

崩壊裸地斜面からの土砂供給過程を考慮した厚真川の土砂動態シミュレーション

○山野井一輝¹⁾, 篠原滉志²⁾, 川池健司¹⁾, 小柴孝太¹⁾

1) 京都大学防災研究所 2) 京都大学大学院工学研究科 (現四国電力株式会社)

1. 研究の背景と目的

斜面崩壊が発生すると、崩壊地では植生が消失して裸地が出現し、その後裸地が降雨によって侵食されることで、河道に新たな土砂が供給され、流域内の土砂動態は変化する。北海道勇払郡厚真町の厚真川流域では、2018年9月6日に発生した胆振東部地震によって多数の斜面崩壊が発生した。当流域では裸地から河道へ土砂が供給され、土砂動態に長期的な影響が及ぼされることが懸念される。厚真川流域は樽前火山の40kmほど東方に位置しており、表層は当火山の複数時期の噴出物から構成されている。その噴出物層の一つである Ta-d 層の下部には粘土層が存在し、当地震によって多発した平滑なすべり面を持つ斜面崩壊では、その層がすべり面となったことが推定されている¹⁾。この結果、崩壊地では、表層に粘土が露出している領域と、より粒径の大きい砂~シルト程度の粒径が露出している領域が混在している。このような場での降雨による表面侵食を考えると、粘土領域では粘着力により表面侵食が抑えられる一方で、表面流が発生しやすくなり、それが粘土や近傍の砂の侵食を促進する可能性がある。

このような背景から、本研究では、砂・粘土混在裸地からの土砂供給を考慮した流域土砂動態モデルを構築し、これを用いた厚真川流域の土砂動態の予測を行うことを目的とする。このために、水路実験とその再現計算に基づく粘土・砂混在斜面表層における土砂流出計算モデル構築と、流域スケールに適用するためのその計算モデルに基づく経験式構築、およびこの経験式に基づいた土砂供給モデルを実装した土砂動態モデルの適用を行なった。

2. 粘土・砂混在斜面表層の土砂流出を対象とした水路実験と再現計算

幅 169cm (3 分割して幅 56cm として使用)、長さ 263cm、勾配 15° の水路を用いて、砂と粘土を混在場に降雨を供給し、表層の地形変化を測定することで、土砂の移動量を推定する水路実験を実施した。ここでは、斜面全域に 9cm 厚さで砂を設置したケース (Case 1) を基準とし、ここの全域に厚さ 2cm でカオリンを設置したケース (Case 2)、上流側半分の表層に 2cm のカオリンを設置したケース (Case 3)、下流側半分の表層 2cm をカオリンに変更したケース (Case 4) の合計 4 ケースで実験を実施した。降雨を 19.7mm/h の強度で 1 時間供給し、その後 1 時間降雨を停止して地形を 3D スキャナで測定する、というプロセスを 4 回繰り返すことで、計 4 時間分の地形

変化を計測した。この結果をもとに計測した総侵食量の時間変化を図-1 に示す。

次に、浸透流を考慮した平面 2 次元河床変動計算モデルを用いて再現計算を実行した。モデルの詳細は紙面の都合上割愛する。得られた結果から算出した総侵食量の時間変化は図-1 に併記している。地形変化の形状の上では、横断方向の侵食筋の個数等に差異が生じたものの、領域全体の侵食量の大小関係等は矛盾なく再現された。

3. 流域スケールに適用可能な土砂供給モデル構築

2. で構築した土砂流出モデルを用いて、斜面勾配 θ 、斜面長 L 、粘土域の占有率 γ 、総降雨量 V_r 、最大降雨強度 I_m を変化させて計算を行い、その結果を重回帰分析することで、下記のイベント毎の土砂供給量 (粘土: V_c 、砂: V_s) の推定式を得た。表中の係数の値は表-1 に示す。この式に基づいて降雨イベントごとの供給量の決定し、この量を降雨強度に比例する形で時々刻々の土砂供給量に変換することで、土砂動態モデル²⁾に組み込んだ。

$$V_c = a_1 + a_2(\tan \theta - c_1)^2 + a_3L + a_4(\gamma - c_2)^2 + a_5V_r + a_6I_m \quad (1)$$

$$V_s = b_1 + b_2(\tan \theta - c_3)^2 + b_3L + b_4\gamma + b_5V_r + b_6I_m \quad (2)$$

