

電源開発株式会社
大間原子力発電所

原子炉建屋基礎地盤の安定性検討
(比較検討)

平成16年12月
原子力発電安全審査課

目 次

1. 検討目的	1
2. 断層内物質及びシームの強度特性を低減させた検討.....	2
2.1 解析条件.....	2
2.2 解析結果及びまとめ.....	3
3. シームの応力履歴を考慮して強度特性を低減させた検討.....	8
3.1 解析条件.....	8
3.2 解析結果及びまとめ.....	9
4. 燃料補助建屋を付加したモデルによる検討.....	15
4.1 動的FEM解析による安定性検討.....	15
4.1.1 解析条件	15
4.1.2 解析結果及びまとめ	15
4.2 慣用法による安定性検討.....	17
4.2.1 解析条件	17
4.2.2 解析手法	17
4.2.3 解析結果及びまとめ	19
5. 動的上下動を考慮した検討	27
5.1 解析条件.....	27
5.2 解析結果及びまとめ.....	28
6. まとめ	34

1. 検討目的

「原子炉建屋基礎地盤の安定性検討」（意見聴取会資料「04-大間設C-40」）（以下「基本検討」という。）に加え、安定解析に影響を及ぼす可能性のある場合の検討として、申請者が実施した以下の解析結果について検討を行う。

- ① 断層内物質及びシームの強度特性を低減させた検討
- ② シームの応力履歴を考慮して強度特性を低減させた検討
- ③ 燃料補助建屋を付加したモデルによる検討
- ④ 動的上下動を考慮した検討

2. 断層内物質及びシームの強度特性を低減させた検討

申請者は、断層内物質及びシームの強度を平均値から 1σ (σ : 標準偏差) 低減させた場合について、以下のとおり検討している。

2.1 解析条件

基本検討の動的 F E M 解析においてすべり安全率が最も小さい X-X' 断面を対象に、断層内物質及びシームの強度特性を低減させた解析を行っている。

解析用物性値は、断層内物質及びシームの強度を基本検討で用いている平均値から 1σ 低減させた値に設定している。

具体的な低減方法としては、強度特性を表わす回帰式と個々の供試体の破壊時のせん断応力 τ との差から標準偏差を求め、内部摩擦角 ϕ を固定した上で、せん断強度 τ_0 (粘着力 c) を 1σ 低減させている。

また、残留強度も同様に低減させている。

平均値から 1σ 低減させた断層内物質及びシームの強度を表-2.1、図-2.1 及び図-2.2 に示す。

断層内物質及びシームの強度特性以外の解析条件については、基本検討と同じである。

2.2 解析結果及びまとめ

(1) すべりに対する解析結果

a. 断層及びシームの要素ごとの安全率

断層及びシームの要素ごとの安全率を参考図集の図-2.1 に示す。

基本検討の結果と比較して要素ごとの安全率は低下するものの、新たに引張応力が発生した要素及びせん断強度に達した要素はない。

b. すべり安全率

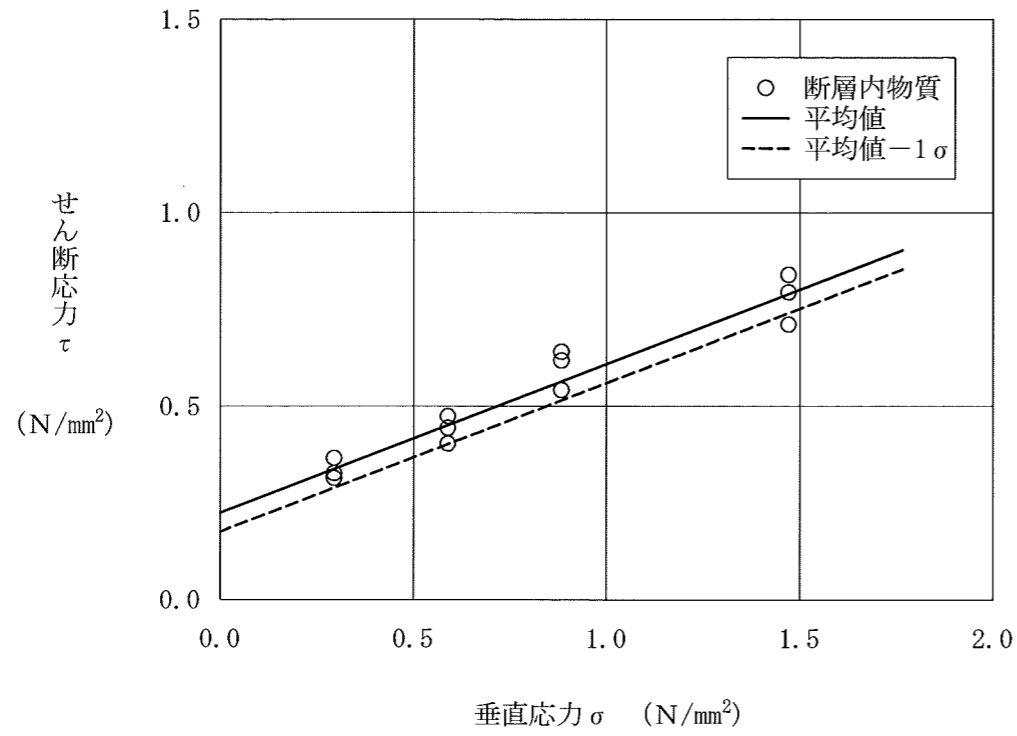
基本検討において設定した断層及びシームを通る想定すべり線並びに応力状態を考慮した想定すべり線を対象に、動的 FEM解析により求めたすべり安全率を、基本検討の結果と比較して表-2.2 に示す。

断層内物質及びシームの強度特性を低減させた検討の最小すべり安全率は 3.1 であり、すべりに対して十分な安全性を有している。

なお、基本検討の最小すべり安全率は 3.6 である。

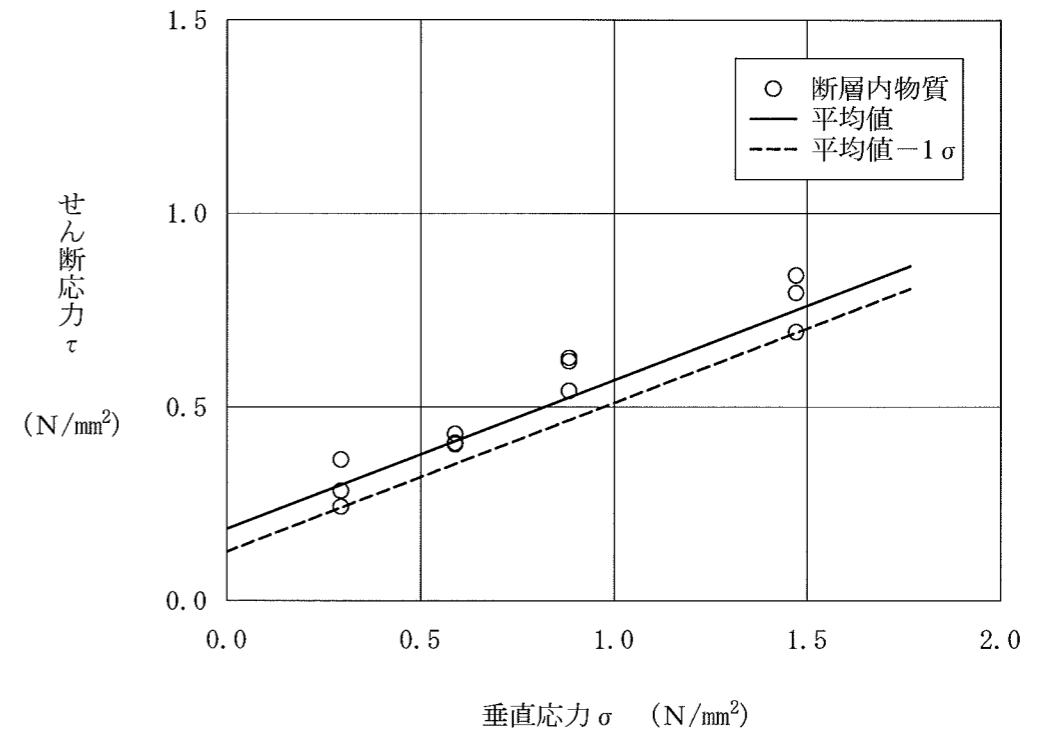
表-2.1 断層内物質及びシームの強度特性
 (断層内物質及びシームの強度特性を低減させた検討)

	基本検討		断層内物質及びシームの 強度特性を低減させた検討	
	せん断強度 N/mm ²	残留強度 N/mm ²	せん断強度 N/mm ²	残留強度 N/mm ²
断層内物質	$\tau = 0.23 + \sigma \tan 21^\circ$	$\tau = 0.19 + \sigma \tan 21^\circ$	$\tau = 0.18 + \sigma \tan 21^\circ$	$\tau = 0.13 + \sigma \tan 21^\circ$
シーム	$\tau = 0.24 + \sigma \tan 19^\circ$	$\tau = 0.19 + \sigma \tan 18^\circ$	$\tau = 0.18 + \sigma \tan 19^\circ$	$\tau = 0.13 + \sigma \tan 18^\circ$



静的単純せん断試験結果 (強度)

