

島根原子力発電所 2 号炉 可搬型重大事故等対処設備保管場所 及びアクセスルートについて

令和 3 年 2 月
中国電力株式会社

目次 (1/3)

(概要説明)

- 1. はじめに
- 2. 新規制基準への適合状況
- 3. 保管場所及び屋外アクセスルートに係る設定方針
- 4. 保管場所及び屋外アクセスルートの設定
- 5. 保管場所，屋外及び屋内のアクセスルートに影響を及ぼす外部事象
- 6. 保管場所の評価
 - ① 周辺構造物の損壊（建物，鉄塔等）
 - ② 周辺タンク等の損壊
 - ③ 周辺斜面の崩壊
 - ④ 敷地下斜面のすべり
 - ⑤ 液状化及び揺すり込みによる不等沈下・傾斜，液状化に伴う浮き上がり
 - ⑥ 地盤支持力の不足
 - ⑦ 地中埋設構造物の損壊

.....P4～131

③ ④ : 本日まで説明範囲（その他の章はご説明済）

目次 (2/3)

7. 屋外のアクセスルートの評価

- ① 周辺構造物の損壊 (建物, 鉄塔等)
- ② 周辺タンク等の損壊
- ③ 周辺斜面の崩壊
- ④ 道路面のすべり
- ⑤ 液状化及び揺すり込みによる不等沈下,
液状化に伴う浮き上がり
- ⑦ 地中埋設構造物の損壊

.....P4~131

屋外作業の成立性

8. 屋内アクセスルートに係る設定方針

9. 屋内のアクセスルートの評価

10. 発電所構外からの緊急時対策要員参集

別紙 保管場所及び屋外のアクセスルート周辺構造物の耐震評価について

[] : 本日まで説明範囲 (その他の章はご説明済)

目次 (3/3)

(指摘事項に対する回答)

- 審査会合（技術的能力 添付資料1.0.2※¹）での指摘事項に対する回答
.....P132
- 審査会合（第4条※²）での指摘事項に対する回答
.....P133

※ 1 島根原子力発電所 2号炉 可搬型重大事故等対処設備保管場所及びアクセスルートについて

※ 2 島根原子力発電所 2号炉 地震による損傷の防止

[] : 本日まで説明範囲

6. 保管場所の評価 (地震による保管場所への影響評価)

- 地震による保管場所への影響について、網羅的に①～⑦の被害要因について評価した結果、影響のある被害要因はないことを確認した。

地震による保管場所への影響評価

自然現象	保管場所に影響を与えるおそれのある被害要因	保管場所で懸念される被害事象
地震	① 周辺建造物の損壊（建物，鉄塔等）	損壊物による可搬型設備の損壊，通行不能
	② 周辺タンク等の損壊	火災，溢水による可搬型設備の損壊，通行不能
	③ 周辺斜面の崩壊	土砂流入による可搬型設備の損壊，通行不能
	④ 敷地下斜面のすべり	敷地下斜面のすべりによる可搬型設備の損壊，通行不能
	⑤ 液状化及び揺すり込みによる不等沈下・傾斜，液状化に伴う浮き上がり	不等沈下，浮き上がり等による可搬型設備の損壊，通行不能
	⑥ 地盤支持力の不足	可搬型設備の転倒，通行不能
	⑦ 地中埋設建造物の損壊	陥没による可搬型設備の損壊，通行不能

┌┐: 本日まで説明範囲

7. 屋外のアクセスルートの評価 (アクセスルートへの影響評価)

➤ 地震によるアクセスルートへの影響について、網羅的に①～⑦の被害要因について評価した結果、緊急時対策所～保管場所～2号炉までのアクセスルートについて、仮復旧なしで可搬型設備（車両）の通行が可能であることを確認した。なお、サブルートは地震及び津波時に期待しないルートと位置付けるため、地震及び津波の影響評価の対象外とする。

地震によるアクセスルートへの影響評価

自然現象	アクセスルートに影響を与えるおそれのある被害要因	アクセスルートで懸念される被害事象
地震	① 周辺建造物の損壊（建物，鉄塔等）	損壊物によるアクセスルートの閉塞
	② 周辺タンク等の損壊	タンク等の損壊に伴う火災，溢水による通行不能
	③ 周辺斜面の崩壊	土砂流入，道路損壊による通行不能 (鉄塔斜面損壊によるアクセスルートの閉塞を含む)
	④ 道路面のすべり	
	⑤ 液状化及び揺すり込みによる不等沈下，液状化に伴う浮き上がり	アクセスルートの不等沈下，地中埋設建造物の浮き上がりによる通行不能
	⑥ 地盤支持力の不足	-
	⑦ 地中埋設建造物の損壊	陥没による通行不能

┌──┐: 本日で説明範囲

1. 評価概要

第819回審査会合 資料1-2-1 P5 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

- 可搬型重大事故等対処設備（以下、「可搬型設備」という。）の保管場所及び同設備の運搬道路（以下、「アクセスルート」という。）に関する要求事項と、その適合状況は、以下のとおりである。

設置許可基準規則第四十三条（重大事故等対処設備）

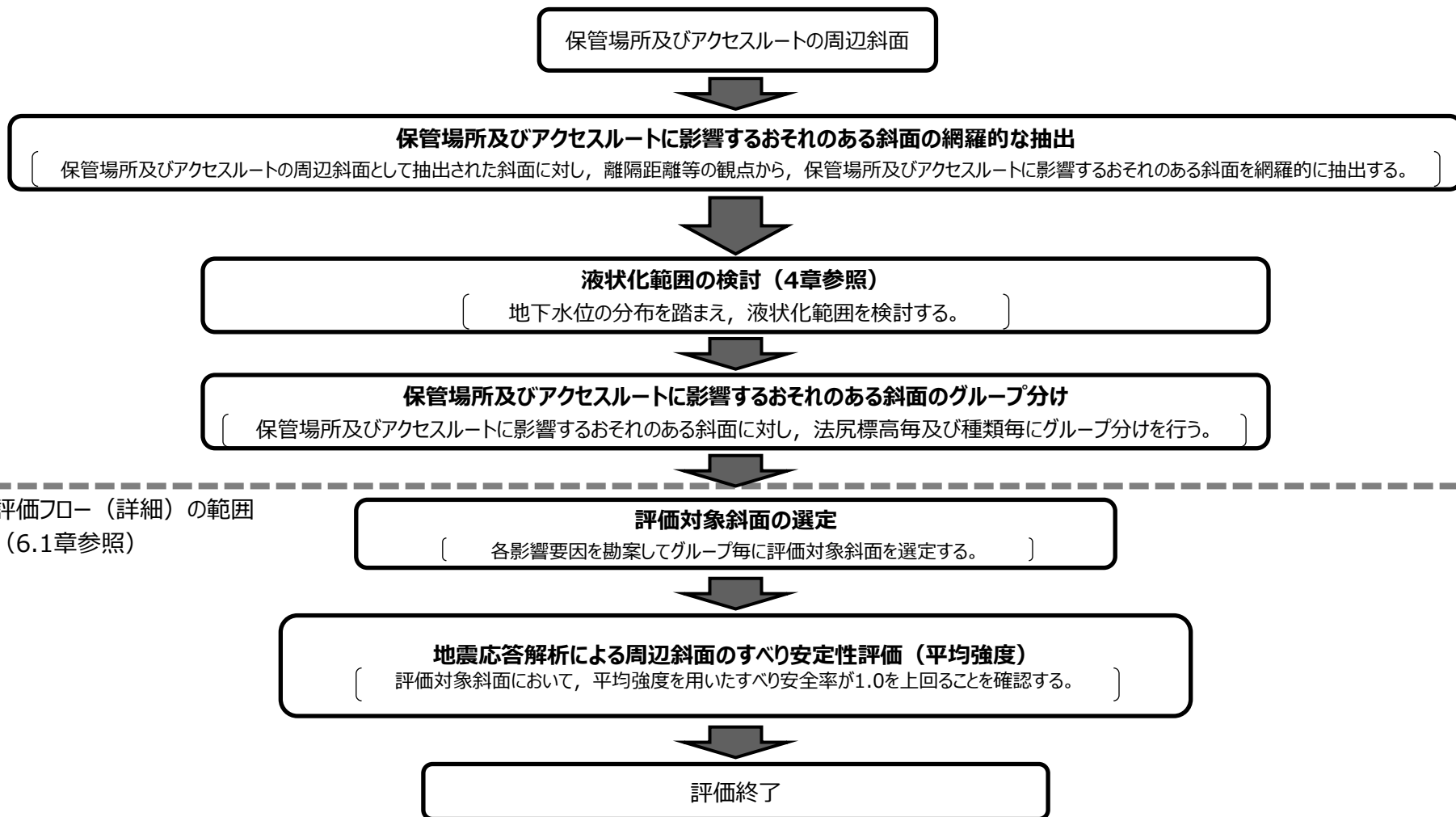
	新規制基準の項目	適合状況概要
第3項	五 地震、津波その他の自然現象又は故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムによる影響、設計基準事故対処設備及び重大事故等対処設備の配置その他の条件を考慮した上で常設重大事故等対処設備と異なる保管場所に保管すること。	可搬型設備は、地震、津波その他の自然現象、設計基準事故対処設備及び常設重大事故等対処設備の配置その他の条件を考慮した上で、設計基準事故対処設備及び常設重大事故等対処設備に対して、同時に必要な機能が失われないよう、100m以上の離隔をとるとともに、防波壁及び防火帯の内側に保管し、かつ2セットのうち少なくとも1セットは高台に保管する。また、分散配置が可能な可搬型設備については、分散配置して保管する。
	六 想定される重大事故等が発生した場合において可搬型重大事故等対処設備を運搬し、又は他の設備の被害状況を把握するため、工場等内の道路及び通路が確保できるよう、適切な措置を講じたものであること。	地震、津波その他の自然現象を想定し、迂回路も考慮して複数のアクセスルートを確認する。また、がれき等によってアクセスルートの確保が困難となった場合に備え、ホイールローダを配備し、がれき等の撤去を行えるようにしている。
	七 重大事故防止設備のうち可搬型のものは、共通要因によって、設計基準事故対処設備の安全機能、使用済燃料貯蔵槽の冷却機能若しくは注水機能又は常設重大事故防止設備の重大事故に至るおそれがある事故に対処するために必要な機能と同時にその機能が損なわれるおそれがないよう、適切な措置を講じたものであること。	可搬型設備は、設計基準事故対処設備及び常設重大事故等対処設備と同時に必要な機能が失われないよう、100m以上の離隔をとるとともに、分散配置が可能な可搬型設備については、分散配置して保管する。また、基準地震動 S_s で必要な機能が失われず、防波壁及び防火帯の内側かつ2セットのうち1セットは高台に保管することにより、共通要因によって必要な機能が失われないことを確認している。

⇒ 保管場所・アクセスルートの周辺斜面については、基準地震動 S_s による動的解析の結果に基づく時刻歴のすべり安全率が1.0を上回ることを示し、地震による被害の影響を受けないことを確認する。

保管場所及びアクセスルートの周辺斜面のうち、液状化評価対象層である埋戻土（掘削ズリ）で構成される盛土斜面については、地下水位分布の状況を踏まえ、液状化影響を考慮する。

2. 評価フロー

- 保管場所・アクセスルート周辺斜面の地震時安定性評価は、下図に示すフローに基づき行う。



評価フロー（詳細）の範囲
（6.1章参照）

評価フロー（全体概要）

3. 保管場所及びアクセスルートに影響するおそれのある斜面の網羅的な抽出

- 保管場所及びアクセスルートの周辺斜面の中で、すべり方向が保管場所及びアクセスルート等に向いており、保管場所及びアクセスルートからの離隔距離がない斜面を尾根線・谷線で区切り、保管場所及びアクセスルートに影響するおそれのある斜面として抽出した。
- なお、斜面の抽出にあたっては、鉄塔が設置されている斜面を含め、網羅的な抽出を行っている。

3.1 離隔距離の考え方

離隔距離については、文献に基づいて以下のとおり設定した。

- ・岩盤斜面（自然斜面，切取斜面）：斜面高さ×1.4倍 あるいは 50m
- ・盛土斜面：斜面高さ×2.0倍 あるいは 50m

参考文献	記載内容	対象地盤
土木学会（2009）※1 JEAG4601-2015	地盤安定性評価の対象とする斜面を、「斜面法尻と原子炉建屋との離隔距離が約50m以内の斜面，あるいは斜面の高さの約1.4倍以内の斜面」と規定しており，これに該当する斜面について評価を実施する。	岩盤斜面 盛土斜面
宅地防災マニュアルの解説※2	斜面上部又は下部とは，急傾斜地（傾斜30度以上のがけ）の下端及び上端から当該急傾斜地の高さの，それぞれ2倍及び1倍程度の範囲（概ね50mを限度とする）をいう。	急傾斜地 （土砂）

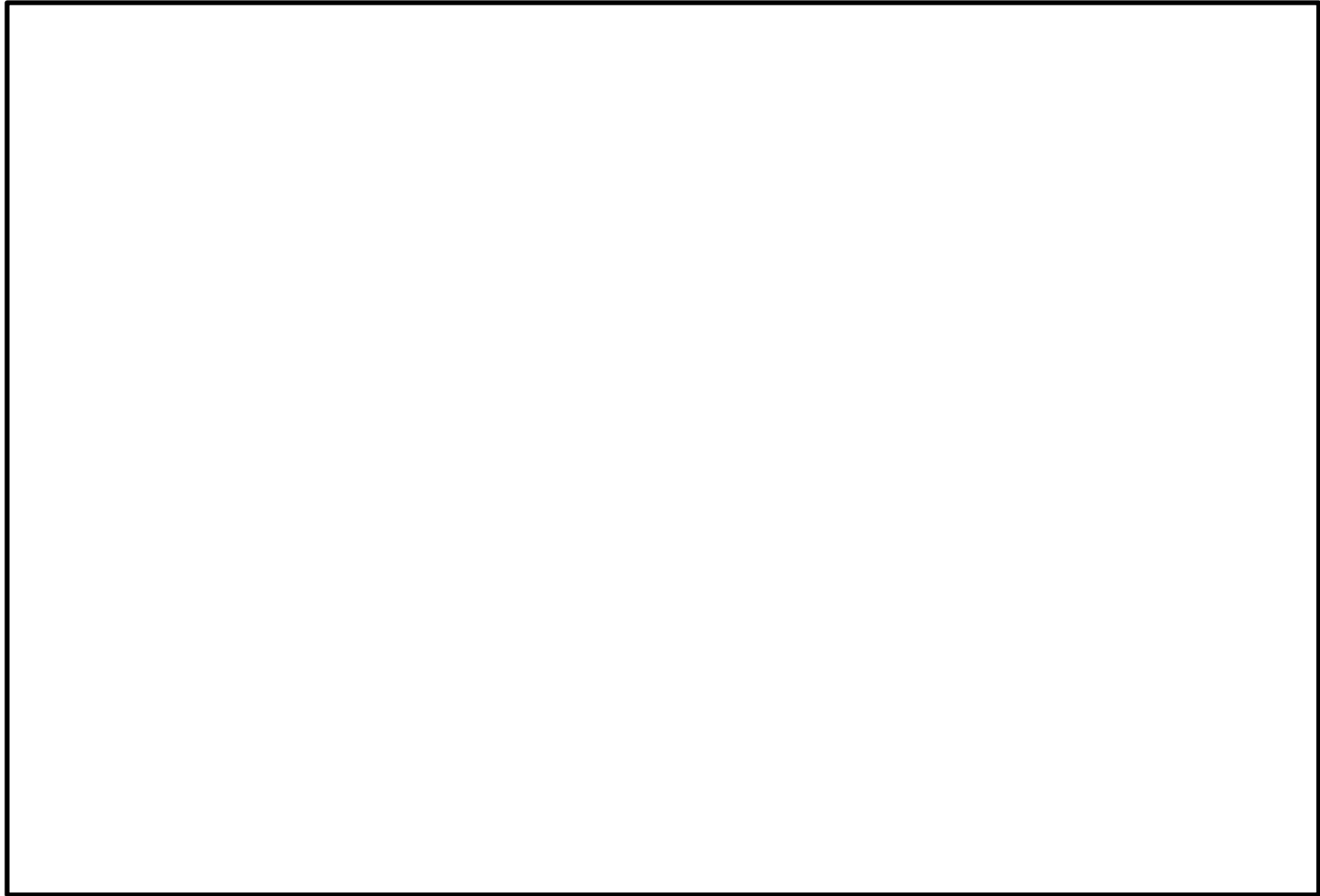
※1 土木学会（2009）：原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術＜技術資料＞，土木学会原子力土木研究委員会，2009

※2 宅地防災マニュアルの解説：宅地防災マニュアルの解説[第二次改訂版][Ⅱ]，[編集]宅地防災研究会，2007

3. 保管場所及びアクセスルートに影響するおそれのある斜面の網羅的な抽出

3.2 他の条文で評価を行う斜面との関連性（1 / 2）

- 保管場所及びアクセスルートに影響するおそれのある斜面は以下の通り。

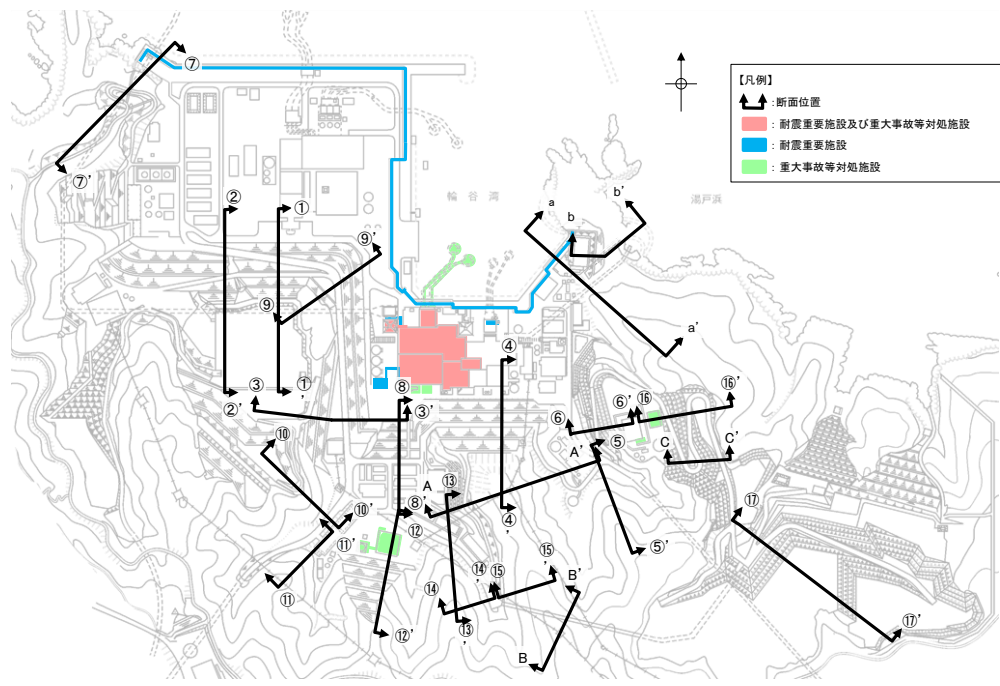


斜面位置図（保管場所及びアクセスルート）

3. 保管場所及びアクセスルートに影響するおそれのある斜面の網羅的な抽出

3.2 他の条文で評価を行う斜面との関連性 (2 / 2)

- 保管場所及びアクセスルートに影響するおそれのある斜面について、他の条文の斜面との関連、及び設置許可基準規則の該当項目を以下に示す。



斜面位置図 (耐震重要施設及び重大事故等対処施設(上位クラス施設含む))

<【参考】設置許可基準規則 第4条第4項, 第39条第2項 >

第4条
 4 耐震重要施設は、前項の地震*の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。
 第39条
 2 重大事故等対処施設は、第4条第3項の地震*の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

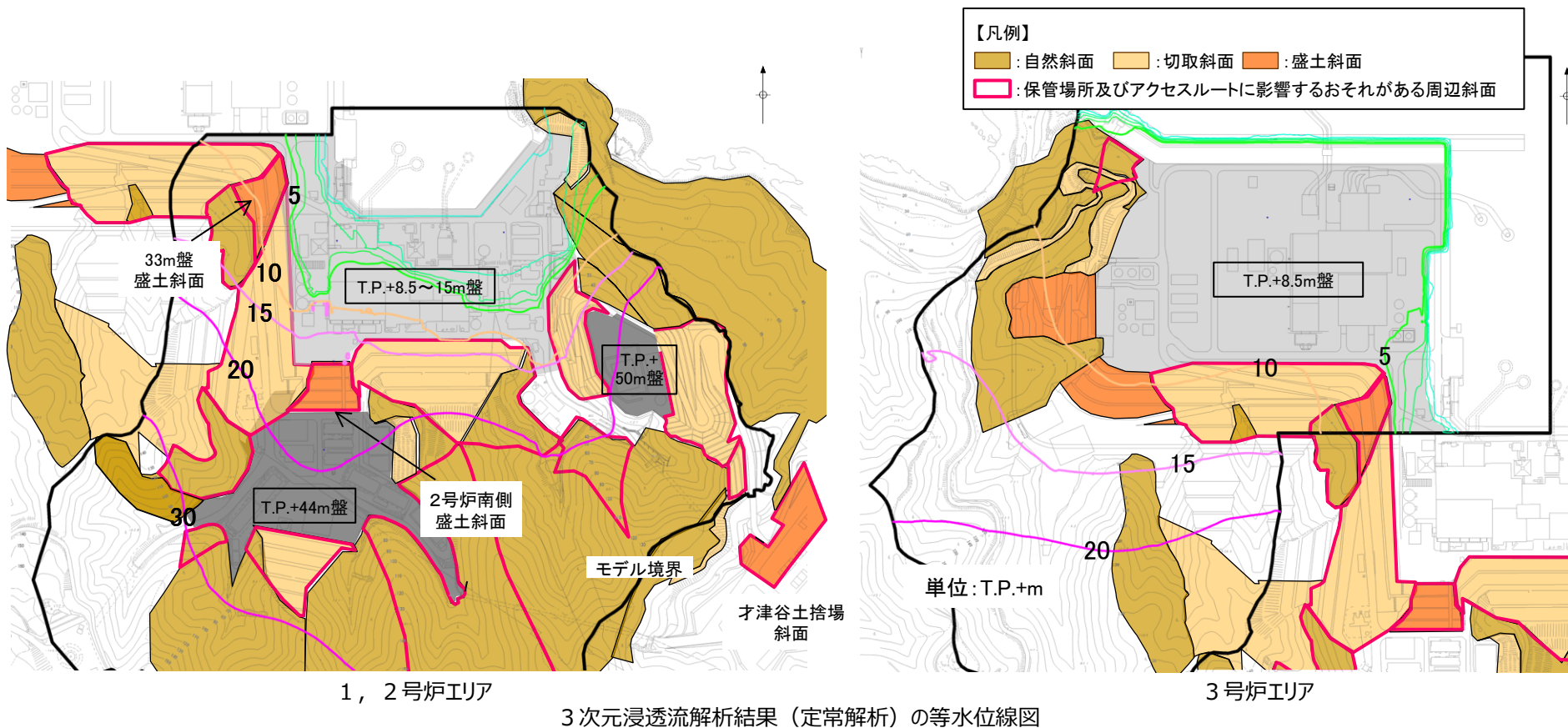
* 地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定する地震力

斜面番号	設置許可基準規則の該当項目			影響するおそれのある施設
	保管場所及びアクセスルートに影響するおそれのある斜面	耐震重要施設等の周辺斜面*1	上位クラス施設(耐震重要施設等)の周辺斜面*2	
	第43条第3項	第4条第4項, 第39条第2項	第4条第4項, 第39条第2項	
①-①'	○	—	—	—
②-②'	○	—	—	—
③-③'	○	○	○	2号炉原子炉建物等
④-④'	○	○	○	2号炉原子炉建物等
⑤-⑤'	○	—	—	—
⑥-⑥'	○	—	—	—
⑦-⑦'	○	○	○	防波壁
⑧-⑧'	○	○	○	第1ベントフィルタ格納槽
⑨-⑨'	○	—	—	—
⑩-⑩'	○	—	—	—
⑪-⑪'	○	—	—	—
⑫-⑫'	○	○	○	ガスタービン発電機建物等
⑬-⑬'	○	—	—	—
⑭-⑭'	○	—	—	—
⑮-⑮'	○	—	—	—
⑯-⑯'	○	○	○	緊急時対策所等
⑰-⑰'	○	—	—	—
A-A'	鉄塔斜面	—	—	—
B-B'	鉄塔斜面	—	—	—
C-C'	鉄塔斜面	—	—	—
a-a'	—	○	○	防波壁
b-b'	—	○	○	防波壁

*1 「島根原子力発電所2号炉 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価について」
 *2 「島根原子力発電所2号炉 地震による損傷の防止 (耐震設計の論点) [上位クラス施設への下位クラス施設の波及的影響]」

4. 液状化範囲の検討

- 液状化範囲の検討に当たっては、3次元浸透流解析結果の大局的な地下水位分布の傾向を参照し、保守的に地下水位を設定する。

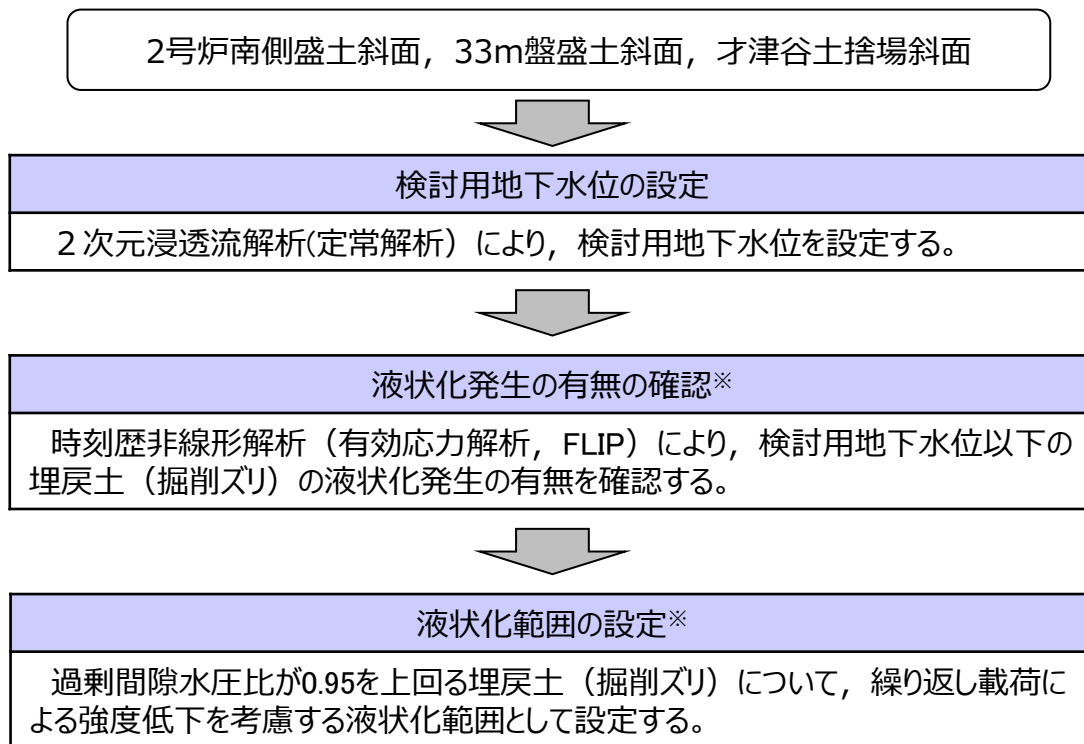


- 2号炉南側盛土斜面及び33m盤盛土斜面の地下水位は法尻付近までの上昇に留まっているが、2次元浸透流解析により地下水位の分布をより詳細に検討し、液状化範囲を設定する。
- 才津谷土捨場斜面は、近傍のモデル境界の地下水位がT.P.+28m程度であり、法尻標高（T.P.+88m）より十分低いが、念のため2次元浸透流解析により地下水位の分布をより詳細に検討し、液状化範囲を設定する。

4. 液状化範囲の検討

4.1 液状化範囲の検討フロー

- 盛土斜面の液状化範囲の設定方法は、「島根原子力発電所2号炉 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価」において2号炉南側盛土斜面を対象に実施した方法と同様に設定した。

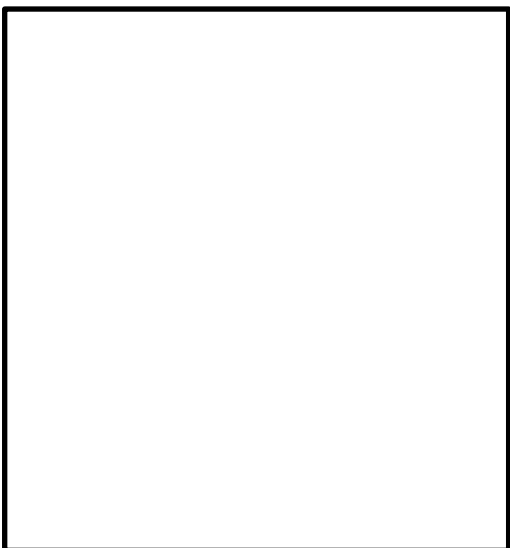


※ 時刻歴非線形解析(有効応力解析, FLIP)による液状化発生の有無の確認を行わない場合は, 保守的に検討用地下水位以深の埋戻土を全て液状化範囲として設定する。

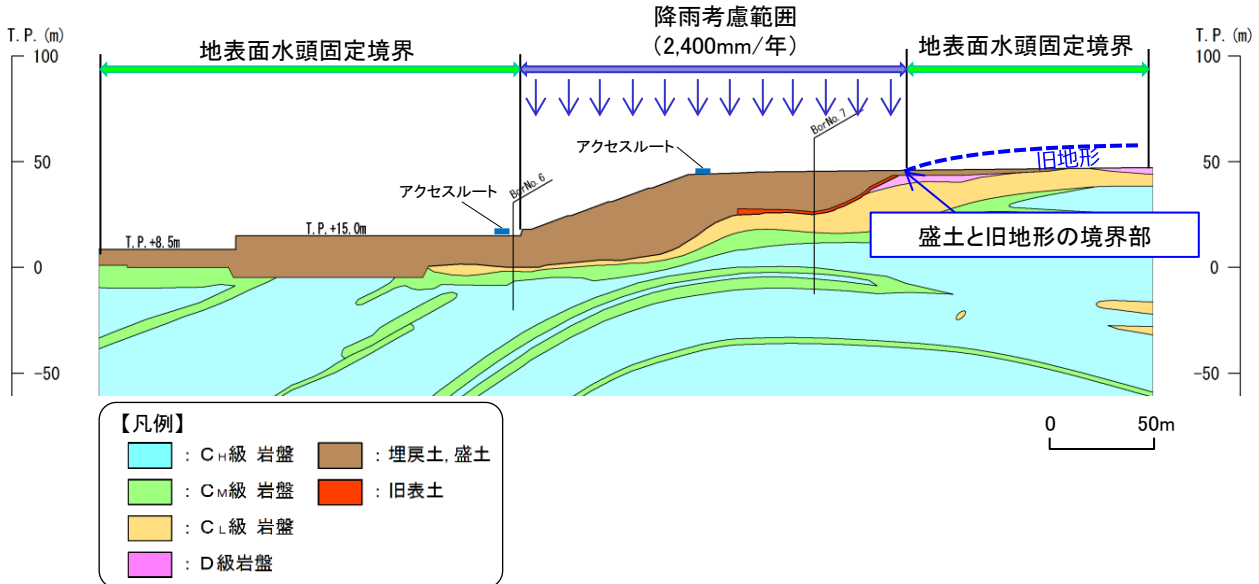
4. 液状化範囲の検討

4.2 2号炉南側盛土斜面 2次元浸透流解析モデルの解析条件

- 液状化影響検討用地下水位を設定するため、2次元浸透流解析（定常解析）を実施する。
- 解析モデルは下図のとおりとし、地下水位低下設備の機能に期待しない場合の地下水位（3次元浸透流解析結果）等を踏まえ、より保守的な条件となるよう、T.P.+8.5m盤、T.P.+15m盤及びT.P.+44m盤の盛土と旧地形の境界部において、地表面に水頭固定境界を設定する。
- 地表面水頭固定境界に挟まれた検討用地下水位の計算領域は、降雨考慮範囲として、松江地方気象台における年間降水量にばらつきを考慮した値に、今後の気候変動予測による降水量の変化を加味した降雨条件2,400mm/年を考慮する。



断面位置図

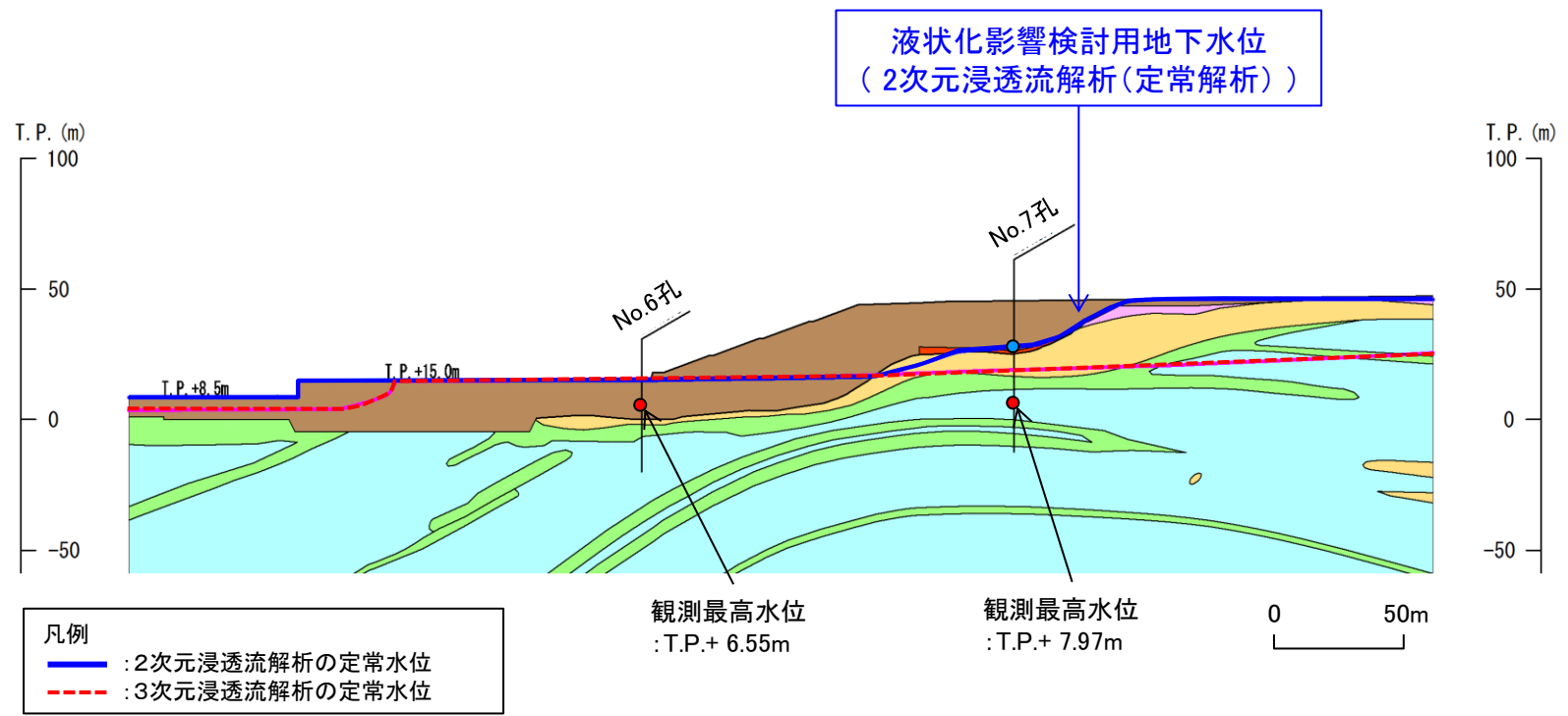


2次元浸透流解析（定常解析）の解析条件

4. 液状化範囲の検討

4.2 2号炉南側盛土斜面 検討用地下水位の設定

・2次元浸透流解析の結果を踏まえ、液状化発生の有無を確認するために実施する有効応力解析における検討用地下水位を設定した。



凡例

- : 2次元浸透流解析の定常水位
- - - : 3次元浸透流解析の定常水位

【凡例】

- C_H級岩盤
- C_M級岩盤
- C_L級岩盤
- D級岩盤
- 埋戻土・盛土
- 旧表土

2次元浸透流解析による検討用地下水位

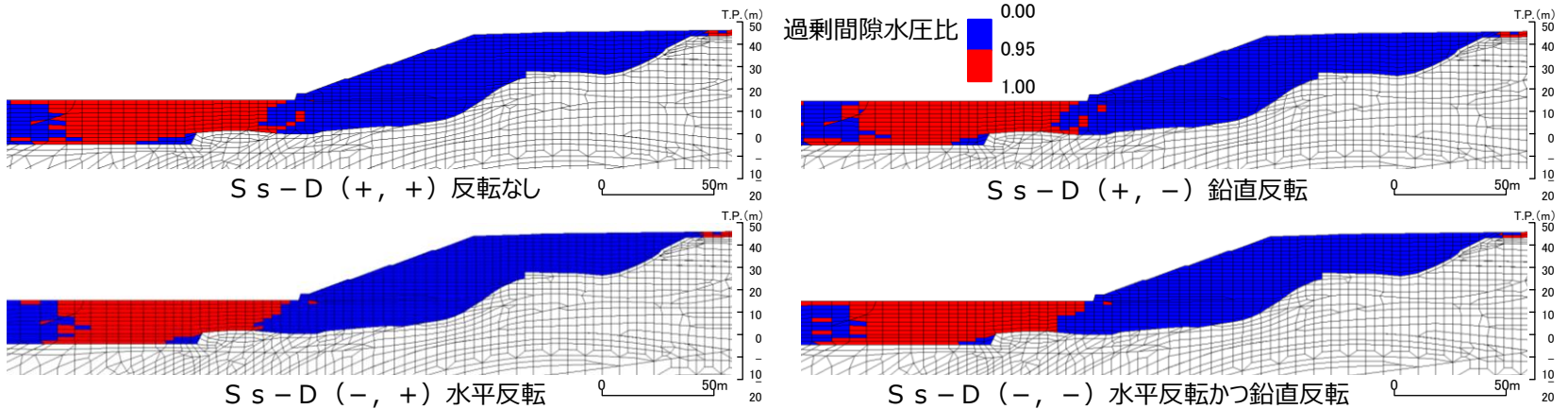
4. 液状化範囲の検討

4.2 2号炉南側盛土斜面 液状化発生の有無の確認及び液状化範囲の設定

- ・2号炉南側盛土斜面は、常設重大事故等対処施設の周辺斜面であることから、有効応力解析による液状化発生の有無の確認を行っている。
- ・検討用地下水位を用いた有効応力解析結果を踏まえ、過剰間隙水圧比が0.95以上となる地盤要素を、繰り返し载荷による強度低下を考慮する液状化範囲として設定する。

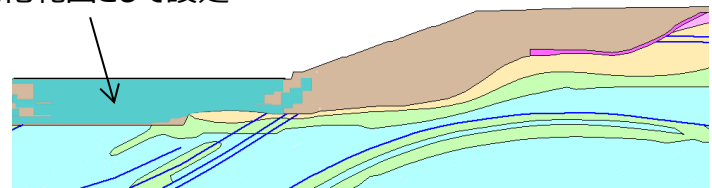
検討
条件

- ・有効応力解析の結果、一度でも過剰間隙水圧比が0.95を超えた要素については、繰り返し载荷により強度低下が生じたものとみなし、2次元動的FEM解析においてすべり面上のせん断力及び抵抗力をゼロとする。
- ・液状化影響を考慮する範囲については、基準地震動の反転を考慮して実施した有効応力解析結果それぞれにおいて、過剰間隙水圧が0.95を超えた全要素を包絡するように設定する。



各地震動方向にける最大過剰間隙水圧比分布図

液状化範囲として設定



【凡例】

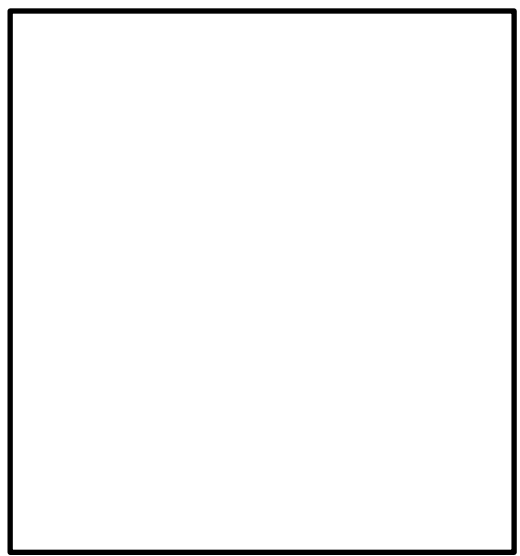
■ : C _H 級 岩盤	■ : C _M 級 岩盤	■ : C _L 級 岩盤
■ : 埋戻土、盛土	■ : 旧表土	
■ : D級 岩盤	■ : シーム	

液状化範囲の分布図

4. 液状化範囲の検討






4.3 33m盤盛土斜面 2次元浸透流解析モデルの解析条件

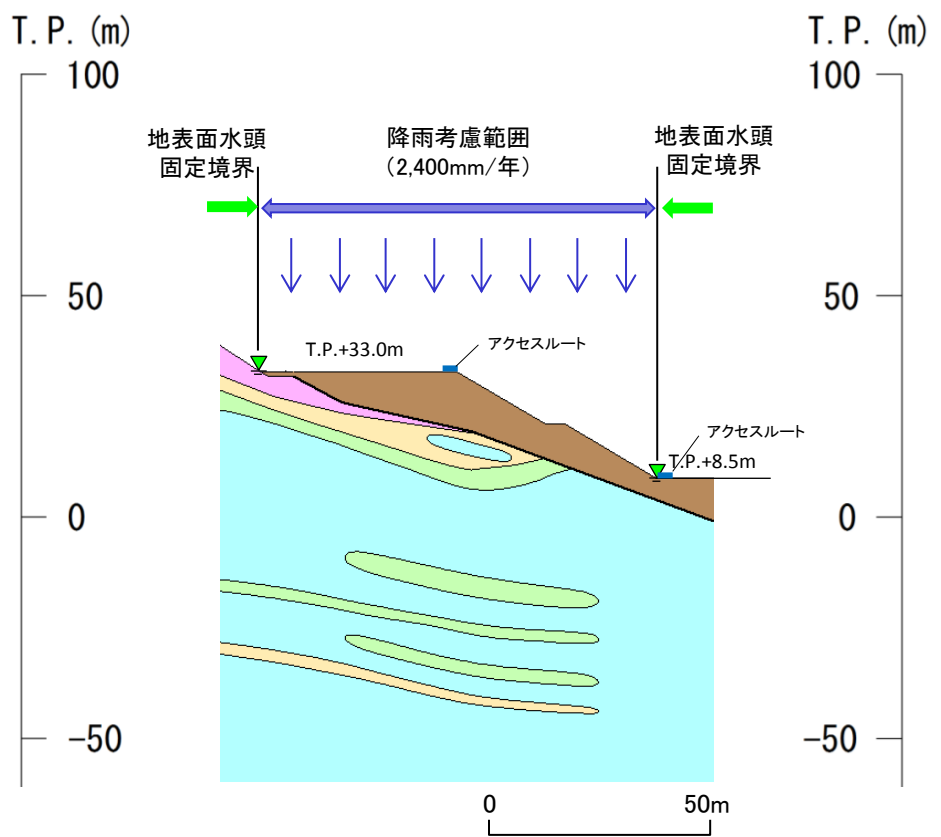
- 液状化影響検討用地下水位を設定するため、2次元浸透流解析（定常解析）を実施する。
- 解析モデルは下図のとおりとし、保守的な条件となるよう、T.P.+8.5m盤及び上流側の盛土と地山の境界部において、地表面に水頭固定境界を設定する。
- 地表面水頭固定境界に挟まれた検討用地下水位の計算領域は、降雨考慮範囲として降雨条件2,400mm/年を考慮する。



断面位置図

【凡例】

	: C _H 級 岩盤		: 埋戻土, 盛土
	: C _M 級 岩盤		
	: C _L 級 岩盤		
	: D級 岩盤		



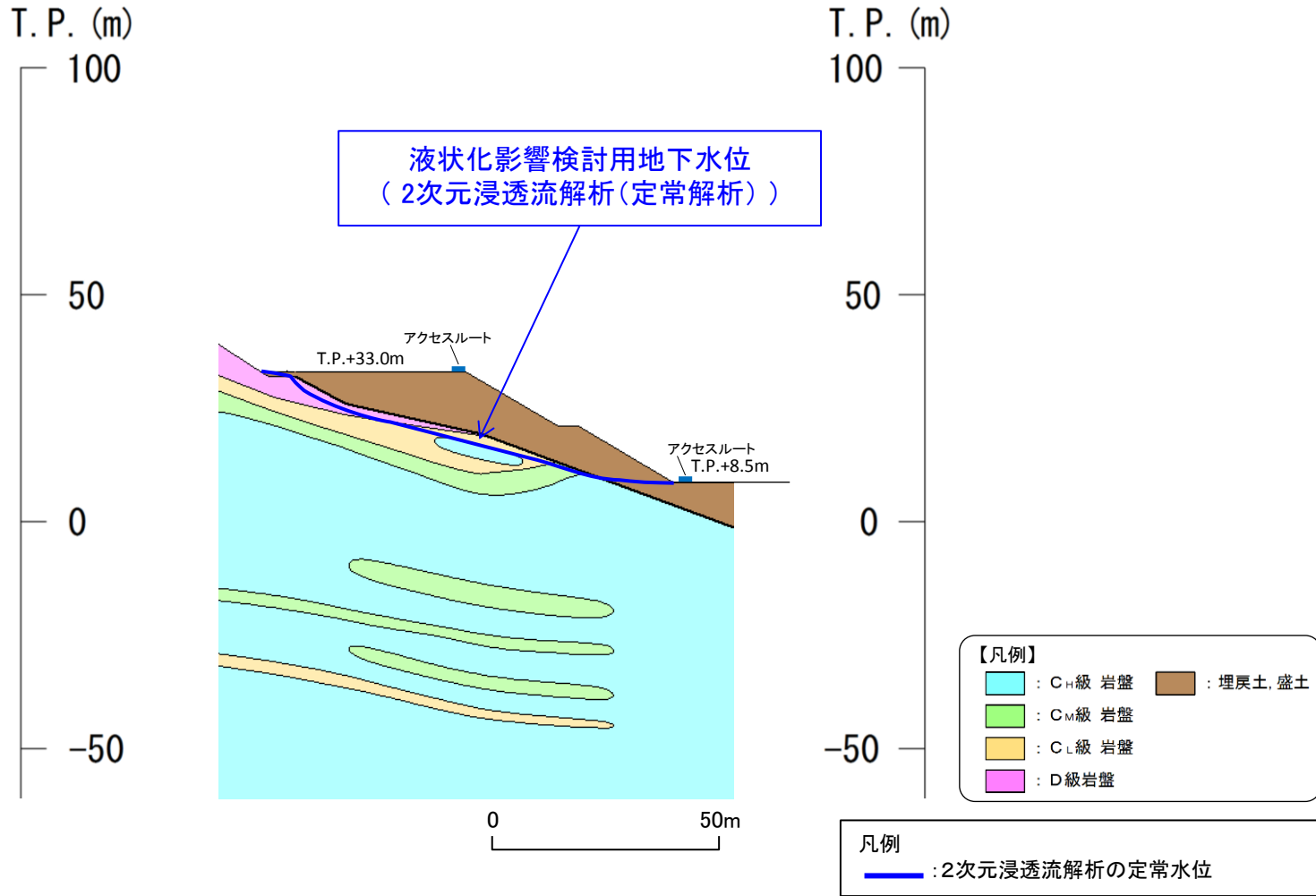
2次元浸透流解析の実施断面

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。

4. 液状化範囲の検討

4.3 33m盤盛土斜面 液状化範囲の設定

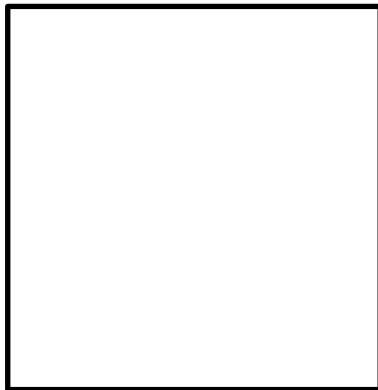
- ・2次元浸透流解析の結果、盛土斜面内に地下水位が認められない。
- ・液状化範囲の設定に当たっては、地下水位以深の埋戻土を全て液状化範囲として設定する。



