

拡張個別要素法による河床地盤の運動を考慮した土石流シミュレーション

東京大学大学院 学生会員 沼田 宗純
 東京大学生産技術研究所 正会員 目黒 公郎

1. はじめに

本研究は、拡張個別要素法(EDEM)を土石流に適用することで、土石流の挙動に関する定量的知見を得ることを目的としている。

従来の個別要素法による土石流の挙動解析では、対象となるモデルの河床地盤は固定されており、土砂はその上を流下するものであった¹⁾。しかし、一般的な土石流では河床地盤も固定されていない地盤であることが多い。そこで本研究では、河床地盤もEDEM要素の集合体としてモデル化し、より現実的な土石流の挙動解析を行うことにする。

2. 土石流へ拡張個別要素法の適用

2.1 運動方程式

質量 m_i 、慣性モーメント I_i のある一つの要素 i について、次の運動方程式が成り立つ。

$$m_i \cdot \ddot{u} + c_i \cdot \dot{u} + f_i = 0 \text{ -----(2.1)}$$

$$I_i \cdot \ddot{\theta} + D_i \cdot \dot{\theta} + M_i = 0 \text{ -----(2.2)}$$

ここで、 f_i は要素に働く合力、 M_i は要素に働く合モーメント、 c_i と D_i は減衰定数、 u は要素の変位ベクトル、 θ は要素の回転変位である。

変位ベクトル u と回転変位 θ は式(2.1)、(2.2)を時刻歴で数値積分することにより求められる。

EDEMでは要素間の連続性を「間隙パネ」として表現しているため、解析モデルは連続体から非連続体に至るまでの挙動を自然と表現する。

2.2 解析モデル

図-1 に示すモデル(要素データは表-1)を用いて、土石流の挙動解析を試みる。土石流全体の挙動をわかりやすくするために、モデルを図-1に示す ~ の6つの領域に色分けした。解析モデルは領域の右端部の要素を壁要素として固定した上で、全領域の安定計算をして作成した。その後、解析開始と同時に、領域の右端部の壁要素を領域の他の要素と同じ条件に変えて解析を行った。なお内部要素の半径は対数正規分布で与え、最大・最小半径はそれぞれ0.9m、0.3mである。

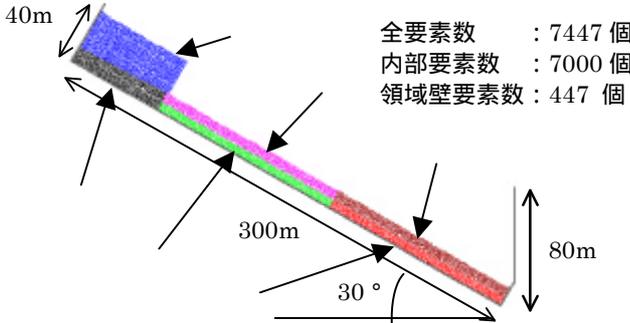


図-1 解析に用いた EDEM モデル

3. 解析結果

図-2 に、5秒、7秒、10秒、12秒、15秒、20秒における要素の分布を示す。図-2(a)の解析開始5秒の時点では、

表-1 EDEM 解析に用いたパラメータ

	要素パネ定数			
	パネ定数 (N/m)		減衰定数 (Ns/m)	
	法線方向	接線方向	法線方向	接線方向
領域	9.0×10^6	9.0×10^6	2.0×10^5	2.0×10^5
領域	4.0×10^7	4.0×10^7	2.0×10^5	2.0×10^5
領域	8.0×10^6	8.0×10^6	2.0×10^5	2.0×10^5
	間隙パネ定数			
	パネ定数 (N/m)		減衰定数 (Ns/m)	
	法線方向	接線方向	法線方向	接線方向
領域	2.0×10^4	2.0×10^4	2.0×10^3	2.0×10^3
領域	5.0×10^4	5.0×10^4	2.0×10^3	2.0×10^3
領域	3.0×10^4	3.0×10^4	2.0×10^3	2.0×10^3
領域				
間隙パネ設定基準		間隙パネ破壊基準		
領域	1.5		1.1	
領域	1.5		1.2	
領域				
領域	1.5		1.2	
粘着力(N)		要素密度(kg/m ³)		
領域	5.0×10^8		2.5×10^3	
タイムステップ(s)			5.0×10^{-4}	

