

1. 地質の概要に関する補足	P. 3
2. 解析用物性値に関する補足	P. 17
3. 評価方針に関する補足	P.101
4. 評価結果に関する補足	P.185
4. 1 設定したすべり面の妥当性確認	P.185
4. 2 すべり安全率一覧	P.227
4. 3 地震時最大接地圧一覧	P.297
4. 4 基礎底面の傾斜一覧	P.305
4. 5 静的非線形解析による検討	P.313
4. 6 解析用物性値の使い分けによる影響	P.337
参考文献	P.356

4.5 静的非線形解析による検討

①検討内容及び検討結果

一部修正 (R6/1/19審査会合)

○動的解析(等価線形解析)の結果、基礎地盤及び周辺斜面のすべり安全率は、評価基準値に対して裕度を有している。しかし、岩盤等に引張応力が発生した要素やせん断強度に達した要素が認められるため、審査ガイド※¹に基づき静的非線形解析による検討を実施する。

【検討内容】

- 地盤の要素に引張応力が発生した場合及びせん断強度以上のせん断応力が発生した場合の地盤剛性の非線形性を考慮するため、動的解析(等価線形解析)において最小すべり安全率を示す時刻※²に対して、静的非線形解析を行い、評価基準値を上回ることを確認する。
- 静的非線形解析を含めた安定性評価フローを次頁に、静的非線形解析の考え方をP316～P317に示す。

【検討結果】

- 静的非線形解析を実施した結果、下表に示すとおり、動的解析(等価線形解析)によるすべり安全率に比べて、静的非線形解析のすべり安全率は同程度又は大きくなる傾向が認められ、いずれの断面においても、評価基準値を上回ることを確認した。
- なお、等価線形解析において比較的広範囲に引張応力が発生した要素が分布する断面では、当該要素を多く通るすべり面で最小すべり安全率となる。このような断面では、静的非線形解析により、引張応力が発生している要素が少なくなるため、等価線形解析に比べて、すべり安全率が大きくなる傾向が認められる。

各断面の静的非線形解析による最小すべり安全率

断面		基準地震動※ ³	【静的非線形解析】 最小すべり安全率	(再掲)【等価線形解析】 最小すべり安全率	評価基準値	掲載頁
基礎地盤	X-X'断面	Ss3-4 (-,+)	2.2	2.1	1.5	P318
	Y-Y'断面	Ss3-4 (+,+)	2.3	2.0		P320
	a-a'断面	Ss3-4 (+,+)	4.0	4.1		P322
	b-b'断面	Ss3-4 (+,+)	18.9	5.0		P324
	c-c'断面	Ss3-4 (-,+)	3.6	2.7		P326
	e-e'断面	Ss3-4 (-,+)	3.4	3.0		P328
周辺斜面	Y-Y'断面	Ss3-4 (+,+)	2.1	1.6	1.2	P330
	B-B'断面	Ss1 (-,-)	7.9	3.6		P332
	C-C'断面	Ss3-5 (+,+)	2.7	2.4		P334

※¹ 審査ガイド「4. 1地震力に対する基礎地盤の安定性評価(2) 確認事項」に記載されている周辺への進行性破壊等の検討。

※² 「原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-2015(日本電気協会)」において、静的非線形解析に用いる地震力は、動的解析における最小すべり安全率発生時刻の等価震度を用いることとされている。

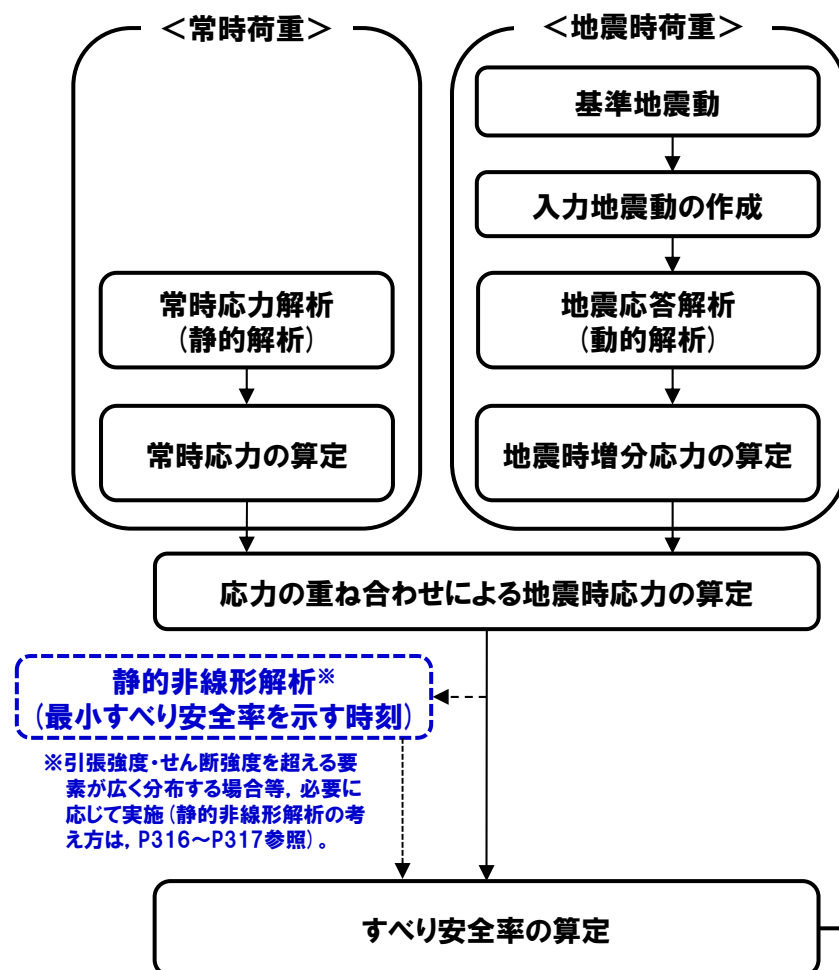
※³ 基準地震動の(+,+)は位相反転なし、(-,+)は水平反転、(+,-)は鉛直反転、(-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

4.5 静的非線形解析による検討

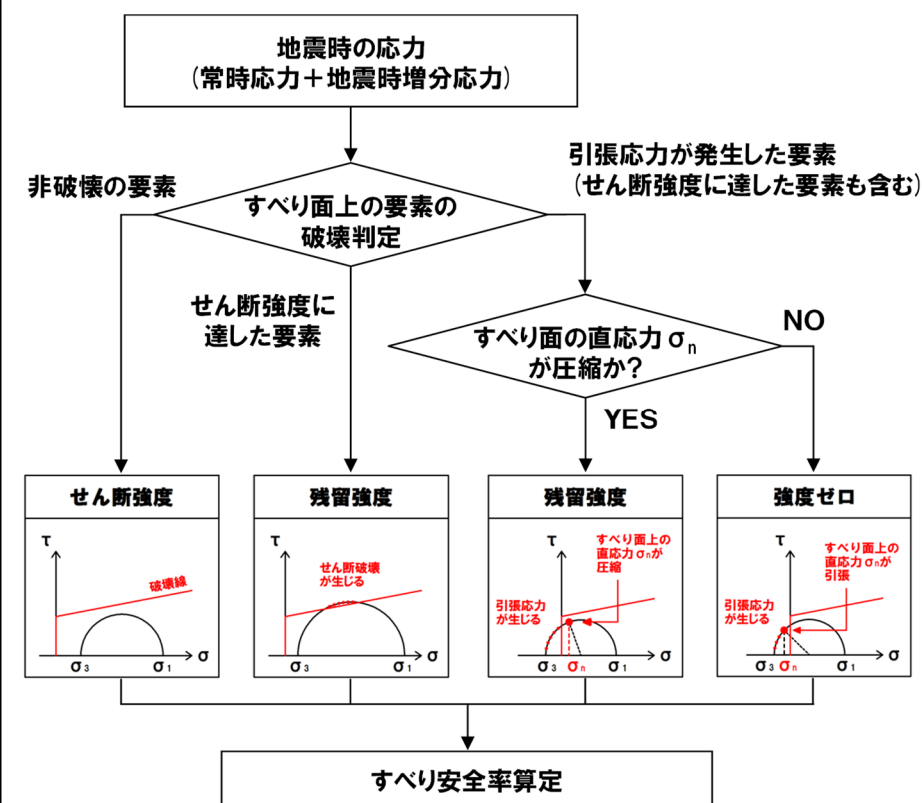
②静的非線形解析 (1/3)

一部修正 (R6/1/19審査会合)

○静的非線形解析を含めた安定性評価フローを以下に示す。



【すべり安全率算定フロー(強度の考え方)】



静的非線形解析を含めた安定性評価フロー

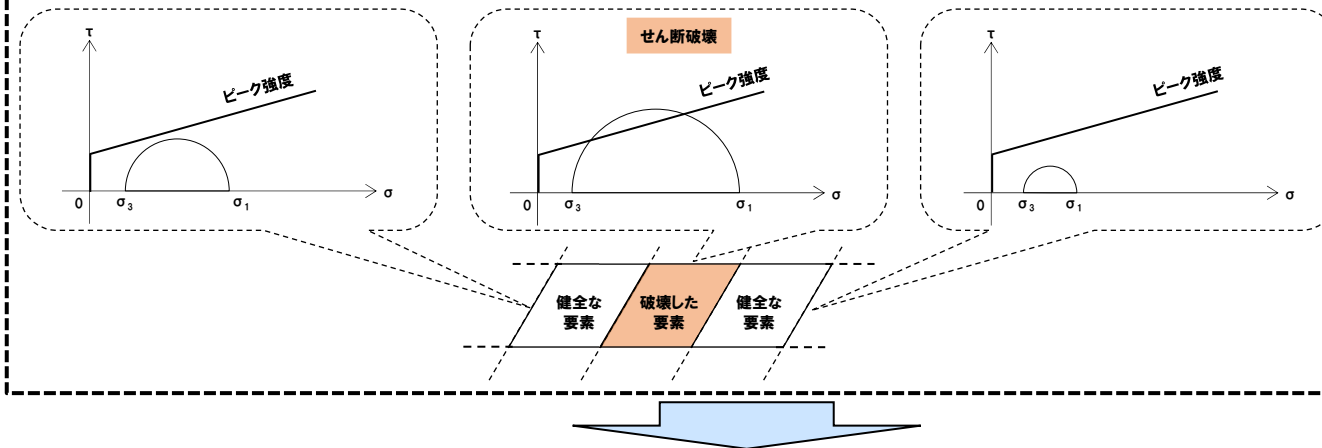
4.5 静的非線形解析による検討

② 静的非線形解析 (2/3)

再掲 (R6/1/19審査会合)

- 静的非線形解析は、荷重増分法により実施し、各荷重段階において、引張応力が発生した要素及びせん断強度に達した要素の弾性係数・せん断弾性係数を低下させ、全荷重段階まで増加させることにより、最終的な応力状態を求める。
- 静的非線形解析の考え方を本頁及び次頁に示す。

【応力配分前】



剛性低下の設定 (せん断降伏)

(岩盤・地盤)

各荷重の計算段階において、発生した応力がせん断強度に達した要素については、次の荷重の計算段階における解析用物性値を次のように低下させる。

$$E_1 = E_2 = E_0/n$$

$$v_1 = v_2 = 0$$

$$G = G_0/n$$

ここで、

E : 弾性係数

G : せん断弾性係数

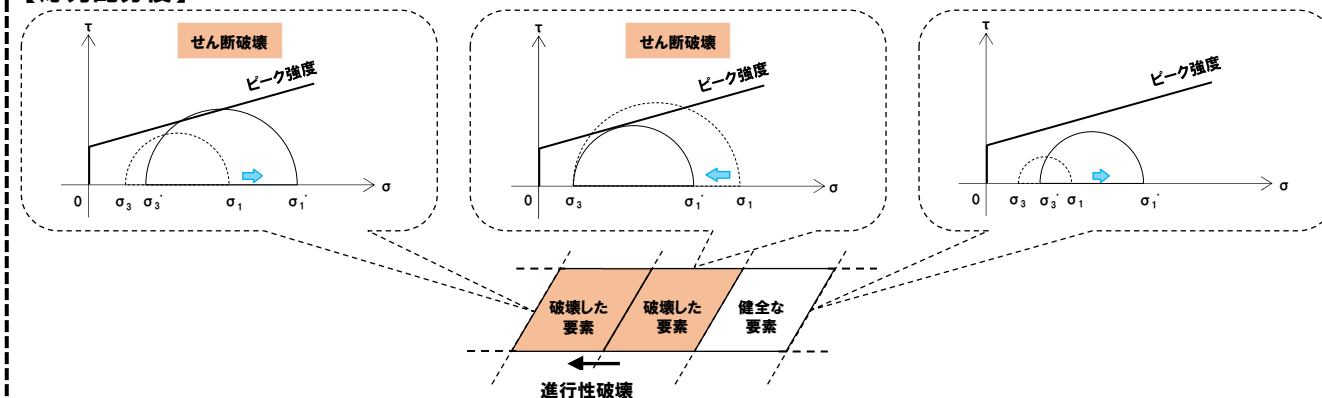
v : ポアソン比

E₀ : 健全時の弾性係数

n : 剛性低下率 (1,000とする)

添字 (1,2) : 主応力方向

【応力配分後】

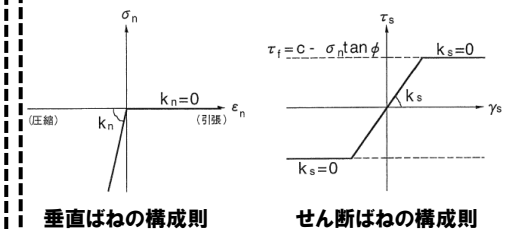


同様のステップを繰り返し、全荷重まで増加させることにより、最終的な応力状態を求め、その応力状態を基にすべり安全率を算出する。

応力再配分前後のモールの応力円 (例:せん断破壊)

(断層)

各荷重の計算段階において、発生した応力がせん断強度に達した要素についてはすべりが発生したものとして、次の荷重の計算段階ではせん断ばね定数をゼロとする。



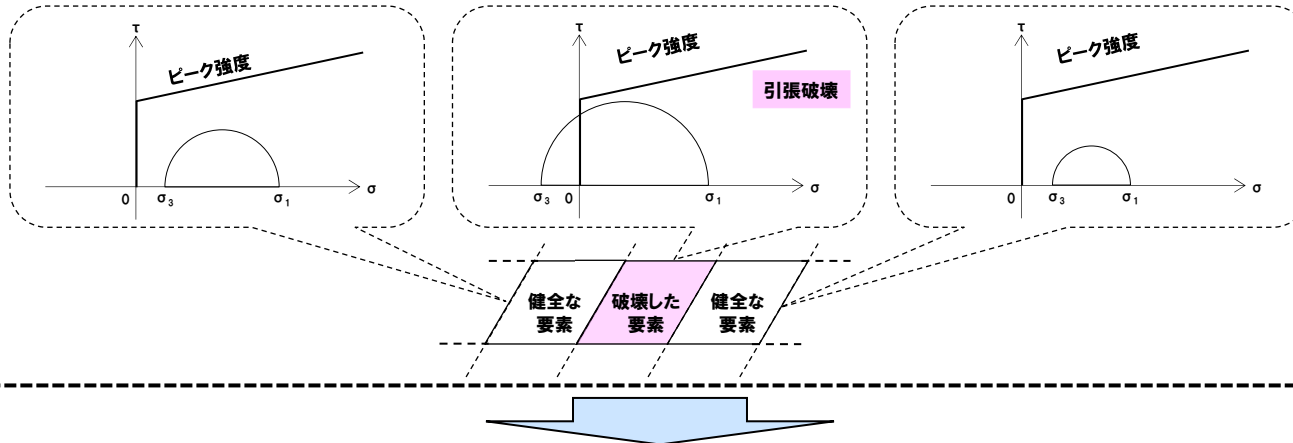
剛性低下の設定 (せん断降伏)

4.5 静的非線形解析による検討

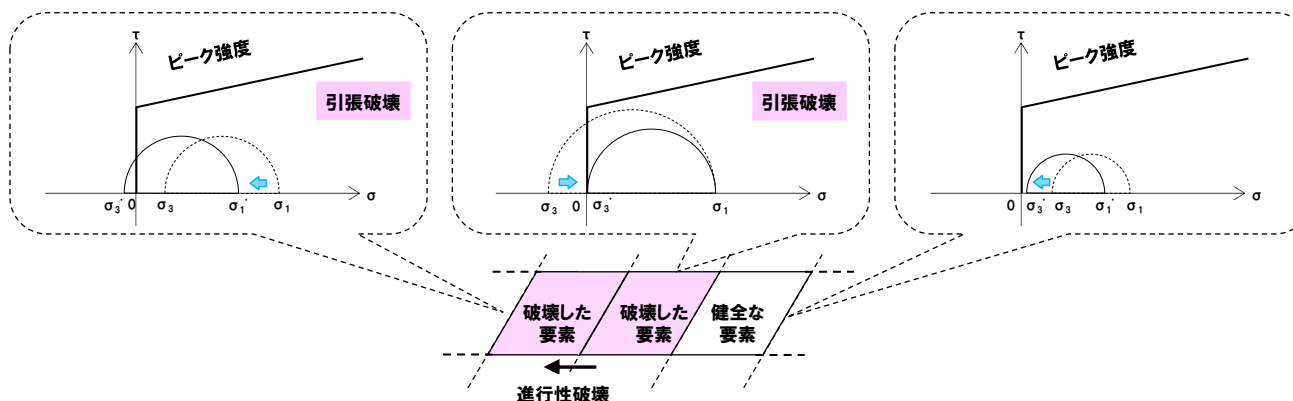
② 静的非線形解析 (3/3)

再掲 (R6/1/19審査会合)

【応力配分前】



【応力配分後】



同様のステップを繰り返し、全荷重まで増加させることにより、最終的な応力状態を求め、その応力状態を基にすべり安全率を算出する。

応力再配分前後のモールの応力円 (例: 引張破壊)

剛性低下の設定 (引張降伏)

(岩盤・地盤)

各荷重の計算段階において、引張応力が発生した要素については、次の荷重の計算段階における解析用物性値を次のように低下させる。

$$\begin{aligned} E_1 &= E_0 \\ E_2 &= E_0/n \\ v_1 &= v_2 = 0 \\ G &= G_0/n \end{aligned}$$

ここで、

E : 弾性係数

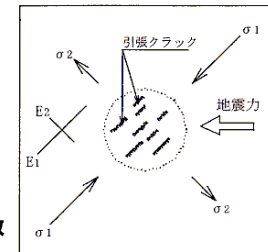
G : せん断弾性係数

v : ポアソン比

E_0 : 健全時の弾性係数

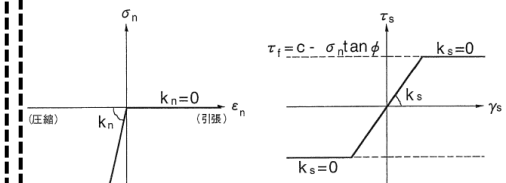
n : 剛性低下率 (1,000とする)

添字 (1,2) : 主応力方向



(断層)

各荷重の計算段階において、剥離が発生したものとして、次の荷重の計算段階では垂直ばね定数及びせん断ばね定数はゼロとする。



垂直ばねの構成則

せん断ばねの構成則

剛性低下の設定 (引張降伏)

