

柏崎刈羽原子力発電所 7号機
「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」
の改訂に伴う耐震安全性評価

原子炉建屋基礎地盤の安定性評価について

平成20年11月18日

東京電力株式会社



東京電力

目次

- 1 . 原子炉建屋基礎地盤の安定性評価
 - 1.1 評価方針
 - 1.2 地質概要
 - 1.3 評価方法
 - 1.4 評価結果
 - 1.5 まとめ
- 2 . 奥行き方向の側面抵抗効果を考慮した検討
- 3 . その他コメント回答
 - 3.1 マンメイドロックの物性について
 - 3.2 西山層泥岩強度の寸法効果について
 - 3.3 不規則波を用いた動的試験について

1 . 原子炉建屋基礎地盤の安定性評価

1.1 評価方針

1.2 地質概要

1.3 評価方法

1.4 評価結果

1.5 まとめ

2 . 奥行き方向の側面抵抗効果を考慮した検討

3 . その他コメント回答

3.1 マンメイドロックの物性について

3.2 西山層泥岩強度の寸法効果について

3.3 不規則波を用いた動的試験について

1.1 評価方針

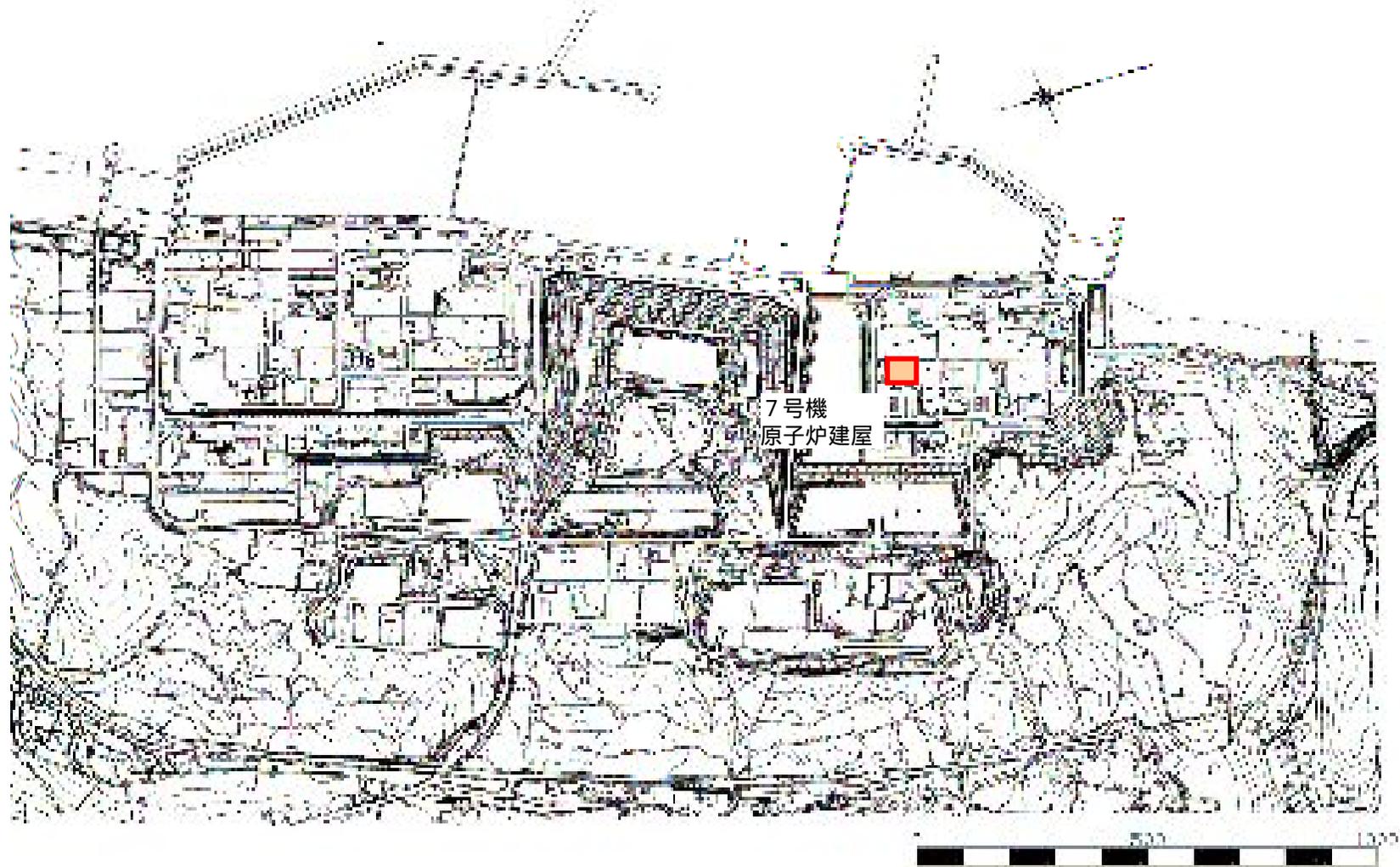
安全上重要な機器・配管系を内包する建物・構築物を支持する原子炉建屋基礎地盤について、基準地震動 S_s による地震力に対して十分な支持性能をもつことの評価を行う。

地震時の支持性能については下記項目により評価

- (1) 想定すべり線におけるすべり安全率
- (2) 原子炉建屋基礎底面の傾斜

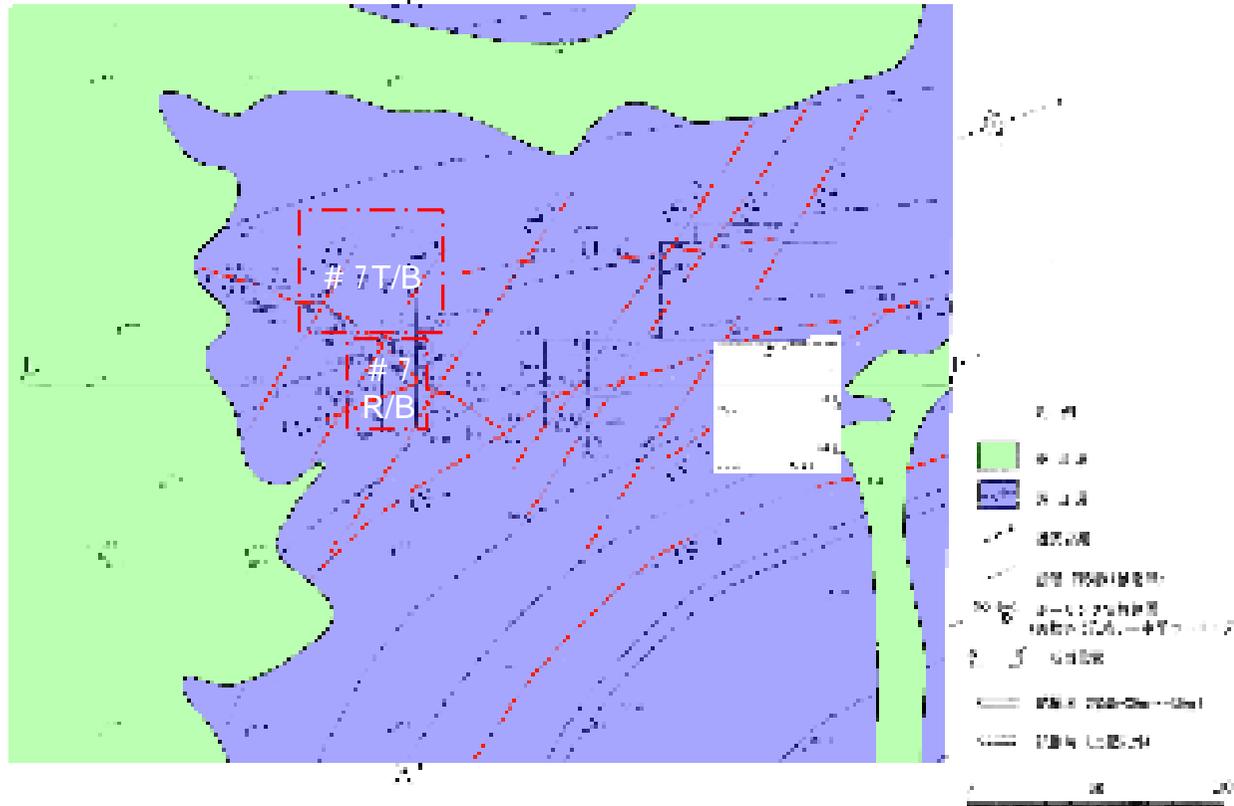
1.2 地質概要

敷地平面図



1.2 地質概要

7号機周辺の地質概要



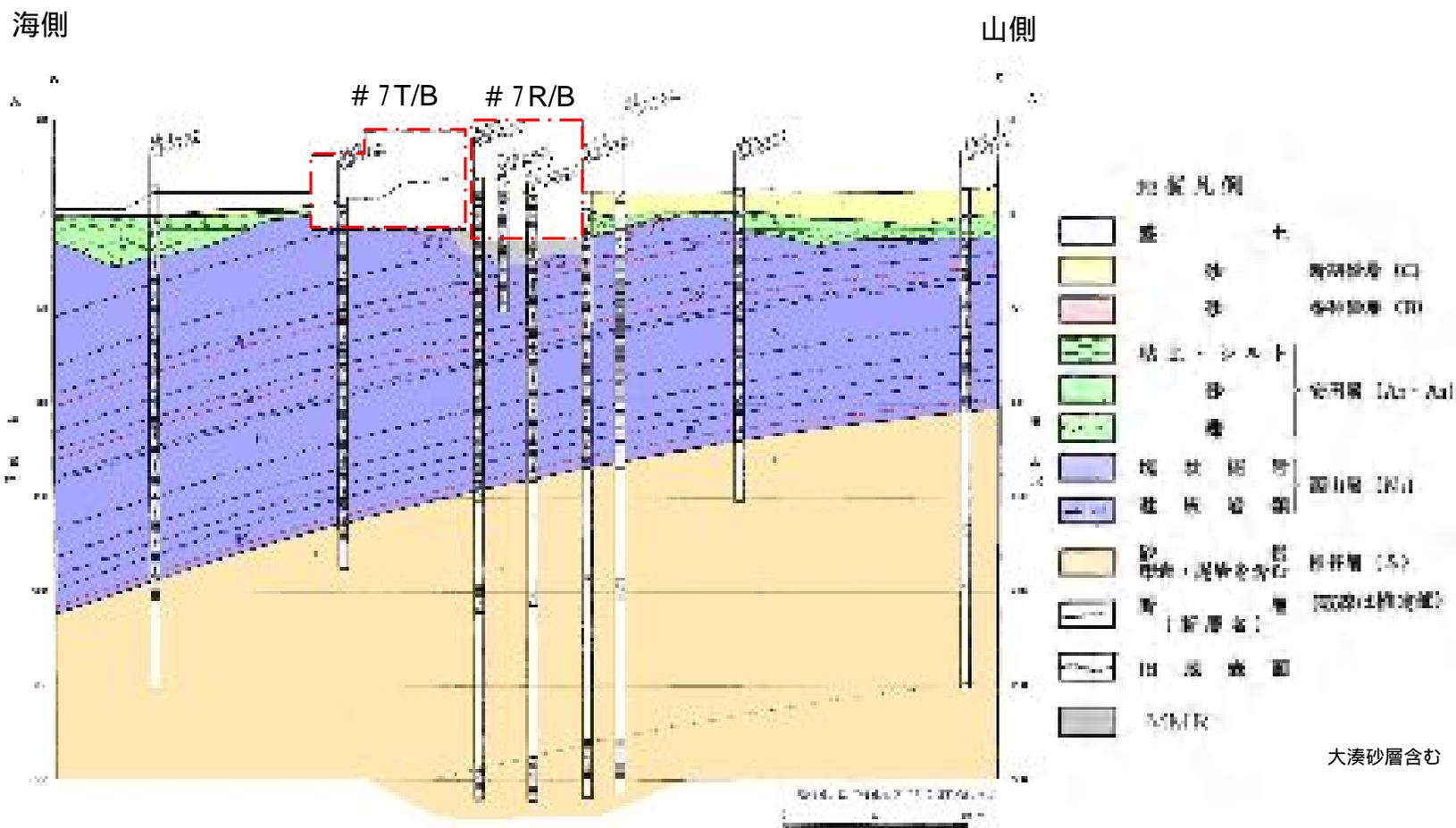
7号炉設置位置の地質は、塊状泥岩からなる西山層が標高 - 140mまで分布しており、下位には標高 - 310mまで砂岩・泥岩互層を主体とする椎谷層が分布している。

小断層としては高角度のV系断層，低角度のF系断層などが認められる。

7号機付近地質水平断面図(標高 - 20m)

1.2 地質概要

地質鉛直断面図(A - A')



