

土石流の巨礫集積機構に関する個別要素法シミュレーション

日本工営株式会社

○牧野孝久, 倉岡千郎, 杉山 実

1. はじめに

透過型砂防ダムの土砂捕捉機構については、土石流の先端部に集まった巨礫による影響が大きいと考えられる。DEM (個別要素法) による既往の検討<sup>1),2),3)</sup>では鋼製格子やスリット部における粒子の閉塞現象が実験と整合することが示されているが、大きい粒子が先端部に集まる現象については明瞭に把握されていない。一方、Hakunoら<sup>4)</sup>による土石流のDEM解析結果によれば、大きい粒子が小さい粒子に比べて先端領域に集まることが示されている。また、深度方向の流速分布から表面の速度が底面に比べて早いことが示されており、表面に大きな粒子が移動すれば大きい粒子が先頭に移動しやすいことが示唆されている。この解析結果は、高橋<sup>5)</sup>によって示された巨礫の移動機構と整合しており、DEMでも先端部への巨礫の集中機構が表現できるものと考えられる。

本稿では、DEMによる土石流の流下現象に対し、巨礫の集中現象の再現性とその機構について報告する。

2. 数値解析手法および解析モデル

本報告では、3次元個別要素法によるモデル化を行った。土石と水の相互作用を詳細に評価するには、固体と流体の連成問題としてモデル化する必要があるが、本検討では粒子の挙動に重点を置くものとし、流れ場のモデル化は流下方向に一定の流速分布を与えるものとした。粒子には、水との相対速度に起因する抗力および推力を加えた。

$$M \frac{dw_1}{dt} = (M - m)g - \frac{1}{2} m \frac{dw_1}{dt} - \frac{1}{8} \pi d^2 \rho C_D w_1^2$$

ここで、M：粒子の質量、m：粒子体積相当の水の質量、d：粒子の直径、C<sub>D</sub>：抵抗係数、ρ：水の密度、w<sub>1</sub>：水の流速と粒子との相対速度である。

3. 計算条件

土粒子は大中小3種類の大きさの混合体とし(表1)、解析地形は直線水路を想定した幅3mの一様勾配モデル(1/14)とする。水路上に粒子をランダムに発生さ

せ初期粒子配置を設定する(図1)。流速はv=10m/secとし、流下方向および深度方向で一定とする。物理定数は表2に示すとおりである。

表1 土砂粒子条件(全5,000粒子)

粒径 (mm)	粒子数 (個)
大	576
中	410
小	257
	4,189



図1 解析モデル図(初期状態)

表2 解析条件

バネ定数	1.0×10 <sup>6</sup> N/m
土石密度	2650 kg/m <sup>3</sup>
反発係数	0.2
抗力係数	1.0
粒子と底面の摩擦係数	Case1: 1.0
	Case2: 0.1

4. 解析結果

流下後の時刻T=0.0、10、30(sec)における全粒子の位置を図2に示す。なお、凡例は粒子の位置を示すものであり、粒径を示すものではない。また、図3に土石流先端部の拡大図を示す。

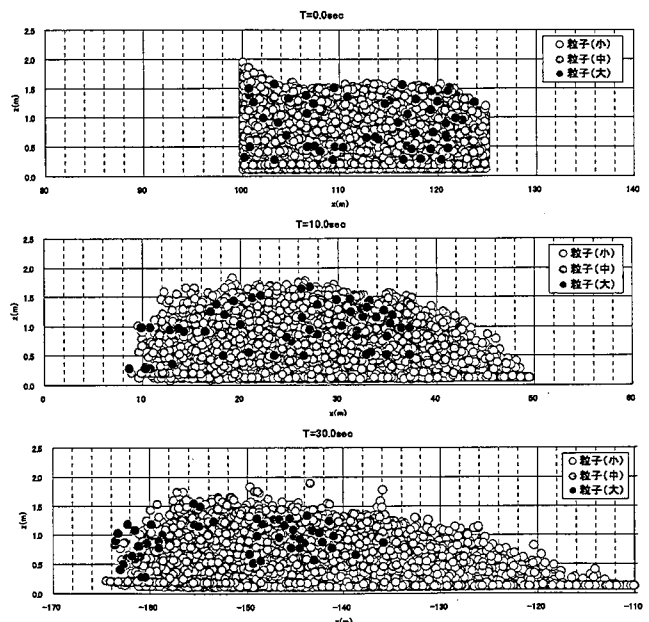


図2 全粒子位置図

これらの結果から、粒径の大きい粒子が先端部に集まることを確認できる。

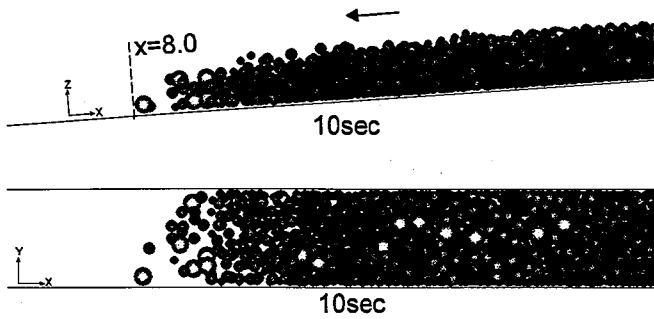


図3 解析結果:先端部の状態

#### 4.1 底面摩擦の影響

底面摩擦係数(表2)を変えた Case1 および Case2 の結果として、大粒子の深度別速度を図3に示す。両ケースとも深度方向で一定の流速  $v=-10\text{m/sec}$  を与えているが、Case1 の流下10秒後では底面に近いほうで速度が遅くなっており、一方、Case2 では深度方向にほぼ一定の速度のまま流下している。

