

第 3.2 図

岩盤ブロックのすべり安全率 (ケース 2)

3.2 静的二次元 FEM 解析による検討結果

3.2.1 予備検討結果

解析領域を決定するために 1号側山～海断面($Y_{1c} \sim Y_{1c}$)について (i) 幅 300^m, EL-150^m (ii) 幅 400^m, EL-200^m (iii) 幅 600^m, EL-250^m で領域を変化させた解析を水平地震力を山から海の方に、鉛直地震力を上向きに作用させて行っている。

解析結果による局所安全係数分布一覽を第3.3図に原子炉建屋付近の局所安全係数図を第3.4図～第3.6図に、F-3断層の局所安全係数分布を第3.7図に、すべり安全率を第3.5表に示す。

これらによると原子炉建屋付近の局所安全係数に顕著な差がみられないが、F-3断層の局所安全係数及びすべり安全率は幅400^mの場合が幅600^m、幅300^mの場合より小さな値となっている。

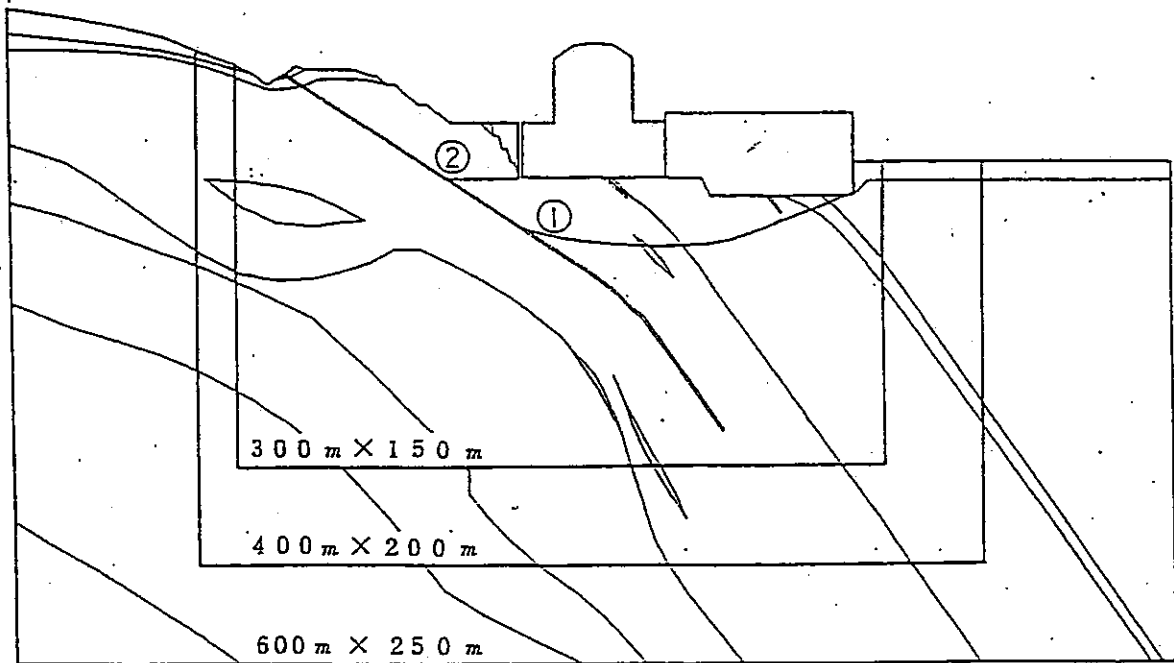
したがって、基本3断面については、幅600^mの領域を、その他6断面についてはF-3断層の局所安全係数が最も小さくなる幅400^mの領域を選定した。

第 3.5 表 $Y_{1c} - Y_{1c}'$ 断面すべり安全率 (解析領域による比較)

すべり面	簡便法	静的 F.E.M 線形解析		
		600 m × 250 m	400 m × 200 m	300 m × 150 m
①	5.4	6.4	6.3	6.3
②	5.7	4.5	4.3	4.6

地震力方向 ↑

1号
原子炉建屋



3.2.2 本検討結果

(1) 基本解析による検討結果

先づ地震力の作用方向を決定するため原子炉建屋中央を通る基本3断面について水平、鉛直のそれぞれ2方向を組み合わせて静弾性係数を用い解析を行っている。

その結果、水平地震力については山～海方向の Y_{1c} - Y_{1c} 、 Y_{2c} - Y_{2c} 断面では海向き、海岸線に平行する $X-X'$ 断面では2号炉から1号炉向き、鉛直地震力については上向きが作用するケースが厳しいと判断される。したがってその他の断面については、基本3断面に対応する最も危険側の地震力方向の組み合わせとし、建屋中心で考慮される荷重に対して検討を行っている。

