

河床形状および流下距離が土石流挙動に及ぼす影響

○中谷加奈¹⁾ 井原直紀²⁾ 正岡直也³⁾ 正木宏幸⁴⁾ 畠俊郎⁴⁾

1)京都大学防災研究所, 2)前・京都大学大学院農学研究科

3) 京都大学大学院農学研究科, 4) 広島大学大学院先進理工系科学研究科

1. はじめに

土石流は流動性が高いため、被害の甚大度が大きく、被害軽減のために土石流挙動や影響範囲を明確にする必要がある。これまで山間部の斜面や自然河道を対象として、構成材料や規模による土石流挙動に関する検討は多数実施されている^{例えば 1),2)}。

土石流の影響範囲の推定にはシミュレーションが有効なツールで、適用モデルの多くは河床の凹凸が大きな自然河道を基に提案される³⁾。一方、山間部の住宅地では急勾配の道路や流路が設置されて、土石流の流下経路となる場合もある。道路や流路は底面の凹凸が少なく、自然河道と同様の土石流挙動を示すのか知見が十分でなく、両者に同じ抵抗則や一律の係数（粗度係数や侵食速度係数など）を設定することには妥当性に疑問が残る。土石流が急勾配の舗装路を流下して、被害が拡大した事例もあるが、河床形状の影響を考慮した検討は少ない^{4),5)}。また、土石流の既往理論やシミュレーションでは平衡状態を想定して侵食・堆積やその挙動が検討されるが、土石流が発達して平衡状態に達したかを検証する急勾配で且つ十分な長さを設けた実験的検討はこれまで殆ど実施されていない。

本研究では、河床形状や流下距離が土石流挙動に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、山間部の溪流と舗装路を模した異なる河床形状での実験を行った。紙面の制約から、本稿では河床形状の違いのみを考察する。

2. 研究方法

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

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	2.1 m、3.6 m	6.0 m、11.0 m

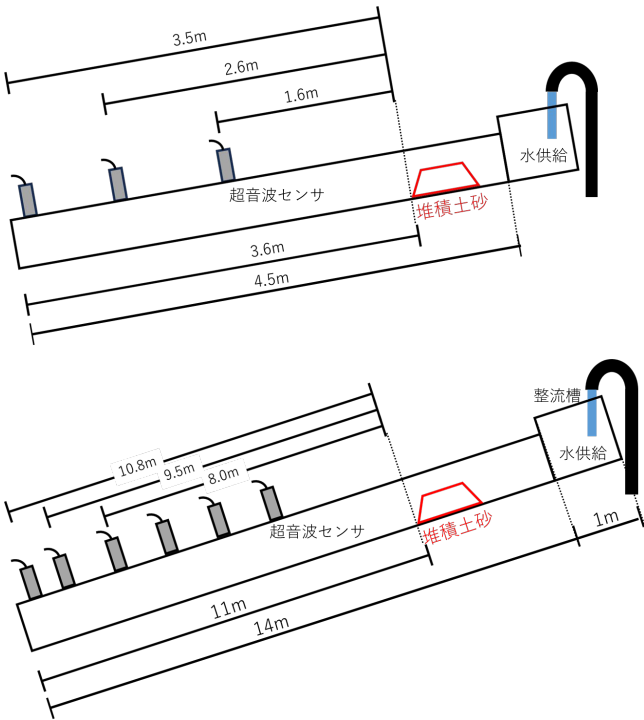


図 1 実験概要、堆積土砂と超音波センサの配置（上段：4.5m 水路で流下距離 3.6m、下段：15m 水路で流下距離 11m）

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と土砂濃度の時間変化を計測した。15m 水路では、これらの項目に加えて、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。4.5m 水路では、土石流内部の粒子速度を解析するために、一部のケースで着色した土砂を混合して実験を行った。撮影動画から機械学習 pix2pix を用いて着色土砂を抽出し、土砂の移動過程を解析した。

3. 結果と考察

図2に4.5m水路での超音波センサで得た流動深の一例を示す。ピーク値は粗面、滑面とも14mm前後で差はないが、粗面では12-13s間ピークが継続した後、5-7s程度かけて流動深が徐々に低下するが、滑面は約5s間のピーク継続後に2.5s間で急激に流動深が低下する。図3に15m水路での流動深の一例を示す。ピーク値は粗面、滑面とも40mm前後で差はないが、各センサに到達するピークの時間差は粗面で約1s、滑面で0.5sである。ピーク後、粗面は15s程度かけて流動深が徐々に低下するが、滑面は約5sで急激に流動深が低下する。

図4に15m水路下端で直接採取した土石流の流出流量と土砂濃度を示す。粗面は流出開始後1-7sまで概ね濃度0.4で推移し、9sで濃度0.25まで低下して、図中に示されないが9s以降は土砂流出がなかった。滑面は1-3sまで0.5と粗面より高濃度だが、その後で急減して6sで土砂流出がなくなった。流下距離や勾配による差はあるが、両4.5m、15m水路とも粗面河床と比較して滑面河床では、土砂流出が短時間で進むことが示された。

