

本資料のうち、枠囲みの内容は機密事項に属しますので、公開できません。

## 柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉

# 原子炉建屋等の基礎地盤及び周辺斜面の安定性について

---

平成28年 12月 13日

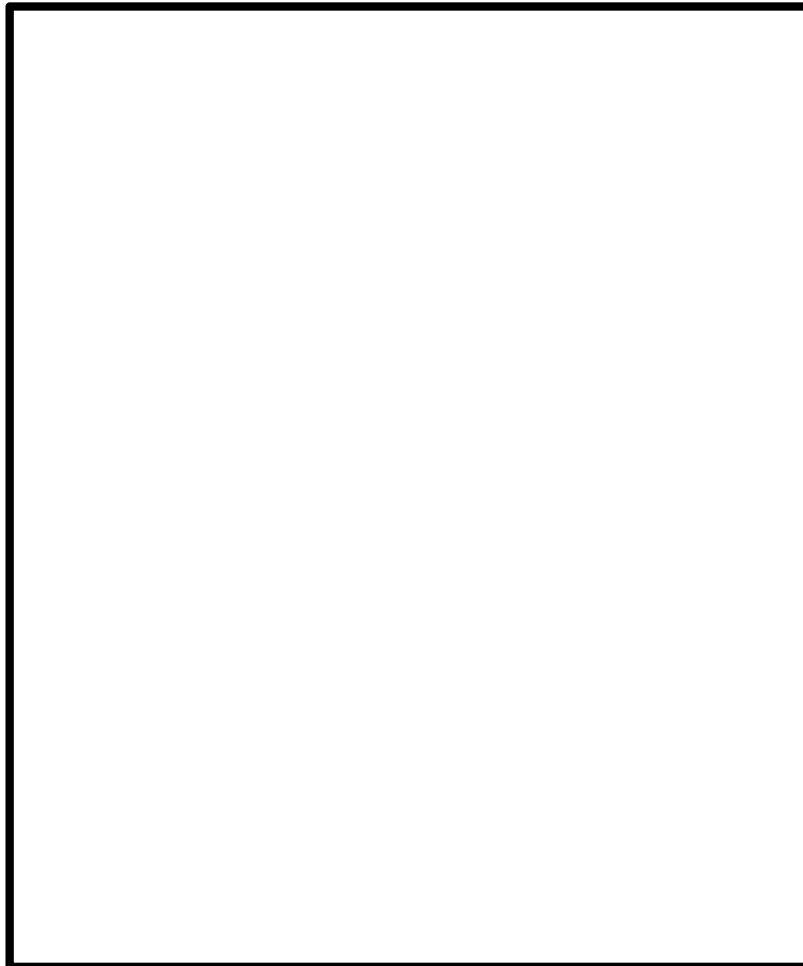
東京電力ホールディングス株式会社

# 全体概要（1）評価概要

- 原子炉建屋等の耐震重要施設※<sup>1</sup>及び常設重大事故等対処施設※<sup>2</sup>の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価について、審査ガイドに準拠し以下に示す事項を確認する。
- 設置許可基準規則第3条、38条に基づき評価対象施設を抽出した。評価対象断面は、各施設の配置、規模、地質等を考慮して、原子炉建屋の評価断面を代表断面として選定した。

※1：耐震重要度分類Sクラスの機器・系統及びそれらを支持する建物・構築物

※2：常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設



評価対象施設と代表断面

## 基礎地盤

### ・ 地震力に対する基礎地盤の安定性評価

1) 基礎地盤のすべり 2) 基礎の支持力 3) 基礎底面の傾斜

### ・ 周辺地盤の変状による重要施設への影響評価

### ・ 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価

## 周辺斜面

### ・ 地震力に対する周辺斜面の安定性評価

## 1. 耐震重要施設

1-1. 原子炉建屋（主排気筒含む）

1-2. タービン建屋

1-3. コントロール建屋

1-4. 軽油タンク

1-5. 貯留堰

## 2. 重大事故等対処施設

2-1. 廃棄物処理建屋

2-2. 5号炉原子炉建屋（緊急時対策所含む）

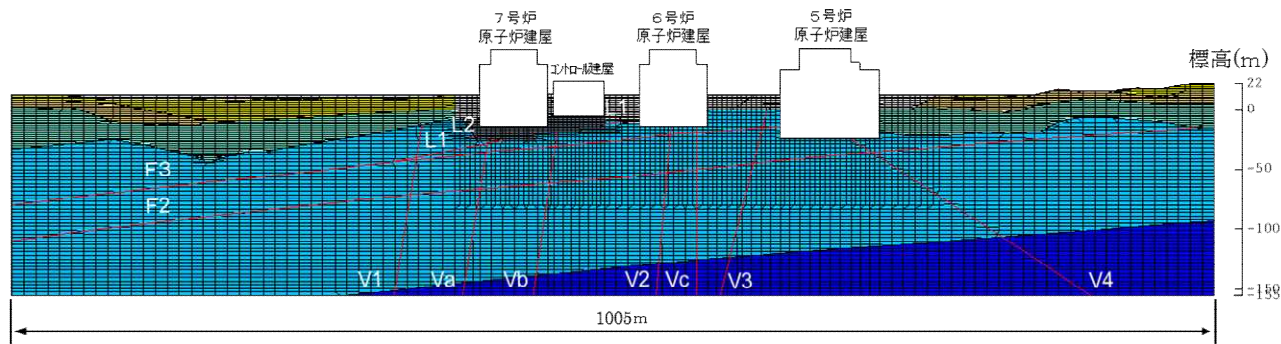
2-3. 格納容器圧力逃がし装置

2-4. 常設代替交流電源設備

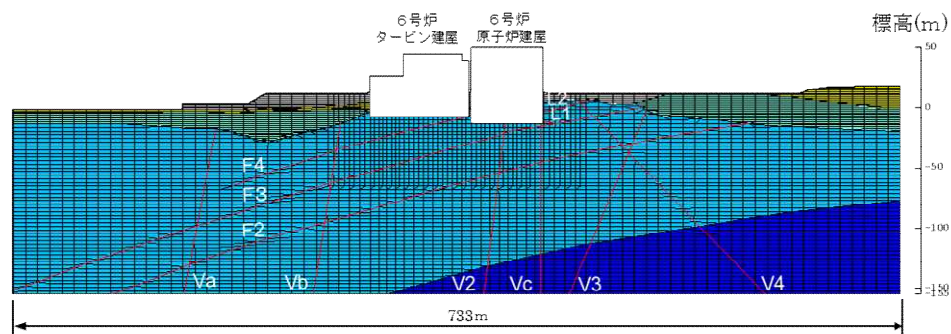
2-5. 取水路

# 全体概要 (2) 評価断面 (解析用要素分割図)

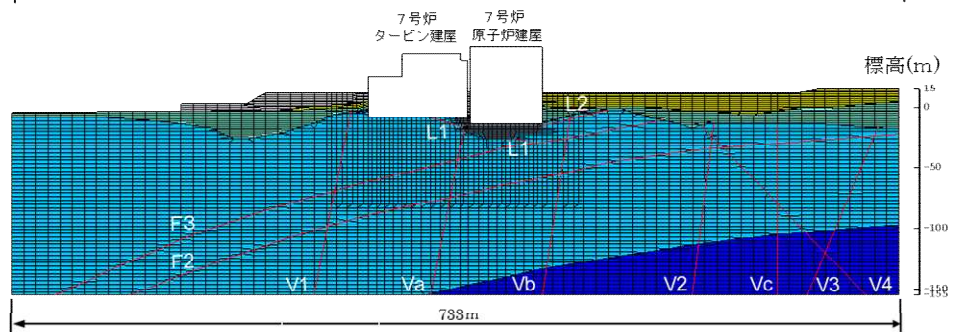
5, 6, 7号炉原子炉建屋  
汀線平行断面 A-A'



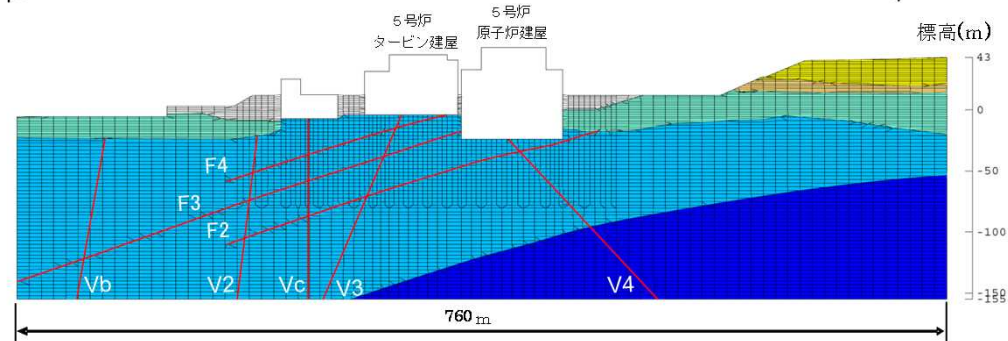
6号炉原子炉建屋  
汀線直交断面 B-B'



7号炉原子炉建屋  
汀線直交断面 C-C'



5号炉原子炉建屋  
汀線直交断面 D-D'  
(緊急時対策所含む)



- 埋戻土
- 新期砂層
- 番神砂層
- 古安田層
- 西山層
- 椎谷層
- マンメイドロック

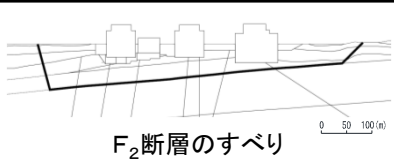
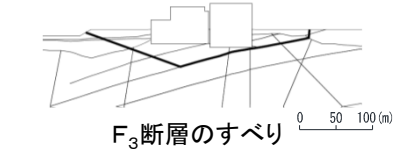


— 断層



## 全体概要（3）評価結果

- 基礎地盤のすべりは、すべてのケースですべり安全率が評価基準値1.5を上回り、地震力に対して施設の安全機能が重大な影響を受けないことを確認した。なお、強度のばらつき（平均値－1σ強度）を考慮した評価を実施したケースに対して、奥行き方向の地質・地質構造の変化等を考慮できる二次元重合せ解析に基づく評価を実施し、すべり安全率が1.5を上回ることを確認した。
- 基礎の支持力は、すべてのケースで地震時最大接地圧が支持力を下回り、地震力に対して施設の安全機能が重大な影響を受けないことを確認した。
- 基礎底面の地震時傾斜及び地殻変動による傾斜は、基本設計段階の目安値を若干超えることから、耐震設計方針において、基礎の傾斜に対する建屋、機器、設備等の安全機能への影響について評価の方針を示すとともに、詳細設計段階において詳細に評価を行う。

基礎地盤のすべり評価

評価対象断面 及び地震動	すべり線形状のパターン	すべり 安全率
5, 6, 7号炉 汀線平行断面 【Ss-3(正,逆)】	 F <sub>2</sub> 断層のすべり	1.5 〈2.7〉 《1.6》
6号炉 汀線直交断面 【Ss-1(逆,正)】	 F <sub>3</sub> 断層のすべり	2.1
7号炉 汀線直交断面 【Ss-1(逆,正)】	 F <sub>3</sub> 断層のすべり	1.6
5号炉 汀線直交断面 【Ss-8(正,正)】	 F <sub>2</sub> 断層のすべり	2.6

※ 基準地震動Ssの(逆,正), (正,逆)は位相反転を示す。

〈〉内の数値は、平均－1σ強度時の二次元重合せ解析に基づくすべり安全率を示し、《》内の数値は、さらに奥行き方向の地表面に抜けるすべり面の抵抗を考慮しない場合のすべり安全率を示す。

- 地震発生に伴う周辺地盤の変状による不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等により、施設の安全機能が重大な影響を受けないことを確認した。
- 周辺斜面の安定性は、いずれの施設も斜面法尻から十分な離隔距離を確保しており、地震力に対して周辺斜面が崩壊し、施設の安全機能が重大な影響を受けないことを確認した。

基礎の支持力、基礎底面の傾斜、地殻変動による傾斜評価

評価対象	基礎の支持力		基礎底面の傾斜		地殻変動
	地震動	地震時 最大接地圧 [N/mm <sup>2</sup> ]	地震動	地震時 最大傾斜	地殻変動 +地震時 最大傾斜
6号炉 原子炉建屋	Ss-1 (正,逆)	1.79 〈6.0〉	Ss-8 (正,正)	1/1,600 《1/2,000》	1/2,200 《1/2,000》
7号炉 原子炉建屋	Ss-1 (逆,逆)	3.23 〈6.2〉	Ss-8 (正,正)	1/1,700 《1/2,000》	<b>1/1,900</b> 《1/2,000》
5号炉 原子炉建屋 (緊急時対策所)	Ss-1 (逆,逆)	2.05 〈5.5〉	Ss-8 (逆,正)	1/2,700 《1/2,000》	1/2,600 《1/2,000》

※ 基準地震動Ssの(正,逆), (逆,逆)は位相反転を示す。※ 〈〉内の数値は、基礎の支持力を示す。

※ 《》内の数値は、基本設計段階の目安値を示す。

# 目次

1. 評価概要	
1. 1 評価概要	7
1. 2 評価対象施設	9
2. 基礎地盤の安定性評価	
2. 1 評価方針	11
2. 2 解析用物性値	16
2. 3 評価方法	23
2. 4 入力地震動	30
2. 5 評価結果	40
3. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価	
3. 1 周辺地盤の変状による重要施設への影響	71
3. 2 地殻変動による基礎地盤の変形の影響	76
4. 周辺斜面の安定性評価	82
5. まとめ	84

## 【別冊】補足説明資料



## 1. 評価概要

1. 1 評価概要 ..... 7

1. 2 評価対象施設 ..... 9

## 2. 基礎地盤の安定性評価

2. 1 評価方針 ..... 11

2. 2 解析用物性値 ..... 16

2. 3 評価方法 ..... 23

2. 4 入力地震動 ..... 30

2. 5 評価結果 ..... 40

## 3. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価

3. 1 周辺地盤の変状による重要施設への影響 ..... 71

3. 2 地殻変動による基礎地盤の変形の影響 ..... 76

4. 周辺斜面の安定性評価 ..... 82

5. まとめ ..... 84

【別冊】補足説明資料

- 原子炉建屋等の耐震重要施設※<sup>1</sup>及び常設重大事故等対処施設※<sup>2</sup>の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価について、審査ガイドに準拠し、以下に示す事項を確認する。

## 基礎地盤

### 1. 将来活動する可能性のある断層等の有無

原子炉建屋等が設置される地盤に、将来活動する可能性のある断層等が露頭していないことを確認する。

### 2. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価

以下の事項を確認することにより、地震力に対して施設の安全機能が重大な影響を受けないことを確認する。

- 1) 基礎地盤のすべり      2) 基礎の支持力      3) 基礎底面の傾斜

### 3. 周辺地盤の変状による重要施設への影響評価

地震発生に伴う周辺地盤の変状による建物・構築物間の不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等により、施設の安全機能が重大な影響を受けないことを確認する。

### 4. 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価

地震発生に伴う地殻変動による基礎地盤の傾斜及び撓みにより、施設が重大な影響を受けないことを確認する。

## 周辺斜面

### 1. 地震力に対する周辺斜面の安定性評価

地震力に対して周辺斜面が崩壊し、施設の安全機能が重大な影響を受けないことを確認する。

※1：耐震重要度分類Sクラスの機器・系統及びそれらを支持する建物・構築物

※2：常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設

## 1. 評価概要

1. 1 評価概要	.....	7
1. 2 評価対象施設	.....	9

## 2. 基礎地盤の安定性評価

2. 1 評価方針	.....	11
2. 2 解析用物性値	.....	16
2. 3 評価方法	.....	23
2. 4 入力地震動	.....	30
2. 5 評価結果	.....	40

## 3. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価

3. 1 周辺地盤の変状による重要施設への影響	.....	71
3. 2 地殻変動による基礎地盤の変形の影響	.....	76

## 4. 周辺斜面の安定性評価

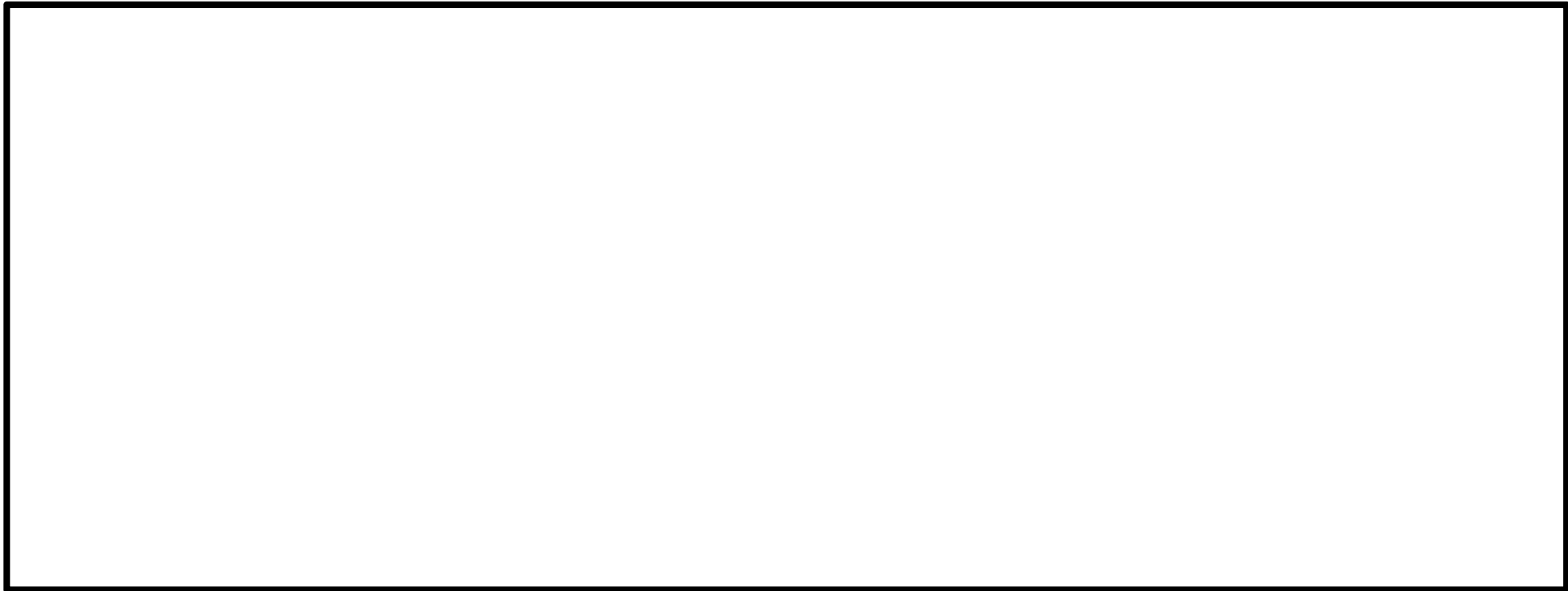
## 5. まとめ

【別冊】補足説明資料



# 評価対象施設

- 設置許可基準規則第3条に基づき、設計基準対象施設のうち、耐震重要施設を抽出した。
- 設置許可基準規則第38条に基づき、重大事故等対処施設のうち、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く）を抽出した。



## 1. 耐震重要施設

1-1. 原子炉建屋（主排気筒含む）	1-4. 軽油タンク
1-2. タービン建屋	1-5. 貯留堰
1-3. コントロール建屋	

## 2. 重大事故等対処施設

2-1. 廃棄物処理建屋	2-4. 常設代替交流電源設備
2-2. 5号炉原子炉建屋（緊急時対策所含む）	2-5. 取水路
2-3. 格納容器圧力逃がし装置	

1. 評価概要		
1. 1 評価概要	.....	7
1. 2 評価対象施設	.....	9
2. 基礎地盤の安定性評価		
2. 1 評価方針	.....	11
2. 2 解析用物性値	.....	16
2. 3 評価方法	.....	23
2. 4 入力地震動	.....	30
2. 5 評価結果	.....	40
3. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価		
3. 1 周辺地盤の変状による重要施設への影響	.....	71
3. 2 地殻変動による基礎地盤の変形の影響	.....	76
4. 周辺斜面の安定性評価	.....	82
5. まとめ	.....	84

【別冊】補足説明資料

# 基礎地盤評価対象断面の選定

- 各施設の配置，規模，地質等を考慮して，原子炉建屋の評価断面を代表断面として選定した。

施設	支持地盤	評価方針
1-1. 原子炉建屋（主排気筒含む）	西山層	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉建屋近傍に設置されており，原子炉建屋評価断面に含まれているとみなせること</li> <li>原子炉建屋と比較して，規模，重量等が小さいこと</li> </ul> <p>以上より，原子炉建屋の汀線直交断面，汀線平行断面を代表断面として選定した。</p>
1-2. タービン建屋		
1-3. コントロール建屋		
1-4. 軽油タンク		
2-1. 廃棄物処理建屋		
2-2. 5号炉原子炉建屋（緊急時対策所含む）		
2-3. 格納容器圧力逃がし装置		
2-4. 常設代替交流電源設備		
1-5. 貯留堰	古安田層	<ul style="list-style-type: none"> <li>貯留堰及び取水路は，支持地盤である古安田層の支持性能について評価する。</li> </ul>
2-5. 取水路		

## 地震力に対する基礎地盤の安定性評価における評価項目と評価内容

### 1) 基礎地盤のすべり

- 動的解析の結果に基づき、基礎地盤の内部及び基礎底面を通るすべり面を仮定する。
- 動的解析における時刻歴のすべり安全率が1.5 以上であることを確認する。

### 2) 基礎の支持力

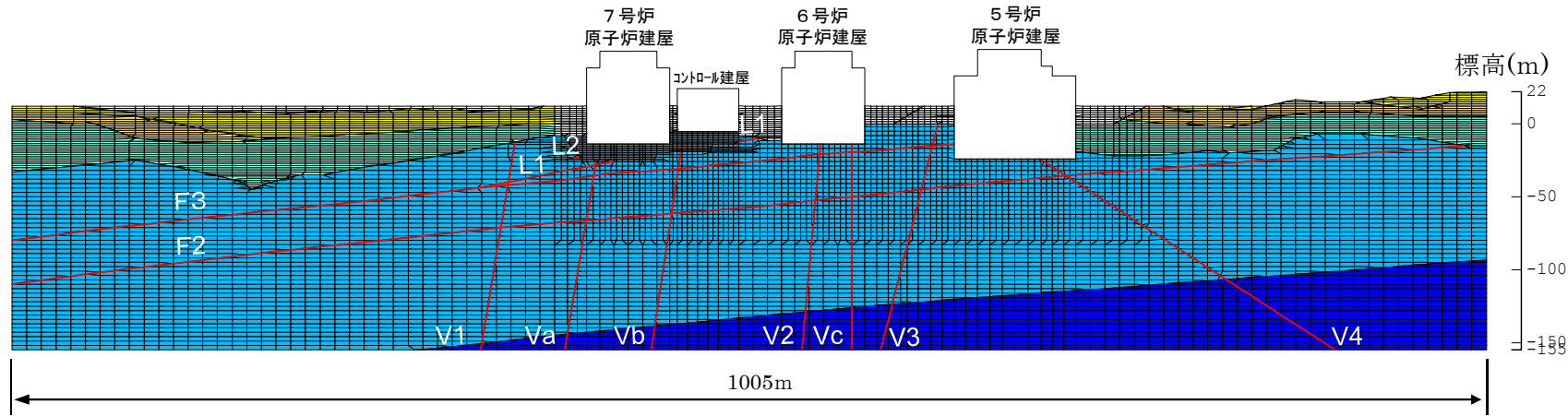
- 原位置試験の結果等に基づき、基礎の支持力の評価基準値を設定する。
- 動的解析に基づいて求められた基礎の接地圧が評価基準値を超えていないことを確認する。

### 3) 基礎底面の傾斜

- 基本設計段階の目安値を、一般建築物の構造的な障害が発生する限界値を参考に1/2,000に設定する。
- 動的解析の結果に基づいて求められた基礎の最大不等沈下量及び残留不等沈下量による傾斜を許容値の目安と比較する。

# 解析用要素分割図 (1)

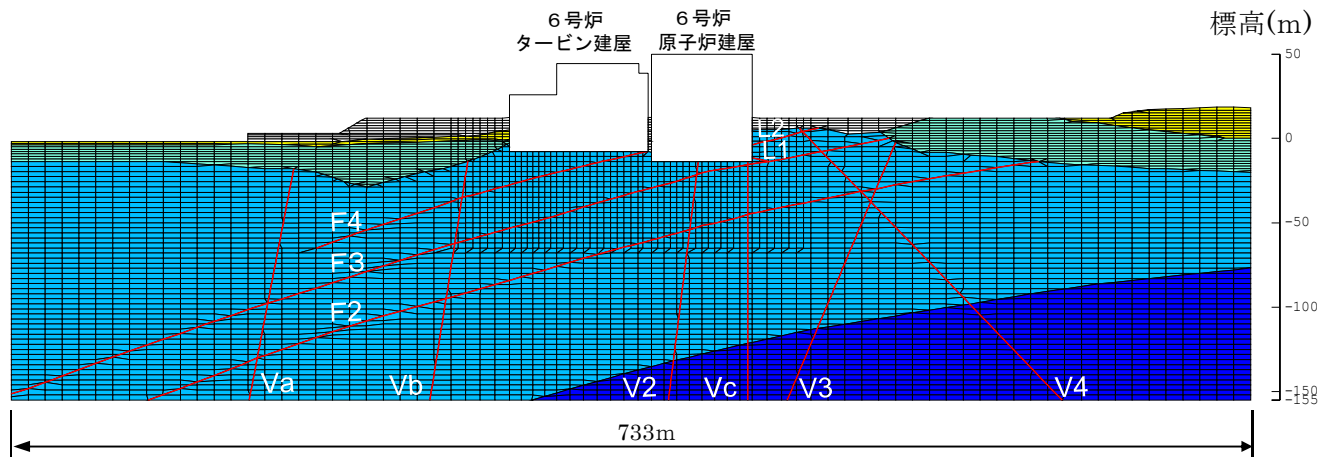
## 5, 6, 7号炉原子炉建屋 汀線平行断面 A-A'



解放基盤表面 (大湊側)

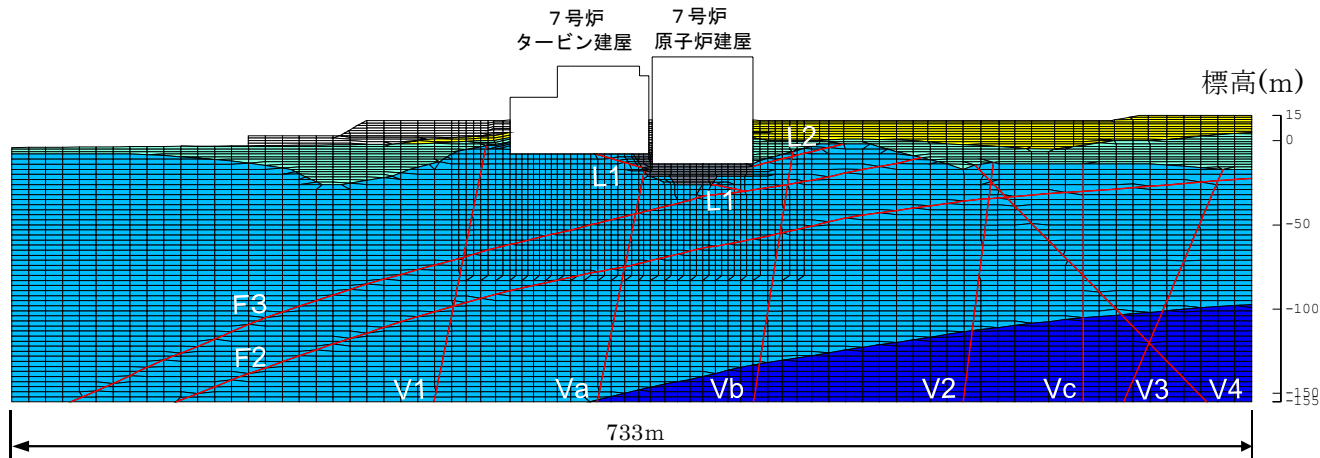
施設	標高 T.M.S.L.(m)
5号炉	-134m
6号炉	-155m
7号炉	-155m

