

# 混合粒径土石流における先端部の流動に対する巨礫の集中の影響に関する研究

東京大学大学院農学生命科学研究科 ○岩田知之  
東京大学大学院農学生命科学研究科 堀田紀文  
国土交通省国土技術政策総合研究所 鈴木拓郎

## 1 研究の背景と目的

土石流の特徴の一つとして先端部への巨礫の集中がある。巨礫の集中については多くの報告があり、集中機構については、水面に浮上した巨礫が水面付近の速い流れに乗って先端部に集中すると説明されてきた (Takahashi 1980)。しかし、巨礫の集中が先端部の流動に及ぼす影響についての検討は十分に行われていない。一方、土石流の流動に関しては、構成則の検討 (Egashira, et al. 1997 など) や数値計算の開発 (伊藤ら 2002 など) などに関して多くの研究が実施されている。しかしながら、多くの場合、対象は均一粒径の土石流に限られている。また、構成則や数値計算の適用性・妥当性に関しては、定常・等流とみなせる流れの後続部で検証されることが多く、先端部の挙動に関しては十分に検証されていない。土石流の先端部の流動は土石流の衝撃力や到達時間に関わり重要であり、先端部の流動に対する構成則と数値計算の妥当性の検討、さらには巨礫の集中が先端部の流動に及ぼす影響の検討が必要である。

本研究では、実験結果と数値計算との比較から、まず均一粒径の土石流の先端部の流動の再現性を検討する。その上で混合粒径の土石流における実験結果を均一粒径の土石流の計算結果と比較し、巨礫の集中が先端部の流動に与える影響を調べることを目的とする。

## 2 方法

実験には幅 10cm 長さ 10m の可変勾配水路を用いた。下流 4.5m の部分の底面を 10cm 高くし、粗度として粒径 0.29cm の土砂を貼り付けた。粗度の上流側 2.5m に同じ高さまで土砂を敷き詰めて水路の上流端から給水して土石流を発生させ、粗度上を流れる土石流を測定した。均一粒径の実験では、粒径 0.13, 0.29cm の 2 種類の一樣砂を用いて水路勾配、給水流量を変化させて実験を行った。混合粒径の実験では、粒径 0.13, 0.29cm の一樣砂を 7:3 の割合で混合したものを用水路勾配を変化させて実験を行った。土石流の測定には超音波変位センサーと高速ビデオカメラを使用した。超音波変位センサーで水路の複数個所での土石流の水深と各個所への到達時間を測定した。高速ビデオカメラで土石流を側面から撮影し、その画像から流速分布を求めた。混合粒径の実験では、発生させた土石流を 5 つの箱で先端から 0.7~1 秒間隔で連続して採取し、それぞれの箱で流量、土砂の輸送濃度、粒径ごとの重量を測定した。

土石流の流動は数値計算で求めた。数値計算の基礎方程式として次元浅水流方程式を用いた。用いる構成則や侵食速度式によって計算結果は異なるが、本研究では Egashira, et al (1997) の構成則と、江頭ら (1988) の侵食速度式を用いた。計算方法はリーブフログ法を用いた。

均一粒径では、土石流の水深の時間・空間変化、先端流速について実験結果と計算結果を比較した。水深と先端の到達時間は超音波変位センサーのデータから得られ、先端流速はセンサー間の距離を到達時間差で割って求めた。

混合粒径では、採取した土石流の粒径ごとの重量の比から混合比を求め、先端部に大きい粒子が集まるか検討した。次に水深の時間・空間変化と先端流速について実験結果と均一粒径 (0.13, 0.18 (混合砂の平均粒径), 0.29 cm) の数値計算結果とを比較した。また、混合粒径の土石流で粒径の異なる粒子の挙動に差異があるか検討するため、同一流れ内での粒径ごとの流速分布を比較した。

