

島根原子力発電所2号炉 審査資料

資料番号

EP(E)－068(補)

提出年月

令和2年7月15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7月15日

中国電力株式会社

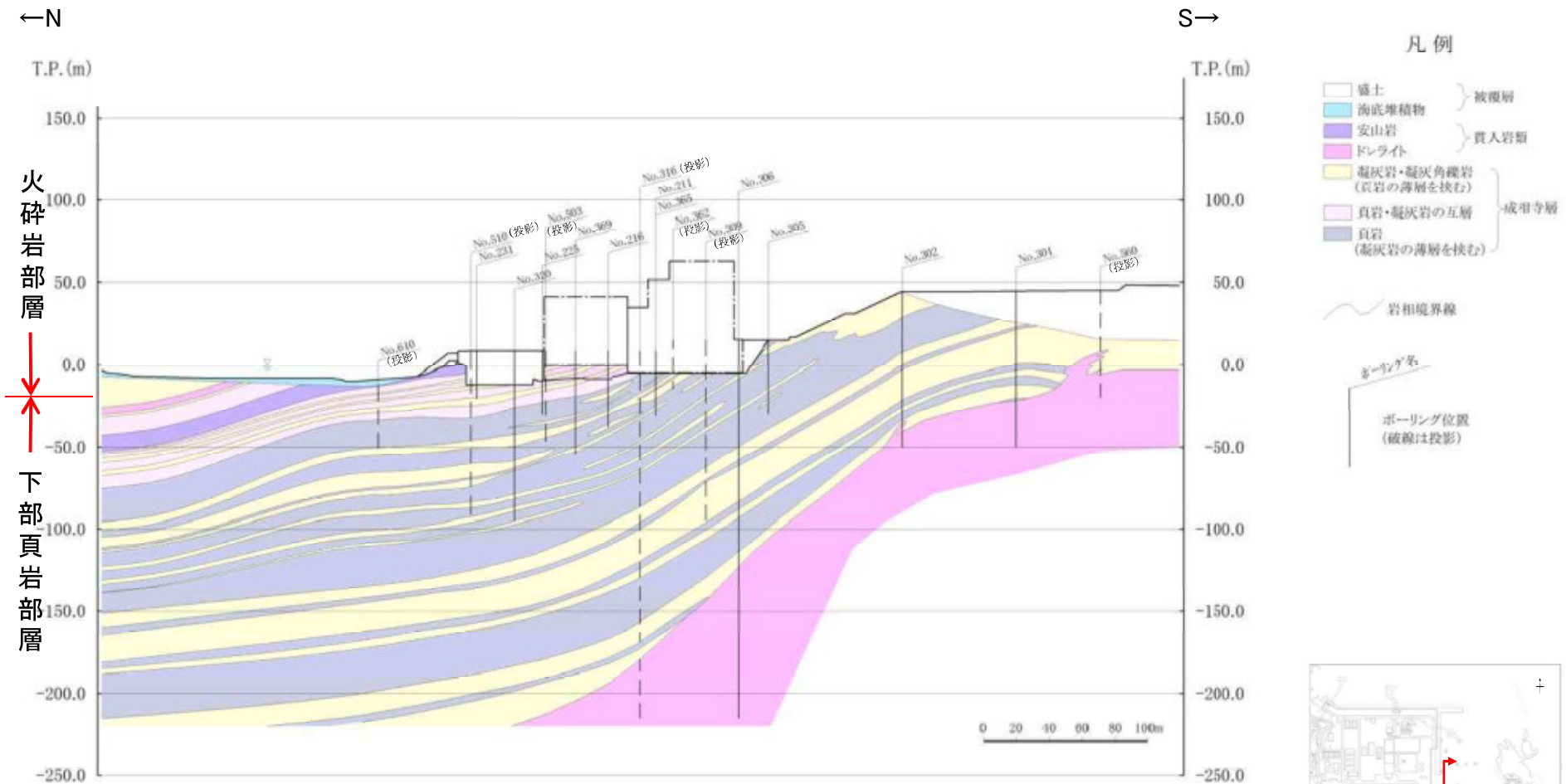
本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

Energia

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	22
2.2 強度特性	24
2.3 静的変形特性	56
2.4 動的変形特性	67
2.5 シームの代表性	75
2.6 地盤の支持力	80
2.7 埋戻土(掘削ズリ)の物性	83
3. 建物のモデル化方法	
3.1 各建物のモデル化	97
3.2 固有値解析による検証	105
4. 隣接施設のモデル化	108
5. 建物影響範囲の設定方法	113
6. 要素の局所安全係数図	115
7. すべり安全率一覧	128
8. 防波壁の構造概要	
8.1 防波壁(波返重力擁壁)	173
8.2 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)	187
8.3 防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)	202

1. 地質の概要の補足

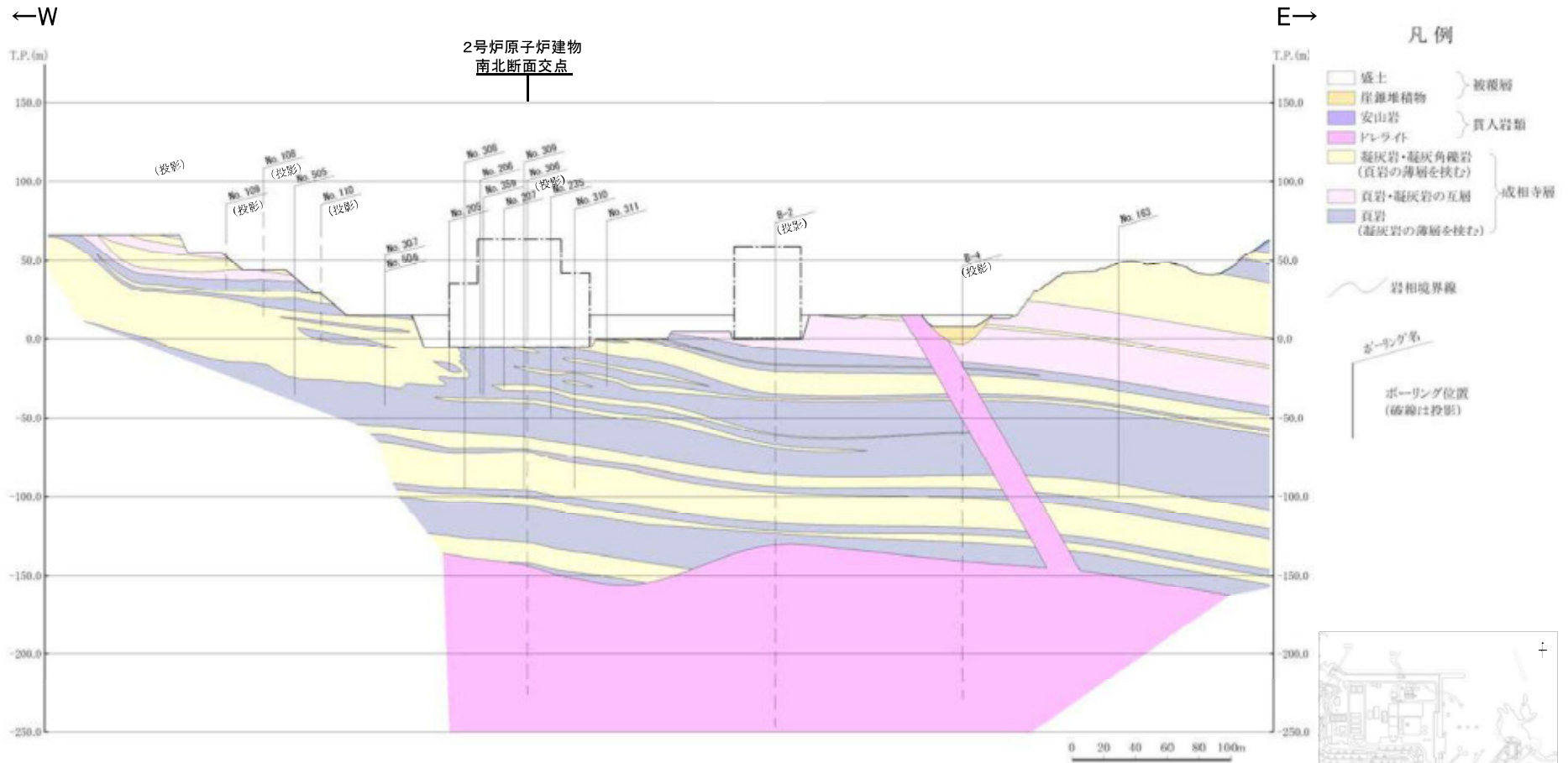
2号炉原子炉建物(地質鉛直断面図(南北))



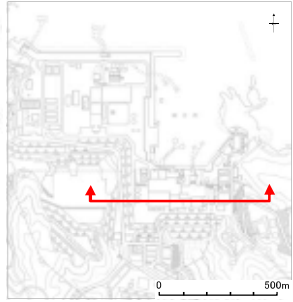
- ・島根サイトには、主として下部頁岩部層，貫入岩類が分布する。
- ・下部頁岩部層は，頁岩（黒色頁岩及び凝灰質頁岩）を主体とし，凝灰岩及び凝灰角礫岩並びにこれらの互層から構成される。
- ・成相寺層の構造は，概ね西北西－東南東の走向を示し，北へ向かって約10°～30°傾斜している。

1. 地質の概要の補足

2号炉原子炉建物(地質鉛直断面図(東西))

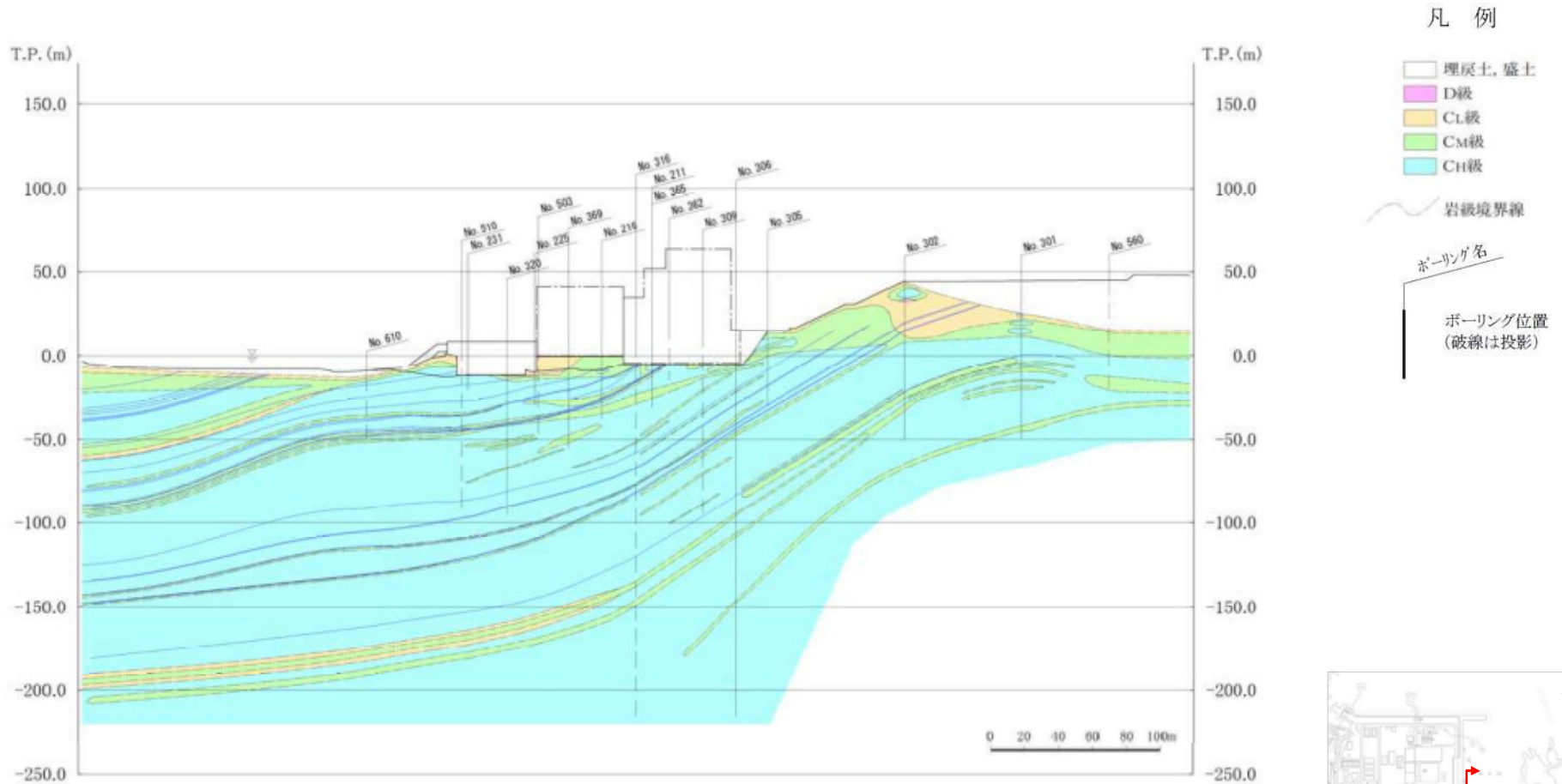


・成相寺層の構造は、概ね西北西－東南東の走向を示し、東西方向の地層の傾斜は概ね水平である。



1. 地質の概要の補足

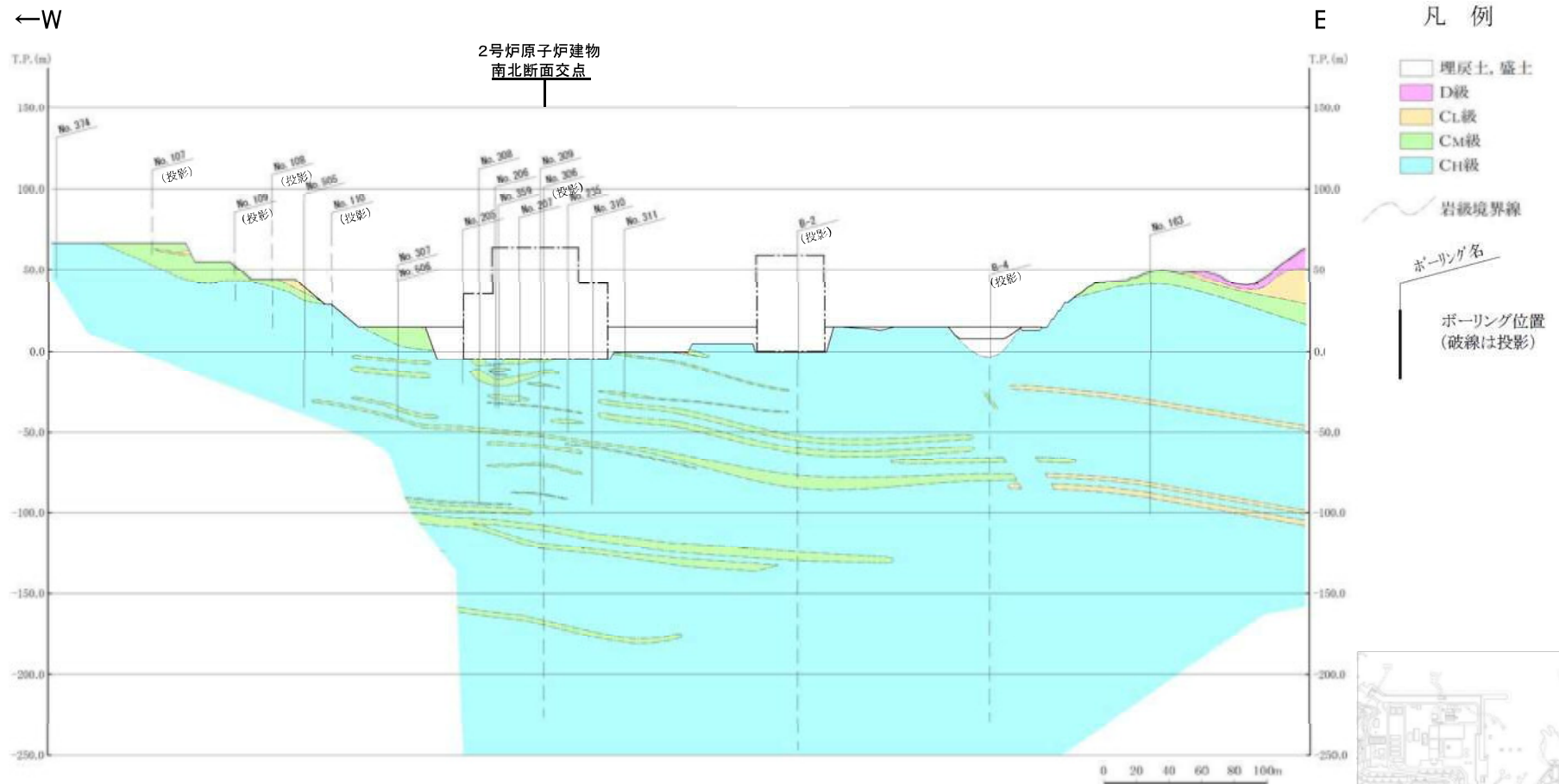
2号炉原子炉建物(岩級鉛直断面図(南北))



・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。

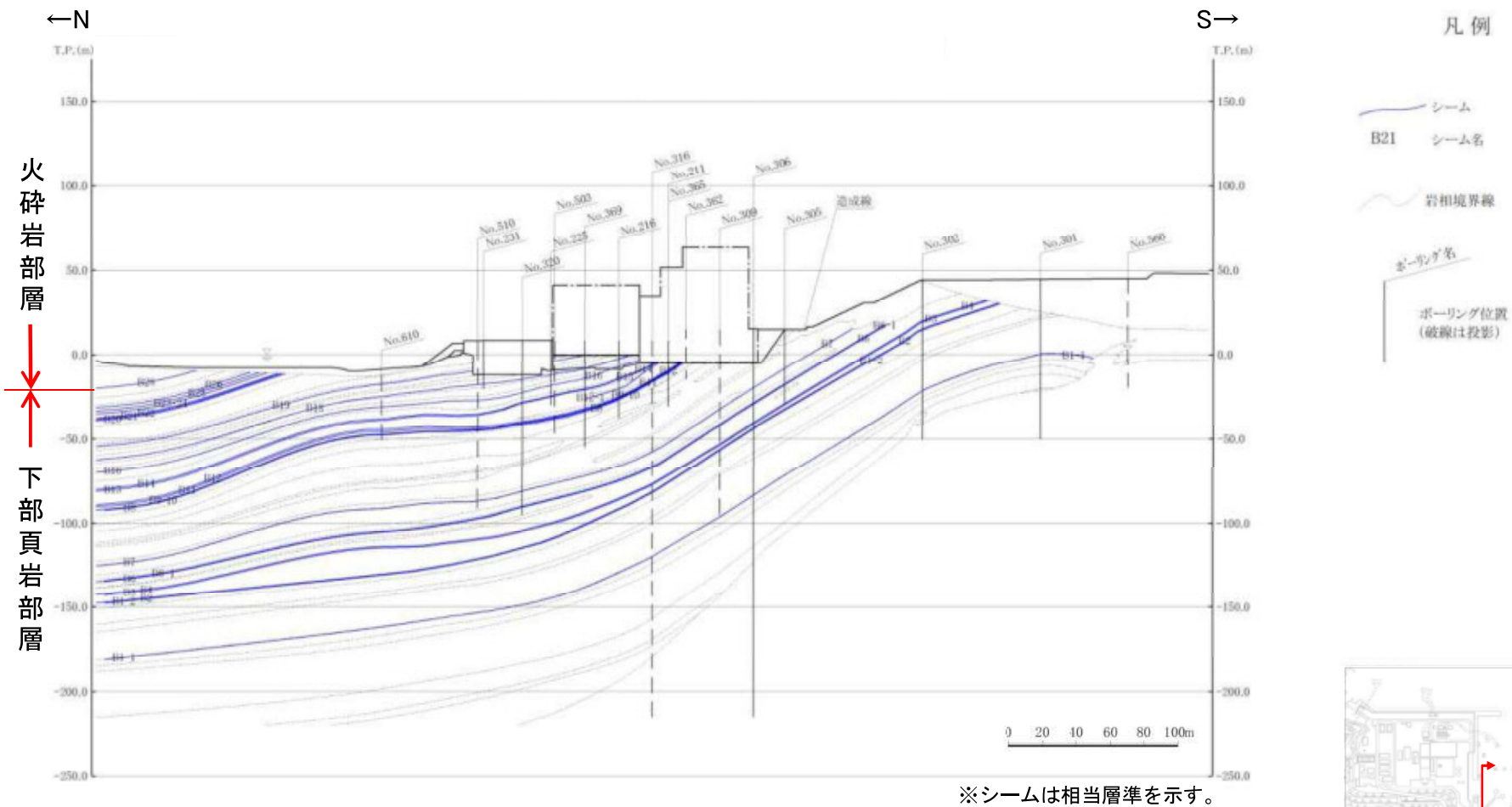
1. 地質の概要の補足

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。

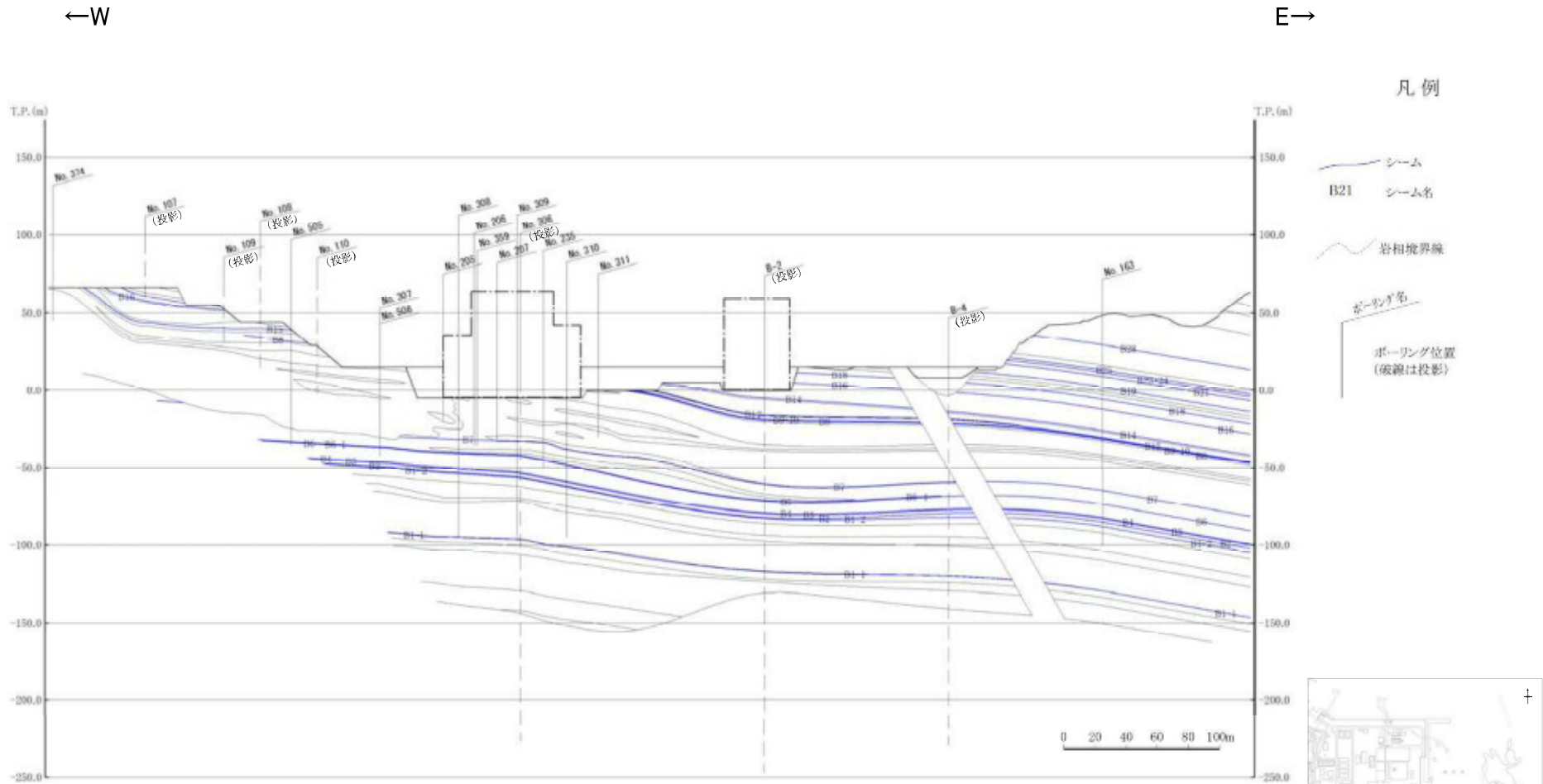
2号炉原子炉建物(シーム分布鉛直断面図(南北))



シーム分布鉛直断面図 (2号炉原子炉建物基礎地盤(南北))

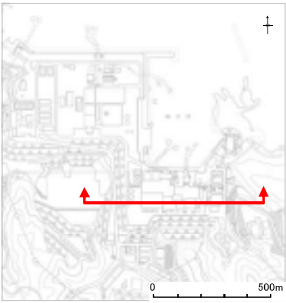
・シームは、地層の走向・傾斜と同一で、緩やかな北傾斜を示す。

2号炉原子炉建物(シーム分布鉛直断面図(東西))

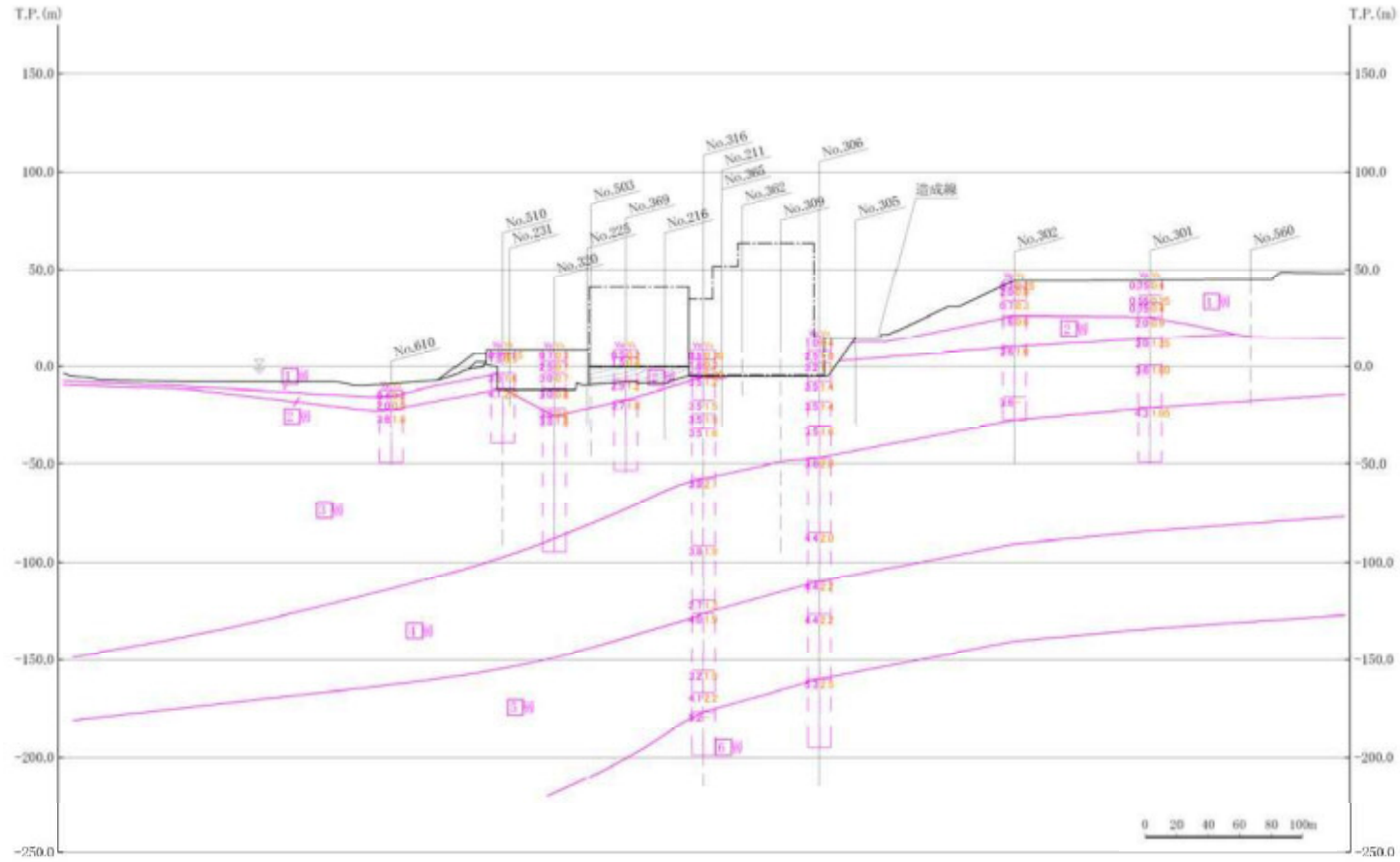


※シームは相当層準を示す。

・シームは、地層の走向・傾斜と同一で、ほぼ水平に分布する。



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)
- Vs速度値(m/sec) Vp速度値(m/sec)

・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(速度層分布鉛直断面図(東西))