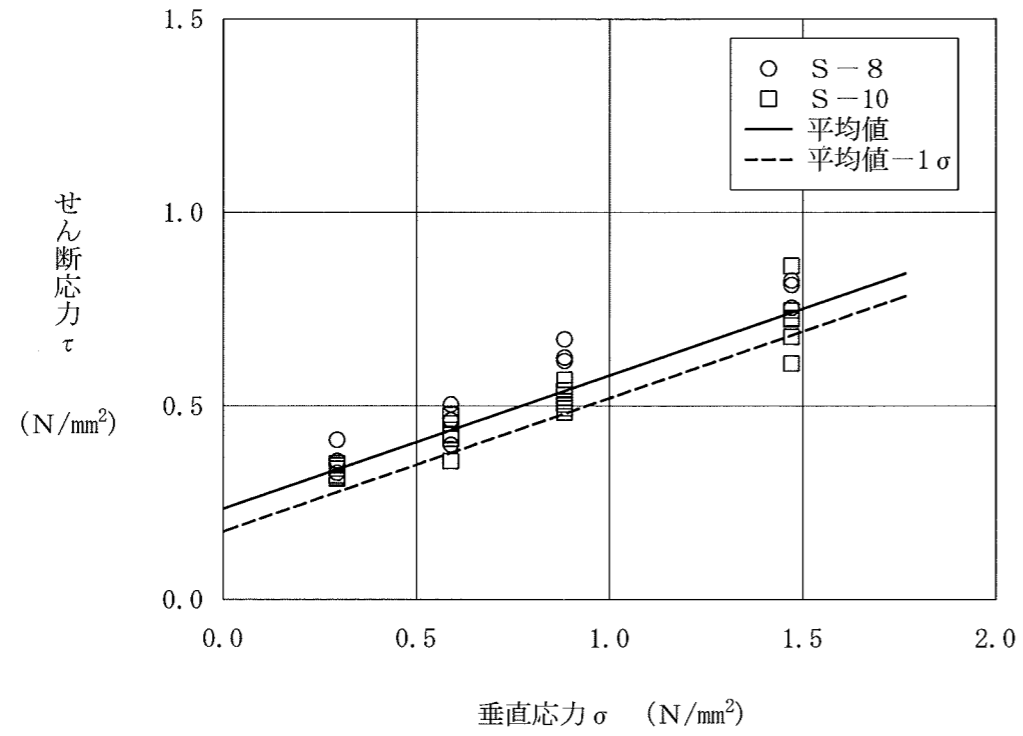
平均值 $\tau = 0.23 + \sigma \tan 21^\circ$ (N/mm²)
 平均值-1 σ $\tau = 0.18 + \sigma \tan 21^\circ$ (N/mm²)



静的単純せん断試験結果 (残留強度)

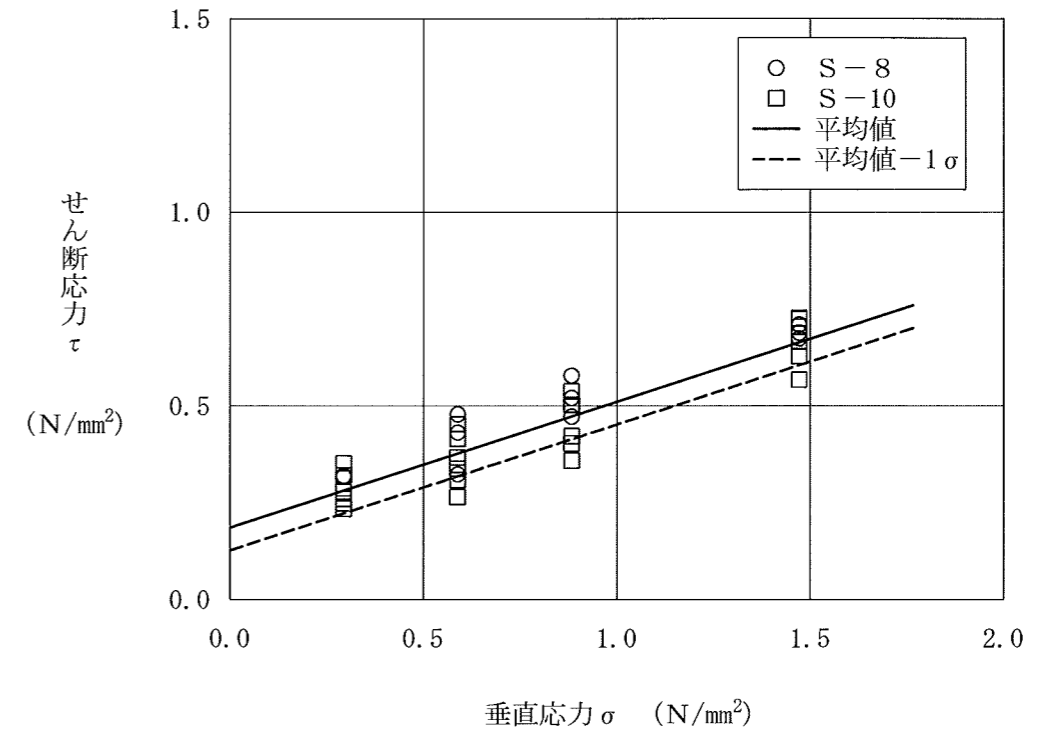
平均值 $\tau = 0.19 + \sigma \tan 21^\circ$ (N/mm²)
 平均值-1 σ $\tau = 0.13 + \sigma \tan 21^\circ$ (N/mm²)

図-2.1 断層内物質の強度特性
(断層内物質及びシームの強度特性を低減させた検討)



静的単純せん断試験結果 (強度)

平均値 $\tau = 0.24 + \sigma \tan 19^\circ$ (N/mm²)
 平均値-1 σ $\tau = 0.18 + \sigma \tan 19^\circ$ (N/mm²)



静的単純せん断試験結果 (残留強度)

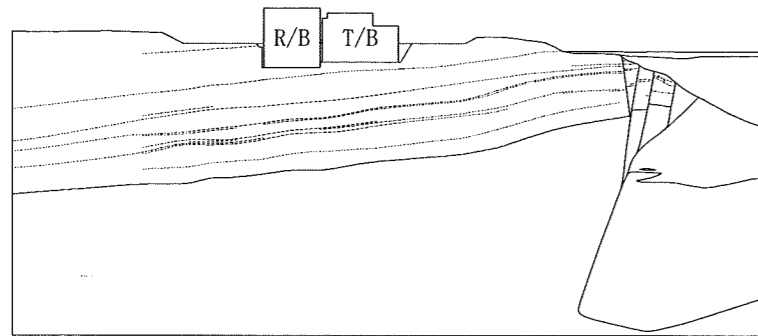
平均値 $\tau = 0.19 + \sigma \tan 18^\circ$ (N/mm²)
 平均値-1 σ $\tau = 0.13 + \sigma \tan 18^\circ$ (N/mm²)

図-2.2 シームの強度特性
 (断層内物質及びシームの強度特性を低減させた検討)

表-2.2 すべり安全率（断層内物質及びシームの強度特性を低減させた検討， X-X' 断面）

すべり線 番号	すべり線形状	地震力 方向	すべり安全率	
			基本検討	断層内物質及びシームの強度特性を低減させた検討
4		↑	4.4	4.1
		↓	4.5	4.2
5		↑	4.6	4.3
		↓	4.8	4.5
6		↑	4.5	4.2
		↓	4.6	4.3

すべり線 番号	すべり線形状	地震力 方向	すべり安全率	
			基本検討	断層内物質及びシームの強度特性を低減させた検討
7		↑	4.6	4.3
		↓	4.9	4.5
8		↑	3.6	3.1
		↓	3.7	3.2
9		↑	4.1	3.8
		↓	4.0	3.6



- 凡例
- すべり線
 - - - 断層・シーム
 - 地層境界
 - すべり安全率の最小値

3. シームの応力履歴を考慮して強度特性を低減させた検討

申請者は、建屋基礎掘削に伴うシームの応力履歴を考慮してシームの強度を低減させた場合について、以下のとおり検討している。

3.1 解析条件

基本検討の動的FEM解析においてすべり安全率が最も小さいX-X'断面を対象に、シームの応力履歴を考慮して強度特性を低減させた解析を行っている。

シームの応力履歴を考慮する範囲は、図-3.1に示すように建屋構築の過程で、地山状態（初期）から基礎の掘削によってシームS-10の応力が除荷される範囲としている。具体的には、応力履歴を考慮した三軸圧縮試験における除荷過程の応力低減率（（初期の圧密圧力 0.3N/mm^2 - 掘削後の圧密圧力 0.1N/mm^2 ） / 初期の圧密圧力 0.3N/mm^2 ）を平均的に満足し、かつ建屋基礎の掘削幅を含む区間をシームの応力履歴を考慮する範囲としている。図-3.2にシームの応力履歴を考慮して強度特性を低減させた検討の解析用要素分割図を示す。

解析用物性値は、シームの応力履歴を考慮した試験結果（意見聴取会資料「04-大間設C-36」）に基づき、応力履歴による影響を受ける範囲のシームS-10について、シームの強度を基本検討で用いているシームの平均値の0.7倍に低減させた値に設定している。

