

斜面崩壊を起点とする土石流による地形変動を考慮した 流域土砂動態モデルの開発と適用

京都大学大学院工学研究科 ○木下拳汰
京都大学防災研究所 竹林洋史, 藤田正治, 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、これらの現象はそれぞれ斜面スケール、溪流スケール、流域スケールなど、異なる空間スケールで発生する。このような土砂移動現象を統合的に解析して得られた情報は、土砂災害対策を考える上で有効である。

西尾¹⁾は、流域土砂動態モデルである SiMHIS²⁾と土石流・泥流モデルである Morpho2DH³⁾を統合し、2011 年台風 23 号により被害が発生した那智川流域の溪流の一部でモデルの適用を行った。本研究では、同モデルの改良を行いながら流域全体を同時に解析できるマルチスケール流域土砂動態モデルを開発し、那智川流域に適用する。

2. マルチスケール流域土砂動態モデル

マルチスケール流域土砂動態モデルでは、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。流動化形態は計算期間中の疑似的な安全率と水分状態により分類する。図 1 に流動化形態の斜面分類の凡例を示しているが、Pattern 1 は安全率が 1.05 以上の斜面（崩壊なし）、Pattern 2, 3 は安全率が 0.95~1.05 の範囲にあり、Pattern 4 は 0.95 未満となる斜面である。a, b は土石流初期条件に寄与すると考えられる表面流水深が a: 1.4d_m 以上（d_m: 粒径）b: 1.4d_m 未満となる斜面である。Pattern 3 は表面流が 0、すなわち不飽和状態の斜面を示す。

次に、流動化形態に基づいた境界条件を与え、Morpho2DH により土石流解析を行う。Pattern 2 と 4 はいずれも飽和に近い状態で疑似安全率が低下した斜面であるが、Pattern 2 では相対的に安全率が大きく（0.95 以上）崩壊の臨界状態にある斜面である。これを踏まえ、境界条件として、Pattern 2 では表面流による侵食を再現するために高さ 0.1m の水塊を、Pattern 4 では崩土の流動化を表現するため高さ 0.5m の水と土砂の混合物を斜面上に与える。

計算ケースは、地形条件の異なる 3 ケースを設定した。Case 1 は、国土地理院、国土基盤地図情報の DEM を用いたものである。元の測量データが H23 災害の前後いずれに得られたものかは不明であるが、災害後に建設された堰堤は地形に反映されていないことを確認している。Case 2 は国土交通省より提供を受けた LiDAR 観測データを用いたものであり、堰堤状の構造物が部分的に反映されている。Case 3 では Case 2 と同様の条件を用いるが、各谷の出口付近に改めて 10m 高さの堰堤（固定床高さとして設定）を設置したものである。つまり、Case 1 が災害発生前の状態を、Case 2 が現在の状態を、Case 3 が那智

川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。

土石流解析によって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量と堆積量の合計を求める。その量に相当する河床変動量を単位河道に与えることで、土石流による土砂流出を考慮した流域土砂動態の解析を行う。

3. 結果・考察

(1) 流動化形態の分類

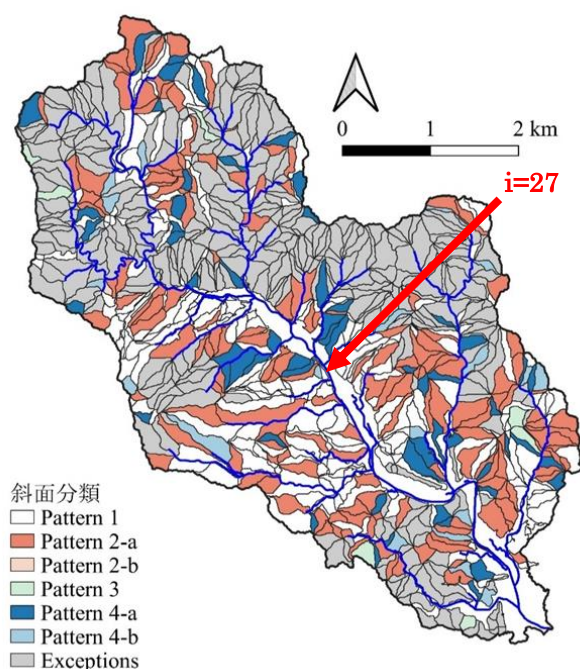


図 1 流動化形態の空間分布

SiMHIS により得られた流動化形態の空間分布を図 1 に示す。ここでは、斜面勾配が 35 度以上の斜面要素では土層が存在しないものとし、流動化形態の判定から除外した。

