

伊方発電所3号炉

基礎地盤及び周辺斜面の 安定性評価について ＜添付資料＞

本資料のうち、枠囲み [] の内容は商業機密または核物質防護情報に属しますので公開できません。

令和5年2月28日

四国電力株式会社

目次

I 地質の概要に関する補足	3
1. 岩盤分類の考え方	3
II 解析用物性値の設定根拠	6
1. 解析用物性値	6
2. 物理特性	9
3. 強度特性	13
4. 静的変形特性	30
5. 動的変形特性	41
6. 支持力の評価基準値	65
III 原子炉建屋等に関する評価の補足	67
(地震力に対する安定性評価に関する補足)	
1. すべり面設定の考え方	67
2. 地下水位の設定に関する補足	75
3. 要素ごとの局所安全係数	79
4. 計算結果一覧	85
5. 進行性破壊等についての検討(静的非線形解析)	93
6. 断層等の非岩盤物性における強度のばらつきに関する検討	102
7. 原子炉建屋基礎地盤の断面選定に関する補足	108
8. 海水取水口の通水機能に関する補足	119
(地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価に関する補足)	
9. 基準津波以外の場合の地殻変動に関する検討	126

目次

IV 非常用ガスタービン発電機建屋に関する評価の補足	132
(地震力に対する安定性評価に関する補足)	
1. 非常用ガスタービン発電機建屋建屋の解析対象断面の選定に関する補足	132
V 使用済燃料乾式貯蔵施設に関する評価の補足	136
(地震力に対する安定性評価に関する補足)	
1. 強度のばらつきに関する検討	136
2. すべり面設定の考え方	147
3. 応力状態を考慮したすべり面の設定について	150
4. 要素ごとの局所安全係数	153
5. 計算結果一覧	156
6. 周辺構造物のモデル化について	164
7. O-O'断面の地質断面図について	170
8. P-P'断面の入力地震動について	174
9. 設計及び工事計画認可における設計進捗の反映	184

I 地質の概要に関する補足

1. 岩盤分類の考え方

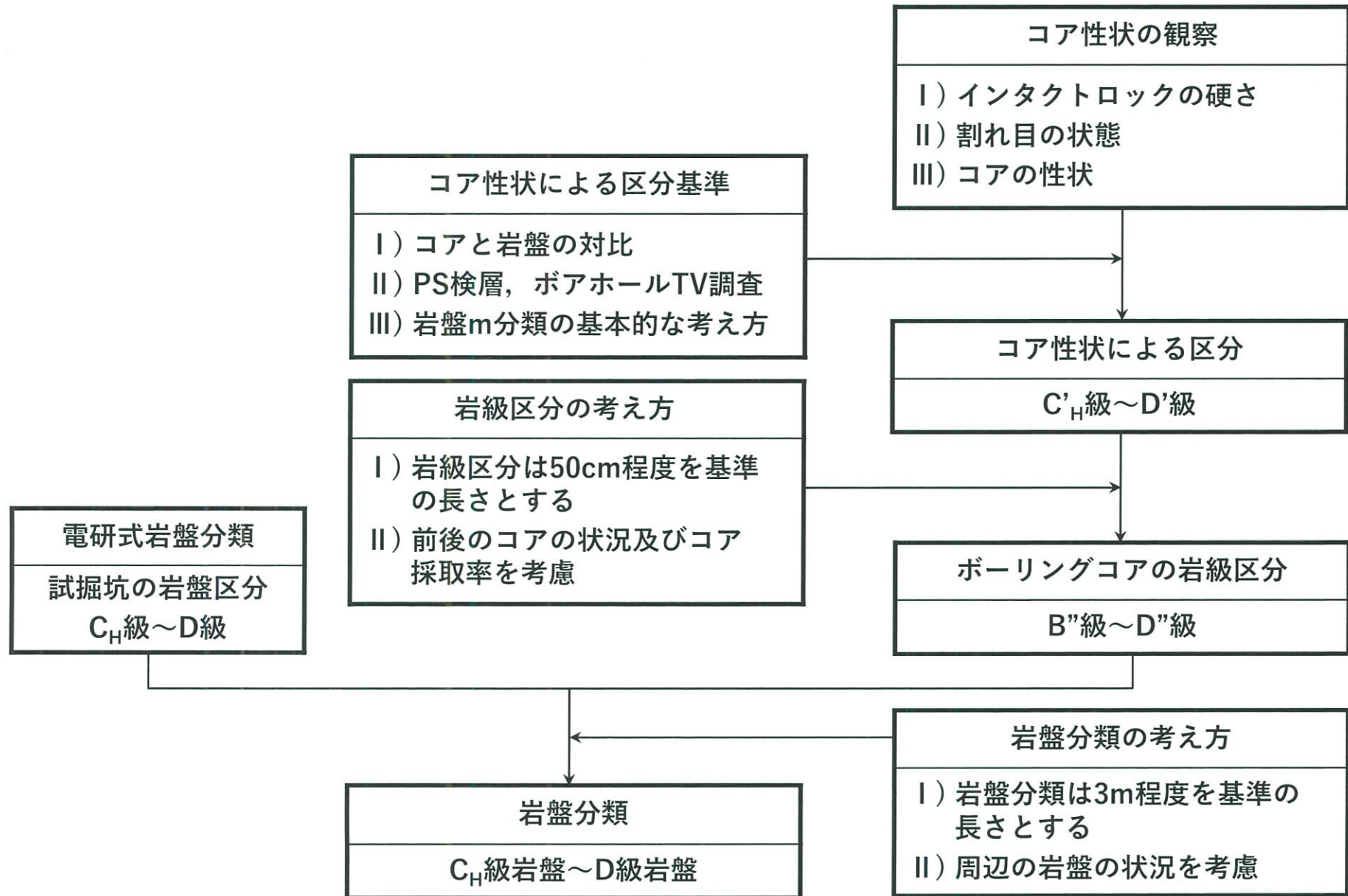
II 解析用物性値の設定根拠

III 原子炉建屋等に関する評価の補足

IV 非常用ガスタービン発電機建屋に関する評価の補足

V 使用済燃料乾式貯蔵施設に関する評価の補足

岩盤分類の考え方のフロー



ボーリングコアの岩級区分の基準

イロツク タクト の硬さ	割れ目 の状態	コア 形状	コアよ る性区 状分	イロツク タクト の硬さ	割れ目 の状態	コア 形状	コアよ る性区 状分	イロツク タクト の硬さ	割れ目 の状態	コア 形状	コアよ る性区 状分		
A	α	I	C _H '	B	β	I	C _M '	C	γ	I	C _L '		
		II	C _H '				II				C _M '	II	C _L '
		III	C _M '				III				C _M '	III	D'
		IV	C _L '				IV				C _L '	IV	D'
	β	I	C _H '			I	C _M '				V	-	
		II	C _H ' ~C _M '			II	C _M '						
		III	C _M '			III	C _M '						
		IV	C _L '			IV	C _L '						
	γ	I	C _M '			IV	C _L '						
		II	C _M '			V	-						
		III	C _M '										
		IV	C _L '										
		V	-										

項目	記号	内容
インタクト ロック の硬さ	A	岩心が新鮮である。
	B	岩心がやや風化している。
	C	岩心が風化している。
割れ目の状態	α	新鮮
	β	割れ目が汚染され、岩心が若干変質している。
	γ	粘土、風化物質、外来物質を介在する。
コアの状態	I	柱状（長さ5cm程度以上）
	II	短柱状（全周を有し長さ5cm程度以下）
	III	岩片状（径1~2cm程度で、柱状に復元可能）
	IV	細片状
	V	その他（粘土状、土砂状）

-
- I 地質の概要に関する補足
 - II 解析用物性値の設定根拠
 - 1. 解析用物性値
 - 2. 物理特性
 - 3. 強度特性
 - 4. 静的変形特性
 - 5. 動的変形特性
 - 6. 支持力の評価基準値
 - III 原子炉建屋等に関する評価の補足
 - IV 非常用ガスタービン発電機建屋に関する評価の補足
 - V 使用済燃料乾式貯蔵施設に関する評価の補足

解析用物性値

○ 解析用岩盤分類に応じた解析用物性値の設定の考え方を下表に示す。

	CH級岩盤	CM級岩盤	CL級岩盤	非線形性を考慮した表土	表土	断層(軟質無)	断層(軟質含)
項目	岩盤					断層	
	I級	II級	III級①	III級②	III級	軟質無	軟質含
単位体積重量	CH級岩盤の岩石供試体による物理試験結果	CM級岩盤の岩石供試体による物理試験結果	CL級岩盤の岩石供試体による物理試験結果	表土の物理試験結果		断層(軟質無)の物理試験結果	断層(軟質含)の物理試験結果
せん断強度	CH級岩盤の岩盤せん断試験結果	CM級岩盤の岩石試験および原位置岩盤せん断試験より総合評価して設定	CL級岩盤の三軸圧縮試験結果	表土の三軸圧縮試験結果		断層(軟質無)の静的ねじりせん断試験結果	断層(軟質含)の原位置断層せん断試験結果
内部摩擦角							
残留強度	CH級岩盤の岩盤せん断試験結果	同上(φ成分のみ)	同上(φ成分のみ)	同上(φ成分のみ)		同上(φ成分のみ)	同上(φ成分のみ)
静弾性係数	CH級岩盤の平板載荷試験結果	CM級岩盤の孔内水平載荷試験と平板載荷試験より総合評価して設定	CL級岩盤の孔内水平載荷試験と平板載荷試験より総合評価して設定	表土の三軸圧縮試験結果		断層(軟質無)の静的ねじりせん断試験結果	断層(軟質含)の静的ねじりせん断試験結果
静的ポアソン比	CH級岩盤の岩石供試体による一軸圧縮試験結果	CM級岩盤の岩石供試体による一軸圧縮試験結果	II級岩盤の試験結果を流用	表土の三軸圧縮試験結果		II級岩盤の静的/動的の比率から算定	表土の試験結果を流用
動弾性係数	CH級岩盤の弾性波探査, PS検層等より算定	CM級岩盤の弾性波探査, PS検層等より算定	CL級岩盤の弾性波探査, PS検層等より算定	表土の振動三軸試験結果	表土のPS検層等より算定	動的ねじりせん断試験より算定	動的ねじりせん断試験より算定
動的ポアソン比	CH級岩盤の弾性波探査, PS検層等より算定	CM級岩盤の弾性波探査, PS検層等より算定	CL級岩盤の弾性波探査, PS検層等より算定	静的ポアソン比と同じ値を設定		II級とIII級の中間の値を設定	静的ポアソン比と同じ値を設定
減衰定数	CH級岩盤の弾性波探査, PS検層等より算定	一般的な値を設定	一般的な値を設定	表土の振動三軸試験結果	一般的な値を設定	動的ねじりせん断試験より算定	動的ねじりせん断試験より算定

解析用物性値

○ 解析用岩盤分類に応じた解析用物性値を下表に示す。

	CH級岩盤	CM級岩盤	CL級岩盤	非線形性を 考慮した表土	表土	断層(軟質無)	断層(軟質含)		
	岩盤				断層				
	I 級			II 級	III 級①	III 級②	III 級	軟質無	軟質含
	①	②	③						
単位体積重量 (kN/m ³)	29.4			27.5	25.5	18.6		26.5	19.6
せん断強度 (kN/m ²)	981			490	130	39		324	78
内部摩擦角 (°)	50			41	23	17		34	24
残留強度 (kN/m ²)	$\tau = 569 + \sigma \tan 43^\circ$			$\tau = \sigma \tan 41^\circ$	$\tau = \sigma \tan 23^\circ$	$\tau = \sigma \tan 17^\circ$		$\tau = \sigma \tan 34^\circ$	$\tau = \sigma \tan 24^\circ$
静弾性係数 (kN/m ²)	3.63×10^6			1.18×10^6	0.49×10^6	0.0392×10^6		$27000(\sigma_v)^{0.34}$	$1750(\sigma_v)^{0.60}$
静的ポアソン比	0.29			0.32	0.32	0.45		0.36	0.45
動弾性係数 ($\times 10^6$ kN/m ²)	58.8 ^{*1}	42.2 ^{*2}	23.5 ^{*3}	10.8	3.51	$G_d/G_0^{*4} = 1/(1+10.4\gamma^{0.787})$ $G_0 = 43900$ (kN/m ²)	0.127	$G_d/G_0^{*4} = -0.33 \log \gamma - 0.58$ $G_0 = 294000$ (kN/m ²)	$G_d/G_0^{*4} = -0.40 \log \gamma - 0.60$ $G_0 = 4130(\sigma_v)^{0.53}$ (kN/m ²)
動的ポアソン比	0.34			0.36	0.38	0.45		0.40	0.45
減衰定数	2.0 (%)			3.0 (%)	3.0 (%)	$h = 1/\{0.062 + (3.90 \times 10^{-3}/\gamma)\} + 1.3$	10.0 (%)	$h = 0.08 \log \gamma + 0.36$ ($\gamma > 10^{-4}$)	$h = 0.17 \log \gamma + 0.58$ ($\gamma \geq 10^{-3}$) $h = 0.017 \log \gamma + 0.09$ ($\gamma < 10^{-3}$)

*1 Vs=2.7km/s *2 Vs=2.3km/s *3 Vs=1.7km/s *4 動せん断弾性係数

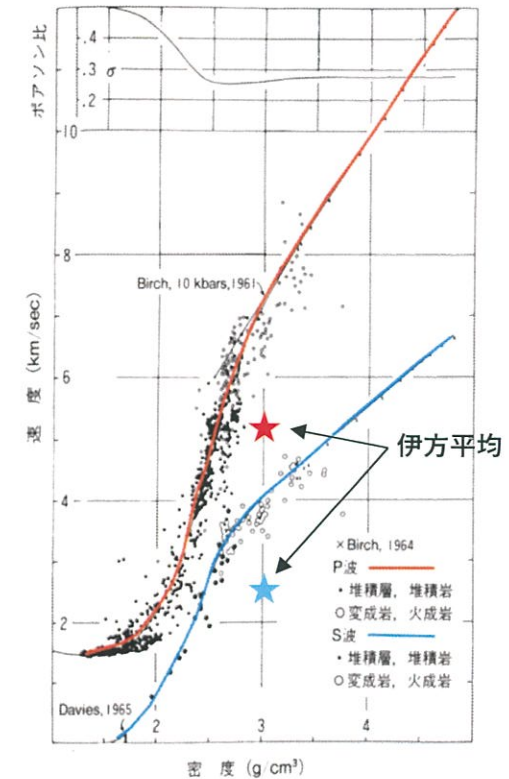
-
- I 地質の概要に関する補足
 - II 解析用物性値の設定根拠
 - 1. 解析用物性値
 - 2. 物理特性
 - 3. 強度特性
 - 4. 静的変形特性
 - 5. 動的変形特性
 - 6. 支持力の評価基準値
 - III 原子炉建屋等に関する評価の補足
 - IV 非常用ガスタービン発電機建屋に関する評価の補足
 - V 使用済燃料乾式貯蔵施設に関する評価の補足

I 級岩盤の物理特性

3号安全審査時に実施した岩石試験結果から単位体積重量を設定。
C_H級岩盤は非常に堅硬であり、その密度は速度構造から推定される一般的な岩石と比べて重い。

(平均値)

			密度 (g/cm ³)	一軸 圧縮強度 (kg/cm ²)	P波 速度 (km/s)	S波 速度 (km/s)
片理面の傾斜角	0°	湿潤	3.02	786	5.8	2.7
		乾燥	3.00	949	5.4	2.6
	30°	湿潤	3.02	682	5.3	2.6
		乾燥	3.00	836	5.0	2.6
	60°	湿潤	3.02	892	5.3	2.6
		乾燥	2.99	910	4.7	2.5
	90°	湿潤	2.99	1,138	4.9	2.5
		乾燥	2.97	1,200	3.8	2.3
	平均	湿潤	3.01	-	5.3	2.6
		乾燥	2.99	-	4.7	2.5



密度とP波・S波速度(Ludwig et al. 1970に加筆)

II 級岩盤， III 級岩盤の物理特性

物理試験結果から単位体積重量を設定。

II 級岩盤 (C_M級)

試料 番号	密度(g/cm ³)	
	湿潤	乾燥
1	2.56	2.46
2	2.88	2.86
3	2.83	2.80
4	2.81	2.80
5	2.66	2.60
6	2.93	2.92
7	2.95	2.94
8	2.91	2.90
9	2.80	2.77
10	2.94	2.92
平均	2.83	2.80

III 級岩盤① (C_L級)

試料 番号	密度(g/cm ³)	
	湿潤	乾燥
1	2.62	2.47
2	2.68	2.55
3	2.69	2.56
4	2.68	2.55
5	2.62	2.48
6	2.62	2.49
7	2.64	2.50
8	2.62	2.47
9	2.58	2.45
10	2.63	2.49
平均	2.64	2.50

III 級岩盤， III 級岩盤② (表土)

試料 番号	密度 (自然) (g/cm ³)	自然 含水比 (%)
1	1.85	32.5
2	1.74	40.3
3	1.83	36.0
4	1.87	31.9
5	1.80	33.3
6	1.84	37.0
7	1.82	36.2
8	1.83	34.6
9	1.85	35.2
10	1.76	42.4
平均	1.82	35.9