また、残留強度も同様に低減させている。

平均値の0.7倍に低減させたシームの強度を表-3.1及び図-3.3

に示す。

シームの強度特性以外の解析条件については、基本検討と同じである。

3.2 解析結果及びまとめ

(1) すべりに対する解析結果

a. シーム S-10 の要素ごとの安全率

シーム S-10 の要素ごとの安全率を参考図集の図-3.1 に示す。

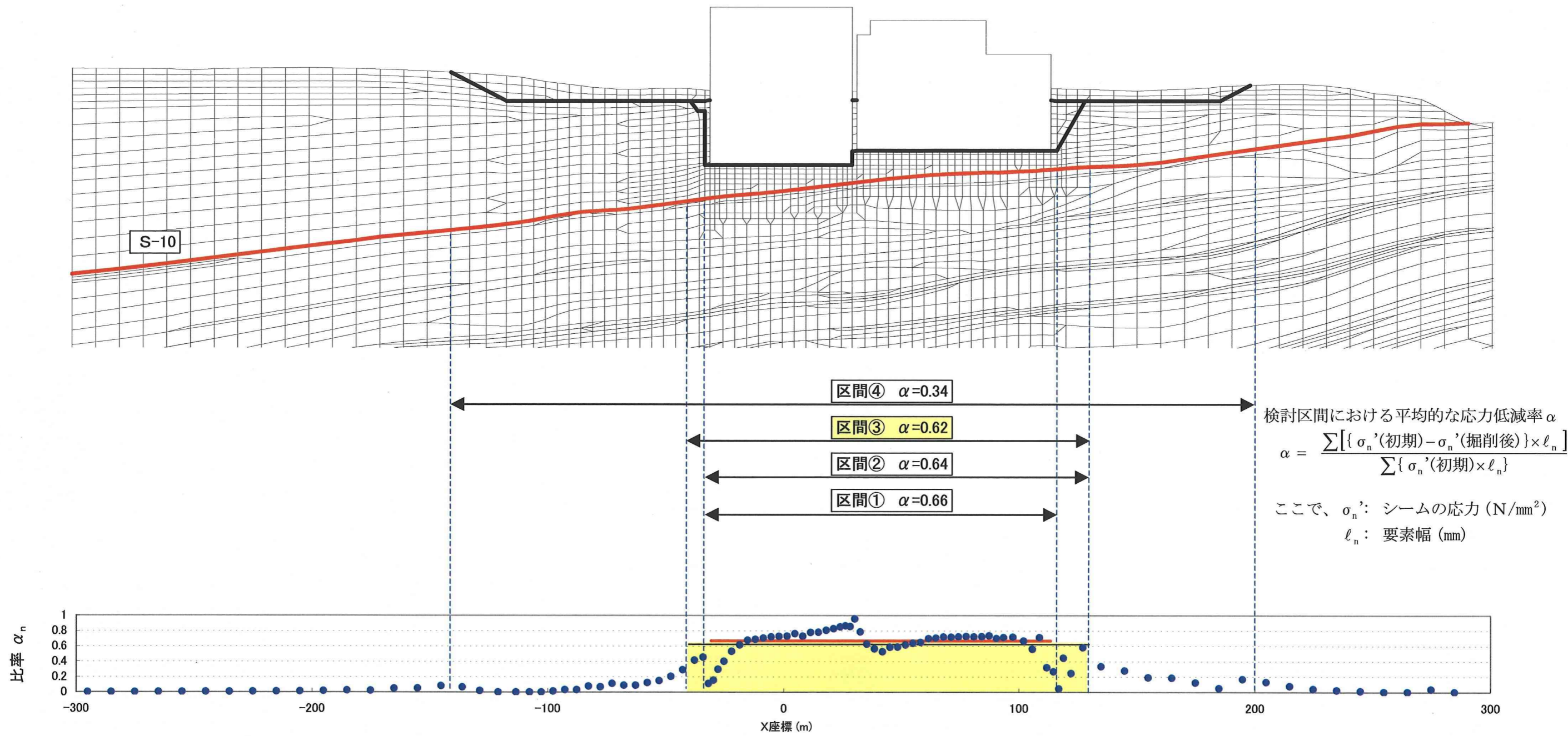
シームの応力履歴を考慮した範囲において、基本検討の結果と比較して要素ごとの安全率は低下するものの、新たに引張応力が発生した要素及びせん断強度に達した要素はない。

b. すべり安全率

基本検討において設定したすべり線のうち、シームの応力履歴を考慮したシーム S-10 の範囲を含むすべり線を対象に、動的 FEM解析により求めたすべり安全率を、基本検討の結果と比較して表-3.2 に示す。

シームの応力履歴を考慮して強度特性を低減させた検討の最小すべり安全率は 3.2 であり、すべりに対して十分な安全性を有している。

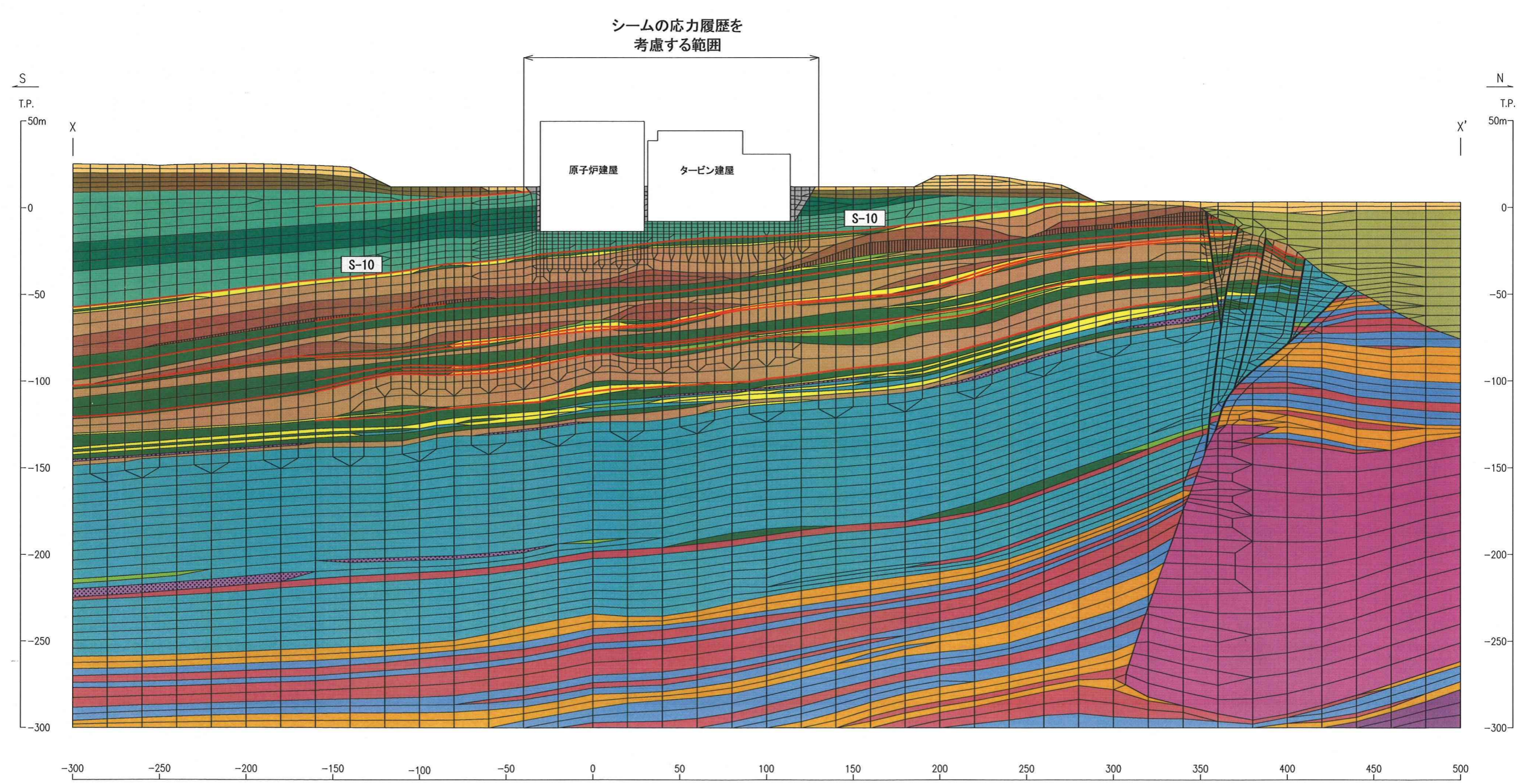
なお、基本検討の最小すべり安全率は 3.6 である。



※建屋基礎の掘削幅で、低減率 $\alpha_0=0.67$ を満足する区間③をシームの応力履歴を考慮する範囲とした。

図-3.1 シームの応力履歴を考慮する範囲の検討

- | | | | |
|----------------------|-----------------|--------------------------|-------------------------------------|
| ctf 粗粒凝灰岩 | st シルト岩 | mlv(R) 安山岩溶岩(塊状・規則性節理部) | alt 細粒凝灰岩, 粗粒凝灰岩
暗灰色火山礫凝灰岩及びシルト岩 |
| lltf 淡灰色火山礫凝灰岩 | st(H) シルト岩(硬質部) | mlv(I) 安山岩溶岩(塊状・不規則性節理部) | |
| dltf 暗灰色火山礫凝灰岩 | sd(W) 堆積岩(風化部) | blv 安山岩溶岩(角礫状) | |
| tb 凝灰角礫岩 | | da デイサイト | 表土 |
| atf 酸性凝灰岩 | | ba 玄武岩(角礫状) | 埋戻・盛土材 |
| ptf 軽石凝灰岩 | | | |
| py(C) 火山碎屑岩(クリンカー質部) | | | |
| py(W) 火山碎屑岩(風化部) | | | |
- 断層
— シーム

