

崩壊土塊の側方流入に伴う河道閉塞形成と河川流況変化に関する予測モデルの開発

鳥取大学大学院工学研究科 ○和田孝志, 藤井悠生, 三輪 浩

1. はじめに 我が国では局所的な豪雨や地震によって山腹斜面で大規模崩壊が発生し、崩壊土砂が斜面下端の河道を塞ぎ止めて天然ダム（河道閉塞）を形成することがある。完全閉塞・部分的閉塞といった河道閉塞の形態や早期決壊発生の有無は、河道に流入する崩壊土量と本川河道規模（洪水流量）との大小関係に依存し、流入する崩壊土量は崩壊斜面～河道までの距離（崩壊土塊の移動距離）に依存すると考えられる。本研究では、河道閉塞の形態や早期決壊の有無を事前に予測するため、崩壊発生後の崩壊土塊の挙動と、崩壊土塊の流入が河道の洪水流に及ぼす影響を同時に考慮可能な数値シミュレーションモデルを構築する。構築モデルを用いて、平成30年7月豪雨で発生した兵庫県宍粟市の大規模崩壊を対象とした再現解析を行い、構築モデルの妥当性確認と崩壊土塊のパラメータの特性を検討する。

2. 構築モデルの概要 構築モデル（図-1）は、Wadaら¹⁾が開発した計算領域内の複数の任意地点からの土石流（洪水流）流入を考慮可能な平面2次元計算モデル「土石流洪水流複数流入モデル」に、里深・高橋²⁾³⁾が開発した崩壊土塊円柱ブロックモデルによる「2次元ハイブリッド土石流モデル」を組み込むことで構築する。構築モデルによって、2次元計算平面上で複数の土石流や洪水流の流下・氾濫過程と崩壊土塊の移動を同一時間軸上で考慮可能となり、土石流や洪水流に対する崩壊土塊の影響（土塊による流向変化や閉塞等）が表現可能となる。

3. 構築モデルによる再現計算条件 再現計算は、平成30年7月豪雨により発生した兵庫県宍粟市一宮町小原地区での大規模崩壊（図-2）を対象とする。崩壊発生後の現地調査により、崩壊面では深い場所で5m程度の土塊（一部40cm程度の礫を含む真砂土で構成⁴⁾）が移動したことが推察された。図-2に示すように、崩壊面直下では、崩壊土塊が一時的に河道閉塞を起こし、これに伴って公文川の洪水流の流向が変化して崩壊面对岸の左岸側護岸の裏を通るようになり、護岸裏側の侵食を引き起こしたことが推察された。

計算地形メッシュは、兵庫県が提供する1mメッシュDSM（Digital Surface Model）データを使用し、2mメッシュで地盤高を平均化して作成した。崩壊土塊形状や崩壊後の土砂堆積厚分布データは、2018年8月10日現地調査にてドローンで撮影した写真を写真測量ソフトMetaShapeに

