

目次

1. 評価概要
2. 地質の概要
3. 評価断面の選定
4. 基礎地盤の安定性評価
 4. 1 評価方法
 4. 2 解析用物性値
 4. 3 基準地震動
 4. 4 すべりに対する評価
 4. 5 支持力に対する評価
 4. 6 傾斜に対する評価
5. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価
6. 周辺斜面の安定性評価
7. まとめ

評価フロー

1. 評価概要

- ・設置許可基準規則に基づき、評価対象施設を整理

	耐震重要施設	常設重大事故等対処施設
基礎地盤	3条	38条
周辺斜面	4条	39条

- ・審査ガイドに準拠し、適合性を確認

基礎地盤	・活断層の有無 : 第2章
	・地震力に対する基礎地盤の安定性評価 : 第3~4章
	・周辺地盤の変状による施設への影響評価 : 第5章
	・地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価 : 第5章
周辺斜面	・地震力に対する周辺斜面の安定性評価 : 第6章

2. 地質の概要

- ・敷地には将来活動する可能性のある断層等が分布していないことを確認

3. 評価断面の選定

- ・支持地盤の相違(岩盤と改良地盤), 標高の相違(O.P.+14.8m盤とO.P.+62m盤), 基礎形式の相違に着目して代表施設並びに評価断面を選定

4. 基礎地盤の安定性評価

- ・解析用物性値の設定
- ・モデルの作成
- ・基礎地盤のすべり安全率が評価基準値1.5を上回ることを確認
- ・基礎底面の地震時最大接地圧が評価基準値を超えないことを確認
- ・基礎底面の傾斜が評価基準値の目安(1/2000)を超えないことを確認

5. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価

- ・各施設の設置状況を踏まえ, 不等沈下, 揺すり込み沈下による影響が生じないことを確認
- ・周辺地盤の液状化により, 対象施設が影響を受けない対策をする方針であることを確認
- ・地震発生に伴う地殻変動による地盤の傾斜を算出し, 地殻変動及び地震動を考慮した最大傾斜が, 評価基準値の目安(1/2000)を超えないことを確認

6. 周辺斜面の安定性評価

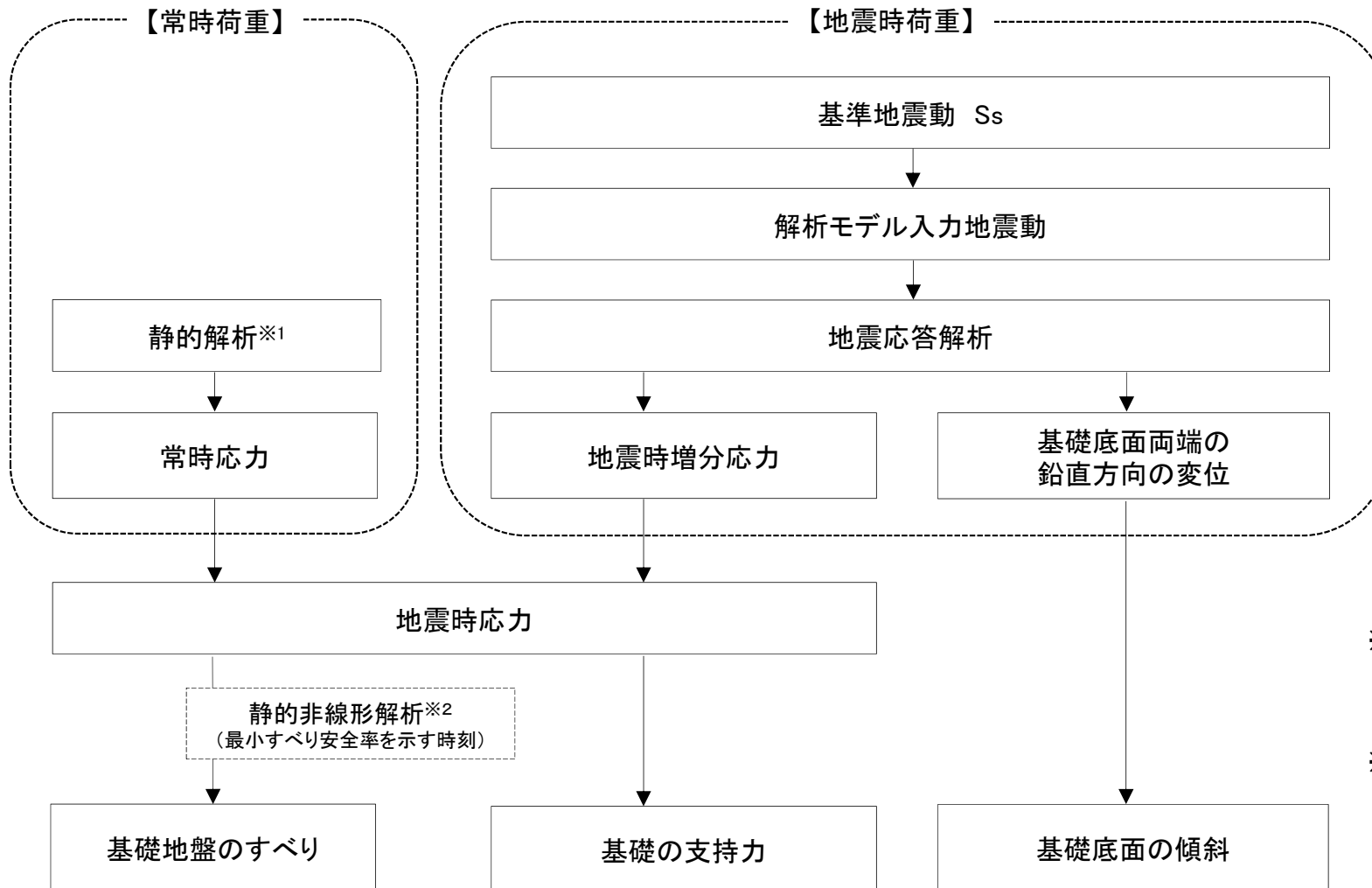
- ・斜面法尻からの離間距離により, 周辺斜面が対象施設に影響を与えないことを確認

7. まとめ

4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.1 安定性評価フロー

- すべり, 支持力及び基礎底面の傾斜に対する安全性については, 二次元動的有限要素解析による地震応答解析により評価する。
- 地震応答解析は, 周波数応答解析を用い, 等価線形化法により, **D** 級岩盤, 盛土, 旧表土, 断層・シーム, セメント改良土, 改良地盤の動せん断弾性係数 G_d 及び減衰定数 h のひずみ依存性を考慮する。



※1: 静的解析では以下の荷重を考慮する。

- ・地盤の自重(初期応力)
- ・建屋基礎掘削に伴う解放力
- ・建屋・埋戻土の荷重

※2: 引張強度・せん断強度を超える要素が広く分布する場合など必要に応じて実施。静的非線形解析の詳細については, 補足説明資料「3. 安定性評価に関する補足」に示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.2 解析用物性値に対する不確かさ(ばらつき)考慮

- 解析用物性値(断層・シームの強度を除く)は、各種試験における平均値を代表値として使用していることから、各種試験に含まれる不確かさを考慮し、すべり安全率に支配的な要因である強度特性について、ばらつきを考慮[※]した評価を実施した。
- なお、断層・シームについては、強度が最も小さい「粘土状」物質に対する試験から代表値を設定していることから、さらなるばらつきは考慮しない。

原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008(日本電気協会)

- すべり安全率に対する地盤物性値のばらつきの影響については、一般に強度特性が支配的であり、変形特性の影響は小さい。したがって、一般に強度特性のばらつきのみ考慮しておけばよい。

原子力発電所の基礎地盤および周辺斜面の安定性評価技術(土木学会, 2009)

地盤物性値のばらつき評価法について、確率論的な検討を行い、以下の結論が得られている。

- 地盤物性値を±10%して算定したすべり安全率の差を感度算定した結果、「せん断強度等の抵抗力に関する地盤物性の影響が非常に強く、剛性等の影響は比較的小さい」。
- 「代表値±係数×標準偏差」による確率論的手法による地盤物性のばらつきの評価では、「地盤物性値がばらついても『代表値−1.0×標準偏差』によって確定論的に評価したすべり安全率を下回る確率が小さい」。



すべり安全率に対しては強度特性のばらつきが大きく影響することから、地盤物性のうち強度特性に関するばらつきを考慮した評価(平均値−1σ強度)を併せて検討する。

※: ばらつき考慮の詳細については、補足説明資料「2. 解析用物性値に関する補足」に示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.3 モデル化領域・要素高さ

■ モデル化領域

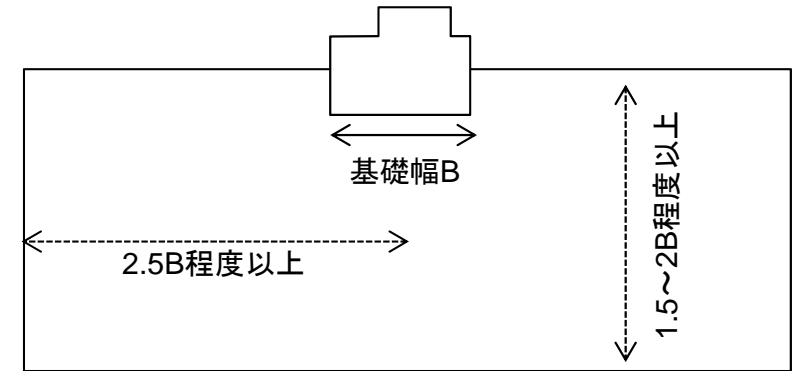
- 動的解析用のモデルの深さは、「一般に建屋底面幅の1.5～2倍とする」。
- 動的解析用モデルの側方境界は、「建屋の振動方向にそれぞれ建屋幅の2.5倍以上離れた点に設ければよい」。
「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008」(日本電気協会)



- JEAG4601-2008を参考に、モデル片幅を構造物基礎幅の2.5倍程度以上、モデル化深さを構造物基礎幅の1.5～2倍程度以上を確保するように設定した。

■ 地盤要素の要素高さ

- 平面ひずみ要素でモデル化し、要素の高さは、最大周波数20Hz及び地盤のせん断波速度 V_s より求まる最大要素高さを上回らないように設定した。



モデル化領域設定の考え方


$$H_{max} = \frac{1}{m} \cdot \lambda_s = \frac{1}{m} \cdot \frac{V_s}{f_{max}}$$

- H_{max} : 最大要素高さ(m)
 λ_s : せん断波の波長(m)
 V_s : せん断波の速度(m/s)
 f_{max} : 考慮する地震動の最大周波数(20Hz)
 m : 分割係数(=5とした)

4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.4 断層・シームのモデル化

■ 断層・シームのモデル化

- 「弱層のモデル化にあたっては、ジョイントモデルまたはソリッドモデルのいずれを用いてもよい」。
「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008」(日本電気協会)
 - 弱層のモデル化については、ソリッド要素でモデル化してもジョイント要素でモデル化しても、「地盤のすべり安定性に影響を及ぼすほどの差異は生じない」。
「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委員会, 2009)
- 
- 断層・シームのモデル化については、層厚の厚いTF-1断層(最大破碎幅400cm)のみをソリッド要素でモデル化し、その他の断層・シームについてはジョイント要素でモデル化した。

ジョイント要素に用いるバネ定数(k_s, k_n)の設定方法

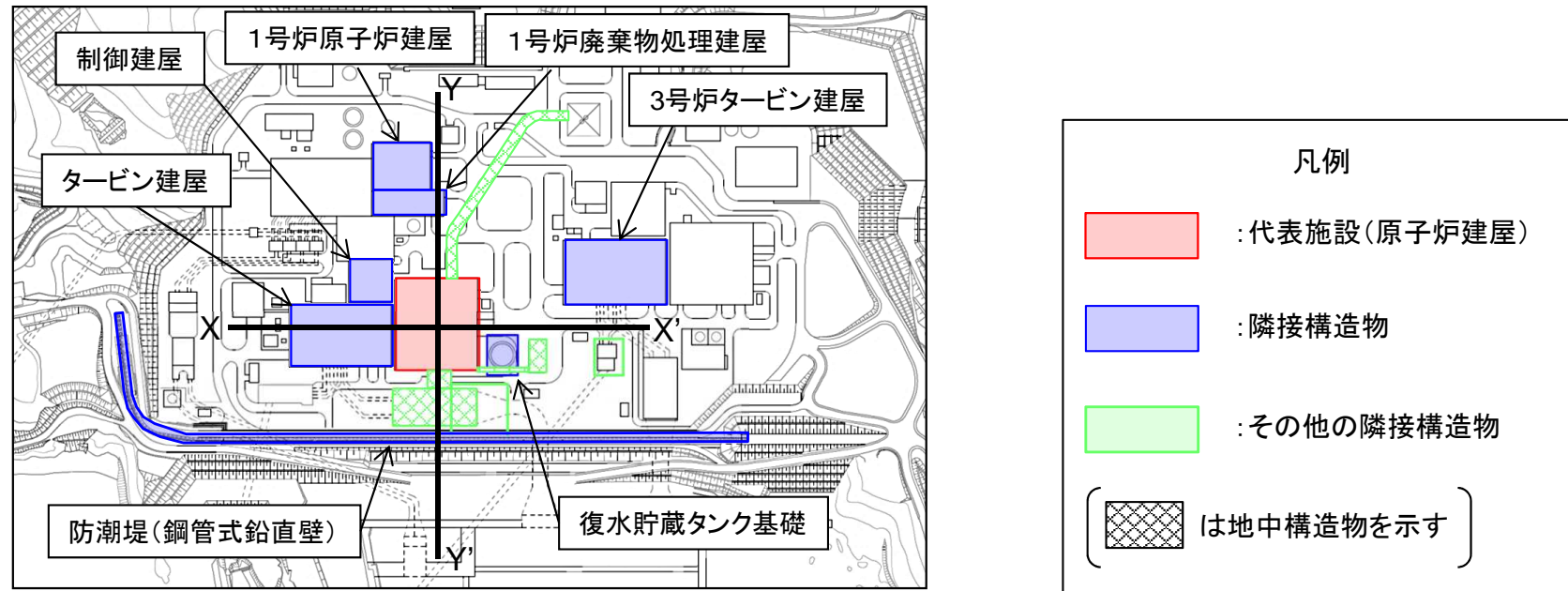
$$k_s = \frac{G}{t} \quad k_n = \frac{2(1-\nu_d)}{1-2\nu_d} \cdot \frac{G}{t}$$

k_s	:	せん断バネ定数(N/mm ³)
k_n	:	垂直バネ定数(N/mm ³)
G	:	断層のせん断弾性係数(N/mm ²)
t	:	断層のモデル化幅(mm)
ν_d	:	断層の動ポアソン比

4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.5 隣接構造物のモデル化(原子炉建屋)①

- 原子炉建屋の周囲“施設幅×2.5”に位置する構造物を抽出し、解析モデルへのモデル化の要否について検討した。
- 原子炉建屋より重量は小さいものの、隣接しており、比較的規模の大きい、タービン建屋をモデル化することとした。

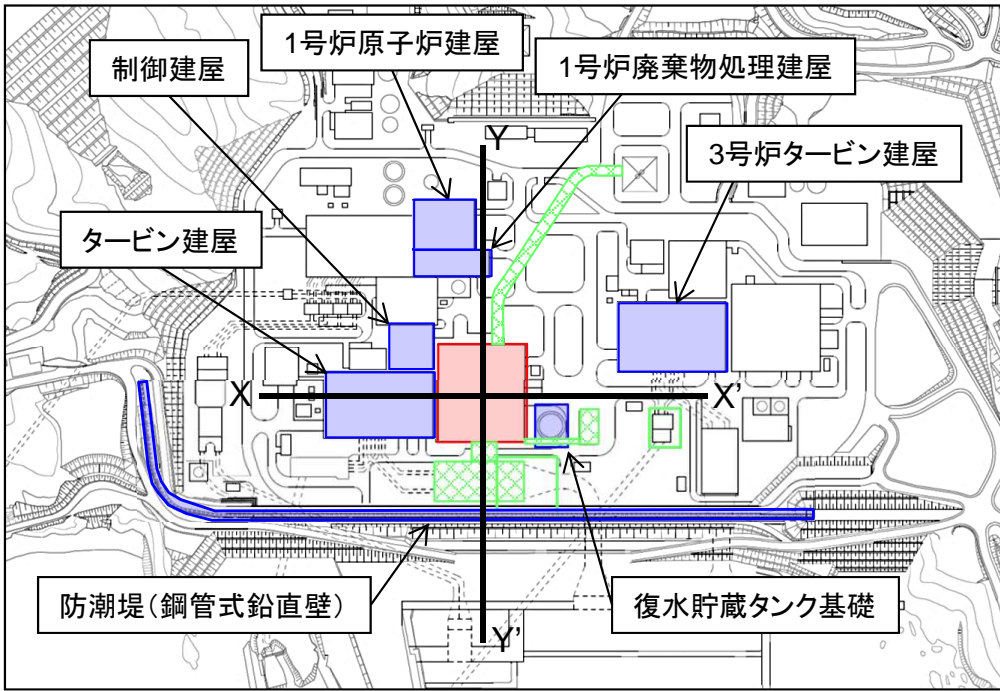


構造物	重量 (MN)	評価施設との重量比 (隣接構造物/評価施設)	備考	
原子炉建屋	3,415	—	代表施設	
X-X' 断面	タービン建屋	1,791	0.52	代表施設より重量は小さいものの、隣接しており、比較的規模が大きいことからモデル化する。
	制御建屋	359	0.11	隣接しているものの、代表施設より重量は小さいことから、モデル化しない。なお、タービン建屋のモデル化により、制御建屋の影響も評価に代表させる。
	復水貯蔵タンク基礎	159	0.05	隣接しているものの、代表施設より重量が小さいことから、モデル化しない。
	3号炉タービン建屋	1,956	0.57	
Y-Y' 断面	1号炉原子炉建屋	1,139	0.33	代表施設より重量は小さく、離隔があり、代表施設を含む想定すべり面を形成しないことからモデル化しない。
	1号炉廃棄物処理建屋	489	0.14	
	防潮堤(鋼管式鉛直壁)	412	0.12	

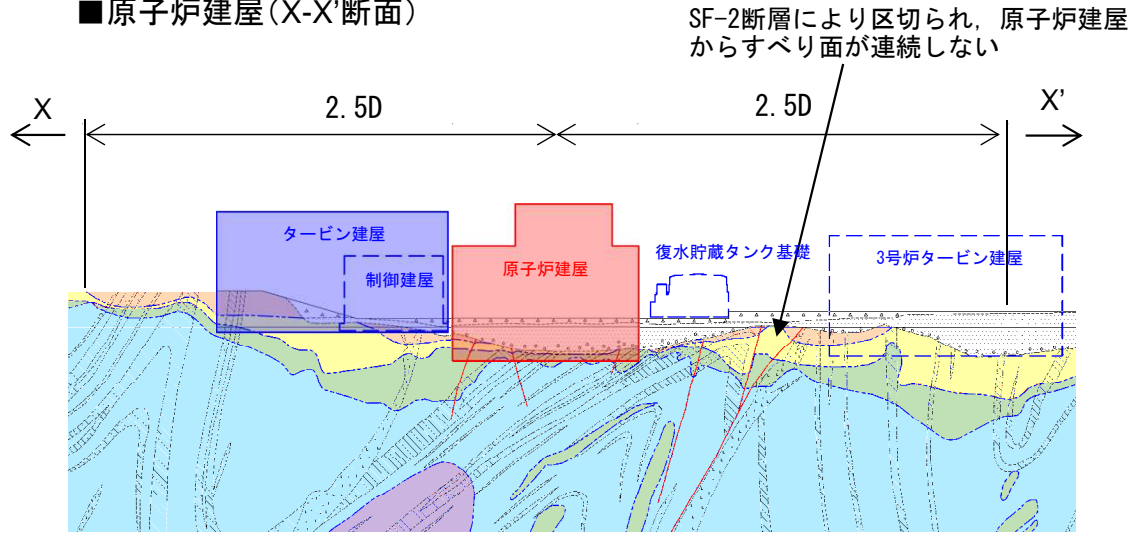
4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.5 隣接構造物のモデル化(原子炉建屋)②

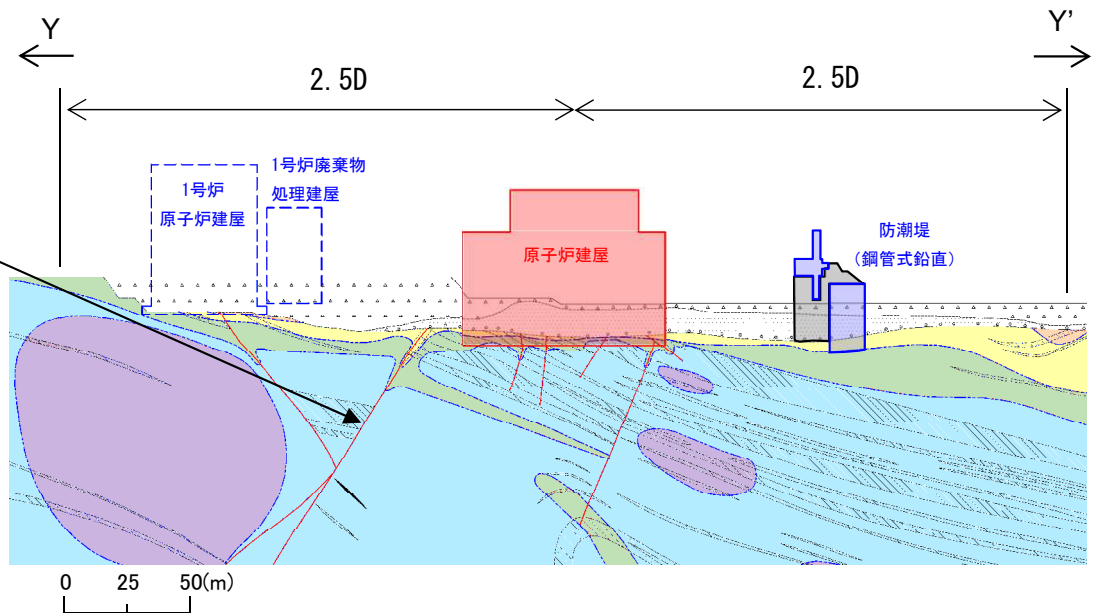
- 原子炉建屋の周囲“施設幅×2.5”に位置する構造物を抽出し、解析モデルへのモデル化の要否について検討した。
- 原子炉建屋より重量は小さいものの、隣接しており、比較的規模の大きい、タービン建屋をモデル化することとした。



■原子炉建屋(X-X'断面)



■原子炉建屋(Y-Y'断面)



凡例

- : 代表施設(原子炉建屋)
- : 隣接構造物
- は投影図を示す
- : その他の隣接構造物
- は地中構造物を示す

TF-1断層により区切られ、原子炉建屋から連続するすべり面は延長しない

凡例

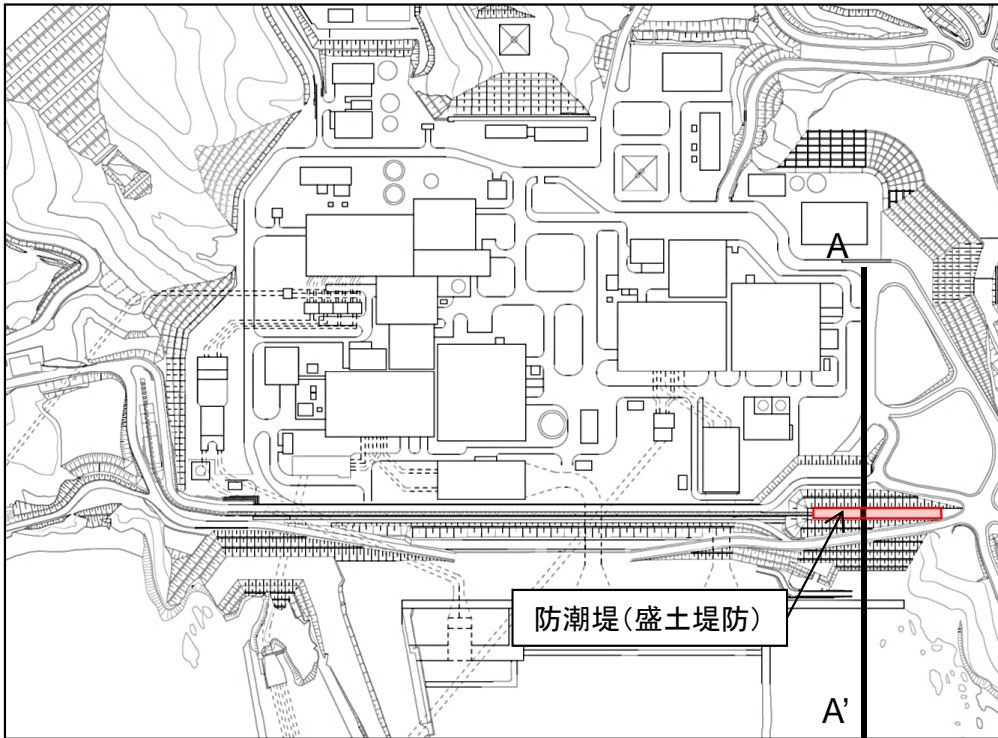
[岩盤分類]

 B級	 岩盤分類境界	 地質境界
 C _H 級	 盛土	 断層
 C _M 級	 第四系(砂礫)	
 C _L 級	 砂	
 D級	 頁岩	
	 礫岩	

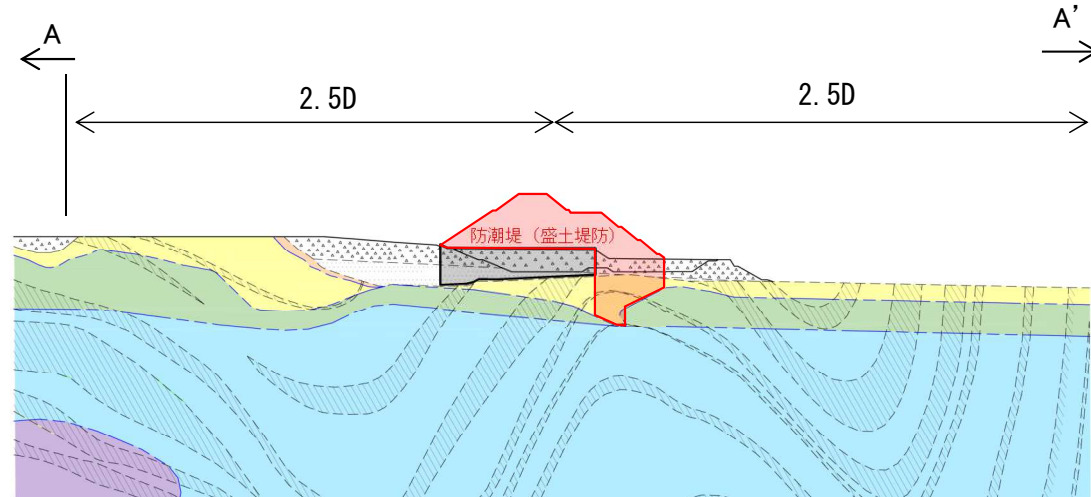
4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.5 隣接構造物のモデル化(防潮堤(盛土堤防))

- 防潮堤(盛土堤防)の周囲“施設幅×2.5”に位置する構造物を抽出し、解析モデルへのモデル化の要否について検討した。
- 防潮堤(盛土堤防)の周囲に、安定性評価に影響を及ぼす可能性のある隣接構造物は存在しない。



■盛土堤防(A-A'断面)



構造物	重量(MN)	評価施設との重量比 (隣接構造物/評価施設)	備考
防潮堤 (盛土堤防)	3,097	—	代表施設



代表施設の周囲に、安定性評価に影響を及ぼす可能性のある隣接構造物は存在しない。

凡例
 : 代表施設(防潮堤(盛土堤防))

凡例

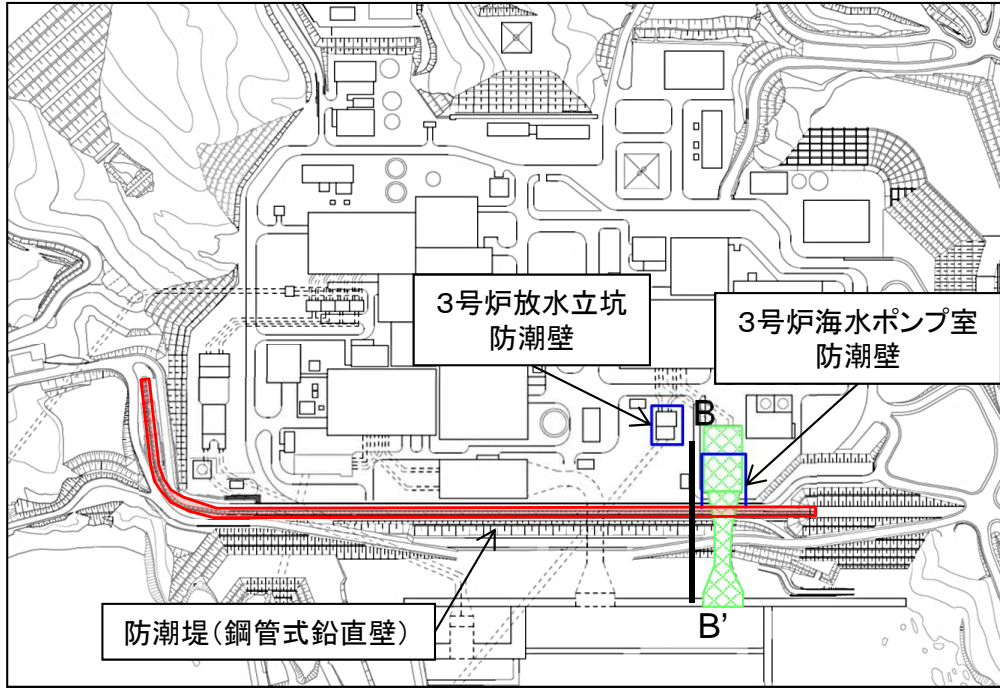
[岩盤分類]

E B級	岩盤分類境界	地質境界
C_H C _H 級	盛土	断層
C_M C _M 級	第四系(砂礫)	
C_L C _L 級	砂岩	
D D級	頁岩	
	L_L ひん岩	

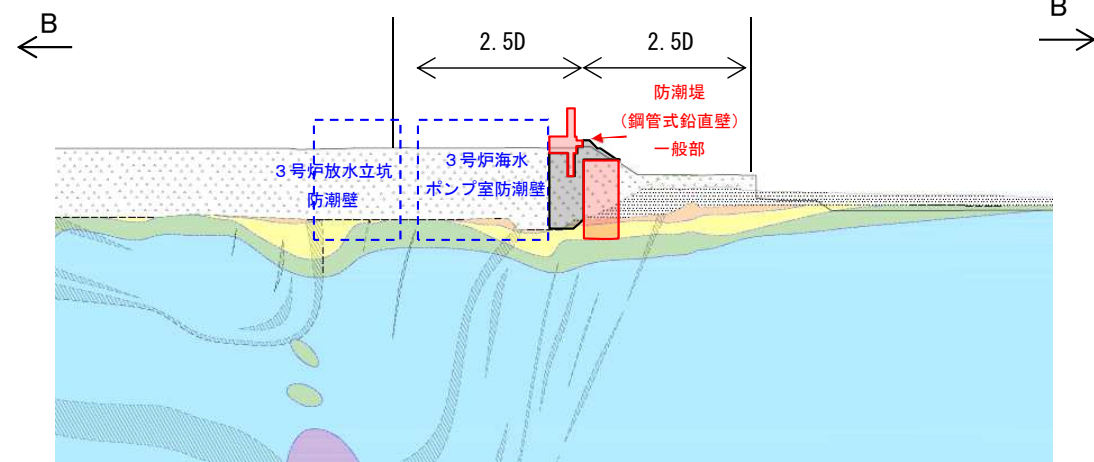
4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.5 隣接構造物のモデル化(防潮堤(鋼管式鉛直壁))

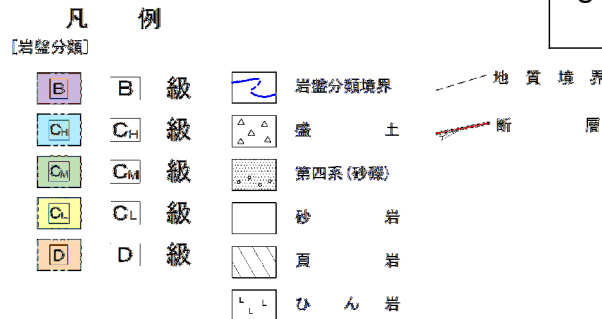
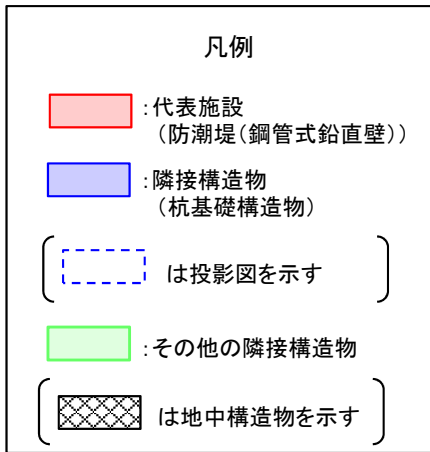
- 防潮堤(鋼管式鉛直壁)の周囲“施設幅×2.5”に位置する構造物を抽出し、解析モデルへのモデル化の要否について検討した。
- 防潮堤(鋼管式鉛直壁)に隣接する構造物は存在するものの、代表施設よりも重量が小さいことから、モデル化しない。



■鋼管式鉛直壁(一般部)(B-B'断面)