7号機は緩やかな背斜軸の西翼に位置する。本断面では椎谷層，西山層ともに海側に緩傾斜する。

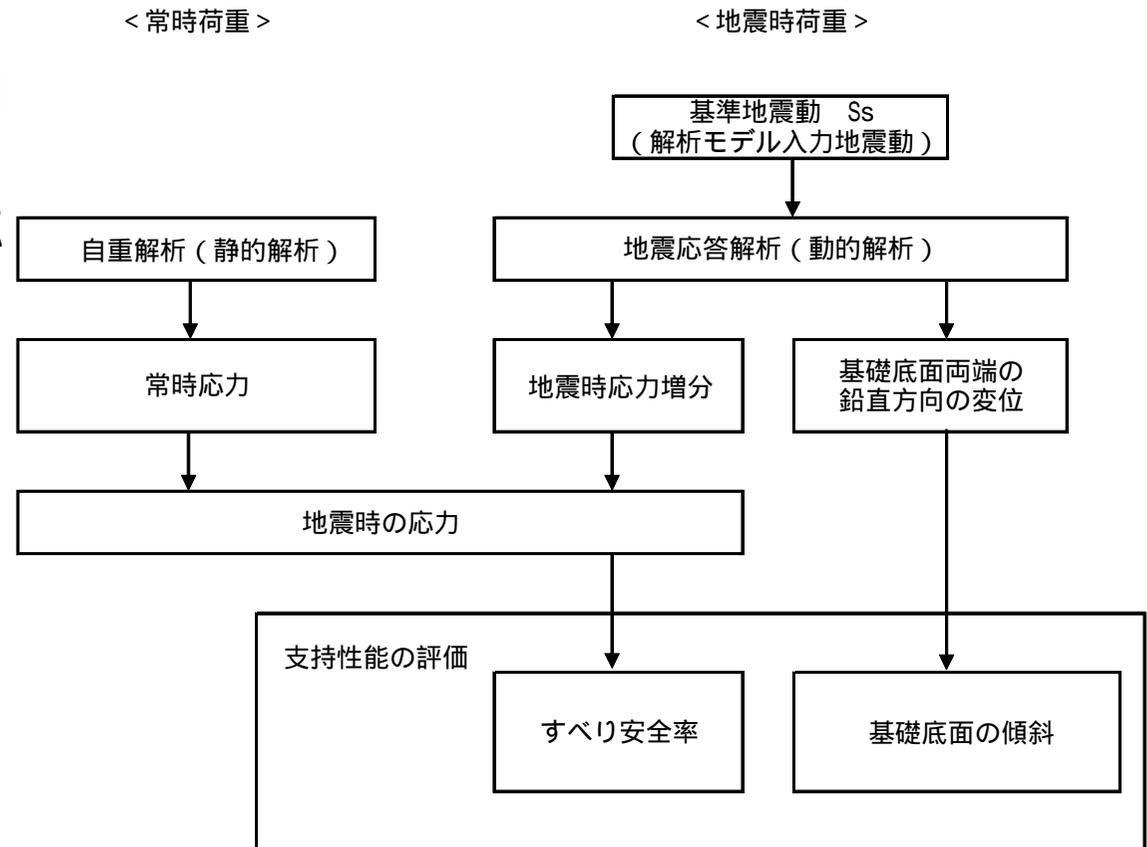
1.3 評価方法

解析手法・評価フロー

【地震応答解析手法】

- ・二次元動的有限要素法解析
- ・水平地震動と鉛直地震動の同時入力
- ・等価線形化法による周波数応答解析手法

【安全性評価フロー】



1.3 評価方法

解析モデル

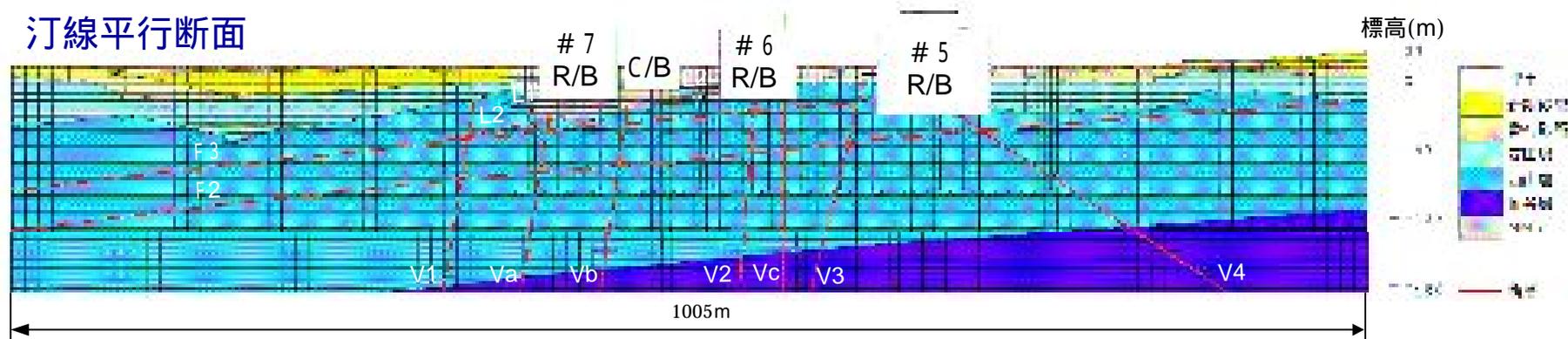
【地盤モデル】

解析モデルは地質断面図をもとに作成。F系断層、V系断層、L系断層を考慮

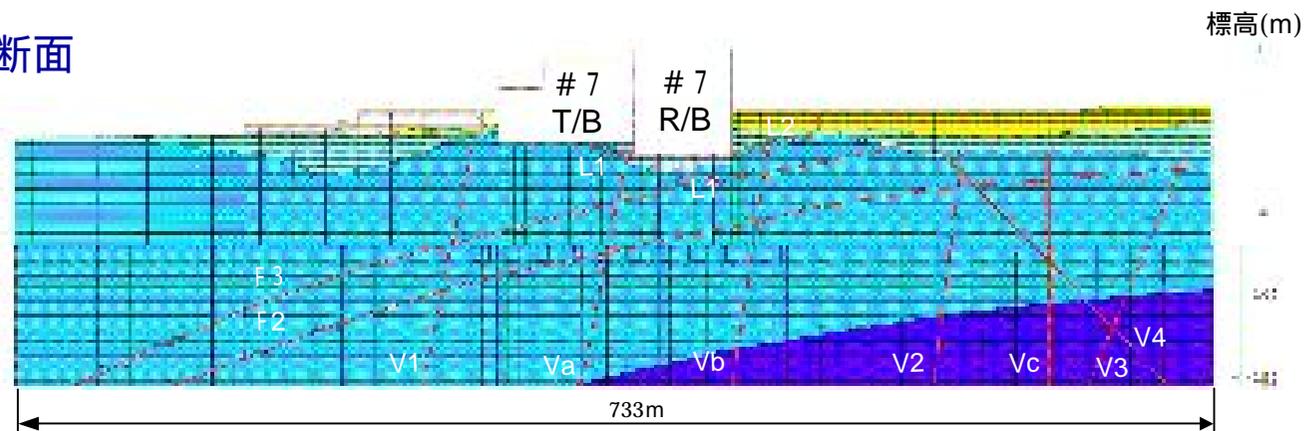
【建屋モデル】

原子炉建屋、タービン建屋、コントロール建屋の質点系モデルを基に作成

汀線平行断面

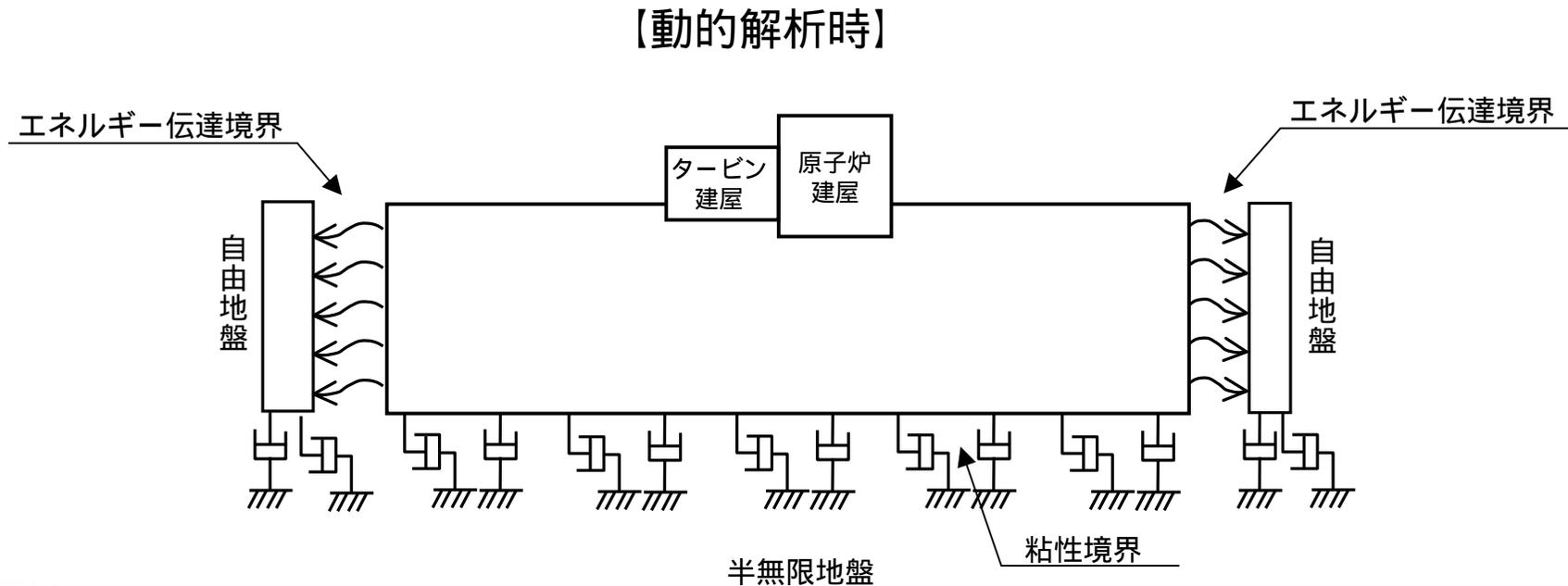
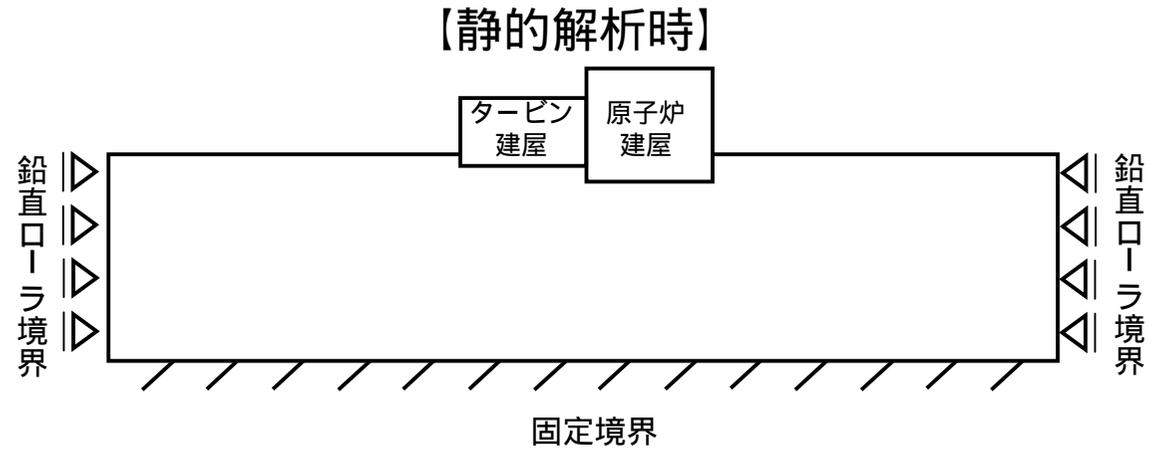


汀線直交断面



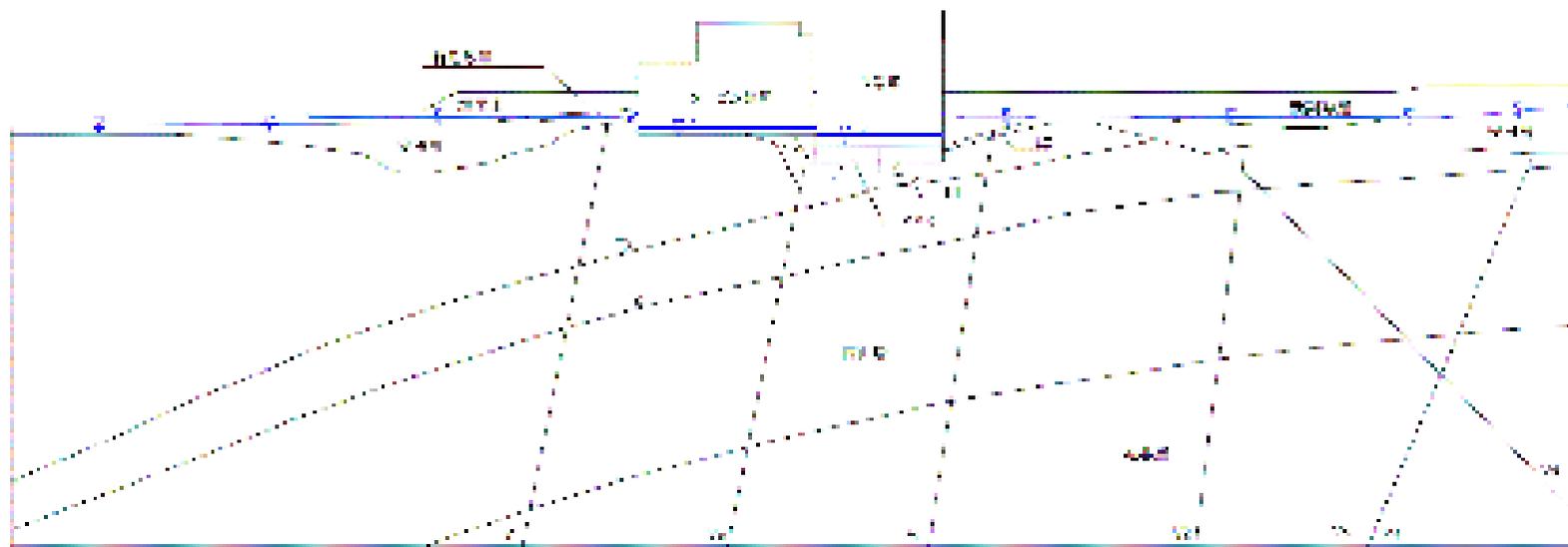
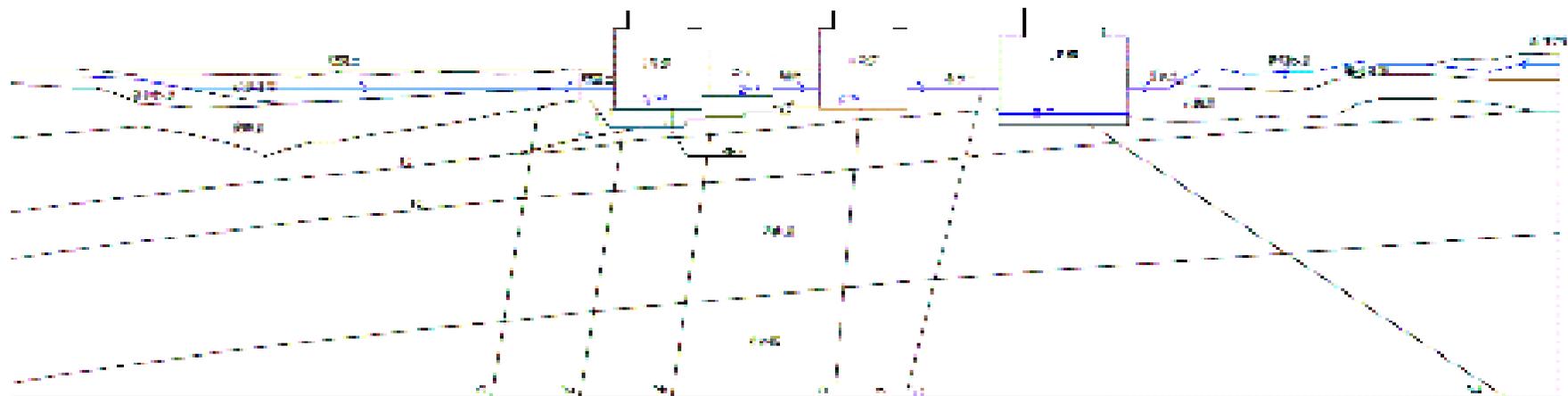
1.3 評価方法

