

二次元流域土砂動態シミュレーションの山地流域への適用と LP 差分データによる検証

京都大学大学院工学研究科（現 清水建設株式会社） ○岩崎大和
京都大学防災研究所 中谷加奈，山野井一輝，吳映昕

1. 研究背景と目的

豪雨による大規模な出水時は流域スケールで土砂動態がみられる。斜面崩壊や土石流等の土砂移動現象だけでなく、生産土砂による河床や河道周辺地形の変動、それに伴う川幅の変化等の水 - 土砂の複合現象であることが多い。(例えば、2017 年福岡県朝倉市赤谷川流域の災害) こうした流域スケールの複雑な土砂動態の予測には、流域土砂動態シミュレーション (例えば、SiMHiS¹⁾) が用いられるが、多くは流域地形を単位河道・単位斜面で表現した一次的なモデルのため、河道外の土砂移動を扱えない。また、川幅の拡張や河道周辺の堆積等の現象を再現するには二次元河床変動解析 (例えば、iRic-Nays2DH) が用いられるが、流域スケールの現象を扱うのは困難である。そこで、流域スケールで適用可能な二次元土砂動態シミュレーション DRSRIS²⁾ を用いることで、大規模出水時の土砂動態を再現できる可能性がある。また、近年は流域規模で航空 LiDAR 測量が実施されている地域がある。例えば、神通川水系足洗谷流域では、出水イベント前後の高頻度なデータが蓄積されており、二時期差分からイベントスケールでの土砂移動把握に活用できる。

従って、本研究では 2020 年に大規模な出水のあった足洗谷流域を対象に、出水前後の航空測量 DEM データの差分図を作成し、河道周辺の地形変化を把握する。また、DRSRIS を用いて上記の出水イベントの再現計算を行い、河床材料の粒径分布や土地利用区分等の与条件を変えつつ最も良い計算条件の組み合わせを探索する。再現性が十分であるかを評価することが目的である。

2. 航空 LiDAR 測量差分

本研究で対象とするのは岐阜県高山市に位置する神通川水系足洗谷流域である。2020 年 7 月の豪雨では当流域内で土石流が発災した。神通川水系砂防事務所は 2020 年 5 月と 8 月に同流域の河道部を対象に航空 LiDAR 測量を実施している。図 1 に示す通り、中央部では河道周辺の堆積領域、局所的な浸食領域が確認できる。右下部ではヒル谷の土石流による堆積土砂がみられるが、本研究の計算は土石流を扱うモデルではないため対象外である。

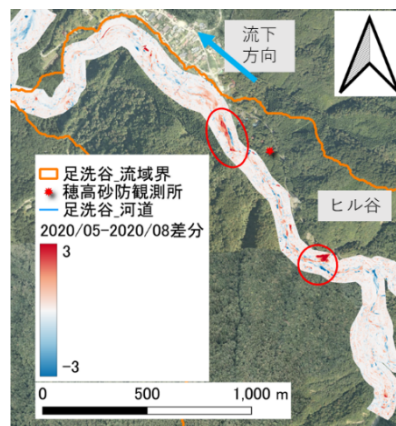


図 1 足洗谷流域河道部の航空測量 DEM 差分図

3. DRSRIS の概要と条件設定

本研究で用いる DRSRIS は二次元デカルト座標で定義されたラスタ形式の標高データで流域を表現するモデルである。降雨流出モデルとしては、表面流・二層型中間流統合型 Kinematic Wave モデルを、土砂の輸送モデルとしては、混合粒径階の掃流砂と浮遊砂とを考慮したモデルを用いている。本モデルは流域を森林・河道・裸地の 3 領域に区分し、それぞれ異なる計算処理方法やパラメータを与え一体的に解く。森林領域は土壌を持つため表面流と浸透流とを考慮し、かつ表層土砂の流出抑制効果から浸食を許さないものとした。裸地領域は森林と同様に表面流と浸透量を考慮し、かつ凍結融解等による生産土砂が貯留していることから浸食を許すものとした。そして河道領域は常に飽和しているとみなし表面流のみを考慮し、かつ河床貯留土砂の交換による浸食を許すものとした。図 2 に示す通り、国土地理院の示す可動域に類似した範囲の内河床勾配が約 15% 以下の部分を河道、それ以外の部分と地理院写真で植生がないと確認できる箇所を裸地、残りを森林領域として土地利用区分を与えた。また、各メッシュ構成土砂の粒径分布には、澤田の観測結果³⁾を元に代表粒径の 0.1, 0.5, 1.0, 2.0 倍の 4 パターンの粒径分布を用意し、裸地は比較的粒径の小さい土砂が生産され堆積していることから河道部より小さい粒径分布を与えた。図 3 に作成した粒径分布図を示す。

流域地形データとしては足洗谷流域全域を対象とした 2019 年航空測量 DEM を元に 5m メッシュにリサンプルしたものを、降雨データは国土交通省が提供する XRAIN の同流域における観測データを用いた。また、表 1 にその他のパラメータを示す。中間層厚や飽和側方浸透係数、間隙率は先行研究を、マンニングの粗度係数は一般値を、最大浸食可能深さは試行錯誤を元に設定した。