4. 液状化範囲の検討

4.4 才津谷土捨場盛土斜面 2次元浸透流解析モデルの解析条件

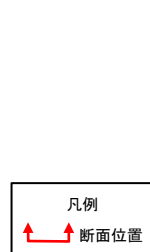
- 才津谷土捨場については、防波壁や地盤改良等、地下水位の流れを遮断する設備がないことから、地下水位が上昇する恐れはないと考えられるが、念のため、土捨場造成前の旧地形より地下水の流下方向を踏まえ、谷方向の断面を対象に2次元浸透流解析（定常解析）を実施し、⑰-⑰'断面における検討用地下水位を設定する。
- 解析モデルは下図のとおり、保守的な条件となるよう、下流側の法尻部及び上流側の盛土と地山の境界部において、地表面に水頭固定境界を設定する。
- 地表面水頭固定境界に挟まれた検討用地下水位の計算領域は、降雨考慮範囲として降雨条件2,400mm/年を考慮する。



断面位置図

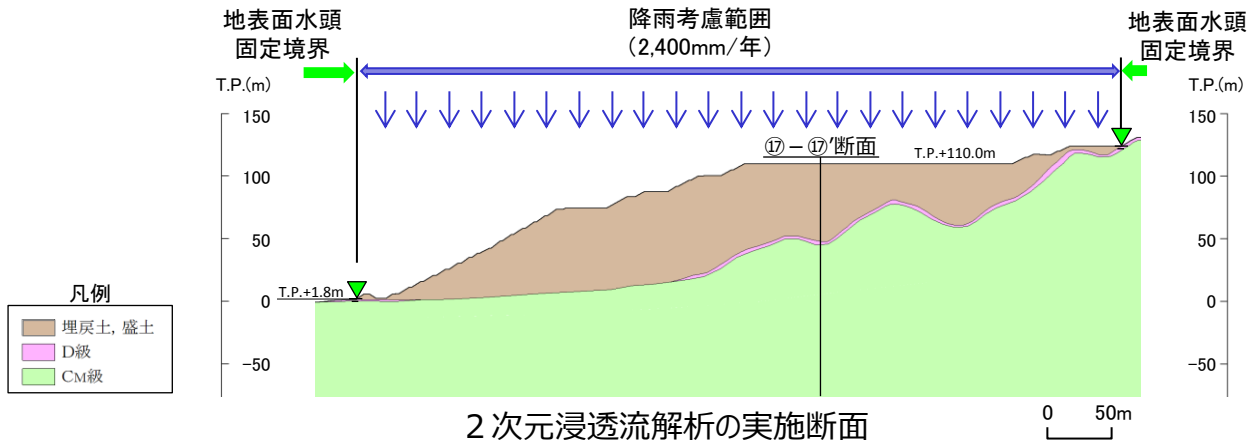


0 100m



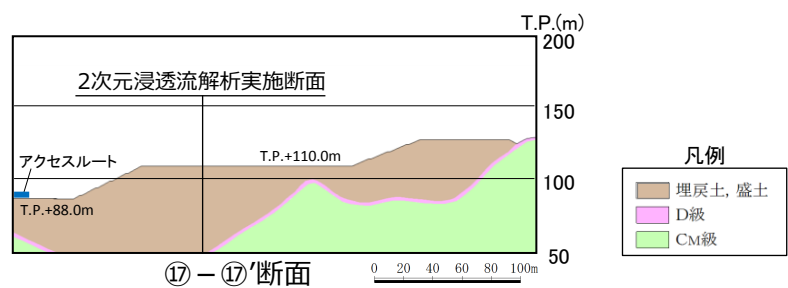
※航空レーザー測量で取得した2mメッシュのDEMデータに、空中写真により取得した旧地形のDEMデータを合成して作成したもの。

土捨場造成前の地形立体図※



2次元浸透流解析の実施断面

2次元浸透流解析により得られた水位を⑰-⑰'断面に反映する

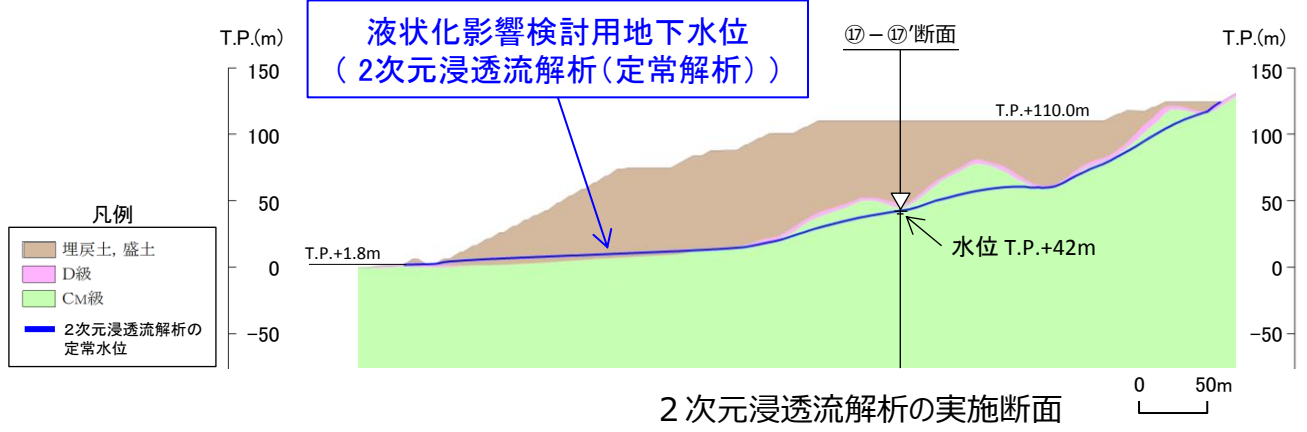
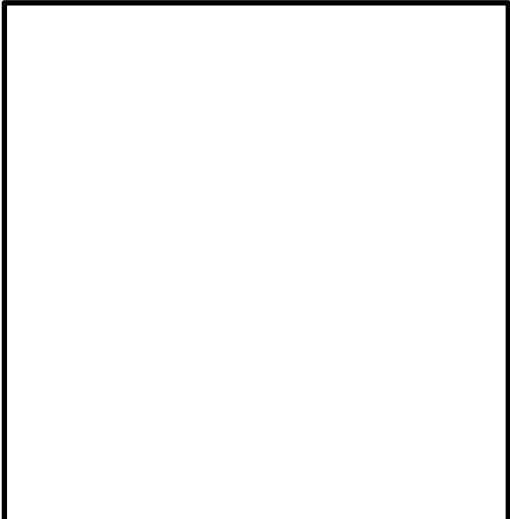


⑰-⑰'断面

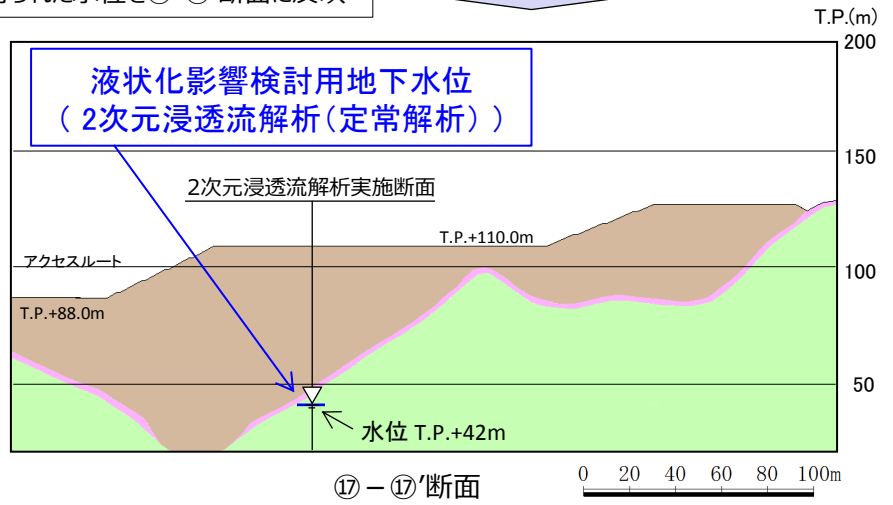
4. 液状化範囲の検討

4.4 才津谷土捨場盛土斜面 液状化範囲の設定

- ・ 2次元浸透流解析の結果，すべり安定性評価対象断面位置における地下水位は，T.P.+42mとなり，法尻部の標高（T.P.+88m）よりも十分低いことを確認した。
- ・ 以上のことから，当該斜面の安定性評価においては，液状化によるせん断強度の低下は考慮しない。



2次元浸透流解析により得られた水位を⑰-⑰'断面に反映



5. 保管場所及びアクセスルートに影響するおそれのある斜面のグループ分け

・保管場所及びアクセスルートに影響するおそれのある斜面のグループ分けは、以下の観点から分類する。


①地盤の種類が異なることから、岩盤斜面と盛土斜面に区分する。


②地質や地震増幅特性が異なることから、法尻標高T.P.+15m以下、T.P.+33～50m、T.P.+88mの3つに区分する。


・上記に従いグループ分けを行った結果、斜面の法尻標高毎及び種類毎にグループA（岩盤斜面，法尻標高T.P.+15m以下），グループB（盛土斜面，法尻標高T.P.+15m以下），グループC（岩盤斜面，法尻標高T.P.+33～50m）及びグループD（盛土斜面，法尻標高T.P.+88m）の4のグループに分類した。

グループ分類	①斜面種類	②法尻標高
グループA	岩盤斜面	T.P.+15m以下
グループB	盛土斜面	T.P.+15m以下
グループC	岩盤斜面	T.P.+33～50m
グループD	盛土斜面	T.P.+88m


【凡例】


 :グループA(岩盤斜面, 法尻標高T.P.+15m以下)

 :グループB(盛土斜面, 法尻標高T.P.+15m以下)


 :グループC(岩盤斜面, 法尻標高T.P.+33～50m)

 :グループD(盛土斜面, 法尻標高T.P.+88m)

 :可搬型設備の保管場所

 :アクセスルート(車両・要員)

※破線は要員のみを示す。

 :サブルート(車両・要員)

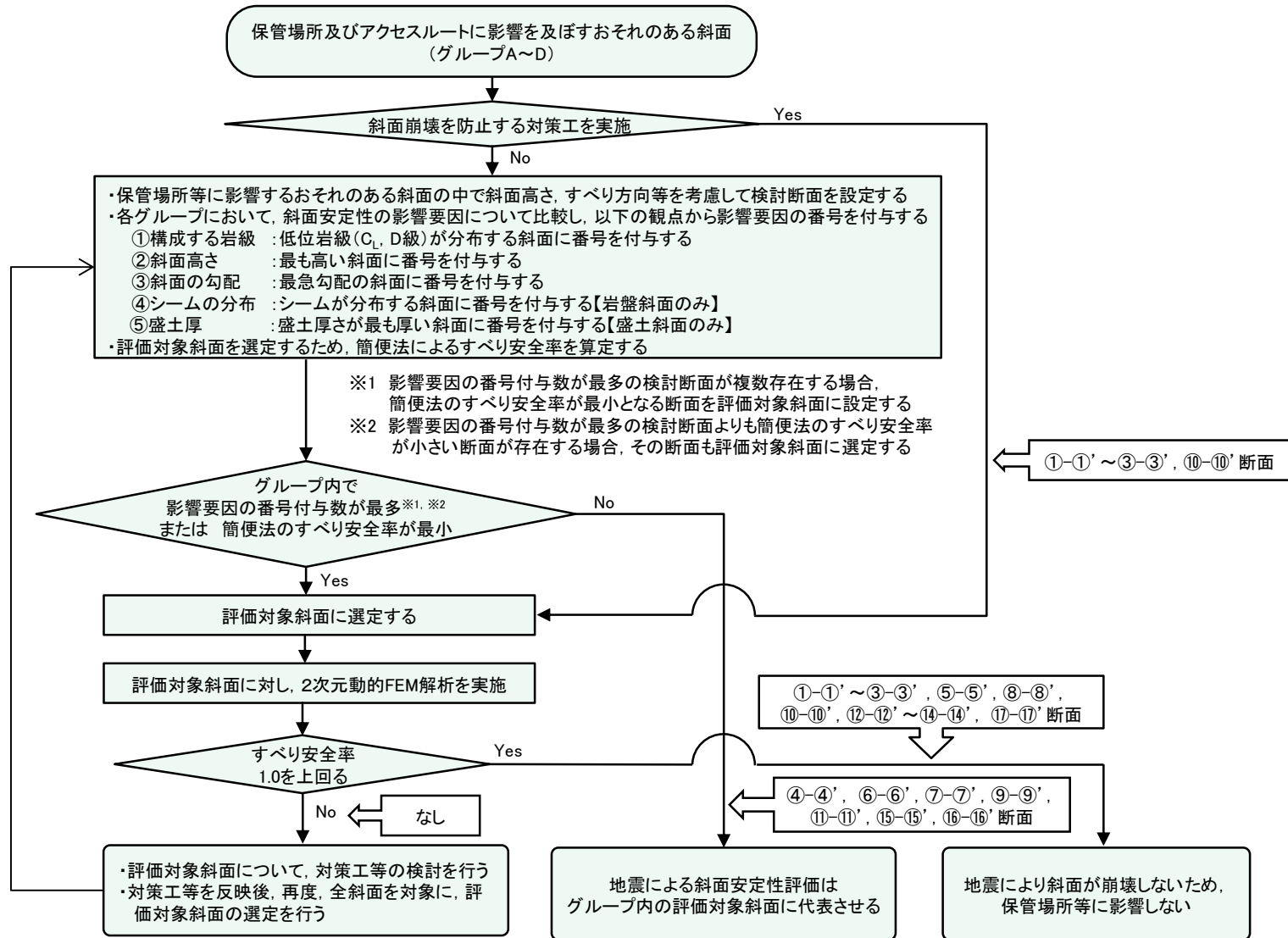
※破線は要員のみを示す。

平面位置図

6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

6.1 評価フロー（詳細）

- 保管場所・アクセスルート周辺斜面の地震時安定性評価は、「島根原子力発電所2号炉 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価」と同様に、下図に示すフローに基づき行う。



評価フロー（詳細）

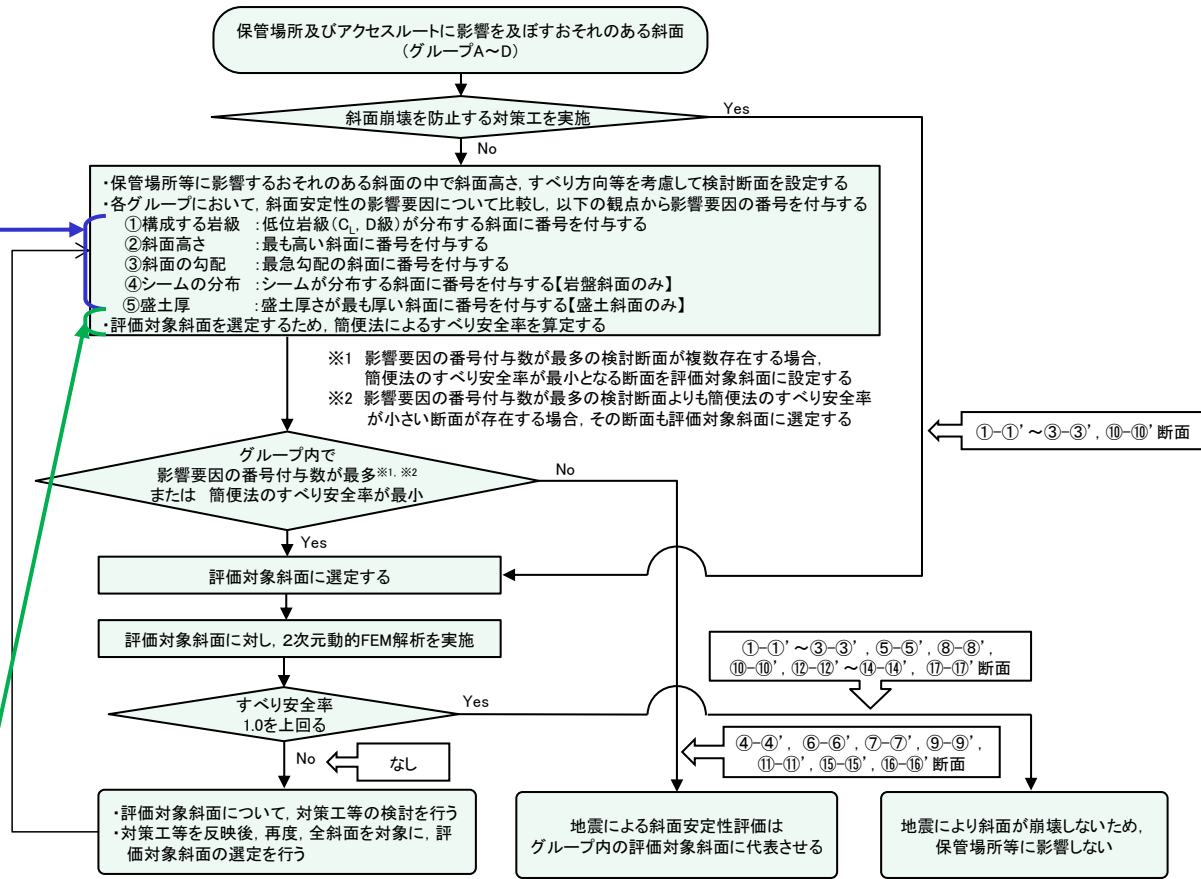
6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

6.2 選定方針

・評価対象斜面の選定は、以下に示す影響要因及び簡便法のすべり安全率を踏まえて行う。

影響要因	内容
【影響要因 ①】 斜面を構成する岩級	C _L 級, D級の低位岩級は, C _H 級, C _M 級の高位岩級に比べてせん断強度が低い。
【影響要因 ②】 斜面高さ	斜面高さが高いほど土塊が大きくなるため, 起動力が大きくなる。
【影響要因 ③】 斜面勾配	斜面勾配が急なほどすべり方向に対する土塊重量の分力が大きくなり, 起動力が大きくなる。(最も急勾配となる斜面, C _L 級以下が急勾配となる斜面)
【影響要因 ④】 シームの分布の有無	シームは岩盤に比べてせん断強度が低く, すべり面のせん断抵抗力が小さくなる。
【影響要因 ⑤】 盛土厚	盛土厚が大きいほど土塊が大きくなるため, 起動力が大きくなる。

【簡便法によるすべり安全率】
 ・JEAG4601-2015に基づく静的震度「 $K_H=0.3$, $K_V=0.15$ 」を用いた簡便法により, すべり安全率を算定する。



6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

6.3 グループA（岩盤斜面，法尻標高T.P.+15m以下）評価対象斜面の選定結果(1 / 3)

- グループA（岩盤斜面，法尻標高T.P.+15m以下）の斜面について，下表の比較を行った結果，⑤－⑤'断面を2次元動的FEM解析の評価対象斜面に選定した。
- 対策工を実施した①－①'断面～③－③'断面は，評価フローに基づき，安定解析により対策後のすべり安定性を確認する。（6.7章，6.8章参照）
- グループA（岩盤斜面，法尻標高T.P.+15m以下）の斜面の断面位置及び地質断面図を次頁以降に示す。
- また，④－④'断面は，評価対象斜面と比較し，該当する影響要因の付与数が同数であること，及び簡便法の最小すべり安全率が同程度であることから，耐震重要施設等の周辺斜面における評価結果を示す。

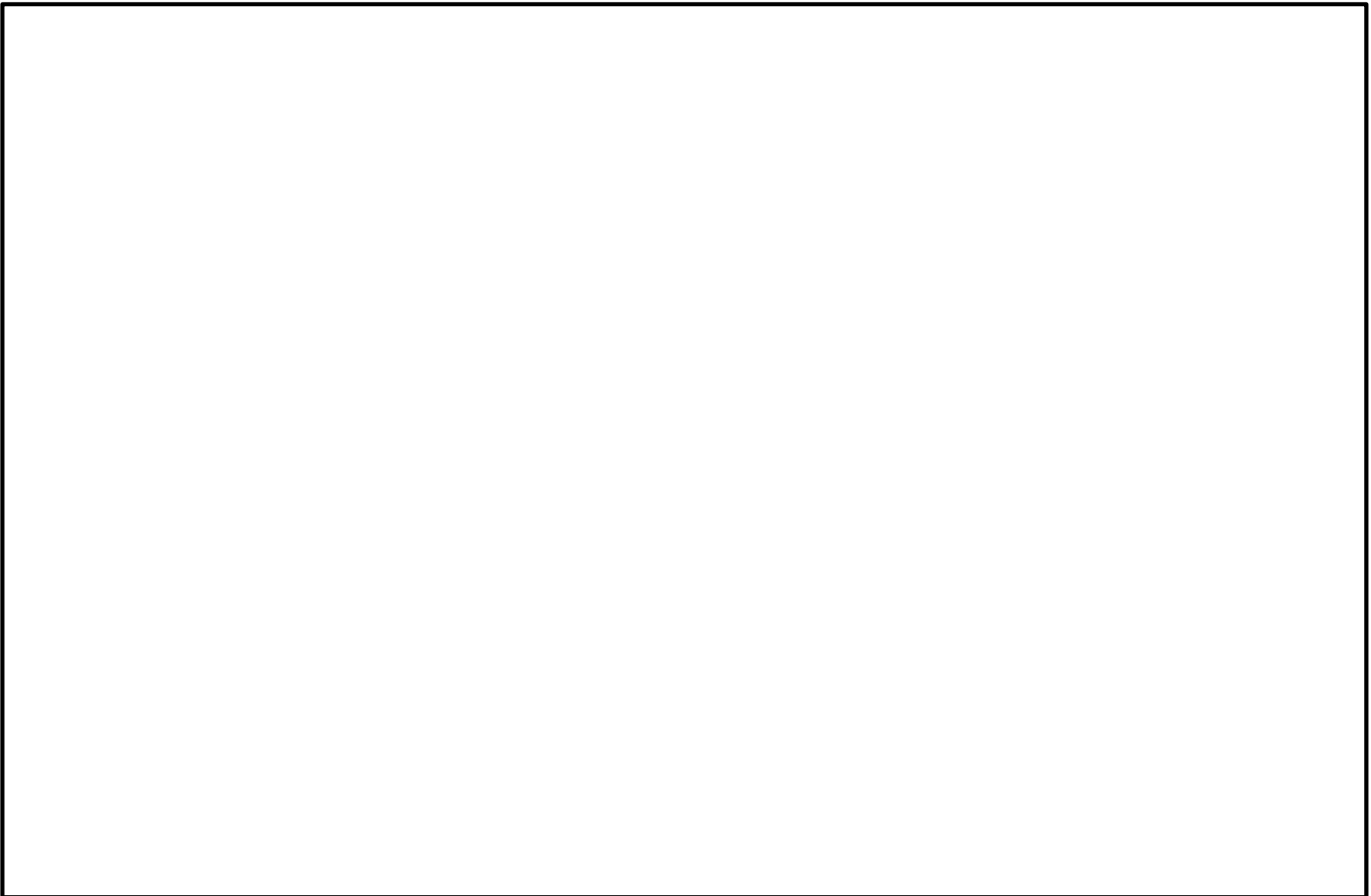
保管場所・アクセスルートに影響するおそれのある斜面	影響要因				該当する影響要因	簡便法の最小すべり安全率	選定理由	耐震重要施設等の周辺斜面における検討断面※
	【影響要因①】構成する岩級	【影響要因②】斜面高さ	【影響要因③】斜面の勾配	【影響要因④】シームの分布の有無				
④－④'	C _H , C _M , C _L 級	94m	1 : 1.5	あり : 7条	①, ②, ④	2.41	⑤－⑤'断面に比べ，斜面高さが高いが，勾配が緩いこと，及び簡便法の最小すべり安全率が大きいことから，⑤－⑤'断面の評価に代表させる。	○
評価対象斜面に選定 ⑤－⑤'	C _H , C _M , C _L 級	82m	1 : 2.1 (一部，C _L 級で1 : 0.6の急勾配部あり)	あり : 3条	①, ③, ④	2.21	C _L 級岩盤が分布すること，一部1 : 0.6の急勾配部があること，シームが分布すること，及び簡便法の最小すべり安全率が小さいことから，評価対象斜面に選定する。	—
⑥－⑥'	C _H , C _M , C _L 級	32m	1 : 1.1, 1 : 1.5	あり : 4条	①, ③, ④	4.98	⑤－⑤'断面に比べ，斜面高さが高いこと，及び簡便法の最小すべり安全率が大きいことから，⑤－⑤'断面の評価に代表させる。	—
⑦－⑦'	C _H , C _M , C _L , D級	76m	1 : 2.9	なし	①	2.43	⑤－⑤'断面に比べ，D級岩盤が分布するが，斜面高さが高いこと，平均勾配が緩いこと，シームが分布しないこと，及び簡便法の最小すべり安全率が大きいことから，⑤－⑤'断面の評価に代表させる。	○

 : 番号を付与する影響要因
 : 影響要因の番号付与数が多い（簡便法のすべり安全率が小さい）
 : 選定した評価対象斜面

※「島根原子力発電所2号炉 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価について」

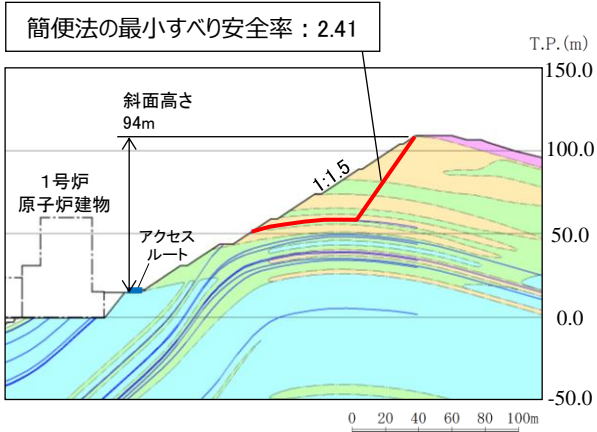
6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

6.3 グループA（岩盤斜面，法尻標高T.P.+15m以下）評価対象斜面の選定結果(2 / 3)

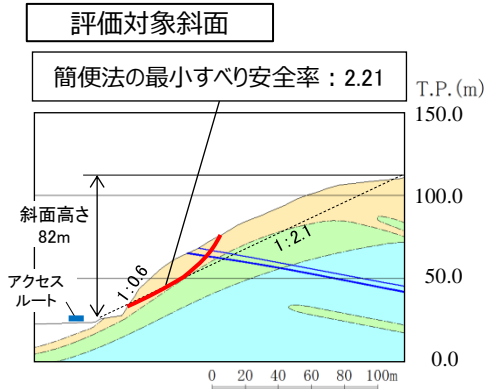


6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

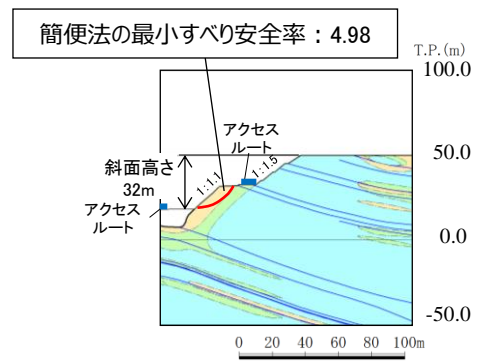
6.3 グループA（岩盤斜面，法尻標高T.P.+15m以下） 評価対象斜面の選定結果(3 / 3)



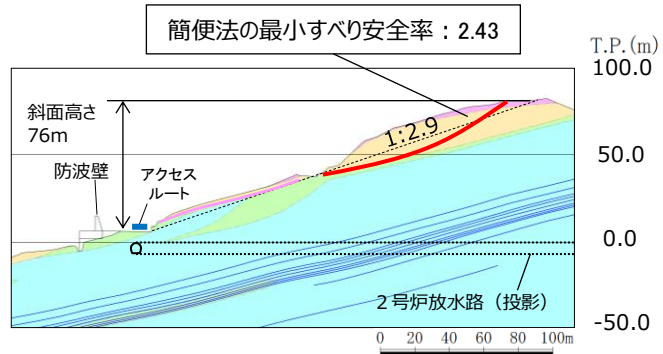
④-④' 断面



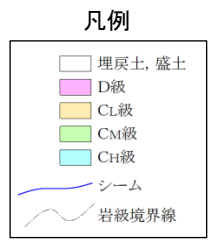
⑤-⑤' 断面



⑥-⑥' 断面



⑦-⑦' 断面

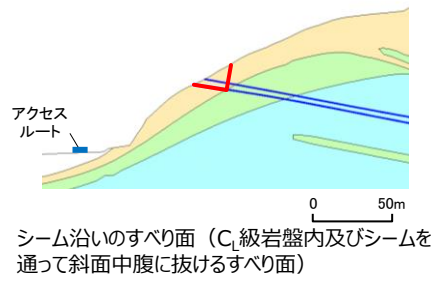
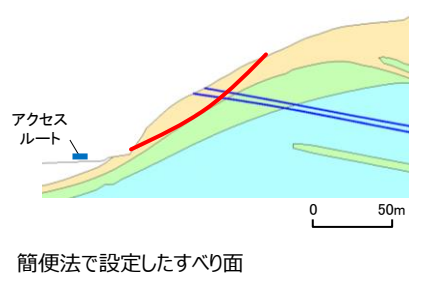


※「防波壁及び1号放水連絡通路防波扉の周辺斜面の安定性評価」(令和2年2月28日審査会合)で説明した礫質土・粘性土の切取を反映済

6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

6.3 グループA（岩盤斜面，法尻標高T.P.+15m以下）すべり安定性評価結果(⑤-⑤'断面)

・⑤-⑤'断面 平均強度でのすべり安全率

	すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率 ^{※2}
1	 <p>シーム沿いのすべり面 (C_L級岩盤内及びシームを 通って斜面中腹に抜けるすべり面)</p>	Ss-N1 (+,+)	3.37 〔7.46〕
2	 <p>簡便法で設定したすべり面</p>	Ss-D (+,+)	2.48 〔8.55〕

【凡例】

- : C_H級岩盤
- : C_M級岩盤
- : C_L級岩盤
- : 埋戻土, 盛土
- : シーム
- : すべり面
- : 最小すべり安全率

※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)¹は水平反転, (+,-)¹は鉛直反転, (-,-)¹は水平反転かつ鉛直反転を示す。

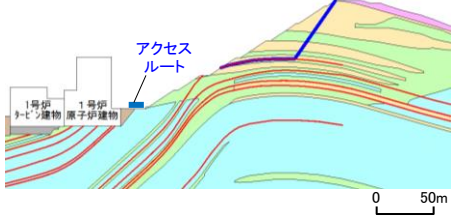
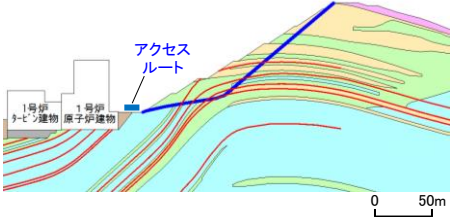
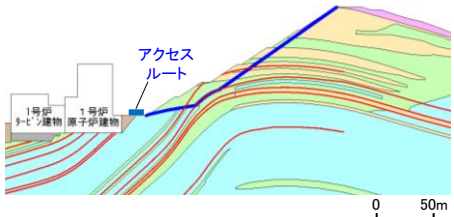
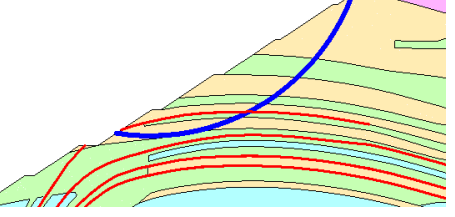
※2 []は, 発生時刻(秒)を示す。

・動的解析の結果, 平均強度を用いたすべり安全率は1.0を上回ることを確認した。

6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

6.3 グループA (岩盤斜面, 法尻標高T.P.+15m以下) すべり安定性評価結果(④-④'断面)

・④-④'断面 平均強度でのすべり安全率

	すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率 ^{※2}		すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率 ^{※2}
1	 <p>シーム沿いのすべり面 (法肩からシームを通して斜面中腹に抜けるすべり面)</p>	Ss-D (+,-)	1.62 〔14.63〕	3	 <p>シーム沿いのすべり面 (法肩からシームを通して, 法尻のC_M級とC₄級の岩級境界付近のC_M級岩盤内を通して法尻に抜けるすべり面)</p>	Ss-N1 (-,+)	1.56 〔7.45〕
2	 <p>シーム沿いのすべり面 (法肩からシームを通して, 法尻のC_M級とC₄級の岩級境界付近のC_M級岩盤内を通して法尻に抜けるすべり面)</p>	Ss-N1 (-,+)	1.66 〔7.45〕	4	 <p>簡便法により設定したすべり面</p>	Ss-D (-,+)	1.57 〔19.15〕

※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

【凡例】

- : C₄級 岩盤
- : C_M級 岩盤
- : C₁級 岩盤
- : D級 岩盤
- : 埋戻土, 盛土
- : シーム
- : すべり面
- : 最小すべり安全率

・動的解析の結果, 平均強度を用いたすべり安全率は1.0を上回ることを確認した。

6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

6.4 グループB（盛土斜面，法尻標高T.P.+15m以下）評価対象斜面の選定結果(1 / 2)

- グループB（盛土斜面，法尻標高T.P.+15m以下）の斜面について，下表の比較を行った結果，⑧－⑧'断面を2次元動的FEM解析の評価対象斜面に選定した。
- グループB（盛土斜面，法尻標高T.P.+15m以下）の斜面の断面位置及び地質断面図を次頁に示す。

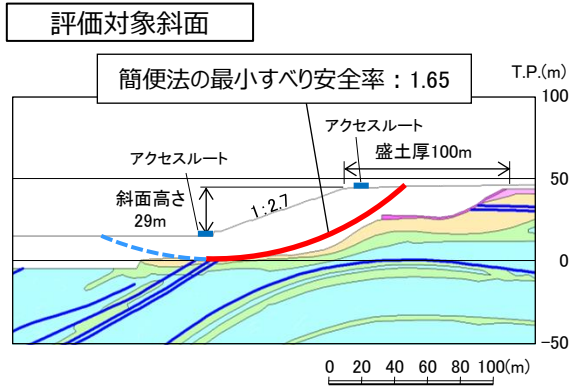
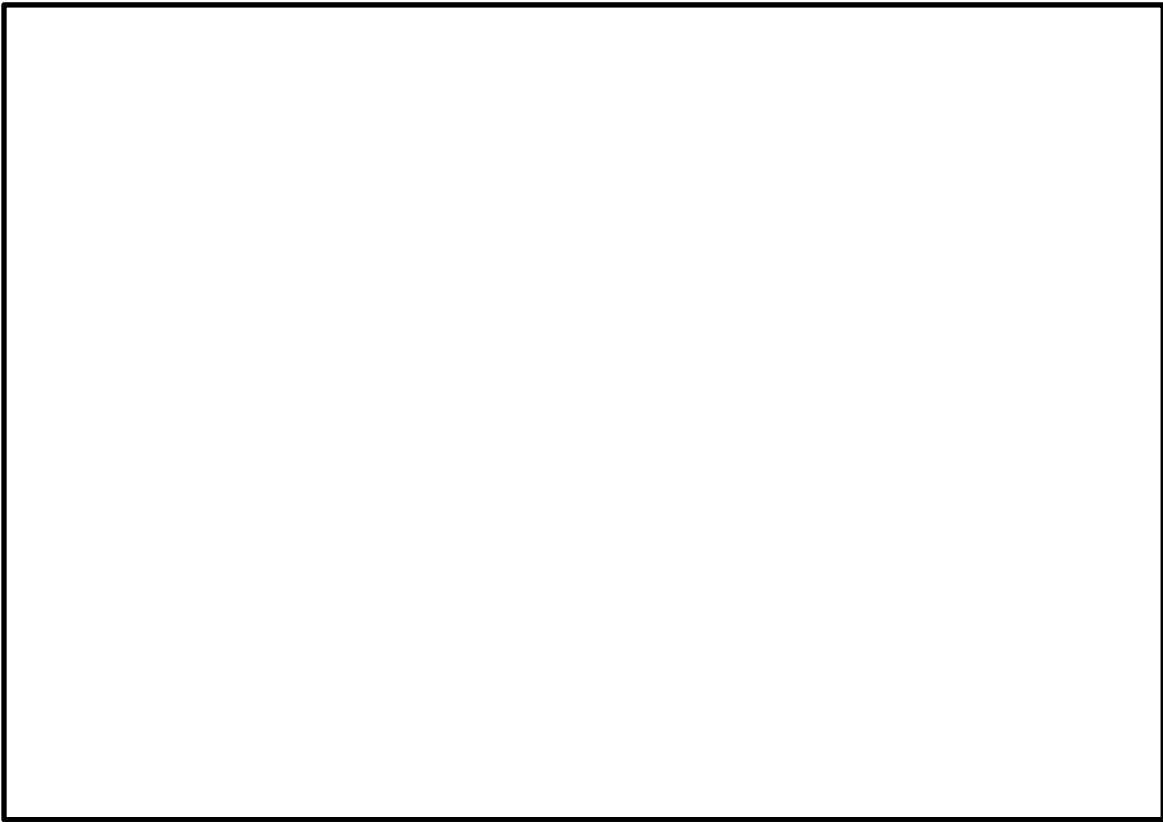
保管場所・アクセスルートに影響するおそれのある斜面	影響要因			該当する影響要因	簡便法の最小すべり安全率	選定理由	耐震重要施設等の周辺斜面における検討断面※
	【影響要因②】斜面高さ	【影響要因③】斜面の勾配	【影響要因⑤】盛土厚				
評価対象斜面に選定 ⑧－⑧'	29m	1 : 2.7	100m	②, ⑤	1.65	⑨－⑨'断面に比べ，盛土厚が厚いこと，斜面高さが高いこと，及び簡便法の最小すべり安全率が小さいことから，評価対象斜面に選定する。	○
⑨－⑨'	25m	1 : 1.7	40m	③	2.28	⑧－⑧'断面に比べ，勾配が急であるが，盛土厚が薄いこと，斜面高さが低いこと，及び簡便法の最小すべり安全率が大きいことから，⑧－⑧'断面の評価に代表させる。	－

 : 番号を付与する影響要因
 : 影響要因の番号付与数が多い（簡便法のすべり安全率が小さい）
 : 選定した評価対象斜面

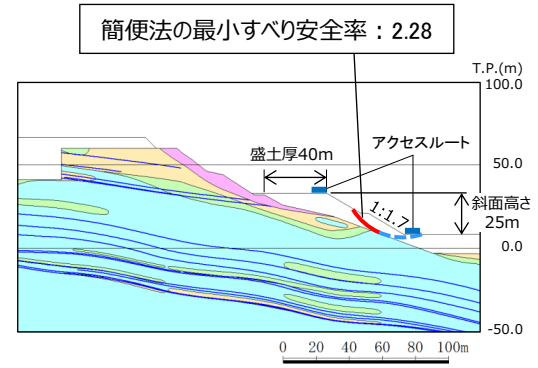
※「島根原子力発電所2号炉 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価について」

6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

6.4 グループB（盛土斜面，法尻標高T.P.+15m以下）評価対象斜面の選定結果(2 / 2)



⑧-⑧' 断面



⑨-⑨' 断面

- 【凡例】
- : C_H級岩盤
 - : C_M級岩盤
 - : C_L級岩盤
 - : D級岩盤
 - : 埋戻土, 盛土
 - : 旧表土
 - : シーム
 - : すべり面(液状化を考慮する範囲)
 - : 最小すべり安全率のすべり面

6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

6.4 グループB（盛土斜面，法尻標高T.P.+15m以下）すべり安定性評価結果（⑧-⑧'断面）

・⑧-⑧'断面 平均強度でのすべり安全率

	すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	すべり安全率【平均強度】 ^{※2}
1	<p>簡便法により設定したすべり面</p>	Ss-D (-,+)	1.61 〔13.15〕
2	<p>弱層（旧表土）を通るすべり面</p>	Ss-N2 (NS) (+,+)	1.94 〔24.43〕

※1 基準地震動(-,+)は水平反転を示す。

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

※3 破線は液状化影響を考慮する範囲(「4. 液状化範囲の検討」を参照)

【凡例】

: C _H 級岩盤	: C _M 級岩盤	: C _L 級岩盤	: D級岩盤
: 埋戻土、盛土	: 旧表土	: シーム	: すべり面 ^{※3}

・動的解析の結果、平均強度を用いたすべり安全率は1.0を上回ることを確認した。

6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

6.5 グループC（岩盤斜面，法尻標高T.P.+33～50m）評価対象斜面の選定結果（1／3）

- グループC（岩盤斜面，法尻標高T.P.+33～50m）の斜面について，下表の比較を行った結果，⑫－⑫'断面～⑭－⑭'断面を2次元動的FEM解析の評価対象斜面に選定した。
- 対策工を実施した⑩－⑩'断面は，評価フローに基づき，安定解析により対策後のすべり安定性を確認する。（6.7章参照）
- グループC（岩盤斜面，法尻標高T.P.+33～50m）の斜面の断面位置及び地質断面図を次頁以降に示す。

