

## (50) 盛土の振動による進行性破壊のDEM解析

○東京大学大学院 学生会員 岩下 和義  
東京大学地震研究所 正会員 伯野 元彦

### 1. まえがき

現在、地盤の破壊解析の手法には、地盤を連続体と考へての解析法(FEM、BEM等)と、地盤を土砂や岩石といった非連続な粒子(ブロック)からなる集合体であるとして考へての解析法(個別要素法、DEM<sup>1)2)3)</sup>、Distinct Element Method等)の二つがある。連続体解析は、破壊の発生に至るまでの解析が主目的であり、破壊後の解析は得意ではない。これに対して、非連続体解析は、破壊の発生から進行に至るまでの連続的な解析が可能である。しかし、現在までのDEMには、モデルの安定性に問題があり解析の内容を制限していた。本解析では、DEMに剛体要素間の直接の接触による力の他に、要素間の粘土分の影響を直方向と剪断方向のバネの形で表し、ある限界の歪みを越えると切れてしまうとして取り入れることによりこの問題を解決した。なおこのバネは、引っ張りの歪みに弱く圧縮歪みには強とした。この改良により、モデルに地盤のもつ連続性と非連続性を両方とも取り入れることができたと思われる。またせん断方向の変形に対して粘着力を考へた破壊基準を取り入れた。そして解析例として土砂からなる崖と盛土の破壊解析を2次元で試みた。

### 2. 解析と考察

崖モデルの概要は高さ3m、幅10m、要素数1000個、粒子の半径は最大15cm、最小5cmとする。まず、外力を加えない場合には、崩れないことを確かめたモデルに振動外力を加えた場合を解析した。入力波として簡単な為、正弦波の加速度を用いることにし、下方の壁の役目をしている粒子要素から水平(X軸)方向に入力した。正弦波は、2Hz 800Galのものを用いた。図-1に崩壊の様子を全体の粒子の形状(位置)と粒子の速度分布図で示す。まず崖に亀裂がはいり、塊となって崩れ始め、その塊が幾つかのブロックに砕け手いく様子をはっきりと捉えられている。図-2に同じモデルで0-4秒まで加振した場合と2秒めで加振を止めた場合の崩壊の変化を示す。この場合では崩壊の形状には、大きな相違はとくにみあたらない。図-3に崩壊の様子を粘土分バネの分布の形で表示したものを示す。崖に亀裂が幾つか生じ、土砂が塊となったまま崩れ落ち、その上の塊が耐えきれずに崩れ落ち、滑り線が生じていくことがはっきり捉えられている。図-4に粘土分の効果を入れる場合と入れない場合、振動外力を加える場合と加えない場合の崩壊の違いを示す。動いた粒子を少し濃く表示した。粘土分を考へないと進行性破壊は表れず、粘土分を考へて振動外力を加えると破壊はより深くまで達し、より多くの亀裂が生じた。

次に盛土の振動による破壊解析の結果を示す。モデルは、崖のモデルの片側をある角度(45°と30°)で切りとり作成した。入力波には同様に正弦波加速度を用い、壁要素より水平(X軸)方向に加えた。正弦波の周波数は2Hz、振幅は1000Galとした。図-5に斜面の角度が45°の場合の、図-6に斜面の角度が30°の場合の全体の形状と粘土分バネの分布を示す。盛土の解析でも進行性破壊が生じている。斜面の角度が急なほど早く崩れている。崖の崩壊に比較して斜面に発生した亀裂の方向が変わっているが、その他の状態は似ている。バネの分布図より滑り線が発生していく様子を見る事ができる。