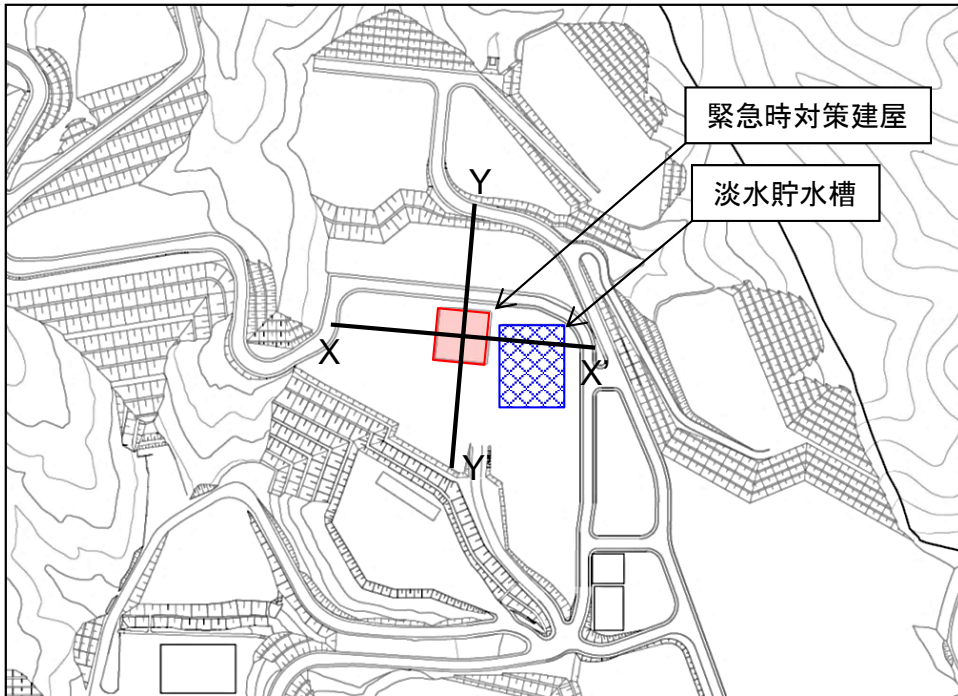
構造物	重量 (MN)	代表施設との重量比 (隣接構造物/代表施設)	備考
防潮堤(鋼管式鉛直壁)一般部	412	—	代表施設
3号炉海水ポンプ室防潮壁	11	0.03	隣接しているものの、代表施設より重量は小さいことから、モデル化しない。
3号炉放水立坑防潮壁	3	0.007	代表施設より重量は小さく、離隔があることからモデル化しない。



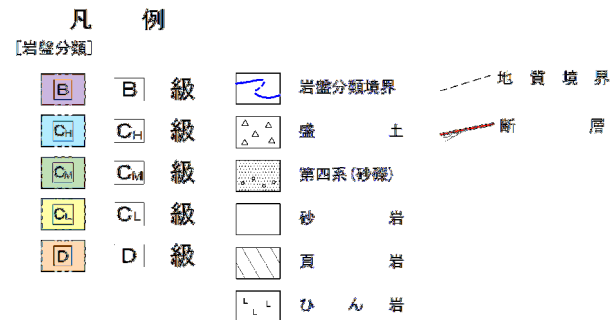
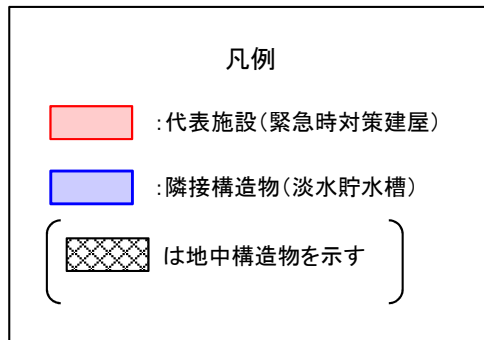
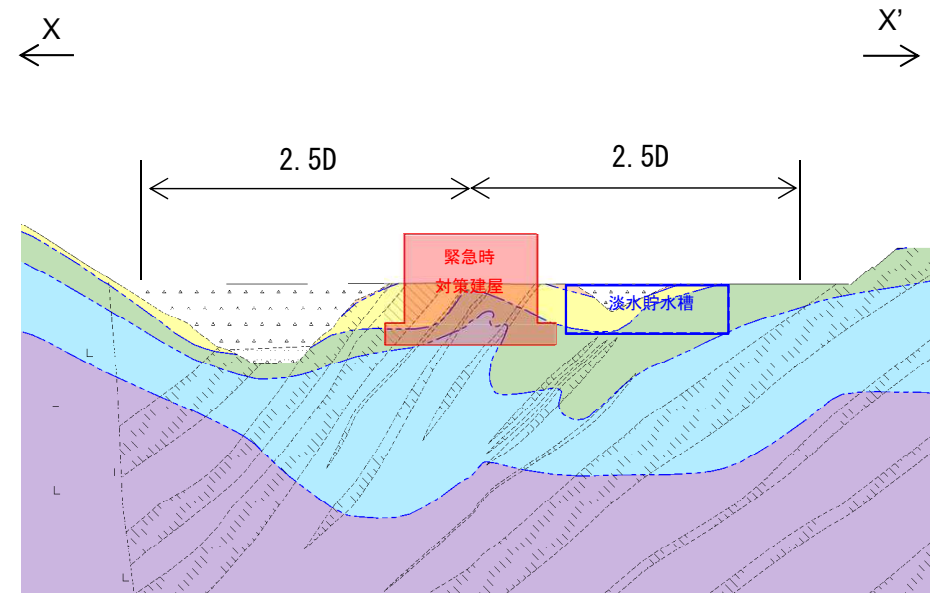
4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.5 隣接構造物のモデル化(緊急時対策建屋)

- 緊急時対策建屋の周囲“施設幅×2.5”に位置する構造物を抽出し、解析モデルへのモデル化の要否について検討した。
- 緊急時対策建屋に隣接する淡水貯水槽は地中構造物であり、盛土に比べ重量が小さく強度が大きいことから、盛土でモデル化することで、保守的な評価とすることとした。



■ 緊急時対策建屋(X-X'断面)

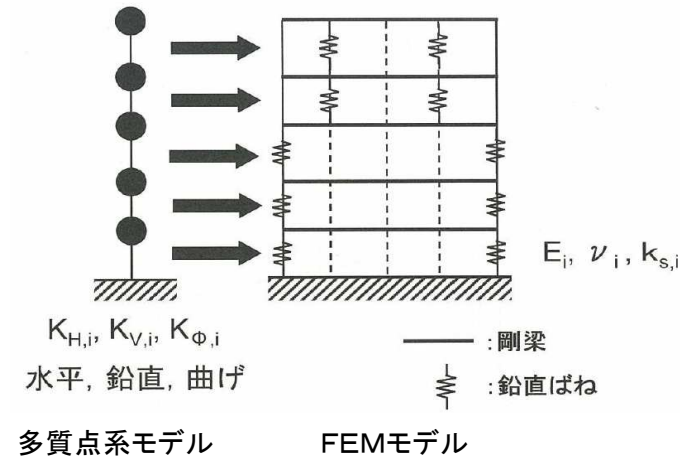


4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.6 建屋等のモデル化

■ 建屋のモデル化

- 有限要素法に用いる原子炉建屋，緊急時対策建屋及びタービン建屋については，水平及び鉛直動の同時入力に対応したモデル化を行った。
- モデル化にあたっては「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委員会，2009）を参考に，多質点系建屋モデルから建屋各層の水平剛性 K_H ，鉛直剛性 K_V 及び曲げ剛性 K_ϕ を用いて，せん断剛性，ばね定数，ポアソン比を求め等価な有限要素モデルを作成した。
- 原子炉建屋は耐震補強工事及び初期剛性低下を考慮したモデルを用いる。緊急時対策建屋は耐震評価用の基本モデルである設計剛性に基づくモデルを用いるが，初期剛性の低下を考慮した場合には，質点系SRモデルにおける建屋底面のせん断力等の比較により，影響がないことを確認した*。



出典：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

■ タービン建屋直下のMMRのモデル化

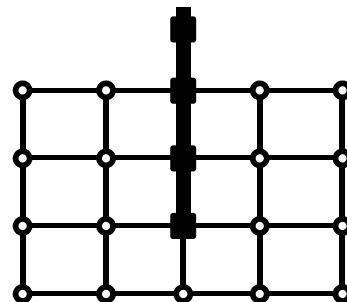
- タービン建屋直下の C_L 級岩盤については，MMRで置換えているが，基礎地盤の安定性評価においては，安全側に原地盤の物性値を使用する。

C_L 級岩盤とMMRの強度比較

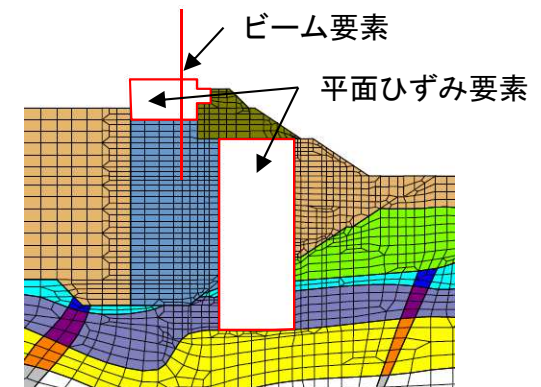
	せん断強度, τ_0 (N/mm ²)	備考
C_L 級砂岩	0.38	• ばらつきを考慮した強度
C_L 級頁岩	0.33	• ばらつきを考慮した強度
MMR	3.2	• 設計基準強度 16 N/mm ² • コンクリート標準示方書(2013年, ダムコンクリート編)

■ 防潮堤の施設(鋼管杭，背面補強工，置換コンクリート)のモデル化

- 鋼管杭はビーム要素でモデル化する。
- 鋼管杭と地盤は節点を共有させる。
- 背面補強工及び置換コンクリートは平面ひずみ要素でモデル化する



- : 地盤等を構成する節点
- : 鋼管杭を構成する節点 (同一座標の○と節点を共有)
- : ビーム要素(鋼管杭)

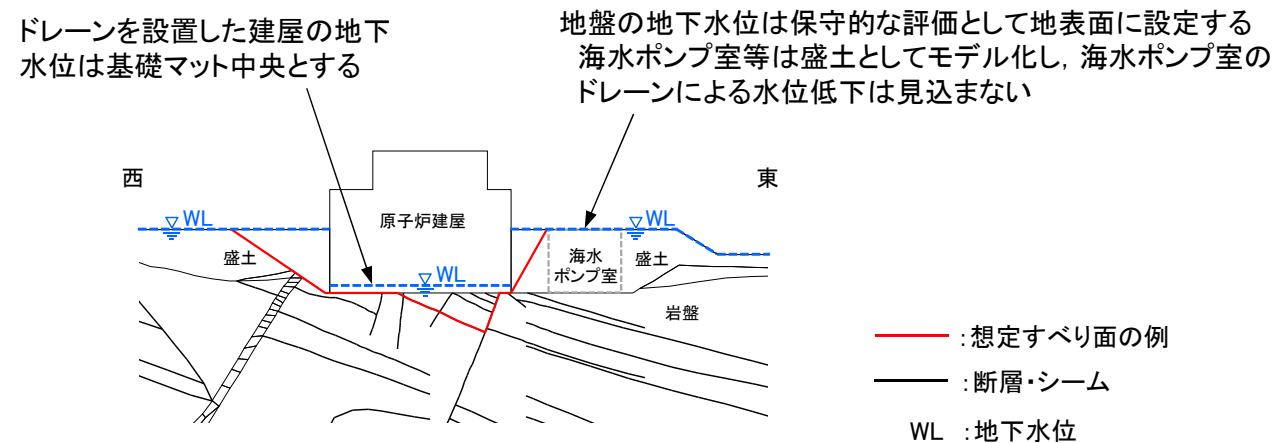


*: 緊急時対策建屋の初期剛性低下の影響については，補足説明資料「3. 安定性評価に関する補足」に示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.7 地下水位の設定方針

- 建設時の設置許可では、基礎地盤の安定性評価で設定する地下水位は、原子炉建屋部分で地下水位の低下を見込むものの、地盤の地下水位は保守的に地表面に設定している。
- また、敷地全体を包含して地盤の安定性を評価するため、原子炉建屋及びタービン建屋以外の地下水位は地表面とし、かつ隣接する地中構造物を盛土としてモデル化し構造物の強度を見込まないことで、保守的な評価としている。
- したがって、本適合性審査においても既往の地下水位設定を踏襲し、保守的に地表面に設定することとする。
- なお、基礎地盤のすべりに対する評価において、地下水位以深の盛土・旧表土が地震動により繰り返し軟化し強度が低下する可能性を考慮し、岩盤部のみのすべりに対する検討を実施する。



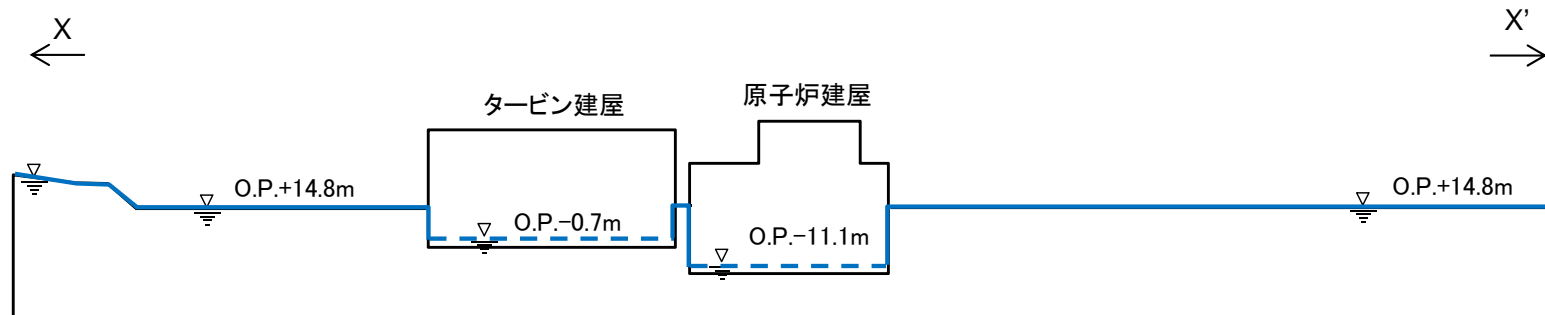
4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.8 地下水位(原子炉建屋)

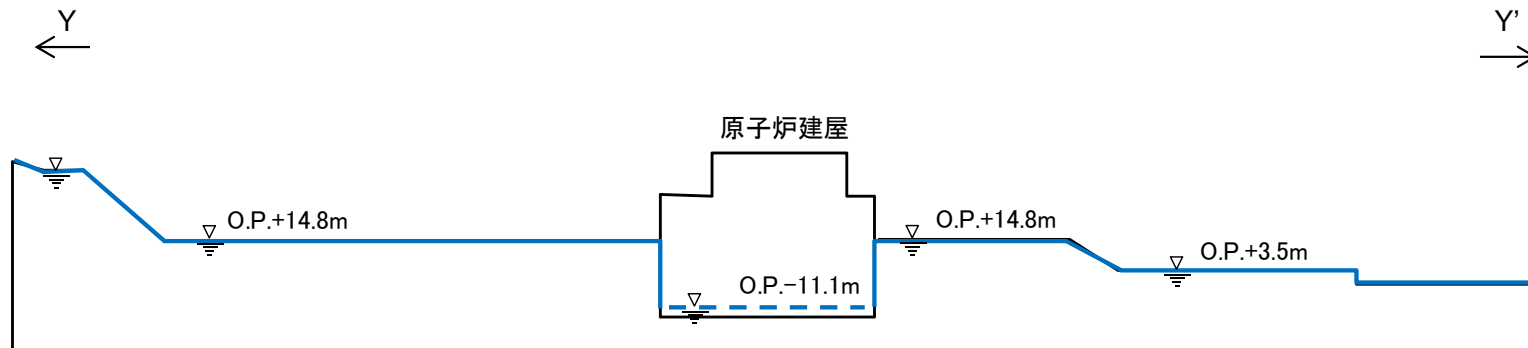
【原子炉建屋】

- 原子炉建屋基礎地盤の地下水位は保守的な評価として地表面とし、建屋の地下水位は基礎マット中央高さとした。

【X-X' 断面】



【Y-Y' 断面】

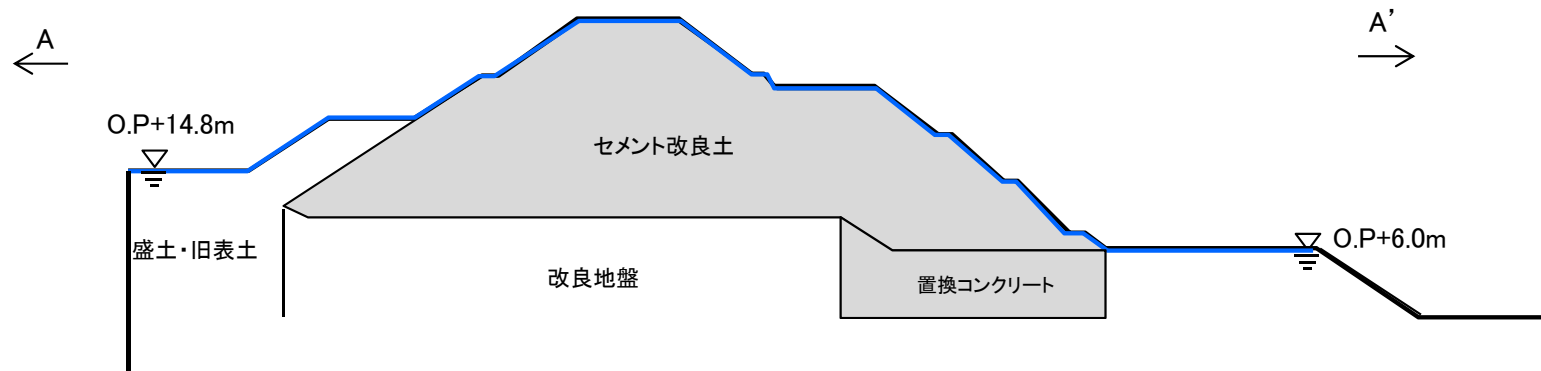


4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.8 地下水位(防潮堤)

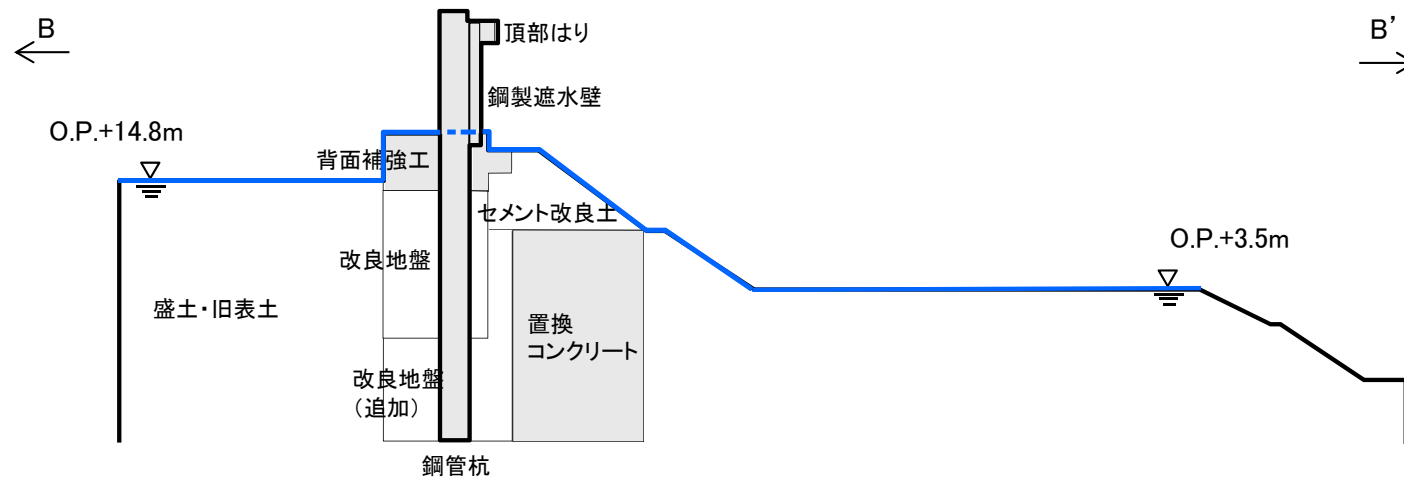
【防潮堤(盛土堤防)】

- 防潮堤(盛土堤防)の基礎地盤の地下水位は保守的な評価として地表面とした。



【防潮堤(鋼管式鉛直壁)】

- 防潮堤(鋼管式鉛直壁)の基礎地盤の地下水位は保守的な評価として地表面とした。



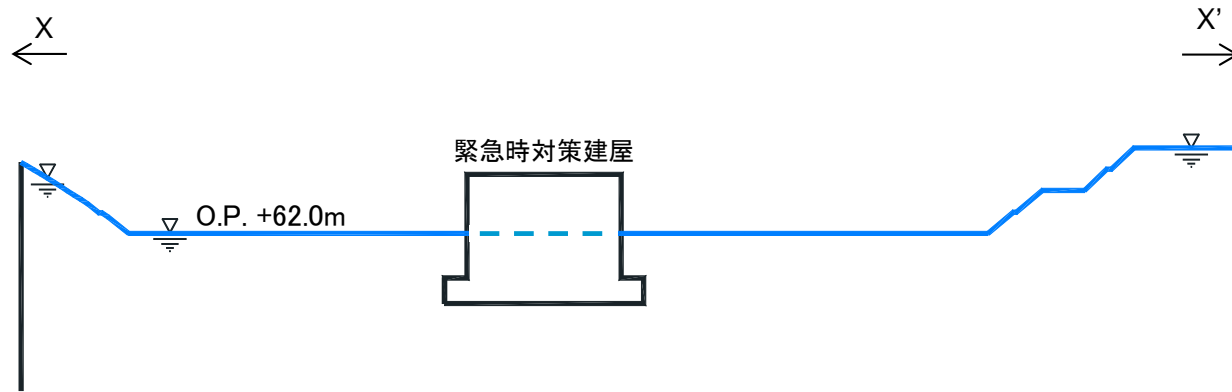
4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.8 地下水位(緊急時対策建屋)

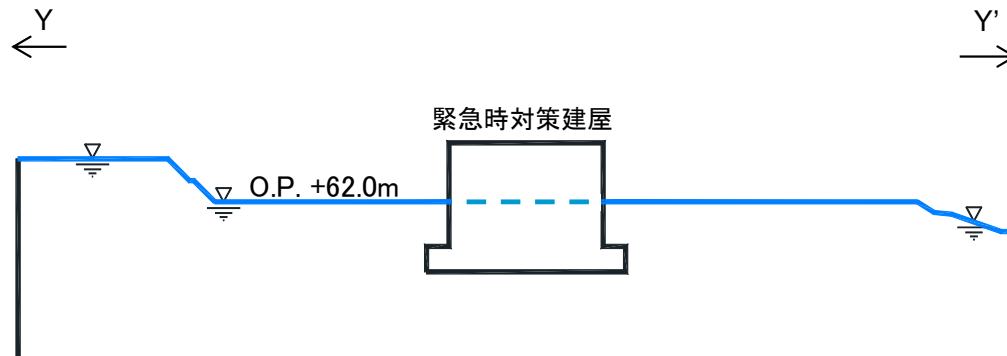
【緊急時対策建屋】

- 緊急時対策建屋基礎地盤の地下水位は保守的な評価として地表面とした。

【NS断面】



【EW断面】



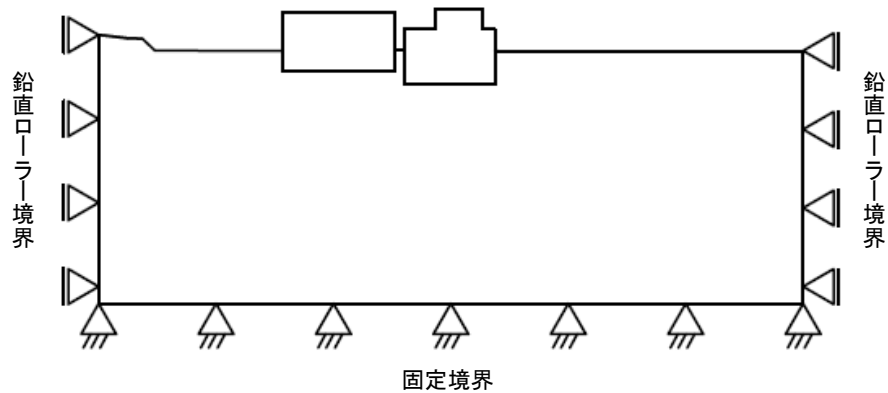
4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.9 境界条件

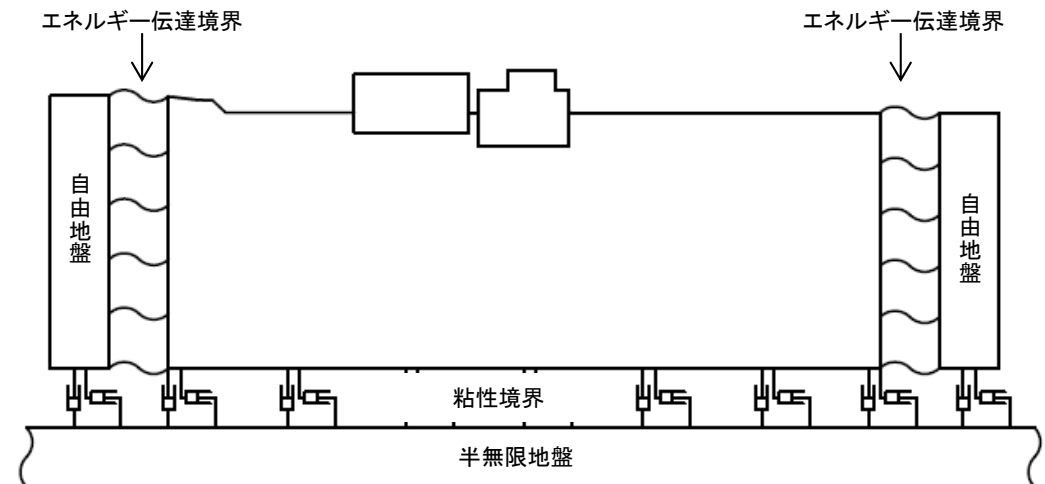
■ 境界条件

- 静的解析では、底面を固定境界、側方を鉛直ローラー境界として設定した。
- 動的解析では、底面を粘性境界、側方をエネルギー伝達境界とし、エネルギー逸散を考慮した。

【静的解析】



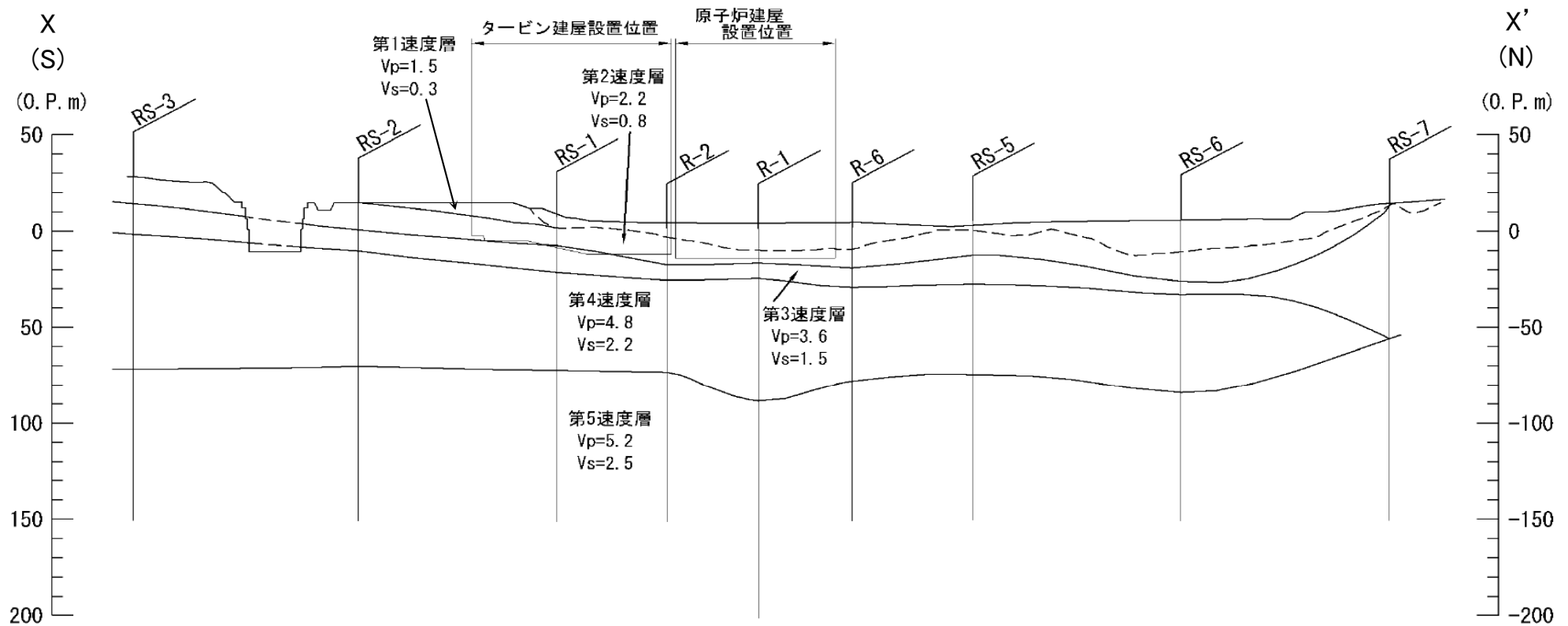
【動的解析】



4. 基礎地盤の安定性評価 4. 1 評価方法

4. 1. 10 速度層構造図(原子炉建屋 X-X' 断面)

- 原子炉建屋基礎地盤の速度層構造※は、おおむね水平な成層構造をなす5層に区分される。



凡 例

----- : 盛土及び旧表土と岩盤の境界線

速度層構造図(X-X'断面)

(単位 km/sec)

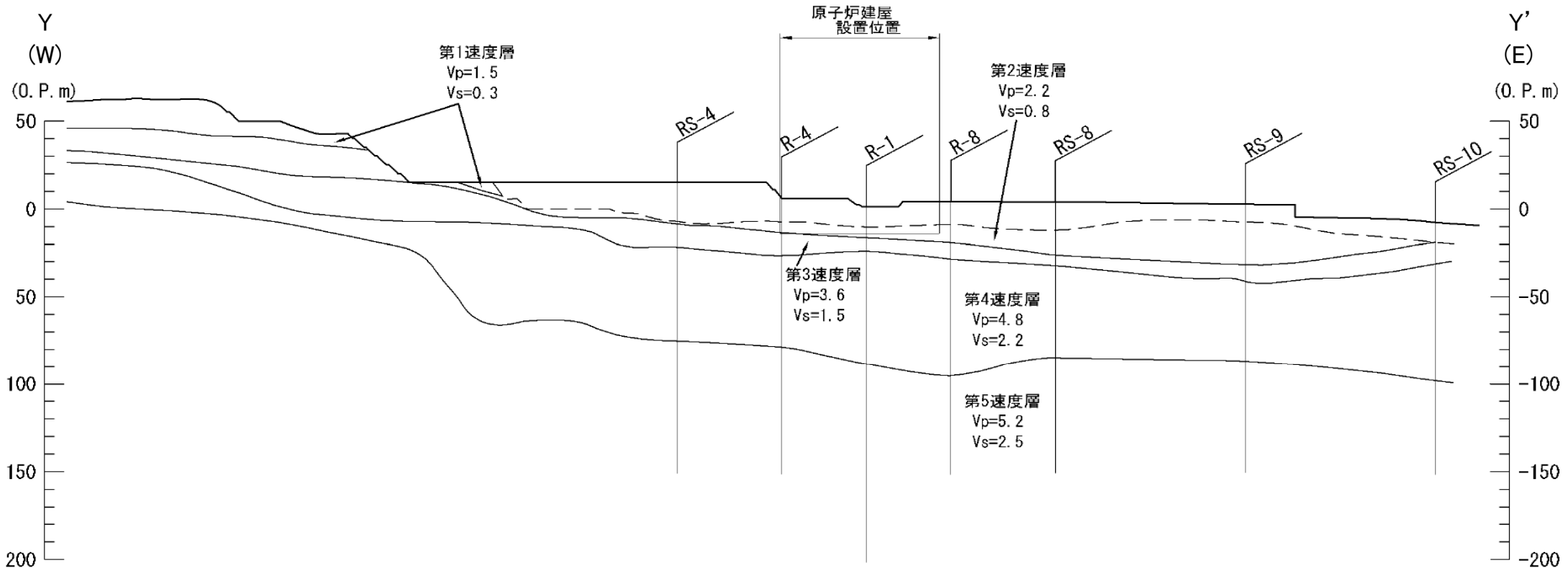


※: 各ボーリング孔のPS検層結果は、補足説明資料「1. 評価断面の選定に関する補足」に示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 1 評価方法

4. 1. 10 速度層構造図(原子炉建屋 Y-Y' 断面)

- 原子炉建屋基礎地盤の速度層構造※は, おおむね水平な成層構造をなす5層に区分される。



凡 例

----- : 盛土及び旧表土と岩盤の境界線

速度層構造図 (Y-Y' 断面)

(単位 km/sec)

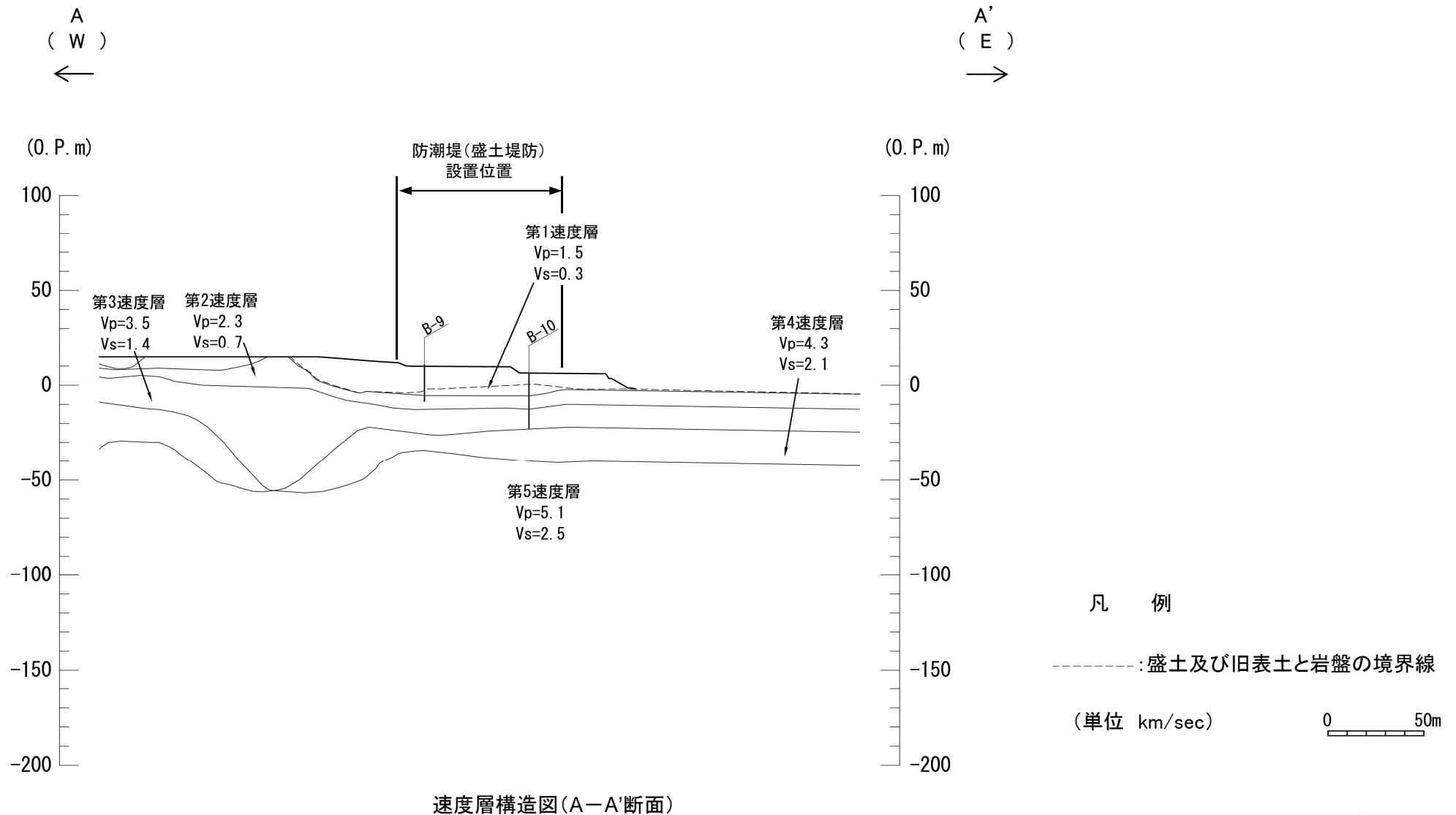


※: 各ボーリング孔のPS検層結果は, 補足説明資料「1. 評価断面の選定に関する補足」に示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.10 速度層構造図(防潮堤(盛土堤防) A-A'断面)