凡例

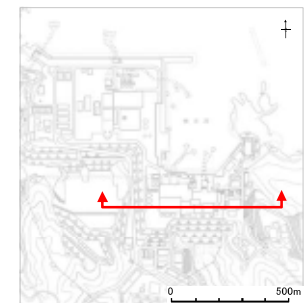
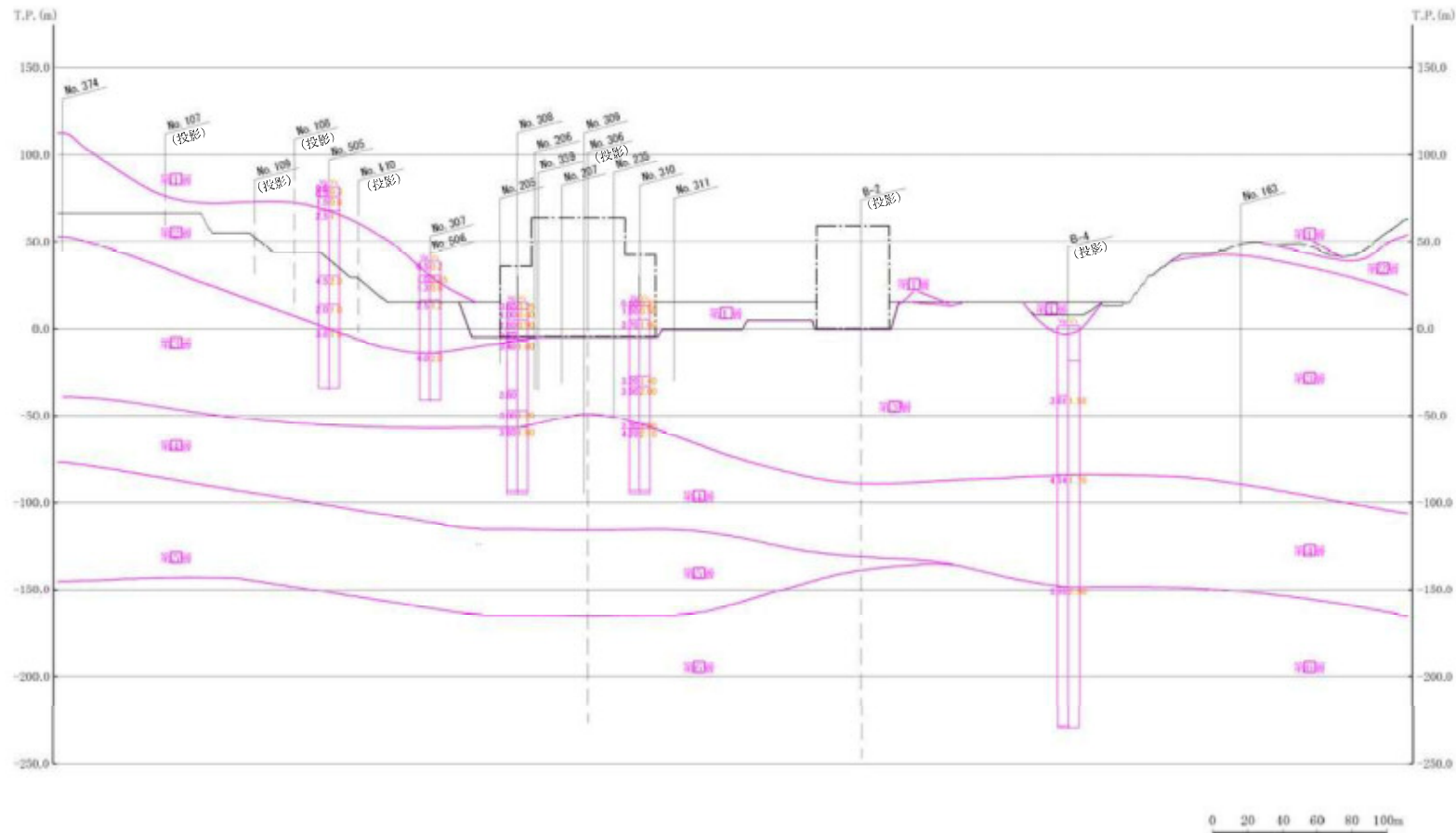
速度層境界線

ボーリング名

ボーリング位置
(破線は投影)

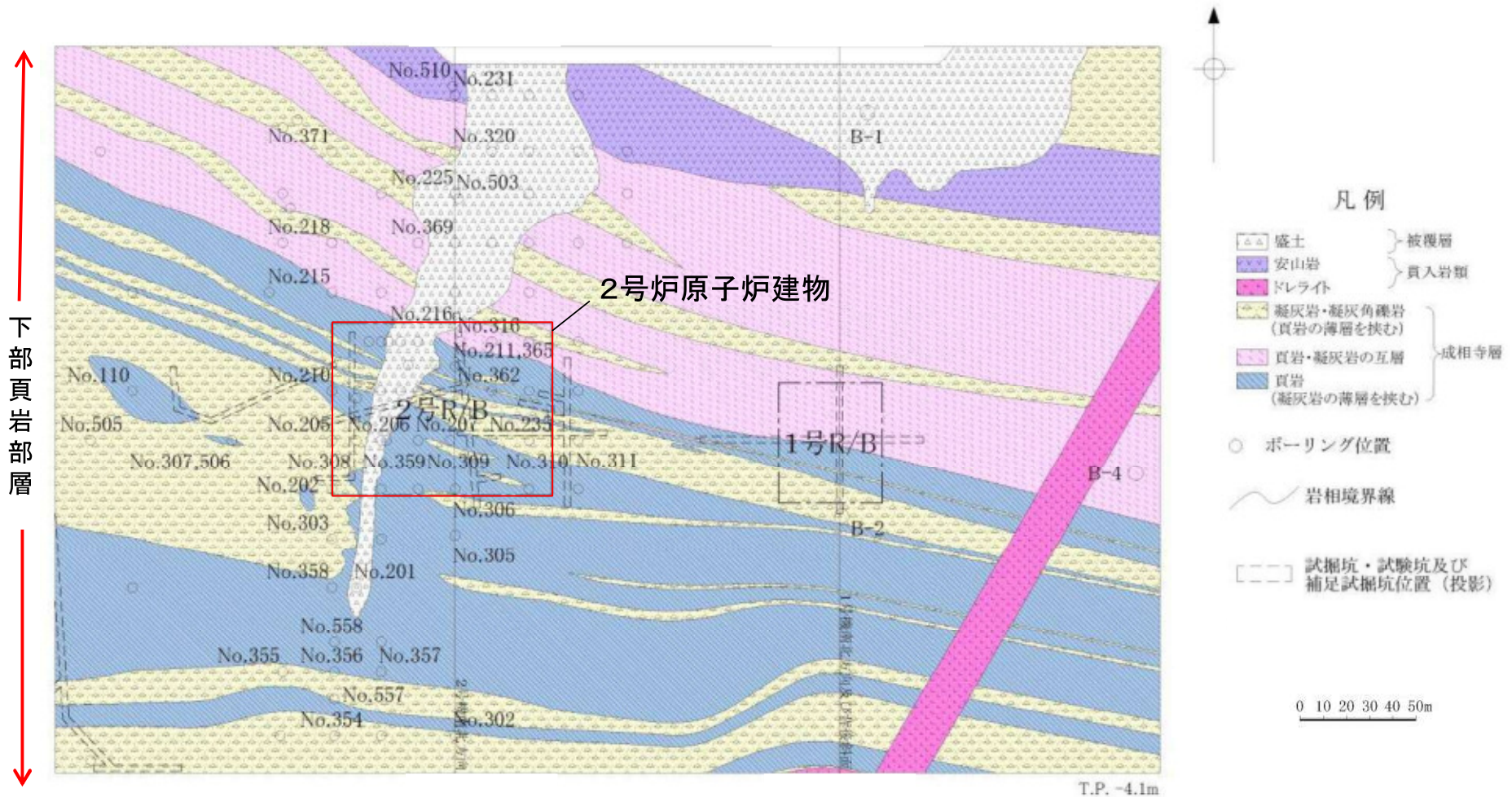
速度層柱状図(破線は投影)

V_p 速度値(m/sec) V_s 速度値(m/sec)



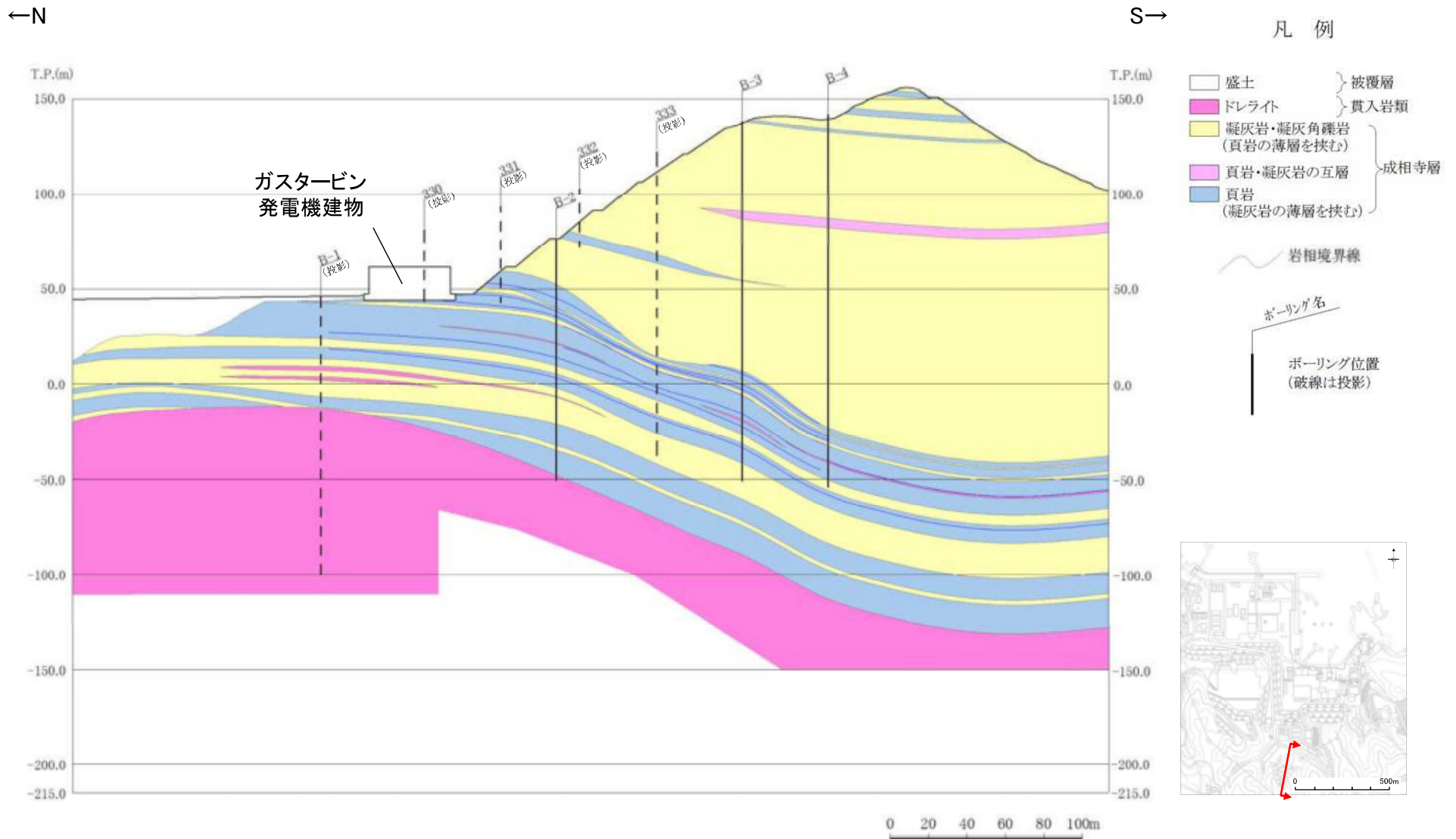
・速度層構造はPS検層結果に基づいて6層に区分され、地質構造と同様に緩やかな傾斜を示す。

2号炉原子炉建物(底面スケッチ図)



・成相寺層の構造は、概ね西北西－東南東の走向を示す。

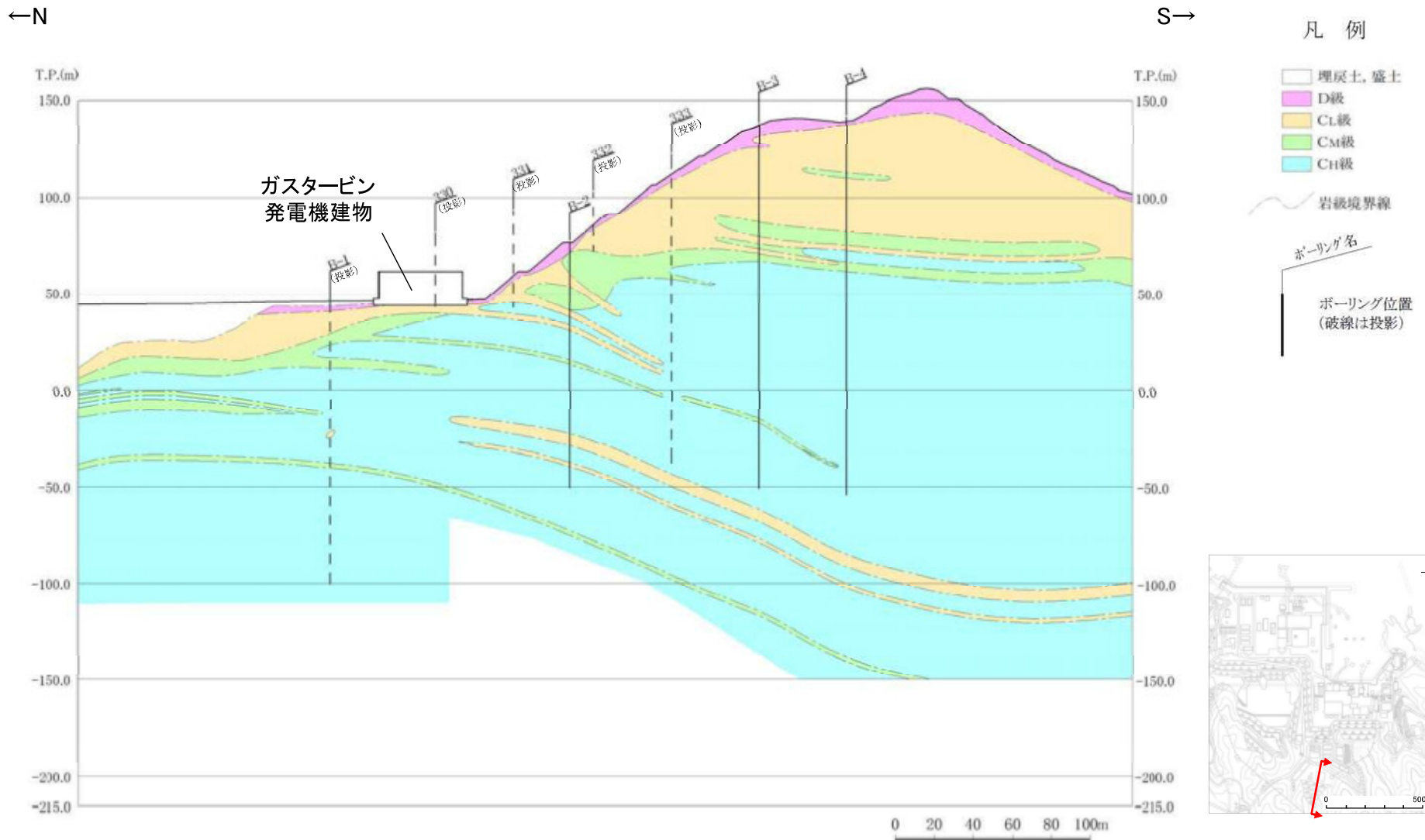
ガスタービン発電機建物(地質鉛直断面図)



・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。

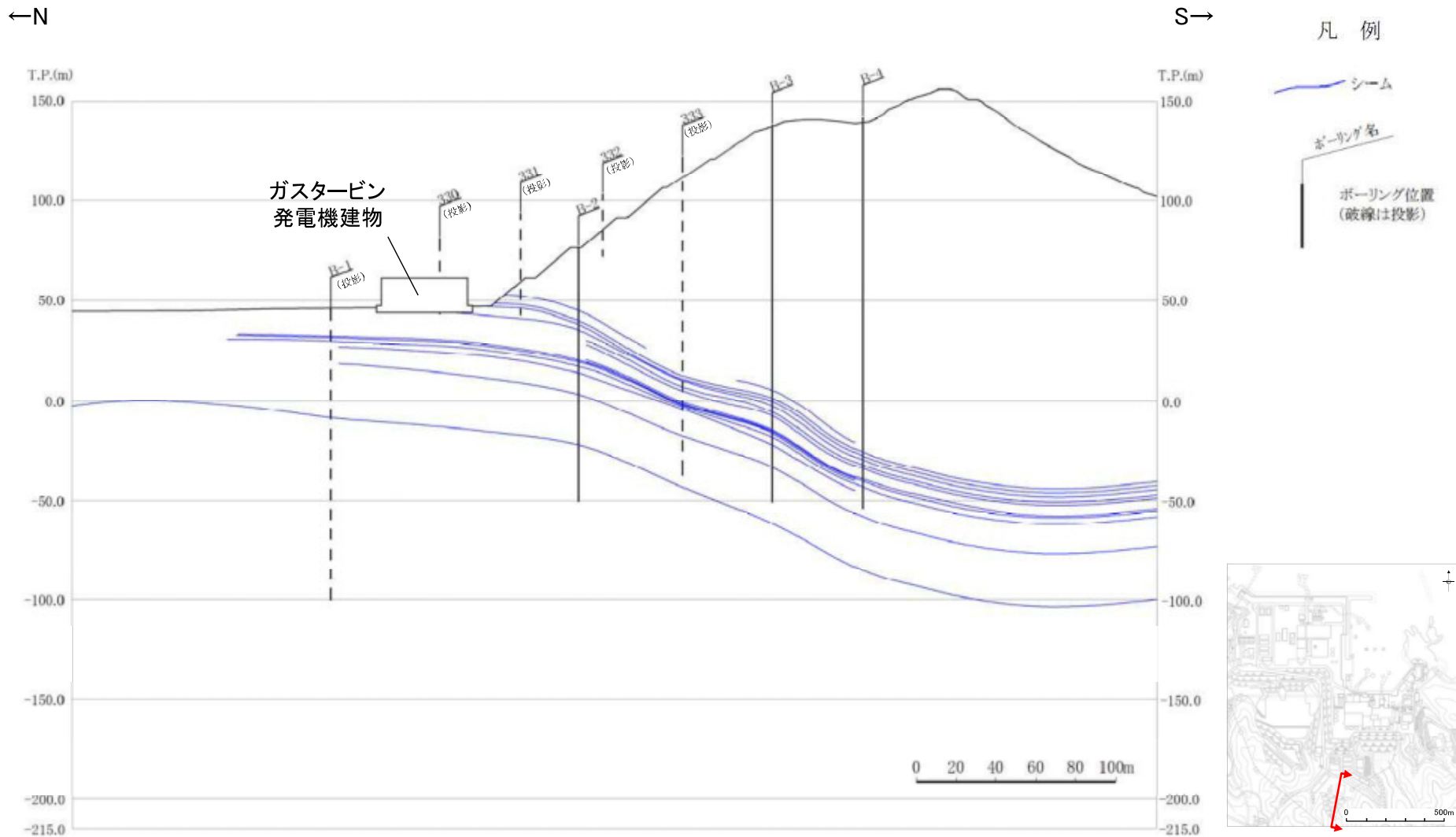
1. 地質の概要の補足

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。

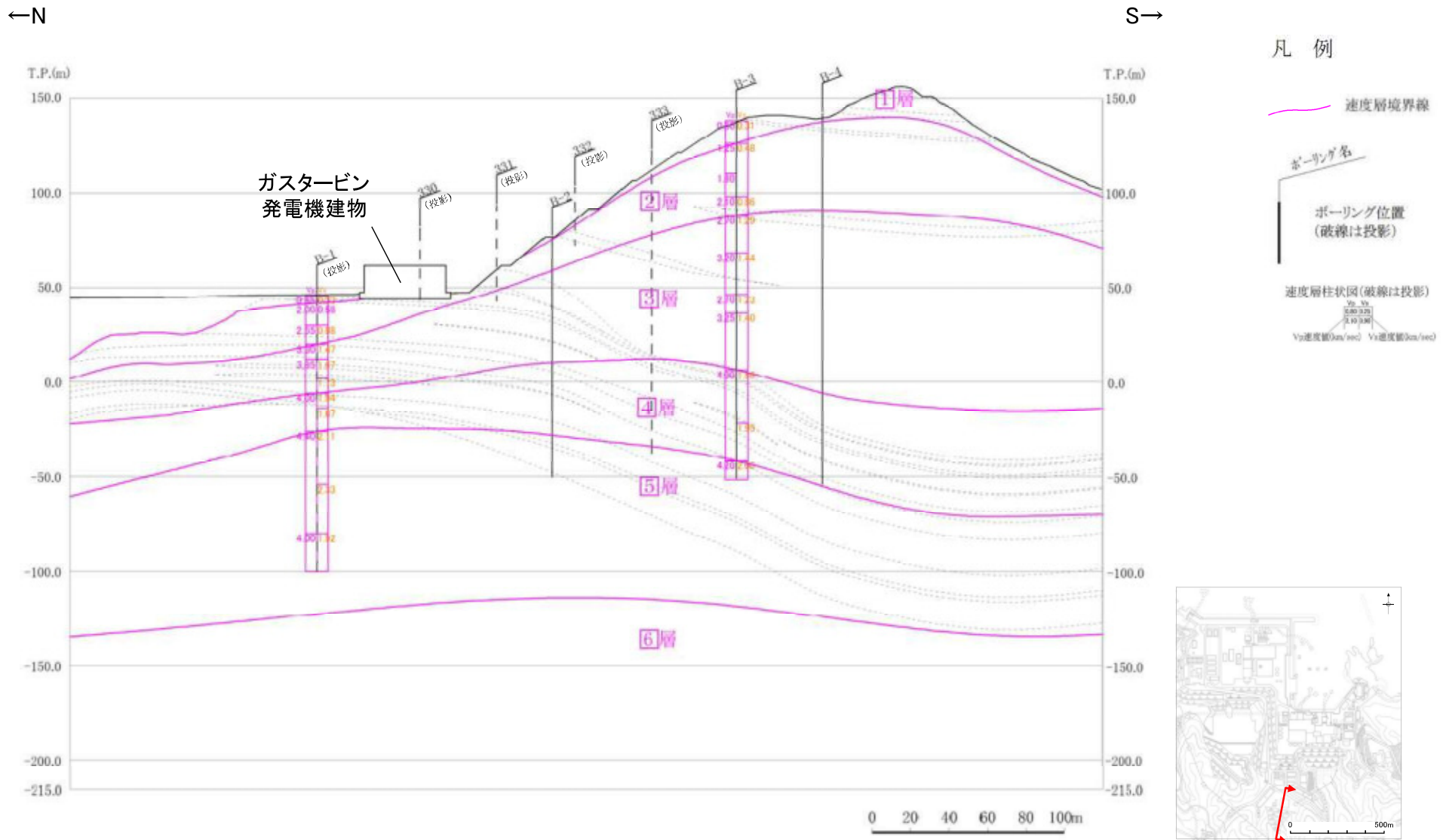
ガスタービン発電機建物(シーム分布鉛直断面図)



・シームは、地層の走向・傾斜と同一で、緩やかな傾斜を示す。

1. 地質の概要の補足

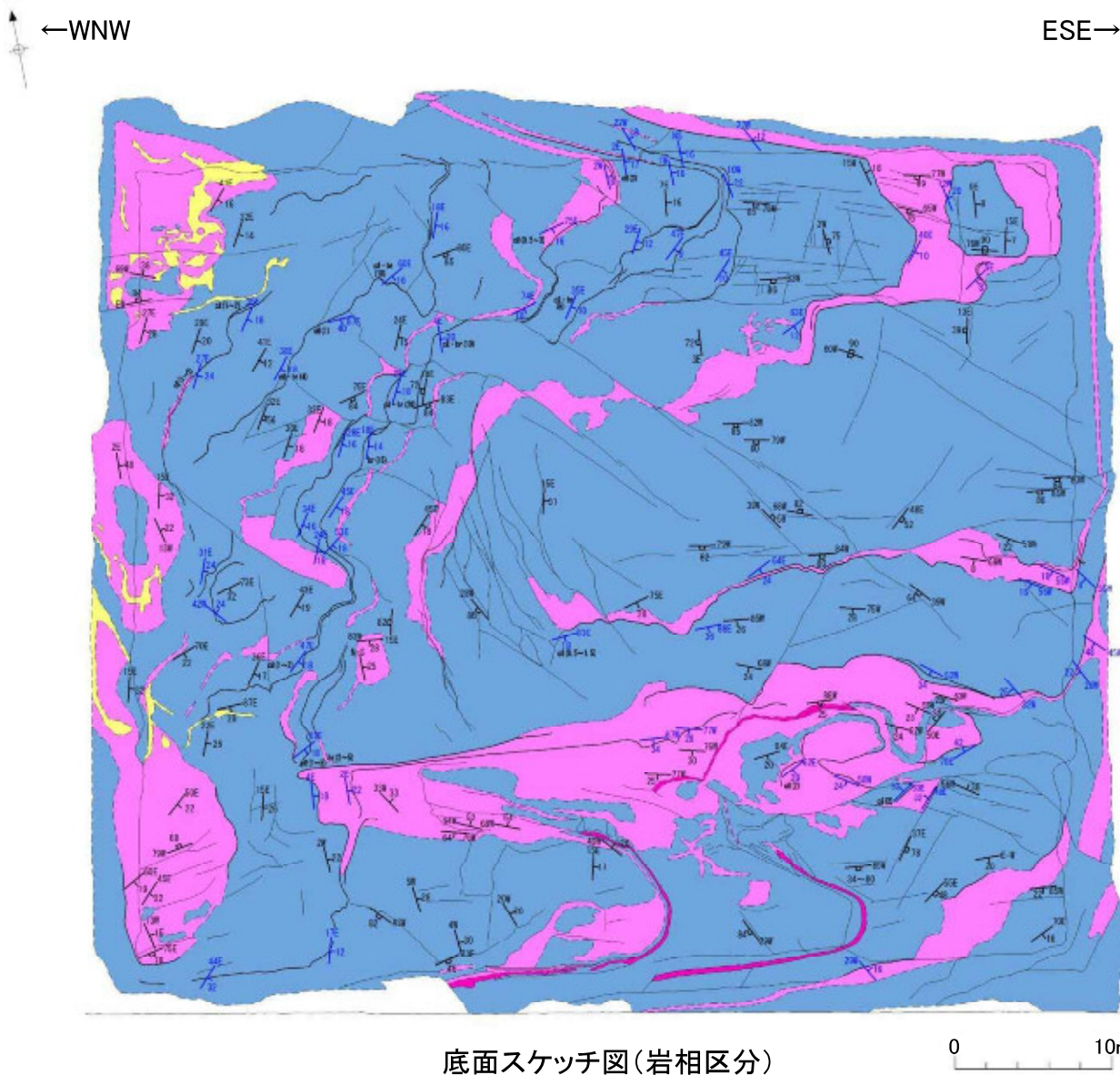
ガスタービン発電機建物(速度層鉛直断面図)



・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

ガスタービン発電機建物(底面スケッチ図)

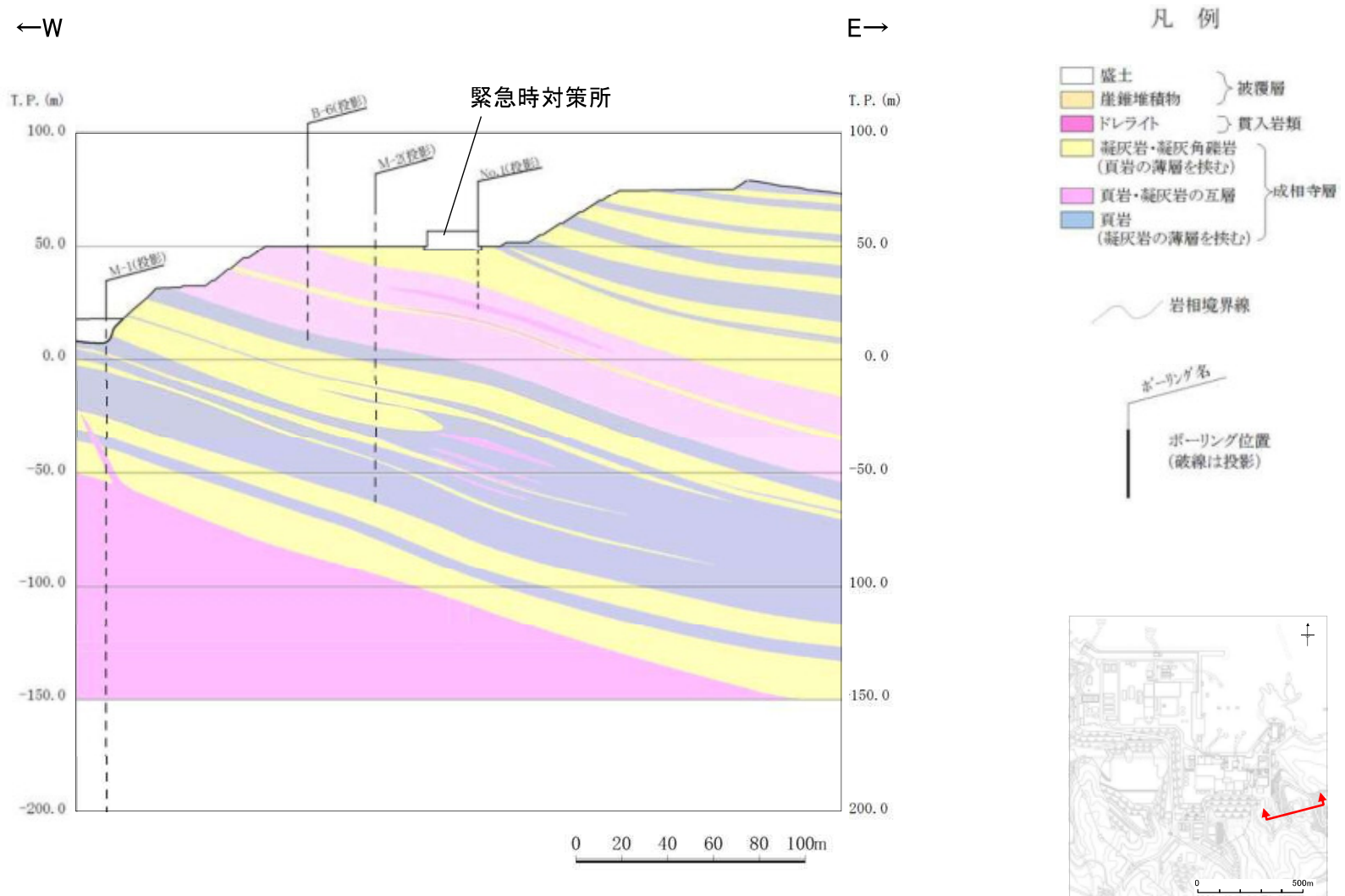


凡例

- ドレライト
- 黑色頁岩
- 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)
(cθ: 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