断層の物理特性

物理試験結果から単位体積重量を設定。

断層(軟質無)の物理試験結果(平均)

断層 No.	密度(g/cm ³)		吸水率 (%)	有効間隙率(%)	飽和度 (%)
	湿潤	乾燥			
Fa-1	2.57	2.41	6.8	14.5	97.6
Fa-4	2.70	2.62	4.9	12.3	101.0
平均	2.64	2.52	5.9	13.4	99.3

断層(軟質含)の物理試験結果(平均)

断層 No.	比重	自然含水比 (%)	湿潤密度 (g/cm ³)	飽和度 (%)	間隙比 (間隙率%)
Fa-2	2.95	10.9	2.41	87.4	0.37 (27.0)
Fa-3	2.78	24.0	1.97	86.3	0.76 (43.2)
平均	2.87	17.5	2.19	86.9	0.57 (35.1)

I 地質の概要に関する補足

II 解析用物性値の設定根拠

1. 解析用物性値

2. 物理特性

3. 強度特性

4. 静的変形特性

5. 動的変形特性

6. 支持力の評価基準値

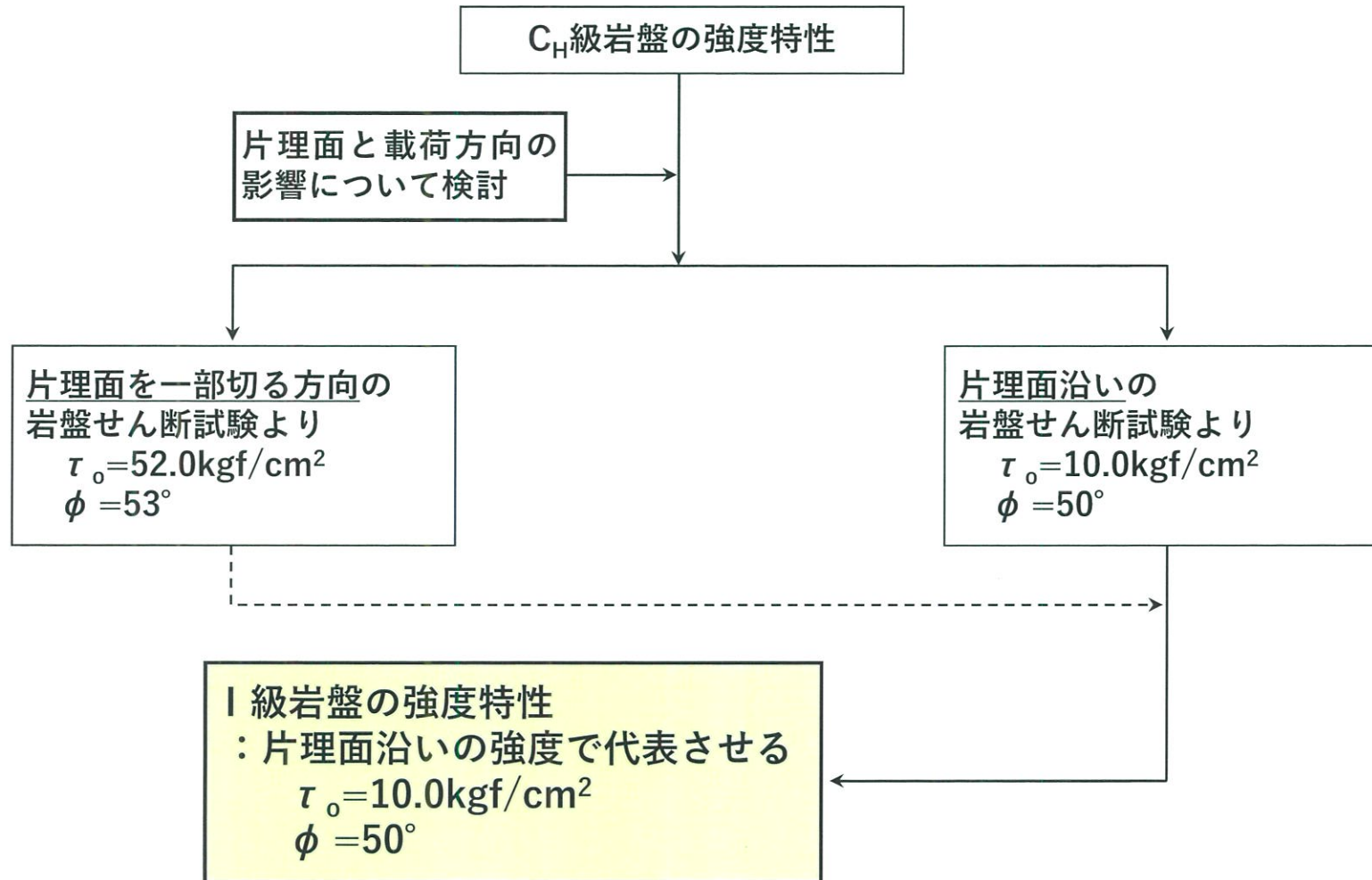
III 原子炉建屋等に関する評価の補足

IV 非常用ガスタービン発電機建屋に関する評価の補足

V 使用済燃料乾式貯蔵施設に関する評価の補足

I 級岩盤の強度特性 (1)

【I 級岩盤の強度設定の考え方について】

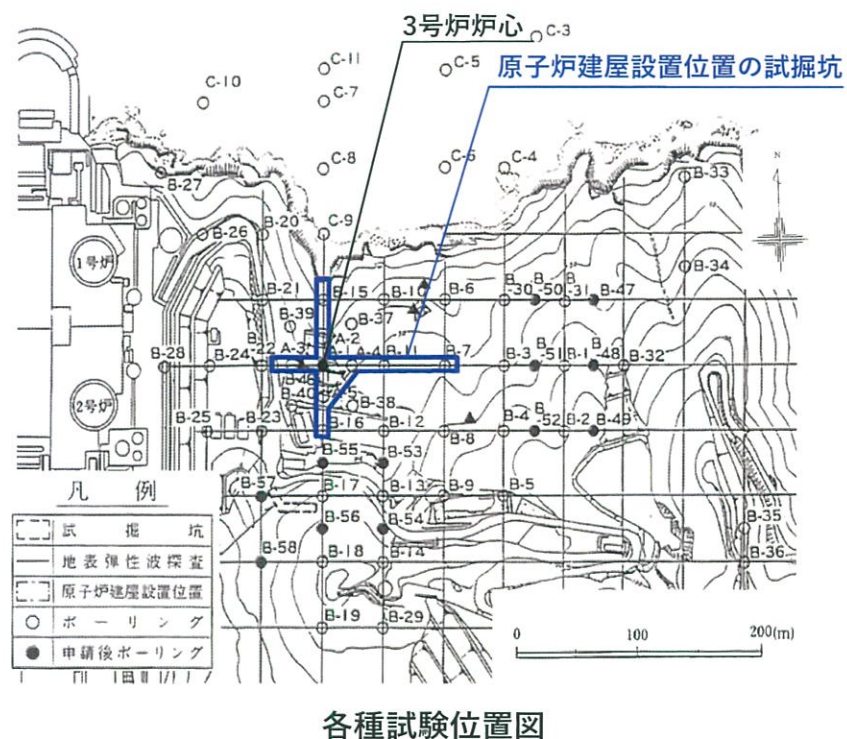
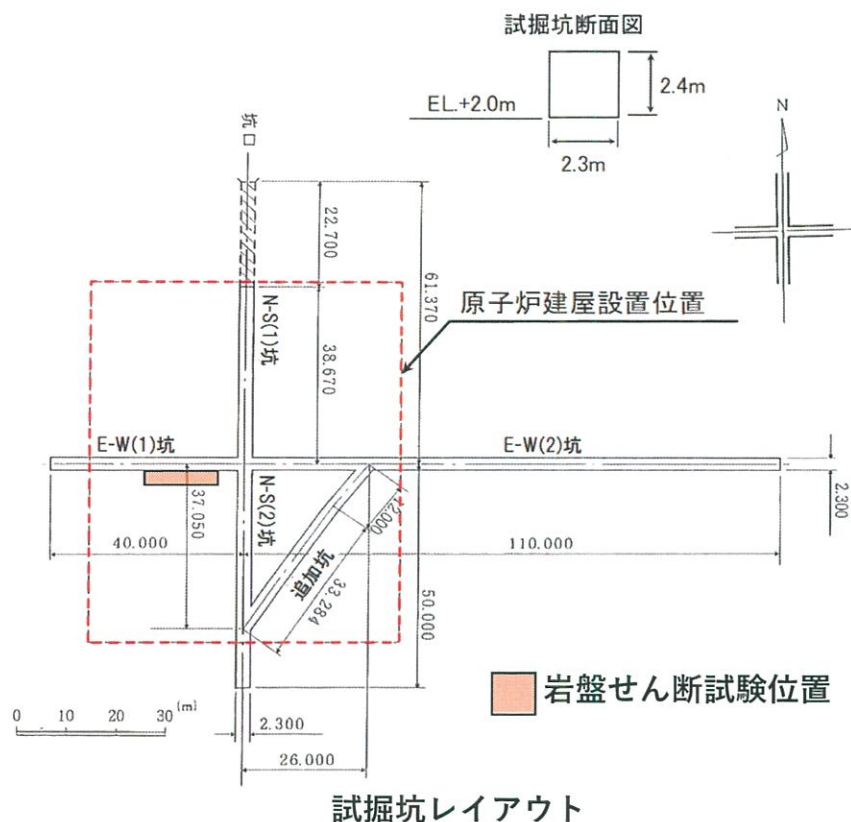


※ 設置許可申請時の表記のため単位は重力単位系

I 級岩盤の強度特性 (2)

【CH級岩盤の岩盤せん断試験】

伊方発電所原子炉設置変更許可申請時(3号炉)において、原子炉建屋設置位置の試掘坑内で実施している。実施個所を示す。

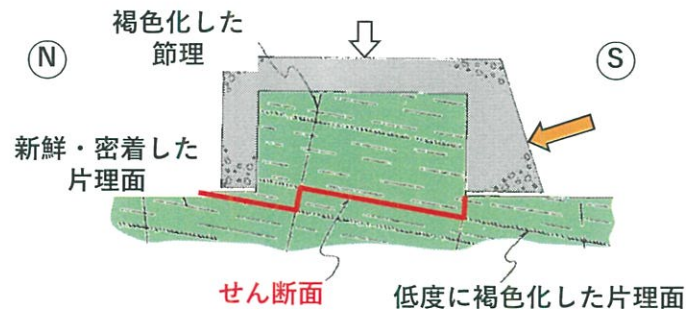


伊方発電所原子炉設置変更許可申請書(3号炉)に加筆

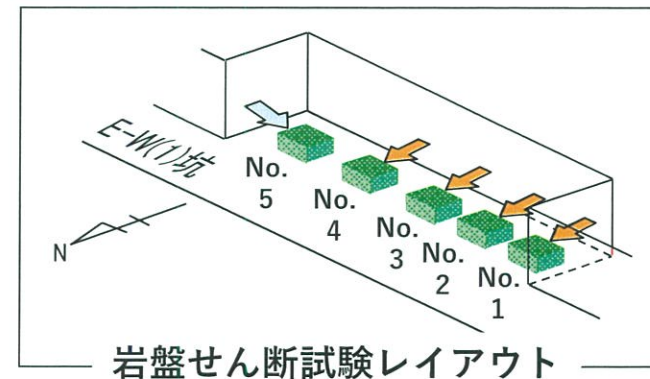
I 級岩盤の強度特性 (3)

【岩盤せん断試験における荷重の方向および破壊形態】

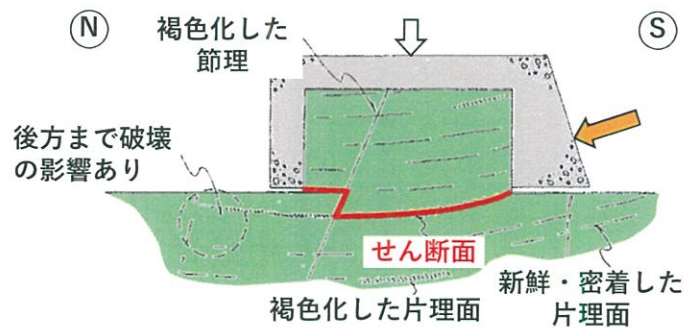
- 岩盤せん断試験は、3号炉試掘坑のE-W(1)坑を切拡げて実施。
- 試験は片理面に沿う方向の試験(No. 1~4)と片理面を一部切る方向(No. 5)で試験を実施している。



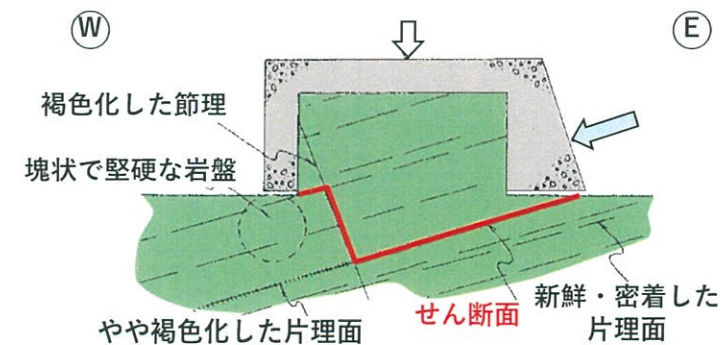
破壊模式図(片理面に沿う方向の試験 No. 1~3)



岩盤せん断試験レイアウト



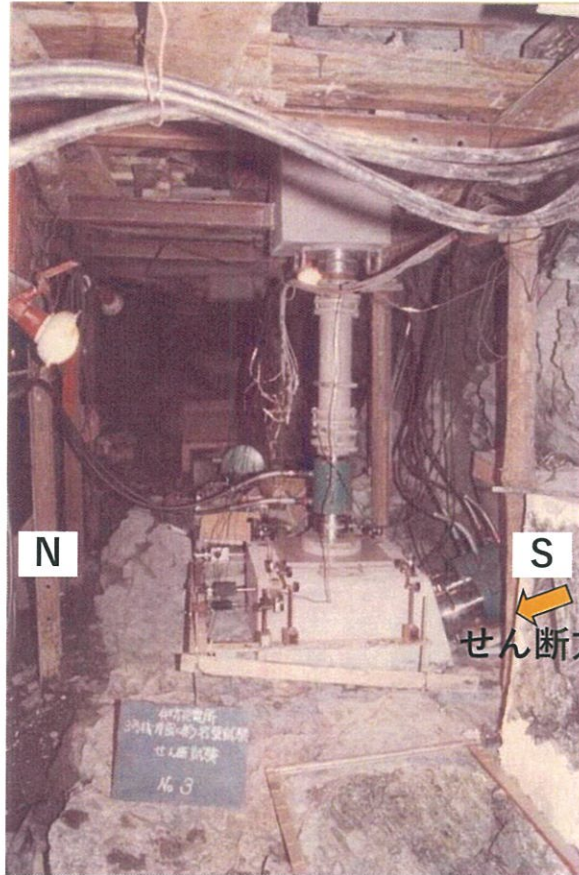
破壊模式図(片理面に沿う方向の試験 No. 4)



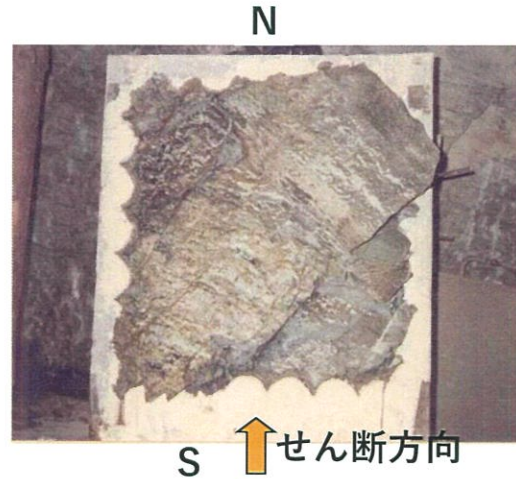
破壊模式図(片理面を一部切る方向の試験 No. 5)

I 級岩盤の強度特性 (4)

