

柏崎刈羽原子力発電所 7号機 基礎地盤の支持力について

平成20年12月4日

東京電力株式会社



東京電力

コメント

基礎地盤の支持力に対して、動的 F E M 解析結果を用いて検討すること。

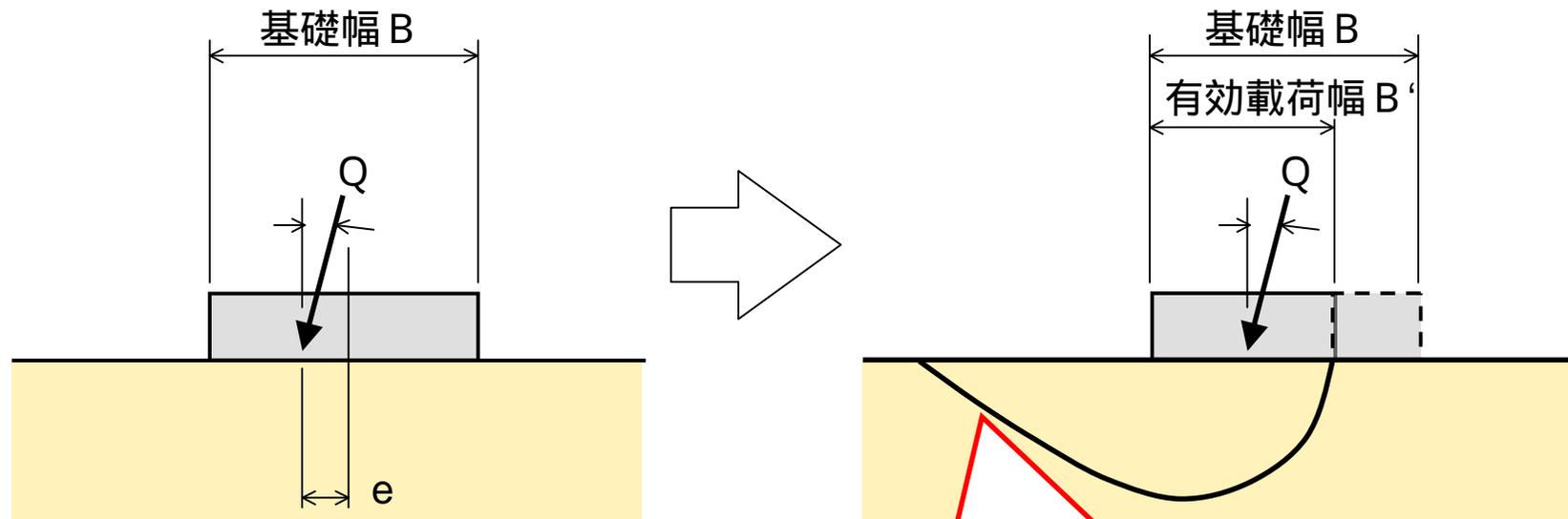
(第22回合同WG、平成20年11月18日)

目次

- 1 . 考え方
- 2 . 検討方法
- 3 . 原子炉建屋基礎地盤の支持力
- 4 . タービン建屋基礎地盤の支持力
- 5 . 非常用取水路設置地盤の支持力

1. 考え方

支持力に対する安全性について、基礎直下の地盤がせん断破壊等によってすべり線を形成し、支持機能を喪失しないことを確認する。



e : 荷重偏心幅
: 荷重傾斜角

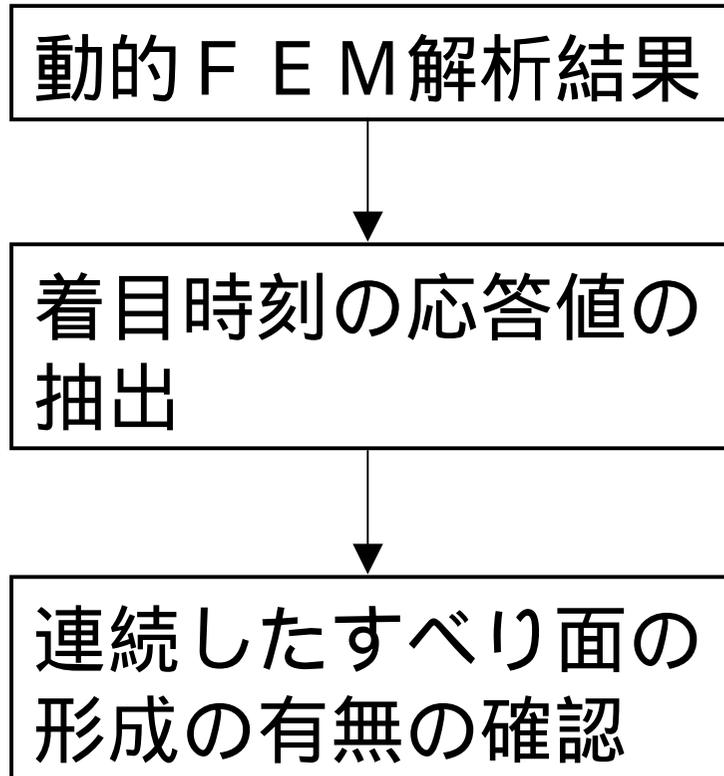
連続したすべり線が形成されないことを確認

目次

- 1 . 考え方
- 2 . 検討方法
- 3 . 原子炉建屋基礎地盤の支持力
- 4 . タービン建屋基礎地盤の支持力
- 5 . 非常用取水路設置地盤の支持力

2 . 検討方法

検討のフロー



建物・構築物の基礎底面の地盤に作用する鉛直方向の合力が最大となる時刻

建物・構築物の基礎底面端部に接する地盤要素の鉛直応力が最大となる時刻

要素ごとの安全係数分布

安全係数が 1 を下回る要素が連続するか？

モビライスト面

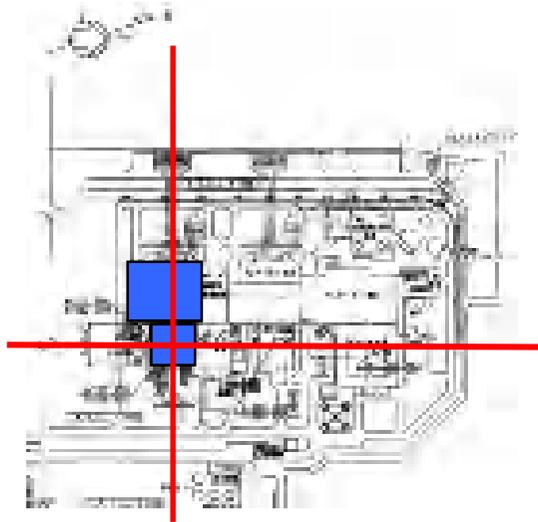
安全係数が 1 を下回る要素に連続性がある場合、それらに沿って、連続するすべり線を想定することができるか？

目次

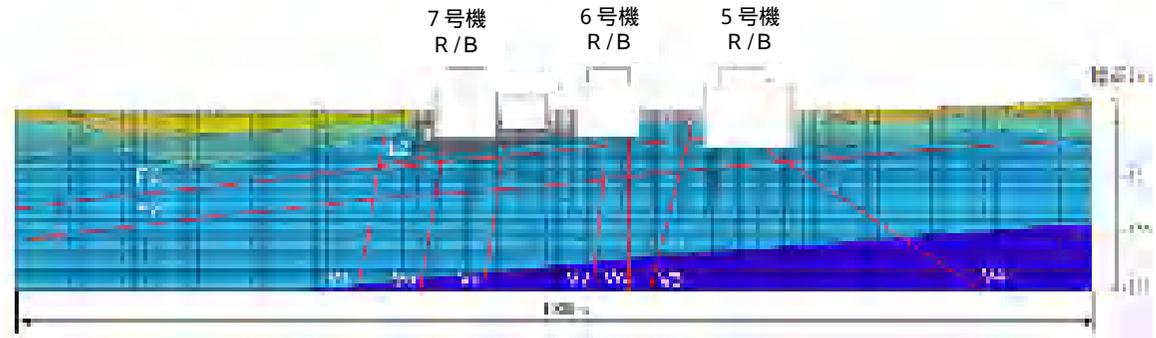
- 1 . 考え方
- 2 . 検討方法
- 3 . 原子炉建屋基礎地盤の支持力
- 4 . タービン建屋基礎地盤の支持力
- 5 . 非常用取水路設置地盤の支持力

3 . 原子炉建屋基礎地盤の支持力

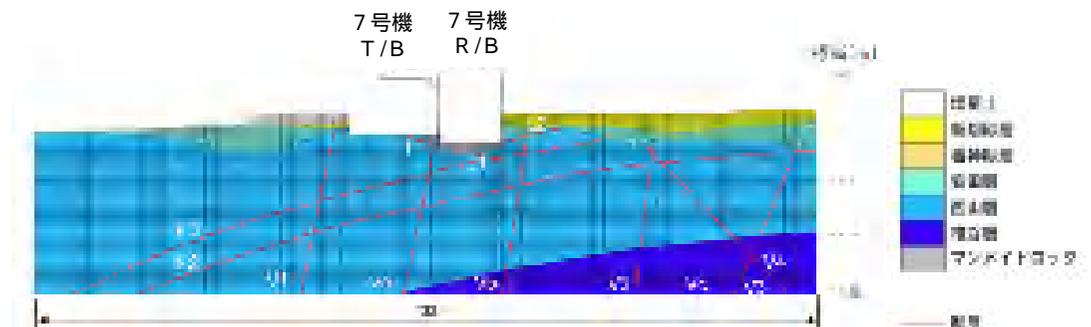
動的 F E M 解析断面



原子炉建屋汀線平行方向断面

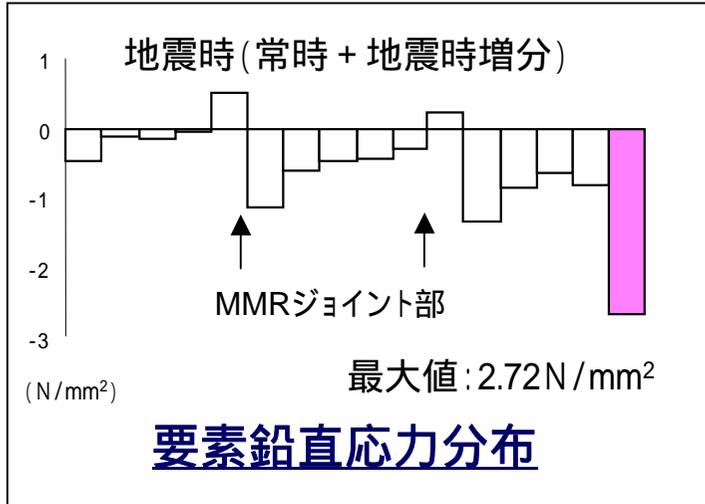


原子炉・タービン建屋汀線直交方向断面

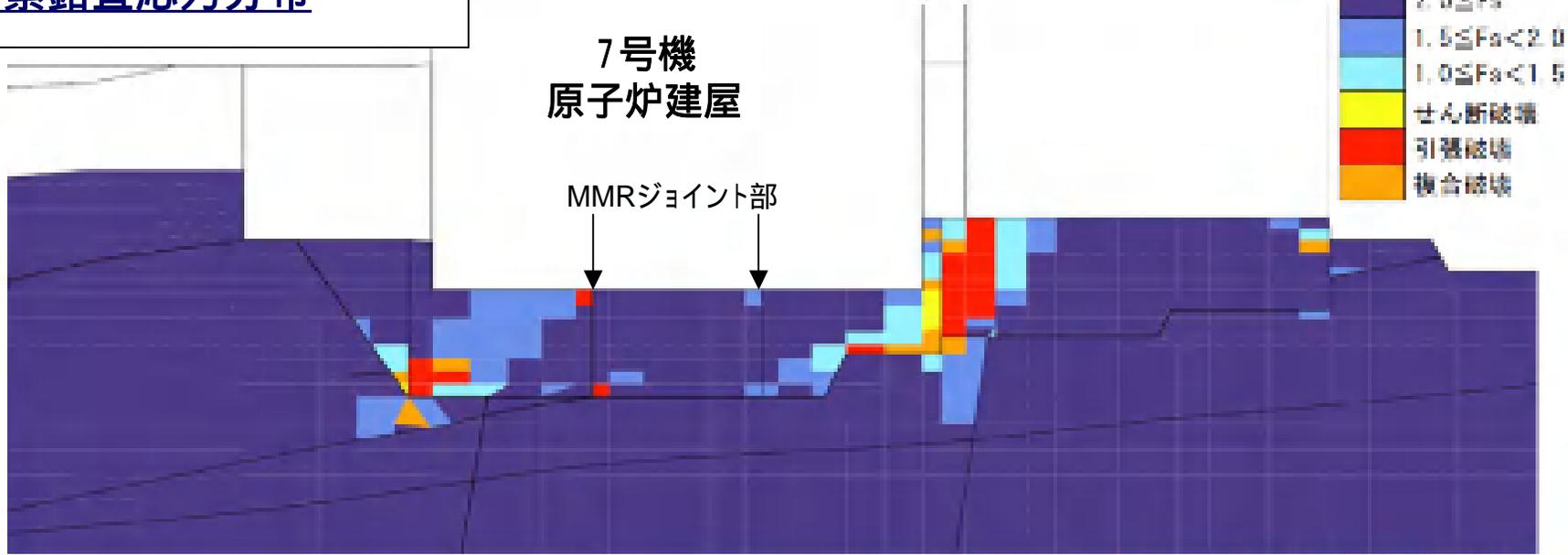
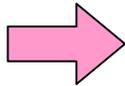