各断面における局所安全係数分布一覧を第3.8図～第3.9図に、局所安全係数分布を第3.10図～第3.28図に、引張領域分布一覧を第3.29図～第3.30図に、主応力分布を第3.31図～第3.48図に示す。

以上の結果によれば X_4-X_4' 断面の2号原子炉建屋直下のF-5断層の1要素で局所安全係数が0.9となっている以外は1.0以上の値となっており、岩盤の引張領域も局所的でその値も小さいことから、基礎地盤全体としては十分安定性を有していると判断される。

また、基本3断面とそれらに対応するその他断面の局所安全係数に顕著な差がないことから以下基本3断面に対して検討を行っている。

なお、基本断面のうち $Y_{1c}-Y_{1c}$ 断面のタービン建屋付近に見られる局所安全係数が1.0を下回るF-1断層について剛性低下を考慮して反復法による非線形解析を行っている。その結果による局所安全係数を第3.12図に示すが断層周辺の局所安全係数は線形解析の結果と変わらないことからスリット状の小規模な弱層は基礎地盤の安定性に与える影響が小さいものと考えられる。

(2) 変形係数解析による検討結果

常時における原子炉建屋の沈下と地震時における変形特性を変化させた場合の検討をするために、平板載荷試験による変形係数を用い、基本3断面について最も危険な地震力の方向で解析を行っている。

常時の沈下量を第3.6表に、その沈下量一覧を第3.49図に示す。

この結果によると各断面とも沈下の状況は下部のC級の凝灰質泥岩の分布を反映しており、山～海方向断面で最も大きい沈下量を示す場合は、1号側の $Y_{1c}-Y_{1c}'$ 断面でその値は約2.6cm、建屋端部における沈下量から求めた傾斜は $1/37,000$ となっている。

これらの況下は、十分許容できるものであり、そのほとんどが建設期間中に終了するため原子炉施設に影響を与えるおそれはないと考えられる。

また、各断面における局所安全係数分布一覧を第3.50図に、局所安全係数分布を第3.51図～第3.53図に、引張領域分布一覧を第3.54図に、主応力分布を第3.55図～第3.57図に示す。

この結果によると 局所安全係数、応力分布とも基本解析と同じ傾向を示している。

(3) コントラスト解析(1) — 安山岩熔岩に対する検討結果 —

原子炉建屋付近の割れ目のやや多いB級の安山岩熔岩の物性値のバラツキによる影響を検討するために 基本3断面のうち安山岩熔岩が分布する $Y_{2c}-Y_{2c}'$, $X-X'$ 断面について 強度定数 - 標準偏差, 弾性係数の平均値 ± 標準偏差 の値を用いて検討を行っている。

解析結果による局所安全係数分布一覧を第3.58図に、局所安全係数分布を第3.59～第3.62図に、引張領域分布一覧を第3.63図に、主応力分布を第3.64図～第3.67図に示す。

これらによると 安山岩熔岩の局所安全係数は基本解析よりやや低下するが おおむね約3.0以上の値を示し、またC級の軽石凝灰岩を含め、その周辺の岩

盤の局所安全係数も、基本解析とほとんど変わらない。

これらのことから安山岩燔岩の物性値のバラツキによる安定性への影響はほとんどないものと考えられる。

(4) コントラスト解析(2) — 全岩種に対する検討結果 —

変形特性のバラツキによる影響を検討するために基本3断面について、静弾性係数を A, B 級岩盤で平均値 + 標準偏差, C, D 級岩盤で平均値 - 標準偏差の値を用いて検討を行っている。

解析結果による局所安全係数分布一覽を第3.68図に、局所安全係数分布を第3.69図～第3.71図に、引張領域分布一覽を第3.72図に、主応力分布を第3.73図～第3.75図に示す。

これらによると基礎地盤の局所安全係数は、基本解析とほとんど変わらないので十分安定性を有していると考えられる。

なお、 $Y_{1c}-Y_{1c}'$ 断面の山地部で F-3 断層の局所安全係数が 1.0 を下回る部分が見られるので、F-3 断層を対象に詳細に検討を行っている。