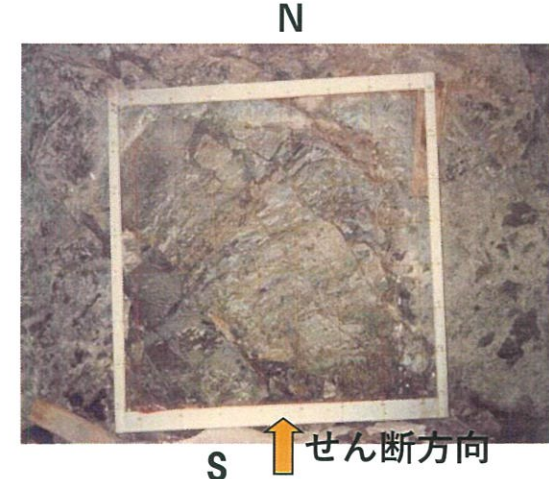
【岩盤せん断試験の状況写真】



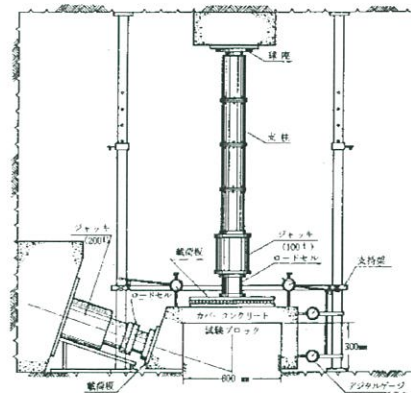
試験前 全景



試験体側の破断面



岩盤側の破断面



岩盤せん断試験装置

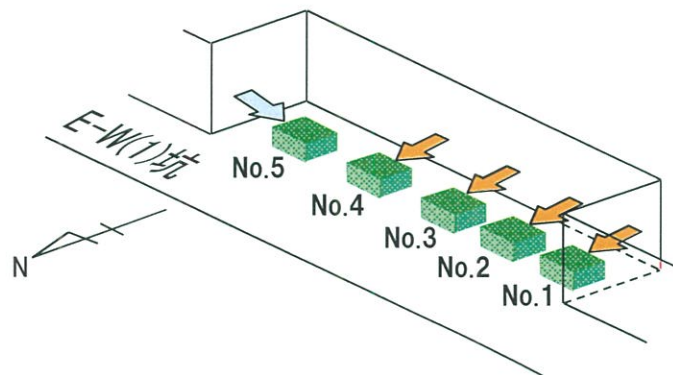


I 級岩盤の強度特性 (5)

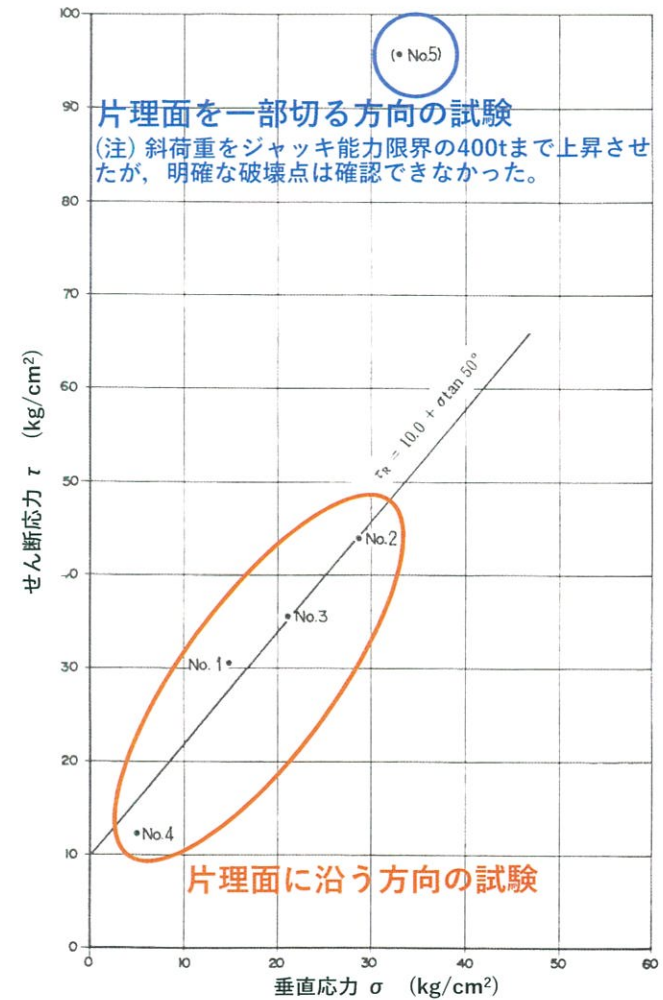
【岩盤せん断試験結果】

ブロック No.		1	2	3	4	5
載荷方向		南 → 北	南 → 北	南 → 北	南 → 北	東 → 西
最終応力 (kg/cm ²)	鉛直応力	14.8	28.6	21.2	5.0	(32.8) ^註
	せん断応力	30.4	43.9	35.6	12.3	(95.7) ^註
破壊状態		約20°で上向きに傾斜した片理面と高角度の節理面沿いに破壊している。 片理面は一部褐色化し、節理面は褐色化が著しい。	15°~20°で上向きに傾斜した片理面と高角度の節理面沿いに破壊している。 片理面はわずかに褐色を呈し、節理面は褐色化が著しい。	約15°で上向きに傾斜した片理面と高角度の節理面沿いに破壊している。 片理面はわずかに褐色を呈する。	0°~10°で上向きに傾斜した片理面と高角度の節理面沿いに破壊している。 片理面の褐色化が著しい。	15°~20°で下向きに傾斜した片理面と高角度の節理面沿い及び一部岩盤部でせん断されている。

伊方発電所原子炉設置変更許可申請書(3号炉)に加筆



岩盤せん断試験レイアウト

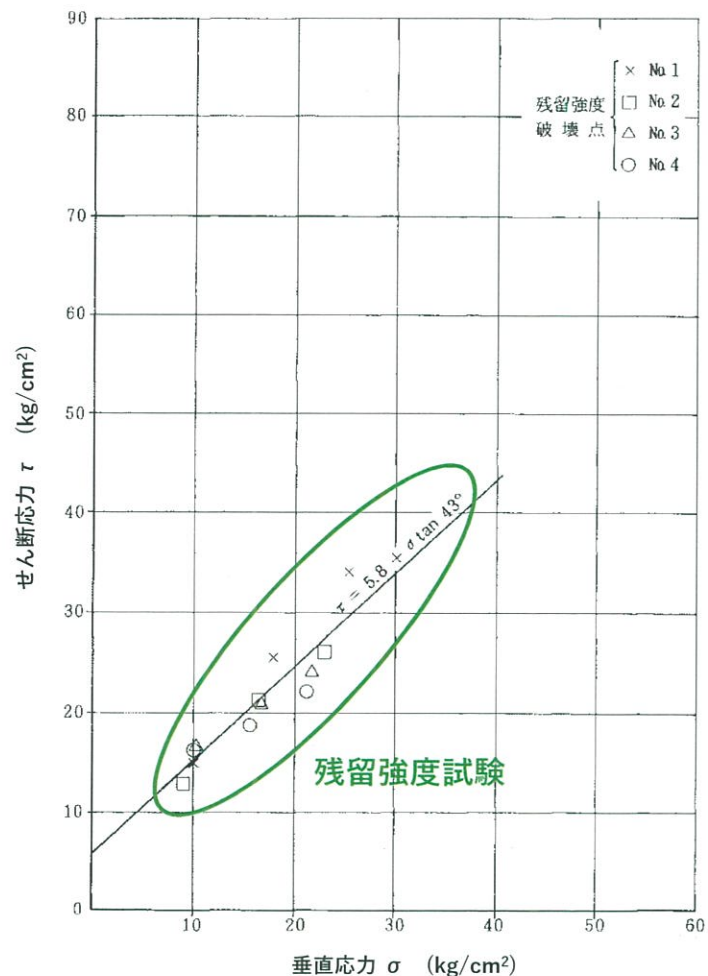


伊方発電所原子炉設置変更許可申請書(3号炉)に加筆

※ 設置許可申請時の表記のため単位は重力単位系

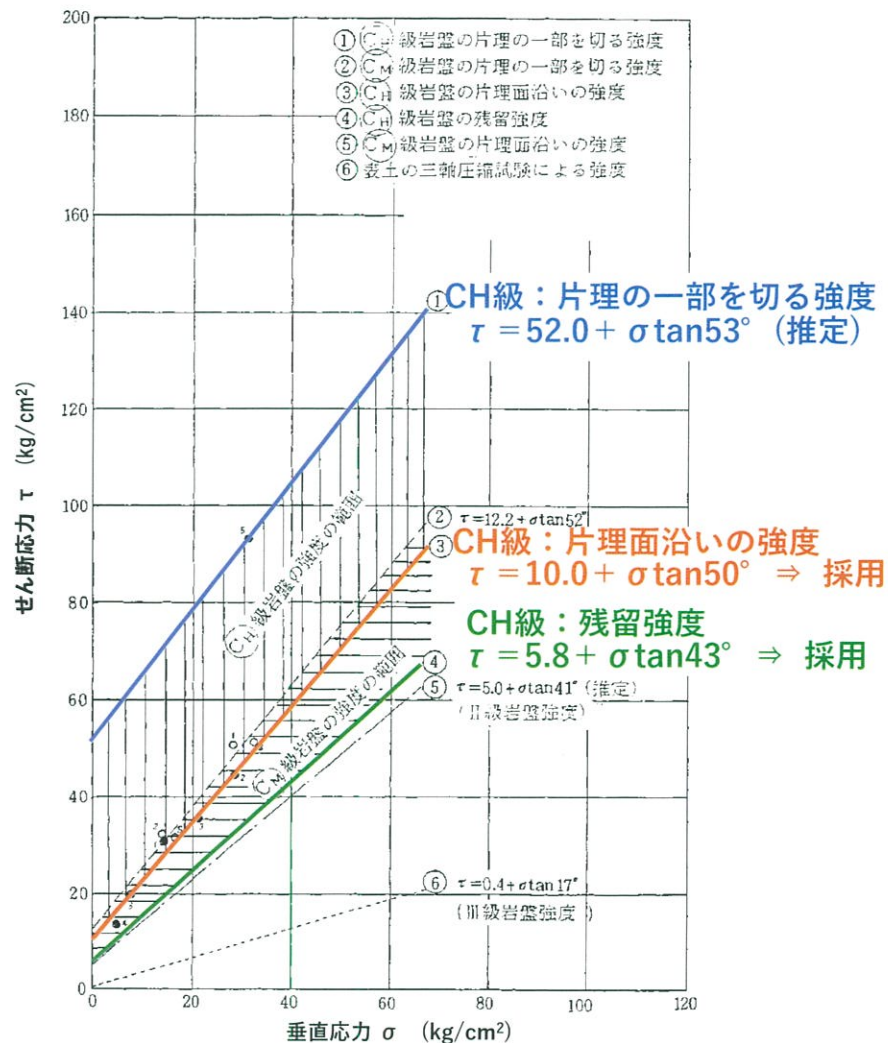
I 級岩盤の強度特性 (6)

【岩盤せん断試験結果(残留強度)】



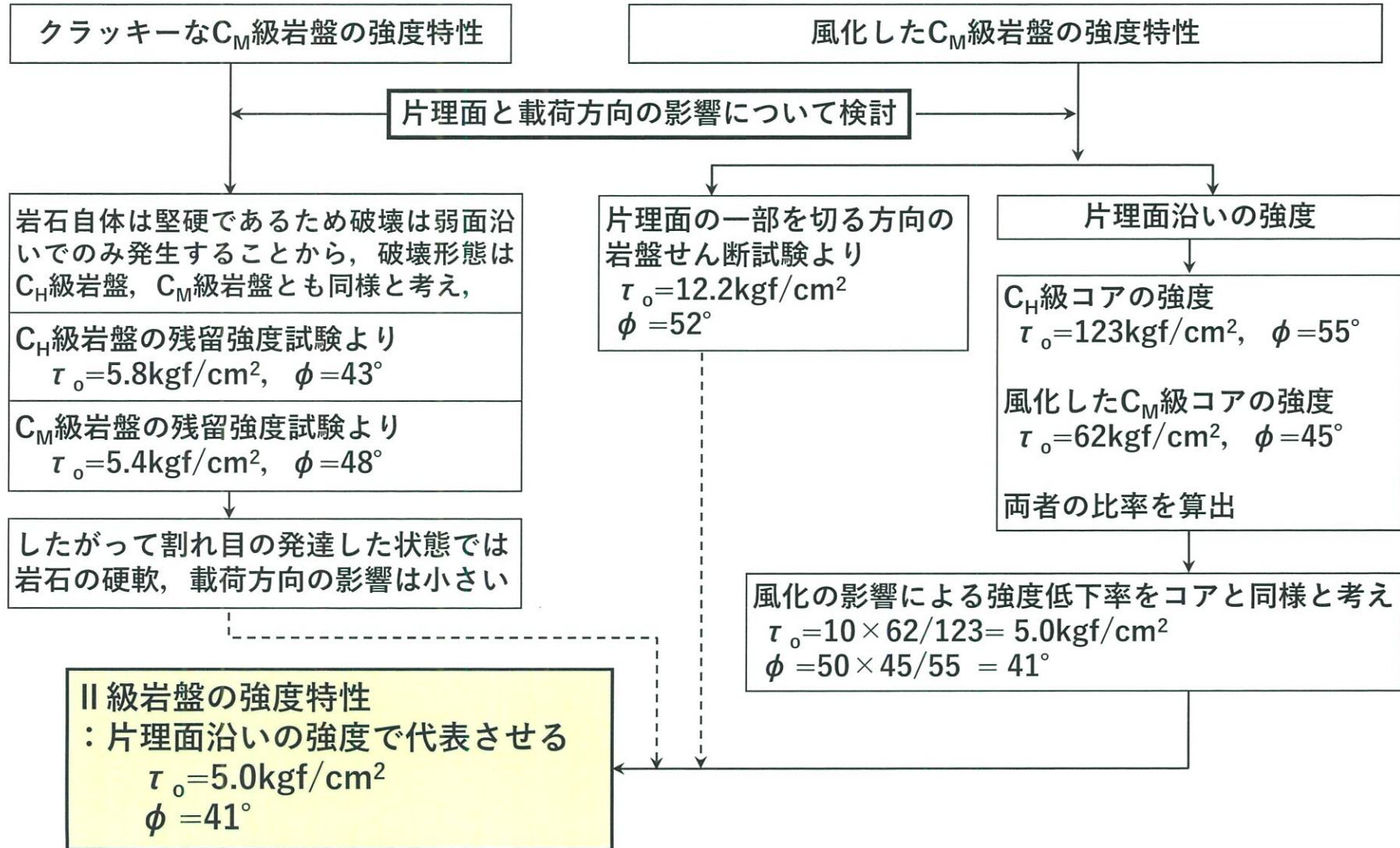
伊方発電所原子炉設置変更許可申請書(3号炉)に加筆

【岩盤強度の比較】



II 級岩盤の強度特性 (1)

【II 級岩盤の強度設定の考え方について】

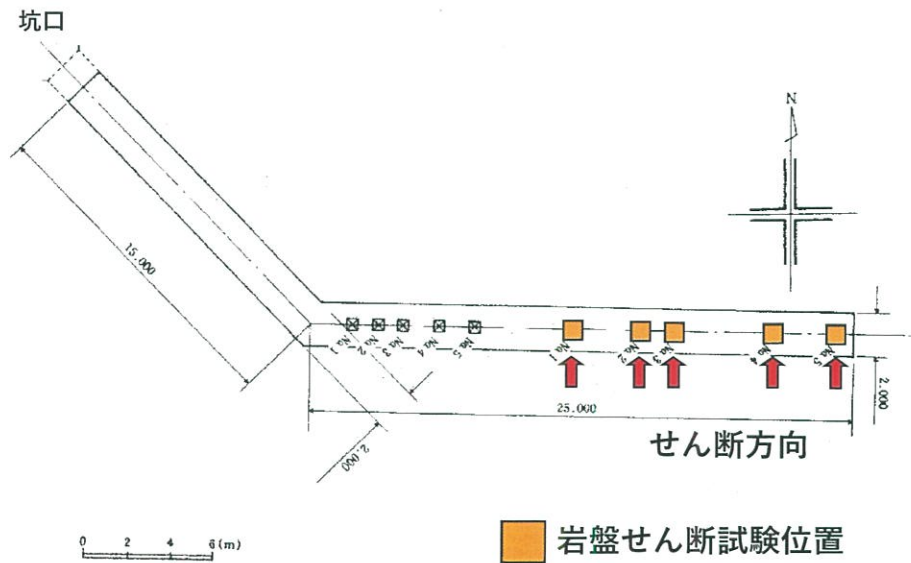


※ 設置許可申請時の表記のため単位は重力単位系

II 級岩盤の強度特性 (2)

