

女川原子力発電所2号炉

耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の

基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価について(補足説明資料)

平成31年 4月 5日
東北電力株式会社

目次

- 1. 評価断面の選定に関する補足 2
- 2. 解析用物性値に関する補足 15
- 3. 安定性評価に関する補足 64
- 4. 防潮堤の設計方針について(平成31年1月15日審査会合資料抜粋) 80
- 5. 地下水位の設定について(平成31年3月26日審査会合資料抜粋) 92

目次

1. 評価断面の選定に関する補足
2. 解析用物性値に関する補足
3. 安定性評価に関する補足
4. 防潮堤の設計方針について(平成31年1月15日審査会合資料抜粋)
5. 地下水位の設定について(平成31年3月26日審査会合資料抜粋)

1. 評価断面の選定に関する補足

1.1 対象施設の諸元(O.P.+14.8m盤の直接基礎)

対象施設		施設の重量※1 (MN)	施設の 接地面積 (m ²)	施設の 接地圧 (MN/m ²)	
O.P.+14.8m盤の 対象施設	直接 基礎	原子炉建屋	3,415	6,468	0.53
		制御建屋	359	1,845	0.19
		排気筒	608	1,444	0.42
		復水貯蔵タンク基礎	159	868	0.18
		逆流防止設備	2	28	0.07
		海水ポンプ室	786	2,318	0.34
		取水口	140	991	0.14
		取水路	211	1,846	0.12
		排気筒連絡ダクト	81	1,087	0.07
		補機配管ダクト	15	110	0.14
		軽油タンク室	69	649	0.11
		軽油タンク連絡ダクト	13	216	0.06
		取放水路流路縮小工(1号炉取水路)	1	18	0.06
		取放水路流路縮小工(1号炉放水路)	2	36	0.06
		3号炉海水ポンプ室	669	1,766	0.38
		3号炉海水熱交換器建屋	523	1,740	0.30
		揚水井戸	2	24	0.08
		地下水位低下設備(原子炉建屋周辺)※2	4	425	0.01
		防潮堤 (盛土堤防)	セメント改良土	2,289	7,204
	置換コンクリート		808	0.40※4	
計	3,097		-		

※1: 施設の重量は基本設計段階の情報に基づく。

※2: 代表施設である2号原子炉建屋周辺に設置される地下水位低下設備の重量を示す。

※3: セメント改良土の形状が断面によって異なるため、セメント改良土の重量が大きくなる断面の形状にて算出。

※4: 置換コンクリートの設置レベルが断面によって異なるため、設置レベルが深くなり、置換コンクリートの重量が大きくなる断面の形状にて算出。

1. 評価断面の選定に関する補足

1.1 対象施設の諸元(O.P.+14.8m盤の杭基礎及びO.P.+62m盤の直接基礎)

対象施設			施設の重量※1 (MN)	施設の 接地面積 (m ²)	施設の 接地圧 (MN/m ²)	
O.P.+14.8m盤の 対象施設	杭基礎	防潮堤 (鋼管式鉛直壁) 一般部 (1ブロック36m あたり)	鋼管杭 (鋼管杭が支持する鋼 製遮水壁, 止水目地, 頂部はり含む)	23	44	0.52
			背面補強工	62	437	0.14
			置換コンクリート	327※2	455	0.72
			計	412※2	936	-
		防潮堤 (鋼管式鉛直壁) 岩盤部	鋼管杭 (鋼管杭が支持する鋼 製遮水壁, 止水目地 含む)	2	5	0.40
		防潮壁	2号炉海水ポンプ室※3	23	16	1.44
			3号炉海水ポンプ室※3	11	9	1.22
			2号炉放水立坑※3	2	2	1.00
			3号炉放水立坑※3	3	3	1.00

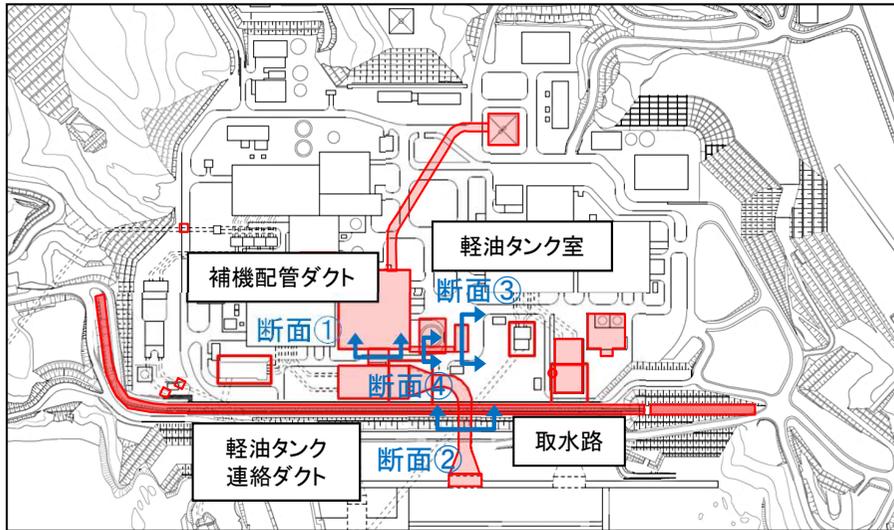
対象施設			施設の重量※1 (MN)	施設の 接地面積 (m ²)	施設の 接地圧 (MN/m ²)
O.P.+62m盤の 対象施設	直接基礎	緊急時対策建屋	581	2,209	0.26
		緊急用電気品建屋	131	810	0.16
		ガスタービン発電設備軽油タンク室	51	447	0.11

※1: 施設の重量は基本設計段階の情報に基づく。
 ※2: 置換コンクリートの設置レベルが断面によって異なるため、設置レベルが深くなり、置換コンクリートの重量が大きくなる断面にて算出。
 ※3: 各防潮壁において、最大重量となるブロックの重量を示す。

1. 評価断面の選定に関する補足

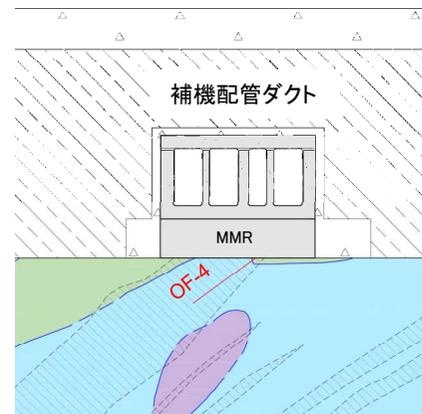
1.2 補機配管ダクト, 取水路, 軽油タンク室, 軽油タンク連絡ダクト

- 地中構造物である補機配管ダクト, 取水路, 軽油タンク室及び軽油タンク連絡ダクトはMMRを介して岩盤に支持されている。

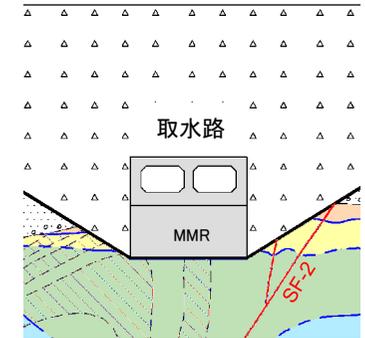


対象施設配置図

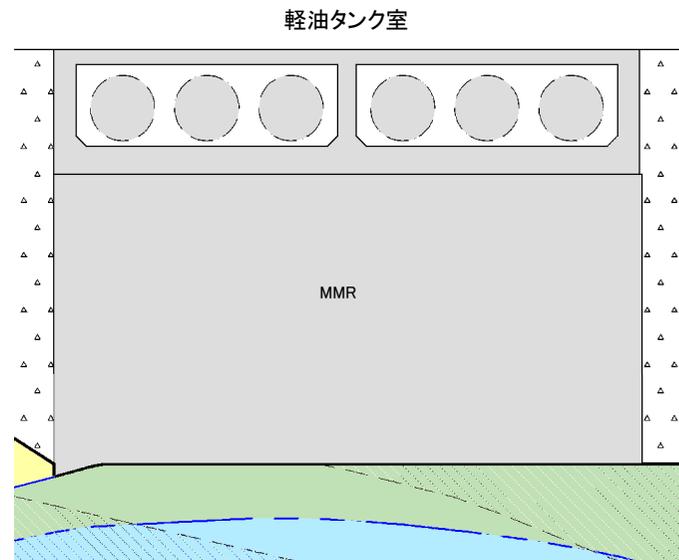
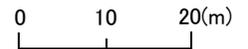
凡 例		[岩盤分類]	
	B 級		岩盤分類境界
	C+ 級		盛 土
	C- 級		第四系(砂礫)
	Cm 級		砂 岩
	Cl 級		頁 岩
	D 級		ひ ん 岩
			改良地盤
			地 質 境 界
			新 層
			ホ ー リ ン グ
			掘 削 線



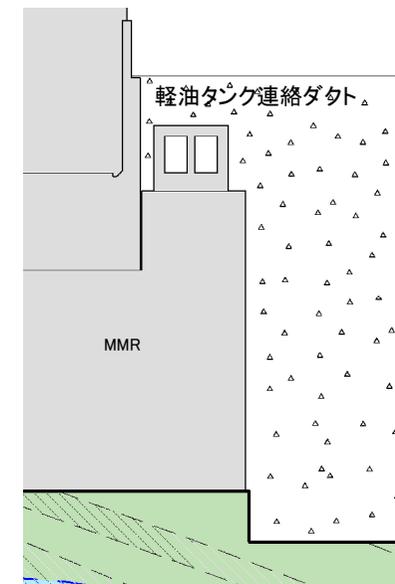
断面①



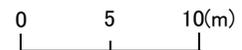
断面②



断面③



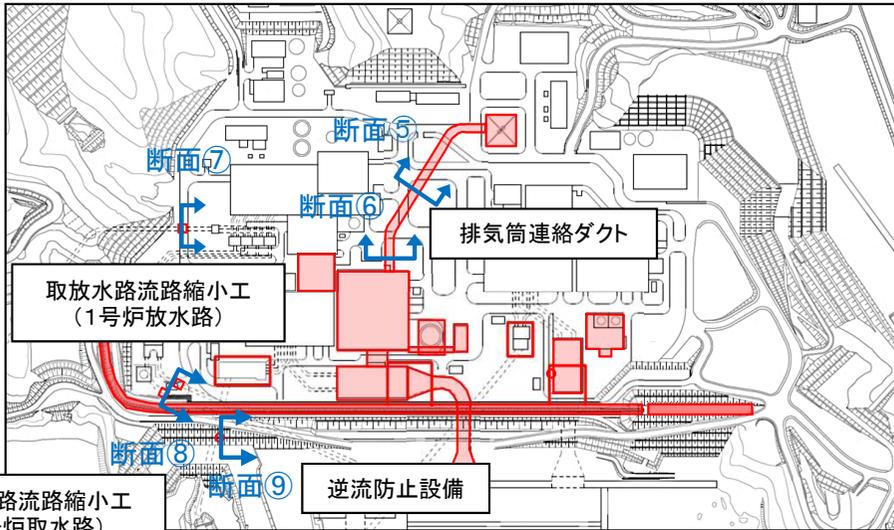
断面④



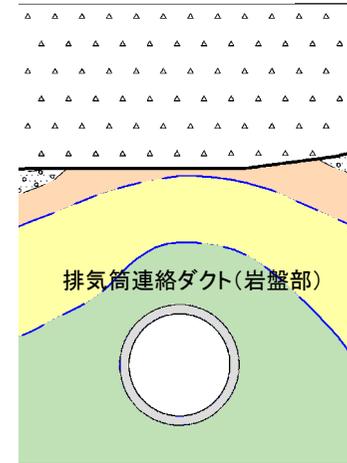
1. 評価断面の選定に関する補足

1.2 排気筒連絡ダクト(岩盤部, 土砂部), 取放水路流路縮小工(1号炉放水路, 1号炉取水路), 逆流防止設備

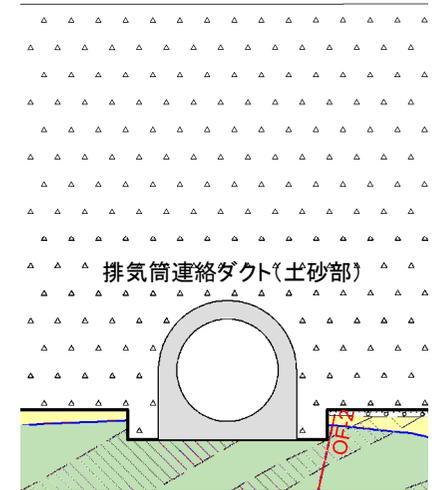
- 地中構造物である排気筒連絡ダクト及び取放水路流路縮小工は、直接岩盤に支持されている。
- 地上構造物である逆流防止設備は直接岩盤に支持されている。



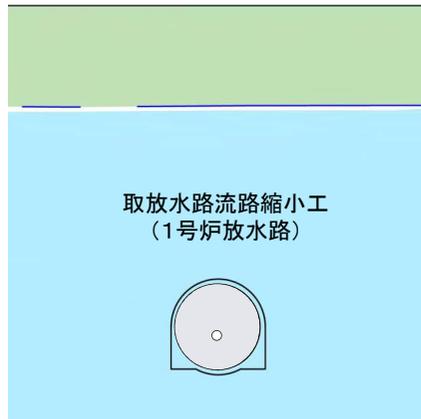
対象施設配置図



断面⑤



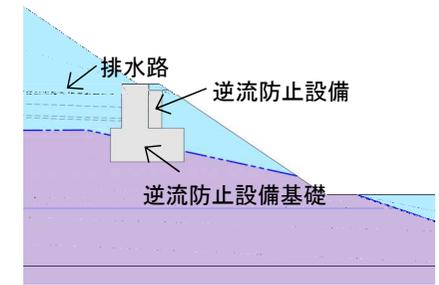
断面⑥



断面⑦



断面⑧

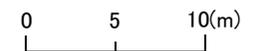


断面⑨

凡例

[岩盤分類]

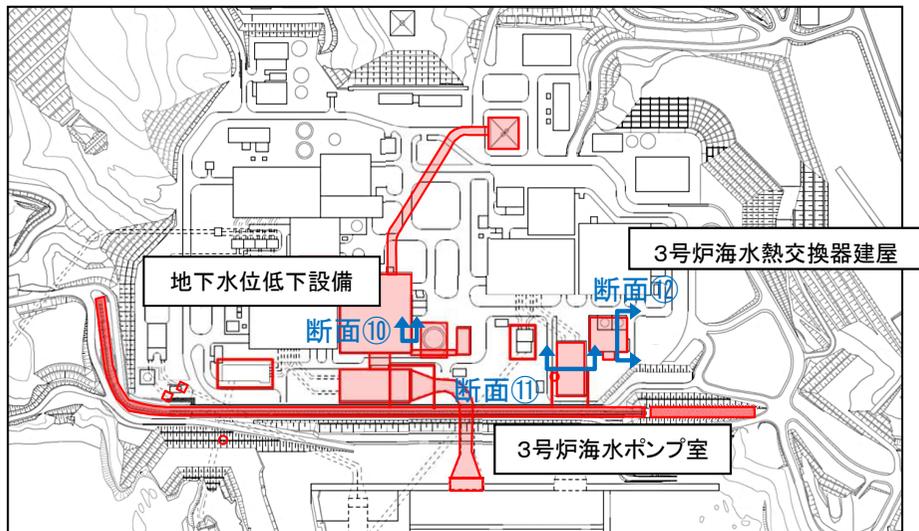
	B 級		岩盤分類境界		地質境界
	C _H 級		盛土		新層
	C _M 級		第四系(砂礫)		ボーリング
	C _L 級		砂岩		等高線
	D 級		頁岩		



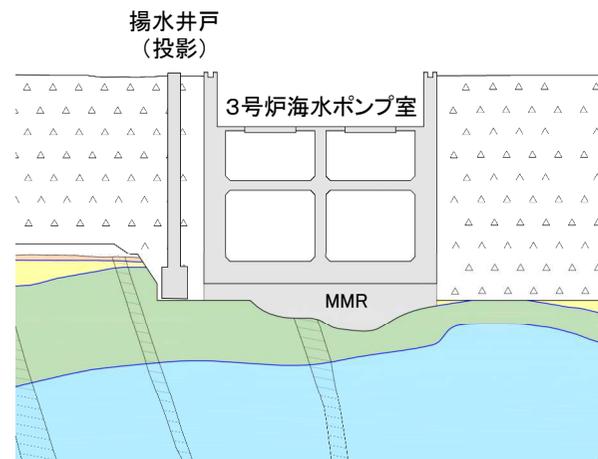
1. 評価断面の選定に関する補足

1.2 3号炉海水ポンプ室, 揚水井戸, 3号炉海水熱交換器建屋, 地下水位低下設備

- 地中構造物である3号炉海水ポンプ室, 揚水井戸, 3号炉海水熱交換器建屋, 地下水位低下設備は直接又はMMRを介して岩盤に支持されている。



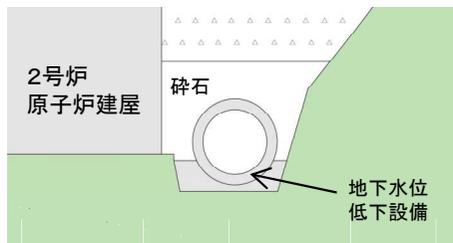
対象施設配置図



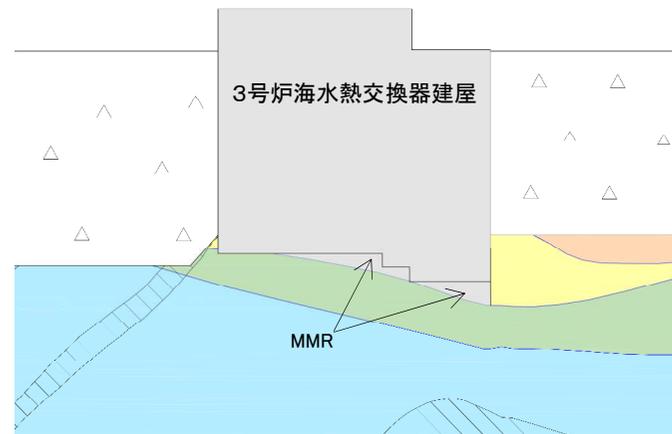
断面⑪

凡例

[B]	B級	[Symbol]	岩盤分類境界	[Symbol]	地質境界
[CH]	CH級	[Symbol]	盛土	[Symbol]	断層
[CM]	CM級	[Symbol]	第四系(砂礫)	[Symbol]	ボーリング
[CL]	CL級	[Symbol]	砂岩	[Symbol]	掘削線
[D]	D級	[Symbol]	頁岩		
		[Symbol]	ひん岩		



断面⑩ 0 1 2(m)

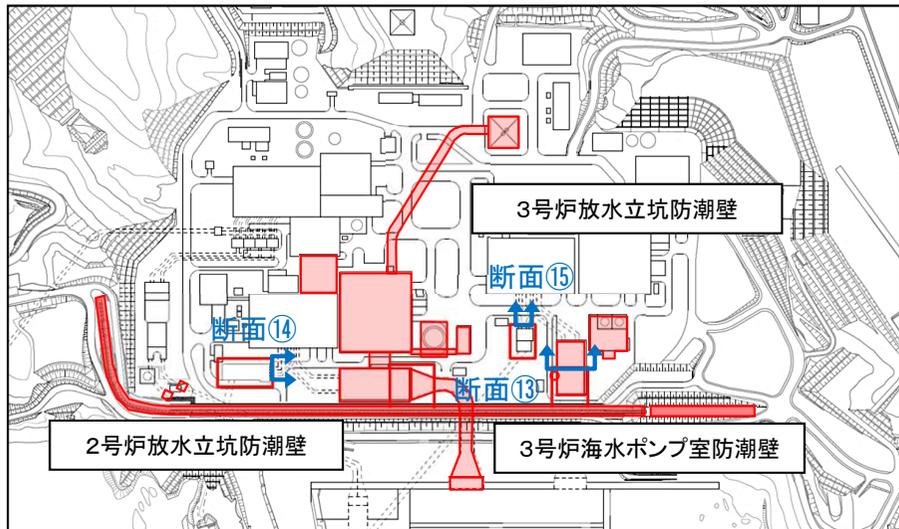


断面⑫ 0 10 20(m)

1. 評価断面の選定に関する補足

1.2 3号炉海水ポンプ室防潮壁, 2号炉放水立坑防潮壁, 3号炉放水立坑防潮壁

- 杭基礎構造物である3号炉海水ポンプ室防潮壁, 2号炉放水立坑防潮壁, 3号炉放水立坑防潮壁は岩盤に支持されている。

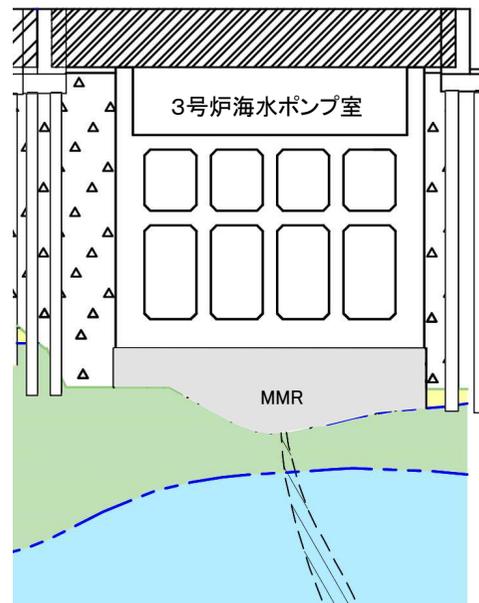


対象施設配置図

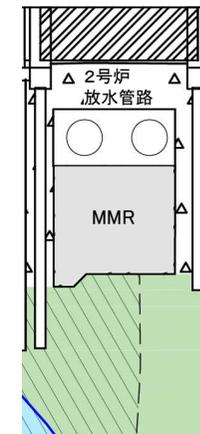
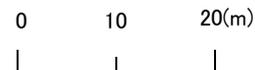
凡 例

[岩盤分類]

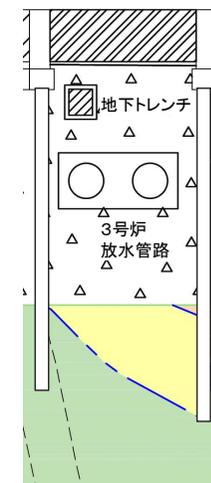
	B 級		岩盤分類境界		地質境界
	C _H 級		盛土		新層
	C _M 級		第四系(砂礫)		ボーリング
	C _L 級		砂		掘削線
	D 級		砂岩		
	L 級		ひん岩		



断面⑬



断面⑭

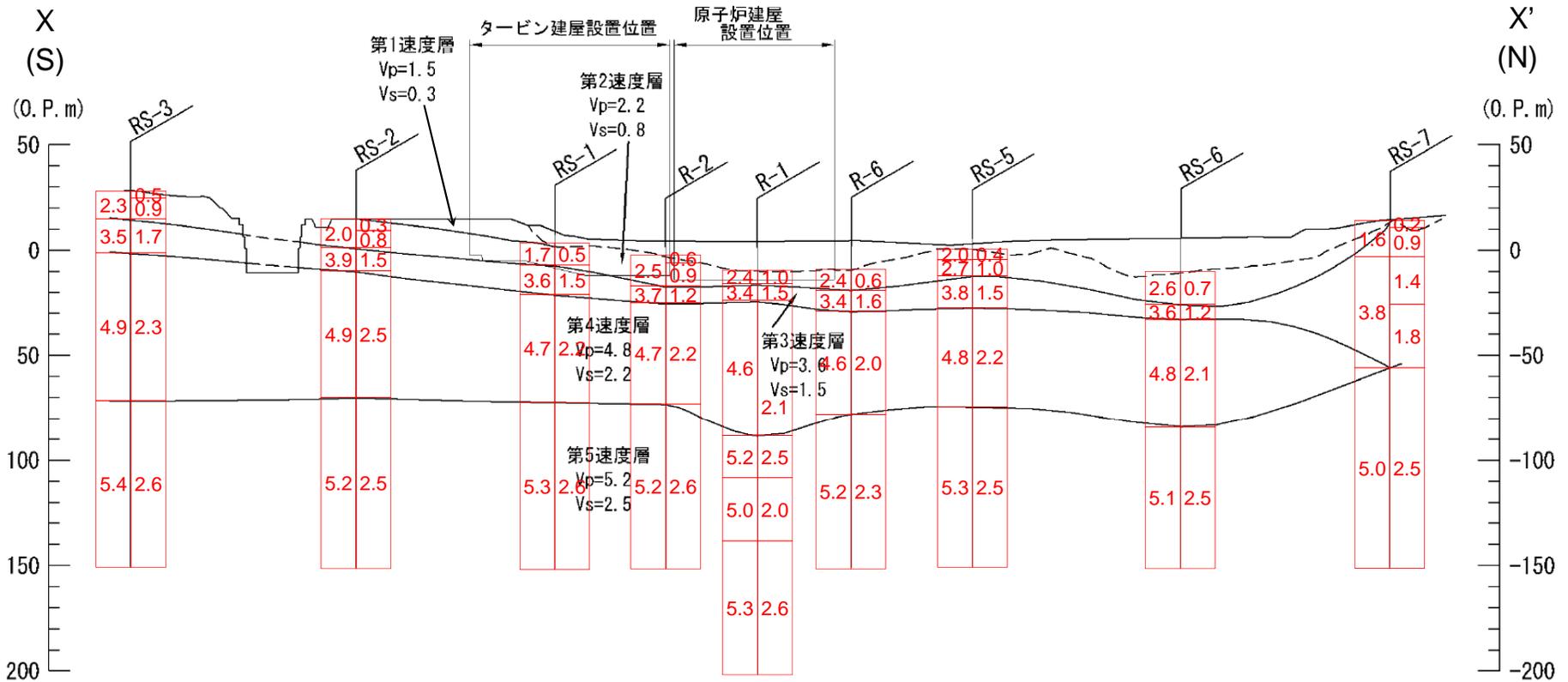


断面⑮

1. 評価断面の選定に関する補足

1.3 速度層構造(原子炉建屋(X-X'断面)のPS検層)

- 原子炉建屋基礎地盤の速度層構造については、おおむね水平な成層構造をなす5層に区分される。
- 速度層境界については、局所的なゆらぎはあるものの各ボーリング孔の全体的な傾向をみて区分し、各孔の深度をなめらかに結んでいる。



凡 例

-----: 盛土及び旧表土と岩盤の境界線

速度層構造図(X-X'断面)

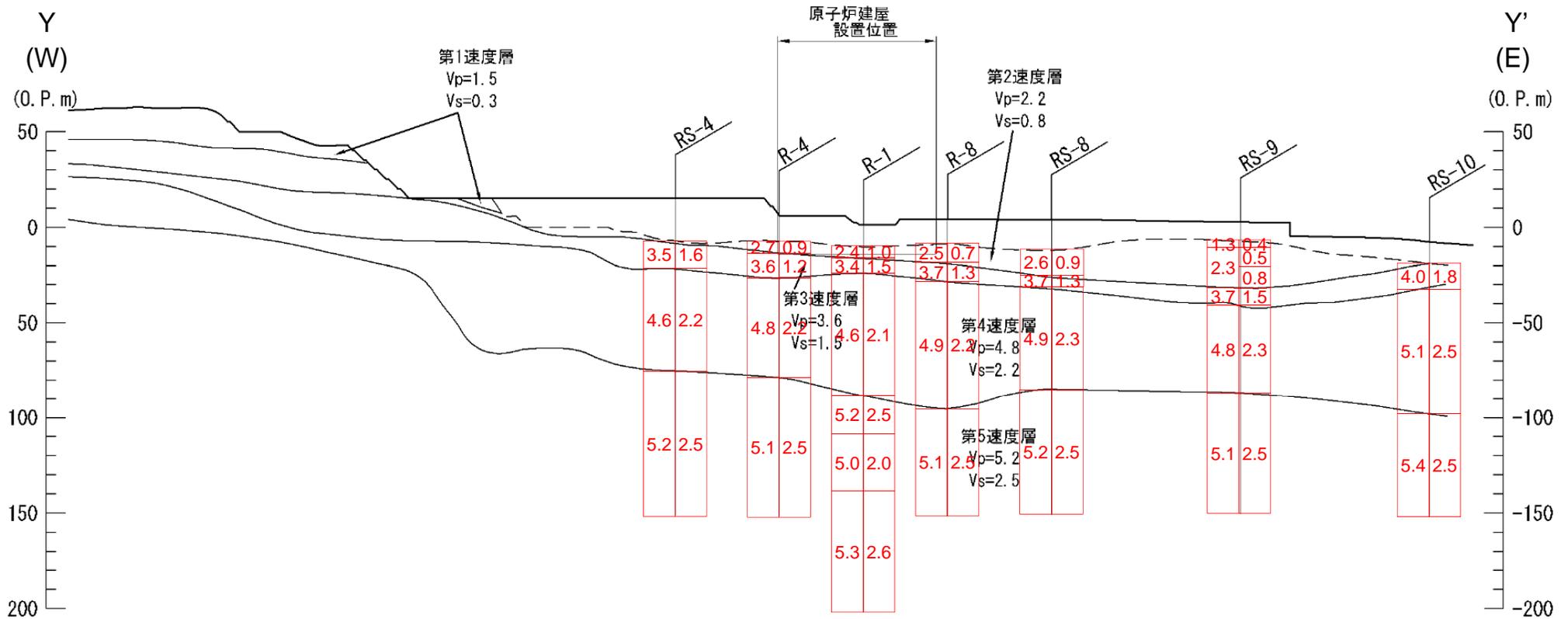
単位 km/sec 0 50m

V _P (km/s)	V _S (km/s)
--------------------------	--------------------------

1. 評価断面の選定に関する補足

1.3 速度層構造(原子炉建屋(Y-Y'断面)のPS検層)

- 原子炉建屋基礎地盤の速度層構造については、おおむね水平な成層構造をなす5層に区分される。
- 速度層境界については、局所的なゆらぎはあるものの各ボーリング孔の全体的な傾向をみて区分し、各孔の深度をなめらかに結んでいる。



凡 例

-----: 盛土及び旧表土と岩盤の境界線

速度層構造図(Y-Y'断面)

単位 km/sec

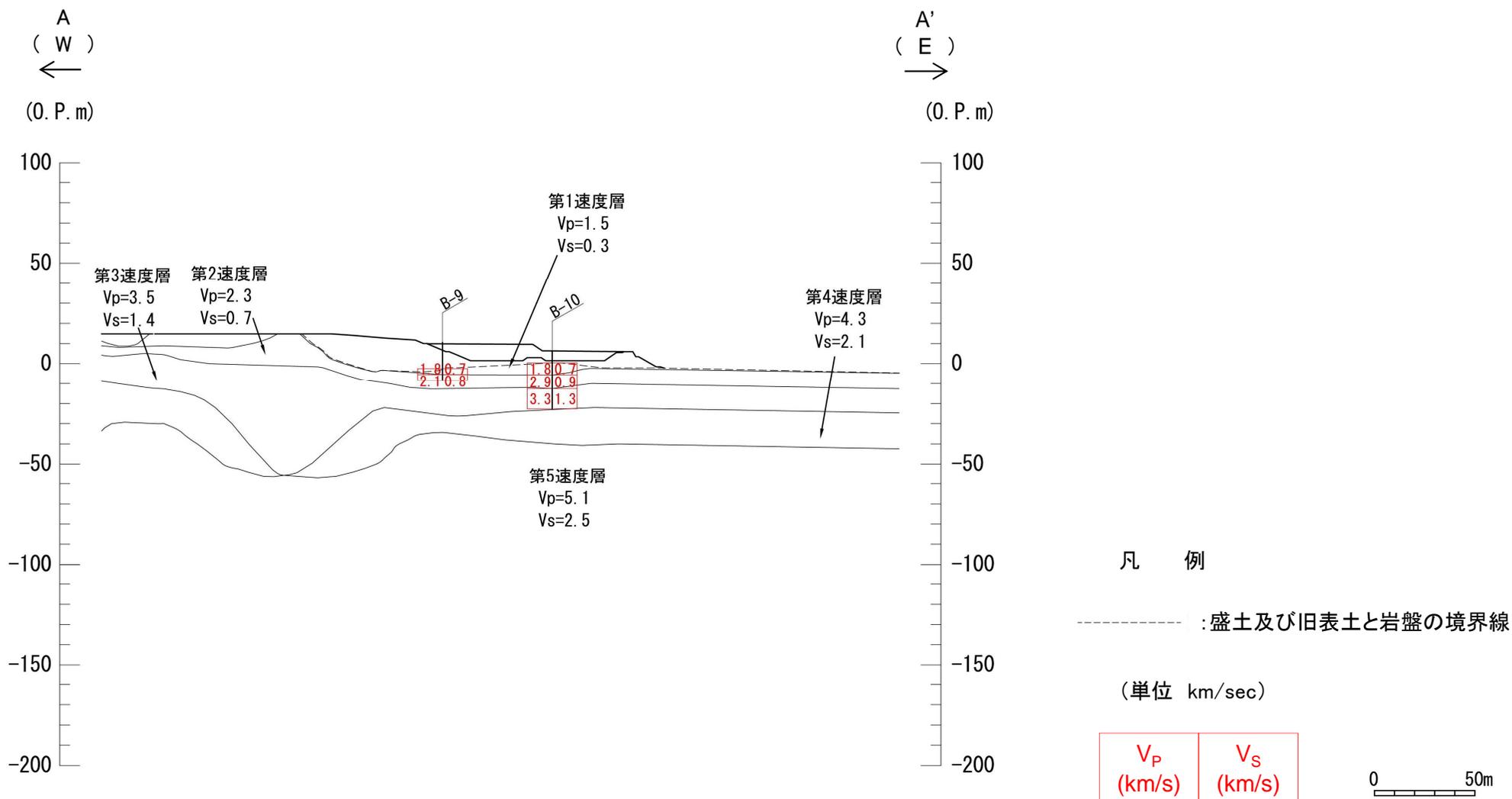


V _P (km/s)	V _S (km/s)
--------------------------	--------------------------

1. 評価断面の選定に関する補足

1.3 速度層構造(防潮堤(盛土堤防)(A-A'断面)のPS検層)

- 防潮堤(盛土堤防)基礎地盤の速度層構造については、おおむね水平な成層構造をなす5層に区分される。
- 速度層境界については、局所的なゆらぎはあるものの各ボーリング孔の全体的な傾向をみて区分し、各孔の深度をなめらかに結んでいる。

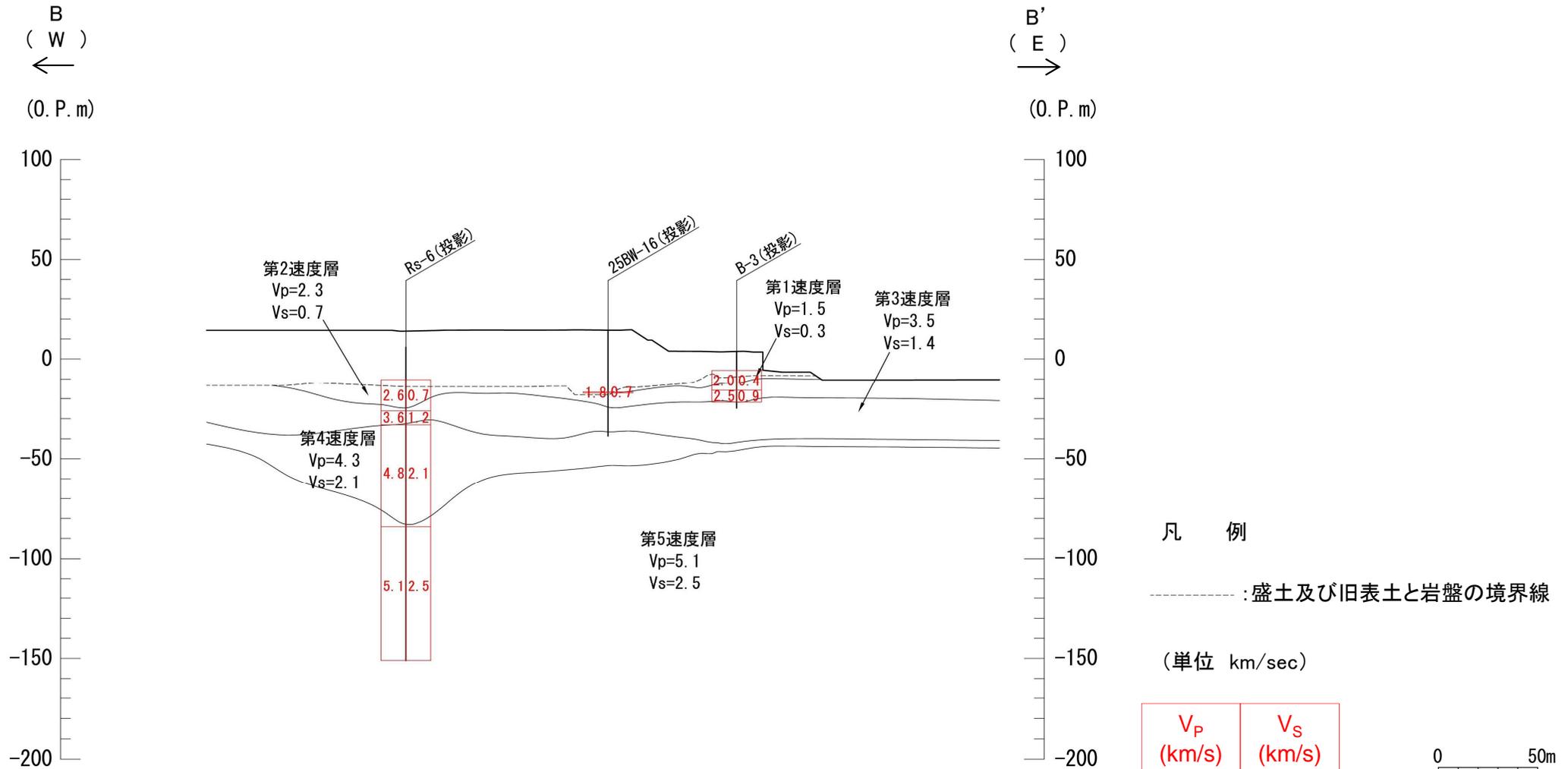


速度層構造図(A-A'断面)

1. 評価断面の選定に関する補足

1.3 速度層構造(防潮堤(鋼管式鉛直壁)(B-B'断面)のPS検層)

- 防潮堤(鋼管式鉛直壁)基礎地盤の速度層構造については、おおむね水平な成層構造をなす5層に区分される。
- 速度層境界については、局所的なゆらぎはあるものの各ボーリング孔の全体的な傾向をみて区分し、各孔の深度をなめらかに結んでいる。

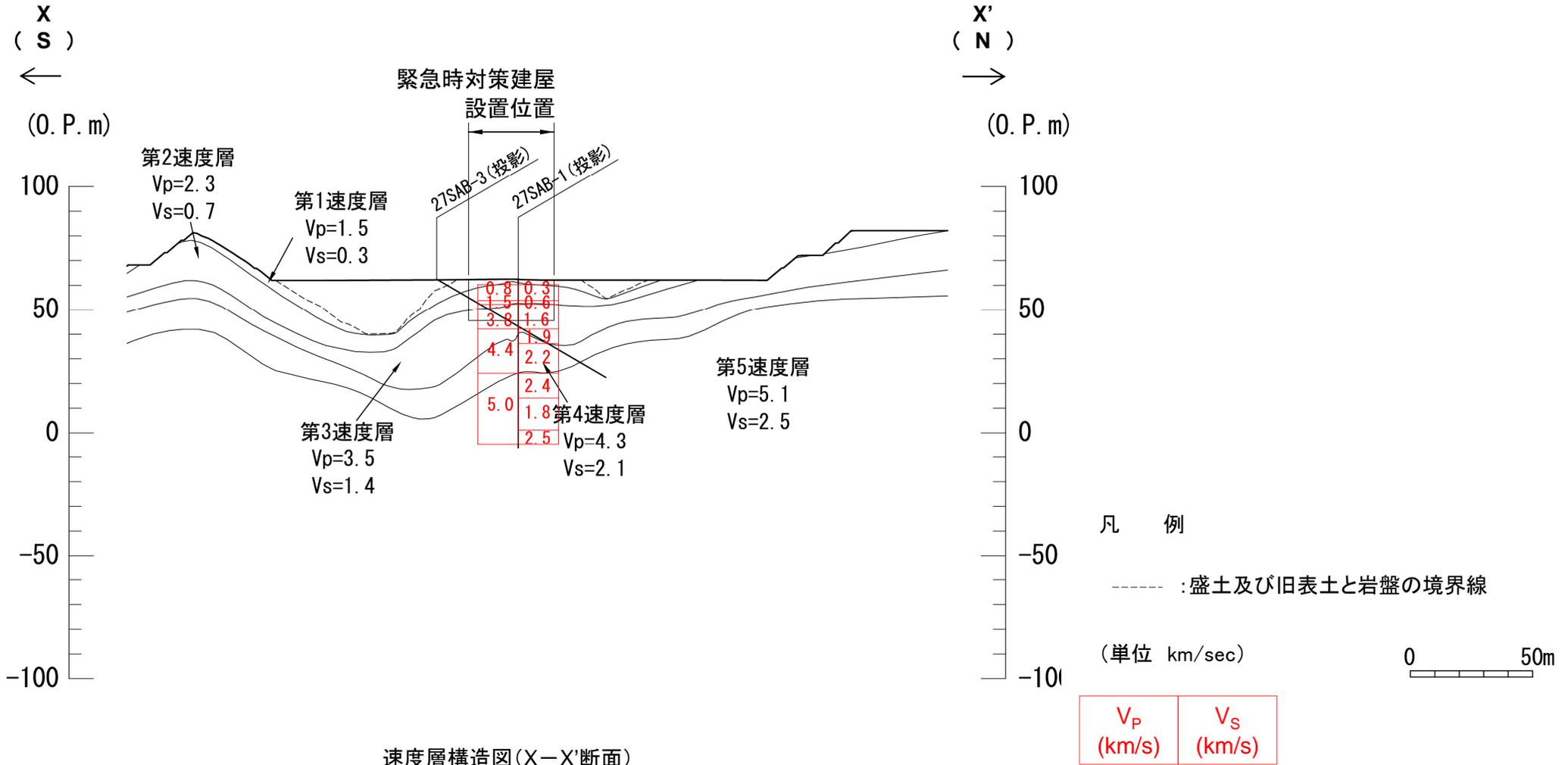


速度層構造図(B-B'断面)

1. 評価断面の選定に関する補足

1.3 速度層構造(緊急時対策建屋(X-X'断面)のPS検層)

