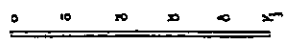
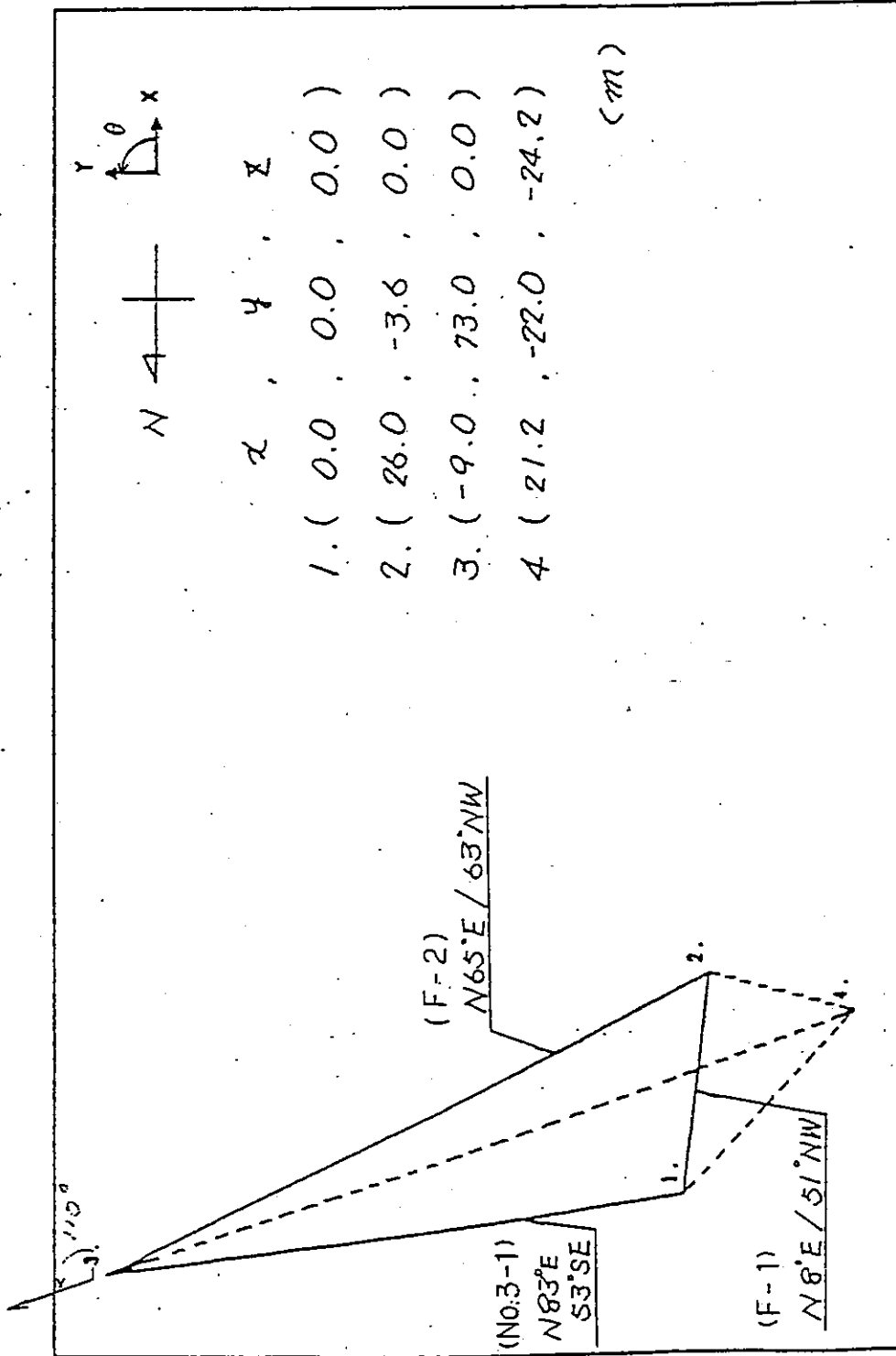


