

島根原子力発電所2号炉 審査資料	
資料番号	EP(E)-068(補)改04
提出年月	令和2年11月19日

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(補足説明)

令和2年11月19日

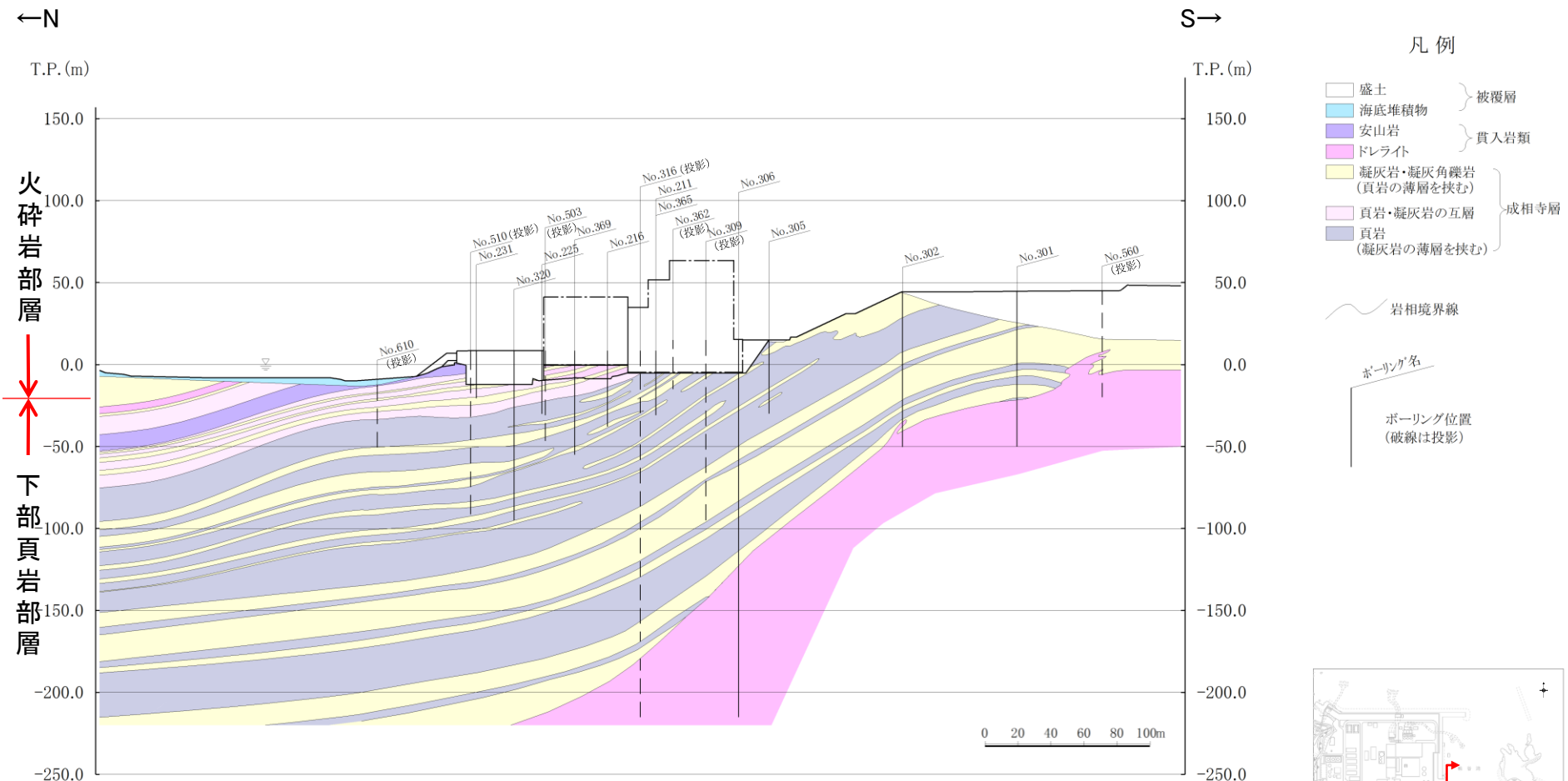
中国電力株式会社

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。

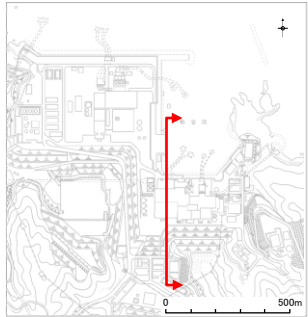
1. 地質の概要の補足	2
2. 解析用物性値の設定方法	
2.1 物理特性	28
2.2 強度特性	30
2.3 静的変形特性	66
2.4 動的変形特性	77
2.5 シームの代表性	85
2.6 地盤の支持力	90
2.7 埋戻土(掘削ズリ)の物性	93
3. 建物のモデル化方法	
3.1 各建物のモデル化	114
3.2 固有値解析による検証	122
4. 隣接施設のモデル化	125
5. 建物影響範囲の設定方法	130
6. 要素の局所安全係数図	132
7. すべり安全率一覧	173
8. 液状化影響検討用地下水位に係るデータ一覧	233
9. 防波壁の構造概要	
9.1 防波壁の地盤安定性評価上の区分	243
9.2 各防波壁の構造	
9.2.1 防波壁(波返重力擁壁)	254
9.2.2 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)	269
9.2.3 防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)	284
10. 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動評価	297
参考文献	

1. 地質の概要の補足

2号炉原子炉建物(地質鉛直断面図(南北))

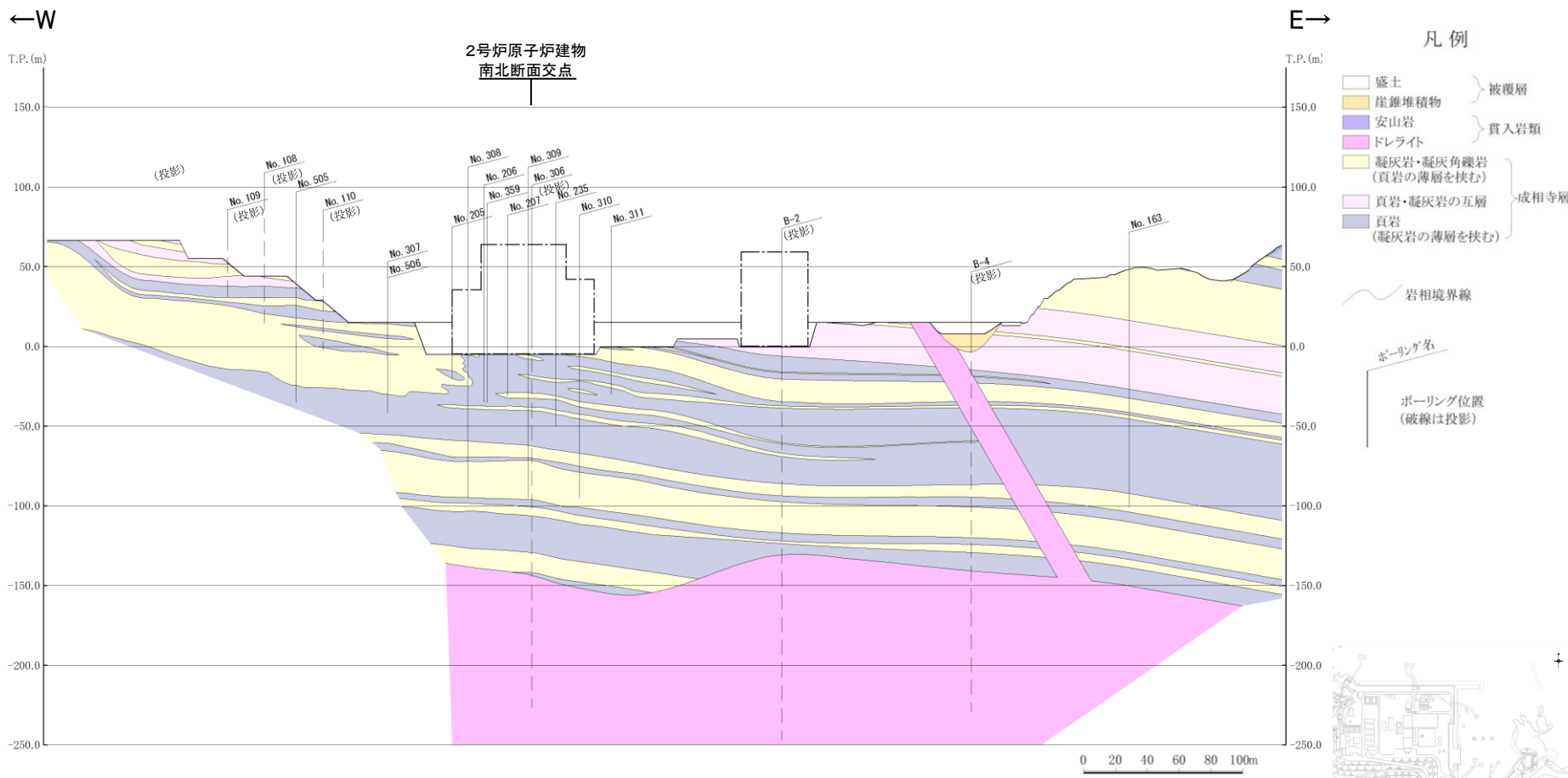


- ・島根サイトには、主として下部頁岩部層，貫入岩類が分布する。
- ・下部頁岩部層は，頁岩(黒色頁岩及び凝灰質頁岩)を主体とし，凝灰岩及び凝灰角礫岩並びにこれらの互層から構成される。
- ・成相寺層の構造は，概ね西北西－東南東の走向を示し，北へ向かって約10°～30°傾斜している。

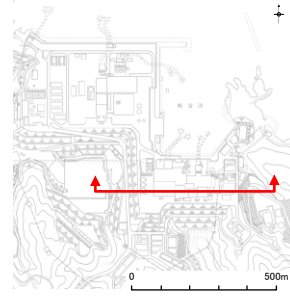


断面位置図

2号炉原子炉建物(地質鉛直断面図(東西))

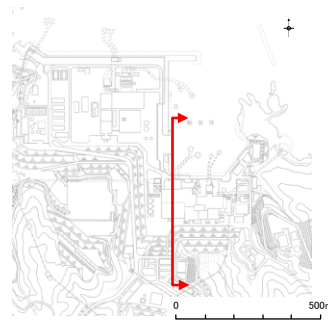
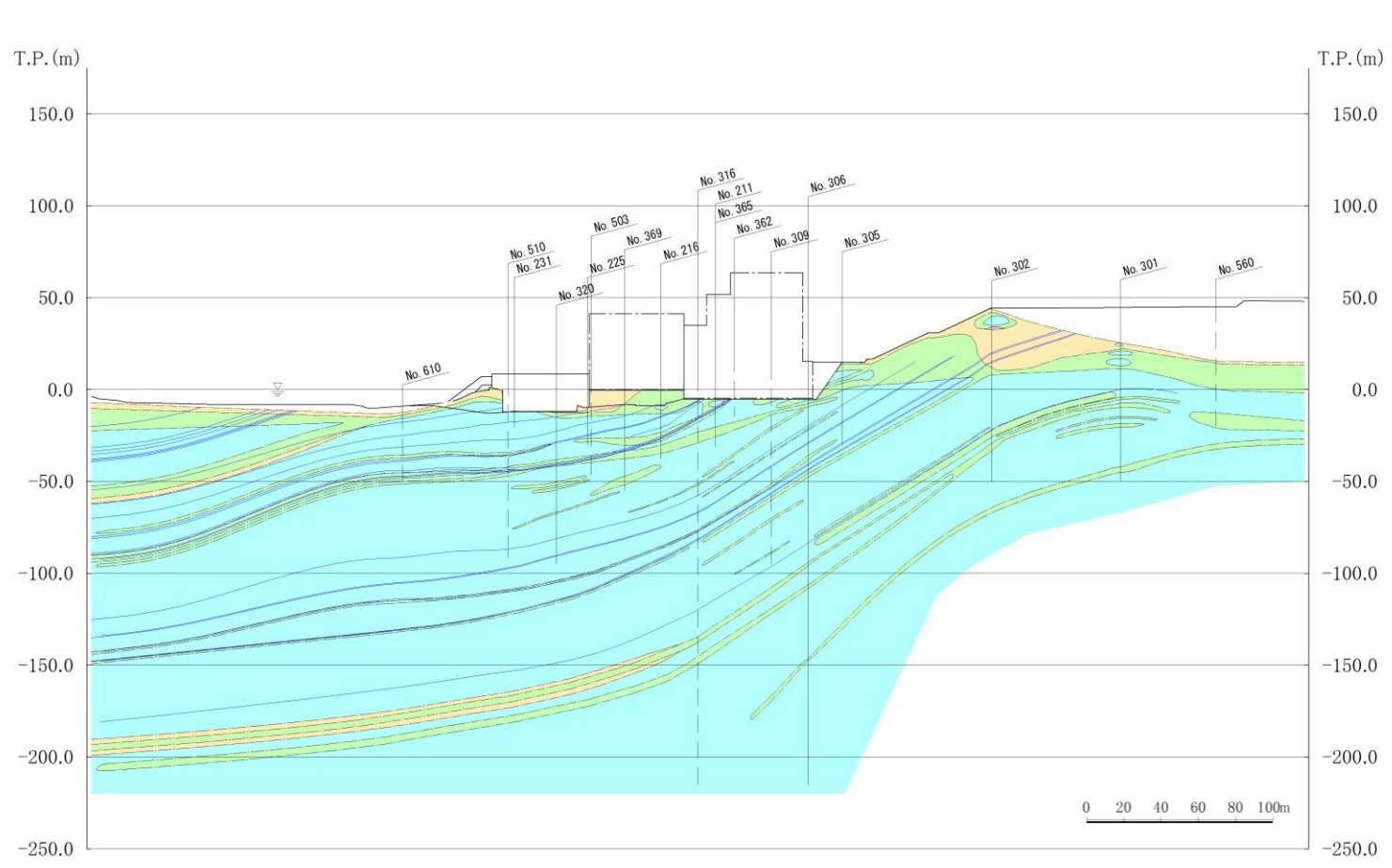


・成相寺層の構造は、概ね西北西－東南東の走向を示し、東西方向の地層の傾斜は概ね水平である。



断面位置図

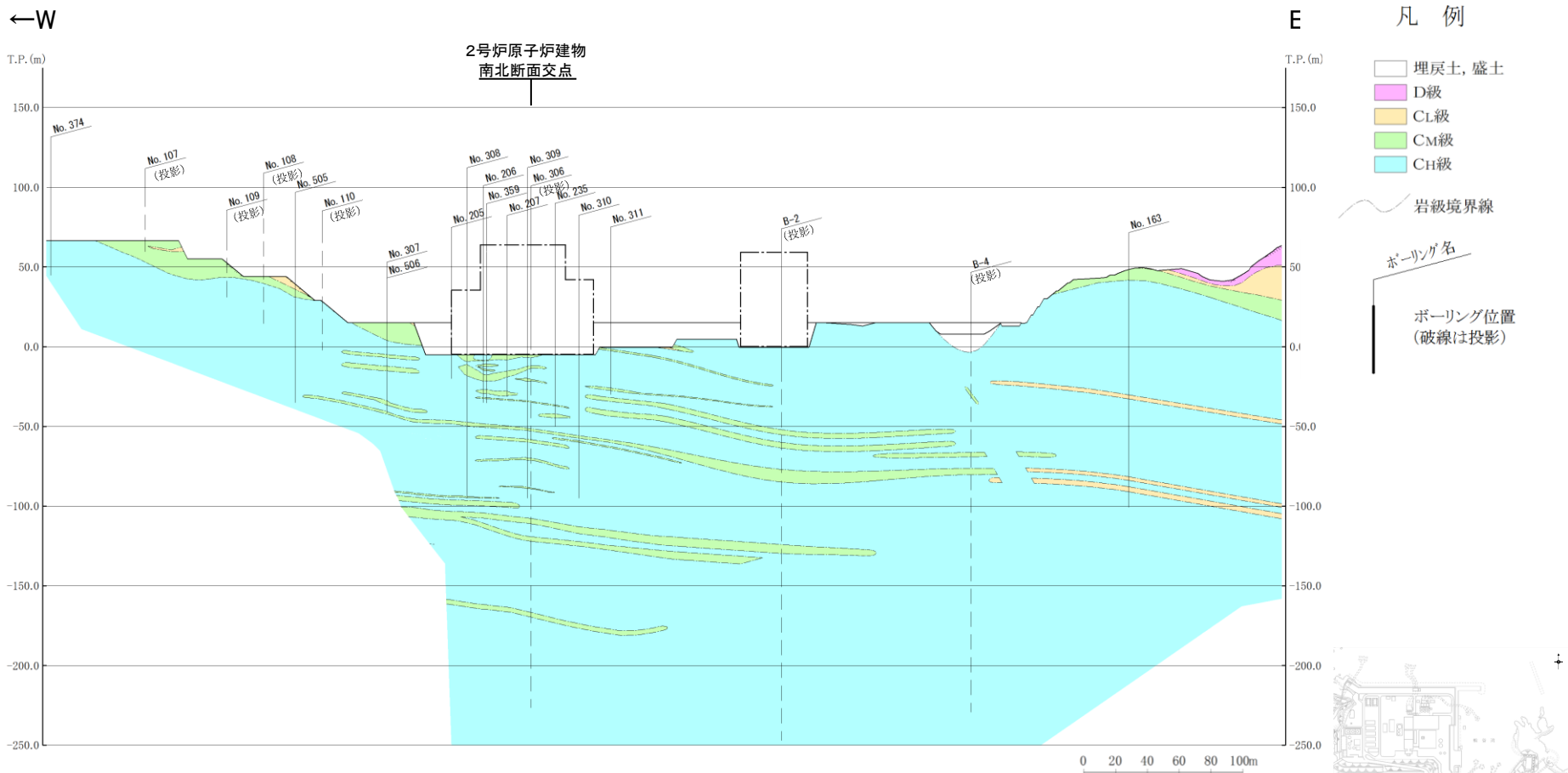
2号炉原子炉建物(岩級鉛直断面図(南北))



・原子炉建物基礎地盤は主にC_H級岩盤から成り、切取斜面の浅部にはC_L級岩盤が分布する。

断面位置図

2号炉原子炉建物(岩級鉛直断面図(東西))



・原子炉建物基礎地盤は主にC_H級岩盤から成り、切取斜面の浅部にはC_L~C_M級岩盤が分布する。

凡例

- 埋戻土, 盛土
- D級
- CL級
- CM級
- CH級

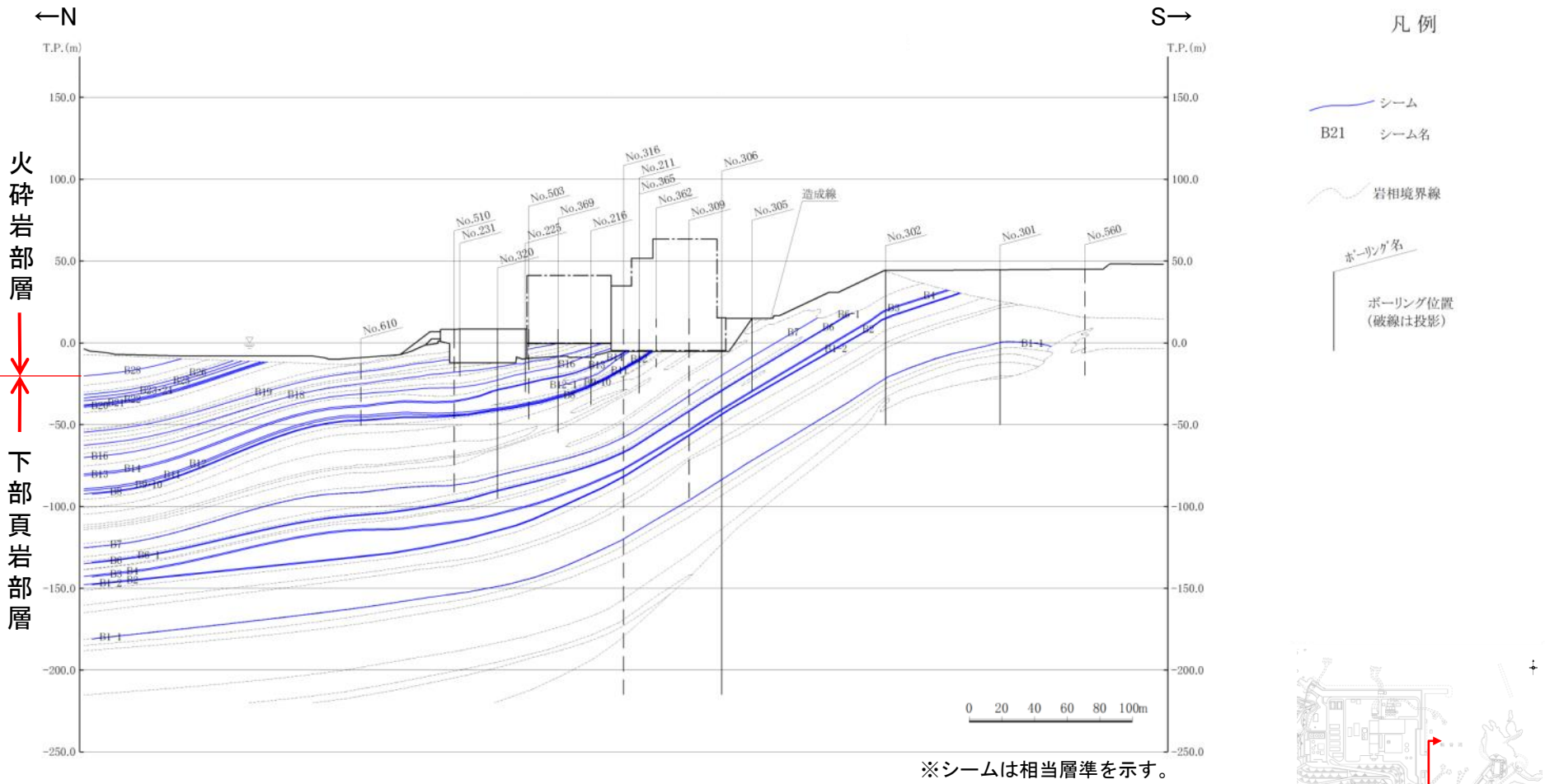
岩級境界線

ボーリング名

ボーリング位置 (破線は投影)

断面位置図

2号炉原子炉建物(シーム分布鉛直断面図(南北))



シーム分布鉛直断面図 (2号炉原子炉建物基礎地盤 (南北))

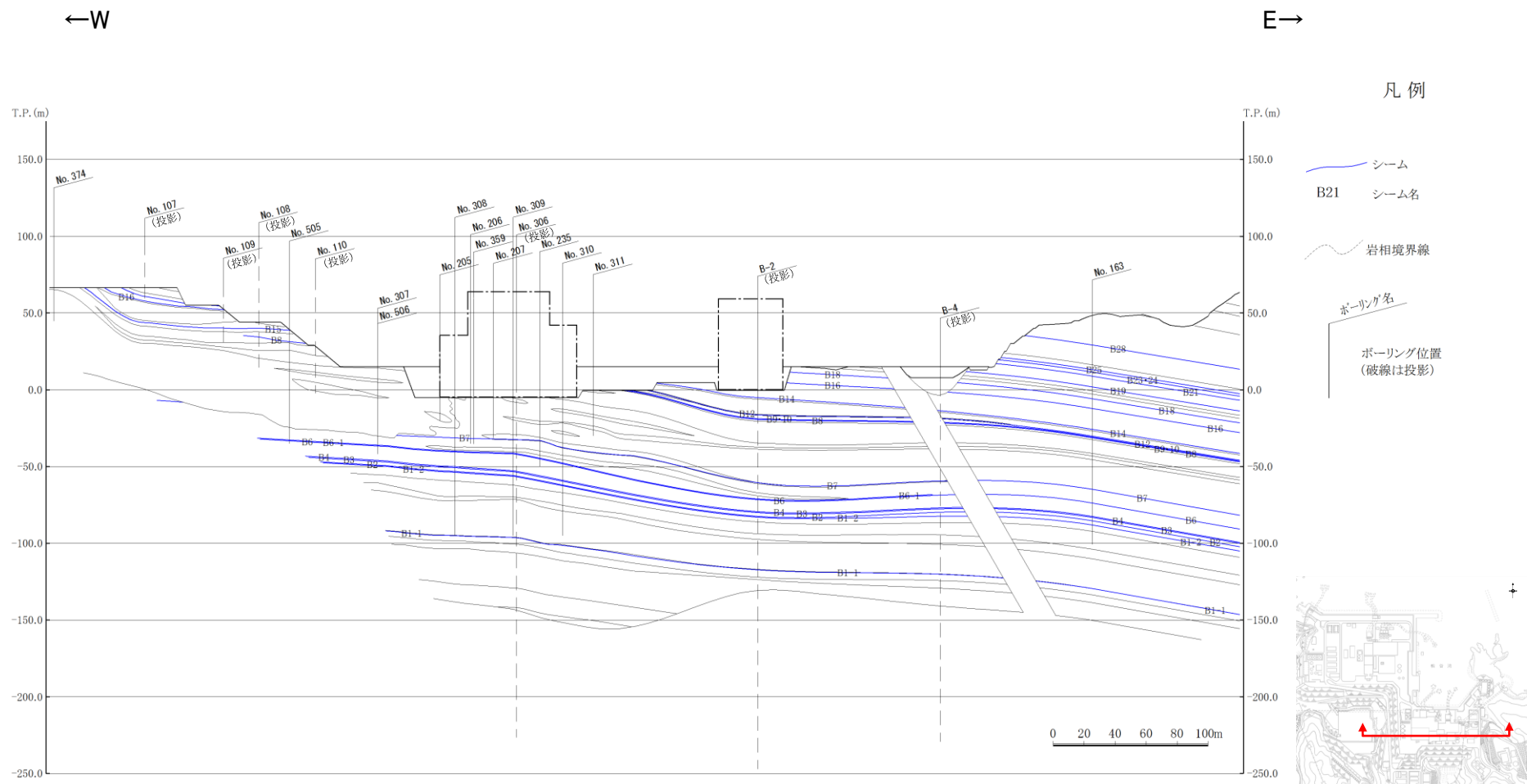
凡例

- シーム
- B21 シーム名
- 岩相境界線
- ボーリング名
- ボーリング位置 (破線は投影)

断面位置図

・シームは、地層の走向・傾斜と同一で、緩やかな北傾斜を示す。

2号炉原子炉建物(シーム分布鉛直断面図(東西))

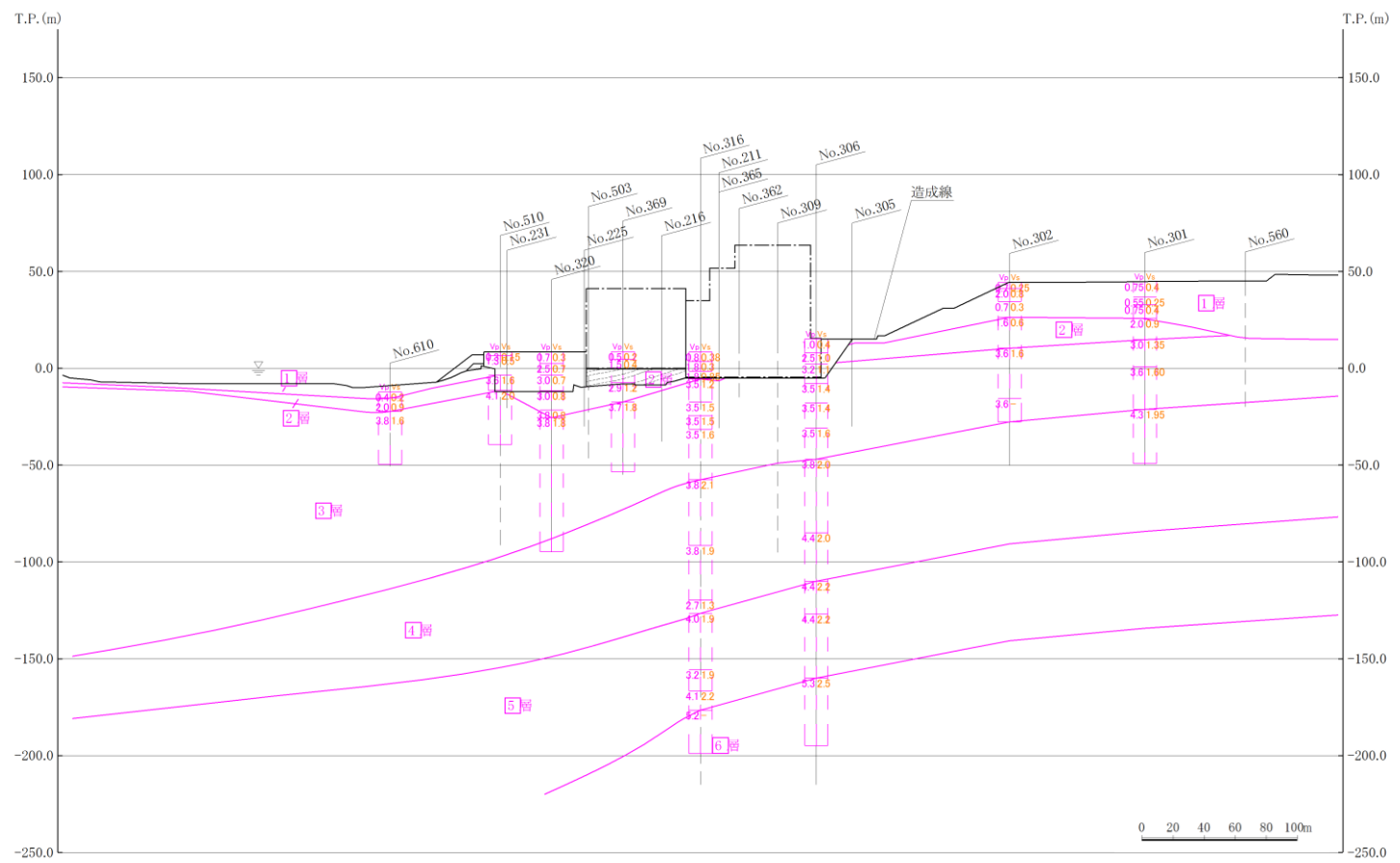


※シームは相当層準を示す。

・シームは、地層の走向・傾斜と同一で、ほぼ水平に分布する。

断面位置図

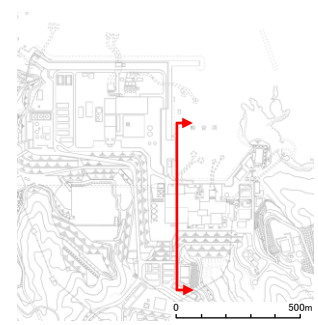
2号炉原子炉建物(速度層分布鉛直断面図(南北))



凡例

- 速度層境界線
- ボーリング名
- ボーリング位置 (破線は投影)
- 速度層柱状図(破線は投影)

V_p 速度値(km/sec) V_s 速度値(cm/sec)



断面位置図

・速度層構造はPS検層結果に基づいて6層に区分され、地質構造と同様に緩やかな傾斜を示す。

1. 地質の概要の補足

2号炉原子炉建物(速度層分布鉛直断面図(東西))

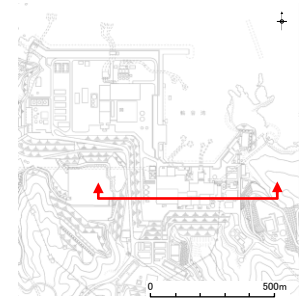
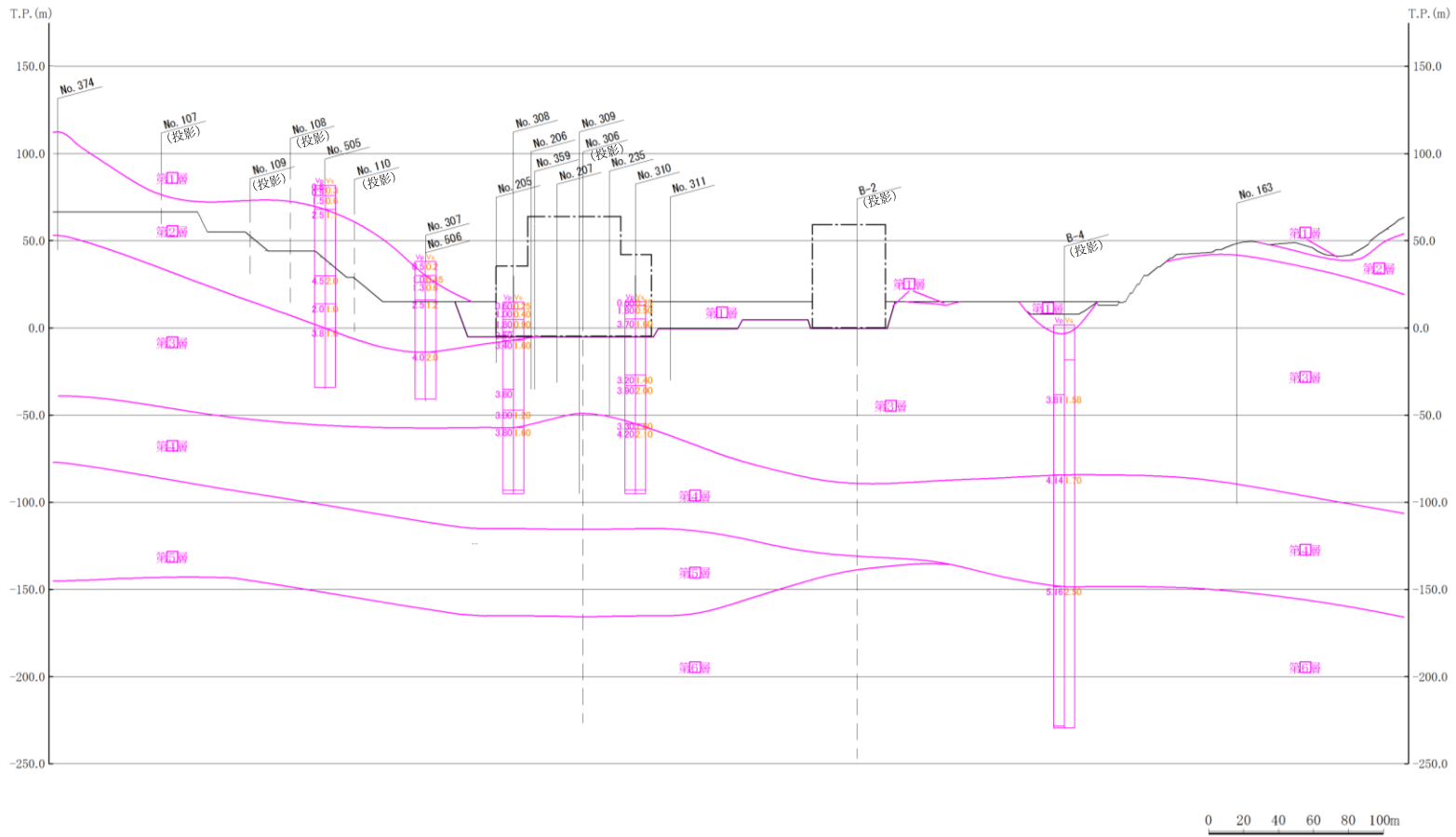
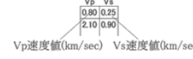
凡例

速度層境界線

ボーリング名

ボーリング位置
(破線は投影)

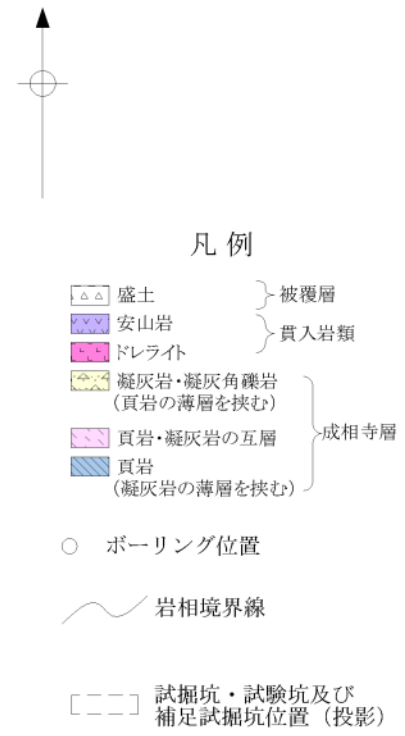
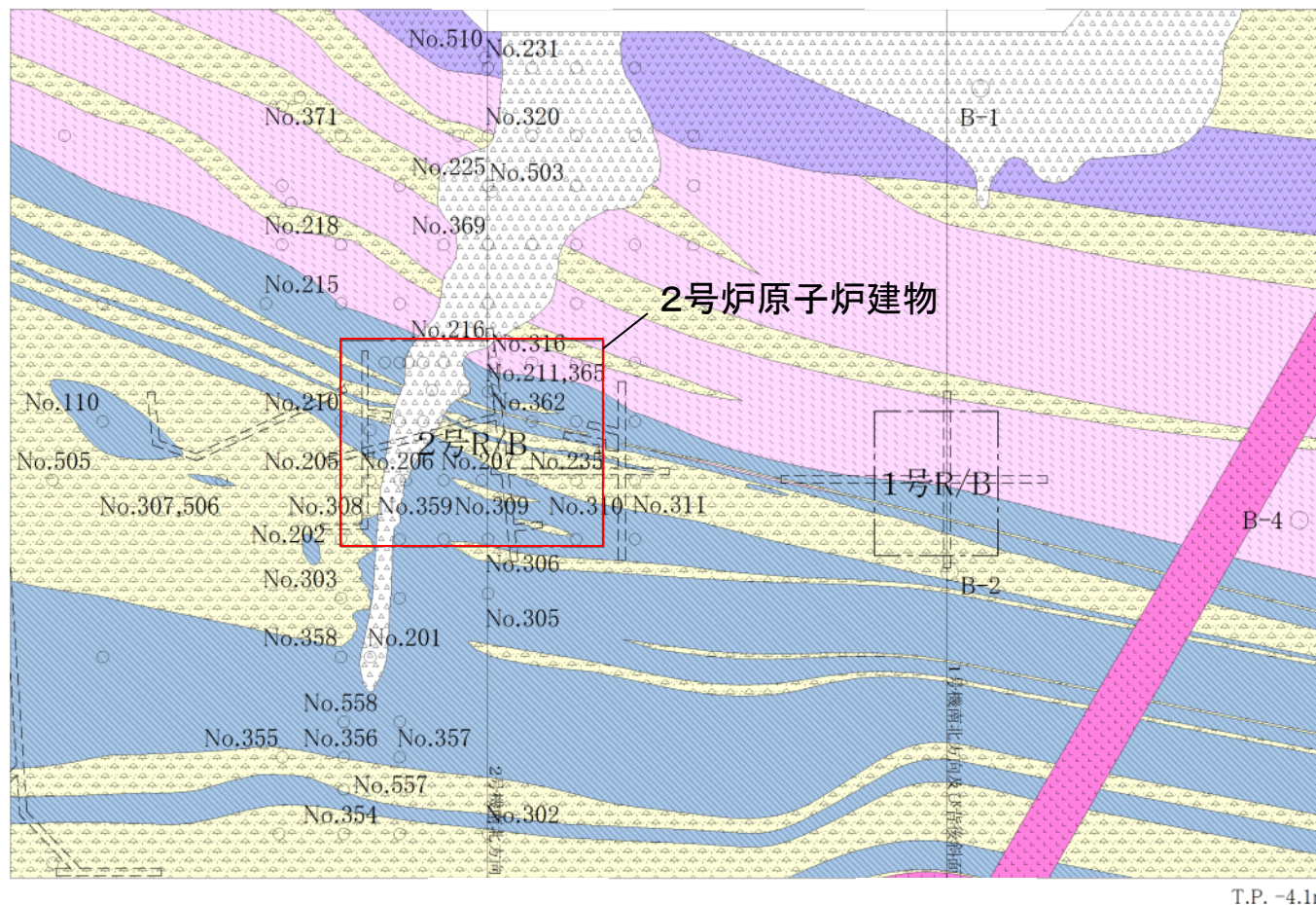
速度層柱状図(破線は投影)



断面位置図

・速度層構造はPS検層結果に基づいて6層に区分され、地質構造と同様に緩やかな傾斜を示す。

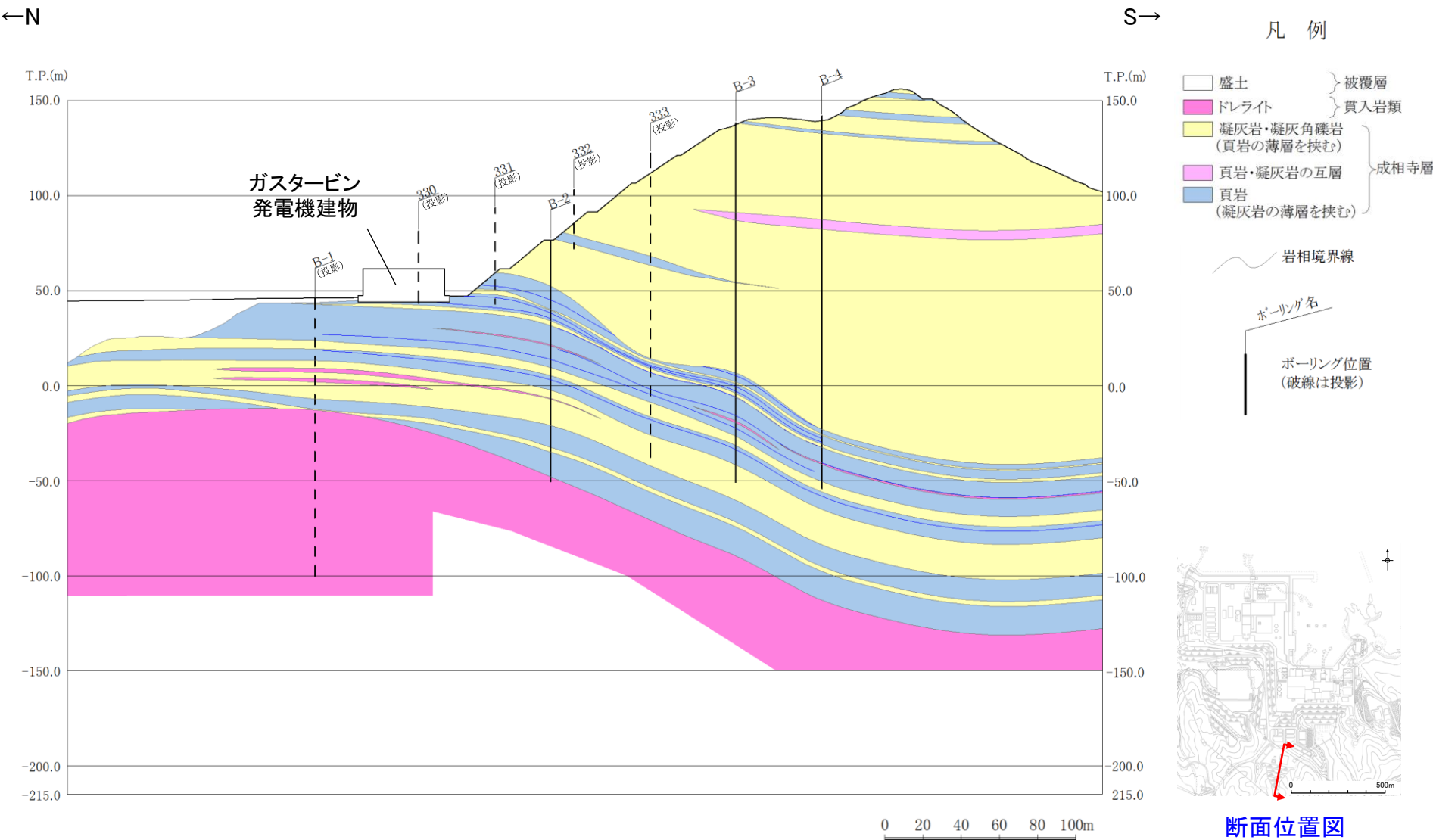
2号炉原子炉建物(底面スケッチ図)



下部頁岩部層

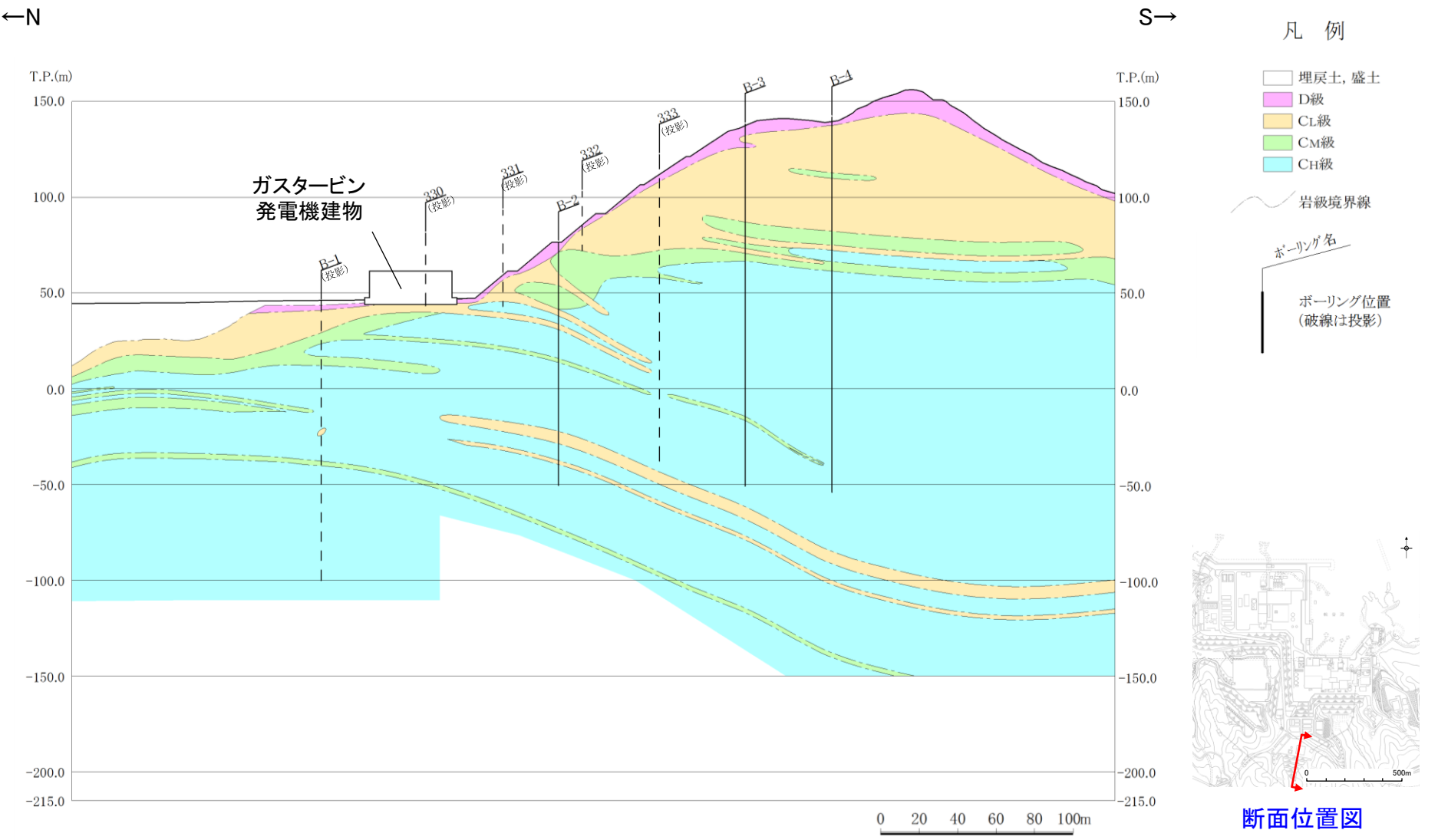
・成相寺層の構造は、概ね西北西－東南東の走向を示す。

ガスタービン発電機建物(地質鉛直断面図)



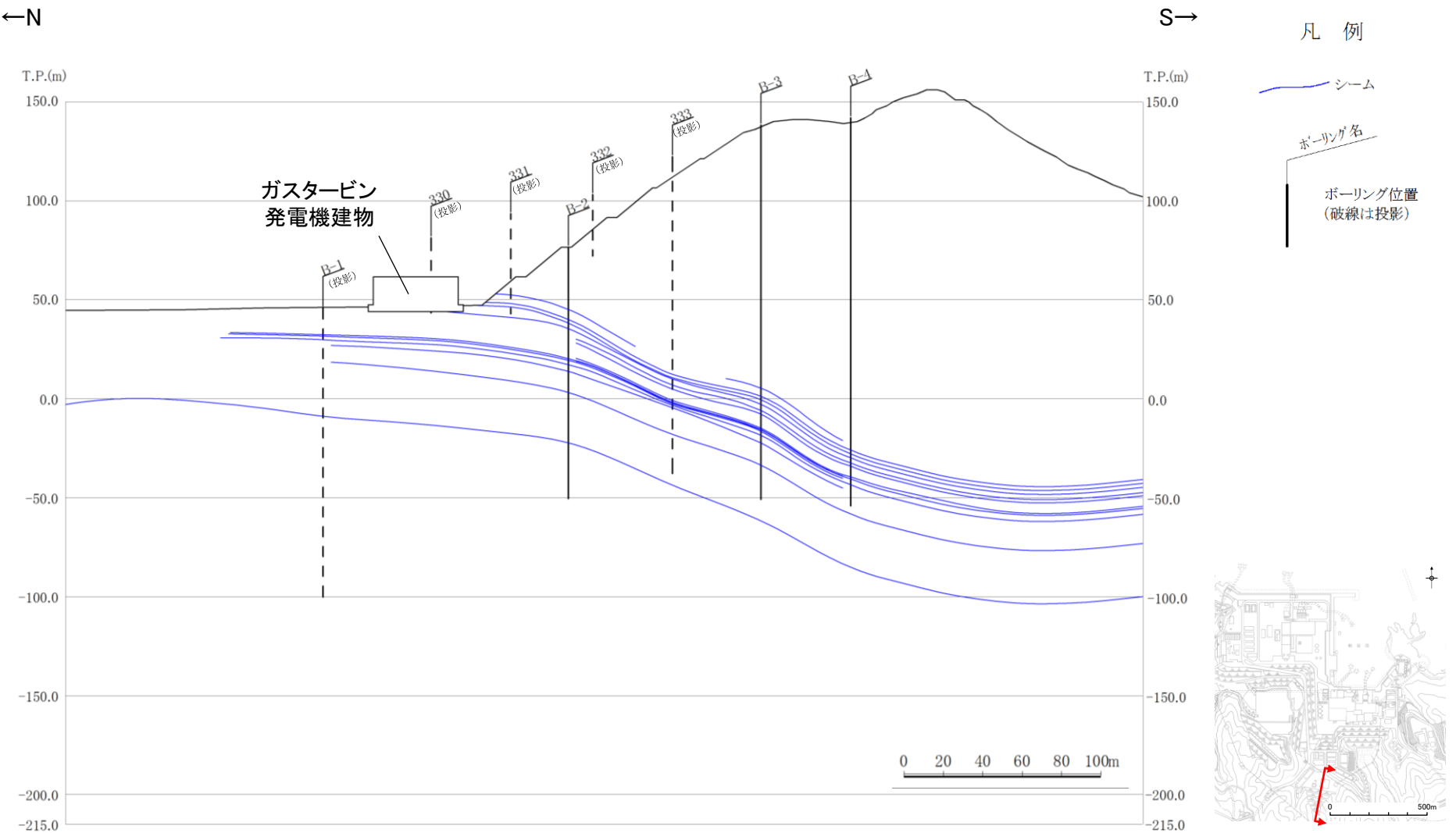
・ボーリング調査の結果, 連続する破碎部や断層がないことを確認した。

ガスタービン発電機建物(岩級鉛直断面図)



・ガスタービン発電機建物基礎地盤は主にC_L級岩盤から成り、切取斜面の浅部にはD・C_L級岩盤が分布する。

ガスタービン発電機建物(シーム分布鉛直断面図)



凡例

シーム

ボーリング名

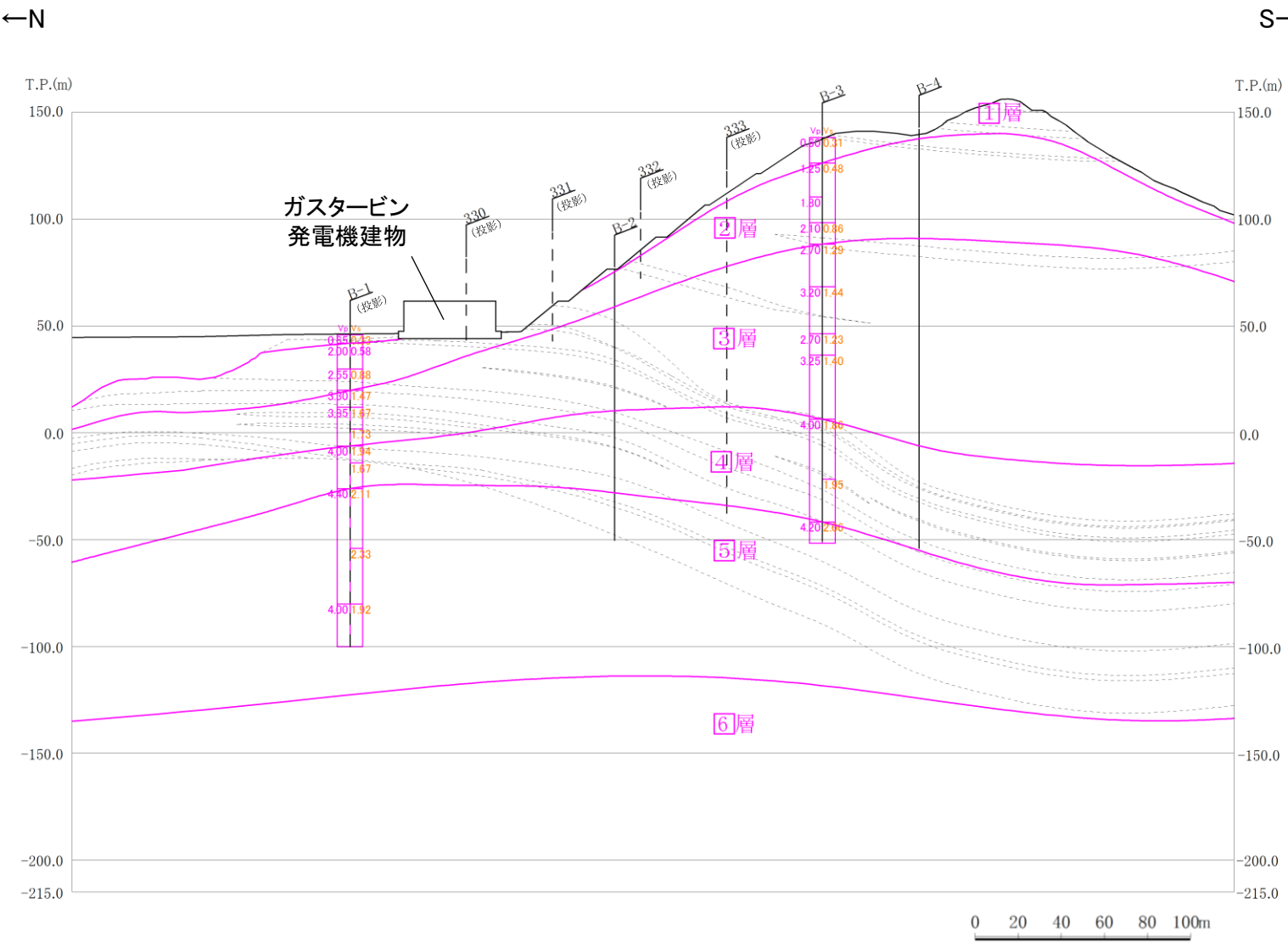
ボーリング位置
(破線は投影)

断面位置図

・シームは、地層の走向・傾斜と同一で、緩やかな傾斜を示す。

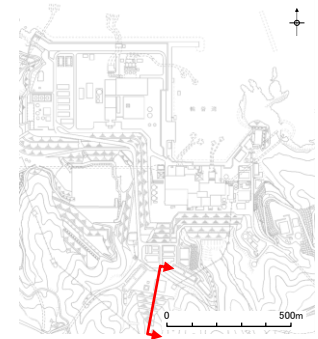
ガスタービン発電機建物(速度層鉛直断面図)

第910回審査会合
資料1-2 P15 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す



凡例

- 速度層境界線
 - ボーリング名
 - ボーリング位置 (破線は投影)
 - 速度層柱状図 (破線は投影)
- $\frac{V_p}{V_s}$
 $\frac{0.80}{2.10}$ (0.25)
 $\frac{0.80}{2.10}$ (0.38)
 $\frac{V_p}{V_s}$
 Vp速度値(km/sec) Vs速度値(km/sec)

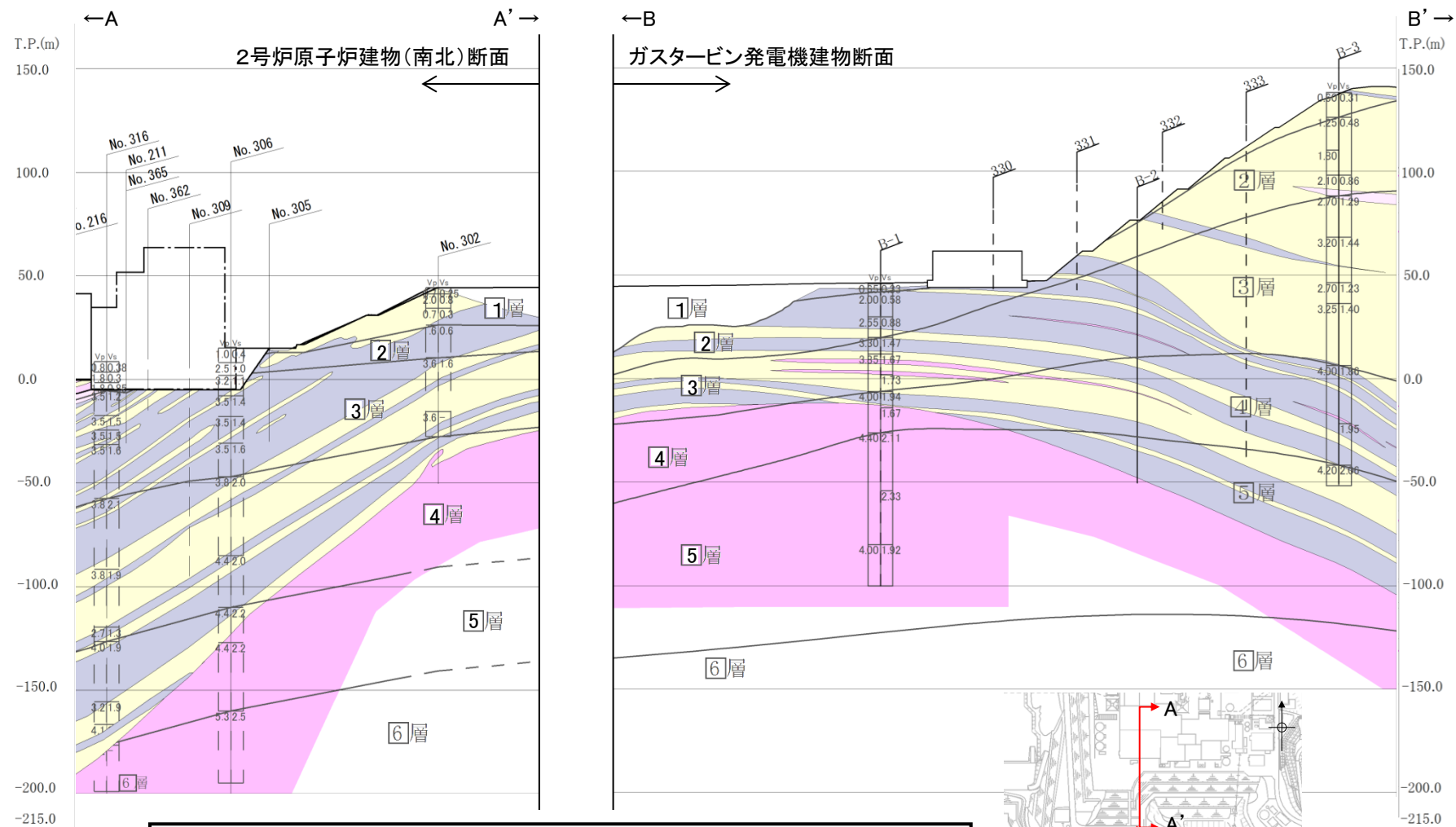


断面位置図

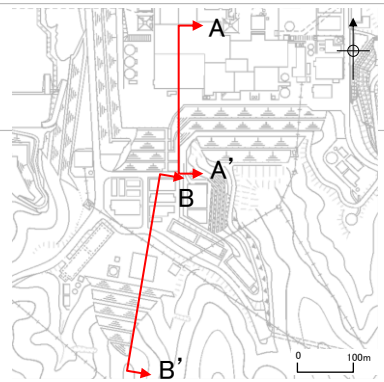
・速度層構造はPS検層結果に基づいて6層に区分され、地質構造と同様に緩やかな傾斜を示す。

1. 地質の概要の補足

(参考) 5 / 6 層の境界線について



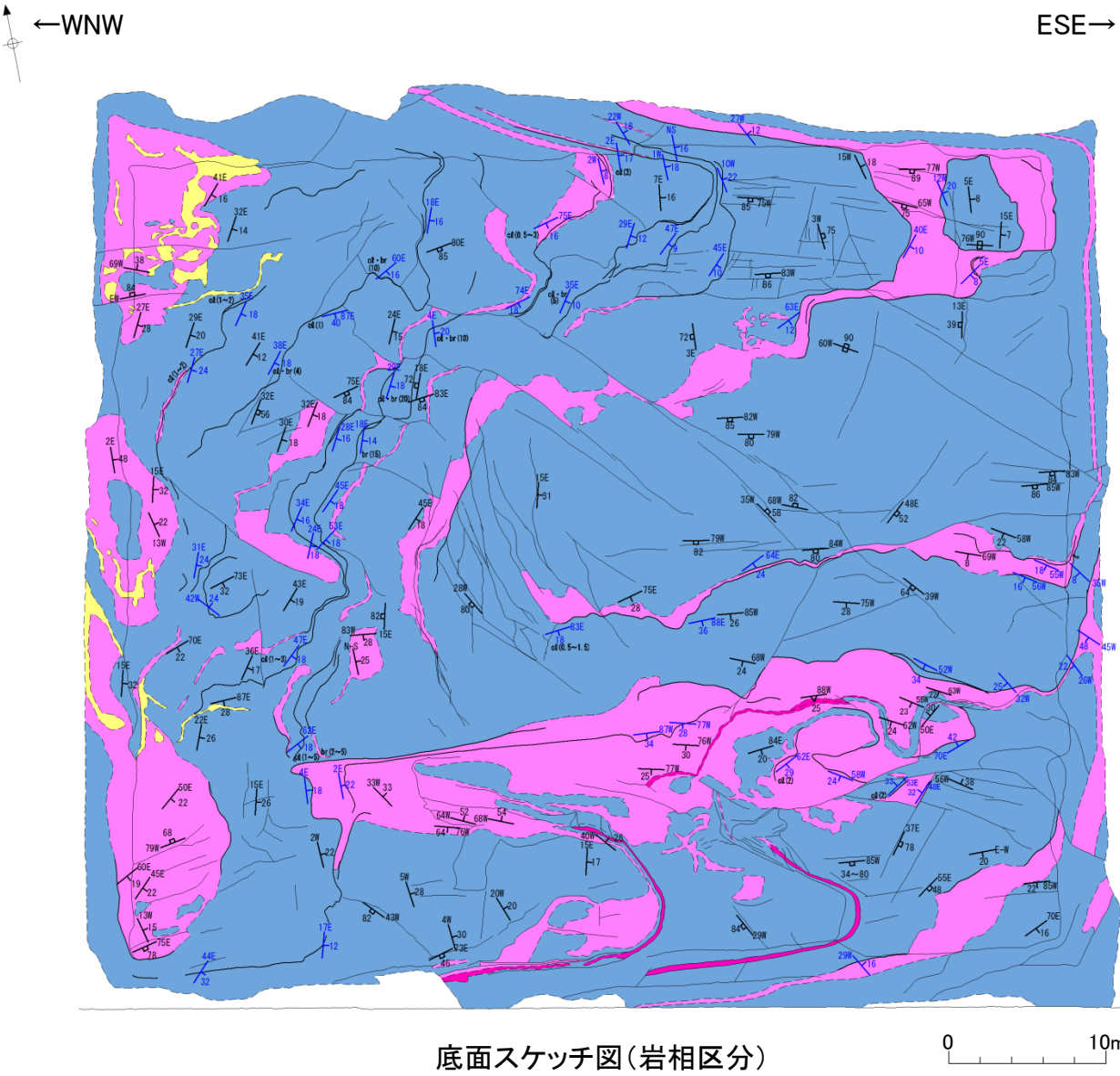
・ガスタービン発電機建物の第6層については、2号炉原子炉建物(南北)の速度層と整合するように、No.B-1のPS検層も踏まえて設定した。



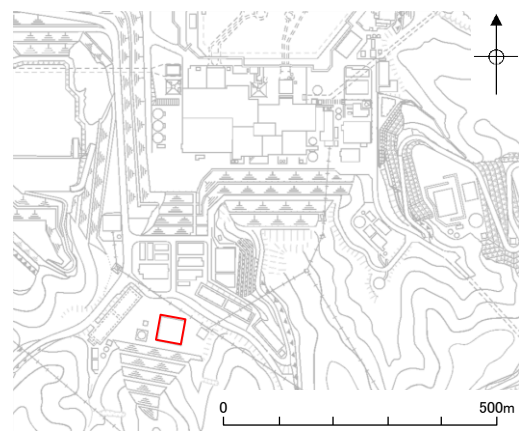
断面位置図

1. 地質の概要の補足

ガスタービン発電機建物(底面スケッチ図)



底面スケッチ図(岩相区分)



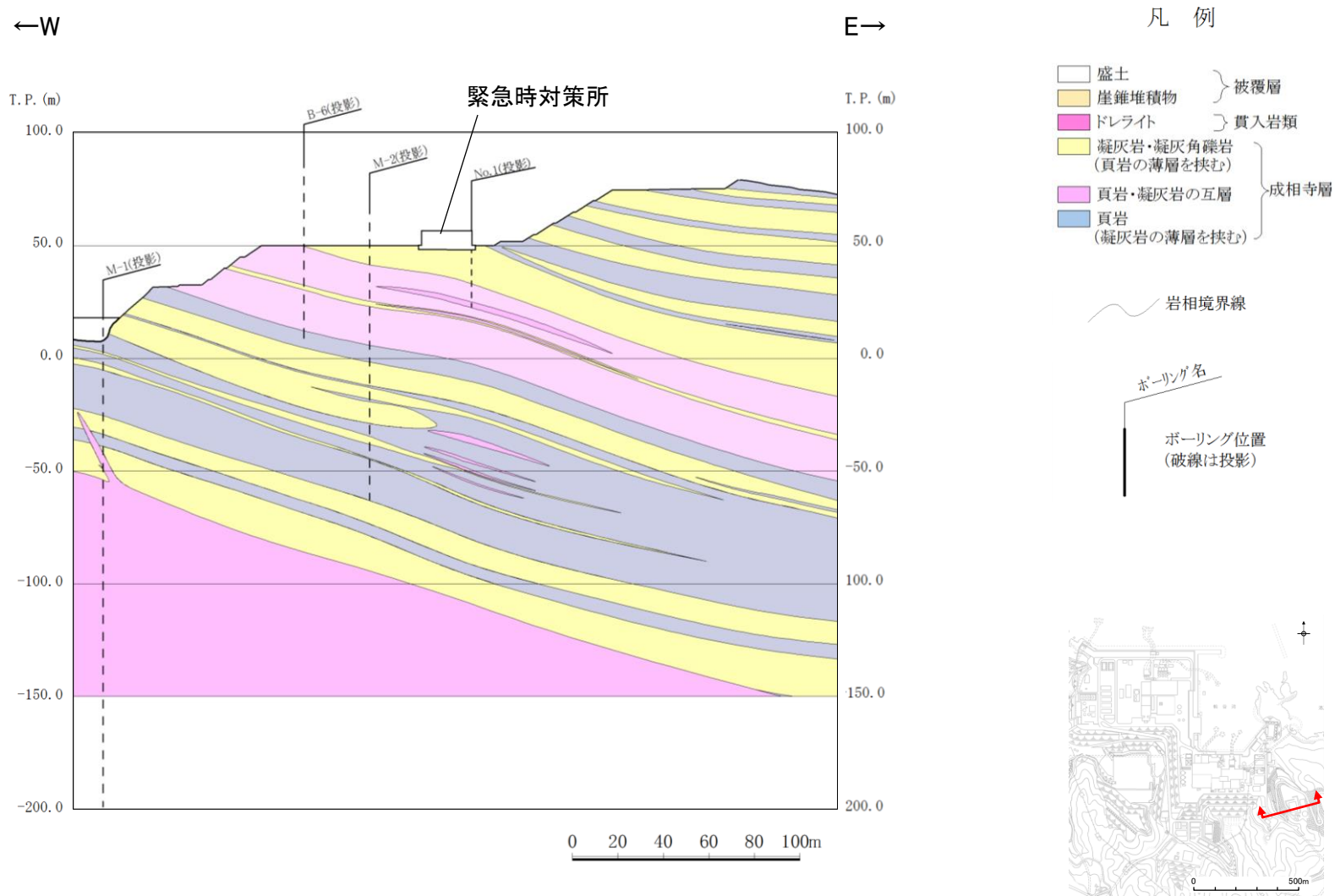
位置図

凡例

- ドレライト
- 黒色頁岩
- 凝灰質頁岩
- 凝灰岩
- 岩相境界
- 割れ目
- シーム
(数字はシームの厚さ)
(cl: 粘土化幅, br: 劣化幅)
- 層理面の走向・傾斜
- 貫入面の走向・傾斜
- 割れ目の走向・傾斜
- シームの走向・傾斜