(5) 浮力解析による検討結果

地下水により浮力が生じた場合の影響を検討するために、基本3断面について原子炉建屋基礎底面

以下に地下水位による浮力を考慮した検討を行っている。

解析結果による局所安全係数分布一覽を第3.76図に、局所安全係数分布を第3.77図～第3.79図に、引張領域分布一覽を第3.80図に、主応力分布を第3.81図～第3.83図に示す。

これらによると浮力を考慮した場合すべり安全率は、基本解析よりやや低下する傾向にあるが、原子炉建屋基礎付近の局所安全係数は1.0以上であり、基礎地盤全体としては十分な安定性を有していると考えられる。

(6) F-3断層の安定性の検討結果

基本、変形係数、コントラスト、浮力の各解析によって、原子炉建屋基礎地盤は十分な安定性を有していることが確認されたが、F-3断層についてはコントラスト解析(2)において建屋背後山地部で局所安全係数が1.0を下回る部分が局所的に生じている。

そこで、 $Y_{1c}-Y_{1c}$ 断面で非線形解析、断層長の変化の影響、仮想地震力による終局耐力などの検討を実施しF-3断層の安定性について総合的に評価した。

a. 地震力の作用方向の検討

基本解析において地震力の作用方向が変化した場合のF-3断層の局所安全係数分布を第3.84図に示す。

これによると、南向き水平地震力、上向き鉛直地震力が働くケースが全体に局所安全係数が小さく、その最小値は1.2となっている。

以下の検討は、この危険側の地震力方向で実施する。

b. 解析条件による比較検討

各解析条件のF-3断層の局所安全係数分布を第3.85図に示す。

これによると、基本、変形、浮力の各解析では、局所安全係数は1.0を上回っており、ほとんど同じ傾向を示しているが、コントラスト解析(2)において、山地部の1要素で局所安全係数が0.9となっている。

c. 非線形解析

コントラスト解析(2) (線形解析)の結果、局所安全係数が1.0を下回る要素があることから、剛性低下を考慮して反復法による非線形解析を行った。

解析結果による局所安全係数及び引張領域分布一覧を第3.86図に、F-3断層の局所安全係数分布を第3.87図に、原子炉建屋付近の局所安全係数図を第3.88図に示す。

これらによると、F-3断層は、局所安全係数が1.0以上で、その周辺岩盤も1.5以上となっているので安定性を確保していると考えられる。

d. 断層長の変化による検討

基本解析で反映させた地質調査結果に基づき F-3 断層の確認範囲 (EL-130m) をモデル下端 (EL-250m) まで延長した解析を行っている。

解析結果による局所安全係数及び引張領域分布一覽を第 3.89 図に、F-3 断層の局所安全係数を第 3.90 図に、原子炉建屋付近の局所安全係数図を第 3.91 図に示す。

これらによると、EL-50m 以浅では、断層延長による影響はほとんどなく、その周辺地盤の局所安全係数も 1.5 以上でたとえ F-3 断層が確認範囲以深まで延長していたとしても、これが原子炉建屋基礎地盤の安定性に与える影響はないものと判断される。

e. 仮想地震力による耐力の検討

地盤の水平方向の地震力 (震度) を 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40 と増加させ、これに比例して地盤の鉛直地震力、建屋の水平・鉛直地震力も増加させた仮想の地震力に対する線形解析を行い F-3 断層の耐力を検討した。

解析結果による局所安全係数分布一覽を第 3.92 図に、引張領域分布一覽を第 3.93 図に、F-3 断層の局所安全係数を第 3.94 図に示す。

これらによると地震力の増加によって局所安全係数が1.0を下回る領域及び引張領域は拡大するが地盤の水平震度0.20の5割増の0.30程度に対応する地震力が作用するまでF-3断層は安定性を確保していると考えられる。

(7) すべり安全率の検討結果

簡便法、静的FEMによる基本、変形、コントラスト力の各解析及びF-3断層を対象にした耐力解析の検討結果から求めた9断面の最小すべり安全率を第3.7表に、各検討ケース毎のすべり線位置及びすべり安全率を第3.8表～第3.18表に示す。

基本解析の結果から判断すると、原子炉建屋基礎地盤のすべりに対して、最も不利な断面は1号側山-海方向の $Y_{1c}-Y_{1c}'$ 断面となる。その最小すべり安全率は原子炉建屋付近では9.6、原子炉建屋背後山地部ではF-3断層の影響により4.5となるがいずれも十分な安全率を示している。

