

1次元解析モデルを用いた堆積土砂濃度が土石流の堆積現象に及ぼす影響に関する数値実験

筑波大学大学院 ○小島 隆太郎

筑波大学生命環境系 内田 太郎

1. はじめに

近年、発生が増加傾向にある土石流災害は、人的被害や物的被害を与えるため早急な対応が求められている。土石流災害の対策を行う上で、土石流の流出規模や影響範囲の評価は重要である。評価する際にしばしば用いられる数値解析では、元々河床に堆積している土砂の濃度と流れに取り込まれた土砂が堆積する際の河床の土砂濃度に同一の値(一般的に 0.6 程度)を設定して用いられる場合が大半である。一方、既往の室内実験では土砂の粒度分布や流体に含まれる土砂濃度などの影響を受けることが報告されている[1]。しかし、これまでの研究にて、堆積土砂濃度が土石流の流出規模や影響範囲に及ぼす影響は十分に検討されてきていない。そこで本研究では、先行研究[1]で得られた堆積土砂濃度を参考とし、堆積土砂濃度の違いが土石流の流出規模に及ぼす影響に関する数値実験を行い、堆積土砂濃度の影響を分析した。

2. 解析対象水路および解析方法

解析対象水路[2]について、解析には変勾配水路(水路長 6000 mm, 水路幅 100 mm)を用いて行った。水路は上流端から 3000 mm 地点までは勾配 18 度, 3000 mm 地点から 6000 mm までは勾配 4 度となっている。

解析方法について、本研究では既往文献[3],[4],[5]を参考に 1 次元解析モデルを構築した。基礎式には式(1)の連続式や式(2)の運動量式, 式(3)の河床の連続式を用いた。侵食・堆積速度は式(4),(5)の高橋式を用いて評価した。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} = E \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} = gh \sin \theta_b - gh \cos \theta_b - \frac{\tau_b}{\rho_T} \quad (2)$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} + E = 0 \quad (3)$$

表-1 解析条件

項目	設定値
水路幅 B [mm]	100
計算断面間隔 dx [mm]	50
計算時間間隔 dt [sec]	0.0001
計算時間[sec]	500
流量 Q [mm ³ /s]	829000
供給土砂濃度	0.33
ピーク流量到達時間[sec]	0.8
給水時間[sec]	10.88
土粒子の代表粒径 d_m [mm]	0.2
土粒子の密度 σ [g/mm ³]	0.0028
間隙流体の密度[g/mm ³]	0.0010
水の密度 ρ [g/mm ³]	0.0010
閾値水深 TH [mm]	1.0
土粒子の内部摩擦角 $\tan\phi$	0.61
掃流状集合流動の最大土砂濃度 C_{max}	$0.4 \times C^*$
掃流状集合流動の最小土砂濃度 C_{min}	0.02
マンニングの粗度係数 n [m ^{-1/3} ・s]	0.022
侵食速度係数 δ	0.0007
堆積速度係数 δ'	0.01

$$E = \delta \frac{C_\infty - C}{C^* - C_\infty} \frac{M}{d_m} \quad (4)$$

$$E = \delta' \frac{C_\infty - C}{C^*} \frac{M}{d_m} \quad (5)$$

ここに、 h : 流動深, t : 時間, M : 単位幅流量($M=uh$), u : 流れの断面平均流速, x : 水路上流から下流に取った座標軸, E : 侵食・堆積速度である。 δ : 侵食速度係数, δ' : 堆積速度係数, C : 土砂体積濃度, C^* : 堆積土砂濃度, C_∞ : 平衡土砂濃度, d_m : 土粒子の代表粒径である。解析条件を表-1 に示す。侵食・堆積速度係数は先行研究[3],[4]の値を採用した。堆積土砂濃度 C^* は、先行の実験[1]で得た堆積時の最小濃度 0.426 と一般によく用いられる 0.65 を参考とし、0.400~0.650 までを 0.050 刻みに変化させた計 7 ケースに設定した。その他の条件は、先行研究[2]の実験条件を参考とし設定した。また、解析モデルでは水路上流端から水と併せて土砂を与えた。流量及び土砂量は、供給開始から 0.8 秒までは表-1 に示した設定

値まで線形に増加するものとし、0.8秒から供給終了時間($t=10.88$ 秒)までは設定値の値を供給し続けるものとした。

3. 解析結果・考察

図-1 に堆積厚の縦断変化、図-2 に各計算断面の累積通過流量を上流端から供給した累積流量で除した流量比の縦断変化、図-3 に各計算断面の累積通過土砂量を上流端から供給した累積土砂量で除した土砂量比の縦断変化を示す。堆積厚に着目すると、勾配変化点の $x = 3000$ mm 地点が最も土砂が堆積しており下流側だけでなく上流側も堆積していた。上流側・下流側で共通して C^* が大きくなるにつれて堆積厚は減少していた。上流側では C^* が小さいほど勾配変化点より上流側まで堆積しており、下流側ではどの値も $x = 4000$ mm 地点まで堆積していた。

