

土石流による土砂供給過程を考慮した流域土砂動態モデルの開発

京都大学大学院工学研究科 ○木下奉汰

京都大学防災研究所 竹林洋史

(一財) 砂防・地すべり技術センター 藤田正治

京都大学防災研究所 山野井一輝

1. はじめに

土砂災害に関する自然現象には、斜面崩壊や土石流、土砂・洪水氾濫等が挙げられるが、これらの現象は時空間スケールが異なり、複合的に発生する事で甚大な被害を及ぼす。これらの現象を統合的に解析して得られた情報は、今後土砂災害対策を検討していく上で有効である。

西尾ら¹⁾は流域内の土砂動態解析モデルである SiMHIS²⁾と、土石流・泥流の平面二次元解析モデルである Morpho2DH³⁾を統合し、2011 年台風 12 号による被害を受けた那智川流域の一部溪流でモデルを適用した。本研究では、同モデルの改良および適用範囲の拡張を行い、土石流による土砂生産過程を考慮した土砂動態シミュレーションを実施する。

2. 流域土砂動態モデル

本モデルでは、まず SiMHIS により斜面要素における土砂の流動化形態を求める。流動化形態の分類は表-1に示す鈴木ら¹⁾が最小安全率と表面流水深により評価した指標を用いる。 d_m は土砂の平均粒径である。

表-1 流動化形態の分類

パターン	最小安全率 F_{smin}	表面流水深 h_{sf}
1	$F_{smin} \geq 1.05$	-
2-a	$0.95 \leq F_{smin} < 1.05$	$h_{sf} > 1.4d_m$
2-b	$0.95 \leq F_{smin} < 1.05$	$h_{sf} \leq 1.4d_m$
3	$F_{smin} < 1.05$	$h_{sf} = 0$
4-a	$F_{smin} < 0.95$	$h_{sf} > 1.4d_m$
4-b	$F_{smin} < 0.95$	$h_{sf} \leq 1.4d_m$

パターン 1 は斜面が安定状態のため流動化せず、パターン 2-a, b は安全率が 1 近傍であり表面流が発生することから侵食による流動化が発生するものとする。パターン 3 は安全率が低下するが土層が不飽和状態のため流動化しにくく、パターン 4-a, b は安全率が 1 を下回り、崩土は斜面下方に加速しながら流動化するものとする。

次に、Morpho2DH³⁾により土石流解析を行う。境界条件として、パターン 2 では高さ 0.1m の水塊を、パターン 3, 4 では崩壊深 0.5m の斜面崩壊を発生させる。計算ケースは、先行研究では考慮されていなかった崩壊発生時間の違いを考慮および被災当時の土砂の流動・河床変動特性を把握するため、崩壊時間条件の異なる 2 ケース、地形条件の異なる 5 ケースを設定した。崩壊時間条件については、流域内の崩壊が同時に発生した場合 (Case1-Case5) と SiMHIS によって得られた個々の斜面崩壊の発生時間を適用した場合 (Case6-Case10) の 2 種類の発生時間条件で実施した。地形条件については、Case1, 6 は国土交通省が計測した LiDAR データであり、災害後に建設された堰堤が反映されている。Case2, 7 は国土

地理院、国土基盤地図情報の DEM であり堰堤は未反映である。Case3, 8 は Case1, Case4, 9 は Case2 と同様の DEM で、各谷の出口付近に高さ 10m の堰堤を設置し、Case5 は 3m の小さい堰堤を溪流の途中に 2, 3 基設置したものである。Case1, 6 が現在の状態、Case2, 7 が被災時の状態、Case3, 4, 8, 9 が流域における土砂流出対策が完了した状態を想定した条件である。

その後、土石流解析から得られる地形変動量より、各単位河道に接続する 2 つの単位斜面領域内の侵食堆積量の合計を単位河道に与え、土石流による土砂供給を考慮した流域土砂動態の解析を行う。河床変動量を SiMHIS に受け渡す際、流域内で崩壊が同時に発生した条件においては降雨ピーク時 ($T=76[h]$) に、SiMHIS によって得られた個々の斜面崩壊の発生を適用した条件においてはそれぞれの崩壊時間に SiMHIS の単位河道に受け渡した。

