

## 土層厚の現地実測と地形解析に基づく土層発達シミュレーション:

## 流紋岩質凝灰岩地域での適用例

パシフィックコンサルタンツ株式会社 ○菊池 美帆, 蔭山 星, 江川 千洋, 柴野 暉崇, 飛岡 啓之  
国土交通省 近畿地方整備局 紀伊山系砂防事務所 山田 啄也, 青野 友哉  
国土交通省 近畿地方整備局 大規模土砂災害対策技術センター 高原 晃由  
京都大学防災研究所 松四 雄騎

## 1. 土層の分布評価における課題

斜面上の土層の厚みは表層崩壊の発生場を規制する主要な素因である。表層崩壊のハザード評価において、土層厚の空間分布は、崩壊面積や生産土砂量の予測精度に直接影響する。表層崩壊予備物質としての土層は、斜面内で不均一に分布するため、その空間分布の評価が必要となる。土層厚の時空間変化に関して、Dietrich et al. (1995)により土層の生成・輸送システムのモデルが示されて以降、Heimsath et al. (1999)や、松四ら(2016)により、土層の収支計算に基づく数百年スケールでの土層の蓄積ならびに土砂生産ポテンシャルの定量評価手法が示されてきた。松四ら(2016)や菊池ら(2025)は花崗岩地域でのこの手法の適用例を報告しているが、他の地質での事例は少ない。そこで本稿では、多様な地質条件でのモデルの適用性検証の一環として、全国的にも分布範囲が広い、火山岩地域での土層厚の現地実測と地形解析に基づく土層発達シミュレーションの結果を報告する。

## 2. 調査流域の選定

調査流域は木津川流域内の三重県名張市南東部に位置する布生流域であり、基盤地質は流紋岩質凝灰岩である。この流域は、同地域での代表性の観点から、地すべり地形や主要な断層等が分布せず、地形的特徴や崩壊痕跡分布が典型的であることを確認したうえで、アクセス性を考慮して設定したものである。

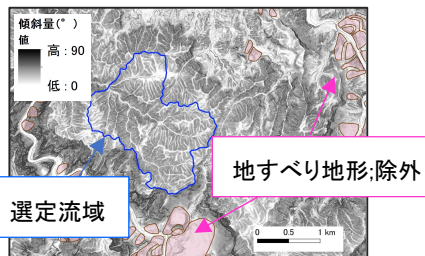


図1 調査流域 (流紋岩質凝灰岩)

## 3. 土層調査方法と土層厚分布

土層の生成・輸送速度係数の推定および土層発達シミュレーションで再現対象とする土層厚データの取得を目的とし、土層厚の空間分布を調査した。調査地点として、地形曲率の値を参照しつつ、空間代表性が保たれるよう、尾根型凸形から谷型凹形の斜面まで満遍なく50か所程度を設定した。降雨時には土層と基盤岩の境界部での水理的な物性の不連続に起因して、土

層底面での間隙水圧が上昇し、表層崩壊の誘因になるものと想定される。そのため土層—基盤境界を潜在的なすべり面の最大深度とみなせる。ここで土層および基盤はそれぞれ次のように定義されるため、検土杖を用いて土層と風化岩を連続的に採取し、目視観察によりその構造を確認することで、両者の境界を認定した(図2)。

**土層**: 基盤岩の風化で生成され、ソイルクリーブにより輸送され(斜面下方へ匍行し)つつある土粒子が構成する層。擾乱混合に伴って初生的な岩石の構造が失われ、酸化や有機物の混交により褐色化している。

**基盤岩**: 土層の下位に存在する岩盤で、しばしば化学風化により強度低下してはいるものの、岩石の構成鉱物は分離には至っておらず、移動していないために岩石の初生構造が残存している。



図2 流紋岩質凝灰岩における土層境界の判定例

図2に流紋岩質凝灰岩分布域における検土杖調査で確認できる土層基盤境界の例を示す。土層は密度が小さく細粒分が多い粘着質な土粒子の集合層であり、基盤との境界直上では数センチメートル径の礫が多数混在する。基盤は風化により軟質化しているものの岩石の構造が残り、褐色の土層に比して淡灰色を呈するため境界判定の目安となる。

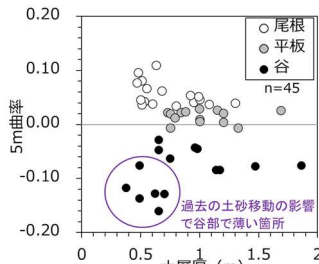


図3 曲率に応じた土層厚の分布

図3に地形曲率と土層厚の対応関係を示す。土層厚は、尾根(曲率 $>0.03$ )で相対的に薄く、1 m以下の場合が多い。一方、谷(曲率 $<-0.01$ )では厚い箇所から薄い箇所まで相対的にばらつきが多い傾向が確認された。この傾向は

松四ら(2016)や、菊池ら(2025)の結果(花崗岩)と大局的に同様の傾向を示すが、本対象地(流紋岩質凝灰岩)の土層厚の特徴として、大きな負曲率をもつ谷部において土層厚がむしろ薄くなっている箇所が多い傾向が確認される。

#### 4. 土層発達シミュレーションでの現況土層厚の再現

調査により得られた現況土層厚に対し、土層発達シミュレーションによる再現を試みた。計算のためのモデルパラメータは調査土層厚および放射性炭素年代測定に基づき設定した(柴野ら(2026)に詳述)。ここでは、長期間の土層蓄積と表層崩壊の周期的な反復を想定した土層回復(土層の生成集積計算)と土層除去(斜面の安定解析に基づく表層崩壊発生)を繰り返す土層発達サイクルシミュレーションを実施した。その結果土層は尾根で相対的に薄くなり、谷では厚くかつ崩壊の履歴に依存してばらつきの多い頻度分布が再現された(図4)。シミュレーションは約5000年間相当(約50サイクル程度)実施し、調査土層厚と計算土層厚の頻度分布が最も整合するサイクル時点(サイクル32)での値を現況モデル土層厚として採用した。