## 6号炉原子炉建屋 汀線直交断面 B-B'



# 解析用要素分割図 (2)

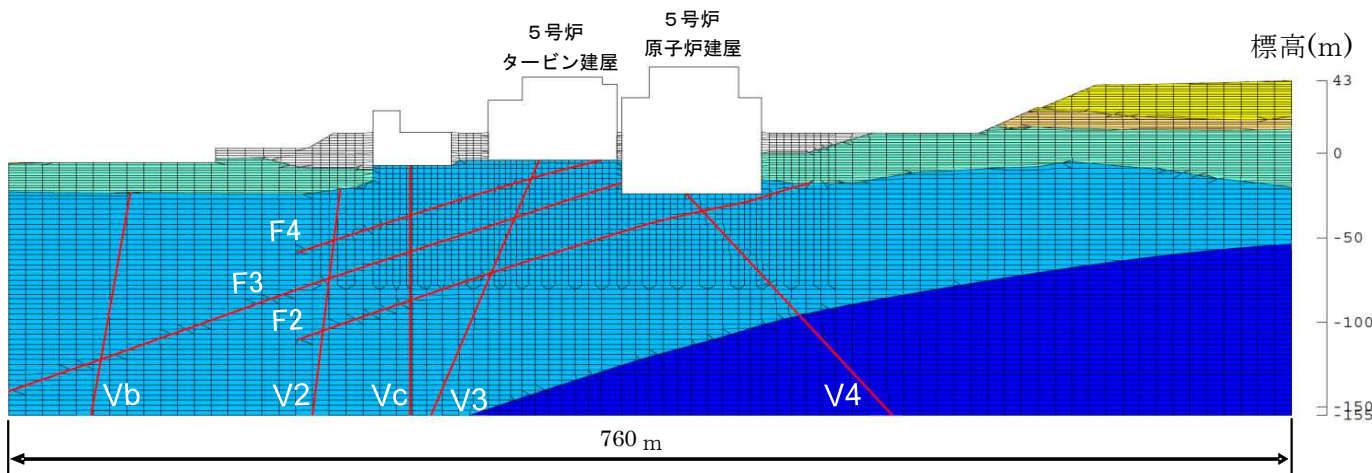
7号炉原子炉建屋 汀線直交断面 C-C'



解放基盤表面 (大湊側)

施設	標高 T.M.S.L.(m)
5号炉	-134m
6号炉	-155m
7号炉	-155m

5号炉原子炉建屋 汀線直交断面 D-D' (緊急時対策所含む)





1. 評価概要		
1. 1 評価概要	.....	7
1. 2 評価対象施設	.....	9
2. 基礎地盤の安定性評価		
2. 1 評価方針	.....	11
2. 2 解析用物性値	.....	16
2. 3 評価方法	.....	23
2. 4 入力地震動	.....	30
2. 5 評価結果	.....	40
3. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価		
3. 1 周辺地盤の変状による重要施設への影響	.....	71
3. 2 地殻変動による基礎地盤の変形の影響	.....	76
4. 周辺斜面の安定性評価	.....	82
5. まとめ	.....	84

【別冊】補足説明資料

■ 解析用物性値は、下表に示す試験・調査結果に基づき設定した。

物性値		地層区分						
		西山層	椎谷層	古安田層	番神砂層 新期砂層・沖積層 埋戻土	断層部	マンメイドロック	
物理特性	密度	密度試験結果（土質工学会編「土質試験法」に準拠）						
静的変形特性	静弾性係数	三軸圧縮試験結果（土質工学会編「土質試験法」に準拠）						
	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 （土質工学会編「土質調査法」に準拠）， 密度により算定			弾性波速度測定試験による S 波速度 （物理探鉱技術協会編「岩石試料の速度測定要綱」 に準拠），密度により算定			
	動せん断弾性係数のひずみ依存特性	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（土質工学会編「土質調査法」に準拠）により算定			弾性波速度測定試験による P 波速度， S 波速度 （物理探鉱技術協会編「岩石試料の速度測定要綱」 に準拠），密度により算定			
	減衰定数のひずみ依存特性	動的単純せん断試験結果						
強度特性	ピーク強度	$C_u$	三軸圧縮試験結果（土質工学会編「土質試験法」に準拠）					
		$\sigma_t$	圧裂引張強度試験 （JIS M 0303に準拠）	—	—	—	—	圧裂引張強度試験 （JIS M 0303に準拠）
	残留強度	三軸圧縮試験結果（土質工学会編「土質試験法」に準拠）						

物性値		地層区分	西山層	椎谷層	古安田層
物理特性		$\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	$1.69 - 0.00048 \cdot Z$	$1.94 - 0.00044 \cdot Z$	1.76
変形特性	静的 変形特性	$E_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	$502 - 2.29 \cdot Z$	$251 - 3.88 \cdot Z$	$126 + 232 \cdot P$
		$\nu$	$0.48 + 0.00024 \cdot Z$	0.46	0.49
		$G_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	$394 - 1.63 \cdot Z$	$-133 - 7.35 \cdot Z$	175
	動的 変形特性	$\nu_d$	$0.45 + 0.00015 \cdot Z$	$0.47 + 0.00031 \cdot Z$	0.45
		$G/G_0 \sim \gamma$	$1/(1 + 4.10 \gamma^{1.37})$	$1/(1 + 5.76 \gamma^{0.69})$	$1/(1 + 5.39 \gamma^{0.77})$
		$h \sim \gamma$ (%)	$25.0 \gamma^{0.94} + 0.7$	$\gamma / (0.065 \gamma + 0.004) + 0.7$	$24.8 \gamma^{0.56}$
強度特性	ピーク強度	$C_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$1.37 - 0.00504 \cdot Z$	$0.721 - 0.00773 \cdot Z$	$0.238 + 0.407 \cdot P$
		$\phi_u$ (°)	0	0	0
		$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	$0.335 - 0.00157 \cdot Z$	—	—
	残留強度	$C_{ur}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$0.673 - 0.00201 \cdot Z$	$0.799 - 0.00607 \cdot Z$	$0.224 + 0.312 \cdot P$

注：Zは、T.M.S.L. (m)を示す。

注：Pは、平均有効拘束圧(N/mm<sup>2</sup>)を示す。

注：γは、せん断歪み (%)を示す。

注：西山層の $\sigma_t$  (引張強度)は、平均強度を用いたすべり安全率評価では、保守的に強度を考慮しない。

物性値		地層区分			
		番神砂層	新期砂層・沖積層	埋戻土	
物理特性		$\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.84	1.64	1.89
変形特性	静的 変形特性	$E_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	$23.5 + 572 \cdot P$	$19.3 + 187 \cdot P$	58.8
		$\nu$	0.47	0.33	0.33
	動的 変形特性	$G_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	184	25.3	27.0
		$\nu_d$	0.43	0.36	0.41
		$G/G_0 \sim \gamma$	$1/(1 + 9.48 \gamma^{0.74})$	$1/(1 + 10.95 \gamma^{0.81})$	$1/(1 + 9.01 \gamma^{0.77})$
		$h \sim \gamma$ (%)	$\gamma / (0.041 \gamma + 0.005) + 1.0$	$\gamma / (0.031 \gamma + 0.002)$	$\gamma / (0.034 \gamma + 0.003) + 0.1$
強度特性	ピーク強度	$C_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$0.322 + 0.412 \cdot P$	—	—
		$\phi_u$ (°)	0	—	—
		$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	—	—
	残留強度	$C_{ur}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$0.321 + 0.375 \cdot P$	—	—

注：Zは、T.M.S.L.(m)を示す。

注：Pは、平均有効拘束圧(N/mm<sup>2</sup>)を示す。

注：γは、せん断歪み(%)を示す。

物性値		地層区分	断層部			
			F系断層		V系断層	L系断層
			粘土部	破砕部		
物理特性		$\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.92	1.73	1.78	1.82
			層厚の重み付き平均=1.75			
変形特性	静的 変形特性	$E_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	62.4+80.5・P	低圧部：48.8+923・P 高圧部：224+131・P	低圧部：141+389・P 高圧部：296+78.0・P	165+148・P
		$\nu$	0.46	0.46	0.46	0.46
	動的 変形特性	$G_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	337	340	394	230
			層厚の重み付き平均=340			
		$\nu_d$	0.47	0.42	0.44	0.47
			層厚の重み付き平均=0.43			
$G/G_0 \sim \gamma$	$1/(1+7.45\gamma^{1.14})$	$1/(1+9.79\gamma^{1.03})$	$1/(1+4.75\gamma^{0.68})$	$1/(1+4.86\gamma^{0.73})$		
	層厚の重み付き平均= $1/(1+9.69\gamma^{1.04})$					
$h \sim \gamma$ (%)	$41.0\gamma^{0.62}$	$35.0\gamma^{0.42}$	$18.0\gamma^{0.28}+0.1$	$17.0\gamma^{0.31}$		
	層厚の重み付き平均= $36.0\gamma^{0.44}$					
強度特性	ピーク強度	$C_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.286+0.191・P	0.279+0.242・P	0.504+0.359・P	0.486+0.481・P
			粘土部と破砕部の強度の低い方を用いる。			
		$\phi_u$ (°)	0	0	0	0
		$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	—	—	—	—
	残留強度	$C_{ur}$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.219+0.251・P	0.278+0.181・P	0.485+0.293・P	0.497+0.353・P
			粘土部と破砕部の強度の低い方を用いる。			

注：Pは、平均有効拘束圧(N/mm<sup>2</sup>)を示す。

注：γは、せん断歪み(%)を示す。

物性値		地層区分	マンメイドロック	
			原子炉建屋下	コントロール建屋下
物理特性		$\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.75	1.75
変形特性	静的 変形特性	$E_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	1160	1020
		$\nu$	0.44	0.45
	動的 変形特性	$G_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	2110	1990
		$\nu_d$	0.36	0.36
		$G/G_0 \sim \gamma$	$1/(1+4.30\gamma^{1.00})$	$1/(1+4.30\gamma^{1.00})$
		$h \sim \gamma$ (%)	$19.0\gamma^{0.60}$	$19.0\gamma^{0.60}$
強度特性	ピーク強度	$C_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.84 (1.38)	1.84 (1.38)
		$\phi_u$ (°)	0	0
		$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.666 (0.330)	0.666 (0.330)
	残留強度	$C_{ur}$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.38 (1.04)	1.38 (1.04)

注： $\gamma$ は、せん断歪み（%）を示す。

注：強度特性の括弧内の数値は、打継部の強度を示す。



## 地盤物性のばらつきについて

- 解析用物性値は、各種地盤調査・試験結果における平均値を代表値として設定した。
- ただし、調査及び試験の結果に含まれる不確かさを考慮し、すべり安全率に対する影響として支配的な強度特性について、ばらつき（平均 $-1\sigma$ 強度）を考慮した評価を実施した。

### 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008（日本電気協会）

- すべり安全率に対する地盤物性値のばらつきの影響については、一般に強度特性が支配的であり、変形特性の影響は小さい。したがって、一般に強度特性のばらつきのみ考慮しておけばよい。

### 原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術〈技術資料〉（土木学会，2009）

地盤物性値のばらつき評価法について確率論的な検討を行い、以下の結論が得られている。

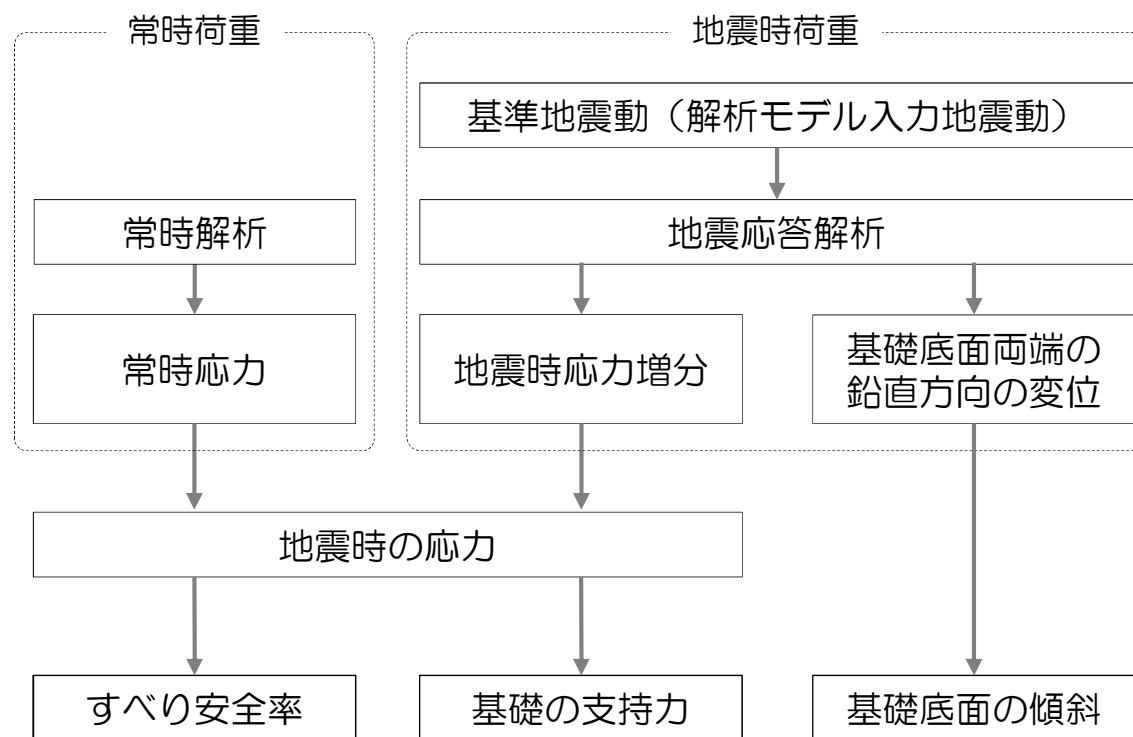
- 地盤物性値を $\pm 10\%$ して算定したすべり安全率の差を算定した結果、すべり安全率に関しては、せん断強度等の抵抗力に関係する地盤物性値の影響が非常に強く、剛性等の影響は比較的小さいことを確認した。
- 「代表値 $\pm$ 係数 $\times$ 標準偏差」を用いた確率論的手法による地盤物性値のばらつき評価の結果、確率論的手法によって評価したすべり安全率が、確定論的に地盤物性値を「代表値 $-1.0\times$ 標準偏差」に設定して評価したすべり安全率を下回る確率は小さいことを明らかにした。

1. 評価概要		
1. 1 評価概要	.....	7
1. 2 評価対象施設	.....	9
<b>2. 基礎地盤の安定性評価</b>		
2. 1 評価方針	.....	11
2. 2 解析用物性値	.....	18
<b>2. 3 評価方法</b>	<b>.....</b>	<b>23</b>
2. 4 入力地震動	.....	30
2. 5 評価結果	.....	40
3. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価		
3. 1 周辺地盤の変状による重要施設への影響	.....	71
3. 2 地殻変動による基礎地盤の変形の影響	.....	76
4. 周辺斜面の安定性評価	.....	82
5. まとめ	.....	84

【別冊】補足説明資料

## 評価方法：周波数応答解析手法

- 5, 6, 7号炉原子炉建屋の基礎地盤の安定性は、二次元有限要素法に基づく地震応答解析（周波数応答解析）により評価を実施した。
- 地震応答解析は、水平および鉛直地震動を同時に入力した。
- 地盤は、等価線形化法により動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を必要に応じて考慮した。



安定性評価フロー

# 解析モデル作成の留意点

## 地盤要素のモデル化

- 地盤は、平面ひずみ要素でモデル化し、要素の最大高さ ( $H_{\max}$ ) は、応力の変化をなめらかに表現でき、地震波の伝播を十分に考慮できるような下式により算定した。

$$H_{\max} = \frac{1}{m} \cdot \lambda_s = \frac{1}{m} \cdot \frac{V_s}{f_{\max}}$$

$\lambda_s$ : せん断波の波長 (m)

$V_s$ : せん断波の速度 (m/s)

$f_{\max}$ : 考慮する地震動の最大周波数(20Hz)

$m$ : 分割係数(=5とした)

## 断層のモデル化

- 断層は、ジョイント要素でモデル化し、せん断ばね定数  $k_s$  及び垂直ばね定数  $k_n$  を下式により設定した。

$$k_s = \frac{G}{t}$$

$G$ : 動せん断弾性係数

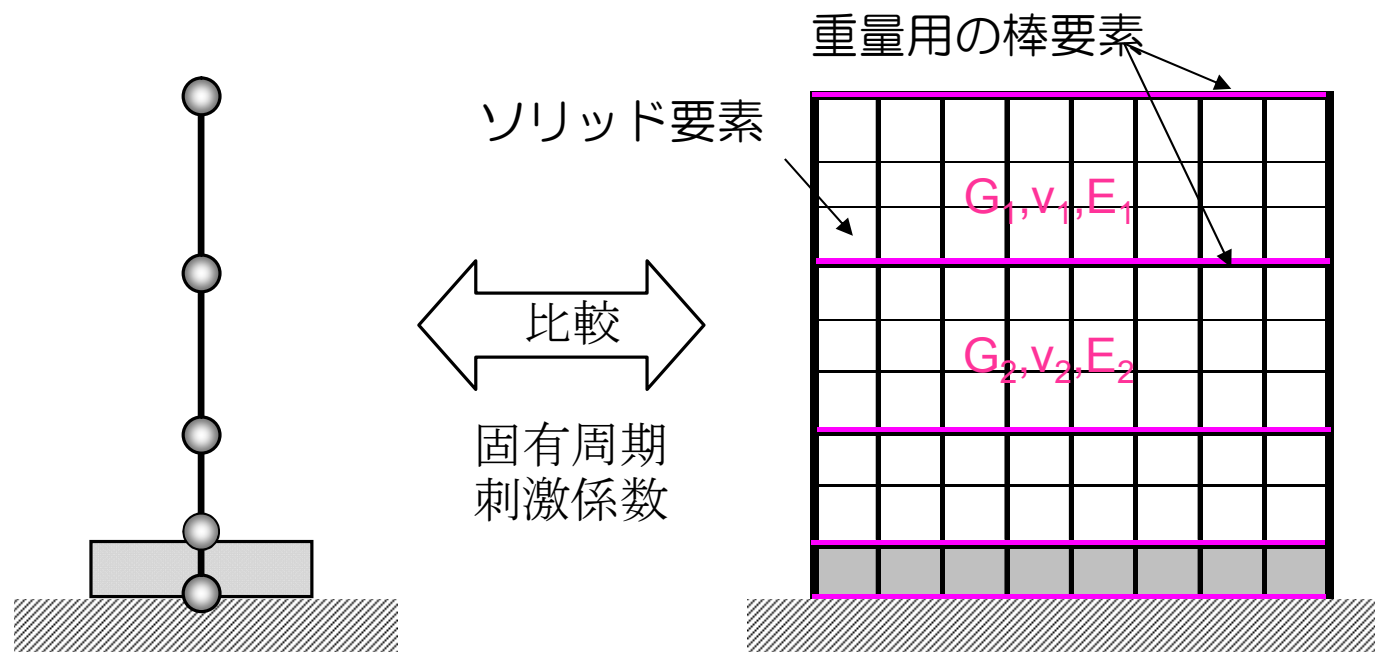
$t$ : 断層の層厚

$$k_n = \frac{2(1-\nu_d)}{(1-2\nu_d)} \cdot \frac{G}{t}$$

$\nu_d$ : ポアソン比

# 建屋のモデル化

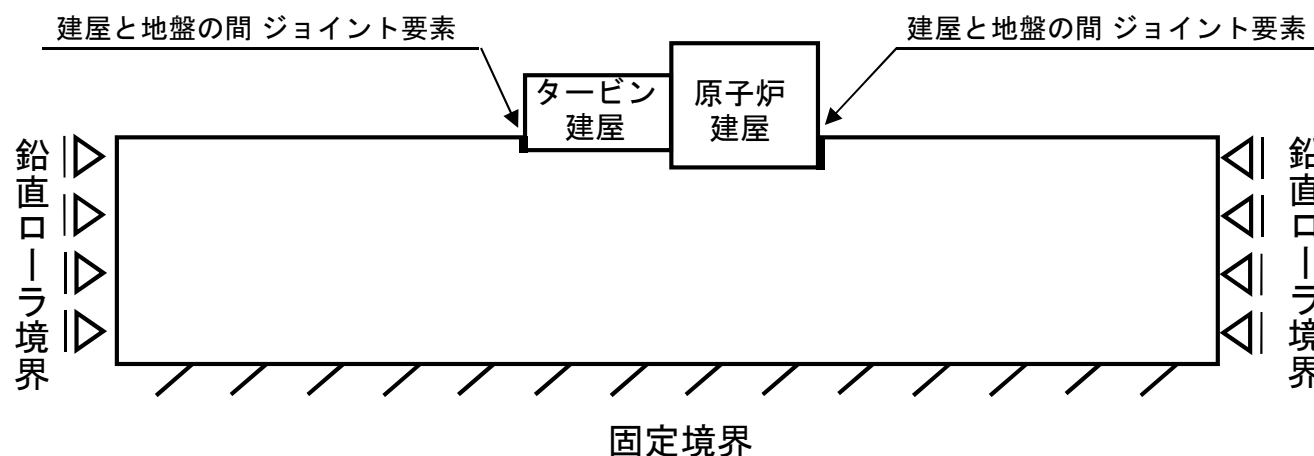
- 建屋と地盤の相互作用の影響を考慮し、規模の大きい原子炉建屋、タービン建屋、コントロール建屋をモデル化した。
- モデル化にあたっては、水平及び鉛直地震動の同時入力に対応したモデル化を実施した。
- モデル化にあたっては、多質点系建屋モデルから建屋各層の水平剛性 $K_H$ 、鉛直剛性 $K_V$ 及び曲げ剛性 $K_\phi$ を用いて、せん断剛性、変形係数及びポアソン比を求め、等価な有限要素モデルを作成した。



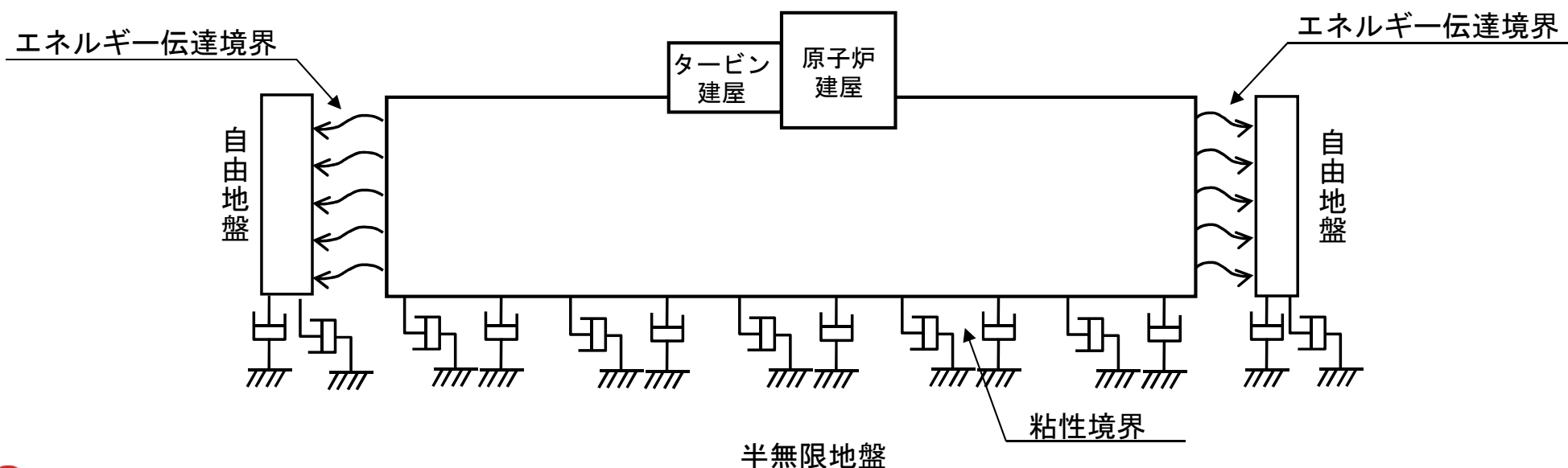
# 解析条件：境界条件

- 静的解析時の境界条件は、底面を固定境界、側方を鉛直ローラ境界として設定した。
- 地震応答解析時の境界条件は、底面を粘性境界、側方をエネルギー伝達境界とし、エネルギー逸散を考慮した。

