

熊野酸性岩類（花崗斑岩）の岩石学的特徴と表層崩壊発生危険度の関係性

パシフィックコンサルタンツ株式会社 ○江川千洋 菊池美帆 船山 淳
 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 小杉 恵 竹下 航 北本 楽
 ※令和5年3月末時点所属

1 はじめに

和歌山県那智勝浦町では、平成23年の紀伊半島大水害時に土石流が至る所で発生し、大きな被害となった。土石流が発生した溪流の源頭部には、表層崩壊が発生した痕跡が確認されることが多く(図1)、表層崩壊が土石流発生のトリガーになった可能性も踏まえ、豪雨時における表層崩壊発生の危険度を評価する手法が求められている。

紀伊山系砂防事務所では、これまでに崩壊地の現地踏査、ボーリング調査、簡易貫入試験による土層厚の計測、室内土質試験等を実施し、土木研究所資料 第4129号「表層崩壊に起因する土石流の発生危険度評価 マニュアル(案)」を参考に表層崩壊の危険度評価を行ってきた。しかし、本手法を用いた危険度評価事例が多くないこと、斜面を構成する地質の不確実性(マサ化の有無、土層の生成と消失、地盤定数)に対する条件設定が困難であったことから、崩壊実績と危険度評価の関係性について十分な検討を行うことができなかった。

本稿では、那智川流域の斜面を構成する地質の不確実性を可能な限り排除するための手法として、詳細な踏査、LP、二次元安定計算等を用いた条件の精査について説明したうえで、ばらつきの大きい定数を確率変数として扱い、単元流域として行った表層崩壊危険度評価(崩壊危険面積率)がH23崩壊実績を概ね再現できたことを報告する。

2 危険度評価の手法

表層崩壊の危険度評価手法は古くから存在し、斜面安定解析と浸透流解析を組合せたモデル等がある¹⁾。一方で、LPや簡易調査手法といった技術の進歩によって、条件設定の精度が向上したことにより、簡易なモデルでも比較的精度良く危険度を評価することが可能との報告もある²⁾。

本稿では、比較的簡易な計算で広域斜面の危険度を相対評価する手法として、土木研究所資料 第4129号に記されている無限長斜面の安定解析と定常状態の水文モデルを組合せた手法を用いることとした(式(1))。

3 斜面を構成する地質の不確実性に対する検討

(1) マサ化の有無

那智川流域に分布する花崗斑岩は、風化によりマサ化し易いものとしにくいものに区分される。これは、花崗斑岩の形成メカニズムに起因した岩石組織の違いであることが解明されつつある(別途発表)。那智川流域では、図2のように標高450~500m付近より高標高部にマサ化し易い粗粒花崗斑岩が分布することから、両者を区分したうえで土層厚及び地盤定数等を設定することとした。

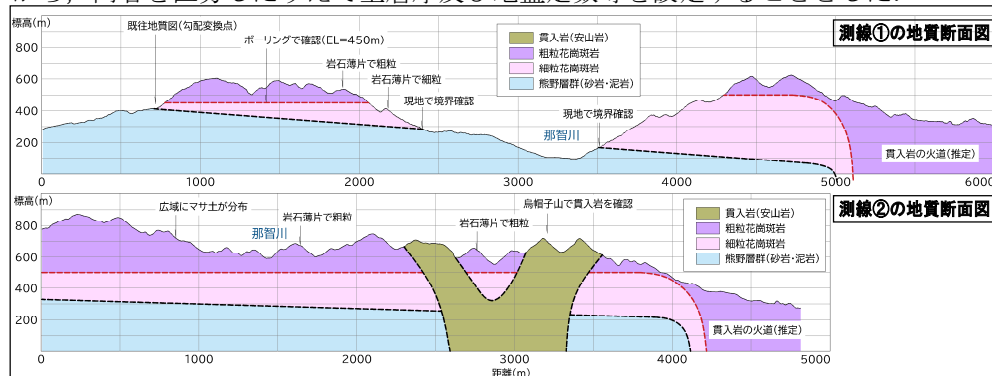


図2 那智川流域の地質平面図及び地質断面図(右; 平面図, 左; 断面図2 測線(測線位置は平面図に記載))

(2) 土層の生成と消失

斜面表層はおもに岩石の風化と土砂の輸送によって土層が形成され、時間の経過とともにその厚さは増大し強度は低下していく。一方、ある一定の土層厚及び強度低下したものは、豪雨等の誘因によって崩壊し、土層は除去された後、再び形成されていくといった循環が成立していると考えられている³⁾。このため、簡易貫入試験等で計測