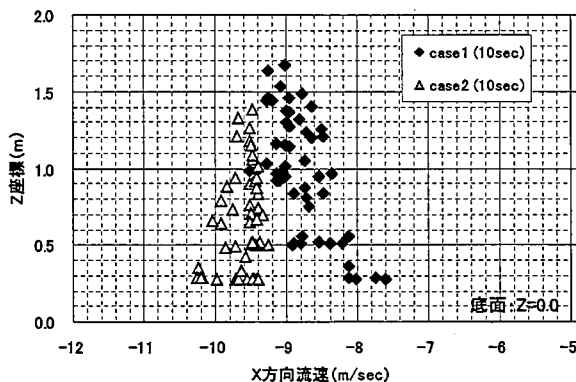
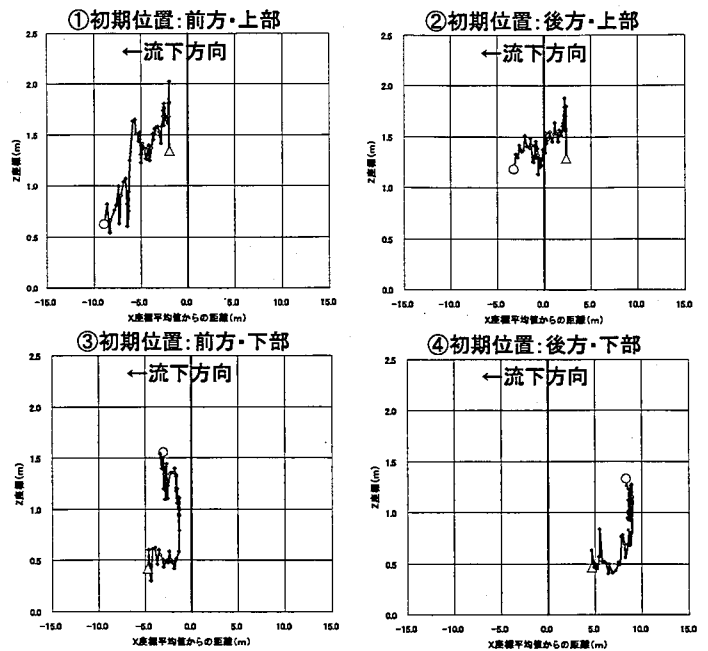


図4 底面摩擦の影響による深度別速度の比較

#### 4.2 巨礫(大粒子)の移動機構

case1での流下後30秒間の大粒子の移動傾向を図5に示す。粒子の初期位置別に代表的な4粒子の0.5秒ごとの位置をプロットしている。グラフの縦軸は粒子のZ座標、横軸は小・中粒径を含む全粒子のX座標平均値を中心(=0.0)としたときのX座標を示し、土粒子全体における相対的な位置を示している。

各粒子の移動傾向としては、初期位置が上部の粒子(図4①、②)は、流下と共に前方へ輸送されており、前方部は層厚が小さいため前方に行くに従ってZ座標は低くなっている(図4①)。初期位置が下部の粒子(図4③、④)は、時間とともに上層へ浮かび上がる傾向が見られる。なお、底面付近では流下速度が遅いため、やや後方へ輸送されている。



△:初期位置(T=0.0) ○:T=30secにおける粒子位置  
図5 初期位置による大粒子の移動形態

相対的に大きい粒子が上方に向かって移動する機構は、粒子に作用する合力を表す式によって説明されており、上下層の粒子間に相対速度差のあることが前提になっている(高橋,2004)。今回のDEMモデルにおいても底面摩擦の設定により上下層の粒子間に相対速度差が発生していることが、大粒子が浮き上がる要因の一つとして反映されているものと考えられる。

#### 5. 結論および今後の課題

DEMにより、土石流の先端部への巨礫集積現象が表現できることが示された。なお、大きい粒子が上方へ移動する機構については、今後詳細に検討を行う。

##### 参考文献

- 1) 牧野孝久ら:個別要素法を用いたスリット砂防ダムの土砂捕捉に関する検討,砂防学会研究発表会,p.144,2005
- 2) 深和岳人ら:3次元個別要素法によるオープン型鋼製砂防堰堤の土石流捕捉効果解析,土木学会論文集, No.738/I-64, 2003
- 3) 水野秀明ら:個別要素法を用いた鋼管製透過型砂防ダムの土石流捕捉効果に関するシミュレーション解析,砂防学会誌, Vol.52, No.6, 2000
- 4) Hakuno et al.: Application of the distinct element method to the numerical analysis of debris flows, Proc. Of JSCE, No.432/I-16, 1991
- 5) 高橋 保:地質・砂防・土木技術者/研究者のための土石流の機構と対策, 近未来社