平成２４年　５月３１日
独　立　行　政　法　人
日本原子力研究開発機構
敦　　賀　　本　　部

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周辺斜面の安定性評価について（報告）

独立行政法人日本原子力研究開発機構は、平成２３年１１月１１日付で経済産業省原子力安全・保安院から指示※1を受け、高速増殖原型炉もんじゅにおける周辺斜面の安定性※2について検討してきました。

この結果、現在計画中の耐震裕度向上工事※3実施後の原子炉建物背後斜面は、安全上重要な施設等へ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、本日、原子力安全・保安院に報告いたしました。

引き続き、原子炉建物背後斜面の耐震裕度向上工事を計画的に実施していくとともに、斜面安定性評価に反映すべき新たな知見が摘出されたときには速やかに評価に反映し、施設の耐震安全性の更なる信頼性向上に努めてまいります。

なお、若狭湾沿岸における津波堆積物に関する追加調査結果については、平成２４年２月から調査を実施し、天正年間については５月中旬を目途に報告することとしていましたが、評価作業に時間を要していることから、引き続き作業を行い、６月を目途に結果を報告いたします。

また、「もんじゅ」における津波による影響評価については、５月末を目途に報告することとしていましたが、若狭湾沿岸における津波堆積物に関する追加調査状況や地震・津波に関する意見聴取会の意見を踏まえて評価作業を進めることから、その評価結果については、６月を目途に報告いたします。

※１：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）

※２：耐震設計審査指針の改訂に伴う既設原子炉施設等の耐震安全性評価（以下、「耐震バックチェック」という）において策定した基準地震動Ssによる評価を実施し、平成22年3月12日、国へ最終報告書を提出済みであり、「もんじゅ」における周辺斜面の安定性評価も含めた耐震バックチェック結果も妥当との評価を受けています。

※３：原子炉建物背後斜面の更なる耐震安全性の裕度向上を目的として、斜面の排土工事を計画しています。

別紙：高速増殖原型炉もんじゅ　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周辺斜面の安定性評価について

以　上

別紙

高速増殖原型炉もんじゅ　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周辺斜面の安定性評価について

1. はじめに

平成23年11月11日付けで原子力安全・保安院（以下「保安院」という。）より発出された「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）」において、高速増殖原型炉もんじゅ（以下「もんじゅ」という。）における周辺斜面の安定性の再評価及び当該再評価を踏まえた安全上重要な施設等への影響評価を行う旨の指示がなされた。

当機構は、もんじゅにおける周辺斜面の安定性評価について、耐震設計審査指針の改訂に伴う既設原子炉施設等の耐震安全性評価（以下「耐震バックチェック」という。）において策定した基準地震動Ssによる評価を実施し、国の審議を踏まえて最終報告書※1として提出済みである。その内容については保安院から当機構に対し、もんじゅにおける周辺斜面の安定性評価も含めた耐震バックチェック結果※2について、平成22年3月15日付けで妥当と通知を受けている。

本報告においては、計画中の背後斜面裕度向上工事の実施後の斜面を想定し、耐震バックチェックにおいて策定した基準地震動Ssに対する評価を行うとともに、評価結果が安全上重要な施設に与える影響について検討を行った。

※1：高速増殖原型炉もんじゅ「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果報告書 改訂(補正)　平成22年3月12日提出

※2：耐震バックチェックにおける周辺斜面の安定性評価の概要を参考資料に示す。

2. 評価方針

耐震バックチェックにおいて評価対象とした原子炉建物背後斜面に対して、現在計画中の裕度向上工事（自然斜面表層に分布するD級風化岩盤部の排土工事）実施後のすべり安全率を求めるとともに、工事範囲外の原子炉建物背後斜面におけるすべり安全率と比較し、安全上重要な施設等へ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。

3. 周辺斜面の状況

現在計画中の原子炉建物背後斜面裕度向上工事の概要を第3-1図に、敷地周辺平面図と本報告における検討対象断面位置図を第3-2図に示す。

周辺斜面は原子炉建物の北側から東側にかけて位置し、斜面高さはおよそ170mである。斜面の地質は、敷地内の基盤を構成する花崗岩からなる。

4. 検討対象斜面の選定

耐震バックチェックにおける検討対象斜面の選定にあたり、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008」[(1)]では、斜面崩壊事例の到達距離に関する分析結果に基づき、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ことから、K-5断面を安定性評価の対象とすべき斜面とした。また、裕度向上工事範囲外の斜面3断面も比較検討対象とした。

5. 評価方法

5.1　解析条件

5.1.1　解析用モデル

検討対象斜面のうち、裕度向上工事後のK-5断面を解析断面とした。裕度向上工事における切取形状と排水設計の概要を第5.1-1図に、切取形状とD級岩盤層の分布との関係を第5.1-2図に示す。これに基づき作成した裕度向上工事後のK-5断面の解析モデル図を第5.1-3図に示す。

5.1.2　解析用物性値

解析用物性値は、耐震バックチェックにおいて既往の試験結果に基づき設定した。解析用物性値設定の考え方を第5.1-1表に、解析用物性値一覧表を第5.1-2表に示す。

5.1.3　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Ss（Ss-D、Ss-1～9）のうち、K-5断面に対して最も厳しい入力地震動となるSs-D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用いた。入力地震動の考え方を第5.1-4図に、基準地震動Ss-Dの時刻歴波形と加速度応答スペクトルを第5.1-5図に示す。

5.1.4　地下水位

解析用地下水位は、ボーリング孔による計測水位に基づき設定した。

5.2　解析手法

K-5断面については、入力地震動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った。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動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を考慮した。

地震時の応力は、地震応答解析による動的応力と静的解析による常時応力を重ね合わせることにより求めた。動的応力は水平地震動及び鉛直地震動による応答を考慮し、常時応力は地盤の自重計算により求まる初期応力、地山掘削に伴う解放力を

考慮して求めた。

安定性評価フローを第 5.2-1 図に示す。

また、比較する工事範囲外の 3 断面については、簡便法によりすべり安全率を求め、すべり安全率が最も小さくなる断面に対して、K-5 断面と同じく二次元動的有限要素法解析を行った。

5.3　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した。

すべり安全率は、想定したすべり面上の応力状態を基に、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。

想定すべり面は、花崗岩のうち強度の小さい D 級風化部を通るすべり面とし、深いすべり及び表層すべり線を想定した。

6. 評価結果

想定すべり面におけるすべり安全率を第 6.1-1 表に示す。このときの最小すべり安全率は表層すべりで 2.1 であり、耐震安全性評価手法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、工事範囲外の斜面 3 断面のすべり安全率を第 6.1-2 表に示す。最も厳しい断面となる K-B 断面においても深いすべりですべり安全率 2.1 であり、K-5 断面について、裕度向上工事により工事範囲外斜面と同等のすべり安全率を確保できることを確認した。

以上により、周辺斜面は基準地震動 Ss による地震力に対して、安全上重要な施設等へ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。

7. おわりに

当機構として、原子炉建物背後斜面の裕度向上工事を計画的に実施していくとともに、斜面安定性評価に反映すべき新たな知見が摘出されたときには速やかに評価に反映し、施設の耐震安全性の更なる信頼性向上に努める。

参考文献

(1) (社) 日本電気協会　原子力規格委員会 (2008) : 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008