3. 結果と考察

西尾ら¹⁾が SiMHIS で評価した流動化形態の空間分布を図-1 に、Morpho2DH によって得られた計算対象領域である那智川流域の主要 7 溪流における地形変化の計算結果を図-2 に示す。

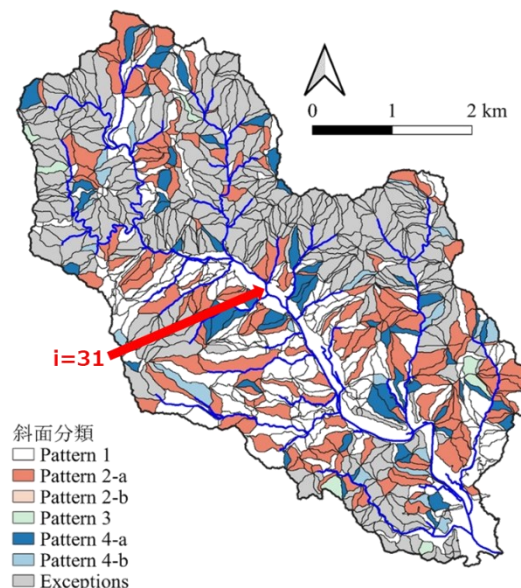


図-1 流動化形態の空間分布

Case1 では、樋口川や内の川、尻剣谷川において土砂は本川まで到達しなかったが、被災時を想定した Case2 では金山谷川を除くすべての溪流で本川部まで土砂が到達した。被災時にこれらの流域において土砂が本川まで流動して氾濫したこと、被災後に建設された砂防堰堤

により既に土石流の氾濫規模の縮小効果が表れていることが確認できる。Case2 と Case7 を比較すると、Case2 の方が樋口川、平野川、尻剣谷川、鳴子谷川において本川の氾濫範囲が拡大した。同時に崩壊が発生して溪流の土砂を侵食しながら流下する方が、崩壊時間がずれた場合よりも土石流による本川の氾濫範囲が広くなることが考えられる。

内の川と本川合流部の下流側である単位河道 $i=31$ 地点(図-1)における、降雨強度、河床変動量の時間変化を図-3 に示す。

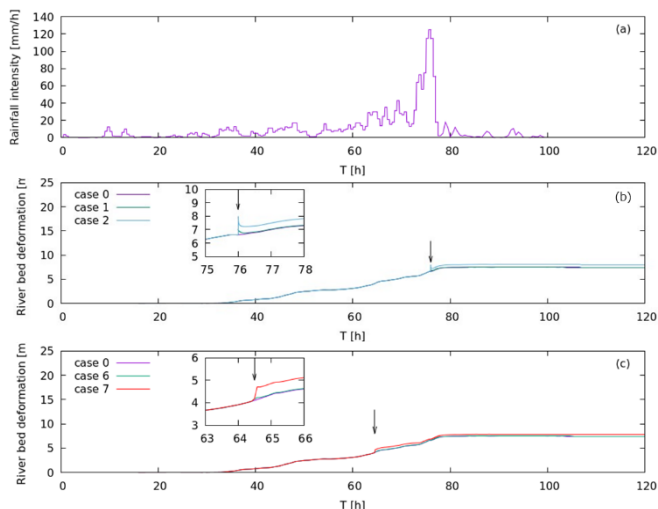


図-3 単位河道 $i=31$ における(a)降雨強度、(b)Case0,1,2 の河床変動量、(c)Case0,6,7 の河床変動量の計算結果

Case2 では内の川における土石流が単位河道 $i=31$ に接続する単位斜面まで多く到達していることから降雨ピーク時に河床位が 1.5m 程度急激に上昇した。また、Case7 においても内の川で崩壊が発生した $T=64.5[h]$ に河床位の上昇が発生している。このような氾濫に最も影響を及ぼす急激な河床位の変化は鈴木ら⁴⁾の従来の土砂生産モデルでは表現できておらず、平面二次元の土石流・泥流解析モデルとの統合によって評価可能となった。