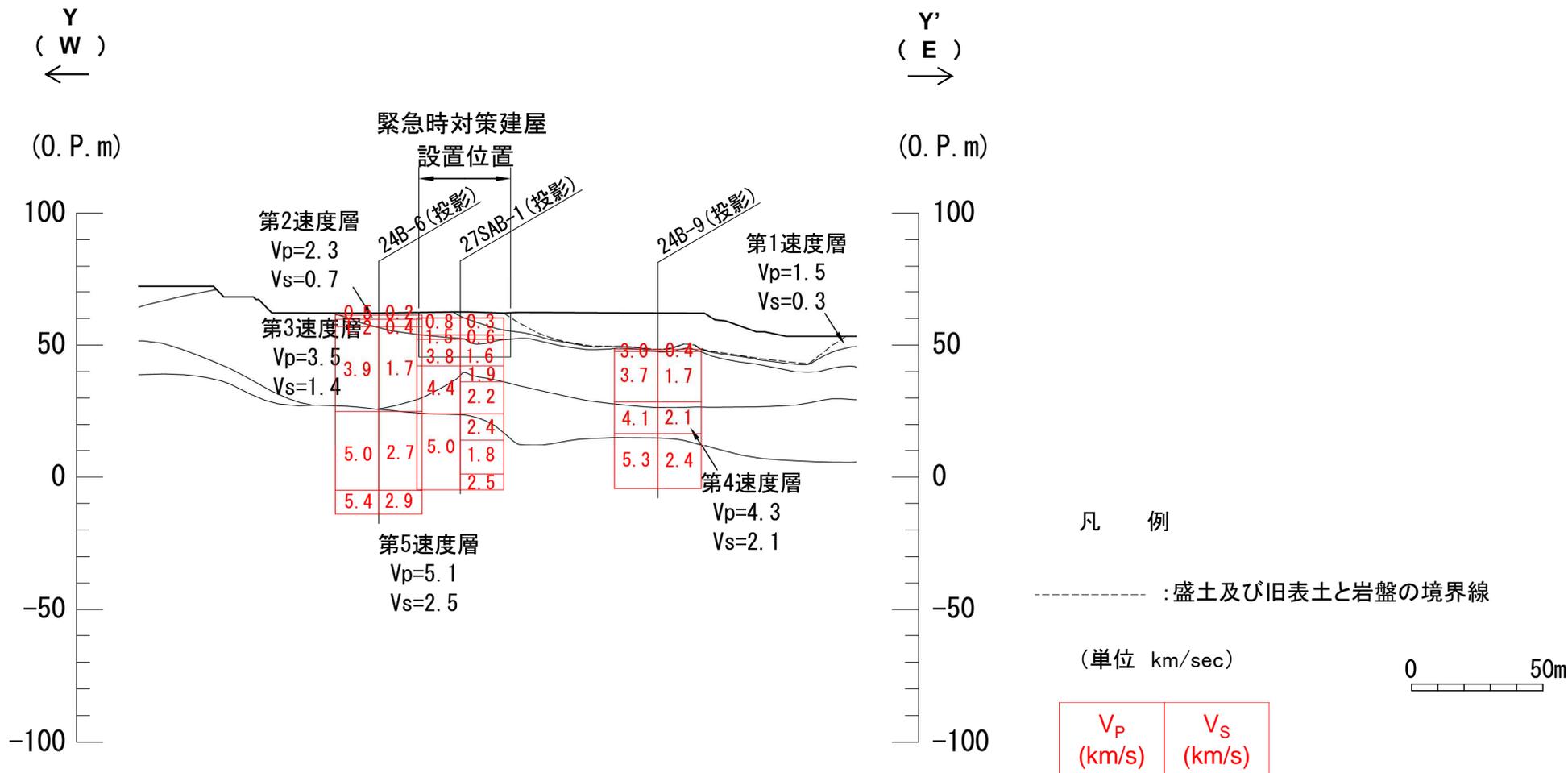
- 緊急時対策建屋基礎地盤の速度層構造については、おおむね水平な成層構造をなす5層に区分される。
- 速度層境界については、局所的なゆらぎはあるものの各ボーリング孔の全体的な傾向をみて区分し、各孔の深度をなめらかに結んでいる。



1. 評価断面の選定に関する補足

1.3 速度層構造(緊急時対策建屋(Y-Y'断面)のPS検層)

- 緊急時対策建屋基礎地盤の速度層構造については、おおむね水平な成層構造をなす5層に区分される。
- 速度層境界については、局所的なゆらぎはあるものの各ボーリング孔の全体的な傾向をみて区分し、各孔の深度をなめらかに結んでいる。



速度層構造図(Y-Y'断面)

目次

1. 評価断面の選定に関する補足
2. 解析用物性値に関する補足
3. 安定性評価に関する補足
4. 防潮堤の設計方針について(平成31年1月15日審査会合資料抜粋)
5. 地下水位の設定について(平成31年3月26日審査会合資料抜粋)

2. 解析用物性値に関する補足

2.1 岩盤分類(ボーリングコアの岩級区分)

- 女川原子力発電所の地盤は砂岩、頁岩及びひん岩で構成される硬質岩盤であることから、硬質岩盤で一般に用いられている電研式岩盤分類(菊地ほか(1984))を基本とした。
- ボーリングコアについては、構成粒子の変質とハンマの打診に基づく5段階の風化度区分と、コア形状に基づく5段階の形状区分を設定し、岩種ごとにB', C_H', C_M', C_L', D' 級に分類した。

■ コアの風化度区分基準

区分	特徴
1	新鮮
2	かなり新鮮
3	中程度風化
4	かなり風化
5	強風化粘土状

■ コア形状区分基準

区分	特徴	
A	長柱状	20cm以上のコア
B	短柱状	5～20cmのコア
C	岩片状	3～5cmのコア
D	細片状	3cm以下のコア
E	土砂状, 粘土状	

■ コアの岩級区分基準

		コアの風化度区分				
		1	2	3	4	5
コアの 形状 区分	A	B'	C _H '	C _M '	C _L '	D'
	B	C _H '	C _H '	C _M '	C _L '	D'
	C	C _H '	C _H '	C _M '	C _L '	D'
	D	C _M '	C _M '	C _L '	C _L '	D'
	E	—	—	—	C _L '	D'

2. 解析用物性値に関する補足

2.1 岩盤分類(試掘坑内の岩級区分)

- 試掘坑壁面については、岩盤の風化度区分と割れ目の頻度を分類要素として岩級区分を行った。
- 周辺の岩盤状況を考慮して、岩種ごとにB[”]、C_H[”]、C_M[”]、C_L[”]、D[”]級に分類した。

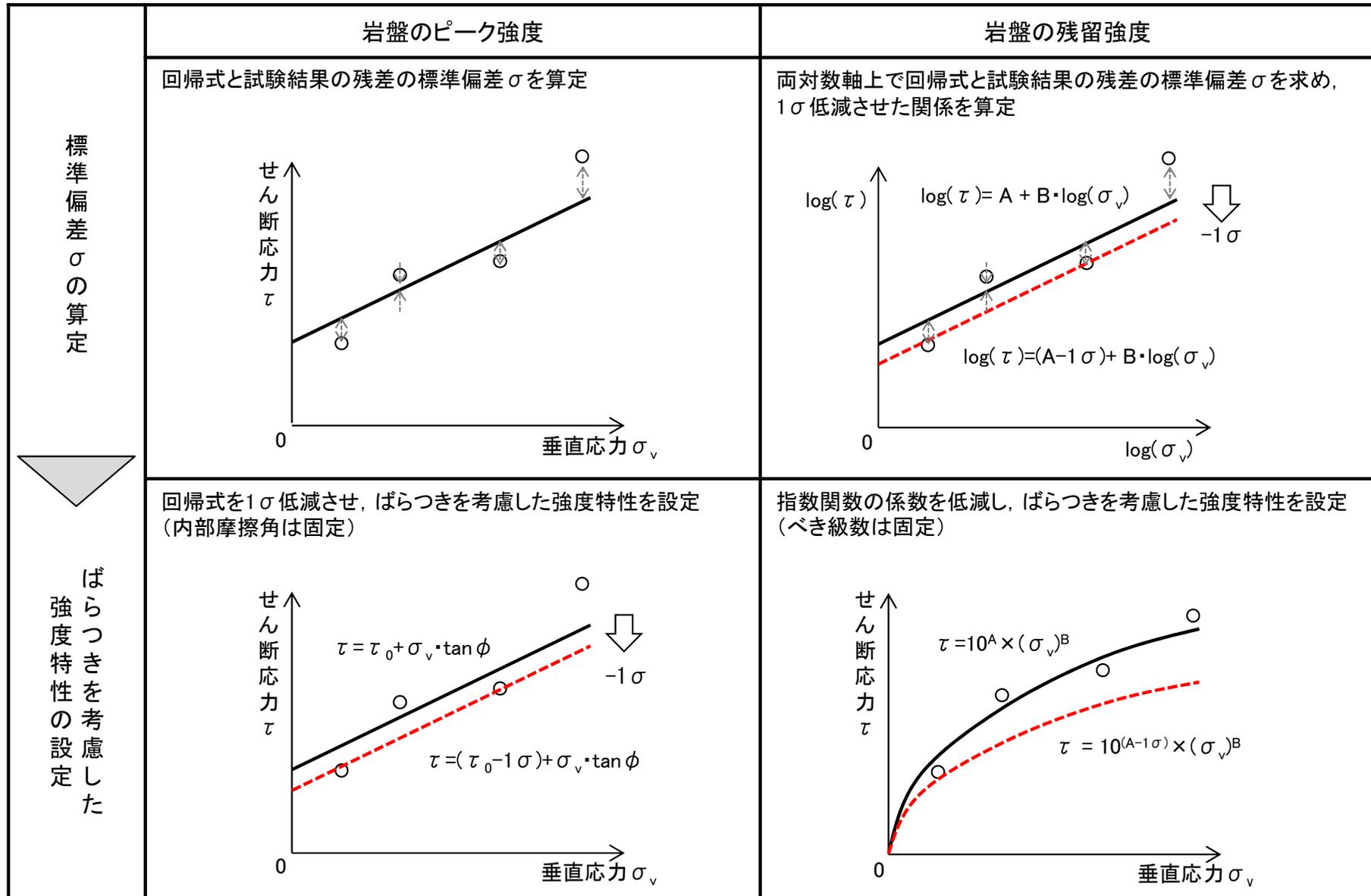
試掘坑壁面の岩級区分基準

	砂岩 及び ひん岩	頁 岩
B [”] 級	<ul style="list-style-type: none"> 全体的に新鮮で、暗灰色～暗青灰色を呈する。 割れ目間隔20cm程度以上である。 ハンマーの強打で割れ、澄んだ金属音を発する。 	<ul style="list-style-type: none"> 全体的に新鮮で、黒～暗灰色を呈する。 割れ目間隔20cm程度以上である。 ハンマーの強打で割れ、澄んだ金属音を発する。
C _H [”] 級	<ul style="list-style-type: none"> 全体的にわずかに風化をうけ、暗灰～黄灰褐色を呈する。岩芯が新鮮な青灰色部を含む。長石類が黄褐色に風化汚染されている。 割れ目間隔は、主として5～20cm程度である。 ハンマーの強打で割れ、やや濁った金属音を発する。 	<ul style="list-style-type: none"> 割れ目沿いにわずかに風化汚染をうけ、黒～暗灰色を呈する。砂質ラミナにわずかに褐色汚染が認められることがある。岩片角はナイフで削れる。 割れ目間隔は主として5～20cm程度である。 ハンマーの強打～中打で割れ、やや濁った金属音を発する。
C _M [”] 級	<ul style="list-style-type: none"> 全体的に風化をうけ、淡黄褐～黄褐色を呈する。指先の摩擦で粒子がほとんど分離しないものから、岩片を指圧で割れるものまでである。 割れ目間隔は、主として3～10cm程度である。 ハンマーの中打で割れ、濁った音を発する。 	<ul style="list-style-type: none"> 風化による脱色化が認められ、割れ目沿いは褐色に風化し暗灰～褐灰色を呈する。岩片はナイフで容易に削れる。 割れ目間隔は主として3～10cm程度である。 ハンマーの中～軽打で割れ目沿いに剥離する。濁った音を発する。
C _L [”] 級	<ul style="list-style-type: none"> 全体的に強く風化をうけ、黄褐色～褐色を呈する。強い指圧で岩片をすりつぶすことができる。 割れ目間隔は、主として3cm程度以下、又は破碎部沿いに認められる割れ目の密集部。 ハンマーの軽打で容易に岩片上となり、低い濁った音を発する。 	<ul style="list-style-type: none"> 全体的に強く風化をうけ、灰褐色、又は、脱色して灰白色を呈する。表面が爪で削れ、強い指圧で岩片状に割ることができる。 割れ目間隔は主として3cm程度以下、又は、破碎部沿いに認められる割れ目の密集部。 ハンマーの軽打で容易に細片状となり、低い濁った音を発する。
D [”] 級	<ul style="list-style-type: none"> 全体的に著しく風化し、黄灰色～黄褐色を呈する。指圧で容易に岩片をすりつぶすことができる。 割れ目は不鮮明なものが多い。 ハンマーの軽打でくぼみを生じ、著しく低い濁った音を発する。 	<ul style="list-style-type: none"> 全体的に著しく風化し、脱色して灰白色を呈する。 指圧で岩片をすりつぶすことができる。 ハンマーの軽打でくぼみを生じ、著しく低い濁った音を発する。

2. 解析用物性値に関する補足

2.2 ばらつきを考慮した強度特性の設定方法

- すべり安全率に対しては強度特性のばらつきが大きく影響することから、ばらつきを考慮した強度特性(代表値 $-1.0 \times$ 標準偏差 σ)を設定し、すべり安全率を併せて検討した。



2. 解析用物性値に関する補足 2.3 狐崎部層の解析用物性値

2.3.1 物理特性（単位体積重量の設定）

- 地盤の単位体積重量は、ボーリングコアの密度試験や現場密度試験の結果から設定した。
- 分布範囲が小さい等の理由により試験を実施していない岩種岩級は、同じ岩級の砂岩と同じ値で設定した。
- ただし、**D**級岩盤の物性値は、分布が小さいことや、亀裂や風化により部層の相違による影響が小さいこと等から、狐崎部層と牧の浜部層を同一の物性値としている。（ 部分）

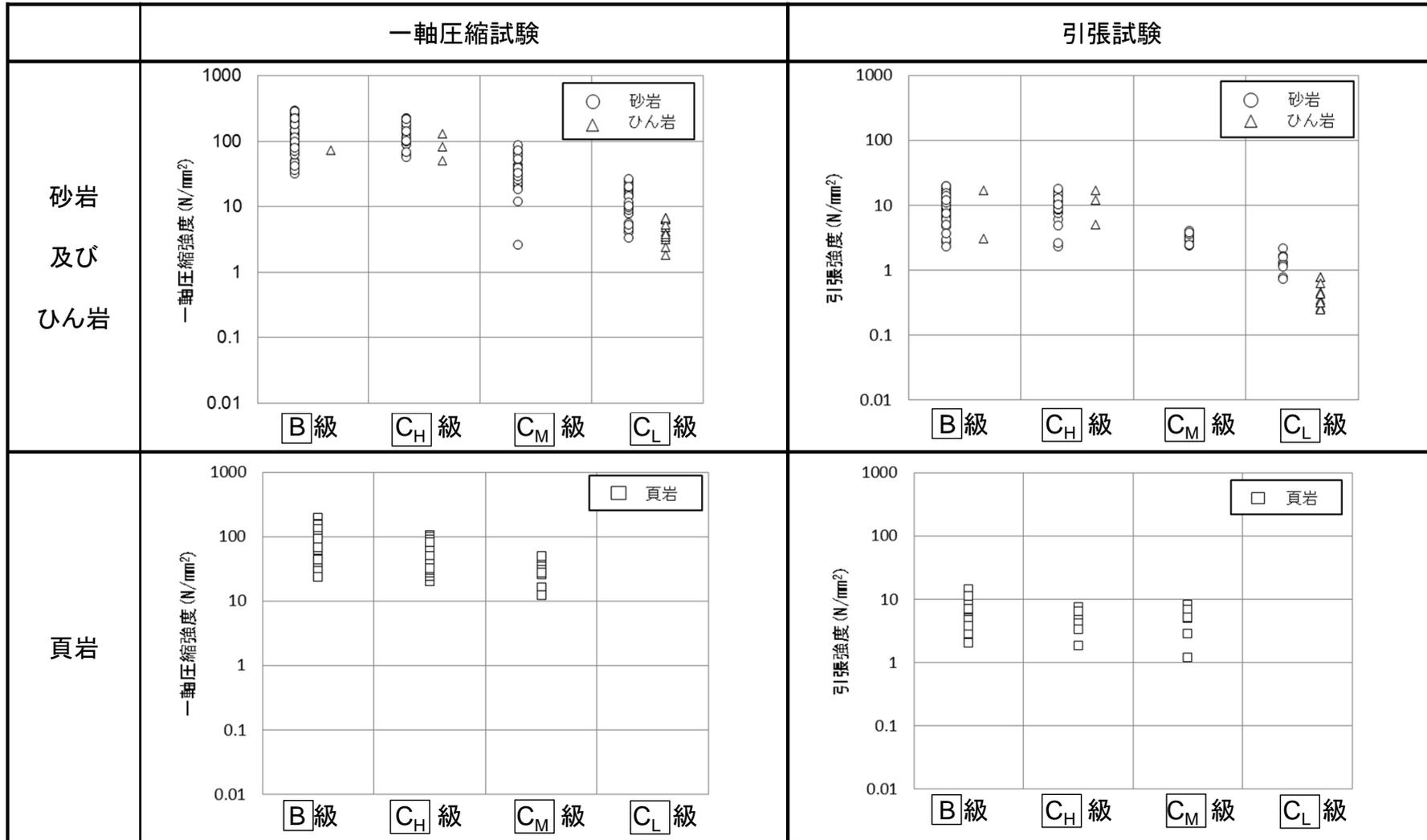
		標本数	単位体積重量(kN/m ³)	備考
B 級	砂 岩	210	26.4	
	頁 岩	95	26.9	
	ひん岩	6	28.7	
C_H 級	砂 岩	39	26.2	
	頁 岩	30	26.6	
	ひん岩	7	28.0	
C_M 級	砂 岩	64	25.2	
	頁 岩	18	25.8	
	ひん岩	—	25.2	砂岩と同じ値
C_L 級	砂 岩	48	24.1	
	頁 岩	—	24.1	砂岩と同じ値
	ひん岩	—	24.1	砂岩と同じ値
D 級	砂 岩	26	20.2	
	頁 岩	—	20.2	換算値※
	ひん岩	—	20.2	砂岩と同じ値

※:換算方法は、「2.4 牧の浜部層の解析用物性値」に示す。

2. 解析用物性値に関する補足 2.3 狐崎部層の解析用物性値

2.3.2 強度特性 (室内試験)

- ボーリングコア及び試掘坑内で採取したコアを用いて力学試験を実施した。
- ひん岩は分布範囲が局所的かつ小さいことから、全岩級を砂岩と同じ値で設定した。
- B級の砂岩、頁岩の強度は、C_H級の砂岩、頁岩の強度と同等以上と判断できるため、C_H級岩盤と同じ値で設定した。

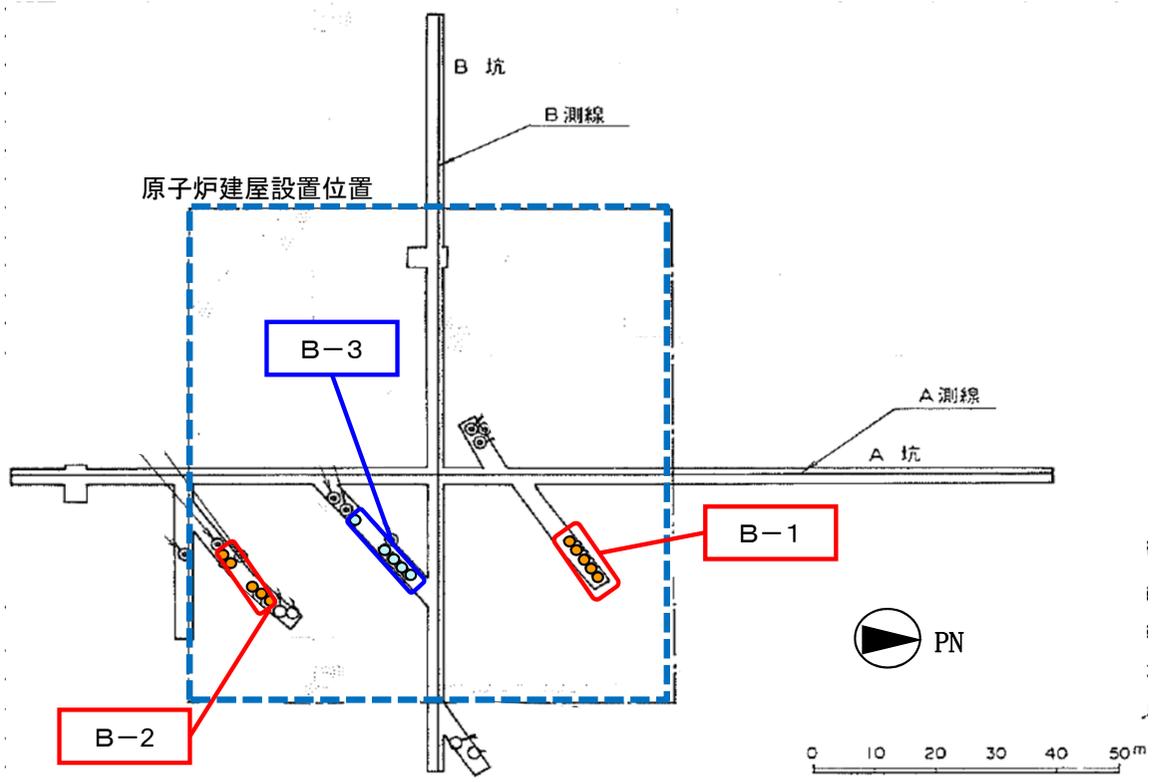


2. 解析用物性値に関する補足 2.3 狐崎部層の解析用物性値

2.3.2 強度特性 (C_H 級, C_M 級岩盤) ①

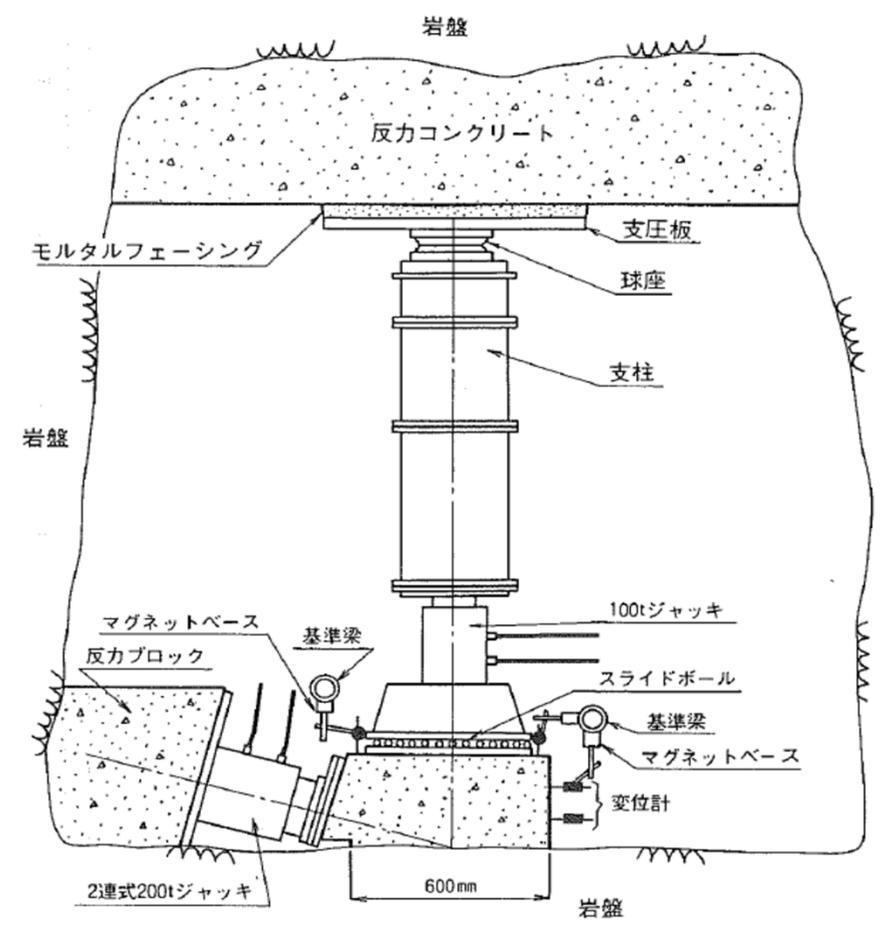
- 砂岩及び頁岩の C_H , C_M 級岩盤の強度特性は、試掘坑内で実施したブロックせん断試験及び摩擦強度試験の結果から設定した。

■ 試験位置



試験位置	岩種	岩盤分類
B-1	砂岩	C_H 級
B-2	砂岩	C_M 級
B-3	頁岩	C_H 級

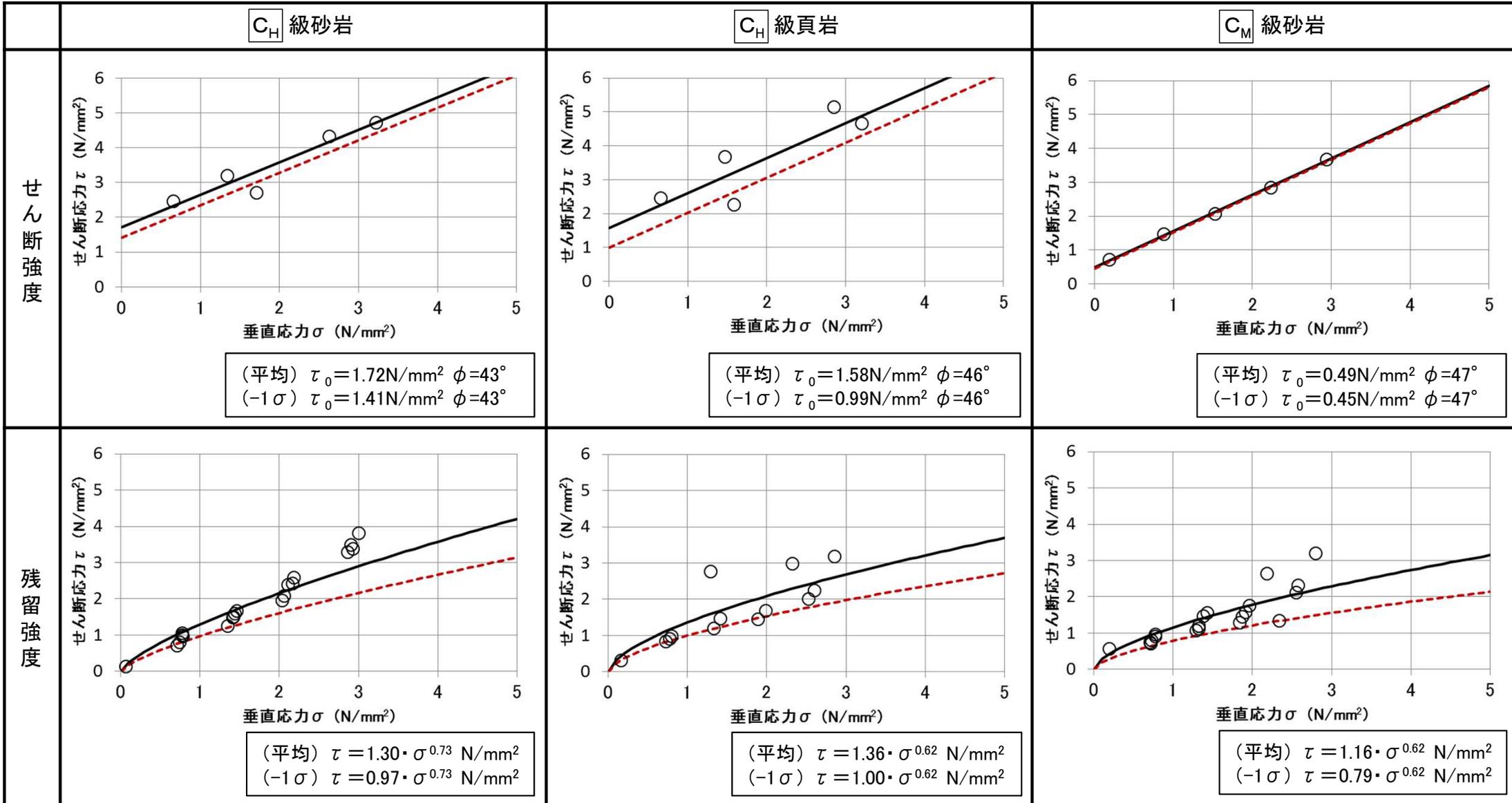
■ 試験概要



2. 解析用物性値に関する補足 2.3 狐崎部層の解析用物性値

2.3.2 強度特性 (C_H 級, C_M 級岩盤) ②

- ブロックせん断試験によりせん断強度及び残留強度を設定した。
- C_M 級頁岩の強度は、室内試験による強度特性が C_M 級砂岩と同等であることから、 C_M 級砂岩と同じとした。



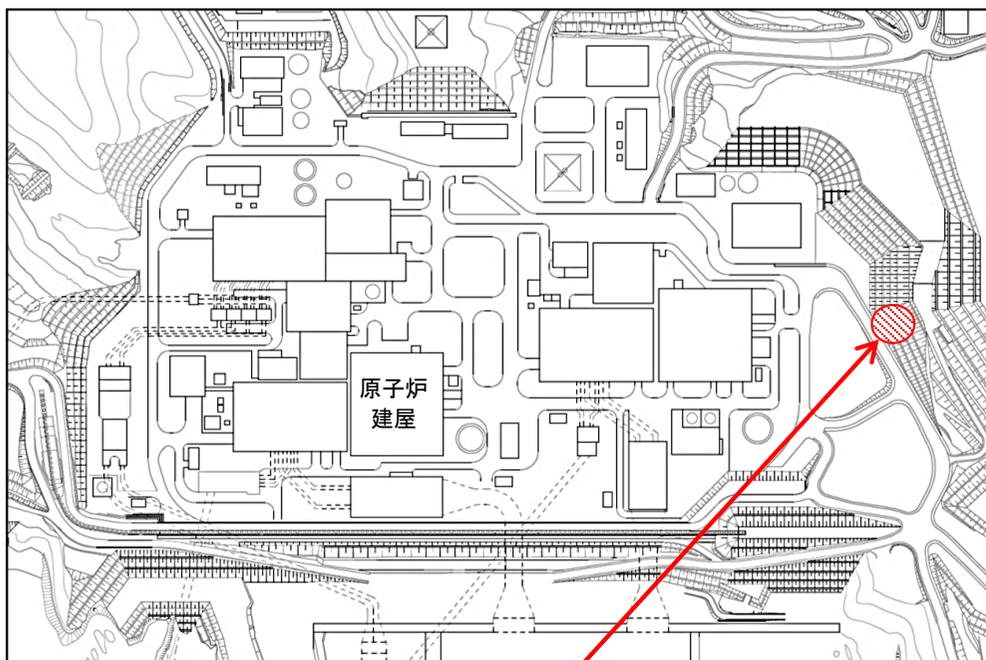
— 平均強度 - - - -1 σ

2. 解析用物性値に関する補足 2.3 狐崎部層の解析用物性値

2.3.2 強度特性 (C_L級, D級岩盤)①

- 2号原子炉建屋を支持する狐崎部層には、C_L級及びD級岩盤は局所的に小さく分布するのみであることから、敷地北側の牧の浜部層の試験結果から設定した。
- C_L級, D級の砂岩の強度は、ロックせん断試験結果から設定した。
- 試験地点(O.P.+35~40m)で採取したコアの強度は、原子炉建屋付近で採取したコアの強度と同等かやや小さく、強度特性は保守的に設定されていると判断できる。

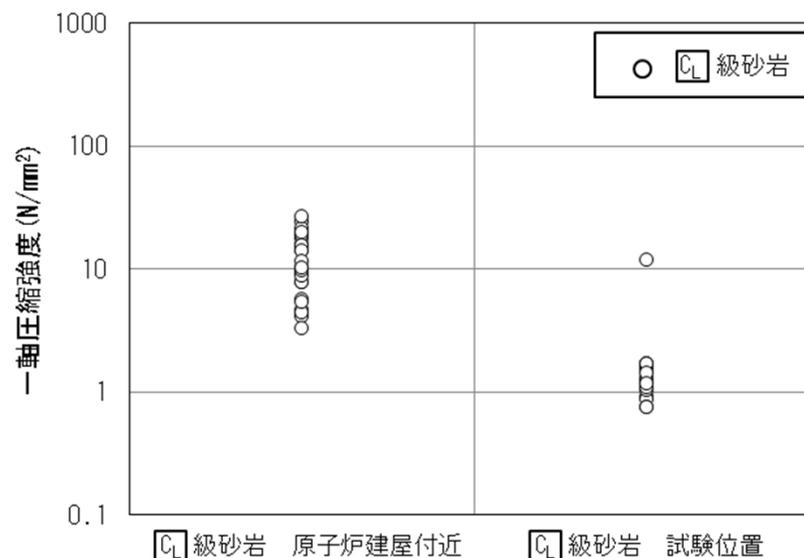
■ 試験位置



試験位置



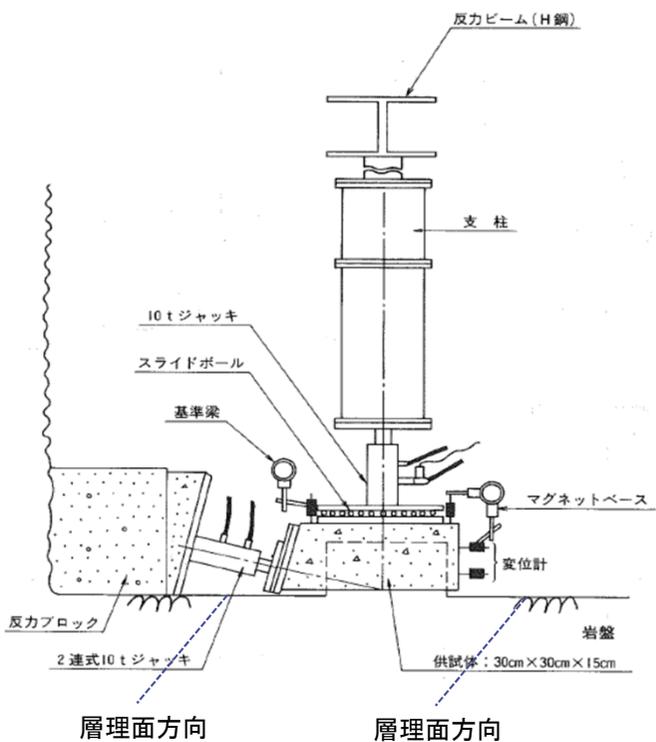
■ 一軸圧縮強度の比較



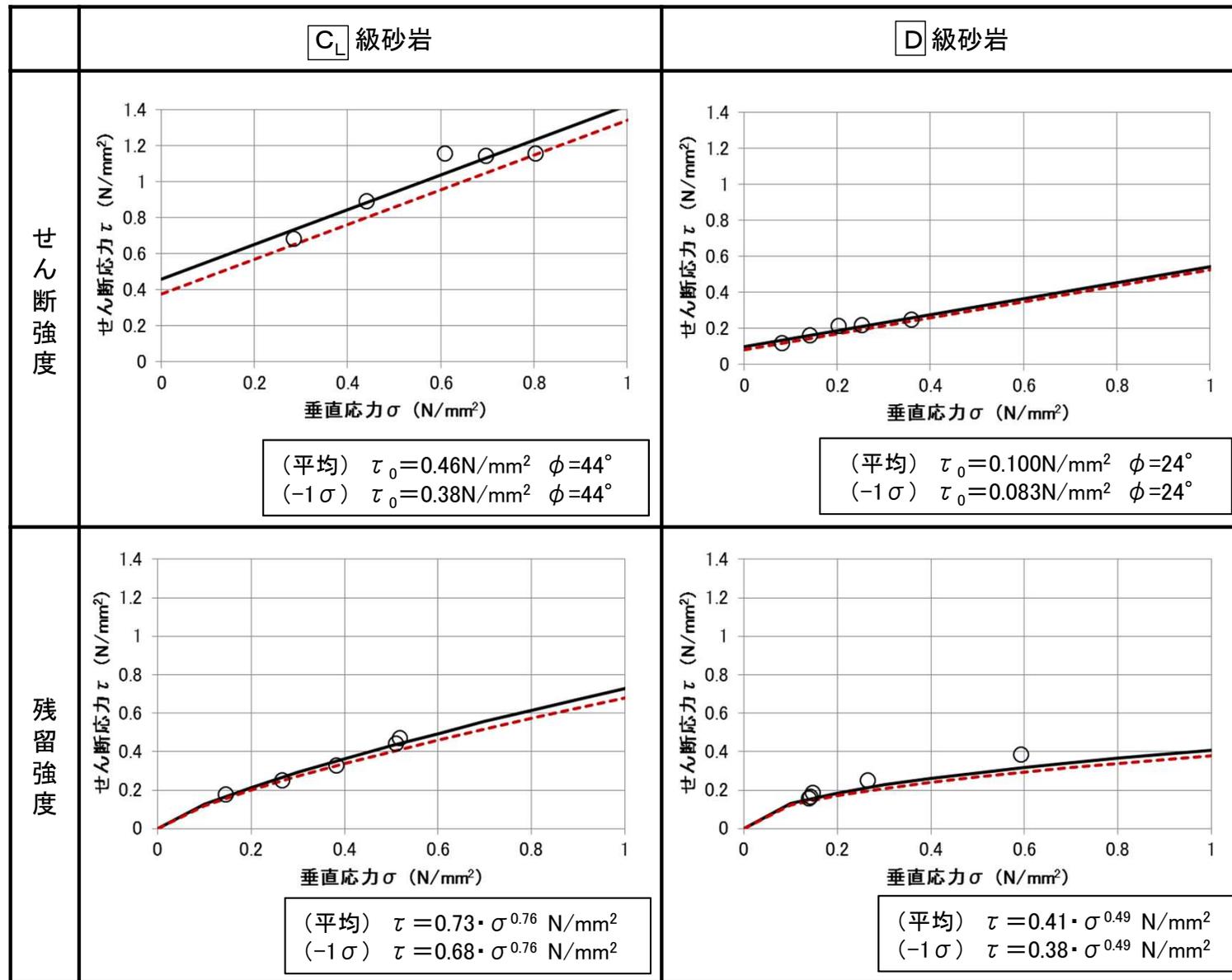
2. 解析用物性値に関する補足 2.3 狐崎部層の解析用物性値

2.3.2 強度特性 (C_L 級, D 級岩盤) ②

■ 試験概要



比較的強度が低いと考えられる岩盤の流れ目方向にせん断を行った。



— 平均強度 - - - -1 σ

2. 解析用物性値に関する補足 2.3 狐崎部層の解析用物性値

2.3.2 強度特性 (C_L級, D級岩盤 頁岩)③

- C_L 級頁岩の強度は, C_M 級(牧の浜部層)の砂岩と頁岩の強度比を用いた換算によって設定した。
- D 級頁岩は分布範囲が局所的で小さいことから, 砂岩と同じ強度で設定した。

■ C_L 級頁岩の換算

C_L 級に岩級の近い C_M 級の比率で換算した。

	C _M 級(牧の浜部層)頁岩/砂岩
せん断強度 τ_0	$\frac{0.76}{0.78} = 0.97$
内部摩擦角 $\tan \phi$	$\frac{\tan 32^\circ}{\tan 50^\circ} = 0.52$

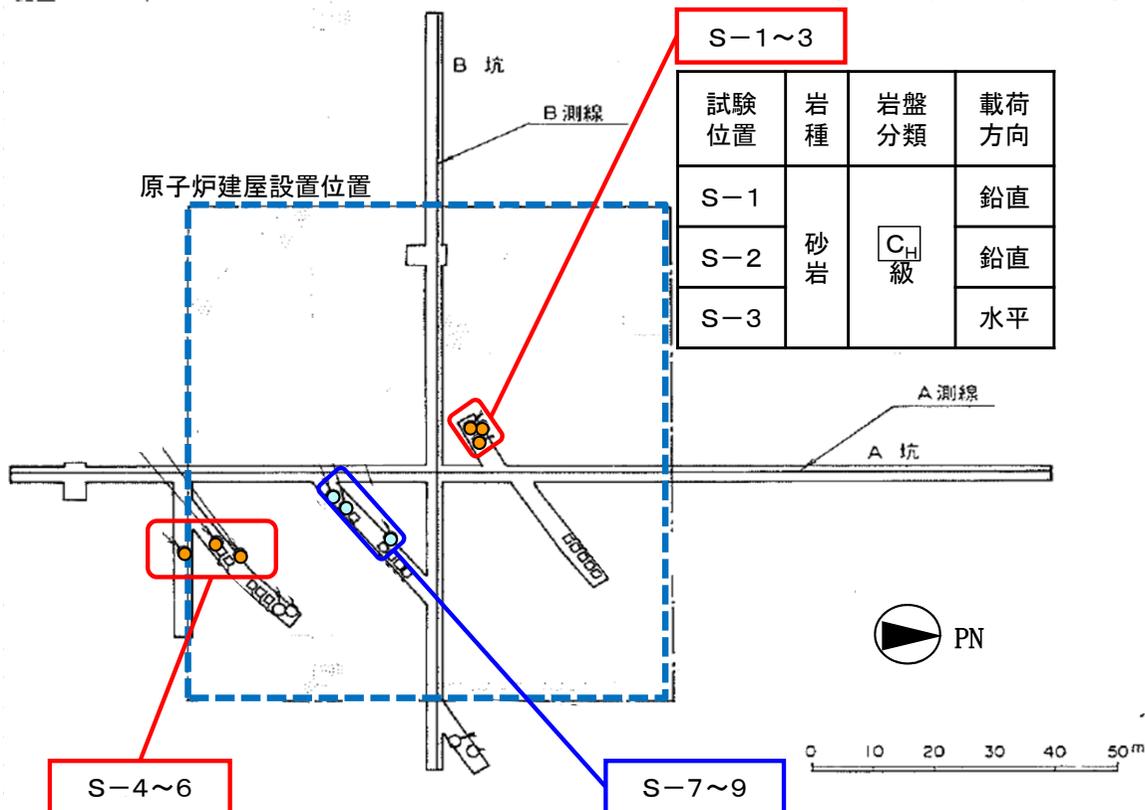
		換算方法	砂岩	頁岩
C _L 級 頁岩	せん断強度 τ_0	C _L 級砂岩の $\tau_0 \times \frac{\text{C}_M \text{ 級頁岩の } \tau_0}{\text{C}_M \text{ 級砂岩の } \tau_0}$	0.46 N/mm ²	0.44 N/mm ²
	内部摩擦角 $\tan \phi$	C _L 級砂岩の $\tan \phi \times \frac{\text{C}_M \text{ 級頁岩の } \tan \phi}{\text{C}_M \text{ 級砂岩の } \tan \phi}$	$\tan 44^\circ$	$\tan 27^\circ$

