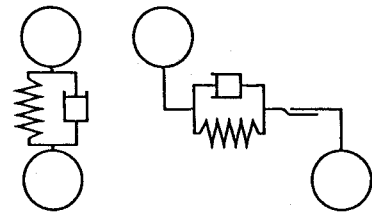


地盤変形を考慮した落石シミュレーションに関する研究

徳島大学大学院 学生員 ○奥田博之
徳島大学工学部 正会員 山上拓男

1. はじめに

これまで落石挙動に関する多くの数値シミュレーション手法が提案されてきた。しかし、それらの大多数は斜面を剛体と仮定しているため、落石が斜面と衝突する際に生ずる地盤変形を考慮していない。ところが、実際の斜面においては、衝突時の地盤変形が、その後の落石挙動に影響を及ぼすと考えられる。そこで本研究では、斜面の地盤変形を考慮するために、個別要素法¹⁾を用いて斜面を粒状集合体とした場合の落石シミュレーションを行った。



(a) 法線方向 (b) 接線方向
図-1 個別要素法の接触モデル

2. 解析モデル

個別要素法は、互いに不連続な要素の集合体に対して、差分表示された運動方程式を繰り返し計算することにより個々の要素の変位を求め、集合体全体の動力学的挙動を解析する手法である。要素間の接触は図-1に示すように、バネ・ダッシュポット・スライダの組み合わせでモデル化される。個別要素法についてのさらに詳細な説明は紙面の都合上参考文献を参照されたい。

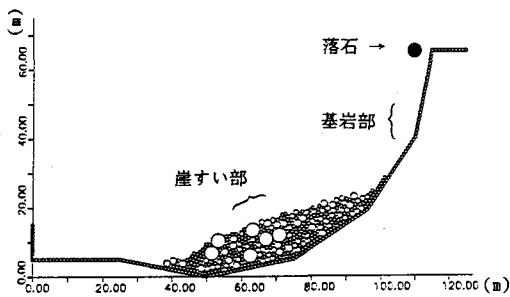


図-2 解析モデル

図-2に示す解析モデルを用いて、上部を基岩、下部を崖すいで構成される斜面上を落下する落石挙動の解析を行った。基岩は不動要素（半径0.5m）を連ねることで表現した。また、崖すい部は異なる大きさの可動要素（半径0.5～2.0m）を基岩上に堆積させて作成した。図中の黒く塗り潰してある要素（半径2.0m）が落石を表す。以後、斜面を構成する要素を斜面要素、落石を表す要素を落石要素と呼ぶ。

計算に必要な解析条件を表-1に示す。斜面の地盤変形が落石挙動にどのような影響を与えるかを調べるために、斜面要素-斜面要素間の法線方向減衰定数の値を4ケースに変化させて解析を行った。この値が小さいほど、斜面は地盤変形しやすい。各ケースとも落石要素-斜面要素間の減衰定数は法線、接線方向とも0.0N・sec/mと設定し、落石-斜面間でダッシ

表-1 解析条件

	落石-斜面	斜面-斜面
法線方向ばね定数(N/m)	1.0×10^7	1.0×10^7
接線方向ばね定数(N/m)	1.0×10^7	1.0×10^7
法線方向減衰定数(N・sec/m)	0.0	4.0×10^5 (ケース1) 2.0×10^5 (ケース2) 7.0×10^4 (ケース3) 0.0 (ケース4)
接線方向減衰定数(N・sec/m)	0.0	0.0
摩擦係数	0.577	0.577
密度 (kg/m ³)	2000	
差分間隔 (sec)	1.0×10^{-4}	

ュポットによるエネルギーの消散はないものとした。したがって、落石のもつエネルギーは摩擦か地盤変形でのみ消散される。

3. 解析結果

ケース3のシミュレーション結果を図-3に示す。これらの図から、落石は斜面との衝突を繰り返しながら移動し、最終的には崖すい部で斜面にめり込み停止していることがわかる。ケース1、2および4の結果は紙面の都合上省略する。