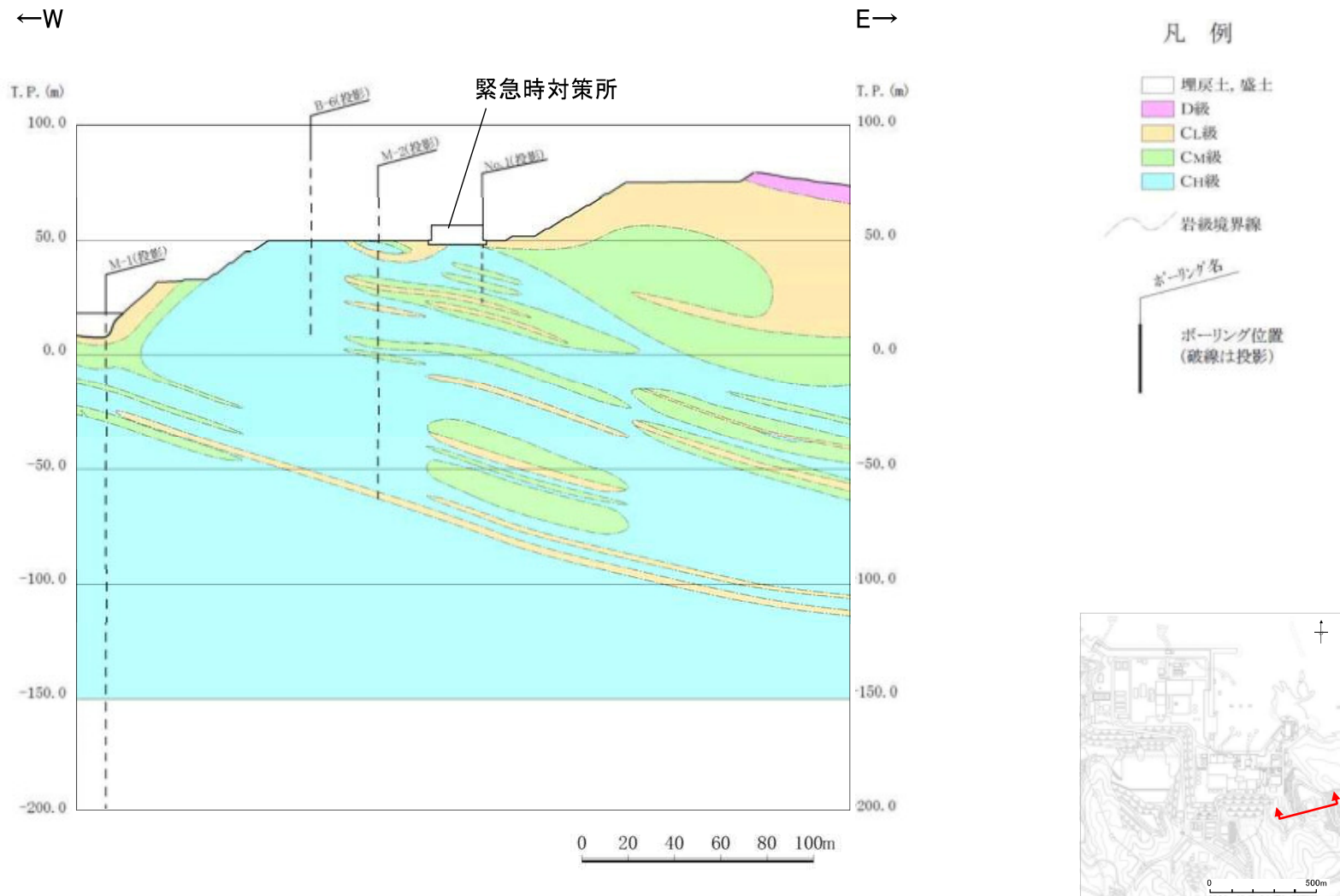
・ガスタービン発電機建物基礎底面スケッチの結果, 連続する破碎部や断層がないことを確認した。

緊急時対策所(地質鉛直断面図)



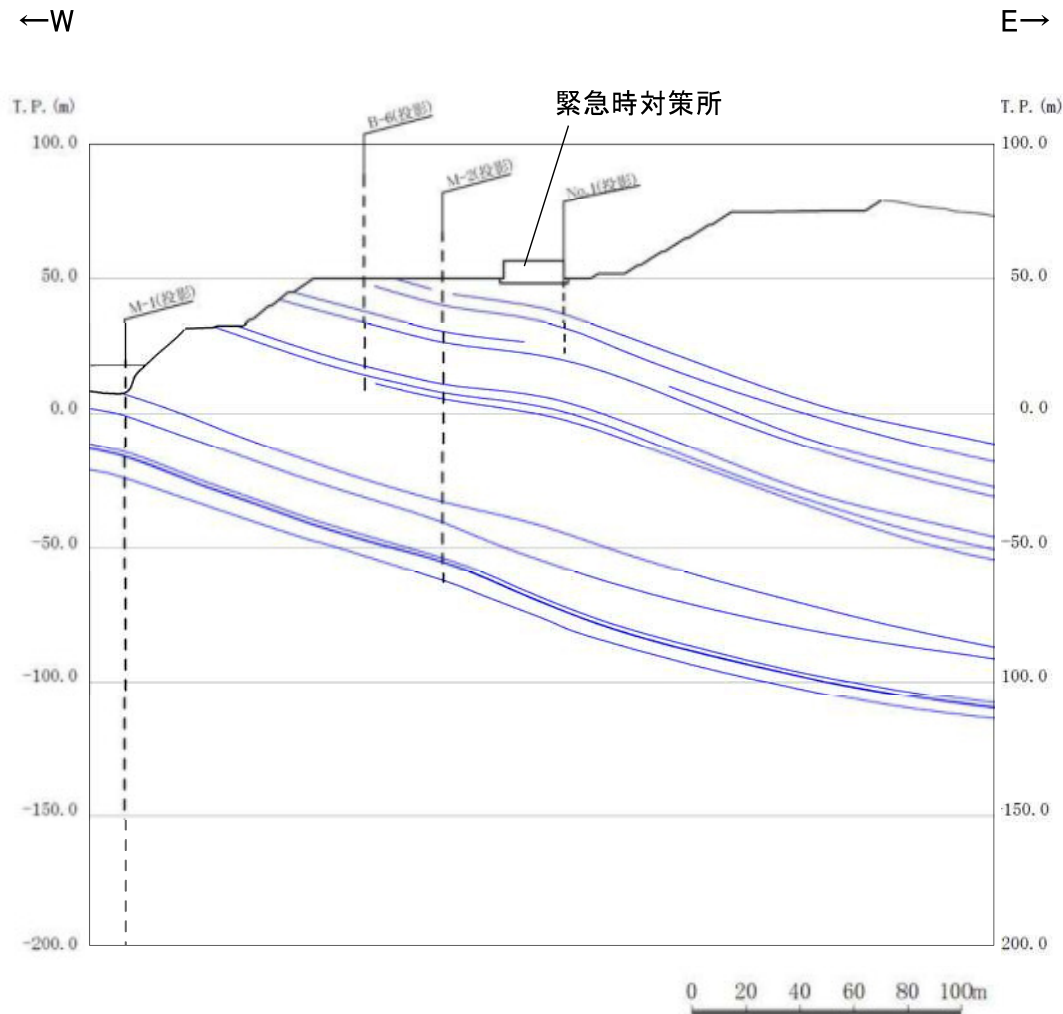
・ボーリング調査の結果, 連続する破碎部や断層がないことを確認した。

緊急時対策所(岩級鉛直断面図)

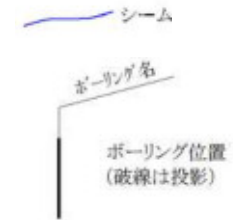


・緊急時対策所基礎地盤は主にC_H級岩盤から成り、切取斜面の浅部にはC_L級岩盤が分布する。

緊急時対策所(シーム分布鉛直断面図)

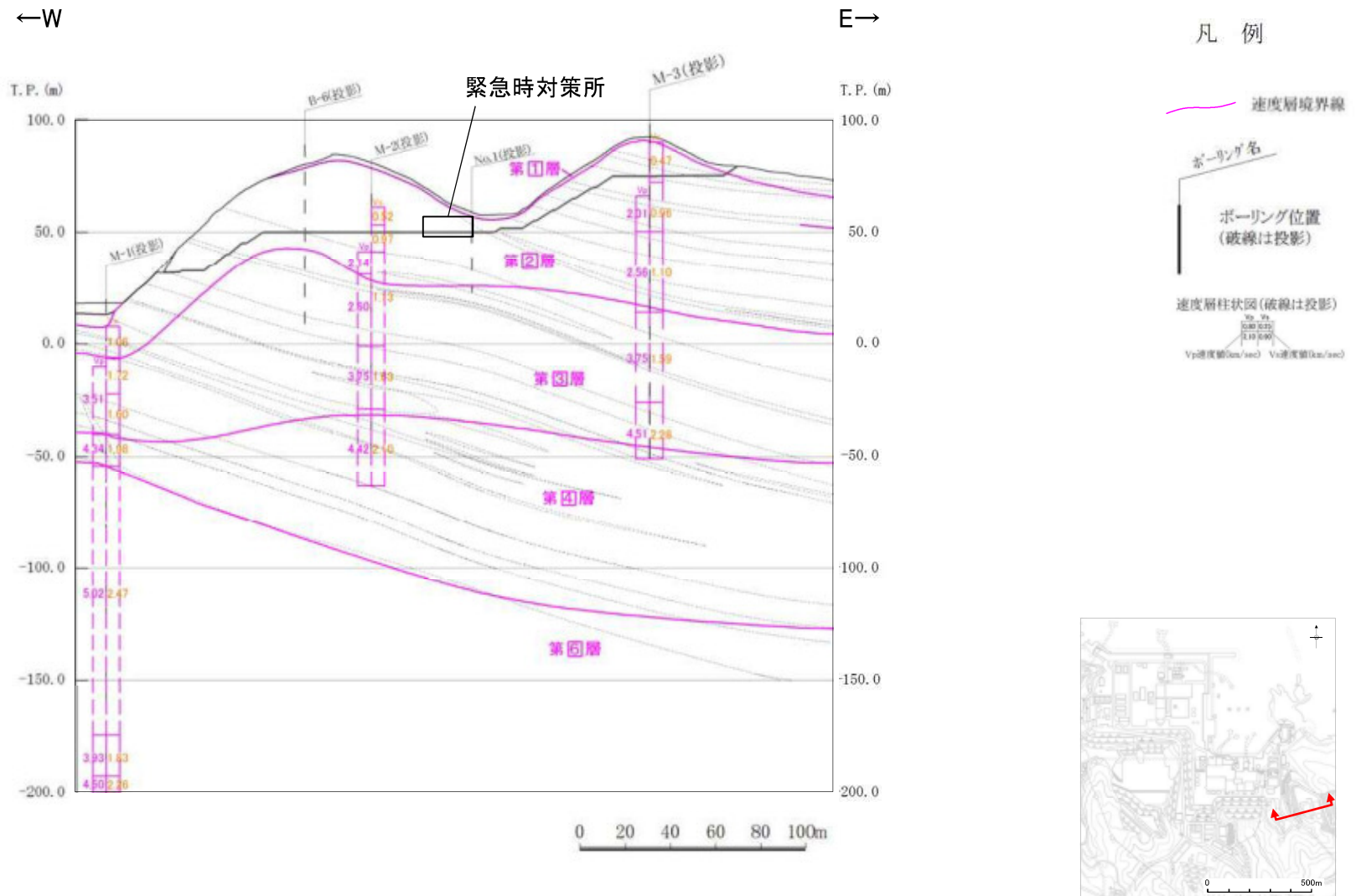


凡例



・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)

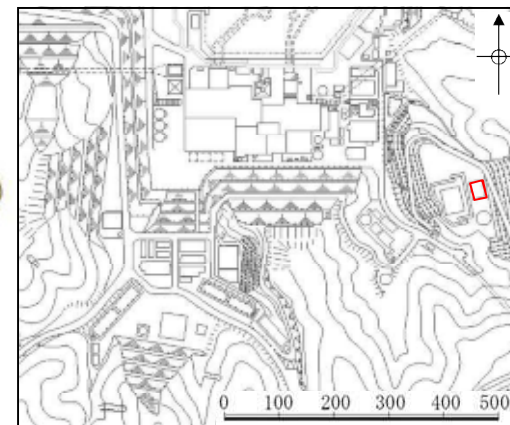
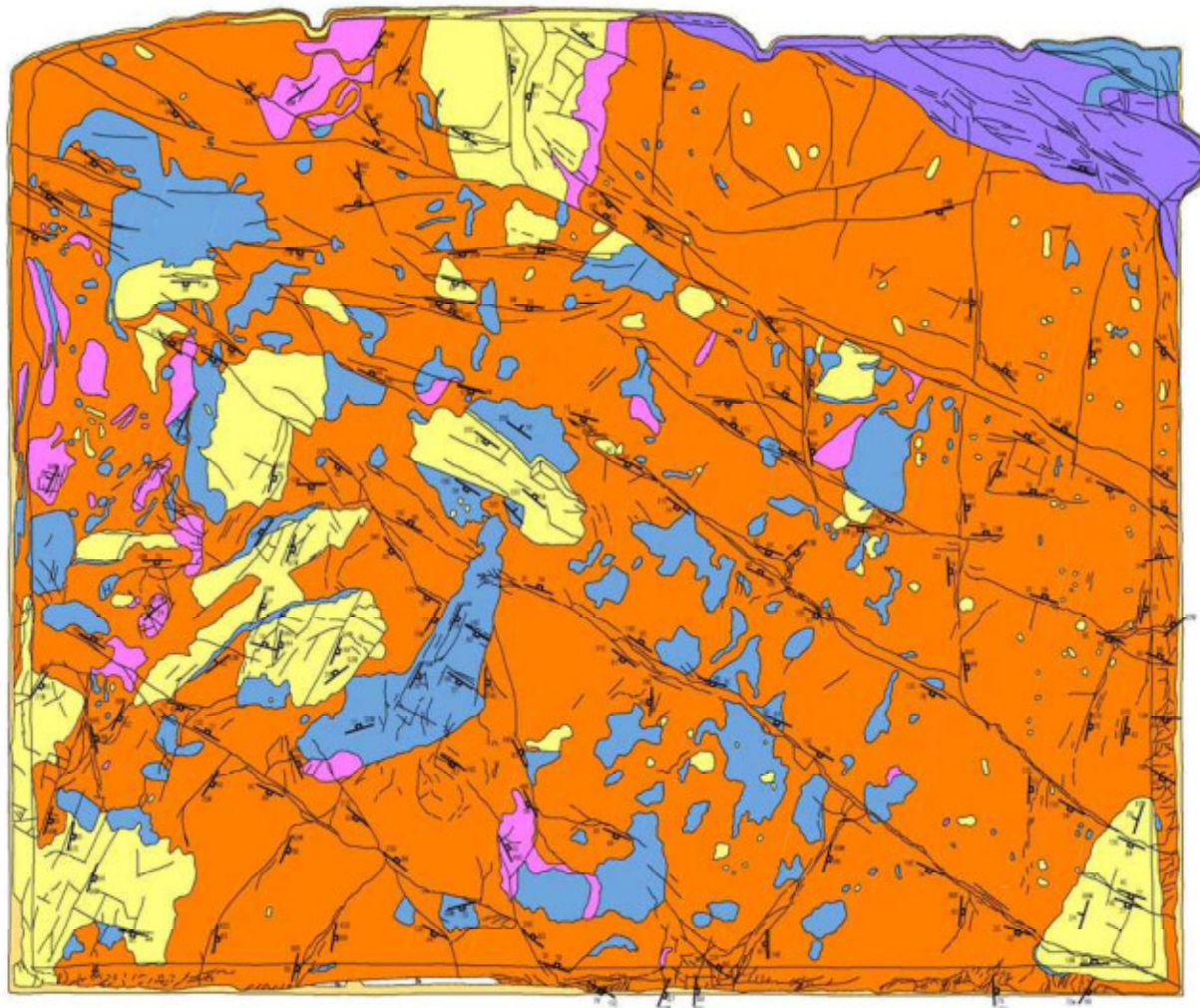


・速度層構造はPS検層結果に基づいて6層に区分され、地質構造と同様に緩やかな傾斜を示す。

緊急時対策所(底面スケッチ図)

←WSW

ENE→



位置図

凡例

- 崖堆積物
- 安山岩
- 黒色頁岩
- 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

0 5m

底面スケッチ図(岩相区分)

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

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①P35, 36】

: 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②P37】

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③P38】

設定方法④P39, 40】

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⑤P43~46】

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、流れ目方向载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			
	平均 : $11.6 + \sigma \tan 54^\circ$ [$1.14 + \sigma \tan 54^\circ$] 平均-1σ : — [—]	平均 : $9.4 + \sigma \tan 54^\circ$ [$0.92 + \sigma \tan 54^\circ$] 平均-1σ : — [—]	平均 : $2.9 + \sigma \tan 45^\circ$ [$0.28 + \sigma \tan 45^\circ$] 平均-1σ : — [—]
残留強度			
	平均 : $2.83 \cdot \sigma^{0.72}$ [$1.48 \cdot \sigma^{0.72}$] 平均-1σ : $2.57 \cdot \sigma^{0.72}$ [$1.34 \cdot \sigma^{0.72}$]	平均 : $0.99 \cdot \sigma^{0.54}$ [$0.34 \cdot \sigma^{0.54}$] 平均-1σ : — [—]	平均 : $0.99 \cdot \sigma^{0.54}$ [$0.34 \cdot \sigma^{0.54}$] 平均-1σ : — [—]

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②P37】

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		

: 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 設定方法③P38】

【平均強度が試験値の下限を示す場合 設定方法④P39, 40】

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 : — [—] 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 : $2.9 + \sigma \tan 28^\circ$ [$0.28 + \sigma \tan 28^\circ$] 平均-1σ : — [—] kg/cm²[N/mm²]</p>
残留強度	<p>平均 : $2.46 \cdot \sigma^{0.72}$ [$1.28 \cdot \sigma^{0.72}$] 平均-1σ : $2.14 \cdot \sigma^{0.72}$ [$1.12 \cdot \sigma^{0.72}$] 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①P35, 36】
- : 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②P37】

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③P38】
【平均強度が試験値の下限を示す場合 設定方法④P39, 40】

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。

	C _H 級凝灰岩・凝灰角礫岩	C _M 級凝灰岩・凝灰角礫岩	C _L 級凝灰岩・凝灰角礫岩
ピーク強度	<p>平均(小方採用) 平均-1σ</p>	<p>平均 平均-1σ</p>	<p>平均</p>
	<p>平均 : $15.7 + \sigma \tan 55^\circ$ [$1.54 + \sigma \tan 55^\circ$] 平均-1σ : $13.8 + \sigma \tan 55^\circ$ [$1.35 + \sigma \tan 55^\circ$] kg/cm²[N/mm²]</p>	<p>平均 : $11.6 + \sigma \tan 47^\circ$ [$1.14 + \sigma \tan 47^\circ$] 平均-1σ : $7.1 + \sigma \tan 47^\circ$ [$0.70 + \sigma \tan 47^\circ$] kg/cm²[N/mm²]</p>	<p>平均 : $6.1 + \sigma \tan 28^\circ$ [$0.60 + \sigma \tan 28^\circ$] 平均-1σ : — [—] kg/cm²[N/mm²]</p>
残留強度	<p>平均 平均-1σ</p>	<p>平均(補正)</p>	<p>平均(補正)</p>
	<p>平均 : $2.46 \cdot \sigma^{0.72}$ [$1.28 \cdot \sigma^{0.72}$] 平均-1σ : $2.14 \cdot \sigma^{0.72}$ [$1.12 \cdot \sigma^{0.72}$] 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(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①P35, 36】

: 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②P37】

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③P38】

【平均強度が試験値の下限を示す場合 設定方法④P39, 40】

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。

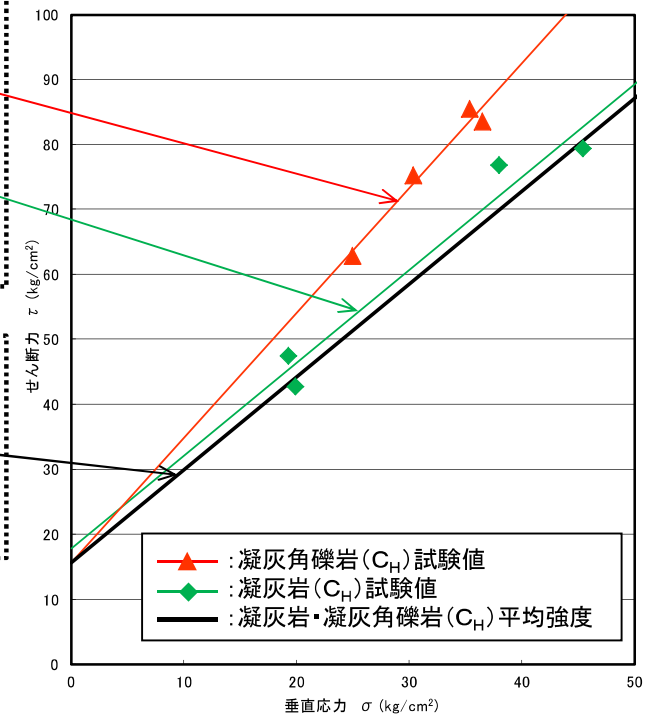
平均強度: $\tau = \underline{\tau_1} + \sigma \tan \underline{\phi_2}$

【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)

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)



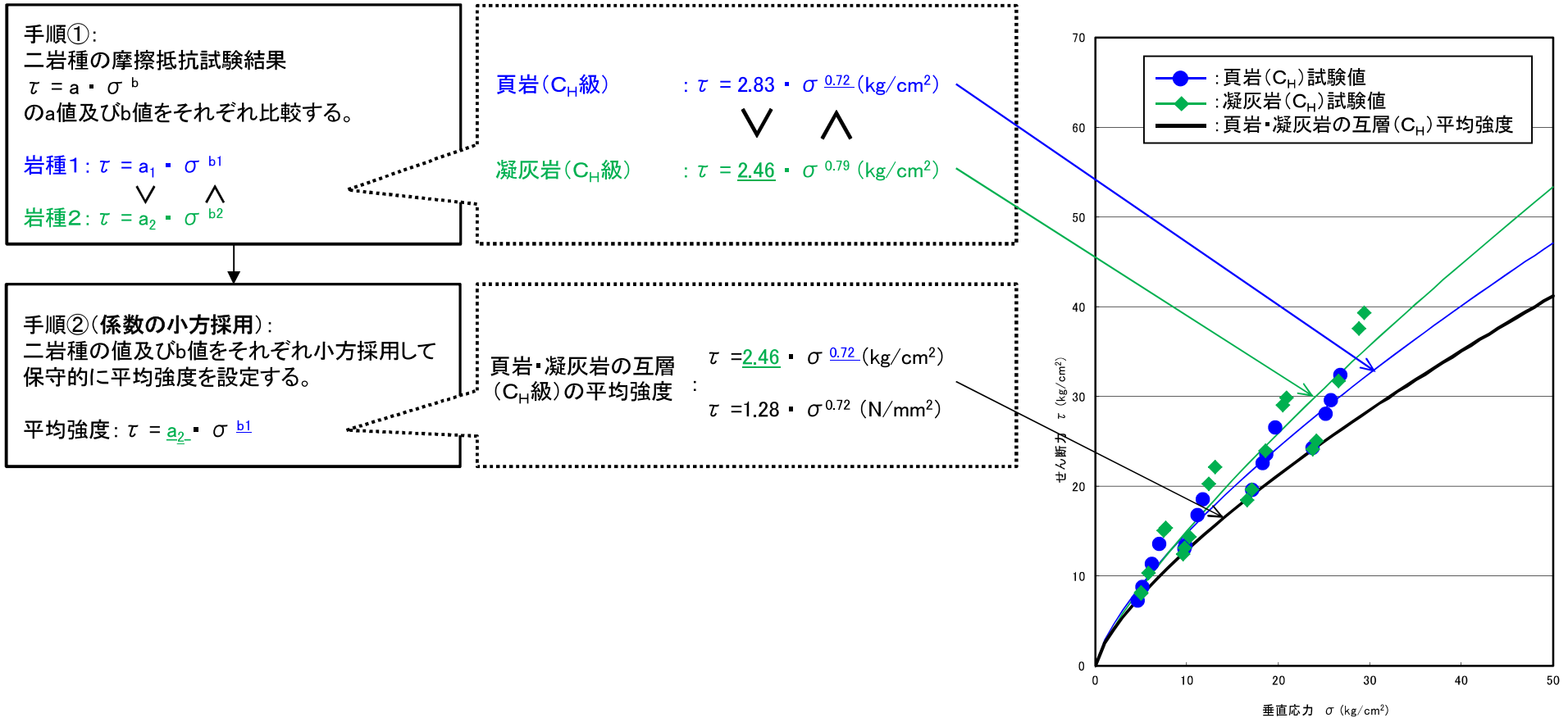
・凝灰岩と凝灰角礫岩のブロックせん断試験結果より, τ_0 及び ϕ の値をそれぞれ小方採用し, 保守的に平均強度を設定した。

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】

【設定方法例(C_H級:頁岩と凝灰岩の互層)】



・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。

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

↓

平均強度: $\tau = a_1 \cdot \sigma^{b2}$

【設定方法例(C_L級:頁岩と凝灰岩の互層)】

頁岩(C_L級) : $\tau = 1.32 \cdot \sigma^{0.81}(\text{kg/cm}^2)$
 凝灰岩(C_L級) : $\tau = 1.16 \cdot \sigma^{0.88}(\text{kg/cm}^2)$

↓

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

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」、「同岩級の他の岩種の試験値」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 : $\tau = a_1 \cdot \sigma^{b2}$
 上位岩級の平均強度 : $\tau = a_u \cdot \sigma^{b_u}$
 同岩級の他の試験値 岩種3: $\tau = a_3 \cdot \sigma^{b3}$

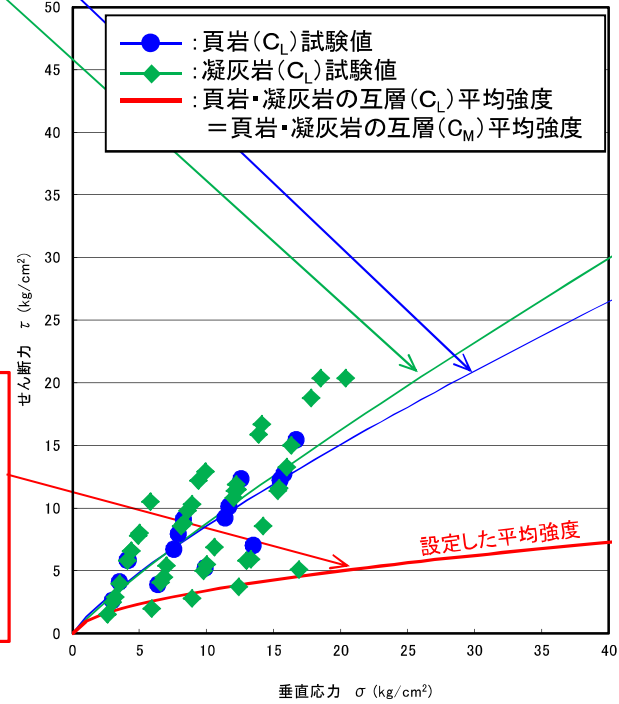
↓

平均強度 : $\tau = a_3 \cdot \sigma^{b2}$

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

↓

頁岩・凝灰岩の互層(C_L級)の平均強度 : $\tau = 0.99 \cdot \sigma^{0.54}(\text{kg/cm}^2)$
 $\tau = 0.34 \cdot \sigma^{0.54}(\text{N/mm}^2)$

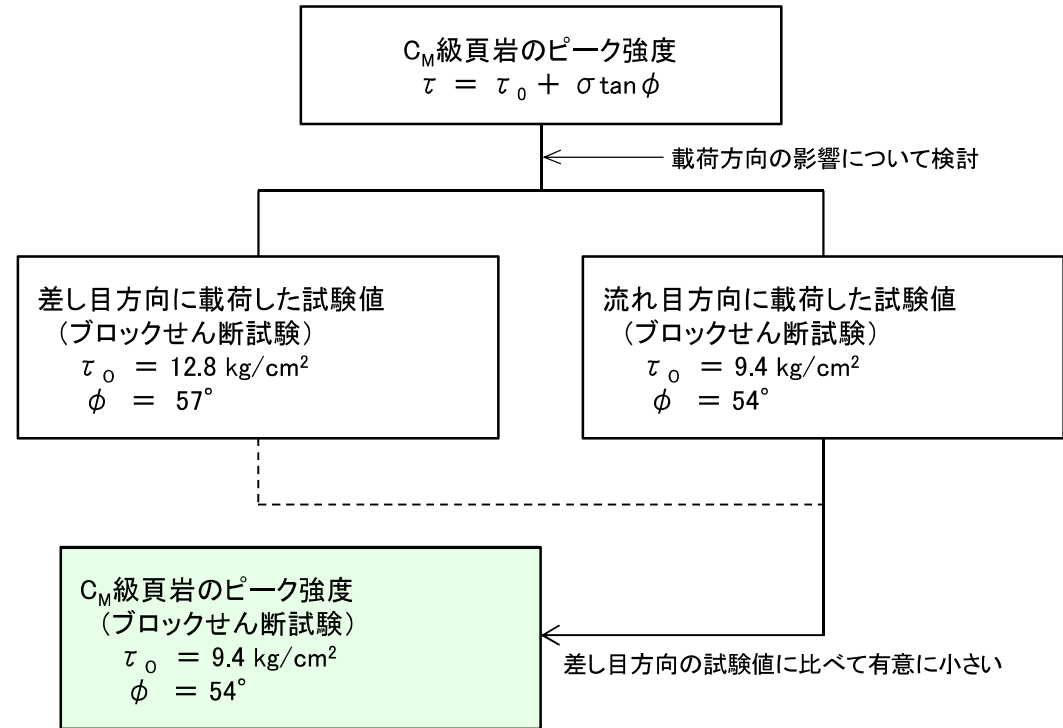
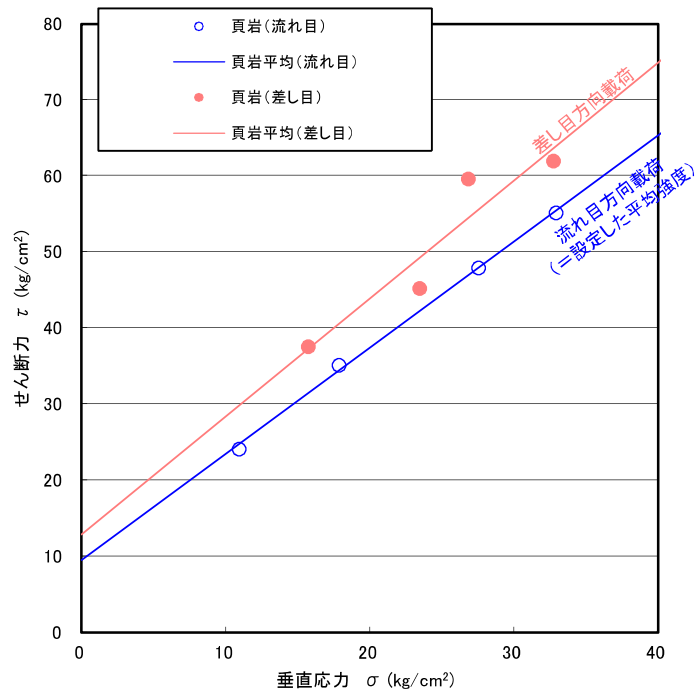