3 . 原子炉建屋基礎地盤の支持力

汀線平行断面 , Ss-1 , 要素鉛直応力最大時 (T=6.10秒)



安全係数が1を下回る要素は連続していない

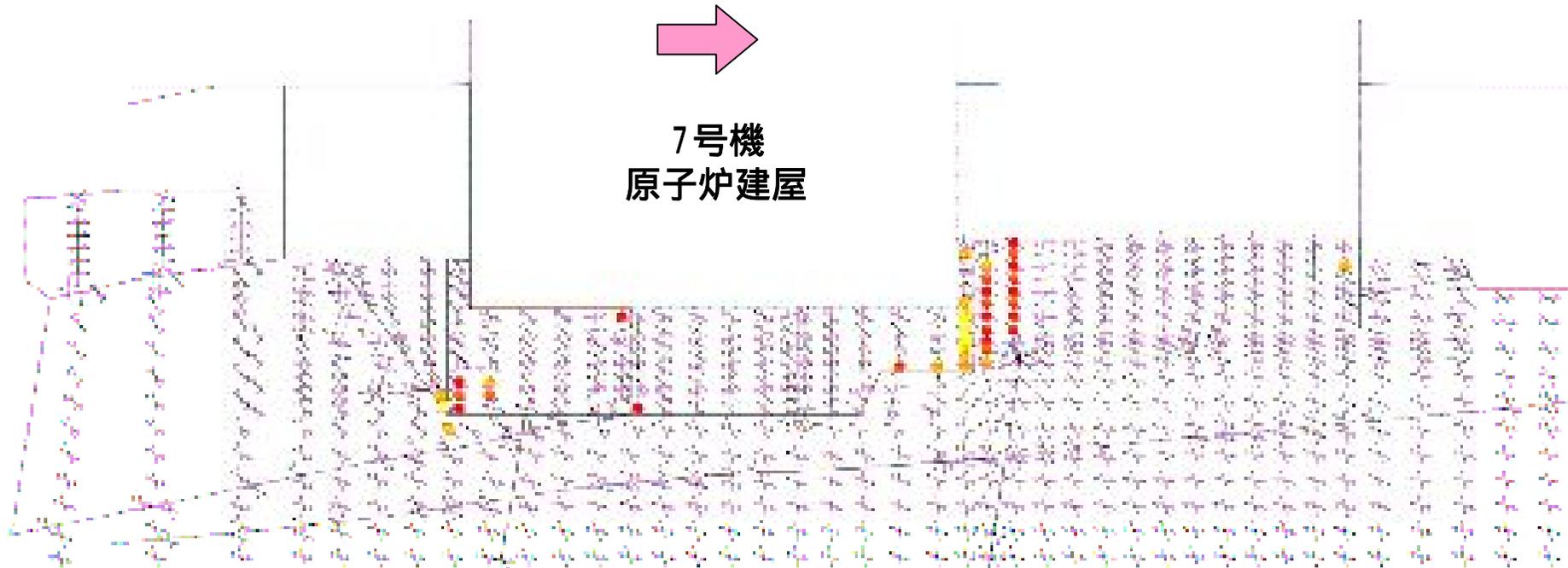


要素ごとの安全係数分布

(破壊表示は当該時刻で判定)

3 . 原子炉建屋基礎地盤の支持力

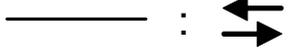
汀線平行断面 , Ss-1 , 要素鉛直応力最大時 (T=6.10秒)



0.0 20.0 m
距離スケール

モビライズド面

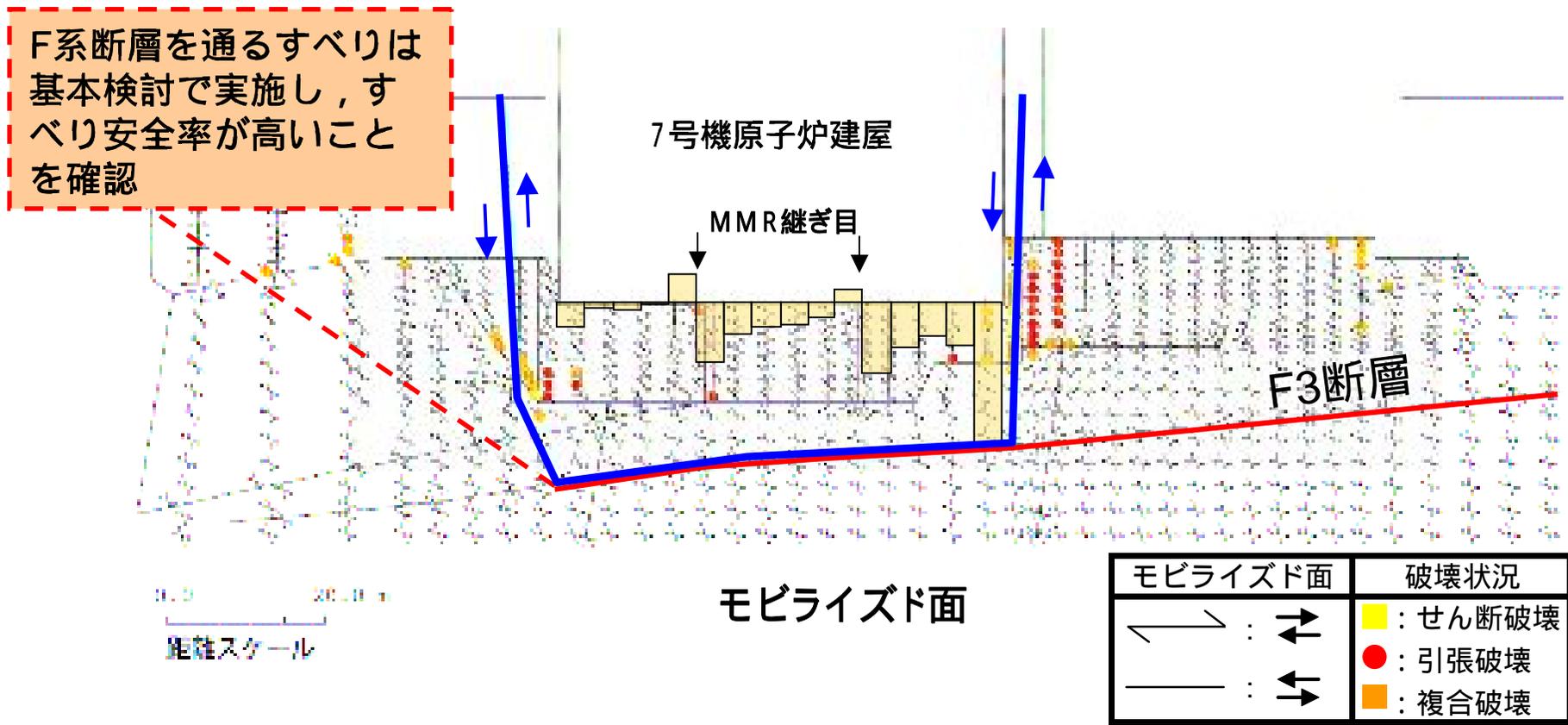
連続するすべり線を想定できない

モビライズド面	破壊状況
 : 	 : せん断破壊
 : 	 : 引張破壊
	 : 複合破壊

3 . 原子炉建屋基礎地盤の支持力

汀線平行断面 , Ss-1 , 要素鉛直応力最大時 (T=6.10秒)

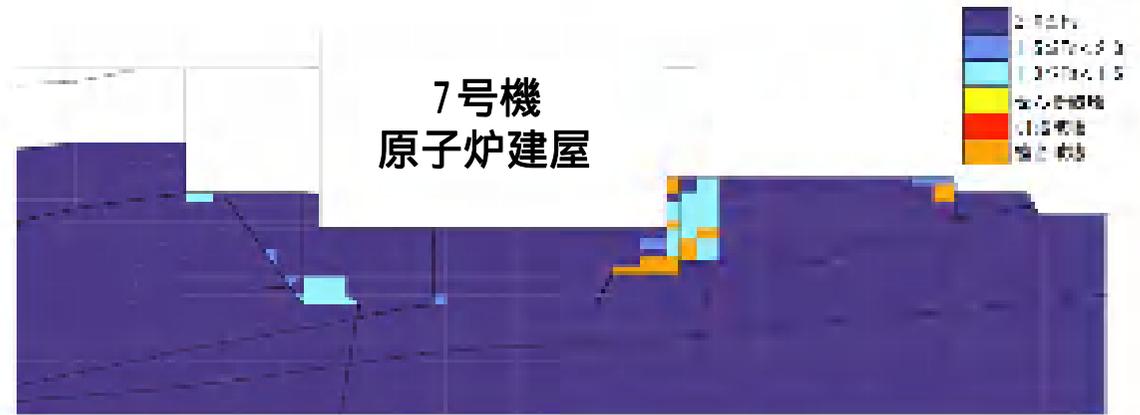
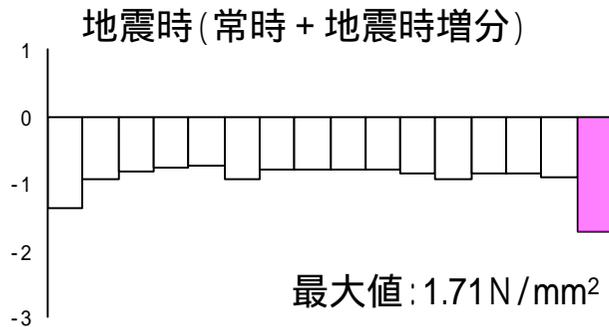
原子炉建屋直下を通るすべり線を , 断層 , モビライズド面を参考に設定



原子炉建屋直下を通るすべり線のすべり安全率: 7.8

3 . 原子炉建屋基礎地盤の支持力

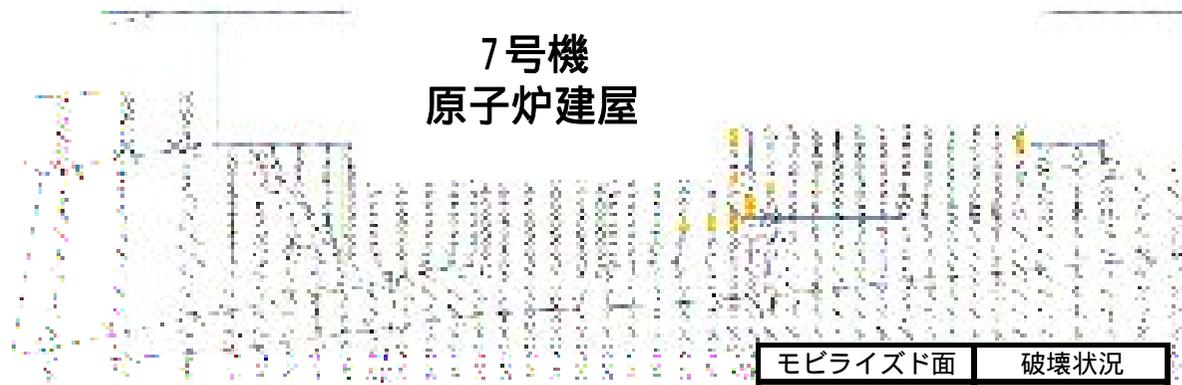
汀線平行断面 , Ss-1 , 鉛直方向の合力最大時 (T=15.97秒)



