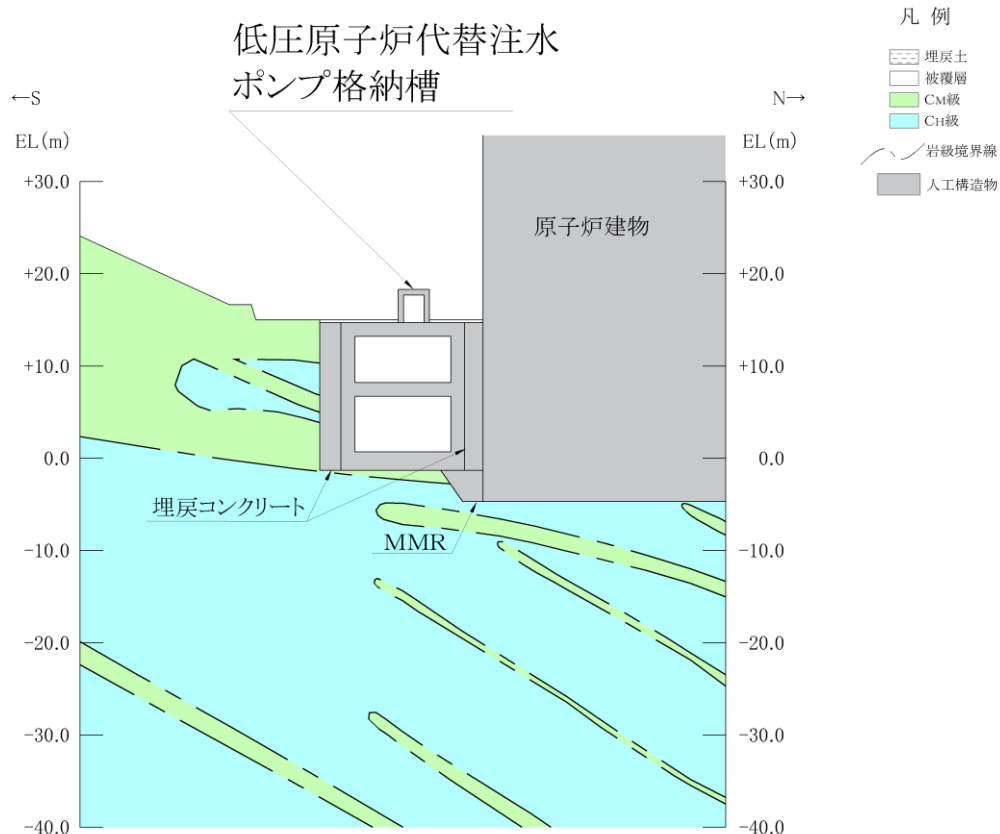
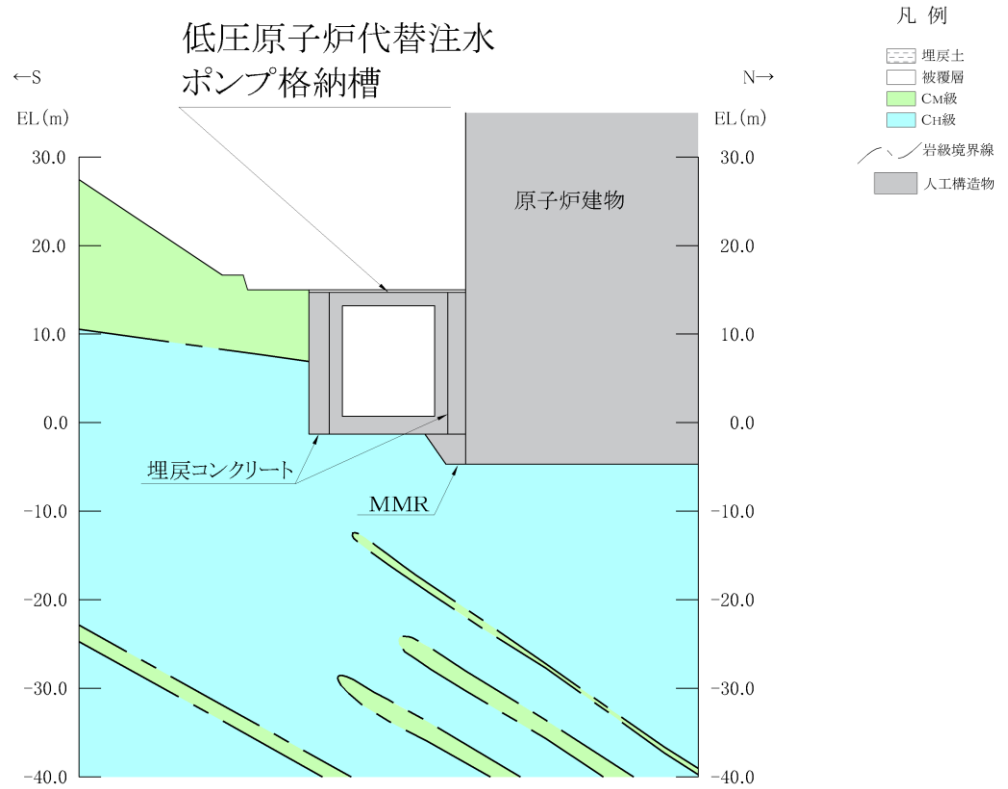
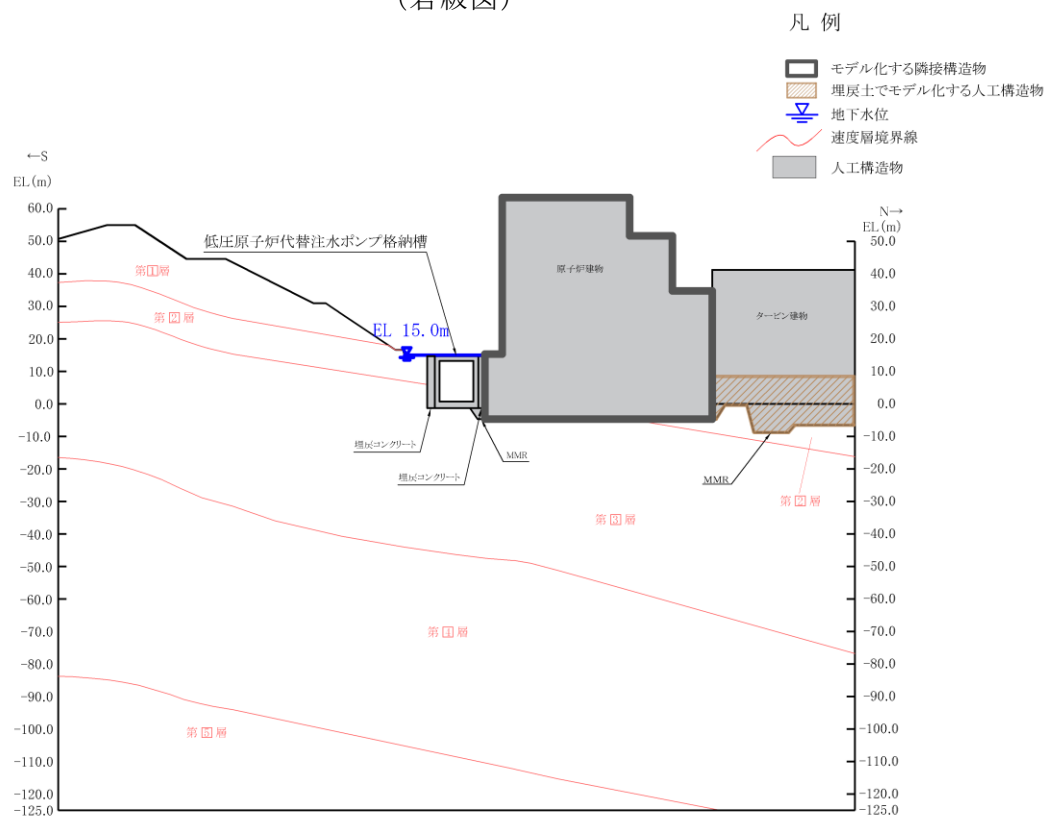


図 2-1 低压原子炉代替注水ポンプ格納槽 評価対象断面図 (A-A断面)

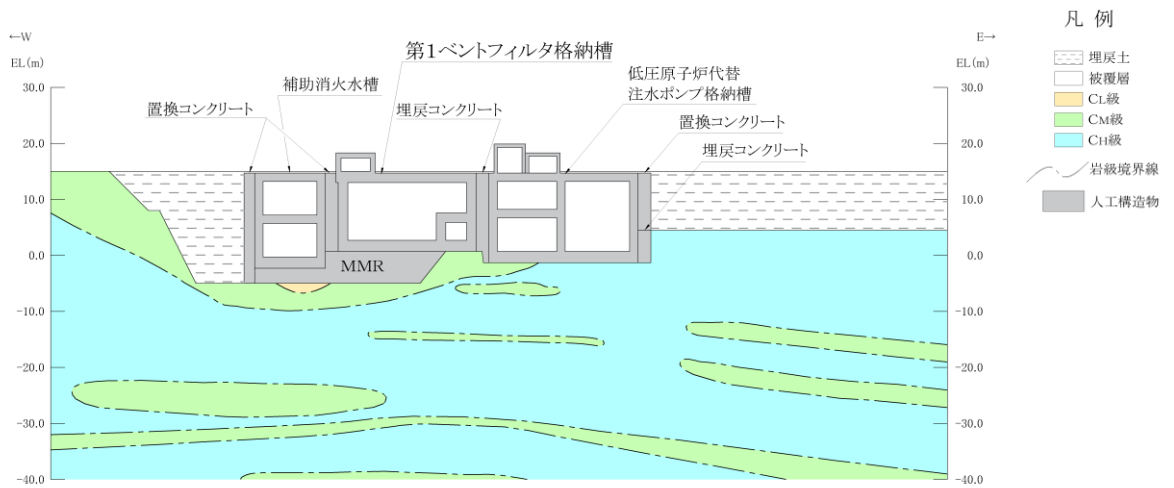


(岩級図)

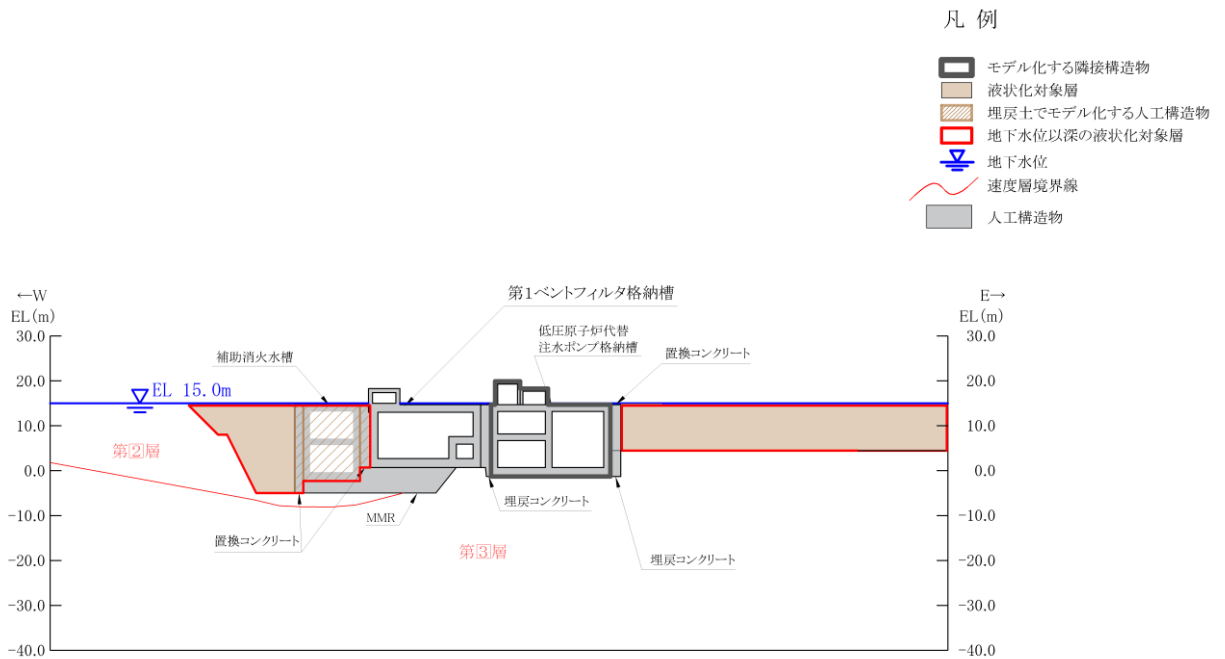


(速度層図)

図 2-2 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 評価対象断面図 (B-B断面)



(岩級図)



(速度層図)

図 2-3 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 評価対象断面図 (C-C 断面)

2.5 使用材料及び材料の物性値

本文「2.5 使用材料及び材料の物性値」と同様の使用材料及び材料の物性値を使用する。

2.6 地盤物性値

本文「2.6 地盤物性値」と同様の地盤物性値を使用する。

2.7 評価構造物諸元

本文「2.7 評価構造物諸元」と同様の構造物諸元を使用する。

2.8 地下水位

本文「2.8 地下水位」と同様の地下水位を設定する。

2.9 耐震評価フロー

本文「2.9 耐震評価フロー」と同様の耐震評価フローを使用する。

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 断面は及び B-B 断面は、施設周辺の設計地下水位が底版より高いが施設周辺に地下水位以深の液状化対象層が存在しないため解析手法の選定フローに基づき「④全応力解析」を選定する。

C-C 断面は、西側は埋戻コンクリートを介して常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設である第 1 ベントフィルタ格納槽と接しているが、東側は置換コンクリートを介して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。

構造部材については、全応力解析においてはファイバーモデルで考慮し、有効応力解析においては鉄筋コンクリートの $M-\phi$ 関係を適切にモデル化する。また、地盤については、地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。

地震応答解析の解析コードについては、全応力解析では「T D A P III」、有効応力解析では「F L I P」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。