4.5 静的非線形解析による検討

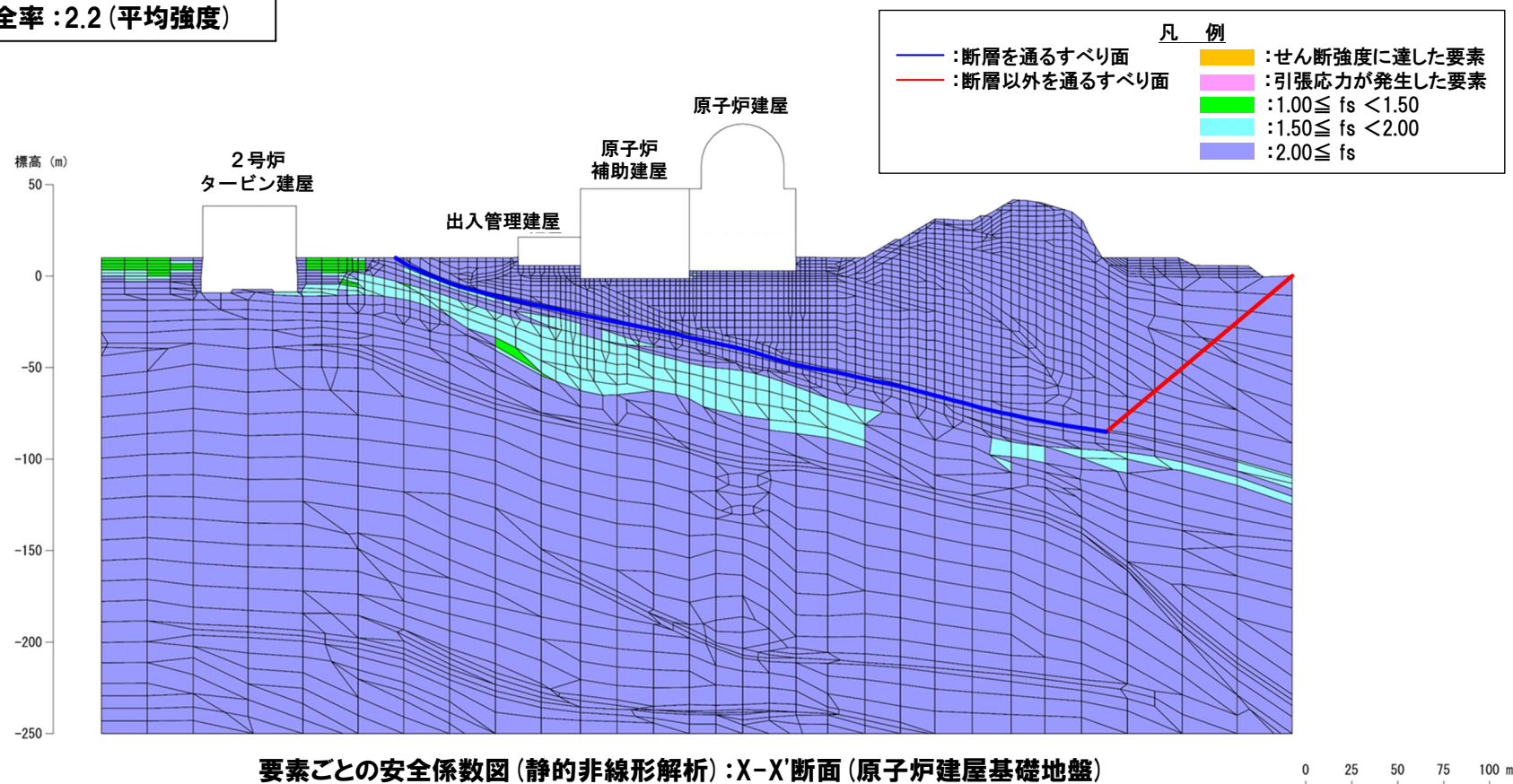
③検討結果:X-X'断面(原子炉建屋基礎地盤)

一部修正 (R6/1/19審査会合)

- X-X'断面(原子炉建屋基礎地盤)については、動的解析(等価線形解析)の結果、引張応力が発生した要素が局所的に分布している(次頁参照)。
- 動的解析における最小すべり安全率発生時刻の地震時慣性力等を用いて静的非線形解析を実施した結果、すべり安全率は2.2であり、評価基準値1.5を上回ることを確認した。

【静的非線形解析結果】

- ・基準地震動 : Ss3-4 (-,+)
- ・時刻 : 7.54秒
- ・すべり安全率 : 2.2 (平均強度)



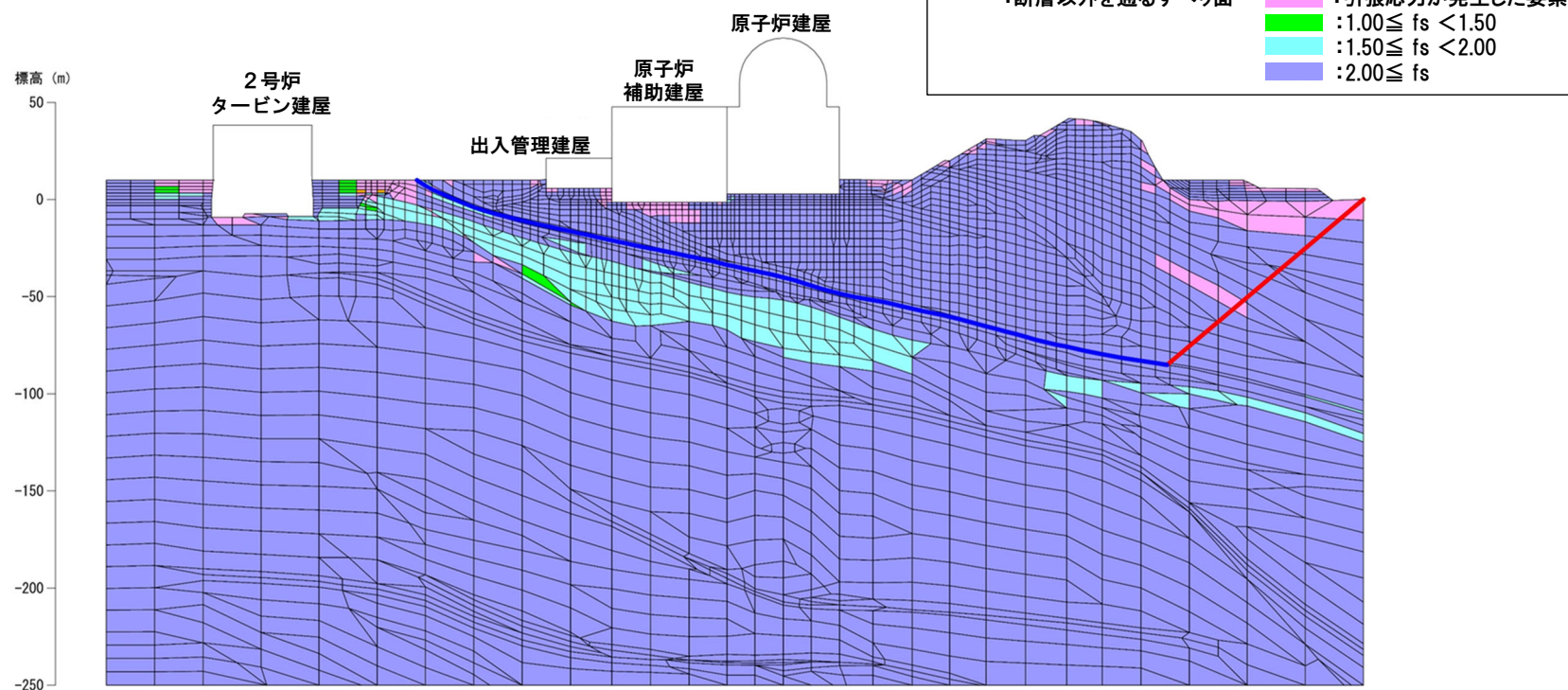
4. 5 静的非線形解析による検討

(参考) 要素ごとの安全係数 (等価線形解析) : X-X'断面 (原子炉建屋基礎地盤)

一部修正 (R6/1/19審査会合)

【動的解析 (等価線形解析) 結果】

- ・基準地震動 : Ss3-4 (-, +)
- ・時刻 : 7.54秒
- ・すべり安全率 : 2.1 (平均強度)



要素ごとの安全係数図 (等価線形解析) : X-X'断面 (原子炉建屋基礎地盤) (P190再掲)

0 25 50 75 100 m

4. 5 静的非線形解析による検討

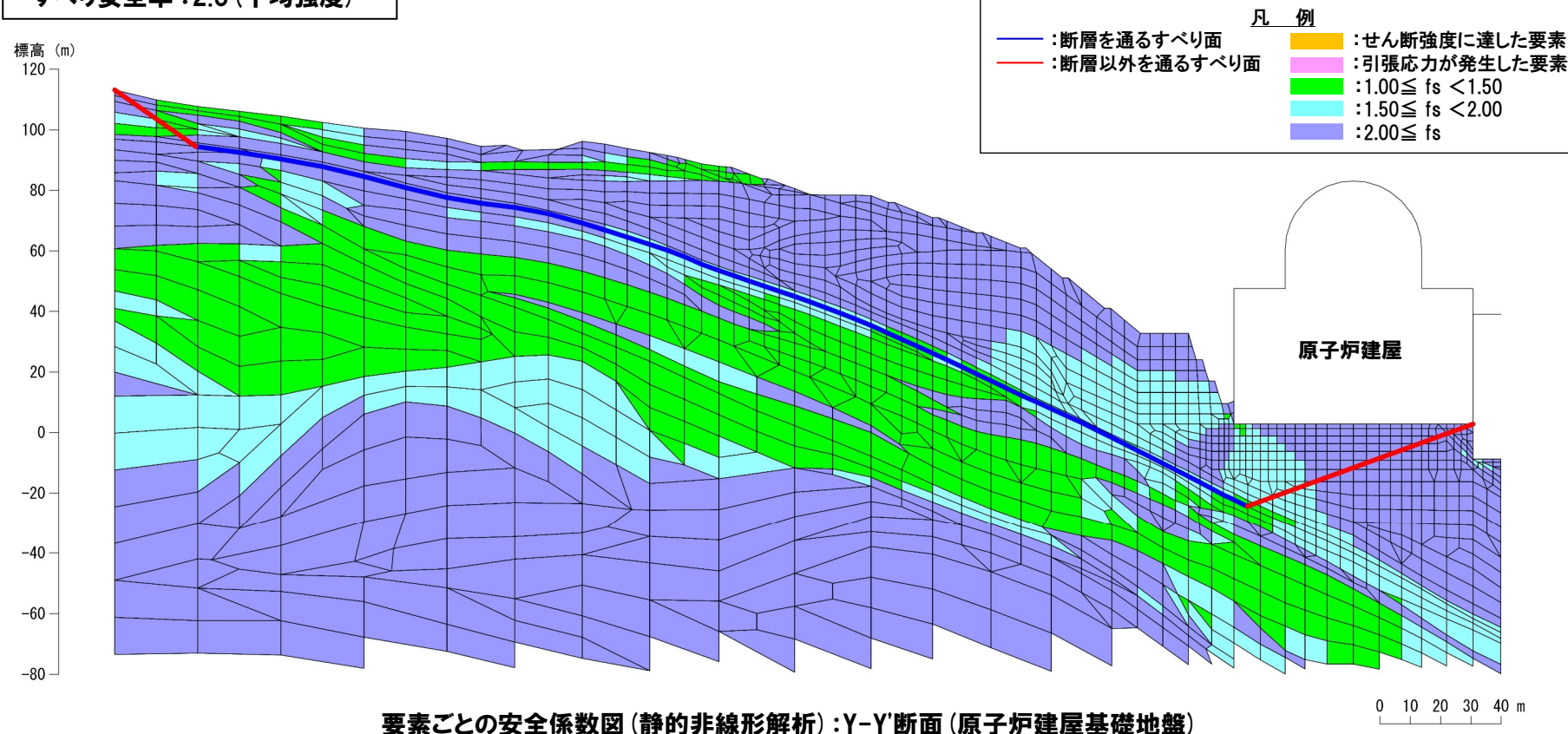
④検討結果:Y-Y'断面 (原子炉建屋基礎地盤)

一部修正 (R6/1/19審査会合)

- Y-Y'断面 (原子炉建屋基礎地盤) については, 動的解析 (等価線形解析) の結果, 引張応力が発生した要素が斜面内に連続している (次頁参照)。
- 動的解析における最小すべり安全率発生時刻の地震時慣性力等を用いて静的非線形解析を実施した結果, すべり安全率は2.3であり, 評価基準値1.5を上回ることを確認した。

【静的非線形解析結果】

- ・基準地震動 : Ss3-4 (+,+)
- ・時刻 : 7.54秒
- ・すべり安全率 : 2.3 (平均強度)



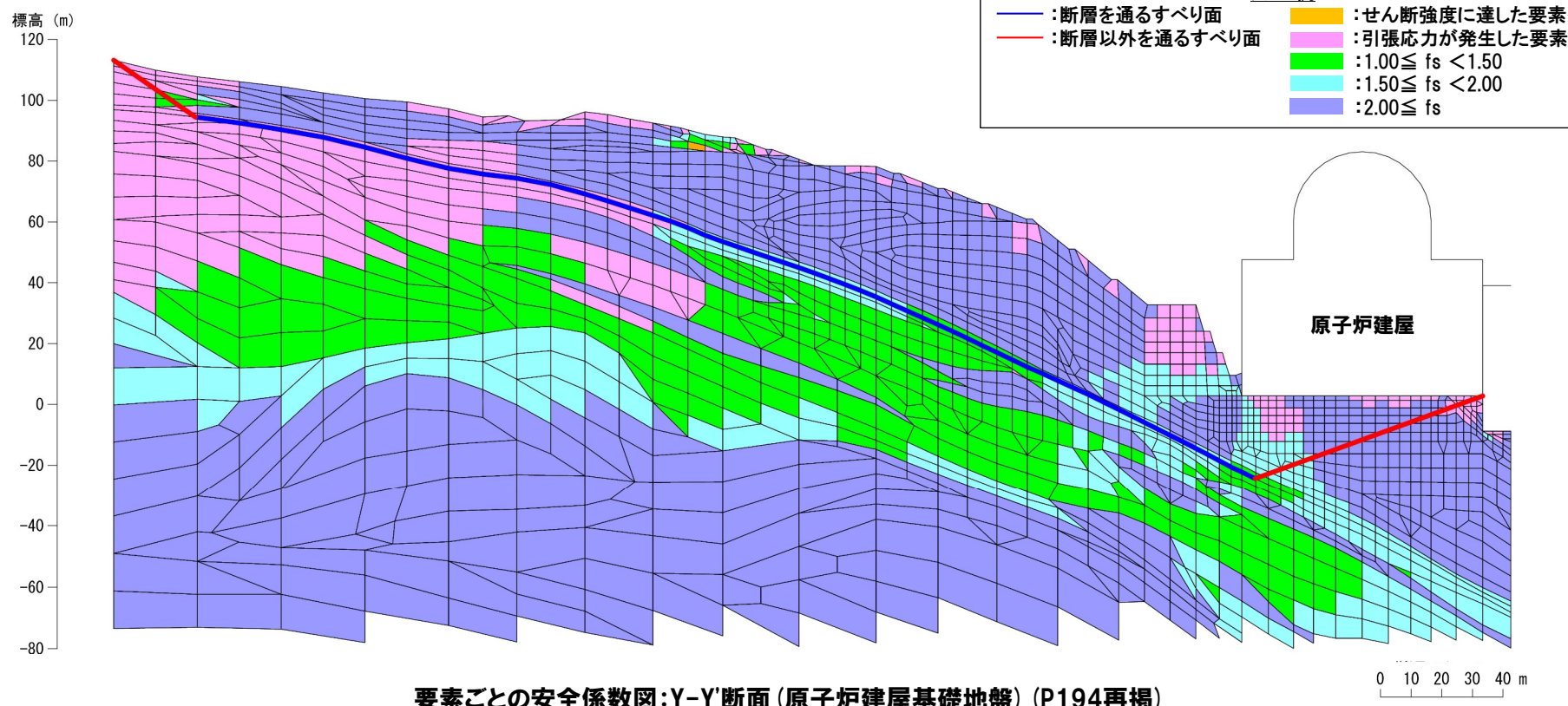
4.5 静的非線形解析による検討

(参考) 要素ごとの安全係数 (等価線形解析) : Y-Y'断面 (原子炉建屋基礎地盤)

一部修正 (R6/1/19審査会合)

【動的解析 (等価線形解析) 結果】

- 基準地震動 : Ss3-4 (+, +)
- 時刻 : 7.54秒
- すべり安全率 : 2.0 (平均強度)



4.5 静的非線形解析による検討

⑤検討結果:a-a'断面(緊急時対策所指揮所基礎地盤)

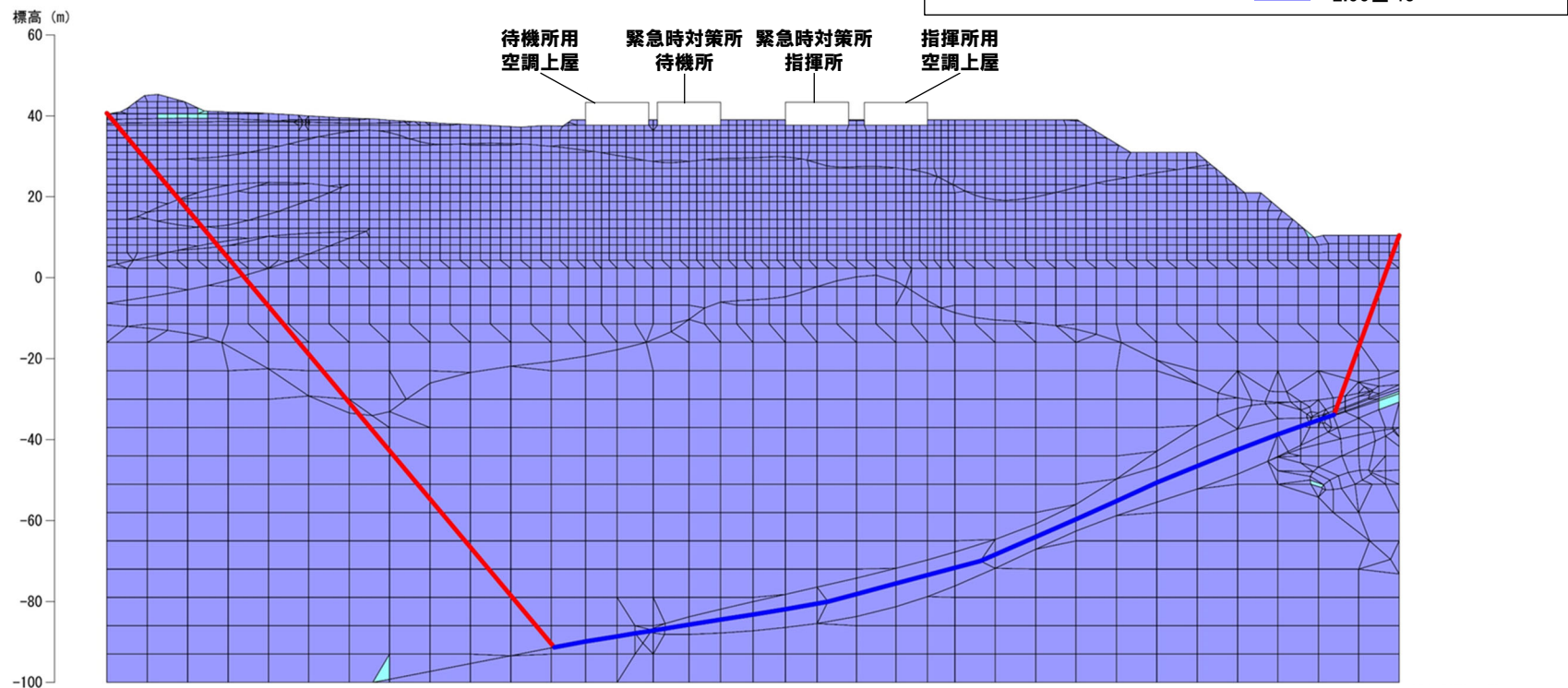
一部修正(R6/1/19審査会合)

