

## ⑤-1 リアルタイム計測情報を活用した土砂災害危険度情報の作成技術の開発

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 26

担当チーム：土砂管理研究グループ(火山・土石流チーム)

研究担当者：石塚忠範、山越隆雄、武澤永純

### 【要旨】

平成 20 年 3 月より全国で都道府県の砂防部局と気象台が連携し、豪雨による土砂災害に対する警戒避難体制の構築支援のために、「土砂災害警戒情報」の発表が行われているが、地形・地質等の違いによる影響が十分に加味されていない等の課題が指摘されており、土砂災害に対する警戒避難に資する危険度情報作成技術を確認することが急務である。平成 24 年度は、2009 年に土砂災害が発生した山口県防府市の災害箇所にて山地の開析状態及び土層構造に注目した調査を行い、土砂災害危険度評価を行う場合は、山地の開析程度に注目する必要があることを明らかにした。

キーワード：表層崩壊危険度評価、山地の開析程度、崩壊形態、崩壊確率、山口県防府市

### 1. はじめに

平成 20 年 3 月より全国で都道府県の砂防部局と気象台が連携し、豪雨による土砂災害に対する警戒避難体制の構築支援のために、「土砂災害警戒情報」の発表が行われている。しかし、現行の土砂災害警戒情報は、①実績の乏しい地域・現象に対して精度が低い可能性が高い。②地形・地質等の違いによる影響が十分に加味されていない。③降雨のみを指標としているため、切迫性が伝わりにくい。④市町村単位の情報であるため、避難の対象地域が絞り込めない、などの課題が指摘されている。実際、土砂災害警戒情報の発表が進められてきているにも関わらず、土砂災害発生前に警戒情報が発表されていない事例も多く、土砂災害発生時に避難が完了していないことが多い。そのため、①～④の課題を解決する土砂災害に対する警戒避難に資するきめ細かい危険度情報作成技術の確立が急務である。

このうち②に関して、豪雨により発生する表層崩壊は、特定の地質の地域に多発することが知られており、特に花崗岩地域では、表層崩壊が多発した事例が多数報告されている(例えば1)～4)。

花崗岩地域で表層崩壊が多発した山口県防府市の事例では、災害後に詳細な現地調査を行った若月<sup>5)</sup>により、表層崩壊は発生場所及び土層構造により崩壊形態が異なることが報告されているが、崩壊形態を規制する要因についての詳細は明らかになっていない。事前にどのような地区にどのような形態の崩壊が発生するかを明らかにしておくことは防災上重

要である。

そこで、筆者らは、崩壊形態及び崩壊要因が規制される要因を明らかにするため、2009 年に土砂災害が発生した山口県防府市の災害箇所にて山地の開析状態及び土層構造に注目した調査を行った。

### 2. 対象地域の概要

山口県防府市では、平成 21 年 7 月 20～21 日の総雨量 331mm(アメダス観測地点「防府」)の豪雨により表層崩壊が多発し、それにより土石流被害が発生した。本研究では、この災害により土石流が発生した剣川および阿部谷川流域を対象として検討を行った(図 1)。

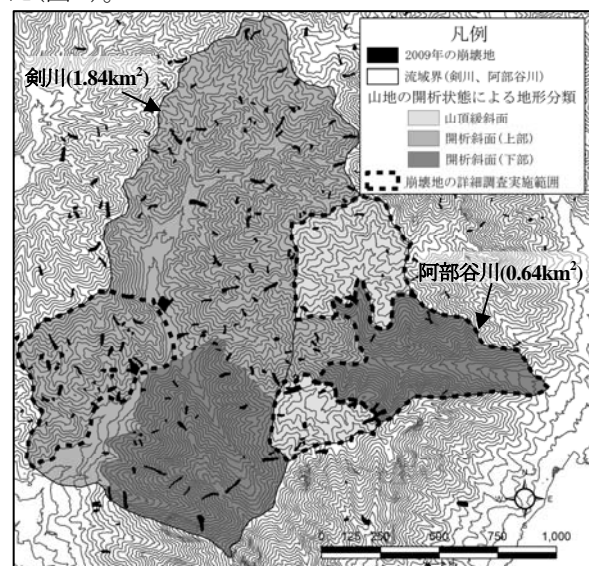


図 1 調査地域周辺の地形図(崩壊地の分布は山口県豪雨災害土砂移動実績調査より。溪岸崩壊は除外。)

