

別添

平成23年東北地方太平洋沖地震の知見等を踏まえた
原子力施設への地震動及び津波の影響に関する安全性評価
のうち大飯発電所周辺斜面の安定性評価報告書

平成24年2月29日

関西電力株式会社

目次

1. まえがき	1
2. 評価方針	2
2.1 一般事項	2
2.2 評価方法	2
(1) 解析手法	2
(2) 入力地震動	2
(3) 評価内容	2
3. 1・2号機周辺斜面の安定性評価	9
3.1 周辺斜面の状況	9
3.2 評価斜面の選定	9
3.3 評価条件	9
(1) 解析モデル	9
(2) 解析用物性値	9
(3) 地下水位	9
(4) 想定すべり面	9
3.4 評価結果	22
3.5 表層部の安定性評価	38
4. 3・4号機周辺斜面の安定性評価	44
4.1 周辺斜面の状況	44
4.2 評価斜面の選定	44
4.3 評価条件	44
(1) 解析モデル	44
(2) 解析用物性値	44
(3) 地下水位	44
(4) 想定すべり面	44
4.4 評価結果	53

【参考資料】変位量評価手法（Newmark法）について

1. まえがき

当社は、平成 18 年 9 月 19 日付けで原子力安全委員会により「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」が改訂されたことに伴い、原子力安全・保安院（以下「保安院」という。）による「「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に伴う既設発電用原子炉施設の耐震安全性の評価等の実施について」（平成 18・09・19 原院第 6 号 平成 18 年 9 月 20 日）に基づき、改訂された耐震指針に照らした既設発電用原子炉施設の耐震安全性評価を実施している。

これまでに、活断層評価、基準地震動 S_S の策定及び主要な施設の耐震安全性評価については、平成 20 年 3 月 31 日に保安院に耐震安全性評価結果中間報告書を、平成 21 年 3 月 31 日に中間報告書（追補版）を提出し、国による審議を経て、平成 22 年 11 月 25 日に保安院に「耐震安全性評価結果（原子力安全・保安院での審議状況の反映）」を提出し、平成 22 年 11 月 29 日に「耐震安全性に係る評価について（基準地震動の策定及び主要な施設の耐震安全性評価）」を受領した。

その後、平成 23 年 3 月 11 日に発生した平成 23 年東北地方太平洋沖地震に伴い、保安院より「平成 23 年東北地方太平洋沖地震の知見等を踏まえた原子力施設への地震動及び津波の影響に関する安全性評価の実施について（指示）」（平成 23・11・02 原院第 4 号 平成 23 年 11 月 11 日）を受け、「平成 23 年東北地方太平洋沖地震の知見等を踏まえた原子力施設への地震動及び津波の影響に関する安全性評価 実施計画書」（以下「計画書」という。）を平成 23 年 11 月 18 日に保安院に提出した。

本報告書は、計画書に基づき、大飯発電所周辺斜面の安定性評価結果について取りまとめたものである。

2. 評価方針

2.1 一般事項

耐震安全上重要な機器・配管系を内包する建物・構築物（以下「対象施設」という。）の周辺斜面について、基準地震動 S_S による地震力に対して、対象施設の安全機能に重大な影響を与えるような崩壊を起こさないことを確認するため、すべりに対する安定性を評価する。

周辺斜面の安定性評価は、対象施設と周辺斜面の離間距離に基づき選定した斜面を評価対象とし、想定すべり面におけるすべり安全率により評価する。

2.2 評価方法

(1) 解析手法

基準地震動 S_S に対する地震応答解析を二次元動的有限要素法解析により行う。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せん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性を必要に応じて考慮する。

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動的応力を重ね合わせるにより求める。常時応力は地盤の自重計算により求まる初期応力、建屋基礎掘削に伴う解放力および建屋・埋戻土の荷重を考慮し、動的応力は水平地震動および鉛直地震動による応答の同時性を考慮して求める。

周辺斜面の安定性評価フローを第 2.2-1 図に示す。

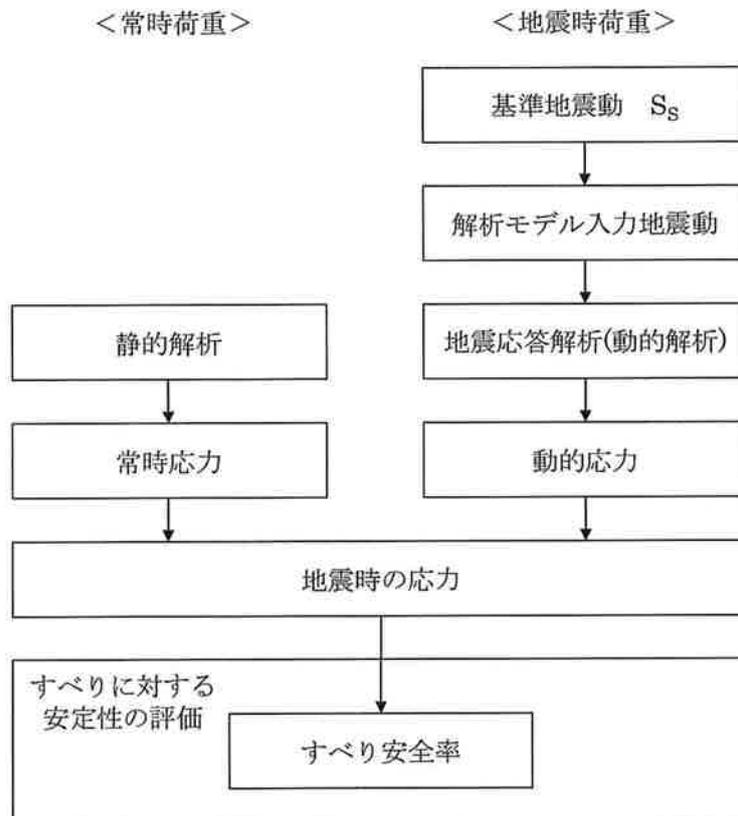
常時応力を算定する静的解析における境界条件は、モデル下端を固定境界、側方を鉛直ローラ境界とする。また、動的解析における境界条件は、モデル下端を粘性境界、側方をエネルギー伝達境界とする。境界条件を第 2.2-2 図に示す。

(2) 入力地震動

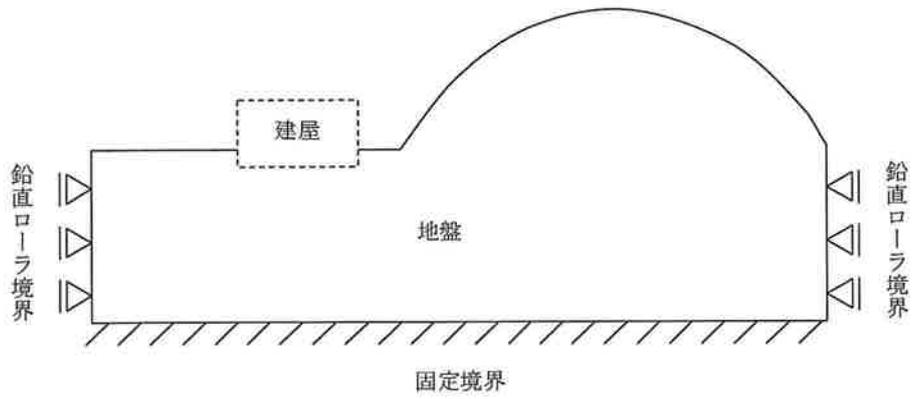
入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_S を一次元波動論によって地震応答解析モデルの入力位置で評価したものをを用いる。入力地震動の考え方を第 2.2-3 図に、基準地震動 S_S を第 2.2-1 表に、加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを第 2.2-4 図～第 2.2-6 図に示す。断層モデルを用いた手法による地震動評価結果による基準地震動については、検討対象断面方向に方位補正を行なって解析モデルへ入力する。

(3) 評価内容

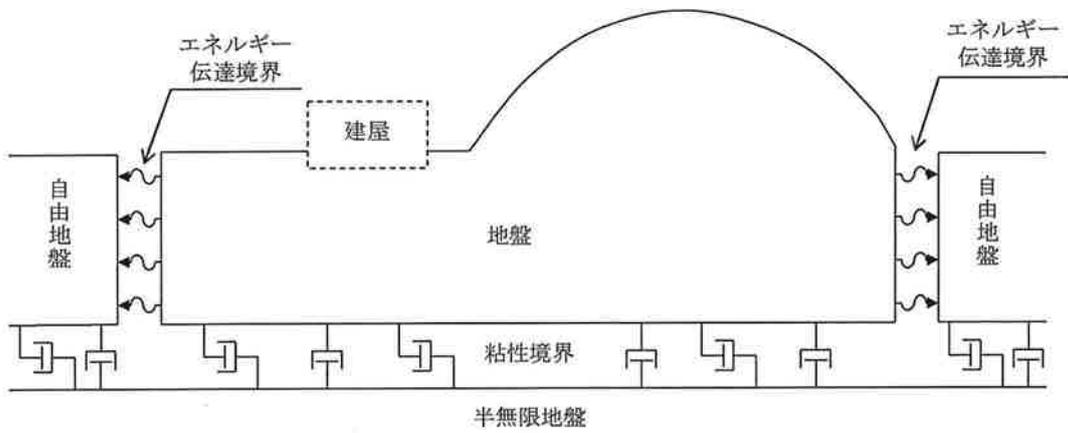
すべりに対する安定性は、想定すべり面におけるすべり安全率により評価する。すべり安全率は、想定したすべり面上の応力状態をもとに、すべり面上のせん断抵抗力の和をすべり面上のせん断力の和で除して求める。引張応力が発生した要素については、すべり面に対して直応力が引張応力の場合には強度定数を 0 とし、圧縮応力の場合は残留強度を用いる。また、せん断強度に達した要素では残留強度を用いる。



第 2.2-1 図 周辺斜面の安定性評価フロー

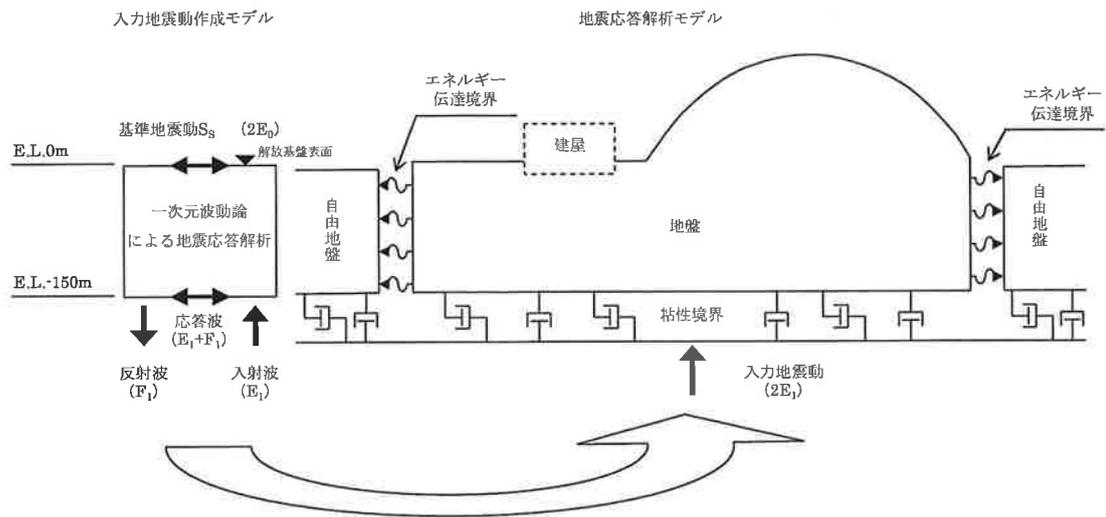


(a) 静的解析時



(b) 動的解析時

第 2.2-2 図 境界条件

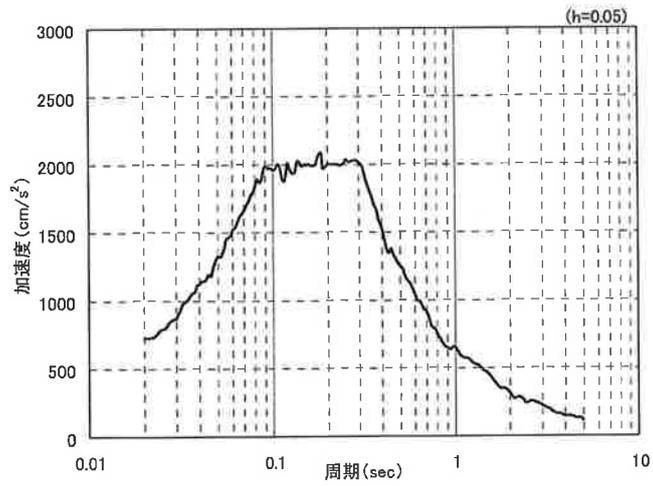
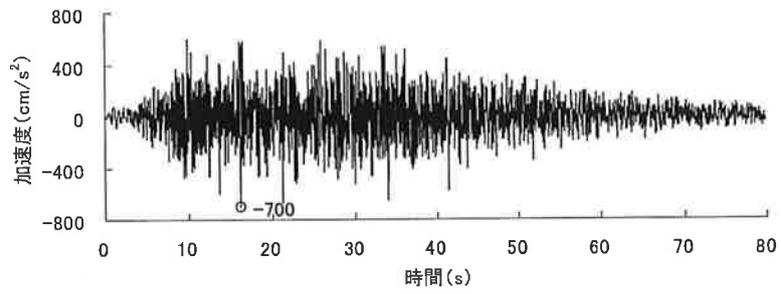


第 2.2-3 図 入力地震動の考え方

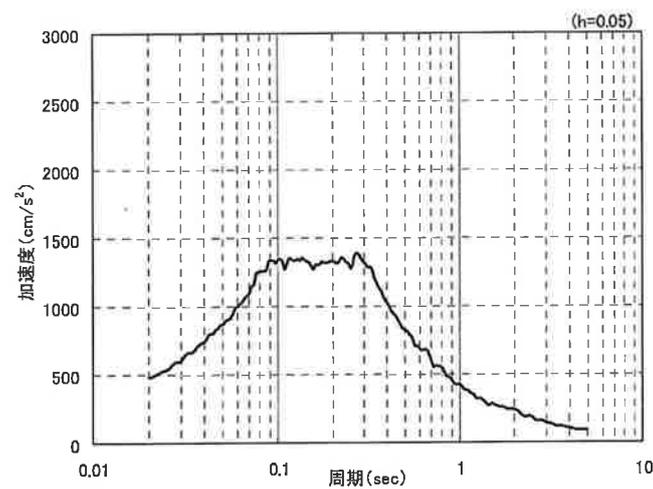
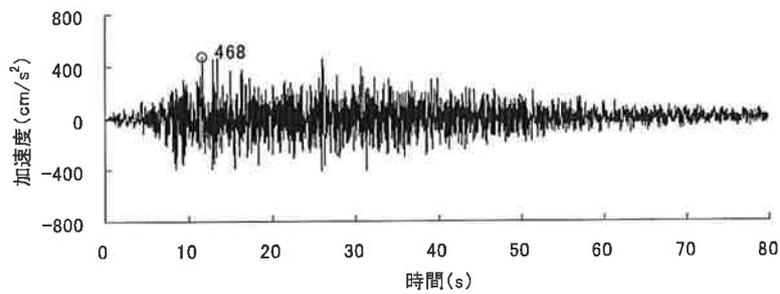
第 2.2-1 表 基準地震動 S_S

基準地震動 S_S			備考
名称	水平方向	鉛直方向	
S_{S-1}	S_{S-1H}	S_{S-1V}	応答スペクトルに基づく地震動評価
S_{S-2}	S_{S-2NS} S_{S-2EW}	S_{S-2UD}	断層モデルを用いた手法による地震動評価
S_{S-3}	S_{S-3NS} S_{S-3EW}	S_{S-3UD}	

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果による基準地震動は、検討対象断面方向に方位補正を行なって解析モデルへ入力する

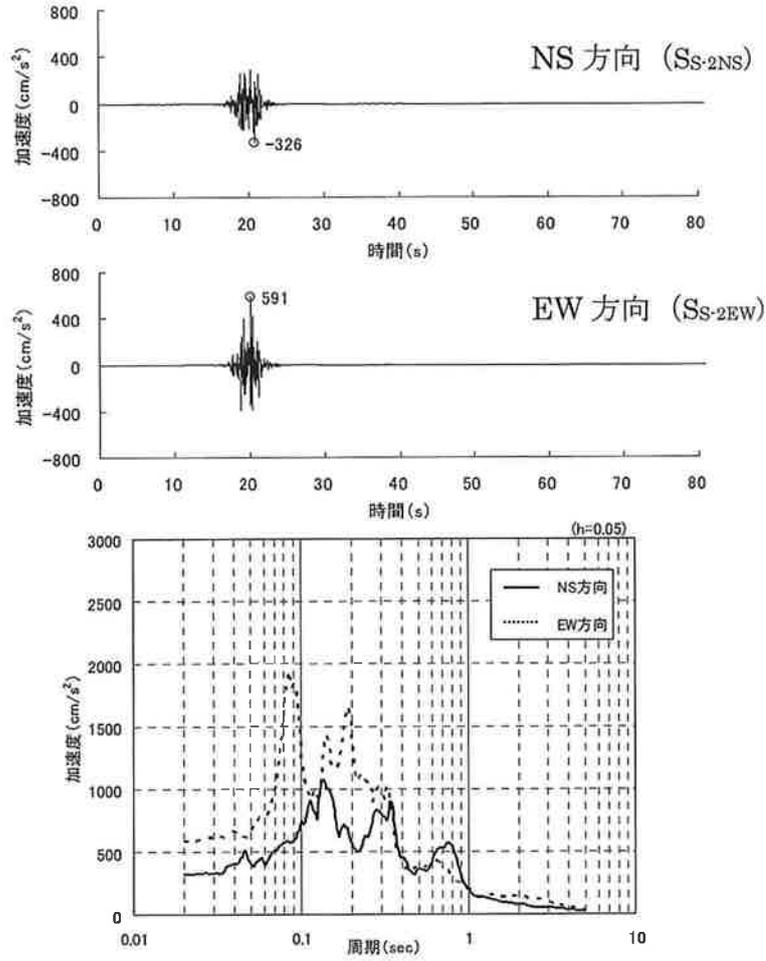


(a) 水平方向 (SS-1H)

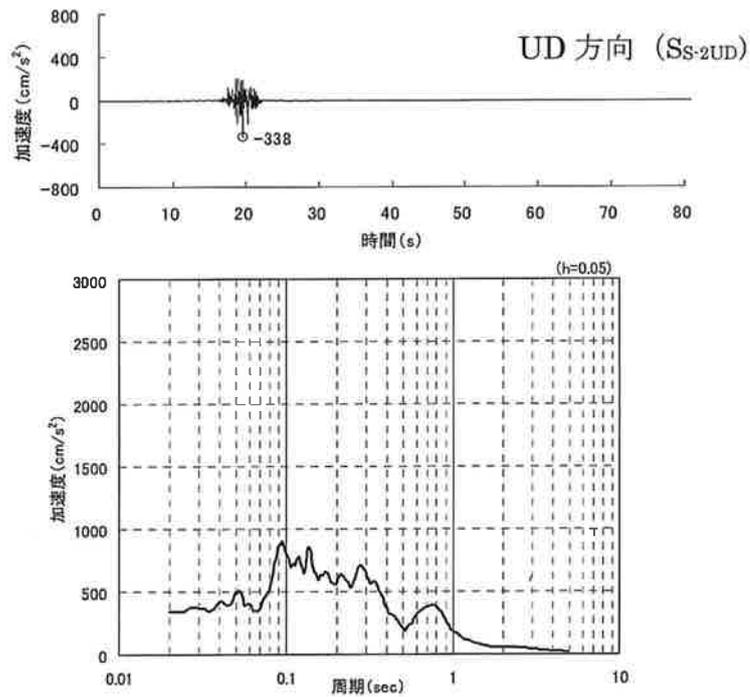


(b) 鉛直方向 (SS-1V)

