

土石流挙動に河床条件や流下距離が及ぼす影響の実験的検討

井原直紀¹⁾ 中谷加奈²⁾ 正岡直也¹⁾ 小杉賢一朗¹⁾

1)京都大学大学院農学研究科 2)京都大学防災研究所

1. はじめに

日本は急峻な地形が多く存在し、各地で豪雨に伴う土石流被害が報告される。土石流による被害を軽減するためには、挙動や被害範囲の正確な推定が求められる。既往の検討では、山間部の斜面や自然河道を対象として、土石流の構成材料や規模による挙動の変化に関する実験が数多く実施されている。一方で、河床条件の違いによる土石流挙動の差についての定量的な検討はほとんどされていない。

土石流の被害範囲の把握には土石流シミュレーションが行われており、一般に上流から下流まで共通の粗度係数が用いられる。しかし山間部の自然河道と住宅地の道路や人工的な流路では河床の状態が大きく異なるため、一律の粗度係数を設定した条件では土石流の挙動を適切に把握できるか疑問が残る。

本研究では、水路底面の粗度や流下距離が土石流挙動に及ぼす影響について検討を行う。昨年実施した流下実験と新たにスケールを変えて実験を行い、粗度が土石流に及ぼす影響を確認する。

2. 実験方法

実験には流路長 200 cm、流路幅 7 cm の水路(水路 A)と流路長 450 cm、流路幅 10 cm の水路(水路 B)を用いた。いずれも矩形断面の直線水路で勾配は 10 度とした。水路に土砂を堆積させ、飽和するまで水を含ませた。その後上流側からポンプで水を供給し土石流を発生・流下させた。超音波センサを用いて 50 ミリ秒ごとの流動深を測定した。下流端の流出流量及び土砂濃度を直接採取により計測した。実験は各条件で 2~3 回繰り返して行った。

水路 A の底面には平滑面(A1)、4 mm 角亚克力材を 3 cm 毎に配置した面(A2)、5~7 mm 径白砂、3 号砂を全体に配置した面(A3)の 3 種類の粗度を用いた。凹凸は A2、A3、A1 の順に大きい。土砂は代表粒径 4 mm の混合土砂約 1300 g を用い、480 cm³/秒で約 30 秒間給水を行った。流下距離は 140 cm とした。バケツによる採取は土砂を含む水が下流端に到達してから 3 秒間行った。

水路 B の底面には平滑面(B1)、4 号珪砂を全体に配置した面(B2)の 2 種類の粗度を用いた。土砂は 2

号珪砂約 5200 g を用い、約 630 cm³/秒で 20 秒間給水を行った。流下距離は 210 cm 及び 360 cm とした。下流端での土砂の採取は土砂が全て流出するまで 3 秒間隔で行った。

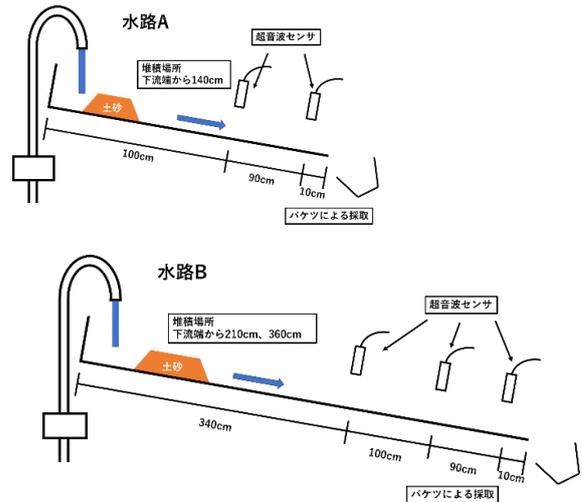


図 1 実験の模式図

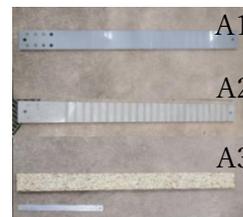


図 2 用いた粗度板の例

3. 結果と考察

3.1 実験結果

図 3 に水路 A における流下距離 130 cm 地点での流動深の変化を示す。A1 では A2 や A3 より土砂流出が早く、A2 や A3 よりもピークの流動深が小さかった。ピーク後は供給した水だけが流下しており、A2 や A3 など粗度が大きい条件で流動深が大きい。

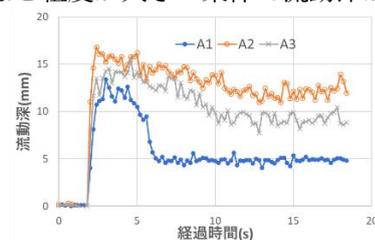


図 3 流動深の時間変化(水路 A)

図4及び図5に流動深の時間変化の例を示す。図中の凡例は流下距離(cm)を表す。B1とB2では各流下距離での流動深に大きな差は見られない。B1の流動深は上昇後比較的早くに低下したが、B2ではより長時間流動深の高い状態が続いた。