・二岩種を対象に設定した平均強度が上位岩級で設定した平均強度を上回る場合は、「上位岩級で設定した平均強度」及び「同岩級の他の岩種の試験値」のa値及びb値をそれぞれ比較し、最小値となる値を組み合わせて平均強度を下方修正した。

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)】

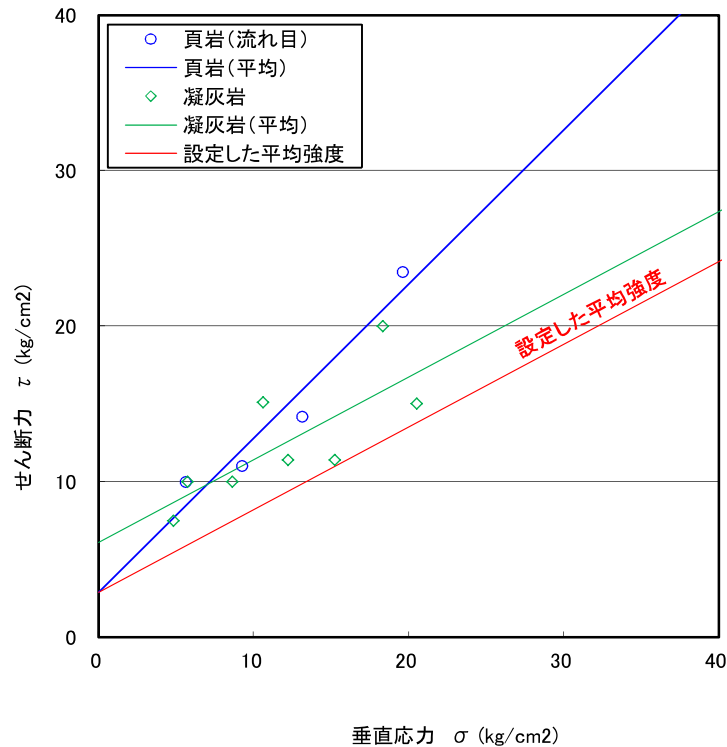


- ・流れ目方向に載荷した試験値は、差し目方向に載荷した試験値に比べて有意に小さい。
- ・流れ目方向に載荷した試験値は、既にばらつきを考慮した強度になっており、平均-1σによる低減を行わない。

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

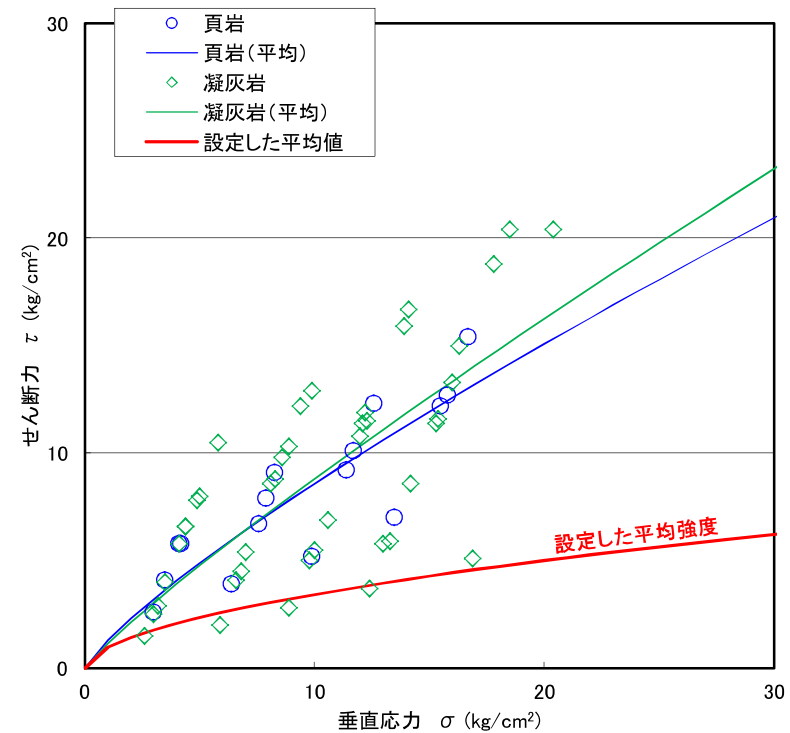
・ピーク強度(ブロックせん断試験)

【設定方法例(C₁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(C₁級頁岩と凝灰岩の互層:残留強度)】

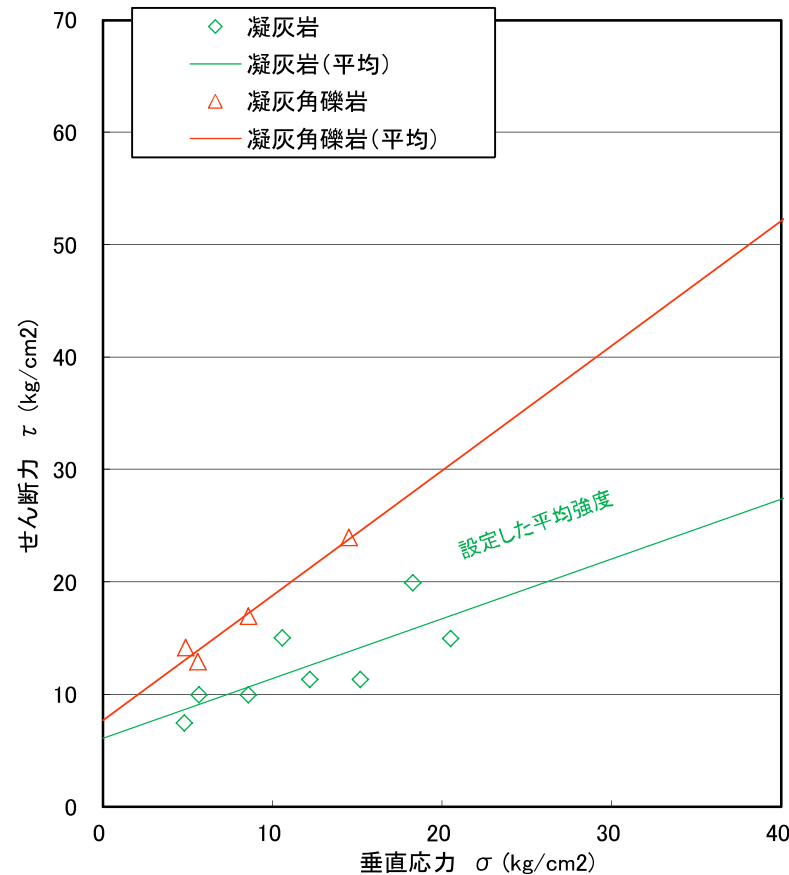


- ・各岩種における試験値を小方採用等を行うことで、保守的に設定した平均強度は、試験値の下限を示し、既に安全側にばらつきを考慮した強度になっていると考えられる。
- ・上記の理由より、平均-1σによる低減を行わない。

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

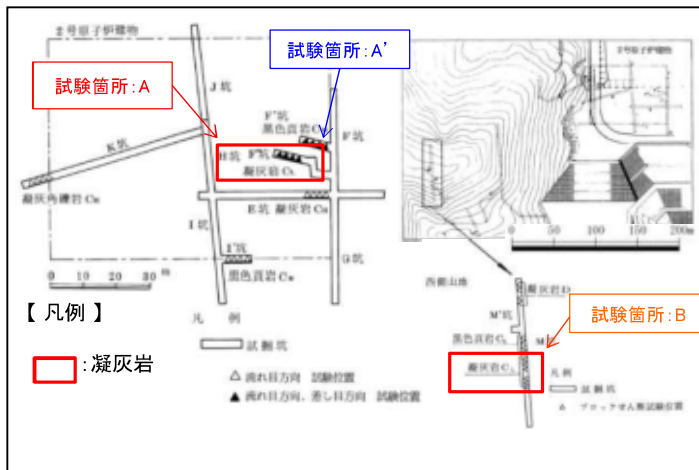
・「頁岩と凝灰岩の互層」「凝灰岩・凝灰角礫岩」ピーク強度(ブロックせん断試験)

【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)

(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掘坑 F'坑】
 $\tau = 5.5 + \sigma \tan 56^\circ$ (kg/cm²)
 (破断面にシーム等がない健全な試験値)

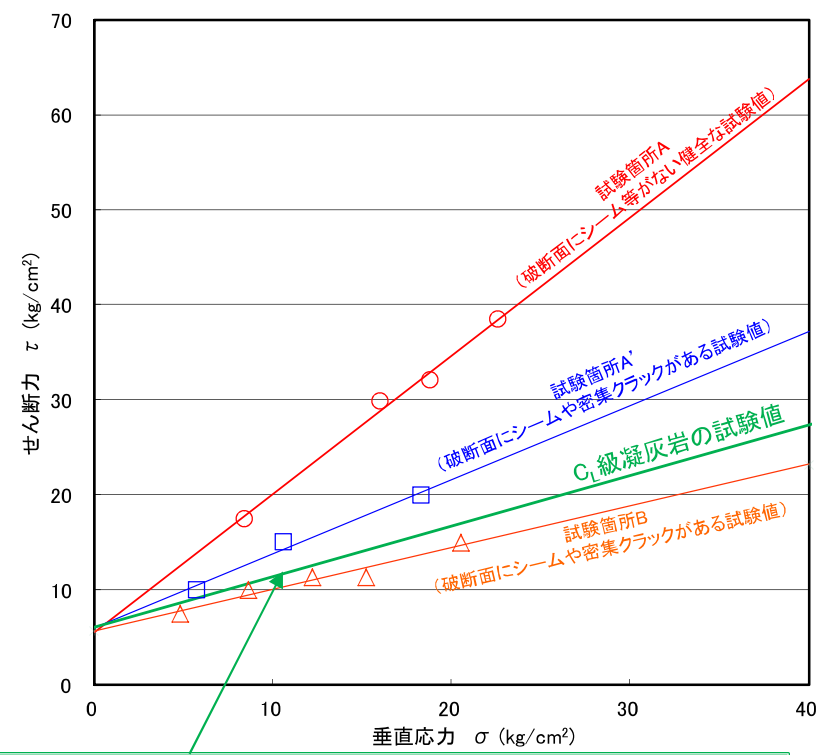
【試験箇所A'. 2号炉原子炉建物試験掘坑 F''坑】
 $\tau = 6.0 + \sigma \tan 38^\circ$ (kg/cm²)
 (破断面にシームや密集クラックがある試験値)

【試験箇所B. 2号炉西側切取斜面試掘坑 M坑】
 $\tau = 5.7 + \sigma \tan 24^\circ$ (kg/cm²)
 (破断面にシームや密集クラックがある試験値)

採用しない

平均して試験値として採用

【C_L級凝灰岩の試験値】
 $\tau = 6.1 + \sigma \tan 28^\circ$ (kg/cm²) [$\tau = 0.60 + \sigma \tan 28^\circ$ (N/mm²)]
 (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掘坑 F'坑」及び「2号炉西側切取斜面試掘坑 M坑」の2箇所で実施した。
- ・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」で実施しており、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。

(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			

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。

	ドレライト	頁岩	凝灰岩	凝灰角礫岩
三軸圧縮試験結果	$\tau = 220 + \sigma \tan 51^\circ$	$\tau = 164 + \sigma \tan 53^\circ$	$\tau = 181 + \sigma \tan 47^\circ$	$\tau = 117 + \sigma \tan 49^\circ$
ブロックせん断試験結果(C _H 級)	$\tau = 21.8 + \sigma \tan 52^\circ$ (16.8) 換算により算出	$\tau = 11.6 + \sigma \tan 54^\circ$	$\tau = 17.9 + \sigma \tan 55^\circ$ (13.8)	$\tau = 15.7 + \sigma \tan 62^\circ$ (13.8)

※()内はばらつきを考慮して1σ低減した値を示す

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 _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。

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

(kg/cm²)

【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級他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。

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

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) 換算により算出	$\tau = 9.4 + \sigma \tan 54^\circ$ (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) 換算により算出	$\tau = 2.9 + \sigma \tan 45^\circ$ (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/mm 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。

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) $\left[\tau = 1.56 \cdot \sigma^{0.72} \text{ (N/mm}^2\text{)} \right]$	$\tau = 2.60 \cdot \sigma^{0.72}$ (kg/cm ²) $\left[\tau = 1.36 \cdot \sigma^{0.72} \text{ (N/mm}^2\text{)} \right]$

・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。

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。
$$\text{平均強度} a \text{値} = \text{換算比率} \times \text{C}_{M/L} \text{級の他岩種の平均強度設定値}$$

" 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)

(kg/cm²)

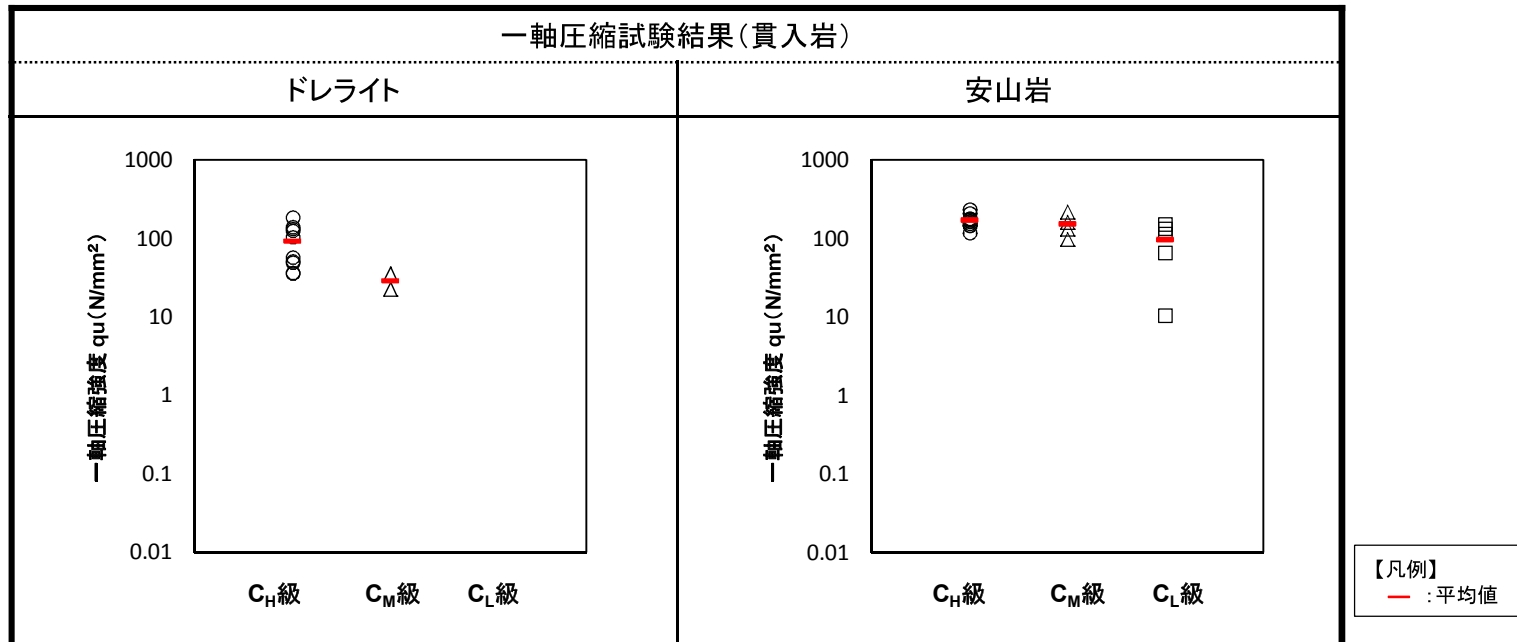
※ ()内はばらつきを考慮した強度を示す

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。

(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1σ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。

D級岩盤(ピーク強度)(1/3)

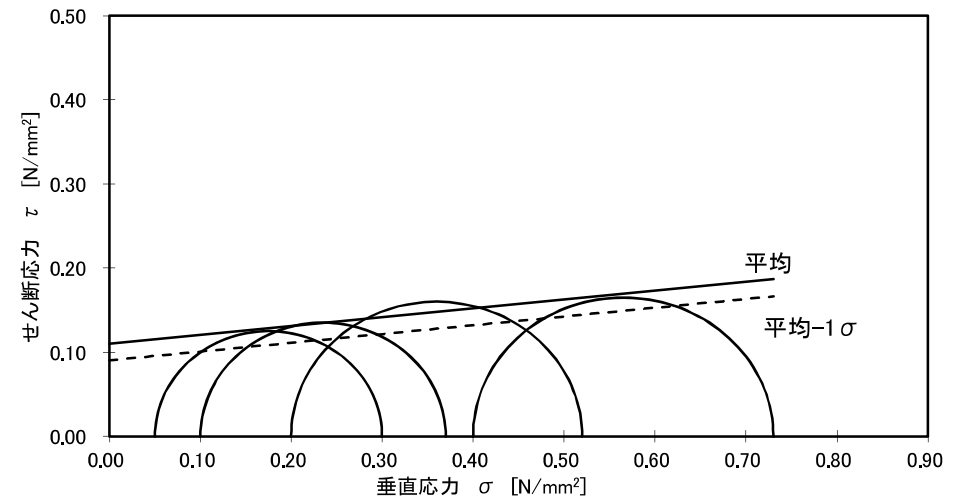
・中型三軸圧縮試験結果(D級岩盤)

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

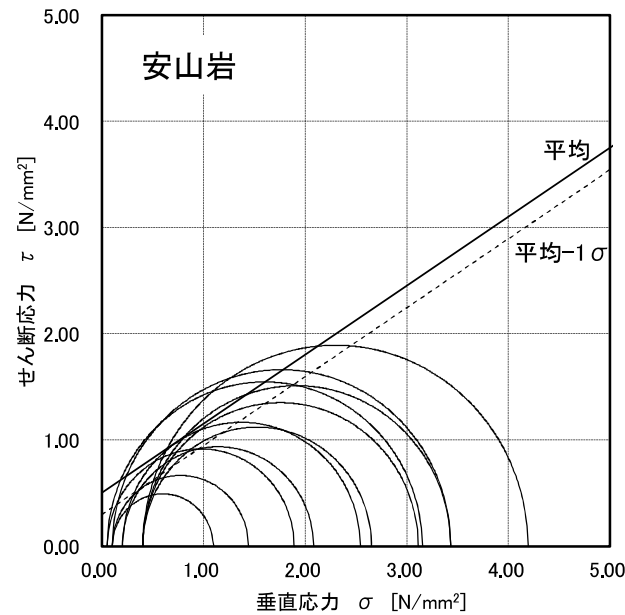
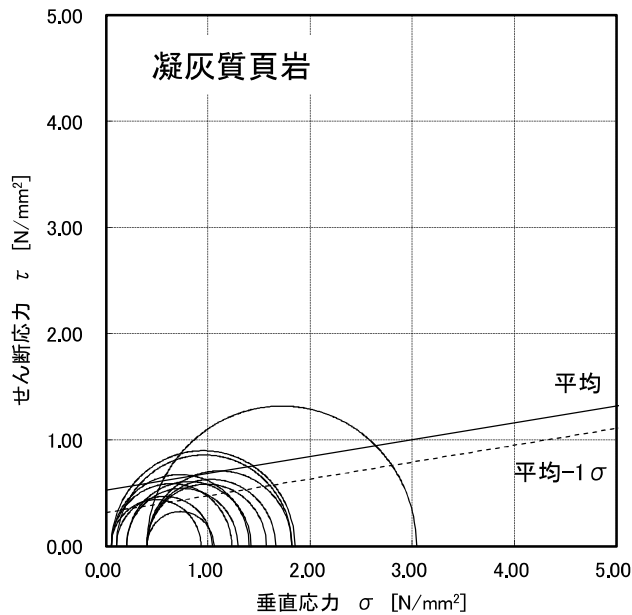
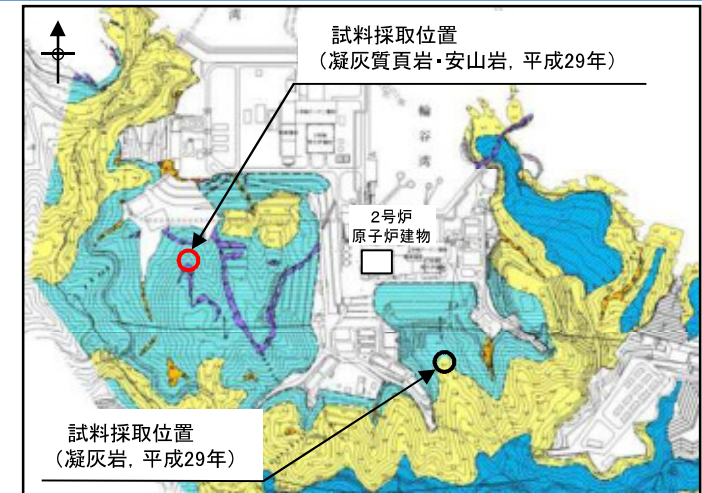
・D級岩盤(凝灰岩)を対象に、平成21年に中型三軸圧縮試験結果を実施した。

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 完新世	被覆層	盛土	礫混り砂質土・礫混り粘性土
	崖線堆積物	礫混り砂質土・礫混り粘性土	▲▲▲
新生代 中新世	貫入岩類	安山岩	V V V
		ドレライト	L L L
	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。

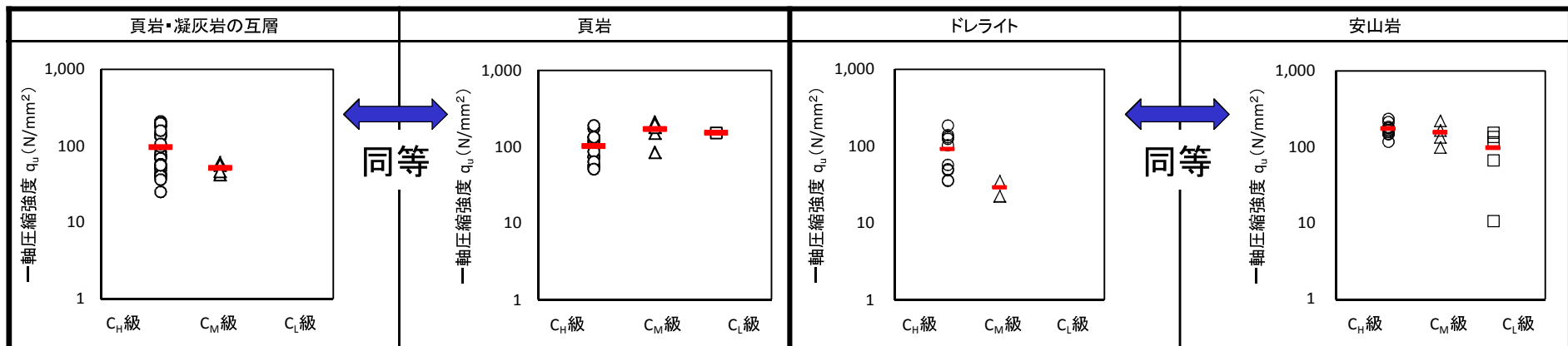
D級岩盤(ピーク強度)(3/3)

・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



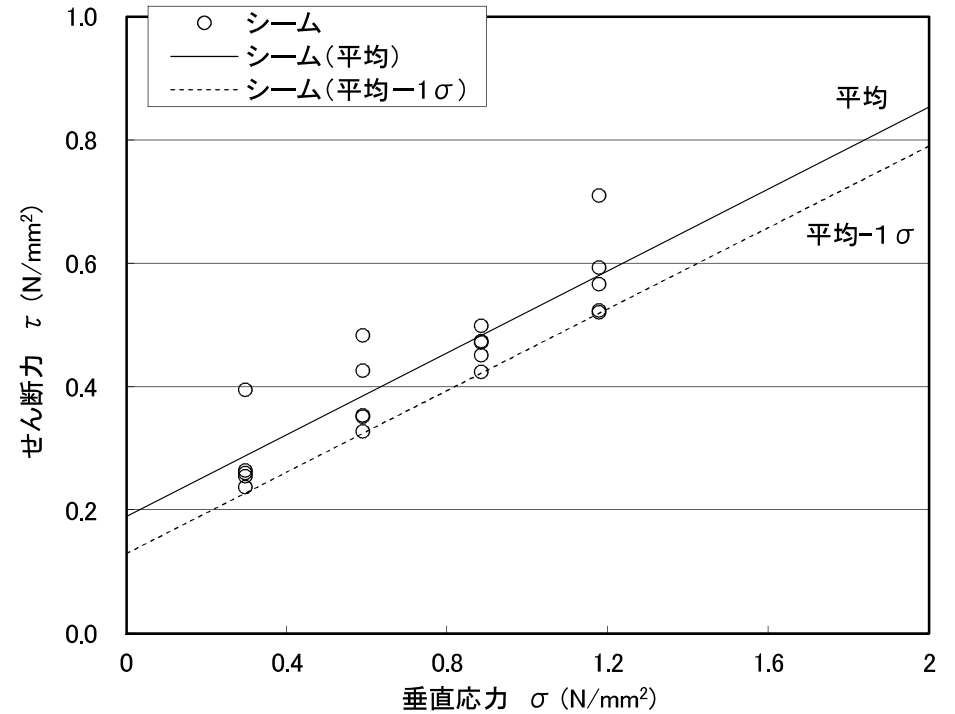
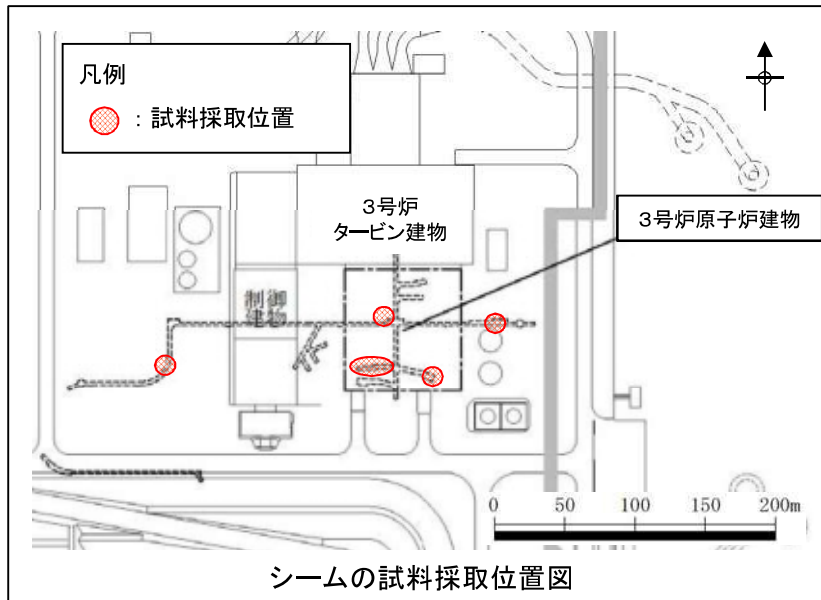
- ・試験結果を用い、D級岩盤の平均強度を設定した。
- ・頁岩及びドレライトについては、一軸圧縮試験の比較検討結果を踏まえ、それぞれ凝灰質頁岩及び安山岩の試験値と同値に設定した。
- ・平均強度から1 σ の低減を行い、ばらつきを考慮した強度を設定した。

シーム(ピーク強度)

・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。

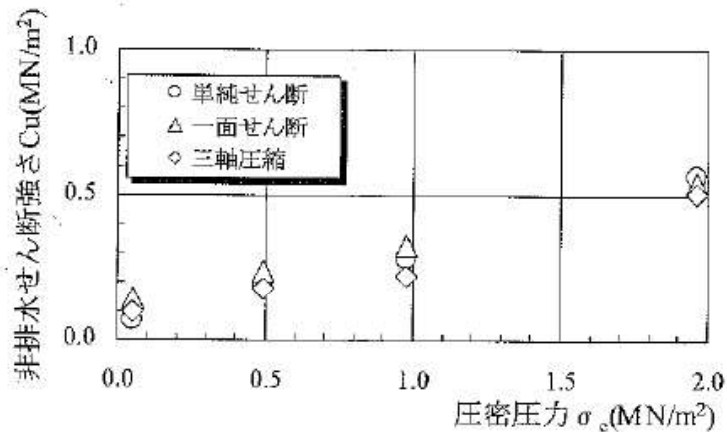


単純せん断試験結果

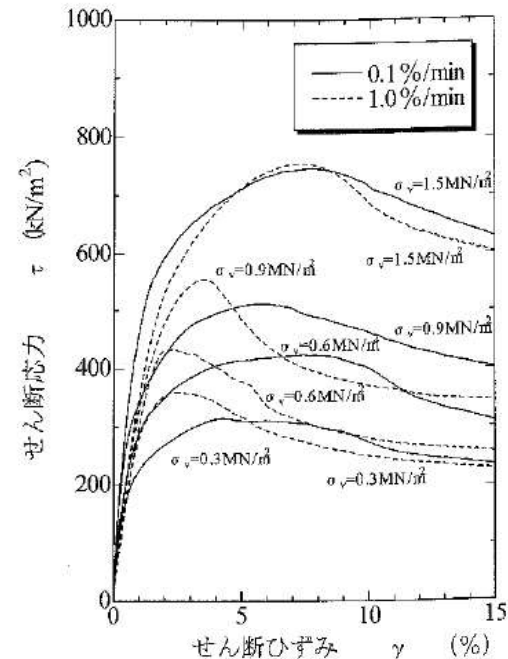
- ・シームの平均強度は、単純せん断試験値を用いて設定した。
- ・平均強度から1 σ の低減を行い、ばらつきを考慮した強度を設定した。