第 2.2-4 図 基準地震動 SS-1 の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル

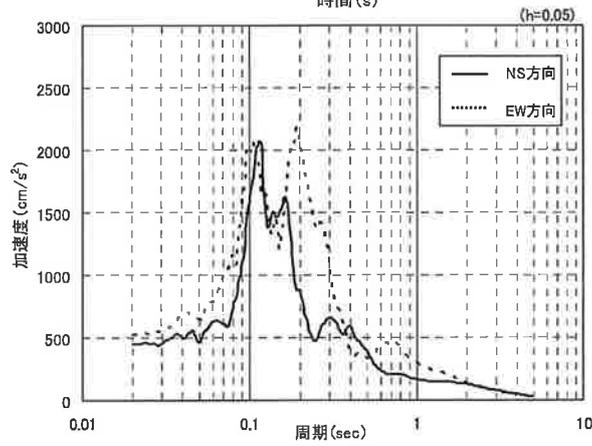
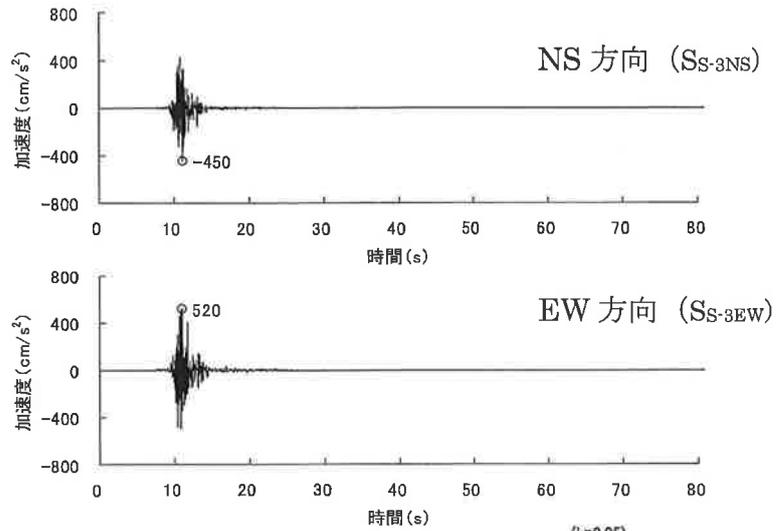


(a) 水平方向

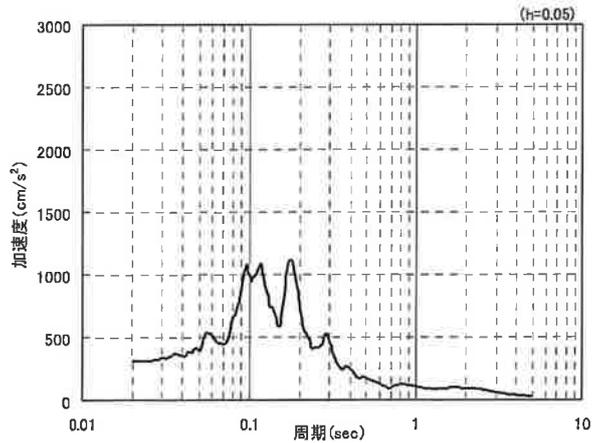
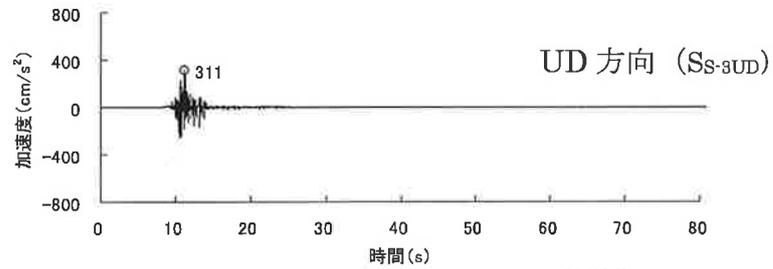


(b) 鉛直方向

第 2.2-5 図 基準地震動 S_{S-2} の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

第 2.2-6 図 基準地震動 S_{S-3} の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル

3. 1・2号機周辺斜面の安定性評価

3.1 周辺斜面の状況

第 3.1-1 図に 1・2 号機周辺敷地平面図を示す。

周辺斜面は、原子炉建屋の背後に位置し、斜面高さはおよそ 60m である。斜面の地質は、輝緑岩、斑れい岩からなり、頁岩が貫入している。

3.2 評価斜面の選定

「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008」（以下「JEAG4601-2008」という。）では、安定性評価の対象とすべき斜面は斜面法尻と対象施設の離間距離が約 50m 以内の斜面、あるいは斜面高さの約 1.4 倍以内の斜面としている。

上記に基づき、原子炉建屋の背後斜面を評価斜面として選定し、基準地震動 S_s による地震力に対する安定性評価を行う。

3.3 評価条件

(1) 解析モデル

評価斜面のうち、斜面形状および斜面高さを考慮し、動的有限要素法解析による評価を実施する断面として、F-F' 断面、①-①' 断面、②-②' 断面を選定する。解析用モデルには地盤および原子炉補助建屋、タービン建屋を考慮する。解析用建屋モデルは、それぞれの多質点系モデルを基に作成する。

F-F' 断面、①-①' 断面、②-②' 断面の地質断面図を第 3.3-1 図～第 3.3-3 図に、解析用要素分割図を第 3.3-4 図～第 3.3-6 図に示す。

(2) 解析用物性値

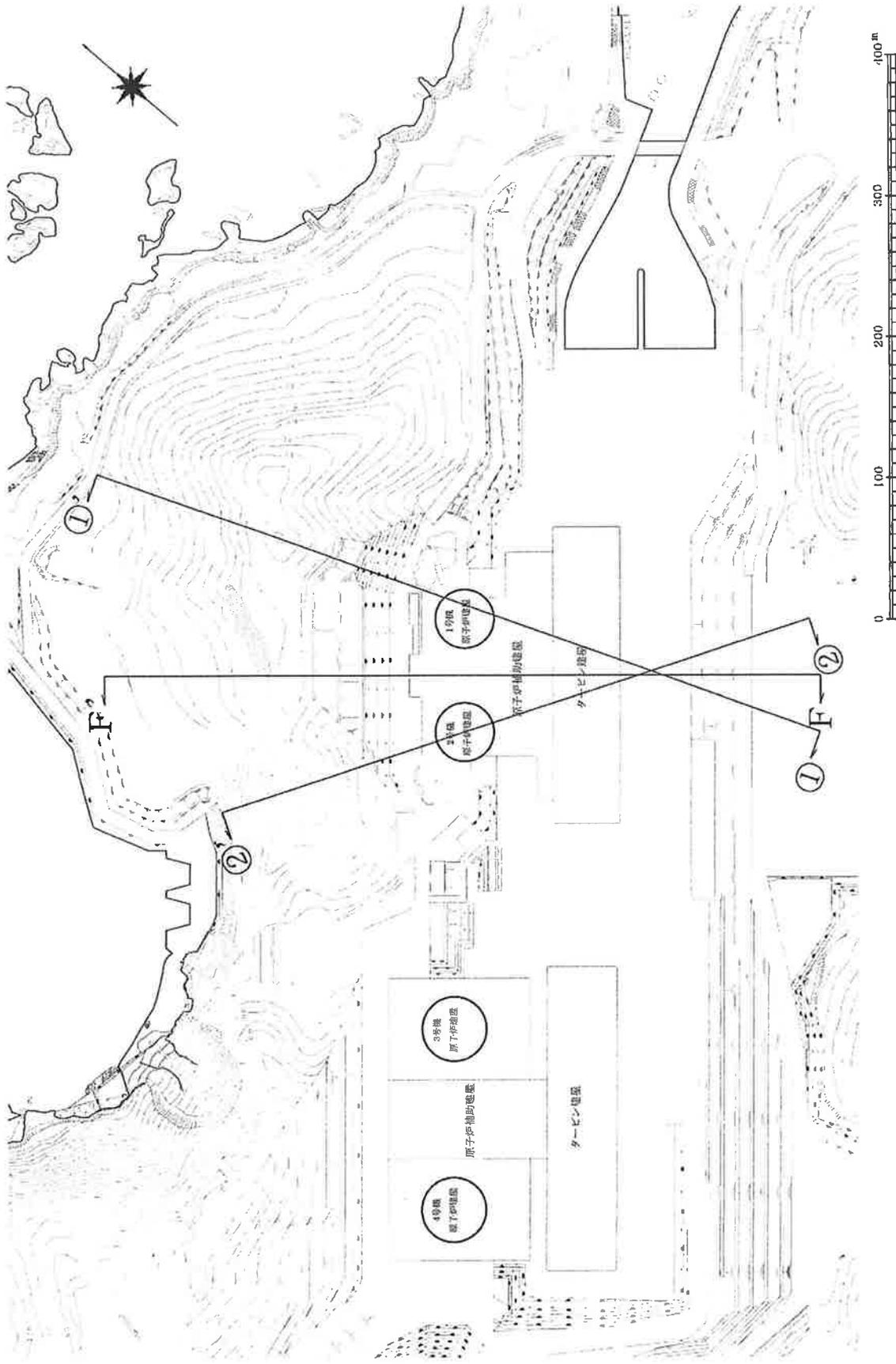
解析用物性値は、既往の試験結果および発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針の改訂に伴い新たに実施した各種試験結果に基づき設定する。解析用物性値設定の考え方を第 3.3-1 表に、解析用物性値を第 3.3-2 表、第 3.3-7 図～第 3.3-10 図に示す。

(3) 地下水位

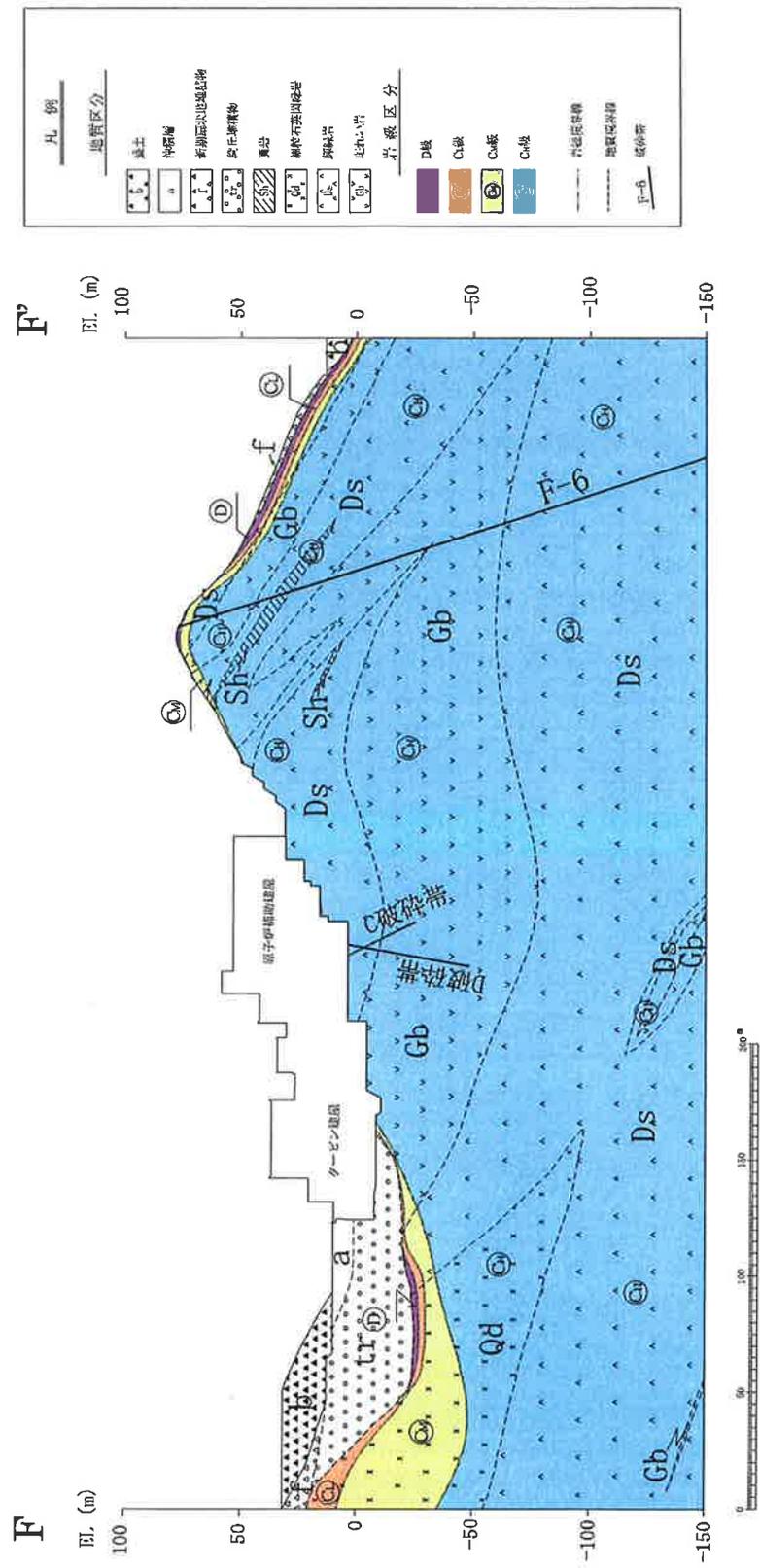
解析用地下水位は、地表面に設定する。建屋基礎部については、建屋基礎底面に設定する。

(4) 想定すべり面

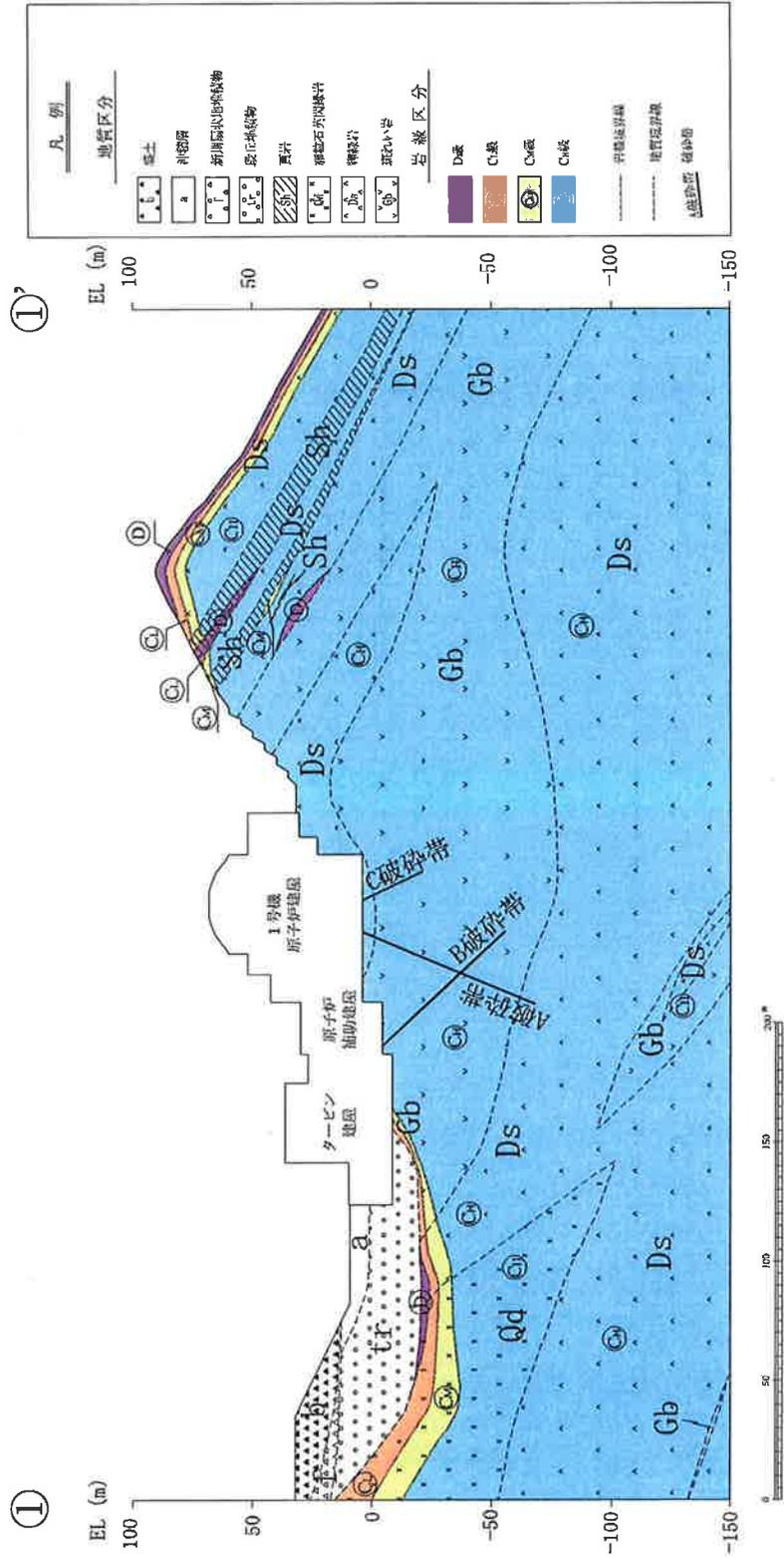
想定すべり面は、斜面部の岩級区分と応力状態を考慮してすべり面法により絞り込んだすべり面とする。



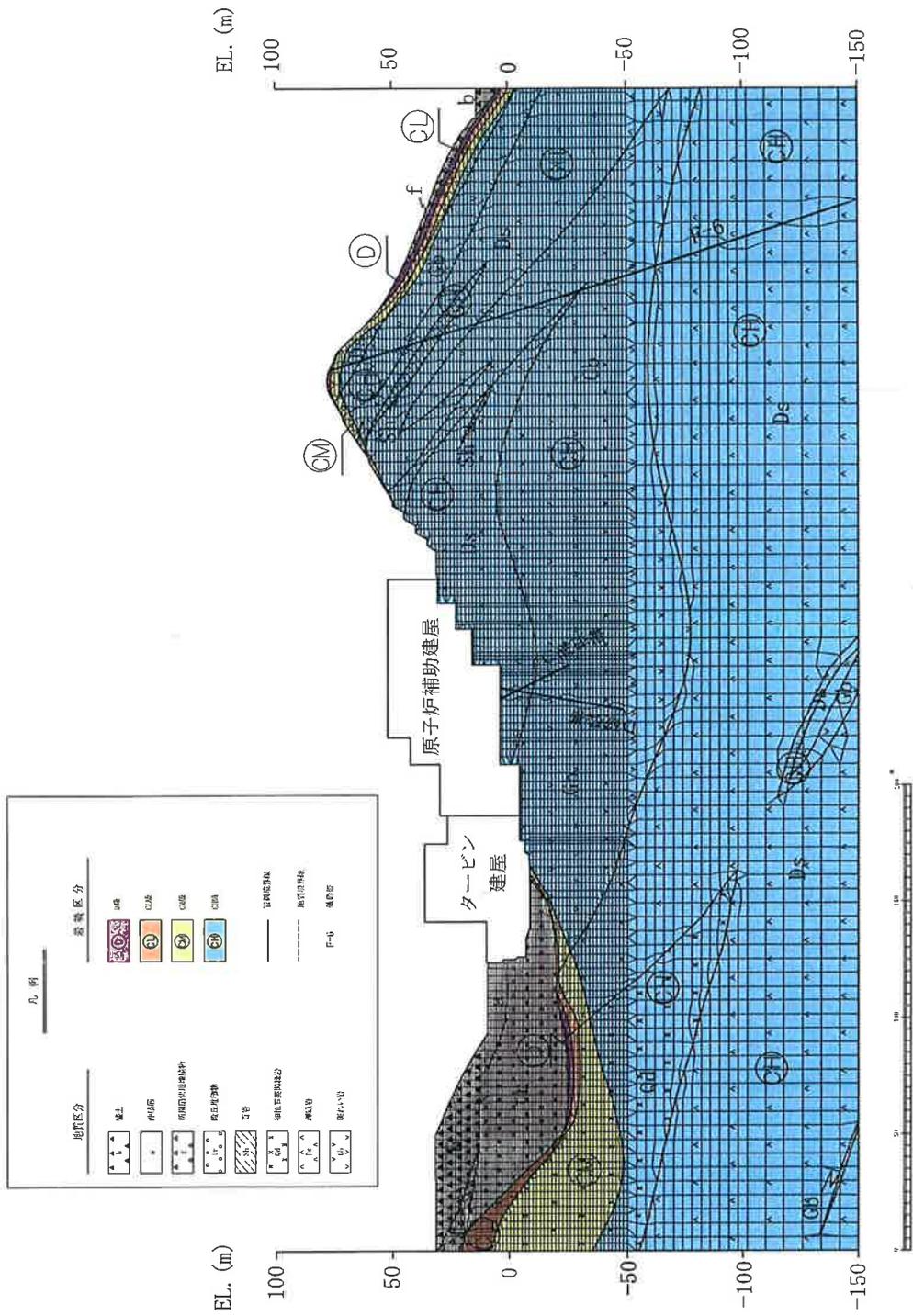
第3.1-1 図 1・2号機周辺敷地平面図



第3.3-1図 地質断面図 (F-F' 断面)