⑤-1 リアルタイム計測情報を活用した土砂災害危険度情報の作成技術の開発

両溪流の地質は、中粒花崗岩を主体とする白亜系の防府花崗岩体を主体とし、一部に細粒花崗岩がレンズ状に貫入している<sup>6)</sup>。両者の岩相は不均質かつ優白色と類似しており、粒度以外に明瞭な差は認められない。

3. 結果と考察

3.1 山地の開析状態と崩壊形態との関係

山地の開析の進行状態に注目し調査地域の地形を区分すると、3領域に区分出来る。また、図1の破線の枠内において崩壊地の土層構造に注目した現地踏査を行った結果、山地の開析状態により多発する崩壊形態が異なっていることが明らかとなった。図2および以下に、各領域の地形および崩壊地の特徴を示す。

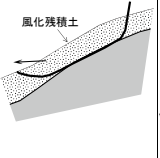
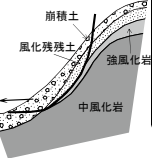
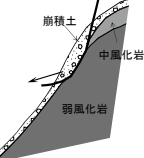
山地の開析状態	山頂緩斜面	開析斜面(上部)	開析斜面(下部)
斜面勾配のピーク	20~30°	30~40°	35~45°
崩壊地の特徴			
崩壊土層	風化残積土主体	崩積土及び風化残積土	崩積土主体
土層厚	厚い	中間	薄い
崩壊密度 (個/km <sup>2</sup> )	66.3	151.3	21.8
コメント	崩壊土砂の下に強風化した岩石がとどころに露出し、土層下底の岩盤表面付近で崩壊が発生したと推定される。	崩壊面には、主に崩積土が分布し、一部では風化残積土が認められた。崩壊は、土層内または土層と岩盤の境界部で発生したと推定される。	崩壊面には、礫の含有率が多い崩積土が分布する。土層が厚く崩壊は、土層内または土層と岩盤の境界に沿って崩壊が発生したと推定される。

図2 調査地域で発生した崩壊タイプ(案)

I. 山頂緩斜面領域

開析作用がまだ直接及んでいないため、形成時期の古い平坦面からなる山頂領域であり、阿部谷川の上流部に分布する。深層風化が進んでおり、風化層が厚く、土層も厚いことが特徴である。崩壊は、0次谷などの凹地形で多く発生していた。

II. 開析斜面(上部)領域

現在、活発に開析作用が進行中の開析斜面領域であり、剣川の大部分及び阿部谷川の一部に分布する。崩壊が多発している領域であり、崩壊は、集水地形で多く発生していた。

III. 開析斜面(下部)領域

既に開析が進行した領域であり、やせ尾根や尖峰が分布し、斜面には露岩が点在する。阿部谷川の下流及び剣川の下流の一部に分布する。崩壊は、土層厚が薄く、急斜面で発生していた。

斜面傾斜の分布を調べた結果、山頂緩斜面、開析斜面(上部)、開析斜面(下部)の斜面傾斜のピークは、

それぞれ、20~30、30~40、35~45°であった(図3)。これは、斜面の開析により緩傾斜部が徐々に削剥されたことを意味しており、調査地の地形発達史を反映している。

以上のように、調査地域では、山地の開析状態により崩壊形態が異なることが分かった。また、崩壊密度にも明瞭な差が認められ、開析斜面(上部)が最も高く、山頂緩斜面が次に高いことが明らかとなった(図2)。