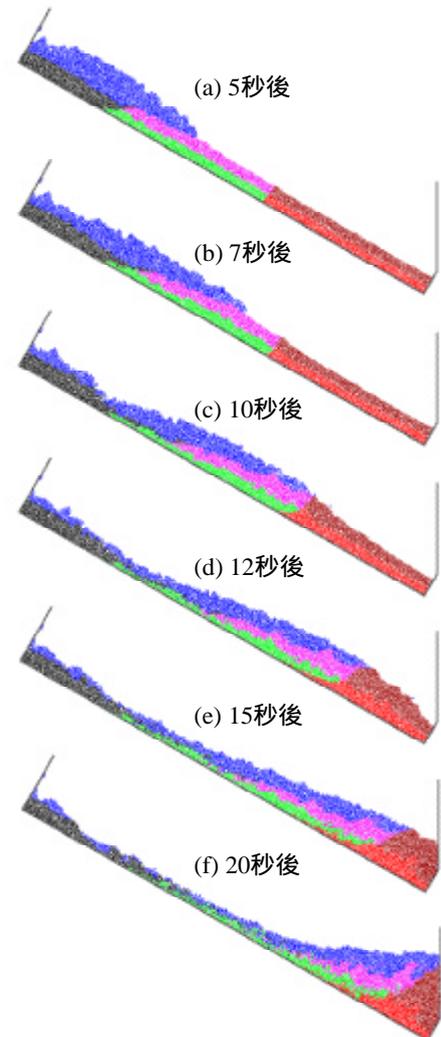


図-2 土石流の EDEM シミュレーション

キーワード：土石流、拡張個別要素法、個別要素法、非連続体、数値解析

〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1 東京大学生産技術研究所B棟 目黒研究室 Tel: 03-5452-6437, Fax: 03-5452-6438

斜面上方の土砂が崩壊し流下し始める様子がわかる。各領域の時刻歴の平均速度、最大速度を示した図 - 3 と 4 からは、斜面上方にある地盤は土砂の崩壊に伴って運動し始めるが、下方地盤はこの時点ではまだ静止状態に近いことがわかる。

各領域の時刻歴の最大速度を示した図 - 4 を見ると、領域 1 の流速は 20m/s を超えており、かなりの速度で流下していることがわかる。図 - 2(c)からは、解析開始 10 秒後の流下する土砂(特に領域 1)が地盤を削り取るように下方の土砂を押し出し、土石流の先端部が盛り上がる状況が見られた。図 - 5 は各要素の相対的な位置の変化を要素のサイズ別に見たものである。すなわち、初期位置の X 座標の大きい順に順位をつけ、その順位が解析終了時にどう変化しているかを分析したものである。順位の違いが正の場合は、初期の位置よりも相対的に流れの前方に移動したこと、負の場合は流れの後方に移動したことを意味している。図 - 5 を見ると、大きい土砂が小さい土砂を追い抜き、土石流の先端に集まることわかる。結果として、先端の運動エネルギーが増し破壊力が大きくなる。図 - 3 を見ると、11 秒後において領域 1 の平均速度が領域 2 のそれより大きくなっているが、これは領域 1 が領域 2 を押しながら流下し、領域 2 が徐々に速度を増していったためと考えられる。

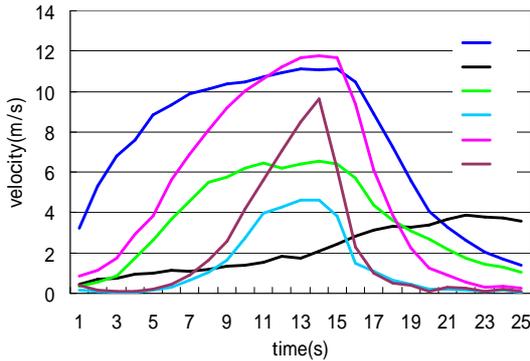


図 - 3 各領域の時刻別平均速度 (m/s)

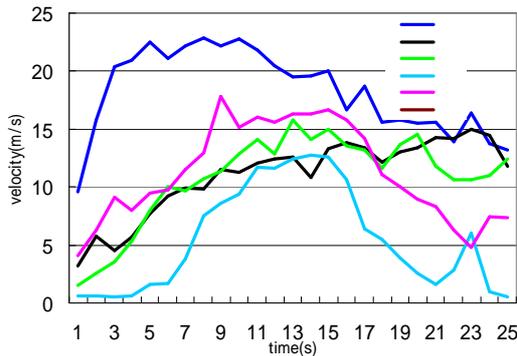


図 - 4 各領域の時刻別最大速度 (m/s)

