

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 1-095改01
提出年月日	2023年4月7日

VI-1-9-3-1 斜面安定性に関する説明書

2023年4月

中国電力株式会社

目 次

1. 基本方針	1
2. 抑止杭の耐震評価	4
3. 抑止杭を設置した斜面の安定性評価	38

1. 基本方針

保管場所のうち第3保管エリアの敷地下斜面及び屋外アクセスルートのうち第3保管エリア周辺のアクセスルート周辺斜面は、基準地震動 S_s による地震力に対して、敷地内土木構造物である抑止杭を設置することで斜面の崩壊を防止できる設計とする。

抑止杭について、代表断面における抑止杭の耐震評価及び斜面の安定性評価を実施する。

抑止杭の耐震評価については2.で説明し、抑止杭を反映した地震時の斜面の安定性評価については3.で説明する。

対策工（抑止杭）を実施した斜面の安定性評価フローを図1-1に示す。必要抑止力の算定に用いる目標安全率は、評価基準値であるすべり安全率1.0に対し、一定程度の裕度を見込んで1.2を目標とする。

なお、対策工（抑止杭）を設置した斜面における抑止杭周辺地盤及び抑止杭間の岩盤については、健全性を確保していることを確認している。

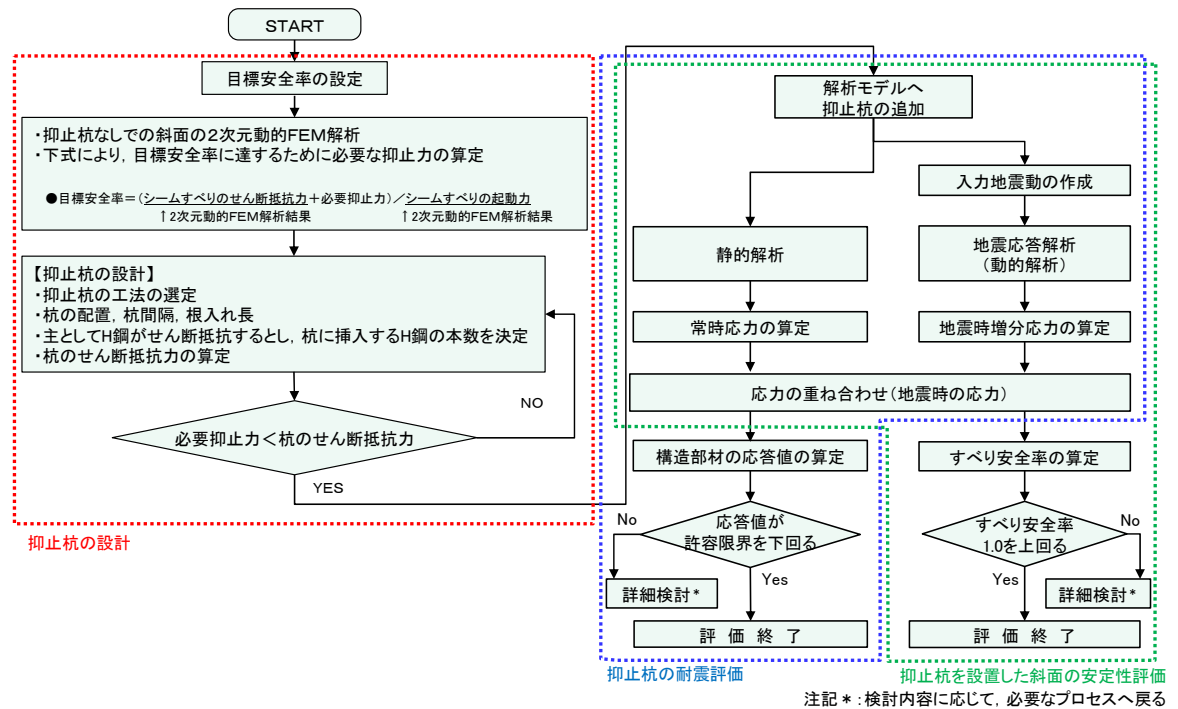


図1-1 対策工（抑止杭）を実施した斜面の安定性評価フロー

抑止杭を設置した斜面の位置図を図 1-2 に示す。

抑止杭は、深礎杭の中に H 鋼を建込んでおり、シームのすべりを抑止するため、シームのすべり方向（シームの最急勾配方向は北傾斜のため北方向となる）に対して直交するように縦列に配置している。（シームの分布は図 2-2 参照）

抑止杭の構造概要図を図 1-3 に示す。抑止杭は H 鋼、コンクリート、帯鉄筋及び軸方向鉄筋で構成され、シームを通るすべりに伴うせん断力に対して、H 鋼、コンクリート及び帯鉄筋が負担し、曲げモーメントにより生じる圧縮力及び引張力に対して、それぞれコンクリート及び軸方向鉄筋が負担する設計とする。

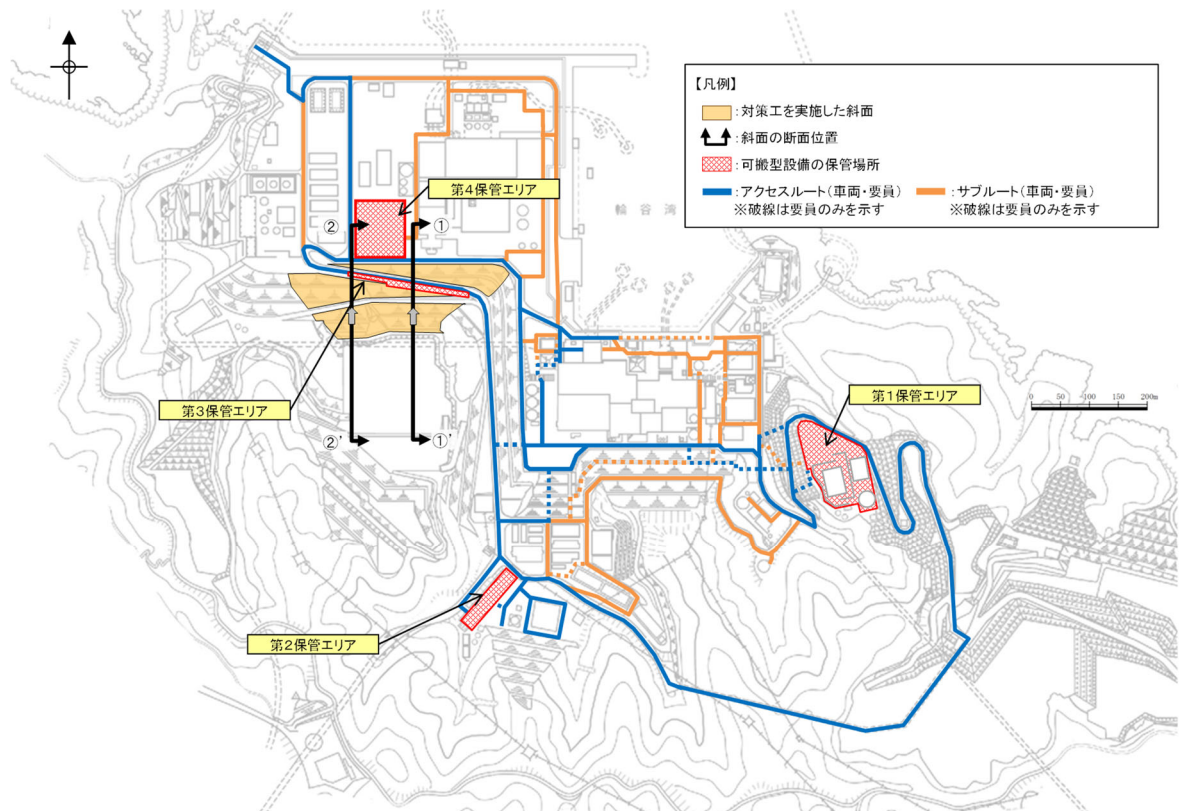
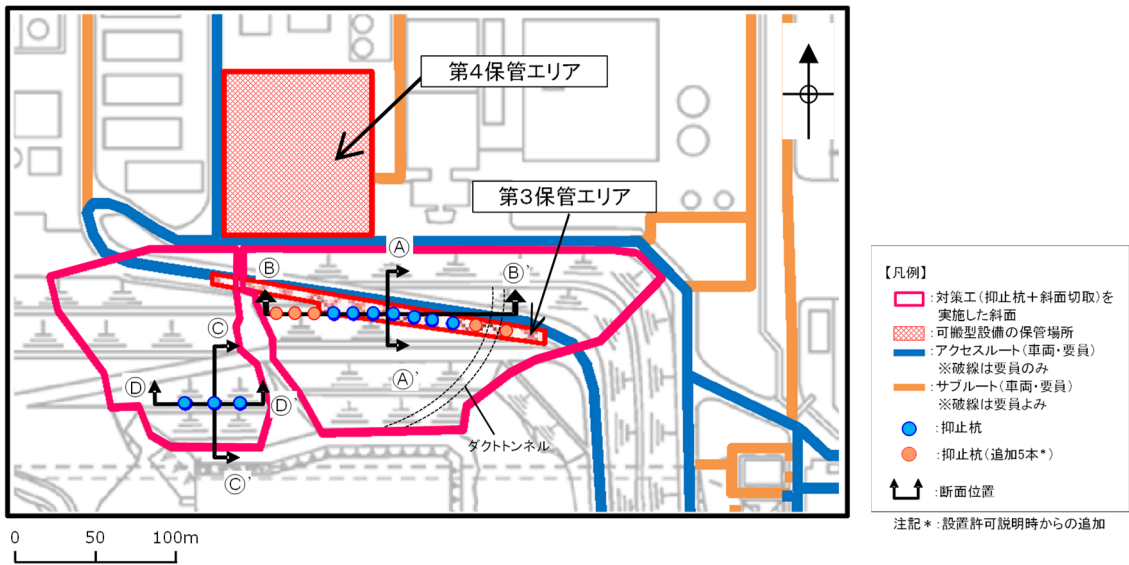
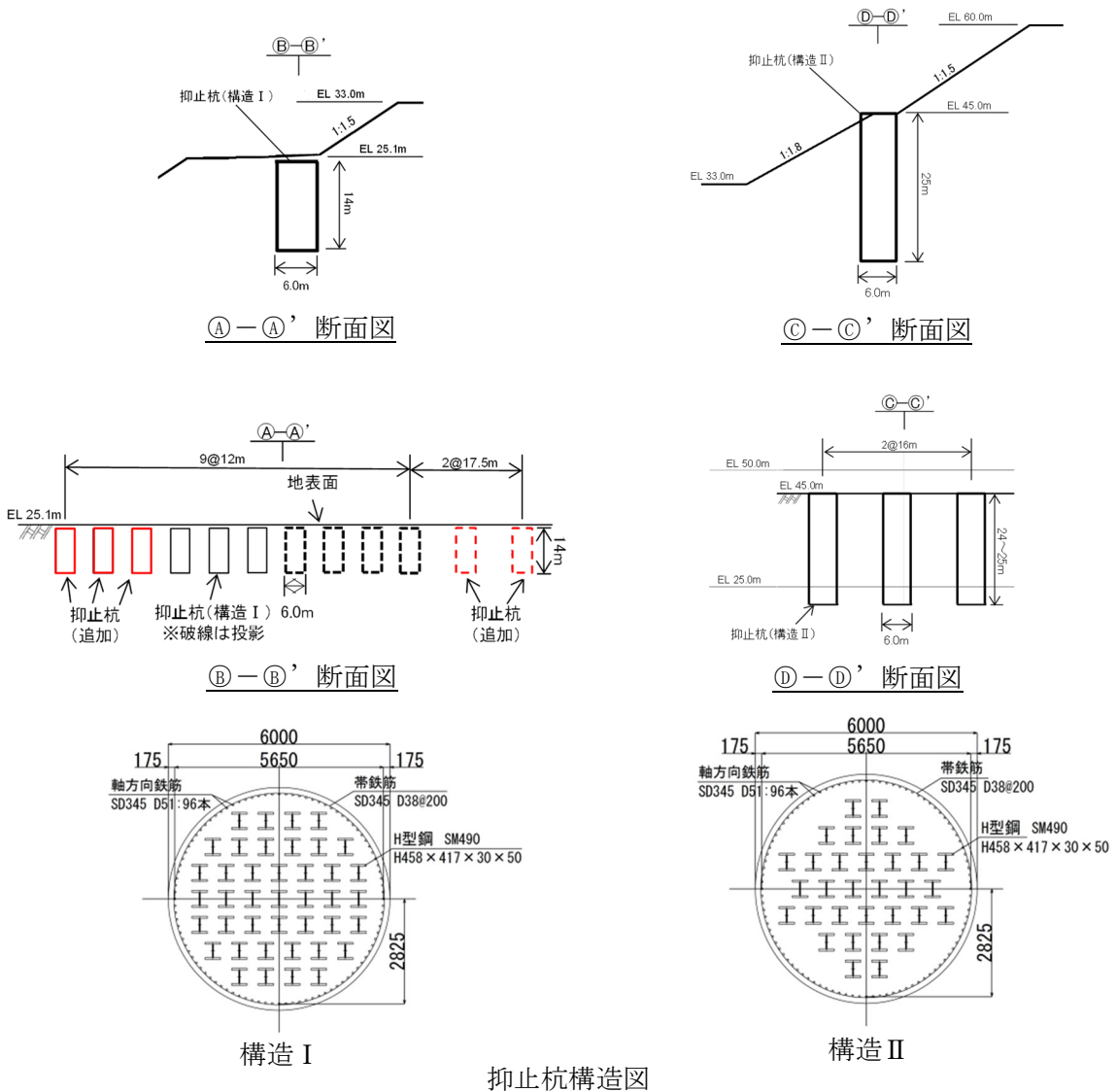


図 1-2 対策工（抑止杭）を実施した対象斜面位置図



抑止杭配置平面図



抑止杭構造図

図 1-3 抑止杭概要図

2. 抑止杭の耐震評価

(1) 評価方針

基準地震動 S_s が作用した場合に、抑止杭の機能が維持されていることを確認するため、耐震評価を実施する。耐震評価においては、地震応答解析結果における照査用応答値が許容限界を下回ることを確認する。

(2) 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・最新斜面・土留め技術総覧(最新斜面・土留め技術総覧編集委員会，1991年)
- ・斜面上の深礎基礎設計施工便覧((社)日本道路協会，2012年3月)
- ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕((社)土木学会，2002年3月)
- ・道路橋示方書・同解説(I 共通編・II 鋼橋編)((社)日本道路協会，2002年3月)
- ・道路橋示方書・同解説(I 共通編・IV 下部構造編)((社)日本道路協会，2002年3月)