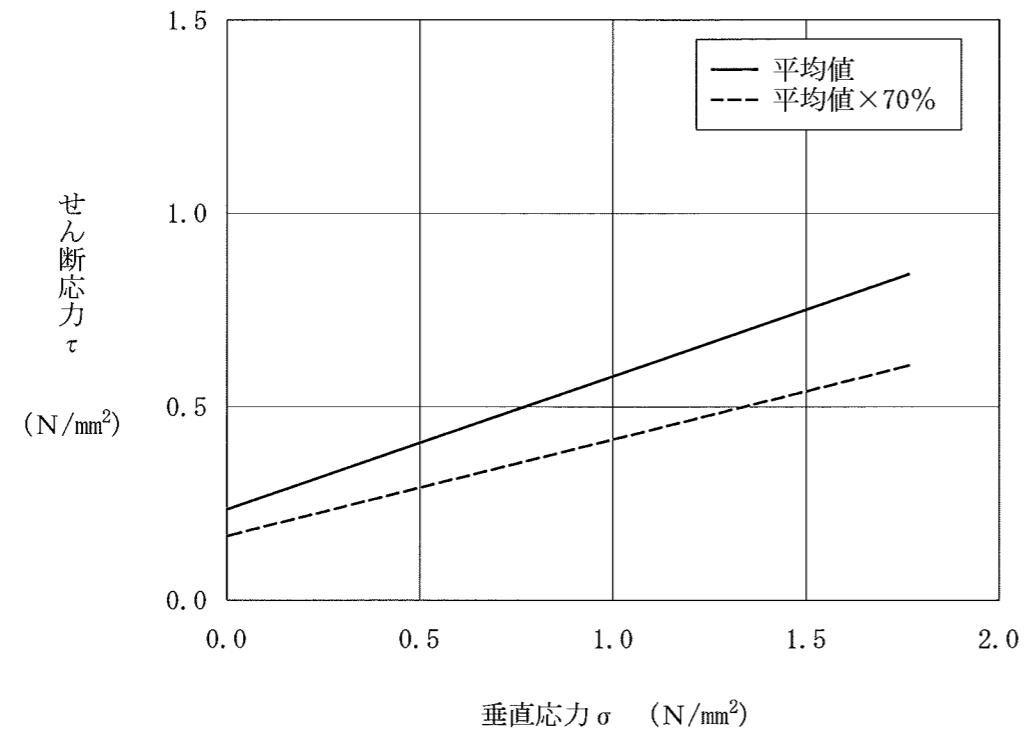


※ 建屋構築の過程で、地山状態(初期)から基礎の掘削によってシームS-10の応力除荷される範囲(図-3.1)をシームの応力履歴を考慮する範囲として検討を行っている。

図-3.2 解析用要素分割図 (X-X' 断面)
(シームの応力履歴を考慮して強度特性を低減させた検討)

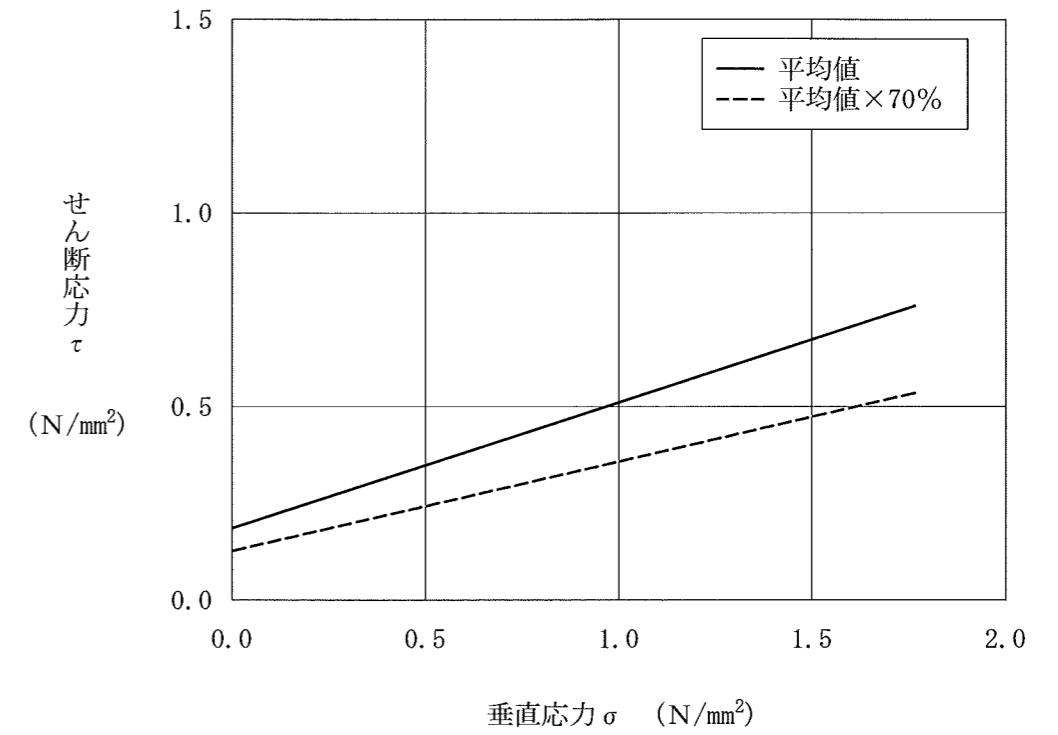
表-3.1 シームの強度特性
 (シームの応力履歴を考慮して強度特性を低減させた検討)

	基本検討		シームの応力履歴を考慮して 強度特性を低減させた検討	
	せん断強度 N/mm ²	残留強度 N/mm ²	せん断強度 N/mm ²	残留強度 N/mm ²
シーム	$\tau = 0.24 + \sigma \tan 19^\circ$	$\tau = 0.19 + \sigma \tan 18^\circ$	$\tau = 0.17 + \sigma \tan 14^\circ$	$\tau = 0.13 + \sigma \tan 13^\circ$



静的単純せん断試験結果（強度）

平均値 $\tau = 0.24 + \sigma \tan 19^\circ$ (N/mm²)
 平均値×70% $\tau = 0.17 + \sigma \tan 14^\circ$ (N/mm²)

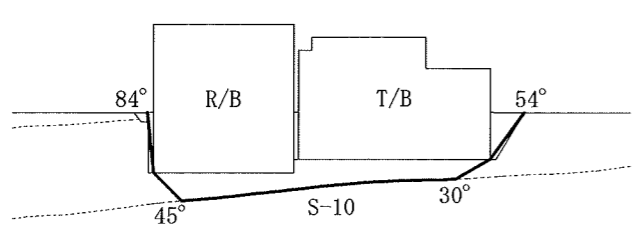
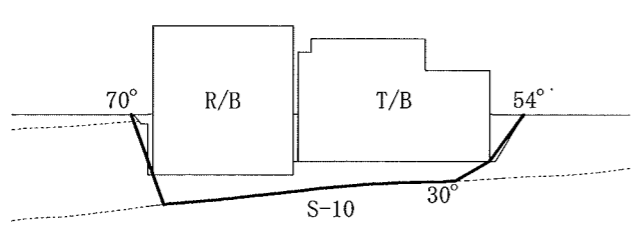
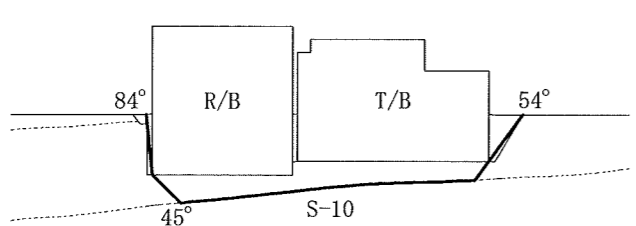


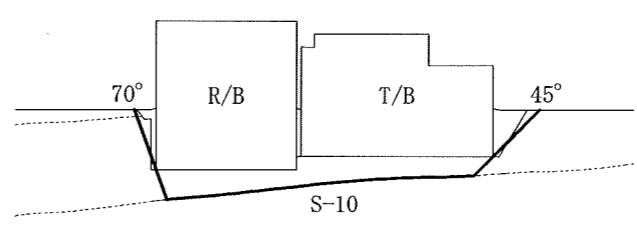
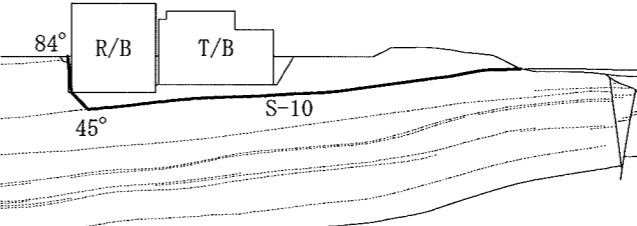
静的単純せん断試験結果（残留強度）

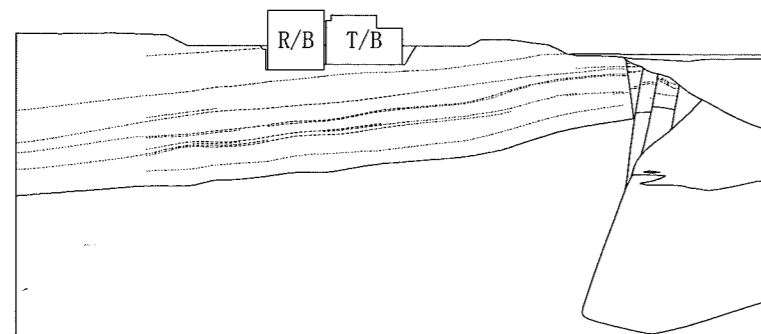
平均値 $\tau = 0.19 + \sigma \tan 18^\circ$ (N/mm²)
 平均値×70% $\tau = 0.13 + \sigma \tan 13^\circ$ (N/mm²)