## 静的解析



## 地震応答解析

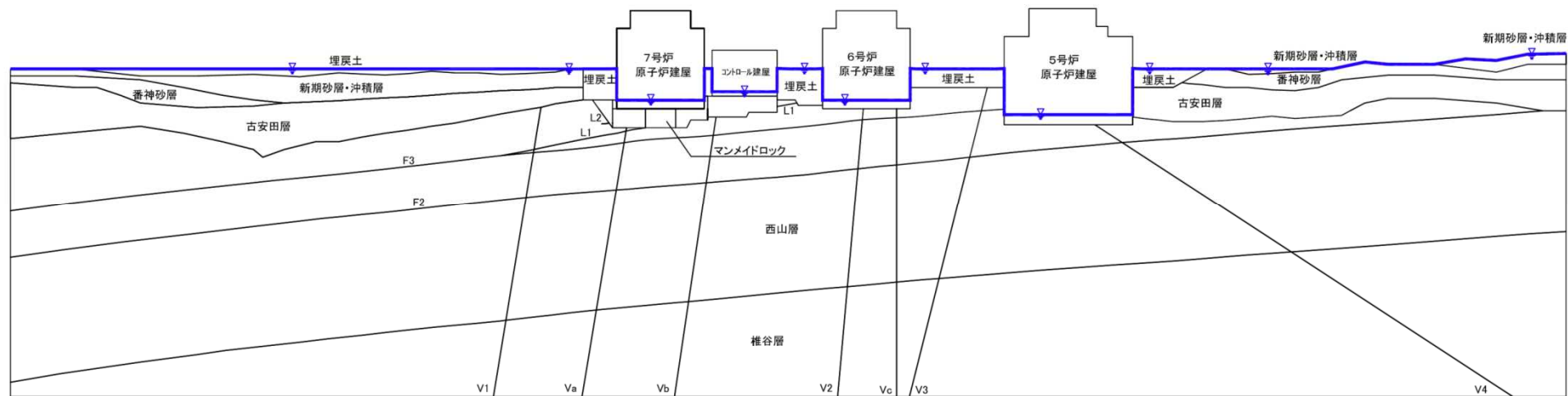




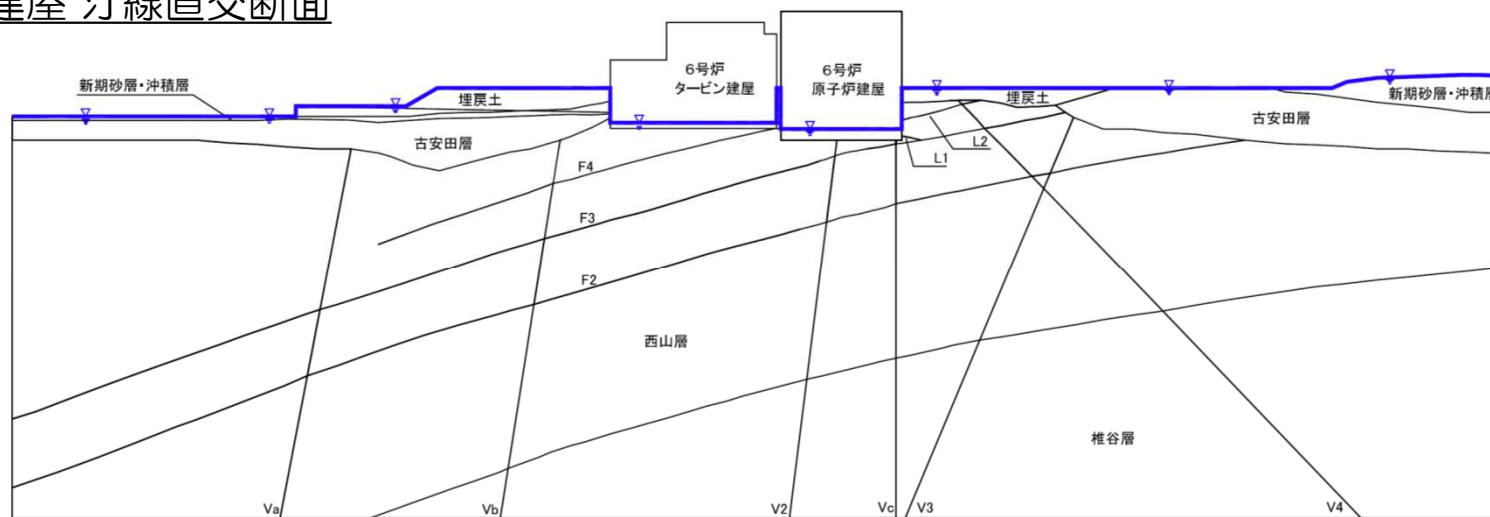
# 解析条件：地下水位の設定（1）

- 地下水位は、地表面あるいは建屋基礎上端に設定した。

## 5, 6, 7号炉原子炉建屋 汀線平行断面



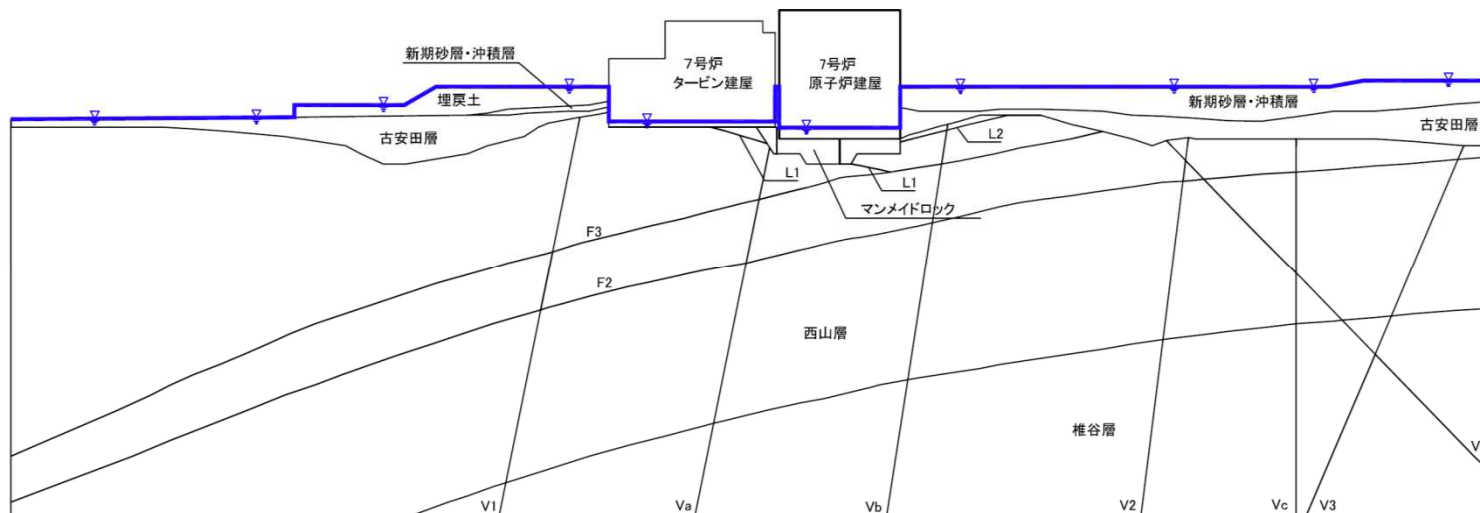
## 6号炉原子炉建屋 汀線直交断面



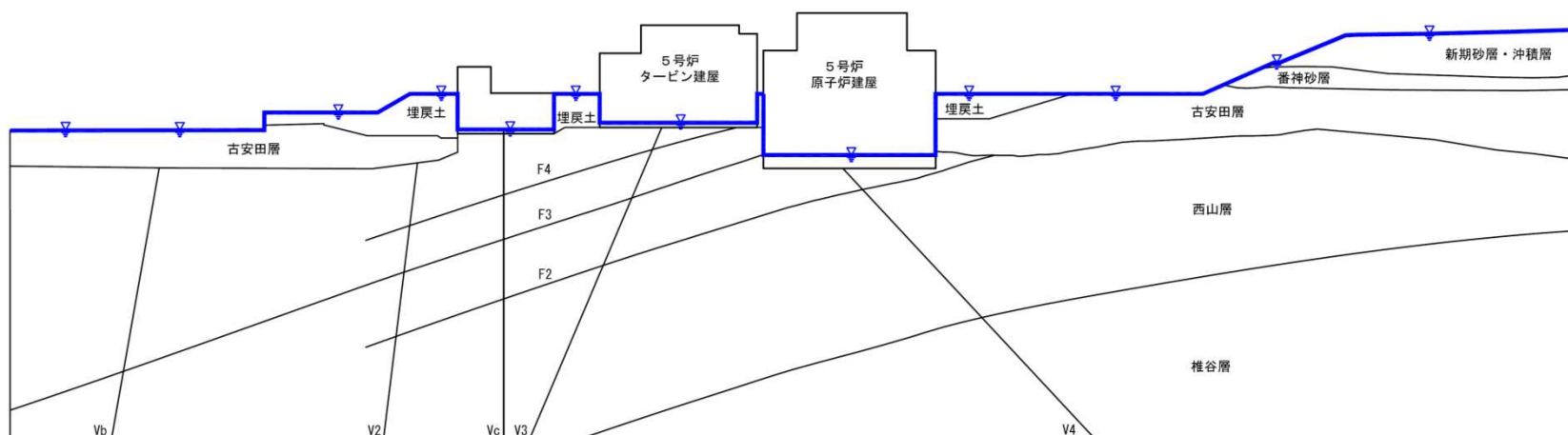
## 解析条件：地下水位の設定（2）

- 地下水位は、地表面あるいは建屋基礎上端に設定した。

### 7号炉原子炉建屋 汀線直交断面



### 5号炉原子炉建屋 汀線直交断面（緊急時対策所含む）

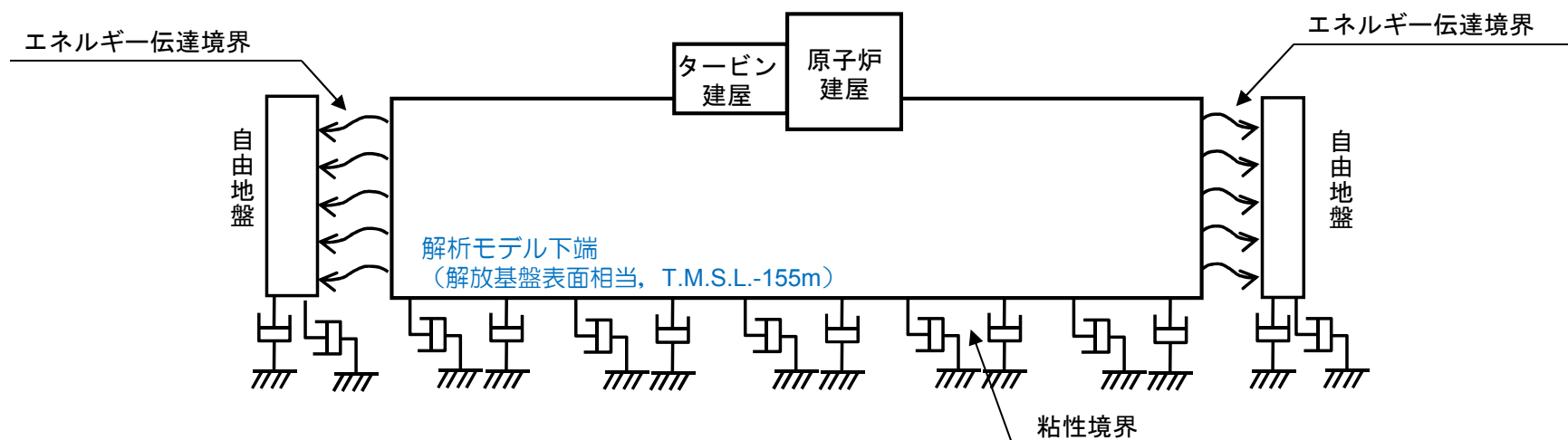


1. 評価概要		
1. 1 評価概要	.....	7
1. 2 評価対象施設	.....	9
2. 基礎地盤の安定性評価		
2. 1 評価方針	.....	11
2. 2 解析用物性値	.....	16
2. 3 評価方法	.....	23
2. 4 入力地震動	.....	30
2. 5 評価結果	.....	40
3. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価		
3. 1 周辺地盤の変状による重要施設への影響	.....	71
3. 2 地殻変動による基礎地盤の変形の影響	.....	76
4. 周辺斜面の安定性評価	.....	82
5. まとめ	.....	84

【別冊】補足説明資料

# 地震動入力の考え方

- 基礎地盤安定性評価では、解放基盤表面までモデル化し、モデル下端から基準地震動 $S_s$ を水平方向及び鉛直方向に同時に入力した。

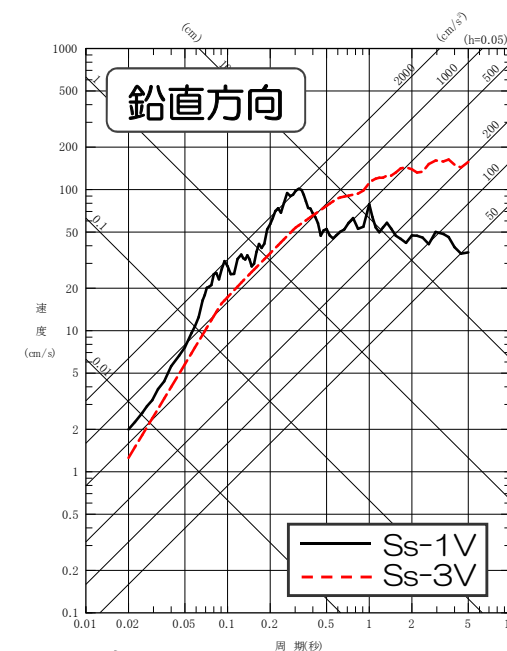
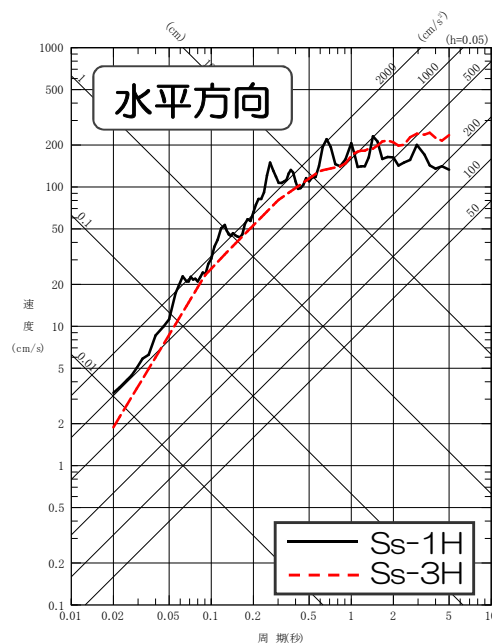


入力地震動（基準地震動S<sub>s</sub>）概要

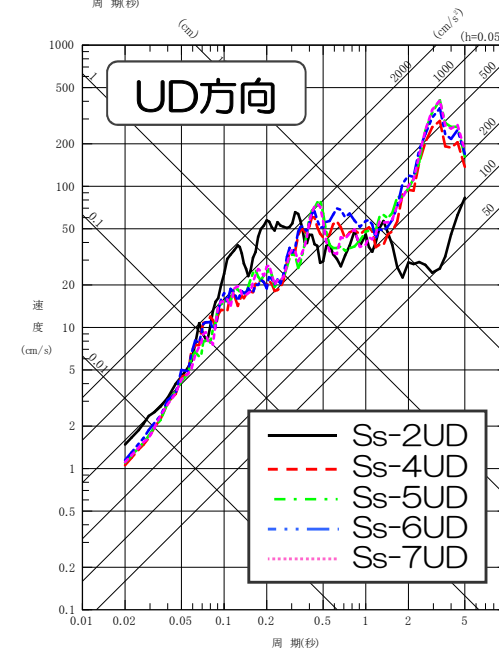
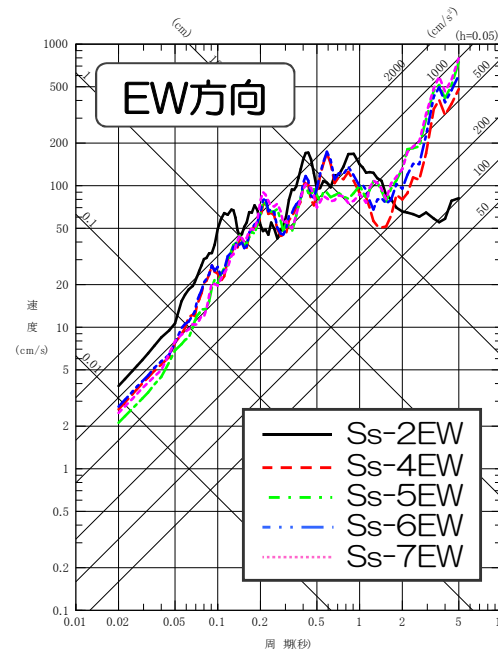
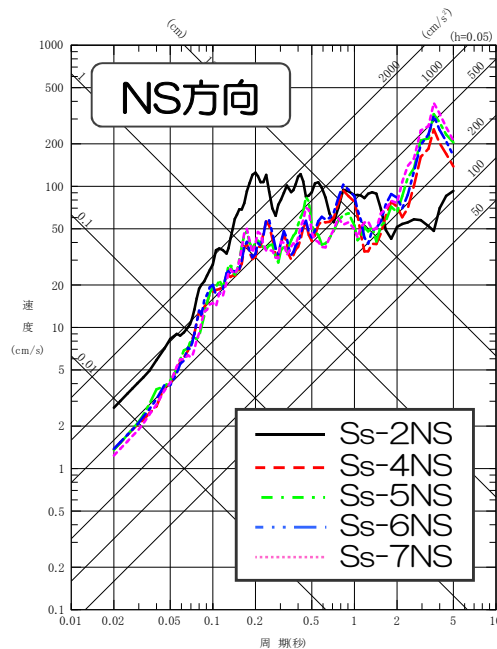
基準地震動	検討用地震		最大加速度値 (Gal)				
			大湊側				
			NS方向	EW方向	UD方向		
Ss-1	F-B断層による地震	応答スペクトルに基づく地震動評価		1050		650	
Ss-2		断層モデルを用いた手法による地震動評価		848	1209	466	
Ss-3	長岡平野西縁断層帯による地震	応答スペクトルに基づく地震動評価	応力降下量1.5倍及び断層傾斜角35° ケースを包絡		600		400
Ss-4		断層モデルを用いた手法による地震動評価	応力降下量1.5倍		428	826	332
Ss-5			断層傾斜角35°		426	664	346
Ss-6			連動+応力降下量1.5倍		434	864	361
Ss-7			連動+断層傾斜角35°		389	780	349
Ss-8	2004年留萌支庁南部地震を考慮した地震動		650		330		

大湊側 入力地震動（基準地震動 S<sub>s</sub>）の疑似速度応答スペクトル

応答スペクトルに基づく  
地震動評価による  
基準地震動



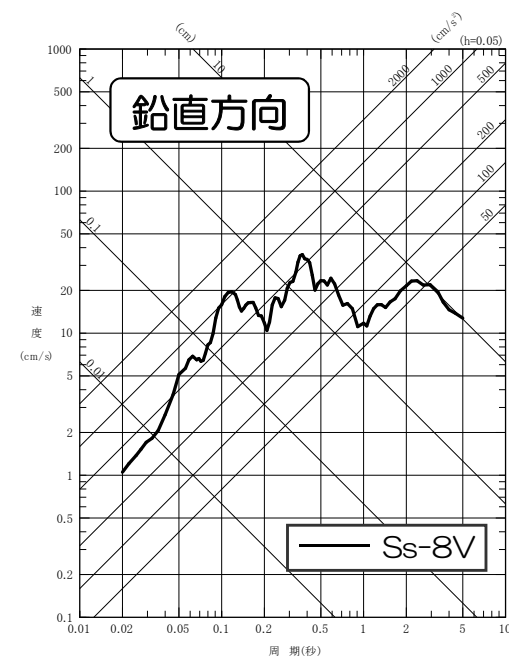
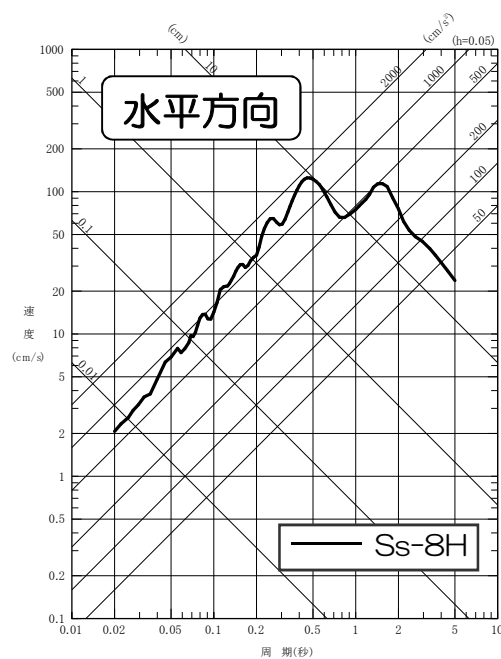
断層モデルを用いた手法  
による地震動評価による  
基準地震動

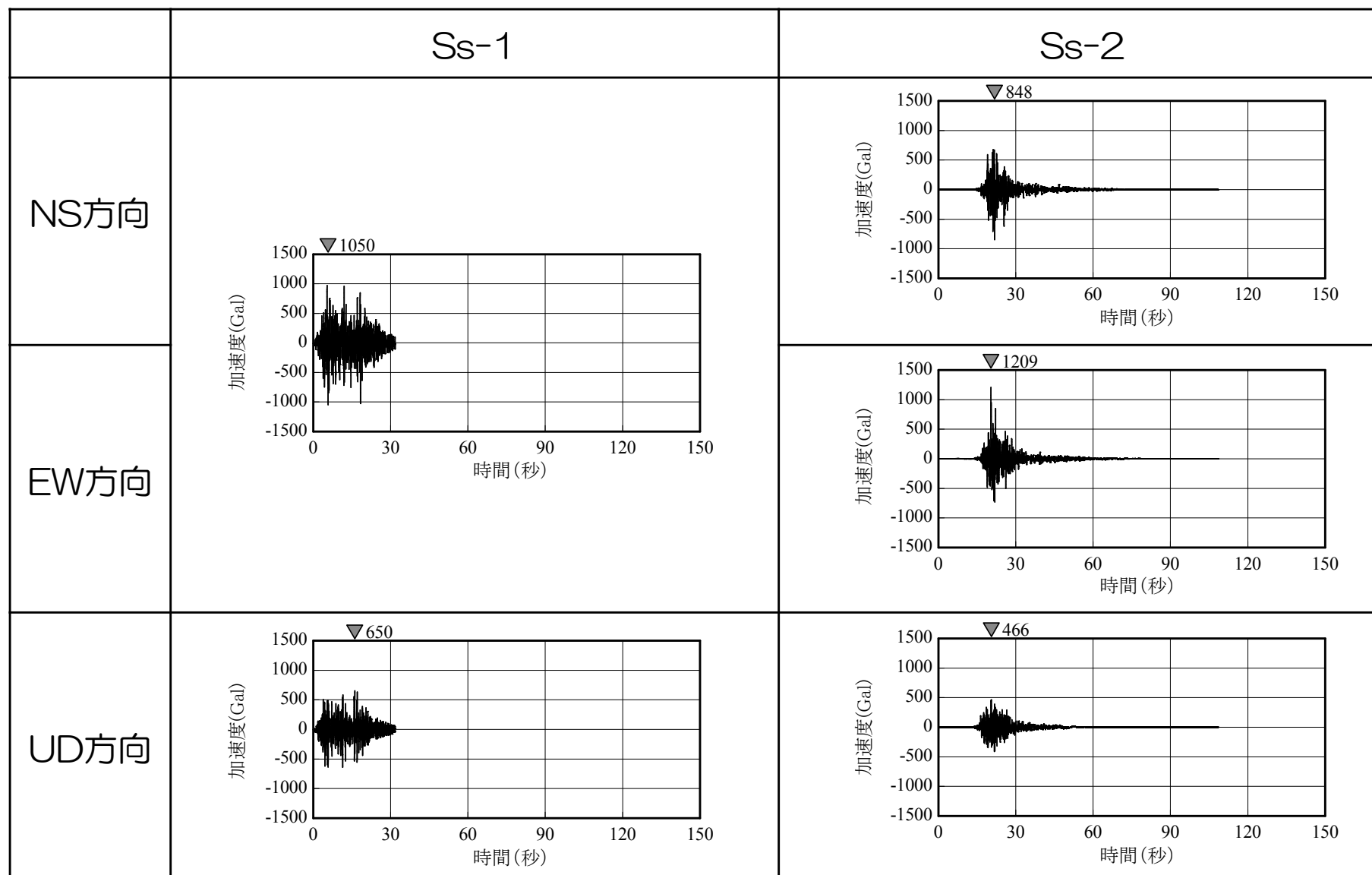


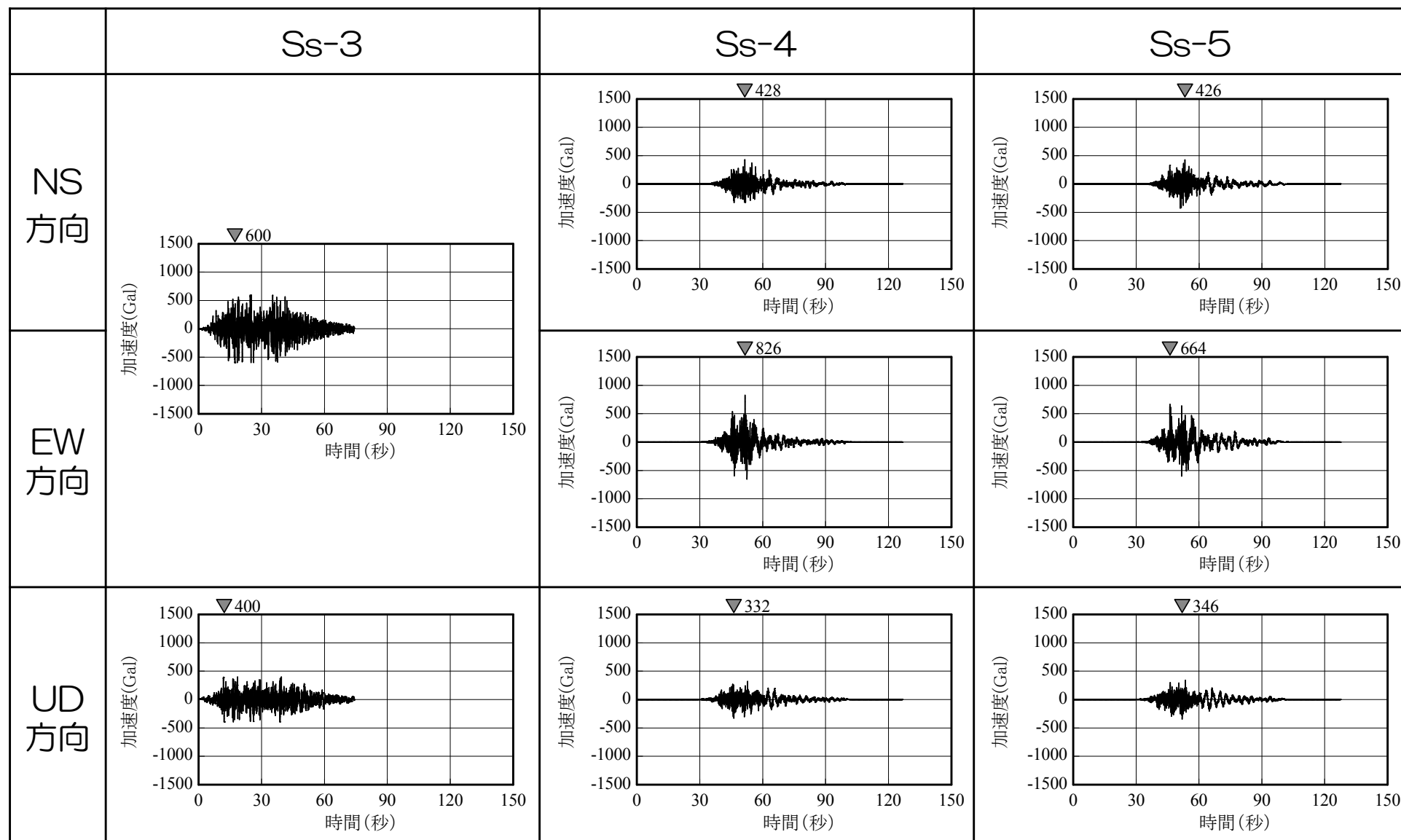


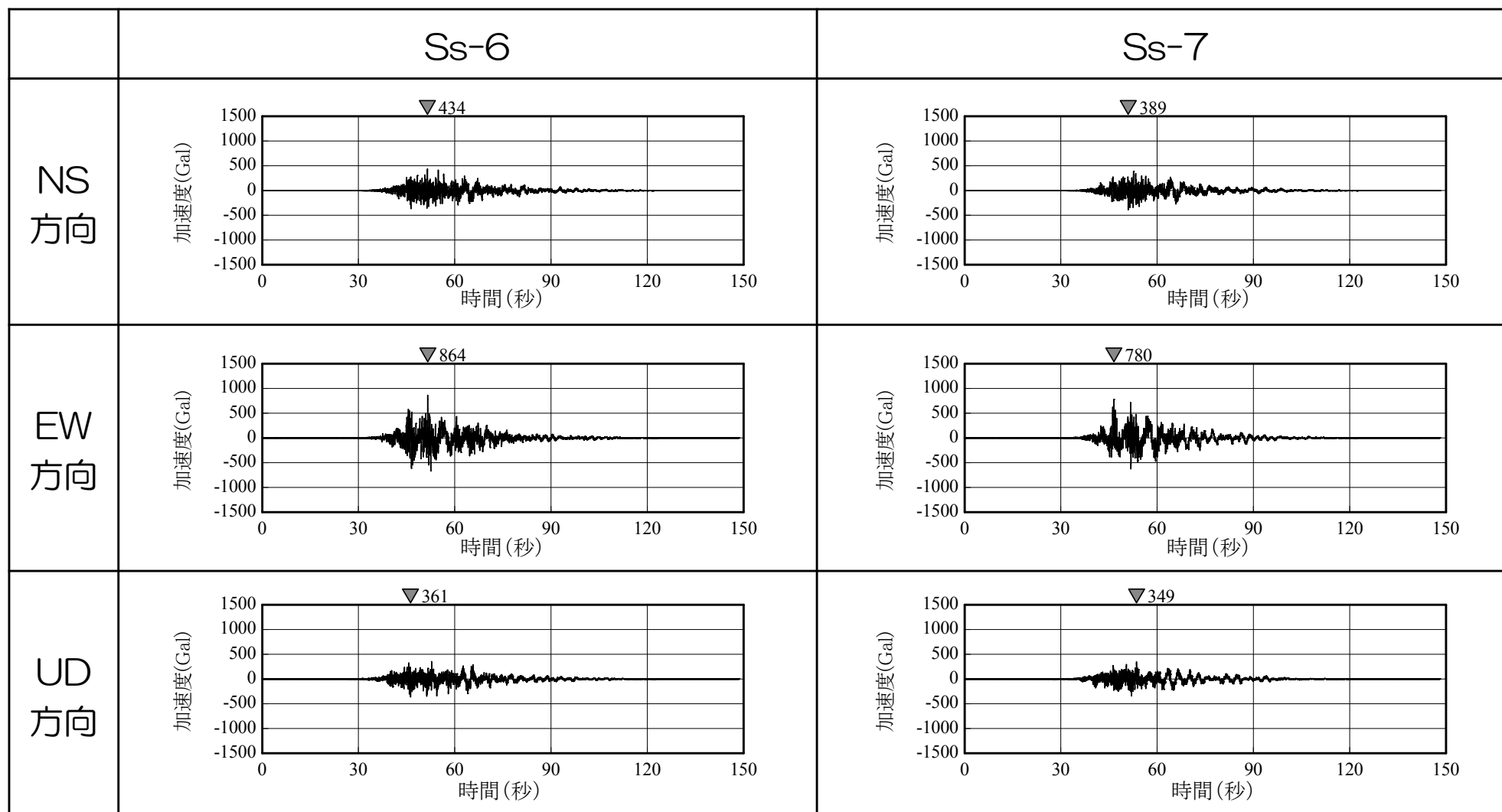
大湊側 入力地震動（基準地震動  $S_s$ ）の疑似速度応答スペクトル

2004年留萌支庁南部地震を考慮した地震動

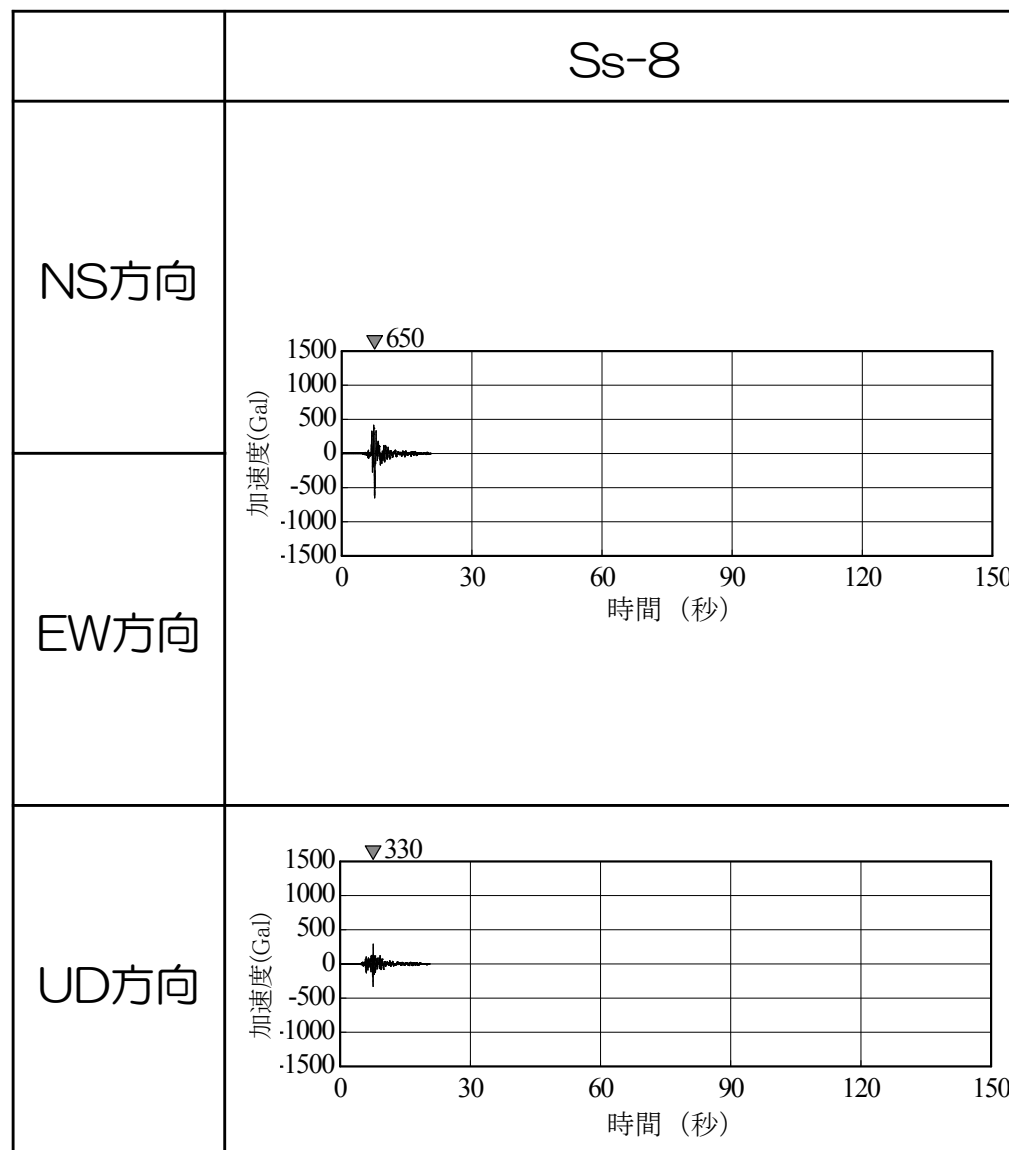


大湊側 入力地震動（基準地震動S<sub>s</sub>）時刻歴波形(1)

