

降雨に起因する斜面崩壊の深さの規定要因の検討

筑波大学

○工藤優葵, 内田太郎, 山川陽祐, 對馬美紗

1 はじめに

気候変動による豪雨の頻発化に伴い、土砂災害の激甚化が懸念されている。土砂災害発生リスクを最小限に抑えるためには、効率的かつ効果的な防災・減災対策を計画的に実施することが不可欠である。そのため、土砂災害を引き起こす要因の一つである斜面崩壊の発生を事前に予測する技術の開発は、極めて重要な研究課題である。しかし、現在の斜面崩壊発生予測技術はまだ発展途上であり、実用化には多くの課題が残されている。

既往研究によると、斜面崩壊の発生予測において土層厚に関する情報は不可欠な要素であり、土層厚の実測値を空間分布に適用することで斜面崩壊の発生予測精度が向上することが明らかになっている(内田ら, 2009)。また、表層崩壊の深さは斜面に分布する土層の厚さに依存していることが想定される。しかし、土層厚の調査は現地調査が主体であるため、広域的な情報を得ることは非常に困難であり、労力を伴う。そこで、本研究では航空レーザー測量データの活用に着目し、過去に豪雨により斜面崩壊が多発した流域を対象に、災害前後2時期の航空レーザー測量データを用いて、斜面勾配と崩壊深さに焦点を当てた解析を行い、土層厚が斜面崩壊の深さに及ぼす影響を考察した。発生した斜面崩壊の深さに関する情報を蓄積し、移動可能土層の分布について理解が深まることで、将来の斜面崩壊発生および発生規模予測技術の開発への貢献が期待される。

2 方法

2.1 研究対象地

調査地と調査対象の豪雨の概要を表1に示した。

表1 研究対象地と発生した豪雨の概要

	流域名	対象面積 (km ²)	平均河床勾配	土砂災害発生期間	累積雨量 (mm)
サイト A	新潟県 登川流域	79.9	1/16	2011/07/27-30	506
サイト B	栃木県 芹沢・入山沢流域	58.3	1/17	2015/09/07-11	594
サイト C	宮城県 内川流域	106	1/20	2019/10/11-13	608

2.2 手法

サイトごとに国土交通省北陸地方整備局、東北地方整備局、関東地方整備局が管理している航空レーザー測量データから作成された1 m グリッドのデジタル標高モデル(以下DEM)を用いて、ArcGIS上で斜面崩壊の判読および差分解析を行った。判読は斜面崩壊の崩壊域のみを対象に、空中写真、CS立体図(戸田, 2012)、標高差分、災害後の等高線を用いて行った(図1)。

崩壊域と、移動域または堆積域との境界は、主に等高線の湾曲の向きを参考に決定した。つまり、標高の高い方角に等高線が湾曲している領域を崩壊域、等高線の間隔が広くなり、次第に標高の低い方角に向かって湾曲し始める領域を移動域または堆積域とした。次に、作成した崩壊域のポリゴンに基づいて、斜面崩壊ごとに平均崩壊深、平均傾斜角度、平均平面曲率を算出した。なお、傾斜角度および平面曲率の平均値の算出には、解像度を10 m グリッドに変換した災害前のDEMから計算された傾斜角度および平面曲率の値を用いた。

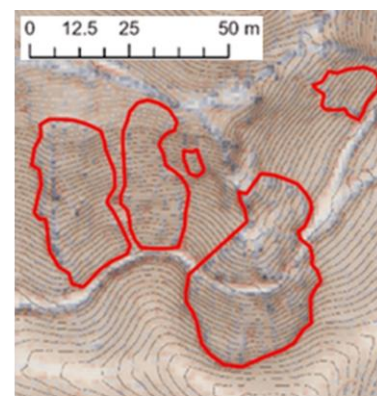


図1 CS立体図を用いた斜面崩壊判読例

3.3 結果・考察

3.3.1 判読した斜面崩壊

サイトA, B, Cで判読された斜面崩壊はそれぞれ317, 397, 532箇所であった。またサイト全体の平均崩壊深はそれぞれ1.96, 1.83, 1.11 mで、平均の崩壊面積はそれぞれ240.9, 396.6, 218.2 m²であった。