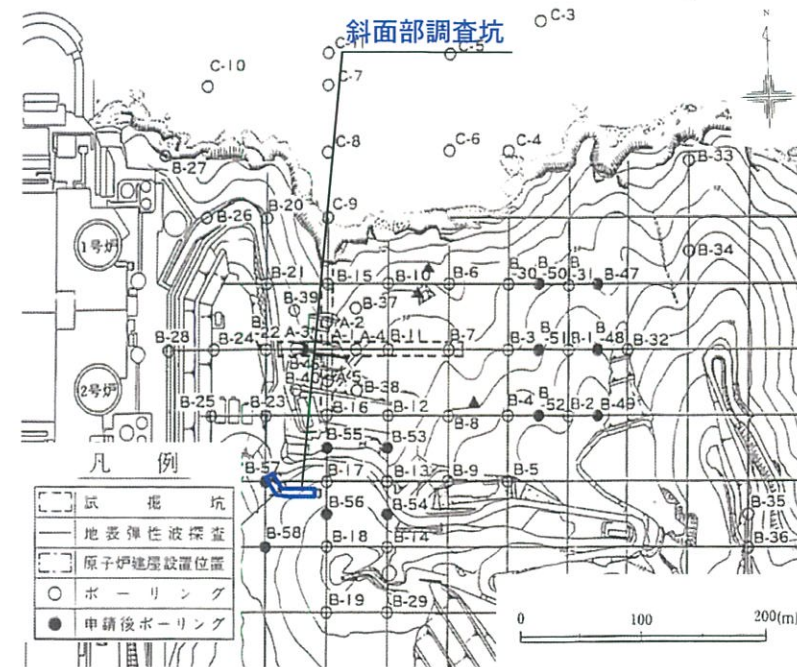
【CM級岩盤の岩盤せん断試験】

伊方発電所原子炉設置変更許可申請時(3号炉)において斜面部調査坑内で実施している。実施個所を示す。



斜面部調査坑レイアウト

伊方発電所原子炉設置変更許可申請書(3号炉)に加筆



試験位置図

伊方発電所原子炉設置変更許可申請書(3号炉)に加筆

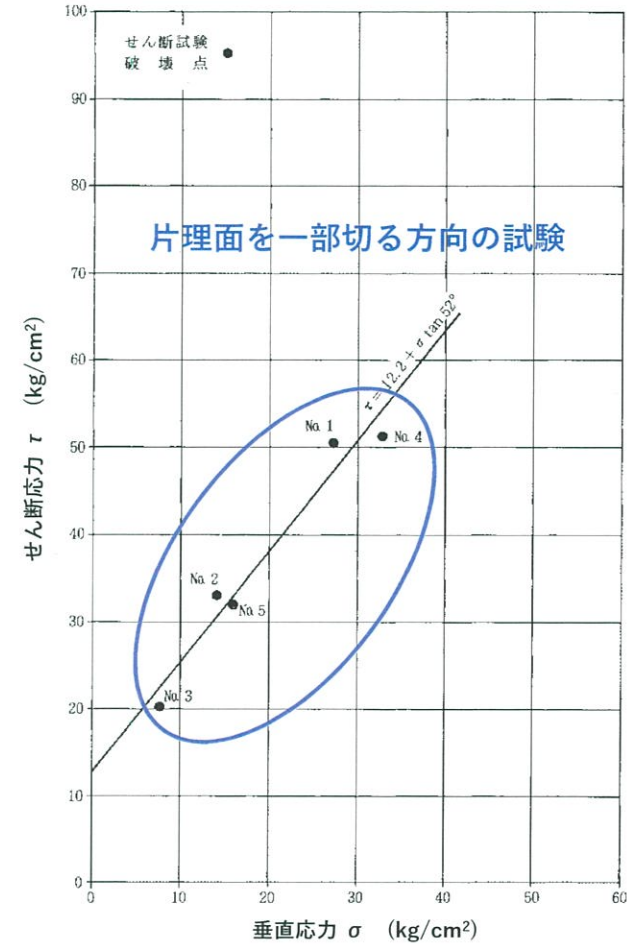
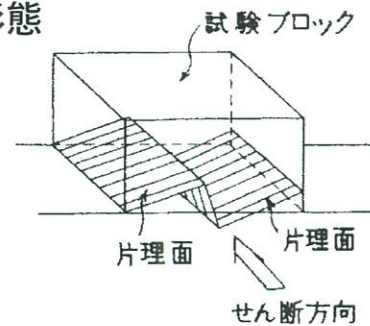
II 級岩盤の強度特性 (3)

【岩盤せん断試験結果】

ブロック No	1	2	3	4	5	
載荷方向	南 → 北	南 → 北	南 → 北	南 → 北	南 → 北	
最終応力 (kg/cm ²)	鉛直応力	27.2	14.2	7.8	32.8	15.9
	せん断応力	50.5	32.9	20.1	51.2	31.8
破壊状態	左へ15°~20°で傾斜した片理面と、高角度の節理沿いに、せん断されている。 片理面は左半分が褐色化が著しく、節理面も褐色化が著しい。	左へ20°~25°で傾斜した片理面と、高角度の節理沿いに、せん断されている。 片理面はわずかに褐色を呈し、節理面は褐色化が著しい。	左へ約25°で傾斜した片理面と、高角度の節理沿いに、せん断されている。 片理面は左半分が褐色化が著しく、右半分はわずかに褐色を呈する。 節理面は、褐色を呈する。	左へ約25°で傾斜した片理面と、高角度の節理沿いに、せん断されている。 片理面は褐色を呈し、節理面は褐色化が著しい。	左へ約20°で傾斜した片理面と、高角度の節理沿いに、せん断されている。 片理面は大半が著しく褐色を呈し、節理面も褐色化が著しい。	

伊方発電所原子炉設置変更許可申請書(3号炉)に加筆

破壊形態

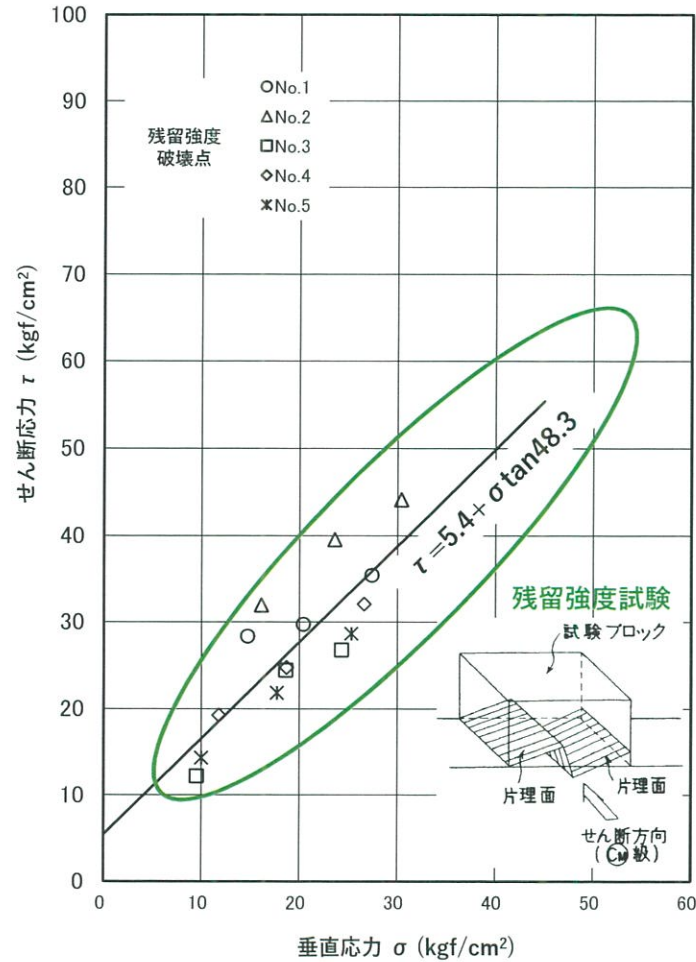


伊方発電所原子炉設置変更許可申請書(3号炉)に加筆

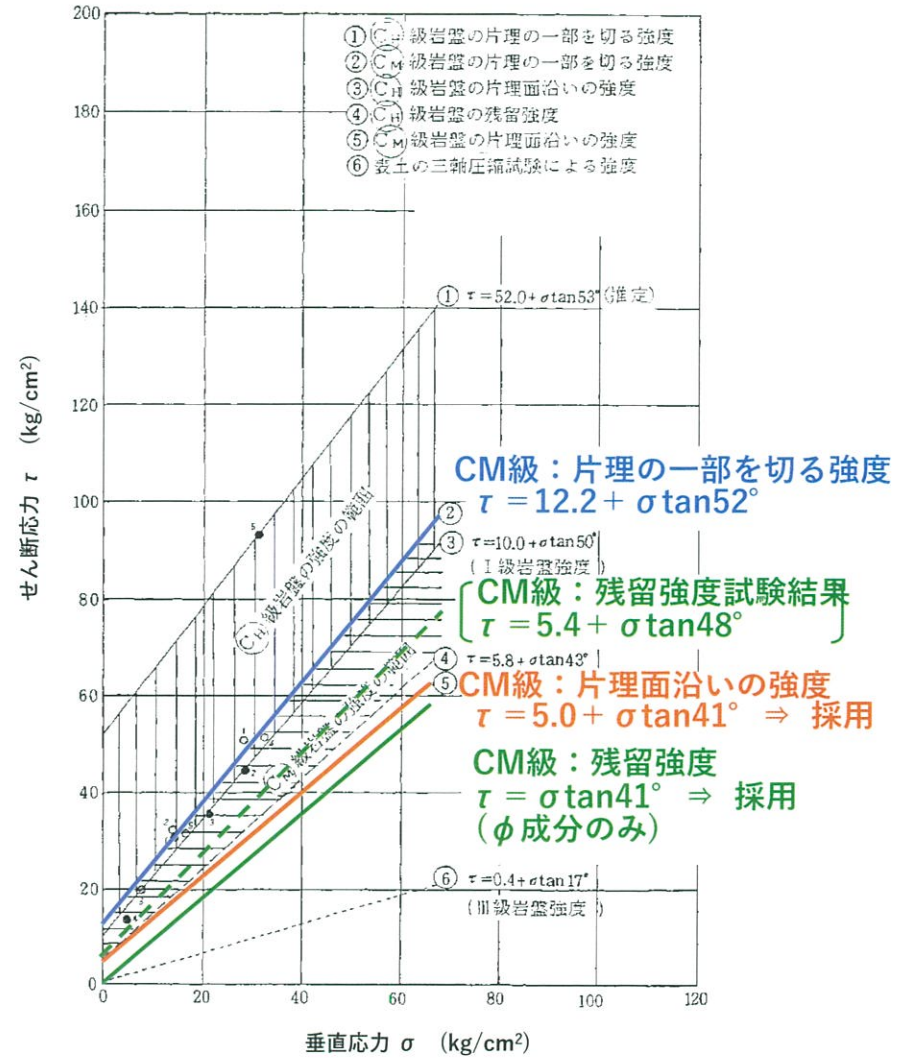
※ 設置許可申請時の表記のため単位は重力単位系

II 級岩盤の強度特性 (4)

【岩盤せん断試験結果(残留強度)】



【岩盤強度の比較】



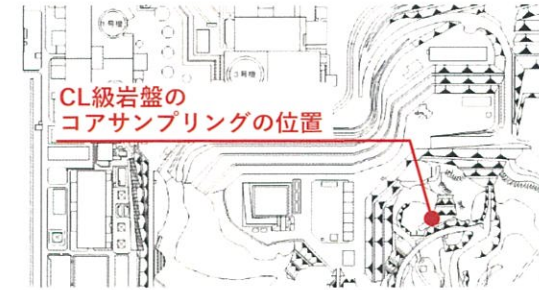
III級岩盤①(CL級岩盤)の強度特性

【三軸圧縮試験結果】

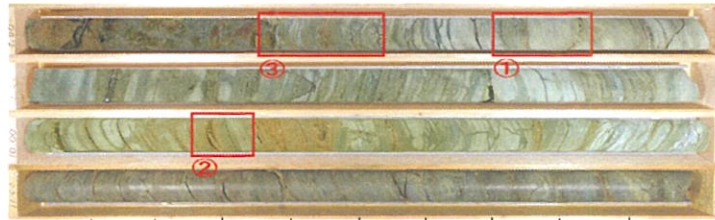
CL級岩盤の強度を

$\tau_0 = 130 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 23^\circ$ と設定。

残留強度を $\phi = 23^\circ$ (ϕ 成分のみ) と設定。

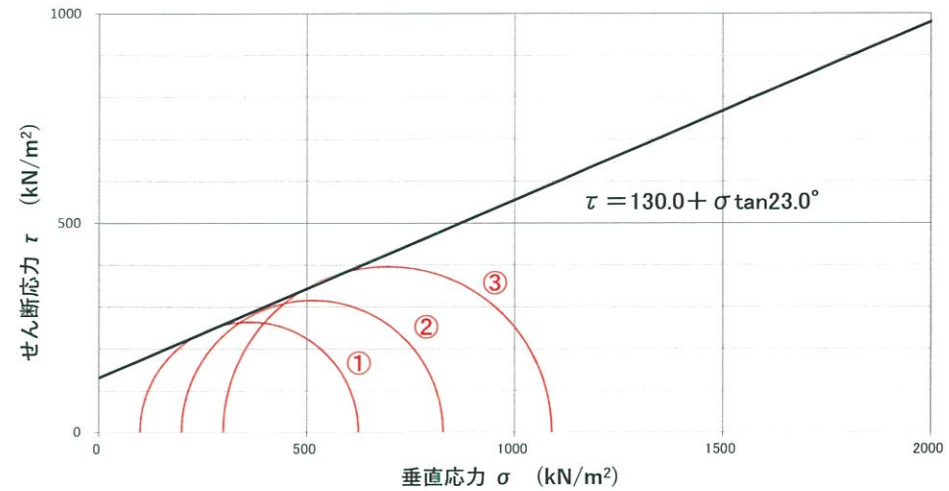


ボーリングコア写真



ボーリング柱状図

標高	深度	柱状図	岩種	色調	硬軟	割れ目の形状	風化状態	変質	記
(m)	(m)	(m)	区分	調	状	の	化	質	事
9			塩基性岩	緑灰	B	III / IV			CL級岩盤。全体に褐色味を帯び、割れ目が発達している。割れ目間隔1~3m程度。時々隙割れ目あり。割れ目沿いは褐色化している。
10	104.18	10.30							10.3~10.4m: 褐色化著しく離れコアを呈する。
11			岩	緑灰	A	II / III			C級岩盤。概ね中硬質で柱状~短柱状コアを呈する。割れ目は褐色化している。 H埋玉傾斜5°前後。
12	102.68	12.00							

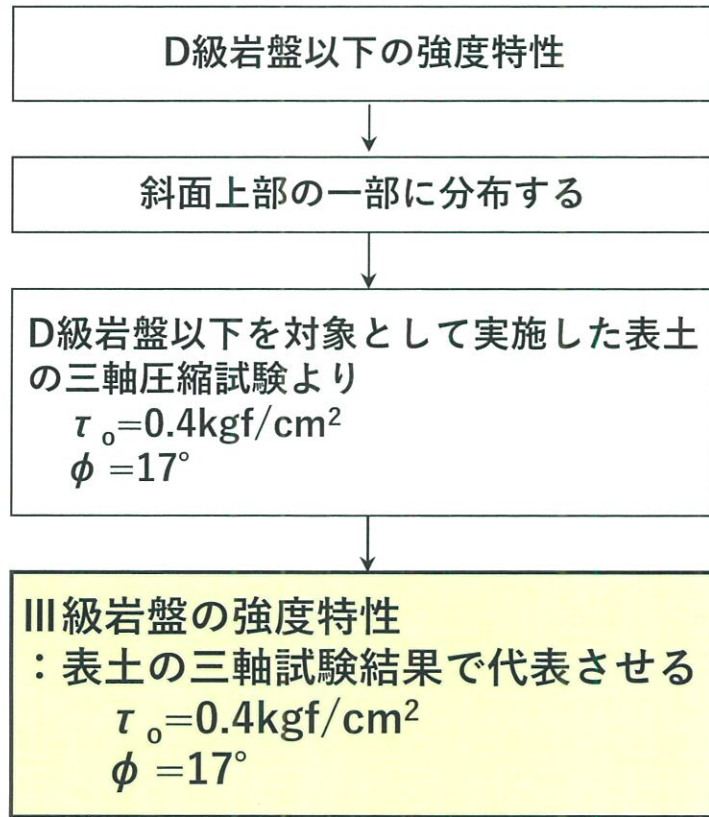


【参考】各岩盤等級から予想される物理定数の範囲

岩盤等級	岩盤の変形係数 (kgf/cm ²)	岩盤の弾性係数 (kgf/cm ²)	岩盤の粘着力 (kgf/cm ²)	岩盤の摩擦角 (°)	岩盤の弾性速度 (km/sec)	ロックハンマー反発度	孔内載荷試験による変形係数 (kgf/cm ²)	接線弾性係数 (kgf/cm ²)	引き抜き試験によるせん断強度 (kgf/cm ²)
A~B	50,000以上	80,000以上	40以上	55~65	3.7以上	36以上	50,000以上	100,000以上	20以上
C _u	50,000~20,000	80,000~40,000	40~20	40~55	3.7~3	36~27	60,000~15,000	150,000~60,000	
C _m	20,000~5,000	40,000~15,000	20~10	30~45	3~1.5	27~15	20,000~3,000	60,000~10,000	20~10
C _t	5,000以下	15,000以下	10以下	15~38	1.5以下	15以下	6,000以下	15,000以下	10~5
D									5以下

