

III-444

個別要素法の斜面動的安定問題への適用について

清水建設大崎研究室 正員 吉田 順

1. はじめに

斜面安定問題への個別要素法(以下DEMと略す)の適用はすべり・転倒などの崩壊パターンについての検討を可能にし、従来のすべり面解析あるいはFEM解析では得られなかった知見を与えるものと期待される。また、筆者ら^{1),2)}はDEM解析の動的問題への適用について基本的な応答計算を行い、すべりあるいはロッキングなど不連続性の挙動の動的応答への影響を考慮できることを示した。本研究では不連続性斜面の動的安定問題にDEMを適用し、斜面安定に及ぼす地震荷重の影響について検討したものである。

2. 解析モデルおよび条件

解析の用いたモデルは図-1に示す斜面(基盤ブロック)上に三角形ブロック(65要素)を積み上げたもので、基盤の傾斜は $i=0.2$ である。解析に用いた物性は表-1の通りであり、摩擦係数は初期状態を求める自重解析で崩壊が生じないように基盤の傾斜 $i=0.2$ よりもかなり大きい $\mu=0.50$ を設定している。摩擦係数を傾斜 $i=0.2$ よりも小さい $\mu=0.16$ とした場合にこの解析モデルは自重解析で図-2のような崩壊パターンを示している。自重解析で静的な釣合状態を求めたのちに地震時の解析として静的地震力を加えた解析と動的応答解析の2種類を行い、解析結果を比較した。なお、自重解析には時間増分 $\Delta t=5.0 \times 10^{-4}$ secで3000stepを要した。

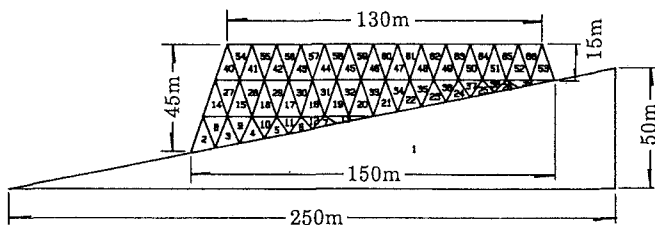


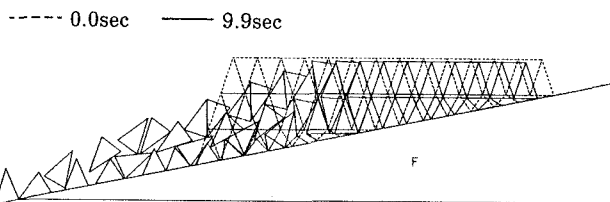
図-1 解析モデル

表-1 解析条件

単位体積重量	γ	2.0	t/m ³
垂直バネ定数	k_n	1.0×10^7	kN/m
せん断バネ定数	k_s	5.0×10^6	kN/m
比例減衰係数	β	5.0×10^{-4}	sec
摩擦係数	μ	0.50	(摩擦角 $\phi=26.6^\circ$)
	μ'	0.16	(摩擦角 $\phi'=9.1^\circ$)

3. 静的地震力を加えた解析

斜面安定解析で動的安定性を考えるときによく用いられるのが静的地震力の形で荷重を加える方法であり、ここでは水平左方向に重力加速度と同様な形で所定の大きさの加速度を各ブロックの重心に加えた。ただし、基盤ブロックは固定である。解析は $\Delta t=5.0 \times 10^{-4}$ secで10000stepすなわち5秒間

図-2 すべり破壊($\mu'=0.16$ の場合)

行った。0.5gの地震力を加えた場合の5秒後の変形状態を図-3に示す。滑動力が傾斜 $i=0.2+0.5g$ の大きさとなり、抵抗力の $\mu=0.50$ を上回っているため、モデル全体が大きなすべり変形を生じており、さらにモデル左側の4列に転倒(トップリング)破壊が見られる。これに対して図-4に示した地震力0.3gの場合には滑動力と抵抗力はほぼ釣り合っているため、全体的なすべり変形は小さくなり、モデル左側の3列で大きな転倒破壊が生じている。なお、宙に浮いた要素があるのは分離しても常に水平加速度が加わっているためである。