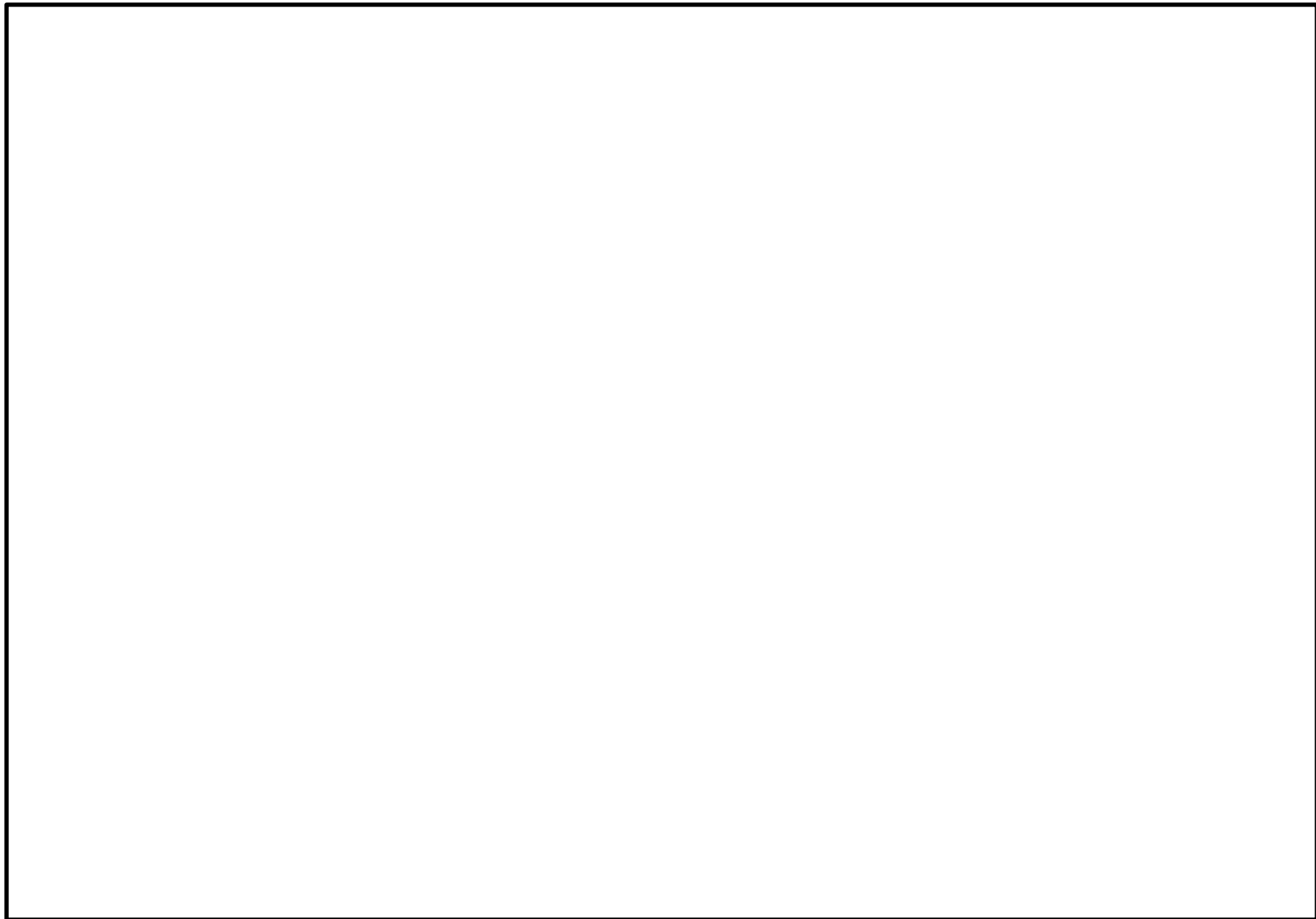
保管場所・アクセスルートに影響するおそれのある斜面	影響要因				該当する影響要因	簡便法の最小すべり安全率	選定理由	耐震重要施設等の周辺斜面における検討断面※
	【影響要因①】構成する岩級	【影響要因②】斜面高さ	【影響要因③】斜面の勾配	【影響要因④】シームの分布の有無				
⑨－⑨'	C _H , C _M , C _L , D級	27m	1 : 1.3, 1 : 1.5	あり：4条	①, ④	1.70	⑫－⑫'断面に比べ，斜面高さが低いこと，斜面の勾配が緩いこと，及び簡便法の最小すべり安全率が大きいことから，⑫－⑫'断面の評価に代表させる。	－
⑪－⑪'	C _M , C _L 級	54m	1 : 1.5 (一部，C _L 級で1 : 0.4及び1 : 0.7の急勾配部あり)	あり：2条	①, ③, ④	3.01	⑫－⑫'断面に比べ，斜面高さが低いこと，及び簡便法の最小すべり安全率が大きいことから，⑫－⑫'断面の評価に代表させる。	－
評価対象斜面に選定 ⑫－⑫'	C _H , C _M , C _L , D級	94m	1 : 1.2, 1 : 1.5	あり：3条	①, ②, ③, ④	1.51	D級岩盤及びC _L 級岩盤が分布すること，斜面高さが最も高いこと，1 : 1.2の急勾配部があること，シームが分布すること，及び簡便法の最小すべり安全率が小さいことから，評価対象斜面に選定する。	○
⑬－⑬'	C _H , C _M , C _L , D級	78m	1 : 2.0 (一部，C _L 級で1 : 0.7の急勾配部あり)	あり：4条	①, ③, ④	1.45	D級岩盤及びC _L 級岩盤が分布すること，一部1 : 0.7の急勾配部があること，シームが分布すること，及び⑫－⑫'断面に比べ簡便法の最小すべり安全率が小さいことから，評価対象斜面に選定する。	－
⑭－⑭'	C _M , C _L , D級	66m	1 : 1.3	あり：4条	①, ④	1.32	D級岩盤及びC _L 級岩盤が分布すること，シームが分布すること，及び⑫－⑫'断面に比べ簡便法の最小すべり安全率が小さいことから，評価対象斜面に選定する。	－
⑮－⑮'	C _M , C _L , D級	48m	1 : 1.5	あり：2条	①, ④	2.40	⑫－⑫'断面に比べ，斜面高さが低いこと，平均勾配が緩いこと，及び簡便法の最小すべり安全率が大きいことから，⑫－⑫'断面の評価に代表させる。	－
⑯－⑯'	C _M , C _L 級	25m	1 : 1.5	なし	①	2.90	⑫－⑫'断面に比べ，斜面高さが低いこと，平均勾配が緩いこと，シームが分布しないこと，及び簡便法の最小すべり安全率が大きいことから，⑫－⑫'断面の評価に代表させる。	○

□ : 番号を付与する影響要因 □ : 影響要因の番号付与数が多い（簡便法のすべり安全率が小さい） □ : 選定した評価対象斜面

※「島根原子力発電所2号炉 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価について」

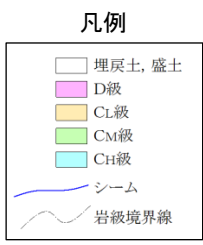
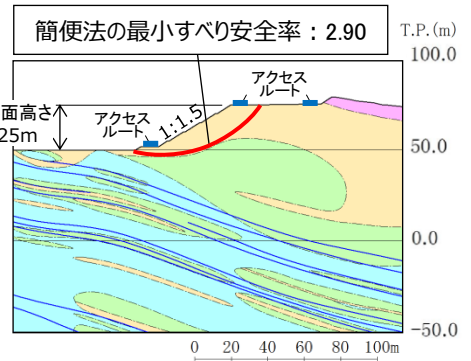
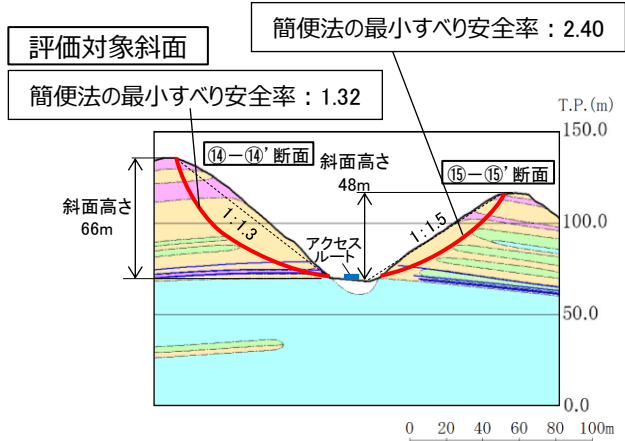
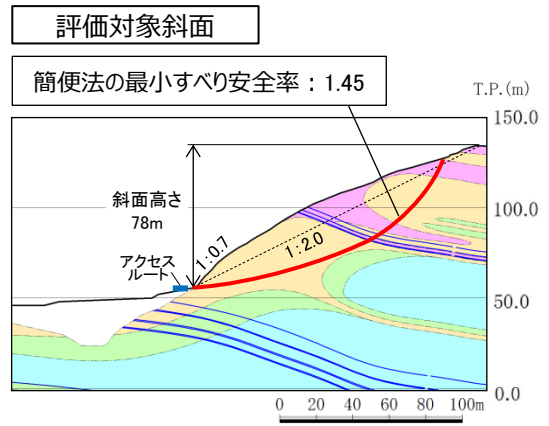
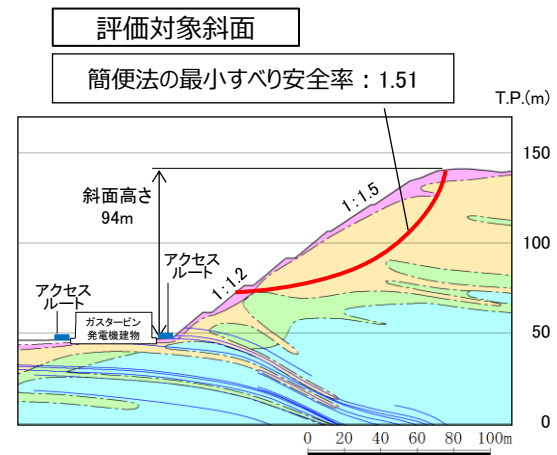
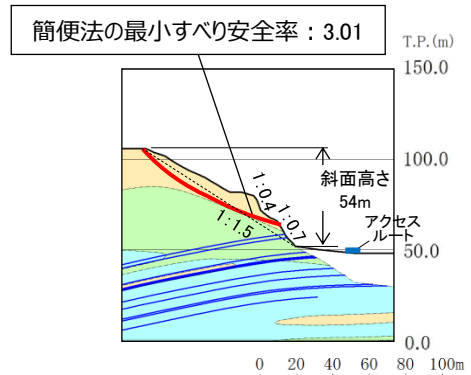
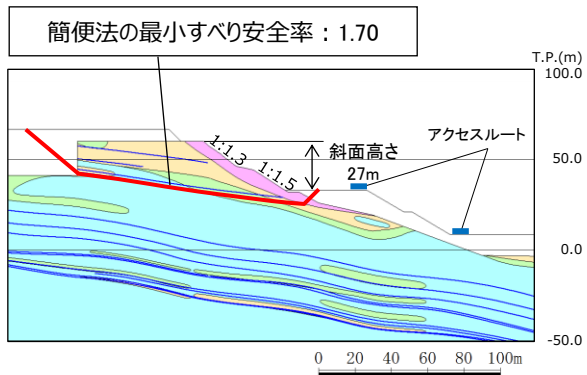
6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

6.5 グループC（岩盤斜面，法尻標高T.P.+33～50m）評価対象斜面の選定結果(2/3)



6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

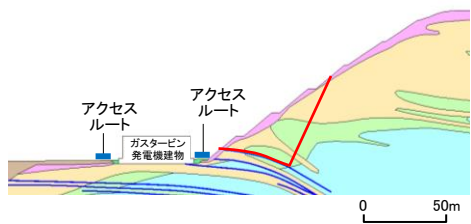
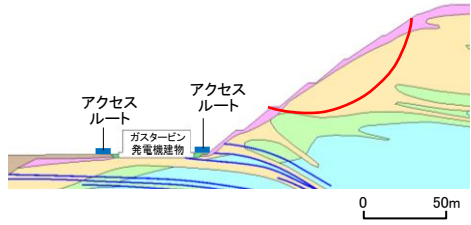
6.5 グループC（岩盤斜面，法尻標高T.P.+33～50m） 評価対象斜面の選定結果(3/3)



6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

6.5 グループC (岩盤斜面, 法尻標高T.P.+33~50m) すべり安定性評価結果 (⑫-⑫'断面)

・⑫-⑫'断面 平均強度でのすべり安全率

	すべり面形状	基準 ^{※1} 地震動	最小すべり安全率 ^{※2}
1	 <p>シーム沿いのすべり面 (斜面中腹あるいは斜面上方からシームを通り斜面法尻付近へ抜けるすべり面)</p>	Ss-N1 (+,+)	2.07 [7.59]
2	 <p>簡便法で設定したすべり面</p>	Ss-N1 (-,+)	2.25 [7.58]

【凡例】

- : C_H級 岩盤
- : C_M級 岩盤
- : C_L級 岩盤
- : D級 岩盤
- : 埋戻土、盛土
- : シーム
- : すべり面
- : 最小すべり安全率

※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)¹は水平反転, (+,-)¹は鉛直反転, (-,-)¹は水平反転かつ鉛直反転を示す。

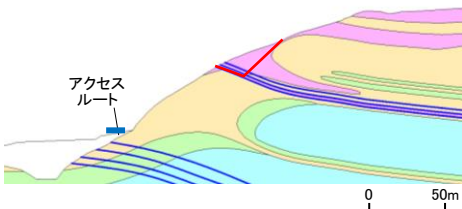
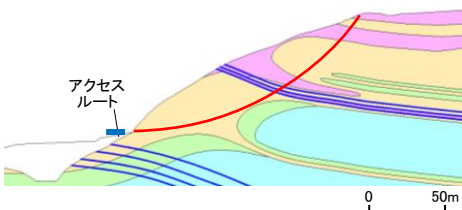
※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

・動的解析の結果、平均強度を用いたすべり安全率は1.0を上回ることを確認した。

6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

6.5 グループC (岩盤斜面, 法尻標高T.P.+33~50m) すべり安定性評価結果 (⑬-⑬'断面)

・⑬-⑬'断面 平均強度でのすべり安全率

	すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率 ^{※2}
1	 <p>シーム沿いのすべり面 (D級岩盤及びシームを通して斜面中腹に抜けるすべり面)</p>	Ss-N1 (-,+)	3.64 〔7.80〕
2	 <p>簡便法で設定したすべり面</p>	Ss-N1 (-,+)	1.47 〔7.56〕

【凡例】

- : C_H級 岩盤
- : C_M級 岩盤
- : C_L級 岩盤
- : D級 岩盤
- : 埋戻土、盛土
- : シーム
- : すべり面
- : 最小すべり安全率

※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

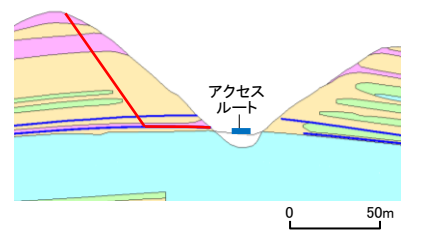
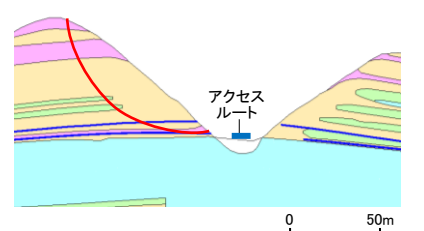
※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

・動的解析の結果、平均強度を用いたすべり安全率は1.0を上回ることを確認した。

6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

6.5 グループC (岩盤斜面, 法尻標高T.P.+33~50m) すべり安定性評価結果 (⑭-⑭'断面)

・⑭-⑭'断面 平均強度でのすべり安全率

	すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率 ^{※2}
1	 <p>シーム沿いのすべり面 (斜面頂部からシーム及びD級岩盤内を通過して法尻付近に抜けるすべり面)</p>	Ss-D (-,-)	2.18 [9.20]
2	 <p>簡便法で設定したすべり面</p>	Ss-D (-,-)	1.53 [9.20]

【凡例】

- : C_H級 岩盤
- : C_M級 岩盤
- : C_L級 岩盤
- : D級 岩盤
- : 埋戻土、盛土
- : シーム
- : すべり面
- : 最小すべり安全率

※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)¹は水平反転, (+,-)¹は鉛直反転, (-,-)¹は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

・動的解析の結果、平均強度を用いたすべり安全率は1.0を上回ることを確認した。

6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

6.6 グループD（盛土斜面，法尻標高T.P.+88m） 評価対象斜面の選定結果(1/2)

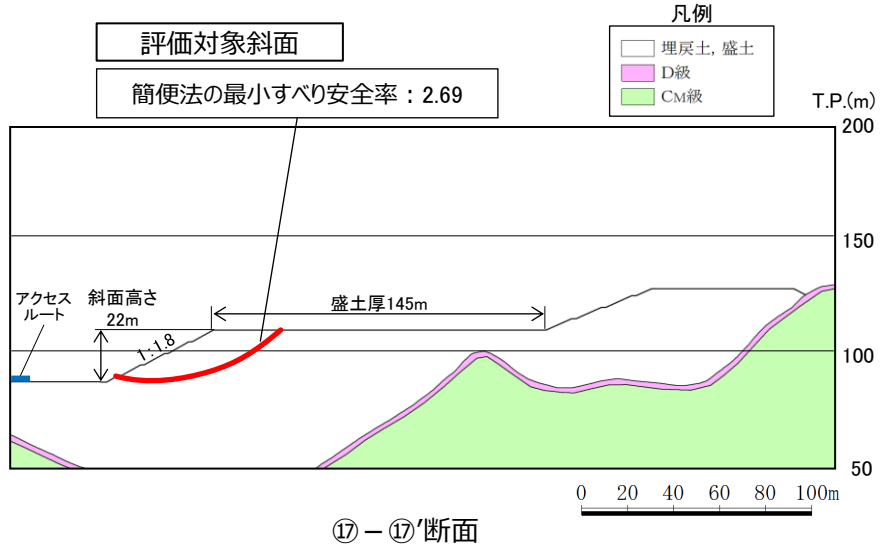
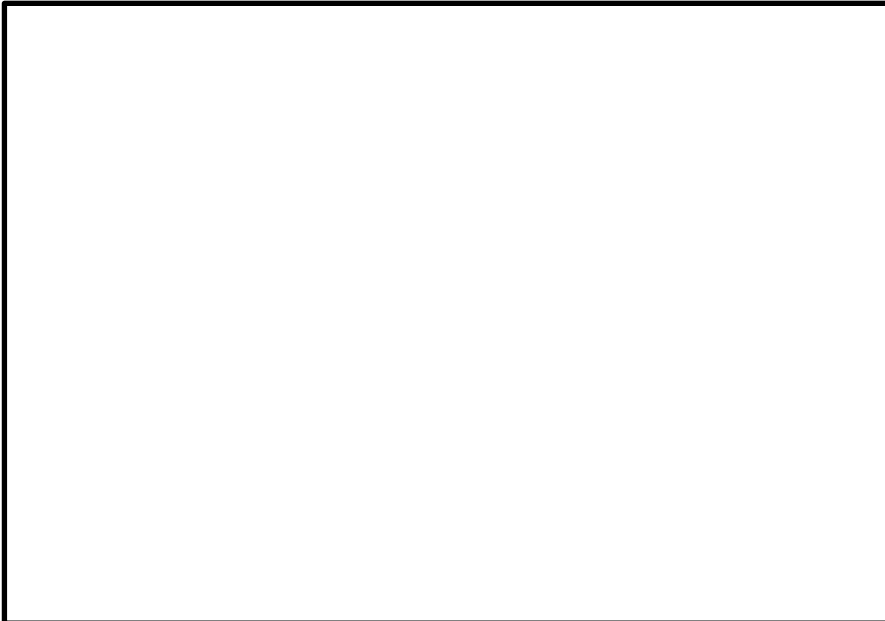
- ・ グループD（盛土斜面，法尻標高T.P.+88m）の斜面は，法尻標高T.P.+88m付近の盛土斜面が1箇所のみであることから，⑰－⑰'断面を2次元動的FEM解析の評価対象斜面に選定した。
- ・ グループD（盛土斜面，法尻標高T.P.+88m）の斜面の断面位置及び地質断面図を次頁に示す。

保管場所・アクセスルートに影響するおそれのある斜面	影響要因			該当する影響要因	簡便法の最小すべり安全率	選定理由	耐震重要施設等の周辺斜面※における検討断面
	【影響要因②】斜面高さ	【影響要因③】斜面の勾配	【影響要因⑤】盛土厚				
⑰－⑰'	22m	1 : 1.8	145m	－	2.69	グループDの斜面については，斜面が⑰－⑰'断面のみのため，当該斜面を評価対象斜面に選定する。	－

※「島根原子力発電所2号炉 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価について」

6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

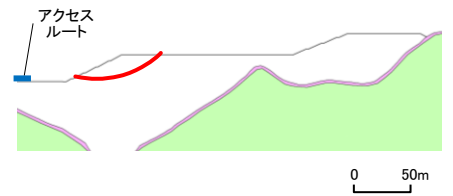
6.6 グループD（盛土斜面，法尻標高T.P.+88m）評価対象斜面の選定結果(2/2)



6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

6.6 グループD (盛土斜面, 法尻標高T.P.+88m) すべり安定性評価結果 (⑰ - ⑰'断面)

・⑰-⑰'断面 平均強度でのすべり安全率

	すべり面形状	基準 ^{※1} 地震動	最小すべり 安全率 ^{※2}
1	 <p>簡便法により設定したすべり面</p>	Ss-N2 (EW) (+,+)	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;"> 2.17 [26.87] </div>

【凡例】

- : Cm級岩盤
- : D級岩盤
- : すべり面
- : 埋戻土, 盛土
- : 最小すべり安全率

※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

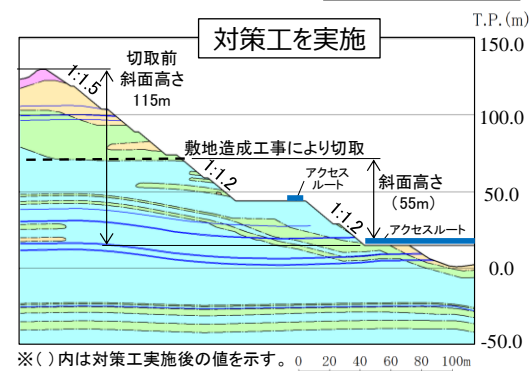
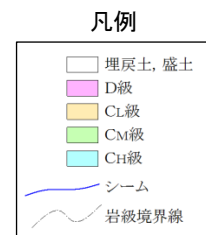
※2 []は, 発生時刻(秒)を示す。

・動的解析の結果, 平均強度を用いたすべり安全率は1.0を上回ることを確認した。

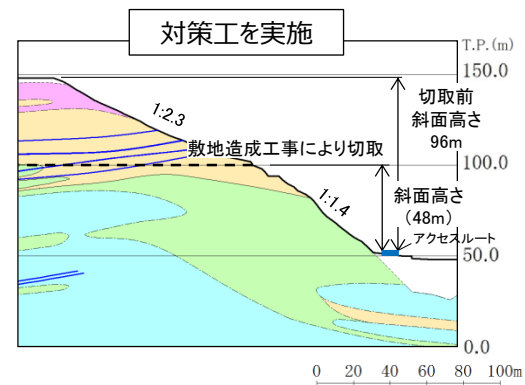
6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

6.7 対策工（切取）を実施した斜面 評価対象斜面の選定結果

- 敷地造成工事に伴って頂部の切取を行った斜面について、切取後の斜面で安定性評価を実施した。
- 対策工（切取）を実施した斜面の断面位置及び地質断面図を以下に示す。



③ - ③'断面



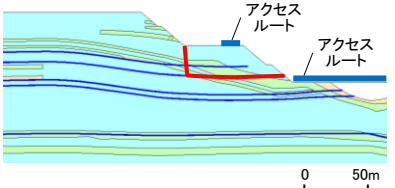
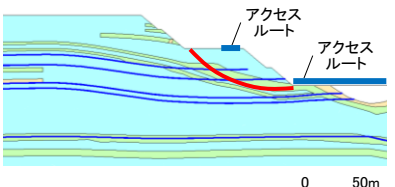
⑩ - ⑩'断面

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。

6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

6.7 対策工（切取）を実施した斜面 すべり安定性評価結果(③-③'断面)

・③-③'断面 平均強度でのすべり安全率

	すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率 ^{※2}
1	 <p>シーム沿いのすべり面（44m盤背後の斜面法尻からシームを通り斜面へ抜けるすべり面）</p>	Ss-N1 (-,+)	2.53 [7.41]
2	 <p>簡便法で設定したすべり面</p>	Ss-D (-,+)	5.89 [8.55]

【凡例】

- : C_H級岩盤
- : C_M級岩盤
- : C_L級岩盤
- : 埋戻土、盛土
- : シーム
- : すべり面
- : 最小すべり安全率

※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

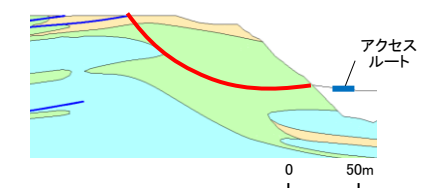
※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

・動的解析の結果、平均強度を用いたすべり安全率は1.0を上回ることを確認した。

6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

6.7 対策工（切取）を実施した斜面 すべり安定性評価結果(⑩－⑩'断面)

・⑩－⑩'断面 平均強度でのすべり安全率

	すべり面形状	基準 ^{※1} 地震動	最小すべり 安全率 ^{※2}
1		Ss-D (-,+)	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;"> 3.83 [8.94] </div>

【凡例】

- : C_{II}級岩盤
- : C_M級岩盤
- : C_I級岩盤
- : 埋戻土、盛土
- : シーム
- : すべり面
- : 最小すべり安全率

※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

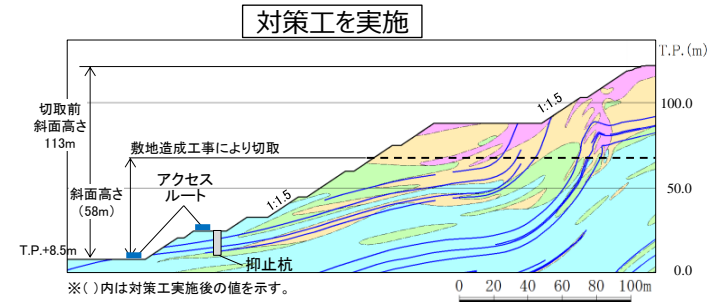
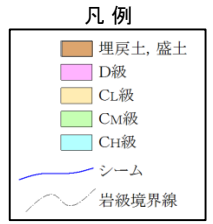
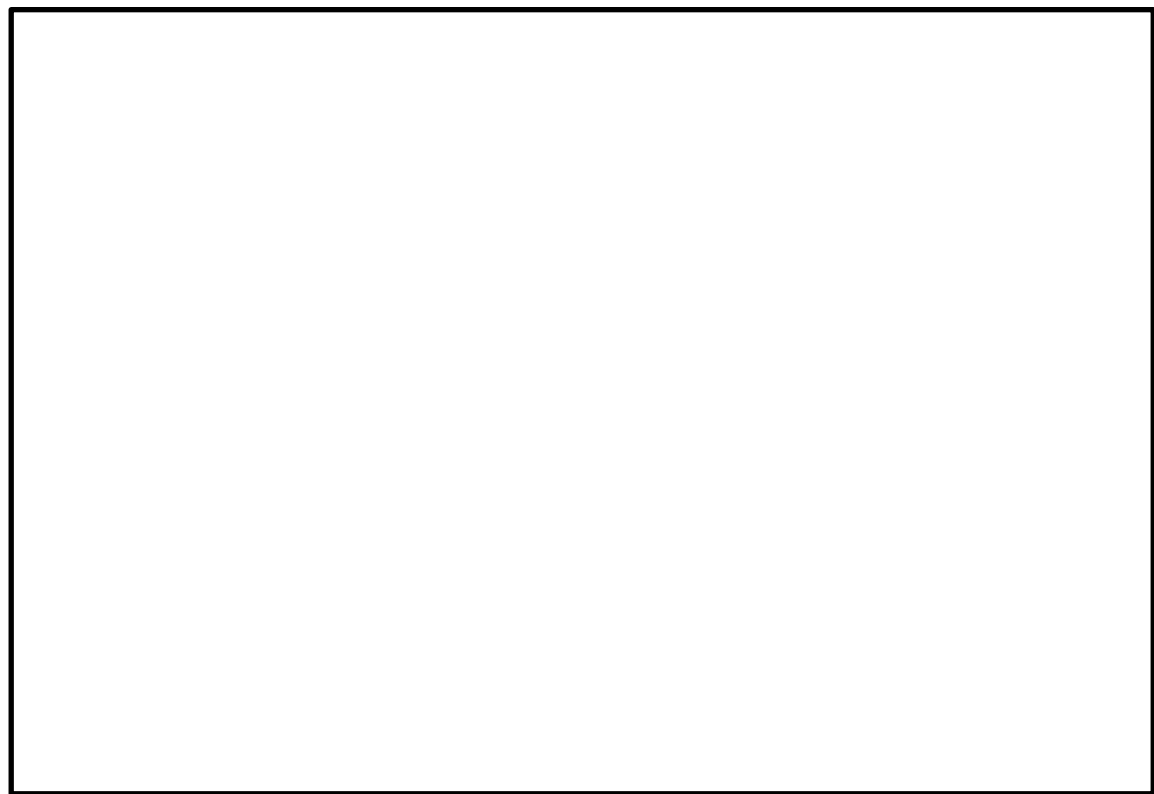
※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

・動的解析の結果、平均強度を用いたすべり安全率は1.0を上回ることを確認した。

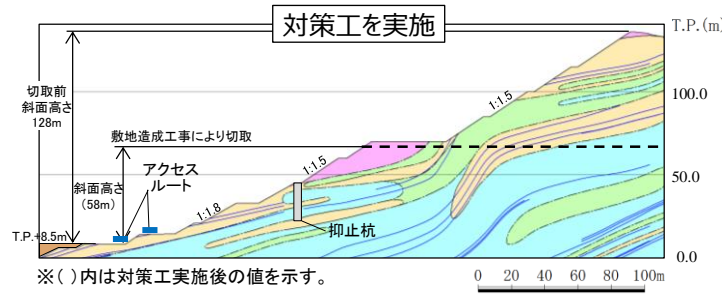
6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

6.8 対策工（抑止杭）を実施した斜面 評価対象斜面の選定結果

- 対策工（抑止杭）を実施した斜面の断面位置及び地質断面図を以下に示す。
- 敷地造成工事に伴って頂部の切取を行ったこと及び抑止杭設置を行ったことから、対策工後の斜面で安定性評価を実施した。



①-①'断面



②-②'断面

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。

6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

6.8 対策工（抑止杭）を実施した斜面 すべり安定性評価結果(① - ①'断面)

・①-①'断面 平均強度でのすべり安全率

	すべり面形状	基準地震動※1	最小すべり安全率※2
1	<p>B23・24シームを通るすべり面</p>	Ss-D (+,-)	1.37 [8.96]
2	<p>B26シームを通るすべり面</p>	Ss-D (+,-)	1.71 [8.59]

【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
- : シーム
- : 最小すべり安全率のすべり面

※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

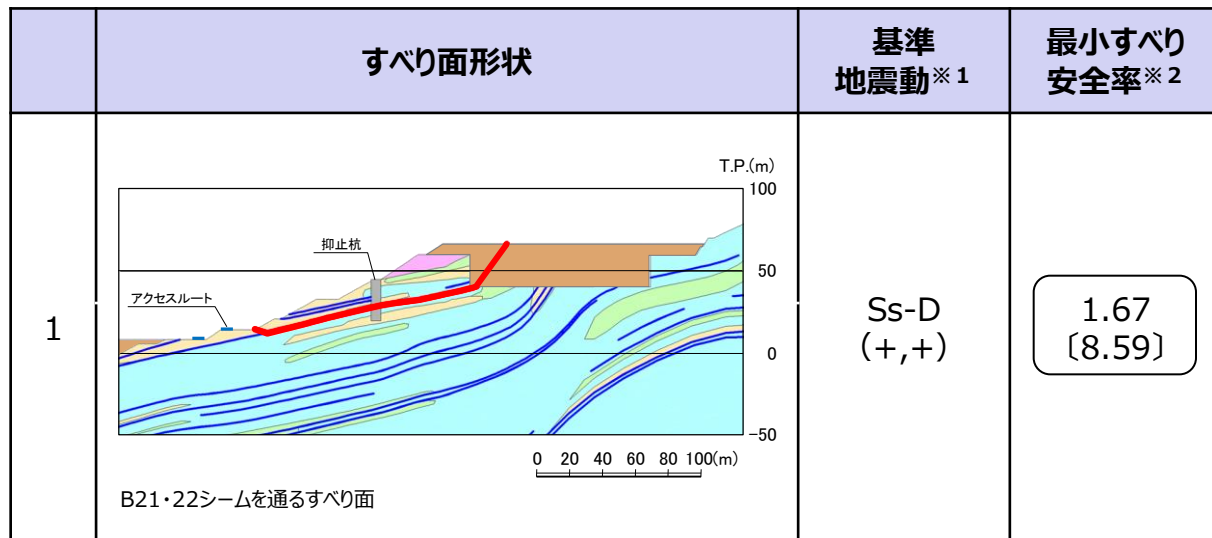
※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

・動的解析の結果、平均強度を用いたすべり安全率は1.0を上回ることを確認した。

6. 評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価

6.8 対策工（抑止杭）を実施した斜面 すべり安定性評価結果(②-②'断面)

・②-②'断面 平均強度でのすべり安全率



【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	

※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※2 []は, 発生時刻(秒)を示す。

・動的解析の結果, 平均強度を用いたすべり安全率は1.0を上回ることを確認した。

7. その他の検討

7.1 鉄塔が設置されている斜面の安定性評価

7.2 岩盤斜面と盛土斜面の同時崩壊検討

7.3 応力状態を考慮した検討

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

①基本方針

②抑止杭の設計

③敷地内土木構造物(抑止杭)の耐震評価

④抑止杭を設置した斜面の安定性評価

⑤先行炉との比較検討等

7.1 鉄塔が設置されている斜面の安定性評価

(1) 鉄塔の設置位置及び検討断面の選定

■ 概要

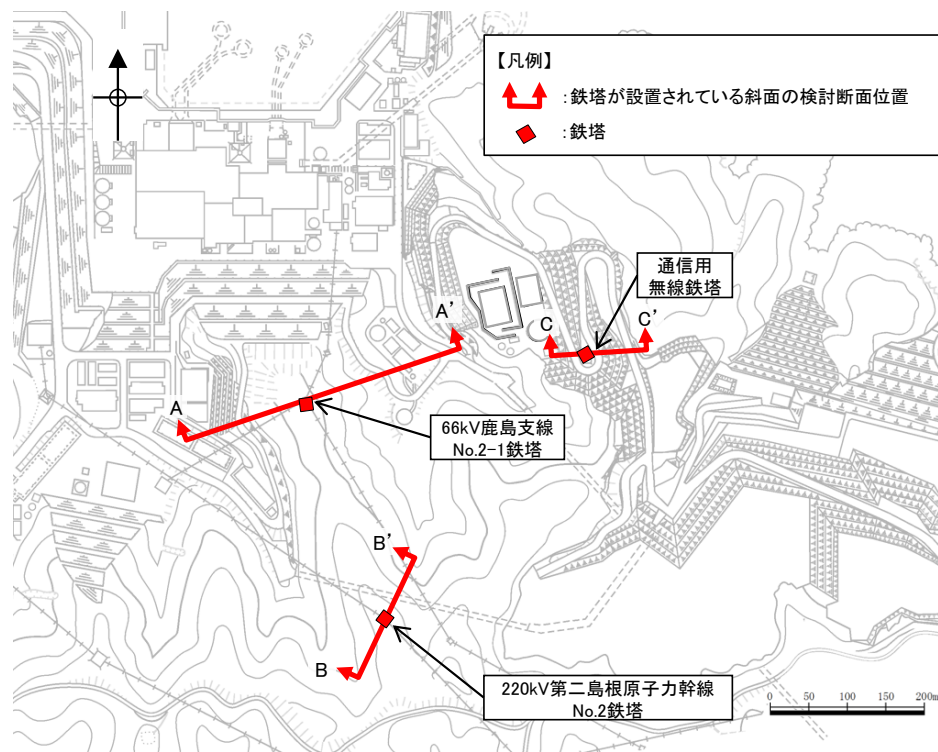
- 「島根原子力発電所2号炉 可搬型重大事故等対処設備保管場所及びアクセスルートについて 別紙(40) 鉄塔の影響評価方針について (以下「別紙(40) 鉄塔の影響評価方針について」という。)」で選定した、島根原子力発電所構内の送電鉄塔、開閉所屋外鉄構及び通信用無線鉄塔 (以下「鉄塔」という。) が設置されている斜面について、基準地震動 S_s による安定性評価を実施する。

■ 影響評価鉄塔

- 「別紙(40) 鉄塔の影響評価方針について」で選定した、斜面の安定性評価を行う鉄塔は以下のとおり。設置位置を各鉄塔の検討断面位置図に示す。
 - ・66kV鹿島支線No.2-1鉄塔
 - ・220kV第二島根原子力幹線No.2鉄塔
 - ・通信用無線鉄塔

■ 検討断面の選定

- 鉄塔が設置されている斜面の検討断面として、以下のとおり3断面を設定した。
 - 【A-A'断面】自然斜面であり、鉄塔付近を通る断面のうち、斜面高さが高くなり、風化帯が最も厚くなる尾根部を通るすべり方向に断面を設定した。
 - 【B-B'断面】自然斜面であるが、風化帯の厚い尾根部は概ね同等の標高で傾斜が緩いため、鉄塔付近を通る断面のうち、斜面高さが高くなり、最急勾配となるすべり方向に断面を設定した。
 - 【C-C'断面】切取斜面であり、鉄塔付近を通る断面のうち、斜面高さが高くなり、勾配が急となるすべり方向に断面を設定した。

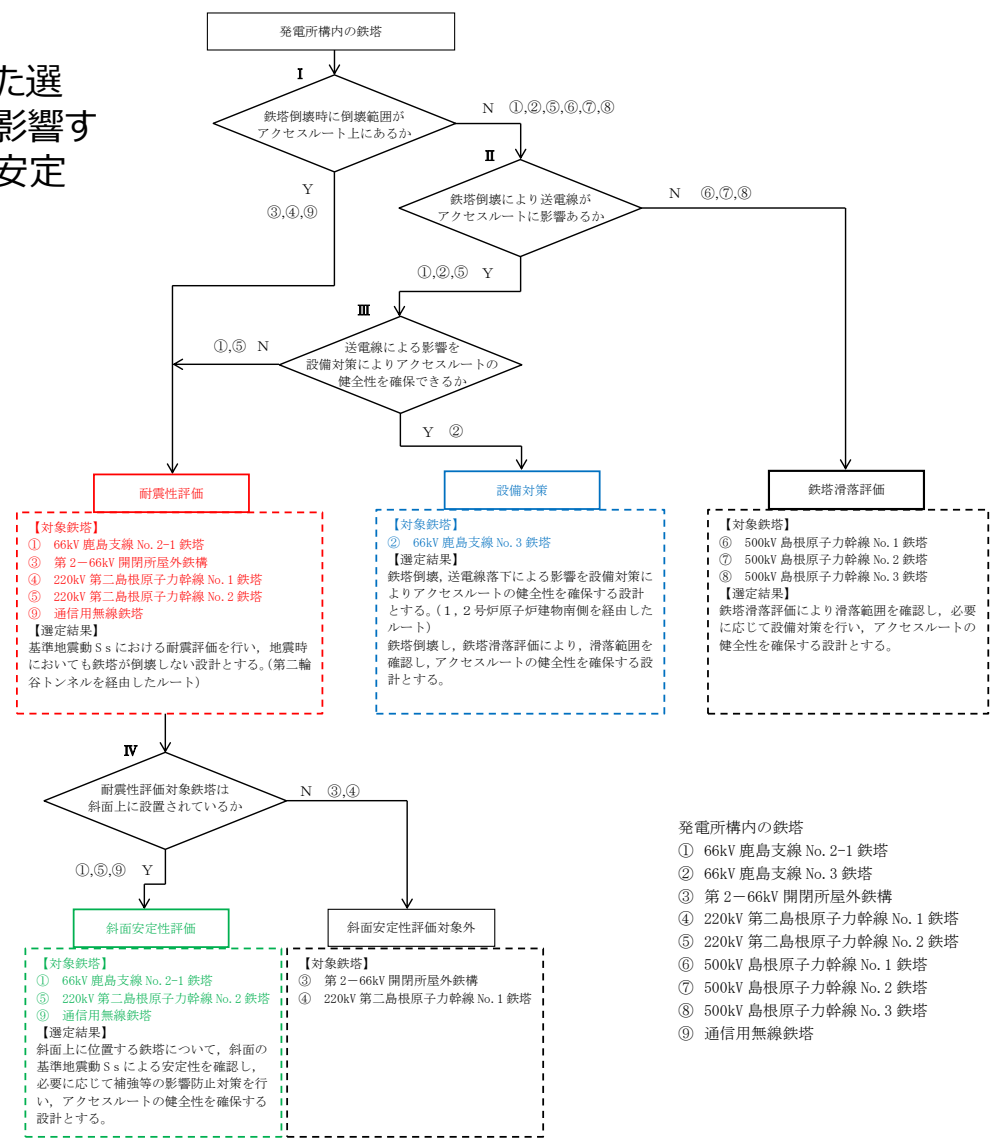


各鉄塔の検討断面位置図

7.1 鉄塔が設置されている斜面の安定性評価 【参考】影響評価方法選定フロー

■ 影響評価方法選定フロー

- 「別紙(40) 鉄塔の影響評価方針について」で実施した選定フローを示す。なお、保管場所及びアクセスルートに影響するおそれのある斜面に関しては網羅的な抽出を行い、安定性評価を実施している。(P8参照)



- 発電所構内の鉄塔
- ① 66kV 鹿島支線 No. 2-1 鉄塔
 - ② 66kV 鹿島支線 No. 3 鉄塔
 - ③ 第2-66kV 開閉所屋外鉄構
 - ④ 220kV 第二島根原子力幹線 No. 1 鉄塔
 - ⑤ 220kV 第二島根原子力幹線 No. 2 鉄塔
 - ⑥ 500kV 島根原子力幹線 No. 1 鉄塔
 - ⑦ 500kV 島根原子力幹線 No. 2 鉄塔
 - ⑧ 500kV 島根原子力幹線 No. 3 鉄塔
 - ⑨ 通信用無線鉄塔

図 鉄塔配置図

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。

耐震性や斜面の安定性評価の結果、強度不足等により、評価が満足しない結果となった場合は、補強等の影響防止対策を実施し、アクセスルートの健全性を確保する設計とする。

図 影響評価方法選定フロー

7.1 鉄塔が設置されている斜面の安定性評価 (2) 評価対象斜面の選定結果 (1 / 2)

■ 影響要因を踏まえた断面比較

- 鉄塔が設置されている斜面であるA-A'断面～C-C'断面について、影響要因の番号付与数及び簡便法の安全率により、下表のとおり比較を行った。
- 比較検討の結果、A-A'断面及びB-B'断面を2次元動的FEM解析の評価対象斜面に選定した。

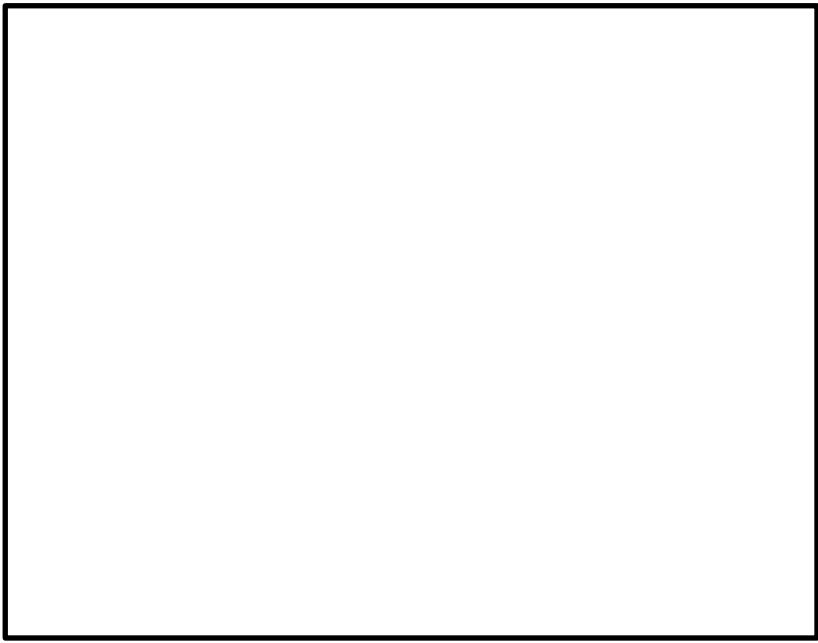
斜面	影響要因				該当する 影響要因	簡便法の 最小すべり 安全率	選定理由
	【影響要因①】 構成する岩級	【影響要因②】 斜面高さ	【影響要因③】 斜面の勾配	【影響要因④】 シームの分布 の有無			
評価対象斜面に選定 66kV 鹿島支線 No.2-1 鉄塔斜面 (A-A'断面)	C _M , C _L , D級	86m	1:1.6 (一部、C _L 級で 1:0.7の急勾配部 あり)	あり:3条	①, ②, ③, ④	1.82	D級岩盤及びC _L 級岩盤が存在すること、斜面高さが最も高いこと、一部1:0.7の急勾配部があること、シームが分布すること、及び簡便法の最小すべり安全率が小さいことから、評価対象斜面に選定する。
220kV 第二島根原子 力幹線 No.2鉄塔斜面 (B-B'断面)	C _H , C _M , C _L , D 級	76m	1:1.2	なし	①, ③	1.72	D級岩盤及びC _L 級岩盤が存在すること、1:1.2の急勾配であること、及びA-A'断面に比べ簡便法の最小すべり安全率が小さいことから、評価対象斜面に選定する。
通信用無線鉄塔斜面 (C-C'断面)	C _M , C _L , D級	32m	1:1.5	なし	①	10.04	A-A'断面に比べ、斜面高さが低いこと、平均勾配が緩いこと、シームが分布しないこと、及び簡便法の最小すべり安全率が大きいことから、A-A'断面の評価に代表させる。

□ : 番号を付与する影響要因

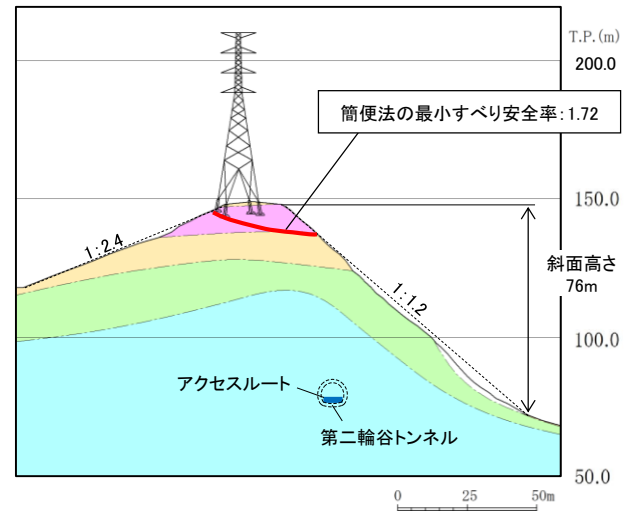
□ : 影響要因の番号付与数が多い(簡便法のすべり安全率が小さい)

□ : 選定した評価対象斜面

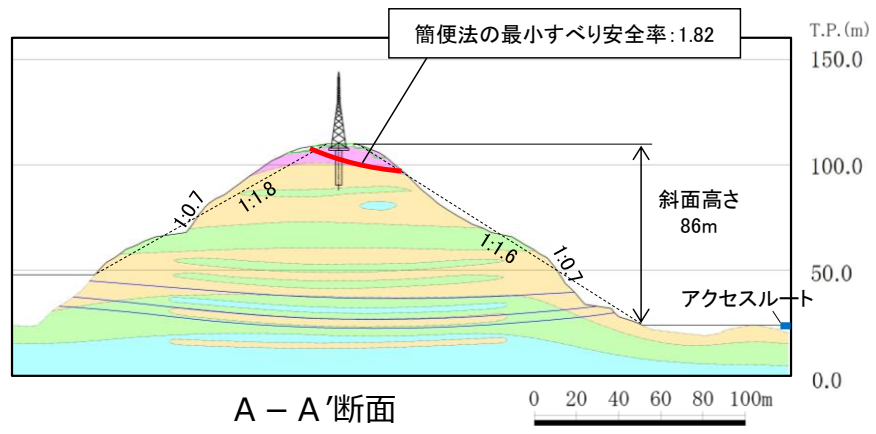
7.1 鉄塔が設置されている斜面の安定性評価 (2) 評価対象斜面の選定結果 (2/2)