(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

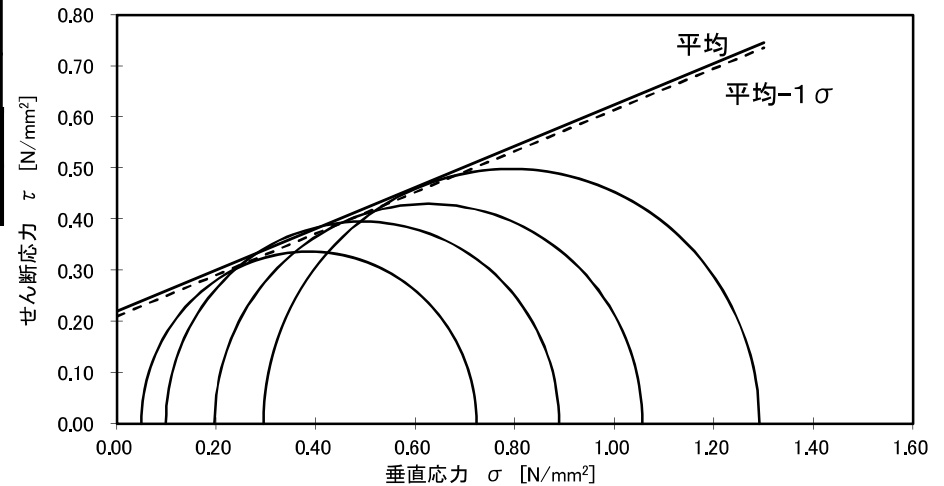
- ・土木学会(2009)⁽¹⁾によると、弱層のせん断強さについて、一面せん断試験はせん断面を規定して強制的にせん断するため、単純せん断試験と比べてせん断強さが大きくなる傾向があるものの、非排水せん断強さに有意な差は生じないとされている。また、静的強度・変形特性に対するせん断速度の影響を確認するため、せん断速度を0.1%/minと1.0%/minで比較検討を行った結果、0.1%/min程度の緩速で得られたせん断強度を地震時安定性評価に用いた場合には、安全側の評価となるとされている。
- ・シームの強度特性の設定については、単純せん断試験によりひずみ速度0.1%/minでせん断力を加えて試験を実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

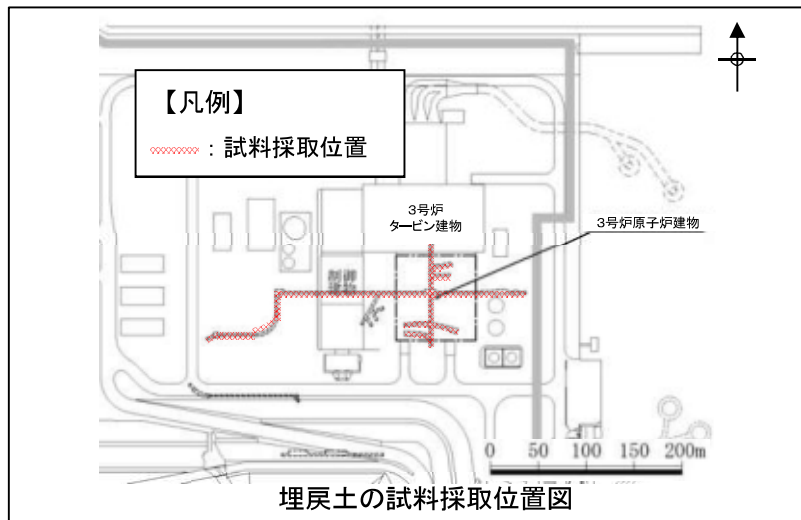
・大型三軸圧縮試験(埋戻土)

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



埋戻土の試料採取位置図

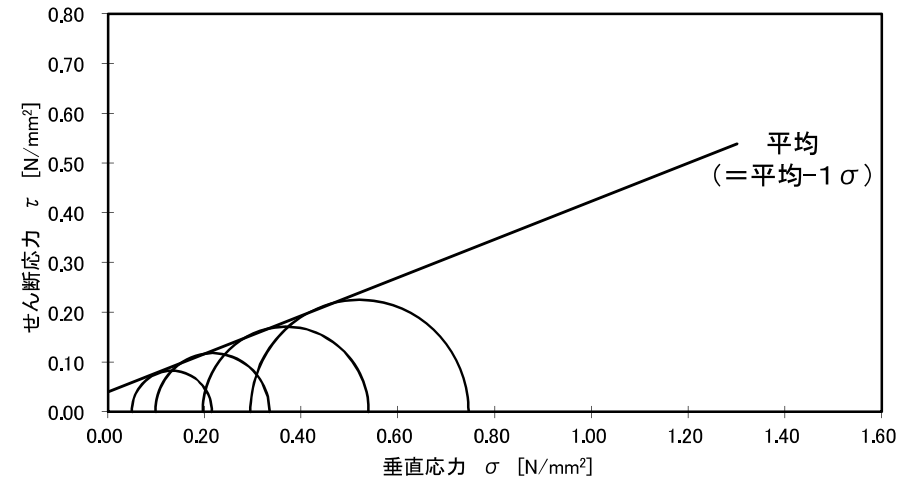
- ・3号炉試掘坑から採取した掘削ズリを用いて作成した供試体を対象とした大型三軸圧縮試験の試験結果を用いて設定した。
- ・平均強度から1σの低減を行い, ばらつきを考慮した強度を設定した。

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

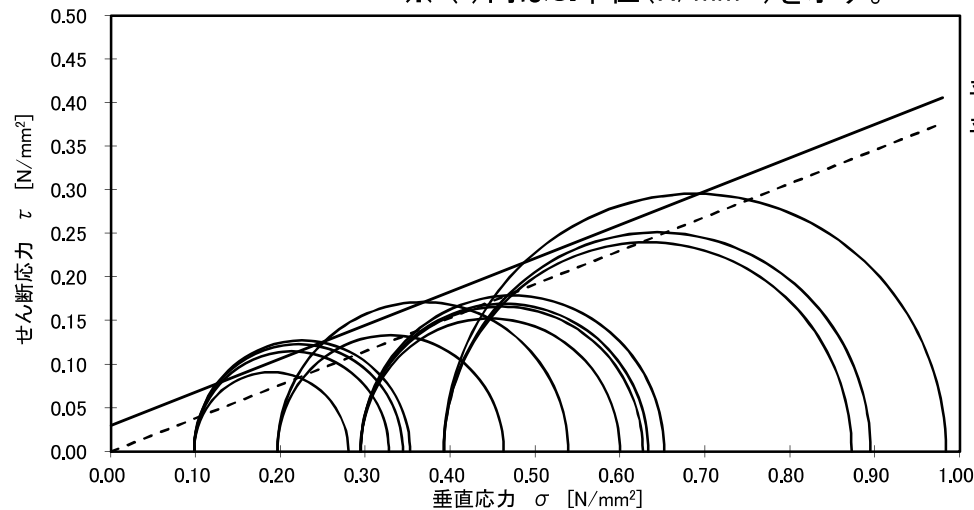
- ・埋戻土(購入土)の設定した平均強度は、三軸圧縮試験の試験結果を用いて設定した。
- ・平均強度から1 σ の低減を行い、ばらつきを考慮した強度を設定した結果、平均強度と同等となった。

旧表土(ピーク強度)

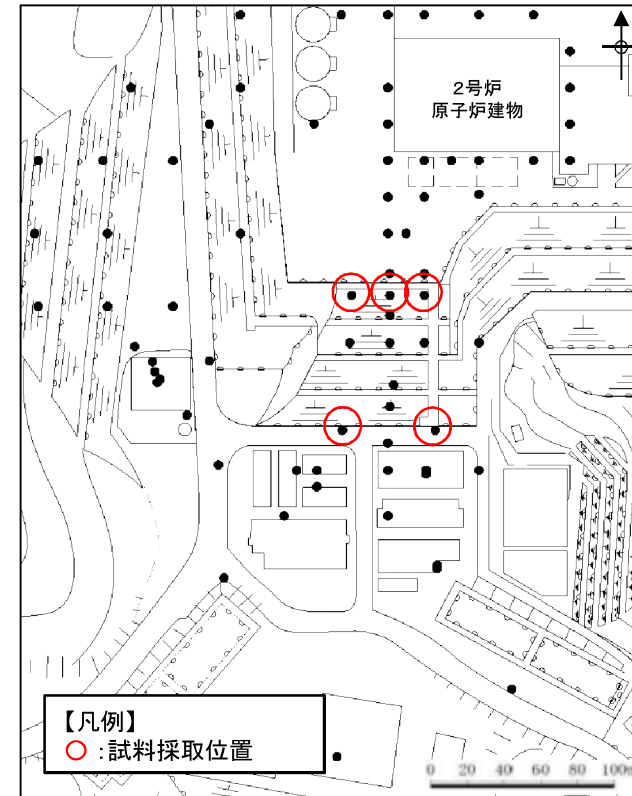
・三軸圧縮試験(旧表土)

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。



三軸圧縮試験結果



旧表土の試料採取位置図(ボーリング位置図)

- ・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1σの低減を行い、ばらつきを考慮した強度を設定した。

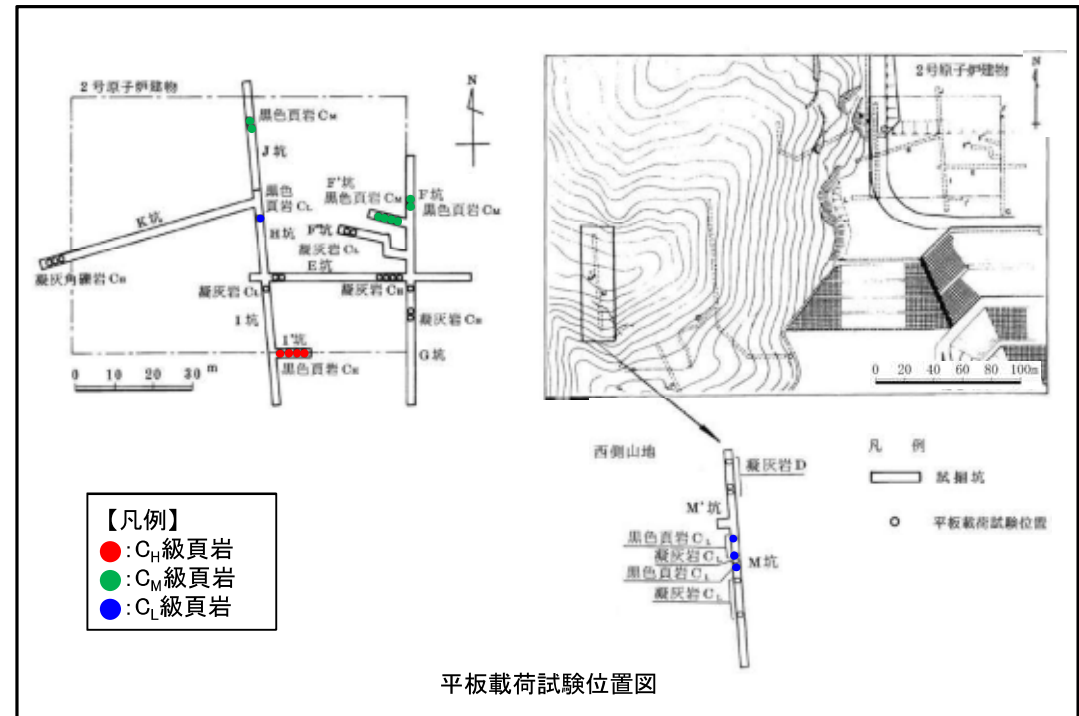
2. 解析用物性値の設定方法

2.3 静的変形特性

頁岩(静弾性係数)

・平板載荷試験結果

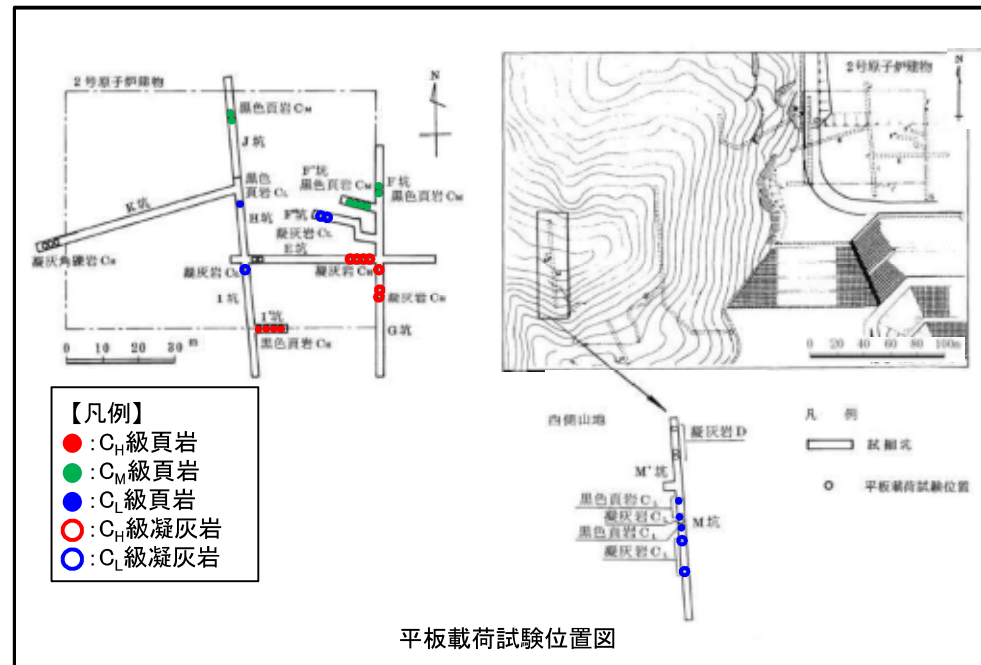
岩級	岩種	割線弾性係数 E_s ($\times 10^3\text{N/mm}^2$)	設定した 静弾性係数 E ($\times 10^3\text{N/mm}^2$)
C _H 級	頁岩	3.74	3.74
C _M 級		1.95	1.95
C _L 級		0.54	0.54



・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。

・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	

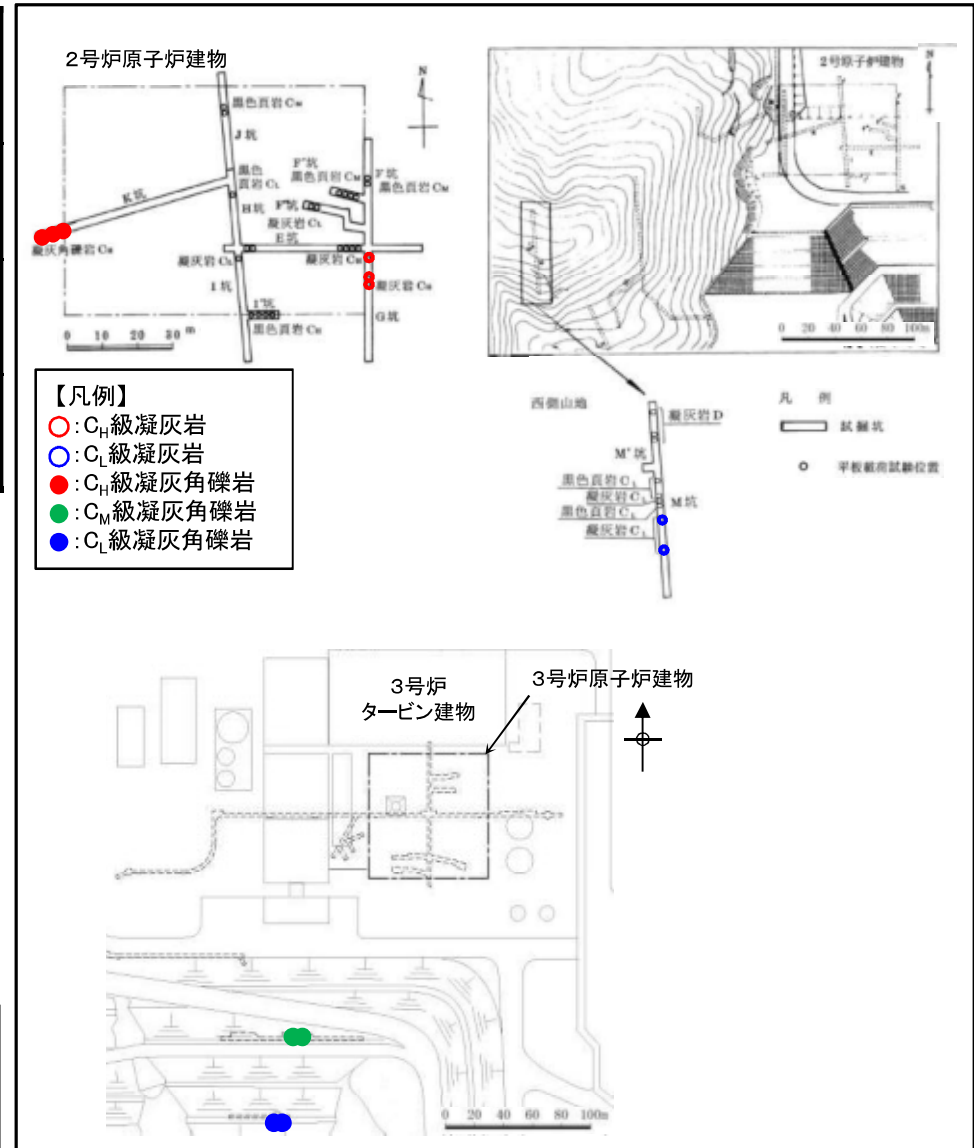


・頁岩及び凝灰岩を対象とした平板載荷試験の結果において、頁岩と凝灰岩の試験値の小方を採用し、静弾性係数に設定した。

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	



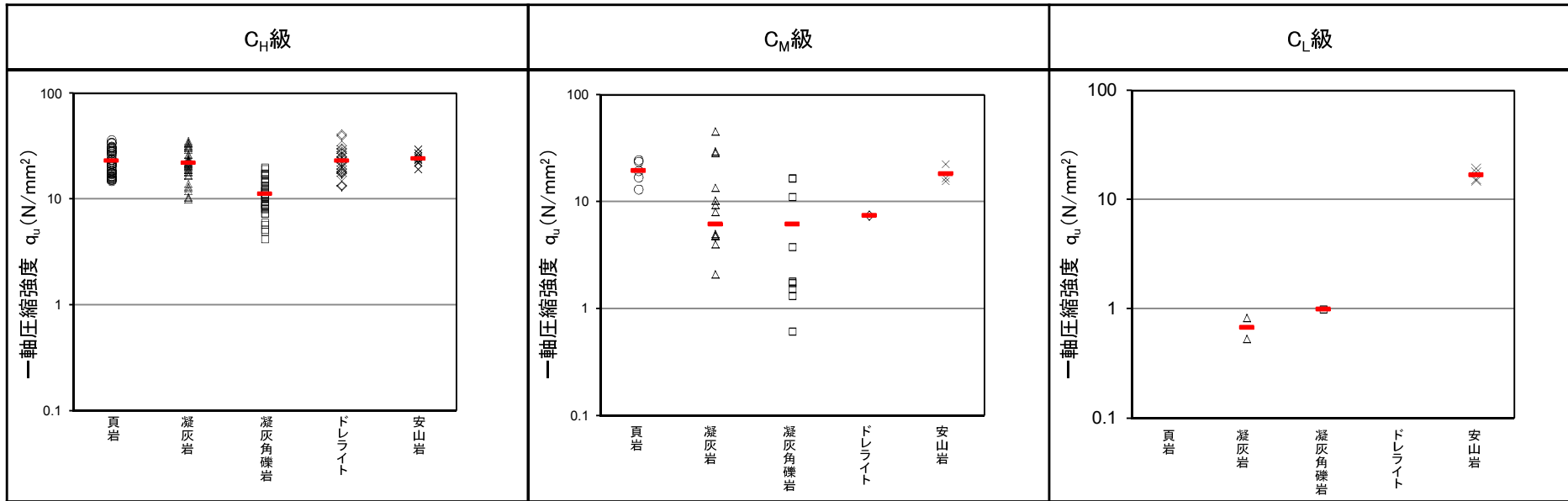
・凝灰岩及び凝灰角礫岩を対象とした平板載荷試験の結果において、凝灰岩と凝灰角礫岩の試験値の小方を採用し、静弾性係数に設定した。

平板載荷試験位置図

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 ← 流用	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。

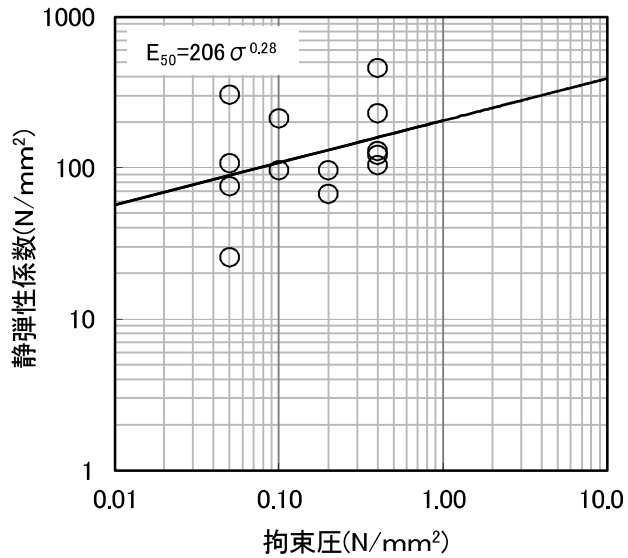
岩盤(静ポアソン比)

- ・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。

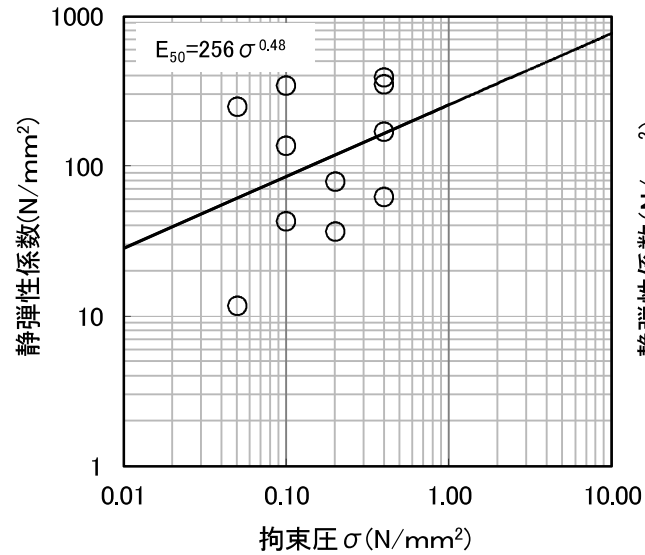
岩種・岩級		静ポアソン比 (ν)	備考
頁岩	C _H 級	0.19	一軸圧縮試験結果
	C _M 級	0.20	一軸圧縮試験結果
	C _L 級	0.20	一軸圧縮試験結果がC _M 級<C _L 級となるため、C _M 級と同じ値にした
頁岩と凝灰岩の互層	C _H 級	0.19	頁岩の一軸圧縮試験結果を用いた
	C _M 級	0.20	頁岩の一軸圧縮試験結果を用いた
	C _L 級	0.20	一軸圧縮試験結果がC _M 級<C _L 級となるため、C _M 級と同じ値にした
凝灰岩・凝灰角礫岩	C _H 級	0.19	凝灰角礫岩の一軸圧縮試験結果を用いた
	C _M 級	0.20	凝灰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

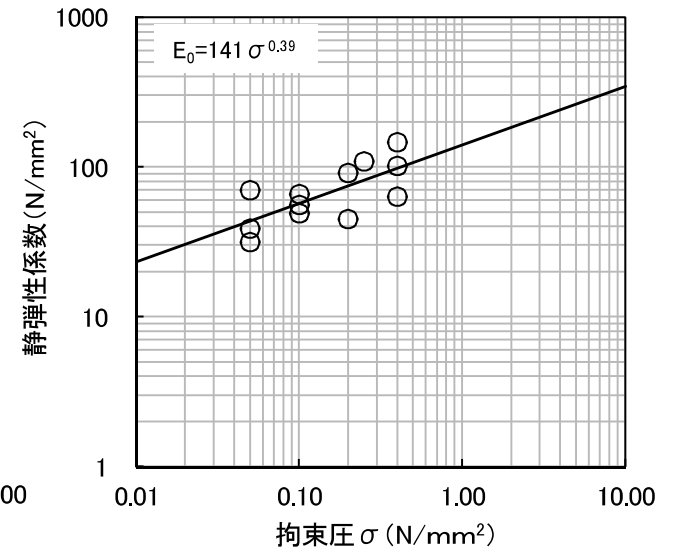
D級岩盤



三軸圧縮試験結果
(頁岩, 頁岩・凝灰岩の互層)



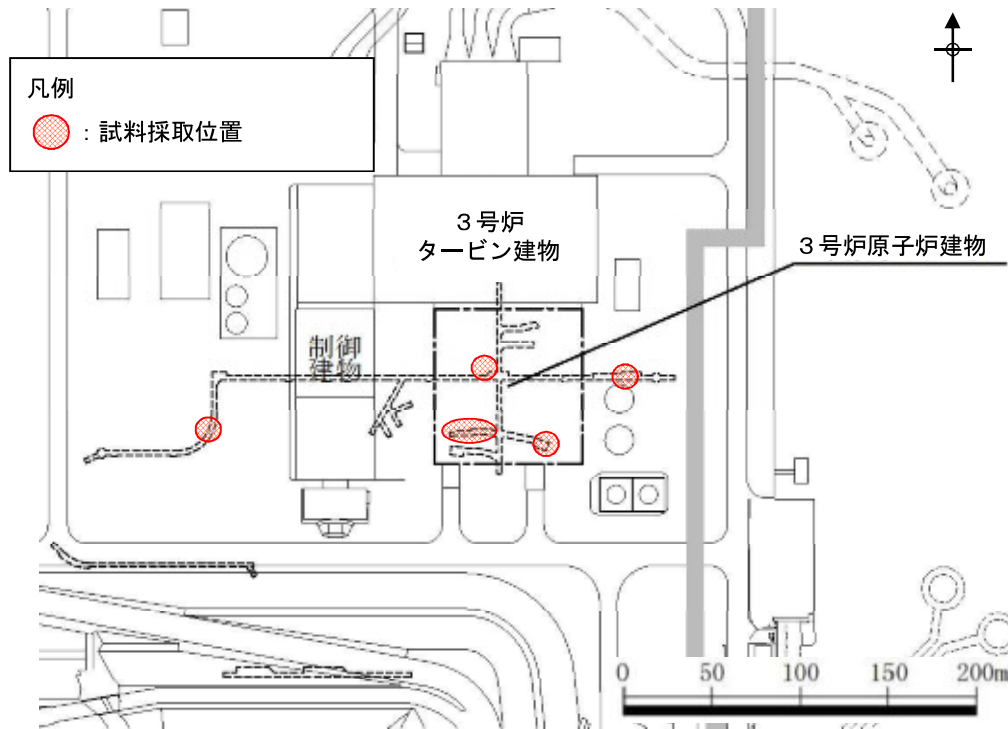
三軸圧縮試験結果
(ドレライト, 安山岩)



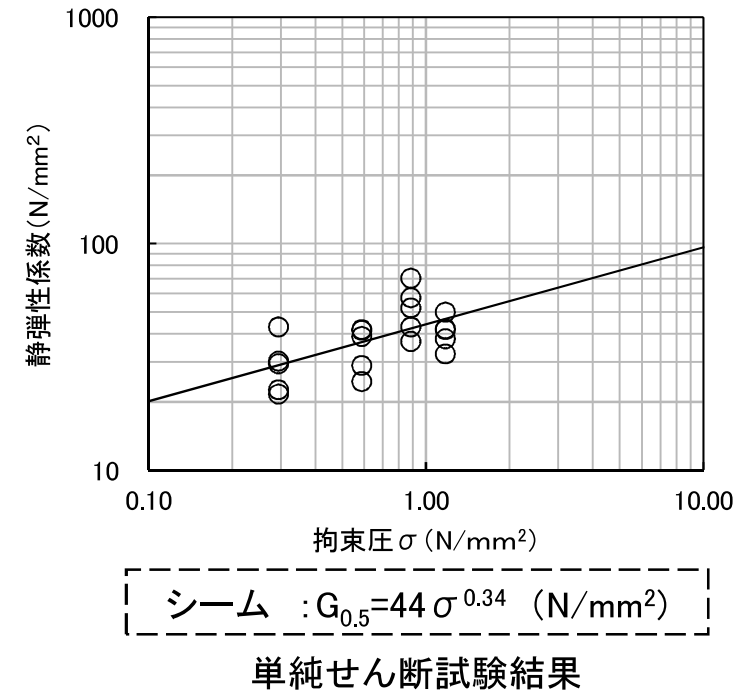
三軸圧縮試験結果
(凝灰岩・凝灰角礫岩)

