

(ご記入日) 令和 7 年 4 月 28 日

公益信託 NEXCO 関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金
受託者 三菱UFJ 信託銀行株式会社 宛

研 究 概 要 書

研究課題: 土砂災害対策の最適化に資する土砂流動中の粒子群と間隙水の
相互作用の解明に関する研究

研究代表者: 豊橋技術科学大学建築・都市システム学系 准教授 松田 達也
共同研究者: 豊橋技術科学大学建築・都市システム学系 助教 内藤 直人

はじめに

気候変動に伴う極端で局所的な気象現象の増加により、土砂災害の頻発化と激甚化の傾向が見られる。例えば、短時間に集中して大雨が発生すると、土砂が流動し、土石流化する。土石流は土砂と水が混合して約 10 m/s 程度の速度で溪流を流下する現象であり、溪流の近隣地域に甚大な被害を引き起こす可能性が高い。このため、流動特性を十分に把握することで災害リスクを低減させることができる。しかし、これまでのところ、映像や非接触型計測による表層部の挙動把握はされているものの、土石流の内部構造に関しては十分な現象解明に至っていない^[1]。土石流の内部構造を解明することは、土石流の平面的な流動挙動をより詳細に説明できるだけでなく、3 次元的な流動挙動を把握できるため、土石流が構造物等に作用した際の外力を定量的に評価でき、抜本的な対策を提案することが可能になる。

1. 研究の目的

本研究は、土砂流動速度に応じた粒子群と間隙水の挙動を定量的に把握することが最終目的である。土砂流動時の到達距離や衝撃力の評価において、流動土砂内の間隙水の振る舞いが大きく影響すると考えられるが、その直接的な観測は困難であった。そこで、申請者らは水と屈折率が等価な新しい粒状材料（以下、透明粒子）を用いることで間隙流れの可視化と定量的評価技術を確立した。本研究では、透明粒子を用いた実験技術を援用し、透明粒子を用いて土砂流動中の粒子群と間隙水の相互作用を分析するための実験を実施した。

2. 模型実験の概要

本研究では、フッ素樹脂製の円柱状と楕円体状の透明粒子を用いて、実験を実施した。“透明”という所以は、透明粒子の光の屈折率 (1.333) が水と等価であり、水中に粒子を堆積させると光が透過し、粒子が透明に見えるためである (図-1)。粒子の比重は 2.06 である。この透明粒子の物性を把握するため、各種物性試験を実施した。その後、ボールミル回転による流動実験を実施した。実験では円筒容器内に乾燥状態での透明粒子を堆積させた条件（以下、Dry）、容器内を水で満たし、飽和状態で透明粒子を堆積させた条件（以下、Sat）の 2 条件として、流動挙動が比較的安定して観察できるように回転速度を 100 rpm (回転速度 10.47 rad/s) で実施した。実験時の現象を観察するため、高速度カメラによる撮影を行い、得られ

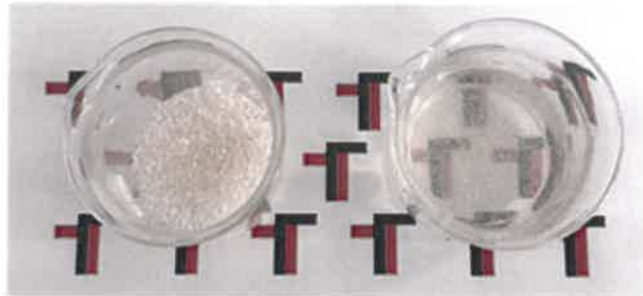


図-1 気中と水中における粒子の様子

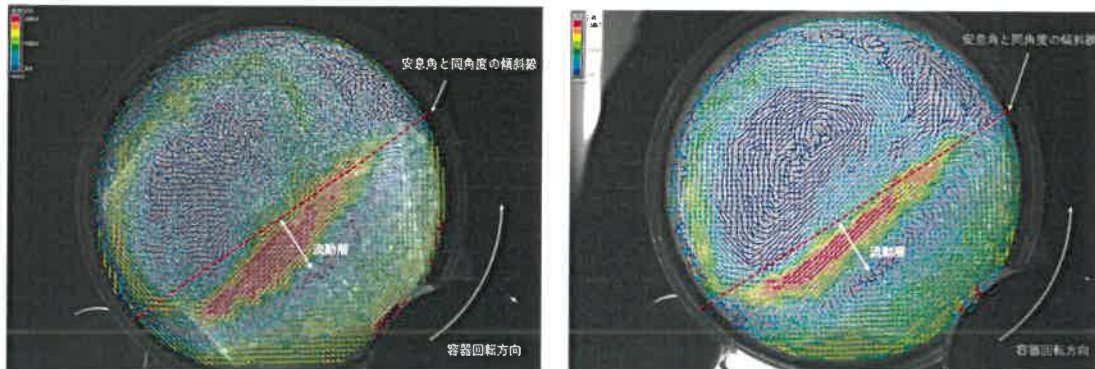


図-7 PIV 解析による乾燥状態における粒子群の流下速度ベクトルの定量化：
円柱体粒子の流動（左）と楕円体粒子の流動（右）

た画像を粒子画像流速測定法：PIV（Particle Image Velocimetry）により流動挙動を定量的に評価した。

3. 模型実験の結果

紙面の都合上、飽和状態の結果に限定する。実験では粒子形状が異なる2つの粒子（円柱体、楕円体）を用いた。容器を回転させると粒子が傾斜を成して流動するが、その傾斜角度が各粒子の安息角と同程度の角度（円柱体は 36° 、楕円体は 32° ）であることがわかった。図-2にPIV解析によって得られた速度ベクトル分布（ $0.0 \sim 200 \text{ mm/s}$ ）を示す。円柱体および楕円体粒子ともに流動土砂の表層～粒子3から4個分まで 200 mm/s の速度で一様かつ連続的に流動していることが明らかとなった。トレーサーを混入した水の挙動を観察すると粒子が一様になって流動している際は、粒子と同様に間隙水も流下していることが推測された。一方で、粒子同士の衝突等で間隙体積が圧縮される際には間隙浸透が局所的に速度を増し、流動している可能性が示唆された。

4. まとめ、今研究で得られた成果、今後の課題等

透明粒子の物性値を明らかにするとともに、乾燥・飽和状態での流動特性の違いを定量的に評価した。今後は、粒子間隙流の高解像流れの定量的計測と高精度な数値シミュレーション等を用いて、詳細なメカニズムを分析する。

〔1〕 宮田秀介，野中理伸，靄本孝也，上小牧和貴，岩男忠明，藤田正治：TDR センサーを用いた土石流の間隙流体土砂濃度の現地観測，砂防学会誌，Vol.74，No.4，pp.42-47，2021。