また、 $Y_{1c}-Y_{1c}'$ 断面において実施した変形係数、コントラスト、浮力の各解析における最小すべり安全率は原子炉建屋付近で8.6～9.7、背後山地部で3.8～4.5であり、いずれの場合でも十分な安全率を示している。

F-3断層が仮想地震力によって局部安全係数 f_s が1.0を下回る要素が生じる地盤の水平震度0.30の時の全体すべり安全率は3.5となっている。

なお、すべり検討の際は $f_s < 1.0$ の要素のせん断強度を無視してすべり安全率を算出し、安全側の検討を行っている。

以上の静的解析結果によると、F-3断層を含めて原子炉建屋基礎地盤は全体として十分な安定性を有しているものと判断される。

第3.6表 原子炉建屋の常時の沈下量一覽

方 向	山 海	
	$Y_{1c} - Y_{1c}'$	$Y_{2c} - Y_{2c}'$
断 面	1 号 炉	2 号 炉
建 屋		
沈 下 量 (cm)	山 側	1.7
	海 側	1.9
	北 西 側	-
	南 東 側	-
不 等 沈 下 量 (cm)	0.2	0.2
傾 斜	$0.2/7,400$ $\approx 1/37,000$	$0.2/7,400$ $\approx 1/37,000$

項目 断面		地震力の方向	簡便法 による 最小安全率	静的 F E M 解析による最小安全率									
				基本解析	変形係数 解析	コントラスト 解析(1)	コントラスト 解析(2)	浮力解析	非線形解析	耐力解析			
										$K_H = 0.25$	$K_H = 0.30$	$K_H = 0.35$	$K_H = 0.40$
1号側 $Y_{1c} - Y_{1c}'$	基礎岩盤		9.5	9.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			9.3	9.6	9.7	—	9.7	8.6	9.7	8.0	6.8	6.0	5.3
			11.1	18.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			9.6	12.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	F-3断層		5.3	5.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			5.4	4.5	4.5	—	3.8	4.5	4.2	4.0	3.5	2.9	2.6
			17.4	28.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			19.3	19.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2号側 $Y_{2c} - Y_{2c}'$		8.5	9.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		8.0	10.2	10.6	10.1	11.9	10.0	—	—	—	—	—	
		9.7	20.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		8.2	13.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
1-2号 $X - X'$		8.8	11.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		6.9	11.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		11.9	10.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		6.3	10.9	10.7	10.8	8.9	11.0	—	—	—	—	—	
$Y_{1-1} - Y_{1-1}'$	基礎岩盤		9.3	12.4	—	—	—	—	—	—	—	—	
	F-3断層		4.0	3.9	—	—	—	—	—	—	—	—	
$Y_{1-2} - Y_{1-2}'$	基礎岩盤		8.2	10.5	—	—	—	—	—	—	—	—	
	F-3断層		4.7	4.5	—	—	—	—	—	—	—	—	
$Y_{2-1} - Y_{2-1}'$		7.6	10.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
$Y_{2-3} - Y_{2-3}'$		7.2	9.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
$X_3 - X_3'$		6.6	10.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
$X_4 - X_4'$		7.9	9.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

