

# ニューマーク法と2D-FEM解析による地震時の 斜面残留変位量の比較検討

橋本 隆雄<sup>1</sup>、宮島 昌克<sup>2</sup>、富澤 元<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 榎千代田コンサルタント (〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 3-3-7)

<sup>2</sup>正会員 金沢大学工学部土木建設工学科 (〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20)

<sup>3</sup>金沢大学大学院自然科学研究科 (〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20)

これまで宅地盛土地盤の地震時の斜面安定解析では、震度法による静的解析から地盤の状態を設定し、円弧すべり法を用いて検討してきた。しかし、兵庫県南部地震によって被害が生じた宅地斜面は、地震によって変形による被害が生じたが崩壊には至らなかった斜面と、崩壊に至った斜面とが混在していた。このため、より詳細に斜面の安定性を検討するためには、残留変位量の見地から耐震設計を行う必要性が認識されつつある。そこで本研究では、地震時の斜面の残留変位量算定方法としてニューマーク法及びFLUSHを用いた2次元FEM解析を用いて実際の事例をもとに地盤改良の前後の比較・検討を行い、今後の各解析法の有効性の考察を行うものである。

*Key words: Earthquake, Earthquake damage, Residential damage, Land slope*

## 1. はじめに

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震は、宅地擁壁・盛土に多くの被害をもたらした。現在、各種土木構造物の耐震設計に関する見直しが行われており、盛土等の土構造物においても地震安定性評価が課題となっている。本研究は、施工後約3年経過した造成盛土に対して地質調査を行って得た現状の物性値を用いて、地震前と地震後の安定性評価を行った結果を報告するものである。すなわち、地震時の斜面の残留変位量算定方法としてニューマーク法及びFLUSHを用いた2次元FEM解析<sup>2)</sup>を用いて実際の事例をもとに地盤改良の前後の比較・検討を行い、今後の汎用性を考慮した各解析法の有効性の考察を行うものである。

## 2. 対象地概要

対象とした宅地盛土は図-1に示すとおりで、のり面高さ約23m、のり面勾配は1:3で、盛土材は関東ロームを主体としている。基礎地盤は上から有機質粘土、砂、泥岩の地層構造を示しており、有機質粘土については、基礎地盤を含めた盛土全体の安定性から固結工法により地盤改良を行っている。また、盛土内に

は小段位置に排水層(土木用排水シート)を設置している。地下水位調査も行われ、縦排水工、集水暗渠工も行われていることから地下水位が低下していると考えられる。

## 3. 物性値の設定

表-1、2に解析に用いた地盤改良前後物性値を示す。以下に変状を生じた盛土と旧表土層の物性値の設定根拠を示すが、これらの物性値は、土性と $N$ 値より既存資料に示された平均的な値として設定した。

①  $\gamma$ 、 $C$ 、 $\phi$  : 強度定数

盛土材は、締固め三軸圧縮試験結果から $\gamma=1.55\text{tf/m}^3$ 、 $C=39\text{kN/m}^2$ 、 $\phi=5.3^\circ$ とした。他の解析に用いる物性値は、改良前を表-1に、改良後を表-2に示す。

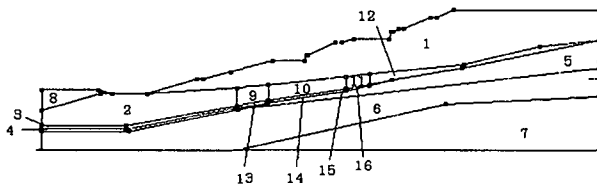
②  $V_s$  : せん断波速度

盛土及び旧表土層の $V_s$ は $N$ 値と $V_s$ の一般的な関係式<sup>2)</sup>より求めた。また、 $V_s$ より初期せん断剛性率 $G_0$ を求めた。

$V_s=80 \cdot N^{1/3}$  (砂質土)、 $V_s=100 \cdot N^{1/3}$  (粘土)

