

土石流挙動に河床形状が及ぼす影響の実験的検討

○中谷加奈¹⁾ 矢野むつみ²⁾ 鹿島歌乃²⁾ 正岡直也³⁾ 木次貫太^{2),4)} 畠俊郎⁵⁾

1)京都大学防災研究所, 2)京都大学大学院工学研究科

3) 京都大学大学院農学研究科, 4) 前・広島大学大学院先進理工系科学研究科

5) 広島大学大学院先進理工系科学研究科

1. はじめに

日本では、先端部に巨礫や流木が集中する石礫型土石流が多数発生する。土石流の既往研究や計算モデルの多くは、内部応力として衝突が卓越する石礫型土石流を対象に提案されている¹⁾。土石流挙動には、河床条件が影響することが知られているが、既往検討の殆どは山地斜面や自然溪流を想定した比較的凹凸の大きな粗い河床を対象とする²⁾。一方で、山間部でも露岩した区間や、道路や流路などの人工構造物など、河床の凹凸が相対的に小さく滑らかな場でも土石流は発生・流動するが、その挙動に関する知見や計算モデルへの適用は少ない。

筆者らは、河床条件に着目して実験を実施した結果から³⁾、粗面と滑面では土石流挙動が異なることや、滑面では土石流内部で衝突が発生し難く、先端部への巨礫の集中も見られないことを明らかにしたが、検討事例が限られていた。

本研究では、河床条件が石礫型土石流の挙動に及ぼす影響を実験により明らかにすることを目的として、粗面と滑面が連続的に接続する条件や、流木が含まれる条件について検討した。

2. 実験方法

実験には、京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーの水路長4.5m、ならびに広島大学東広島

キャンパスの水路長15mの施設を用いた。両者とも水路幅0.1m、可変勾配の直線矩形水路で、4.5m水路は勾配10度、15m水路は勾配18度で実施した。

水路底面には化粧板等の凸凹が少ない滑面河床と、砂を貼り付けて凹凸を付けた粗面河床を設置した。水路の上流や中流に天然ダム状に堆積させた土砂に水を供給して、越流侵食により土石流を発生・流下させた。表1に実験条件を示す。同一条件で複数回の試行を行った。

実験では、複数地点の超音波センサによる流動深の時間変化、水路下端での直接採取により流出流量

表1 実験条件

水路長	4.5 m	15 m
土砂量	約 5.3 kg	約 25 kg
供給流量	約 630 cm ³ /s	約 800 cm ³ /s
勾配	10 度	18 度
流下距離	3.6 m (粗面 1.8m+滑面 1.8m)	11.0 m (粗面 9.8m+滑面 5.2m)
流木	なし	一部 Case では混合

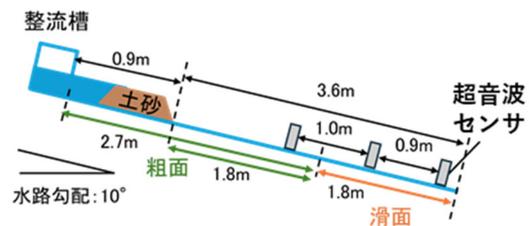


図1 実験施設の概要 (4.5m 水路)

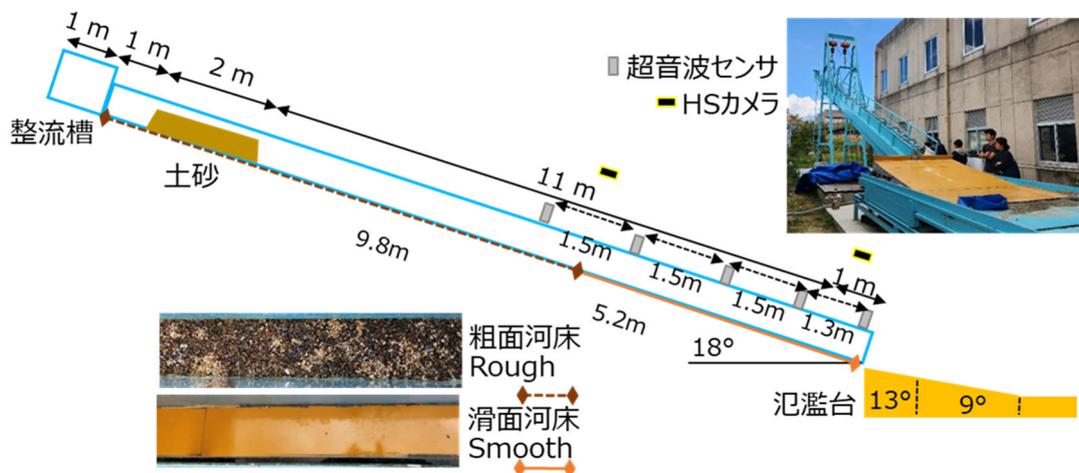


図2 実験施設の概要 (15m 水路)