境界条件



1.3 評価方法

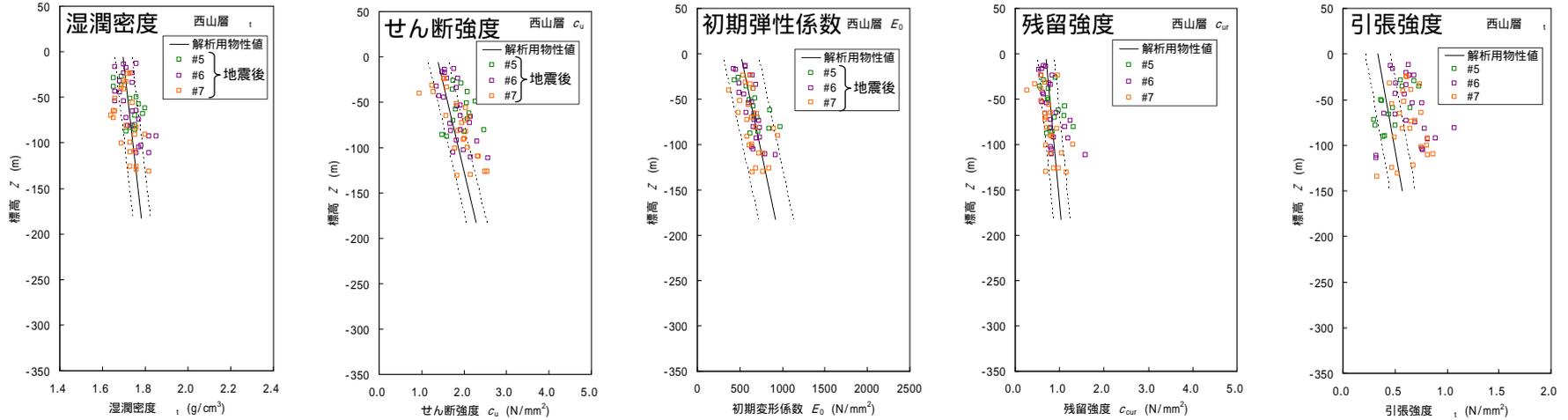
地下水位条件



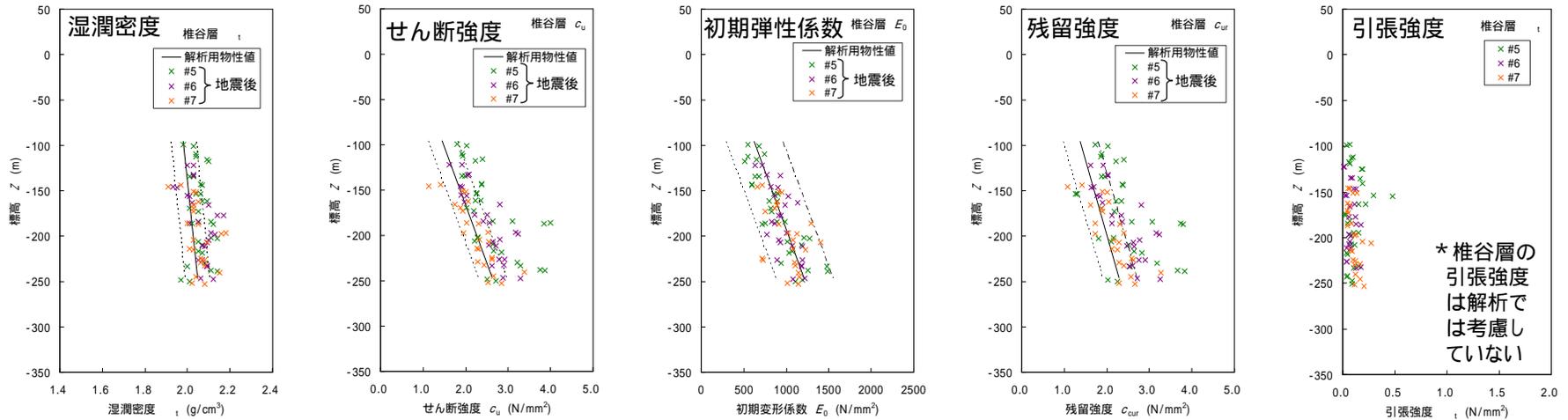
1.3 評価方法

既往解析用物性値と地震後取得した物性値の比較

西山層



椎谷層



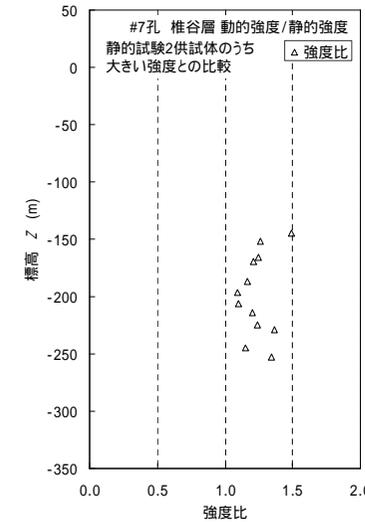
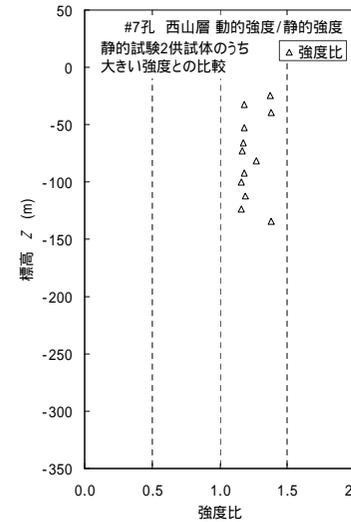
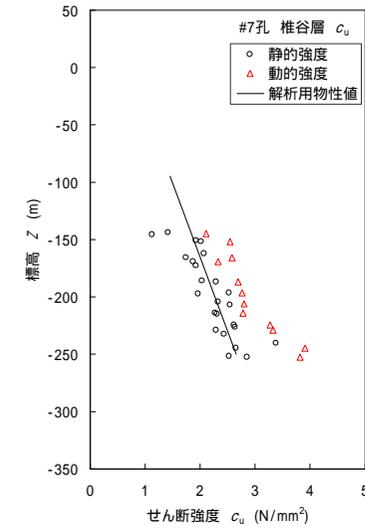
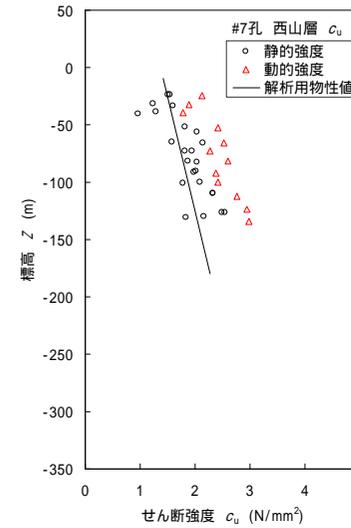
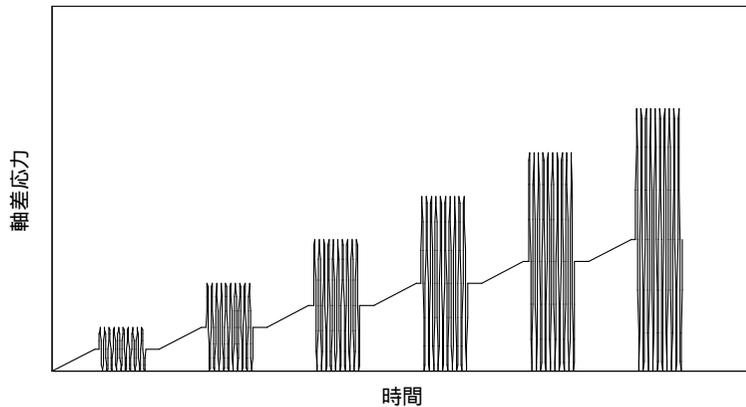
地震後の大湊側調査ボーリング物性値は6・7号増設時既往解析用物性値と概ね整合することから、解析には既往物性値を用いることを基本とする。

1.3 評価方法

(参考) 繰返し三軸試験結果

繰返し三軸試験(強度特性)の試験条件

試験条件	圧密非排水条件	
拘束圧	有効土被り圧相当	
供試体寸法	直径約 5 cm × 高さ約 10 cm	
載荷方法	応力制御法	
静的載荷	載荷荷重	各段階の前に繰返し載荷の最大軸差応力の1/2の軸差応力を載荷
	載荷速度	西山層 : 0.07 N/mm ² /min程度 椎谷層 : 0.10 N/mm ² /min程度
多段階繰返し載荷	波形	正弦波 (0.5 Hz)
	載荷回数	各段階で10回
	載荷荷重	最大軸差応力を段階的に増加



繰返し三軸試験による強度は三軸試験による強度を上回る。

1.3 評価方法

解析用物性値設定

		西山層，椎谷層	断層部 (F系断層，V系断層，L系断層)	マンメイドロック
物理特性	密度	密度試験結果		
静的変形特性	静弾性係数	三軸圧縮試験結果		
	静ポアソン比	三軸圧縮試験結果		
動的変形特性	初期動せん断弾性係数	P S 検層による S 波速度および密度より算定	弾性波速度測定試験結果	
	動せん断弾性係数のひずみ依存性	動的単純せん断試験結果		
	動ポアソン比	P S 検層による P 波速度，S 波速度により算定	弾性波速度測定試験結果	
	減衰定数	動的単純せん断試験結果		
強度特性	ピーク強度	Cu	三軸圧縮試験結果	
		t	圧裂試験結果	-
	残留強度	三軸圧縮試験結果		

1.3 評価方法

解析用物性値（西山層，椎谷層）

		設定に用いた試験結果等	西山層	椎谷層	
物理特性	単位体積重量 (g/cm ³)	密度試験結果	1.69 - 0.00048・Z	1.94 - 0.00044・Z	
静的変形特性	静弾性係数 E_0 (N/mm ²)	三軸圧縮試験結果	502 - 2.29・Z	251 - 3.88・Z	
	静ポアソン比	三軸圧縮試験結果	0.48 + 0.00024・Z	0.46	
動的変形特性	初期動せん断弾性係数 G_0 (N/mm ²)	P S 検層による S 波速度 および密度より算定	394 - 1.63・Z	- 133 - 7.35・Z	
	動せん断弾性係数のひずみ依存性	動的単純せん断試験結果	$1/(1 + 4.10 \cdot 1.37)$	$1/(1 + 5.76 \cdot 0.69)$	
	動ポアソン比 ν_d	P S 検層による P 波速度， S 波速度により算定	0.45 + 0.00015・Z	0.47 + 0.00031・Z	
	減衰定数	動的単純せん断試験結果	$25.0 \cdot 0.94 + 0.7$	$/(0.065 + 0.004) + 0.7$	
強度特性	ピーク強度 (N/mm ²)	C_u	三軸圧縮試験結果	1.37 - 0.00504・Z	0.721 - 0.00773・Z
		t	圧裂試験結果	0.335 - 0.00157・Z	0
	残留強度 C_{ur} (N/mm ²)	三軸圧縮試験結果	0.673 - 0.00201・Z	0.799 - 0.00607・Z	

注：Zは標高(m)を示す。

1.3 評価方法

解析用物性値 (F 系断層)

		設定に用いた試験結果等	粘土部	破砕部
物理特性	単位体積重量 (g/cm ³)	密度試験結果	1.92	1.73
			1.75*	
静的変形特性	静弾性係数 E_0 (N/mm ²)	三軸圧縮試験結果	$62.4 + 80.5 \cdot P$	低圧部 : $48.8 + 923 \cdot P$ 高圧部 : $224 + 131 \cdot P$
	静ポアソン比	三軸圧縮試験結果	0.46	0.46
動的変形特性	初期動せん断弾性係数 G_0 (N/mm ²)	弾性波速度測定結果	337	340
			340*	
	動せん断弾性係数のひずみ依存性	動的単純せん断試験結果	$1/(1 + 7.45 \cdot P^{1.14})$	$1/(1 + 9.79 \cdot P^{1.03})$
			$1/(1 + 9.69 \cdot P^{1.04})$ *	
	動ポアソン比 ν_d	弾性波速度測定結果	0.47	0.42
				0.43*
	減衰定数	動的単純せん断試験結果	$41.0 \cdot P^{0.62}$	$35.0 \cdot P^{0.42}$
				36.0 $P^{0.44}$ *
強度特性	ピーク強度 C_u (N/mm ²)	三軸圧縮試験結果	$0.286 + 0.191 \cdot P$	$0.279 + 0.242 \cdot P$
			粘土部と破砕部の強度の低い方を使用	
	残留強度 C_{ur} (N/mm ²)	三軸圧縮試験結果	$0.219 + 0.251 \cdot P$	$0.278 + 0.181 \cdot P$
				粘土部と破砕部の強度の低い方を使用

注 : Pは地下水位を考慮した圧密圧力(N/mm²)を示す。

* 試掘坑等での観察結果の粘土部, 破砕部の積層構造を想定し, 等価物性を設定

1.3 評価方法

解析用物性値（マンメイドロック）

		設定に用いた試験結果等	原子炉建屋下	コントロール建屋下
物理特性	単位体積重量 (g/cm ³)	密度試験結果	1.75	1.75
静的変形特性	静弾性係数 E_0 (N/mm ²)	三軸圧縮試験結果	1160	1020
	静ポアソン比	三軸圧縮試験結果	0.44	0.45
動的変形特性	初期動せん断弾性係数 G_0 (N/mm ²)	弾性波速度測定結果	2110	1990
	動せん断弾性係数のひずみ依存性	動的単純せん断試験結果	$1/(1+4.30 \cdot 1.00)$	$1/(1+4.30 \cdot 1.00)$
	動ポアソン比 ν_d	弾性波速度測定結果	0.36	0.36
	減衰定数	動的単純せん断試験結果	$19.0 \cdot 0.60$	$19.0 \cdot 0.60$
強度特性	ピーク強度 (N/mm ²)	Cu	三軸圧縮試験結果	1.84 (1.38)
		t	圧裂試験結果	0.666 (0.330)
	残留強度 C_{ur} (N/mm ²)	三軸圧縮試験結果	1.38 (1.04)	1.38 (1.04)

注：強度の括弧内の数字は打継部の強度。

1.3 評価方法

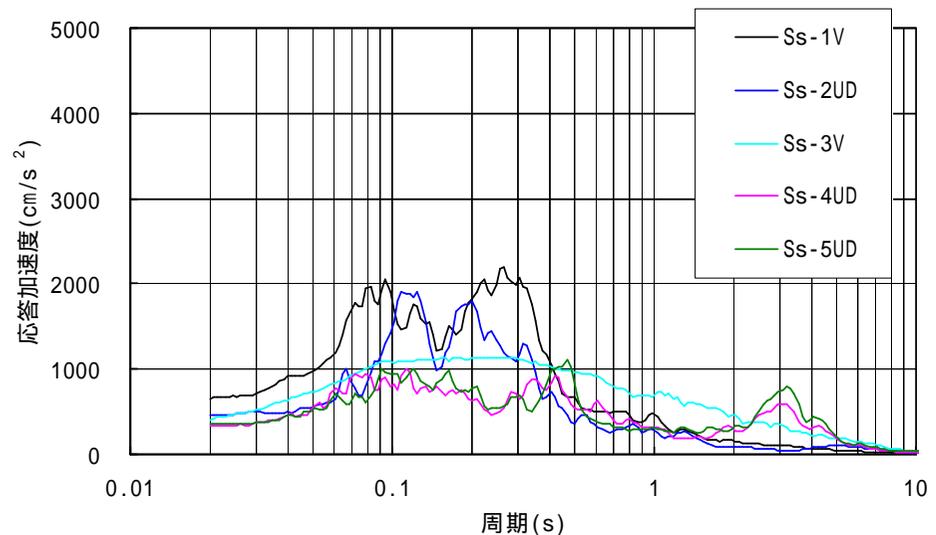
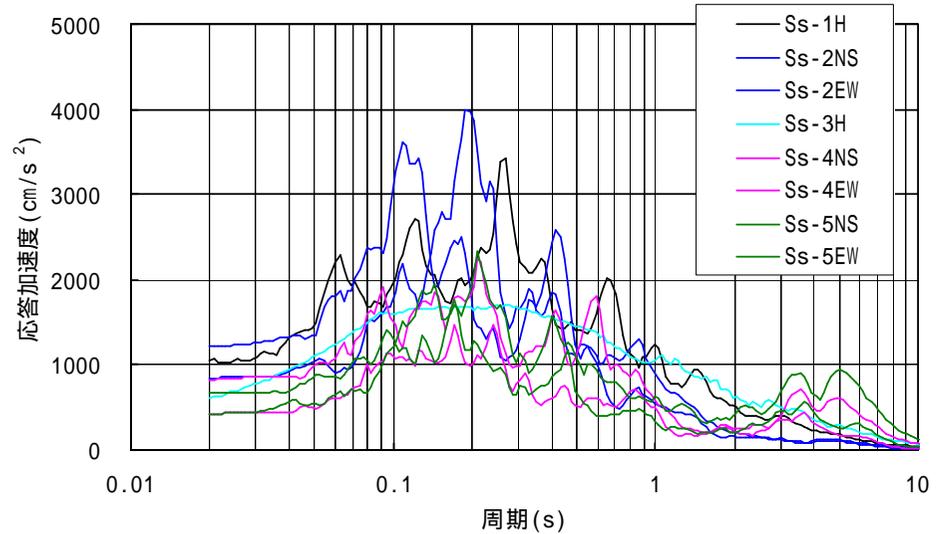
入力地震動

入力地震動は基準地震動 S s を用いる。

解析モデルの下端位置は解放基盤表面(T.M.S.L. - 155m)と同一であるため、解析モデルの下端へ直接基準地震動 S s を入力する。

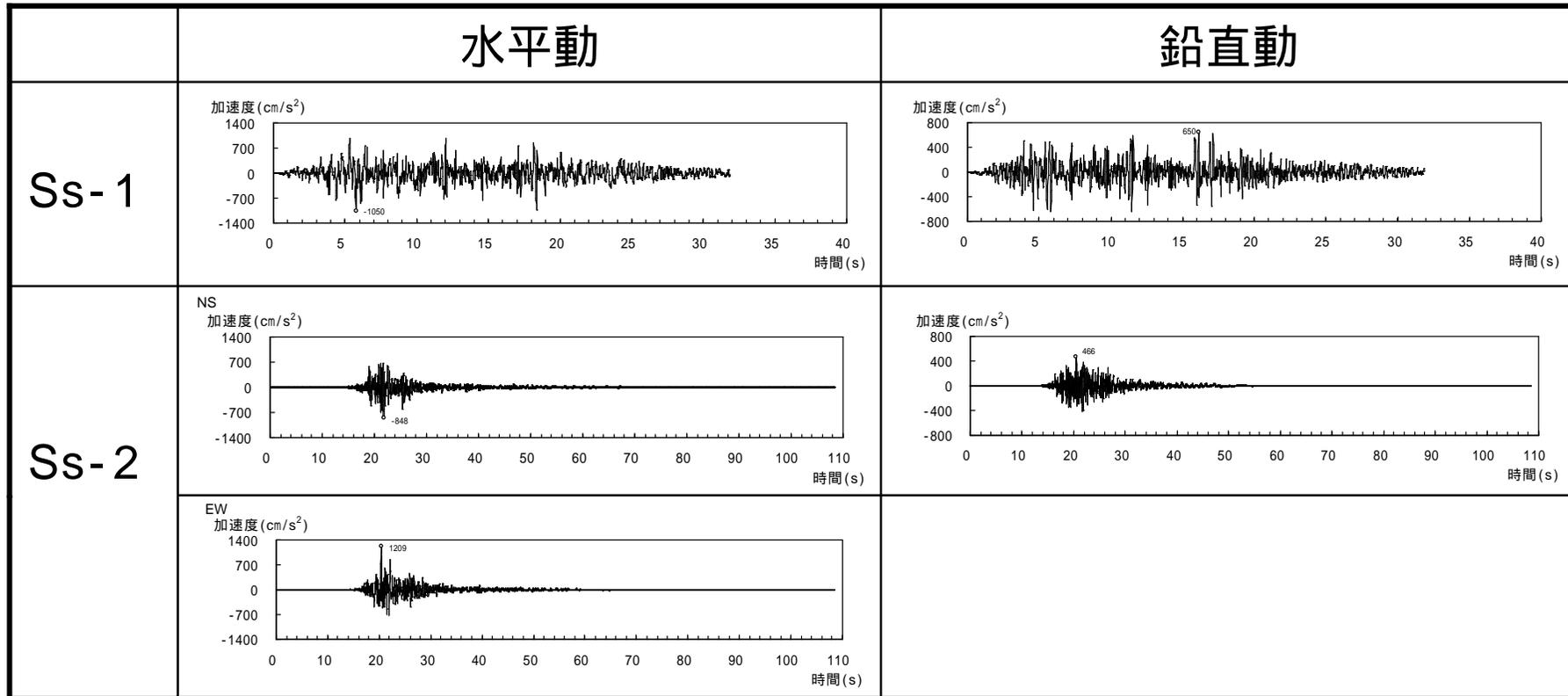
地震動	内容	方向	最大加速度 (gal)
F	Ss-1 応答スペクトルに基づく地震動評価	水平	1050
		鉛直	650
B 断層	Ss-2 断層モデルを用いた手法による地震動評価	水平(NS)	848
		水平(EW)	1209
		鉛直	466
長岡平野西縁断層帯	Ss-3 応答スペクトルに基づく地震動評価	水平	600
		鉛直	400
	Ss-4 断層モデルを用いた手法による地震動評価	水平(NS)	428
		水平(EW)	826
		鉛直	332
	Ss-5 断層モデルを用いた手法による地震動評価	水平(NS)	426
		水平(EW)	664
		鉛直	346