図-3.3 シームの強度特性
 （シームの応力履歴を考慮して強度特性を低減させた検討）

表-3.2 すべり安全率（シームの応力履歴を考慮して強度特性を低減させた検討， X-X' 断面）

すべり線 番号	すべり線形状	地震力 方向	すべり安全率	
			基本検討	シームの応力履歴を考慮して強度特性を低減させた検討
4		↑	4.4	3.7
		↓	4.5	3.9
5		↑	4.6	3.9
		↓	4.8	4.2
6		↑	4.5	3.8
		↓	4.6	3.9

すべり線 番号	すべり線形状	地震力 方向	すべり安全率	
			基本検討	シームの応力履歴を考慮して強度特性を低減させた検討
7		↑	4.6	4.0
		↓	4.9	4.2
8		↑	3.6	3.2
		↓	3.7	3.2



- 凡例
- すべり線
 - - - 断層・シーム
 - 地層境界
 - すべり安全率の最小値

4. 燃料補助建屋を付加したモデルによる検討

申請者は、東西断面（Y-Y'断面）において燃料補助建屋をモデル化し、動的FEM解析による安定性の検討を行うと共に、燃料補助建屋について慣用法による安定性を検討している。

4.1 動的FEM解析による安定性検討

4.1.1 解析条件

Y-Y'断面を対象に燃料補助建屋をモデル化した動的FEM解析を行っている。

燃料補助建屋のモデルは、多質点系モデルから有限要素モデルに変換することにより作成している。燃料補助建屋を付加したY-Y'断面のFEM解析用要素分割図を図-4.1に示す。

その他の解析条件は、基本検討と同じである。

4.1.2 解析結果及びまとめ

(1) すべりに対する解析結果

a. 主応力分布及び要素ごとの安全率

地震時の主応力図を参考図集の図-4.1に、要素ごとの安全率を参考図集の図-4.2に示す。

原子炉建屋基礎岩盤については、基本検討の結果と比較して、新たに引張応力の発生した要素及びせん断強度に達した要素はない。

また、シームについても、新たに引張応力の発生した要素及

びせん断強度に達した要素はない。

b. すべり安全率

基本検討において設定した原子炉建屋基礎底面沿いの想定すべり線、断層及びシームを通る想定すべり線並びに応力状態を考慮した想定すべり線を対象に、動的FEM解析により求めたすべり安全率を、基本検討の結果と比較して表-4.1に示す。

燃料補助建屋を付加したモデルによる検討の最小すべり安全率は4.1であり、すべりに対して十分な安全性を有している。

なお、基本検討の最小すべり安全率は3.9である。

(2) 沈下に対する解析結果

原子炉建屋基礎の傾斜を基本検討の結果と比較して表-4.2に示す。

地震時の原子炉建屋基礎両端における鉛直方向の最大相対変位量は0.32cmで、その時の原子炉建屋基礎の傾斜は約1/18,000であり、問題となる不同沈下が生じることはない。

なお、基本検討の最大相対変位量は0.36cm、傾斜は約1/16,000である。

また、燃料補助建屋基礎の傾斜を表-4.3に示す。

地震時の燃料補助建屋基礎両端における鉛直方向の最大相対変位量は0.22cmで、その時の燃料補助建屋基礎の傾斜は約1/16,000であり、問題となる不同沈下が生じることはない。

4.2 慣用法による安定性検討

4.2.1 解析条件

解析で対象とする断面は、燃料補助建屋中心を通る南北方向断面であるX-X'断面と、これに直交し中心を通る東西方向断面であるY-Y'断面としている。

燃料補助建屋の水平方向の地震力については、原子炉建屋と同様に層せん断力係数 $3.0C_I$ に基づく地震力を、鉛直方向の地震力については、燃料補助建屋に $0.24G$ を作用させている。作用方向は解析断面の水平方向及び鉛直2方向としている。

地下水位は、基礎スラブ上面に設定している。

4.2.2 解析手法

(1) 支持力に対する検討

支持力に対する検討では、原子炉建屋と同様に燃料補助建屋基礎底面における接地圧分布により基礎底面地盤の常時及び地震時の支持力に対する安定性を検討している。

(2) 平面すべりに対する検討

燃料補助建屋基礎底面の平面すべりの検討では、燃料補助建屋の基礎底面の岩盤区分である凝灰角礫岩のせん断強度として淡灰色火山礫凝灰岩のブロックせん断試験結果から推定した値を用いて、原子炉建屋基礎底面の平面すべりに対する検討と同様な手法により検討している。

具体的には、凝灰角礫岩のせん断強度は建屋の地震時の平均接地圧 0.33N/mm^2 における凝灰角礫岩と淡灰色火山礫凝灰岩との三軸圧縮強度比 0.91 から、淡灰色火山礫凝灰岩のブロックせん断試験のせん断強度を低減させて求めている。このように推定した凝灰角礫岩の破壊時のせん断応力 τ と垂直応力 σ との関係は、以下のとおりである。

$$\tau = 0.47 + \sigma \tan 35^\circ \quad (\text{N/mm}^2)$$

平面すべりの検討ケースを表-4.4 に示す。

(3) 沈下に対する検討

燃料補助建屋の沈下に対する検討では、燃料補助建屋基礎底面に分布する凝灰角礫岩の割線弾性係数として淡灰色火山礫凝灰岩の岩盤変形試験結果から推定した値を用いて検討している。

具体的には、建屋の常時の接地圧 0.26N/mm^2 における凝灰角礫岩と淡灰色火山礫凝灰岩との三軸圧縮試験に基づく静弾性係数比 0.96 から、淡灰色火山礫凝灰岩の岩盤変形試験の割線弾性係数を低減させて算出した割線弾性係数 $1.56 \times 10^3\text{N/mm}^2$ 、凝灰角礫岩の一軸及び三軸圧縮試験から求めたポアソン比 0.47 、並びに三軸クリープ試験から求めたクリープ係数 0.23 を用いて沈下量を求め、安全性を検討している。

4.2.3 解析結果及びまとめ

(1) 支持力に対する検討

燃料補助建屋基礎底面における接地圧分布を表-4.5に示す。

燃料補助建屋基礎底面に分布する凝灰角礫岩の支持力が岩石試験結果からみて淡灰色火山礫凝灰岩とほぼ同程度と考えられ、燃料補助建屋の常時の接地圧は約 0.3N/mm^2 、地震時の最大接地圧は約 0.7N/mm^2 であり、燃料補助建屋の接地圧は原子炉建屋に比べて小さいことから支持力が問題とならない。

(2) 平面すべりに対する検討

平面すべりの検討結果を表-4.6に示す。

最小すべり安全率は3.3であり、すべりに対して十分な安全性を有している。

(3) 沈下に対する検討

燃料補助建屋構築による沈下量は、燃料補助建屋中心で約 0.8cm であり、燃料補助建屋の沈下は、そのほとんどが短期間で収束することから、建屋及び機器に与える影響はない。

- | | | | |
|----------------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| ctf 粗粒凝灰岩 | st シルト岩 | m ℓ v(R) 安山岩溶岩(塊状・規則性節理部) | alt 細粒凝灰岩, 粗粒凝灰岩
暗灰色火山礫凝灰岩及びシルト岩 |
| lltf 淡灰色火山礫凝灰岩 | st(H) シルト岩(硬質部) | m ℓ v(I) 安山岩溶岩(塊状・不規則性節理部) | |
| dltf 暗灰色火山礫凝灰岩 | sd(W) 堆積岩(風化部) | blv 安山岩溶岩(角礫状) | 表土 |
| tb 凝灰角礫岩 | | da デイサイト | 埋戻・盛土材 |
| atf 酸性凝灰岩 | | ba 玄武岩(角礫状) | |
| ptf 軽石凝灰岩 | | | 断層 |
| py(C) 火山碎屑岩(クリンカー質部) | | | シーム |
| py(W) 火山碎屑岩(風化部) | | | |