(2) 土石流シミュレーション

図 2 に Morpho2DH によって得られた地形変化の計算結果を示す。Morpho2DH の計算対象領域は、平野川、樋口川、内の川、尻剣谷川、金山谷川、および鳴子谷川の 6 支川とした。災害発生前を想定した条件である Case 1 では、金山谷川を除く支川で本川部まで土砂が到達したのに対し、現在の状態を想定した条件の Case 2 では一部の土石流が流下途中で停止するか、本川に到達しても Case 1 よりも到達量が小さい結果となった。対策済みの Case 3 ではすべての支川で本川までは土石流は流下せず、堰堤設置個所で土砂が全て停止する結果となった。

(3) 土石流シミュレーションの結果を用いた土砂動態シミュレーション

単位河道 $i=27$ 地点 (図 1) における, 降雨強度, 河床変動量, 水位 (初期河床位を基準) の時間変化を図 3 に示す. ここでは, 土石流による土砂の生産を考慮せず, 河床の土砂のみが移動するケースとして Case 0 を設定した. いずれのケースでも土石流発生時刻である $T=76[h]$ までは差異がないが, $T=76[h]$ の時点で, 土石流による土砂供給が発生し, Case1 では, 河床位・水位ともに $1.5m$ 程度瞬間的に上昇したことが分かる. また, 現況の DEM に更に堰堤を設置した Case 3 ではこの上昇が発生しておらず, 堰堤を設置した効果が発揮され, 瞬間的な河床・水位上昇が低減されたことが分かる. また, 現況 DEM を用いた Case 2 では Case 1 と Case 3 の中間的な結果であり, 既に一定程度の低減効果が期待できる状態にあるといえる.

4. おわりに

土石流解析において 3 つの異なる地形条件を設定することで, 砂防堰堤による土石流の捕捉の効果を確認することができた. また, 土石流による土砂供給を考慮した土砂動態シミュレーションからも堰堤の設置による河床・水位上昇の低減が確認できた.

参考文献

- 1) 西尾潤太: 斜面崩壊を起点とする土石流の流下過程を考慮した流域土砂動態モデルの開発と適用, 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻修士論文, pp.15-16, 2022
- 2) 山野井一輝・藤田正治: 複合土砂災害シミュレータ SiMHIS を用いた山間地域における土砂災害の警戒避難情報の提供に関する一考察, 砂防学会誌, Vol.69, No.6, pp.15-23, 2017
- 3) Hiroshi Takebayashi and Masaharu Fujita: Numerical Simulation of a Debris Flow on the Basis of a Two-Dimensional Continuum Body Model, Geoscience 2020, 10, 45, 2020