破壊表示は当該時刻で判定

要素ごとの安全係数分布

安全係数が1を下回る要素が連続せず、連続するすべり線を想定できない



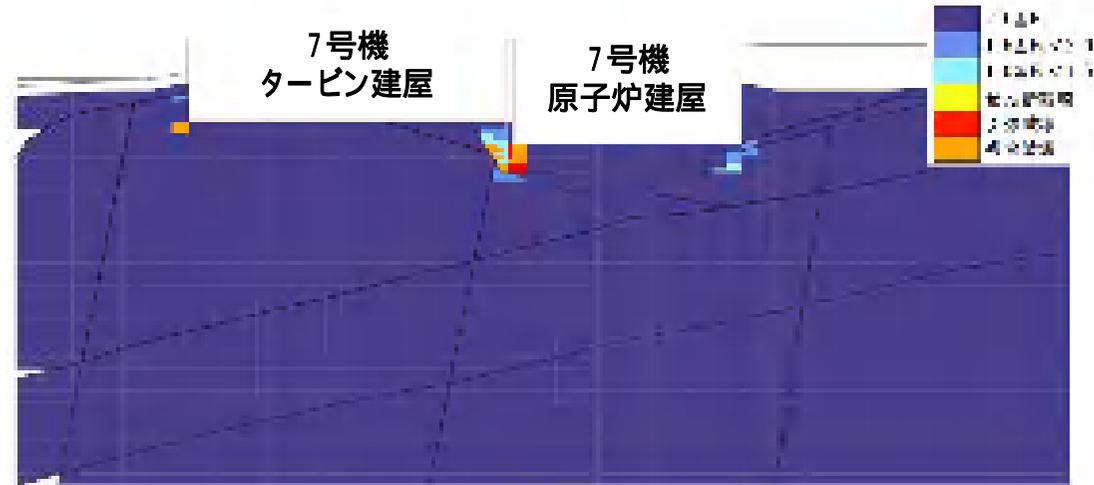
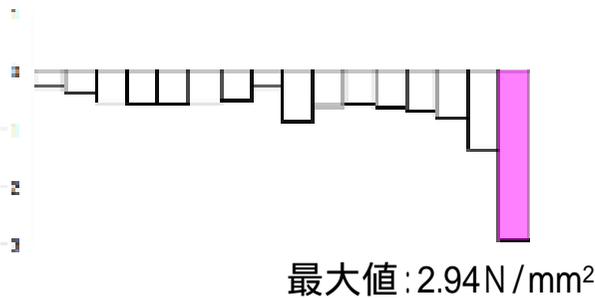
モビライズド面

モビライズド面	破壊状況
↗ : ↖	■ : せん断破壊
↘ : ↙	● : 引張破壊
— : ←	■ : 複合破壊
— : →	

3 . 原子炉建屋基礎地盤の支持力

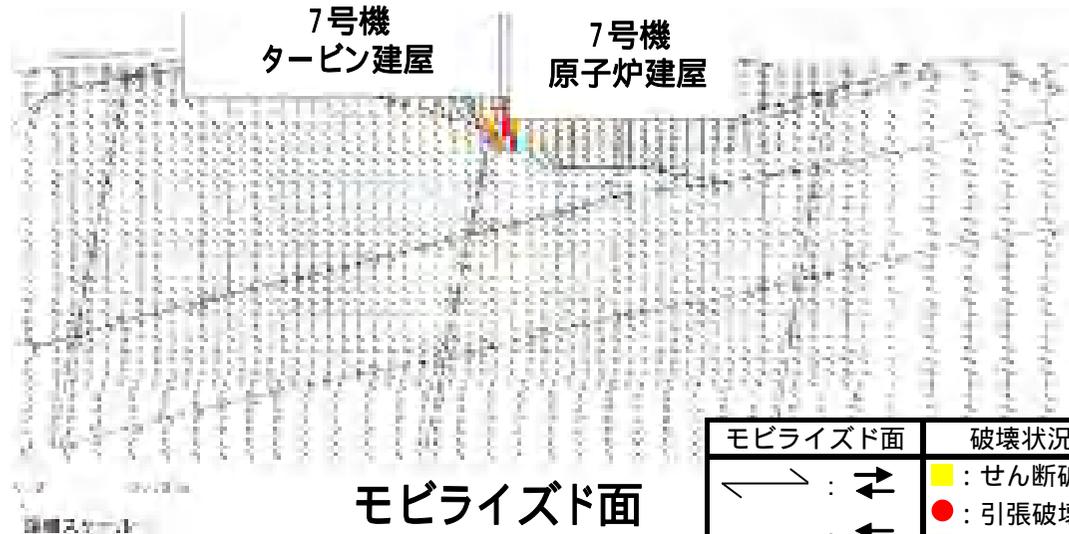
汀線直交断面 , Ss-1 , 要素鉛直応力最大時 (T=6.55秒)

地震時(常時 + 地震時増分)



破壊表示は当該時刻で判定

要素ごとの安全係数分布



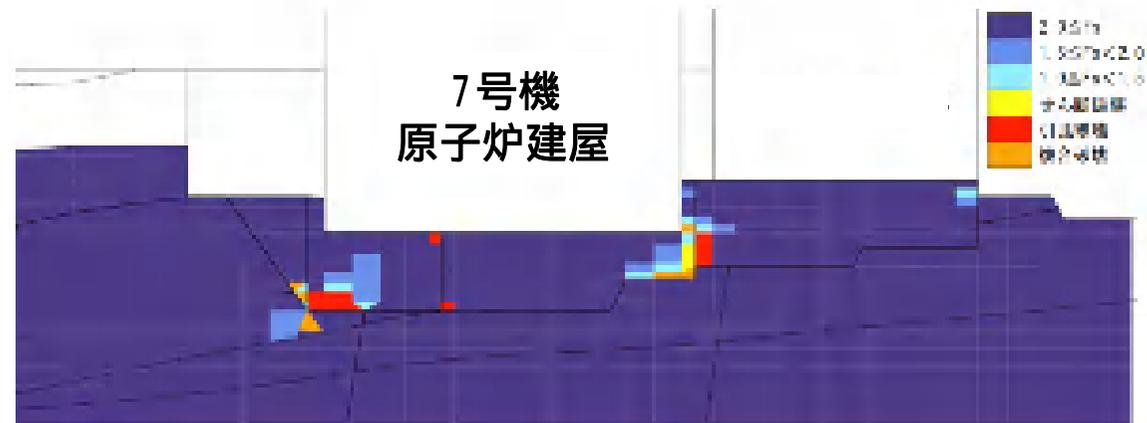
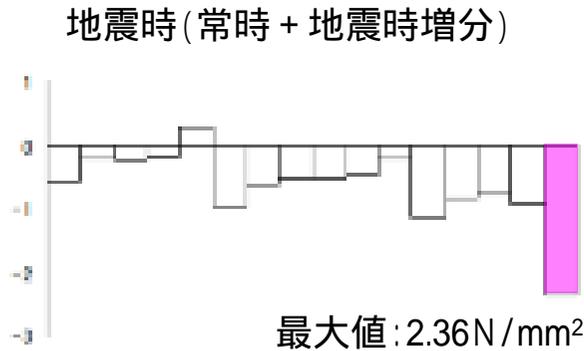
モビライズド面

モビライズド面	破壊状況
↗ : ↖	■ : せん断破壊
— : ←	● : 引張破壊
— : →	■ : 複合破壊

安全係数が1を下回る要素が連続せず、連続するすべり線を想定できない

3 . 原子炉建屋基礎地盤の支持力

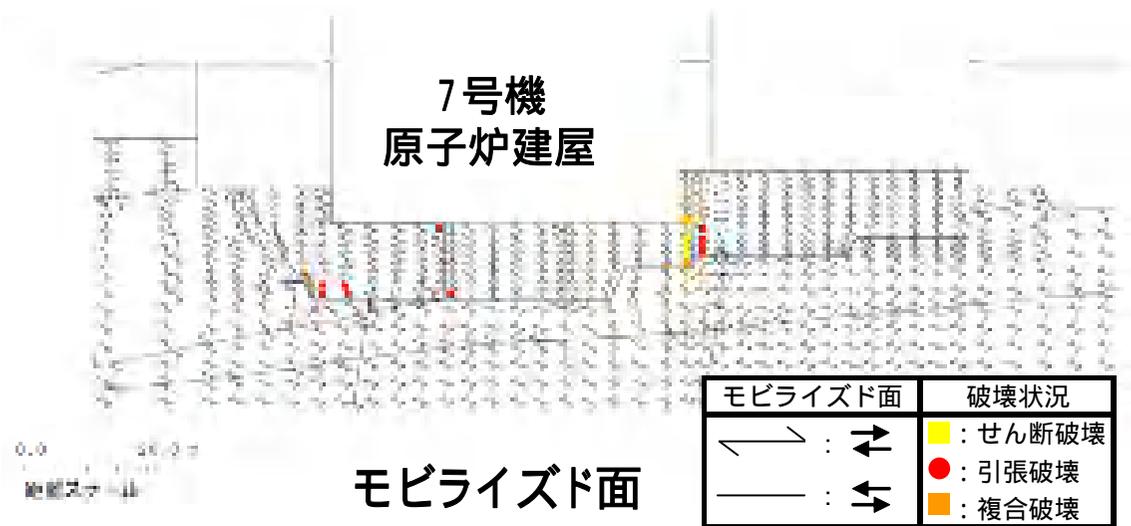
汀線平行断面 , Ss-3 , 要素鉛直応力最大時 (T=17.52秒)



破壊表示は当該時刻で判定

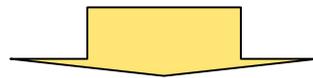
要素ごとの安全係数分布

安全係数が1を下回る要素が連続せず、連続するすべり線を想定できない

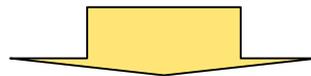


3 . 原子炉建屋基礎地盤の支持力

原子炉建屋の
基礎底面の地盤に作用する鉛直方向の合力
基礎底面に接する地盤要素の鉛直応力
が最大となるそれぞれの時刻における
要素ごとの安全係数分布
モビライズド面



安全係数が1を下回る要素が連続せず，連続したすべり線が形成されないことを確認



原子炉建屋基礎地盤は支持力に対して
十分な安全性を有している

(参考) 前回WGでお示しした原子炉建屋地震応答解析結果に基づく接地圧

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

: 地盤の支持力試験の最大荷重 6178 kN/m²

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

: 地盤の支持力試験の最大荷重 6178 kN/m²

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

: 地盤の支持力試験の最大荷重 6178 kN/m²

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

: 地盤の支持力試験の最大荷重 6178 kN/m²

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

: 地盤の支持力試験の最大荷重 6178 kN/m²

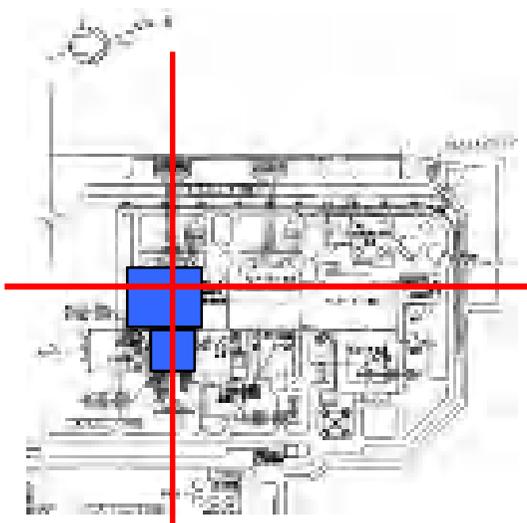
『「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」
の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書
東京電力株式会社(平成20年12月3日)』より