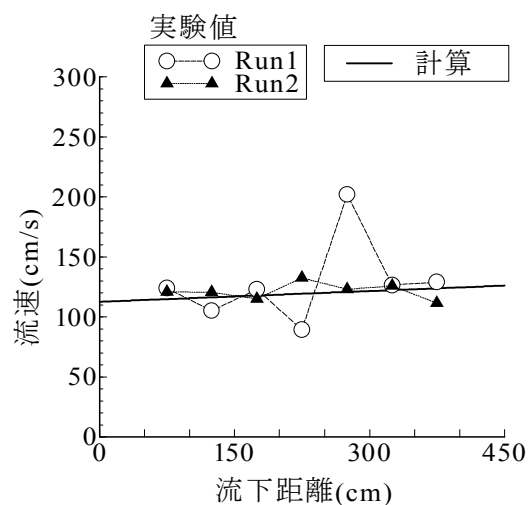


図 1. 均一粒径の先端流速の実験と計算

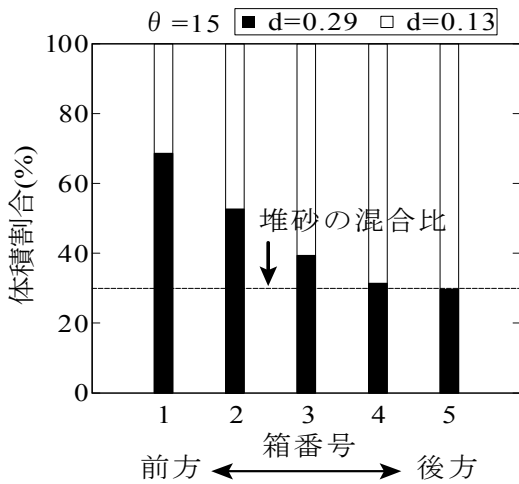


図 2. 混合粒径土石流の混合比の変化

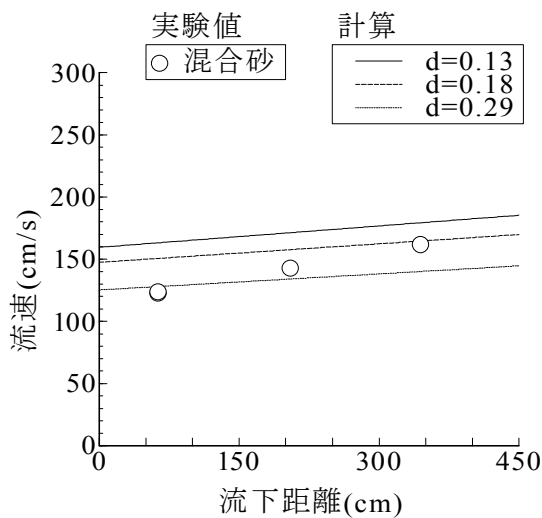


図 3. 混合粒径の先端流速の実験と計算

### 3 結果

均一粒径の土石流の水深について実験結果と計算を比較すると、流れ全体でおおむね一致しており、先端部も後続部と同程度に再現されることが確認できた。先端流速についての計算結果も、実験結果の流速を良好に再現した (図 1)。

混合粒径の混合比の結果から先端部で大径砂の混合比が増加していることが確認できた (図 2)。また、水路勾配が小さくなると混合比が大きくなる傾向が見られた。土石流の水深について実験と計算結果とを比較すると、後続部では実験結果が 0.13cm の計算結果に近かった。一方、先端に近い部分では実験結果の水深が 0.13cm や 0.29cm の計算結果よりも小さかった。先端流速については、実験結果の先端流速が均一粒径の計算結果以上に加速し、0.29 cm での計算値から 0.13cm での計算値に近づいていった (図 3)。流れ内の水深方向の流速分布に関して、粒径による差異は見られなかった。

### 4 考察

均一粒径の土石流については、数値計算によって先端部を含んだ流れ全体の流動が再現できることが示された。

一方、混合粒径の土石流については十分な再現性は見られなかった。土石流の流下に伴い先端部に 0.29cm の砂が集中するにつれ、先端部の水深や流速は粒径 0.29cm の土石流の結果に近づくと推測していたが、実際には逆に、0.29 cm の計算値から外れて 0.13cm の計算値に近づいている。この結果から、今回の実験条件では土石流先端部の流動は先端部を構成している巨礫によって決定されていないと考えられる。土石流先端部を構成する巨礫は、後続部の水面付近の速い流れに乗って供給されると考えられている (Takahashi 1980)。混合比の結果から、後続部にも 0.29cm の粒子が存在するため、今回の実験条件では巨礫が後続部から先端に供給

されている状態と考えられる。このような条件では、土石流先端部が後続部の速い流れに乗って供給された巨礫で形成されるために、先端部の流動は 0.13 cm の粒子の多い後続部の影響を受け、先端流速が 0.29cm の土石流の計算値から離れると考えられる。

### 5 まとめ

本研究から、均一粒径の土石流については数値計算によって先端部を含む流れ全体の流動を再現できることがわかった。また、本研究のような流動の初期段階の土石流については、先端部が後続部の速い流れに乗ってきた粒子で形成されるため、先端部を構成する巨礫の粒径から予想される流速より速くなると考えられた。そのため、初期段階の土石流の流速を過小評価する恐れがあると考えられる。本研究の実験を行うにあたり、(財)建設技術研究所の可変勾配水路を使用させていただきました。ここに感謝の意を表します。

### 参考文献

- 江頭進治・芦田和男・佐々木浩(1988)：土石流の流動機構，第 32 回水理講演会論文集 pp.485-490
- Egashira, S., Miyamoto, K. and Itoh, T. (1997) : Constitutive Equations of Debris Flow and Their Applicability, 1st Int. Conf. on Debris-Flow Hazards Mitigation, ASCE, pp.340-349
- 伊藤隆彰・宮本邦明(2002)：土石流の一次元解析法に関する研究，水工学論文集，第 46 巻，pp.671-676
- Takahashi, T. (1980) : Debris flow on prismatic open channel, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol.106, No.HY3, 1980, pp.381-396