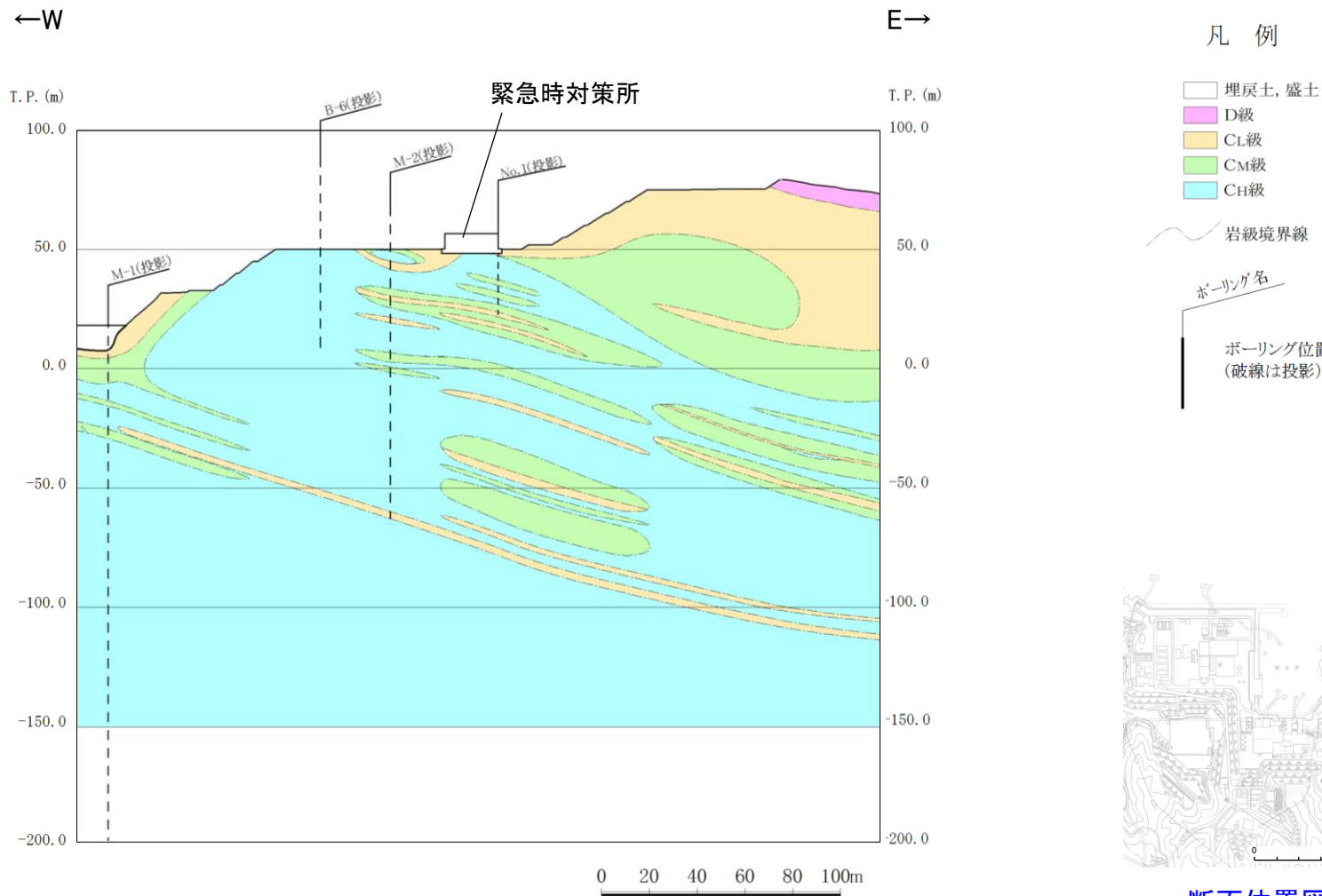
・ガスタービン発電機建物基礎底面スケッチの結果、連続する破碎部や断層がないことを確認した。

緊急時対策所(地質鉛直断面図)



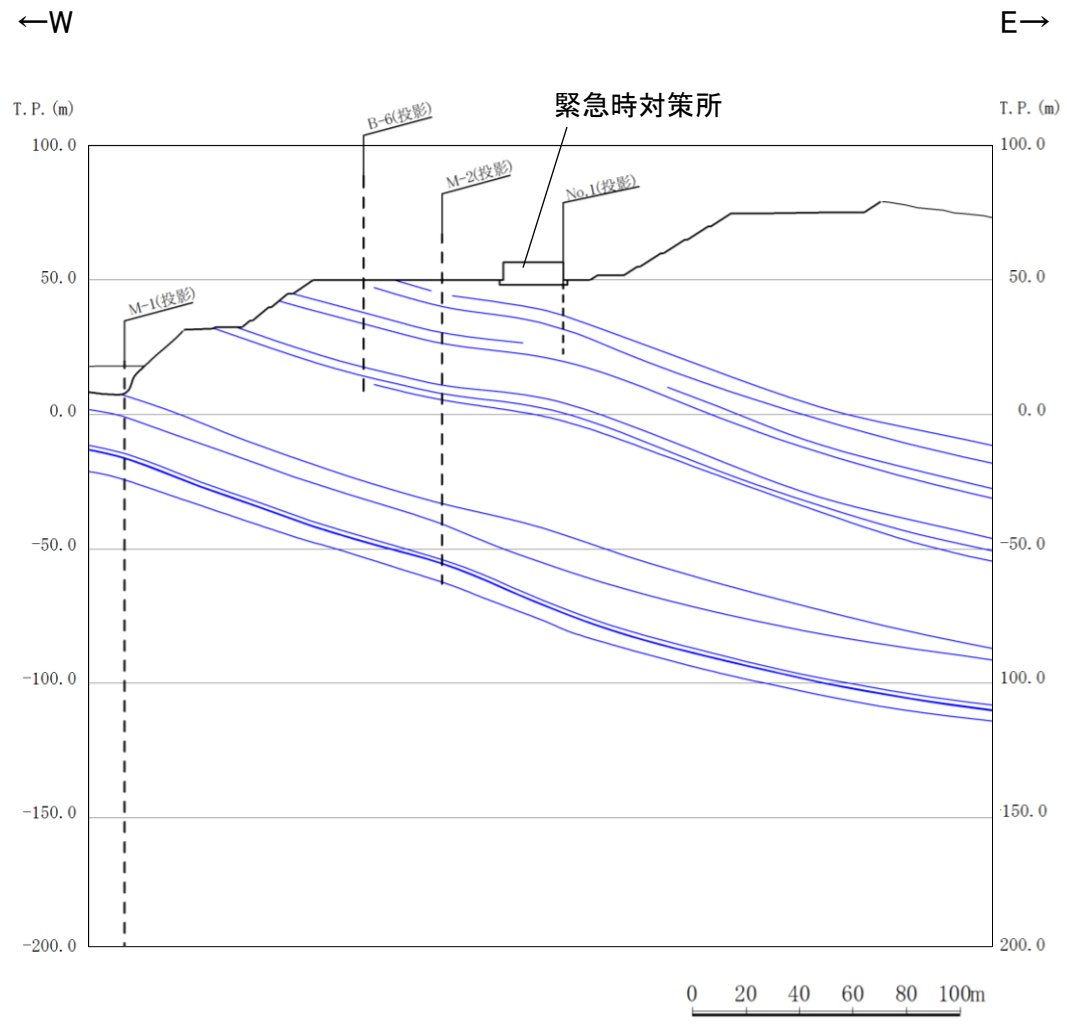
・ボーリング調査の結果, 連続する破砕部や断層がないことを確認した。

緊急時対策所(岩級鉛直断面図)



・緊急時対策所基礎地盤は主にC_H級岩盤から成り、切取斜面の浅部にはC_L級岩盤が分布する。

緊急時対策所(シーム分布鉛直断面図)

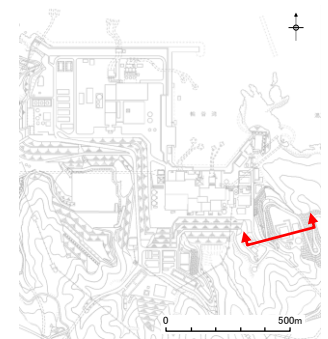


凡例

シーム

ボーリング名

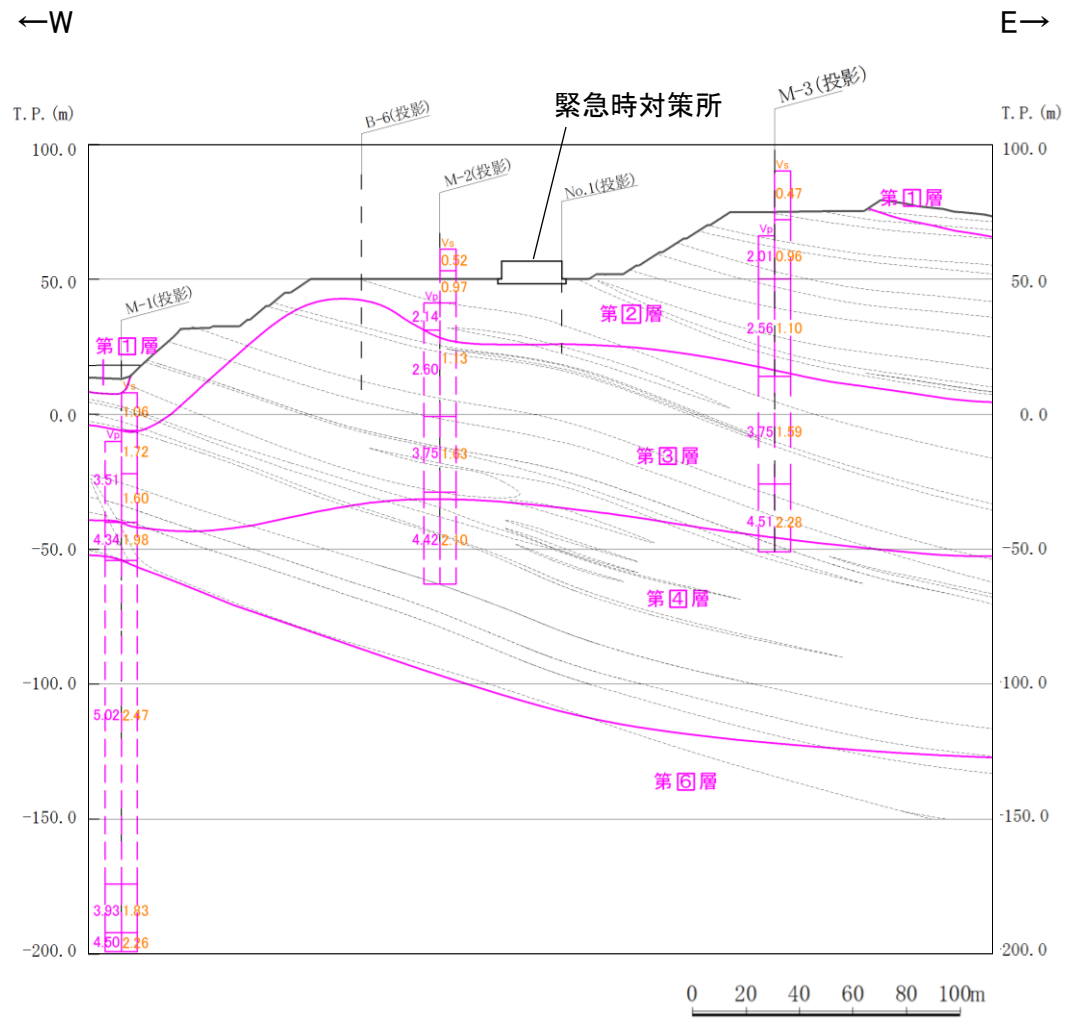
ボーリング位置
(破線は投影)



断面位置図

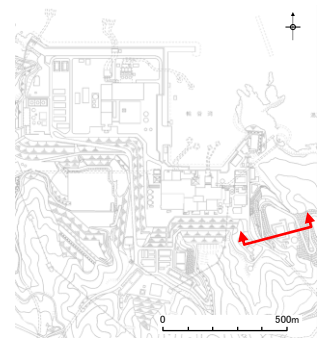
・シームは、地層の走向・傾斜と同一で、緩やかな傾斜を示す。

緊急時対策所(速度層鉛直断面図)



凡例

- 速度層境界線
- ボーリング名
- ボーリング位置 (破線は投影)
- 速度層柱状図 (破線は投影)



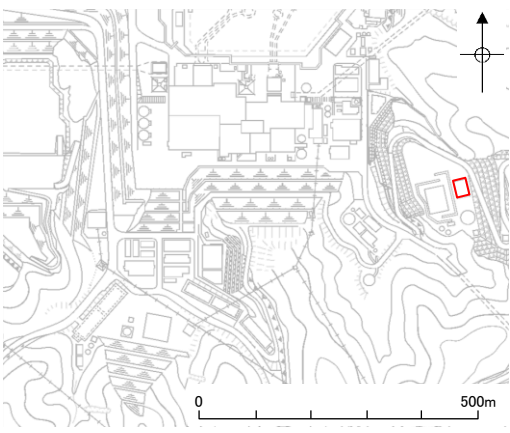
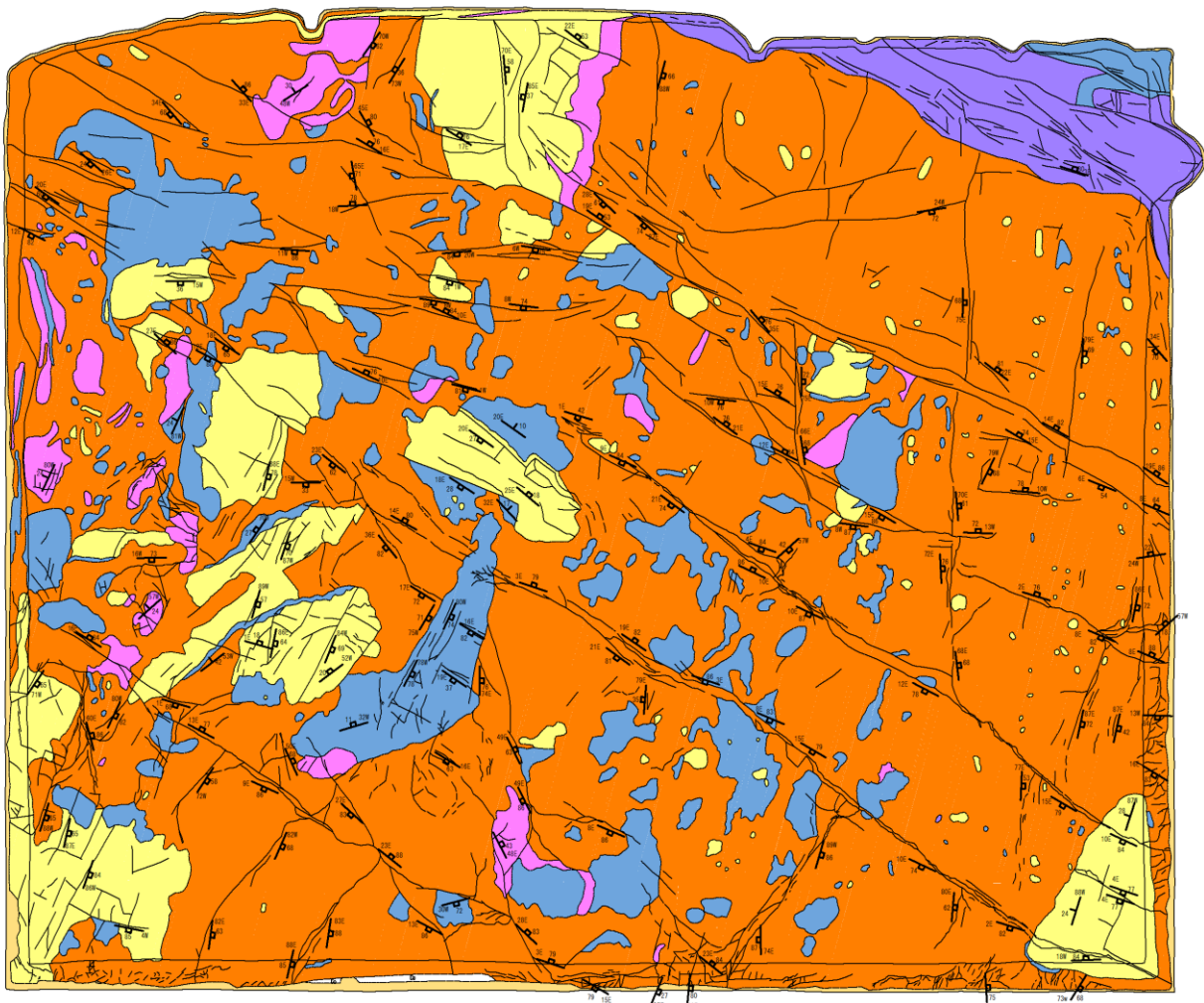
断面位置図

・速度層構造はPS検層結果に基づいて6層に区分され、地質構造と同様に緩やかな傾斜を示す。

緊急時対策所(底面スケッチ図)

←WSW

ENE→



位置図

凡例

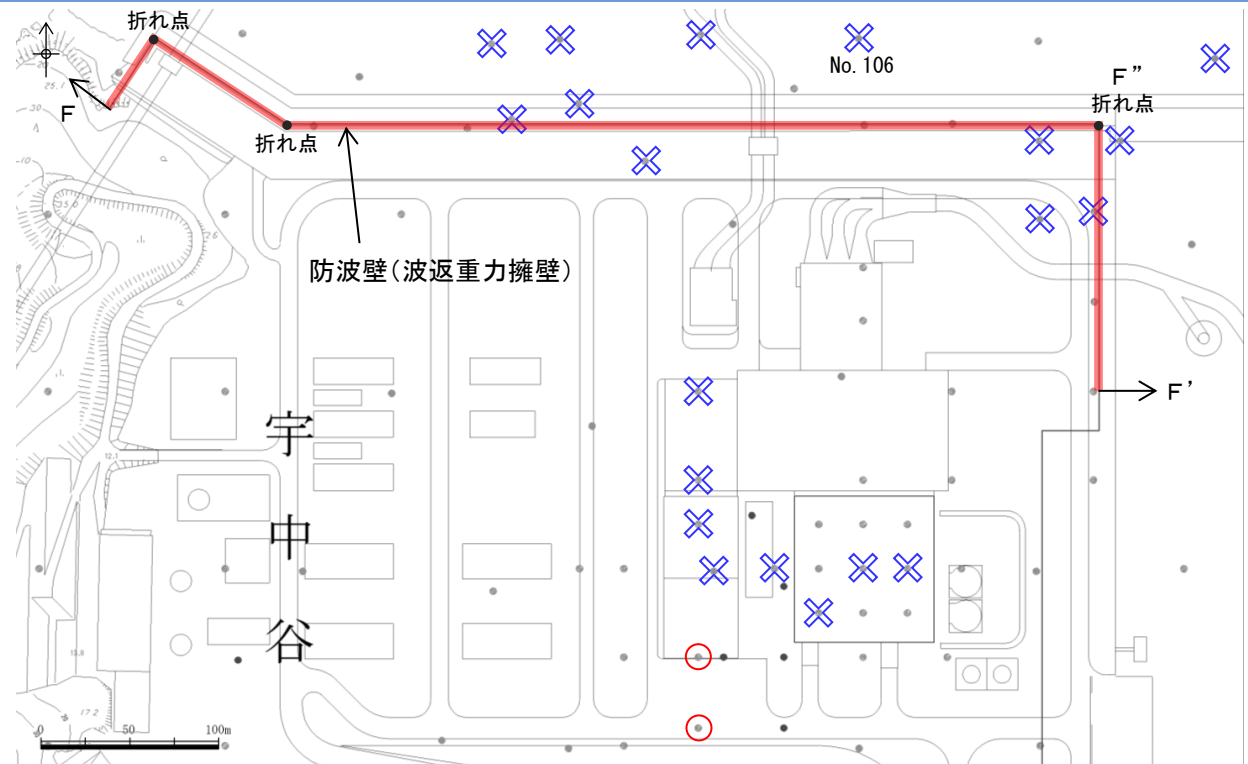
- 崖錐堆積物
- 安山岩
- 黑色頁岩
- 凝灰質頁岩
- 凝灰岩
- 凝灰角礫岩
- 岩相境界
- 割れ目
- 層理面の走向・傾斜
- 貫入面の走向・傾斜
- 割れ目の走向・傾斜

底面スケッチ図(岩相区分)

0 5m

・緊急時対策所基礎底面スケッチの結果、連続する破碎部や断層がないことを確認した。

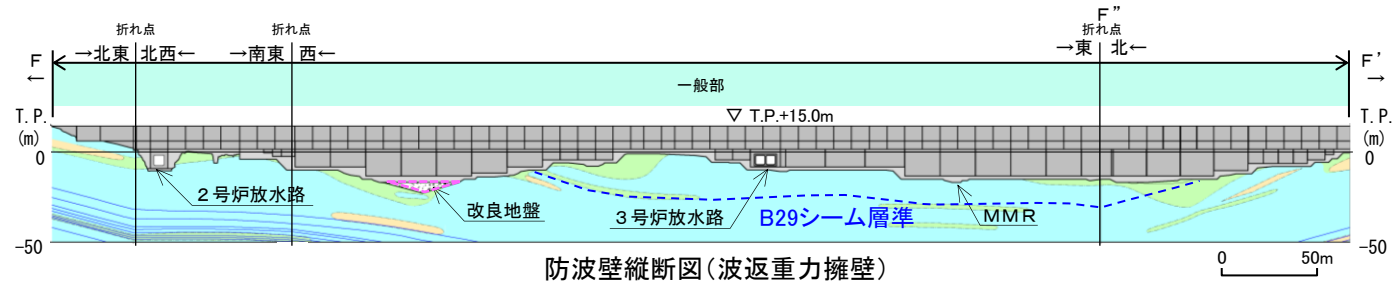
防波壁(波返重力擁壁)基礎地盤におけるB29シームの連続性について



凡例

- : シームあり
- × : シームなし
- : シーム層準欠如
もしくは未到達

防波壁(波返重力擁壁)周辺ボーリングにおけるB29シームの存否状況



凡例

- 改良地盤(砂礫層)
- C1級
- C2級
- C3級
- シーム
- シーム層準
- 岩級境界線

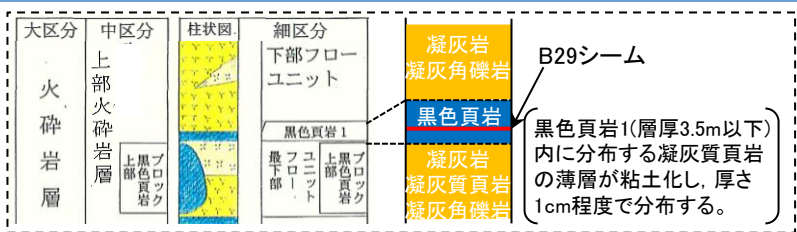
防波壁縦断図(波返重力擁壁)

※ 図中の [] については、地盤改良を実施しているが、元の砂礫層の分布を示すために、改良前の地質状況を示している。

・防波壁(波返重力擁壁)周辺のB29シームについては、防波壁(東端部)の斜面と同様に、複数のボーリングにより連続しないことを確認している。

1. 地質の概要の補足

ボーリングコア観察結果例 (No.106)



模式柱状図・模式岩相

孔口標高		T.P. -15.13 m		掘進長		85.50 m		調査期間		1995年 8月 6日 ~ 1995年 8月 18日		試錐機械		D2-G		
角度		—		方向		—		孔内水位		—		孔内試験項目		孔内水平載荷試験・PS試験		
標尺 (m)	深度 (m)	標高 T.P. (m)	層厚 (m)	柱状図	地質種別	色調	岩級区分	コア形状	割れ目状態	風化程度	コア採取率 (%)	最大コア長 (cm)	R Q D (%)	孔径 ビット	孔内試験項目 深度 (m)	記 事
0							C ₁₁		α					φ.65mm ダイヤグラ		
6											100	58	100			
7											100	71	98			
8											100	66	100			
9											100	59	73			
20											100	78	100			
1											100	85	100			
2	22.66	-27.19	11.89		火山礫凝灰岩	帯緑凝灰					100	100	100			
3	22.61	-27.76	0.57		黒色頁岩	黒灰					100	34	91			所々に凝灰質頁岩の層厚10°程度に存在する。21.4m付近に方位角10mmの地層のズレを伴う面無断層が認められる。断層が10°に発達する層状岩層である。
4	22.61	-28.14	0.40		黒色頁岩	黒灰					100	38	100			全体に割れ目の少ない良好な岩層である。隙は6~20mm程度で、10°程度の底角で配列した扁平なものが多い。一部に層を多く含む部分とはほとんど含まない部分が互層状をなす。25.24~25.33m間、26.01~26.14m間および27.56~28.27m間は不規則な形状の黒色頁岩を挟む。
5											100	100	100			
6											100	77	96			

B29シーム層準に粘土の記載なし

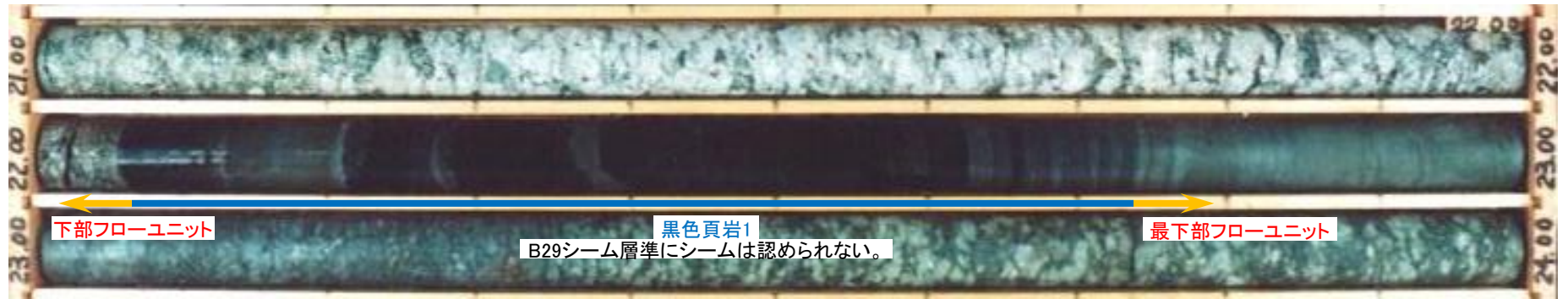
下部フローユニット

黒色頁岩1

最下部フローユニット

コア写真範囲

No.106 柱状図



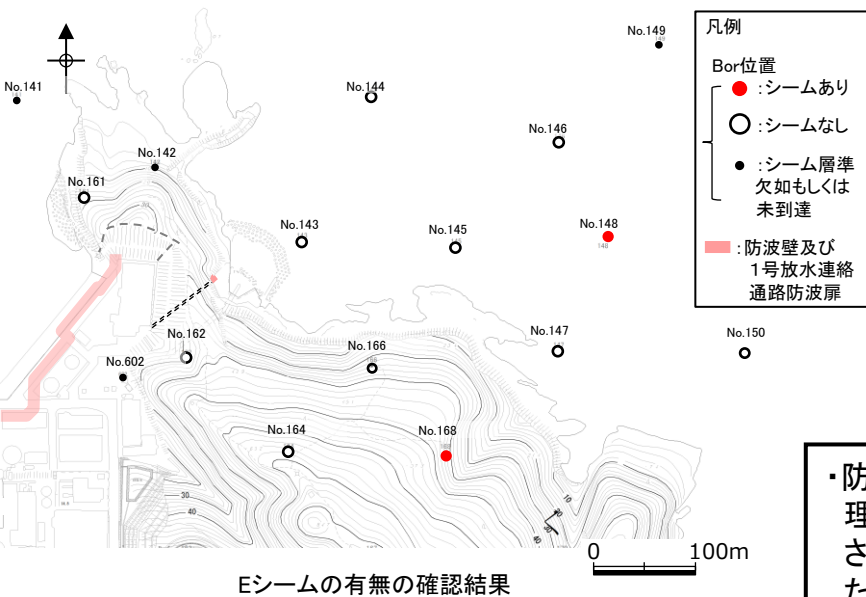
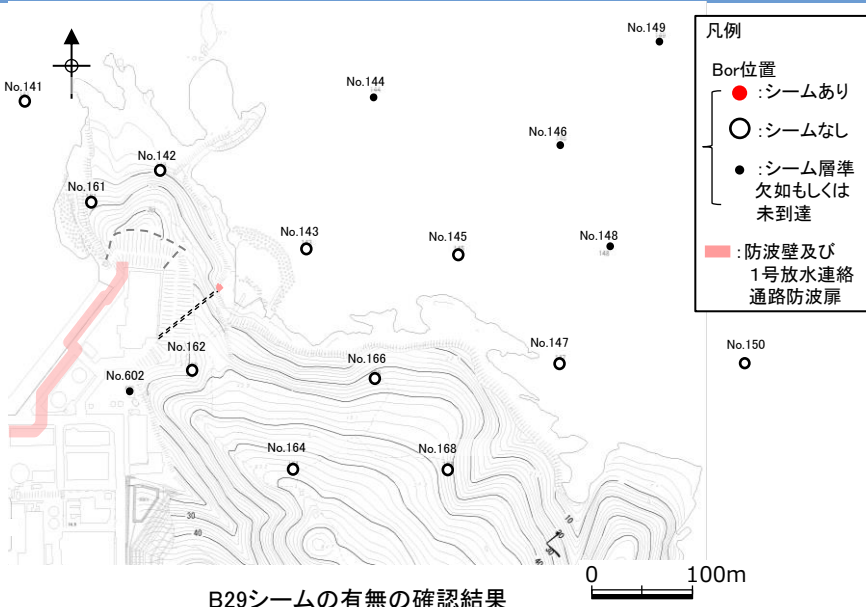
No.106 コア写真

・ボーリングコアを観察した結果、B29シーム層準である黒色頁岩1内には、シームの特徴を有する粘土は認められない。

B29シーム及びEシームの連続性検討結果(防波壁(東端部)の斜面)

Eシーム及びB29シームの連続性確認結果 一覧表

Bor.No	B29シームの有無	Eシームの有無
141	×	層準未到達
142	×	層準欠如
143	×	×
144	層準未到達	×
145	×	×
146	層準未到達	×
147	×	×
148	層準未到達	○
149	層準未到達	層準未到達
150	×	×
161	×	×
162	×	×
164	×	×
166	×	×
168	×	○
602	層準未到達	層準未到達



○ : シーム有り

× : シーム無し

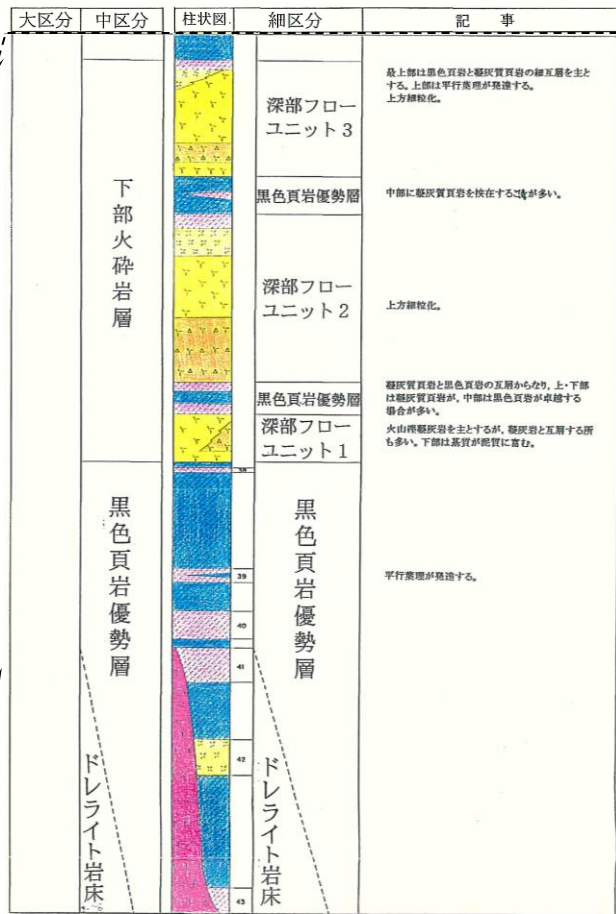
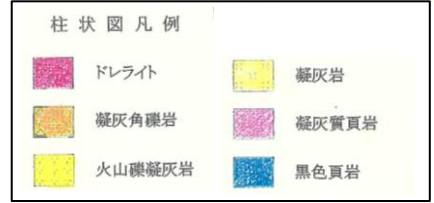
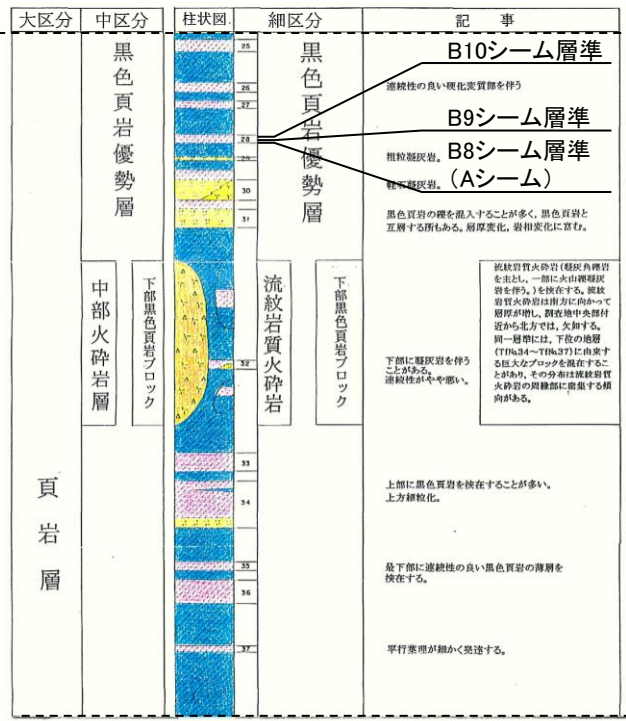
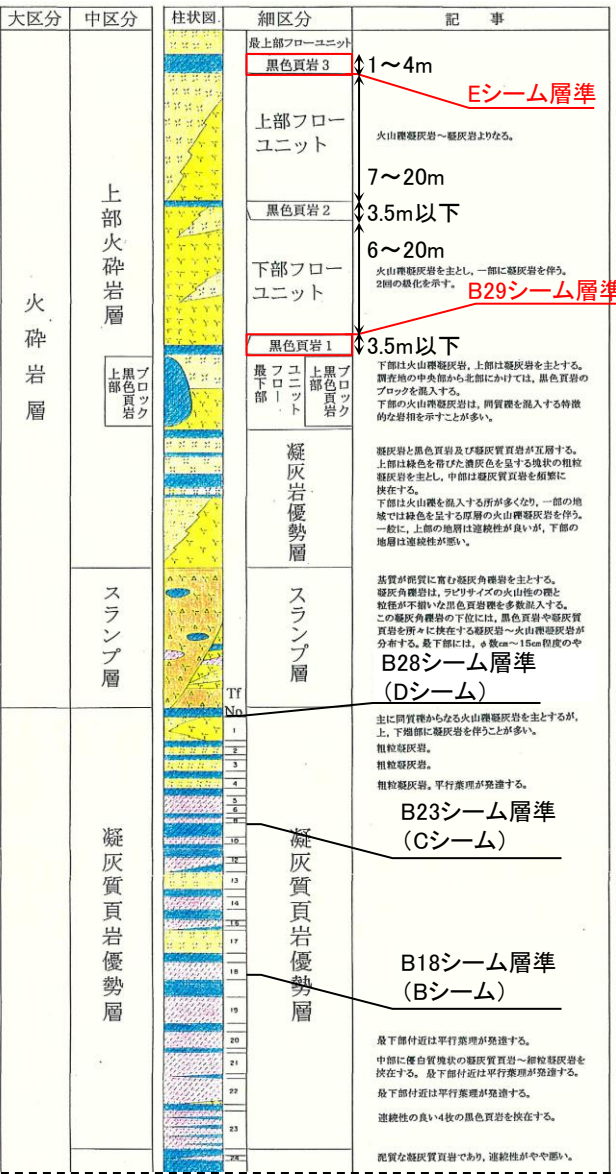
層準未到達 : 掘進範囲にシーム層準なし

層準欠如 : 貫入岩の貫入や該当層準の削剥により層準未確認

・防波壁(東端部)の斜面におけるB29シーム及びEシームの確認孔数を整理した結果、B29シームが確認されたボーリング孔はなく、Eシームが確認されたボーリング孔は2箇所のみであることから、当該斜面に連続しないため、安定性評価において、モデル化は行わないこととした。

1. 地質の概要の補足

B29シーム及びEシームの連続性検討方法

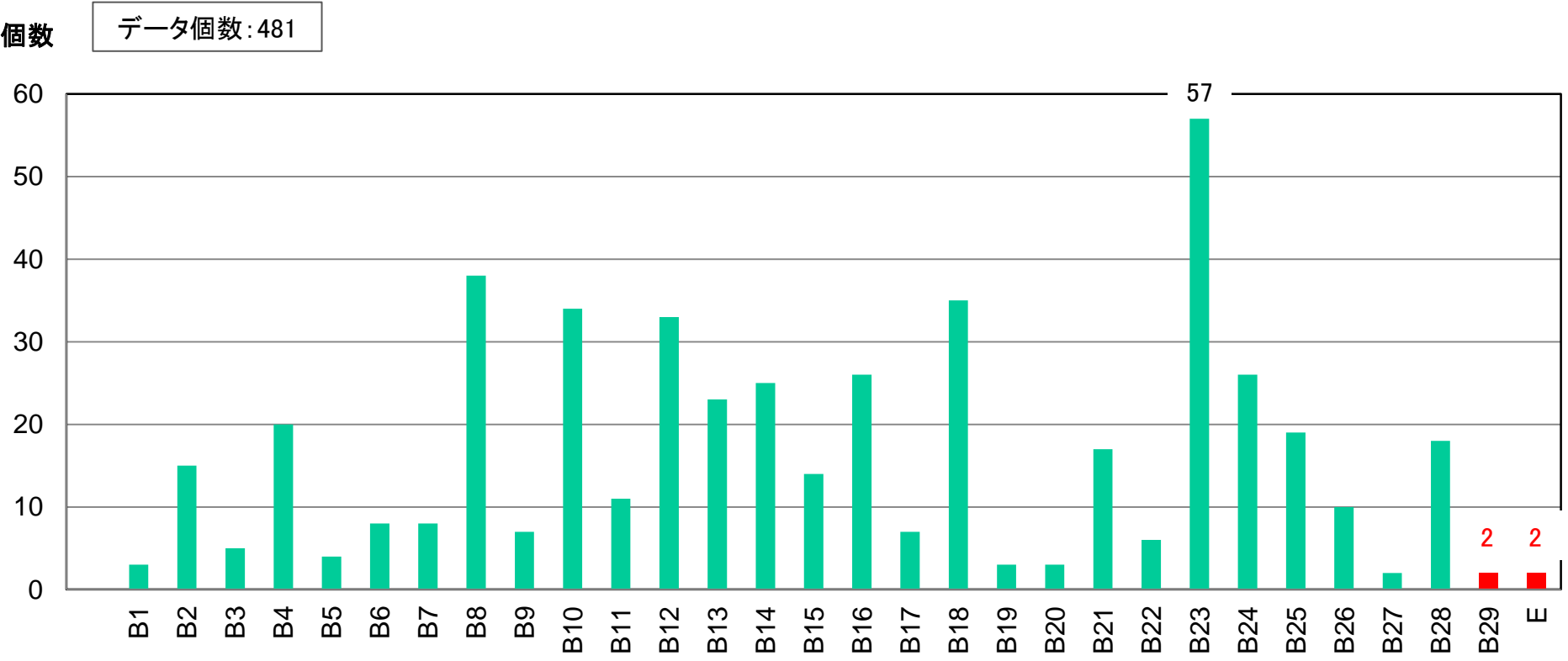


敷地の地質構造を表す模式柱状図

B29シーム及びEシームは以下の層準に分布していることから、柱状図・コア写真に基づき、シームの存否を確認した。

- ・B29シーム: 黒色頁岩1(層厚3.5m以下)内に分布する凝灰質頁岩の薄層が粘土化。厚さ1cm程度。
- ・Eシーム: 黒色頁岩3(層厚1~4m)内に分布する凝灰質頁岩の薄層が粘土化。厚さ2cm程度。

B29シーム及びEシームの連続性検討結果(敷地全体)



ボーリング調査におけるシームの箇所数の整理

・3号炉及び防波壁(東端部)の地質調査結果を踏まえ、敷地全体で連続性が確認された全シームの確認孔数を整理した結果、B29シーム及びEシームが確認されたのは各2箇所のみであり、他のシームに比べて連続性に乏しい。

2. 解析用物性値の設定方法

2.1 物理特性

2.1 密度試験結果

		密度試験結果 (g/cm ³)		
		C _H 級	C _M 級	C _L 級
岩盤 (成相寺層)	頁岩	2.57	2.52	2.44
	頁岩と凝灰岩の互層	2.56	2.49	2.33
	凝灰岩・凝灰角礫岩	2.51	2.44	2.30
	ドレライト	2.78	2.60	2.53
	安山岩	2.68	2.68	2.59
土質材料	D級岩盤	2.28		
	シーム	2.23		
	埋戻土, 盛土※1, 5	2.11		
	埋戻土(購入土)※2	2.01		
	旧表土※3	2.00		
	MMR※4	2.35		

※1「海底堆積物, 崖錐堆積物」は, 主要構成地質(礫混り砂質土・礫混り粘性土)が盛土と同じであること, 及び評価対象の基礎地盤及び周辺斜面に対して地震時安定性への影響が軽微であることから, 「埋戻土・盛土」の値を流用。

※2「埋戻土(購入土)」は, 加工砂(主に花崗岩の砕砂)であり, ガスタービン発電機建物周りの埋戻土のみに使用。

※3「旧表土」は, 2号炉南側盛土斜面のみに使用。

※4「MMR」は, 1・2号炉タービン建物直下のみに使用。

※5 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の「改良地盤(砂礫層)」は, 施設の変形抑制等に寄与する設計であるため, すべり安定性評価においては保守的に改良前の「埋戻土・盛土」の値を流用。

・各種岩盤・土質材料の密度については, ボーリング孔及び試掘坑内から採取した試料を対象とした密度試験結果により設定した。

2. 解析用物性値の設定方法

2. 2 強度特性

強度特性設定方法一覧表(平均強度)

岩種・岩級		強度特性(平均強度)	
		ピーク強度	残留強度
頁岩	C _H 級	ブロックせん断試験結果 (流れ目方向)	摩擦抵抗試験結果 (流れ目方向)
	C _M 級		試験値のa値またはb値が上位岩級を上回るため、 ・上位岩級で設定した平均強度 ・同岩級内の最小値 の、a値、b値をそれぞれ小方採用した。
	C _L 級		
頁岩と凝灰岩 の互層	C _H 級	頁岩、凝灰岩 のブロックせん断試験結果 (τ_0 , ϕ をそれぞれ小方採用)	頁岩、凝灰岩の摩擦抵抗試験結果 (a値、b値をそれぞれ小方採用)
	C _M 級		試験値のa値またはb値が上位岩級を上回るため、 ・上位岩級で設定した平均強度 ・同岩級内の最小値 の、a値、b値をそれぞれ小方採用した。
	C _L 級		
凝灰岩・ 凝灰角礫岩	C _H 級	凝灰岩、凝灰角礫岩 のブロックせん断試験結果 (τ_0 , ϕ をそれぞれ小方採用)	凝灰岩、凝灰角礫岩の摩擦抵抗試験結果 (a値、b値をそれぞれ小方採用)
	C _M 級		試験値のa値またはb値が上位岩級を上回るため、 ・上位岩級で設定した平均強度 ・同岩級内の最小値 の、a値、b値をそれぞれ小方採用した。
	C _L 級		

- : 試験値をそのまま採用し、平均強度を設定
- : 二岩種の試験値を組み合わせて、保守的に平均強度を設定【下方修正なし 設定方法①P41, 42】
- : 二岩種の試験値を組み合わせて、保守的に平均強度を設定【上位岩級を上回るため下方修正 設定方法②P43】

強度特性設定方法一覧表(ばらつきを考慮した強度)

岩種・岩級		強度特性(ばらつきを考慮した強度)	
		ピーク強度	残留強度
頁岩	C _H 級	既に安全側にばらつきが考慮されている 【流れ目方向に載荷した試験値を採用】	ばらつきを考慮し、平均-1σによる低減
	C _M 級		既に安全側にばらつきが考慮されている 【平均強度が試験値の下限を示す】
	C _L 級		
頁岩と凝灰岩 の互層	C _H 級	既に安全側にばらつきが考慮されている 【流れ目方向に載荷した試験値を採用】	ばらつきを考慮し、平均-1σによる低減
	C _M 級		既に安全側にばらつきが考慮されている 【平均強度が試験値の下限を示す】
	C _L 級	既に安全側にばらつきが考慮されている 【平均強度が試験値の下限を示す】	
凝灰岩・ 凝灰角礫岩	C _H 級	ばらつきを考慮し、平均-1σによる低減	ばらつきを考慮し、平均-1σによる低減
	C _M 級		既に安全側にばらつきが考慮されている 【平均強度が試験値の下限を示す】
	C _L 級	既に安全側にばらつきが考慮されている 【平均強度が試験値の下限を示す】	

:ばらつきを考慮し、平均-1σによる低減

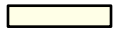
:既に安全側にばらつきが考慮されている【流れ目方向に載荷した試験値を採用している場合
【平均強度が試験値の下限を示す場合

設定方法③P44】

設定方法④P45, 46】

強度特性設定方法一覧表(平均強度)

岩種・岩級		強度特性(平均強度)	
		ピーク強度	残留強度
ドレライト	C _H 級	三軸圧縮試験結果より τ_0 : 凝灰岩 ϕ : 頁岩 の値を用いて換算	三軸圧縮試験結果より a値 : 凝灰岩の値を用いて換算 b値 : C _H 級の最小値 を採用
	C _M 級	C _H 級で設定した強度 τ_0 : 凝灰岩・凝灰角礫岩 ϕ : 頁岩 の値を用いて換算	C _H 級で設定した強度 a値 : 頁岩の値を用いて換算 b値 : 全岩級の最小値 を採用
	C _L 級		
安山岩	C _H 級	ドレライトと同値	ドレライトと同値
	C _M 級		
	C _L 級		

 : 他の岩種の物性値に基づき設定 【設定方法⑤P49～52】

強度特性設定方法一覧表(ばらつきを考慮した強度)

岩種・岩級		強度特性(ばらつきを考慮した強度)	
		ピーク強度	残留強度
ドレライト	C _H 級	ばらつきを考慮し、平均-1σによる低減	ばらつきを考慮し、平均-1σによる低減
	C _M 級		
	C _L 級		
安山岩	C _H 級	ばらつきを考慮し、平均-1σによる低減	ばらつきを考慮し、平均-1σによる低減
	C _M 級		
	C _L 級		

 :ばらつきを考慮し、平均-1σによる低減

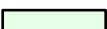

頁岩の強度特性

- ・頁岩の強度特性を以下に示す。
- ・ピーク強度は、流れ目方向載荷の試験値を平均強度に設定し、既に安全側にばらつきを考慮しているため1σ による低減を行わない。
- ・残留強度において、試験値の小方採用を行い設定した平均強度が各々の試験値の下限を示す場合においては、既に安全側にばらつきを考慮しているため1σ による低減を行わない。



	C _H 級頁岩	C _M 級頁岩	C _L 級頁岩
ピーク強度			
	<p>平均 : $11.6 + \sigma \tan 54^\circ$ [$1.14 + \sigma \tan 54^\circ$] 平均-1σ : — [—] kg/cm²[N/mm²]</p>	<p>平均 : $9.4 + \sigma \tan 54^\circ$ [$0.92 + \sigma \tan 54^\circ$] 平均-1σ : — [—] kg/cm²[N/mm²]</p>	<p>平均 : $2.9 + \sigma \tan 45^\circ$ [$0.28 + \sigma \tan 45^\circ$] 平均-1σ : — [—] kg/cm²[N/mm²]</p>
残留強度			
	<p>平均 : $2.83 \cdot \sigma^{0.72}$ [$1.48 \cdot \sigma^{0.72}$] 平均-1σ : $2.57 \cdot \sigma^{0.72}$ [$1.34 \cdot \sigma^{0.72}$] kg/cm²[N/mm²]</p>	<p>平均 : $0.99 \cdot \sigma^{0.54}$ [$0.34 \cdot \sigma^{0.54}$] 平均-1σ : — [—] kg/cm²[N/mm²]</p>	<p>平均 : $0.99 \cdot \sigma^{0.54}$ [$0.34 \cdot \sigma^{0.54}$] 平均-1σ : — [—] kg/cm²[N/mm²]</p>

強度特性設定方法一覧表(頁岩 平均強度, ばらつき強度)

岩種・岩級		強度特性(平均強度)	
		ピーク強度	残留強度
頁岩	C _H 級	ブロックせん断試験結果 (流れ目方向)	摩擦抵抗試験結果 (流れ目方向)
	C _M 級		試験値のa値またはb値が上位岩級を上回るため、 ・上位岩級で設定した平均強度 ・同岩級内の最小値 の、a値、b値をそれぞれ小方採用した。
	C _L 級		

 : 試験値をそのまま採用し, 平均強度を設定
 : 二岩種の試験値を組み合わせ, 保守的に平均強度を設定【上位岩級を上回るため下方修正 設定方法②P43】

岩種・岩級		強度特性(ばらつきを考慮した強度)	
		ピーク強度	残留強度
頁岩	C _H 級	既に安全側にばらつきが考慮されている 【流れ目方向に载荷した試験値を採用】	ばらつきを考慮し, 平均-1σ による低減
	C _M 級		既に安全側にばらつきが考慮されている 【平均強度が試験値の下限を示す】
	C _L 級		

 : ばらつきを考慮し, 平均-1σ による低減
 : 既に安全側にばらつきが考慮されている 【流れ目方向に载荷した試験値を採用している場合 設定方法③P44】
 【平均強度が試験値の下限を示す場合 設定方法④P45, 46】

2. 解析用物性値の設定方法 2.2 強度特性


頁岩と凝灰岩の互層の強度特性


- ・頁岩と凝灰岩の互層における強度特性を以下に示す。
- ・ピーク強度及び残留強度において、試験値または試験値の小方採用により設定した平均強度が、各々の試験値の下限を示す場合においては、既に安全側にばらつきを考慮しているため1σによる低減を行わない。

	C _H 級頁岩と凝灰岩の互層	C _M 級頁岩と凝灰岩の互層	C _L 級頁岩と凝灰岩の互層
ピーク強度	<p>平均 : $11.6 + \sigma \tan 54^\circ$ [$1.14 + \sigma \tan 54^\circ$] 平均-1σ : — [—] <small>kg/cm²[N/mm²]</small></p>	<p>平均 : $9.4 + \sigma \tan 54^\circ$ [$0.92 + \sigma \tan 54^\circ$] 平均-1σ : — [—] <small>kg/cm²[N/mm²]</small></p>	<p>平均 : $2.9 + \sigma \tan 28^\circ$ [$0.28 + \sigma \tan 28^\circ$] 平均-1σ : — [—] <small>kg/cm²[N/mm²]</small></p>
残留強度	<p>平均 : $2.46 \cdot \sigma^{0.72}$ [$1.28 \cdot \sigma^{0.72}$] 平均-1σ : $2.14 \cdot \sigma^{0.72}$ [$1.12 \cdot \sigma^{0.72}$] <small>kg/cm²[N/mm²]</small></p>	<p>平均 : $0.99 \cdot \sigma^{0.54}$ [$0.34 \cdot \sigma^{0.54}$] 平均-1σ : — [—] <small>kg/cm²[N/mm²]</small></p>	<p>平均 : $0.99 \cdot \sigma^{0.54}$ [$0.34 \cdot \sigma^{0.54}$] 平均-1σ : — [—] <small>kg/cm²[N/mm²]</small></p>

強度特性設定方法一覧表(頁岩と凝灰岩の互層 平均強度, ばらつき強度)



岩種・岩級		強度特性(平均強度)	
		ピーク強度	残留強度
頁岩と凝灰岩 の互層	C _H 級	頁岩, 凝灰岩 のブロックせん断試験結果 (τ_0, ϕ をそれぞれ小方採用)	頁岩, 凝灰岩の摩擦抵抗試験結果 (a値, b値をそれぞれ小方採用)
	C _M 級		試験値のa値またはb値が上位岩級を上回るため, ・上位岩級で設定した平均強度 ・同岩級内の最小値 の, a値, b値をそれぞれ小方採用した。
	C _L 級		

 : 二岩種の試験値を組み合わせて, 保守的に平均強度を設定【下方修正なし】 設定方法①P41, 42

 : 二岩種の試験値を組み合わせて, 保守的に平均強度を設定【上位岩級を上回るため下方修正】 設定方法②P43

岩種・岩級		強度特性(ばらつきを考慮した強度)	
		ピーク強度	残留強度
頁岩と凝灰岩 の互層	C _H 級	既に安全側にばらつきが考慮されている 【流れ目方向に載荷した試験値を採用】	ばらつきを考慮し, 平均-1 σ による低減
	C _M 級		既に安全側にばらつきが考慮されている 【平均強度が試験値の下限を示す】
	C _L 級	既に安全側にばらつきが考慮されている 【平均強度が試験値の下限を示す】	

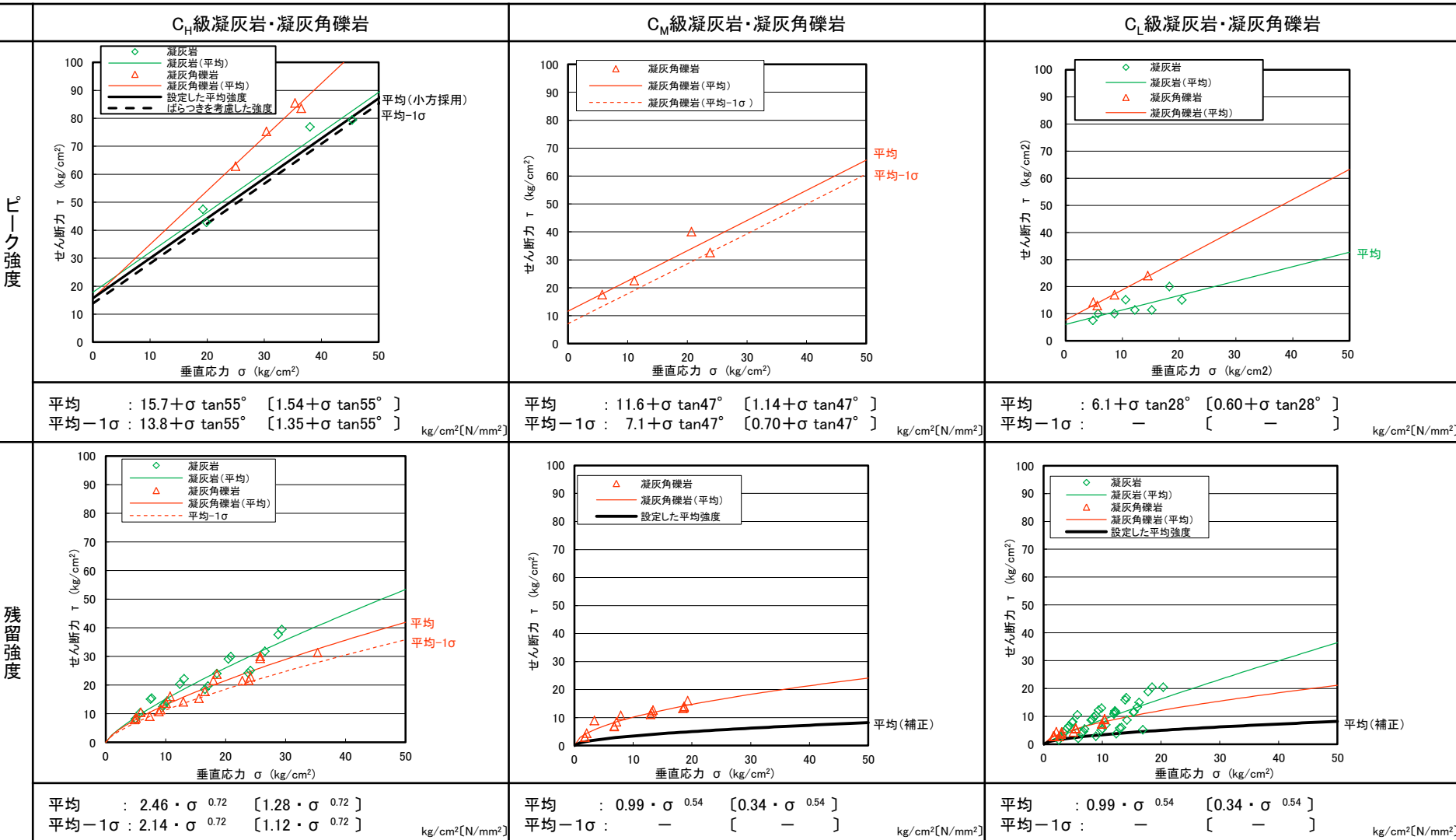
 : ばらつきを考慮し, 平均-1 σ による低減

 : 既に安全側にばらつきが考慮されている【流れ目方向に載荷した試験値を採用している場合】 設定方法③P44
 : 既に安全側にばらつきが考慮されている【平均強度が試験値の下限を示す場合】 設定方法④P45, 46

2. 解析用物性値の設定方法 2.2 強度特性

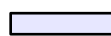
凝灰岩・凝灰角礫岩の強度特性


- 凝灰岩・凝灰角礫岩における強度特性を以下に示す。
- ピーク強度及び残留強度において、試験値または試験値の小方採用により設定した平均強度が、各々の試験値の下限を示す場合においては、既に安全側にばらつきを考慮しているため1σによる低減を行わない。



強度特性設定方法一覧表(凝灰岩・凝灰角礫岩 平均強度, ばらつき強度)


岩種・岩級		強度特性(平均強度)	
		ピーク強度	残留強度
凝灰岩・ 凝灰角礫岩	C _H 級	凝灰岩, 凝灰角礫岩 のブロックせん断試験結果 (τ_0, ϕ をそれぞれ小方採用)	凝灰岩, 凝灰角礫岩の摩擦抵抗試験結果 (a値, b値をそれぞれ小方採用)
	C _M 級		試験値のa値またはb値が上位岩級を上回るため, ・上位岩級で設定した平均強度 ・同岩級内の最小値 の, a値, b値をそれぞれ小方採用した。
	C _L 級		

 : 二岩種の試験値を組み合わせて, 保守的に平均強度を設定【下方修正なし】 設定方法①P41, 42】

 : 二岩種の試験値を組み合わせて, 保守的に平均強度を設定【上位岩級を上回るため下方修正 設定方法②P43】

岩種・岩級		強度特性(ばらつきを考慮した強度)	
		ピーク強度	残留強度
凝灰岩・ 凝灰角礫岩	C _H 級	ばらつきを考慮し, 平均-1 σ による低減	ばらつきを考慮し, 平均-1 σ による低減
	C _M 級		既に安全側にばらつきが考慮されている 【平均強度が試験値の下限を示す】
	C _L 級	既に安全側にばらつきが考慮されている 【平均強度が試験値の下限を示す】	

 : ばらつきを考慮し, 平均-1 σ による低減

 : 既に安全側にばらつきが考慮されている 【流れ目方向に載荷した試験値を採用する場合 設定方法③P44】
【平均強度が試験値の下限を示す場合 設定方法④P45, 46】

設定方法①(二岩種の試験値を組合せて保守的に平均強度を設定(下方修正なし)) 1/2

・ピーク強度(ブロックせん断試験)

【設定フロー】

手順①:
二岩種のブロックせん断試験結果
 $\tau = \tau_0 + \sigma \tan\phi$
の τ_0 及び ϕ をそれぞれ比較する。

岩種1: $\tau = \tau_1 + \sigma \tan\phi_1$
 \wedge \vee
岩種2: $\tau = \tau_2 + \sigma \tan\phi_2$

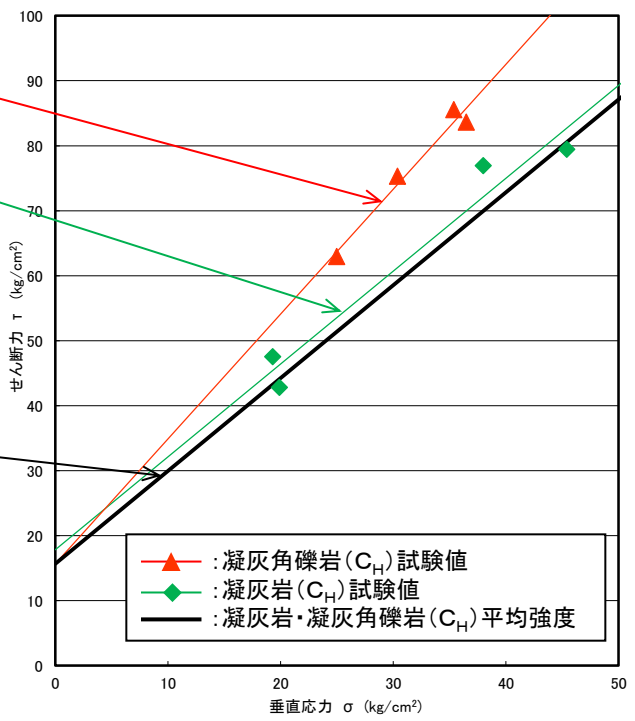
手順②(係数の小方採用):
二岩種の τ_0 及び ϕ をそれぞれ小方採用して
保守的に平均強度を設定する。

平均強度: $\tau = \underline{\tau_1} + \sigma \tan\underline{\phi_2}$

【設定方法例(C_H 級:凝灰岩・凝灰角礫岩)】

凝灰角礫岩(C_H 級) : $\tau = 15.7 + \sigma \tan 62^\circ$ (kg/cm²)
 \wedge \vee
凝灰岩(C_H 級) : $\tau = 17.9 + \sigma \tan 55^\circ$ (kg/cm²)

凝灰岩・凝灰角礫岩
(C_H 級)の平均強度 :
 $\tau = 15.7 + \sigma \tan 55^\circ$ (kg/cm²)
 :
 $\tau = 1.54 + \sigma \tan 55^\circ$ (N/mm²)



・凝灰岩と凝灰角礫岩のブロックせん断試験結果より, τ_0 及び ϕ の値をそれぞれ小方採用し, 保守的に平均強度を設定した。

2. 解析用物性値の設定方法 2.2 強度特性

設定方法①(二岩種の試験値を組合せて保守的に平均強度を設定(下方修正なし)) 2/2

・残留強度(摩擦抵抗試験)

【設定フロー】

手順①:
二岩種の摩擦抵抗試験結果
 $\tau = a \cdot \sigma^b$
のa値及びb値をそれぞれ比較する。

岩種1: $\tau = a_1 \cdot \sigma^{b1}$
 \vee \wedge
岩種2: $\tau = a_2 \cdot \sigma^{b2}$

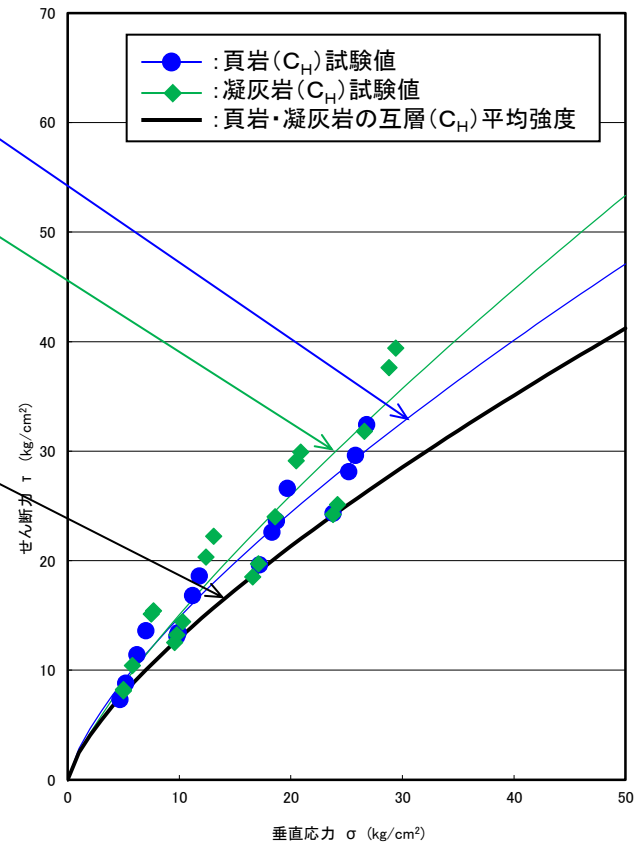
手順②(係数の小方採用):
二岩種の値及びb値をそれぞれ小方採用して
保守的に平均強度を設定する。

平均強度: $\tau = a_{2-} \cdot \sigma^{b1}$

【設定方法例(C_H級:頁岩と凝灰岩の互層)】

頁岩(C_H級) : $\tau = 2.83 \cdot \sigma^{0.72} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
 \vee \wedge
凝灰岩(C_H級) : $\tau = 2.46 \cdot \sigma^{0.79} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

頁岩・凝灰岩の互層
(C_H級)の平均強度 :
 $\tau = 2.46 \cdot \sigma^{0.72} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
 $\tau = 1.28 \cdot \sigma^{0.72} \text{ (N/mm}^2\text{)}$



・頁岩と凝灰岩の摩擦抵抗試験結果より、a値及びb値をそれぞれ小方採用し、保守的に平均強度を設定した。

2. 解析用物性値の設定方法 2.2 強度特性

設定方法②(二岩種の試験値を組み合わせて保守的に平均強度を設定(上位岩級を上回るため下方修正))

・残留強度(摩擦抵抗試験)

【設定フロー】

手順①:
設定方法①と同様の手順により、二岩種の係数の
小方採用により平均強度を設定する。

岩種1 : $T = a_1 \cdot \sigma^{b1}$
 \wedge
 岩種2 : $T = a_2 \cdot \sigma^{b2}$
 \vee
 平均強度 : $T = a_1 \cdot \sigma^{b2}$

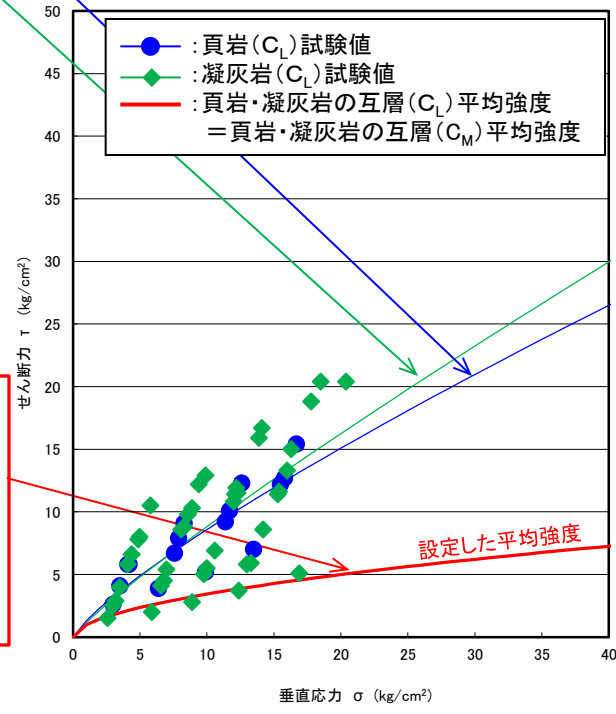
【設定方法例(C_L級: 頁岩と凝灰岩の互層)】

頁岩(C_L級) : $T = 1.32 \cdot \sigma^{0.81} (\text{kg/cm}^2)$
 \vee
 凝灰岩(C_L級) : $T = 1.16 \cdot \sigma^{0.88} (\text{kg/cm}^2)$
 ↓
 頁岩・凝灰岩の互層(C_L級)の平均強度 : $T = 1.16 \cdot \sigma^{0.81} (\text{kg/cm}^2)$