目 次

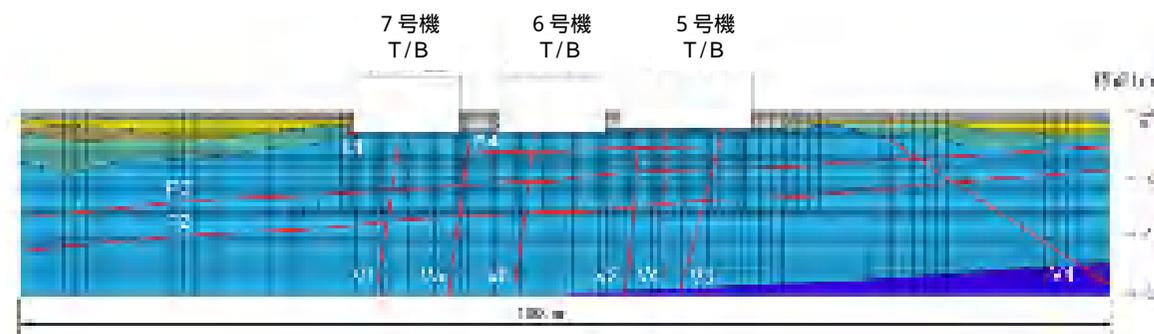
- 1 . 目的
- 2 . 検討方法
- 3 . 原子炉建屋基礎地盤の支持力
- 4 . **タービン建屋基礎地盤の支持力**
- 5 . 非常用取水路設置地盤の支持力

4 . タービン建屋基礎地盤の支持力

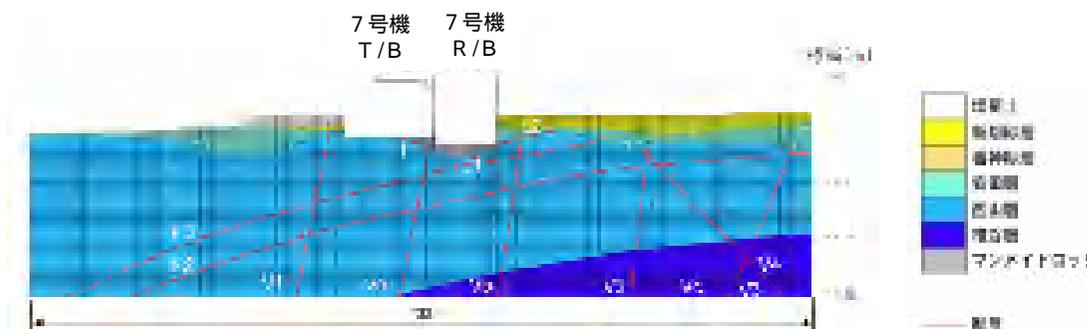
解析断面



タービン建屋汀線平行方向



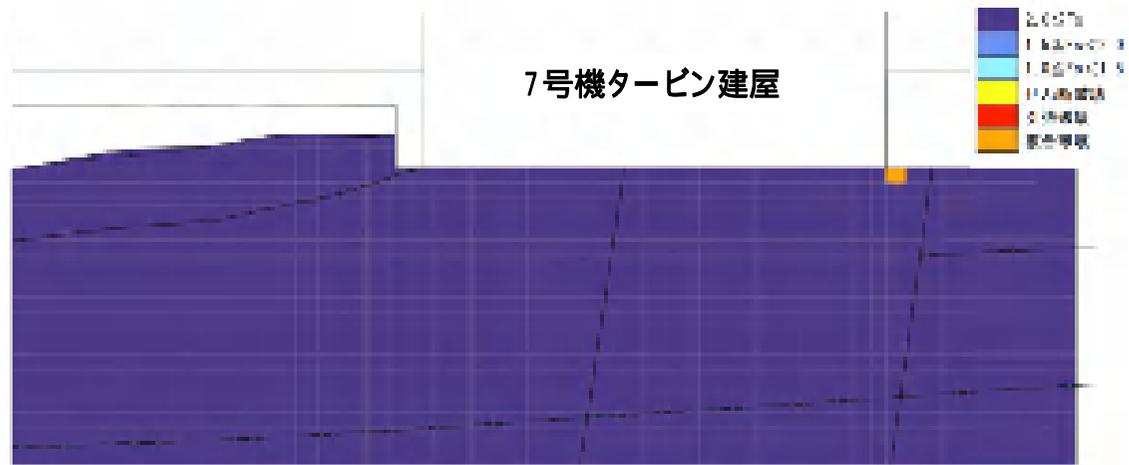
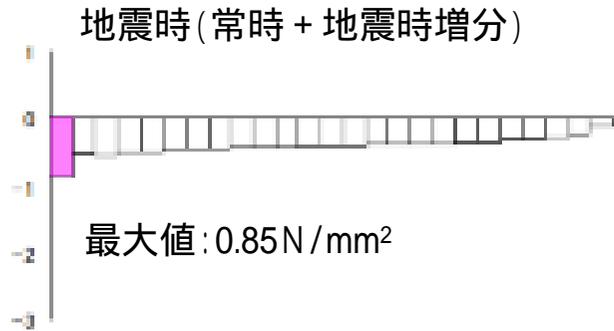
原子炉建屋・タービン建屋汀線直交方向



タービン建屋については地盤への影響が大きいS s - 1 , 3を検討対象とした。

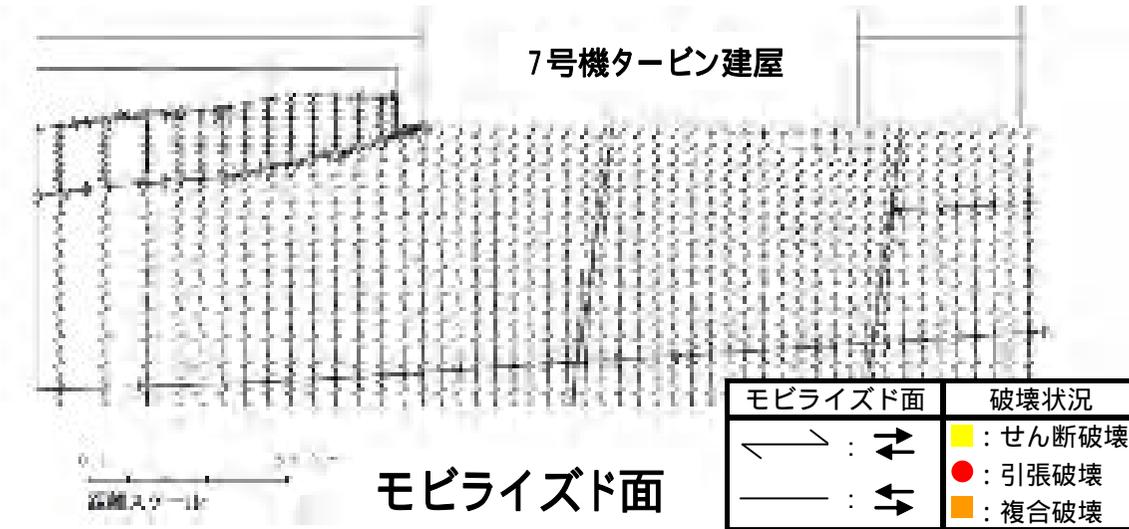
4 . タービン建屋基礎地盤の支持力

汀線平行断面 , Ss-1 , 要素鉛直応力最大時 (T=6.74秒)



破壊表示は当該時刻で判定

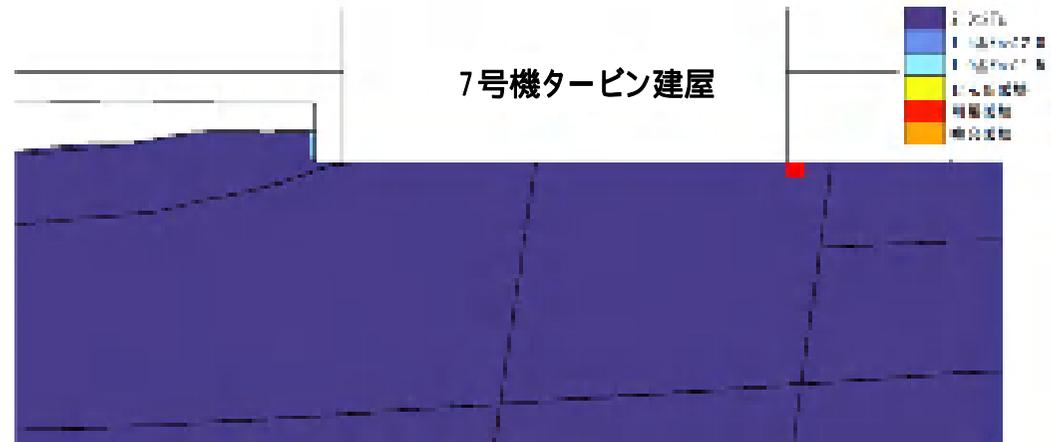
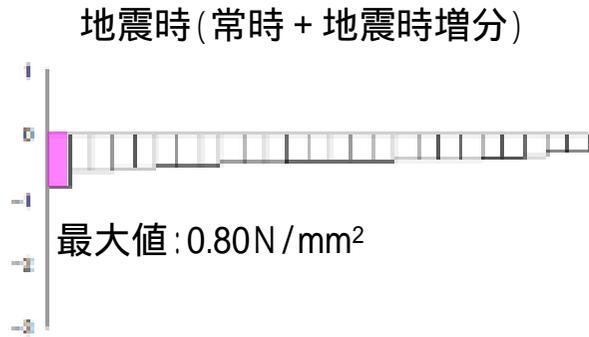
要素ごとの安全係数分布



安全係数が 1 を下回る要素が連続せず, 連続するすべり線を想定できない

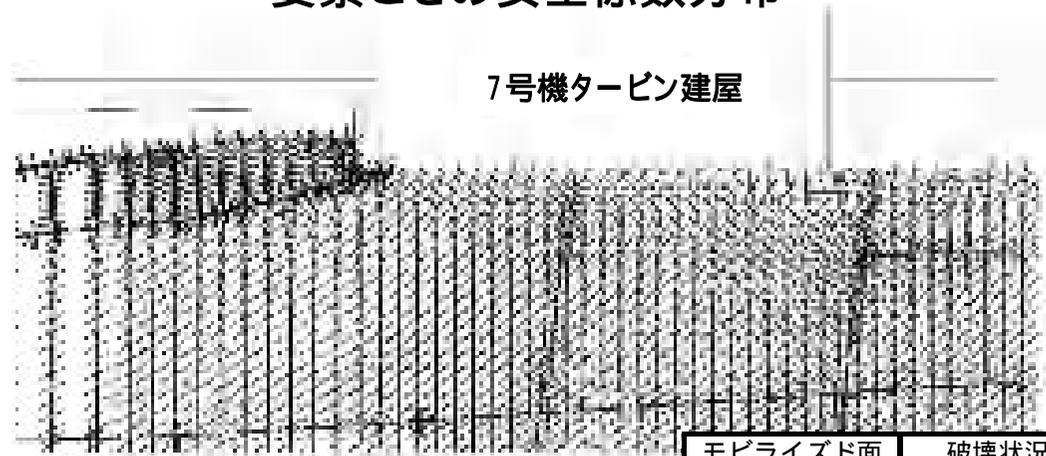
4 . タービン建屋基礎地盤の支持力

汀線平行断面 , Ss-3 , 要素鉛直応力最大時 (T=35.61秒)