通過流量に着目すると、図-1 より $x = 2100$ mm まで土砂の堆積が発生していないため、この地点まではどのケースでも供給した流量のほとんどが通過している。 $x=2100$ mm 地点より下流では、 C^* が小さいケースから順に通過流量が減少し、 $x=4000$ mm 地点辺りまで減少し続けていた。下流端では、 C^* が小さくなるにつれて、堆積層が厚くなる上、堆積層の間隙に多くの水が取り込まれることにより、通過流量が小さくなっており、0.65 のケースに比べて 0.40 のケースでは下流端の流量は 0.34 倍となった。

通過土砂量に着目すると、 $x=2100$ mm まではどのケースでも供給した土砂のほとんどが通過していた。 $x=2100$ mm 地点より下流では、 C^* が大きくなるにつれて通過土砂量が多くなっており、0.55 のケースと比べて 0.4 のケースでは $x=4000$ mm 地点の土砂量は 0.24 倍となった。このことから C^* の違いにより、流量と土砂量のどちらも C^* が大きい方がより流出する傾向にあることが確認された。

4. おわりに

堆積土砂濃度に関する数値実験を行い、堆積土砂濃度の違いが土石流の流出規模に与える影響について分析した。今後は、実データとの比較による粒径や堆積土砂濃度の違いによる影響を検討する。

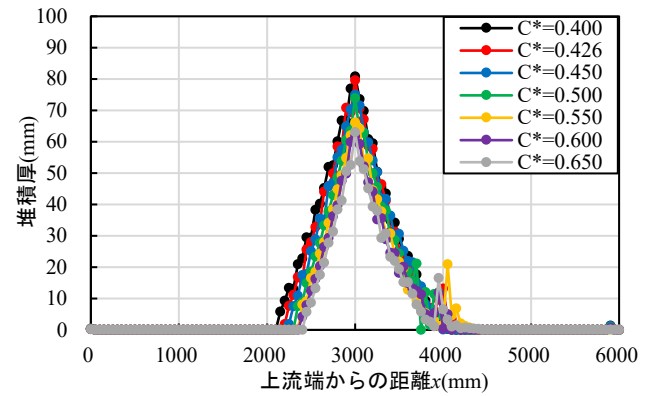


図-1 堆積厚の縦断変化($t = 500$ 秒)

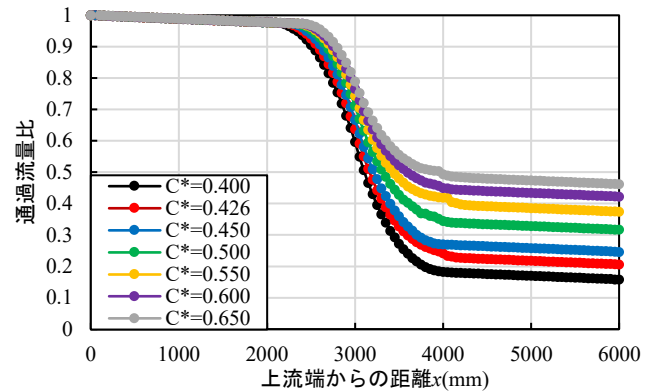


図-2 通過流量の縦断変化($t = 500$ 秒)

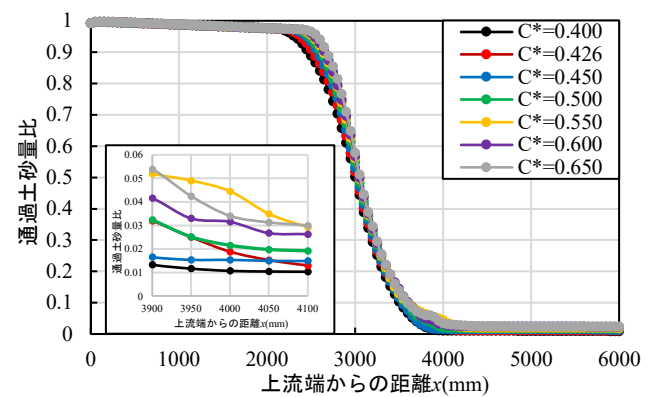


図-3 通過土砂量の縦断変化($t = 500$ 秒)

左下は 4000 mm 地点付近の拡大図

参考文献

- [1]寺田ら(2025), R7 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.781-782.
- [2]高濱ら(2002), 水工学論文集, 第 46 巻, pp.677-682.
- [3]高橋保, 匡尚富(1986), 京都大学防災研究所年報, 第 29 号 B2, pp.343-359.
- [4]中川一(2002), 水理公式集例題プログラム集, 第 2 編, 河川編, p.17.
- [5]土木学会(2018), 水理公式集[2018 年度版], 丸善出版, pp.250-260.