- 防潮堤(盛土堤防)基礎地盤の速度層構造※は、おおむね水平な成層構造をなす5層に区分される。

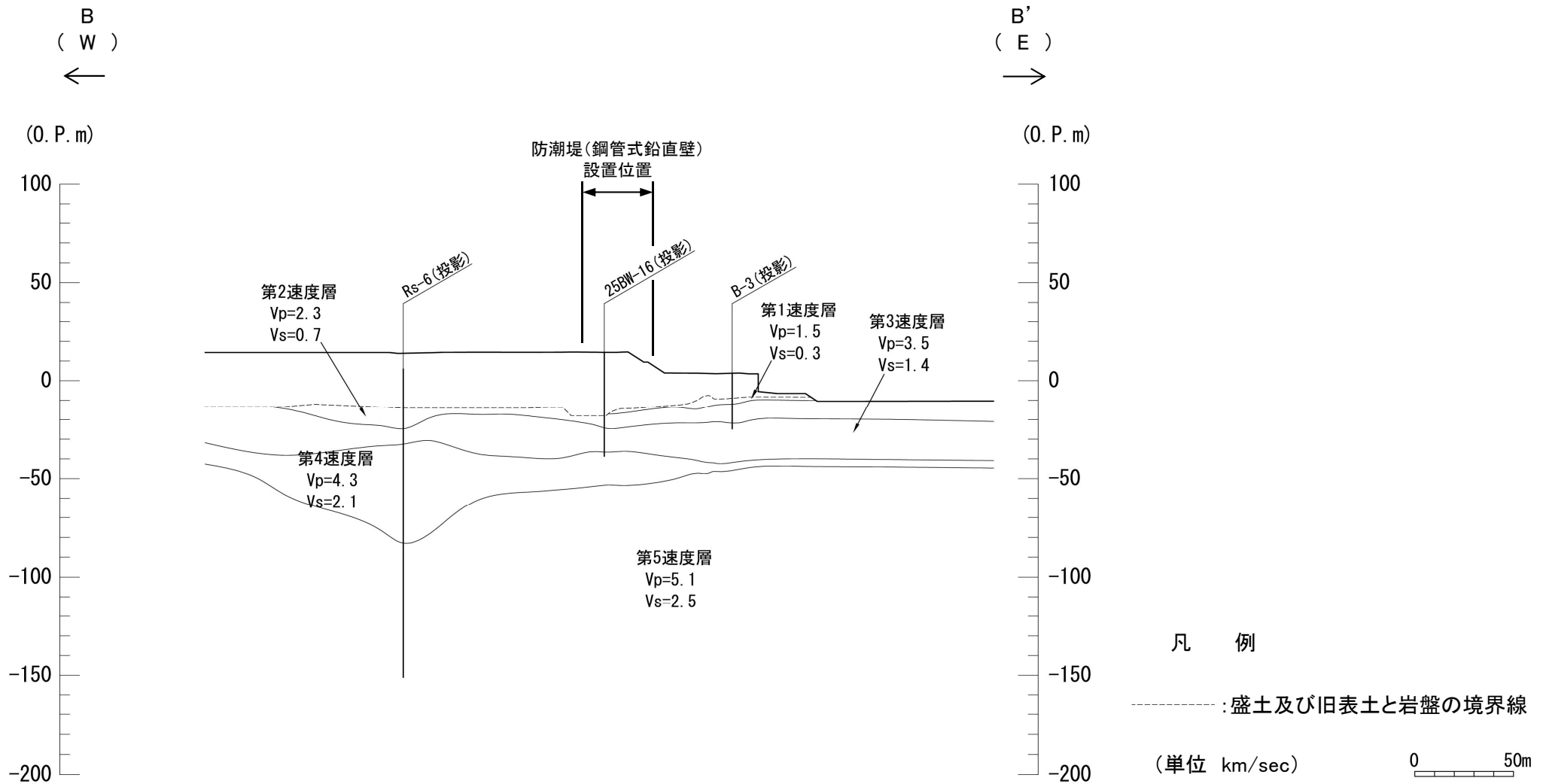


※:各ボーリング孔のPS検層結果は、補足説明資料「1. 評価断面の選定に関する補足」に示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.10 速度層構造図(防潮堤(鋼管式鉛直壁) B-B' 断面)

- 防潮堤(鋼管式鉛直壁)基礎地盤の速度層構造※は、おおむね水平な成層構造をなす5層に区分される。



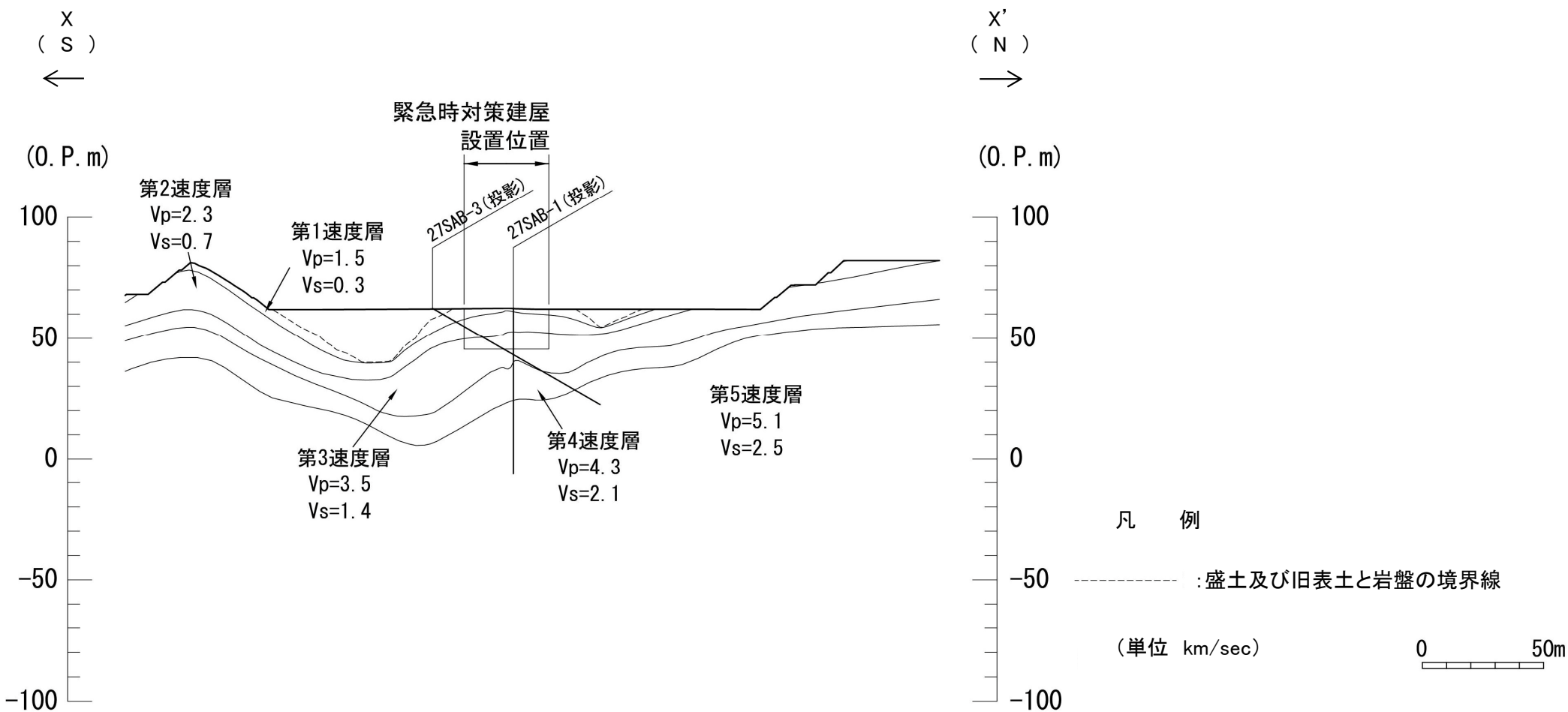
速度層構造図(B-B'断面)

※: 各ボーリング孔のPS検層結果は、補足説明資料「1. 評価断面の選定に関する補足」に示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.10 速度層構造図(緊急時対策建屋 X-X' 断面)

- 緊急時対策建屋基礎地盤の速度層構造※は、おおむね水平な成層構造をなす5層に区分される。



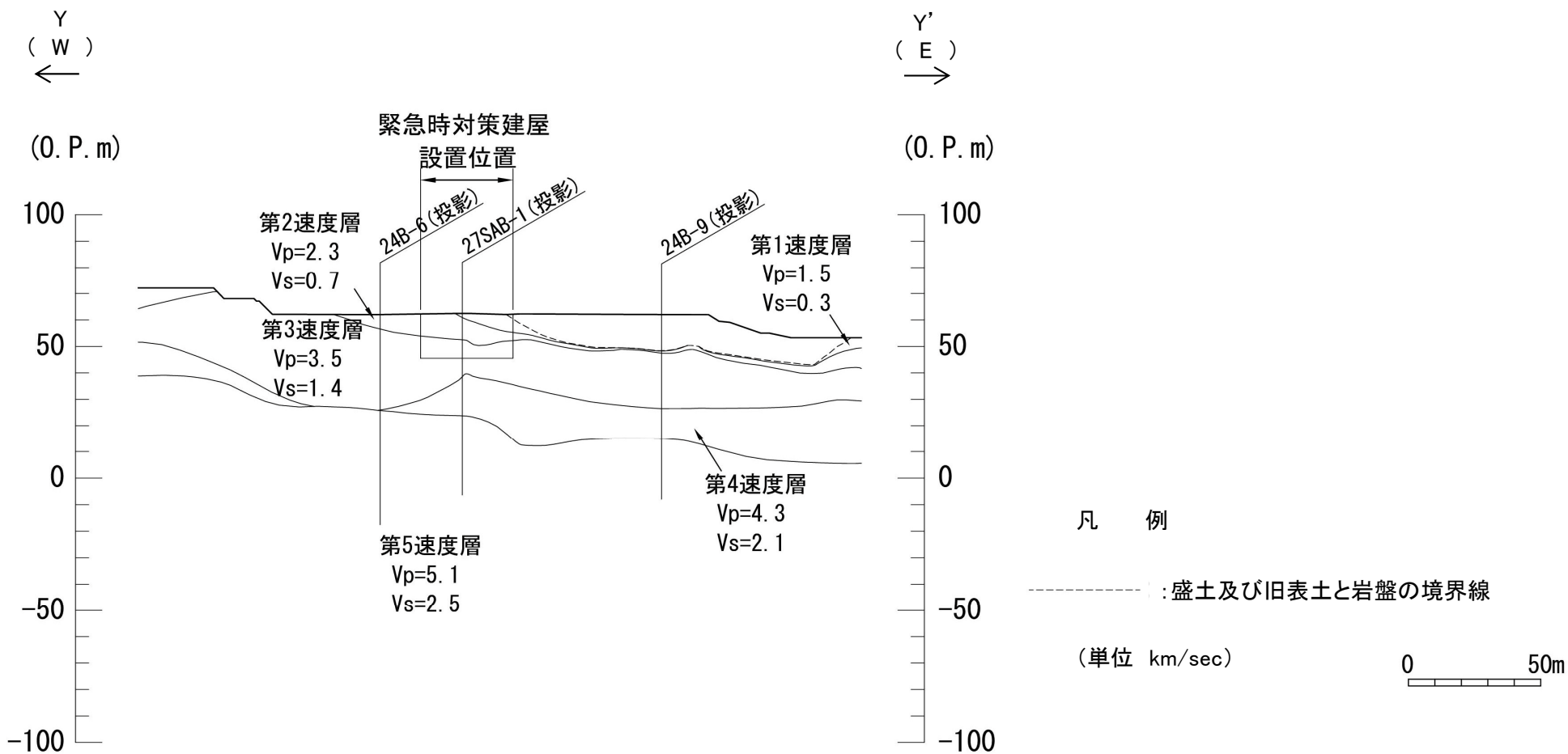
速度層構造図(X-X'断面)

※:各ボーリング孔のPS検層結果は、補足説明資料「1. 評価断面の選定に関する補足」に示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 1評価方法

4. 1. 10 速度層構造図(緊急時対策建屋 Y-Y' 断面)

- 緊急時対策建屋基礎地盤の速度層構造※は、おおむね水平な成層構造をなす5層に区分される。



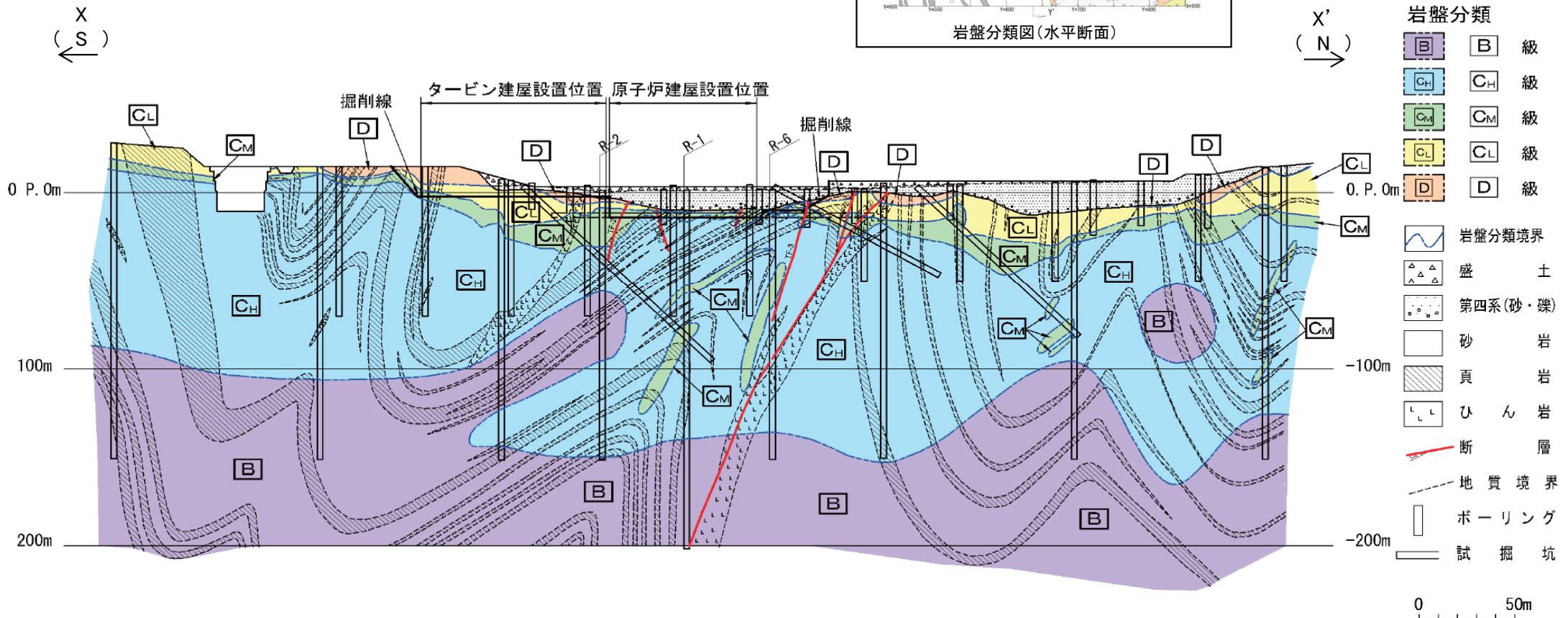
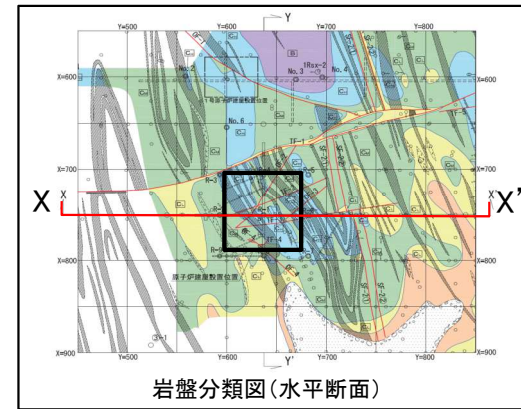
速度層構造図(Y-Y'断面)

※:各ボーリング孔のPS検層結果は、補足説明資料「1. 評価断面の選定に関する補足」に示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 1 評価方法

4. 1. 11 原子炉建屋(岩盤分類図 X-X' 断面)

- 原子炉建屋(X-X' 断面)の解析モデル作成の基となる岩盤分類図を示す。

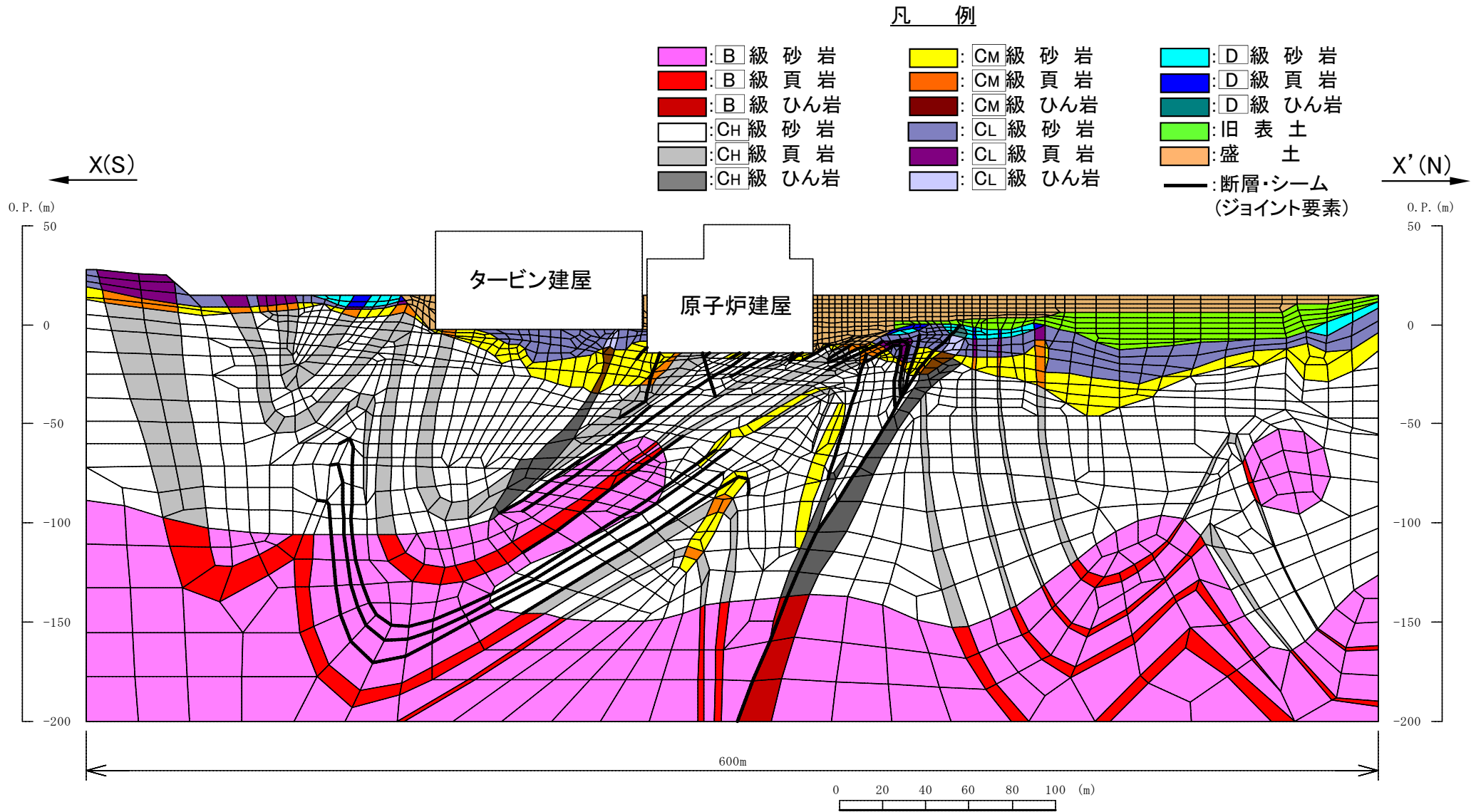


岩盤分類図(X-X'断面)

4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.11 原子炉建屋(解析用要素分割図 X-X' 断面)

- 岩盤分類図及び速度層構造図を基に原子炉建屋(X-X' 断面)の解析用要素分割図を作成した。

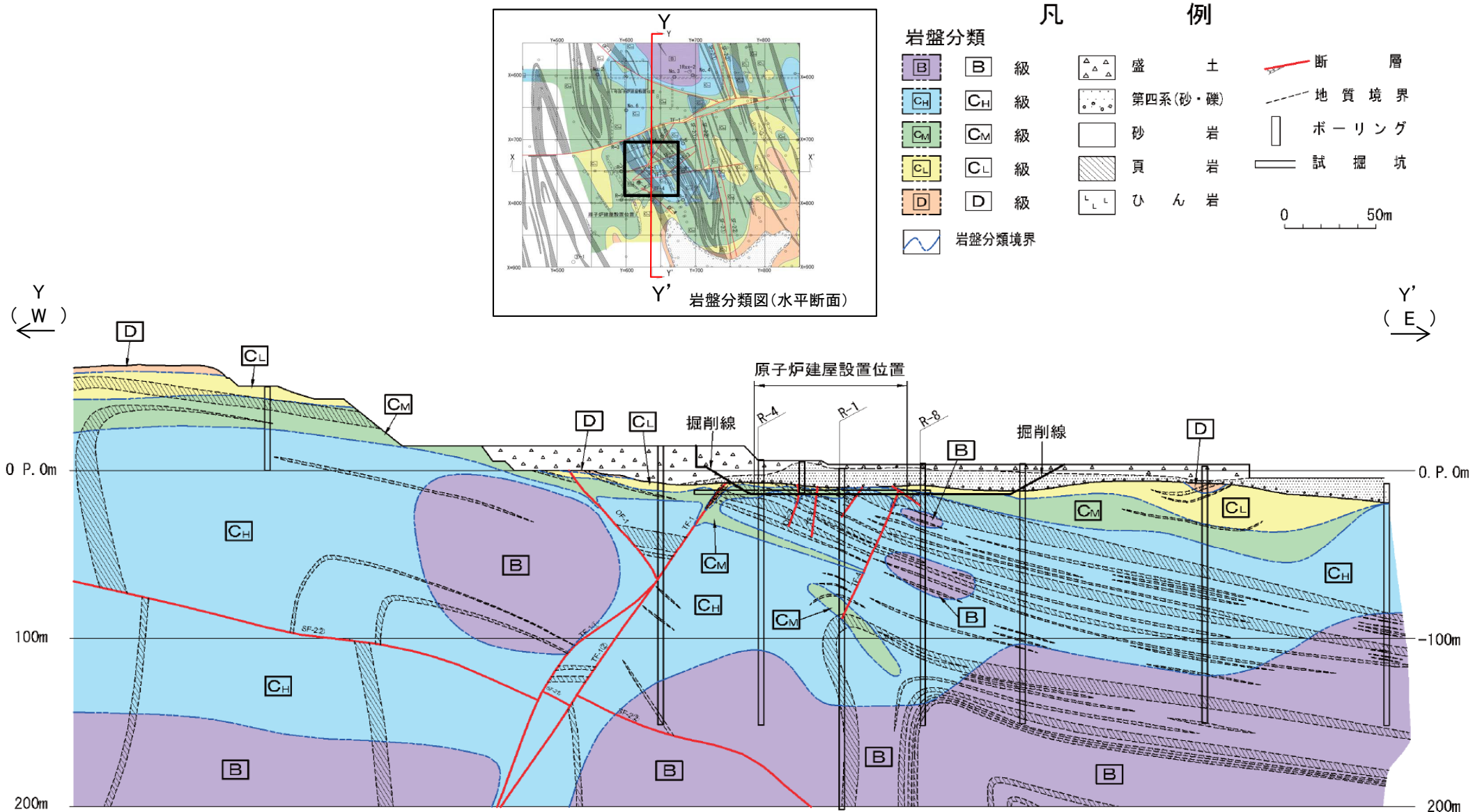


解析用要素分割図(X-X' 断面)

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 1 評価方法

4. 1. 12 原子炉建屋(岩盤分類図 Y-Y' 断面)

- 原子炉建屋(Y-Y' 断面)の解析モデル作成の基となる岩盤分類図を示す。

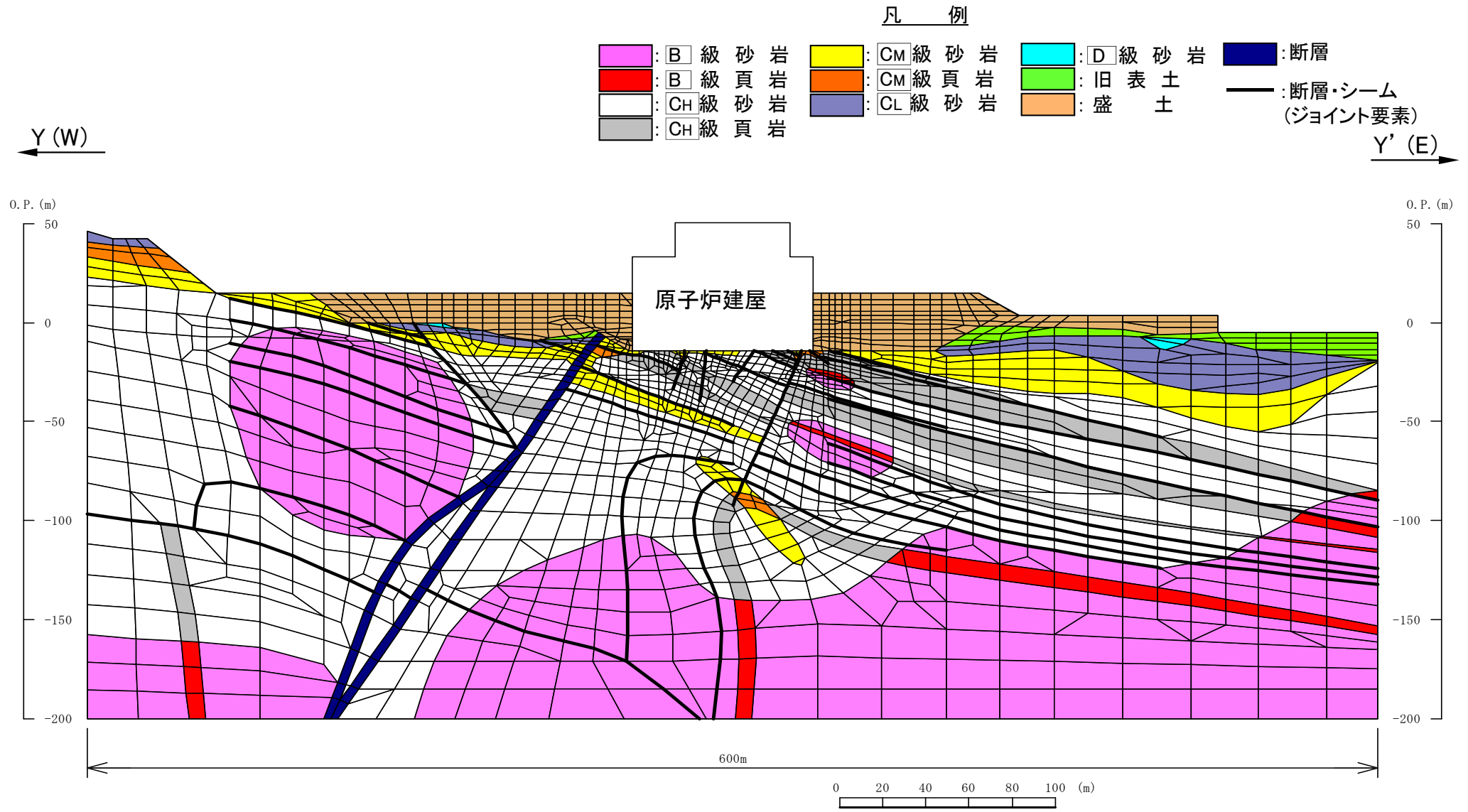


岩盤分類図(Y-Y'断面)

4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.12 原子炉建屋(解析用要素分割図 Y-Y' 断面)

- 岩盤分類図及び速度層構造図を基に原子炉建屋(Y-Y' 断面)の解析用要素分割図を作成した。

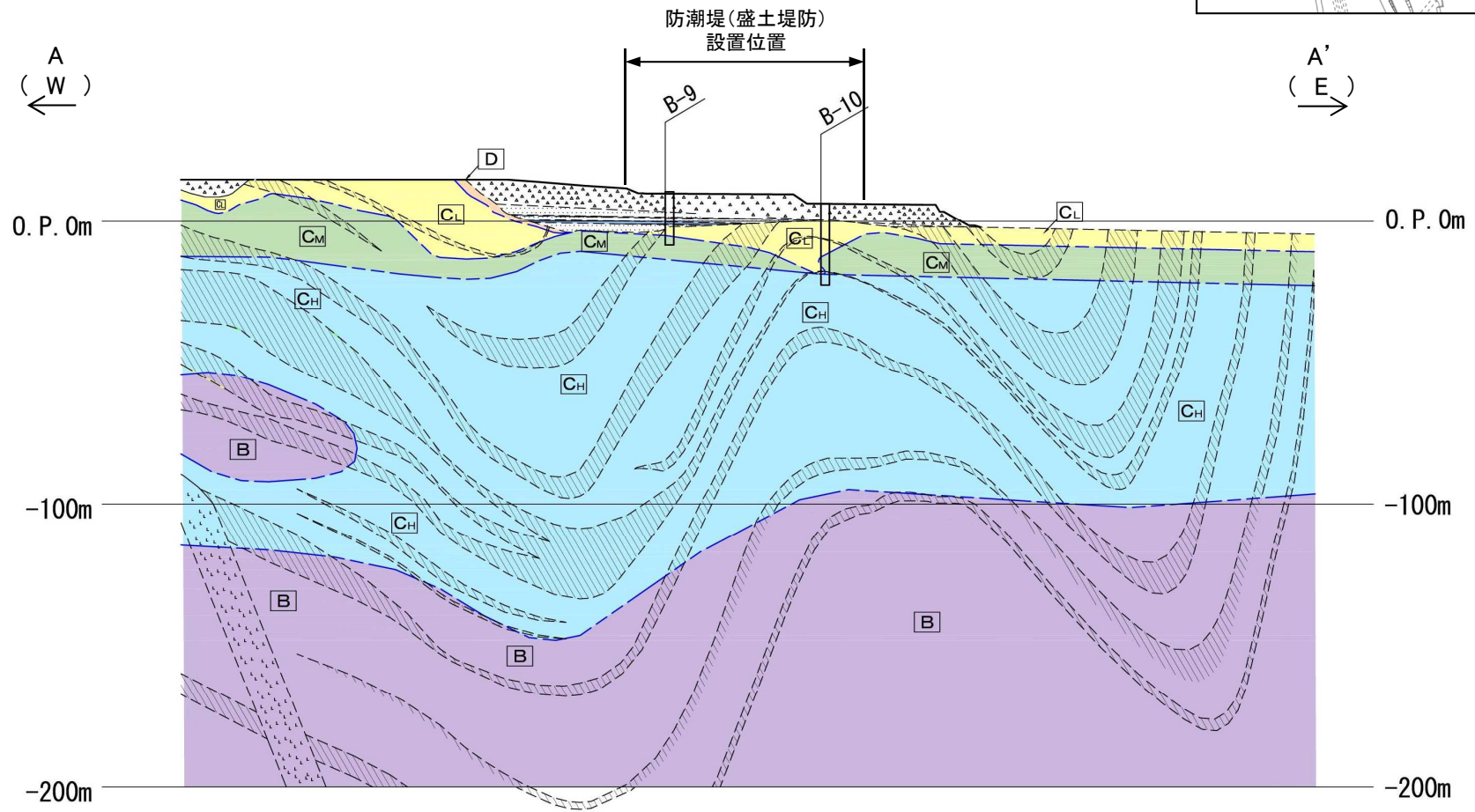
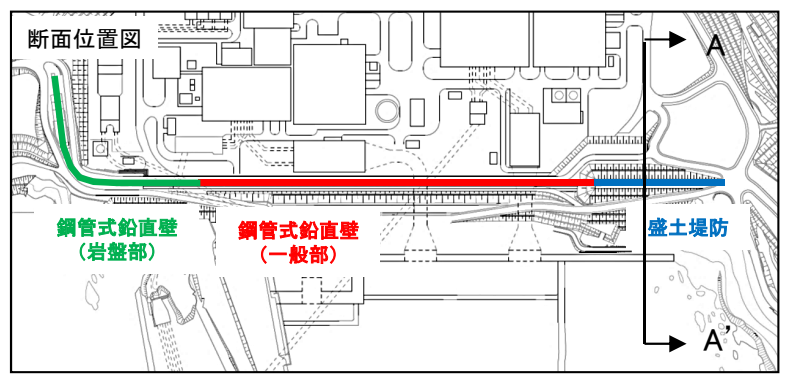


解析用要素分割図(Y-Y' 断面)

4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.13 防潮堤(盛土堤防)(岩盤分類図 A-A' 断面)