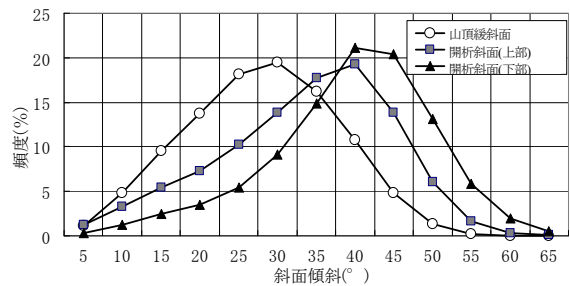


図3 各地域の斜面勾配ヒストグラム

3.2 崩壊形態と斜面上の位置(尾根-河道)との関係

次に、崩壊発生位置の地形的特徴を明らかにするため ArcGIS を用いて崩壊地の頭部から尾根までの距離および頭部から河道までの距離を測定した(図4)。なお、ここでの河道は集水面積 5000m<sup>2</sup>以上とした。図4より、開析斜面(下部)で発生した崩壊は、尾根からの距離が 12m 以下かつ河道からの距離が 30m 以上離れた箇所が発生していたことが分かった。次に開析斜面(上部)で発生した崩壊は、バラツキが大きい、尾根からの距離が 10m 以上かつ河道からの距離が 60m 以下の河道に近い箇所に集中して発生していたことが分かった。山頂緩斜面で発生した崩壊は、バラツキが大きく、明瞭な多発地点が認められなかった。この傾向は、平均値にも現れており、開析斜面(下部)は尾根付近、開析斜面(上部)は河道付近、山頂緩斜面はその中間地点で崩壊が発生していることが分かる。河道からの距離が近ければ、当然、集水面積が大きくなることから、開析斜面(上部)は開析斜面(下部)に比較し、集水面積が大きい箇所崩壊が発生したと言える。

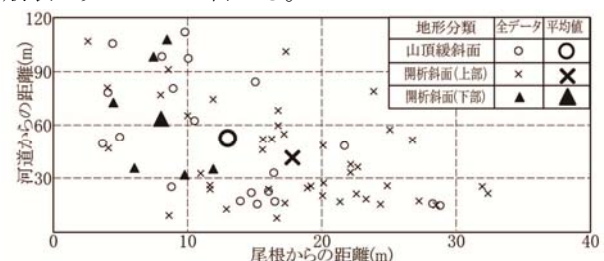


図4 崩壊頭部と尾根・河道との位置関係

### 3.3 崩壊形態と斜面上の位置(尾根一河道)との関係

以上の結果から考察される山地の開析状態別の崩壊発生要因を以下に示す。

まず、開析斜面(上部)領域では、山地の大部分に崩積土及び風化残積土が比較的厚く堆積しており、特に集水地形である河道付近には土砂が供給され、厚く堆積している。そのため、土層が厚く、地下水が集中する河道付近で崩壊が多発したと考えられる。

開析斜面(下部)領域では、既に開析が進んだ急傾斜斜面のため土層は非常に薄く、河道付近への土砂の供給を少ないと想定される。そのため、河道付近では、崩壊が発生するほどの土層が堆積しておらず、崩壊は発生しにくい。一方、尾根付近では、局所的な凹地に落ち残りの土砂が比較的厚く分布しており、その土砂が抜け落ちることにより崩落が発生したと推定される。

山頂緩斜面領域は、山頂付近に位置するため他領域に比較し集水面積は小さいが、深層風化により土層が厚く形成されているため、0次谷などの集水地形で崩壊が発生したと考えられる。花崗岩の風化残積土であるマサ土は脆弱な土層のため、開析斜面(上部)より小さい集水面積でも崩壊が多発したと推定される。

以上のように、開析斜面(上部)および山頂緩斜面では、地下水の影響により発生する「地下水集中型」の崩壊が発生していたと考えられる。一方、開析斜面(下部)領域では地下水の影響が少ない「土砂の抜け落ち型」の崩壊が発生したと想定される。この崩壊要因の違いが、豪雨時の崩壊密度の差に繋がったと推定される。

### 3.4 崩壊形態により異なる崩壊発生評価手法の適用性

異なる崩壊形態をもつ調査地域の崩壊発生危険度を適切に評価できるか、簡易なパラメーターにより広域の表層崩壊発生危険度を評価出来る C-SLIDER 法<sup>7)</sup>により、検討を行った。

検討には、地形情報として崩壊発生前の LP データを用い、雨量強度は災害時の最大時間雨量である 72.5mm/hr を適用した。また、表 1 に崩壊発生危険度評価に用いた物性値の一覧を示す。物性値は当該流域で採取した試料について土質試験を行って設定した。飽和透水計数については、同様な花崗岩地域で調査を行った内田ら<sup>8)</sup>の数値に近似するように調整した数値を採用した。

土層厚は、開析斜面(上部)区域で実施した簡易貫

入試験結果と勾配との関係を整理し、斜面勾配を関数とした土層厚モデルを作成し、設定した。今回適用した土層厚モデル式を下記の式(1)、(2)に示す。

$$h = 1.5 \quad (0 < I \leq 30) \quad \dots (1)$$

$$h = -0.044I + 2.82 \quad (30 < I) \quad \dots (2)$$

これらの物性値は対数正規分布で近似した確率分布として与えた。また、集水面積の算出には、D-Infinity Flow Direction 法を用いた。

表層崩壊発生危険度は、安全率の算出にモンテカルロシミュレーションを適用し、崩壊確率として評価した。本検討における崩壊確率とは、計算式により算出される安全率が 1.0 以下となる場合をカウントし、シミュレーション回数(ここでは、10,000 回)で除することにより算出した。