- a-a'断面(緊急時対策所指揮所基礎地盤)については、動的解析(等価線形解析)の結果、引張応力が発生した要素が局所的に分布している(次頁参照)。
- 動的解析における最小すべり安全率発生時刻の地震時慣性力等を用いて静的非線形解析を実施した結果、すべり安全率は4.0であり、評価基準値1.5を上回ることを確認した。

【静的非線形解析結果】

- ・基準地震動 : Ss3-4(+,+)
- ・時刻 : 7.53秒
- ・すべり安全率 : 4.0(平均強度)

凡 例	
— : 断層を通るすべり面	■ : せん断強度に達した要素
— : 断層以外を通るすべり面	■ : 引張応力が発生した要素
	■ : $1.00 \leq fs < 1.50$
	■ : $1.50 \leq fs < 2.00$
	■ : $2.00 \leq fs$



要素ごとの安全係数図(静的非線形解析): a-a'断面(緊急時対策所指揮所基礎地盤)

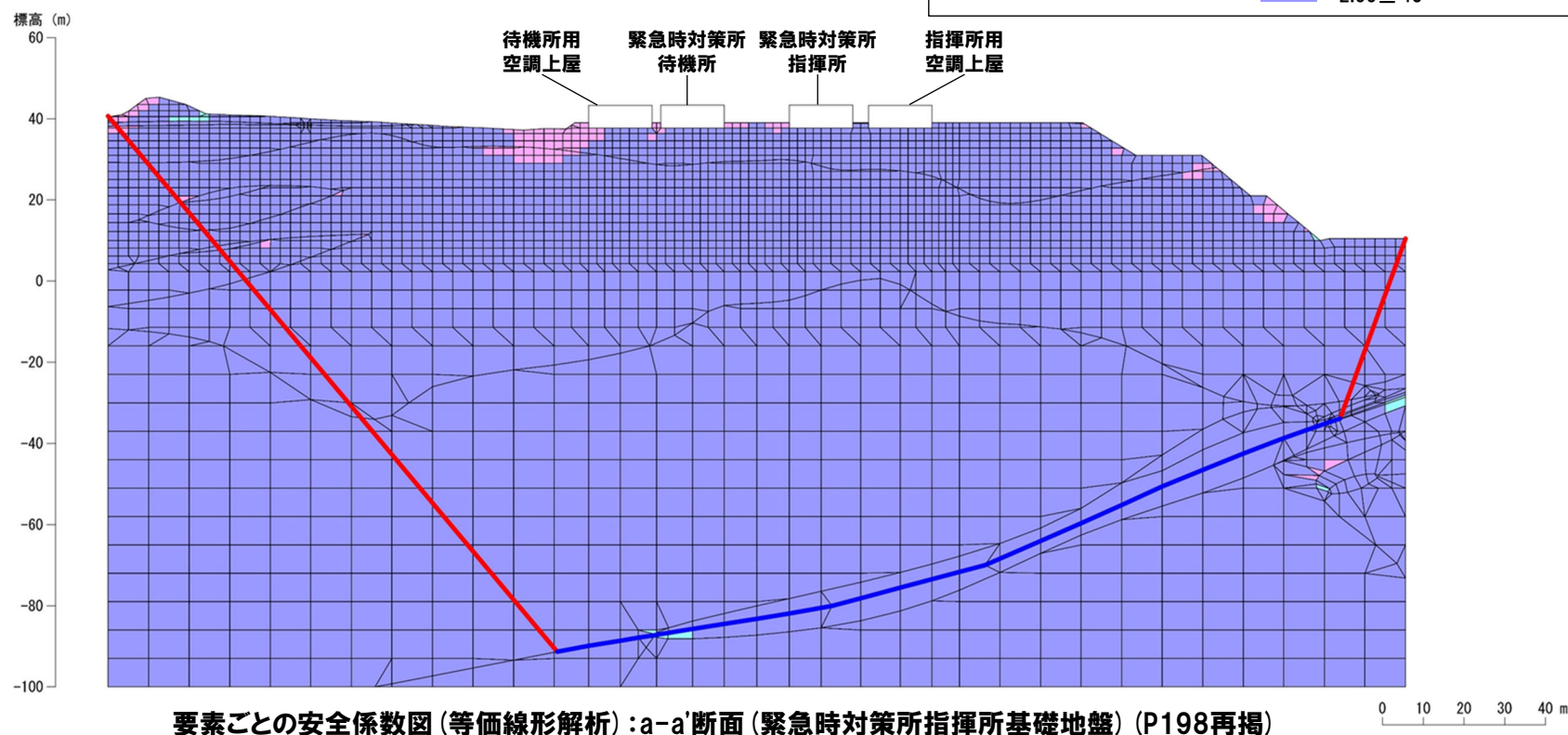
4.5 静的非線形解析による検討

(参考) 要素ごとの安全係数 (等価線形解析) : a-a'断面 (緊急時対策所指揮所基礎地盤)

一部修正 (R6/1/19審査会合)

【動的解析 (等価線形解析) 結果】

- ・基準地震動 : Ss3-4 (+,+)
- ・時刻 : 7.53秒
- ・すべり安全率 : 4.1 (平均強度)



4.5 静的非線形解析による検討

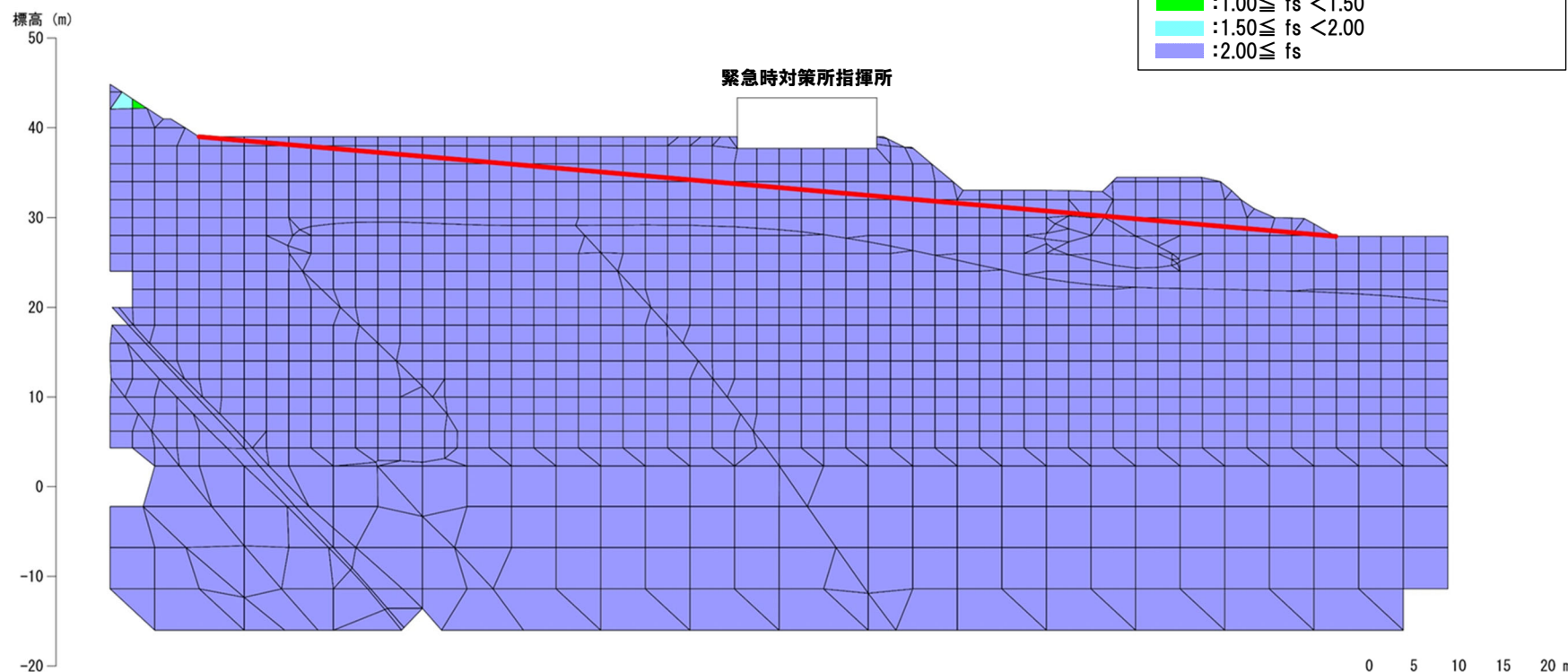
⑥検討結果:b-b'断面 (緊急時対策所指揮所基礎地盤)

一部修正 (R6/1/19審査会合)

- b-b'断面 (緊急時対策所指揮所基礎地盤) については, 動的解析 (等価線形解析) の結果, 引張応力が発生した要素が緊急時対策所指揮所周辺に連続している (次頁参照)。
- 動的解析における最小すべり安全率発生時刻の地震時慣性力等を用いて静的非線形解析を実施した結果, すべり安全率は18.9であり, 評価基準値1.5を上回ることを確認した。

【静的非線形解析結果】

- ・基準地震動 : Ss3-4 (+,+)
- ・時刻 : 7.43秒
- ・すべり安全率 : 18.9 (平均強度)



要素ごとの安全係数図 (静的非線形解析) : b-b'断面 (緊急時対策所指揮所基礎地盤)

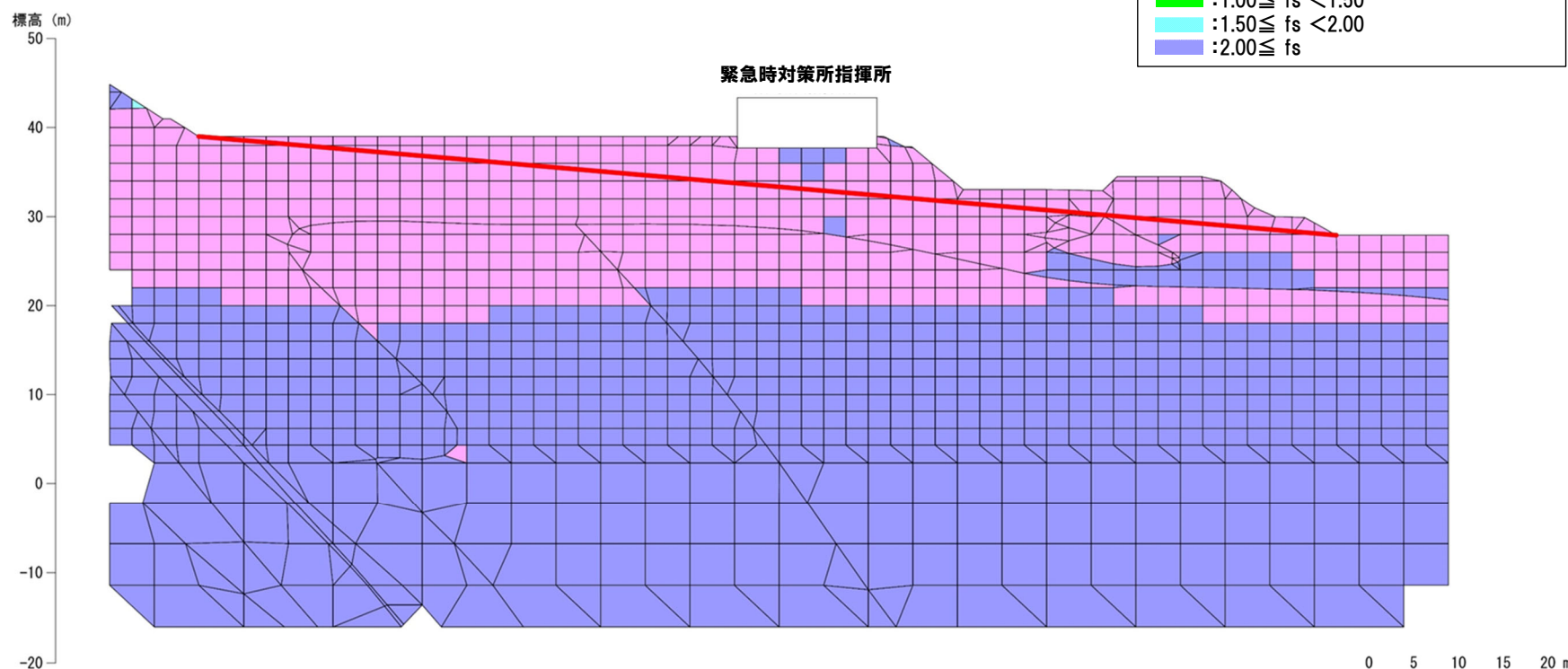
4.5 静的非線形解析による検討

(参考) 要素ごとの安全係数 (等価線形解析) : b-b'断面 (緊急時対策所指揮所基礎地盤)

一部修正 (R6/1/19審査会合)

【動的解析 (等価線形解析) 結果】

- 基準地震動 : Ss3-4 (+,+)
- 時刻 : 7.43秒
- すべり安全率 : 5.0 (平均強度)



4. 5 静的非線形解析による検討

⑦検討結果:c-c'断面(防潮堤基礎地盤)

- c-c'断面(防潮堤基礎地盤)については、動的解析(等価線形解析)の結果、引張応力が発生した要素が防潮堤山側の岩盤部において連続している(次頁参照)。
- 動的解析における最小すべり安全率発生時刻の地震時慣性力等を用いて静的非線形解析を実施した結果、すべり安全率は3.6であり、評価基準値1.5を上回ることを確認した。

【静的非線形解析結果】

- ・基準地震動 : Ss3-4 (-,+)
- ・時刻 : 7.51秒
- ・すべり安全率 : 3.6 (平均強度)

←海側

標高 (m)

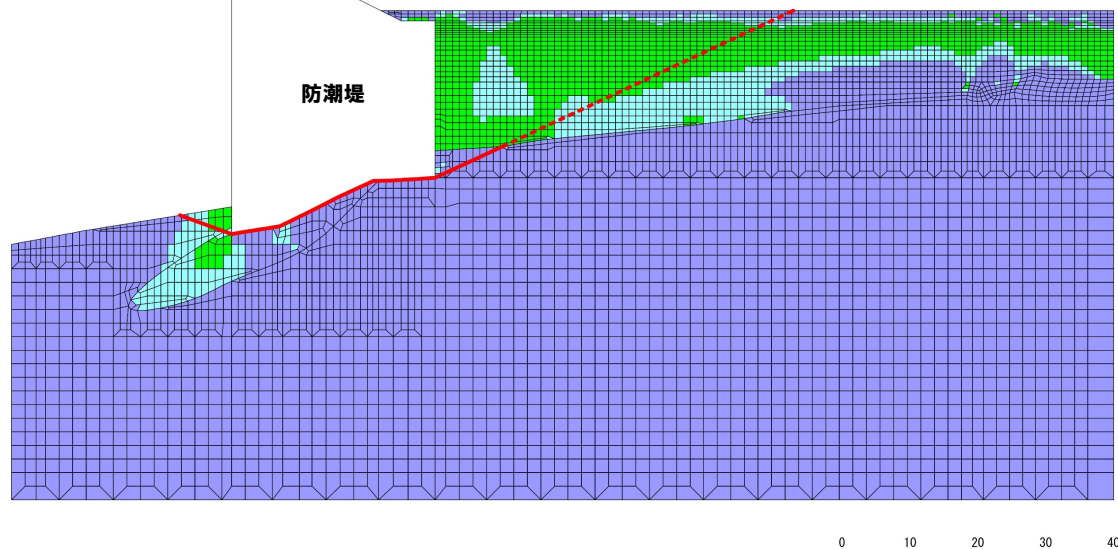
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70

防潮堤

山側→

- 凡 例
- : 断層以外を通るすべり面※
 - : せん断強度に達した要素
 - : 引張応力が発生した要素
 - : $1.00 \leq f_s < 1.50$
 - : $1.50 \leq f_s < 2.00$
 - : $2.00 \leq f_s$

※破線は液状化影響を考慮する範囲を示す。



要素ごとの安全係数図(静的非線形解析):c-c'断面(防潮堤基礎地盤)

4.5 静的非線形解析による検討

(参考) 要素ごとの安全係数 (等価線形解析) : c-c' 断面 (防潮堤基礎地盤)

- ・基準地震動 : Ss3-4 (-,+)
- ・時刻 : 7.51秒
- ・すべり安全率 : 2.7 (平均強度)

←海側

標高 (m)

30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70

防潮堤

山側→

- 凡 例
- : 断層以外を通るすべり面※
 - : せん断強度に達した要素
 - : 引張応力が発生した要素
 - : $1.00 \leq f_s < 1.50$
 - : $1.50 \leq f_s < 2.00$
 - : $2.00 \leq f_s$

※破線は液状化影響を考慮する範囲を示す。

0 10 20 30 40 (m)

要素ごとの安全係数図:c-c' 断面 (防潮堤基礎地盤) (P206再掲)

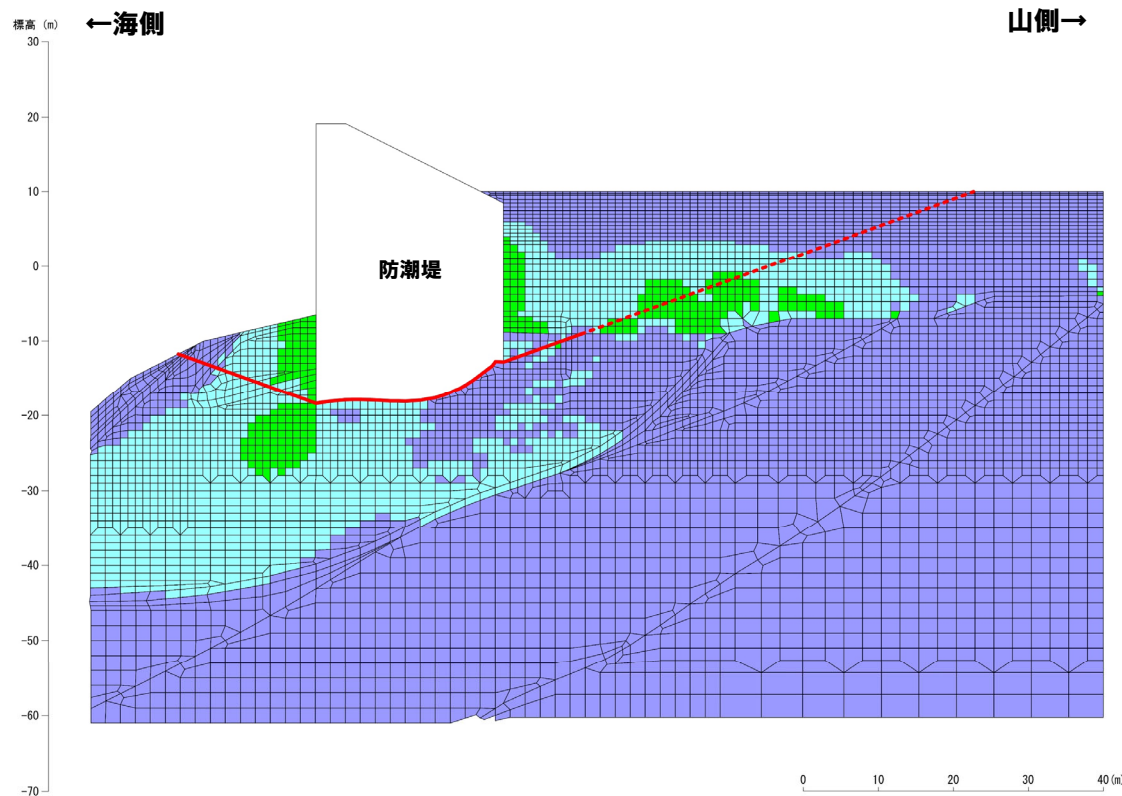
4.5 静的非線形解析による検討

⑧検討結果:e-e'断面(防潮堤基礎地盤)