パラメータについては、図はここにはのせていないが、以下のような事がわかった。粘着力が小さい

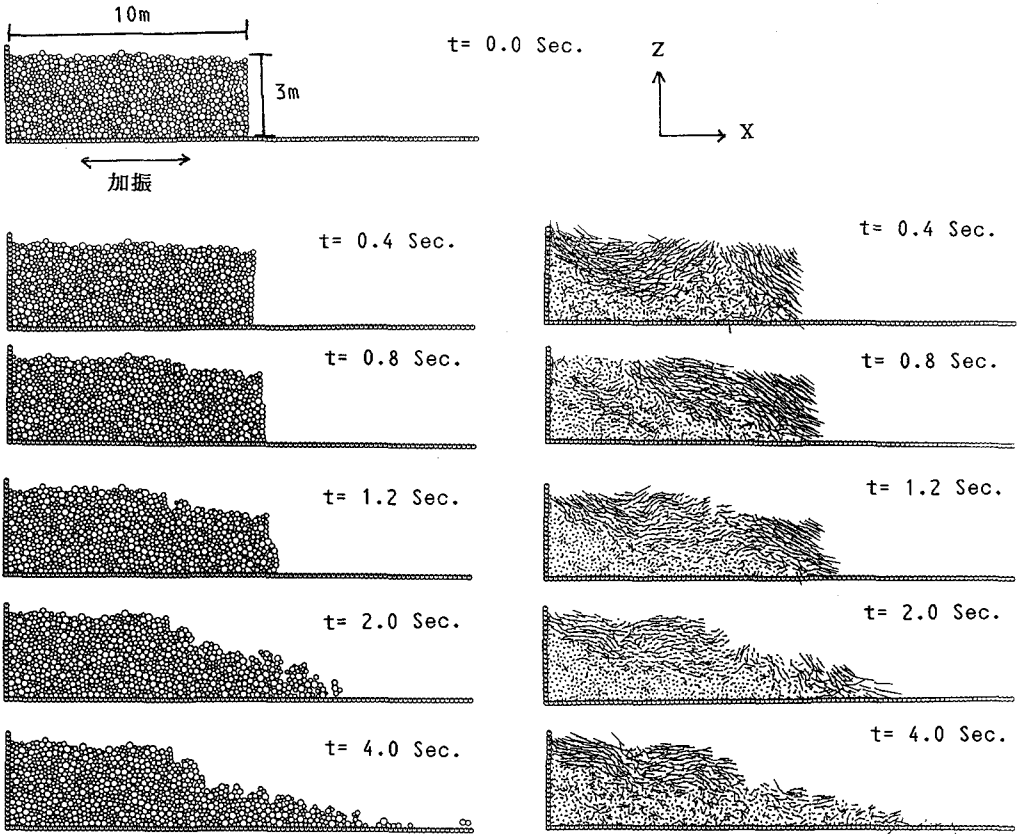
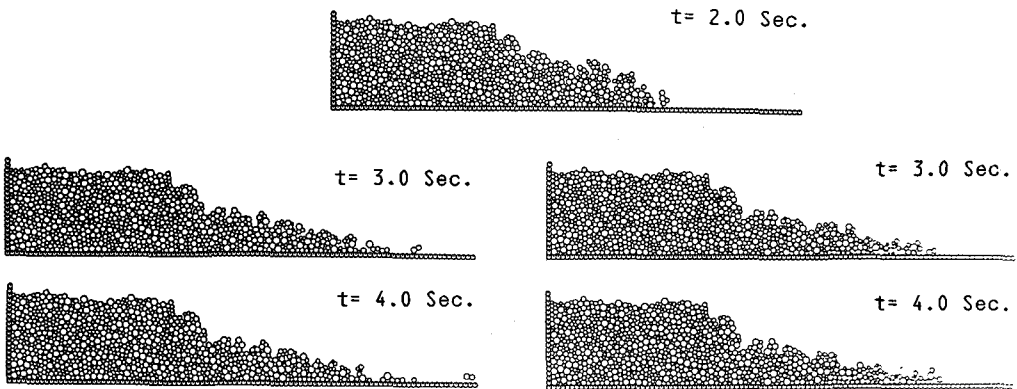


図-1. 振動外力を加えた場合の崖の崩壊 全体の形状と速度の分布  
 (粘土分の歪み限界3%、 $t=0.4, 0.8, 1.2, 2.0, 4.0$  Secを示す。  
 入力波として2Hz、800Ga1の正弦波加速度を用いた。)



0-4秒に外力を加え続けた場合。 0-2秒は外力を加えたが、それ以後は加振しない場合。  
 図-2. 振動外力を加えた場合の崖の崩壊 全体の形状  
 (粘土分の歪み限界3%、 $t=2.0, 3.0, 4.0$  Secを示す。  
 入力波として2Hz、800Ga1の正弦波加速度を用いた。)