つぎにケース1～4について、落石の落下速度と落差との関係を図-4に示す。図中●印は落石が基岩部を移動しているとき、×印は崖すい部を移動しているときである。落石が基岩部にあるときは、摩擦によるエネルギー消散は多少あるが、落下とともに速度は増加していく。ところが、落石が崖すい部に到達すると速度は徐々に減少していく。崖すい部における落石の落下速度をケース別に比較すると、斜面が地盤変形しやすいものほど、速度減少の度合いが大きいことがわかる。

以上の結果から、個別要素法は、落石のもつエネルギーが斜面の地盤変形に置換される過程をうまく表現しているといえる。

4. おわりに

個別要素法を用いて斜面を粒状集合体とした場合の解析を行った。その結果、個別要素法は斜面の地盤変形を考慮した落石シミュレーションに適していることがわかった。また、斜面の地盤変形が落石挙動に与える影響を定量的に評価できた。今後、実験結果との比較を行い、適切な物性値を求めて行く予定である。

【参考文献】1) P. A. Cundall, O. D. L. Strack: The Distinct Element Method As Tool for Research in Granular Media, Report to The National Science Foundation Concerning NSF GRANT ENG76-20711, pp. 1~96, 1978

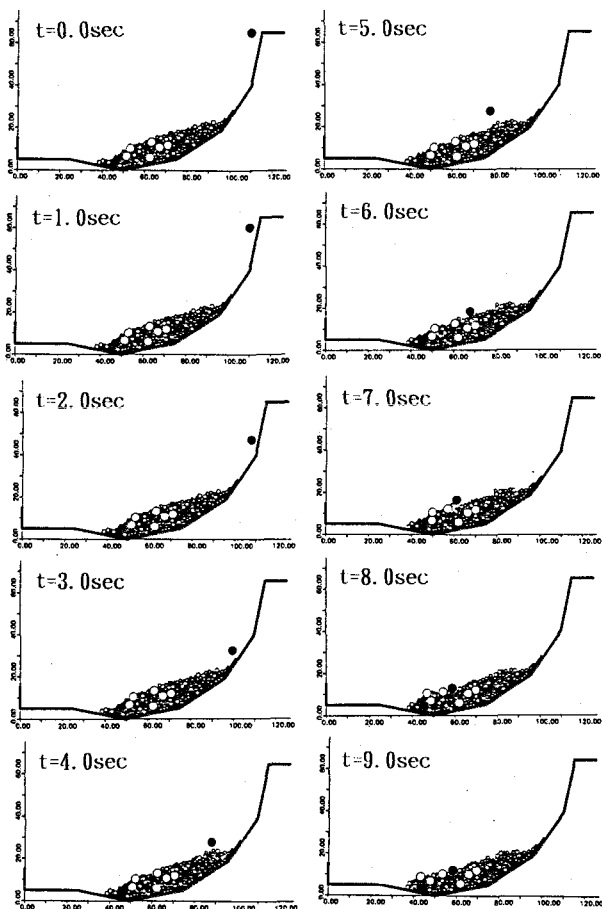


図-3 シミュレーション結果 (ケース3)

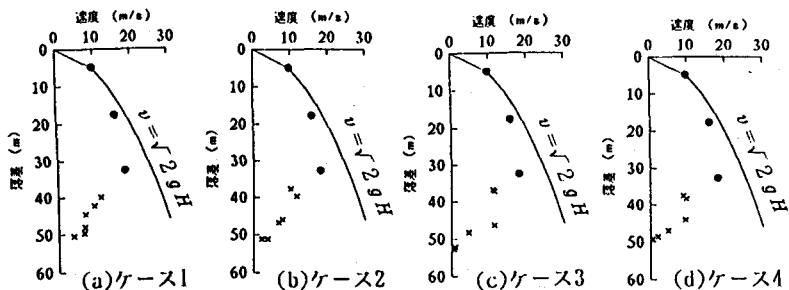


図-4 落下速度-落差関係