第 3.3-2 図 地質断面図 (①-①' 断面)



第 3.3-4 図 解析用要素分割図 (F - F' 断面)

第 3.3-1 表 解析用物性値設定の考え方

	物理特性	強度特性		静的変形特性		動的変形特性		減衰定数
		せん断強度, 内部摩擦角	残留強度	弾塑性係数	静ポアソン比	動的変形特性		
						せん断弾性係数	動ポアソン比	
CH級	室内物理試験 単位体積重量	岩盤せん断試験	岩盤せん断試験	平板載荷試験 (※孔内載荷試験)	岩石試験	PS検層と 単位体積重量 より算出	PS検層より算出	慣用値
CM級	室内物理試験	岩盤せん断試験	岩盤せん断試験	平板載荷試験	岩石試験	PS検層と 単位体積重量 より算出	PS検層より算出	慣用値
CL級	室内物理試験	岩盤せん断試験	岩盤せん断試験	平板載荷試験	岩石試験	PS検層と 単位体積重量 より算出	PS検層より算出	慣用値
D級	室内物理試験および 現場単位体積重量試験結果 より飽和重量を算出	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	慣用値	PS検層と 単位体積重量 より算出	PS検層より算出	繰返し三軸試験
崖堆積物, 新期扇状地堆積物 および沖積層	室内物理試験および 現場単位体積重量試験結果 より飽和重量を算出	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	慣用値	PS検層と 単位体積重量 より算出	PS検層より算出	繰返し三軸試験
段丘堆積物	室内物理試験および 現場単位体積重量試験結果 より飽和重量を算出	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	慣用値	PS検層と 単位体積重量 より算出	PS検層より算出	崖堆積物の 試験結果を使用
盛土	室内物理試験および 現場単位体積重量試験結果 より飽和重量を算出	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	崖堆積物の 試験結果を使用	慣用値	PS検層と 単位体積重量 より算出	PS検層より算出	繰返し三軸試験
破砕帯	室内物理試験および 現場単位体積重量試験結果 より飽和重量を算出	一面せん断試験	一面せん断試験	静的単せん断試験	慣用値	動的単せん断試験	超音波速度 測定結果より算出	動的単せん断試験

※班れい岩の解析用物性値設定の考え方

第 3.3-2 表 解析用物性値 (a)

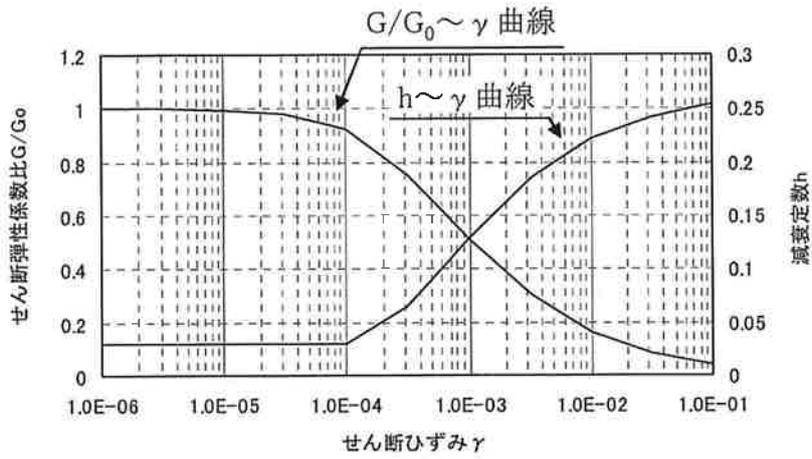
	物理特性		静的変形特性			動的変形特性			減衰定数
	単位体積重量 (kN/m^3)	静弾性係数 (N/mm^2)	静ポアソン比	初期せん断弾性 係数 (N/mm^2)	動ポアソン比				
輝緑岩	CH級	3,400 (6,200)	0.26	16,000	0.34	0.03			
	CM級	1,800 (3,200)	0.26	11,000	0.34	0.03			
	CL級	610 (1,100)	0.26	1,900	0.34	0.03			
	D級	24	0.40	³⁸⁰ $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線は第3.3-7図参照	0.37	$h \sim \gamma$ 曲線は第3.3-7図参照			
斑れい岩	CH級	5,800	0.26	13,000	0.33	0.03			
	CM級	1,800	0.26	11,000	0.33	0.03			
	CL級	610	0.26	1,900	0.33	0.03			
	D級	24	0.40	³⁸⁰ $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線は第3.3-7図参照	0.37	$h \sim \gamma$ 曲線は第3.3-7図参照			
細粒石英 閃緑岩	CH級	14,100 (15,900)	0.23	13,000	0.34	0.03			
	CM級	2,600 (3,100)	0.23	11,000	0.34	0.03			
	CL級	970 (1,500)	0.23	2,800	0.34	0.03			
	D級	24	0.40	³⁸⁰ $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線は第3.3-7図参照	0.37	$h \sim \gamma$ 曲線は第3.3-7図参照			
頁岩	CH級	14,100	0.23	13,000	0.34	0.03			
	CM級	2,600	0.23	11,000	0.34	0.03			
	CL級	970	0.23	2,800	0.34	0.03			
	D級	21	0.40	³⁷⁰ $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線は第3.3-7図参照	0.37	$h \sim \gamma$ 曲線は第3.3-7図参照			
崖堆積物 新期扇状地堆積物 および沖積層	CH級	32	0.40	²⁸⁰ $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線は第3.3-8図参照	0.43	$h \sim \gamma$ 曲線は第3.3-8図参照			
	CL級	38	0.40	^{G20} $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線は第3.3-8図参照	0.45	$h \sim \gamma$ 曲線は第3.3-8図参照			
盛土	CH級	32	0.40	²⁸⁰ $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線は第3.3-9図参照	0.46	$h \sim \gamma$ 曲線は第3.3-9図参照			
	CL級	38	0.40	^{G20} $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線は第3.3-9図参照	0.48	$h \sim \gamma$ 曲線は第3.3-9図参照			
破砕帯	CH級	97.0 $\sigma_v^{0.88}$	0.40	^{187 $\sigma_v^{0.16}$} $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線は第3.3-10図参照	0.48	$h \sim \gamma$ 曲線は第3.3-10図参照			

() 内数値は除荷時のもの
 σ_v (N/mm^2) : 鉛直応力, G (N/mm^2) : せん断弾性係数, G_0 (N/mm^2) : 初期せん断弾性係数, γ : せん断ひずみ, h : 減衰定数

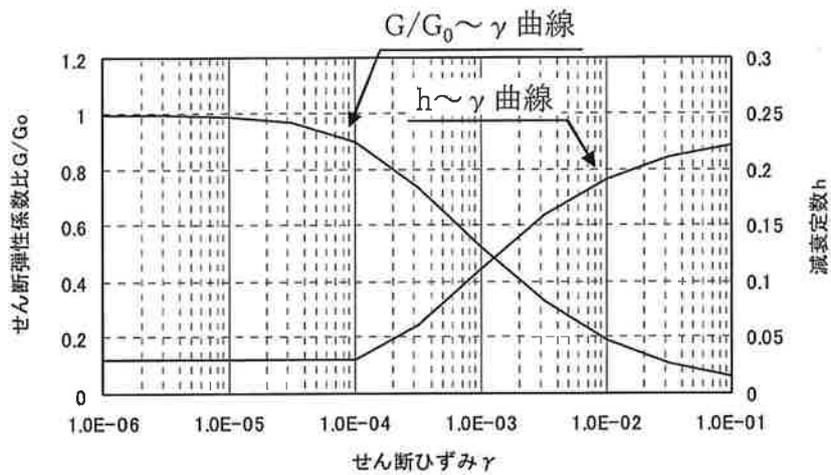
第 3.3-2 表 解析用物性値 (b)

	強度特性 (平均値)			強度特性 (地盤のばらつきを考慮)		
	せん断強度 (N/mm ²)	内部摩擦角 (度)	残留強度 (N/mm ²)	せん断強度 (N/mm ²)	内部摩擦角 (度)	残留強度 (N/mm ²)
輝緑岩	CH級	2.1	56.1	$2.6\sigma_n^{0.65}$	1.1	$2.2\sigma_n^{0.65}$
	CM級	1.4	38.9	$2.2\sigma_n^{0.41}$	0.88	$1.9\sigma_n^{0.41}$
	CL級	0.20	35.1	$0.8\sigma_n^{0.65}$	0.13	$0.6\sigma_n^{0.65}$
	D級	0.07	17.4	$0.07+\sigma_n \cdot \tan 17.4^\circ$	0.05	$0.04+\sigma_n \cdot \tan 17.4^\circ$
斑れい岩	CH級	2.1	56.1	$2.6\sigma_n^{0.65}$	1.1	$2.2\sigma_n^{0.65}$
	CM級	1.4	38.9	$2.2\sigma_n^{0.41}$	0.88	$1.9\sigma_n^{0.41}$
	CL級	0.20	35.1	$0.8\sigma_n^{0.65}$	0.13	$0.6\sigma_n^{0.65}$
	D級	0.07	17.4	$0.07+\sigma_n \cdot \tan 17.4^\circ$	0.05	$0.04+\sigma_n \cdot \tan 17.4^\circ$
細粒石英 閃緑岩	CH級	2.1	60.3	$2.2\sigma_n^{0.62}$	1.2	$2.0\sigma_n^{0.62}$
	CM級	1.6	50.3	$2.2\sigma_n^{0.58}$	0.78	$1.9\sigma_n^{0.58}$
	CL級	0.20	35.1	$0.8\sigma_n^{0.65}$	0.13	$0.6\sigma_n^{0.65}$
	D級	0.07	17.4	$0.07+\sigma_n \cdot \tan 17.4^\circ$	0.05	$0.04+\sigma_n \cdot \tan 17.4^\circ$
頁岩	CH級	2.1	60.3	$2.2\sigma_n^{0.62}$	1.2	$2.0\sigma_n^{0.62}$
	CM級	1.6	50.3	$2.2\sigma_n^{0.58}$	0.78	$1.9\sigma_n^{0.58}$
	CL級	0.20	35.1	$0.8\sigma_n^{0.65}$	0.13	$0.6\sigma_n^{0.65}$
	D級	0.06	18.3	$0.06+\sigma_n \cdot \tan 18.3^\circ$	0.05	$0.04+\sigma_n \cdot \tan 18.3^\circ$
崖壁堆積物 新期扇状地堆積物 および沖積層		0.02	26.7	$\sigma_n \cdot \tan 26.7^\circ$	0.01	$\sigma_n \cdot \tan 26.7^\circ$
		0.03	25.0	$\sigma_n \cdot \tan 25.0^\circ$	0.02	$\sigma_n \cdot \tan 25.0^\circ$
盛土		0.09	18.2	$\sigma_n \cdot \tan 18.2^\circ$	0.08	$\sigma_n \cdot \tan 18.2^\circ$
		0.08	19.5	$\sigma_n \cdot \tan 19.5^\circ$	0.06	$\sigma_n \cdot \tan 19.5^\circ$

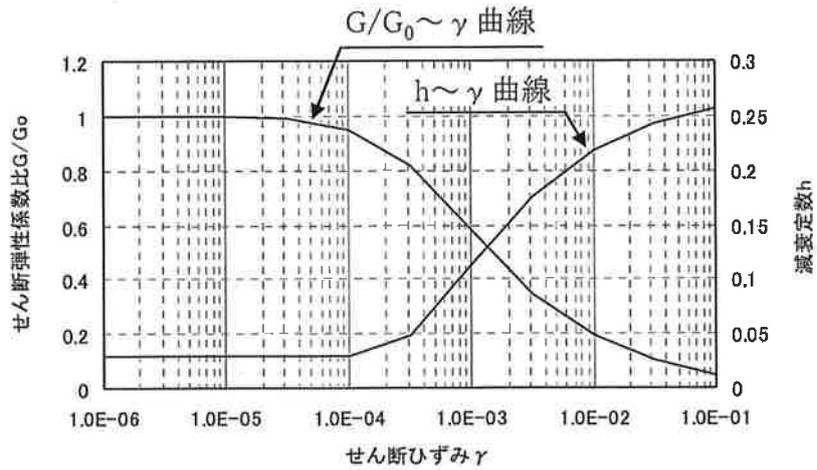
σ_n (N/mm²) : すべり面に対する直応力



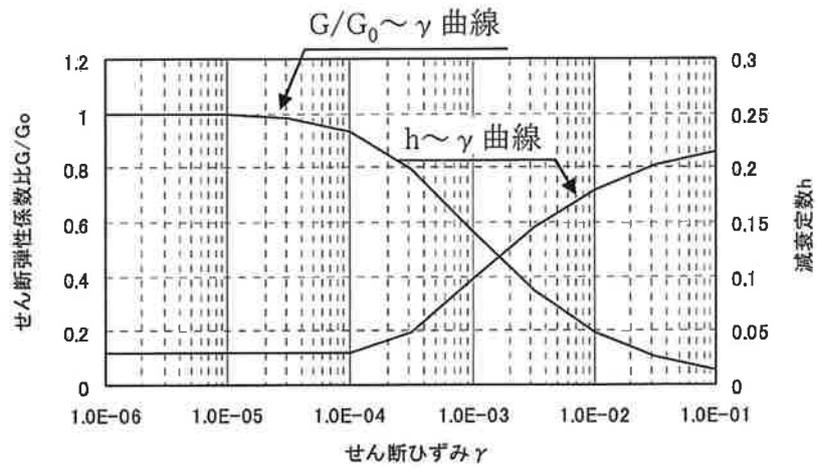
第 3.3-7 図 せん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存特性
(D 級)



第 3.3-8 図 せん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存特性
(崖錐堆積物, 新期扇状地堆積物, 沖積層および段丘堆積物)



第 3.3-9 図 せん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存特性
(盛土)



第 3.3-10 図 せん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存特性
(破砕帯)

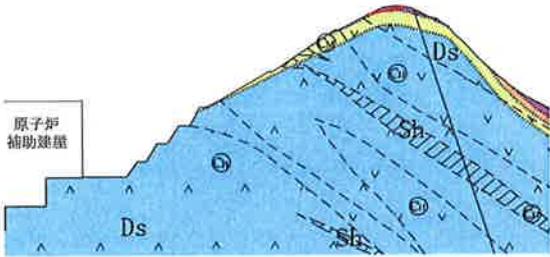
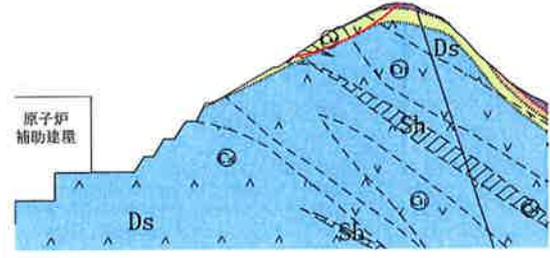
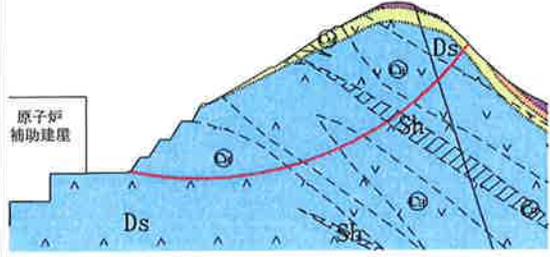
3.4 評価結果

想定すべり面における F-F' 断面, ①-①' 断面, ②-②' 断面のすべり安全率を第 3.4-1 表～第 3.4-3 表に, また各想定すべり面において最小すべり安全率を示す基準地震動に対するすべり安全率時刻歴を第 3.4-4 表～第 3.4-6 表に示す。最小すべり安全率は 2.5 であり, 「JEAG4601-2008」に示される評価基準値 1.2 を上回ることから, すべりに対して十分な安定性を有している。

また, 各断面における要素ごとの局所安全係数を第 3.4-1 図～第 3.4-3 図に示す。斜面部の要素において引張応力が発生した要素があるが, すべりに対して問題となるものではないことから, 斜面は地震時に発生する応力に対して安定性を有している。

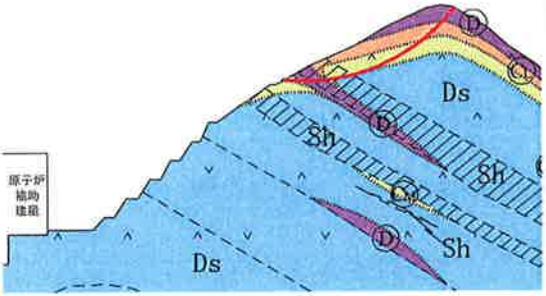
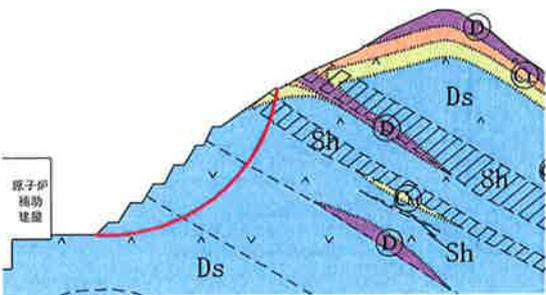
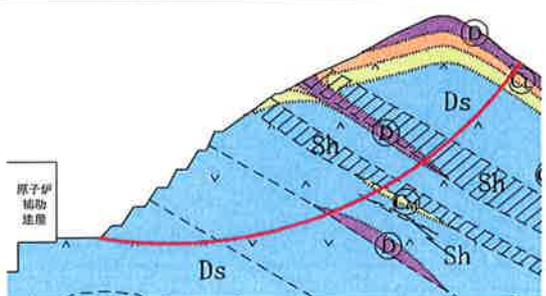
なお, 念のため地盤物性のばらつきを考慮し, 各断面のうち最小すべり安全率を示す地震動に対して, 地盤物性のうちせん断強度について「平均値 - 1.0 × 標準偏差 (σ)」とした結果を第 3.4-7 表～第 3.4-9 表に, また応答スペクトルに基づく地震動評価結果 S_{S-1} について, 正負を反転して解析を行った結果のうち最小すべり安全率を第 3.4-10 表～第 3.4-12 表に示す。これらのすべり安全率は評価基準値 1.2 を上回ることから, 地盤物性値のばらつきや S_{S-1} の反転を考慮しても斜面はすべりに対して十分な安定性を有している。

第3.4-1表 すべり安全率一覧表 (F-F' 断面)

すべり面 番号	すべり面形状	最小すべり安全率		
		S _{S-1}	S _{S-2}	S _{S-3}
1	 <p>D級岩盤内のすべり</p>	8.7 (36.15秒)	11.0 (20.39秒)	9.9 (11.21秒)
2	 <p>CM級岩盤内のすべり</p>	10.6 (16.14秒)	18.3 (20.38秒)	15.6 (11.35秒)
3	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	5.5 (16.14秒)	7.9 (20.38秒)	7.0 (11.35秒)