- e-e'断面(防潮堤基礎地盤)については、動的解析(等価線形解析)の結果、引張応力が発生した要素が防潮堤山側の岩盤部において連続している(次頁参照)。
- 動的解析における最小すべり安全率発生時刻の地震時慣性力等を用いて静的非線形解析を実施した結果、すべり安全率は3.4であり、評価基準値1.5を上回ることを確認した。

【静的非線形解析結果】

- ・基準地震動 : Ss3-4 (-,+)
- ・時刻 : 7.51秒
- ・すべり安全率 : 3.4 (平均強度)



要素ごとの安全係数図(静的非線形解析):e-e'断面(防潮堤基礎地盤)

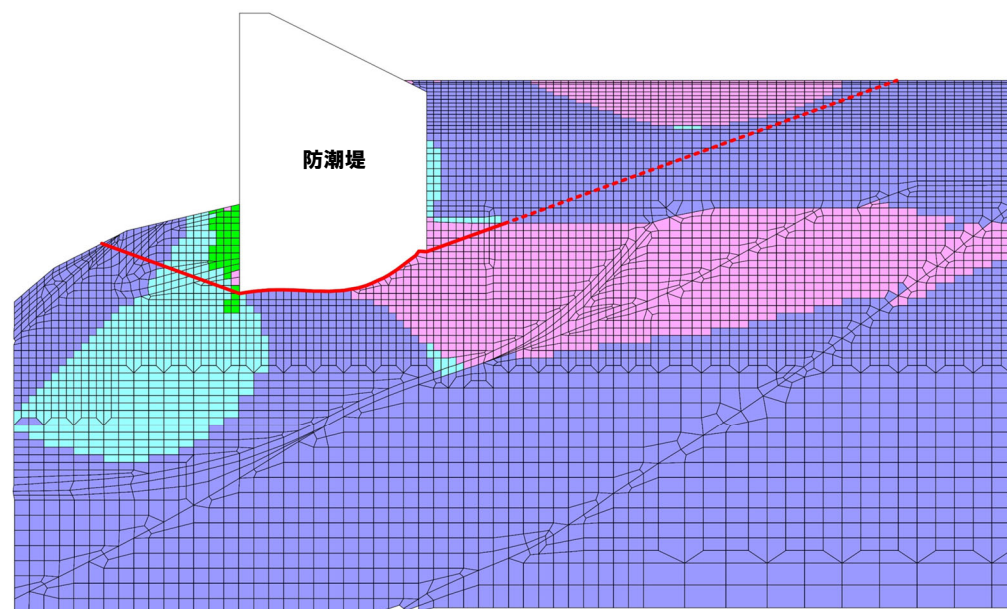
4.5 静的非線形解析による検討

(参考) 要素ごとの安全係数 (等価線形解析) : e-e' 断面 (防潮堤基礎地盤)

- ・基準地震動 : Ss3-4 (-,+)
- ・時刻 : 7.51秒
- ・すべり安全率 : 3.0 (平均強度)

←海側

標高 (m)
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70



山側→

- 凡 例
- : 断層以外を通るすべり面※
 - 黄色 : せん断強度に達した要素
 - 緑色 : 引張応力が発生した要素
 - 青色 : $1.00 \leq f_s < 1.50$
 - 水色 : $1.50 \leq f_s < 2.00$
 - 藍色 : $2.00 \leq f_s$

※破線は液状化影響を考慮する範囲を示す。

要素ごとの安全係数図:e-e' 断面 (防潮堤基礎地盤) (P210再掲)

4. 5 静的非線形解析による検討

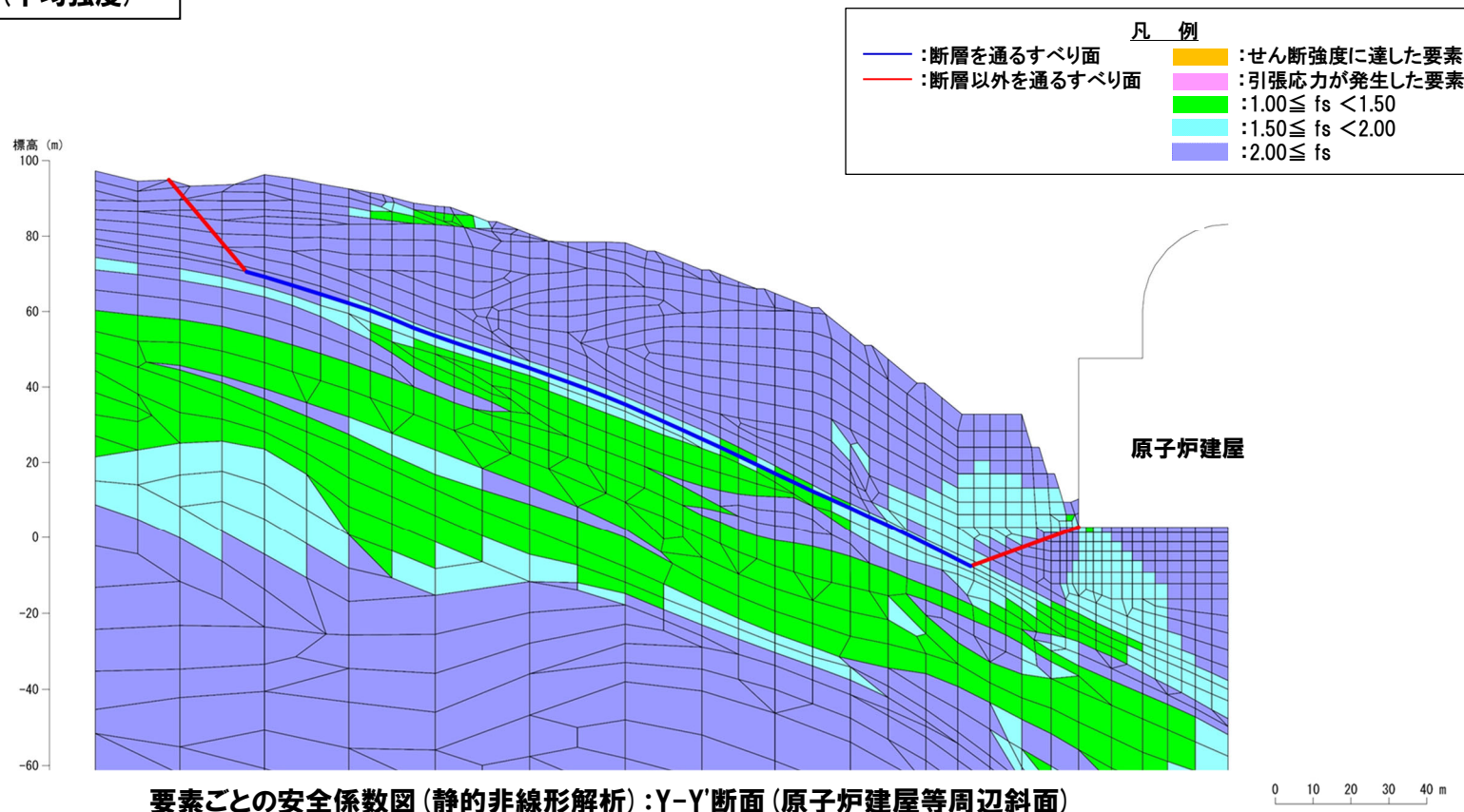
⑨検討結果:Y-Y'断面 (原子炉建屋等周辺斜面)

一部修正 (R6/1/19審査会合)

- Y-Y'断面 (原子炉建屋等周辺斜面) については、動的解析 (等価線形解析) の結果、引張応力が発生した要素が斜面中腹付近に連続している (次頁参照)。
- 動的解析における最小すべり安全率発生時刻の地震時慣性力等を用いて静的非線形解析を実施した結果、すべり安全率は2.1であり、評価基準値1.2を上回ることを確認した。

【静的非線形解析結果】

- ・基準地震動 : Ss3-4 (+,+)
- ・時刻 : 7.52秒
- ・すべり安全率 : 2.1 (平均強度)



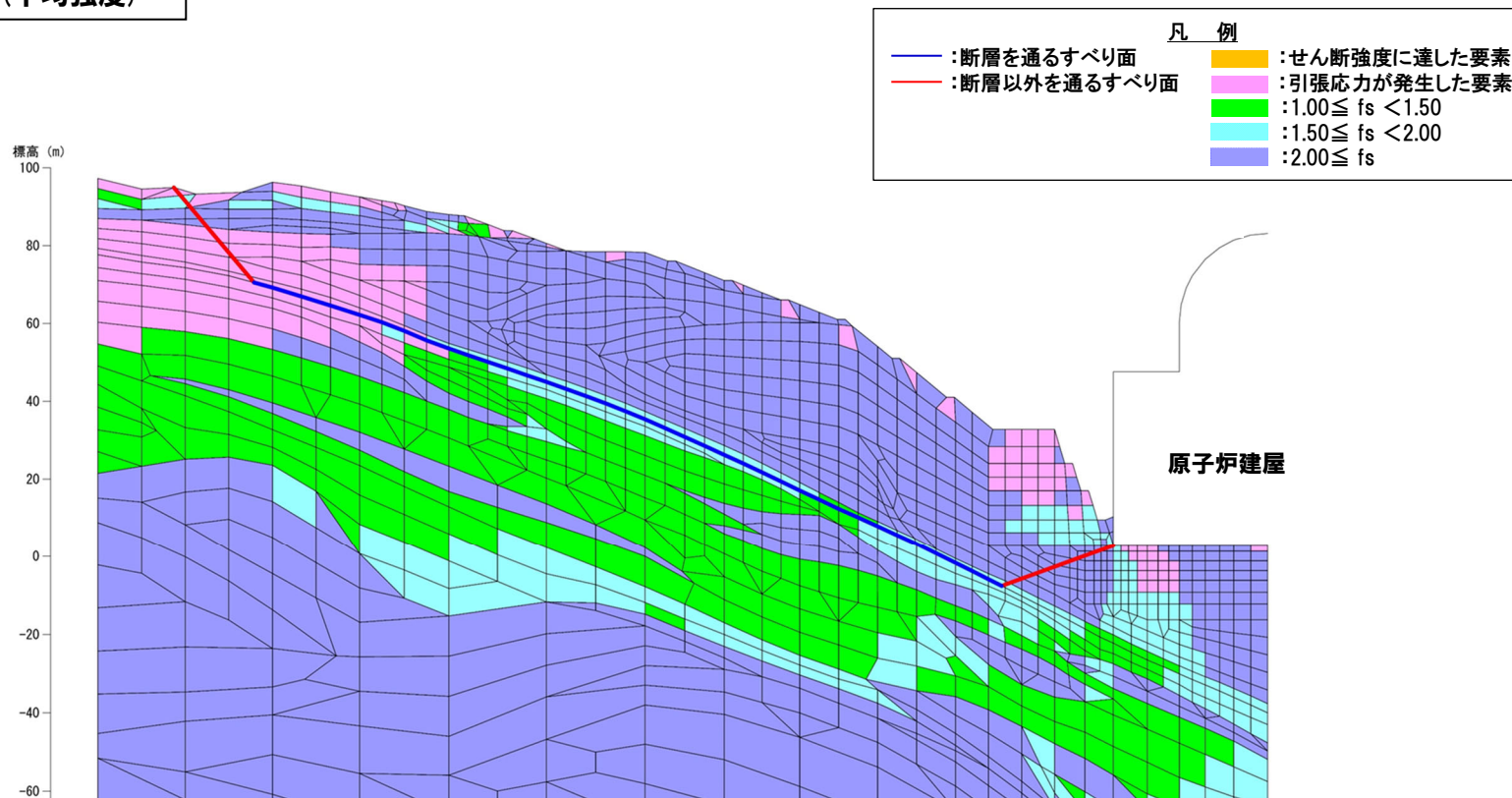
4.5 静的非線形解析による検討

(参考) 要素ごとの安全係数 (等価線形解析) : Y-Y'断面 (原子炉建屋等周辺斜面)

一部修正 (R6/1/19審査会合)

【動的解析 (等価線形解析) 結果】

- ・基準地震動 : Ss3-4 (+,+)
- ・時刻 : 7.52秒
- ・すべり安全率 : 1.6 (平均強度)



要素ごとの安全係数図 (等価線形解析) : Y-Y'断面 (原子炉建屋等周辺斜面) (P214再掲)

0 10 20 30 40 m

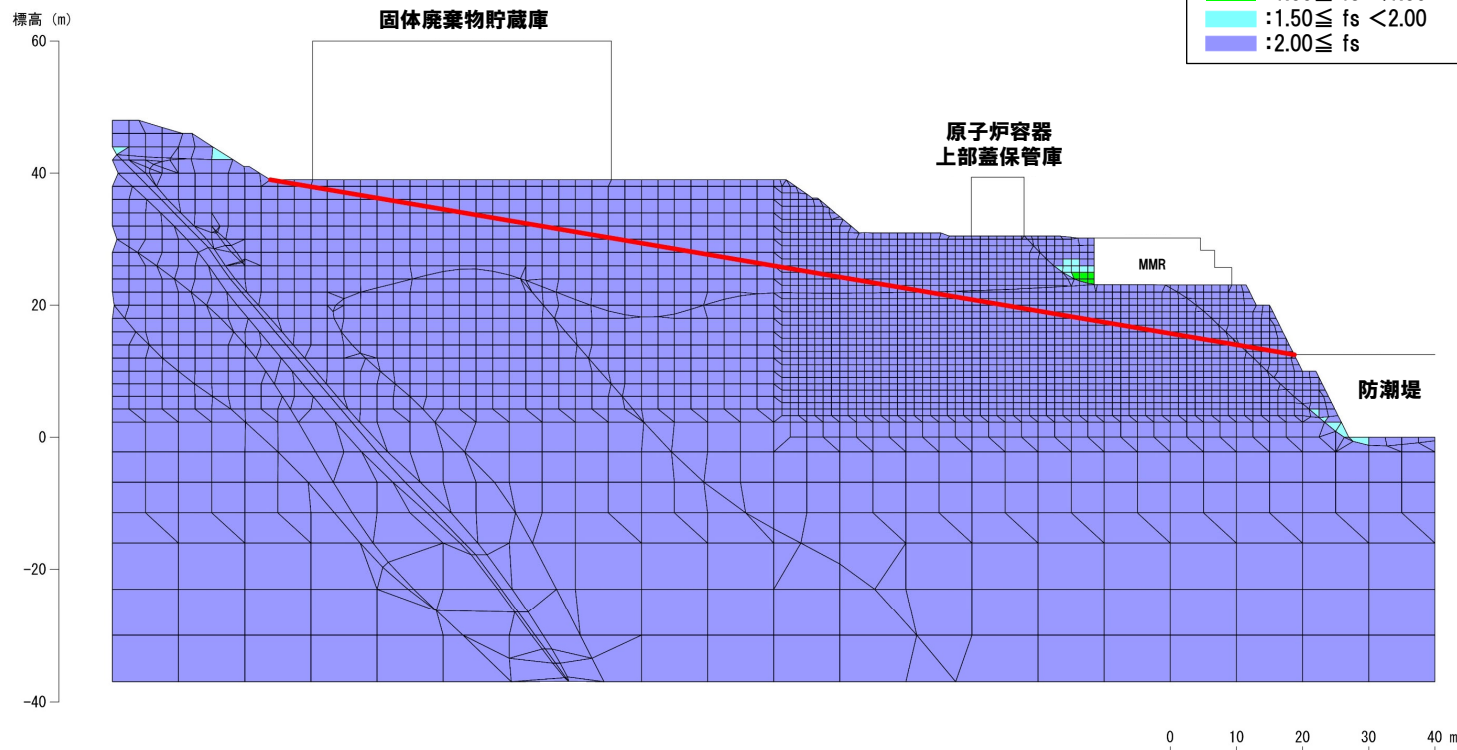
4. 5 静的非線形解析による検討

⑩検討結果:B-B'断面(茶津側防潮堤周辺斜面)

- B-B'断面(茶津側防潮堤周辺斜面)については、動的解析(等価線形解析)の結果、引張応力が発生した要素が斜面内に連続している(次頁参照)。
- 動的解析における最小すべり安全率発生時刻の地震時慣性力等を用いて静的非線形解析を実施した結果、すべり安全率は7.9であり、評価基準値1.2を上回ることを確認した。

【静的非線形解析結果】

- ・基準地震動 : Ss1 (-,-)
- ・時刻 : 35.95秒
- ・すべり安全率 : 7.9 (平均強度)

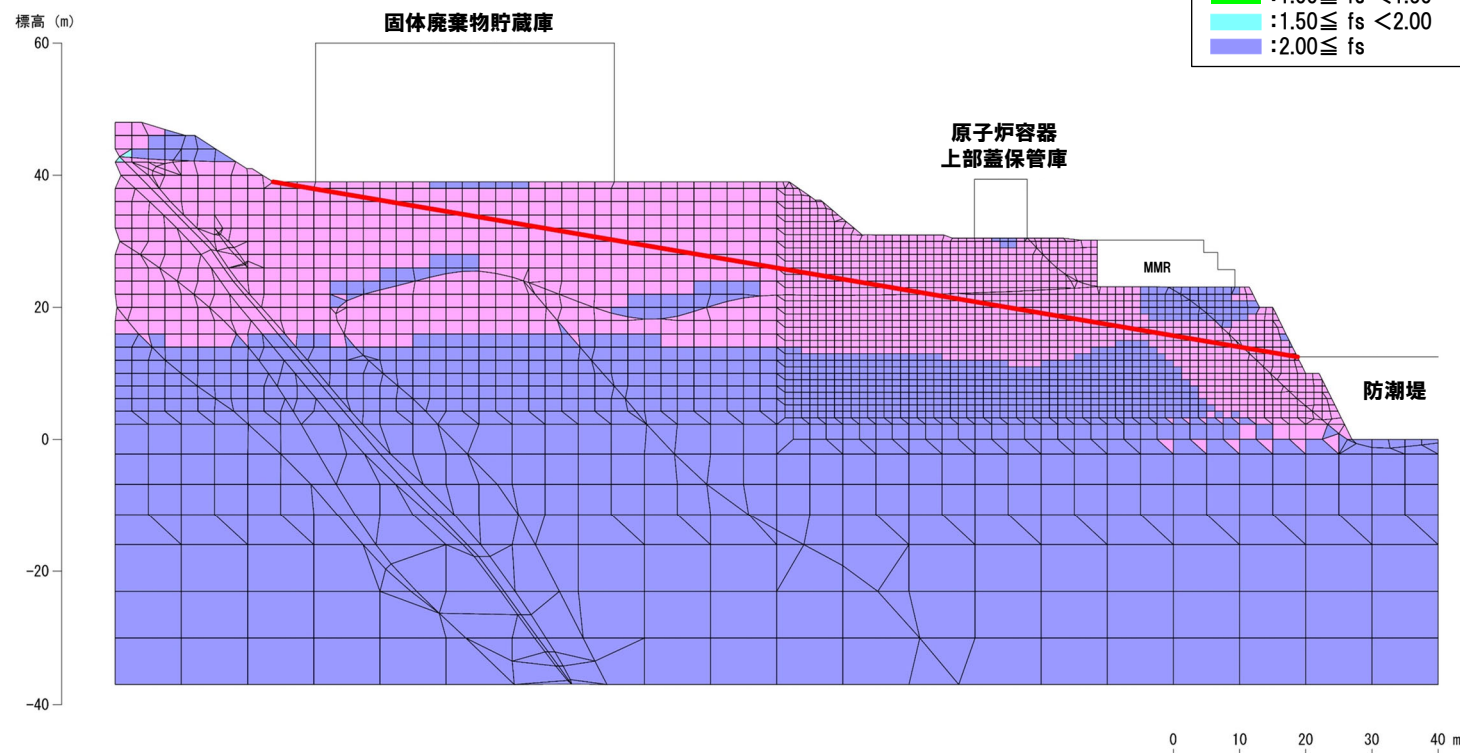


要素ごとの安全係数図(静的非線形解析):B-B'断面(茶津側防潮堤周辺斜面)

