

航空レーザ計測データを用いた地形解析と微地形判読による深層崩壊発生斜面の絞り込み手法について

国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所 桜井 壴、酒井 良、岩田 孝治
国土交通省近畿地方整備局 大山 誠、北川 眞一
アジア航測株式会社 ○船越和也、岡野和行、染谷哲久、山口和也

1. はじめに

紀伊山地中央部では、平成 23 年台風 12 号によって、多数の深層崩壊が発生した。紀伊山地中央部では、深層崩壊発生前の地形条件や、発生前後の地形変化が重要になるとの観点から、平成 21 年に十津川および北山川流域の $1,011\text{km}^2$ で航空レーザ計測が実施されていた（図 1）。さらに、深層崩壊発生後の地形条件を確認するために、平成 24 年に深層崩壊多発地域を含む十津川上流域 818km^2 で航空レーザ計測が実施された（図 1）。その結果、平成 23 年台風 12 号による深層崩壊は、発生前後に高精度航空レーザ計測データが存在する世界的に類を見ない事例となつた。

ここでは、紀伊山地中央部に位置する深層崩壊多発地域を対象に、深層崩壊発生前後に計測された航空レーザ計測データを用いて重力性変形による微地形を判読し、その変化を確認するとともに、微地形判読結果を含む地形条件を用いて、深層崩壊発生・非発生斜面の特徴をふまえた危険斜面の絞り込み手法を検討した結果を報告する。



図1 航空レーザ計測取得範囲と検討対象範囲

2. 深層崩壊発生前後の重力性変形による微地形の変化

平成 21 年と平成 24 年に計測された航空レーザ計測データから作成された 1mDEM を用いて、赤色立体図¹⁾ および斜度図²⁾ を作成し、重力性変形による微地形（小崖、二重山稜など）の判読を行った。

その結果、平成 24 年に明瞭かつ鮮明にみられる小崖は、そのほとんどが平成 23 年台風 12 号による豪雨時に新規に形成されたものではなく、それ以前から存在していたものであることがわかった（図 2）。さらに、対象範囲の両時期の赤色立体図を網羅的に判読した結果、深層崩壊発生箇所周辺以外では、平成 23 年台風 12 号による新しい微地形の形成はほとんど見られなかった。

このことは、重力性変形に伴う微地形は、1度の豪雨で突然的に形成されるのではないことを示していると考えられる。長期間にわたる重力の作用によるヒズミの蓄積、もしくは地震による慣性力などの作用を受けて形成されることが推察される。ただし、事前に存在する微地形の段差や割れ目などの詳細な変化は、1mDEMによる地形表現図では判読することが困難であるため、豪雨によって拡大した可能性は否定できない。

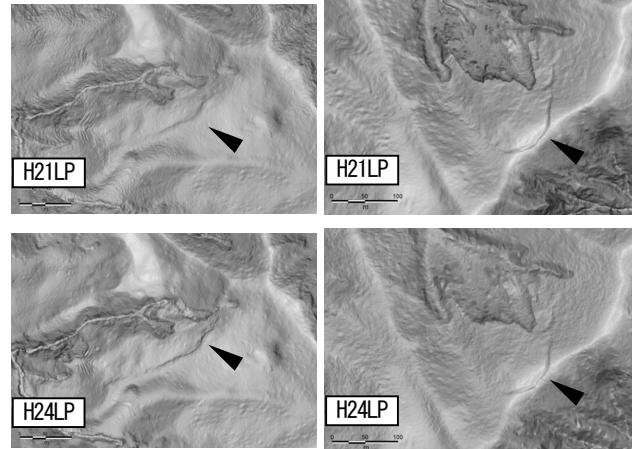


図2 明瞭な小崖周辺の斜度図
(上段:平成21年、下段:平成24年)

3. 地形条件による深層崩壊発生危険斜面の絞り込み

航空レーザ計測データを活用した各種地形条件と、崩壊発生・非発生斜面との関係を解析し、その関連性を把握するとともに、関連性の高い地形条件を用いた深層崩壊危険斜面の絞り込み手法について検討した。

既往のマニュアル³⁾や文献⁴⁾で用いられている地点地形量（5mメッシュごとに算出）や、起伏量など単位斜面ごとの地形量のほか、重力性変形に着目した地形特性として山頂緩斜面、平滑斜面を、地点地形量を組み合わせて表現し、地形条件として用いた。さらに、重力性変形に伴う微地形の延長密度を加えた計10条件（表1）に平成23年台風12号以前の深層崩壊発生履歴の有無を考慮して検討した。

設定した単位斜面ごとに地形条件を数値化し、深層崩壊の発生・非発生状況と比較することにより、的中率比とカバー率⁵⁾を算出した。さらに、カバー率30%を確保した条件で、的中率比が最も高くなるように閾値を設定し、地形条件ごとの危険斜面の絞り込みを行った。この時、最適な閾値での的中率比が1.5未満である地形条件は、深層崩壊危険斜面を絞り込む条件から除外した（表1）。