斜面崩壊ごとの平均崩壊深、崩壊面積をそれぞれ D , A としたとき、その関係性はパラメータ α , γ を用いて、 $D = A^\gamma$ であらわされてきた(例えば, Larsenら, 2010)。サイトA, B, Cそれぞれの γ の値0.28, 0.28, 0.06であり、 R^2 値は、0.26, 0.27, 0.01と小さく、特にサイトCで発生した斜面崩壊は崩壊面積の大きさに関係なく、平均崩壊深の値はほぼ一定であった(図2)。

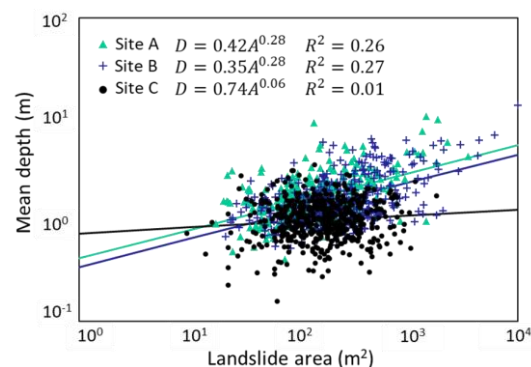


図2 崩壊面積と平均崩壊深の関係

3.2 斜面崩壊深の傾向と移動可能土層厚に関する考察

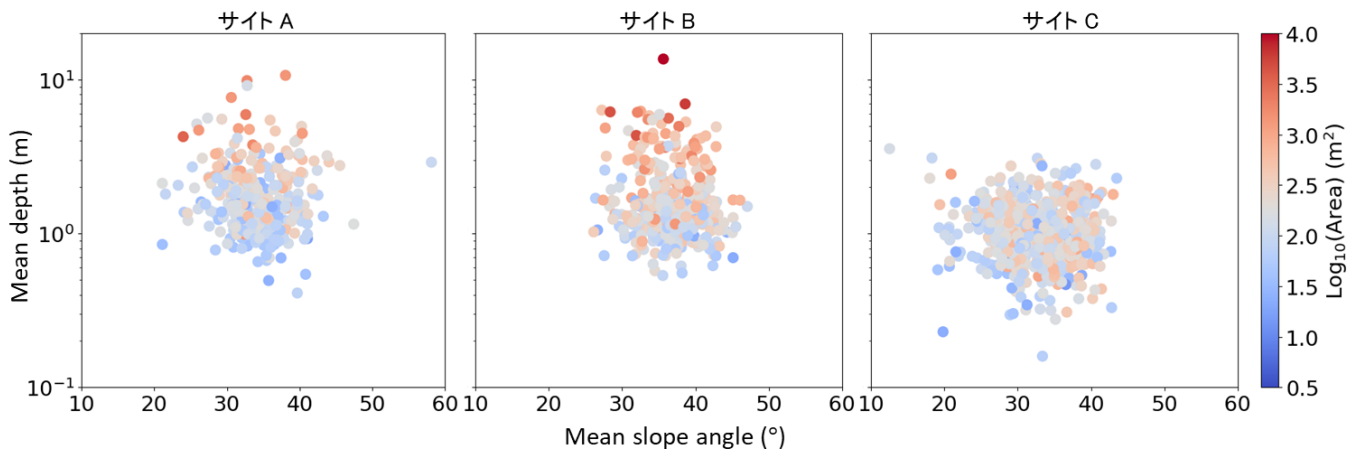


図3 平均傾斜角度と平均崩壊深の関係

サイト A, B にて傾斜角度 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ の斜面で深い崩壊が発生しており、最大の平均崩壊深はそれぞれ 10.66, 13.61 m であった (図 3)。平均傾斜角度 $0^{\circ} - 30^{\circ}$, $30^{\circ} - 35^{\circ}$, $35^{\circ} - 40^{\circ}$, $40^{\circ} - 45^{\circ}$, $45^{\circ} -$ の 5 分類における平均崩壊深の 90 % 値について、サイト A は 3.98, 3.18, 2.89, 3.11, 2.87 m, サイト B は 4.85, 4.16, 3.27, 2.82, 1.65 m, サイト C では、 45° 以上の斜面で斜面崩壊は見られず、1.67, 1.70, 1.79, 1.79 m であった。平均崩壊深の 10 % 値について、サイト A は 1.22, 0.99, 0.90, 0.96, 1.47 m, サイト B は 1.05, 0.89, 0.89, 0.85, 0.89 m, サイト C は 0.63, 0.52, 0.56, 0.45 m であった。