4.5 静的非線形解析による検討

(参考) 要素ごとの安全係数 (等価線形解析) : B-B' 断面 (茶津側防潮堤周辺斜面)

- ・基準地震動 : Ss1 (-,-)
- ・時刻 : 35.95秒
- ・すべり安全率 : 3.6 (平均強度)



要素ごとの安全係数図: B-B' 断面 (茶津側防潮堤周辺斜面) (P220再掲)

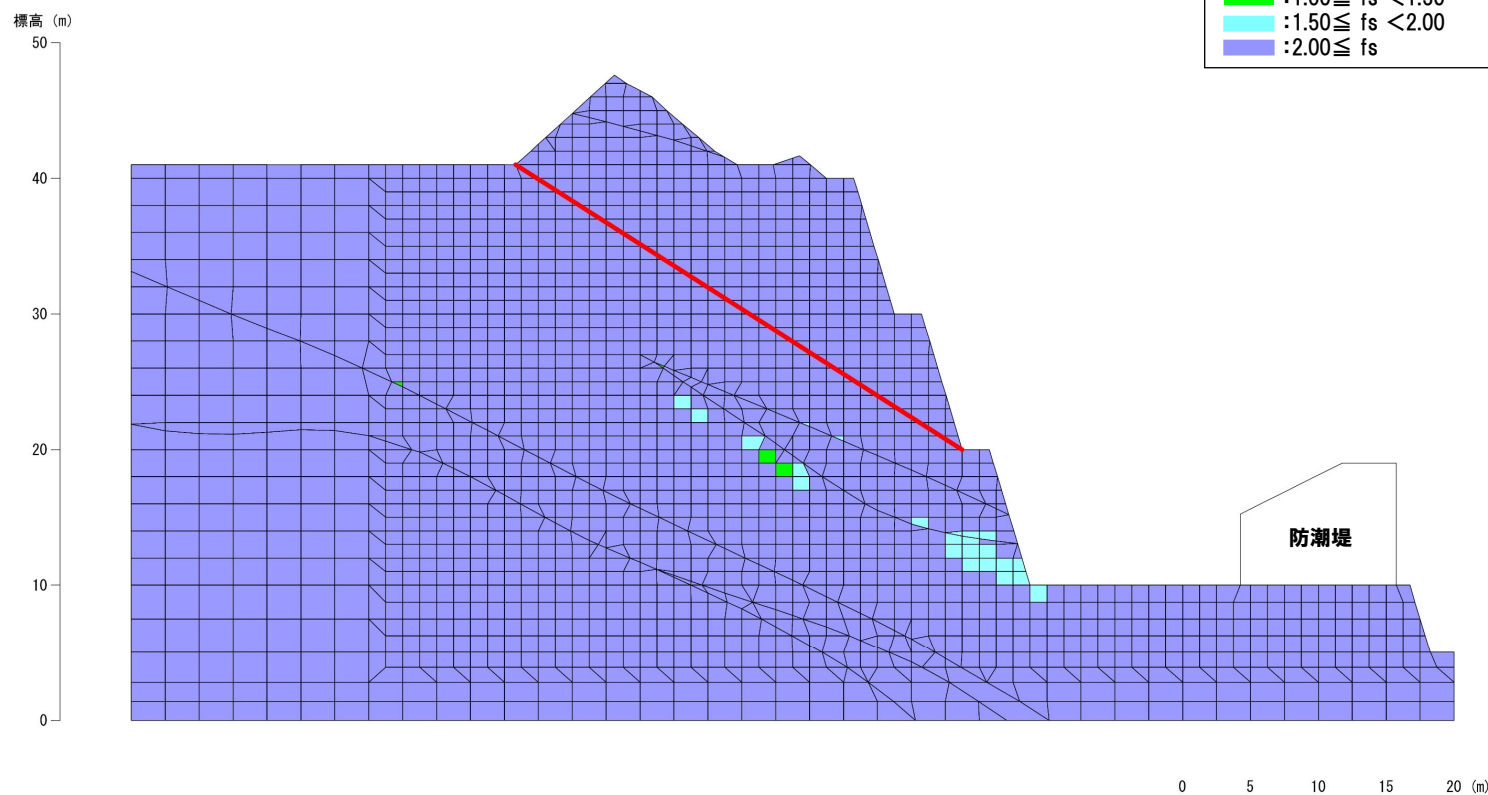
4. 5 静的非線形解析による検討

⑪検討結果:C-C'断面(堀株側防潮堤周辺斜面)

- C-C'断面(堀株側防潮堤周辺斜面)については、動的解析(等価線形解析)の結果、引張応力が発生した要素が斜面内に連続している(次頁参照)。
- 動的解析における最小すべり安全率発生時刻の地震時慣性力等を用いて静的非線形解析を実施した結果、すべり安全率は2.7であり、評価基準値1.2を上回ることを確認した。

【静的非線形解析結果】

- ・基準地震動 : Ss3-5(+,+)
- ・時刻 : 11.62秒
- ・すべり安全率 : 2.7(平均強度)

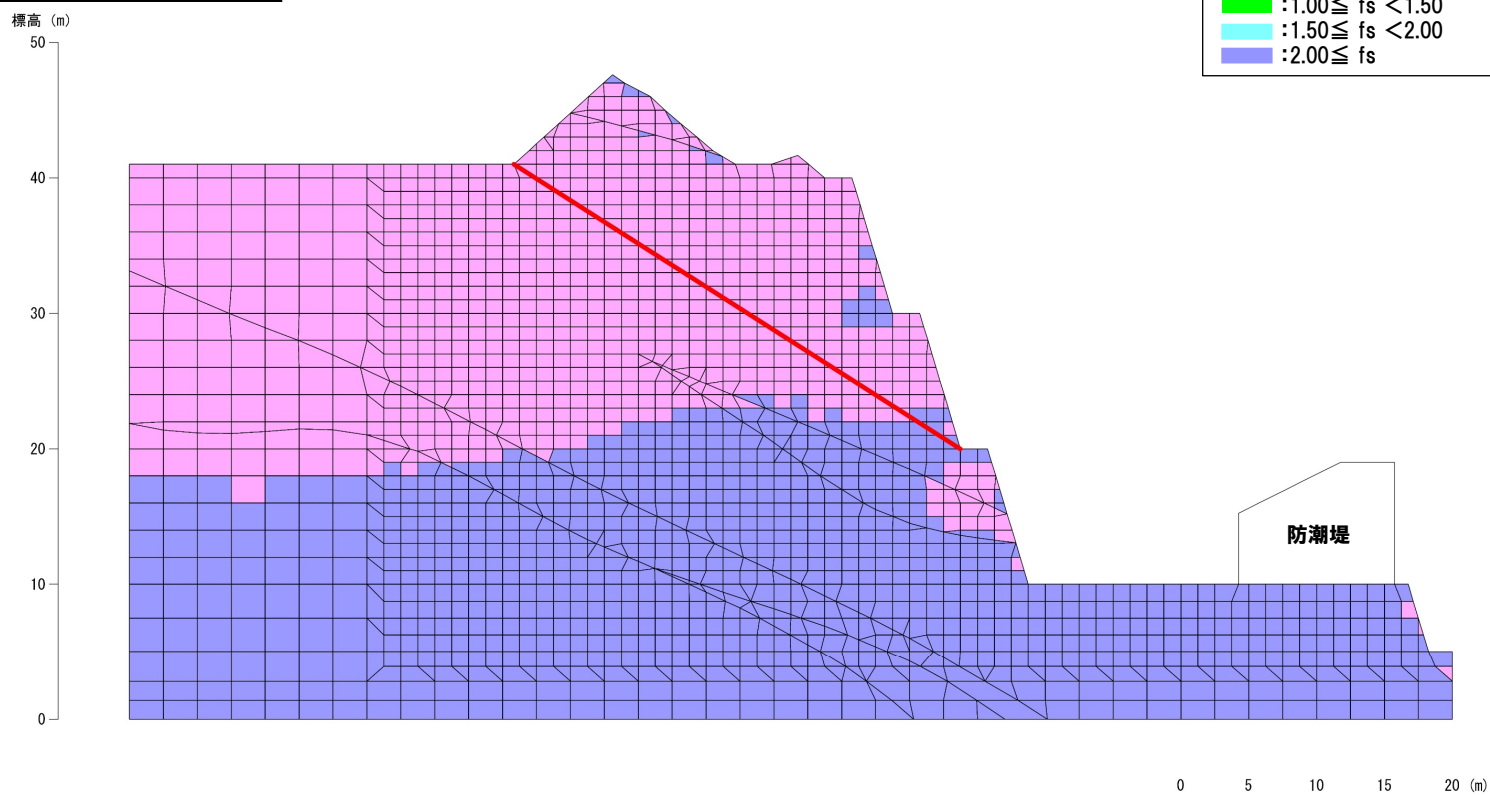


要素ごとの安全係数図(静的非線形解析):C-C'断面(堀株側防潮堤周辺斜面)

4. 5 静的非線形解析による検討

(参考) 要素ごとの安全係数 (等価線形解析) : C-C' 断面 (堀株側防潮堤周辺斜面)

- 基準地震動 : Ss3-5 (+,+)
- 時刻 : 11.62秒
- すべり安全率 : 2.4 (平均強度)



要素ごとの安全係数図:C-C' 断面 (堀株側防潮堤周辺斜面) (P224再掲)

余白

1. 地質の概要に関する補足	P. 3
2. 解析用物性値に関する補足	P. 17
3. 評価方針に関する補足	P.101
4. 評価結果に関する補足	P.185
4. 1 設定したすべり面の妥当性確認	P.185
4. 2 すべり安全率一覧	P.227
4. 3 地震時最大接地圧一覧	P.297
4. 4 基礎底面の傾斜一覧	P.305
4. 5 静的非線形解析による検討	P.313
4. 6 解析用物性値の使い分けによる影響	P.337
参考文献	P.356

余白

4. 6 解析用物性値の使い分けによる影響

①検討内容及び検討結果(1/5)

一部修正 (R6/8/30審査会合)

- X-X'断面については、基礎地盤の安定性評価に当たり、代表施設に選定した原子炉建屋の評価対象断面である。
- 当該断面の解析においては、原子炉建屋が3号炉解析用物性値の適用範囲に位置することから、3号炉解析用物性値を使用した。
- しかし、当該断面については、適用範囲を越えたもう一方の範囲に跨がる断面であることから、1,2号炉解析用物性値を使用した解析を実施し、解析用物性値の使い分けが、基礎地盤の安定性評価における評価項目である基礎地盤のすべり、基礎の支持力及び基礎底面の傾斜に及ぼす影響を整理した上で、解析用物性値の使い分けによる影響が小さいことを確認する。

【検討内容】

- 1,2号炉解析用物性値を使用した解析を実施し、以下に示す、基礎地盤の安定性評価における評価項目、及び評価項目に関する整理項目について、3号炉解析用物性値を使用した解析と比較する。

(基礎地盤の安定性評価における評価項目)

- ・基礎地盤のすべり
- ・基礎の支持力
- ・基礎底面の傾斜

(評価項目に関する整理項目)

- ・最小すべり安全率を示すすべり面における抵抗力・滑動力
- ・原子炉建屋基礎底面の鉛直変位(地震時最大傾斜発生時刻)
- ・最大加速度分布(水平・鉛直)
- ・最大せん断ひずみ分布
- ・要素ごとの安全係数及び主応力分布(最小すべり安全率発生時刻)
- ・モビライズド面(最小すべり安全率発生時刻)

- 動的解析に用いた基準地震動は、X-X'断面において最小すべり安全率を示すSs3-4とした。

- X-X'断面の岩盤分類図を次頁に、解析要素分割図をP341に示す。

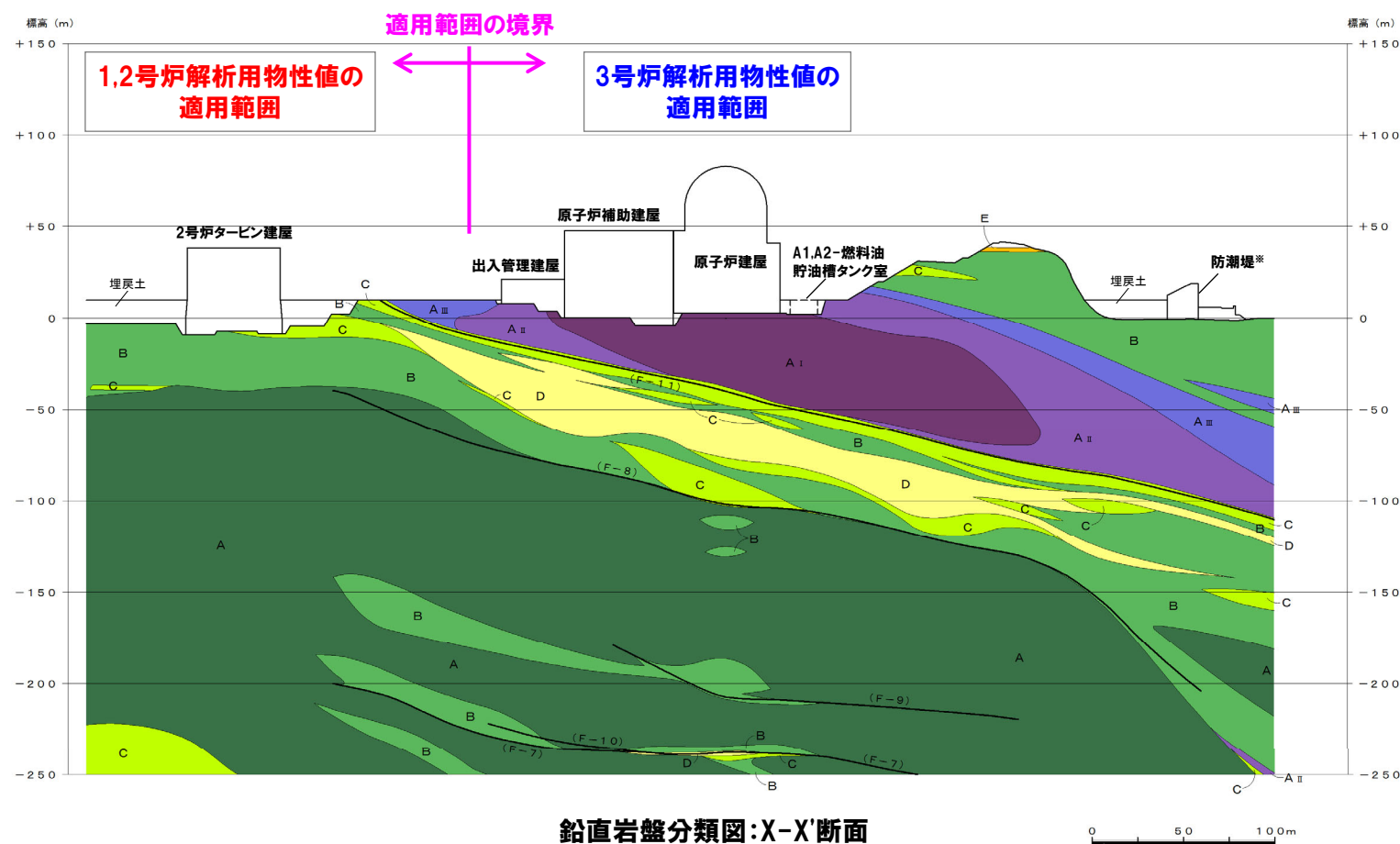
【検討結果】

- 基礎地盤の安定性評価における評価項目、及び評価項目に関する整理項目については、いずれの項目においても、1,2号炉解析用物性値を使用した解析と3号炉解析用物性値を使用した解析に大きな差はなく、解析用物性値の使い分けによる影響は小さいこと、及び評価基準値に対して十分な裕度を有していることを確認した(比較の詳細は、P342～P345に示している)。

4. 6 解析用物性値の使い分けによる影響

①検討内容及び検討結果(2/5)

一部修正(R6/3/22審査会合)

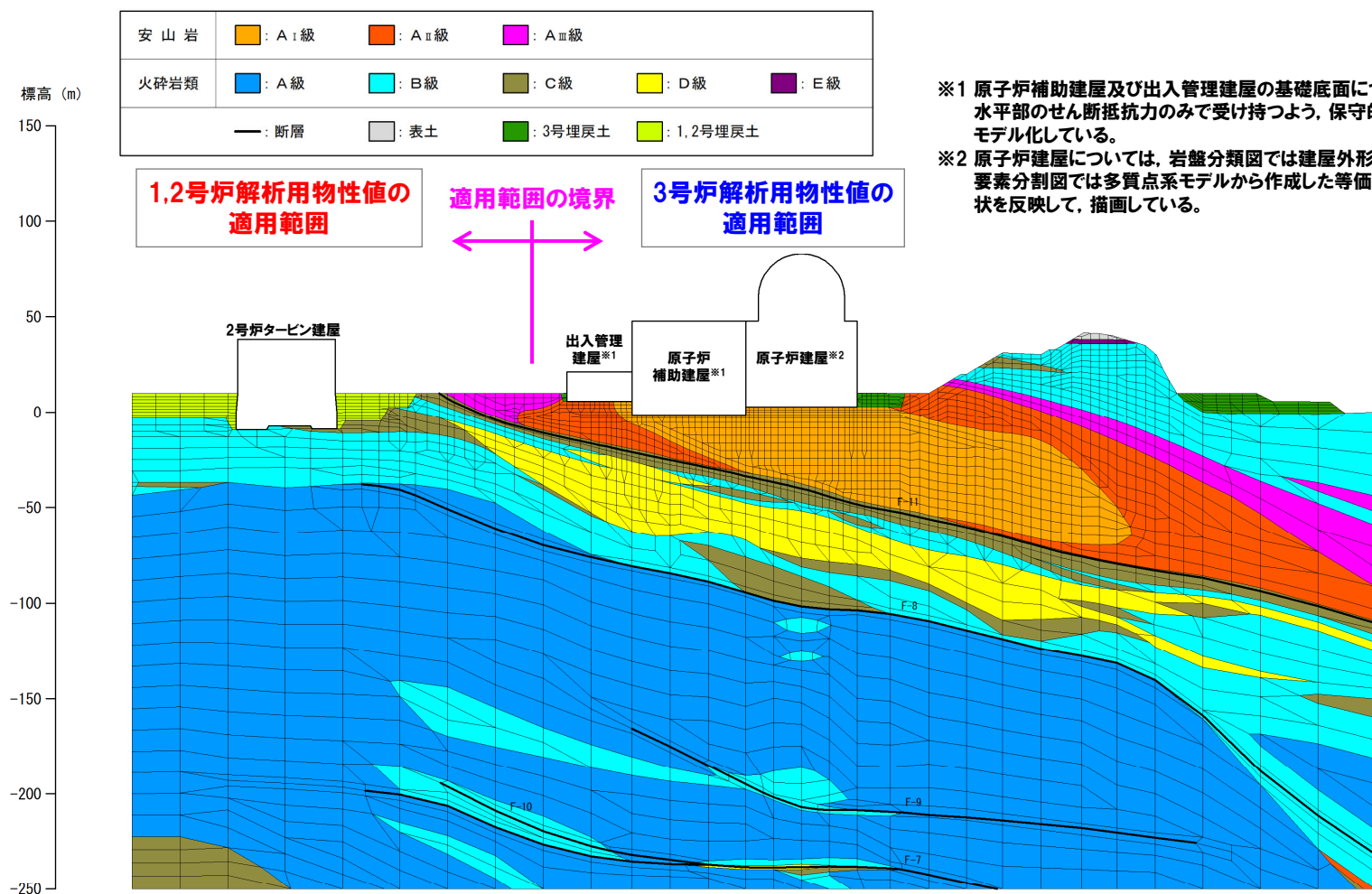


※防潮堤は、原子炉建屋の側方に位置するものの、原子炉建屋の施設幅Bの2.5倍以上の離隔を有することから、原子炉建屋基礎地盤の地盤応答に与える影響が軽微と考えられるため、埋戻土でモデル化。