- 防潮堤(盛土堤防)の解析モデル作成の基となるA-A'断面の岩盤分類図を示す。



凡 例

岩盤分類		凡 例	
[B]	B 級	[△△△]	盛 土
[CH]	CH 級	[□□□]	第四系(砂・礫)
[CM]	CM 級	[□]	砂 岩
[CL]	CL 級	[▨]	頁 岩
[D]	D 級	[LLL]	ひ ん 岩
[Wavy line]	岩盤分類境界	[Red line]	断 層
[Dashed line]	地質境界	[Dotted line]	ボーリング
[Vertical bar]	ボーリング	[Horizontal bar]	試掘坑

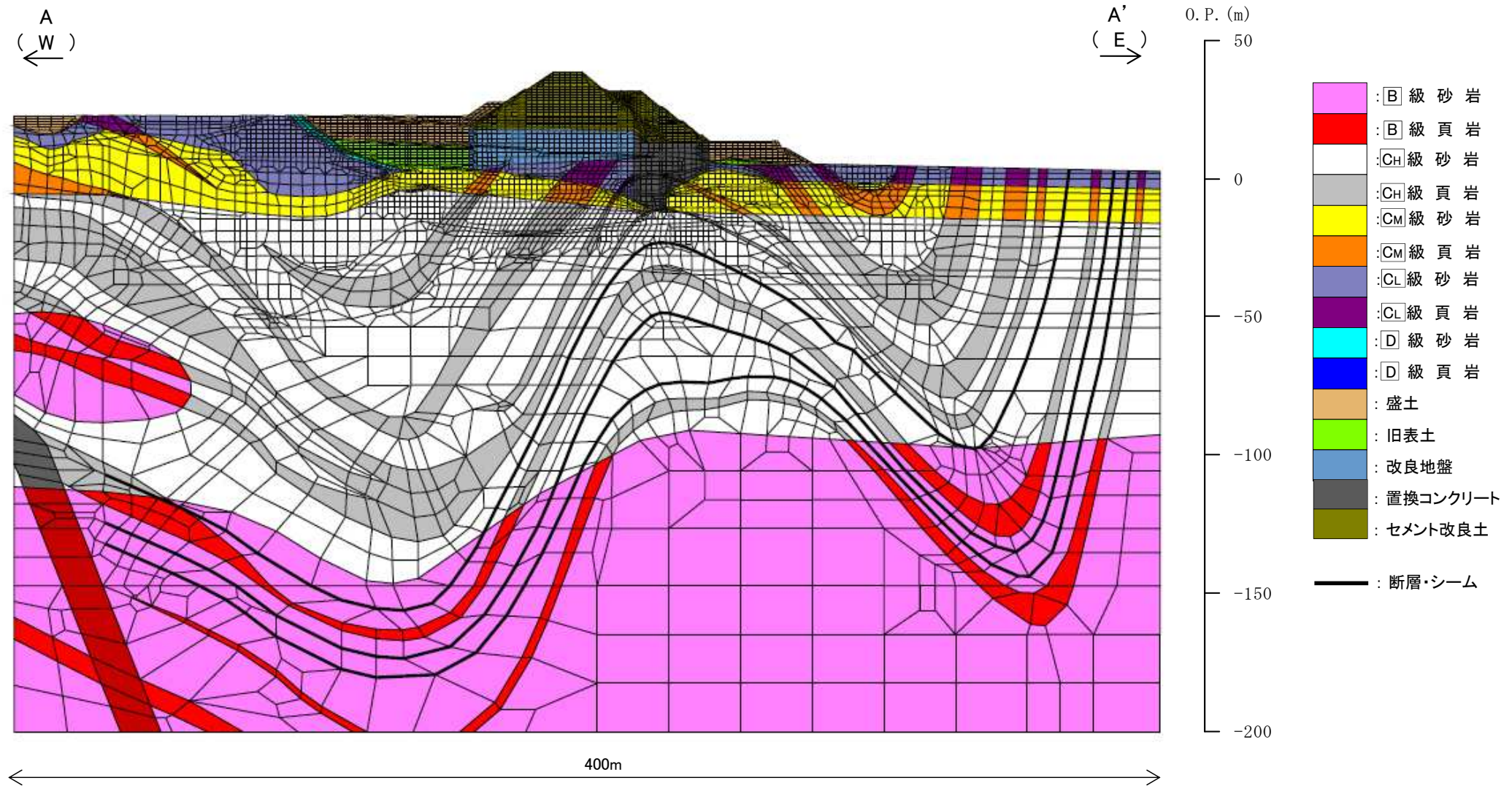


岩盤分類図(A-A'断面)

4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.13 防潮堤(盛土堤防)(解析用要素分割図 A-A' 断面)

- 岩盤分類図及び速度層構造図を基に防潮堤(盛土堤防)(A-A'断面)の解析用要素分割図を作成した。

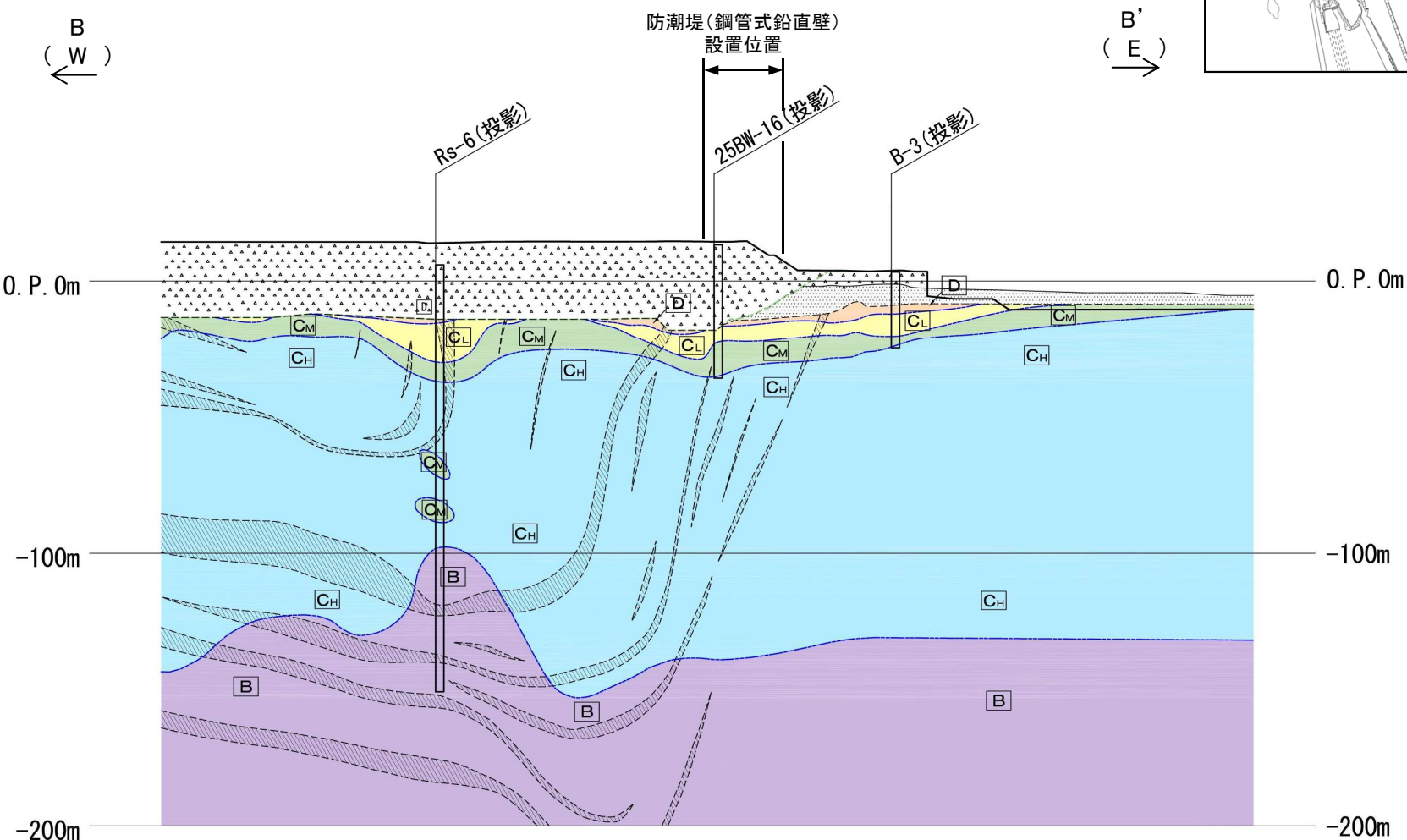
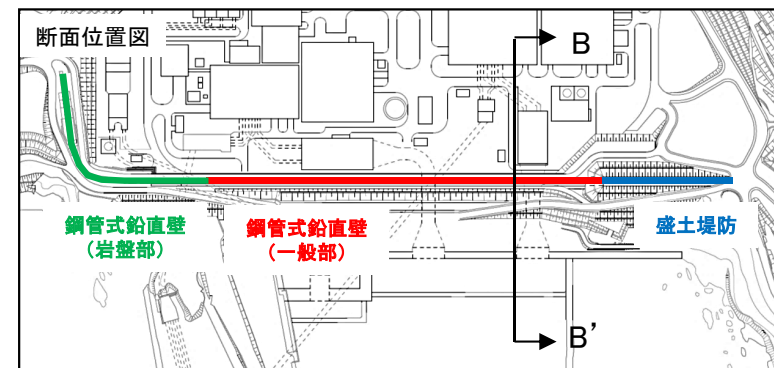


解析用要素分割図(A-A'断面)

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 1 評価方法

4. 1. 14 防潮堤(鋼管式鉛直壁)(岩盤分類図 B-B' 断面)

- 防潮堤(鋼管式鉛直壁)の解析モデル作成の基となるB-B' 断面の岩盤分類図を示す。



凡 例

岩盤分類		例	
[B]	B 級	[△△△]	盛 土
[CH]	CH 級	[□□□]	第四系(砂・礫)
[CM]	CM 級	[□□□]	砂 岩
[CL]	CL 級	[□□□]	頁 岩
[D]	D 級	[LLL]	ひ ん 岩
[Wavy line]	岩盤分類境界	[Red line]	断 層
[Dashed line]	地質境界	[Dotted line]	ボーリング
[Vertical bar]	ボーリング	[Horizontal bar]	試 掘 坑

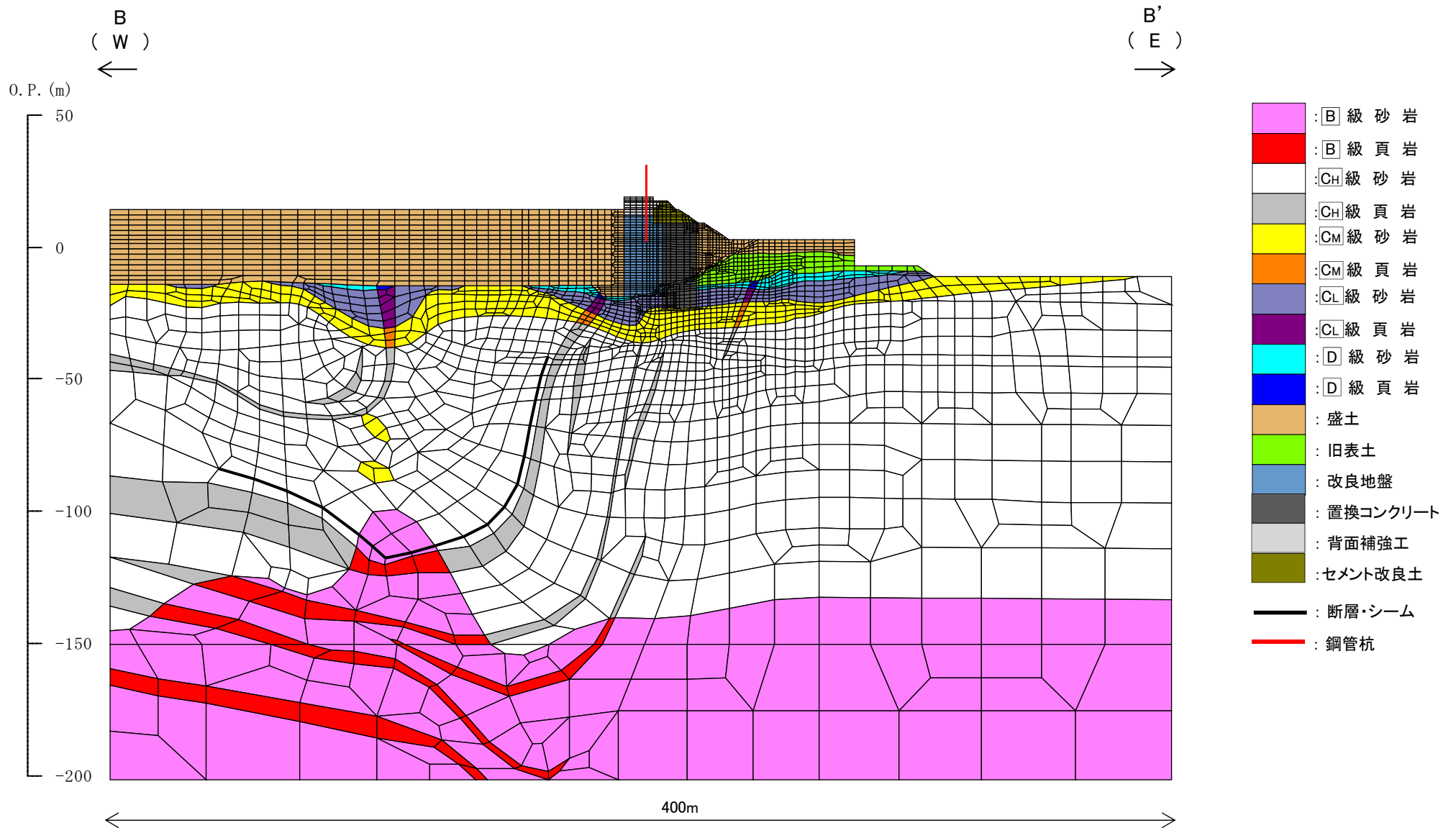
0 50m

岩盤分類図(B-B'断面)

4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.14 防潮堤(鋼管式鉛直壁)(解析用要素分割図 B-B' 断面)

- 岩盤分類図及び速度層構造図を基に防潮堤(鋼管式鉛直壁) (B-B' 断面)の解析用要素分割図を作成した。

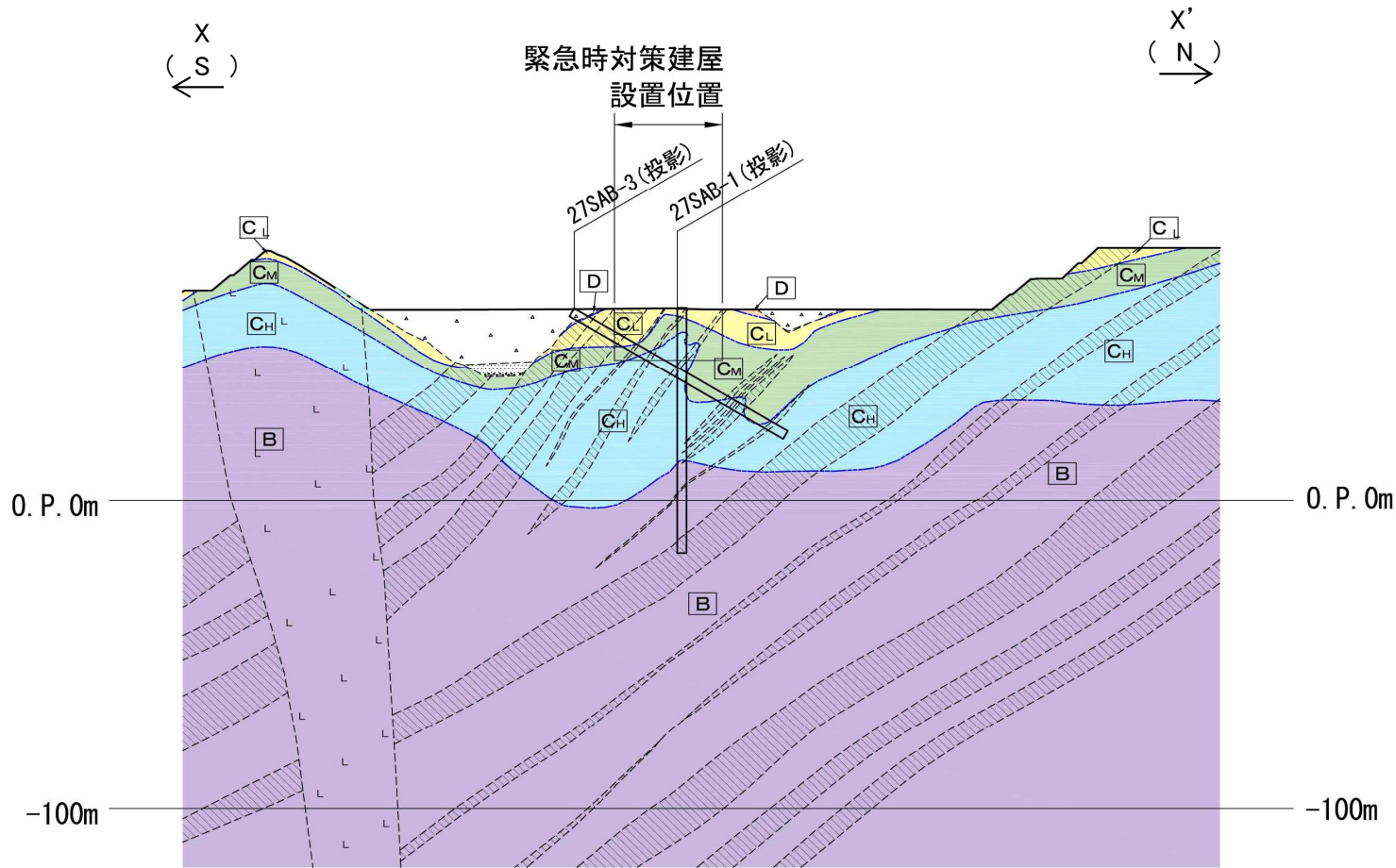


解析用要素分割図(B-B' 断面)

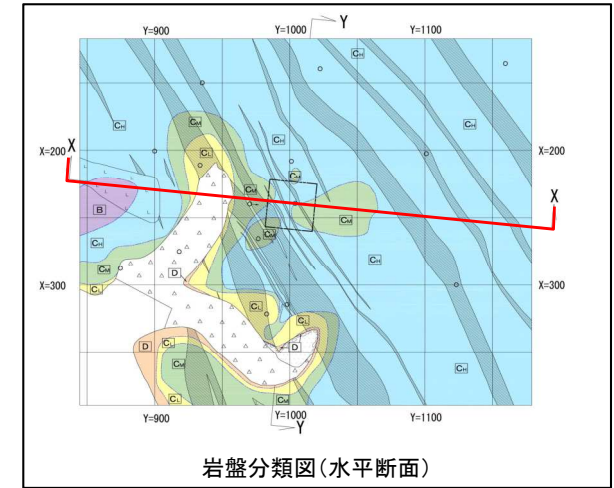
4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.15 緊急時対策建屋(岩盤分類図 X-X' 断面)

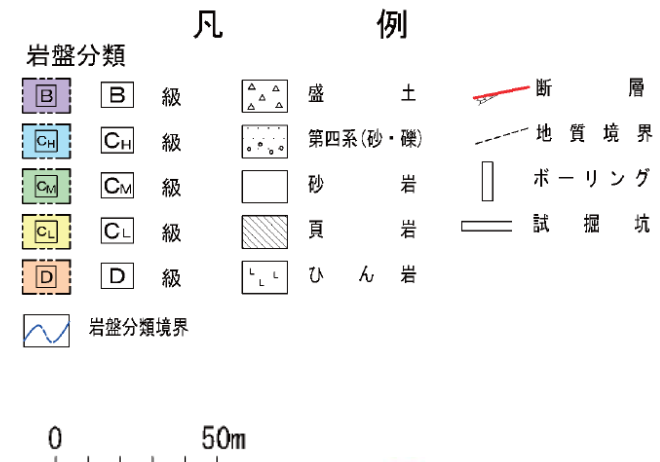
- 緊急時対策建屋(X-X' 断面)の解析モデル作成の基となる岩盤分類図を示す。



岩盤分類図(X-X'断面)



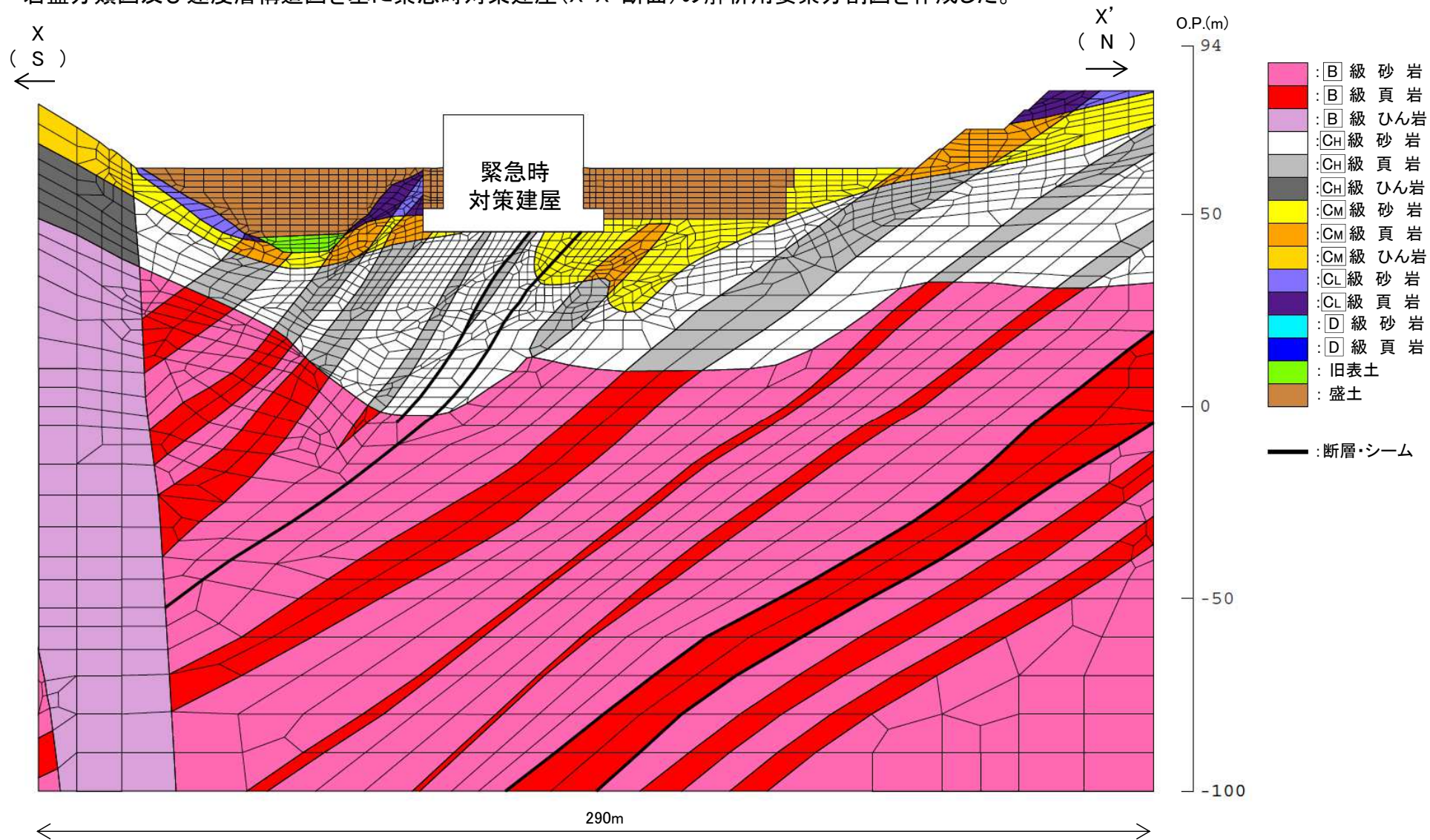
岩盤分類図(水平断面)



4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.15 緊急時対策建屋(解析用要素分割図 X-X' 断面)

- 岩盤分類図及び速度層構造図を基に緊急時対策建屋(X-X' 断面)の解析用要素分割図を作成した。

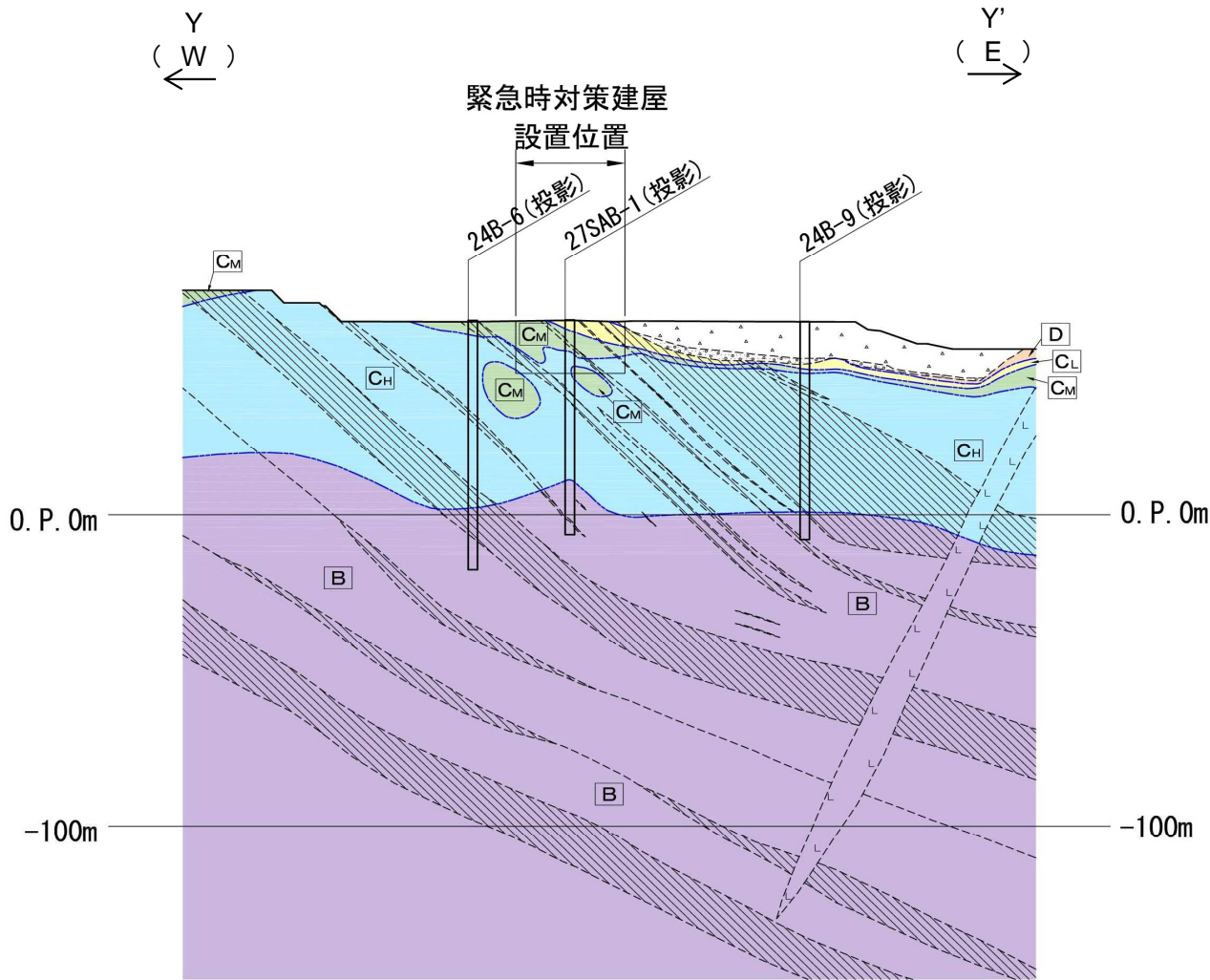


解析用要素分割図(X-X' 断面)

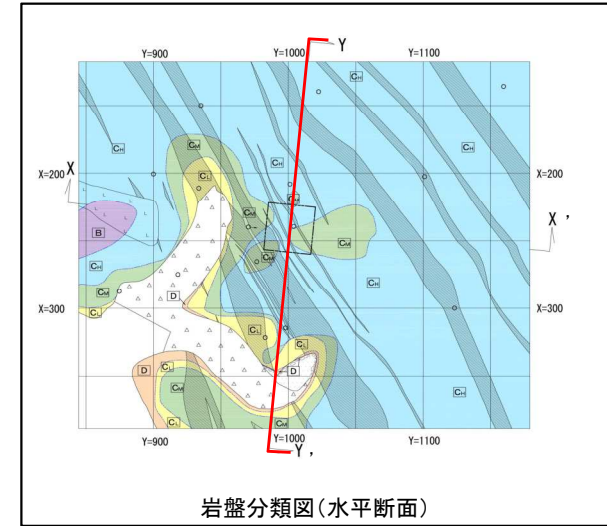
4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.16 緊急時対策建屋(岩盤分類図 Y-Y' 断面)

- 緊急時対策建屋(Y-Y' 断面)の解析モデル作成の基となる岩盤分類図を示す。



岩盤分類図(Y-Y'断面)



岩盤分類図(水平断面)

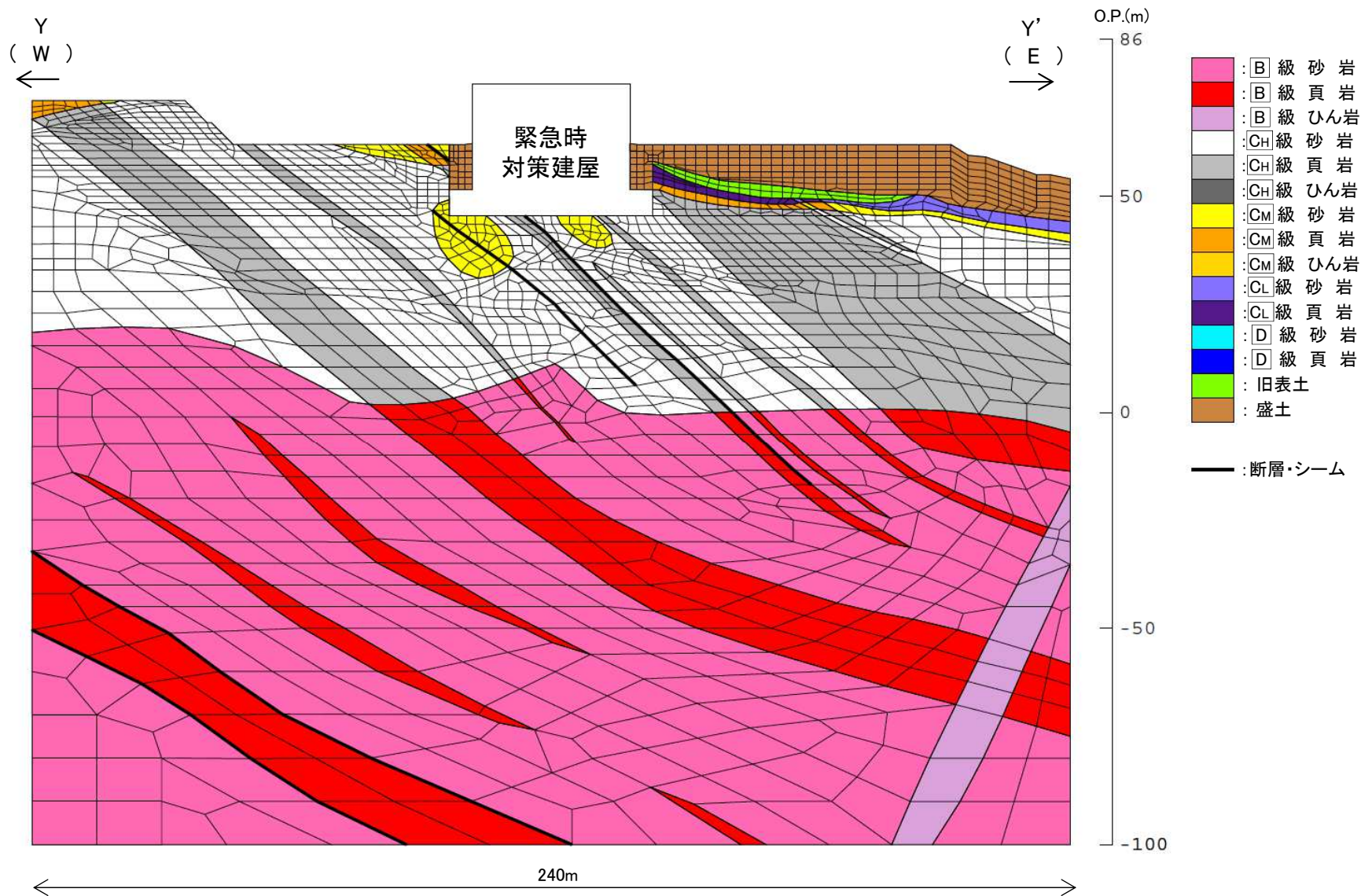
岩盤分類		凡 例	
B 級	盛 土	断 層	
CH 級	第四系(砂・礫)	地 質 境 界	
CM 級	砂 岩	ボーリング	
CL 級	頁 岩	試 掘 坑	
D 級	ひ ん 岩		
岩盤分類境界			

0 50m

4. 基礎地盤の安定性評価 4.1 評価方法

4.1.16 緊急時対策建屋(解析用要素分割図 Y-Y' 断面)