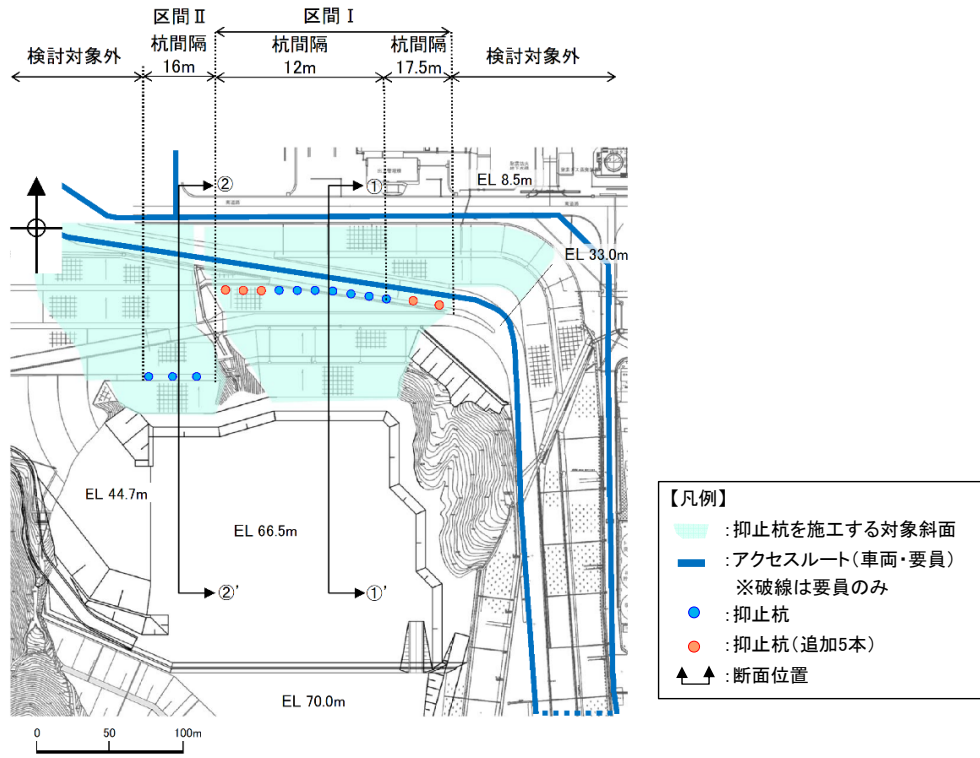
(3) 評価対象斜面及び評価断面の選定

【評価対象斜面の選定】

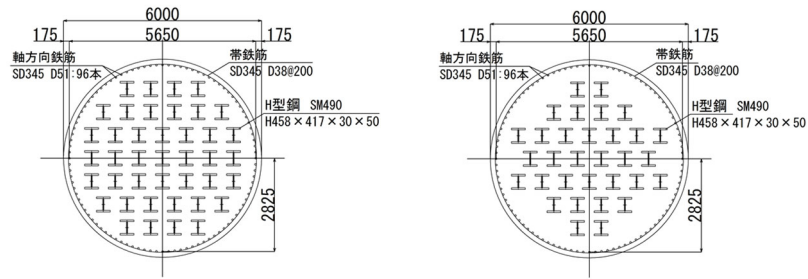
評価対象斜面について，構造物の配置，地形及び地質・地質構造を考慮し，構造物の耐震評価上，最も厳しくなると考えられる位置を選定する。

まず，構造物の配置の観点から，図2-1に示すとおり，対象斜面は以下の2つの区間に分けられる。それぞれの区間は，抑止杭の効果を期待する範囲とし，それ以外は斜面高さが低いことから除外している。

- ・区間Ⅰ：抑止杭の構造Ⅰが12本配置されている山体。12本のうち西側から10本は12m間隔，東側の2本は17.5m間隔で配置されている。
- ・区間Ⅱ：抑止杭の構造Ⅱが16m間隔で3本配置されている山体。



平面図



抑止杭構造図(構造Ⅰ)

抑止杭構造図(構造Ⅱ)

図2-1 抑止杭の配置パターン図

次に、地形及び地質・地質構造の観点から、区間Ⅰ及び区間Ⅱにおける岩級・シーム鉛直断面図を図2-2に、当該断面図を用いてそれぞれの地形及び地質・地質構造を比較した結果を表2-1に示す。

比較検討の結果、各区間において地形及び地質・地質構造が異なるため、両者を評価対象斜面に選定した。

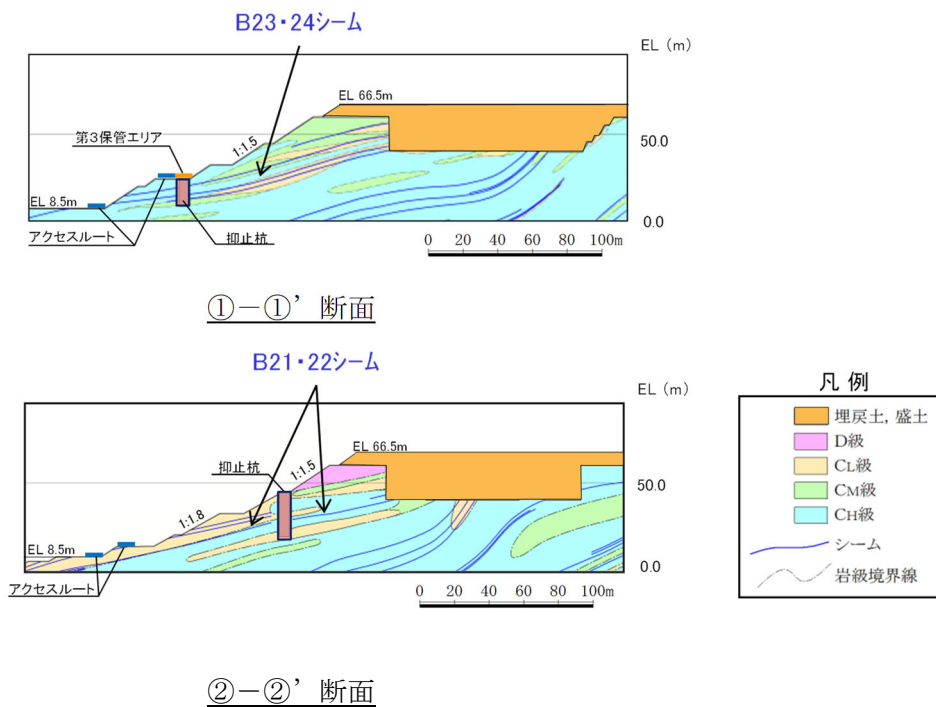


図2-2 区間Ⅰ及び区間Ⅱにおける岩級・シーム鉛直断面図

表2-1 各区間における地形及び地質・地質構造の比較結果

区間	地形		地質・地質構造	
	斜面高さ (m)	切取勾配	岩級	シームの分布
区間Ⅰ (①-①'断面)	58	1:1.5	C _M ~C _H 級主体	B23・24シーム等が連続して分布。
区間Ⅱ (②-②'断面)	58	1:1.5 下部は 1:1.8	C _M ~C _H 級主体, 頂部に D 級が分布	B21・22シーム等が連続して分布。

【評価断面の設定】

評価対象斜面に選定した区間Ⅰ及び区間Ⅱにおいて、地形及び地質・地質構造を考慮し、構造物の耐震評価上、最も厳しくなると考えられる断面位置を評価断面に設定する。

区間Ⅰ及び区間Ⅱの断面位置平面図を図2-3に、地質鉛直断面図を図2-4に、シーム分布図を図2-5に示す。

抑止杭の評価断面については、各区間において地質が東西方向におおむね一様であることを踏まえ、斜面高さが高くなる各区間の中央位置において、最急勾配となる方向に①-①'断面及び②-②'断面を設定した。

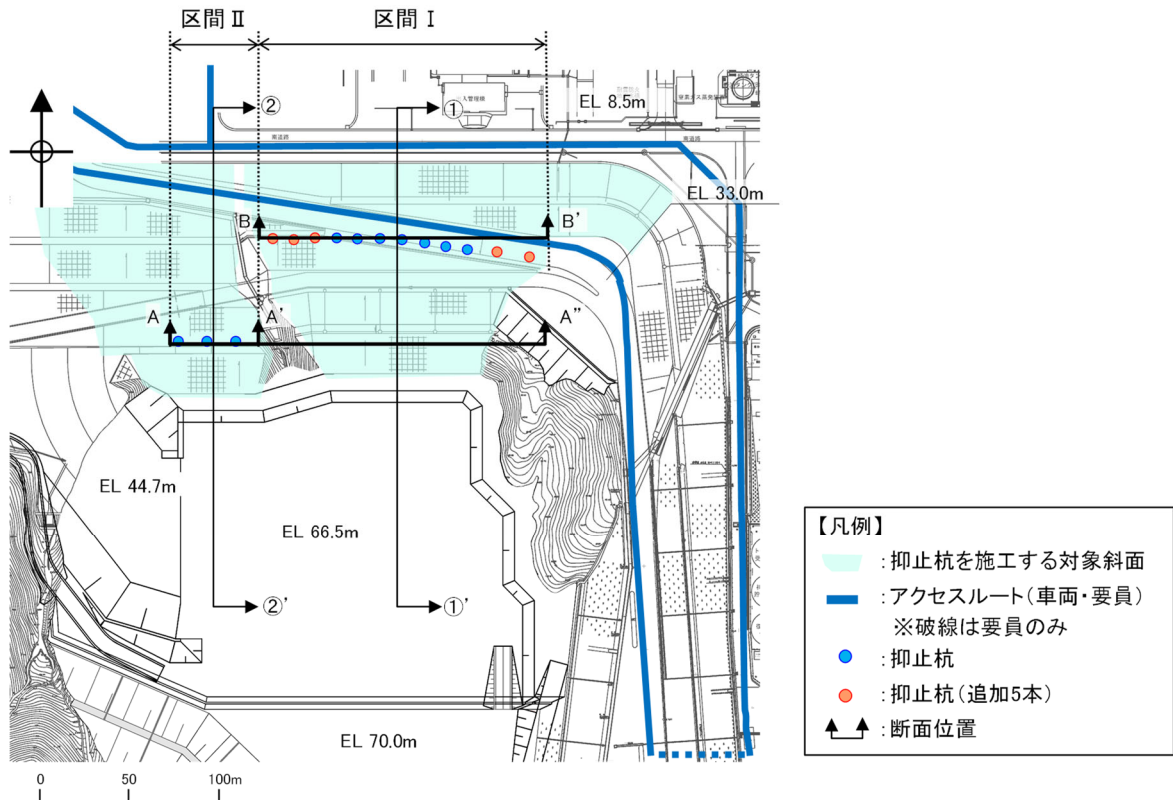


図2-3 区間Ⅰ及び区間Ⅱの断面位置平面図

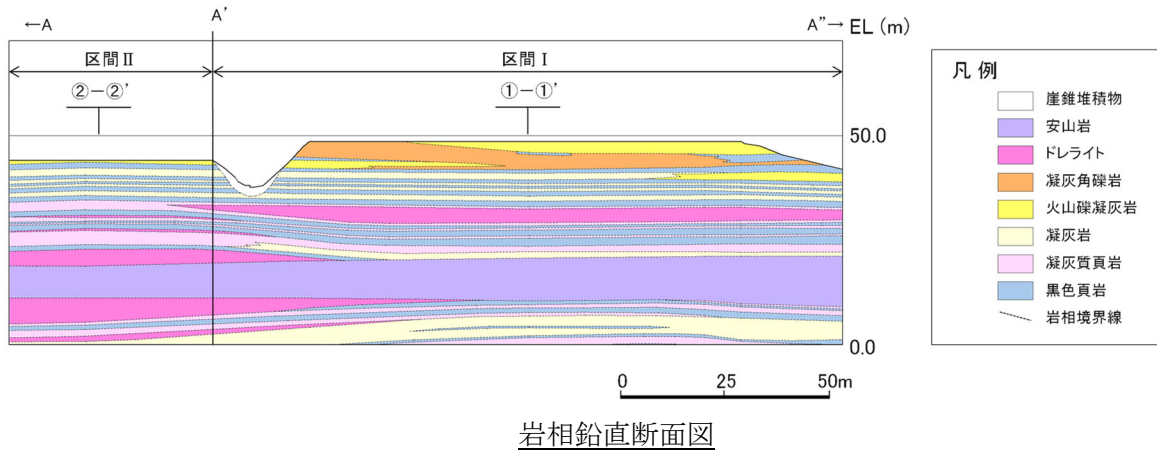
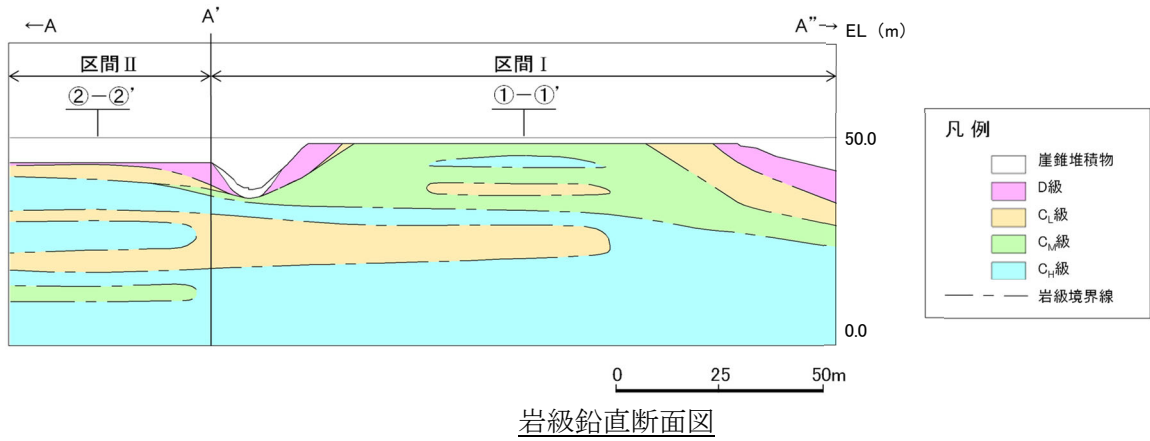
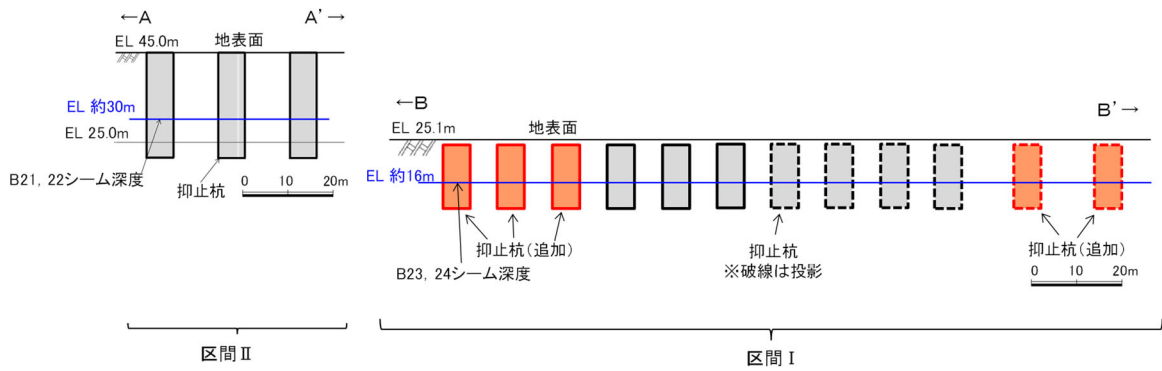


図 2-4 区間 I 及び区間 II の地質鉛直断面図



(4) 解析用物性値（地盤）

地盤の解析用物性値は、添付書類「IV-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づいて設定する。

すべり安定性評価に用いる解析用物性値を表 2-2～表 2-4，解析用物性値の設定根拠を表 2-5 及び表 2-6 に示す。

表 2-2 解析用物性値一覧表 (岩盤①)