■ 工事概要

・切　土　工　：　約　83,000m^3

斜面の地質状況、斜面勾配等を考慮し安定性の向上を図りつつ最小の範囲となるよう設定した。なお、発生した土砂については仮設として設置した鋼製桟橋を利用して搬出する。

・盛　土　工　：　約　97,000m^3

発生した土砂を受け入れる処分場が、敦賀市内及びその近郊には無い。また、遠方での処分より、もんじゅ構内（越波水路部分）での処分の方が経済的であり、盛土後の用地を有効に利用することが出来ることから受入れスペースのある越波水路部分へ盛土する。

・植　栽　工　：　約　21,000m^2

工事箇所は若狭湾国定公園内に位置しており、工事の実施に当たっては法令に基づく許可申請が必要となる。工事については、許認可担当箇所である福井県と事前協議を行っており、工事により発生した斜面については、この協議結果に基づき基層吹付けによる修景緑化を実施する。

・仮設道路工（鋼製桟橋）：幅7m　×　延長 約 700m

若狭湾国定公園内であることから、工事の安全性を図りつつ伐採範囲が最小となる鋼製桟橋形式の仮設道路を設置する。

■ スケジュール

項目	H22年度	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度
実施設計					
環境調査（ﾌﾟﾚﾋｱ含む）					
許可手続等					
工　　事					