大湊側 入力地震動（基準地震動S<sub>s</sub>）時刻歴波形(2)

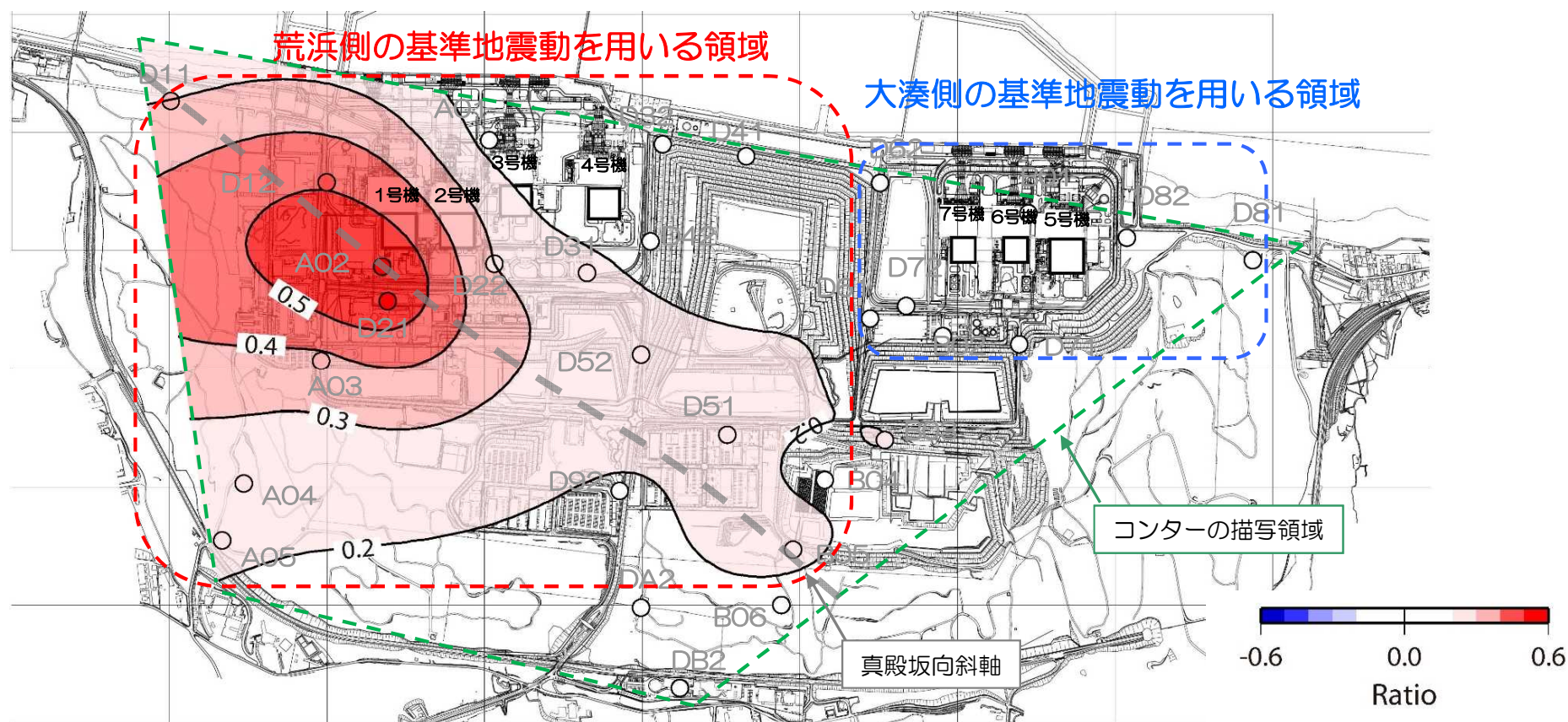
大湊側 入力地震動（基準地震動S<sub>s</sub>）時刻歴波形(3)

# 大湊側 入力地震動（基準地震動S<sub>s</sub>）時刻歴波形(4)



# 各施設の評価における入力地震動の選定

- 各施設の評価に用いる基準地震動は、敷地内の地震波増幅特性を考慮し、以下のとおりとする。
  - 5, 6, 7号炉原子炉建屋の基礎地盤安定性評価は、大湊側の基準地震動を用いる領域に位置することから、大湊側基準地震動を入力地震動に選定した。



1. 評価概要	
1. 1 評価概要	7
1. 2 評価対象施設	9
2. 基礎地盤の安定性評価	
2. 1 評価方針	11
2. 2 解析用物性値	16
2. 3 評価方法	23
2. 4 入力地震動	30
2. 5 評価結果	40
3. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価	
3. 1 周辺地盤の変状による重要施設への影響	71
3. 2 地殻変動による基礎地盤の変形の影響	76
4. 周辺斜面の安定性評価	82
5. まとめ	84

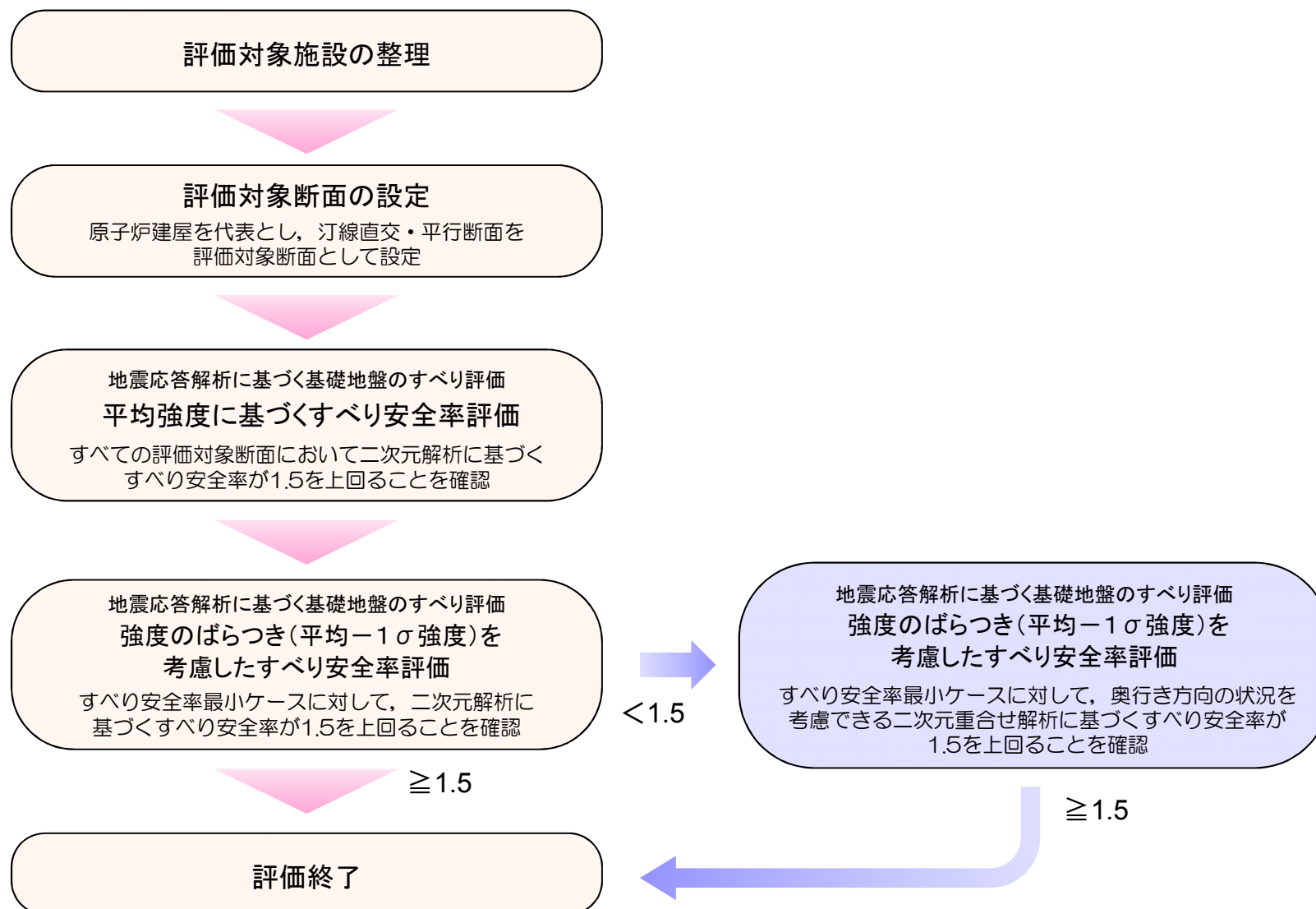
➤ 基礎地盤のすべり〔評価方針〕	40
➤ 大湊側 基礎地盤のすべり	
● 平均強度に基づく評価	42
● 強度のばらつきを考慮した評価	46
➤ 基礎の支持力	61
➤ 基礎底面の傾斜	66

【別冊】補足説明資料



# 基礎地盤のすべり〔評価方針〕

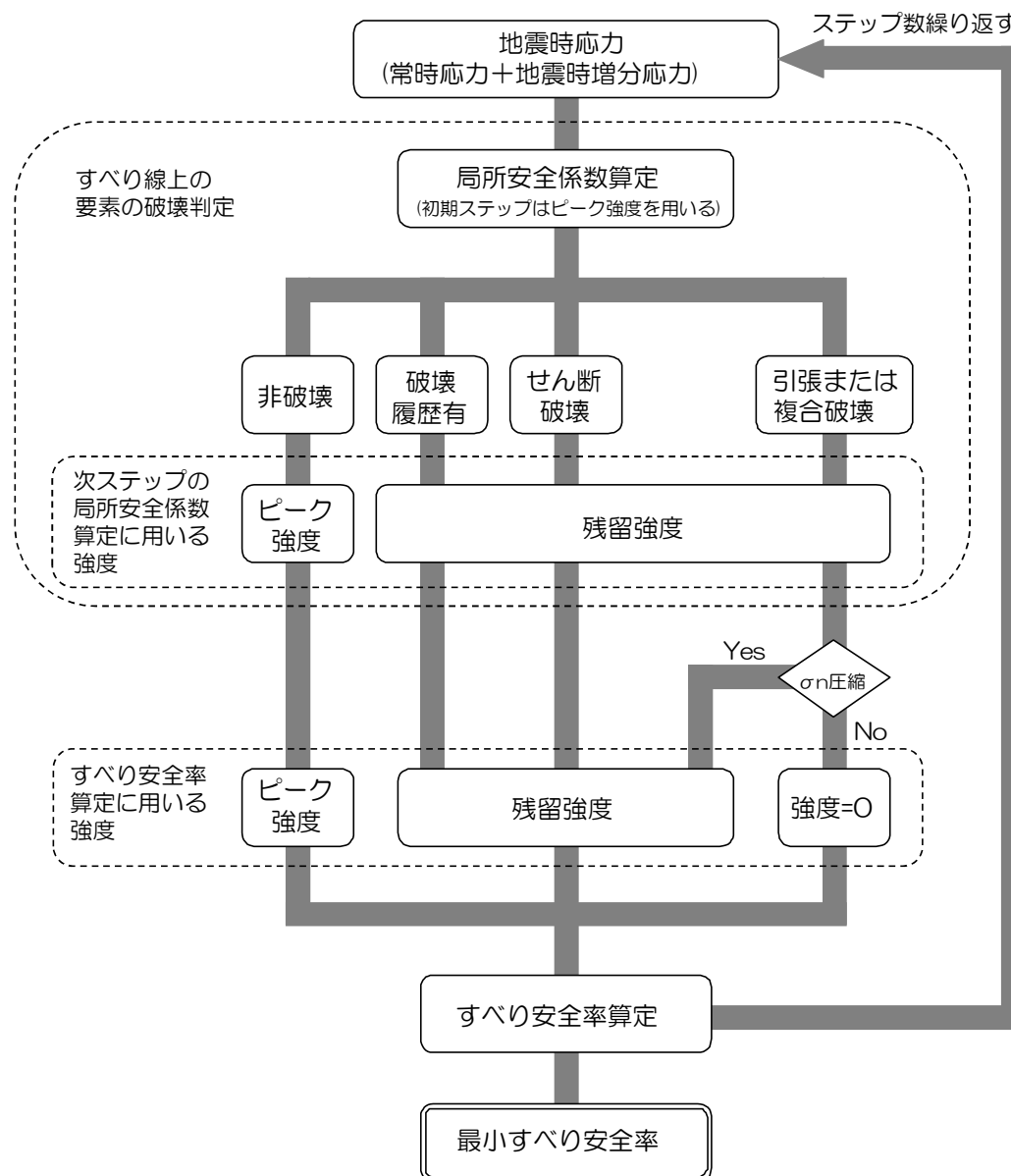
- 基礎地盤のすべり評価は、下図の流れに従い実施する。





# 基礎地盤のすべり〔評価方針〕

- 動的解析の結果に基づき、適切なすべり面を仮定して、すべり安全率が1.5以上であることを確認する。



すべり安全率の算定フロー

# 基礎地盤のすべり〔5, 6, 7号炉原子炉建屋 汀線平行断面〕

■ すべり安全率は、評価基準値1.5以上であることを確認した。

すべり線形状のパターン	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8
建屋底面のすべり	2.8 〔5.67〕	4.7 〔21.75〕	4.1 〔24.90〕	7.4 〔51.64〕	7.1 〔47.71〕	6.3 〔51.96〕	6.7 〔46.54〕	4.3 〔8.04〕
	—		3.8(正,逆) 〔35.73〕					3.1(逆,正) 〔8.02〕
建屋底面のすべり	3.0 〔6.13〕	4.9 〔22.88〕	3.4 〔17.63〕	8.1 〔51.64〕	7.5 〔46.50〕	7.7 〔51.62〕	7.8 〔66.33〕	4.6 〔7.96〕
	3.0(正,逆) 〔6.13〕		3.4(逆,逆) 〔17.63〕					—
建屋底面のすべり	4.2 〔5.70〕	6.1 〔22.89〕	4.2 〔37.16〕	8.5 〔51.63〕	8.8 〔46.52〕	8.2 〔51.63〕	9.1 〔66.40〕	4.7 〔7.98〕
	4.0(逆,正) 〔5.70〕		4.0(正,逆) 〔17.66〕					4.5(逆,正) 〔7.97〕
建屋底面のすべり	3.2 〔5.67〕	5.0 〔22.89〕	3.9 〔17.64〕	7.5 〔51.63〕	7.5 〔46.52〕	6.8 〔51.63〕	7.7 〔46.55〕	4.2 〔7.97〕
	—		3.6(逆,逆) 〔17.65〕					4.0(逆,正) 〔7.97〕
F <sub>3</sub> 断層+V系断層のすべり	1.9 〔5.67〕	2.6 〔21.22〕	1.7 〔17.63〕	3.6 〔51.62〕	3.5 〔46.50〕	3.1 〔51.62〕	3.4 〔46.52〕	1.9 〔8.00〕
	1.7(逆,正) 〔6.86〕		1.6(正,逆) 〔17.64〕					—
F <sub>2</sub> 断層のすべり	1.8 〔6.47〕	2.9 〔20.90〕	1.6 〔37.36〕	3.2 〔51.58〕	3.6 〔46.52〕	3.1 〔51.59〕	3.3 〔66.37〕	1.9 〔8.05〕
	—		1.5(正,逆) 〔17.62〕					1.8(逆,正) 〔8.05〕
F <sub>2</sub> 断層+V系断層のすべり	2.2 〔6.47〕	4.2 〔20.87〕	2.1 〔17.59〕	4.4 〔51.57〕	4.9 〔64.67〕	4.4 〔51.58〕	4.2 〔66.34〕	2.6 〔8.02〕
	—		2.0(正,逆) 〔17.60〕					—

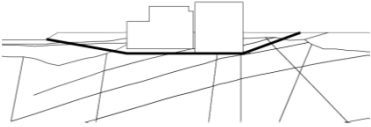
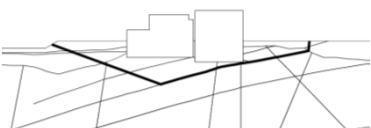
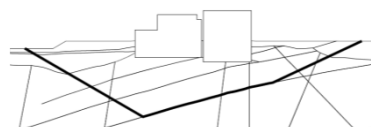
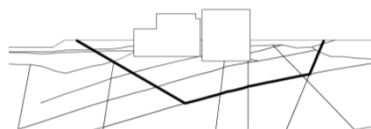
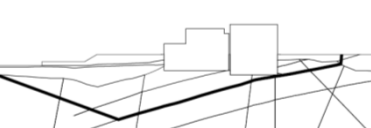
※ 下線は、最小すべり安全率を示す。 ※ Ss-1, 3, 8の上段に、位相反転なしの場合のすべり安全率を記載。

※ Ss-1, 3, 8の下段に、位相反転ありの場合のすべり安全率が位相反転なしの場合のすべり安全率を下回った場合の最小すべり安全率を記載。

※ Ss-1, 3, 8の下段に記載の、(逆,正)は水平反転、(正,逆)は鉛直反転、(逆,逆)は水平反転かつ鉛直反転を示す。 ※〔〕は、発生時刻(秒)を示す。

# 基礎地盤のすべり〔6号炉原子炉建屋 汀線直交断面〕

■ すべり安全率は、評価基準値1.5以上であることを確認した。

すべり線形状のパターン	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8
 0 50 100(m) 建屋底面のすべり	2.8 〔5.66〕	3.2 〔22.46〕	4.4 〔24.90〕	5.7 〔54.53〕	5.4 〔46.87〕	4.6 〔54.54〕	4.0 〔46.88〕	4.0 〔7.96〕
	—		3.8(正,逆) 〔17.66〕					3.7(逆,正) 〔7.96〕
 0 50 100(m) F <sub>3</sub> 断層のすべり	2.3 〔5.67〕	2.5 〔22.47〕	2.7 〔37.14〕	3.6 〔54.53〕	3.0 〔57.31〕	2.7 〔54.54〕	2.6 〔46.89〕	2.2 〔7.97〕
	2.1(逆,正) 〔5.68〕		2.4(正,逆) 〔17.65〕					—
 0 50 100(m) F <sub>2</sub> 断層のすべり	3.5 〔5.67〕	3.8 〔22.46〕	2.6 〔37.29〕	4.8 〔54.00〕	4.0 〔57.29〕	3.9 〔54.55〕	3.6 〔57.33〕	3.4 〔7.98〕
	3.4(逆,正) 〔5.68〕		2.4(正,逆) 〔17.64〕					3.2(逆,正) 〔7.98〕
 0 50 100(m) F <sub>2</sub> 断層+V系断層のすべり	2.9 〔6.47〕	3.6 〔22.45〕	2.8 〔37.28〕	4.2 〔54.02〕	3.3 〔57.29〕	3.2 〔54.56〕	3.1 〔57.33〕	2.9 〔8.00〕
	2.8(逆,正) 〔5.68〕		2.7(正,逆) 〔17.59〕					—
 0 50 100(m) 貯留堰を含むすべり	2.5 〔5.66〕	2.9 〔22.45〕	2.7 〔19.25〕	3.7 〔54.52〕	3.3 〔55.16〕	3.3 〔56.18〕	3.0 〔46.86〕	3.0 〔7.98〕
	—		2.6(逆,逆) 〔37.31〕					2.7(逆,正) 〔7.97〕

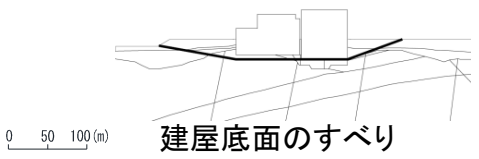
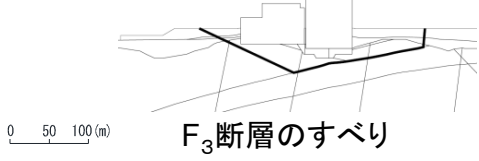
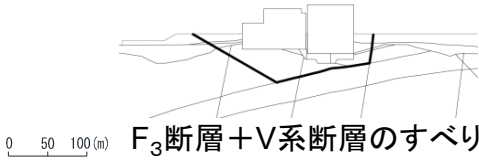
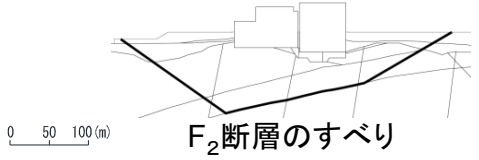
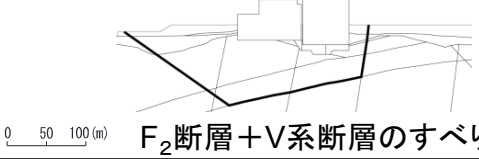
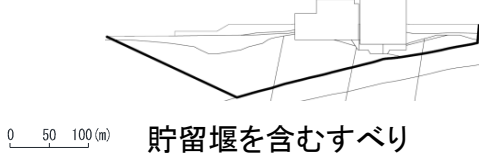
※ 下線は、最小すべり安全率を示す。 ※ Ss-1, 3, 8の上段に、位相反転なしの場合のすべり安全率を記載。

※ Ss-1, 3, 8の下段に、位相反転ありの場合のすべり安全率が位相反転なしの場合のすべり安全率を下回った場合の最小すべり安全率を記載。

※ Ss-1, 3, 8の下段に記載の、(逆,正)は水平反転、(正,逆)は鉛直反転、(逆,逆)は水平反転かつ鉛直反転を示す。 ※〔〕は、発生時刻(秒)を示す。

# 基礎地盤のすべり〔7号炉原子炉建屋 汀線直交断面〕

■ すべり安全率は、評価基準値1.5以上であることを確認した。

すべり線形状のパターン	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8
 建屋底面のすべり	2.7 〔5.66〕	3.2 〔22.46〕	3.9 〔37.14〕	4.5 〔52.56〕	4.2 〔46.48〕	3.8 〔54.54〕	4.2 〔46.88〕	3.3 〔7.96〕
	2.4(逆,正) 〔5.66〕		3.7(正,逆) 〔17.65〕					—
 F <sub>3</sub> 断層のすべり	1.9 〔4.72〕	2.6 〔21.83〕	2.2 〔17.63〕	2.9 〔52.55〕	2.6 〔57.31〕	2.4 〔54.54〕	2.7 〔46.87〕	2.2 〔7.97〕
	1.6(逆,正) 〔5.67〕		2.0(正,逆) 〔17.63〕					—
 F <sub>3</sub> 断層+V系断層のすべり	2.4 〔4.72〕	3.2 〔21.83〕	2.5 〔17.61〕	3.4 〔52.53〕	2.9 〔57.31〕	2.8 〔54.54〕	3.1 〔59.94〕	2.6 〔7.97〕
	2.0(逆,正) 〔5.67〕		2.2(正,逆) 〔17.61〕					—
 F <sub>2</sub> 断層のすべり	3.8 〔10.30〕	4.5 〔19.30〕	3.3 〔37.29〕	4.7 〔56.17〕	3.9 〔57.29〕	3.9 〔54.56〕	3.9 〔57.32〕	3.7 〔8.01〕
	3.6(逆,正) 〔5.68〕		3.1(正,逆) 〔17.57〕					—
 F <sub>2</sub> 断層+V系断層のすべり	3.7 〔6.42〕	4.7 〔19.30〕	3.2 〔37.29〕	5.1 〔56.15〕	4.0 〔57.28〕	4.1 〔54.57〕	3.8 〔59.93〕	4.1 〔8.01〕
	—		3.0(正,逆) 〔17.57〕					—
 貯留堰を含むすべり	2.7 〔5.66〕	2.9 〔22.46〕	2.5 〔19.27〕	3.7 〔54.54〕	3.1 〔55.16〕	3.1 〔54.56〕	2.8 〔57.32〕	2.8 〔7.99〕
	2.7(逆,正) 〔10.31〕		2.4(逆,正) 〔17.61〕					2.8(逆,正) 〔8.00〕

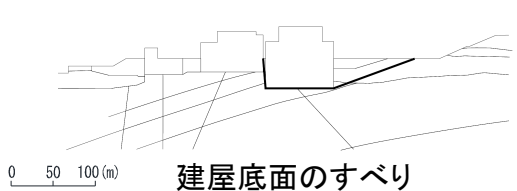
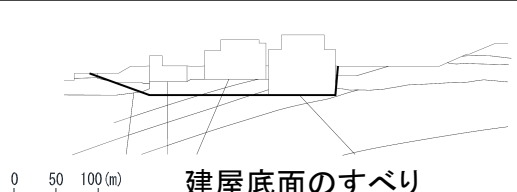
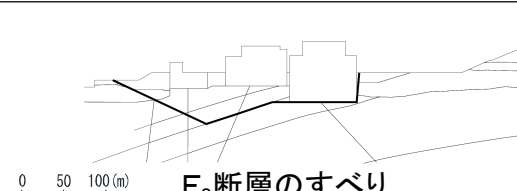
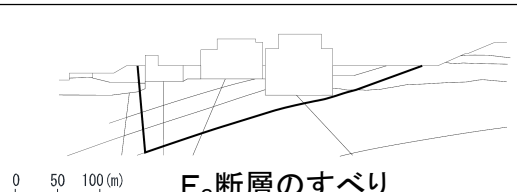
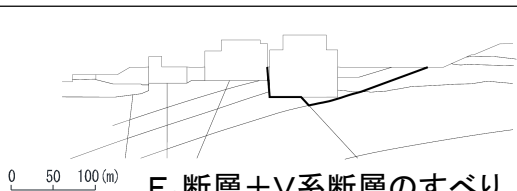
※ 下線は、最小すべり安全率を示す。 ※ Ss-1, 3, 8の上段に、位相反転なしの場合のすべり安全率を記載。