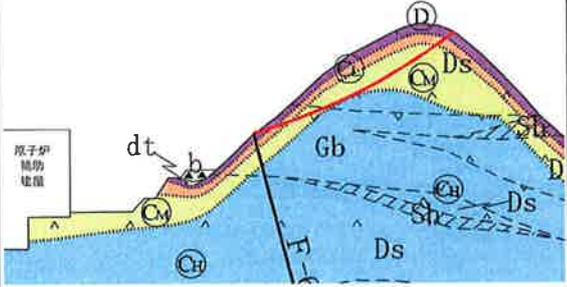
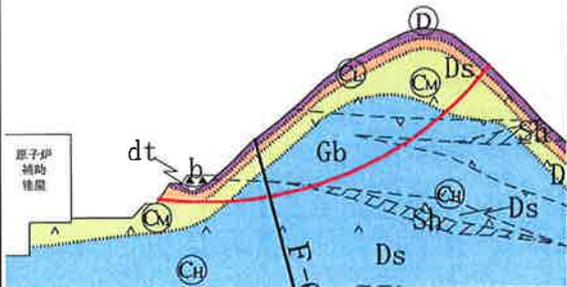
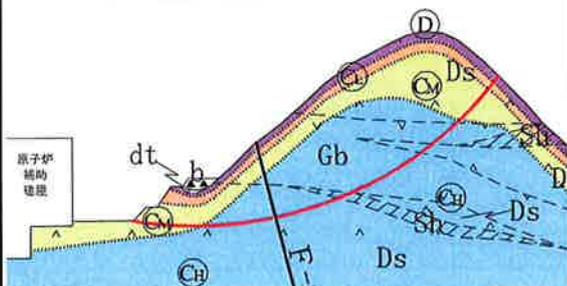
凡例 — : すべり面 ○ : すべり安全率の最小値 ()内は発生時刻

第3.4-2表 すべり安全率一覧表 (①-①' 断面)

すべり面 番号	すべり面形状	最小すべり安全率		
		S _{S-1}	S _{S-2}	S _{S-3}
1	 <p>CM級岩盤内のすべり</p>	4.7 (16.14秒)	7.9 (20.39秒)	6.3 (11.34秒)
2	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	6.5 (32.19秒)	15.0 (20.37秒)	14.0 (11.03秒)
3	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	3.9 (16.13秒)	6.8 (20.37秒)	6.0 (10.85秒)

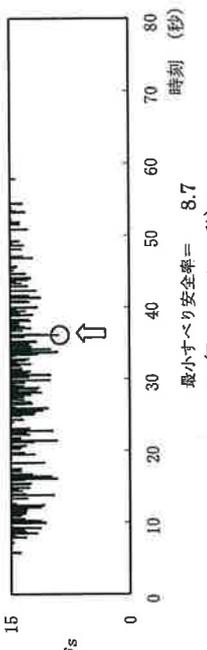
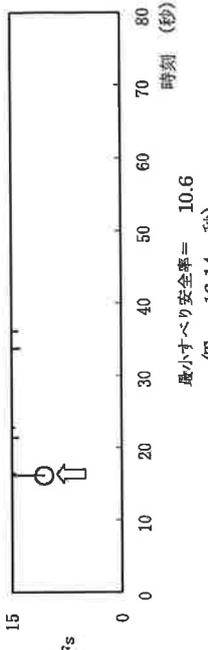
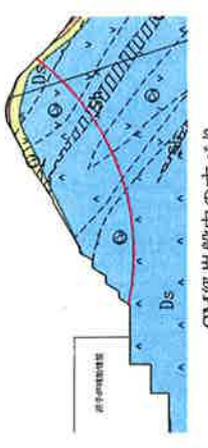
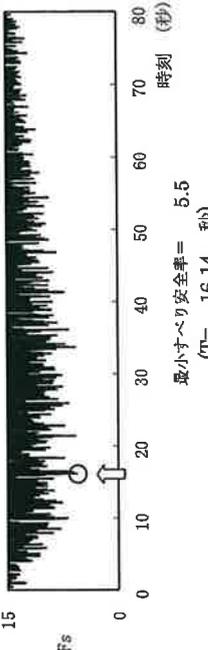
凡例 — : すべり面 ○ : すべり安全率の最小値 ()内は発生時刻

第3.4-3表 すべり安全率一覧表 (②-②' 断面)

すべり面 番号	すべり面形状	最小すべり安全率		
		S _{S-1}	S _{S-2}	S _{S-3}
1	 <p>CM級岩盤内のすべり</p>	<p>2.5 (8.55秒)</p>	<p>7.2 (20.39秒)</p>	<p>5.4 (11.05秒)</p>
2	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	<p>3.4 (21.43秒)</p>	<p>6.4 (20.39秒)</p>	<p>4.8 (10.82秒)</p>
3	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	<p>3.7 (21.43秒)</p>	<p>6.5 (20.38秒)</p>	<p>5.0 (10.81秒)</p>

凡例 — : すべり面 ○ : すべり安全率の最小値 ()内は発生時刻

第 3.4-4 表 すべり安全率時刻歴 (F-F' 断面)

すべり面番号	すべり面形状	基準地震動	最小すべり安全率	時刻 (秒)	すべり安全率 (Fs) 時刻歴
1	 <p>D級岩盤内のすべり</p>	Ss-1	8.7	36.15	 <p>最小すべり安全率 = 8.7 (T = 36.15 秒)</p>
2	 <p>CL級岩盤内のすべり</p>	Ss-1	10.6	16.14	 <p>最小すべり安全率 = 10.6 (T = 16.14 秒)</p>
3	 <p>CM級岩盤内のすべり</p>	Ss-1	5.5	16.14	 <p>最小すべり安全率 = 5.5 (T = 16.14 秒)</p>

凡例  : すべり面  : すべり安全率の最小値

第 3.4-5 表 すべり安全率時刻歴 (①-①' 断面)

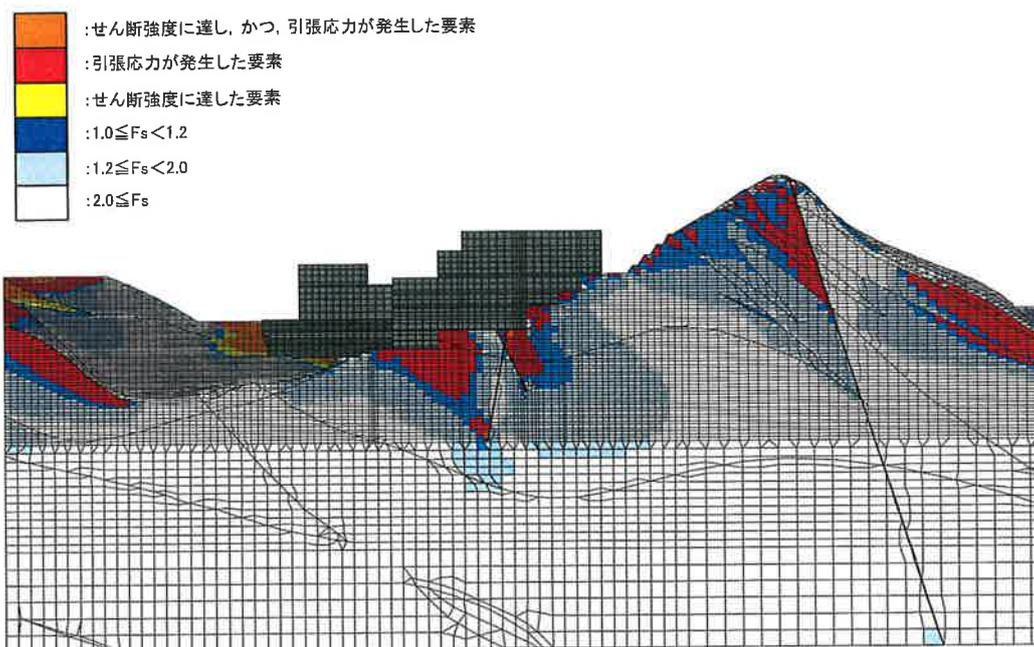
すべり面番号	すべり面形状	基準地震動	最小すべり安全率	時刻 (秒)	すべり安全率 (Fs) 時刻歴
1	<p>CM級岩盤内のすべり</p>	Ss-1	4.7	16.14	<p>最小すべり安全率 = 4.7 (T = 16.14 秒)</p>
2	<p>CH級岩盤内のすべり</p>	Ss-1	6.5	32.19	<p>最小すべり安全率 = 6.5 (T = 32.19 秒)</p>
3	<p>CH級岩盤内のすべり</p>	Ss-1	3.9	16.13	<p>最小すべり安全率 = 3.9 (T = 16.13 秒)</p>

凡例 — : すべり面 ○ : すべり安全率の最小値

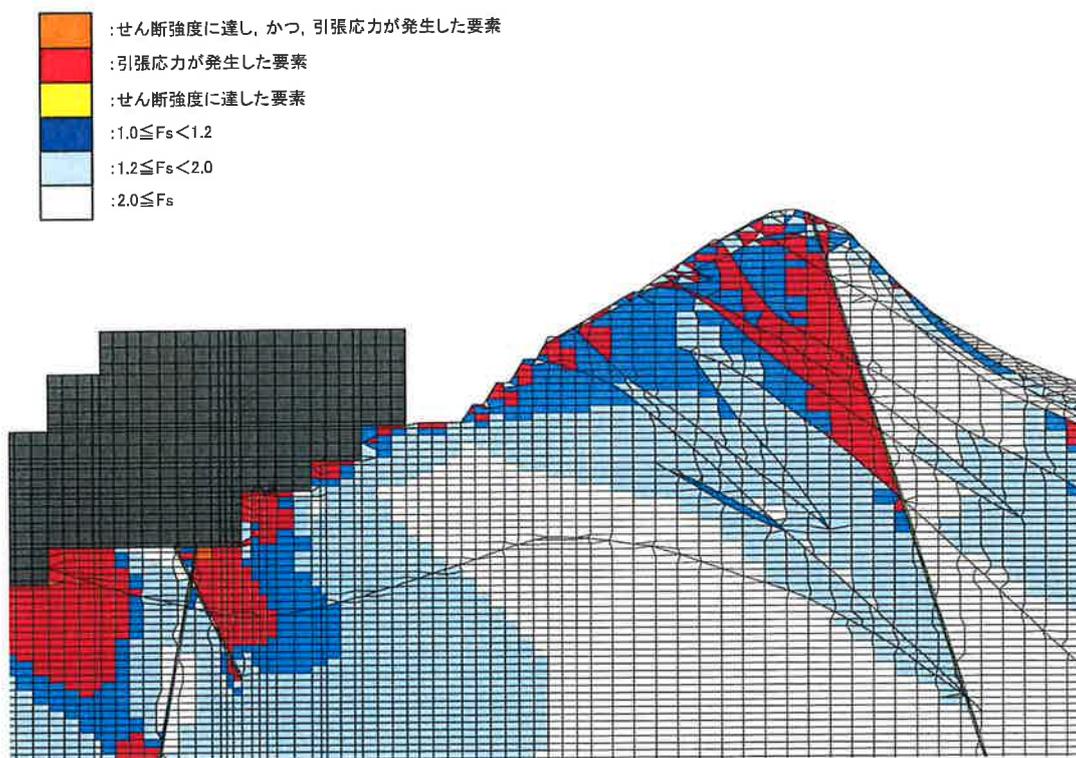
第 3.4-6 表 すべり安全率時刻歴 (㉔-㉔' 断面)

すべり面番号	すべり面形状	基準地震動	最小すべり安全率	時刻 (秒)	すべり安全率 (Fs) 時刻歴
1	<p>CM級岩盤内のすべり</p>	Ss-1	2.5	8.55	<p>最小すべり安全率= 2.5 (T= 8.55 秒)</p>
2	<p>CH級岩盤内のすべり</p>	Ss-1	3.4	21.43	<p>最小すべり安全率= 3.4 (T= 21.43 秒)</p>
3	<p>CH級岩盤内のすべり</p>	Ss-1	3.7	21.43	<p>最小すべり安全率= 3.7 (T= 21.43 秒)</p>

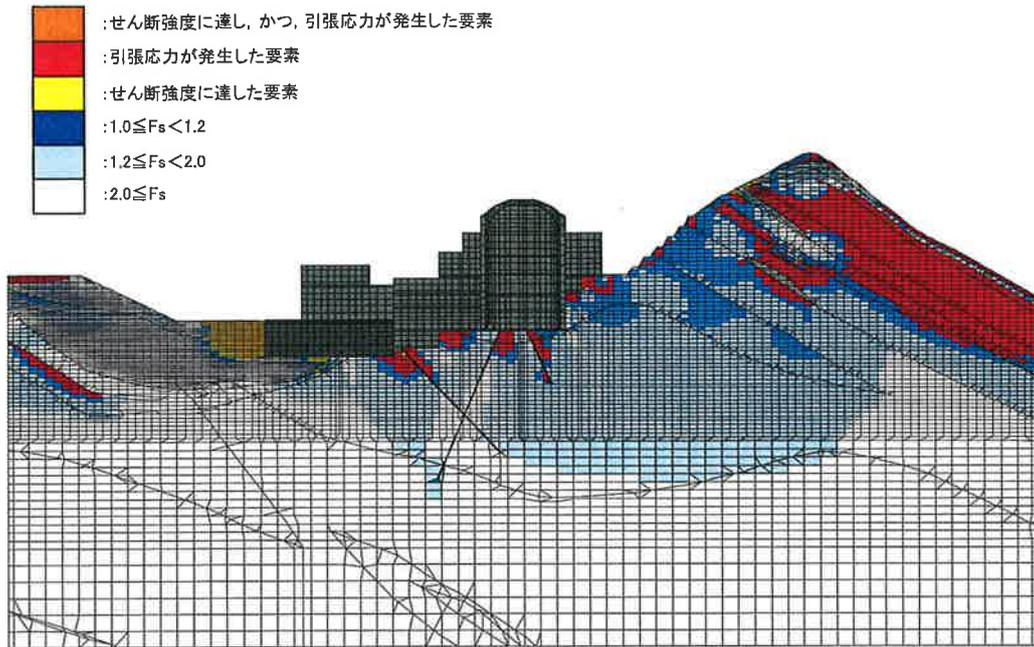
凡例 — : すべり面 ○ : すべり安全率の最小値



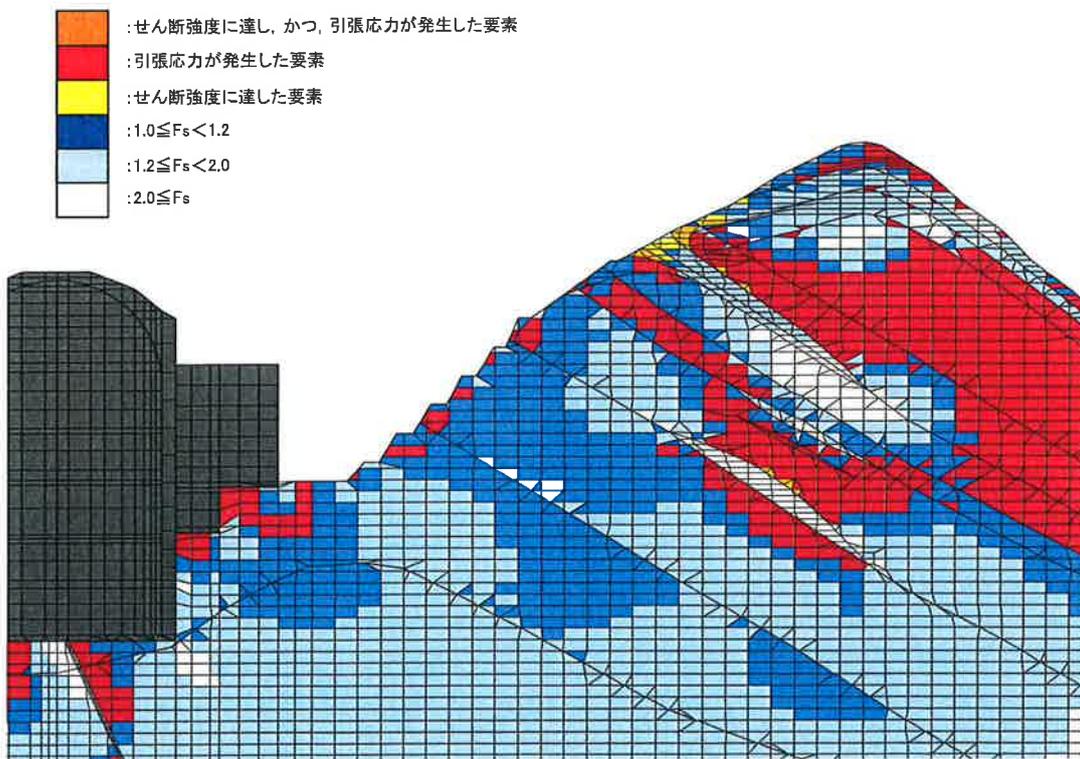
第 3.4-1 図 (a) 要素ごとの局所安全係数 (F-F' 断面)
 S_{S-1} 時刻 : 16.14 秒 全体図



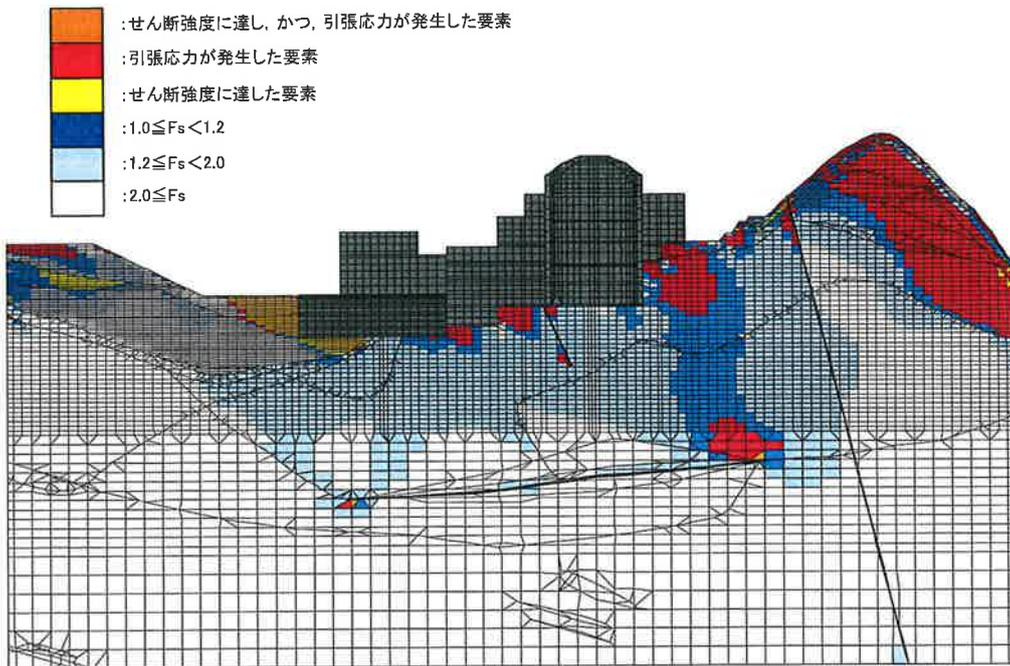
第 3.4-1 図 (b) 要素ごとの局所安全係数 (F-F' 断面)
 S_{S-1} 時刻 : 16.14 秒 斜面部拡大図