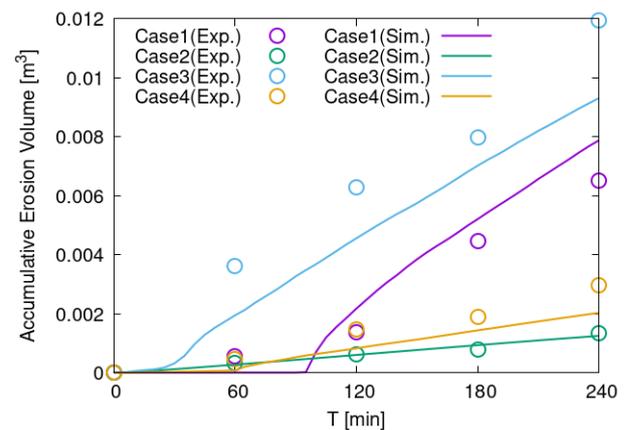


図-1 砂・粘土混在斜面上での降雨供給実験と再現計算における総侵食量の時間変化

表-1 式(1), (2)の係数の値

係数	値	係数	値	係数	値
a_1	-0.751	b_1	-0.8949	c_1	0.6756
a_2	-2.5253	b_2	-2.192	c_2	0.054
a_3	0.001329	b_3	0.001498	c_3	0.4533
a_4	2.5944	b_4	1.279		
a_5	0.00677	b_5	0.007095		
a_6	0.02592	b_6	0.01636		

4. 流域スケールでの土砂動態モデルの適用

3.で構築した土砂供給モデルを用いて、厚真川の土砂動態の再現計算を行なった。用いた地形条件は図-2のとおりである。裸地斜面における粘土占有率を0%としたケース (Case 1) , と7%としたケース (Case 2) の2ケースで計算を行った。降雨データ (図-3(a)) 地震翌年の2019年にアメダス厚真で観測された降雨データを用いた。

まず、P2地点 (図-2(a)) の流量は図-3(b)のように得られた。計算開始後100~150日目の融雪出水はうまく再現されないが、ピーク流量はある程度再現された。次に土砂供給量は、Case1, 2で粘土と砂それぞれ図-3(c)に示すようになった。主に夏季の複数の降雨イベントで土砂が供給されたことが分かる。P1地点における流砂量の計算結果は図-3(d)となった。ここでは同地点における浮遊砂観測の結果を併記している。砂のみを考慮したCase1では掃流砂のみが生じたが、粘土を考慮したCase2では、年間総量が概ね一致する量の浮遊砂が流出する結果となった。

最後に長期的な土砂流出量の評価を行なうため、Case2の条件に基づき、2019年の降雨データを繰り返し10回与える計算を実行した。CaseAは土砂を供給しないケース、CaseB,Cはそれぞれ対策工事を想定して土砂供給を計算開始後1,5年目に停止する