※ Ss-1, 3, 8の下段に、位相反転ありの場合のすべり安全率が位相反転なしの場合のすべり安全率を下回った場合の最小すべり安全率を記載。

※ Ss-1, 3, 8の下段に記載の、(逆,正)は水平反転、(正,逆)は鉛直反転、(逆,逆)は水平反転かつ鉛直反転を示す。 ※〔〕は、発生時刻(秒)を示す。

## 基礎地盤のすべり〔5号炉原子炉建屋 汀線直交断面〕

■ すべり安全率は、評価基準値1.5以上であることを確認した。

すべり線形状のパターン	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8
 建屋底面のすべり	4.3 〔9.14〕	5.0 〔20.78〕	5.2 〔17.45〕	7.0 〔56.22〕	7.0 〔46.49〕	6.5 〔51.65〕	6.8 〔59.45〕	4.7 〔7.97〕
	—		4.9(正,逆) 〔17.47〕					—
 建屋底面のすべり	3.2 〔5.66〕	3.8 〔22.45〕	4.0 〔24.88〕	5.1 〔54.53〕	5.0 〔55.14〕	4.3 〔54.54〕	3.7 〔46.87〕	3.8 〔7.96〕
	—		3.8(逆,逆) 〔17.65〕					3.8(逆,正) 〔7.95〕
 F <sub>3</sub> 断層のすべり	3.1 〔5.67〕	3.7 〔22.45〕	4.0 〔36.51〕	4.7 〔54.54〕	4.8 〔55.17〕	3.9 〔54.55〕	3.6 〔46.86〕	3.4 〔7.97〕
	—		3.7(逆,逆) 〔17.65〕					—
 F <sub>2</sub> 断層のすべり	3.4 〔6.78〕	3.7 〔20.77〕	3.1 〔37.28〕	4.4 〔54.01〕	3.4 〔57.30〕	3.1 〔54.57〕	3.2 〔57.33〕	2.6 〔8.00〕
	2.9(逆,逆) 〔9.17〕		2.7(正,逆) 〔17.56〕					—
 F <sub>2</sub> 断層+V系断層のすべり	3.6 〔9.16〕	3.8 〔20.79〕	3.8 〔17.46〕	5.2 〔56.22〕	5.5 〔46.50〕	4.7 〔51.66〕	5.3 〔59.48〕	3.2 〔7.99〕
	3.3(逆,正) 〔6.84〕		3.5(正,逆) 〔17.48〕					—

※ 下線は、最小すべり安全率を示す。 ※ Ss-1, 3, 8の上段に、位相反転なしの場合のすべり安全率を記載。

※ Ss-1, 3, 8の下段に、位相反転ありの場合のすべり安全率が位相反転なしの場合のすべり安全率を下回った場合の最小すべり安全率を記載。

※ Ss-1, 3, 8の下段に記載の、(逆,正)は水平反転、(正,逆)は鉛直反転、(逆,逆)は水平反転かつ鉛直反転を示す。 ※〔〕は、発生時刻(秒)を示す。

## 基礎地盤のすべり〔強度のばらつき評価〕

- 物性のばらつきのうち、評価に最も影響を及ぼす強度のばらつきについて検討を実施した。
- 物性のばらつきとして、強度を「平均-1σ強度」に設定した。
- すべての評価ケースの中で、最もすべり安全率が最小（1.5）となったケースを対象に検討を実施した。

対象ケース：5,6,7号炉汀線平行断面，基準地震動Ss-3(正，逆)，F<sub>2</sub>断層のすべり

### 主な地層および断層の解析用物性値（強度）

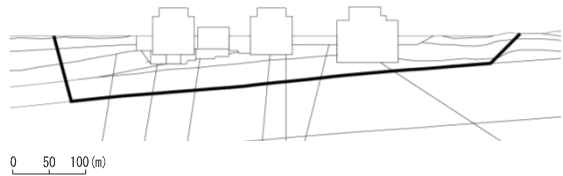
上段：平均強度  
下段：平均-1σ強度

	西山層	F系断層（粘土部）	F系断層（破砕部）
ピーク強度 $C_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.37-0.00504·Z <u>1.13-0.00504·Z</u>	0.286+0.191·P <u>0.243+0.191·P</u> 粘土部と破砕部の強度の低い方を用いる。	0.279+0.242·P <u>0.215+0.242·P</u>
引張強度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.335-0.00157·Z <u>0.216-0.00157·Z</u>	—	—
残留強度 $C_{ur}$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.673-0.00201·Z <u>0.479-0.00201·Z</u>	0.219+0.251·P <u>0.174+0.251·P</u> 粘土部と破砕部の強度の低い方を用いる。	0.278+0.181·P <u>0.212+0.181·P</u>

注1：Zは，T.M.S.L.(m)を示す。 注2：Pは，平均有効拘束圧(N/mm<sup>2</sup>)を示す。

## 基礎地盤のすべり〔強度のばらつき評価〕

- 平均強度において、すべり安全率が最小（1.5）となったケースについて、強度のばらつき（平均-1 $\sigma$ 強度）を考慮した評価を行った結果、すべり安全率は1.3であり、1.5を下回るものの1.0を上回ることを確認した。
- 評価に用いている二次元解析は、代表する1断面から単位奥行き幅の二次元断面を作成し、平面ひずみ条件で解析しているため、奥行き方向に無限に連続、かつ変化しないすべり面を評価していることから、奥行き方向の地質・地質構造の変化や建屋形状等を考慮できる複数の二次元解析を重ね合わせた二次元重合せ解析※を実施した。

評価対象断面 及び地震動	すべり線形状のパターン	すべり安全率 〔平均強度〕	すべり安全率 〔平均-1 $\sigma$ 強度〕
6, 7号炉原子炉建屋 汀線平行断面 【Ss-3(正,逆)】	 <p>F<sub>2</sub>断層のすべり</p>	1.5 〔17.62〕	1.3 〔19.28〕

※ 基準地震動Ss-3の(正,逆)は、鉛直反転を示す。 ※〔〕は、発生時刻（秒）を示す。

※ 大島ほか；側方効果を考慮した擬似三次元モデルによる地盤安定性評価法\*，地盤工学ジャーナル，Vol. 10，No. 2，225-234，2015. 6.

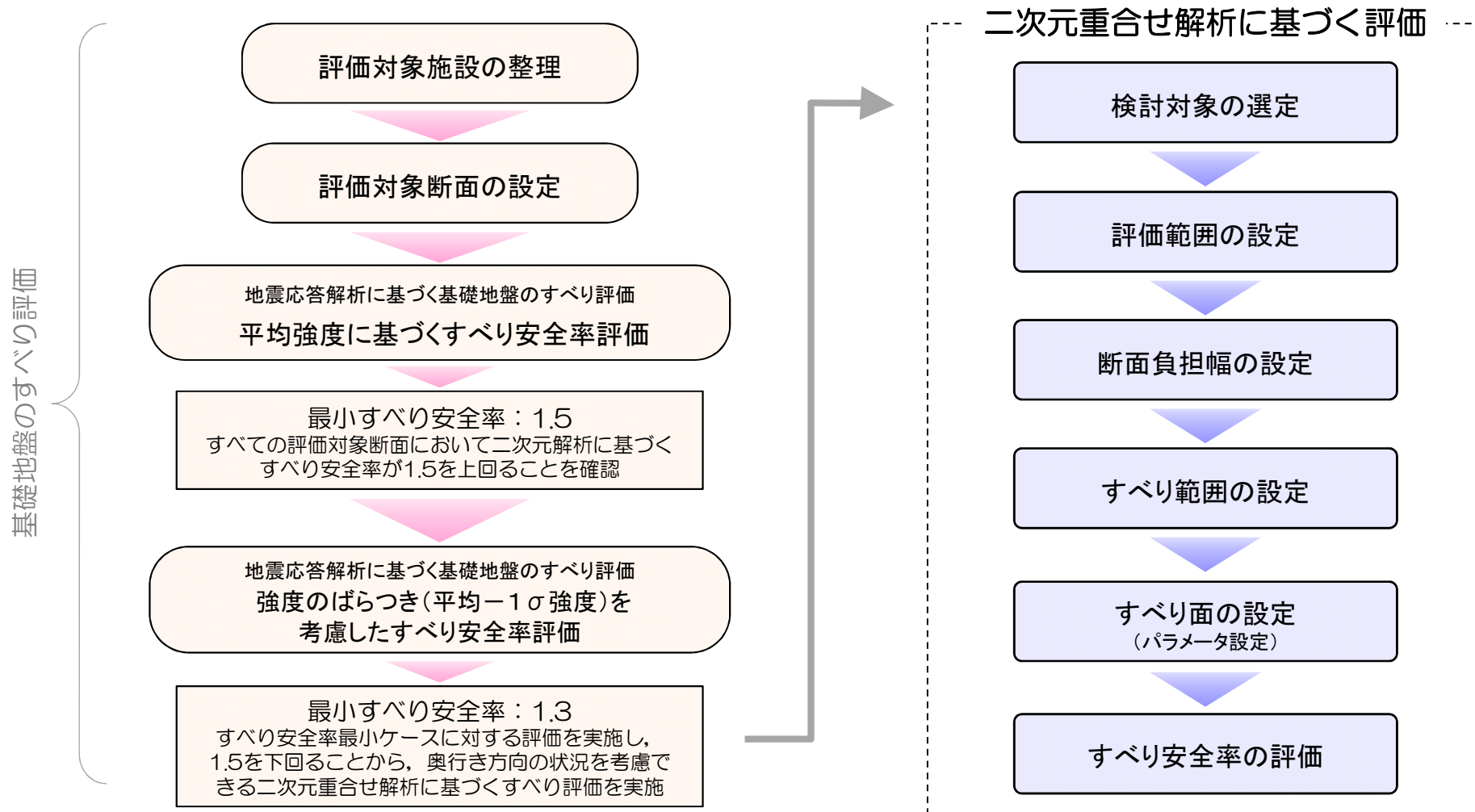
\* 擬似三次元モデルによる地盤安定性評価法：

奥行き方向の地質・地質構造の変化や建屋形状等を考慮できるよう、複数の二次元断面を作成して解析を行い、それらを重ね合わせてすべり土塊の力の釣り合いを評価する方法



### 検討概要

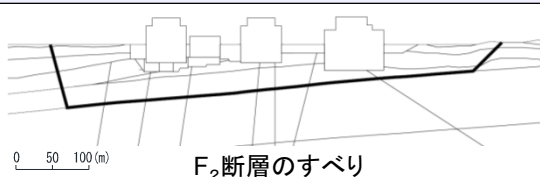
- 大湊側の基礎地盤のすべり評価は、下図の流れで実施している。なお、すべり安全率が最小となったケースについて、強度のばらつき（平均 $-1\sigma$ 強度）を考慮した評価を行った結果、すべり安全率は1.3であり、1.5を下回ることから、下図の流れに従って二次元重合せ解析を実施した。





### 検討対象の選定

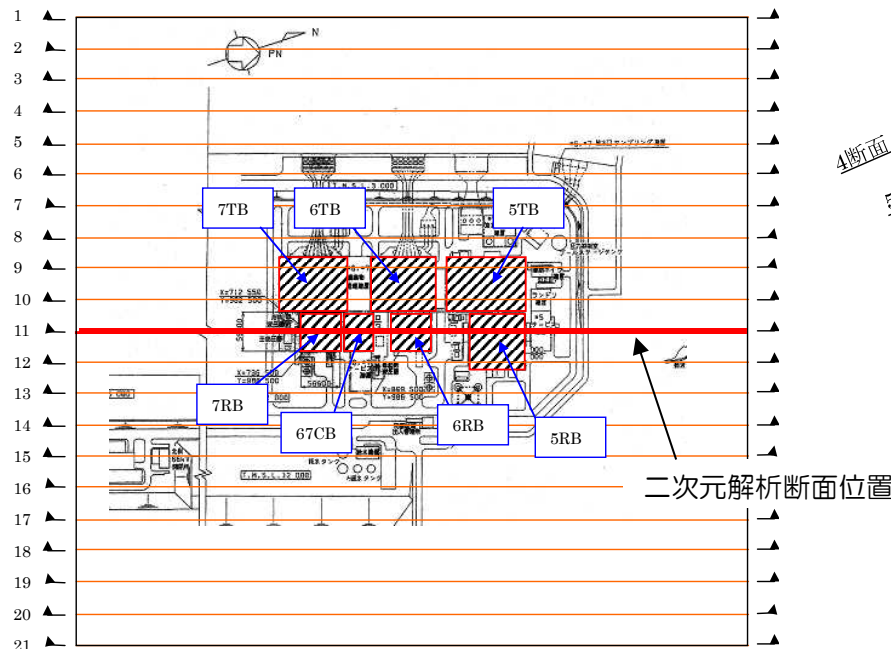
- 検討は、強度のばらつき（平均-1σ強度）を考慮したケース（すべり安全率1.3）に対して、二次元重合せ解析に基づく評価を実施した。
- 二次元重合せ解析では、複数の二次元断面を作成し、解析用地盤物性値や境界条件等の解析条件は、二次元解析に準じて設定した。各断面で解析を実施して地震時応力を算定し、すべり安全率を算定した。

評価対象断面 及び地震動	強度の設定	すべり線形状のパターン
6, 7号炉原子炉建屋 汀線平行断面 【Ss-3(正,逆)】	強度の ばらつき考慮 〔平均-1σ強度〕	 F <sub>2</sub> 断層のすべり

### すべり安全率の計算方法

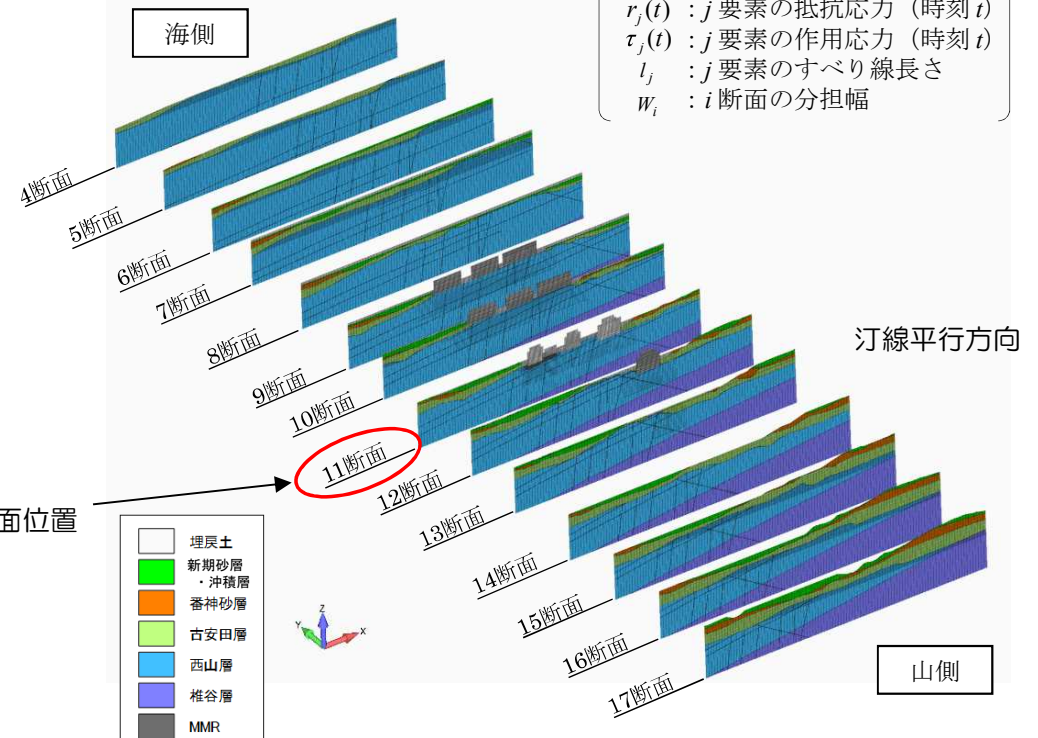
$$F_s(t) = \frac{\sum_{i=1}^n R_i(t)}{\sum_{i=1}^n L_i(t)} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m r_j(t) \cdot l_j \cdot W_i}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tau_j(t) \cdot l_j \cdot W_i}$$

- $F_s(t)$  : 全体の安全率 (時刻  $t$ )
- $R_i(t)$  :  $i$ 断面の抵抗力 (時刻  $t$ )
- $L_i(t)$  :  $i$ 断面の滑動力 (時刻  $t$ )
- $r_j(t)$  :  $j$ 要素の抵抗応力 (時刻  $t$ )
- $\tau_j(t)$  :  $j$ 要素の作用応力 (時刻  $t$ )
- $l_j$  :  $j$ 要素のすべり線長さ
- $W_i$  :  $i$ 断面の分担幅



平面図

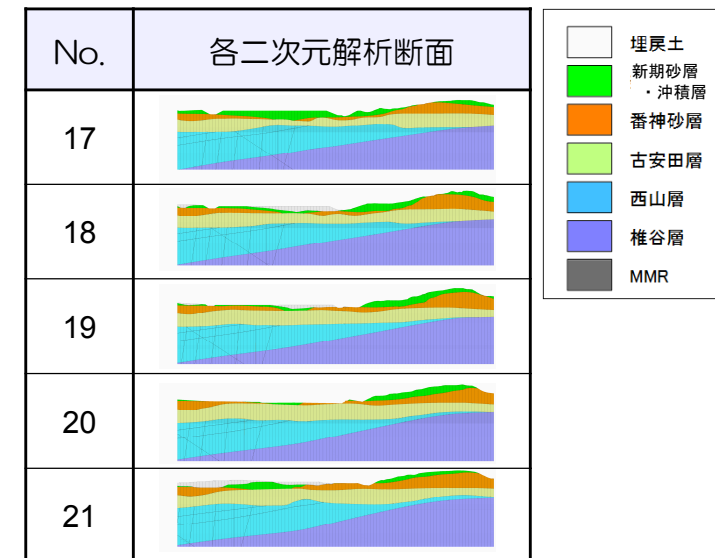
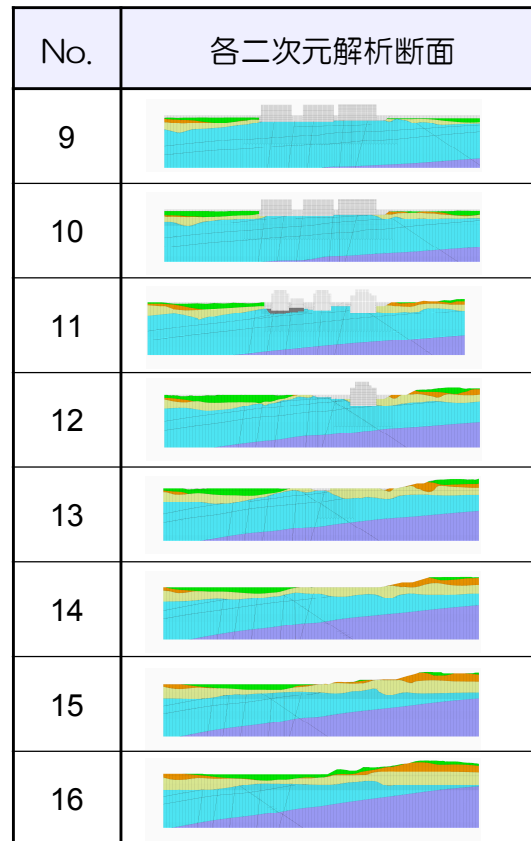
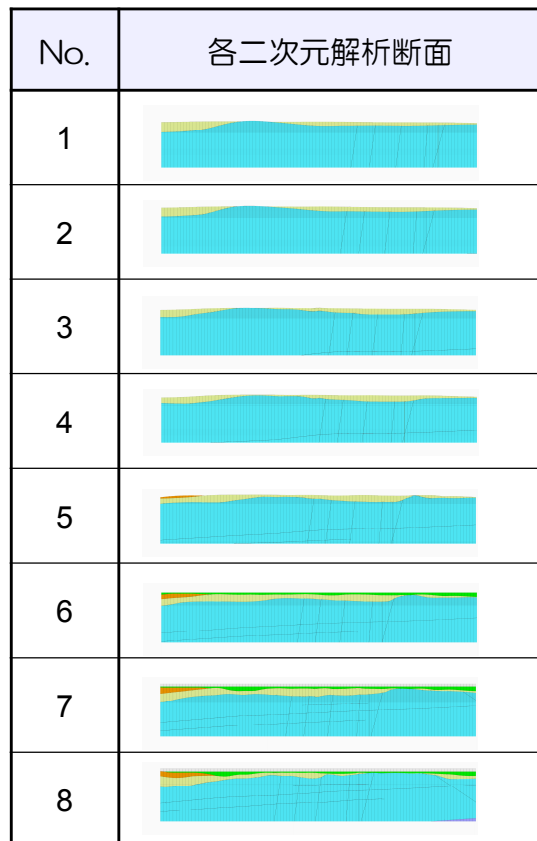
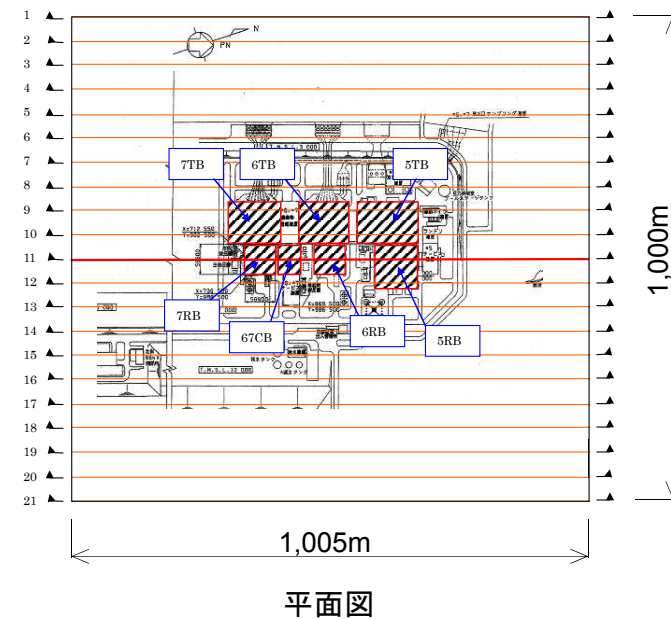
二次元解析断面位置



- 検討対象の選定
- 評価範囲の設定
- 断面負担幅の設定
- すべり範囲の設定
- すべり面の設定 (パラメータ設定)
- すべり安全率の評価

### 評価範囲（モデル化範囲）の設定

- 二次元重合せ解析の奥行き方向のモデル化範囲は、地形・地質状況や建屋形状を考慮して適切に設定する必要がある。
- 奥行き方向のモデル化範囲は、二次元解析の断面幅（1,005m）と概ね同等となるよう、原子炉建屋を中心に1000mの範囲とした。
- 二次元断面の間隔については、原子炉建屋の大きさ（約60m×60m）や地質・地質構造、特にすべり面を形成するF<sub>2</sub>断層に局所的な変化がないことなどを考慮し、50m間隔を基本とし、合計21断面の二次元断面を作成した。



検討対象の選定

評価範囲の設定  
(モデル化範囲の設定)

断面負担幅  
の設定

すべり範囲  
の設定

すべり面の設定  
(パラメータ設定)

すべり安全率の評価

検討対象の選定

評価範囲の設定

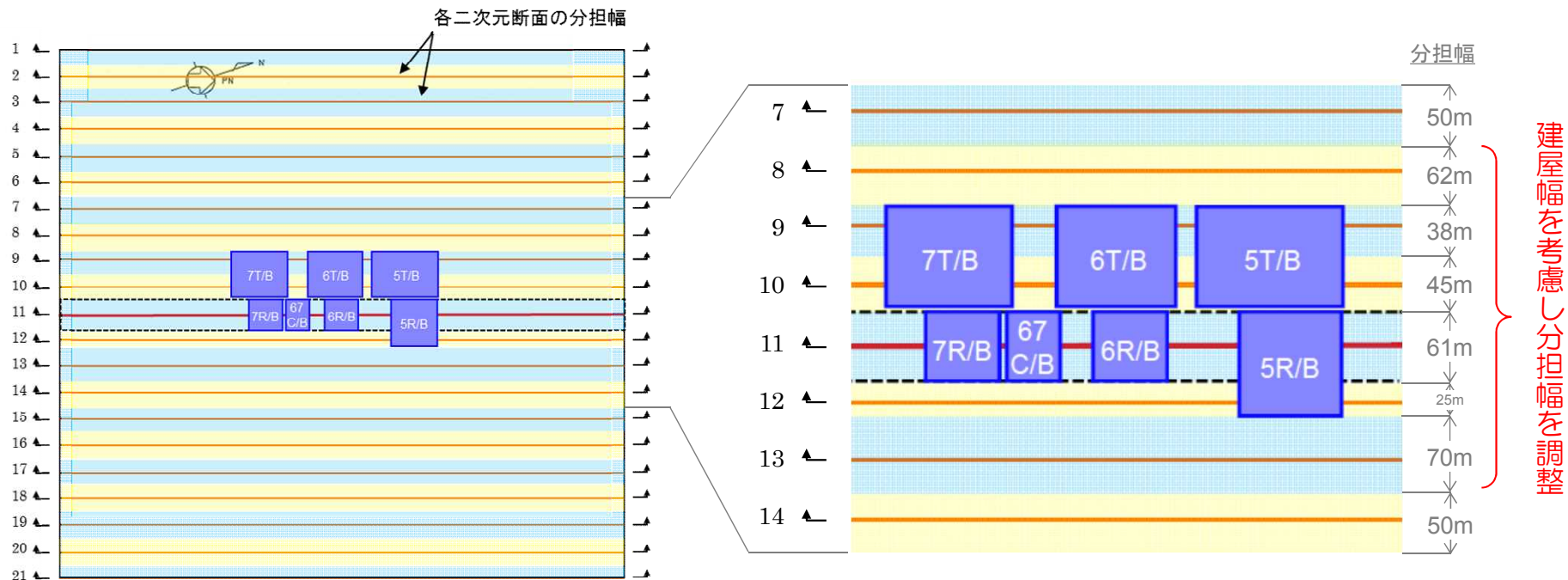
断面負担幅  
の設定

すべり範囲  
の設定

すべり面の設定  
(パラメータ設定)

### 二次元断面の負担幅の設定

- 各断面の分担幅は断面間隔と同様、50mを基本とした。
- なお、原子炉建屋やタービン建屋を通る断面の分担幅については、建屋の幅に合うよう分担幅を調整した。



各二次元断面の分担幅図

### 奥行き方向のすべり範囲の検討

- 建屋等の構築物が設置される以前の断層のある地盤の安定性については、地質・地質構造の評価（断層の活動性評価）により確認している。
- 基礎地盤の地震時安定性は、建屋等の構築物が設置されたことによる地盤の応力状態の変化に対して、解析的な検討により基礎地盤の安定性を評価するものであることから、以下の観点で奥行き方向のすべり範囲の検討を実施した。

- A) 建屋がある場合とない場合の動的解析を行い、両者の応力変動を比較することにより、建屋の影響を受ける範囲を検討する。\*
- B) 設定した範囲について、敷地内及び敷地近傍における過去の地すべり規模と比較する。

※ 土木学会原子力土木委員会：原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術<技術資料>，2009年2月

断層のある地盤の安定性評価

地質的立証（構築物建設前の地盤安定性）

原子力発電所の耐震設計で考慮すべき期間内の地震に対して発電所建設前の地盤は安定

発電所構築物建設後の地盤安定性

安定性評価範囲の設定

構築物のある場合とない場合の解析的な検討\*

すべり安全率の算定による地盤の安定性の定量的評価

すべり範囲の検討A

基礎地盤安定性評価範囲

基礎地盤の安定性評価における安定性評価範囲の設定に関する基本的な流れ

検討対象の選定

評価範囲の設定

断面負担幅の設定

すべり範囲の設定

すべり面の設定  
(パラメータ設定)

すべり安全率の評価



### 奥行き方向のすべり範囲の検討 A) 地震時応力に基づく検討

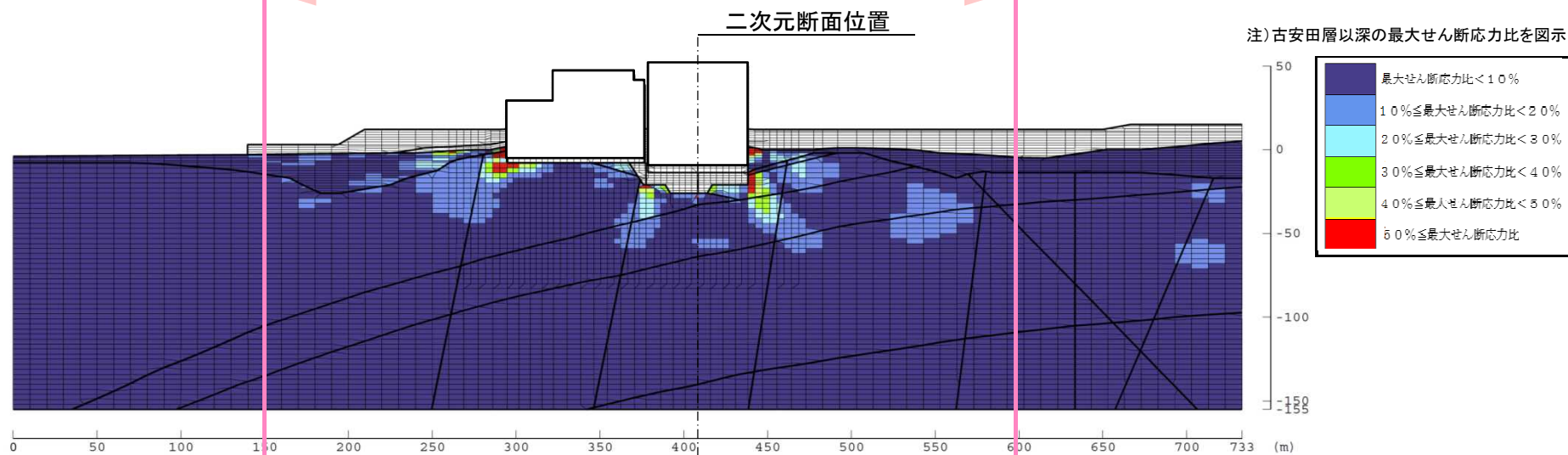
- 建屋のある場合とない場合の動的解析を行い、両者の解析によって得られる応力変動「最大せん断応力比」を指標として比較することにより、建屋の影響を受ける範囲を検討した。
- 奥行き方向のすべりを検討する範囲は、建屋の影響範囲とみなせる応力が変動する領域より広くなるよう設定した。また、そのすべり範囲は「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008」で示されている建屋幅の2.5倍を満足していることを確認した。なお、山側の一部に最大せん断応力比が若干大きい領域があるが、この領域はF系断層とV系断層の交差部付近であり、複数の断層の影響で応力の変動が若干大きくなったと推測される。