■ 許可手続

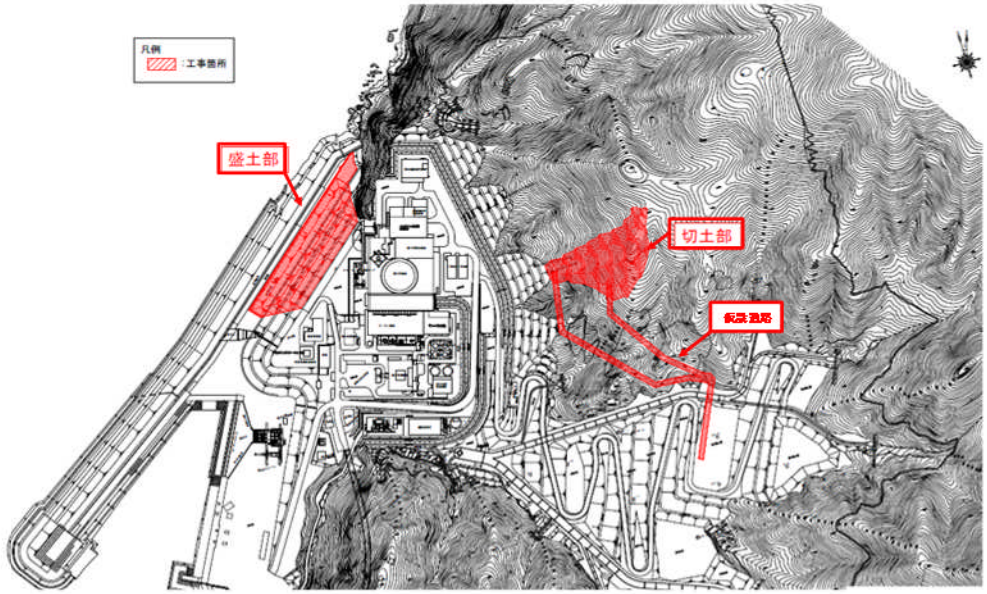
・森林法　：　林地開発許可申請　，　伐採届

・自然公園法　：　特別地域内土地の形状変更許可申請

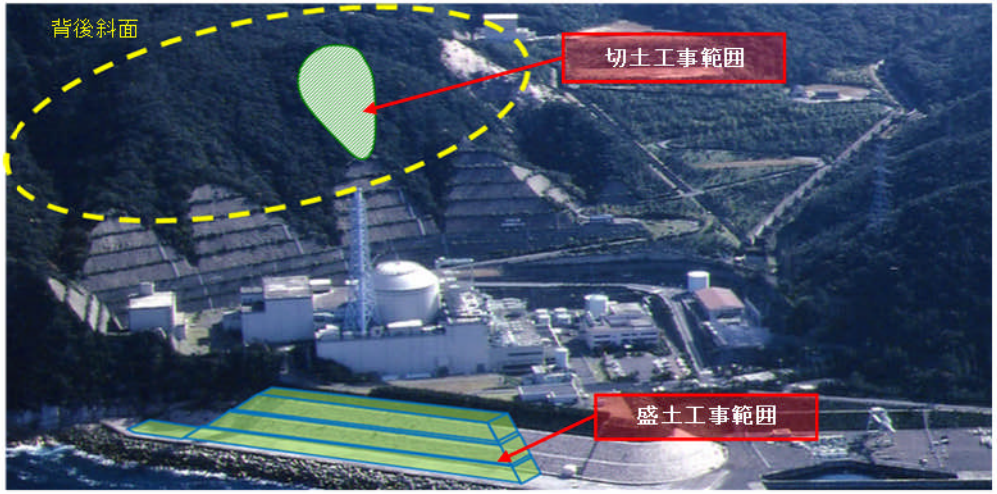
・土壌汚染対策法　：　一定規模以上の土地の形質変更届出書

※数量及び期間は変更になる場合がある。

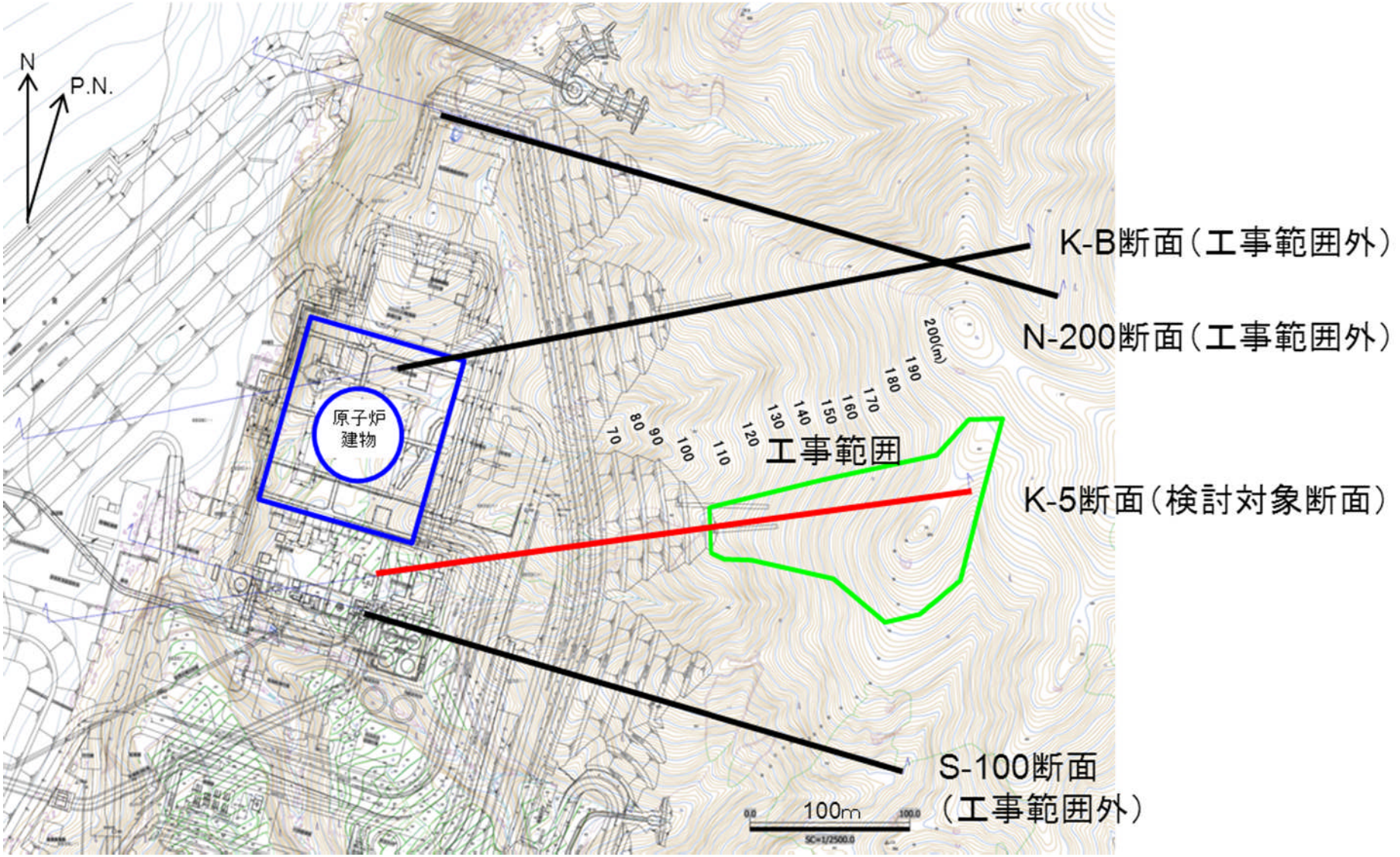
■ 発電所全体平面図



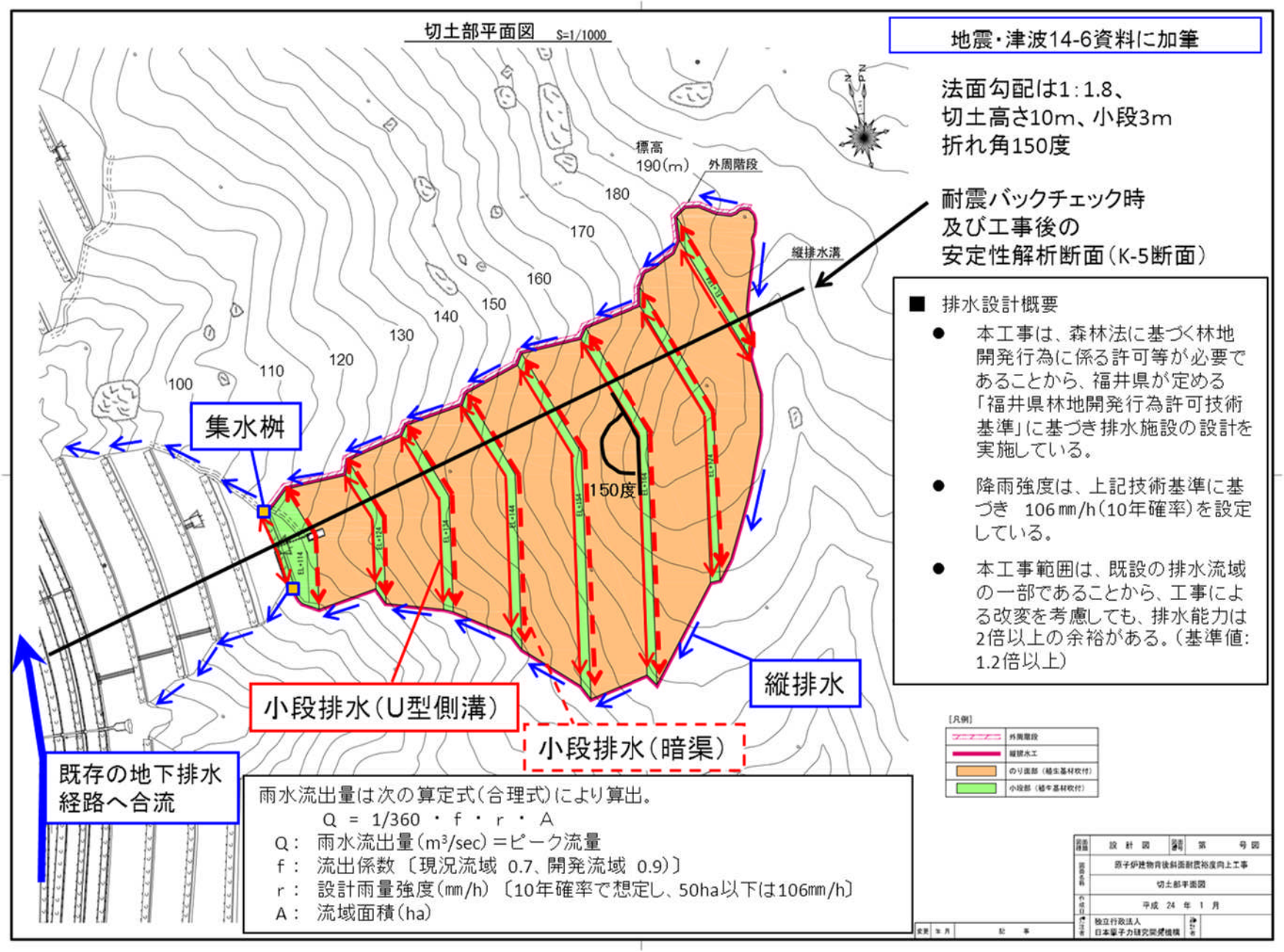
■ 工事範囲



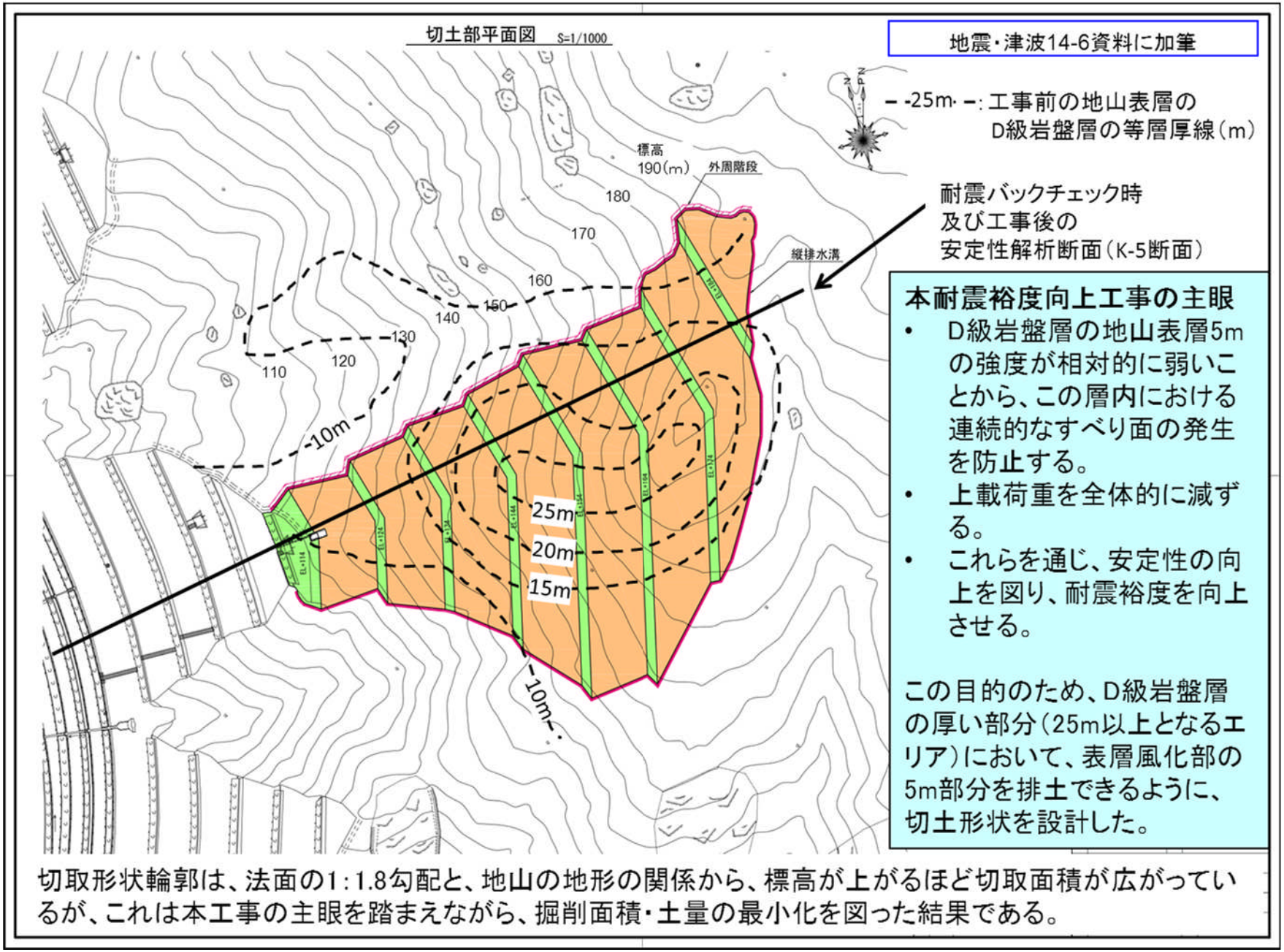
第3-1図　原子炉建物背後斜面裕度向上工事の概要



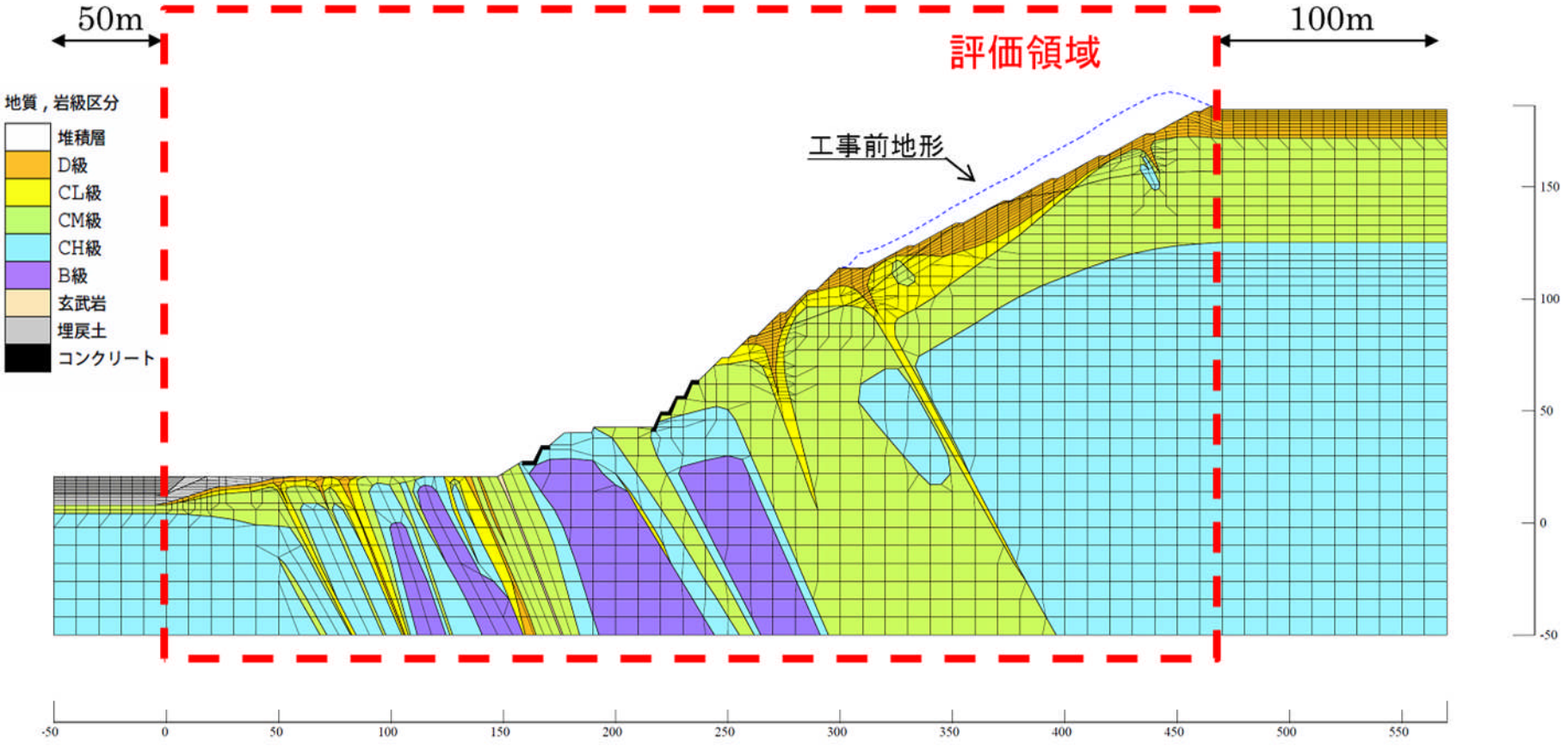
第3-2図　検討対象断面位置図



第5.1-1図　切取形状と排水設計の概要



第5.1-2図　切取形状とD級岩盤層の分布との関係



第5.1-3図　裕度向上工事後のK-5断面の解析モデル図

第5.1-1表　解析用物性値設定の考え方

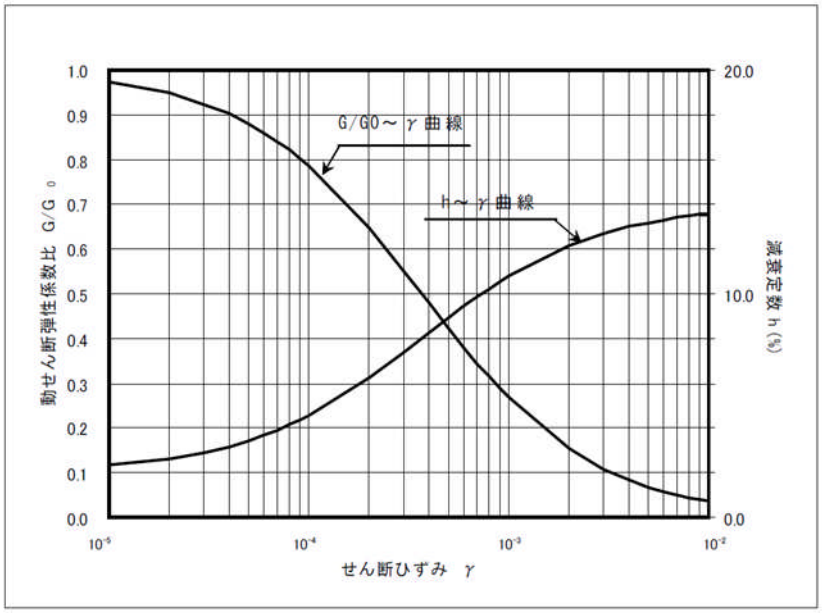
		物理特性	動的変形特性			強度定数	
		単位体積重量	動ポアソン比	動せん断弾性係数	動減衰定数	ピーク強度	残留強度