2. 解析用物性値に関する補足 2.3 狐崎部層の解析用物性値

2.3.2 強度特性（支持力）①

- 原子炉建屋他の耐震重要施設は C_M 級以上の岩盤に設置されていることから、支持力に対する安全性を確認するため、 C_H ～ C_M 級岩盤に対し、試掘坑内において支持力試験を実施した。

■ 試験位置

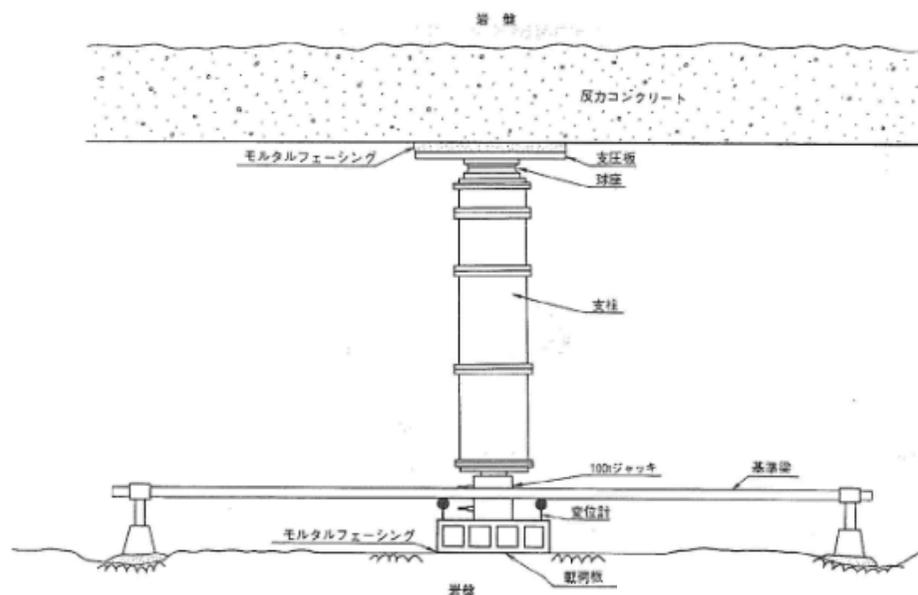


試験位置	岩種	岩盤分類	载荷方向
S-1	砂岩	C_H 級	鉛直
S-2			鉛直
S-3			水平

試験位置	岩種	岩盤分類	载荷方向
S-4	砂岩	C_M 級	鉛直
S-5			鉛直
S-6			水平

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

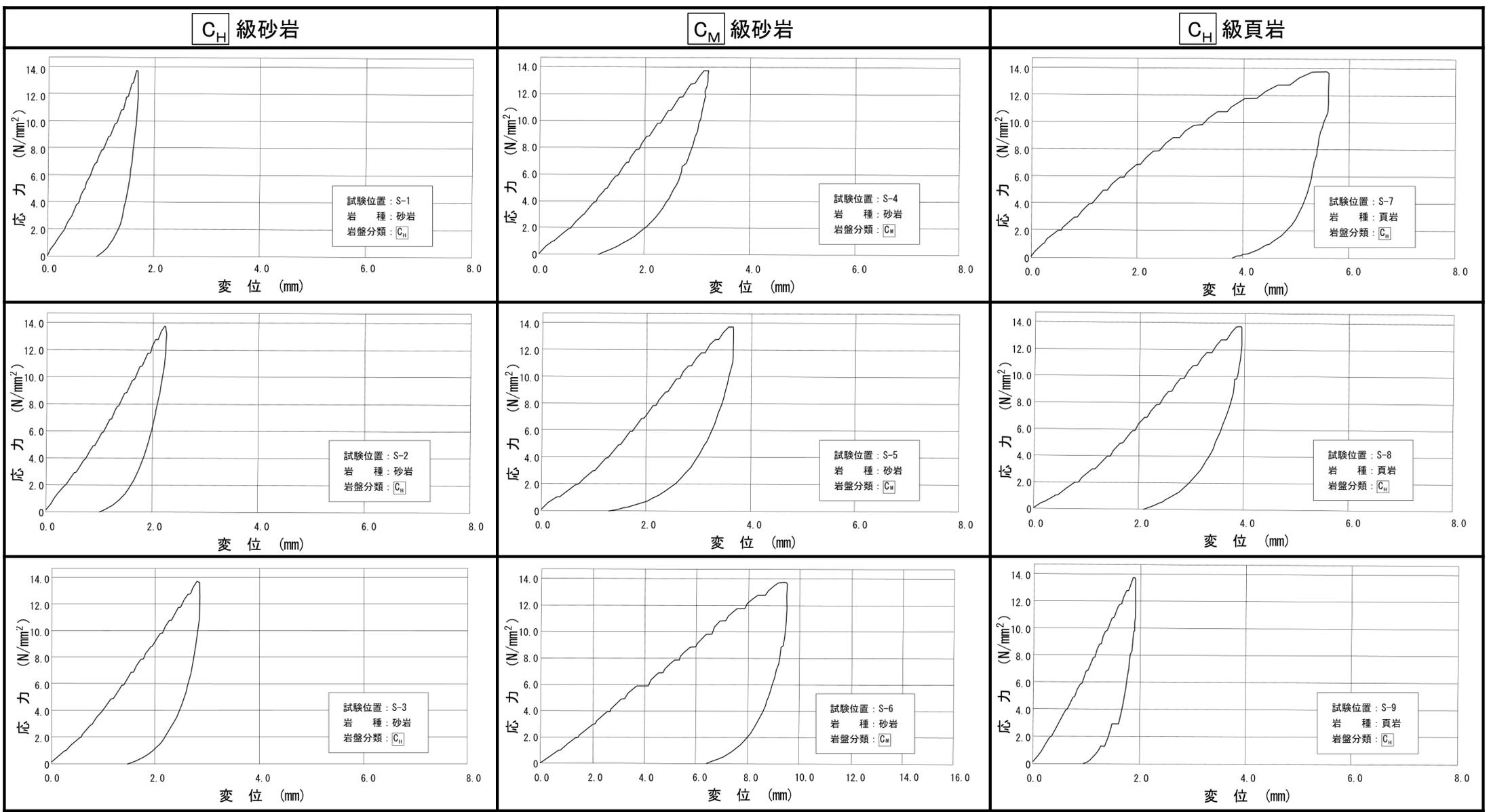
■ 試験概要



2. 解析用物性値に関する補足 2.3 狐崎部層の解析用物性値

2.3.2 強度特性 (支持力)②

- 支持力試験の結果、ジャッキの限界値である13.7N/mm²でも降伏しなかったことから、岩盤の極限支持力は、13.7N/mm²以上と評価できる。

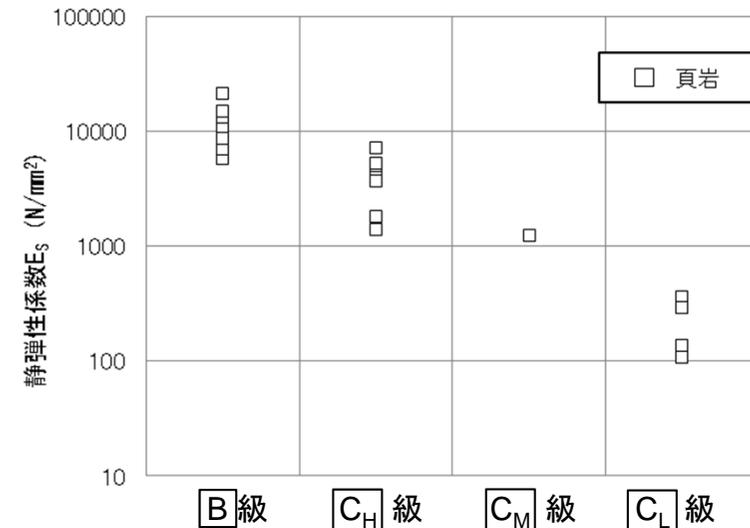
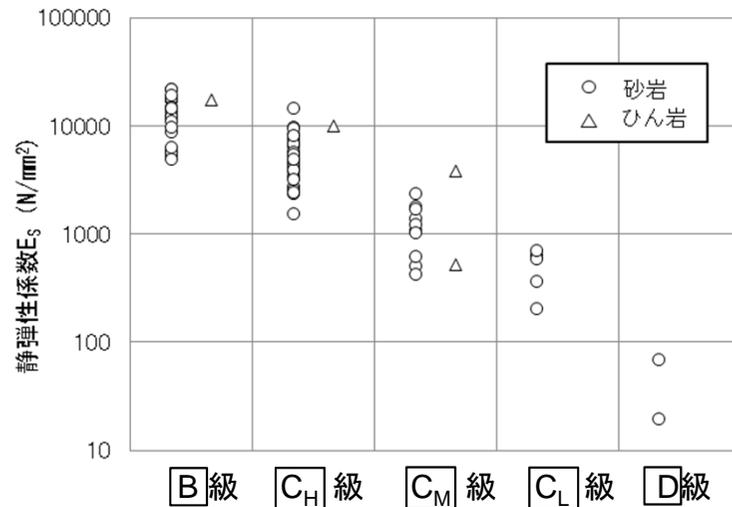


2. 解析用物性値に関する補足 2.3 狐崎部層の解析用物性値

2.3.3 静的変形特性

- 試掘坑内での分布が小さく試験ができなかった[B級及びC_M級]の頁岩並びにひん岩の静的変形特性は、ボーリング孔内水平載荷試験結果等を考慮し、以下のように設定した。
- [B級]の静弾性係数は、[C_H級]と同等かそれより大きいことから、[C_H級]と同じ値で設定した。
- [C_M級]砂岩と頁岩の静弾性係数はおおむね等しいため、[C_M級]頁岩の静弾性係数は、砂岩と同じ値で設定した。
- ひん岩は分布範囲が局所的かつ小さいことから、全岩級を砂岩と同じ値で設定した。

■ 孔内水平載荷試験結果

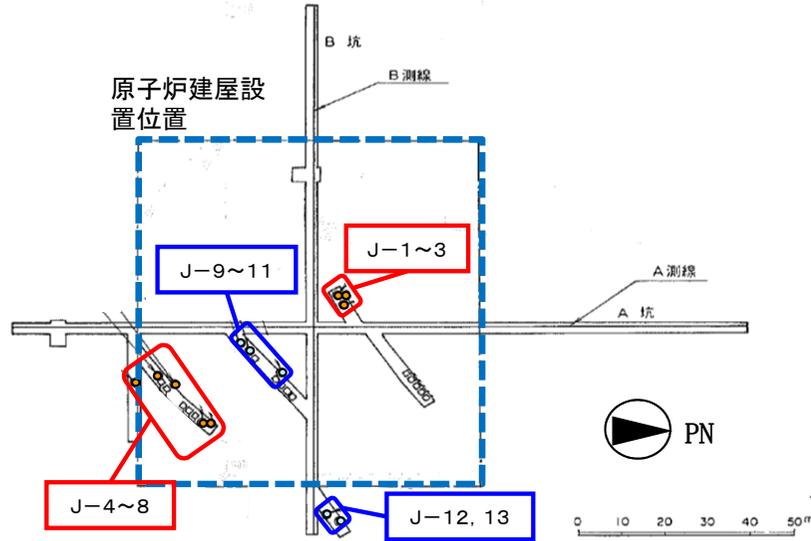


2. 解析用物性値に関する補足 2.3 狐崎部層の解析用物性値

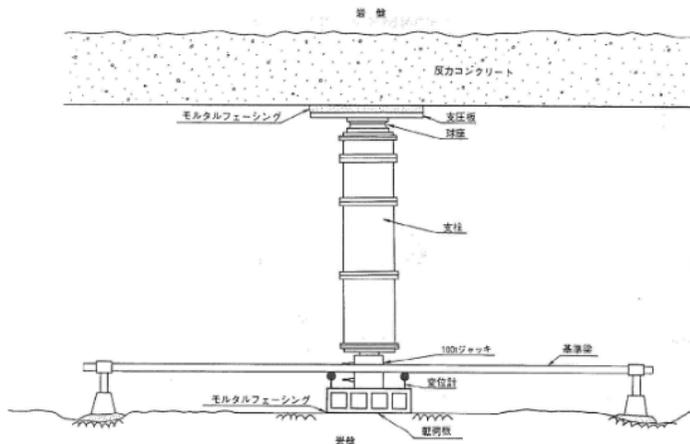
2.3.3 静的変形特性 (C_H級, C_M級岩盤の静弾性係数)

- C_H級砂岩及び頁岩並びにC_M級砂岩の静弾性係数は、試掘坑内で実施した岩盤変形試験結果から設定した。

■ 試験位置



■ 試験概要



■ 試験結果

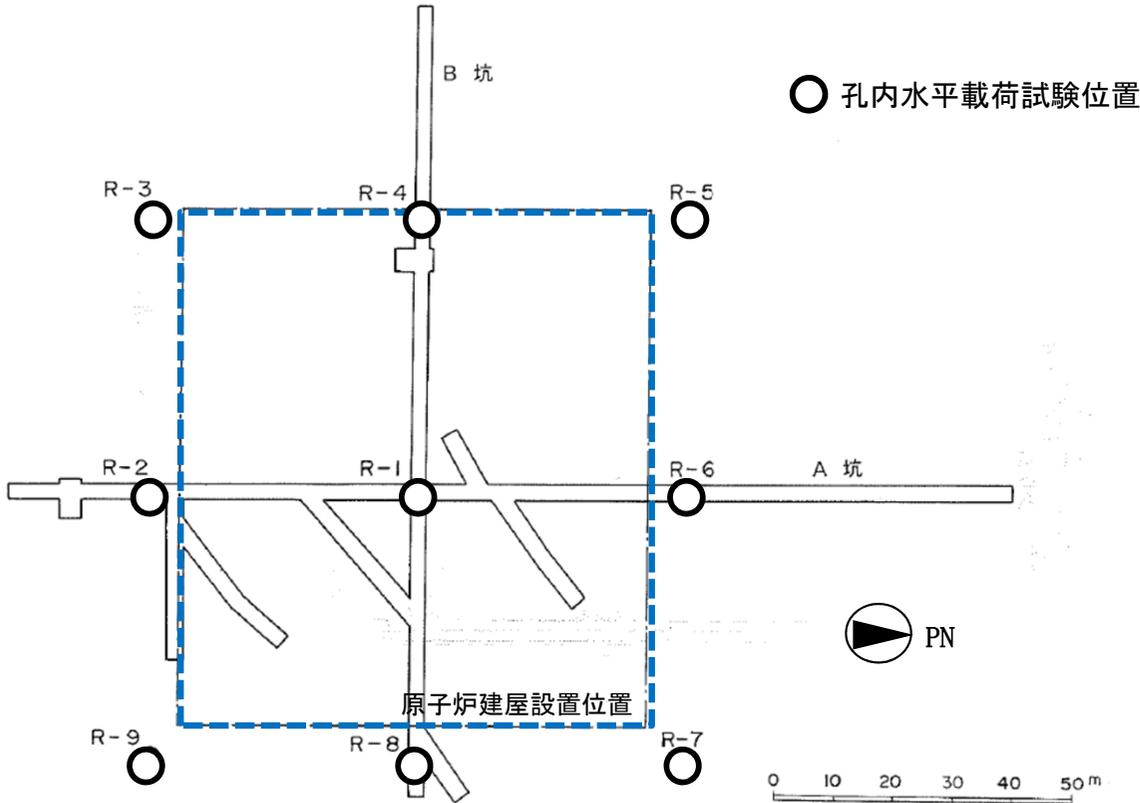
試験位置	岩種	岩盤分類	荷重方向	静弾性係数 E _s (N/mm ²)	平均値
J-1	砂岩	C _H 級	鉛直	1,860	1,770
J-2			鉛直	1,860	
J-3			水平	1,570	
J-4	砂岩	C _M 級	鉛直	920	980
J-5			鉛直	980	
J-6			水平	770	
J-7			層理に平行	1,080	
J-8			層理に直交	1,180	
J-9	頁岩	C _H 級	鉛直	920	2,160
J-10			鉛直	1,180	
J-11			水平	3,330	
J-12			層理に平行	2,160	
J-13			層理に直交	3,040	

2. 解析用物性値に関する補足 2.3 狐崎部層の解析用物性値

2.3.3 静的変形特性 (C_L級, D級岩盤の静弾性係数)

- 試掘坑内での分布が小さく試験ができなかったC_L級及びD級岩盤の静的変形特性は孔内水平載荷試験結果などを考慮し、他の岩種・岩級の試験結果から換算した。

■ 試験位置



■ 砂岩C_L級の換算例

	孔内水平載荷試験	岩盤変形試験
C _M 級	$E_s = 1,220\text{N/mm}^2$	$E_s = 980\text{N/mm}^2$
C _L 級	$E_s = 500\text{N/mm}^2$	<div style="text-align: center;"> ↓ ×0.41 【換算】 $E_s = 400\text{N/mm}^2$ </div>

- 岩盤の静的変形特性は、岩盤変形試験結果を基本とする。
- 孔内水平載荷試験の結果から、C_M級とC_L級の静弾性係数の比率を0.41と算定。
- 算定した比率を用い、C_M級の岩盤変形試験結果を換算。

2. 解析用物性値に関する補足 2.3 狐崎部層の解析用物性値

2.3.3 静的変形特性（静ポアソン比）

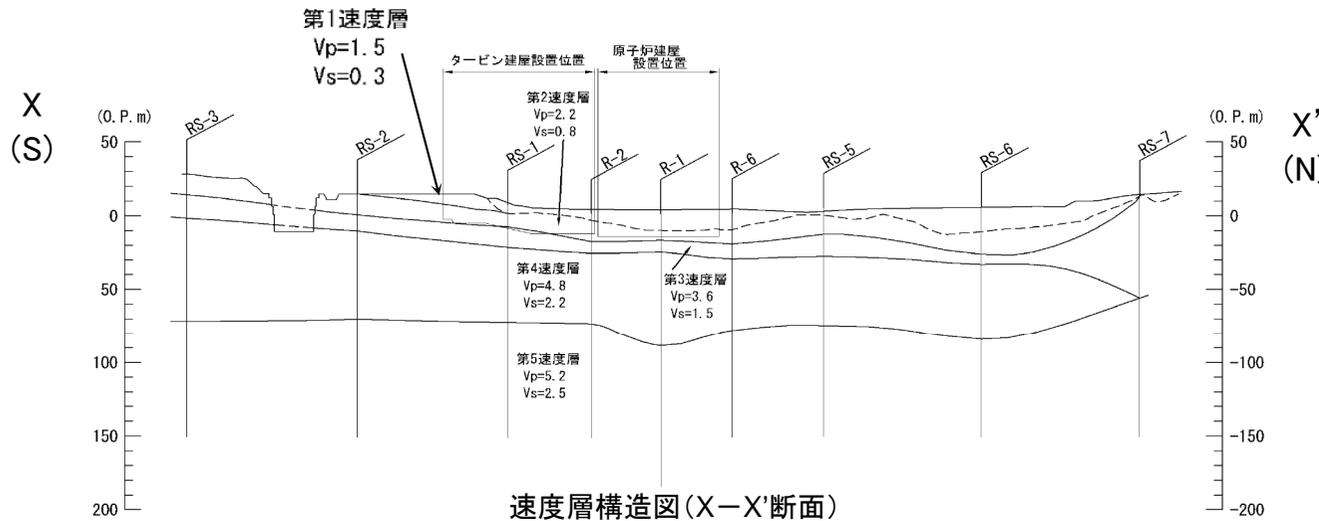
- B～D 級岩盤の静ポアソン比は、一軸圧縮試験結果から設定した。

		標本数	静ポアソン比	備考
B 級	砂岩	97	0.25	
	頁岩	39	0.28	
	ひん岩	2	0.31	
C _H 級	砂岩	20	0.24	
	頁岩	8	0.25	
	ひん岩	2	0.29	
C _M 級	砂岩	50	0.26	
	頁岩	8	0.20	
	ひん岩	—	0.26	砂岩と同じ値
C _L 級	砂岩	19	0.31	
	頁岩	—	0.31	砂岩と同じ値
	ひん岩	—	0.31	砂岩と同じ値
D 級	砂岩	4	0.38	
	頁岩	—	0.38	砂岩と同じ値
	ひん岩	—	0.38	砂岩と同じ値

2. 解析用物性値に関する補足 2.3 狐崎部層の解析用物性値

2.3.4 動的変形特性 (B級~C_L級)

- B~C_L級岩盤の動的変形特性は、PS検層結果から作成した弾性波速度の速度層構造をもとに、各層の単位体積重量を用いて設定した。

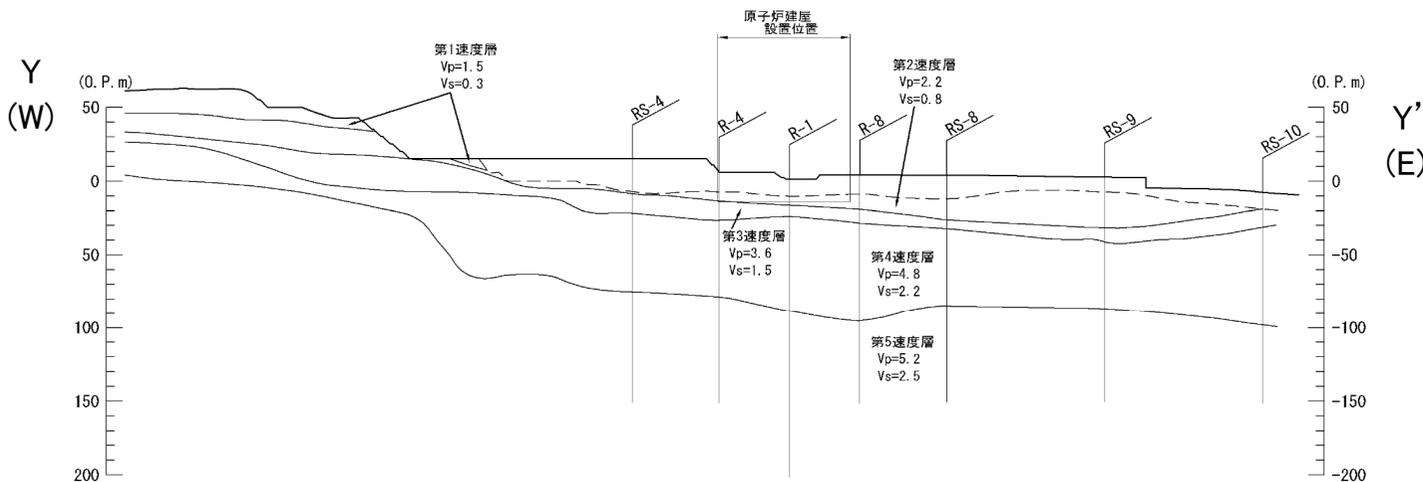


動せん断弾性係数 $G_d = (\gamma/g) \cdot V_s^2$
 γ : 単位体積重量,
 g : 重力加速度,
 V_s : S波速度

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



凡 例

----- : 盛土及び旧表土と岩盤の境界線

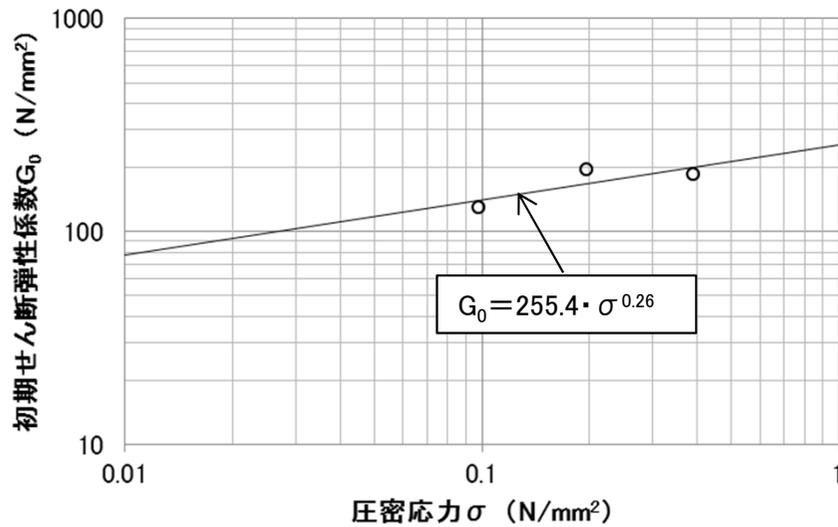
単位 km/sec 0 50m

2. 解析用物性値に関する補足 2.3 狐崎部層の解析用物性値

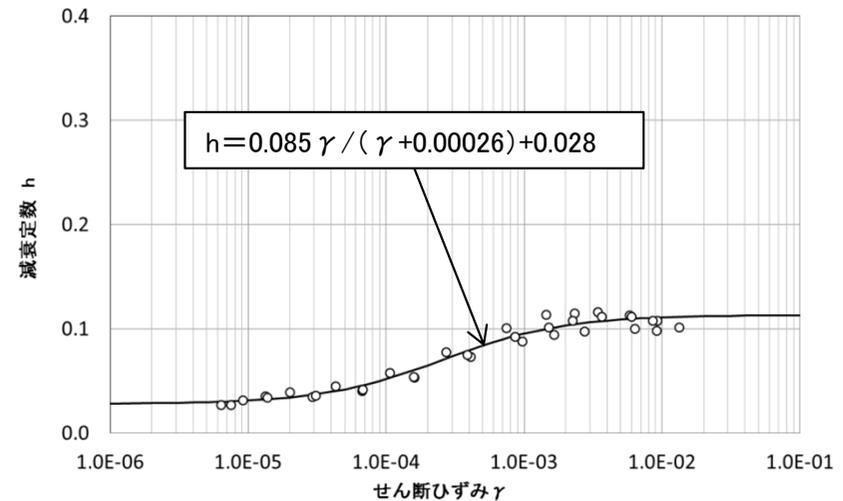
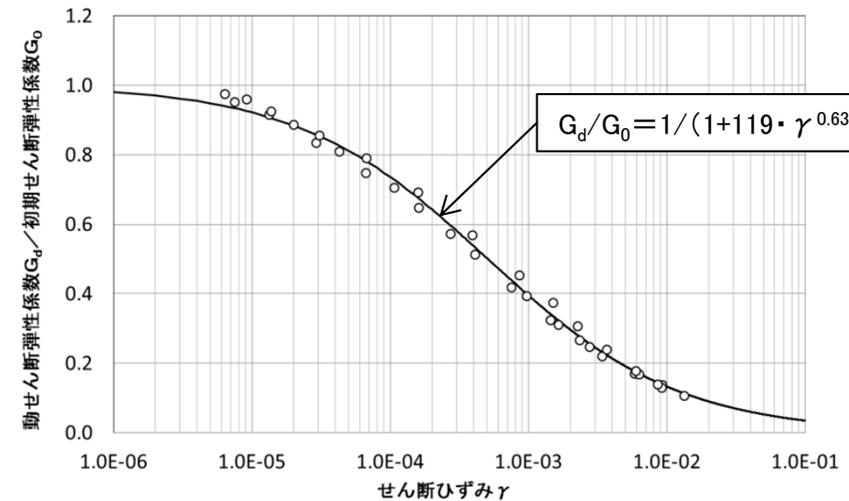
2.3.4 動的変形特性 (D級岩盤)

- D級岩盤の動的変形特性は、砂岩の繰返し三軸試験結果から設定し、ひずみ依存性を考慮した。
- コア試料の採取位置は、原位置せん断試験と同じである。
- D級岩盤の動ポアソン比は、PS検層結果から作成した速度層構造をもとに設定した。

■ 初期せん断弾性係数 G_0



■ ひずみ依存性



2. 解析用物性値に関する補足 2.4牧の浜部層の解析用物性値

2.4.1 物理特性（単位体積重量の設定）

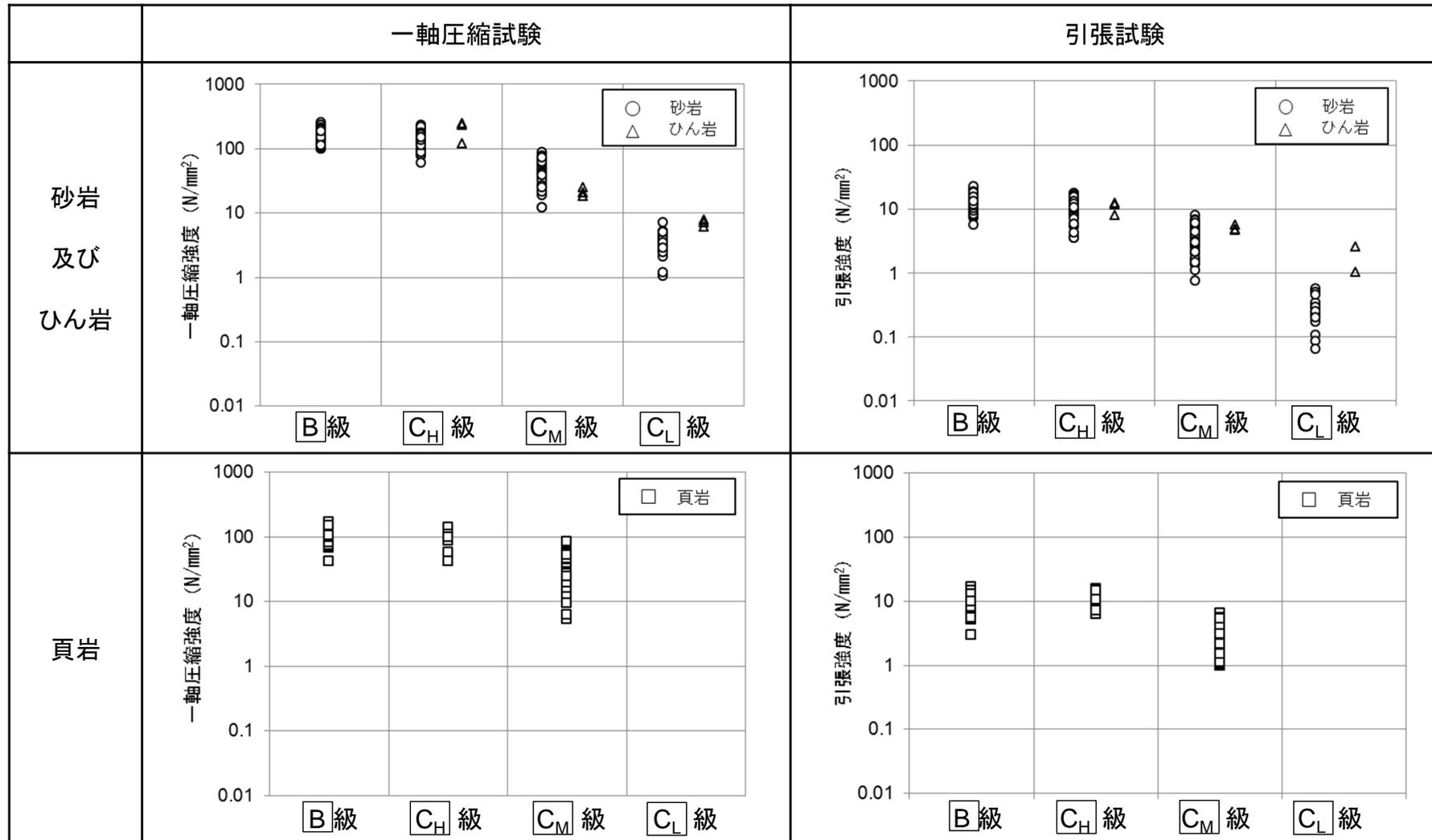
- 地盤の単位体積重量は、ボーリングコアの密度試験や現場密度試験の結果から設定した。
- 分布範囲が小さい等の理由により試験を実施していない岩種岩級は、同じ岩級の砂岩と同じ値で設定した。
- ただし、**D**級岩盤の物性値は、分布が小さいことや、亀裂や風化により部層の相違による影響が小さいこと等から、狐崎部層と牧の浜部層を同一の物性値としている。（ 部分）

		標本数	単位体積重量 (kN/m ³)	備考
B 級	砂 岩	230	26.4	
	頁 岩	101	27.1	
	ひん岩	—	27.9	C_H 級ひん岩と同じ値
C_H 級	砂 岩	105	26.2	
	頁 岩	26	27.1	
	ひん岩	2	27.9	
C_M 級	砂 岩	125	25.5	
	頁 岩	133	25.4	
	ひん岩	—	25.5	砂岩と同じ値
C_L 級	砂 岩	49	23.1	
	頁 岩	5	23.1	
	ひん岩	—	23.1	砂岩と同じ値
D 級	砂 岩	26	20.2	
	頁 岩	—	20.2	D 級砂岩の値を、 C_L 級砂岩と C_L 級頁岩の比率で換算
	ひん岩	—	20.2	砂岩と同じ値

2. 解析用物性値に関する補足 2.4牧の浜部層の解析用物性値

2.4.2 強度特性（室内試験）

- ボーリングコア及び試掘坑内で採取したコアを用いて力学試験を実施した。
- ひん岩は分布範囲が局部的かつ小さいことから、全岩級を砂岩と同じ値で設定した。
- B級の砂岩、頁岩の強度は、C_H級の砂岩、頁岩の強度と同等以上と判断できるため、C_H級岩盤と同じ値で設定した。

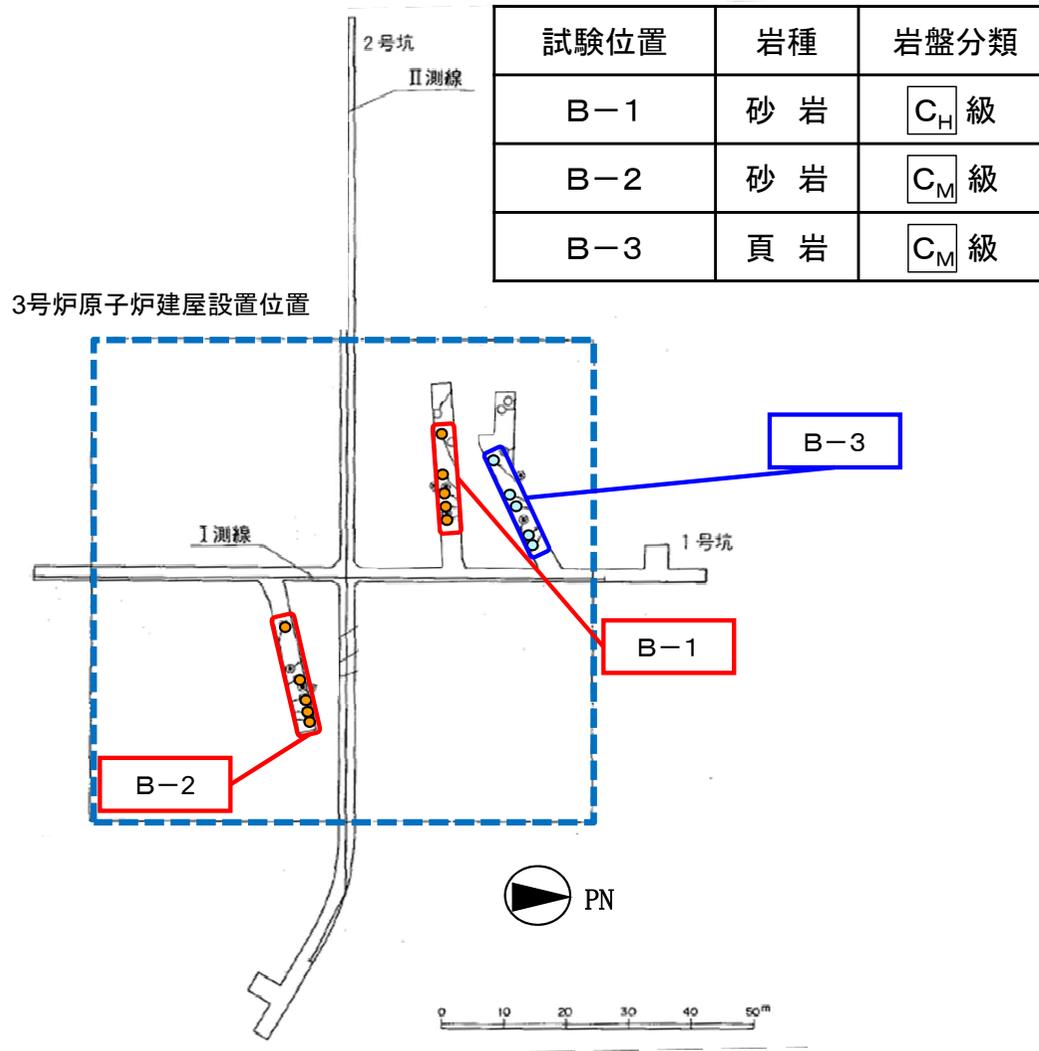


2. 解析用物性値に関する補足 2. 4 牧の浜部層の解析用物性値

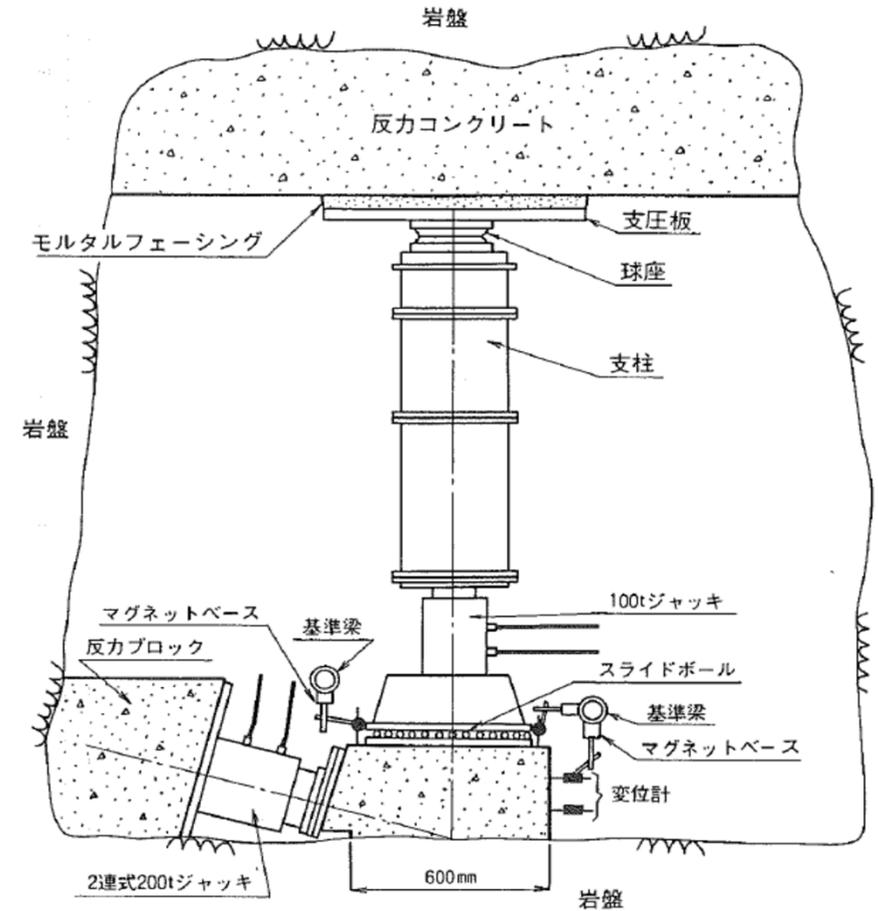
2. 4. 2 強度特性 (C_H 級, C_M 級岩盤) ①

- 砂岩及び頁岩の C_H , C_M 級岩盤の強度特性は、試掘坑内で実施したブロックせん断試験及び摩擦強度試験の結果から設定した。

■ 試験位置



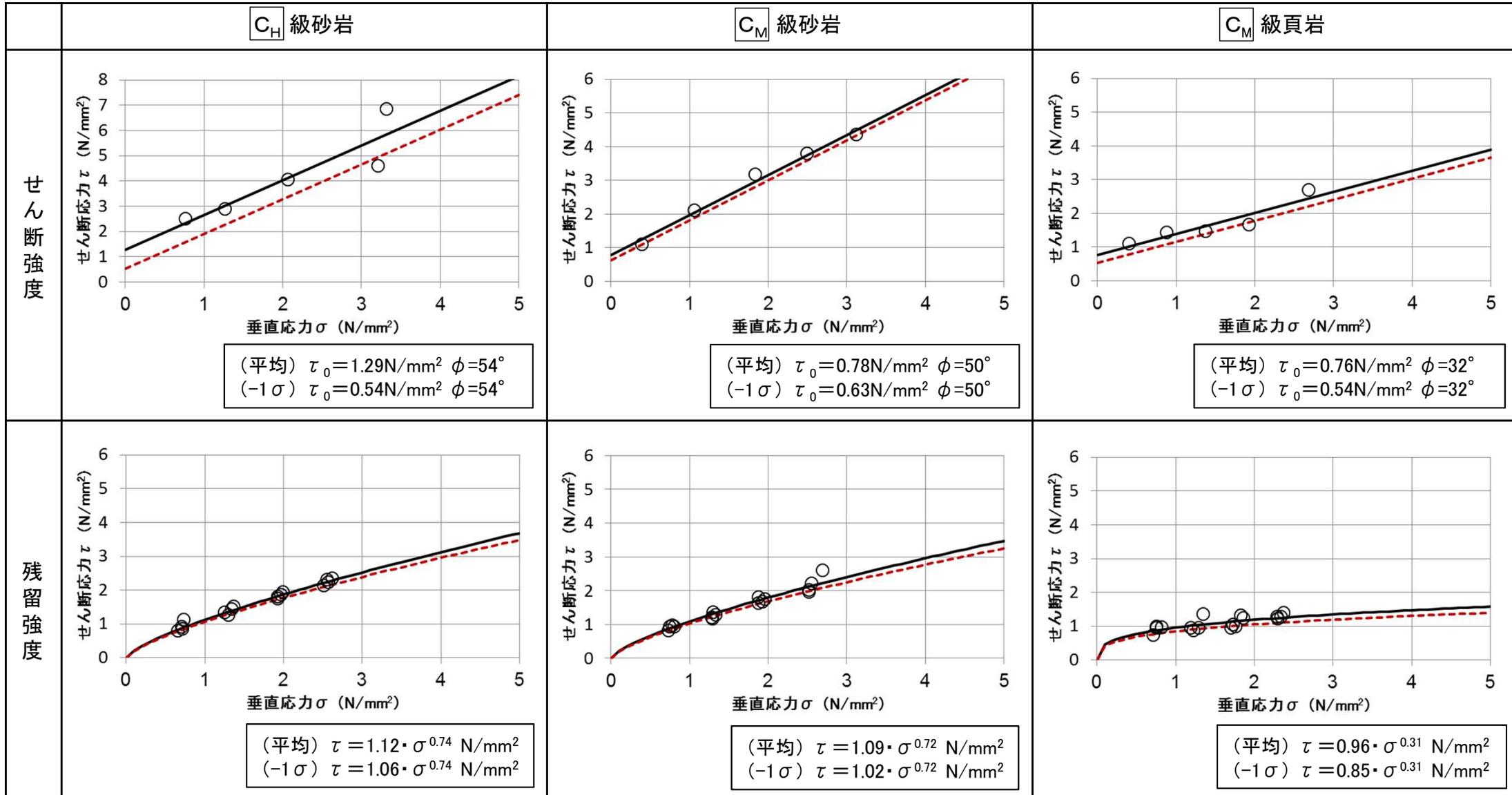
■ 試験概要



2. 解析用物性値に関する補足 2.4牧の浜部層の解析用物性値

2.4.2 強度特性 (C_H 級, C_M 級岩盤) ②

- ブロックせん断試験によりせん断強度及び残留強度を設定した。



— 平均強度 - - - -1 σ

2. 解析用物性値に関する補足 2.4 牧の浜部層の解析用物性値

2.4.2 強度特性 (C_H級, C_M級岩盤)③

- C_H級頁岩の強度は、せん断強度については、C_H級砂岩のせん断強度をC_M級の砂岩と頁岩の強度比で換算し、内部摩擦角については、C_M級頁岩と同じ値とした。