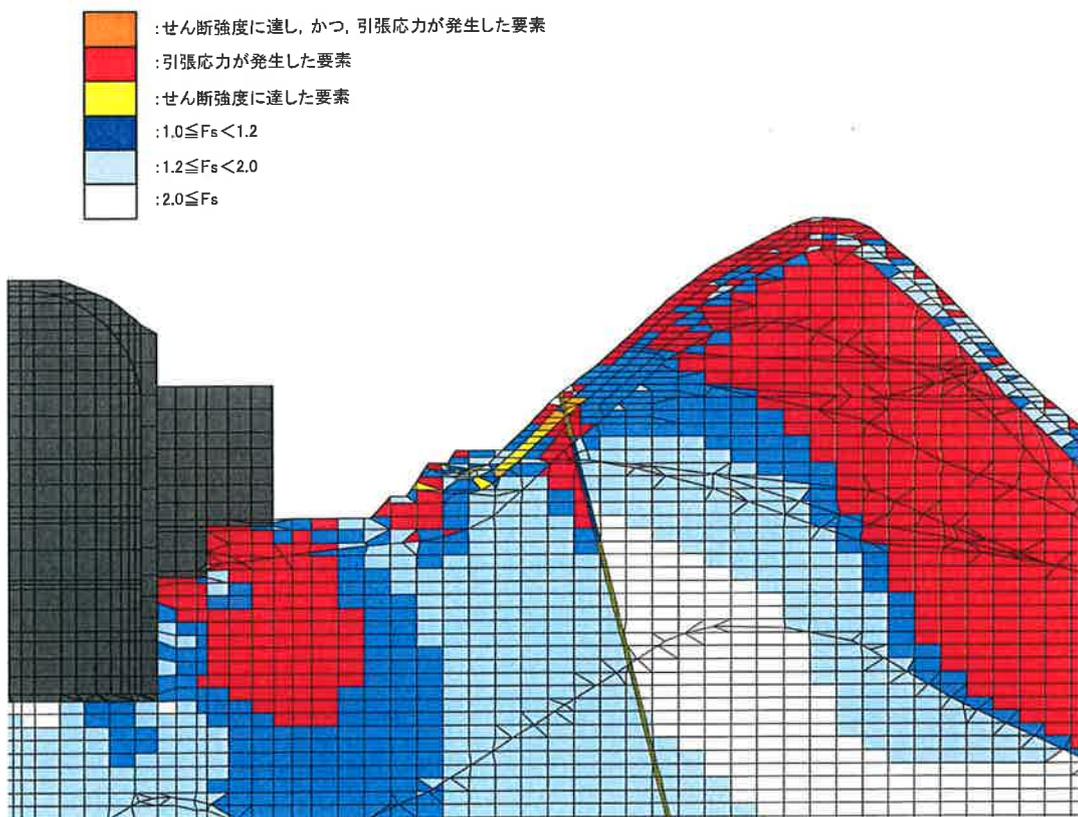
第 3.4-2 図 (a) 要素ごとの局所安全係数 (①-①' 断面)
 S_{S-1} 時刻 : 16.13 秒 全体図



第 3.4-2 図 (b) 要素ごとの局所安全係数 (①-①' 断面)
 S_{S-1} 時刻 : 16.13 秒 斜面部拡大図

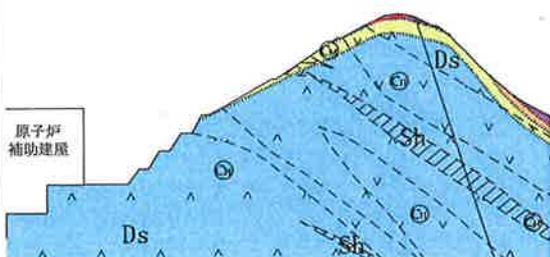
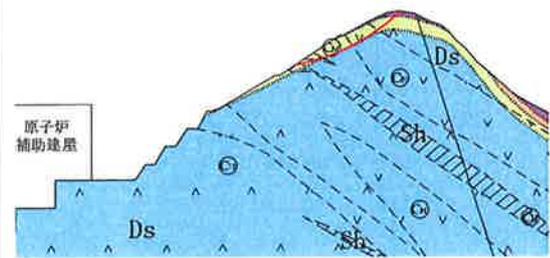
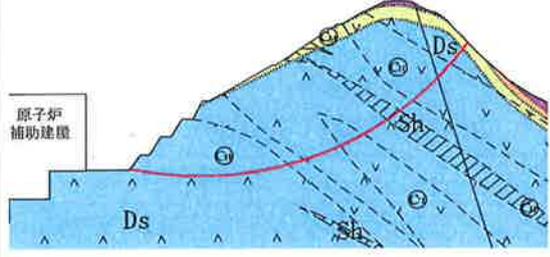


第 3.4-3 図 (a) 要素ごとの局所安全係数 (②-②' 断面)
 S_{S-1} 時刻 : 8.55 秒 全体図



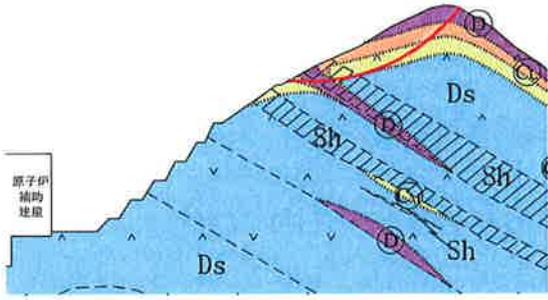
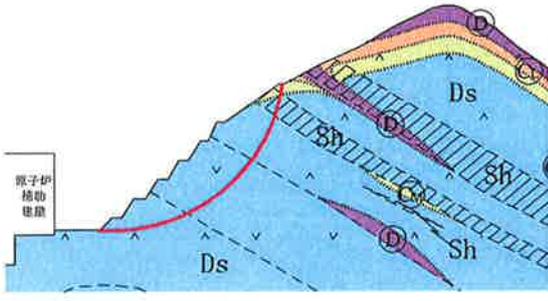
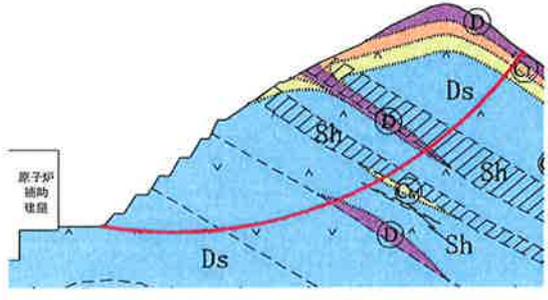
第 3.4-3 図 (b) 要素ごとの局所安全係数 (②-②' 断面)
 S_{S-1} 時刻 : 8.55 秒 斜面部拡大図

第 3.4-7 表 地盤物性のばらつきを考慮したすべり安全率一覧表
(F-F' 断面)

すべり面 番号	すべり面形状	地盤の せん断強度	最小すべり 安全率
1	 <p>D級岩盤内のすべり</p>	S_{S-1} 平均値 (再掲)	8.7 (36.15秒)
		S_{S-1} 平均値- σ	5.9 (36.15秒)
2	 <p>CM級岩盤内のすべり</p>	S_{S-1} 平均値 (再掲)	10.6 (16.14秒)
		S_{S-1} 平均値- σ	6.9 (16.14秒)
3	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	S_{S-1} 平均値 (再掲)	5.5 (16.14秒)
		S_{S-1} 平均値- σ	3.5 (16.14秒)

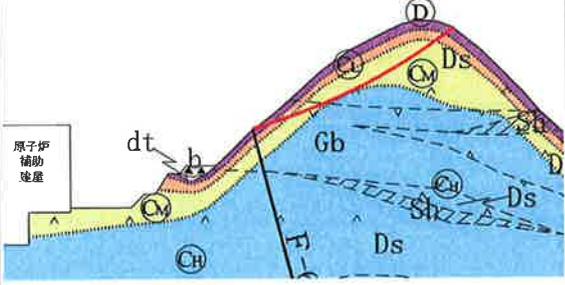
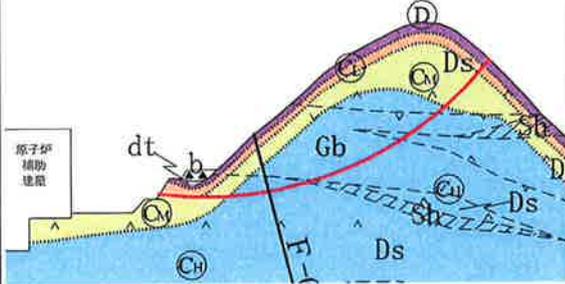
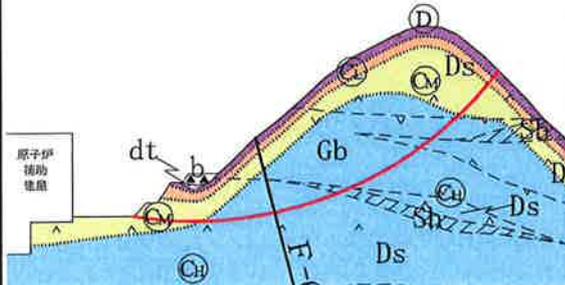
凡例 — : すべり面 ○ : すべり安全率の最小値 ()内は発生時刻

第 3.4-8 表 地盤物性のばらつきを考慮したすべり安全率一覧表
(①-①' 断面)

すべり面 番号	すべり面形状	地盤の せん断強度	最小すべり 安全率
1	 <p>CM級岩盤内のすべり</p>	S_{S-1} 平均値 (再掲)	4.7 (16.14秒)
		S_{S-1} 平均値- σ	3.2 (16.14秒)
2	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	S_{S-1} 平均値 (再掲)	6.5 (32.19秒)
		S_{S-1} 平均値- σ	5.5 (32.19秒)
3	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	S_{S-1} 平均値 (再掲)	3.9 (16.13秒)
		S_{S-1} 平均値- σ	2.7 (16.13秒)

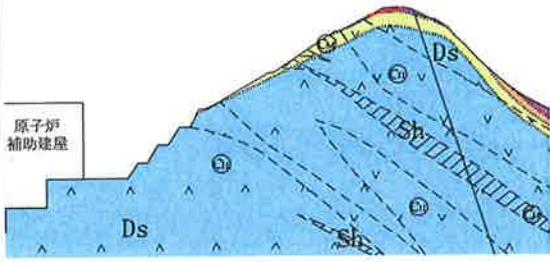
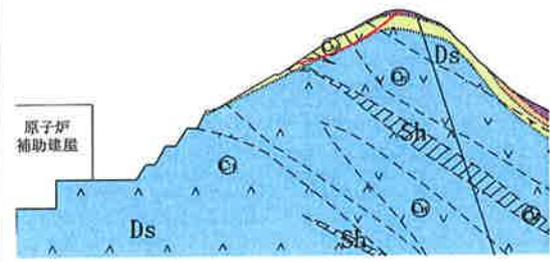
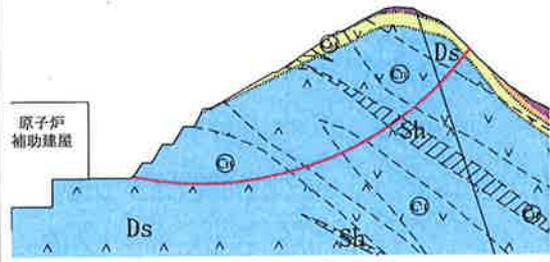
凡例 — : すべり面 ○ : すべり安全率の最小値 ()内は発生時刻

第 3.4-9 表 地盤物性のばらつきを考慮したすべり安全率一覧表
(②-②' 断面)

すべり面 番号	すべり面形状	地盤の せん断強度	最小すべり 安全率
1	 <p>CM級岩盤内のすべり</p>	S_{S-1} 平均値 (再掲)	2.5 (8.55秒)
		S_{S-1} 平均値- σ	1.8 (8.55秒)
2	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	S_{S-1} 平均値 (再掲)	3.4 (21.43秒)
		S_{S-1} 平均値- σ	2.3 (21.43秒)
3	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	S_{S-1} 平均値 (再掲)	3.7 (21.43秒)
		S_{S-1} 平均値- σ	2.5 (21.43秒)

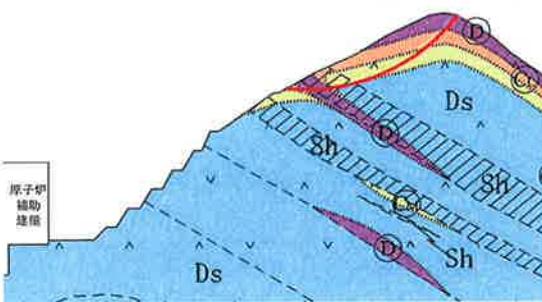
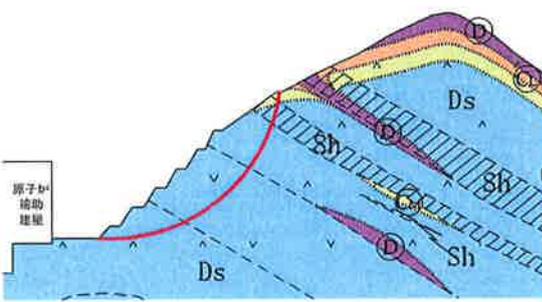
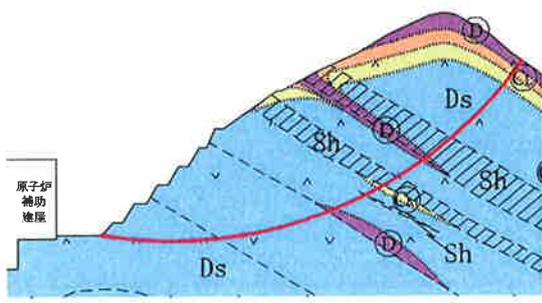
凡例 — : すべり面 ○ : すべり安全率の最小値 ()内は発生時刻

第 3.4-10 表 S_{S-1} の反転を考慮したすべり安全率一覧表 (F-F' 断面)

すべり面 番号	すべり面形状	S _{S-1} 反転考慮	最小すべり 安全率
1	 <p>D級岩盤内のすべり</p>	反転なし (再掲)	8.7 (36.15秒)
		水平反転 鉛直反転	7.5 (21.35秒)
2	 <p>CM級岩盤内のすべり</p>	反転なし (再掲)	10.6 (16.14秒)
		水平反転	8.6 (21.34秒)
3	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	反転なし (再掲)	5.5 (16.14秒)
		水平反転 鉛直反転	4.7 (34.09秒)

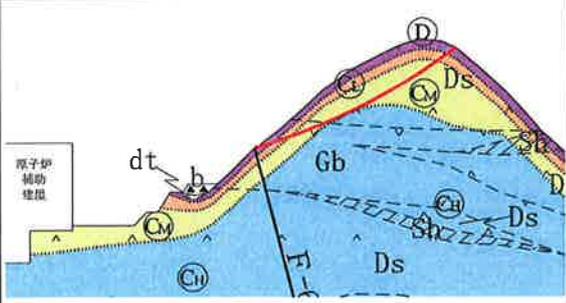
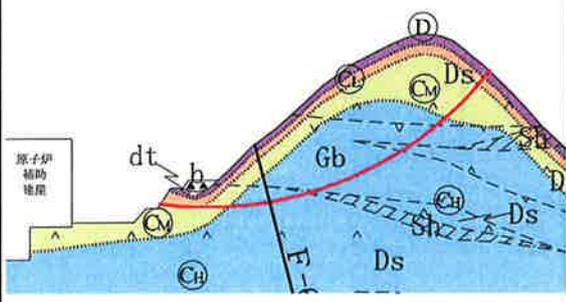
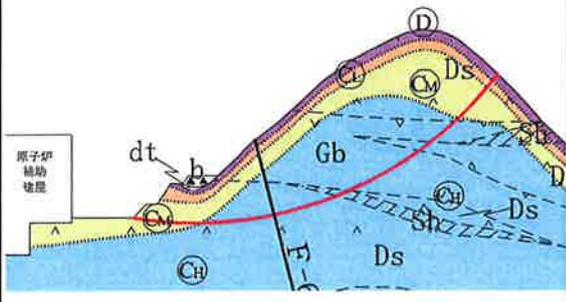
凡例 — : すべり面 ○ : すべり安全率の最小値 ()内は発生時刻

第 3.4-11 表 S_{S-1} の反転を考慮したすべり安全率一覧表 (①-①' 断面)

すべり面 番号	すべり面形状	S_{S-1} 反転考慮	最小すべり 安全率
1	 CM級岩盤内のすべり	反転なし (再掲)	4.7 (16.14秒)
		水平反転 鉛直反転	4.1 (16.29秒)
2	 CH級岩盤内のすべり	反転なし (再掲)	6.5 (32.19秒)
		水平反転 鉛直反転	6.4 (36.17秒)
3	 CH級岩盤内のすべり	反転なし (再掲)	3.9 (16.13秒)
		水平反転 鉛直反転	2.9 (16.28秒)

凡例 — : すべり面 ○ : すべり安全率の最小値 ()内は発生時刻

第 3.4-12 表 S_{S-1} の反転を考慮したすべり安全率一覧表 (②-②' 断面)

すべり面 番号	すべり面形状	S_{S-1} 反転考慮	最小すべり 安全率
1	 <p>CM級岩盤内のすべり</p>	反転なし (再掲)	2.5 (8.55秒)
		水平反転 鉛直反転	2.0 (16.29秒)
2	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	反転なし (再掲)	3.4 (21.43秒)
		水平反転 鉛直反転	2.4 (16.28秒)
3	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	反転なし (再掲)	3.7 (21.43秒)
		水平反転 鉛直反転	2.9 (16.29秒)

凡例 — : すべり面 ○ : すべり安全率の最小値 ()内は発生時刻

3.5 表層部の安定性評価

(1) 概要

1・2号機の周辺斜面においては、①-①'断面、②-②'断面において自然斜面が残る部分が存在する。自然斜面表層部は風化等の影響により強度が小さいため、表層が滑落する表層崩壊の可能性が考えられる。このため自然斜面部においては、地震時の表層部の変位量を評価し、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」に示される「施設の周辺斜面で地震時に想定しうる崩壊等によっても、施設の安全機能が重大な影響を受けるおそれがないこと」を確認する。

(2) 評価箇所の選定

①-①'断面および②-②'断面における自然斜面を含むすべり面に対し基準地震動 S_s による地震力に対する安定性評価を行う。評価箇所については、自然斜面部において岩級区分を考慮してすべり面法により絞り込んだすべり面に対し、地震応答解析の結果を勘案して設定する。想定すべり面を第 3.5-1 図、第 3.5-2 図に示す。

(3) 評価手法

①-①'断面、②-②'断面の地震応答解析の結果、斜面表層部の想定すべり面において、基準地震動 S_s における評価、地盤物性のうちせん断強度について「平均値- $1.0 \times$ 標準偏差 (σ)」とした評価、また応答スペクトルに基づく地震動評価結果 S_{s-1} について、正負を反転して解析を行った結果のうち、すべり安全率が最小となるケースにおいて、Newmark 法を用いて滑動変位量の評価を行なう。

Newmark 法による変位量評価手法の概要を第 3.5-3 図に示すが、地震応答解析の応力結果を用いて、すべり円弧中心周りの滑動モーメント、抵抗モーメントを算出し、モーメントの釣合い式を用いて角加速度を算出し、それを積分して回転変位量を求める。

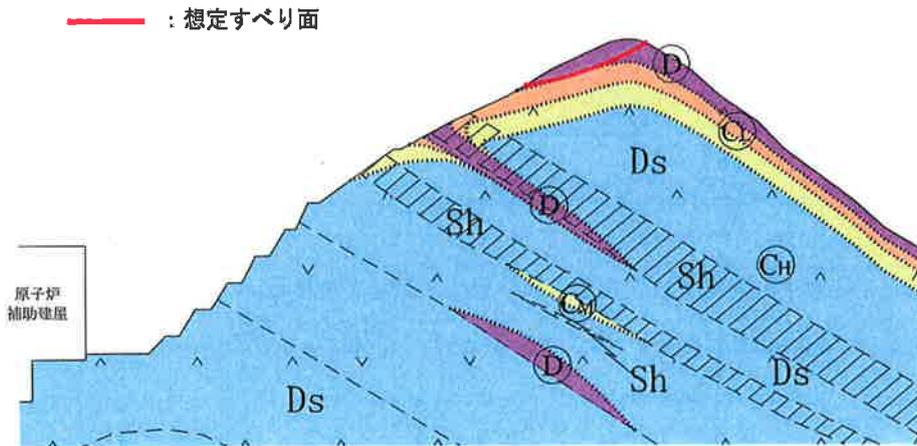
(4) 評価結果

①-①'断面において、地震応答解析の結果、すべり安全率が最小となるケース (S_{s-1} 反転無し：地盤のせん断強度 平均値- σ) のすべり安全率の時刻歴を第 3.5-4 図に、Newmark 法による滑動変位量時刻歴を第 3.5-5 図に示すが、変位量は 0.090cm である。変位量は極めて小さく、滑動力が抵抗力を上回る時間も 0.03 秒と極めて短いことから、表層部が滑落し、施設の安全機能に重大な影響を与えることは無いものと考えられる。