②  $G/G_0 \sim \gamma$  の関係、 $h \sim \gamma$  の関係

盛土及び旧表土のせん断剛性率のひずみ依存性



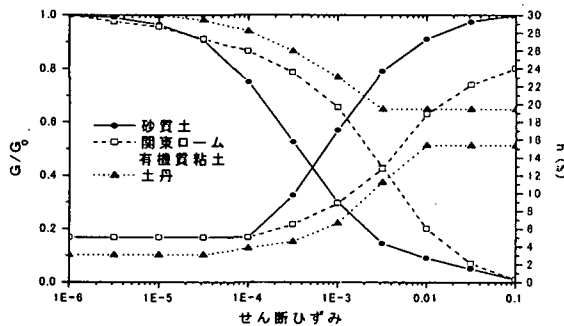
図—1 解析モデル図

表—1 改良前の解析物性値

物性値									
層番号	$\alpha$ ( $g/m^3$ )	$\alpha'$	$\gamma$ ( $g/m^3$ )	ポアソン比	$h_0$	M値	$E_f$ ( $g/m^2$ )	$G_0$ ( $g/m^2$ )	$v_s$ ( $m/sec$ )
1	39	53	1.561	0.45	0.05	5	820	4535	171
2	47	48	1.620	0.45	0.05	3	900	3369	144
3	29	30	1.530	0.45	0.05	7	600	5582	191
4	00	35.0	1.900	0.30	0.05	25	1700	16200	234
5~7	100	35.0	2.100	0.25	0.05	50	20000	330000	1250
8	30	00	1.400	0.45	0.05	5	820	4094	171
9~12	47	48	1.620	0.45	0.05	3	900	3369	144
13~16	29	30	1.530	0.45	0.05	7	60	5582	191

表—2 改良後の解析物性値

層番号	$\alpha$ ( $g/m^3$ )	$\alpha'$	$\gamma$ ( $g/m^3$ )	ポアソン比	$h_0$	M値	$E_f$ ( $g/m^2$ )	$G_0$ ( $g/m^2$ )	$v_s$ ( $m/sec$ )
9	11.8	00	1.50	0.30	0.05	20	240	115302	217
11	11.8	00	1.50	0.30	0.05	20	240	115302	217
13	11.8	00	1.50	0.30	0.05	20	240	112355	217
15	11.8	00	1.50	0.30	0.05	20	240	112355	217



図—2 動的物性値のひずみ依存性の関係

( $G/G_0 \sim \gamma$  の関係) と減衰定数のひずみ依存性 ( $h \sim \gamma$  の関係) は図—2 に示す関係を用いた。これらの特性は既存資料に土質別に図示された値の平均値を取ったものである。

### 3. ニューマーク法による検討

改良前の常時の安全率は、1.56、降伏震度は 0.14 となった。改良後の常時の安全率は、1.85、降伏震度は 0.21 となった。このニューマーク法による検討は、FEM 応答解析と合わせるために基盤からの応答波形による円弧すべり面の重心応答波形値の改良前最大加速

度 636.0gal、改良後 644.5gal を採用した。検討結果では、改良前の滑動変位量が 72.0 cm、改良後の滑動変位量が、34.2 cm と地盤改良の成果が示されたものとなった。この値は、後述する FEM 応答解析法による検討結果よりも大きめの値となっている。

### 5. FEM 応答解析による検討

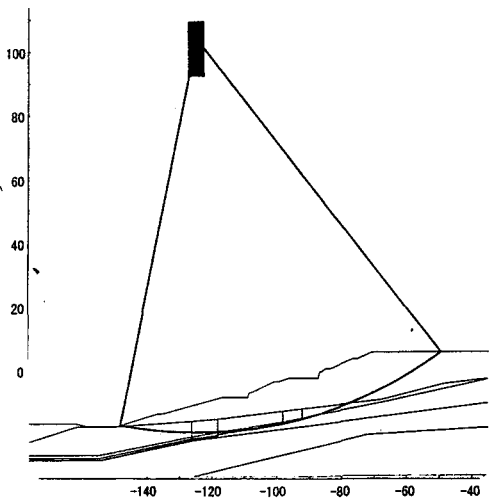
FEM 応答解析は等価線形化法 [FLUSH] による周波数領域の解析を行った。入力地震波は大地震を想定して兵庫県南部地震での神戸大学の基盤観測波形 N-S 成分の最大加速度 270.2gal を 400.0gal に補正したものを用いた。FEM 応答解析法による検討結果では、残留最大沈下量が改良前で 9.45 cm であり、改良後では僅か 8.78 cm となった。

### 4. 結論

ニューマーク法と FEM 応答解析による検討の結果、残留変位量に大きな差が生じた。FEM 応答解析の結果が 10 cm 以下と小さな値を示したのは、岩盤がのり面の中腹まであり、軟らかい層が非常に薄いためと考えられる。また、ニューマーク法が大きな値を示したのは、円弧すべり上に非常に軟らかい有機質粘土を挟み、その面改良率が小さいために降伏震度が改良前 0.14 に対し 0.21 までしか上がらなかった結果と考えられる。こののり面の地震時における残留変位量としてはニューマーク法の方が好ましいと考えられる。今後の応答解析については、この対象地区のように、明らかにすべり面が推定できる場合にはニューマーク法が、また、一様な軟らかく変形しやすく粘性土・ローム・シラス等地盤が厚く堆積している場合には、変形量が大きくなることが予想されるため FEM 応答解析が好ましいと考えられる。