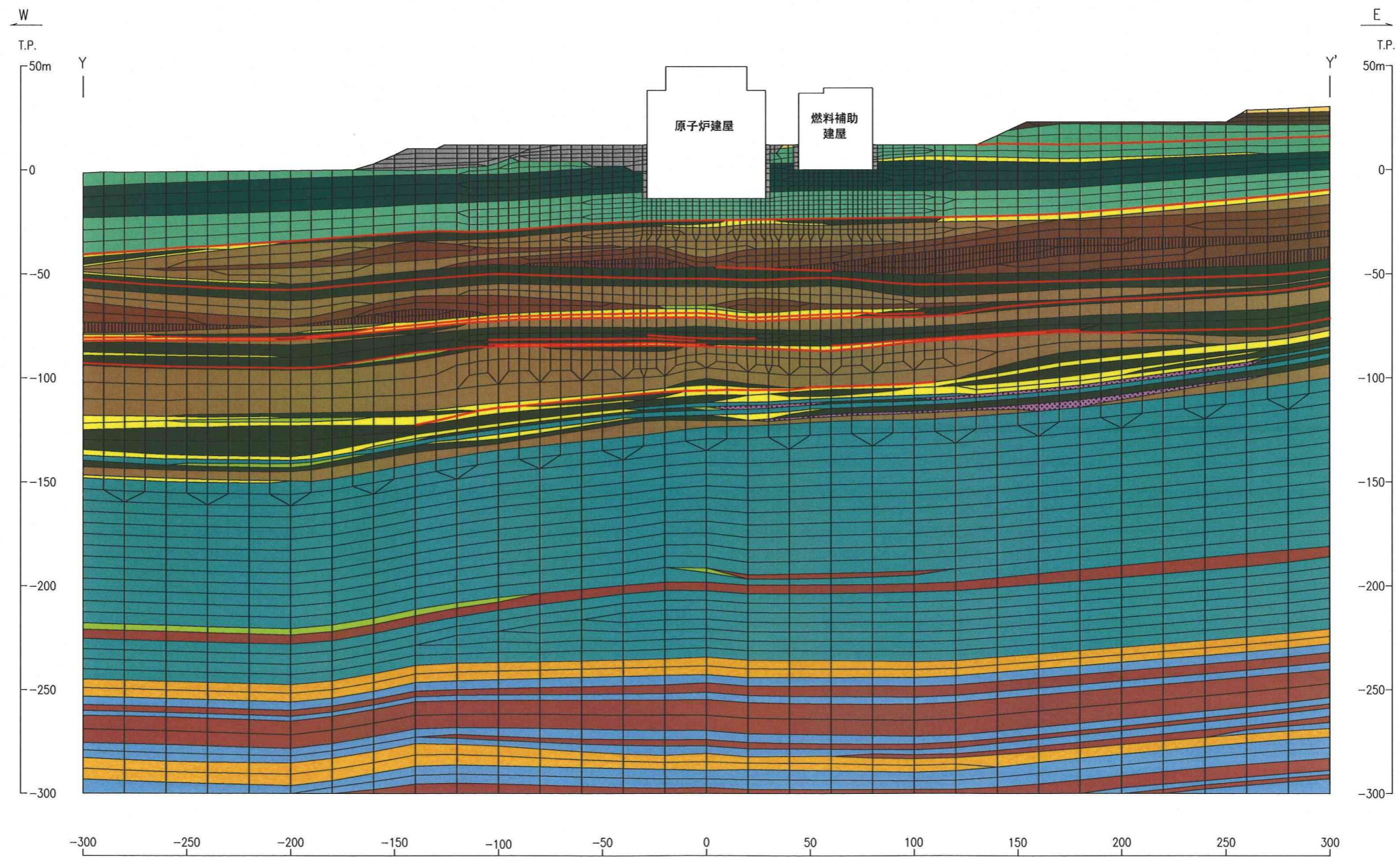
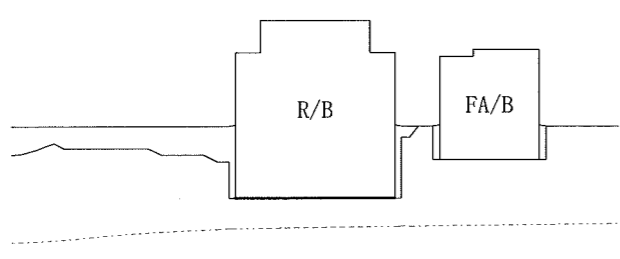
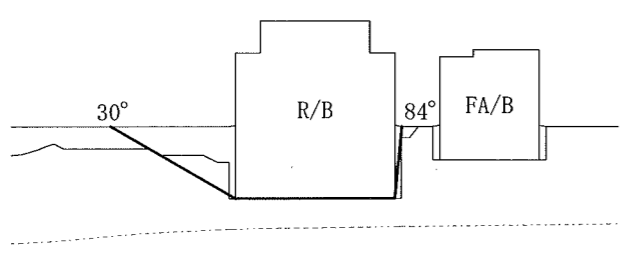
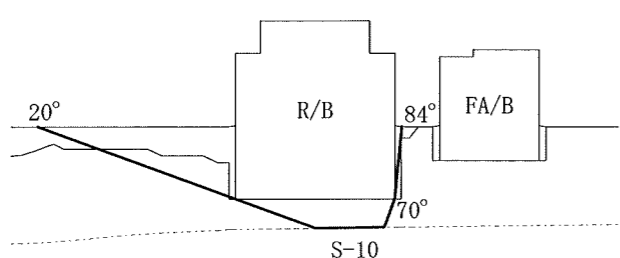
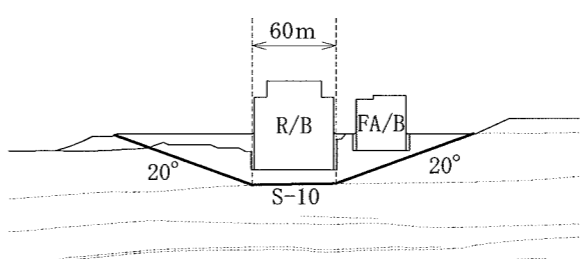
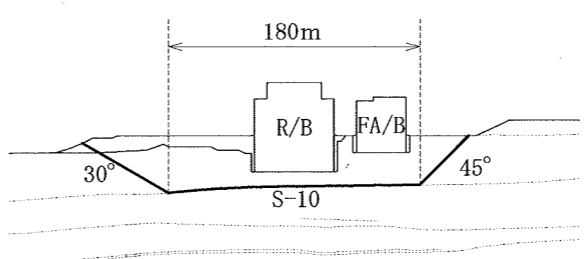
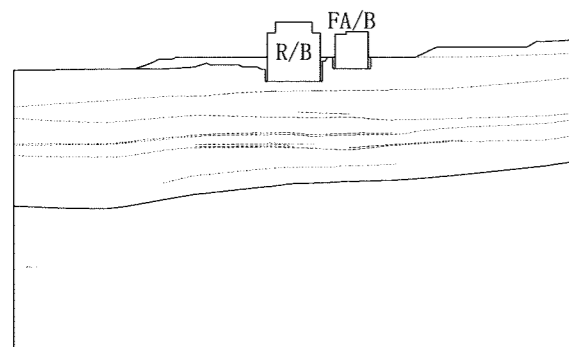


図-4.1 解析用要素分割図 (Y-Y' 断面)
(燃料補助建屋を付加したモデルによる検討)

表-4.1 すべり安全率（燃料補助建屋を付加したモデルによる検討， Y-Y' 断面）

すべり線 番号	すべり線形状	地震力 方向	すべり安全率	
			基本検討	燃料補助建屋 を付加したモ デルによる検 討
1		↑	7.3	7.6
		↓	7.4	7.8
2		↑	11.7	10.8
		↓	11.7	10.5
4		↑	15.1	14.4
		↓	14.4	14.9

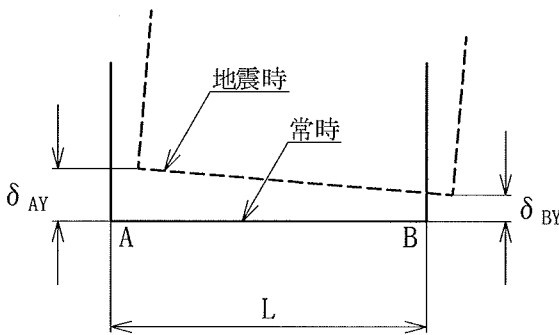
すべり線 番号	すべり線形状	地震力 方向	すべり安全率	
			基本検討	燃料補助建屋 を付加したモ デルによる検 討
7		↑	6.6	7.0
		↓	6.6	7.3
8		↑	3.9	4.1
		↓	4.0	4.2



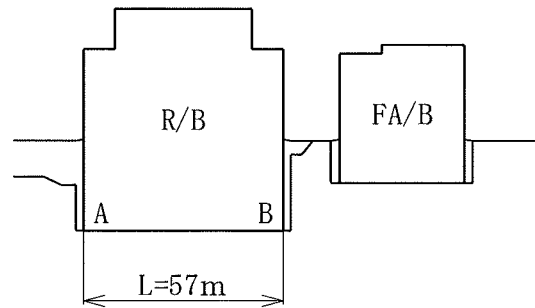
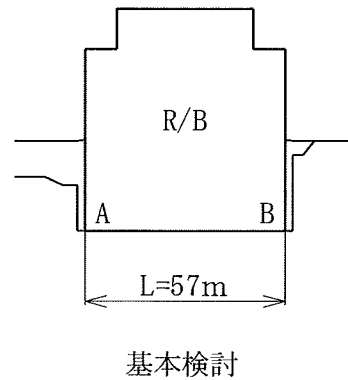
- 凡例
- すべり線
 - - - 断層・シーム
 - 地層境界
 - すべり安全率の最小値

表-4.2 原子炉建屋基礎の傾斜
 (燃料補助建屋を付加したモデルによる検討, Y-Y' 断面)

	発生時刻 (秒)	最大相対変位量 (鉛直方向)	最大傾斜
		$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
基本検討	14.89	0.36	1/16,000
燃料補助建屋を付加したモデルによる検討	29.52	0.32	1/18,000