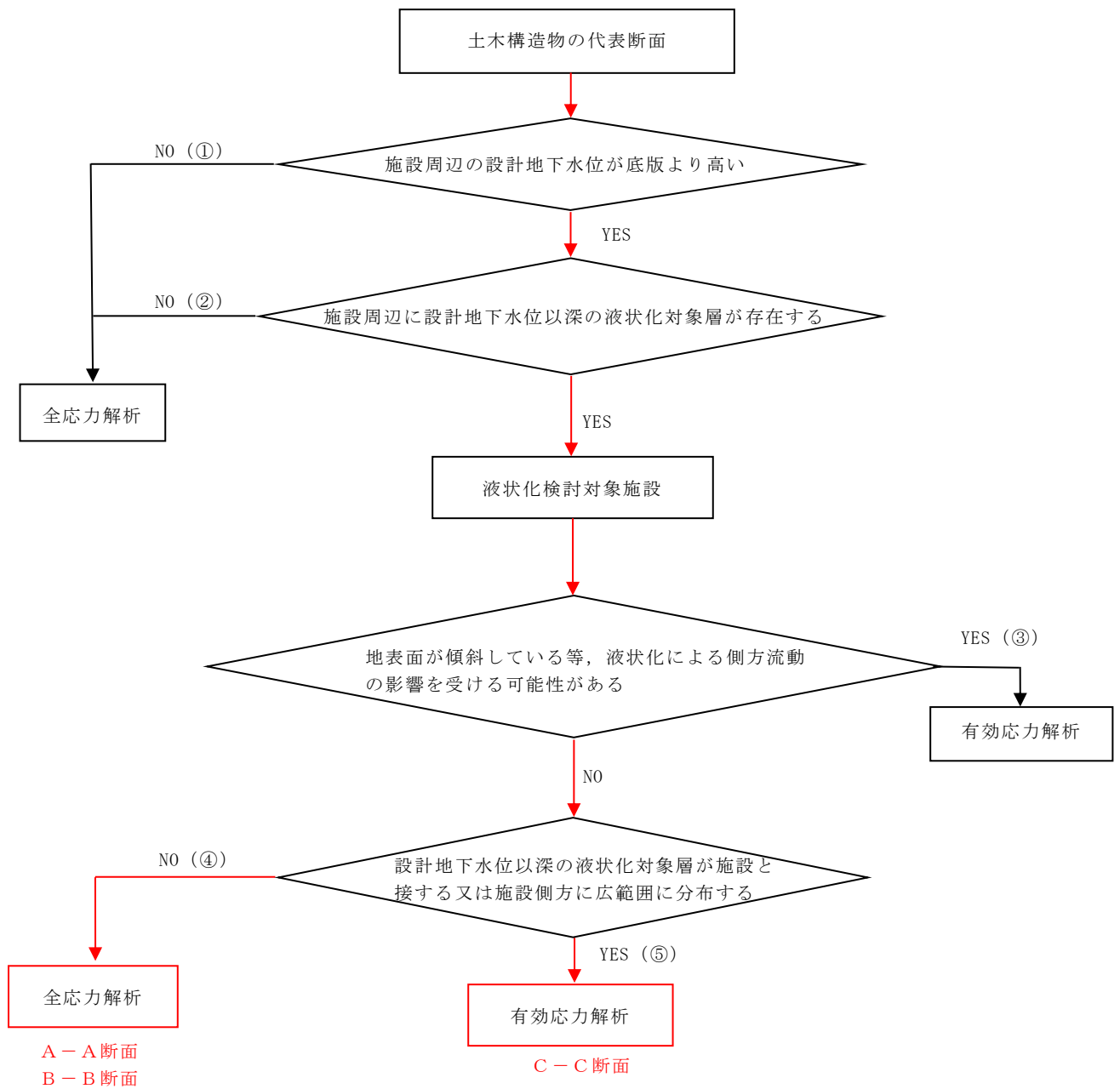


図 3-1 解析手法の選定フロー

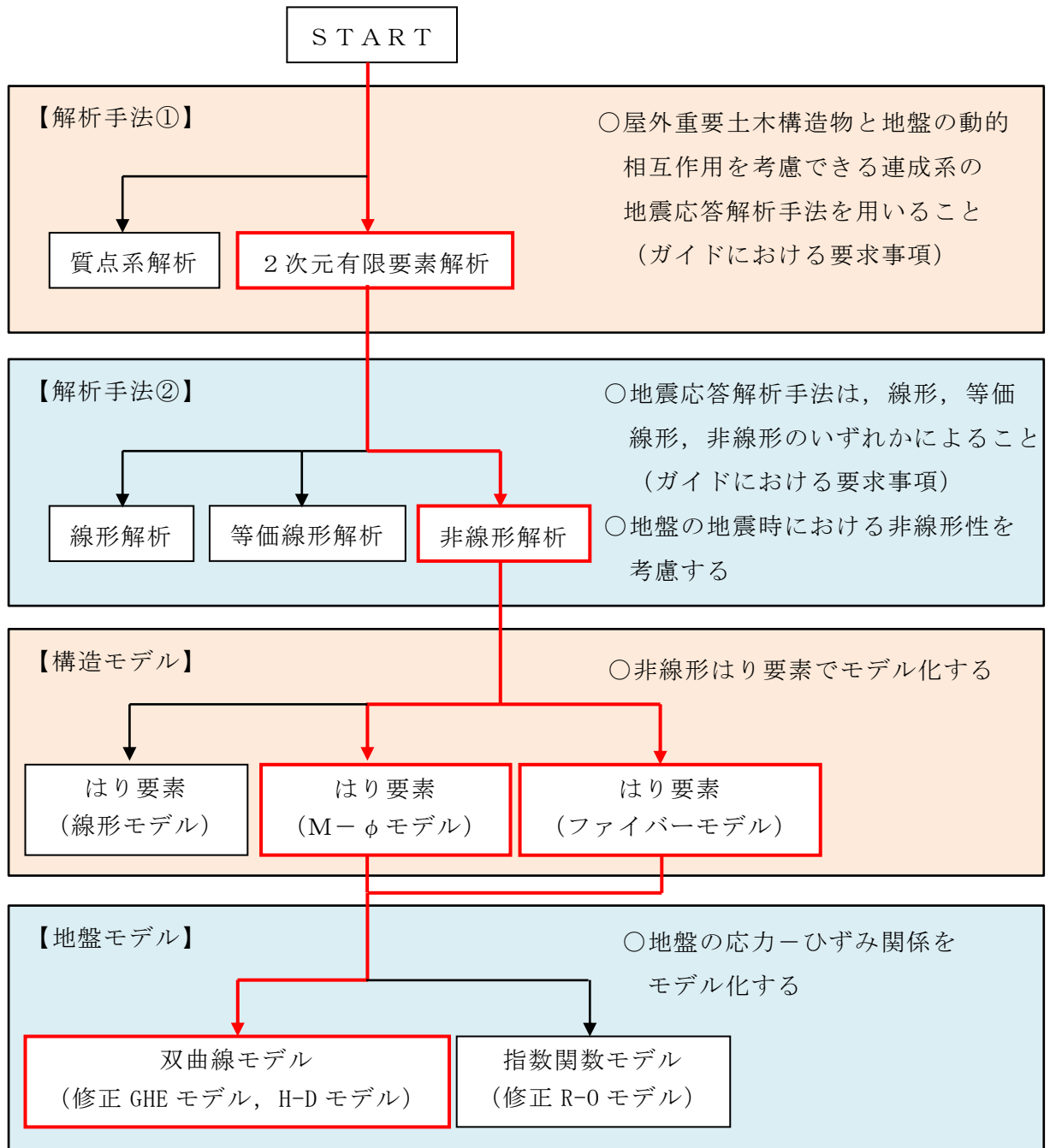


図 3-2 地震応答解析手法の選定フロー

3.2 地震応答解析モデルの設定

3.2.1 解析モデル領域

本文「3.2.1 解析モデル領域」と同様の解析モデル領域とする。

3.2.2 境界条件

本文「3.2.2 境界条件」と同様の境界条件とする。

3.2.3 構造物のモデル化

本文「3.2.3 構造物のモデル化」と同様にモデル化をする。

3.2.4 隣接構造物のモデル化

本文「3.2.4 隣接構造物のモデル化」と同様にモデル化をする。

3.2.5 地盤及びMMRのモデル化

本文「3.2.5 地盤及びMMRのモデル化」と同様にモデル化をする。

地盤のモデル化に用いる、地質断面図を図3-3～図3-5に示す

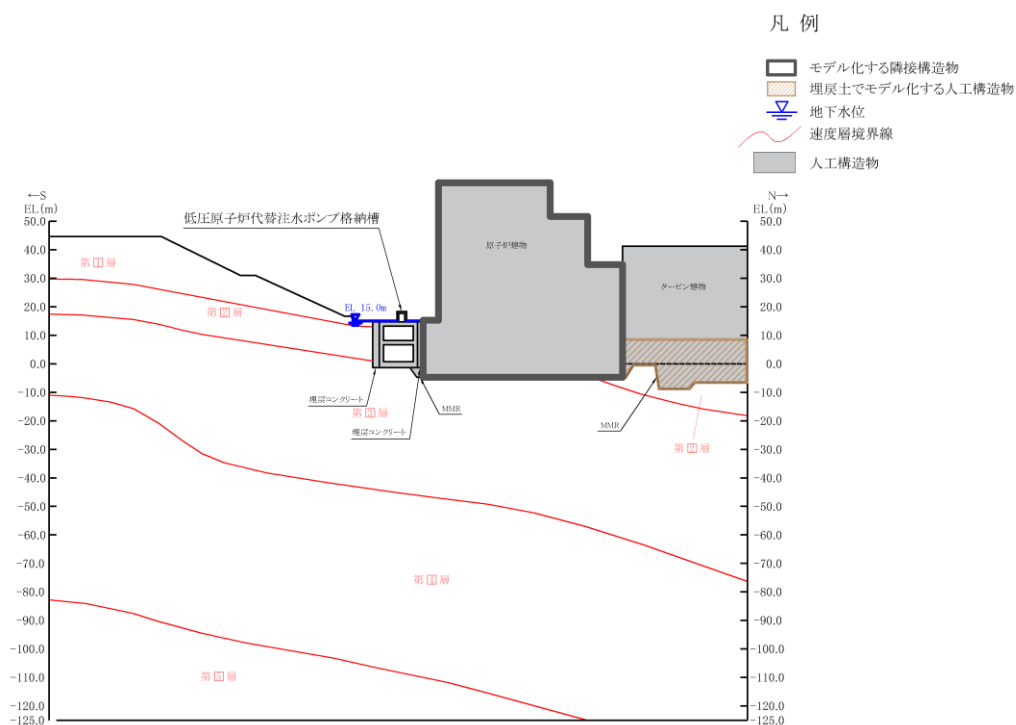


図3-3 評価対象地質断面図 (A-A断面)

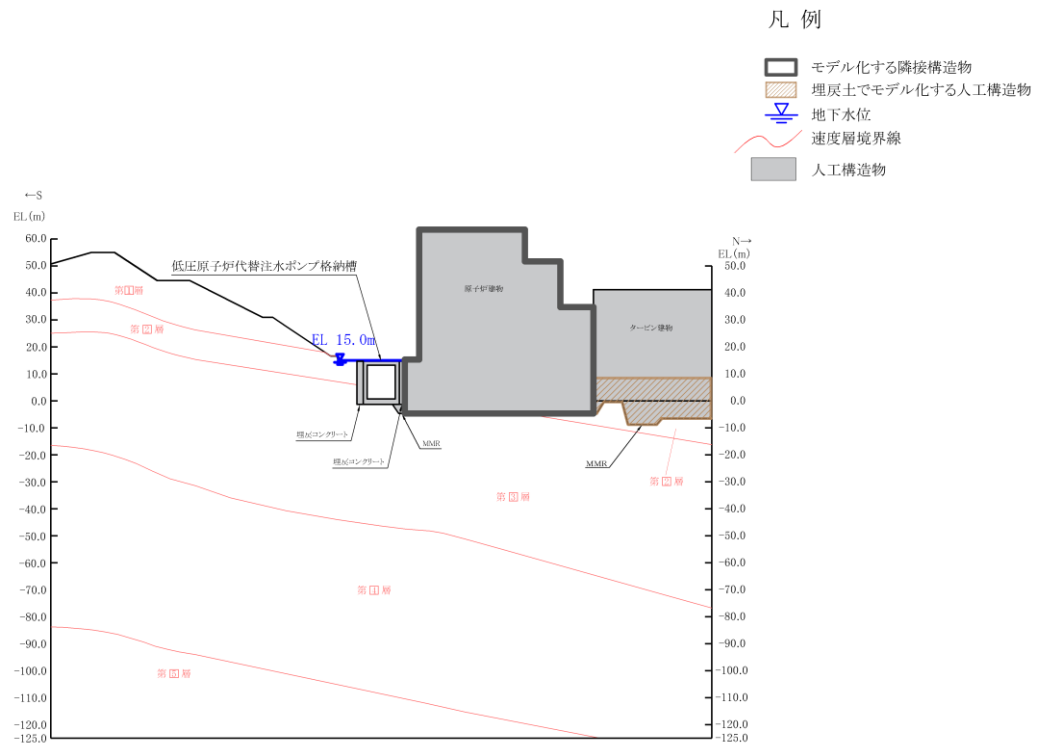


図 3-4 評価対象地質断面図 (B-B 断面)

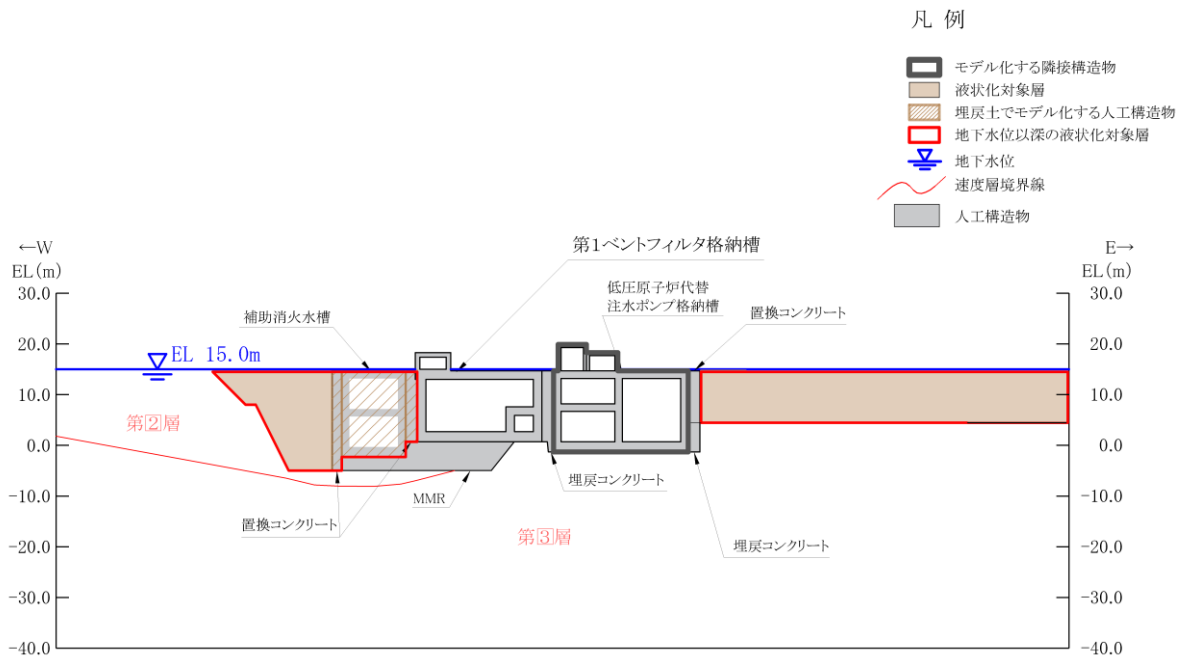
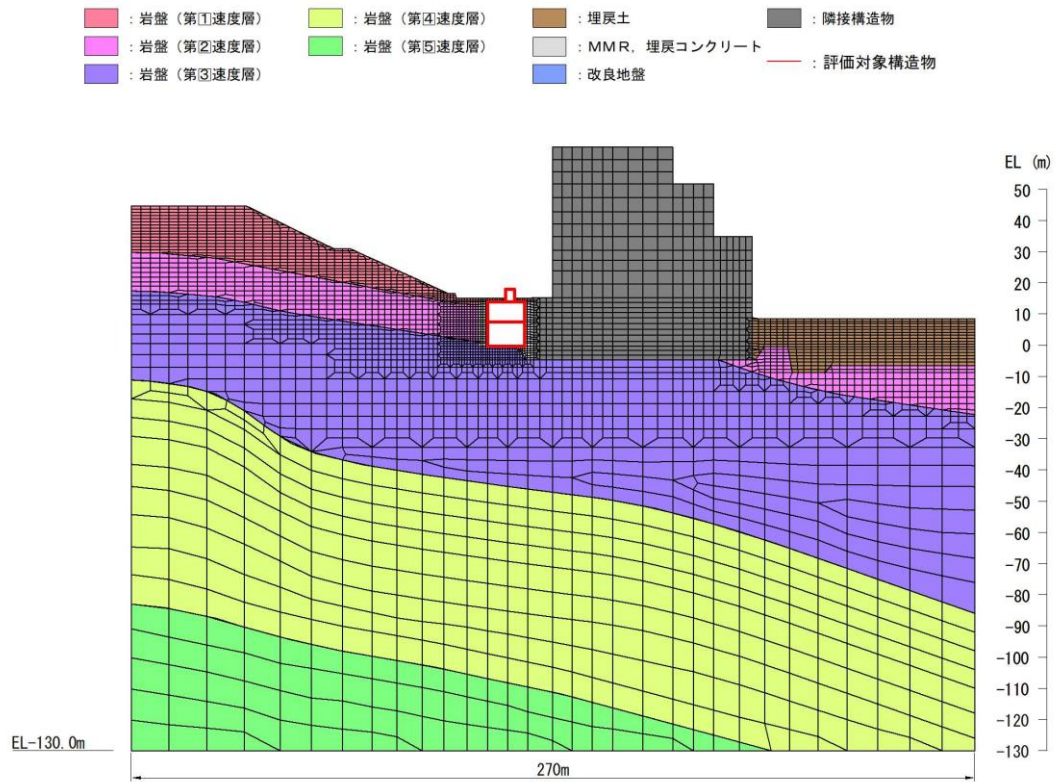