表 1 崩壊発生危険度評価に用いた物性値の一覧表

パラメータ	平均	標準偏差
内部摩擦角 (°) $\phi$	35.56	3.64
粘着力 (kN/m <sup>2</sup> ) C	3.87	4.31
飽和透水係数 (m/s) Ks	0.000528	0.001053
土層厚 (m) h	1.14	0.81
土の湿潤単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> ) $\gamma_t$	15.44	
土の飽和単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> ) $\gamma_s$	18.37	
水の単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> ) $\gamma_w$	9.8	
降雨強度 (mm/hr) r	10	
モンテカルロシミュレーション回数	10,000	

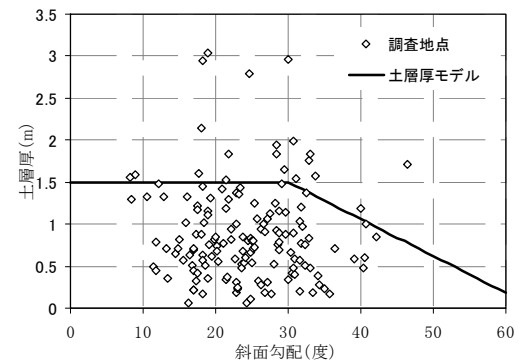


図 5 表層土層厚調査結果

C-SLIDER 法による計算結果を図 6 に示す。図 6 を見てわかるように、開析斜面(下部)は全域が崩壊確率が高く、赤色を呈している。一方、山頂緩斜面は斜面部においても崩壊確率が低い箇所が多いため青～緑色を呈していることが特徴的である。

開析斜面ごとの定量的な崩壊危険度を明らかにするため、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)<sup>7)</sup>にて提案されている崩壊発生面積率(式 4)を算出した(図 7)。

⑤-1 リアルタイム計測情報を活用した土砂災害危険度情報の作成技術の開発

$$\alpha = \sum_{i=1}^n A_m p_i \quad \dots (3)$$

$$\alpha / A = \sum_{i=1}^n A_m p_i / A \quad \dots (4)$$

ここで、 $\alpha$ は崩壊危険面積、 $\alpha/A$ が崩壊危険面積率であり、 $A_m$ はメッシュの面積、 $p$ はメッシュ $i$ の崩壊確率（計算実施回数のうち安全率が1.0以下になる確率）、 $n$ は溪流内のメッシュ数、 $A$ は対象斜面の面積である。

図7より、開析斜面(下部)が最も危険性が高く、続いて、開析斜面(上部)、山頂緩斜面と評価された。この結果は、崩壊実績とは一致しておらず、特に開析斜面(下部)が実績よりも危険度が高いと評価された。この理由は、前章で述べたように、崩壊要因が異なることが理由と考えられる。つまり、開析斜面(上部)、山頂緩斜面で発生した崩壊のような「地下水集中型」は危険度を評価できるが、開析斜面(下部)のような「土砂の抜け落ち型」は危険度を適切に評価出来なかったことが原因と考えられる。