堆積層		密度試験より算定	沢田の速度モデル	動的ねじりせん断試験	動的変形試験による最小値以下	三軸圧縮試験	（考慮しない）
埋戻土							
花崗岩	D級（風化部）	三軸圧縮試験時の単位重量	PS検層		動的三軸変形試験	三軸圧縮試験	
	C_L級	三軸圧縮試験時の単位重量	坑内弾性波試験		動的変形試験による最小値以下	原位置せん断試験	
	C_M級	見掛比重試験結果より算定	坑内弾性波試験			原位置せん断試験	
	C_H級	見掛比重試験結果より算定	坑内弾性波試験			原位置せん断試験	
	B級	見掛比重試験結果より算定	坑内弾性波試験			原位置せん断試験	

第5.1-2表　解析用物性値一覧表

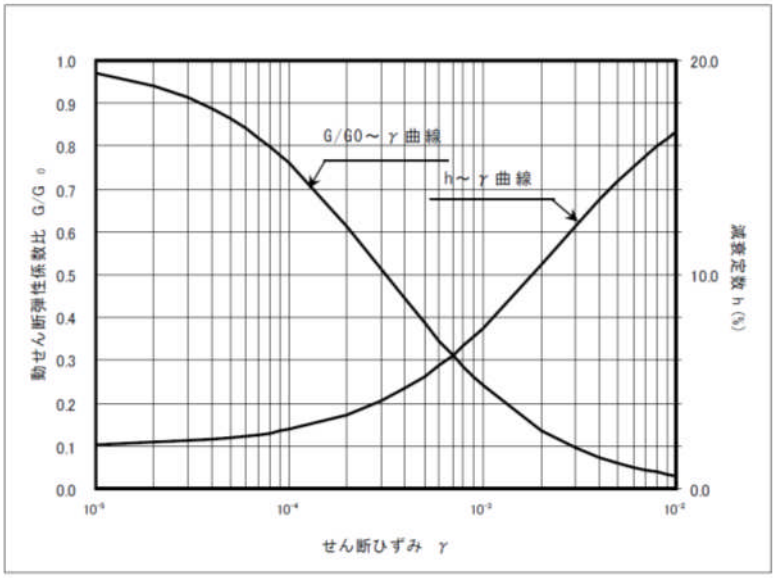
		物理特性		動的変形特性			強度定数			
		単位体積重量 (kN/m³)		動ポアソン比※1)	動せん断弾性係数※1) (kN/m²)	動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性	ピーク強度※2)		残留強度※2)	
		地下水位以上	地下水位以下				C (kN/m²)	Φ (°)	Cr (kN/m²)	Φr (°)
堆積層		19.7	20.4	$\nu=0.45-0.006Z^{0.60}$	$G_0=36{,}600\frac{(2.17-e)^2}{1+e}\cdot(10.2\cdot\sigma'_m)^{0.501}$	付図1参照	78 59	38 36	（考慮しない）	