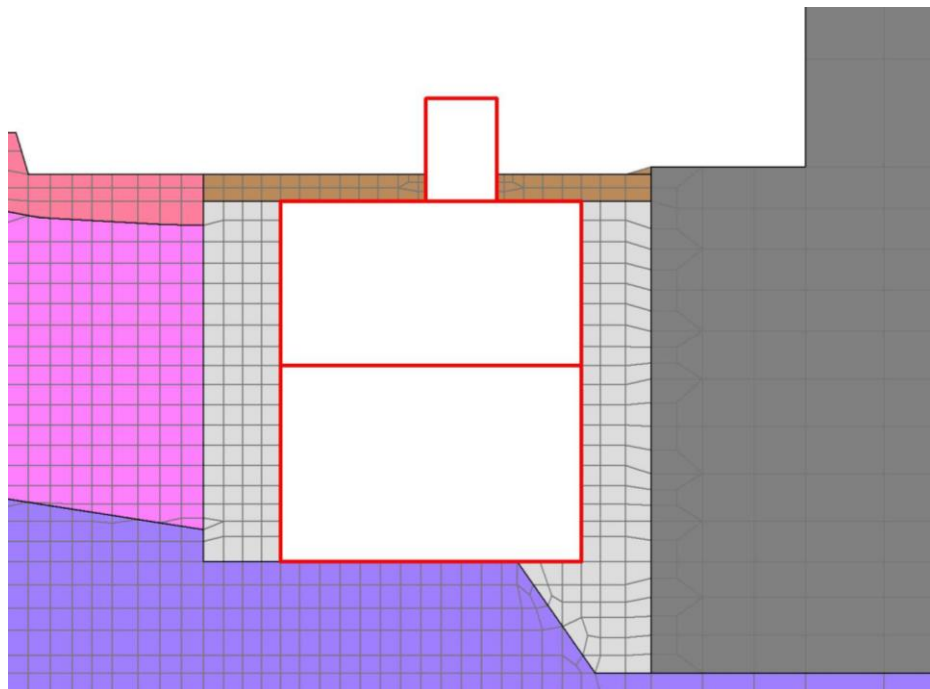
図 3-5 評価対象地質断面図 (C-C 断面)

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 3-6～図 3-8 に示す



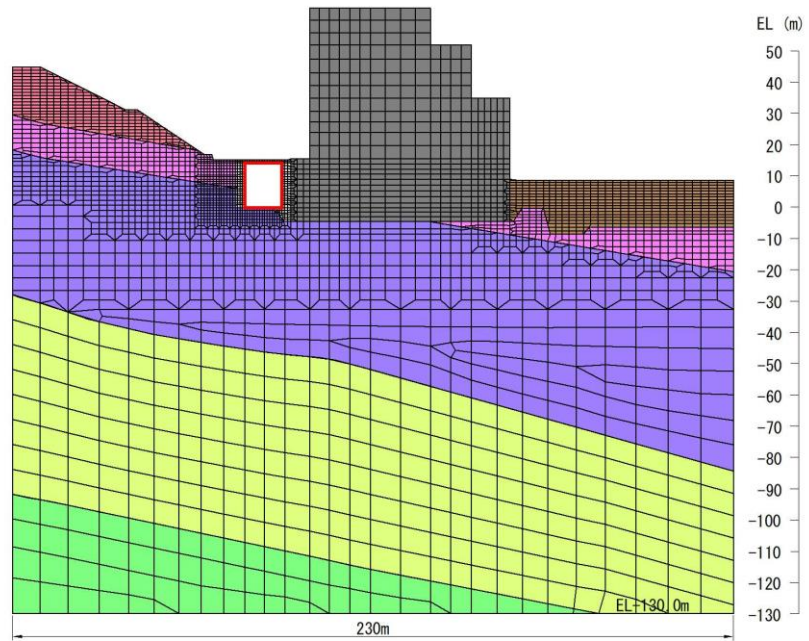
(全体図)



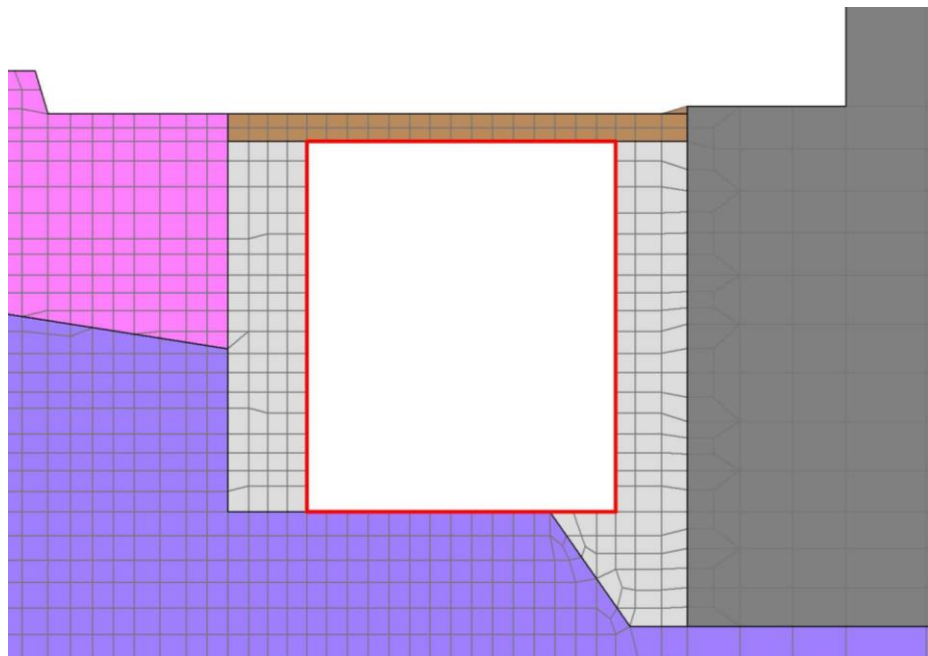
(拡大図)

図 3-6 地震応答解析モデル図 (A-A断面)

- | | | | |
|----------------|----------------|-------------------|-------------|
| ■ : 岩盤 (第1速度層) | ■ : 岩盤 (第4速度層) | ■ : 埋戻土 | ■ : 隣接構造物 |
| ■ : 岩盤 (第2速度層) | ■ : 岩盤 (第5速度層) | ■ : MMR, 埋戻コンクリート | — : 評価対象構造物 |
| ■ : 岩盤 (第3速度層) | | ■ : 改良地盤 | |



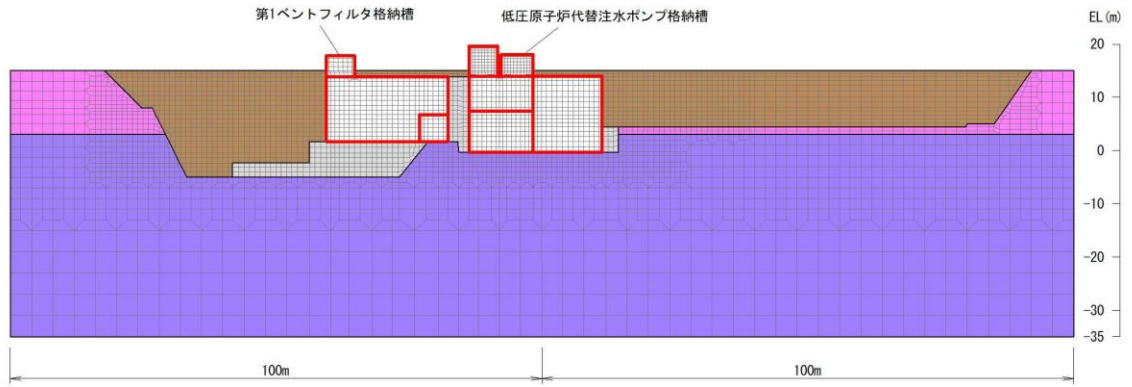
(全体図)



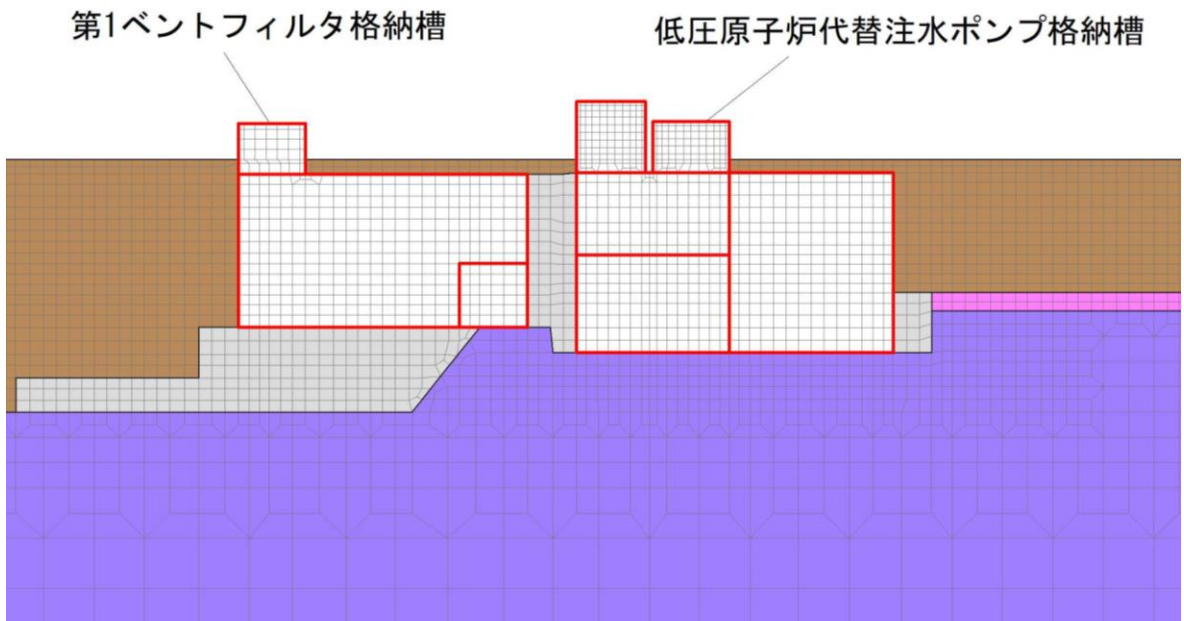
(拡大図)

図 3-7 地震応答解析モデル図 (B-B断面)

- : 岩盤 (第②速度層)
- : 埋戻土
- : 岩盤 (第③速度層)
- : MMR, 埋戻コンクリート
- : 評価対象構造物



(全体図)



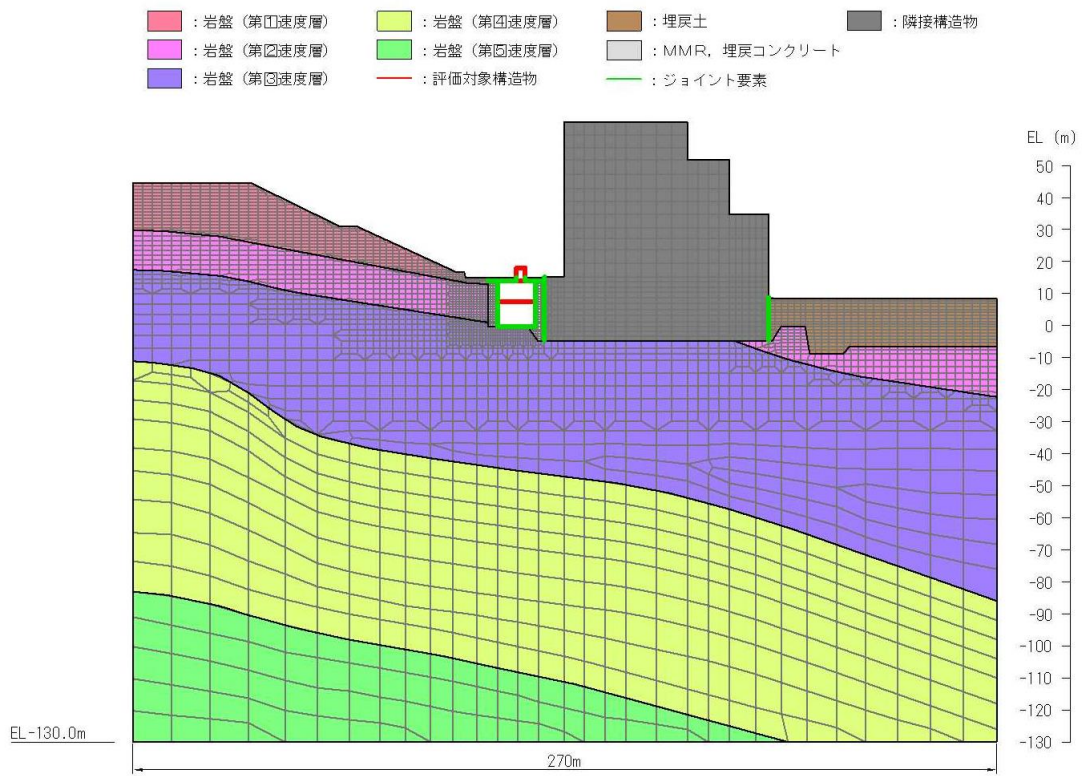
(拡大図)

