## 有限要素法に基づく Newmark 法によるすべり量の算定に関する研究

(株) ユニ	ック	正会員	○西村聡、	前原達也、	石原史	」隆
元(独)原	〔子力安全	基盤機構	正会員	中村英孝、	村田雅	眀
日本大学				正会員	中村	晋
東京都市大	、学			正会員	吉田郁	函

#### 1. はじめに

これまでの原子力建屋周辺斜面の安定性評価では、力の釣り合いに基づく方法を用いており、安全側の評価になっていると考えられるが必ずしも崩壊に対する終局限界状態を適切に評価しているとは限らない. 最近では、変形性能照査が求められる方向にあり、比較的容易に変形量を推定できる方法として Newmark 法が注目されている. そこで、本研究では、従来の動的有限要素法を用いた力の安全率による評価手法を拡張する形で有限要素法を用いた動的解析に基づく Newmark 法による滑動変形量の推定を行う. 小型斜面模型の振動台実験<sup>1)</sup>と大型斜面模型の振動台実験<sup>2)</sup>を対象として再現解析を実施した. なお、大型斜面模型の振動台実験は E ディフェンスで実施されたものである.

### 2. 有限要素法に基づく Newmark 法によるすべり量算定の概要

従来の力のつり合いに基づく安定性評価と同様に2次元動的FEM解析を実施し、その結果からNewmark法を用いてすべり量の算定を行う<sup>3)</sup>. すべり量は以下の運動方程式を解くことで算定する.

$$M\ddot{d} = S_s + S_d(t) - R_s - R_d(t)$$

ここに, M: 土塊質量, d: すべり量,  $S_s$ : 初期応力状態における滑動力,  $S_d(t)$ : 地震時時刻 t おける滑動力,  $R_s$ : 初期応力状態における抵抗力,  $R_d(t)$ : 地震時時刻 t おける抵抗力.

滑動力が強度特性から決められる最大抵抗力より小さい場合には、滑動力と同じだけ抵抗力が発揮されるため、 上式の右辺が0となり、滑動は生じず、滑動力が最大抵抗力を上回った際にすべり量が発生する.抵抗力の算定に 用いる強度特性は、要素破壊を考慮し、局所安全係数が1.0を下回った要素の強度は、それ以降残留強度が発揮さ

れると考えて安全率時刻歴の算定を行う. また,最初に安全率が1.0より小さくな る,すなわち一度すべりだしたら,その すべり線を通る要素は以後すべて残留強 度を用いて,抵抗力を算定する.すべり 量の算定は基本的に藤野ら<sup>4</sup>に従った.



#### 3. 小型斜面模型の振動台実験の再現解析

実験では、加速度レベルを100galから斜面模型が崩壊に至るまで徐々に大きくし、600galを入力した際に崩壊 に至った. 有限要素法に基づく Newmark 法による再現解析では、400gal ではすべりが発生しなかったが、500gal、 600gal ですべりが発生した(図-2).実験で崩壊したときよりも小さな加速度においてすべりが発生したことは、 解析による評価としては安全側となったと言える.また、加振を繰り返して行ったことで強度が低下したと考え、 強度を低下させることにより実験におけるすべり量とすべり量の増加勾配を再現することができた(図-3).

### 4. E ディフェンスで実施した大型斜面模型の振動台実験の再現解析

実験では、加速度レベルを 100gal から斜面模型が崩壊に至るまで徐々に大きくし、観測波 800gal を入力した際 に岩盤と弱層の境界部にクラックが発生し、その次に正弦波 800gal を入力した際に崩壊に至った. 有限要素法に 基づく Newmark 法による再現解析では、クラックが発生した観測波 800gal において約 50cm のすべり量となってお り(図-6)、解析による評価としては安全側となった.

キーワード	斜面崩壊,	地震時安定性,	Newmark 法	
連絡先	〒153-0041	東京都目黒区騎	]場3丁目5番18号	TEL: 03-3468-6711

-553-

# -277

# 5. まとめ

斜面模型実験を対象に有限要素法に基づく Newmark 法による再現解析を行った. 解析では実験において崩壊した ときよりも小さい加速度レベルにおいてすべり量が発生し,解析による評価としては安全側となった.また,すべ り量を評価するためには,強度を適切に設定することが課題となる.



図・2 小型斜面模型実験の崩壊状況と FEM 解析モデル

表-1 小型斜面模型実験再現解析の物性値

		弱層	表層	岩盤層
密度(kg/m3)		1767	3000	1890
ポアソン比		0.213	0.305	0.255
ピーク	内部摩擦角(°)	39.5	0	57.3
強度	粘着力(kPa)	2.9	107.4	280.5
残留	内部摩擦角(°)	36.3	28.4	53.4
強度	粘着力(kPa)	1.7	34.4	5.4
初期せん断剛性(MPa)		61.0	31.3	3174.2
ヤング率 (MPa)		147.9	81.6	7967.1
Vs(m/s)		186	102	1296





図-5 大型斜面模型実験の崩壊状況と FEM 解析モデル

表-2 大型斜面模型実験再現解析の物性値

		弱層	表層	岩盤層
密度(kg/m3)		1658	1658	1890
ポアソン比		0.397	0.397	0.255
ピーク	内部摩擦角(°)	31.3	31.3	57.3
強度	粘着力(kPa)	8.18	8.18	280.5
残留	内部摩擦角(°)	31.7	31.7	53.4
強度	粘着力(kPa)	3.54	3.54	5.4
初期せん断剛性(MPa)		22.2	22.2	3174.2
ヤング率 (MPa)		63.1	63.1	7967.1

表-3 大型斜面模型実験再現解析のすべり量算定結果

	解析		
加振レベル	最小すべり	十六二里	実験結果
	安全率	りへり重	
不規則波800gal	0.508	495mm	クラック発生
正弦波800gal	0.361	212mm	崩壊



## 参考文献

1)村田雅明他:岩盤斜面模型の地震時におけるひずみの発達過程に関する検討,第46回地盤工学研究発表会,2011
2)中村晋他:Eディフェンスで実施した大型斜面模型の振動台実験の概要,土木学会年次学術講演会,Ⅲ-313,2012
3)吉田郁政他:斜面の地震時確率的安定性評価に関する研究,土木学会論文集,No.785/Ⅲ-70,pp.27-37,2005
4)藤野陽三他:地震動による物体のすべりについて,地震研究所彙報,Vol.53, pp.461-480, 1978