引用・加筆：岩盤分類とその適用，吉中龍之進・桜井春輔・菊池宏吉，1989年

III級岩盤，III級岩盤②(D級岩盤・表土)の強度特性

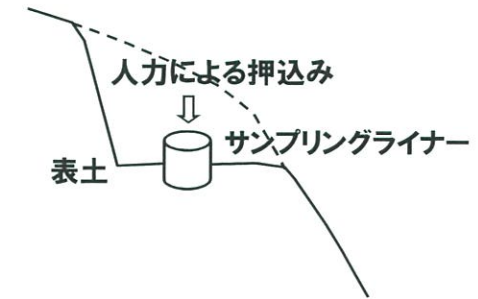


残留強度は $\phi = 17^\circ$ (ϕ 成分のみ) と設定。

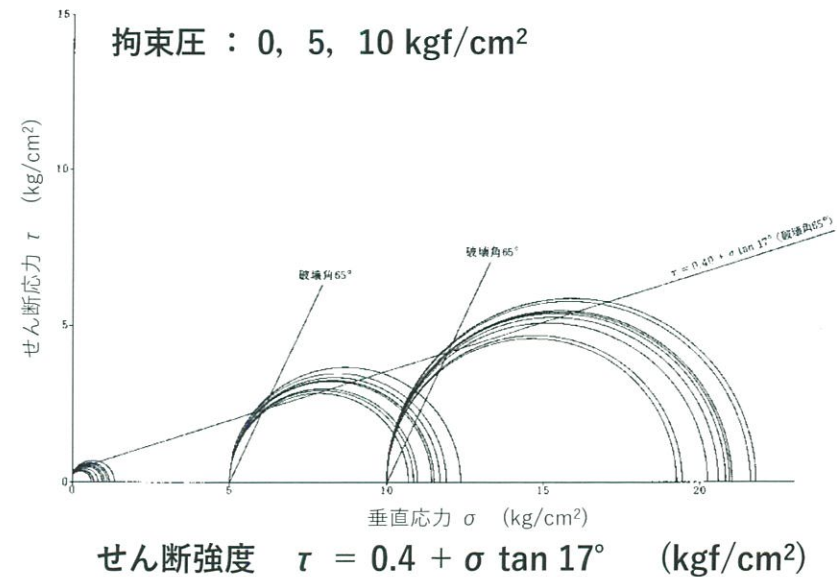
表土及びCL級岩盤の露頭部



試料採取方法



【三軸圧縮試験結果】



※ 設置許可申請時の表記のため単位は重力単位系

断層(軟質無)の強度特性

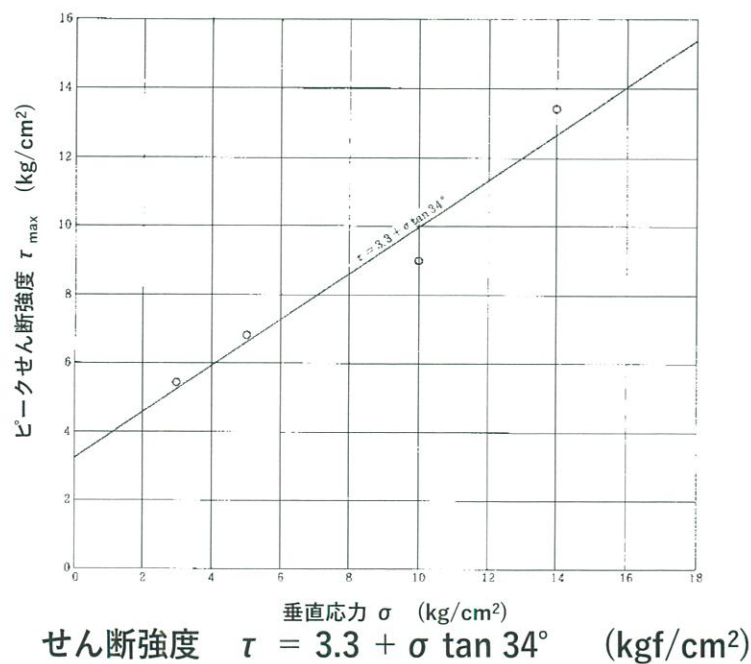
Fa-4断層より試料を採取し、静的ねじりせん断試験を実施。

断層(軟質無)のせん断強度を、 $\tau_0 = 3.3 \text{ kgf/cm}^2$, $\phi = 34^\circ$ と設定。

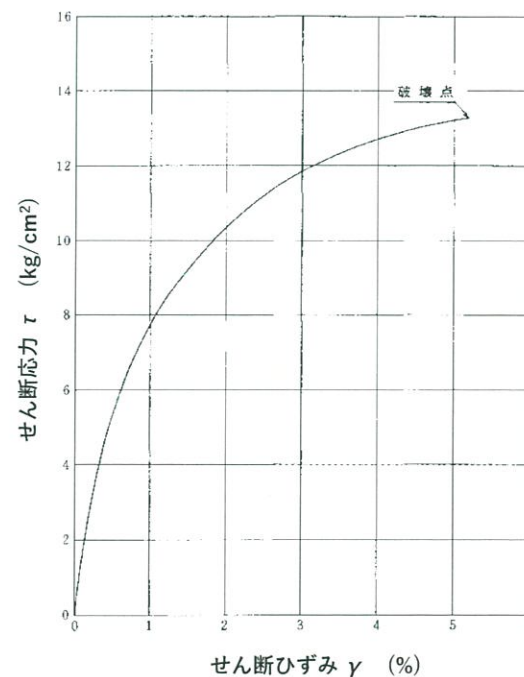
残留強度を $\phi = 34^\circ$ (ϕ 成分のみ) と設定。

【静的ねじりせん断試験結果】

垂直荷重 : 3, 5, 10, 14 kgf/cm²
(側圧は垂直荷重の1/2)



せん断応力～せん断ひずみ関係の一例



※ 設置許可申請時の表記のため単位は重力単位系

断層(軟質含)の強度特性 (1)

主要な断層(軟質含)の強度特性を把握するため、
原位置せん断試験(Fa-2断層)および静的ねじりせん断試験(Fa-3断層)を実施。

【原位置断層せん断試験結果】

せん断強度： 0.8 (kg/cm²)
= 78 (kN/m²)

内部摩擦角： 24°

【静的ねじりせん断試験結果】

せん断強度： 1.0 (kg/cm²)
= 98 (kN/m²)

内部摩擦角： 20°



ほぼ同程度



したがって、断層(軟質無)における強度については
原位置せん断試験の結果を採用し、

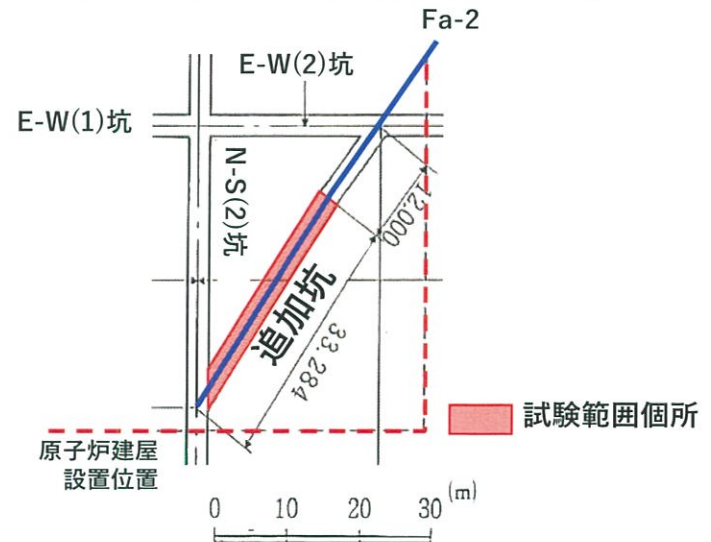
せん断強度： 0.8(kgf/cm²) = 78(kN/m²)

内部摩擦角： 24°

を採用する。

残留強度を $\phi = 24$ (ϕ 成分のみ) と設定。

原位置せん断試験の位置図 (試掘坑)

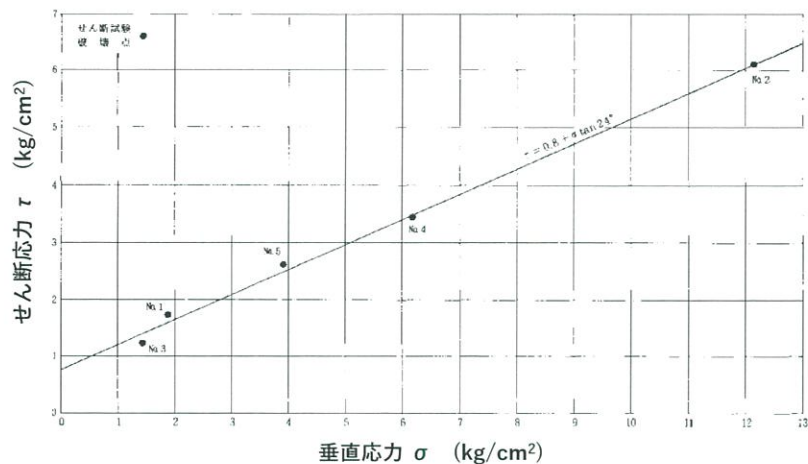


断層(軟質含)の強度特性 (2)

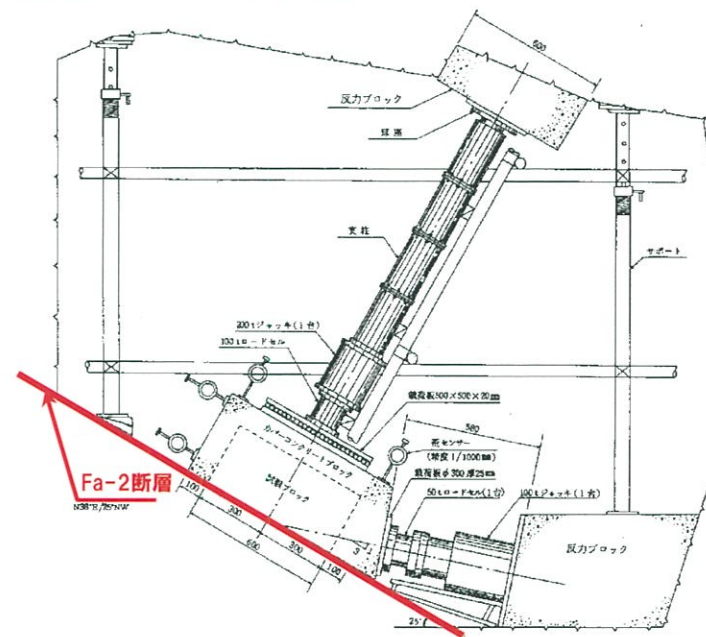
試掘坑内の追加坑において、Fa-2断層の原位置せん断試験を実施。

【原位置せん断試験結果】

ブロック No	1	2	3	4	5	
載荷方向	断層傾斜方向の 下 → 上	断層傾斜方向の 下 → 上	断層傾斜方向の 下 → 上	断層傾斜方向の 下 → 上	断層傾斜方向の 下 → 上	
最終応力 (kg/cm ²)	垂直応力	1.9	12.1	1.4	6.2	3.9
	せん断応力	1.7	6.1	1.2	3.4	2.6
破壊状態	勾配22°~25°で1向 きに傾斜した断層粘土 層に及び一部断層破砕 部沿いに破壊している。 断層粘土は、淡緑~ 淡緑褐色を呈し、0.2 cm~1cmの厚さで、広 がっている。	勾配約28°で上向き に傾斜した断層粘土層 沿いに破壊している。 断層粘土は、淡緑~ 淡緑褐色を呈し、0.5 cm前後の均一の厚さで 広がっている。	勾配約25°で1向 きに傾斜した断層粘土層 に及び一部断層破砕部 沿いに破壊している。 断層粘土は、淡緑~ 淡緑褐色を呈するが、 その厚さは、0.2cm~ 0.3cm以下である。	勾配約30°で横断 層破砕部の下(粘土) 層に及び、一部断層破砕 部にも認められる。 断層粘土は、淡緑灰 ~緑褐色を呈し、0.2 cm~1cmの厚さで広が っている。	勾配約33°で上向き に傾斜した断層粘土層 沿いに破壊している。 断層粘土は、淡赤褐 ~淡緑褐色を呈し、中 央部で薄く(0.1cm程 度)、両側で厚い(0.5 cm~1cm程度)傾向に ある。	



原位置せん断試験装置



せん断強度

$$\tau = 0.8 + \sigma \tan 24^\circ \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

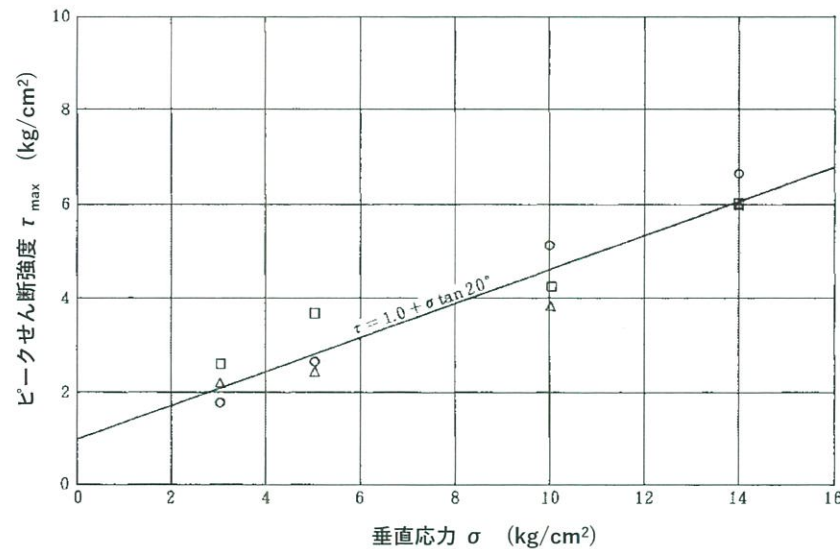
※ 設置許可申請時の表記のため単位は重力単位系

断層(軟質含)の強度特性 (3)

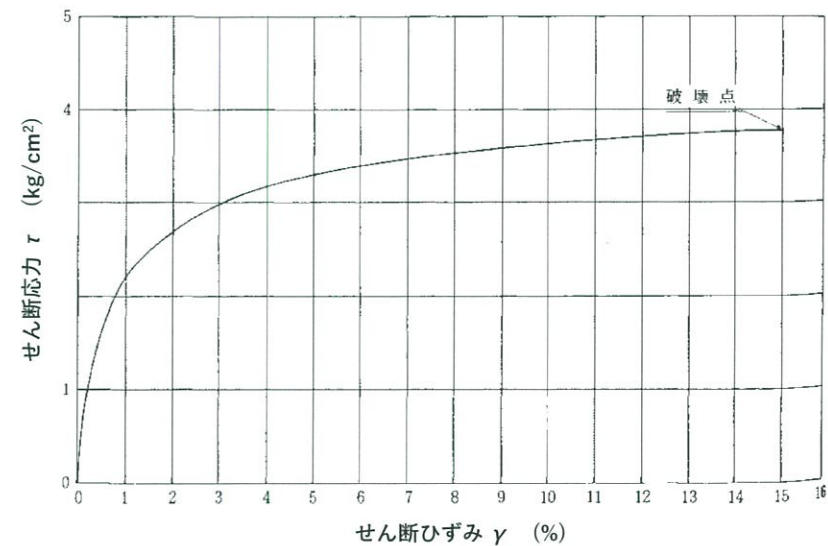
Fa-3断層より試料を採取し、静的ねじりせん断試験を実施。

【静的ねじりせん断試験結果】

垂直荷重 : 3, 5, 10, 14 kgf/cm²
(側圧は垂直荷重の1/2)



せん断応力～せん断ひずみ関係の一例



せん断強度

$$\tau = 1.0 + \sigma \tan 20^\circ \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