D' Odorico and Fagherazzi (2003) などは、無限長斜面の安定解析に従い、斜面土層は、土層が地下水により完全に飽和しても斜面崩壊が生じない領域 (図 4 の左下の領域)、不飽和でも不安定な領域 (図 4 の右上)、水分条件次第で安定にも不安手にもなる領域に分割できるとした。各領域の境界となる h_{cr} および h_{max} はそれぞれ、土層の湿潤状態に関わらず安定して発達できる最大の土層厚および土層が飽和したときに不安定な状態となる最小の土層厚を表す。 h_{cr} と h_{max} に囲まれた領域 (図 4 中のピンク色の部分) のうち土層の内部摩擦角より勾配が緩い領域は、土層が厚いほど安定性が増す。図 3 において、斜面崩壊の深さの下限値は勾配が急になるほど小さくなり、斜面崩壊の深さの上限値は勾配が急になるほど小さくなることから、図 3 のデータは図 4 で示した表層崩壊が発生しうる領域に対応して分布するように見て取れる。また、Milledge ら (2014) は、斜面崩壊深が土層厚に制限される場合、根の凝集力による抵抗が増大する影響で、発生する斜面崩壊の面積には下限が存在するとしている。この説に従うと、特に急斜面で発生した斜面崩壊の深さは、図 4 に示すように土層の厚さに制限を受け、かつ面積に応じた変化がより小さくなったと考えられる。一方で、サイト A, B における一部の深い崩壊は、風化等の影響で脆くなった層や斜面内部の水分条件の影響など、そのほかの要因が関わっていることが考えられるため、今後さらなる検討が必要である。

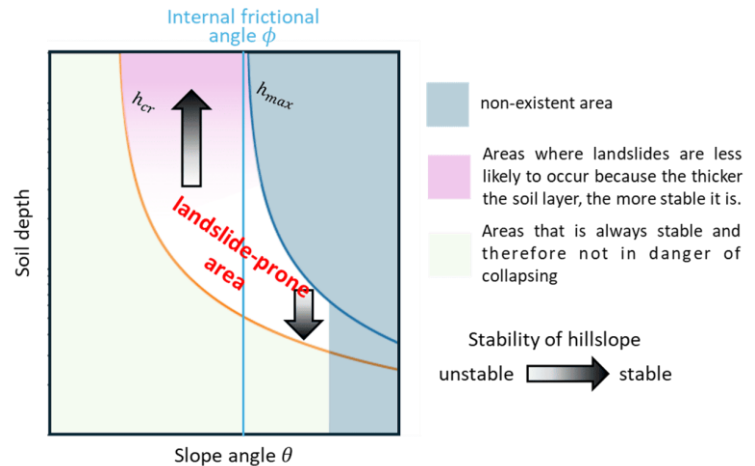


図4 移動可能土層とそれを制限する要因

本研究で得られた斜面崩壊の平均崩壊深は斜面上に分布する移動可能土層の分布を反映していると考えられる。したがって、2 時期の航空レーザー測量データを活用した斜面崩壊深さの情報の蓄積を進めることで、表層崩壊を引き起こしうる移動可能土層の分布を把握する技術の開発につながることを期待される。

4 参考文献

- 内田太郎, 盛伸行, 田村圭司, 寺田秀樹, 瀧口茂隆, 亀江幸二, 場の条件の設定手法が表層崩壊発生箇所の予測に及ぼす影響 (2009), 砂防学会誌, Vol. 62, No. 1, p. 23-31
- 戸田堅一郎, 航空レーザー測量データを用いた微地形図の作成 (2012), 砂防学会誌, Vol. 65, No. 2, p. 52-55
- D' Odorico P., Fagherazzi S., A probabilistic model of rainfall-triggered shallow landslides in hollows: A long-term analysis (2003), Water Resour. Res., vol.39, No.9
- Larsen Isaac J., Montgomery David R., Korup Oliver, Landslide erosion controlled by hillslope material (2010), NATURE GEOSCIENCE, Vol. 3, p. 247-251
- Milledge David G., Bellugi Dino, McKean Jim A., Densmore Alexander L., Dietrich William E., A multidimensional stability model for predicting shallow landslide size and shape across landscapes (2014), J. Geophys. Res. Earth Surf., 119, p. 2481-2504,