

細粒土砂を含む土石流の流体相密度形成機構

京都府立大学大学院 ○木佐洋志, 三好岩生, 野田 崇

1. はじめに

合理的な土石流対策のためには、土石流の流動特性に大きな効果を持つ流体相の密度を適切に評価する必要があるが、その形成機構や評価手法は明らかにされていない。このような課題の解明を目的として、細粒土砂を含んだ固液混相流を実験的に作り出す手法により、細粒土砂を含む土石流の流体相密度の上昇機構について検討し、その評価手法の構築を試みた。

2. 実験方法

実験装置は、図-1 に示すようなリング状せん断水路である。高さ 12cm・外径 75cm・内径 63cm・幅 6cm のリング状水路と支持台、せん断板、軸、マンノメーター、張力計および可変速電動モーターから構成されている。リング状水路に供試体となる固体材料と水を入れ、可変速電動モーターに取り付けられてせん断板を回転させることにより、その水面を強制的にせん断して混相流を発生させる仕組みである。供試体となる固体材料は、粗粒子と細粒土砂であり、粗粒子は $\phi = 9.5\text{mm}$ の球形の合成樹脂製のビーズ（単位体積質量約 $1.35\text{g}/\text{cm}^3$ ）である。細粒土砂材料としては標準砂（ $\phi = 0.11 \sim 0.30\text{mm}$ ）、マサ土をふるい分けることによって粒径を $0.11 \sim 0.25\text{mm}$, $0.25 \sim 0.42\text{mm}$, $0.42 \sim 0.85\text{mm}$ にそれぞれ調整した土砂と珪砂（ $0.85 \sim 2.00\text{mm}$ ）の計 5 種類を用いた。粗粒子の濃度や細粒土砂の粒径の組み合わせにより様々な実験条件を設定した。各実験条件において数段階の速さでせん断板を回転させたときの固体粒子の浮遊状況（固体材料の堆積状況）を計測するとともに、水路底面における間隙水圧の上昇や底面にかかるせん断力を測定した。

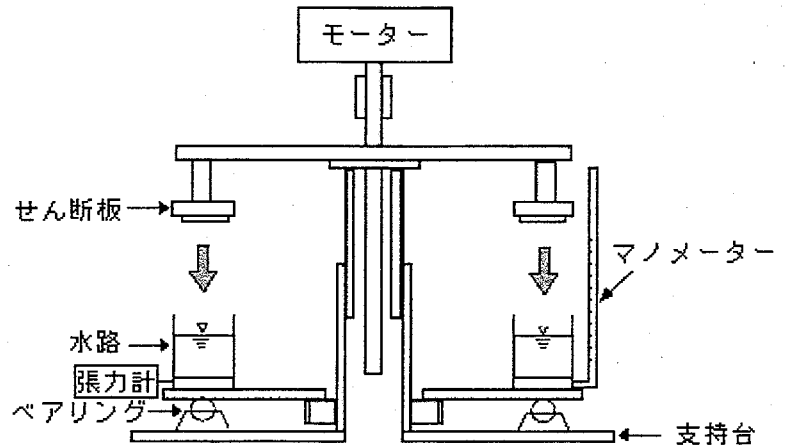


図-1 実験装置（リング状せん断水路）の概要

3. 結果および考察

水路に水と粗粒子、細粒土砂を入れてせん断板を回転させ流れを発生させると、固体材料の堆積層からまず比重の軽い粗粒子が浮き上がり、水と粗粒子の固液混相流が発生する。定常状態のとき、流体中で鉛直方向にはせん断力が一定であり、濃度分布に応じた流速分布が発生する。その分布形は表面流速などの条件によって変化するが、ここでは簡単のために濃度分布、流速分布ともに一様であるとして検討を進める。実験の結果、流速を上げていくに従って混相流中に細粒土砂が取り込まれていき、底面での間隙水圧が上昇していった。これは、固体粒子が間隙流体の乱れによって浮遊状態となり、その質量が水を介して底面に伝達されたためと考えられる。このような固体粒子は周囲との応力伝達が水を介して行われており、その意味において浮遊する細粒土砂粒子は流体相の一部であるとみなすことができる。図-2 は流体相密度と摩擦速度の関係の例である。ただし、(a)は粗粒子濃度が 18%の条件、(b)は細粒土砂として標準砂を用いた例である。この流体相密度とは、底面で測定された間隙水圧を有効水深で除した値である。また、摩擦速度とは、固体粒子が浮遊する条件として必要な流体中の乱れの強さの指標となるものであり、せん断力より求めることができる。(a)より、細粒土砂の粒径が小さい条件においては、流動開始直後から流体相密度の上昇が見られる。一方、細粒土砂の粒径が大きい条件では、摩擦速度の上昇に応じて、流体相密度が徐々に上昇していく。また、(b)より、粗粒子濃度