#### 最大せん断応力比算定式

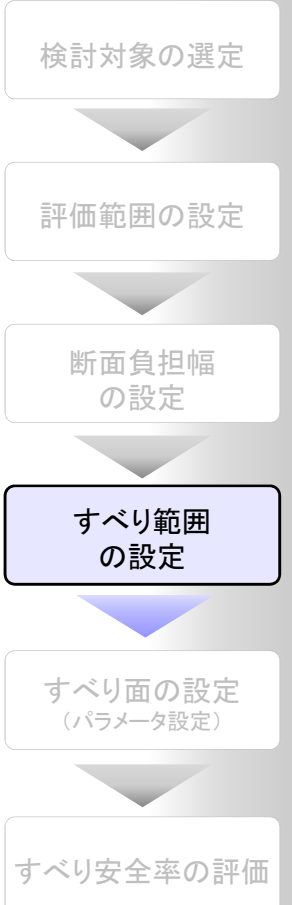
$$\text{最大せん断応力比} = \left| \frac{\text{建屋ありの}T_{\max} - \text{建屋なしの}T_{\max}}{\text{建屋なしの}T_{\max}} \right| \times 100 (\%)$$

#### 建屋設置の影響範囲

(基礎地盤のすべりを検討する範囲：約450m)



最大せん断応力比分布と奥行き方向のすべり範囲(7号炉原子炉建屋汀線直交断面)



### 奥行き方向のすべり範囲の検討 B) 地すべり規模との比較

- 敷地内及び近傍の地すべり断層として、①，②断層と寺尾断層を抽出し，設定したすべり範囲と比較した。
- 設定したすべり範囲は，既往の地すべり規模と比較して十分に大きい。

検討対象の選定

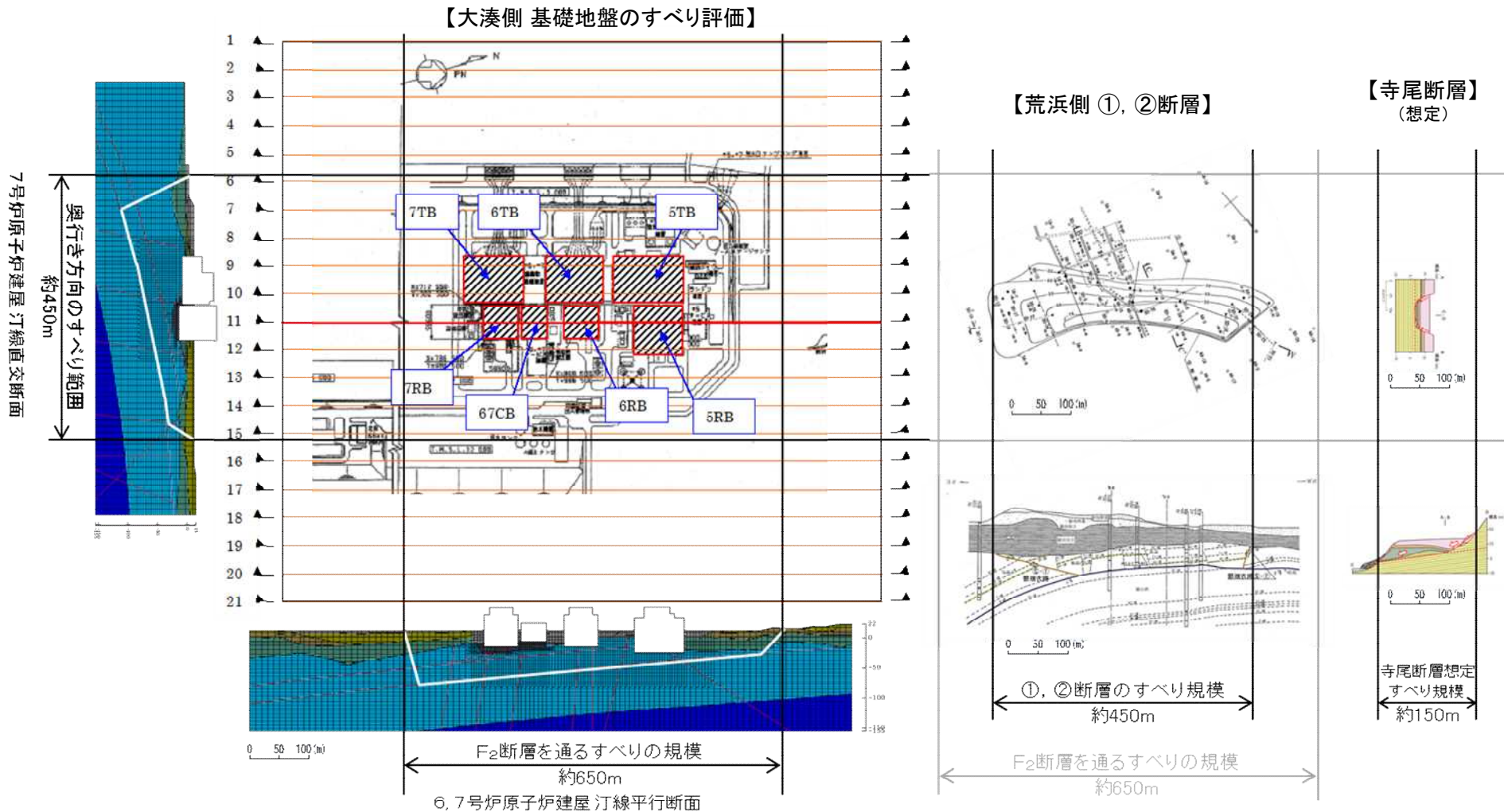
評価範囲の設定

断面負担幅  
の設定

すべり範囲  
の設定

すべり面の設定  
(パラメータ設定)

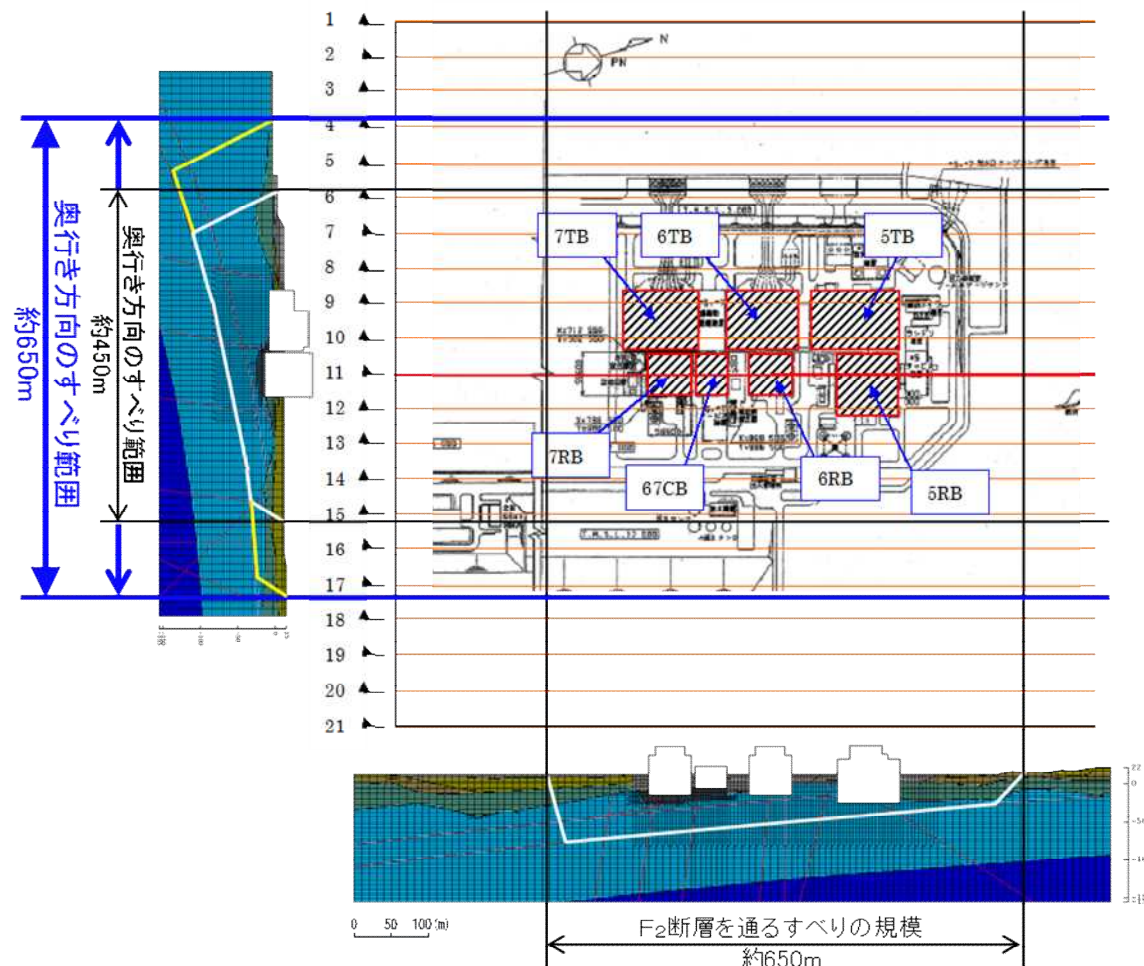
すべり安全率の評価



設定したすべり範囲と地すべり規模の比較

### 奥行き方向のすべり面拡大の検討

- 奥行き方向のすべり範囲の不確かさを考慮し、設定したすべり範囲に対して、さらにすべり面を拡大した検討を実施する。
- 奥行き方向のすべり面が汀線平行断面のF<sub>2</sub>断層を通るすべりの規模と同程度となるよう、海側、山側にそれぞれ100m拡大し、約650mとした。



6, 7号炉原子炉建屋 汀線平行断面

奥行き方向のすべり面拡大範囲図

検討対象の選定

評価範囲の設定

断面負担幅  
の設定

すべり範囲  
の設定

すべり面の設定  
(パラメータ設定)

すべり安全率の評価



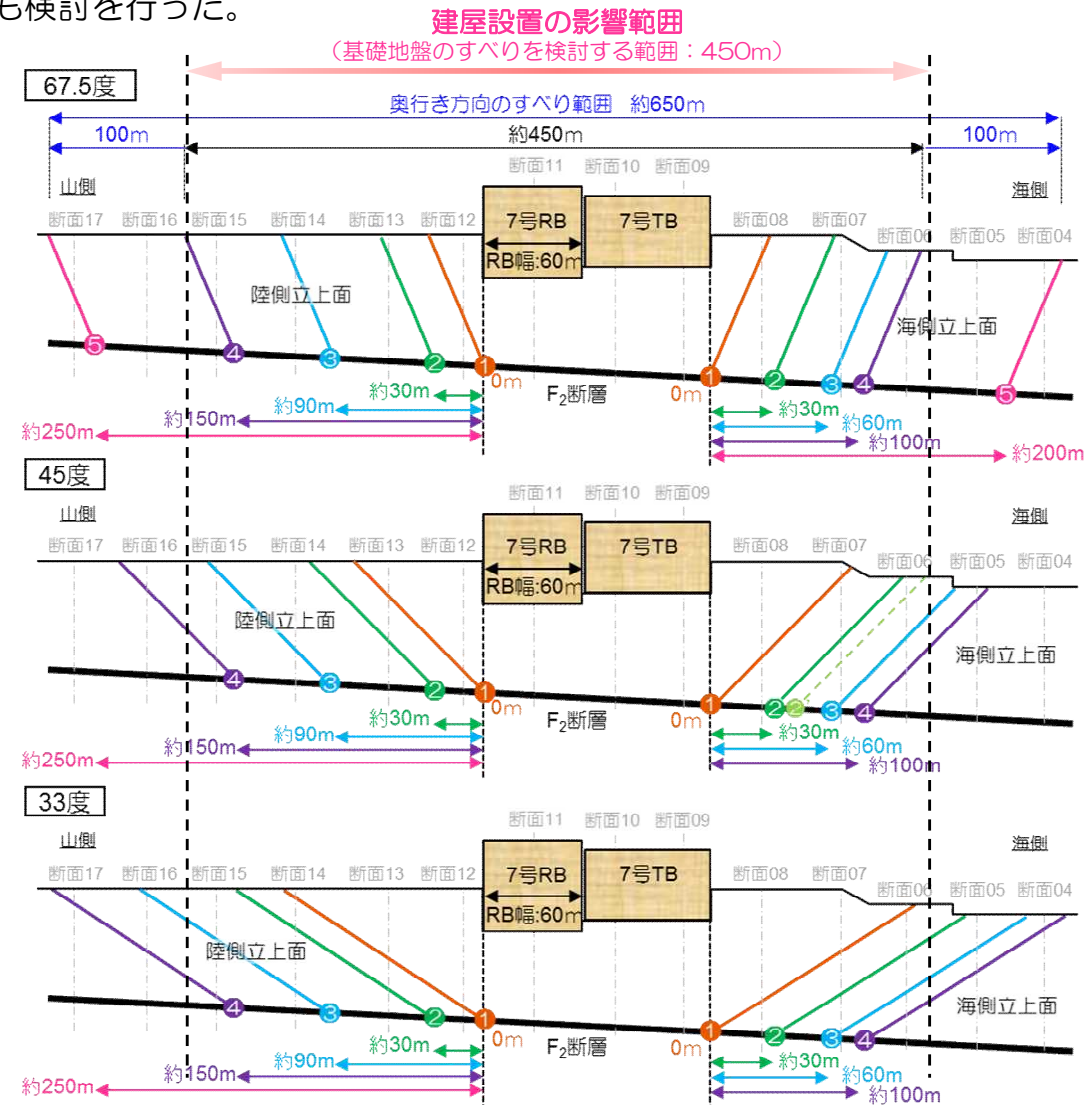
### すべり面の設定 (パラメータ設定)

- すべり面の設定は、建屋設置の影響範囲を考慮して設定したすべり範囲 (450m) に基づき、地表面に抜けるすべり面の立上げ角度を3ケース、立上げ位置を4ケース設定し、パラメータスタディを実施した。
- また、前述の通り、奥行き方向のすべり面をさらに拡げて、汀線平行方向のすべり範囲と同等としたケース (立上げ位置ケース5、すべり範囲650m) についても検討を行った。
- すべり安全率算定に用いた解析断面は、断面4～断面17である。

すべり面の設定 (パラメータスタディ実施ケース)

		Ss-3 (正, 逆), 強度: 平均-1σ強度				
立上位置	ケース	ケース	ケース	ケース	ケース	
側面の立上角度	①	②*	③	④	⑤	
67.5度	○	○	○	○	○	
45度	○	○	○	○	○	建屋影響の範囲外
33度	○	○	○	○	○	建屋影響の範囲外

\* ケース②の山側立上げ位置は、ケース④の位置と同じ



奥行き方向のすべり面イメージ図 (パラメータ設定: 立上げ角度, 立上げ位置)

検討対象の選定

評価範囲の設定

断面負担幅の設定

すべり範囲の設定

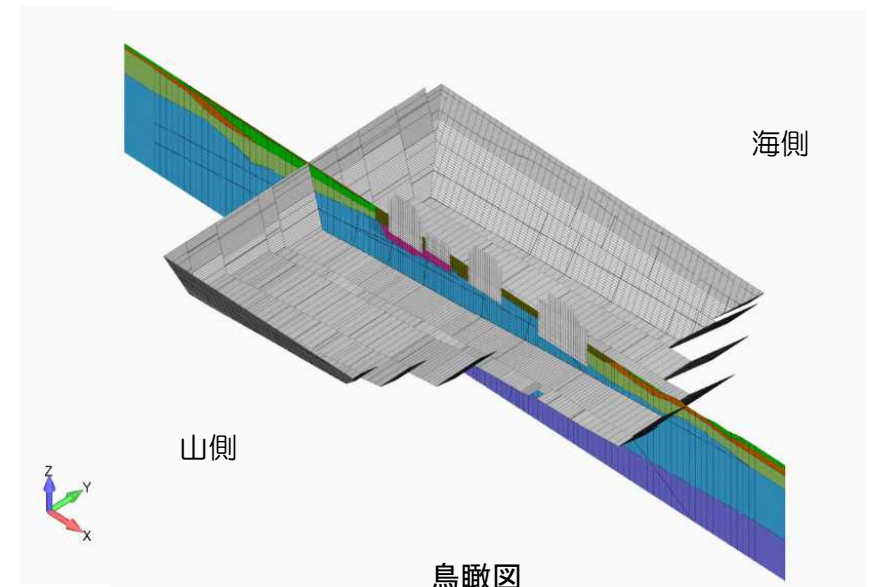
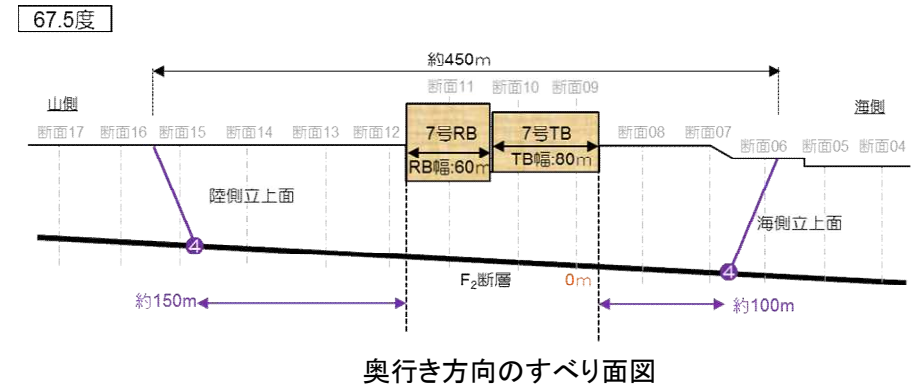
**すべり面の設定 (パラメータ設定)**

すべり安全率の評価



### 評価結果 (1)

- パラメータスタディの結果、最小すべり安全率は2.7であり、1.5を上回ることを確認した。また、奥行き方向のすべり面を拡大したケース5の安全率は3.3であり、最小すべり安全率を上回ることを確認した。
- パラメータスタディの結果、本評価では、立上げ角度の影響は小さく、立上げ位置が建屋から離れるほど、すべり安全率が小さくなる傾向が認められる。ただし、立上げ角度67.5度の場合、建屋の影響範囲(450m)を超え、海側のF<sub>2</sub>断層がさらに深くなるケース5については、すべり安全率が上昇に転じており、その他の立上げ角度でもケース4では上昇に転ずる傾向が認められる。
- これは、F<sub>2</sub>断層が海側に向かってやや傾斜を急にしながら深部に向かっているため、西山層を通るすべり面の面積増加や強度増加により抵抗力が増加したためと考えられる。



すべり安全率が最小となるケースのすべり面  
(立上げ角度:67.5度, 立上げ位置:ケース4)

評価結果

		Ss-3 (正, 逆), 強度:平均-1σ強度				
側面の 立上角度	立上位置	ケース①	ケース② (ケース②')	ケース③	ケース④	ケース⑤
	67.5度		3.3 [19.26]	2.9 [19.25]	2.8 [19.24]	2.7 [19.24]
45度		3.1 [19.26]	3.0 [19.25] (2.7) [19.25]	2.8 [19.24]	2.8 [19.24]	建屋 影響 の 範囲外
33度		3.3 [19.26]	3.1 [19.25]	2.9 [19.24]	3.0 [19.24]	建屋 影響 の 範囲外

※ [ ] は、発生時刻 (秒) を示す。

検討対象の選定

評価範囲の設定

断面負担幅  
の設定

すべり範囲  
の設定

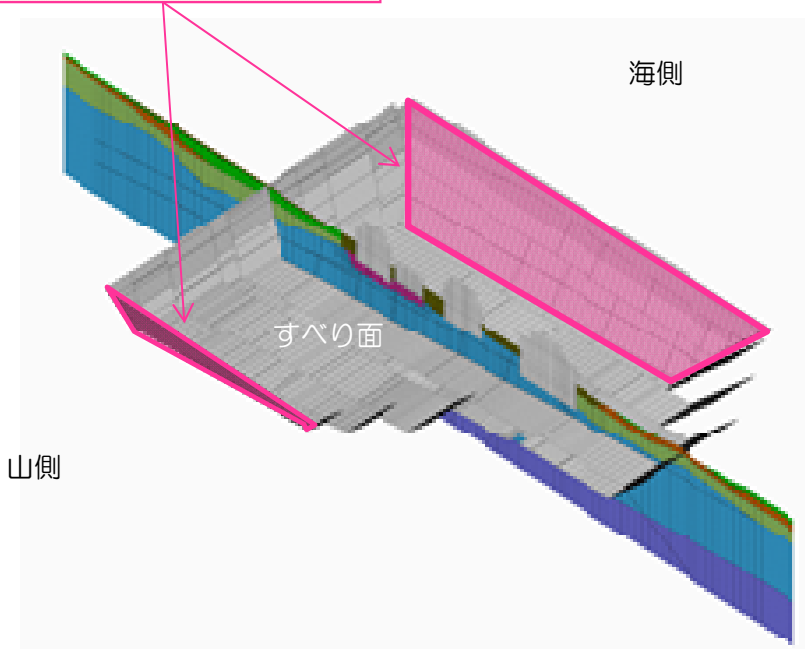
すべり面の設定  
(パラメータ設定)

すべり安全率の評価

### 評価結果(2)

- すべり安全率が最小となるケースに対して、奥行き方向の地表面に抜けるすべり面の抵抗を考慮しない場合について検討を行った。また、立上げ角度67.5度、立上げ位置ケース5について同様の検討を行った。
- 検討の結果、すべり安全率は1.6以上であり、1.5を上回ることを確認した。

奥行き方向の地表面に抜けるすべり面の抵抗を考慮しない



すべり安全率が最小となるケース  
(立上げ角度:67.5度, 立上げ位置:ケース4)

鳥瞰図

検討ケース	Ss-3 (正, 逆), 強度:平均-1σ強度	
	奥行き方向の地表面に抜けるすべり面の抵抗	
	考慮	考慮なし
67.5度 ケース④	2.7 [19.24]	1.7 [19.24]
45度 ケース②'	2.7 [19.25]	1.6 [19.25]
(参考) 67.5度 ケース⑤	3.3 [36.54]	1.9 [36.54]

※ [ ] は、発生時刻(秒)を示す。

検討対象の選定

評価範囲の設定

断面負担幅  
の設定

すべり範囲  
の設定

すべり面の設定  
(パラメータ設定)

すべり安全率の評価

### まとめ

- 大湊側の基礎地盤のすべり評価については、二次元地震応答解析に基づく平均強度を用いたすべり安全率は、基準地震動に対してすべての評価対象断面で1.5を上回ることを確認している。さらに、すべり安全率が最小となるケースについて強度のばらつきを考慮した評価を実施した結果、すべり安全率が1.5を下回ることから、奥行き方向の地質・地質構造の変化や建屋形状等を考慮できる二次元重合せ解析に基づく基礎地盤のすべり評価を実施した。
  - 奥行き方向のすべり範囲について、建屋設置による地盤への影響検討や近傍の地すべり規模との比較を行うとともに、すべり面を拡大した検討を行い、設定したすべり範囲の妥当性を確認した。
  - 地表面に抜けるすべり面の立上げ角度や立上げ位置を変えてすべり面を設定し、パラメータスタディを実施した結果、二次元重合せ解析に基づくすべり安全率の最小値は2.7であり、1.5を上回ることを確認した。
  - あわせて、奥行き方向の地表面に抜けるすべり面の抵抗を考慮しない場合についても評価を実施した結果、すべり安全率の最小値は1.6であり、すべり安全率が1.5を上回ることを確認した。

1. 評価概要	
1. 1 評価概要	7
1. 2 評価対象施設	9
2. 基礎地盤の安定性評価	
2. 1 評価方針	11
2. 2 解析用物性値	16
2. 3 評価方法	23
2. 4 入力地震動	30
2. 5 評価結果	40
3. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価	
3. 1 周辺地盤の変状による重要施設への影響	71
3. 2 地殻変動による基礎地盤の変形の影響	76
4. 周辺斜面の安定性評価	82
5. まとめ	84

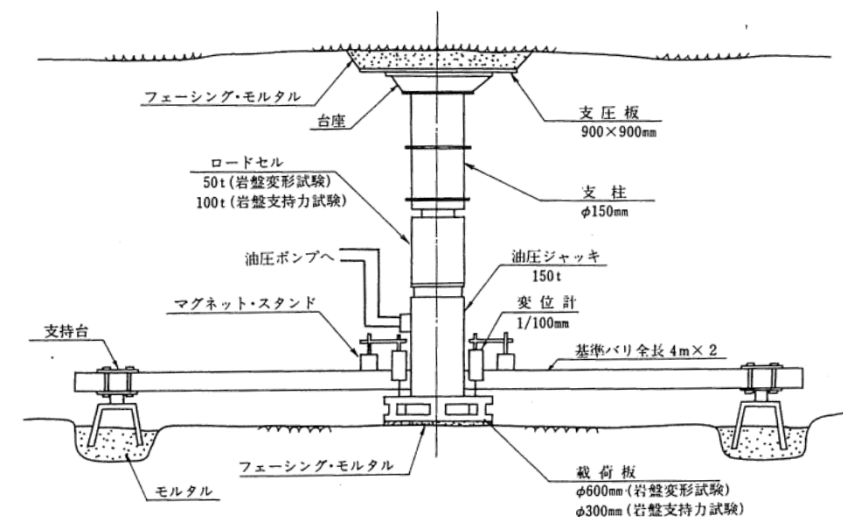
➤ 基礎地盤のすべり〔評価方針〕	40
➤ 大湊側 基礎地盤のすべり	
● 平均強度に基づく評価	42
● 強度のばらつきを考慮した評価	46
➤ 基礎の支持力	61
➤ 基礎底面の傾斜	66

【別冊】補足説明資料

## 基礎の支持力〔評価方針〕

- 原位置試験の結果等に基づき、基礎地盤支持力の評価基準値を設定し、二次元有限要素法に基づく地震応答解析（周波数応答解析）により求められる基礎の接地圧（鉛直応力）が評価基準値を超えていないことを確認する。

対象施設	基礎地盤支持力の評価基準値 (N/mm <sup>2</sup> )	備考
6号炉原子炉建屋	6.0 (5.4)	各号炉の岩盤支持力試験の最大荷重の平均値 ( ) 内は最小値
7号炉原子炉建屋	6.2 (5.4)	
5号炉原子炉建屋	5.5 (4.4)	



岩盤試験（支持力）

# 基礎の支持力〔5, 6, 7号炉原子炉建屋〕

- 5, 6, 7号炉原子炉建屋の地震時最大接地圧は、西山層支持力の評価基準値を超えていないことを確認した。

評価対象	評価基準値 (N/mm <sup>2</sup> )	地震時最大接地圧 (N/mm <sup>2</sup> )							
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8
6号炉原子炉建屋 汀線平行断面	6.0	1.64 〔6.76〕	1.44 〔23.57〕	1.54 〔35.66〕	1.17 〔45.80〕	1.25 〔51.40〕	1.42 〔51.86〕	1.18 〔46.46〕	1.65 〔8.02〕
		1.79(正,逆) 〔5.73〕		1.63(逆,正) 〔17.53〕					—
6号炉原子炉建屋 汀線直交断面		1.39 〔6.16〕	1.36 〔21.91〕	1.30 〔37.45〕	1.18 〔46.23〕	1.22 〔57.38〕	1.15 〔59.08〕	1.16 〔54.37〕	1.24 〔8.01〕
		1.46(逆,逆) 〔5.70〕		1.33(逆,逆) 〔17.25〕					1.24(逆,正) 〔7.78〕
7号炉原子炉建屋 汀線平行断面	6.2	2.72 〔6.10〕	2.06 〔20.95〕	2.35 〔17.52〕	1.79 〔51.81〕	1.58 〔46.55〕	1.73 〔51.68〕	1.64 〔66.21〕	2.38 〔8.09〕
		—		—					—
7号炉原子炉建屋 汀線直交断面		2.94 〔6.55〕	2.80 〔22.31〕	2.71 〔37.46〕	2.66 〔46.24〕	2.91 〔46.90〕	2.51 〔59.08〕	2.60 〔46.92〕	2.47 〔8.01〕
		3.23(逆,逆) 〔5.69〕		2.77(逆,逆) 〔24.90〕					2.70(逆,正) 〔7.77〕
5号炉原子炉建屋 汀線平行断面	5.5	1.94 〔6.77〕	1.67 〔22.19〕	1.79 〔37.46〕	1.60 〔45.79〕	1.66 〔46.43〕	1.59 〔51.83〕	1.56 〔46.45〕	1.70 〔8.00〕
		2.05(逆,逆) 〔5.70〕		—					1.86 〔8.02〕
5号炉原子炉建屋 汀線直交断面		1.51 〔6.56〕	1.52 〔21.90〕	1.48 〔17.68〕	1.35 〔51.90〕	1.48 〔57.37〕	1.38 〔59.08〕	1.41 〔55.22〕	1.44 〔8.03〕
		1.76(逆,逆) 〔5.70〕		1.51(逆,逆) 〔17.23〕					1.46(逆,正) 〔7.77〕