図 3-8 地震応答解析モデル図 (C-C断面)

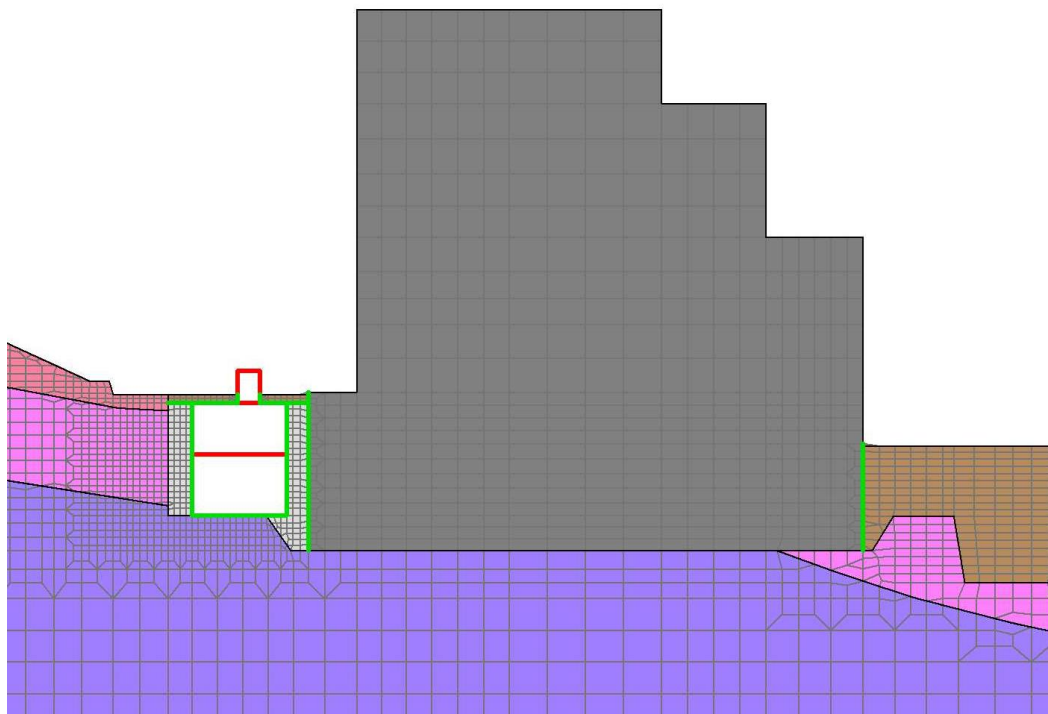
3.2.7 ジョイント要素の設定

本文「3.2.7 ジョイント要素の設定」と同様にジョイント要素を設定する。

ジョイント要素の配置を図 3-9～図 3-11 に示す

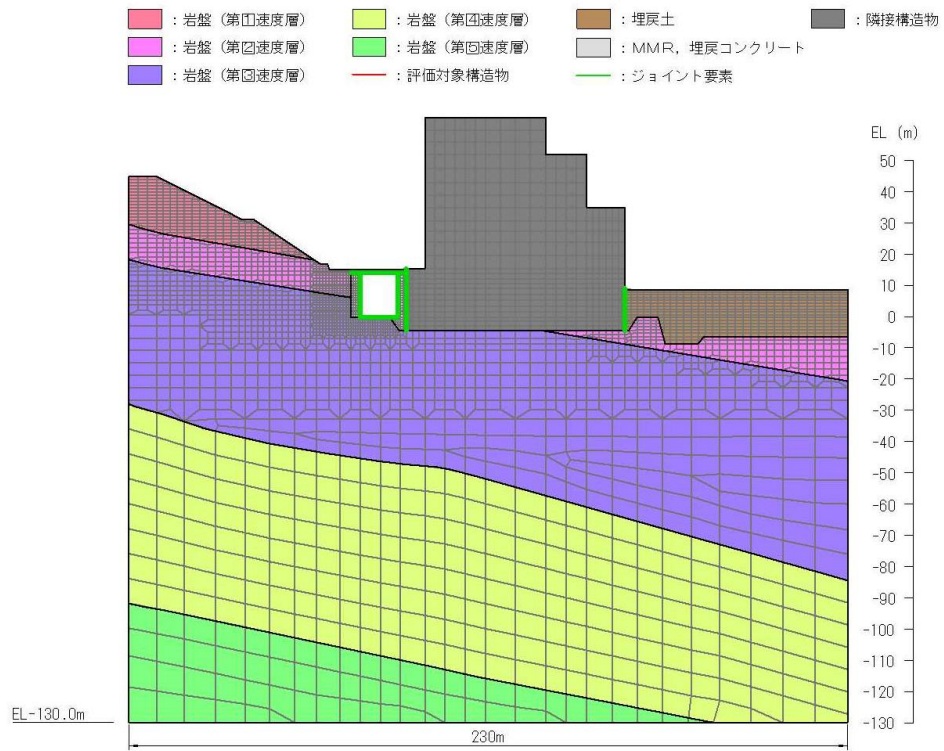


(全体図)

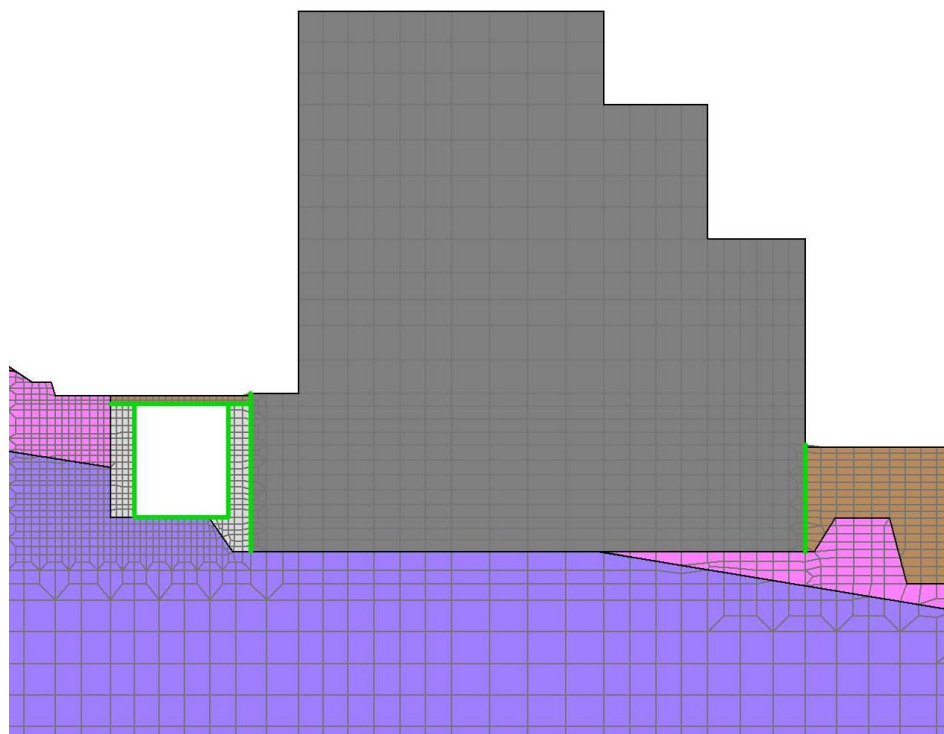


(拡大図)

図 3-9 ジョイント要素の配置 (A-A断面)

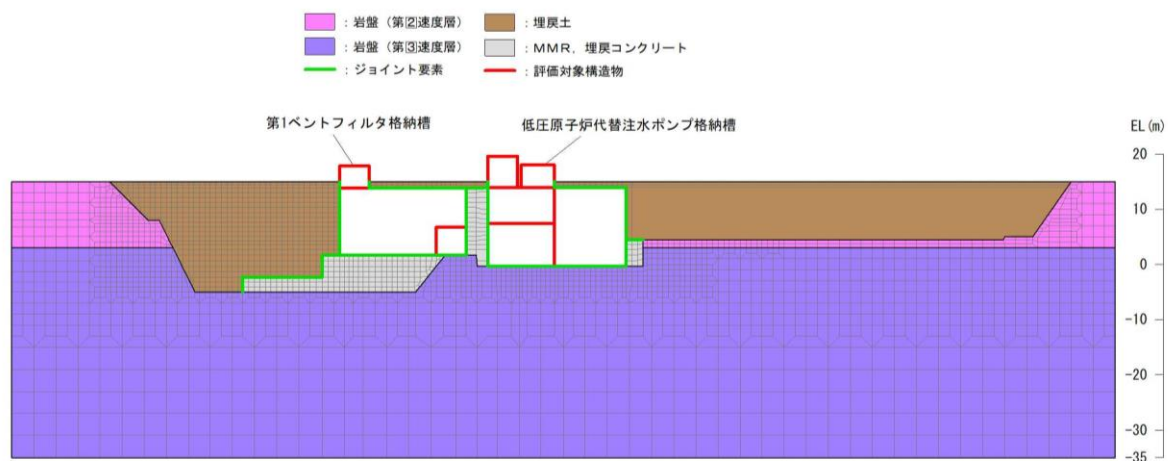


(全体図)

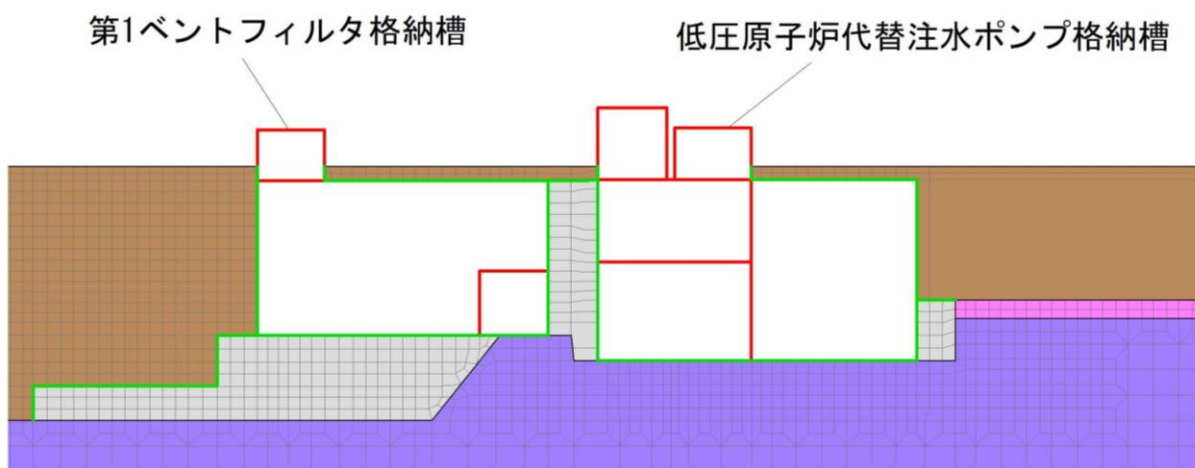


(拡大図)

図 3-10 ジョイント要素の配置 (B-B断面)



(全体図)



(拡大図)

図 3-11 ジョイント要素の配置 (C-C断面)

3.2.8 材料特性の設定

本文「3.2.8 材料特性の設定」と同様。

3.3 減衰定数

全応力解析の減衰定数については、本文「3.3 減衰定数」に基づき設定する。

有効応力解析では、Rayleigh 減衰を考慮することとし、剛性比例型減衰 ($\alpha = 0$, $\beta = 0.002$) とする。なお、係数 β の設定については、「FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」」による。

固有値解析結果の一覧を表 3-1 及び表 3-2 に、固有値解析におけるモード図を図 3-12~図 3-15 に、係数 α , β をに、固有値解析結果に基づき設定した Rayleigh 減衰を図 3-16 及び図 3-17 に示す。

表 3-1 固有値解析結果 (A-A 断面)

	固有振動数 (Hz)	有効質量比 (%)		刺激係数		備考
		T_x	T_y	β_x	β_y	
1	2.465	57	0	3.91	-0.14	1次として採用
2	3.331	5	1	2.65	0.96	—
3	3.801	9	0	4.77	-0.99	—
4	4.920	0	18	0.26	3.37	—
5	5.043	4	6	-2.13	-2.54	—
6	5.223	0	5	-1.15	-3.28	—
7	5.502	2	5	1.19	2.33	—
8	5.869	5	10	-1.46	2.00	2次として採用
9	6.384	1	8	0.06	1.84	—
10	6.685	0	1	0.34	-1.83	—

表 3-2 固有値解析結果 (B-B 断面)

	固有振動数 (Hz)	有効質量比 (%)		刺激係数		備考
		T_x	T_y	β_x	β_y	
1	2.470	60	0	4.03	-0.10	1次として採用
2	3.394	3	1	2.16	0.93	—
3	3.795	6	0	3.86	-1.01	—
4	5.022	4	0	-2.46	-0.09	—
5	5.153	0	12	0.69	5.00	—
6	5.314	3	26	-1.72	-4.88	—
7	5.914	5	14	-1.33	2.32	2次として採用
8	6.214	1	5	1.21	-2.81	—
9	6.644	0	0	0.84	0.46	—
10	6.788	1	2	-1.76	-2.31	—