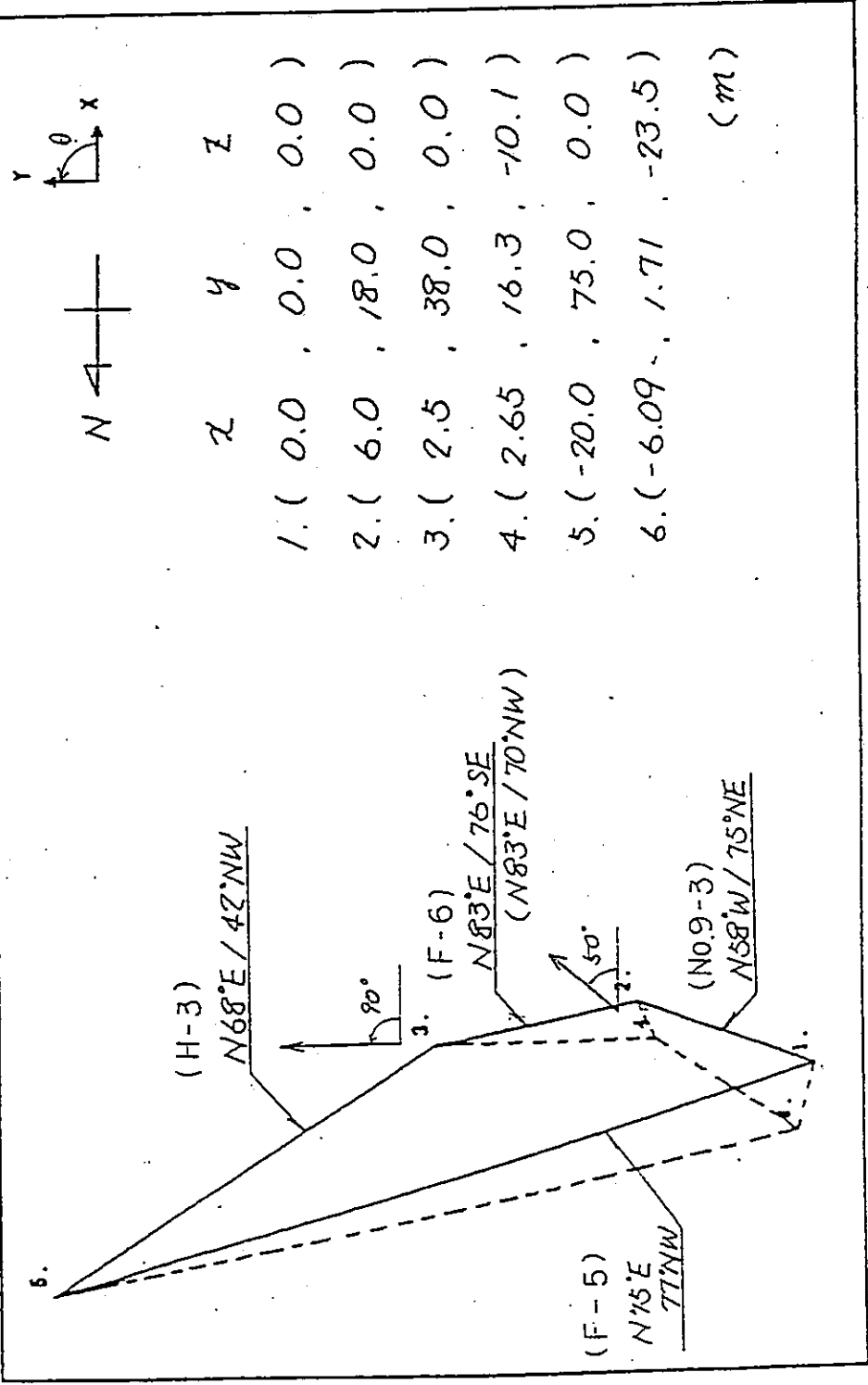
- 凡例
- 水平ボーリング
 - 主要断層
 - 小断層
 - - - 断層仮想部分



第 2.13 図 岩盤ブロック位置図



第 2.14 図 (1) 岩盤ブロック モデル (CASE I)



第2.14 図(2) 岩盤ブロック モデル (CASE 2)

2.5.2 静的二次元 FEM 解析

申請者は、基礎地盤の安定性を検討するため、静的二次元 FEM 解析を行っている。

なお、予備検討として、解析領域の妥当性を検討している。

(1) 解析方法

解析方法は、初期地圧、建屋自重、地震力の各状態における発生応力を静的 FEM によって求め、それらを重ね合わせて地震時応力としている。

(2) 解析モデル

解析モデルは「2.2 解析用岩盤分類図」で述べた原子炉建屋に直交する基本 3 断面とその他 6 断面を対象としている。

モデル幅は、予備検討により、解析領域の妥当性を検討し、基本 3 断面については幅 600^m、深さ EL-250^mとし、その他の 6 断面については幅 400^m、深さ EL-200^mとしている。