- 岩盤分類図及び速度層構造図を基に緊急時対策建屋(Y-Y' 断面)の解析用要素分割図を作成した。

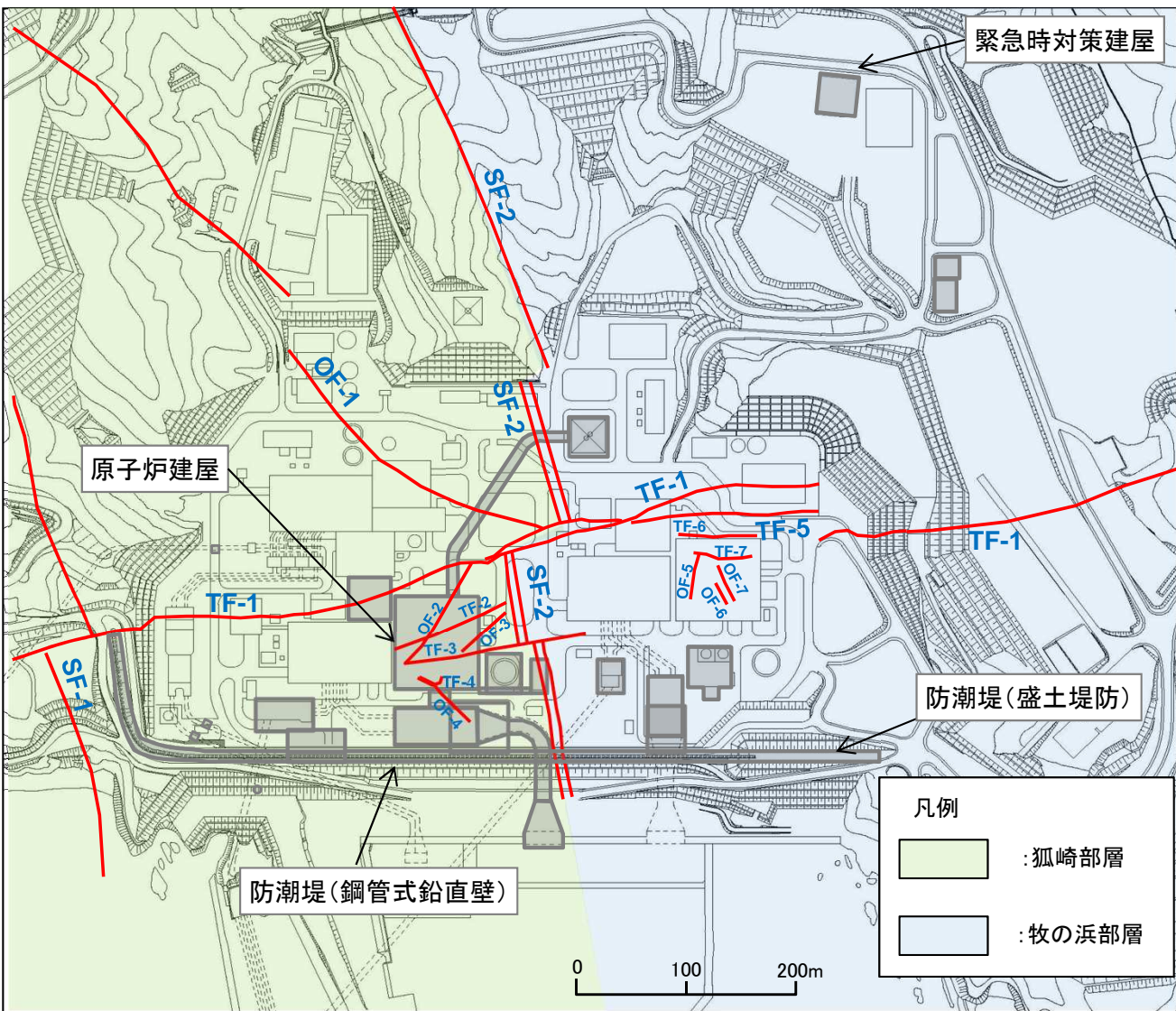


解析用要素分割図(Y-Y' 断面)

4. 基礎地盤の安定性評価 4.2解析用物性値

4.2.1 解析用物性値の考え方

- 敷地には、中生界ジュラ系の牡鹿層群荻の浜累層が分布するが、原子炉建屋の設置位置には狐崎部層が分布し、緊急時対策建屋の設置位置には牧の浜部層が分布する。
- 両部層間で力学特性に大差はないものの、それぞれの部層に対する試験結果に基づき物性値を設定した。

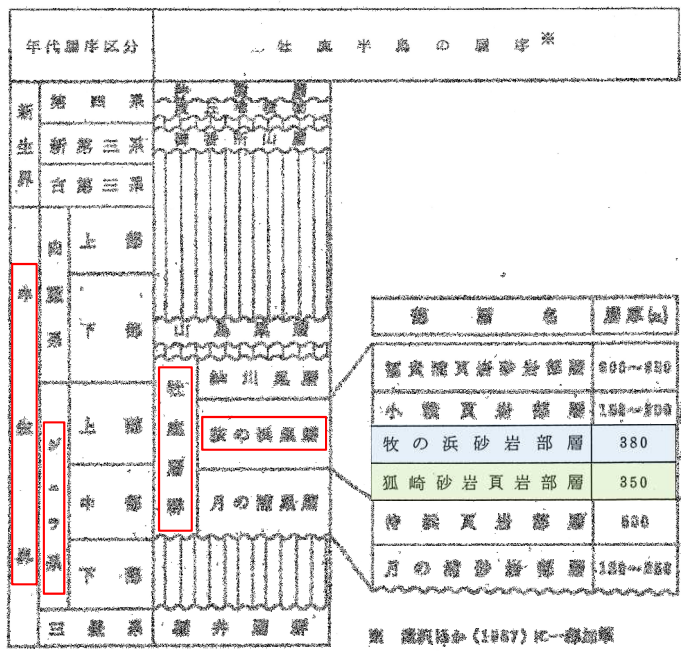


一軸圧縮強度の比較 (単位: N/mm²)

岩盤分類		狐崎部層※1	牧の浜部層※2
砂岩	C _H	153.0	150.2
	C _M	40.0	47.4

※1: 2号試験坑内 供試体
 ※2: 3号試験坑内 供試体

敷地の地質層序表



4. 基礎地盤の安定性評価 4. 2解析用物性値

4. 2. 2 解析用物性値の設定根拠(狐崎部層)

- 解析用物性値は、各種試験結果に基づき設定した。
- 分布範囲が小さい等の理由により試験を実施していない物性値については、他岩種の値を基に換算等を行い設定した。
- ただし、**C_L**級岩盤の強度特性及び**D**級岩盤の物性値は、分布が小さいことや、亀裂や風化により部層の相違による影響が小さいこと等から、狐崎部層と牧の浜部層を同一の物性値としている。(部分)

解析用物性値の設定根拠(狐崎部層)

岩種・岩級		物理特性	強度特性		変形特性	
			静的・動的特性		静的特性	動的特性
B 級 及び C_H 級	砂岩	密度試験 (JIS A1225)	ブロックせん断試験※ ^{1, ※2} 摩擦抵抗試験※ ^{1, ※2}	岩盤変形試験※ ^{1, ※2}		PS検層 (JGS 1122)
	頁岩			岩盤変形試験※ ^{1, ※2}		
	ひん岩			砂岩と同じ値		
C_M 級	砂岩	密度試験 (JIS A1225)	ブロックせん断試験※ ² 摩擦抵抗試験※ ²	岩盤変形試験※ ²		
	頁岩			砂岩と同じ値		
	ひん岩	砂岩と同じ値		砂岩と同じ値		
C_L 級	砂岩	密度試験 (JIS A1225)	ロックせん断試験※ ² 摩擦抵抗試験※ ²	換算値※ ³		
	頁岩	砂岩と同じ値		砂岩と同じ値		
	ひん岩			砂岩と同じ値		
D 級	砂岩	密度試験 (JIS A1225)	ロックせん断試験※ ¹ 摩擦抵抗試験※ ¹	換算値※ ⁴		繰返し三軸試験 (JGS 0542)
	頁岩	換算値※ ⁴		換算値※ ⁴		砂岩と同じ値
	ひん岩	砂岩と同じ値		砂岩と同じ値		砂岩と同じ値

※1: **B**級については、**C_H**級と同じ値を用いる。

※2: 土木学会「原位置岩盤試験法の指針」に準拠。

※3: 換算方法は補足説明資料「2. 3狐崎部層の解析用物性値」に示す。

※4: 換算方法は補足説明資料「2. 4牧の浜部層の解析用物性値」に示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 2解析用物性値

4. 2. 2 解析用物性値の設定根拠(牧の浜部層)

- 解析用物性値は、各種試験結果に基づき設定した。
- 分布範囲が小さい等の理由により試験を実施していない物性値については、他岩種の値を基に換算等を行い設定した。(部分は、狐崎部層と共通)

解析用物性値の設定根拠(牧の浜部層)

岩種・岩級		物理特性	強度特性	変形特性	
			静的・動的特性	静的特性	動的特性
B 級	砂岩	密度試験 (JIS A1225)	C _H 級と同じ値	換算値 ^{※2}	PS検層 (JGS 1122)
	頁岩				
	ひん岩	C _H 級と同じ値			
C _H 級	砂岩	密度試験 (JIS A1225)	ブロックせん断試験 ^{※1} 摩擦抵抗試験 ^{※1}	岩盤変形試験 ^{※1}	
	頁岩		換算値 ^{※2}	砂岩と同じ値	
	ひん岩		砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	
C _M 級	砂岩	密度試験 (JIS A1225)	ブロックせん断試験 ^{※1} 摩擦抵抗試験 ^{※1}	岩盤変形試験 ^{※1}	
	頁岩		ブロックせん断試験 ^{※1} 摩擦抵抗試験 ^{※1}	岩盤変形試験 ^{※1}	
	ひん岩	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	
C _L 級	砂岩	密度試験 (JIS A1225)	ロックせん断試験 ^{※1} 摩擦抵抗試験 ^{※1}	換算値 ^{※2}	
	頁岩		換算値 ^{※2}		
	ひん岩	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	
D 級	砂岩	密度試験 (JIS A1225)	ロックせん断試験 ^{※1} 摩擦抵抗試験 ^{※1}	換算値 ^{※2}	繰返し三軸試験 (JGS 0542)
	頁岩	換算値 ^{※2}	換算値 ^{※2}	換算値 ^{※2}	砂岩と同じ値
	ひん岩	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値

※1: 土木学会「原位置岩盤試験法の指針」に準拠。

※2: 換算方法は補足説明資料「2. 4牧の浜部層の解析用物性値」に示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 2解析用物性値

4. 2. 2 解析用物性値の設定根拠(盛土他)

- 解析用物性値は、各種試験結果及び文献に基づき設定した。
- 盛土、旧表土、断層及びシーム、セメント改良土、改良地盤、コンクリートの物性値は、敷地全体で同一の物性値としている。(部分)

解析用物性値の設定根拠(盛土他)

岩種・岩級	物理特性	強度特性		変形特性	
		静的・動的特性		静的特性	動的特性
盛 土	現場密度試験※ ¹	三軸圧縮試験 (JGS 0523)	三軸圧縮試験 (JGS 0522)	繰返し三軸試験 (JGS 0542)	
旧 表 土	密度試験 (JIS A1225)	三軸圧縮試験 (JGS 0523)	三軸圧縮試験 (JGS 0522)	繰返し三軸試験 (JGS 0542)	
断層 及び シーム	密度試験 (JIS A1225)	単純せん断試験※ ²	単純せん断試験※ ²	繰返し単純せん断試験※ ²	
セメント改良土	現場密度試験 (JIS A1225及びJGS 1612)	三軸圧縮試験 (JGS 0521) 岩石の引張強さ試験方法 (JIS M 0303)	三軸圧縮試験 (JGS 0521)	PS検層 (JGS 1122) 繰返し三軸試験 (JGS 0542)	
改良地盤	密度試験 (JIS A1225)	三軸圧縮試験 (JGS 0523) 岩石の引張強さ試験方法 (JIS M 0303)	平板載荷試験 (JGS 1521)	PS検層 (JGS 1122) 繰返し三軸試験 (JGS 0542)	
背面補強工 置換コンクリート	コンクリート標準示方書 構造性能照査編 土木学会 2002年				

※1:地盤工学会「地盤調査の方法と解説」に準拠。

※2:地盤工学会「土質試験の方法と解説」に準拠。

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 2解析用物性値

4. 2. 3 狐崎部層の解析用物性値①

岩種・岩級		物理特性	強度特性			変形特性				
			静的・動的特性			静的特性		動的特性		
			単位体積重量 γ (kN/m ³)	せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)	静弾性係数 E_s (N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 G_d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d
B級	砂岩	26.4	1.72	43.0	$1.30 \sigma^{0.73}$	1,770	0.25	狐崎部層の 解析用物性値② 参照		0.03
	頁岩	26.9	1.58	46.0	$1.36 \sigma^{0.62}$	2,160	0.28			0.03
	ひん岩	28.7	1.72	43.0	$1.30 \sigma^{0.73}$	1,770	0.31			0.03
C _H 級	砂岩	26.2	1.72	43.0	$1.30 \sigma^{0.73}$	1,770	0.24			0.03
	頁岩	26.6	1.58	46.0	$1.36 \sigma^{0.62}$	2,160	0.25			0.03
	ひん岩	28.0	1.72	43.0	$1.30 \sigma^{0.73}$	1,770	0.29			0.03
C _M 級	砂岩	25.2	0.49	47.0	$1.16 \sigma^{0.62}$	980	0.26			0.03
	頁岩	25.8	0.49	47.0	$1.16 \sigma^{0.62}$	980	0.20			0.03
	ひん岩	25.2	0.49	47.0	$1.16 \sigma^{0.62}$	980	0.26			0.03
C _L 級	砂岩	24.1	0.46	44.0	$0.73 \sigma^{0.76}$	400	0.31			0.03
	頁岩	24.1	0.44	27.0	$0.58 \sigma^{0.31}$	400	0.31			0.03
	ひん岩	24.1	0.46	44.0	$0.73 \sigma^{0.76}$	400	0.31			0.03
D級	砂岩	20.2	0.10	24.0	$0.41 \sigma^{0.49}$	78	0.38	$G_0 = 255.4 \sigma^{0.26}$ $G_d/G_0 =$ $1/(1+119 \gamma^{0.63})$	$h =$ $0.085 \gamma / (0.00026$ $+ \gamma) + 0.028$	
	頁岩	20.2	0.10	24.0	$0.12 \sigma^{0.21}$	39	0.38			
	ひん岩	20.2	0.10	24.0	$0.41 \sigma^{0.49}$	78	0.38			

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 2解析用物性値

4. 2. 3 狐崎部層の解析用物性値②

岩種・岩級		速度層	動的変形特性	
			動せん断 弾性係数 G_d (N/mm ²)	動ポア ソン比 ν_d
B級 及び C _H 級	砂岩	第2速度層	1.5×10^3	0.44
		第3速度層	5.9×10^3	0.40
		第4速度層	13.2×10^3	0.36
		第5速度層	16.5×10^3	0.35
	頁岩	第2速度層	1.6×10^3	0.44
		第3速度層	6.0×10^3	0.40
		第4速度層	13.5×10^3	0.36
		第5速度層	16.7×10^3	0.35
	ひん岩	第3速度層	6.4×10^3	0.40
		第4速度層	14.2×10^3	0.36
第5速度層		17.6×10^3	0.35	

岩種・岩級		速度層	動的変形特性	
			動せん断 弾性係数 G_d (N/mm ²)	動ポア ソン比 ν_d
C _M 級	砂岩	第1速度層	0.2×10^3	0.48
		第2速度層	1.5×10^3	0.44
		第3速度層	5.7×10^3	0.40
		第4速度層	12.7×10^3	0.36
		第5速度層	15.8×10^3	0.35
	頁岩	第1速度層	0.2×10^3	0.48
		第2速度層	1.5×10^3	0.44
		第3速度層	5.9×10^3	0.40
		第4速度層	13.0×10^3	0.36
		第5速度層	16.2×10^3	0.35
	ひん岩	第2速度層	1.5×10^3	0.44
		第3速度層	5.7×10^3	0.40
		第4速度層	12.7×10^3	0.36
	C _L 級	第1速度層	0.2×10^3	0.48
		第2速度層	1.4×10^3	0.44
第3速度層		5.5×10^3	0.40	
D級	第1速度層	狐崎部層の解 析用物性値① 参照	0.48	
	第2速度層		0.44	

4. 基礎地盤の安定性評価 4.2 解析用物性値

4.2.4 牧の浜部層の解析用物性値①

岩種・岩級		物理特性	強度特性			変形特性				
			静的・動的特性			静的特性		動的特性		
			単位体積重量 γ (kN/m ³)	せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)	静弾性係数 E_s (N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 G_d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d
B級	砂岩	26.4	1.29	54.0	$1.12 \sigma^{0.74}$	4,100	0.21	牧の浜部層の 解析用物性値② 参照	0.03	
	頁岩	27.1	1.25	32.0	$0.96 \sigma^{0.31}$	3,700	0.23		0.03	
	ひん岩	27.9	1.29	54.0	$1.12 \sigma^{0.74}$	2,800	0.18		0.03	
C _H 級	砂岩	26.2	1.29	54.0	$1.12 \sigma^{0.74}$	1,900	0.19		0.03	
	頁岩	27.1	1.25	32.0	$0.96 \sigma^{0.31}$	1,900	0.22		0.03	
	ひん岩	27.9	1.29	54.0	$1.12 \sigma^{0.74}$	1,900	0.18		0.03	
C _M 級	砂岩	25.5	0.78	50.0	$1.09 \sigma^{0.72}$	1,200	0.24		0.03	
	頁岩	25.4	0.76	32.0	$0.96 \sigma^{0.31}$	1,500	0.21		0.03	
	ひん岩	25.5	0.78	50.0	$1.09 \sigma^{0.72}$	1,200	0.24		0.03	
C _L 級	砂岩	23.1	0.46	44.0	$0.73 \sigma^{0.76}$	250	0.26		0.03	
	頁岩	23.1	0.44	27.0	$0.58 \sigma^{0.31}$	180	0.26		0.03	
	ひん岩	23.1	0.46	44.0	$0.73 \sigma^{0.76}$	250	0.26		0.03	
D級	砂岩	20.2	0.10	24.0	$0.41 \sigma^{0.49}$	78	0.38	$G_0 = 255.4 \sigma^{0.26}$ $G_d/G_0 =$ $1/(1+119 \gamma^{0.63})$	$h =$ $0.085 \gamma / (0.00026$ $+ \gamma) + 0.028$	
	頁岩	20.2	0.10	24.0	$0.12 \sigma^{0.21}$	39	0.38			
	ひん岩	20.2	0.10	24.0	$0.41 \sigma^{0.49}$	78	0.38			

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 2解析用物性値

4. 2. 4 牧の浜部層の解析用物性値②

岩種・岩級		速度層	動的変形特性	
			動せん断 弾性係数 G_d (N/mm ²)	動ポア ソン比 ν_d
B 級 及び C _H 級	砂岩	第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
		第5速度層	16.8×10^3	0.33
	頁岩	第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
		第5速度層	16.8×10^3	0.33
	ひん岩	第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
		第5速度層	16.8×10^3	0.33

岩種・岩級		速度層	動的変形特性	
			動せん断 弾性係数 G_d (N/mm ²)	動ポア ソン比 ν_d
C _M 級	砂岩	第1速度層	0.2×10^3	0.48
		第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
		第5速度層	16.8×10^3	0.33
	頁岩	第1速度層	0.2×10^3	0.48
		第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
		第5速度層	16.8×10^3	0.33
	ひん岩	第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
	C _L 級	第1速度層	0.2×10^3	0.48
		第2速度層	1.2×10^3	0.45
第3速度層		4.7×10^3	0.41	
D 級	第1速度層	牧の浜部層の 解析用物性値 ①参照	0.48	
	第2速度層		0.45	

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 2解析用物性値

4. 2. 5 盛土他の解析用物性値

岩種・岩級	物理特性	強度特性				変形特性				
		静的・動的特性				静的特性		動的特性		
		単位体積重量 γ (kN/m ³)	せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	引張強度 σ_t (N/mm ²)	残留強度 τ (N/mm ²)	静弾性係数 E_s (N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 G_d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d
盛土	20.6	0.06	30.0	—	$0.06 + \sigma \tan 30.0^\circ$	$198 \sigma^{0.60}$	0.40	$G_0 = 382 \sigma^{0.71}$ $G_d/G_0 = 1/(1 + \gamma/0.00036)^*$	0.48	$h = 0.183 \gamma / (\gamma + 0.000261)$
旧表土	19.0	0.08	26.2	—	$0.08 + \sigma \tan 26.2^\circ$	$302 \sigma^{0.80}$	0.40	$G_0 = 211 \sigma^{0.42}$ $G_d/G_0 = 1/(1 + \gamma/0.00087)$	0.46	$\gamma < 3 \times 10^{-4}$ $h = 0.125 + 0.020 \log \gamma$ $3 \times 10^{-4} \leq \gamma < 2 \times 10^{-2}$ $h = 0.374 + 0.091 \log \gamma$ $2 \times 10^{-2} \leq \gamma$ $h = 0.22$
断層及びシーム	18.6	0.067	22.2	—	$0.067 + \sigma \tan 22.2^\circ$	圧縮方向 $124.5 \sigma^{0.90}$ せん断方向 $44.43 \sigma^{0.90}$	0.40	$G_0 = 192.3 \sigma^{0.74}$ $G_d/G_0 = 1/(1 + \gamma/0.0012)^*$	0.46	$\gamma < 1 \times 10^{-4}$ $h = 0.024$ $1 \times 10^{-4} \leq \gamma < 1.6 \times 10^{-2}$ $h = 0.024 + 0.089(\log \gamma + 4)$ $1.6 \times 10^{-2} \leq \gamma$ $h = 0.22$
セメント改良土	21.6	0.65	44.3	0.46	$0.21 + \sigma \tan 40.9^\circ$	690	0.26	$G_0 = 1670$ $G_d/G_0 = 1/(1 + \gamma/0.00085)$	0.36	$\gamma < 3.8 \times 10^{-5}$ $h = 0.014$ $3.8 \times 10^{-5} \leq \gamma$ $h = 0.151 + 0.031 \log \gamma$
改良地盤	20.6	1.39	22.1	0.65	$0.51 + \sigma \tan 34.6^\circ$	4,480	0.19	$G_0 = 1940$ $G_d/G_0 = 1/(1 + \gamma/0.00136)$	0.35	$\gamma < 1.2 \times 10^{-4}$ $h = 0.031$ $1.2 \times 10^{-4} \leq \gamma < 5.2 \times 10^{-3}$ $h = 0.227 + 0.050 \log \gamma$ $5.2 \times 10^{-3} \leq \gamma$ $h = 0.113$
背面補強工	24.0	—				28,000	0.2	11,667	0.2	0.05
置換コンクリート	22.5									

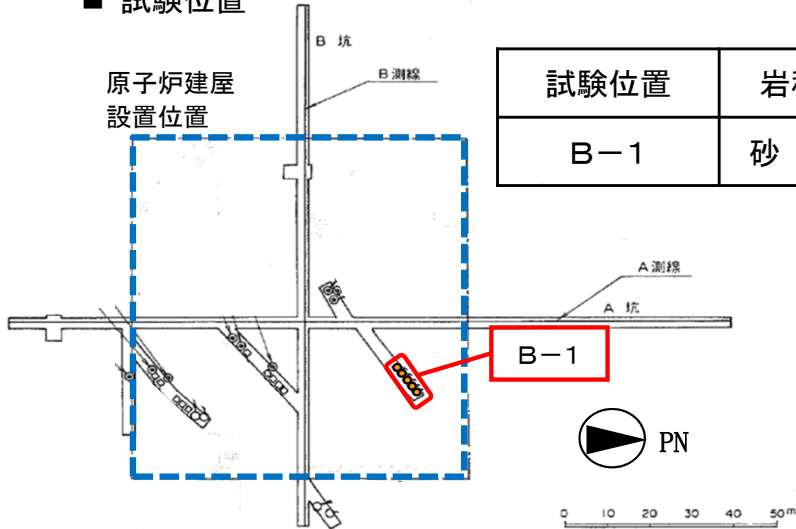
※: 残存剛性率(G_d/G_0)が小さい領域は次式で補間 $G_0 = E_s/2(1 + \nu_s)$, $G_d/G_0 = 1/(1 + \gamma/\gamma_m)$, $\gamma_m = \tau_f/G_0$
補間方法の詳細については、補足説明資料「2. 解析用物性値に関する補足」に示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4.2 解析用物性値

4.2.6 試験結果例: 岩盤の強度特性(狐崎部層)

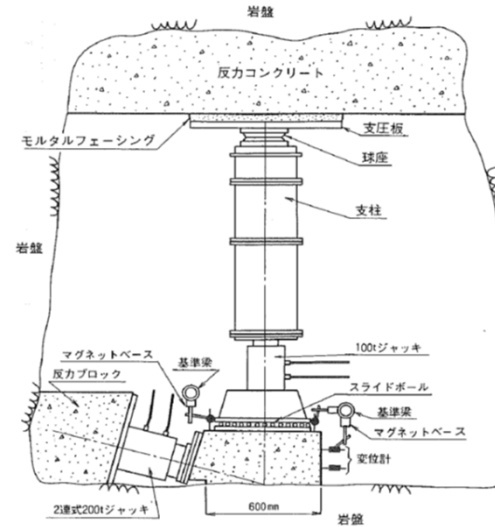
- すべり安全率に支配的な要因である岩盤強度は、ブロックせん断試験※により評価した。

■ 試験位置

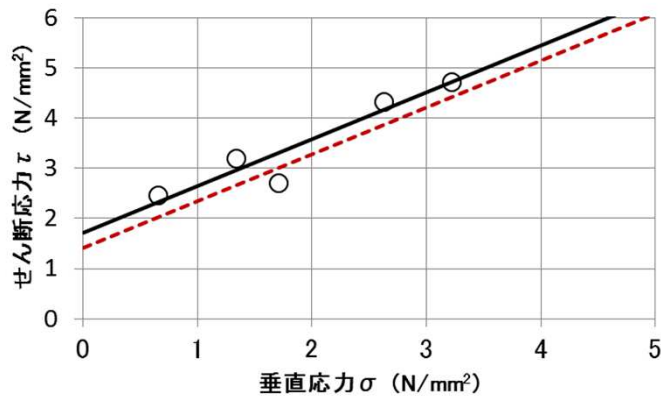


試験位置	岩種	岩盤分類
B-1	砂岩	C _H 級

■ 試験概要

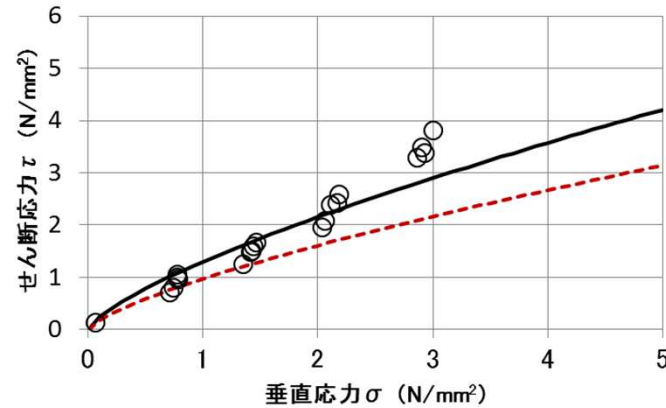


■ 試験結果



(平均) $\tau_0 = 1.72 \text{ N/mm}^2$ $\phi = 43^\circ$
 (-1σ) $\tau_0 = 1.41 \text{ N/mm}^2$ $\phi = 43^\circ$

せん断強度



(平均) $\tau = 1.30 \cdot \sigma^{0.73} \text{ N/mm}^2$
 (-1σ) $\tau = 0.97 \cdot \sigma^{0.73} \text{ N/mm}^2$

残留強度

— : 平均強度
 - - - : -1σ

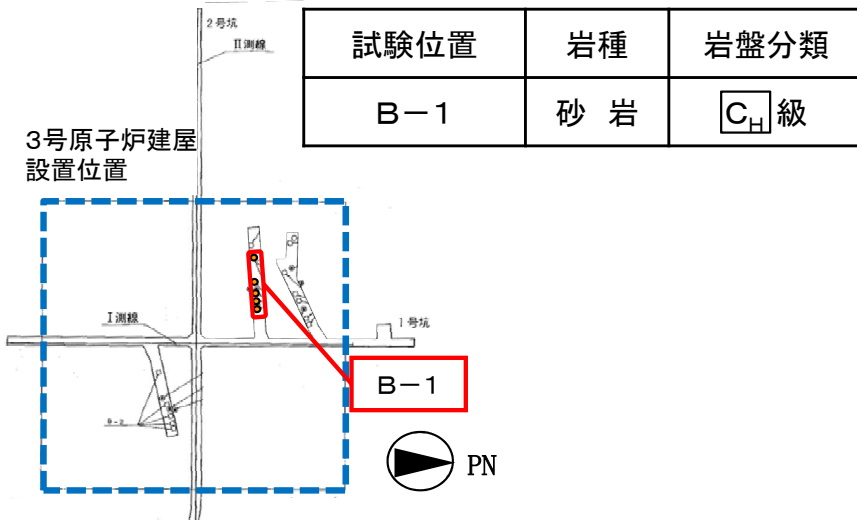
※: 試験結果の詳細については、補足説明資料「2. 解析用物性値に関する補足」に示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 2解析用物性値

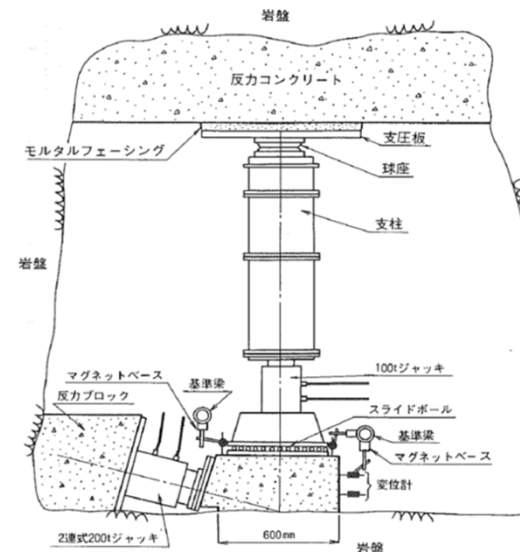
4. 2. 6 試験結果例: 岩盤の強度特性(牧の浜部層)

- すべり安全率に支配的な要因である岩盤強度は、ブロックせん断試験※により評価した。

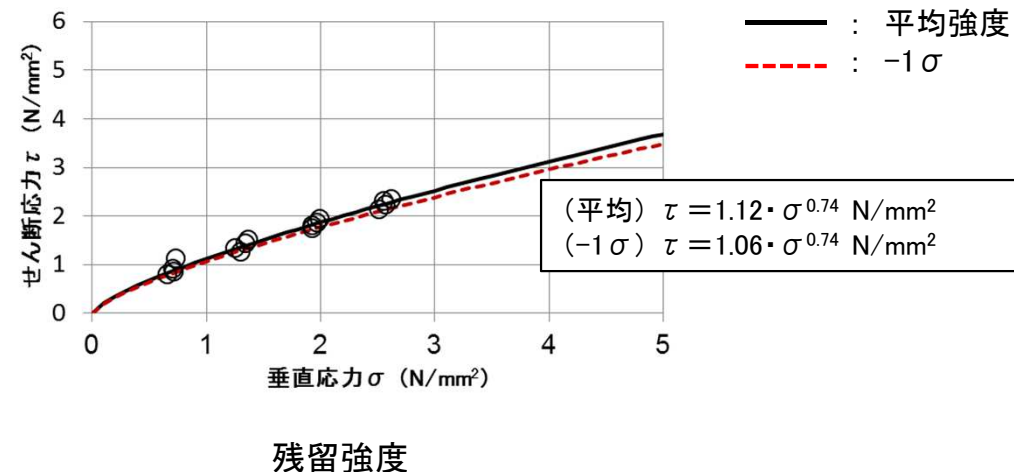
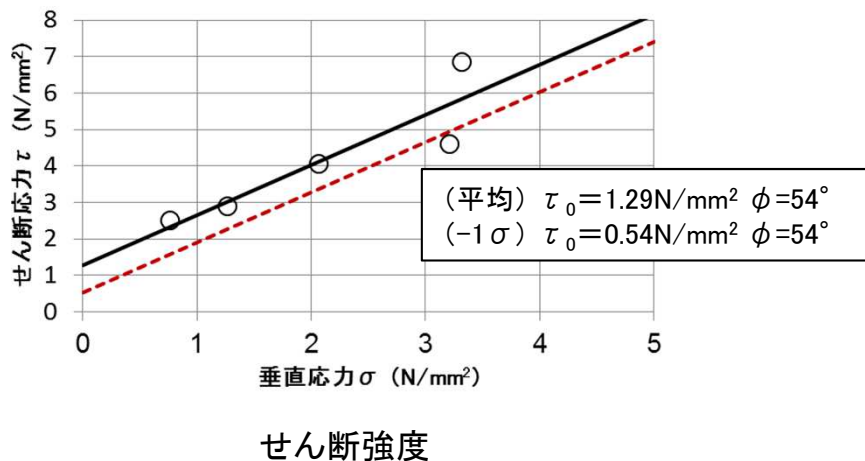
■ 試験位置



■ 試験概要



■ 試験結果



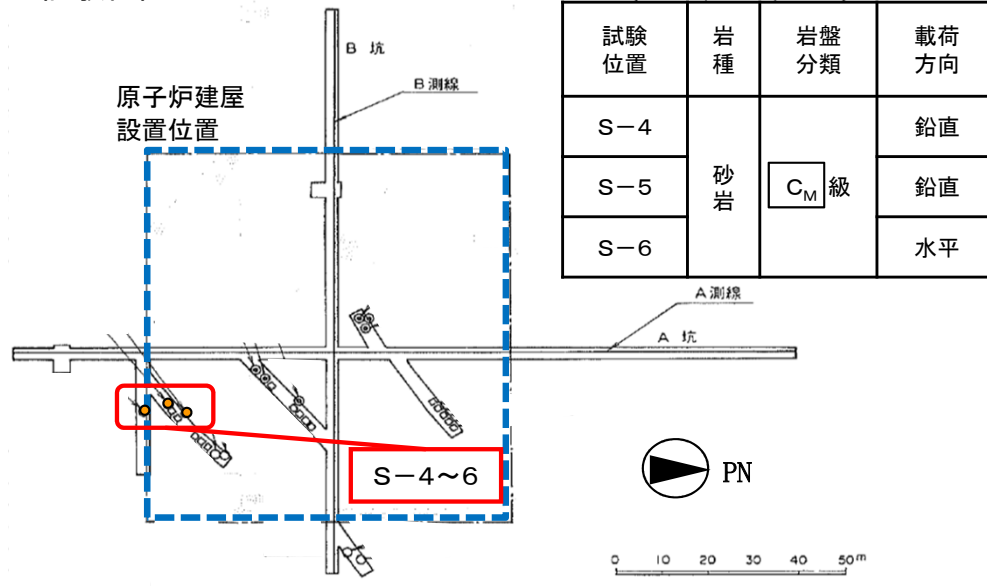
※: 試験結果の詳細については、補足説明資料「2. 解析用物性値に関する補足」に示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4.2 解析用物性値