■ C_H級頁岩の換算

ブロックせん断試験結果から定めたC_M級の比率で換算した。

	C _M 級(牧の浜部層)頁岩/砂岩
せん断強度 τ_0	$\frac{0.76}{0.78} = 0.97$

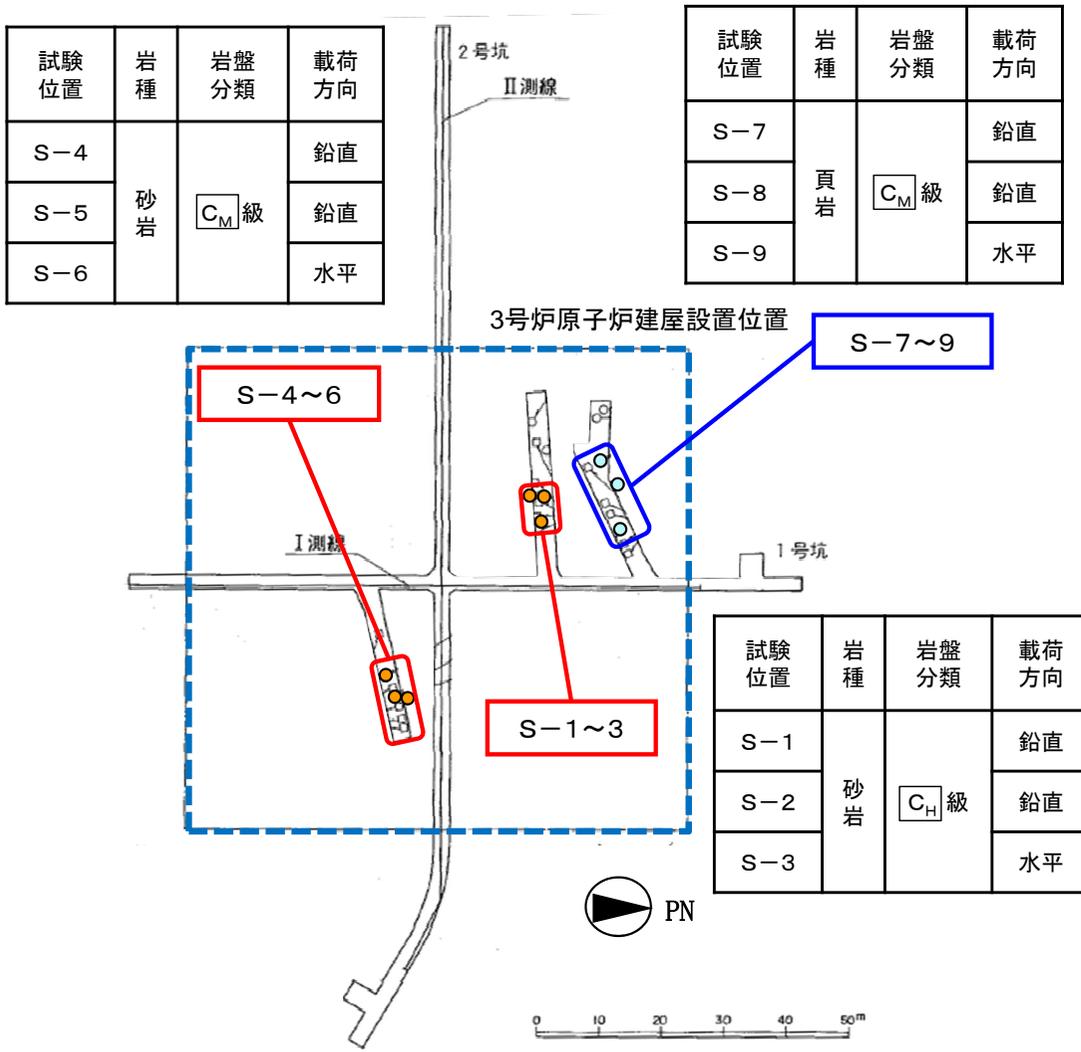
		換算方法	砂岩	頁岩
C _H 級 頁岩	せん断強度 τ_0	C _H 級砂岩の $\tau_0 \times \frac{C_M \text{級頁岩の } \tau_0}{C_M \text{級砂岩の } \tau_0}$	1.29 N/mm ²	1.25 N/mm ²
			<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> $\times 0.97$ </div>	

2. 解析用物性値に関する補足 2. 4 牧の浜部層の解析用物性値

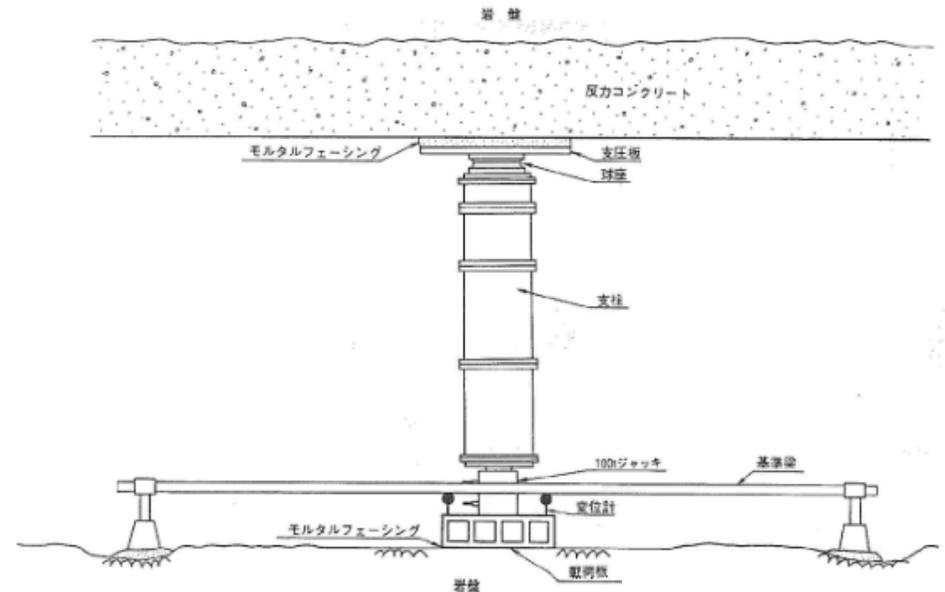
2. 4. 2 強度特性 (支持力)①

- 原子炉建屋他の耐震重要施設は C_M 級以上の岩盤に設置されていることから、支持力に対する安全性を確認するため、 $C_H \sim C_M$ 級岩盤に対し、試掘坑内において支持力試験を実施した。

■ 試験位置



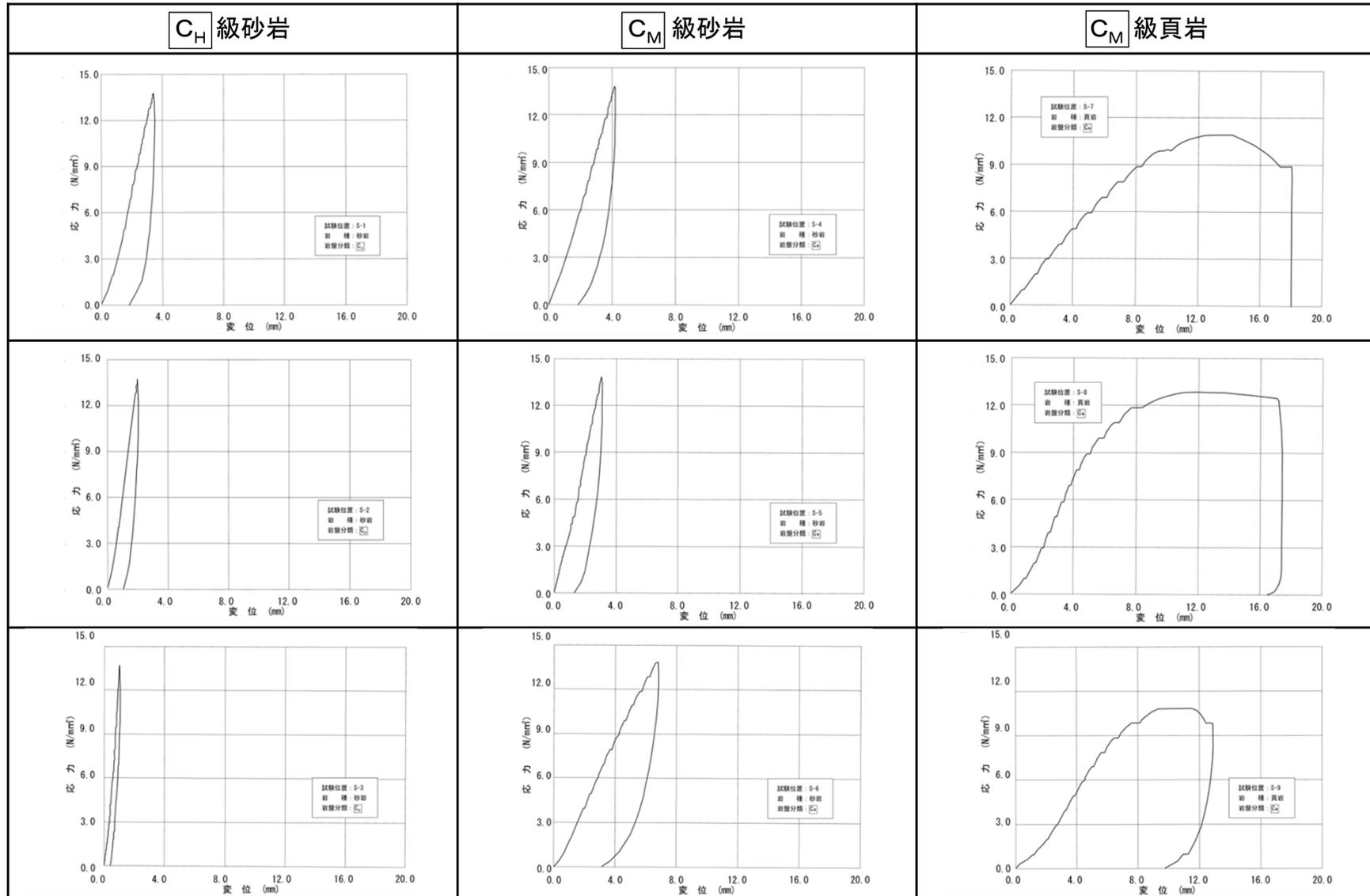
■ 試験概要



2. 解析用物性値に関する補足 2.4牧の浜部層の解析用物性値

2.4.2 強度特性（支持力）②

- C_H , C_M 級砂岩ではジャッキの限界値である $13.7\text{N}/\text{mm}^2$ まで载荷したが降伏を確認できなかった。
- C_M 級頁岩で载荷した最大荷重の平均値は, $11.4\text{N}/\text{mm}^2$ であった。
- 以上から, 緊急時対策建屋基礎地盤の極限支持力は $11.4\text{N}/\text{mm}^2$ と評価される。

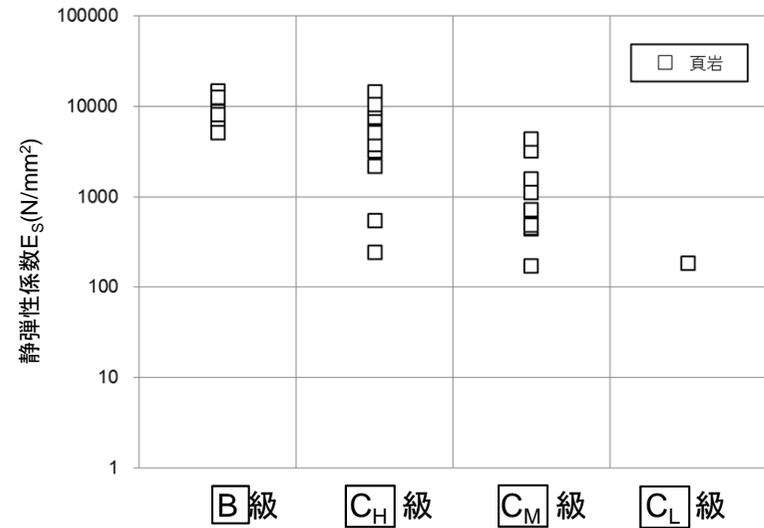
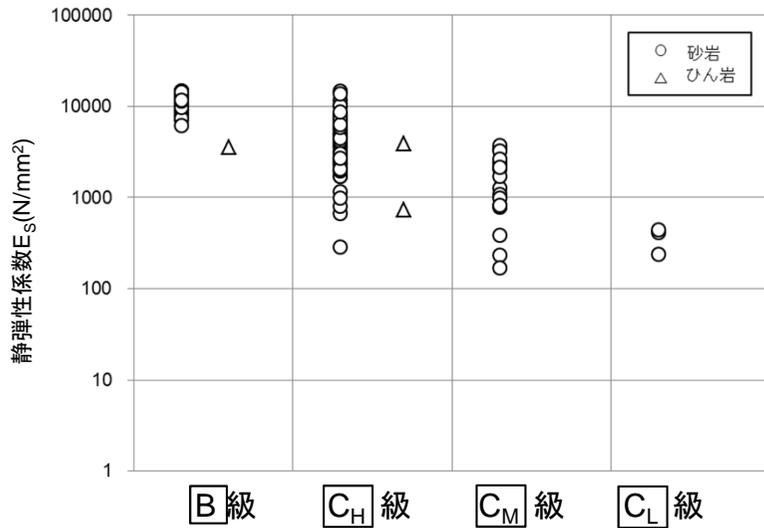


2. 解析用物性値に関する補足 2.4牧の浜部層の解析用物性値

2.4.3 静的変形特性

- 試掘坑内での分布が小さく試験ができなかったB級, C_L級及びD級岩盤の静的変形特性は, 孔内水平載荷試験結果などを考慮し, 他の岩種・岩級の試験結果から換算した。

■ 孔内水平載荷試験結果

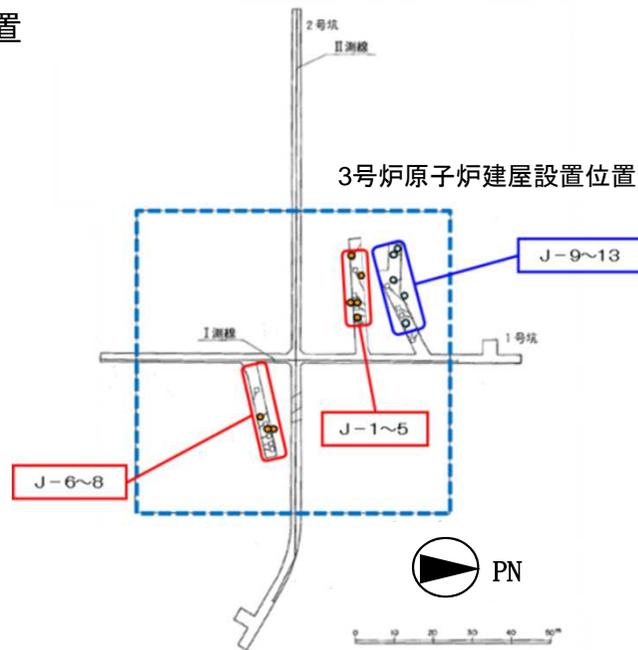


2. 解析用物性値に関する補足 2. 4 牧の浜部層の解析用物性値

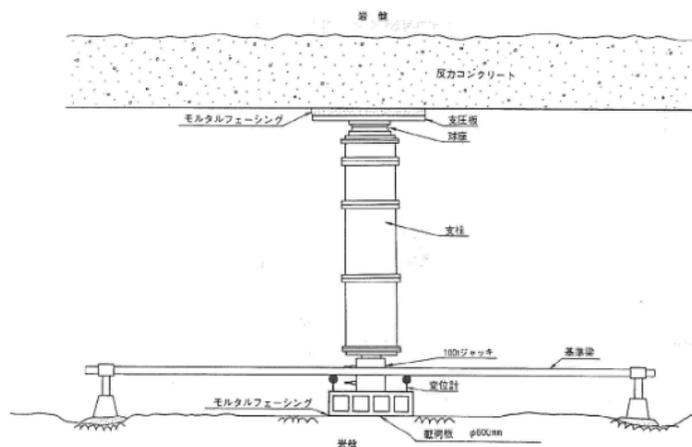
2. 4. 3 静的変形特性 (C_H 級, C_M 級岩盤の静弾性係数)

- C_H 級砂岩並びに C_M 級砂岩及び頁岩の静弾性係数は、試掘坑内で実施した岩盤変形試験結果から設定した。

■ 試験位置



■ 試験概要



■ 試験結果

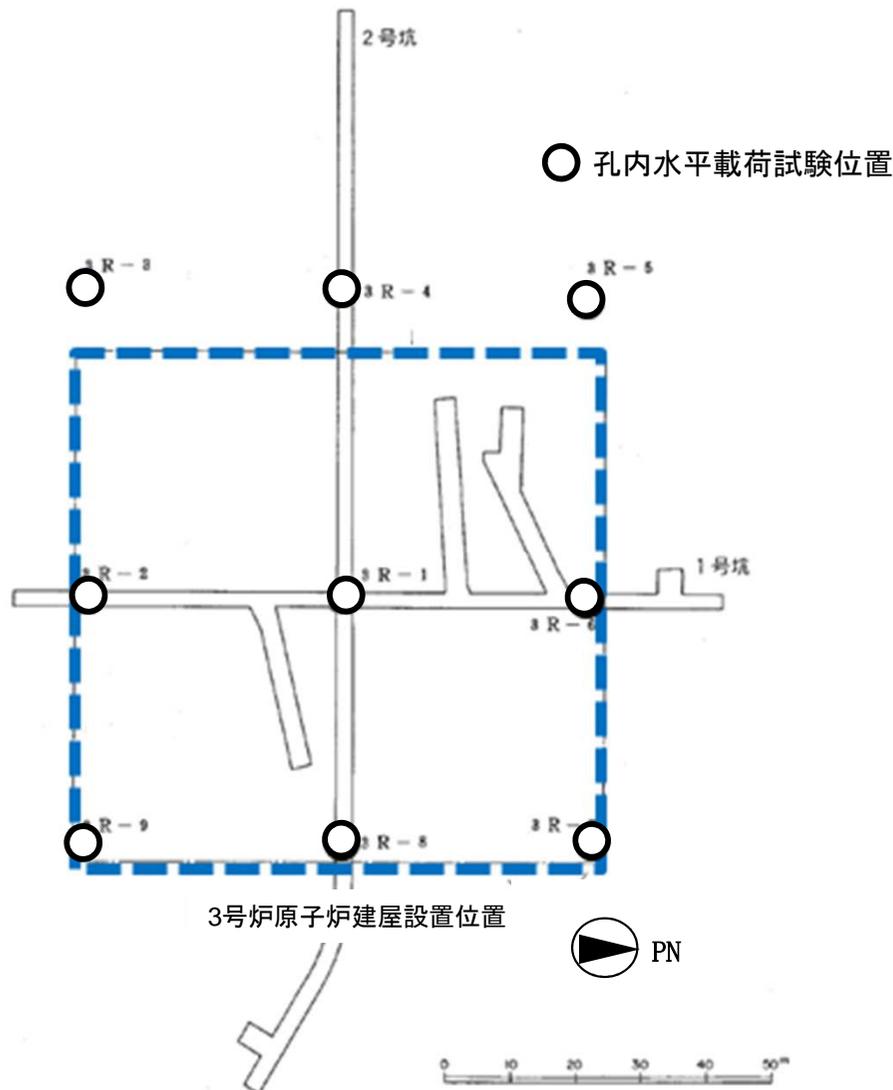
試験位置	岩種	岩盤分類	载荷方向	静弾性係数 E_s (N/mm ²)	平均値
J-1	砂岩	C_H 級	鉛直	1,100	1,900
J-2			鉛直	1,900	
J-3			水平	2,800	
J-4			層理に平行	1,900	
J-5			層理に直交	1,600	
J-6	砂岩	C_M 級	鉛直	1,300	1,200
J-7			鉛直	1,400	
J-8			水平	910	
J-9	頁岩	C_M 級	鉛直	960	1,500
J-10			鉛直	1,500	
J-11			水平	1,200	
J-12			層理に平行	1,500	
J-13			層理に直交	2,200	

2. 解析用物性値に関する補足 2.4牧の浜部層の解析用物性値

2.4.3 静的変形特性 (C_L級, D級岩盤の静弾性係数)

- 試掘坑内での分布が小さく試験ができなかったC_L級及びD級岩盤の静的変形特性は、孔内水平載荷試験結果などを考慮し、他の岩種・岩級の試験結果から換算した。

■ 試験位置



■ C_L級頁岩の換算例

	孔内水平載荷試験	岩盤変形試験
C _M 級	$E_s = 1,570\text{N/mm}^2$	$E_s = 1,500\text{N/mm}^2$
C _L 級	$E_s = 190\text{N/mm}^2$	$\downarrow \times 0.12$ 【換算】 $E_s = 180\text{N/mm}^2$

- 岩盤の静的変形特性は、岩盤変形試験結果を基本とする。
- 孔内水平載荷試験の結果から、C_M級とC_L級の静弾性係数の比率を0.12と算定。
- 算定した比率を用い、C_M級の岩盤変形試験結果を換算。

2. 解析用物性値に関する補足 2. 4 牧の浜部層の解析用物性値

2. 4. 3 静的変形特性（静ポアソン比）

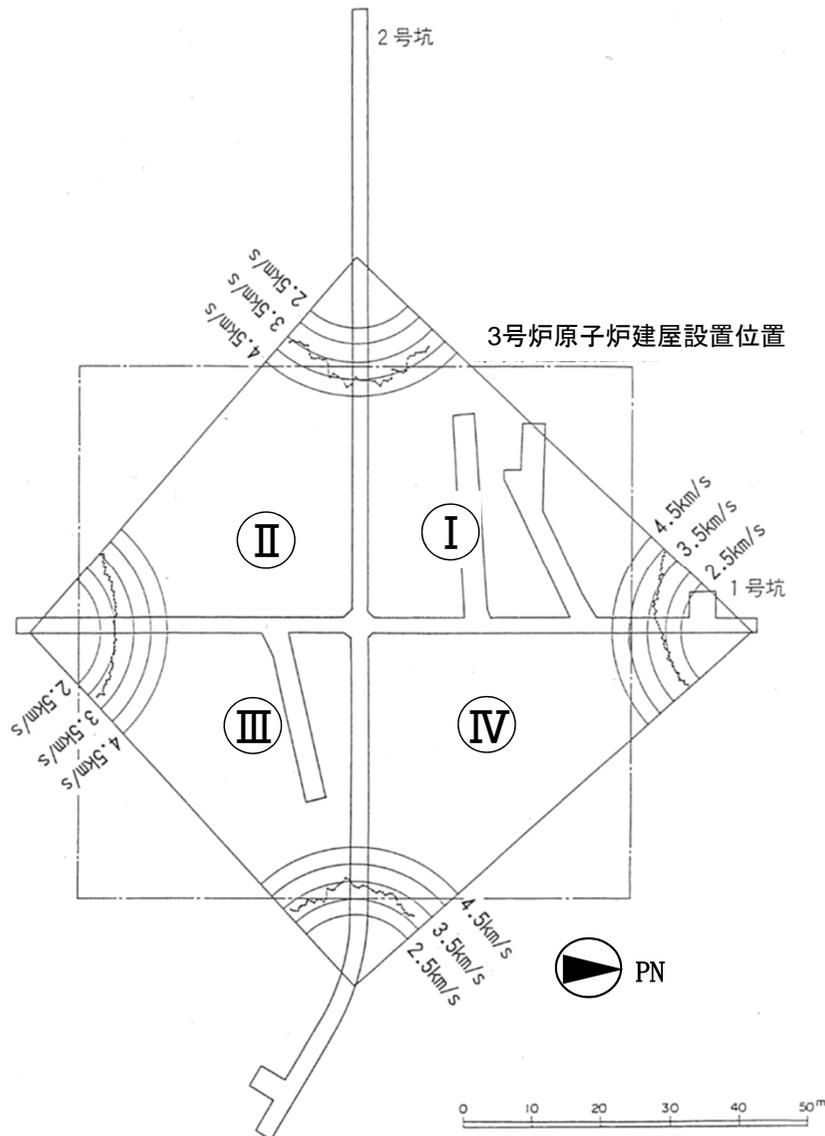
- B～D 級岩盤の静ポアソン比は、一軸圧縮試験結果から設定した。

		標本数	静ポアソン比	備考
B 級	砂 岩	82	0.21	
	頁 岩	23	0.23	
	ひん岩	—	0.18	C_H 級ひん岩と同じ値
C_H 級	砂 岩	36	0.19	
	頁 岩	10	0.22	
	ひん岩	1	0.18	
C_M 級	砂 岩	40	0.24	
	頁 岩	42	0.21	
	ひん岩	—	0.24	砂岩と同じ値
C_L 級	砂 岩	19	0.26	
	頁 岩	—	0.26	砂岩と同じ値
	ひん岩	—	0.26	砂岩と同じ値
D 級	砂 岩	4	0.38	
	頁 岩	—	0.38	砂岩と同じ値
	ひん岩	—	0.38	砂岩と同じ値

2. 解析用物性値に関する補足 2.4 牧の浜部層の解析用物性値

2.4.4 動的変形特性 (B ~ C_L 級岩盤 異方性)

- 牧の浜部層を代表して3号炉原子炉建屋の試掘坑内において行った弾性波(P波)速度の測定結果により、P波速度は2.9~4.3km/s、平均値3.4km/s、変動係数10.1%であり、方向の違いによる弾性波速度の大きな差は認められないことから、顕著な異方性が無いことを確認した。



領域	測線数 (本)	P波速度 (km/s)	平均値 (km/s)	変動係数 (%)
Ⅰ	48	3.2~4.3	3.7	7.4
Ⅱ	49	2.9~4.3	3.5	10.0
Ⅲ	44	2.9~3.6	3.2	5.5
Ⅳ	45	3.0~3.4	3.1	4.2
全測線	186	2.9~4.3	3.4	10.1

2. 解析用物性値に関する補足 2.5盛土他の解析用物性値

2.5.1 物理特性（単位体積重量の設定）

- 地盤の単位体積重量は、ボーリングコアの密度試験や現場密度試験の結果から設定した。

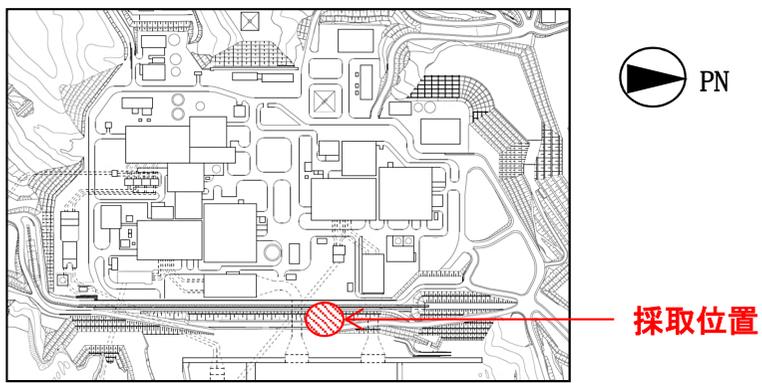
	標本数	単位体積重量(kN/m ³)	備考
盛土	3	20.6	
旧表土	8	19.0	
断層及びシーム	11	18.6	
セメント改良土	9	21.6	
改良地盤	31	20.6	

2. 解析用物性値に関する補足 2.5盛土他の解析用物性値

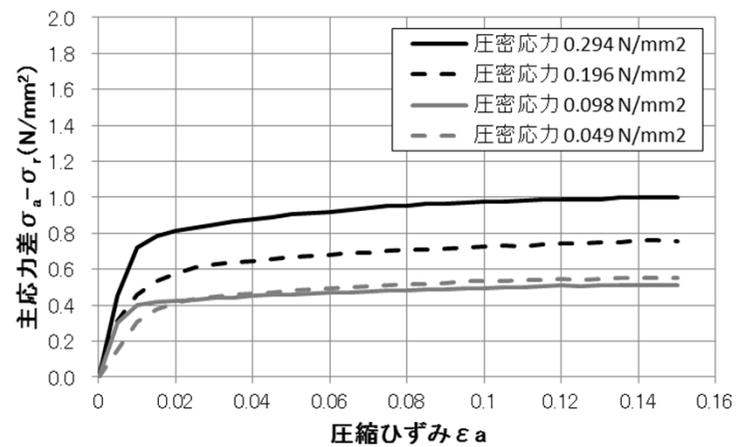
2.5.2 強度特性（盛土）

- 盛土は発電所の建設工事で発生した岩砕で、硬質の岩塊を含む粗粒材料から構成されている。
- 盛土の強度特性は、現地で採取した盛土材の三軸圧縮試験結果から設定した。
- 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。

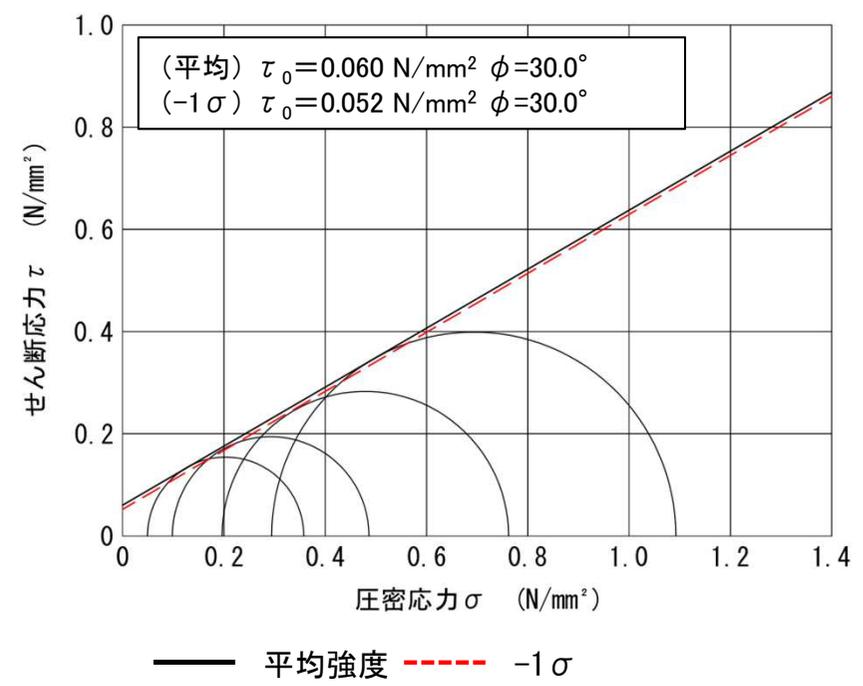
■ 試料採取位置



■ 応力～ひずみ関係



■ 破壊包絡線

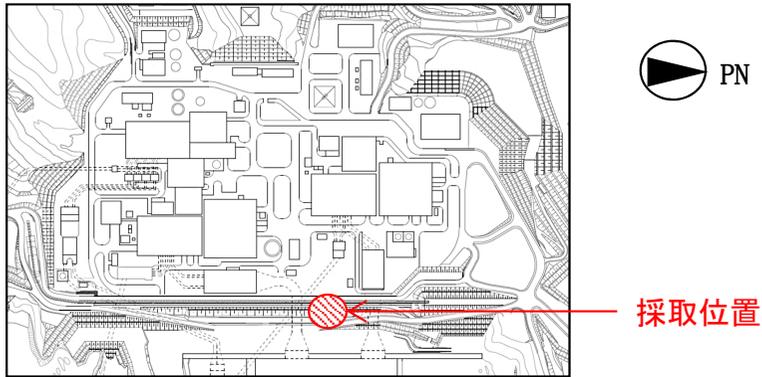


2. 解析用物性値に関する補足 2.5盛土他の解析用物性値

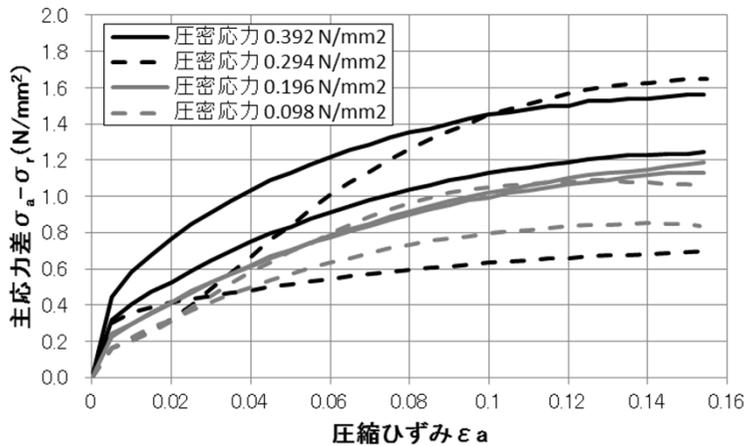
2.5.2 強度特性 (旧表土)

- 旧表土は主に敷地造成前の海浜砂である。
- 旧表土の強度特性は、敷地内で採取したコア試料の三軸圧縮試験結果から設定した。
- 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。

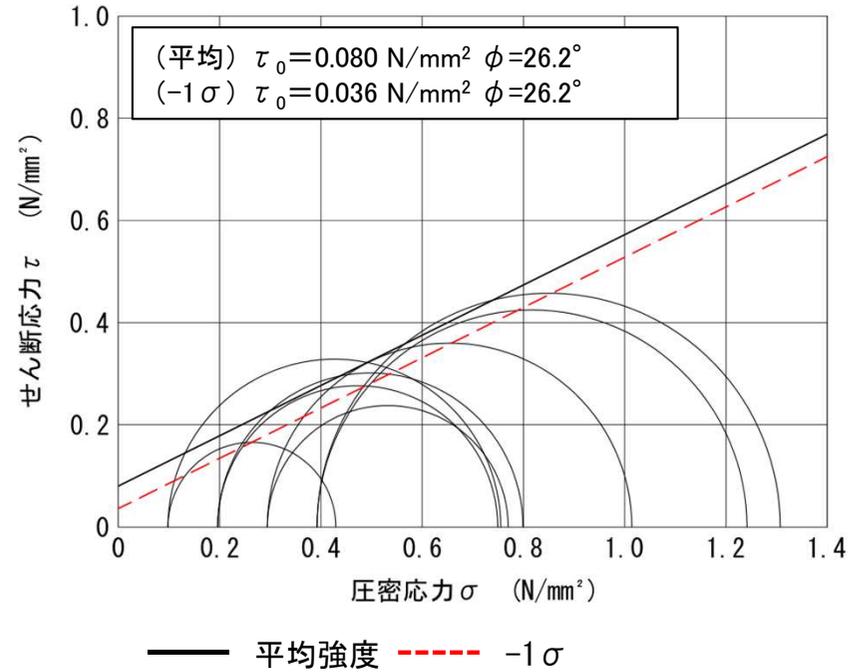
■ 試料採取位置



■ 応力～ひずみ関係



■ 破壊包絡線

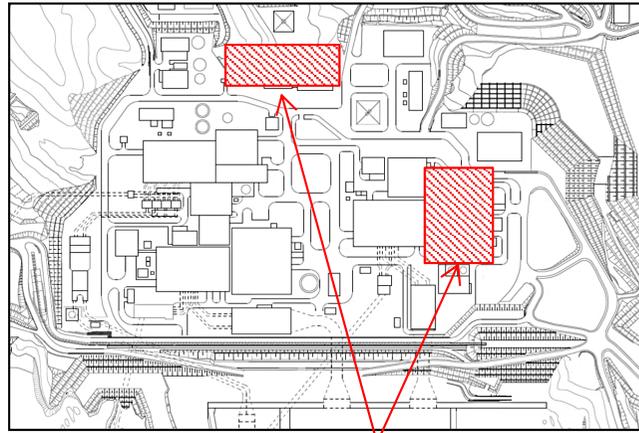


2. 解析用物性値に関する補足 2.5盛土他の解析用物性値

2.5.2 強度特性（断層及びシーム）①

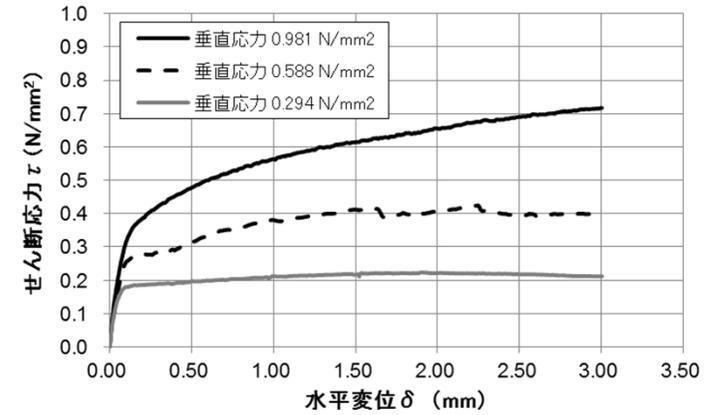
- 断層及びシームの挟在物は、「粘土状」、「砂状」、「鱗片状」等の性状が確認されている。

■ 試料採取位置

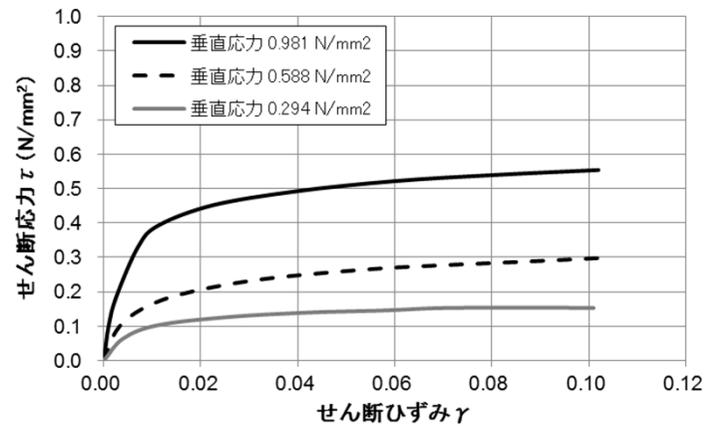


採取位置

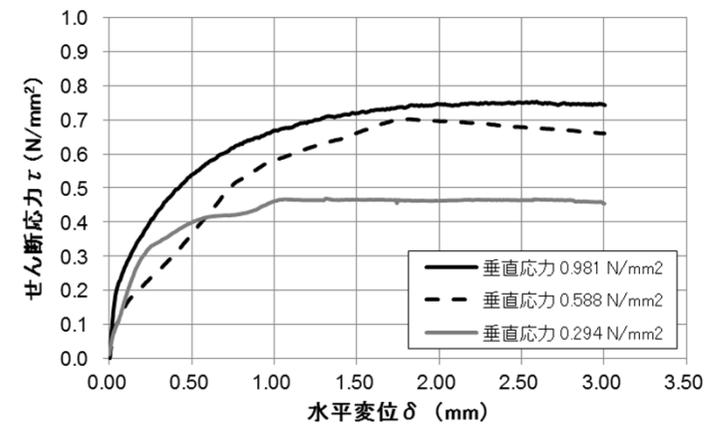
■ 砂状物質



■ 粘土状物質



■ 鱗片状物質

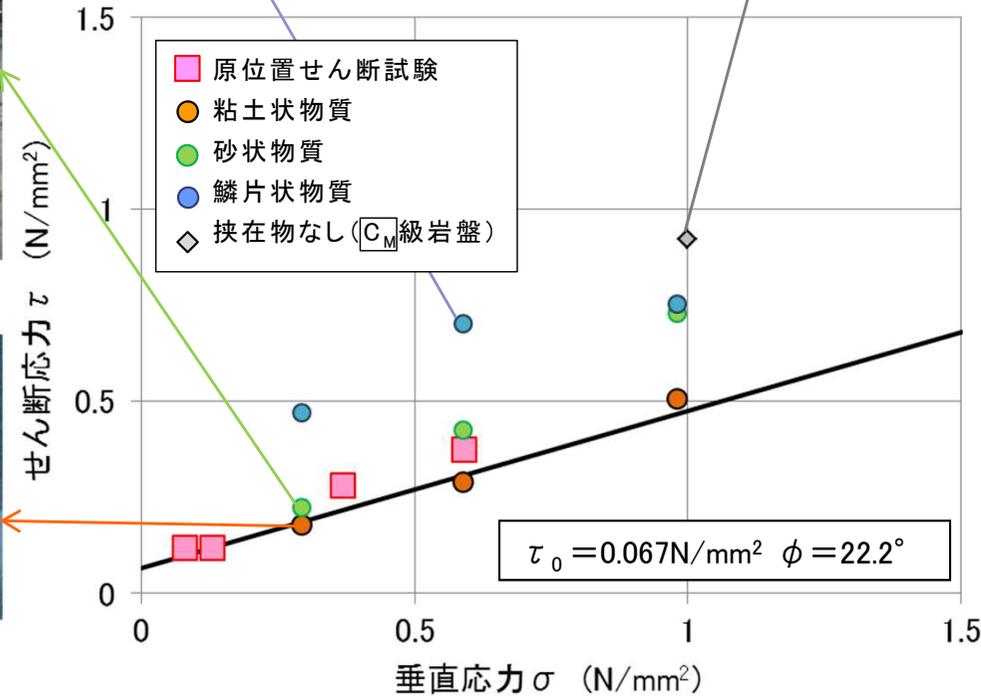
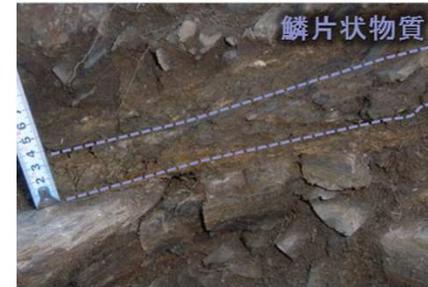
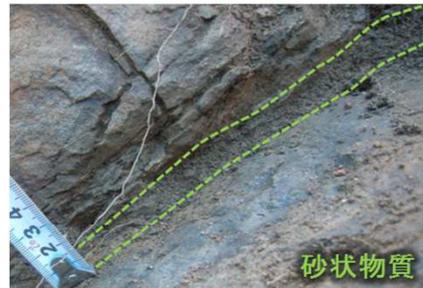
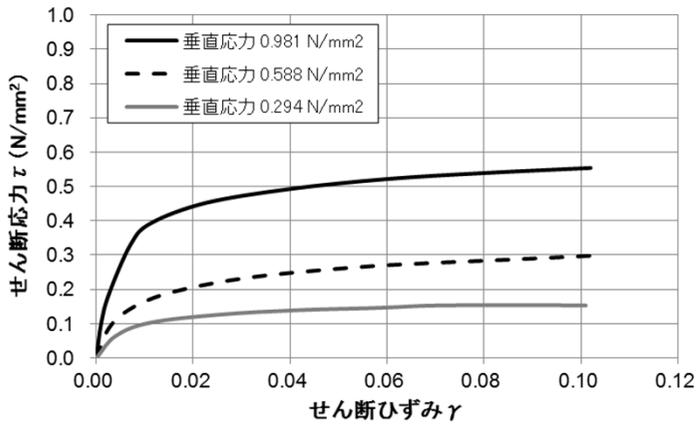


