

山地河川から流出する土石流の構成材料や河床容積濃度に関する研究

京都大学大学院農学研究科 ○鈴木裕里 (現・富士通株式会社) 中谷加奈 小杉賢一朗
 広島大学大学院先進理工系科学研究科 長谷川祐治
 立命館大学理工学部 里深 好文

1. はじめに

近年は土石流災害が頻発することから、被害軽減が求められる。土石流の構成材料に着目した検討として、先端部への巨礫や流木の集中過程や、細粒土砂を多く含有した流動性の高い現象に関する研究が実施される。しかし、土石流が発生・流動する急勾配の斜面や山地河川の河床材料、すなわち河床容積濃度や粒度分布の時間・空間的な特性を考慮した研究は少ない。Sulaiman¹⁾は粒度分布から空隙率を数値計算によって求める粒子充填モデルを開発して河床変動計算に適用しているが、山地河川の河床容積濃度までは検証されていない。竹林ら²⁾は、京都の木津川で砂州の横断・鉛直方向における粒度分布及び空隙率を測定しているが、緩勾配の区間である。土石流渓流を調査すると、上流から下流にかけて河床材料が変化する事例が見られる。一方、土石流シミュレーションでは河床の容積濃度に 0.6-0.65 の一定値を設定することが一般的である。

筆者らは、2018 年以降に土石流が発生した渓流で土砂採取を行い、容積濃度や粒度分布を検討してきた³⁾。本研究では、調査結果で得られた知見を基に実験を行い、土石流堆積物で構成された河床の空隙構造を検討した。

2. 調査の概要

平成 30 年 7 月豪雨、並びに令和 2 年 7 月豪雨により広島県 (図 1) および京都府で土石流が発生した渓流を対象とした。調査地点では、土石流により堆積した河床の土砂を採取した。

土石流の幅広い粒度分布を考慮するために、サンプル採取は数十 cm 立方のオーダーで行った。このサンプルの容積は、写真測量で SfM (Structure from Motion) を用いて、掘削前後の DEM (Digital Elevation Model) を作成した。DEM 差分から掘削土砂の間隙込みの容積を算出した (図 2)。図 1 に方法を示す。採取土砂を持ち帰り、間隙を除いた土砂の容積を算出した後、篩で粒度分布を測定した。DEM 差分により得た大容量のサンプルの容積濃度を、 C_{DEM} と呼ぶ。また、調査地点では土壤サンプル採取法として広く

用いられる 100ml サンプラー (以降 100mlS) を用いて、掘削箇所の近傍で細粒分が多い場所の土石流堆積物を採取した。また、100mlS では掘削箇所周辺の土砂流出が発生しなかった自然状態の土層も採取して、容積濃度と粒度分布を計測した。100mlS の土石流堆積物、自然斜面の土層の容積濃度を C_{SAM} 、 C_{NAT} と呼ぶ。

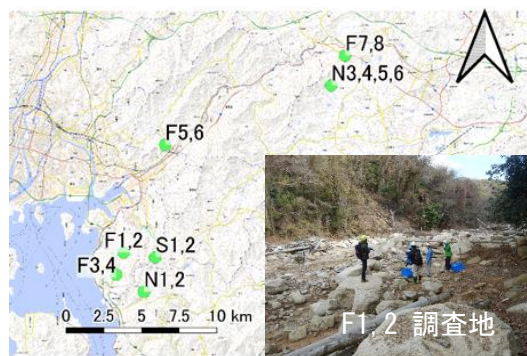


図 1 広島県の調査地 (国土地理院電子国土基本図に加筆)

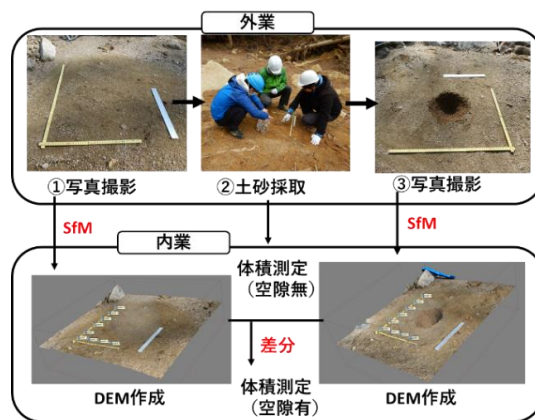


図 2 大容量サンプル採取、DEM 差分による容積算出方法

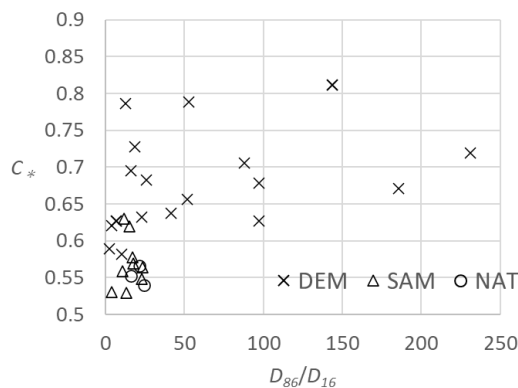


図 3 採取した土砂の D_{86}/D_{16} と容積濃度

調査で得た容積濃度 C_{DEM} 、 C_{SAM} 、 C_{NAT} と、粒度分布から得た土砂の分散を示す D_{86}/D_{16} の関係を図3に示す。 C_{DEM} は 0.58-0.81 まで広く分布した。一方 C_{SAM} は、大容量で掘削して DEM 差分で得た C_{DEM} より小さく、0.53-0.63 の範囲だった。 C_{NAT} は、 C_{SAM} よりも小さく、最大 0.57 だった。

