

河床条件が土石流挙動に及ぼす影響の定量的評価

京都大学大学院農学研究科 ○井原直紀 中谷加奈 正岡直也 小杉賢一朗

1. はじめに

日本は急勾配の山麓部にまで住宅地や道路が整備されているため、近年頻発する豪雨で土石流が発生すると流動・氾濫・堆積による被害が発生する。土石流被害を軽減するためには、その挙動や被害範囲の正確な推定や、適切な避難方法などの防災計画が求められる。

既往の検討では、山間部の斜面や自然河道を想定して、構成材料や規模を変えた土石流挙動に関する実験が数多く実施される。河床の状態は土石流が流下する際の挙動に影響を与えることが推測されるが、住宅地内の道路や流路を流下する場合と自然河道を流下する場合の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。

土石流の影響範囲の把握には土石流シミュレーション（以降、計算と呼ぶ）が有効で、計算は上流の山間部から下流の住宅地まで共通の粗度係数を用いることが多い^{例えは 1),2)}。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条件が大きく異なるため、一律の粗度係数を設定した計算では、土石流の挙動や被害範囲を適切に把握できるか疑問が残る。

本研究では、河床の抵抗が小さな道路、構造物が設置された流路、自然溪流の3種類を想定した粗度板を用いて水路実験を行い、河床条件が土石流挙動に及ぼす影響を検討して、土石流計算に役立つ知見を得ることを目的とした。

2. 実験方法

実験には、流路長 2 m、流路幅 7 cm の矩形断面の直線水路を用いた(図 1)。勾配は 10 度及び 15 度である。水路の底面には 3 種類の粗度板 (B0: 平滑面、B1: 4 mm 角アクリル材を 3 cm 毎に配置した棧状粗度、B2: 5~7 mm 径白砂、3 号砂を全体に配置した礫状粗度) を用いた (図 2)。B0 では河床の凹凸がほとんど無く、B1 や B2 は構造物や土砂を設置した影響により、河床の凹凸が大きい。

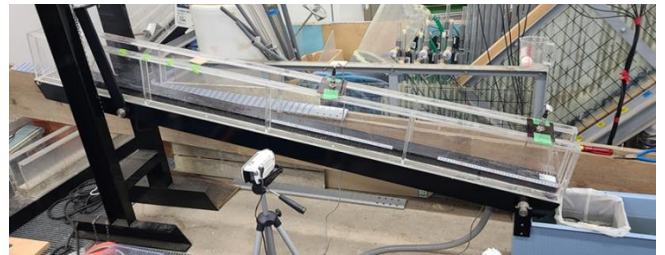


図 1 実験水路の外観



図 2 用いた粗度板(上から順に B0、B1、B2)

実験には代表粒径 4 mm の混合土砂を用いた。一部の土砂は判別を容易にするために、赤及び黄色に着色した。水路の下端から 140 cm~160 cm 地点に混合粒径の土砂を堆積させ、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。供給する水量は約 480 cm³/秒、土砂量は気乾状態で約 1300 g である。超音波センサを用いて 50 ms ごとの流動深を、ビデオカメラ(60 fps)の映像解析から流速を測定した。比較対象として、水のみを流下させた条件も流動深、流速を測定した。土石流が十分に発達した時点での下流端の土砂濃度を直接採取により計測した。実験は、同一条件において 2~3 回繰り返し行った。

3. 結果と考察

3.1 実験結果

図 3 に下流端での流動深の時間的変化の一例を示す。図中の実線は、全ての土砂が流出した時刻を表す。勾配 15 度では 10 度より土砂が早く流出した。B0 は他の河床条件 B1 や B2 より土砂流出が早く、B1 や B2 と比べて流動深は小さかった。一方、B1 や B2 は土砂流出するまでの時間が長く、流動深は大きかった。

