

混合粒径土石流の分級現象が流動に及ぼす影響に関する研究

千葉県 ○岩田知之

筑波大学生命環境系 堀田紀文

砂防地すべり技術センター 鈴木拓郎

1 研究の背景と目的

1970年代以降活発に行われた土石流の現地観測・調査によって、土石流構成材料の幅広い粒度分布や、水面付近や先端部への巨礫の集中など、土石流の現象的な特徴が明らかになった。その後、土石流の流動機構に関して構成則の検討などが行われ、均一粒径土石流を対象としてその適用性・妥当性が検証されてきた。結果は数値計算手法の開発にも反映され、土石流の氾濫範囲の予測などが実用的なレベルで実施されている。

しかし、土石流先端部の挙動に関しては十分に検討されていない。また、混合粒径の土石流については、水面付近への巨礫の集中機構や先端部への巨礫の集中機構に関する研究はあるものの、巨礫の集中が流動に及ぼす影響についての研究は少ない。土石流の流動特性は粒径によって異なることが知られている一方で、巨礫の集中過程での流動機構の変化は、理論的にも実験的にも明らかになっていない。

岩田ら(2010)は、均一粒径の土石流について、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を確かめた。岩田ら(2011)は、2粒径の混合粒径土砂を用いた混合粒径の土石流の実験結果を均一粒径の土石流の実験、および計算結果と比較することで土石流の分級現象が流動に及ぼす影響について調べた。その結果、小径砂がある程度含まれる状態では混合粒径土石流の流動機構が小径砂の流動機構に近づくことを明らかにした。本研究では、大径砂の割合が高い条件の混合粒径土砂を用いる実験を追加し、先端部がほとんど大径砂で構成されるような条件を含めた混合粒径土石流についての検討を行った。

2 方法

実験には幅 10cm 長さ 10m の可変勾配水路を用いた。下流側 5m の底面を 10cm 嵩上げし、粗度として粒径 0.294cm の土砂を貼り付けた。嵩上げ区間の上流側には、底面高さとも一致するよう土砂を 10cm の深さで堆積させた。実験は、水路の上流端から給水し、堆砂区間で土石流を発生させて行った。実験には平均粒径 0.294cm、0.144cm の土砂を用い、一様粒径と、それぞれの土砂を 3:7, 5:5, 7:3, 8:2 の割合で混合した材料を用いた。水路下流端では、隙間無く並べた 5 つの箱を素早くスライドさせることで土石流を先端から約 0.5 秒間隔で連続して 5 回採取した。先端から約 8 秒後に再度 1 回採取した。採取した土石流の重量、体積、採取時間から流量と輸送濃度を求めた。混合粒径の実験では、各粒径の重量から混合比も求めた。また、水路の 8 箇所に等間隔に配置した超音波変位センサーで土石流の水深と先端の到達時間を測定し、各到達時間の差から先端流速を求めた。さらに高速ビデオカメラで水路側面から土石流を撮影し、画像解析により流速分布と深さ方向の粒度分布を求めた。

均一粒径土石流の流動計算もあわせて実施した。数値計算の基礎方程式として一次元浅水流方程式を用い、計算方法はリープフロッグ法を用いた。

実験と計算により得られた結果の比較は次のように行った。まず、均一粒径の実験結果と計算を比較し、数値計算の適用性について検討した。次に、混合粒径の実験結果と均一粒径の計算を比較し、混合粒径と均一粒径の差異について検討した。計算に用いる粒径は 0.144cm、0.294cm および混合砂の平均粒径とした。比較項目は流量、濃度、水深、先端流速とした。また、混合粒径の実験では分級が生じているかの確認も行った。

3 結果

均一粒径の実験結果と計算を比較すると、水深については実験結果を計算で良好に再現できていた。先端流速も、実験結果と計算がおおむね一致していた。また、先端流速は加速傾向にあり、今回の実験条件の土石流は定常状態に達していないことがわかる。