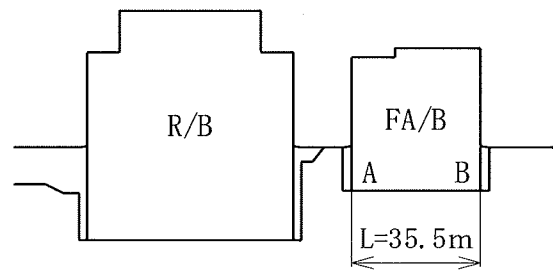
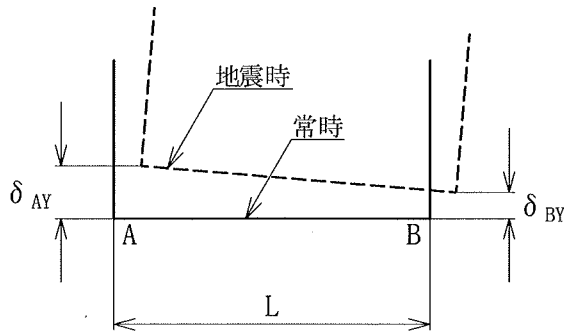
δ_{AY} , δ_{BY} は上向きを正とする。
 鉛直方向相対変位は左上りを正とする。



燃料補助建屋を付加したモデルによる検討

表-4.3 燃料補助建屋基礎の傾斜
 (燃料補助建屋を付加したモデルによる検討, Y-Y' 断面)

	発生時刻 (秒)	最大相対変位量 (鉛直方向)	最大傾斜
		$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
燃料補助建屋を付加したモデルによる検討	14.85	0.22	1/16,000



δ_{AY} , δ_{BY} は上向きを正とする。
 鉛直方向相対変位は左上りを正とする。

表-4.4 慣用法検討ケース（燃料補助建屋）

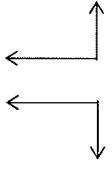
解析手法	解析断面	地震力方向
慣用法 (平面すべり)	X-X' 断面	
	Y-Y' 断面	

表-4.5 燃料補助建屋基礎底面における接地圧分布

水平地震力方向 鉛直地震力方向		常時		地震時									
				X-X'				Y-Y'					
				↑		↓		↑		↓			
建屋荷重	鉛直力・有効鉛直力 ¹⁾ (N)	鉛直力	有効鉛直力	鉛直力	有効鉛直力	鉛直力	有効鉛直力	鉛直力	有効鉛直力	鉛直力	有効鉛直力		
		44.746×10 ⁷	40.829×10 ⁷	34.007×10 ⁷	30.090×10 ⁷	55.485×10 ⁷	51.569×10 ⁷	34.007×10 ⁷	30.090×10 ⁷	55.485×10 ⁷	51.569×10 ⁷		
	転倒モーメント ²⁾ (N・m)	-				325.6×10 ⁷				332.3×10 ⁷			
	水平力 ²⁾ (N)	-				18.75×10 ⁷				18.75×10 ⁷			
3) 解析結果 (接地圧分布)	浮力を考慮しない場合												
	浮力を考慮した場合												

注1) 有効鉛直力では浮力を考慮 注2) 3C₁による 注3) ○は常時, 地震時それぞれの最大値を示す

表-4.6 すべり安全率 燃料補助建屋基礎底面の平面すべり

水平地震力方向	鉛直地震力方向	抵抗力(N)	せん断力(N)	すべり安全率
X-X'	↑	8.0×10^8	1.9×10^8	4.2
	↓	11.1×10^8	1.9×10^8	5.8
Y-Y'	↑	6.4×10^8	1.9×10^8	3.3
	↓	10.8×10^8	1.9×10^8	5.6

5. 動的上下動を考慮した検討

基本検討の動的FEM解析では、水平方向の地震力として基準地震動 S_2 （設計用模擬地震動 S_2-D ）を用いて動的解析を行うと共に、鉛直方向の地震力として地盤に $0.1G$ 、各建屋には $0.23G$ を作用させる静的解析を行い、これらを重ね合わせることにより地震時の増分応力を求めている。申請者は鉛直方向の地震力を動的に与えた場合の影響（動的上下動を考慮した場合の影響）を検討するため、水平動と上下動を同時入力した動的FEM解析を行っている。

5.1 解析条件

基本検討と同様に炉心直交2断面（X-X'断面，Y-Y'断面）について、水平動と上下動を同時入力した動的FEM解析（動的上下動を考慮した動的FEM解析）を行っている。水平方向の地震力としては、基本検討と同様に図-5.1(1)に示す基準地震動 S_2 を炉心位置において、一次元応答解析により入力基盤面（T.P. -300m）まで引戻した地震波を入力している。また、鉛直方向の地震力としては、図-5.1(2)に示す基準地震動 S_2 の $2/3$ を炉心位置において、一次元応答解析により入力基盤面（T.P. -300m）まで引戻した地震波を入力している。

動的上下動を考慮した動的FEM解析では、基本検討と同様に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考慮した周波数応答解析手法を用いている。地震時応力は、動的上下動を考慮した動的FEM解析により求める動的応力と常

時応力とを重ね合わせるにより求めている。なお、常時応力は、静的FEM解析により求め、基本検討と同じ値を用いている。

その他の解析条件は、基本検討と同じである。

5.2 解析結果及びまとめ

(1) すべりに対する解析結果

a. 主応力分布及び要素ごとの安全率

X-X'断面の地震時の主応力図を参考図集の図-5.1に、要素ごとの安全率を参考図集の図-5.2に示す。また、Y-Y'断面の地震時の主応力図を参考図集の図-5.3に、要素ごとの安全率を参考図集の図-5.4に示す。

原子炉建屋基礎岩盤については、基本検討の結果と比較して、新たに引張応力の発生した要素及びせん断強度に達した要素はない。

また、断層及びシームについても、新たに引張応力の発生した要素及びせん断強度に達した要素はない。

b. すべり安全率

基本検討において設定した原子炉建屋基礎底面沿いの想定すべり線、断層及びシームを通る想定すべり線並びに応力状態を考慮した想定すべり線を対象に、動的上下動を考慮した動的FEM解析により求めたすべり安全率を基本検討の結果と比較して表-5.1に示す。

動的上下動を考慮した検討のX-X'断面での最小すべり安

全率は3.3, Y-Y'断面での最小すべり安全率は3.9であり, すべりに対して十分な安全性を有している。

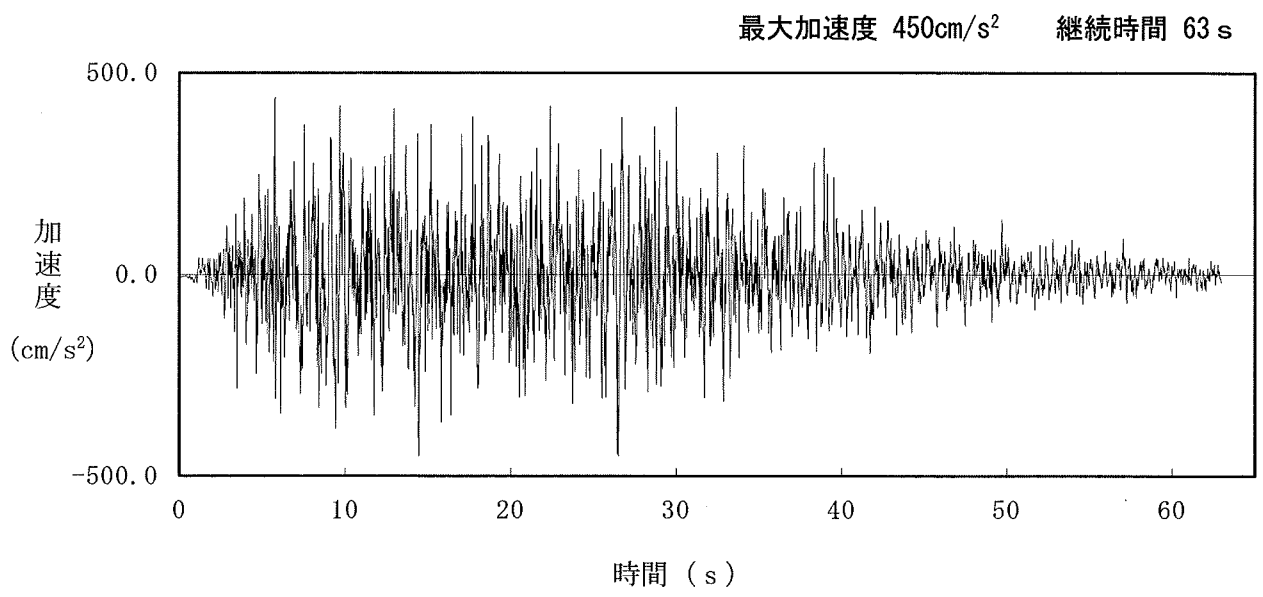
なお, 基本検討のX-X'断面での最小すべり安全率は3.6, Y-Y'断面での最小すべり安全率は3.9である。