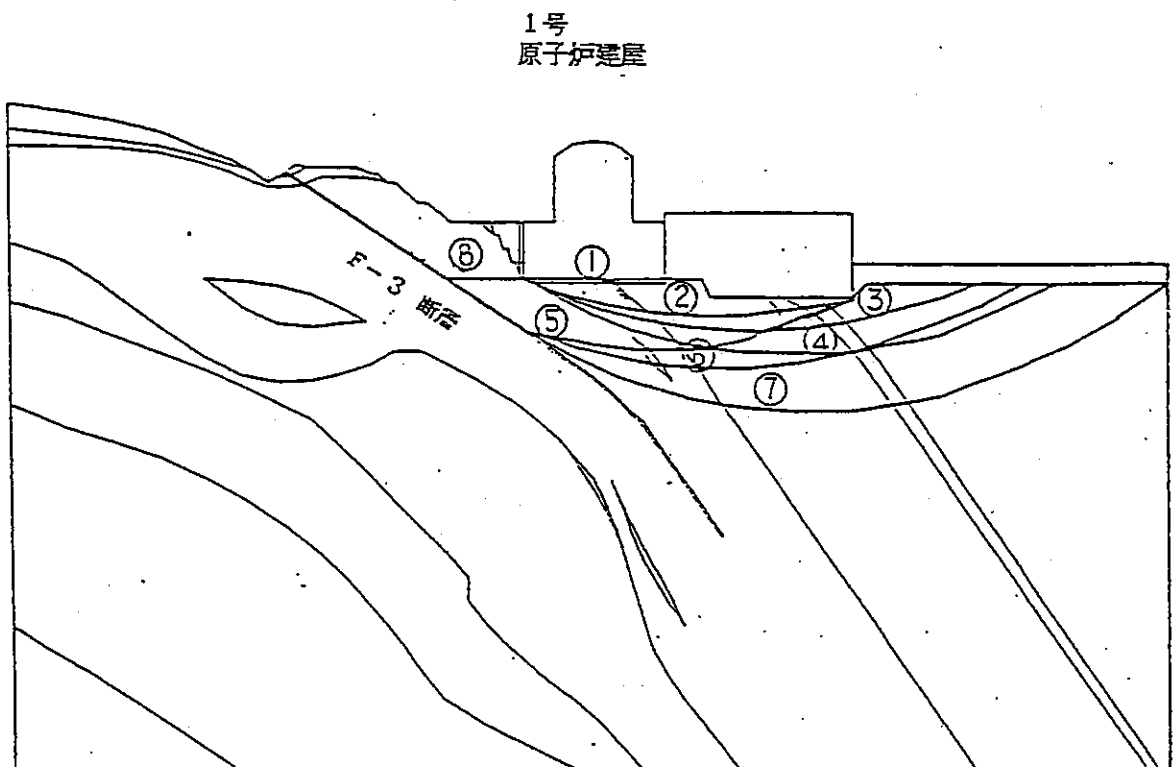
第3.7表 最小すべり安全率一覧

第 3.8 表 (1) $Y_{1c} - Y_{1c}'$ 断面すべり安全率

地震力 方向	↙		↖		↘		↗	
	簡便法	静的FEM 基本解析	簡便法	静的FEM 基本解析	簡便法	静的FEM 基本解析	簡便法	静的FEM 基本解析
①	10.9	9.9	9.3	14.1	11.1	68.7	9.6	16.3
②	9.5	10.4	9.5	12.3	20.3	55.2	15.9	22.8
③	10.7	9.1	10.8	9.6	23.2	18.1	18.0	12.6
④	10.4	11.7	10.7	13.1	23.6	28.8	18.0	18.5
⑤	5.6	6.6	5.4	6.4	46.9	256.1	25.7	60.3
⑥	6.6	7.6	6.6	7.6	39.3	41.9	23.6	25.4
⑦	7.1	8.4	7.0	8.5	28.9	28.5	19.3	19.2
⑧	5.3	5.1	5.7	4.5	17.4	554.3	26.7	130.0

