

流域土砂動態シミュレーションにおける不確かさ伝播に関する研究

○山野井一輝¹⁾, 岩井智哉²⁾, 宮田秀介³⁾ 高山翔揮¹⁾

1) 京都大学防災研究所 2) 京都大学大学院工学研究科 3) 京都大学大学院農学研究科

1. 研究の背景と目的

近年、土砂・洪水氾濫を対象とした数値シミュレーションは、砂防計画や流域土砂管理における重要な役割を担っている。しかし、土石流・河床変動・斜面崩壊などの各過程は複雑かつ非線形であり、粒径分布や侵食・堆積過程、境界条件設定などに未解決の課題が多く残されている。このため、すべてのプロセスを正確に予測することは現実的でないため、各プロセスを不確かさ込みで予測することが現実的である。この時、流域を対象とした統合シミュレーションでは、上流で生じた不確かさが下流へと伝播するため、不確かさの伝播過程を明示的に評価することが重要である。

このような考え方のもと、不確かさの伝播特性を把握するためには、土砂生産から河道輸送に至る複数の過程を統合的に扱い、その中で個別モデルや初期・教会条件の違いが予測結果に与える影響を検討可能な枠組みが必要となる。特に、土石流過程の取り扱い、流域スケールの土砂動態予測における主要な不確かさの一つと位置付けられる。

そこで本研究では、流域土砂動態シミュレーション SiMHiS (山野井・藤田, 2014) を基盤として、土石流過程と長期的な土砂輸送過程を統合的に計算可能なフレームワークを構築する。本稿では、このフレームワークにおいて、土石流を考慮する場合と考慮しない場合を一つの不確かさとして捉え、その違いが下流域における河床変動や土砂堆積過程にどのように影響するかを比較・検討する。これにより、不確かさの伝播過程を具体的に追跡し、統合モデルにおける各過程の重要度や簡略化の妥当性を評価する方法を提示することを目的とする。

2. SiMHiS への土石流シミュレーションの結合

本研究では、不確かさの伝播過程を評価するため、SiMHiS に土石流過程を組み込んだ統合計算フレームワークを構築した。SiMHiS は降雨流出、斜面からの土砂供給、および河道における掃流砂・浮遊砂輸送を統合的に取り扱う流域土砂動態シミュレーションである。一方、土石流過程については、1次元のモデルを導入した。従来の SiMHiS では、河道を合流点ごとに離散化する単位河道モデルを用いていたが、本研究では、単位河道をさらに 50m 程度のセグメントに離散化し、土石流モデルも同一の離散化河道上で扱えるようにした。

土石流モデルは、浅水方程式に基づく一流体型のモデルとし、抵抗則には高橋・中川 (1991) を用いた。また、河床の侵食・堆積過程については江頭 (1993) の侵食速度式を適用した。これにより、土石流の流下に伴う河床変動を他の土砂輸送過程と整合的に評価可能とした。

各過程の結合はオフライン型で行うものとした。すなわち、まず降雨流出・土砂輸送モデルによる計算を

土石流発生タイミングまで実行し、次に土石流を発生箇所を与えて土石流による河床変動量を求め、その後河床変動量を元のモデルへ反映させ、土石流発生時刻から再度計算を継続させる手順とした。このように段階的にモデルを連結することで、土石流過程の導入有無のみを変化させた比較計算が可能となる。

3. 適用条件

本研究では、岐阜県神通川水系足洗谷流域を対象とした (図 1)。当流域は継続的な流砂観測が実施されている山地流域であり、土石流および出水時の土砂流出現象が確認されている。本研究では、2019年8月の降雨イベントを対象として計算を行った。

計算に用いた降雨条件を図 2 に示す。対象期間は 2019年8月29日から8月31日とし、それ以前の降雨をスピニアップ計算として与えることで斜面水深等の初期条件の影響を低減した。スピニアップ期間中は水のみを流出計算を行い、本計算期間において土砂輸送を含む解析を実施した。

また、河床材料の粒径分布条件として、図 3 に示す分布を全計算で共通に与えた。これは対象流域における代表的な粒径特性を反映したものである。

ここでは、不確かさ評価のため、土石流を考慮する場合と考慮しない場合の 2 ケースを設定した。土石流を考慮するケース (Case 1) では、降雨ピーク時に土石流を発生させ、その影響を下流の土砂輸送計算に反映させた。一方、土石流を考慮しないケース (Case 2) では、同位置に土砂を静的に配置することで、上流からの供給条件のみを変化させた。これにより、土石流過程の有無が下流域の土砂動態に与える影響を比較可能とした。



図 1 解析対象とした足洗谷流域。土石流発生位置および流域内の観測水路の位置を示す。

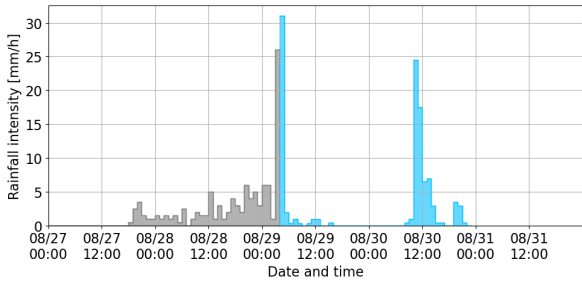


図2 解析に用いた降雨条件。計算期間2019/5/1～8/31のうち、議論対象の出水期間(8/27-8/31)のみを示す。灰色部分は土砂輸送を計算しないスパインアップ期間を示し、灰色部と青色部の境界は、Case 1で土石流による計算を行ったタイミングに相当する。