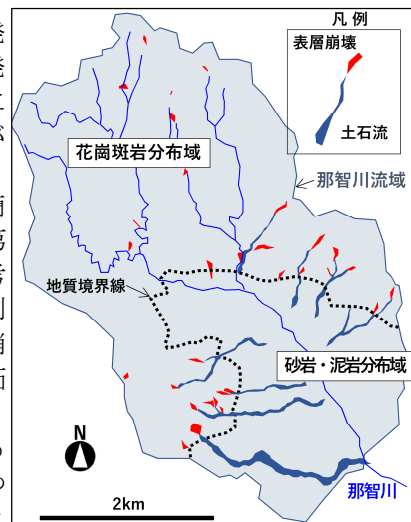
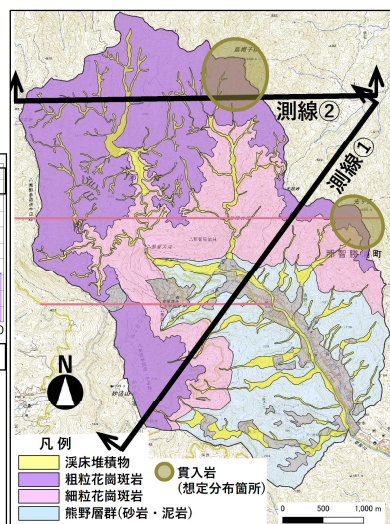


図1 那智川流域の土砂流出状況

$$F_s = \frac{c + (\gamma \cos^2 I - \gamma_w \frac{Ar}{bK_s \tan I}) \tan \phi}{\gamma \cos I \cdot \sin I} \quad (1)$$

ここに、 F_s :安全率、 I :勾配、 A :集水面積(m²)、 b :メッシュ幅(m)、 h :土層厚(m)、 c :土層の粘着力(kN/m²)、 ϕ :土層の内部摩擦角(°)、 K_s :土層の飽和透水係数(m/s)、 γ :土層の単位体積重量(kN/m³)、 γ_w :水の単位体積重量(kN/m³)、 r :降雨強度(m/s)である。



された土層厚は場所によって大きく変化する(不確実性を有する)のが普通である。また、簡易貫入試験では締まりの良い地盤や礫によって計測不能となるため、調査手法による不確実性も加わりより複雑化している可能性が考えられた。

以上を踏まえ、土層厚については、災害直後のLPより表層崩壊跡地の横断を作成し、図3の手法で崩壊前地形を復元したうえで崩壊層厚(土層厚)を設定することとした。これにより、粗粒花崗斑岩と細粒花崗斑岩の土層厚と斜面勾配との関係は図4に示す近似式で表せることが明らかとなった。

(3)地盤定数

これまでの室内試験は、人力で掘削可能な50cm前後の土層を採取していたため、地下数mに位置する崩壊面付近のせん断強度を反映できていない可能性が考えられた。

以上を踏まえ、地盤定数についてはN値からの算出式(NEXCO)を用いて推定するとともに、その妥当性については、各横断において二次元安定計算を行い、地下水が地表面まで上昇する過程で安全率(Fs)が1を下回るかどうかの検証を行った。結果として、N値からの推定値ではFs<1とはならず、斜面の安定性を過大評価してしまうことが判明した。岩盤の過程においては、粘着力の強度低下が著しく進行すると考えられる。よって、ここでは、粘着力を低減させながら計算を繰り返し行い、結果として粘着力が1/3まで低減するとすべての崩壊地において、地下水上昇に伴いFs<1となることが確認できた。なお、このような特性を持つ粘着力は、不確実性が大きいと考えられることから、確率変数として扱うこととした。ばらつきについてはN値からの推定値(低減係数1/3を乗じたもの)から得られた変動係数を与え正規分布に従うものとして設定した。

4 那智川流域の危険度評価結果に対する考察

C-Sliderによるメッシュ単位の崩壊発生確率を図5に示す。降雨の増加とともに、マサ化する粗粒花崗斑岩分布域では斜面全体で確率が上昇するのに対し、細粒花崗斑岩分布域では水が集まりやすい箇所のみ上昇する結果となった。この傾向の違いはH23崩壊特性とも一致している。また、これらを単元流域の崩壊危険面積率(α/A)として計算し降雨強度との関係を整理した(図6)。このグラフより、粗粒花崗斑岩分布域では、降雨の増加とともに崩壊生産土砂量も増加するのに対し、細粒花崗斑岩分布域では単元流域の20%程度が上限となる傾向が読み取れる。