【基準地震動 S s】



1.3 評価方法

入力地震動



1.3 評価方法

	水平動	鉛直動
Ss- 3		
Ss- 4	<p>NS</p>	
	<p>EW</p>	
Ss- 5	<p>NS</p>	
	<p>EW</p>	

1.3 評価方法

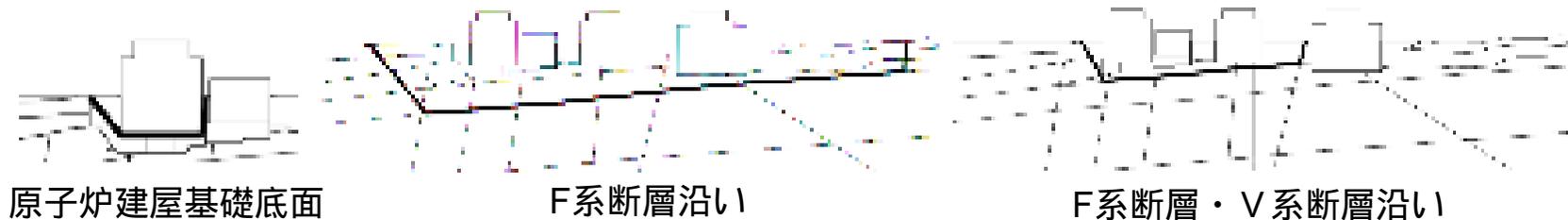
評価内容

【すべり安全率】

想定したすべり線上の応力状態をもとに，すべり線上のせん断抵抗力の和をすべり線上のせん断力の和で除して求める。

(想定すべり線)

原子炉建屋基礎底面沿い，F系断層沿い，V系断層沿いとする。



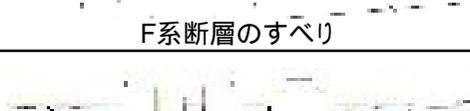
【原子炉建屋基礎底面の傾斜】

基礎底面両端それぞれの鉛直方向の変位の差を基礎底面幅で除す。

1.4 評価結果

すべり安全率（汀線平行方向）

Ss - 3に対する評価においてすべり安全率が最小

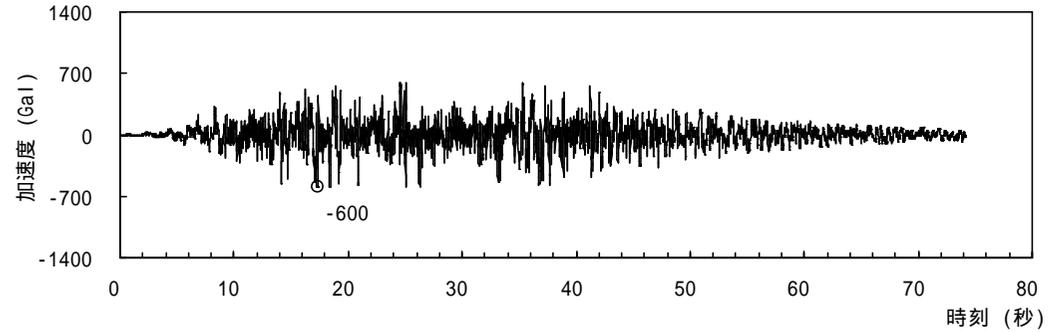
すべり線形状のパターン	Ss - 1	Ss - 2	Ss - 3	Ss - 4	Ss - 5
 原子炉建屋底面のすべり	3.0	4.9	3.5	8.1	7.5
 原子炉建屋底面のすべり	3.5	5.2	3.9	7.5	7.5
 F3断層 + V系断層のすべり	2.0	2.6	1.7	3.7	3.6
 F系断層のすべり	1.8	2.9	1.6	3.3	3.7
 F2断層 + V系断層のすべり	2.3	4.3	2.1	4.5	4.9

評価基準値1.5を上回っている。

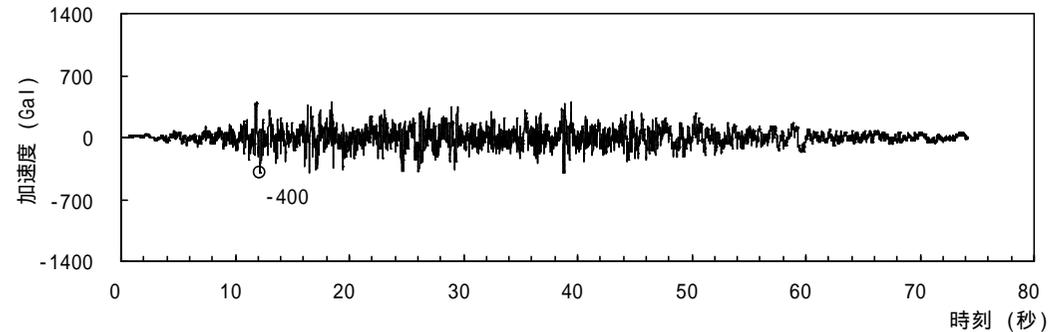
1.4 評価結果

入力地震動Ss-3

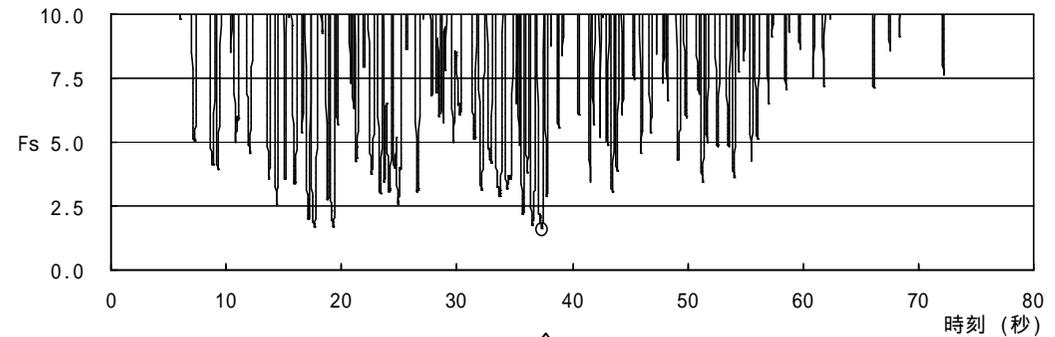
水平動



鉛直動



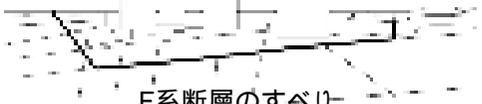
すべり安全率の時刻歴 (汀線平行断面)



↑ 最小すべり安全率1.6
(T=37.36秒)

1.4 評価結果

すべり安全率（汀線平行方向：鉛直地震動反転ケース）

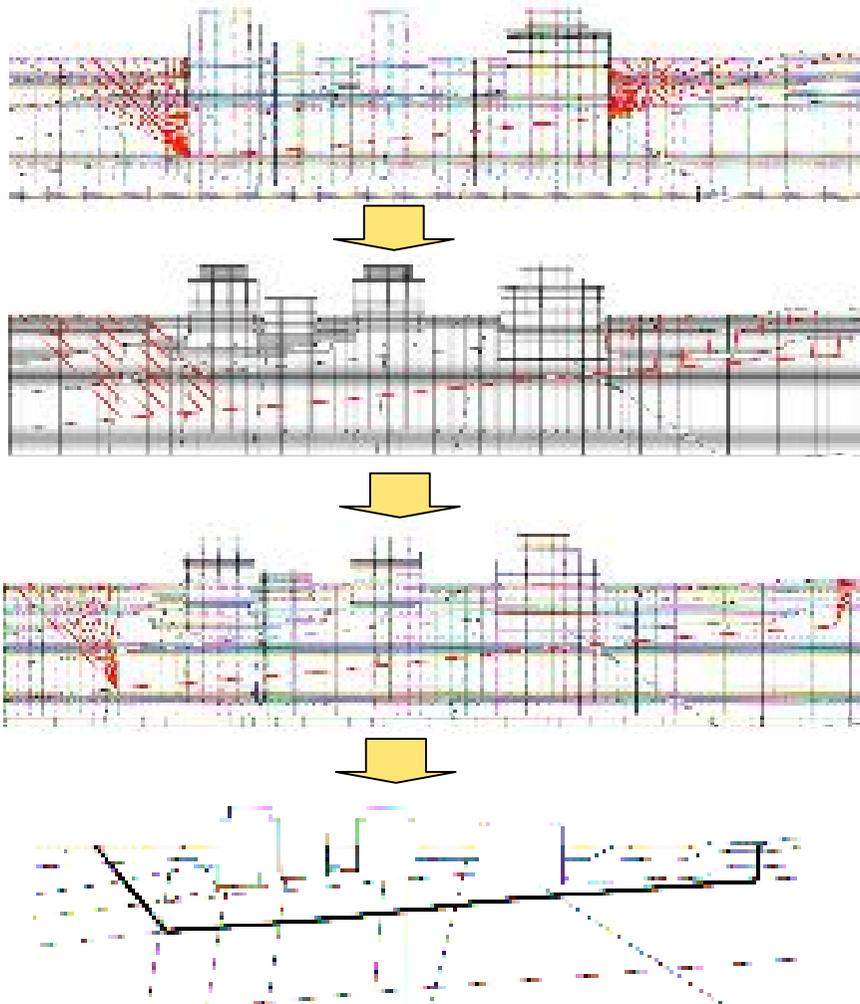
すべり線形状のパターン	S s - 1		S s - 3	
	↑	↓ (反転ケース)	↑	↓ (反転ケース)
 原子炉建屋底面のすべり	3.0	3.0	3.5	3.5
 原子炉建屋底面のすべり	3.5	4.1	3.9	3.6
 F3断層 + V系断層のすべり	2.0	2.0	1.7	1.6
 F系断層のすべり	1.8	1.9	1.6	1.6
 F2断層 + V系断層のすべり	2.3	2.5	2.1	2.2

評価基準値1.5を上回っている。

1.4 評価結果

(参考) すべり線の設定方法の例 (汀線平行方向)

F 2 断層を通るすべり線



断層からの立ち上げる位置は原子炉建屋端部と一致させ、立上角度を5度刻みで検討

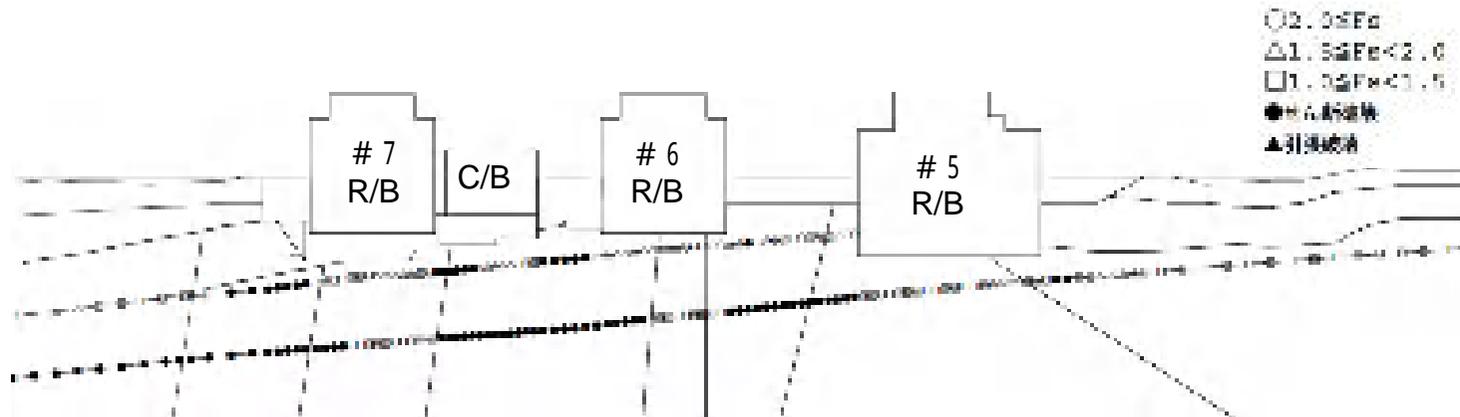
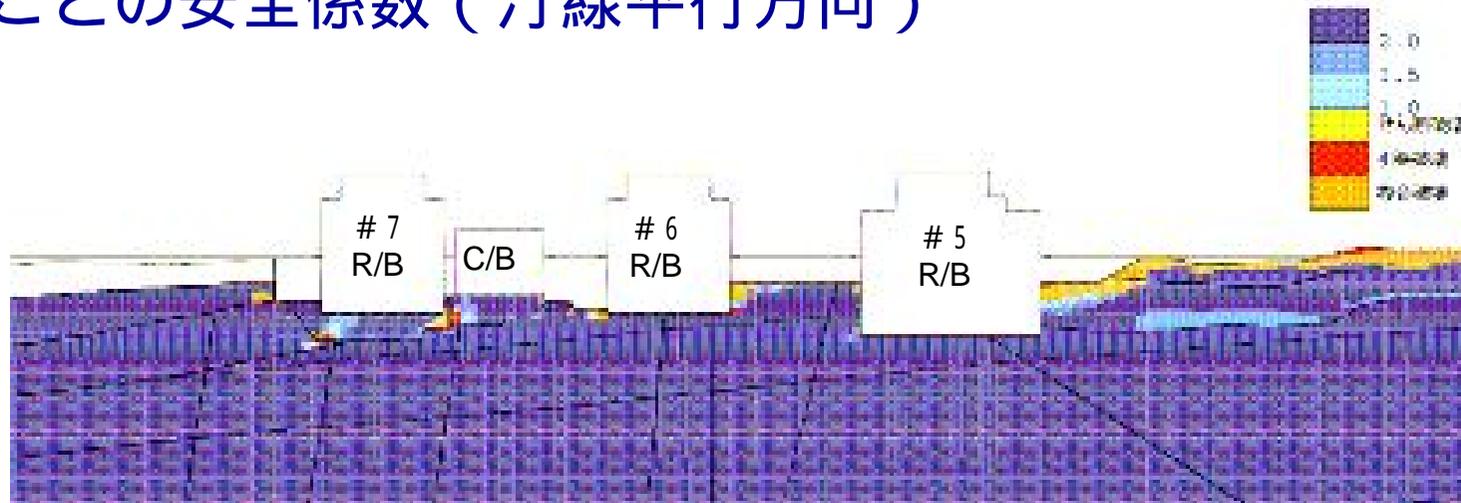
で得られた最小すべり安全率を示した立上角度で、すべり線を水平方向に移動。移動量は建屋幅(B)の1/4ピッチ

で得られた最小すべり安全率を示した立上位置を固定。さらにすべり面を5度刻みで検討

モビライズド面の方向と概ね一致することを確認

1.4 評価結果

要素ごとの安全係数（汀線平行方向）



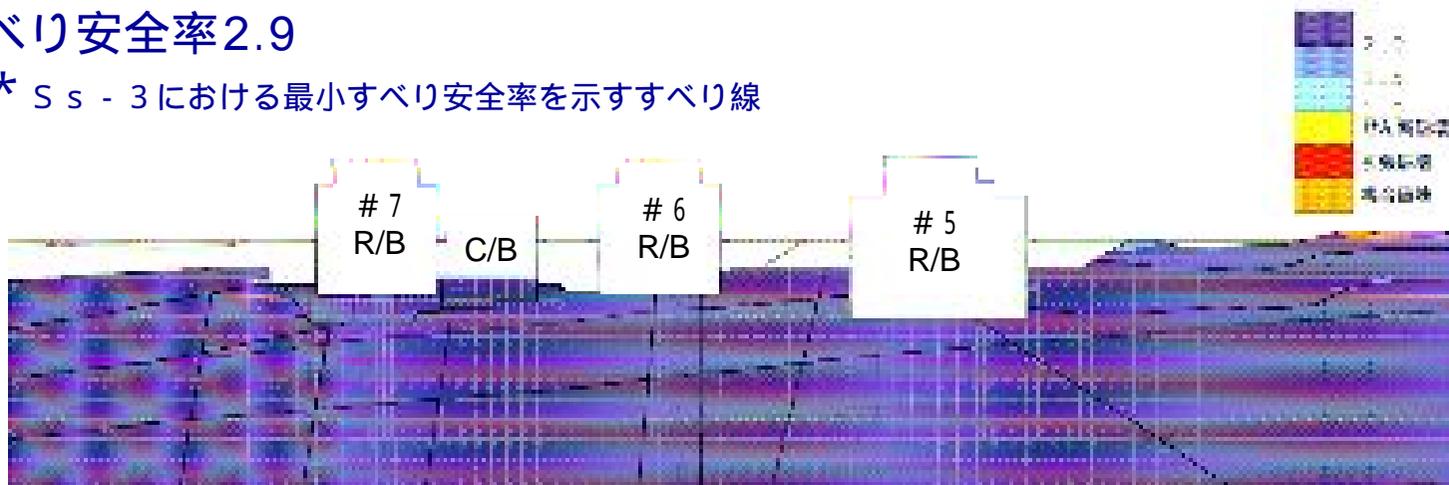
7号機汀線平行断面要素ごとの安全係数[S_s-3 , 最小すべり安全率発生時刻37.36秒]