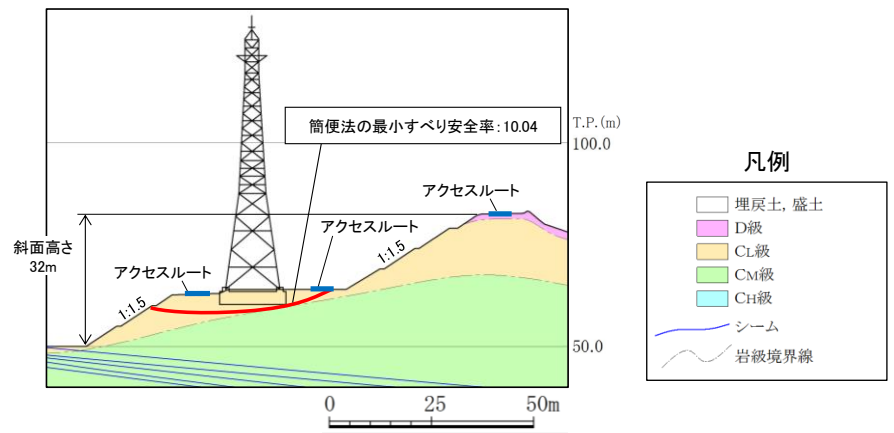
検討断面位置図



B - B'断面



A - A'断面

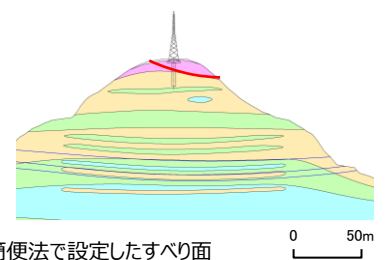


C - C'断面

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。

7.1 鉄塔が設置されている斜面の安定性評価 (3) 評価結果 鉄塔斜面 (A-A'断面)

・A-A'断面 平均強度でのすべり安全率

	すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率 ^{※2}
1		Ss-D (+,+)	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;"> 1.51 [13.31] </div>

【凡例】

- : C_{II}級 岩盤
- : C_M級 岩盤
- : C_L級 岩盤
- : D級 岩盤
- : 埋戻土, 盛土
- : シーム
- : すべり面
- : 最小すべり安全率

※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。
 ※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

・動的解析の結果、平均強度を用いたすべり安全率は1.0を上回ることを確認した。

7.1 鉄塔が設置されている斜面の安定性評価 (3) 評価結果 鉄塔斜面 (B-B'断面)

・B-B'断面 平均強度でのすべり安全率

	すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率 ^{※2}
1		Ss-D (+,-)	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;"> 1.64 [15.18] </div>

【凡例】

- : C_H級岩盤
- : C_M級岩盤
- : C_L級岩盤
- : D級岩盤
- : 埋戻土、盛土
- : シーム
- : すべり面
- : 最小すべり安全率

※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)¹は水平反転, (+,-)¹は鉛直反転, (-,-)¹は水平反転かつ鉛直反転を示す。
 ※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

・動的解析の結果、平均強度を用いたすべり安全率は1.0を上回ることを確認した。

7. その他の検討

7.1 鉄塔が設置されている斜面の安定性評価

7.2 岩盤斜面と盛土斜面の同時崩壊検討

7.3 応力状態を考慮した検討

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

①基本方針

②抑止杭の設計

③敷地内土木構造物(抑止杭)の耐震評価

④抑止杭を設置した斜面の安定性評価

⑤先行炉との比較検討等

7.2 岩盤斜面と盛土斜面の同時崩壊検討

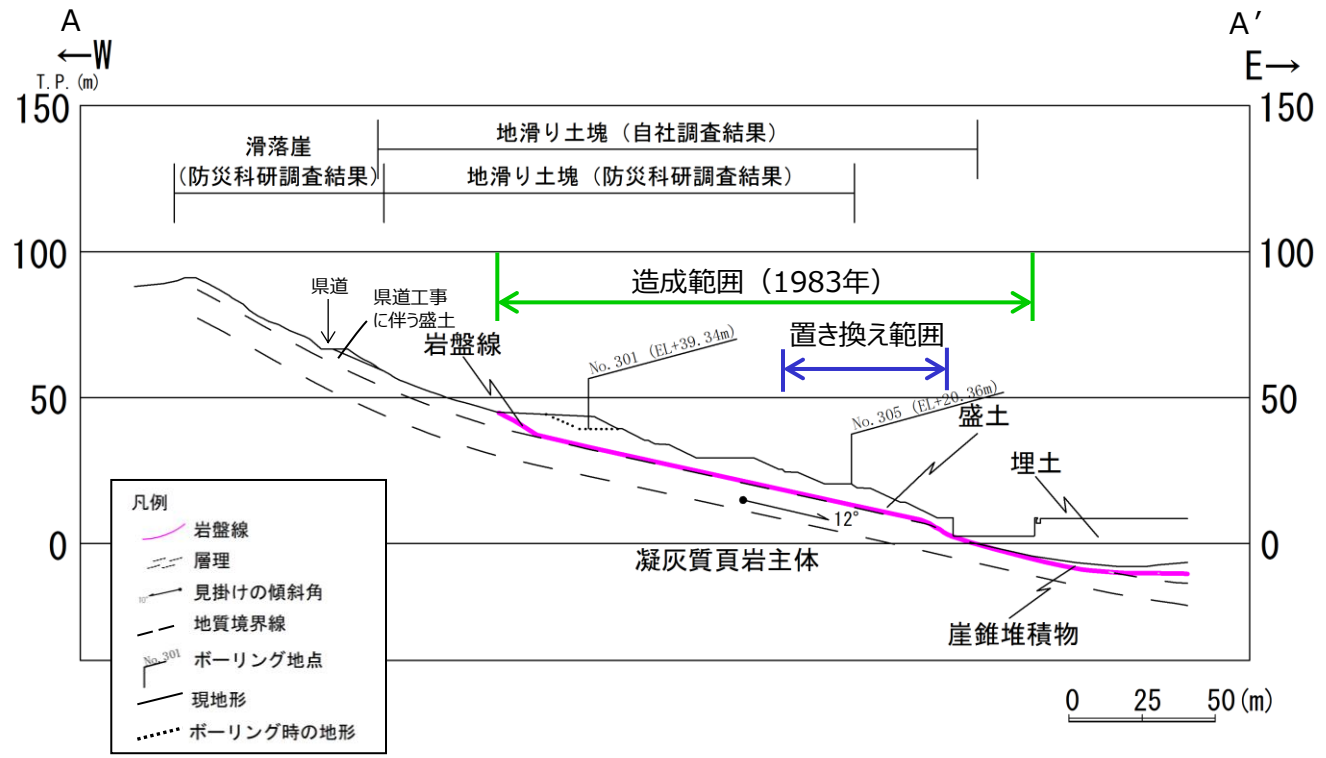
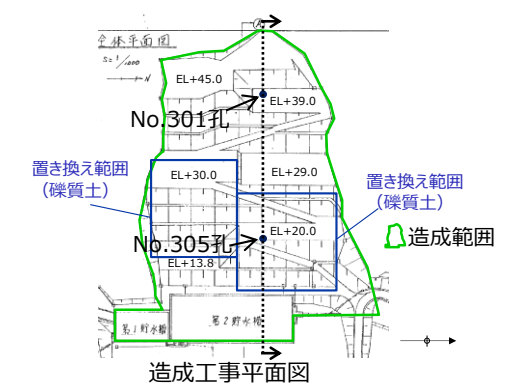
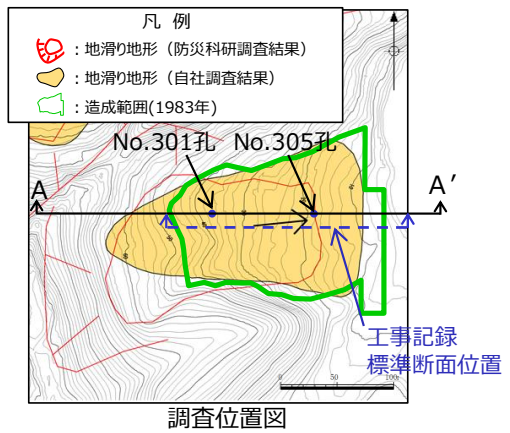
(1) 地滑り地形②が示される斜面 評価概要

- ・地滑り地形②が示される斜面に関しては、「島根原子力発電所2号炉 外部事象の考慮について 地滑り・土石流影響評価」（第863回審査会合 資料2-2-1, 2020年5月26日）（次頁参照）において、アクセスルートへの影響を別途説明するとしていた。
- ・地滑り地形②が示される斜面は、土地造成工事時に地滑り土塊に相当する土砂は撤去したうえで、盛土を施工している。検討方針として、岩盤部を通るすべり面のすべり安定性が確保されていることを確認することで、岩盤斜面と盛土斜面の同時崩壊が生じないことを確認する。
- ・なお、盛土斜面部のみの斜面崩壊を想定した場合、保管場所及びアクセスルートまでの離隔距離は、確保できている。

7.2 岩盤斜面と盛土斜面の同時崩壊検討 (1) 地滑り地形②が示される斜面 【参考】 地滑り調査結果

地滑り地形②について、以下に模式断面図を示す。

- EL45mより上方では、堅硬な岩盤が露出しており、地滑り土塊は認められない。
- EL45mより下方では、土地造成工事時に地滑り土塊に相当する土砂は撤去したうえで、盛土を施している。造成工事後に実施したボーリング（No.301孔及びNo.305孔）によると、盛土と岩盤の境界は造成工事の掘削面に概ね一致することから、地滑り土塊は全て撤去されていると考えられる。
- 以上のことから、発電所建設前の旧地形から判読されたような地滑り地形②に相当する地滑りは想定されない。

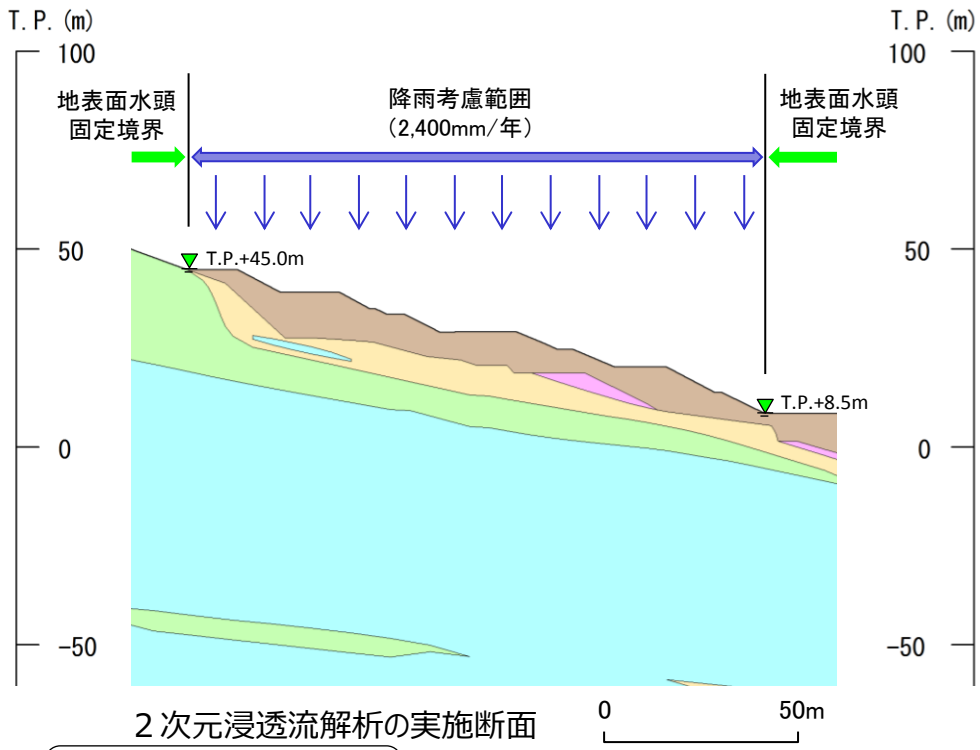
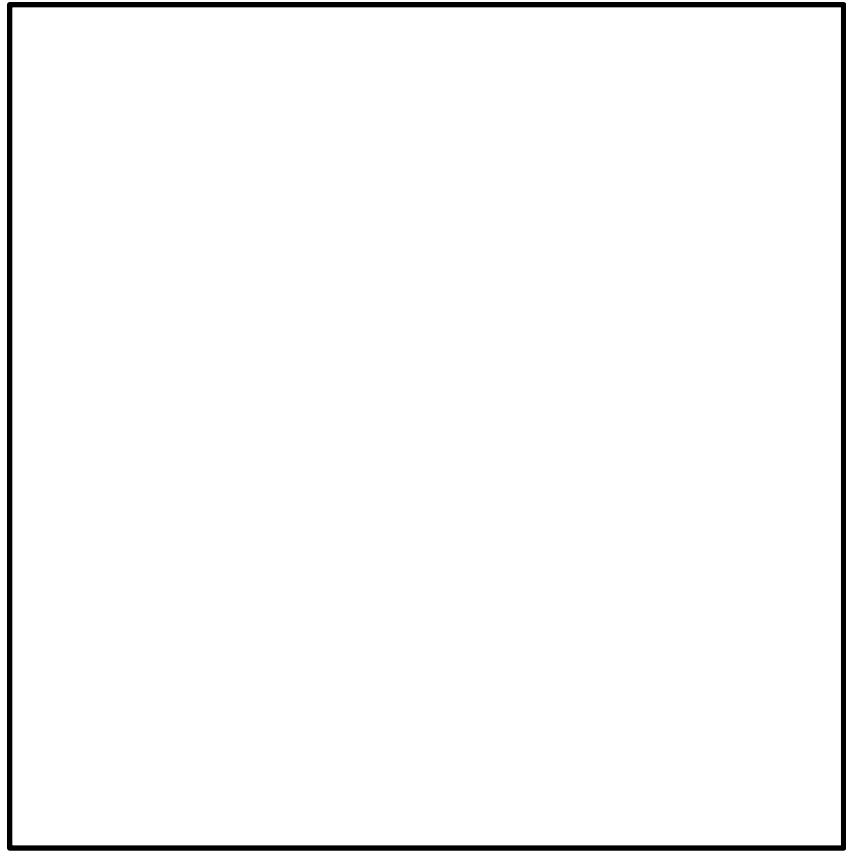


地滑り地形②の模式断面図

7.2 岩盤斜面と盛土斜面の同時崩壊検討

(1) 地滑り地形②が示される斜面 2次元浸透流解析モデルの解析条件

- 液状化影響検討用地下水位を設定するため、2次元浸透流解析（定常解析）を実施する。
- 解析モデルは下図のとおりとし、保守的な条件となるよう、T.P.+8.5m盤及び上流側の盛土と地山の境界部において、地表面に水頭固定境界を設定する。
- 地表面水頭固定境界に挟まれた検討用地下水位の計算領域は、降雨考慮範囲として降雨条件2,400mm/年を考慮する。



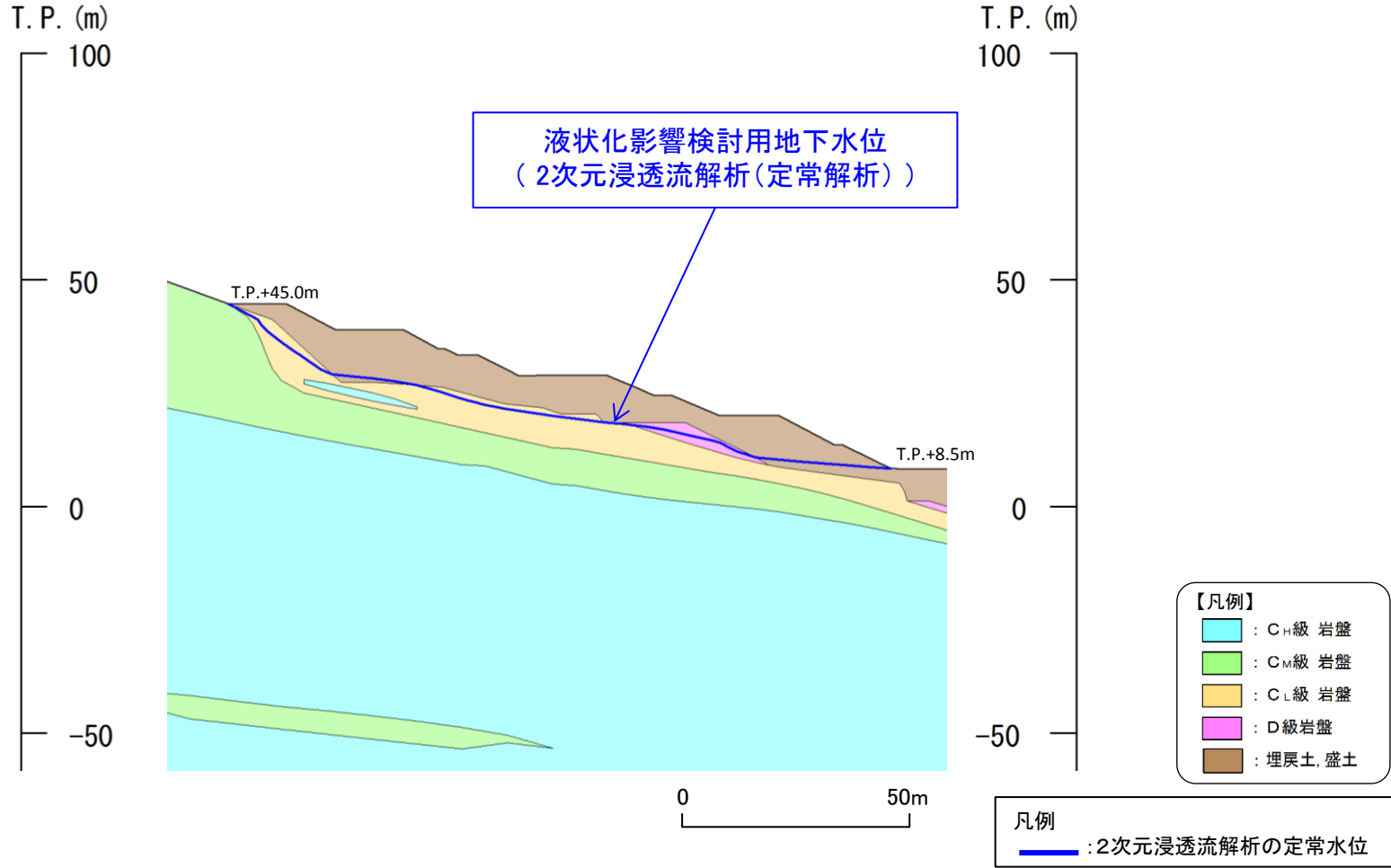
【凡例】

■ (Light Blue)	C _H 級 岩盤	■ (Brown)	埋戻土, 盛土
■ (Green)	C _M 級 岩盤		
■ (Yellow)	C _L 級 岩盤		
■ (Pink)	D級岩盤		

7.2 岩盤斜面と盛土斜面の同時崩壊検討

(1) 地滑り地形②が示される斜面 検討用地下水位の設定

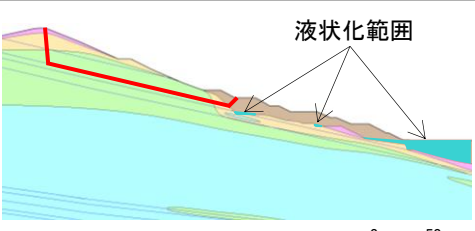
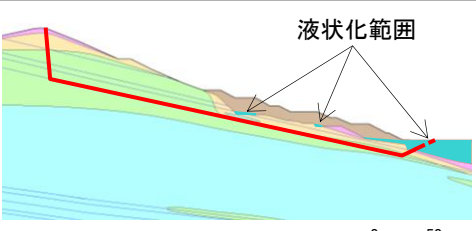
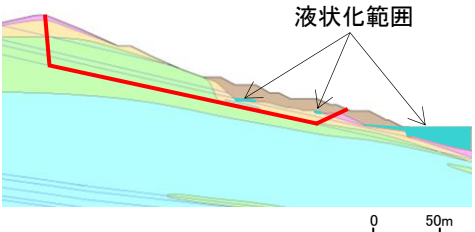
- ・2次元浸透流解析の結果、盛土斜面内に地下水位が認められない。
- ・液状化範囲の設定に当たっては、地下水位以深の埋戻土を全て液状化範囲として設定する。



7.2 岩盤斜面と盛土斜面の同時崩壊検討

(1) 地滑り地形②が示される斜面 すべり安定性評価結果

・地滑り地形②が示される斜面 平均強度でのすべり安全率

	すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率 ^{※2}		すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率 ^{※2}
1	 <p>液状化範囲</p> <p>シーム沿いのすべり面（法肩からB23・24シームを通り盛土内に抜けるすべり面）</p> <p>0 50m</p>	Ss-D (-, -)	1.63 [8.98]	3	 <p>液状化範囲</p> <p>シーム沿いのすべり面（法肩からB19シームを通り法尻付近に抜けるすべり面）</p> <p>0 50m</p>	Ss-D (-, -)	1.57 [9.01]
2	 <p>液状化範囲</p> <p>シーム沿いのすべり面（法肩からB19シーム及びD級岩盤を通り盛土内に抜けるすべり面）</p> <p>0 50m</p>	Ss-D (-, -)	1.65 [9.02]	<div data-bbox="1023 735 1854 906"> <p>【凡例】</p> <p> : C_H級岩盤 : C_M級岩盤 : C_L級岩盤 : D級岩盤 : 埋戻土、盛土 : シーム : すべり面^{※3} : 最小すべり安全率 </p> </div>			

※1 基準地震動 (+,+) は反転なし, (-,+) は水平反転, (+,-) は鉛直反転, (-,-) は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※2 []は、発生時刻 (秒) を示す。

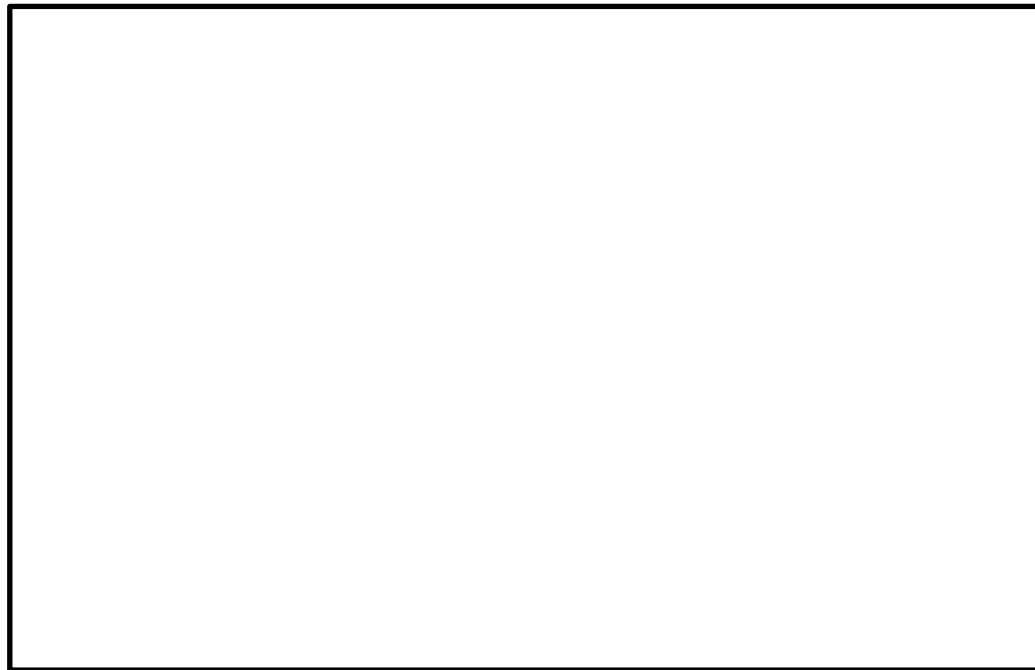
※3 破線は液状化影響を考慮する範囲 (「4. 液状化範囲の検討」を参照)

- 地滑り地形②の評価対象斜面について、基準地震動 S_sによる2次元動的 F E M解析により岩盤部を通るすべり面のすべり安定性評価を実施した結果、最小すべり安全率（平均強度）が評価基準値1.0を上回っており、安定性を有することを確認した。
- 以上のことから、岩盤斜面と盛土斜面の同時崩壊は生じないと評価する。

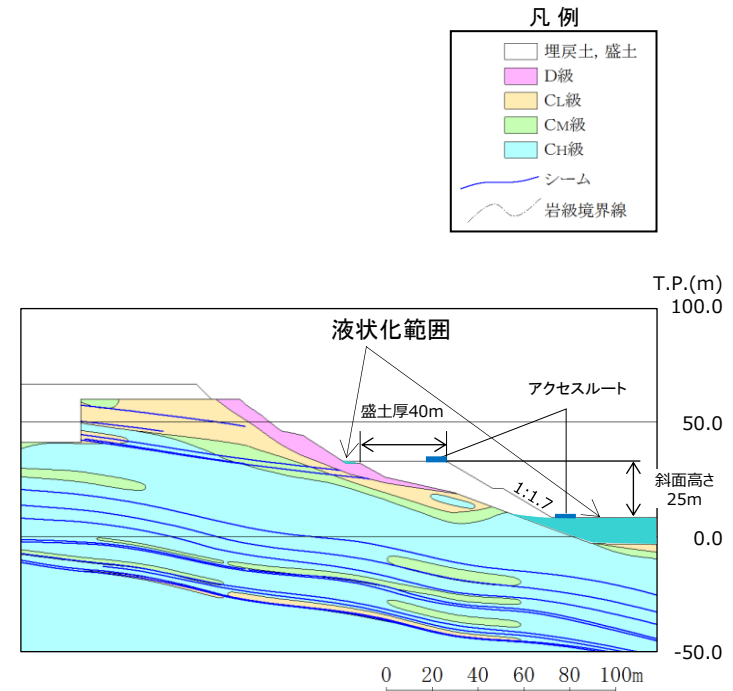
7.2 岩盤斜面と盛土斜面の同時崩壊検討

(2) 33m盤盛土斜面上部の岩盤斜面 評価概要

- 33m盤盛土斜面部については、地震時のすべり安定性は確保されているが、地滑り地形②と同様に、岩盤斜面上に盛土が構築されていることから、岩盤斜面と盛土斜面の同時崩壊の可能性の有無について検討を行った。
- 検討方針として、岩盤部を通るすべり面のすべり安定性が確保されていることを確認することで、岩盤斜面と盛土斜面の同時崩壊が生じないことを確認する。
- なお、液状化範囲の設定にあたっては、2次元浸透流解析により求めた地下水位以深の埋戻土を全て液状化範囲として設定する。(4.3章参照)



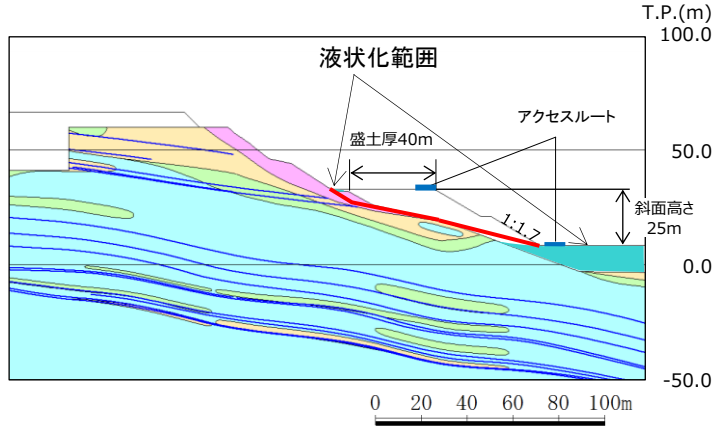
平面位置図



⑨-⑨'断面

7.2 岩盤斜面と盛土斜面の同時崩壊検討 (2) 33m盤盛土斜面上部の岩盤斜面 すべり安定性評価結果

・33m盤盛土斜面上部の岩盤斜面 平均強度でのすべり安全率

	すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率 ^{※2}
1	 <p>33m盤下のD級岩盤及び埋戻土を通るすべり面</p>	Ss-D (+,-)	4.15 〔14.65〕

【凡例】

- : C_H級 岩盤 ■ : C_M級 岩盤 ■ : C_L級 岩盤 ■ : D級 岩盤
- : 埋戻土、盛土 — : シーム - - - : すべり面 ^{※3}
- : 最小すべり安全率

※1 基準地震動 (+,+) は反転なし, (-,+) は水平反転, (+,-) は鉛直反転, (-,-) は水平反転かつ鉛直反転を示す。
 ※2 []は、発生時刻 (秒) を示す。
 ※3 破線は液状化影響を考慮する範囲 (「4. 液状化範囲の検討」を参照)

- 33m盤の盛土斜面上部の岩盤斜面について、基準地震動 S s による2次元動的 F E M解析により岩盤部を通るすべり面のすべり安定性評価を実施した結果、最小すべり安全率 (平均強度) が評価基準値1.0を上回っており、安定性を有することを確認した。
- 以上のことから、岩盤斜面と盛土斜面の同時崩壊は生じないと評価する。

7. その他の検討

7.1 鉄塔が設置されている斜面の安定性評価

7.2 岩盤斜面と盛土斜面の同時崩壊検討

7.3 応力状態を考慮した検討

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

①基本方針

②抑止杭の設計

③敷地内土木構造物(抑止杭)の耐震評価

④抑止杭を設置した斜面の安定性評価

⑤先行炉との比較検討等

7.3 応力状態を考慮した検討 すべり面の設定

- ・すべり安全率を算定するすべり面については、簡便法によるすべり面及びシーム等の弱層を通るすべり面を設定し、応力状態を踏まえて必要に応じてすべり面を追加設定する。
- ・シーム等の弱層を通るすべり面は、基礎地盤で設定したものと同様に角度をパラメトリックに設定する。
- ・⑫-⑫'断面、⑬-⑬'断面、⑭-⑭'断面に関しては、斜面上部にD級岩盤が分布することから、応力状態を踏まえ、①・②のすべり面がモビライズド面等を通るすべり面になっていることを確認し、すべり面が妥当であることを示す。

① 簡便法によるすべり面

- ・すべり面の形状を円弧と仮定し、中心と半径を変化させ、すべり安全率が最小となるすべり面を抽出する。
- ・作用させる静的地震力は原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG4601-2015) に基づき、 $K_H=0.3$, $K_V=0.15$ とする。

② シーム等の弱層を通るすべり面

シームから岩盤を切り上げるすべり面をパラメトリックに設定する。

③ 応力状態を考慮したすべり面

①・②のすべり面における安定解析で得られた最小すべり安全率の応力状態から、①・②のすべり面がモビライズド面等を通るすべり面になっていることを確認し、必要に応じてすべり面を追加設定する。

- 1) 要素の安全率が低い領域を考慮

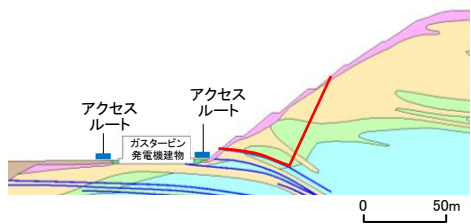
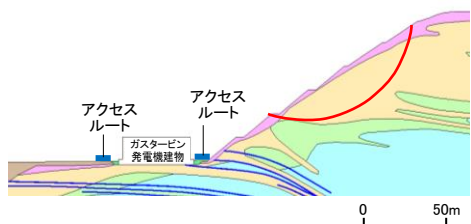
Orange	: せん断強度に達した要素
Red	: 引張応力が発生した要素
Green	: $1.00 \leq fs < 1.50$
Light Blue	: $1.50 \leq fs < 2.00$
Dark Blue	: $2.00 \leq fs$

- 2) モビライズド面を考慮

7.3 応力状態を考慮した検討

(1) ⑫-⑫'断面 評価結果

・⑫-⑫'断面 平均強度でのすべり安全率

	すべり面形状	基準 ^{※1} 地震動	最小すべり安全率 ^{※2}
1	 <p>シーム沿いのすべり面（斜面中腹あるいは斜面上方からシームを通り斜面法尻付近へ抜けるすべり面）</p>	Ss-N1 (+,+)	2.07 [7.59]
2	 <p>簡便法で設定したすべり面</p>	Ss-N1 (-,+)	2.25 [7.58]

【凡例】

- : C_H級 岩盤
- : C_M級 岩盤
- : C_L級 岩盤
- : D級 岩盤
- : 埋戻土、盛土
- : シーム
- : すべり面
- : 最小すべり安全率

※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)¹は水平反転, (+,-)¹は鉛直反転, (-,-)¹は水平反転かつ鉛直反転を示す。
 ※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

・動的解析の結果、平均強度を用いたすべり安全率は1.0を上回ることを確認した。

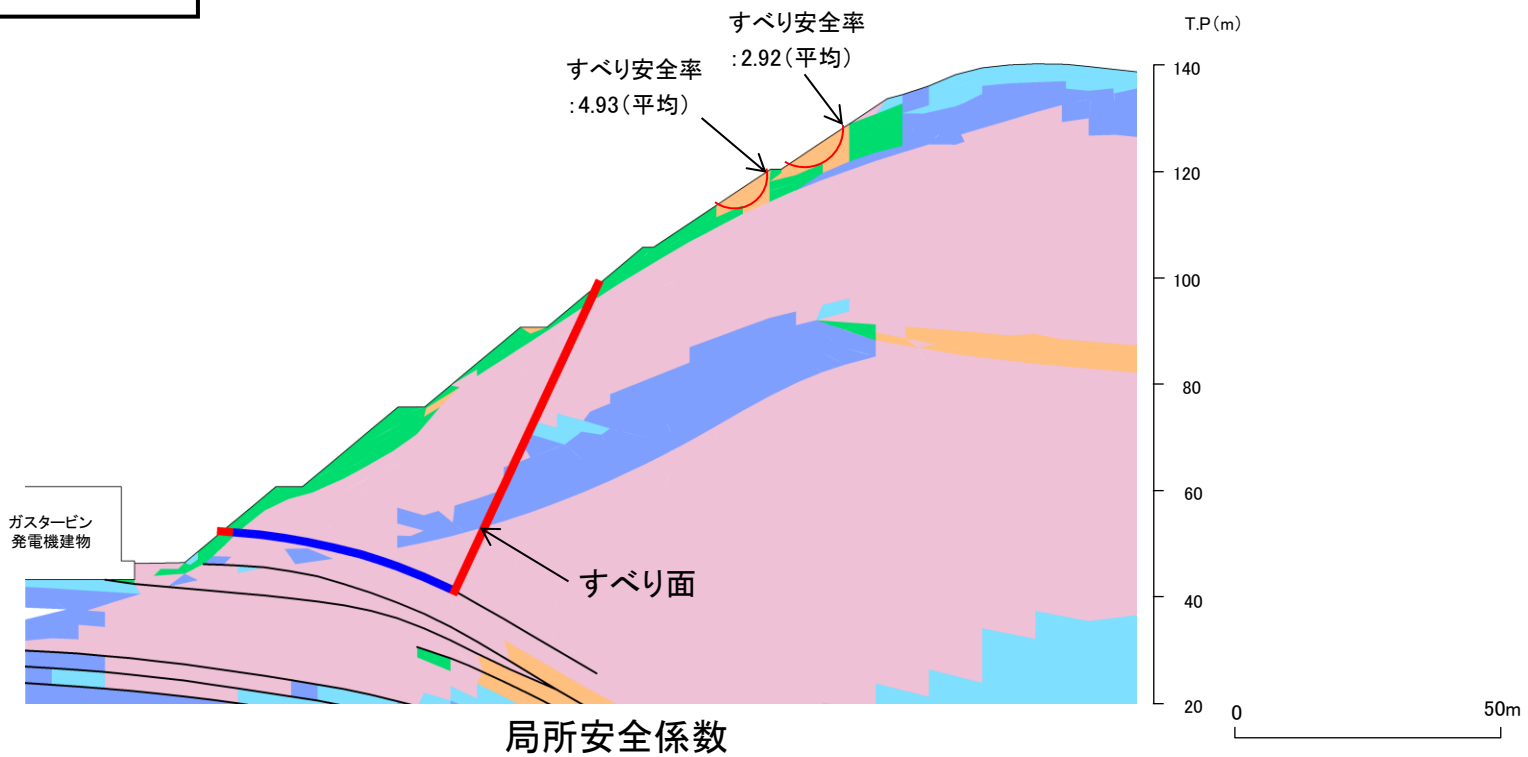
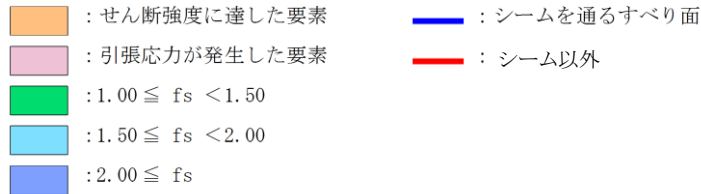
7.3 応力状態を考慮した検討

(1) ⑫-⑫'断面 要素ごとの局所安全係数

第940回審査会合 資料1-2 P177 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

■ ⑫-⑫'断面 (「島根原子力発電所2号炉耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価」における⑦-⑦'断面)

- ・基準地震動 : Ss-N1(+,+)
- ・時刻 : 7.59秒
- ・すべり安全率 : 2.07



- ・引張応力が発生した要素が斜面に連続しており、これを通るすべり面になっている。また、せん断強度に達した要素が斜面浅部に分布するが、局所的である。
- ・なお、斜面浅部のせん断強度に達した要素を通るすべり面については、当該応力状態における最小すべり安全率が2.92（平均強度）であり、強度の低い破壊領域を通るすべり面の最小すべり安全率2.07（平均強度）に包含される。

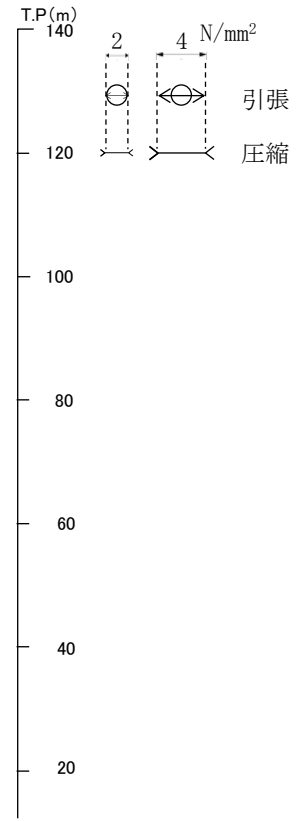
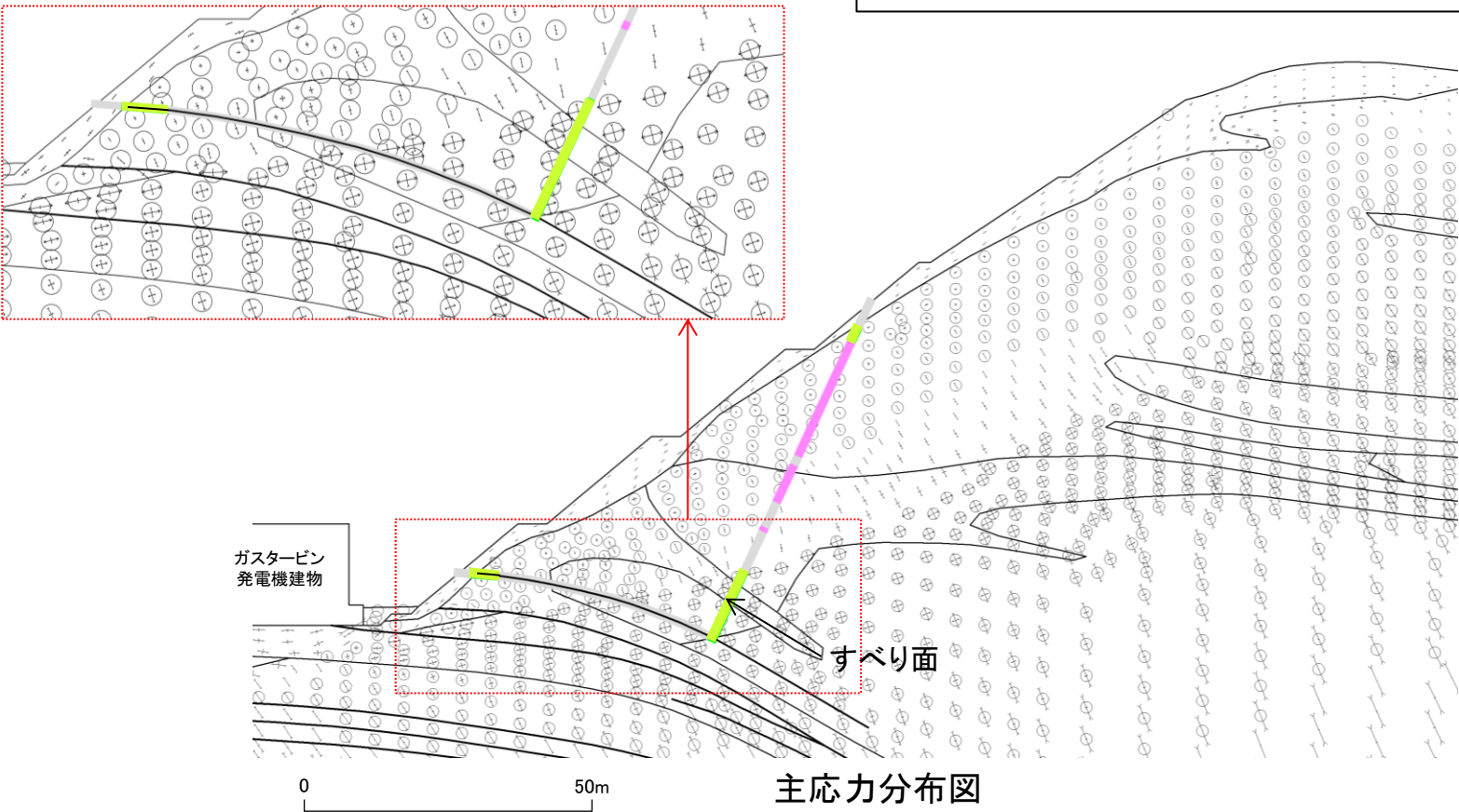
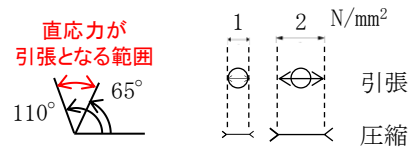
7.3 応力状態を考慮した検討

(1) ⑫-⑫'断面 主応力分布図

■ ⑫-⑫'断面 (「島根原子力発電所2号炉耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価」における⑦-⑦'断面)

凡例

- : せん断破壊の要素を通るすべり面
- (青) : 引張破壊の要素を通るすべり面 (直応力が引張となる場合は —)
- - - : せん断破壊及び引張破壊の要素を通るすべり面
- ⋯⋯ : モビライズド面を概ね通るすべり面
- : 上記以外

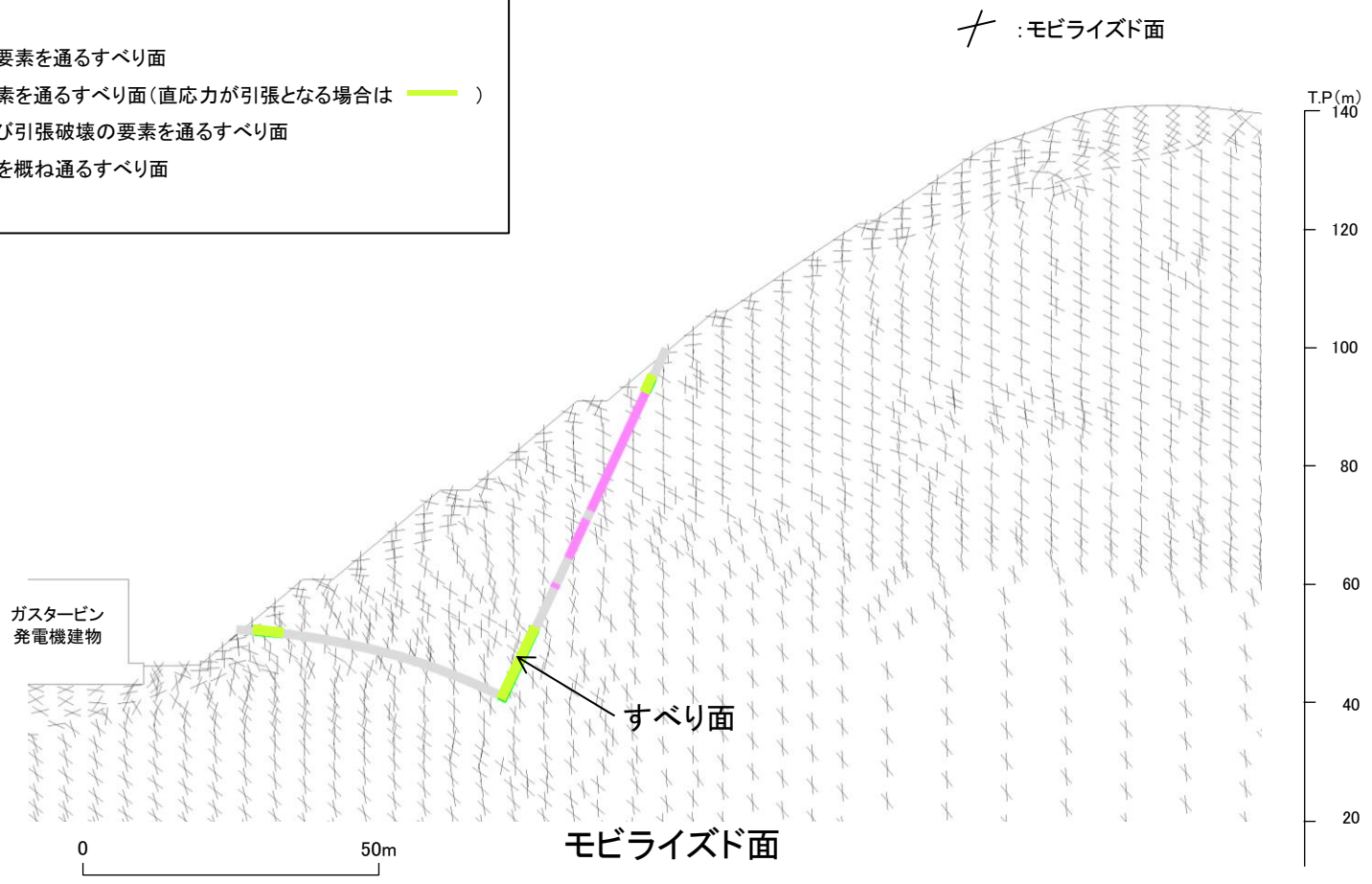


・法尻付近では、直応力が引張となる範囲は概ね65~110° になり、これに沿うすべりになっている。

7.3 応力状態を考慮した検討 (1) ⑫-⑫'断面 モビライズド面

■ ⑫-⑫'断面 (「島根原子力発電所2号炉耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価」における⑦-⑦'断面)

- 凡例
- (オレンジ) : せん断破壊の要素を通るすべり面
 - (ピンク) : 引張破壊の要素を通るすべり面(直応力が引張となる場合は — (黄緑))
 - (グレー) : せん断破壊及び引張破壊の要素を通るすべり面
 - (青点線) : モビライズド面を概ね通るすべり面
 - (薄グレー) : 上記以外