埋戻土		21.5	22.3	$\nu=0.375-0.006Z^{0.58}$	$G_0=59{,}841\frac{(2.17-e)^2}{1+e}\cdot(10.2\cdot\sigma'_m)^{0.502}$	付図2参照	29	38		
花崗岩	D級（風化部）	21.0		0.36 0.23	210,000 540,000	付図3参照	80	43.7	16	40.2
							710+1.20P		530+1.41P	
	C_L級	23.5	23.7	0.45	1,960,000	h=3.0%	589	34	392	34
	C_M級	25.1	25.2	0.40	7,360,000		1,770	39	1,370	39
	C_H級	25.3		0.36	10,500,000		2,840	49	2,260	49
	B級	25.4		0.32	17,500,000		4,020	49	3,630	49

※1）堆積層、埋戻土：
Z　：盛土表面からの深さ(m)
σ'_m：平均有効主応力（N/mm²）
e　：間隙比
D級(風化部)：上段(下段)の数値はZ=0～5m(Z=5m～)に適用 [Z：深度]

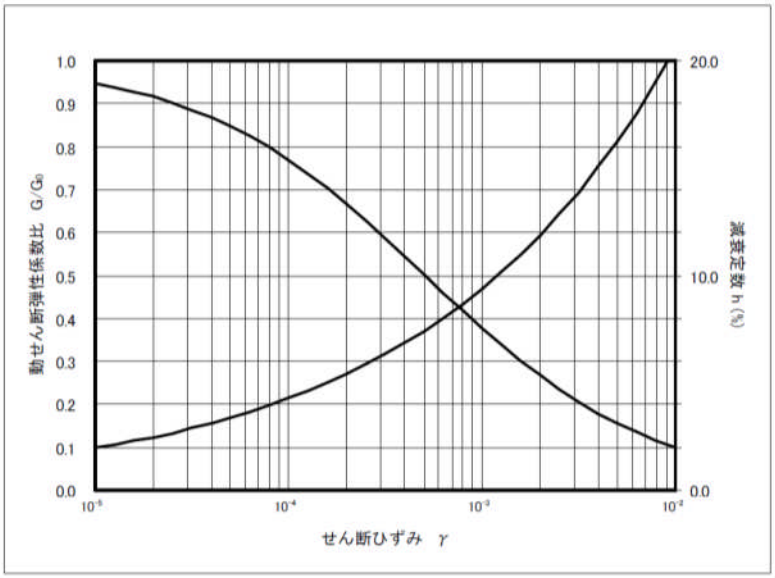
※2）堆積層,D級(風化部)：上段(下段)の数値は地下水位より上部(下部)に適用
P：圧密圧力（kN/m²）