4. 6 解析用物性値の使い分けによる影響

①検討内容及び検討結果 (3/5)

一部修正 (R6/3/22審査会合)



解析用要素分割図:X-X'断面

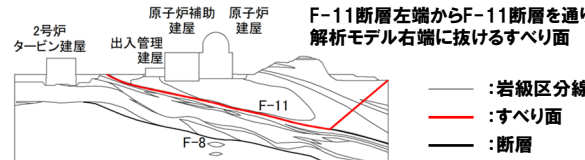
0 100m

4. 6 解析用物性値の使い分けによる影響

①検討内容及び検討結果 (4/5)

再掲 (R6/8/30審査会合)

■基礎地盤のすべり

解析用物性値	すべり面形状	基準地震動※1	最小すべり安全率※2	評価基準値
3号炉解析用物性値		Ss3-4 (-,+)	2.1 [7.54]	1.5
1,2号炉解析用物性値		Ss3-4 (-,+)	2.1 [7.55]	

■基礎の支持力

解析用物性値	対象施設	基準地震動※1	地震時最大接地圧※2 (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)
3号炉解析用物性値	原子炉建屋	Ss3-4 (-,+)	2.1 [7.50]	13.7
1,2号炉解析用物性値		Ss3-4 (-,+)	2.1 [7.50]	

■基礎底面の傾斜

解析用物性値	対象施設	基準地震動※1	最大相対変位※2 (cm) ($ \delta_{AY} - \delta_{BY} $)	最大傾斜 $\left(\frac{ \delta_{AY} - \delta_{BY} }{L} \right)$	評価基準値の目安
3号炉解析用物性値	原子炉建屋 (L=58.2m)	Ss3-4 (+,+)	0.16 [7.73]	1/36,000	1/2,000
1,2号炉解析用物性値		Ss3-4 (+,+)	0.25 [7.74]	1/23,000	

※1 基準地震動の(+,+)は位相反転なし, (-,+)は水平反転を示す。

※2 []は発生時刻(秒)を示す。

4. 6 解析用物性値の使い分けによる影響

①検討内容及び検討結果 (5/5)

一部修正 (R6/8/30審査会合)

項目	3号炉解析用物性値を使用した解析と1,2号炉解析用物性値を使用した解析の比較結果	掲載頁															
最小すべり安全率を示すすべり面における抵抗力・滑動力	○3号炉解析用物性値を使用した解析に比べて、1,2号炉解析用物性値を使用した解析の方が、抵抗力が小さくなったものの、その差は僅かであることから、最小すべり安全率に差は認められない。 <table><tr><th></th><th>抵抗力 (MN/m)</th><th>滑動力 (MN/m)</th><th>最小すべり安全率</th></tr><tr><td>3号炉解析用物性値</td><td>523.5</td><td>238.3</td><td>2.1</td></tr><tr><td>1,2号炉解析用物性値</td><td>502.3</td><td>235.4</td><td>2.1</td></tr></table>		抵抗力 (MN/m)	滑動力 (MN/m)	最小すべり安全率	3号炉解析用物性値	523.5	238.3	2.1	1,2号炉解析用物性値	502.3	235.4	2.1	—			
	抵抗力 (MN/m)	滑動力 (MN/m)	最小すべり安全率														
3号炉解析用物性値	523.5	238.3	2.1														
1,2号炉解析用物性値	502.3	235.4	2.1														
原子炉建屋基礎底面の鉛直変位 (地震時最大傾斜発生時刻)	○3号炉解析用物性値に比べて、1,2号炉解析用物性値の方が火砕岩類D級の動せん断弾性係数G_dが小さいこと (P344参照) 等から、1,2号炉解析用物性値を使用した解析の方が、鉛直変位が大きくなったと考えられるものの、最大傾斜に大きな差は認められない。 <table><tr><th></th><th>基礎左端鉛直変位 (cm)</th><th>基礎右端鉛直変位 (cm)</th><th>最大相対変位 (cm)</th><th>最大傾斜</th></tr><tr><td>3号炉解析用物性値</td><td>0.45</td><td>0.29</td><td>0.16</td><td>1/36,000</td></tr><tr><td>1,2号炉解析用物性値</td><td>0.59</td><td>0.35</td><td>0.25</td><td>1/23,000</td></tr></table>		基礎左端鉛直変位 (cm)	基礎右端鉛直変位 (cm)	最大相対変位 (cm)	最大傾斜	3号炉解析用物性値	0.45	0.29	0.16	1/36,000	1,2号炉解析用物性値	0.59	0.35	0.25	1/23,000	—
	基礎左端鉛直変位 (cm)	基礎右端鉛直変位 (cm)	最大相対変位 (cm)	最大傾斜													
3号炉解析用物性値	0.45	0.29	0.16	1/36,000													
1,2号炉解析用物性値	0.59	0.35	0.25	1/23,000													
最大加速度分布 (水平・鉛直)	○全体的な最大加速度分布に大きな差はないことから、すべり安全率等への影響は認められなかったものと考えられる。 ○なお、1,2号炉解析用物性値を使用した解析の方が、局所的 (火砕岩類D級が分布する範囲) に最大加速度が大きくなっている。これは、3号炉解析用物性値に比べて、1,2号炉解析用物性値の方が火砕岩類D級の動せん断弾性係数G_dが小さいこと (P344参照) 等が要因と考えられる。	P345～ P347															
最大せん断ひずみ分布	○全体的な最大せん断ひずみ分布に大きな差はないことから、すべり安全率等への影響は認められなかったものと考えられる。 ○なお、1,2号炉解析用物性値を使用した解析の方が、局所的 (火砕岩類D級が分布する範囲) に最大せん断ひずみが大きくなっている。これは、3号炉解析用物性値に比べて、1,2号炉解析用物性値の方が火砕岩類D級の動せん断弾性係数G_dが小さいこと (P344参照) 等が要因と考えられる。	P345～ P347															
要素ごとの安全係数及び主応力分布 (最小すべり安全率発生時刻)	○全体的な分布に大きな差はないことから、すべり安全率への影響は認められなかったものと考えられる。 ○なお、3号炉解析用物性値を使用した解析に比べて、1,2号炉解析用物性値を使用した解析においては、最小すべり安全率を示すすべり面に対して、要素の安全率の低い領域 (せん断強度に達した要素や引張応力が発生した要素) が僅かに増加したものの、最小すべり安全率に差は認められない。	P348～ P352															
モビライズド面 (最小すべり安全率発生時刻)	○1,2号炉解析用物性値を使用した解析においては、F-11断層から解析モデル右端に抜ける部分では、モビライズド面を概ね通るすべり面が想定されるが、3号炉解析用物性値を使用した解析によるモビライズド面から想定されるすべり面と同様である。	P354～ P355															

4. 6 解析用物性値の使い分けによる影響

②3号炉解析用物性値と1,2号炉解析用物性値（火砕岩類）

再掲（R6/8/30審査会合）

○3号炉解析用物性値と1,2号炉解析用物性値（火砕岩類）については、下表に示すとおり。

3号炉解析用物性値

特性 項目 岩種 岩盤分類	物理特性	強度特性				変形特性				
		密度 ρ (g/cm ³)	せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)	静的特性		動的特性		
						静弾性係数 E_s (10 ³ N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 G_d (10 ³ N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h (%)
火砕岩類	A級	2.20	2.17	51.0	2.26 $\sigma^{0.63}$	6.1	0.26	4.3	0.36	3
	B級	2.19	1.61	46.9	1.94 $\sigma^{0.62}$	2.8	0.24	3.7	0.35	3
	C級	2.01	0.57	46.3	1.23 $\sigma^{0.76}$	0.94	0.21	2.9	0.35	3
	D級	1.81	0.49	34.1	0.86 $\sigma^{0.51}$	0.64	0.26	2.2	0.37	3
	E級	1.64	0.23	31.5	$\sigma < 0.14, \sigma \geq 0.49$ $\tau = 0.71 \sigma^{0.41}$ $0.14 \leq \sigma < 0.49$ $\tau = 0.23 + \sigma \tan 31.5^\circ$	0.030	0.35	$G_0 = 0.43$ $G_d/G_0 =$ $1/[1 + (\gamma/0.000530)^{0.909}]$	0.39	$h = \{\gamma / (8.46\gamma + 0.00478) + 0.0309\} \times 100$

1,2号炉解析用物性値

※ G_0 は初期せん断弾性係数、 σ は圧密応力、 γ はせん断ひずみを示す。

特性 項目 岩種 岩盤分類	物理特性	強度特性				変形特性				
		密度 ρ (g/cm ³)	せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)	静的特性		動的特性		
						静弾性係数 E_s (10 ³ N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 G_d (10 ³ N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h (%)
火砕岩類	A級	2.2	2.17	51.0	2.26 $\sigma^{0.63}$	6.1	0.25	5.0	0.36	3
	B級	2.1	1.61	46.9	1.94 $\sigma^{0.62}$	2.8	0.25	3.5	0.35	3
	C級	1.9	0.57	46.3	1.23 $\sigma^{0.76}$	0.94	0.25	2.3	0.37	3
	D級	1.9	0.49	34.1	0.86 $\sigma^{0.51}$	0.64	0.30	1.1	0.38	3
	E級	1.7	0.23	31.5	$\sigma < 0.14, \sigma \geq 0.49$ $\tau = 0.71 \sigma^{0.41}$ $0.14 \leq \sigma < 0.49$ $\tau = 0.23 + \sigma \tan 31.5^\circ$	0.030	0.35	$G_0 = 0.43$ $G_d/G_0 =$ $1/[1 + (\gamma/0.000530)^{0.909}]$	0.41	$h = \{\gamma / (8.46\gamma + 0.00478) + 0.0309\} \times 100$

:3号炉解析用物性値と1,2号炉解析用物性値で同じ値。

:3号炉解析用物性値と1,2号炉解析用物性値で異なる値。

4. 6 解析用物性値の使い分けによる影響

③最大水平加速度、最大鉛直加速度及び最大せん断ひずみの比較 (1/3)

一部修正 (R6/8/30審査会合)

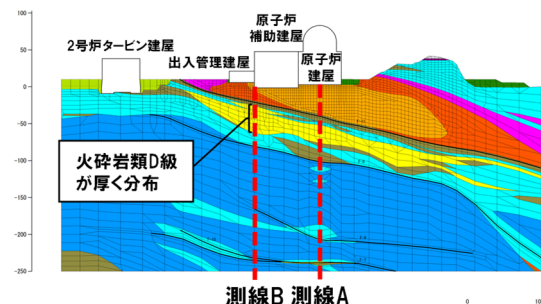
○解析用物性値の使い分けによる影響について、以下の測線（測線位置は下図参照）を設定し、3号炉解析用物性値を使用した解析と1,2号炉解析用物性値を使用した解析における最大水平加速度、最大鉛直加速度及び最大せん断ひずみ分布を比較した。

- ・測線A: 原子炉建屋中心位置
- ・測線B: 原子炉補助建屋基礎左端位置（火砕岩類D級※が厚く分布する位置）

○比較の結果、下表に示すとおり、全体的な最大加速度分布及び最大せん断ひずみ分布に大きな差はないことから、すべり安全率等への影響は認められなかったものと考えられる。

○なお、1,2号炉解析用物性値を使用した解析の方が、局所的（火砕岩類D級が分布する範囲）に最大加速度分布及び最大せん断ひずみ分布が大きくなっている。これは、3号炉解析用物性値に比べて、1,2号炉解析用物性値の方が火砕岩類D級の動せん断弾性係数 G_d が小さいこと（P344参照）等が要因と考えられる。

項目	3号炉解析用物性値を使用した解析と1,2号炉解析用物性値を使用した解析の比較結果	掲載頁
最大加速度分布 (水平・鉛直)	(全体傾向) ○全体的な最大加速度分布については、両者に大きな差は認められない。 (火砕岩類D級分布深度※) ○3号炉解析用物性値に比べて、1,2号炉解析用物性値の方が火砕岩類D級の動せん断弾性係数G_dが小さいこと（前頁参照）等から、1,2号炉解析用物性値を使用した解析の方が、局所的（火砕岩類D級が分布する範囲）に最大加速度が大きくなっている。 ○なお、原子炉建屋及び原子炉補助建屋設置位置付近では、堅硬な安山岩が分布し、かつ安山岩の3号炉解析用物性値と1,2号炉解析用物性値は同じであることから、同程度の最大加速度となっている。	P346～ P347
最大せん断ひずみ分布	(全体傾向) ○全体的な最大せん断ひずみ分布については、両者に大きな差は認められない。 (F-11断層及び火砕岩類D級分布深度※) ○3号炉解析用物性値に比べて、1,2号炉解析用物性値の方が火砕岩類D級の動せん断弾性係数G_dが小さいこと（前頁参照）等から、1,2号炉解析用物性値を使用した解析の方が、局所的（火砕岩類D級が分布する範囲）に最大せん断ひずみ分布が大きくなっている。 ○なお、原子炉建屋及び原子炉補助建屋設置位置付近では、堅硬な安山岩が分布し、かつ安山岩の3号炉解析用物性値と1,2号炉解析用物性値は同じであることから、同程度の最大せん断ひずみとなっている。	



測線位置図（解析用要素分割図：X-X'断面）

※火砕岩類D級の動せん断弾性係数 G_d （前頁参照）については、他の物性値に比べると、3号炉解析用物性値と1,2号炉解析用物性値の差があり、地盤の地震時挙動に影響する可能性があることから、火砕岩類D級が厚く分布する位置に着目した。

安山岩	 : AⅠ級	 : AⅡ級	 : AⅢ級		
火砕岩類	 : A級	 : B級	 : C級	 : D級	 : E級
	 : 断層	 : 表土	 : 3号埋戻土	 : 1,2号埋戻土	

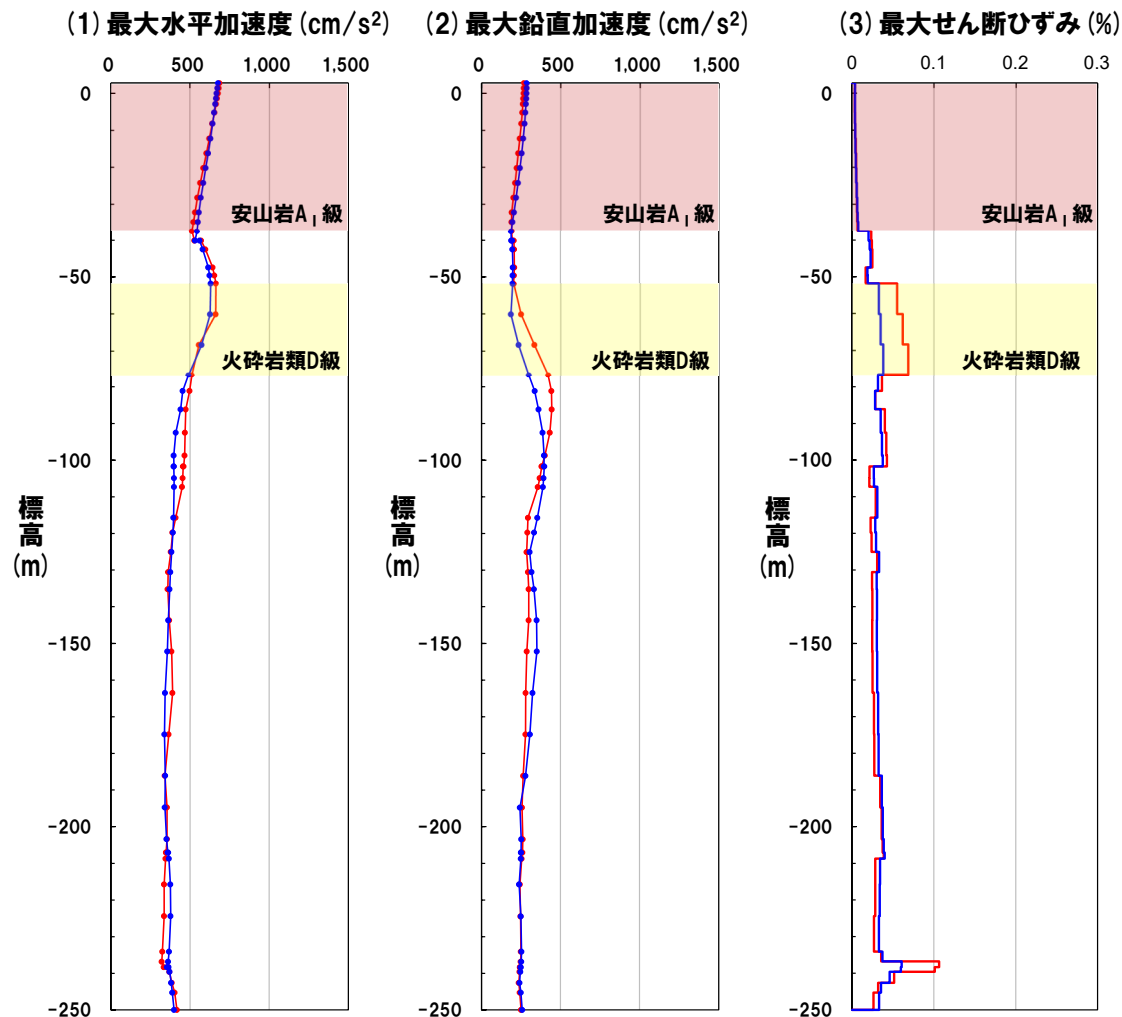
4. 6 解析用物性値の使い分けによる影響

③最大水平加速度、最大鉛直加速度及び最大せん断ひずみの比較 (2/3)