手順②(上位岩級を上回るため下方修正):
「上位岩級の平均強度」, 「同岩級のその他岩種の
試験値」のa値及びb値をそれぞれ比較し、最小値
となるa値, b値を組み合わせて平均強度を下方修
正する。

平均強度 : $T = a_1 \cdot \sigma^{b2}$
 \vee
 上位岩級の平均強度 : $T = a_u \cdot \sigma^{b_u}$
 \wedge
 同岩級のその他試験値 岩種3 : $T = a_3 \cdot \sigma^{b3}$
 \vee
 ↓
 平均強度 : $T = a_3 \cdot \sigma^{b2}$

頁岩・凝灰岩の互層(C_L級)の平均強度 : $T = 1.16 \cdot \sigma^{0.81} (\text{kg/cm}^2)$
 \vee
 頁岩・凝灰岩の互層(C_M級)の平均強度 : $T = 0.99 \cdot \sigma^{0.54} (\text{kg/cm}^2)$
 \wedge
 凝灰角礫岩(C_L級)の平均強度 : $T = 1.97 \cdot \sigma^{0.61} (\text{kg/cm}^2)$
 \vee
 ↓
 頁岩・凝灰岩の互層(C_L級)の平均強度 : $T = 0.99 \cdot \sigma^{0.54} (\text{kg/cm}^2)$
 \vee
 $T = 0.34 \cdot \sigma^{0.54} (\text{N/mm}^2)$

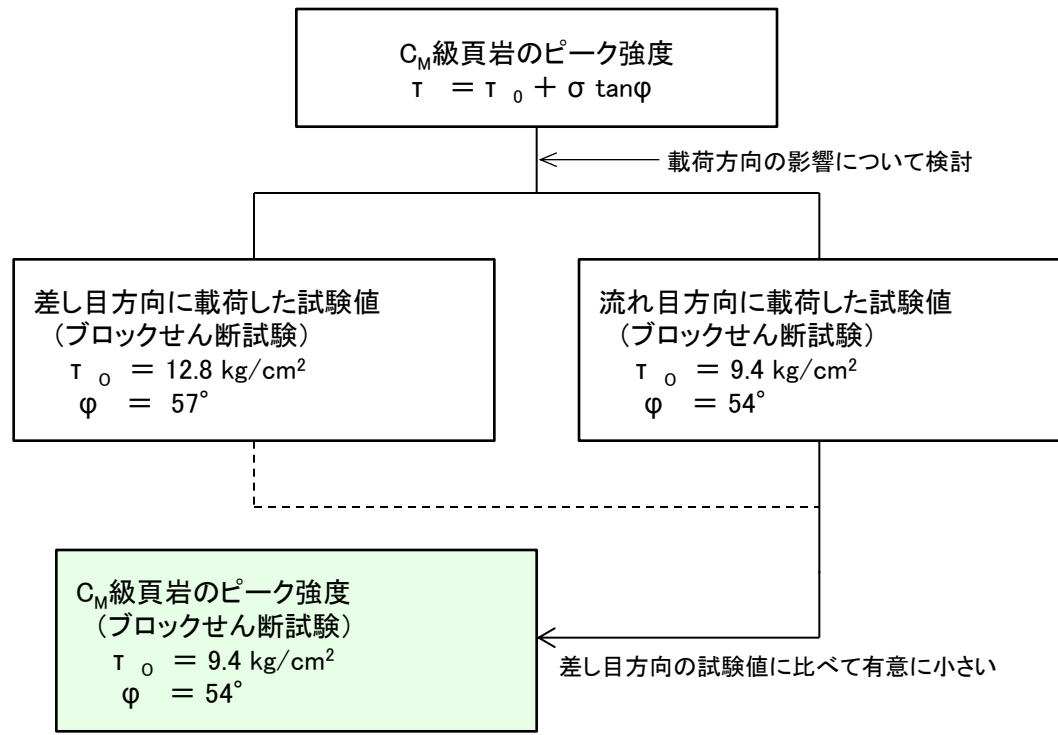
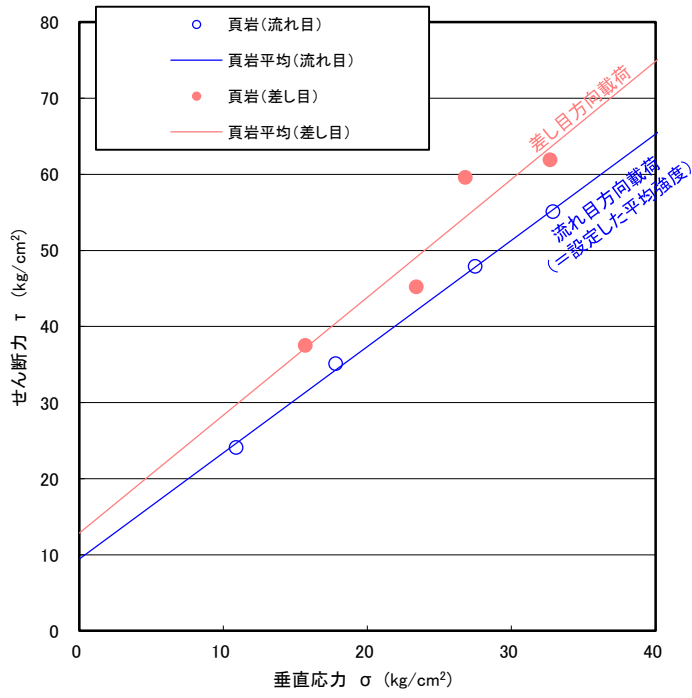


・二岩種を対象に設定した平均強度が上位岩級で設定した平均強度を上回る場合は、「上位岩級で設定した平均強度」及び「同岩級のその他岩種の試験値」のa値及びb値をそれぞれ比較し、最小値となる値を組み合わせて平均強度を下方修正した。

設定方法③(既に安全側にばらつきが考慮されている(流れ目方向に載荷した試験値を採用している場合))

・ピーク強度(ブロックせん断試験)

【設定方法例(C_M級頁岩)】

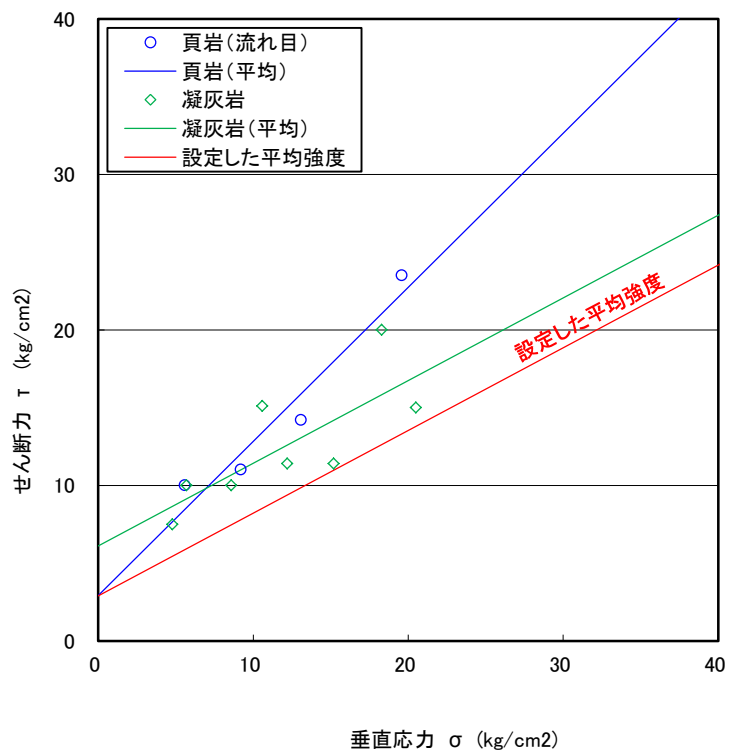


- ・流れ目方向に載荷した試験値は、差し目方向に載荷した試験値に比べて有意に小さい。
- ・流れ目方向に載荷した試験値は、既にばらつきを考慮した強度になっており、平均-1σによる低減を行わない。

設定方法④(既に安全側にばらつきが考慮されている(平均強度が試験値の下限を示す場合)) 1/2

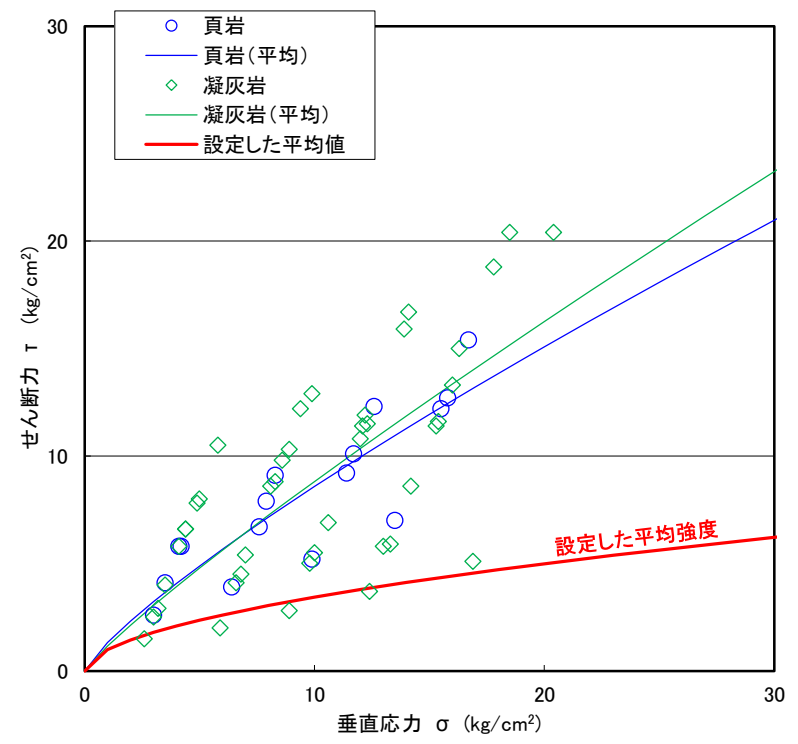
・ピーク強度(ブロックせん断試験)

【設定方法例(C_L級頁岩と凝灰岩の互層:ピーク強度)】



・残留強度(摩擦抵抗試験)

【設定方法例(C_L級頁岩と凝灰岩の互層:残留強度)】

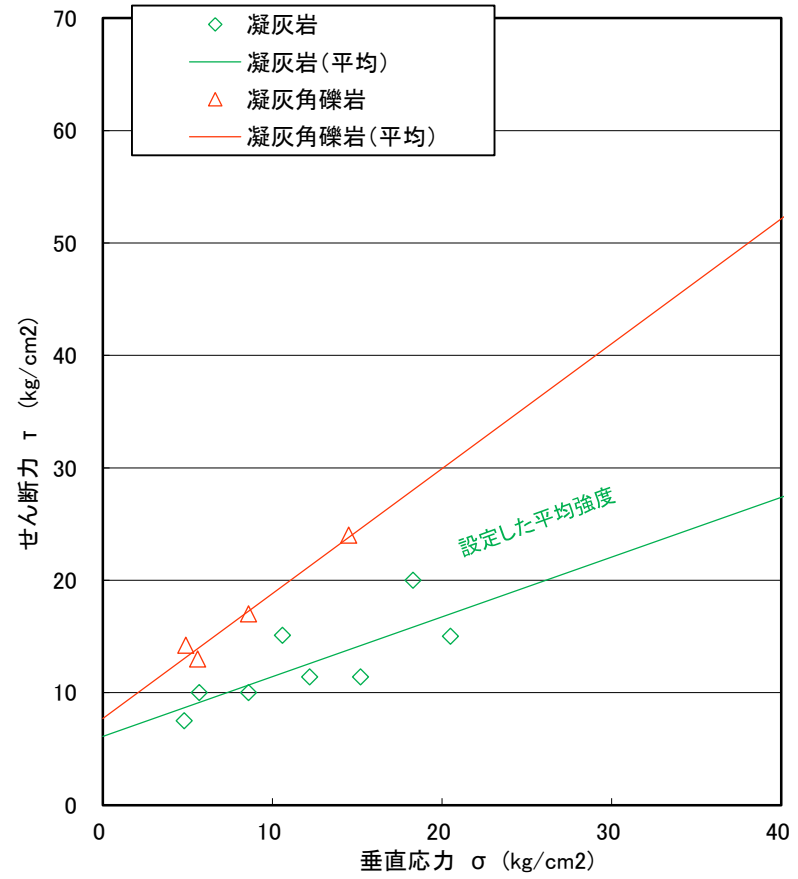


・各岩種における試験値を小方採用等を行うことで、保守的に設定した平均強度は、試験値の下限を示し、既に安全側にばらつきを考慮した強度になっていると考えられる。
 ・上記の理由より、平均-1σによる低減を行わない。

設定方法④(既に安全側にばらつきが考慮されている(平均強度が試験値の下限を示す場合)) 2/2

・「頁岩と凝灰岩の互層」「凝灰岩・凝灰角礫岩」ピーク強度(ブロックせん断試験)

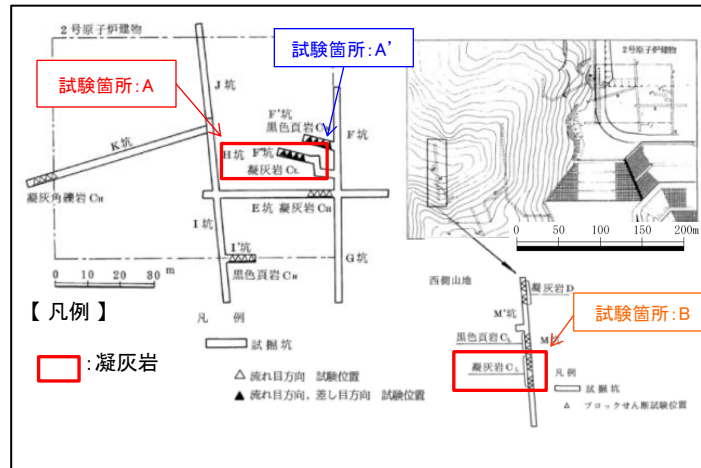
【設定方法例(C_L級凝灰岩・凝灰角礫岩:ピーク強度)】



・C_L級凝灰岩・凝灰角礫岩の平均強度は、各岩種の τ_0 , ϕ の小方採用を検討した結果、安全側に凝灰岩の試験値を採用した。
 ・設定した平均強度は、既に安全側にばらつきを考慮したものになっているため、更なるばらつきの考慮は実施しない。(次頁参照)

2. 解析用物性値の設定方法 2.2 強度特性

(参考) C_L級凝灰岩の試験値の設定について



ブロックせん断試験位置図

【試験箇所A. 2号炉原子炉建物試験坑 F”坑】

$$\tau = 5.5 + \sigma \tan 56^\circ \quad (\text{kg/cm}^2)$$

(破断面にシーム等がない健全な試験値)

採用しない

【試験箇所A’. 2号炉原子炉建物試験坑 F”坑】

$$\tau = 6.0 + \sigma \tan 38^\circ \quad (\text{kg/cm}^2)$$

(破断面にシームや密集クラックがある試験値)

【試験箇所B. 2号炉西側切取斜面試掘坑 M坑】

$$\tau = 5.7 + \sigma \tan 24^\circ \quad (\text{kg/cm}^2)$$

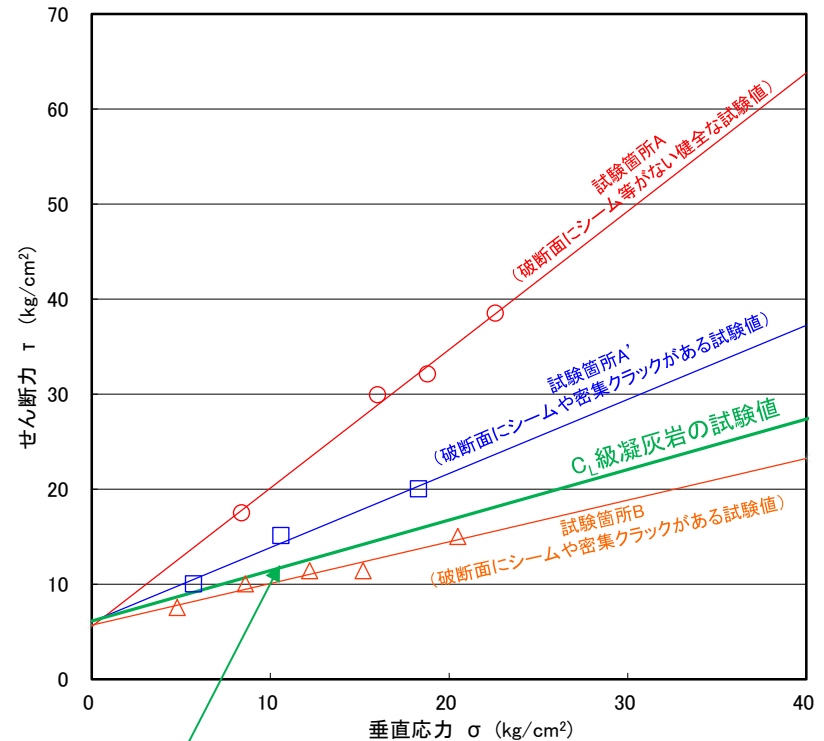
(破断面にシームや密集クラックがある試験値)

平均して試験値として採用

【C_L級凝灰岩の試験値】

$$\tau = 6.1 + \sigma \tan 28^\circ \quad (\text{kg/cm}^2) \quad \left[\tau = 0.60 + \sigma \tan 28^\circ \quad (\text{N/mm}^2) \right]$$

(破断面にシームや密集クラックがある試験値(平均))



- 凝灰岩を対象としたブロックせん断試験は「2号炉原子炉建物試験坑 F”坑」及び「2号炉西側切取斜面試掘坑 M坑」の2箇所で行った。
- 試験は「破断面にシーム等が認められない健全な箇所」または「破断面にシームや密集クラックが多く認められる箇所」で行っており、後者の強度は有意に低くなっている。
- 試験箇所Aの「破断面にシーム等がない健全な試験値」が凝灰岩本来の強度を示していると考えられるが、保守的に「破断面にシームや密集クラックがある試験値」の平均値をC_L級凝灰岩の試験値に設定した。
- 設定したC_L級凝灰岩の試験値は、凝灰岩本来の強度より有意に低く、既に安全側にばらつきを考慮した強度になっている。

2. 解析用物性値の設定方法 2.2 強度特性
(参考) C_L級凝灰岩の破断面について

・C_L級凝灰岩を対象としたブロックせん断試験において、試験前後の試験面スケッチ図の一例を以下に示す。

	破断面にシーム等がない健全な試験値	破断面にシームや密集クラックがある試験値	
	(2号炉原子炉建物試掘坑 F”坑)	(2号炉原子炉建物試掘坑 F”坑)	(2号炉西側切取斜面試掘坑 M坑)
試験前			
試験後			

2. 解析用物性値の設定方法 2.2 強度特性

設定方法⑤(他の岩種の物性値に基づき設定) 1/4

・ドレライト(C_H級) ピーク強度

【設定フロー】

手順①:
三軸圧縮試験結果を用い、ドレライトのブロックせん断試験結果を換算する。
まず、下式により換算比率を算出する。

$$\text{換算比率} = \frac{A}{B}$$

A・・・ドレライトの三軸圧縮試験結果
B・・・Aと近い値を示す他岩種の三軸圧縮試験結果

手順②:
他岩種のブロックせん断試験結果に、手順①で算出した換算比率を乗じてドレライトのブロックせん断試験結果を換算し、平均強度を設定する。

平均強度 = 換算比率 × ブロックせん断試験結果

手順③:
手順①, ②と同様な手法で、ばらつきを考慮した強度を設定する。

	(kg/cm ²)			
	ドレライト	頁岩	凝灰岩	凝灰角礫岩
三軸圧縮試験結果	$\tau = 220 + \sigma \tan 51^\circ$	$\tau = 164 + \sigma \tan 53^\circ$	$\tau = 181 + \sigma \tan 47^\circ$	$\tau = 117 + \sigma \tan 49^\circ$
	τ_0 の換算比率 = $\frac{220}{181}$ ϕ の換算比率 = $\frac{51}{53}$			
ブロックせん断試験結果(C _H 級)	$\tau = 21.8 + \sigma \tan 52^\circ$ (16.8)	$\tau = 11.6 + \sigma \tan 54^\circ$	$\tau = 17.9 + \sigma \tan 55^\circ$ (13.8)	$\tau = 15.7 + \sigma \tan 62^\circ$ (13.8)
	$17.9 \times \tau_0$ の換算比率 = 21.8 (13.8 × τ_0 の換算比率 = 16.8) 換算により算出 $54 \times \phi$ の換算比率 = 52			

※()内はばらつきを考慮して1σ低減した値を示す

		ピーク強度	
岩種・岩級		平均強度	ばらつきを考慮した強度(平均-1σ)
ドレライト	C _H 級	$\tau = 21.8 + \sigma \tan 52^\circ$ (kg/cm ²) [$\tau = 2.14 + \sigma \tan 52^\circ$ (N/mm ²)]	$\tau = 16.8 + \sigma \tan 52^\circ$ (kg/cm ²) [$\tau = 1.65 + \sigma \tan 52^\circ$ (N/mm ²)]

・C_H級ドレライトのピーク強度は三軸圧縮試験結果より換算して設定した。

2. 解析用物性値の設定方法 2.2 強度特性

設定方法⑤(他の岩種の物性値に基づき設定) 2/4

・ドレライト(C_M級, C_L級) ピーク強度

【設定フロー】

手順①:
C_H級の平均強度設定値を用い, C_M級, C_L級のドレライトの平均強度を換算する。
まず, 下式により換算比率を算出する。

$$\text{換算比率} = \frac{A}{B}$$

A・・・C_H級のドレライトの平均強度設定値
B・・・Aに近い値を示す他岩種の平均強度設定値

手順②:
C_M級, C_L級のお岩種の平均強度設定値に, 手順①で算出した換算比率を乗じ, ドレライトの平均強度を換算する。

$$\text{平均強度} = \text{換算比率} \times \text{C}_{M/L}\text{級のお岩種の平均強度設定値}$$

手順③:
手順①, ②と同様な手法で, ばらつきを考慮した強度を設定する。

	ドレライト	頁岩	頁岩・凝灰岩の互層	凝灰岩・凝灰角礫岩
平均強度設定値(C _H 級)	$\tau = 21.8 + \sigma \tan 52^\circ$ (16.8)	$\tau = 11.6 + \sigma \tan 54^\circ$ (11.6)	$\tau = 11.6 + \sigma \tan 54^\circ$ (11.6)	$\tau = 15.7 + \sigma \tan 55^\circ$ (13.8)
平均強度設定値(C _M 級)	$\tau = 16.1 + \sigma \tan 52^\circ$ (8.6)	$\tau = 9.4 + \sigma \tan 54^\circ$ (9.4)	$\tau = 9.4 + \sigma \tan 54^\circ$ (9.4)	$\tau = 11.6 + \sigma \tan 47^\circ$ (7.1)
平均強度設定値(C _L 級)	$\tau = 8.5 + \sigma \tan 43^\circ$ (7.4)	$\tau = 2.9 + \sigma \tan 45^\circ$ (2.9)	$\tau = 2.9 + \sigma \tan 28^\circ$ (2.9)	$\tau = 6.1 + \sigma \tan 28^\circ$ (6.1)

※ ()内はばらつきを考慮した強度を示す

岩種・岩級		ピーク強度	
		平均強度	ばらつきを考慮した強度(平均-1σ)
ドレライト	C _M 級	$\tau = 16.1 + \sigma \tan 52^\circ$ (kg/cm ²) 〔 $\tau = 1.58 + \sigma \tan 52^\circ$ (N/mm ²)〕	$\tau = 8.6 + \sigma \tan 52^\circ$ (kg/cm ²) 〔 $\tau = 0.84 + \sigma \tan 52^\circ$ (N/mm ²)〕
	C _L 級	$\tau = 8.5 + \sigma \tan 43^\circ$ (kg/cm ²) 〔 $\tau = 0.83 + \sigma \tan 43^\circ$ (N/mm ²)〕	$\tau = 7.4 + \sigma \tan 43^\circ$ (kg/cm ²) 〔 $\tau = 0.73 + \sigma \tan 43^\circ$ (N/mm ²)〕

・C_M級及びC_L級ドレライトのピーク強度はC_H級で設定した平均強度より換算して設定した。

2. 解析用物性値の設定方法 2.2 強度特性 設定方法⑤(他の岩種の物性値に基づき設定) 3/4

・ドレライト(C_H級) 残留強度

【設定フロー】

手順①:
三軸圧縮試験結果を用い、ドレライトの摩擦抵抗試験結果を換算する。
まず、下式により換算比率を算出する。

$$\text{換算比率} = \frac{A}{B}$$

A・・・ドレライトの三軸圧縮試験結果
B・・・Aと近い値を示す他岩種の三軸圧縮試験結果

手順②:
他岩種の摩擦抵抗試験結果 $\tau = a \cdot \sigma^b$ のa値に、手順①で算出した換算比率を乗じてドレライトの摩擦抵抗試験結果のa値を換算する。

b値は、同岩級の試験結果がほぼ同じであることから、保守的に同岩級の試験結果の最小値を採用する。

平均強度a値 = 換算比率 × 摩擦抵抗試験結果
" b値 = 同岩級の試験結果の最小値

手順③:
手順①、②と同様な手法で、ばらつきを考慮した強度を設定する。

	ドレライト	頁岩	凝灰岩	凝灰角礫岩
三軸圧縮試験結果	$\tau = 220 + \sigma \tan 51^\circ$	$\tau = 164 + \sigma \tan 53^\circ$	$\tau = 181 + \sigma \tan 47^\circ$	$\tau = 117 + \sigma \tan 49^\circ$
摩擦抵抗試験結果(C _H 級)	$\tau = 2.99 \cdot \sigma^{0.72}$ (2.60) 換算により算出	$\tau = 2.83 \cdot \sigma^{0.72}$ (2.57)	$\tau = 2.46 \cdot \sigma^{0.79}$ (2.14)	$\tau = 2.46 \cdot \sigma^{0.72}$ (2.20)

※ ()内はばらつきを考慮した強度を示す

岩種・岩級		残留強度	
		平均強度	ばらつきを考慮した強度(平均-1σ)
ドレライト	C _H 級	$\tau = 2.99 \cdot \sigma^{0.72}$ (kg/cm ²) [$\tau = 1.56 \cdot \sigma^{0.72}$ (N/mm ²)]	$\tau = 2.60 \cdot \sigma^{0.72}$ (kg/cm ²) [$\tau = 1.36 \cdot \sigma^{0.72}$ (N/mm ²)]

・C_H級ドレライトの残留強度は三軸圧縮試験結果より換算して設定した。

2. 解析用物性値の設定方法 2.2 強度特性

設定方法⑤(他の岩種の物性値に基づき設定) 4/4

・ドレライト(C_M級, C_L級) 残留強度

【設定フロー】

手順①:
C_H級の平均強度設定値を用い、C_M級、C_L級のドレライトの平均強度を換算する。
まず、下式により換算比率を算出する。

$$\text{換算比率} = \frac{A}{B}$$

A・・・C_H級のドレライトの平均強度設定値
B・・・Aに近い値を示す他岩種の平均強度設定値

手順②:
C_M級、C_L級の他岩種の平均強度設定値 $\tau = a \cdot \sigma^b$ のa値に、手順①で算出した換算比率を乗じ、ドレライトの平均強度のa値を換算する。

b値は、保守的に全岩級の平均強度設定値の最小値を採用する。

平均強度a値 = 換算比率 × C_M級、C_L級の他岩種の平均強度設定値
" b値 = 同岩級の平均強度設定値の最小値

手順③:
手順①、②と同様な手法で、ばらつきを考慮した強度を設定する。

	ドレライト	頁岩	頁岩・凝灰岩の互層	凝灰岩・凝灰角礫岩
平均強度設定値(C _H 級)	$\tau = 2.99 \cdot \sigma^{0.72}$ (2.60)	$\tau = 2.83 \cdot \sigma^{0.72}$ (2.57)	$\tau = 2.46 \cdot \sigma^{0.72}$ (2.14)	$\tau = 2.46 \cdot \sigma^{0.72}$ (2.14)
平均強度設定値(C _M 級)	$\tau = 1.05 \cdot \sigma^{0.54}$ (1.00)	$\tau = 0.99 \cdot \sigma^{0.54}$ (0.99)	$\tau = 0.99 \cdot \sigma^{0.54}$ (0.99)	$\tau = 0.99 \cdot \sigma^{0.54}$ (0.99)
平均強度設定値(C _L 級)	$\tau = 1.05 \cdot \sigma^{0.54}$ (1.00)	$\tau = 0.99 \cdot \sigma^{0.54}$ (0.99)	$\tau = 0.99 \cdot \sigma^{0.54}$ (0.99)	$\tau = 0.99 \cdot \sigma^{0.54}$ (0.99)

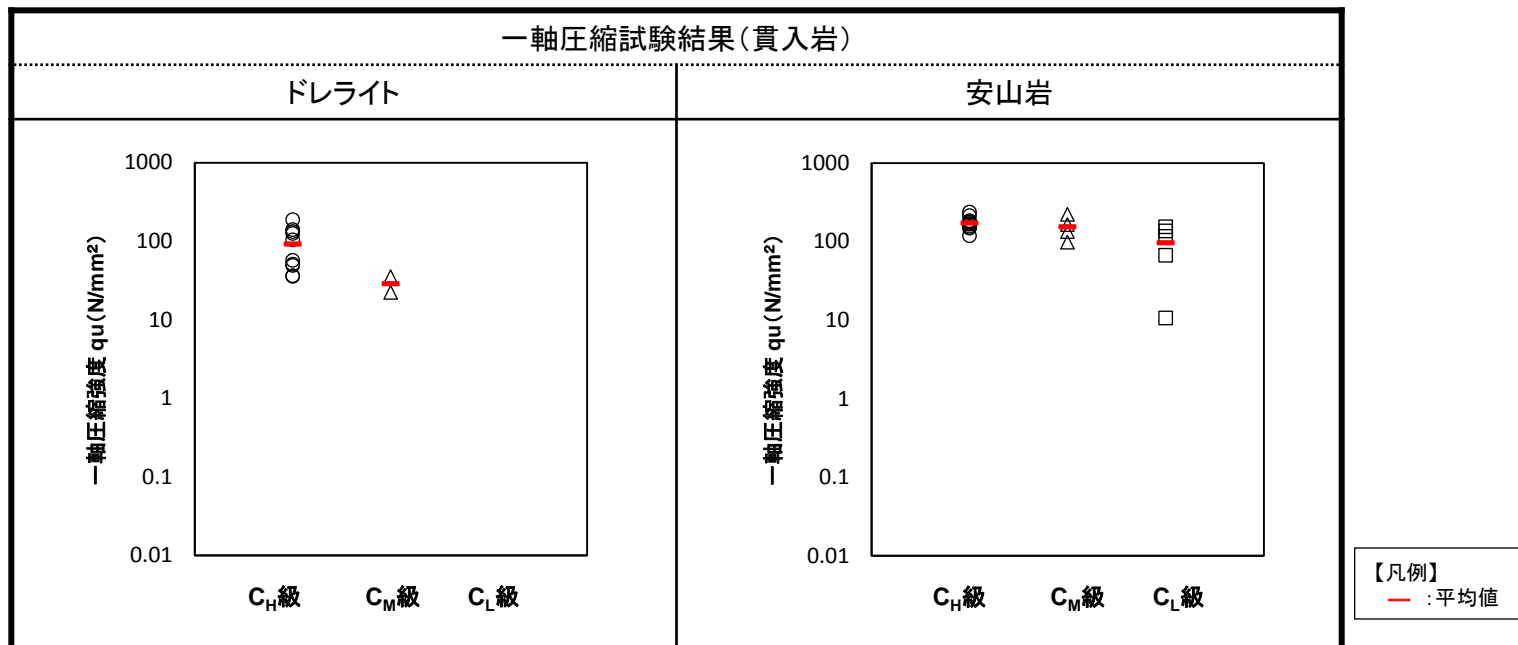
※ ()内はばらつきを考慮した強度を示す

岩種・岩級		残留強度	
		平均強度	ばらつきを考慮した強度(平均-1σ)
ドレライト	C _M 級	$\tau = 1.05 \cdot \sigma^{0.54}$ (kg/cm ²) [$\tau = 0.36 \cdot \sigma^{0.54}$ (N/mm ²)]	$\tau = 1.00 \cdot \sigma^{0.54}$ (kg/cm ²) [$\tau = 0.34 \cdot \sigma^{0.54}$ (N/mm ²)]
	C _L 級	$\tau = 1.05 \cdot \sigma^{0.54}$ (kg/cm ²) [$\tau = 0.36 \cdot \sigma^{0.54}$ (N/mm ²)]	$\tau = 1.00 \cdot \sigma^{0.54}$ (kg/cm ²) [$\tau = 0.34 \cdot \sigma^{0.54}$ (N/mm ²)]

・C_M級及びC_L級ドレライトの残留強度はC_H級で設定した平均強度より換算して設定した。

2. 解析用物性値の設定方法 2.2 強度特性 (参考)安山岩の設定方法について

・貫入岩(ドレライト及び安山岩)における一軸圧縮試験の試験結果



・設定した強度特性(安山岩)

(単位: N/mm²)

	ピーク強度		残留強度	
	τ_0	ϕ	a 値	b 値
C _H 級	2.14 (1.65)	52	1.56 (1.36)	0.72
C _M 級	1.58 (0.84)	52	0.36 (0.34)	0.54
C _L 級	0.83 (0.73)	43	0.36 (0.34)	0.54

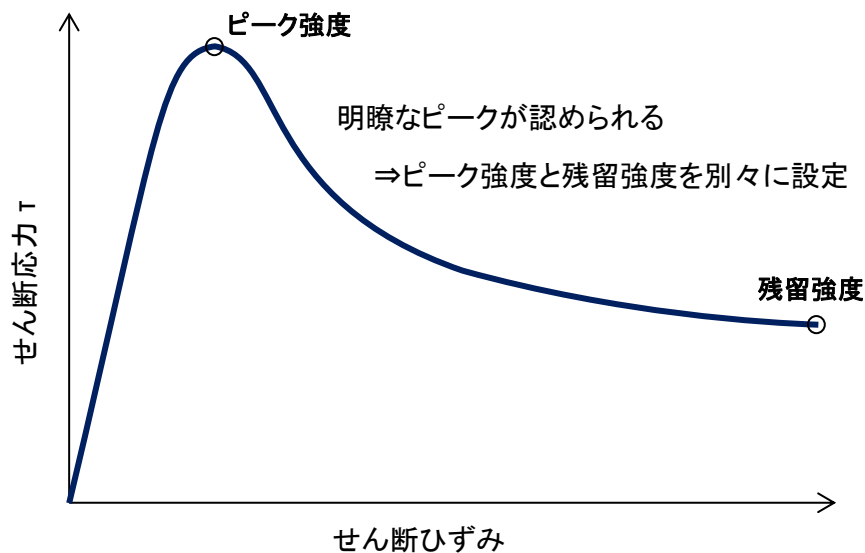
※ ()内は平均から1 σ 低減した強度を示す。

・安山岩及びドレライトを対象とした一軸圧縮試験の結果、安山岩の試験値はドレライトの試験値と同等もしくはそれ以上であることから、安山岩の強度特性は保守的に同岩級におけるドレライトの強度特性を用いる。

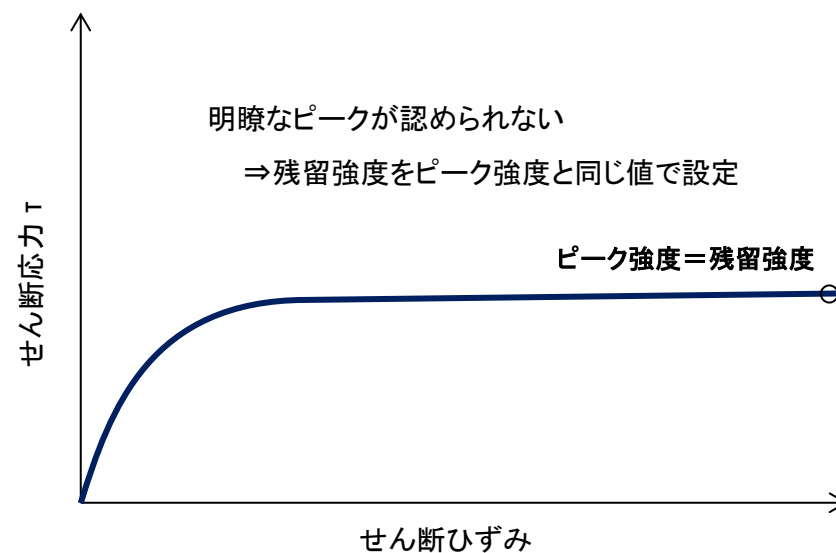
余白

残留強度の設定方法

- ・応力-ひずみ関係において、ひずみ軟化傾向が認められない場合、残留強度をピーク強度(せん断強度)と同じ値で設定する。



【ひずみ軟化傾向が認められる場合】



【ひずみ軟化傾向が認められない場合】

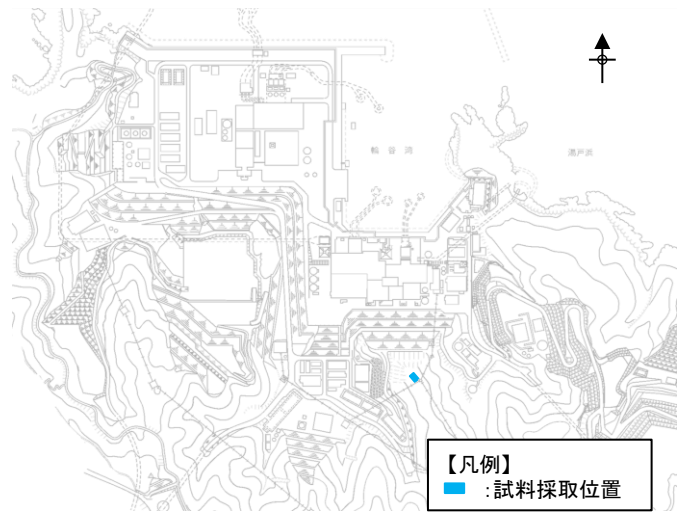
2. 解析用物性値の設定方法 2.2 強度特性

D級岩盤(ピーク強度)(1/3)

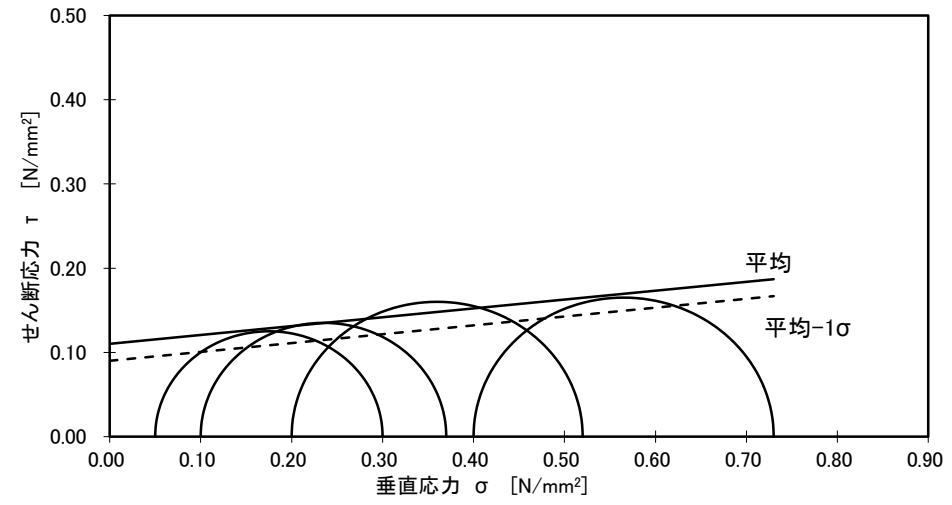
・中型三軸圧縮試験結果(D級岩盤)

項目		ピーク強度※	
		せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
D級岩盤	凝灰岩	0.11 (0.09)	6

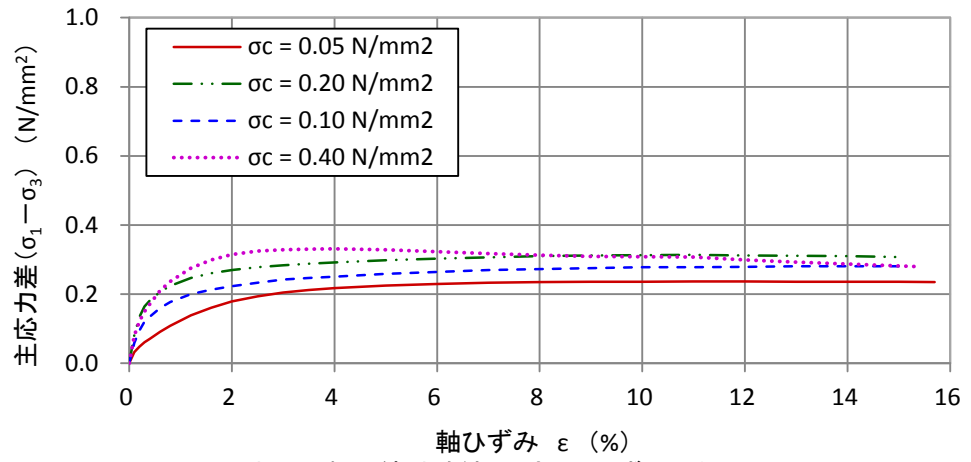
※()内はばらつきを考慮した強度(平均-1 σ)を示す。



D級岩盤の試料採取位置図



中型三軸圧縮試験結果(破壊包絡線)



中型三軸圧縮試験結果(応力-ひずみ関係)

・D級岩盤(凝灰岩)を対象に、平成21年に中型三軸圧縮試験結果を実施した。
 ・残留強度は、応力-ひずみ関係において、ひずみ軟化傾向が認められないことから、せん断強度と同じ値で設定した。

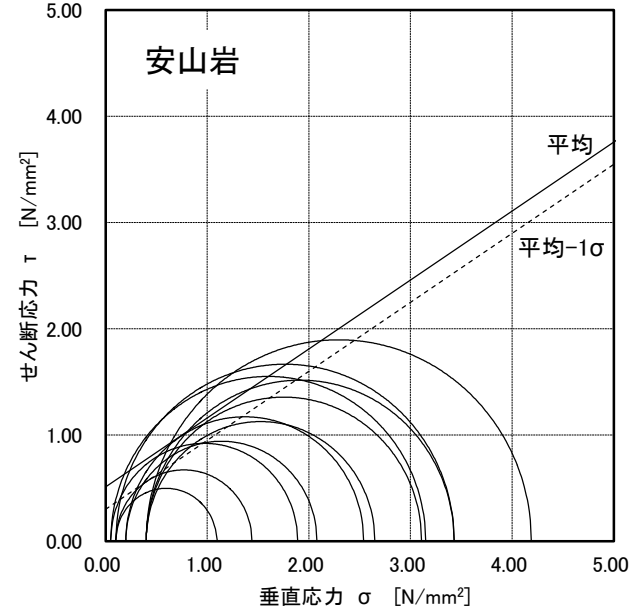
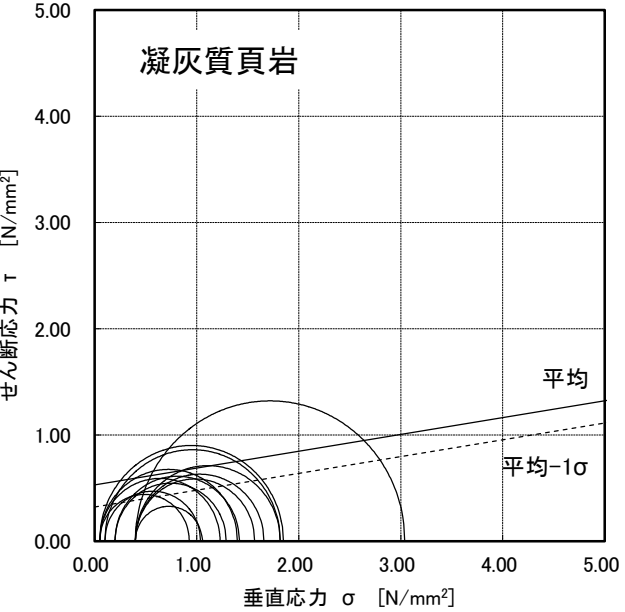
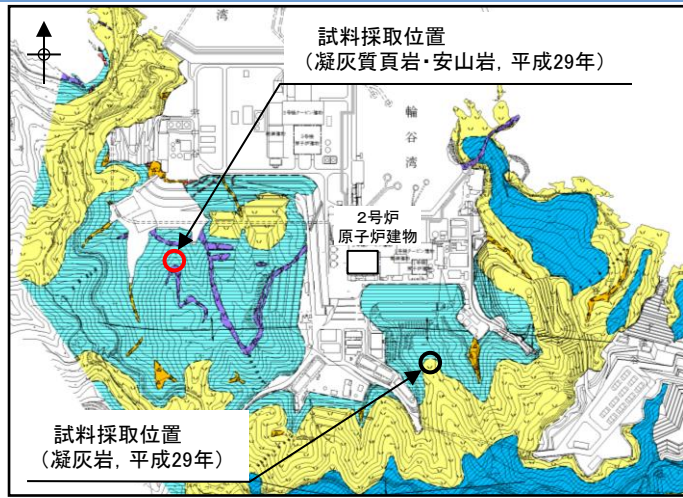
2. 解析用物性値の設定方法 2.2 強度特性

D級岩盤(ピーク強度)(2/3)

・中型三軸圧縮試験結果(D級岩盤)

岩種		項目	ピーク強度※	
			せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
D級岩盤	凝灰質頁岩		0.53 (0.32)	9
	安山岩		0.51 (0.30)	33

※()内はばらつきを考慮した強度(平均-1 σ)を示す。



凡例

地質時代	地層名	主要構成地質		
第四紀	被覆層	盛土	礫混り砂質土・礫混り粘性土	
	崖錐堆積物	礫混り砂質土・礫混り粘性土	▲ ▲ ▲	
新生代	貫入岩類	安山岩	V V V	
		ドレライト	L L L	
	成相寺層	上部頁岩部層	黒色頁岩	■ ■ ■
		火砕岩部層	凝灰岩・凝灰角礫岩	▼ ▼ ▼
	下部頁岩部層	黒色頁岩・凝灰質頁岩	■ ■ ■	

D級岩盤の試料採取位置図

・D級岩盤(凝灰質頁岩, 安山岩)を対象に, 平成29年に中型三軸圧縮試験結果を実施した。

2. 解析用物性値の設定方法 2.2 強度特性

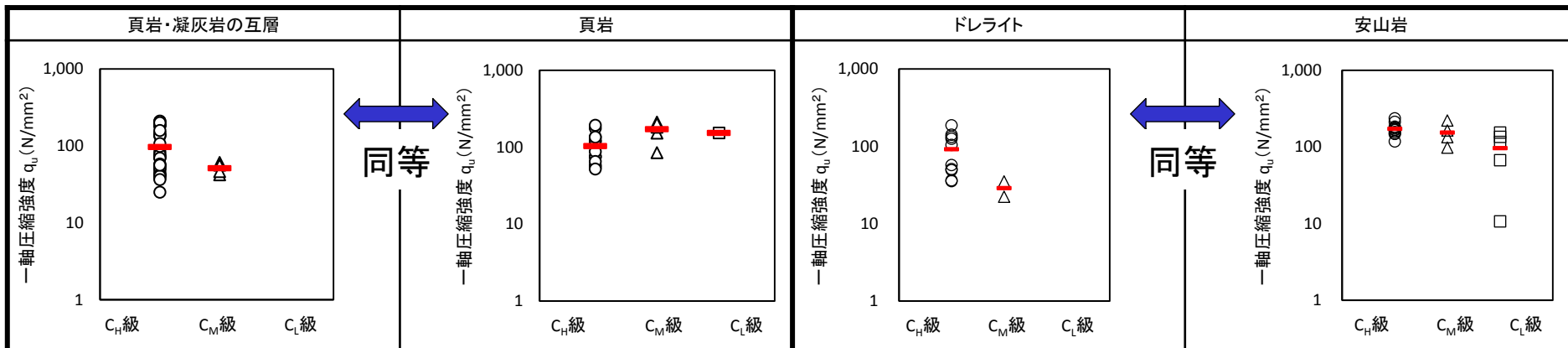
D級岩盤(ピーク強度)(3/3)

・D級岩盤のピーク強度(試験値に基づく設定値)

岩種		項目	ピーク強度*		備考
			せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	
D級岩盤	頁岩・凝灰岩の互層		0.53(0.32)	9	凝灰質頁岩の試験値
	頁岩		0.53(0.32)	9	凝灰質頁岩の試験値と同値に設定
	凝灰岩・凝灰角礫岩		0.11(0.09)	6	凝灰岩の試験値
	安山岩		0.51(0.30)	33	安山岩の試験値
	ドレライト		0.51(0.30)	33	安山岩の試験値と同値に設定

※()内はばらつきを考慮した強度(平均-1 σ)を示す。

・D級岩盤の一軸圧縮試験結果の比較検討



- ・試験結果を用い、D級岩盤の平均強度を設定した。
- ・頁岩及びドレライトについては、一軸圧縮試験の比較検討結果を踏まえ、それぞれ凝灰質頁岩及び安山岩の試験値と同値に設定した。
- ・平均強度から1 σ の低減を行い、ばらつきを考慮した強度を設定した。

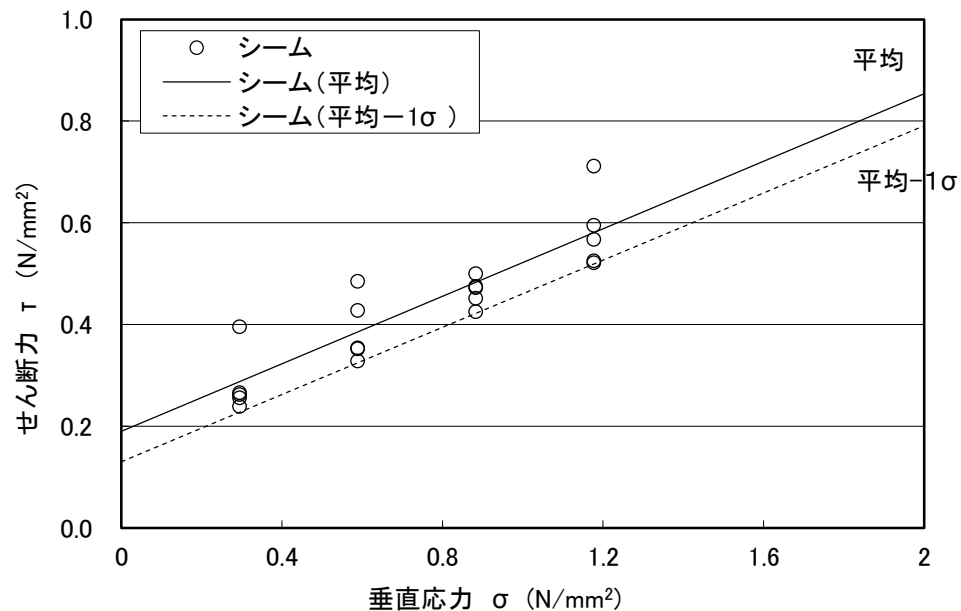
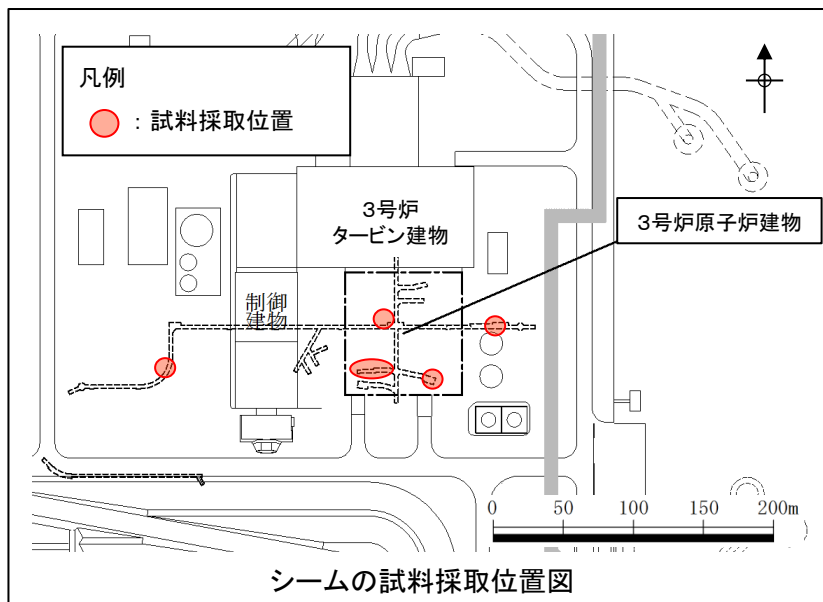
2. 解析用物性値の設定方法 2.2 強度特性

シーム(ピーク強度)(1/2)

・単純せん断試験結果(シーム)

岩種	項目	せん断強度 τ_0 (kg/cm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
	シーム	1.9	18
	設定した平均強度	1.9(0.19)*	18
	ばらつきを考慮した強度	1.3(0.13)*	18

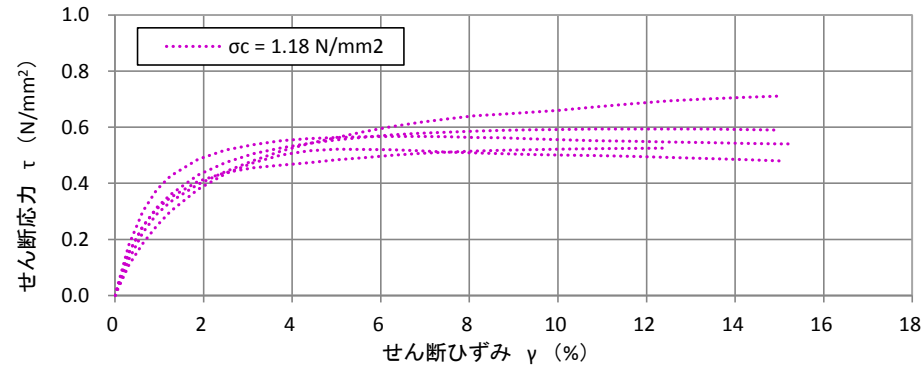
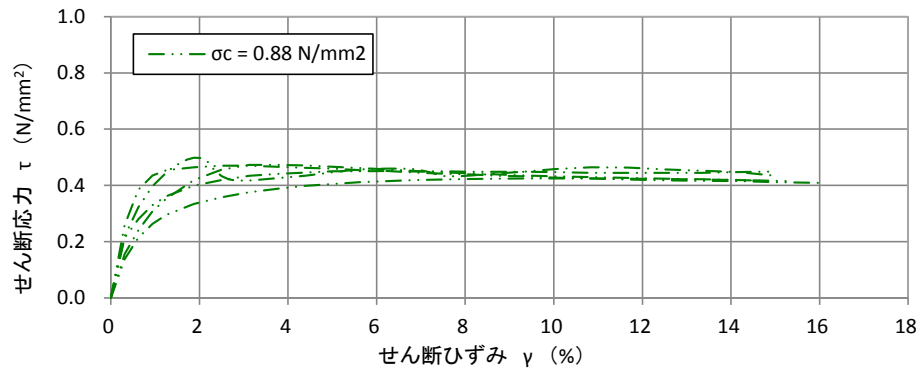
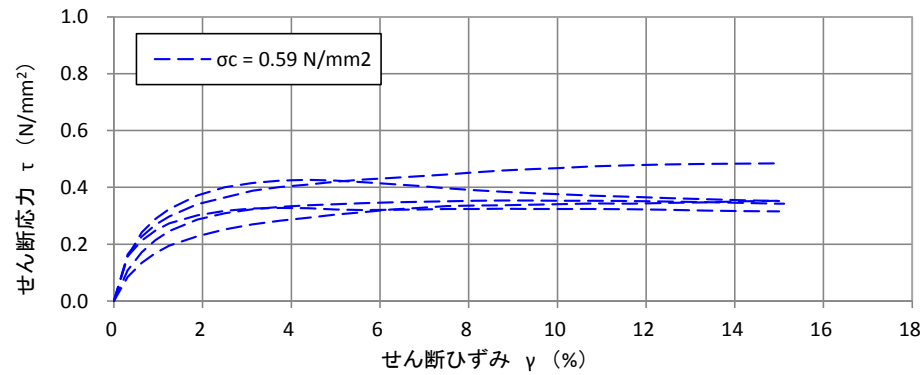
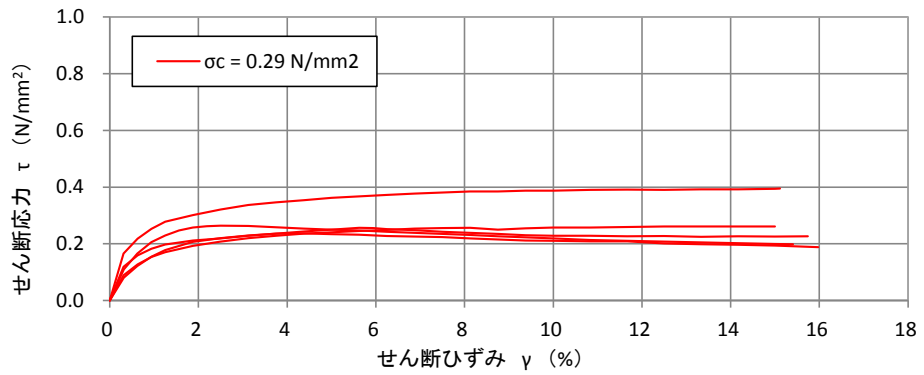
* ()内はSI単位(N/mm²)を示す。



単純せん断試験結果(破壊包絡線)

- ・シームの平均強度は、単純せん断試験値を用いて設定した。
- ・平均強度から1 σ の低減を行い、ばらつきを考慮した強度を設定した。

シーム(ピーク強度)(2/2)

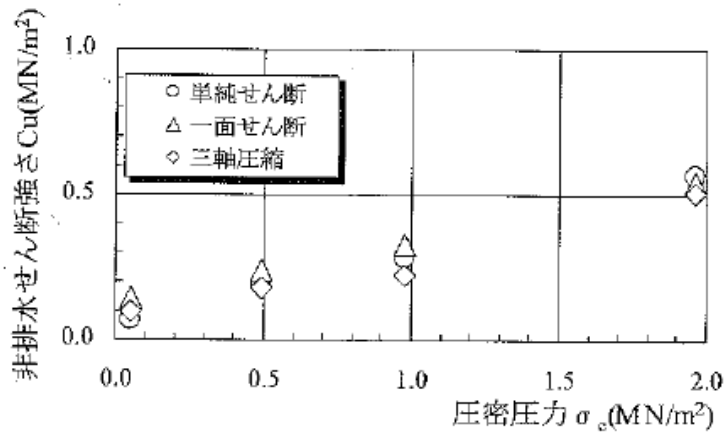


単純せん断試験結果(応力-ひずみ関係)

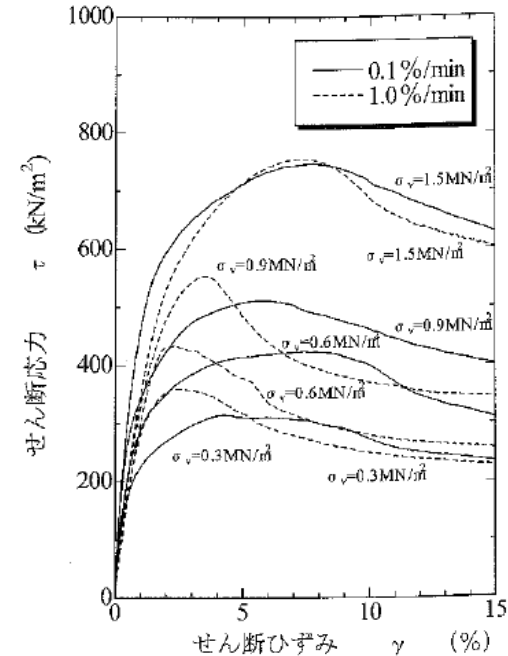
・残留強度は、応力-ひずみ関係において、ひずみ軟化傾向が認められないことから、せん断強度と同じ値で設定した。

(参考) 単純せん断試験の妥当性について

【土木学会(2009)より抜粋】



断層材料の静的強度の比較



シームのせん断速度の違いによるせん断応力～せん断ひずみ曲線

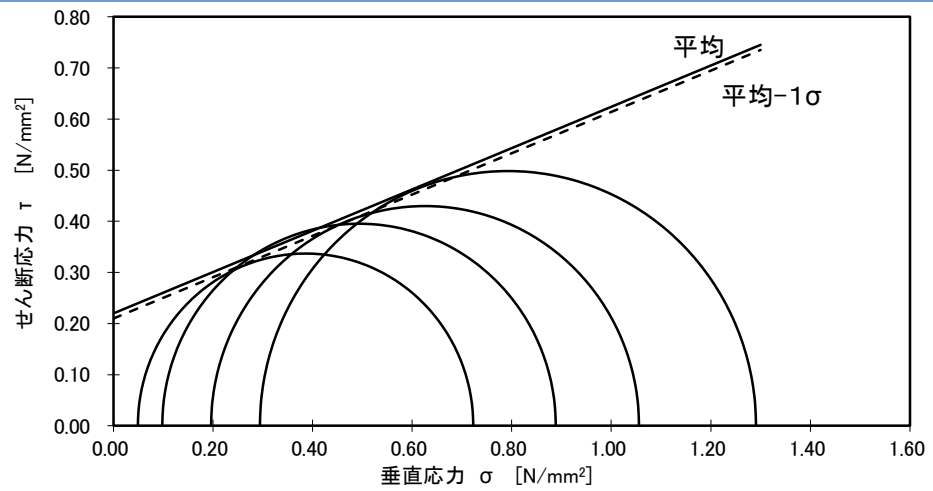
- ・土木学会(2009)⁽¹⁾によると、弱層のせん断強さについて、一面せん断試験はせん断面を規定して強制的にせん断するため、単純せん断試験と比べてせん断強さが大きくなる傾向があるものの、非排水せん断強さに有意な差は生じないとされている。また、静的強度・変形特性に対するせん断速度の影響を確認するため、せん断速度を0.1%/minと1.0%/minで比較検討を行った結果、0.1%/min程度の緩速で得られたせん断強度を地震時安定性評価に用いた場合には、安全側の評価となるとされている。
- ・シームの強度特性の設定については、単純せん断試験によりひずみ速度0.1%/minでせん断力を加えて試験を実施していることから、保守的な評価となっている。

2. 解析用物性値の設定方法 2.2 強度特性
埋戻土, 盛土(ピーク強度)(1/2)

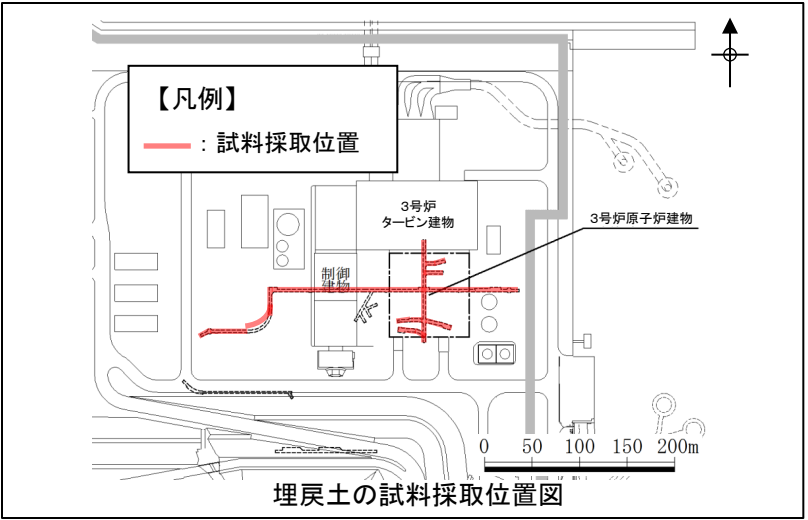
・大型三軸圧縮試験(埋戻土)

岩種	項目	せん断強度 τ_0 (kg/cm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
埋戻土, 盛土		2.2	22
	設定した平均強度	2.2(0.22)*	22
	ばらつきを考慮した強度	2.1(0.21)*	22

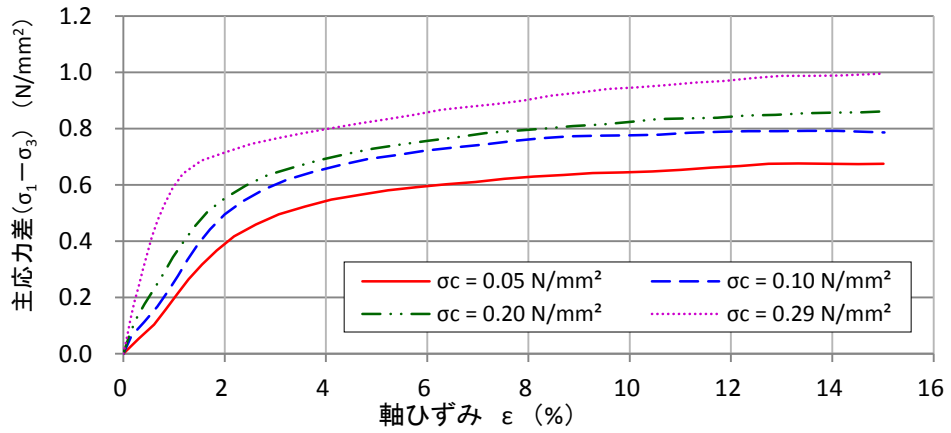
※ ()内はSI単位(N/mm²)を示す。



大型三軸圧縮試験結果(破壊包絡線)



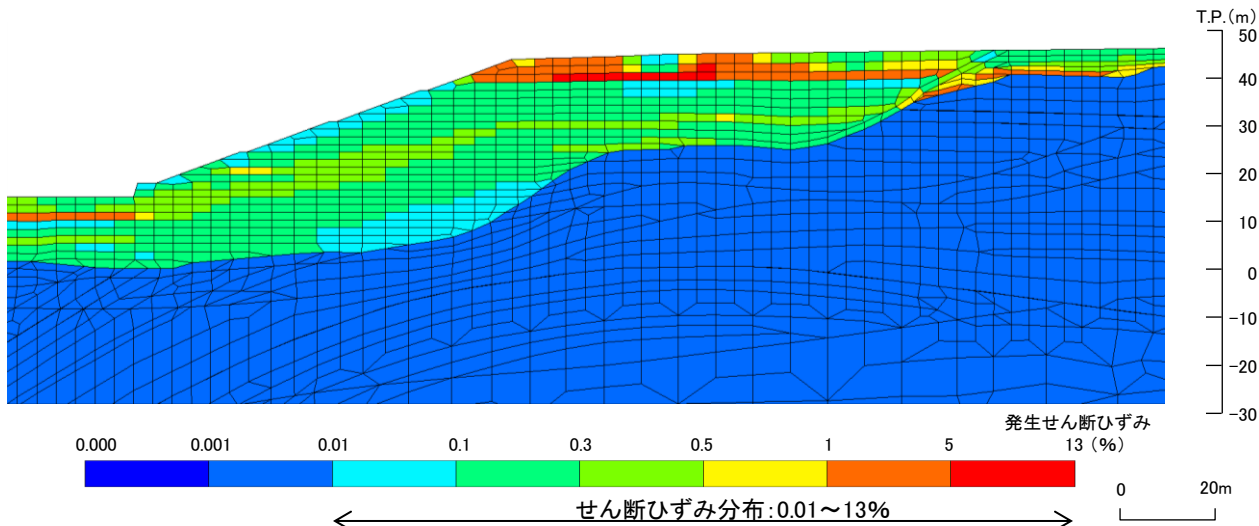
埋戻土の試料採取位置図



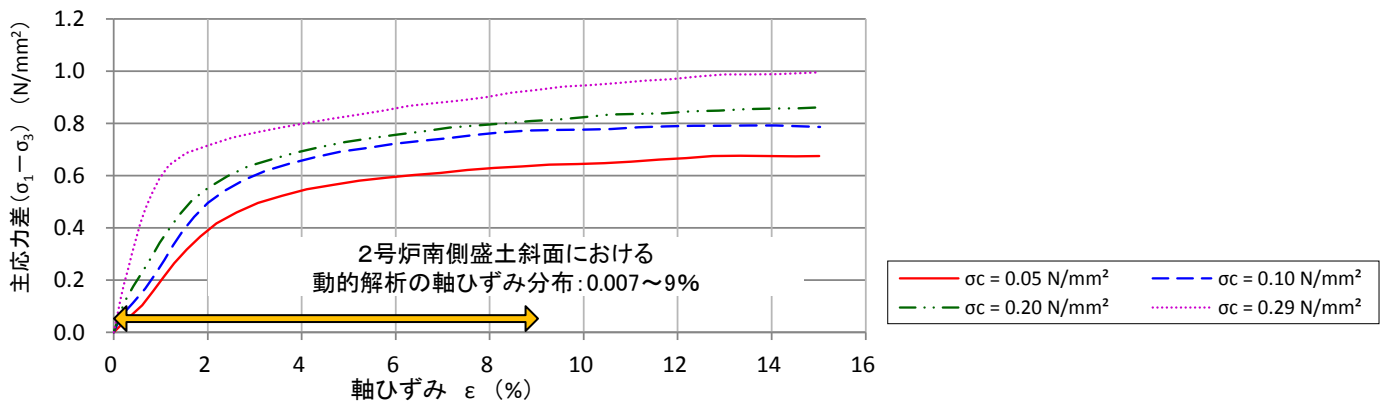
大型三軸圧縮試験結果(応力-ひずみ関係)