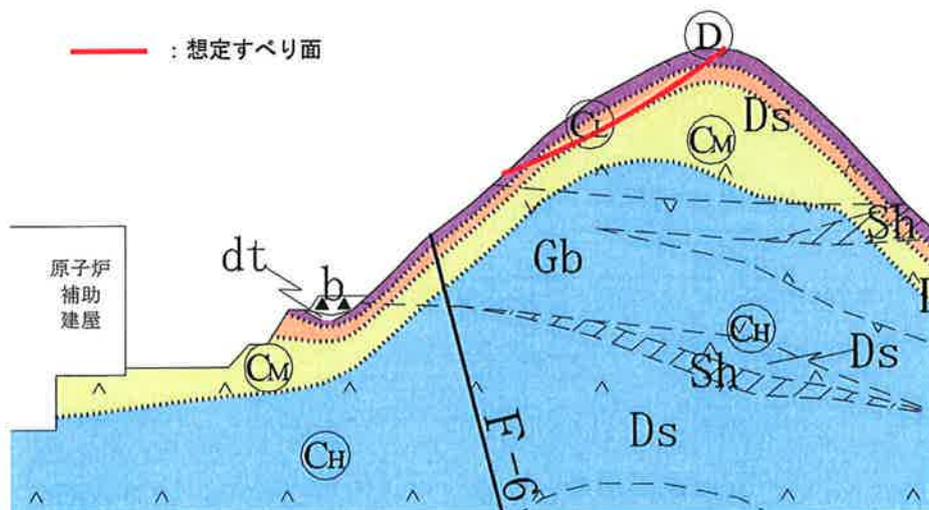
また、②-②'断面において、地震応答解析の結果、すべり安全率が最小となるケース (S_{s-1} 反転無し：地盤のせん断強度 平均値- σ) のすべり安全率の時刻歴を第 3.5-6 図に、Newmark 法による滑動変位量時刻歴を第 3.5-7 図に示すが、変位量は 0.023cm である。変位量は極めて小さく、

滑動力が抵抗力を上回る時間も 0.04 秒と極めて短いことから、表層部が滑落し、施設の安全機能に重大な影響を与えることは無いものと考えられる。

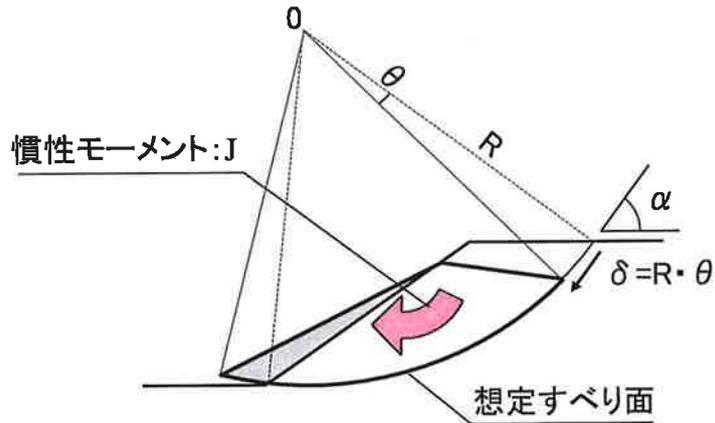
以上より、1・2号機周辺斜面が基準地震動 S_g による地震力に対して対象施設の安全機能に重大な影響を与えるような崩壊を起こさないことを確認した。



第 3.5-1 図 ①-①' 断面 斜面表層部想定すべり面



第 3.5-2 図 ②-②' 断面 斜面表層部想定すべり面



$$\text{角加速度 } \ddot{\theta} = (M_D - M_R) / J$$

$$\text{角速度 } \dot{\theta}_{t+\Delta t} = \dot{\theta}_t + \frac{1}{2}(\ddot{\theta}_t + \ddot{\theta}_{t+\Delta t})\Delta t$$

$$\text{角変位 } \theta_{t+\Delta t} = \theta_t + \dot{\theta}_t\Delta t + \frac{1}{6}(2\ddot{\theta}_t + \ddot{\theta}_{t+\Delta t})\Delta t^2$$

$$\text{変位 } \delta = R \cdot \theta$$

θ : 回転角, J : 慣性モーメント

M_D : 滑動モーメント = $F_D \times R$, M_R : 抵抗モーメント = $F_R \times R$

F_D : 地震応答解析から求まるすべり面上の滑動力合計 (時刻歴)

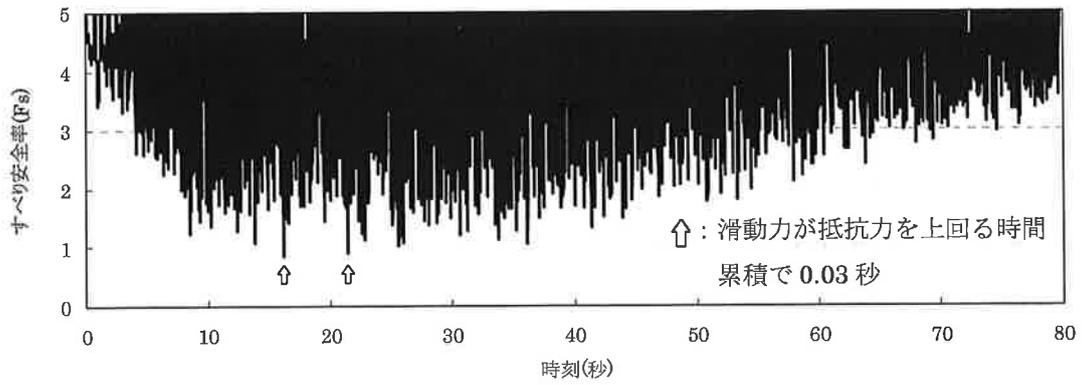
F_R : 地震応答解析から求まるすべり面上の抵抗力合計 (時刻歴)

R : すべり円弧の半径

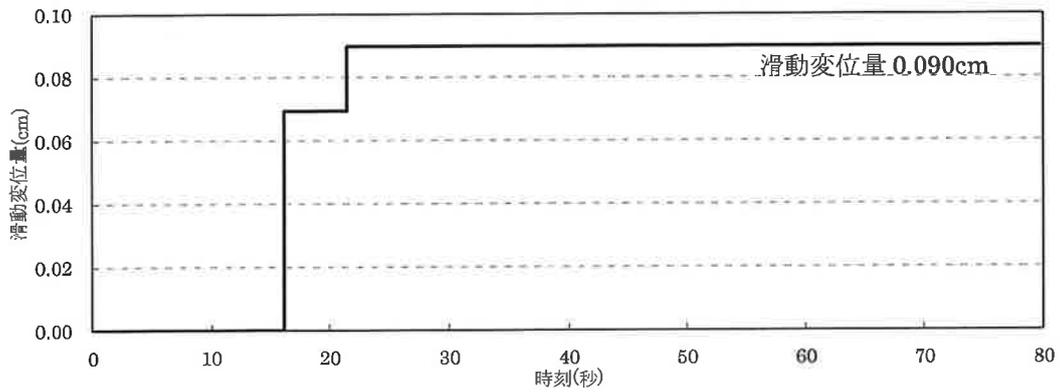
滑動モーメント 抵抗モーメント

$M_D > M_R$ となった (角加速度 > 0) 時刻, すなわち滑動力が抵抗力を上回る時刻から各速度 0 となる時刻まで変位計算

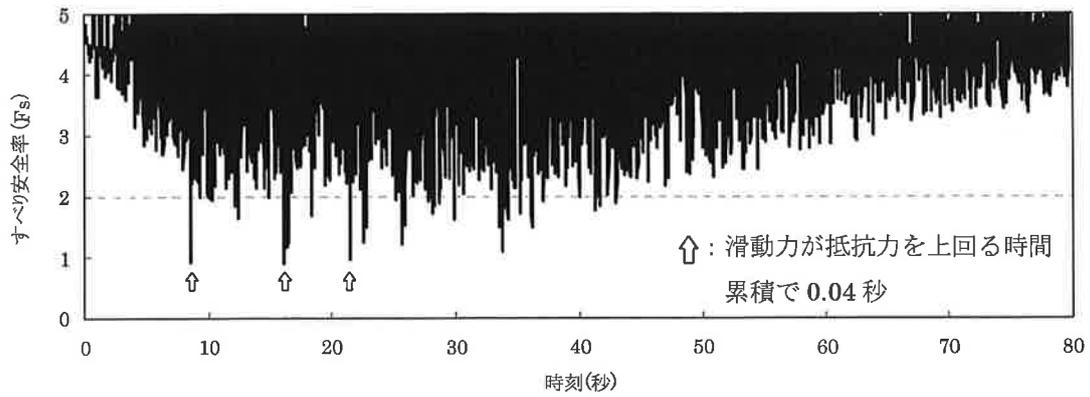
第 3.5-3 図 Newmark 法による変位量評価手法の概要



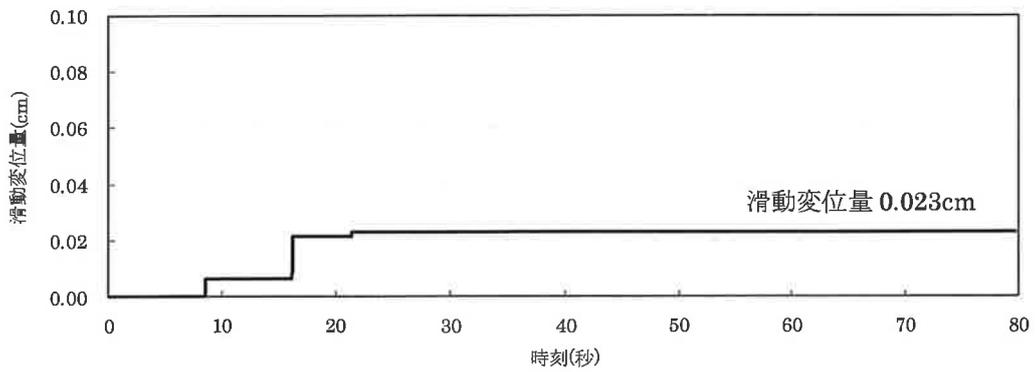
第 3.5-4 図 ①-①' 断面 斜面表層部想定すべり面における
すべり安全率時刻歴
(S_{s-1} 反転無し : 地盤のせん断強度 平均値 - σ)



第 3.5-5 図 ①-①' 断面 斜面表層部の滑動変位量



第 3.5-6 図 ②-②' 斜面表層部想定すべり面における
すべり安全率時刻歴
(S_{S-1} 反転無し : 地盤のせん断強度 平均値 - σ)



第 3.5-7 図 ②-②' 断面 斜面表層部の滑動変位量

4. 3・4号機周辺斜面の安定性評価

4.1 周辺斜面の状況

第4.1-1図に3・4号機周辺敷地平面図を示す。

周辺斜面は、原子炉建屋の背後に位置し、斜面高さはおよそ100mである。周辺斜面の地質は、ほとんどが細粒石英閃緑岩及び輝緑岩からなる。

4.2 評価斜面の選定

「JEAG4601-2008」では、安定性評価の対象とすべき斜面は斜面法尻と対象施設の離間距離が約50m以内、あるいは斜面高さの約1.4倍以内の斜面としている。

上記に基づき、原子炉建屋の背後斜面を評価斜面と選定し、基準地震動 S_s による地震力に対する安定性評価を行う。

4.3 評価条件

(1) 解析モデル

評価斜面のうち、斜面形状および斜面高さを考慮し、動的有限要素法解析を実施する断面として、E-E'断面を選定する。解析用モデルには地盤および原子炉建屋、タービン建屋を考慮する。解析用建屋モデルは、それぞれの多質点系モデルを基に作成する。

E-E'断面の地質断面図を第4.3-1図に、解析用要素分割図を第4.3-2図に示す。

(2) 解析用物性値

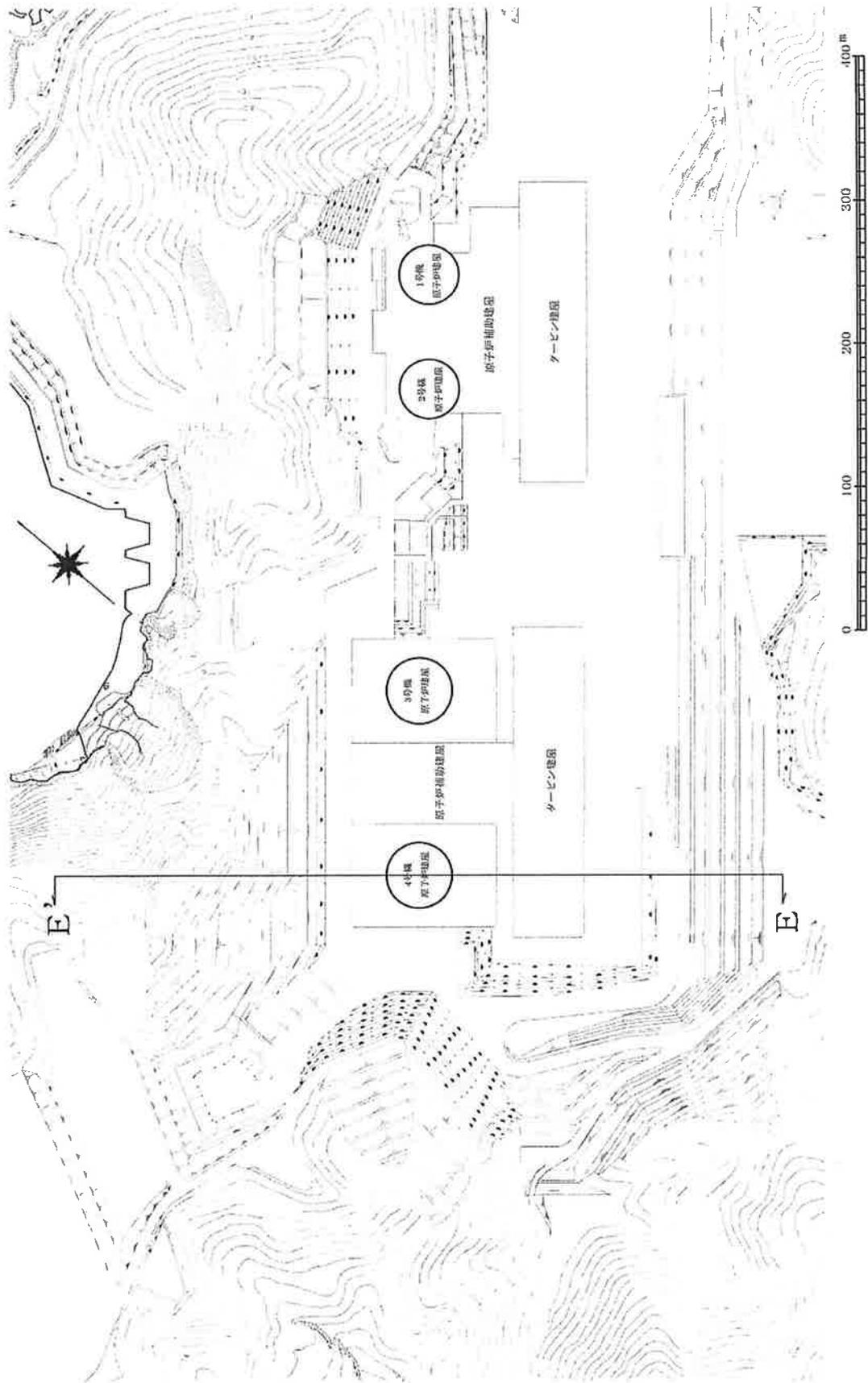
解析用物性値は、既往の試験結果および発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針の改訂に伴い新たに実施した各種試験結果に基づき設定する。解析用物性値設定の考え方を第4.3-1表に、解析用物性値を第4.3-2表、第4.3-3図～第4.3-6図に示す。

(3) 地下水位

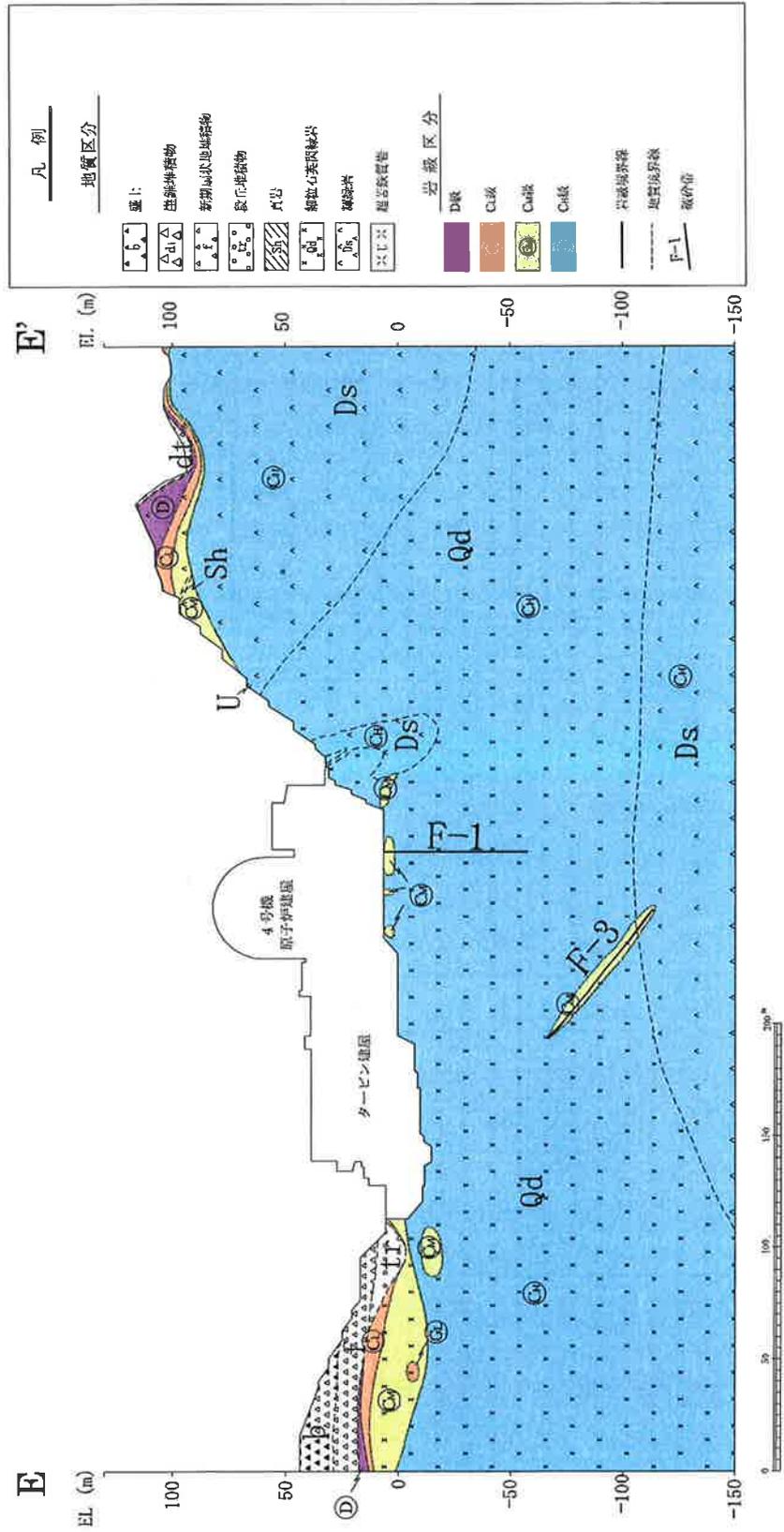
解析用地下水位は、地表面に設定する。建屋基礎部については、建屋基礎底面に設定する。

(4) 想定すべり面

想定すべり面は、安全審査時の検討を参考に設定したすべり面とする。



第4.1-1図 3・4号機周辺敷地平面図



第 4.3-1 図 地質断面図 (E-E' 断面)