2. 解析用物性値に関する補足 2.5 盛土他の解析用物性値

2.5.2 強度特性（断層及びシーム）②

- 断層及びシームの強度特性は、これらの中でも最も強度が小さい粘土状物質の単純せん断試験結果で設定した。
- 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。

■ 応力～ひずみ関係

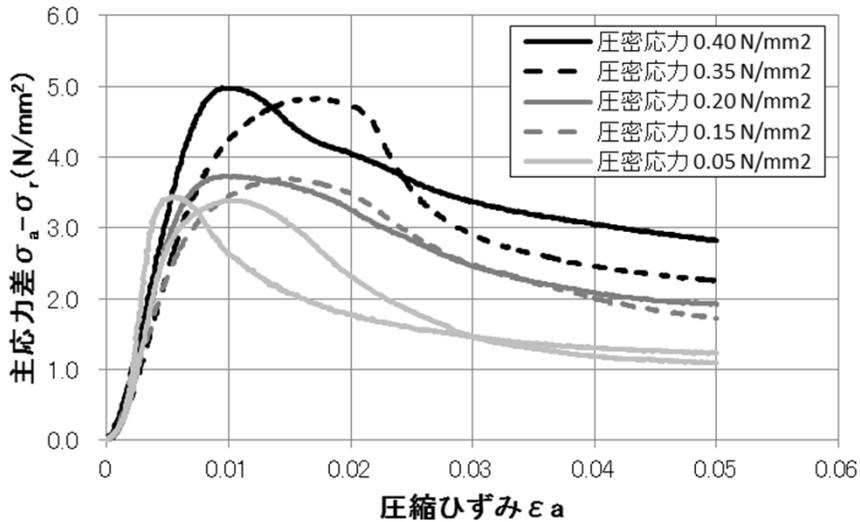


2. 解析用物性値に関する補足 2.5盛土他の解析用物性値

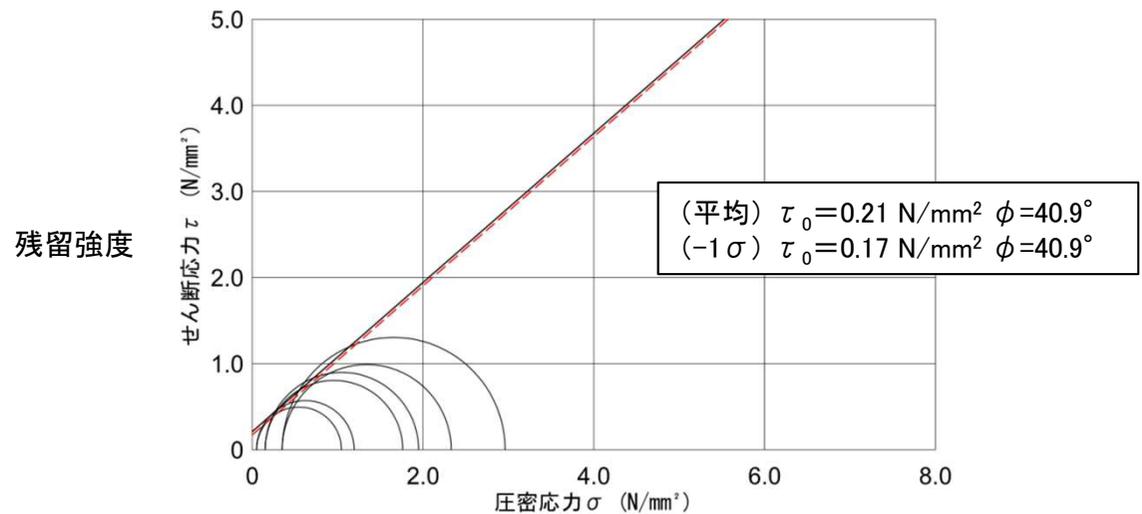
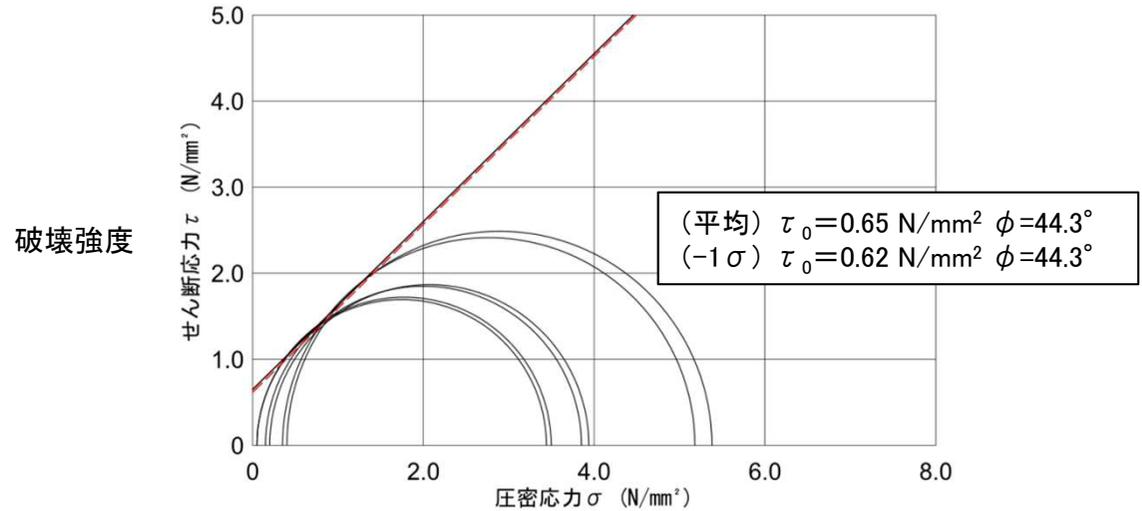
2.5.2 強度特性 (セメント改良土)

- セメント改良土は発電所構内で採取した掘削土にセメントを混合して製造した。
- セメント改良土の強度特性は、試験盛土などから採取したコアの三軸圧縮試験結果から設定した。

■ 応力～ひずみ関係



■ 破壊包絡線



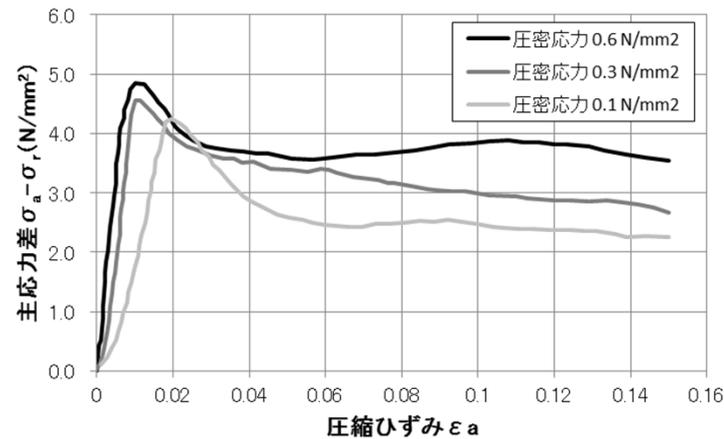
— 平均強度 - - - -1σ

2. 解析用物性値に関する補足 2.5盛土他の解析用物性値

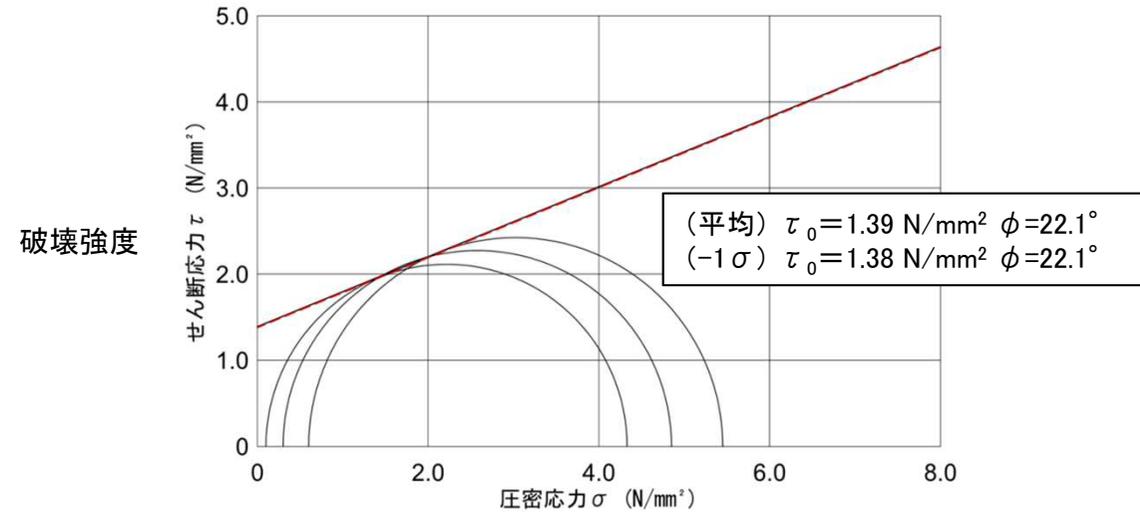
2.5.2 強度特性（改良地盤）

- 改良地盤は、高圧噴射攪拌工法によって、発電所内の盛土、旧表土とセメントミルクを混合して造成した。
- 改良地盤の強度特性は、三軸圧縮試験から設定した。

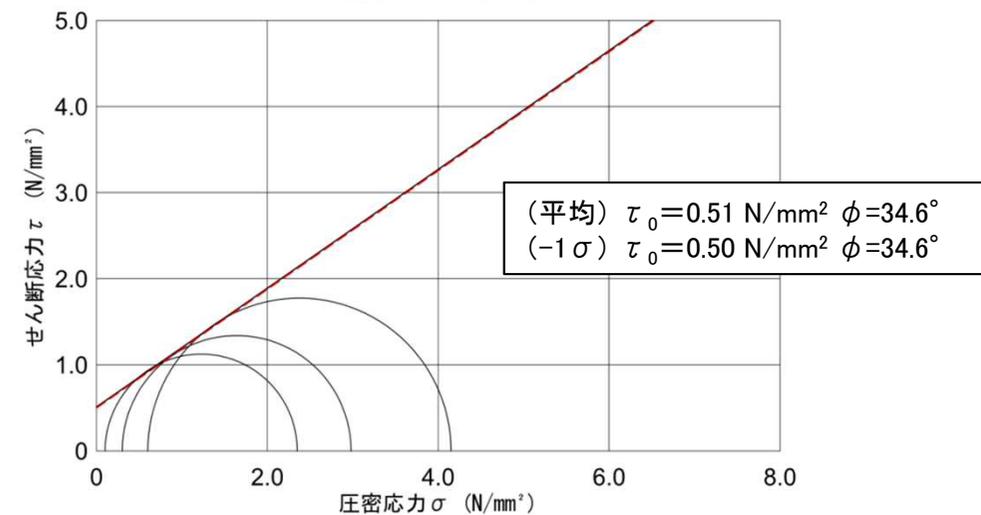
■ 応力～ひずみ関係



■ 破壊包絡線



残留強度



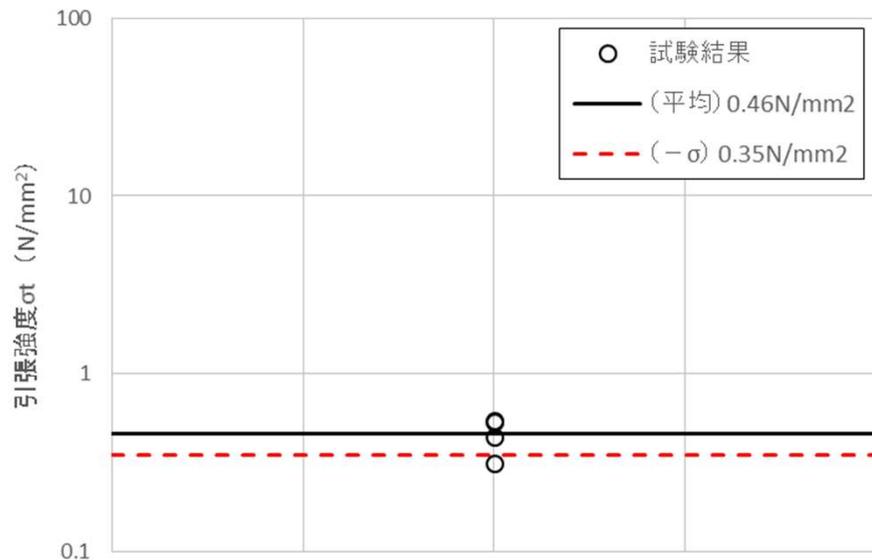
— 平均強度 - - - - -1 σ

2. 解析用物性値に関する補足 2.5盛土他の解析用物性値

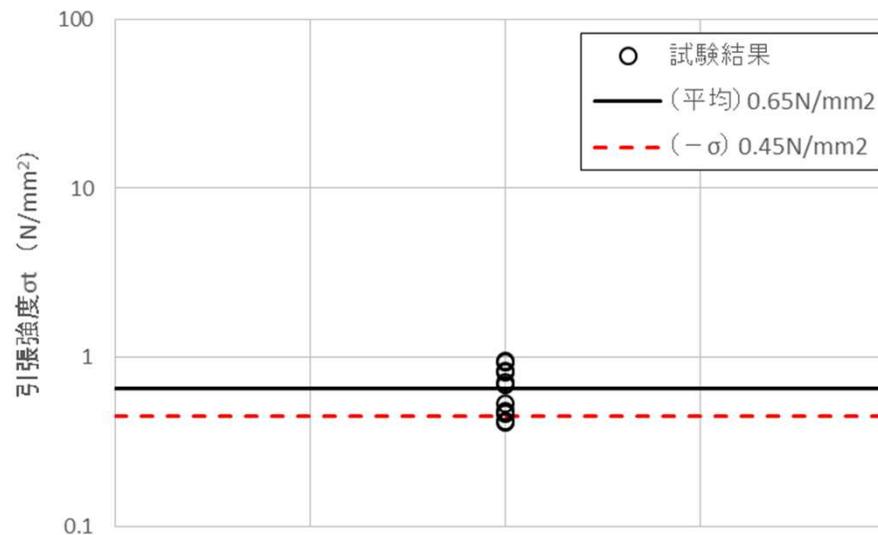
2.5.2 強度特性 (セメント改良土・改良地盤(引張強度))

- セメント改良土の引張強度は、室内で作製した試料(材齢28日、養生温度20°C)の引張強さ試験結果から設定した。
- 改良地盤の引張強度は、試験改良体のボーリングコア試料の引張強さ試験結果から設定した。

■ セメント改良土



■ 改良地盤

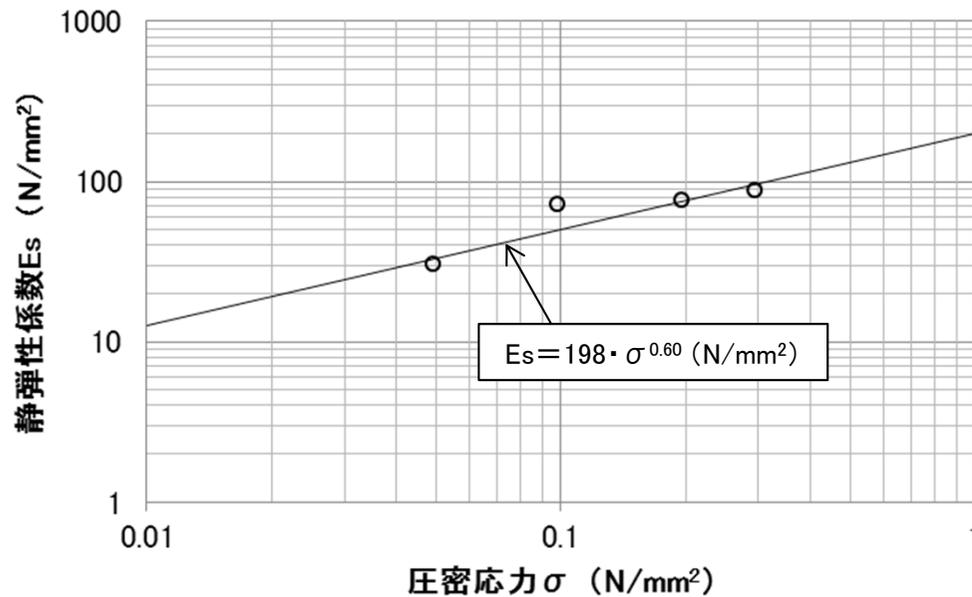


2. 解析用物性値に関する補足 2.5盛土他の解析用物性値

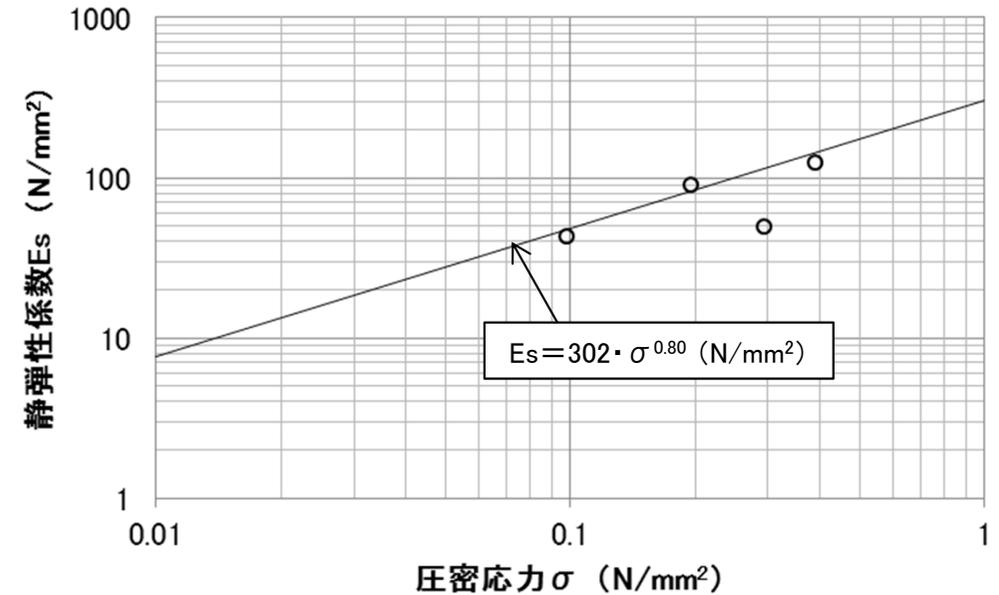
2.5.3 静的変形特性（盛土及び旧表土）

- 盛土及び旧表土の静的変形特性は、三軸圧縮試験結果をもとに設定した。
- 盛土及び旧表土の静ポアソン比は、慣用値(0.40)で設定した。

■ 静弾性係数 E_s (盛土)



■ 静弾性係数 E_s (旧表土)

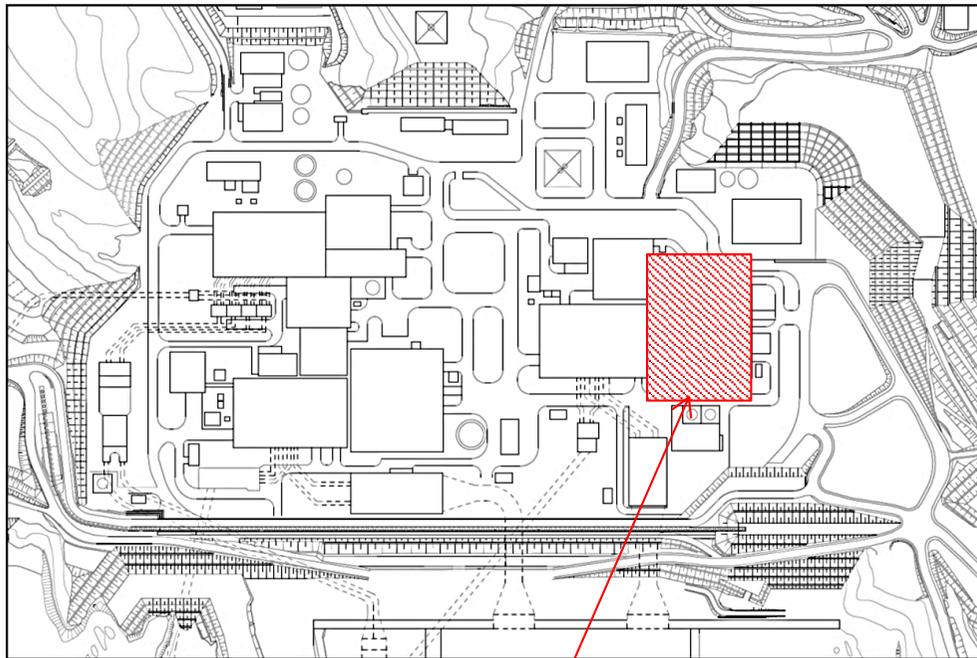


2. 解析用物性値に関する補足 2.5 盛土他の解析用物性値

2.5.3 静的変形特性（断層及びシーム）

- 断層及びシームの静的変形特性は、粘土状物質の単純せん断試験結果で設定した。
- 静ポアソン比は、慣用値(0.40)で設定した。

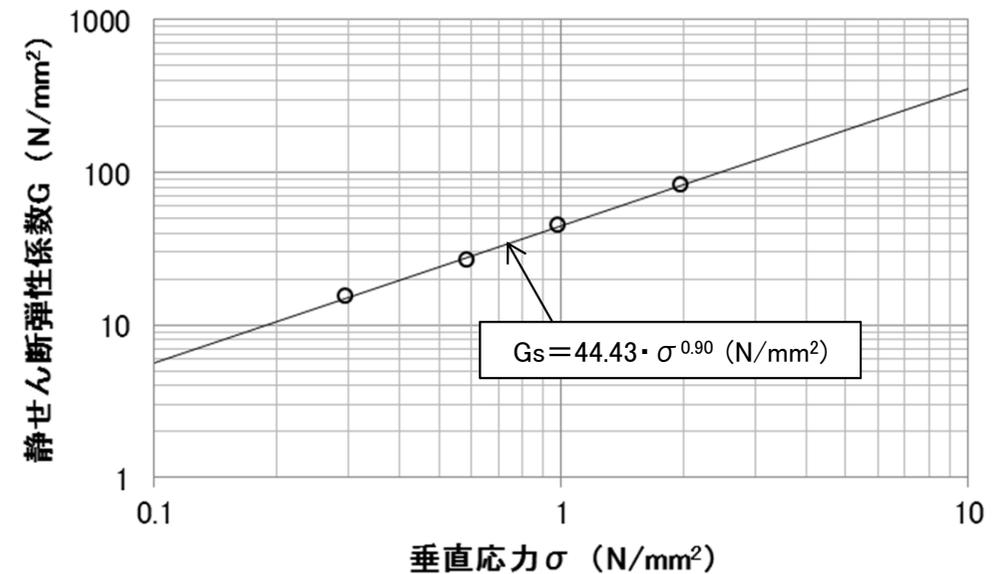
■ 試料採取位置



採取位置



■ 静せん断弾性係数G(断層及びシーム)



$$E_s = 2 \times G_s (1 + \nu_s) = 124.5 \cdot \sigma^{0.90} (\text{N/mm}^2)$$

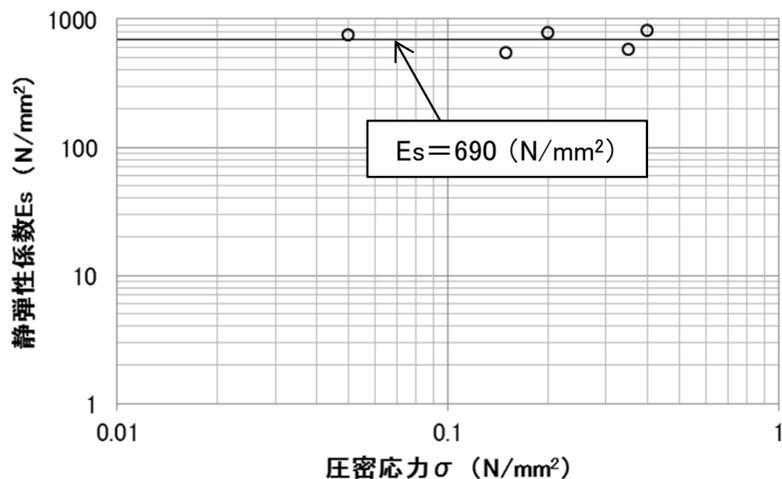
ν_s : 静ポアソン比 (=0.40)

2. 解析用物性値に関する補足 2.5盛土他の解析用物性値

2.5.3 静的変形特性（セメント改良土及び改良地盤）

- セメント改良土の静的変形特性は、三軸圧縮試験をもとに設定した。
- 改良地盤の静的変形特性は、平板載荷試験の結果をもとに設定した。
- セメント改良土及び改良地盤の静ポアソン比は、一軸圧縮試験結果をもとに設定した。

■ 静弾性係数 E_s （セメント改良土）



■ 静弾性係数 E_s （改良地盤）

試験ケース	静弾性係数 E_s (N/mm ²)	平均値 (N/mm ²)
H-1	6,380	4,480
H-2	3,830	
H-3	3,550	
H-4	3,640	
H-5	4,980	

■ 静ポアソン比

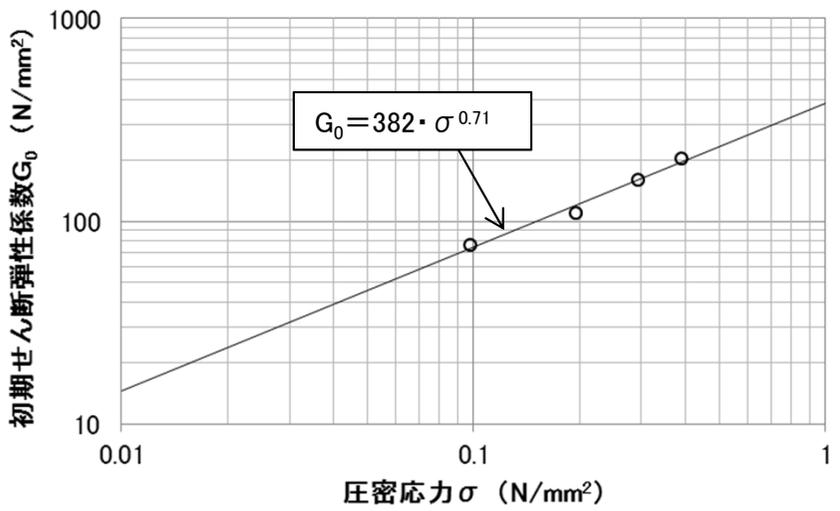
	標本数	静ポアソン比
セメント改良土	6	0.26
改良地盤	18	0.19

2. 解析用物性値に関する補足 2.5盛土他の解析用物性値

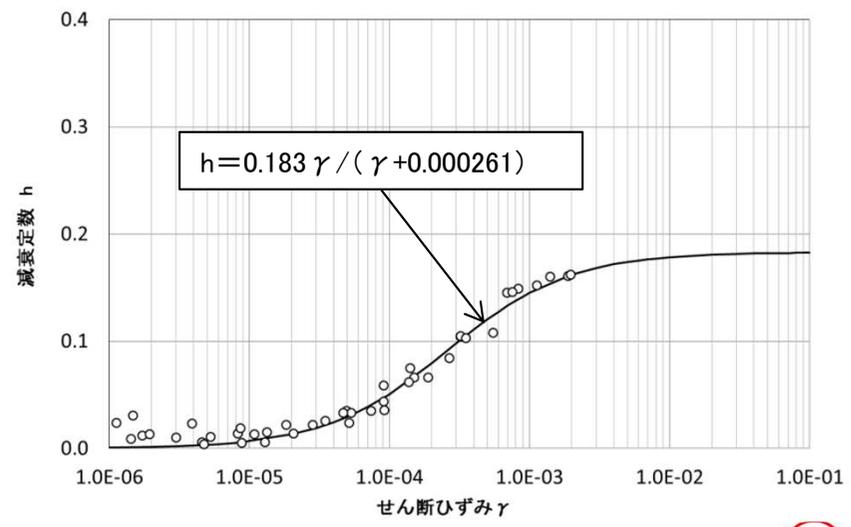
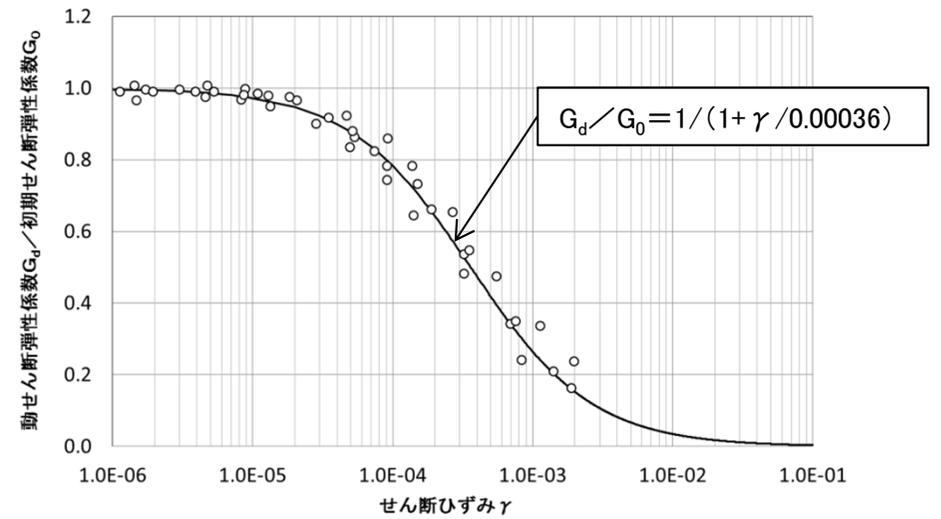
2.5.4 動的変形特性（盛土）

- 盛土の動的変形特性は、敷地内で採取した試料を用いた繰返し三軸試験結果から設定した。
- 動ポアソン比は、慣用値(0.48)で設定した。

■ 初期せん断弾性係数 G_0



■ ひずみ依存性

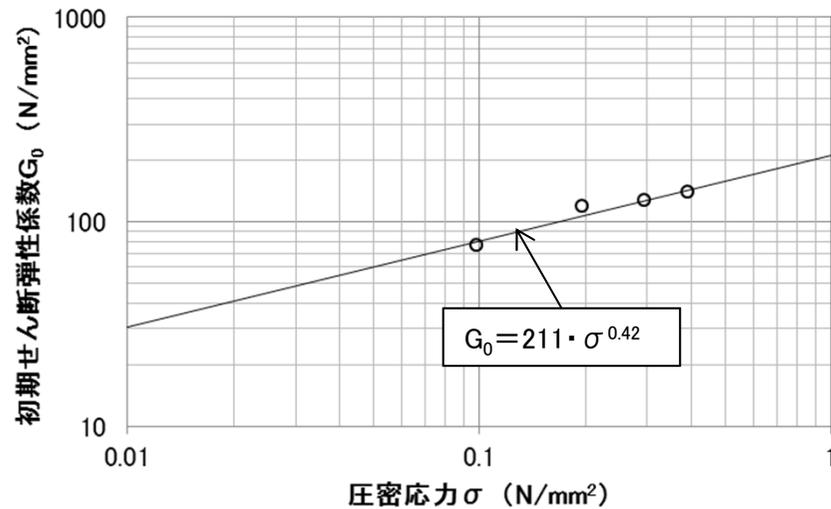


2. 解析用物性値に関する補足 2.5 盛土他の解析用物性値

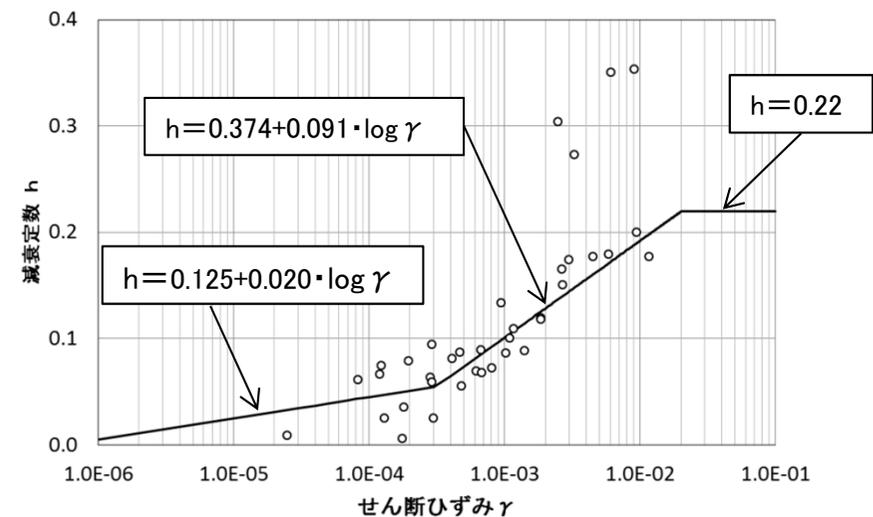
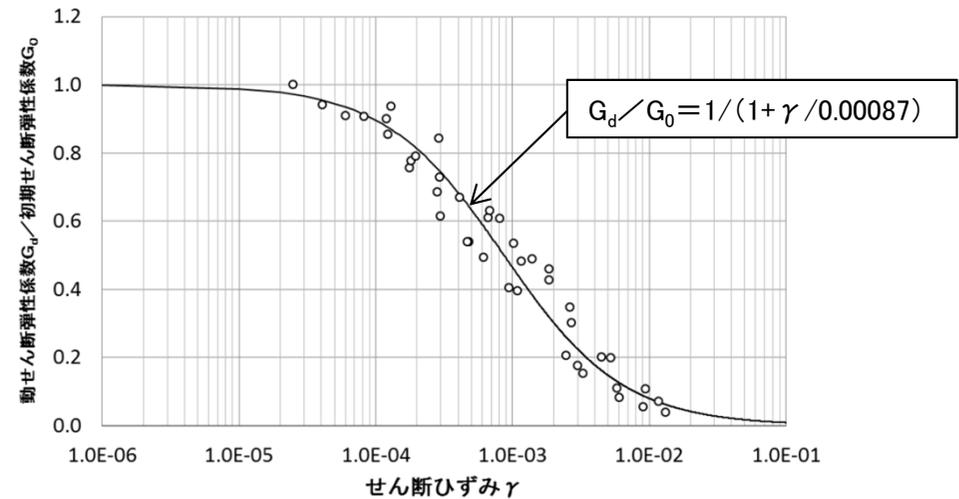
2.5.4 動的変形特性（旧表土）

- 旧表土の動的変形特性は、繰返し三軸試験結果から設定した。
- 試料採取位置は、強度特性の三軸圧縮試験と同じである。
- 旧表土の動ポアソン比(=0.46)は、PS検層及び地表面弾性波探査の結果から設定した。

■ 初期せん断弾性係数 G_0



■ ひずみ依存性

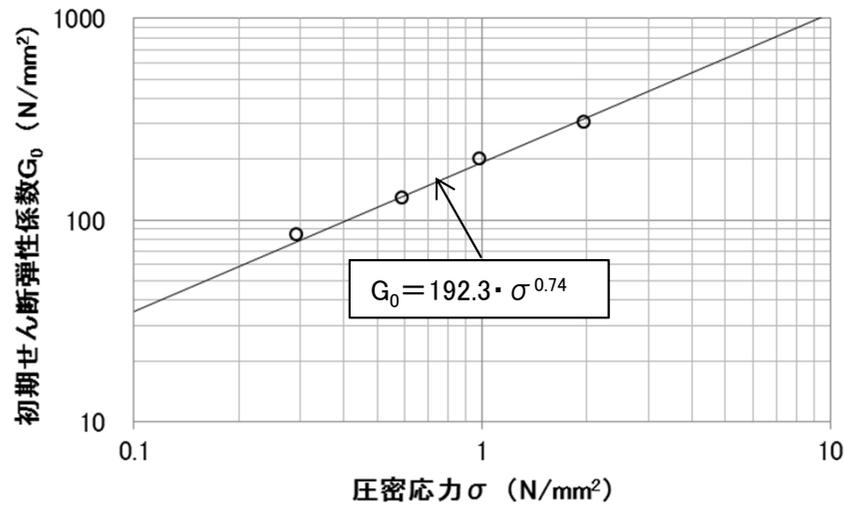


2. 解析用物性値に関する補足 2.5盛土他の解析用物性値

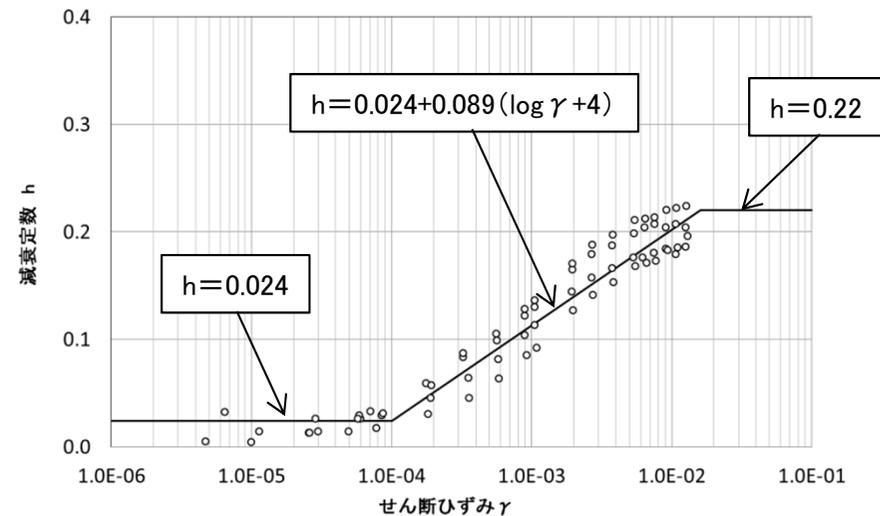
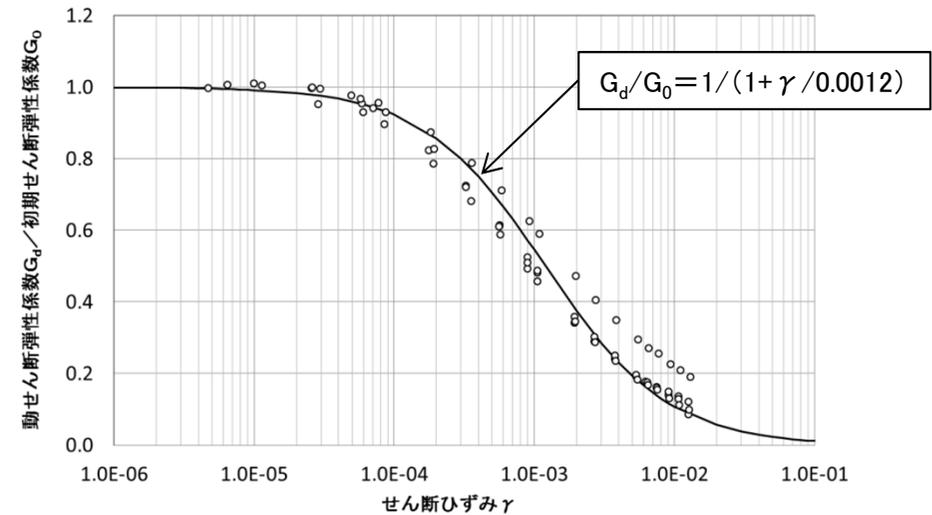
2.5.4 動的変形特性（断層及びシーム）

- 断層及びシームの動的変形特性は、粘土状物質の繰返し単純せん断試験結果から設定した。
- 試料採取位置は、強度特性の単純せん断試験のコア採取位置と同じである。
- 動ポアソン比は旧表土の値と同じ値で設定した。

■ 初期せん断弾性係数 G_0



■ ひずみ依存性



2. 解析用物性値に関する補足 2.5盛土他の解析用物性値

2.5.4 動的変形特性（セメント改良土）

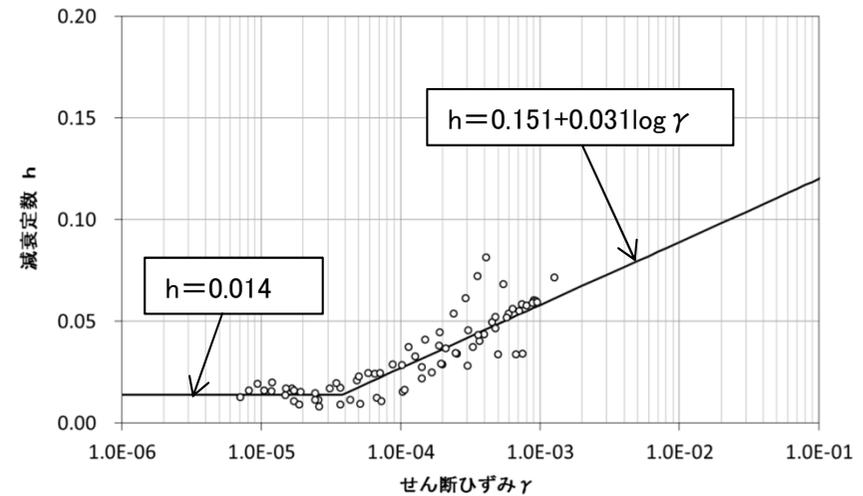
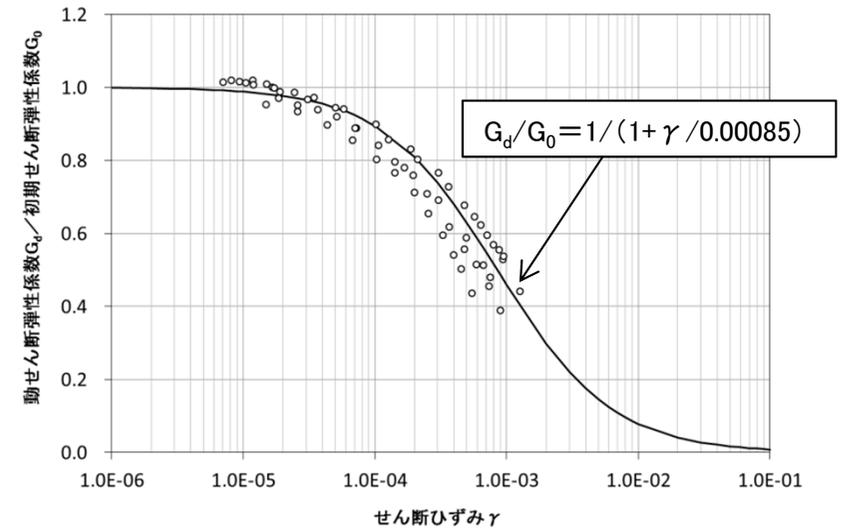
- セメント改良土の動的変形特性のうち，初期動せん断剛性 G_0 ，動ポアソン比 ν_d (0.36)は，PS検層の結果から設定した。
- セメント改良土の動的変形特性のうち，ひずみ依存性に関しては，繰返し三軸試験結果 から設定した。