破壊表示は当該時刻で判定

要素ごとの安全係数分布



安全係数が1を下回る要素が連続せず, 連続するすべり線を想定できない

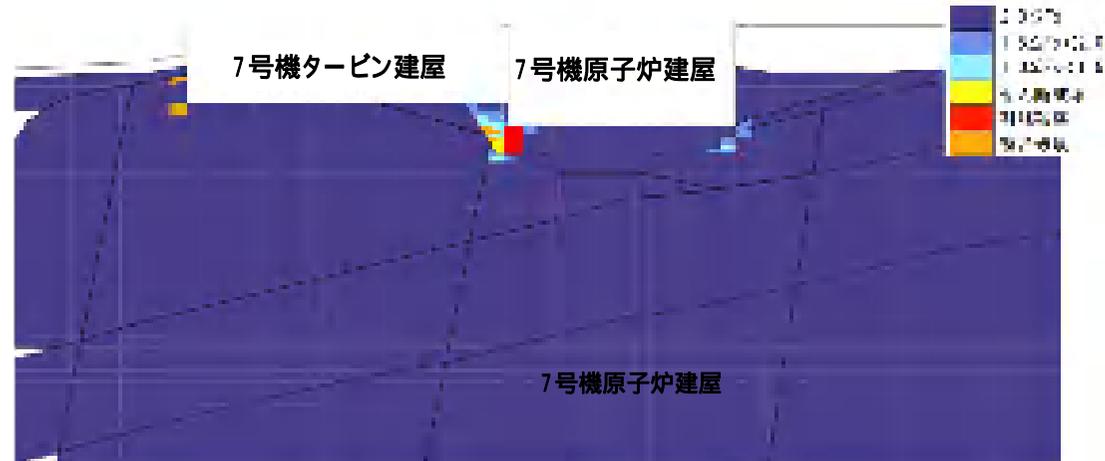
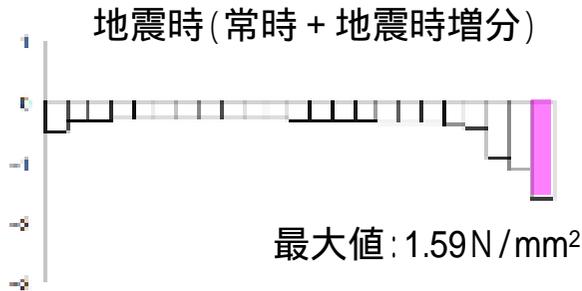
モビライズド面

モビライズド面	破壊状況
↔	せん断破壊
↔	引張破壊
↔	複合破壊

4 . タービン建屋基礎地盤の支持力

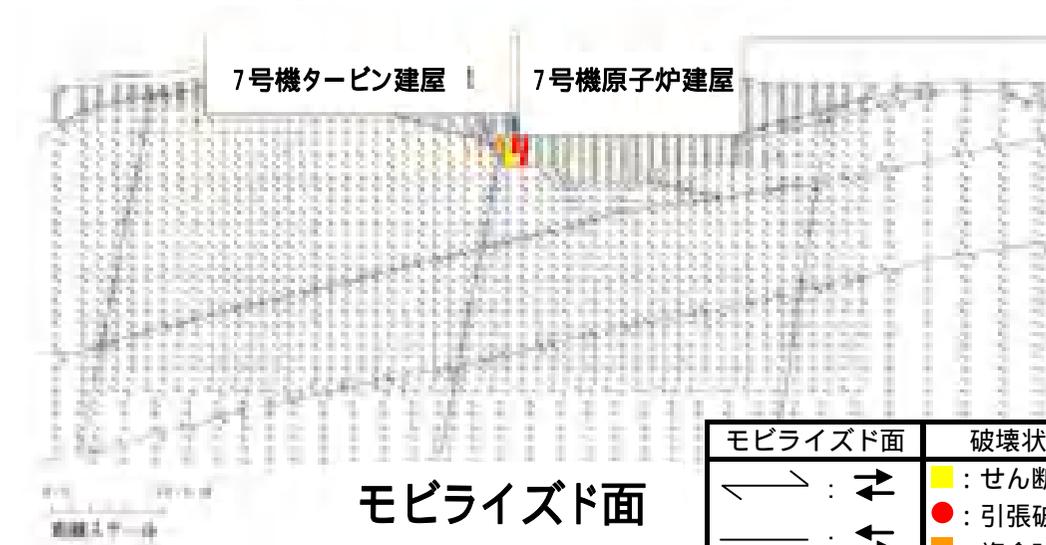
7号機原子炉建屋

汀線直交断面 , Ss-1 , 要素鉛直応力最大時 (T=18.72秒)



破壊表示は当該時刻で判定

要素ごとの安全係数分布

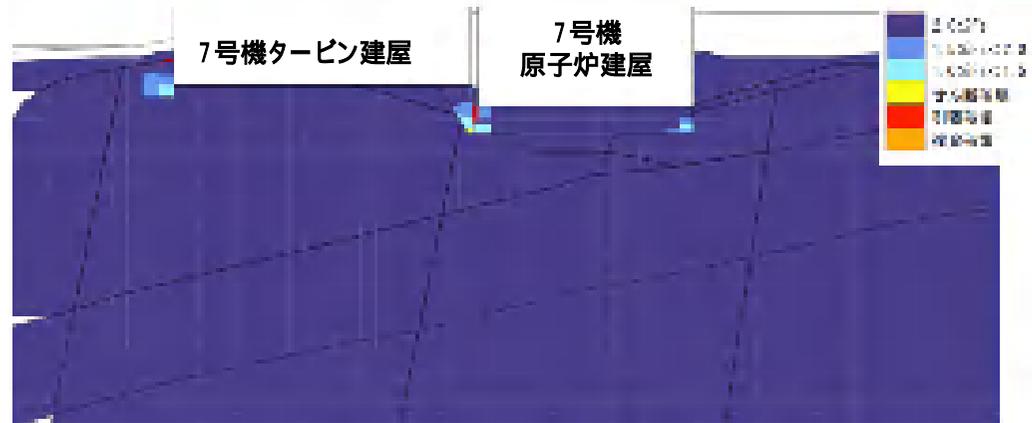
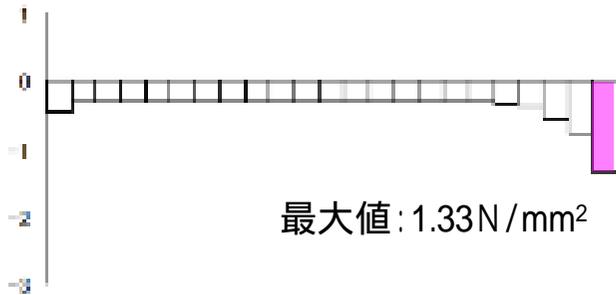


安全係数が1を下回る要素が連続せず、連続するすべり線を想定できない

4 . タービン建屋基礎地盤の支持力

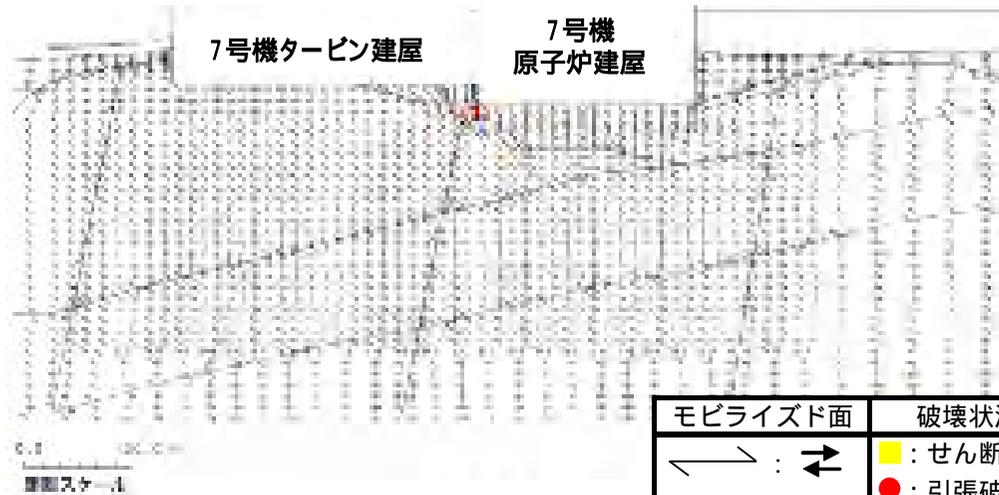
汀線直交断面 , Ss-3 , 要素鉛直応力最大時 (T=17.72秒)

地震時(常時 + 地震時増分)



破壊表示は当該時刻で判定

要素ごとの安全係数分布



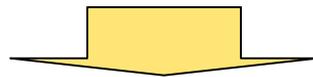
モビライズド面

モビライズド面	破壊状況
↔ : ↔	■ : せん断破壊
— : ↔	● : 引張破壊
	■ : 複合破壊

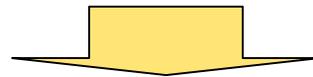
安全係数が1を下回る要素が連続せず、連続するすべり線を想定できない

4 . タービン建屋基礎地盤の支持力

タービン建屋の
基礎底面の地盤に作用する鉛直方向の合力
基礎底面に接する地盤要素の鉛直応力
が最大となるそれぞれの時刻における
要素ごとの安全係数分布
モビライズド面

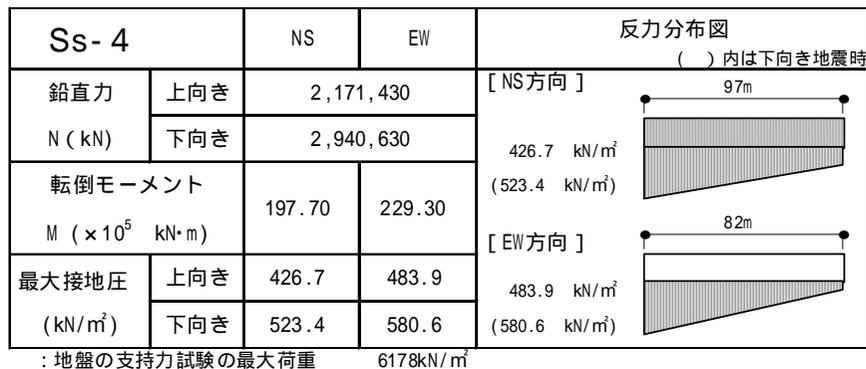
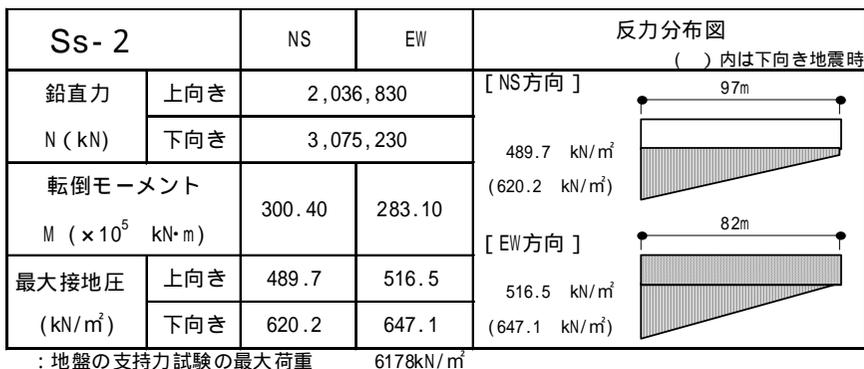
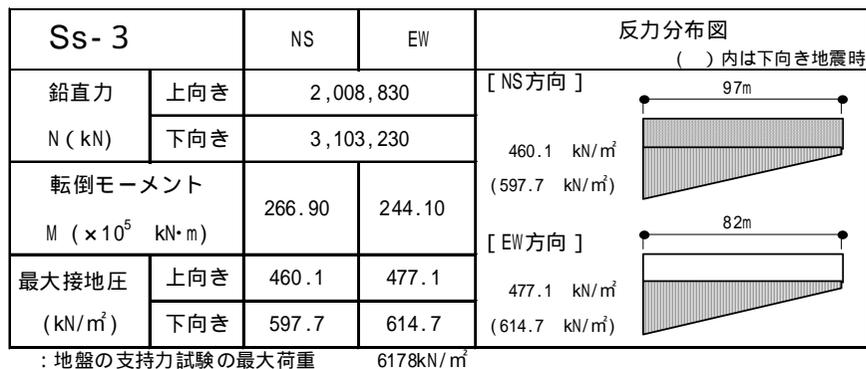
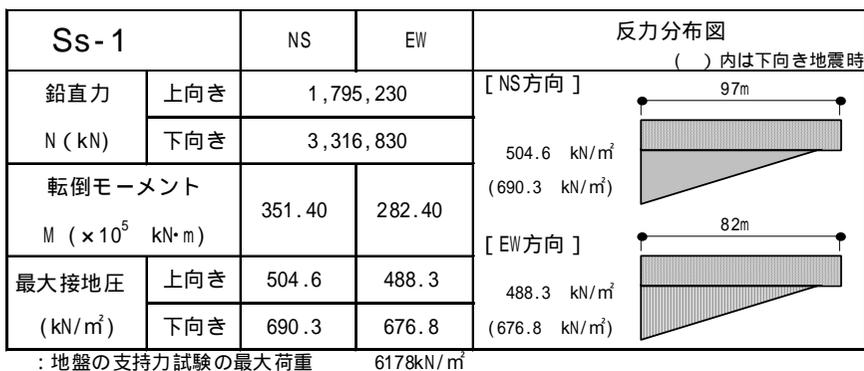