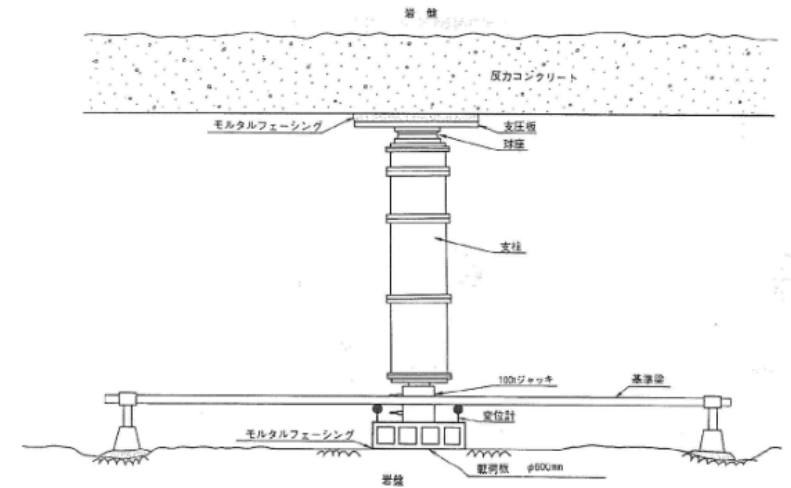
4.2.7 極限支持力の算定(狐崎部層)

- 試掘坑内において実施した、 C_M 級砂岩に対する支持力試験※の結果、ジャッキの荷重限界値である $13.7\text{N}/\text{mm}^2$ でも降伏しなかったことから、岩盤の極限支持力は、 $13.7\text{N}/\text{mm}^2$ 以上と評価でき、支持力に対する評価基準値は、 $13.7\text{N}/\text{mm}^2$ とする。

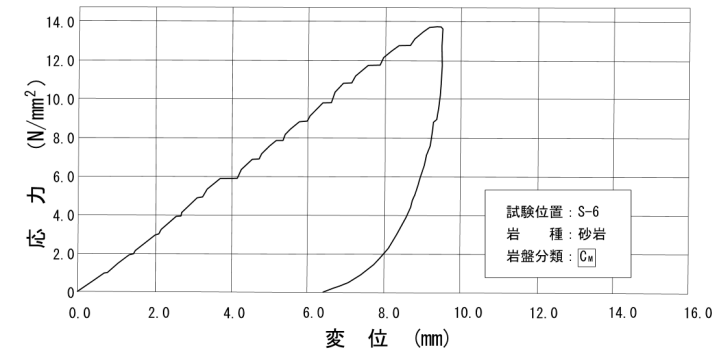
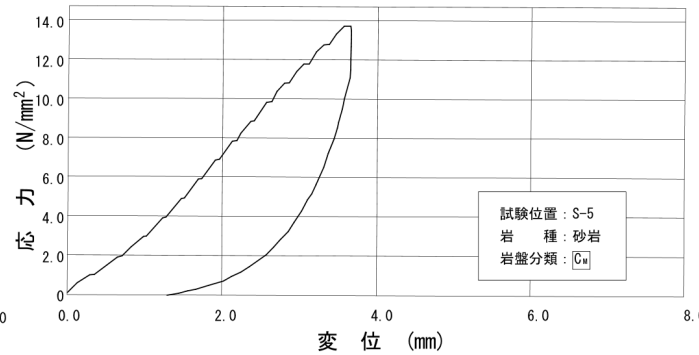
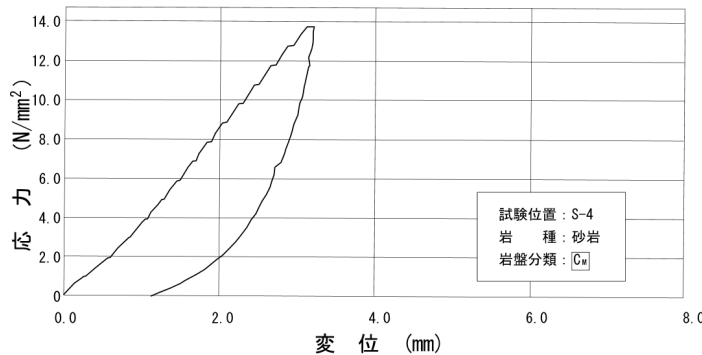
■ 試験位置



■ 試験概要



■ 試験結果



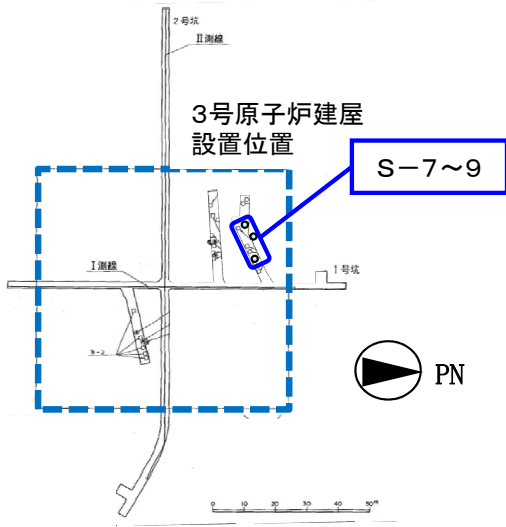
※: 試験結果の詳細については、補足説明資料「2. 解析用物性値に関する補足」に示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 2解析用物性値

4. 2. 6 極限支持力の算定(牧の浜部層)

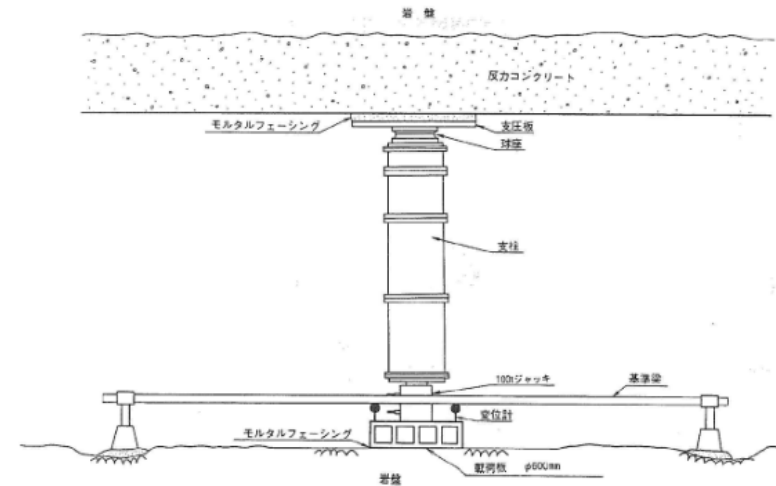
- C_M 級頁岩に対する支持力試験※の結果, 载荷した最大荷重の平均値は 11.4N/mm^2 であることから, 岩盤の極限支持力は, 11.4N/mm^2 と評価でき, 支持力に対する評価基準値は, 11.4N/mm^2 とする。

■ 試験位置

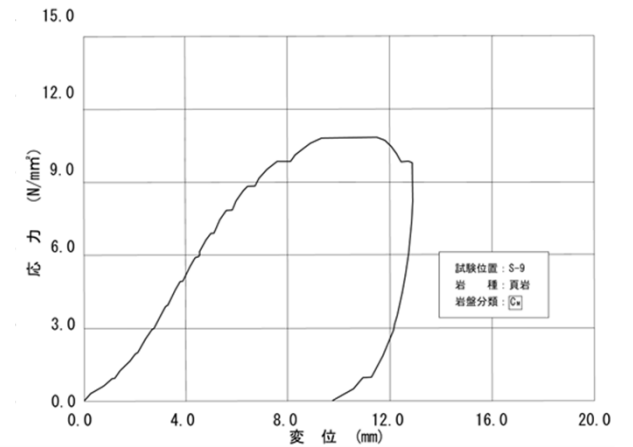
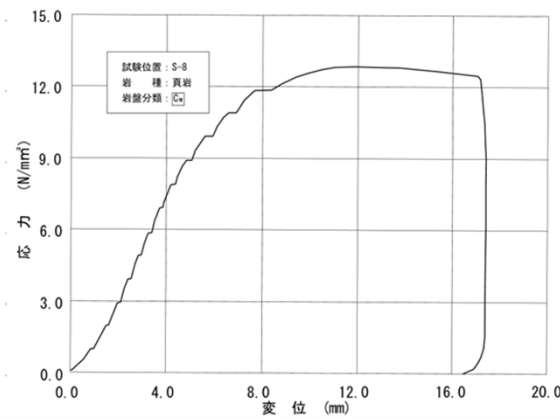
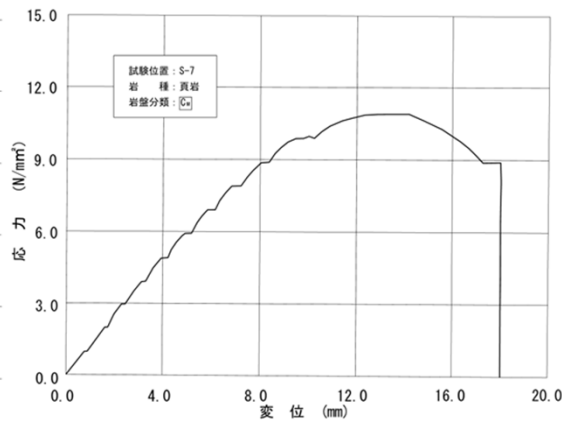


試験位置	岩種	岩盤分類	载荷方向
S-7	頁岩	C_M 級	鉛直
S-8			鉛直
S-9			水平

■ 試験概要



■ 試験結果



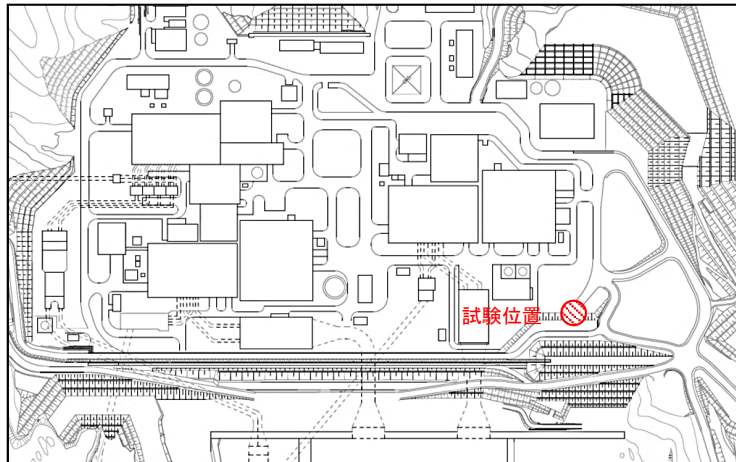
※: 試験結果の詳細については, 補足説明資料「2. 解析用物性値に関する補足」に示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4.2解析用物性値

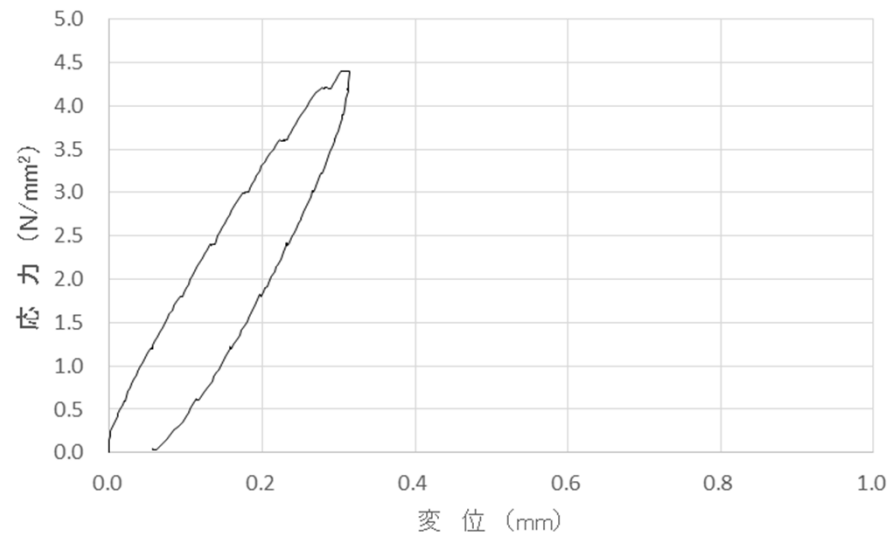
4.2.6 極限支持力の算定(改良地盤)

- 改良地盤の支持力を確認するために、試験改良体を対象として支持力試験※を実施した。
- 支持力試験の結果、ジャッキの限界値である $4.4\text{N}/\text{mm}^2$ でも降伏しなかったことから、改良地盤の極限支持力は $4.4\text{N}/\text{mm}^2$ 以上と評価でき、支持力に対する評価基準値は、 $4.4\text{N}/\text{mm}^2$ とする。

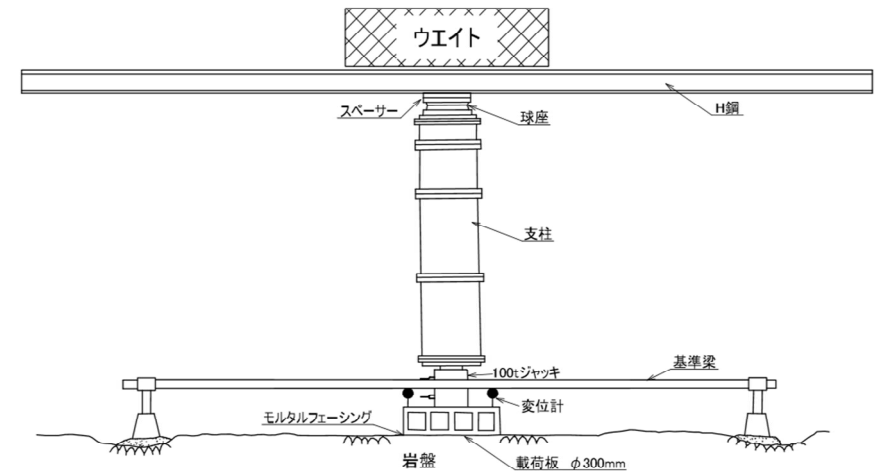
■ 試験実施位置



■ 試験結果



■ 試験概要



※: 試験結果の詳細については、補足説明資料「2. 解析用物性値に関する補足」に示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4.3 基準地震動

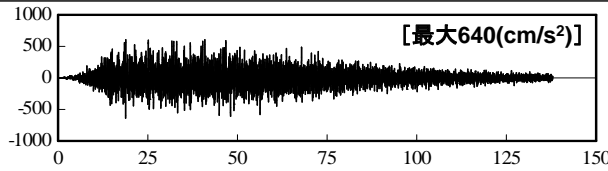
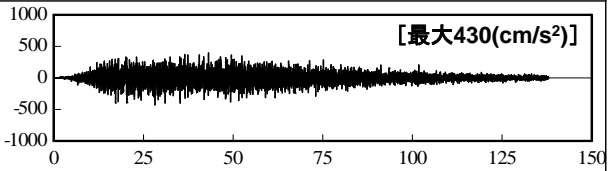
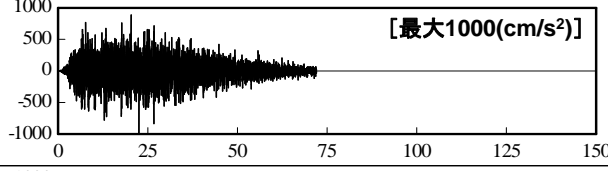
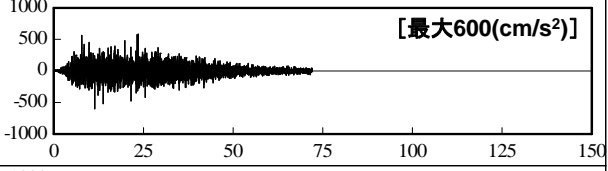
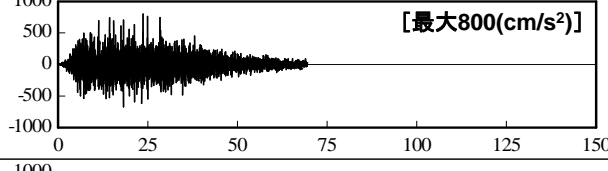
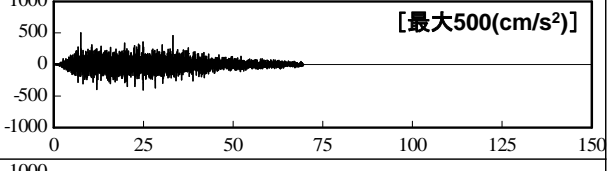
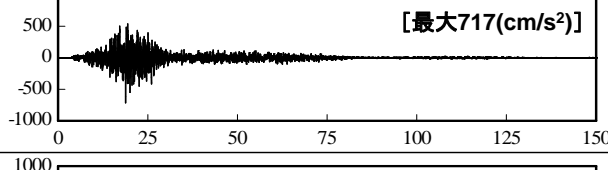
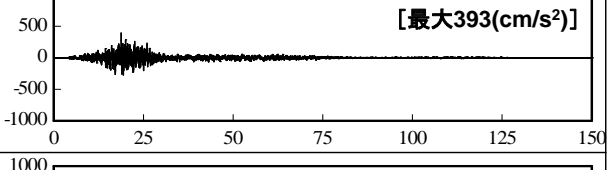
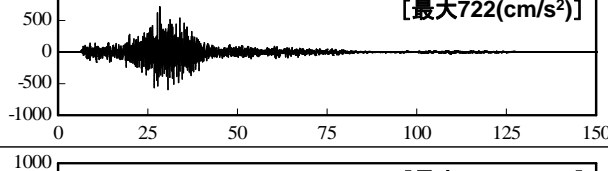
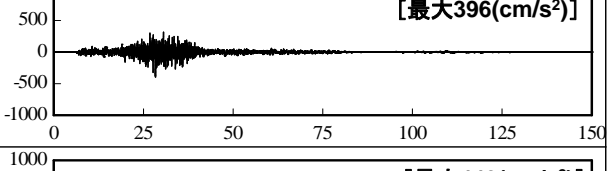
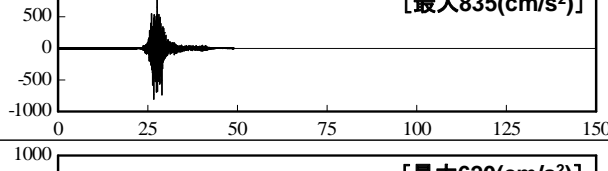
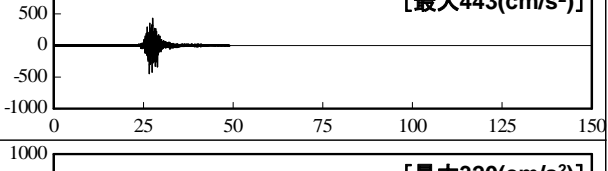
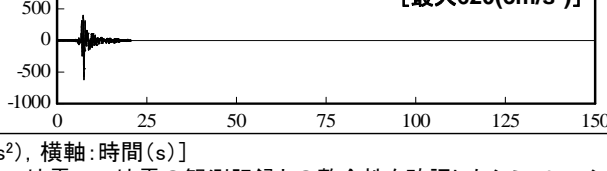
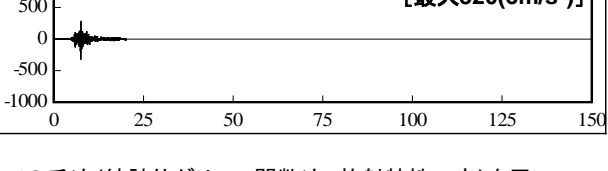
4.3.1 基準地震動

- 基準地震動Ssを評価地震動とし、各地震動の作成方法に応じて位相の反転も考慮した。

基準地震動Ss			最大加速度振幅 (cm/s ²)	位相反転の考慮	
敷地ごとに震源を 特定して策定する 地震動	応答スペクトル手法	プレート間地震	Ss-D1	水平動 : 640 鉛直動 : 430	水平動・鉛直動とも反 転を考慮
		海洋プレート内地震 (SMGAマントル内)	Ss-D2	水平動 : 1000 鉛直動 : 600	水平動・鉛直動とも反 転を考慮
		海洋プレート内地震 (SMGA地殻内)	Ss-D3	水平動 : 800 鉛直動 : 500	水平動・鉛直動とも反 転を考慮
	断層モデル手法	プレート間地震 (応力降下量の不確かさ)	Ss-F1	水平動 : 717 鉛直動 : 393	水平動の反転を考慮
		プレート間地震 (SMGA位置と応力降下量の不確かさ の重畳)	Ss-F2	水平動 : 722 鉛直動 : 396	水平動の反転を考慮
		海洋プレート内地震 (SMGAマントル内)	Ss-F3	水平動 : 835 鉛直動 : 443	水平動の反転を考慮
震源を特定せず策定する地震動		2004年北海道留萌支庁南部地震の 検討結果に保守性を考慮した地震動	Ss-N1	水平動 : 620 鉛直動 : 320	水平動の反転を考慮

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 3基準地震動

4. 3. 2 基準地震動(加速度時刻歴波形)

基準地震動		水平方向	鉛直方向
Ss-D1	プレート間地震の応答スペクトル手法による基準地震動	 [最大640(cm/s ²)]	 [最大430(cm/s ²)]
Ss-D2	海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の応答スペクトル手法による基準地震動	 [最大1000(cm/s ²)]	 [最大600(cm/s ²)]
Ss-D3	海洋プレート内地震(SMGA地殻内)の応答スペクトル手法による基準地震動	 [最大800(cm/s ²)]	 [最大500(cm/s ²)]
Ss-F1	プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動 [応力降下量(短周期レベル)の不確かさ]	 [最大717(cm/s ²)]	 [最大393(cm/s ²)]
Ss-F2	プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動 [SMGA位置と応力降下量(短周期レベル)の不確かさの重畳]	 [最大722(cm/s ²)]	 [最大396(cm/s ²)]
Ss-F3	海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の断層モデル手法による基準地震動 (SMGAマントル内集約)	 [最大835(cm/s ²)]	 [最大443(cm/s ²)]
Ss-N1	2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)の検討結果に保守性を考慮した地震動	 [最大620(cm/s ²)]	 [最大320(cm/s ²)]

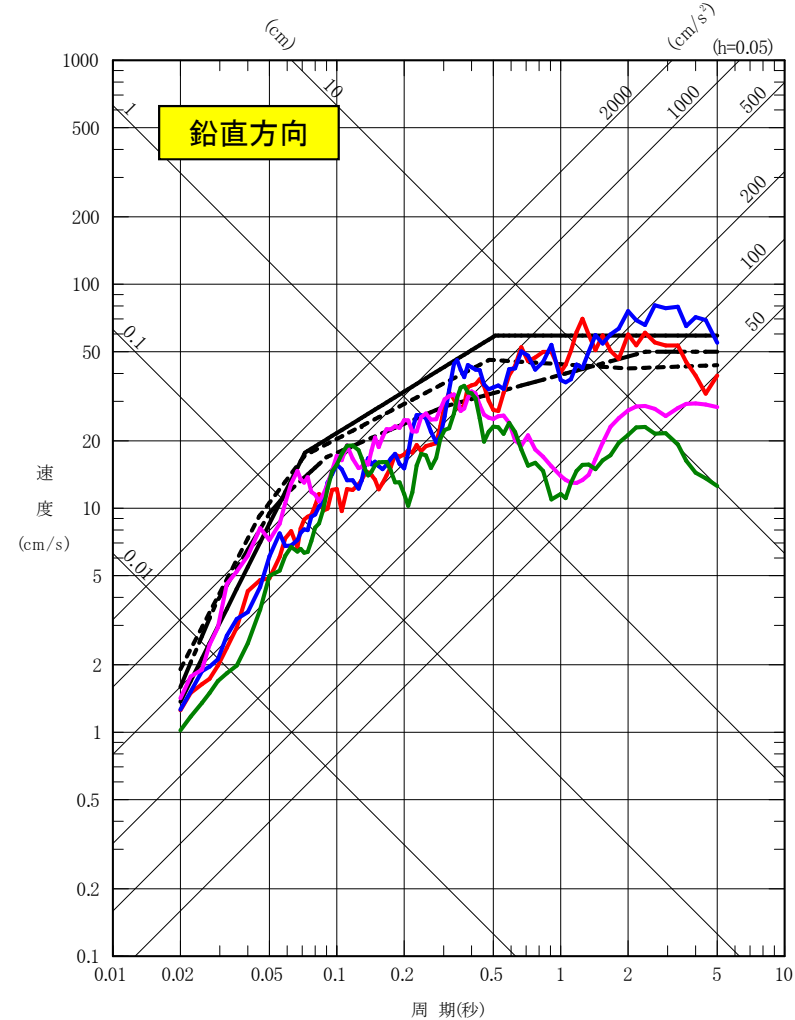
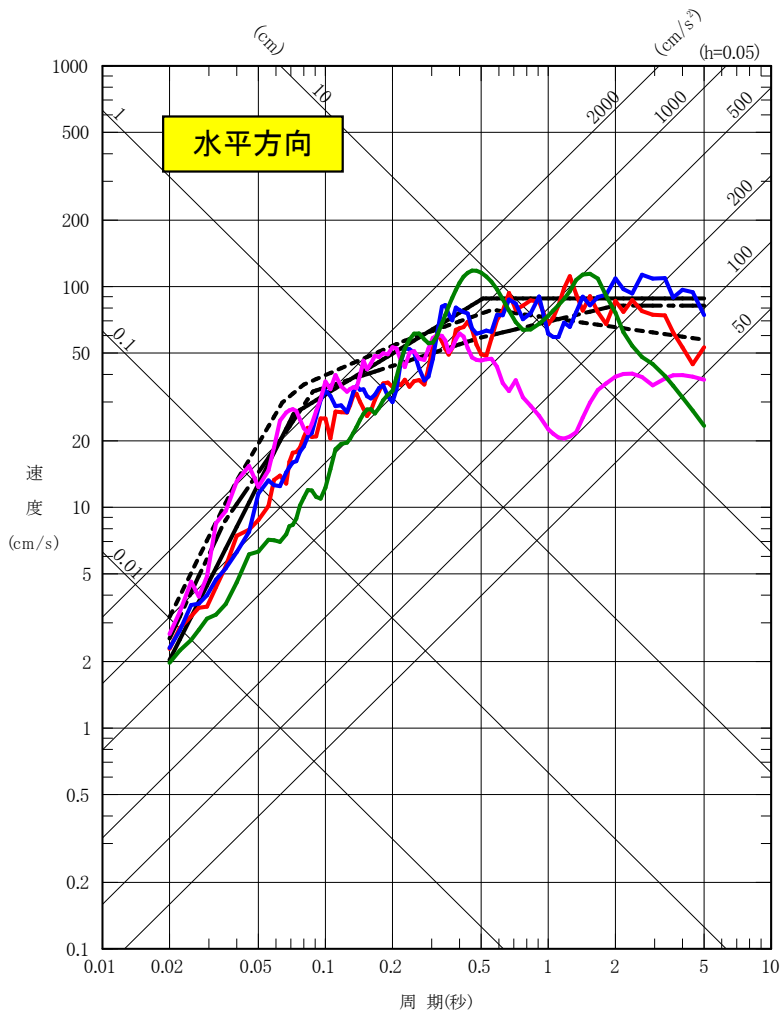
注1: 表中のグラフは各基準地震動の加速度時刻歴波形[縦軸: 加速度 (cm/s²), 横軸: 時間 (s)]

注2: 断層モデルによる基準地震動のSs-F1, Ss-F2及びSs-F3については, 3.11地震, 4.7地震の観測記録との整合性を確認したシミュレーションでの手法(統計的グリーン関数法, 放射特性一定)を用いていることから水平方向の地震動は1波としている。

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 3 基準地震動

4. 3. 3 基準地震動(応答スペクトル)

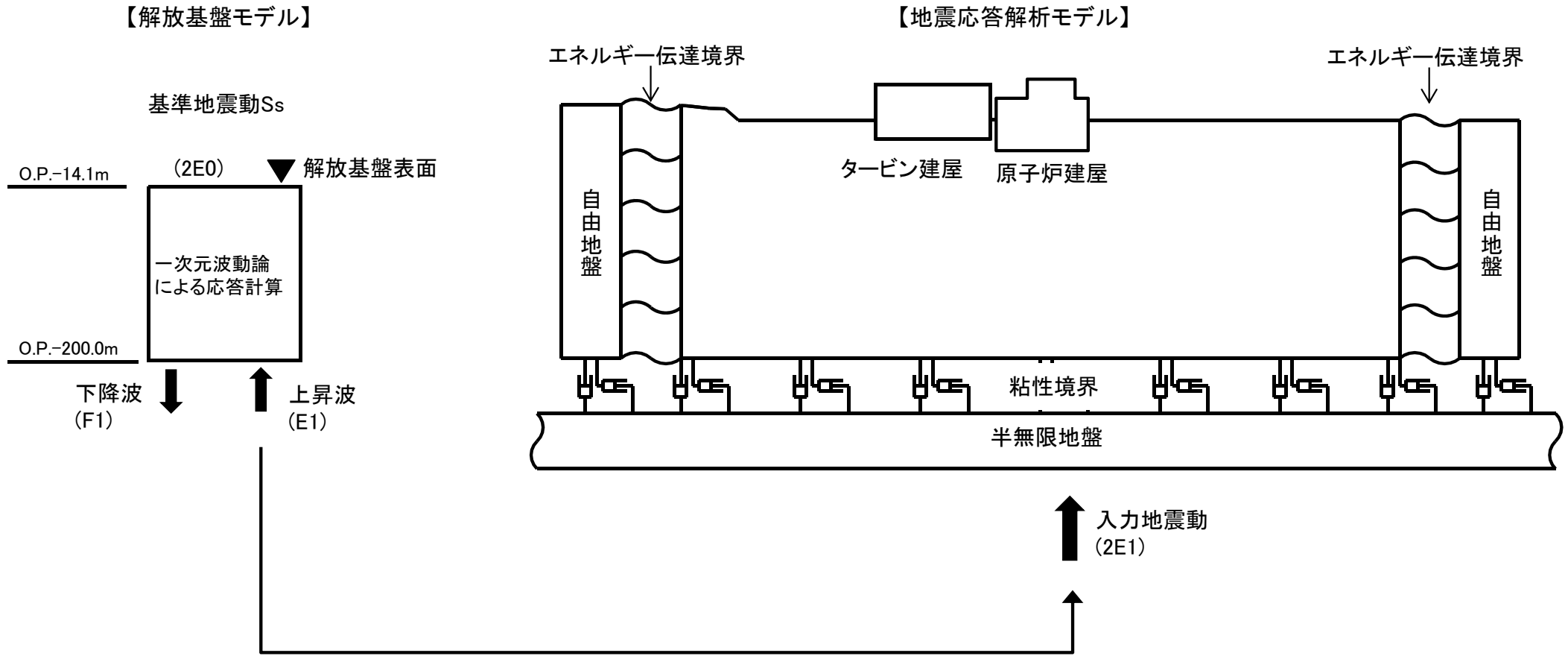
- 基準地震動Ss-D1 [プレート間地震の応答スペクトル手法による基準地震動]
- 基準地震動Ss-D2 [海洋プレート内地震 (SMGAマントル内)の応答スペクトル手法による基準地震動]
- · - 基準地震動Ss-D3 [海洋プレート内地震 (SMGA地殻内)の応答スペクトル手法による基準地震動]
- 基準地震動Ss-F1 [プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動 (応力降下量 (短周期レベル)の不確かさ)]
- 基準地震動Ss-F2 [プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動 (SMGA位置と応力降下量 (短周期レベル)の不確かさの重畳)]
- 基準地震動Ss-F3 [海洋プレート内地震 (SMGAマントル内)の断層モデル手法による基準地震動 (SMGAマントル内集約)]
- 基準地震動Ss-N1 [2004年北海道留萌支庁南部地震 (K-NET港町)の検討結果に保守性を考慮した地震動]



4. 基礎地盤の安定性評価 4.3 基準地震動

4.3.4 入力地震動の作成

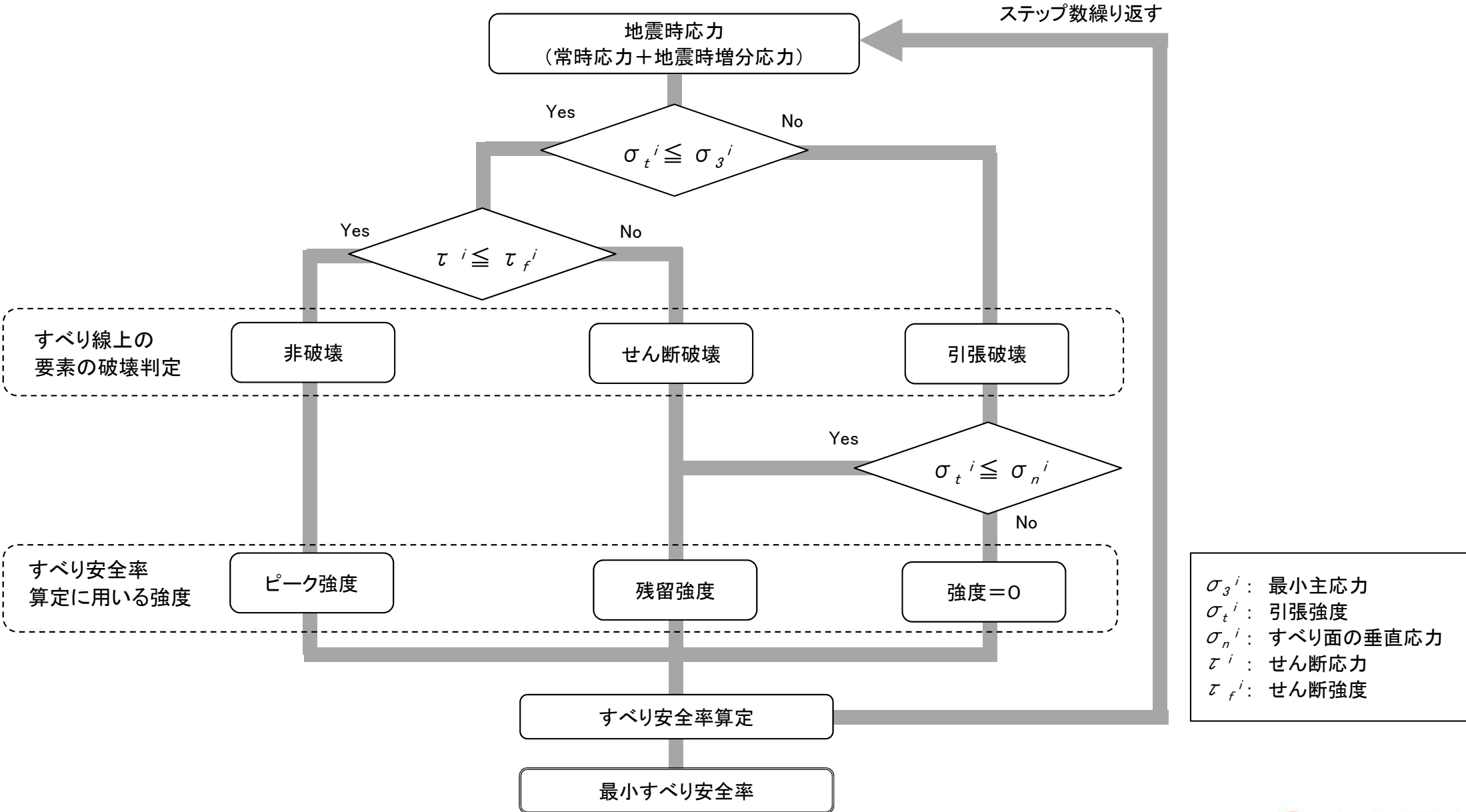
- 入力地震動は、基準地震動 S_s を、一次元波動論により、解析モデル下端で評価し、水平方向及び鉛直方向に同時に与えた。