■ 初期せん断弾性係数 G_0

V_s (平均)= 870(m/s)

$G_0 = \rho \cdot V_s^2 = 1,670$ (N/mm²)

■ ひずみ依存性



2. 解析用物性値に関する補足 2.5盛土他の解析用物性値

2.5.4 動的変形特性（改良地盤）

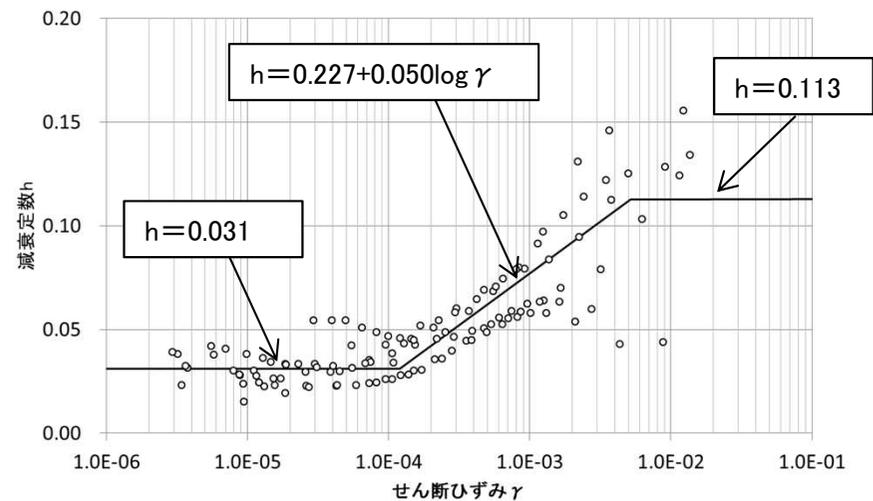
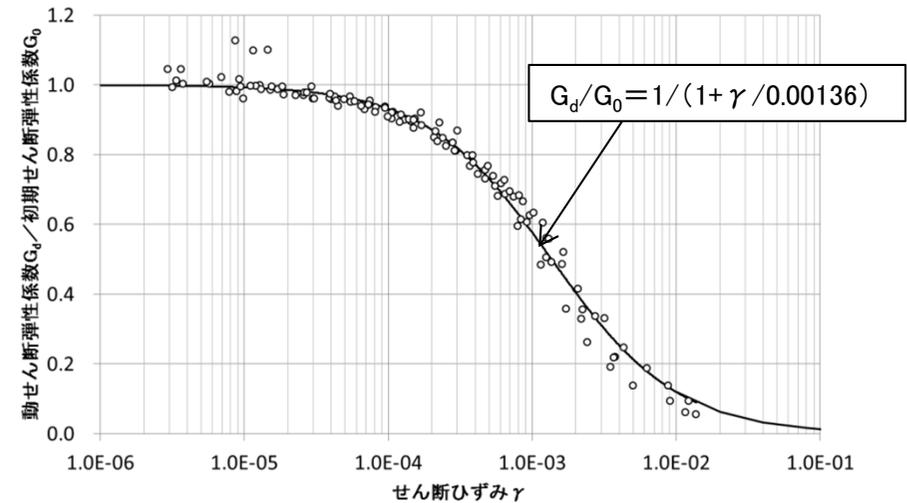
- 改良地盤の動的変形特性のうち、初期動せん断剛性 G_0 、動ポアソン比 $\nu_d(0.36)$ は、PS検層の結果から設定した。
- 改良地盤の動的変形特性のうち、ひずみ依存性に関しては、繰返し三軸試験結果から設定した。

■ 初期せん断弾性係数 G_0

$V_s(\text{平均}) = 960(\text{m/s})$

$G_0 = \rho \cdot V_s^2 = 1,940(\text{N/mm}^2)$

■ ひずみ依存性

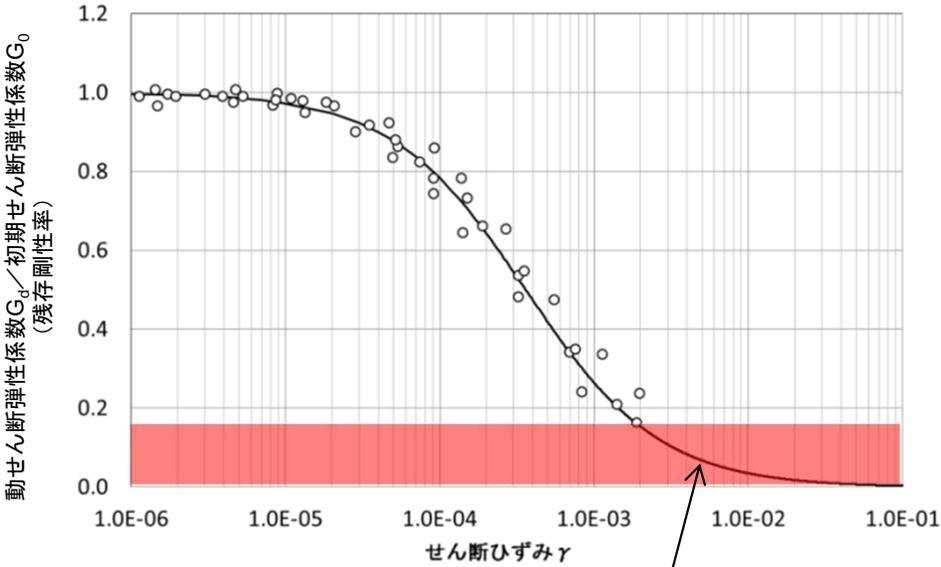


2. 解析用物性値に関する補足 2.5 盛土他の解析用物性値

2.5.4 動的変形特性（残存剛性率が小さい領域の補間）

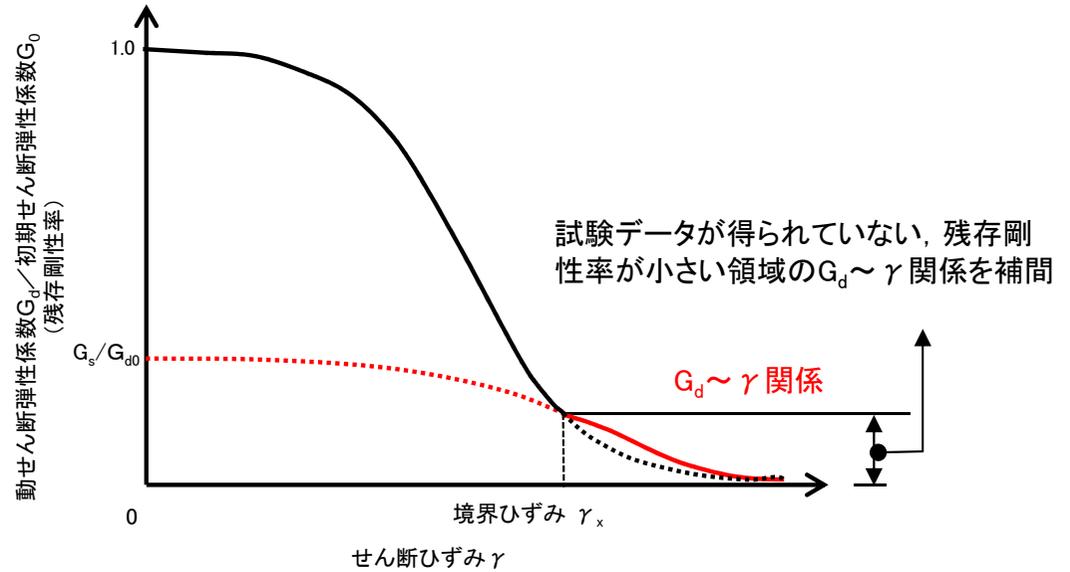
- 動的変形特性の設定に用いる繰返し三軸試験等の試験範囲は、せん断ひずみで $10^{-3} \sim 10^{-2}$ 程度が限界。
- 断層及びシーム、盛土では、残存剛性率が小さい範囲のデータが得られていないため、骨格曲線（応力～ひずみ関係）が三軸圧縮試験等から算定される静的強度に漸近するように補間した。

■ 盛土の動的変形特性



残存剛性率 (G_d/G_0) 約20%未満は試験データが得られていない

■ 補間の考え方



【 $G_d \sim \gamma$ 関係の補間方法】

骨格曲線（応力～ひずみ関係）が、三軸圧縮試験等から得られたせん断強度 τ_f に漸近するように、双曲線形式で次式により設定。

$$G_d/G_0 = 1/(1 + \gamma/\gamma_m)$$

$$\gamma_m = \tau_f/G_0$$

$$G_0 = E_s/2(1 + \nu_s)$$

ここで、

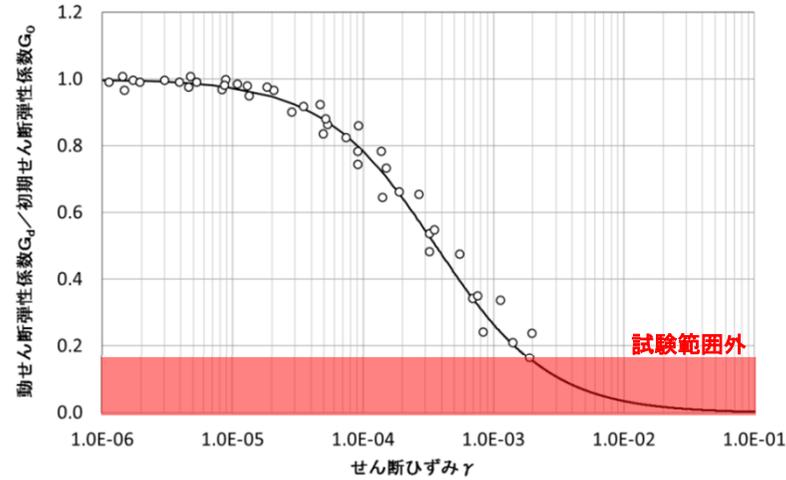
- τ_f : せん断強度,
- E_s : 静弾性係数
- ν_s : 静ポアソン比

2. 解析用物性値に関する補足 2.5盛土他の解析用物性値

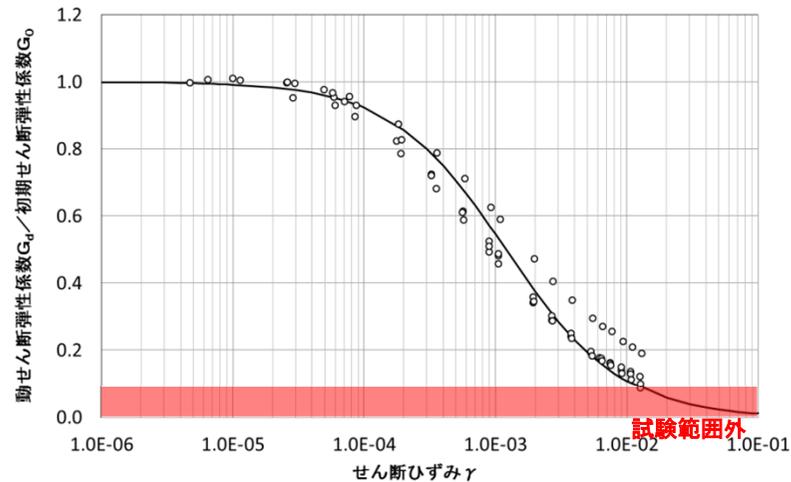
2.5.4 動的変形特性（旧表土の動的変形特性を補間しない理由）

- 旧表土は残存剛性が十分小さくなるまで試験データが得られており、補間の必要はない。

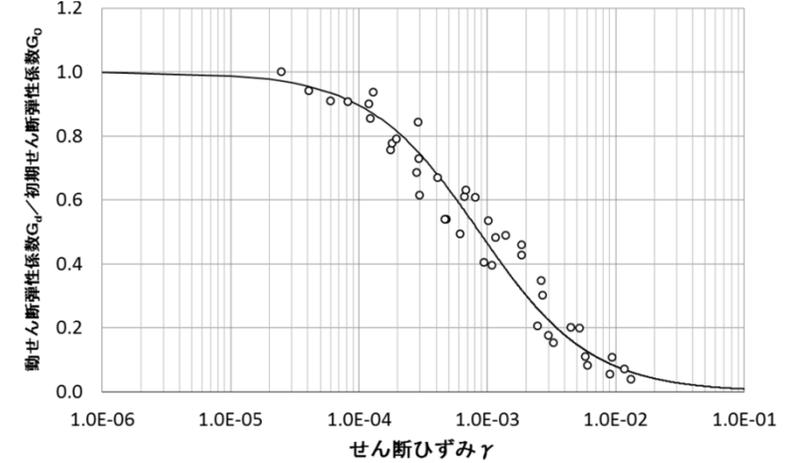
■ 盛土の動的変形特性



■ 断層及びシームの動的変形特性



■ 旧表土の動的変形特性



旧表土は、残存剛性率の小さい範囲まで試験できており、補間する必要はない。

残存剛性率が小さい範囲は、試験データが得られておらず、適切な補間が必要。

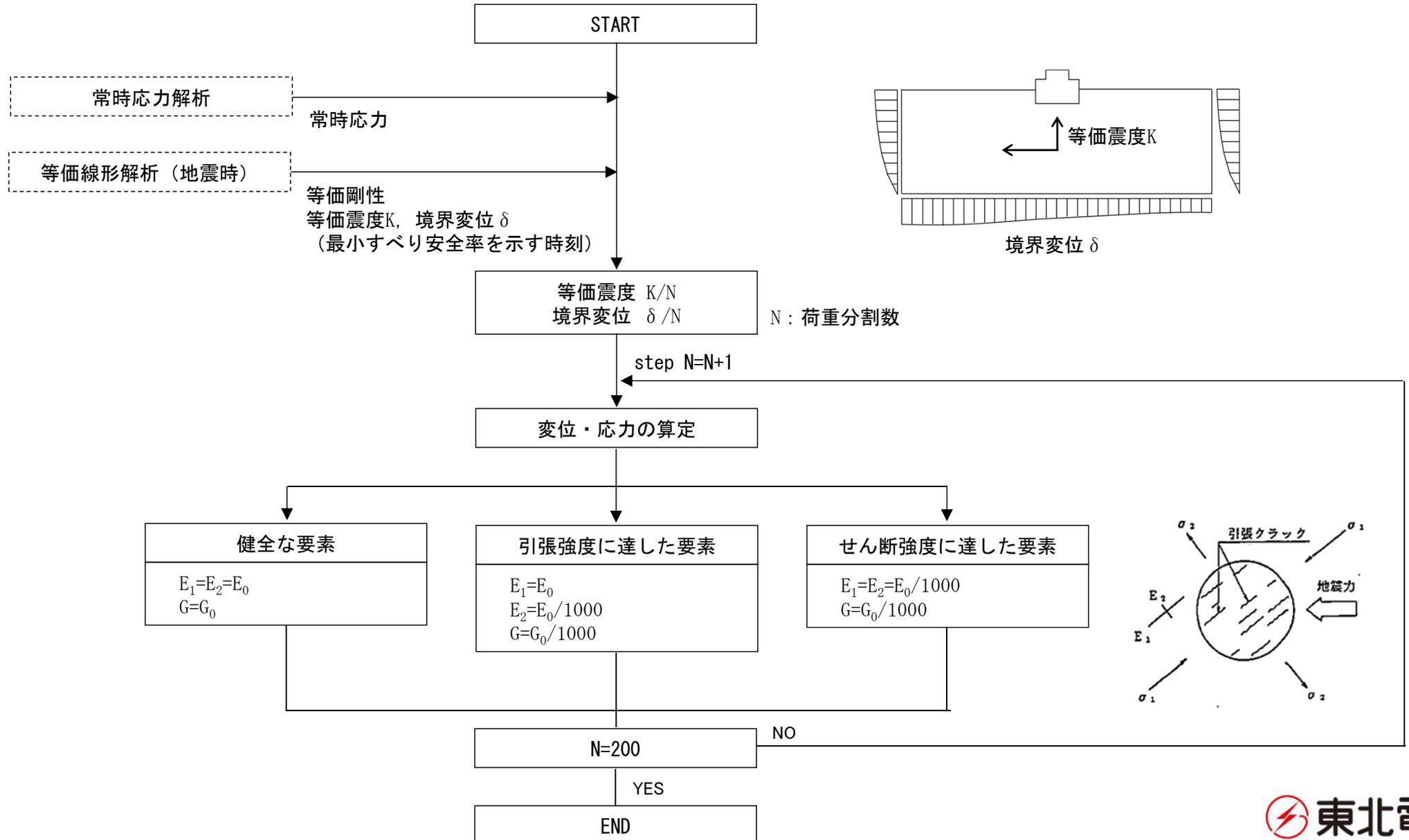
目次

1. 評価断面の選定に関する補足
2. 解析用物性値に関する補足
- 3. 安定性評価に関する補足**
4. 防潮堤の設計方針について(平成31年1月15日審査会合資料抜粋)
5. 地下水位の設定について(平成31年3月26日審査会合資料抜粋)

3. 安定性評価に関する補足

3.1 静的非線形解析のフロー

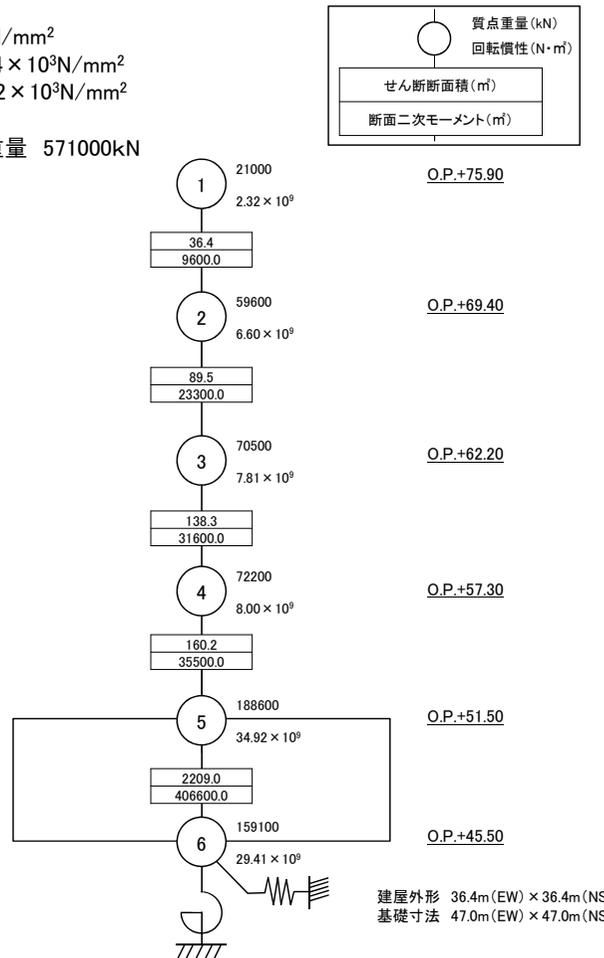
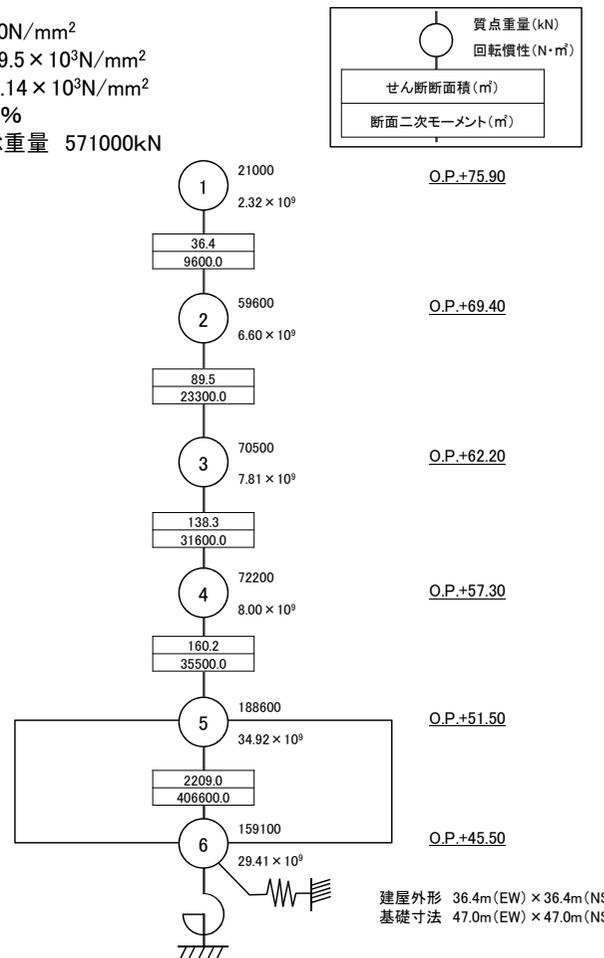
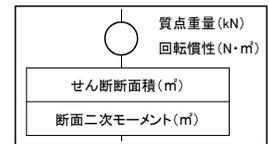
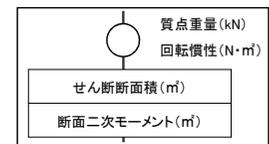
- 静的非線形解析は、荷重増分法により実施し、各荷重段階で、引張強度に達した要素及びせん断強度に達した要素の弾性係数・せん断弾性係数を低下させ、全荷重段階まで増加させることにより、最終的な応力状態を求める。



3. 安定性評価に関する補足

3.2 緊急時対策建屋における初期剛性低下の影響①

- 緊急時対策建屋の地盤安定解析用のモデルは、耐震評価用の基本モデルである設計剛性に基づくSRモデルに基づき作成している。
- 第680回審査会合(平成31年2月14日)「女川原子力発電所2号炉 鉄筋コンクリート躯体の乾燥収縮及び地震影響を踏まえた要求機能に対する各条文の機能維持の方針の整理」の通り、緊急時対策建屋の初期剛性低下を考慮したSRモデルにより基礎地盤に与える影響を確認することとしており、確認結果を以下に示す。
- なお、原子炉建屋の地盤安定解析用のモデルは、耐震評価用の基本モデルが初期剛性低下を考慮したSRモデルであり、これに基づき作成している。

	設計剛性モデル	初期剛性低下モデル (設計剛性モデルの初期剛性を80%とした)
<p style="text-align: center;">水平方向 建屋モデル図※ (弾性モデル)</p>	<p> $F_c : 30\text{N/mm}^2$ $E_c : 24.4 \times 10^3\text{N/mm}^2$ $G_c : 10.2 \times 10^3\text{N/mm}^2$ $h : 5\%$ 建屋総重量 571000kN </p>  <p style="text-align: right;">建屋外形 36.4m(EW) × 36.4m(NS) 基礎寸法 47.0m(EW) × 47.0m(NS)</p>	<p> $F_c : 30\text{N/mm}^2$ $E_c : 19.5 \times 10^3\text{N/mm}^2$ $G_c : 8.14 \times 10^3\text{N/mm}^2$ $h : 5\%$ 建屋総重量 571000kN </p>  <p style="text-align: right;">建屋外形 36.4m(EW) × 36.4m(NS) 基礎寸法 47.0m(EW) × 47.0m(NS)</p>
	<p> $F_c : 30\text{N/mm}^2$ $E_c : 24.4 \times 10^3\text{N/mm}^2$ $G_c : 10.2 \times 10^3\text{N/mm}^2$ $h : 5\%$ 建屋総重量 571000kN </p> 	<p> $F_c : 30\text{N/mm}^2$ $E_c : 19.5 \times 10^3\text{N/mm}^2$ $G_c : 8.14 \times 10^3\text{N/mm}^2$ $h : 5\%$ 建屋総重量 571000kN </p> 

※建屋モデルは基本設計段階の情報に基づく。

3. 安定性評価に関する補足

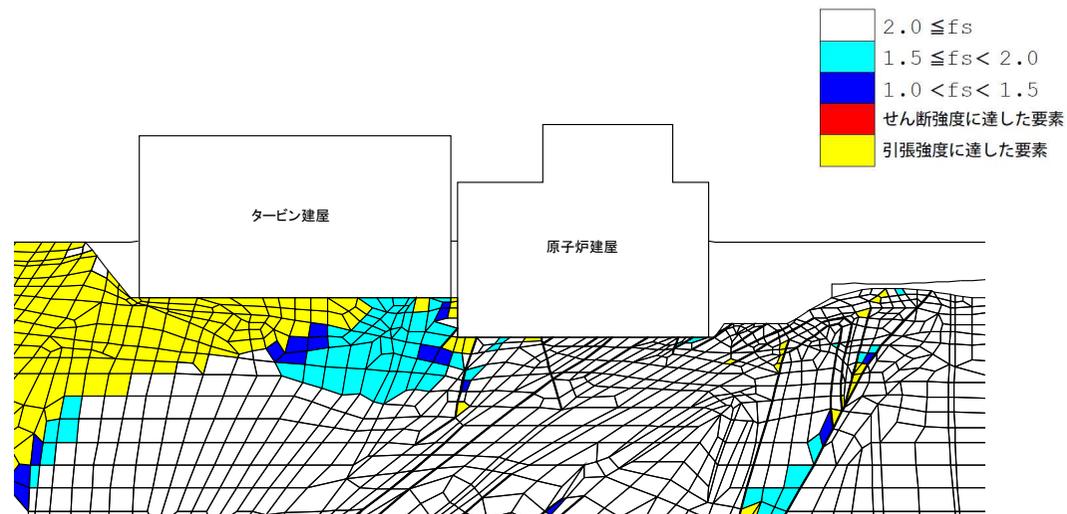
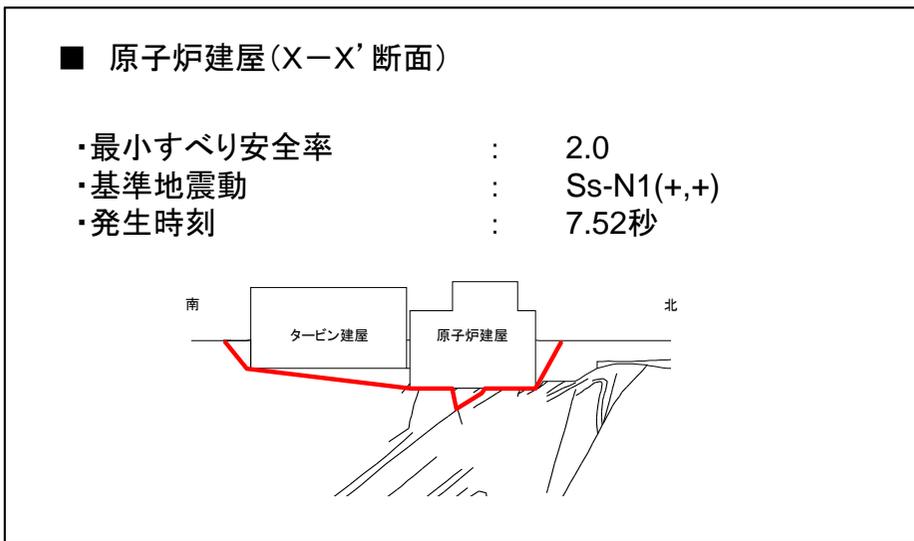
3.2 緊急時対策建屋における初期剛性低下の影響②

- 基礎地盤への伝達力(最大転倒モーメント及び基礎底面のせん断応力度)の比較を行った結果、初期剛性低下の影響は、地盤安定性評価にほぼ影響がないことを確認した。
- なお、地盤安定解析用の建屋モデルは弾性としてモデル化しており、大加速度地震時に基礎地盤への伝達力が大きくなるよう保守的にモデル化していること、及び緊急時対策建屋の最小すべり安全率は、X-X'断面における2.1(Ss-F3)であり、1.5に対して裕度があることから十分な安全性を有していると評価した。

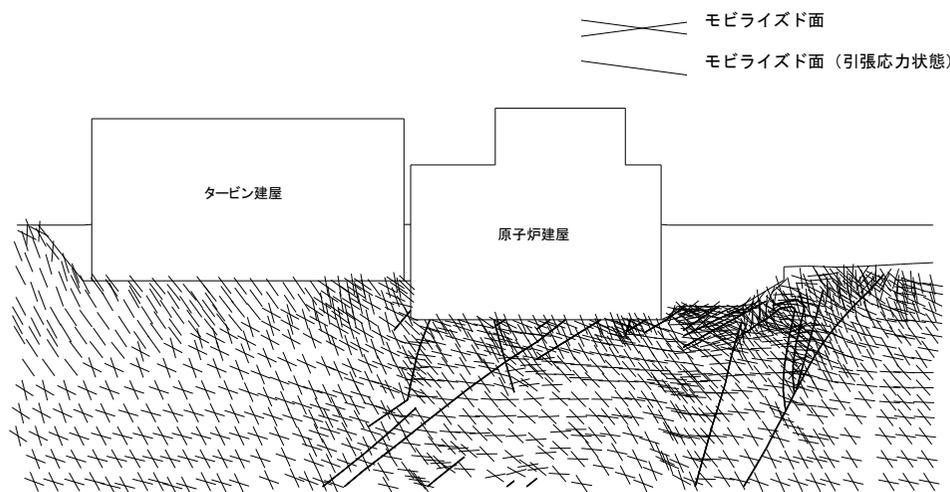
	設計剛性モデル	初期剛性低下モデル
最大転倒モーメント(×10 ³ kN・m)	6762	6831
基礎底面のせん断応力度(N/mm ²)	0.27	0.28

3. 安定性評価に関する補足 3. 3要素ごとの局所安全係数

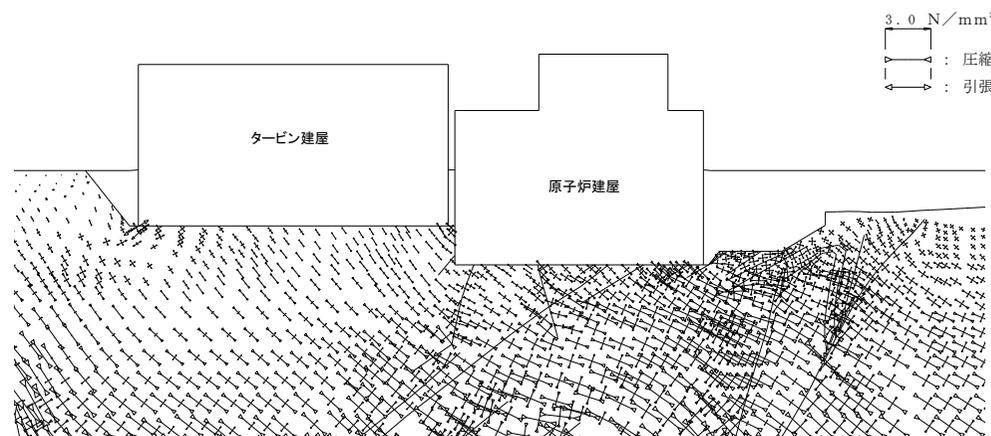
3. 3. 1 原子炉建屋 X-X' 断面



局所安全係数



モビライズド面図



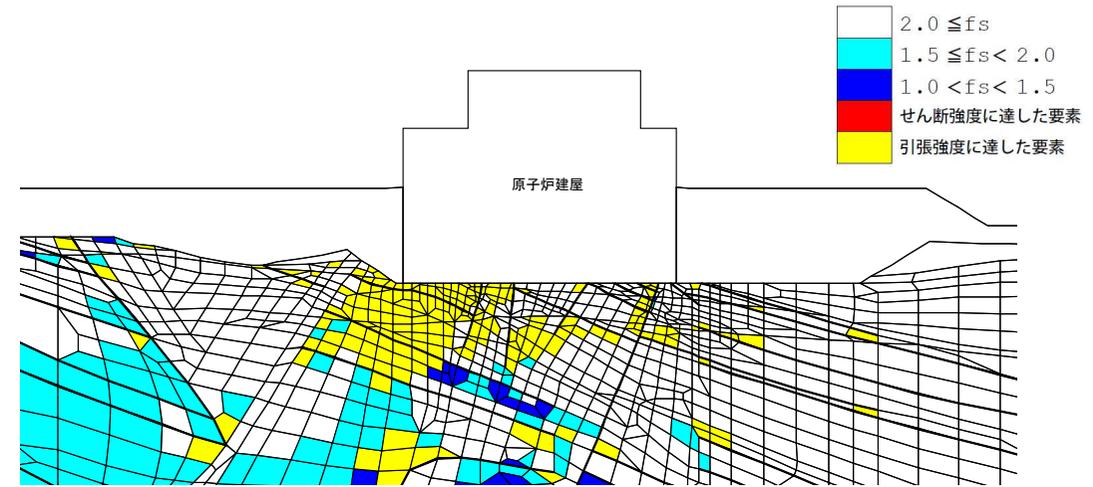
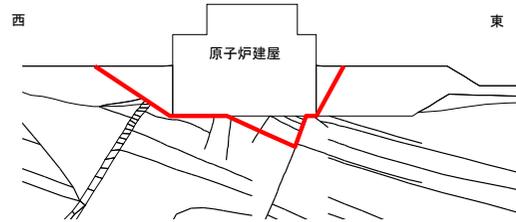
主応力図

3. 安定性評価に関する補足 3. 3要素ごとの局所安全係数

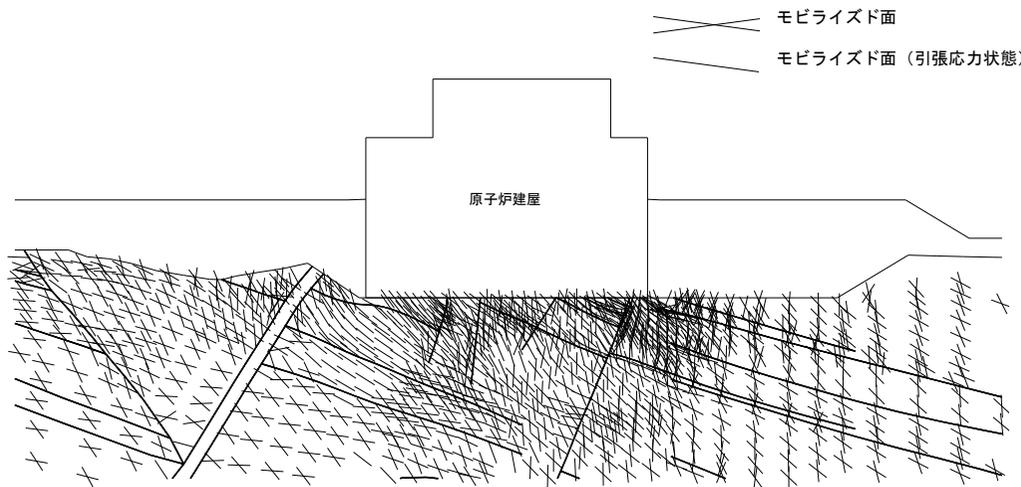
3. 3. 2 原子炉建屋 Y-Y' 断面

■ 原子炉建屋(Y-Y' 断面)

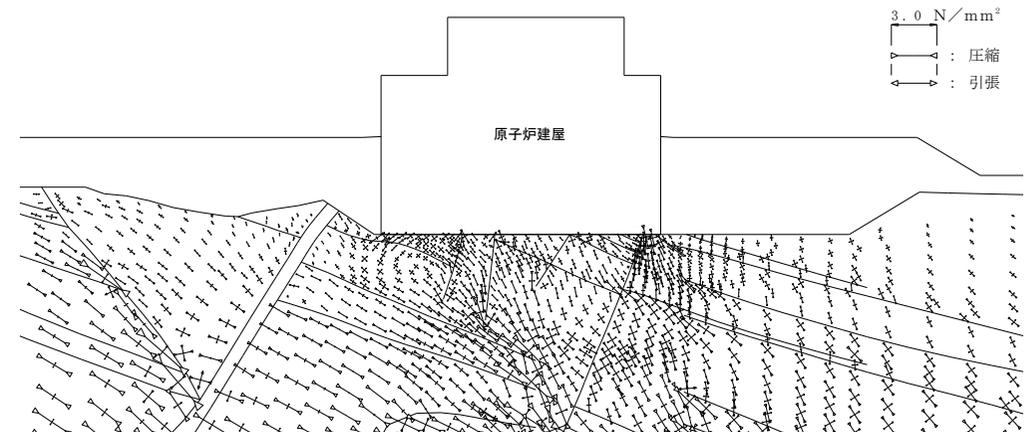
- ・最小すべり安全率 : 1.6
- ・基準地震動 : Ss-N1(+,+)
- ・発生時刻 : 7.57秒



局所安全係数



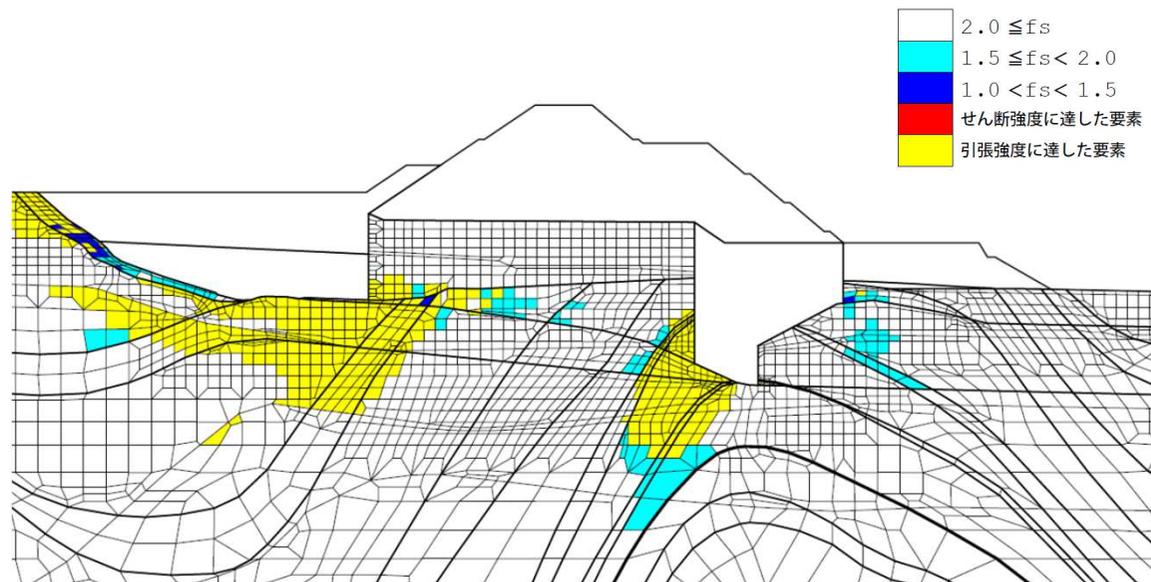
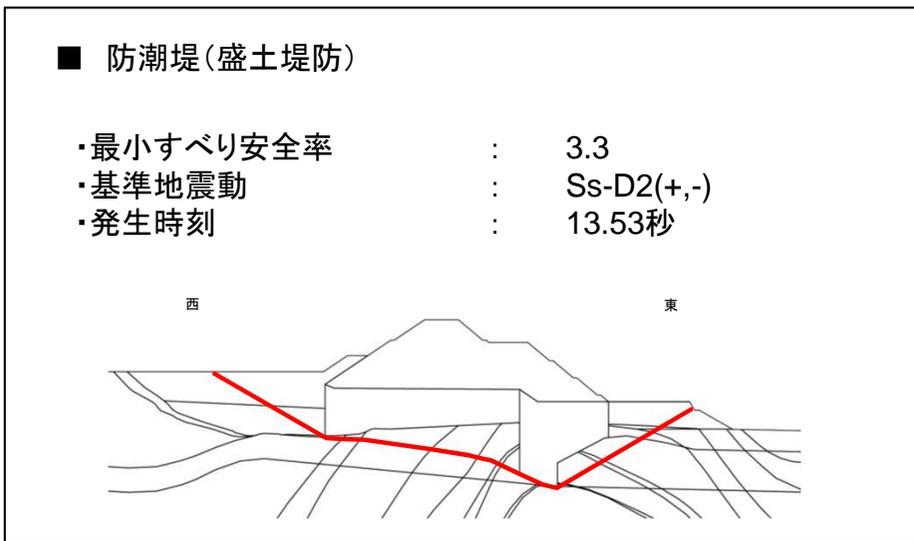
モビライズド面図