	物理特性	強度特性			静的変形特性			動的変形特性		減衰特性
		密度 ρ_s (g/cm ³)	せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)	静弾性係数 E ($\times 10^3$ N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 G_d ($\times 10^3$ N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	
岩盤 (成相寄層)	頁岩	C _H 級	1.14	54	1.48 $\sigma^{0.72}$	3.74	0.19	表 2-3 参照	0.03	
		C _M 級	0.92	54	0.34 $\sigma^{0.54}$	1.95	0.20			
		C _L 級	0.28	45	0.34 $\sigma^{0.54}$	0.54	0.20			
	C _H 級	1.14	54	1.28 $\sigma^{0.72}$	3.74	0.19				
	C _M 級	0.92	54	0.34 $\sigma^{0.54}$	1.95	0.20				
	C _L 級	0.28	28	0.34 $\sigma^{0.54}$	0.43	0.20				
	C _H 級	1.54	55	1.28 $\sigma^{0.72}$	7.78	0.19				
	C _M 級	1.14	47	0.34 $\sigma^{0.54}$	1.47	0.20				
	C _L 級	0.60	28	0.34 $\sigma^{0.54}$	0.43	0.25				
岩盤 (貫入岩)	ドレライト	C _H 級	2.14	52	1.56 $\sigma^{0.72}$	7.78	0.22			
		C _M 級	1.58	52	0.36 $\sigma^{0.54}$	1.47	0.25			
		C _L 級	0.83	43	0.36 $\sigma^{0.54}$	0.43	0.25			
	安山岩	C _H 級	2.14	52	1.56 $\sigma^{0.72}$	7.78	0.25			
		C _M 級	1.58	52	0.36 $\sigma^{0.54}$	1.47	0.25			
		C _L 級	0.83	43	0.36 $\sigma^{0.54}$	0.43	0.25			

表 2-3 解析用物性値一覧表 (岩盤②)

	動せん断弾性係数 $G_d (\times 10^3 \text{ N/mm}^2)$						動ポアソン比 ν_d					
	第①速度層	第②速度層	第③速度層	第④速度層	第⑤速度層	第⑥速度層	第①速度層	第②速度層	第③速度層	第④速度層	第⑤速度層	第⑥速度層
	第①速度層	第②速度層	第③速度層	第④速度層	第⑤速度層	第⑥速度層	第①速度層	第②速度層	第③速度層	第④速度層	第⑤速度層	第⑥速度層
頁岩	C _H 級	0.16	2.08	6.58	9.77	10.28	14.19					
	C _M 級	0.16	2.04	6.45	9.58	10.08	13.92					
	C _L 級	0.15	1.98	6.25	9.28	9.76	13.47					
	C _H 級	0.16	2.07	6.55	9.73	10.24	14.14					
	C _M 級	0.16	2.02	6.37	9.47	9.96	13.75					
	C _L 級	0.15	1.89	5.96	8.86	9.32	12.87					
凝灰岩・凝灰角礫岩	C _H 級	0.16	2.03	6.43	9.54	10.04	13.86					
	C _M 級	0.15	1.98	6.25	9.28	9.76	13.47	0.45	0.39	0.38	0.34	0.35
	C _L 級	0.14	1.86	5.89	8.75	9.20	12.70					
ドレライト	C _H 級	0.17	2.25	7.12	10.57	11.12	15.35					
	C _M 級	0.16	2.11	6.66	9.89	10.40	14.36					
	C _L 級	0.16	2.05	6.48	9.62	10.12	13.97					
安山岩	C _H 級	0.17	2.17	6.86	10.19	10.72	14.80					
	C _M 級	0.17	2.17	6.86	10.19	10.72	14.80					
	C _L 級	0.16	2.10	6.63	9.85	10.36	14.30					

表 2-4 解析用物性値一覧表 (土質材料)

	物理特性		強度特性		静的変形特性		動的変形特性		減衰特性
	密度 ρ_s (g/cm ³)	せん断 強度 τ_0 (N/mm ²)	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
D 級岩盤	2.28	0.11	6	$0.11 + \sigma \tan 6^\circ$	$141 \sigma^{0.39}$	0.30	$G_0 = 148 \sigma^{0.49}$ $G/G_0 = 1/(1 + \gamma/0.00062)$	0.45	$\gamma \leq 1 \times 10^{-4} : h = 0.023$ $\gamma > 1 \times 10^{-4} : h = 0.023 + 0.071 \cdot \log(\gamma/0.0001)$
シーム	2.23	0.19	18	$0.19 + \sigma \tan 18^\circ$	$G_{0.5} = 44 \sigma^{0.34}$	0.40	$G_0 = 225 \sigma^{0.31}$ $G/G_0 = 1/[1 + (\gamma/0.00149)^{0.849}]$	0.45	$h = \gamma / (2.14 \gamma + 0.017) + 0.031$
埋戻土, 盛土	2.11	0.22	22	$0.22 + \sigma \tan 22^\circ$	$E_{0.5} = 115 \sigma^{0.61}$	0.40	$G_0 = 749 \sigma^{0.66}$ $G/G_0 = 1/(1 + \gamma/0.00027)$	0.45	$h = 0.0958 \gamma / (\gamma + 0.00020)$
埋戻土 (購入土)	2.01	0.04	21	$0.04 + \sigma \tan 21^\circ$	$E_{0.5} = 227 \sigma^{0.75}$	0.40	$G_0 = 275 \sigma^{0.61}$ $G/G_0 = 1/(1 + \gamma/0.00048)$	0.45	$h = 0.2179 \gamma / (\gamma + 0.00085)$
旧表土	2.00	0.03	21	$0.03 + \sigma \tan 21^\circ$	$E_{0.5} = 37 \sigma^{0.79}$	0.40	$G_0 = 240 \sigma^{0.61}$ $G/G_0 = 1/(1 + \gamma/0.0011)$	0.45	$h = 0.20 \gamma / (\gamma + 0.000413)$
MMR	2.35	—	—	—	23,500	0.20	9,792	0.20	0.05

表 2-5 解析用物性値の設定根拠 (岩盤)

岩種	岩級	物理特性		強度特性		変形特性			減衰特性	
		ピーク強度	残留強度	静的特性	動的特性	減衰定数	減衰特性	静弾性係数	静ポアソン比	動せん断弾性係数
岩盤 (成相寺層)	頁岩	C ₄ 級	ブロックせん断試験	摩擦抵抗試験	平板載荷試験	一軸圧縮試験	PS換層	慣用値*	換算値	換算値
		C ₃ 級								
		C ₂ 級								
	頁岩と凝灰岩の互層	C ₄ 級	ブロックせん断試験	摩擦抵抗試験	平板載荷試験	一軸圧縮試験	PS換層	慣用値*	換算値	換算値
		C ₃ 級								
		C ₂ 級								
	凝灰岩・凝灰角礫岩	C ₄ 級	密度試験(飽和)	摩擦抵抗試験	平板載荷試験	一軸圧縮試験	PS換層	慣用値*	換算値	換算値
		C ₃ 級								
		C ₂ 級								
	ドレライト	C ₄ 級	密度試験(飽和)	摩擦抵抗試験	平板載荷試験	一軸圧縮試験	PS換層	慣用値*	換算値	換算値
		C ₃ 級								
		C ₂ 級								
安山岩	C ₄ 級	密度試験(飽和)	摩擦抵抗試験	平板載荷試験	一軸圧縮試験	PS換層	慣用値*	換算値	換算値	
	C ₃ 級									
	C ₂ 級									
岩盤 (貫入岩)	C ₂ 級	密度試験(飽和)	摩擦抵抗試験	平板載荷試験	一軸圧縮試験	PS換層	慣用値*	換算値	換算値	
C ₃ 級										
C ₄ 級										

注記*：社団法人日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針」(JEA64801-2015)を参考に設定

表 2-6 解析用物性値の設定根拠 (土質材料)

	物理特性	強度特性		変形特性				減衰特性	
		ピーク強度	残留強度	静的特性		動的特性			減衰定数
				静弾性係数	静ポアソン比	動せん断弾性係数	動ポアソン比		
D 級岩盤		中型三軸圧縮試験		中型三軸圧縮試験		動的中型三軸圧縮試験	慣用値*2	動的中型三軸圧縮試験	
シーム		単純せん断試験		単純せん断試験		動的単純せん断試験		動的単純せん断試験	
埋戻土, 盛土	密度試験 (飽和)	大型三軸圧縮試験	ピーク強度と同じ値	大型三軸圧縮試験	慣用値*2	動的大型三軸圧縮試験	慣用値*3	動的大型三軸圧縮試験	
埋戻土 (購入土)		三軸圧縮試験		三軸圧縮試験		繰返し中空ねじりせん断試験		繰返し中空ねじりせん断試験	
旧表土						動的三軸圧縮試験		動的三軸圧縮試験	
MMR	慣用値*1	—	—	慣用値*1	慣用値*1	慣用値*1	慣用値*1	慣用値*1	

注記*1: 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 (社団法人土木学会, 1992年・2005年) を参考に設定

*2: 設計用地盤定数の決め方-岩盤編- (社団法人地盤工学会・2007年) を参考に設定

*3: 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) (社団法人土木学会, 2009年) を参考に設定

(5) 解析用物性値（抑止杭，物理特性・変形特性）

耐震評価に用いる材料定数は，設計図書及び文献等を基に設定する。抑止杭の使用材料を表 2-7 に示す。

表 2-7 抑止杭の使用材料

材 料		諸 元
抑止杭	コンクリート	設計基準強度 $F_c=24\text{N/mm}^2$
	鉄筋	SD345 D38, D51
	H 鋼	SM490 H458×417×30×50

抑止杭及び岩盤の物性値より合成した抑止杭の単位奥行当たりの解析用物性値を表 2-8 に示す。

表 2-8 合成した抑止杭の単位奥行当たりの解析用物性値

対象斜面	断面積比により合成して設定			鉄筋コンクリートの物性値を設定	
	単位体積重量 (kN/m^3)	静弾性係数 ($\times 10^3 \text{ N/mm}^2$)	動せん断弾性係数 ($\times 10^3 \text{ N/mm}^2$)	ポアソン比	減衰 (%)
①-①'	26.3	16.13	9.76	0.20	5
②-②'	25.8	12.97	5.66	0.20	5

(6) 地震応答解析手法

解析断面について、基準地震動 S_s に対する地震応答解析を2次元動的有限要素法により行う。地震応答解析は周波数応答解析手法を用い、等価線形化法により土質材料のせん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を考慮する。

地震時の応力は、静的解析による常時応力と地震応答解析による地震時増分応力を重ね合わせるにより算出する。常時応力は地盤の自重計算により求まる初期応力を考慮し、動的応力は水平地震動及び鉛直地震動による応答の同時性を考慮して求める。

地震応答解析に用いたコードを表2-9に示す。なお、解析コードの検証、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。

表2-9 斜面の地震応答解析に用いたコード

	解析コード
静的解析	S-STAN Ver. 20_SI
地震応答解析	ADVANF Ver. 4.0

地震時の応力は、静的解析による常時応力と、地震応答解析による地震時増分応力を重ね合わせるにより求める。

常時応力は、建設過程を考慮し、図2-6に示すとおり、3ステップに分けて解析を実施する。

常時応力解析時の境界条件は、底面を固定境界とし、自重による鉛直方向の変形を拘束しないよう、側面をローラー境界とする。

- ・ステップ1：地盤の自重計算により初期応力を求める。
- ・ステップ2：敷地造成工事による切取に伴う開放力を反映する。
- ・ステップ3：抑止杭の掘削に伴う開放力及び建込みに伴う荷重を反映する。
敷地造成工事による埋戻土の荷重を反映する。

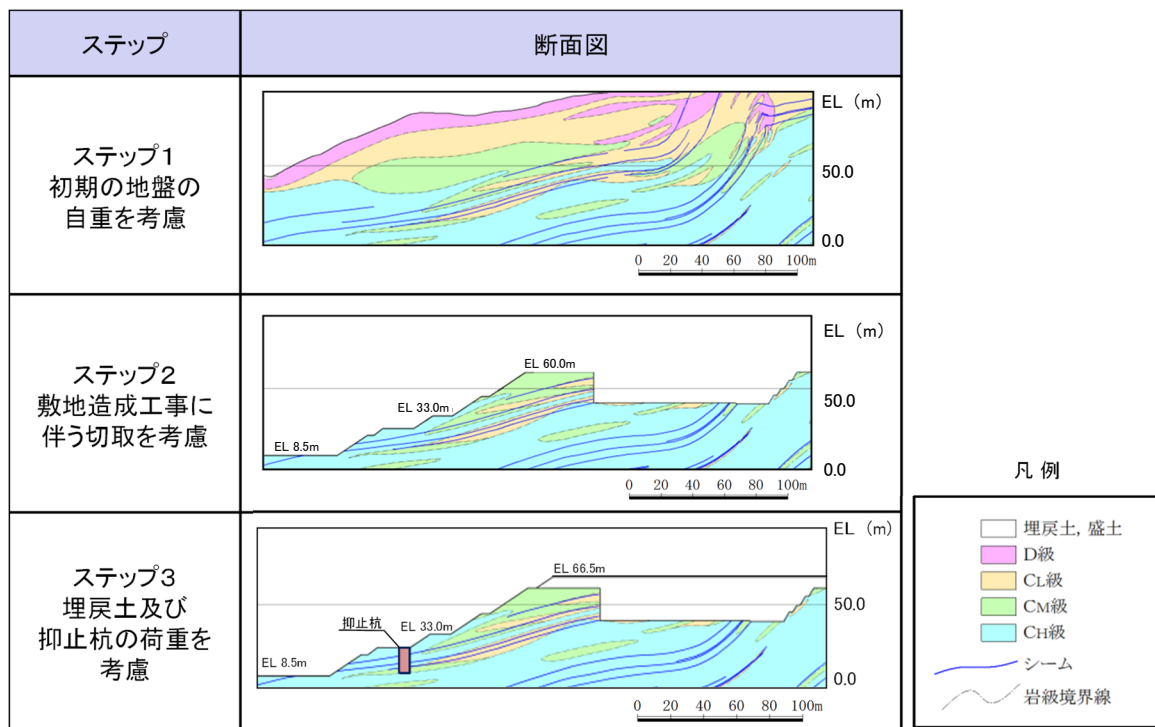


図 2-6 常時応力解析ステップ図 (例: ①-①' 断面)

(7) 解析モデルの設定

①-①' 断面及び②-②' 断面の解析モデル図を図 2-7～図 2-10 に示す。解析モデルには、地盤及び抑止杭をモデル化した。

【解析領域】

側面境界及び底面境界は、斜面頂部や法尻からの距離が十分確保できる位置に設定した。

【境界条件】

エネルギーの逸散効果を評価するため、側面はエネルギー伝達境界、底面は粘性境界とした。

【地盤のモデル化】

平面ひずみ要素でモデル化する。シームはジョイント要素でモデル化する。

【抑止杭のモデル化】

平面ひずみ要素でモデル化する。

【地下水位の設定】

保守的に地表面に設定する。

【減衰特性】

J E A G 4 6 0 1 -2015 に基づき、岩盤の減衰を 3% に設定する。抑止杭の減衰は、コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002 年）に基づき，5% に設定する。