- ・3号炉試掘坑から採取した掘削ズリを用いて作成した供試体を対象とした大型三軸圧縮試験の試験結果を用いて設定した。
- ・平均強度から1σの低減を行い, ばらつきを考慮した強度を設定した。
- ・残留強度は, 応力-ひずみ関係において, ひずみ軟化傾向が認められないことから, せん断強度と同じ値で設定した。

埋戻土, 盛土(ピーク強度)(2/2)



2号炉南側盛土斜面(⑥-⑥'断面)における動的解析の発生せん断ひずみ分布図(各要素の時刻歴最大)
Ss-N2(NS)(+,+)



大型三軸圧縮試験結果(応力-ひずみ関係)

・耐震重要施設等の周辺斜面のうち, 評価対象斜面に選定した2号炉南側盛土斜面(⑥-⑥'断面)において, 2次元動的FEM解析の発生せん断ひずみ分布を確認した結果, 0.01~13%の範囲であり, 大半が0.1~0.5%である。
 ・一般式 $\gamma = (1 + \nu) \cdot \epsilon$ により, 軸ひずみに換算した結果, せん断ひずみ0.01~13%に対応する軸ひずみは, 0.007~9%である。

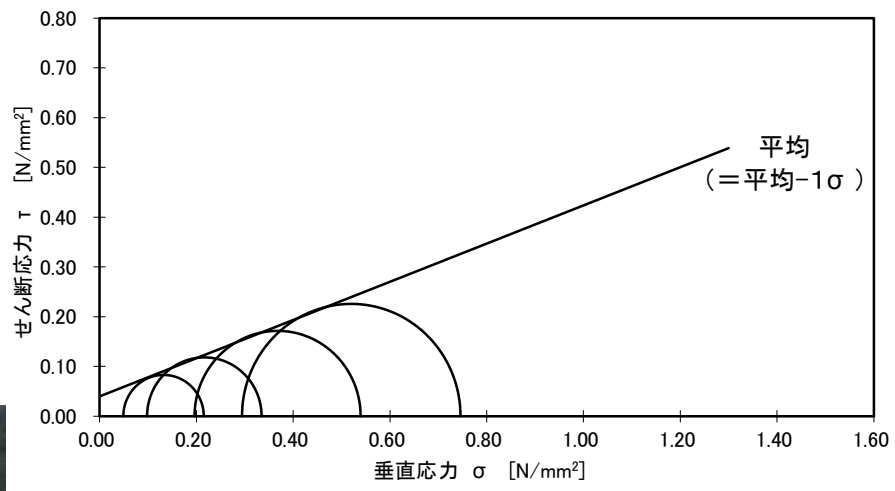
2. 解析用物性値の設定方法 2.2 強度特性

埋戻土(購入土)(ピーク強度)

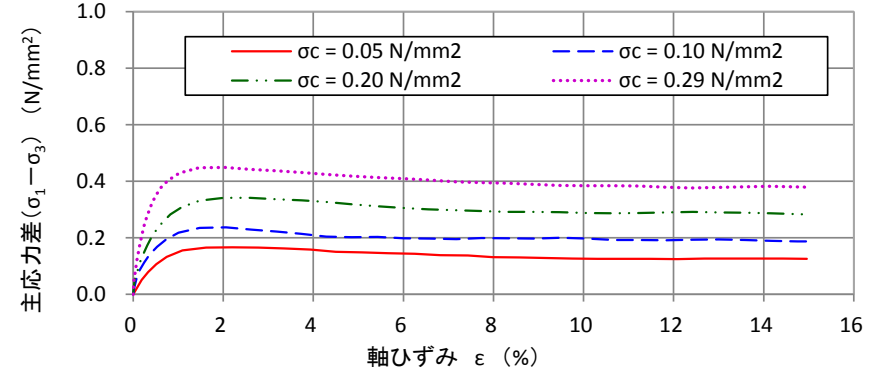
・三軸圧縮試験(埋戻土(購入土))

岩種	項目	せん断強度 τ_0 (kg/cm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
	埋戻土(購入土)	0.4	21
	設定した平均強度	0.4(0.04) [※]	21
	ばらつきを考慮した強度	0.4(0.04) [※]	21

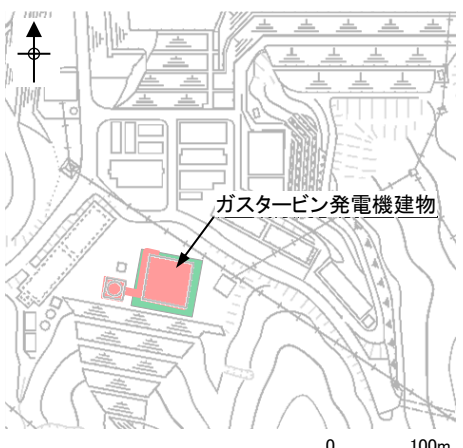
※ ()内はSI単位 (N/mm²) を示す。



三軸圧縮試験結果(破壊包絡線)



三軸圧縮試験結果(応力-ひずみ関係)



埋戻土(購入土) 分布範囲
耐震重要施設(直接岩盤で支持する施設)

埋戻土(購入土) 分布範囲



埋戻土(購入土) 現地写真(H11年)

- ・埋戻土(購入土)は、加工砂(主に花崗岩の砕砂)であり、三軸圧縮試験の試験結果を用いて平均強度を設定した。
- ・平均強度から1σの低減を行い、ばらつきを考慮した強度を設定した結果、平均強度と同等となった。
- ・残留強度は、応力-ひずみ関係において、ひずみ軟化傾向が認められないことから、せん断強度と同じ値で設定した。

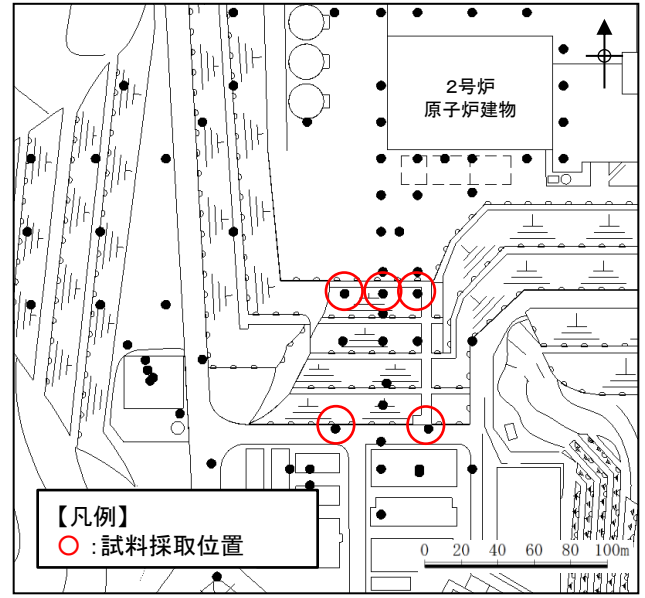
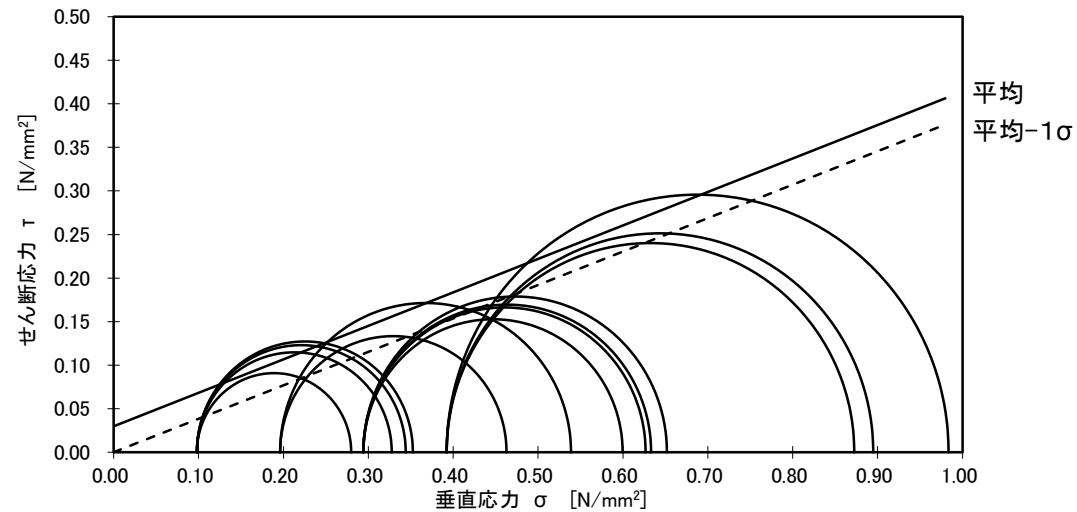
2. 解析用物性値の設定方法 2.2 強度特性

旧表土(ピーク強度)

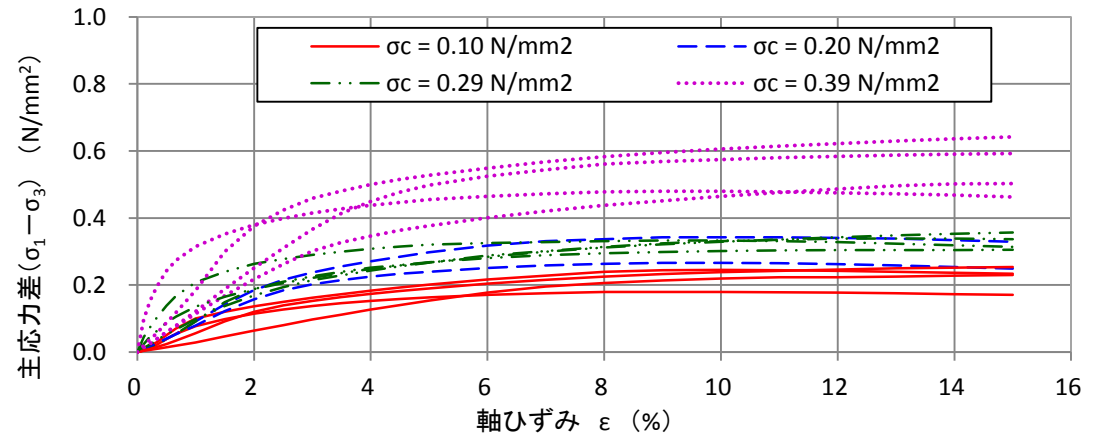
・三軸圧縮試験(旧表土)

岩種	項目	せん断強度 τ_0 (kg/cm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
旧表土		0.3	21
	設定した平均強度	0.3(0.03) [*]	21
	ばらつきを考慮した強度	0.0(0.00) [*]	21

※ ()内はSI単位(N/mm²)を示す。



旧表土の試料採取位置図(ボーリング位置図)



三軸圧縮試験結果(応力-ひずみ関係)

- ・旧表土の設定した平均強度は、三軸圧縮試験の試験結果を用いて設定した。
- ・平均強度から1 σ の低減を行い、ばらつきを考慮した強度を設定した。
- ・残留強度は、応力-ひずみ関係において、ひずみ軟化傾向が認められないことから、せん断強度と同じ値で設定した。

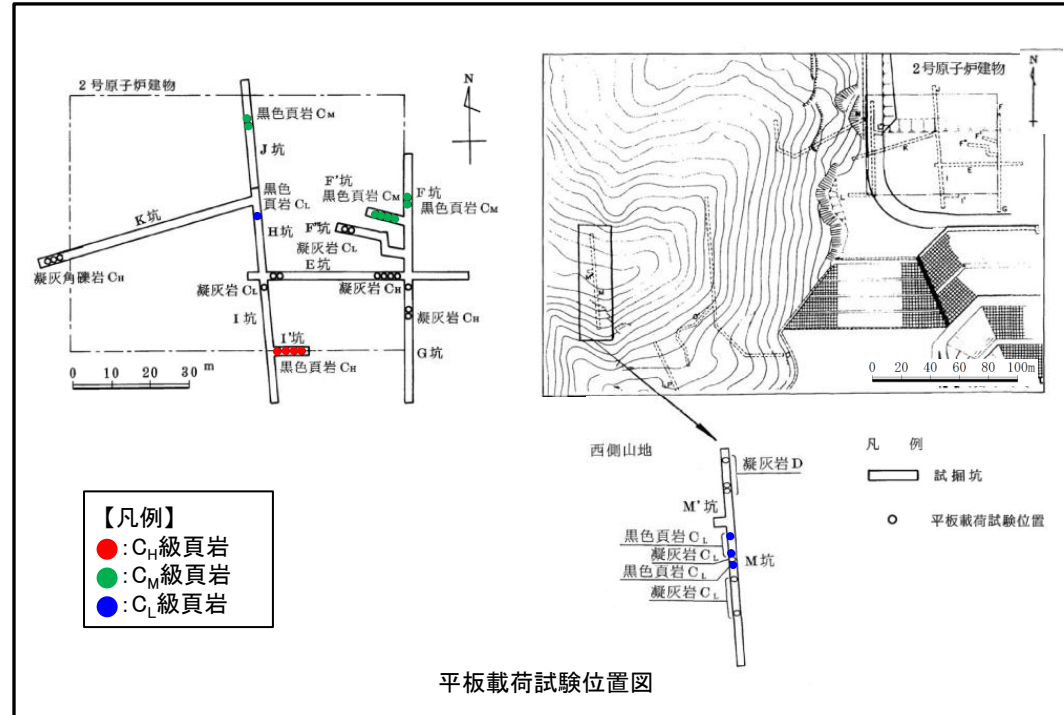
2. 解析用物性値の設定方法

2.3 静的変形特性

頁岩(静弾性係数)

・平板載荷試験結果

岩級	岩種	割線弾性係数 E_s ($\times 10^3 \text{N/mm}^2$)	設定した 静弾性係数 E ($\times 10^3 \text{N/mm}^2$)
C_H 級	頁岩	3.74	3.74
C_M 級		1.95	1.95
C_L 級		0.54	0.54

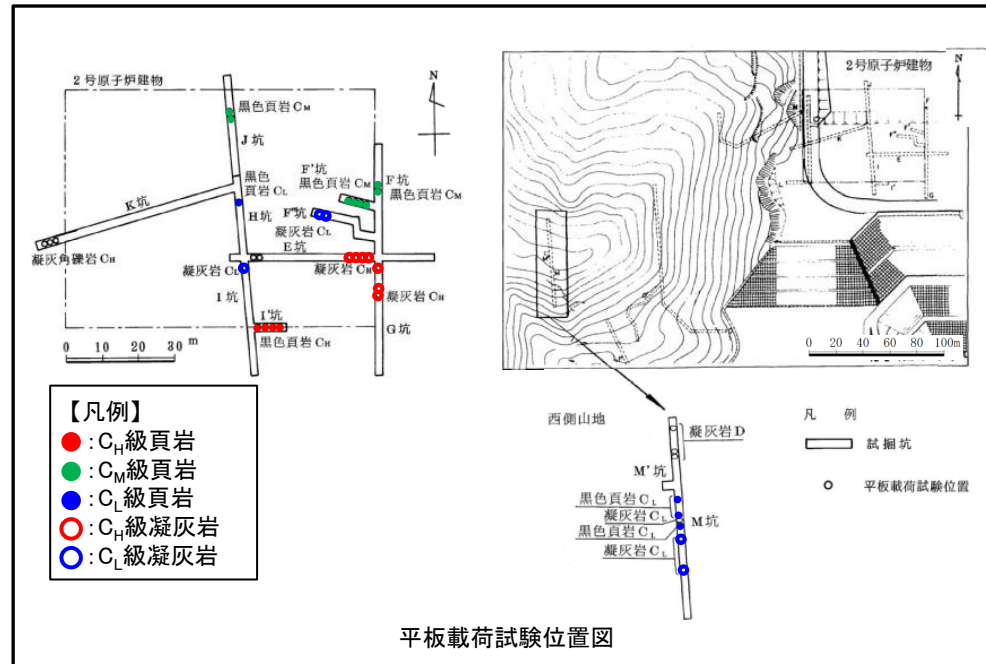


・頁岩を対象とした平板載荷試験の結果より、静弾性係数を設定した。

2. 解析用物性値の設定方法 2.3 静的変形特性
頁岩と凝灰岩の互層(静弾性係数)

・平板載荷試験結果

岩級	岩種	割線弾性係数 E_s ($\times 10^3 \text{N/mm}^2$)	設定した 静弾性係数 E ($\times 10^3 \text{N/mm}^2$)
C_H 級	頁岩	3.74	3.74
	凝灰岩	7.86	
C_M 級	頁岩	1.95	1.95
	凝灰岩	—	
C_L 級	頁岩	0.54	0.43
	凝灰岩	0.43	



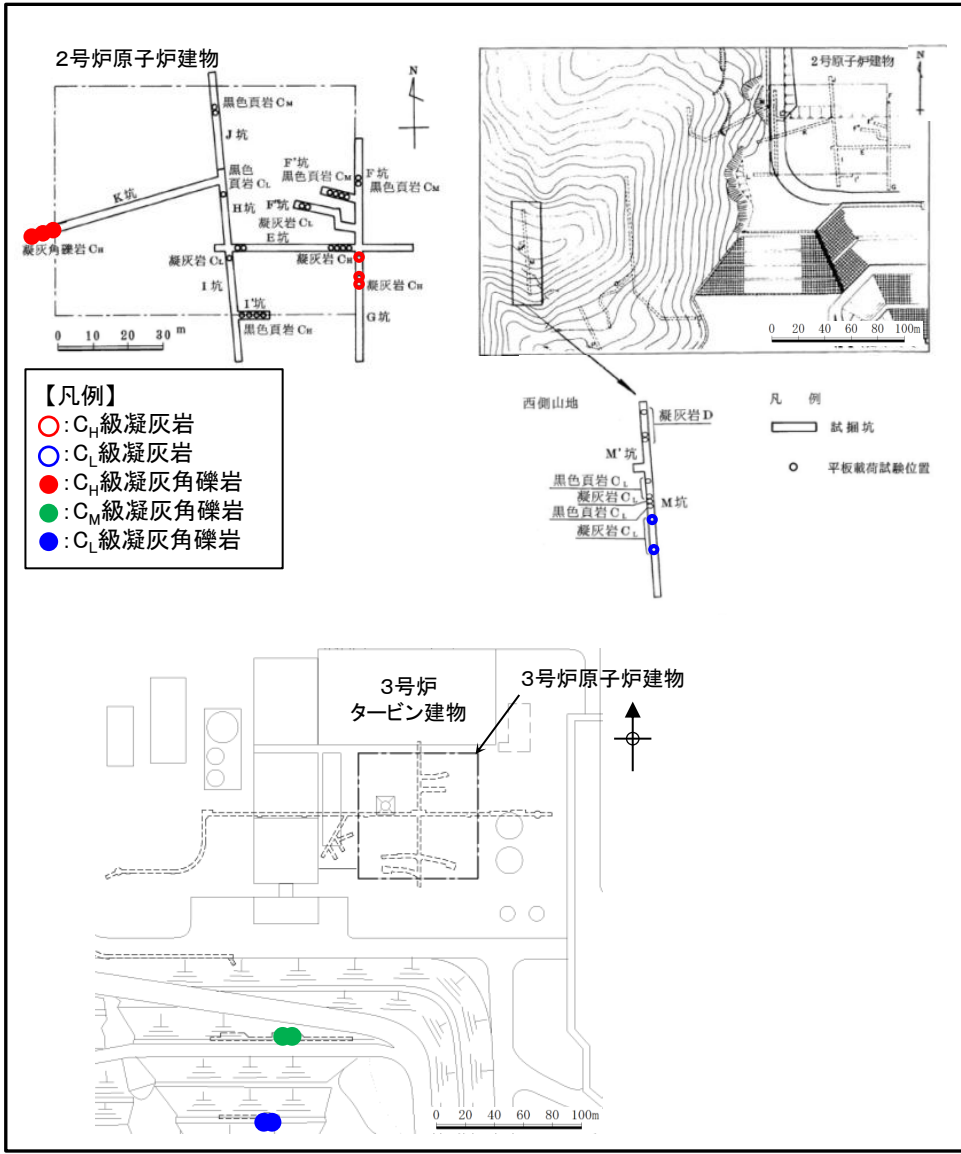
・頁岩及び凝灰岩を対象とした平板載荷試験の結果において、頁岩と凝灰岩の試験値の小方を採用し、静弾性係数に設定した。

2. 解析用物性値の設定方法 2.3 静的変形特性

凝灰岩・凝灰角礫岩(静弾性係数)

・平板載荷試験結果

岩級	岩種	割線弾性係数 E_s ($\times 10^3\text{N/mm}^2$)	設定した 静弾性係数 E ($\times 10^3\text{N/mm}^2$)
C_H 級	凝灰岩	7.86	7.78
	凝灰角礫岩	7.78	
C_M 級	凝灰岩	-	1.47
	凝灰角礫岩	1.47	
C_L 級	凝灰岩	0.43	0.43
	凝灰角礫岩	0.72	



- 【凡例】
- : C_H 級凝灰岩
 - : C_L 級凝灰岩
 - : C_H 級凝灰角礫岩
 - : C_M 級凝灰角礫岩
 - : C_L 級凝灰角礫岩

・凝灰岩及び凝灰角礫岩を対象とした平板載荷試験の結果において、凝灰岩と凝灰角礫岩の試験値の小方を採用し、静弾性係数に設定した。

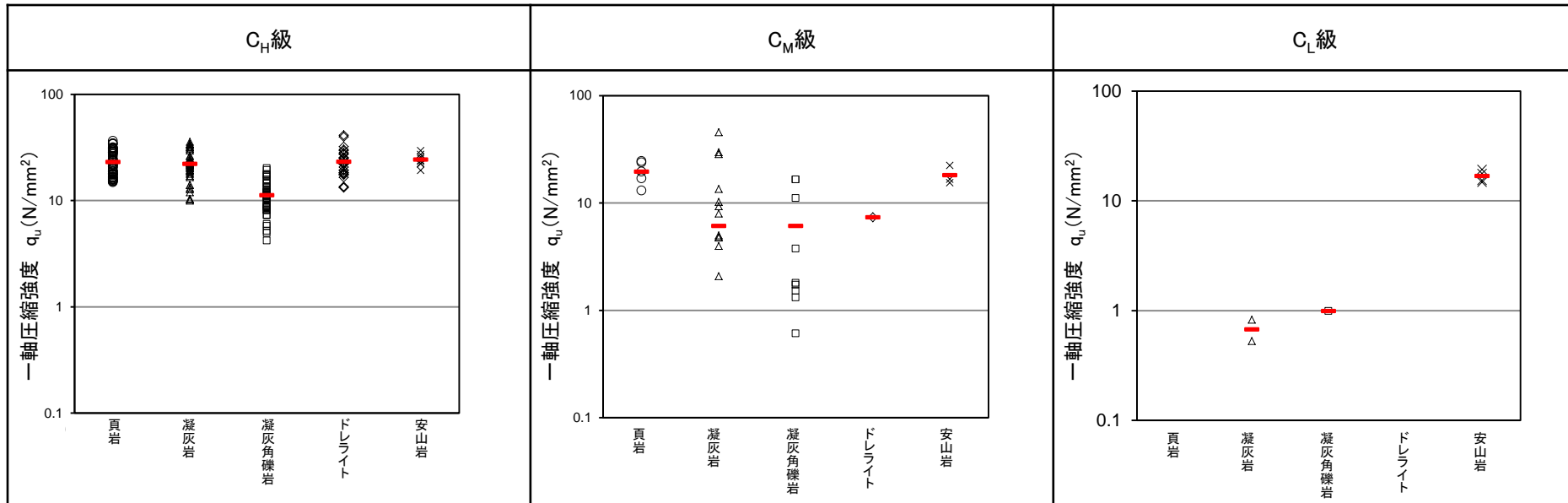
平板載荷試験位置図

2. 解析用物性値の設定方法 2.3 静的変形特性

ドレライト, 安山岩(静弾性係数)

【一軸圧縮試験結果】

(単位: $\times 10^3 \text{ N/mm}^2$)



【ドレライト及び安山岩の静弾性係数】

(単位: $\times 10^3 \text{ N/mm}^2$)

【凡例】
— : 平均値

岩級	ドレライト 安山岩	【参考値】		
		凝灰岩・凝灰角礫岩	頁岩	頁岩と凝灰岩の互層
C_H 級	7.78	7.78	3.74	3.74
C_M 級	1.47	1.47	1.95	1.95
C_L 級	0.43	0.43	0.54	0.43

- C_H 級の一軸圧縮試験の結果, ドレライト及び安山岩は他岩種より大きい値を示すため, ドレライト及び安山岩の C_H 級の静弾性係数は, 「頁岩」「頁岩と凝灰岩の互層」「凝灰岩・凝灰角礫岩」のうち最も大きい「凝灰岩・凝灰角礫岩」の値を流用した。
- C_M 級及び C_L 級の一軸圧縮試験の結果, ドレライト及び安山岩は凝灰岩・凝灰角礫岩と同等以上と考えられるが, 保守的に「頁岩」「頁岩と凝灰岩の互層」「凝灰岩・凝灰角礫岩」のうち最も小さい「凝灰岩・凝灰角礫岩」の値を流用した。

2. 解析用物性値の設定方法 2.3 静的変形特性

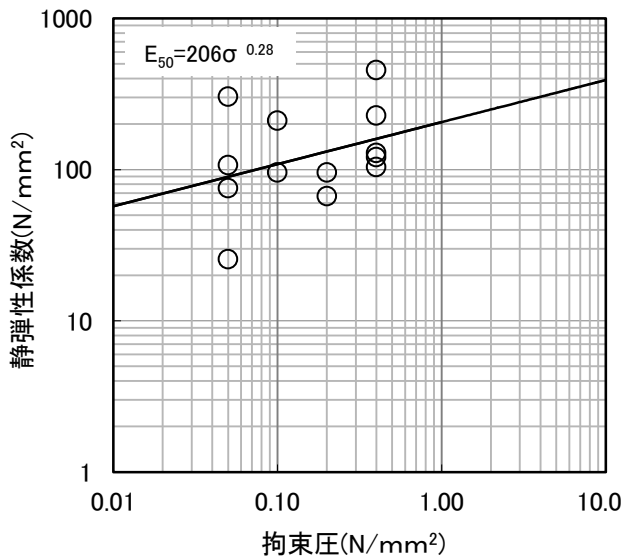
岩盤(静ポアソン比)

- ・静ポアソン比は一軸圧縮試験結果を基に設定した。
- ・詳細な設定方法を以下に示す。

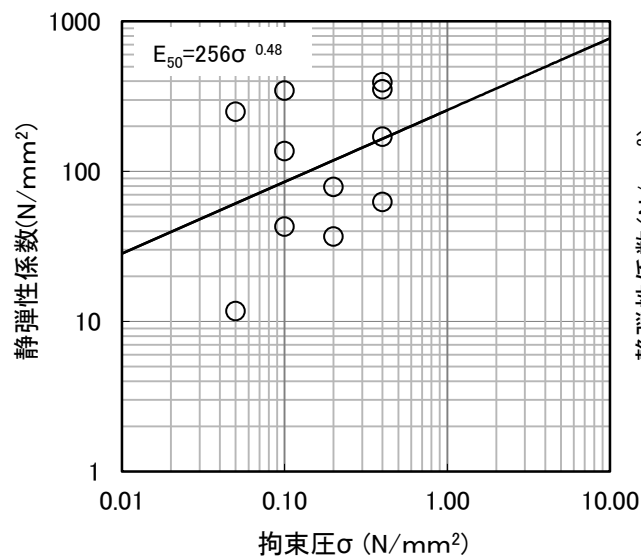
岩種・岩級		静ポアソン比 (ν)	備考
頁岩	C _H 級	0.19	一軸圧縮試験結果
	C _M 級	0.20	一軸圧縮試験結果
	C _L 級	0.20	一軸圧縮試験結果がC _M 級<C _L 級となるため、C _M 級と同じ値にした
頁岩と凝灰岩の互層	C _H 級	0.19	頁岩の一軸圧縮試験結果を用いた
	C _M 級	0.20	頁岩の一軸圧縮試験結果を用いた
	C _L 級	0.20	一軸圧縮試験結果がC _M 級<C _L 級となるため、C _M 級と同じ値にした
凝灰岩・凝灰角礫岩	C _H 級	0.19	凝灰角礫岩の一軸圧縮試験結果を用いた
	C _M 級	0.20	凝灰角礫岩の一軸圧縮試験結果を用いた
	C _L 級	0.25	一軸圧縮試験結果が最大となるC _H 級安山岩の試験値を用いた
ドレライト	C _H 級	0.22	一軸圧縮試験結果
	C _M 級	0.25	C _M 級安山岩の一軸圧縮試験結果を用いた
	C _L 級	0.25	C _L 級安山岩の一軸圧縮試験結果を用いた
安山岩	C _H 級	0.25	一軸圧縮試験結果※1を用いた
	C _M 級	0.25	一軸圧縮試験結果※1がC _H 級<C _M 級となるため、C _H 級と同じ値にした
	C _L 級	0.25	一軸圧縮試験結果※1がC _M 級<C _L 級となるため、C _M 級と同じ値にした

※1 3号炉の試験値を流用

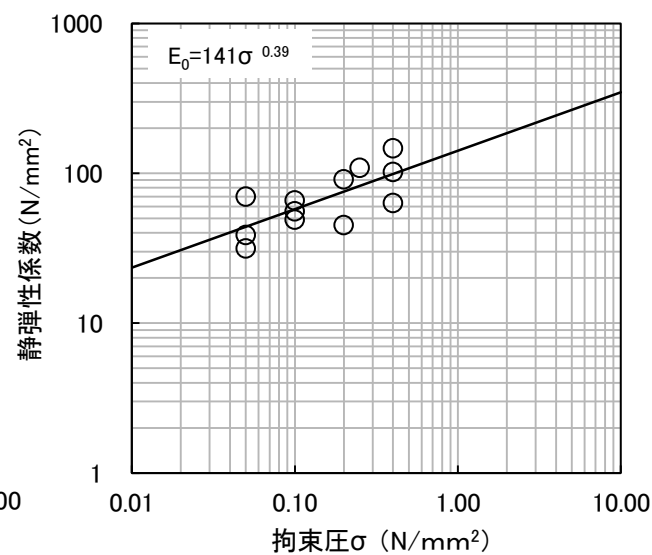
D級岩盤



三軸圧縮試験結果
(頁岩, 頁岩・凝灰岩の互層)



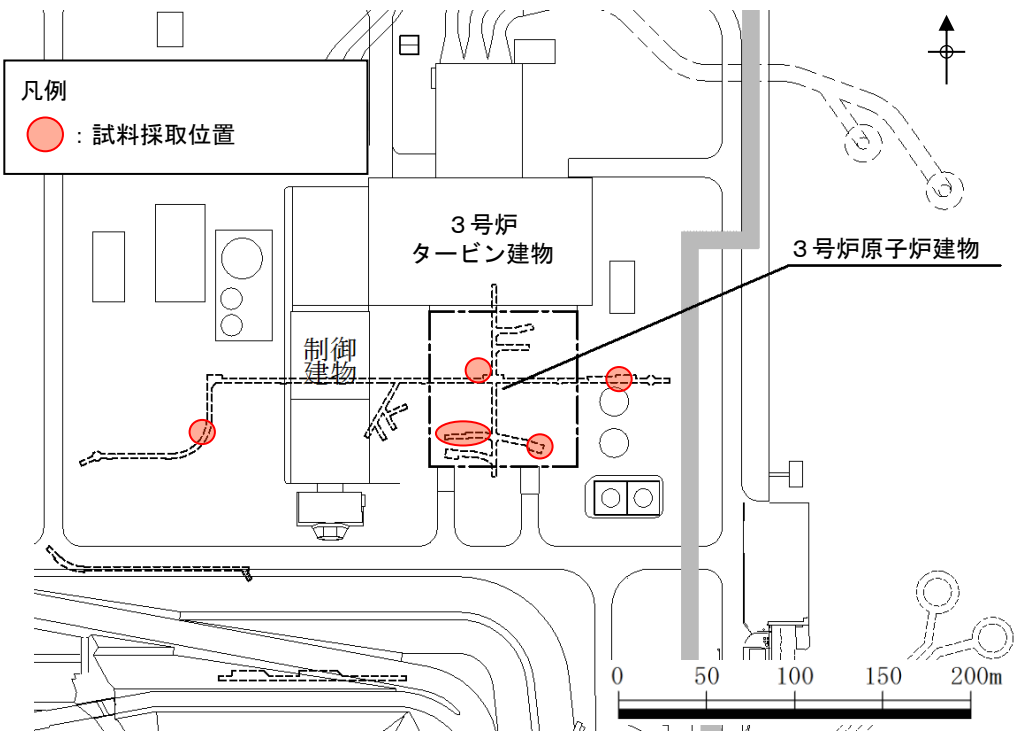
三軸圧縮試験結果
(ドレライト, 安山岩)



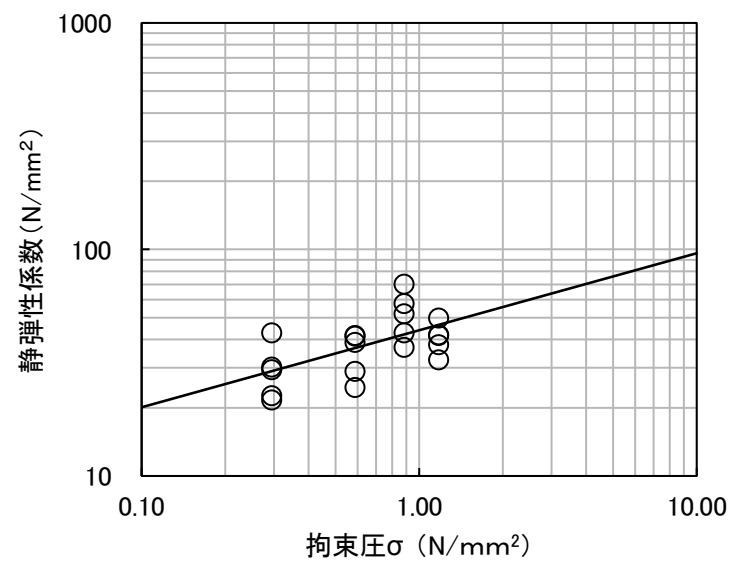
三軸圧縮試験結果
(凝灰岩・凝灰角礫岩)

- ・平成21年及び平成29年に実施した三軸圧縮試験の結果より, 静弾性係数を設定した。
- ・静ポアソン比は慣用値(=0.30)で設定した。

シーム



シームの試料採取位置図

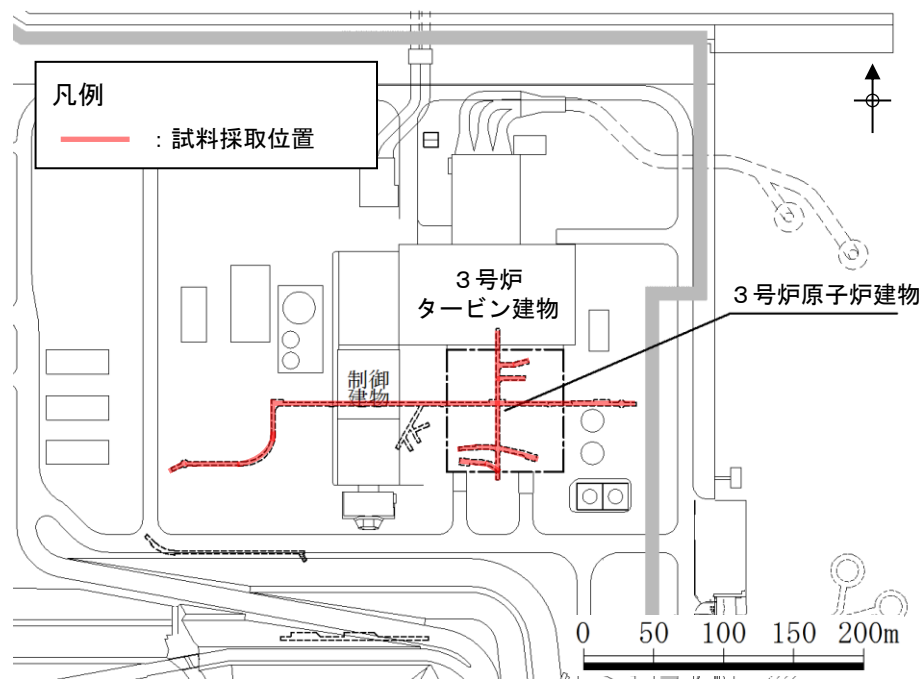


シーム : $G_{0.5} = 44\sigma^{0.34}$ (N/mm²)

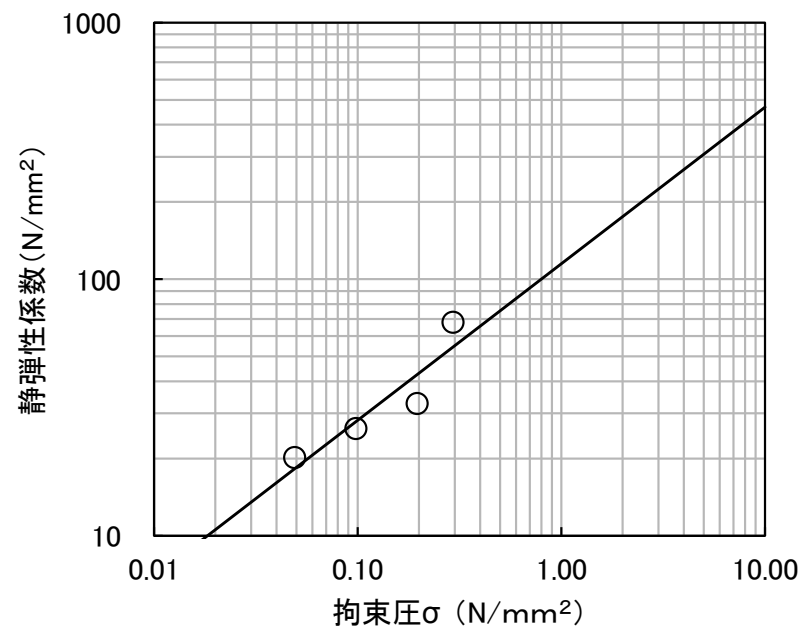
単純せん断試験結果

- ・シームを対象とした単純せん断試験の結果より、静弾性係数を設定した。
- ・静ポアソン比は慣用値 (=0.40) で設定した。

埋戻土, 盛土



埋戻土の試料採取位置図

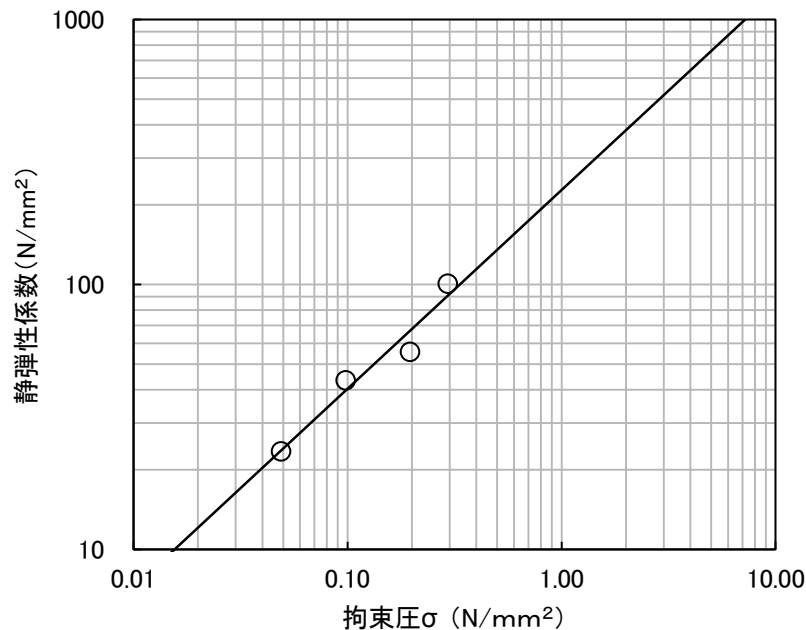


$$\text{埋戻土} : E_{0.5} = 115\sigma^{0.61} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

大型三軸圧縮試験結果

- ・3号炉試掘坑から採取した掘削ズリを用いて作成した供試体を対象とした大型三軸圧縮試験の結果より、静弾性係数を設定した。
- ・静ポアソン比は慣用値(=0.40)で設定した。

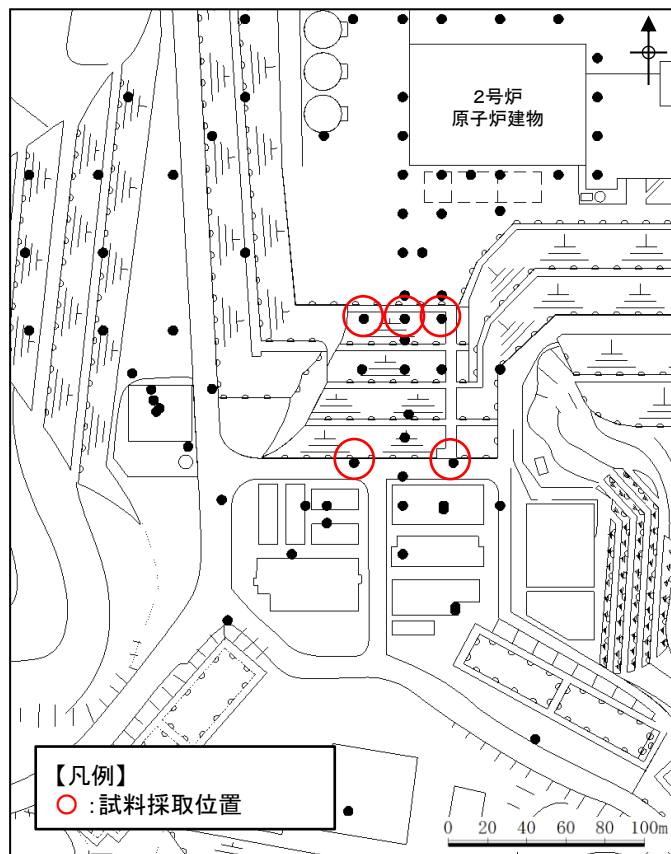
埋戻土(購入土)



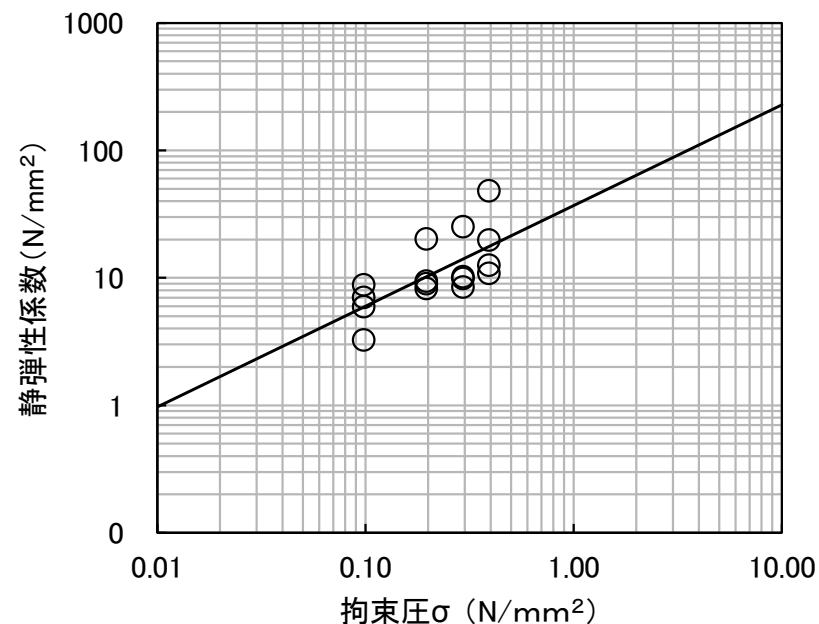
$$\text{埋戻土(購入土)} : E_{0.5} = 227\sigma^{0.75} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

三軸圧縮試験結果

- ・埋戻土(購入土)を対象とした三軸圧縮試験の結果より、静弾性係数を設定した。
- ・静ポアソン比は慣用値(=0.40)で設定した。



旧表土の試料採取位置図



旧表土 : $E_{0.5} = 37\sigma^{0.79}$ (N/mm²)

三軸圧縮試験結果

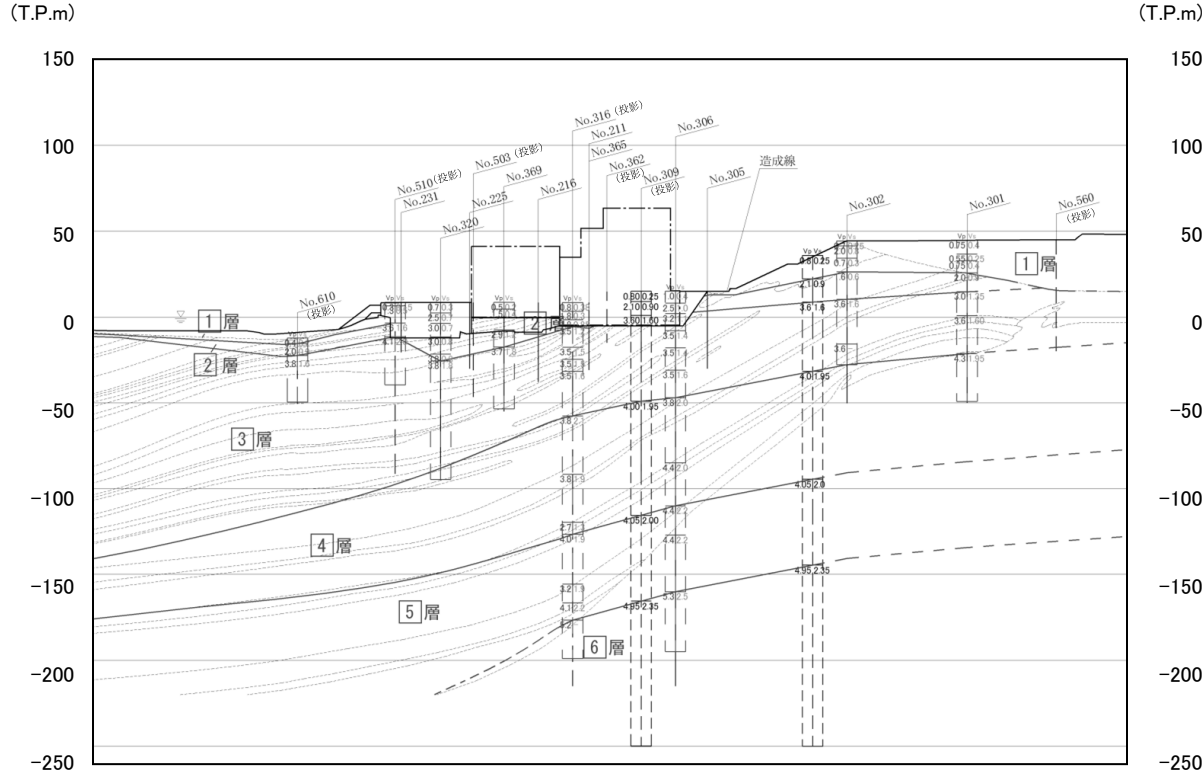
- ・旧表土を対象とした三軸圧縮試験結果より、静弾性係数を設定した。
- ・静ポアソン比は慣用値(=0.40)で設定した。

2. 解析用物性値の設定方法

2.4 動的変形特性

2. 解析用物性値の設定方法 2.4 動的変形特性

岩盤(成相寺層)C_H級・C_M級・C_L級



■ 動せん断弾性係数

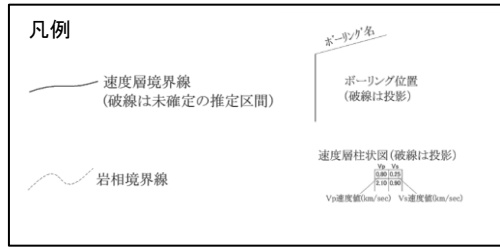
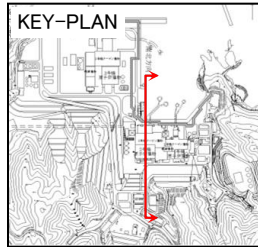
$$G_d = (\gamma / g) \cdot V_s^2$$

- γ : 単位体積重量
- g : 重力加速度
- V_s : S波速度

■ 動ポアソン比

$$\nu_d = 1/2 \times \{(V_p/V_s)^2 - 2\} / \{(V_p/V_s)^2 - 1\}$$

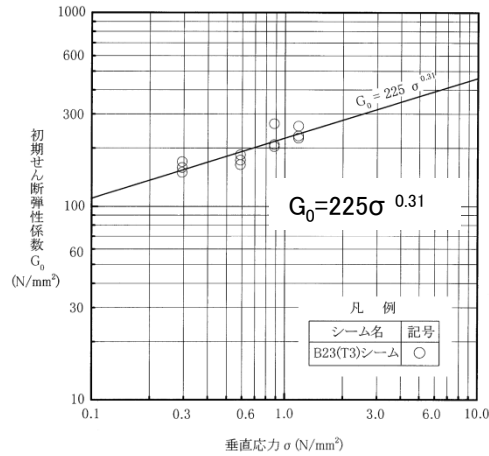
V_p : P波速度



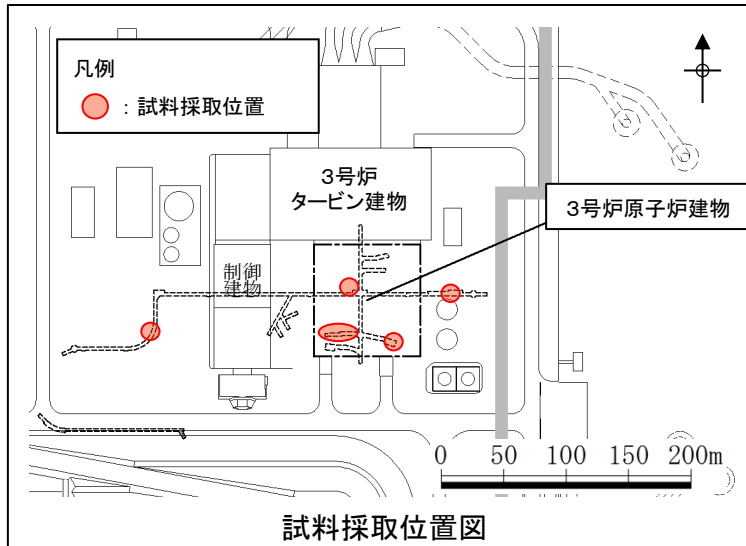
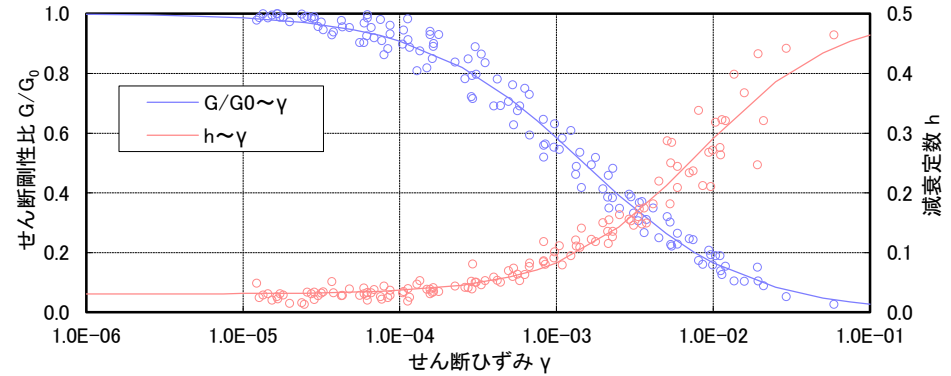
・岩盤(成相寺層)C_H級・C_M級・C_L級の動的変形特性は、PS検層結果から作成した速度層構造を基に、各層の単位体積重量を用いて算定した。

2. 解析用物性値の設定方法 2.4 動的変形特性

シーム



動的変形特性（初期せん断弾性係数）



試料採取位置図

初期せん断弾性係数 G_0 (N/mm ²)	$225\sigma^{0.31}$
せん断剛性比 G/G_0	$1/[1+(\gamma/0.00149)^{0.849}]$
減衰定数 h	$\gamma/(2.14\gamma+0.017)+0.031$

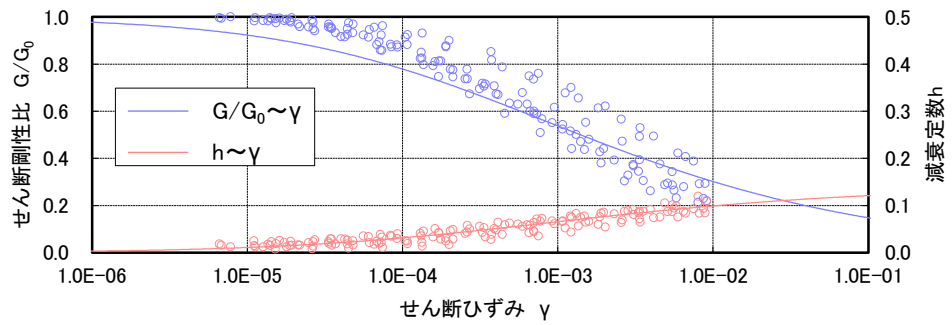
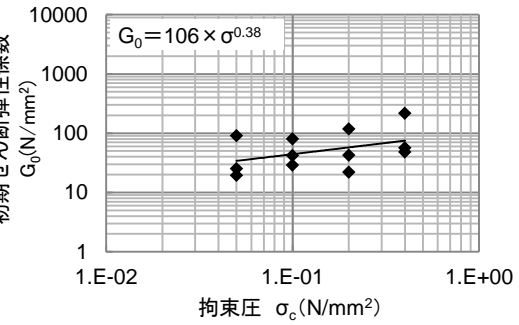
- ・シームを対象とした動的単純せん断試験の結果より、動的変形特性を設定した。
- ・動ポアソン比は慣用値 (=0.45) で設定した。

2. 解析用物性値の設定方法 2.4 動的変形特性

D級岩盤

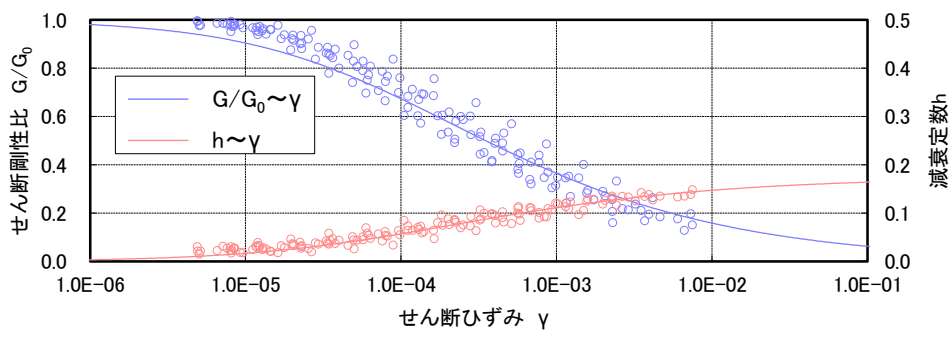
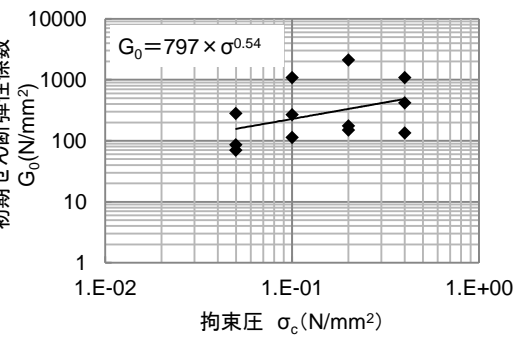
・ D級岩盤のひずみ依存特性については、平成21年及び平成29年に実施した動的変形試験の試験結果より設定した。
 ・ 動ポアソン比は慣用値 (=0.45) で設定した。

【頁岩, 頁岩・凝灰岩の互層】



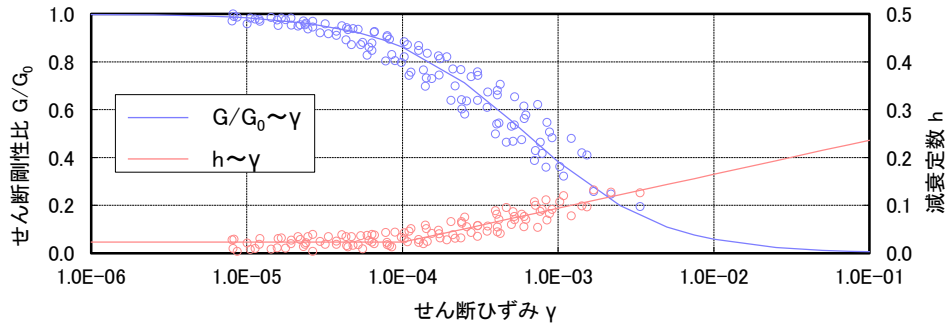
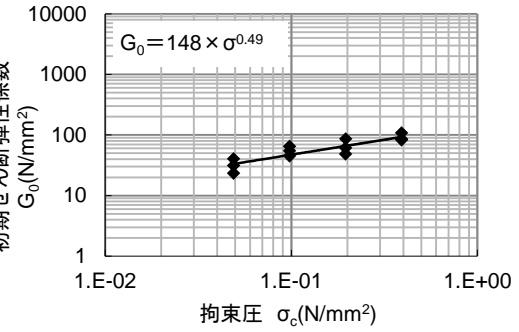
・ $G/G_0 = 1 / (1 + (2 \times (\gamma / 0.0014) \times (G/G_0)^{0.574}))$
 ・ $h = 0.142 \times (1 - (G/G_0))$

【ドレライト, 安山岩】



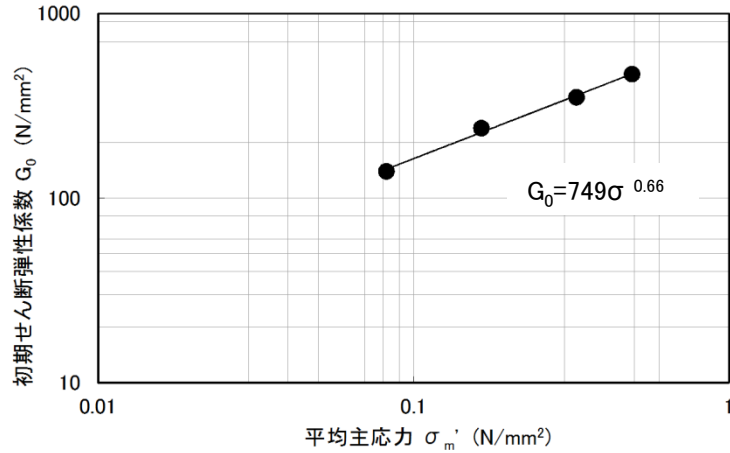
・ $G/G_0 = 1 / (1 + (2 \times (\gamma / 0.00035) \times (G/G_0)^{0.758}))$
 ・ $h = 0.175 \times (1 - (G/G_0))$

【凝灰岩・凝灰角礫岩】

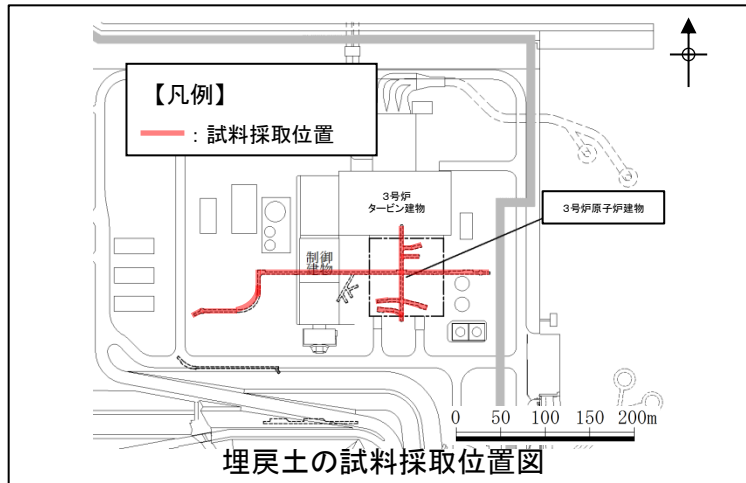
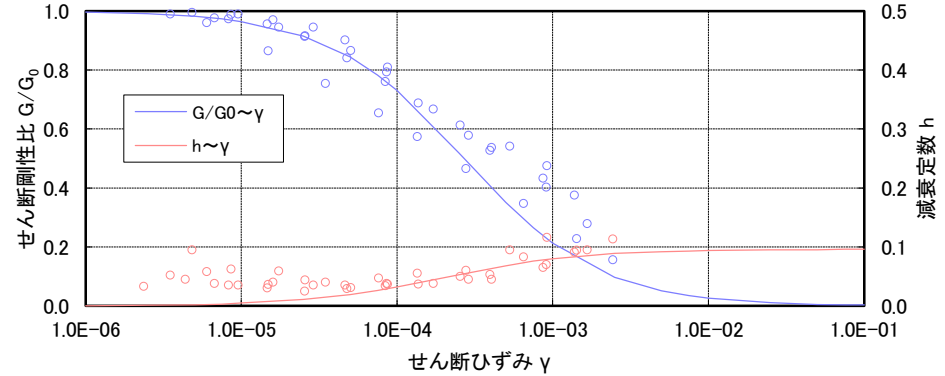


・ $G/G_0 = 1 / (1 + (\gamma / 0.00062))$
 ・ $h = 0.023 \quad (\gamma \leq 1 \times 10^{-4})$
 ・ $h = 0.023 + 0.071 \times \log(\gamma / 0.0001) \quad (\gamma > 1 \times 10^{-4})$

2. 解析用物性値の設定方法 2.4 動的変形特性 埋戻土, 盛土



動的変形特性 (初期せん断弾性係数)

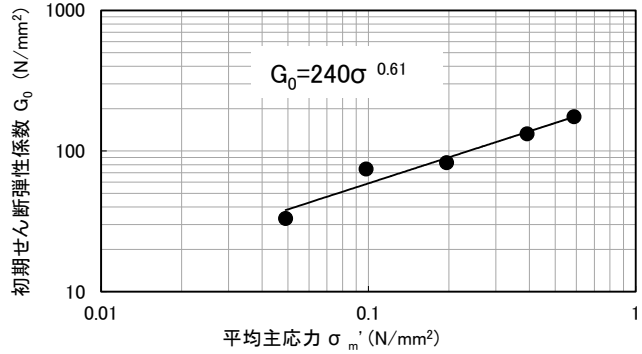


初期せん断弾性係数 G_0 (N/mm ²)	$749\sigma^{0.66}$
せん断剛性比 G/G_0	$1/(1+\gamma/0.00027)$
減衰定数 h	$0.0958\gamma / (\gamma + 0.00020)$

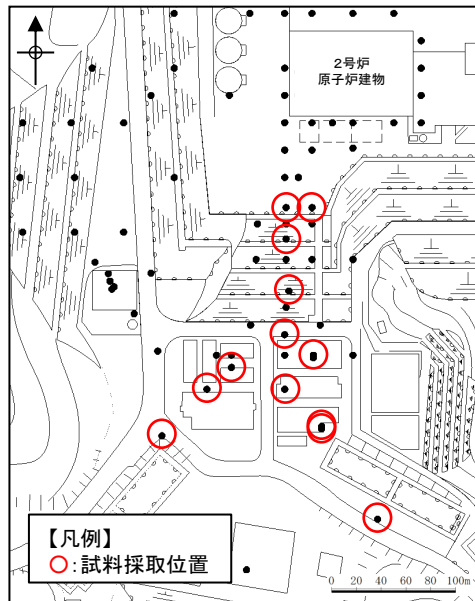
- ・3号炉試掘坑から採取した掘削ズリを用いて作成した供試体を対象とした動的大型三軸圧縮試験の結果により, 動的変形特性を設定した。
- ・動ポアソン比は慣用値(=0.45)で設定した。

2. 解析用物性値の設定方法 2.4 動的変形特性

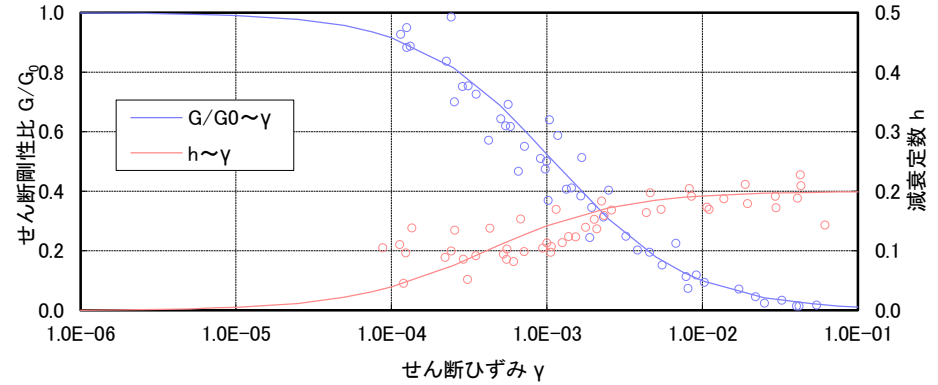
旧表土



動的変形特性 (初期せん断弾性係数)



旧表土の試料採取位置図

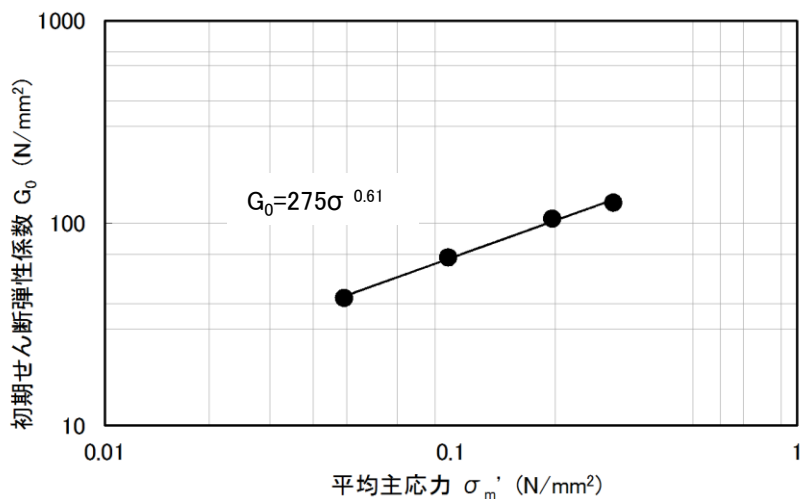


初期せん断弾性係数 G_0 (N/mm ²)	$240\sigma^{0.61}$
せん断剛性比 G/G_0	$1/(1+\gamma/0.0011)$
減衰定数 h	$0.20\gamma/(\gamma+0.000413)$

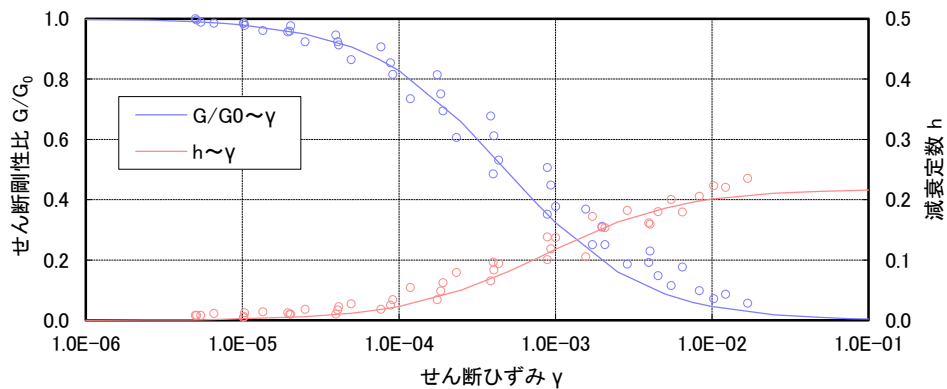
- ・旧表土を対象とした動的三軸試験の結果により、動的変形特性を設定した。
- ・動ポアソン比は慣用値(=0.45)で設定した。

2. 解析用物性値の設定方法 2.4 動的変形特性

埋戻土(購入土)



動的変形特性(初期せん断弾性係数)



初期せん断弾性係数 G_0 (N/mm ²)	$275\sigma^{0.61}$
せん断剛性比 G/G_0	$1/(1+\gamma/0.00048)$
減衰定数 h	$0.2179\gamma / (\gamma + 0.00085)$