- ・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

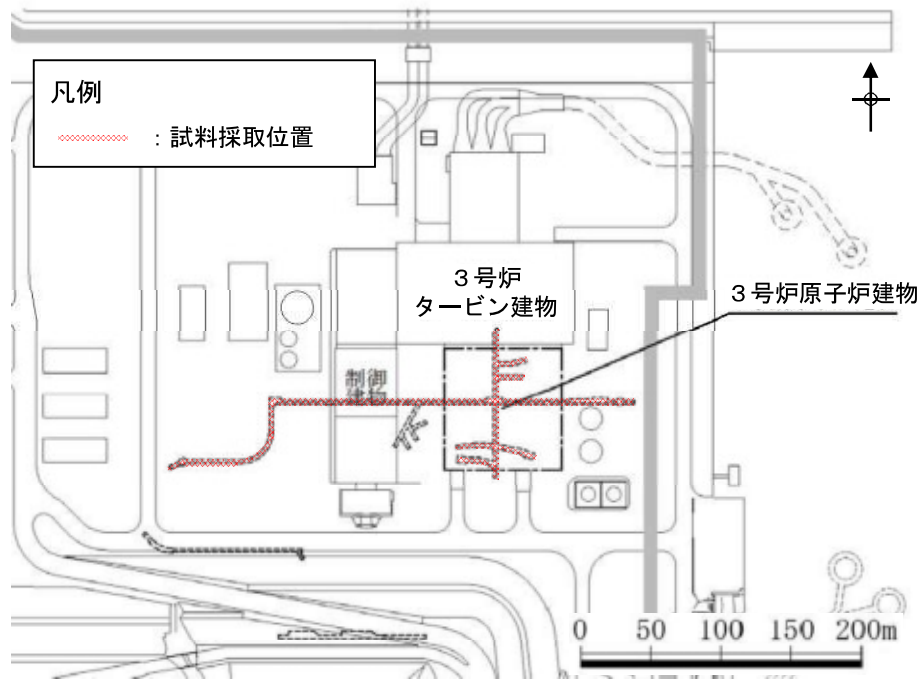


シームの試料採取位置図

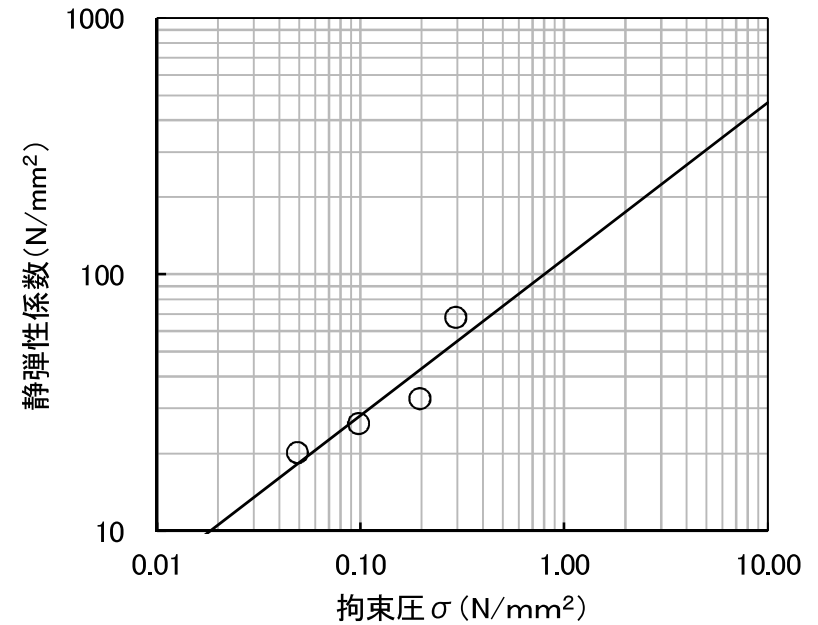


- ・シームを対象とした単純せん断試験の結果より、静弾性係数を設定した。
- ・静ポアソン比は慣用値(=0.40)で設定した。

埋戻土, 盛土



埋戻土の試料採取位置図

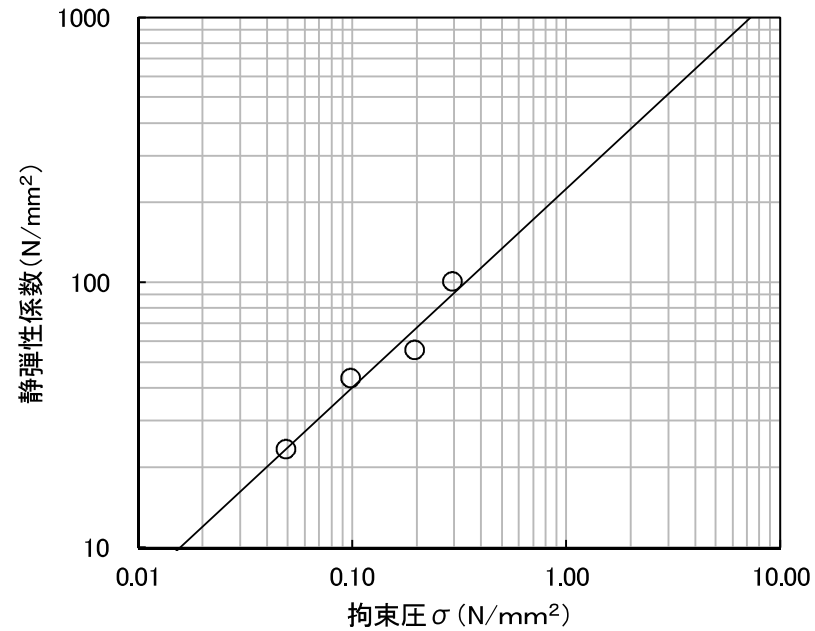


埋戻土 : $E_{0.5} = 115 \sigma^{0.61}$ (N/mm²)

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)

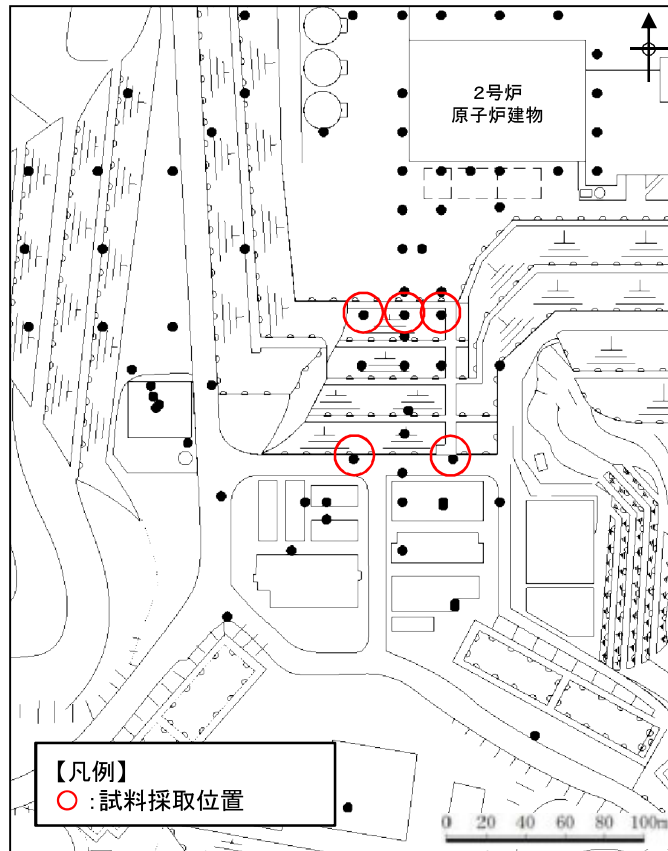


埋戻土(購入土) : $E_{0.5} = 227 \sigma^{0.75}$ (N/mm²)

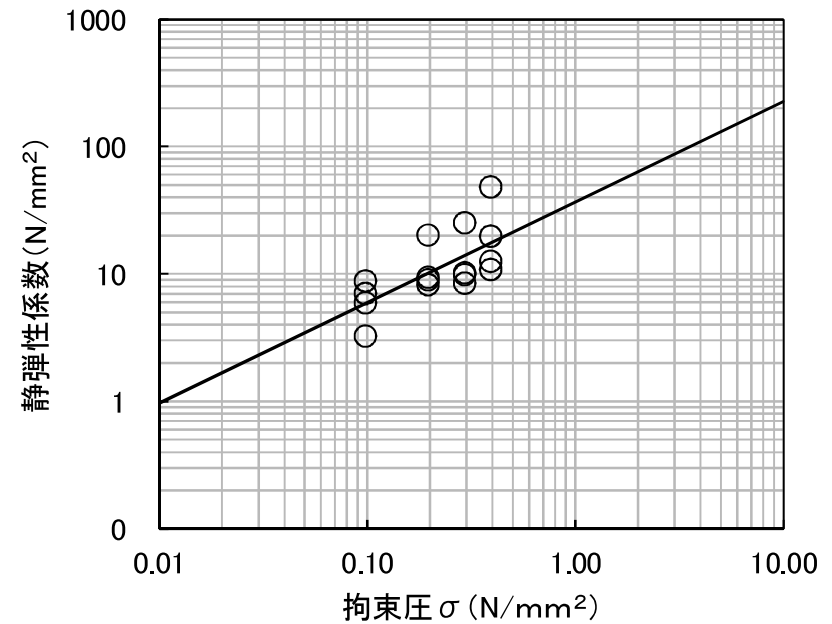
三軸圧縮試験結果

- ・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



旧表土の試料採取位置図



旧表土 : $E_{0.5} = 37 \sigma^{0.79} \text{ (N/mm}^2\text{)}$

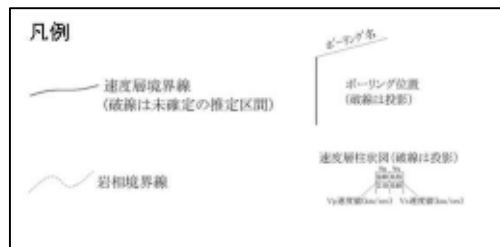
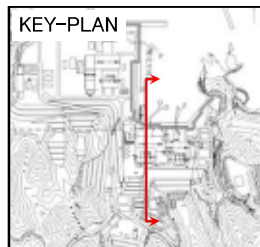
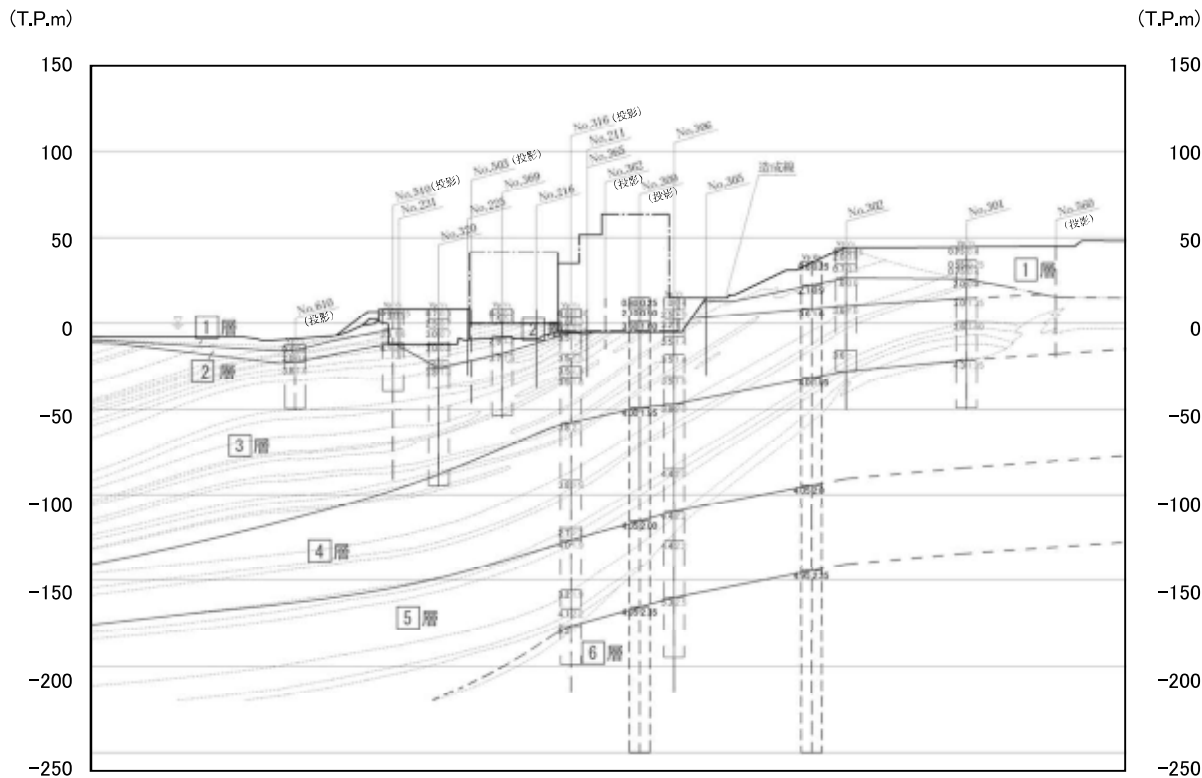
三軸圧縮試験結果

- ・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

岩盤(成相寺層)C_H級・C_M級・C_L級



■ 動せん断弾性係数
 $G_d = (\gamma/g) \cdot V_s^2$

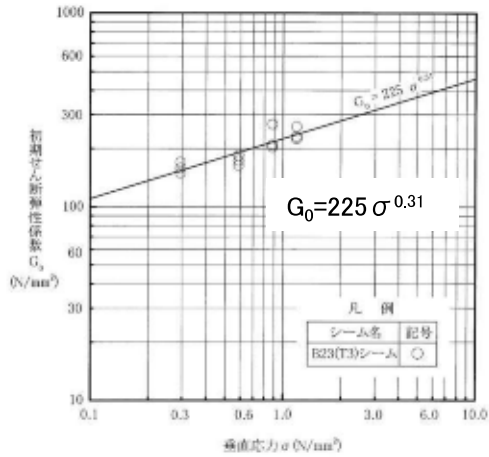
- γ : 単位体積重量
- g : 重力加速度
- V_s : S波速度

■ 動ポアソン比
 $\nu_d = 1/2 \times \{(V_p/V_s)^2 - 2\} / \{(V_p/V_s)^2 - 1\}$

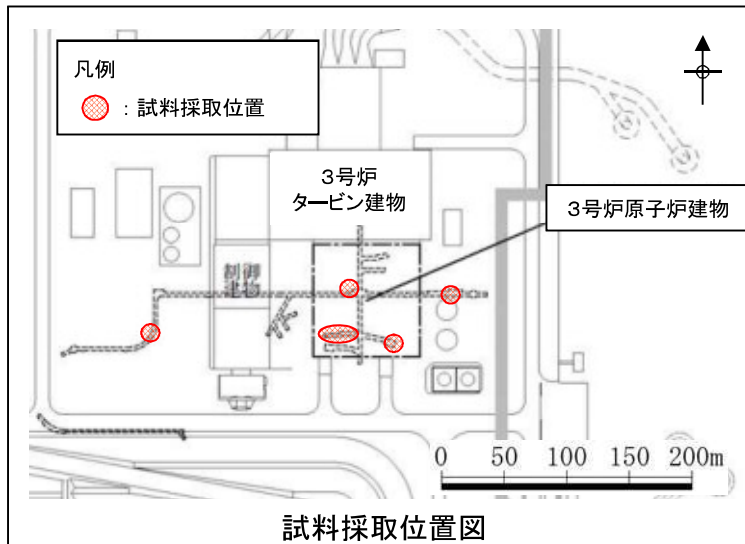
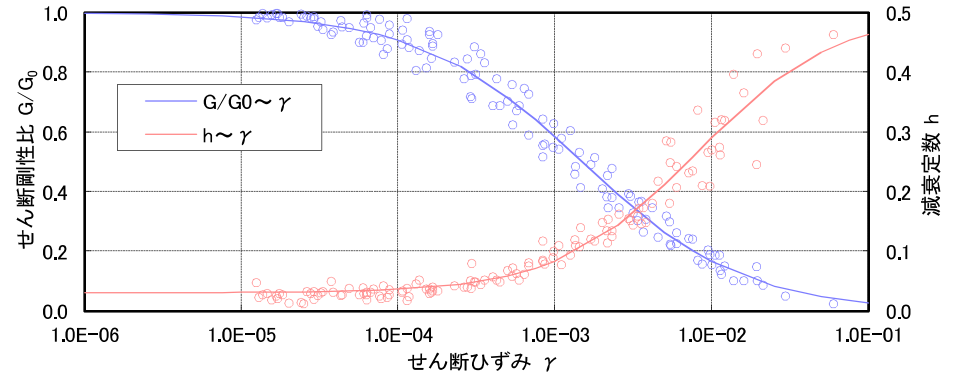
V_p : P波速度

・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。

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

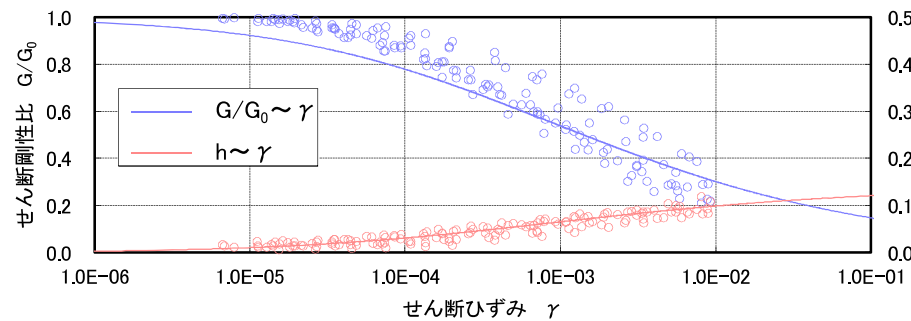
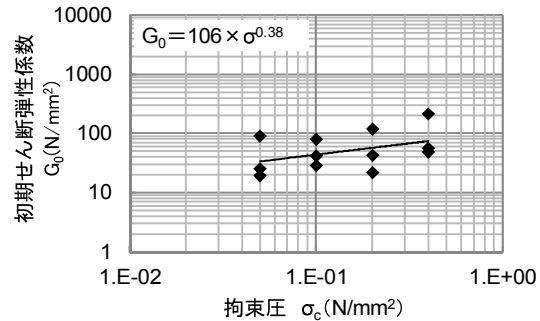
初期せん断弾性係数 G_0 (N/mm ²)	$225 \sigma^{0.31}$
せん断剛性比 G/G_0	$1/[1+(\gamma/0.00149)^{0.849}]$
減衰定数 h	$\gamma/(2.14 \gamma + 0.017) + 0.031$

- ・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。

D級岩盤

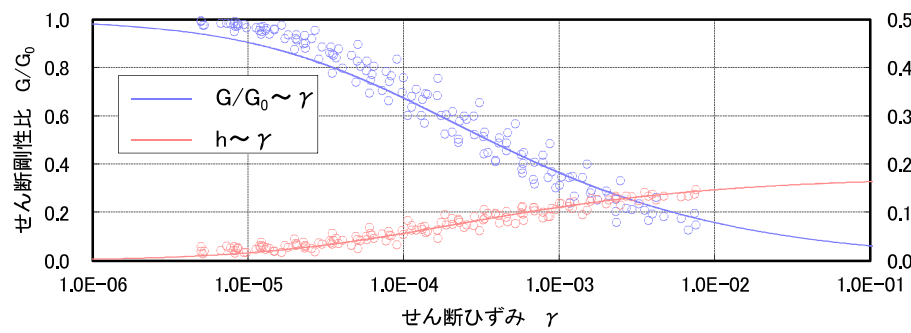
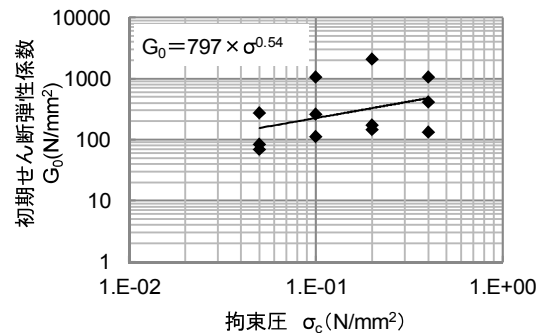
・ D級岩盤のひずみ依存特性については、平成21年及び平成29年に実施した動的変形試験の試験結果より設定した。
 ・ 動ポアソン比は慣用値(=0.45)で設定した。

【頁岩, 頁岩・凝灰岩の互層】



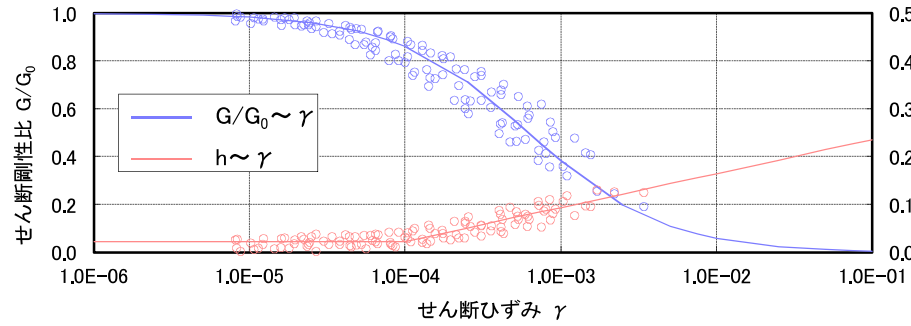
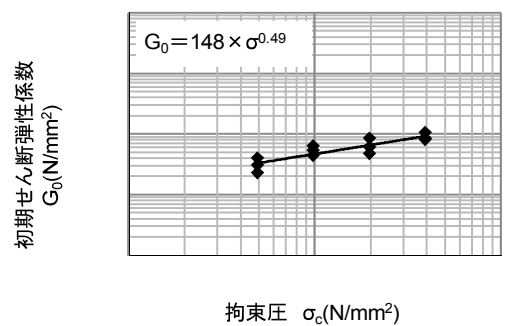
$G/G_0 = 1 / (1 + (2 \times (\gamma / 0.0014) \times (G/G_0)^{0.574}))$
 $h = 0.142 \times (1 - (G/G_0))$

【ドレライト, 安山岩】



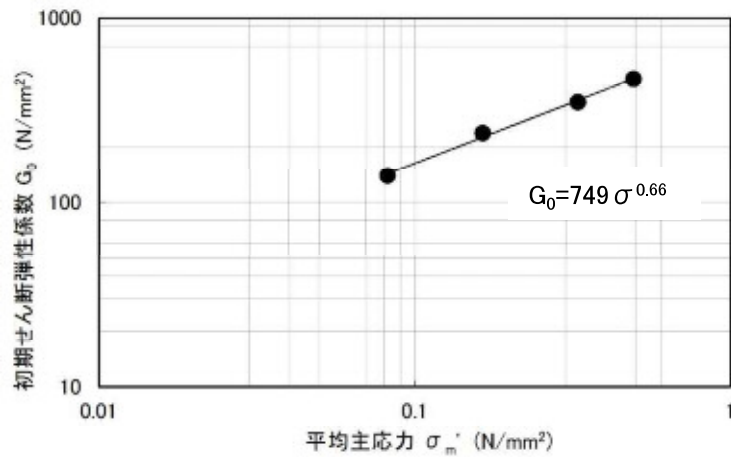
$G/G_0 = 1 / (1 + (2 \times (\gamma / 0.00035) \times (G/G_0)^{0.758}))$
 $h = 0.175 \times (1 - (G/G_0))$

【凝灰岩・凝灰角礫岩】

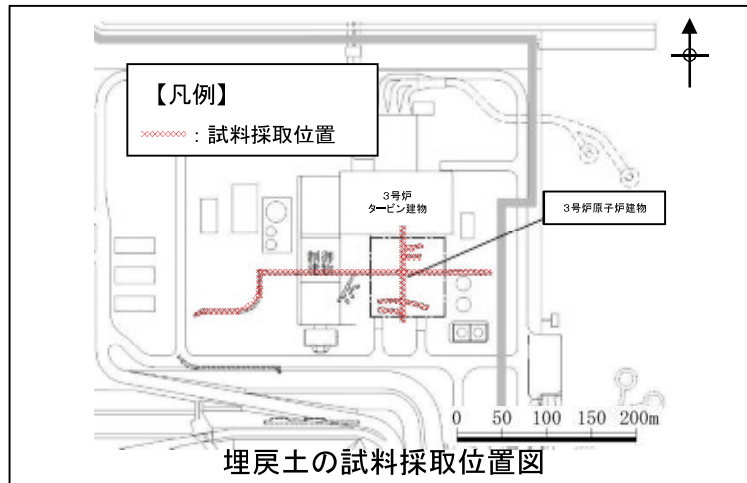
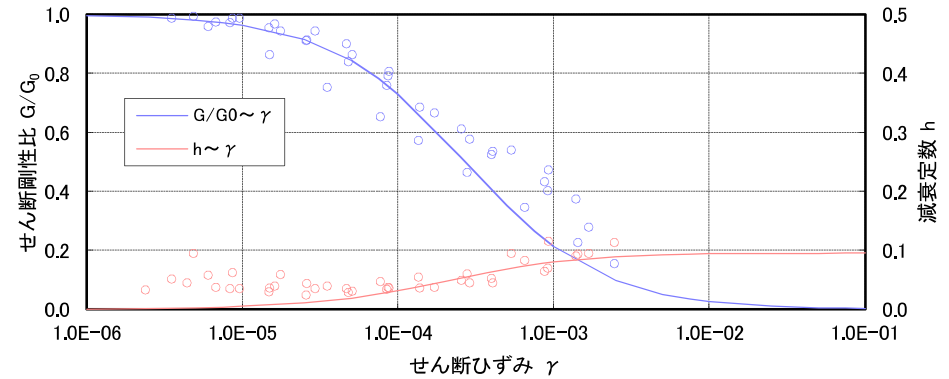


$G/G_0 = 1 / (1 + (\gamma / 0.00062))$
 $h = 0.023 \quad (\gamma \leq 1 \times 10^{-4})$
 $h = 0.023 + 0.071 \times \log(\gamma / 0.0001) \quad (\gamma > 1 \times 10^{-4})$

埋戻土, 盛土



動的変形特性 (初期せん断弾性係数)

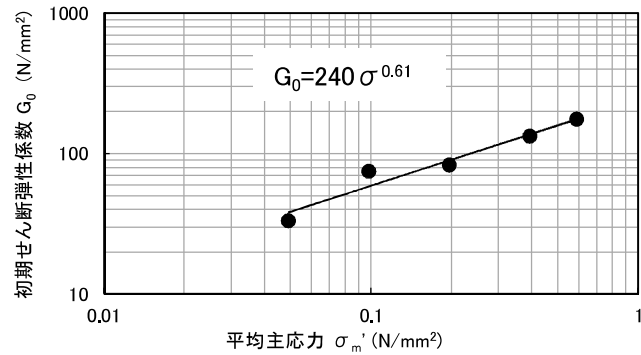


埋戻土の試料採取位置図

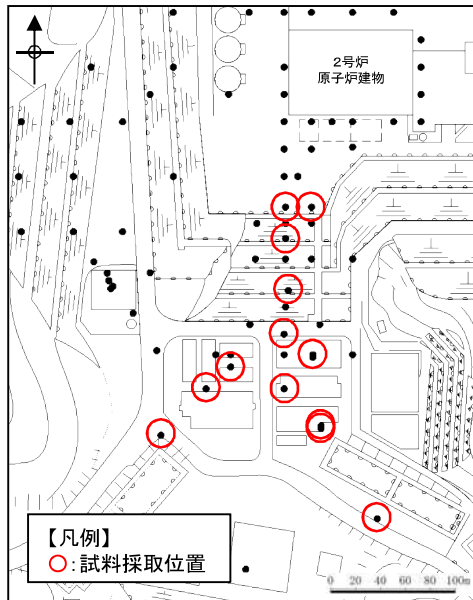
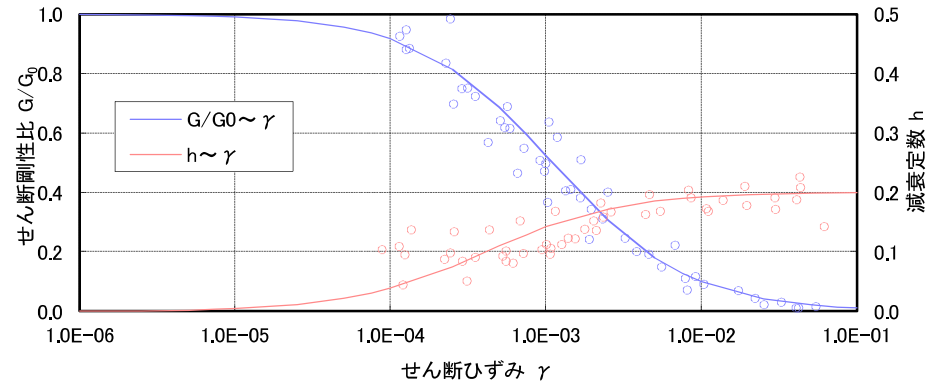
初期せん断弾性係数 G_0 (N/mm ²)	$749 \sigma^{0.66}$
せん断剛性比 G/G_0	$1/(1 + \gamma/0.00027)$
減衰定数 h	$0.0958 \gamma / (\gamma + 0.00020)$