境界条件は、下方境界が固定、側方境界が荷重方向ローラーとしている。

なお、建屋及び地盤の要素分割は次の方法により行っている。

a. 建屋の要素分割

原子炉建屋、タービン建屋、補助建屋の要素分割

は、それぞれについて設定された多数点系モデルから、FEMモデルに変換することにより作成している。

b. 地盤の要素分割

地盤の要素分割は、解析用岩盤分類図に基づき行っている。

原子炉建屋設置位置付近の要素は地盤内応力を詳細に検討できるように細分化している。

各断面の解析用要素分割図を第2.15図～第2.23図に示す。

(3) 地震力

地震力は、第2.2表に示すとおりとしている。

原子炉建屋、タービン建屋及び補助建屋については、3CEに基づいて算定するとともに高方向に鉛直震度0.24を一律に与えている。

地盤については、水平震度0.2、鉛直震度0.1を一律に与えている。

(4) 検討ケース

a. 予備検討（解析領域の検討）

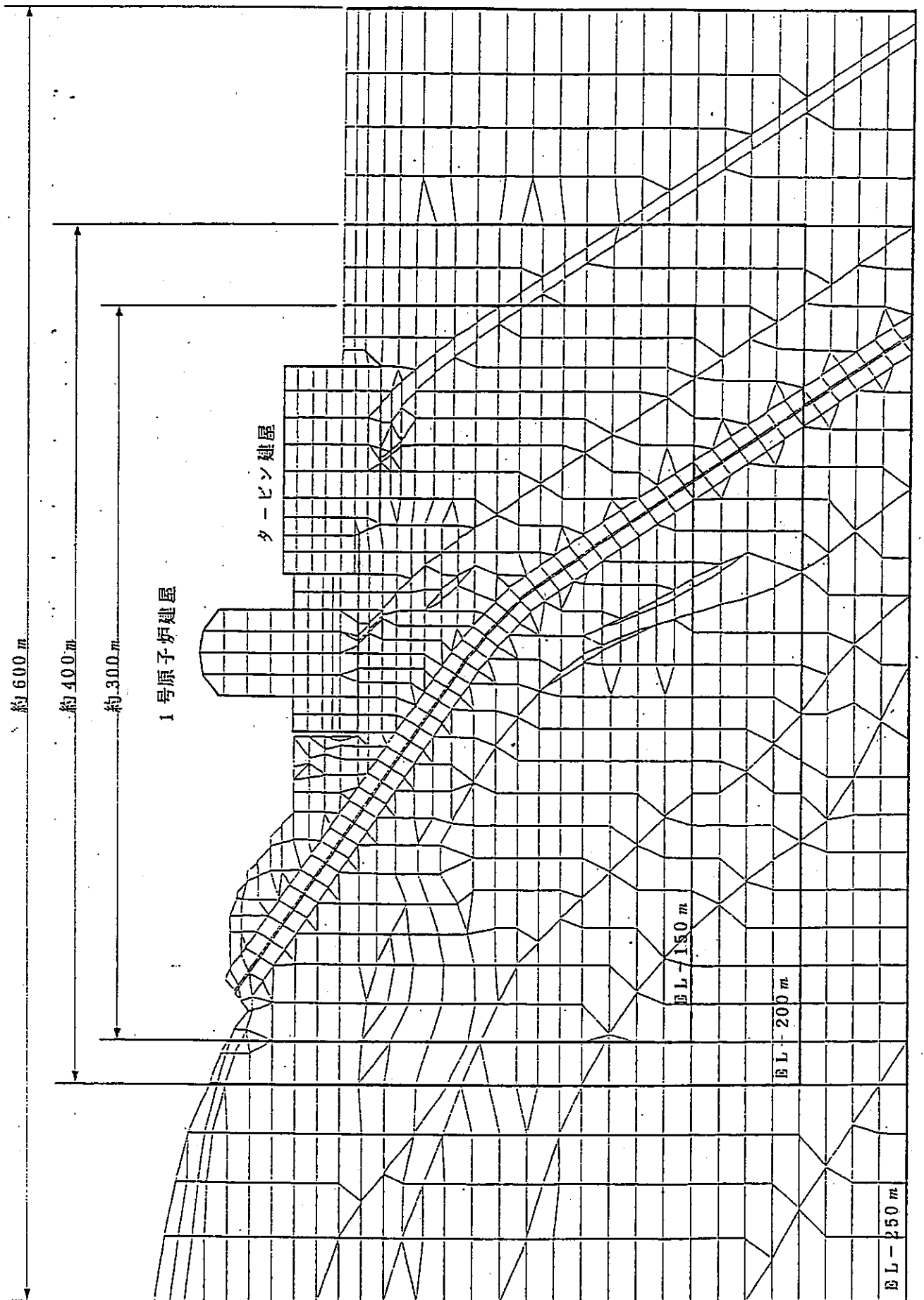
解析領域の妥当性を検討するために、1号側山～海方向の基本断面（ $Y_{ic} - Y_{ic}'$ ）について、解析領域を変えた次のケースの検討を行っている。