4. 基礎地盤の安定性評価 4.4すべりに対する評価

4.4.1 すべり安全率の算定における地盤強度の考え方

- すべり線が通過する要素の応力状態に応じ、適切な強度を選択しすべり安全率を算定する。



4. 基礎地盤の安定性評価 4.4すべりに対する評価

4.4.2 すべり安全率

- 想定すべり面におけるすべり安全率により評価する。
- すべり安全率は、想定したすべり面上の応力状態をもとに、すべり面上のせん断抵抗力の和をすべり面上のせん断力の和で除して求める。

$$\text{すべり安全率} = \frac{\Sigma(\text{すべり面上のせん断抵抗力})}{\Sigma(\text{すべり面上のせん断力})}$$

- すべり安全率が評価基準値1.5を上回ることを確認する。

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 4すべりに対する評価

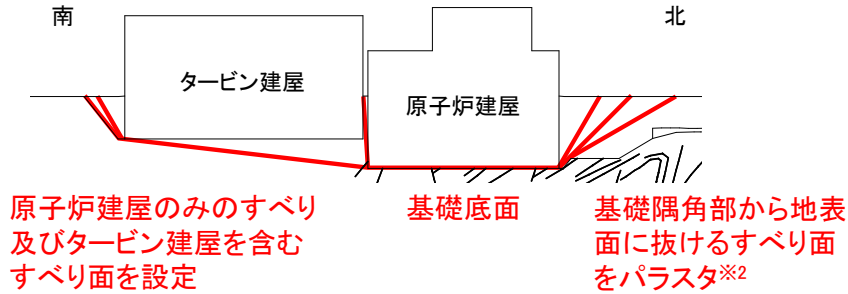
4. 4. 3 すべり面の設定(原子炉建屋, 緊急時対策建屋)

- すべり安全率を算定するすべり面については, 建屋基礎底面を通るすべり面のほか, 要素の局所安全率が小さい領域や, 地盤強度の小さい領域(盛土, 断層・シーム), モビライズド面の向き等※1を踏まえて設定する。

(例)原子炉建屋X-X'断面

A. 原子炉建屋基礎底面のすべり面

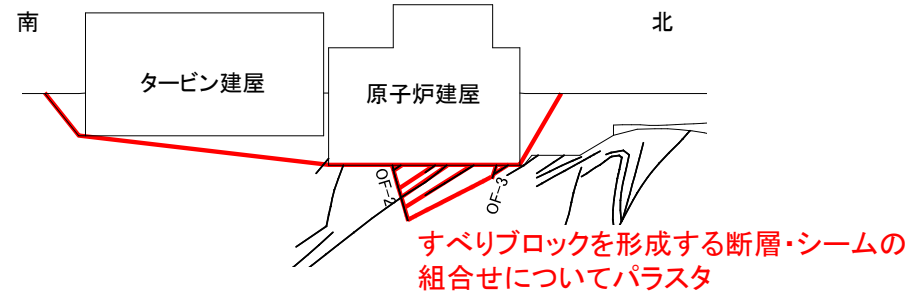
原子炉建屋基礎底面を通るすべりについて, 原子炉建屋のみのすべり及びタービン建屋を含むすべり面を設定



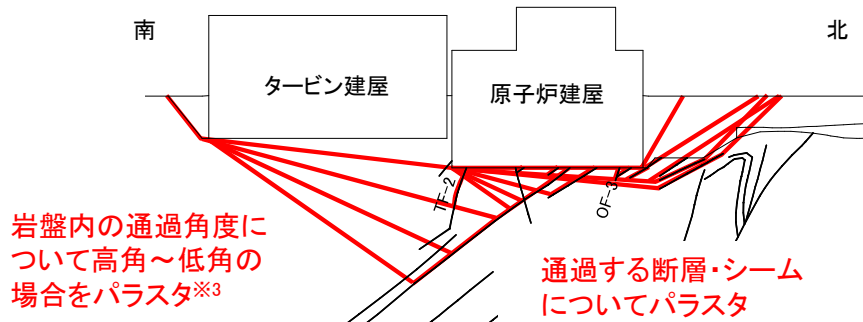
B. 原子炉建屋基礎を含む断層・シームを通るすべり面

せん断抵抗力の小さい断層・シームを通るすべり面について検討する

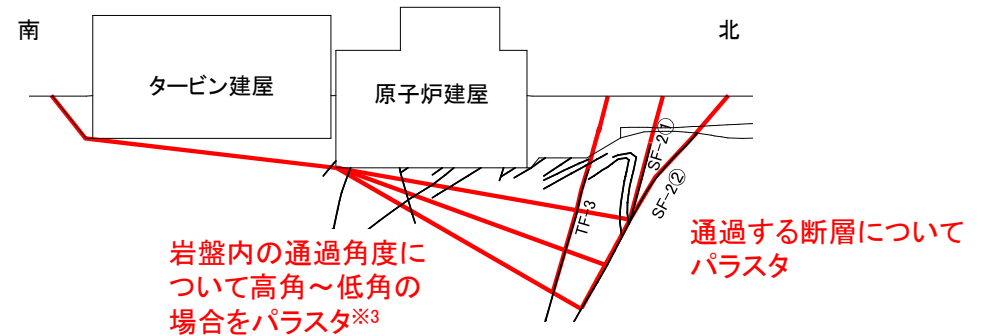
1) 基礎直下の断層・シームにより形成されるすべり面



2) 岩盤内のすべり面と断層・シームから成るすべり面



3) 岩盤内のすべり面と北側の断層から成るすべり面



— : すべり面
 — : 断層・シーム

※1: 審査ガイド「4. 1地震力に対する基礎地盤の安定性評価(2)確認事項」に記載されているすべり面設定上確認すべき事項に該当する項目。
 ※2: 建屋基礎隅角部から地表面に抜ける角度は, 受働崩壊角及び主働崩壊角(45° ± φ/2, φ=30°)を踏まえ, 30°, 45°, 60°と設定する。
 ※3: すべり面の通過角度は, 応力状態(局所安全率, モビライズド面の向き等)を考慮して設定する。

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 4すべりに対する評価

4. 4. 3 すべり面の設定(防潮堤(盛土堤防), 防潮堤(鋼管式鉛直壁))

- すべり安全率を算定するすべり面については、改良地盤、岩盤を通るすべり面について、要素の局所安全率が小さい領域や、地盤強度の小さい領域(盛土、旧表土)、モビライズド面の向き等※1を踏まえて設定する。
- 施設(鋼管杭、背面補強工、置換コンクリート)については、第4条及び第5条への適合において部材の健全性を確認することから、施設を貫通横断するようなすべりは想定しない。

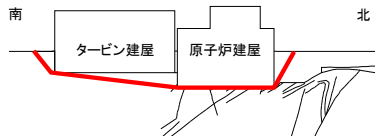
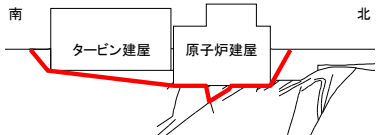
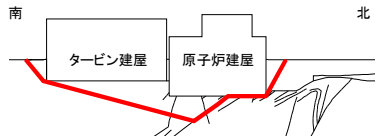
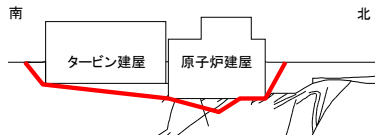
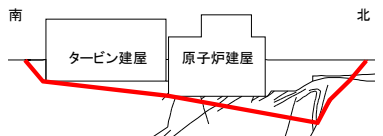
	改良地盤を通るすべり	岩盤を通るすべり
盛土堤防	<p>防潮堤(盛土堤防)を直接支持する改良地盤を通るすべり面を設定</p> <p>改良地盤内のすべり面の通過深度についてパラスタ(底面の岩盤を含む)</p>	<p>置換コンクリートを含めた施設全体を支持する岩盤を通るすべり面を設定</p> <p>岩盤内のすべり面の通過位置をパラスタ※3</p>
鋼管式鉛直壁	<p>防潮堤(鋼管式鉛直壁)を直接支持する改良地盤を通るすべり面を設定</p> <p>改良地盤内のすべり面の通過深度についてパラスタ(底面の岩盤を含む)</p>	<p>置換コンクリートを含めた施設全体を支持する岩盤を通るすべり面を設定</p> <p>岩盤内のすべり面の通過位置をパラスタ※3</p>




※1：審査ガイド「4. 1地震力に対する基礎地盤の安定性評価(2) 確認事項」に記載されているすべり面設定上確認すべき事項に該当する項目。
 ※2：改良地盤端部および隅角部、置換コンクリート隅角部から地表面に抜ける角度は、受働崩壊角及び主動崩壊角(45° ± φ/2, φ=30°)を踏まえ、30°、45°、60°と設定する。
 ※3：すべり面の通過位置は、応力状態(局所安全率、モビライズド面の向き等)を考慮して設定する。

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 4すべりに対する評価

4. 4. 4 すべりに対する評価結果(原子炉建屋 X-X' 断面)

- 原子炉建屋(X-X' 断面)の最小すべり安全率は、Ss-N1における2.0であり、1.5以上であることから十分な安全性を有している※1。
- 地盤物性のばらつきを考慮しても、すべり安全率は1.8である。

	すべり面形状	基準地震動※2 (位相)	発生時刻(秒)	最小すべり安全率
1	 <p>建屋底面のすべり</p>	Ss-N1 (+,+)	7.52	2.3
2	 <p>建屋底面+断層・シームのすべり</p>	Ss-N1 (+,+)	7.52	2.0 (1.8) [2.7]
3	 <p>建屋底面+断層・シームのすべり</p>	Ss-N1 (+,+)	7.51	2.3
4	 <p>建屋底面+断層・シームのすべり</p>	Ss-N1 (+,+)	7.52	2.2
5	 <p>断層のすべり</p>	Ss-N1 (-,+)	7.53	3.3

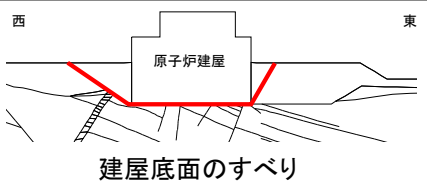
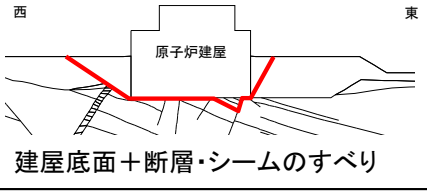
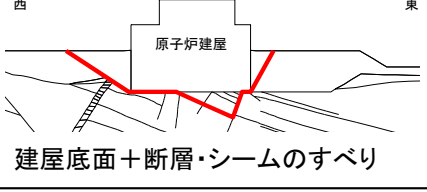
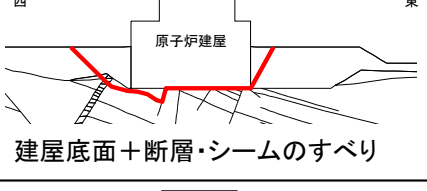
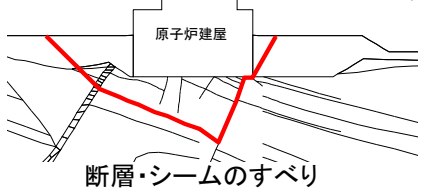
 :すべり面
 :断層・シーム
 は最小すべり安全率
 ()は地盤物性のばらつきを考慮した安全率
 []は静的非線形解析による安全率
 ※2: 基準地震動の(+,+)は正位相, (-,+)
 は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)
 は水平反転かつ鉛直反転を示す。




※1: 評価結果の詳細については、補足説明資料「3. 安定性評価に関する補足」に示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 4すべりに対する評価

4. 4. 4 すべりに対する評価結果(原子炉建屋 Y-Y' 断面)

- 原子炉建屋(Y-Y' 断面)の最小すべり安全率は、Ss-N1における1.6であり、1.5以上であることから十分な安全性を有している※1。
- 地盤物性のばらつきを考慮しても、すべり安全率は1.54である。

	すべり面形状	基準地震動※2 (位相)	発生時刻(秒)	最小すべり安全率
1		Ss-N1 (+,+)	7.56	2.5
2		Ss-N1 (+,+)	7.56	2.0
3		Ss-N1 (+,+)	7.57	1.6 (1.54) [2.9]
4		Ss-N1 (-,+)	7.55	3.2
5		Ss-N1 (+,+)	7.73	2.5

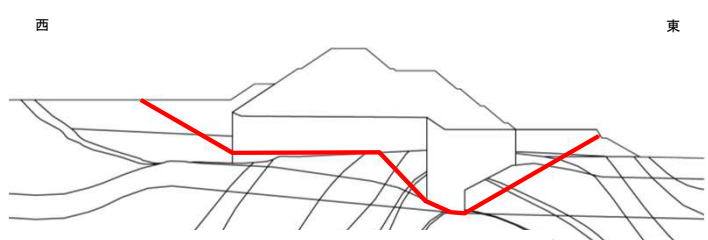
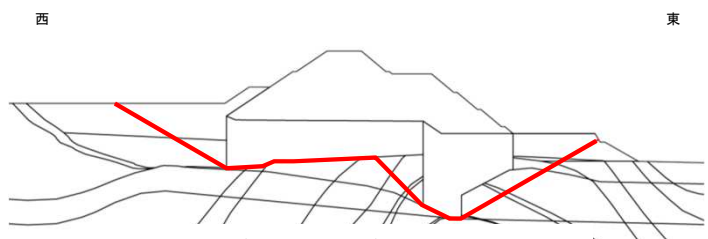
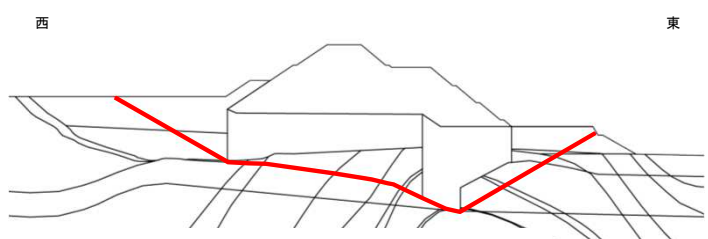
 :すべり面
 :断層・シーム
 は最小すべり安全率
 ()は地盤物性のばらつきを考慮した安全率
 []は静的非線形解析による安全率
 ※2: 基準地震動の(+,+)は正位相, (-,+)
 は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)
 は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※1: 評価結果の詳細については、補足説明資料「3. 安定性評価に関する補足」に示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4.4すべりに対する評価

4.4.4 すべりに対する評価結果(防潮堤(盛土堤防) A-A'断面)

- 防潮堤(盛土堤防)(A-A'断面)の最小すべり安全率は、Ss-D2における3.3であり、1.5以上であることから十分な安全性を有している※1。
- 地盤物性のばらつきを考慮しても、すべり安全率は2.9である。

すべり面形状		基準地震動※2 (位相)	発生時刻 (秒)	最小すべり安全率
1	 <p>改良地盤を通るすべり</p>	Ss-D2 (+,-)	13.53	5.5
2	 <p>改良地盤底面の岩盤を通るすべり</p>	Ss-D2 (+,-)	13.53	4.3
3	 <p>岩盤を通るすべり</p>	Ss-D2 (+,-)	13.53	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">3.3</div> (2.9) [3.2]

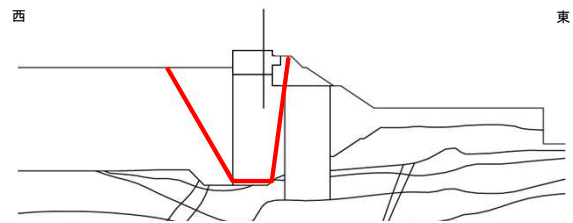
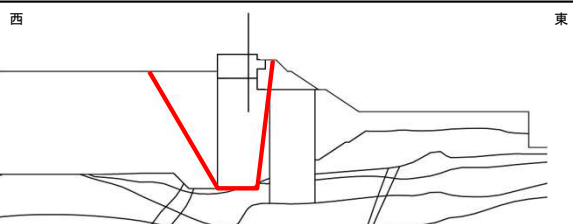

— :すべり面
 — :断層・シーム
 ○ は最小すべり安全率
 ()は地盤物性のばらつきを考慮した安全率
 []は静的非線形解析による安全率
 ※2: 基準地震動の(+,+)は正位相, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※1: 評価結果の詳細については、補足説明資料「3. 安定性評価に関する補足」に示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 4すべりに対する評価

4. 4. 4 すべりに対する評価結果(防潮堤(鋼管式鉛直壁) B-B' 断面)

- 防潮堤(鋼管式鉛直壁)(B-B')断面の最小すべり安全率は, Ss-D1における2.9であり, 1.5以上であることから十分な安全性を有している※1。
- 地盤物性のばらつきを考慮しても, すべり安全率は2.7である。

すべり面形状		基準地震動※2 (位相)	発生時刻(秒)	最小すべり安全率
1	 <p>改良地盤を通るすべり</p>	Ss-N1 (+,+)	7.60	3.5
2	 <p>改良地盤底面の岩盤を通るすべり</p>	Ss-N1 (+,+)	7.59	3.0
3	 <p>岩盤を通るすべり</p>	Ss-D1 (+,-)	25.47	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">2.9</div> (2.7) [3.0]

— :すべり面
 — :断層・シーム
 ○ は最小すべり安全率
 () は地盤物性のばらつきを考慮した安全率
 [] は静的非線形解析による安全率
 ※2: 基準地震動の(+,+)は正位相, (-,+)
 は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)
 は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※1: 評価結果の詳細については, 補足説明資料「3. 安定性評価に関する補足」に示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4.4すべりに対する評価

4.4.4 すべりに対する評価結果(緊急時対策建屋 X-X' 断面)

- 緊急時対策建屋(X-X' 断面)の最小すべり安全率は、Ss-F3における2.1であり、1.5以上であることから十分な安全性を有している※1。
- 地盤物性のばらつきを考慮しても、すべり安全率は1.8である。

すべり面形状		基準地震動※2 (位相)	発生時刻(秒)	最小すべり安全率
1	<p>建屋底面のすべり</p>	Ss-F3 (+,+)	27.67	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">2.1</div> (1.8) [2.4]
2	<p>建屋底面+シームのすべり</p>	Ss-F3 (+,+)	27.67	3.0
3	<p>建屋底面+シームのすべり</p>	Ss-F3 (+,+)	27.67	3.1

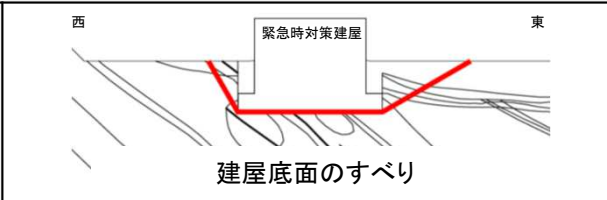
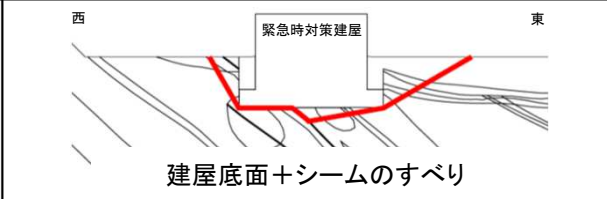
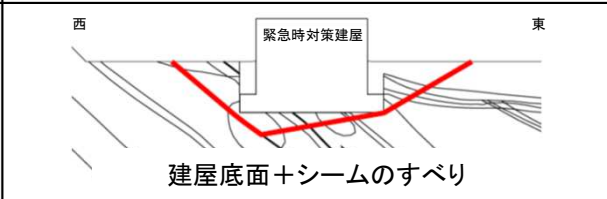
— : すべり面
— : 断層・シーム
○ は最小すべり安全率
 () は地盤物性のばらつきを考慮した安全率
 [] は静的非線形解析による安全率
 ※2: 基準地震動の(+,+)は正位相,
 (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転,
 (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※1: 評価結果の詳細については、補足説明資料「3. 安定性評価に関する補足」に示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 4すべりに対する評価

4. 4. 4 すべりに対する評価結果(緊急時対策建屋 Y-Y' 断面)

- 緊急時対策建屋(Y-Y'断面)の最小すべり安全率は、Ss-D2における5.6であり、1.5以上であることから十分な安全性を有している※1。
- 地盤物性のばらつきを考慮しても、すべり安全率は3.6である。

すべり面形状		基準地震動※2 (位相)	発生時刻(秒)	最小すべり安全率
1		Ss-D2 (-,+)	6.83	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">5.6</div> (3.6) [5.8]
2		Ss-F3 (+,+)	27.67	6.2
3		Ss-F3 (-,+)	27.67	5.8

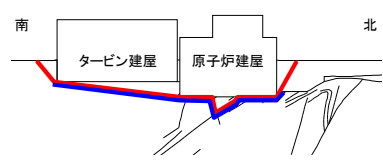
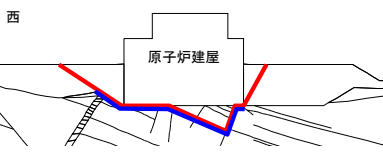
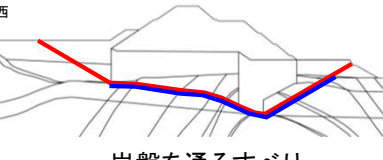
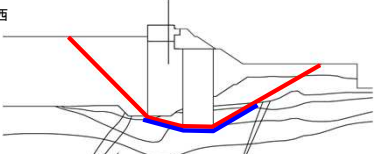
— :すべり面
— :断層・シーム
 は最小すべり安全率
 ()は地盤物性のばらつきを考慮した安全率
 []は静的非線形解析による安全率
 ※2: 基準地震動の(+,+)は正位相,
 (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転,
 (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※1: 評価結果の詳細については、補足説明資料「3. 安定性評価に関する補足」に示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 4すべりに対する評価

4. 4. 5 すべりに対する評価結果(岩盤部のみのすべり安全率)①

- 原子炉建屋及び防潮堤において最小すべり安全率となったすべり面について、岩盤部のみのすべりに対する評価を実施した。
- いずれの施設も、岩盤部のみのすべり安全率は1.5以上である。

	すべり面形状	基準地震動 ^{※1} (位相)	発生時刻(秒)	すべり安全率
原子炉建屋 (X-X' 断面)	 <p>建屋底面+断層・シームのすべり</p>	Ss-N1 (+,+)	7.52	2.0
原子炉建屋 (Y-Y' 断面)	 <p>建屋底面+断層・シームのすべり</p>	Ss-N1 (+,+)	7.57	1.6
防潮堤 (盛土堤防)	 <p>岩盤を通るすべり</p>	Ss-D2 (+,-)	13.53	3.3
防潮堤 (鋼管式鉛直壁)	 <p>岩盤を通るすべり</p>	Ss-D1 (+,-)	25.47	3.0

— :すべり面
— :岩盤部のみのすべり面
— :断層・シーム

※1: 基準地震動の(+,+)は正位相,
 (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転,
 (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 4すべりに対する評価

4. 4. 5 すべりに対する評価結果(岩盤部のみのすべり安全率)②

- 緊急時対策建屋において最小すべり安全率となったすべり面について、岩盤部のみのすべりに対する評価を実施した。
- いずれの施設も、岩盤部のみのすべり安全率は1.5以上である。

すべり面形状		基準地震動※1 (位相)	発生時刻(秒)	すべり安全率
緊急時対策 建屋 (X-X' 断面)	<p>建屋底面のすべり</p>	Ss-F3 (+,+)	27.67	2.1
緊急時対策 建屋 (Y-Y' 断面)	<p>建屋底面のすべり</p>	Ss-D2 (-,+)	6.83	5.9

— : すべり面
— : 岩盤部のみのすべり面
— : 断層・シーム

※1: 基準地震動の(+,+)は正位相,
 (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転,
 (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 5支持力に対する評価

4. 5. 1 支持力に対する評価方針

- 基礎地盤の支持力は、岩盤及び改良地盤の支持力試験から定めた評価基準値と、二次元有限要素法に基づく地震応答解析により求められる施設の最大接地圧を比較することにより確認する。
- 地震時の最大接地圧は、常時応力と地震応答解析による地震時増分応力を重ね合わせて算出する。

①常時荷重(自重)の評価

②地震時荷重
地震応答解析を実施し、施設底面の地盤に作用する最大接地圧を算定

③評価基準値
支持力試験の結果から、評価基準値を設定。

狐崎部層(原子炉建屋)	: 13.7N/mm ²
牧の浜部層(緊急時対策建屋, 防潮堤)	: 11.4N/mm ²
改良地盤(防潮堤)	: 4.4N/mm ²

十分な支持性能を有することを確認
最大接地圧(①+②) < 評価基準値(③)

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 5支持力に対する評価

4. 5. 2 支持力に対する評価結果(原子炉建屋, 緊急時対策建屋)

■ 評価方法

- 基礎底面における地震時の最大接地圧を求める。
- 地震時の最大接地圧が, 評価基準値を下回ることを確認する。

■ 評価結果

- 原子炉建屋及び緊急時対策建屋の地震時最大接地圧は, いずれも評価基準値を下回っていることから, 施設の基礎地盤は十分な支持力を有している。

断面	基準地震動※ (位相)	発生時刻(秒)	最大接地圧 (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)
原子炉建屋 X-X' 断面	Ss-D2 (-,+)	13.63	1.4	13.7
原子炉建屋 Y-Y' 断面	Ss-N1 (+,+)	7.62	3.9	
緊急時対策建屋 X-X' 断面	Ss-D2 (-,-)	11.44	1.0	11.4
緊急時対策建屋 Y-Y' 断面	Ss-D2 (+,-)	11.44	0.9	

※: 基準地震動の(+,+)は正位相, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 5支持力に対する評価

4. 5. 2 支持力に対する評価結果(防潮堤(盛土堤防), 防潮堤(鋼管式鉛直壁))

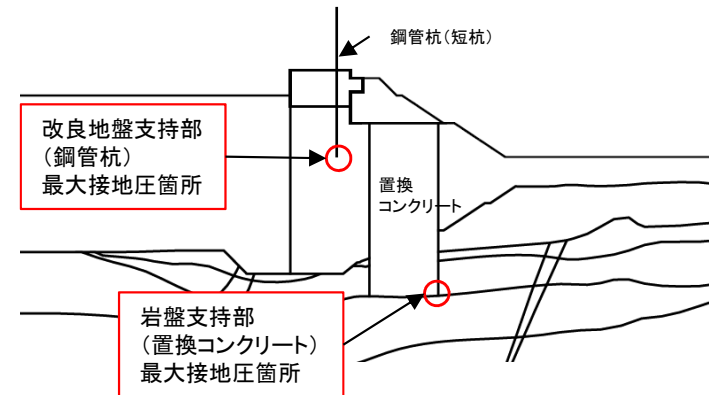
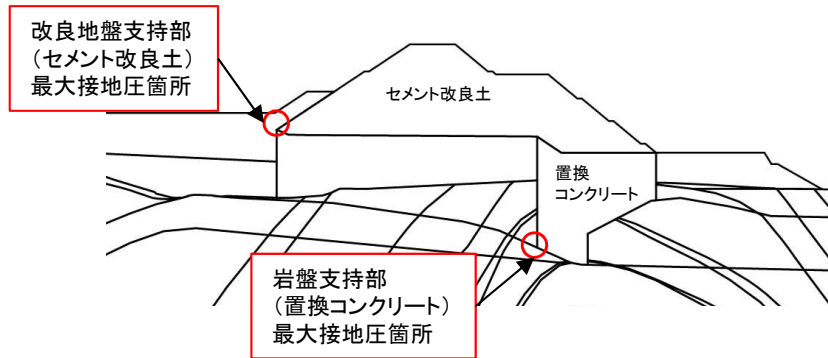
■ 評価方法

- 基礎底面における地震時の最大接地圧を求める。
- 防潮堤(盛土堤防)及び防潮堤(鋼管式鉛直壁)については、岩盤と改良地盤に設置される各施設のうち、最大接地圧となる部位の接地圧を示す。
- 地震時の最大接地圧が、評価基準値を下回ることを確認する。

■ 評価結果

- 防潮堤(盛土堤防)及び防潮堤(鋼管式鉛直壁)の地震時最大接地圧は、いずれも評価基準値を下回っていることから、施設の基礎地盤は十分な支持力を有している。

断面		基準地震動※ (位相)	発生時刻(秒)	最大接地圧 (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)
防潮堤(盛土堤防) A-A' 断面	改良地盤支持部 (セメント改良土)	Ss-D2 (-, -)	13.59	1.4	4.4
	岩盤支持部 (置換コンクリート)	Ss-N1 (-, +)	7.50	2.9	11.4
防潮堤(鋼管式鉛直壁) B-B' 断面	改良地盤支持部 (鋼管杭)	Ss-D2 (+, +)	13.47	1.3	4.4
	岩盤支持部 (置換コンクリート)	Ss-N1 (+, +)	7.59	6.7	11.4



※: 基準地震動の(+,+)は正位相, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

4. 基礎地盤の安定性評価 4. 6傾斜に対する評価

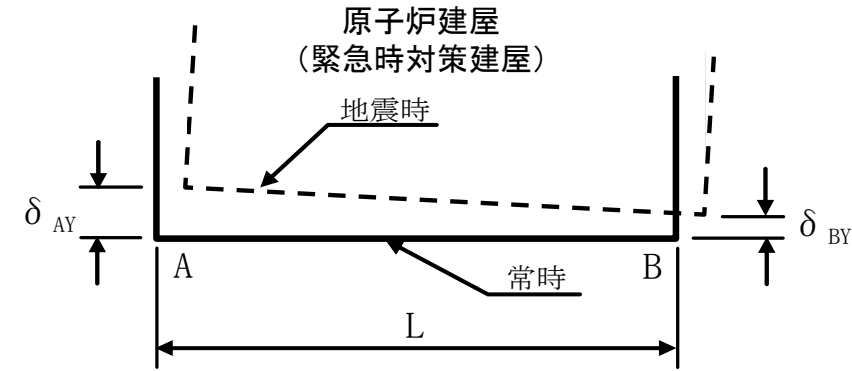
4. 6 傾斜に対する評価結果

■ 評価方法

- 基礎底面の傾斜は、基礎底面の両端の鉛直方向の最大相対変位を、基礎底面幅で除して求める^{※1}。

$$\text{基礎底面の傾斜} = \frac{|\delta_{AY} - \delta_{BY}|}{L}$$

- 基礎底面の傾斜が、評価基準値の目安(1/2,000)^{※2}を超えないことを確認する。



※1: 防潮堤(鋼管式鉛直壁)及び防潮堤(盛土堤防)について、傾斜は津波防護機能に影響を及ぼすものではないことから、評価を省略する。

※2: 審査ガイドには、「一般建築物の構造的な障害が発生する限界(亀裂の発生率、発生区間等により判断)として建物の変形角を施設の傾斜に対する評価の目安に、1/2,000以下となる旨の評価をしていることを確認する」とされている。また、1/2,000程度の傾斜であれば安全上重要な機器の機能が損なわれることはない。これらのことから、基礎底面の傾斜に対する評価基準値を1/2,000とした。

■ 評価結果

- 原子炉建屋基礎底面及び緊急時対策建屋基礎底面の最大傾斜は、いずれも評価基準値の目安である1/2,000を下回っていることから、安全機能に支障を与えるものではない。

断面	基準地震動 ^{※3} (位相)	発生時刻 (秒)	最大相対変位(cm) $\delta_{AY} - \delta_{BY}$	最大傾斜 $\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$	評価基準値
原子炉建屋 X-X' 断面 (L=77m)	Ss-N1 (-,+)	7.52	0.63	1/12,000	1/2,000
原子炉建屋 Y-Y' 断面 (L=84m)	Ss-N1 (-,+)	7.80	0.56	1/15,000	
緊急時対策建屋 X-X' 断面 (L=47m)	Ss-F3 (-,+)	27.74	0.10	1/45,000	1/2,000
緊急時対策建屋 Y-Y' 断面 (L=47m)	Ss-D3 (-,+)	25.05	0.05	1/94,000	

※3: 基準地震動の(+,+)は正位相, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

目次

1. 評価概要
2. 地質の概要
3. 評価断面の選定
4. 基礎地盤の安定性評価
- 5. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価**
6. 周辺斜面の安定性評価
7. まとめ

評価フロー

1. 評価概要

・設置許可基準規則に基づき、評価対象施設を整理

	耐震重要施設	常設重大事故等対処施設
基礎地盤	3条	38条
周辺斜面	4条	39条

・審査ガイドに準拠し、適合性を確認

基礎地盤	・活断層の有無 : 第2章
	・地震力に対する基礎地盤の安定性評価 : 第3~4章
	・周辺地盤の変状による施設への影響評価 : 第5章
	・地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価 : 第5章
周辺斜面	・地震力に対する周辺斜面の安定性評価 : 第6章

2. 地質の概要

・敷地には将来活動する可能性のある断層等が分布していないことを確認

3. 評価断面の選定

・支持地盤の相違(岩盤と改良地盤), 標高の相違(O.P.+14.8m盤とO.P.+62m盤), 基礎形式の相違に着目して代表施設並びに評価断面を選定

4. 基礎地盤の安定性評価

- ・解析用物性値の設定
- ・モデルの作成
- ・基礎地盤のすべり安全率が評価基準値1.5を上回ることを確認
- ・基礎底面の地震時最大接地圧が評価基準値を超えないことを確認
- ・基礎底面の傾斜が評価基準値の目安(1/2000)を超えないことを確認

5. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価

- ・各施設の設置状況を踏まえ, 不等沈下, 揺すり込み沈下による影響が生じないことを確認
- ・周辺地盤の液状化により, 対象施設が影響を受けない対策をする方針であることを確認
- ・地震発生に伴う地殻変動による地盤の傾斜を算出し, 地殻変動及び地震動を考慮した最大傾斜が, 評価基準値の目安(1/2000)を超えないことを確認