### 参考文献

- 1) 中村邦男ほか：盛土の地震時沈下解析，第 17 回土質工学研究発表会講演集，pp.1889~1892，1982。
- 2) 日本道路公団：道路橋示方書（V 耐震設計編）・同解説，p.43，1996.12。



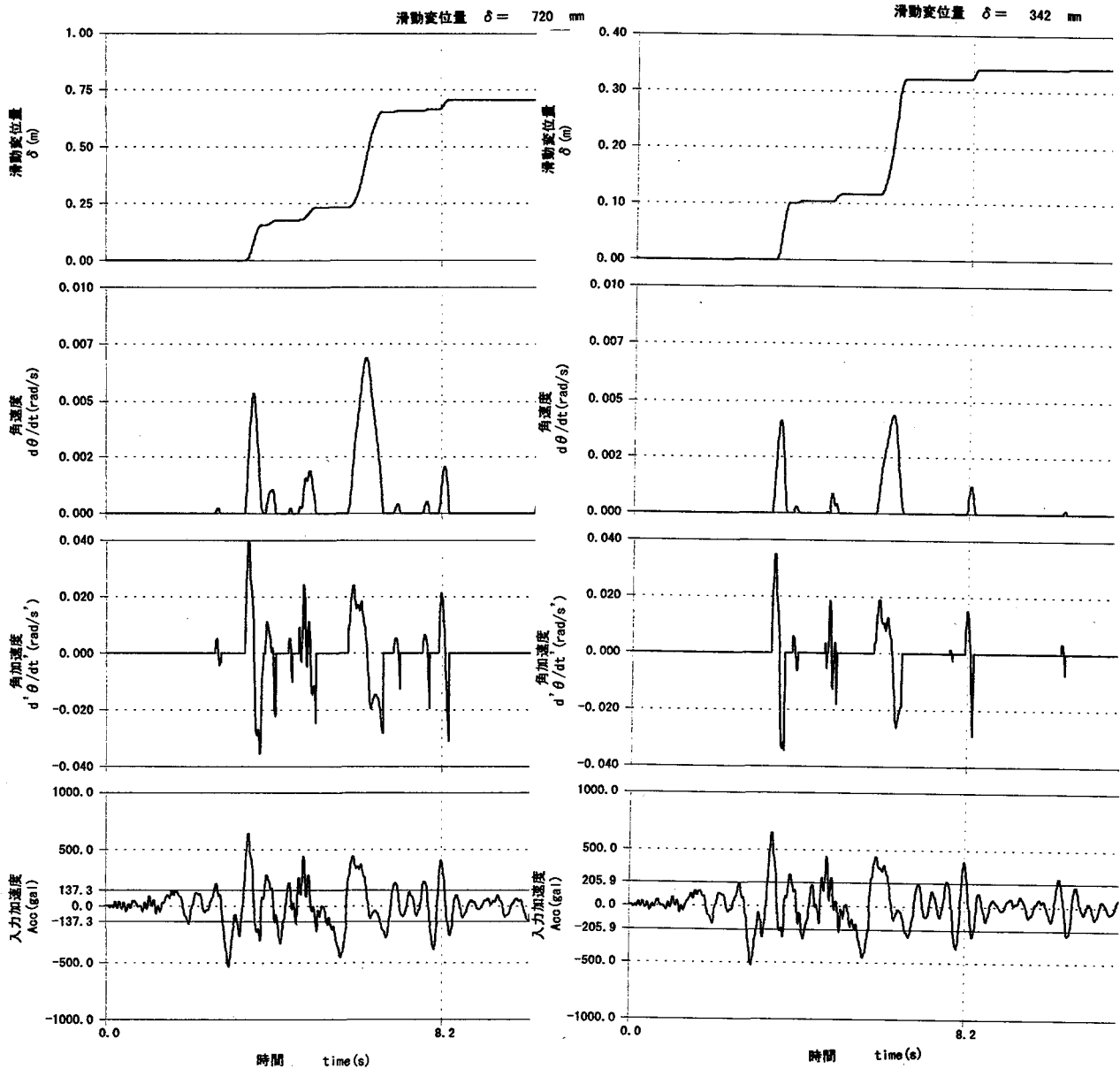
最小安全率 $F S_{MIN}$	=	1.556	最小安全率 $F S_{MIN}$	=	0.998
円弧の中心 X	=	-90.00 (m)	円弧の中心 X	=	-91.00 (m)
円弧の中心 Y	=	131.00 (m)	円弧の中心 Y	=	141.50 (m)
半径 R	=	117.00 (m)	半径 R	=	127.50 (m)
抵抗モーメント $M_R$	=	58917.28 (tf·m)	抵抗モーメント $M_R$	=	77724.13 (tf·m)
起動モーメント $M_0$	=	37854.72 (tf·m)	起動モーメント $M_0$	=	77913.13 (tf·m)