(i) 幅 300 m, 深さ EL-150 m

(ii) 幅 400 m, 深さ EL-200 m

(iii) 幅 600 m, 深さ EL-250 m

第2.24図に解析用要素分割図を示す。



第 2.24 図 解析用要素分割図

b. 本検討

検討断面は、地質及び地質構造の状況を考慮して第2.1図に示した基本3断面とその他の6断面について次の条件で検討を行っている。
(第2.3表参照)

(a) 基本解析

危険側の地震力の作用方向の選定を行うために、原子炉建屋中央を通る基本3断面 ($Y_{1c}-Y_{1c}'$, $Y_{2c}-Y_{2c}'$, $X-X'$) について、弾性係数を用い、水平2方向、鉛直2方向を組み合わせて検討を行っている。

この結果から水平地震力は、 $Y_{1c}-Y_{1c}'$, $Y_{2c}-Y_{2c}'$ 断面では山から海側に向う方向、 $X-X'$ 断面では2号側から1号側に向う方向、鉛直地震力は上向き方向を選定している。

その他の6断面については、基本3断面に対応する危険側の地震力作用方向に対して解析を行っている。

また、 $Y_{1c}-Y_{1c}'$ 断面については F-1 断層の非線形解析と F-3 断層を対象とした詳細な解析を行っている。

(b) 変形係数解析

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変形係数を用い、基本3断面について危険側の地震力の作用方向で解析を行っている。

(c) コントラスト解析(1)

原子炉建屋付近に分布する割れ目のやや多い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強度定数-標準偏差、弾性係数の平均値±標準偏差を用い、基本3断面のうち2号側 $Y_{2c} - Y_{2c}'$ 断面、1~2号 $X - X'$ 断面について、危険側の地震力の作用方向で解析を行っている。

(d) コントラスト解析(2)

変形特性のバラツキによる影響を検討するために、弾性係数をA, B級岩盤で平均値+標準偏差、C, D級岩盤を平均値-標準偏差とし、コントラストをつけ、基本3断面について危険側の地震力の作用方向で解析を行っている。

また、 $Y_{1c} - Y_{1c}'$ 断面の、F-3断層について非線形解析を行っている。

(e) 浮力解析

岩盤に浮力が生じた場合の検討をするために地下水位をEL. 2.5mに設定し、弾性係数を用い基本3断面について危険側の地震力の作用方向で浮力解析を行っている。

第 2.3 表 静的 FEM による安定解析ケース一覧 (本検討)

解析断面	静的 FEM 解析					地震力の方向 ⁴⁾				物性値				浮力
	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	+H		-H		弾性係数	変形係数	コントラスト ⁵⁾		
						+V	-V	+V	-V			コントラスト(1)	コントラスト(2)	
1号側 $Y_{1c} - Y_{1c}'$	○					○				○				
	○ ¹⁾						○			○				
	○							○		○				
	○								○	○				
		○						○			○			
					○ ¹⁾			○					○	
					○			○		○				○
		○ ²⁾ ○ ³⁾						○		○				
2号側 $Y_{2c} - Y_{2c}'$	○					○				○				
	○						○			○				
	○							○		○				
	○								○	○				
		○						○			○			
			○					○				$\bar{x} + \sigma$		
			○					○				$\bar{x} - \sigma$		
				○				○					○	
1-2号 $X - X'$	○					○				○				
	○						○			○				
	○							○		○				
	○								○	○				
		○							○		○			
			○						○			$\bar{x} + \sigma$		
			○						○			$\bar{x} - \sigma$		
				○					○				○	
$Y_{1-1} - Y_{1-1}'$	○						○			○				
$Y_{1-2} - Y_{1-2}'$	○						○			○				
$Y_{2-1} - Y_{2-1}'$	○						○			○				
$Y_{2-3} - Y_{2-3}'$	○						○			○				
$X_3 - X_3'$	○								○	○				
$X_4 - X_4'$	○									○				