混合粒径の実験における水深は平均粒径の計算よりも小さい、すなわち 0.144cm での計算側に近づいていた (図 1)。先端流速は計算以上の加速傾向を示し、0.144cm での計算側に近づいていった (図 2)。先端部の混合比の実験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。特に、混合比 8:2 のケースでは先端から 3 秒間の 0.294cm の土砂の割合が 95%を超えていた。また、深さ方向の粒度分布の結果から大径砂が水面付近に集中していることが確認できた。

4 考察

混合粒径土石流の水深や先端流速は平均粒径を用いた計算では説明できない。ここで、混合粒径土石流の特徴である、大径砂の水面付近への浮上と先端部への集中の影響については次のような考察が可能である。

大径砂が水面付近に浮上すると、河床近傍に小径砂が集中することになる。土石流のせん断応力の大部分は歪速度の大きい河床近傍で受け持たれているので、河床近傍に小径砂が集中した結果、流動特性が小径砂の均一粒径土石流に近づくと考えられる。水面付近に浮上した大径砂は、水面付近の速い流れに乗り先端部に集中する。大径砂が先端部に集中すると、先端部の平均粒径が大径砂の粒径に近くなり、流動特性が大径砂の均一粒径土石流に近づくと考えられる。本研究の実験では、水深や先端流速は小径砂の流動に近くなっていた。すなわち、大径砂の水面付近への浮上の影響が表れていた一方で、先端部への集中の影響は表れていなかった。

大径砂の先端部への集中は、水面付近への浮上の結果として生じる。そのため、先端部のほとんどが 0.294cm の土砂で構成されている混合比 8:2 のケースでは、今後さらに流下することで巨礫の先端部への集中の影響が現れる可能性が考えられる。一方、混合比 3:7, 5:5 のように先端部に 0.144cm の土砂を多く含むケースでは、巨礫の先端部への集中の影響は、巨礫の集中がさらに進行しなければ現れないと考えられる。いずれの場合も、本研究で対象としたような流動の初期段階では、先端部を含む流れ全体が大径砂の水面付近への浮上の影響を受け、小径砂に近い流動となっていた点には注意を要する。このような流れに対して平均粒径を用いて土石流の流下計算を行うと、到達時間について実際より長く評価することになる恐れがあるからである。

謝辞

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

- 岩田知之・堀田紀文・鈴木拓郎(2010): 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, 平成 22 年度砂防学会研究発表会概要集 pp280-281
- 岩田知之・堀田紀文・鈴木拓郎(2011): 混合粒径土石流の分級現象が先端部の流動に及ぼす影響に関する研究, 平成 23 年度砂防学会研究発表会概要集 pp292-293

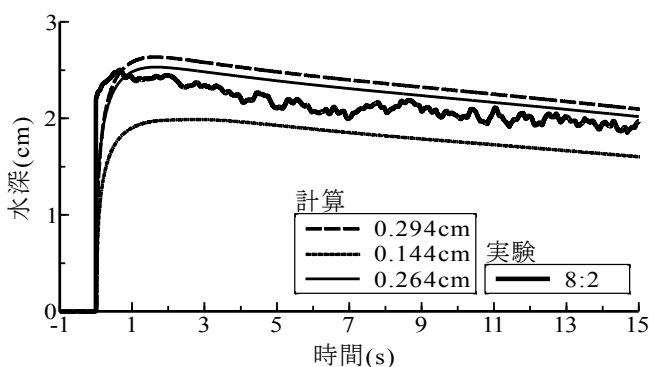


図 1 水深の時間変化

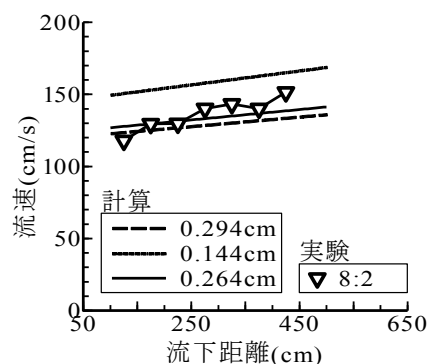


図 2 先端流速