安全係数が1を下回る要素が連続せず、連続するすべり線が形成されないことを確認

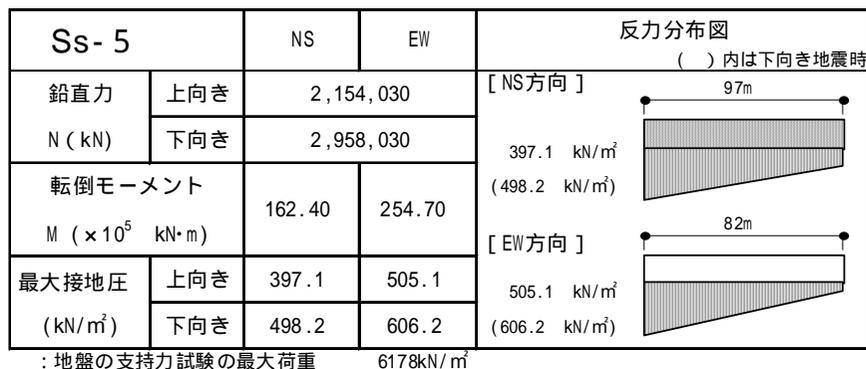


タービン建屋基礎地盤は支持力に対して
十分な安全性を有している

(参考) タービン建屋地震応答解析結果に基づく接地圧



『「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」
の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書
東京電力株式会社 (平成20年12月3日)』より

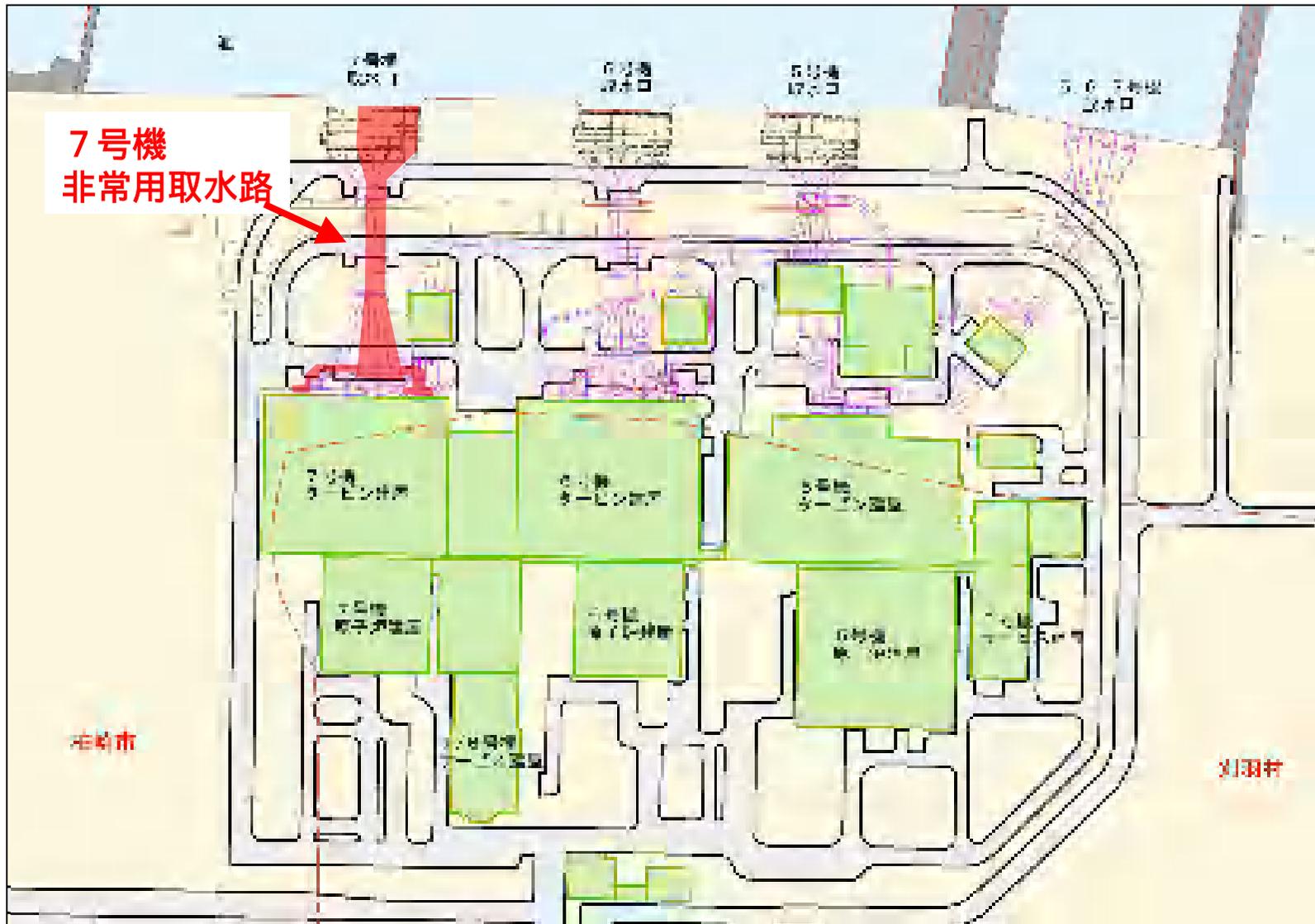


目 次

- 1 . 目的
- 2 . 検討方法
- 3 . 原子炉建屋基礎地盤の支持力
- 4 . タービン建屋基礎地盤の支持力
- 5 . 非常用取水路設置地盤の支持力

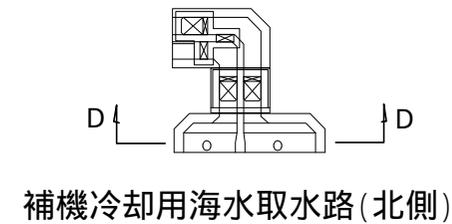
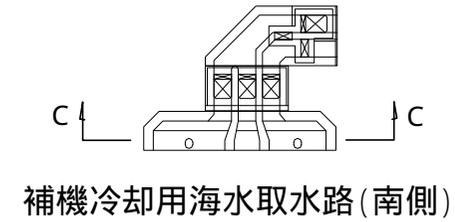
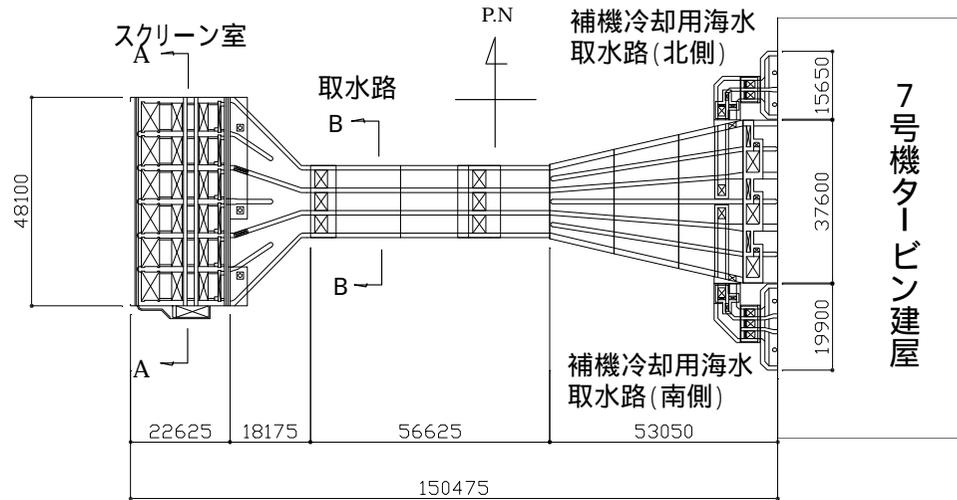
5 . 非常用取水路設置地盤の支持力

構内配置図 (5 ~ 7号機側)

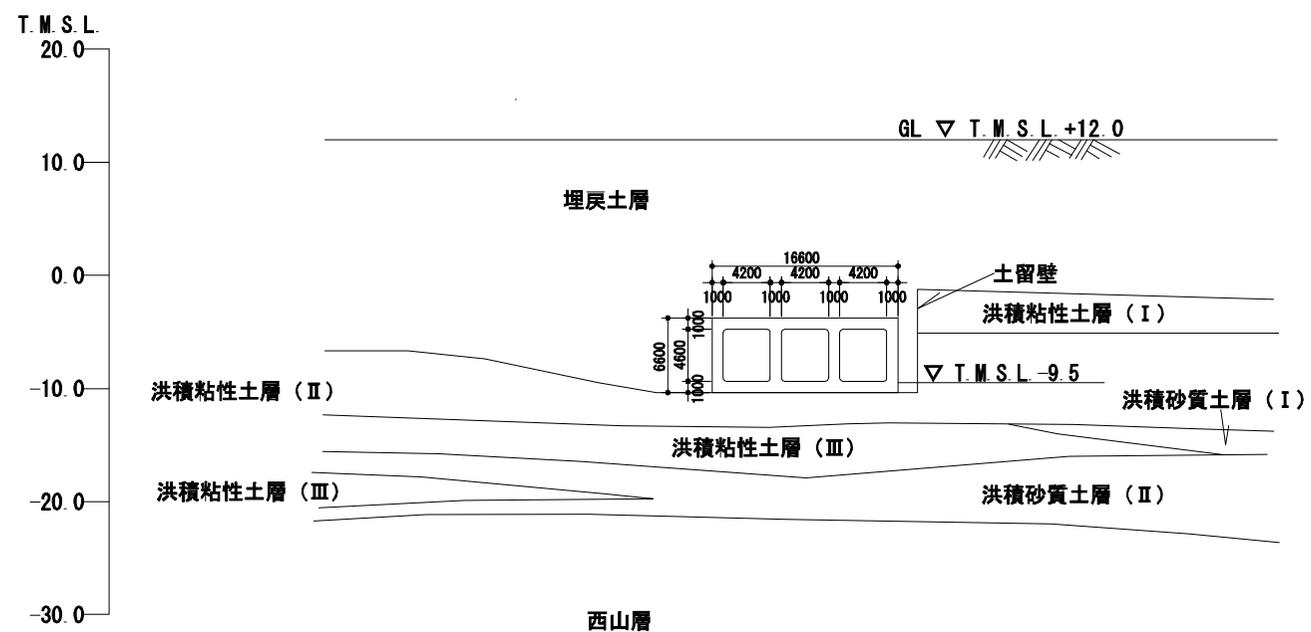


5 . 非常用取水路設置地盤の支持力

非常用取水路の概要



取水路断面図 (B-B)