図5に4.5m水路の土石流中の粒子速度分布を示す。粗面は河床の凸凹が大きく、底面付近の土砂は移動速度が低い。土石流内部での土砂衝突が多く、上下方向の土砂移動が多く見られた。滑面は、流れの鉛直方向全体で移動速度が高く、底面付近も高速の土砂が存在する。土砂は流下方向に層状で移動して、土石流内部での衝突が少ないことが示された。

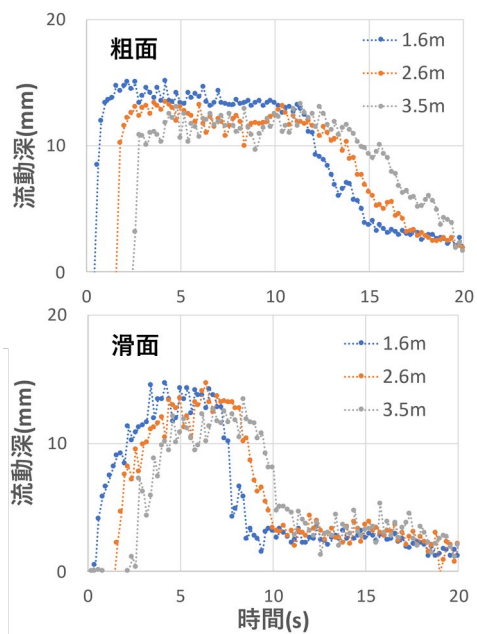


図2 4.5m水路の超音波センサの結果(上段:粗面、下段:滑面、凡例は土石流の流下距離)

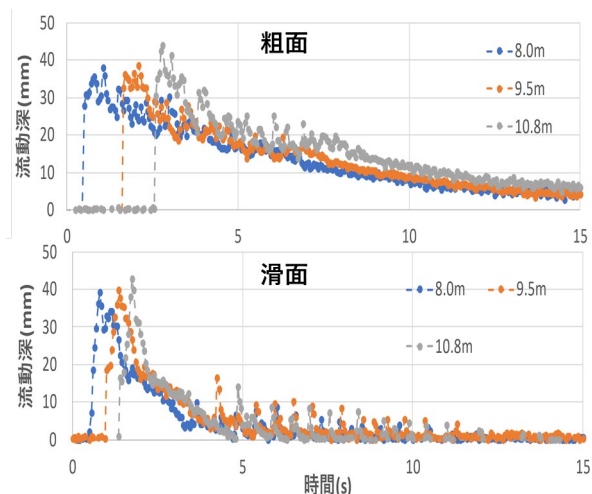


図3 15m水路の超音波センサの結果(上段:粗面、下段:滑面、凡例は土石流の流下距離)

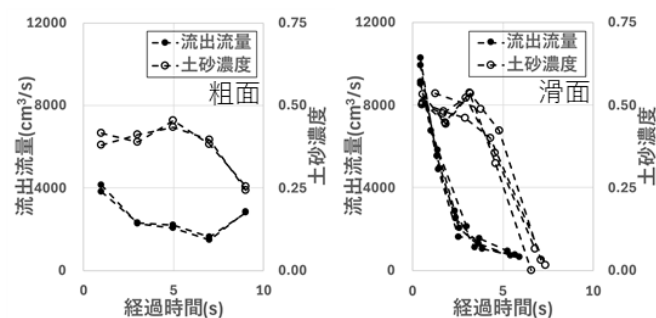


図4 15m水路下端からの流出流量、土砂濃度の時間変化(左:粗面、右:滑面、土石流の流下距離11m)

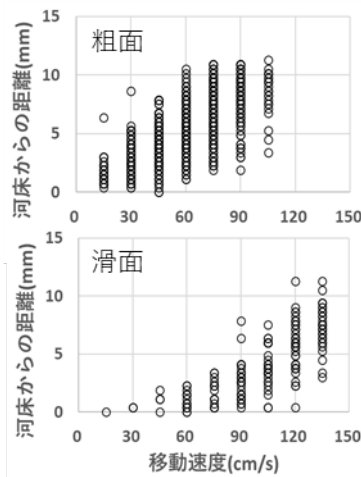


図5 4.5m水路での下流側1m付近の土石流中の粒子速度分布(上段:粗面、右:滑面)

謝辞 本研究の一部は、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。本研究は、広島大学の長谷川祐治先生の取り組みを契機に実施したものです。

参考文献 1) 土屋ら(2009): 砂防学会誌, 61(6), 2) Satofuka, Y. et al. (2007): Proc. of 4th International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation, 3) 高橋・中川(1991): 砂防学会誌, 44(3), 4) Wada, T. et al.(2015) International Journal of Erosion Control Engineering, 8(2), 5) 井原ら(2023), 令和5年度砂防学会研究発表会概要集