4. おわりに

流域土砂動態モデルによって崩壊時間・地形条件による土砂の流動特性の違い、土石流による土砂が引き起こす河床上昇、氾濫の危険性を表現・評価することが可能となった。本モデルを用いて、土石流の流入による河床と水位の上昇に起因した氾濫の発生により高度な予測が期待できる。

参考文献

- 1) 西尾潤太：マルチスケール流域土砂動態モデルの開発と適用，令和4年度砂防学会研究発表会概要集，2022
- 2) 山野井一輝，藤田正治：豪雨時の水・土砂災害に関わるハザード群の発生リスク評価，土木学会論文集 B1(水工学)，土木学会，Vol.72，I_1291-I_1296，2016
- 3) Hiroshi Takebayashi, et.al: Journal of Hydrology, 615, Part A, 128636, 2022.
- 4) 鈴木豪太:SiMHiS を用いた土砂・洪水氾濫解析，2020 年度砂防学会研究発表会概要集，2020

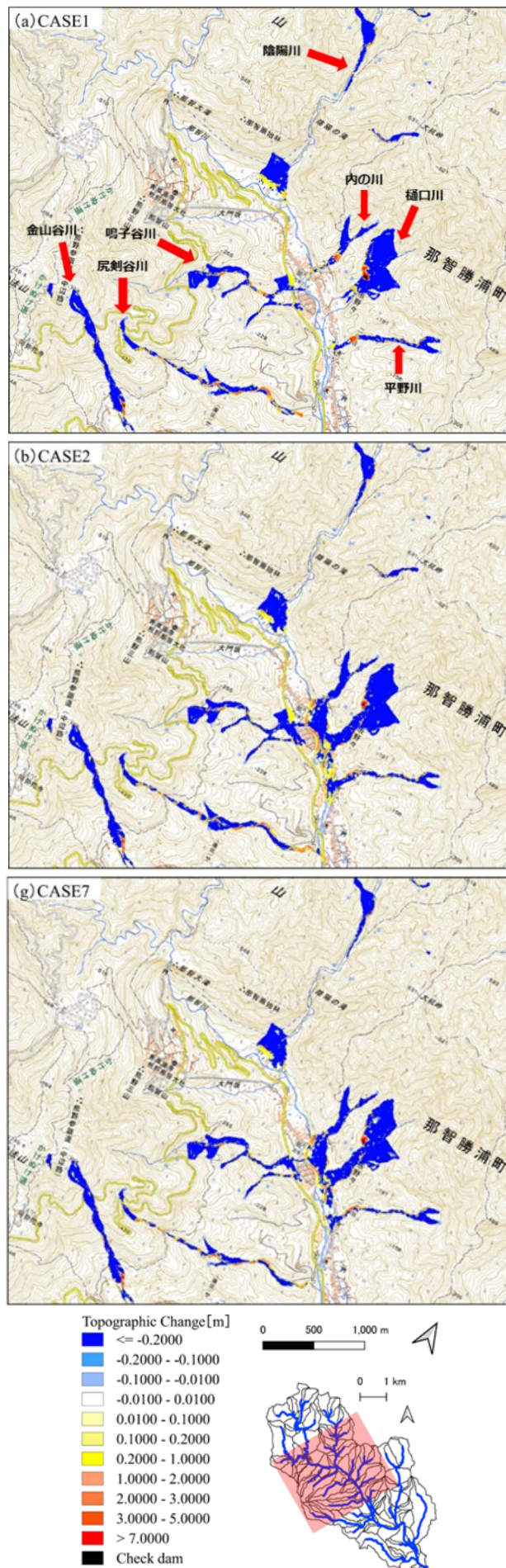


図-2 土石流解析の結果(河床変動量の空間分布)