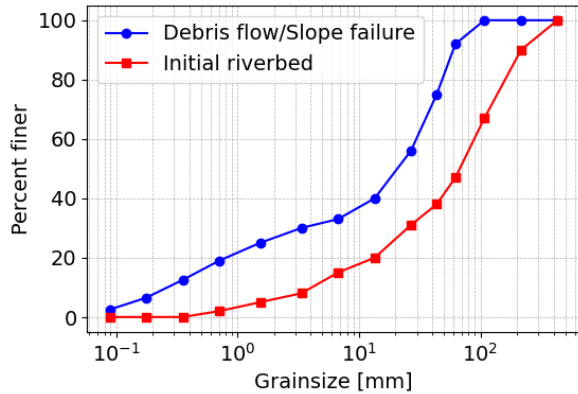


図3 解析に用いた河床材料および土石流・供給土砂の粒径分布条件。

4. 結果および考察

図4に観測水路地点における掃流砂量および河床変動量の時間変化を示す。土石流を考慮したCase 1では、発生直後の数時間において掃流砂量に差が生じる一方で、その後は両ケースの値は概ね一致する傾向を示した。河床変動量については、絶対値には初期状態による0.8m程度の差があるものの、時間変化は概ね共通する変化を示した。この結果は、土石流に起因する影響が時間の経過とともに減衰することを示している。

次に、図5に河床変動量の空間分布を示す。土石流発生直後の時刻($T=0$ [h])には、土石流を考慮する場合は上流域において大きな侵食・堆積が生じ、両ケース間で数m以上の差が確認される。一方で、下流へ進むにつれてその差は縮小し、比較的勾配の緩い区間では差は1m以下と限定的となる領域が広く分布する。このことから、上流で生じたモデル差異は、下流に流下する過程で空間的に平滑化されることが確認された。

以上より、本研究で設定した条件においては、土石流過程の有無による影響は上流域では顕著である一方、ある地点よりも下流域では限定的となることが明らかとなった。すなわち、土石流過程の取り扱いが流域内の位置や対象とする評価量に応じて重要度が異なり、不確かさの伝播過程においてその影響が減衰する場合が存在することが示唆される。

また、本結果は、上流過程を詳細にモデル化しない場合でも、下流域の河床変動が一定程度再現可能となる条件が存在することを示しており、統合モデルで下

流部の現象を予測する場合の、合理的なモデル簡略化の可能性を示すものである。

一方で、今回の検討は限られた河床材料粒径分布や、降雨条件、地形条件に基づくものである。今後、本研究で提案したフレームワークにて、各設定条件やモデル選択(土石流考慮の有無)などが、下流側の予測結果にどの程度影響を及ぼすかについて、網羅的な数値実験を実施することで、どの程度現実的に下流側の予測の不確かさ軽減できるかについて、検討を実施する予定である。

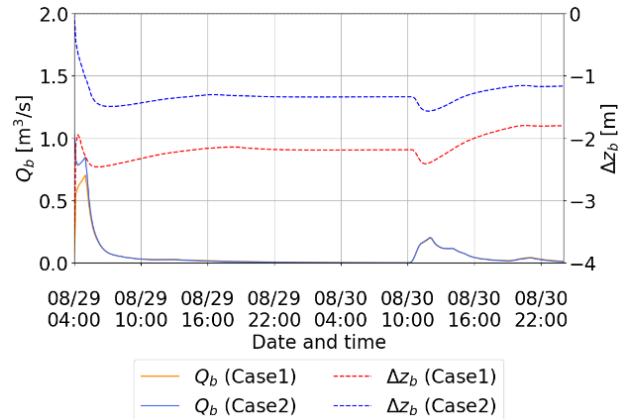


図4 観測水路地点における各ケースの掃流砂量および河床変動量の時間変化。

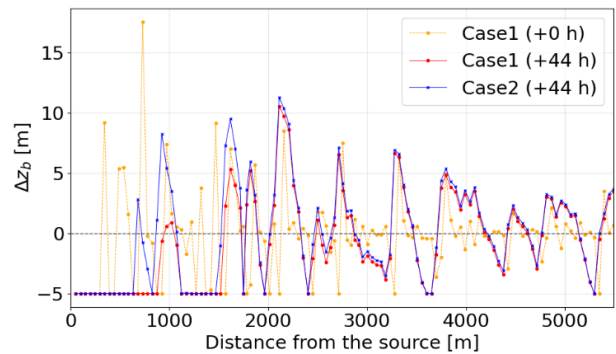


図5 各ケースにおける河床変動量の空間分布。土石流発生直後および計算終了時の結果を比較したもの。

謝辞：本研究は河川砂防技術研究開発公募、砂防技術分野「土石流・河床変動解析手法の妥当性評価とそれに基づく高度化に関する研究」の助成によって進められた。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 山野井一輝・藤田正治 (2014), 土木学会論文集 B1, Vol.70, pp. I_925-I930.
- 高橋保・中川一 (1991), 砂防学会誌, Vol.44, pp. 12-19.
- 江頭進治 (1993), 砂防学会誌, Vol.46, pp. 45-49.