※ 下線は、各号炉における地震時最大接地圧の最大値を示す。 ※ Ss-1, 3, 8の上段に、位相反転なしの場合の最大接地圧を記載。

※ Ss-1, 3, 8の下段に、位相反転ありの場合の最大接地圧が位相反転なしの場合の最大接地圧を上回った場合の最大接地圧を記載。

※ Ss-1, 3, 8の下段に記載の、(逆,正)は水平反転、(正,逆)は鉛直反転、(逆,逆)は水平反転かつ鉛直反転を示す。 ※〔〕は、発生時刻(秒)を示す。

# 基礎の支持力〔取水路〕

- 取水路の最大鉛直力に対して、古安田層は十分な支持性能を有していることを確認した。

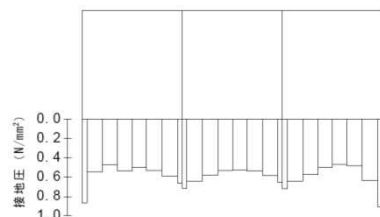
※1：極限支持力（③），※2：最大鉛直力（②）

評価対象	項目	評価結果							
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8
取水路 (一般部)	評価基準値※1 (kN)	38,100	40,300	32,500	40,500	36,100	39,200	36,400	29,500
	照査用応答値※2 (kN) (応答値/基準値) 〔発生時刻 (秒)〕	9,290 (0.24) 〔15.97〕	7,510 (0.19) 〔21.95〕	8,150 (0.25) 〔39.57〕	6,950 (0.17) 〔45.79〕	6,660 (0.18) 〔46.41〕	6,930 (0.18) 〔45.77〕	6,620 (0.18) 〔46.43〕	5,650 (0.19) 〔9.33〕

## ①常時解析

## ②地震時解析

地震応答解析（二次元動的有限要素法：部材非線形解析）を実施し、取水路底版下の地盤に作用する鉛直方向の最大合力（最大鉛直力）を算出



## ③支持力の評価

『道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）』に示される式より極限支持力を算定（直接基礎として評価）

$$Q_u = A_e \left\{ \alpha \kappa c N_c S_c + \kappa q N_q S_q + \frac{1}{2} \gamma_1 \beta B_e N_\gamma S_\gamma \right\}$$

十分な支持性能を有することを確認  
最大鉛直力（②） < 極限支持力（③）



# 基礎の支持力〔貯留堰〕

- 貯留堰の最大鉛直力に対して，古安田層は十分な支持性能を有していることを確認した。

※1：極限支持力（③），※2：最大鉛直力（①+②）

評価対象	評価基準値※1 (kN)	照査用応答値※2 (kN)							
		(上段：応答値，中段 ( )：応答値/基準値，下段 [ ]：発生時刻 (秒))							
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8
貯留堰	1,579	43.0 (0.03) 〔16.21〕	39.5 (0.03) 〔20.63〕	39.6 (0.03) 〔38.86〕	38.2 (0.02) 〔46.34〕	38.1 (0.02) 〔52.11〕	38.1 (0.02) 〔45.75〕	38.0 (0.02) 〔53.70〕	37.5 (0.02) 〔7.69〕

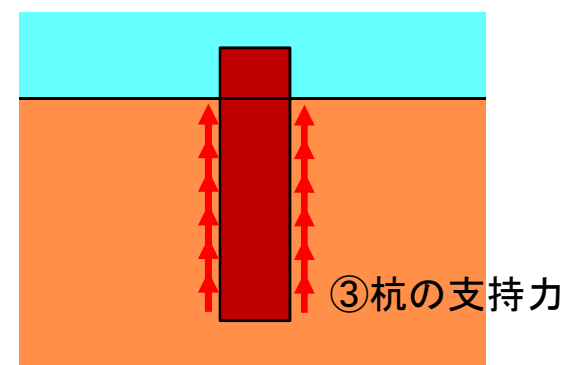
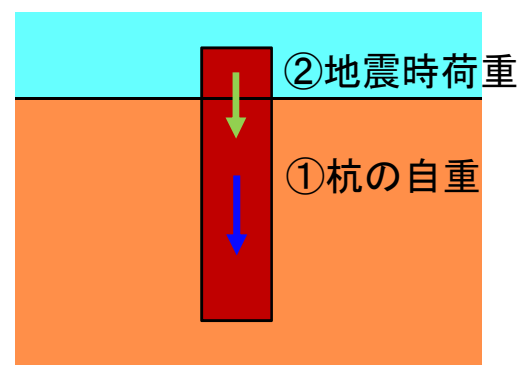
## ①常時荷重（自重）の評価

## ②地震荷重の評価

地震応答解析（二次元動的有限要素法：等価線形解析）を実施し，貯留堰の杭頭に係る慣性力（最大鉛直力）を算出

## ③支持力の評価

『道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（社）日本道路協会，平成14年3月』に示される式より極限支持力を算定（群杭として周面摩擦のみを評価）



十分な支持性能を有することを確認  
最大鉛直力（①+②） < 極限支持力（③）



1. 評価概要	
1. 1 評価概要	7
1. 2 評価対象施設	9
2. 基礎地盤の安定性評価	
2. 1 評価方針	11
2. 2 解析用物性値	16
2. 3 評価方法	23
2. 4 入力地震動	30
2. 5 評価結果	40
3. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価	
3. 1 周辺地盤の変状による重要施設への影響	71
3. 2 地殻変動による基礎地盤の変形の影響	76
4. 周辺斜面の安定性評価	82
5. まとめ	84

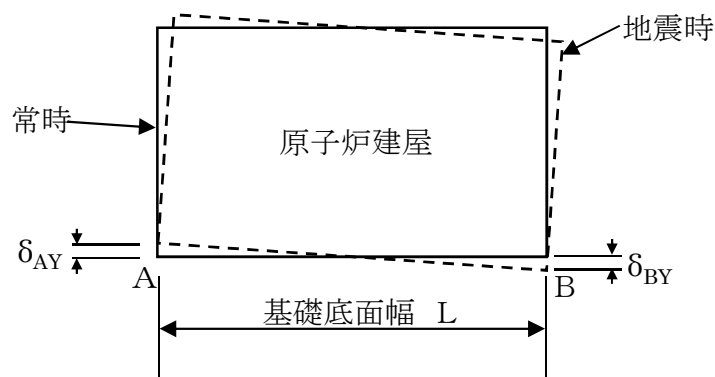
➤ 基礎地盤のすべり〔評価方針〕	40
➤ 大湊側 基礎地盤のすべり	
● 平均強度に基づく評価	42
● 強度のばらつきを考慮した評価	46
➤ 基礎の支持力	61
➤ 基礎底面の傾斜	66

【別冊】補足説明資料

## 基礎の傾斜〔評価方針〕

- 二次元有限要素法に基づく地震応答解析（周波数応答解析）による鉛直変位量から求められる基礎の最大不等沈下量及び残留不等沈下量による傾斜について、基本設計段階の目安値（1/2,000）との比較を行う。

対象施設	最大傾斜の 基本設計段階の目安値	備考
6・7号炉原子炉建屋	1/2,000	審査ガイドの目安値（基本設計段階の目安値）： 一般建築物の構造的な障害が発生する限界（亀裂の発生率，発生区間等により判断）
5号炉原子炉建屋		



- 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  
 $\max(|\delta_{AY}| + |\delta_{BY}|)$
- 原子炉建屋基礎底面の傾斜の最大値  
 $\max((|\delta_{AY}| + |\delta_{BY}|)/L)$

## 基礎の傾斜〔5, 6, 7号炉原子炉建屋〕

■ 6, 7号炉原子炉建屋の地震時の基礎の傾斜は、基本設計段階の目安値である1/2,000を若干上回る。

評価対象	上段：最大相対変位 (cm), 下段：最大傾斜										
	Ss-1		Ss-2	Ss-3		Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	
6号炉 原子炉建屋 汀線平行断面	2.8 〔6.79〕	3.0 (正,逆) 〔6.78〕	2.2 〔23.56〕	2.4 〔35.69〕	—	1.3 〔51.87〕	1.4 〔51.88〕	1.4 〔51.87〕	1.2 〔51.43〕	3.5 〔8.01〕	—
	1/2,000	1/1,800	1/2,500	1/2,300	—	1/4,200	1/4,100	1/4,000	1/4,700	1/1,600	—
6号炉 原子炉建屋 汀線直交断面	1.5 〔5.76〕	—	1.4 〔22.52〕	1.2 〔25.00〕	1.5 (正,逆) 〔17.49〕	1.2 〔51.96〕	1.1 〔46.56〕	1.2 〔54.60〕	1.4 〔46.97〕	1.7 〔8.02〕	1.7 (逆,正) 〔8.01〕
	1/3,900	—	1/4,300	1/4,900	1/4,000	1/5,000	1/5,100	1/5,000	1/4,200	1/3,500	1/3,400
7号炉 原子炉建屋 汀線平行断面	3.3 〔5.77〕	—	1.9 〔21.54〕	2.8 〔19.15〕	—	1.2 〔51.91〕	1.4 〔46.56〕	1.6 〔51.92〕	1.2 〔46.58〕	3.3 〔8.07〕	—
	1/1,700	—	1/2,900	1/2,000	—	1/4,500	1/4,100	1/3,600	1/4,600	1/1,700	—
7号炉 原子炉建屋 汀線直交断面	2.4 〔5.74〕	—	2.2 〔20.83〕	1.9 〔19.12〕	2.1 (正,逆) 〔17.50〕	1.8 〔52.57〕	1.7 〔46.54〕	2.0 〔51.94〕	1.9 〔46.95〕	2.5 〔8.03〕	—
	1/2,500	—	1/2,700	1/3,000	1/2,800	1/3,200	1/3,500	1/2,900	1/3,000	1/2,400	—
5号炉 原子炉建屋 汀線平行断面	2.5 〔18.79〕	—	1.9 〔23.54〕	2.1 〔36.55〕	2.1 (正,逆) 〔19.61〕	1.3 〔51.87〕	1.4 〔46.49〕	1.1 〔51.88〕	1.0 〔46.49〕	3.0 〔8.00〕	3.1 (逆,正) 〔7.99〕
	1/3,200	—	1/4,400	1/3,900	1/3,900	1/6,300	1/5,900	1/7,500	1/8,200	1/2,700	1/2,700
5号炉 原子炉建屋 汀線直交断面	2.3 〔9.18〕	—	2.1 〔22.53〕	1.6 〔37.21〕	1.8 〔17.51〕	1.6 〔51.96〕	1.9 〔46.56〕	1.5 〔51.96〕	1.6 〔46.96〕	2.3 〔8.03〕	—
	1/3,600	—	1/4,000	1/5,200	1/4,500	1/5,200	1/4,400	1/5,600	1/5,300	1/3,600	—

※ 下線は、各号炉における最大相対変位及び最大傾斜の最大値を示す。 ※ Ss-1, 3, 8の左側に、位相反転なしの場合の最大相対変位及び最大傾斜を記載。

※ Ss-1, 3, 8の右側に、位相反転ありの場合の最大相対変位及び最大傾斜が位相反転なしの場合の最大相対変位及び最大傾斜を上回った場合の最大相対変位及び最大傾斜を記載。

※ Ss-1, 3, 8の右側に記載の、(逆,正)は水平反転、(正,逆)は鉛直反転、(逆,逆)は水平反転かつ鉛直反転を示す。 ※〔〕は、発生時刻(秒)を示す。

## 基礎の傾斜〔地震時の傾斜に対する建屋への影響について〕

- 地震時の傾斜が最大1/1,600であることから、建屋応答に最も影響する基礎において、建屋が傾斜することにより生じる転倒モーメントを算定し、建屋の安定性・健全性に及ぼす影響を検討した。
- 保守的に建屋の傾斜が1/1,000程度の場合に発生する転倒モーメントを評価した結果、設計時に想定した曲げモーメントの0.2%程度と非常に小さいことから、建屋の安定性・健全性には影響はないと判断できる。
- なお、耐震設計方針において、基礎の傾斜に対する建屋、機器、設備等の安全機能への影響について評価の方針を示すとともに、詳細設計段階において詳細に評価を行う。

### 1. 傾斜によって生じる基礎土（TMSL-8.2m）の転倒モーメントの算定結果

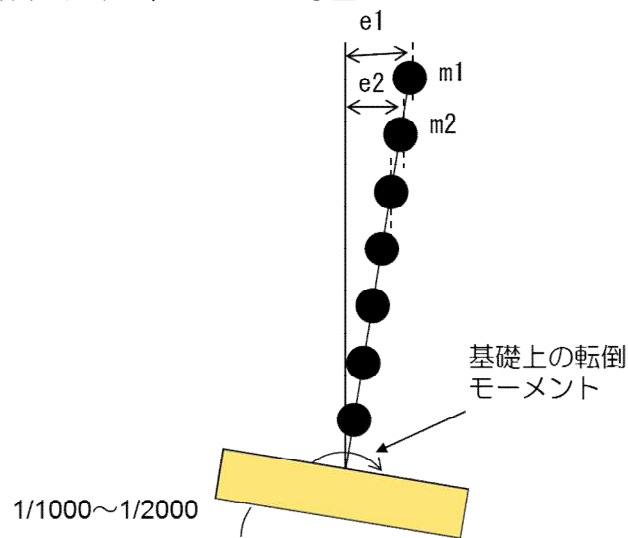
基礎上の転倒モーメント =  $\sum m_i \times e_i$

$m_i$  : 中越沖地震時の建屋質点重量

$e_i$  : 偏心距離

①基礎傾斜1/1,000の場合 :  $3.54 \times 10^4 \text{kNm}$

②基礎傾斜1/2,000の場合 :  $1.77 \times 10^4 \text{kNm}$



### 2. 設計時に想定した基礎土（TMSL-8.2m）における曲げモーメント\*（EW方向）

(\* 工認図書記載の数値をS I 単位系に変換)

- 静的地震力 (3Ci) :  $1.47 \times 10^7 \text{kNm}$
- 設計用地震力 :  $1.82 \times 10^7 \text{kNm}$

### 3. 傾斜に伴う転倒モーメントの設計時の曲げモーメントに対する割合

	静的地震力を想定する場合	設計用地震力を想定する場合
1/1,000の傾斜	<u>0.24%</u>	<u>0.19%</u>
1/2,000の傾斜	0.12%	0.10%

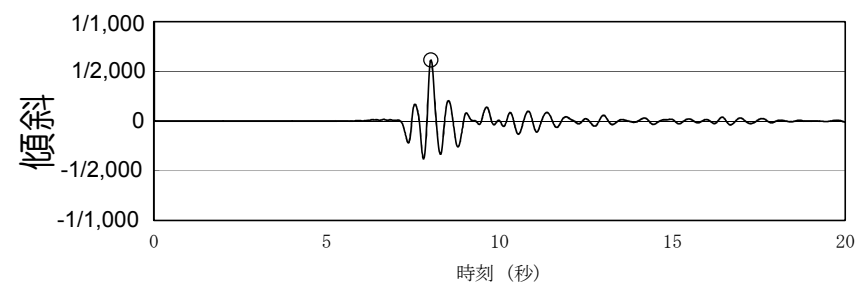
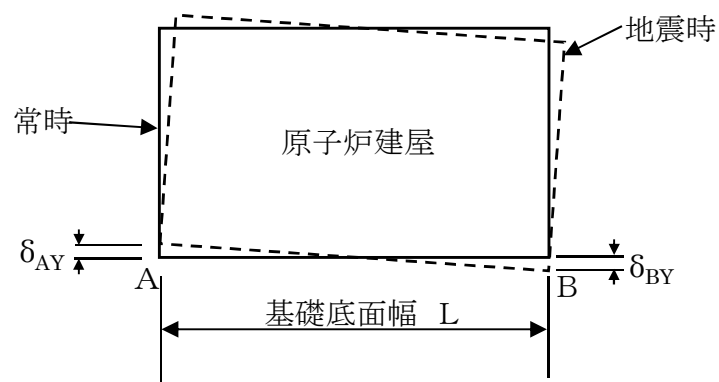
経済産業省、総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会  
運営管理・設備健全性評価ワーキンググループ  
設備健全性評価サブワーキンググループ（第6回）資料より抜粋

## (参考) 基礎の傾斜〔傾斜の経時変化〕

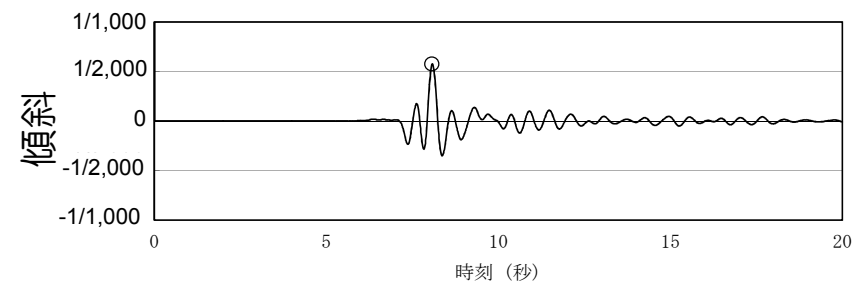
- 建屋の地震時の基礎の傾斜の経時変化からは、許容値の目安である1/2,000を若干上回る時間は非常に短く、1回のみである。

原子炉建屋基礎底面の傾斜

$$(|\delta_{AY}| + |\delta_{BY}|)/L$$



6号原子炉建屋の傾斜 (Ss-8)

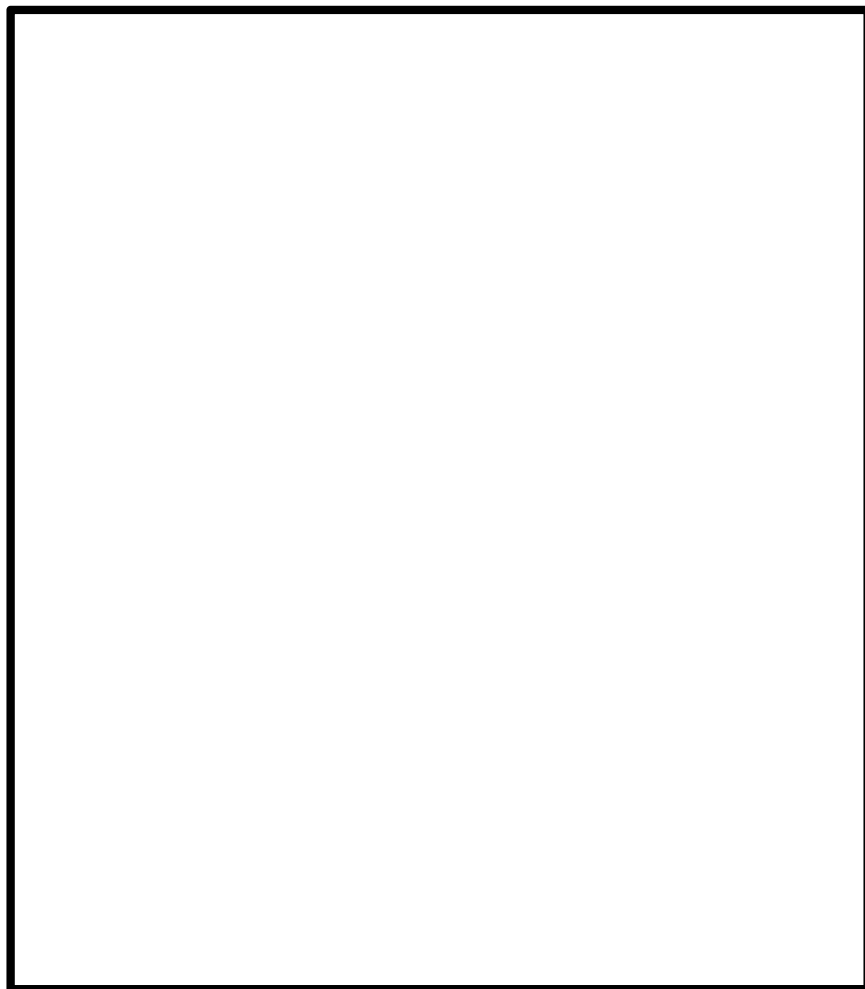


7号原子炉建屋の傾斜 (Ss-8)

1. 評価概要		
1. 1 評価概要	.....	7
1. 2 評価対象施設	.....	9
2. 基礎地盤の安定性評価		
2. 1 評価方針	.....	11
2. 2 解析用物性値	.....	16
2. 3 評価方法	.....	23
2. 4 入力地震動	.....	30
2. 5 評価結果	.....	40
3. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価		
3. 1 周辺地盤の変状による重要施設への影響	.....	71
3. 2 地殻変動による基礎地盤の変形の影響	.....	76
4. 周辺斜面の安定性評価	.....	82
5. まとめ	.....	84

【別冊】補足説明資料

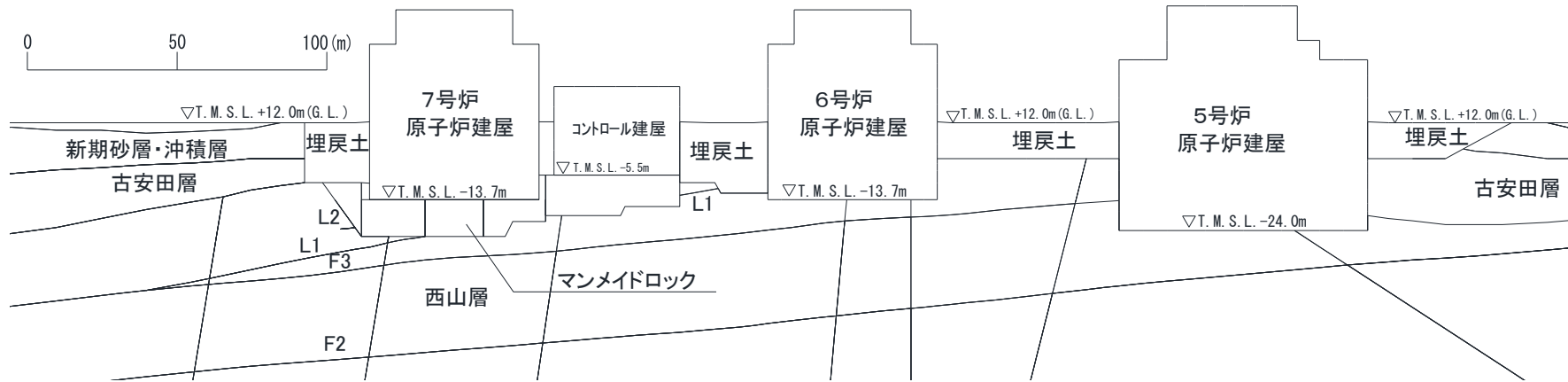
- 地震発生に伴う周辺地盤の液状化，揺すり込み沈下を起因とする施設間の不等沈下等は生じないと評価した。



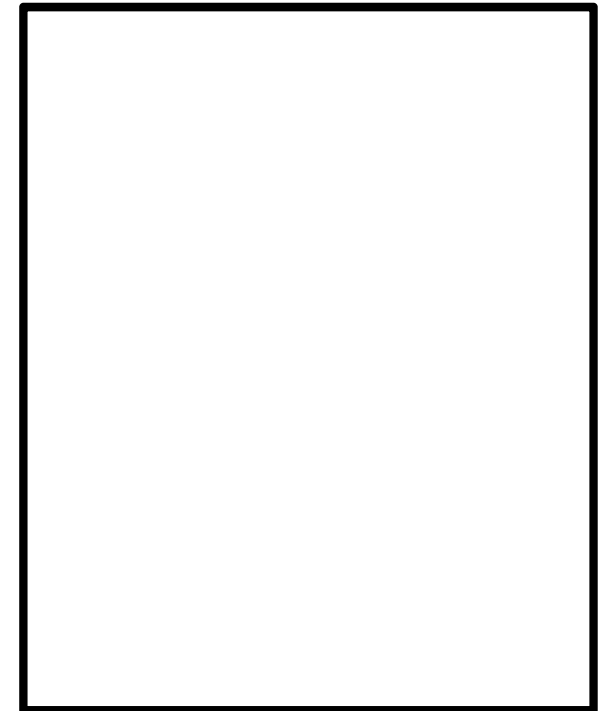
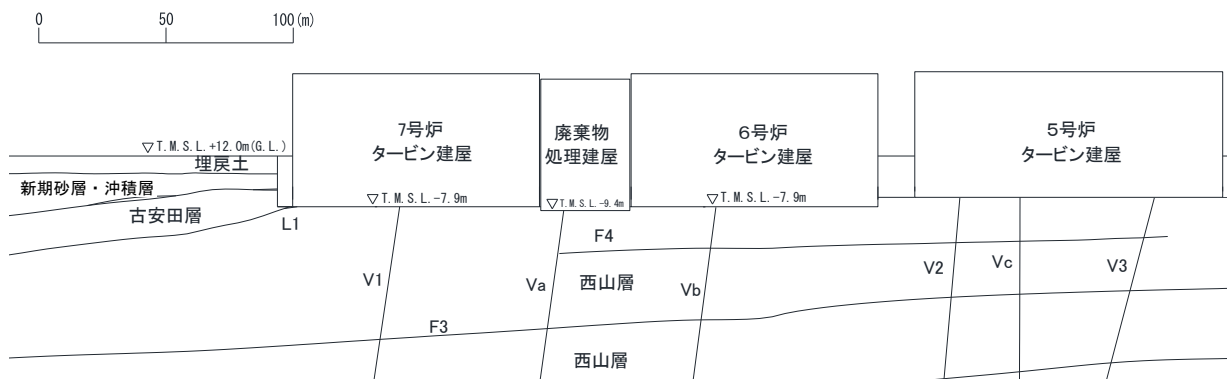
1-1. 原子炉建屋（主排気筒含む）	直接基礎もしくは杭基礎により岩盤（西山層）に支持されており，液状化や揺すり込み沈下等を起因とする施設間の不等沈下等は生じないと評価した。
1-2. タービン建屋	
1-3. コントロール建屋	
1-4. 軽油タンク	
2-1. 廃棄物処理建屋	シルト主体の古安田層に支持されており，液状化や揺すり込み沈下等を起因とする施設間の不等沈下等は生じないと評価した。
2-2. 5号炉原子炉建屋（緊急時対策所含む）	
2-3. 格納容器圧力逃がし装置	
2-4. 常設代替交流電源設備	
1-5. 貯留堰	シルト主体の古安田層に支持されており，液状化や揺すり込み沈下等を起因とする施設間の不等沈下等は生じないと評価した。
2-5. 取水路	