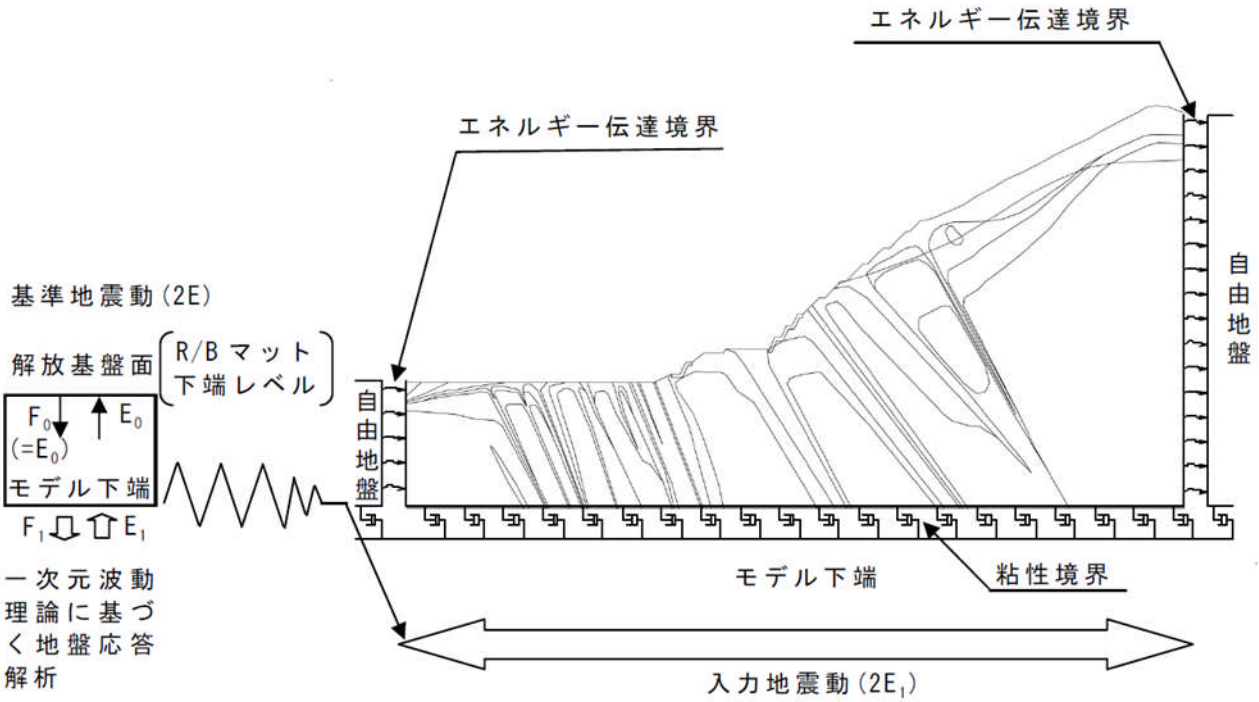
付図1　堆積層の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性



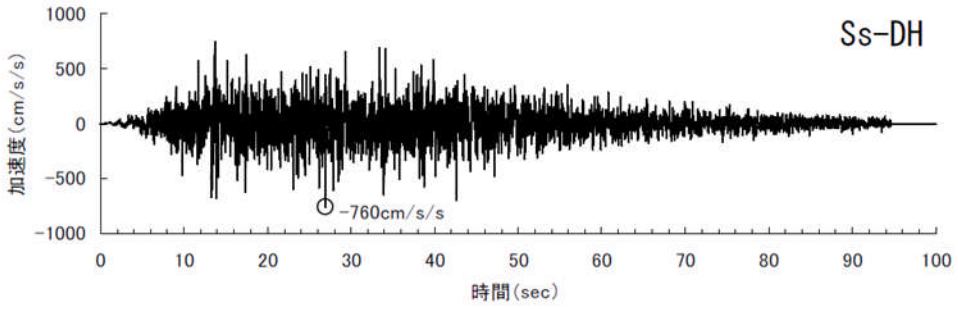
付図2　埋戻土の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性