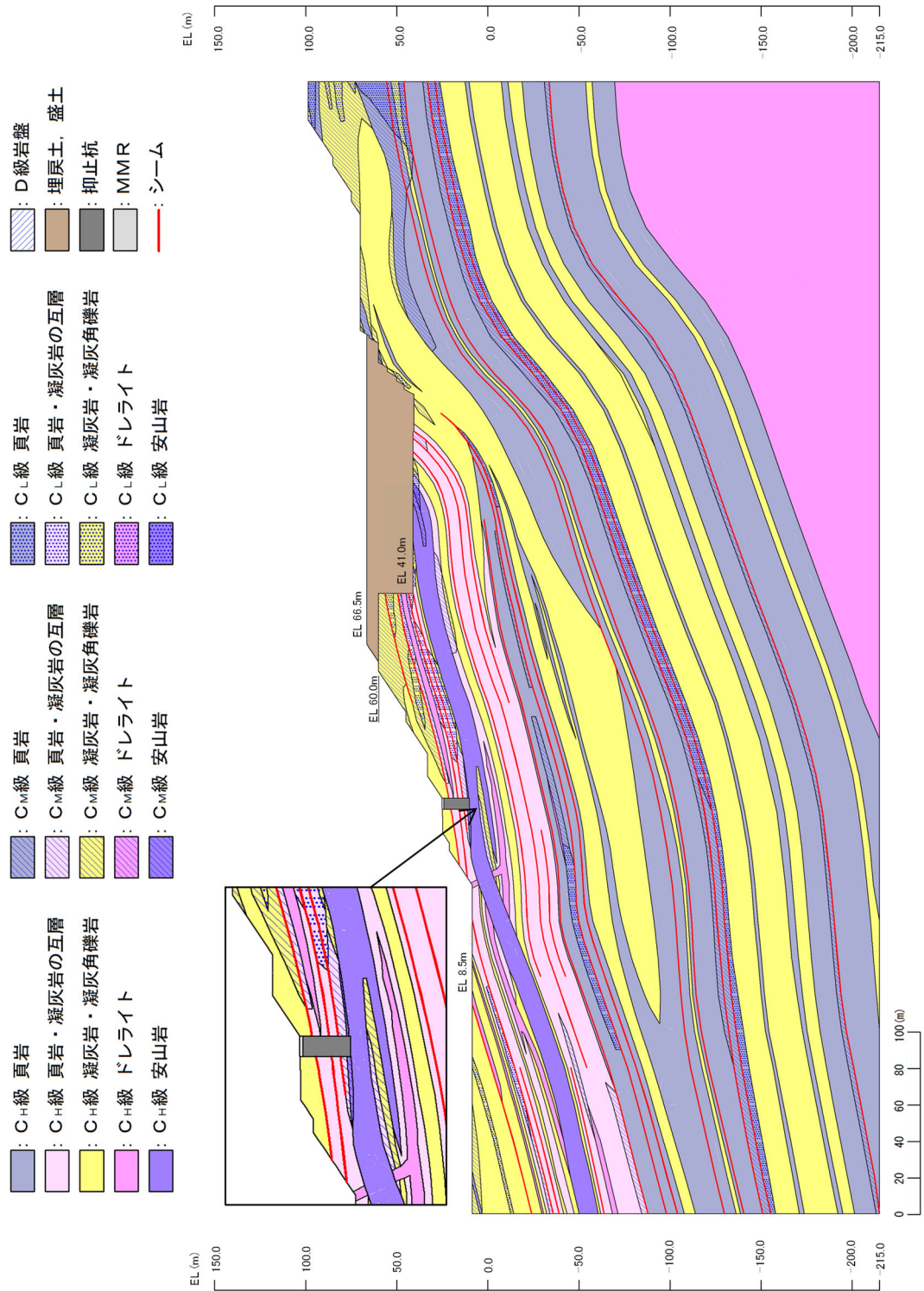


図 2-7 ①-①' 断面 解析用岩盤分類図

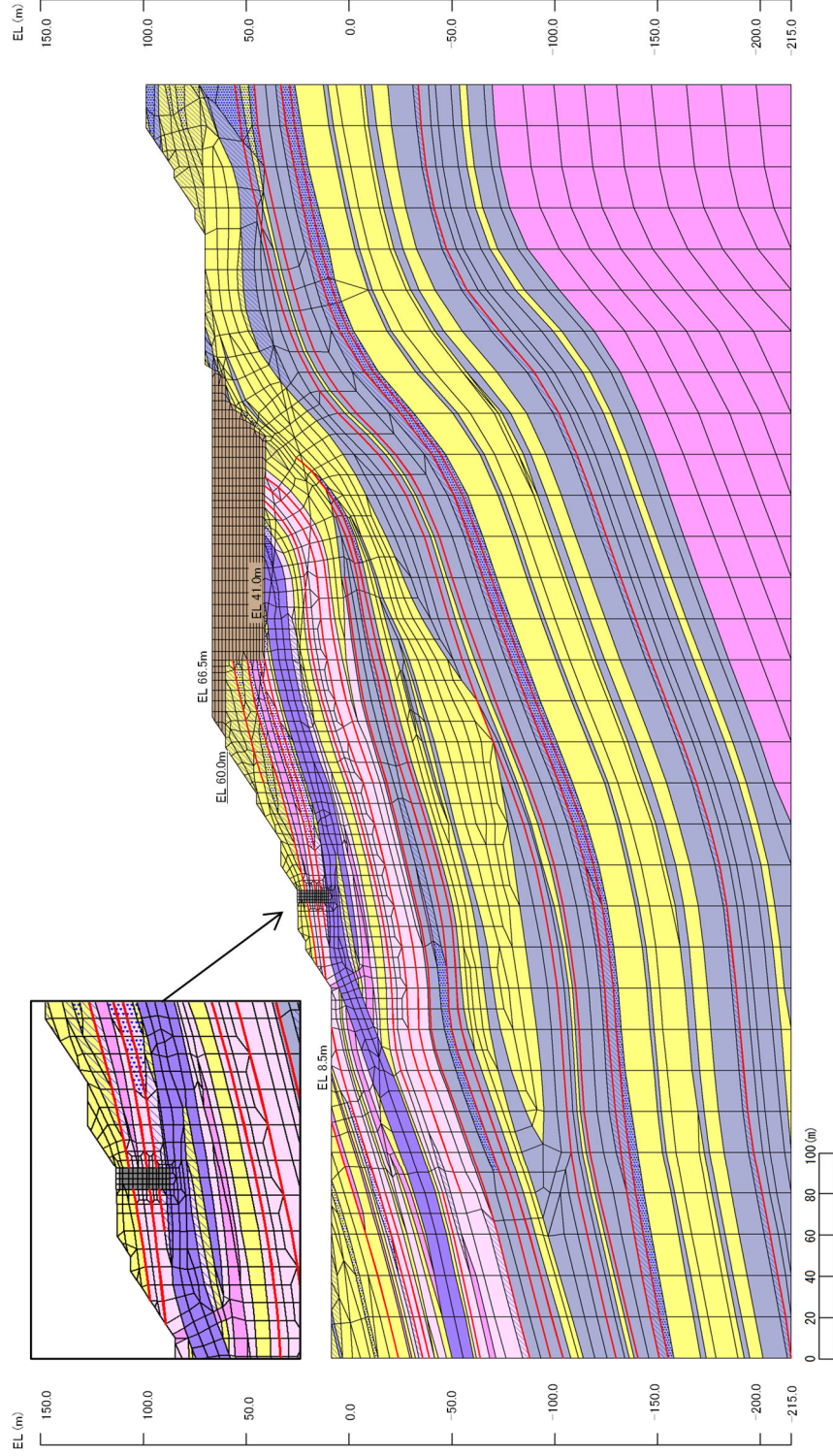
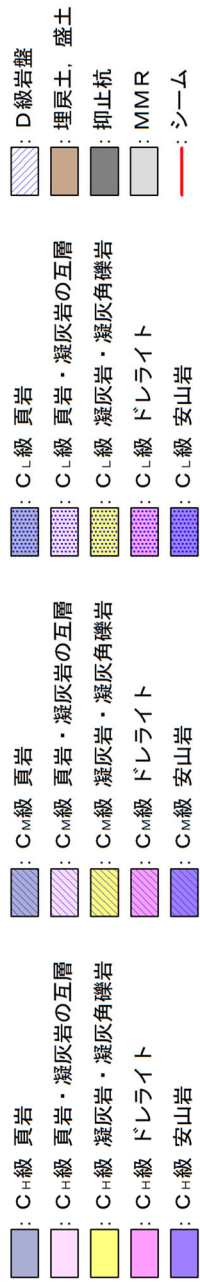


図2-8 ①-①'断面 解析用要素分割図

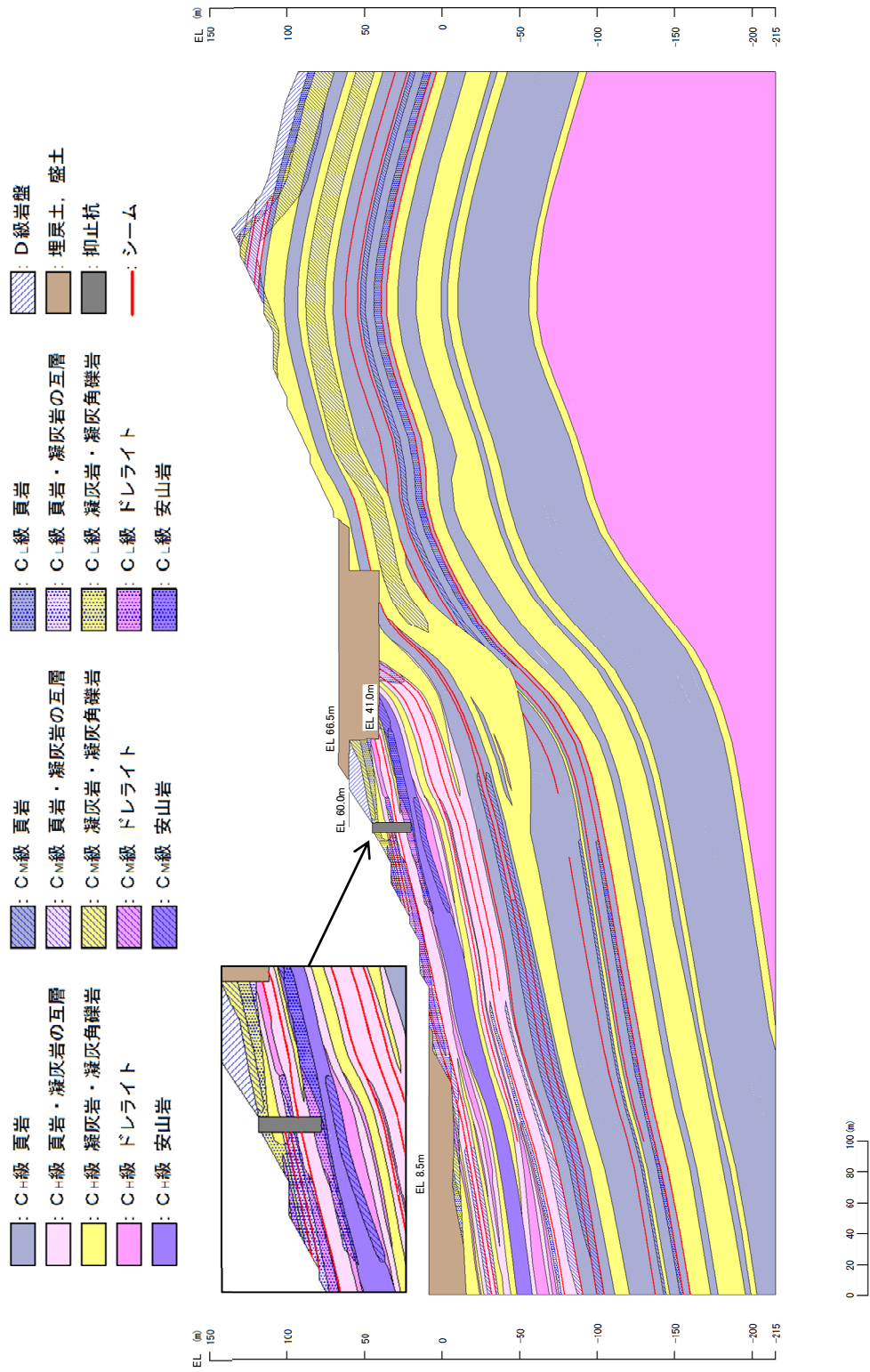


図 2-9 ②-②' 断面 解析用岩盤分類図

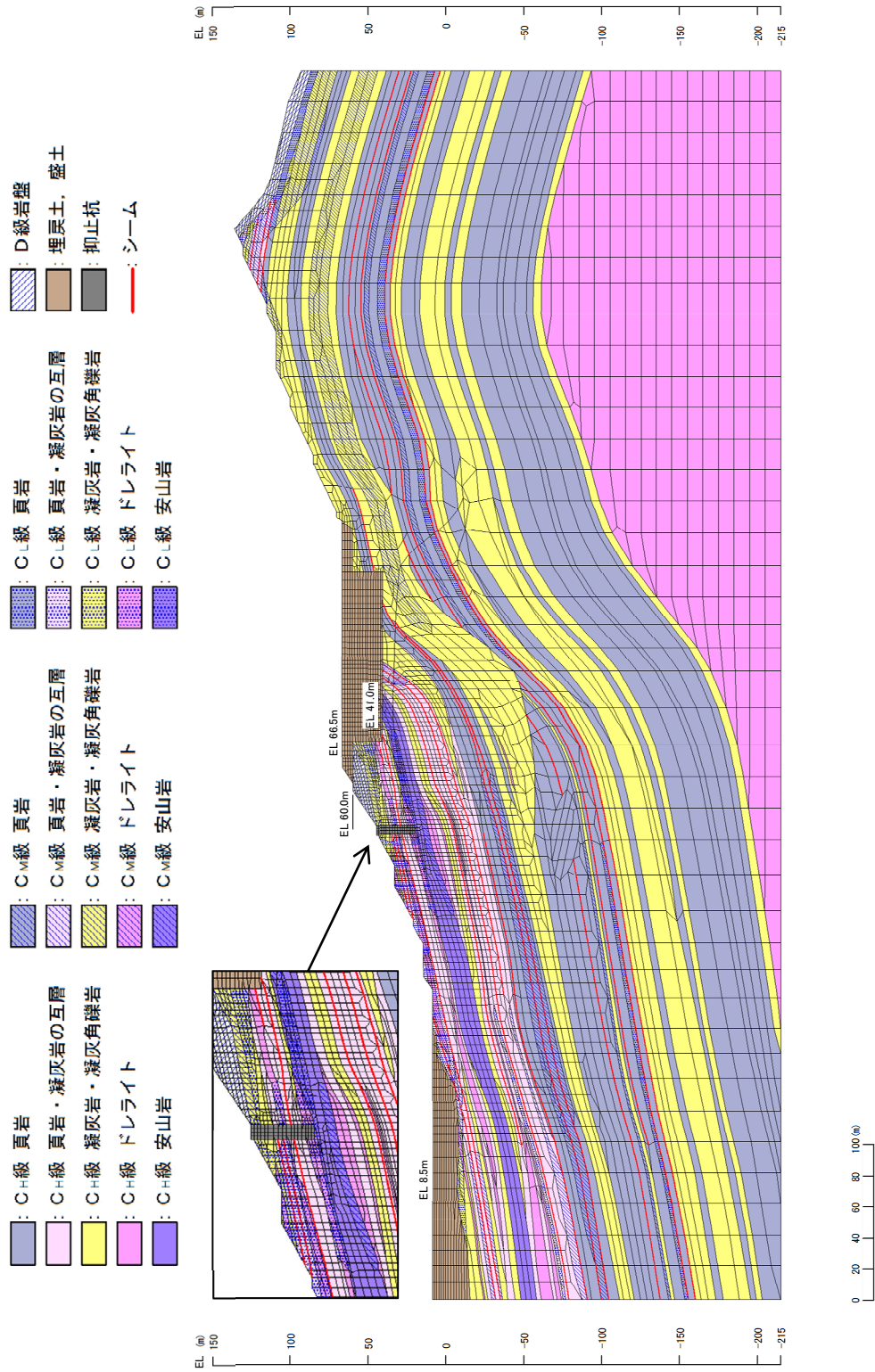


図 2-10 ②-②' 断面 解析用要素分割図

(8) 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、以下のとおり設定する。

【耐震計価上考慮する状態】

抑止杭の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(a) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(b) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(c) 設計用自然条件