- 1) ●は非線型解析
- 2) F-3断層を延長した解析
- 3) 耐力解析
- 4) +H ; 水平地震力が山→海または1号→2号の向きを示す。
+V ; 鉛直地震力が下向きを示す。
- 5) $\bar{x} \pm \sigma$; 安山岩熔岩の弾性係数が平均値±標準偏差を示す。

2.5.3 動的二次元 FEM 解析

申請者は、基礎地盤の地震応答特性及び安定性を検討するために、動的二次元 FEM 解析を行っている。

なお、予備検討として解析領域の妥当性を検討している。

(1) 解析方法

解析方法は、同波数応答解析手法によって行い、静的解析による初期地圧、建屋自重、及び鉛直地震力の各ステップにおける増分応力と基準地震動 S_2 による動的応力を重ね合わせることによって地震時応力を求めている。

(2) 解析モデル

解析モデルは「2.2 解析用岩盤分類図」で述べた建屋に直交する基本 3 断面を対象としている。

モデル幅は、予備検討により解析領域の妥当性を検討し、幅 400m、深さ EL-200m としている。

境界条件は、下方を粘性境界、側方をエネルギー伝達境界としている。

地盤及び建屋の要素分割は、静的解析と同じものとし、地盤の振動性状が十分表現できるよう

盤の振動特性として重要な 15Hz まで通過できるもので、また、建屋の要素分割は、各建屋について設定されている多質点系モデルから FEM モデルに変換することにより作成している。

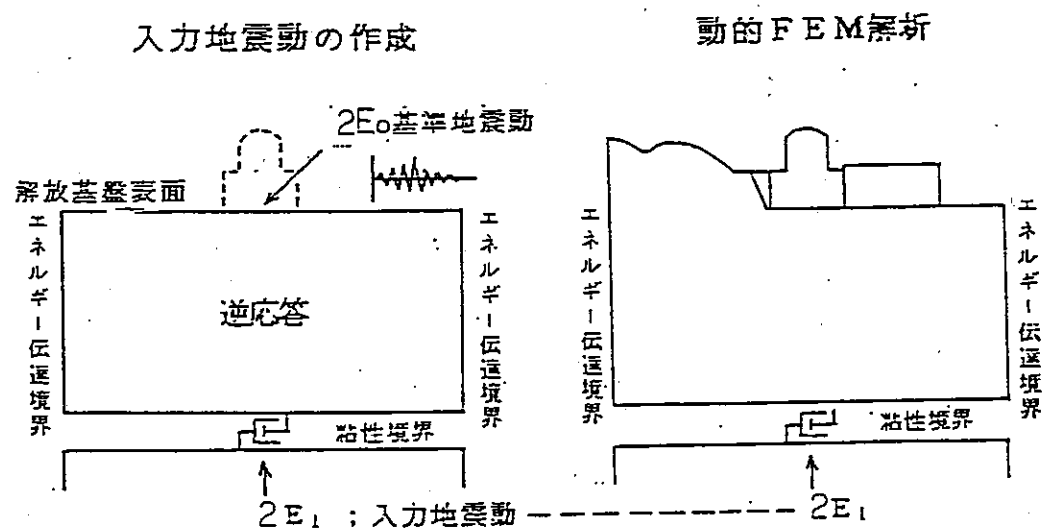
基本 3 断面の要素分割図を第 2.15 図～第 2.17 図に示す。

(3) 地震力

地震力は、第 2.2 表に示すとおり、基準地震動 S_z (S_{Rz}, S_N) 2 波を用いている。

解析モデル基盤 ($EL-200\text{m}$) での水平方向の入力地震動は、第 2.25 図に示すとおり、基準地震動の定義された原子炉建屋基礎底面 ($EL 2.3\text{m}$) から動的二次元 FEM により逆応答を行うことにより作成している。

なお、鉛直地震力は震度として与え、地震力の方向は地盤に不利な方向 (上向き) を考慮している。



第 2.25 図 入力地震動の作成概念図

(4) 検討ケース

静的解析の結果に基づき 基本3断面について動弾性係数 E_d を用い、基準地震動 S_{k2} 2波による検討を行っている。

また、地震時の剛性低下の検討として、基準地震動 S_{k2} を用い、動弾性係数を $0.8 E_d, 0.5 E_d$ に低下させたケースも実施している。

検討ケースを第2.4表に示す。

第 2. 4 表 動的FEMによる安定解析ケース一覧 (本検討)