第 4.3-1 表 解析用物性値設定の考え方

	物理特性	強度特性		静的変形特性		動的変形特性		減衰定数
		せん断強度, 内部摩擦角	残留強度	静弾性係数	静ポアソン比	せん断弾性係数	動ポアソン比	
CH級	室内物理試験 単位体積重量	岩盤せん断試験	岩盤せん断試験	平板載荷試験	岩石試験	PS検層と 単位体積重量 より算出	PS検層より算出	慣用値
CM級	室内物理試験	岩盤せん断試験	岩盤せん断試験	平板載荷試験	岩石試験	PS検層と 単位体積重量 より算出	PS検層より算出	慣用値
CL級	室内物理試験	岩盤せん断試験	岩盤せん断試験	平板載荷試験	岩石試験	PS検層と 単位体積重量 より算出	PS検層より算出	慣用値
D級	室内物理試験および 現場単位体積重量試験結果 より飽和重量を算出	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	慣用値	PS検層と 単位体積重量 より算出	PS検層より算出	繰返し三軸試験
崖錐堆積物および 新期扇状地堆積物	室内物理試験および 現場単位体積重量試験結果 より飽和重量を算出	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	慣用値	PS検層と 単位体積重量 より算出	PS検層より算出	繰返し三軸試験
段丘堆積物	室内物理試験および 現場単位体積重量試験結果 より飽和重量を算出	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	慣用値	PS検層と 単位体積重量 より算出	PS検層より算出	崖錐堆積物の 試験結果を使用
盛土 および埋め戻し土	室内物理試験および 現場単位体積重量試験結果 より飽和重量を算出	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	崖錐堆積物の 試験結果を使用	慣用値	PS検層と 単位体積重量 より算出	PS検層より算出	繰返し三軸試験
破砕帯	室内物理試験および 現場単位体積重量試験結果 より飽和重量を算出	一面せん断試験	一面せん断試験	静的単純せん断試験	慣用値	動的単純せん断試験	超音波速度 測定結果より算出	動的単純せん断試験

第 4.3-2 表 解析用物性値 (a)

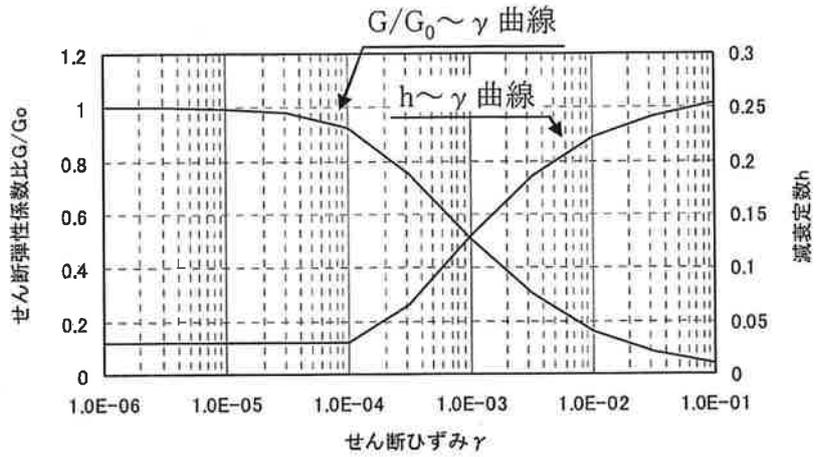
	物理特性		静的変形特性		動的変形特性		減衰定数
	単位体積重量 (kN/m^3)	静弾性係数 (N/mm^2)	静ポアソン比	初期せん断弾性 係数 (N/mm^2)	動ポアソン比		
輝緑岩	CH級	3,400 (6,200)	0.26	16,000	0.34	0.03	
	CM級	1,800 (3,200)	0.26	11,000	0.34	0.03	
	CL級	610 (1,100)	0.26	1,900	0.34	0.03	
	D級	24	0.40	³⁸⁰ $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線は第4.3-3図参照	0.37	$h \sim \gamma$ 曲線は第4.3-3図参照	
細粒石英 閃緑岩	CH級	14,100 (15,900)	0.23	13,000	0.34	0.03	
	CM級	2,600 (3,100)	0.23	11,000	0.34	0.03	
	CL級	970 (1,500)	0.23	2,800	0.34	0.03	
	D級	24	0.40	³⁸⁰ $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線は第4.3-3図参照	0.37	$h \sim \gamma$ 曲線は第4.3-3図参照	
頁岩		2,600	0.23	11,000	0.34	0.03	
崖堆積物および 新期扇状地堆積物	19.3	32	0.40	²⁸⁰ $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線は第4.3-4図参照	0.43	$h \sim \gamma$ 曲線は第4.3-4図参照	
段丘堆積物	22.1	38	0.40	⁶²⁰ $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線は第4.3-4図参照	0.45	$h \sim \gamma$ 曲線は第4.3-4図参照	
盛土および埋め戻し土	21.2	32	0.40	²⁸⁰ $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線は第4.3-5図参照	0.46	$h \sim \gamma$ 曲線は第4.3-5図参照	
破砕帯	19.4	$97.0 \sigma_v^{0.89}$	0.40	^{1870, 975} $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線は第4.3-6図参照	0.48	$h \sim \gamma$ 曲線は第4.3-6図参照	

() 内数値は除荷時のもの
 σ_v (N/mm^2) : 鉛直応力, G (N/mm^2) : せん断弾性係数, G_0 (N/mm^2) : 初期せん断弾性係数, γ : せん断ひずみ, h : 減衰定数

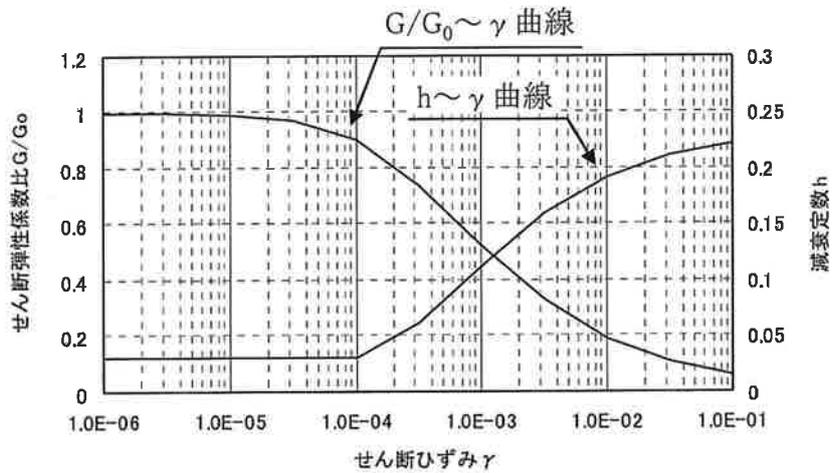
第 4.3-2 表 解析用物性値 (b)

	強度特性				強度特性 (地盤のばらつきを考慮)			
	せん断強度 (N/mm ²)	内部摩擦角 (度)	残留強度 (N/mm ²)	せん断強度 (N/mm ²)	内部摩擦角 (度)	残留強度 (N/mm ²)	せん断強度 (N/mm ²)	残留強度 (N/mm ²)
輝緑岩	CH級	2.1	56.1	$2.6\sigma_n^{0.65}$	1.1	56.1	$2.2\sigma_n^{0.65}$	$2.2\sigma_n^{0.65}$
	CM級	1.4	38.9	$2.2\sigma_n^{0.41}$	0.88	38.9	$1.9\sigma_n^{0.41}$	$1.9\sigma_n^{0.41}$
	CL級	0.20	35.1	$0.8\sigma_n^{0.65}$	0.13	35.1	$0.6\sigma_n^{0.65}$	$0.6\sigma_n^{0.65}$
	D級	0.07	17.4	$0.07+\sigma_n \cdot \tan 17.4^\circ$	0.05	17.4	$0.04+\sigma_n \cdot \tan 17.4^\circ$	$0.04+\sigma_n \cdot \tan 17.4^\circ$
細粒石英 閃緑岩	CH級	2.1	60.3	$2.2\sigma_n^{0.62}$	1.2	60.3	$2.0\sigma_n^{0.62}$	$2.0\sigma_n^{0.62}$
	CM級	1.6	50.3	$2.2\sigma_n^{0.58}$	0.78	50.3	$1.9\sigma_n^{0.58}$	$1.9\sigma_n^{0.58}$
	CL級	0.20	35.1	$0.8\sigma_n^{0.65}$	0.13	35.1	$0.6\sigma_n^{0.65}$	$0.6\sigma_n^{0.65}$
	D級	0.07	17.4	$0.07+\sigma_n \cdot \tan 17.4^\circ$	0.05	17.4	$0.04+\sigma_n \cdot \tan 17.4^\circ$	$0.04+\sigma_n \cdot \tan 17.4^\circ$
頁岩	1.6	50.3	$2.2\sigma_n^{0.58}$	0.78	50.3	$1.9\sigma_n^{0.58}$	$1.9\sigma_n^{0.58}$	
崖堆積物および 新期扇状地堆積物	0.02	26.7	$\sigma_n \cdot \tan 26.7^\circ$	0.01	26.7	$\sigma_n \cdot \tan 26.7^\circ$	$\sigma_n \cdot \tan 26.7^\circ$	
段丘堆積物	0.03	25.0	$\sigma_n \cdot \tan 25.0^\circ$	0.02	25.0	$\sigma_n \cdot \tan 25.0^\circ$	$\sigma_n \cdot \tan 25.0^\circ$	
盛土および埋め戻し土	0.09	18.2	$\sigma_n \cdot \tan 18.2^\circ$	0.08	18.2	$\sigma_n \cdot \tan 18.2^\circ$	$\sigma_n \cdot \tan 18.2^\circ$	
破砕帯	0.08	19.5	$\sigma_n \cdot \tan 19.5^\circ$	0.06	19.5	$\sigma_n \cdot \tan 19.5^\circ$	$\sigma_n \cdot \tan 19.5^\circ$	

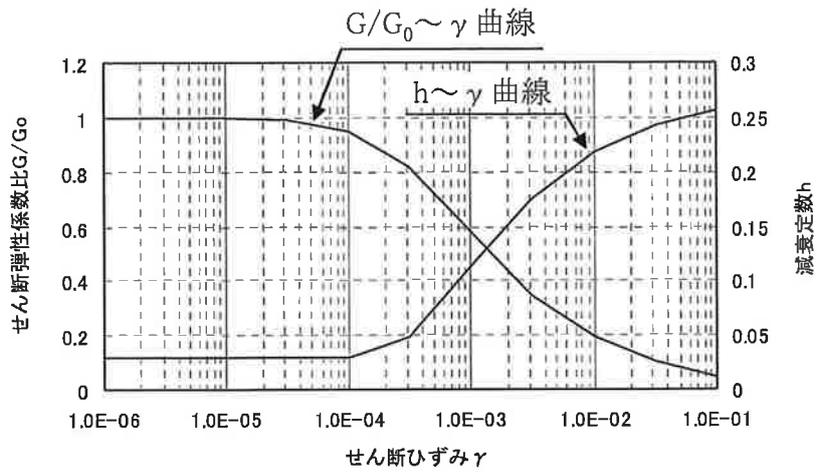
σ_n (N/mm²) : すべり面に対する直応力



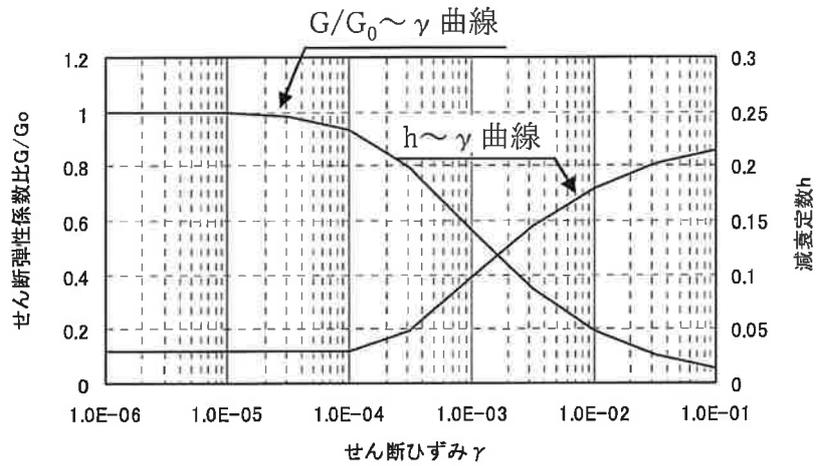
第 4.3-3 図 せん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存特性 (D 級)



第 4.3-4 図 せん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存特性 (崖錐堆積物, 新期扇状地堆積物および段丘堆積物)



第 4.3-5 図 せん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存特性
(盛土および埋め戻し土)



第 4.3-6 図 せん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存特性
(破碎帯)

4.4 評価結果

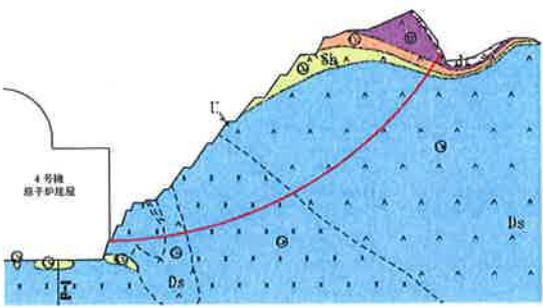
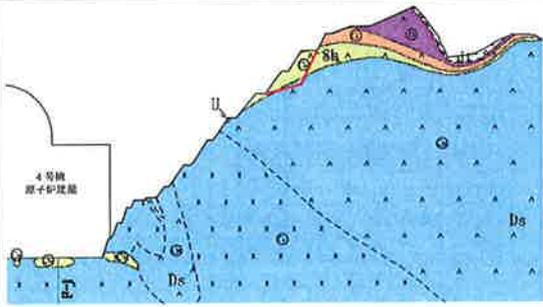
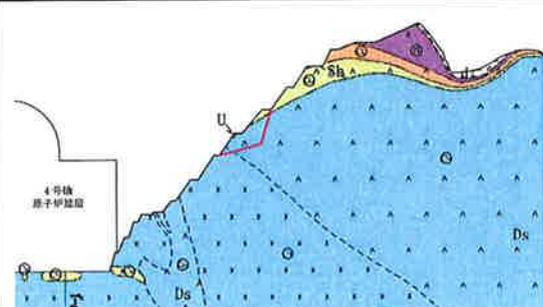
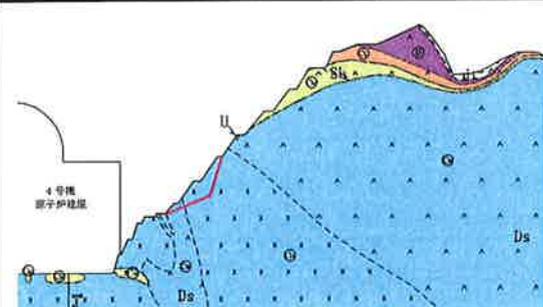
想定すべり面におけるすべり安全率を第 4.4-1 表に、また各想定すべり面において最小すべり安全率を示す基準地震動に対するすべり安全率時刻歴を第 4.4-2 表に示す。最小すべり安全率は 4.0 であり、「JEAG4601-2008」に示される評価基準値 1.2 を上回ることから、すべりに対して十分な安定性を有している。

また、要素ごとの局所安全係数を第 4.4-1 図に示す。斜面部の要素においてせん断強度に達した要素や引張応力が発生した要素があるが、小さな範囲にとどまっており、すべりに対して問題となるものではないことから、斜面は地震時に発生する応力に対して安定性を有している。

なお、念のため地盤物性のばらつきを考慮し、最小すべり安全率を示す地震動に対して、地盤物性のうちせん断強度について「平均値 $-1.0\times$ 標準偏差(σ)」とした結果を第 4.4-3 表に、また応答スペクトルに基づく地震動評価結果 S_{S-1} について、正負を反転して解析を行った結果のうち最小すべり安全率を第 4.4-4 表に示す。これらの最小すべり安全率は評価基準値 1.2 を上回ることから、地盤物性値のばらつきや S_{S-1} の反転を考慮しても斜面はすべりに対して十分な安定性を有している。

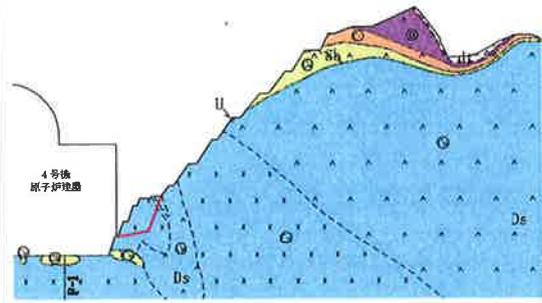
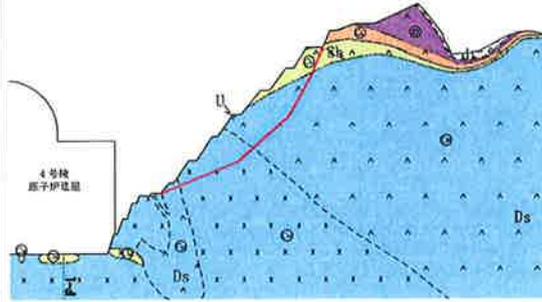
以上より、3・4 号機周辺斜面が基準地震動 S_S による地震力に対して対象施設の安全機能に重大な影響を与えるような崩壊を起こさないことを確認した。

第 4.4-1 表 (a) すべり安全率一覧表

すべり面 番号	すべり面形状	最小すべり安全率		
		S _{S-1}	S _{S-2}	S _{S-3}
1	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	<p>4.0</p> <p>(16.47秒)</p>	<p>6.1</p> <p>(20.38秒)</p>	<p>5.6</p> <p>(10.85秒)</p>
2	 <p>CM級岩盤内のすべり</p>	<p>11.2</p> <p>(16.48秒)</p>	<p>15.7</p> <p>(20.39秒)</p>	<p>14.7</p> <p>(11.06秒)</p>
3	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	<p>12.5</p> <p>(16.48秒)</p>	<p>18.7</p> <p>(20.99秒)</p>	<p>17.6</p> <p>(10.87秒)</p>
4	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	<p>7.2</p> <p>(16.37秒)</p>	<p>19.2</p> <p>(20.99秒)</p>	<p>18.4</p> <p>(10.86秒)</p>

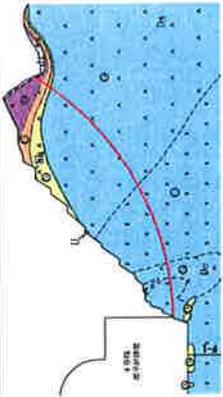
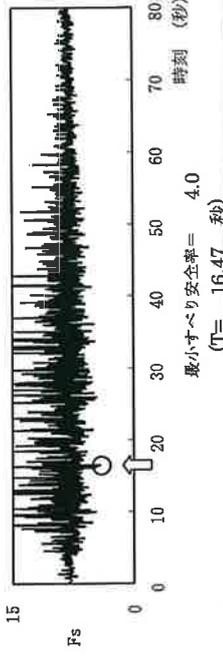
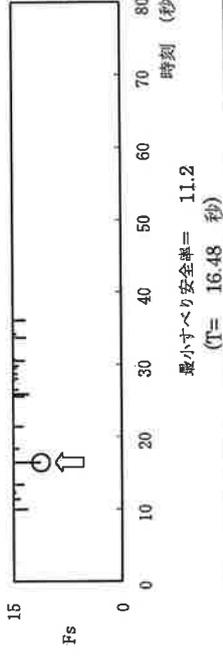
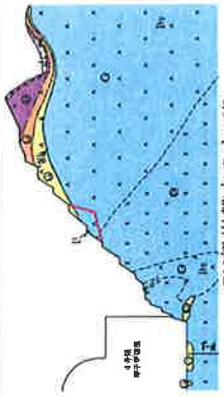
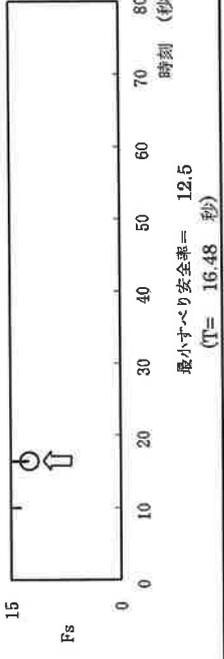
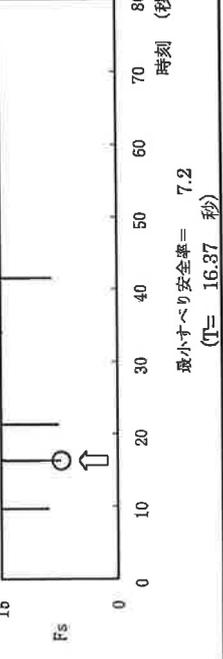
凡例 — : すべり面 ○ : すべり安全率の最小値 ()内は発生時刻