参考

要素ごとの安全係数（中越沖地震7号機推定地震動）

すべり安全率2.9

* $S_s - 3$ における最小すべり安全率を示すすべり線



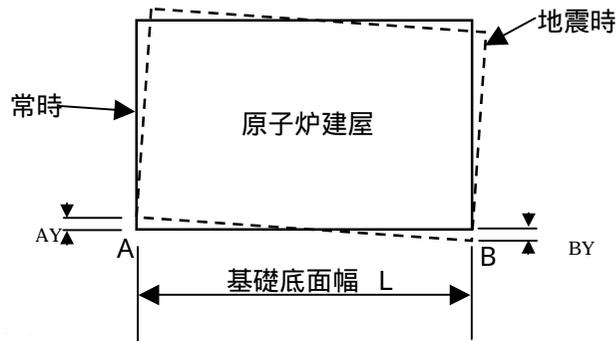
7号機汀線平行断面要素ごとの安全係数[中越沖地震7号機推定地震動, 時刻4.09秒]

1.4 評価結果

原子炉建屋基礎底面の傾斜（汀線平行方向）

S s - 1 に対する評価において基礎底面の傾斜が最大

	S s - 1	S s - 2	S s - 3	S s - 4	S s - 5
原子炉建屋基礎底面両端の鉛直方向の相対変位の最大値 $\max(A_Y - B_Y)$	3.3 cm	1.9 cm	2.8 cm	1.2 cm	1.4 cm
原子炉建屋基礎底面の傾斜の最大値 $\max(A_Y - B_Y / L)$	1/1,700	1/2,900	1/2,000	1/4,500	1/4,100



安全上重要な機器・配管系の安全機能に支障を与えるものではない。

* 1/1,000までの建屋傾斜は機器に対して影響ないことを確認済
(運営管理・設備健全性評価WG設備健全性評価SWG(第6回)において報告)

1.4 評価結果

すべり安全率（汀線直交方向）

S_s - 1に対する評価においてすべり安全率が最小

すべり線形状のパターン	S _s - 1	S _s - 2	S _s - 3	S _s - 4	S _s - 5
 建屋底面のすべり	2.7	3.2	4.0	4.6	4.3
 F系断層のすべり	2.0	2.6	2.2	2.9	2.6
 F3断層 + V系断層のすべり	2.4	3.3	2.5	3.5	3.0
 F系断層のすべり	3.8	4.5	3.3	4.8	3.9
 F2断層 + V系断層のすべり	3.8	4.7	3.2	5.1	4.1

評価基準値1.5を上回っている。

1.4 評価結果

すべり安全率（汀線直交方向：鉛直地震動反転ケース）

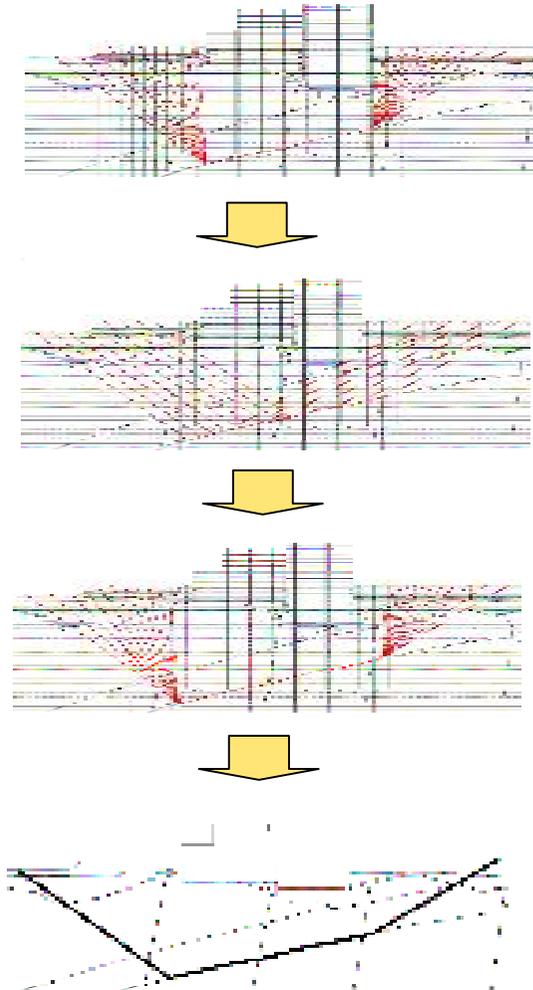
すべり線形状のパターン	S s - 1		S s - 3	
	↑	↓ (反転ケース)	↑	↓ (反転ケース)
 建屋底面のすべり	2.7	3.7	4.0	3.8
 F系断層のすべり	2.0	2.5	2.2	2.0
 F3断層 + V系断層のすべり	2.4	2.8	2.5	2.3
 F系断層のすべり	3.8	3.8	3.3	3.1
 F2断層 + V系断層のすべり	3.8	3.9	3.2	3.0

評価基準値1.5を上回っている。

1.4 評価結果

(参考) すべり線の設定方法の例 (汀線直交方向)

F 2 断層を通るすべり線



断層からの立ち上げる位置は原子炉建屋端部と一致させ、立上角度を5度刻みで検討

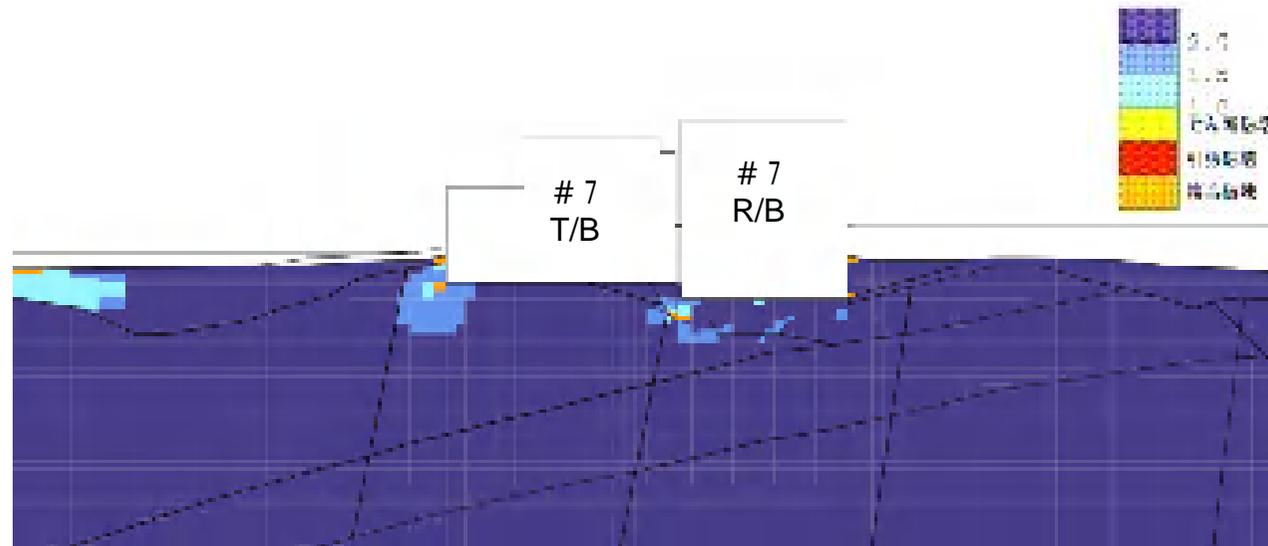
で得られた最小すべり安全率を示した立上角度で、すべり線を水平方向に移動。移動量は建屋幅 (B) の1 / 4 ピッチ

で得られた最小すべり安全率を示した立上位置を固定。さらにすべり線を5度刻みで検討

モビライズド面の方向と概ね一致することを確認

1.4 評価結果

要素ごとの安全係数（汀線直交方向）



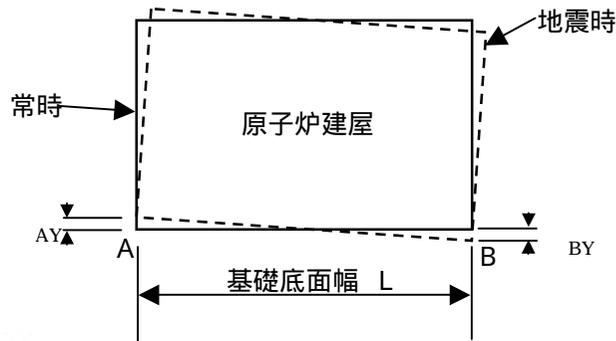
7号機汀線直交断面要素ごとの安全係数[Ss-1, 最小すべり安全率発生時刻4.72秒]

1.4 評価結果

原子炉建屋基礎底面の傾斜（汀線直交方向）

S s - 1 に対する評価において基礎底面の傾斜が最大

	S s - 1	S s - 2	S s - 3	S s - 4	S s - 5
原子炉建屋基礎底面両端の鉛直方向の相対変位の最大値 $\max(A_Y - B_Y)$	2.4 cm	2.2 cm	1.9 cm	1.8 cm	1.7 cm
原子炉建屋基礎底面の傾斜の最大値 $\max(A_Y - B_Y / L)$	1/2,500	1/2,700	1/3,000	1/3,200	1/3,500



安全上重要な機器・配管系の安全機能に支障を与えるものではない。

* 1/1000までの建屋傾斜は機器に対して影響ないことを確認済
(運営管理・設備健全性評価WG設備健全性評価SWG(第6回)において報告)

(参考) 地震時の原子炉建屋の支持力

Ss-1		NS	EW	反力分布図 ()内は下向き地震時
鉛直力 N (kN)	上向き	1,507,927		[NS方向] 56.6m 2019.0 kN/m ² (1702.9 kN/m ²)
	下向き	2,402,293		
転倒モーメント M (×10 ⁵ kN・m)		300.77	313.42	[EW方向] 59.6m
最大接地圧 (kN/m ²)	上向き	2019.0	1970.2	1970.2 kN/m ² (1689.0 kN/m ²)
	下向き	1702.9	1689.0	

: 地盤の支持力試験の最大荷重 6178 kN/m²

Ss-2		NS	EW	反力分布図 ()内は下向き地震時
鉛直力 N (kN)	上向き	1,722,026		[NS方向] 56.6m 1394.6 kN/m ² (1448.4 kN/m ²)
	下向き	2,188,194		
転倒モーメント M (×10 ⁵ kN・m)		249.48	330.26	[EW方向] 59.6m
最大接地圧 (kN/m ²)	上向き	1394.6	1909.6	1909.6 kN/m ² (1752.4 kN/m ²)
	下向き	1448.4	1752.4	

: 地盤の支持力試験の最大荷重 6178 kN/m²

Ss-3		NS	EW	反力分布図 ()内は下向き地震時
鉛直力 N (kN)	上向き	1,567,590		[NS方向] 56.6m 1392.6 kN/m ² (1473.1 kN/m ²)
	下向き	2,342,630		
転倒モーメント M (×10 ⁵ kN・m)		246.24	254.68	[EW方向] 59.6m
最大接地圧 (kN/m ²)	上向き	1392.6	1362.3	1362.3 kN/m ² (1457.7 kN/m ²)
	下向き	1473.1	1457.7	

: 地盤の支持力試験の最大荷重 6178 kN/m²

Ss-4		NS	EW	反力分布図 ()内は下向き地震時
鉛直力 N (kN)	上向き	1,743,914		[NS方向] 56.6m 1040.6 kN/m ² (1165.8 kN/m ²)
	下向き	2,166,306		
転倒モーメント M (×10 ⁵ kN・m)		166.61	225.45	[EW方向] 59.6m
最大接地圧 (kN/m ²)	上向き	1040.6	1217.5	1217.5 kN/m ² (1315.8 kN/m ²)
	下向き	1165.8	1315.8	

: 地盤の支持力試験の最大荷重 6178 kN/m²

Ss-5		NS	EW	反力分布図 ()内は下向き地震時
鉛直力 N (kN)	上向き	1,729,910		[NS方向] 56.6m 1032.7 kN/m ² (1166.2 kN/m ²)
	下向き	2,180,310		
転倒モーメント M (×10 ⁵ kN・m)		165.44	259.48	[EW方向] 59.6m
最大接地圧 (kN/m ²)	上向き	1032.7	1376.7	1376.7 kN/m ² (1434.8 kN/m ²)
	下向き	1166.2	1434.8	

: 地盤の支持力試験の最大荷重 6178 kN/m²

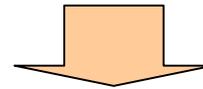
最大接地圧 (Ss-1 : 2019kN/m²)は、
支持力試験結果 (6178kN/m²)を十分下回っている。

『「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書 東京電力株式会社 (平成20年11月4日)』より

1.5 まとめ

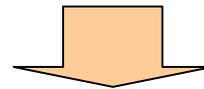
【評価方針】地震時の支持性能について、下記により評価

- (1) 想定すべり線におけるすべり安全率
- (2) 原子炉建屋基礎底面の傾斜



【評価結果】

- (1) 想定すべり線における安全率
評価基準値1.5を上回っている。
- (2) 原子炉建屋基礎底面の傾斜
安全上重要な機器・配管系の安全機能に支障を与えない。