- ・埋戻土(購入土)を対象とした三軸圧縮試験の結果により、動的変形特性を設定した。
- ・動ポアソン比は慣用値(=0.45)で設定した。

余白

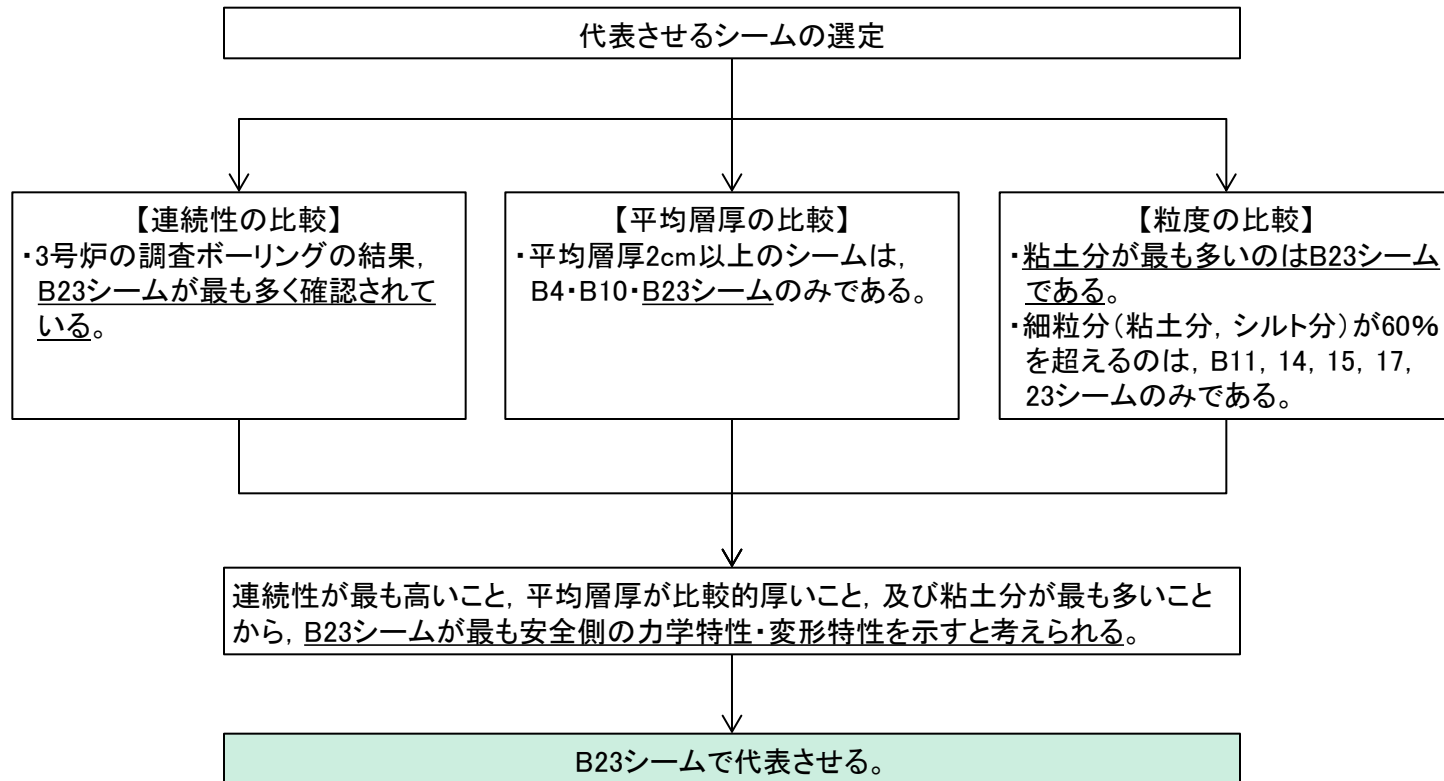
2. 解析用物性値の設定方法

2.5 シームの代表性

シームの代表性の整理

【敷地に分布する連続性の高いシーム: B1~29シームの29枚】

- ・概ね同様の性状
- ・同じ成因(新第三紀中新世の南北圧縮応力場による層面すべり)
- ・活動性評価については、最も連続性が高いB23シームで代表させている。



・敷地に分布する連続性の高いB1~29シームのうち、最も連続性が高いこと等から、最も安全側になると考えられるB23シームで代表させる。

2. 解析用物性値の設定方法 2.5 シームの代表性

シームの性状(層厚)

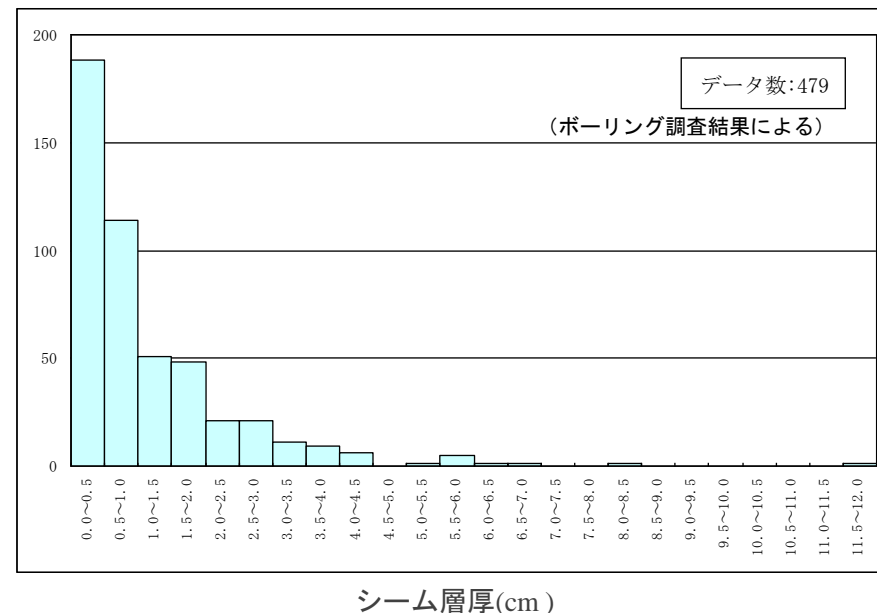
確認シームの規模・性状及び位置関係

ボーリング確認シーム ^{*1}				試験坑確認シーム			
シーム名	炉心対応深度 ^{*2} T.P. (m)	平均層厚 (cm)	データ個数	性状	坑内シーム	試験坑での確認位置(起点からの距離 m)	性状
B29	+29	1.1	2	細礫混り淡褐色粘土	試験坑未到達層準		
B28	-4	0.8	18	細礫混り灰色粘土	T6	A立坑 ~ A坑 14	N79°E~57°W/5°~26°N, 厚さ16mm以下, 幅10~25mmが脆弱化
						A坑 30~40	N57°~83°W/15°~24°N, フィルム状
						A坑 80~87	N82°~87°E/10°~20°N, フィルム状
						B坑 2~10	
B27	-10	0.2	2	灰白色粘土	試験坑壁には出現しない		
B26	-12	0.7	10	灰色粘土質砂	試験坑壁には出現しない		
B25	-14	0.5	19	灰白色粘土質砂	T5	C坑 21~28	N58°~80°W/17°~23°N, フィルム状
B24	-16	1.1	26	灰色~灰白色粘土	T4	C坑 26~35	N73°~89°W/18°~22°N, 厚さ10mm
						D立坑 ~ D坑 10	N57°~82°E/17°~22°N, 厚さ5~10mm
						D坑 55~66	N60°~76°W/13°~18°N
						C坑 26~35	N73°E~72°W/14°~20°N, 厚さ17~19mm
B23	-16	2.1	57	細礫混り灰色粘土	T3	D立坑 ~ D坑 10	N63°E~87°W/10°~25°N, 厚さ20~45mm
						D坑 55~65	N67°~82°W/18°~24°N
						D立坑	N50°~82°E/18°~32°N
						D坑 6~18	N85°E~45°W/7°~17°N
B22	-18	0.7	6	灰白色粘土	T2	C坑 33~45	N64°~87°W/10°~23°N, フィルム状
						D立坑 ~ D坑 17	N72°~88°E/10°~30°N
						D坑 46~49	N60°~82°W/7°~18°N, フィルム状
						試験坑壁には出現しない	
B21	-19	1.8	17	細礫混り灰色~灰白色粘土	T1		
B20	-20	1.2	3	灰白色粘土	試験坑壁には出現しない		
B19	-29	0.5	3	粘土混り灰色砂礫			
B18	-48	0.9	35	灰色粘土			
B17	-53	0.2	7	灰白色粘土			
B16	-55	1.4	26	細礫混り灰色粘土			
B15	-60	0.5	14	細礫混り灰色粘土			
B14	-65	0.6	25	細礫混り灰色粘土			
B13	-66	0.9	23	細礫混り灰色~灰白色粘土			
B12	-75	0.8	33	灰白色粘土			
B11	-76	0.3	11	細礫混り灰色粘土			
B10	-79	2.0	34	細礫混り灰色~灰白色粘土			
B9	-79	1.6	7	細礫混り灰色粘土			
B8	-79	1.2	38	細礫混り灰色~灰白色粘土			
B7	-115	0.3	8	灰白色粘土			
B6	-125	0.9	8	細礫混り灰色~灰白色粘土			
B5	-132	0.8	4	粘土混り暗灰色細礫			
B4	-133	2.9	20	細礫混り灰色粘土			
B3	-133	0.9	5	砂混り灰色粘土			
B2	-137	0.9	15	砂礫混り灰色粘土			
B1	-200	0.6	3	粘土混り黒灰色砂			

*1: ボーリングコアとボアホールカメラにより連続性を検討し認定されたシームである。

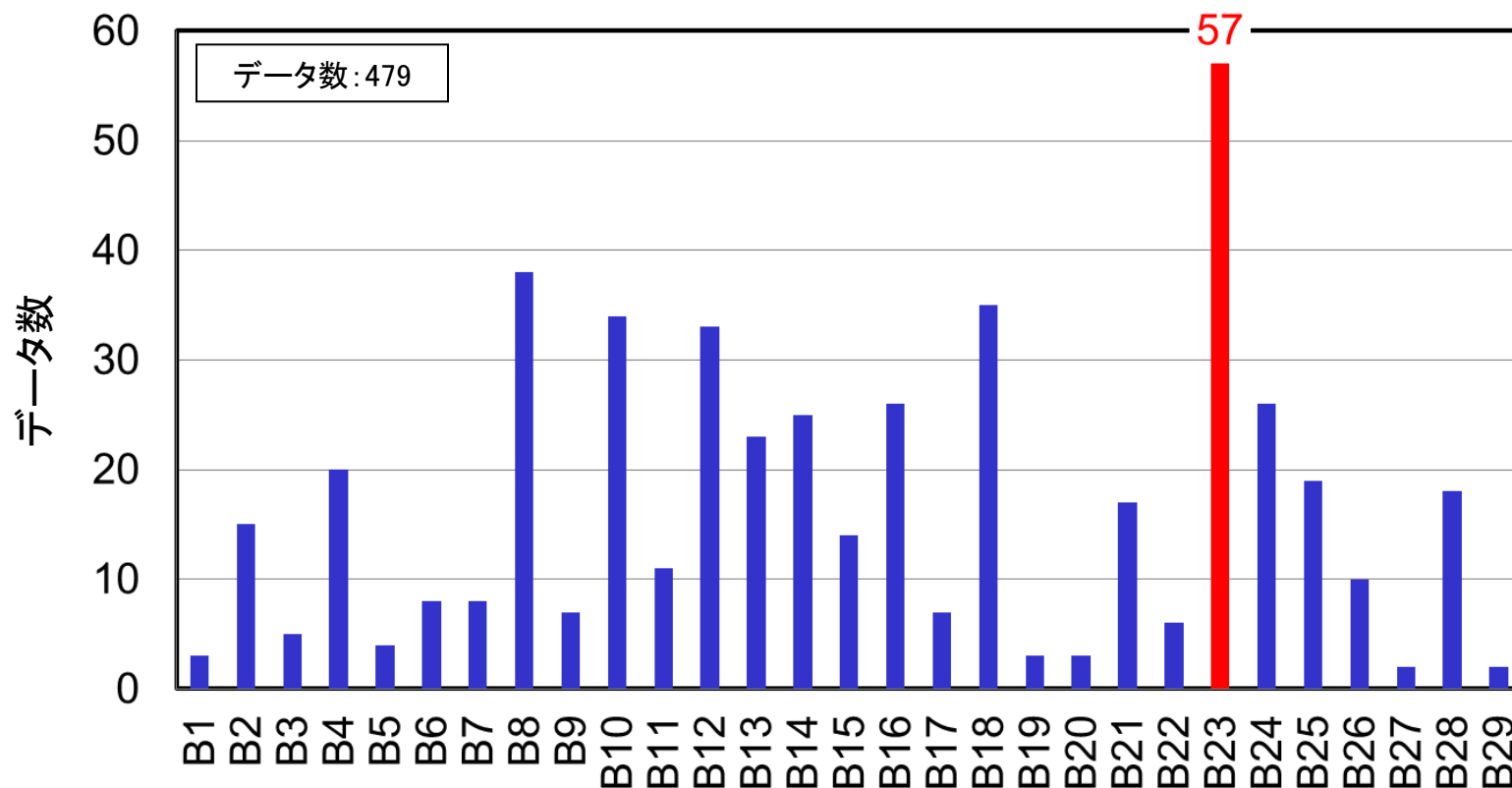
*2: シーム含有層準の炉心部での出現深度を記載したものであり、炉心部におけるシームの有無を示したのではない。

- 一部、層厚5cm以上のシームも認められるが、ほとんどの厚さは3cm程度以下と薄く、層厚の内訳としては、0.5cm以下のものが大半である。
- 平均層厚2cm以上のシームは、B4, 10, 23シームのみである。



シーム層厚と個数(層数)の関係

シームの性状(代表性に関する検討)



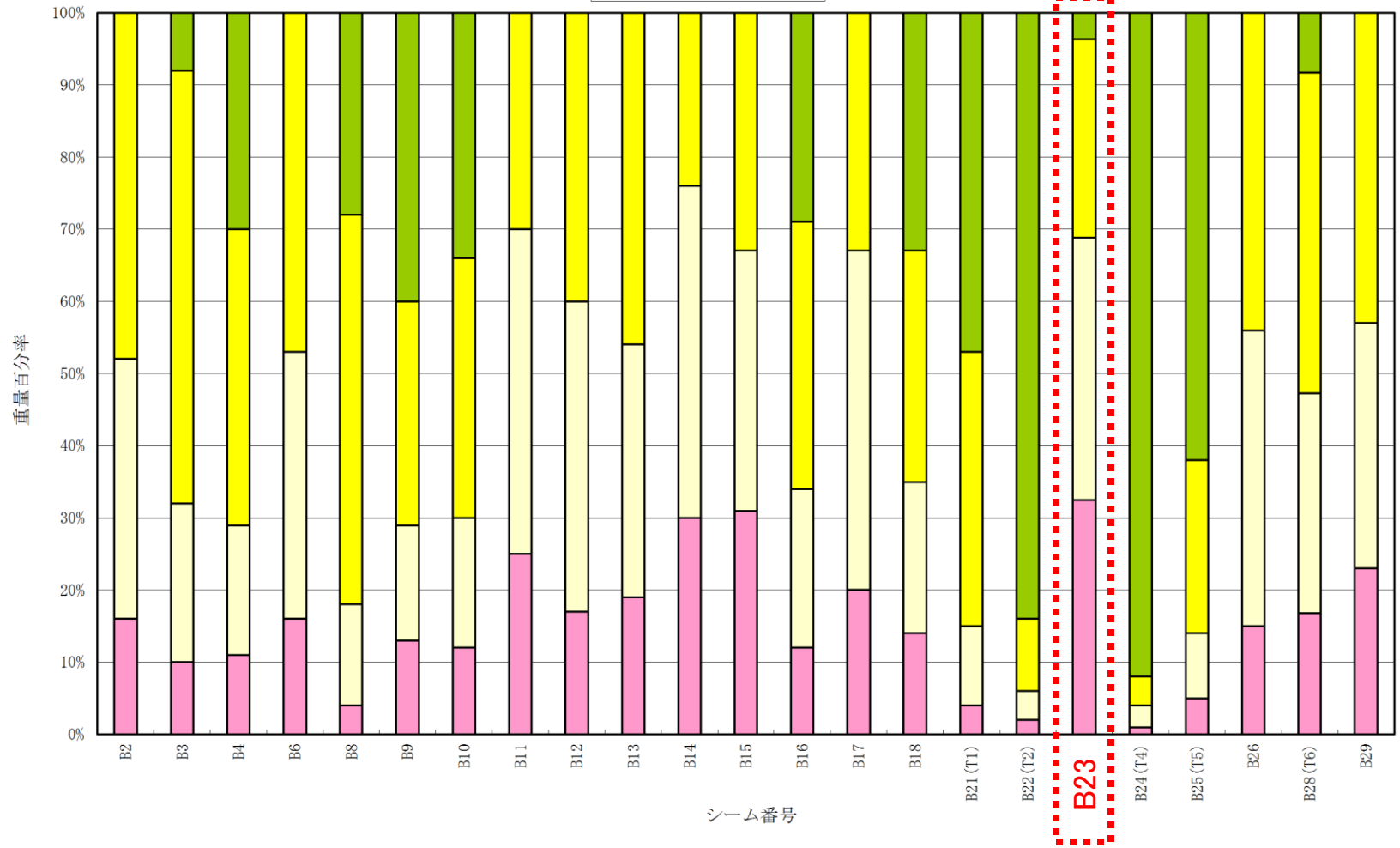
ボーリング調査におけるシームの箇所数の整理

・3号炉のボーリング調査によるシームの確認箇所数を整理した結果、B23シームが最も多く確認されており、B1～B29シームのうち最も連続性が高いシームであると考えられる。

シームの性状(粒度試験)

■粘土分 (%) ■シルト分 (%) ■砂分 (%) ■礫分 (%)

シームの粒度分布



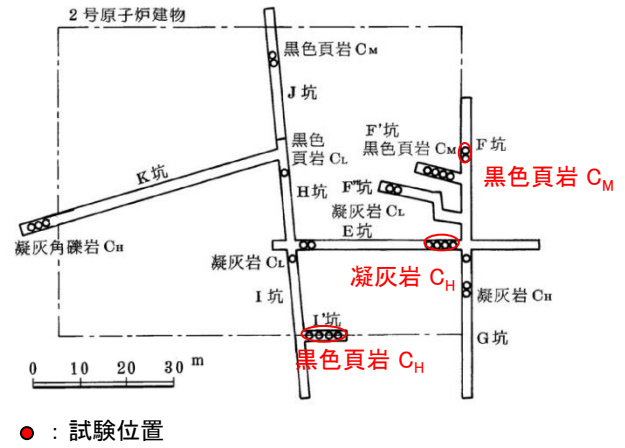
・3号炉のボーリング調査によるシームから試料を採取し、粒度試験を実施した結果、B23シームは粘土分が最も多い。

2. 解析用物性値の設定方法

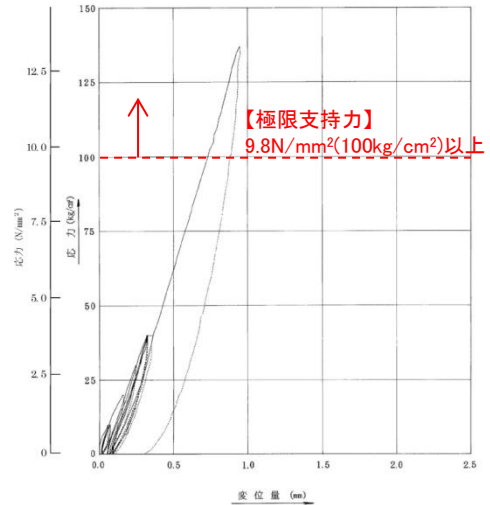
2.6 地盤の支持力

2. 解析用物性値の設定方法 2.6 地盤の支持力

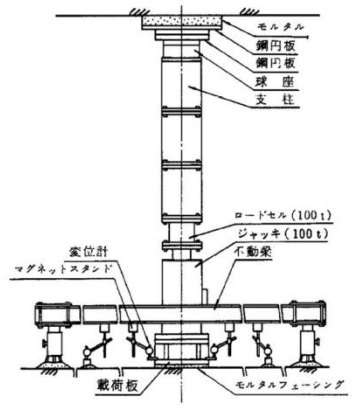
C_H 級, C_M 級岩盤



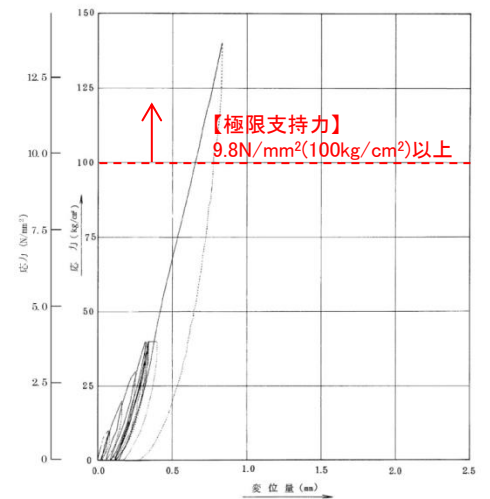
● : 試験位置
平板載荷試験位置図(2号試掘坑平面図)



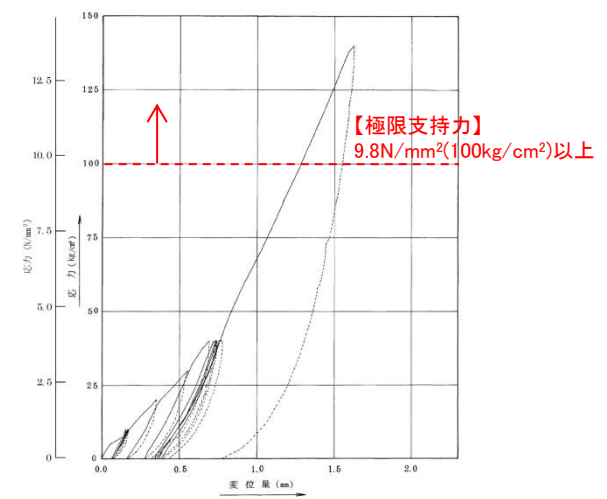
(a) 凝灰岩 (C_H 級)



平板載荷試験装置



(b) 黑色頁岩 (C_H 級)



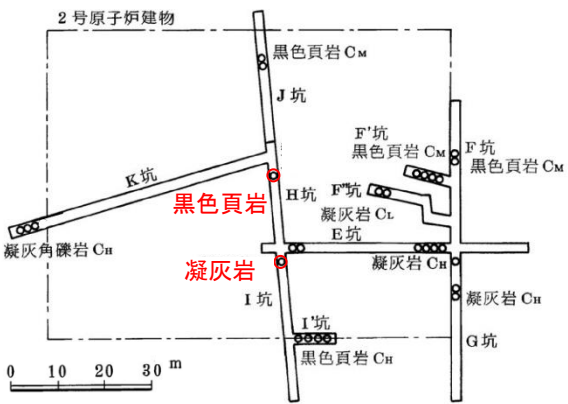
(c) 黑色頁岩 (C_M 級)

平板載荷試験結果

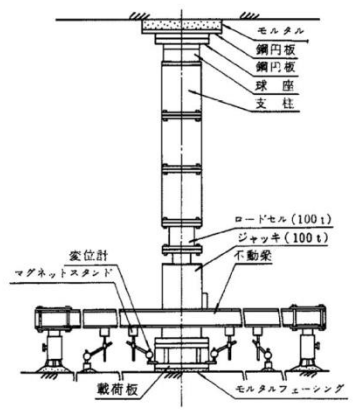
・2号試掘坑内で実施した C_H 級及び C_M 級岩盤を対象とした平板載荷試験の結果、極限支持力は 9.8 N/mm^2 以上と評価した。

2. 解析用物性値の設定方法 2.6 地盤の支持力

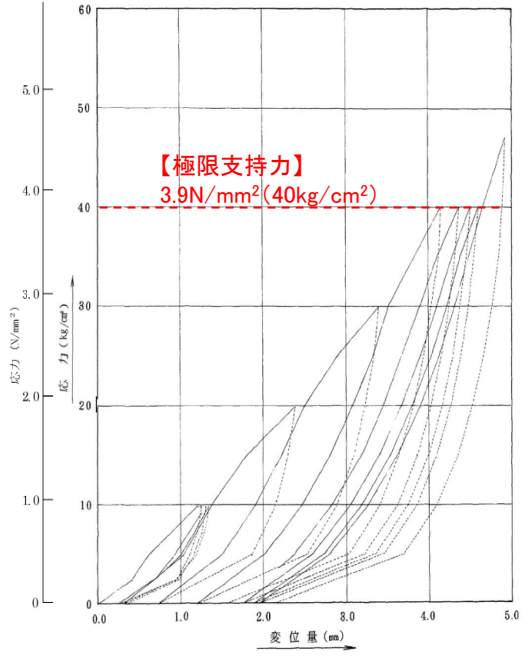
C_L級岩盤



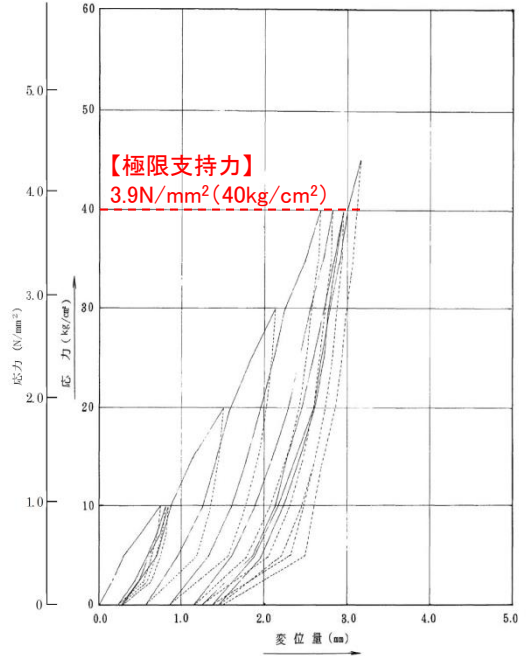
●: 試験位置
平板載荷試験位置図(2号試掘坑平面図)



平板載荷試験装置



(a) 凝灰岩



(b) 黒色頁岩

平板載荷試験結果(C_L級岩盤)

・2号試掘坑内で実施したC_L級岩盤を対象とした平板載荷試験の結果、極限支持力は3.9 N/mm²と評価した。

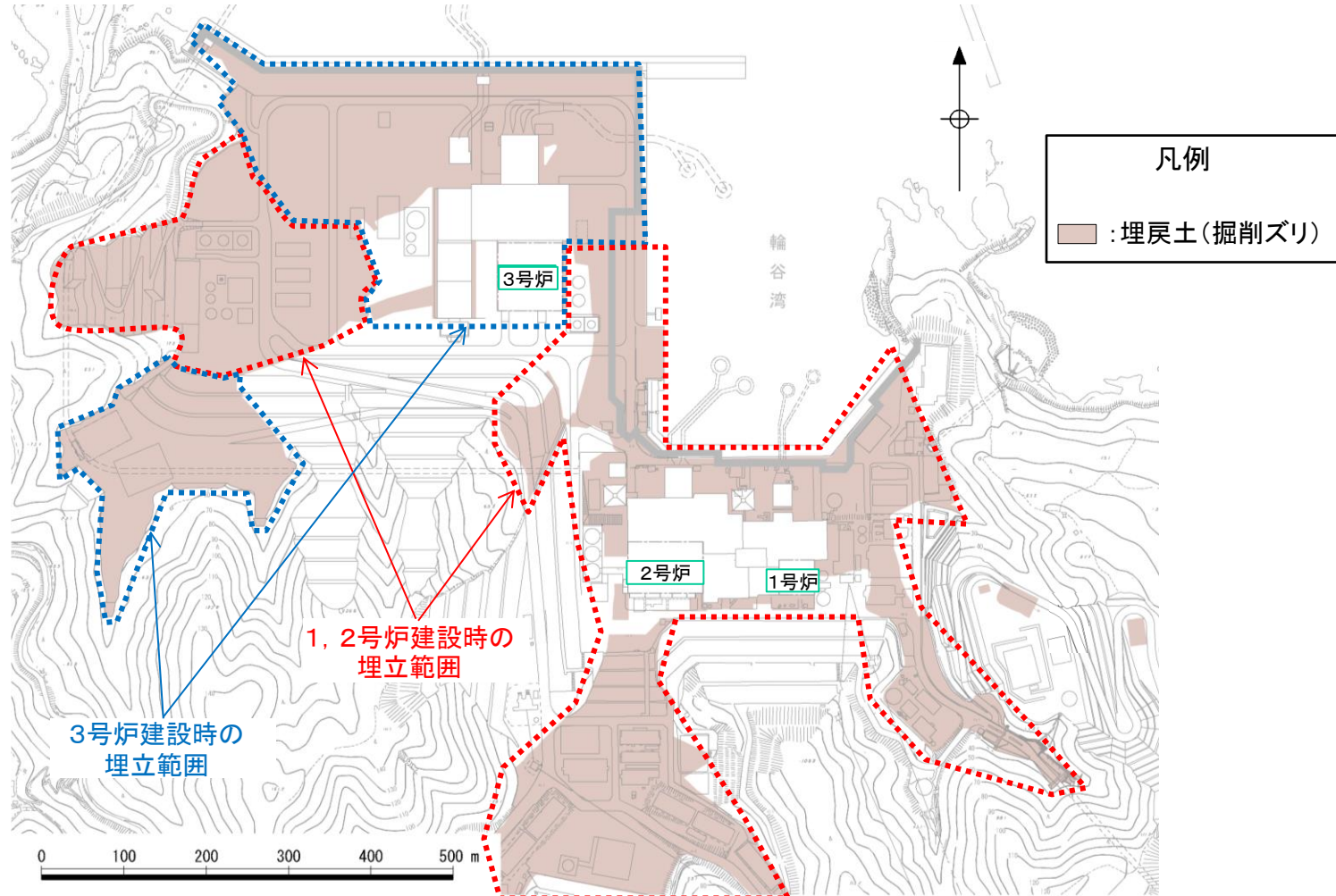
2. 解析用物性値の設定方法

2.7 埋戻土(掘削ズリ)の物性

2.解析用物性値の設定方法 2.7 埋戻土(掘削ズリ)の物性

敷地における埋戻土(掘削ズリ)の分布

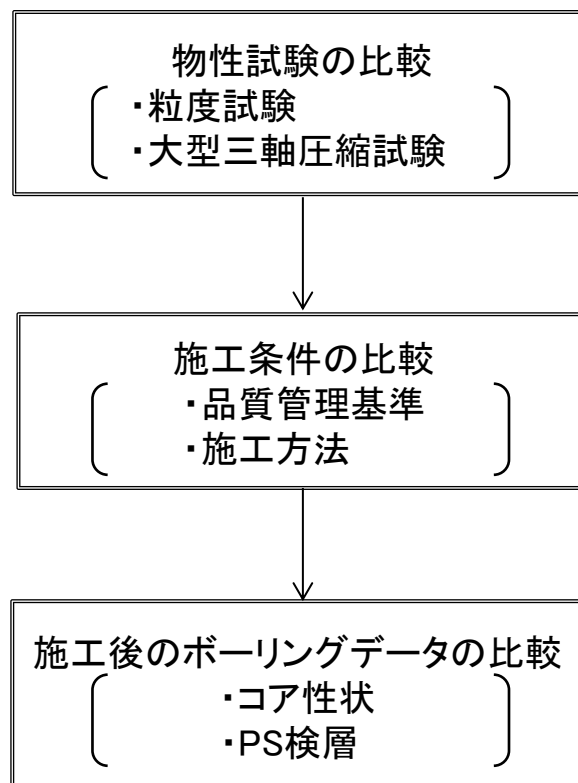
- ・敷地に分布する埋戻土(掘削ズリ)は、1, 2号炉建設時に埋立てた範囲と3号炉建設時に埋立てた範囲に分けられる。
- ・埋戻土(掘削ズリ)は、それぞれの号機の建設時に実施した物性試験結果に基づき設計、施工されているが、基礎地盤の安定性評価に当たっては、3号炉建設時の試験結果に基づき解析用物性値を設定している。
- ・以降で、1, 2号炉エリアと3号炉エリアの埋戻土(掘削ズリ)について、比較検討を行った。



埋戻土(掘削ズリ)分布図

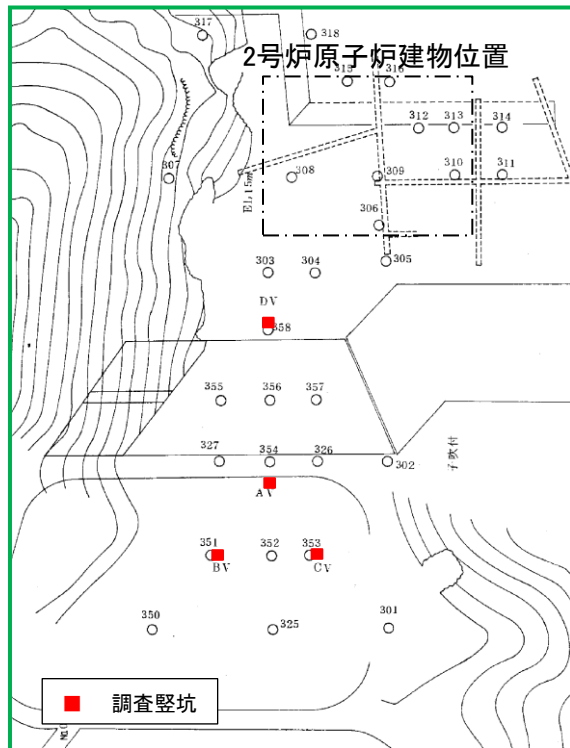
検討フロー

・検討に当たっては、下記フローに従い、1, 2号炉建設時と3号炉建設時の物性試験, 施工条件, 施工後のボーリングデータについて, 比較を行った。

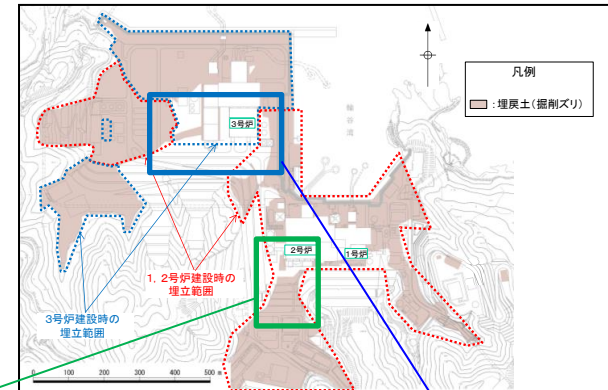


物性試験の比較(試料採取位置)

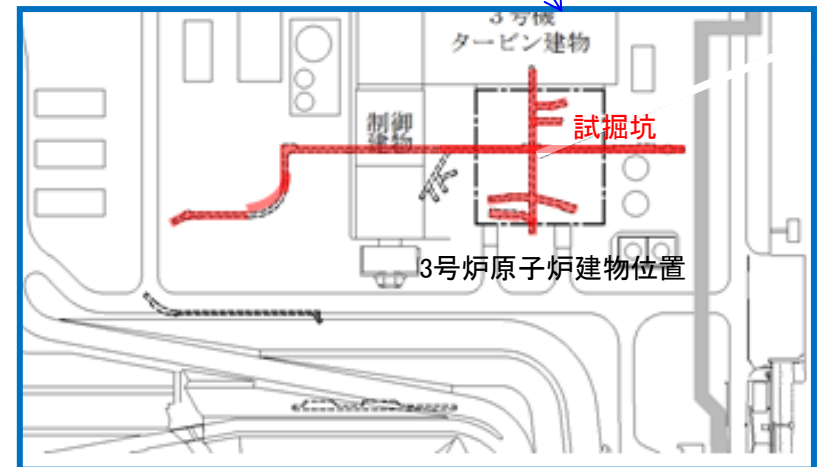
- ・2号炉建設時の物性試験に用いた試料は、2号炉原子炉建物位置南側の盛土地盤中に掘削した調査竖坑より採取した。
- ・3号炉建設時の物性試験に用いた試料は、3号炉原子炉建物位置周辺で掘削した試掘坑のズリを使用した。



試料採取位置(2号)



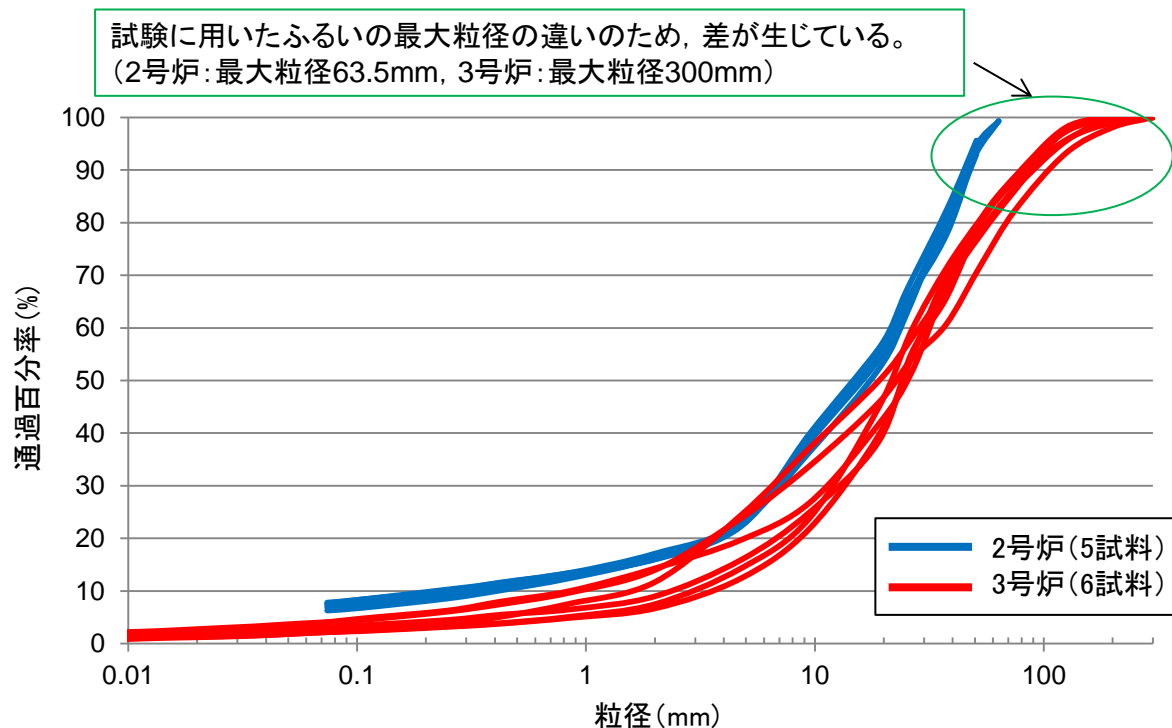
位置図



試料採取位置(3号)

物性試験の比較 (粒度試験)

- ・ 2号炉, 3号炉の試料採取位置から採取した試料に関して, 粒度試験を実施した結果, 概ね同等の粒度特性を示している。
- ・ 2号炉, 3号炉ともに, 均等係数が10以上であり, 粒度分布は良いと判断される。



【土粒子の粒度試験結果】

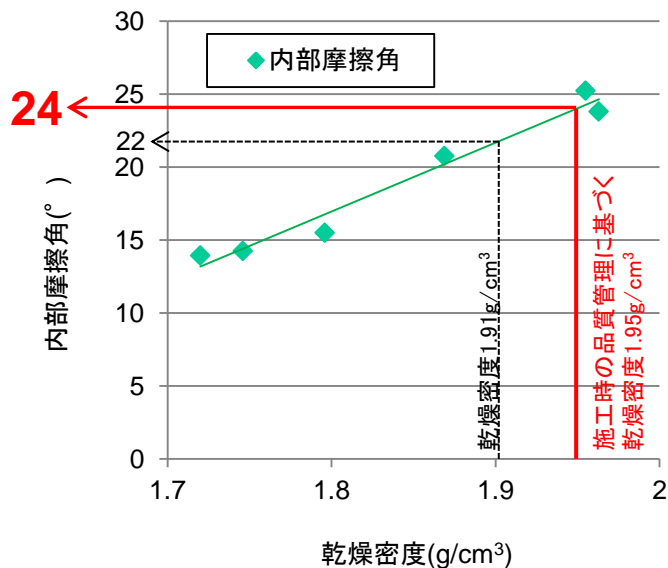
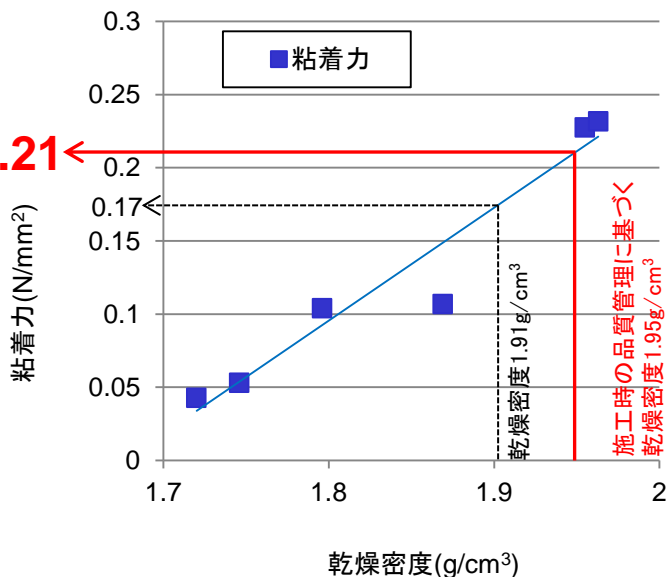
均等係数の比較

	2号炉	3号炉
均等係数 U_c ※ ($U_c = D_{60} / D_{10}$)	69.4 (52.4~89.6)	20.9 (8.5~40.0)

※各資料の均等係数の平均値。括弧内は上下限値を記載。
一般的に均等係数10以上で粒度が良いとされる。(足立ほか(1997))⁽²⁾

物性試験の比較(大型三軸圧縮試験, 2号炉)

- 2号炉の埋戻土(掘削ズリ)の物性試験として, 2号炉原子炉建物位置南側の盛土地盤中より採取した試料を用いて, 種々の締固めエネルギーにより乾燥密度を変えた大型三軸圧縮試験を実施している。
- 大型三軸圧縮試験の結果, 乾燥密度の増加に伴い, 粘着力 c , 内部摩擦角 ϕ ともに増加する傾向が認められる。(P101,102参照)
- 2号炉の既許可においては, 乾燥密度(1.91g/cm^3)に対応するせん断強度を設計せん断強度としていたが, 施工時の品質管理(乾燥密度 1.95g/cm^3)に基づく, せん断強度は内部摩擦角 24° , 粘着力 0.21N/mm^2 相当となる。



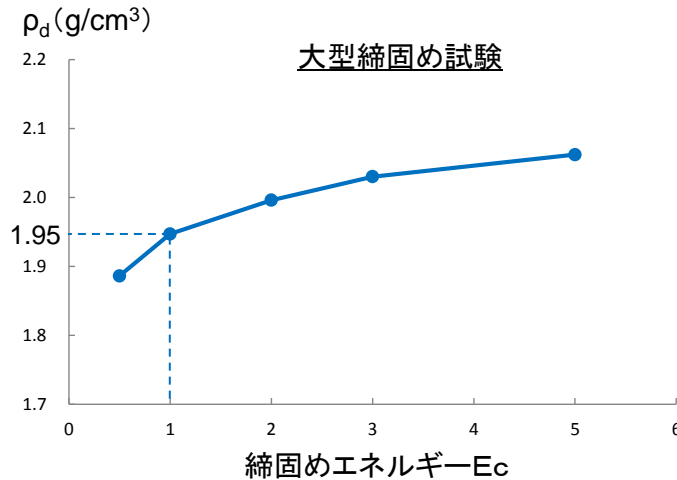
せん断強度	
	2号炉 (品質管理基準) 乾燥密度: 1.95g/cm ³
内部摩擦角 (°)	24
粘着力 (N/mm ²)	0.21

大型三軸圧縮試験結果(2号)

2.解析用物性値の設定方法 2.7 埋戻土(掘削ズリ)の物性

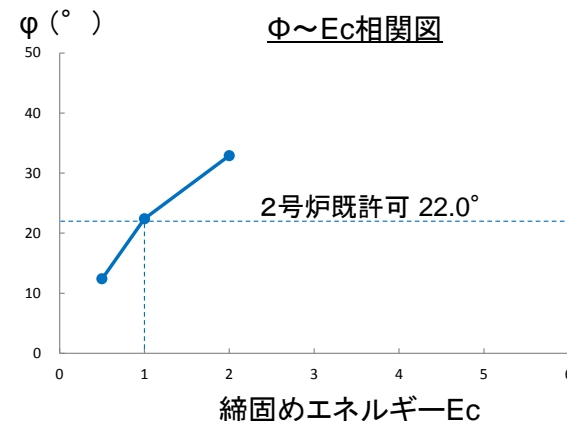
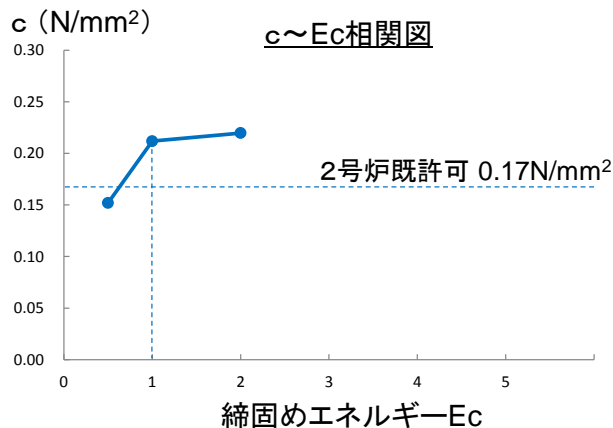
物性試験の比較(大型三軸圧縮試験, 3号炉)(1/2)

- ・3号炉の既許可における埋戻土(掘削ズリ)のせん断強度の設定では, 3号炉原子炉建物位置周辺で掘削した試掘坑のズリを使用した試料を用いて, 大型三軸圧縮試験を実施し, 2号炉既許可の設計せん断強度($c=0.17\text{N/mm}^2, \phi=22^\circ$)を上回るよう設計せん断強度を設定している。
- ・締固めエネルギー E_c を変化させた大型三軸圧縮試験を行ったところ, $E_c=1$ 以上の締固めエネルギー(乾燥密度は 1.95g/cm^3)とすることで, 3号炉の埋戻土(掘削ズリ)のせん断強度が, 2号炉の設計せん断強度を上回ることを確認した。
- ・大型三軸圧縮試験の結果, 乾燥密度の増加に伴い, 粘着力 c , 内部摩擦角 ϕ ともに増加する傾向が認められる。(P101,102参照)

【締固めエネルギー E_c の定義】

$$E_c = \frac{W_R \cdot H \cdot N_B \cdot N_L}{V} \quad (\text{cm} \cdot \text{kg} / \text{cm}^3)$$

ここに,









 W_R : ランマーの重量 (kgf) H : ランマーの落下高 (cm) N_B : 層当たりの突固め回数 N_L : 層の数 V : モールドの容積 (cm³) $1E_c \approx 5.6(\text{cm} \cdot \text{kg} / \text{cm}^3)$ とした

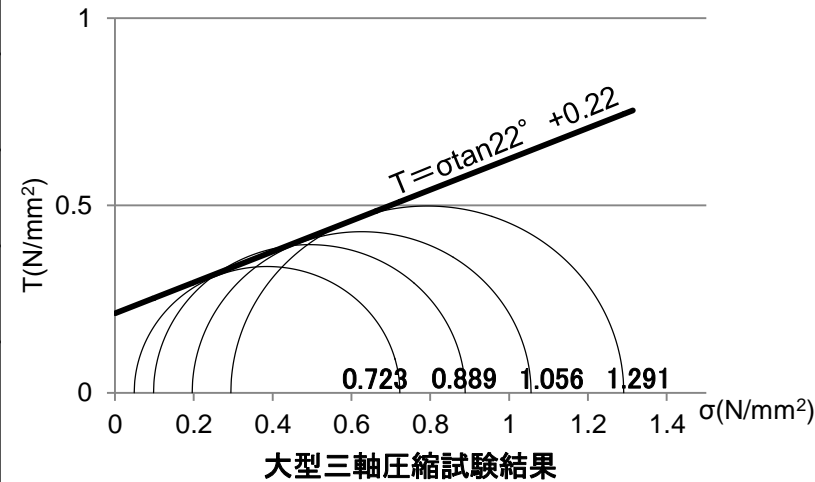
2.解析用物性値の設定方法 2.7 埋戻土(掘削ズリ)の物性

物性試験の比較(大型三軸圧縮試験, 3号炉)(2/2)

- ・3号炉の設計せん断強度として, 締固めエネルギー, 乾燥密度 1.95g/cm^3 に対応した内部摩擦角 22° , 粘着力 0.22N/mm^2 を設定していることに関して, 試験結果の詳細を示す。
- ・低側圧から高側圧まで, 側圧を変化させ, 大型三軸圧縮試験を実施したところ, 側圧が小さい場合にも, 一定の粘着力(初期せん断強度)を有していることが認められた。
- ・なお, 試験に用いた供試体は, いずれも偏った破壊は示しておらず, 試験結果は妥当である。

大型三軸圧縮試験結果(詳細)

供試体No.		1	2	3	4
側圧(最小主応力) σ_3 (N/mm^2)		0.049	0.098	0.196	0.294
最大主応力 σ_1 (N/mm^2)		0.723	0.889	1.056	1.291
圧縮強さ($\sigma_1 - \sigma_3$) (N/mm^2)		0.674	0.791	0.860	0.997
供試体の破壊状況	現場写真				
	概略図				



設計せん断強度

設計せん断強度		3号炉
内部摩擦角 ($^\circ$)		22
粘着力 (N/mm^2)		0.22

(参考)盛土の粘着力に関する文献調査(1/2)

- ・中島ほか(2009)⁽³⁾において、礫混じり砂からなる河川堤防盛土の力学特性に及ぼす締固め度の影響が報告されている。なお、対象試料に関しては、現地堤防で採取した礫混じり砂の原粒度分布から、粒径9.5mmを超える礫を取り除いた試料である。
- ・中島ほか(2009)の結果によると、締固め度と粘着力の関係として、締固め度の増加とともに粘着力の増加が認められる。

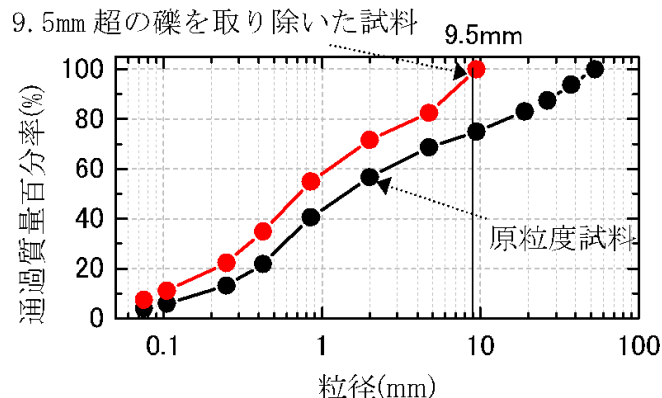
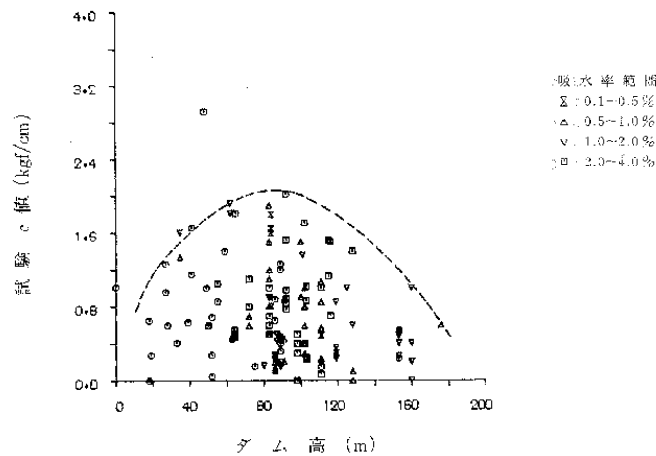
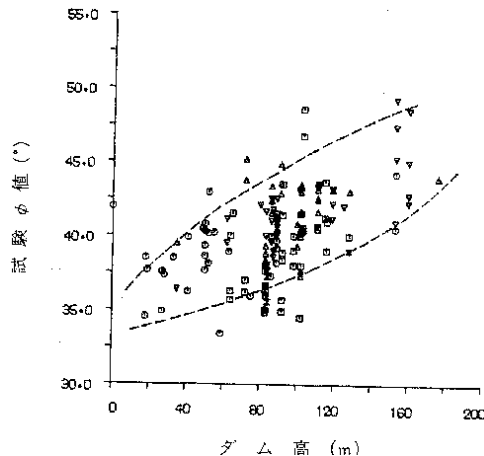


図1 実験試料の粒度分布

表1 内部摩擦角と粘着力

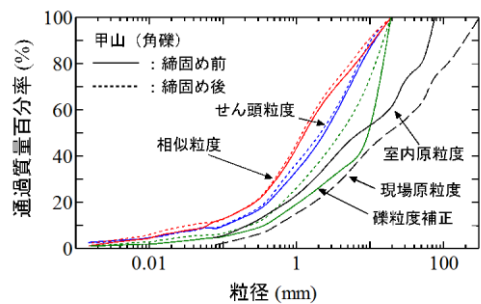
実験の種類	ϕ_{cu}	c_{cu}	ϕ'	ϕ_d
締固め度 90%	11.4°	110kPa	36.4°	38.8°
締固め度 85%	11.8°	50kPa	30.4°	35.3°
締固め度 80%	14.2°	0kPa	23.1°	34.3°

- ・ロックフィル材料の試験と設計強度編集委員会(1982)⁽⁴⁾において、72ダムの粗粒材料試験に関するアンケートデータを用いて、ダム高さと同軸圧縮試験による内部摩擦角 ϕ 及び粘着力 C の関係が報告されている。
- ・ロックフィル材料の試験と設計強度編集委員会(1982)によると、粘着力 c の包絡線はダム高90m付近にピーク値約 2kgf/cm^2 ($\approx 0.2\text{N/mm}^2$)をもつ放物線状を成しており、全体としてかなりの大きさの粘着力成分をもつことが分かる、と報告されている。



(参考)盛土の粘着力に関する文献調査(2/2)

- ・上本ほか(2011)⁽⁵⁾において、砂礫盛土材の内部摩擦角、粘着力に及ぼす最大粒径及び粒度調整の影響が報告されている。対象試料として、現地最大粒径は300mm程度であり、室内試験に用いることはできないことから、比較的大きな粒径として室内試験用の最大粒径を73mmとし、これを「原粒度」として三軸圧縮試験が行われている。
- ・三軸圧縮試験の結果、締固め度・乾燥密度と粘着力・内部摩擦角の関係が報告されており、締固め度・乾燥密度の増加とともに粘着力・内部摩擦角の増加が認められる。このせん断強度増加の要因として、「角礫の甲山試料は、円礫の試料と比較して、締固め度が大きくなると粒子のかみ合わせがより顕著となり、内部摩擦角が急激に大きくなる」と考察されている。
- ・また、上本ほか(2011)によると、「せん頭粒度」として三軸圧縮試験から求まる強度定数が「原粒度」の結果に近い、と報告されている。2号炉、3号炉の三軸圧縮試験に用いた試料は、ここで「原粒度」の強度に近いと報告された「せん頭粒度」の方法を用いて粒度調整を行っている。



a) 甲山試料
図1 試験に用いた試料の粒度分布



a) 甲山試料
写真1 試験試料

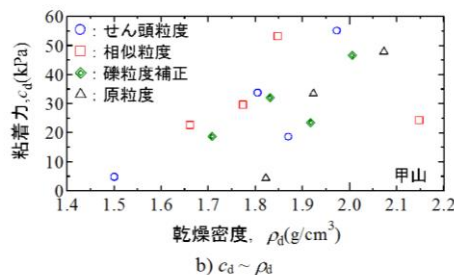
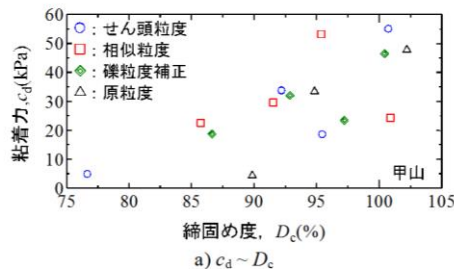


図7 見かけの粘着力～締固め度, 乾燥密度の関係 (甲山試料)

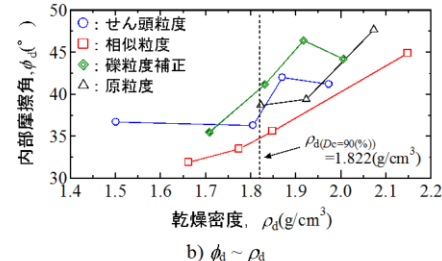
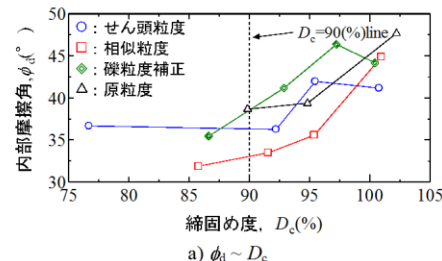


図9 内部摩擦角～締固め度, 乾燥密度の関係 (甲山試料)

物性試験の比較(大型三軸圧縮試験, 2号炉, 3号炉)

- ・ 2号炉建設時と3号炉建設時の品質管理基準(乾燥密度 $1.95\text{g}/\text{cm}^3$, 次頁参照)に対応するせん断強度を比較した結果, 2号炉, 3号炉の試験結果は, 内部摩擦角及び粘着力ともに, 概ね同等である。
- ・ なお, 3号炉の埋戻土(掘削ズリ)の物性試験は, 地盤工学会基準(JGS T 523)に準拠して実施した大型三軸圧縮試験結果より設計せん断強度を設定しているが, 2号炉の大型三軸圧縮試験の仕様は, 学会基準に準拠したものとなっていない。

せん断強度の比較

	2号炉	3号炉
	(品質管理基準) 乾燥密度: $1.95\text{g}/\text{cm}^3$	(設計せん断強度) 乾燥密度: $1.95\text{g}/\text{cm}^3$
内部摩擦角(°)	24	22
粘着力(N/mm^2)	0.21	0.22

大型三軸圧縮試験仕様の比較

	2号炉	3号炉
準拠基準	—	JGS T 523
ひずみ速度	1%/min	0.2%/min
供試体 サイズ	直径300mm 高さ:600mm	直径300mm 高さ:600mm
側圧 (N/mm^2)	0.098 0.196 0.294 0.392	0.049 0.098 0.196 0.294
最大礫径 (mm)	63.5	53.0

施工条件の比較(品質管理基準及び施工方法)

- ・設計用物性値を確保するための品質管理基準及び施工方法を比較した結果、2号炉建設時と3号炉建設時の品質管理基準及び施工方法は概ね同等であった。
- ・次頁において、3号炉の施工方法の選定のため実施した現場転圧試験の概要を示す。

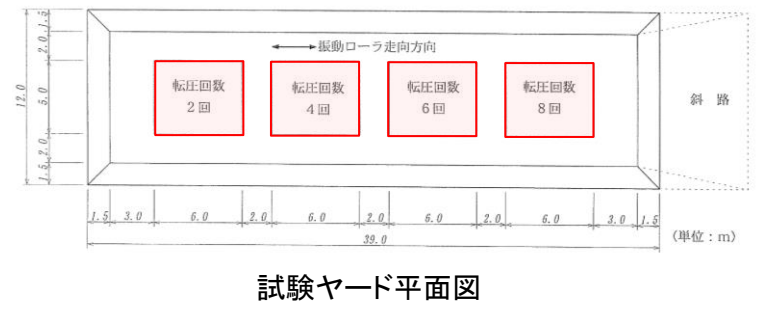
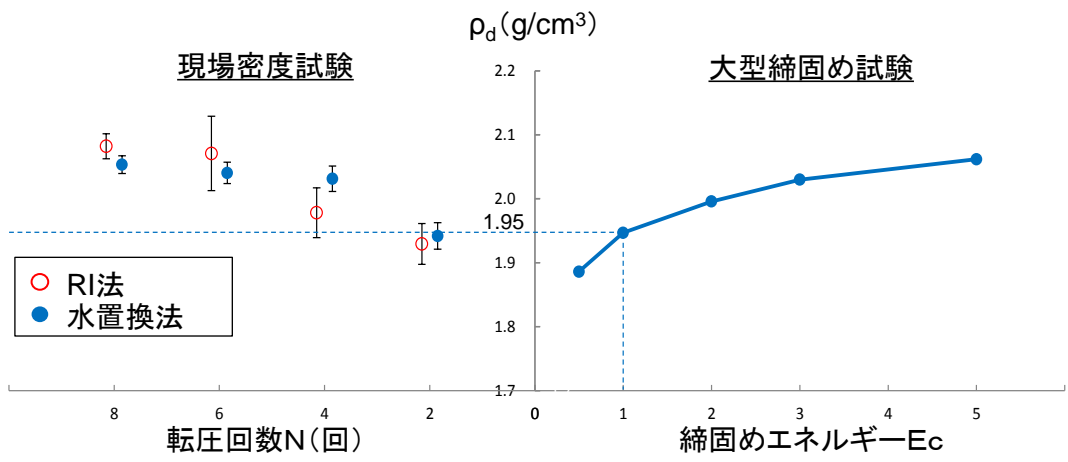
施工時の品質管理基準及び施工方法の比較

	2号炉	3号炉
品質管理基準	乾燥密度 1.95g/cm ³ 以上	乾燥密度 1.95g/cm ³ 以上
施工方法	振動ローラー(10t~20t) 4~6回転圧 撒き出し厚1m以下	振動ローラー(11.4t) 6回転圧 撒き出し厚0.5m以下

2.解析用物性値の設定方法 2.7 埋戻土(掘削ズリ)の物性

施工条件の比較(品質管理基準及び施工方法, 3号炉)

- ・現場施工方法においては、現場転圧試験を実施し、締固めエネルギー $E_c = 1$ (乾燥密度: 1.95g/cm^3)を満足できる施工方法として、転圧回数6回を決定した。
- ・転圧回数が多くなるほど、乾燥密度 ρ_d が増加する傾向が見られ、6回転圧以上では乾燥密度の増加傾向が小さくなることから、6回転圧で十分に締固めされていることが確認できる。



巻き出し整地状況



振動ローラによる転圧状況

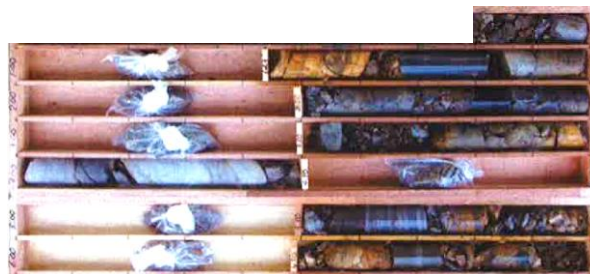
施工後のボーリングデータの比較(コア性状)(1/4)

- 1, 2号炉建設時に使用した埋戻土及び3号炉建設時に使用した埋戻土は、敷地造成時の地山掘削によって発生した掘削ズリ(頁岩並びに凝灰岩主体)を利用している。

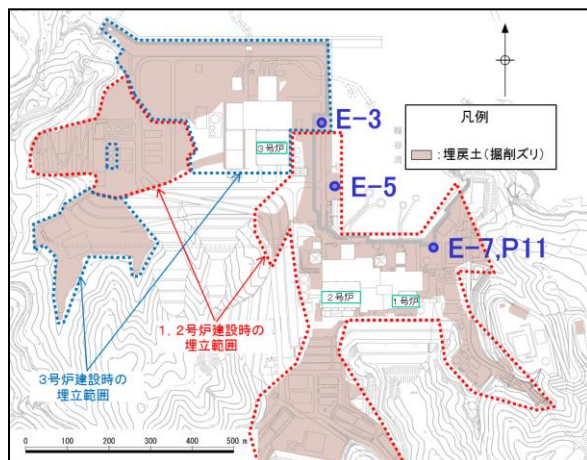
1, 2号炉建設時の埋戻土
ボーリングNo. E-5 1.5m~16.1m



1, 2号炉建設時の埋戻土
ボーリングNo. P11 0.8m~7.0m



3号炉建設時の埋戻土
ボーリングNo. E-3 1.5m~17.4m



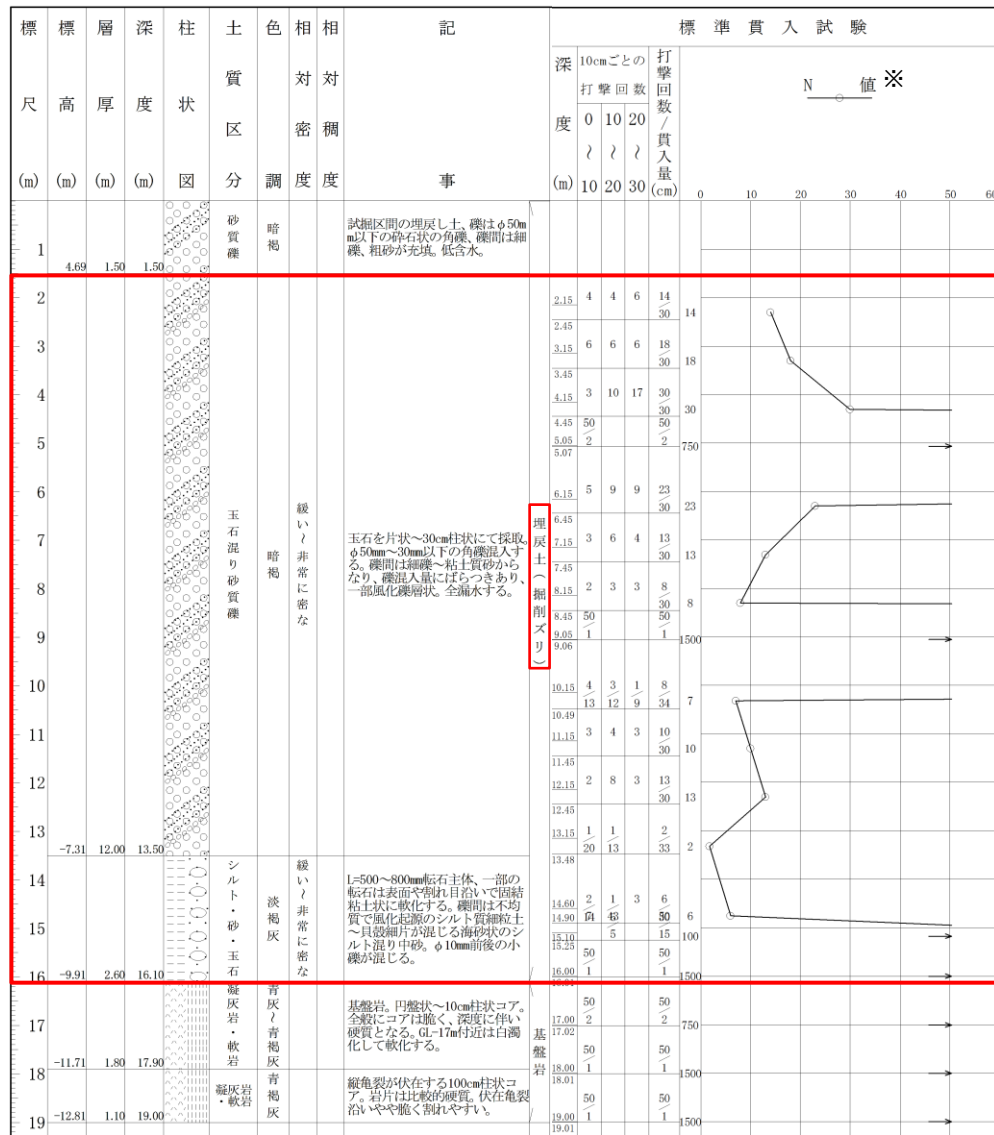
敷地平面図

※ P11孔(ボーリングコア写真, 柱状図)及びE-7孔(PS検層)は同位置で実施したものである。

施工後のボーリングデータの比較(コア性状)(2/4)

- ・1, 2号炉建設時に使用した埋戻土は, 敷地造成時の地山掘削によって発生した掘削ズリ(頁岩並びに凝灰岩主体)を利用している。
- ・埋戻土(掘削ズリ)のN値の平均値は22.9 (下限値:2~上限値:50)である。

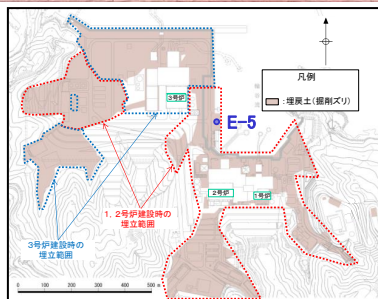
1, 2号炉建設時の埋戻土
ボーリングNo. E-5 1.5m~16.1m



埋戻土(掘削ズリ)