①～④は蒸気塔壁

⑤～⑧はF-3断面を含むすべり安全率

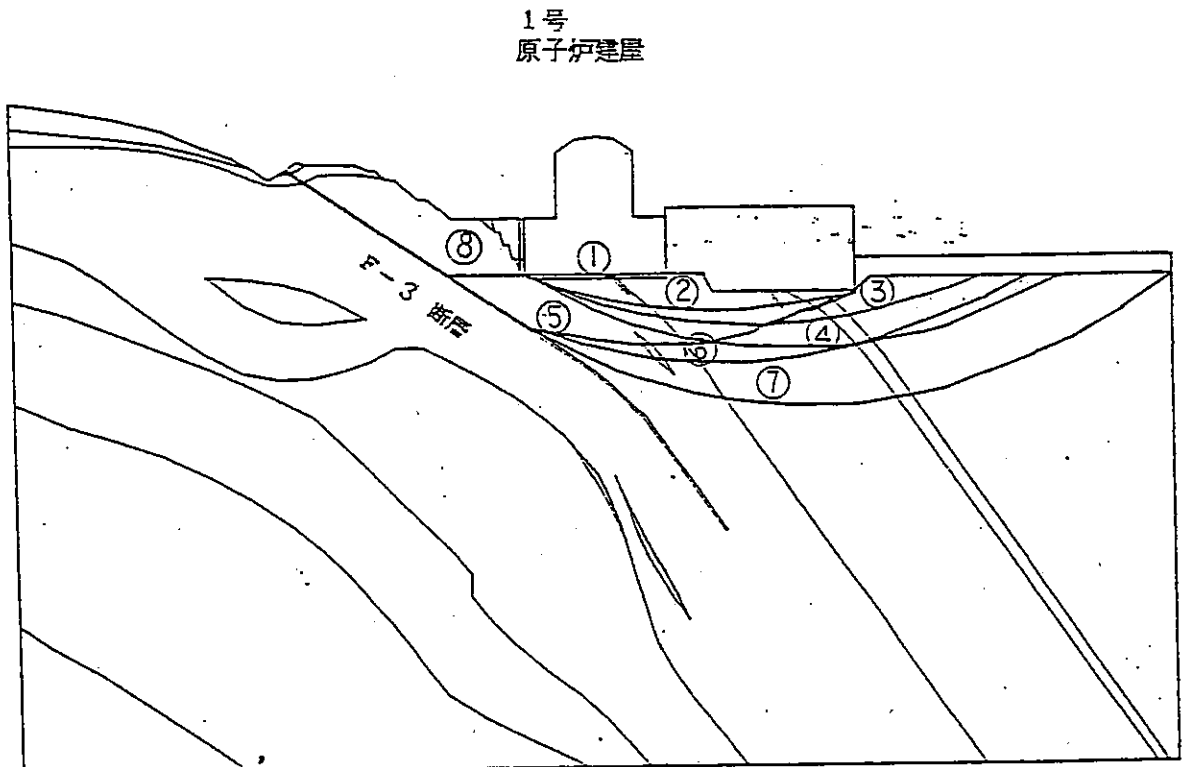


第3.8表(2) $Y_{1c} - Y_{1c}'$ 断面すべり安全率

すべり面	簡便法	静的 F - E . M 線形' 解析			
		基本解析	変形係数解析	コントラスト解析 (2)	浮力解析
①	9.3	14.1	15.3	21.6	13.9
②	9.5	12.3	12.7	13.7	12.1
③	10.8	9.6	9.7	9.7	8.6
④	10.7	13.1	13.4	14.1	11.9
⑤	5.4	6.4	6.5	6.1	5.9
⑥	6.6	7.6	7.7	7.5	6.7
⑦	7.0	8.5	8.7	8.6	7.2
⑧	5.7	4.5	4.5	3.8	4.5