4. 動的応答解析

自重解析の静的な釣合状態を初期条件として基盤ブロックに変位波形を入力し、動的応答を求めた。

入力波形はsin波で振動数2Hzとし、振幅は3.1cm(最大加速度0.5gに対応)と6.2cm(1.0g)の2ケースについて解析した。この解析も時間増分 $\Delta t=5.0 \times 10^{-4}$ secで10000stepの継続時間5秒である。図-5, 6にそれぞれ振幅3.1cm, 6.2cmの5秒後の変形状態を示す。全体的なすべりは両ケースともあまり生じていないが、変形量は図-6の方が大きくなっている。また、モデル左側での転倒破壊はいずれも1列のみであるが、これも図-6の方が大きな変形を示している。

5. 考察

DEM解析でポイントとなる崩壊モードについては強度を小さくした時のすべり破壊(図-2)は静的地震力解析と動的応答解析のいずれにも見られず、転倒破壊が見られた。これは傾斜と比較してかなり大きい $\mu=0.50$ を設定し、構成則に軟化を考慮していないために一旦すべりが生じたところでもかなりのすべり抵抗が残るためと考えられる。地震荷重を比較すると全体的なすべりでは静的地震力の0.3gは動の入力の0.5gと1.0gの間に対応し、局部破壊(転倒破壊)に及ぼす影響は静的地震力の方が圧倒的に大きくなっている。この原因は静的地震力がすべり方向にしか掛からないことと、3.でも少し述べたように静的地震力は崩壊後もそのまゝの大きさで掛かっているのに対して動的解析では崩壊によりエネルギーが消散したり、すべり・剥離によりエネルギーがそのまま伝わらないことが考えられる。

6. まとめ

不連続性斜面の動的安定問題にDEMを適用し、すべりあるいは転倒破壊に及ぼす地震荷重の影響について検討した。その結果、次のような知見が得られた。

- 静的地震力のすべりあるいは転倒破壊に及ぼす影響は動の入力に比べてかなり大きく、その設定には不連続性の考慮が必要である。
- 地震によるすべり破壊の表現には強度の低下等の構成則の導入が必要である。

参考文献 1) 吉田, 大西; 個別要素法の動的問題への適用に関する一考察, 第42回土木学会年講, 1987

2) 吉田; 個別要素法による動的応答解析についての検討, 第43回土木学会年講, 1988

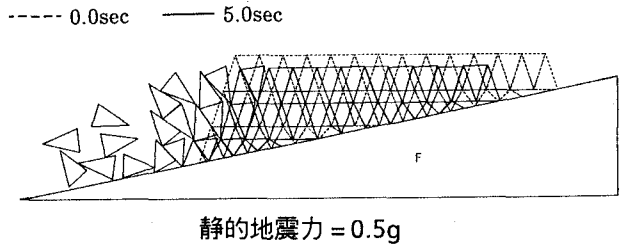


図-3 静的地震力载荷後の変形状態

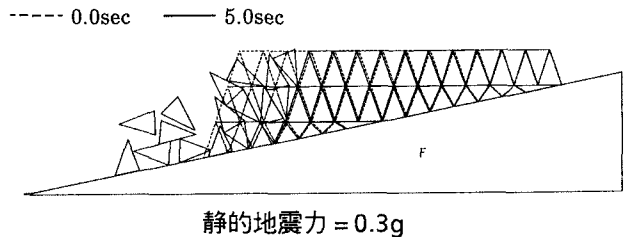


図-4 静的地震力载荷後の変形状態

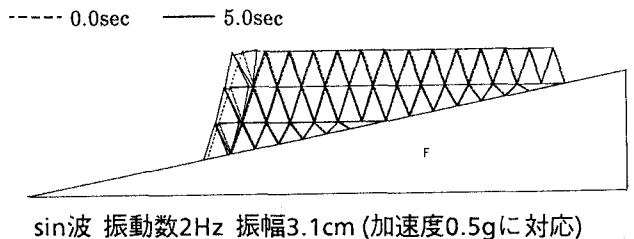


図-5 振動後の変形状態

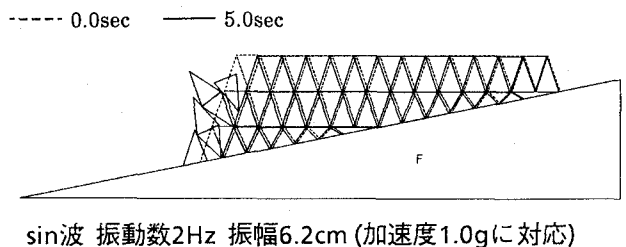


図-6 振動後の変形状態