

混合粒径土石流の間隙流体相密度の推定手法

京都府立大学 ○加藤寿隆 三好岩生

1. はじめに

土石流に含まれる土砂礫の一部は、流動中に流体相として機能することがあり、その結果として見かけの流体相密度が大きくなることが知られている（三好ら,1999；西口ら,2012）。間隙流体相密度は、その上昇が土石流の流動性を大きく高める効果があり、流動・氾濫範囲の予測を行う際の重要なパラメータとなる。しかし、これまでに土砂礫の流体相化のメカニズムについては十分に解明されておらず、流体相密度を推定する手法も確立していない。著者らはこれまでに土石流の流体相密度について実験的に研究を行い、土砂礫粒子の粒径などの材料特性やひずみ速度などの流動条件と、流体相密度の上昇との関係について明らかにしてきた（三好ら,1999,2000,2015,2017,2018）。その中で、松野(2016)のリング状流動水路により、以下の式(1)(2)に示された間隙流体相密度の推定手法が提示された。この式に含まれる係数 A は 0.01~0.05 の値を取るという結果が得られている。

$$\rho_m = \rho_w + (\sigma - \rho_w) \sum_{0 < d_i < d_{max}} c_f(d) \quad \dots\dots (1)$$

$$c_f(d) = A \times \frac{u_{*f}}{w_0(d)} \quad \dots\dots (2)$$

しかし、このリング状流動水路は特殊な実験条件であるため、今回は開水路において実験を行うことで、実際の土石流への適応性を求めた。これにより、流動層中の土砂礫粒子濃度を厳密に評価するとともに、先行研究の成果も取り入れ実験結果の再解析を行うことにより、土砂礫粒子の流体相化のメカニズムに関する一通りの解釈を得た。

2. 実験方法

実験装置は図-1に示すような開水路（水路高さ 10.0cm、水路幅 8.0cm、水路長さ 6.0m）である。水路側壁は透明のアクリル製であるため、流動状態が観察できるようになっている。水路床には全層流動を防ぐために粗度板が貼り付けられている。また、水路勾配は 16 度で一定に保った。水路への給水は、電動ポンプで定水位給水装置に給水した上で、定水位給水装置から所定の流量を給水できるようになっている。水路の下流端から 1.0 m の位置には、水路側面と上部にビデオカメラを設置し、発生した土石流の流動状態を計測した。

実験は水路に河床材料を 3cm 敷き詰め、上流から一定流量の水を供給して土石流を発生させる土石流実験を行った。河床材料として 4 種類の粒径の土砂礫を用いた。これら 4 種類の平均粒径は、それぞれ 6.99 mm, 2.49 mm, 1.02mm, 0.26mm である。また比重は、それぞれ 2.74, 2.68, 2.60, 2.66 である。実験材料として利用した土砂の混合比は、表-1に示すような比率で混合した。

河床を浸透水で飽和状態にするため初期給水した後、水路の上流端から約 0.40 l/s の流量の水を供給し、土石流を発生させ、水路側面と上面に設置したビデオカメラにより流れの状況を撮影し、水深や流速分布を測定すると同時に、下流端ではバケツを用いて平衡状態に達したと思われる時間の土石流を直接採取し、輸送濃度を求めた。

また、結果上では、この河床材料の近い混合比毎の No.1~No.3, No.4~No.6, No.7~No.9 のグループに分け表記した。

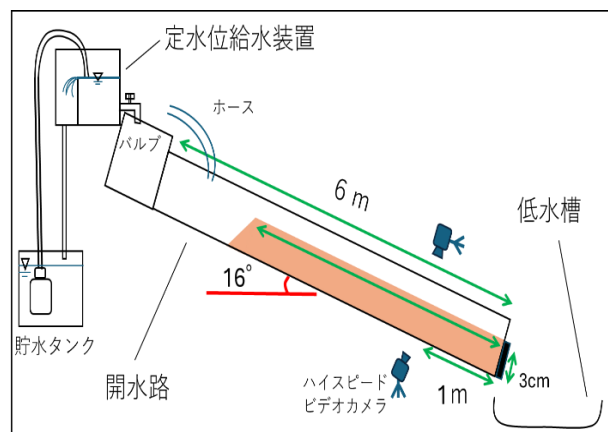


図-1 実験装置横断面模式図

表-1 実験材料の土砂の混合比（%表記）

	6.99mm	2.49mm	1.02mm	0.26mm
No.1		100		
No.2		80		20
No.3		70		30
No.4	50	50		
No.5	40	40	20	
No.6	40	40	10	10
No.7	30	40		
No.8	30	40	20	10
No.9	30	40	15	15

3. 実験結果・考察

給水装置から一定の水を供給し、混合粒径土石流を発生させた。その際に撮影した動画から流速分布を、水路下端で採水した土石流の輸送濃度を計測した。この流速分布と、江頭ら(1997)の構成則から得られた流速分布式と比較し、間隙流体相密度を逆算する形で算出した。流速分布式に間隙流体相密度以外の既知の値を代入し、間隙流体相密度を調節し、計測された流速分布と近い分布を取る時の、間隙流体相密度の値を抽出した(図-2)。次に、計測した輸送濃度から高橋(1977)の濃度式を用い間隙流体相密度を導き出した。