埋戻土(掘削ズリ)

埋戻土(掘削ズリ)



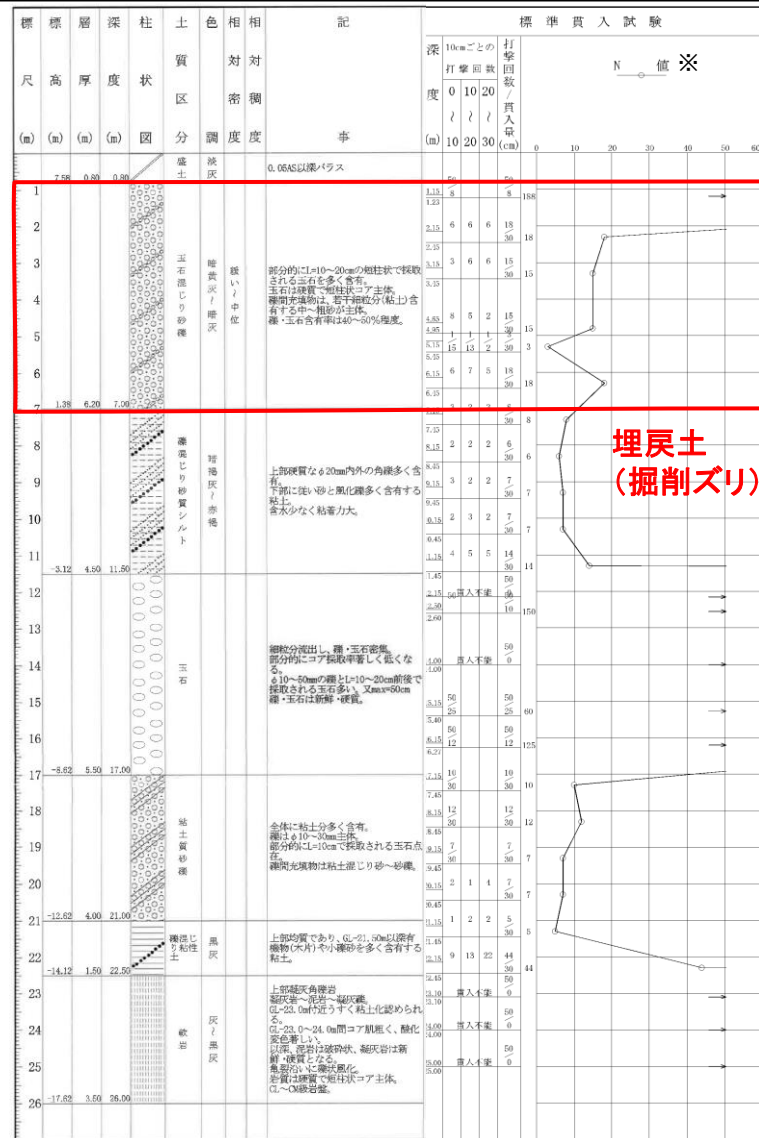
敷地平面図

※N値が50以上のものは, 保守的に50として平均値を算定した。

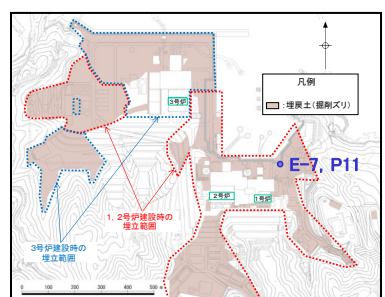
施工後のボーリングデータの比較(コア性状)(3/4)

- 1, 2号炉建設時に使用した埋戻土は, 敷地造成時の地山掘削によって発生した掘削ズリ(頁岩並びに凝灰岩主体)を利用している。
- 埋戻土(掘削ズリ)のN値の平均値は19.8 (下限値:3~上限値:50)である。

1, 2号炉建設時の埋戻土
ボーリングNo. P11 0.8m~7.0m 埋戻土(掘削ズリ)



埋戻土(掘削ズリ)



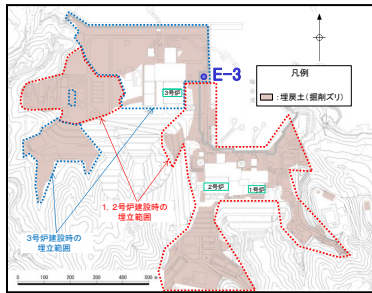
敷地平面図

※N値が50以上のものは, 保守的に50として平均値を算定した。

2.解析用物性値の設定方法 2.7 埋戻土(掘削ズリ)の物性

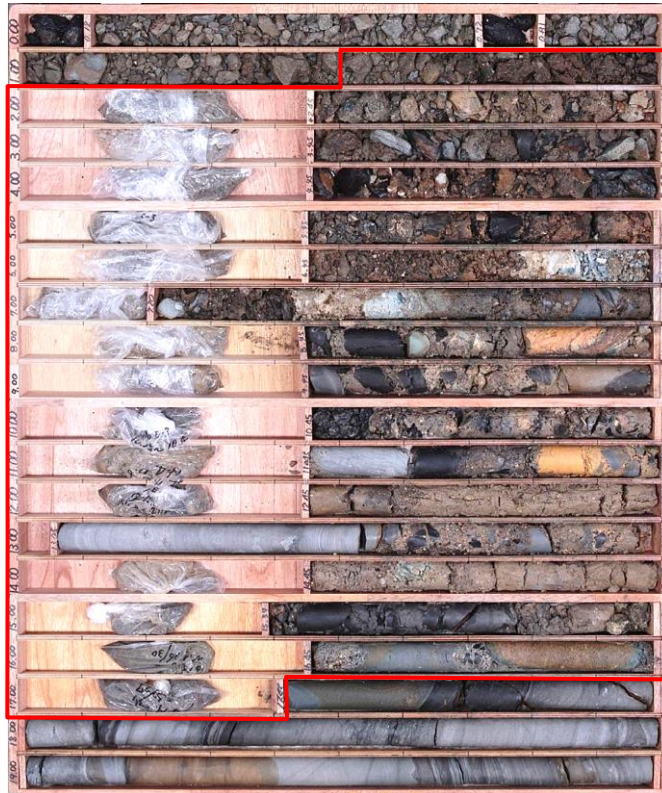
施工後のボーリングデータの比較(コア性状)(4/4)

- ・3号炉建設時に使用した埋戻土は、敷地造成時の地山掘削によって発生した掘削ズリ(頁岩並びに凝灰岩主体)を利用している。
- ・埋戻土(掘削ズリ)のN値の平均値は28.6(下限値:5~上限値:50)である。



敷地平面図

3号炉建設時の埋戻土
ボーリングNo. E-3 1.5m~17.4m



埋戻土
(掘削ズリ)

標高 尺 (m)	層厚 度 (m)	柱状 区分 図	土質 色相 対対 密度 調度	相対 密度 調度	記 事	標準貫入試験					
						深 度 (m)	10cmごとの 打撃回数 0 10 20	打撃回数 / 貫入量 (cm)	N 値 ※		
1	6.98	1.50	1.50		試験区間の埋戻土、片状の玉石点存在。φ70mmの片状~角礫状にて採取。礫はφ50mm以下の砕石状の角礫。礫間には細砂~粘土、低含水。GL-0.72m~0.81m間にアズライト。						
2			玉石混り砂質礫	暗褐色	玉石を片状~角礫状にて採取。φ50mm~30mm以下の角礫混入する。礫間には細砂~粘土質砂からなり、礫混入量にばらつきあり、一部風化礫層状。全含水する。低含水。GL-6.8m~7.0m付近グレン状の炭化層有り。	2.15	7	7	18	32	
3			玉石混り砂質礫	暗褐色		2.45	7	7	18	32	
4			玉石混り砂質礫	暗褐色	玉石は片状~150mm柱状コアにて採取。φ70mm以下の非角礫主体。礫間には粘土が混じる産礫状~風化礫層状の細砂~粘土質砂。全粒に含水高い。	3.15	15	13	15	43	
5			玉石混り砂質礫	暗褐色		3.45	6	4	3	13	
6			粘土質	暗褐色	粘土質、基質は粘土質被膜により不明。	4.45	4	2	4	19	
7	0.98	6.00	7.50	暗褐色		5.15	4	2	4	19	
8			玉石混り砂質礫	暗褐色	硬質な角礫状岩質の玉石、L=500mm柱状にて採取。ハンマー打撃金属腐食。	5.45	2	2	1	5	
9			玉石混り砂質礫	暗褐色		6.45	2	2	1	5	
10			砂質礫	暗褐色	上部が片状の礫~玉石混入φ15~50mm角礫状に採取。基質は暗褐色の確質砂~砂質礫。全粒に粘土分有り。	7.15	5	5	5	5	
11			砂質礫	暗褐色		7.20	5	5	5	5	
12	-3.53	4.50	12.00	砂質礫	片状の玉石L=50~100mm混入。礫はφ30mm以下。基質は細粒分を伴う砂。細砂。玉石間には海成粘土の粘着をなす粘質土質の粘土を伴う。	8.15	4	3	8	15	
13	-4.53	1.00	13.00	砂質礫		8.45	10	5	4	19	
14	-5.13	0.60	13.60	砂質礫	角礫層や粗粒砂および粗砂~細砂からなり、全体に細粒分が多い。上部は粘性強い。	9.45	3	5	15	23	
15	-6.83	1.70	15.30	砂質礫		10.15	3	5	15	23	
16	-7.33	0.50	15.80	砂質礫	L=200mm前後の玉石と礫間を埋める砂質礫からなる。礫間には10cm以下の細砂を伴う。	11.15	4	6	8	18	
17	-7.93	0.60	16.40	砂質礫		11.45	8	12	7	27	
18	-8.53	0.60	17.00	砂質礫	硬質な塊状岩類(基岩等)。礫は目間隔は20~100mm程度で全粒に10~70mm程度の粒状にて採取。1.8m以上の深さには暗褐色~褐色化し、亀裂密集部は礫状~岩片状となる。ハンマーの打撃で半滴音。	12.45	50	50	50	50	
19	-8.93	0.40	17.40	砂質礫		13.00	5	5	5	5	
20	-11.53	2.60	20.00	凝灰岩	硬質な塊状岩類(基岩等)。礫は目間隔は20~100mm程度で全粒に10~70mm程度の粒状にて採取。1.8m以上の深さには暗褐色~褐色化し、亀裂密集部は礫状~岩片状となる。ハンマーの打撃で半滴音。	14.15	5	6	5	16	
21				凝灰岩		14.45	20	21	9	50	
				凝灰岩	15.15	20	21	9	50		
				凝灰岩	15.30	20	21	9	50		
				凝灰岩	16.15	6	8	22	36		
				凝灰岩	16.45	6	8	22	36		
				凝灰岩	16.65	4	17	29	50		
				凝灰岩	17.15	4	17	29	50		
				凝灰岩	17.42						
				凝灰岩	18.11						
				凝灰岩	18.11						

埋戻土
(掘削ズリ)

※N値が50以上のものは、保守的に50として平均値を算定した。

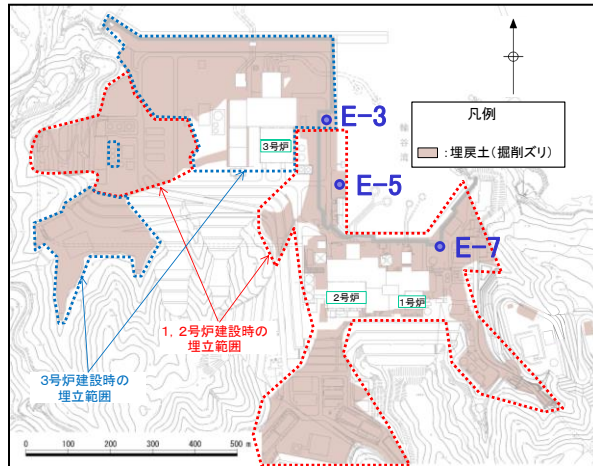
2.解析用物性値の設定方法 2.7 埋戻土(掘削ズリ)の物性

施工後のボーリングデータの比較(PS検層)(1/3)

・施工後にそれぞれのエリアで実施したPS検層結果の加重平均値を比較した結果、1, 2号炉エリアは $V_s=0.32\text{km/s}$ 、3号炉エリアは $V_s=0.42\text{km/s}$ であり、1, 2号炉エリアと3号炉エリアの埋戻土(掘削ズリ)の物性は概ね同等であることを確認した。

埋戻土(掘削ズリ)のPS検層結果の比較

	S波速度※1 V_s (km/s)
1, 2号炉 エリア	0.32 (0.28~0.44)
3号炉 エリア	0.42 (0.31~0.55)



敷地平面図

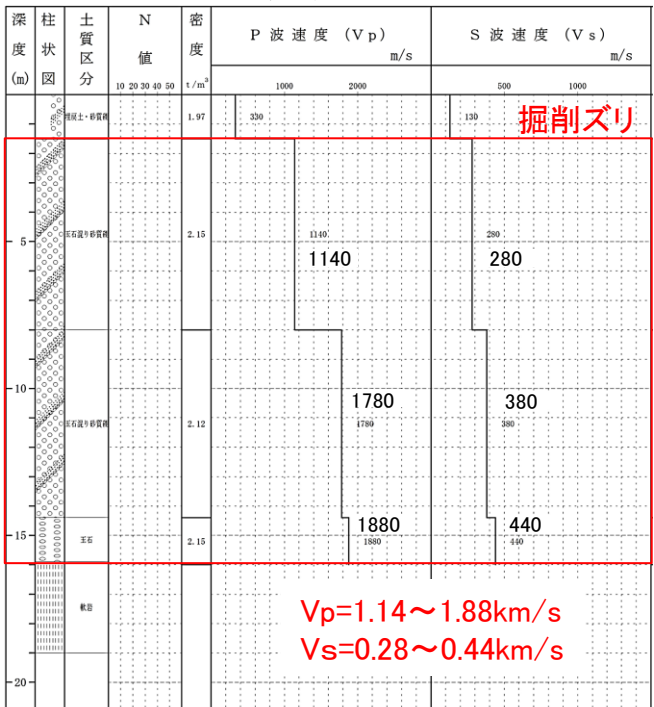
※1 各エリアで得られたP波速度及びS波速度に対し、延長で重み付けした加重平均値。括弧内は上下限値を記載。P波速度は地下水の影響を受けている可能性があるため、比較考察は、 V_s をもとに行う。

2.解析用物性値の設定方法 2.7 埋戻土(掘削ズリ)の物性

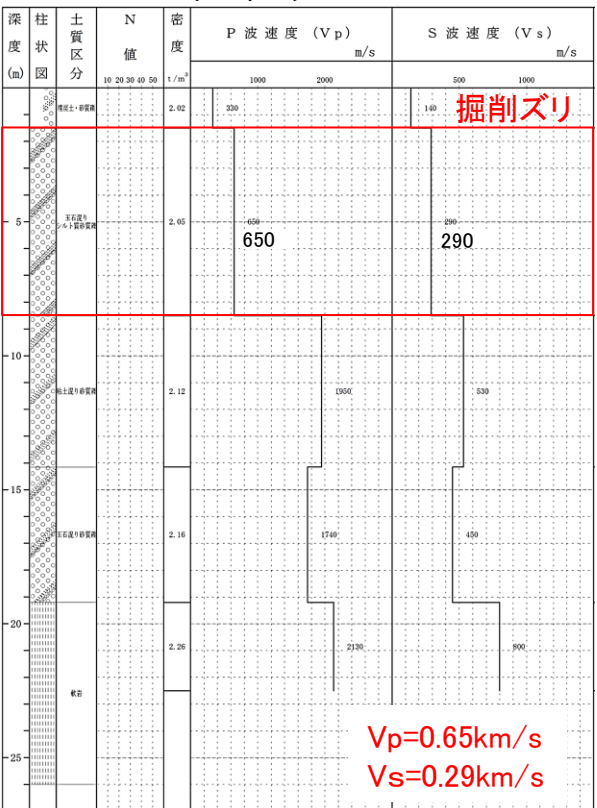
施工後のボーリングデータの比較(PS検層)(2/3)

・1, 2号炉エリアのPS検層の結果は, $V_s=0.28\sim0.44\text{km/s}$, 3号炉エリアの結果は $V_s=0.31\sim0.55\text{km/s}$ であり, 1, 2号炉エリアと3号炉エリアの埋戻土(掘削ズリ)の物性は概ね同等である。

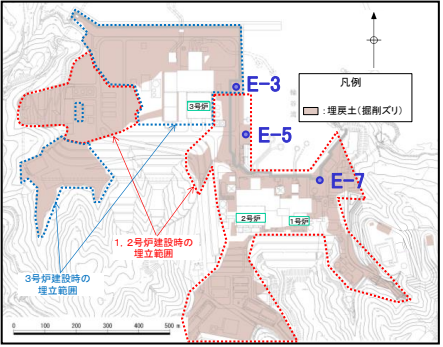
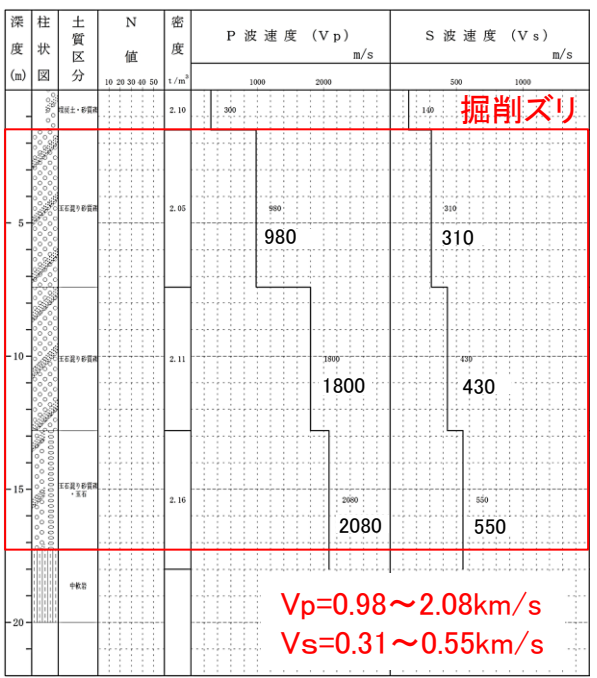
PS検層結果(1, 2号炉エリア)
ボーリングNo. E-5



PS検層結果(1, 2号炉エリア)
ボーリングNo. E-7



PS検層結果(3号炉エリア)
ボーリングNo. E-3

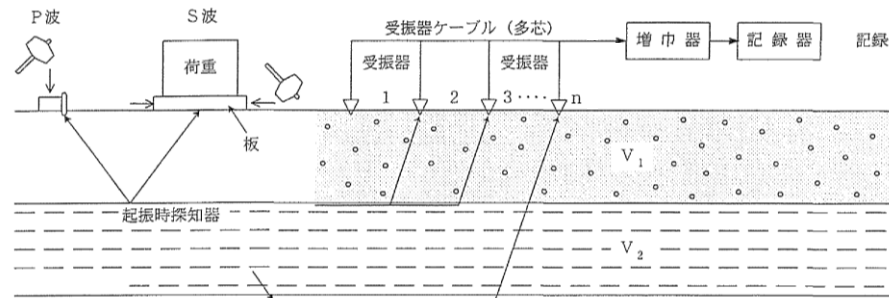


敷地平面図

2.解析用物性値の設定方法 2.7 埋戻土(掘削ズリ)の物性

施工後のボーリングデータの比較(PS検層)(3/3)

- ・3号炉の現場転圧試験の試験ヤードにおいて、弾性波速度試験を実施した。起震源となる板を設置し、起震源を挟むように受振器を設置した。起震源となる板を上からたたき、P波測定、横からたたきS波測定を行った。
- ・1, 2号炉エリア, 3号炉エリアの埋戻土(掘削ズリ)の施工後のボーリングにおけるPS検層結果と、現場転圧試験時の弾性波速度の比較を行う。1, 2号炉エリア, 3号炉エリアの埋戻土(掘削ズリ)の施工後のPS検層結果は、現場転圧試験で求められたS波速度を上回っていることを確認した。



弾性波速度試験概要

弾性波速度試験結果

		S波速度 Vs(km/s)
現場転圧試験時	弾性波速度試験 (6回転圧)	0.27 (0.26~0.27)
(再掲※) ボーリング調査	1, 2号炉 エリア	0.32 (0.28~0.44)
	3号炉 エリア	0.42 (0.31~0.55)

※ P110で示した施工後のボーリングデータにおけるPS検層結果を比較のため、再掲する。

まとめ

○1, 2号炉エリア及び3号炉エリアの埋戻土(掘削ズリ)について比較を行った結果は以下の通り。

- ・物性試験に用いた試料は、いずれも地山掘削により発生した掘削ズリであり、概ね同様の粒度分布を示す。また、2号炉、3号炉ともに、均等係数が10以上であり、粒度分布の良い盛土材料である。
- ・大型三軸圧縮試験の結果、2号炉、3号炉ともに、締固めエネルギーの増加に伴う乾燥密度の増加に従い、粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ ともに増加する傾向が認められる。
- ・2号炉建設時と3号炉建設時の品質管理基準(乾燥密度 $1.95\text{g}/\text{cm}^3$)に対応するせん断強度を比較した結果、2号炉、3号炉の試験結果は、内部摩擦角及び粘着力ともに、概ね同等である。
- ・品質管理基準及び施工方法を比較した結果、2号炉建設時、3号炉建設時の品質管理基準及び施工方法は概ね同等であった。
- ・施工後に1, 2号炉エリア及び3号炉エリアで実施したボーリングデータ比較した結果、コア性状及び弾性波速度はいずれも同等であった。

○以上のことから、1, 2号炉エリア及び3号炉エリアに分布する埋戻土(掘削ズリ)の工学的性質は同一であることから、地盤工学会基準に準拠している3号炉建設時の物性値を1, 2号炉エリア及び3号炉エリアともに使用する。

3. 建物のモデル化方法

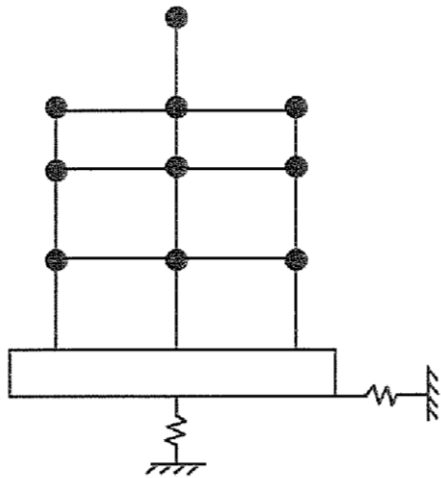
3. 1 各建物のモデル化

2号炉原子炉建物

3. 建物のモデル化方法 3.1 各建物のモデル化

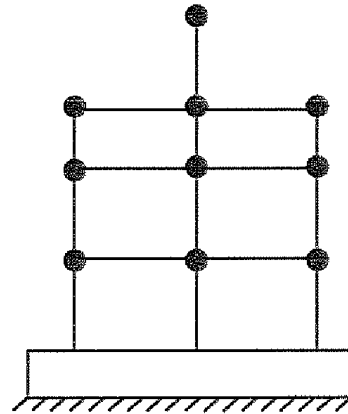
2号炉原子炉建物のモデル化の流れ

- ・2号炉原子炉建物は複雑な構造であることから、「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,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,ばね定数及びポアソン比を求め,等価な有限要素モデルを作成する。
- ・多質点系モデル及び有限要素モデルについて,固有値解析を実施し,両モデルの振動特性が整合することを確認する。



多質点系モデル(地盤バネ有)

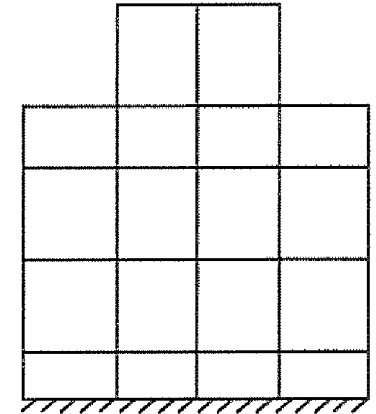
→
地盤バネを削除



多質点系モデル(地盤バネ無)

フロア毎に重量集約
層毎に剛性を集約
・水平剛性 K_H
・鉛直剛性 K_V
・曲げ剛性 K_ϕ

→
層毎に等価な剛性を設定
・せん断剛性
・ポアソン比
・ばね定数



有限要素モデル
(水平・鉛直同時加振モデル)

固有値解析により多質点系モデル(地盤バネ無)と振動特性が整合することを確認

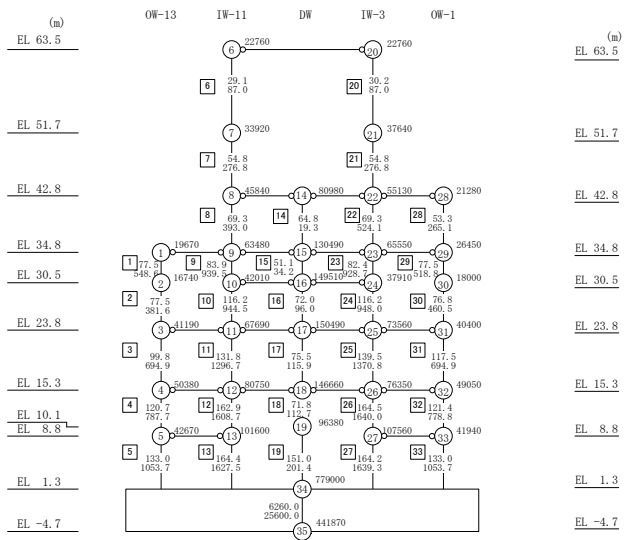
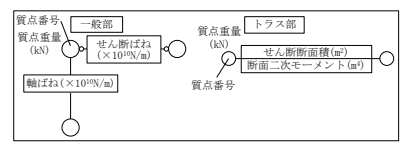
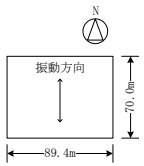
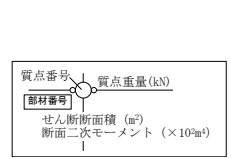
3. 建物のモデル化方法 3.1 各建物のモデル化

2号炉原子炉建物(南北)のモデル化

・2号原子炉建物(①-①'断面)について、多質点系モデルと等価な有限要素モデル(水平・鉛直同時加振モデル)を作成した。
 ・多質点系モデル及び有限要素モデルについて、固有値解析の結果を「3.2 固有値解析による検証」に示す。

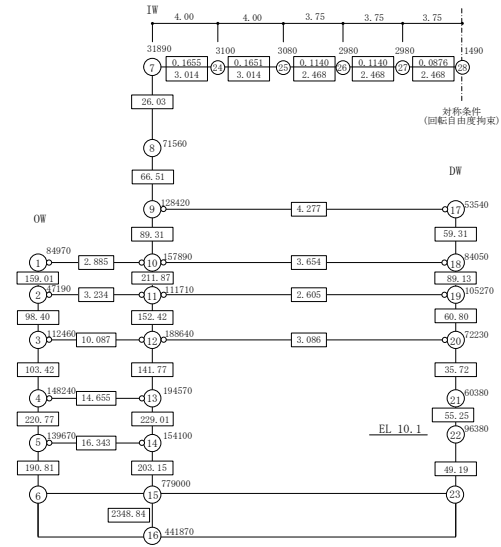
有限要素モデル物性値

物性番号	単位換算重量 w (kN/m ²)	平面ひずみ要素			鉛直ばね		減衰定数 h (%)
		せん断弾性係数 G (kN/m ²)	ヤング係数 E (kN/m ²)	ポアソン比 v	ばね係数 kv (kN/m/m)	ばね間隔 di (m)	
1	13.225	1.648E+05	4.579E+05	0.38903	—	—	5
2	15.513	2.273E+05	6.288E+05	0.38307	1.858E+05	0.0	5
3	44.056	5.324E+05	1.452E+06	0.36391	1.590E+05	45.4	5
4	53.502	6.237E+05	1.730E+06	0.38718	1.603E+05	0.0	5
5	46.243	7.683E+05	2.065E+06	0.34391	1.763E+06	0.0	5
6	65.351	9.448E+05	2.507E+06	0.32679	1.667E+06	57.8	5
7	64.428	9.805E+05	2.650E+06	0.35126	4.177E+06	0.0	5
8	62.344	1.140E+06	3.069E+06	0.34589	2.296E+06	0.0	5
9	124.481	9.571E+06	2.143E+07	0.11973	1.177E+05	70.0	5
10	70.609						

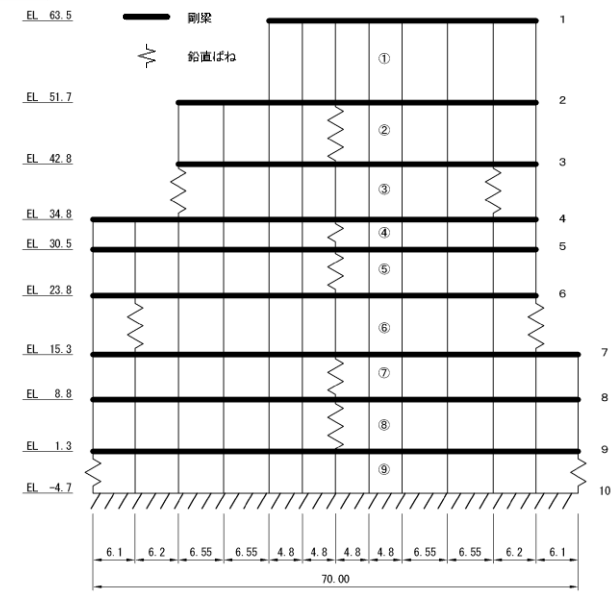
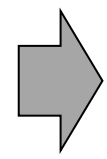


水平モデル(NS方向)

多質点系モデル



鉛直モデル



有限要素モデル(水平・鉛直同時加振モデル)

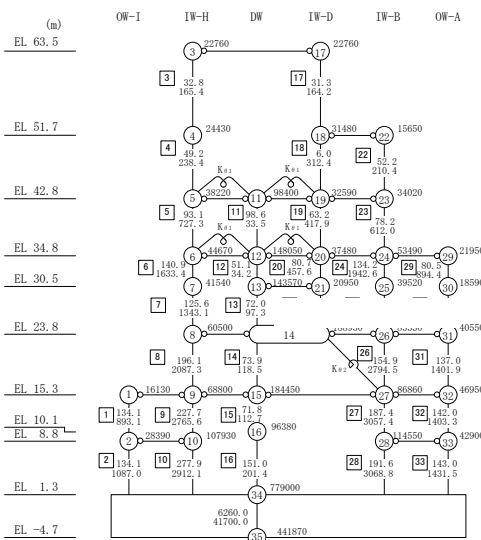
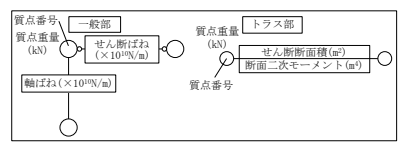
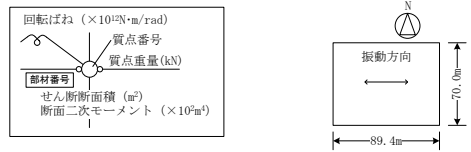
3. 建物のモデル化方法 3.1 各建物のモデル化

2号炉原子炉建物(東西)のモデル化

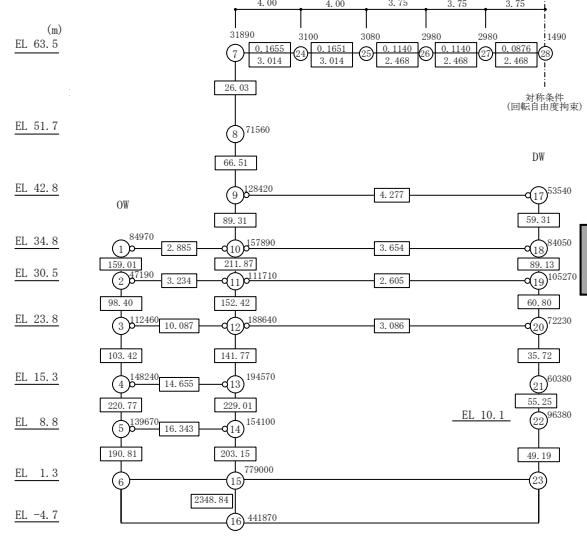
・2号原子炉建物(②-②'断面)について、多質点系モデルと等価な有限要素モデル(水平・鉛直同時加振モデル)を作成した。
 ・多質点系モデル及び有限要素モデルについて、固有値解析の結果を「3.2 固有値解析による検証」に示す。

有限要素モデル物性値

物性番号	単位 換算重量 w (kN/m ²)	平面ひずみ要素			鉛直ばね		減衰 定数 h (%)
		せん断 弾性係数 G (kN/m ²)	ヤング係数 E (kN/m ²)	ポアソン比 ν	ばね係数 kv (kN/m)	ばね間隔 di (m)	
1	12.602	1.696E+05	4.624E+05	0.36338	8.052E+04	51.6	5
2	19.812	2.841E+05	7.766E+05	0.36677	7.050E+05	51.6	5
3	41.181	6.449E+05	1.608E+06	0.24680	1.869E+06	0.0	5
4	48.840	7.442E+05	1.935E+06	0.30027	4.849E+06	0.0	5
5	42.213	7.454E+05	1.935E+06	0.29786	4.371E+06	0.0	5
6	59.656	8.579E+05	2.280E+06	0.32881	1.822E+06	0.0	5
7	64.428	1.165E+06	3.065E+06	0.31568	4.567E+06	0.0	5
8	62.344	1.370E+06	3.525E+06	0.28593	4.128E+06	0.0	5
9	124.481	9.558E+06	2.127E+07	0.11260	3.883E+04	89.4	5
10	70.609						

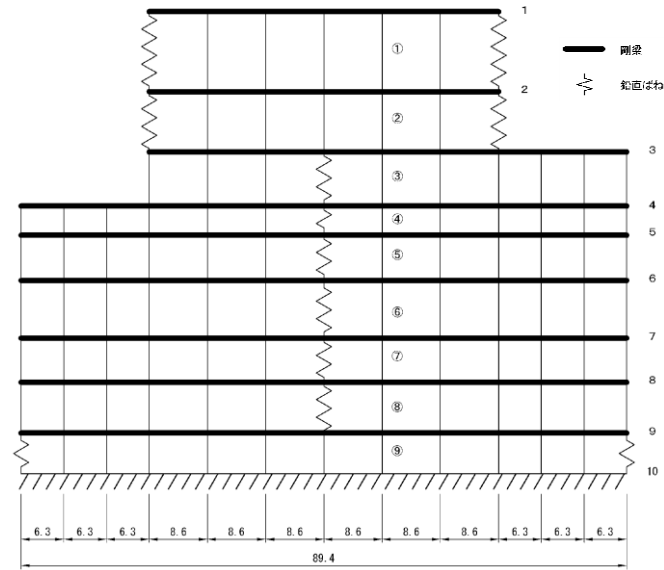
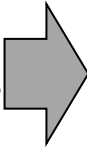


水平モデル(EW方向)



鉛直モデル

多質点系モデル



有限要素モデル(水平・鉛直同時加振モデル)

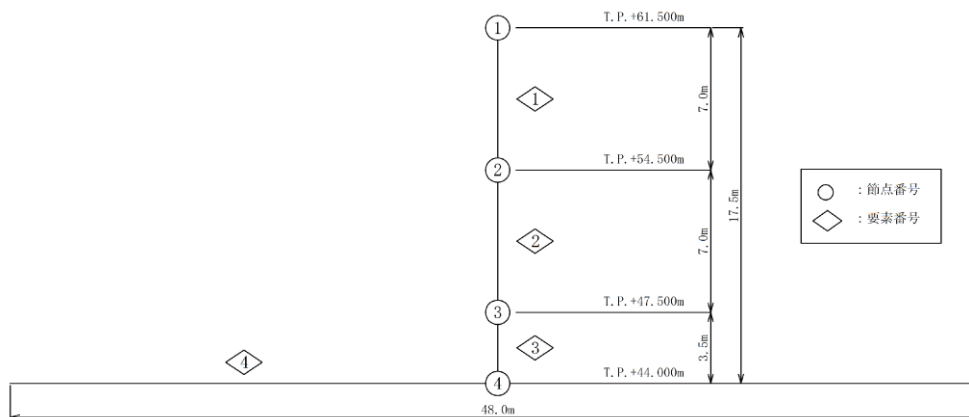
3. 建物のモデル化方法

3. 1 各建物のモデル化

ガスタービン発電機建物

3. 建物のモデル化方法 3.1 各建物のモデル化 ガスタービン発電機建物のモデル化

・ガスタービン発電機建物(③-③'断面)は比較的単純な構造であることから、多質点系モデルを地盤モデルに接続してモデル化した。



多質点系モデル(地盤モデル接続)

多質点系モデル(地盤モデル接続)物性値

要素番号	ヤング係数 E(kN/m ²)	せん断弾性係数 G(kN/m ²)	ポアソン比 ν	断面積 A(m ²)	せん断断面積 As(m ²)	断面2次モーメント I(m ⁴)	せん断面積比 S=As/A	減衰定数 h	備考
1	2.44×10 ⁷	1.02×10 ⁷	0.2	4.135076	1.873638	283.7	0.4531	0.05	側壁上部
2	2.44×10 ⁷	1.02×10 ⁷	0.2	7.607843	4.684096	1124	0.615693	0.05	側壁下部
3	2.44×10 ⁷	1.02×10 ⁷	0.2	48	48	9216	1	0.05	基礎スラブ
4	2.44×10 ⁷	1.02×10 ⁷	0.2	100	100	83333	1	0.05	剛梁

節点番号	重量 (kN)	回転慣性 (kN・m)
1	1315.468	144880.174
2	2160.566	333769.063
3	2953.595	568627.451
4	2530.501	486928.105
合計	8960.130	1534204.793

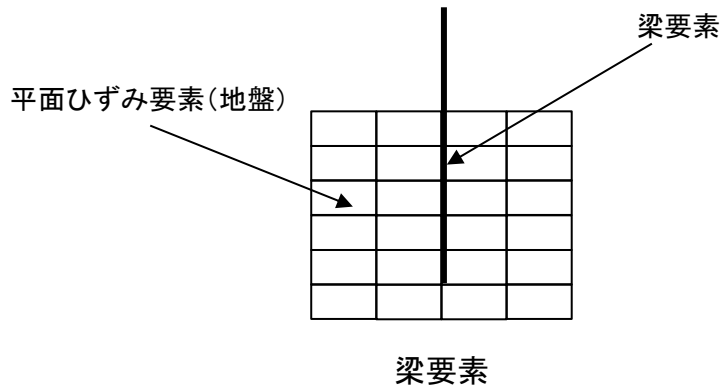
3. 建物のモデル化方法

3. 1 各建物のモデル化

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)

3. 建物のモデル化方法 3.1 各建物のモデル化 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)のモデル化

・防波壁(多重鋼管杭式擁壁)(⑦-⑦'断面)は, 杭構造物であることから, 線形の梁要素でモデル化した。



防波壁(多重鋼管杭式擁壁, 梁要素)の解析用物性値

構造	地上部 1 重管	地中部 4 重管
	被覆コンクリート + 鋼管杭 φ 1600	
合成断面積 A (m ²)	0.2489	0.3770
合成断面二次モーメント I (m ⁴)	0.1433	0.1467
合成単位体積重量 γ (kN/m ³)	172.3	126.5
ポアソン比 ν	0.30	0.30
せん断剛性 G (kN/m ²)	7.692 × 10 ⁷	7.692 × 10 ⁷
減衰定数 (%)	1.00	1.00

3. 建物のモデル化方法

3.2 固有値解析による検証

2号炉原子炉建物(南北)

・多質点系モデル及び有限要素モデルについて、固有値解析を実施した結果、水平方向・鉛直方向ともに固有周期はおおむね一致し、作成した有限要素モデルが妥当であることを確認した。

2号炉原子炉建物(南北) ①-①'断面		多質点系モデル		有限要素モデル	
		固有周期(S)	刺激係数	固有周期(S)	刺激係数
水平	1次	0.198	1.983	0.198	2.020
	2次	0.094	1.658	0.094	1.684
	3次	0.062	0.994	0.061	0.996
鉛直	1次	0.088	5.615	0.088	2.455
	2次	0.044	1.081	0.040	1.380
	3次	0.024	1.008	0.028	1.219

2号炉原子炉建物(東西)

・多質点系モデル及び有限要素モデルについて、固有値解析を実施した結果、水平方向・鉛直方向ともに固有周期はおおむね一致し、作成した有限要素モデルが妥当であることを確認した。

2号炉原子炉建物(東西) ②-②'断面		多質点系モデル		有限要素モデル	
		固有周期(S)	刺激係数	固有周期(S)	刺激係数
水平	1次	0.182	1.967	0.182	1.970
	2次	0.088	1.586	0.089	1.558
	3次	0.057	1.000	0.056	0.722
鉛直	1次	0.088	5.615	0.088	1.917
	2次	0.044	1.081	0.038	1.162
	3次	0.024	1.008	0.028	0.973

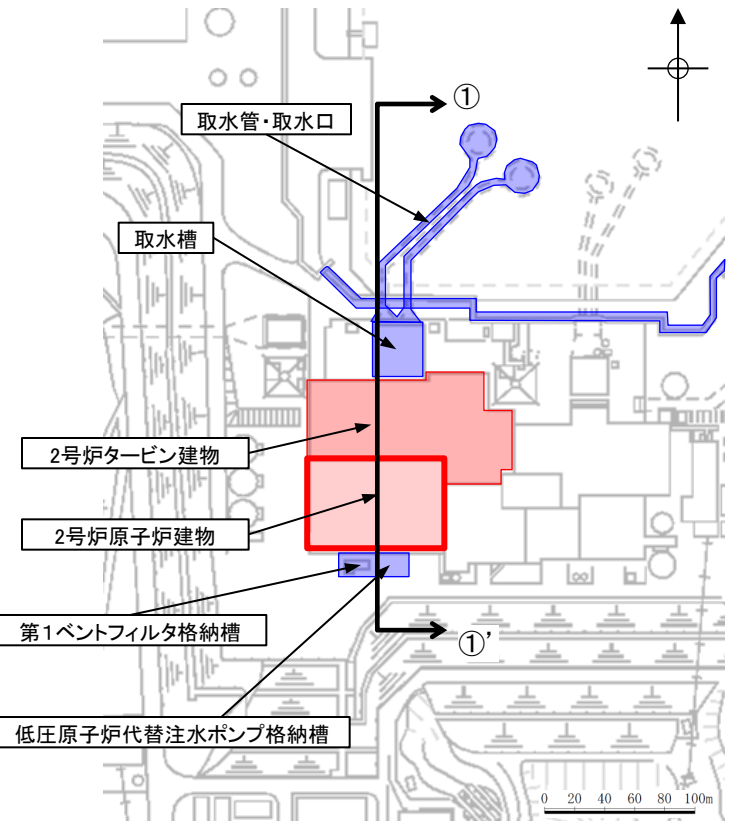
4. 隣接施設のモデル化

4. 隣接施設のモデル化

2号炉原子炉建物基礎地盤(南北)

- ・断面図上の施設の側方「2.5×構造物幅」以内に配置されている隣接構造物を抽出し、施設重量及び埋設の有無により、構造物としてのモデル化の可否を検討した。
- ・なお、抽出する隣接構造物は、左下図に示す評価対象断面上の施設とした。

・原子炉建物(南北断面)



断面位置図

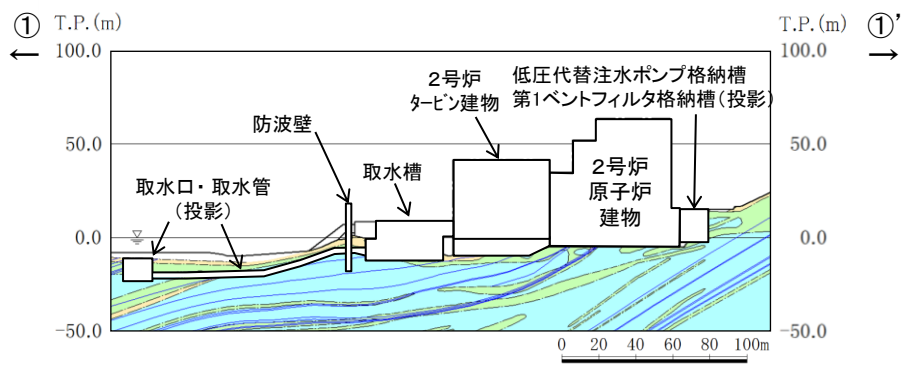
施設名称	施設総重量 (MN)	代表施設との重量比 (隣接/代表)	構造物としてのモデル化の要否
2号炉原子炉建物	3,278	—	代表施設
2号炉タービン建物	2,112	0.64	モデル化する
取水槽	382	0.12	モデル化しない
第1ベントフィルタ格納槽	95	0.03	
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	97	0.03	
取水管・取水口	5	0.001	
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)	74	0.02	

- ・隣接する施設のうち、施設の重量が相対的に大きく、原子炉建物基礎地盤の地盤応答に影響を与える可能性がある2号炉タービン建物を評価対象断面にモデル化した。
- ・取水槽等の地中構造物は、地盤応答に与える影響は軽微と考え、構造物としてモデル化しないこととした。

【凡例】

- : 代表施設
- : モデル化する施設
- : モデル化しない施設

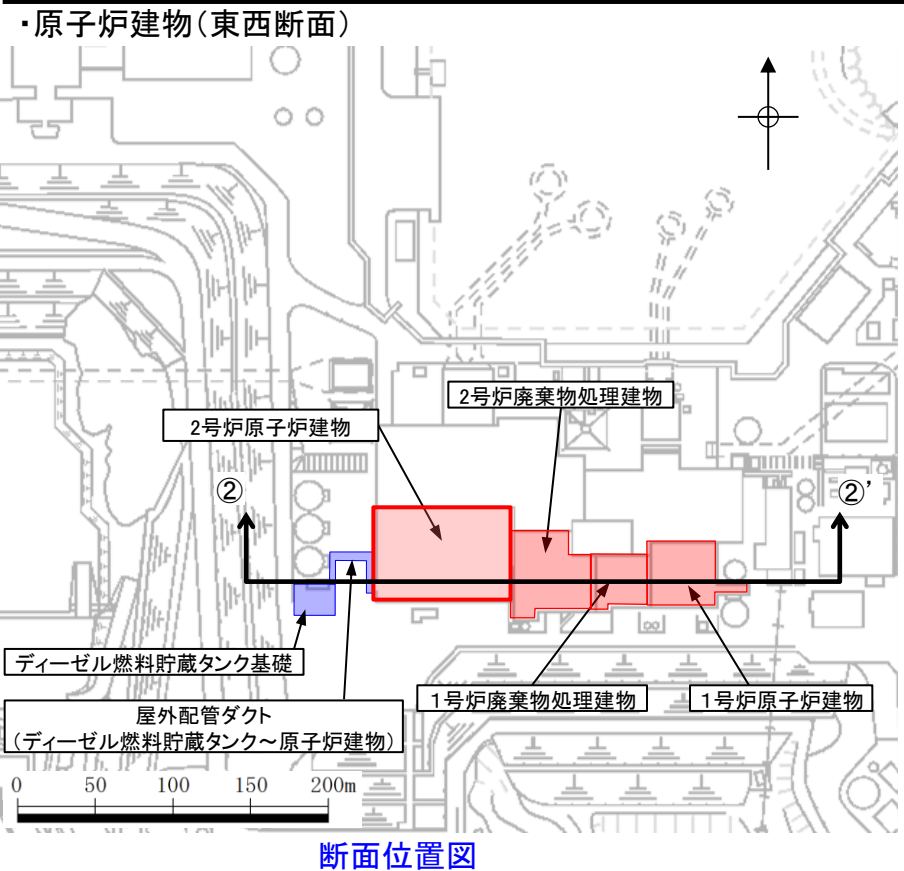
↑ ↑ : 評価対象断面



①-①' 断面図

2号炉原子炉建物基礎地盤(東西)

- ・施設の側方「2.5×構造物幅」以内に配置されている隣接構造物を抽出し、施設重量及び埋設の有無により、構造物としてのモデル化の可否を検討した。
- ・なお、抽出する隣接構造物は、左下図に示す評価対象断面上の施設とした。



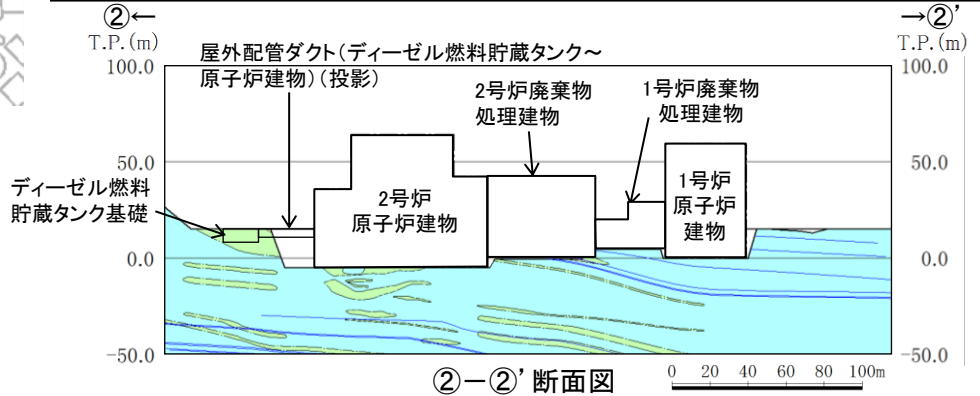
施設名称	施設総重量 (MN)	代表施設との重量比 (隣接/代表)	構造物としてのモデル化の可否
2号炉原子炉建物	3,278	—	代表施設
2号炉廃棄物処理建物	1,167	0.36	モデル化する
1号炉原子炉建物	763	0.23	
1号炉廃棄物処理建物	273	0.08	モデル化しない
ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	36	0.01	
屋外配管ダクト (ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)	13	0.004	

- ・隣接する施設のうち、施設の重量が相対的に大きく、原子炉建物基礎地盤の地盤応答に影響を与える可能性がある2号炉廃棄物処理建物、1号炉原子炉建物、及び1号炉廃棄物処理建物を評価対象断面にモデル化した。
- ・ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎等の地中構造物は、地盤応答に与える影響は軽微と考え、構造物としてモデル化しないこととした。

【凡例】

- : 代表施設
- : モデル化する施設
- : モデル化しない施設

↑↑ : 評価対象断面

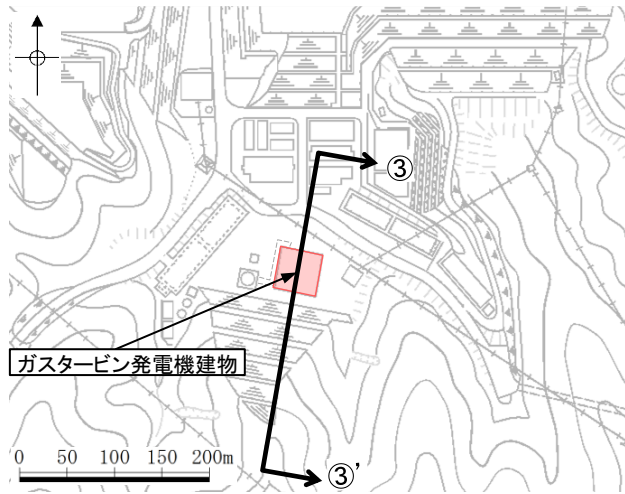


4. 隣接施設のモデル化

ガスタービン発電機建物基礎地盤・周辺斜面

- ・施設の側方「2.5×構造物幅」以内に配置されている隣接構造物を抽出し、施設重量及び埋設の有無により、構造物としてのモデル化の可否を検討した。
- ・なお、抽出する隣接構造物は、左下図に示す評価対象断面上の施設とした。

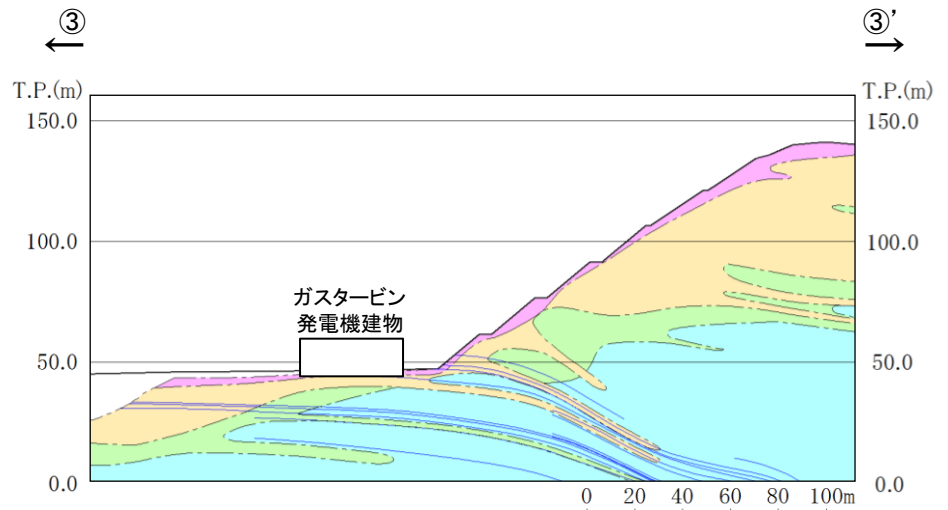
・ガスタービン発電機建物(南北断面)



断面位置図

- 【凡例】
- : 代表施設
 - ↕ ↗ : 評価対象断面

・代表施設の周囲に、地盤応答に影響を及ぼす可能性のある施設は存在しない。



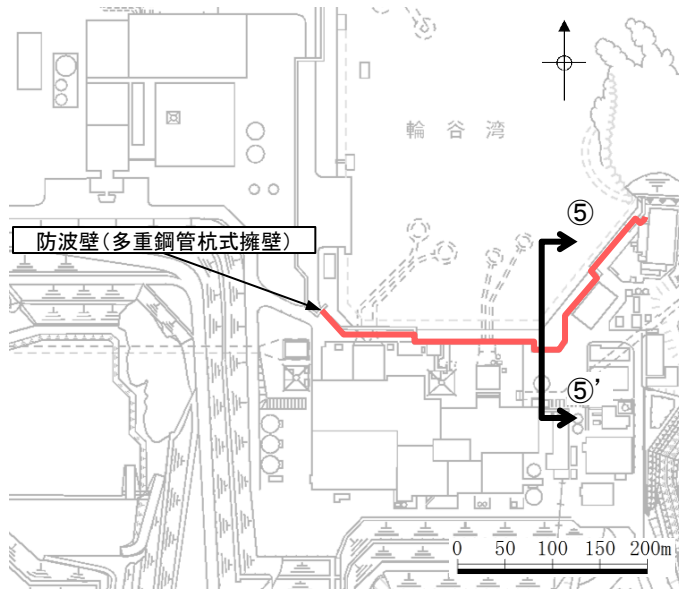
③-③'断面図

4. 隣接施設のモデル化

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)基礎地盤

- ・施設の側方「2.5×構造物幅」以内に配置されている隣接構造物を抽出し、施設重量及び埋設の有無により、構造物としてのモデル化の可否を検討した。
- ・なお、抽出する隣接構造物は、左下図に示す評価対象断面上の施設とした。

・防波壁(多重鋼管杭式擁壁)(南北断面)



断面位置図

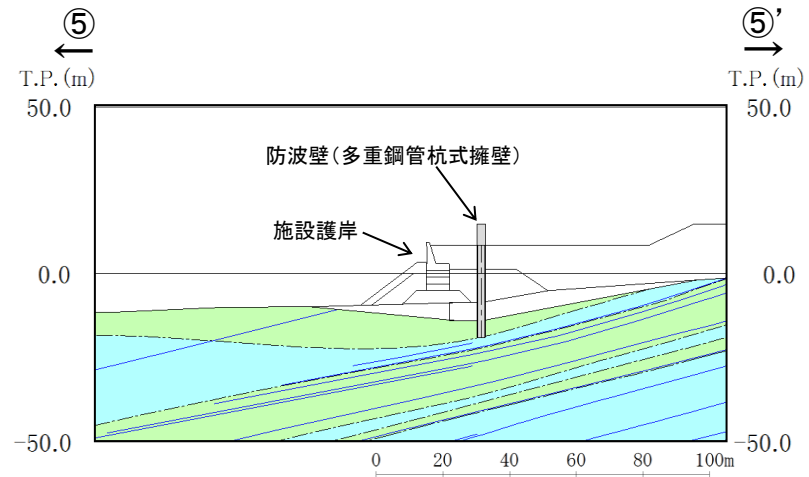
【凡例】

- : 代表施設
- ↑ ↓ : 評価対象断面

施設名称	施設総重量 (MN)	代表施設との重量比 (隣接/代表)	備考
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)	74	—	代表施設
施設護岸	1.6	0.02	モデル化しない



- ・施設護岸は地中構造物であることから、地盤応答に与える影響は軽微と考え、構造物としてモデル化しないこととした。



⑤-⑤' 断面図

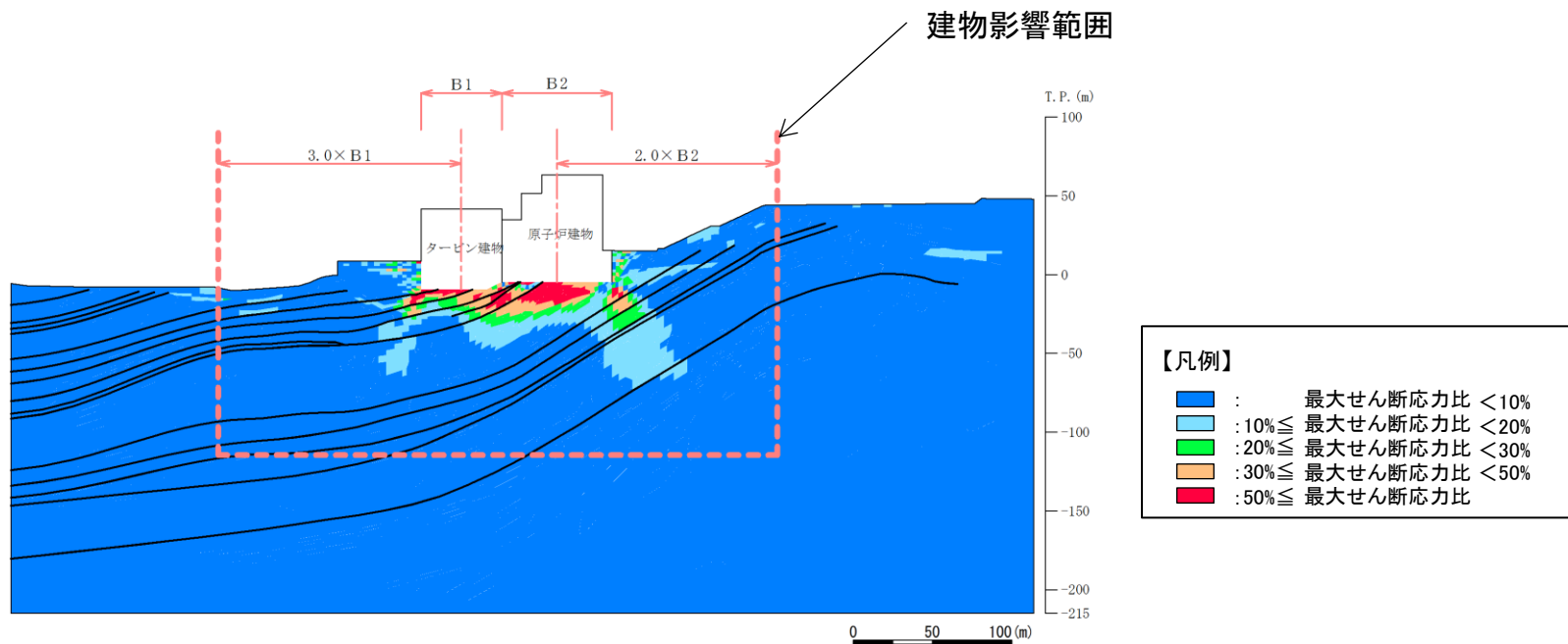
5. 建物影響範囲の設定方法

5. 建物影響範囲の設定方法

建物影響範囲の設定について

【最大せん断応力比 算定式】

$$\text{最大せん断応力比} = \left| \frac{\text{建屋ありの}\tau_{\max} - \text{建屋なしの}\tau_{\max}}{\text{建屋なしの}\tau_{\max}} \right| \times 100 (\%)$$



例) 2号炉原子炉建物 最大せん断応力比の分布

- ・土木学会(2009)に基づき、構築物がある場合とない場合の S_s-D による動的解析(平均強度)を実施し、両者の解析によって得られる応力変動(最大せん断応力比)を比較することにより、構築物の影響を受ける可能性がある範囲を決定した。
- ・構築物の影響で応力が変動する領域を概ね包含している範囲を建物影響範囲に設定した上で、その範囲内ですべり面を設定することとした。

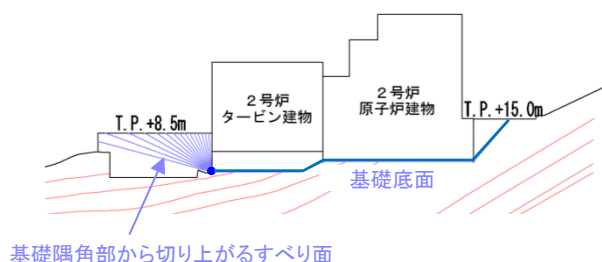
6. 要素の局所安全係数図

すべり面の設定(基礎地盤)

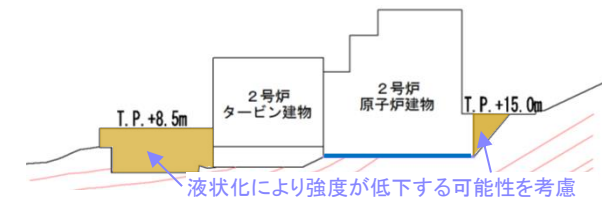
- ・基礎底面を通るすべり面は、建物隅角部から切り上がるすべり面の他に、地下水位以深の埋戻土・盛土が地震動により繰り返し軟化し、強度が低下する可能性を考慮し、岩盤部のみのすべりに対する検討も実施する。
- ・シームを通るすべり面は、シームを通過して岩盤内を切り上がるすべり面をパラメトリックに設定する。
- ・基礎底面を通るすべり面及びシームを通るすべり面における応力状態を踏まえ、必要に応じてすべり面を追加設定する。

① 基礎底面を通るすべり面

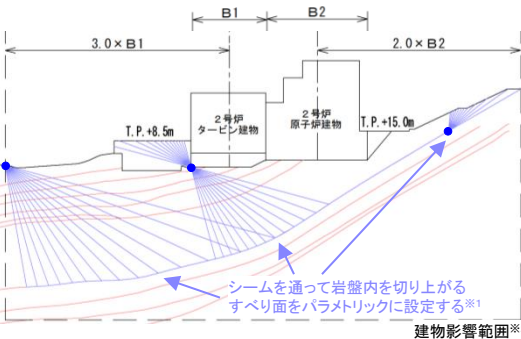
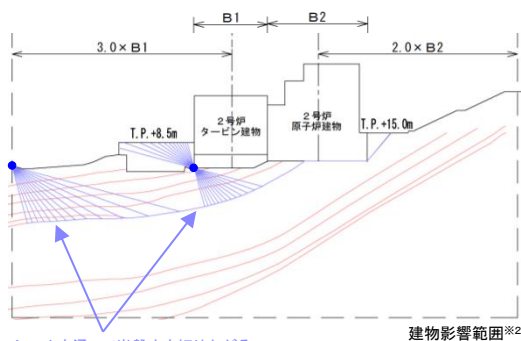
- ・基礎底面を通り、建物隅角部から切り上がるすべり面をパラメトリックに設定する。



- ・地下水位以深の埋戻土・盛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も実施する。



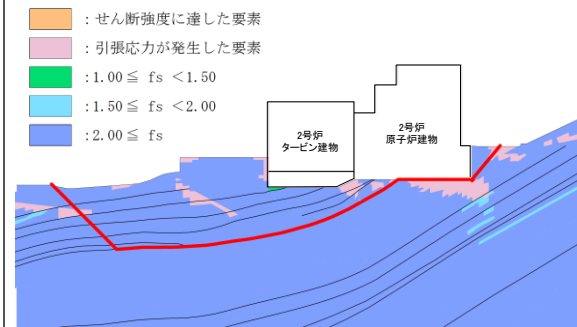
② シームを通るすべり面



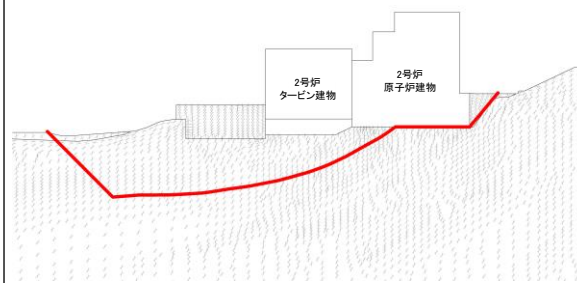
③ 応力状態を考慮したすべり面

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



2) モビライズド面を考慮



*1 5° ~ 85° の範囲をパラメトリックに設定(5° 間隔)

*2 建物影響範囲については、補足資料「4. 建物影響範囲の設定方法」に示す。

凡例

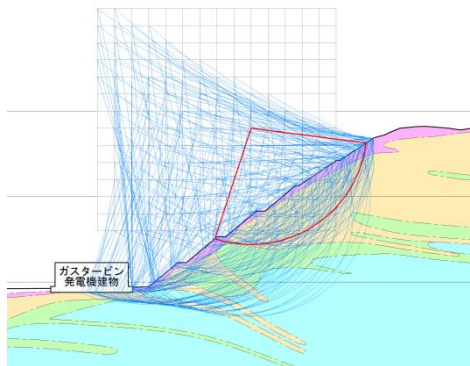
- : シーム
- : すべり面
- : 切上がりの固定点

すべり面の設定（周辺斜面）

- ・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。

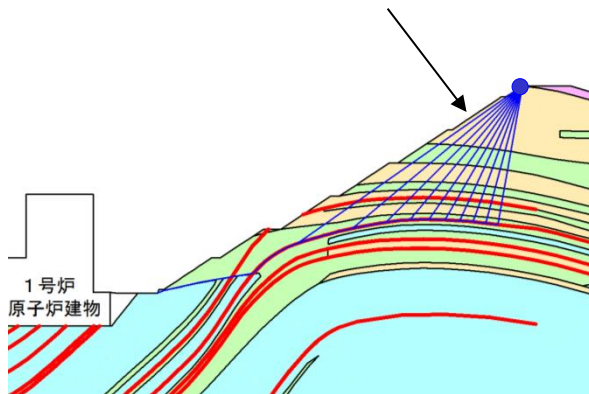
① 簡便法によるすべり面

- ・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

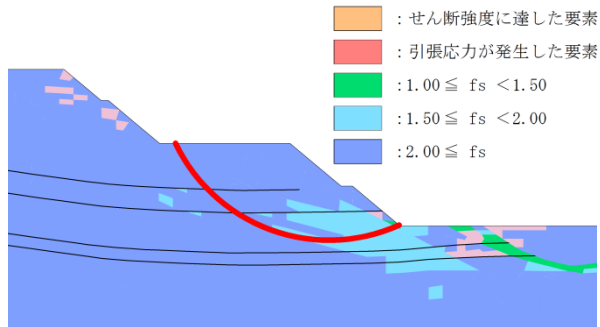
シームから岩盤を切り上がるすべり面をパラメトリックに設定する。



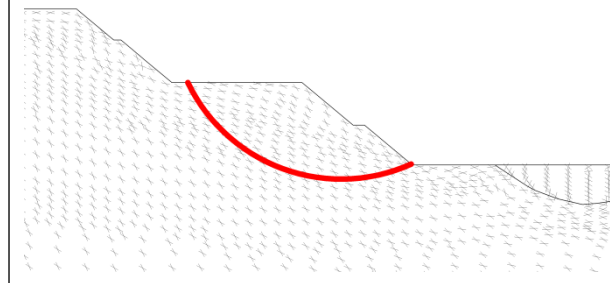
③ 応力状態を考慮したすべり面

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



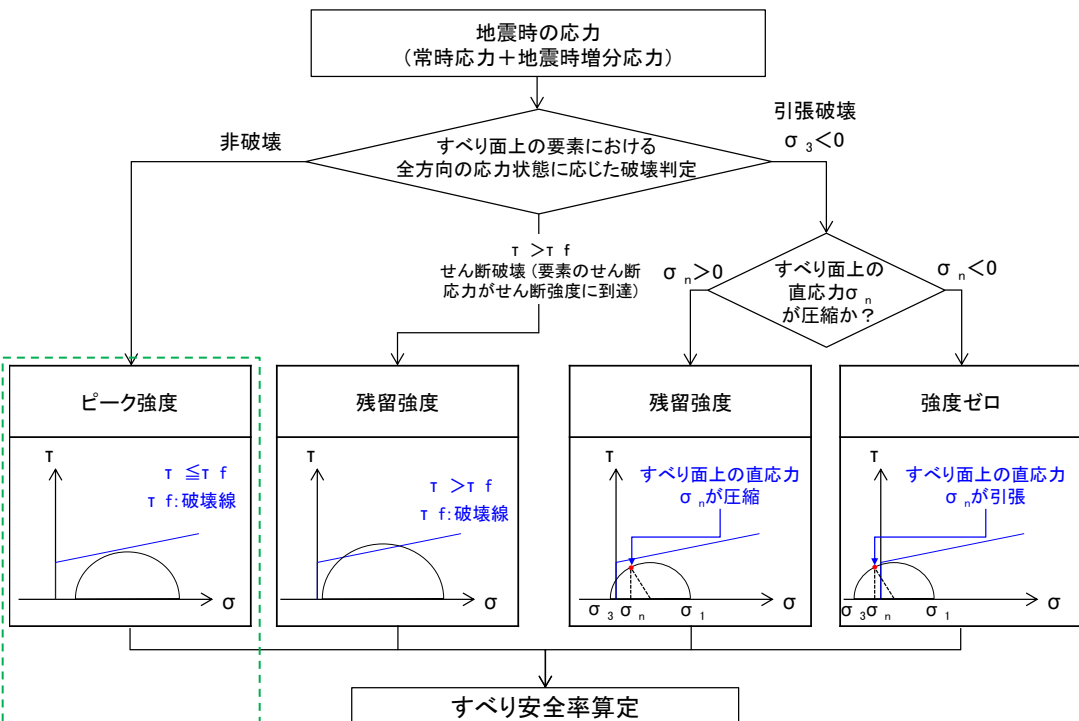
2) モビライズド面を考慮



追加のすべり面の設定の考え方(1/2)