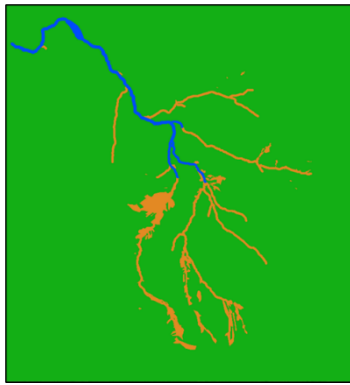


図 2 土地利用区分図の入力データ

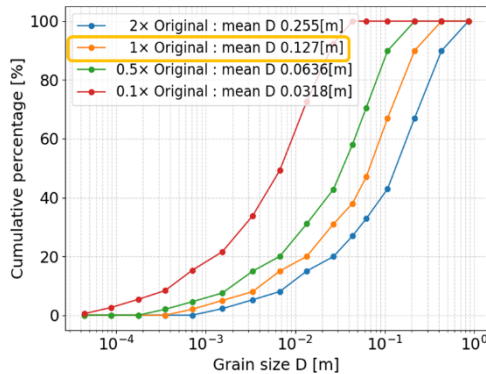


図 3 観測結果³⁾を元に用意した4種の粒径分布図

表 1 土地利用区別に設定したパラメータ表

各種パラメータ名	森林領域	河道領域	裸地領域
中間A層厚 D_a	0.1 [m]	-	0.1 [m]
中間B層厚 D_b	0.8 [m]	-	0.8 [m]
A層側方飽和浸透係数 K_a	1.0×10^{-3} [m/s]	-	1.0×10^{-3} [m/s]
B層側方飽和浸透係数 K_b	2.0×10^{-5} [m/s]	-	2.0×10^{-5} [m/s]
間隙率 $poros\theta$	0.4 []	0.4 []	0.4 []
マニングの粗度係数 N_m	0.1 [m^{-3}/s]	0.05 [m^{-3}/s]	0.1 [m^{-3}/s]
最大浸食可能深さ $erodible_depth$	-	10.0 [m]	0.20 [m]

4. 計算結果とまとめ

河道領域で観測結果の2.0倍、裸地領域で観測結果の0.1倍の粒径分布を与えた結果を示す。比較対象として、図1で示した2020年7月の土砂移動イベントを捉えた差分図を用いた。河道を下流から順に堰堤や谷の合流地点で区分し、5つの領域で計算終了時点の土砂収支図や地形変化の空間分布図を用いて評価を行った。図4に評価領域毎の正味の土砂移動量の計算値と観測値を併せて示す。観測水路、ヒル谷、黒谷堰堤領域では土砂移動量の正負が一致しており、定性的に河道縦断的にある程度の再現性があると言える。しかしながら、傾向の一致しない割谷、黒谷白水谷領域や、傾向が一致していてもその堆積深さに大きな差がある観測水路領域については土砂収支以外の手法で多角的に検討する必要がある。

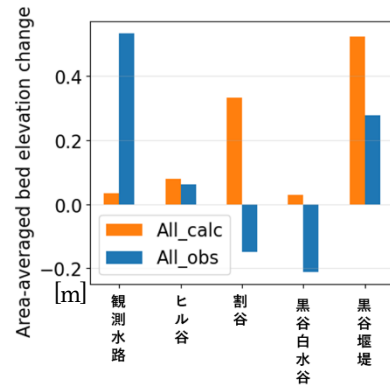


図 4 各評価領域における正味の土砂移動量の比較

図5に割谷領域の地形変化量の空間分布図を示す。観測結果と計算結果とを見比べると、上流から流下してきた土砂が河道内で堆積している様子が概ね再現できている。一方で、観測結果では下流側で左岸部が大きく浸食しているのに対し、計算では再現できていない。土砂収支図のみを見れば全く土砂動態の予測ができていないかのようなのだが、本モデルの予測対象外である側岸の斜面崩壊等による浸食が大きな影響を及ぼしており、河道内土砂の掃流輸送過程についてはある程度再現できていることがわかった。

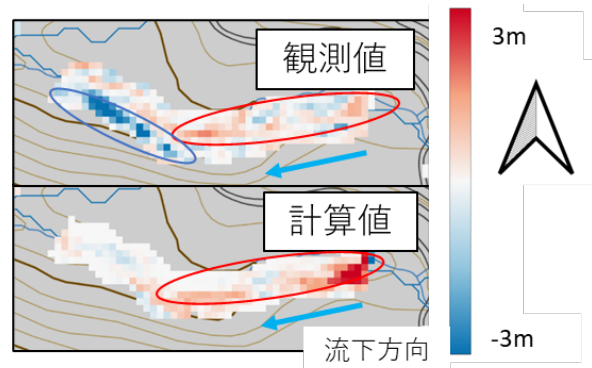


図 5 割谷領域：地形変化量の空間分布比較図

以上より、本研究では2020年に大きな出水のあった足洗谷流域を対象として、航空LPデータの差分図から河道周辺の堆積浸食による地形の変化を確認した。また、二次元土砂流出シミュレーションを用いて上記出水イベントにおける再現計算を行い、土砂の掃流輸送過程が概ね再現できていることを確認した。今後は計算で得られた流砂量をハイドロフォン等の観測結果と比較するなどして検証を進めていきたい。

参考文献

- 1) 山野井一輝: 土砂生産・土砂供給過程を考慮した土砂流出モデルの開発とその応用に関する研究, 京都大学学位論文, 2017
- 2) 山野井一輝・大谷英之・陳健・大石哲・堀宗朗: 水-土砂の流出氾濫統合モデルの構築と HPC による朝倉市杷木地区への適用, 土木学会論文集 (B1), Vol.74, No.5, p.889-894, 2018
- 3) 澤田豊明: 山地流域の土砂流出に関する研究, 京都大学学位論文, 1985