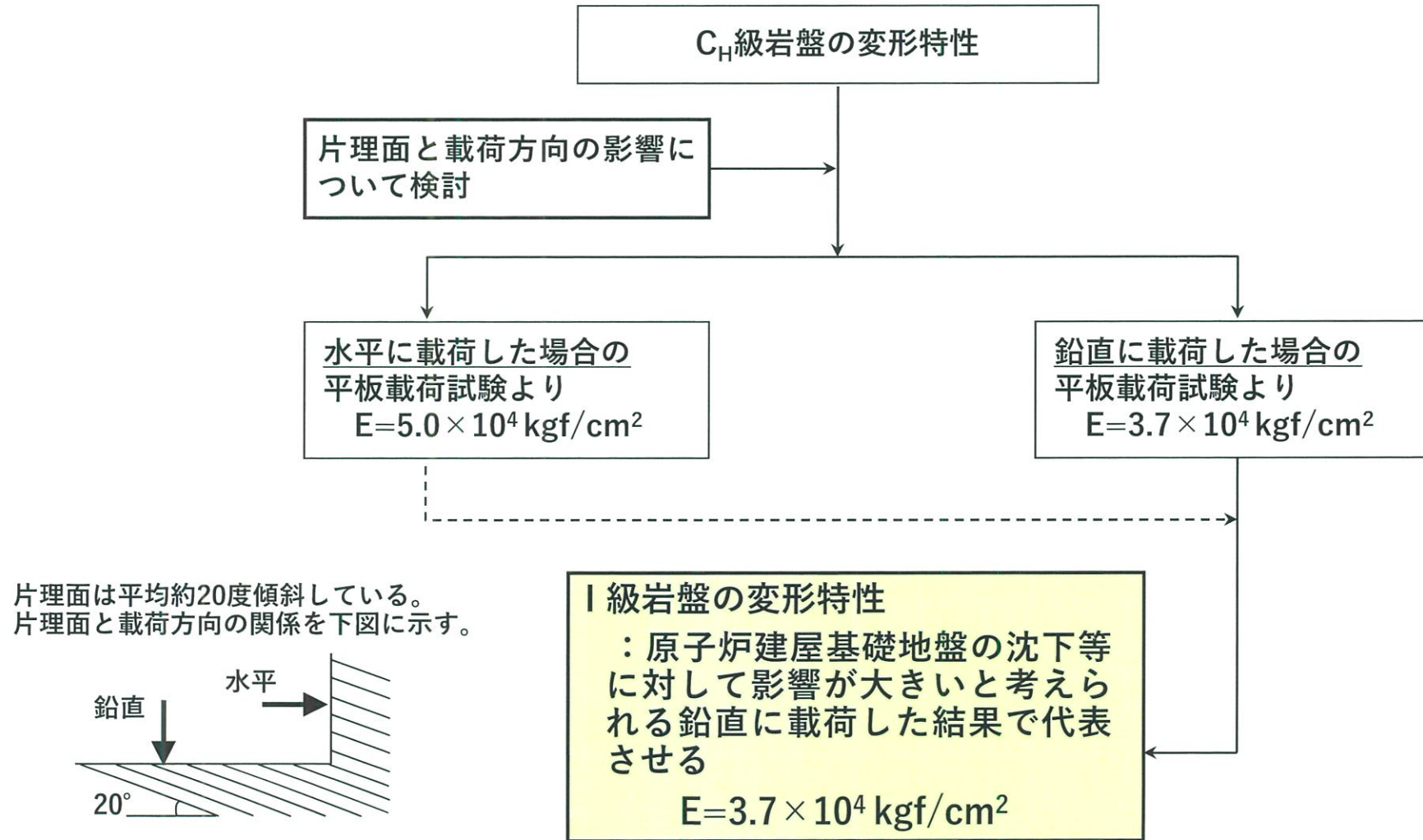
※ 設置許可申請時の表記のため単位は重力単位系

-
- I 地質の概要に関する補足
 - II 解析用物性値の設定根拠
 - 1. 解析用物性値
 - 2. 物理特性
 - 3. 強度特性
 - 4. 静的変形特性
 - 5. 動的変形特性
 - 6. 支持力の評価基準値
 - III 原子炉建屋等に関する評価の補足
 - IV 非常用ガスタービン発電機建屋に関する評価の補足
 - V 使用済燃料乾式貯蔵施設に関する評価の補足

I 級岩盤の静的変形特性 (1)

① 静弾性係数

【I 級岩盤の静的変形特性設定の考え方】



I 級岩盤の静的変形特性 (2)

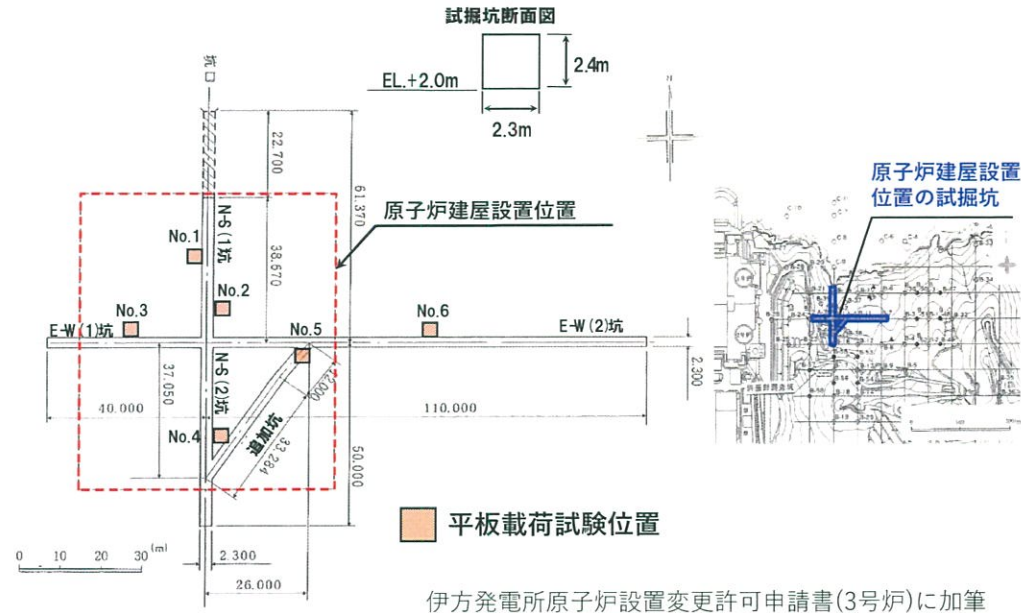
【CH級岩盤の平板載荷試験結果】

(× 10⁴kg/cm²)

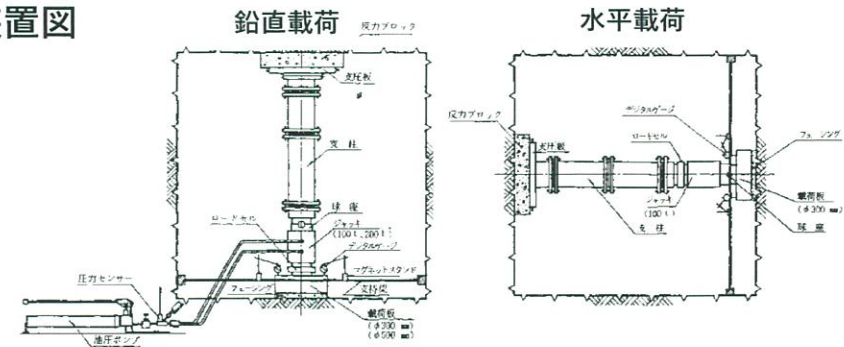
試験位置	応力範囲 荷重方向	割線弾性係数		接線弾性係数		変形係数
		0 ~ 30 kg/cm ²	0 ~ 80 kg/cm ²	10 ~ 30 kg/cm ²	50 ~ 80 kg/cm ²	
No. 1	鉛直	3.8	5.8	5.7	9.6	3.8
	水平	4.9	7.2	5.4	10.1	3.3
No. 2	鉛直	4.6	6.1	5.0	7.5	2.9
	水平	8.5	10.0	9.4	13.5	6.4
No. 3	鉛直	4.3	6.2	5.3	8.7	2.7
	水平	4.5	5.6	4.7	7.2	3.2
No. 4	鉛直	4.3	5.2	4.7	6.7	4.1
	水平	6.2	7.9	7.4	10.5	3.7
No. 5	鉛直	2.1	3.3	2.9	5.4	1.8
	水平	3.3	4.5	3.5	6.1	1.6
No. 6	鉛直	3.1	3.9	3.6	5.7	2.8
	水平	2.6	3.7	3.4	5.4	2.2
平均	鉛直	3.7	5.1	4.5	7.3	3.0
	水平	5.0	6.5	5.6	8.8	3.4
総平均		4.4	5.8	5.1	8.0	3.2

伊方発電所原子炉設置変更許可申請書(3号炉)に加筆

試験位置図 (原子炉建屋設置位置の試験掘坑)



試験装置図



※ 設置許可申請時の表記のため単位は重力単位系





I 級岩盤の静的変形特性 (3)

② 静的ポアソン比

一軸圧縮試験結果から静的ポアソン比を **0.29** と設定。

【CH級岩盤の一軸圧縮試験結果】

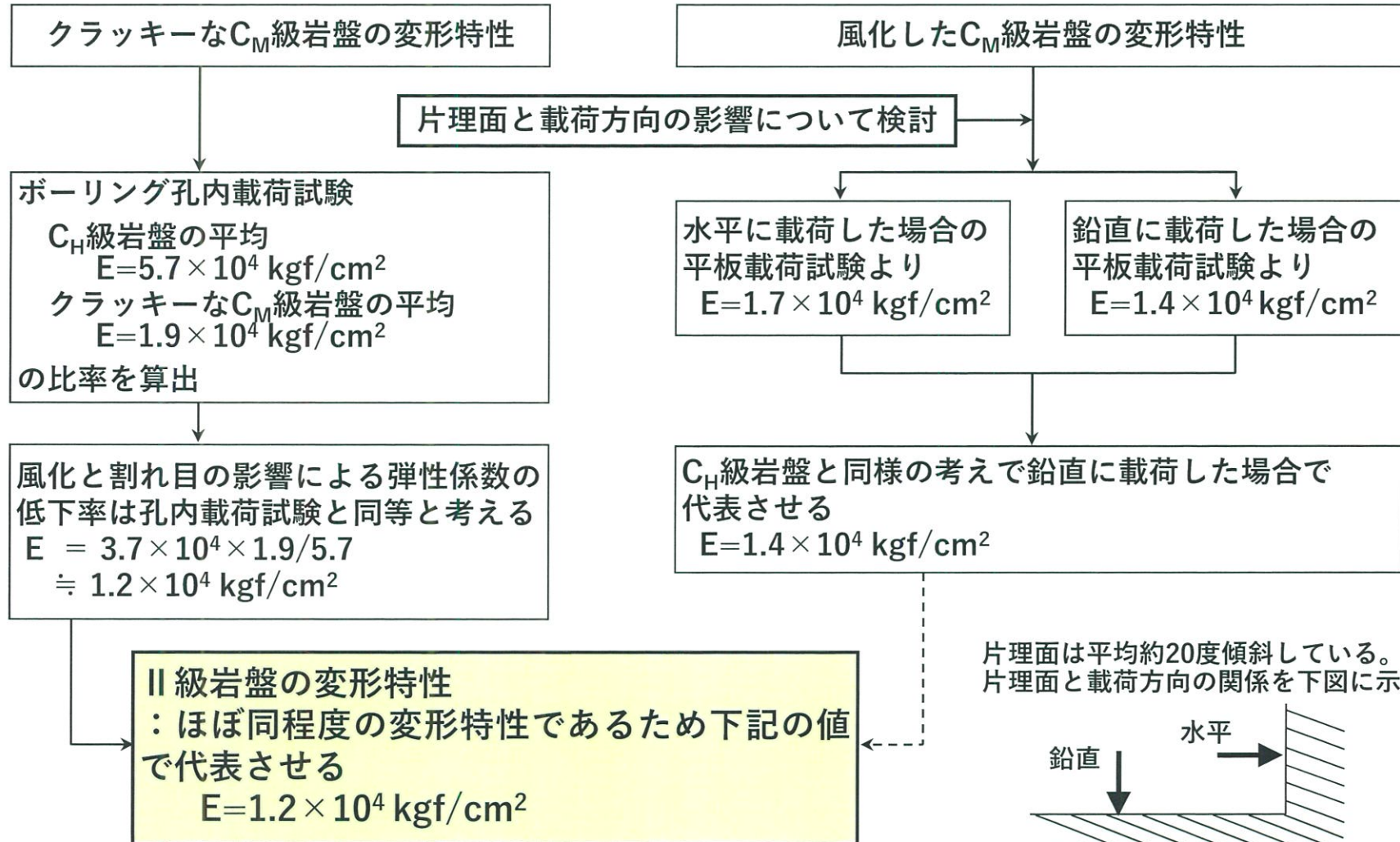
(平均値)

			密度 (g/cm ³)	一軸 圧縮強度 (kg/cm ²)	P波 速度 (km/s)	S波 速度 (km/s)	静的ポアソン比	
片理面の傾斜角	0°		湿潤	3.02	786	5.8	2.7	0.30
			乾燥	3.00	949	5.4	2.6	0.23
	30°		湿潤	3.02	682	5.3	2.6	0.33
			乾燥	3.00	836	5.0	2.6	0.24
	60°		湿潤	3.02	892	5.3	2.6	0.31
			乾燥	2.99	910	4.7	2.5	0.24
	90°		湿潤	2.99	1,138	4.9	2.5	0.20
			乾燥	2.97	1,200	3.8	2.3	0.14
	平均		湿潤	3.01	-	5.3	2.6	0.29
			乾燥	2.99	-	4.7	2.5	0.21

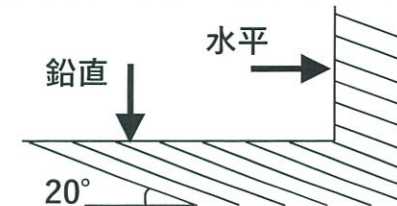
II 級岩盤の静的変形特性 (1)

① 静弾性係数

【II 級岩盤の静的変形特性設定の考え方】



片理面は平均約20度傾斜している。
片理面と载荷方向の関係を下図に示す。



II 級岩盤の静的変形特性 (2)

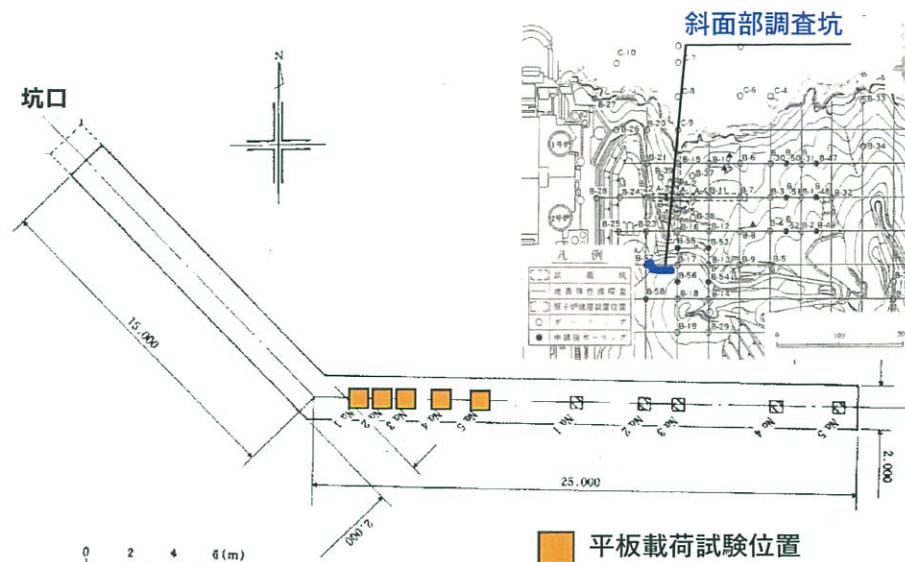
【CM級岩盤の平板載荷試験結果】

(×10⁴kg/cm²)

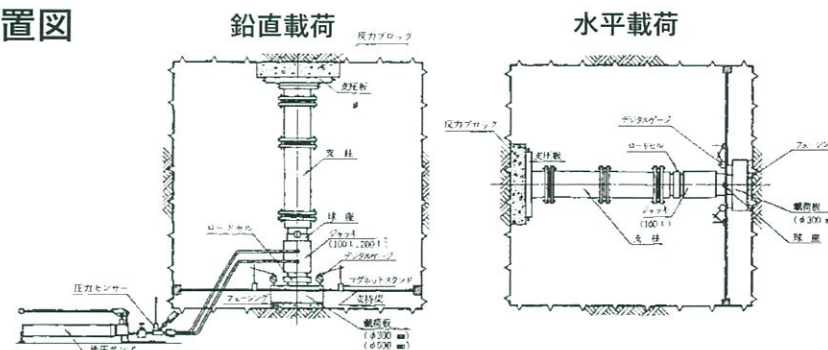
試験位置	応力範囲 荷重方向	割線弾性係数		接線弾性係数		変形係数
		0 ~ 30 kg/cm ²	0 ~ 80 kg/cm ²	10 ~ 30 kg/cm ²	50 ~ 80 kg/cm ²	
No. 1	鉛直	0.8	1.4	1.2	2.2	0.4
	水平	1.3	1.8	1.9	2.1	0.5
No. 2	鉛直	1.3	1.8	1.7	2.8	0.6
	水平	1.7	2.2	2.0	2.2	0.6
No. 3	鉛直	1.3	1.8	1.8	2.5	0.5
	水平	1.6	1.7	1.7	1.7	0.5
No. 4	鉛直	1.5	1.9	1.8	2.6	0.7
	水平	2.6	3.0	3.2	3.4	1.6
No. 5	鉛直	2.0	2.8	2.7	4.2	1.2
	水平	1.3	1.5	1.4	1.6	0.4
平均	鉛直	1.4	1.9	1.8	2.9	0.7
	水平	1.7	2.0	2.0	2.2	0.7
総平均		1.5	2.0	1.9	2.5	0.7

伊方発電所原子炉設置変更許可申請書(3号炉)に加筆

試験位置図 (斜面部調査坑)



試験装置図



※ 設置許可申請時の表記のため単位は重力単位系

II 級岩盤の静的変形特性 (3)