- ・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。

旧表土



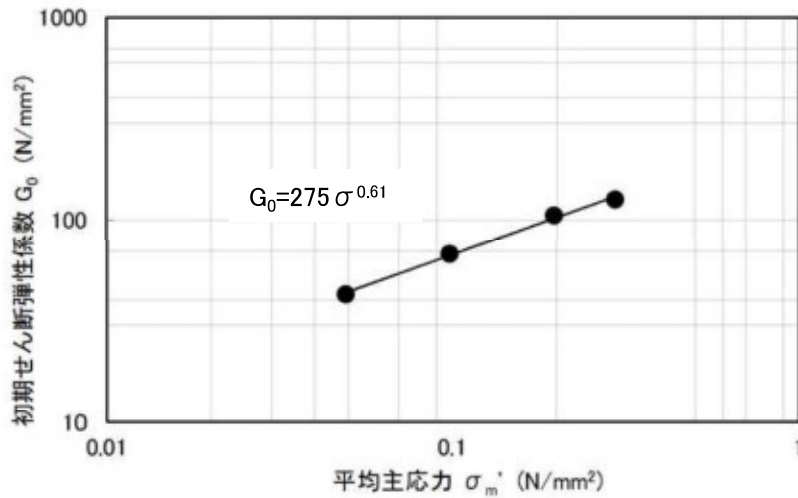
動的変形特性（初期せん断弾性係数）



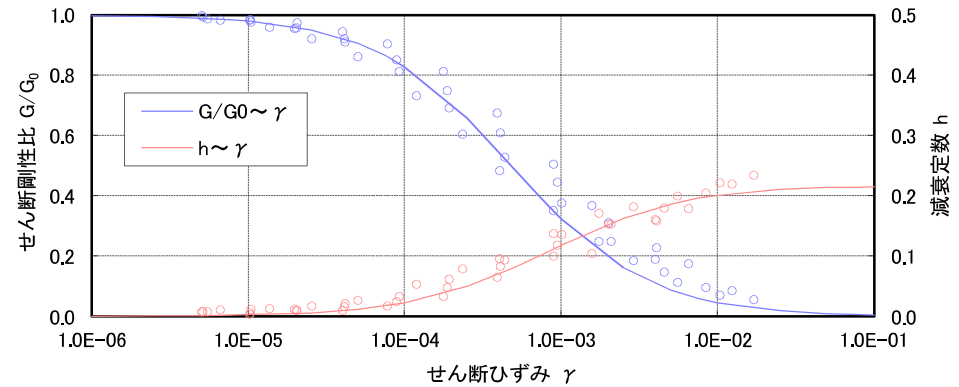
旧表土の試料採取位置図

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。



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

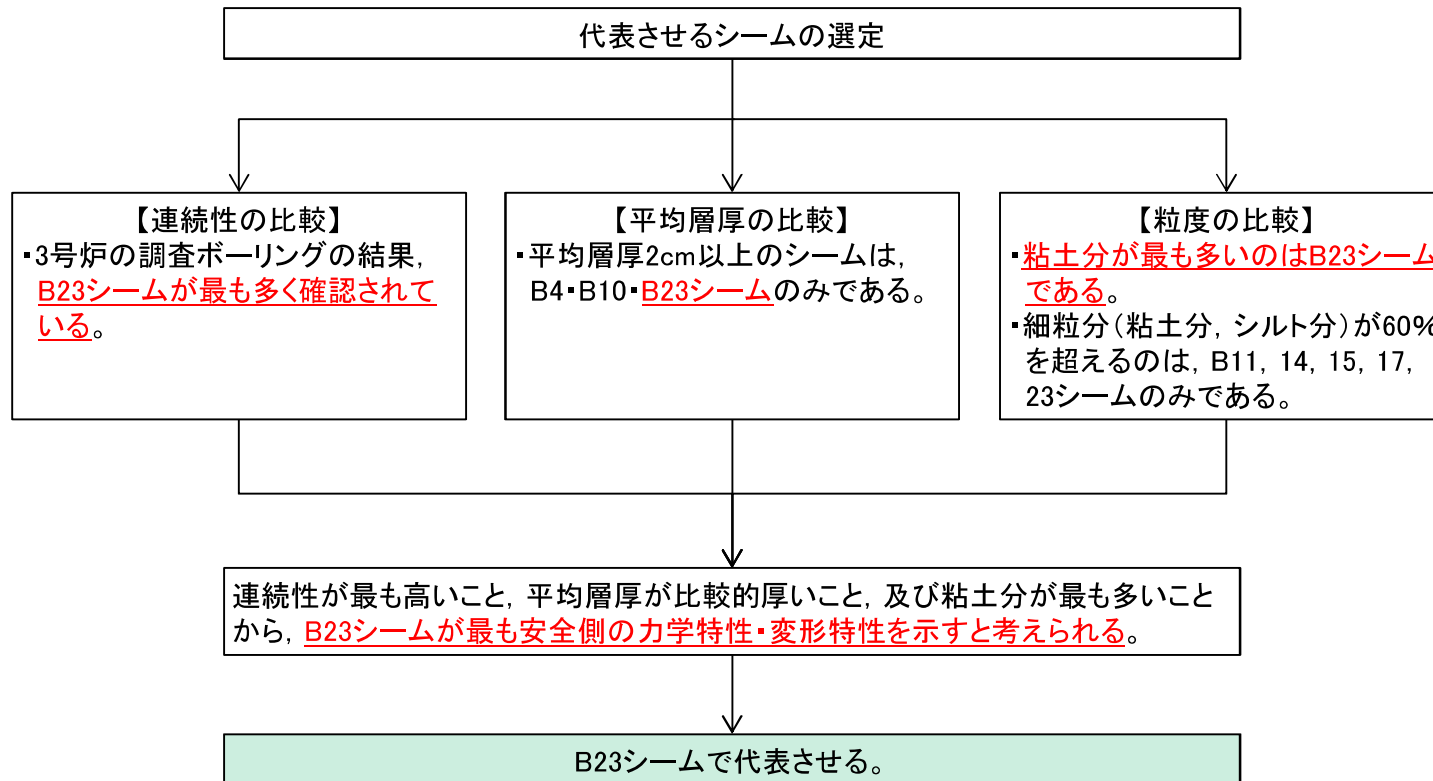
2. 解析用物性値の設定方法

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。

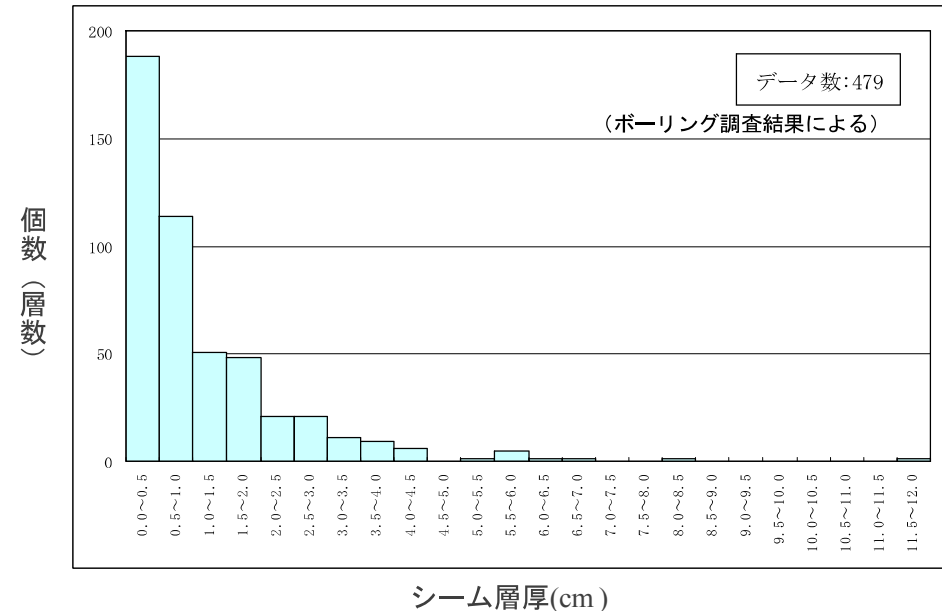
2. 解析用物性値の設定方法 2.5 シームの代表性 シームの性状(層厚)

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
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。

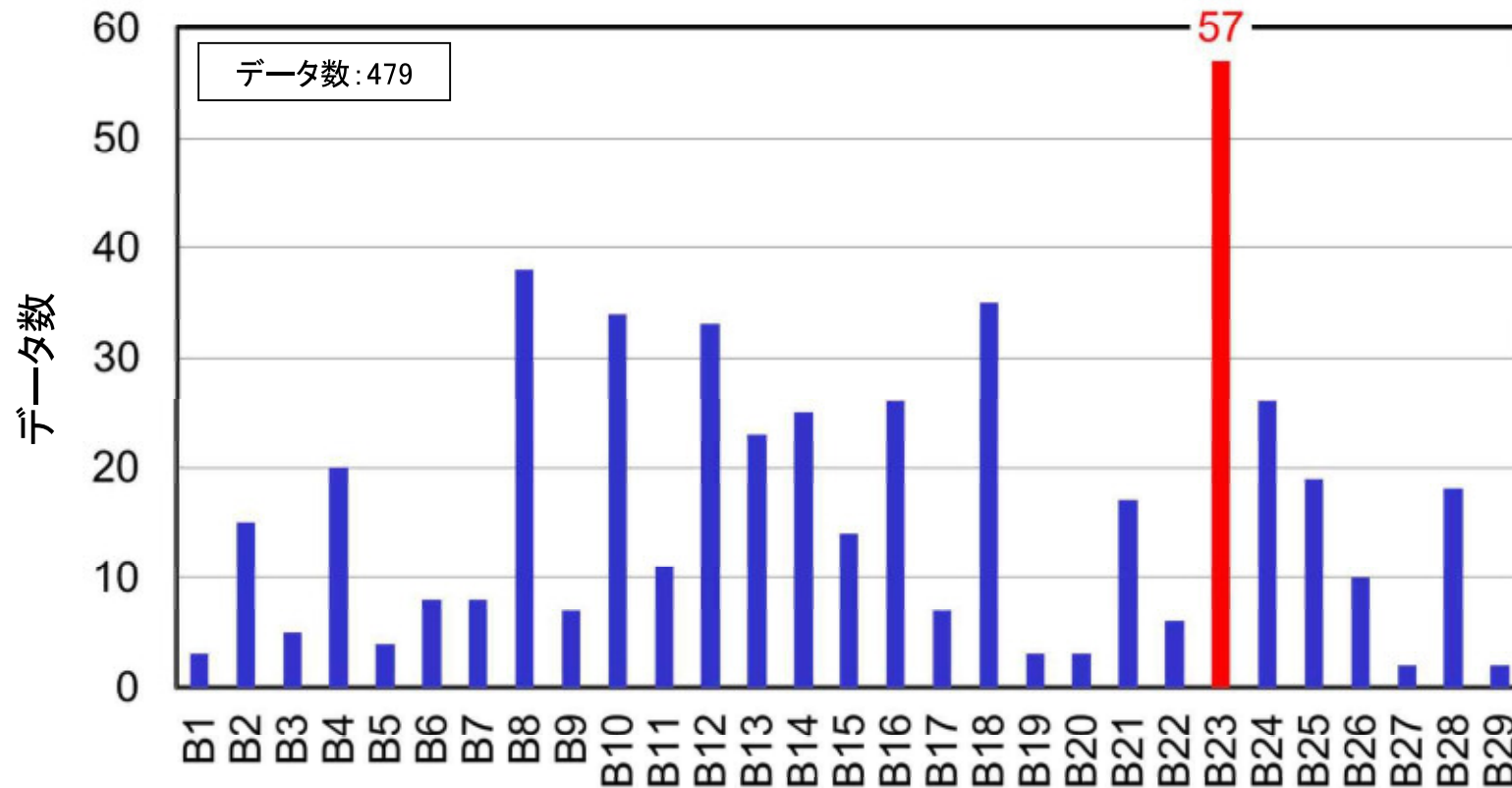
*2: シーム含有層準の炉心部での出現深度を記載したものであり、炉心部におけるシームの有無を示したのではない。



シーム層厚と個数(層数)の関係

- 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。

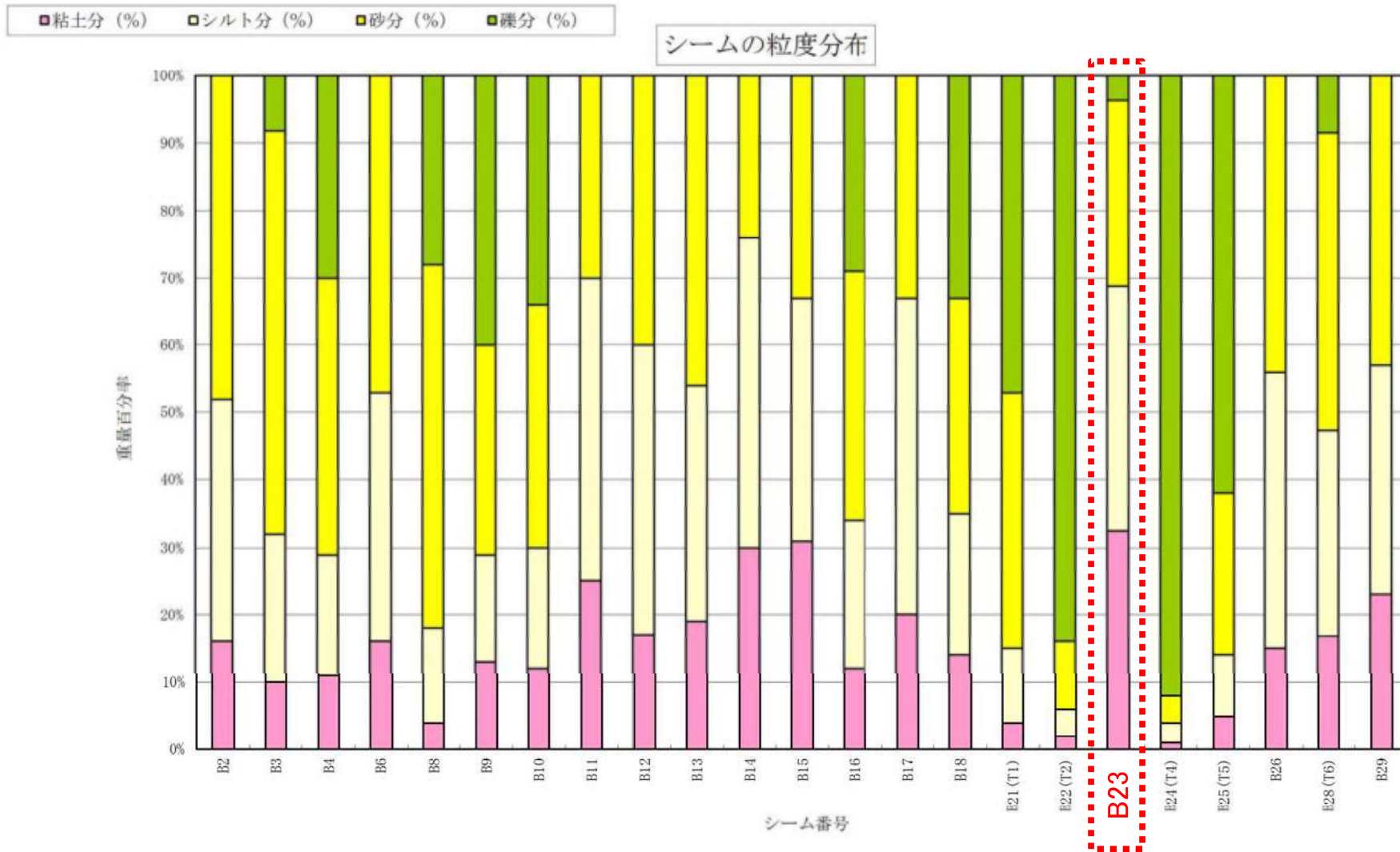
シームの性状(代表性に関する検討)



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)

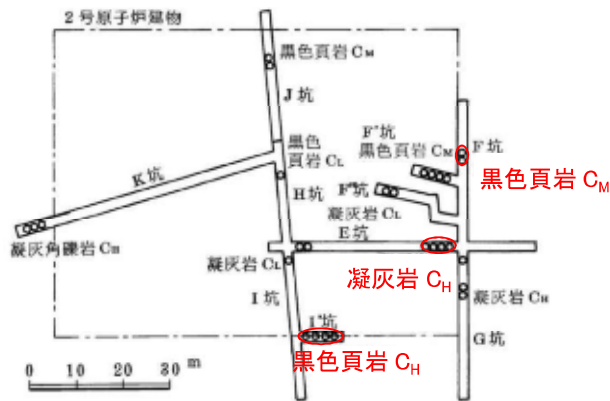


・3号炉のボーリング調査によるシームから試料を採取し、粒度試験を実施した結果、B23シームは粘土分が最も多い。

2. 解析用物性値の設定方法

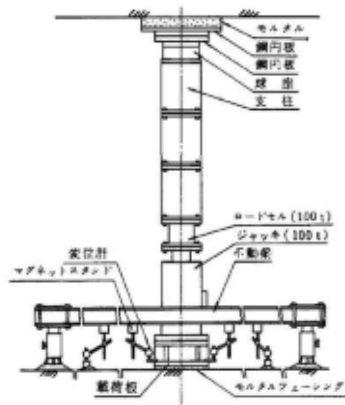
2.6 地盤の支持力

C_H 級, C_M 級岩盤

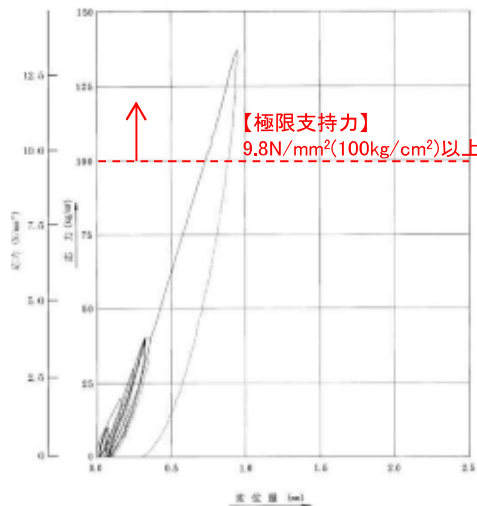


● : 試験位置

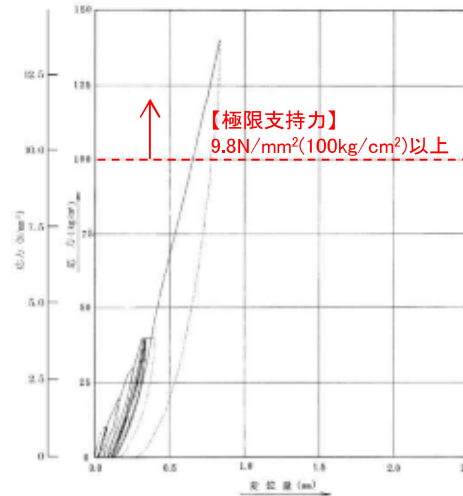
平板載荷試験位置図(2号試掘坑平面図)



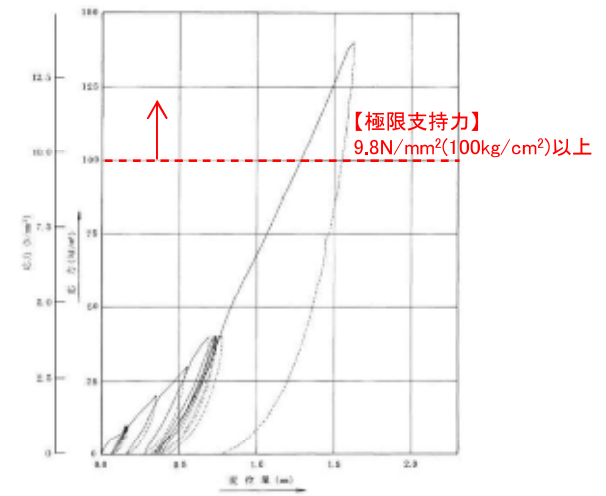
平板載荷試験装置



(a) 凝灰岩 (C_H 級)



(b) 黒色頁岩 (C_H 級)



(c) 黒色頁岩 (C_M 級)

平板載荷試験結果

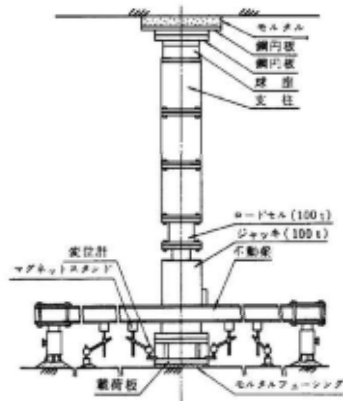
・2号試掘坑内で実施した C_H 級及び C_M 級岩盤を対象とした平板載荷試験の結果, 極限支持力は9.8 N/mm²以上と評価した。

C_L級岩盤

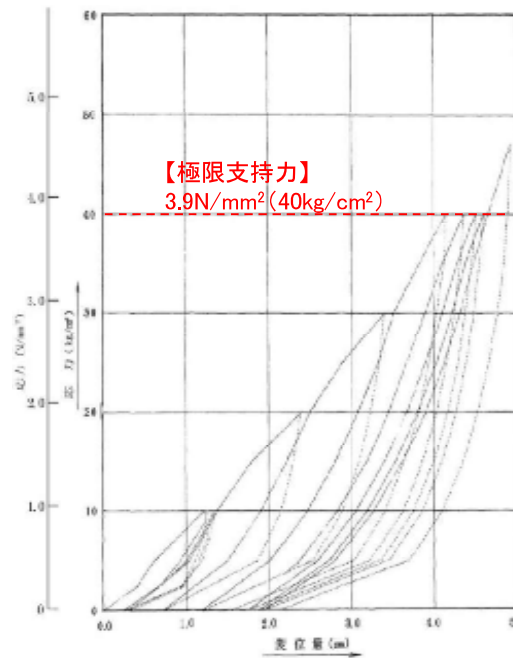


●: 試験位置

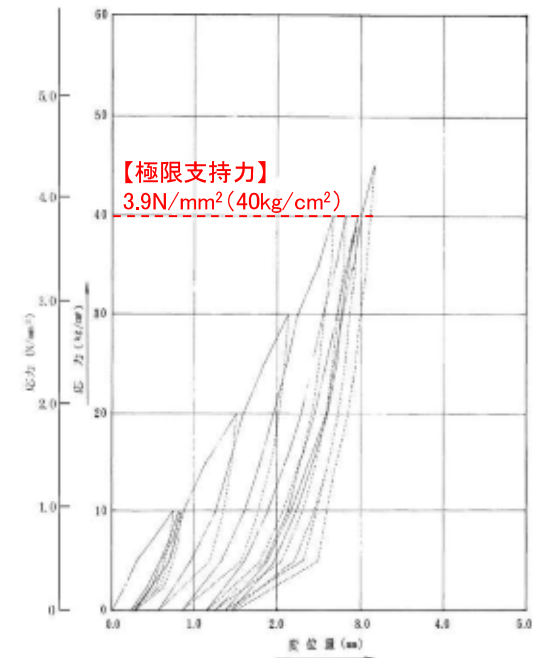
平板載荷試験位置図(2号試掘坑平面図)



平板載荷試験装置



(a) 凝灰岩



(b) 黑色頁岩

平板載荷試験結果(C_L級岩盤)

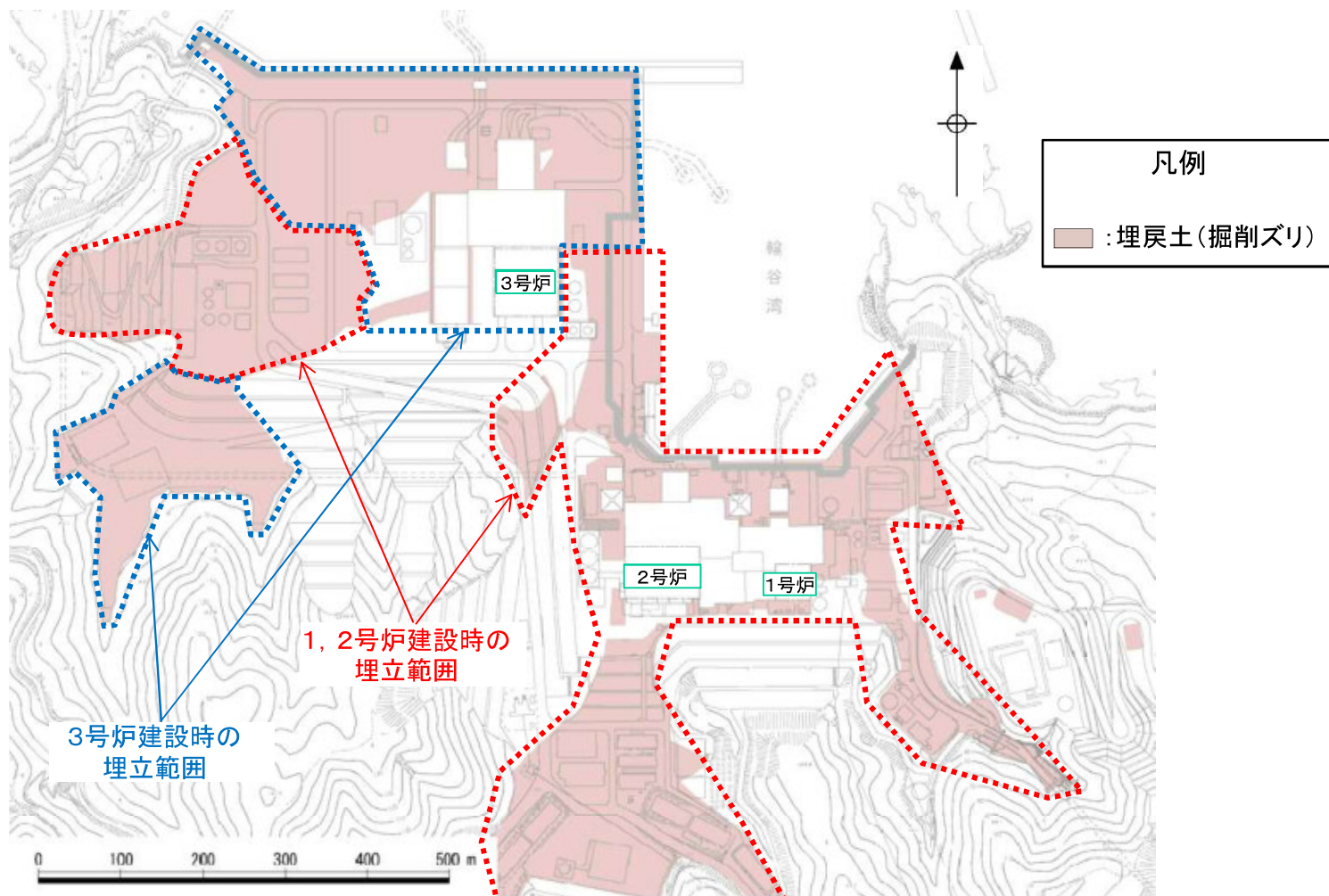
・2号試掘坑内で実施したC_L級岩盤を対象とした平板載荷試験の結果, 極限支持力は3.9 N/mm²と評価した。

2. 解析用物性値の設定方法

2.7 埋戻土(掘削ズリ)の物性

敷地における埋戻土(掘削ズリ)の分布

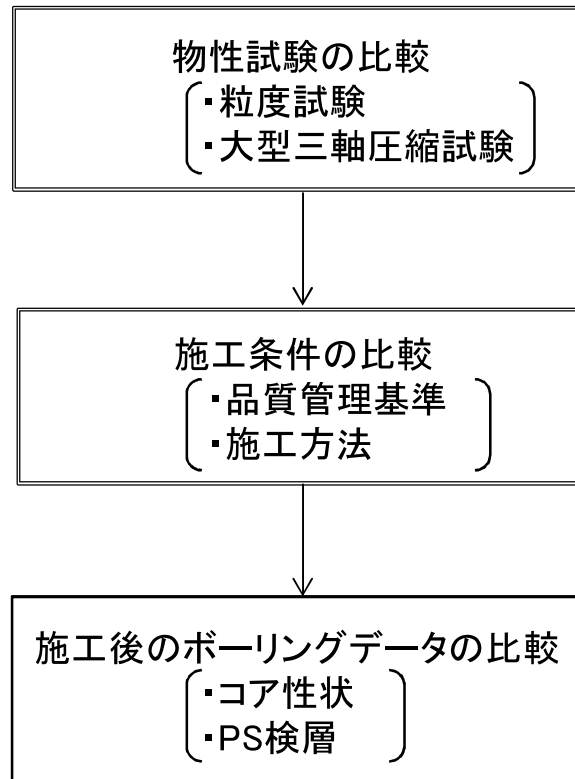
- ・敷地に分布する埋戻土(掘削ズリ)は、1, 2号炉建設時に埋立てた範囲と3号炉建設時に埋立てた範囲に分けられる。
- ・埋戻土(掘削ズリ)は、それぞれの号機の建設時に実施した物性試験結果に基づき設計, 施工されているが, 基礎地盤の安定性評価に当たっては, 3号炉建設時の試験結果に基づき解析用物性値を設定している。
- ・以降で, 1, 2号炉エリアと3号炉エリアの埋戻土(掘削ズリ)について, 比較検討を行った。



埋戻土(掘削ズリ)分布図

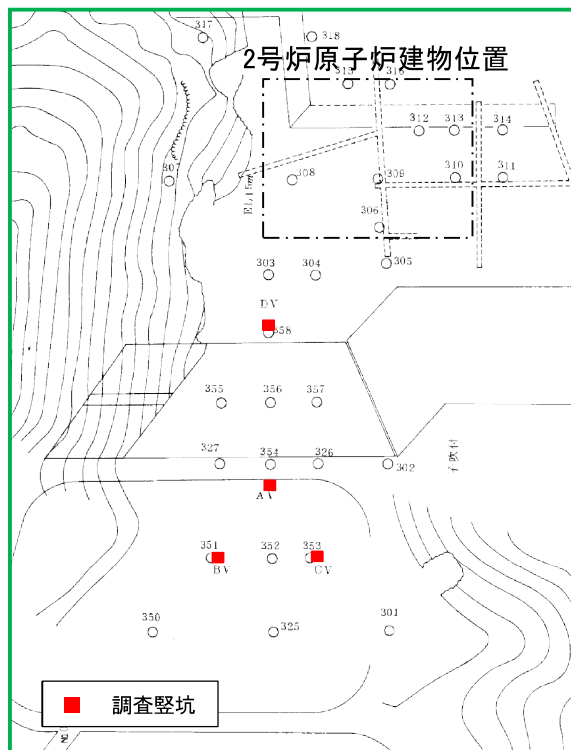
検討フロー

・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。

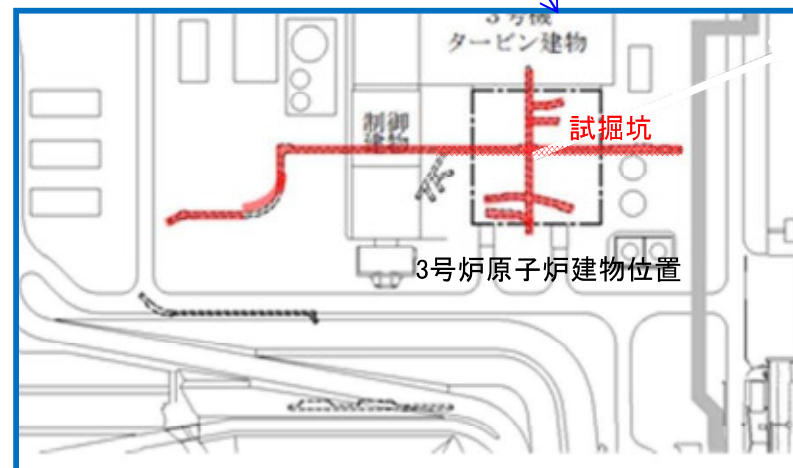
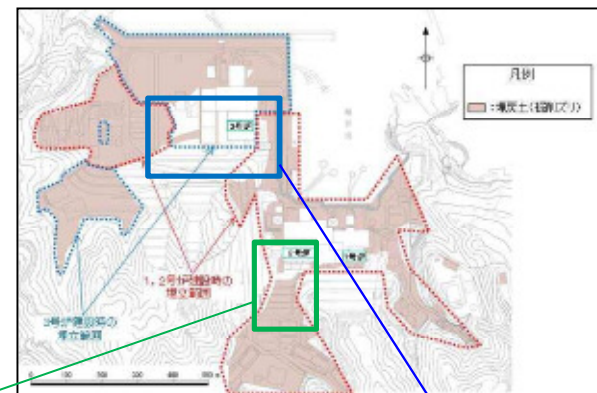


2.解析用物性値の設定方法 2.7 埋戻土(掘削ズリ)の物性 物性試験の比較(試料採取位置)