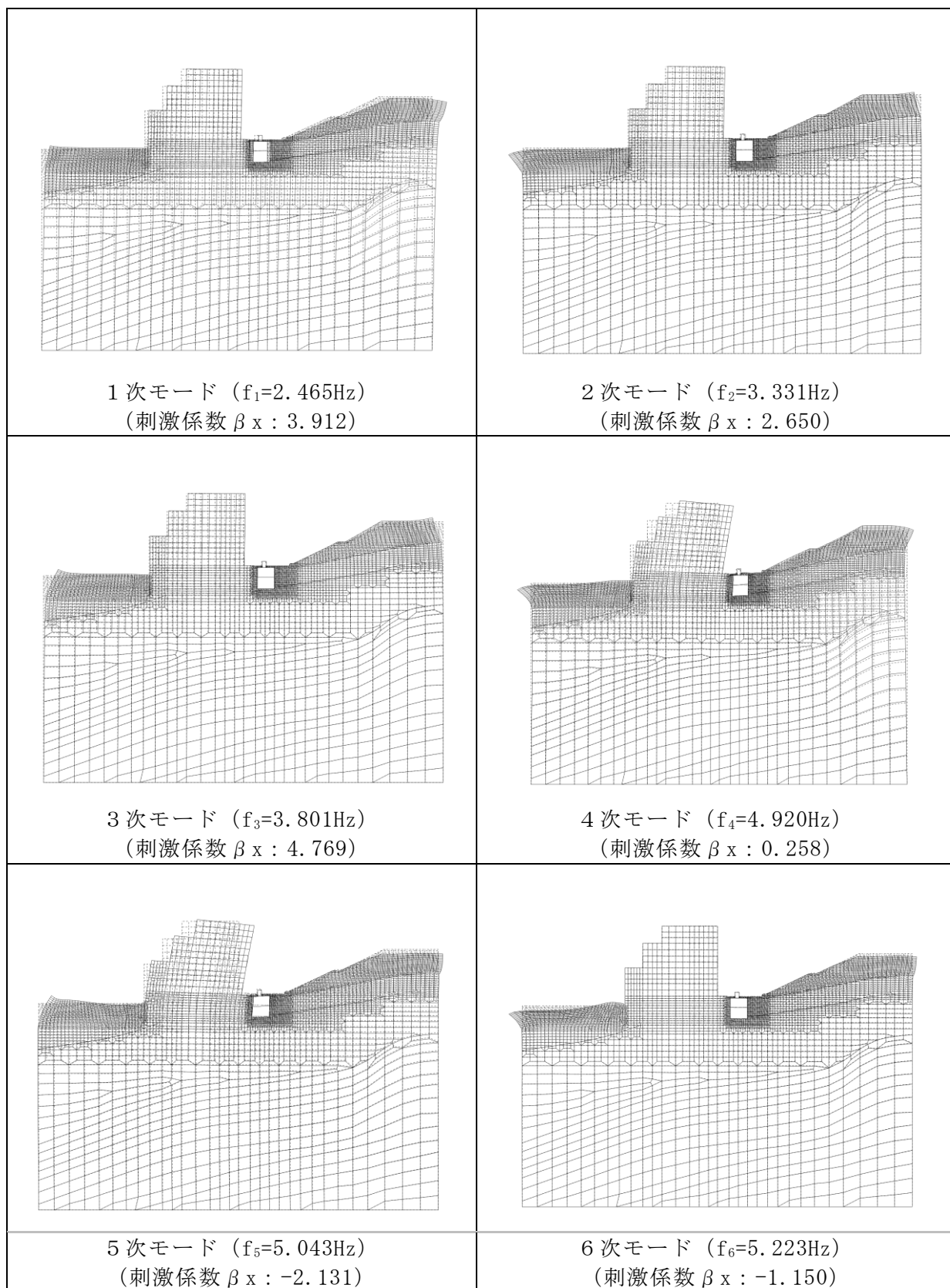


図 3-12 固有値解析結果 (モード図) (A-A断面)

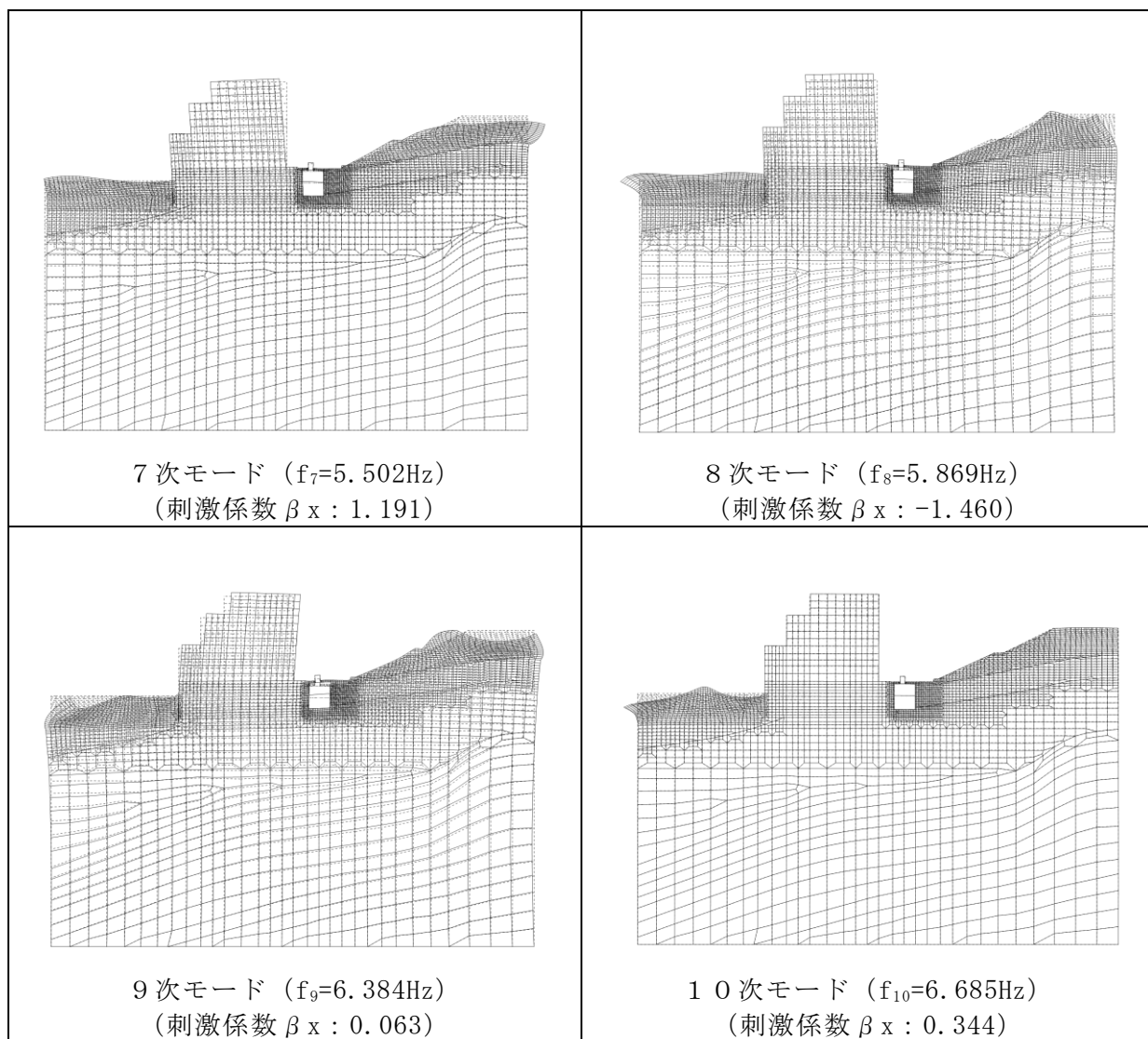


図 3-13 固有値解析結果 (モード図) (A-A断面)

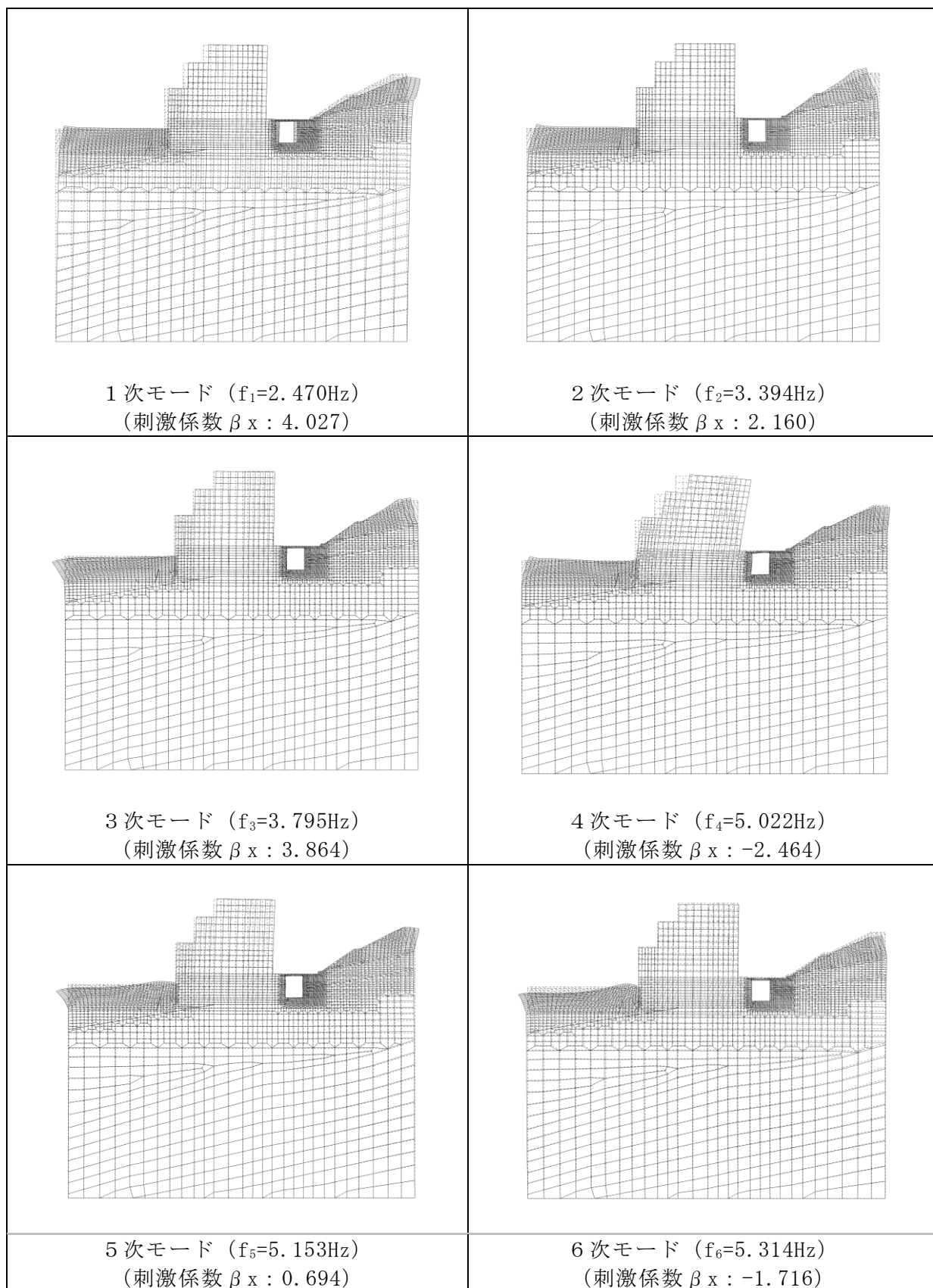


図 3-14 固有値解析結果 (モード図) (B-B断面)

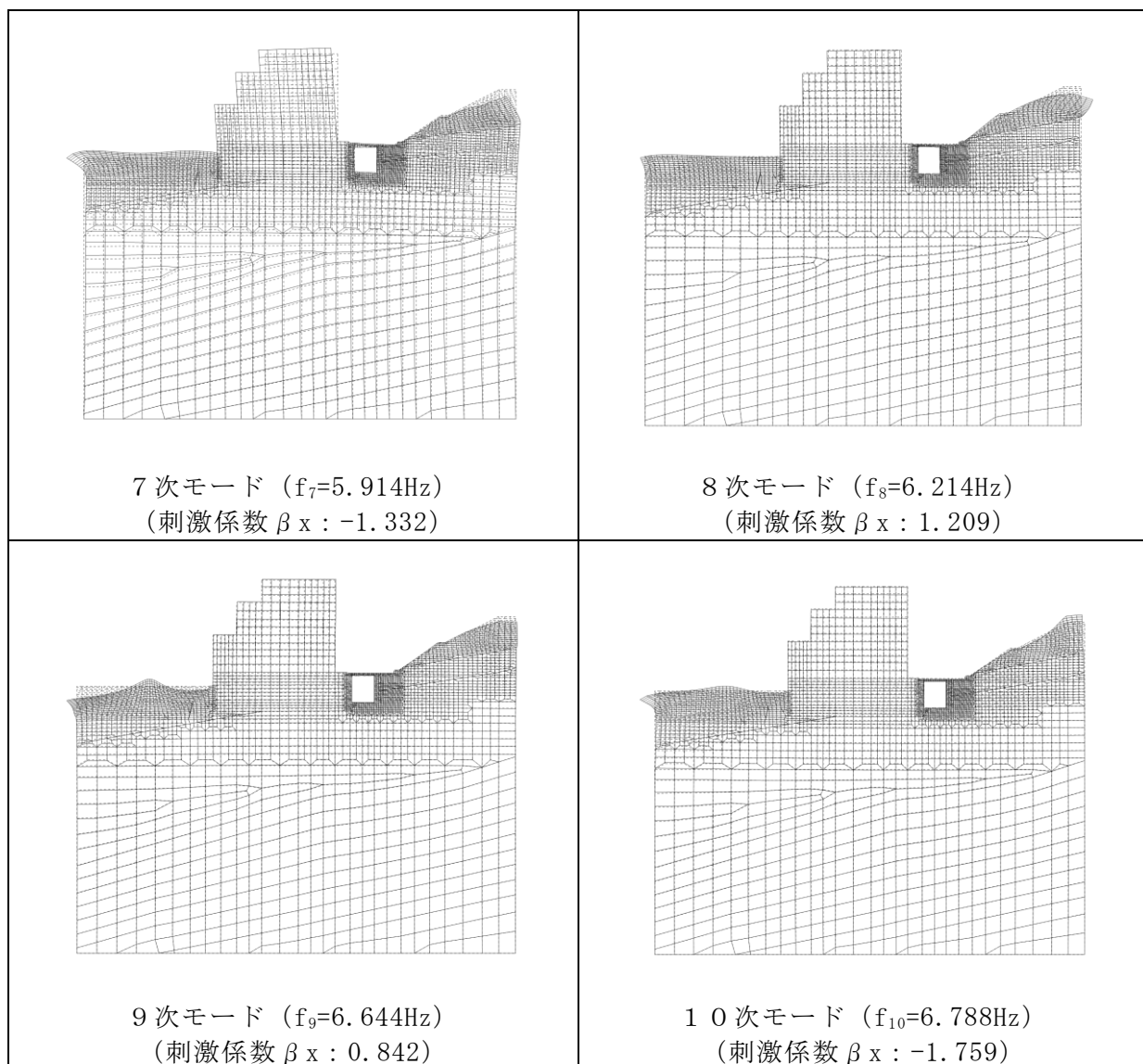


図 3-15 固有値解析結果 (モード図) (B-B断面)

表 3-3 Rayleigh 減衰における係数 α , β の設定結果

評価対象断面	α	β
A - A 断面	6.503×10^{-1}	1.106×10^{-3}
B - B 断面	6.448×10^{-1}	1.109×10^{-3}
C - C 断面	0.000	2.000×10^{-3}