再掲 (R6/8/30審査会合)

○3号炉解析用物性値を使用した解析と1,2号炉解析用物性値を使用した解析における、最大水平加速度、最大鉛直加速度及び最大せん断ひずみ分布を比較した。

○測線A (原子炉建屋中心位置) における最大水平加速度、最大鉛直加速度及び最大せん断ひずみを以下に示す。



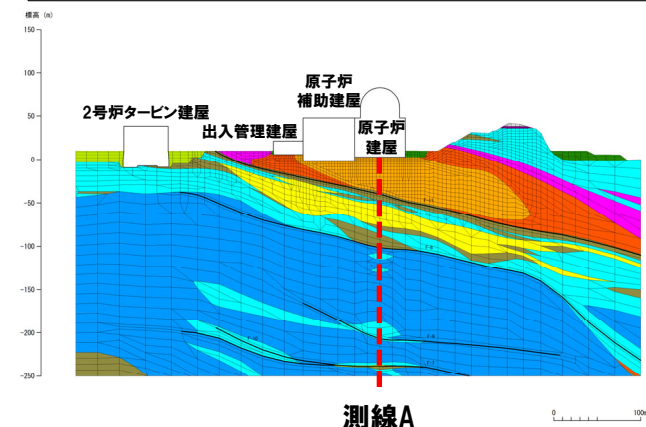
凡 例
 ● : 3号炉解析用物性値を使用した解析
 ● : 1,2号炉解析用物性値を使用した解析

凡 例
 ● : 3号炉解析用物性値を使用した解析
 ● : 1,2号炉解析用物性値を使用した解析

F-11断層における最大せん断ひずみ

	1,2号炉 解析用物性値	3号炉 解析用物性値
F-11断層	0.88%	0.75%

安 山 岩	 : AⅠ級	 : AⅡ級	 : AⅢ級		
火砕岩類	 : A 級	 : B 級	 : C 級	 : D 級	 : E 級
	 : 断層	 : 表土	 : 3号埋戻土	 : 1,2号埋戻土	



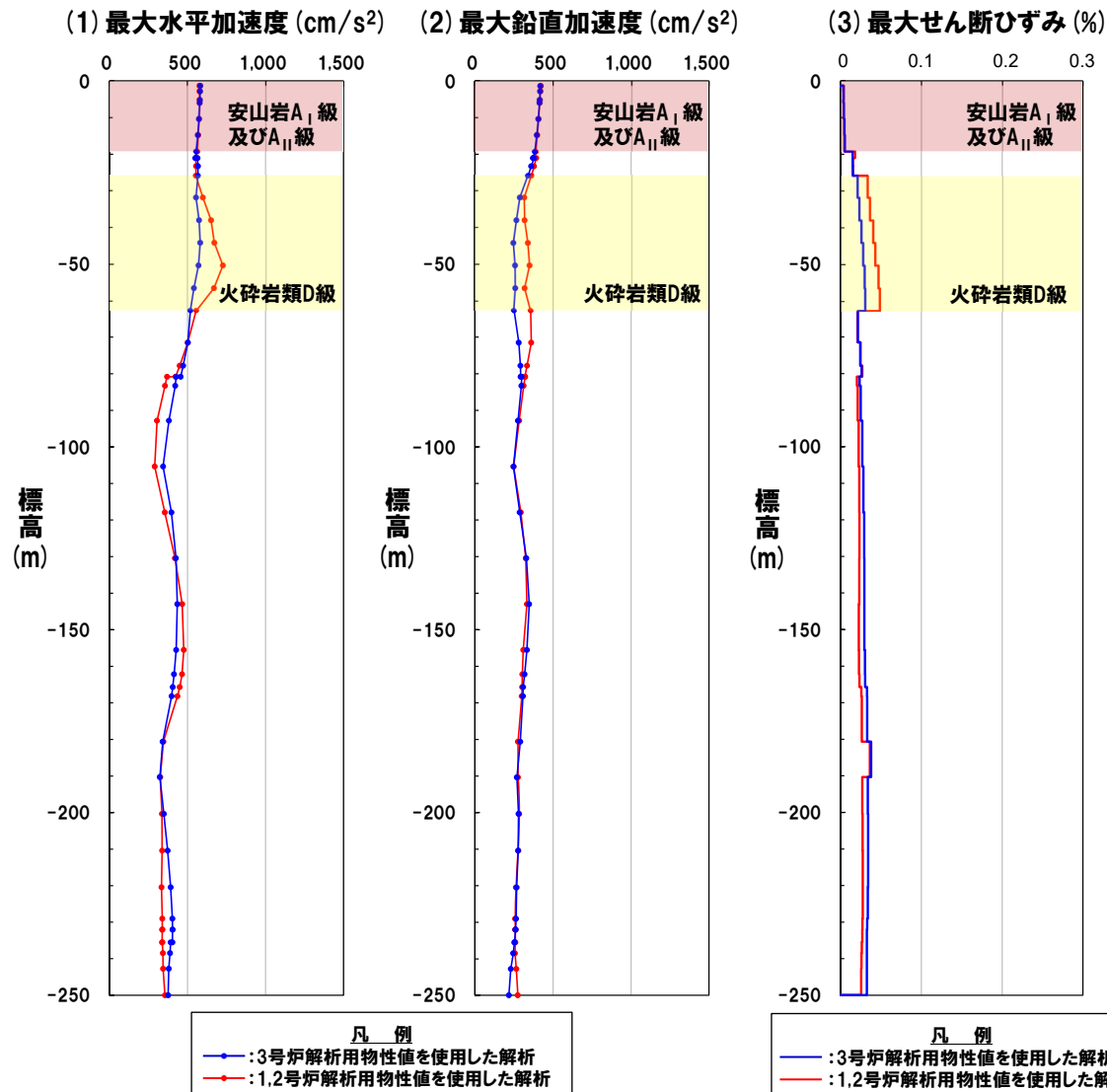
測線位置図 (解析用要素分割図:X-X'断面)

4. 6 解析用物性値の使い分けによる影響

③最大水平加速度、最大鉛直加速度及び最大せん断ひずみの比較 (3/3)

再掲 (R6/8/30審査会合)

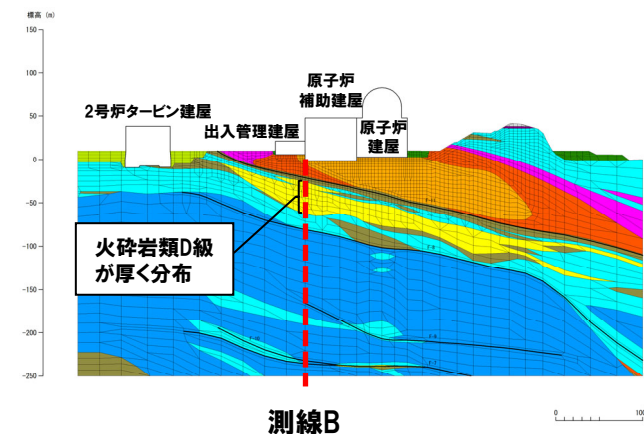
○測線B (原子炉補助建屋基礎左端位置) における最大水平加速度、最大鉛直加速度及び最大せん断ひずみを以下に示す。



F-11断層における最大せん断ひずみ

	1,2号炉 解析用物性値	3号炉 解析用物性値
F-11断層	1.91%	1.18%

安山岩	 : AⅠ級	 : AⅡ級	 : AⅢ級		
火砕岩類	 : A級	 : B級	 : C級	 : D級	 : E級
	 : 断層	 : 表土	 : 3号埋戻土	 : 1,2号埋戻土	



測線位置図 (解析用要素分割図:X-X'断面)

4. 6 解析用物性値の使い分けによる影響

④要素ごとの安全係数及び主応力分布の比較 (1/5)

一部修正 (R6/8/30審査会合)

- 3号炉解析用物性値を使用した解析と1,2号炉解析用物性値を使用した解析における、要素ごとの安全係数及び主応力分布を比較した。
- 比較した結果、全体的な分布に大きな差はないことから、すべり安全率への影響は認められなかったものと考えられる。
- なお、3号炉解析用物性値を使用した解析に比べて、1,2号炉解析用物性値を使用した解析においては、最小すべり安全率を示すすべり面に対して、要素の安全率の低い領域（せん断強度に達した要素や引張応力が発生した要素）が僅かに増加したものの、最小すべり安全率に差は認められない。

(全体傾向)

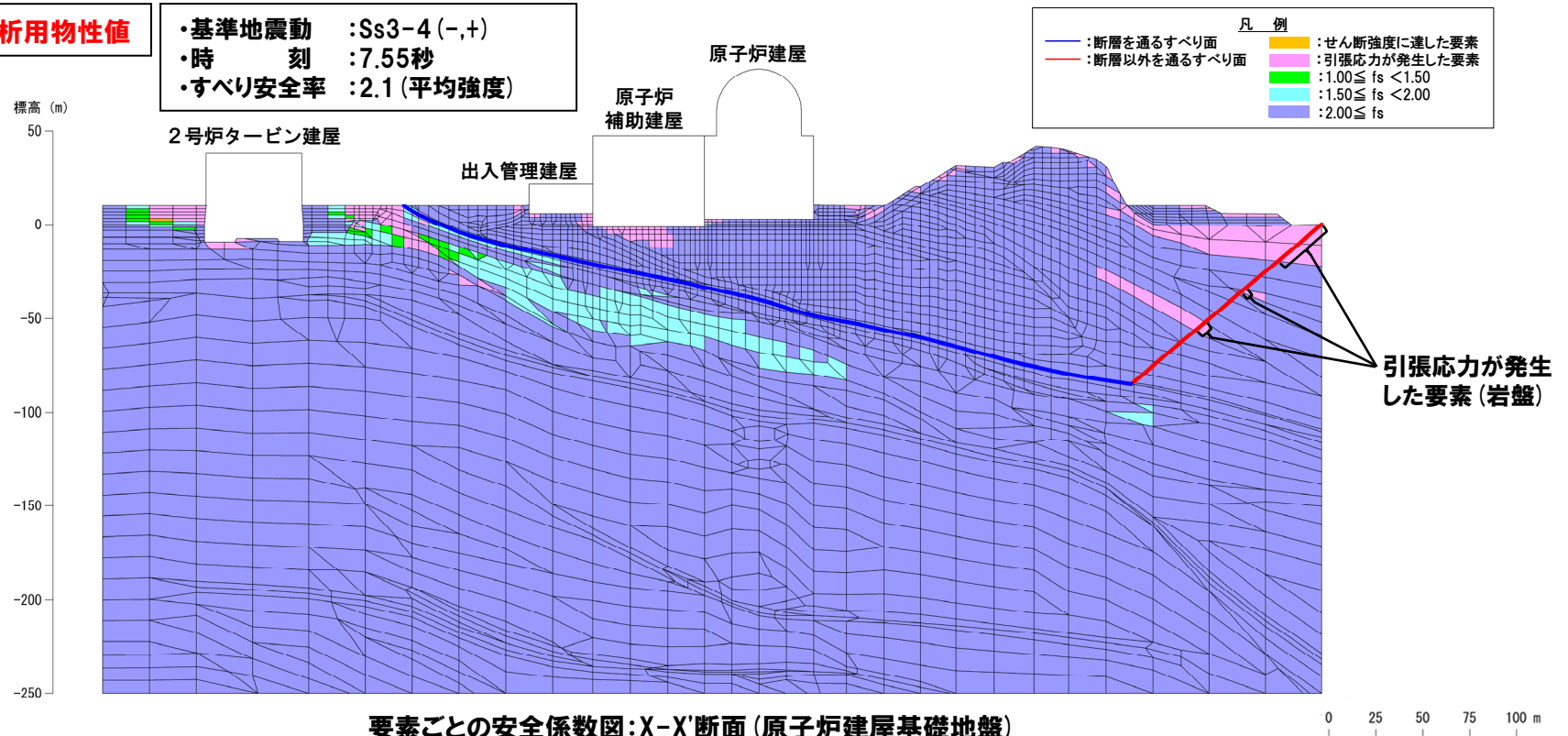
- 1,2号炉解析用物性値を使用した解析（本頁及びP350参照）と3号炉解析用物性値を使用した解析（次頁及びP351参照）に大きな差は認められない。

(最小すべり安全率を示すすべり面)

- 3号炉解析用物性値を使用した解析に比べて、1,2号炉解析用物性値を使用した解析においては、岩盤部では引張応力が発生した要素が一部増加し、F-11断層ではせん断強度に達した要素が認められるものの、すべり面に対して、これらの差が生じた要素は僅かであることから、最小すべり安全率に差は認められない（P342参照）。

1,2号炉解析用物性値

- ・基準地震動 : Ss3-4 (-, +)
- ・時刻 : 7.55秒
- ・すべり安全率 : 2.1 (平均強度)



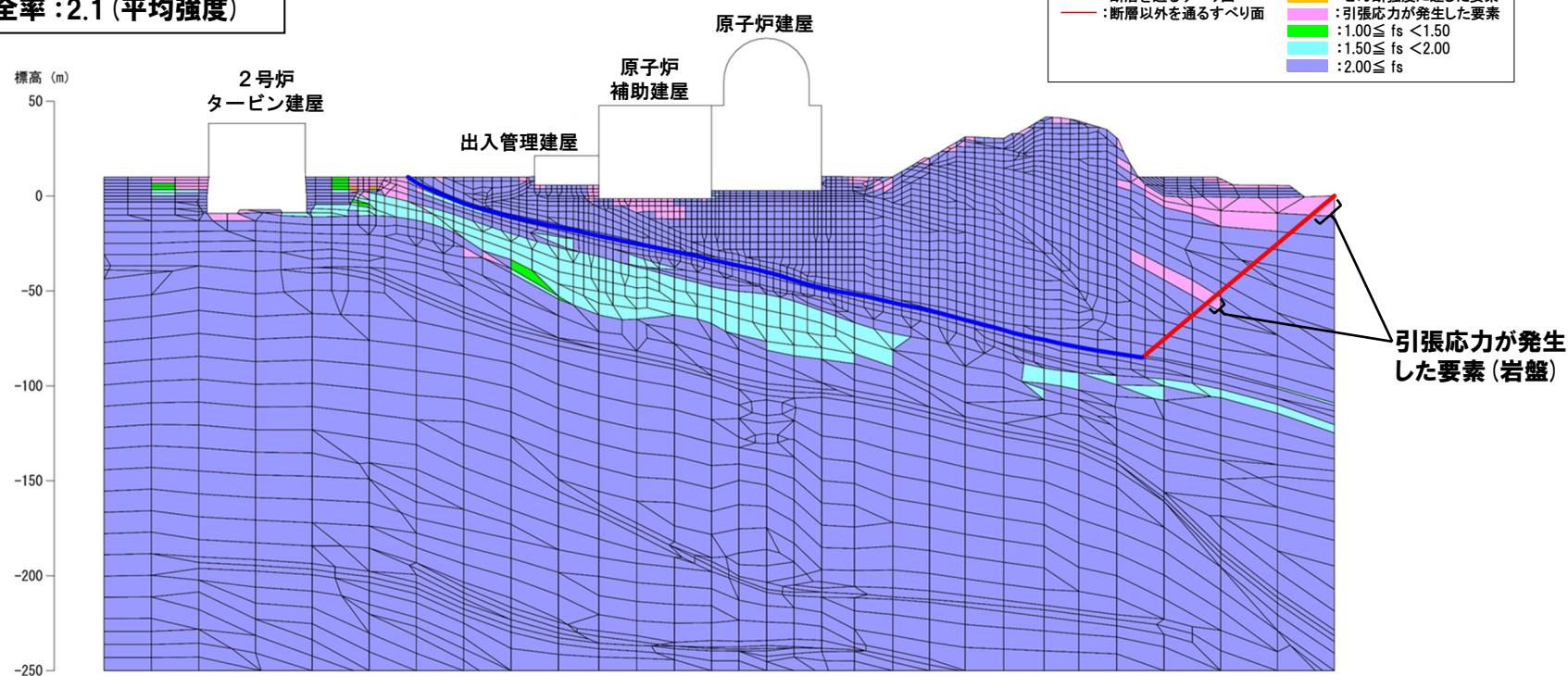
4. 6 解析用物性値の使い分けによる影響

④要素ごとの安全係数及び主応力分布の比較 (2/5)

一部修正 (R6/8/30審査会合)

3号炉解析用物性値

- ・基準地震動 : Ss3-4 (-,+)
- ・時刻 : 7.54秒
- ・すべり安全率 : 2.1 (平均強度)



要素ごとの安全係数図:X-X'断面 (原子炉建屋基礎地盤) (P190再掲)

0 25 50 75 100 m

4. 6 解析用物性値の使い分けによる影響

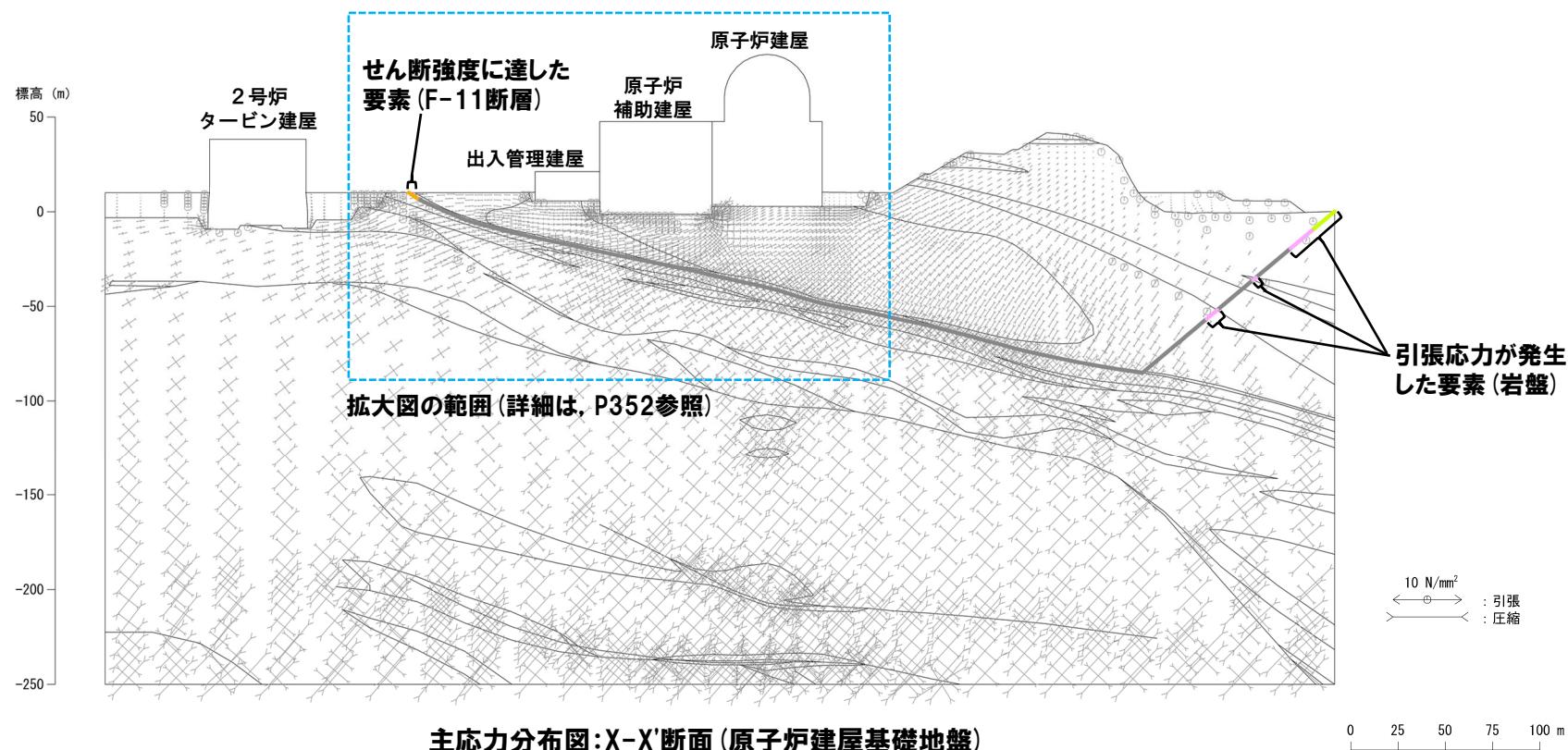
④要素ごとの安全係数及び主応力分布の比較 (3/5)