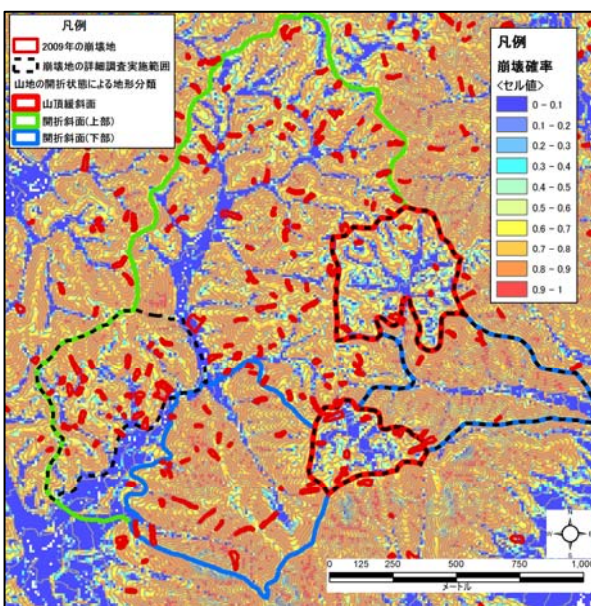


図6 表層崩壊危険度評価の開析結果

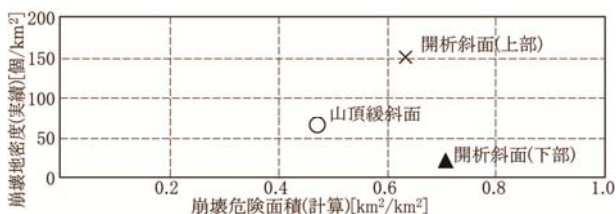


図7 表層崩壊危険度評価手法の適用結果

4. まとめ

2009年に土砂災害が発生した山口県防府市を対象として、崩壊形態と山地の開析状態との関係を明

らかにした。崩壊形態は、斜面の開析状態に規制されており、山頂緩斜面及び開析斜面(上部)領域では集水地形において「地下水集中型」の崩壊が発生しており、開析斜面では尾根部付近において「土砂の抜け落ち型」の崩壊が発生していたことを明らかにした。また、この崩壊要因の違いが、崩壊密度に影響を与えていたことを示した。

さらに、表層崩壊危険度評価手法(C-SLIDER法)を適用した結果、崩壊の危険度は、開析斜面(下部)、開析斜面(上部)、山頂緩斜面の順に高く評価され、開析斜面(下部)領域は実際より危険側に評価された。これは、土層構造及び崩壊メカニズムが異なる斜面では同一の危険度評価手法が適用できないことを示している。

今後、表層崩壊の危険度評価手法及び、その適用範囲条件について、さらに検討を行い、きめ細かい土砂災害危険度情報の開発に反映する予定である。

参考文献

- 1) 黒田和男・窪木時雨郎：島根県大原郡下の風化花崗岩地帯における山くずれの地質学的研究、防災科学技術総合研究報告、Vol. 30、pp. 7-22、1973
- 2) 奥西一夫・飯田智之：愛知県小原村周辺の山崩れについて(I)－斜面形、土層構造と山崩れについて－、京都大学防災研究所年報、Vol. 21、pp. 297-311、1978
- 3) 戸邊勇人、千木良雅弘、土志田正二：愛知県小原村の風化花崗岩類における崩壊発生密度の岩相間での比較、応用地質、Vol. 48、No. 2、pp. 66-79、2007
- 4) 田中耕平：三重県松坂市坂内側源流部における斜面の構造と崩壊の関係、地形、Vol. 15、No. 2、pp. 17-38、1994
- 5) 若月 強・石澤岳昂・植竹政樹・川田真也：防災科学技術研究所主要災害調査、Vol. 44、pp39-50、2010
- 6) 山本慎一・今岡照喜・金丸龍夫・田結庄良昭：地球科学、Vol.40、pp415~429、2006
- 7) 独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム：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)、土木研究所資料第4129号、2009.8
- 8) 内田太郎、盛伸行、田村圭司、寺田秀樹、瀧口茂隆、亀江幸江：場の条件の設定手法が表層崩壊発生個所の予測に及ぼす影響、砂防学会誌、Vol.62、No.1、23-31、2009

## DEVELOPMENT OF A METHOD FOR SEDIMENT-RELATED DISASTER WARNING USING REAL-TIME MONITERING DATA

**Budged** : Grants for operating expenses  
General account

**Research Period** : FY2011-2014

**Research Team** : Volcano and Debris Flow Research  
Team

**Author** : ISHIDUKA Tadanori  
YAMAKOSHI Takao  
TAKEZAWA Nagazumi

**Abstract** : Many landslides were induced by the heavy rainfall of 2009 in Hofu city, south Yamaguchi prefecture. Detailed geomorphic analysis by using airborne laser scanner and geologic investigation revealed the geomorphic and geologic features of landslide sites. The result, We clarified relation between shallow landslide type and mountain denudation state. The shallow landslide form showed that it was regulated by the denudation state of the slope, and the difference in this landslide form had affected landslide density.

Furthermore, as a result of applying the C-SLIDER method(Catchment scale shallow landslide-induced debris flow risk evaluation method), It was estimated that an dissected slop was actually more dangerous. This shows that the same danger evaluation technique is inapplicable on the different denudation sate slope.

**Key words** :Shallow landslide susceptibility, Shallow landslide type, Denudation state, C-SLIDER method, Hofu city