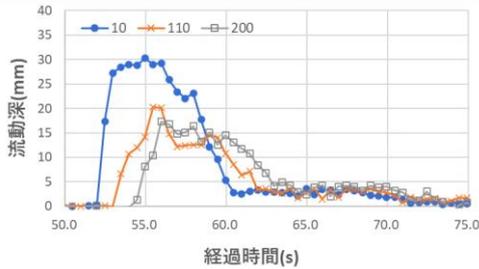


図4 流動深の時間変化(B1)

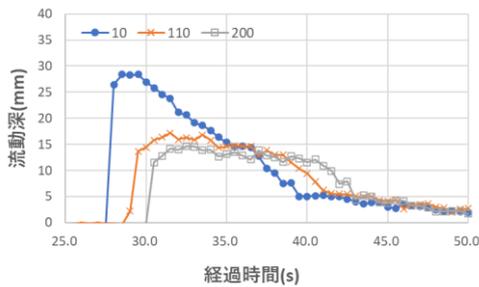


図5 流動深の時間変化(B2)

表1に水路Aにおける下流端での流出流量と土砂濃度の平均値を示す。水路底面の凹凸が大きいほど流出流量が大きく土砂濃度が低い傾向が見られた。

表1 下流端での流出流量及び土砂濃度(水路A)

	A1	A2	A3
流出流量(cm ³ /s)	935.8	657.3	853.38
土砂濃度(%)	16.8	8.9	12.4

図6、7に、水路Bでの試行における下流端の流出流量及び土砂濃度の変化を示す。いずれの条件も流出流量と土砂濃度が比較的近い波形を示した。流出初期の土砂濃度はB1で高く、その後B1ではより早くに土砂濃度が低下した。B2はより長時間土砂濃度が高い状態が続いた。

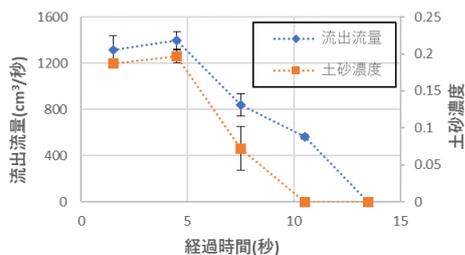


図6 下流端での採取の結果(B1)

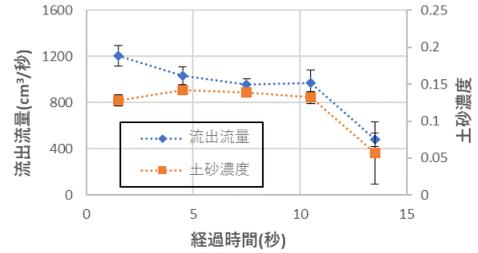


図7 下流端での採取の結果(B2)

3.2 考察

結果から、水路底面の凹凸が大きい条件では流出初期の土砂濃度が低下すると考えられる。粗度の凹凸が大きいと、底面の抵抗が大きくなり流速が低下して輸送可能な土砂量が小さくなる、底面付近の土砂の一部が河床の凹凸に阻害されて下流方向への移動が抑えられるなどの理由が考えられる。

堆積させた土砂の侵食・流出の過程が土砂濃度の差として現れたとも考えられる。水路Bでは流下距離10cm地点で既に流動深の波形に差が現れている。水路底面の凹凸が大きい条件では土砂の移動が抑制されるため、上流に堆積させた土砂流出にかかる時間が長くなった可能性が考えられる。そのためB2では長時間をかけて土砂が流出し、土砂濃度が高い状態がより長時間続いたと考えられる。

水路Bで用いた粗度板は水路Aで用いた粗度板よりも凹凸の差が小さいが、流動深や土砂濃度には差が見られた。実際の土石流でも、流路底面の粗度の違いが土石流の流動形態や挙動に影響を与えることが推察される。舗装路のような平滑な流路では土石流の流速が予測よりも速く、より広範囲へ被害が及ぶ可能性が考えられる。適切な土石流被害の予測のためには河床の粗度が土石流挙動に及ぼす影響を正確に把握し、適切にモデルへ組み込むことが防災対策において重要だと考える。

今後は土石流内部での土砂の挙動を確認し、流路底面の粗度が土石流挙動に及ぼす影響について詳細な解析を行う。ハイスピードカメラで撮影した動画から土砂を検出し、流下方向や鉛直方向の移動速度を解析することで、底面の粗度付近や深度による土砂の動きの差を確認する。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 21H01594 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1)長谷川祐治ら, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.75, No.2, pp.181-186, 2019,
- 2)中谷加奈ら, 砂防学会誌, Vol.69, No.5, pp.3-10, 2017,
- 3)酒井佑一, 砂防学会誌, Vol.75, No2, pp.17-22, 2022