# 周辺地盤変状による重要施設への影響

## (1-1) 6, 7号炉原子炉建屋, (1-3) コントロール建屋, (2-2) 5号炉原子炉建屋 (緊急時対策所含む)



## (1-2) 6, 7号炉タービン建屋, (2-1) 廃棄物処理建屋

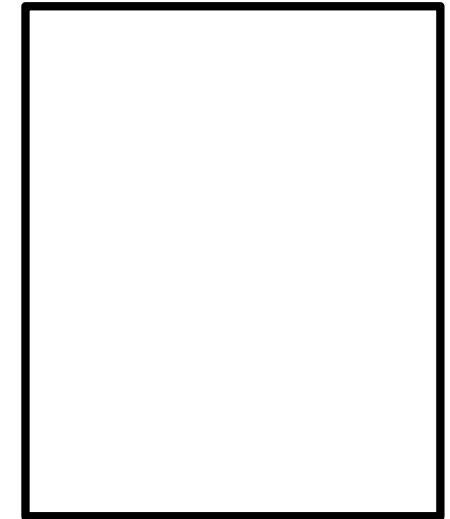
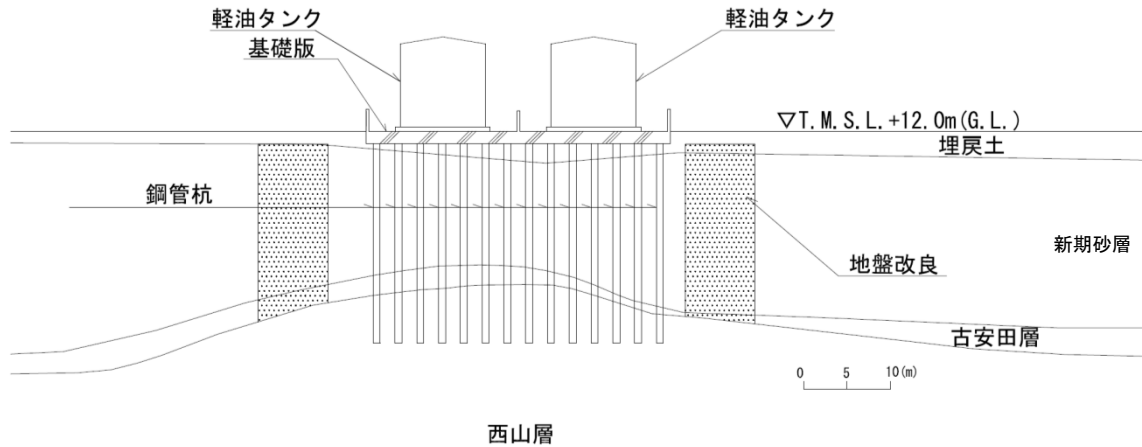




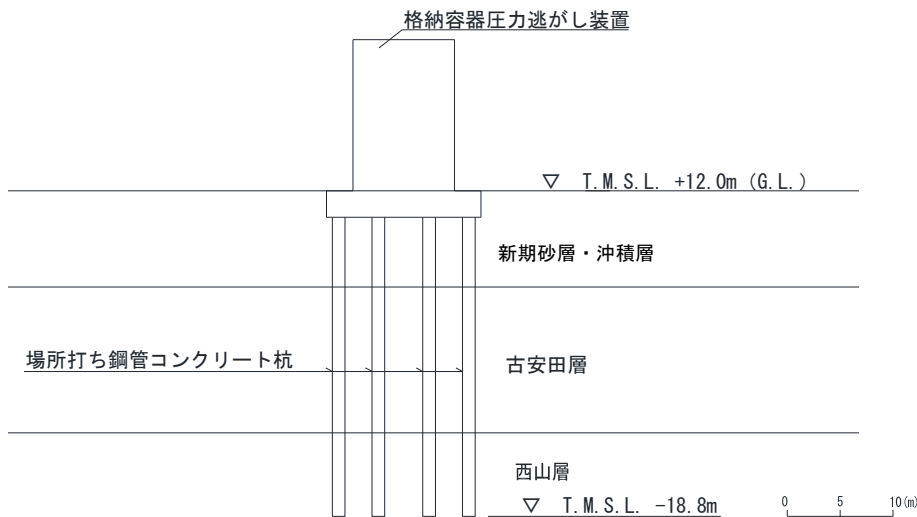
# 周辺地盤変状による重要施設への影響

## 3. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価 3. 1 周辺地盤の変状による重要施設への影響

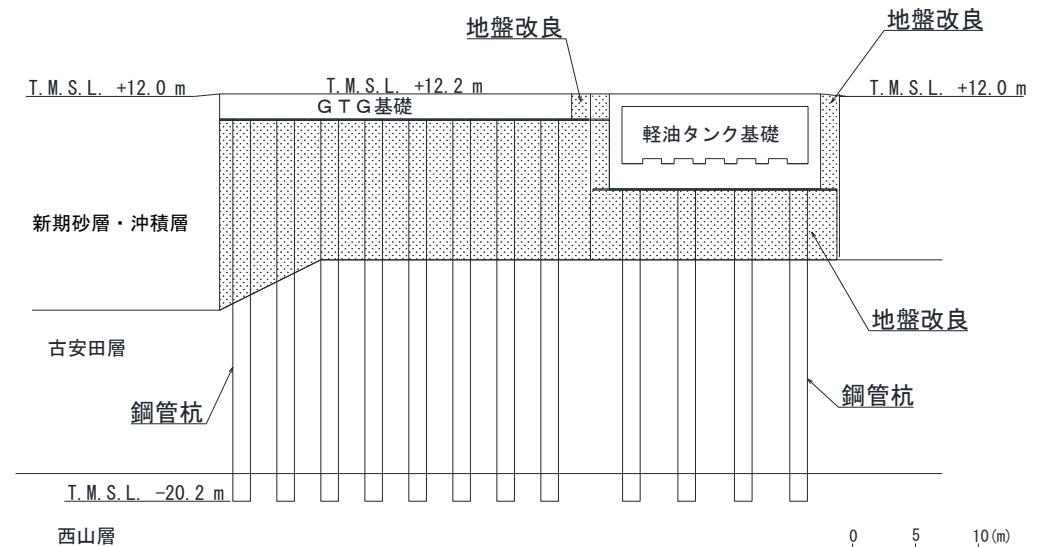
### (1-4) 軽油タンク (7号炉)



### (2-3) 格納容器圧力逃がし装置 (7号炉)

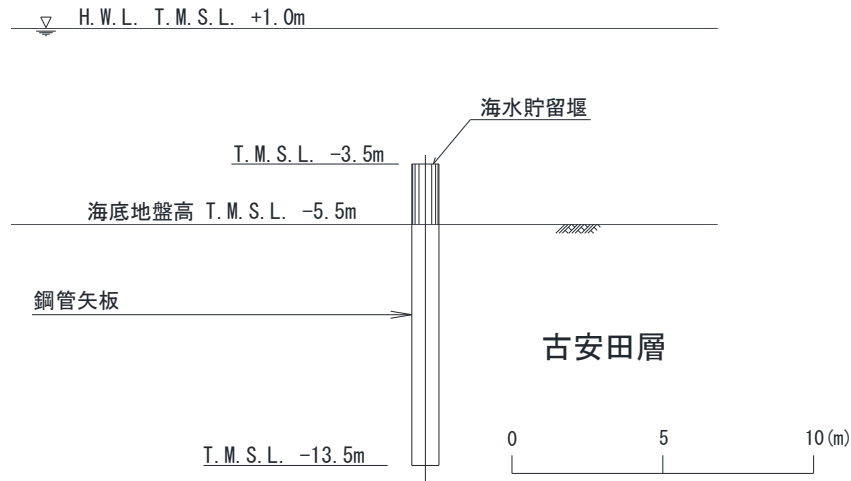


### (2-4) 常設代替交流電源設備※

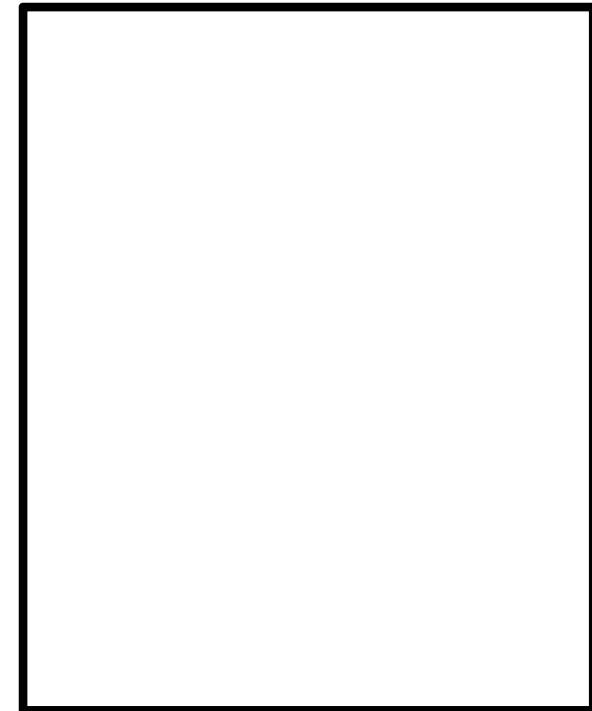
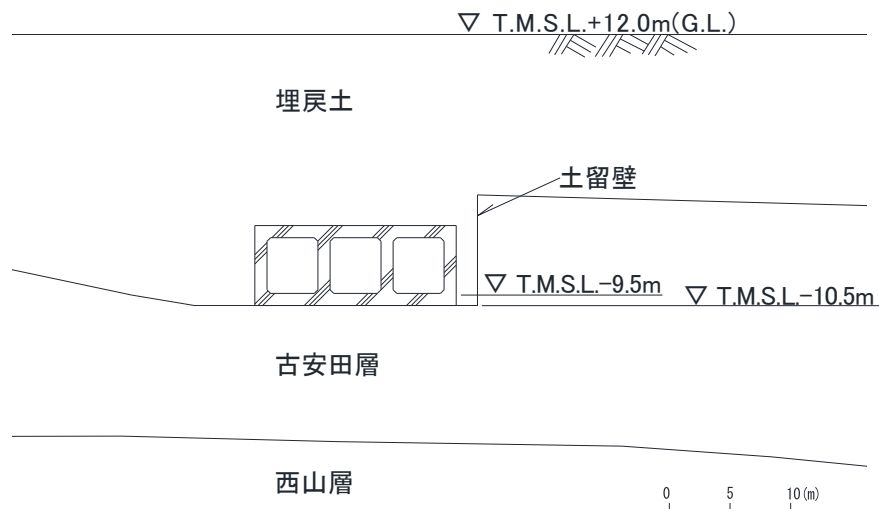


※ 施設の基本構造については変更なし。  
細部については変更となる可能性あり。

## (1-5) 6, 7号炉貯留堰



## (2-5) 取水路 (7号炉)



1. 評価概要		
1. 1 評価概要	.....	7
1. 2 評価対象施設	.....	9
2. 基礎地盤の安定性評価		
2. 1 評価方針	.....	11
2. 2 解析用物性値	.....	16
2. 3 評価方法	.....	23
2. 4 入力地震動	.....	30
2. 5 評価結果	.....	40
3. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価		
3. 1 周辺地盤の変状による重要施設への影響	.....	71
3. 2 地殻変動による基礎地盤の変形の影響	.....	76
4. 周辺斜面の安定性評価	.....	82
5. まとめ	.....	84

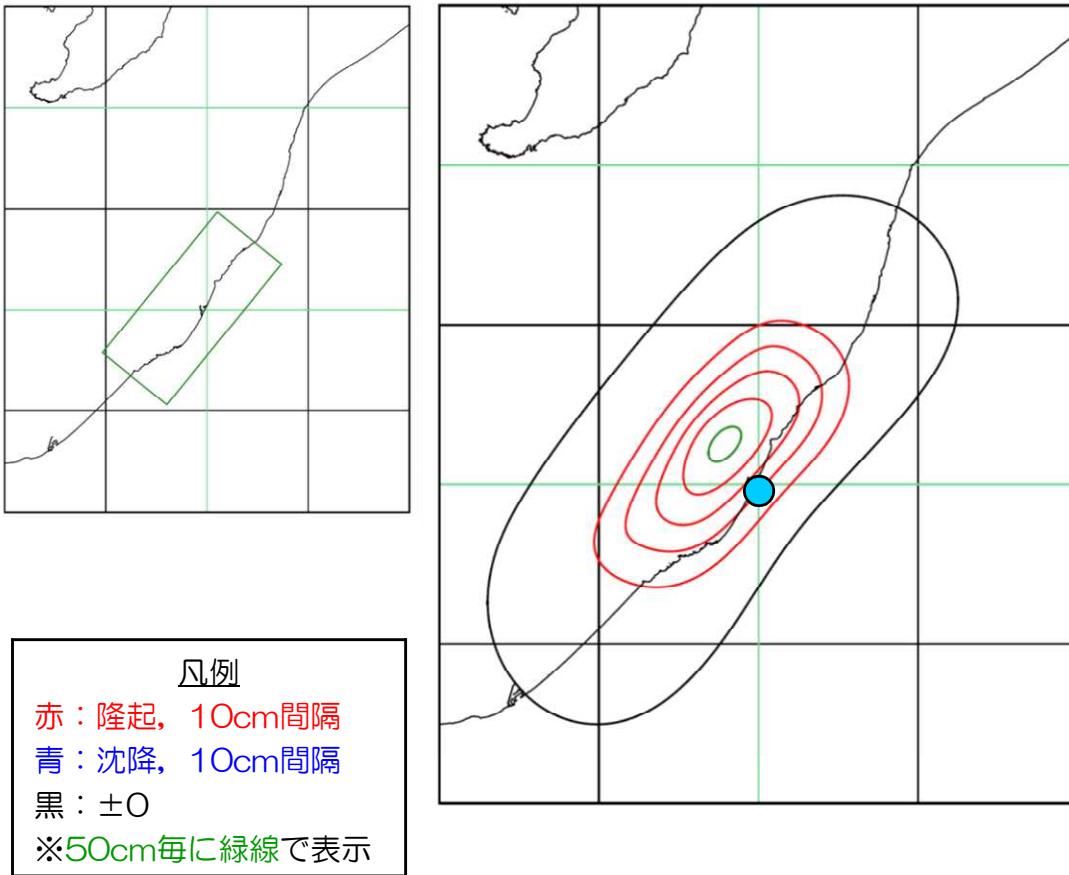
【別冊】補足説明資料

- 敷地内及び敷地近傍には活断層が確認されていないことから、地震発生に伴う地殻変動により施設が重大な影響を受けることはないと考えられるものの、敷地周辺で確認されている活断層による影響について評価を行う。
- 評価は、敷地に比較的近く、基準地震動 $S_s$ を定義する「F-B断層」、「長岡平野西縁断層帯」及び「長岡平野西縁断層帯～山本山断層～十日町断層帯西部の連動」に対して行うこととし、基準地震動策定に用いた断層モデルを用いる。
- 基礎地盤の傾斜は、くいちがいの弾性論（Wang et al.(2003)）に基づく解析から求まる地盤の変形より算出する。
- 評価対象施設は、施設の規模等を考慮し、「5, 6, 7号炉原子炉建屋」とする。
- 基本設計段階の目安値は、地震時と同様に1/2,000とする。

- 解析に用いる断層パラメータは、基準地震動作成に用いた断層モデルに基づき設定した。

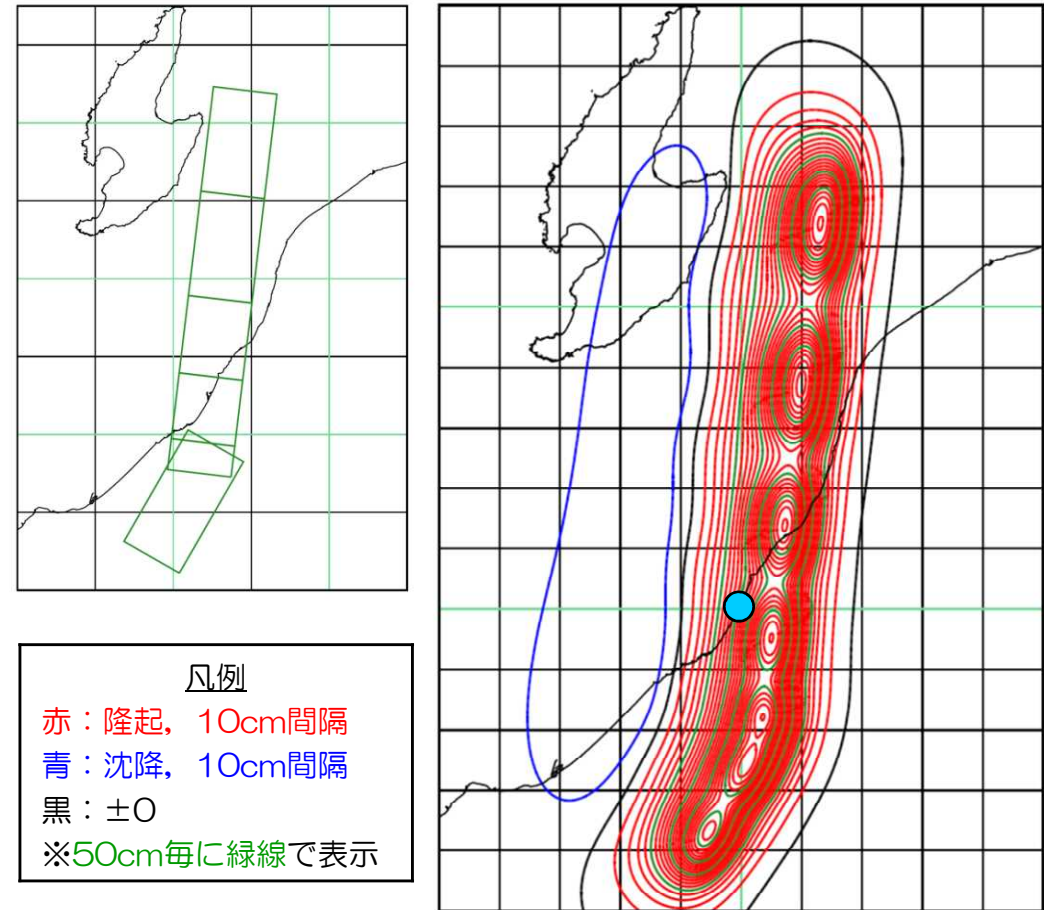
断層	解析条件（断層モデル）					
	長さ (km)	傾斜角 (°)	上端深さ (km)	下端深さ (km)	幅 (km)	すべり量 (m)
F-B断層	36	35	6	17	20	アパリティ1：2.49 アパリティ2：2.30 アパリティ3：1.95 背景領域：0.38
長岡平野西縁断層帯 (傾斜角50度)	91	50	6	17	15	アパリティ：4.87 背景領域：1.52
長岡平野西縁断層帯 (傾斜角35度)	91	35	6	17	20	アパリティ：6.49 背景領域：2.17
長岡平野西縁断層～山本山断層～十日 町断層帯西部の連動（傾斜角50度）	132	50	6	17	15	アパリティ：6.41 背景領域：2.09
長岡平野西縁断層～山本山断層～十日 町断層帯西部の連動（傾斜角35度）	132	35	6	17	20	アパリティ：6.41 背景領域：1.94

## F-B断層



●：柏崎刈羽原子力発電所

## 長岡平野西縁断層～山本山断層～十日町断層帯西部の連動（傾斜角35度）



●：柏崎刈羽原子力発電所

## 評価結果〔地殻変動による最大傾斜〕

- 評価の結果、地震に伴う地殻変動による基礎の傾斜は、基本設計段階の目安値である1/2,000を下回ることを確認した。

断層	F-B断層 〔Ss-2〕	長岡平野西縁断層帯 (傾斜角50度) 〔Ss-4〕	長岡平野西縁断層帯 (傾斜角35度) 〔Ss-5〕	長岡平野西縁断層～山 本山断層～十日町断層 帯西部の連動 (傾斜角50度) 〔Ss-6〕	長岡平野西縁断層～山 本山断層～十日町断層 帯西部の連動 (傾斜角35度) 〔Ss-7〕
6号炉 原子炉建屋	1/19,900	1/13,200	1/6,100	1/9,100	1/5,000
7号炉 原子炉建屋	1/20,000	1/13,300	1/6,000	1/9,200	<b><u>1/4,900</u></b>
5号炉 原子炉建屋	1/19,800	1/13,200	1/6,100	1/9,400	1/5,100

## 評価結果〔地殻変動と地震時傾斜の重ね合わせ〕

- 永久変形である地殻変動による傾斜と地震時の最大傾斜について、保守的に重ね合わせた評価を実施した結果、基礎の傾斜は基本設計段階の目安値である1/2,000を若干上回る。ただし、保守的に建屋の傾斜が1/1,000程度の場合に発生する転倒モーメントを評価した結果、設計時に想定した曲げモーメントの0.2%程度と非常に小さいことから、建屋の安定性・健全性には影響はないと判断できる（P.84参照）。なお、耐震設計方針において、基礎の傾斜に対する建屋、機器、設備等の安全機能への影響について評価の方針を示すとともに、詳細設計段階において詳細に評価を行う。

断層		F-B断層 〔Ss-2〕	長岡平野西縁断層帯 (傾斜角50度) 〔Ss-4〕	長岡平野西縁断層帯 (傾斜角35度) 〔Ss-5〕	長岡平野西縁断層～ 山本山断層～十日町 断層帯西部の連動 (傾斜角50度) 〔Ss-6〕	長岡平野西縁断層～ 山本山断層～十日町 断層帯西部の連動 (傾斜角35度) 〔Ss-7〕
6号炉 原子炉建屋	①地殻変動による 最大傾斜	1/19,900	1/13,200	1/6,100	1/9,100	1/5,000
	②地震動による 最大傾斜	1/2,500	1/4,200	1/4,100	1/4,000	1/4,200
	①+② 最大傾斜	<b>1/2,200</b>	1/3,200	1/2,500	1/2,800	1/2,300
7号炉 原子炉建屋	①地殻変動による 最大傾斜	1/20,000	1/13,300	1/6,000	1/9,200	1/4,900
	②地震動による 最大傾斜	1/2,700	1/3,200	1/3,500	1/2,900	1/3,000
	①+② 最大傾斜	1/2,400	1/2,600	1/2,200	1/2,200	<b>1/1,900</b>
5号炉 原子炉建屋	①地殻変動による 最大傾斜	1/19,800	1/13,200	1/6,100	1/9,400	1/5,100
	②地震動による 最大傾斜	1/4,000	1/5,200	1/4,400	1/5,600	1/5,300
	①+② 最大傾斜	1/3,300	1/3,700	<b>1/2,600</b>	1/3,500	1/2,600

※ ② 地震動による最大傾斜は、各断層モデルに対応する基準地震動Ssを入力地震動としたケースの最大傾斜



1. 評価概要	
1. 1 評価概要	7
1. 2 評価対象施設	9
2. 基礎地盤の安定性評価	
2. 1 評価方針	11
2. 2 解析用物性値	16
2. 3 評価方法	23
2. 4 入力地震動	30
2. 5 評価結果	40
3. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価	
3. 1 周辺地盤の変状による重要施設への影響	71
3. 2 地殻変動による基礎地盤の変形の影響	76
4. 周辺斜面の安定性評価	82
5. まとめ	84

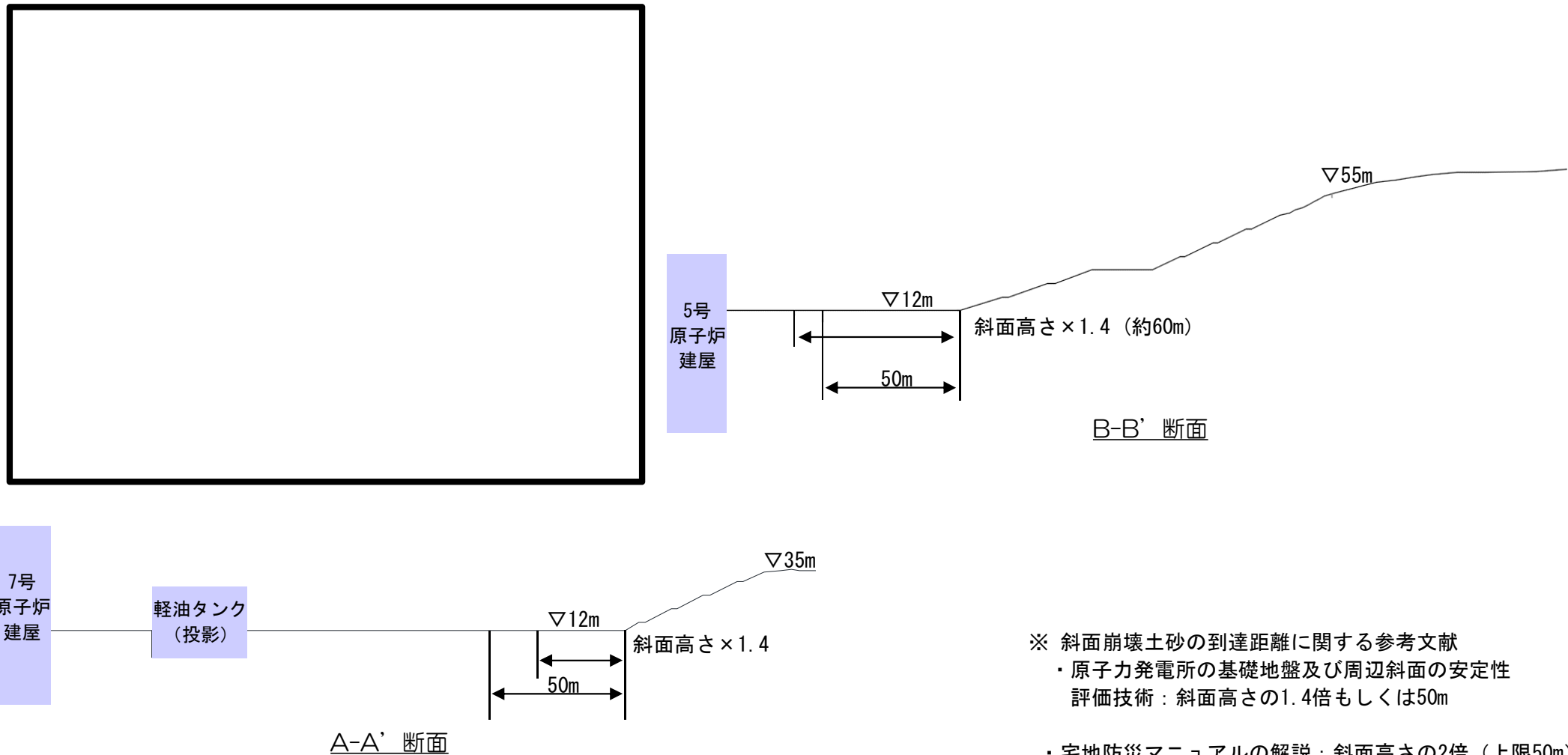
【別冊】補足説明資料

# 周辺斜面評価対象断面の選定

## 4. 周辺斜面の安定性評価

- 評価対象施設に対して影響を及ぼす可能性のある周辺斜面として、斜面までの距離が比較的近い2箇所を抽出した。
- いずれの施設も斜面法尻から十分な離隔距離※を確保しており、斜面崩壊が生じたとしても施設に影響を及ぼさないと評価した。

### 6. 7号炉軽油タンク周辺斜面



※ 斜面崩壊土砂の到達距離に関する参考文献  
 ・ 原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性  
 評価技術：斜面高さの1.4倍もしくは50m

・ 宅地防災マニュアルの解説：斜面高さの2倍（上限50m）

1. 評価概要	
1. 1 評価概要	7
1. 2 評価対象施設	9
2. 基礎地盤の安定性評価	
2. 1 評価方針	11
2. 2 解析用物性値	16
2. 3 評価方法	23
2. 4 入力地震動	30
2. 5 評価結果	40
3. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価	
3. 1 周辺地盤の変状による重要施設への影響	71
3. 2 地殻変動による基礎地盤の変形の影響	76
4. 周辺斜面の安定性評価	82
5. まとめ	84

【別冊】補足説明資料

## 基礎地盤

### 1. 将来活動する可能性のある断層等の有無

原子炉建屋等が設置される地盤に、将来も活動する可能性のある断層等が露頭していないことを確認した。

### 2. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価

以下の事項のうち、1) 基礎地盤、2) 基礎の支持力について、地震力に対して施設の安全機能が重大な影響を受けないことを確認した。なお、3) 基礎底面の傾斜については、耐震設計方針において、基礎の傾斜に対する建屋、機器、設備等の安全機能への影響について評価の方針を示すとともに、詳細設計段階において詳細に評価を行う。

1) 基礎地盤のすべり      2) 基礎の支持力      3) 基礎底面の傾斜

### 3. 周辺地盤の変状による重要施設への影響評価

地震発生に伴う周辺地盤の変状による建物・構築物間の不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等により、施設の安全機能が重大な影響を受けないことを確認した。

### 4. 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価

地震発生に伴う地殻変動による基礎地盤の傾斜及び撓みによる施設への影響については、地殻変動に伴う基礎底面の傾斜が基本設計段階の目安値を超えることから、耐震設計方針において、基礎の傾斜に対する建屋、機器、設備等の安全機能への影響について評価の方針を示すとともに、詳細設計段階において詳細に評価を行う。

## 周辺斜面

### 1. 地震力に対する周辺斜面の安定性評価

地震力に対して周辺斜面が崩壊し、施設の安全機能が重大な影響を受けないことを確認した。

## 参考文献

---

- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-2008, 一般社団法人 日本電気協会 原子力規格委員会, 2008.
- ・ 原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術<技術資料>, 土木学会 原子力土木委員会, 2009.
- ・ 宅地防災マニュアルの解説〔第二次改訂版〕〔Ⅱ〕, 〔編集〕宅地防災研究会, 2007.
- ・ 大島 快仁, 宇高 竹和, 酒井 俊朗, 谷 智之, 兵頭 順一; 側方効果を考慮した擬似三次元モデルによる地盤安定性評価法, 地盤工学ジャーナル, Vol.10, No.2, 225-234, 2015.6.