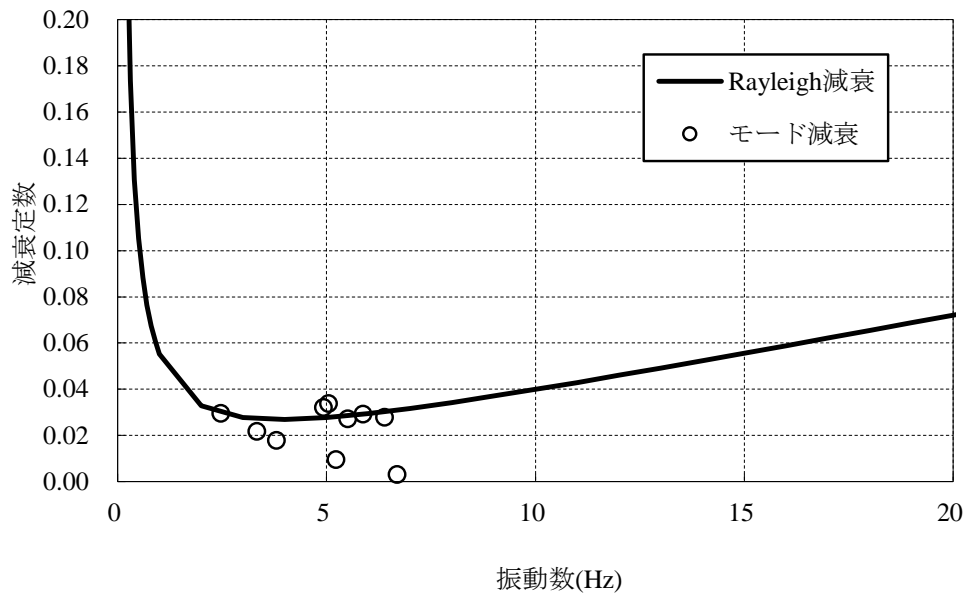


図 3-16 設定した Rayleigh 減衰 (A - A 断面)

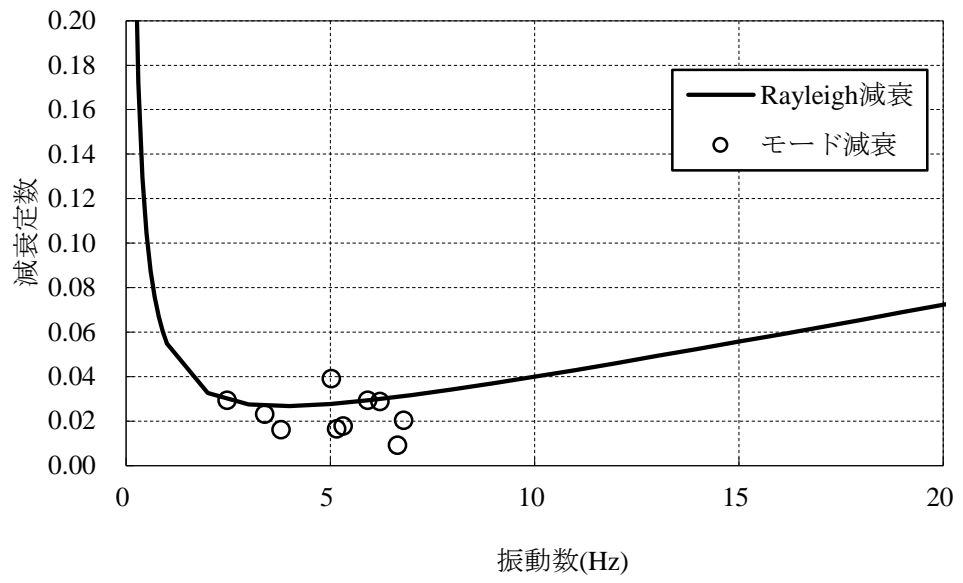


図 3-17 設定した Rayleigh 減衰 (B-B 断面)

3.4 荷重及び荷重の組合せ

本文「3.4 荷重及び荷重の組合せ」にて設定した荷重の組合わせを使用する。

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

本資料は安全対策工事着工前の周辺地盤における補足検討のため、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（ケース①）を実施する。耐震評価における解析ケースを表3-4に示す。

表3-4 耐震評価における解析ケース

解析ケース			ケース①
			基本ケース
地盤物性			平均値
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○
		-+*	○
		+ - *	○
		--*	○
	$S_s - F 1$	++*	○
	$S_s - F 2$	++*	○
	$S_s - N 1$	++*	○
		-+*	○
	$S_s - N 2$ (NS)	++*	○
		-+*	○
	$S_s - N 2$ (EW)	++*	○
		-+*	○

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。

3.5.2 機器・配管系に対する応答加速度抽出のための解析ケース

本資料は安全対策工事着工前の周辺地盤における補足検討のため、機器・配管系に対する応答加速度抽出においても、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（ケース①）を実施する。機器・配管系に対する応答加速度抽出のための解析ケースを表3-5に示す。

表3-5 機器・配管系の応答加速度抽出のための解析ケース

解析ケース		ケース①	
		基本ケース	
地盤物性		平均値	
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○
		-+*	○
		+ -*	○
		--*	○
	$S_s - F 1$	++*	○
	$S_s - F 2$	++*	○
	$S_s - N 1$	++*	○
		-+*	○
	$S_s - N 2$ (NS)	++*	○
		-+*	○
	$S_s - N 2$ (EW)	++*	○
		-+*	○

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

本文「4.1 入力地震動の設定」にて算定した地震動を用いる。

4.2 許容限界の設定

本文「4.2 許容限界の設定」にて算定した許容限界を用いる。

5. 評価結果

5.1 地震応答解析結果

評価対象断面として選定した、A-A断面及びB-B断面の地震応答解析結果として、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」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。

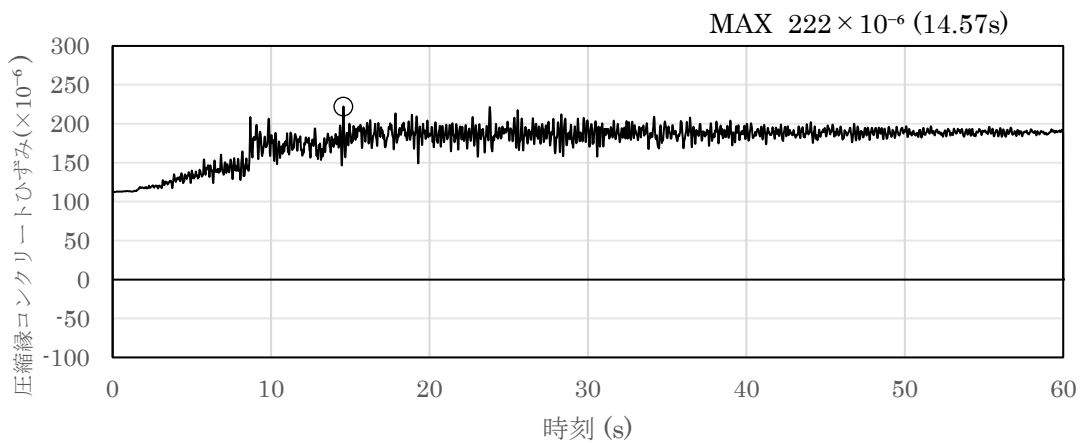
5.1.1 ひずみの時刻歴波形

各断面の曲げ・軸力系の破壊に対する照査において、最も厳しい照査値となる結果を表5-1及び表5-2に示す。また、ひずみの時刻歴波形を図5-1及び図5-2示す。

曲げ・軸力系の破壊に対する照査は、照査用ひずみ又は照査用層間変形角を許容限界とする。なお、詳細については、「5.2.2 せん断破壊に対する評価結果」に示す。

表5-1 曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果（A-A断面）
（最も厳しい照査値とその地震動）

解析 ケース	地震動		照査用ひずみ	限界ひずみ	照査値
			ϵ_d	ϵ_R	ϵ_d / ϵ_R
①	S s - D	- +	267 μ	10000 μ	0.03



注：圧縮を正で示す。

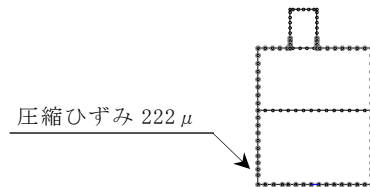
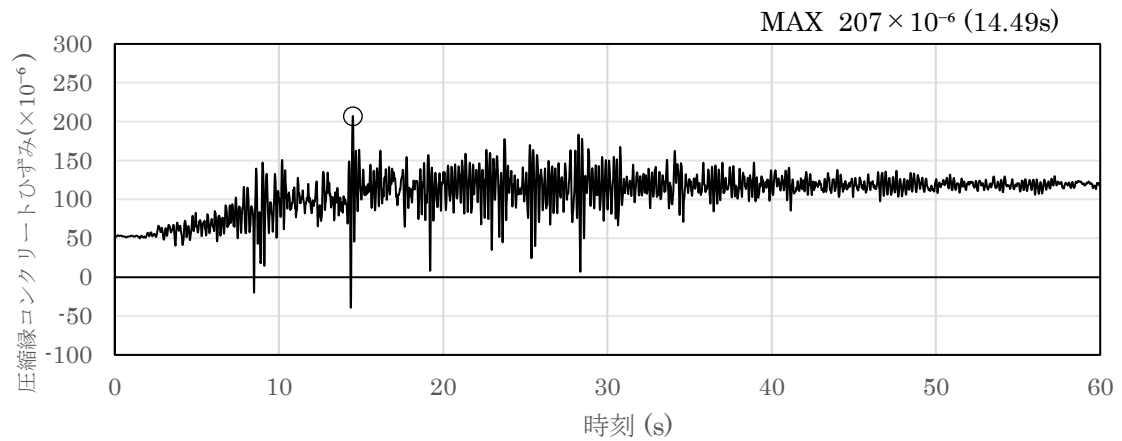


図5-1 曲げ・軸力系の破壊に対する照査が最も厳しくなる
ケースの時刻歴波形（全応力解析）（A-A断面）

表 5-2 曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果 (B-B断面)
(最も厳しい照査値とその地震動)

解析 ケース	地震動		照査用ひずみ	限界ひずみ	照査値
			ϵ_d	ϵ_R	ϵ_d / ϵ_R
①	S s - D	+ -	248 μ	10000 μ	0.03



注：圧縮を正で示す。

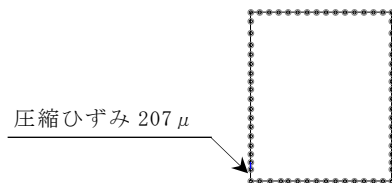


図 5-2 曲げ・軸力系の破壊に対する照査が最も厳しくなる
ケースの時刻歴波形 (全応力解析) (B-B断面)

5.1.2 断面力分布（せん断破壊に対する照査）

(1) A-A断面

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結果を表5-3に示す。また、最も厳しい照査値となる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5-4に示す。

表5-3 せん断破壊に対する最大照査値

解析 ケース	地震動		評価位置*1		照査用 せん断力 V_d^{*2} (kN)	せん断 耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d/V_{y d}$
①	S s - D	- +	頂版	2	663	1264	0.53
	S s - D	+ -	側壁	12	1066	1837	0.59
	S s - D	+ -	床版	5	490	1394	0.36
	S s - N 1	- +	底版	6	1270	3100	0.41

注記*1：評価位置は図5-3に示す。

*2：照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 γ_a

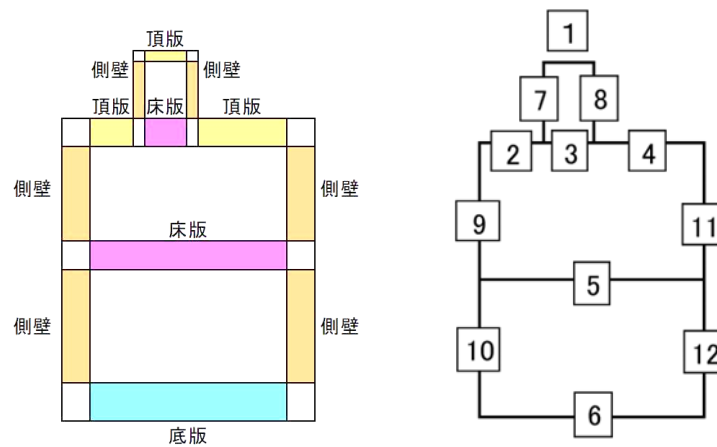
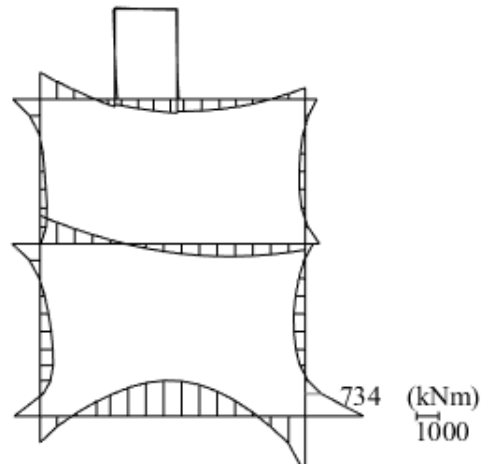
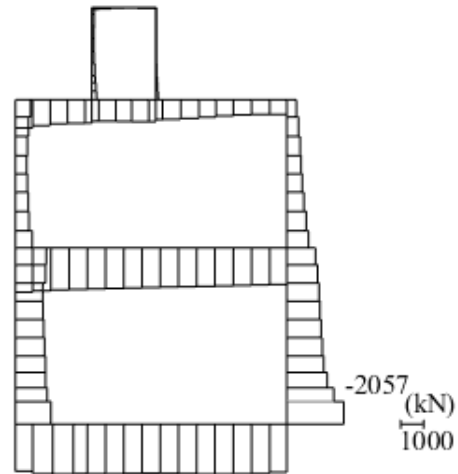


図5-3 評価位置図（A-A断面）



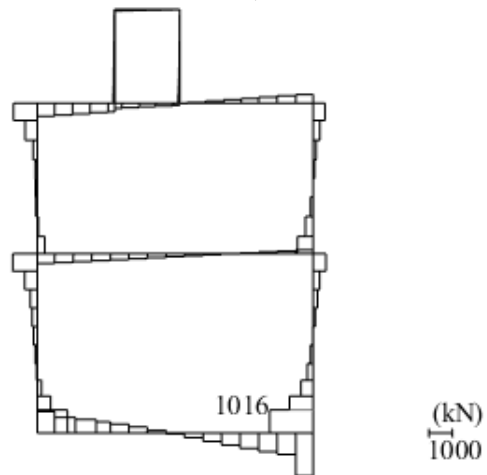
数值：評価位置における断面力

(a) 曲げモーメント (kN・m)



数值：評価位置における断面力

(b) 軸力 (kN) (+ : 引張, - : 圧縮)



数值：評価位置における断面力

(c) せん断力 (kN)

図 5-4 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図

(解析ケース①, S_s-D (+-))

(2) B-B断面

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結果を表5-4に示す。また、最も厳しい照査値となる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5-6に示す。

表5-4 せん断破壊に対する最大照査値

解析 ケース	地震動		評価位置*1		照査用	せん断	照査値 $V_d/V_{y d}$
					せん断力 V_d *2 (kN)	耐力 $V_{y d}$ (kN)	
①	S s - D	--	頂版	1	353	832	0.43
	S s - D	+ -	側壁	4	845	1763	0.48
	S s - D	++	底版	2	1365	3162	0.44