断面	入力地震動	鉛直地震力	動弾性係数				浮力
			岩 盤			断層	
			E_d	$0.8 E_d$	$0.5 E_d$	$E_d(\gamma)$	
1号側 $Y_{1c} - Y_{1c}'$	S_{k2}	上向き	○			○	
	"	"		○		○	
	"	"			○	○	
	S_N	"	○			○	
	"	"	○			○	○
2号側 $Y_{2c} - Y_{2c}'$	S_{k2}	"	○			○	
1-2号 $X - X'$	S_{k2}	"	○			○	

E_d : 第2.1表に示した物性値

$E_d(\gamma)$: ひずみ依存性を考慮した動弾性係数

2.5.4 no tension 解析

申請者は、原子炉建屋基礎地盤の解析において山側に発生する引張応力に対する検討を行うために、1号側 $Y_{1c} - Y_{1c}'$ 、2号側 $Y_{2c} - Y_{2c}'$ 断面で no tension 解析を実施している。

(1) 解析方法

解析方法は、初期応力、建屋自重、地震力の各状態における発生応力を静的FEMによって求め、それらを重ね合せて地震時応力としている。

引張応力の解放は、各状態において実施している。

(2) 解析モデル及び地震力

解析モデル及び地震力は、2.5.2 (2), (3) に準じている。

(3) 検討ケース

1号側 $Y_{1c} - Y_{1c}'$ 、2号側 $Y_{2c} - Y_{2c}'$ 断面について、静弾性係数を用い、地震力は不利になるように水平地震力を山から海に向う方向、鉛直地震力を上向きに作用させている。

3. 検討結果

申請者は、原子炉建屋基礎地盤の安定解析結果を次のようにまとめている。

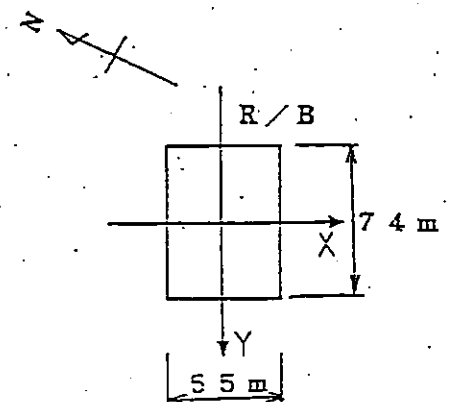
3.1 慣用法による検討結果

3.1.1 平面すべり安定の検討結果

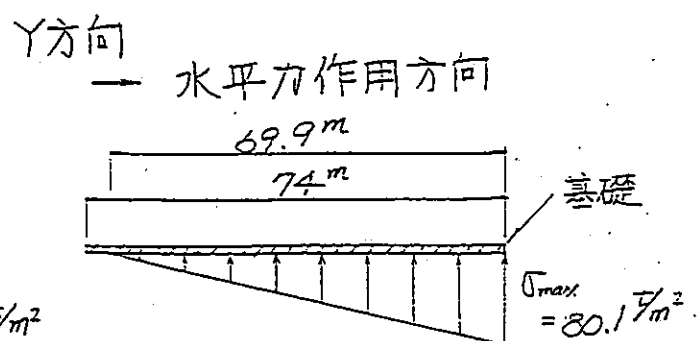
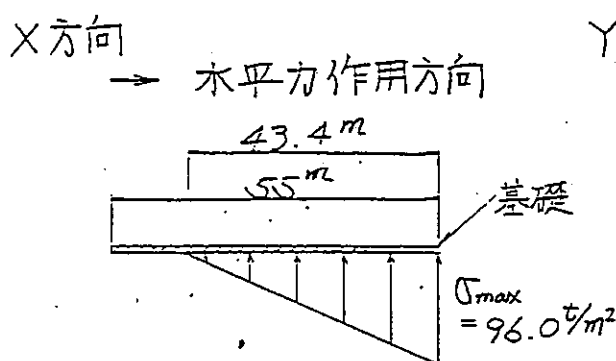
原子炉建屋に地震力を作用させた時、基礎底面の荷重は第3.1表のとおりであり、せん断力Sは約 9.74×10^4 tonである。

第 3.1 表 原子炉建屋基礎底面に作用する荷重

建屋自重 (W)	20.28×10^4 (t)
鉛直地震力 (V)	4.87×10^4 (t)
X方向水平力時 転倒モーメント (M _x)	200.9×10^4 (t.m)
せん断力 (S _x)	9.74×10^4 (t)
Y方向水平力時 転倒モーメント (M _y)	210.9×10^4 (t.m)
せん断力 (S _y)	9.74×10^4 (t)