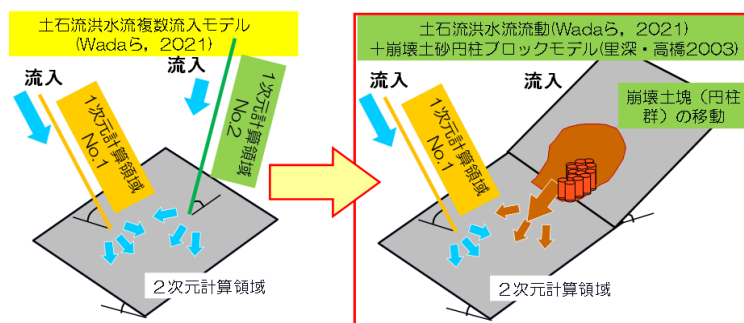


図-1 構築モデルの概略



図-2 大規模崩壊土塊の流入による公文川短期閉塞と洪水流の迂回（背景図は2018年8月10日ドローン撮影画像の合成により作成）

表-1 宍粟市大規模崩壊の再現計算条件

CASE	土塊の平均粒径 d_{mb} (m)	土塊の粘着力 c_b (N/m ²)	土塊の移動停止判定速度 U_{blim} (m/s)	崩壊土塊飽和層の侵食にかかる係数 β ※	土塊と河床面との間の動摩擦係数 μ_{mb} ※	土塊の内部摩擦角 ϕ (°) ※
1	0.005	0	0.005	0.12	0.5	30
2	0.005	0	0.05	0.12	0.5	30
3	0.005	0	0.5	0.12	0.5	30
4	0.005	5000	0.005	0.12	0.5	30
5	0.005	5000	0.05	0.12	0.5	30
6	0.005	5000	0.5	0.12	0.5	30
7	0.005	10000	0.005	0.12	0.5	30
8	0.005	10000	0.05	0.12	0.5	30
9	0.005	10000	0.5	0.12	0.5	30
10	0.05	0	0.005	0.12	0.5	30
11	0.05	0	0.05	0.12	0.5	30
12	0.05	0	0.5	0.12	0.5	30
13	0.05	5000	0.005	0.12	0.5	30
14	0.05	5000	0.05	0.12	0.5	30
15	0.05	5000	0.5	0.12	0.5	30
16	0.05	10000	0.005	0.12	0.5	30
17	0.05	10000	0.05	0.12	0.5	30
18	0.05	10000	0.5	0.12	0.5	30
19	0.1	0	0.005	0.12	0.5	30
20	0.1	0	0.05	0.12	0.5	30
21	0.1	0	0.5	0.12	0.5	30
22	0.1	5000	0.005	0.12	0.5	30
23	0.1	5000	0.05	0.12	0.5	30
24	0.1	5000	0.5	0.12	0.5	30
25	0.1	10000	0.005	0.12	0.5	30
26	0.1	10000	0.05	0.12	0.5	30
27	0.1	10000	0.5	0.12	0.5	30

※里深・高橋(2003)²⁾、里深(2004)³⁾の設定値を引用

より合成し、作成した。再現計算条件は、現場調査や既報の情報だけでは設定が困難な崩壊土塊のパラメータ、 d_{mb} (土塊の平均粒径)、 U_{blim} (土塊の移動停止判定速度)、 c_b (土塊の粘着力)を変更して合計 27 ケースで計算を行った。なお、崩壊土量は既報⁴⁾より 30000 m³ (空隙込)と設定し、その土量に見合うように、1 辺の長さを 2 m、最大円柱高さを 8 m とする 538 個の円柱ブロックを崩壊後の崩壊面に配置した。なお、ブロック移動開始時刻は公文川洪水流供給開始から 30 分後とした。その他のパラメータについては、総計算時間 $T_{max} = 3$ hr、計算時間ステップ $\Delta t = 0.001$ s、堆積土砂の容積濃度 $C_* = 0.65$ 、砂礫の質量密度 $\sigma = 2650$ kg/m³、間隙流体の質量密度 $\rho = 1000$ kg/m³、重力加速度 $g = 9.8$ m/s²、侵食速度係数 $\delta_e = 0.0007$ 、堆積速度係数 $\delta_d = 0.05$ 、砂礫の内部摩擦角 $\tan\phi = 0.75$ 、崩壊土塊下層の流動層土砂濃度 0.50、下層に流動層が介在しない場合の動摩擦係数 0.50、崩壊土塊不飽和層の飽和度 0.30、公文川流量は合理式により求めた 36.74 m³/s を用いた。

4. 計算結果と考察 図-3 に、実測の崩壊後土砂堆積厚と実測結果と最も近い結果となった Case 2 の土砂堆積厚分布を示す。計算結果では崩壊土塊の移動範囲が過大に評価されており、構築モデルにおいて改善すべき部分が残されていると考えられるが、崩壊土塊移動部分の堆積状況や周辺の影響範囲について定性的に実現象を表現できていると考えられる。図-4 に、Case 2 における計算期間内の最大流動深分布を示す。崩壊土塊が公文川に流入することで流れが対岸側に偏った傾向が定性的に表現可能となったことがわかる。しかしながら、同図に示す崩壊地近傍家屋の裏側にまで崩壊土塊が移動しており、このことから崩壊土塊の移動が過大に評価されていることが示された。崩壊土塊は主に真砂土から成ることから Case 2 で設定した土塊の平均粒径 d_{mb} は妥当であると考えられ、土塊移動が過大であったのは、構築モデル自体の課題のほかに、移動停止判定速度 U_{blim} または粘着力 c_b の設定値が低すぎたことも原因と考えられる。里深²³⁾の既往計算による設定では、粘着力 c_b を 100 N/m² オーダーで設定していることから、粘着力の設定については再検討が必要であると考えられる。