(a) 改良前の安定計算

最小安全率 $F S_{MIN}$	=	1.848	最小安全率 $F S_{MIN}$	=	0.992
円弧の中心 X	=	-90.50 (m)	円弧の中心 X	=	-90.50 (m)
円弧の中心 Y	=	137.50 (m)	円弧の中心 Y	=	137.50 (m)
半径 R	=	123.50 (m)	半径 R	=	123.50 (m)
抵抗モーメント $M_R$	=	75134.46 (tf·m)	抵抗モーメント $M_R$	=	62932.10 (tf·m)
起動モーメント $M_0$	=	40658.51 (tf·m)	起動モーメント $M_0$	=	63407.76 (tf·m)

(b) 改良後の安定計算

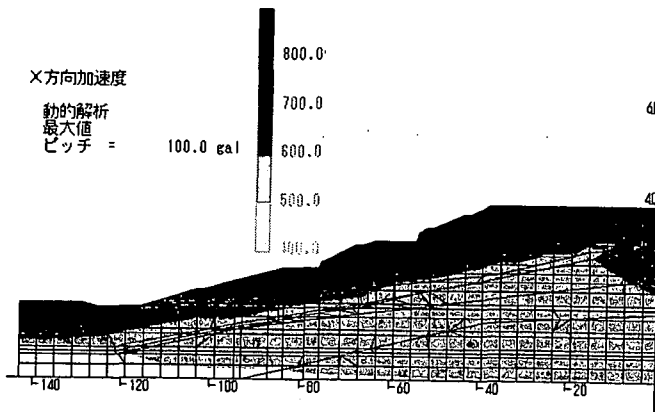
図-3 フェレニウス法による安定計算



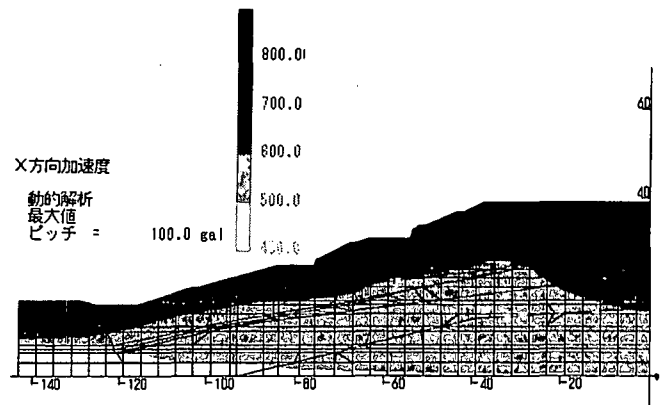
(a) 改良前の滑動変位量