注記*1：評価位置は図5-5に示す。

*2：照査用せん断力 $V_d = \text{発生せん断力} V \times \text{構造解析係数} \gamma_a$

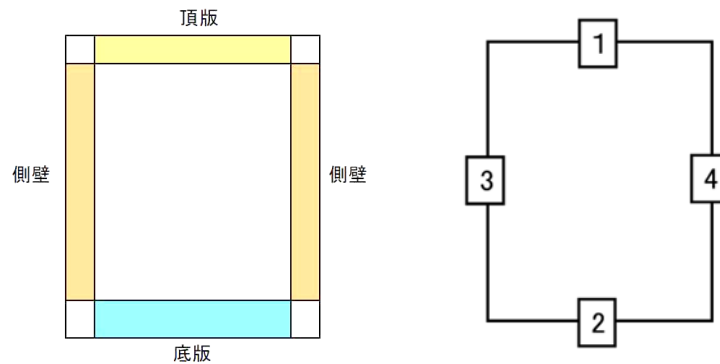
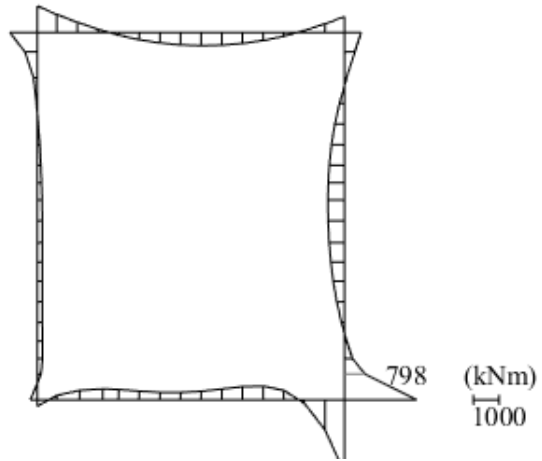
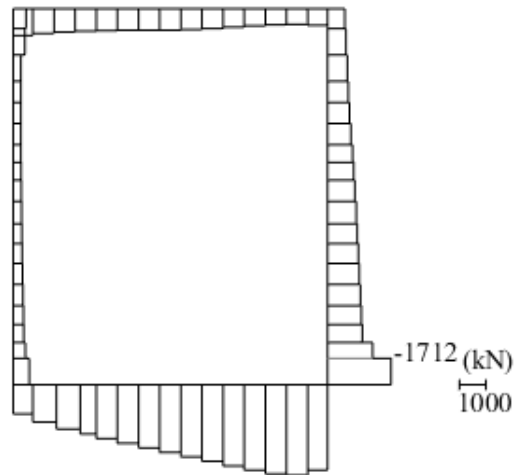


図5-5 評価位置図（B-B断面）



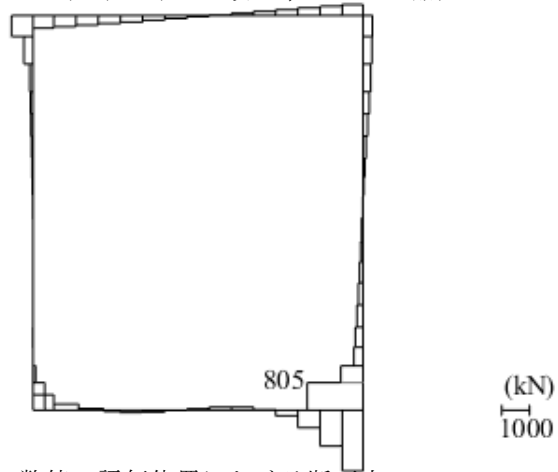
数値：評価位置における断面力

(a) 曲げモーメント (kN・m)



数値：評価位置における断面力

(b) 軸力 (kN) (+ : 引張, - : 圧縮)



数値：評価位置における断面力

(c) せん断力 (kN)

図 5-6 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図

(解析ケース①, $S_s - D (+ -)$)

5.1.3 最大せん断ひずみ分布

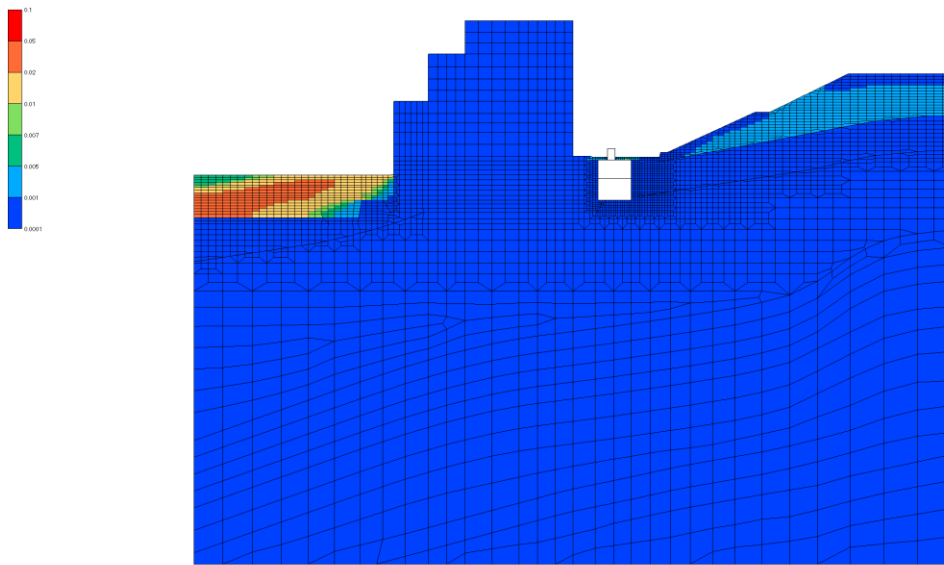
(1) A-A断面

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，発生した最大せん断ひずみを確認する。

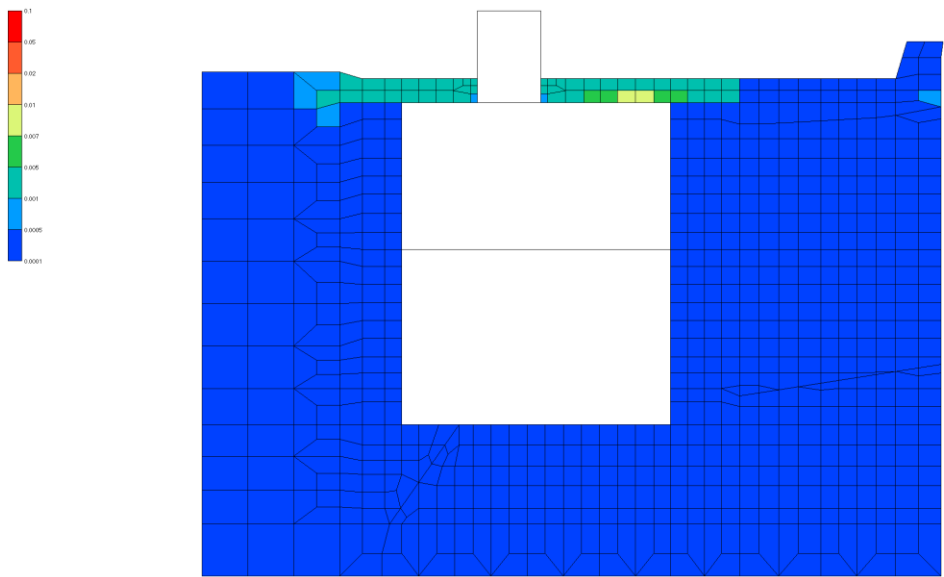
最大照査値を示す地震動の一覧を表 5-5 に，最大せん断ひずみ分布図を図 5-7 に示す。

表 5-5 最大照査値を示すケースの一覧

評価項目	せん断破壊に対する照査
地震動	ケース① S s - D (+ -)



全体図



拡大図

図 5-7 最大せん断ひずみ分布図 (A-A断面)
(ケース① $S_s - D (+)$)

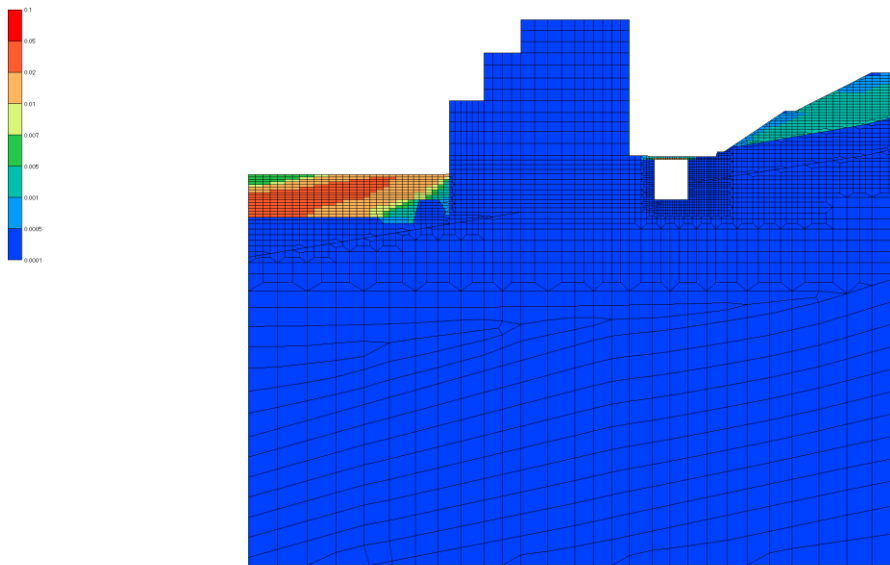
(2) B-B断面

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、発生した最大せん断ひずみを確認する。

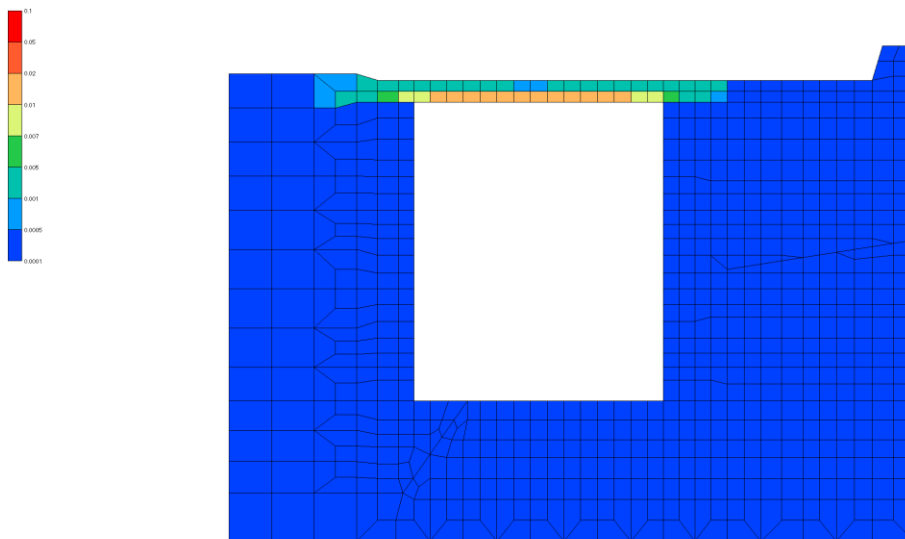
最大照査値を示す地震動の一覧を表 5-6 に、最大せん断ひずみ分布図を図 5-8 に示す。

表 5-6 最大照査値を示すケースの一覧

評価項目	せん断破壊に対する照査
地震動	ケース① S s - D (+ -)



全体図



拡大図

図 5-8 最大せん断ひずみ分布図 (B-B断面)
(ケース① $S_s - D (+ -)$)

5.2 構造部材の健全性に対する評価結果

5.2.1 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果

(1) A-A断面

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5-7に示す。照査値は、照査用ひずみ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。同表のとおり、全地震動において照査用ひずみは限界ひずみを下回ることを確認した。

表5-7 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		照査用ひずみ	限界ひずみ	照査値
			ϵ_d	ϵ_R	ϵ_d / ϵ_R
①	S _s -D	++	256	10000 μ	0.03
		-+	267	10000 μ	0.03
		+-	260	10000 μ	0.03
		--	255	10000 μ	0.03
	S _s -F1	++	228	10000 μ	0.03
	S _s -F2	++	238	10000 μ	0.03
	S _s -N1	++	238	10000 μ	0.03
		-+	261	10000 μ	0.03
	S _s -N2 (NS)	++	240	10000 μ	0.03
		-+	242	10000 μ	0.03
	S _s -N2 (EW)	++	241	10000 μ	0.03
		-+	246	10000 μ	0.03

(2) B-B断面

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5-8に示す。また、貯水機能を損なわない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5-9及び表5-10に示す。照査値は、ひずみ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5-10のとおり、貯水機能を支持する機能を有する底版におけるコンクリートの圧縮ひずみ及び主筋ひずみが、全地震動において許容限界（コンクリートの圧縮ひずみ：2000 μ ，主筋ひずみ：1725 μ ，降伏曲げモーメント）を下回ることを確認した。

最大となるコンクリートの圧縮ひずみ及び主筋ひずみが発生したケースについて、最大値の発生位置とその値を図5-9及び図5-10に示す。

表5-8 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		照査用ひずみ	限界ひずみ	照査値
			ϵ_d	ϵ_R	ϵ_d / ϵ_R
①	S _s -D	++	224	10000 μ	0.03
		-+	220	10000 μ	0.03
		+ -	248	10000 μ	0.03
		--	225	10000 μ	0.03
	S _s -F1	++	156	10000 μ	0.02
	S _s -F2	++	193	10000 μ	0.02
	S _s -N1	++	216	10000 μ	0.03
		-+	184	10000 μ	0.02
	S _s -N2 (NS)	++	192	10000 μ	0.02
		-+	172	10000 μ	0.02
	S _s -N2 (EW)	++	179	10000 μ	0.02
		-+	163	10000 μ	0.02

表 5-9 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果（コンクリートの圧縮ひずみ）
 （貯水機能を損なわないことの確認）

解析ケース	地震動		照査用ひずみ	限界ひずみ	照査値
			ϵ_d	ϵ_R	ϵ_d / ϵ_R
①	S _s -D	++	224	2000 μ	0.12
		-+	220	2000 μ	0.11
		+ -	248	2000 μ	0.13
		--	225	2000 μ	0.12
	S _s -F 1	++	156	2000 μ	0.08
	S _s -F 2	++	193	2000 μ	0.10
	S _s -N 1	++	216	2000 μ	0.11
		-+	184	2000 μ	0.10
	S _s -N 2 (NS)	++	192	2000 μ	0.10
		-+	172	2000 μ	0.09
	S _s -N 2 (EW)	++	179	2000 μ	0.09
		-+	163	2000 μ	0.09

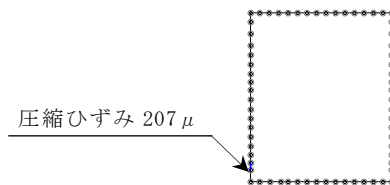


図 5-9 最大圧縮ひずみ発生位置

表 5-10 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果（主筋ひずみ）
（貯水機能を損なわないことの確認）