6. 周辺斜面の安定性評価

- ・斜面法尻からの離間距離により, 周辺斜面が対象施設に影響を与えないことを確認

7. まとめ

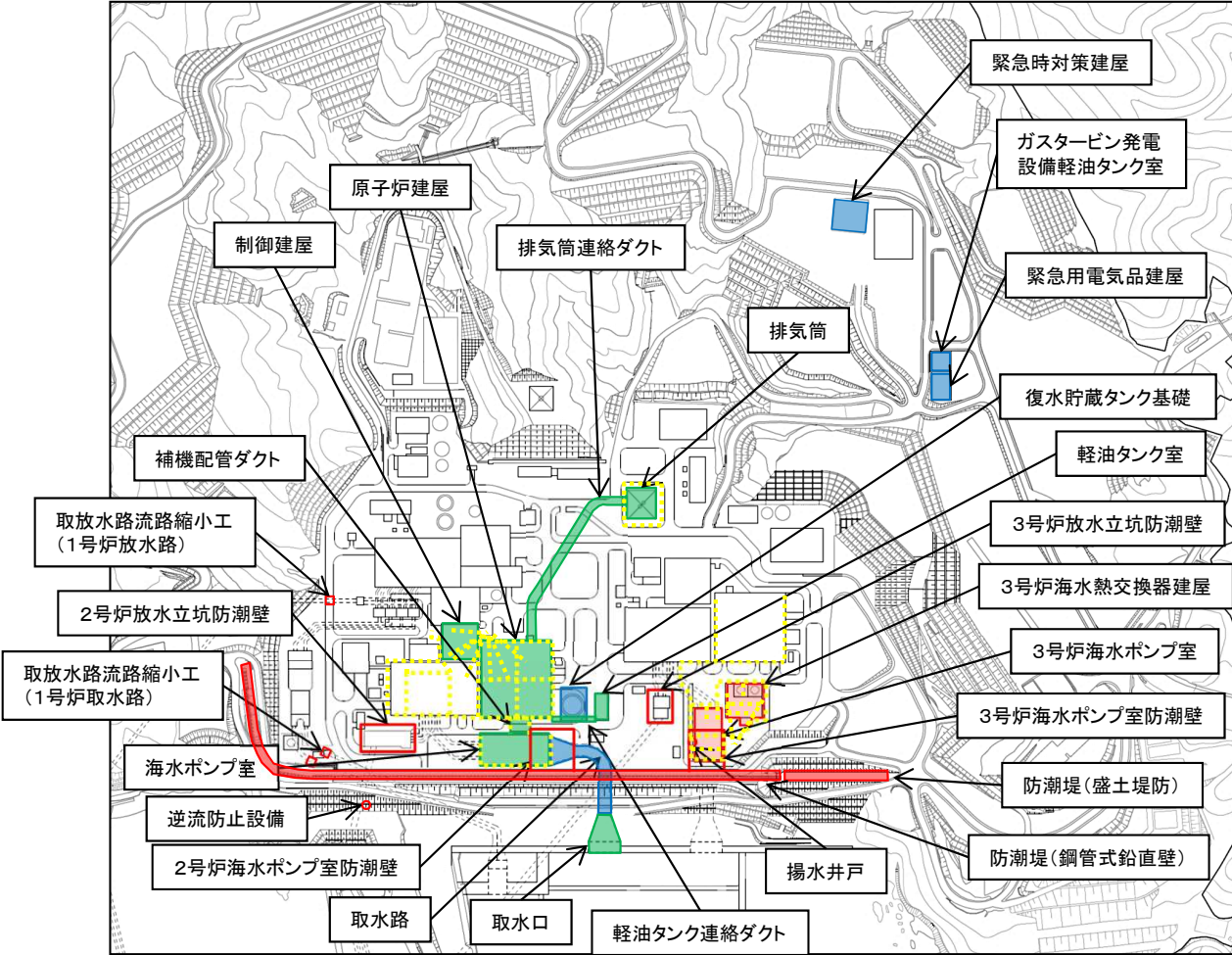
5. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価

5.1 周辺地盤の変状

【審査ガイドにおける確認事項】
 圧密、揺すり込み沈下及び液状化によって隣接する建物・構築物の中で生じる不等沈下等の変状が生じるおそれがある場合、これらの現象が生じたとしても、施設の安全機能が重大な影響を受けないよう、所要の対策を講じる旨の基本設計方針であることを確認する。

【基本設計方針】
 「3. 評価断面の選定」で示した通り、耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設は、直接又はMMR、杭を介して岩盤及び改良地盤に支持されていることから、不等沈下、揺すり込み沈下による影響を受けるおそれはない。
 また、耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設は、周辺地盤の液状化による地盤変状を考慮した場合でも、その安全機能が損なわれないよう、所要の対策を講じることとする。

凡例	 : 耐震重要施設	 : 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設
	 : 常設重大事故等対処施設	 : 地下水位低下設備(一部計画図)



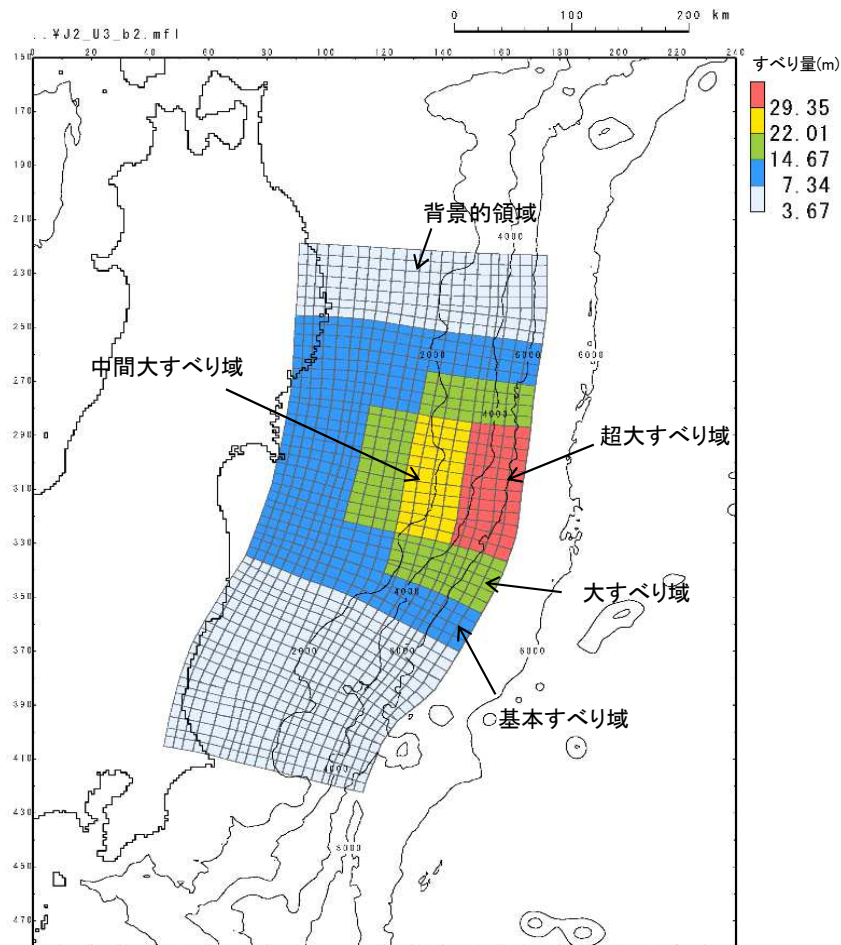
対象施設配置図

5. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価

5.2 地殻変動の評価条件①

- 敷地内及び敷地近傍には、活断層が分布していないことから、顕著な地殻変動の影響を受けることはないが、プレート間地震を震源とする地震による敷地地盤の傾斜を、水位上昇量の決定ケースとなった津波波源モデルを用いてOkada(1992)の方法により算定した。

■ 基準断層モデル(特性化モデル)



基準断層モデル③

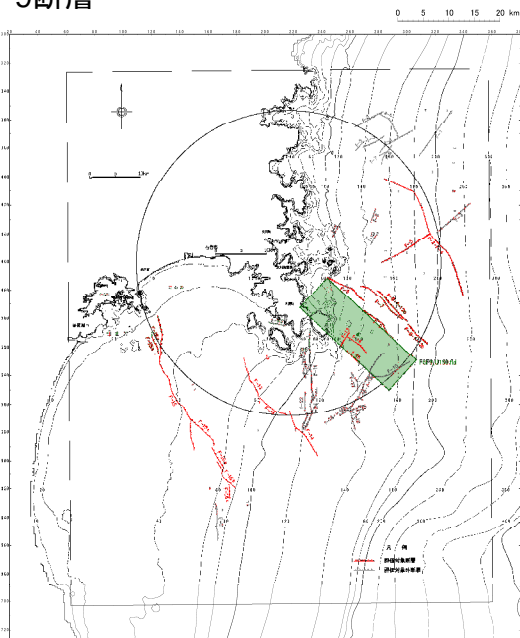
諸元		基準断層モデル③
モーメントマグニチュード(Mw)		9.04
断層面積(S)		107,357(km ²)
平均応力降下量(Δσ)		3.17(MPa)
地震モーメント(Mo)		4.58 × 10 ²² (Nm)
すべり量	基本すべり域	7.34(m)
	背景的領域	3.67(m)
	大すべり域	14.67(m)
	中間大すべり域	22.01(m)
	超大すべり域	29.35(m)
	平均すべり量	8.53(m)

5. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価

5.2 地殻変動の評価条件②

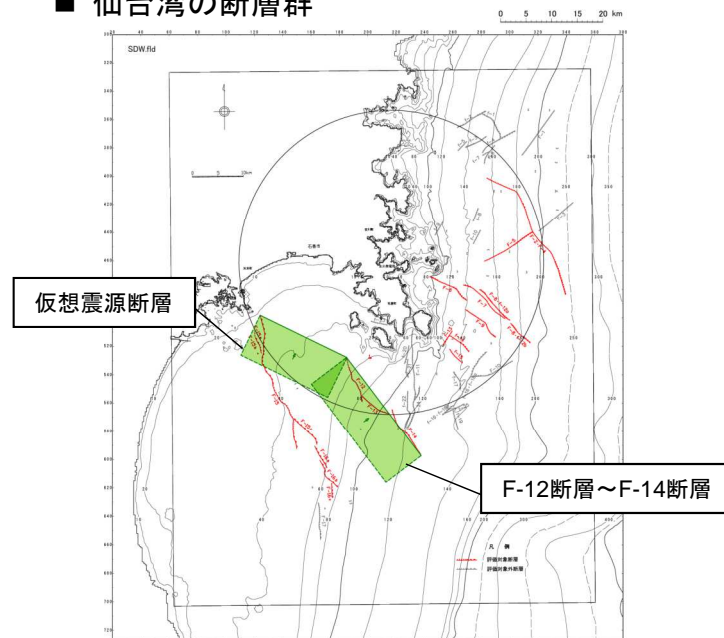
- 敷地内及び敷地近傍には、活断層が分布していないことから、顕著な地殻変動の影響を受けることはないが、発電所に比較的近い活断層であるF-6断層～F-9断層及び仙台湾の断層群による敷地地盤の傾斜を、強震動モデルを基に作成した一様すべりモデルを用いてOkada(1992)の方法により算定した。

■ F-6断層～F-9断層



断層パラメータ		備考
Mw	6.9	武村(1998)に基づくスケーリング則に基づき設定
走向(°)	133.5	強震動モデルに基づき設定
長さ(km)	23.7	地質調査結果に基づき設定
幅(km)	15.8	地震発生層の厚さ(15km)と傾斜角から設定
上縁深さ(km)	0	土木学会(2002)に基づき設定
傾斜角(°)	60	地質調査結果及び地震調査研究推進本部(2009)を参考に設定
すべり角(°)	90	地質調査結果及び地震調査研究推進本部(2009)を参考に設定
すべり量(m)	1.8	

■ 仙台湾の断層群

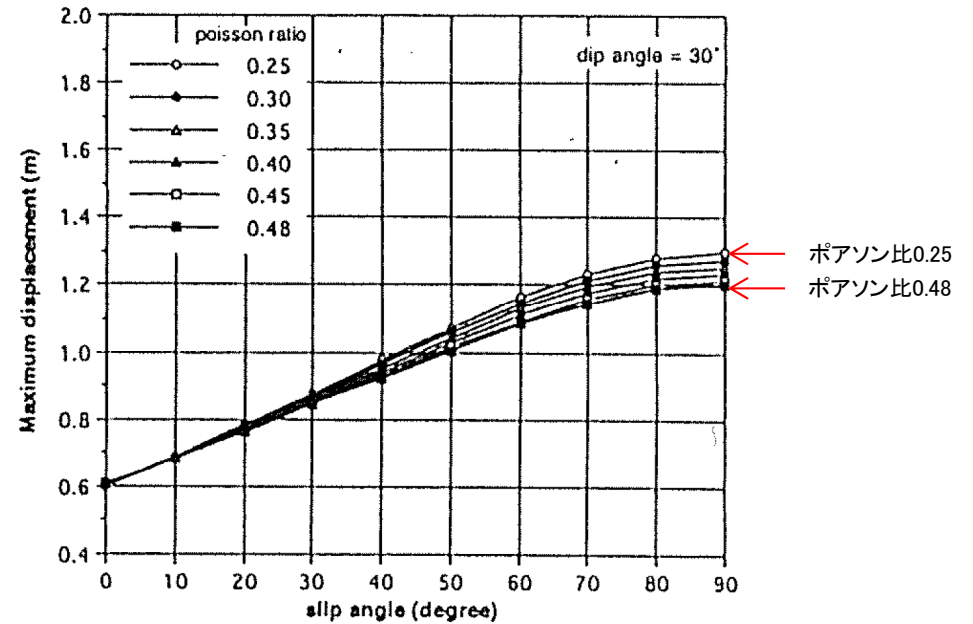
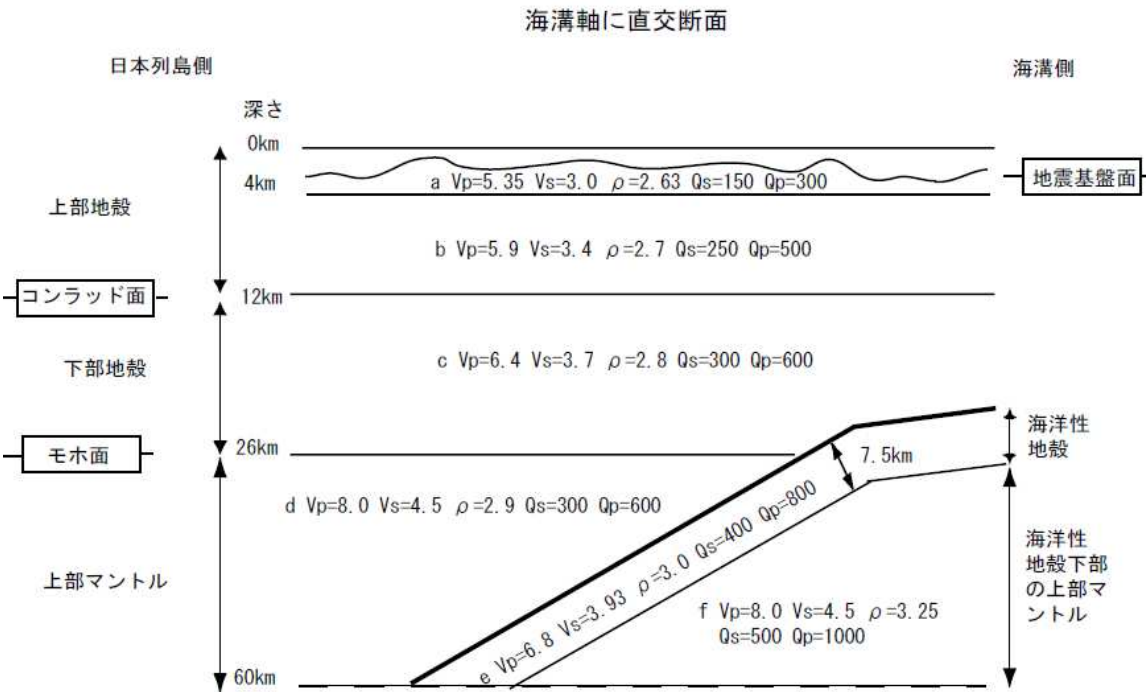


	断層パラメータ			備考
	仮想震源断層	F12～F14断層	断層全体	
Mw	—	—	7.2	
走向(°)	116.6	143.7	—	強震動モデルに基づき設定
長さ(km)	18.9	24.2	43.1	強震動モデルに基づき設定
幅(km)	—	—	17.3	上限断層幅から設定
上縁深さ(km)	0	0	—	土木学会(2002)に基づき設定
傾斜角(°)	60	60	—	強震動モデルに基づき設定
すべり角(°)	90	90	—	強震動モデルに基づき設定
すべり量(m)	—	—	3.1	

5. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価

5.3 地殻変動量評価における上部マントルの影響について

- 地殻変動量評価においては、地盤全体を一様な半無限弾性体(ポアソン比=0.25)と仮定して、Okada(1992)の方法により算定している。
- 地震本部(2005)で設定している東北地方の上部マントルから地震基盤までの大構造によると、ポアソン比の変化はわずかである。
- 藤澤ほか(1996)によれば、単層モデルのポアソン比を変化させても鉛直地盤変位量の変化はわずかである。
- 以上のことから、地盤物性の成層構造が地殻変動量評価結果に与える影響はわずかであると考えられる。



理論的評価法を用いる場合の伝播経路のモデル (VsとVpの単位はkm/s、ρの単位はg/cm³)

上部マントルから地震基盤までの大構造(地震本部(2005))

	Vp(km/s)	Vs(km/s)	ポアソン比
上部地殻	5.9	3.4	0.251
下部地殻	6.4	3.7	0.249
上部マントル	8.0	4.5	0.269

単層モデルに適用するポアソン比を変化させたときの最大鉛直地盤変位量の比較(藤澤ら, 1996)

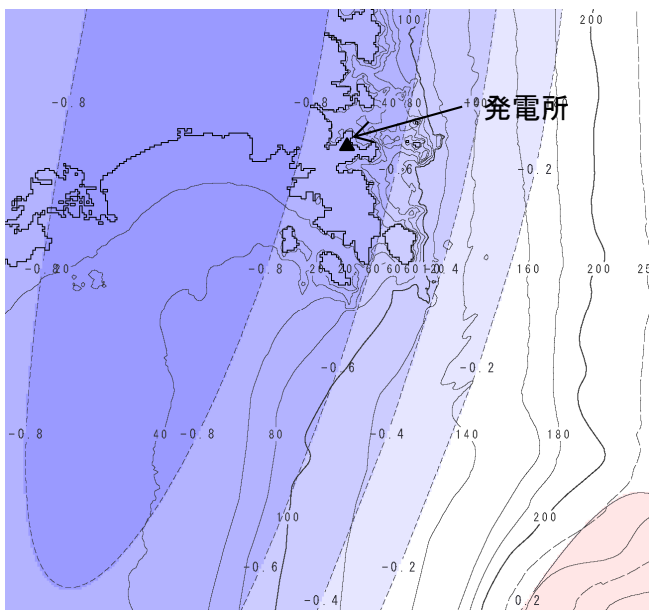
横軸はすべり角(0:横ずれ, 90:逆断層), 縦軸は最大鉛直地盤変位量。地盤全体のポアソン比を2倍程度変化させても、鉛直地盤変位量の変化はわずかである

5. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価

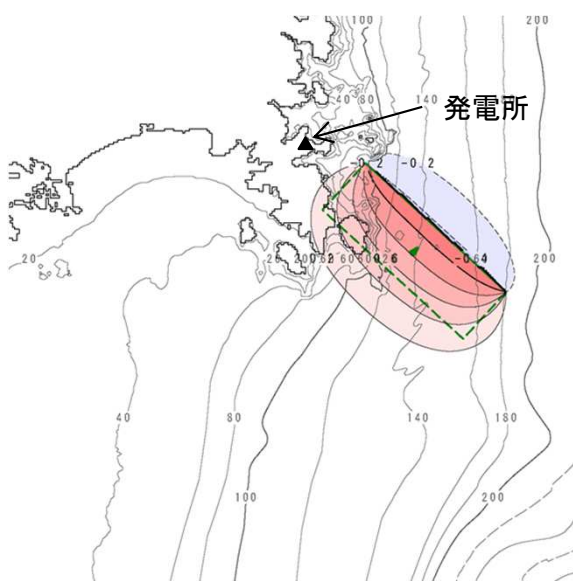
5.4 地殻変動の評価結果

- 地殻変動解析の結果に地震応答解析による原子炉建屋及び緊急時対策建屋の基礎の最大傾斜を重ねても、1/2,000を下回ることを確認した。

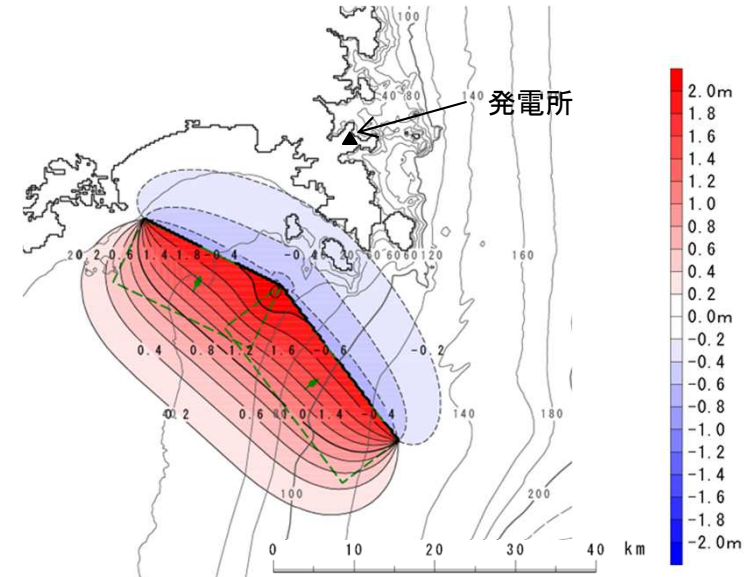
		① 地殻変動による最大傾斜	② 地震動による最大傾斜	①+②	評価基準値
プレート間地震	原子炉建屋	1/41,000	1/15,000 (Ss-F2)	1/11,000	1/2,000
	緊急時対策建屋		1/54,000 (Ss-F2)	1/23,000	
F-6断層 ～F-9断層	原子炉建屋	1/55,000	1/20,000 (Ss-D1)	1/15,000	
	緊急時対策建屋		1/58,000 (Ss-D2)	1/28,000	
仙台湾断層群	原子炉建屋	1/110,000	1/20,000 (Ss-D1)	1/17,000	
	緊急時対策建屋		1/58,000 (Ss-D2)	1/38,000	



プレート間地震の解析結果



F-6断層～F-9断層の解析結果



(鉛直変位コンター : コンター間隔0.2m, 赤:隆起, 青:沈降, 黒:±0cm)

仙台湾断層群の解析結果

目次

1. 評価概要
2. 地質の概要
3. 評価断面の選定
4. 基礎地盤の安定性評価
5. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価
- 6. 周辺斜面の安定性評価**
7. まとめ

評価フロー

1. 評価概要

・設置許可基準規則に基づき、評価対象施設を整理

	耐震重要施設	常設重大事故等対処施設
基礎地盤	3条	38条
周辺斜面	4条	39条

・審査ガイドに準拠し、適合性を確認

基礎地盤	・活断層の有無 : 第2章
	・地震力に対する基礎地盤の安定性評価 : 第3~4章
	・周辺地盤の変状による施設への影響評価 : 第5章
	・地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価 : 第5章
周辺斜面	・地震力に対する周辺斜面の安定性評価 : 第6章

2. 地質の概要

・敷地には将来活動する可能性のある断層等が分布していないことを確認

3. 評価断面の選定

・支持地盤の相違(岩盤と改良地盤), 標高の相違(O.P.+14.8m盤とO.P.+62m盤), 基礎形式の相違に着目して代表施設並びに評価断面を選定

4. 基礎地盤の安定性評価

- ・解析用物性値の設定
- ・モデルの作成
- ・基礎地盤のすべり安全率が評価基準値1.5を上回ることを確認
- ・基礎底面の地震時最大接地圧が評価基準値を超えないことを確認
- ・基礎底面の傾斜が評価基準値の目安(1/2000)を超えないことを確認

5. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価

- ・各施設の設置状況を踏まえ, 不等沈下, 揺すり込み沈下による影響が生じないことを確認
- ・周辺地盤の液状化により, 対象施設が影響を受けない対策をする方針であることを確認
- ・地震発生に伴う地殻変動による地盤の傾斜を算出し, 地殻変動及び地震動を考慮した最大傾斜が, 評価基準値の目安(1/2000)を超えないことを確認

6. 周辺斜面の安定性評価

- ・斜面法尻からの離間距離により, 周辺斜面が対象施設に影響を与えないことを確認

7. まとめ

6. 周辺斜面の安定性評価

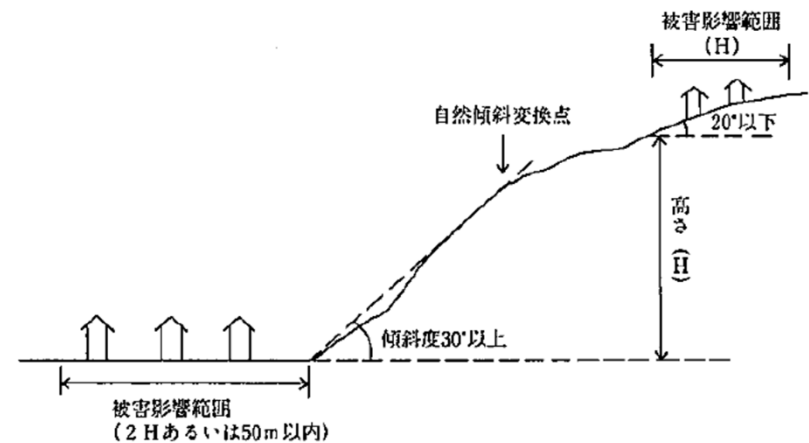
6.1 評価対象斜面の選定方針

原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008(日本電気協会)

- 安定性評価の対象となる原子炉建屋周辺斜面については、「斜面のり尻から原子炉建屋までの離間距離が約50m以内の斜面、あるいは斜面高さの約1.4倍以内の斜面とする」。

宅地防災マニュアルの解説

- 斜面上部又は下部とは、下図に示すように急傾斜地(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(おおむね50mを限度とする)をいう。

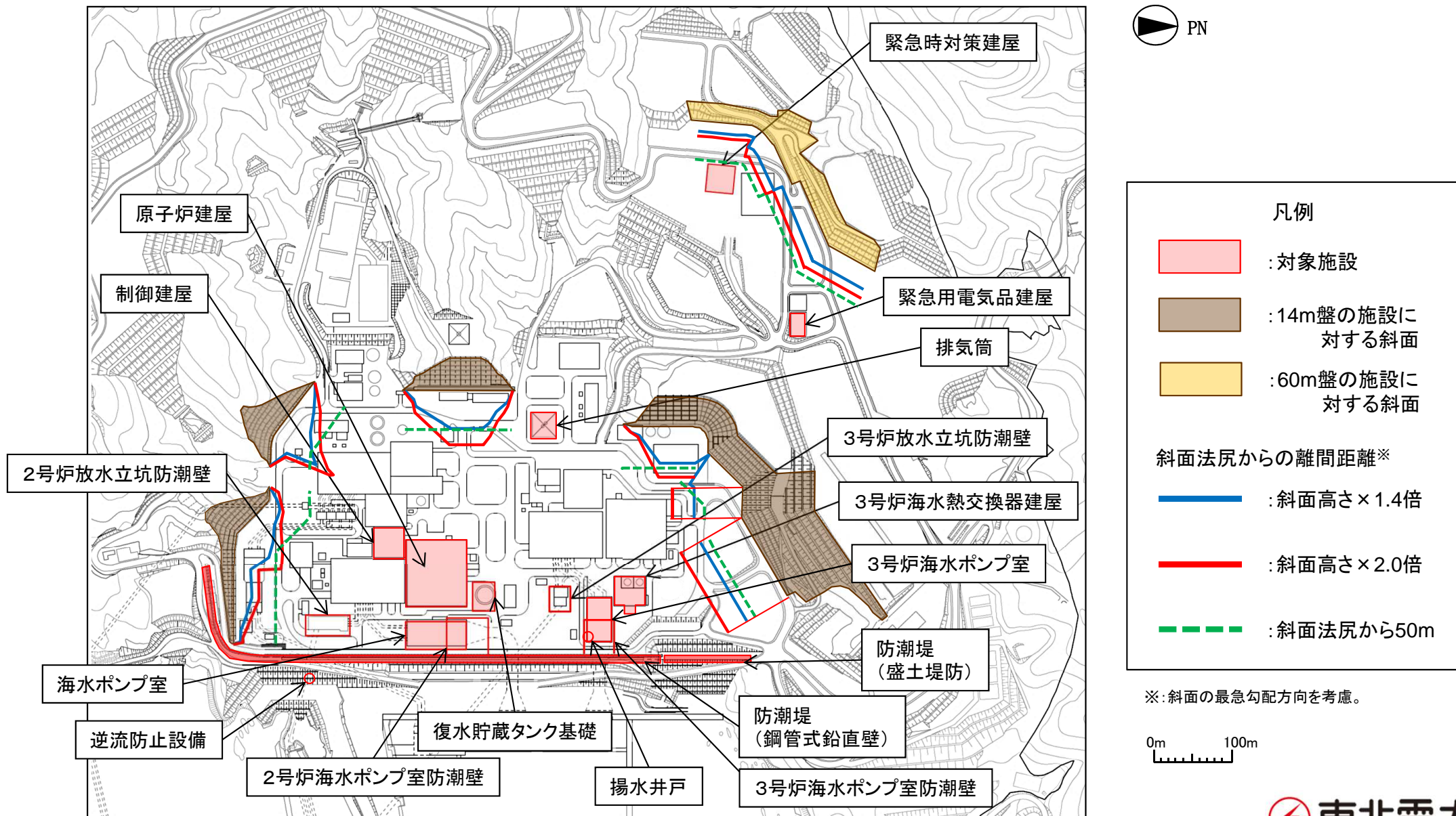


評価対象施設に対して、斜面法尻からの離間距離が50m以内又は斜面高さの1.4倍～2.0倍以内にある斜面を評価対象とする。

6. 周辺斜面の安定性評価

6.2 評価対象斜面の抽出

- 評価対象施設に対して、斜面法尻からの離間距離が50m以内又は斜面高さの1.4倍～2.0倍以内にある斜面は存在しない。



目次

1. 評価概要
2. 地質の概要
3. 評価断面の選定
4. 基礎地盤の安定性評価
5. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価
6. 周辺斜面の安定性評価
7. まとめ

評価フロー

1. 評価概要

・設置許可基準規則に基づき、評価対象施設を整理

	耐震重要施設	常設重大事故等対処施設
基礎地盤	3条	38条
周辺斜面	4条	39条

・審査ガイドに準拠し、適合性を確認

基礎地盤	・活断層の有無 : 第2章
	・地震力に対する基礎地盤の安定性評価 : 第3~4章
	・周辺地盤の変状による施設への影響評価 : 第5章
	・地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価 : 第5章
周辺斜面	・地震力に対する周辺斜面の安定性評価 : 第6章

2. 地質の概要

・敷地には将来活動する可能性のある断層等が分布していないことを確認

3. 評価断面の選定

・支持地盤の相違(岩盤と改良地盤), 標高の相違(O.P.+14.8m盤とO.P.+62m盤), 基礎形式の相違に着目して代表施設並びに評価断面を選定

4. 基礎地盤の安定性評価

- ・解析用物性値の設定
- ・モデルの作成
- ・基礎地盤のすべり安全率が評価基準値1.5を上回ることを確認
- ・基礎底面の地震時最大接地圧が評価基準値を超えないことを確認
- ・基礎底面の傾斜が評価基準値の目安(1/2000)を超えないことを確認

5. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価

- ・各施設の設置状況を踏まえ, 不等沈下, 揺すり込み沈下による影響が生じないことを確認
- ・周辺地盤の液状化により, 対象施設が影響を受けない対策をする方針であることを確認
- ・地震発生に伴う地殻変動による地盤の傾斜を算出し, 地殻変動及び地震動を考慮した最大傾斜が, 評価基準値の目安(1/2000)を超えないことを確認

6. 周辺斜面の安定性評価

- ・斜面法尻からの離間距離により, 周辺斜面が対象施設に影響を与えないことを確認

7. まとめ

7. まとめ

- 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設が設置される地盤には、将来活動する可能性のある断層等が露頭していないことを確認した。
- 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設が設置される地盤は、基準地震動による地震力に対して、基礎地盤のすべり、基礎の支持力及び基礎底面の傾斜について、いずれも評価基準値を満足することを確認した。
- 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設は、岩盤等の上に構築されていることから、不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等による影響を受けるおそれはないことを確認した。また、周辺地盤の液状化による地盤変状を考慮した場合でも、その安全機能が損なわれないよう、所要の対策を講じる方針となっていることを確認した。
- 地殻変動による基礎底面の傾斜について、評価基準値を満足することを確認した。
- 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の周辺には、評価対象となる斜面が存在しないことを確認した。
- 以上のとおり、女川原子力発電所2号炉の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は、基準地震動による地震力に対して十分な安定性を有しており、設置許可基準規則3条、4条、38条及び39条に適合していることを確認した。

参考文献

1. 滝沢文教・久保和也・猪木幸男(1987): 寄磯地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所
2. 滝沢文教・神戸信和・久保和也・秦光男・寒川旭・片田正人(1984): 石巻地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所
3. 菊地宏吉, 藤枝誠, 岡信彦, 小林隆志(1984): ダム基礎岩盤の耐荷性に関する地質工学的総合評価, 応用地質特別号 岩盤分類, pp.103-118.
4. 一般社団法人日本電気協会原子力規格委員会(2008): 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008
5. 社団法人土木学会原子力土木委員会(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>
6. 公益財団法人土木学会(2013): コンクリート標準示方書, ダムコンクリート編
7. 社団法人土木学会(2000): 原位置岩盤試験法の指針
8. 公益社団法人地盤工学会(2013): 地盤調査の方法と解説
9. 社団法人地盤工学会(2000): 土質試験の方法と解説 第一回改訂版
10. 社団法人土木学会(2002): コンクリート標準示方書 構造性能照査編
11. Yoshimitsu Okada (1992) : Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seism. Soc. Am. , 82, 1018-1040
12. 地震調査研究推進本部(2005): 宮城県沖地震を想定した強震動評価(一部修正版)
13. 藤澤康雄・金田義行・津久井啓介・須藤智明(1996): Poisson比を考慮した津波波源に関する一考察(仮題), 津波工学研究報告, 第13号, pp.123-133
14. 武村雅之(1998): 日本列島における地殻内地震のスケーリング則—地震断層の影響および地震被害との関連—, 地震第2輯, 第51巻, pp.211-228
15. 社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2002): 原子力発電所の津波評価技術
16. 地震調査研究推進本部(2009): 付録3 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)
17. [編集]宅地防災研究会(2007): 宅地防災マニュアルの解説[第二次改訂版][Ⅱ]