この荷重条件における建屋基礎地盤の接地圧分布は、次のとおりとなる。



基礎地盤の持地圧分布から、各要素の鉛直応力 σ_i を求めて次式によりせん断抵抗力 R と基礎底面の平面すべり安全率 S_f を求めた。

結果を第3.2表に示す。

$$S_f = \frac{R}{S} = \frac{\sum A_i (\tau_{oi} + \sigma_i \tan \phi_i)}{S}$$

ここで A_i : 各要素の面積

τ_{oi} : 各要素内の岩盤のせん断強度

ϕ_i : 各要素内の岩盤の内部摩擦角

S : せん断力 ($9.74 \times 10^4 t$)

第3.2表 原子炉建屋基礎底面の平面すべり安全率

断面	ケース	荷重の組合せ [*]	せん断抵抗力 R $\times 10^4 (t)$	すべり安全率 S_f
1号炉	1-1	$W+Hy-V$	84.57	8.68
	1-2	$W-Hy-V$	85.07	8.73
	1-3	$W+Hx-V$	71.31	7.32
	1-4	$W-Hx-V$	72.89	7.48
2号炉	2-1	$W+Hy-V$	76.14	7.82
	2-2	$W-Hy-V$	77.85	7.99
	2-3	$W+Hx-V$	65.95	6.77
	2-4	$W-Hx-V$	67.87	6.97

* W は建屋自重、 $+Hy$ は水平地震力が山から海、 $+Hx$ は水平地震力が1号側から2号側、 $-V$ は鉛直地震力が上向きを示す。

これより 原子炉建屋基礎地盤の平面すべりに対して危険な方向は、建屋の幅及び基礎底面の地質状況を反映して、1号炉から2号炉に向かう水平地震力の場合となるが、最小平面すべり安全率は1号炉で7.32、2号炉で6.77であり十分な安定性を有している。

3.1.2 岩盤ブロックのすべり安定の検討結果

仮想した岩盤ブロックに水平震度0.20を0~360°の方向に、また鉛直震度0.1を上向きに作用させた時の最小すべり安全率と地震力の方向を第3.3表に示す。

なお、検討にあたっては建屋荷重を考慮していない。

第 3.3 表 岩盤ブロックのすべり安全率

ケース 項目	ケース1 (1号炉)		ケース2 (2号炉)	
	最小すべり安全率	地震力の方向 [*]	最小すべり安全率	地震力の方向 [*]
基本解析	∞	—	∞	—
浮力解析	17.7	110°	37.7	90°

* 地震力の方向は、南に向かう区軸方向より反時計回りの角度である。

浮力を考慮した場合、岩盤ブロックのすべりに対して危険な水平地震力の方向は、海側から山側に向かう方向であり、この時最小すべり安全率は17以上と大きく、岩盤ブロックは十分な安定性を有しているものと判断される。