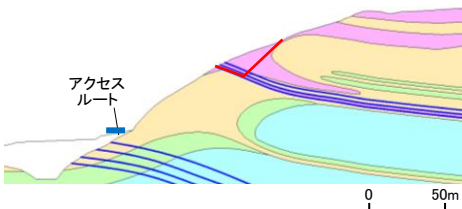
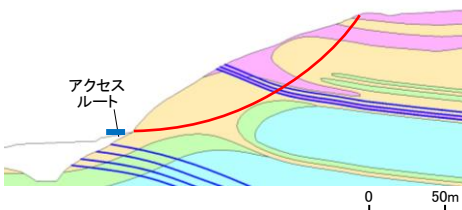


・モビライズド面を通過していないが、強度の低いシームや破壊領域を通るすべりになっている。

以上のことから、設定したすべり面は、既にすべり安全率の厳しいすべり面になっているため、追加のすべり面は設定していない。

7.3 応力状態を考慮した検討 (2) ⑬-⑬'断面 評価結果

・⑬-⑬'断面 平均強度でのすべり安全率

	すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率 ^{※2}
1	 <p>シーム沿いのすべり面 (D級岩盤及びシームを通して斜面中腹に抜けるすべり面)</p>	Ss-N1 (-,+)	3.64 〔7.80〕
2	 <p>簡便法で設定したすべり面</p>	Ss-N1 (-,+)	1.47 〔7.56〕

【凡例】

- : C_H級岩盤
- : C_M級岩盤
- : C_L級岩盤
- : D級岩盤
- : 埋戻土, 盛土
- : シーム
- : すべり面
- : 最小すべり安全率

※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。
 ※2 []は, 発生時刻(秒)を示す。

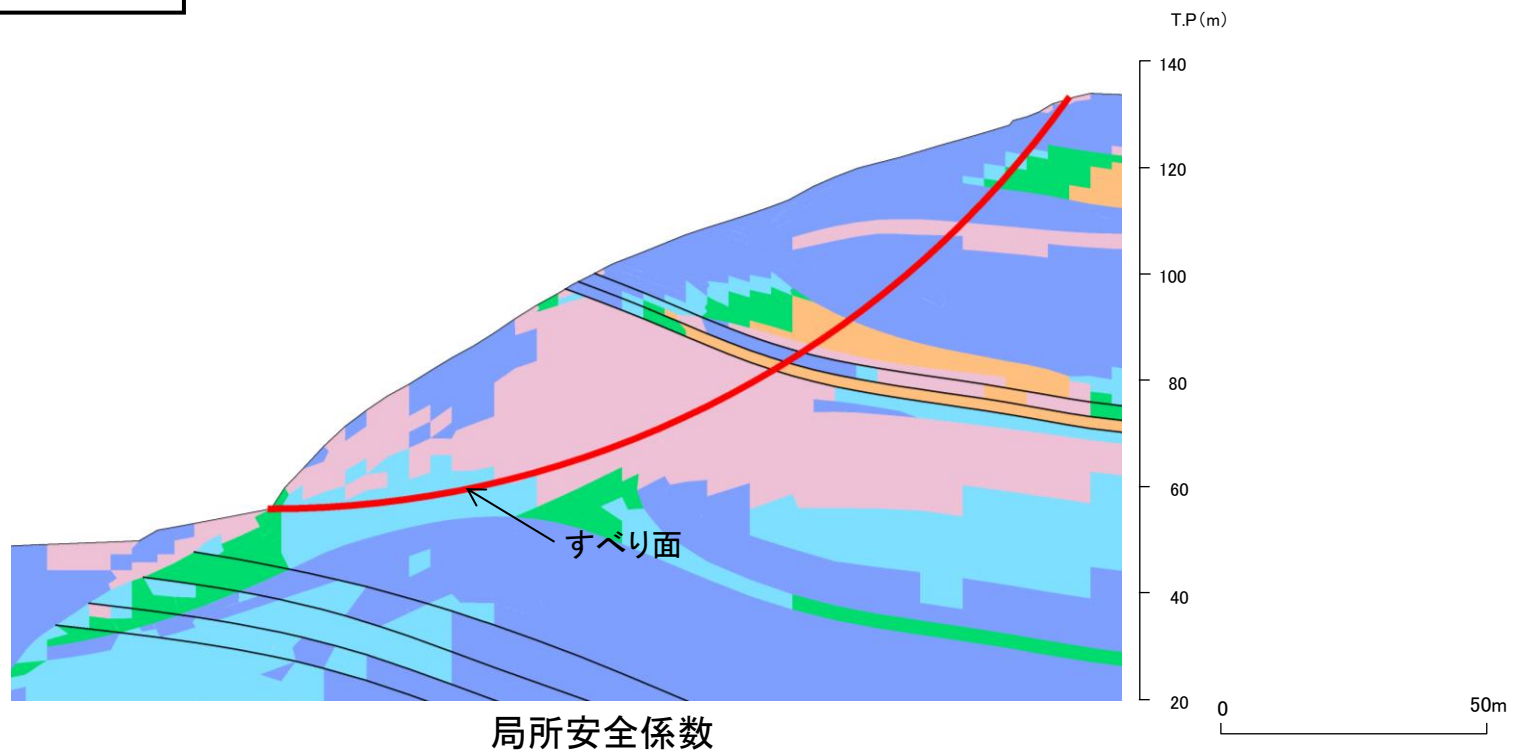
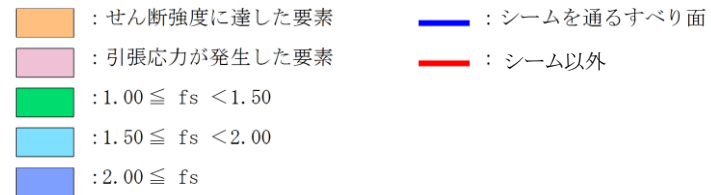
・動的解析の結果, 平均強度を用いたすべり安全率は1.0を上回ることを確認した。

7.3 応力状態を考慮した検討

(2) ⑬-⑬'断面 要素ごとの局所安全係数

■ ⑬-⑬'断面

- ・基準地震動 : Ss-N1 (-,+)
- ・時刻 : 7.56秒
- ・すべり安全率 : 1.47

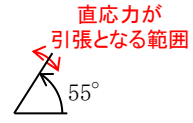


- ・引張応力が発生した要素が斜面に連続しており、これを通るすべり面になっている。
- また、せん断強度に達した要素が斜面内部に分布するが、局所的である。

7.3 応力状態を考慮した検討

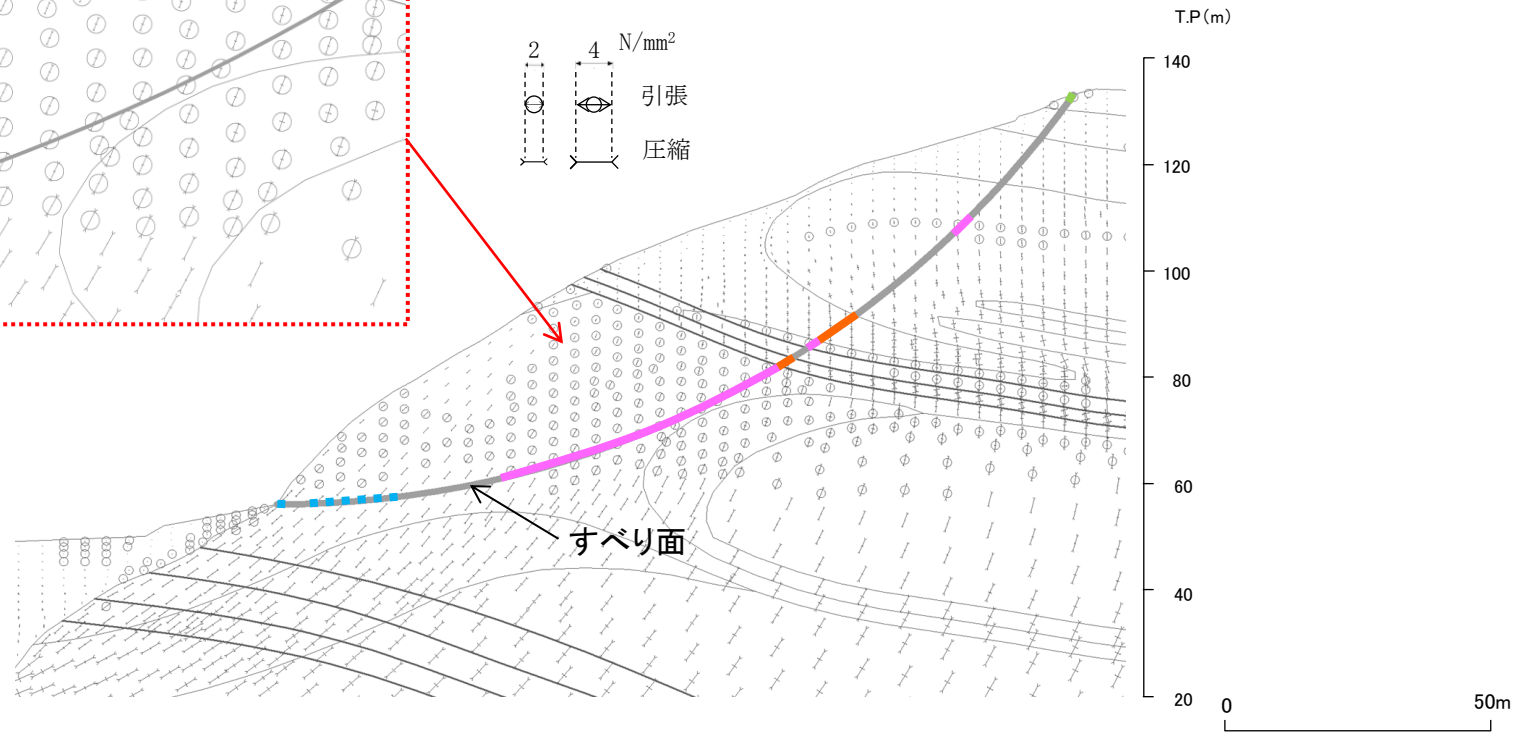
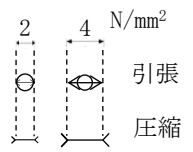
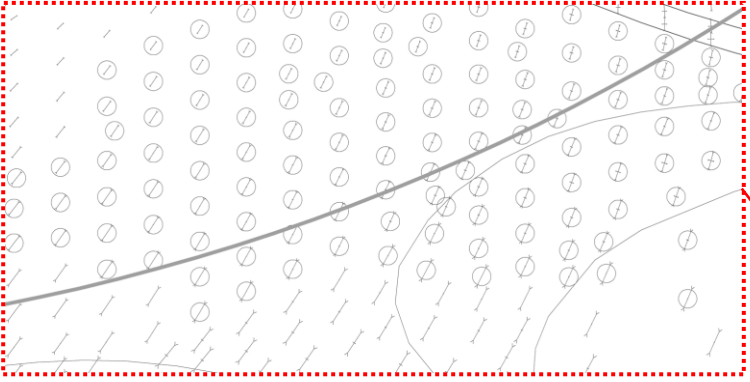
(2) ⑬-⑬'断面 主応力分布図

■ ⑬-⑬'断面



凡例

- (orange) : せん断破壊の要素を通るすべり面
- (pink) : 引張破壊の要素を通るすべり面 (直応力が引張となる場合は — (green))
- - - (grey) : せん断破壊及び引張破壊の要素を通るすべり面
- · · (blue) : モビライズド面を概ね通るすべり面
- (grey) : 上記以外



主応力分布図

・法尻付近では、直応力が引張となる範囲は55° 前後になり、これに沿うすべりは想定されない。

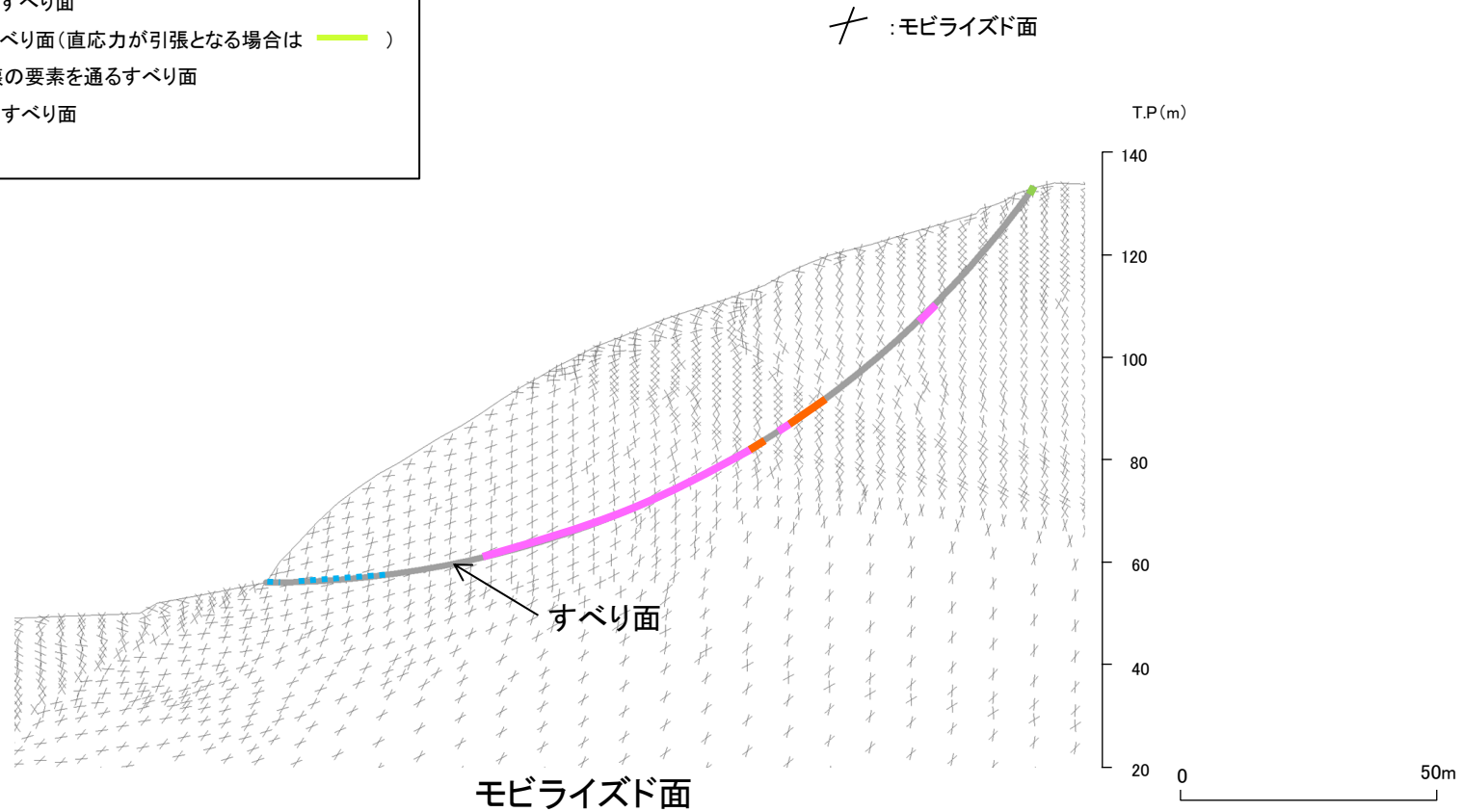
7.3 応力状態を考慮した検討

(2) ⑬-⑬'断面 モビライズド面

■ ⑬-⑬' 断面

凡例

- (オレンジ) : せん断破壊の要素を通るすべり面
- (ピンク) : 引張破壊の要素を通るすべり面(直応力が引張となる場合は — (黄緑))
- - - (グレー) : せん断破壊及び引張破壊の要素を通るすべり面
- ⋯⋯ (青点線) : モビライズド面を概ね通るすべり面
- (薄灰) : 上記以外

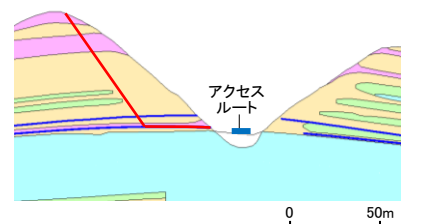
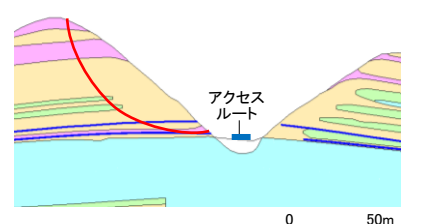


・すべり面のうち法尻付近は、モビライズド面を通るすべりになっている。

以上のことから、設定したすべり面は、既にすべり安全率の厳しいすべり面になっているため、追加のすべり面は設定していない。

7.3 応力状態を考慮した検討 (3) ⑭-⑭'断面 評価結果

・⑭-⑭'断面 平均強度でのすべり安全率

	すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率 ^{※2}
1	 <p>シーム沿いのすべり面 (斜面頂部からシーム及びD級岩盤内を通過して法尻付近に抜けるすべり面)</p>	Ss-D (-, -)	2.18 [9.20]
2	 <p>簡便法で設定したすべり面</p>	Ss-D (-, -)	1.53 [9.20]

【凡例】

- : C_H級岩盤
- : C_M級岩盤
- : C_L級岩盤
- : D級岩盤
- : 埋戻土, 盛土
- : シーム
- : すべり面
- : 最小すべり安全率

※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)¹は水平反転, (+,-)¹は鉛直反転, (-,-)¹は水平反転かつ鉛直反転を示す。
 ※2 []は, 発生時刻(秒)を示す。

・動的解析の結果, 平均強度を用いたすべり安全率は1.0を上回ることを確認した。

7.3 応力状態を考慮した検討

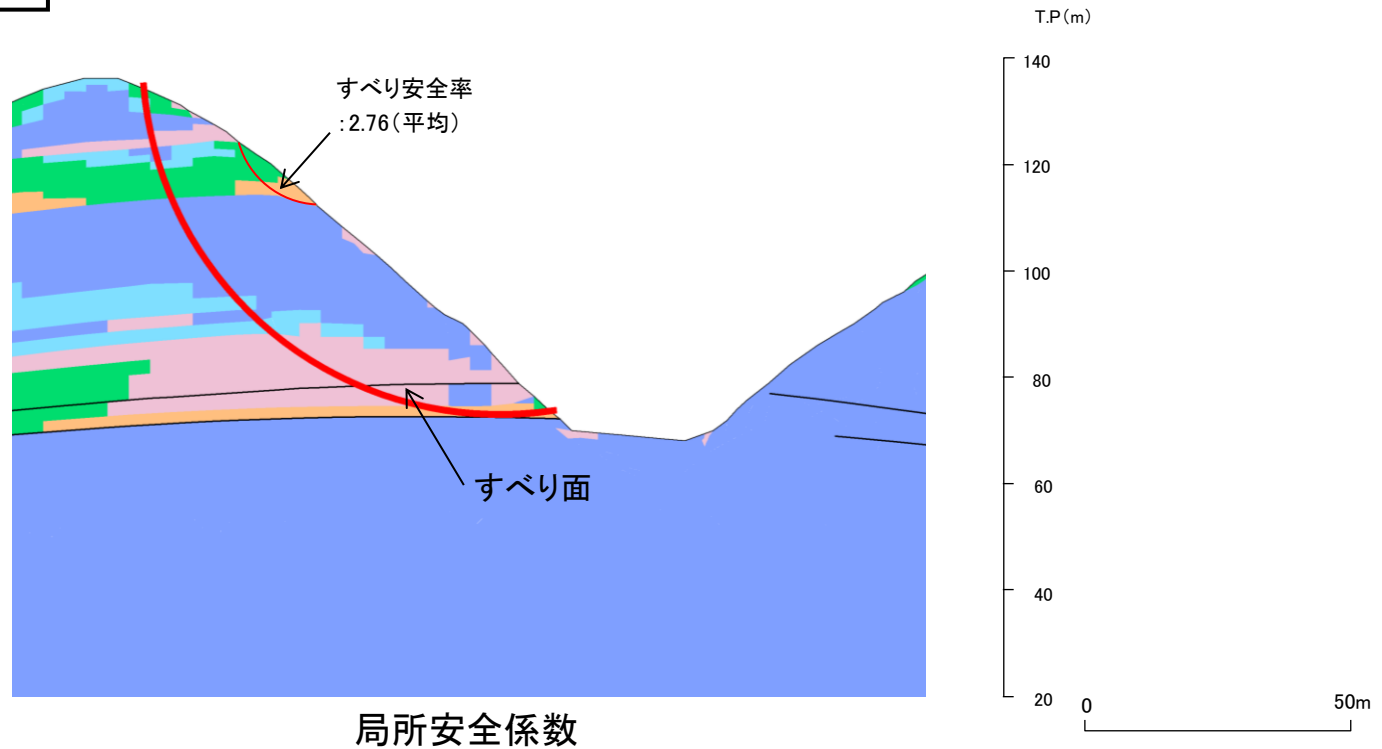
(3) ⑭-⑭'断面 要素ごとの局所安全係数

■ ⑭-⑭'断面

- ・基準地震動 : Ss-D(-,-)
- ・時刻 : 9.20秒
- ・すべり安全率 : 1.53

- ：せん断強度に達した要素
- ：引張応力が発生した要素
- ： $1.00 \leq fs < 1.50$
- ： $1.50 \leq fs < 2.00$
- ： $2.00 \leq fs$

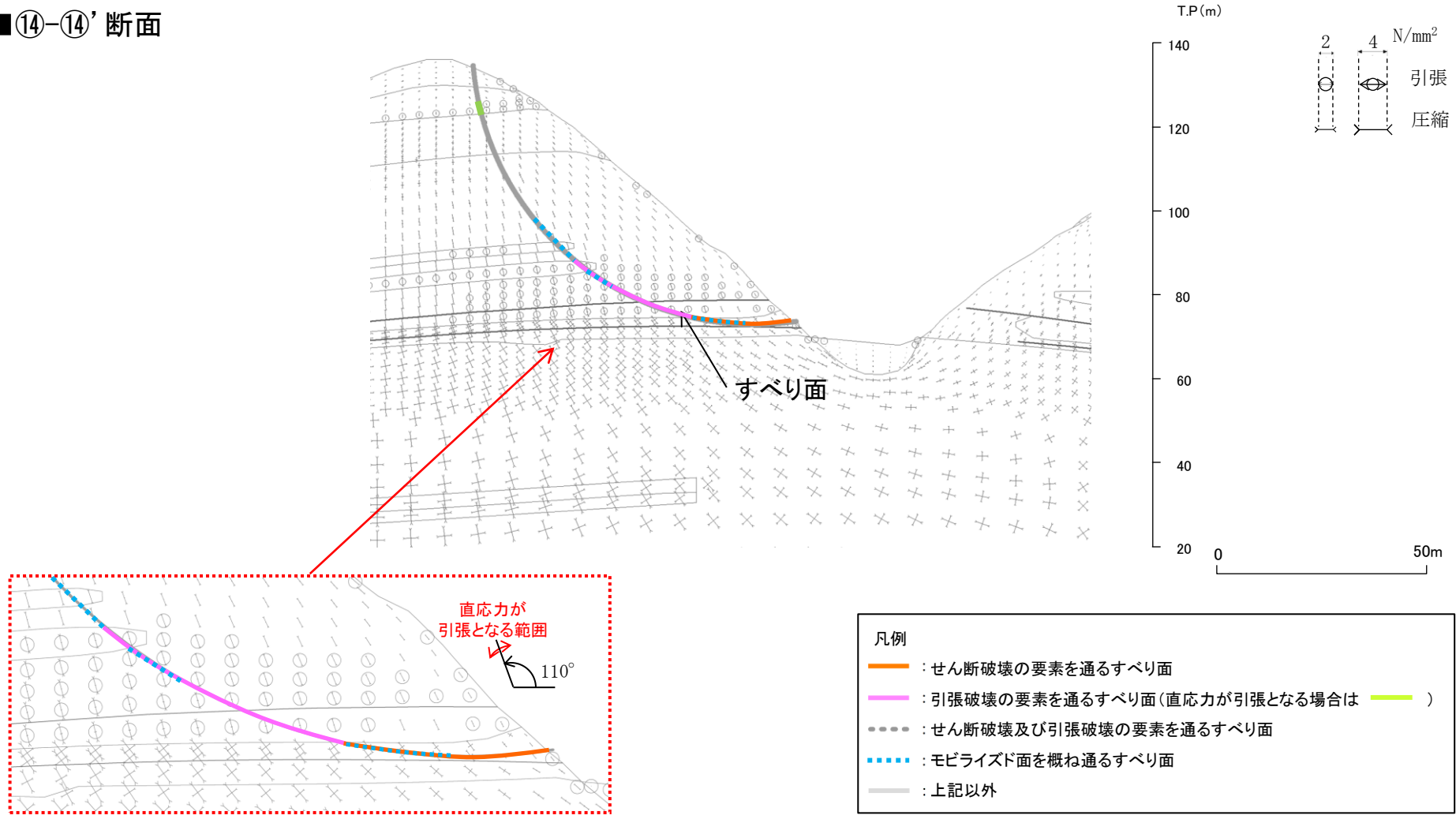
- ：シームを通るすべり面
- ：シーム以外



- ・法尻付近に引張応力が発生した要素が連続しており、これを通るすべり面になっている。また、せん断強度に達した要素は局所的である。
- ・なお、斜面浅部のせん断強度に達した要素を通るすべり面については、当該応力状態における最小すべり安全率が2.76（平均強度）であり、法尻付近の破壊領域を通るすべり面の最小すべり安全率1.53（平均強度）に包含される。

7.3 応力状態を考慮した検討 (3) ⑭-⑭'断面 主応力分布図

■ ⑭-⑭'断面



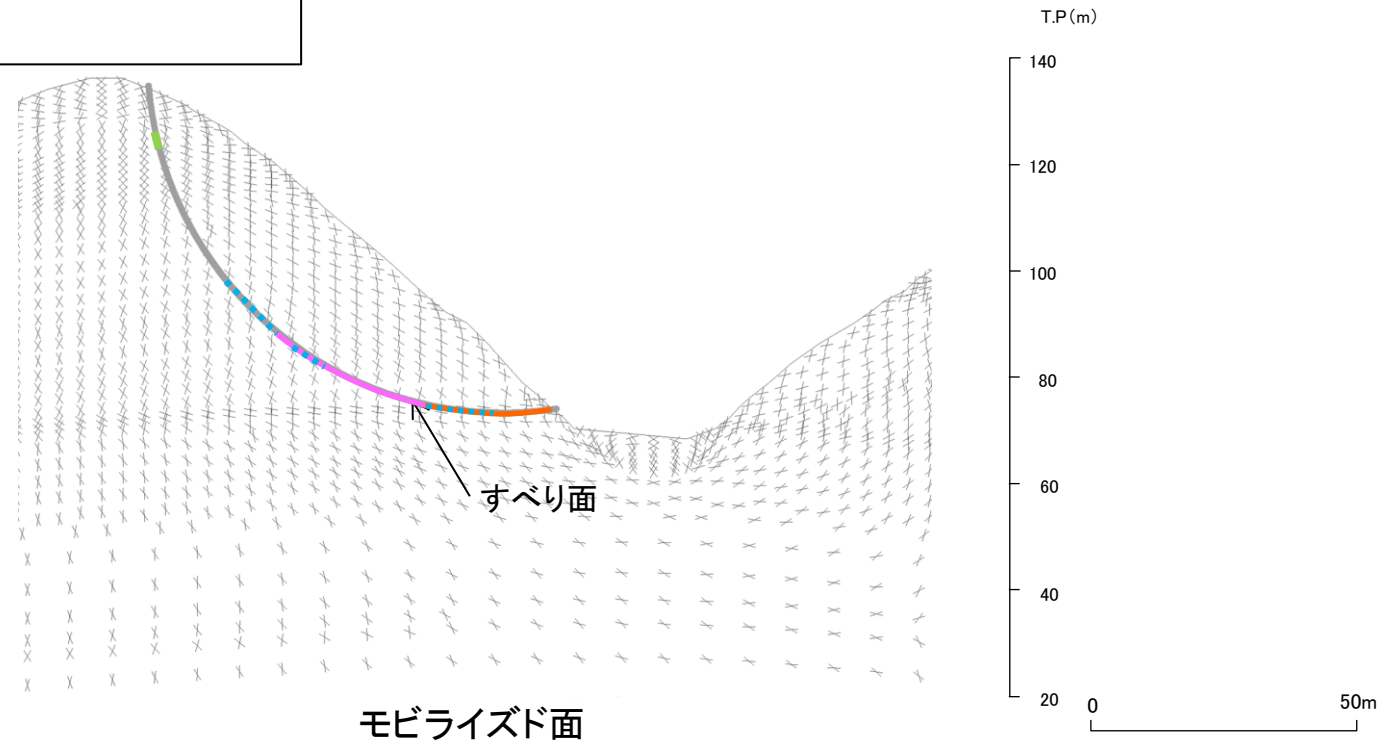
・法尻付近では、直応力が引張となる範囲は概ね110° 前後になり、これに沿うすべりは想定されない。

7.3 応力状態を考慮した検討 (3) ⑭-⑭'断面 モビライズド面

■ ⑭-⑭' 断面

- 凡例
- (orange) : せん断破壊の要素を通るすべり面
 - (pink) : 引張破壊の要素を通るすべり面(直応力が引張となる場合は — (yellow))
 - (grey) : せん断破壊及び引張破壊の要素を通るすべり面
 - (blue) : モビライズド面を概ね通るすべり面
 - (grey) : 上記以外

✦ : モビライズド面



・すべり面はモビライズド面を概ね通るすべりになっている。

以上のことから、設定したすべり面は、既にすべり安全率の厳しいすべり面になっているため、追加のすべり面は設定していない。

7. その他の検討

7.1 鉄塔が設置されている斜面の安定性評価

7.2 岩盤斜面と盛土斜面の同時崩壊検討

7.3 応力状態を考慮した検討

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

①基本方針

②抑止杭の設計

③敷地内土木構造物(抑止杭)の耐震評価

④抑止杭を設置した斜面の安定性評価

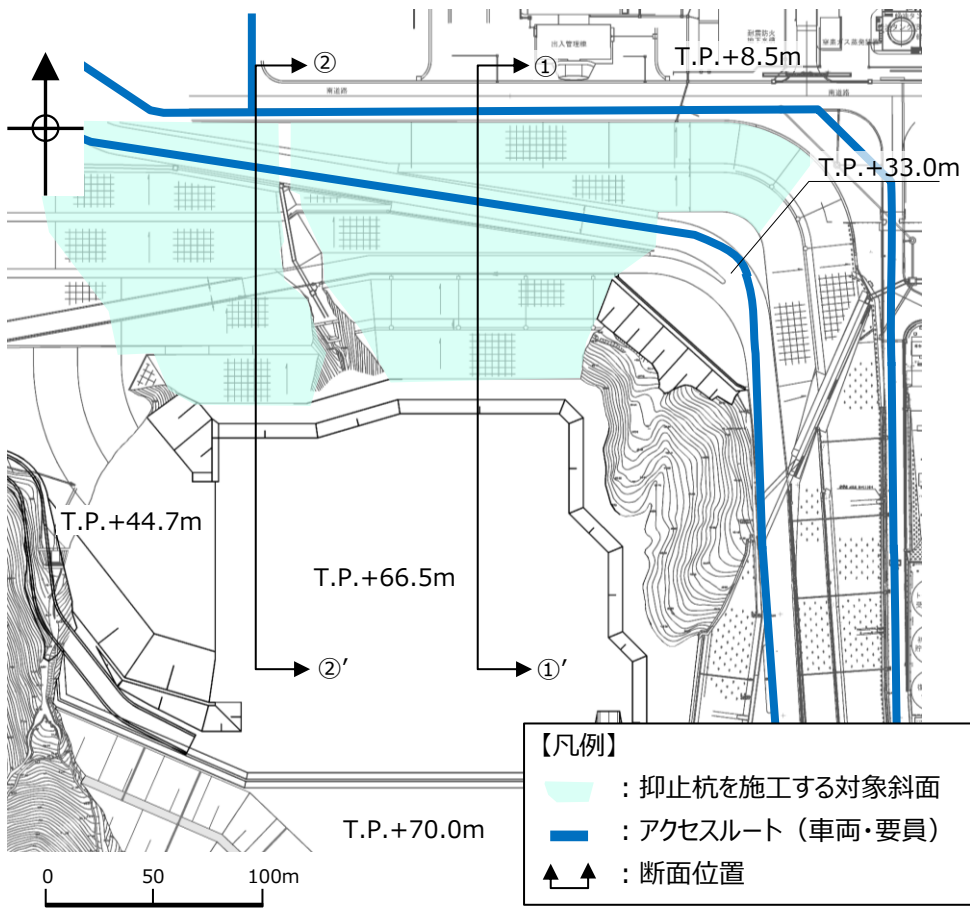
⑤先行炉との比較検討等

■ 設置許可段階における基本設計方針

- 敷地内土木構造物である抑止杭について、設置許可段階においては、先行炉及び一般産業施設における適用事例を調査するとともに、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ことで、構造が成立する見通しを確認する。
- 詳細設計段階においては、以下のとおり設計の妥当性に係る検討を行い、評価基準値を下回る場合には、抑止杭を追加配置する。
 - 抑止杭の平面配置の妥当性確認（P86, 87）
 - 杭間の岩盤の中抜けを想定した解析的検討（P94）
 - 杭前面における岩盤の肌分かれを想定したすべり安定性評価（P114）

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討 基本方針

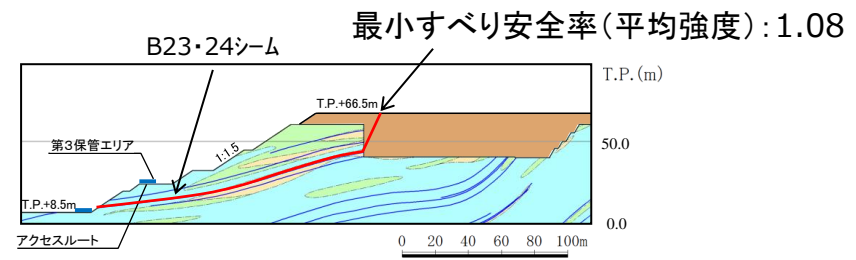
- 抑止杭を施工する対象斜面（平面図参照）は、敷地造成工事に伴って頂部の切り取りを行っており、下表に示すとおり、平均強度によりすべり安全率1.0を上回ることを確認している。
- ①－①'断面において、地盤物性のばらつき（平均強度－1.0×標準偏差（σ））を考慮したすべり安全率が0.90と評価基準値を下回ること、及び②－②'断面において、地盤物性のばらつきを考慮したすべり安全率が1.06と裕度が小さいことから、地震による斜面崩壊の防止措置を講ずるための敷地内土木構造物として、抑止杭を設置することとした。



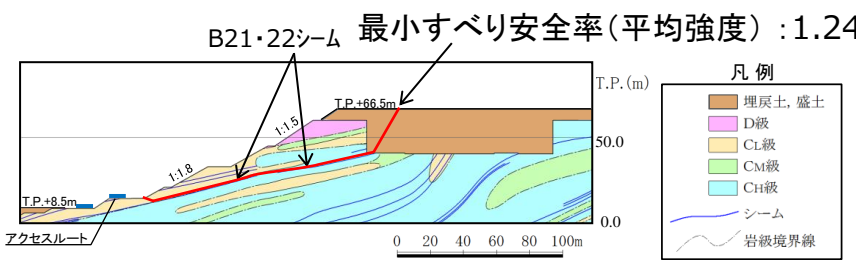
【凡例】

- 抑止杭を施工する対象斜面
- アクセスルート（車両・要員）
- 断面位置

平面図



①－①'断面



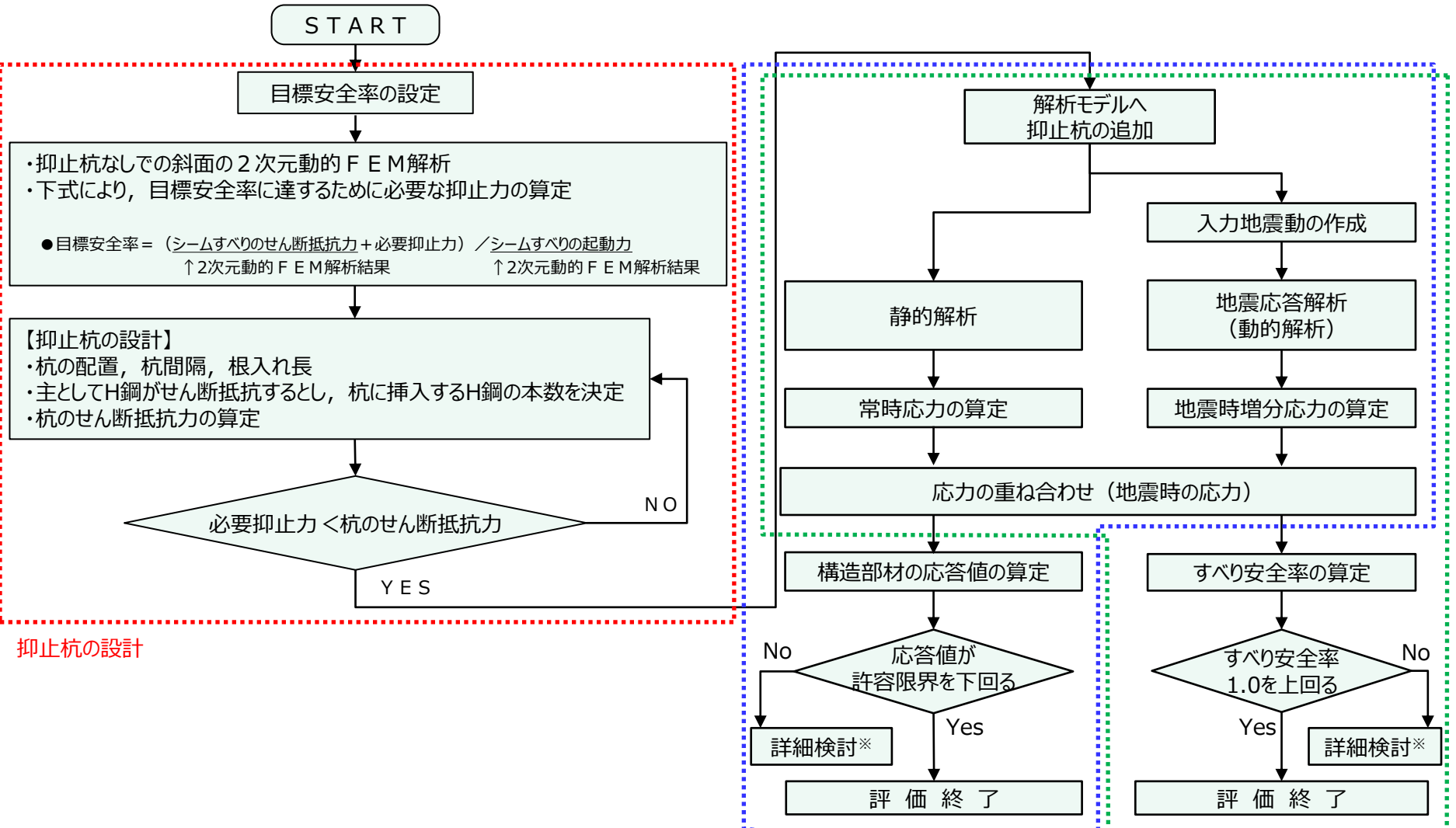
②－②'断面

抑止杭を施工する対象斜面のすべり安全率（抑止杭なし）

基準地震動 S s	すべり安全率 () 内はばらつきを考慮した強度のすべり安全率	
	①－①'断面	②－②'断面
Ss-D	1.08 (0.90)	1.24 (1.06)
Ss-N ₁	1.25	1.57
Ss-N ₂	1.32	1.58

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討 評価フロー

・ 対策工（抑止杭）を設置した斜面の安定性評価フローを以下に示す。



抑止杭の設計

敷地内土木構造物 (抑止杭)の耐震評価

抑止杭を設置した斜面の安定性評価

※ 検討内容に応じて、必要なプロセスへ戻る

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討 位置及び構造概要

- 抑止杭を設置した斜面の位置図を下図に示す。
- 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。

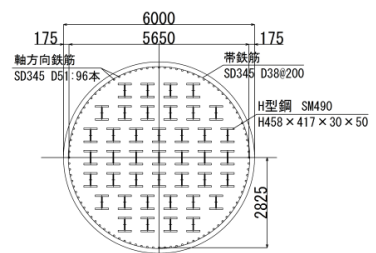
【凡例】

- : 対策工（抑止杭＋斜面切取）を実施した斜面
- : 可搬型設備の保管場所
- : アクセスルート（車両・要員）※破線は要員のみ
- : サブルート（車両・要員）※破線は要員のみ
- : 抑止杭
- : 断面位置

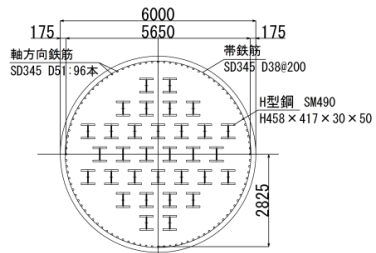


0 50 100m

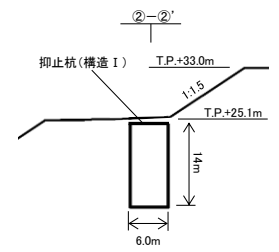
抑止杭配置平面図



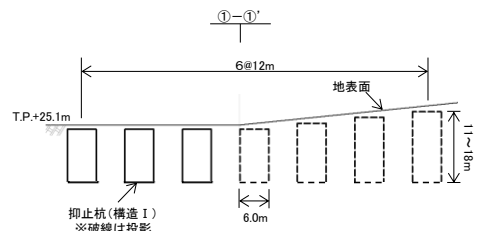
構造 I



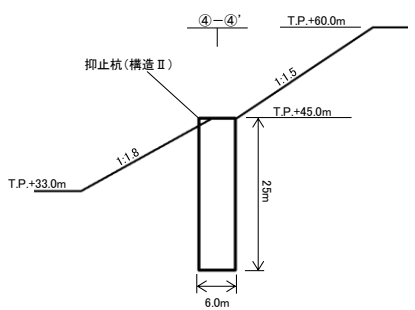
構造 II



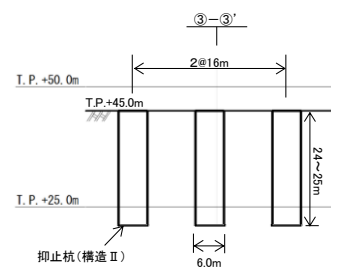
①-①'断面図



②-②'断面図



③-③'断面図



④-④'断面図

抑止杭概要図

7. その他の検討

7.1 鉄塔が設置されている斜面の安定性評価

7.2 岩盤斜面と盛土斜面の同時崩壊検討

7.3 応力状態を考慮した検討

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

①基本方針

②抑止杭の設計

③敷地内土木構造物(抑止杭)の耐震評価

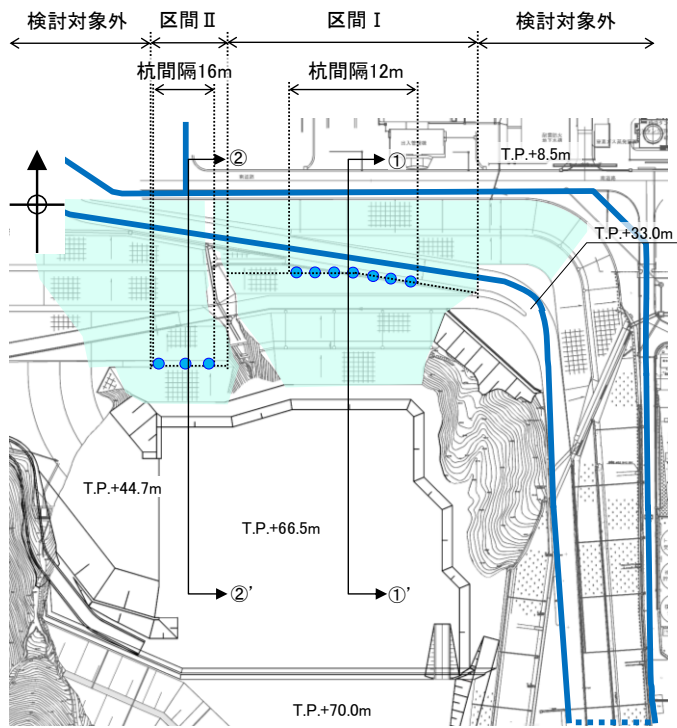
④抑止杭を設置した斜面の安定性評価

⑤先行炉との比較検討等

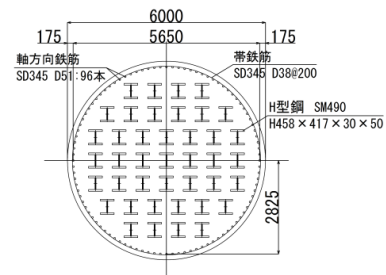
7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

②抑止杭の設計 評価対象斜面の選定（1 / 2）

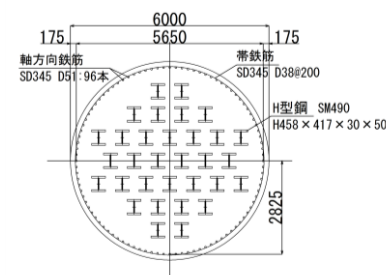
- 評価対象斜面について、構造物の配置、地形及び地質・地質構造を考慮し、構造物の耐震評価上、最も厳しくなると考えられる位置を選定する。
- 構造物の配置の観点から、下図に示すとおり、対象斜面は以下の2つの区間に分けられる。それぞれの区間は、抑止杭の効果을期待する範囲とし、それ以外は斜面高さが低いことから除外している。
 - 区間Ⅰ：抑止杭の構造Ⅰが12m間隔で7本配置されている山体
 - 区間Ⅱ：抑止杭の構造Ⅱが16m間隔で3本配置されている山体