常時荷重に対して極めて小さいため、積雪の影響は考慮しない。

大部分が地中に埋設された構造物であり、地上部分が少なく風の影響をほとんど受けないため、風の影響は考慮しない。

(d) 重大事故等時の状態

重大事故等時の影響を受けないことから考慮しない。

【荷重】

抑止杭の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(a) 固定荷重 (G)

固定荷重として、自重を考慮する。

(b) 積載荷重 (P)

積雪等の影響を考慮しないことから、**組合せ**に考慮しない。

(c) 地震荷重 (S s)

基準地震動 S s による荷重を考慮する。

【荷重の組合せ】

荷重の組合せを表 2-10 に示す。

表 2-10 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S s)	G + S s

G : 固定荷重

S s : 地震荷重 (基準地震動 S s)

(9) 許容限界

【断面力の算定】

抑止杭に発生する断面力は、地震時応答解析から求まる抑止杭の各要素に生じる応力から、抑止杭に作用する断面力（軸力、曲げモーメント及びせん断力）を算定する。断面力算定の概念図を図 2-11 に示す。

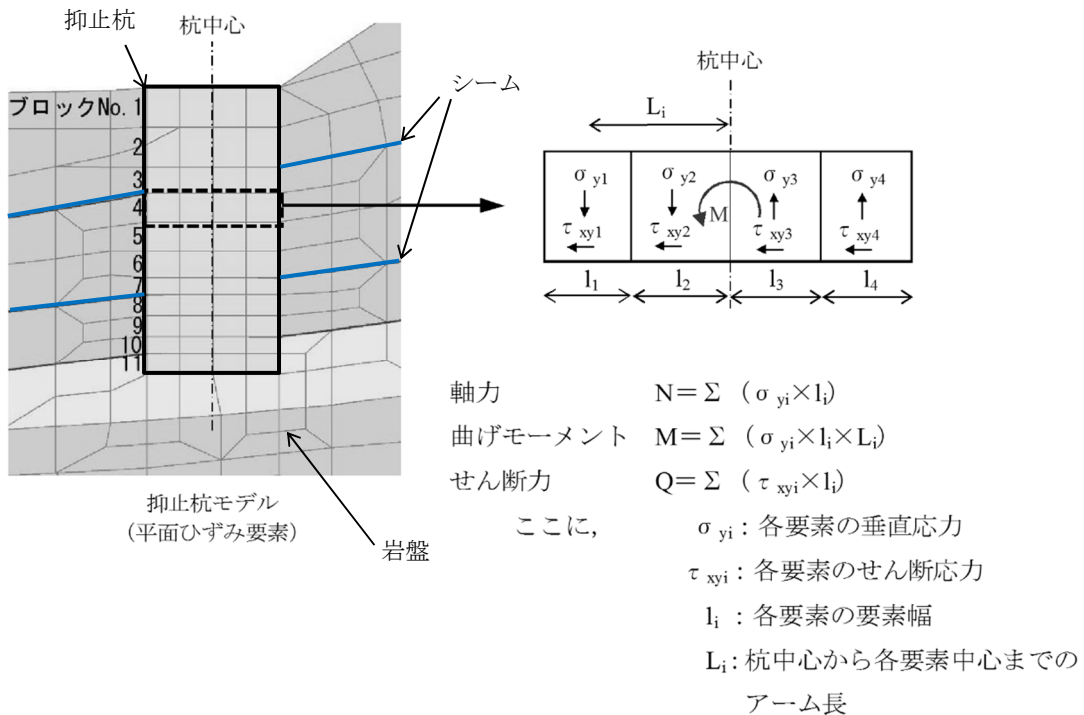


図 2-11 断面力算定の概念図

【照査方法】

「斜面上の深礎基礎設計施工便覧((社)日本道路協会, 2012年3月)」に基づき、せん断破壊に対する照査及び曲げ破壊に対する照査を実施する。

せん断破壊に対する照査は、発生する最大せん断力が抑止杭の許容せん断抵抗力（短期）を下回ることを確認する。

曲げ破壊に対する照査は、最大曲げモーメント発生時の軸力及び曲げモーメントから算定されるコンクリートの曲げ圧縮応力度及び鉄筋の引張応力度が、コンクリート及び鉄筋の許容応力度（短期）を下回ることを確認する。

【許容限界の設定】

- ・ 抑止杭の許容せん断抵抗力

抑止杭の許容せん断抵抗力は、表 2-11 の杭の 1 本当たりの許容せん断抵抗力を各区間の杭本数（区間Ⅰ：12 本，区間Ⅱ：3 本）で乗じ，各区間の抑止杭の効果を期待する範囲の幅（斜面の奥行方向幅）で除して単位奥行当たりのせん断抵抗力として算出する。

算出した抑止杭の単位奥行当たりの許容せん断抵抗力について，表 2-12 に示す。

表 2-11 抑止杭 1 本当たりの許容せん断抵抗力 S_k

材料	許容せん断応力度 (N/mm ²)	断面積 A (mm ²)		許容せん断抵抗力 (kN)	
		①-①' 断面	②-②' 断面	①-①' 断面	②-②' 断面
コンクリート	0.90* ¹	2.51×10 ⁷	2.56×10 ⁷	14256* ⁴	14526* ⁴
帯鉄筋	323* ²	1.14 ×10 ³		16585* ⁵	16585* ⁵
H 鋼	150* ³	2.167×10 ⁶ (41 本)	1.692×10 ⁶ (32 本)	325089	253728
抑止杭 (合計)				355930	284839

抑止杭 1 本当たりの許容せん断抵抗力 S_k

注記*1：コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（(社)土木学会，2002年）に基づき，コンクリート（ $f_c = 24\text{N/mm}^2$ ）の許容せん断応力度：0.45 N/mm²の2倍の強度割増し（一時的な荷重又は極めてまれな荷重）を行う。

*2：コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（(社)土木学会，2002年）に基づき，鉄筋（SD345）の許容引張応力度：196 N/mm²の1.65倍の強度割増し（一時的な荷重又は極めてまれな荷重）を行う。

*3：道路橋示方書・同解説Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編（(社)日本道路協会，2002年）に基づき，H鋼の許容せん断応力度：100 N/mm²の1.5倍の強度割増し（地震荷重）を行う。

*4：道路橋示方書・同解説Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編（(社)日本道路協会，2002年）に基づき下式により設定

$$S_c = \tau_{ca} \times 0.6 \times 1.06 \times A$$

ここで， S_c ：コンクリートの許容せん断抵抗力， τ_{ca} ：コンクリートの許容せん断応力度，

A ：コンクリートの断面積

*5：道路橋示方書・同解説Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編（(社)日本道路協会，2002年）に基づき下式により設定

$$S_s = A_s \times \sigma_{sa} \times d (\sin 90^\circ + \cos 90^\circ) / (1.15 \times s)$$

ここで， S_s ：帯鉄筋の許容せん断抵抗力， σ_{sa} ：帯鉄筋の許容引張応力度，

A_s ：鉄筋の断面積， d ：部材断面の有効高（=5180mm）， s ：帯鉄筋の部材軸方向の間隔（=200mm）

表 2-12 抑止杭の単位奥行当たりの許容せん断抵抗力 R_k

断面	1 本当たりの 許容せん断 抵抗力 S_k (kN)	杭本数 n (本)	斜面の 奥行方向幅 L (m)	単位奥行当たりの 許容せん断 抵抗力 (kN/m)
①-①' 断面	355930	12	158.27	26986
②-②' 断面	284839	3	48.62	17576

・コンクリートの許容曲げ圧縮応力度及び鉄筋の許容引張応力度

コンクリートの許容曲げ圧縮応力度及び鉄筋の許容引張応力度は、コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002 年）の許容応力度法に基づいて設定する。

コンクリートの許容曲げ圧縮応力度及び鉄筋の許容引張応力度について、表 2-13 のとおり設定する。

表 2-13 コンクリートの許容曲げ圧縮応力度・鉄筋の許容引張応力度

項目	許容値 (N/mm^2)
コンクリートの許容曲げ圧縮応力度* ¹	18
軸方向鉄筋の許容引張応力度* ²	323

注記*1：コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002 年）に基づき、コンクリート ($f_c=24N/mm^2$) の許容曲げ圧縮応力度： $9 N/mm^2$ の 2 倍の強度割増し（一時的な荷重又は極めてまれな荷重）を行う。

*2：コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002 年）に基づき、鉄筋 (SD345) の許容引張応力度： $196 N/mm^2$ の 1.65 倍の強度割増し（一時的な荷重又は極めてまれな荷重）を行う。

(10) 評価手順

抑止杭の耐震評価フローを図 2-12 に示す。

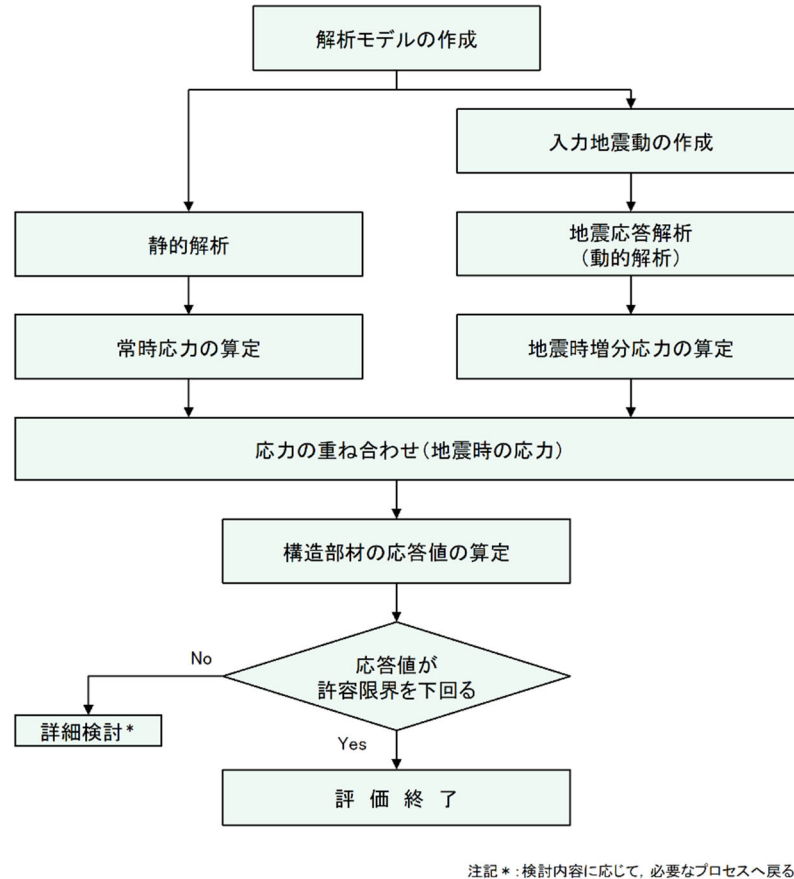


図 2-12 抑止杭の耐震評価フロー

(11) 入力地震動の策定

入力地震動は、解放基盤面で定義される基準地震動 S_s を 1 次元波動論によって、地震応答解析モデルの入力位置で評価したものを用いる。入力地震動は水平地震動及び鉛直地震動を同時に作用させるものとする。

応答スペクトル手法による基準地震動については、水平地震動及び鉛直地震動の位相反転を考慮する。また、震源を特定せず策定する地震動による基準地震動については、観測波であることから、鉛直地震動の位相反転を行わないが、観測点に対する起震断層の方位の不確実性を考慮し、水平地震動の位相反転を考慮する。

なお、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 $S_s - F1$ 及び $S_s - F2$ については、応答スペクトル手法による基準地震動 $S_s - D$ に包絡されるため、検討対象外とする。

表 2-14 に入力地震動の一覧を示す。

入力地震動策定の概念図を図 2-13 に、基準地震動 S_s の加速度応答スペクトルと時刻歴波形を図 2-14～図 2-17 に示す。

入力地震動の策定には、解析コード「SHAKE Ver.2.0」を使用する。なお、解析

コードの検証，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。

表 2-14 入力地震動の一覧

基準地震動	地震動の策定方法	検討ケース*	備考
S s - D	応答スペクトル手法による地震動	(+, +), (-, +) (+, -), (-, -)	水平地震動及び鉛直地震動の位相反転を考慮する。
S s - N1	震源を特定せず策定する地震動 (2004年 北海道留萌支庁南部地震)	(+, +), (-, +)	観測波であるため，鉛直地震動の位相反転を行わないが，観測点に対する起震断層の方位の不確実性を考慮し，水平地震動の位相反転を考慮する。
S s - N2	震源を特定せず策定する地震動 (2000年 鳥取県西部地震)	(+, +), (-, +)	観測波であるため，鉛直地震動の位相反転を行わないが，観測点に対する起震断層の方位の不確実性を考慮し，水平地震動の位相反転を考慮する。
S s - F1	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 (宍道断層)	-	応答スペクトル手法による基準地震動 S s - D に包絡されるため，検討対象外とする。
S s - F2	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 (宍道断層)	-	応答スペクトル手法による基準地震動 S s - D に包絡されるため，検討対象外とする。

注記*：基準地震動の(+, +)は位相反転なし，(-, +)は水平反転，(+, -)は鉛直反転，(-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