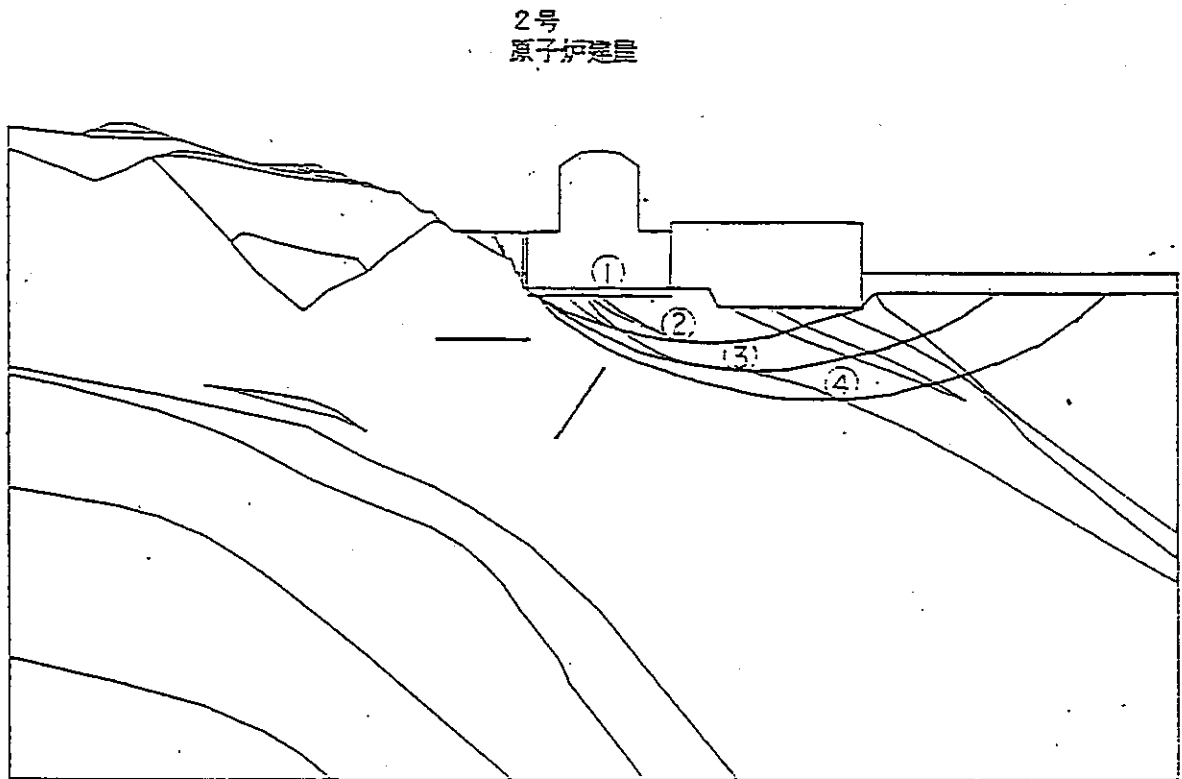
①～④は基礎岩盤

⑤～⑧は F-3 断面を含むすべり安全率 地震力方向 ↑



第 3.9 表 (1) $Y_{2C} - Y_{2C}'$ 断面すべり安全率

地震力 方向	←		↑		↙		↗	
	簡便法	静的FEM 基本解析	簡便法	静的FEM 基本解析	簡便法	静的FEM 基本解析	簡便法	静的FEM 基本解析
①	9.6	9.5	8.0	10.2	9.7	20.4	8.2	13.0
②	8.5	9.9	8.5	11.1	21.5	38.2	16.1	20.5
③	9.5	11.5	9.8	12.5	25.4	28.2	18.4	18.8
④	10.3	13.0	10.5	13.7	24.4	25.5	18.3	18.8

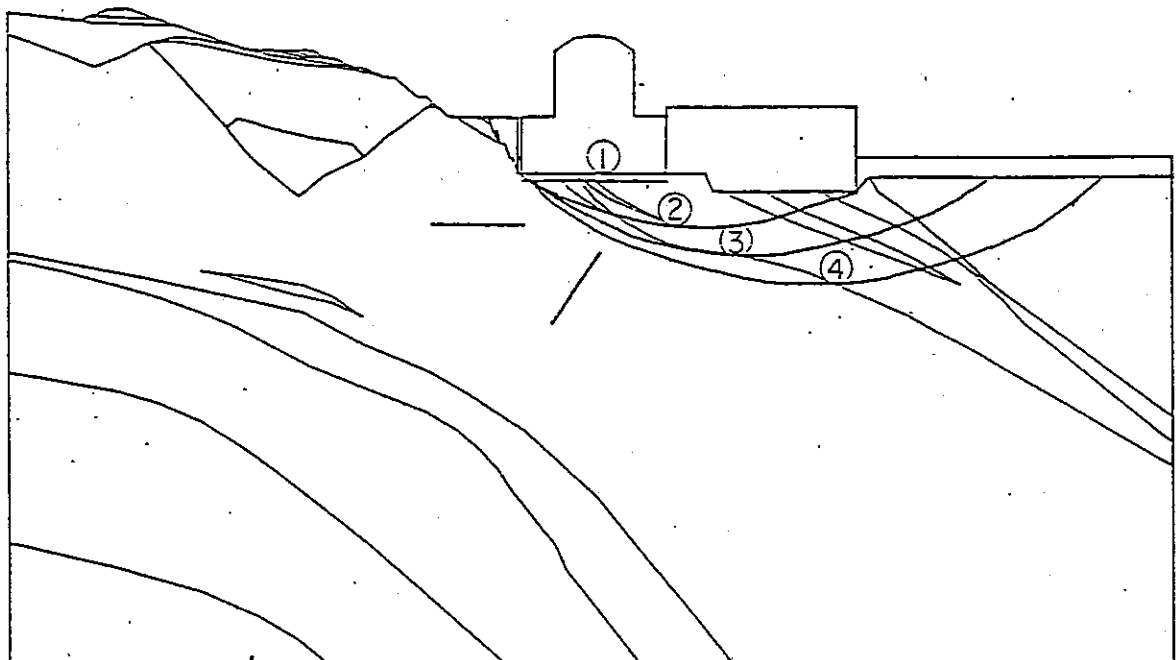


第 3.9 表(2) $Y_{2c} - Y_{2c}'$ 断面すべり安全率

すべり面	簡便法	静的 F. E. M 線形解析					
		基本解析	変形係数解析	コントラスト解析(1) $\bar{x} - \sigma$	コントラスト解析(1) $\bar{x} + \sigma$	コントラスト解析(2)	浮力解析
①	8.0	10.2	10.6	10.3	10.1	12.0	10.0
②	8.5	11.1	11.2	11.0	11.0	11.9	10.7
③	9.8	12.5	12.6	12.5	12.4	13.2	11.5
④	10.5	13.7	13.8	13.7	13.6	14.1	12.0