・設定したすべり面について、「破壊領域を通るすべり面」又は「モビライズド面を通るすべり面」になっているか、最小すべり安全率を示す応力状態を踏まえて以下の観点から確認し、これらを通るすべり面になっていない場合は追加設定する。

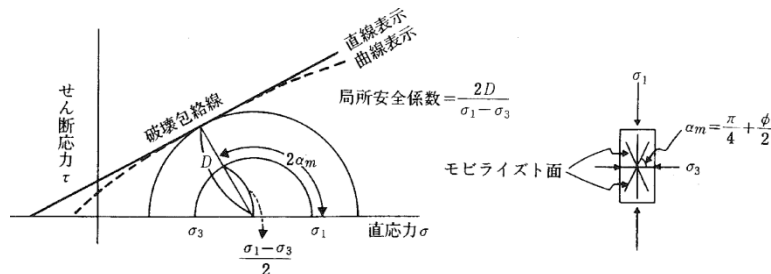
- ① 岩盤の破壊領域を通るすべり面になっているか。
- ② ①になっていない場合は、強度の低いシームを通るすべり面になっているか。
- ③ ①及び②になっていない場合は、モビライズド面を通るすべり面になっているか。



モビライズド面
を通る
すべり面
(右図A参照)

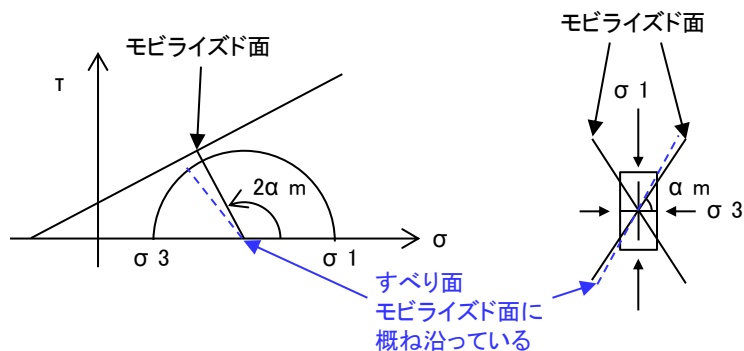
A. 局所安全係数及びモビライズド面

- ・局所安全係数: 下図で求められる要素の安全率。
- ・モビライズド面: 局所安全係数を示すすべり方向。

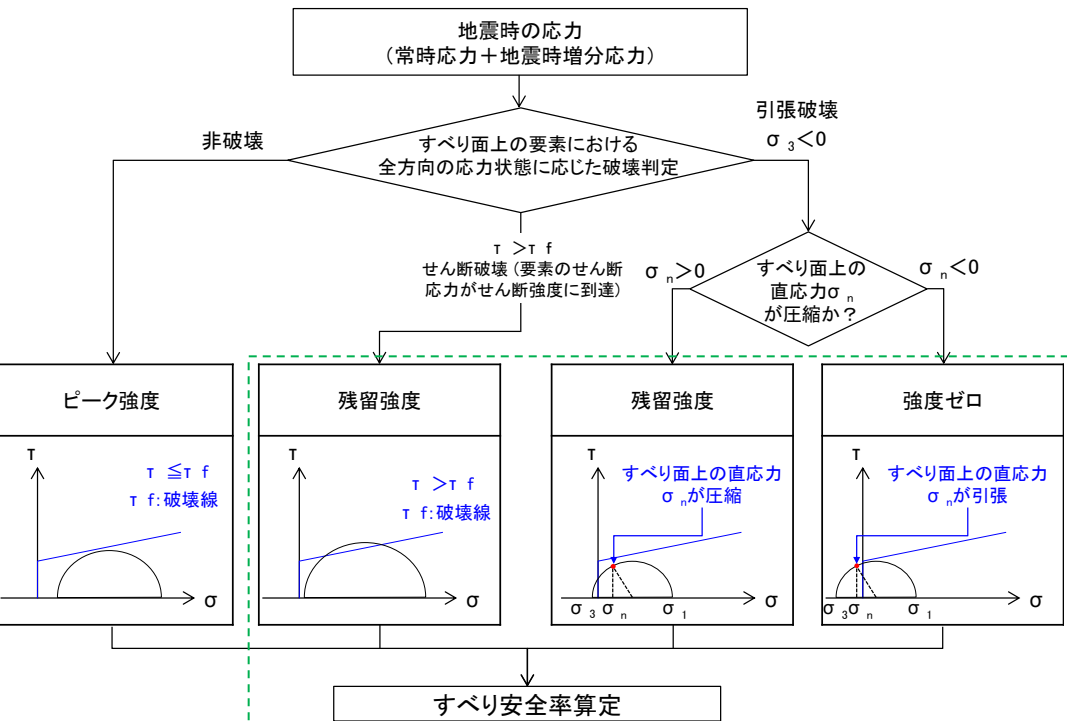


σ_1, σ_3 : それぞれ最大, 最小主応力 (圧縮を正)
D: モール円の中心から破壊包絡線への最短距離 (JEAG4601-2008抜粋)

- ・モビライズド面とすべり面の成す角度が小さい場合、すべり面はモビライズド面に概ね沿っているものとする。



追加のすべり面の設定の考え方(2/2)



破壊領域を通るすべり面
(引張応力が発生した要素の強度は右図B参照)

B. 引張応力が発生した要素の強度

- すべり面の直応力が引張になる場合はせん断強度ゼロ, すべり面の直応力が圧縮になる場合は残留強度となる。

最大主応力 σ_1 (圧縮)
最小主応力 σ_3 (引張)

すべり面②
すべり面①

直応力が引張 \Rightarrow せん断強度ゼロ
直応力が圧縮 \Rightarrow 残留強度

σ_3 (引張)
 $\alpha_m = 35^\circ$
 $\alpha_m = 80^\circ$

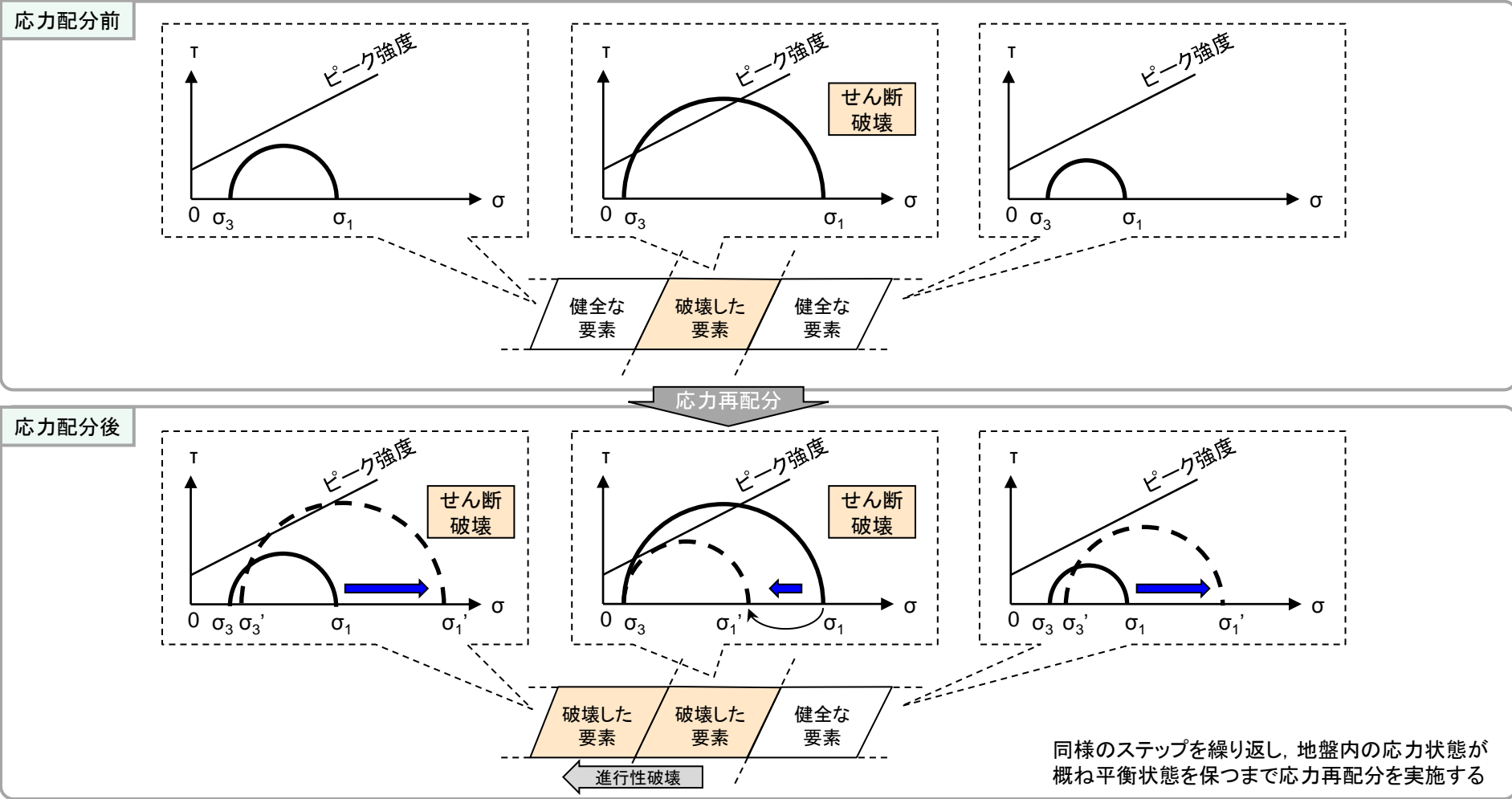
すべり面の直応力が引張となる範囲 σ_1 (圧縮)

直応力が引張 \Rightarrow せん断強度ゼロ
直応力が圧縮 \Rightarrow 残留強度

$\tau = \tau_0 + \sigma \tan \phi$
すべり面①
すべり面②
 $2\alpha_m = 2 \times 35^\circ$
 $2\alpha_m = 2 \times 80^\circ$

周辺への進行性破壊の検討方法

- せん断応力に達する要素もしくは引張応力が発生した要素が連続して分布し、周辺への進行性破壊が懸念される場合は、静的非線形解析を実施し、進行性破壊の有無を確認する。
- 静的非線形解析は、せん断応力に達する要素もしくは引張応力が発生した要素について、その差分応力を周辺要素に配分する以下のステップを繰り返し行い、周辺への進行性破壊を考慮するものである。



余白

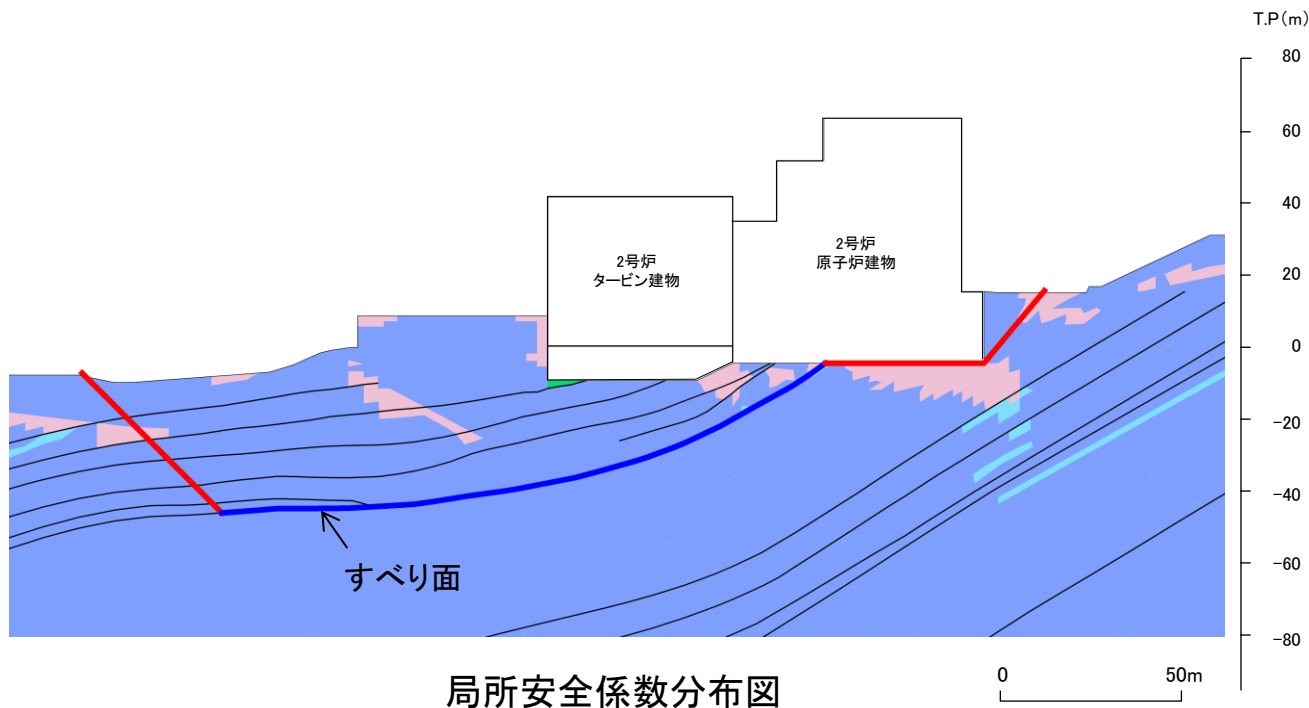
要素ごとの局所安全係数

■2号炉原子炉建物基礎地盤(①-①'断面)

・基準地震動 : Ss-D(+,+)
 ・時刻 : 8.56秒
 ・すべり安全率 : 2.16(2.01)

- : せん断強度に達した要素
- : 引張応力が発生した要素
- : $1.00 \leq f_s < 1.50$
- : $1.50 \leq f_s < 2.00$
- : $2.00 \leq f_s$
- (Blue) : シームを通るすべり面
- (Red) : シーム以外

※ ()内 強度のばらつきを考慮したすべり安全率を示す。



局所安全係数分布図

・引張応力が発生した要素が原子炉建物隅角部に連続しており、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はない。

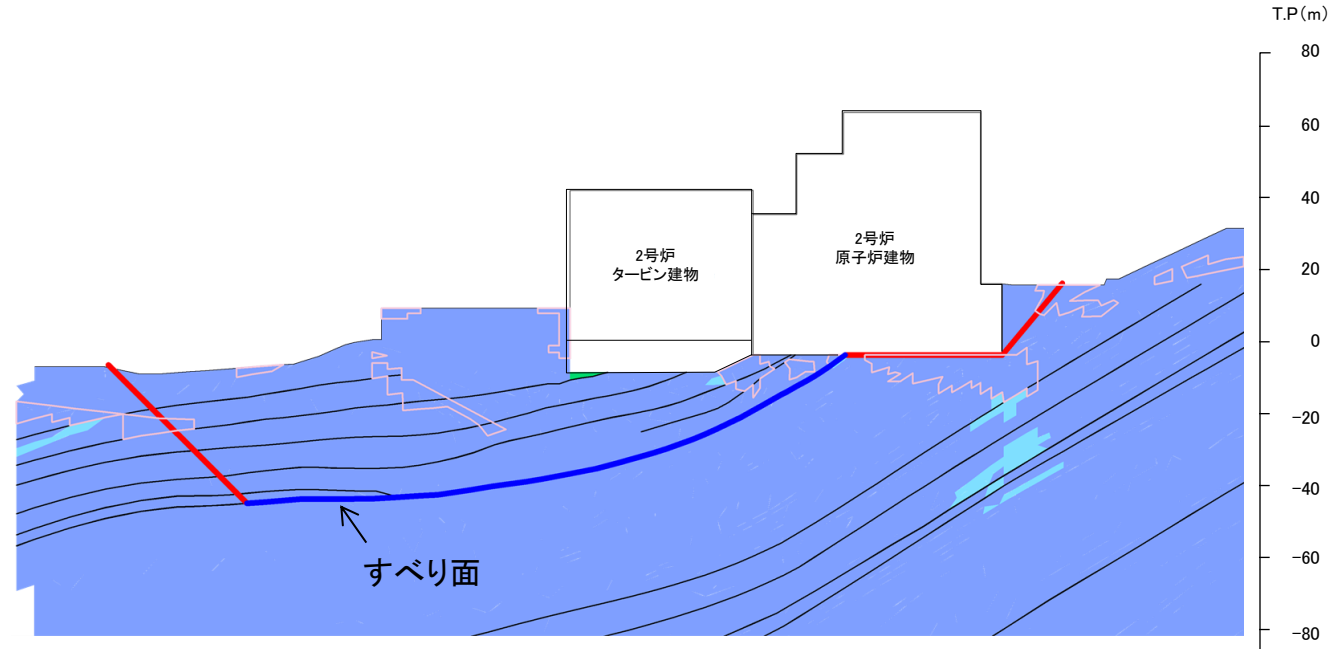
周辺への進行性破壊の検討

■ 2号炉原子炉建物基礎地盤(①-①'断面)

・基準地震動 : Ss-D(+,+)
 ・時刻 : 8.56秒
 ・すべり安全率 : 2.23※1

□ (黄)	: せん断強度に達した要素	} 静的非線形解析前 (前頁参照)	— (青)	: シームを通るすべり面
□ (白)	: 引張応力が発生した要素		— (赤)	: シーム以外
□ (茶)	: せん断強度に達した要素	} 静的非線形解析後		
□ (紫)	: 引張応力が発生した要素			
■ (緑)	: $1.00 \leq f_s < 1.50$			
■ (青)	: $1.50 \leq f_s < 2.00$			
■ (紫)	: $2.00 \leq f_s$			

※1 静的非線形解析結果の応力状態を踏まえたすべり安全率(平均強度)



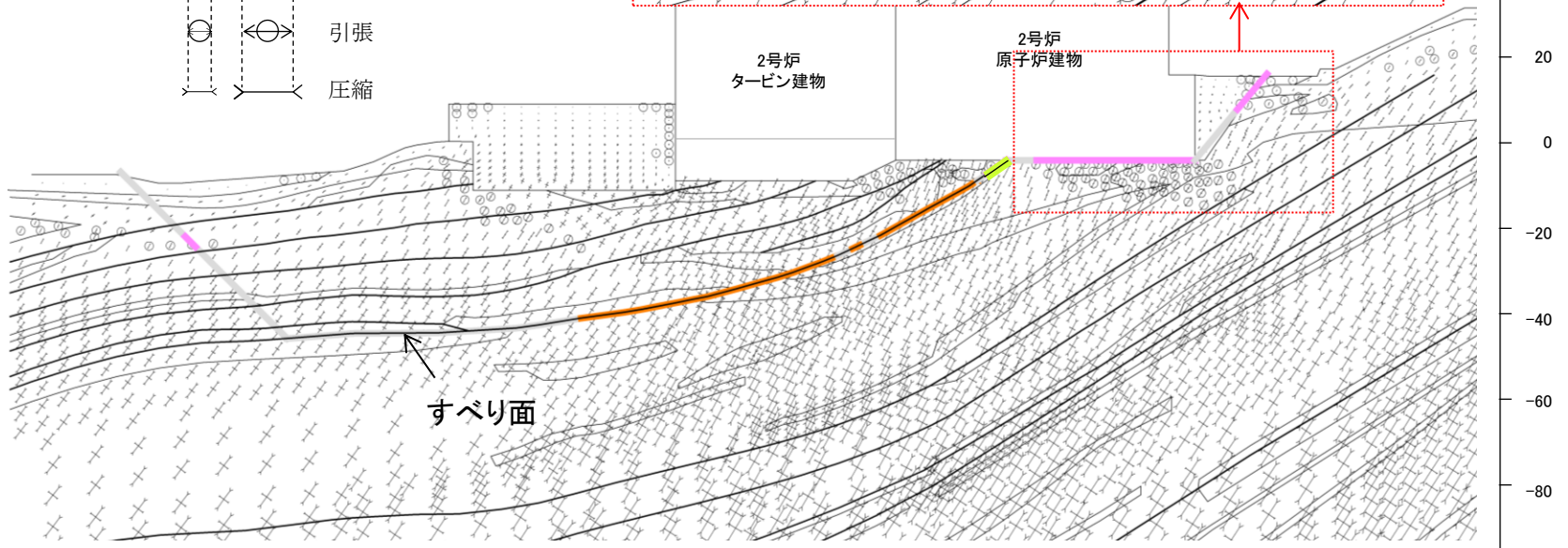
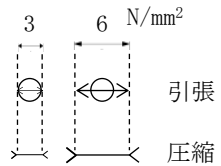
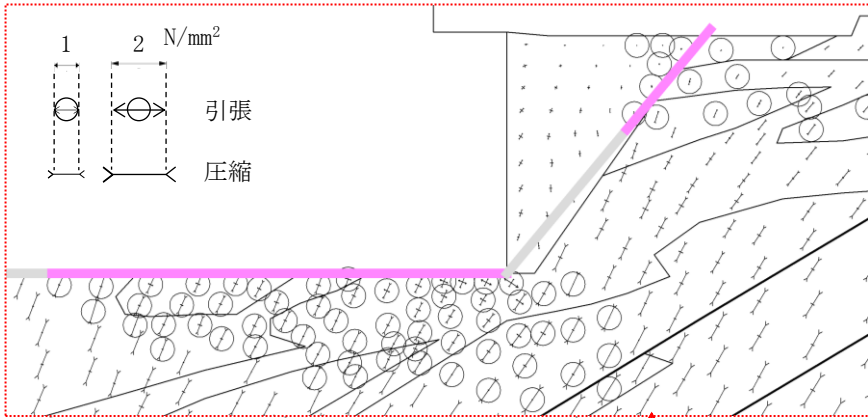
局所安全係数分布図
(静的非線形解析結果)

・引張応力が発生した要素が原子炉建物隅角部に連続しているため、静的非線形解析を実施した結果、進行性破壊が発生していないことを確認した。

主応力分布図

■2号炉原子炉建物基礎地盤(①-①'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



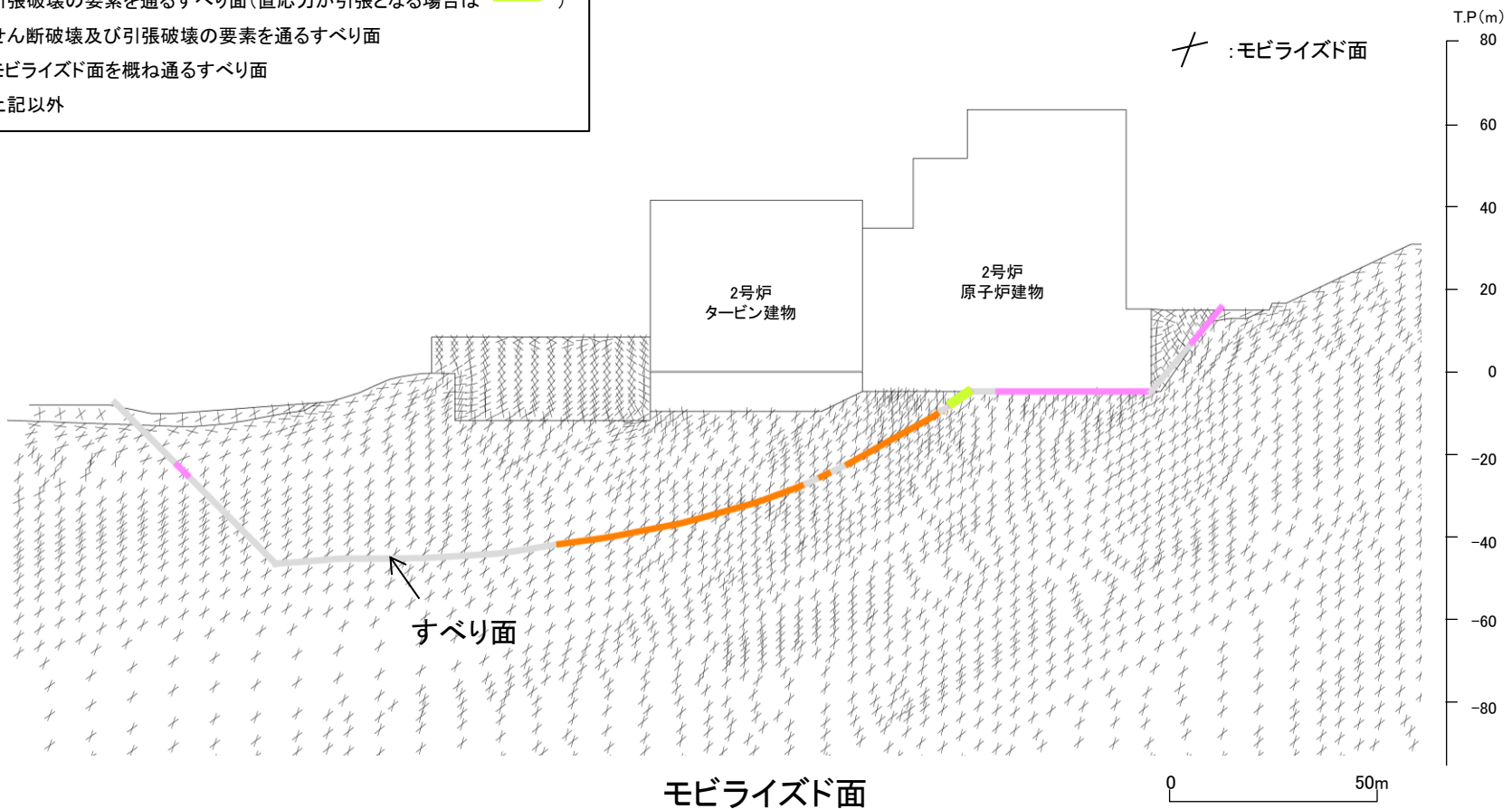
主応力分布図

・建物隅角部では、直応力が引張となる範囲は概ね鉛直方向になり、これに沿うすべりは想定されない。

モビライズド面

■2号炉原子炉建物基礎地盤(①-①'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、すべり安全率がより厳しくなるシームや破壊領域を通るすべり面になっている。

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。

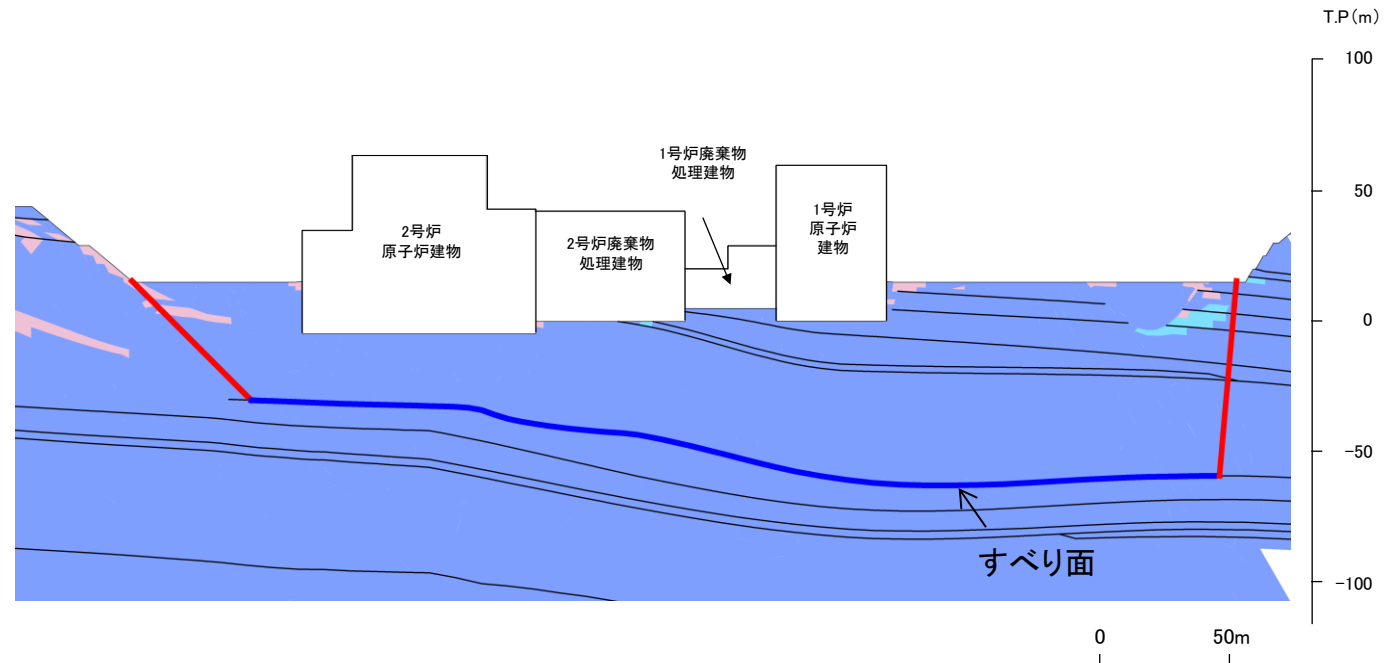
要素ごとの局所安全係数

■2号炉原子炉建物基礎地盤(②-②'断面)

・基準地震動 : Ss-N1(+,+)
 ・時刻 : 7.39秒
 ・すべり安全率 : 2.57(2.43)

- : 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

※ ()内 強度のばらつきを考慮したすべり安全率を示す。

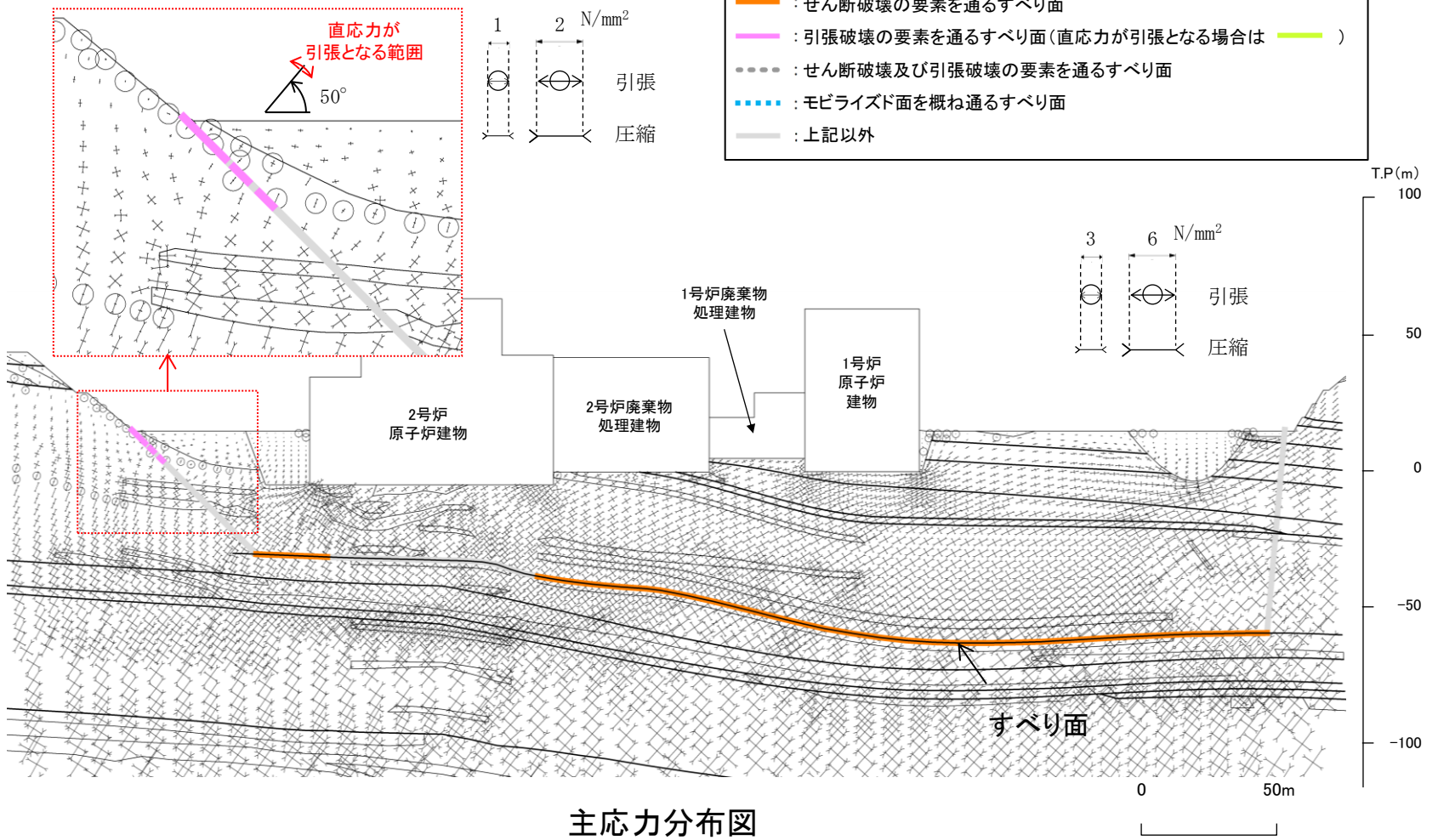


局所安全係数

・引張応力が発生した要素が原子炉建物西側に連続しており、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はない。

主応力分布図

■2号炉原子炉建物基礎地盤(②-②'断面)



主応力分布図

・原子炉建物西側では、直応力が引張となる範囲は50° 前後になり、これに沿うすべりは想定されない。

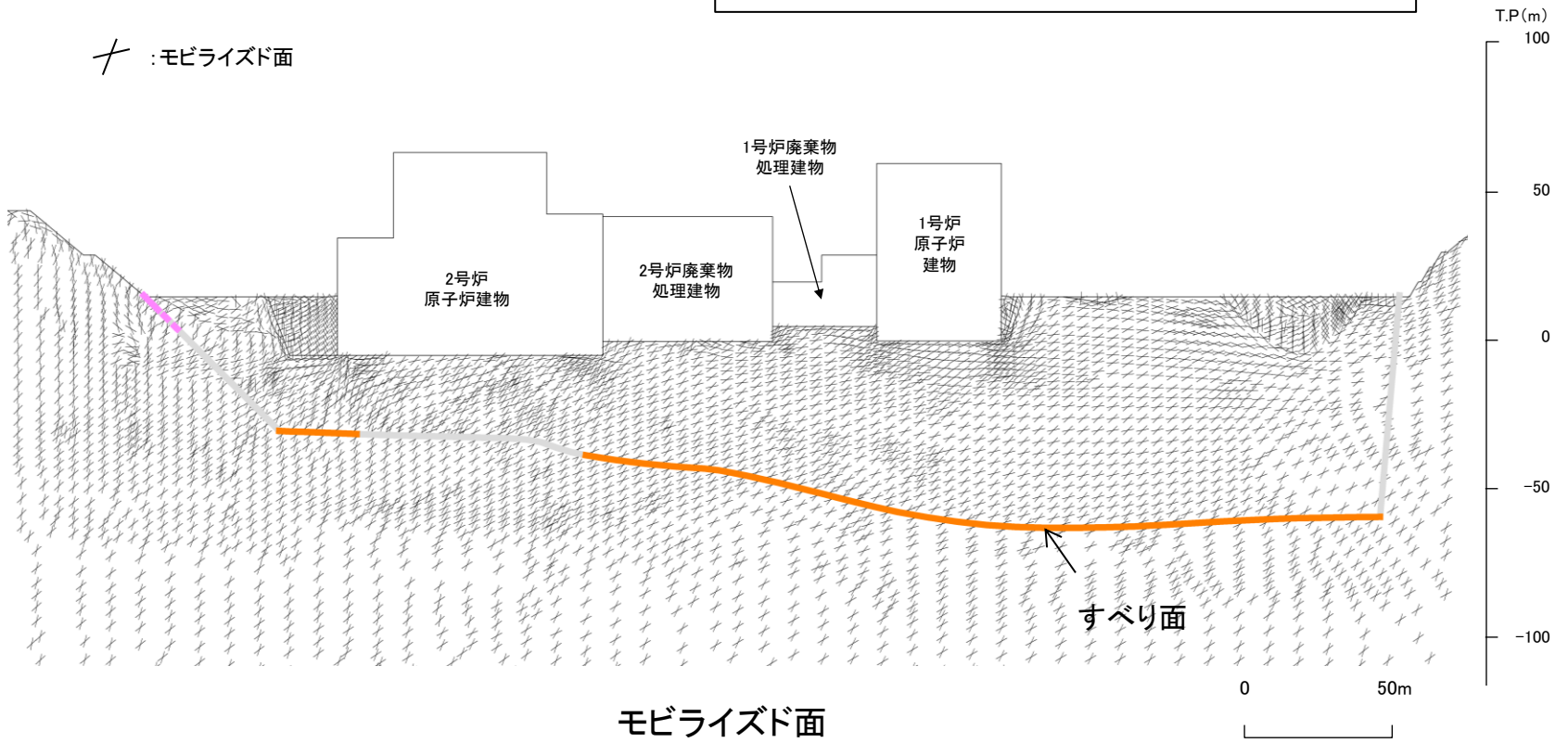
モビライズド面

■2号炉原子炉建物基礎地盤(②-②'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

✦ : モビライズド面



モビライズド面

・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。

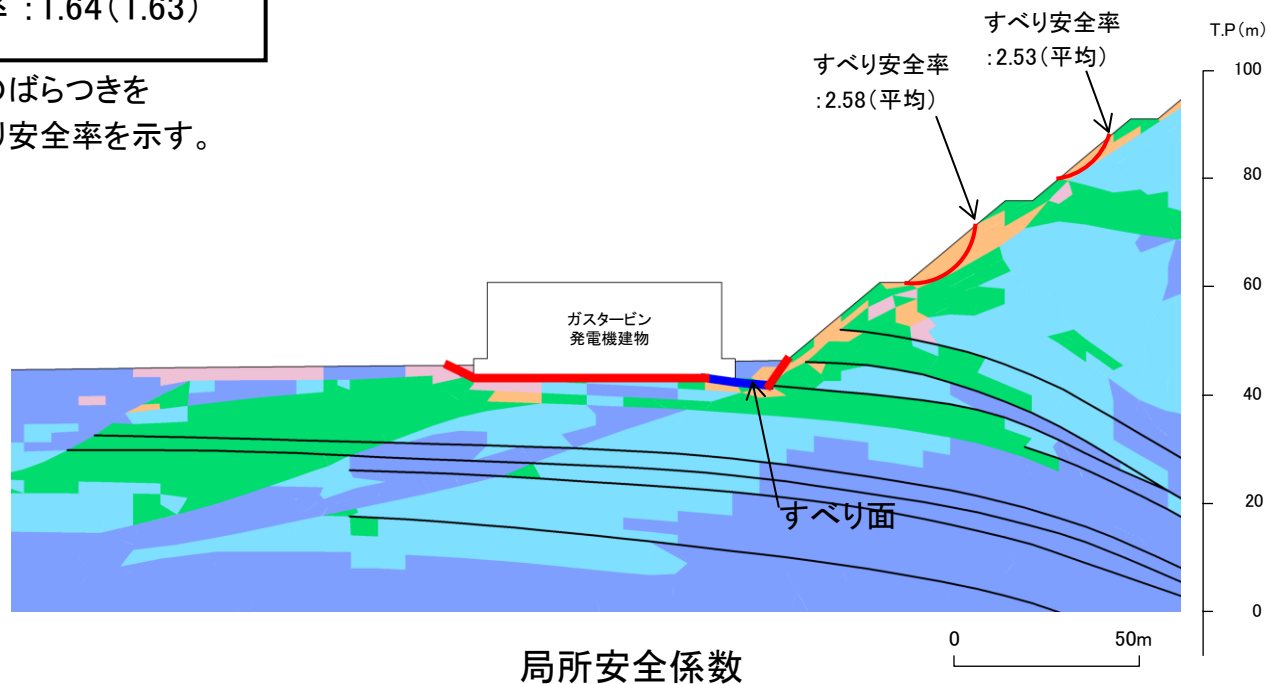
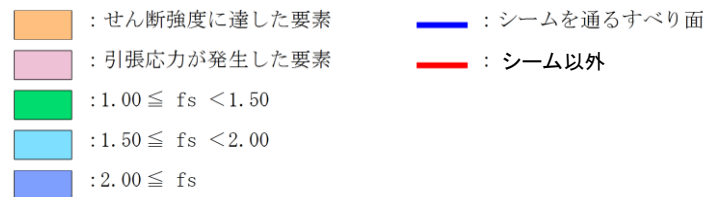
余白

要素ごとの局所安全係数

■ガスタービン発電機建物基礎地盤(③-③'断面)

・基準地震動 : Ss-N1(-,+)
 ・時刻 : 7.70秒
 ・すべり安全率 : 1.64(1.63)

※ ()内 強度のばらつきを考慮したすべり安全率を示す。



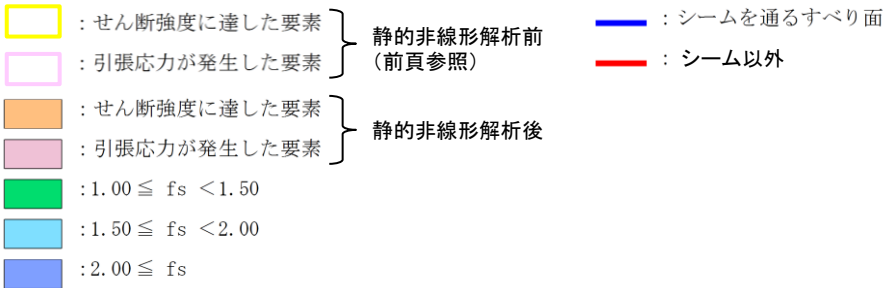
局所安全係数

・基礎地盤において引張応力が発生した要素やせん断強度に達した要素は局所的である。
 ・なお、斜面部にせん断強度に達した要素があるが局所的である。せん断強度に達した要素を通るすべり面の最小すべり安全率は2.53(平均強度)であり、既設定のすべり面(P231参照)の2.07に包含される。

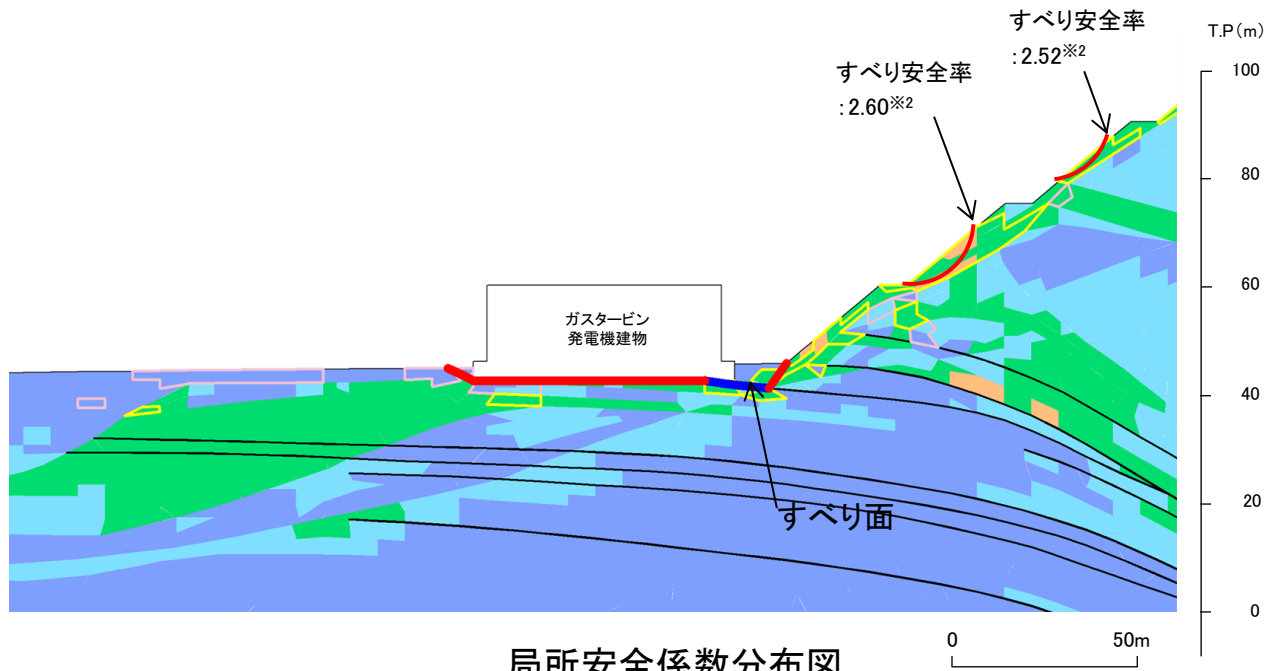
周辺への進行性破壊の検討

■ガスタービン発電機建物基礎地盤(③-③'断面)

・基準地震動 : Ss-N1(-,+)
 ・時刻 : 7.70秒
 ・すべり安全率 : 3.34※1



※1 静的非線形解析結果の応力状態を踏まえたすべり安全率(平均強度)



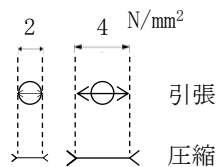
局所安全係数分布図
(静的非線形解析結果)

・引張応力が発生した要素がガスタービン発電機建物に連続しているため、静的非線形解析を実施した結果、進行性破壊が発生していないことを確認した。

主応力分布図

■ガスタービン発電機建物基礎地盤(③-③'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) : モビライズド面を概ね通るすべり面
 - (黒) : 上記以外



T.P.(m)

100

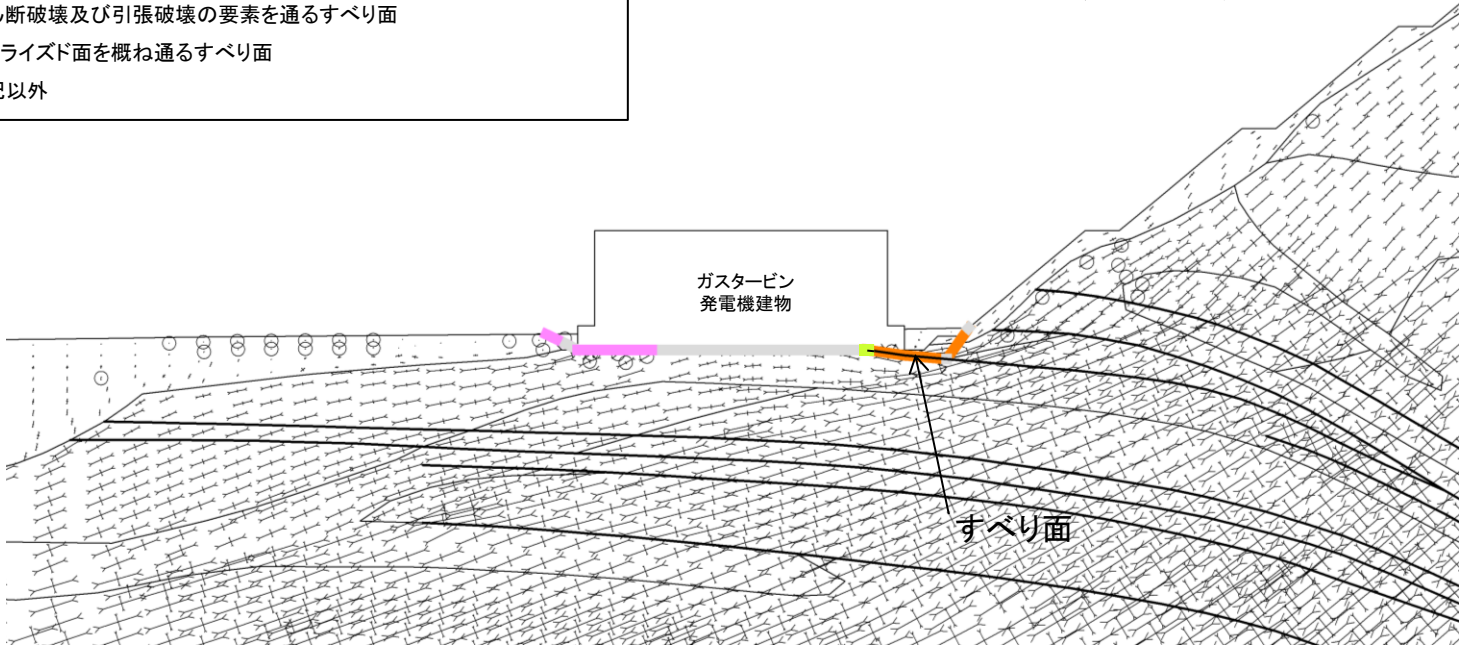
80

60

40

20

0



主応力分布図

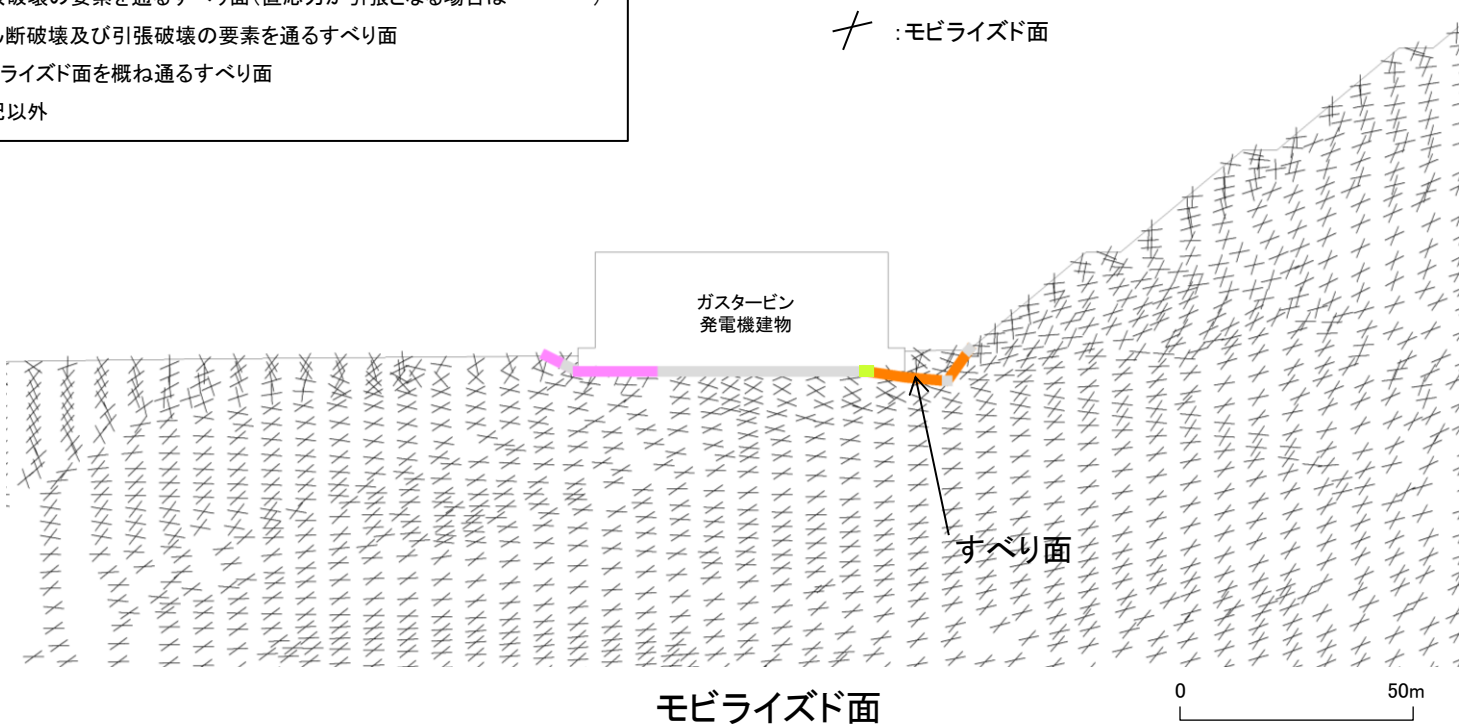
・基礎地盤において引張応力が発生した要素やせん断強度に達した要素は局所的である。

モビライズド面

■ガスタービン発電機建物基礎地盤(③-③'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
 - (白) : 上記以外

T.P.(m)
100
80
60
40
20
0



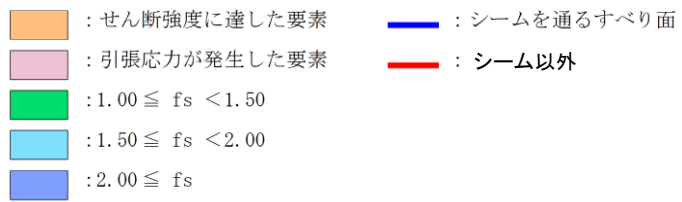
・すべり面はモビライズド面及び強度の低いシームや破壊領域を通るすべりになっている。

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。

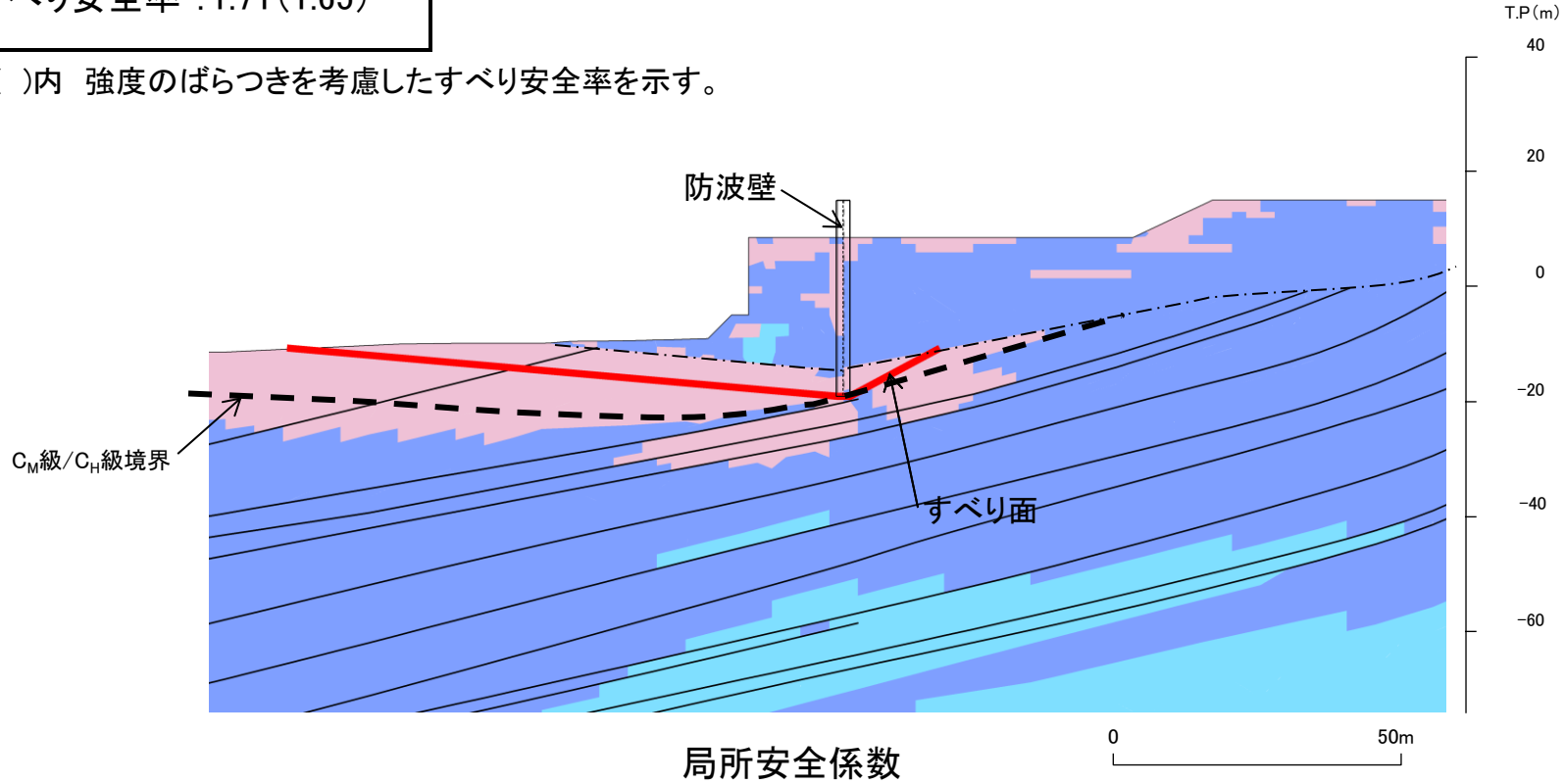
要素ごとの局所安全係数

■防波壁(多重鋼管杭式擁壁)基礎地盤 (⑦-⑦'断面)

- ・基準地震動 : Ss-N1 (-,+)
- ・時刻 : 7.55秒
- ・すべり安全率 : 1.71(1.65)



※ ()内 強度のばらつきを考慮したすべり安全率を示す。



・引張応力が発生した要素が防波壁周辺に連続しており、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はない。
 ・引張応力が発生した要素が水平方向に広がっている要因として、C_M級/C_H級の境界による剛性差により、地盤応答が変化しているものと考えられる。

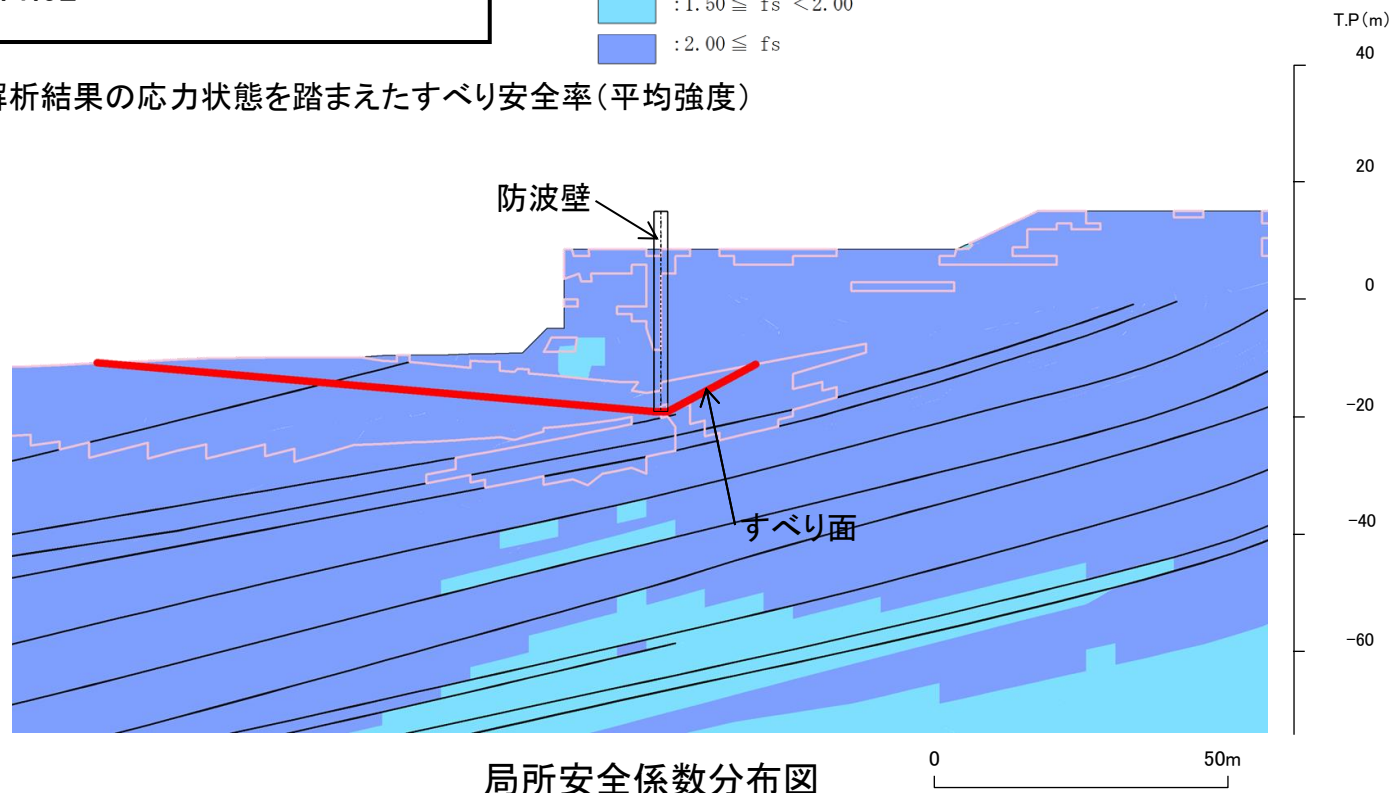
周辺への進行性破壊の検討

■防波壁(多重鋼管杭式擁壁)基礎地盤 (⑦-⑦' 断面)

・基準地震動 : Ss-N1(-,+)
 ・時刻 : 7.55秒
 ・すべり安全率 : 1.62※1

<ul style="list-style-type: none"> □ : せん断強度に達した要素 □ : 引張応力が発生した要素 ■ : せん断強度に達した要素 ■ : 引張応力が発生した要素 ■ : $1.00 \leq fs < 1.50$ ■ : $1.50 \leq fs < 2.00$ ■ : $2.00 \leq fs$ 	} 静的非線形解析前 (前頁参照)	<ul style="list-style-type: none"> — : シームを通るすべり面 — : シーム以外
	} 静的非線形解析後	

※1 静的非線形解析結果の応力状態を踏まえたすべり安全率(平均強度)

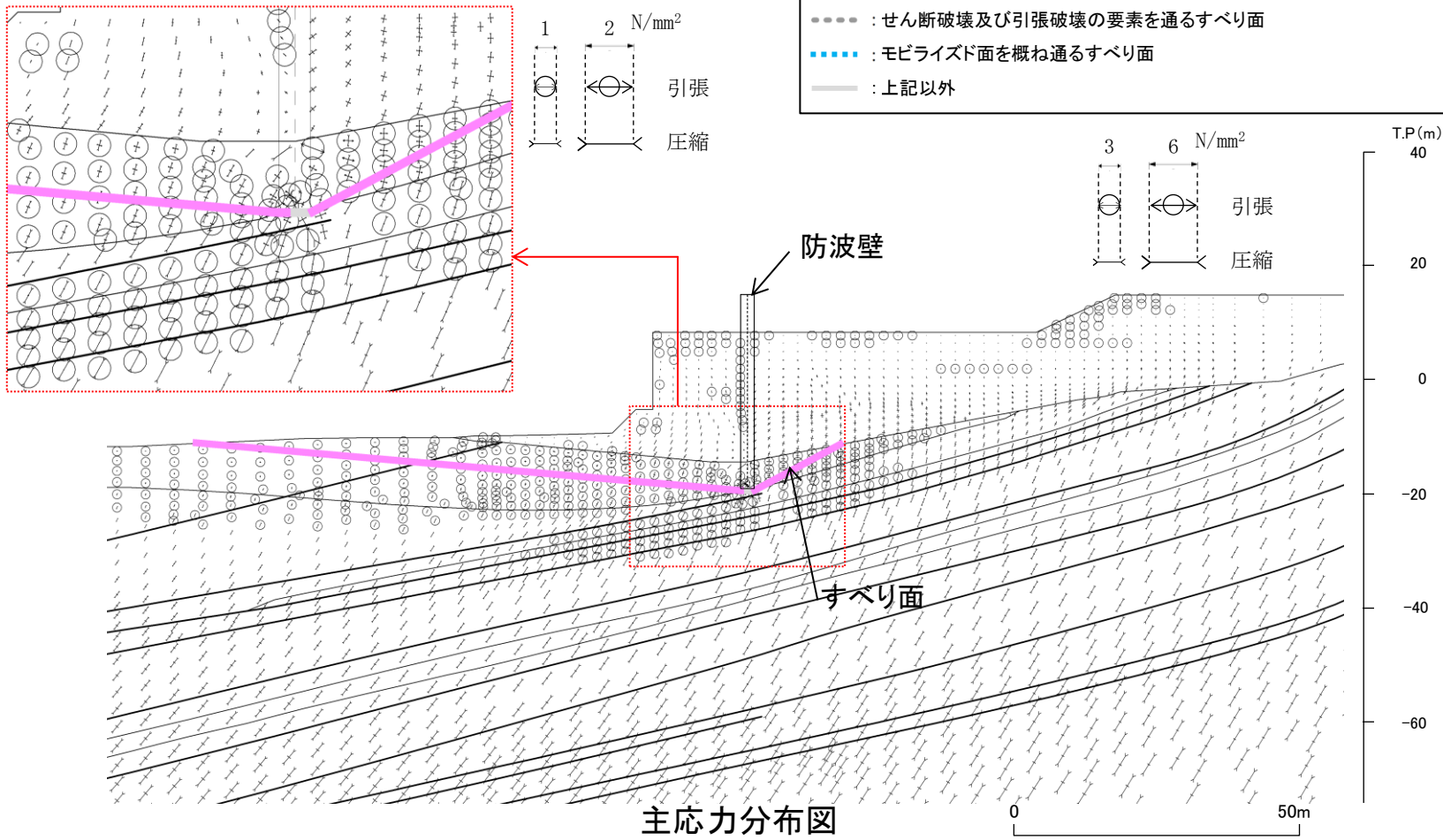


局所安全係数分布図
(静的非線形解析結果)

・引張応力が発生した要素が防波壁周辺に連続しているため、静的非線形解析を実施した結果、進行性破壊が発生していないことを確認した。

主応力分布図

■防波壁(多重鋼管杭式擁壁)基礎地盤 (⑦-⑦' 断面)

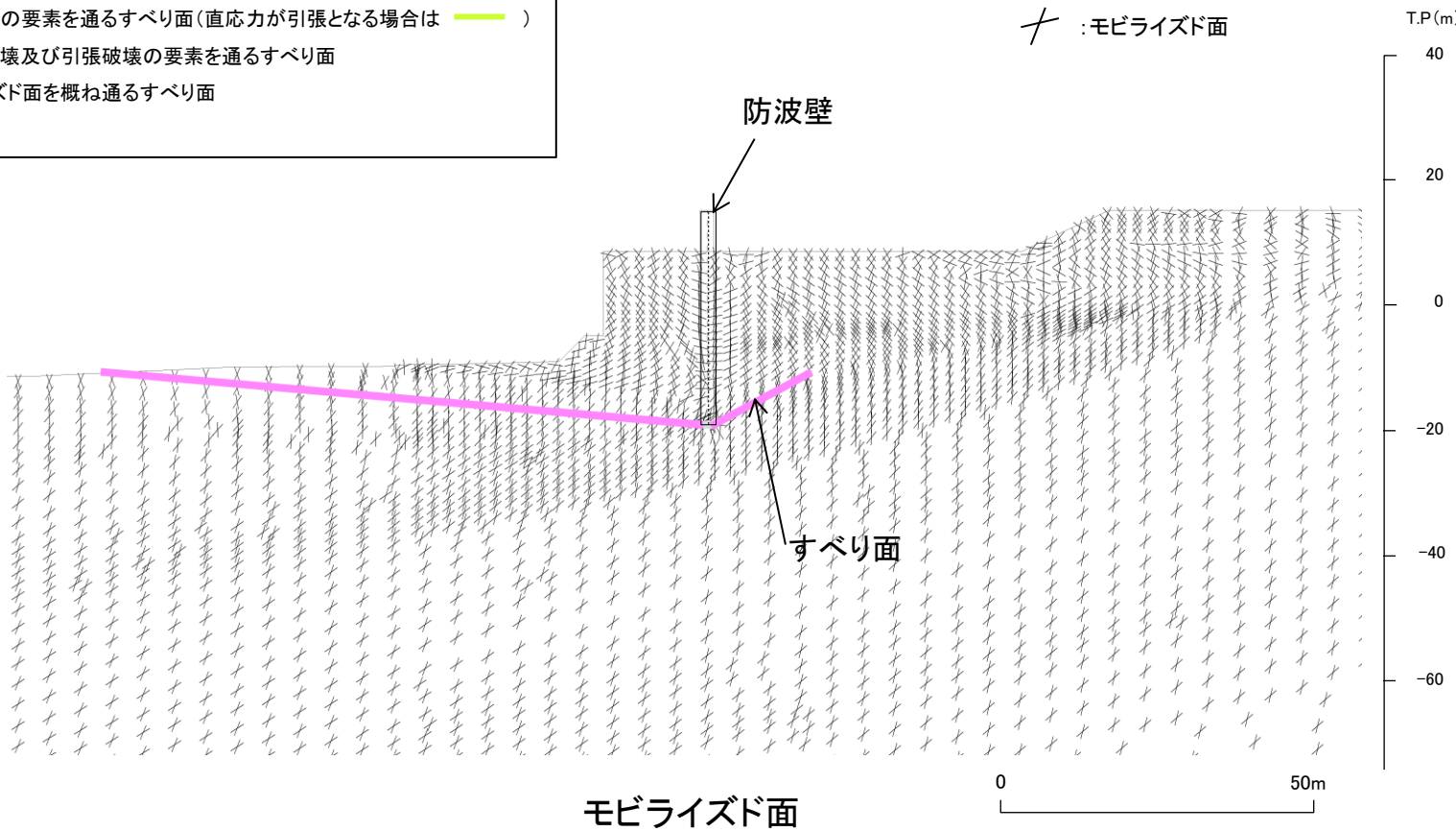


・防波壁周辺では、直応力が引張となる範囲は概ね鉛直方向になり、これに沿うすべりは想定されない。

モビライズド面

■防波壁(多重鋼管杭式擁壁)基礎地盤 (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) : モビライズド面を概ね通るすべり面
 - (薄灰) : 上記以外