- 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)

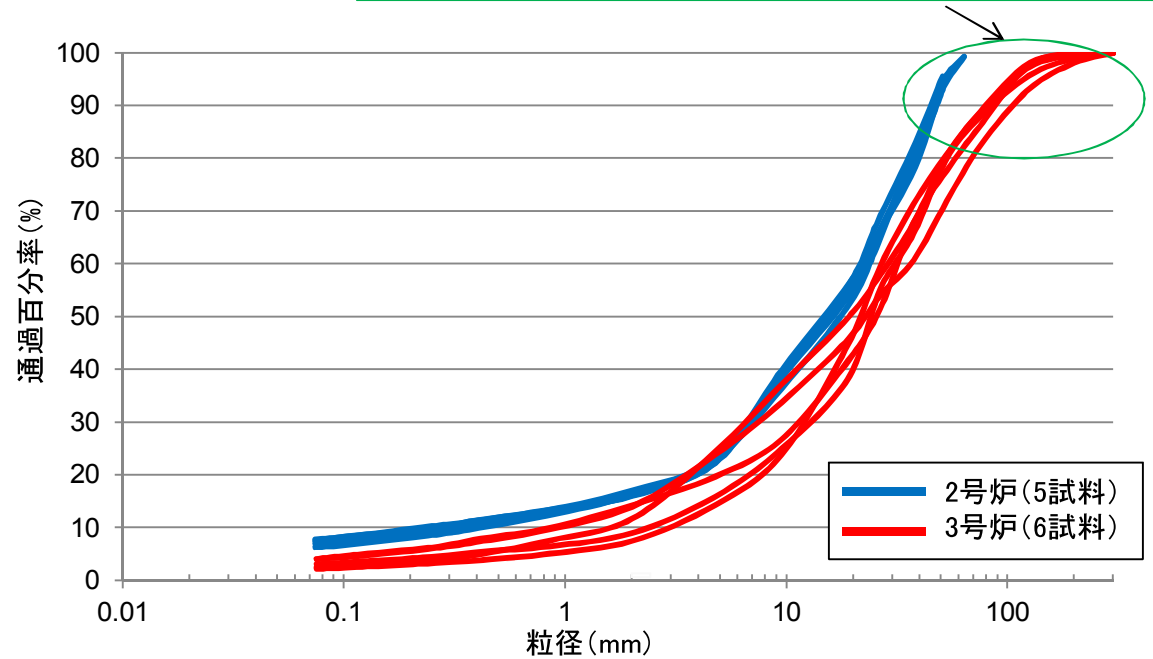


試料採取位置(3号)

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。

試験に用いたふるいの最大粒径の違いのため, 差が生じている。
(2号炉:最大粒径63.5mm, 3号炉:最大粒径300mm)



【土粒子の粒度試験結果】

物性試験の比較(大型三軸圧縮試験)

・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た。その結果に基づき、乾燥密度(1.91g/cm³)に対応するせん断強度を設計せん断強度とした。施工時には、試験値に保守性を考慮し、乾燥密度1.95g/cm³以上として品質管理を行っている。(次頁参照)

なお、大型三軸圧縮試験の仕様は、学会基準に準拠したものではない。

・3号炉の埋戻土(掘削ズリ)の物性試験として、3号炉建設時に、2号建設時の品質管理基準(乾燥密度 1.95g/cm³)を踏まえて締め固めた供試体を用い、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た。

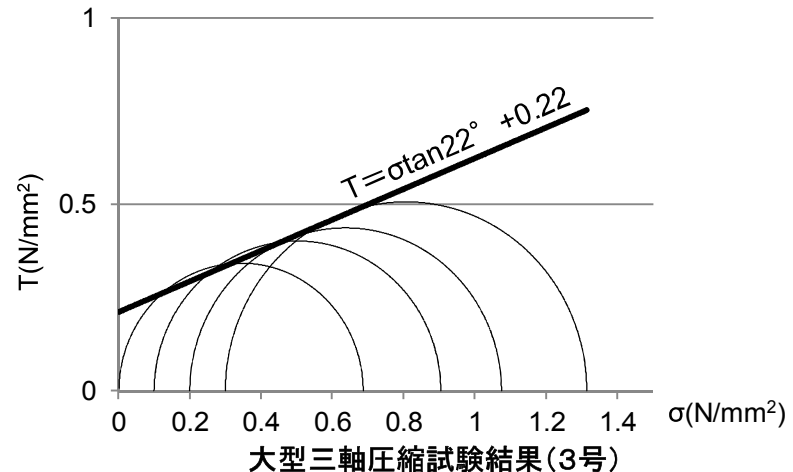
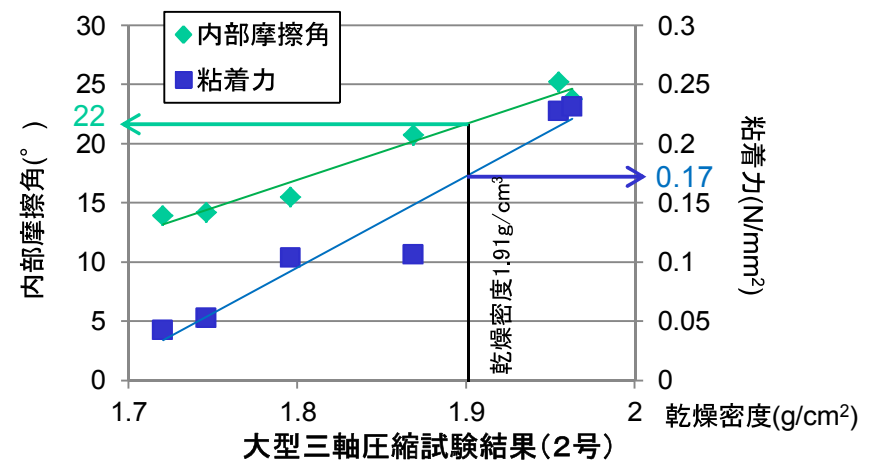
・2号炉建設時と3号炉建設時の設計せん断強度を比較した結果、2号炉建設時の粘着力がわずかに小さいが、概ね同等の設定としている。

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

設計せん断強度の比較

	2号炉	3号炉
内部摩擦角(°)	22	22
粘着力(N/mm ²)	0.17	0.22



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。

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

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。

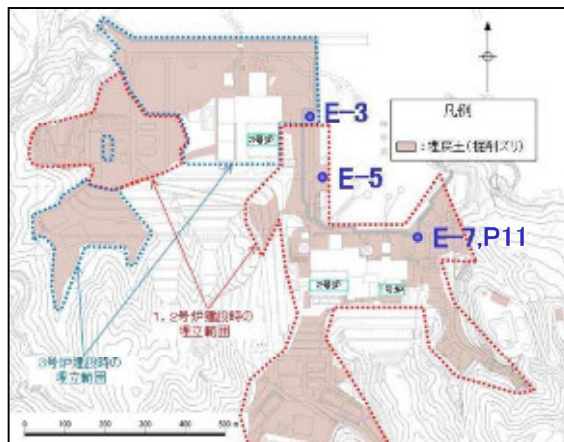
1, 2号炉建設時の埋戻土
ボーリングNo. E-5 1.5m~16.1m



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



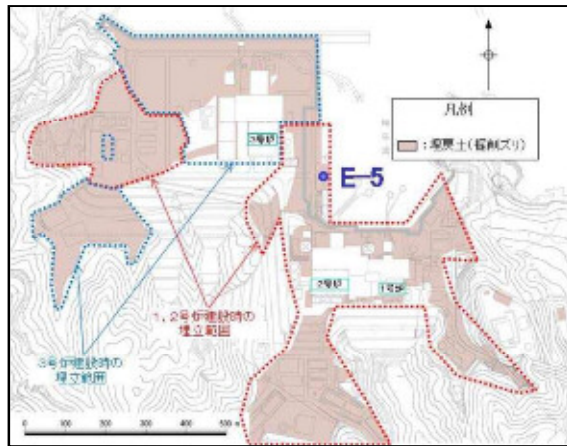
敷地平面図

※ 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。

2.解析用物性値の設定方法 2.7 埋戻土(掘削ズリ)の物性

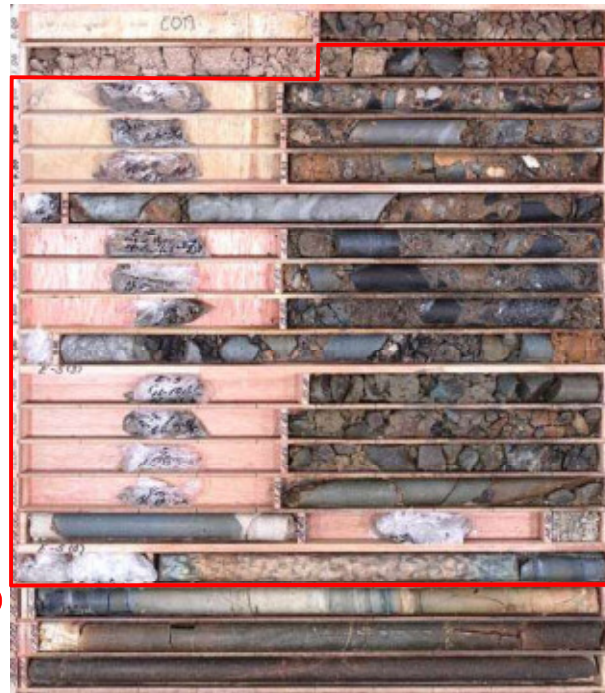
施工後のボーリングデータの比較(コア性状)(2/4)

・ 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。



敷地平面図

1, 2号炉建設時の埋戻土
ボーリングNo. E-5 1.5m~16.1m



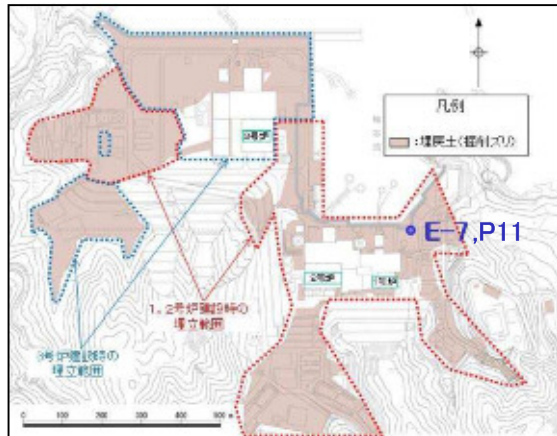
埋戻土
(掘削ズリ)

埋戻土
(掘削ズリ)

標高	層厚	柱状	土質	色相	相対	相対	記	
(m)	(m)	(m)	区分	調度	密度	湿度	事	
1	1.09	1.50	1.50	砂質土	暗褐色		試験室での測定した、概してφ50mm以下の砂石状の角礫、礫層は細礫、粗礫が充満、粘土水。	
2				玉石混り砂質土	緑い	非常に密な	玉石を片状~30mm程度にて採取φ50mm~30mm以下の角礫を挿入する。埋戻土は概して粘土質からなり、礫石入量にばらつきあり、一部風化礫層状、全固水する。	
3							埋戻土(掘削ズリ)	
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14	-7.21	12.00	13.30	シルト・砂・玉石	淡褐色	緑い		1~500~800mm角石主体、一部の粘土は表面や中層に白濁して固結粘土状に軟化する。礫層は不均質で風化起層のシルト質細砂土~頁岩層片が混ざる塊状のシルト混り中砂、φ10mm前後の小礫が混入する。
15								基礎岩
16	-9.81	2.60	16.10	凝灰岩・軟岩	青灰色			
17								
18	-11.71	1.80	17.90	凝灰岩・軟岩	青灰色			
19	-12.81	1.10	19.00	凝灰岩・軟岩	青灰色			

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。



1, 2号炉建設時の埋戻土
ボーリングNo. P11 0.8m~7.0m



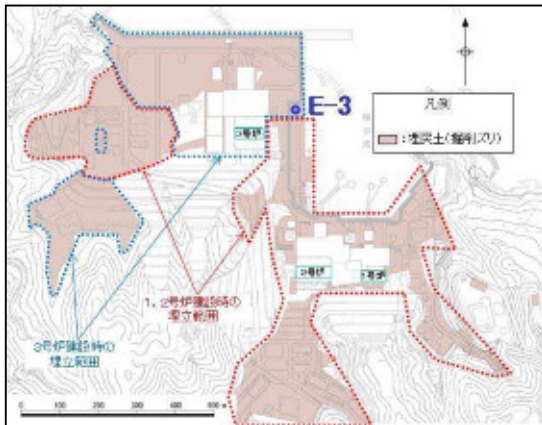
埋戻土
(掘削ズリ)

埋戻土
(掘削ズリ)

標高	層厚	土質	相対密度	備考	記
(m)	(m)	区分	測定値		事
1.00	0.80	埋戻土			5. 埋戻土(掘削ズリ)
2.00	0.80	埋戻土			
3.00	0.80	埋戻土			前記の層に10~20cmの埋戻土で覆われておらず、自然の地山(頁岩)が露出している。埋戻土の層は、掘削ズリ(凝灰岩主体)で構成されている。
4.00	0.80	埋戻土			
5.00	0.80	埋戻土			
6.00	0.80	埋戻土			
7.00	0.80	埋戻土			
8.00	0.80	埋戻土			
9.00	0.80	埋戻土			上部埋戻土(約20cm以内)の層が多く、下部に埋戻土と自然の地山(頁岩)が混在している。埋戻土の層は、掘削ズリ(凝灰岩主体)で構成されている。
10.00	0.80	埋戻土			
11.00	0.80	埋戻土			
12.00	0.80	埋戻土			
13.00	0.80	埋戻土			
14.00	0.80	埋戻土			埋戻土(掘削ズリ)の層が多く、下部に埋戻土と自然の地山(頁岩)が混在している。埋戻土の層は、掘削ズリ(凝灰岩主体)で構成されている。
15.00	0.80	埋戻土			
16.00	0.80	埋戻土			
17.00	0.80	埋戻土			
18.00	0.80	埋戻土			本層に埋戻土が多く含まれており、下部に埋戻土と自然の地山(頁岩)が混在している。埋戻土の層は、掘削ズリ(凝灰岩主体)で構成されている。
19.00	0.80	埋戻土			
20.00	0.80	埋戻土			
21.00	0.80	埋戻土			
22.00	0.80	埋戻土			上部埋戻土(約20cm以内)の層が多く、下部に埋戻土と自然の地山(頁岩)が混在している。埋戻土の層は、掘削ズリ(凝灰岩主体)で構成されている。
23.00	0.80	埋戻土			
24.00	0.80	埋戻土			上部埋戻土(約20cm以内)の層が多く、下部に埋戻土と自然の地山(頁岩)が混在している。埋戻土の層は、掘削ズリ(凝灰岩主体)で構成されている。
25.00	0.80	埋戻土			
26.00	0.80	埋戻土			

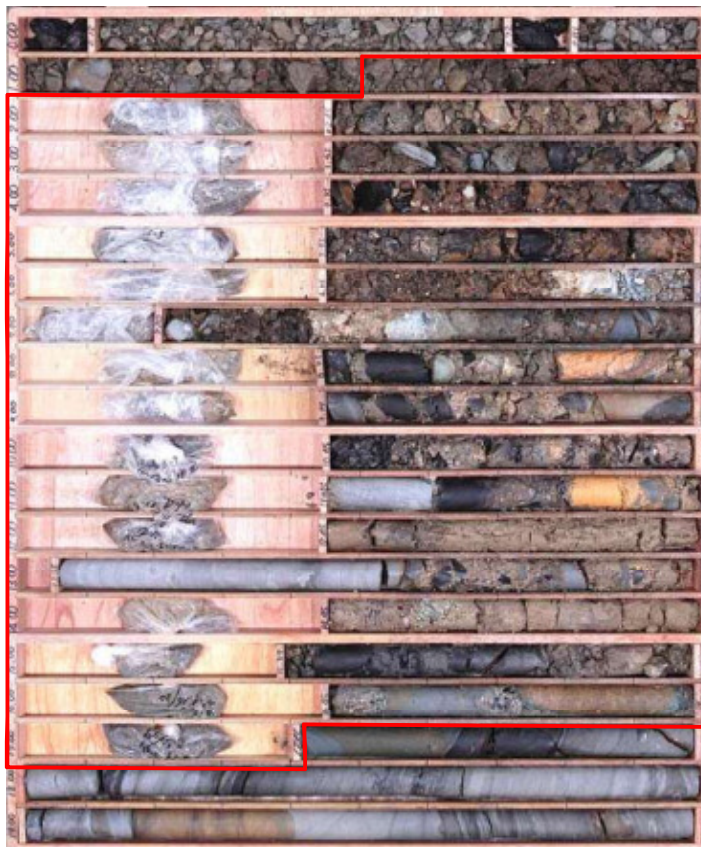
施工後のボーリングデータの比較(コア性状)(4/4)

・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。



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)

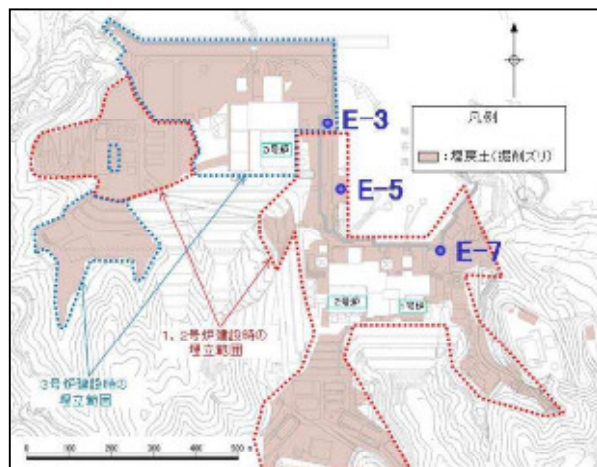
埋戻土
(掘削ズリ)

標高	層厚	深	柱状	土質	色	相対	相対	相対	記
(m)	(m)	(m)	図	分	調	調	調	調	事
1	6.98	1.50	1.50	玉石混り砂質礫	暗褐色	硬	中	中	試験区間の埋戻土上、片状の玉石が直径φ70mm以下、角礫比にて採取。礫はφ50mm以下の角礫石状の角礫、礫質は細礫が全粒、低含水。Ω=0.72α=0.84(細)コア
2				玉石混り砂質礫	暗褐色	硬	中	中	玉石を片状~角礫状にて採取。φ50mm~30mm以下の角礫混入する。礫質は細礫~粘土質砂からなり、礫混入量にはばらつきあり、~同様に採取して、全粒を調べる。低含水。Ω=0.9α=7.0(細)コアの崩壊作。
3				玉石混り砂質礫	暗褐色	硬	中	中	
4				玉石混り砂質礫	暗褐色	硬	中	中	
5				玉石混り砂質礫	暗褐色	硬	中	中	
6				玉石混り砂質礫	暗褐色	硬	中	中	
7	6.98	6.00	7.50	玉石混り砂質礫	暗褐色	硬	中	中	
8				玉石混り砂質礫	暗褐色	硬	中	中	
9				玉石混り砂質礫	暗褐色	硬	中	中	埋戻土(掘削ズリ)
10				玉石混り砂質礫	暗褐色	硬	中	中	玉石は片状~150mm以下にて採取。φ70mm以下の角礫主体、礫質は粘土が混じる頁岩質~凝灰岩質の角礫~粘土質砂、全粒に含水あり。
11				玉石混り砂質礫	暗褐色	硬	中	中	
12	-3.53	1.50	12.00	粘土混り砂質礫	暗褐色	硬	中	中	粘土質、基質は粘土質礫層により不明。
13	-4.53	1.00	13.00	玉石	青灰色	硬	中	中	硬質角礫層状の頁岩、150mm以下にて採取。ハンマー打撃風音。
14	-5.13	0.60	13.60	砂質礫	暗褐色	硬	中	中	上部に片状の礫~玉石混りφ15~30mm角礫にて採取。基質は褐色の砂質砂~砂質礫、全粒に粘土分作。
15	-6.43	1.70	15.30	砂質礫	暗褐色	硬	中	中	片状の玉石φ50~100mm混入。礫はφ30mm以下。基質は細砂分を伴う砂。礫質、玉石混り凝灰岩質の粘土質砂を伴う砂質砂~粘土質砂、全粒に粘土分作。
16	-7.33	0.50	15.80	玉石混り砂質礫	暗褐色	硬	中	中	角礫や砂質礫層にて採取。礫はφ100mm以下の玉石と礫質を伴う砂質礫からなる。礫はφ100mm以下の角礫および砂質。
17	-7.93	0.60	16.40	砂質礫	暗褐色	硬	中	中	角礫や砂質礫層にて採取。礫はφ100mm以下の玉石と礫質を伴う砂質礫からなる。全粒に粘土分作。
18	-8.53	0.60	17.00	砂質礫	暗褐色	硬	中	中	角礫や砂質礫層にて採取。礫はφ100mm以下の玉石と礫質を伴う砂質礫からなる。全粒に粘土分作。
19	-9.13	0.60	17.60	砂質礫	暗褐色	硬	中	中	角礫や砂質礫層にて採取。礫はφ100mm以下の玉石と礫質を伴う砂質礫からなる。全粒に粘土分作。
20	-11.53	2.00	20.00	凝灰岩	青灰色	硬	中	中	硬質(凝灰岩)層状の頁岩、厚さ目録は200~400mm程度で全粒にφ10~100mm程度の片状にて採取。100mm以下の角礫は混入して褐色となる。角礫混入量は礫質~粘土質となる。ハンマーの打撃で崩壊音。
21				凝灰岩	青灰色	硬	中	中	

施工後のボーリングデータの比較(PS検層)(1/2)

・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 $V_p=1.22\text{km/s}$, $V_s=0.32\text{km/s}$, 3号炉エリアは $V_p=1.57\text{km/s}$, $V_s=0.42\text{km/s}$ 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



敷地平面図

	P波速度※ V_p (km/s)	S波速度※ V_s (km/s)
1, 2号炉 エリア	1.22 (0.65~1.88)	0.32 (0.28~0.44)
3号炉 エリア	1.57 (0.98~2.08)	0.42 (0.31~0.55)

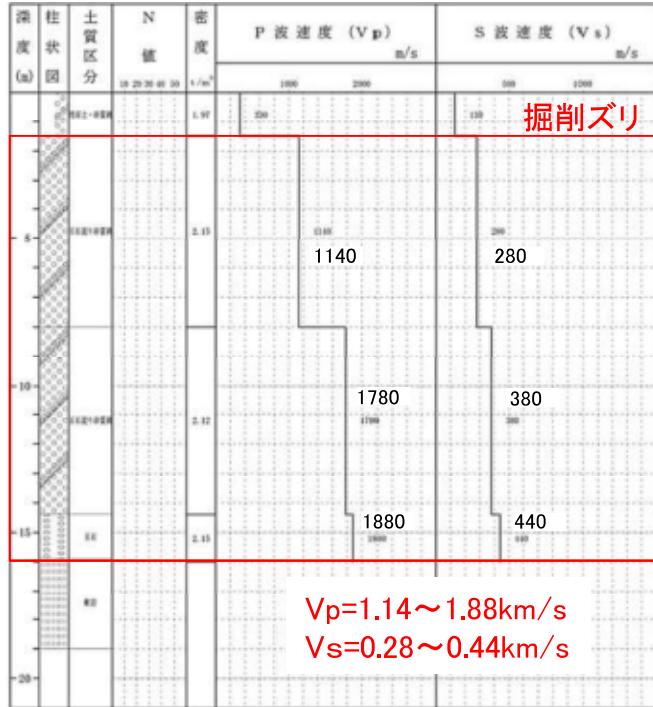
※各エリアで得られたP波速度及びS波速度に対し、延長で重み付けした加重平均値。
括弧内は上下限値を記載。

2.解析用物性値の設定方法 2.7 埋戻土(掘削ズリ)の物性

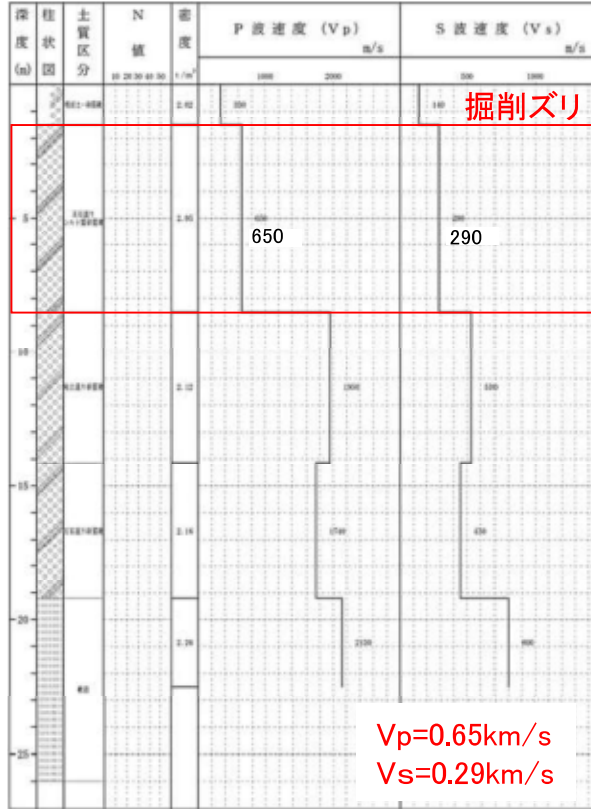
施工後のボーリングデータの比較(PS検層)(2/2)

・1, 2号炉エリアのPS検層の結果は, $V_p=0.65\sim 1.88\text{km/s}$, $V_s=0.28\sim 0.44\text{km/s}$, 3号炉エリアの結果は $V_p=0.98\sim 2.08\text{km/s}$, $V_s=0.31\sim 0.55\text{km/s}$ 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。

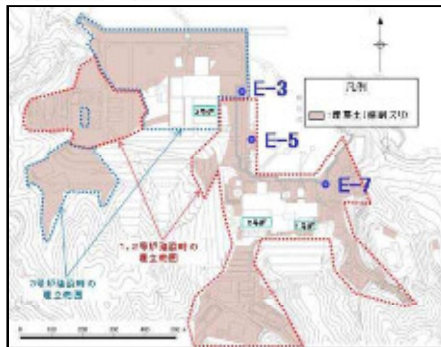
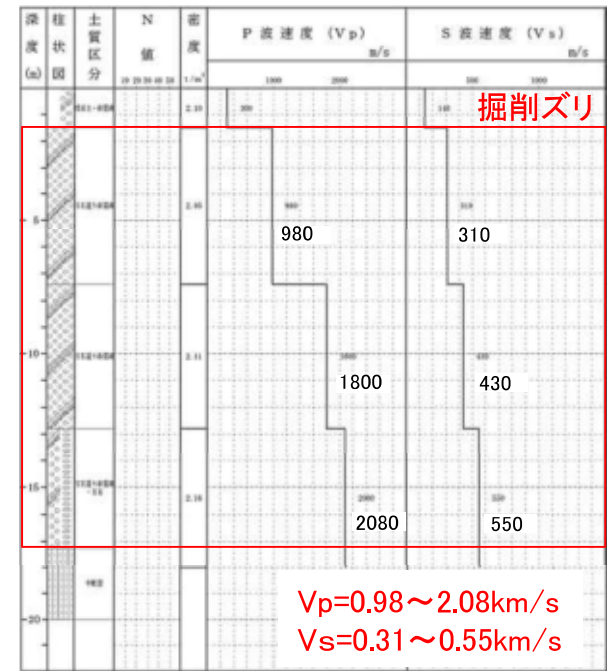
PS検層結果(1, 2号炉エリア)
ボーリングNo. E-5



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

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。
 - 設計せん断強度を比較した結果, 2号炉建設時の粘着力の方がわずかに小さかったが, 概ね同等の設定としている。
 - 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使用することは, 妥当である。

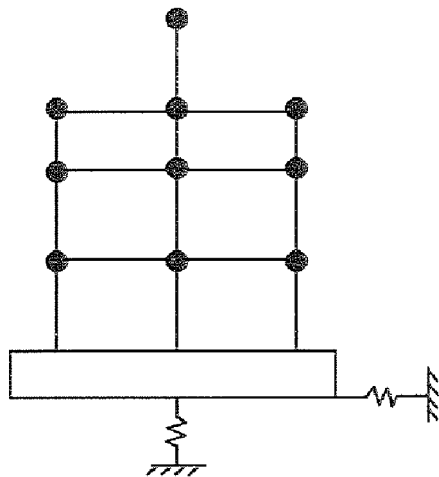
3. 建物のモデル化方法

3. 1 各建物のモデル化

2号炉原子炉建物

2号炉原子炉建物のモデル化の流れ

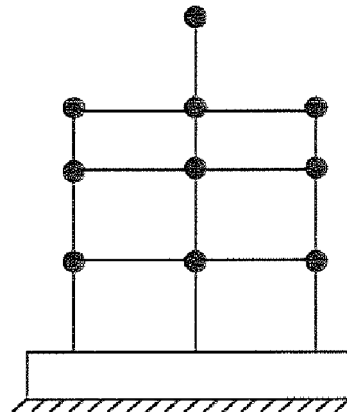
- ・2号炉原子炉建物は複雑な構造であることから、「原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術<技術資料>」(土木学会,2009)を参考に,多質点系建屋モデルから建屋各層の水平剛性 K_H ,鉛直剛性 K_V ,及び曲げ剛性 K_ϕ を用いて,せん断剛性,ばね定数及びポアソン比を求め,等価な有限要素モデルを作成する。
- ・多質点系モデル及び有限要素モデルについて,固有値解析を実施し,両モデルの振動特性が整合することを確認する。



多質点系モデル(地盤バネ有)



地盤バネを削除



フロア毎に重量集約
層毎に剛性を集約

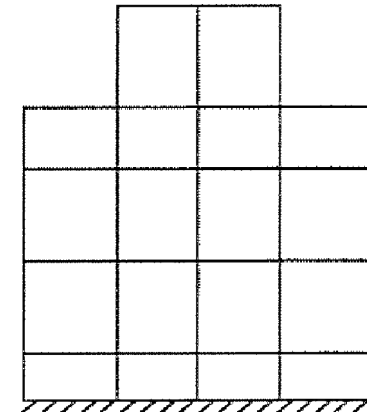
- ・水平剛性 K_H
- ・鉛直剛性 K_V
- ・曲げ剛性 K_ϕ

多質点系モデル(地盤バネ無)



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



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

有限要素モデル
(水平・鉛直同時加振モデル)