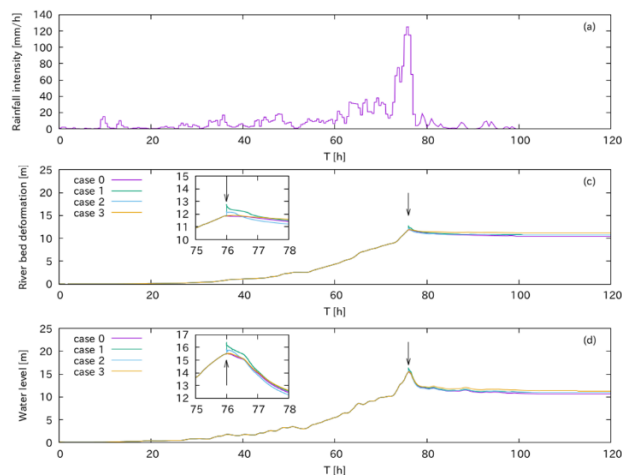


図 3 単位河道 $i=27$ における (a)降雨強度, (c)河床変動量, (d)初期河床位を基準とした水位の計算結果

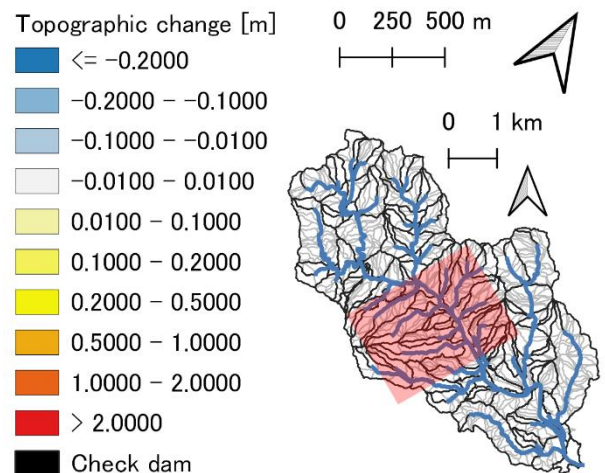
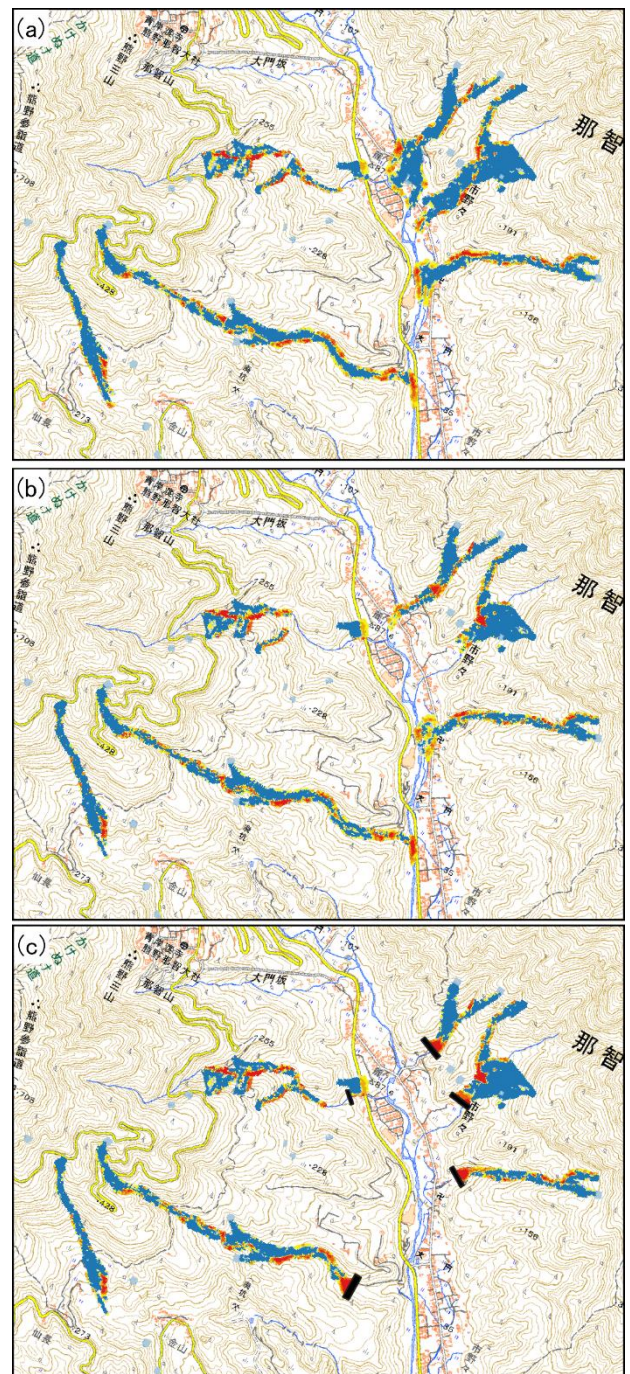


図 2 渓流における土石流の計算結果 ((a),(b),(c)はそれぞれ case1,2,3 の結果を示す)