第 4.4-1 表 (b) すべり安全率一覧表

すべり面 番号	すべり面形状	最小すべり安全率		
		S _{S-1}	S _{S-2}	S _{S-3}
5	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	12.0 (21.36秒)	21.8 (20.34秒)	18.5 (11.31秒)
6	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	6.8 (16.37秒)	10.4 (20.99秒)	9.6 (10.86秒)

凡例 — : すべり面 ○ : すべり安全率の最小値 ()内は発生時刻

第 4.4-2 表 (a) すべり安全率時刻歴

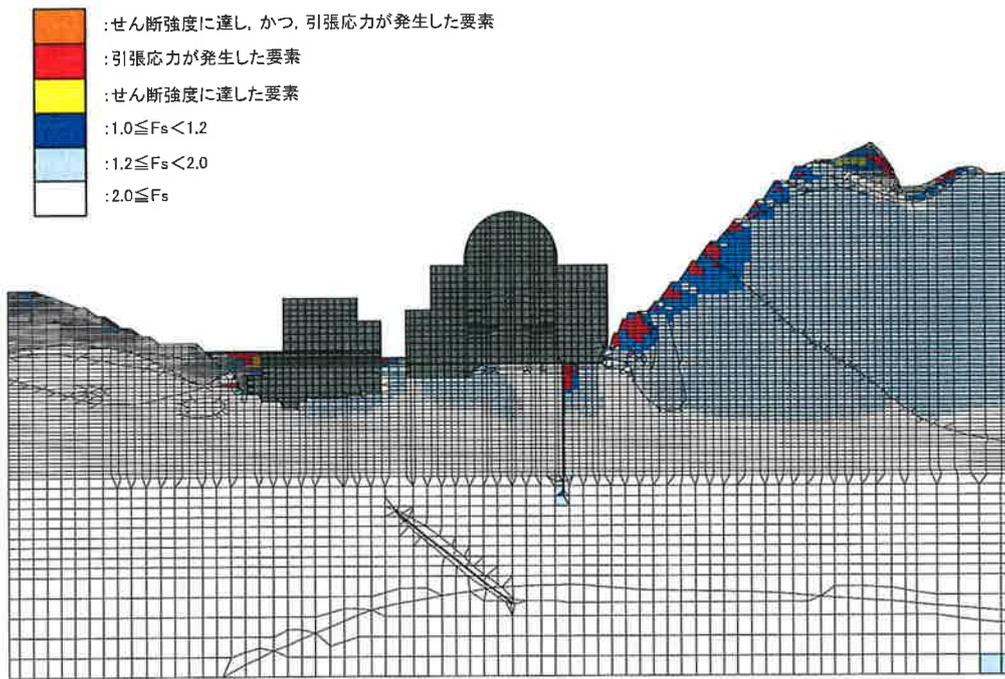
すべり面番号	すべり面形状	基準地震動	最小すべり安全率	時刻 (秒)	すべり安全率 (Fs) 時刻歴
1	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	S _{S-1}	4.0	16.47	
2	 <p>CM級岩盤内のすべり</p>	S _{S-1}	11.2	16.48	
3	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	S _{S-1}	12.5	16.48	
4	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	S _{S-1}	7.2	16.37	

凡例 — : すべり面 ○ : すべり安全率の最小値

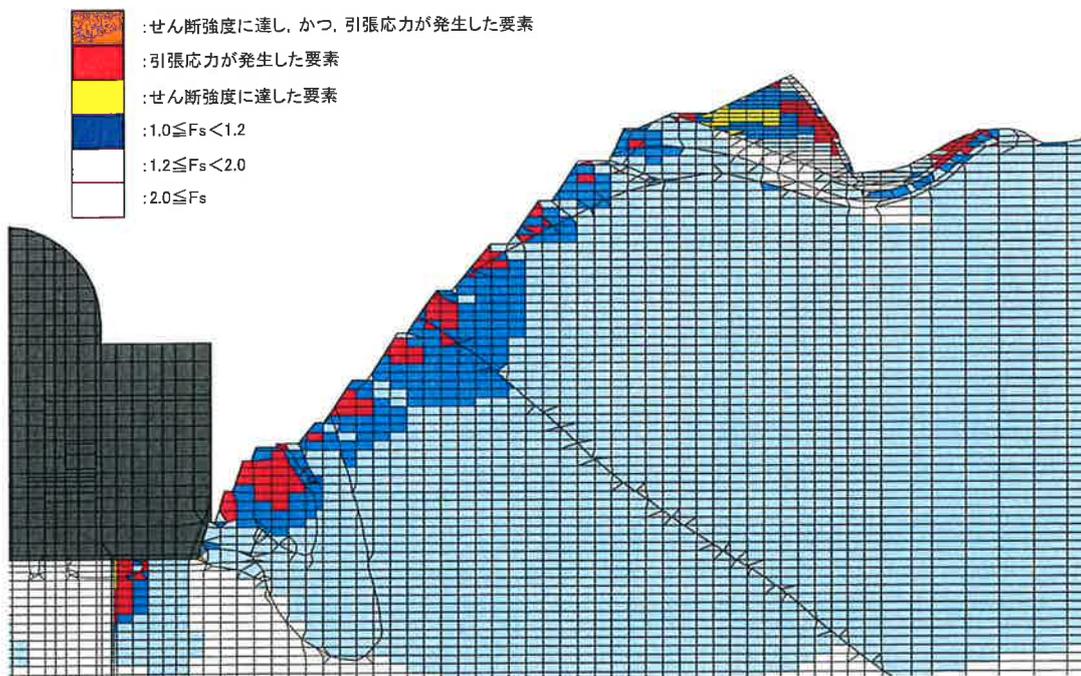
第 4.4-2 表 (b) すべり安全率時刻歴

すべり面番号	すべり面形状	基準地震動	最小すべり安全率	時刻 (秒)	すべり安全率 (Fs) 時刻歴
5	<p>CH級岩盤内のすべり</p>	S _{S-1}	12.0	21.36	
6	<p>CH級岩盤内のすべり</p>	S _{S-1}	6.8	16.37	

凡例 — : すべり面 ○ : すべり安全率の最小値

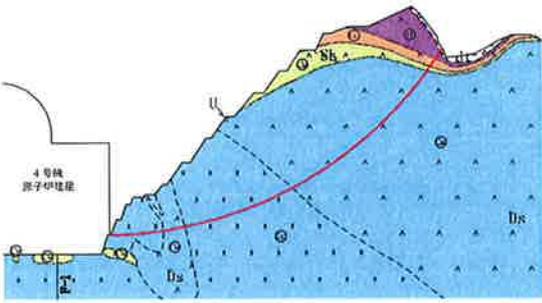
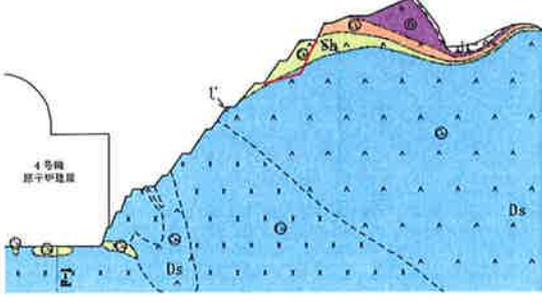
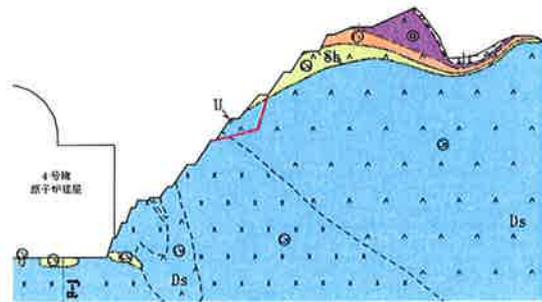
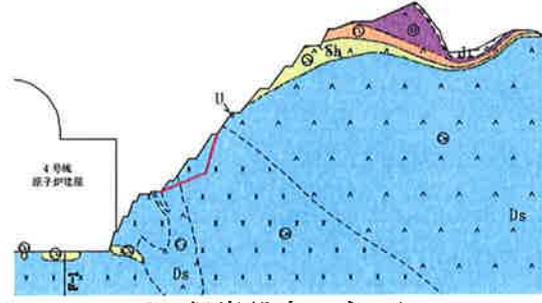


第 4.4-1 図 (a) 要素ごとの局所安全係数 (S_{S-1} 時刻 : 16.47 秒) 全体図



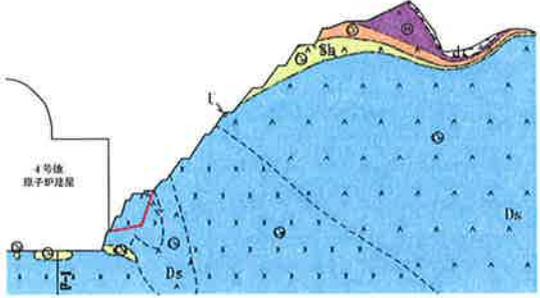
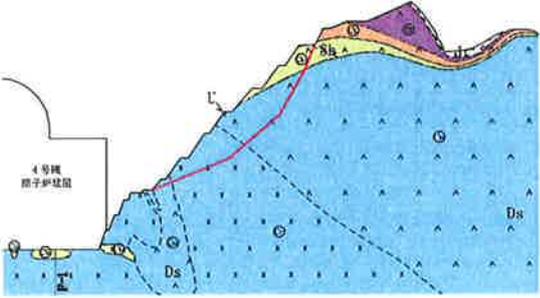
第 4.4-1 図 (b) 要素ごとの局所安全係数 (S_{S-1} 時刻 : 16.47 秒)
斜面部拡大図

第 4.4-3 表 (a) 地盤物性のばらつきを考慮したすべり安全率一覧表

すべり面 番号	すべり面形状	地盤の せん断強度	最小すべり 安全率
1	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	S_{S-1} 平均値 (再掲)	4.0 (16.47秒)
		S_{S-1} 平均値 $-\sigma$	3.0 (16.47秒)
2	 <p>CM級岩盤内のすべり</p>	S_{S-1} 平均値 (再掲)	11.2 (16.48秒)
		S_{S-1} 平均値 $-\sigma$	7.4 (16.48秒)
3	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	S_{S-1} 平均値 (再掲)	12.5 (16.48秒)
		S_{S-1} 平均値 $-\sigma$	8.9 (16.48秒)
4	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	S_{S-1} 平均値 (再掲)	7.2 (16.37秒)
		S_{S-1} 平均値 $-\sigma$	6.5 (21.36秒)

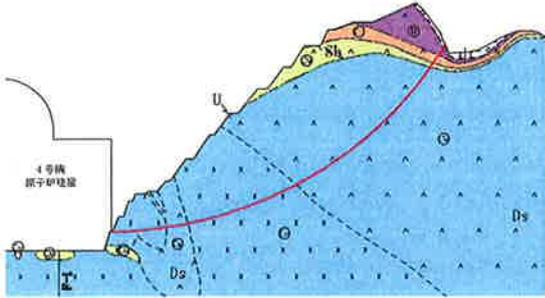
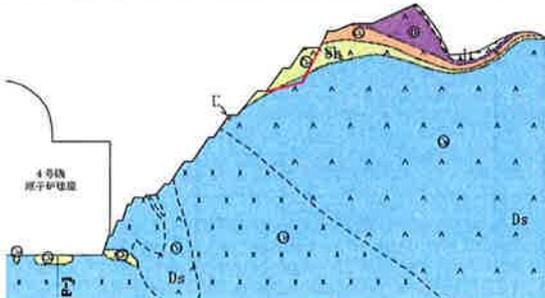
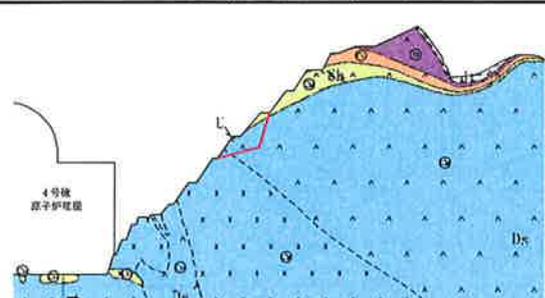
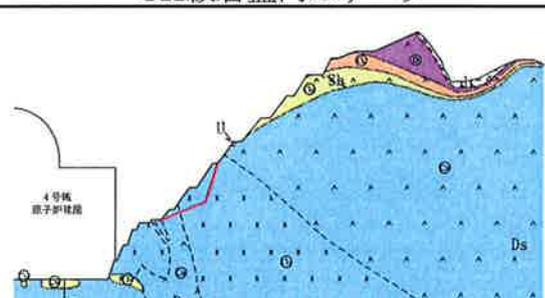
凡例 — : すべり面 ○ : すべり安全率の最小値 ()内は発生時刻

第 4.4-3 表 (b) 地盤物性のばらつきを考慮したすべり安全率一覧表

すべり面 番号	すべり面形状	地盤の せん断強度	最小すべり 安全率
5	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	S_{S-1} 平均値 (再掲)	12.0 (21.36秒)
		S_{S-1} 平均値- σ	11.1 (21.36秒)
6	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	S_{S-1} 平均値 (再掲)	6.8 (16.37秒)
		S_{S-1} 平均値- σ	4.7 (16.47秒)

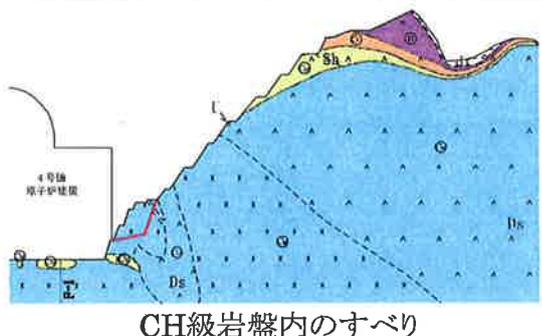
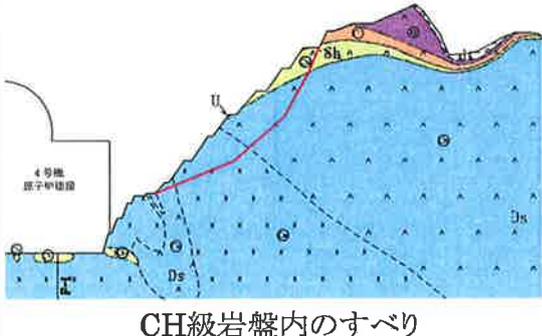
凡例 — : すべり面 ○ : すべり安全率の最小値 ()内は発生時刻

第 4.4-4 表 (a) S_{S-1} の反転を考慮したすべり安全率一覧表

すべり面 番号	すべり面形状	S_{S-1} 反転考慮	最小すべり 安全率
1	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	反転なし (再掲)	4.0 (16.47秒)
		水平反転 鉛直反転	2.7 (16.28秒)
2	 <p>CM級岩盤内のすべり</p>	反転なし (再掲)	11.2 (16.48秒)
		水平反転	10.8 (16.29秒)
3	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	反転なし (再掲)	12.5 (16.48秒)
		鉛直反転	10.9 (16.37秒)
4	 <p>CH級岩盤内のすべり</p>	反転なし (再掲)	7.2 (16.37秒)
		水平反転 鉛直反転	6.0 (16.50秒)

凡例 — : すべり面 ○ : すべり安全率の最小値 ()内は発生時刻

第 4.4-4 表 (b) S_{S-1} の反転を考慮したすべり安全率一覧表

すべり面 番号	すべり面形状	S_{S-1} 反転考慮	最小すべり 安全率
5	 CH級岩盤内のすべり	反転なし (再掲)	12.0 (21.36秒)
		水平反転	11.3 (16.50秒)
6	 CH級岩盤内のすべり	反転なし (再掲)	6.8 (16.37秒)
		鉛直反転	6.5 (16.37秒)

凡例 — : すべり面 ○ : すべり安全率の最小値 ()内は発生時刻

変位量評価手法（Newmark 法）について

大飯発電所 1・2 号機周辺斜面の表層部の安定性評価においては、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」に示される「施設の周辺斜面で地震時に想定しうる崩壊等によっても、施設の安全機能が重大な影響を受けるおそれがないこと」を確認する手法として、Newmark 法による変位量評価を用いた。Newmark 法は、盛土やダムに対してレベル 2 地震動に対する変位量評価手法として標準や指針類にも採用されている。Newmark 法の妥当性については、様々な研究、検討がなされているが、ここでは各種標準や指針類における Newmark 法に関する記載と評価事例について述べる。

・鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計¹⁾

同標準では盛土の耐震設計について、盛土が地震によって大きな損傷を受けない事を目標とし、地震の規模、地形、地質条件、復旧の難易度等を考慮し、その変形レベルを照査するものとしており、具体的にはレベル 2 地震動に対する盛土の耐震設計について、Newmark 法などによる変形性能の照査で行なうこととしている。現実の土は、繰返し応力による変形の累積性、軟化性などが強い非線形性を示すため、Newmark 法は厳密な方法ではないとしながらも、入力パラメータの設定が円弧すべり法と同等であること、理論の簡明さに比して妥当な結果を与えること、結果の解釈が容易であることなどから、この方法によって得られる滑動変位量は、特にレベル 2 地震動に対する盛土の耐震性を評価する指標としては有効であるとしている。

また同標準には、Newmark 法による滑動変位量の試算として、兵庫県南部地震における神戸海洋気象台で観測された地震波を用いて、盛土の滑動変位量の算定を行なった結果が記載されている。試算の結果、盛土材として一般的に用いられる土質では、40cm～60cm 程度の沈下量が算定され、実際の被害状況と整合するとしている。

・大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）・同解説²⁾・大規模地震に対するダムの耐震性能照査に関する資料³⁾

同指針（案）では、レベル 2 地震動を想定して、大規模地震に対するダムの耐震性能を照査するための標準的な考え方が示されている。この中で、フィルダムの耐震性能の照査として、等価線形化法等による動的解析を行なった結果、ダム本体の損傷が生じるおそれがある場合には、さらに動的解析による解析結果を用いた塑性変形解析により、地震によるすべり等の変形を推定することとしている。

なお、塑性変形解析手法としては、「大規模地震に対するダムの耐震性能照査に関する資料」において、Newmark 法とすべりブロック法を組み合わせた算定手法、渡辺・馬場のすべり土塊変形量の算定方法が記載されている。同資

料には、すべり変形解析における材料物性値の設定における留意点、またアー
スダム本体の照査例が記されており、Newmark 法での塑性変形解析結果と有
効応力法に基づく動的弾塑性解析結果の比較を行なった結果、動的弾塑性解析
における変位量は塑性変形解析結果の範囲内となったとしている。

斜面表層部の安定性評価においては、これらの標準、指針類における手法を
参考とし、二次元動的有限要素法解析による地震応答解析結果を用い、本文第
3.5-3 図に示す手法を採用している。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計基準・同解説 耐震設計，丸善，
1999.
- 2) 国土交通省 河川局：大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）・同
解説，2005.3.
- 3) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：大規模地震に対するダムの耐震性能
照査に関する資料，国土技術政策総合研究所資料第 244 号，2005.3.

平成23年東北地方太平洋沖地震の知見等を踏まえた原子炉施設への地震動及び津波の影響に関する安全性評価のうち
大飯発電所周辺斜面の安定性評価結果について