これらの方法で求められた間隙流体相密度の結果を図-3に示す。この図より、2つの方法により求めた間隙流体相密度は近い値を取っており、適切に評価できている事が分かる。ただし、輸送濃度により導き出した流体相密度の方が小さな値を取っているのは、断面平均濃度ではなく輸送濃度を利用しているためと思われる。

また、間隙流体相密度の推定式に含まれる係数Aを算出した。前述の式(1)(2)に流速分布から求めた間隙流体相密度等の既知の値を代入し、係数Aの値を逆算する形で算出した。この結果を、図-4に示す。先行研究である松野(2016)の結果とは違い、速度比($u_*f/w_0(d)$)の上昇が $c_f(d)$ の増加に寄与していなかった。今回の実験では、濃度の影響を受けていることが考えられた。よって、係数Aの決定には濃度を考慮する必要があると思われる。これは、流動している粒子が少なれば流体相化する粒子も少なくなる事が原因と考えられる。そこで、松野(2016)で提示された式(2)を改変し、濃度を考慮した以下の式(3)を導き出した。

$$c_f(d) = A' \times C \times \frac{u_*f}{w_0(d)} \quad \dots\dots (3)$$

この係数A'を前述の方法と同様に逆算した。係数A'の値と輸送濃度の関係を図-5に示す。この図より、係数A'は近い値を取り、取る値は0.3程度であると思われる。

4. 結論

今回、松野(2016)において提示された推定式を、開水路での実験により実際の土石流への適応性を確かめた。本来、一定の値であるはずの係数Aは幅を持つ結果となったが、これは濃度の変化を考慮出来ていなかったためと思われる。そこで、濃度を考慮した式(3)を考えると、係数Aの値は0.3程度になることが分かった。

今後の課題として、係数Aの取る値を突き止めるためにも、実験条件を追加する事が挙げられる。また、今回は濃度を一様として考え算出しているため、今後は濃度分布を正確に計測する必要もある。

参考文献

三好ら(1999)平成11年度砂防学会研究発表会概要集、
 三好ら(2000)平成12年度砂防学会研究発表会概要集、
 三好ら(2015)平成25年度砂防学会研究発表会概要集、
 西口ら(2012)第6回土砂災害に関するシンポジウム論文集、
 江頭ら(1997)水工学論文集41巻、
 松野ら(2016)平成27年度砂防学会研究発表会概要集

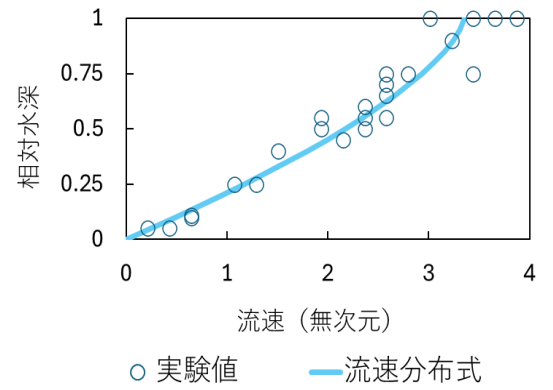
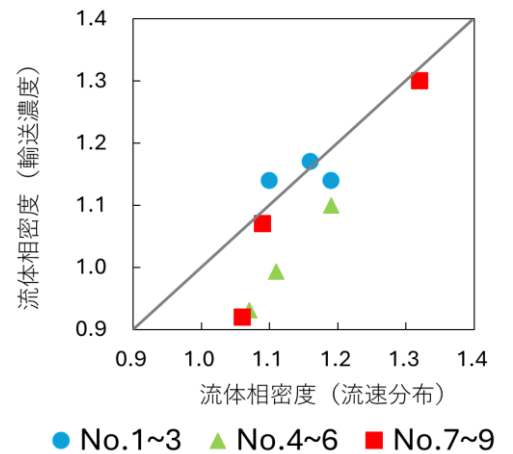


図-2 計測した流速分布と間隙流体相密度を調節した流速分布式



● No.1~3 ▲ No.4~6 ■ No.7~9

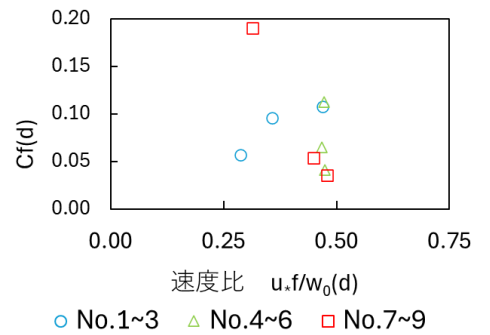
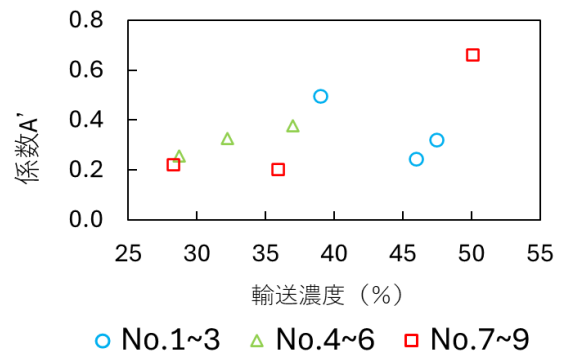


図-4 速度比とCf(d)の関係



● No.1~3 ▲ No.4~6 ■ No.7~9

図-5 係数A'の値と輸送濃度の関係