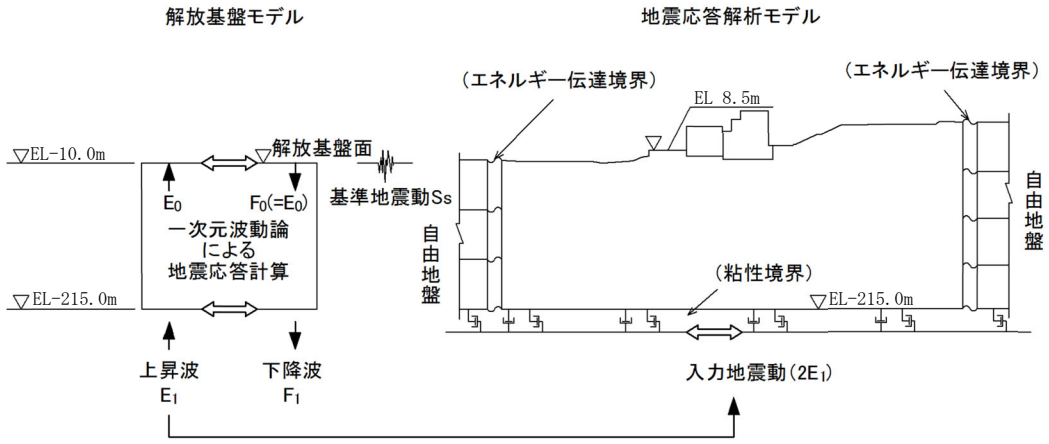


図 2-13 入力地震動策定の概念図

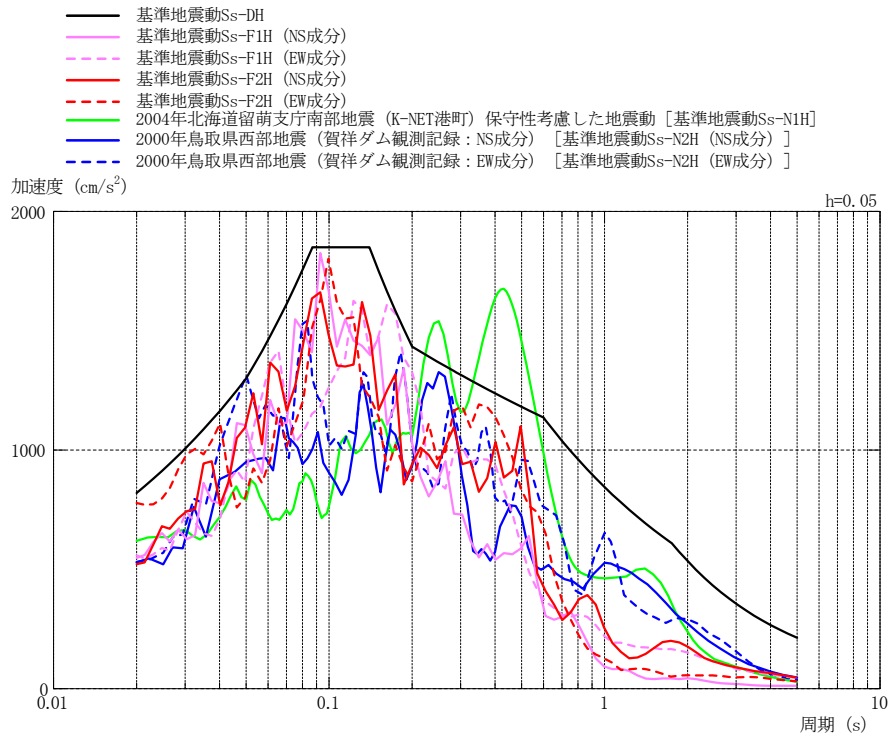
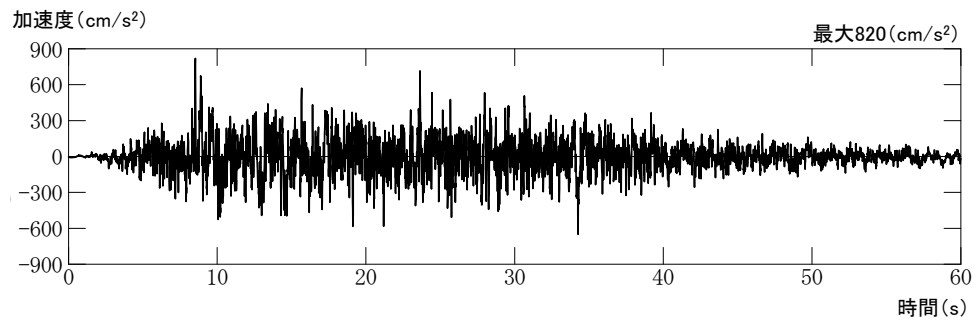
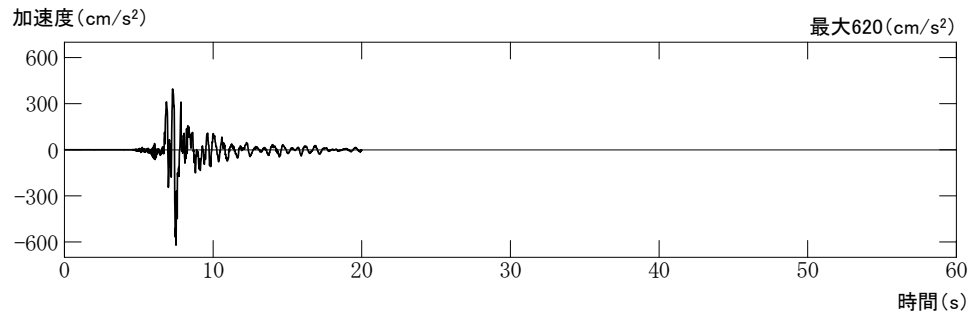


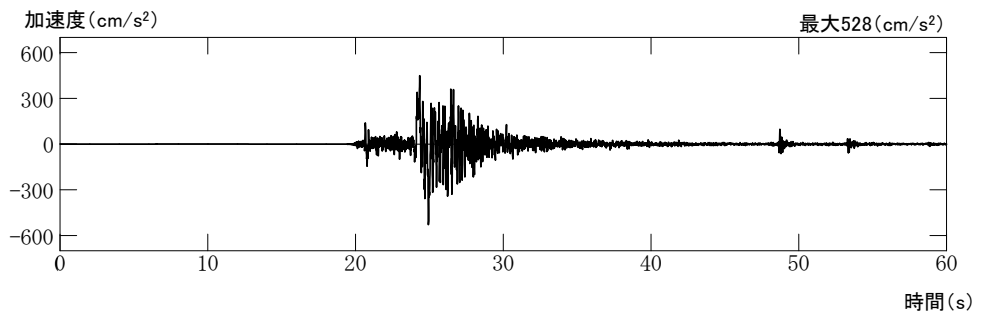
図 2-14 基準地震動 \$S_s\$ の加速度応答スペクトル (水平方向)



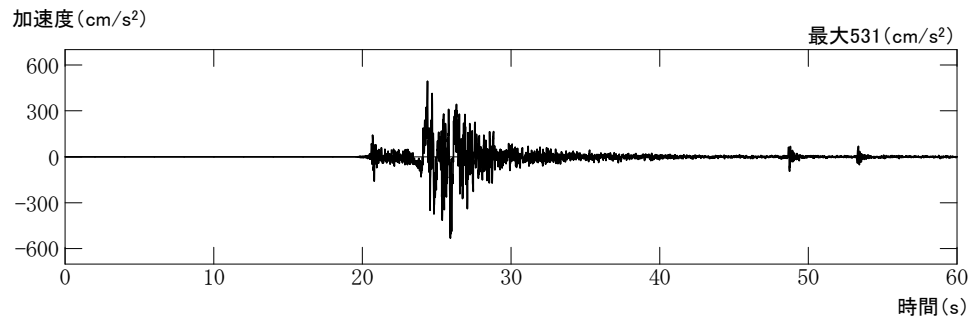
S s - D



S s - N1



S s - N2 (Ns 成分)



S s - N2 (EW 成分)

図 2-15 基準地震動 S s の加速度時刻歴波形 (水平方向)

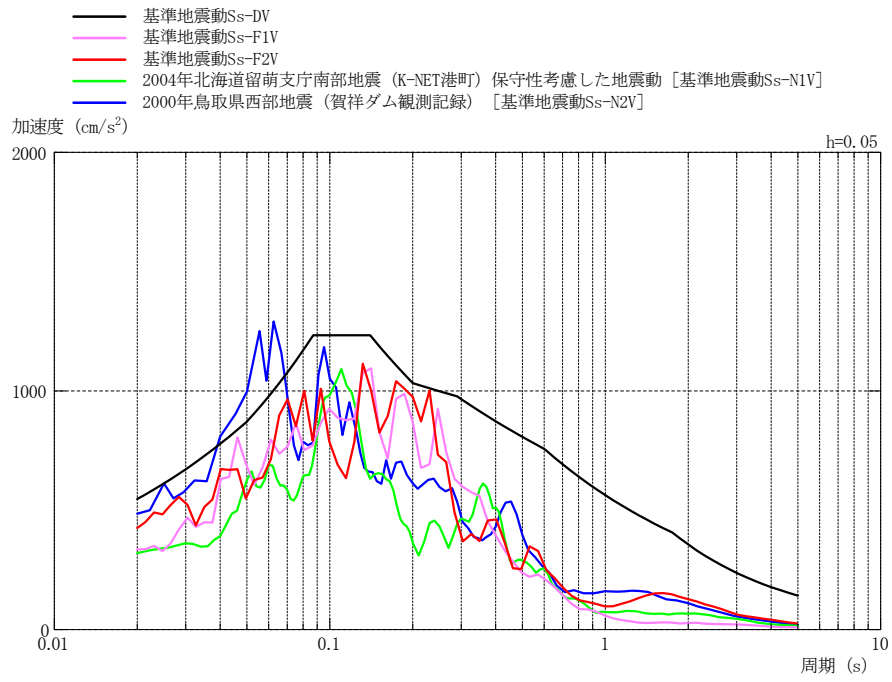
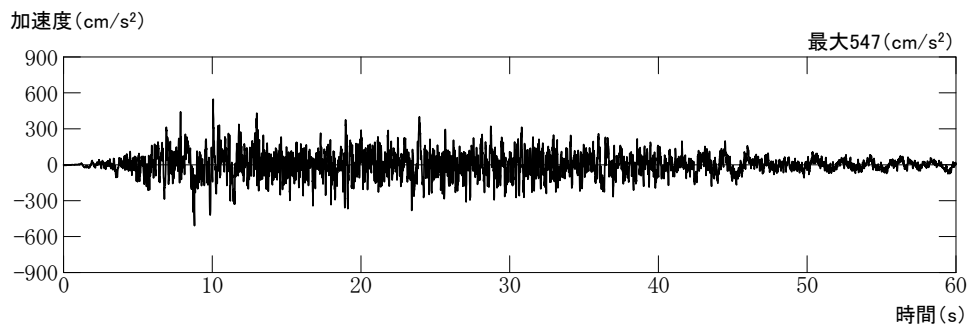
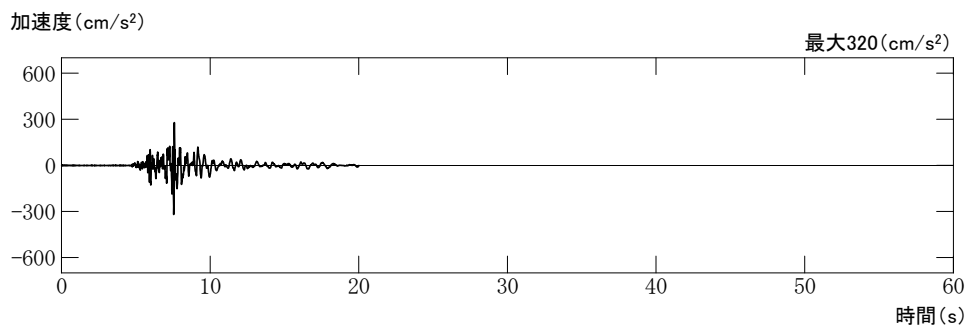


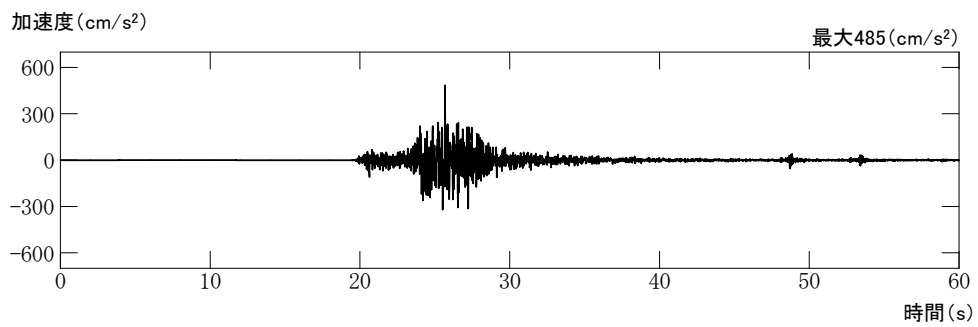
図 2-16 基準地震動 S s の加速度応答スペクトル (鉛直方向)



S s - D



S s - N1



S s - N2

図 2-17 基準地震動 S s の加速度時刻歴波形 (鉛直方向)

(12) 評価結果

表 2-15～表 2-17 に、コンクリートの曲げ圧縮応力度、鉄筋の引張応力度及び抑止杭のせん断力に対する照査結果を示す。コンクリートの発生曲げ応力度、鉄筋の引張応力度、抑止杭のせん断力はいずれも許容限界を下回っていることを確認した。

表 2-15 コンクリートの曲げ圧縮応力度の照査結果

対象斜面	基準地震動	最大曲げモーメント発生時の コンクリートの 曲げ圧縮応力度 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	照査値	判定
①-①'	Ss-D (+, -)	1.2	18	0.067	OK
	Ss-D (+, +)	0.9	18	0.050	OK
	Ss-D (-, -)	0.9	18	0.050	OK
	Ss-D (-, +)	0.9	18	0.050	OK
	Ss-N1 (+, +)	0.9	18	0.050	OK
	Ss-N1 (-, +)	0.9	18	0.050	OK
	Ss-N2 (NS) (+, +)	0.9	18	0.050	OK
	Ss-N2 (NS) (-, +)	0.6	18	0.034	OK
	Ss-N2 (EW) (+, +)	1.0	18	0.056	OK
	Ss-N2 (EW) (-, +)	0.9	18	0.050	OK
②-②'	Ss-D (+, -)	2.4	18	0.134	OK
	Ss-D (+, +)	2.6	18	0.145	OK
	Ss-D (-, -)	2.6	18	0.145	OK
	Ss-D (-, +)	2.7	18	0.150	OK
	Ss-N1 (+, +)	2.0	18	0.112	OK
	Ss-N1 (-, +)	1.8	18	0.100	OK
	Ss-N2 (NS) (+, +)	2.0	18	0.112	OK
	Ss-N2 (NS) (-, +)	2.2	18	0.123	OK
	Ss-N2 (EW) (+, +)	1.9	18	0.106	OK
	Ss-N2 (EW) (-, +)	1.8	18	0.100	OK

