

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

東京大学大学院農学生命科学研究科 ○岩田知之

筑波大学大学院生命環境科学研究科 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

土石流の流動については、構成則の検討や数値計算の開発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、土石流中の土砂を均一粒径と仮定しており、計算には混合粒径の土砂の平均粒径などを用いている。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。

一方、混合粒径の土石流の研究については、先端部や流れ表面における巨礫の集中という土石流を特徴づける現象について多くの研究が行われている。しかしながら、混合粒径土石流の流動機構に関する研究は山野・大同(1985)などわずかであり、とくに、巨礫の先端部への集中が先端部の流動に及ぼす影響についてはほとんど検討されていない。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、先端部の流動予測に関する構成則と数値計算の妥当性の検討が必要である。

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。また、混合粒径の土石流の先端部に大径砂が集中しても必ずしも先端部の流動が大径砂の均一粒径土石流に近づくわけではないことがわかった。一方混合比等の先端部の条件と流動との関係についての検討は不十分である。そこで本研究では、複数の混合比の混合粒径の土石流の実験結果を均一粒径の土石流の計算結果と比較し、混合粒径の土石流先端部の流動の特徴について検討す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 5.0m 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 3.0m 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。実験では粒径 0.29cm, 0.13cm の土砂を混合比 3:7 および 5:5 で混合したものを用いた。また、水路勾配、給水流量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。また、発生させた土石流を、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先端から約 0.5 秒間隔で連続して採取し、それぞれの箱で粒径ごとの重量を測定した。

均一粒径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一次元浅水流方程式を用いた。また、本研究では Egashira, et al(1997)の構成則と、江頭ら(1988)の侵食速度式を計算に用いた。計算方法はリープフロッグ法を用いた。

混合粒径の実験で分級が起きていることを確かめるため、採取した土石流の粒径ごとの重量の比から先端部の混合比を求めた。その上で先端部及び後続部の水深の時間変化と大きさについて混合粒径の実験結果と均一粒径(0.13, 0.29 cm, 及び混合砂の平均粒径)の数値計算結果とを比較した。混合砂の平均粒径は、後続部は堆砂の混合比から、先端部は先端から 1 秒後の混合比から、それぞれ求めた。

3 結果

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(図 1)。

土石流の水深について混合比 3:7 と 5:5 とを比較すると、計算結果では、先端部、後続部ともに平均粒径の差異に対応して水深の大きさが異なるのに対し、実験結果では水深の大きさや時間変化にほとんど差が見られなかった。後続部の水深の大きさについて実験と計算結果とを比較すると、混合比 3:7 と 5:5 とともに、0.13cm 均一粒径の水深に近い値であり、平均粒径の計算結果と対応していなかった。先端部についても、先端にごく近い部分を除き、後続部と同様の傾向を示し、実験結果と先端部の平均粒径の計算結果とは対応しなかった(図 2)。

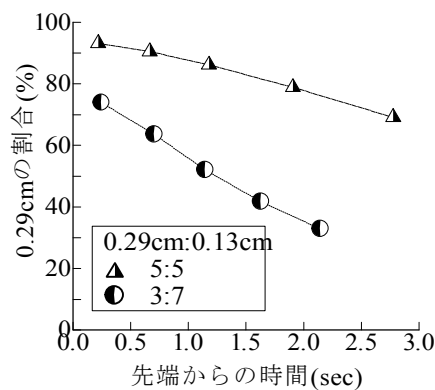


図1 混合比の時間変化

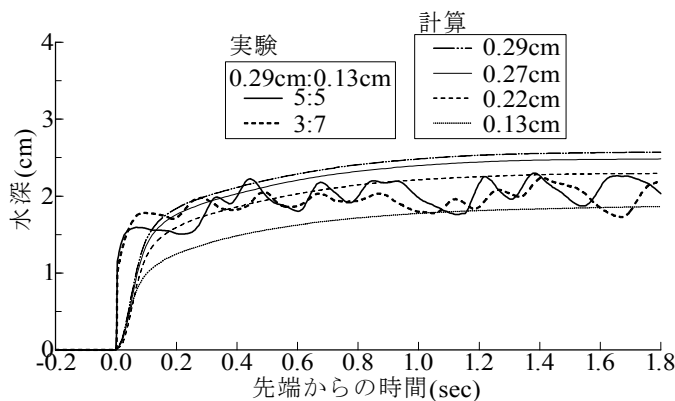


図2 先端部の水深 実験と計算

4 考察

混合粒径土石流の水深は、0.13cmの均一粒径の計算結果の値に近くなり、混合砂の平均粒径の計算結果とは異なることがわかった。また、混合比の違いによる水深の差が見られなかった。これらのことから、混合粒径土石流の流動は、平均粒径では十分に記述できないといえる。

そこで、このような現象について、先端部の流動状態から検討する。図3は、均一粒径および混合粒径土石流の先端部の流速分布の実験結果である。図から、混合粒径土石流の河床近傍に歪速度が大きい部分があることがわかる。一方後続部では歪速度はほぼ一様である。山野・大同(1985)は、流れの深さ方向の分級が進むと、上層の大径砂層と下層の小径砂層で流速分布形が異なると考えている。河床近傍に小径砂が集中することは数多く報告されているが、本研究の実験では、山野・大同の考えに基づくと、小径砂の河床近傍への集中が先端部でより顕著であると考えられる。このように考えたとき、河床面せん断応力は小径砂によって受け持たれることになる。土石流のせん断応力の大きな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、流動が小径砂の均一粒径土石流に近くなると考えられる。そのため、混合粒径土石流の流動を、単純に平均粒径を用いて予測すると、せん断応力を過大に評価することになり、計算の流速が実現象に比べ過小評価の予測となり危険である。

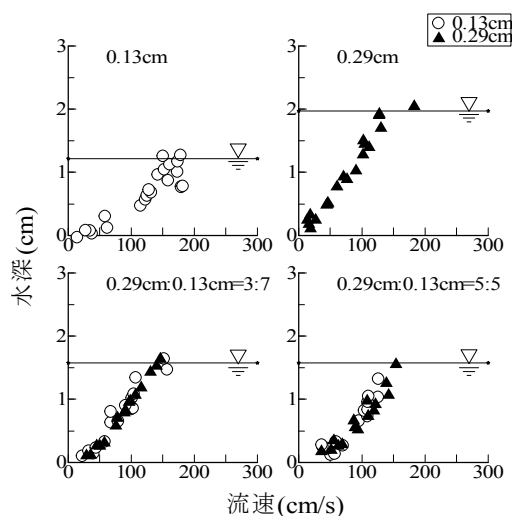


図3 先端部の流速分布

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
- 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
- 山野邦明・大同淳之(1985)：二粒径からなる混合粒径粒子流の流動機構，土木学会論文集第357号Ⅱ-3pp25-34