が大きい条件ほど摩擦速度は大きくなり、細粒土砂が多く流体相化することが分かる。このことから、細粒土砂が浮遊し流体相化するのは細粒土砂の粒径に応じた乱れの強さ、摩擦速度に達したときであると考えられる。この現象を浮遊砂の理論に類推して考えると、ある粒子が浮遊するためには間隙流体と堆積層表面の間に働く摩擦速度がその粒子の沈降速度を上回るときであると考えられる。そこで、Rubey の沈降速度式による粒子の沈降速度 w_0 と摩擦速度 u_* のバランスを w_0/u_* という無次元化した数値で表し、流体相化した細粒土砂の濃度との関係を調べた。また、あわせて、浮遊砂の理論における芦田・道上の基準点濃度式 (1970) と比較した。図-3 はその例であり、(a) は粗粒子濃度が 18% の条件、(b) は細粒土砂として標準砂を用いた条件を示した。芦田・道上の基準点濃度式は次式で表される。

$$C_B = A \cdot [g(\xi_0)/\xi_0 - G(\xi_0)] \quad (1)$$

この芦田・道上の基準点濃度式は河床面付近に形成される基準点の濃度を表す式であるため、土石流における濃度の概念とは意味が異なるが、土石流では初期条件として、そのような基準点が全層にわたり形成されたような図-2 摩擦速度と流体相密度の上昇の関係

状態と考えられるため、比較対象とした。実測濃度は全体的に芦田・道上の式による濃度よりも高いが、 w_0/u_* に対する増減の傾向は芦田・道上の式による濃度と類似していることが分かる。これらの結果をもとに土石流の流体相密度の上昇に寄与する細粒土砂濃度 (C_{liq}) を推定する式 (実験式) を考案した。

$$C_{liq} = 0.005 / (w_0/u_*)^{1.6} \quad (2)$$

この推定式は、土石流の流体相部分の細粒土砂濃度をおおまかにしか予測できないが、土石流の流体相密度の評価手法の構築への道筋を示すことができたと考えている。今後、一般的な開水路での実験的検討を加えることにより、流体相密度の評価手法についてさらに検討する予定である。

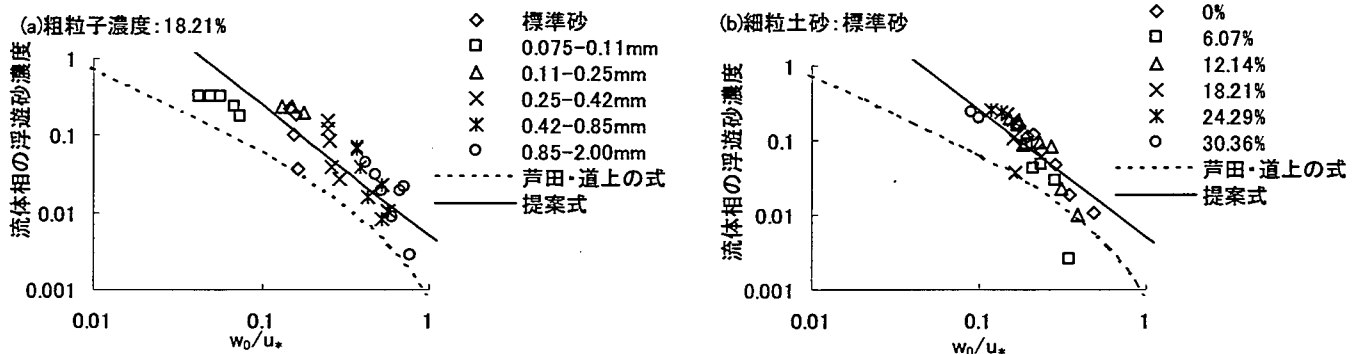
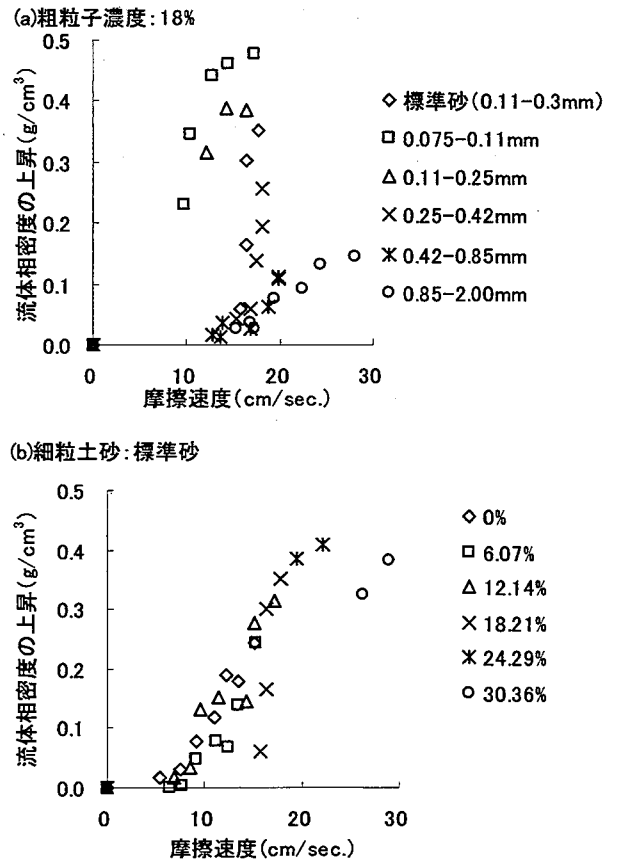


図-3 w_0/u_* と流体相の浮遊砂濃度の関係

参考文献

河村 三郎 (1982) 土砂水理学 (p292-p294), 森北出版株式会社

三好 岩生・文字 祐紀子 (2000) 土石流の流体相密度に関する実験的検討 (第2報), 平成12年度砂防学会発表会概要集