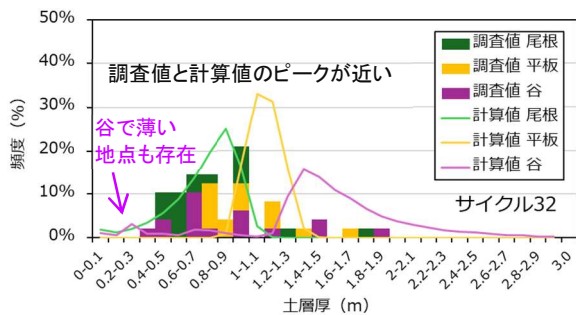


図4 調査土層厚と計算土層厚の頻度分布

#### 5. 土層厚の空間分布と表層崩壊のハザード評価

土層発達サイクルシミュレーションでは、100年再現規模以上の降雨を想定(ここでは5000年間で50回ランダムなタイミングで降雨イベントを設定)し、崩壊を発生させた。降雨イベントは100年確率規模を基本とし、全50回のうち500年および1000年確率規模の降雨を、出現頻度が整合するように、数回設定した。これにより、降雨強度が異なるイベントも考慮した生産土砂量の推移を確認した。この設定により、インターバル(土層の蓄積回復期間)が長いサイクルや、降雨強度が異なるイベントが再現される。図5に現況の土層厚分布を、図6にサイクルシミュレーションにおける生産土砂量の推移を示す。図5より、尾根部で薄く(図青~緑)、谷部で厚い(図黄~赤)現況土層厚分布が再現され、かつ、サイクル毎に異なる場所で崩壊が発生するため、空間的な土層厚の不均一性が表現された分布と

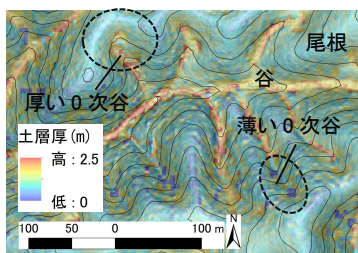


図5 現況土層厚分布

なっていることがわかる。また、図6より土層蓄積期間が長いサイクル(例えばサイクル41)や、降雨規模が大きいサイクル(例えばサイクル

33)での生産土砂量が大きくなる傾向が得られている。さらに、菊池ら(2025)による花崗岩での適用事例と比較すると、花崗岩では、累積約1500年間計算時点(図6青線 サイクル10)で現況土層厚の再現に至っているが、本稿の流紋岩質凝灰岩では、累積約3000年間計算時点(図6赤線 サイクル32)での再現となっており、崩壊の再現周期や土層の発達に要する時間が地質によって異なることを反映しているものと考えられる。

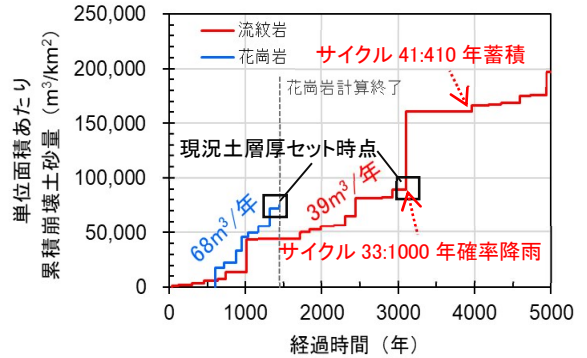


図6 算出された崩壊生産土砂量

本流域ではS34年伊勢湾台風で斜面崩壊が発生しており、崩壊実績と計算結果を比較した結果を表1に示す。S34年伊勢湾台風時の崩壊面積率(写真判読で算出)は0.11%と、シミュレーションにおける50サイクルの平均崩壊面積率は0.09%となっており、モデリングの妥当性が示唆される。

表1 崩壊実績と計算結果の崩壊面積率の比較

|                                 | S34 伊勢湾台風          | シミュレーション            |
|---------------------------------|--------------------|---------------------|
| 確率規模                            | 50~200年<br>確率規模と推定 | 主として100年<br>確率規模    |
| 崩壊面積率<br>流域:2.42km <sup>2</sup> | 0.11%<br>(写真判読より)  | 平均0.09%<br>(サイクル平均) |

#### 6. 成果と展望

本稿により、流紋岩質凝灰岩での土層発達シミュレーションの適用事例が示され、降雨規模や土層蓄積期間の違いによる表層崩壊面積および生産土砂量の違いが再現された。今後、他の地質においても成果と課題を整理しながら適用性を確認していくことで、国内における広域展開に繋がるものと考えられる。

#### 参考文献

- 1) Dietrich et al (1995) : A process-based model for colluvial soil depth and shallow landsliding using digital elevation data, Hydrological Processes 9, 383-400.
- 2) Heimsath et al(1999) : Cosmogenic nuclides, topography, and the spatial variation of soil depth. Geomorphology 27, 151-172.
- 3) 松四ら(2016) : 土層の生成および輸送速度の決定と土層発達シミュレーションに基づく表層崩壊発生場および崩土量の予測. 地形 37, 427-453
- 4) 菊池ら(2025) : 土層の時空間変化シミュレーションに基づく土砂生産ポテンシャルの評価. 令和7年度砂防学会研究発表会, p107-108
- 5) 柴野ら(2026) 放射線炭素年代をキャリブレーターとした土層の生成・輸送速度の推定. 令和8年度砂防学会研究発表会