4. あとがき 本研究では、崩壊発生後の崩壊土塊の挙動と、崩壊土塊流入が河道の洪水流に及ぼす影響を同時に考慮可能な数値シミュレーションモデルを構築し、そのモデルの妥当性を確認した。その結果、本モデルにより実現象を定性的には再現可能となったものの、定量的な妥当性が十分に得られなかった。今後は、さらなる構築モデルの改良を行うとともに、モデルの更なる妥当性検証として、他の大規模崩壊現象を対象として、土塊の粘着力 c_b 等の設定値を見直したうえで再現計算を行う必要がある。

参考文献 1) Wada, et al., Vol.14(2), pp.20-30, 2021. 2) 里深・高橋, 水工学論文集, Vol.47, No.2, pp.583-588, 2003. 3) 里深, 水工学論文集, Vol.48, No.2, pp.925-930, 2004. 4) 京都大学防災研究所 斜面災害研究センターHP: 平成 30 年 7 月豪雨による斜面災害等に関する調査報告 宍粟市一宮町公文地区の斜面崩壊に対する現地調査結果 (速報・その②) (閲覧日 2023/1/27)

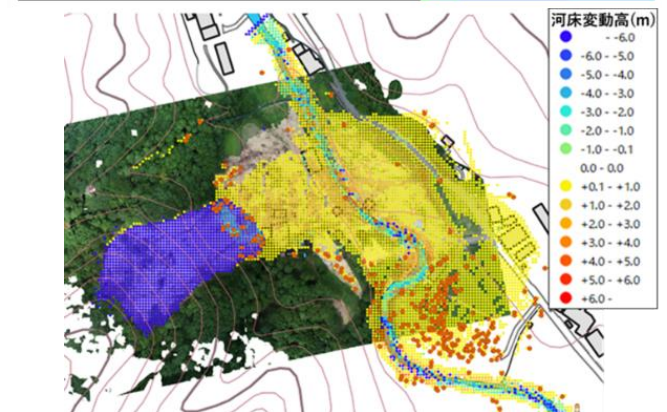
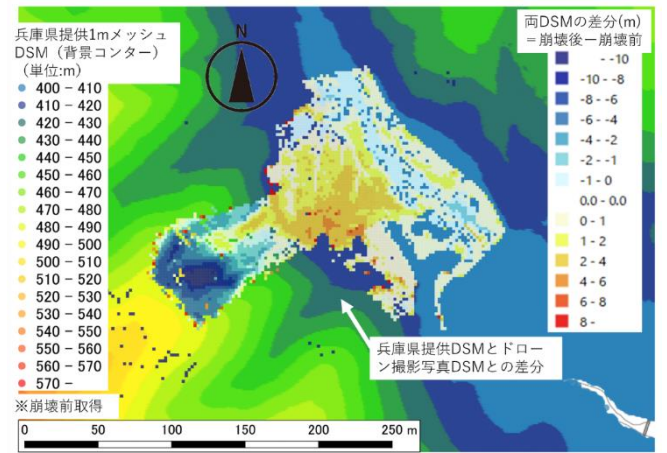


図-3 崩壊後堆積厚変化に関する実測値(上図)と Case 2 における 3 時間後の土砂堆積厚計算結果(下図)
※茶色丸印は崩壊円柱ブロックの位置を示す

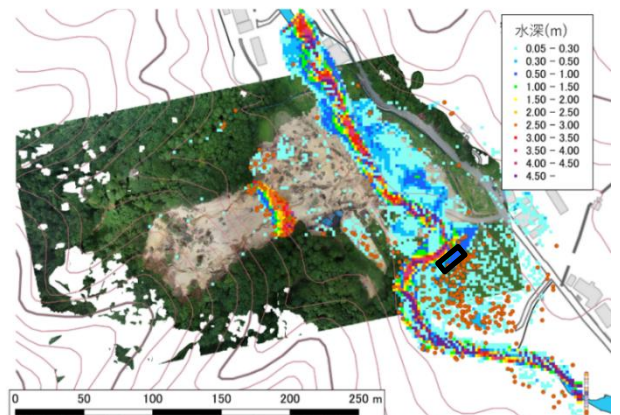


図-4 Case 2 における計算期間内の最大流動深分布
※茶色丸印は崩壊円柱ブロックの位置、黒枠は図-2 左上図に示す家屋位置を示す