原子炉建屋基礎地盤が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な支持性能をもつことを確認した。

1 . 原子炉建屋基礎地盤の安定性評価

1.1 評価方針

1.2 地質概要

1.3 評価方法

1.4 評価結果

1.5 まとめ

2 . 奥行き方向の側面抵抗効果を考慮した検討

3 . その他コメント回答

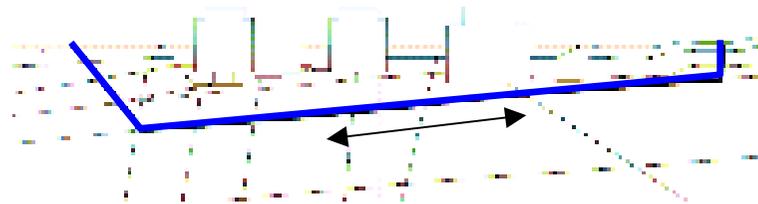
3.1 マンメイドロックの物性について

3.2 西山層泥岩強度の寸法効果について

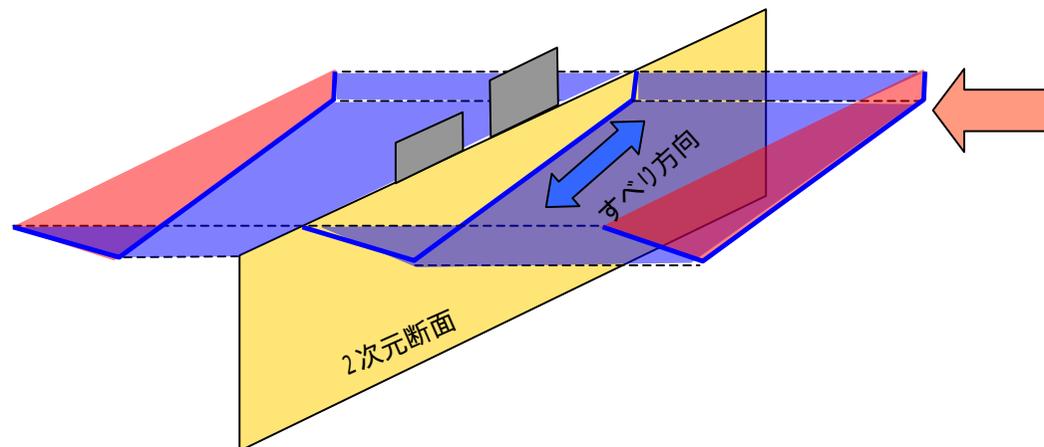
3.3 不規則波を用いた動的試験について

2.1 検討目的

原子力炉建屋基礎地盤の安定性評価は，平面ひずみを仮定してることから，F-2断層を通る想定すべり面について奥行き方向の側面抵抗効果を考慮した解析的検討を行った。

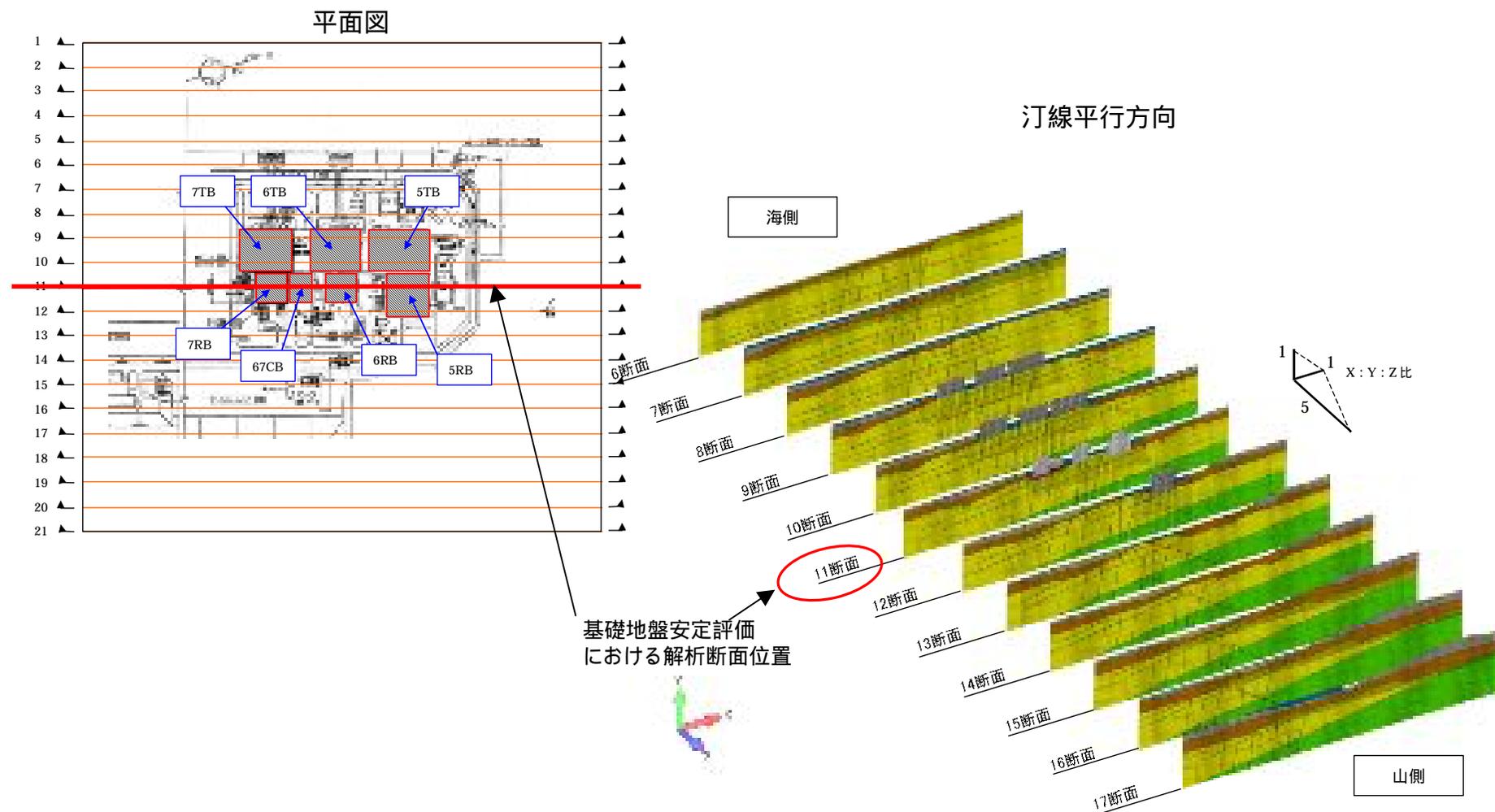


基礎地盤安定性評価ではすべり線に沿った抵抗力しか考えない



実際は平面奥行き方向の側面もすべり抵抗として作用する

2.2 解析断面位置



一定間隔で二次元断面を作成し、それぞれ解析(常時及び地震時増分)を実施し、地震時応力を算定

2.3 検討条件

検討用地震動

2次元解析で安全率が比較的小さい結果となったSs - 1 , Ss - 3 を検討用地震動とした。

解析用地盤物性値

2次元解析に準じる

すべり安全率の計算方法

$$F_s(t) = \frac{\sum_{i=1}^n R_i(t)}{\sum_{i=1}^n \tau_i(t)}$$

$F_s(t)$ 全体の安全率

$R_i(t)$ i断面における抵抗力

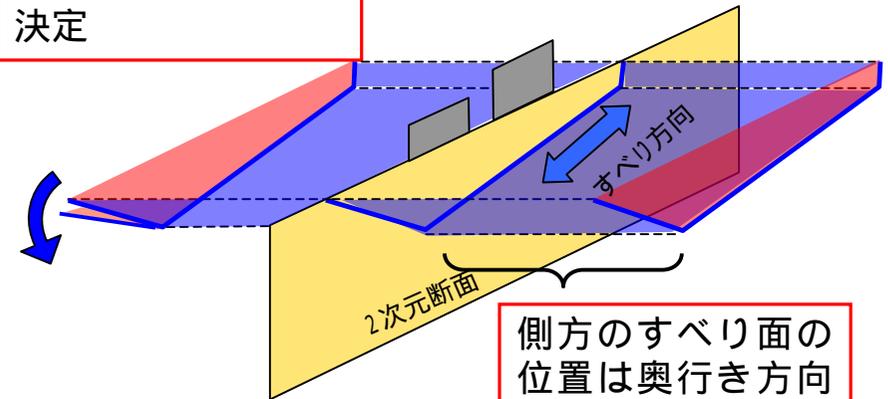
$\tau_i(t)$ i断面における滑動力

検討条件

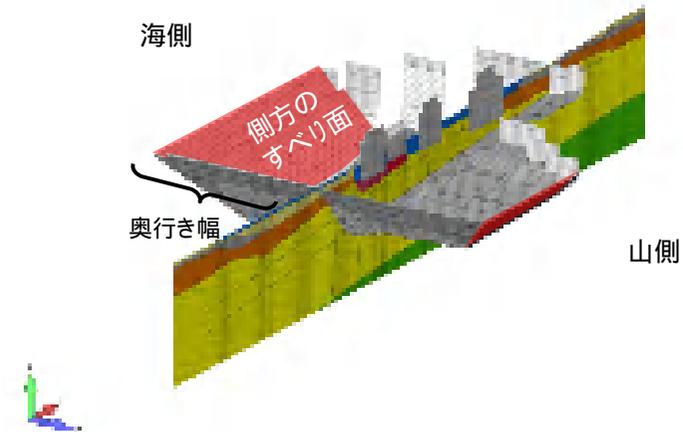
検討ケース

汀線平行方向，直交方向
側面の位置：0 B，1 B，2 B，2.5 B
（B：原子炉建屋幅）
側面立上角度：22.5，45，67.5度

側方のすべり面の傾きは立上角度をパラメータとして決定



側方のすべり面の位置は奥行き方向の幅をパラメータ



設定したすべり面の例
(奥行き幅2.5 B，立上げ角67.5度)

2.4 検討結果の例

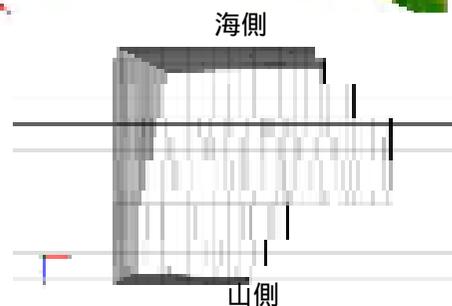
Ss - 1において最小すべり安全率が発生するケース(汀線平行方向)

奥行き幅2.5B, 立上げ角67.5度

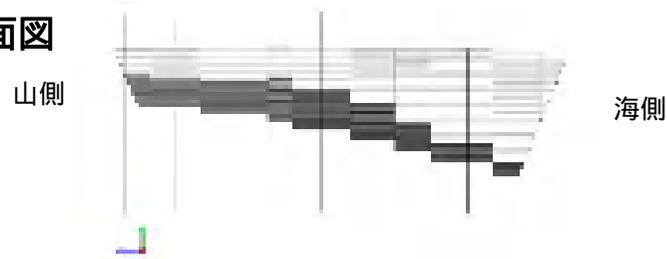
鳥瞰図



平面図



断面図

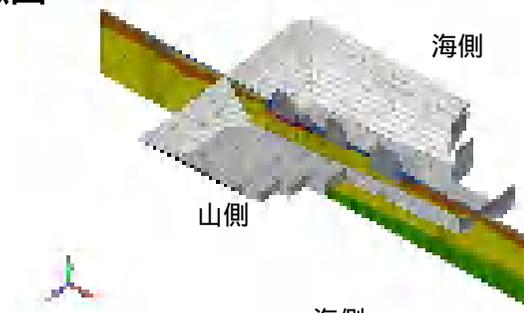


すべり安全率 3.4

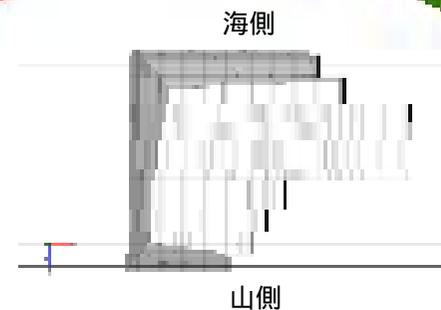
Ss - 3において最小すべり安全率が発生するケース(汀線平行方向)

奥行き幅2.5B, 立上げ角45度

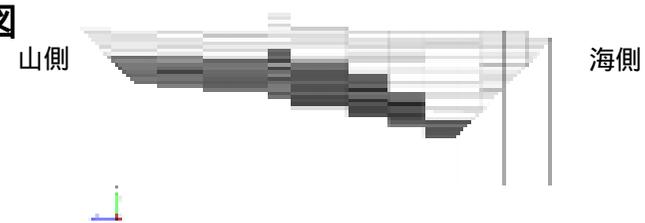
鳥瞰図



平面図



断面図



すべり安全率 3.3

2.5 検討結果とまとめ

汀線平行方向加震すべり安全率一覧

奥行き 立上位置 立上角度	0.0B (建屋側面)	1.0B	2.0B	2.5B
33 度	3.9 3.4	-	-	-
45 度	3.8 3.4	3.7 3.4	-	3.4 3.3
67.5 度	4.0 3.4	3.6 3.4	3.5 3.5	3.4 3.6

汀線直交方向加震すべり安全率一覧

奥行き 立上位置 立上角度	0.0B (建屋側面)	1.0B	2.0B	2.5B
22.5 度	3.8 3.8	3.9 3.7	4.0 3.6	4.1 3.6
45 度	3.6 3.5	3.7 3.6	3.9 3.5	3.9 3.5
67.5 度	3.8 3.6	3.8 3.6	3.9 3.6	3.9 3.5

注)上段:Ss-1、下段:Ss-3 赤丸は検討ケースにおける最小すべり安全率

奥行き方向の側面抵抗効果を考慮した場合，すべり安全率は3程度となる。

-
- 1 . 原子炉建屋基礎地盤の安定性評価
 - 1.1 評価方針
 - 1.2 地質概要
 - 1.3 評価方法
 - 1.4 評価結果
 - 1.5 まとめ
 - 2 . 奥行き方向の側面抵抗効果を考慮した検討
 - 3 . その他コメント回答
 - 3.1 マンメイドロックの物性について
 - 3.2 西山層泥岩強度の寸法効果について
 - 3.3 不規則波を用いた動的試験について

3.1 マンメイドロックの物性について

コメント

マンメイドロックの地震後の物性について調べること。
(平成19年10月29日, 30日, 11月15日, 20日現地調査)

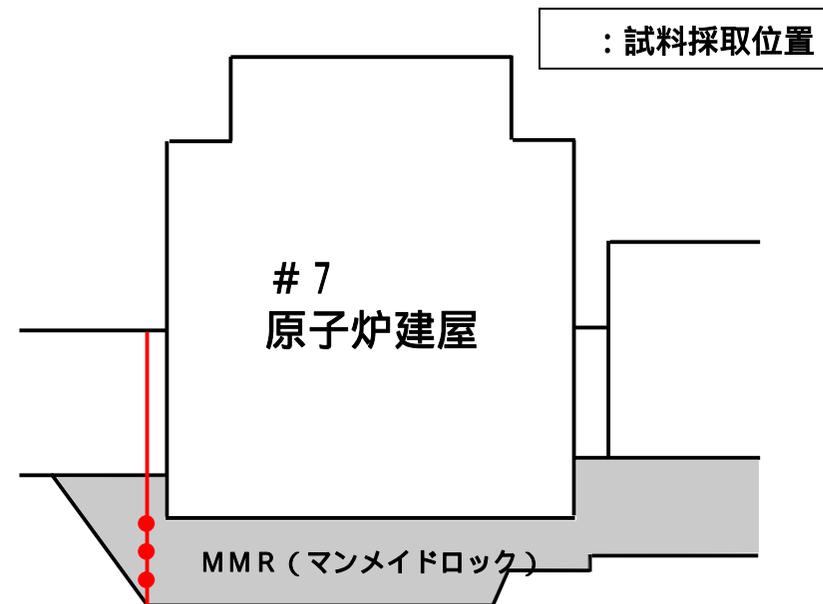
回答

マンメイドロックを対象に中越沖地震後に調査ボーリングを行ない, 既往データと比較した。その結果, 地震の影響は特に認められない。

3.1.1 MMRサンプリング位置図



平面図



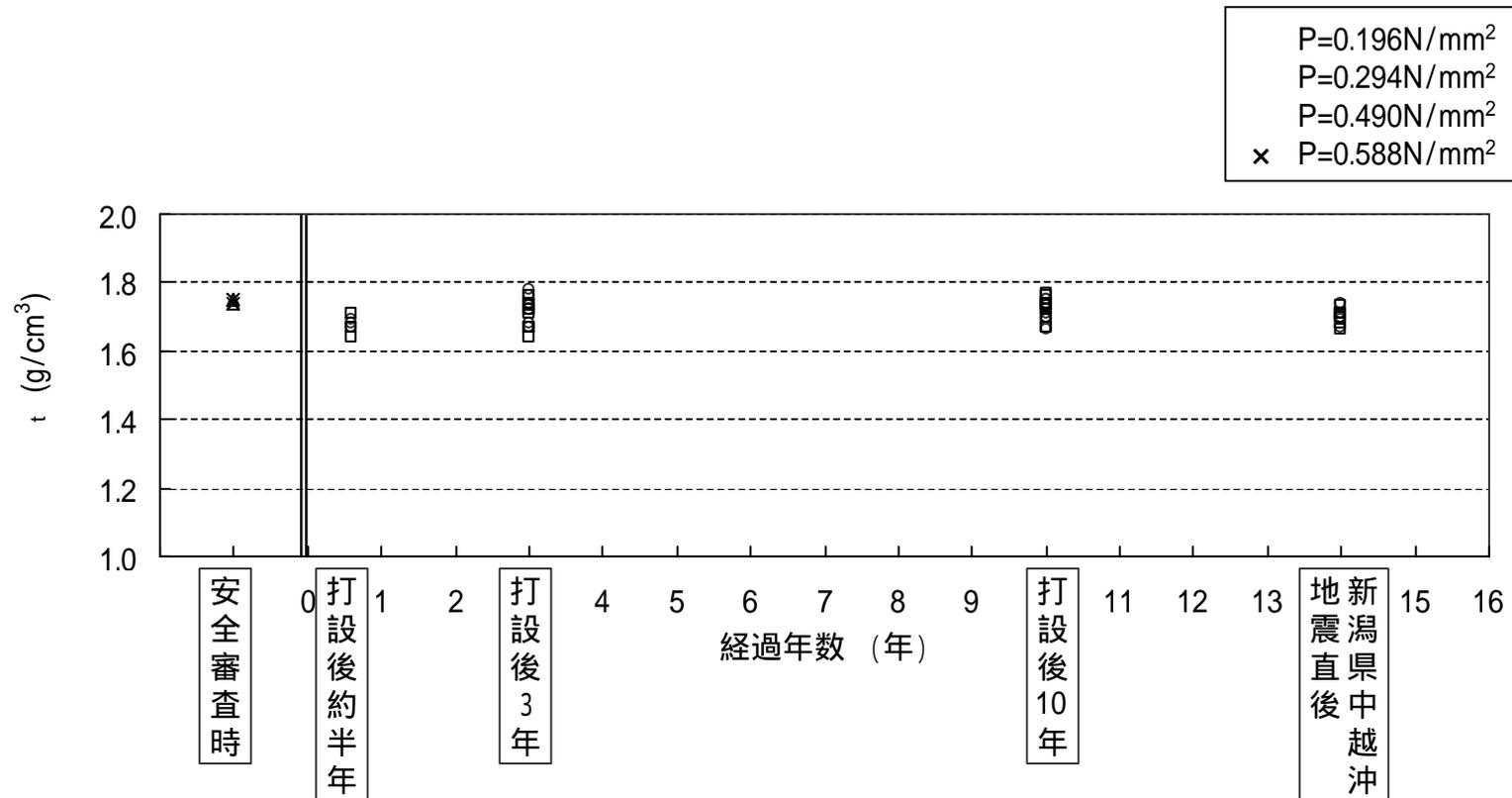
A-A'断面図

3.1.2 MMRの室内試験の仕様

調査項目	調査方法	供試体の大きさ	調査数量
物理試験	三軸圧縮試験供試体の湿潤密度を測定。	-	12 供試体
三軸圧縮試験 (CU条件)	JGS 2532-2002「軟岩の圧密非排水(CU)三軸圧縮試験方法」に準拠。ひずみ制御で載荷速度は0.01%/min。	直径約5cm ×高さ約10cm	12 供試体
三軸超音波速度測定	JGS 1220-1998「パルス透過法による岩石の超音波速度測定方法」を参考。圧密後に拘束圧下で実施。	直径約5cm ×高さ約5cm	3 供試体