解析ケース	地震動		照査用ひずみ	限界ひずみ	照査値
			ϵ_d	ϵ_R	ϵ_d / ϵ_R
①	S _s -D	++	589	1725 μ	0.35
		-+	533	1725 μ	0.31
		+ -	608	1725 μ	0.36
		--	593	1725 μ	0.35
	S _s -F 1	++	485	1725 μ	0.29
	S _s -F 2	++	610	1725 μ	0.36
	S _s -N 1	++	527	1725 μ	0.31
		-+	505	1725 μ	0.30
	S _s -N 2 (NS)	++	465	1725 μ	0.27
		-+	509	1725 μ	0.30
	S _s -N 2 (EW)	++	499	1725 μ	0.29
		-+	510	1725 μ	0.30

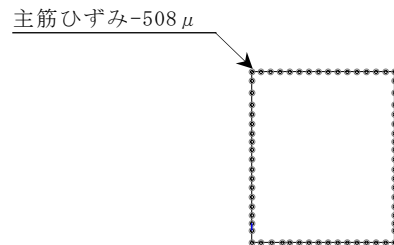


図 5-10 最大主筋ひずみ発生位置

5.2.2 せん断破壊に対する評価結果

(1) A-A断面

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5-11及び表5-12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、全部材で照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認した。

表5-11 せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動	評価位置*1		照査用	せん断	照査値 $V_d/V_{y d}$	
				せん断力 V_d^{*2} (kN)	耐力 $V_{y d}$ (kN)		
①	S s - D	++	頂版	2	623	1273	0.49
			側壁	12	971	1764	0.56
			床版	5	438	1452	0.31
			底版	6	1117	3016	0.38
		-+	頂版	2	663	1264	0.53
			側壁	12	933	1816	0.52
			床版	5	415	1428	0.30
			底版	6	1171	3028	0.39
		+-	頂版	2	606	1243	0.49
			側壁	12	1066	1837	0.59
			床版	5	490	1394	0.36
			底版	6	1110	3009	0.37
		--	頂版	2	600	1266	0.48
			側壁	12	904	1762	0.52
			床版	5	413	1409	0.30
			底版	6	1126	3170	0.36
	S s - F 1	++	頂版	2	560	1348	0.42
			側壁	12	759	1804	0.43
			床版	5	371	1434	0.26
			底版	6	987	3026	0.33
	S s - F 2	++	頂版	2	585	1236	0.48
			側壁	12	845	1818	0.47
			床版	5	317	1210	0.27
			底版	6	1006	2992	0.34

表 5-12 せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動		評価位置*1		照査用	せん断	照査値 $V_d/V_{y d}$
					せん断力 V_d *2 (kN)	耐力 $V_{y d}$ (kN)	
①	S s - N 1	++	頂版	4	564	1253	0.46
			側壁	10	1087	2486	0.44
			床版	5	434	1361	0.32
			底版	6	1080	3075	0.36
		-+	頂版	2	595	1389	0.43
			側壁	12	961	1801	0.54
			床版	5	361	1348	0.27
			底版	6	1270	3100	0.41
	S s - N 2 (N S)	++	頂版	2	590	1294	0.46
			側壁	12	906	1816	0.50
			床版	5	388	1370	0.29
			底版	6	1022	3010	0.34
		-+	頂版	2	582	1300	0.45
			側壁	12	799	1784	0.45
			床版	5	364	1381	0.27
			底版	6	1041	2999	0.35
	S s - N 2 (E W)	++	頂版	2	612	1281	0.48
			側壁	12	826	1806	0.46
			床版	5	377	1367	0.28
			底版	6	980	2998	0.33
		-+	頂版	2	595	1337	0.45
			側壁	12	850	1775	0.48
			床版	5	355	1403	0.26
			底版	6	1098	3070	0.36

注記*1：評価位置は図 5-11 に示す。

*2：照査用せん断力 $V_d = \text{発生せん断力} V \times \text{構造解析係数} \gamma_a$

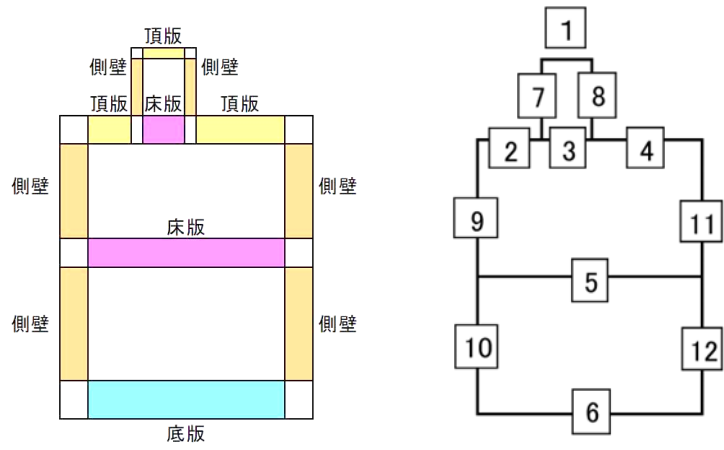


图 5-11 評価位置図 (A-A 断面)

(2) B-B断面

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5-13及び表5-14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、，全部材で照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認した。

表5-13 せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動	評価位置*1		照査用	せん断	照査値 V_d/V_{yd}	
				せん断力 V_d^{*2} (kN)	耐力 V_{yd} (kN)		
①	S s - D	++	頂版	1	454	1234	0.37
			側壁	4	676	1720	0.40
			底版	2	1365	3162	0.44
		-+	頂版	1	521	1257	0.42
			側壁	4	651	1740	0.38
			底版	2	1131	3256	0.35
		+-	頂版	1	448	1237	0.37
			側壁	4	845	1763	0.48
			底版	2	1356	3246	0.42
		--	頂版	1	353	832	0.43
			側壁	4	615	1704	0.37
			底版	2	1137	3227	0.36
	S s - F 1	++	頂版	1	428	1293	0.34
			側壁	4	439	1750	0.26
			底版	2	1030	3202	0.33
	S s - F 2	++	頂版	1	478	1226	0.39
			側壁	4	502	1741	0.29
			底版	2	790	3024	0.27
	S s - N 1	++	頂版	1	448	1241	0.37
			側壁	4	612	1836	0.34
			底版	2	1295	3095	0.42
		-+	頂版	1	294	821	0.36
			側壁	4	776	1733	0.45
			底版	2	1270	3256	0.40

表 5-14 せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動		評価位置*1		照査用	せん断	照査値 $V_d/V_{y d}$
					せん断力 V_d *2(kN)	耐力 $V_{y d}$ (kN)	
①	S s - N 2 (N S)	++	頂版	1	474	1293	0.37
			側壁	4	563	1735	0.33
			底版	2	1092	3093	0.36
		-+	頂版	1	449	1287	0.35
			側壁	4	533	1638	0.33
			底版	2	1015	3256	0.32
	S s - N 2 (E W)	++	頂版	1	494	1267	0.39
			側壁	4	488	1729	0.29
			底版	2	894	3124	0.29
		-+	頂版	1	478	1326	0.37
			側壁	4	535	1724	0.32
			底版	2	952	3256	0.30

注記*1：評価位置は図 5-12 に示す。

*2：照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 γ_a

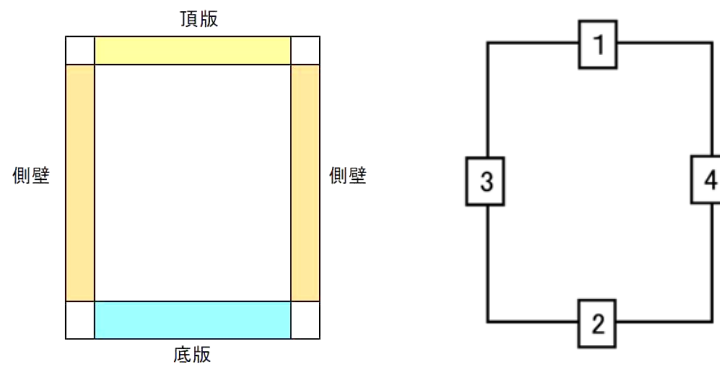


図 5-12 評価位置図 (B-B 断面)

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照査結果を表 5-15 及び表 5-16 に示す。また、最大接地圧分布図を図 5-13 及び図 5-14 に示す。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の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。

なお、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の基礎地盤には一部MMRが存在するが、MMRの支圧強度は岩盤の限界支持力度より十分に大きいことから、評価を省略する。

表 5-15 基礎地盤の支持性能に対する照査結果 (A-A断面)

解析ケース	地震動		最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
①	S _s -D	++	2.88	9.8	0.30
		-+	2.41	9.8	0.25
		+-	3.14	9.8	0.33
		--	2.46	9.8	0.26
	S _s -F 1	++	2.06	9.8	0.22
	S _s -F 2	++	1.89	9.8	0.20
	S _s -N 1	++	2.91	9.8	0.30
		-+	2.03	9.8	0.21
	S _s -N 2 (NS)	++	2.36	9.8	0.25
		-+	1.97	9.8	0.21
	S _s -N 2 (EW)	++	1.85	9.8	0.19
		-+	1.57	9.8	0.17

表 5-16 基礎地盤の支持性能に対する照査結果 (B-B断面)

解析ケース	地震動		最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
①	S _s -D	++	2.37	9.8	0.25
		-+	2.16	9.8	0.23
		+ -	2.65	9.8	0.28
		--	2.24	9.8	0.23
	S _s -F 1	++	1.79	9.8	0.19
	S _s -F 2	++	1.62	9.8	0.17
	S _s -N 1	++	2.56	9.8	0.27
		-+	1.97	9.8	0.21
	S _s -N 2 (NS)	++	2.00	9.8	0.21
		-+	1.79	9.8	0.19
	S _s -N 2 (EW)	++	1.66	9.8	0.17
		-+	1.47	9.8	0.15

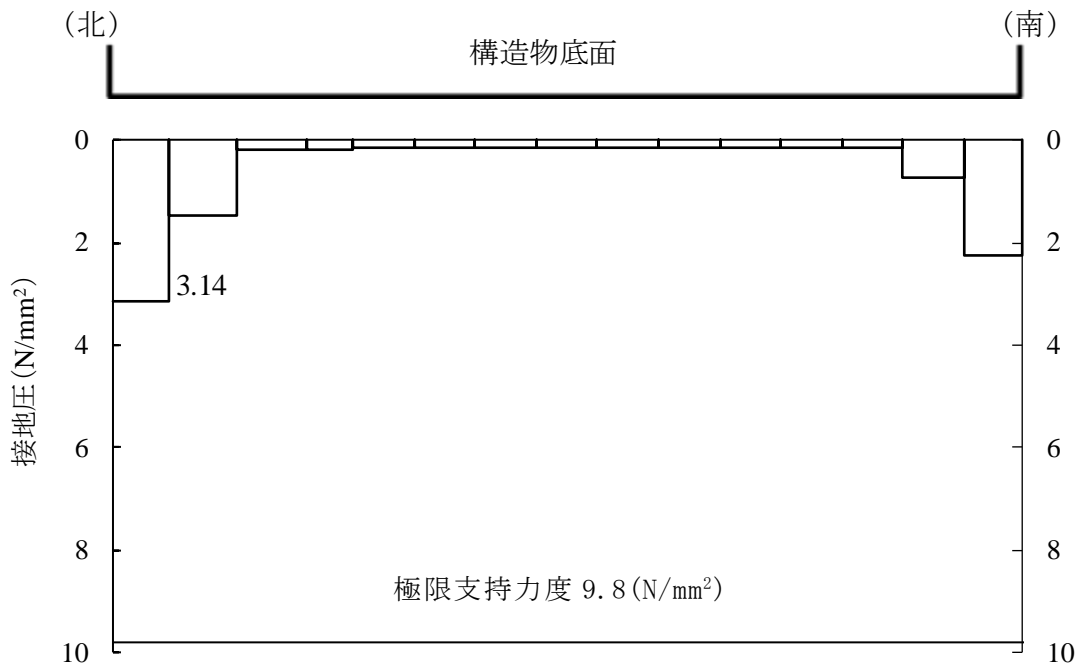


図 5-13 基礎地盤の最大接地圧分布図
(A-A断面, 解析ケース①, $S_s - D (+ -)$)

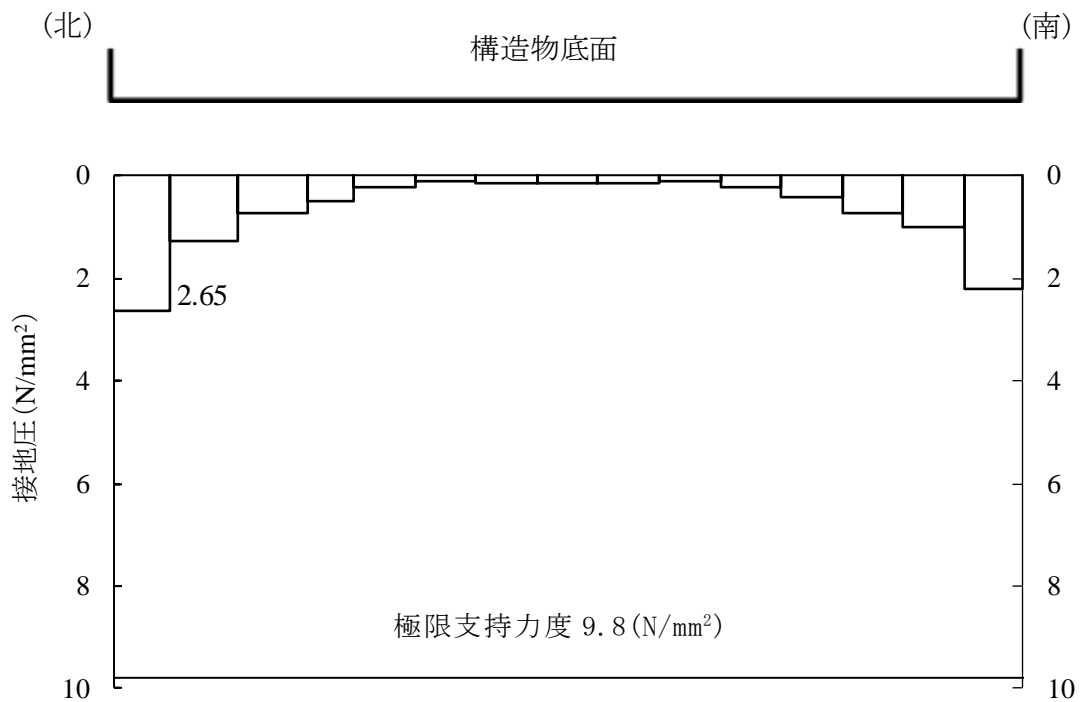


図 5-14 基礎地盤の最大接地圧分布図
(B-B断面, 解析ケース①, $S_s - D (+ -)$)

6. まとめ

安全対策工事着工前の周辺地盤状況における，低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の耐震安全性評価について，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，せん断破壊及び基礎地盤の支持性能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，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。

基礎地盤の支持性能評価については，基礎地盤に発生する応力（接地圧）が極限支持力に基づく許容限界を下回ることを確認した。

以上から，低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は，基準地震動 S_s による地震力に対して，構造強度を有すること，貯水機能を損なわないことを確認した。