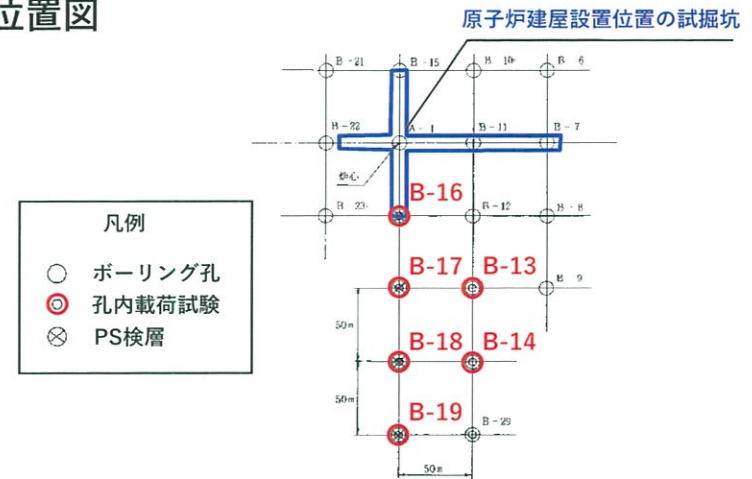
【ボーリング孔内載荷試験結果(斜面部)】

位置	ボーリング孔 No	深 度 (G L - m)	静 弾 性 係 数 ($\times 10^4 \text{kg/cm}^2$)	
			10~30kg/cm ²	10~160kg/cm ²
CH級 斜 面 部	B - 13	47.5	6.1	12.0
	B - 14	15.5	5.4	17.0
	B - 16	31.5	5.4	8.6
		58.5	5.8	5.8
	B - 17	56.5	7.2	12.0
	B - 18	38.5	4.2	3.6
平 均			5.7	9.8

位置	ボーリング孔 No	深 度 (G L - m)	静 弾 性 係 数 ($\times 10^4 \text{kg/cm}^2$)	
			10~30kg/cm ²	10~160kg/cm ²
クラッキーな CM級 斜 面 部	B - 13	35.0	1.4	1.4
	B - 14	38.5	4.0	4.0
	B - 18	26.0	0.3	0.3
		31.5	0.3	0.3
	B - 19	48.5	0.2	0.2
		55.0	5.1	5.1
平 均			1.9	1.9

位置	ボーリング孔 No	深 度 (G L - m)	静 弾 性 係 数 ($\times 10^4 \text{kg/cm}^2$)	
			10~30kg/cm ²	10~160kg/cm ²
CL級 斜 面 部	B - 19	49.0	0.7	1.2

調査位置図



② 静的ポアソン比 (CM級)

一軸圧縮試験結果より静的ポアソン比を **0.32** と設定。

試料番号	静的ポアソン比
1	0.31
2	0.36
3	0.29
4	0.36
5	0.29
6	0.31
7	0.31
8	0.36
平均	0.32

※ 設置許可申請時の表記のため単位は重力単位系

III級岩盤①(CL級岩盤)の静的変形特性

① 静弾性係数

3号炉増設時の安全審査におけるCM級の静弾性係数の設定の考え方を準用し、孔内載荷試験から求めたCL級岩盤の平均値とCH級岩盤の平均値の比を、平板載荷試験から求めたCH級岩盤の静弾性係数に乗じて算出。

$0.5 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ と設定。

$$E = 3.7 \times 10^4 \times (0.7 \times 10^4 / 5.7 \times 10^4) \\ = 0.5 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$$

		平均値
斜面部の ボーリング孔内載荷試験	CH級岩盤	$5.7 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$
	CL級岩盤	$0.7 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$
CH級の鉛直方向の平板載荷試験		$3.7 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$

② 静的ポアソン比

II級岩盤の静的ポアソン比を流用し、 0.32 と設定。

III級岩盤，III級岩盤②(D級岩盤・表土)の静的変形特性

① 静弾性係数

表土の三軸圧縮試験結果を参考に、 400kgf/cm^2 と設定。

② 静的ポアソン比

表土の三軸圧縮試験結果を参考に、 0.45 と設定。

【三軸圧縮試験結果】

静弾性係数

試料番号	静弾性係数 (kgf/cm^2)	試料番号	静弾性係数 (kgf/cm^2)
1	320	11	640
2	340	12	640
3	200	13	560
4	340	14	620
5	300	15	580
6	420	16	680
7	380	17	660
8	380	18	660
9	300	19	640
10	320	20	640
平均	481		

※ $\varepsilon = 0.5\%$ 時の静弾性係数

静的ポアソン比

試料番号	静的ポアソン比
1	0.417
2	0.428
3	0.413
4	0.419
5	0.419
6	0.434
7	0.415
8	0.428
9	0.425
10	0.427
平均	0.422

※ $\varepsilon = 0.5\%$ 時の静的ポアソン比

断層(軟質無)の静的変形特性

① 静弾性係数

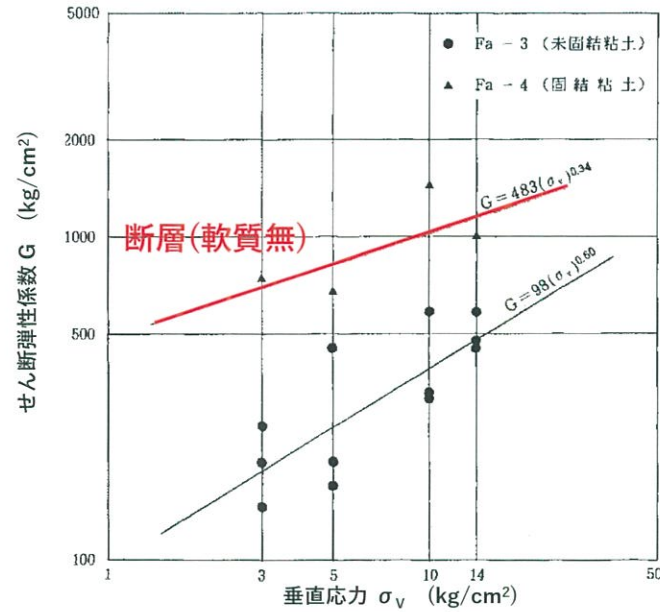
静的ねじりせん断試験結果より, $E=1,310 \sigma_v^{0.34} \text{ kgf/cm}^2$ と設定。

② 静的ポアソン比

断層(軟質無)の動的ポアソン比にII級岩盤の静的ポアソン比/動的ポアソン比を乗じて

0.36 と設定。 $\nu_d = 0.40 \times (0.32/0.38) = 0.36$

【静的ねじりせん断試験結果】



静的ねじりせん断試験結果より

$$G = 483 \sigma_v^{0.34} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

ここで, σ_v : 垂直応力

静的ポアソン比 $\nu = 0.36$ より

$$E = 1,310 \sigma_v^{0.34} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

$$= 27,000 \sigma_v^{0.34} \quad (\text{kN/m}^2)$$

断層(軟質含)の静的変形特性

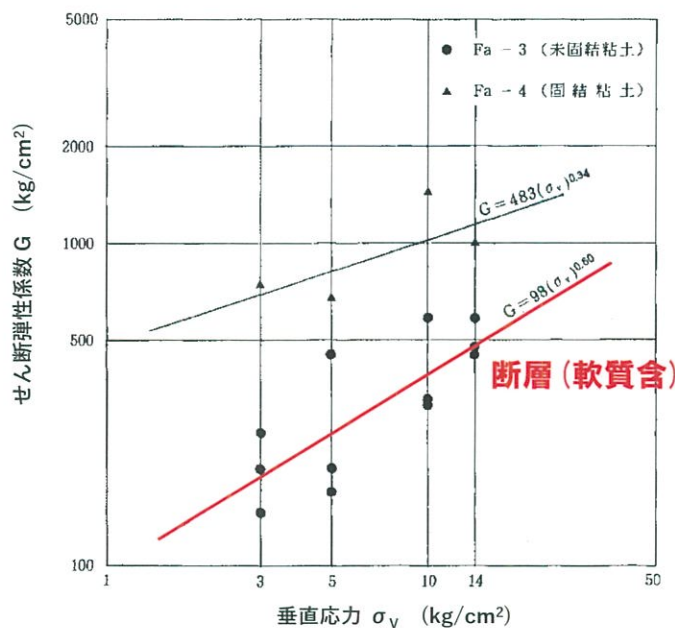
① 静弾性係数

静的ねじりせん断試験結果より, $E=280 \sigma_v^{0.60} \text{ kgf/cm}^2$ と設定。

② 静的ポアソン比

表土の試験結果を流用し, 0.45 と設定。

【静的ねじりせん断試験結果】



※ $\gamma = 0.5\%$ 時のせん断弾性係数

静的ねじりせん断試験結果より

$$G = 98 \sigma_v^{0.60} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

ここで, σ_v : 垂直応力

静的ポアソン比 $\nu = 0.45$ より

$$E = 280 \sigma_v^{0.60} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

$$= 1,750 \sigma_v^{0.60} \quad (\text{kN/m}^2)$$

-
- I 地質の概要に関する補足
 - II 解析用物性値の設定根拠
 - 1. 解析用物性値
 - 2. 物理特性
 - 3. 強度特性
 - 4. 静的変形特性
 - 5. 動的変形特性
 - 6. 支持力の評価基準値
 - III 原子炉建屋等に関する評価の補足
 - IV 非常用ガスタービン発電機建屋に関する評価の補足
 - V 使用済燃料乾式貯蔵施設に関する評価の補足

I 級岩盤の動的変形特性 (1)

3号炉増設時の安全審査において実施した弾性波探査等から得られた弾性波速度 V_p およびせん断弾性波速度 V_s を用いて、動的変形特性を設定。

【動的変形特性に関する調査項目】

- ・ ボーリング孔内PS検層
- ・ 試掘坑の坑道間における弾性波探査
- ・ 試掘坑道沿いの弾性波探査
- ・ ボーリング孔と試掘坑道間における弾性波探査

【I 級岩盤の動的変形特性】

弾性波探査結果等をもとにI 級岩盤を3層に区分し、動的変形特性を設定。

解析用 岩盤分類	弾性波速度		単位体積重量 γ (kN/m ³)	G (kN/m ²)	E (kN/m ²)	V_d	h (%)
	V_p	V_s					
I 級①	5.5	2.7	29.4	21.9×10^6	58.8×10^6	0.34	2.0
I 級②	4.7	2.3		15.9×10^6	42.2×10^6		
I 級③	3.5	1.7		8.68×10^6	23.5×10^6		

I 級岩盤の動的変形特性 (2)

【動的変形特性の設定方法】

① 動弾性係数

$$G = \rho \cdot Vs^2 \\ = (\gamma/g) \cdot Vs^2$$

$$E = 2 \cdot (1 + \nu_d) \cdot G$$

- γ : 単位体積重量 (岩石試験結果より)
 g : 重力加速度
 Vs : せん断弾性波速度 (弾性波探査等の結果より)
 ν_d : 動的ポアソン比 (弾性波探査等の結果②より)

② 動的ポアソン比

$$\nu_d = 1/2 \cdot \{(Vp/Vs)^2 - 2\} / \{(Vp/Vs)^2 - 1\}$$

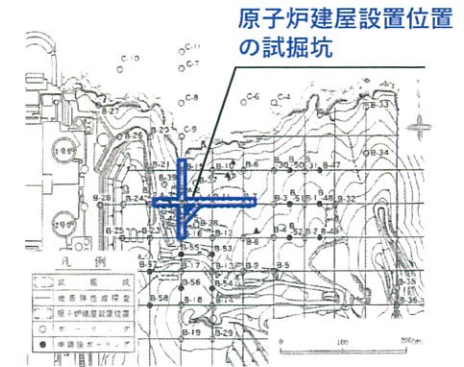
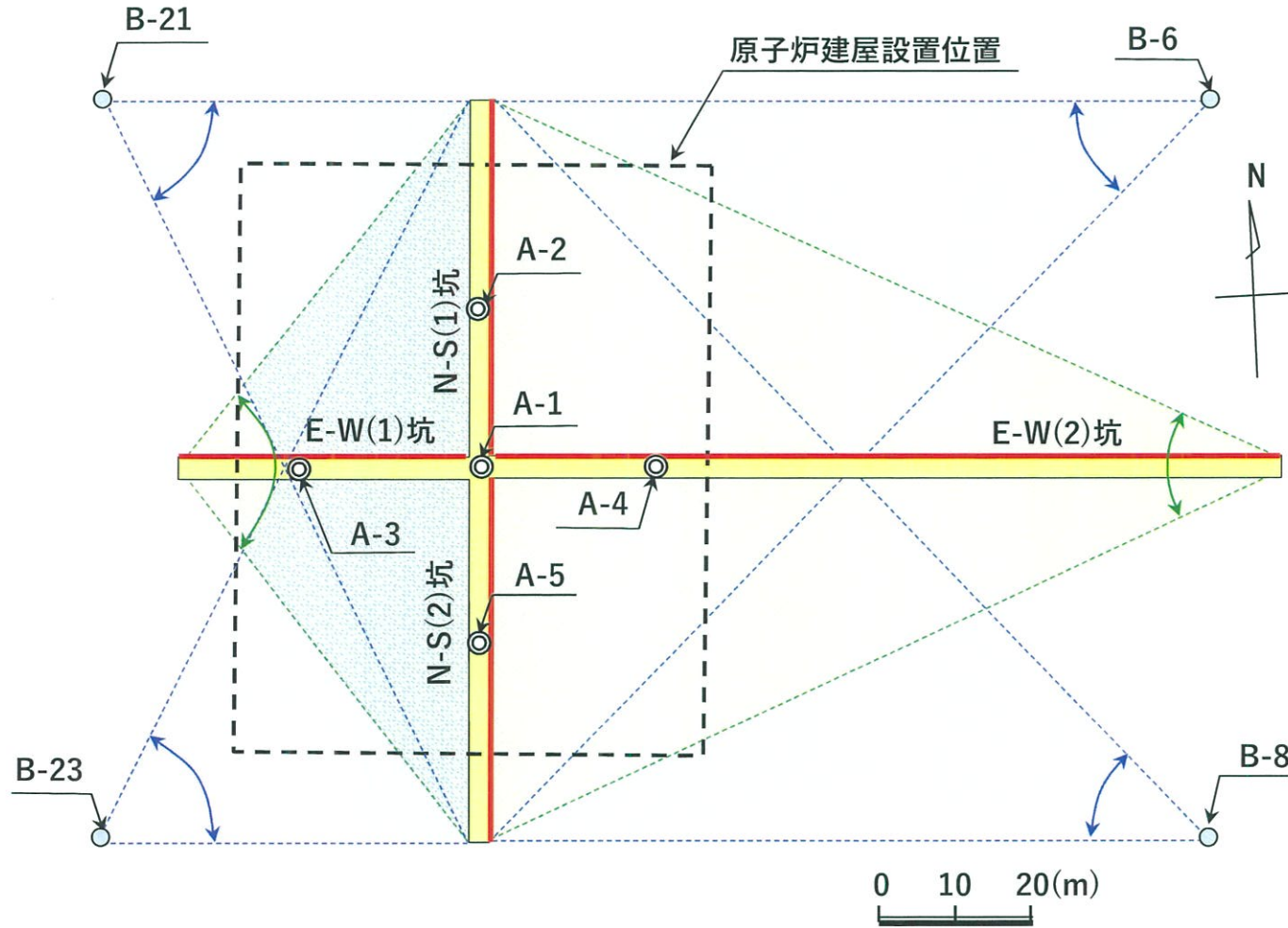
- ν_d : 動的ポアソン比
 Vp : 弾性波速度 (弾性波探査等の結果より)
 Vs : せん断弾性波速度 (弾性波探査等の結果より)

③ 減衰定数

PS検層によるQ値から設定。

I 級岩盤の動的変形特性 (3)

【試掘坑内における各調査位置および範囲図】



	試掘坑
	PS検層
	試掘坑道沿いの 弾性波探査
	試掘坑の坑道間 における弾性波探査
	ボーリング孔と試掘 坑道間における 弾性波探査
	ボーリング孔

I 級岩盤の動的変形特性 (4)

【速度構造に関する調査①】

岩盤の動的特性について速度構造より評価を行う。

敷地に広く分布する塩基性片岩の速度構造の異方性を把握するため、3号炉設置変更許可申請時に試掘坑およびボーリング孔より各種試験を実施している。

以下に実施した各種試験および試験方法を示す。

○ PS検層

深さ方向の速度構造を把握するため試掘坑内からのボーリング孔を利用してPS検層(ダウンホール法)を実施。受振は5m間隔で行い、少量の発破および板叩き法による発振を行い、各受振点の記録から走時曲線を描き、これを解析してP波、S波の伝播速度を算出している。

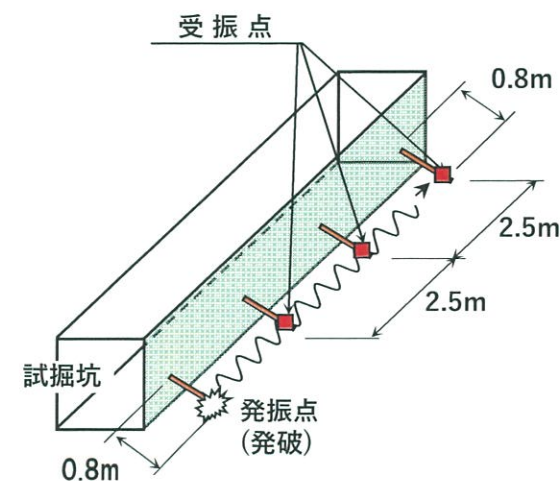
なお、試掘坑における片理面の傾斜がほぼ水平であることから、ボーリング孔を利用したPS検層では片理面と直交する方向の速度構造の確認ができる。