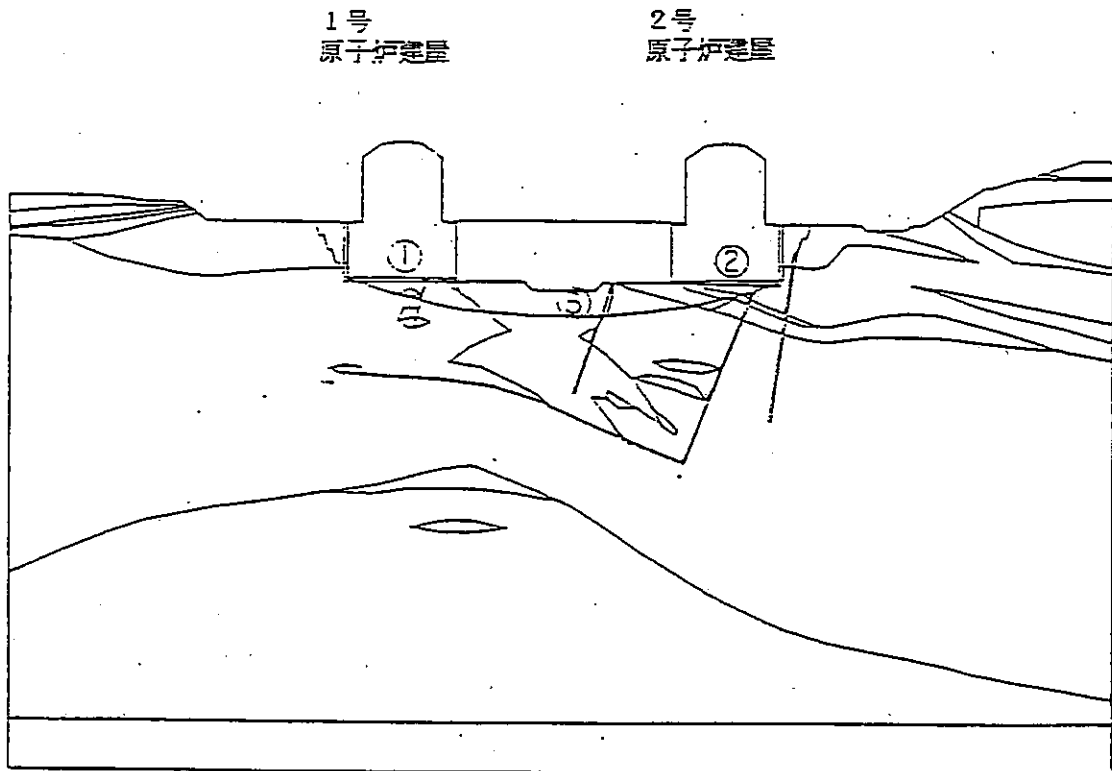
地震力方向 \rightarrow

2号
原子炉建屋



第 3.10 表 (1) X-X' 断面すべり安全率

地震力 方向	←		↖		↙		↗	
	簡便法	静的FEM 基本解析	簡便法	静的FEM 基本解析	簡便法	静的FEM 基本解析	簡便法	静的FEM 基本解析
①	12.2	15.8	9.0	11.8	12.3	10.6	9.1	11.2
②	8.8	13.4	6.9	17.8	8.8	18.6	6.3	11.5
③	11.7	11.1	10.6	11.1	11.9	13.7	10.7	10.9



第3.10表(2) X-X' 断面すべり安全率

すべり面	簡便法	静的 F. E. M 線形解析					
		基本解析	変形係数解析	コントラスト解析(1) $\bar{\alpha}-\sigma$	コントラスト解析(1) $\bar{\alpha}+\sigma$	コントラスト解析(2)	浮力解析
①	9.1	11.2	10.7	11.1	11.2	8.9	11.0
②	6.3	11.5	12.1	11.3	11.5	12.6	11.3
③	10.7	10.9	10.7	10.8	10.9	10.4	10.3

地震力方向 \rightarrow

1号
原子炉建屋

2号
原子炉建屋