と破壊は奥まで進み、大きくするとはがれ落ちる形になり、より大きくすると崩れなくなる。粘土分のパネはある歪みになると切れるようになっていくが、その限界値を大きくすると崩壊しにくくなる。崩壊には動摩擦係数はあまり影響がない。粒子の回転は崩壊時には影響が少なく、転がる時に影響がある。

### 3. あとがき

本解析では、剛体粒子間の粘土分の影響を取り入れることにより土砂の進行性破壊を表わす事ができたと思われる。結果は崖や盛土の表面に亀裂が入り、破壊が進行していくのにしたが、滑りの線があらわれ、多くのブロックに砕けながら、崩壊していく様子が認められた。本方法により、モデルが破壊する以前から進行するまでを連続して解析できる事がわかった。

### ☆ 参考文献。謝辞 ☆

解析には、東京大学地震研究所のHITAC M-280Hを、TSS プログラムには地震研の瀧瀬・鷹野氏作成の ETERMを用いました。記して謝意を表します。

- 1) 木山・藤村：カンドルの離散剛要素法を用いた岩質粒状体の重力流動の解析、土木学会論文報告集、Vol. 333, pp. 137 - 146, 1983. 5.
- 2) 岩下・伯野：三次元粒状体シミュレーションによる地盤破壊の解析、自然災害科学学会学術講演会要旨集、Vol. 4, pp. 21 - 22, 1986. 10.
- 3) 垂水・岩下・カサベルデ・植村・伯野：粒状体シミュレーションによる構造物基礎の動的破壊、第7回日本地震工学シンポジウム、pp. 787 - 792, 1986. 12.

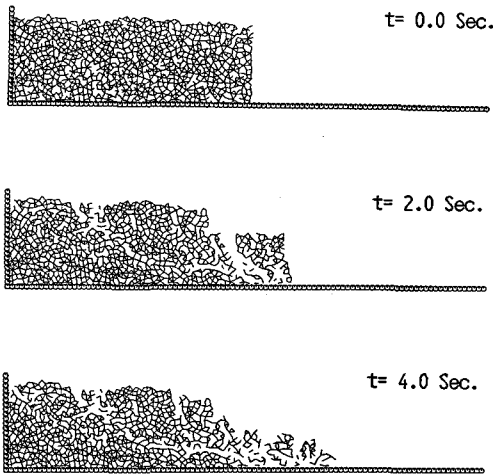


図-3. 崖の崩壊の様子。  
(粘土分のパネの分布で示す。  
t = 0.0, 2.0, 4.0 Sec.)

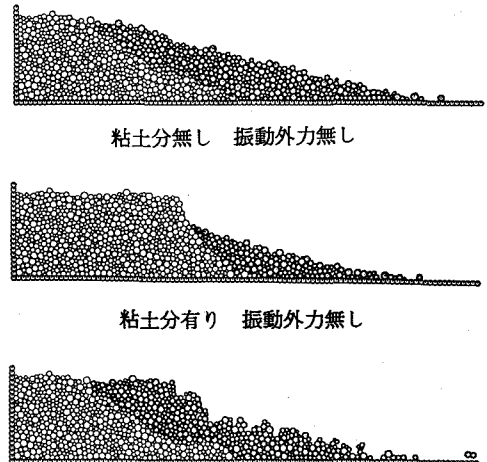


図-4. 崖の崩壊の様子。  
(4.0 Sec.における全体の形状。  
粘土分の有無と外力の有無を条件とした。  
20 cm以上動いた粒子を濃く表示。)