3.1.3 密度の経時変化

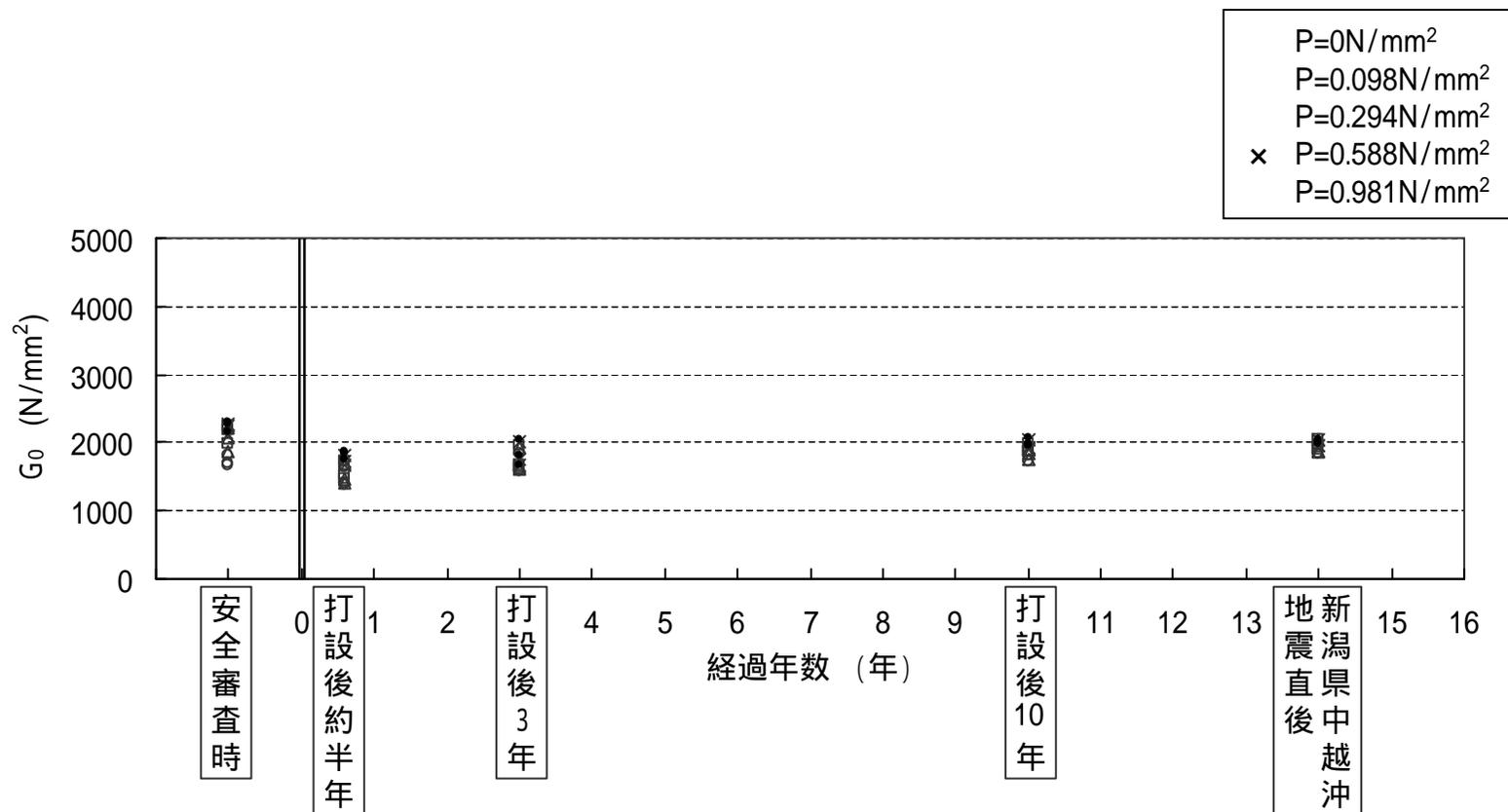
供試体 : 三軸圧縮試験 (CU条件)



3.1.4 せん断弾性係数の経時変化

試験方法：拘束圧下でのパルス透過法による超音波速度測定

拘束圧：5種類（0.0N/mm²、0.098N/mm²、0.294N/mm²、0.588N/mm²、0.981N/mm²）



3.1.5 せん断強度の経時変化

試験条件：三軸圧縮試験（CU条件）

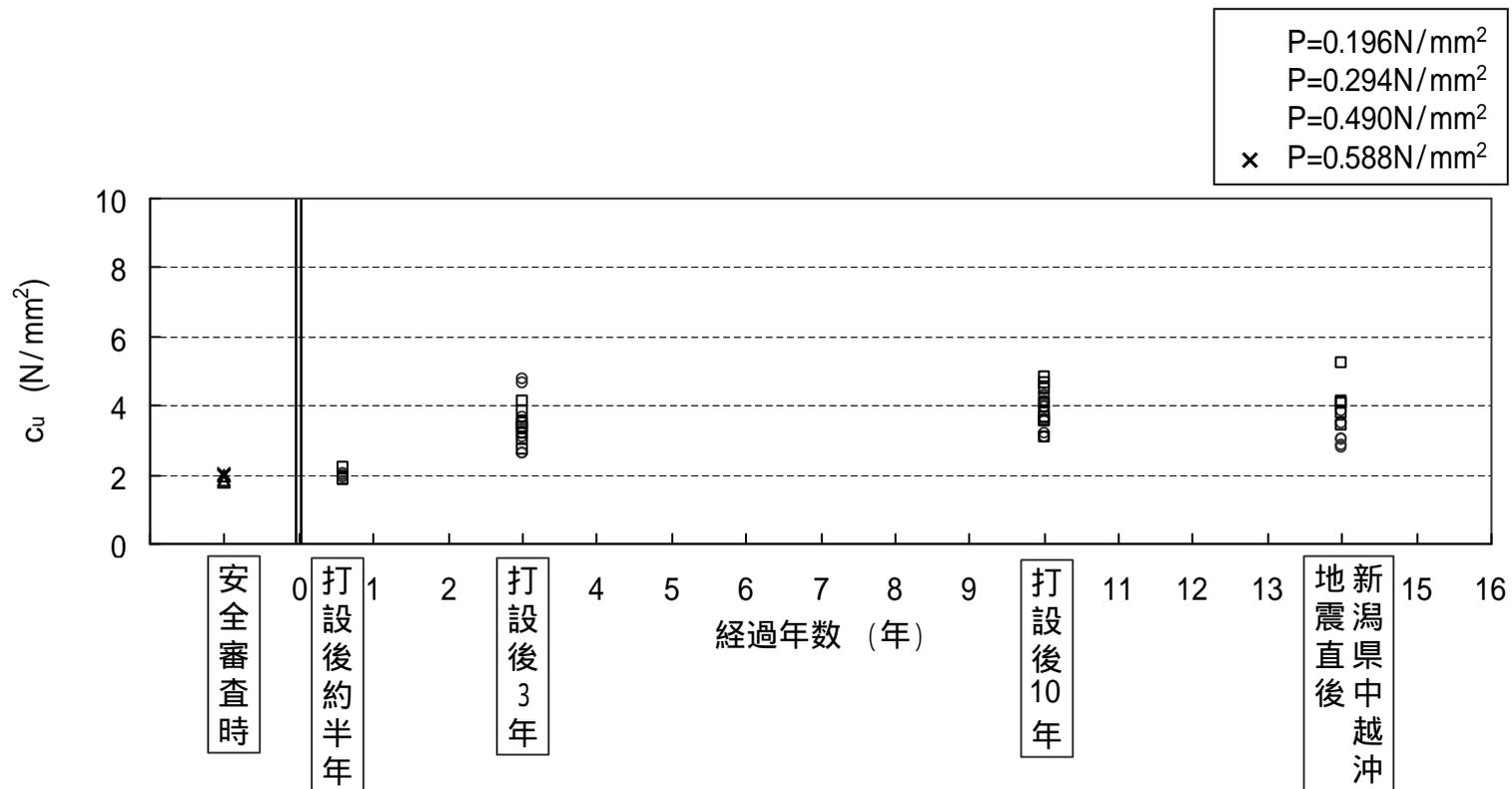
供試体寸法：直径約50mm × 高さ約100mm

軸ひずみ速度：毎分0.01%

圧密圧力：

安全審査時；2種類（0.294N/mm²、0.588N/mm²）

打設後；2種類（0.196N/mm²、0.490N/mm²）



3.1.6 基礎地盤安定性への影響検討

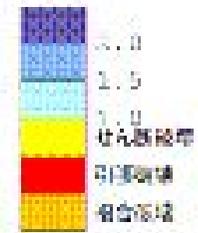
MMRの物性については審査時に比較して強度が若干増加するなど変化が認められる。そこで、物性変化が概ね収束したとみられる打設後3年以降のデータに基づいて基礎地盤安定解析に対する影響検討を行った。

	原子炉建屋底面を通る想定すべり線の最小すべり安全率				断層を通る想定すべり線の最小すべり安全率			
	汀線平行断面		汀線直交断面		汀線平行断面		汀線直交断面	
	Ss-1	Ss-3	Ss-1	Ss-3	Ss-1	Ss-3	Ss-1	Ss-3
基本ケース	3.0	3.5	2.7	4.0	1.8	1.6	2.0	2.2
MMR新物性ケース	4.7	5.5	3.3	4.9	1.8	1.6	2.0	2.2
想定すべり線								

原子炉建屋底面では安全率が増加し、断層を通るすべり線の安全率は変わらないことから基礎地盤安定性への影響はわずかである。

3.1.7 基礎地盤安定性への影響検討結果(要素ごとの安全係数)

	汀線平行断面 〔 Ss-3 37.36秒 〕	汀線直行断面 〔 Ss-1 4.72秒 〕
基本ケース		
MMR 新物性 ケース		



-
- 1 . 原子炉建屋基礎地盤の安定性評価
 - 1.1 評価方針
 - 1.2 地質概要
 - 1.3 評価方法
 - 1.4 評価結果
 - 1.5 まとめ
 - 2 . 奥行き方向の側面抵抗効果を考慮した検討
 - 3 . その他コメント回答
 - 3.1 マンメイドロックの物性について
 - 3.2 西山層泥岩強度の寸法効果について
 - 3.3 不規則波を用いた動的試験について

3.2 西山層泥岩強度の寸法効果について

コメント

断層の立坑調査終了後、立坑底盤でサンプリングを行い、供試体の直径50mm(標準寸法)、100mm、300mmの強度 - 変形試験(少なくとも一軸圧縮試験、可能ならば三軸試験)を実施し、寸法効果の有無を判定するデータを調査すること。

(平成20年1月25日現地調査)

回答

断層の立坑調査終了後、立坑底盤でサンプリングを行い、供試体の直径50mm(標準寸法)、100mm、300mmの三軸試験を実施した。湿潤密度がほぼ等しい供試体を用いた試験結果において、供試体直径と強度の間に明瞭な関係は認められないことから、寸法効果は小さいと考えられる。