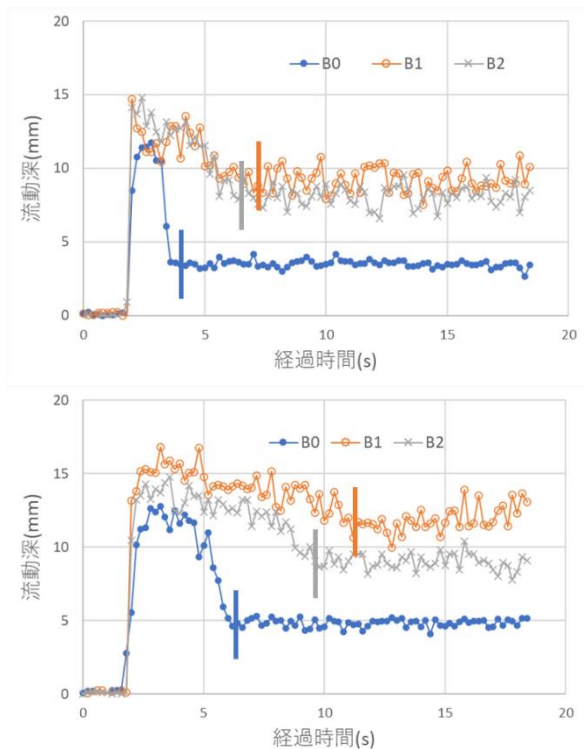


図3 下流端の流動深の時間変化(上:15度、下:10度)

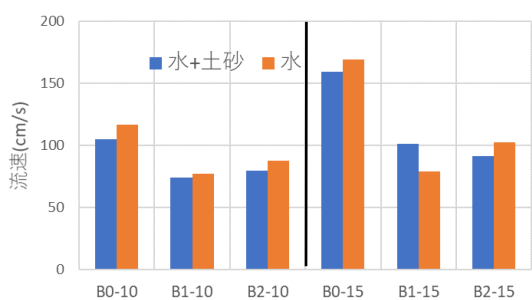


図4 粗度板 B0~B2 と 10 度 (左)、15 度 (右) の流速

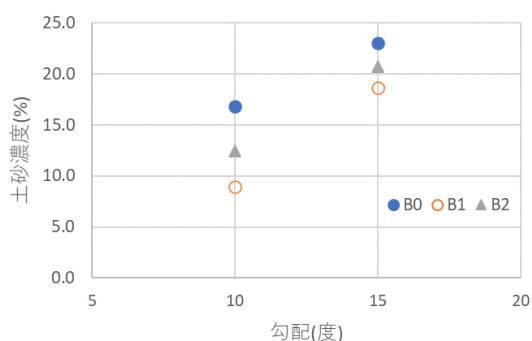


図5 下流端で採取した土砂濃度

図4に流速を示す。水の流速は、供給流量、流動深、流路幅から算出した。いずれの粗度板も勾配が15度で流速が大きかった。B0で流速が大きく、B1やB2で流速が小さいのは、河床の凸凹の差によるものと推測される。土砂を含む条件と水のみ流速は近い値を示す。下流端で採取した流出物の土砂濃度を、図5に示す。

河床の凹凸が小さいB0で、また勾配が大きい15度で土砂濃度が高かった。

3.2 粗度係数

河床の凹凸の程度を表現する方法として、水の流れの河床抵抗の表現に用いられる粗度係数を採用した。土石流計算ではマンシングの粗度係数 $0.03 \text{ (s/m}^{1/3}\text{)}$ が一般的に用いられる^{1),2)}。3.1の実験結果について、マンシングの式を用いて各条件の粗度係数を算出した。土砂を含む流れの流動深の平均値を用いた計算結果を図6に示す。

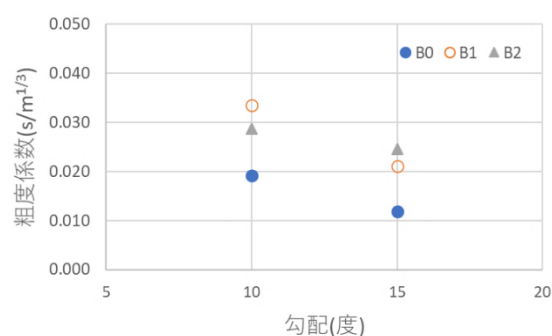


図6 算出された粗度係数

同じ勾配では凹凸が無い河床条件B0での粗度係数が他の河床条件と比較したときに最小で、0.03よりも小さかった。B0は舗装路等の河床を想定していることから、土石流挙動を計算で検討する際は、山地の自然河道(B2)や人工構造物の設置された流路(B1等)とは異なる粗度係数を領域毎に設定することが望ましいと考えられる。一方で、勾配による影響や流動深の評価方法については、今後の検討課題である。

4. おわりに

実験から、水路底面の凹凸の違いは、流動深、流速、土砂濃度などの土石流挙動に影響を及ぼし、粗度係数にも差が生じることを確認した。今後は、河床の凹凸の程度や、粒径、ハイドログラフを変えた検討や、横断的な氾濫・堆積過程までを検討して、河床条件が土石流挙動に及ぼす影響を把握した上で、得られた知見を土石流計算に活用することを目指す。

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.I_181-186, 2019, 2)中谷加奈ら, 砂防学会誌, Vol.69, No.5, pp.3-10, 2017