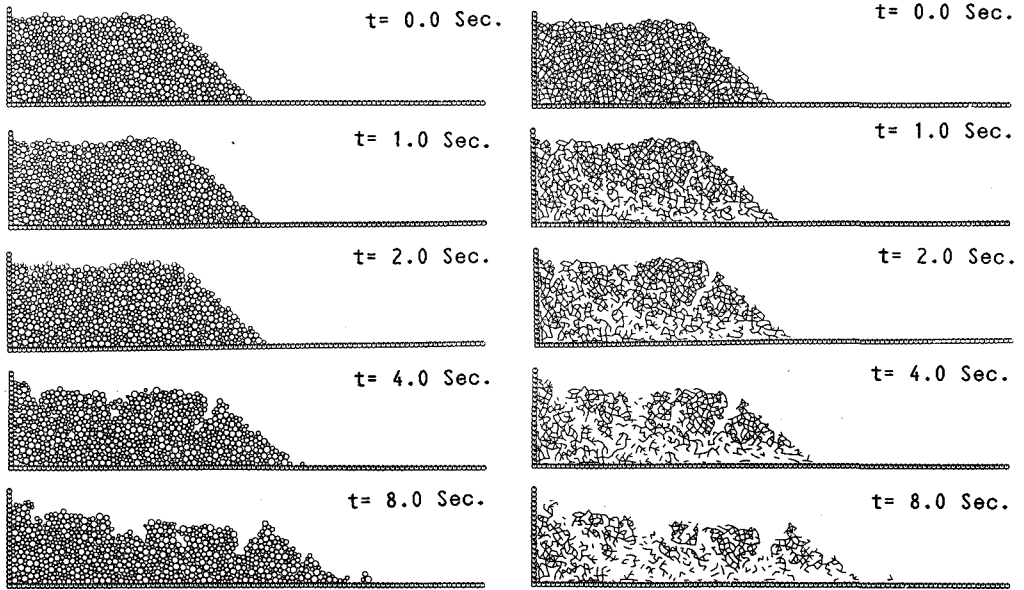


図-5. 振動外力を加えた場合の盛土の崩壊（斜面の角度は45°） 全体の形状と粘土分のパネの分布（粘土分の歪み限界1.5%、 $t = 0.0, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0$  Secを示す。

入力波として2Hz、1000Galの正弦波加速度を用いた。）

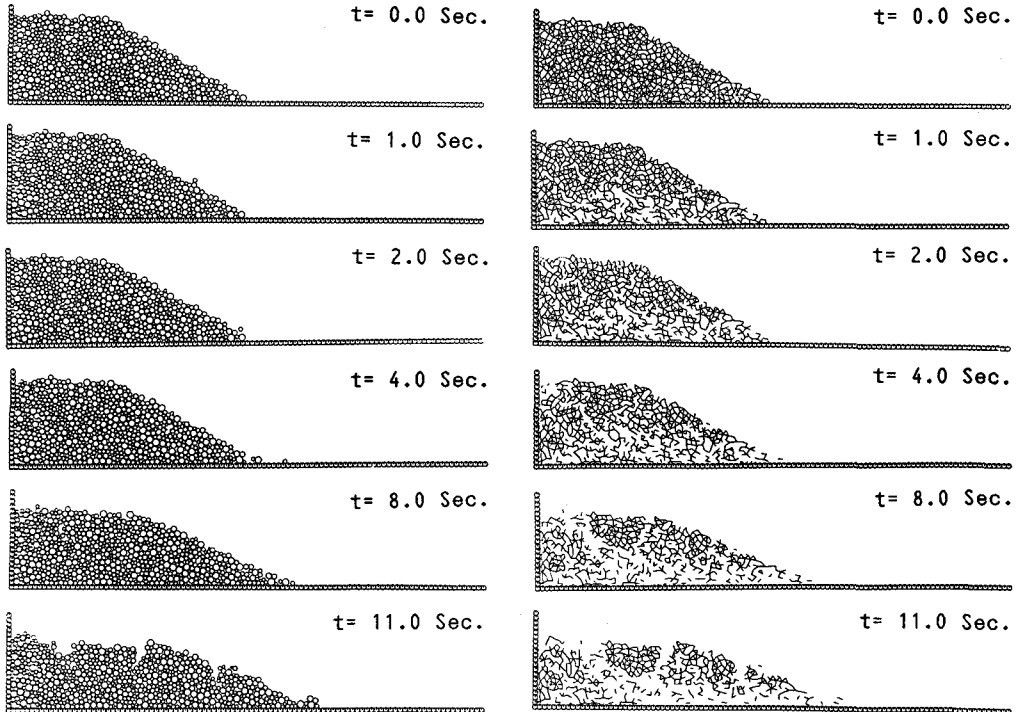


図-6. 振動外力を加えた場合の盛土の崩壊（斜面の角度は30°） 全体の形状と粘土分のパネの分布（粘土分の歪み限界1.5%、 $t = 0.0, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 11.0$  Secを示す。

入力波として2Hz、1000Galの正弦波加速度を用いた。）