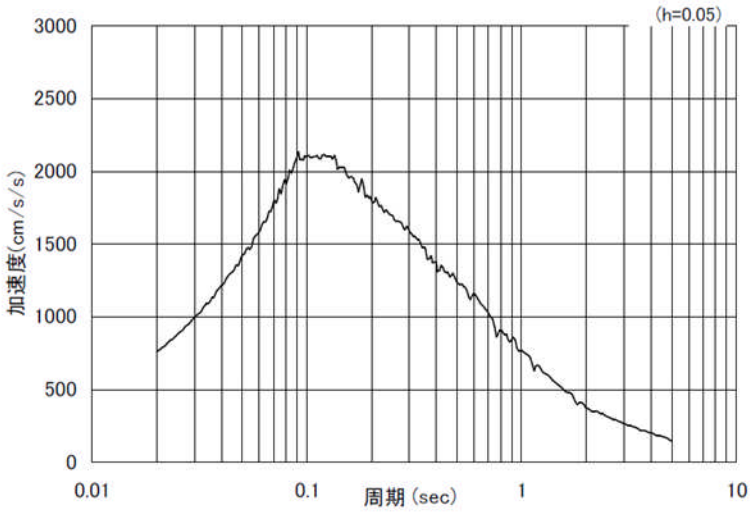


付図3　D級（風化部）の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性

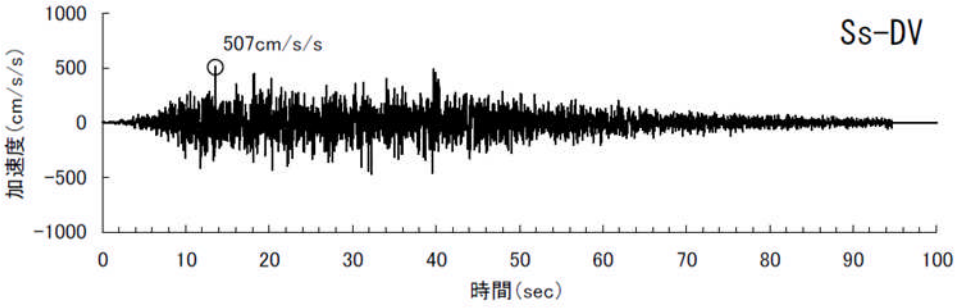


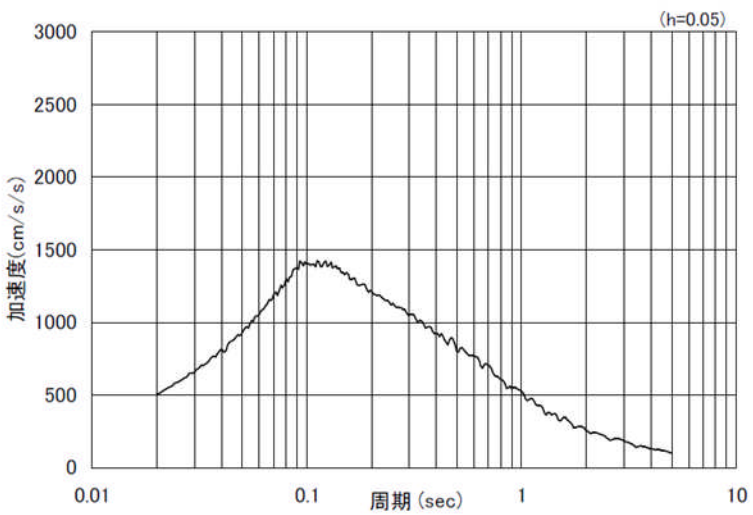
第5.1-4図　入力地震動の考え方





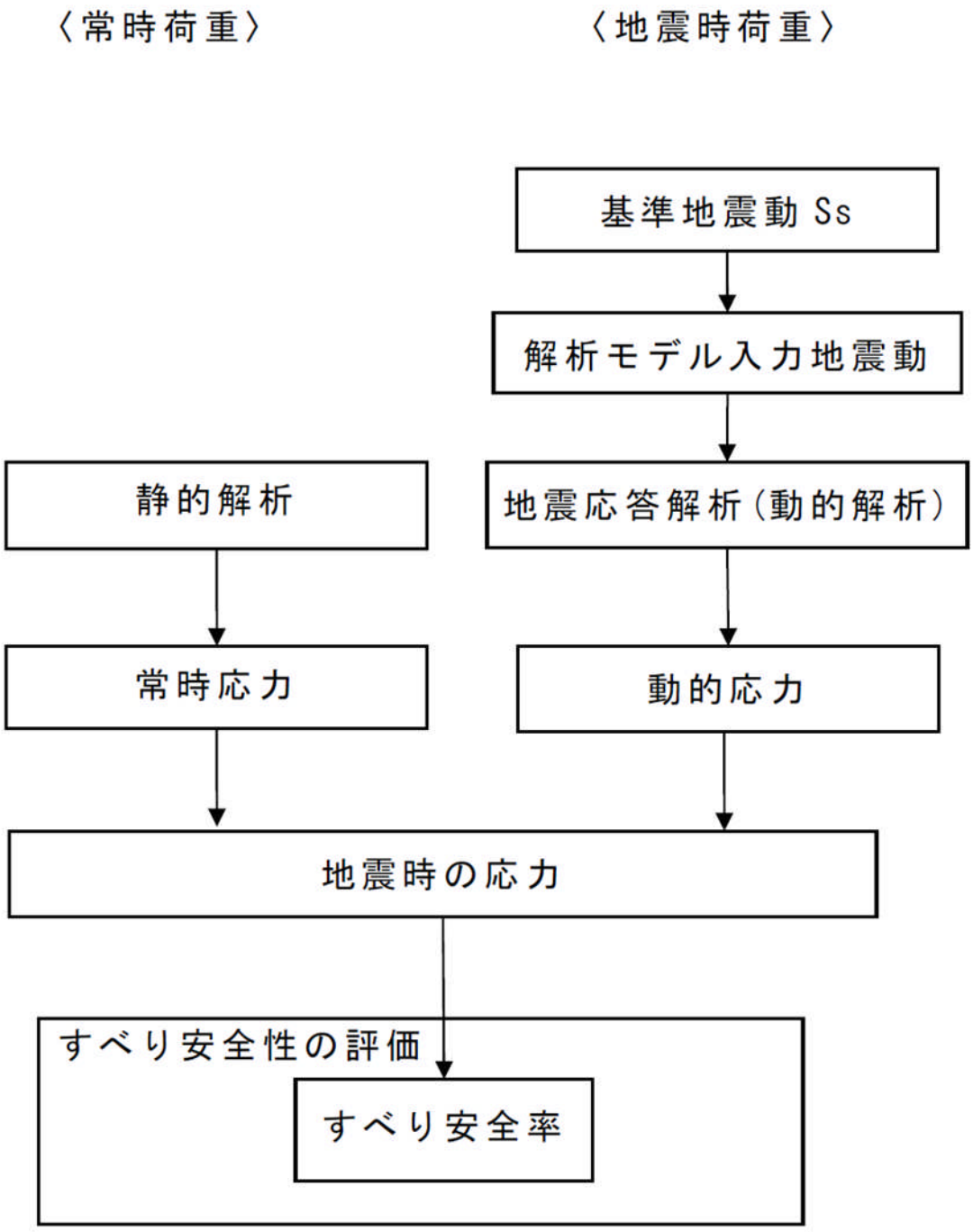
水平方向





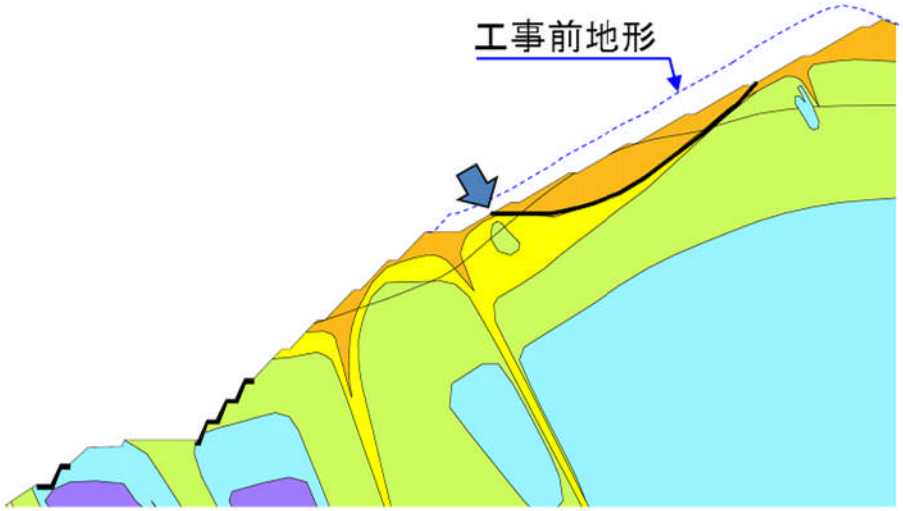
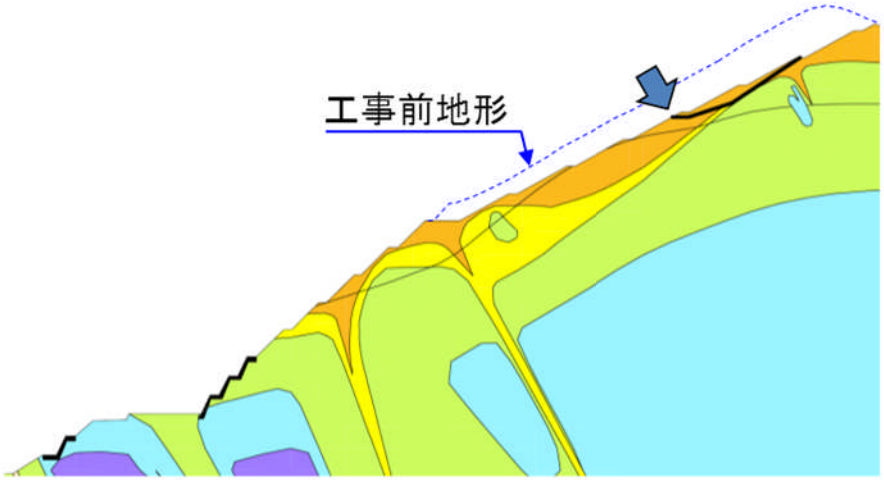
鉛直方向

第5.1-5図　基準地震動Ss-Dの時刻歴波形と加速度応答スペクトル

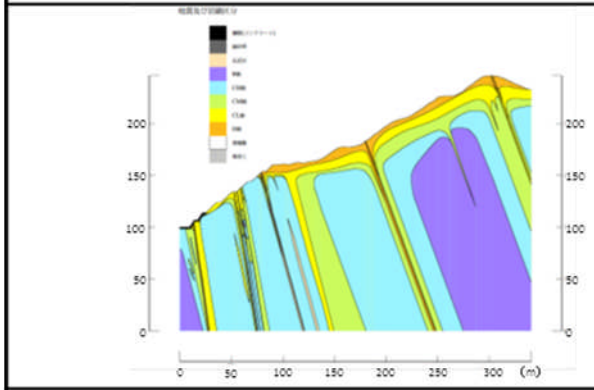
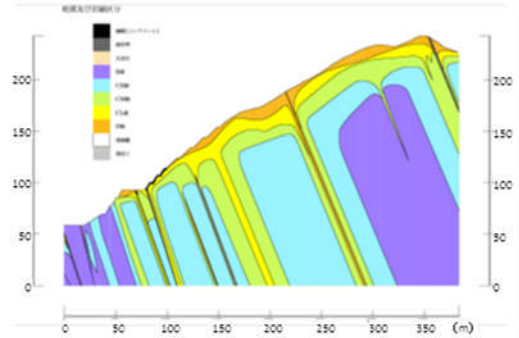
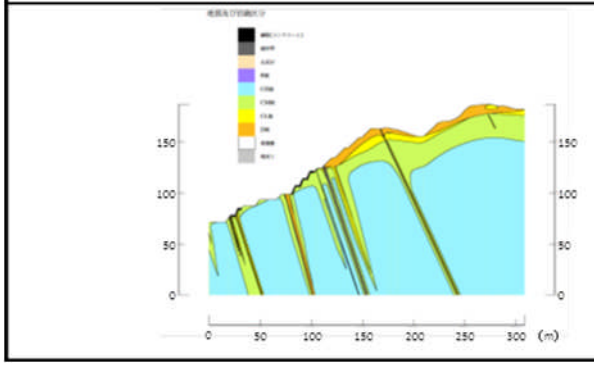