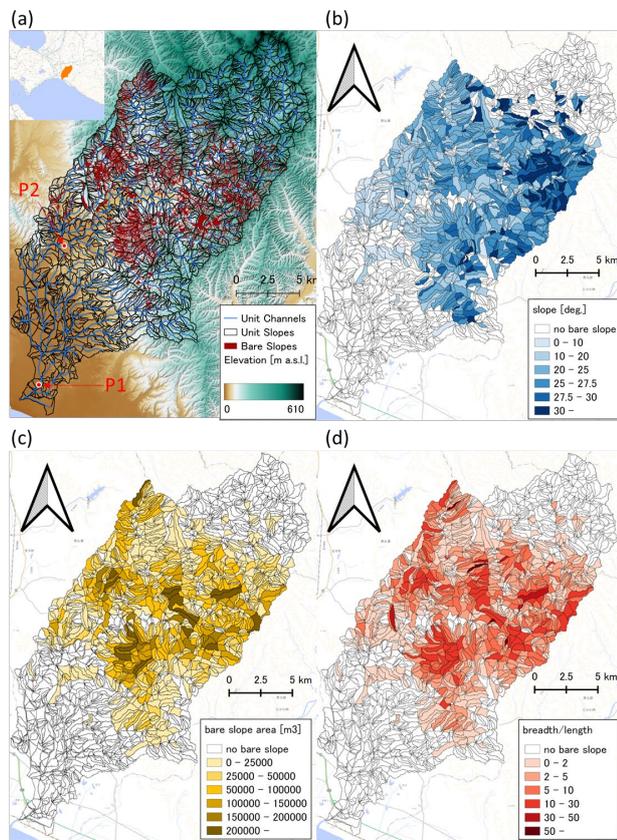


図-2 厚真川の地形条件。(a)は単位河道・単位斜面の位置と観測地点の位置, (b), (c), (d)はそれぞれ単位斜面内の裸地斜面の勾配, 斜面面積, アスペクト比 (幅と長さの比) を示す。

ケース, Case Dは土砂供給を10年間継続するケースである。P1地点における累積浮遊砂流出量の計算結果を図-4に示す。この結果より、土砂供給を1年で停止した場合と、5年後に停止した場合で、停止後数年間の土砂流出量に差が生じており、早期に土砂供給を停止させることが、長期的な細粒分流出量の軽減に有効と考えられる。

謝辞: 本研究は北海道河川財団研究助成の研究助成を受けて実施した。ここに記して感謝申し上げる。

参考文献: 1) 廣瀬ら, 北海道地質研究所報告, 第90号, 33-44, 2018 2) 山野井・藤田. 土木学会論文集 B1 (水工学), 70 巻 4 号 p. I_925-I_930, 2014

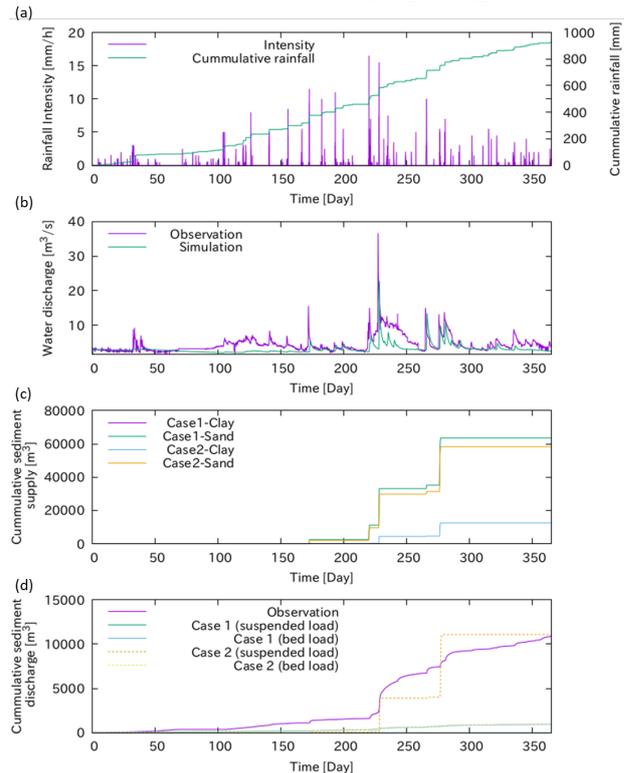


図-3 土砂動態シミュレーションの結果, (a)は入力した降雨データ, (b)はP2地点における流量の計算結果, (c)は流域全体の土砂供給量, (d)はP1地点における流砂量の計算結果を示す。横軸は2019年1月1日からの経過日数を示す。

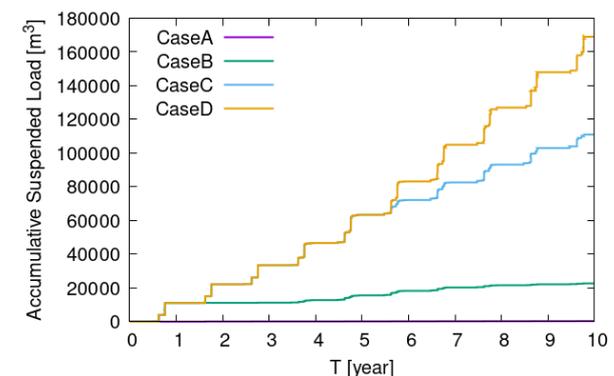


図-4 10年間の計算条件での下流端における浮遊砂流出量の時間変化