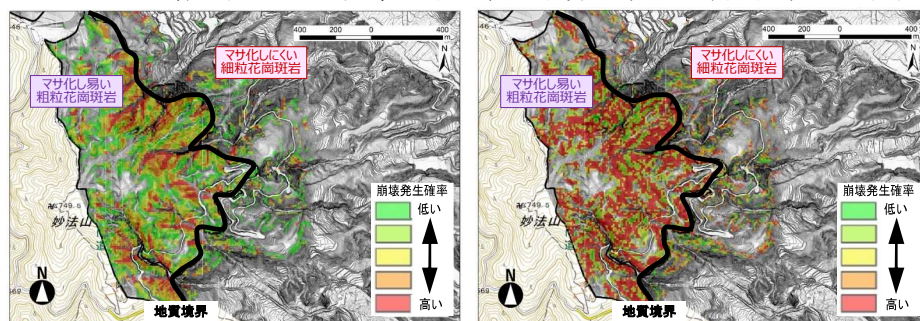


図5 降雨強度の違いによるメッシュ単位の崩壊発生確率(右は降雨強度2倍)

図7は、那智川流域全体の崩壊危険面積率(危険度)にH23崩壊実績を重ねたものである。結論として、面積率の高い単元流域ほどの中率が高く、本手法は比較的精度良くH23実績を説明できたと考えられる。一方、図2に示す貫入岩(硬岩)分布域での中率が低くなる傾向があり、さらなる精度向上には規模の小さな地質も適切に反映させることが重要である。

5 まとめと今後の課題

H23の表層崩壊には、コアストーンを多く含むマサ土や風化岩が崩壊したものが多数含まれる。しかし、表層崩壊の実態として、このようなケースは珍しいものではないと考えられる。本稿では、簡易調査が困難な地域においても、地質の不確実性の原因を把握し、適切な条件設定を行うことで、表層崩壊の危険度評価が可能であることを示した。本検討の際は、京都大学の松四雄騎准教授、深田地質研究所の松澤真氏に有益なご助言を頂いた。ここに感謝の意を表する。

6 参考文献

- 1)内田(2004):近年における山地の土砂移動現象にかかわる斜面水文プロセス研究の進歩, 砂防学会誌, 57-2
- 2)内田・盛・田村(2008):表層崩壊に起因する簡易な土石流発生危険度調査・評価手法, 土木技術資料, 50-9
- 3)松四ほか(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の発生場及び崩土量の予測, 地形, 37-4

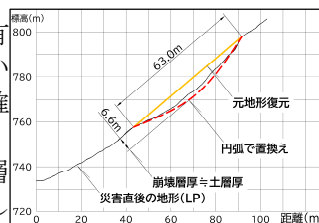


図3 崩壊跡地の横断図

地形の凹部を崩壊面(赤線)として円弧で置き換え、その両端を結び旧地表面(橙線)とし、崩壊層厚=土層厚として算出。

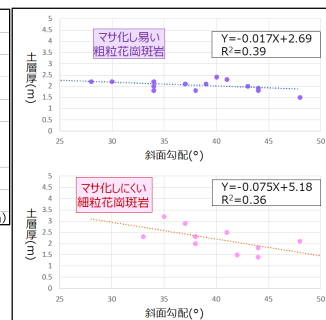


図4 土層厚と斜面勾配の関係

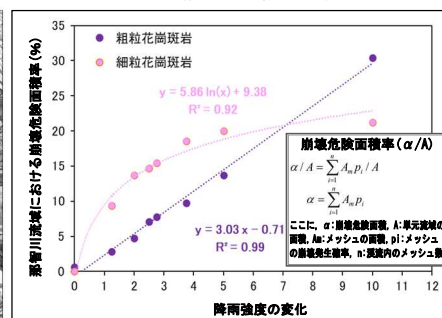


図6 降雨強度の変化と崩壊危険面積率

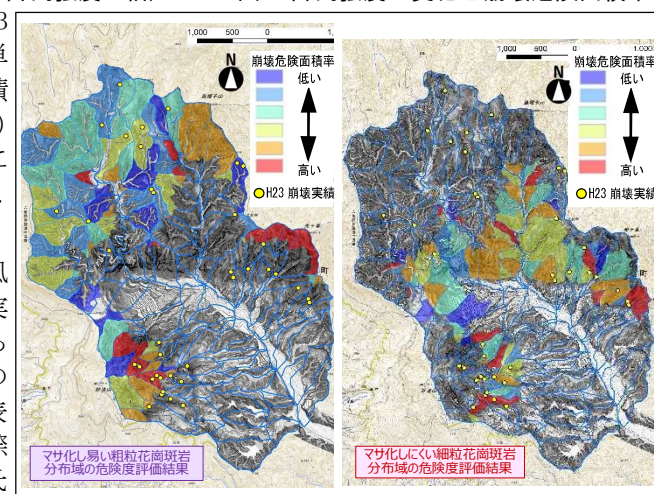


図7 単元流域の崩壊危険面積率(危険度評価結果)