100mlS の D_{86}/D_{16} は 50 以下の数値を示し、粒度分布の幅が小さいことがわかる。一方、 C_{DEM} の D_{86}/D_{16} は最大で 231 を示しており、粒度分布の幅が広く、容積濃度 C_* との間に正の相関がみられた。粒度分布から、大きな土砂を多く含むサンプルで C_* が 0.65 よりも大きくなる傾向がみられた。これらより、大粒径の土砂の間隙に小粒径の土砂が充填されることで C_* が大きくなることが推測される。ただし、大きな土砂が多く存在しなくても例外的に大きな C_* を示すサンプルも確認された。

3. 実験による検討

調査で得た知見を基に、大きな土砂の間隙に小さな土砂が入って構成される河床の空隙構造をビーズの充填による静的実験ならびに初期河床の堆積物と土石流の構成材料を変えた水路実験により検討した。

静的実験では、600ml の容器に粒径の大きいビーズ (粒径 D) を充填した後に、小さなビーズ (粒径 d) を鉛直落下により充填させて空隙率を測定した。一粒径のみのケースも実施し、一つのケースで三回実施した。粒径は 0.1、1、2、5、10、12mm を用いて、二種類を用いる際の粒径比 d/D は 1/5、1/6、1/10、1/12、1/100 とした。実験条件と結果を図4に示す。結果から、単一粒径よりも二種類を用いた方が容積濃度は大きく、粒径比 d/D が 1/10 より小さくなると容積濃度が 0.65 付近から 0.77 まで大きく上昇した。

水路実験の概要を図5に示す。上流に供給土砂として小さい土砂を、下流に河床堆積物として大きな土砂を敷いて、上流端から水を供給し土石流を発生

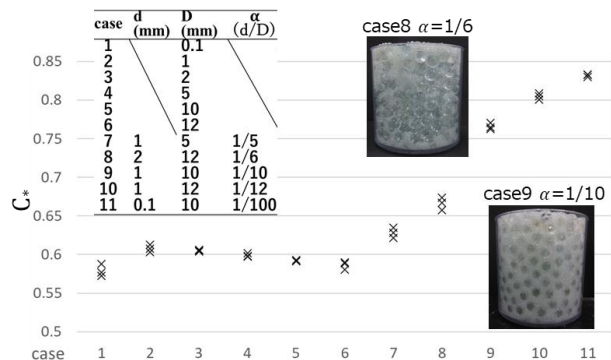


図4 静的実験の Case と得られた容積濃度

させた後、堰堤上流に堆積した土砂の容積濃度を測定した。静的実験を考慮して粒径比が 1/10 以下になるよう粒径 0.29、2.81、6.0mm の三種類の土砂を用いた。比較のため、上流と下流に同じ土砂を用いたケースも実施し、一つのケースは三回実施した。

堆積した土砂の容積濃度を図6に示す。単一粒径を用いた case1、2 の容積濃度は 0.56~0.59 だったが、二種類の土砂を用いた case3、4 では 0.71~0.78 と高い容積濃度が示された。一方、大きな土砂の間隙に細かい土砂が落ち込むだけではなく、実験映像からは土石流が河床堆積物の土砂を巻き込んで、上流から流下する土石流と混合して、堆積する様子も確認された。このように、異なる構成材料の土石流と河床堆積物の存在によって、土石流発生前と堆積後に容積濃度が変化することが考えられる。

調査や実験で得た知見から、河床容積濃度を自然土層と土石流堆積物で変化させた土石流の一次元シミュレーション手法を提案して、一律で設定する手法と比較した。詳細はポスターで紹介する。今後は、土石流発生溪流で大容量の土層を採取して検討例を増やすことで C_* と勾配や地質等の関係を明らかにすることを旨とする。

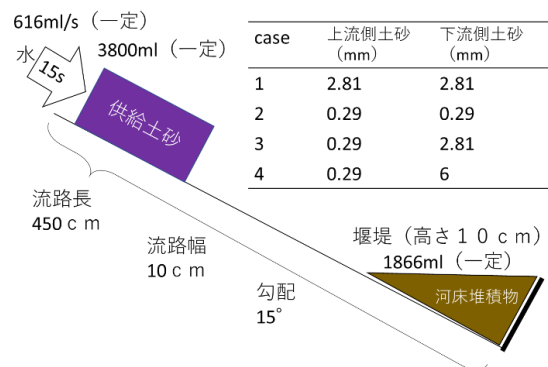


図5 水路実験の概要と実験 Case

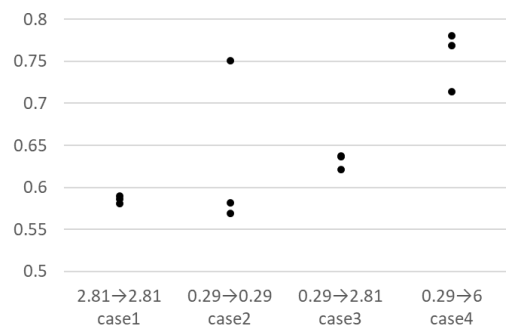


図6 水路実験で得られた堆積土砂の容積濃度

謝辞 本研究は、2020 年度砂防学会若手研究助成を受けて実施しました。この場を借りて深く御礼申し上げます。

参考文献 1) Muhammad Sulaiman(2008): 京都大学学位論文, 2) 竹林洋史ら (2012), 河川技術論文集, 第 18 巻 119-124 3) 鈴木裕里ら(2020), 砂防学会研究発表会概要集, 213-214