平面図



抑止杭構造図（構造Ⅰ）



抑止杭構造図（構造Ⅱ）

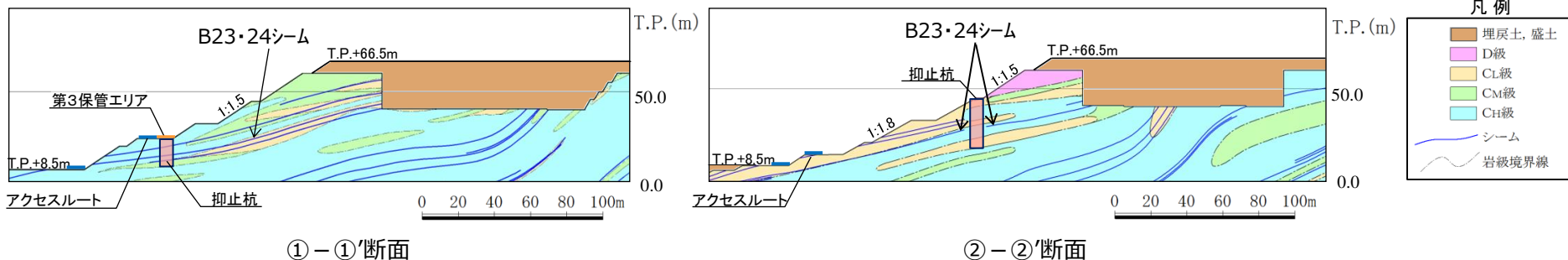
【凡例】

- : 抑止杭を施工する対象斜面
- : アクセスルート(車両・要員)
※破線は要員のみ
- : 抑止杭 ▲▲ : 断面位置

抑止杭の配置パターン図

②抑止杭の設計 評価対象斜面の選定（2 / 2）

- 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下図に、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下表に示す。
- 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。



区間Ⅰ及び区間Ⅱにおける岩級・シーム鉛直断面図

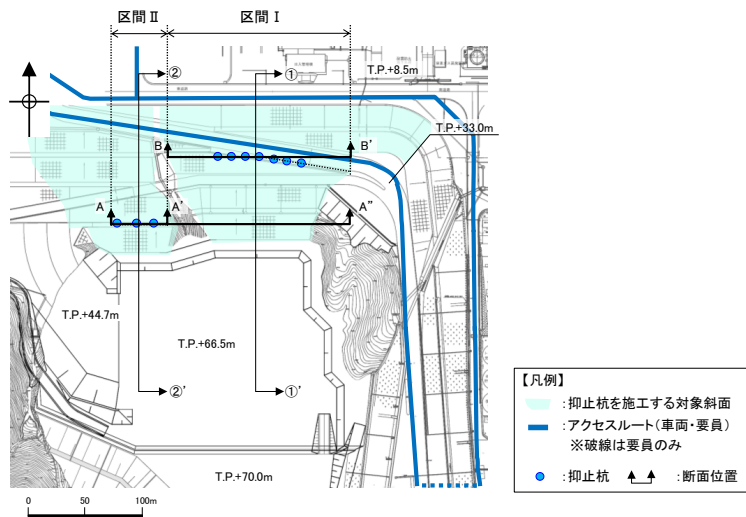
各区間における地形及び地質・地質構造の比較結果

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。

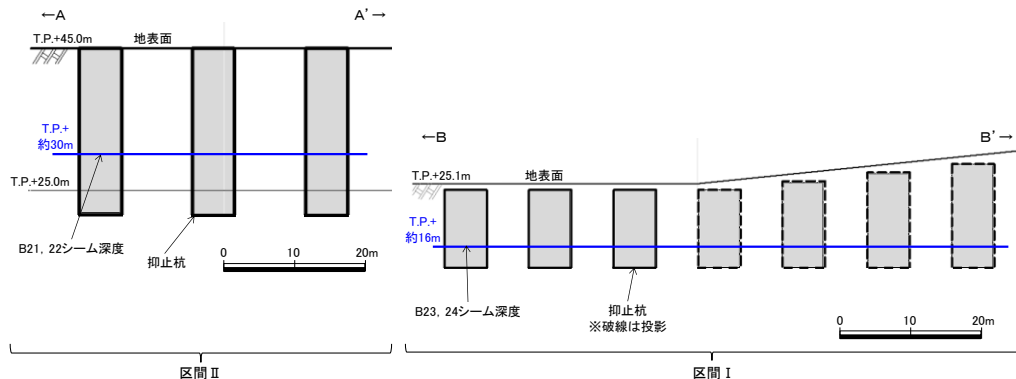
7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

②抑止杭の設計 評価対象断面の選定

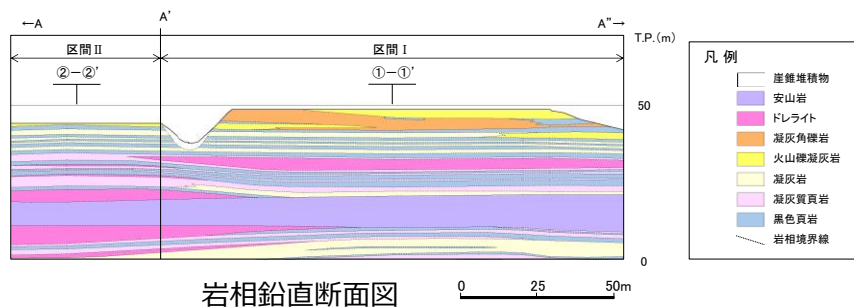
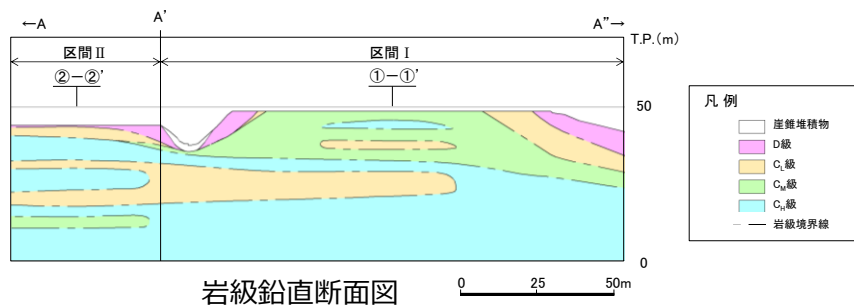
- 評価対象斜面に選定した区間Ⅰ及び区間Ⅱにおいて、地形及び地質・地質構造を考慮し、構造物の耐震評価上、最も厳しくなると考えられる断面位置を評価断面に設定する。
- 抑止杭の評価断面については、下図に示すとおり、各区間において地質が東西方向に概ね一様であることを踏まえ、斜面高さが各区間の中央位置において、最急勾配となる方向に①-①'断面及び②-②'断面を設定した。



区間Ⅰ及び区間Ⅱの断面位置平面図



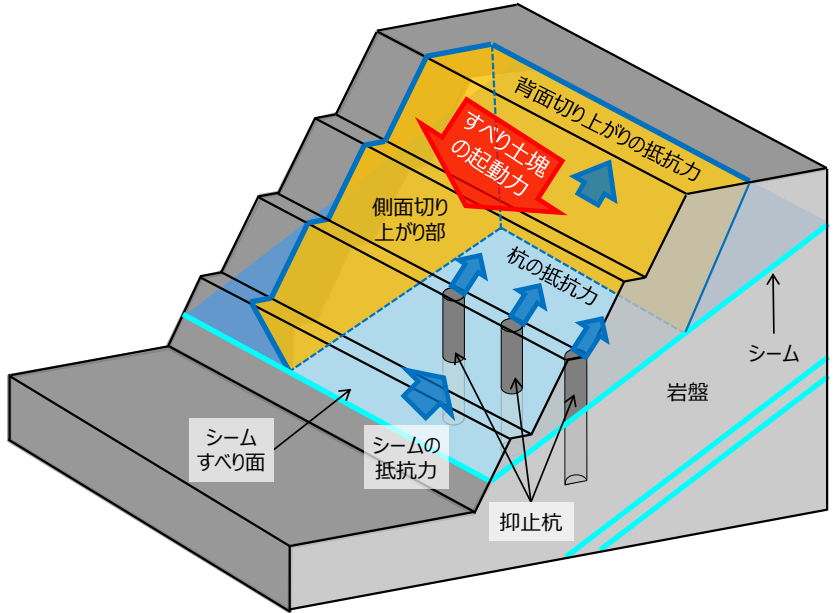
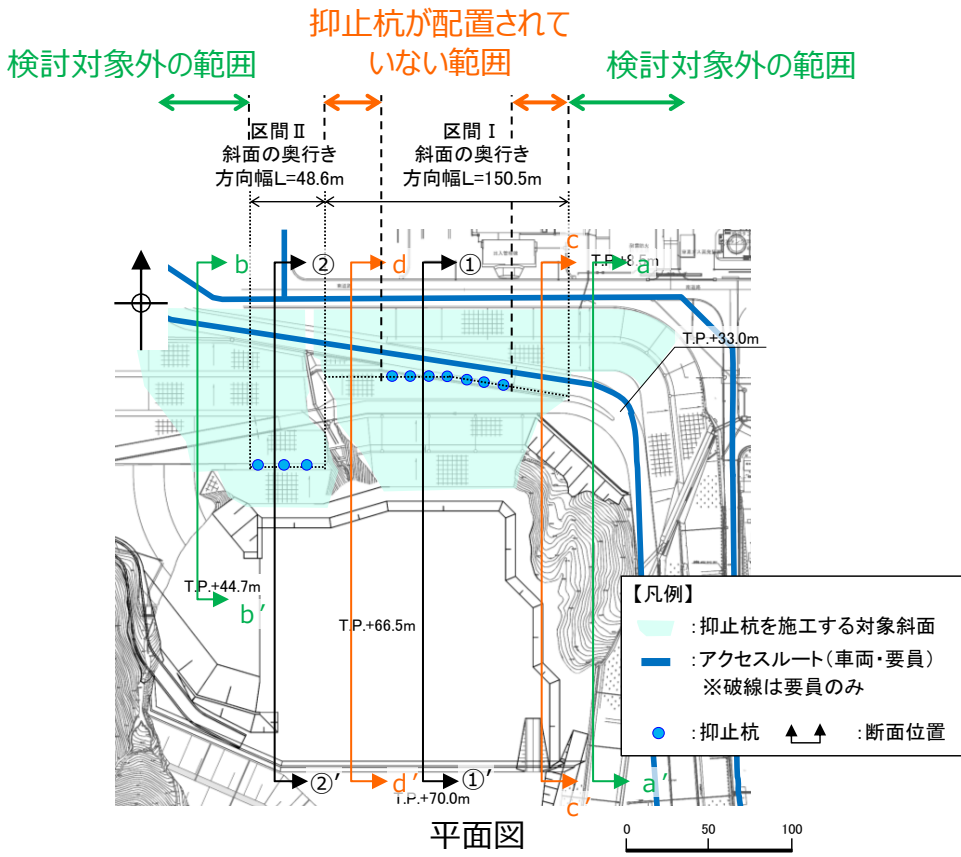
区間Ⅰ及び区間Ⅱのシーム分布図



7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

②抑止杭の設計 抑止杭の平面配置の考え方（1 / 3）

- 抑止杭の平面配置の考え方は、移動層が $C_M \sim C_H$ 級の堅硬な岩盤であることから、シームすべりを3次元的な剛体のすべり土塊の移動と捉え、安定性が確保されない範囲を検討対象のすべり土塊に設定し、すべり土塊全体を必要本数の杭で抑止するというものであり、すべり方向に対し直交方向に単列配置する。
- 区間Ⅰ及び区間Ⅱは、対象シームが異なることから、それぞれすべり土塊として設定している。
- 区間Ⅰは、すべり安定性に影響する斜面高さが東西方向に変化するため、斜面高さが相対的に高い（安定性が低い）範囲に集中的に抑止杭を配置する。
- 右図の「抑止杭が配置されていない範囲」及び「検討対象外の範囲」の考え方を次頁以降に示す。



シームすべり土塊全体を杭で抑止するイメージ図

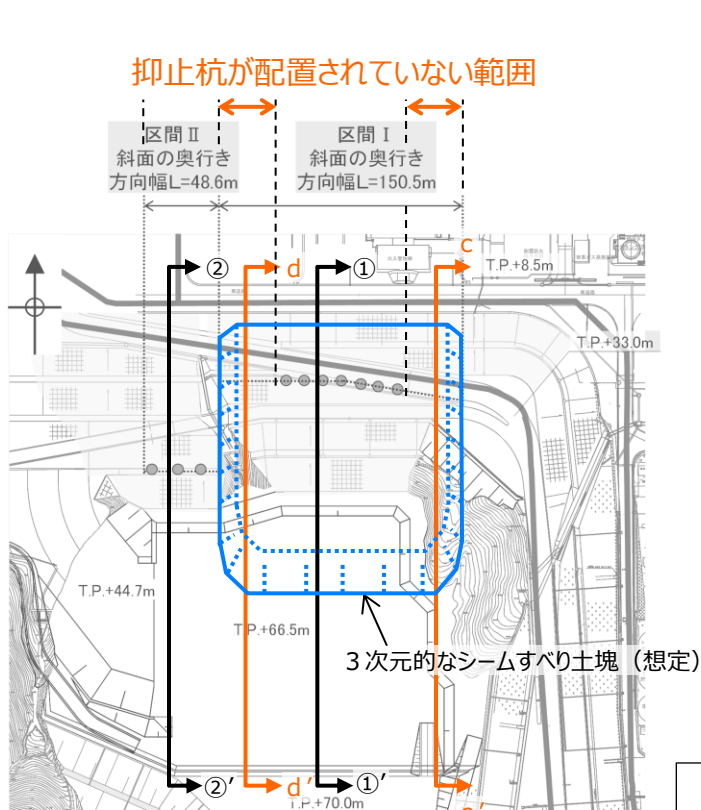
抑止杭の単位奥行当たりの許容せん断抵抗力RK

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	355,930	7	150.52	16,553
②-②'断面	284,839	3	48.62	17,576

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

②抑止杭の設計 抑止杭の平面配置の考え方（2 / 3）

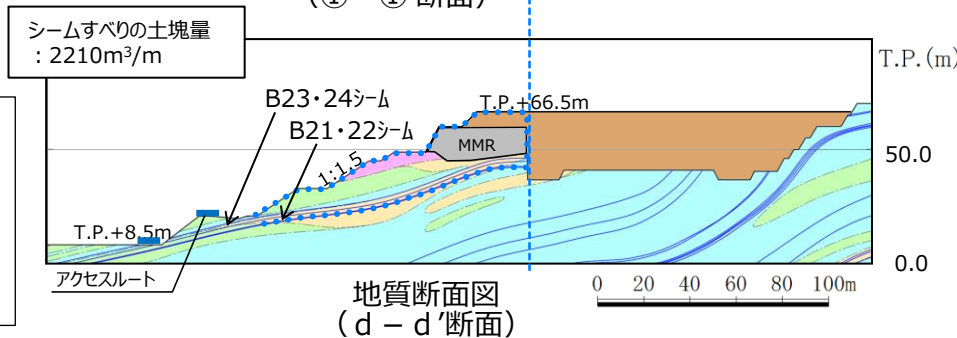
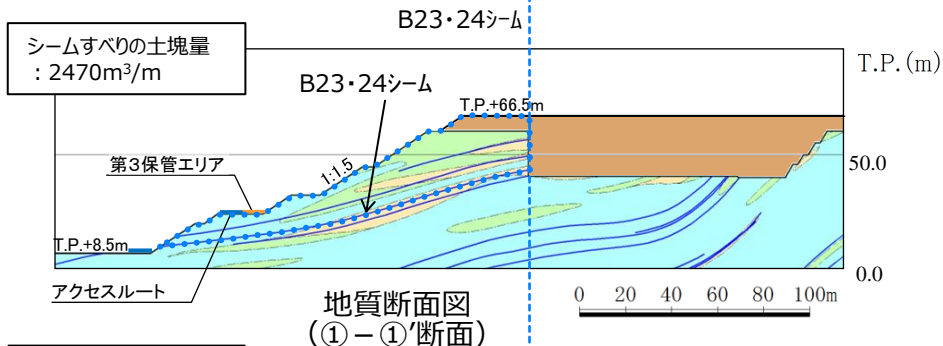
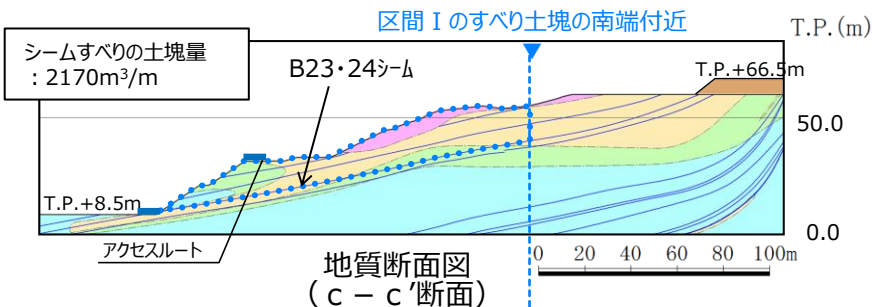
- 「抑止杭が配置されていない範囲」は、区間 I の中でも斜面高さが相対的に低く、シームすべりの土塊量が小さい。
- そのため、確実にシームすべりを抑止するために斜面高さが相対的に高い範囲において抑止杭を集中的に配置し、区間 I の 3 次元的なシームすべり土塊全体を 7 本の杭で抑止している。
- 詳細設計段階では、当該範囲において安定性評価を行い、評価基準値を下回る場合は抑止杭を追加配置する。



- 【凡例】**
- ：抑止杭を施工する対象斜面
 - ：アクセスルート（車両・要員）
※破線は要員のみ
 - ：抑止杭
 - ↑↑：断面位置

平面図

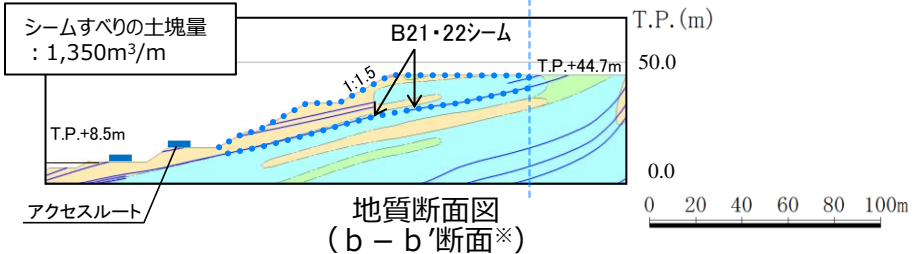
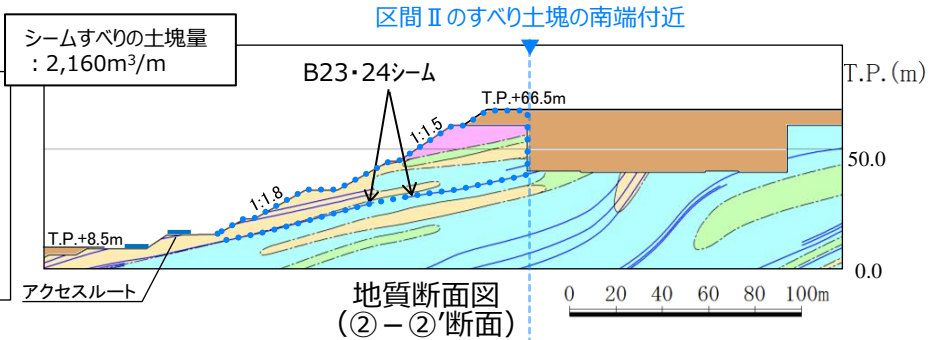
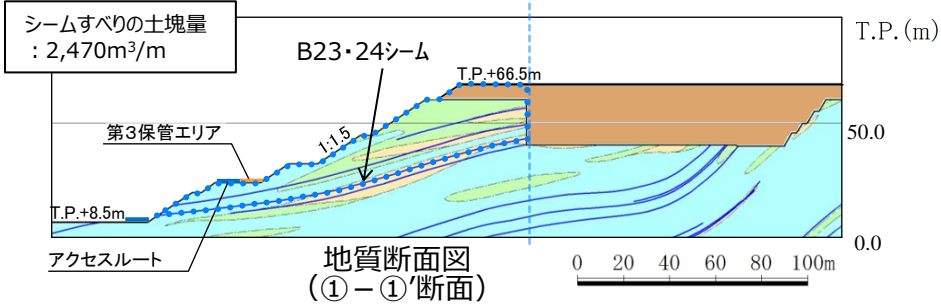
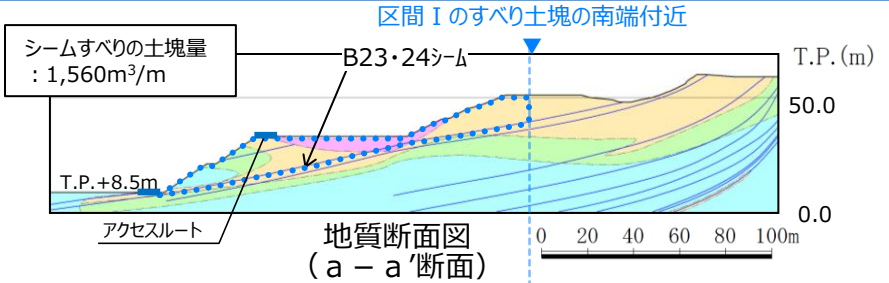
- 凡例**
- 埋戻土、盛土
 - D級
 - CL級
 - CM級
 - CH級
 - シーム
 - 岩級境界線
 - 土塊量範囲



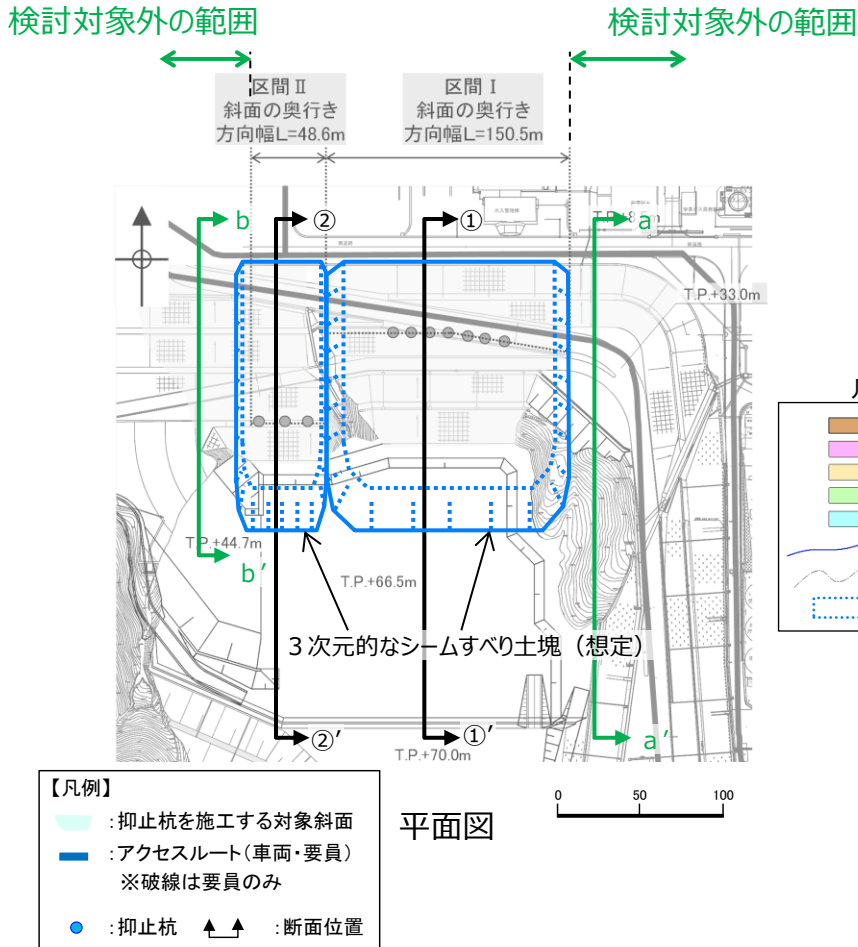
7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

②抑止杭の設計 抑止杭の平面配置の考え方（3 / 3）

- 「検討対象外の範囲」は、斜面高さが区間Ⅰ及びⅡに比べて相対的に低く、シームすべりの土塊量が有意に小さいことから、安定性が高いことから、抑止杭は不要とした。
- 詳細設計段階では、当該範囲において安定性評価を行い、評価基準値を下回る場合は抑止杭を追加配置する。



※ ②-②'断面を用い、b-b'断面位置の地形形状を反映

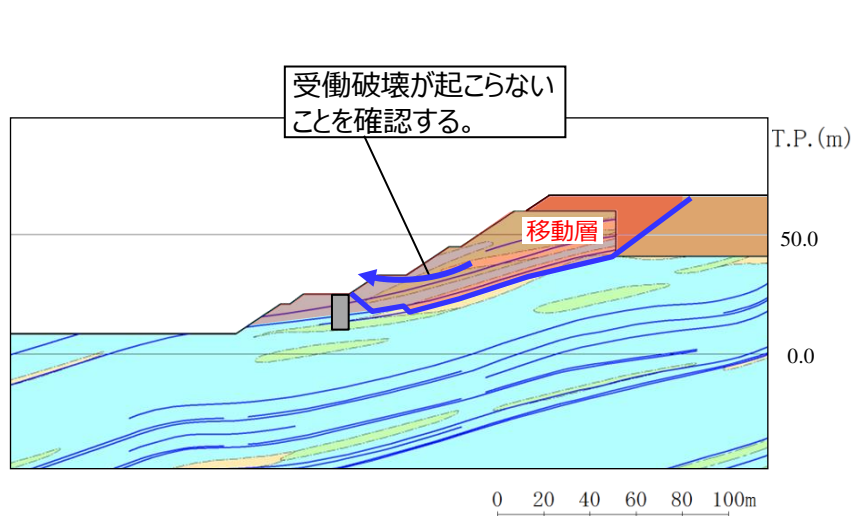


7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

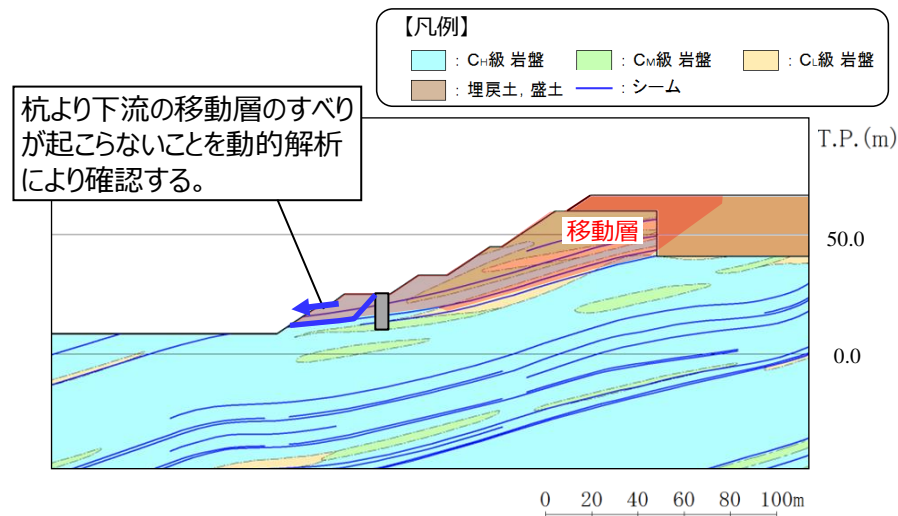
②抑止杭の設計 抑止杭の断面配置の考え方

- 杭の断面配置は、以下の文献を参考に設定した。

設計項目	参照文献		参照文献の記載内容を踏まえた抑止杭の断面配置の考え方
	記載内容	文献	
杭の断面配置	杭の設置位置は、原則として、すべり面の勾配が緩やかなところで、杭より下流の移動層の有効抵抗力が十分期待できる位置とし、かつ移動層の厚さの比較的厚く、受働破壊が起こらないところとする。	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)	<ul style="list-style-type: none"> 杭の断面配置は、以下を満足する位置とする。 <ol style="list-style-type: none"> すべり面の勾配が緩やかな位置 杭より下流の移動層のすべりが発生しない位置 ⇒動的解析により確認する。(P114) 移動層の厚さの比較的厚く、受働破壊が発生しない位置 ⇒動的解析により確認する。(P114)



受働破壊のイメージ (①-①'断面)

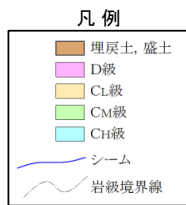
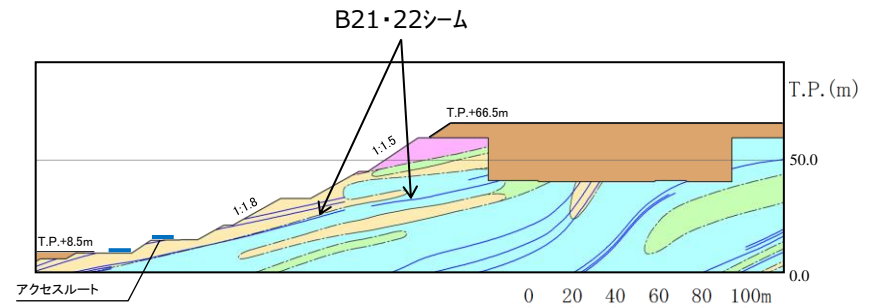
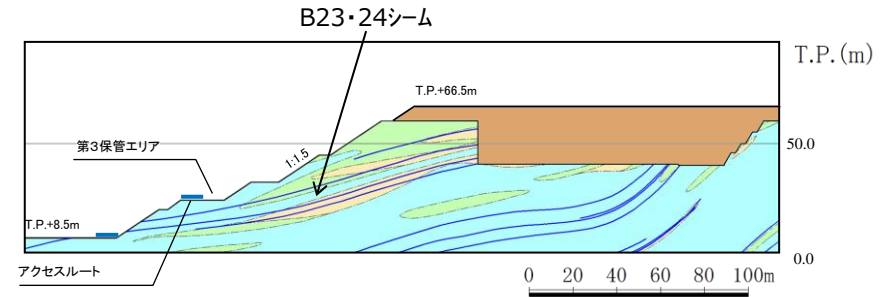
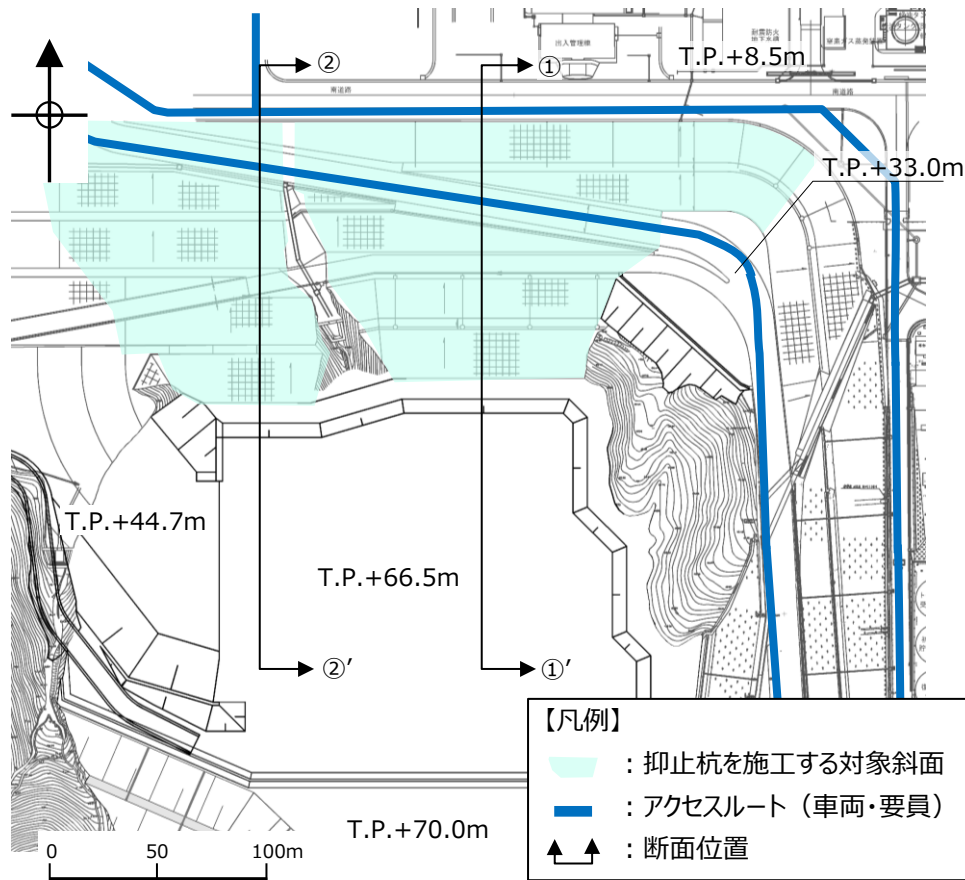


杭より下流の移動層のすべりのイメージ (①-①'断面)

②抑止杭の設計 根入れ深さの考え方 移動層・不動層の特定（1 / 4）

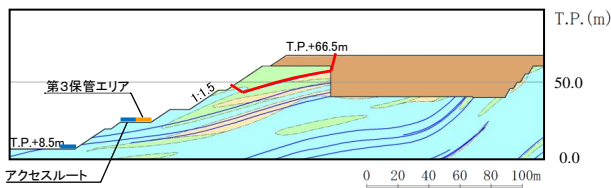
【方針】

- 杭の根入れを検討するにあたり、抑止杭設置前の斜面において、すべり安定性評価を実施し、移動層・不動層を特定する。
- すべり安定性評価の結果を踏まえ、評価基準値であるすべり安全率1.0を下回るすべり面が形成するすべり土塊のうち、最大となる土塊を移動層とし、それより下層を不動層とする。



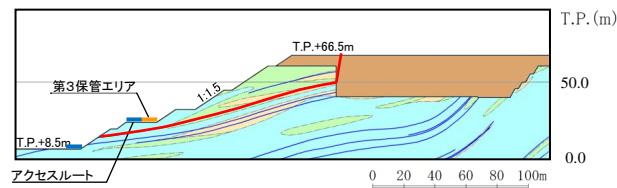
【結果（1 / 2）】

- ① - ①'断面における各すべり面のすべり安全率を以下に示す。



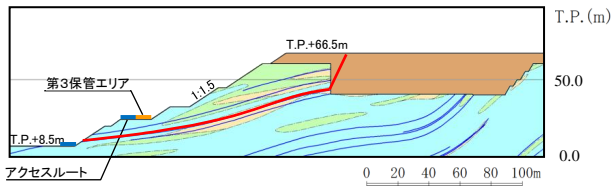
【B28シームを通過してT.P.+45m法尻に抜けるすべり面】

基準地震動 S s	すべり安全率
Ss-D	2.56
Ss-N ₁	3.20
Ss-N ₂	2.93



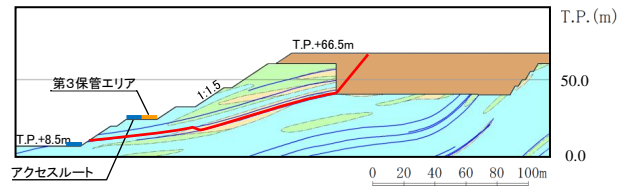
【B26シームを通過して法尻に抜けるすべり面】

基準地震動 S s	すべり安全率
Ss-D	1.30
Ss-N ₁	1.55
Ss-N ₂	1.59



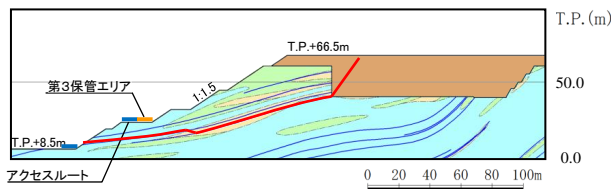
【B23・24シームを通過して法尻に抜けるすべり面】

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
Ss-D	1.08 (0.90)
Ss-N ₁	1.25
Ss-N ₂	1.32



【B21・22シームを通過して法尻に抜けるすべり面】

基準地震動 S s	すべり安全率
Ss-D	1.62
Ss-N ₁	1.78
Ss-N ₂	1.95



【B21・22シーム、法尻近傍のCL級岩盤及びB23・24シームを通過して法尻に抜けるすべり面】

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
Ss-D	1.11 (0.95)
Ss-N ₁	1.26
Ss-N ₂	1.34

【凡例】

- C_H級岩盤 (Blue)
- C_M級岩盤 (Green)
- C_L級岩盤 (Yellow)
- 埋戻土, 盛土 (Brown)
- シーム (Blue line)
- 最小すべり安全率のすべり面 (Red line)

②抑止杭の設計 根入れ深さの考え方 移動層・不動層の特定（3 / 4）

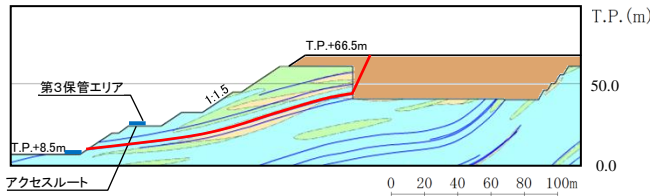
【結果（2 / 2）】

・ 抑止杭設置前の斜面において、①－①'断面のすべり安定性評価を実施した結果、すべり安全率1.0を下回るすべり面は以下のとおり。

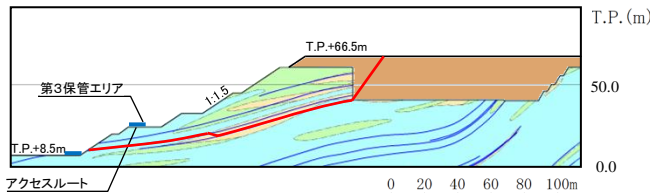
（a）B23・24シームを通過して法尻に抜けるすべり面

（b）B21・22シームを通過して法尻近傍のCL級岩盤内でB23・B24シームに飛び移り法尻に抜けるすべり面

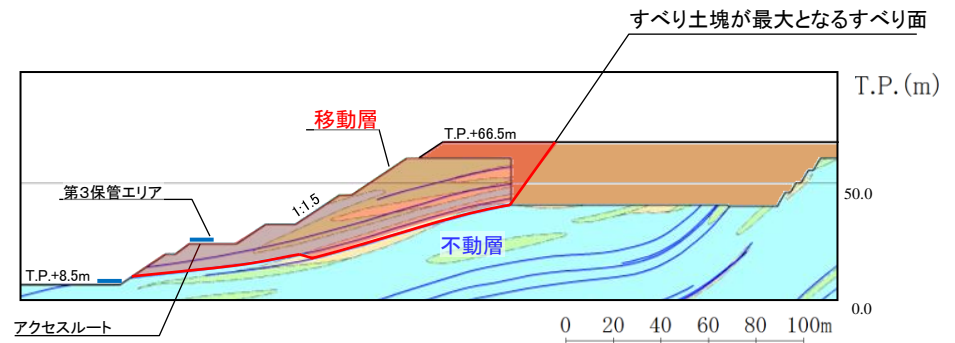
・ 上記の（a）及び（b）のすべり面のうち、すべり土塊が最大となる土塊を移動層、それより下層を不動層とした。



【B23・24シームを通過して法尻に抜けるすべり面】



【B21・22シーム，法尻近傍のCL級岩盤及びB23・24シームを通過して法尻に抜けるすべり面】



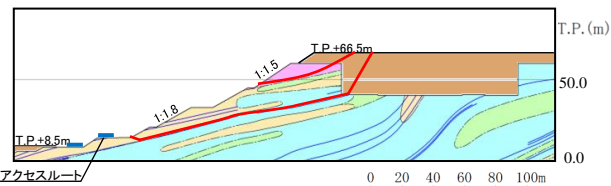
【凡例】

	: C _{II} 級岩盤		: C _M 級岩盤		: C _L 級岩盤
	: 埋戻土、盛土			: シーム	

①－①'断面の移動層・不動層

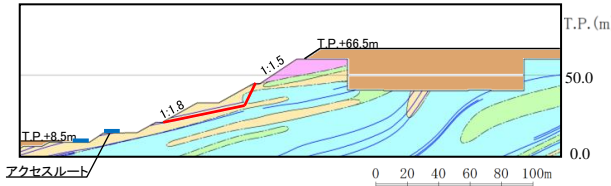
②抑止杭の設計 根入れ深さの考え方 移動層・不動層の特定（4 / 4）

- ② - ②'断面における各すべり面のすべり安全率を以下に示す。



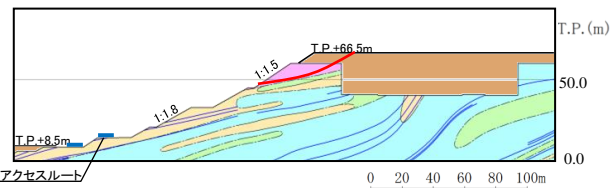
【B21・22シームを通過して斜面中腹に抜けるすべり面】

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
Ss-D	1.24 (1.06)
Ss-N ₁	1.57
Ss-N ₂	1.58



【B23・24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
Ss-D	2.50
Ss-N ₁	3.19
Ss-N ₂	3.07



【D級岩盤を抜けるすべり面】

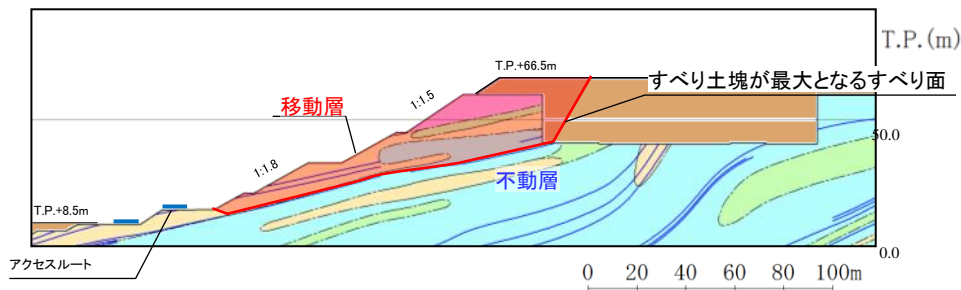
基準地震動 S _s	すべり安全率
Ss-D	1.43
Ss-N ₁	1.47
Ss-N ₂	1.62

【凡例】

: C _H 級 岩盤	: C _M 級 岩盤	: C _L 級 岩盤	: D級 岩盤
: 埋戻土、盛土	: シーム	: すべり面	

② - ②'断面の評価結果

- 抑止杭設置前の斜面において、② - ②'断面のすべり安定性評価を実施した結果、いずれのすべり面も評価基準値であるすべり安全率1.0を上回ることを確認したものの、「B21・22シームを通過して斜面中腹に抜けるすべり面」は裕度が小さいことから、当該すべり面が形成するすべり土塊を移動層、それより下層を不動層とした。

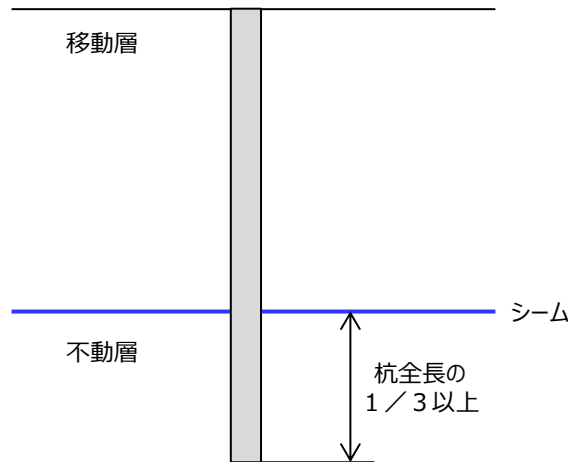


② - ②'断面の移動層・不動層

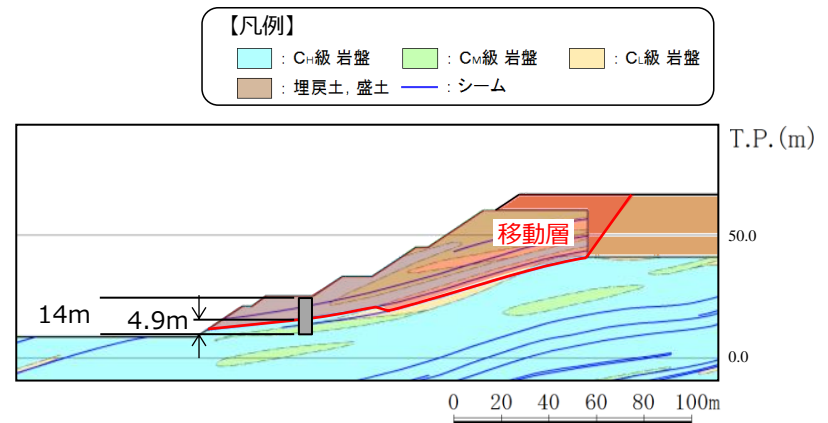
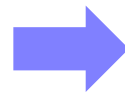
②抑止杭の設計 根入れ深さの考え方

- 杭の根入れ深さは、P89～92で特定された不動層に十分根入れされるように、以下の文献を参考に設定した。

設計項目	参照文献		参照文献の記載内容を踏まえた抑止杭の根入れ深さの考え方
	記載内容	文献	
杭の根入れ深さ	<p>・根入れ部が結晶片岩、砂岩、花崗岩、安山岩等で堅硬な岩盤の場合には杭の全長の1/4程度、第三紀の泥岩や凝灰岩の場合には杭の全長の1/3程度、根入れ部の不動層のN値が50以上のときは杭の全長の1/3以上とする。</p>	<p>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)</p>	<p>根入れ部が新第三紀中新世の頁岩・凝灰岩主体の岩盤であるため、全長の1/3以上、根入れを行う。 ⇒動的解析の応力状態により、不動層における杭周辺の岩盤が健全であることを確認する。(P115, 116参照)</p>



抑止杭の根入れの考え方 イメージ図



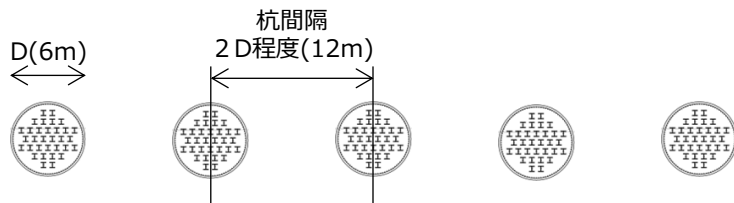
①-①'断面の根入れ深さ

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

②抑止杭の設計 杭間隔の考え方（1 / 3）

- 杭の間隔については、杭間が岩盤であることから、文献①及び岩盤中の深礎杭に係る一般産業施設の施工事例を参考に、必要抑止力を満足するよう設定した。
- 抑止杭周辺地盤は $C_M \sim C_H$ 級主体の堅硬な岩盤であるため、シームすべりの側面抵抗が十分に期待できることから、杭間を抜けるすべりは発生しないと考えられるが、掘削による緩みに起因する杭間を抜けるすべりを防止するため、杭間の岩盤を緩ませないよう対策を行っている（P97参照）。
- 詳細設計段階では、以下の検討を行い、必要に応じて抑止杭を追加配置する。
 - 一般産業施設の施工事例について、杭間隔及びSs規模の地震による被災事例に着目して整理し、杭間隔の妥当性を確認する。
 - 文献①～③を踏まえ、杭間の岩盤の中抜けを想定した3次元FEM解析を行い、中抜け現象が起こらないことを説明する。