と土砂濃度の時間変化を計測した。さらに、境界部や水路下端付近のPIV解析や水路下流に設置した氾濫台の堆積形状を比較した。

流木を混合する条件では、根や枝葉の無い円柱型で木製の流木模型を用いた。長さ70mm、直径6mmで本数140本（土砂との体積比2%）、実験前に水で濡らして比重0.8~0.9に調整した。流木は、天然ダム状の土砂の上に載せる形で供給した。再現性確認のため、同条件で複数回の試行を実施している。

3. 結果と考察

超音波センサで得た15m水路の流動深の一例を図3に示す。凡例は土石流の流下距離、0sは最上端のセンサに流れが到達時とした。ピーク値は粗面6.0mで最大40mmだが、滑面を流下すると7.5m（粗面6.8m+滑面0.7m）で25mm、水路下端付近の11.8m（粗面6.8m+滑面5.0m）では16mmまで低下する。各センサへの到達時刻から、滑面を流下する際は粗面より流速が大きいことが示される。

土砂濃度（下端から土石流流出時を0s）を図4に示す。粗面12mと滑面12mの結果³⁾と比較すると、

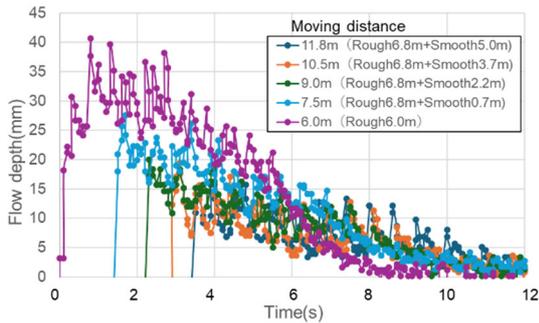


図3 15m水路の超音波センサで得た流動深の一例

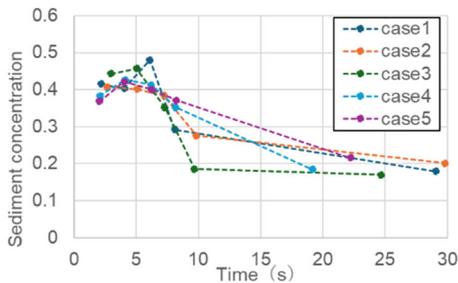


図4 15m水路下端の土砂濃度



図5 15m水路の氾濫台での堆積状況の一例

ピークや数値は粗面12mに近いが、先頭5sまでにピークが生じ、その後で減少する傾向は滑面12mに近かった。氾濫台での堆積状況を図5に示す。粗面12mと近い傾向で到達距離が短く、分級が生じたが、分級は粗面のみの方が顕著に現れた。HSの映像から、粗面では土石流先頭部に流木がジャム状に集積するが、滑面到達後は流木塊が解けて流下する様子が確認された（図6）。

粗面のみ、滑面のみ、の結果と合わせた4.5m水路の土砂濃度と最大流動深を図7に示す。土砂濃度は粗面+滑面は約9sまで粗面のみと数値や形状に近いが、濃度が下がるのが早い。流動深は粗面や滑面のみは流下距離に変わらずほぼ一定だが、粗面+滑面は滑面区間に入ると5~10mm低下する。

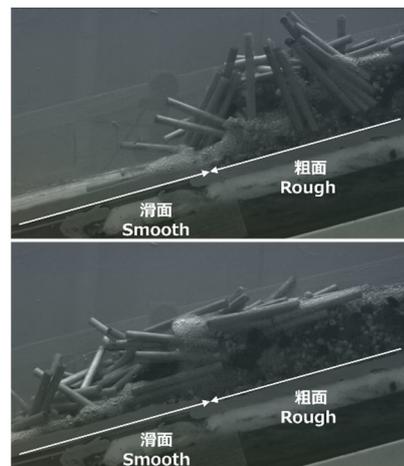


図6 流木入り土石流の先頭部挙動（水路下端から5.2m、HS撮影、下段は上段の0.13s後）

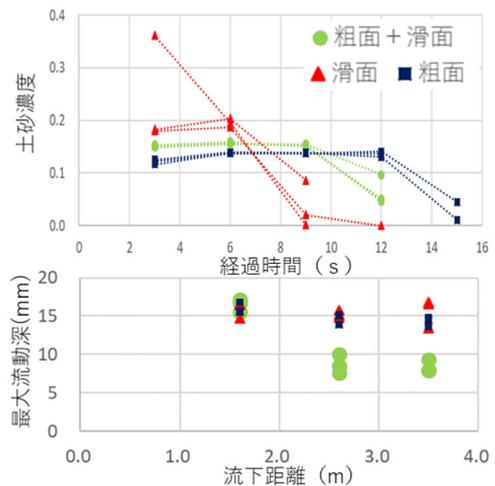


図7 4.5m水路での土砂濃度（上段）と最大流動深（下段）

謝辞 本研究の一部は、一般財団法人砂防・地すべり技術センター、一般社団法人全国治水砂防協会による助成を受けたものです。

参考文献 1) 高橋・中川(1991):砂防学会誌, 44(3), 2) Wada, T. et al.(2015) International Journal of Erosion Control Engineering, 8(2), 3)中谷ら(2024), 令和6年度砂防学会研究発表会概要集