第5.2-1図　安定性評価フロー

第6.1-1表　想定すべり面におけるすべり安全率

	工事後		備考
	すべり線	すべり安全率	
K-5断面 **深いすべり**		**2.4**	耐震バックチェックのすべり面形状（すべり安全率の最小値1.9）が、工事後もすべり安全率が最小となる。
K-5断面 **表層すべり**		**2.1**	D級風化部表層のすべり面通過部分は排土される。左は新たに絞り込まれた最小すべり安全率となるすべり面。

第6.1-2表　工事範囲外の斜面3断面のすべり安全率

解析断面		簡便法 すべり安全率	2D-FEM すべり安全率	備考
	（北方） N-200 断面	4.2	-	簡便法で最も厳しい断面について、2D-FEM解析を実施。 最小すべり安全率は2.1 ⇒対策後のすべり安全率の目安となる。 現状のままで、すべり安全率は大きく、対策工事は不要と考えられる。
	（北方） K-B 断面	3.2	深いすべり 2.1 表層すべり 2.8	
	（南方） S-100 断面	4.1	-	

耐震バックチェックにおける周辺斜面の安定性評価の概要

1. はじめに

平成 22 年 3 月 12 日付けで原子力安全・保安院に提出した、高速増殖原型炉もんじゅ「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果報告書 改訂(補正)のうち、周辺斜面の安定性評価の概要は以下の通り。

2. 評価方法及び解析条件

解析用モデルは本報告における K-5 断面を解析断面とし、裕度向上工事前の現在の状態をモデル化した。解析用要素分割図を参考図 2.1 に示す。

解析用物性値は、本報告と同じ値を用いた。

入力地震動は、耐震バックチェックにおいて策定した基準地震動 Ss（Ss-D、Ss-1～9）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用いた。

地下水位は、本報告と同じ水位を設定した。

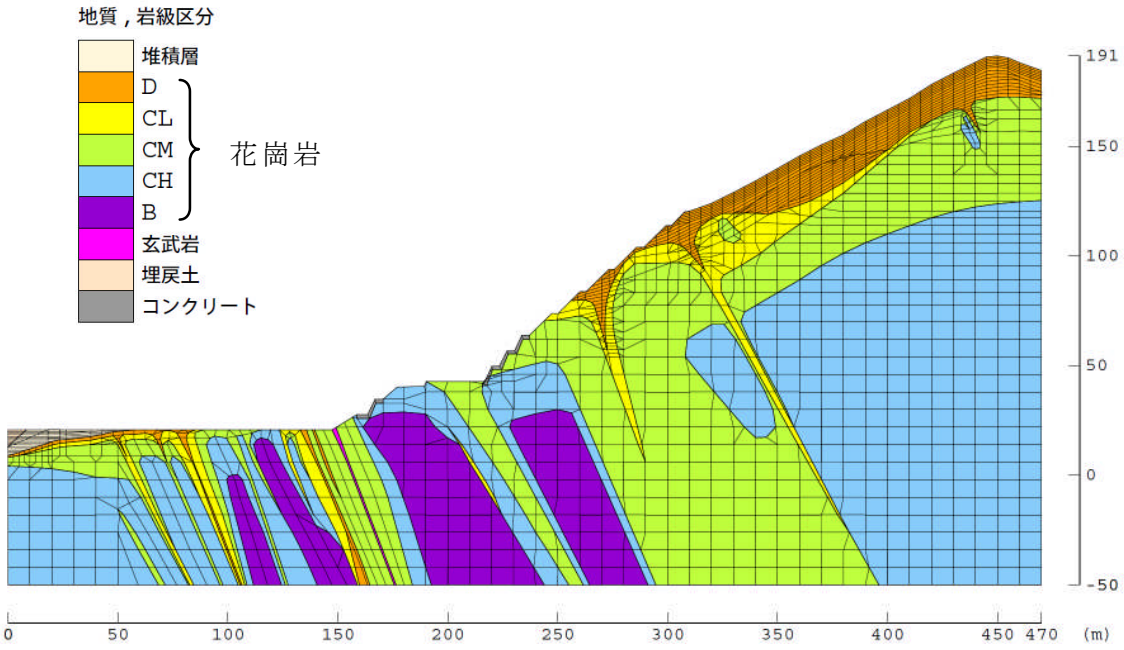
解析手法は、本報告と同じ解析手法を用いた。

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した。想定すべり面は、花崗岩のうち主に D 級風化部、C_L 級及び C_M 級を通過する形状（応力状態を考慮した想定すべり面）とした。

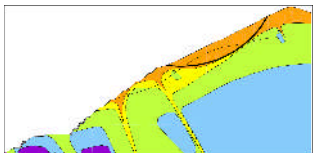
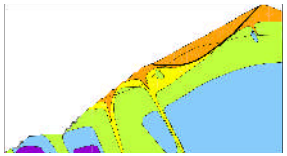
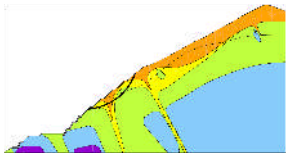
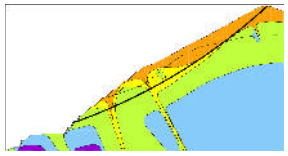
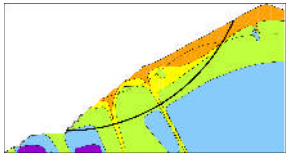
4. 評価結果

想定すべり面におけるすべり安全率を参考表 4.1 に示す。すべり安全率は、基準地震動 Ss のうち Ss-D を入力した場合において最小となる。このときの最小すべり安全率は 1.9 であり、耐震安全性評価手法に示される評価基準値 1.2 を上回ることから、すべりに対して安定性を有している。



参考図 2.1　解析用要素分割図

参考表 4.1　すべり安全率

すべり面形状	Ss-D	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	Ss-9
	2.1	2.2	2.2	2.2	2.4	2.4	2.2	3.1	2.6	2.4
	1.9	2.2	2.3	2.1	2.2	2.5	2.1	3.3	2.3	2.2
	5.7	5.5	7.0	5.8	6.1	7.1	6.7	8.3	6.8	7.7
	3.0	3.7	4.1	3.5	3.7	4.1	3.0	4.4	3.8	3.7
	3.9	4.1	4.7	4.0	4.9	4.8	3.9	5.1	4.3	4.5

：すべり面

：すべり安全率の最小値