5 . 非常用取水路設置地盤の支持力

検討の目的

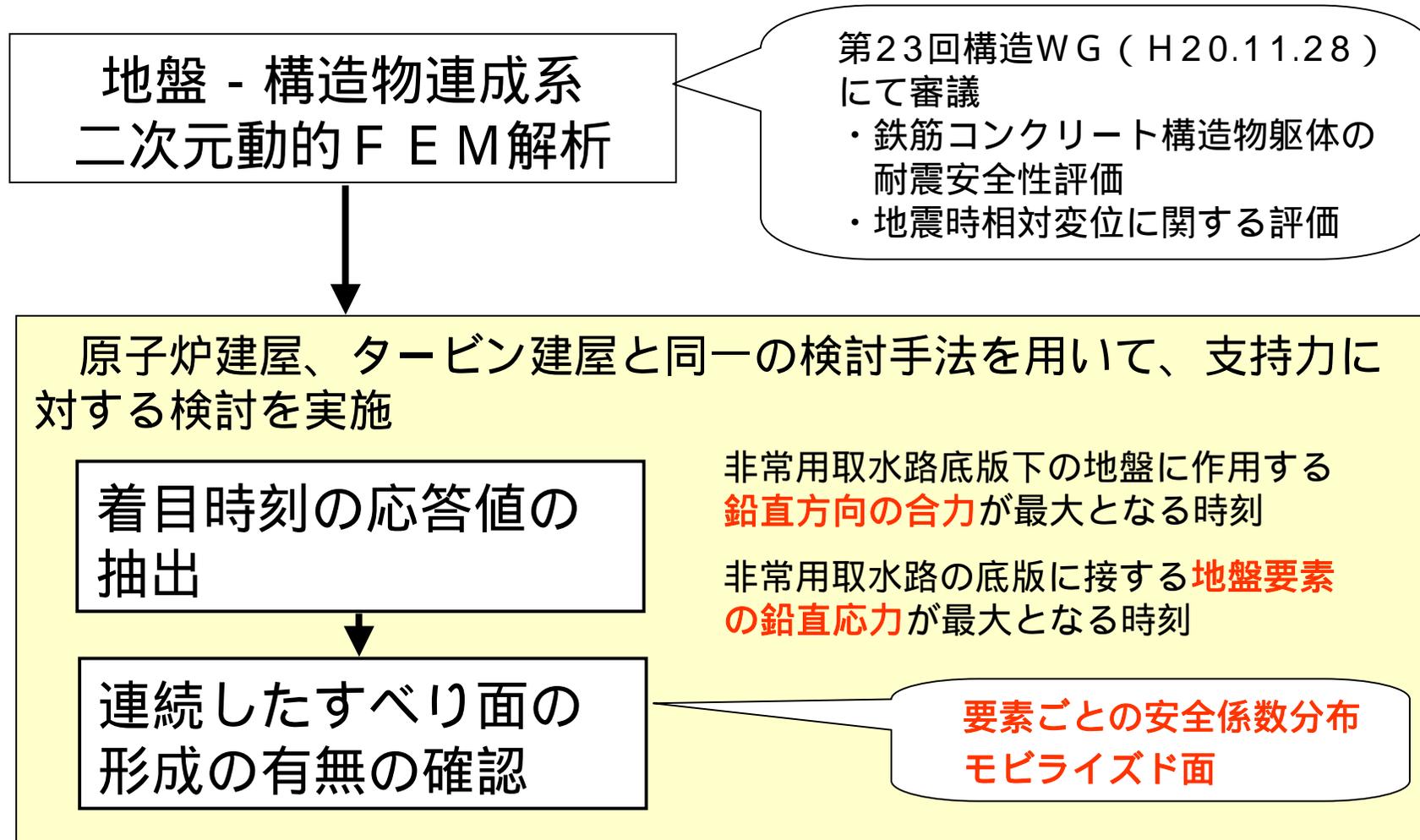
非常用取水路は、周囲の地盤と同程度の単位体積重量であることから、設置地盤の支持性能が問題となる可能性は小さいが、念のため、地盤 - 構造物連成系の二次元動的 F E M 解析結果に基づき設置地盤の支持性能について検討する。

7号機非常用取水路の場合

- ・各断面の等価な単位体積重量 : $14.5 \sim 17.7 \text{ kN/m}^3$
- ・埋戻土層の単位体積重量 : 18.6 kN/m^3

5 . 非常用取水路設置地盤の支持力

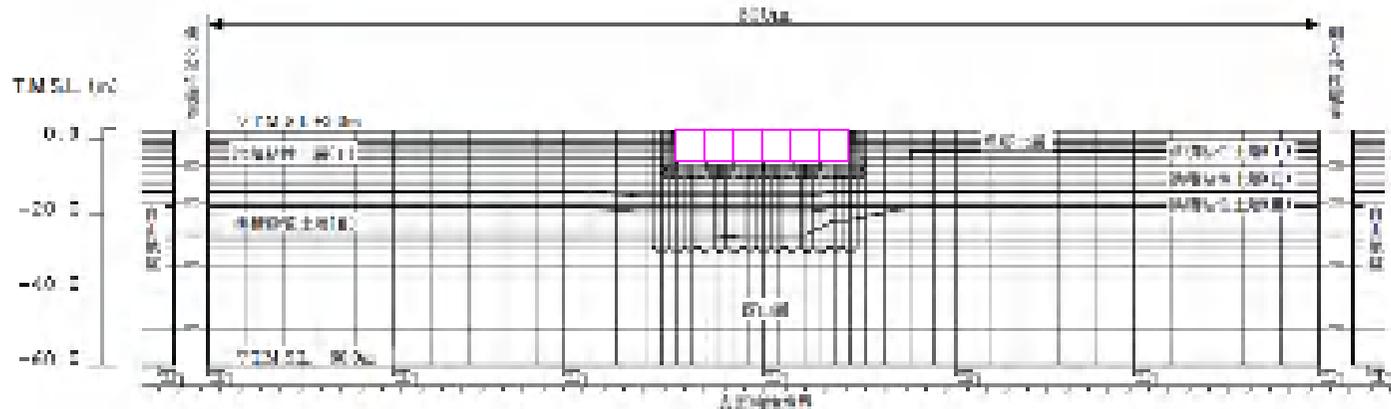
検討方法



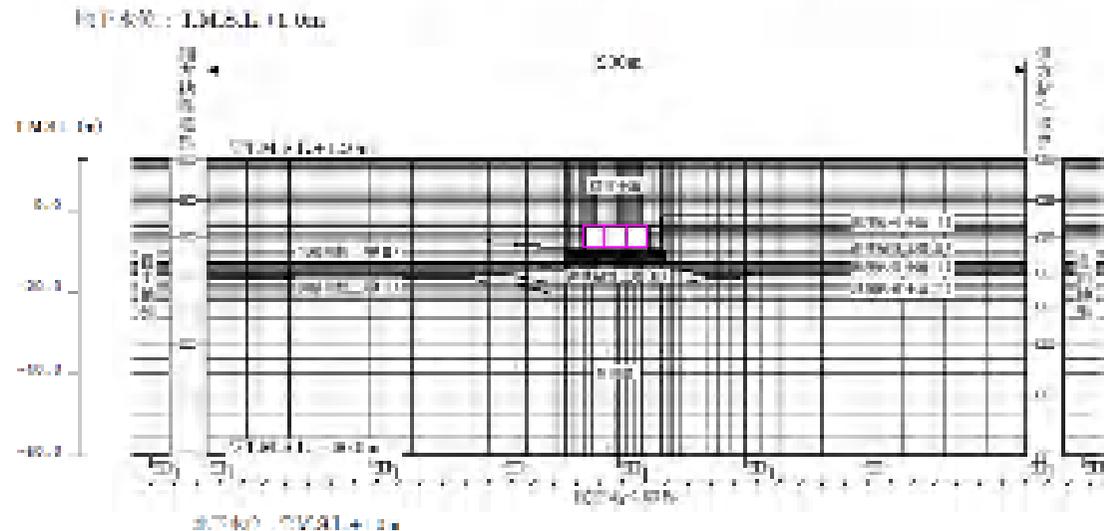
5 . 非常用取水路設置地盤の支持力

解析断面

スクリーン室



取水路



非常用取水路については地盤への影響が大きい S s - 1 , 3 を検討対象とした。

5 . 非常用取水路設置地盤の支持力

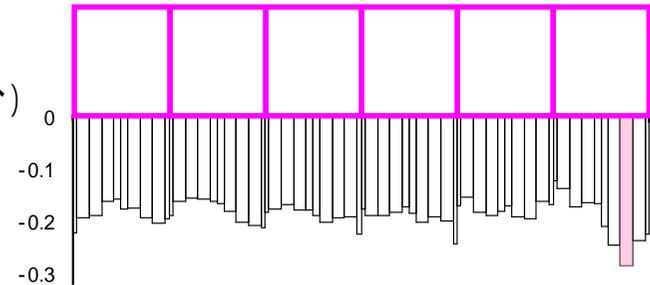
スクリーン室 , Ss-1 ,
合力最大時

(T=16.21秒)

安全係数が 1 を下回る要素がないことを確認

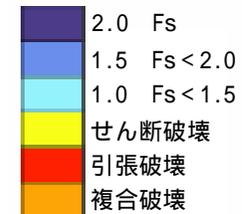
接地圧分布

地震時(常時 + 地震時増分)



最大値 : 0.28 N/mm²

要素ごとの安全係数分布



モビライズド面



モビライズド面	破壊状況
↔	● : せん断破壊
↔	● : 引張破壊
↔	● : 複合破壊

5 . 原子炉建屋基礎地盤の支持力

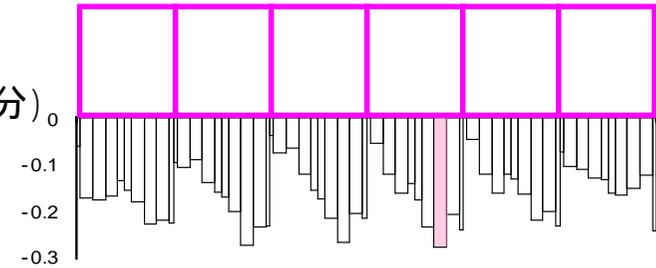
スクリーン室, Ss-1,
要素応力最大時

(T=5.80秒)

安全係数が1を下回る要素が連続せず, 連続するすべり線を想定できない

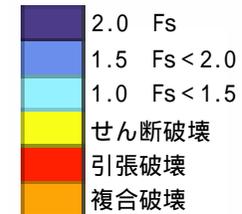
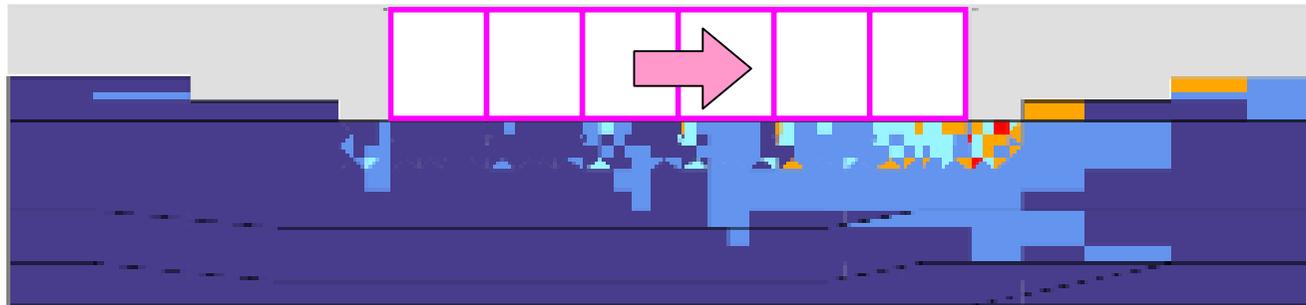
接地圧分布

地震時(常時+地震時増分)



最大値: 0.28 N/mm²

要素ごとの安全係数分布



モビライズド面



モビライズド面	破壊状況
↔	せん断破壊
←→	引張破壊
—	複合破壊

5 . 原子炉建屋基礎地盤の支持力

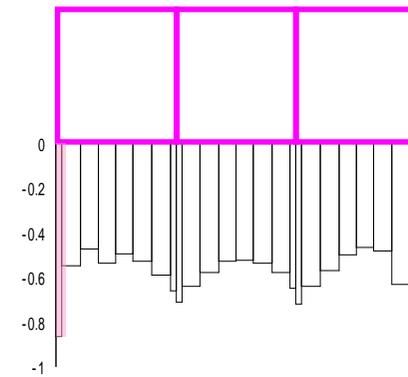
取水路, Ss-1, 合力最大かつ要素応力最大時

(T=15.96秒)