図 - 2(e)の解析開始後 15 秒の時点では、後続流が既に壁に衝突し堆積している土砂の上に盛り上がって堆積しだす。後続の土砂は既に堆積している土砂に衝突するため、図 - 3 と 4 を見ると領域 1 以外の土砂では平均速度、最大速度も減少している。ただし領域 1 は、後続流として流下し続けているため、23 秒までの平均・最大速度はともに増加している。図 - 6 は壁に作用する衝撃力の時刻歴変化を示したものである。これを見ると、15 秒

の時点には 2.5×10^6 (N) を超える大きな衝撃力が壁に作用していることがわかる。またこの時の衝撃力の分布は図 - 7 のベクトル表示の通りである。

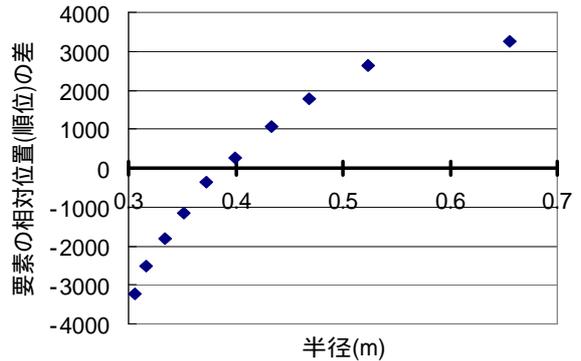


図 - 5 シミュレーション前後の要素の相対位置の変化(要素のサイズ別)

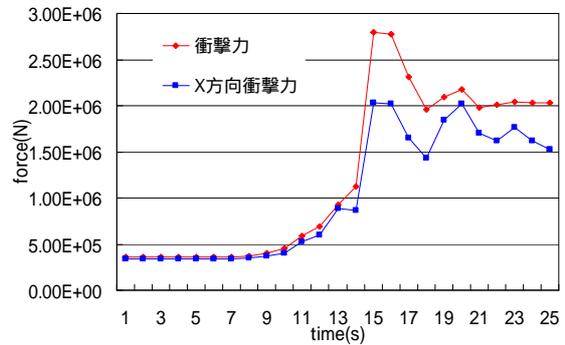


図 - 6 壁に作用する衝撃力(X方向, 合力)の時間変化

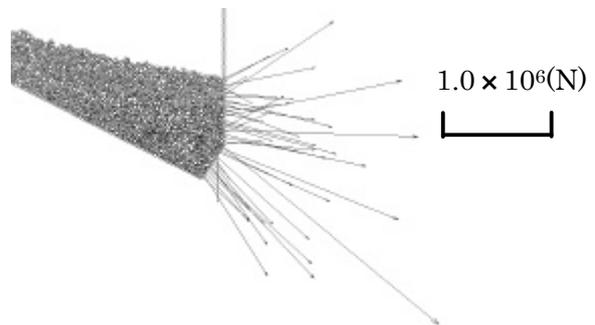


図 - 7 時刻 15 秒に壁に作用する衝撃力ベクトル(N)

4. おわりに

本研究では、河床地盤も EDEM 要素の集合体としてモデル化し土石流の挙動をシミュレーションした。

解析モデルを6つの領域に分割し、流れに伴って河床地盤を含むそれぞれの領域の要素がどのように挙動するかを解析した。その結果、流れ落ちる土砂が河床地盤を押し出すようにして流下し、河床地盤が土石流の流れに伴って巻き込まれていく様子が観測された。

【参考文献】

- 1)M. HAKUNO and Y. UCHIDA: Application of the Distinct Element Method to the Numerical Analysis of Debris Flows, Structural Eng./Earthquake Eng., Vol.8, No.2, pp.75s-85s, Japan Society of Civil Engineers, 1991.
- 2)K. MEGURO, K. IWASHITA and M.HAKUNO: Fracture Analyses of Media Composed of Irregularly Shaped Regions by the Extended Distinct Element Method, Structural Eng./Earthquake Eng., Vol.8, No.3, pp.131s-142s, JSCE, 1991.