○ 試掘坑道沿いの弾性波探査

平面的な速度構造を把握するため試掘坑道沿いにおいて屈折法により弾性波探査を実施。

探査は坑道沿いに2.5m間隔で受振点を設け、発破により発振を行い、各受振点の記録から走時曲線を描き、これを解析してP波、S波の伝播速度を算出している。

なお、試掘坑道沿いの弾性波探査では、試掘坑での片理面の傾斜が、ほぼ水平であることから片理面に沿う方向の速度構造を把握することができる。



I 級岩盤の動的変形特性 (5)

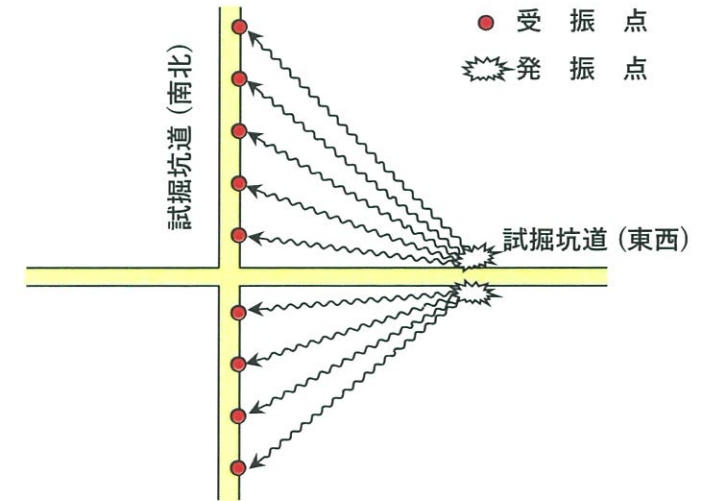
【速度構造に関する調査②】

○ 試掘坑の坑道間における弾性波探査

方向による速度構造の変化を確認するため試掘坑道間における弾性波探査を実施。

試掘坑道間における弾性波探査は、南北方向の坑道側壁に受振点を設置し、東西方向の坑道に発振点を設けて試験を実施。

受振間隔は2.5m間隔とし、発破による発振を行い各受振点の記録より解析してP波、S波の伝播速度を算出している。

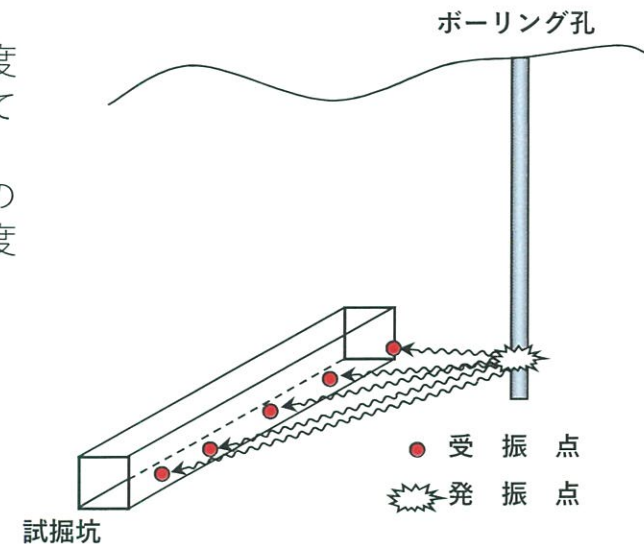


○ ボーリング孔と試掘坑道間における弾性波探査

試掘坑の坑道間における弾性波探査と同様に、方向による速度構造の変化を把握するためボーリング孔と試掘坑との間において弾性波探査を実施。

探査は、南北方向の坑道両側に受振点を設置し、試掘坑周辺のボーリング孔内に発振点を設けてボーリング孔と坑道間との速度構造を調査したもの。

受振間隔は5.0m間隔とし、各受振点の記録より解析してP波、S波の伝播速度を算出している。



I 級岩盤の動的変形特性 (6)

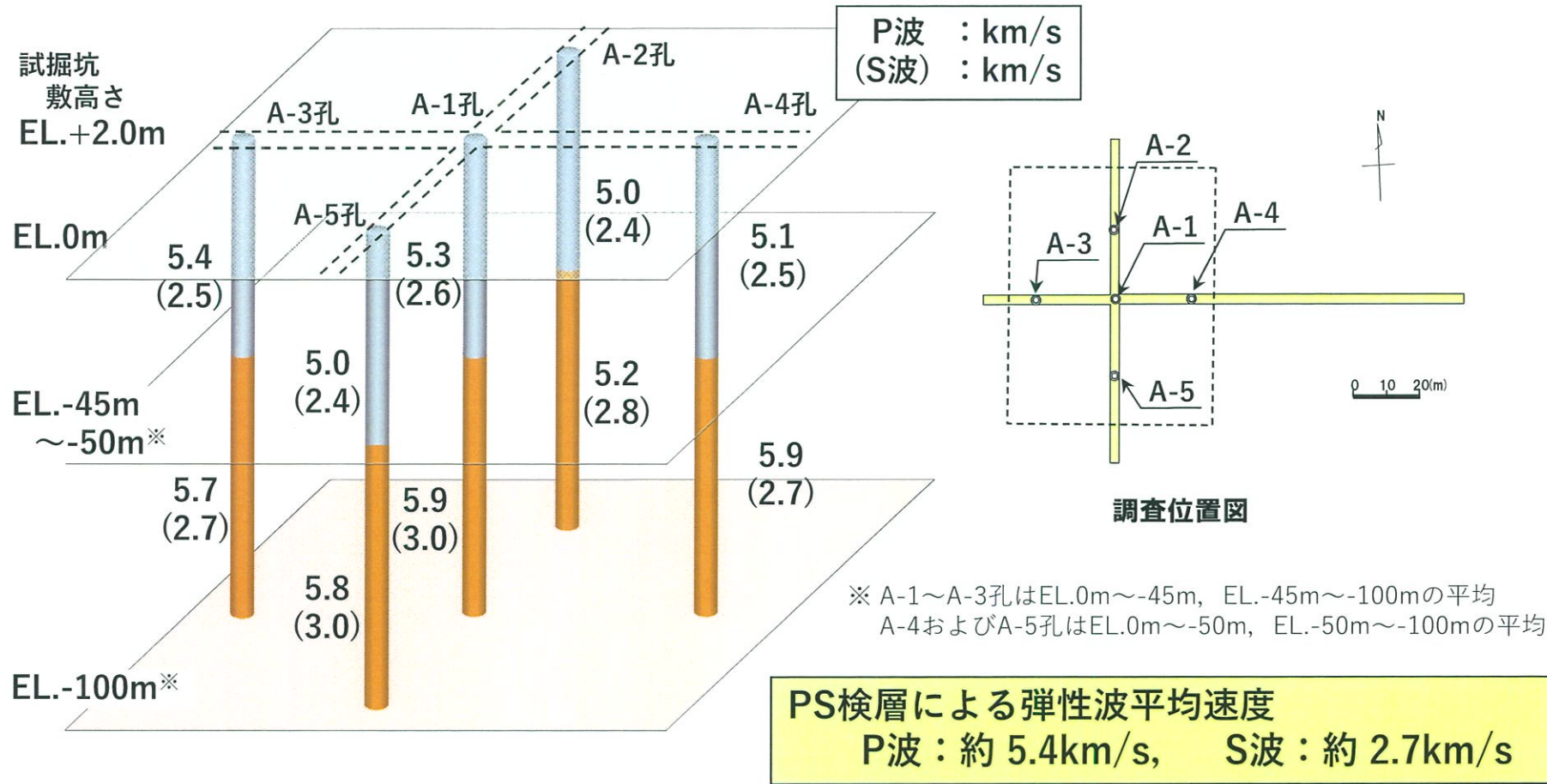
【調査項目および数量一覧】

調査項目	数 量
PS検層	測定孔：100m×5=500m (A-1, A-2, A-3, A-4, A-5ともに各100m) 受振点間隔：5.0m 受振点数：20点×5=100点 発振点：5点
試掘坑道沿いの弾性波探査	測線長：247.7m 南北坑道 99.25m 東西坑道 148.45m 受振点間隔：2.5m 受振点数：100点(南北坑道 40点, 東西坑道 60点) 発振点数：12点(南北坑道 5点, 東西坑道 7点)
試掘坑の坑道間における弾性波探査	測線長：99.25m×2=198.5m (南北坑道東側側壁, 南北坑道西側側壁) 受振点間隔：2.5m 受振点数：40×2=80点 発振点数：7×2=14点 (東西坑道北側側壁7点, 東西坑道南側側壁7点)
ボーリング孔と試掘坑道間における弾性波探査	測線長：99.25m×2=198.5m (南北坑道東側側壁, 南北坑道西側側壁) 受振点間隔：5.0m 受振点数：20×2=40点 発振孔：B-6, B-8, B-21, B-23

I 級岩盤の動的変形特性 (7)

【結果①】 PS検層

基礎岩盤の炉心標高以下(EL.0m~-100m)のボーリング孔で実施したPS検層の結果を示す。
原子炉建屋基礎部における深さ方向の弾性波平均速度は、P波が約5.4km/s、S波が約2.7km/sである。



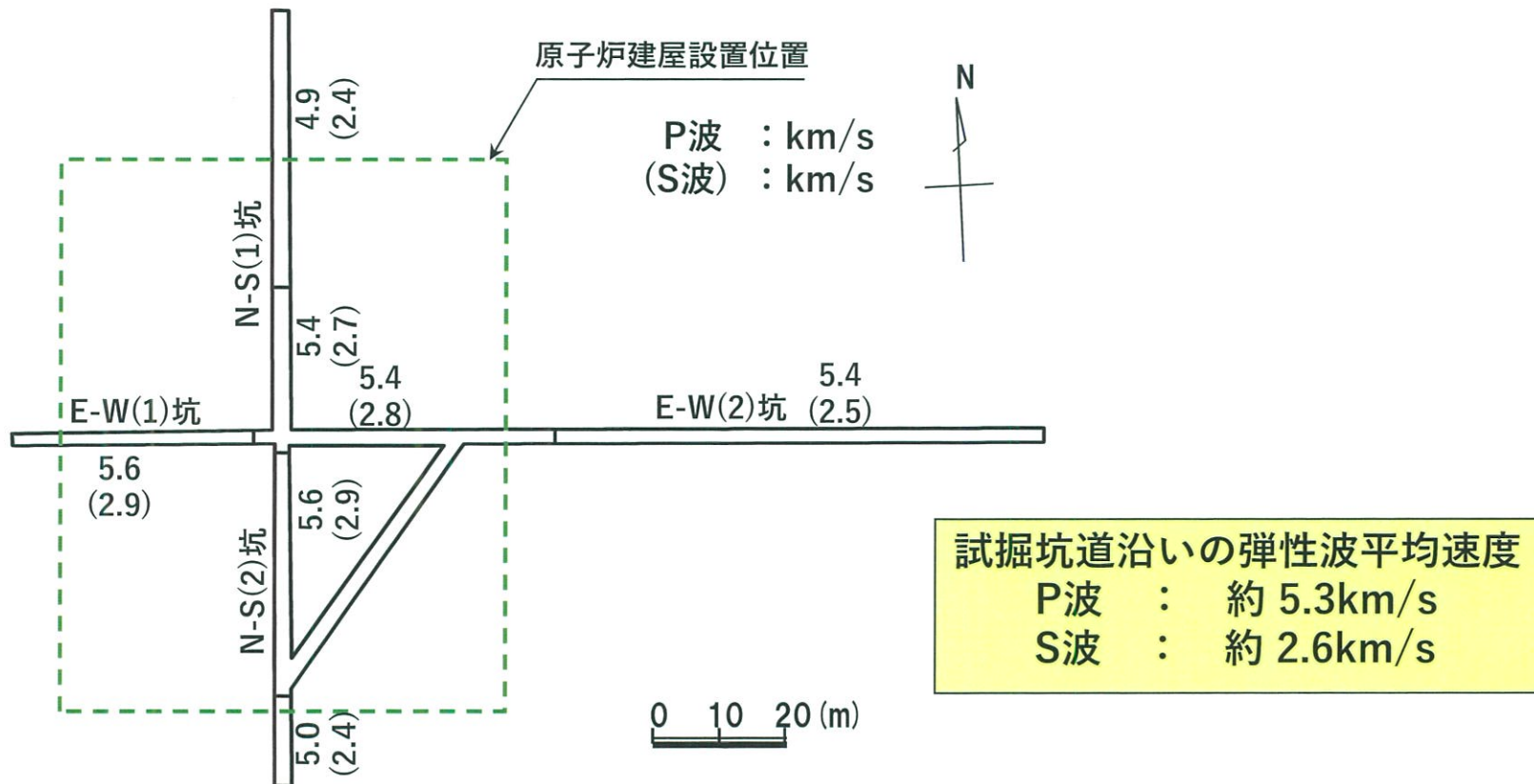
I 級岩盤の動的変形特性 (8)

【結果②】 試掘坑沿いの弾性波探査

試掘坑道沿いで実施した弾性波探査より得られたP波およびS波速度を示す。

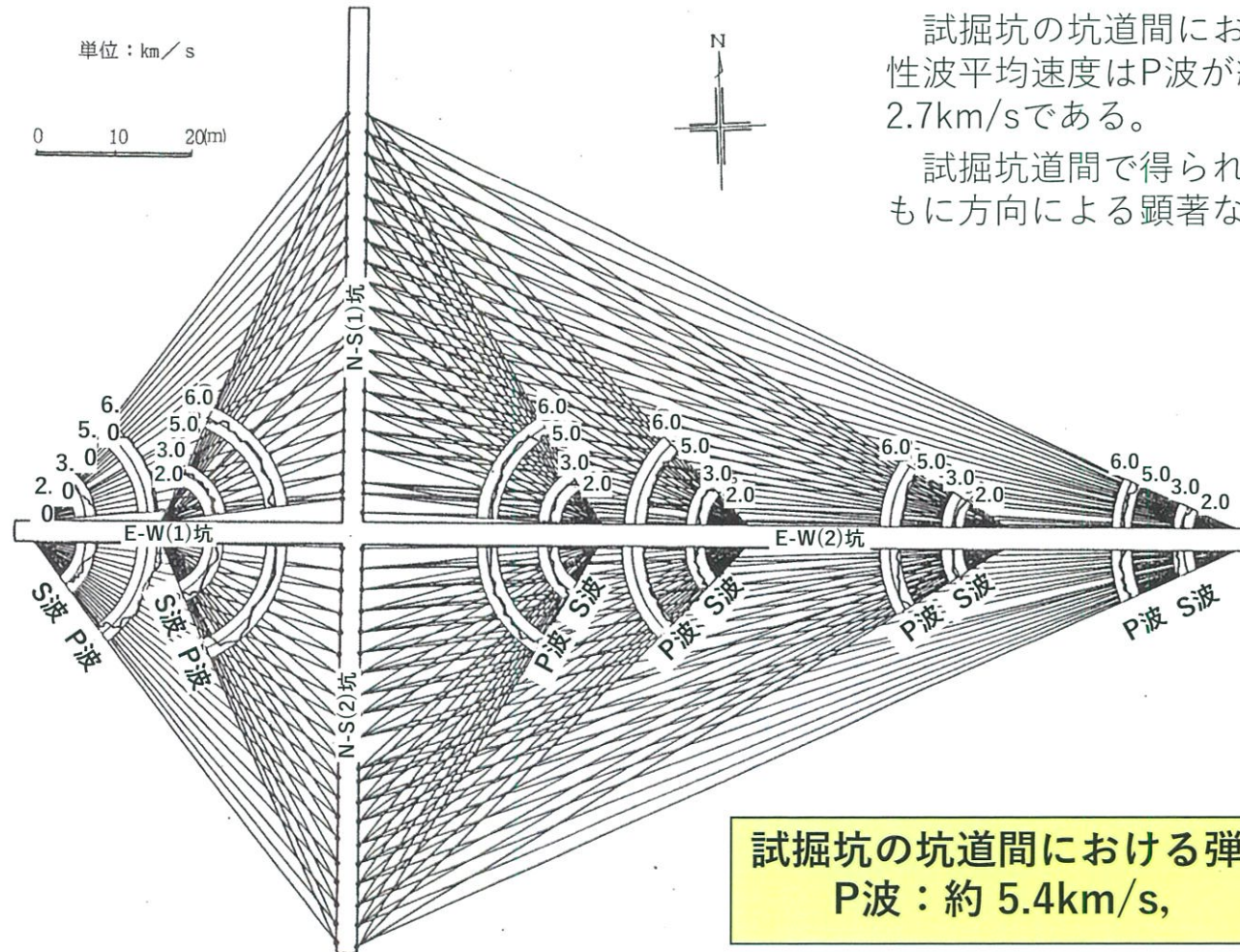
探査の結果，原子炉建屋基礎部の岩盤(電研区分C_H級岩盤)の弾性波平均速度はP波が約5.3km/s，S波が約2.6km/sである。

試掘坑道沿いの弾性波探査の結果は，PS検層の結果と比較してほぼ同様な値となっており，片理面に沿う方向の速度と片理面と直交する方向の速度に顕著な差異は認められない。



I 級岩盤の動的変形特性 (9)

【結果③】 試掘坑の坑道間における弾性波探査



試掘坑の坑道間における弾性波探査の結果、弾性波平均速度はP波が約5.4km/s、S波が約2.7km/sである。

試掘坑道間で得られた各P波およびS波速度はともに方向による顕著な差は認められない。