(2) 沈下に対する解析結果

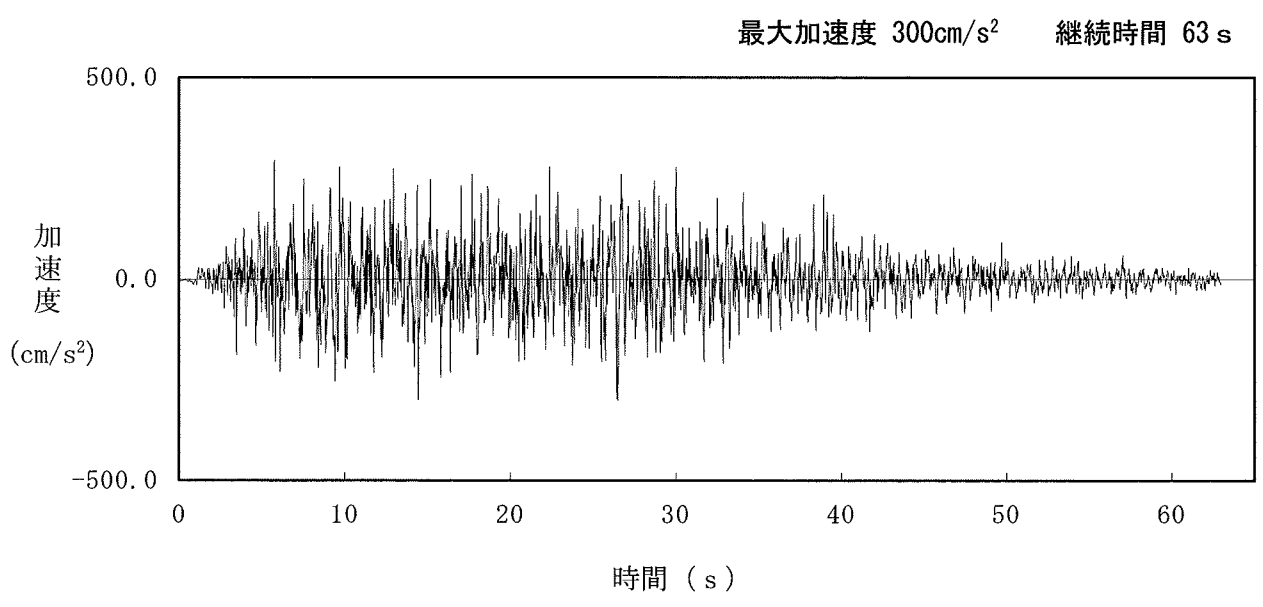
原子炉建屋基礎の傾斜を, 基本検討の結果と比較して表-5.2に示す。

地震時の原子炉建屋基礎両端における鉛直方向の最大相対変位量は0.60 cmで, その時の原子炉建屋基礎の傾斜は約1/10,000であり, 問題となる不同沈下が生じることはない。

なお, 基本検討の最大相対変位量は0.50 cm, 傾斜は約1/12,000である。



(1) 水平動 (基準地震動 S₂)



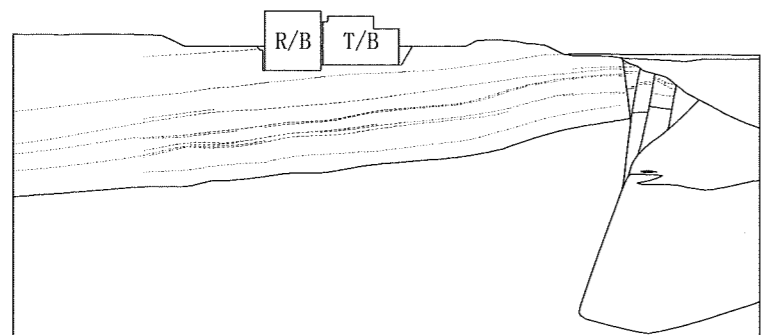
(2) 上下動 (基準地震動 S₂ の 2/3)

図-5.1 水平動及び上下動の加速度時刻歴

表-5.1(1) すべり安全率（動的上下動を考慮した検討，X-X'断面）

すべり線 番号	すべり線形状	地震力 方向	すべり安全率	
			基本検討	動的上下動を 考慮した検討
1		↑	8.2	6.7
		↓	8.1	
2		↑	9.5	7.8
		↓	9.5	
3		↑	6.7	5.9
		↓	6.9	
4		↑	4.4	3.9
		↓	4.5	

すべり線 番号	すべり線形状	地震力 方向	すべり安全率	
			基本検討	動的上下動を 考慮した検討
5		↑	4.6	4.1
		↓	4.8	
6		↑	4.5	4.0
		↓	4.6	
7		↑	4.6	4.1
		↓	4.9	
8		↑	3.6	3.3
		↓	3.7	
9		↑	4.1	3.6
		↓	4.0	



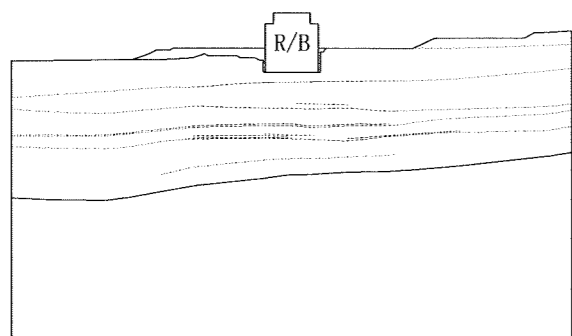
凡例

- すべり線
- - - 断層・シーム
- 地層境界
- すべり安全率の最小値

表-5.1(2) すべり安全率（動的上下動を考慮した検討, Y-Y' 断面）

すべり線 番号	すべり線形状	地震力 方向	すべり安全率	
			基本検討	動的上下動を 考慮した検討
1		↑	7.3	7.3
		↓	7.4	
2		↑	11.7	11.0
		↓	11.7	
3		↑	9.4	9.0
		↓	9.4	
4		↑	15.1	15.2
		↓	14.4	

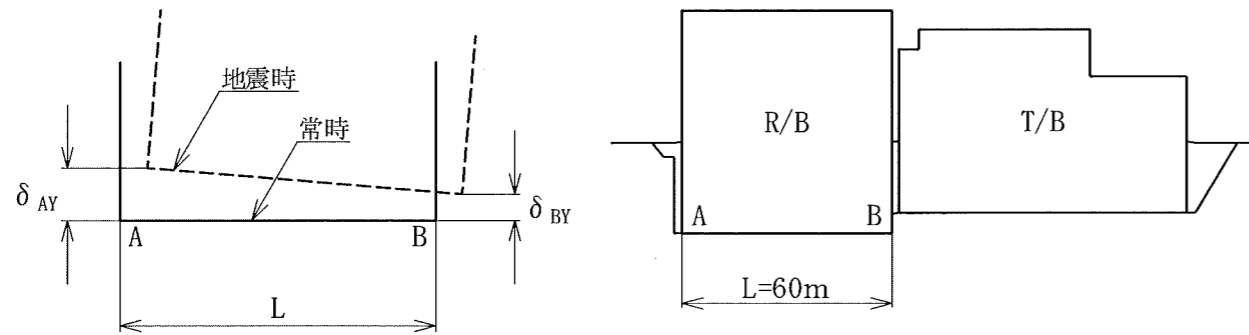
すべり線 番号	すべり線形状	地震力 方向	すべり安全率	
			基本検討	動的上下動を 考慮した検討
5		↑	9.9	9.5
		↓	9.9	
6		↑	10.9	10.6
		↓	10.8	
7		↑	6.6	6.4
		↓	6.6	
8		↑	3.9	3.9
		↓	4.0	



- 凡例
- すべり線
 - - - 断層・シーム
 - 地層境界
 - すべり安全率の最小値

表-5.2(1) 原子炉建屋基礎の傾斜（動的上下動を考慮した検討，X-X'断面）

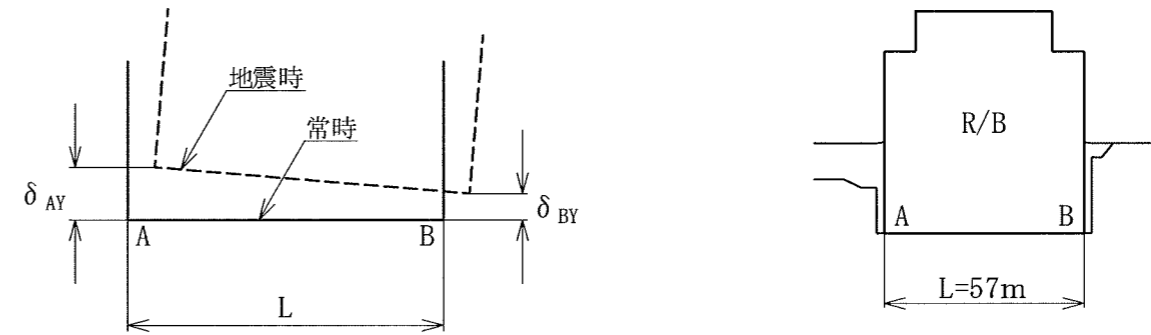
	発生時刻（秒）	最大相対変位量 （鉛直方向）	最大傾斜
		$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
基本検討	10.47	0.50	1/12,000
動的上下動を考慮した検討	26.88	0.60	1/10,000



δ_{AY} , δ_{BY} は上向きを正とする。
鉛直方向相対変位は左上りを正とする。

表-5.2(2) 原子炉建屋基礎の傾斜（動的上下動を考慮した検討，Y-Y'断面）

	発生時刻（秒）	最大相対変位量 （鉛直方向）	最大傾斜
		$\delta_{AY} - \delta_{BY}$ (cm)	$\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L}$
基本検討	14.89	0.36	1/16,000
動的上下動を考慮した検討	14.89	0.36	1/16,000



δ_{AY} , δ_{BY} は上向きを正とする。
鉛直方向相対変位は左上りを正とする。

6. まとめ

申請者が実施した、断層内物質及びシームの強度特性を低減させた検討、シームの応力履歴を考慮して強度特性を低減させた検討、燃料補助建屋を付加したモデルによる検討並びに動的上下動を考慮した検討については、その内容が適切であると評価する。