(b) 改良後の滑動変位量

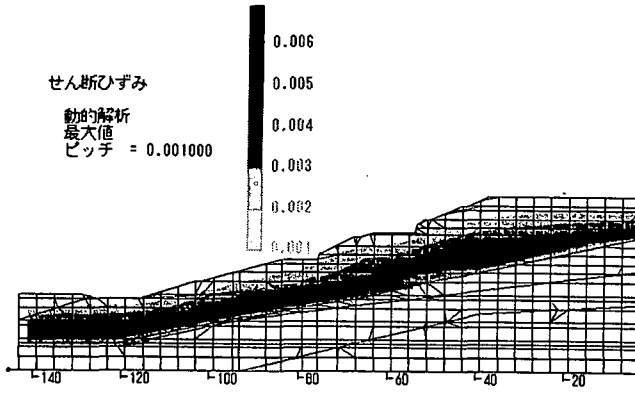
図-4 ニューマーク法による解析結果



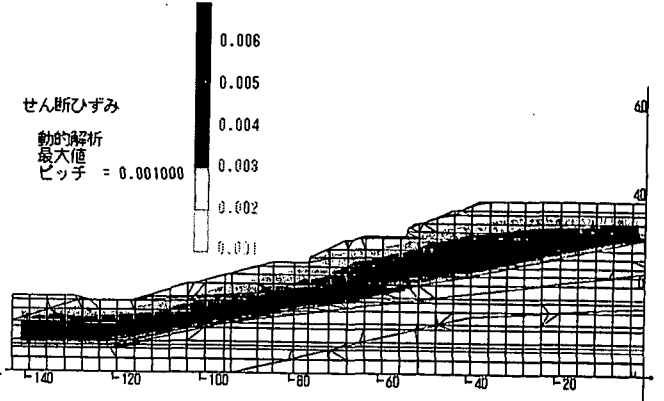
(a) 改良前加速度分布図



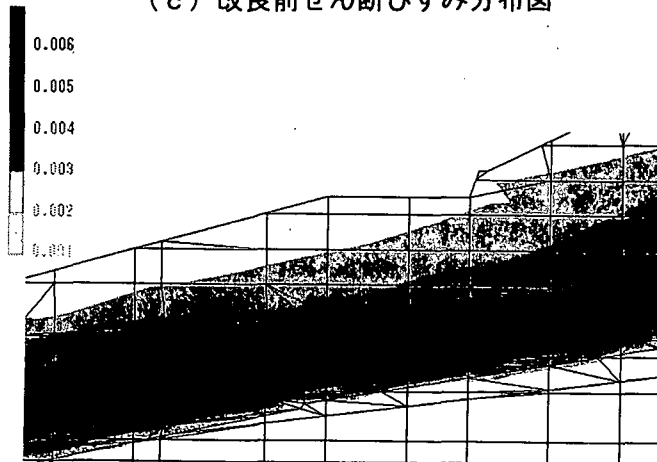
(b) 改良後加速度分布図



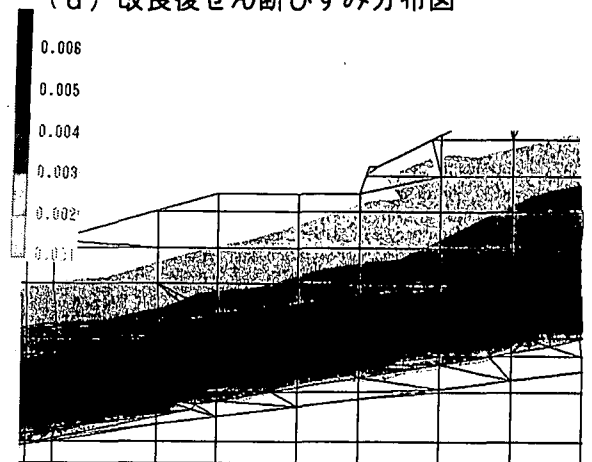
(c) 改良前せん断ひずみ分布図



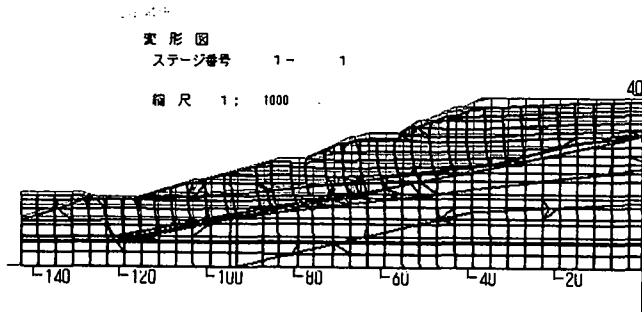
(d) 改良後せん断ひずみ分布図



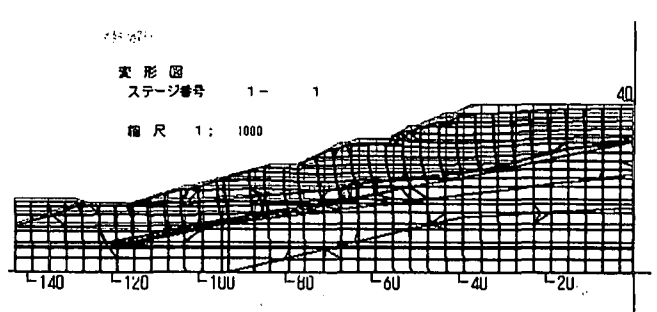
(e) 改良前せん断ひずみ分布拡大図



(f) 改良後せん断ひずみ分布拡大図



(g) 改良前動的解析による変形図



(h) 改良後動的解析による変形図

図—5 FEM応答解析法による解析結果