岩盤ブロックに浮力を考慮しない場合には、押込状態ですべり出すことはない。

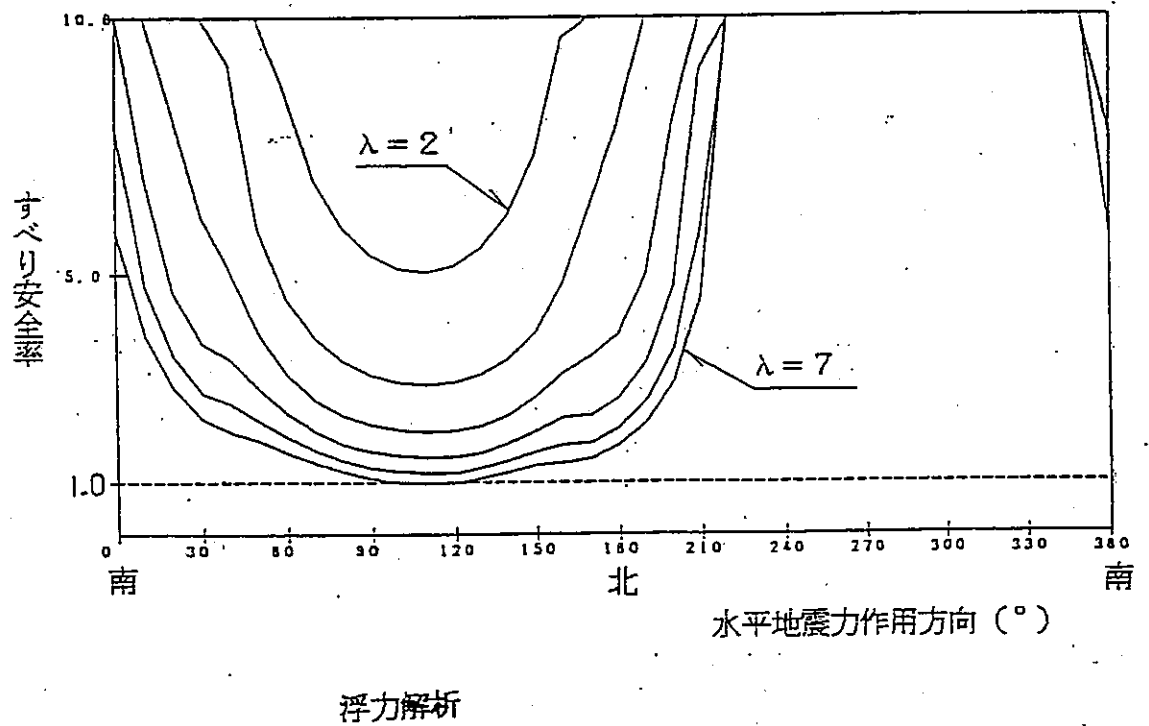
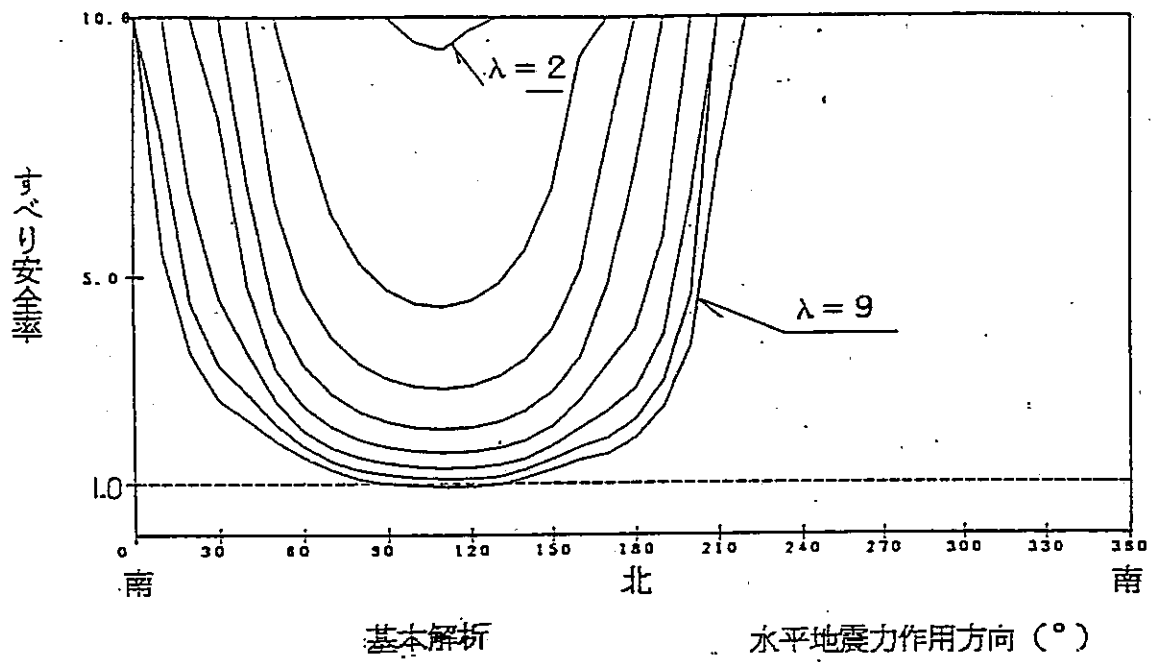
なお、すべり方向に平行していない面のせん断及び引張抵抗力は無視している。

また、水平震度0.20、鉛直震度0.10とこれらの震度を荷重増分させた地震力の比、すなわち地震力荷重係数 λ を増加させて、岩盤ブロックがすべり出す限界状態について検討した結果を第3.1図～第3.2図に示す。これより限界状態の地震力荷重係数と地震力の方向は第3.4表に示すとおりとなっている。

第3.4表 岩盤ブロックの限界状態での地震力荷重係数

ケース 項 目	ケース1 (1号炉)		ケース2 (2号炉)	
	限界状態での 地震力荷重係数	地震力の方向 [*]	限界状態での 地震力荷重係数	地震力の方向 [*]
基本解析	8以上	110°	6以上	50°
浮力解析	6以上	110°	5以上	50°

* 地震力の方向は、南に向かうX軸方向より反時計回りの角度である。



第 3.1 図 岩盤ブロックのすべり安全率 (ケース1)