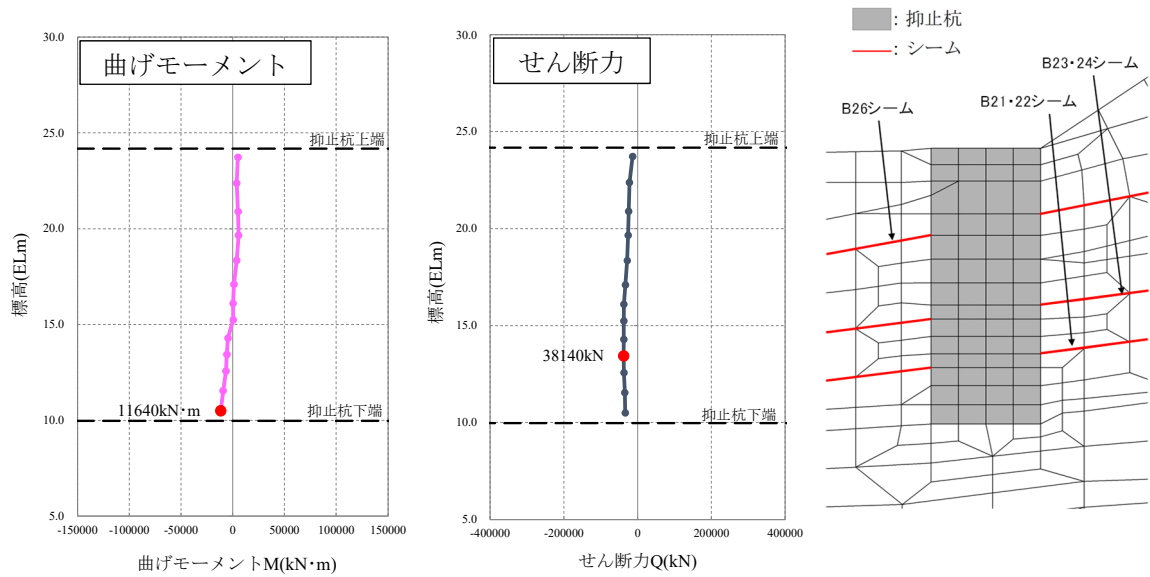
表 2-16 鉄筋の引張応力度の照査結果

対象斜面	基準地震動	最大曲げモーメント発生時の 鉄筋の最大引張応力度 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	照査値	判定
①-①'	Ss-D (+, -)	0.0 (全圧縮)	323	0.000	OK
	Ss-D (+, +)	0.2	323	0.001	OK
	Ss-D (-, -)	0.0 (全圧縮)	323	0.000	OK
	Ss-D (-, +)	0.0 (全圧縮)	323	0.000	OK
	Ss-N1 (+, +)	0.0 (全圧縮)	323	0.000	OK
	Ss-N1 (-, +)	0.0 (全圧縮)	323	0.000	OK
	Ss-N2 (NS) (+, +)	0.0 (全圧縮)	323	0.000	OK
	Ss-N2 (NS) (-, +)	0.0 (全圧縮)	323	0.000	OK
	Ss-N2 (EW) (+, +)	0.0 (全圧縮)	323	0.000	OK
	Ss-N2 (EW) (-, +)	0.0 (全圧縮)	323	0.000	OK
②-②'	Ss-D (+, -)	0.8	323	0.003	OK
	Ss-D (+, +)	0.0 (全圧縮)	323	0.000	OK
	Ss-D (-, -)	64.8	323	0.201	OK
	Ss-D (-, +)	70.5	323	0.219	OK
	Ss-N1 (+, +)	30.5	323	0.095	OK
	Ss-N1 (-, +)	15.5	323	0.048	OK
	Ss-N2 (NS) (+, +)	36.8	323	0.114	OK
	Ss-N2 (NS) (-, +)	50.0	323	0.155	OK
	Ss-N2 (EW) (+, +)	5.9	323	0.019	OK
	Ss-N2 (EW) (-, +)	11.0	323	0.035	OK

表 2-17 抑止杭のせん断力の照査結果

対象斜面	基準地震動	発生最大せん断力 (kN)	許容値 (kN)	照査値	判定
①-①'	Ss-D (+, -)	38140	355930	0.108	OK
	Ss-D (+, +)	36328	355930	0.103	OK
	Ss-D (-, -)	35723	355930	0.101	OK
	Ss-D (-, +)	37536	355930	0.106	OK
	Ss-N1 (+, +)	27779	355930	0.079	OK
	Ss-N1 (-, +)	25639	355930	0.073	OK
	Ss-N2 (NS) (+, +)	31374	355930	0.089	OK
	Ss-N2 (NS) (-, +)	30934	355930	0.087	OK
	Ss-N2 (EW) (+, +)	25511	355930	0.072	OK
	Ss-N2 (EW) (-, +)	27373	355930	0.077	OK
②-②'	Ss-D (+, -)	48425	284839	0.171	OK
	Ss-D (+, +)	47003	284839	0.166	OK
	Ss-D (-, -)	44208	284839	0.156	OK
	Ss-D (-, +)	44975	284839	0.158	OK
	Ss-N1 (+, +)	33828	284839	0.119	OK
	Ss-N1 (-, +)	38359	284839	0.135	OK
	Ss-N2 (NS) (+, +)	41158	284839	0.145	OK
	Ss-N2 (NS) (-, +)	37567	284839	0.132	OK
	Ss-N2 (EW) (+, +)	39543	284839	0.139	OK
	Ss-N2 (EW) (-, +)	35639	284839	0.126	OK

図 2-18～図 2-21 に、最大せん断力発生時における抑止杭の断面力図及び変形図を示す。



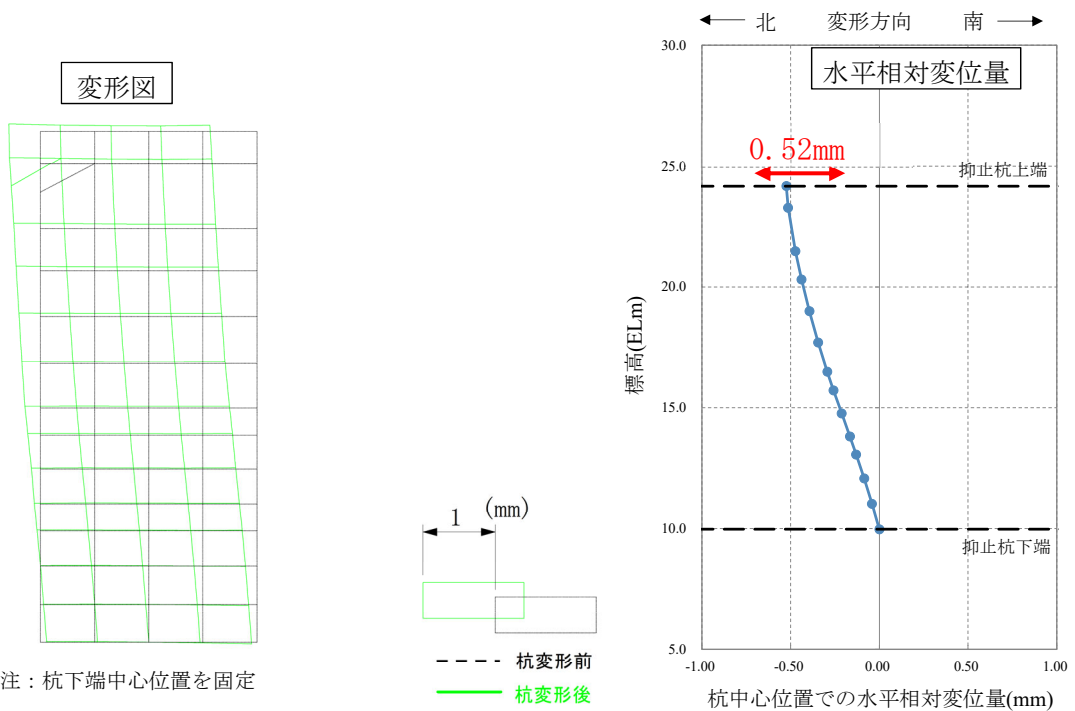
注 1：モーメントは時計回りを正とする。

2：●は、絶対値の最大位置を示す。

図 2-18 抑止杭 1 本当たりに発生する断面力図 (①-①' 断面)

(Ss-D(+, -)・8.95 秒, 抑止杭に最大せん断力が発生する地震動及び時刻*)

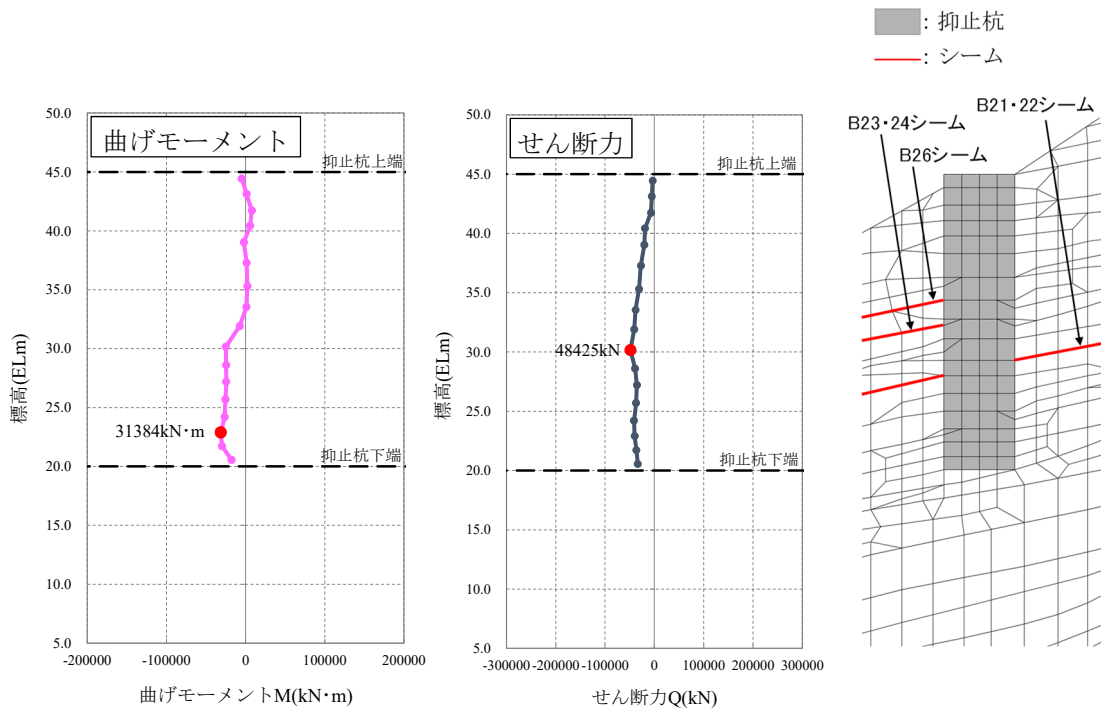
注記*：抑止杭に最大曲げモーメントが発生する時刻と同一



注：杭下端中心位置を固定

図 2-19 抑止杭変形図 (①-①' 断面)

(Ss-D(+, -)・8.95 秒, 抑止杭に最大せん断力が発生する地震動及び時刻)



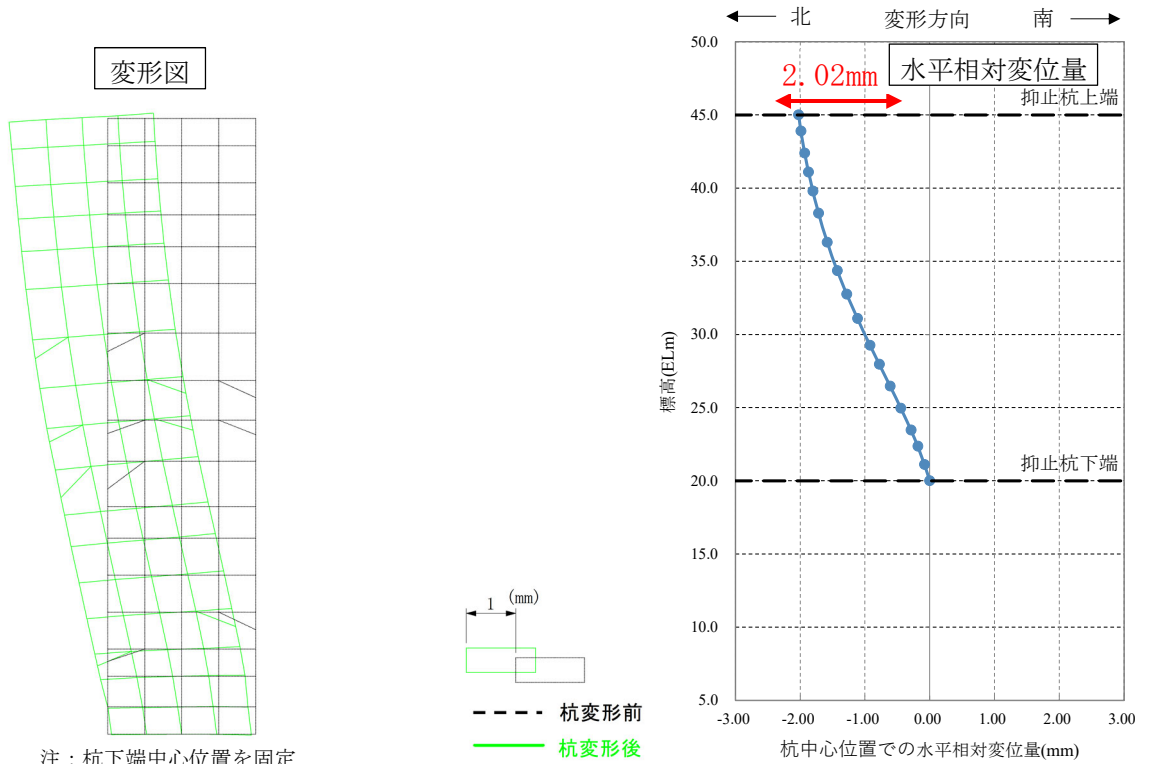
注1：モーメントは時計回りを正とする。

2：●は、絶対値の最大位置を示す。

図2-20 抑止杭1本当たりが発生する断面力図 (②-②' 断面)

(Ss-D(+, -)・8.96秒, 抑止杭に最大せん断力が発生する地震動及び時刻*)

注記*：抑止杭に最大曲げモーメントが発生する時刻と異なる。(最大曲げモーメントが発生する時刻は Ss-D(-, +)・8.95秒)



注：杭下端中心位置を固定

図2-21 抑止杭変形図 (②-②' 断面)

(Ss-D(+, -)・8.96秒, 抑止杭に最大せん断力が発生する地震動及び時刻)

3. 抑止杭を設置した斜面の安定性評価

(1) 基本方針

抑止杭を設置した斜面について、基準地震動 S_s によるすべり安定性評価を実施する。

すべり安定性評価については、想定すべり面上の応力状態をもとに、すべり面上のせん断抵抗力の和をすべり面上のせん断力の和で除して求めたすべり安全率が評価基準値を上回ることを確認する。

なお、適用規格は「2. 抑止杭の耐震評価」と同じである。

(2) 評価対象斜面の選定

評価対象斜面は、「2. 抑止杭の耐震評価」と同じ断面とする。

(3) 解析用物性値，地震応答解析手法等

「2. 抑止杭の耐震評価」の地震応答解析結果の応力状態からすべり安全率を計算するため、地震応答解析手法，解析用物性値，解析モデル及び入力地震動は「2. 抑止杭の耐震評価」と同様である。

すべり安全率に対する地盤物性値のばらつきの影響については、強度特性が支配的であることから、設置（変更）許可申請書に記載した地盤安定性評価と同様、地盤物性のうち強度特性に関するばらつきについて考慮し、平均強度の解析ケースにおいて最小すべり安全率を示すケースについて、平均強度 -1σ のケースを実施する。

(4) 評価基準値の設定

すべり安定性評価では、評価対象斜面の最小すべり安全率が評価基準値 1.0 を上回ることを確認する。

(5) すべり安全率の算定方法

すべり安定性評価では、水平動・鉛直動を同時に考慮した基準地震動 S_s に対する動的解析により、評価対象斜面の最小すべり安全率が評価基準値 1.0 を上回ることを確認する。

すべり安全率は、想定したすべり面上の応力状態をもとに、すべり面上のせん断抵抗力の和をすべり面上のせん断力の和で除して求める。すべり面上のせん断抵抗力については、抑止杭の抵抗力を考慮する。