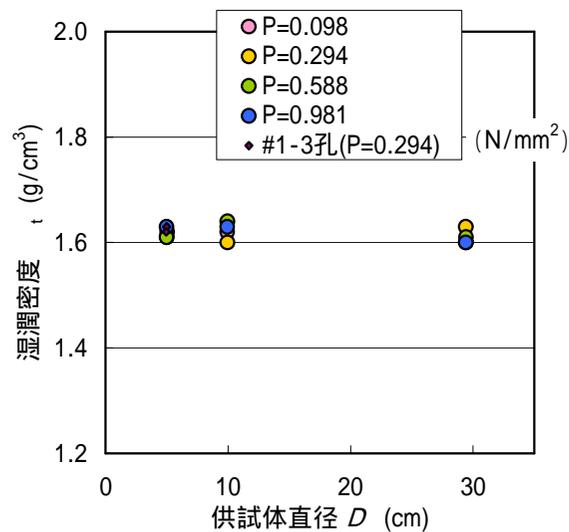
3.2.1 供試体寸法と三軸圧縮試験結果

資料採取位置： 立坑底盤

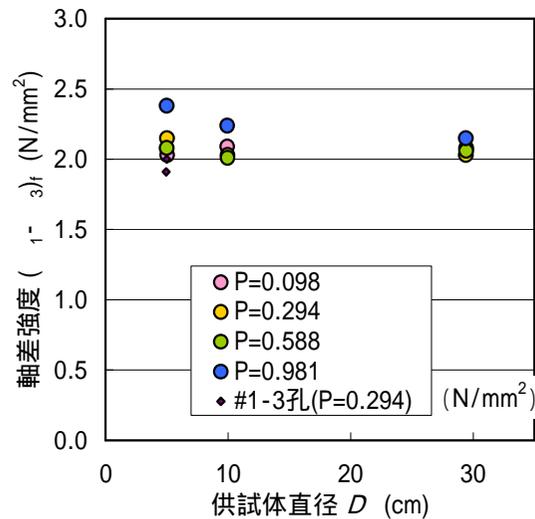
試験条件：三軸圧縮試験（CU条件）

圧密圧力：4種類（0.098N/mm²、0.294N/mm²、0.588N/mm²、0.981N/mm²）

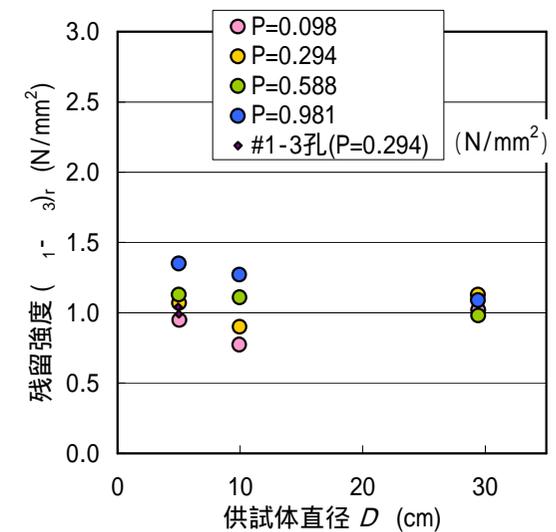
供試体直径：3種類（50mm、100mm、300mm）



(1) 湿潤密度



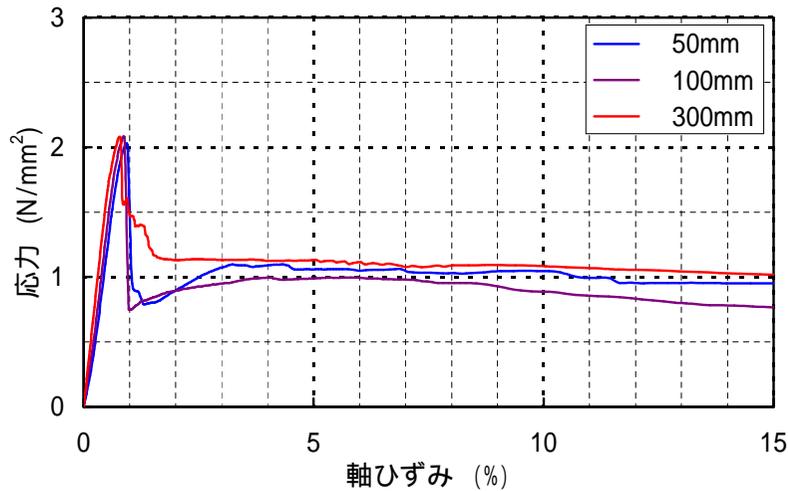
(2) 軸差強度



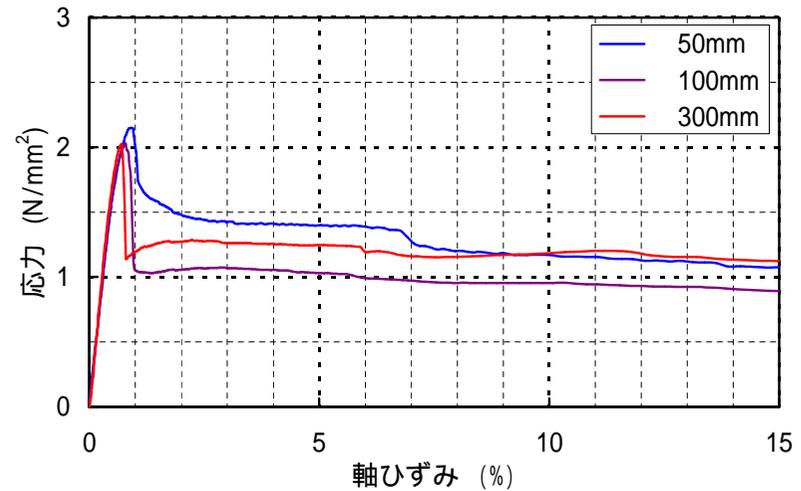
(3) 残留強度

湿潤密度がほぼ等しい供試体を用いた試験結果において、供試体直径と強度の間に明瞭な関係は認められないことから、寸法効果は小さいと考えられる。

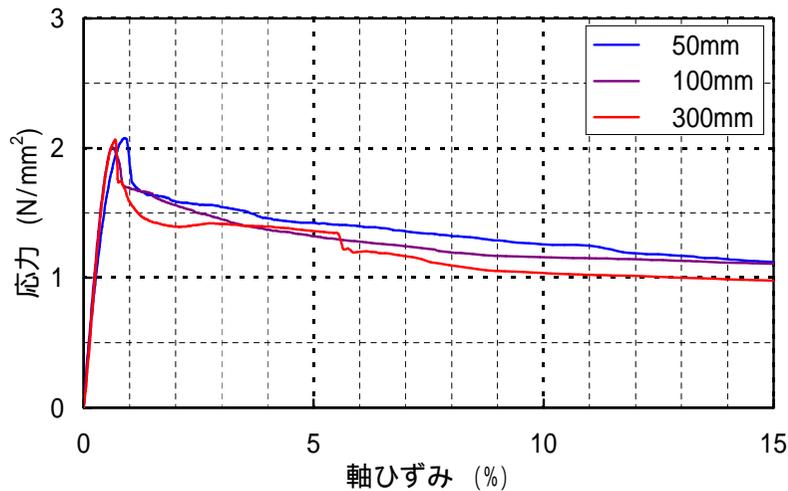
(参考) 応力 - ひずみ関係



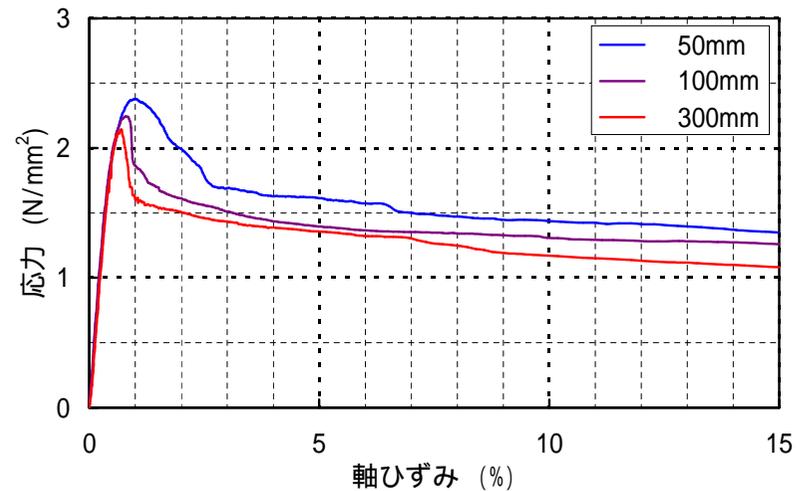
(1) 圧密圧力 0.098N/mm²



(2) 圧密圧力 0.294N/mm²



(3) 圧密圧力 0.588N/mm²



(4) 圧密圧力 0.981N/mm²

-
- 1 . 原子炉建屋基礎地盤の安定性評価
 - 1.1 評価方針
 - 1.2 地質概要
 - 1.3 評価方法
 - 1.4 評価結果
 - 1.5 まとめ
 - 2 . 奥行き方向の側面抵抗効果を考慮した検討
 - 3 . その他コメント回答
 - 3.1 マンメイドロックの物性について
 - 3.2 西山層泥岩強度の寸法効果について
 - 3.3 不規則波を用いた動的試験について

3.3 不規則波を用いた動的試験について

コメント

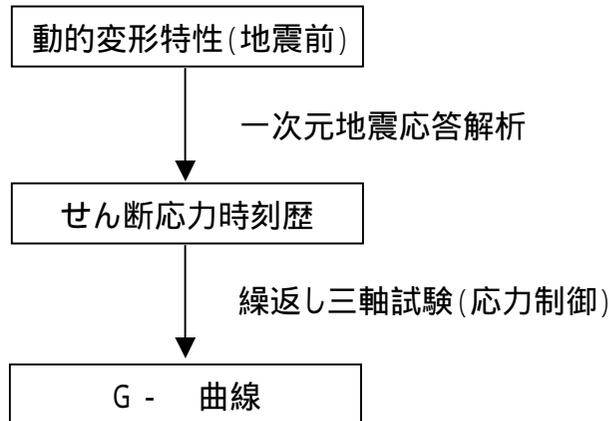
1号機基礎ベースマット上で確認された地震波，あるいはサービスホール下方地盤で観測された地震動を用いて，岩石コアの動的試験を実施すること。
(平成20年1月25日現地調査)

回答

1号機推定地震動を用いて，一次元地震応答解析により深度方向のせん断応力時刻歴を求め，これをもとに岩石コアの繰り返し三軸試験を実施した。その結果，岩石コアの応力 - ひずみ関係は概ね線形である。

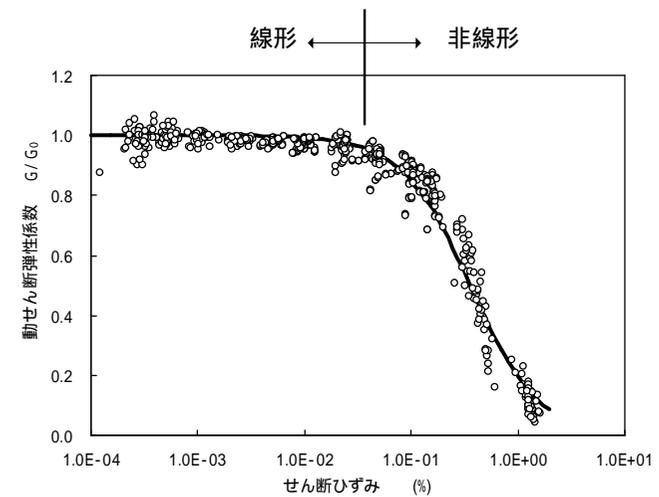
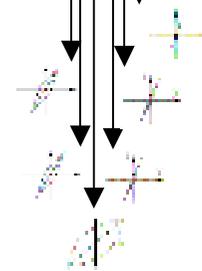
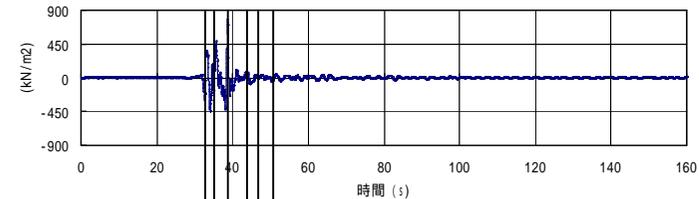
3.3.1 一次元地震応答解析によるせん断応力時刻歴を用いた繰返し三軸試験

繰返し三軸試験のフローチャートおよび試験条件



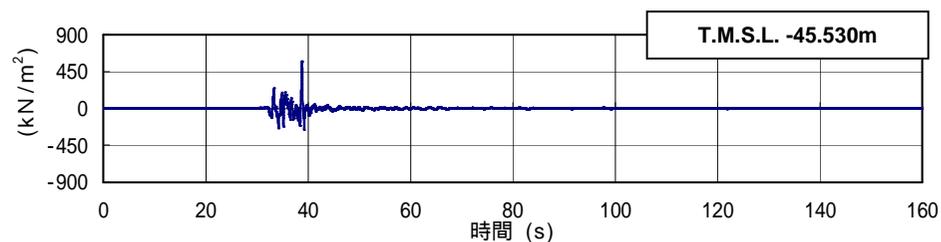
(着眼点) 非線形領域に達していないか

試験条件	圧密非排水条件	
拘束圧	有効土被り圧相当	
供試体寸法	直径約 5 cm × 高さ約 10 cm	
載荷方法	応力制御法 (軸方向には 2 倍の応力値として入力)	
静的載荷	載荷荷重	最大せん断応力の値を軸方向に載荷
	載荷速度	0.07 N/mm ² /min程度
繰返し載荷	波形	一次元地震応答解析によるせん断応力時刻歴 (時間軸 5 倍)
	軸差応力振幅	せん断応力 × 2

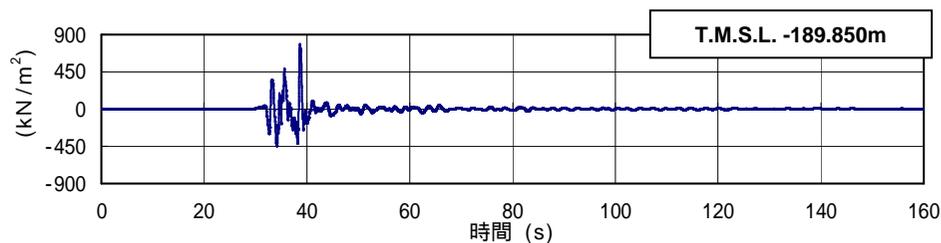


試験結果のイメージ図

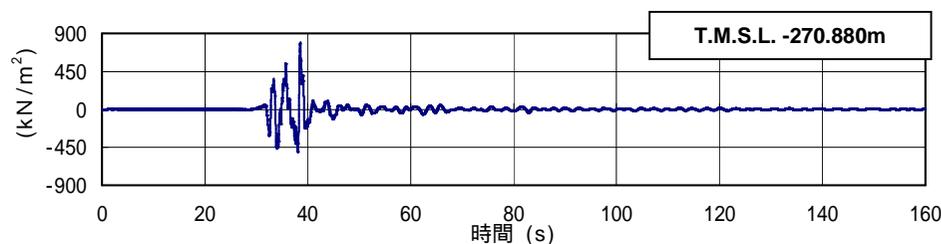
3.3.2 一次元地震応答解析によるせん断応力時刻歴を用いた繰返し三軸試験



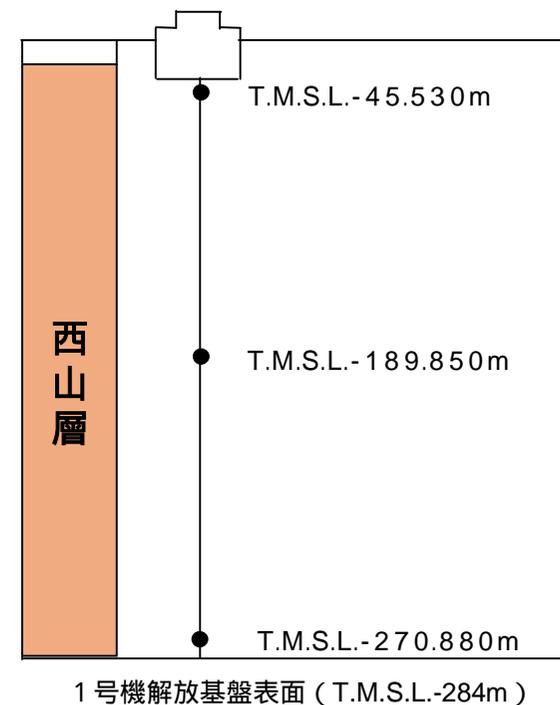
(a) 標高 -45.53m



(b) 標高 -189.85m

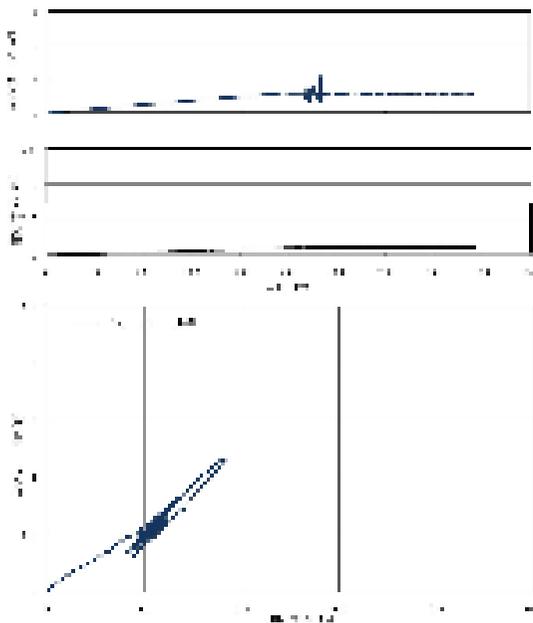


(c) 標高 -270.88m

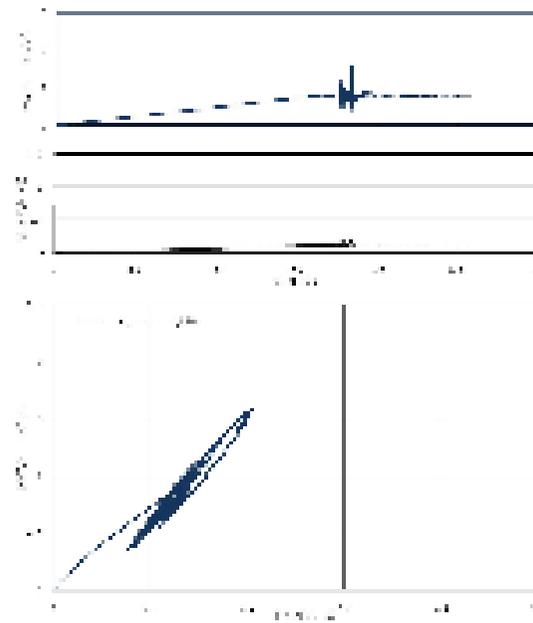


一次元地震応答解析によるせん断応力時刻歴

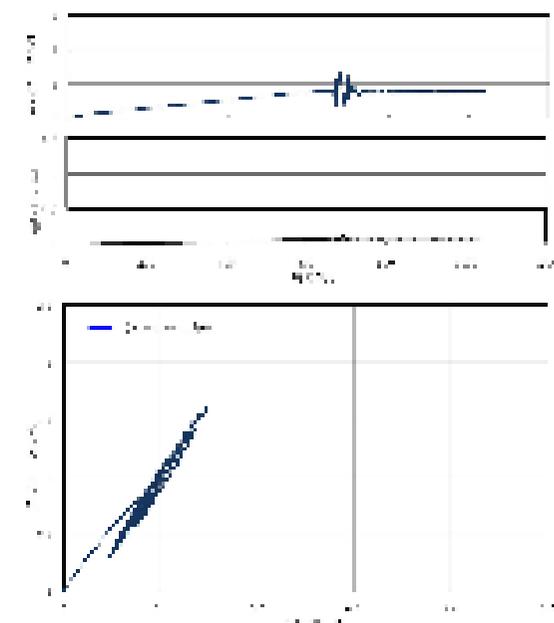
3.3.3 一次元地震応答解析によるせん断応力時刻歴を用いた繰返し三軸試験



(a) 標高-45m付近



(b) 標高-185m付近

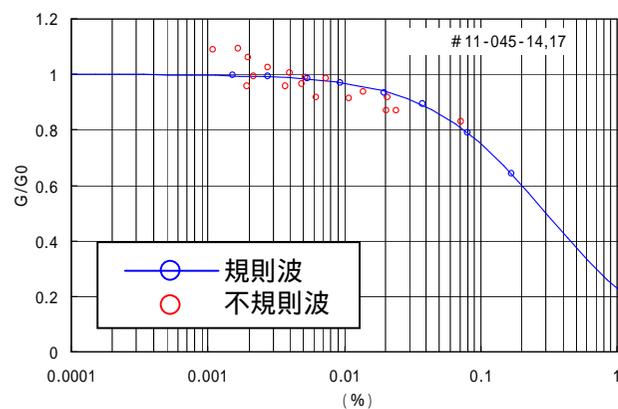


(c) 標高-270m付近

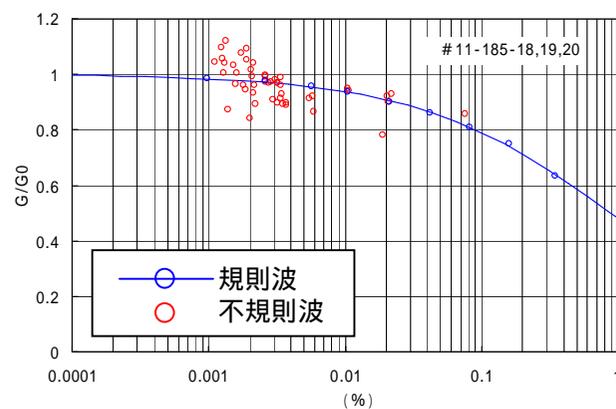
繰返し三軸試験結果の一例

応力-ひずみ関係は概ね線形である。

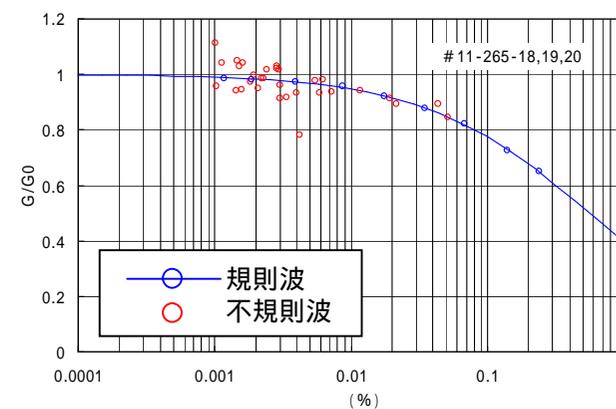
3.3.4 規則波による繰り返し三軸試験結果との比較



(a) 標高-45m付近



(b) 標高-185m付近



(c) 標高-270m付近

0.001%の整理結果(実線はほぼ同じ深度の供試体を対象とした規則波による繰り返し三軸試験結果)

規則波による繰り返し三軸試験結果と不規則波による繰り返し三軸試験結果は概ね整合している。