・モビライズド面を通過していないが、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。

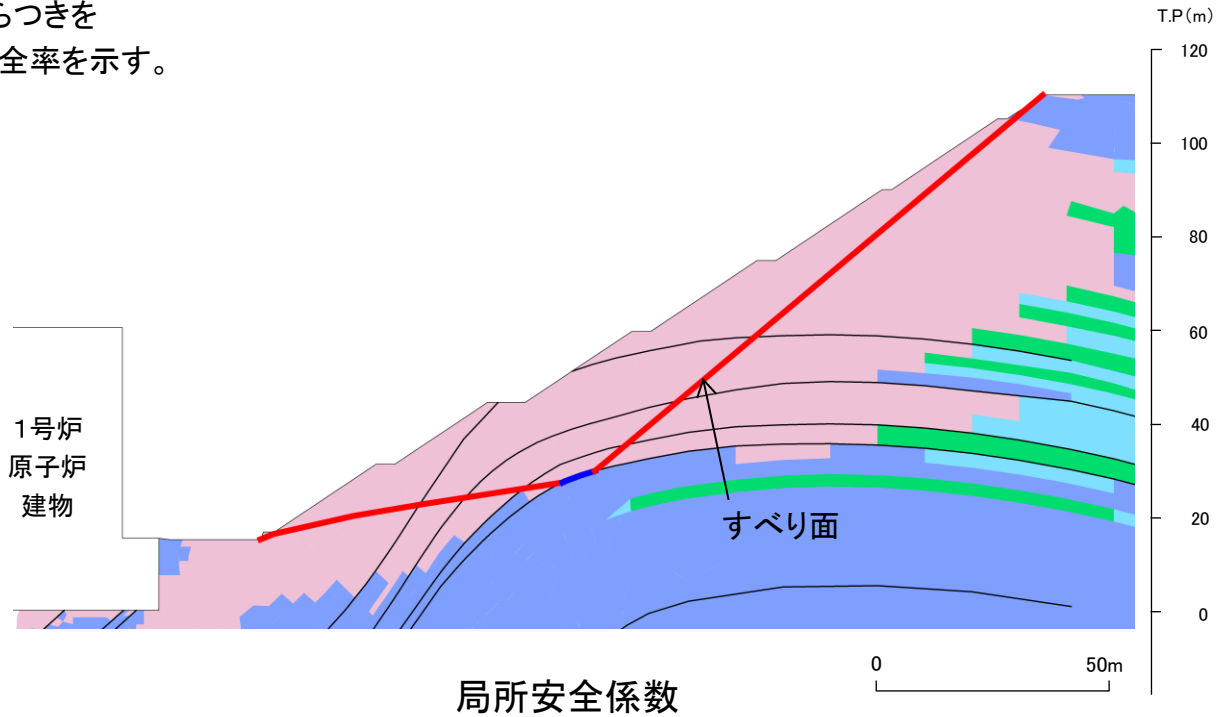
要素ごとの局所安全係数

■2号炉南側切取斜面(①-①'断面)

・基準地震動 : Ss-N1(-,+)
 ・時刻 : 7.45秒
 ・すべり安全率 : 1.56(1.51)

※ ()内 強度のばらつきを
 考慮したすべり安全率を示す。

- : せん断強度に達した要素
- : 引張応力が発生した要素
- : $1.00 \leq fs < 1.50$
- : $1.50 \leq fs < 2.00$
- : $2.00 \leq fs$
- (Blue) : シームを通るすべり面
- (Red) : シーム以外



・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はない。

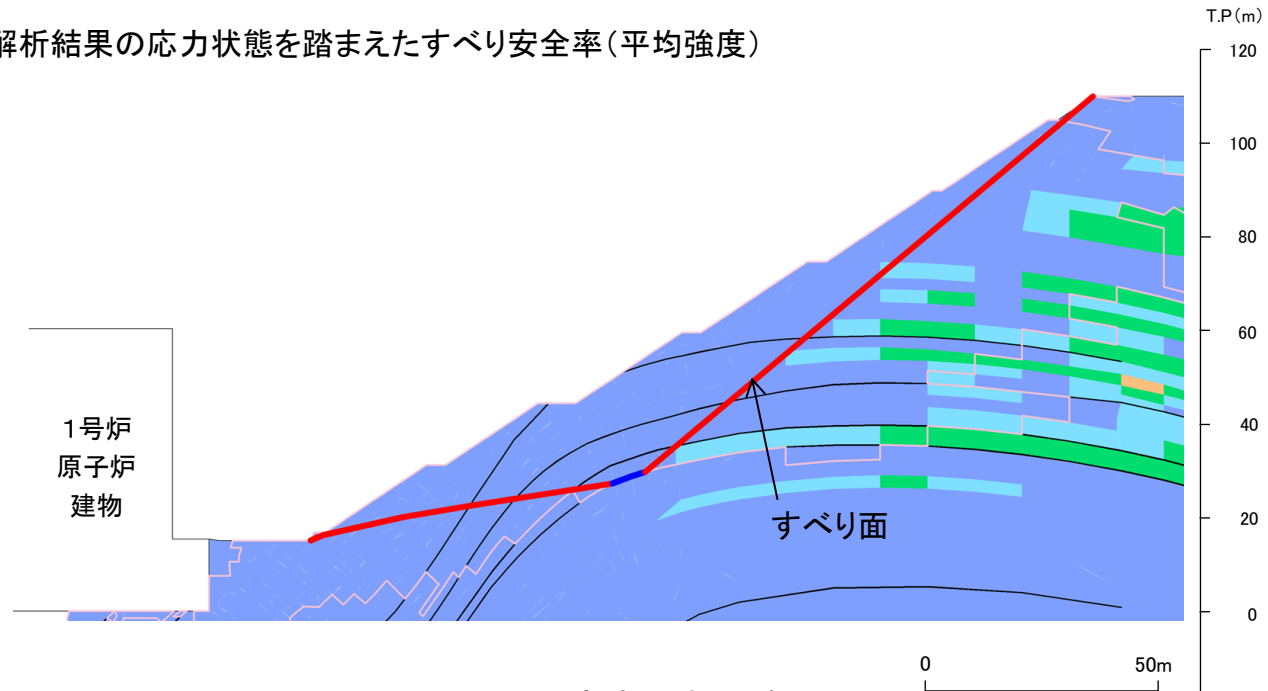
周辺への進行性破壊の検討

■ 2号炉南側切取斜面(①-①'断面)

・基準地震動 : Ss-N1 (-,+)
 ・時刻 : 7.45秒
 ・すべり安全率 : 1.67※1

- : せん断強度に達した要素
 - : 引張応力が発生した要素
 - : せん断強度に達した要素
 - : 引張応力が発生した要素
 - : $1.00 \leq f_s < 1.50$
 - : $1.50 \leq f_s < 2.00$
 - : $2.00 \leq f_s$
- 静的非線形解析前 (前頁参照)
- 静的非線形解析後
- : シームを通るすべり面
 ■ : シーム以外

※1 静的非線形解析結果の応力状態を踏まえたすべり安全率(平均強度)



局所安全係数分布図
(静的非線形解析結果)

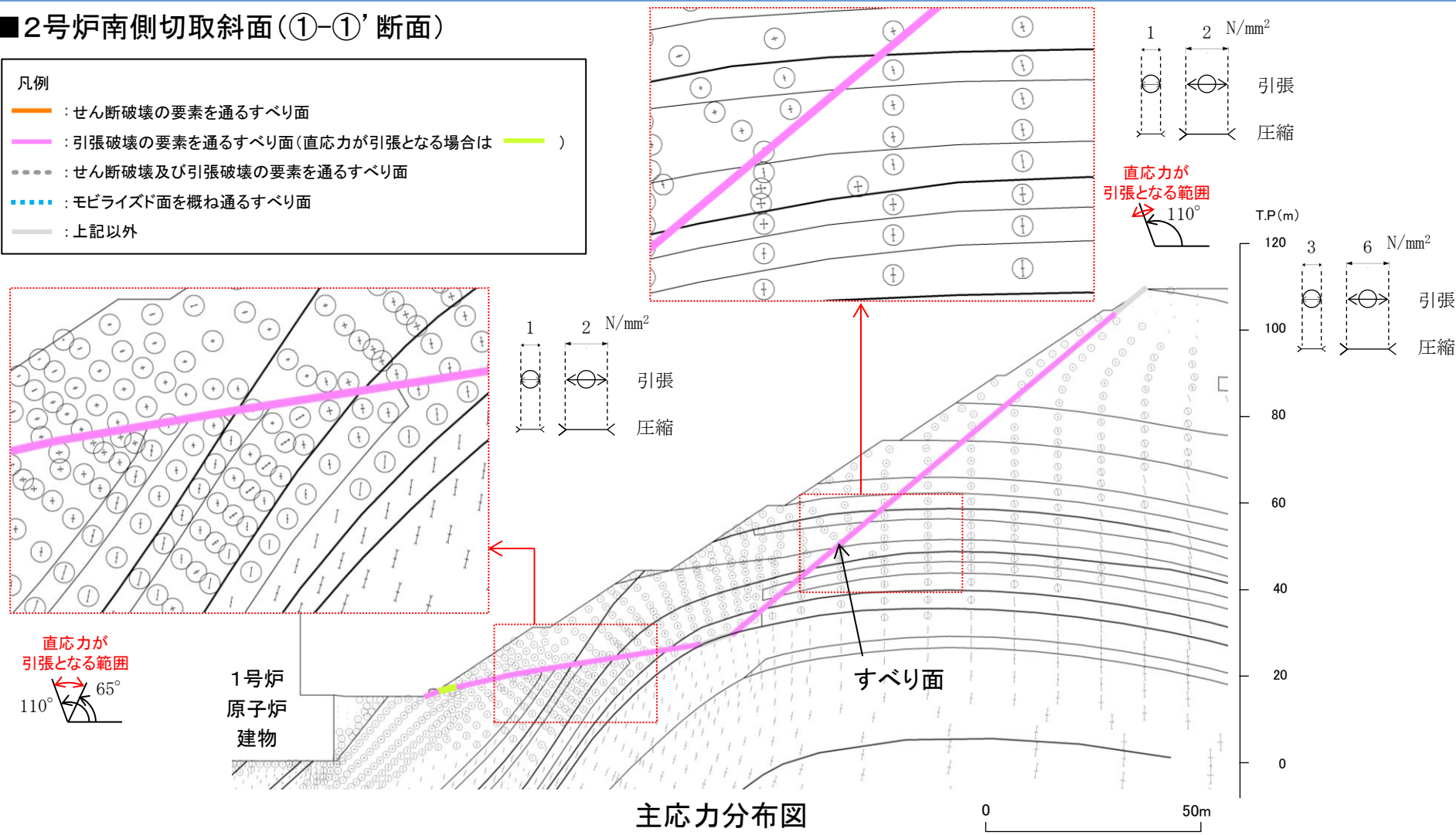
・引張応力が発生した要素が斜面に連続しているため、静的非線形解析を実施した結果、進行性破壊が発生していないことを確認した。

主応力分布図

■2号炉南側切取斜面(①-①'断面)

凡例

- : せん断破壊の要素を通るすべり面
- (直線が引張となる場合は —) : 引張破壊の要素を通るすべり面
- - - : 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



主応力分布図

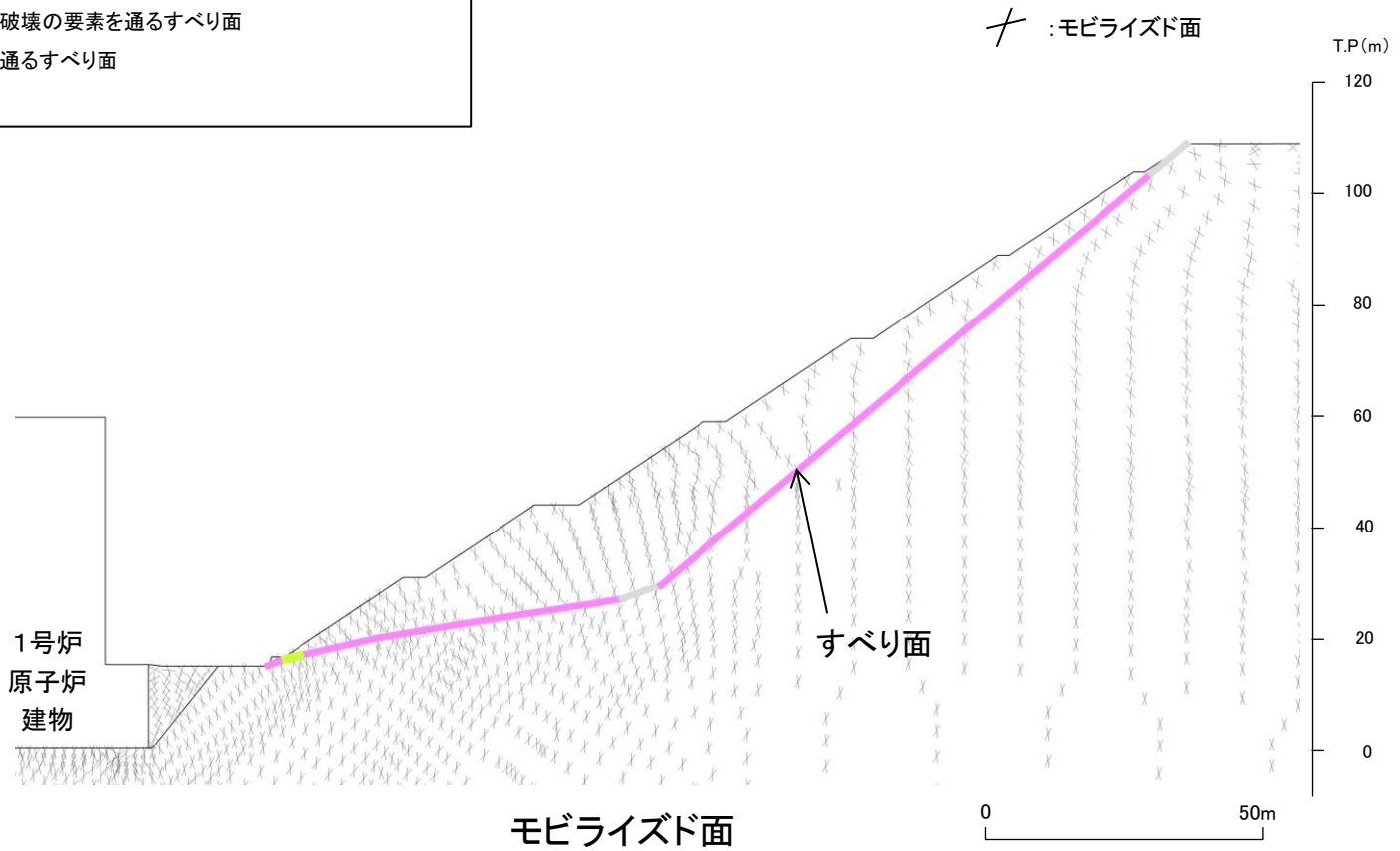
- ・法尻付近では、直応力が引張となる範囲は約65～110° になり、これに沿うすべりは想定されない。
- ・中腹～法肩では、直応力が引張となる範囲は110° 前後になり、これに沿うすべりは想定されない。

モビライズド面

■2号炉南側切取斜面(①-①'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。

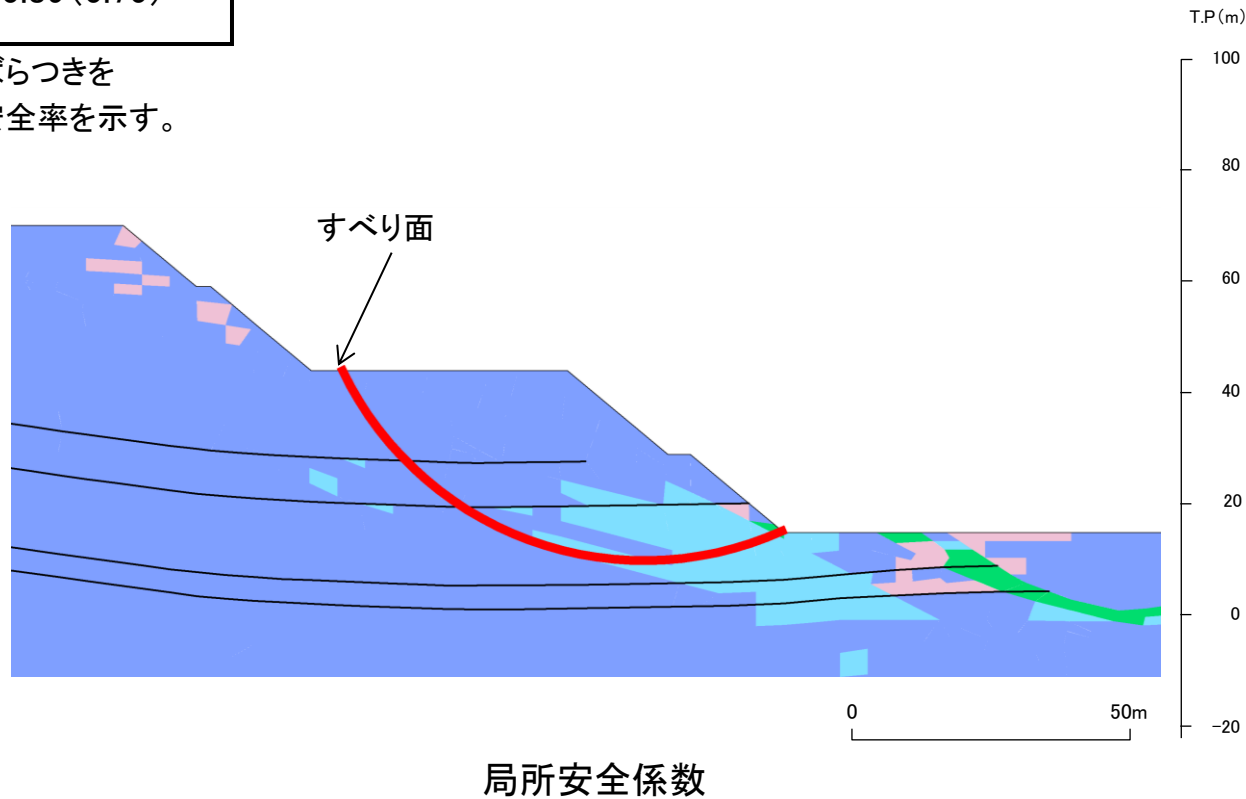
要素ごとの局所安全係数

■対策工を実施した2号炉西側切取斜面(②-②'断面)

・基準地震動 : Ss-D(-,+)
 ・時刻 : 8.55秒
 ・すべり安全率 : 5.89(5.75)

※ ()内 強度のばらつきを考慮したすべり安全率を示す。

- : せん断強度に達した要素
- : 引張応力が発生した要素
- : $1.00 \leq f_s < 1.50$
- : $1.50 \leq f_s < 2.00$
- : $2.00 \leq f_s$
- : シームを通るすべり面
- : シーム以外

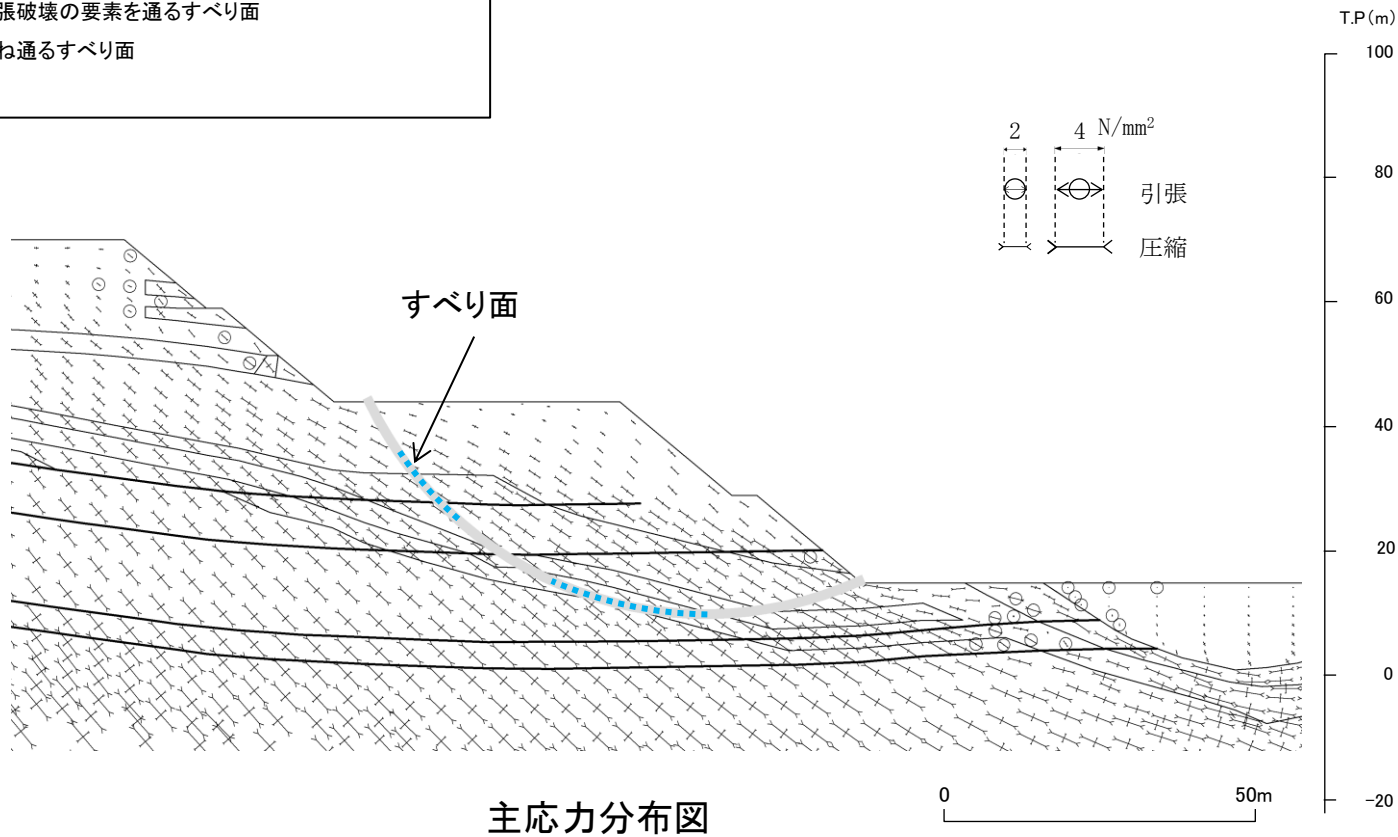


・引張応力が発生した要素やせん断強度に達した要素の分布は局所的である。

主応力分布図

■対策工を実施した2号炉西側切取斜面(②-②'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
 - (黒) : 上記以外



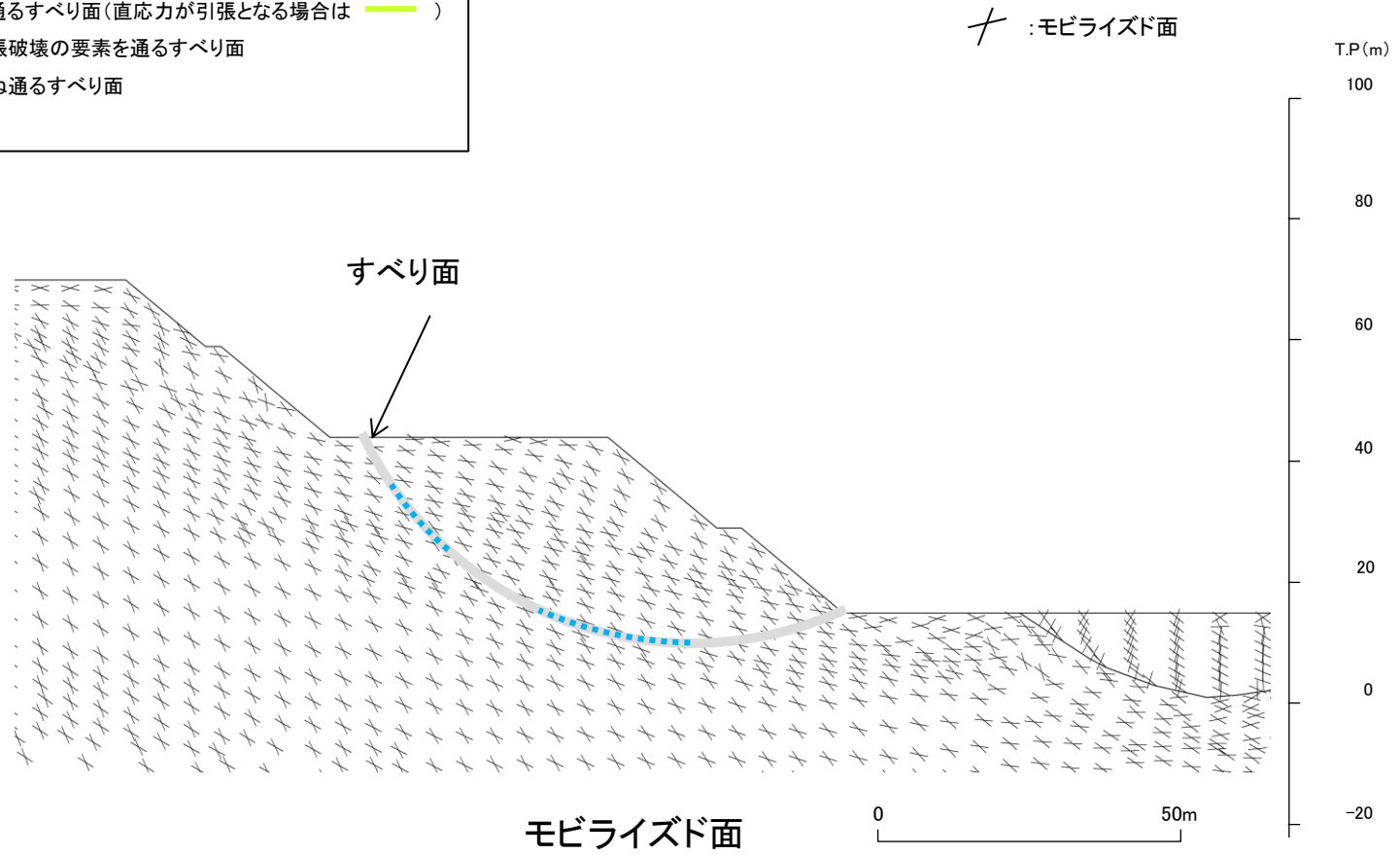
・引張応力が発生した要素やせん断強度に達した要素の分布は局所的である。

モビライズド面

■対策工を実施した2号炉西側切取斜面(②-②'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。

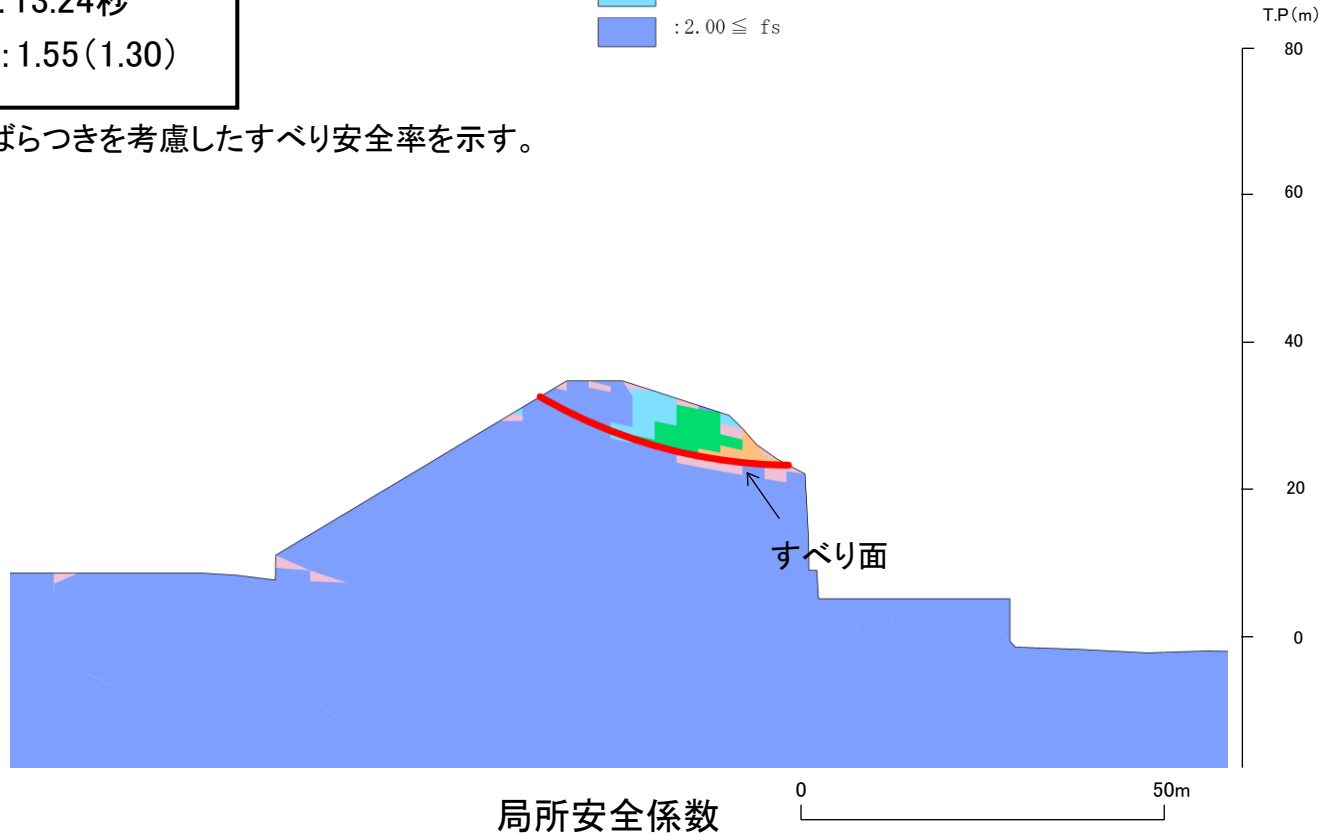
要素ごとの局所安全係数

■ 1号放水連絡通路防波扉等周辺斜面(⑤”-⑤’断面)

・基準地震動 : Ss-D(+,-)
 ・時刻 : 13.24秒
 ・すべり安全率 : 1.55(1.30)

- : 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

※ ()内 強度のばらつきを考慮したすべり安全率を示す。



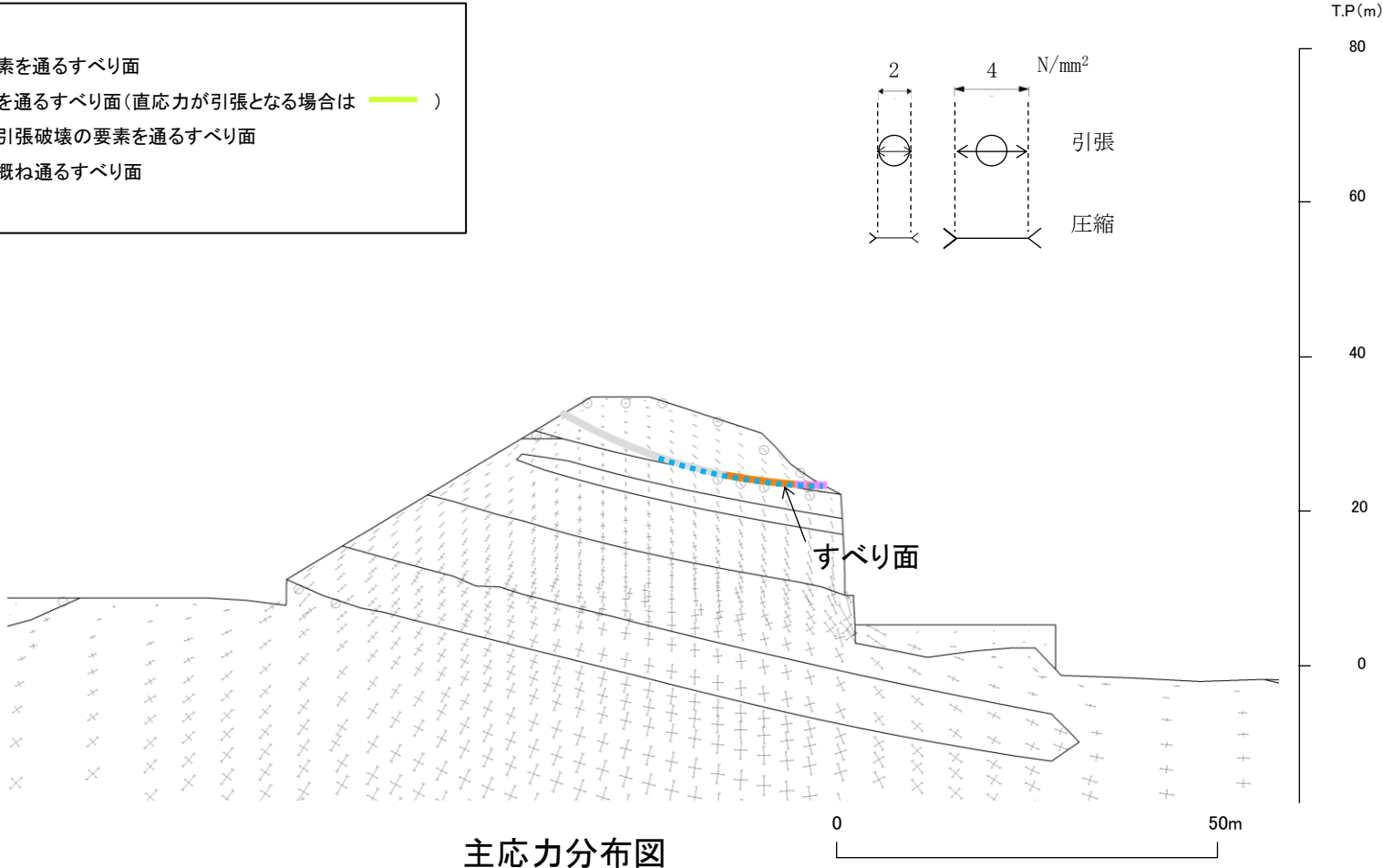
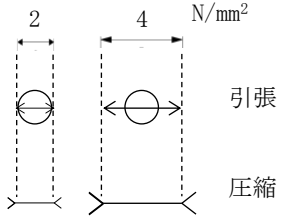
・引張応力が発生した要素やせん断強度に達した要素の分布は局所的である。

主応力分布図

■ 1号放水連絡通路防波扉等周辺斜面(⑤”-⑤’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
- (黒) : 上記以外



主応力分布図

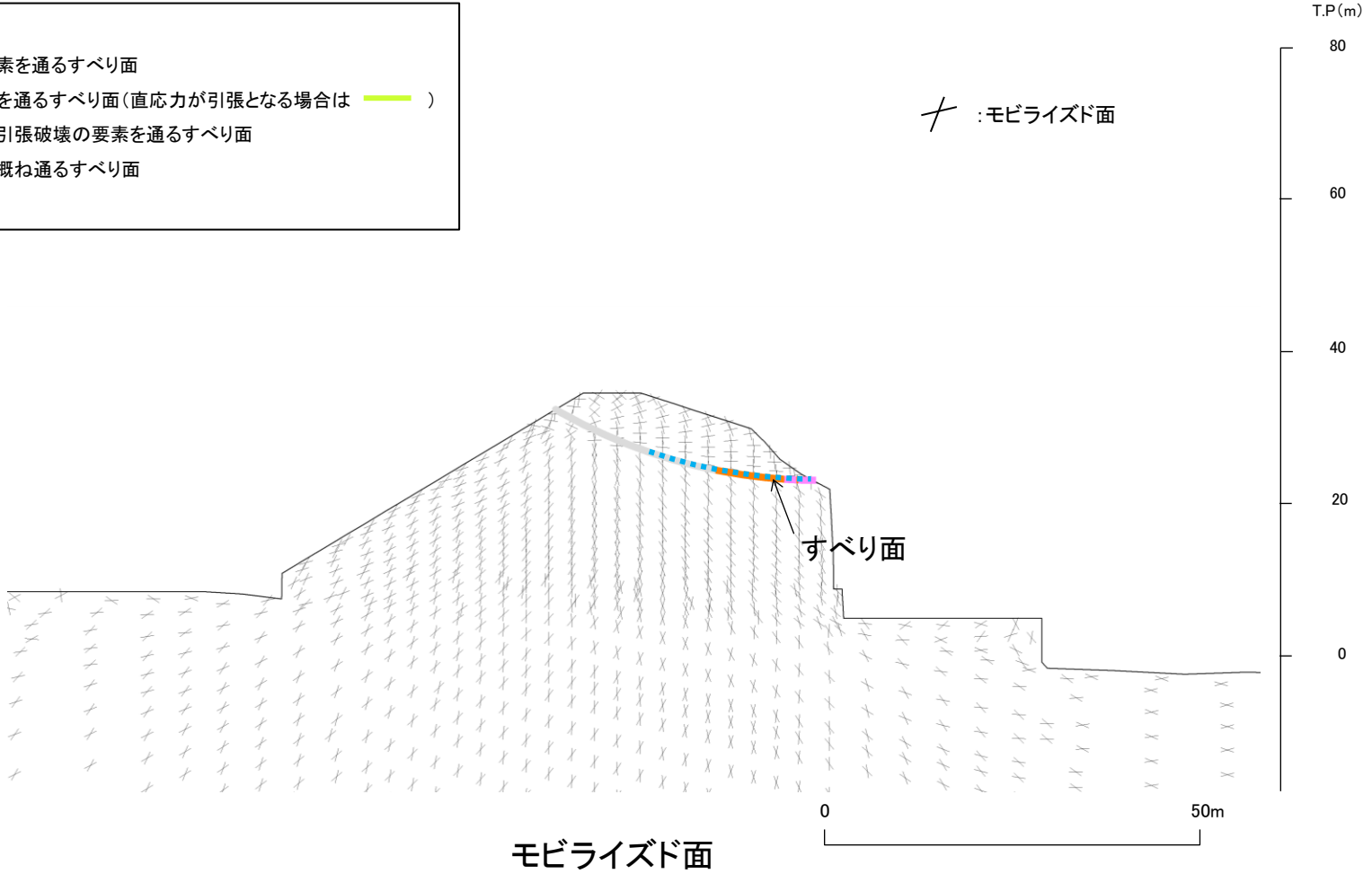
・引張応力が発生した要素やせん断強度に達した要素の分布は局所的である。

モビライズド面

■ 1号放水連絡通路防波扉等周辺斜面(⑤”-⑤’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。

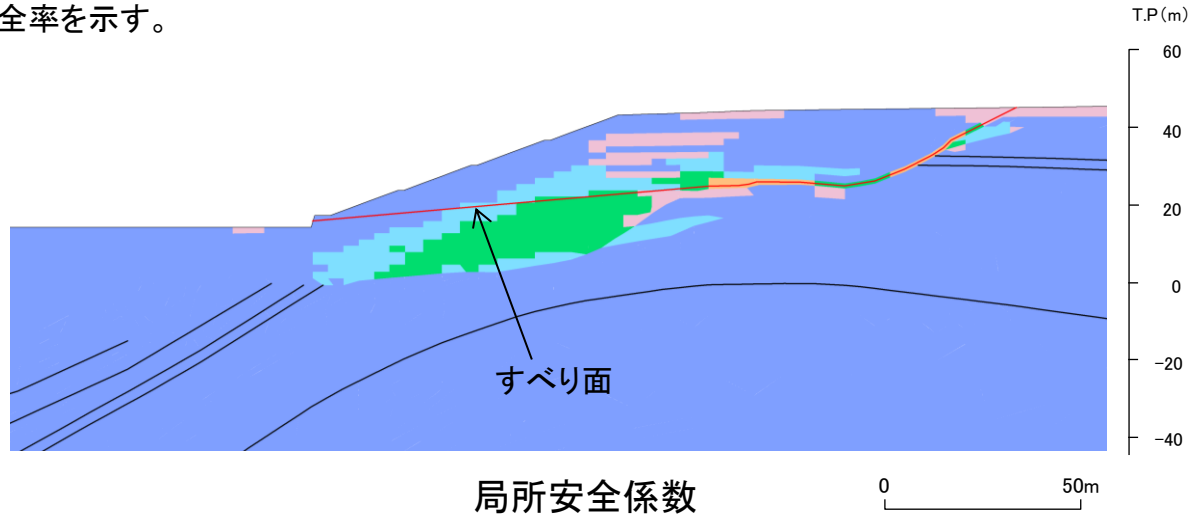
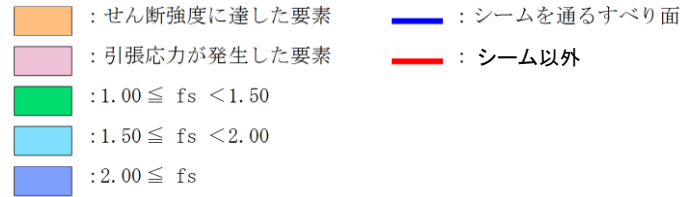
以上のことから、設定したすべり面は、既にすべり安全率の厳しいすべり面になっているため、追加のすべり面は設定していない。

要素ごとの局所安全係数

■2号炉南側盛土斜面(⑥-⑥'断面)

・基準地震動 : Ss-N2(NS)(+,+)
 ・時刻 : 24.43秒
 ・すべり安全率 : 1.94(1.79)

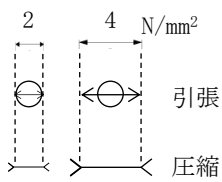
※ ()内 強度のばらつきを
 考慮したすべり安全率を示す。



・引張応力が発生した要素の分布は局所的である。
 ・また、せん断強度に達した要素が斜面深部(旧表土)に分布しているが、これを通るすべり面になっている。

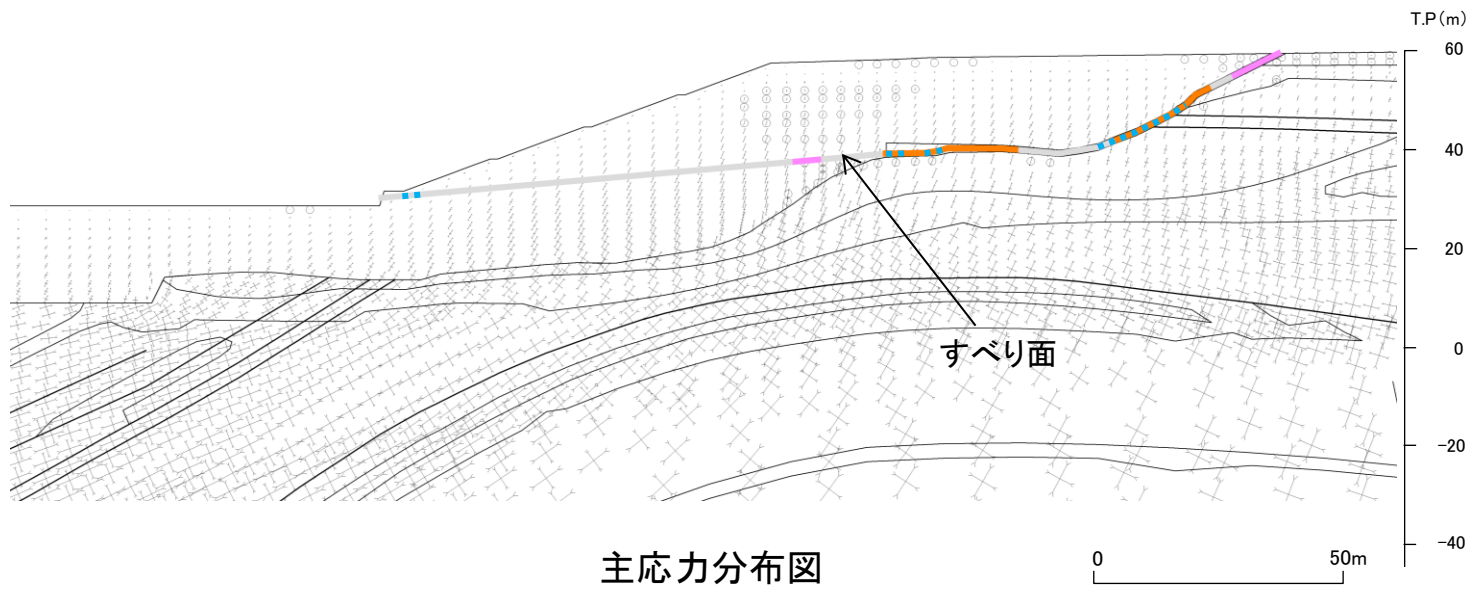
主応力分布図

■2号炉南側盛土斜面(⑥-⑥'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))
- - - : 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



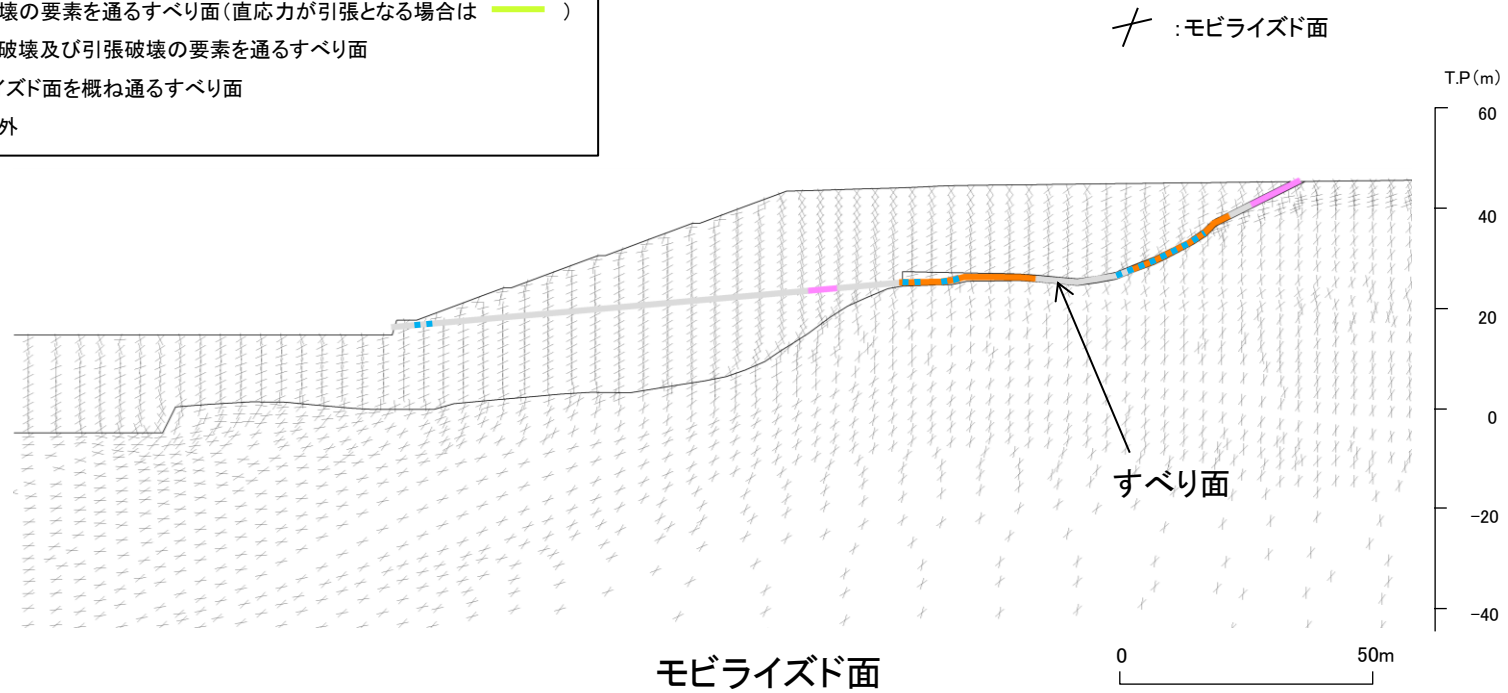
主応力分布図

・引張応力が発生した要素の分布は局所的である。

モビライズド面

■2号炉南側盛土斜面(⑥-⑥'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



・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。

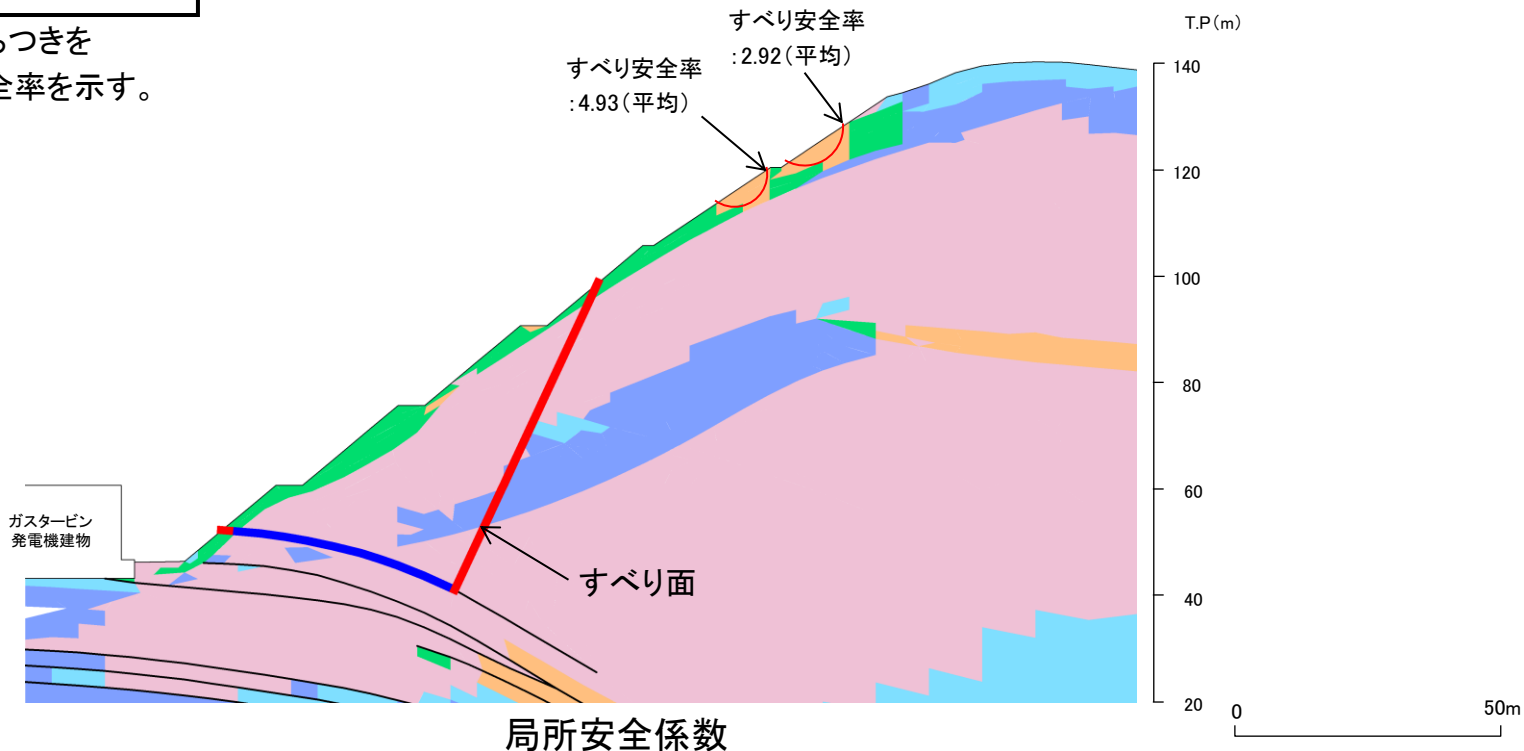
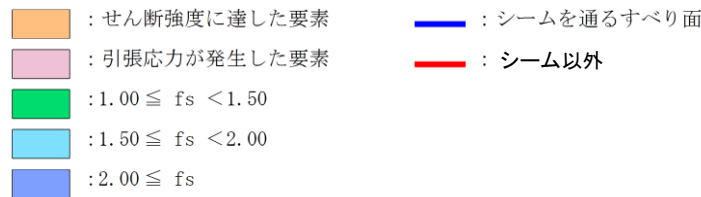
余白

要素ごとの局所安全係数

■ガスタービン発電機建物周辺斜面(⑦-⑦'断面)

- ・基準地震動 : Ss-N1(+,+)
- ・時刻 : 7.59秒
- ・すべり安全率 : 2.07(1.68)

※ ()内 強度のばらつきを考慮したすべり安全率を示す。



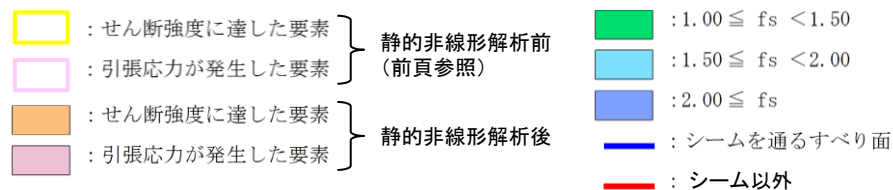
・引張応力が発生した要素が斜面に連続しており、これを通るすべり面になっている。
また、せん断強度に達した要素が斜面浅部に分布するが、局所的である。

・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。

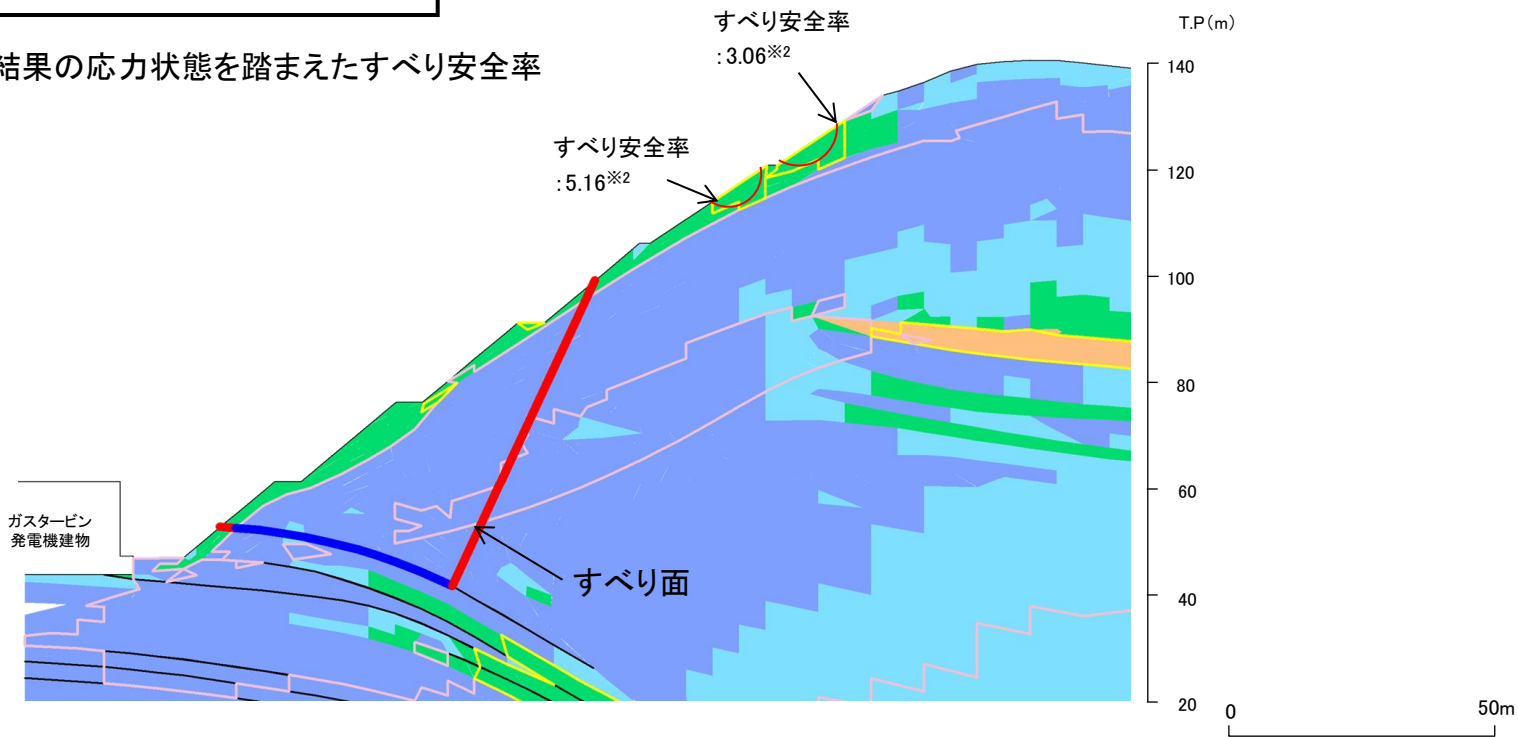
周辺への進行性破壊の検討

■ガスタービン発電機建物周辺斜面(⑦-⑦'断面)

- ・基準地震動 : Ss-N1(+,+)
- ・時刻 : 7.59秒
- ・すべり安全率 : 2.23※1



※1 静的非線形解析結果の応力状態を踏まえたすべり安全率
(平均強度)



局所安全係数分布図
(静的非線形解析結果)

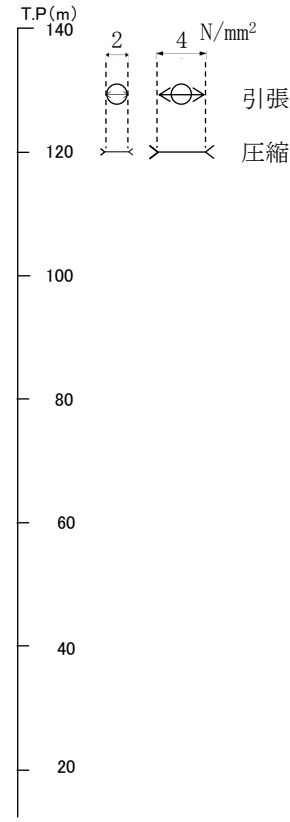
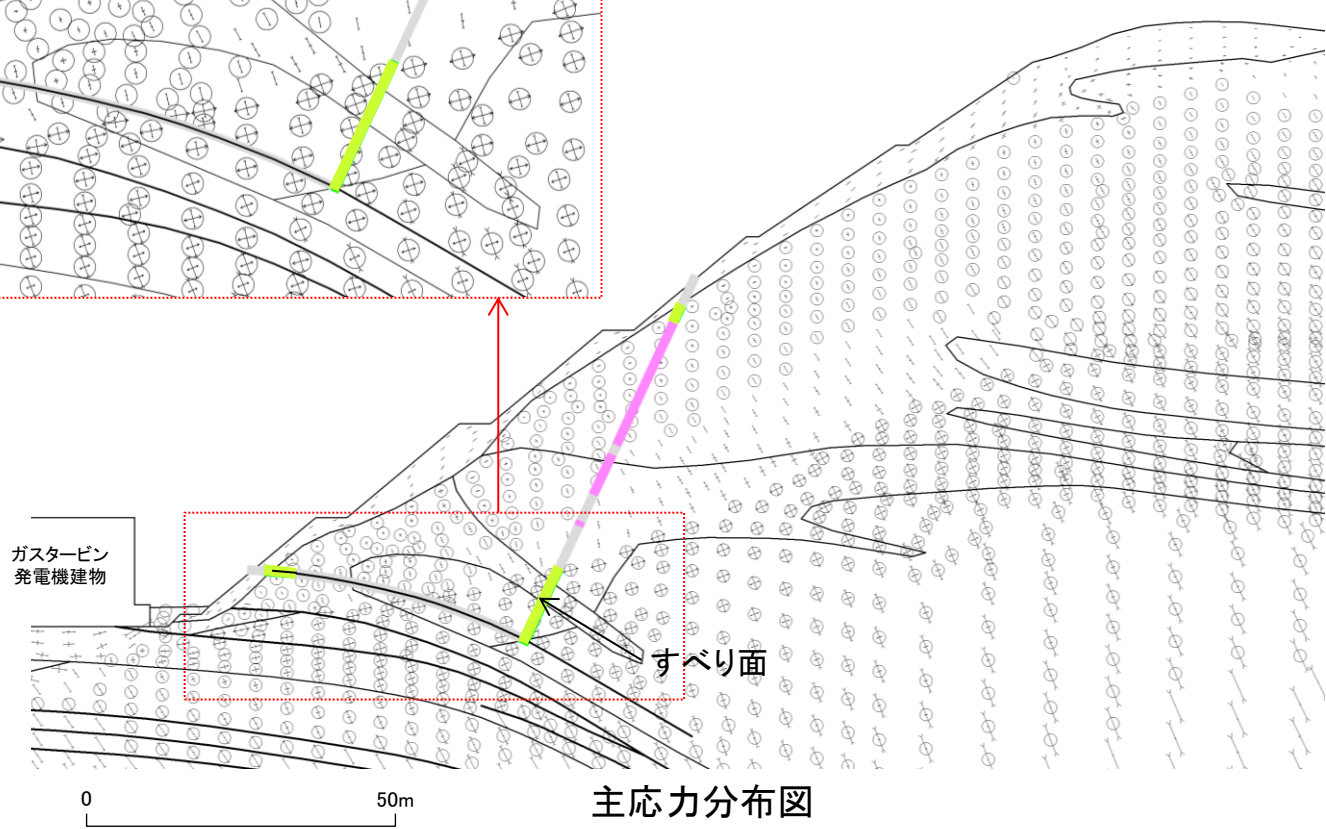
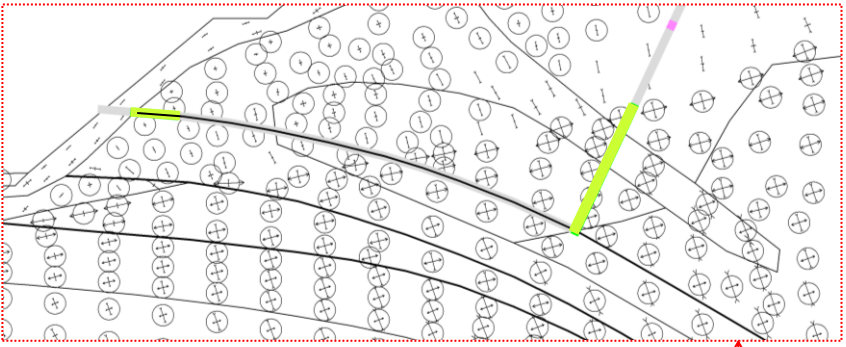
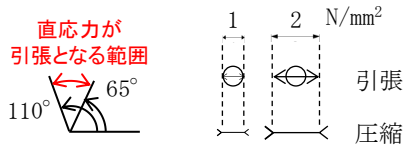
・引張応力が発生した要素が斜面に連続しているため、静的非線形解析を実施した結果、進行性破壊が発生していないことを確認した。

主応力分布図

■ガスタービン発電機建物周辺斜面(⑦-⑦'断面)

凡例

- : せん断破壊の要素を通るすべり面
- (黄緑色) : 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色)
- - - : 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

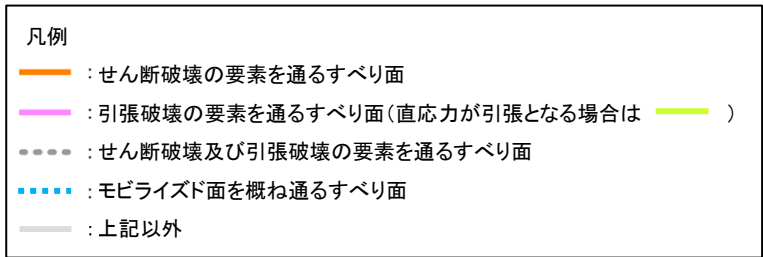


主応力分布図

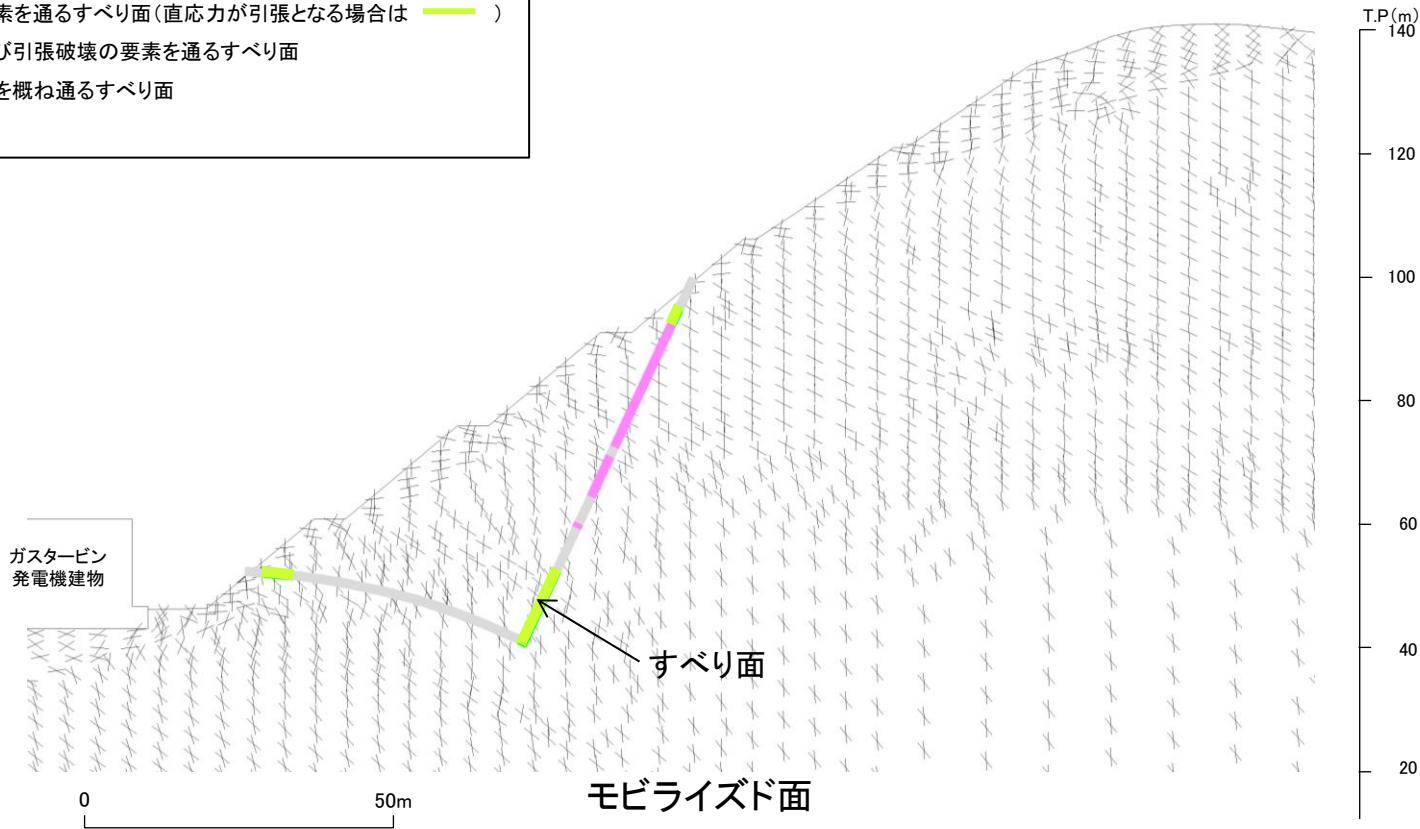
・法尻付近では、直応力が引張となる範囲は概ね65~110° になり、これに沿うすべりになっている。

モビライズド面

■ガスタービン発電機建物周辺斜面(⑦-⑦'断面)



✦ : モビライズド面



・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。