一部修正 (R6/8/30審査会合)

1,2号炉解析用物性値

- ・基準地震動 : Ss3-4 (-, +)
- ・時刻 : 7.55秒
- ・すべり安全率 : 2.1 (平均強度)

- 凡 例
- : せん断強度に達した要素を通るすべり面
 - : 引張応力が発生した要素を通るすべり面(直応力が引張となる場合は —)
 - : せん断強度に達した要素及び引張応力が発生した要素を通るすべり面
 - : 上記以外



4. 6 解析用物性値の使い分けによる影響

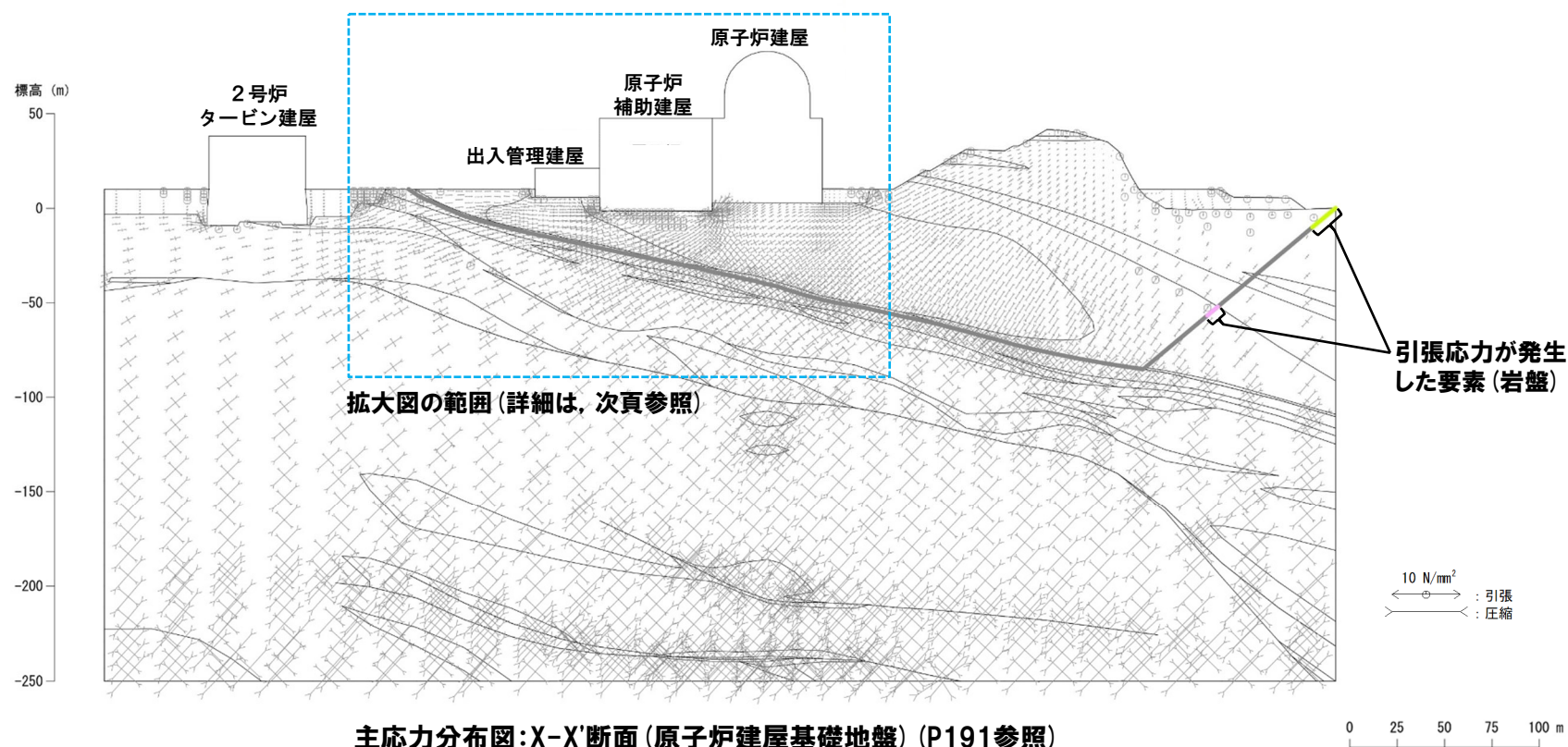
④要素ごとの安全係数及び主応力分布の比較 (4/5)

一部修正 (R6/8/30審査会合)

3号炉解析用物性値

- ・基準地震動 : Ss3-4 (-, +)
- ・時刻 : 7.54秒
- ・すべり安全率 : 2.1 (平均強度)

- 凡 例
- : せん断強度に達した要素を通るすべり面
 - : 引張応力が発生した要素を通るすべり面(直応力が引張となる場合は —)
 - : せん断強度に達した要素及び引張応力が発生した要素を通るすべり面
 - : 上記以外



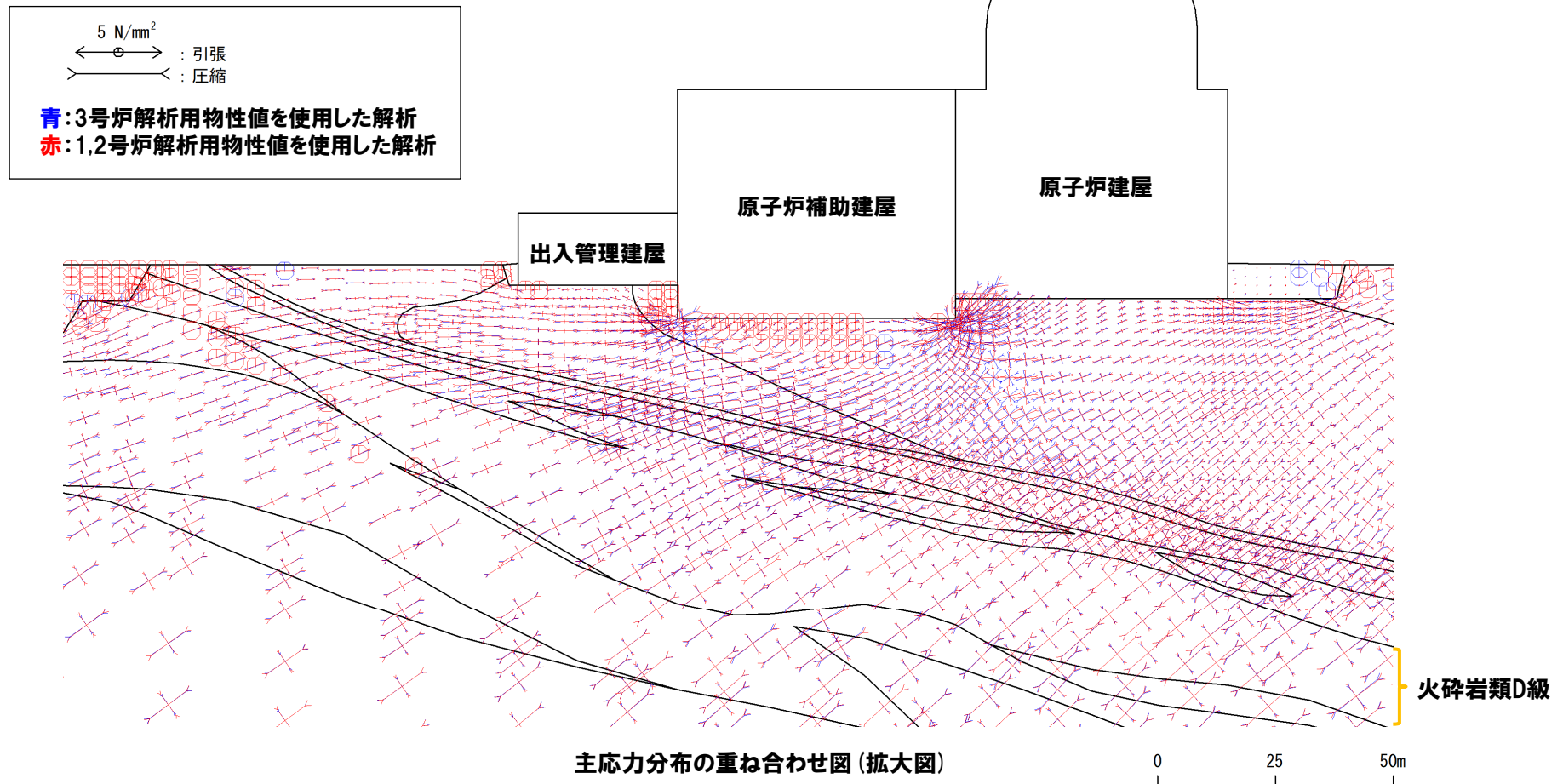
4. 6 解析用物性値の使い分けによる影響

④要素ごとの安全係数及び主応力分布の比較 (5/5)

一部修正 (R6/8/30審査会合)

(火砕岩類D級分布深度)

- 原子炉建屋等の下方に分布する火砕岩類D級に着目するため、1,2号炉解析用物性値を使用した解析による主応力分布と3号炉解析用物性値を使用した解析による主応力分布の重ね合わせ図(拡大図)を作成した(拡大図の範囲は、P348及びP349参照)。
- 下図に示すとおり、火砕岩類D級が分布する範囲において、両者に大きな差は認められない。



余白

4. 6 解析用物性値の使い分けによる影響

⑤ モビライズド面の比較 (1/2)

再掲 (R6/8/30審査会合)

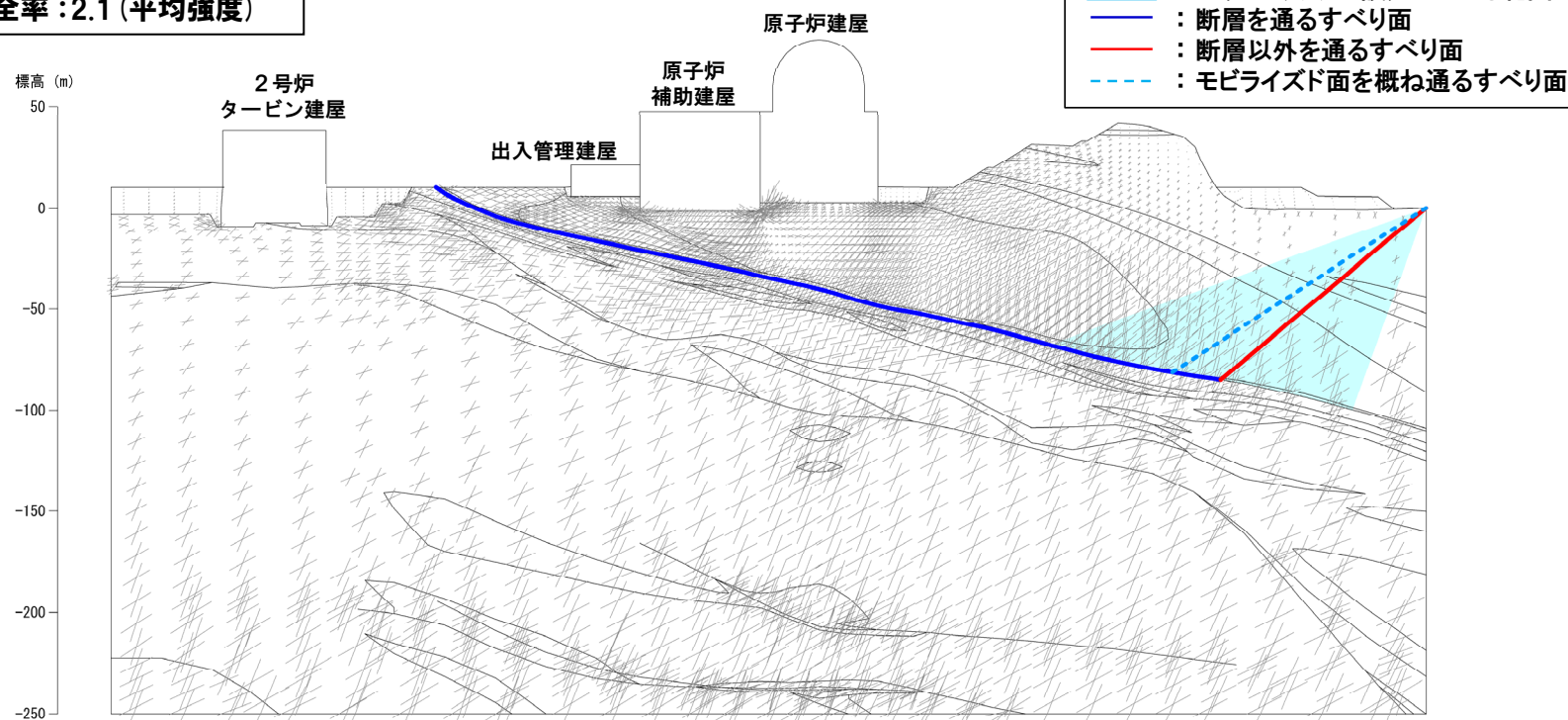
○3号炉解析用物性値を使用した解析と1,2号炉解析用物性値を使用した解析における、モビライズド面を比較した。

(モビライズド面から想定されるすべり面)

○1,2号炉解析用物性値を使用した解析においては、F-11断層から解析モデル右端に抜ける部分では、モビライズド面を概ね通るすべり面が想定されるが、3号炉解析用物性値を使用した解析によるモビライズド面から想定されるすべり面(次頁参照)と同様である。

1,2号炉解析用物性値

- ・基準地震動 : Ss3-4 (-,+)
- ・時刻 : 7.55秒
- ・すべり安全率 : 2.1 (平均強度)



モビライズド面図:X-X'断面 (原子炉建屋基礎地盤)

0 25 50 75 100 m

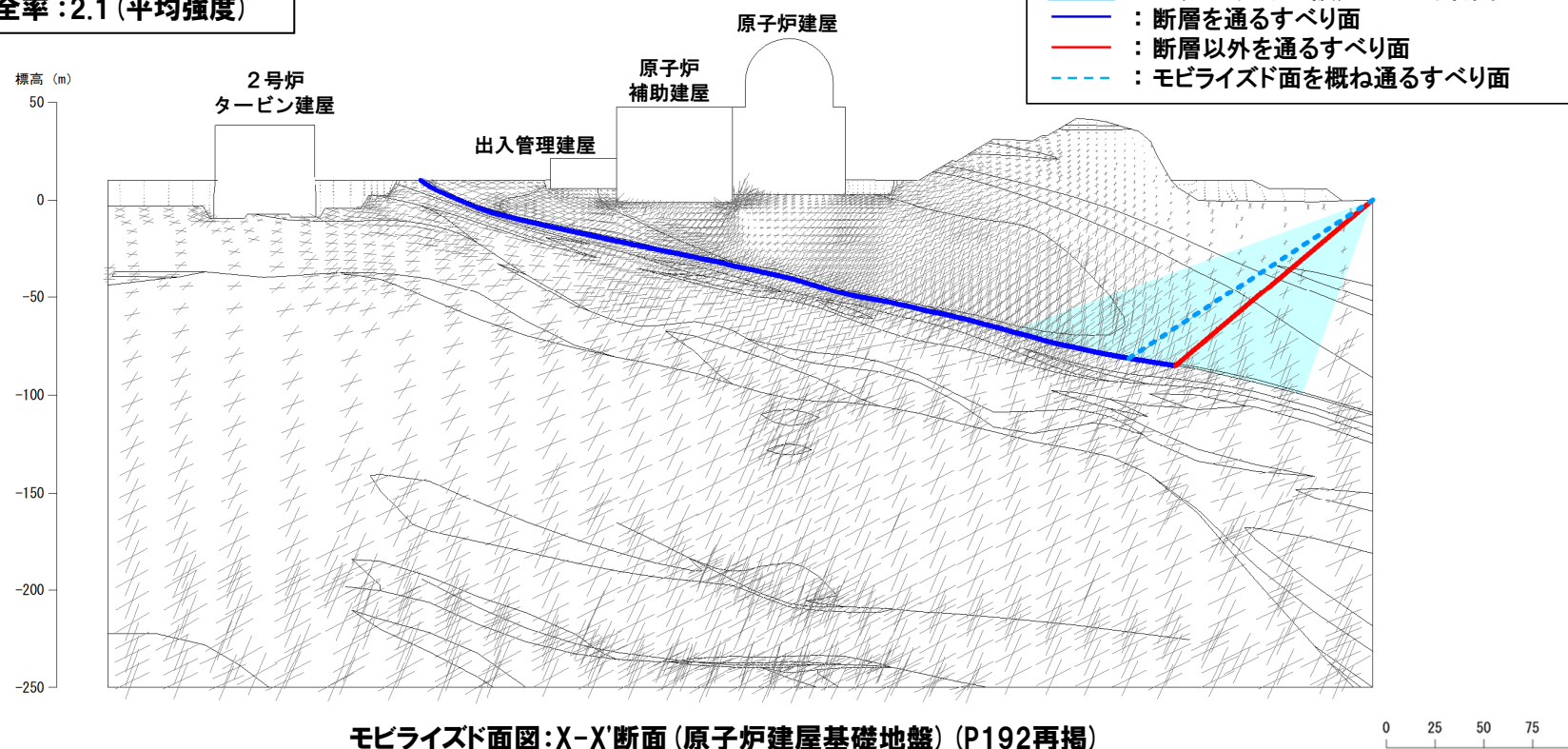
4. 6 解析用物性値の使い分けによる影響

⑤ モビライズド面の比較 (2/2)

一部修正 (R6/8/30審査会合)

3号炉解析用物性値

- ・基準地震動 : Ss3-4 (-,+)
- ・時刻 : 7.54秒
- ・すべり安全率 : 2.1 (平均強度)



- (1) 田中治雄 (1964):土木技術者のための地質学入門
- (2) 菊地宏吉, 斉藤和雄 (1975):耐荷力を対象とした岩盤分級基準の提案, 第9回岩盤力学に関するシンポジウム講演概要
- (3) 社団法人土木学会原子力土木委員会 (2009):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〉
- (4) 社団法人日本電気協会電気技術基準調査委員会 (1987):原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987
- (5) 社団法人地盤工学会 (2007):設計用地盤定数の決め方-岩盤編-
- (6) 社団法人地盤工学会 (2000):土質試験の方法と解説 第一回改訂版
- (7) 社団法人地盤工学会 (1995):地盤調査法
- (8) 土木学会岩盤力学委員会 (1983):原位置岩盤の変形およびせん断試験の指針-解説と設計への適用-
- (9) 一般社団法人日本電気協会原子力規格委員会 (2015):原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2015
- (10) 社団法人日本電気協会原子力規格委員会 (2008):原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008