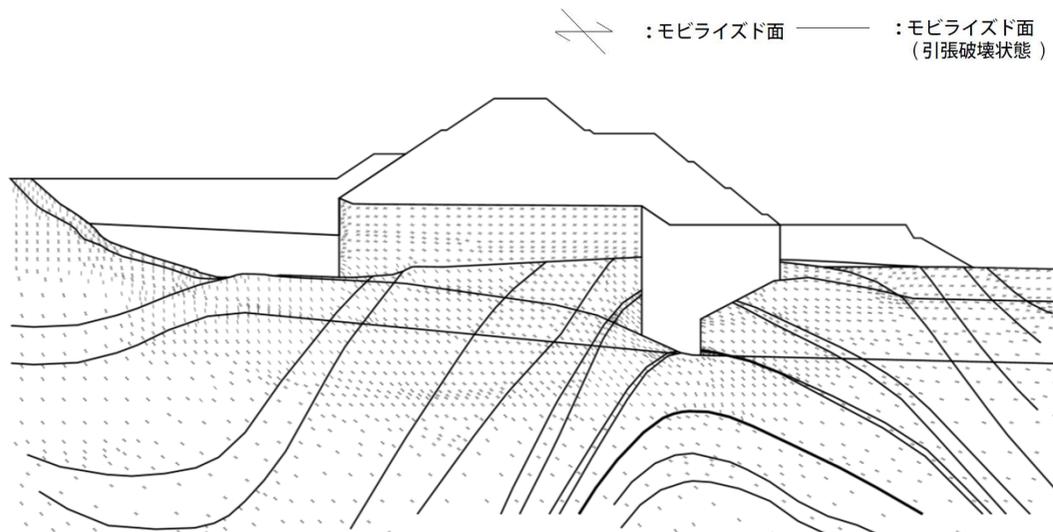
主応力図

3. 安定性評価に関する補足 3.3要素ごとの局所安全係数

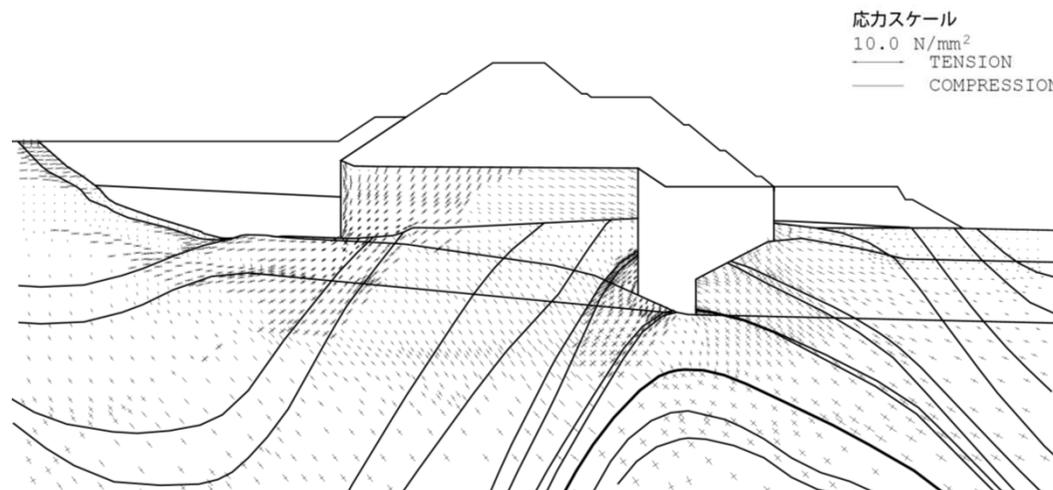
3.3.3 防潮堤(盛土堤防) A-A' 断面



局所安全係数



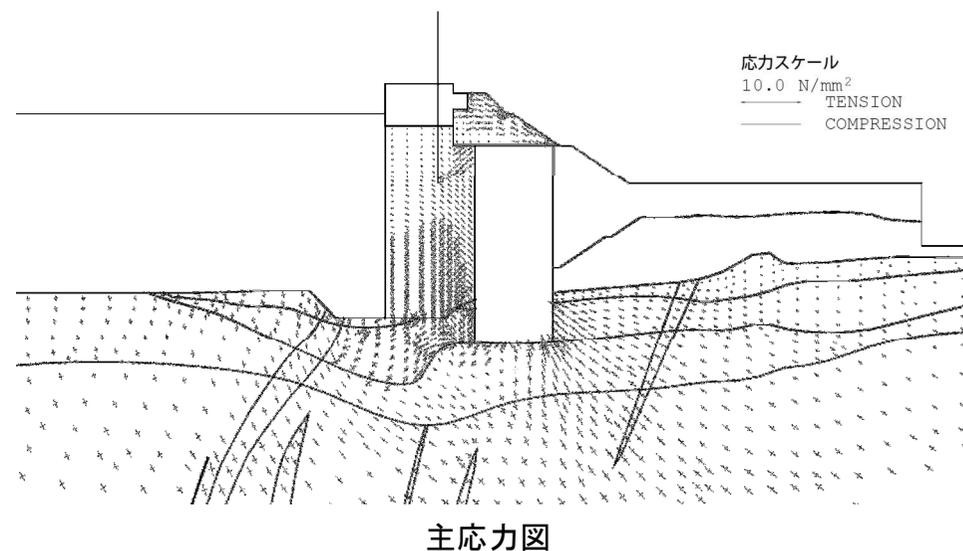
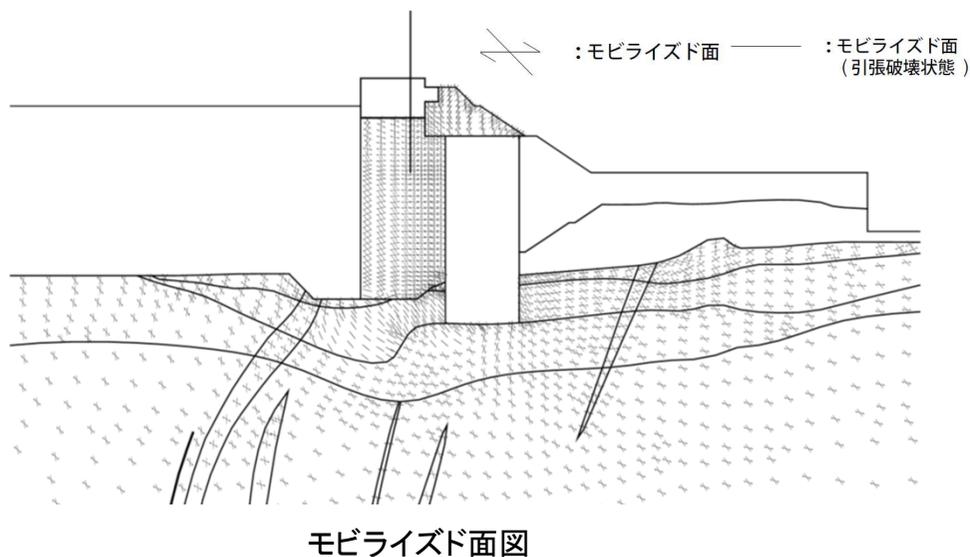
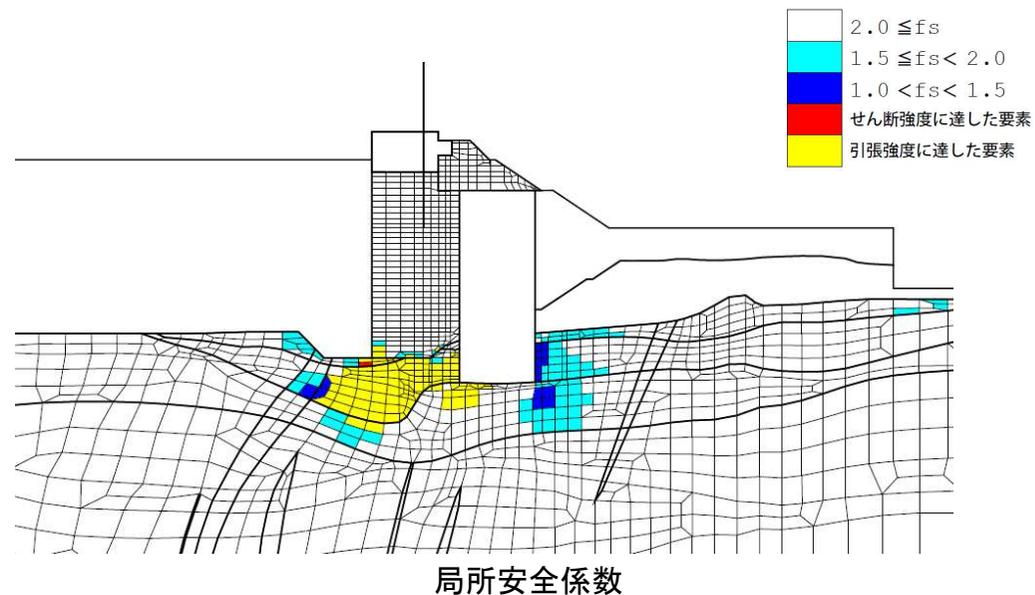
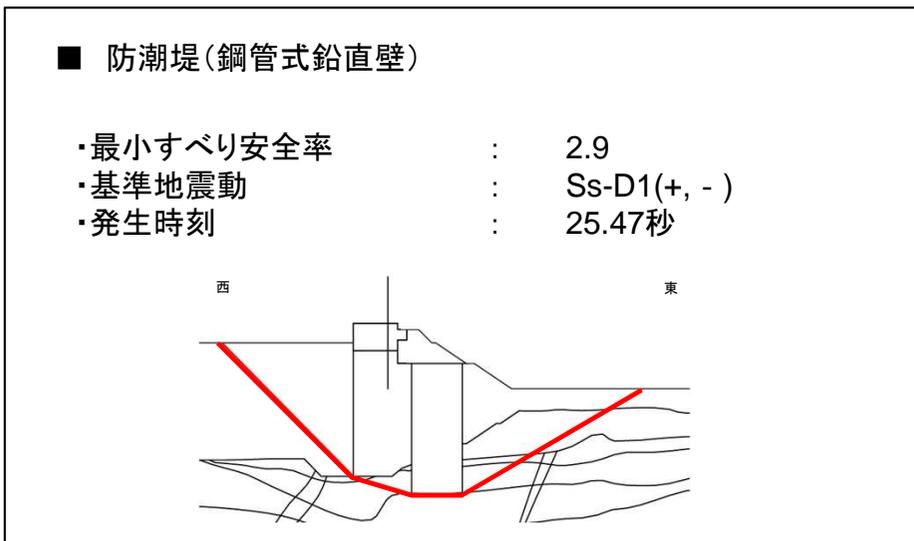
モビライズド面図



主応力図

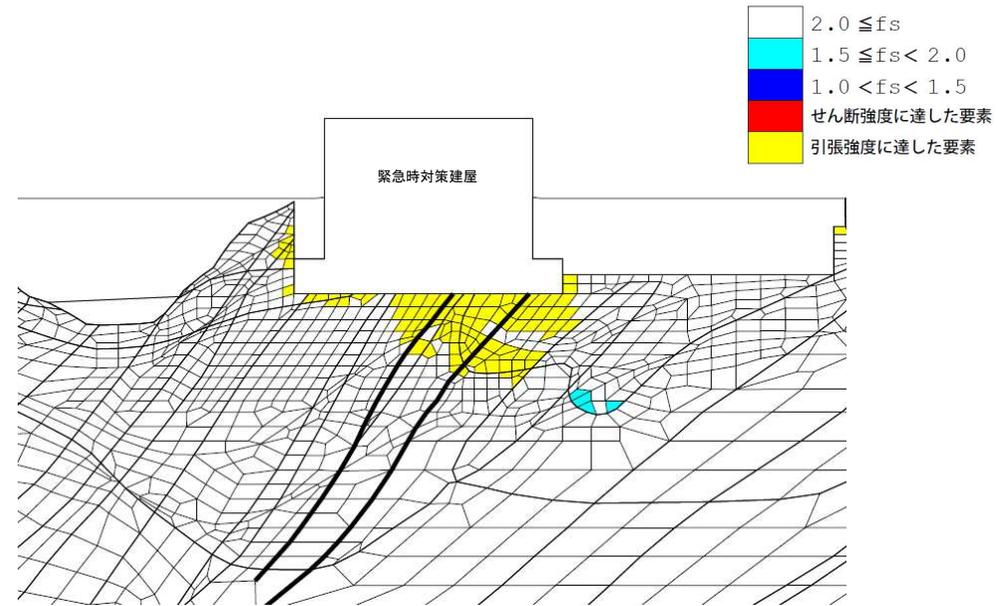
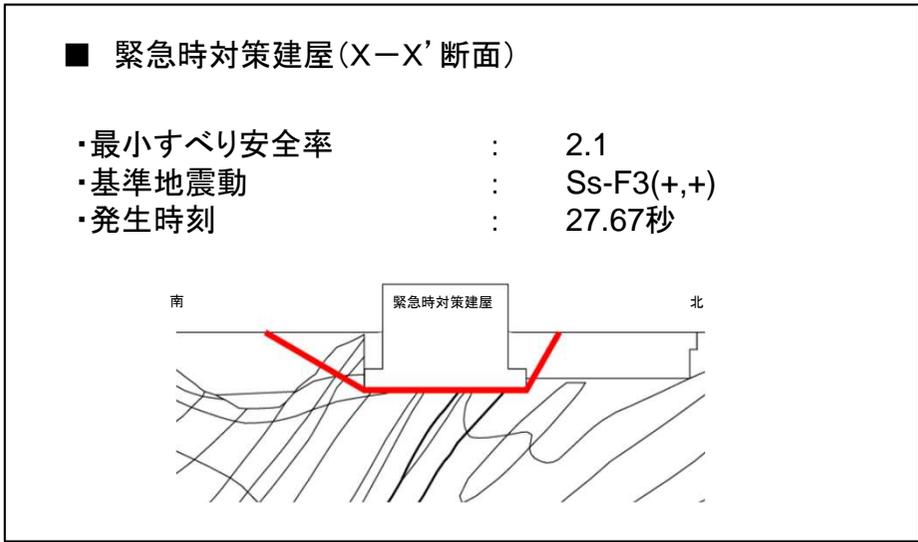
3. 安定性評価に関する補足 3. 3要素ごとの局所安全係数

3. 3. 4 防潮堤(鋼管式鉛直壁) B-B' 断面

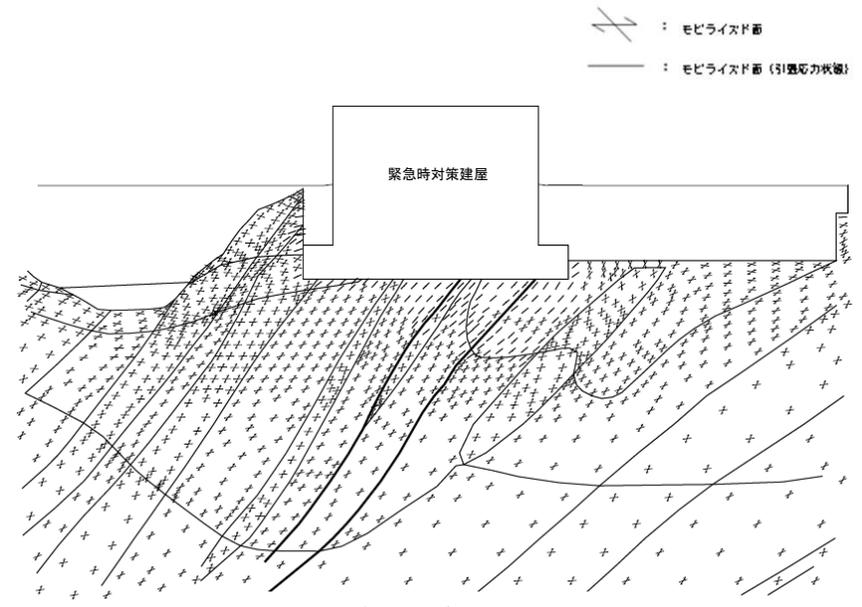


3. 安定性評価に関する補足 3.3要素ごとの局所安全係数

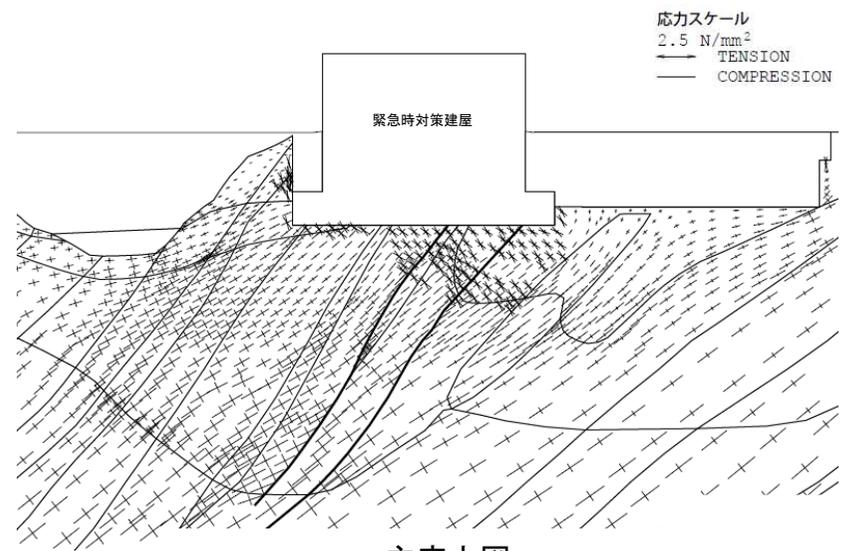
3.3.5 緊急時対策建屋 X-X' 断面



局所安全係数



モビライズド面図



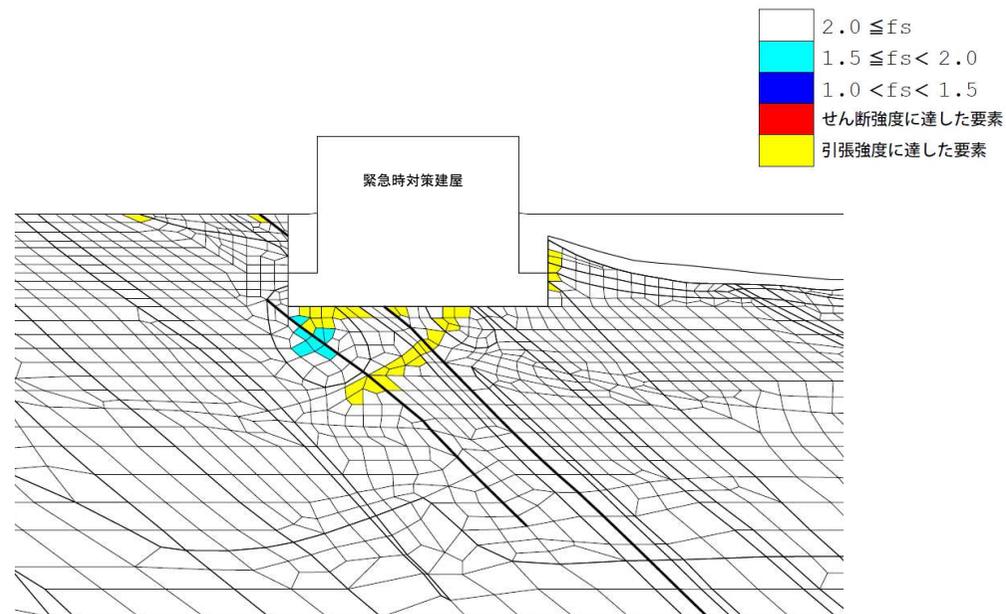
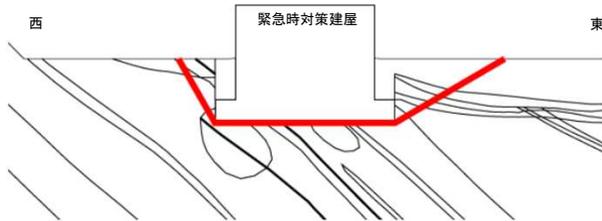
主応力図

3. 安定性評価に関する補足 3.3要素ごとの局所安全係数

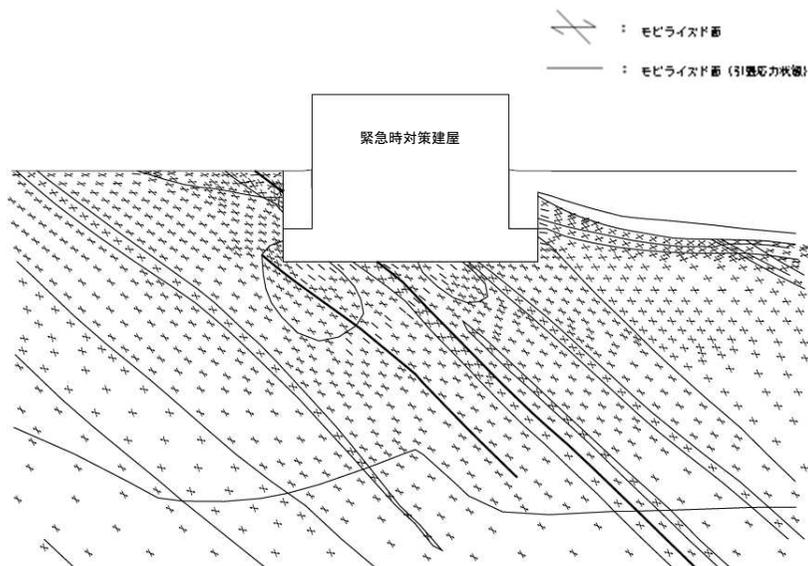
3.3.6 緊急時対策建屋 Y-Y' 断面

■ 緊急時対策建屋(Y-Y' 断面)

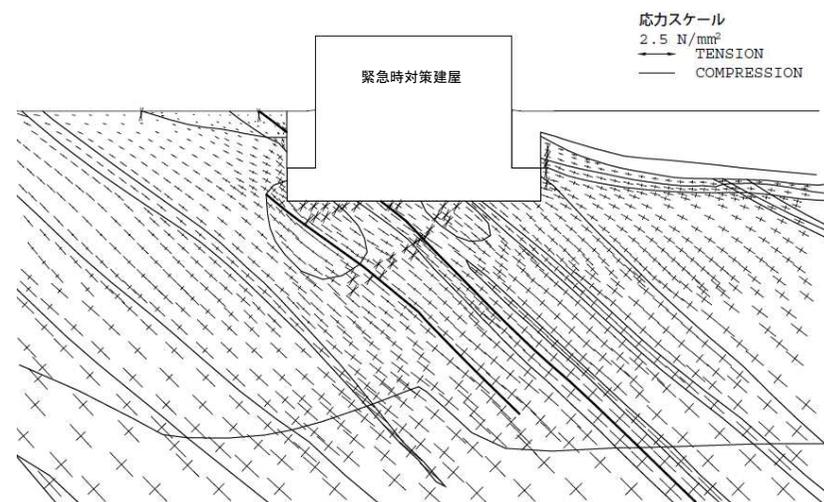
- ・最小すべり安全率 : 5.6
- ・基準地震動 : Ss-D2(-,+)
- ・発生時刻 : 6.83秒



局所安全係数



モビライズド面図

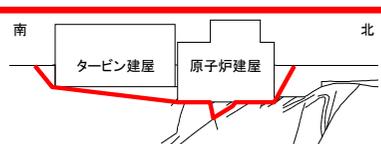
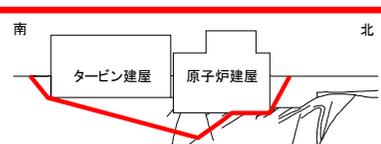
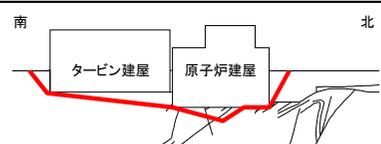
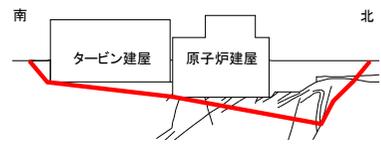


主応力図

3. 安定性評価に関する補足 3.4すべり安全率一覧表

3.4.1 原子炉建屋 X-X' 断面

・ 原子炉建屋(X-X' 断面)で最小すべり安全率となったすべり面のすべり安全率一覧を以下に示す。

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

■ すべり面2のすべり安全率一覧

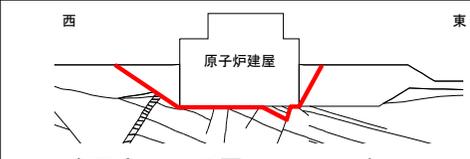
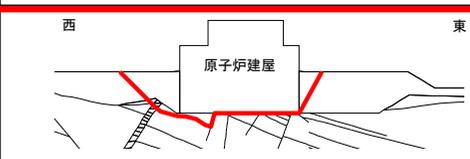
基準地震動	すべり安全率 [発生時刻(秒)]
Ss-D1 (-,-)	2.9 [25.20]
Ss-D2 (+,-)	2.3 [13.54]
Ss-D3 (-,+)	3.2 [15.53]
Ss-F1 (+,+)	4.8 [21.07]
Ss-F2 (-,+)	2.9 [28.35]
Ss-F3 (-,+)	2.5 [27.66]
Ss-N1 (+,+)	2.0 [7.52]

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

3. 安定性評価に関する補足 3.4すべり安全率一覧表

3.4.2 原子炉建屋 Y-Y' 断面

・ 原子炉建屋(Y-Y' 断面)で最小すべり安全率となったすべり面のすべり安全率一覧を以下に示す。

すべり面形状		基準地震動※ (位相)	発生時刻(秒)	最小すべり 安全率
1	 建屋底面のすべり	Ss-N1 (+,+)	7.56	2.5
2	 建屋底面+断層・シームのすべり	Ss-N1 (+,+)	7.56	2.0
3	 建屋底面+断層・シームのすべり	Ss-N1 (+,+)	7.57	1.6 (1.54) [2.9]
4	 建屋底面+断層・シームのすべり	Ss-N1 (-,+)	7.55	3.2
5	 断層・シームのすべり	Ss-N1 (+,+)	7.73	2.5

■ すべり面3のすべり安全率一覧

基準地震動	すべり安全率 [発生時刻(秒)]
Ss-D1 (-,+)	2.2 [29.16]
Ss-D2 (+,+)	1.9 [25.29]
Ss-D3 (-,+)	2.7 [15.62]
Ss-F1 (-,+)	2.9 [15.94]
Ss-F2 (-,+)	1.9 [28.43]
Ss-F3 (-,+)	2.0 [26.87]
Ss-N1 (+,+)	1.6 [7.57]

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

3. 安定性評価に関する補足 3.4すべり安全率一覧表

3.4.3 防潮堤(盛土堤防) A-A'断面

・ 防潮堤(盛土堤防)(A-A'断面)で最小すべり安全率となったすべり面のすべり安全率一覧を以下に示す。

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

■ すべり面3のすべり安全率一覧

基準地震動	すべり安全率 [発生時刻(秒)]
Ss-D1 (-,-)	3.8 [25.21]
Ss-D2 (+,-)	3.3 [13.53]
Ss-D3 (-,+)	4.3 [20.91]
Ss-F1 (+,+)	5.2 [22.41]
Ss-F2 (-,+)	4.0 [28.40]
Ss-F3 (+,+)	4.3 [28.61]
Ss-N1 (+,+)	3.6 [7.52]

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

3. 安定性評価に関する補足 3.4すべり安全率一覧表

3.4.4 防潮堤(鋼管式鉛直壁) B-B' 断面

・ 防潮堤(鋼管式鉛直壁) (B-B' 断面)で最小すべり安全率となったすべり面のすべり安全率一覧を以下に示す。

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

■ すべり面3のすべり安全率一覧

基準地震動	すべり安全率 [発生時刻(秒)]
Ss-D1 (+,-)	2.9 [25.47]
Ss-D2 (+,-)	3.0 [12.89]
Ss-D3 (+,+)	3.2 [7.58]
Ss-F1 (+,+)	3.4 [20.10]
Ss-F2 (-,+)	3.2 [28.43]
Ss-F3 (-,+)	3.0 [27.66]
Ss-N1 (+,+)	3.4 [7.55]

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

3. 安定性評価に関する補足 3.4すべり安全率一覧表

3.4.5 緊急時対策建屋 X-X' 断面

・ 緊急時対策建屋(X-X' 断面)で最小すべり安全率となったすべり面のすべり安全率一覧を以下に示す。

すべり面形状	基準地震動※ (位相)	発生時刻(秒)	最小すべり 安全率
	Ss-F3 (+,+)	27.67	2.1 (1.8) [2.4]
	Ss-F3 (+,+)	27.67	3.0
	Ss-F3 (+,+)	27.67	3.1

■ すべり面1のすべり安全率一覧

基準地震動	すべり安全率 [発生時刻(秒)]
Ss-D1 (+,+)	3.9 [25.33]
Ss-D2 (-,-)	3.7 [8.55]
Ss-D3 (+,-)	4.5 [28.44]
Ss-F1 (+,+)	5.5 [22.23]
Ss-F2 (+,+)	4.7 [28.47]
Ss-F3 (+,+)	2.1 [27.67]
Ss-N1 (-,+)	6.8 [7.53]

— : すべり面
— : 断層・シーム

○ は最小すべり安全率
() は地盤物性のばらつきを考慮した安全率
[] は静的非線形解析による安全率

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

3. 安定性評価に関する補足 3.4すべり安全率一覧表

3.4.6 緊急時対策建屋 Y-Y' 断面

・ 緊急時対策建屋(Y-Y' 断面)で最小すべり安全率となったすべり面のすべり安全率一覧を以下に示す。

■ すべり面1のすべり安全率一覧

すべり面形状	基準地震動※ (位相)	発生時刻(秒)	最小すべり 安全率
	Ss-D2 (-,+)	6.83	5.6 (3.6) [5.8]
	Ss-F3 (+,+)	27.67	6.2
	Ss-F3 (-,+)	27.67	5.8

基準地震動	すべり安全率 [発生時刻(秒)]
Ss-D1 (-,-)	7.8 [36.90]
Ss-D2 (-,+)	5.6 [6.83]
Ss-D3 (-,+)	6.9 [15.54]
Ss-F1 (+,+)	9.7 [18.86]
Ss-F2 (+,+)	6.8 [28.47]
Ss-F3 (-,+)	5.7 [27.67]
Ss-N1 (+,+)	9.3 [7.54]

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

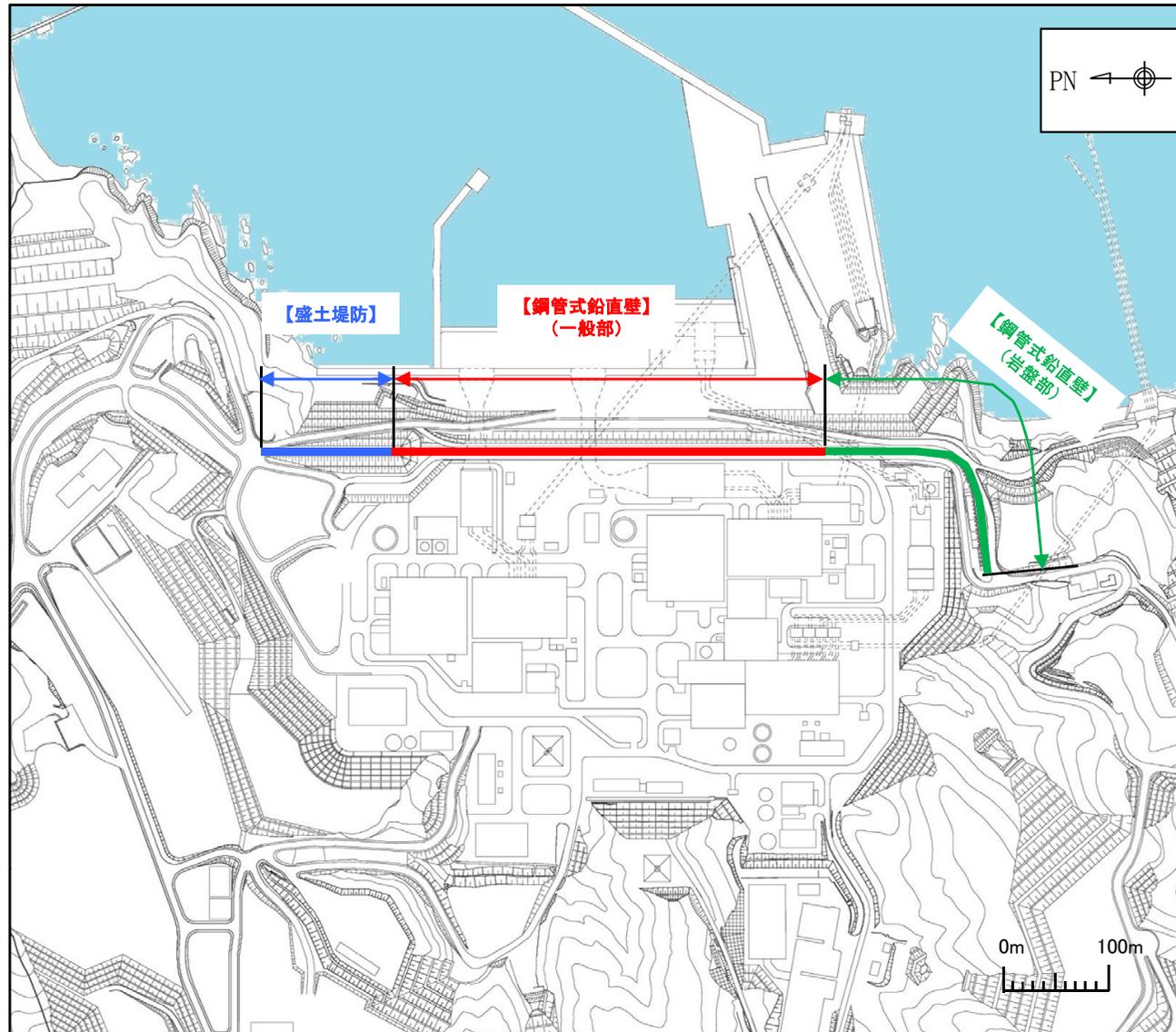
目次

1. 評価断面の選定に関する補足
2. 解析用物性値に関する補足
3. 安定性評価に関する補足
4. 防潮堤の設計方針について(平成31年1月15日審査会合資料抜粋)
5. 地下水位の設定について(平成31年3月26日審査会合資料抜粋)

4. 防潮堤の設計方針について

4.1 防潮堤の構造形式

- 防潮堤の構造形式は、鋼管式鉛直壁と盛土堤防の2つに分類され、鋼管式鉛直壁は、更に一般部と岩盤部に分類される。



【現状】

- 女川の防潮堤は、敷地の高さや津波高さ等のサイト特性並びに取水路を跨ぐ等の制約条件、また盛土の耐震性等を総合的に勘案し、地震等に伴う沈下を考慮した構造とすることで設計上の配慮を行った上で、建設中である。

【設計変更の目的・理由】

- 津波の影響が比較的大きいサイト特性も踏まえ、現状の構造形式(従来の設計)による防潮堤の構造成立性をより高め、地震・津波に対する耐性をより強固なものとするために、防潮堤の設計変更(沈下対策, 安定性向上対策)を行うこととした。

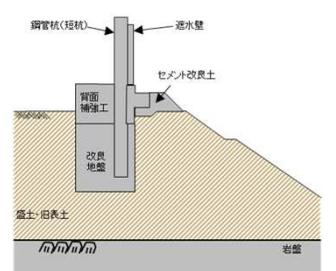
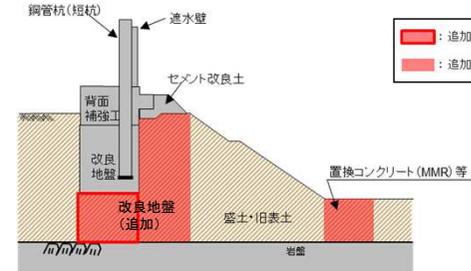
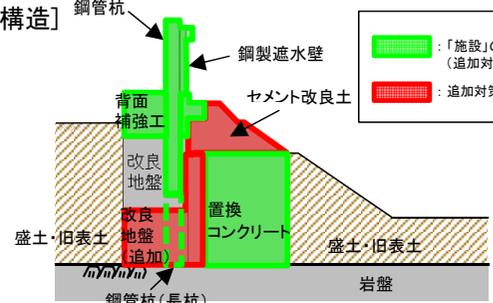
【期待される効果】

- 対策実施により、沈下に伴う損傷モードが無くなるとともに、地震に対する安定性が向上し、安全に対する信頼性や説明性が高まる。

	従来の設計	設計の変更(H30.2)	設計の変更(H30.6)
--	-------	--------------	--------------

安全確保の考え方	<p>[敷地高さの確保]</p> <ul style="list-style-type: none"> 想定される津波高さよりも敷地高さを盛土で十分に高く造成することにより津波に対する耐性を確保する。 (このことにより3.11地震においても重大事故を回避) 		⇒防潮堤の高さを可能な限り高く
----------	---	--	-----------------

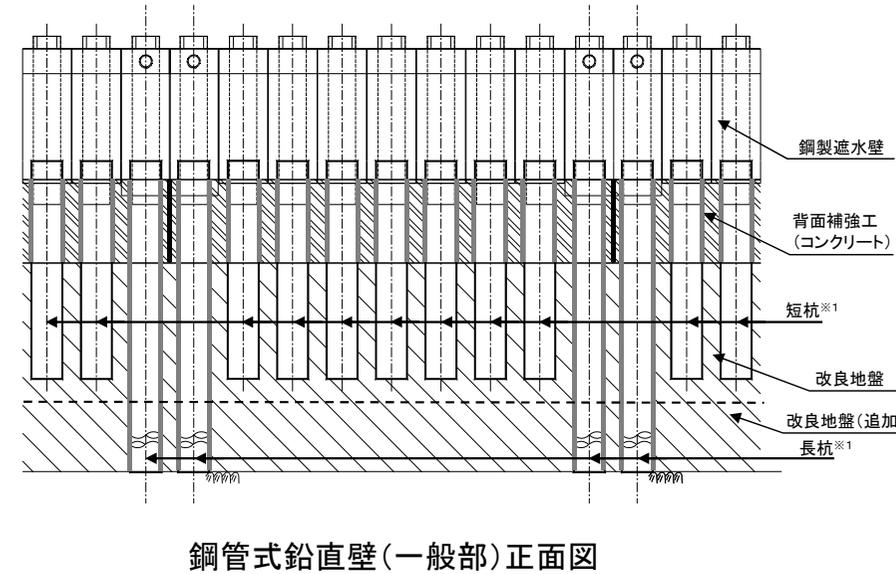
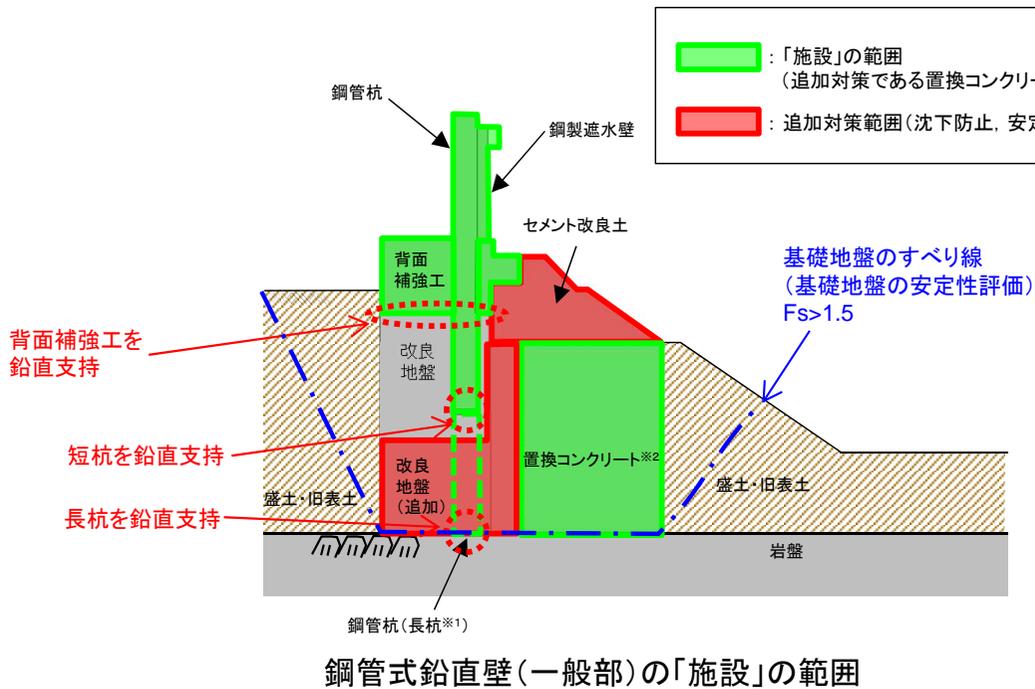
安全確保の考え方	<p>[地盤の変形への対応性]</p> <ul style="list-style-type: none"> 変位に追従することにより遮水性能を保持しやすい盛土構造を基本とした。 (狭隘な敷地の条件等から、鋼管式鉛直壁と盛土構造の組合せ) 盛土堤防及び鋼管式鉛直壁(短杭)の直下に盛土・旧表土が存在し、沈下を許容する設計とした。 	<p>[地盤の変形への対応性]</p> <ul style="list-style-type: none"> 短杭の盛土・旧表土を地盤改良し、沈下しない構造とする。 	<p>[地盤の変形への対応性]</p> <ul style="list-style-type: none"> 短杭の盛土・旧表土を地盤改良し、沈下しない構造とする。 防潮堤の前面を置換コンクリートで改良することで、地震に対するすべり安定性を向上させる。
----------	--	---	--

構造と損傷モード	<p>[構造]</p>  <p>鋼管式鉛直壁(一般部, 短杭例)</p>	<p>[構造]</p>  <p>鋼管式鉛直壁(一般部, 短杭例)</p>	<p>[構造]</p>  <p>鋼管式鉛直壁(一般部, 短杭例)</p>
	<p>[考慮すべき主な損傷モード]</p> <ul style="list-style-type: none"> 複雑な挙動(不等沈下に起因するねじれ等の三次元的な挙動) 沈下に追従するNFシート挙動の不確実性 盛土・旧表土層の圧縮沈下による浸水経路形成 盛土堤防の挙動による鋼管式鉛直壁への影響 	<p>[構造変更の効果と損傷モードの変更点]</p> <ul style="list-style-type: none"> 沈下しない構造 → 損傷モードが限定的となる(評価の確実性が向上)。 変位の抑制(周辺地盤の流動の抑制) → 鋼管式鉛直壁(一般部)に発生する相対変位が小さくなる。 止水性の向上 	<p>[構造変更の効果と損傷モードの変更点]</p> <ul style="list-style-type: none"> 沈下しない構造 → 損傷モードが限定的となる(評価の確実性が向上)。 変位の抑制(周辺地盤の流動の抑制) → 鋼管式鉛直壁(一般部)に発生する相対変位が小さくなる。 → 長杭の応答がおおむね弾性範囲に留まる。 止水性の向上 置換コンクリート設置により、地震に対するすべり安定性が向上

- 新規制基準への適合性において、防潮堤直下の盛土・旧表土は沈下対策として地盤改良を行うことを踏まえ、鋼管式鉛直壁における設置許可基準規則の各条文に対する検討要旨を下表の通り整理した。

鋼管式鉛直壁における検討要旨

規則	検討要旨
第3条(設計基準対象施設の地盤)	<ul style="list-style-type: none"> 施設(鋼管杭、鋼製遮水壁、背面補強工及び置換コンクリート)を支持する地盤を対象とし、地盤内にすべり線を想定し、安定性を確認する。
第4条(地震による損傷の防止)	<ul style="list-style-type: none"> 施設と地盤との動的相互作用や液状化検討対象層の地震時の挙動を考慮した上で、施設の耐震安全性を確認する。
第5条(津波による損傷の防止)	<ul style="list-style-type: none"> 地震(本震及び余震)による影響を考慮した上で、機能を保持できることを確認する。 液状化検討対象層の地震時の挙動の考慮を含む。