設計項目	参考文献			参考文献の記載内容を踏まえた杭間隔の考え方
	記載内容	対象	文献	
杭の間隔 (1/3)	・杭間隔が基礎径の2倍程度未滿となると、支持地盤が掘削時の影響により隣接基礎の周面を緩め、地盤抵抗の減少や斜面の不安定化のおそれがあるため、最小中心間隔は基礎径の2倍程度とするのがよいとしている。	岩盤（支持層）の深礎基礎	文献①：斜面上の深礎基礎設計施工便覧（公益社団法人日本道路協会、2012年）	杭間隔を杭直径の2D程度とする。



①-①'断面の杭間隔等（イメージ図）

②抑止杭の設計 杭間隔の考え方（2 / 3）

設計項目	参照文献		
	記載内容	対象	文献
杭の間隔 (2/3)	<ul style="list-style-type: none"> 標準杭間隔として、移動層の厚さ20m以上では杭の間隔は4 m以下を目安とする。 上記の数値の他に杭の直径の8倍以内を杭間隔の一応の目安とすることができる。 	土質もしくは岩石で構成される移動層中の杭工	文献②：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）

6.2.17 標準杭間隔³³⁾

標準杭間隔として次の数値を目安とする。

移動層の厚さ (m)	杭の間隔 (m)
～ 10	2.0以下
10 ～ 20	3.0以下
20以上	4.0以下

杭の間隔は単列、千鳥配列共に地すべりの上流又は下流から見た投影間隔を意味し、その距離は杭の芯間距離とする（図34 参照）。

上記の数値の他に杭の直径の8倍以内を杭間隔の一応の目安とすることができる。

これらの数値は経験や実験結果にもとづいて定められたものであり、削孔による地盤のゆるみや乱れの影響が重複せず、したがって土塊の中抜けを起こさず、杭に所定の地すべり力が作用するための条件の目安として用いることができる。

なお、杭の施工上孔壁間の距離は約1 m以上を確保する必要があるので杭間隔の決定にあたってはこの点を考慮する必要がある。設計計算上孔壁間の距離が約1 m未満となる場合には杭配列を千鳥配列とする。

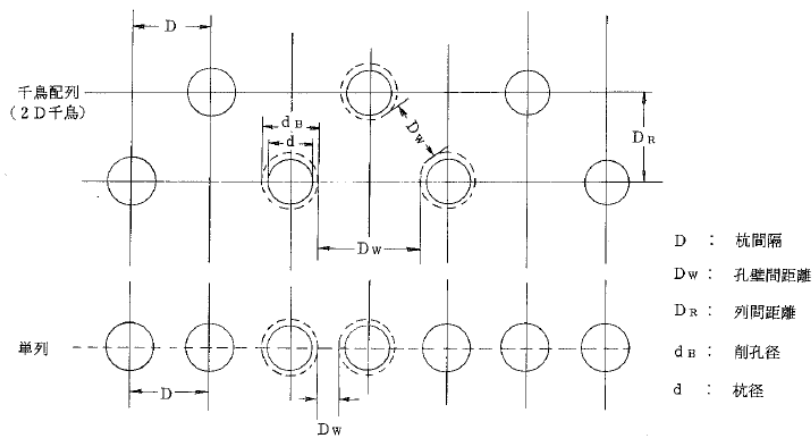
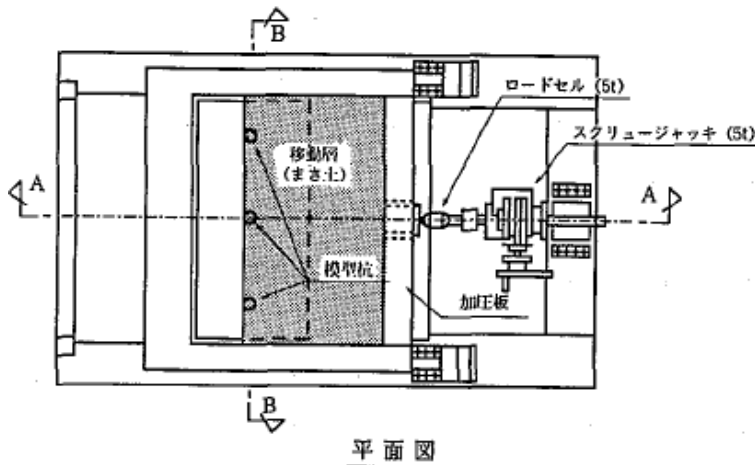


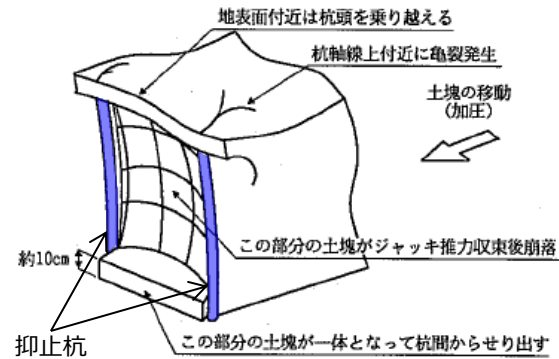
図34 杭間隔および杭の配列³³⁾

②抑止杭の設計 杭間隔の考え方（3 / 3）

設計項目	参考文献		
	記載内容	対象	文献
杭の間隔 (3 / 3)	<ul style="list-style-type: none"> ・風化まさ土地帯の抑止杭を対象とし、大型一面せん断機による模型実験により、杭間隔と中抜け現象及び杭の負担荷重の相関性について考察した。 ・杭間隔を変えて実験を行った結果、8D以上になると中抜けしやすくなることが分かったため、適切な杭間隔として8D以下が一つの目安になることが分かった。 ・中抜け現象は、移動層と不動層の層境の移動層底部の土塊が杭間をトコロテン状にすべり抜け、地表面付近の土塊も一体にすべり抜けようとし、手前にせり出す際の亀裂の発生により、崩壊している現象と考えられる。 	土質で構成される移動層中の杭	文献③：斜面崩壊抑止杭に関する模型実験（技術研究所報 No.19, 佐藤工業(株), 1993年）



実験装置概要
(文献③より抜粋)



実験結果イメージ図（杭間からの土の中抜けけ状況）
(文献③より抜粋，一部加筆)

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

②抑止杭の設計 杭間隔の考え方 杭間の岩盤の緩みに対する施工時の配慮

- 「道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編）（（社）日本道路協会，2002年3月）」及び「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）」によると，深礎基礎の施工時には，発破作業を原則として避けることとされている。
- また，「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）」によると，発破掘削は岩盤を効率よく掘削することができる反面，地山を緩めやすく，機械掘削は地山の緩みが小さいとされている。
- これらを踏まえ，島根サイトの深礎杭の掘削では， $C_M \sim C_H$ 級の堅硬な岩盤に対し，地山を緩めやすい発破掘削を避け，緩みの小さい『機械掘削』を採用している。



掘削状況写真



島根サイトの深礎杭 掘削面の写真（南側）



掘削面の近接写真

7. その他の検討

7.1 鉄塔が設置されている斜面の安定性評価

7.2 岩盤斜面と盛土斜面の同時崩壊検討

7.3 応力状態を考慮した検討

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

①基本方針

②抑止杭の設計

③敷地内土木構造物(抑止杭)の耐震評価

④抑止杭を設置した斜面の安定性評価

⑤先行炉との比較検討等

③敷地内土木構造物(抑止杭)の耐震評価 評価方針及び適用規格

■ 評価方針

- 敷地内土木構造物である抑止杭について、基準地震動 S_s が作用した場合に、敷地内土木構造物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値を下回ることを確認する。

■ 適用規格

- 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)

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

③敷地内土木構造物(抑止杭)の耐震評価 解析用物性値

■ 解析用物性値（地盤）

- 地盤の解析用物性値については、「島根原子力発電所 2 号炉 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価について」の物性値を用いる。

■ 解析用物性値（抑止杭，物理特性・変形特性）

- 抑止杭の単位奥行当たりの解析用物性値を下表に示す。

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 (×10 ³ N/mm ²)	動せん断弾性係数 (×10 ³ N/mm ²)	ポアソン比	減衰 (%) ※
①－①'	25.9	11.34	8.52	0.20	5
②－②'	25.8	12.97	5.66	0.20	5

※ 減衰定数は、コンクリート標準示方書[構造性能照査]（土木学会，2002年）に基づき，5%を設定しているが，断面奥行き方向の杭間に岩盤が存在することから，岩盤の減衰定数である3%とした場合の影響検討をP117，118に示す。

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

③敷地内土木構造物(抑止杭)の耐震評価 抑止杭に期待する効果等

- 島根原子力発電所の抑止杭に期待する効果及び効果を発揮するためのメカニズムを下表に示す。

期待する効果	効果を発揮するためのメカニズム	部位（材質）	イメージ図
<p>シームを通るすべりによる発生せん断力に抵抗する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> シームを通るすべりが発生した際に生じるせん断力に対して、主にH鋼が負担する。 	<p>H鋼，コンクリート，帯鉄筋</p>	
<p>シームを通るすべりによる発生曲げモーメントに抵抗する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> シームを通るすべりが発生した際に生じる曲げモーメントに対して、コンクリートが圧縮力を負担する。 シームを通るすべりが発生した際に生じる曲げモーメントに対して、軸方向鉄筋が引張力を負担する。 	<p>コンクリート（圧縮） 軸方向鉄筋（引張）</p>	

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

③敷地内土木構造物（抑止杭）の耐震評価 許容限界（1 / 2）

- 杭の1本当たりの許容せん断抵抗力は、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)に基づき、下式により算定した。結果は下表のとおり。なお、杭のせん断抵抗力の算定では、H鋼がコンクリートに拘束されていることを考慮し、H鋼の全断面を考慮して算定を行う。

$$S_a = \gamma_p \cdot A_p / \alpha + \gamma_H \cdot A_H$$

S_a : 杭材の許容せん断力 (N/mm²) ,

γ_p : 杭材の許容せん断応力度 (N/mm²) , A_p : 杭材の断面積 (mm²)

γ_H : せん断補強材の許容せん断応力度 (N/mm²) , A_H : せん断補強材の断面積 (mm²)

α : 最大応力度 / 平均応力度

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	14,256 ^{※4}	14,526 ^{※4}
帯鉄筋	323 ^{※2}	1.14 × 10 ³		16,585 ^{※5}	16,585 ^{※5}
H鋼	150 ^{※3}	2.167×10 ⁶ (41本)	1.692×10 ⁶ (32本)	325,089	253,728
抑止杭 (合計)				355,930	284,839

抑止杭 1 本当たりの許容せん断抵抗力 S_k

※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/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。

※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/mm^2 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)に基づき右式により設定。 $S_c = \tau_{ca} \times 0.6 \times 1.06 \times A$

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)に基づき右式により設定。 $S_s = A_s \times \sigma_{sa} \times d (\sin 90^\circ + \cos 90^\circ) / (1.15 \times s)$

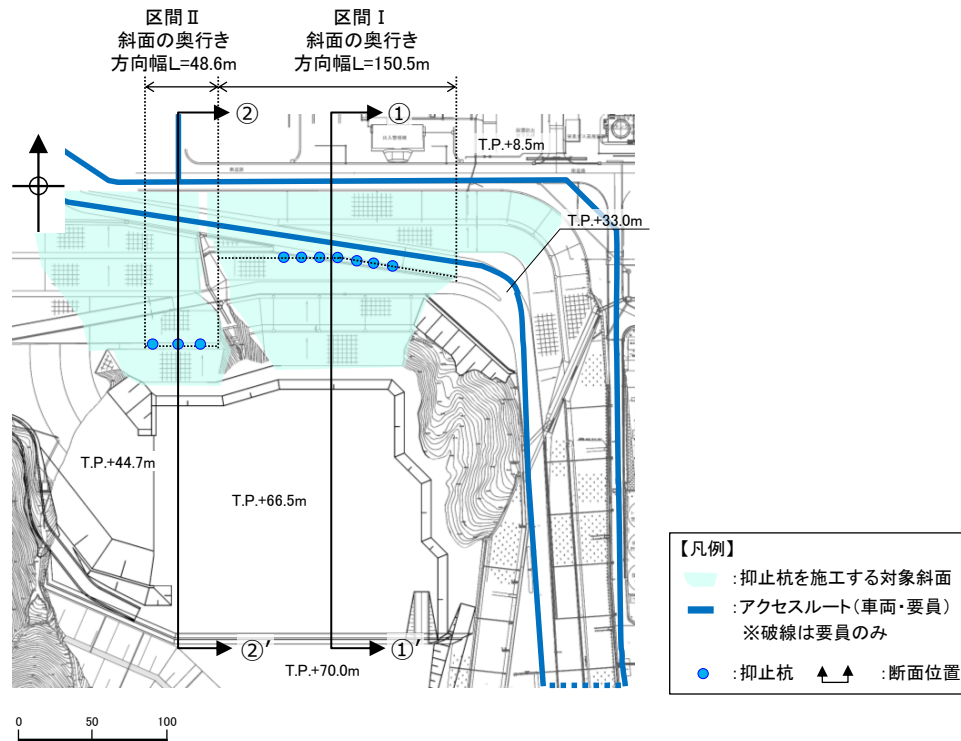
ここで、 S_s : 帯鉄筋の許容せん断抵抗力, σ_{sa} : 帯鉄筋の許容引張応力度, A_s : 鉄筋の断面積, d : 部材断面の有効高 (=5,180mm) , s : 帯鉄筋の部材軸方向の間隔 (=200mm)

③敷地内土木構造物(抑止杭)の耐震評価 許容限界（2 / 2）

- 杭の1本当たりの許容せん断抵抗力に基づき、耐震照査に用いる抑止杭の単位奥行当たりの許容せん断抵抗力について下表のとおり算定した。

抑止杭の単位奥行当たりの許容せん断抵抗力RK

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	355,930	7	150.52	16,553
②-②'断面	284,839	3	48.62	17,576



平面図

③敷地内土木構造物(抑止杭)の耐震評価 解析条件

■ 地震応答解析手法

- 2次元動的FEM解析（等価線形化法）により耐震評価を行う。

■ 解析モデルの設定

- 解析モデルの設定方法を以下に示す。解析モデルには、地盤及び敷地内土木構造物として設定されている抑止杭をモデル化した。

項目	設定方法
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した。
抑止杭のモデル化	平面ひずみ要素でモデル化した。
地下水位の設定	保守的に地表面に設定した。
減衰特性	JEAG4601-2015に基づき、岩盤の減衰を3%に設定した。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〕（土木学会、2002年）に基づき、5%に設定した。

■ 入力地震動

- 入力地震動については、「島根原子力発電所2号炉 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価について」と同様のものを用いる。
- 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Ss-F1及びSs-F2については、応答スペクトル手法による基準地震動Ss-Dに包絡されるため、検討対象外とする。

③敷地内土木構造物(抑止杭)の耐震評価 照査結果

- ・コンクリートの曲げ圧縮応力度，鉄筋の引張応力度及びせん断力に対する照査結果を下表に示す。
- ・コンクリートの発生曲げ応力度，鉄筋の引張応力度，せん断力はいずれも許容値を下回っていることを確認した。

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 (+,-)	1.7	18	0.096	OK
②-②'	Ss-D (-,+)	2.8	18	0.154	OK

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
②-②'	Ss-D (-,+)	77	323	0.238	OK

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/m)	許容値 (kN/m)	照査値	判定
①-①'	Ss-D (+,-)	2,794	16,553	0.169	OK
②-②'	Ss-D (+,-)	3,015	17,576	0.172	OK

7. その他の検討

7.1 鉄塔が設置されている斜面の安定性評価

7.2 岩盤斜面と盛土斜面の同時崩壊検討

7.3 応力状態を考慮した検討

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

①基本方針

②抑止杭の設計

③敷地内土木構造物(抑止杭)の耐震評価

④抑止杭を設置した斜面の安定性評価

⑤先行炉との比較検討等

④抑止杭を設置した斜面の安定性評価 評価方針及び適用規格

■ 評価方針

- 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。

■ 適用規格，評価対象斜面・評価対象断面の選定，解析用物性値等

- 抑止杭の耐震評価と同じとする。

■ 評価基準値の設定

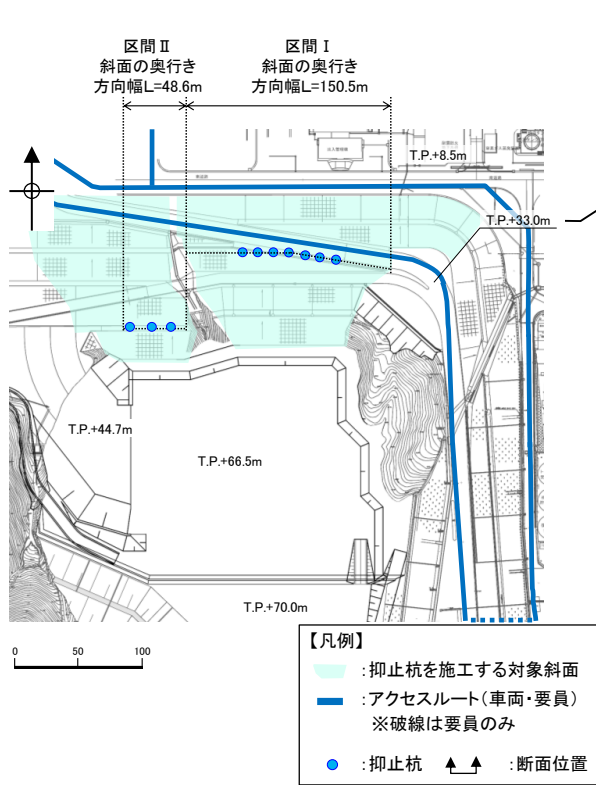
- すべり安定性評価では、すべり安全率が1.0を上回ることを確認する。

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

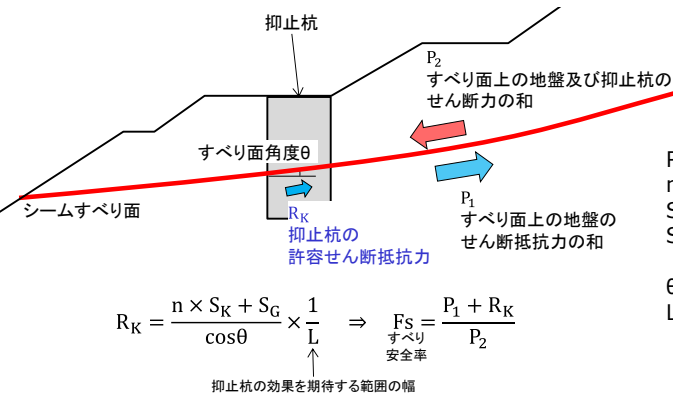
④ 抑止杭を設置した斜面の安定性評価 抑止杭のせん断抵抗力の考え方

■ すべり安全率の算定方法

- すべり安全率の算定では、抑止杭のせん断抵抗力も見込む。
- 抑止杭のせん断抵抗力も見込んだシームすべりに対するすべり安全率算定の概念図を下図に示す。
- 抑止杭のせん断抵抗力の算出においては、杭間の岩盤又はシームのせん断抵抗力を保守的にゼロとする。



平面図

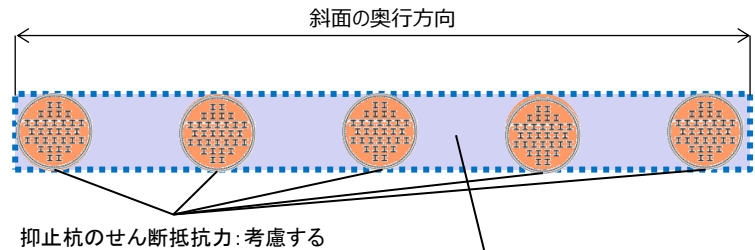


$$R_K = \frac{n \times S_K + S_G}{\cos\theta} \times \frac{1}{L} \Rightarrow \frac{F_S}{\text{すべり安全率}} = \frac{P_1 + R_K}{P_2}$$

抑止杭の効果を期待する範囲の幅

- 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 : 7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 (保守的に $\cos 0^\circ = 1$ とする)
- L : 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。区間 I : 150.5m, 区間 II : 48.6m)

抑止杭のせん断抵抗力算出イメージ図



シームすべりに対する抑止杭のせん断抵抗力算出概要図

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

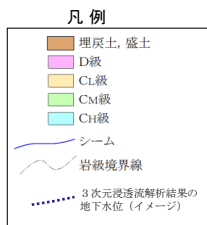
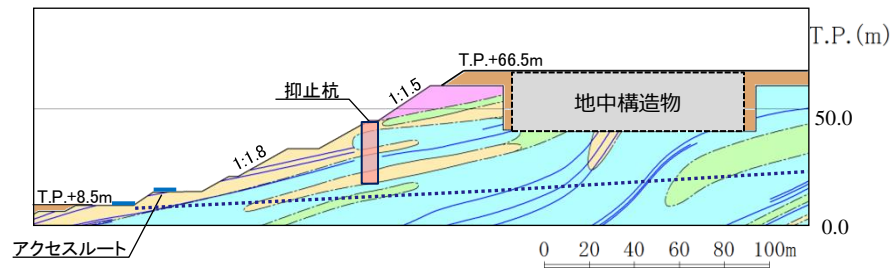
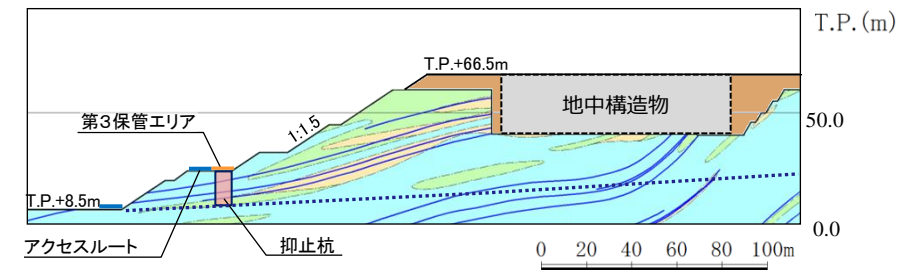
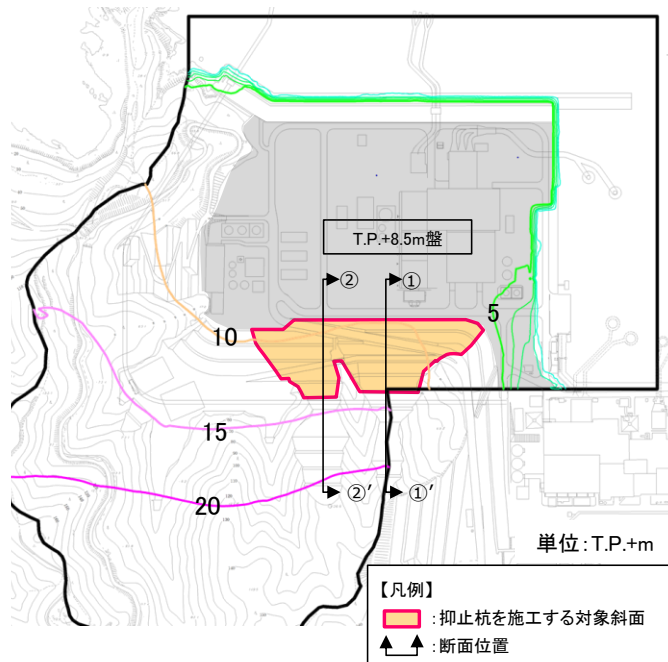
④抑止杭を設置した斜面の安定性評価 液状化範囲の検討

【方針】

- 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、3次元浸透流解析結果の大局的な地下水位分布の傾向を参照し、液状化の可能性を検討する。

【結果】

- 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、T.P.+15~20mであり、埋戻土層下端（T.P.+44m盤）より十分に低いことから、液状化影響を考慮しない。
- なお、T.P.+44m盤には構造物を設置して周辺を埋め戻す予定であるため、すべり安定性評価においては、構造物等がある場合とない場合をそれぞれ検討する。構造物がある場合の評価においては、当該構造物は地中構造物になることから、重量の観点から保守的にするように埋戻土としてモデル化する。



3次元浸透流解析結果（定常解析）の等水位線図※

※「島根原子力発電所2号炉 地震による損傷の防止(コメント回答) [地下水位の設定]」(第872回審査会合, 2020年7月7日)において説明済

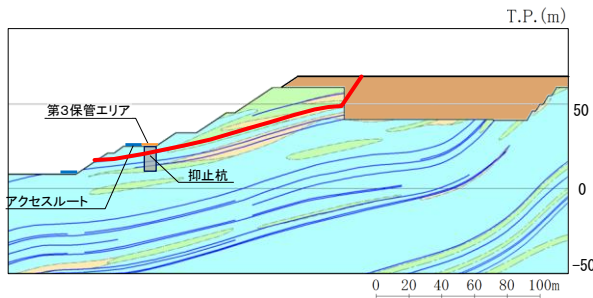
④抑止杭を設置した斜面の安定性評価 評価結果（1 / 4）

【①-①'断面（構造物等がある場合）】

- すべり安定性評価結果を以下に示す。
- 最小すべり安全率（平均強度）が評価基準値1.0を上回っており、安定性を有することを確認した。
- 上記の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 × 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を上回っており、安定性を有することを確認した。

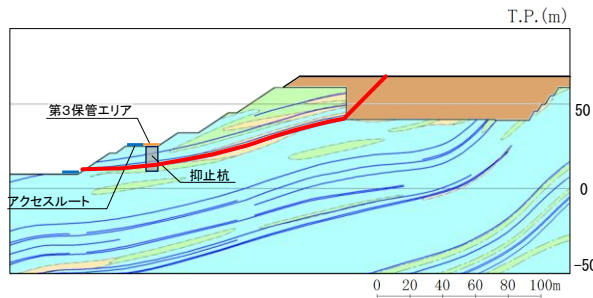
【凡例】

- C_H級岩盤
- C_M級岩盤
- C_L級岩盤
- 埋戻土、盛土
- 抑止杭
- シーム
- 最小すべり安全率のすべり面



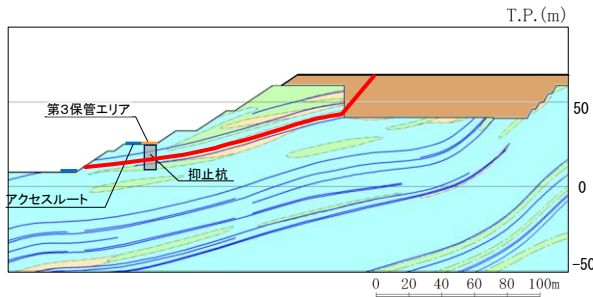
基準地震動 S s	すべり安全率
Ss-D	1.71
Ss-N ₁	2.03
Ss-N ₂	2.11

【B26シームを通るすべり面】



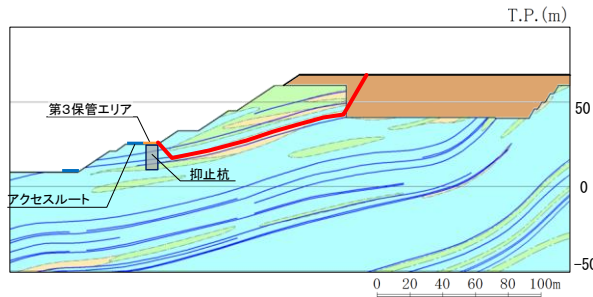
基準地震動 S s	すべり安全率
Ss-D	1.80
Ss-N ₁	1.99
Ss-N ₂	2.18

【B21・22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
Ss-D	1.37 (1.21)
Ss-N ₁	1.57
Ss-N ₂	1.69

【B23・24シームを通るすべり面】



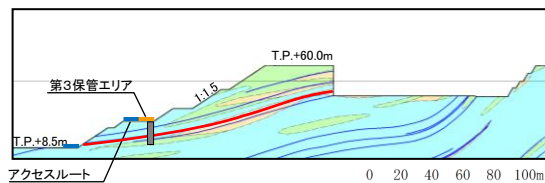
基準地震動 S s	すべり安全率
Ss-D	1.60
Ss-N ₁	1.81
Ss-N ₂	1.97

【B23・24シームを通過して抑止杭背後で切り上がるすべり面】

④抑止杭を設置した斜面の安定性評価 評価結果（2 / 4）

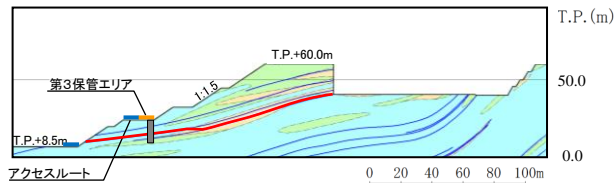
【①－①'断面（構造物等がない場合）】

- すべり安定性評価結果を以下に示す。
- 最小すべり安全率（平均強度）が評価基準値1.0を上回っており、安定性を有することを確認した。
- 上記の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×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を上回っており、安定性を有することを確認した。
- 詳細設計段階においては、基本設計の妥当性に係る種々の検討を行うとともに、検討に際しては余裕を持った設計となるよう留意する。



【B23・24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
Ss-D	1.28 (1.11)
Ss-N ₁	1.54
Ss-N ₂	1.65



【B21・22シーム、法尻近傍のC₁級岩盤及びB23・24シーム
を通過して法尻に抜けるすべり面】

基準地震動 S s	すべり安全率
Ss-D	1.31
Ss-N ₁	1.55
Ss-N ₂	1.64

【凡例】

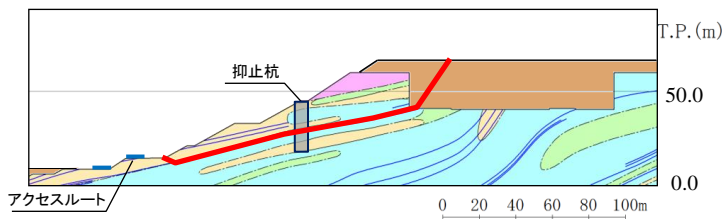
- : C₁級 岩盤
- : C₂級 岩盤
- : C₃級 岩盤
- : 抑止杭
- : シーム
- : 最小すべり安全率のすべり面

①－①'断面の確認結果

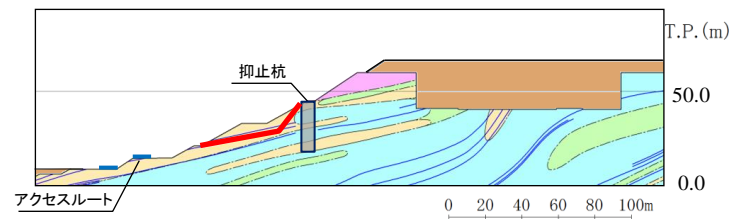
④抑止杭を設置した斜面の安定性評価 評価結果（3 / 4）

【②-②'断面（構造物等がある場合）】

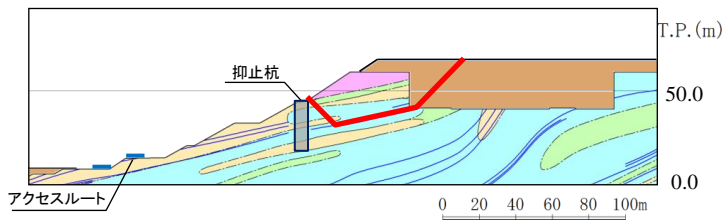
- すべり安定性評価結果を以下に示す。
- 最小すべり安全率（平均強度）が評価基準値1.0を上回っており、安定性を有することを確認した。
- 上記の結果が最小となったケースに対して、地盤物性のばらつき（平均強度 - 1.0 × 標準偏差（σ））を考慮した場合でも、最小すべり安全率が評価基準値1.0を上回っており、安定性を有することを確認した。



基準地震動 S s	すべり 安全率 ()内はばらつき強度 のすべり安全率
Ss-D	1.67 (1.49)
Ss-N ₁	2.10
Ss-N ₂	2.10



【B21・22シームを通るすべり面】



基準地震動 S s	すべり 安全率
Ss-D	2.39
Ss-N ₁	2.50
Ss-N ₂	3.21

基準地震動 S s	すべり 安全率
Ss-D	2.25
Ss-N ₁	2.58
Ss-N ₂	2.95

【B21・22シームを通過して法面に抜けるすべり面】

【B21・22シームを通過して抑止杭背後で切り上がるすべり面】

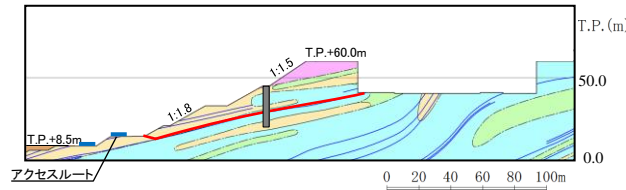
【凡例】

: 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	

④抑止杭を設置した斜面の安定性評価 評価結果（4 / 4）

【②－②'断面（構造物等がない場合）】

- すべり安定性評価結果を以下に示す。
- 最小すべり安全率（平均強度）が評価基準値1.0を上回っており，安定性を有することを確認した。
- 上記の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×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を上回っており，安定性を有することを確認した。



【B21・22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
Ss-D	1.61 (1.44)
Ss-N ₁	2.12
Ss-N ₂	2.21

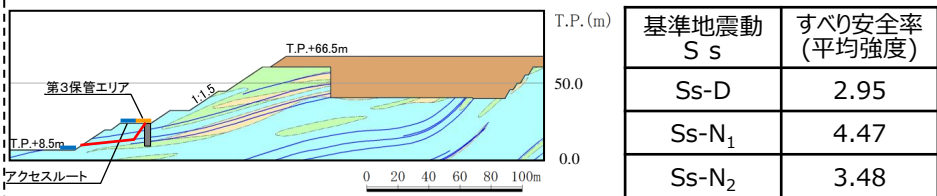
②－②'断面の確認結果

【凡例】

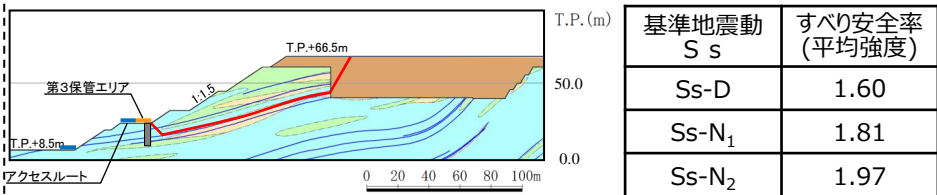
7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

④抑止杭を設置した斜面の安定性評価 杭の断面配置の妥当性確認結果

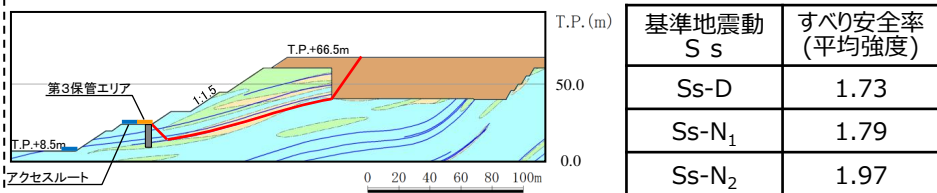
- ①-①'断面及び②-②'断面において、抑止杭をモデル化し、杭より下流の移動層のすべり及び受働破壊を想定したすべりを設定して動的解析を実施した結果、すべり安全率1.0を上回ることを確認したことから、杭の断面配置が妥当であることを確認した。
- 詳細設計段階において、杭より下流の移動層のすべりについて、以下の検討を行い、評価基準値を下回る場合は、杭を追加配置する。
 - 杭前面における岩盤の肌分かれを想定したすべり安定性評価を実施し、杭の断面配置の妥当性を説明する。その際には、杭間に堅硬かつ健全な岩盤が分布すること（右下図及びP115,116参照）、及び杭間の岩盤の中抜け現象が起こらないこと（P94～96に方針を記載）を踏まえ、杭間の岩盤のせん断抵抗力のみを考慮した安定性評価を行う。



【B23・24シームを通る杭より下流の移動層のすべり面】

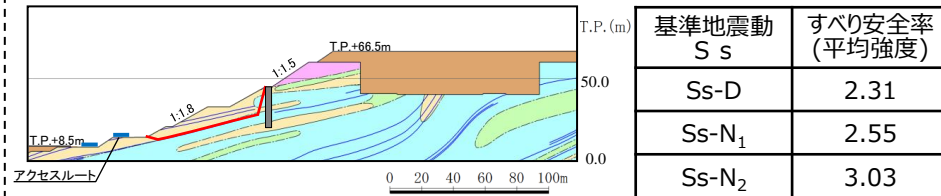


【B23・24シームを通る受働破壊を想定したすべり面】

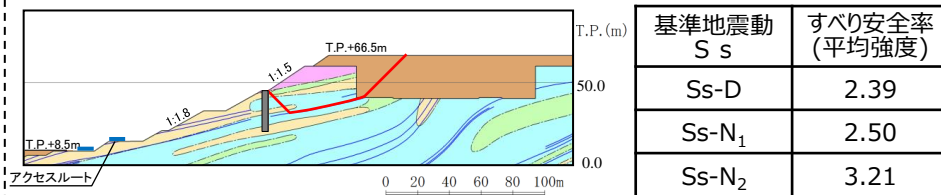


【B21・22シームを通る受働破壊を想定したすべり面】

①-①'断面の確認結果



【B21・22シームを通る杭より下流の移動層すべり面】

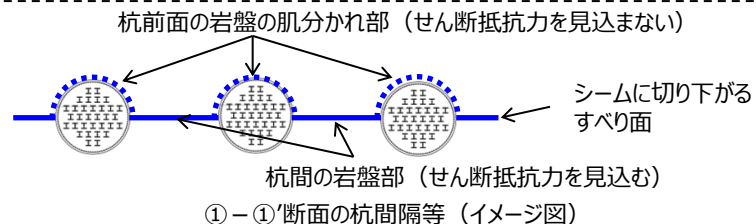


【B21・22シームを通る受働破壊を想定したすべり面】

【凡例】

- C₊級岩盤 (Cyan)
- C_m級岩盤 (Green)
- C₋級岩盤 (Yellow)
- 埋戻土、盛土 (Brown)
- 抑止杭 (Grey)
- D級岩盤 (Pink)
- シーム (Blue line)
- 最小すべり安全率のすべり面 (Red line)

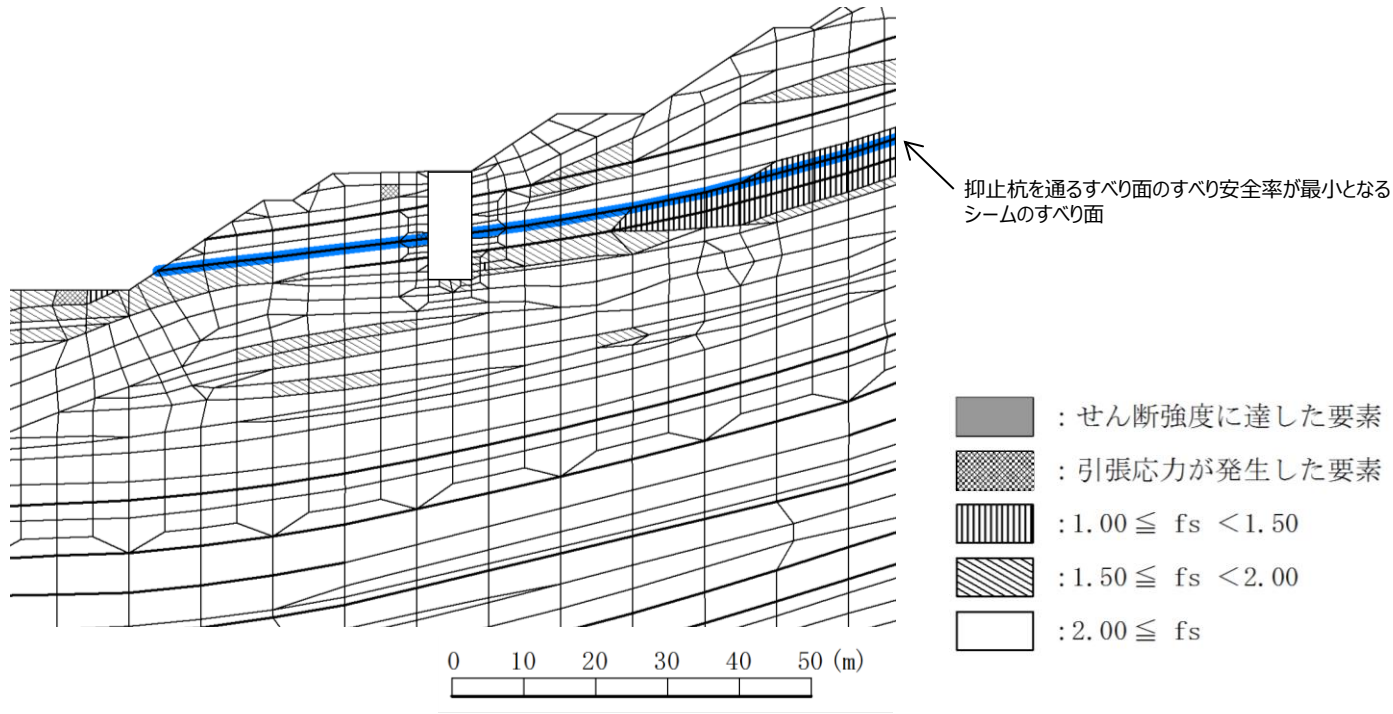
②-②'断面の確認結果



7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

④ 抑止杭を設置した斜面の安定性評価 抑止杭周辺地盤の健全性照査結果（①－①'断面）

- ①－①'断面における抑止杭周辺の地盤の局所安全係数分布図を下図に示す。
- 不動層における抑止杭周辺の地盤には、せん断破壊が生じておらず、健全性を確保している。

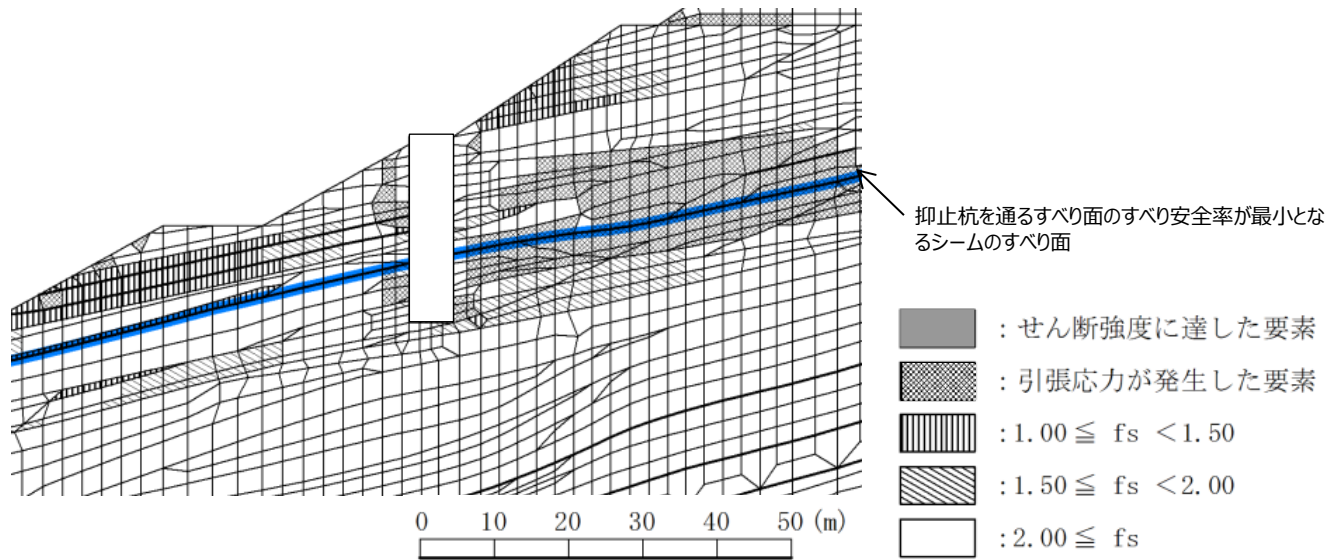


抑止杭周辺地盤の健全性照査結果（①－①'断面）
（Ss-D・8.96秒，抑止杭を通るすべり面のすべり安全率が最小となる地震動及び時刻）

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

④ 抑止杭を設置した斜面の安定性評価 抑止杭周辺地盤の健全性照査結果（②-②'断面）

- ②-②'断面における抑止杭周辺の地盤の局所安全係数分布図を下図に示す。
- 不動層における抑止杭周辺の地盤には、せん断破壊が生じておらず、健全性を確保している。



抑止杭周辺地盤の健全性照査結果（②-②'断面）
（Ss-D・8.59秒、抑止杭を通るすべり面のすべり安全率が最小となる地震動及び時刻）

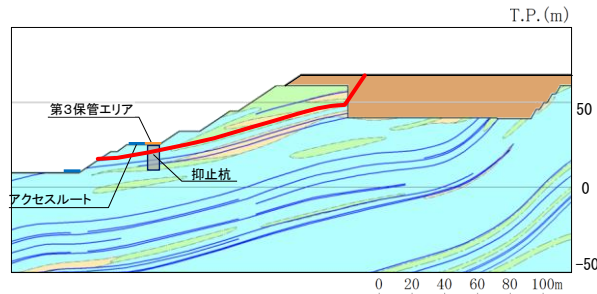
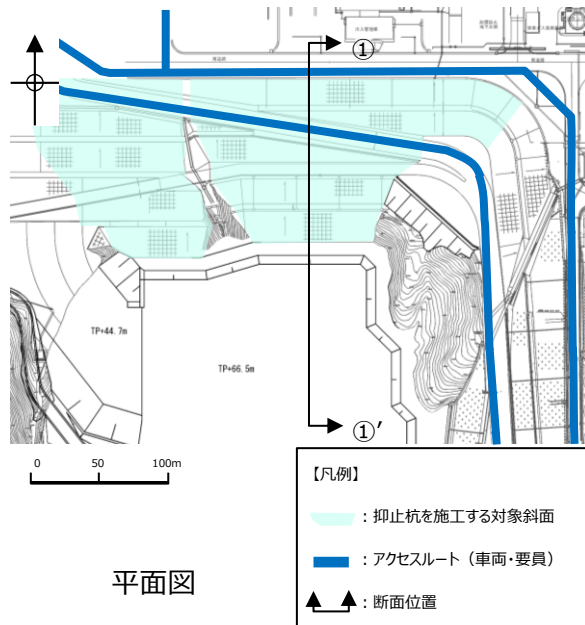
④抑止杭を設置した斜面の安定性評価 抑止杭の減衰定数の検討（1 / 2）