安全係数が 1 を下回る要素がないことを確認

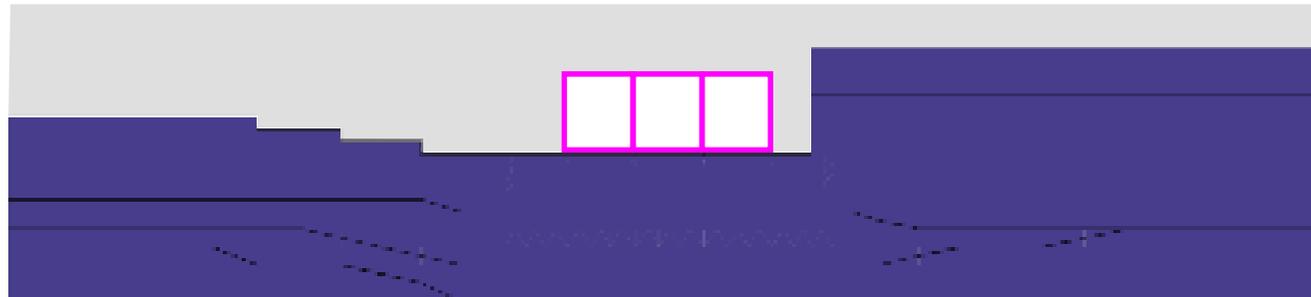
接地圧分布

地震時(常時 + 地震時増分)



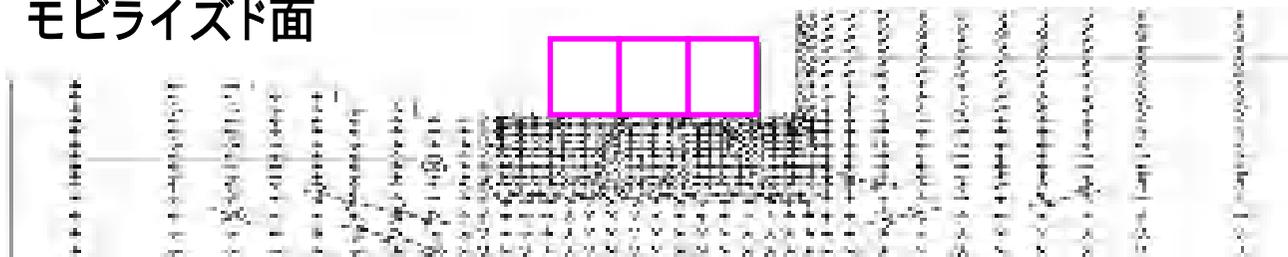
最大値: 0.91 N/mm²

要素ごとの安全係数分布



- 2.0 F_s
- 1.5 $F_s < 2.0$
- 1.0 $F_s < 1.5$
- せん断破壊
- 引張破壊
- 複合破壊

モビライズ面

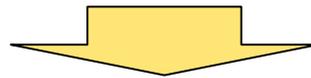


モビライズ面	破壊状況
↖ : ↗	■ : せん断破壊
— : ←	● : 引張破壊
— : →	■ : 複合破壊

5 . 非常用取水路設置地盤の支持力

まとめ

非常用取水路の
底版下の地盤に作用する鉛直方向の合力
底版に接する地盤要素の鉛直応力
が最大となるそれぞれの時刻における
要素ごとの安全係数分布
モビライズド面



安全係数が1を下回る要素が連続せず、連続したすべり線が形成されないことを確認



非常用取水路設置地盤は支持力に対して
十分な安全性を有している

(参考) 構造物から地盤に作用する鉛直力Vと極限支持力 Q_u との比較

	極限支持力 Q_u /鉛直力V	
	S s - 1	S s - 3
スクリーン室	5.8	7.3
取水路	4.1	4.0
補機冷却用海水取水路(南側)	2.8	3.2
補機冷却用海水取水路(北側)	2.6	2.8

極限支持力 Q_u ：
「道路橋示方書」に基づき算出

構造物から地盤に作用する鉛直力V：

$$V = \sum (\sigma_i \cdot b_i)$$

σ_i ：要素応力(鉛直成分)
 b_i ：要素幅

構造物から地盤に作用する鉛直力Vは、設置地盤の極限支持力 Q_u を下回る。

< 参考 >

タービン建屋基礎地盤の安定性について

タービン建屋基礎地盤安定解析結果

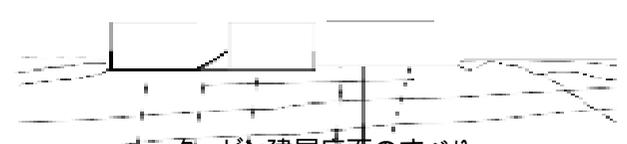
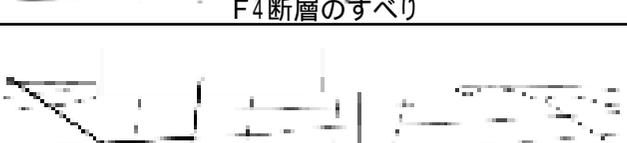
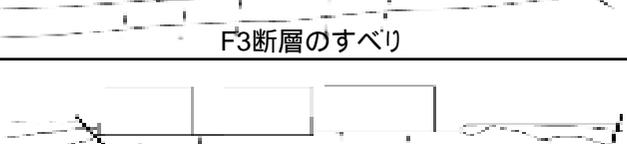
タービン建屋基礎地盤について，動的FEM解析により以下について検討

建屋基礎地盤に分布する弱層沿いのすべりに
対する安全性

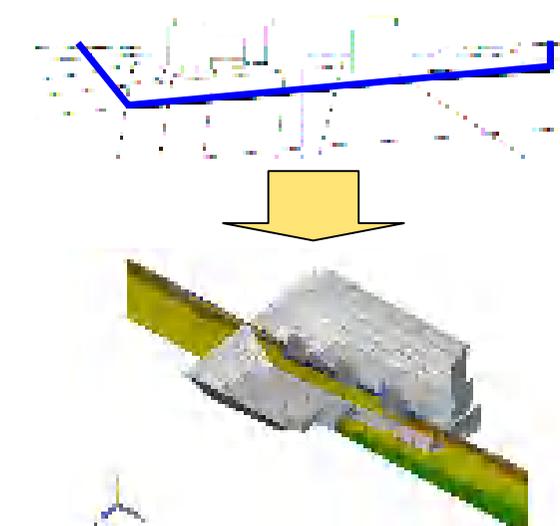
建屋基礎底面の鉛直方向の相対変位・傾斜

タービン建屋基礎地盤安定解析結果

すべり安全率（汀線平行方向）

すべり線形状のパターン	S s - 1	S s - 3
 <p>タービン建屋底面のすべり</p>	2.2	4.4
 <p>F4断層のすべり</p>	2.0	2.6
 <p>F3断層 + V系断層のすべり</p>	4.7	3.8
 <p>F3断層のすべり</p>	1.7	1.5
 <p>F2断層のすべり</p>	2.1	1.7

参考

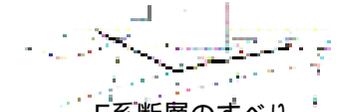
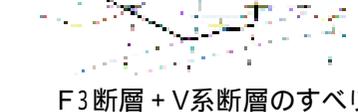
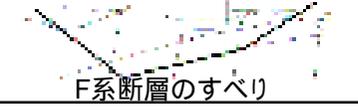


原子炉建屋基礎地盤の検討において、二次元解析では最小すべり安全率1.6に対し、奥行き方向の側面抵抗効果を考慮した結果、3程度有していることを確認した。

原子炉建屋基礎地盤の安定性評価のすべり安全率基準値を満足する

タービン建屋基礎地盤安定解析結果

すべり安全率（汀線直交方向）

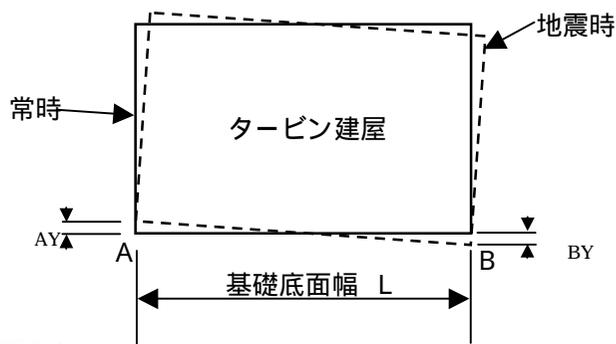
すべり線形状のパターン	S s - 1	S s - 3
 建屋底面のすべり	2.3	4.0
 F系断層のすべり	2.0	2.2
 F3断層 + V系断層のすべり	2.4	2.5
 F系断層のすべり	3.8	3.3
 F2断層 + V系断層のすべり	3.8	3.2

原子炉建屋基礎地盤の安定性評価のすべり安全率基準値を満足する

タービン建屋基礎地盤安定解析結果

タービン建屋基礎底面の傾斜

	汀線平行		汀線直交	
	S s - 1	S s - 3	S s - 1	S s - 3
タービン建屋基礎底面両端の鉛直方向の相対変位の最大値 $\max(A_Y - B_Y)$	1.5cm	1.2cm	0.9cm	1.0cm
タービン建屋基礎底面の傾斜の最大値 $\max(A_Y - B_Y /L)$	1/6,300	1/8,300	1/8,900	1/8,200

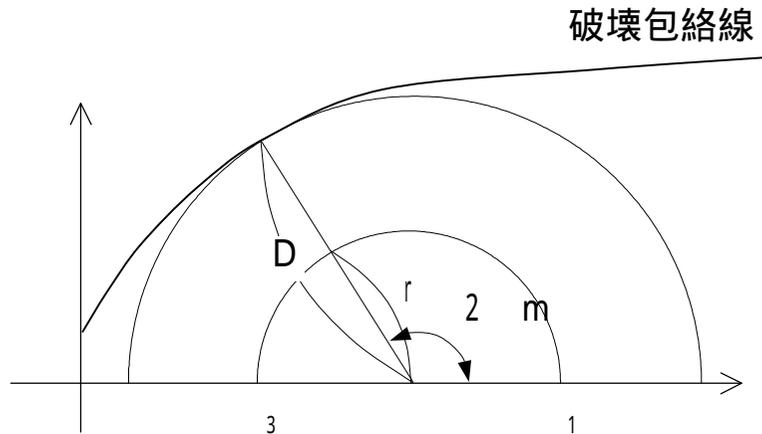


安全上重要な機器・配管系の安全機能に支障を与えるものではない。

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

2 . 検討方法

要素ごとの安全係数、モビライズド面

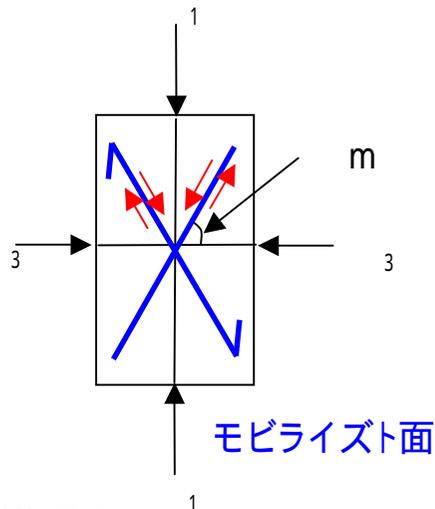


要素ごとの安全係数：

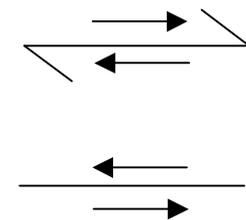
要素の応力状態の、破壊包絡線への近接の程度を表わす指標（左図中の r / D ）

モビライズド面：

要素の応力状態の、破壊包絡線への近接の状況から推定される、潜在的なすべり方向を表わす面。



モビライズド面は力の向きが異なる2つの面が存在する。この2つの面を区別するため、一方に飾り線を付けた形としている。



(参考) モビライズド面の拡大図 (構造物近傍)

取水路、S s - 1、合力最大かつ要素応力最大時