すべり安全率の算定には、解析コード「CPOSTSK Ver. 19.1」を使用する。なお、解析コードの検証、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。

$$F_s = \frac{P_1 + R_K}{P_2}$$

ここで、

- P_1 : すべり面上の地盤のせん断抵抗力の和
- P_2 : すべり面上（地盤，抑止杭）のせん断力の和
- R_K : 抑止杭の許容せん断抵抗力

抑止杭の単位奥行当たりの許容せん断抵抗力 R_K は、杭の 1 本当当たりの許容せん断抵抗力を各区間の杭本数（区間Ⅰ：12本，区間Ⅱ：3本）で乗じ、各区間の抑止杭の効果を期待する範囲の幅（斜面の奥行方向幅）で除して単位奥行当たりのせん断抵抗力として算出する。

$$R_K = \frac{n \times S_K + S_G}{\cos \theta} \times \frac{1}{L}$$

ここで、

- R_K : 抑止杭の単位奥行き当たりの許容せん断抵抗力
- n : 杭本数（区間Ⅰ：12本，区間Ⅱ：3本）
- S_K : 杭1本の許容せん断抵抗力
- S_G : 杭間の岩盤又はシームのせん断抵抗力
(保守的にゼロとする)
- θ : すべり面角度
- L : 抑止杭の効果を期待する範囲の幅
(斜面の奥行方向幅，区間Ⅰ：158.3m，区間Ⅱ：48.6m)

(6) 液状化範囲の検討

抑止杭を設置する斜面上部に埋戻土が存在することから、「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に記載の3次元浸透流解析結果を参照し、液状化の可能性を検討する。3次元浸透流解析結果を図3-1に示す。

3次元浸透流解析の結果、抑止杭を設置する斜面の①-①'断面及び②-②'断面の埋戻土部の地下水位は、EL 15~20mであり、埋戻土層下端 (EL 41m) より十分に低いことから、液状化影響を考慮しない。

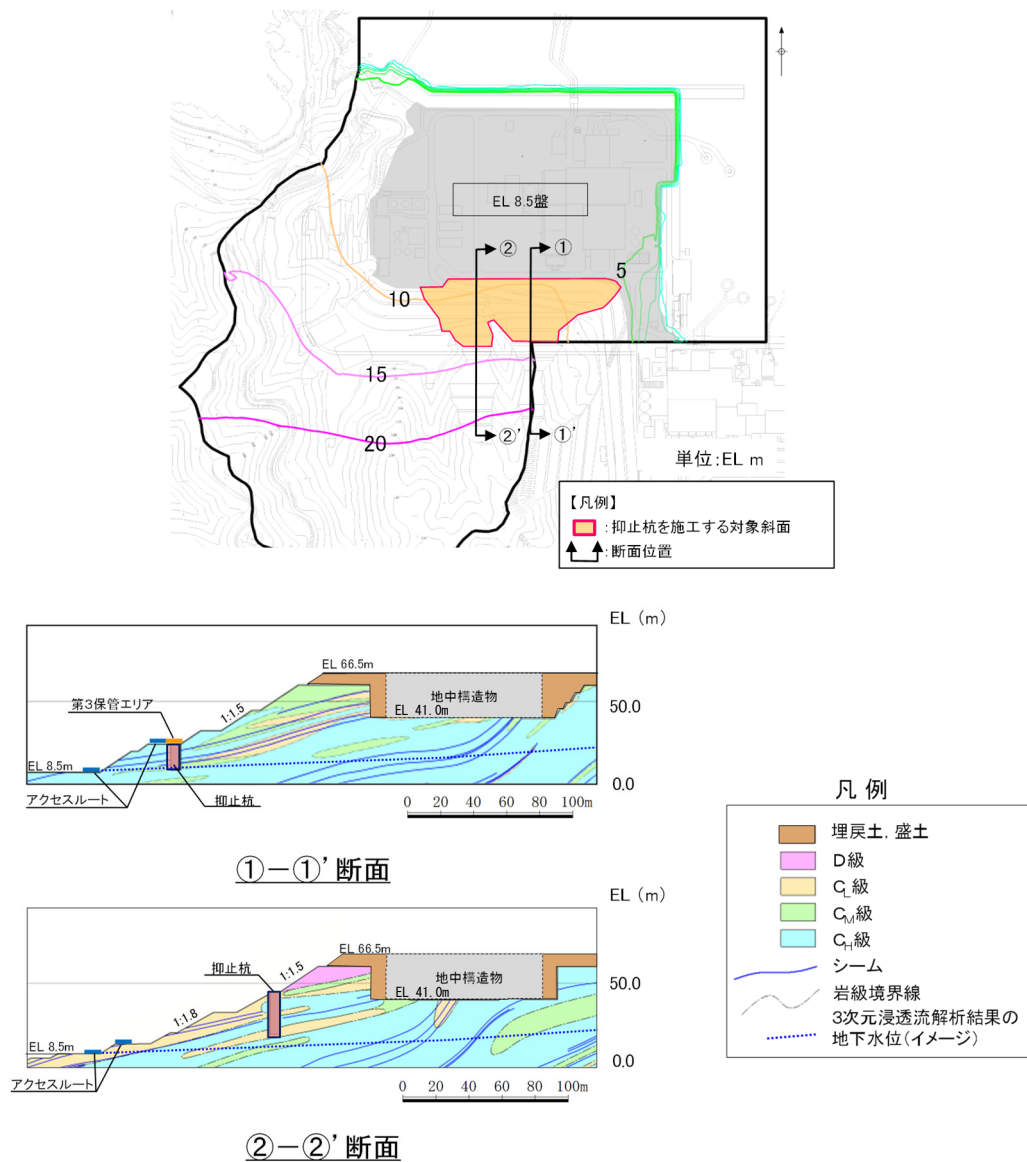
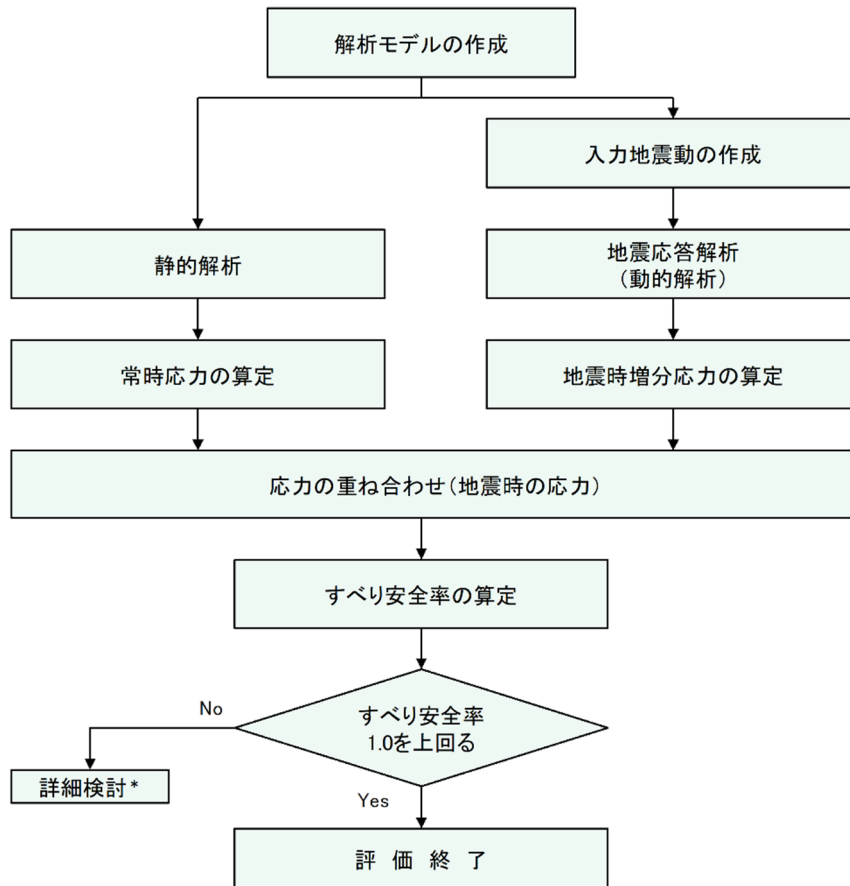


図3-1 3次元浸透流解析結果(定常解析)の等水位線図*

注記*: 「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」参照

(7) 評価内容

斜面安定性評価フローを図 3-2 に示す。



注記*: 検討内容に応じて、必要なプロセスへ戻る

図 3-2 斜面安定性評価フロー

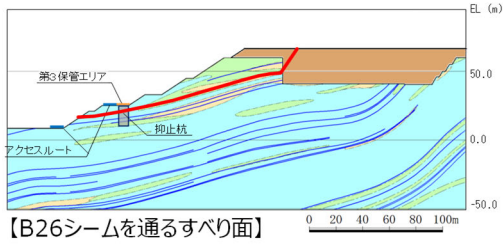
(8) 入力地震動の策定

入力地震動は「2. 抑止杭の耐震評価」と同様とする。

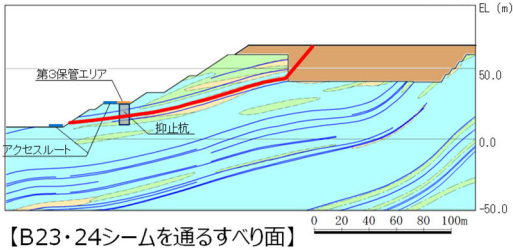
(9) 評価結果

すべり安定性評価結果を図 3-3 及び図 3-4 示す。最小すべり安全率（平均強度）が評価基準値 1.0 に対し余裕を有しており、安定性を有することを確認した。

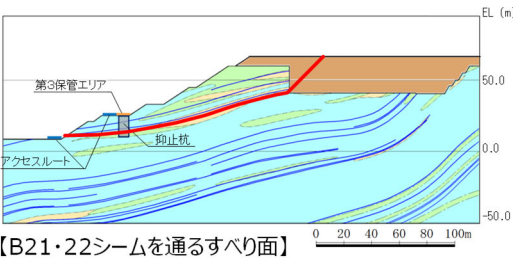
結果が最小となったケースに対して、地盤物性のばらつき（平均強度 $-1.0 \times$ 標準偏差 (σ) ）を考慮した場合でも、最小すべり安全率が評価基準値 1.0 に対し余裕を有しており、安定性を有することを確認した。



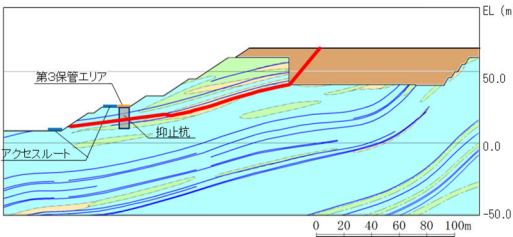
基準地震動 S _s	すべり安全率	【参考】 変更前 (抑止杭7本)
S _s -D	1.99	1.71
S _s -N ₁	2.36	2.03
S _s -N ₂	2.45	2.11



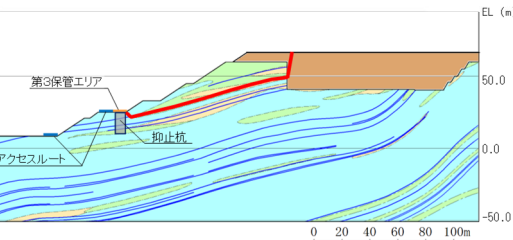
基準地震動 S _s	すべり安全率 ()内はばらつき強 度のすべり安全率	【参考】 変更前 (抑止杭7本)
S _s -D	1.56 (1.39)	1.37 (1.21)
S _s -N ₁	1.79	1.57
S _s -N ₂	1.92	1.69



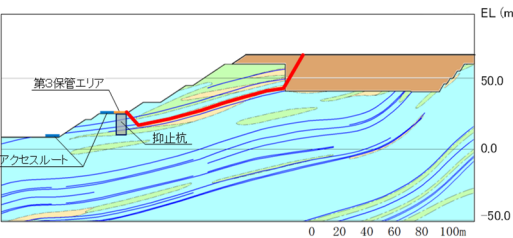
基準地震動 S _s	すべり安全率	【参考】 変更前 (抑止杭7本)
S _s -D	1.96	1.80
S _s -N ₁	2.17	1.99
S _s -N ₂	2.38	2.18



基準地震動 S _s	すべり安全率 ()内はばらつき強 度のすべり安全率	【参考】 変更前 (抑止杭7本)
S _s -D	1.54 (1.39)	1.37 (1.22)
S _s -N ₁	1.76	1.56
S _s -N ₂	1.88	1.67



基準地震動 S _s	すべり安全率 ()内はばらつき強 度のすべり安全率	【参考】 変更前 (抑止杭7本)
S _s -D	1.48 (1.26)	1.48 (1.26)
S _s -N ₁	1.71	1.71
S _s -N ₂	1.86	1.86

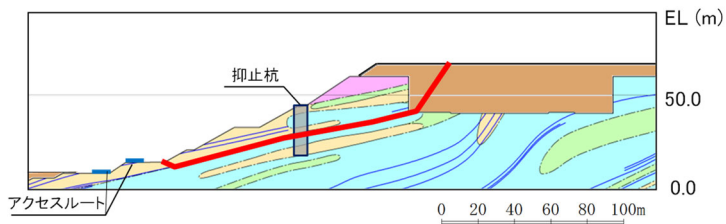


基準地震動 S _s	すべり安全率	【参考】 変更前 (抑止杭7本)
S _s -D	1.60	1.60
S _s -N ₁	1.81	1.81
S _s -N ₂	1.97	1.97

【凡例】

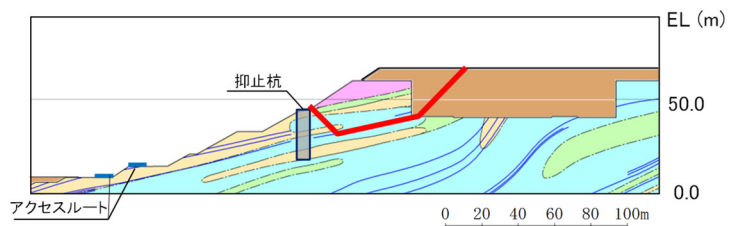
 : C ₁ 級岩盤	 : C _M 級岩盤	 : C _L 級岩盤
 : 埋戻土, 盛土	 : 抑止杭	
 : シーム	 : 最小すべり安全率のすべり面	

図 3-3 ①-①' 断面の評価結果



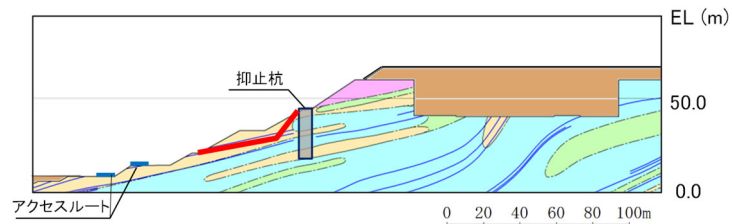
【B21・B22シームを通るすべり面】

基準地震動 S _s	すべり安全率 (内はばらつき強度の すべり安全率)
S _s -D	1.66 (1.49)
S _s -N ₁	2.10
S _s -N ₂	2.08



【B21・B22シームを通過して抑止杭背後で切り上がるすべり面】

基準地震動 S _s	すべり安全率
S _s -D	2.34
S _s -N ₁	2.51
S _s -N ₂	3.12



【B23シームを通過して法面に抜けるすべり面】

基準地震動 S _s	すべり安全率
S _s -D	2.28
S _s -N ₁	2.64
S _s -N ₂	3.02

【凡例】

■ : C _H 級岩盤	■ : C _M 級岩盤	■ : C _L 級岩盤
■ : 埋戻土、盛土	■ : 抑止杭	■ : D級岩盤
— : シーム	— : 最小すべり安全率のすべり面	

図 3-4 ②-②' 断面の評価結果