【方針】

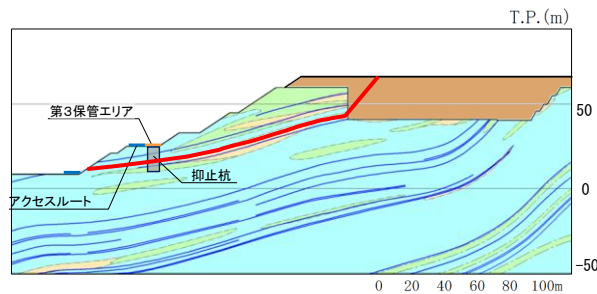
- 減衰特性の設定に当たっては、岩盤の減衰定数をJEAG4601-2015に基づき3%，抑止杭の減衰定数をコンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年）に基づき5%（鉄筋コンクリート）と設定している。
- 抑止杭については、断面奥行き方向の杭間に岩盤が存在することから、抑止杭の減衰定数を岩盤の減衰定数である3%とした場合の①-①'断面を対象に影響検討を実施する。

【結果】

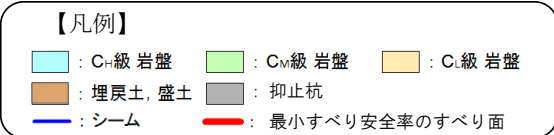
- 抑止杭の減衰定数を3%とした場合の①-①'断面における各すべり面の最小すべり安全率（平均強度）を下図に示す。
- 抑止杭の減衰定数を3%とした場合のすべり安全率は、減衰定数5%の結果と同値であり、抑止杭の減数特性がすべり安定性に与える影響は軽微であることを確認した。



基準地震動	すべり安全率	
	抑止杭の減衰定数 : 5%	抑止杭の減衰定数 : 3%
Ss	1.71	1.71
Ss-D	2.03	2.03
Ss-N ₁	2.11	2.11
Ss-N ₂		



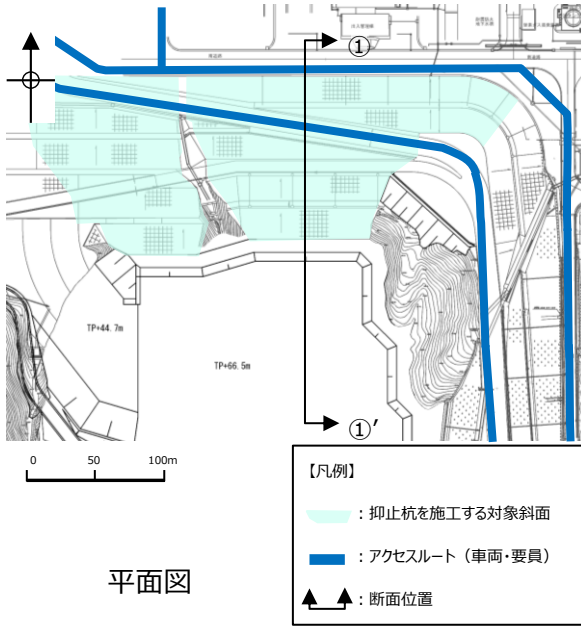
基準地震動	すべり安全率	
	抑止杭の減衰定数 : 5%	抑止杭の減衰定数 : 3%
Ss	1.37	1.37
Ss-D	1.57	1.57
Ss-N ₁	1.69	1.69
Ss-N ₂		



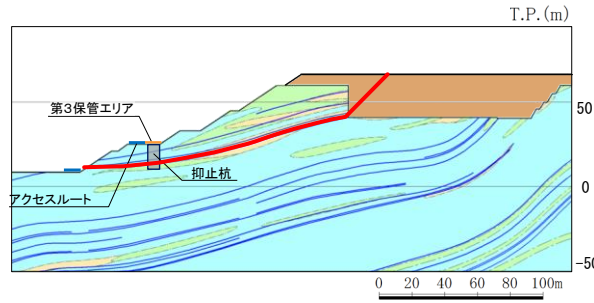
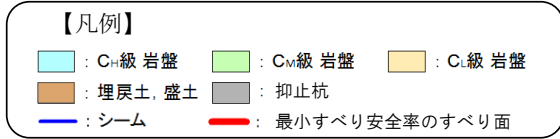
①-①'断面の評価結果

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

④抑止杭を設置した斜面の安定性評価 抑止杭の減衰定数の検討（2 / 2）

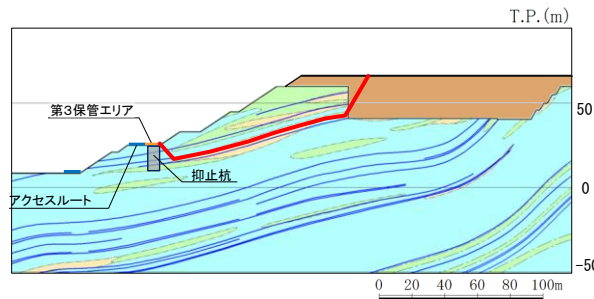


平面図



【B21・22シームを通るすべり面】

基準地震動	すべり安全率	
	抑止杭の減衰定数 ： 5%	抑止杭の減衰定数 ： 3%
Ss		
Ss-D	1.80	1.80
Ss-N ₁	1.99	1.99
Ss-N ₂	2.18	2.18



【B23・24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	すべり安全率	
	抑止杭の減衰定数 ： 5%	抑止杭の減衰定数 ： 3%
Ss		
Ss-D	1.60	1.60
Ss-N ₁	1.81	1.81
Ss-N ₂	1.97	1.94

① - ①'断面の評価結果

7. その他の検討

7.1 鉄塔が設置されている斜面の安定性評価

7.2 岩盤斜面と盛土斜面の同時崩壊検討

7.3 応力状態を考慮した検討

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

①基本方針

②抑止杭の設計

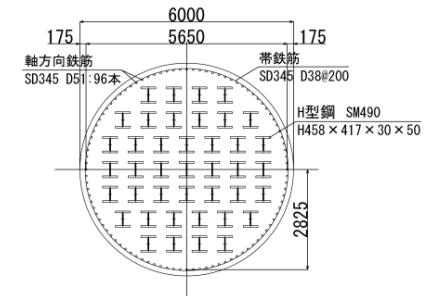
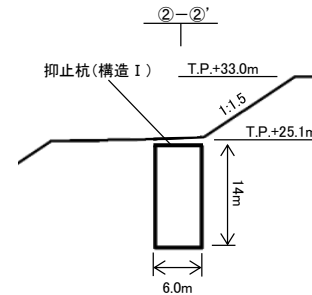
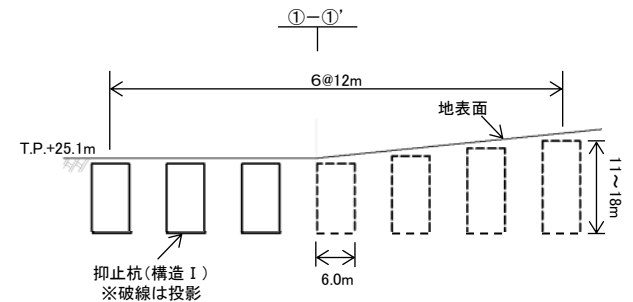
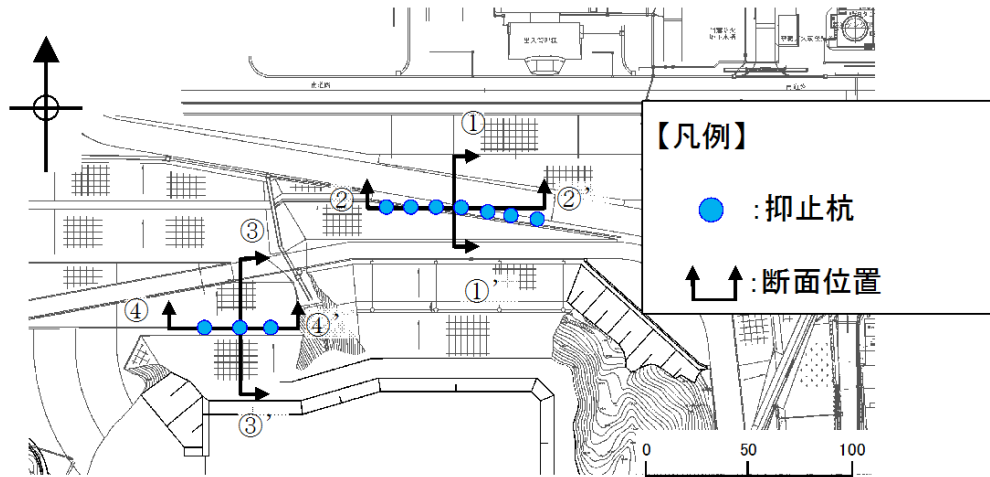
③敷地内土木構造物(抑止杭)の耐震評価

④抑止杭を設置した斜面の安定性評価

⑤先行炉との比較検討等

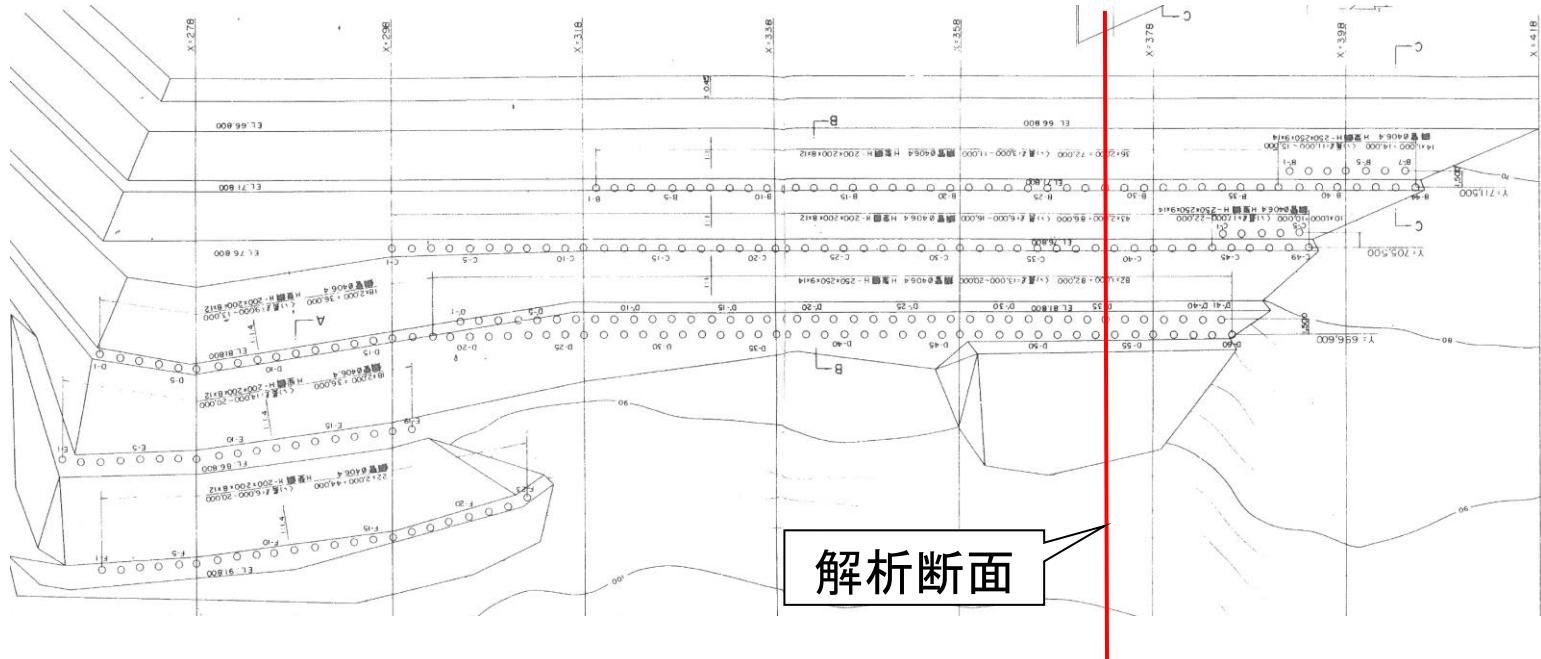
- 島根原子力発電所の抑止杭は、深礎杭にH鋼でせん断補強を行っていることから、類似の先行炉における抑止杭として、関西電力（株）高浜発電所における鋼管杭を選定する。

島根原子力発電所

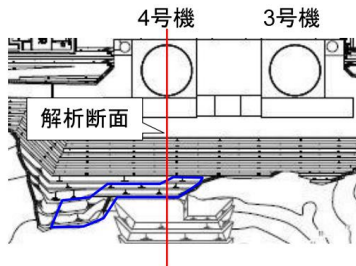


島根原子力発電所における抑止杭の概要図

関西電力（株）高浜発電所

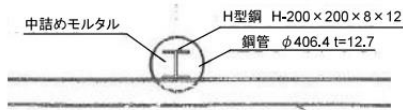


解析断面

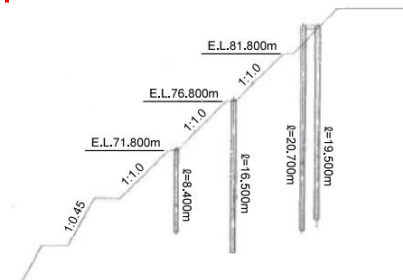


(平面図)

(平面図)



(杭頭図)



(断面図)

高浜発電所の背後斜面における抑止杭の概要図

※ 先行炉の情報に係る記載内容については、会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討 先行炉の抑止杭との比較検討 構造の類似点及び相違点

- ・ 島根原子力発電所の抑止杭（深礎杭）の構造及び設計条件等に関する特徴を示すとともに、高浜発電所の抑止杭（鋼管杭）と比較を行い、類似点及び相違点を以下のとおり抽出した。
- ・ 類似点についてはその適用性を、相違点についてはそれを踏まえた設計への反映事項を、それぞれ以下のとおり整理した。

島根原子力発電所と高浜発電所の抑止杭の構造

評価項目	島根原子力発電所 抑止杭の構造等	先行炉の構造等*	島根原子力発電所と先行炉との比較		先行炉実績との類似点を踏まえた設計方針の適用性	先行炉実績との相違点を踏まえた設計への反映事項
		関西電力(株) 高浜発電所 抑止杭	類似点	相違点		
抑止杭の構造	・岩盤内のシームすべりを抑止するため、岩盤に設置する。	・D級岩盤内のすべりを抑止するため、岩盤内に設置する。	・抑止杭を岩盤に設置。	-	・同様の設置状況である。	-
	・シームすべりに伴うせん断力に耐える構造とするため、深礎杭を採用する。	・鋼管杭を採用する。	-	・抑止杭の構造の違い	-	・深礎杭について、最新斜面・土留め技術総覧（1991年8月）に基づいて設計する。 ・深礎杭の一般産業施設の施工事例等を確認する。
	・H鋼を複数本挿入し、せん断補強を行う。	・H鋼を単数挿入し、せん断補強を行う。	・H鋼でせん断補強。	・H鋼の挿入本数の違い。	・同様のせん断補強を行っているため、先行炉のH鋼によるせん断補強の設計方針が適用可能である。	・H鋼の挿入本数のみの違いであるため、先行炉のH鋼によるせん断補強の設計方針が適用可能である。 ・H鋼を複数本挿入している一般産業施設の施工事例等を確認する。
設計方法	・すべり安全率算定に用いる抑止杭のせん断抵抗力： （コンクリート）短期許容応力度 （H鋼）短期許容応力度 （帯鉄筋）短期許容応力度	・すべり安全率算定に用いる抑止杭のせん断抵抗力： （鋼管）短期許容応力度 （H鋼）短期許容応力度	・抑止杭のせん断抵抗力の設定は許容応力度法に基づく。	-	・同じ許容応力度法により、同様の基準類（コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（2002年）及び道路橋示方書・同解説（平成14年3月））に基づいてせん断抵抗力を設定している。	-

※ 先行炉の情報に係る記載内容については、会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討 先行炉の抑止杭との比較検討

参照している基準類

- 島根原子力発電所の抑止杭（深礎杭）の参照している基準類を示すとともに、高浜発電所の抑止杭（鋼管杭）と比較を行った。
- 類似点についてはその適用性を、相違点についてはそれを踏まえた設計への反映事項を、それぞれ以下のとおり整理した。

島根原子力発電所と高浜発電所の抑止杭の参照基準類

評価項目		参照している基準類 （【】内は適用範囲，工認ガイド等に記載されている基準類に下線）		先行炉との類似点を踏まえた適用性／ 相違点を踏まえた設計への反映事項
		島根原子力発電所	関西電力（株） 高浜発電所	
設計方法		最新斜面・土留め技術総覧（1991年）【杭工】	最新斜面・土留め技術総覧（1991年）【杭工】	・深礎杭は杭工であるため，適用可能。
抑止杭の せん断抵抗力	H鋼	道路橋示方書Ⅱ鋼橋編（2002年） 【許容応力度】	道路橋示方書Ⅱ鋼橋編（2002年） 【許容応力度】	・許容応力度法により設計しており，適用可能。
	コンクリート・鉄筋	<u>コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕</u> （2002年）【許容応力度】	—	・工認ガイド等に記載の基準類を参照し，許容応力度法により設計する。
	鋼管	—	道路橋示方書Ⅱ鋼橋編（2002年） 【許容応力度】	—

※ 先行炉の情報に係る記載内容については，会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

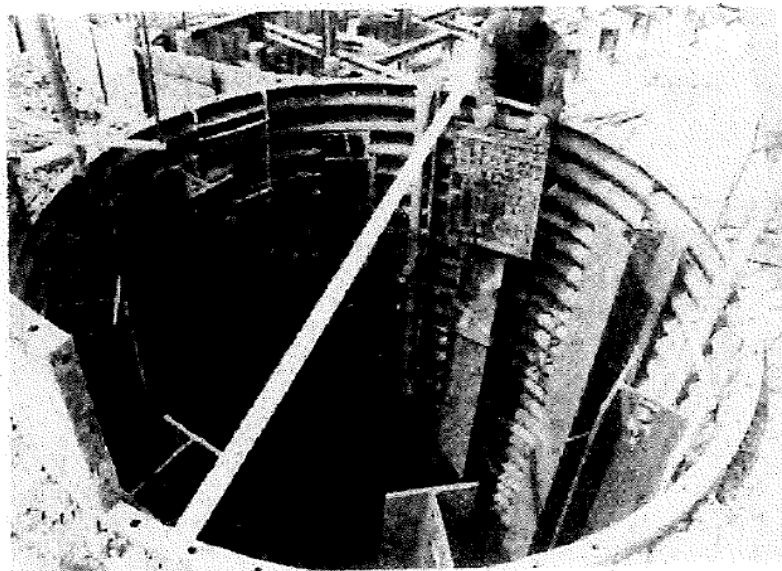
一般産業施設の適用事例

- 島根原子力発電所の抑止杭の特徴は「深礎杭」及び「H鋼をせん断補強材として複数本挿入」であることから、これらの特徴に類似する一般産業施設の設計・施行例を調査した。調査結果を下表に示す。

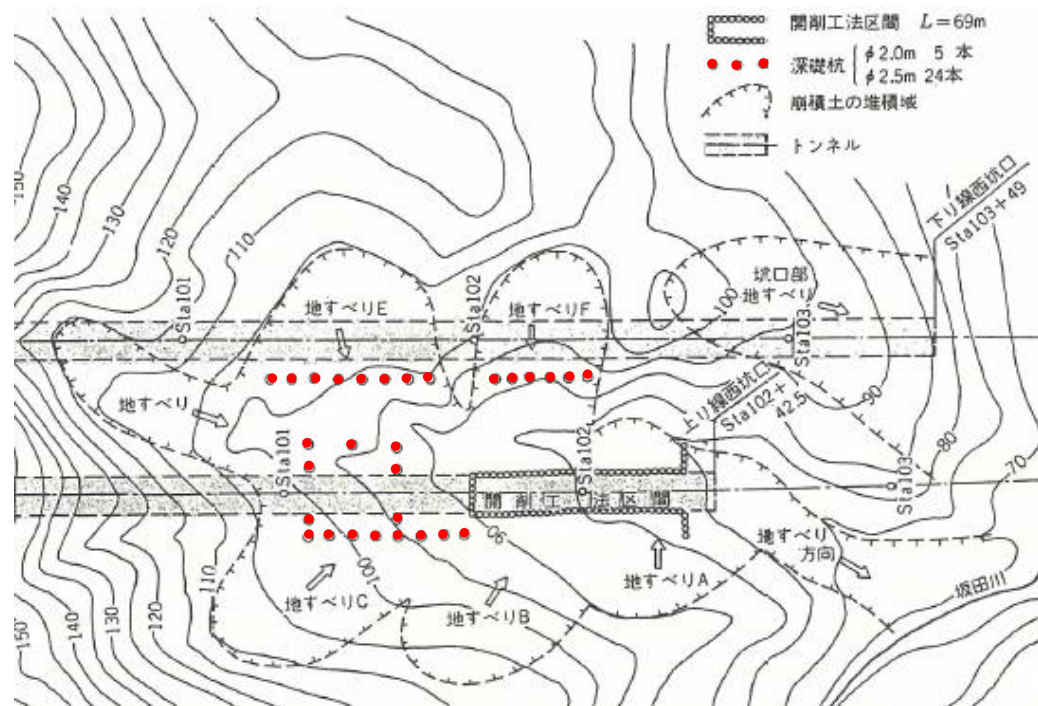
特徴	設計・施行例		
	施設・工事名称	施設の概要	概要頁
H鋼をせん断補強材として複数本挿入	北陸自動車道地蔵トンネル地すべり対策工事	<ul style="list-style-type: none"> 北陸自動車道地蔵トンネル西坑口付近に広く分布する地すべりの安定性を確保するため、径2.5mの深礎杭を7.5mの間隔で24本、径2.0mの深礎を6.0mの間隔で5本施工している。 せん断抵抗材として深礎杭内にH鋼を環状に挿入している。 	事例①
	地附山地すべり対策工事	<ul style="list-style-type: none"> 長野県地附山地すべりの安定性を確保するため、径5.1m、長さ33～61mの大口径鉄筋コンクリート杭を10m、15mの間隔で29本施工している。 効率的な配筋とするため、主筋に51mmの太鉄筋を用い、せん断補強としてH鋼を複数本挿入している。 	事例②
深礎杭	山際地区すべり対策工事	<ul style="list-style-type: none"> 大分県山際地区地すべり（幅約45m、奥行き約300m、推定すべり面層厚70m前後の尾根型岩盤すべり）の安定性を確保するため、径5.5m、長さ30～97mの深礎杭を16本施工している。 軸方向鉄筋及び帯鉄筋を円周状に4重に配置し、最大曲げモーメント発生位置付近に、D51のせん断補強筋を複数本挿入している。 	事例③
	北神線建設工事及び有馬線谷上駅移設工事のうち谷上第1工区土木工事	<ul style="list-style-type: none"> 六甲山周辺地域にて地すべりの安定性を確保するため、径3.5m、長さ33～35mの深礎杭を17本施工している。 主筋はD51を2段配筋としている。 	事例④

※ 設計・施行例の情報に係る記載内容については、公開情報をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

- 北陸自動車道地蔵トンネル西坑口付近に広く分布する地すべりの安定性を確保するため、径2.5mの深礎杭を7.5mの間隔で24本、径2.0mの深礎を6.0mの間隔で5本施工している。
- せん断抵抗材として深礎杭内にH鋼を環状に挿入している。



高松眞・内橋初義・宮崎晃：地すべり地帯の坑口施工 北陸自動車道地蔵トンネル，1979年

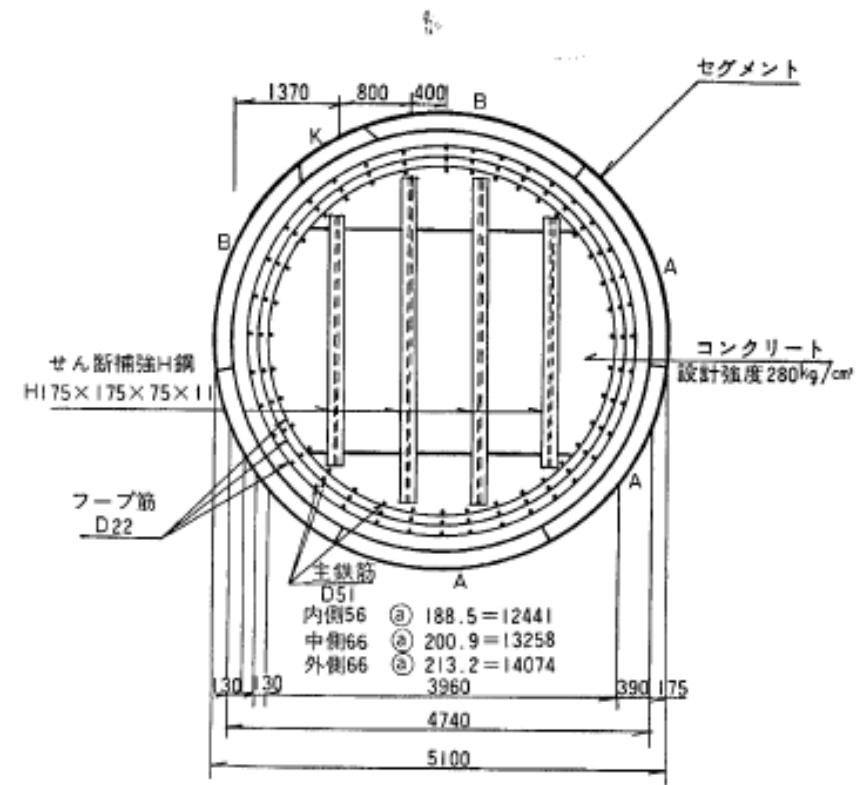
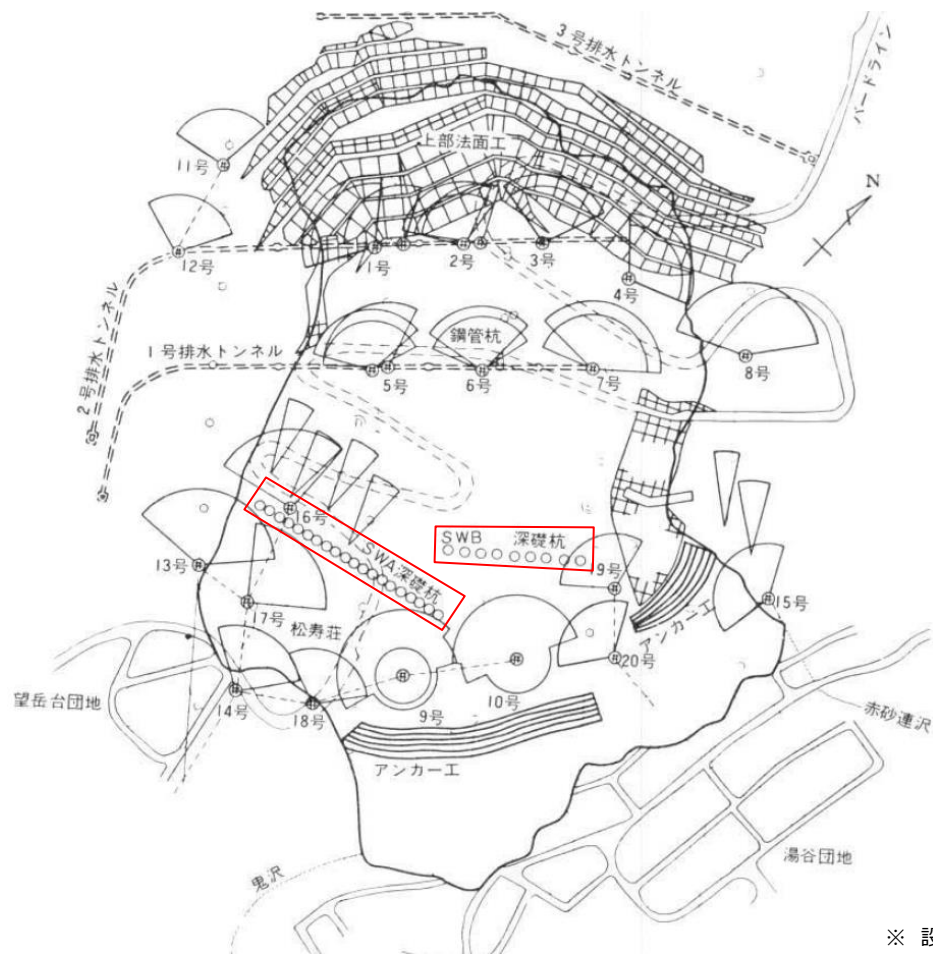


竹林亜夫・上野将司：地すべり地におけるトンネル掘削時の諸問題に関する地質工学的考察，2004年（一部加筆）

※ 設計・施行例の情報に係る記載内容については、公開情報をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討 一般産業施設の適用事例 事例② 地附山地すべり対策工事

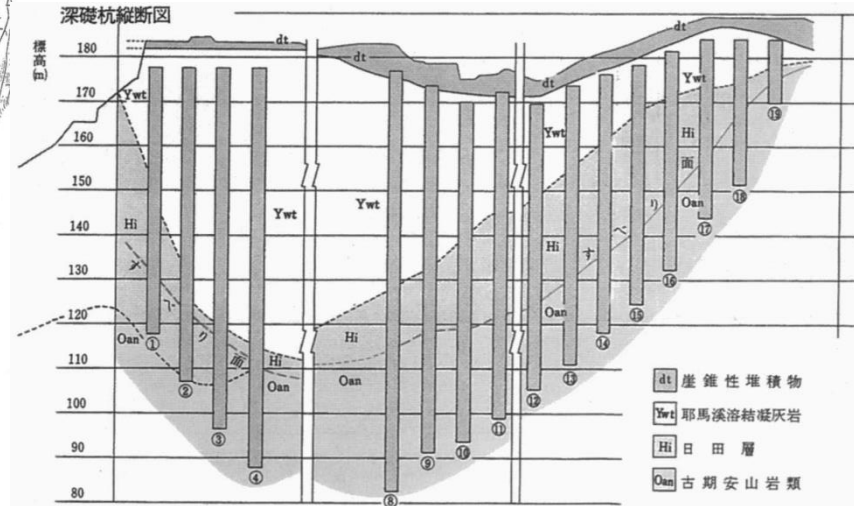
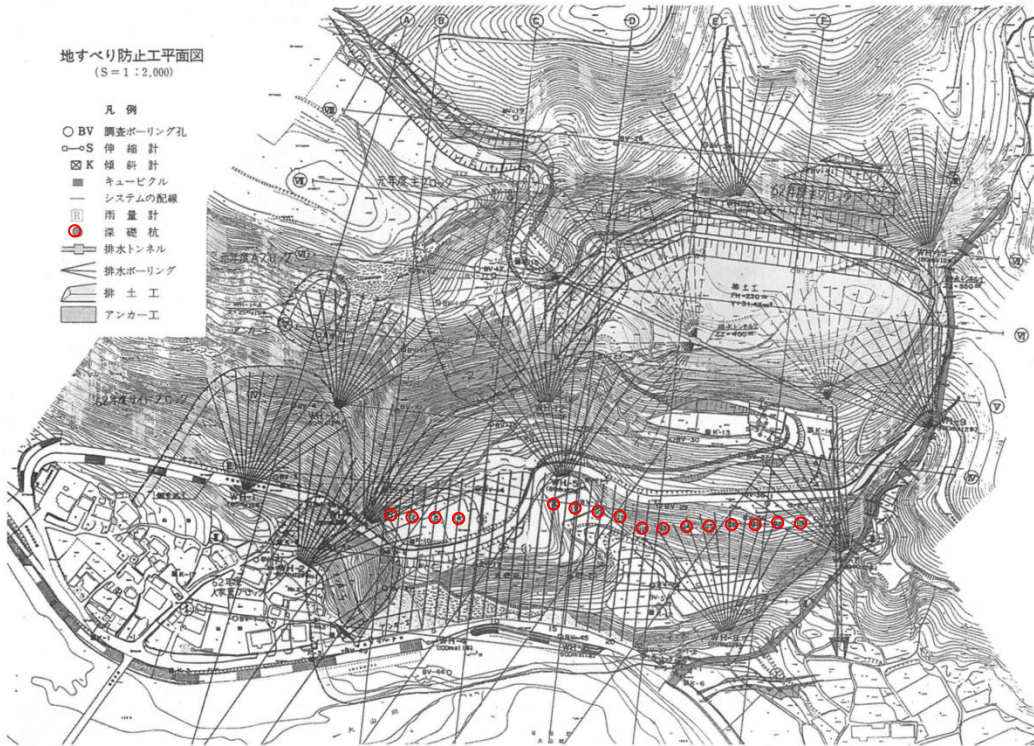
- 長野県地附山地すべり（幅約500m，奥行き約700m，推定すべり面層厚60m前後）の安定性を確保するため，径5.1m，長さ33～61mの大口徑鉄筋コンクリート杭を10m，15mの間隔で29本施工している。
- 効率的な配筋とするため，主筋に51mmの太鉄筋を用い，せん断補強としてH鋼を複数本挿入している。



長野県長野建設事務所：地附山地すべり，地すべり 第25巻 第2号，1988年（一部加筆）

※ 設計・施行例の情報に係る記載内容については，公開情報をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

- 大分県山際地区地すべり（幅約450m，奥行き約300m，推定すべり面層厚70m前後の尾根型岩盤すべり）の安定性を確保するため，径5.5m，長さ30～97mの深礎杭を16本施工している。
- 軸方向鉄筋及び帯鉄筋を円周状に4重に配置し，最大曲げモーメント発生位置付近に，D51のせん断補強筋を複数本挿入している。

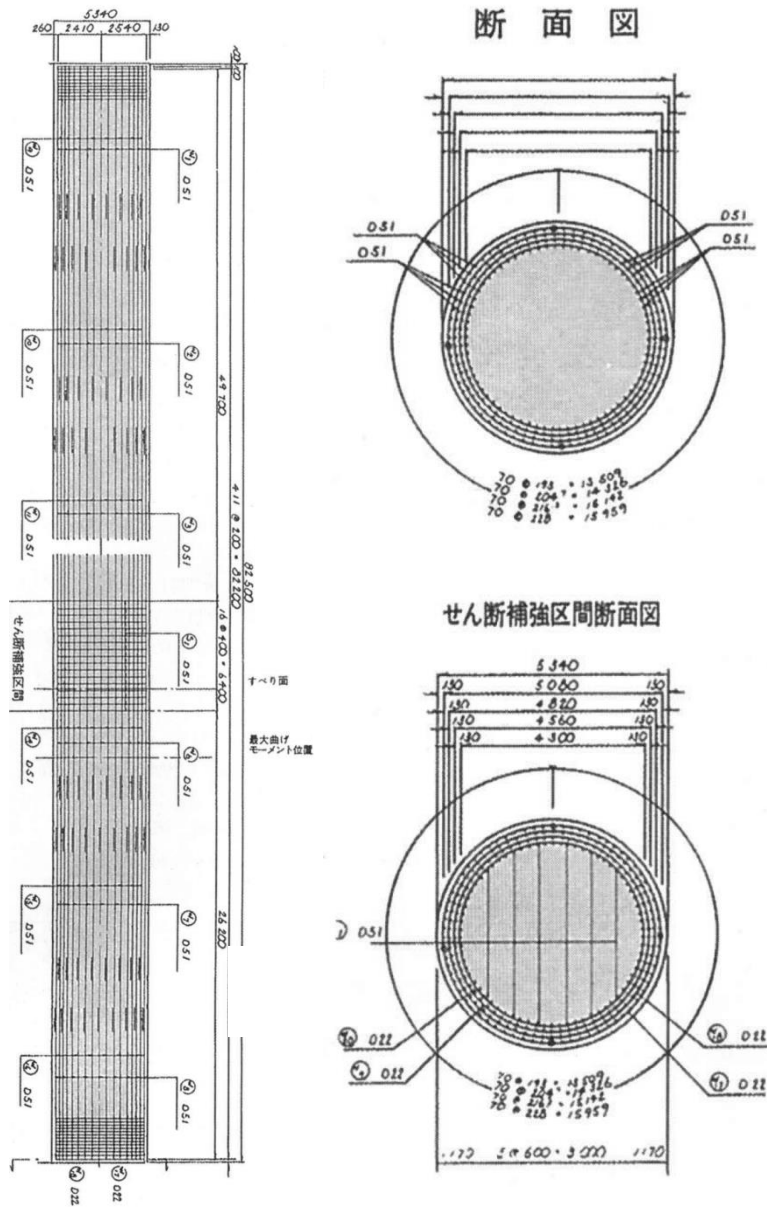


大分県土木建築部砂防課 大分県日田土木事務所：山際地区すべり 大分県大山町 ～大規模な岩すべりとその対策～，地すべり 第34巻 第3号，1997年（一部加筆）

※ 設計・施行例の情報に係る記載内容については，公開情報をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

一般産業施設の適用事例 事例③ 山際地区地すべり対策工事（2 / 2）



大分県土木建築部砂防課 大分県日田土木事務所：山際地区地すべり 大分県大山町 ～大規模な岩すべりとその対策～，地すべり 第34巻 第3号，1997年

(社) 斜面防災対策技術協会HP

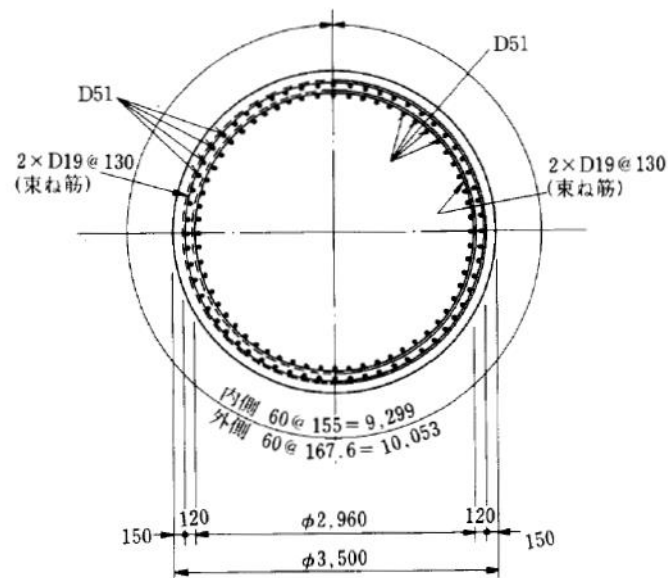
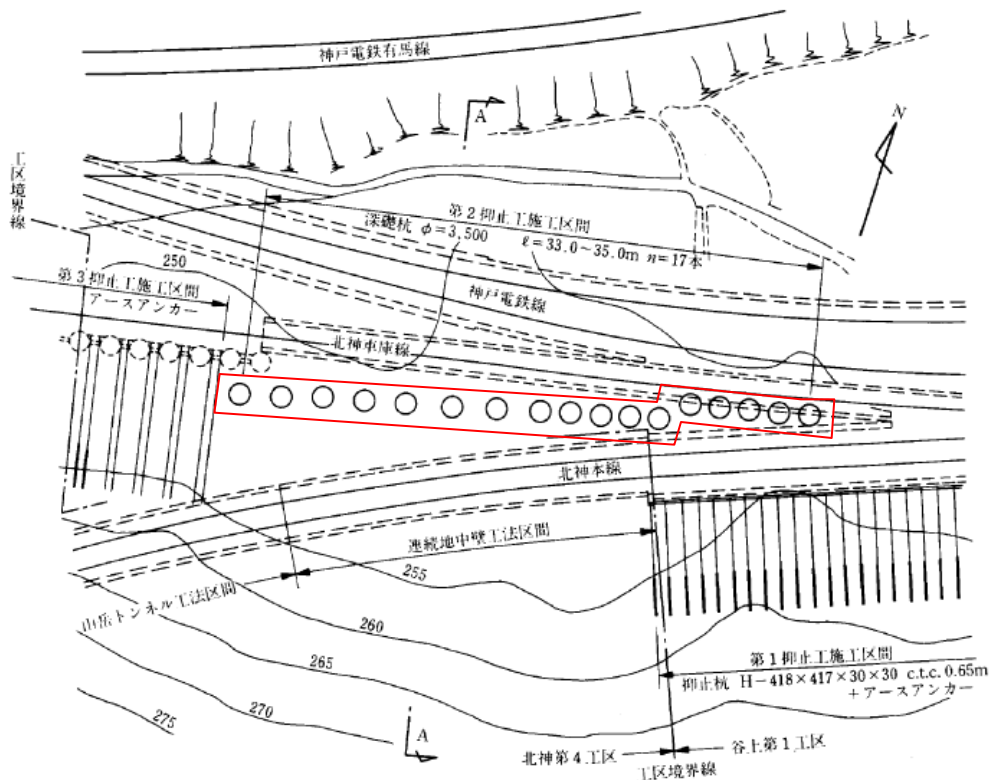
https://www.jasdim.or.jp/gijutsu/jisuberi_joho/sekkei/syaftkui/syftkui.html

※ 設計・施行例の情報に係る記載内容については，公開情報をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討

一般産業施設の適用事例 事例④ 北神線建設工事及び有馬線谷上駅移設工事のうち谷上第1工区土木工事

- 六甲山周辺地域にて地すべりの安定性を確保するため、径3.5m、長さ33～35mの深礎杭を17本施工している。
- 主筋はD51を2段配筋としている。



堺紘成・吉田利三・丹内正利・石橋貢：地すべり対策工としての深礎杭の計画と施工，1987年（一部加筆）

※ 設計・施行例の情報に係る記載内容については、公開情報をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討 島根サイトの深礎杭の工事概要（1 / 2）

- 島根サイトの① - ①'断面及び② - ②'断面における深礎杭は、以下のフローで施工している。

施工フロー

掘削

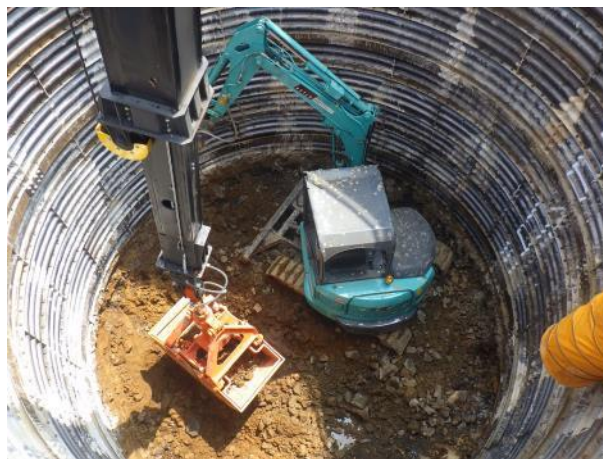
ライナープレート設置

足場設置

鉄筋組立

H鋼建込

コンクリート



掘削



ライナープレート設置



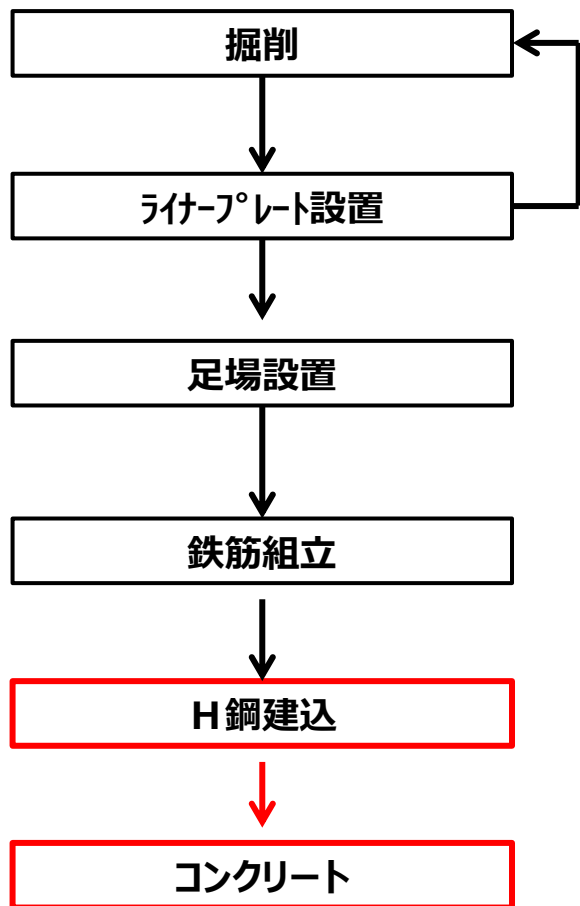
足場設置



鉄筋組立

7.4 対策工（抑止杭）に関する詳細検討 島根サイトの深礎杭の工事概要（2 / 2）

施工フロー



H鋼 建て込み



コンクリート打設後

審査会合（技術的能力 添付資料1.0.2）での指摘事項に対する回答

■ 指摘事項

【第925回審査会合 令和2年12月1日, No.53】

○発電所構内の鉄塔の影響評価について、今後の保管場所及びアクセスルートに係る周辺斜面の安定性評価の審査において説明すること。

■ 回答

- 本資料「7.1 鉄塔が設置されている斜面の安定性評価」において、鉄塔が設置されている斜面の安定性評価を示した。
- 当該斜面について、基準地震動 S_s による安定性を有することを確認した。

審査会合（第4条）での指摘事項に対する回答

■ 指摘事項

【第701回審査会合 平成31年4月9日, No.3-1, 3-2（論点Ⅰ－3「評価対象斜面の選定方法」）】

- 上位クラス施設に影響を及ぼすおそれのある斜面の選定においては、敷地全体を俯瞰的に調査した内容等を含めて、人工斜面及び自然地山斜面が網羅的に選定されていることの根拠を説明すること。
- 評価対象断面の選定においては、斜面法尻標高毎にグループ化し、すべり安全率に係る影響要因（岩級、斜面高さ、斜面の勾配、シームの分布状況）の観点から評価フローを用いてスクリーニングし、すべり安全率が最も小さくなる1断面を選定しているが、当該断面以外のすべり安全率が選定断面より小さくならないとした根拠（選定断面のすべり安全率が最も小さくならないとした根拠）を説明すること。

【第834回審査会合 令和2年2月13日, No.92（論点Ⅰ－5「上位クラス施設への下位クラス施設の波及的影響」）】

- 波及的影響評価のうち、別途審査中の内容を反映する必要のある評価（敷地周辺斜面等）については、別途審査の進捗状況（基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価における評価方法、解析用物性値等に対する審議結果等）に応じて速やかに説明すること。

■ 回答

- 上位クラス施設の周辺斜面が、耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の周辺斜面と同一であることから、「島根原子力発電所2号炉 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価」の審査結果を参照する。
- 耐震重要施設等の周辺斜面において、評価対象断面は影響要因の番号付与数に加え、簡便法によるすべり安全率も考慮し、選定していることから厳しい断面が選定されている。