※1: 「長杭」, 「短杭」は、鋼管式鉛直壁(一般部)を構成する2種類の長さの鋼管杭に対して設計図書の中で付けた名称。

※2: **C_M**級以上の岩盤に設置(3章以降についても同様)。

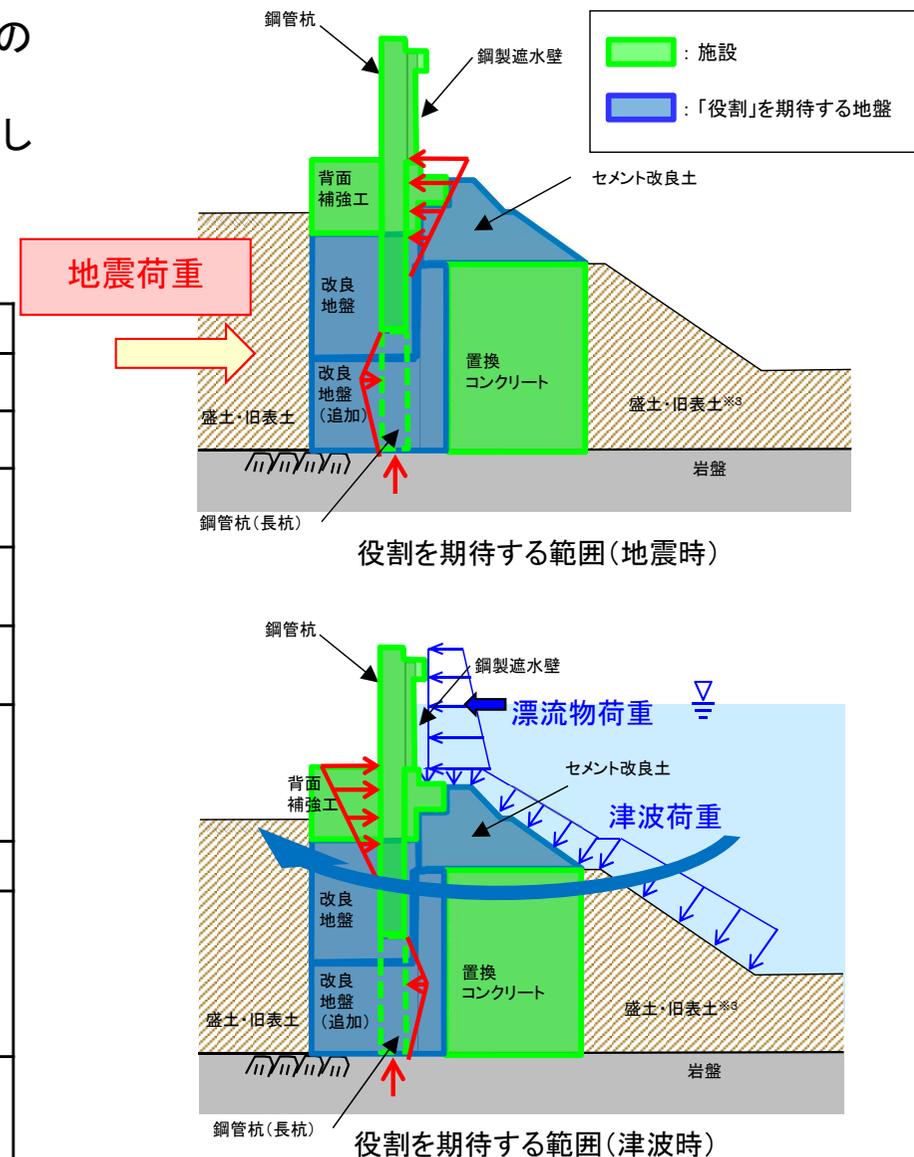
4. 防潮堤の設計方針について

4.3 条文に対する検討要旨(鋼管式鉛直壁(一般部))②

- 鋼管式鉛直壁(一般部)における条文に対応する各部位の役割を以下のとおり整理した。
- なお、以下では、津波を遮断する役割を『遮水性』, 材料として津波を通しにくい役割を『難透水性』とし、これらを総称して『止水性』と整理する。

鋼管式鉛直壁(一般部)の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割※1	津波時の役割※1
施設	鋼管杭(長杭)	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁及び頂部はりを支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁及び頂部はりを支持する。
	鋼管杭(短杭)	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁を支持する。
	鋼製遮水壁	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地を支持するとともに、遮水性を保持する。
	止水目地	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁間の変位に追従する。 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁間の変位に追従し、遮水性を保持する。
	背面補強工	<ul style="list-style-type: none"> 長杭・短杭の変形を抑制する。 	<ul style="list-style-type: none"> 遮水性を保持する。 長杭・短杭の変形を抑制する。
	置換コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート強度を考慮して基礎地盤のすべり安定性を確保する。 長杭・短杭の変形を抑制する(斜面形状による海側への変形が卓越)。 	<ul style="list-style-type: none"> 長杭・短杭の変形を抑制する。 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。
	頂部はり※2	—	—
地盤	セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 長杭・短杭の変形を抑制する(斜面形状による海側への変形が卓越)。 	<ul style="list-style-type: none"> 長杭・短杭の変形を抑制する。 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。 津波荷重を置換コンクリート等を介して岩盤に伝達する。
	改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> 短杭及び背面補強工を鉛直支持する(下方の岩盤に荷重を伝達する)。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 長杭・短杭の変形を抑制する(斜面形状による海側への変形が卓越)。 	<ul style="list-style-type: none"> 短杭及び背面補強工を鉛直支持する(下方の岩盤に荷重を伝達する)。 長杭・短杭の変形を抑制する。 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。
	岩盤	<ul style="list-style-type: none"> 長杭・短杭、背面補強工及び置換コンクリートを(改良地盤を介して)鉛直支持する。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 	<ul style="list-style-type: none"> 長杭・短杭、背面補強工及び置換コンクリートを(改良地盤を介して)鉛直支持する。



※1: 津波+余震時は地震時及び津波時の両方の役割を参照する。
 ※2: 沈下時に機能を期待していたが、沈下しない設計に変更したため、役割を期待しない。
 ※3: 海側の盛土・旧表土の斜面部は、斜面形状により津波荷重の一部を岩盤に分散させるが、液状化に伴う流動により斜面形状が変化し、荷重伝達経路や津波波圧に影響する可能性が考えられることから、これらの影響の程度を詳細設計時(工認段階)に検討することとし、本表の整理から除外する(詳細は8.3参照)。

4.3 条文に対する検討要旨(鋼管式鉛直壁(一般部))③

- 照査項目と許容限界を以下のとおり整理した。
- 液状化の影響については有効応力解析により考慮し、盛土・旧表土の変状に伴う施設評価への影響を検討する。
- また、液状化に伴う海側の盛土・旧表土斜面部の変状により斜面形状が変化し、荷重伝達経路や津波波圧に影響する可能性があることから、詳細設計時(工認段階)に影響の程度を検討する。
- なお、施設及び地盤の各部位の役割や性能目標を長期的に維持していくために必要な保守管理方法を今後検討していく。

各部位の照査項目と許容限界(上段:照査項目, 下段:許容限界)

部位		照査項目と許容限界			
		鉛直支持 (第3条)	すべり安定性 (第3条)	健全性 (鋼管杭の変形抑制) (第4条)	止水性 ^{※1} (遮水性, 難透水性) (第5条)
施設	鋼管杭	-	-	曲げ, せん断 (短期許容応力度以下)	
	鋼製遮水壁			曲げ, せん断 (短期許容応力度以下)	
	止水目地			変形 (許容変形量以下)	変形・水圧 (許容変形量・許容水圧以下)
	背面補強工			すべり安全率 ^{※4, 5} (1.2以上)	
	置換コンクリート			- ^{※2}	すべり安全率 ^{※4, 5} (1.2以上)
地盤	セメント改良土	-	すべり安全率 ^{※3} (基礎地盤)	すべり安全率 ^{※4} (1.2以上)	
	改良地盤	支持力 (極限支持力以下)		すべり安全率 ^{※4} (1.2以上)	
	岩盤	支持力 (極限支持力以下)		(1.5以上)	-

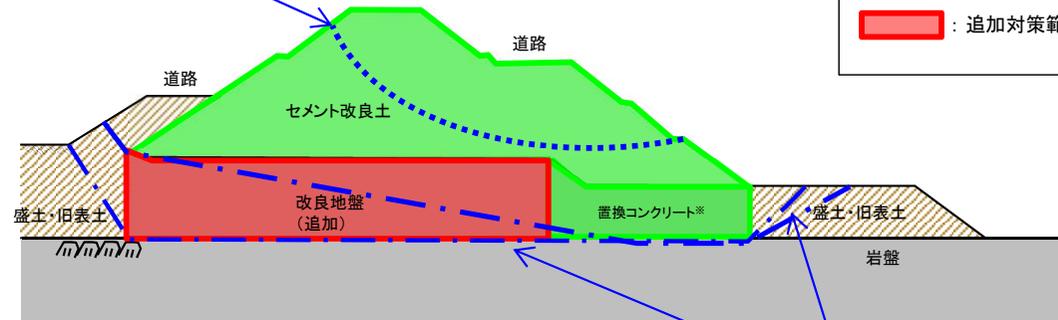
※1: 施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、置換コンクリート、改良地盤及びセメント改良土の透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを確認する。
 ※2: 置換コンクリートがすべり破壊しないことを第4・5条で確認するため、第3条においては、岩盤及び改良地盤を通るすべり線のすべり安全率を確認する。
 ※3: 第3条のすべり安全率は施設の外的安定の確認を目的としており、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」に基づいて1.5以上を許容限界とする。
 ※4: 第4条・第5条のすべり安全率は各部位の内的安定の確認を目的としており、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用して1.2以上を許容限界とする。
 ※5: 地盤と施設を連成した2次元FEM解析により、各要素の破壊状況についても確認し、必要に応じて破壊の進展を考慮した検討(非線形解析等)を行う。

- 新規制基準への適合性において、防潮堤直下の盛土・旧表土は沈下対策として地盤改良を行うことを踏まえ、盛土堤防における設置許可基準規則の各条文に対する検討要旨を下表の通り整理した。

盛土堤防における検討要旨

規則	検討要旨
第3条(設計基準対象施設の地盤)	<ul style="list-style-type: none"> 施設(セメント改良土及び置換コンクリート)を支持する地盤を対象とし、地盤内にすべり線を想定し、安定性を確認する。
第4条(地震による損傷の防止)	<ul style="list-style-type: none"> 施設と地盤との動的相互作用や液状化検討対象層の地震時の挙動を考慮した上で、施設の耐震安全性を確認する。
第5条(津波による損傷の防止)	<ul style="list-style-type: none"> 地震(本震及び余震)による影響を考慮した上で、機能を保持できることを確認する。 液状化検討対象層の地震時の挙動の考慮を含む。

防潮堤本体のすべり線
(耐津波設計に係る工認審査ガイドに
基づく安定性評価)
 $F_s > 1.2$



■ : 「施設」の範囲
(追加対策である置換コンクリートを含む)
■ : 追加対策範囲(沈下防止, 安定性確保等)

基礎地盤のすべり線
(基礎地盤の安定性評価)
 $F_s > 1.5$

[参考] 耐津波設計に係る工認審査ガイドの記載
4.4 許容限界
盛土による防潮堤や河川堤防等の盛土・地山斜面については、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」に準じ、周辺斜面の評価に用いるすべり安全率による評価基準値を許容限界値としていることを確認する。

盛土堤防の「施設」の範囲

※: CM級以上の岩盤に設置(3章以降についても同様)。

- 盛土堤防における条文に対応する各部位の役割を以下のとおり整理した。
- セメント改良土については、堤体として本体部分と海側の道路部分を一体的に構築しており、津波荷重も全体で受けることから、海側の道路部分も含めたセメント改良土全体を施設として評価する。

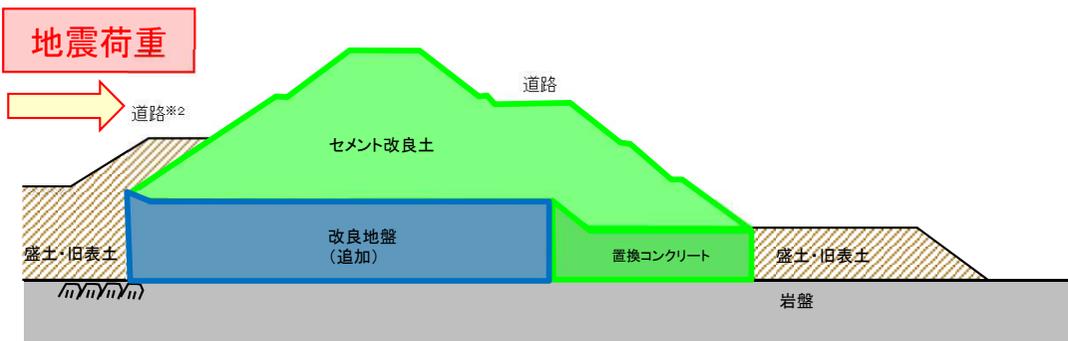
盛土堤防の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割※1	津波時の役割※1
施設	セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 入力津波に対して十分な裕度を確保した堤体高さを維持する。 	<ul style="list-style-type: none"> 入力津波に対して十分な裕度を確保した堤体高さを維持する。 難透水性を有し、堤体により止水性を維持する。
	置換コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート強度を考慮して基礎地盤のすべり安定性を確保する。 	<ul style="list-style-type: none"> 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。
地盤	改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土を鉛直支持する(下方の岩盤に荷重を伝達する)。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土を鉛直支持する(下方の岩盤に荷重を伝達する)。 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。
	岩盤	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土及び置換コンクリートを鉛直支持する。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土及び置換コンクリートを鉛直支持する。

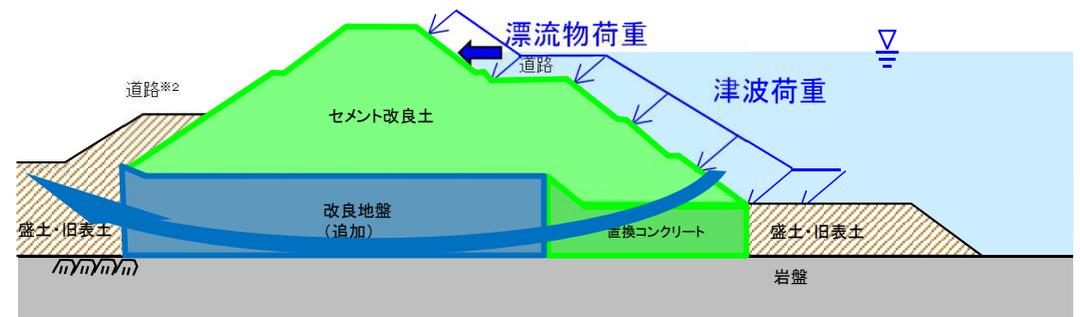
※1:津波+余震時は地震時及び津波時の両方の役割を参照する。

※2:セメント改良土の陸側の道路部分(盛土・旧表土)は、セメント改良土とは異種材料で別々に構築し、構造的にも一体化していない。荷重に対する抵抗力等の具体的な役割は期待していないが、適切にモデル化して施設への影響を評価する。

: 施設
 : 「役割」を期待する地盤



役割を期待する範囲(地震時)



役割を期待する範囲(津波時)

- 照査項目と許容限界を以下のとおり整理した。
- 液状化の影響については有効応力解析により考慮し、盛土・旧表土の変状に伴う施設評価への影響を検討する。
- また、セメント改良土の陸側の盛土・旧表土(道路)については、荷重に対する抵抗力として期待せず、適切にモデル化して施設への影響を評価する。
- なお、施設及び地盤の各部位の役割や性能目標を長期的に維持していくために必要な保守管理方法を今後検討していく。

各部位の照査項目と許容限界(上段:照査項目, 下段:許容限界)

部位…4章		照査項目と許容限界			
		鉛直支持 (第3条)	すべり安定性 (第3条)	健全性 (第4条)	止水性※1 (難透水性) (第5条)
施設	セメント改良土	—	—	すべり安全率※4, 5 (1.2以上)	
	置換コンクリート		—※2	すべり安全率※4, 5 (1.2以上)	
地盤	改良地盤	支持力 (極限支持力以下)	すべり安全率※3 (基礎地盤)	すべり安全率※4 (1.2以上)	
	岩盤	支持力 (極限支持力以下)	(1.5以上)	—	—

※1:施設及び地盤を含む範囲の浸透流解析により、置換コンクリート及び改良地盤の透水係数を保守的に考慮しても津波の滞水時間中に敷地に浸水しないことを確認する。

※2:置換コンクリートがすべり破壊しないことを第4・5条で確認するため、第3条においては、岩盤及び改良地盤を通るすべり線のすべり安全率を確認する。

※3:第3条のすべり安全率は施設の外的安定の確認を目的としており、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」に基づいて1.5以上を許容限界とする。

※4:第4条・第5条のすべり安全率は各部位の内的安定の確認を目的としており、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用して1.2以上を許容限界とする。

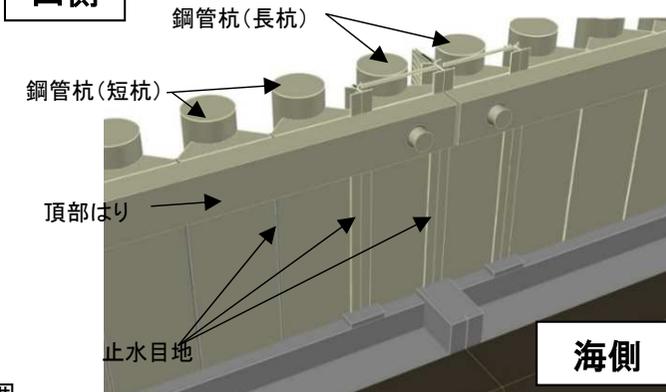
※5:地盤と施設を連成した2次元FEM解析により、各要素の破壊状況についても確認し、必要に応じて破壊の進展を考慮した検討(非線形解析等)を行う。

4. 防潮堤の設計方針について

4.4 鋼管式鉛直壁(一般部)構造の概要

- 鋼管式鉛直壁(一般部)の構造, 評価対象部位と主な役割並びに施設の範囲を示す。

山側



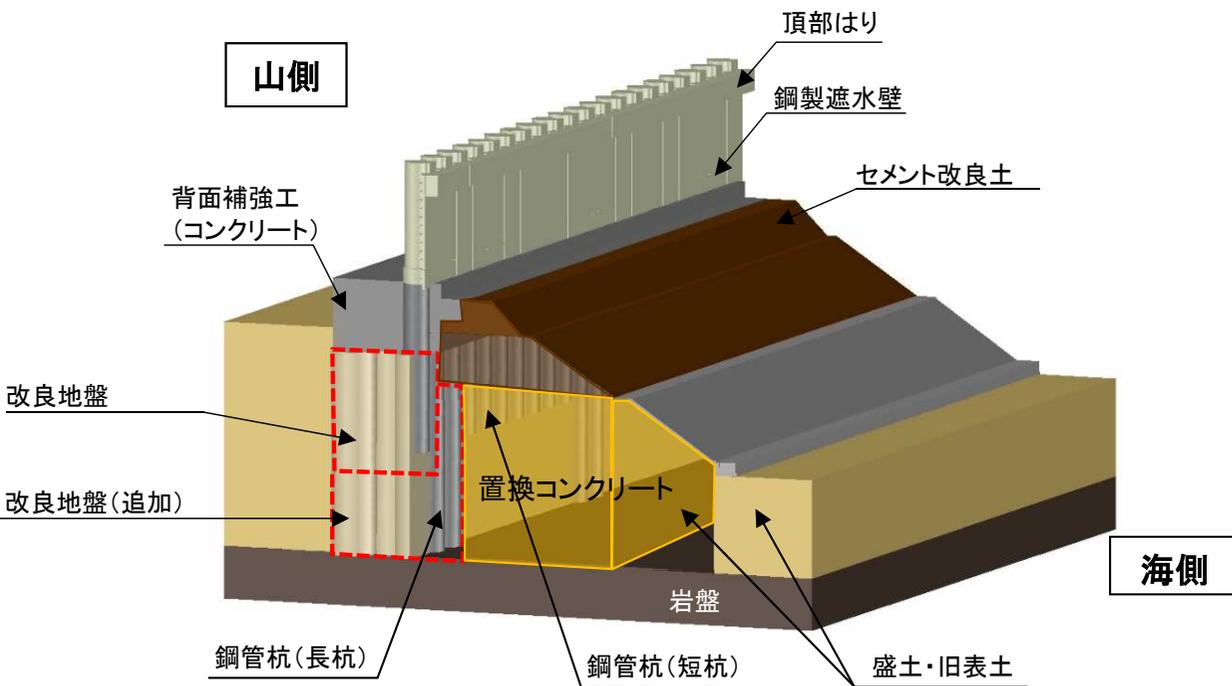
海側

施設の範囲

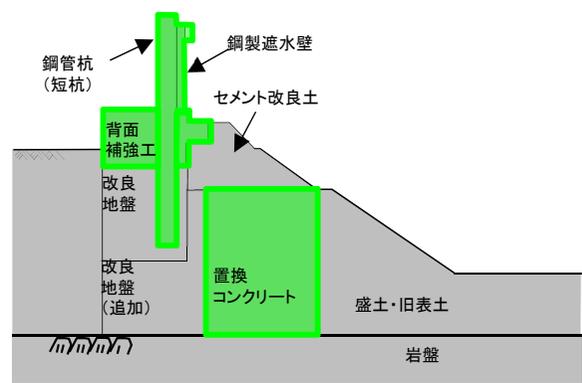
評価対象部位		主な役割
鋼管杭	長杭	鋼製遮水壁及び頂部はりを支持
	短杭	鋼製遮水壁を支持
鋼製遮水壁		止水目地を支持, 遮水性の保持
止水目地		鋼製遮水壁間の遮水性の保持
背面補強工		遮水性の保持, 長杭・短杭の変形抑制
置換コンクリート		基礎地盤のすべり安定性の確保, 長杭・短杭の変形抑制, 難透水性の保持
頂部はり		—※

【地盤】 ※: 沈下時に機能を期待していたが, 沈下しない設計に変更したため, 役割を期待しない。

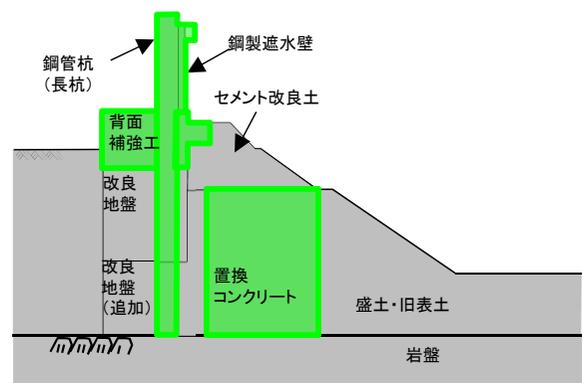
岩盤	長杭・短杭, 背面補強工及び置換コンクリートの鉛直支持, 基礎地盤のすべり安定性に寄与
改良地盤	短杭及び背面補強工の鉛直支持(下方の岩盤に荷重を伝達), 基礎地盤のすべり安定性に寄与, 長杭・短杭の変形抑制, 難透水性の保持
セメント改良土	長杭・短杭の変形抑制, 難透水性の保持, 津波荷重の伝達
盛土・旧表土	—



海側



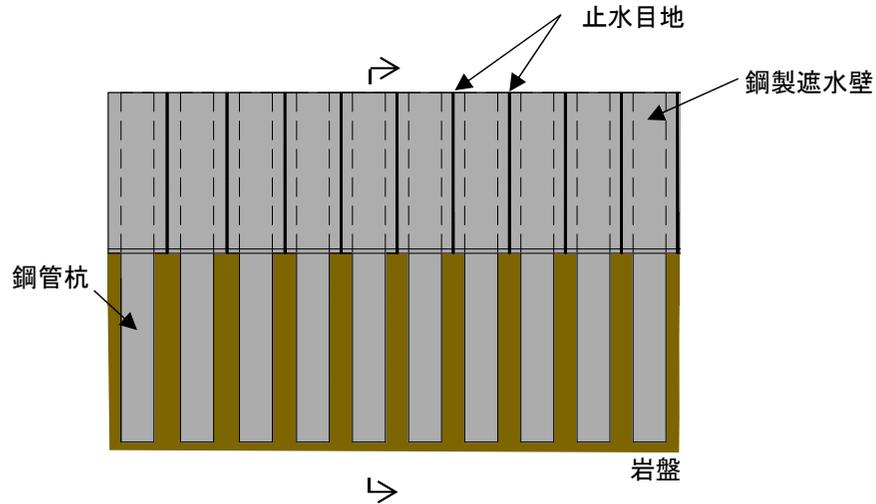
(短杭)



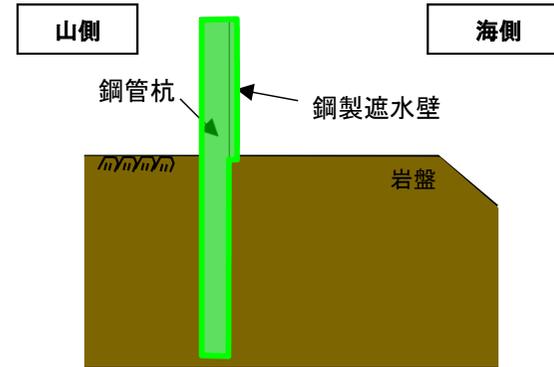
(長杭)

鋼管式鉛直壁(一般部)における施設と地盤の区分

- 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の構造, 評価対象部位と主な役割並びに施設の範囲を以下に示す。



鋼管式鉛直壁(岩盤部)正面図



断面図

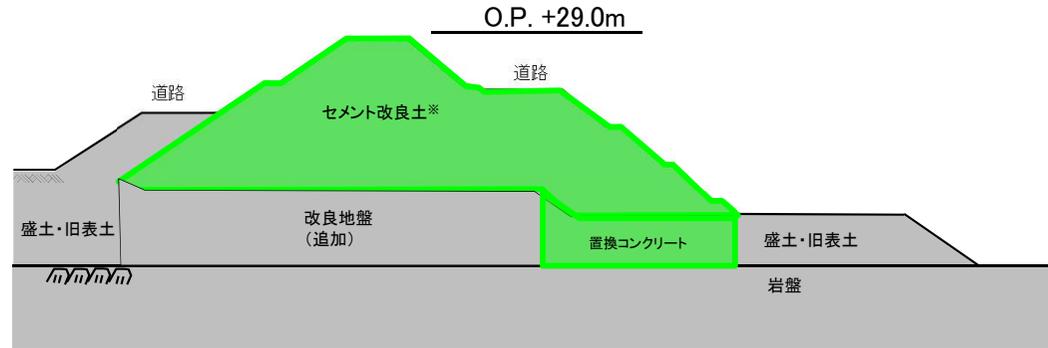
■ 施設の範囲

評価対象部位	主な役割
鋼管杭	鋼製遮水壁を支持
鋼製遮水壁	止水目地を支持 遮水性の保持
RC遮水壁	
止水目地	鋼製遮水壁間の遮水性の保持

【地盤】

岩盤	鋼管杭の鉛直支持 基礎地盤のすべり安定性に寄与 鋼管杭の変形抑制
----	--

- 盛土堤防の構造, 評価対象部位と主な役割並びに施設の範囲を以下に示す。



盛土堤防における施設と地盤の区分

■ 施設の範囲

評価対象部位	主な役割
セメント改良土	堤体高さの維持 難透水性を有し, 堤体による止水性の維持
置換コンクリート	基礎地盤のすべり安定性の確保, 難透水性の保持

【地盤】

岩盤	セメント改良土及び置換コンクリートの鉛直支持, 基礎地盤のすべり安定性に寄与
改良地盤	セメント改良土の鉛直支持(下方の岩盤に荷重 を伝達), 基礎地盤のすべり安定性に寄与, 難 透水性の保持
盛土・旧表土	—

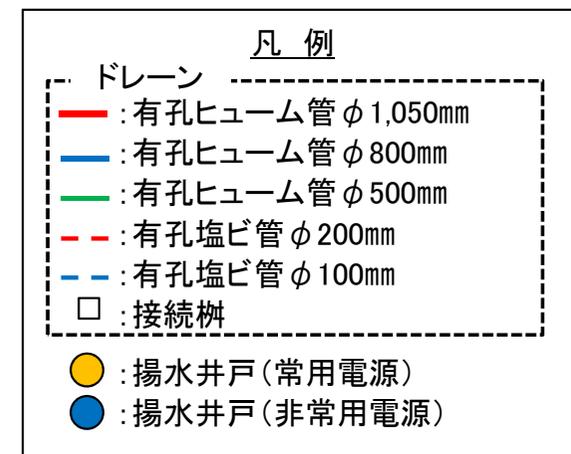
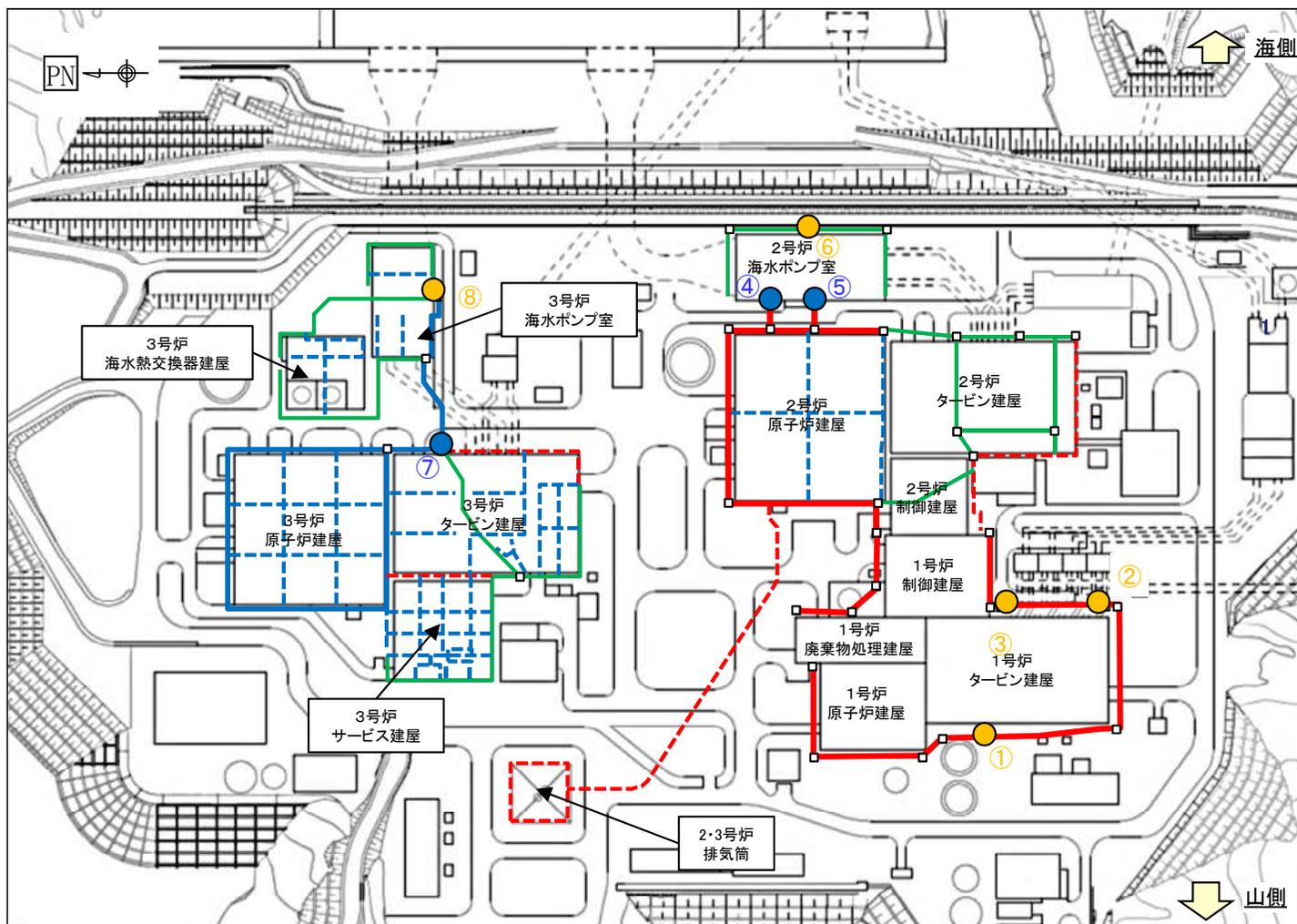
※:セメント改良土について, 堤体として本体部分と海側の道路部分を一体的に構築しており, 津波荷重も全
体で受けることから, 海側の道路部分も含めたセメント改良土全体を施設として評価する。

目次

1. 評価断面の選定に関する補足
2. 解析用物性値に関する補足
3. 安定性評価に関する補足
4. 防潮堤の設計方針について(平成31年1月15日審査会合資料抜粋)
5. 地下水位の設定について(平成31年3月26日審査会合資料抜粋)

5.1.2 既設の設備構成 揚水井戸・ドレーン設置状況

- 地下水位低下設備のうちドレーン・揚水井戸の配置を示す。
- 各施設周囲の岩盤上に設置されたドレーン(硬質ポリ塩化ビニル製有孔管「以下, 有孔塩ビ管」 $\lt \phi 100\text{mm}, 200\text{mm}$ の2種類>及び有孔遠心力鉄筋コンクリート管「以下, 有孔ヒューム管」 $\lt \phi 500\text{mm}, 800\text{mm}, 1,050\text{mm}$ の3種類>)により揚水井戸に集水し, 揚水ポンプ(2台/1箇所)・配管を介して構内排水路へ排水する構造となっている。ドレーンの分岐部, 曲がり部は鉄筋コンクリート造の接続樹が設置されている箇所もある。
- 女川原子力発電所においては, 異常時等において点検を行う場合を考慮し, 原子炉建屋周辺等において一部大口径($\phi 800\text{mm}, \phi 1,050\text{mm}$ の有孔ヒューム管)のドレーンを採用している。



揚水井戸 電源区分

	非常用電源	常用電源
1号炉	—	①, ②, ③
2号炉	④, ⑤	⑥
3号炉	⑦	⑧

地下水位低下設備 (既設) 設置位置図

5.2.1 設置許可及び工認段階における提示内容①

- 今後の地下水位の設定にあたり、設置許可段階及び工認段階における提示内容を整理した。
 - －設置変更許可段階では、設計条件としての地下水位を保持する方針とし、地下水位を保持するために地下水位低下設備をDB施設として位置付け、その機能を考慮することを説明する。また、地下水位低下設備の機能を保持するために設計並びに保守管理・運用管理上の配慮を行う方針を説明する。記載方針を次頁に示す。
 - －工事計画認可段階では、DB施設と位置付けた地下水位低下設備の基準適合性を説明する。

設置許可及び工事計画認可段階における提示内容(案)

設置変更許可段階

地下水位低下設備※1

- ・設計条件としての地下水位を保持し、設置許可基準規則第3条第2項、第4条、第5条、第38条第2項、第39条及び第40条へ適合するため、設計基準対象施設として位置付け、この機能を考慮する。
- ・設計並びに保守・運用上の配慮を行う。(Ss機能維持、非常用電源接続、多重化等)

※1 本文、添付書類六(地盤)及び添付書類八(耐震設計、その他発電用原子炉の附属施設)に記載

工事計画認可段階

地下水位低下設備

- ・基本設計方針(技術基準規則※2第4条、第5条※3、第6条、第49条、第50条※3及び第51条)に設計並びに保守管理・運用管理上の配慮を位置付け、基準適合性を示す耐震計算書※4を添付(地下水位の設定方法を含む)

※2 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則

※3 技術基準規則第4条(地盤)への適合性について、第5条・第50条(耐震)にて確認

※4 揚水井戸・ドレーンについては、設置許可基準規則3条に対応した地盤の支持性能に係る確認結果を併せて記載 (P98)

- 発電用原子炉設置変更許可申請書本文及び添付書類六、添付書類八に対する現時点における記載方針を示す。

本文

五. 発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備

「イ 発電用原子炉施設の位置」へ地下水位低下設備を設置する旨を記載する。

地下水位低下設備は地下水位を一定の範囲に保持するために設置するものであり、地下水位低下設備が機能することにより、施設に及ぶ揚圧力及び地震時における液状化影響が低減される。

「ロ 発電用原子炉施設の一般構造」へ地下水位低下設備の構造概要を記載する。

添付書類六

<地盤>

施設の設計上考慮する地下水位を一定の範囲に保持するために必要な地下水位低下設備を設置し、液状化影響の低減を図る。

添付書類八

<耐震設計>

対象施設の設計上考慮する揚圧力及び地下水位を一定範囲に保持するため、地下水位低下設備を設置する。

地下水位低下設備は、常時から基準地震動発生後まで地下水位を一定の範囲に保持し、揚圧力及び液状化による影響を低減する設計とすることから、当該設備は耐震性を確保する。

<その他発電用原子炉の附属施設>

地下水位低下設備

基準地震動の発生を考慮し、揚圧力及び液状化による影響が各構築物、系統及び機器に及ばないように、地下水位低下設備を設置する。

地下水位低下設備は揚圧力及び液状化による影響が周辺の安全施設の機能に影響を及ぼすことがないように、信頼性の向上に配慮した設計とする。

具体的には、当該系統の構築物、系統及び機器については基準地震動に対して機能維持する設計とし、また屋外に設置する機器等については外部ハザード等に配慮した設計とする。また、電源については、外部電源の喪失に配慮し、非常用電源からの供給が可能な設計とする。

さらに、各井戸における揚水ポンプ、水位計、現場の監視・制御系、中央制御室の監視盤及び非常用電源からの電源供給を多重化するとともに、ドレーンの配置・形状を考慮し、既設ドレーンに対して補助的なドレーンを設置する方針とする。

上記の設計上の配慮により、地下水低下設備の信頼性の向上を図った状態でもなお機能喪失した場合を想定し、予め対応等の運用を定め、機能喪失時には予備品を用いた補修による機能回復を図る方針とする。

耐震重要度分類指針の観点から地下水位低下設備に関する信頼性向上について以下のとおり整理を行った。

- 前項4. で各対象施設への影響を確認した結果、地下水位が地表面レベルまで上昇した場合、耐震性の確保の観点から影響が懸念される。このため、地下水位低下設備に対して耐震性の確保が要求される。
- DB施設の耐震重要度は、設置許可基準規則上、その重要度に応じてS、B、Cとクラス分けがされており、該当する設備がそれぞれ定義されている。
- 地下水位低下設備は、Sクラス設備及びBクラス設備のいずれにも該当しないため、Cクラスと分類できる。
- 地下水位低下設備により地下水位を維持することで、原子炉建屋の基礎や屋外土木構造物といった間接支持構造物の基準地震動 S_s 発生時の健全性を確保する。これを踏まえ、基準地震動 S_s 発生前まで確実に機能維持させる観点から耐震Cクラスではあるものの S_s 機能維持とする。
- なお、C(S_s)とすることで、基準地震動 S_s が発生した以降においてもその機能を維持できる。

設置許可基準規則における耐震重要度分類の考え方

耐震クラス	定義	対象とする施設の例	該当
S	地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいもの	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系 使用済燃料を貯蔵するための施設 原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設 等 	×
B	安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラス施設と比べ小さい施設	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、一次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設 放射性廃棄物を内蔵している施設(ただし、内蔵量が少ない又は貯蔵方式により、その破損により公衆に与える放射線の影響が実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則(昭和53年通商産業省令第77号)第2条第2項第6号に規定する「周辺監視区域」外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く。)等 	×
C	Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設	—	○

- 地下水位低下設備をDB施設と位置付けることに伴い、設置許可基準規則第3条への適合確認の取扱いについて整理した。
- 地下水位低下設備はDB施設の地盤として同条に適合するため、同条1項のうち設計基準対象施設の接地圧に対する十分な支持力を有することを確認し、工認段階で提出する耐震計算書に記載する。
- なお、第5章の整理のとおり、地下水位低下設備は耐震重要度分類におけるCクラスに分類され、耐震重要施設^{※1}に該当しないことから、同条1項のなお書き(基準地震動による地震力に対する支持性能の確認)ならびに同条2項及び3項は対象とならない。

※1 耐震重要施設: 地震の発生によって生ずるおそれがあるその安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度が特に大きいもの(規則4条2項のSクラスに属する施設)

「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈(平成25年6月19日 原子力規制委員会)」抜粋

注) は耐震重要施設に係る要求事項

(別記1)

実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則	実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈	
<p>第二章 設計基準対象施設</p> <p>(設計基準対象施設の地盤)</p> <p>第三条 設計基準対象施設は、次条第二項の規定により算定する地震力(設計基準対象施設のうち、地震の発生によって生ずるおそれがあるその安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度が特に大きいもの(以下「耐震重要施設」という。))にあっては、同条第三項に規定する基準地震動による地震力を含む。)が作用した場合においても<u>当該設計基準対象施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。</u></p> <p>2 耐震重要施設は、変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない。</p> <p>3 耐震重要施設は、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。</p>	<p>第二章 設計基準対象施設</p> <p>第三条 (設計基準対象施設の地盤)</p> <p>別記1のとおりとする。</p>	<p>第3条(設計基準対象施設の地盤)</p> <p>1 第3条第1項に規定する「設計基準対象施設を十分に支持することができる」とは、<u>設計基準対象施設について、自重及び運転時の荷重等に加え、耐震重要度分類(本規程第4条2の「耐震重要度分類」をいう。以下同じ。)の各クラスに応じて算定する地震力(第3条第1項に規定する「耐震重要施設(本規程第4条2のSクラスに属する施設をいう。))にあっては、第4条第3項に規定する「基準地震動による地震力」を含む。)が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有する設計であることをいう。</u></p> <p>なお、耐震重要施設については、上記に加え、基準地震動による地震力が作用することによって弱面上のずれ等が発生しないことを含め、基準地震動による地震力に対する支持性能が確保されていることを確認することが含まれる。</p> <p>2 第3条第2項に規定する「変形」とは、地震発生に伴う地殻変動によって生じる支持地盤の傾斜及び撓み並びに地震発生に伴う建物・構築物間の不等沈下、液状化及び揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状をいう。</p> <p>このうち上記の「地震発生に伴う地殻変動によって生じる支持地盤の傾斜及び撓み」については、広域的な地盤の隆起又は沈降によって生じるもののほか、局所的なものを含む。これらのうち、上記の「局所的なもの」については、支持地盤の傾斜及び撓みの安全性への影響が大きいおそれがあるため、特に留意が必要である。</p> <p>3 第3条第3項に規定する「変位」とは、将来活動する可能性のある断層等が活動することにより、地盤に与えるずれをいう。</p> <p>また、同項に規定する「変位が生ずるおそれがない地盤に設け」とは、耐震重要施設が将来活動する可能性のある断層等の露頭がある地盤に設置された場合、その断層等の活動によって安全機能に重大な影響を与えるおそれがあるため、当該施設を将来活動する可能性のある断層等の露頭が無いことを確認した地盤に設置することをいう。</p> <p>なお、上記の「将来活動する可能性のある断層等」とは、後期更新世以降(約12～13万年前以降)の活動が否定できない断層等とする。その認定に当たって、後期更新世(約12～13万年前)の地形面又は地層が欠如する等、後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合には、中期更新世以降(約40万年前以降)まで遡って地形、地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性を</p>

参考文献

1. 菊地宏吉, 藤枝誠, 岡信彦, 小林隆志(1984):ダム基礎岩盤の耐荷性に関する地質工学的総合評価, 応用地質特別号 岩盤分類, pp.103-118.