最適な的中率比を比較すると、重力性変形の延長密度が最も高く、続いて固有値比が高い結果となった。固有値比が大きい斜面は谷の開析が少なく、重力性変形が進んでいると考えられる斜面が多く含まれることを踏まえると、重力性変形に関する地形条件が当該地域における深層崩壊発生と最も関連性が高く、危険斜面の絞り込みに重要な条件であると考えられる。次に斜面方位の的中率比が高い。当該地域における流れ盤斜面の方位依存性は多くの文献で指摘されており²⁾、その傾向が反映された結果であると推察される。

さらに、抽出した8つの地形条件の中の2条件以上で危険斜面に該当する斜面を、深層崩壊の発生危険性が高い斜面として抽出すると、危険斜面は全体の約40%に絞り込まれ、平成23年台風12号災害時の崩壊の約80%がカバーされる結果となった。また、1条件も該当しない斜面を相対的

に危険性が低い斜面と考えると、全体の約30%が該当し、その中には平成23年台風12号災害時の崩壊斜面は全32斜面中2斜面しか含まれない結果となった。

表1 地形条件ごとの崩壊発生に関するカバー率との中率

区分	地形条件	算出単位	的中率比	カバー率	該当率
地点地形量	斜面勾配	地点地形量(5mメッシュ)	1.73	37.5%	21.6%
	斜面方位	地点地形量(5mメッシュ)	2.61	31.3%	12.0%
	地上開度 ^{※1}	地点地形量(5mメッシュ)	-	-	-
	固有値比	地点地形量(5mメッシュ)	2.86	37.5%	13.1%
単位斜面の地形量	見通し勾配 ^{※2}	単位斜面	1.16	46.9%	40.6%
	起伏量	単位斜面	1.70	31.3%	18.3%
	斜面の重心位置 ^{※2}	単位斜面	1.02	100.0%	97.9%
重力性変形に着目した領域	山頂緩斜面	地点地形量(5mメッシュ)	1.73	71.9%	41.4%
	平滑斜面	地点地形量(5mメッシュ)	2.41	34.4%	14.2%
重力性変形による微地形判読	重力性変形の延長密度	単位斜面	3.64	50.0%	13.8%

※1:深層崩壊の発生・非発生による分離性が低いため、要素の候補から除外した

※2:的中率が1.5以上となる閾値が存在しないため、要素の候補から除外した

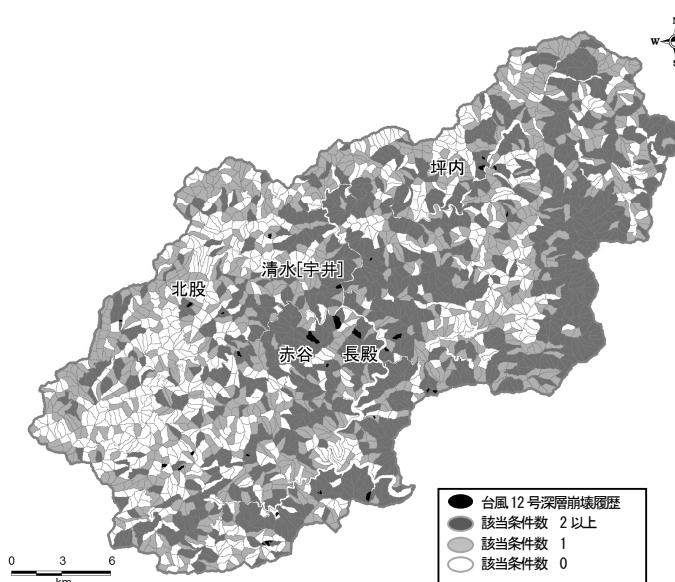


図3 地形条件による深層崩壊危険斜面の絞り込み結果

4. 崩壊発生・非発生斜面における小崖の発達度合

前章の検討で重力性変形に伴う微地形は深層崩壊の発生と関連性が高かったことに着目し、小崖（段差を伴う線状地形と仮定）の発達度合いから斜面のヒズミ度合いを評価する手法の適用性を、深層崩壊の発生・非発生斜面の状況から検証した。

崩壊発生斜面と重力性変形が発達する非発生斜面に対し、設定した主測線の断面図から判読した小崖水平長の合計と斜面水平長を比較した。その結果、崩壊発生斜面・非発生斜面ともに、小崖水平長は、斜面水平長に比例して大きくなる傾向が確認された。さらに、崩壊発生斜面の回帰直線は傾きがより大きい傾向、すなわち小崖の発達度合いが大きい傾向が確認された。しかし、非発生斜面でも発生斜面

の回帰直線より上位に位置するものも存在し、両者は明瞭には分離されなかった（図4）。

ここで、判読した小崖の中で、防災科学技術研究所による地すべり地形分布図の滑落崖が形成されている斜面を区別すると、それらは崩壊発生斜面の回帰直線よりさらに上位に位置するものに多く含まれることが分かった。一方、非発生斜面の回帰直線より下位には、重力性変形が認められない6斜面を除いて崩壊発生斜面は存在しなかった。このことから、非発生斜面の回帰式より下位に位置する斜面はヒズミの発達度合いが低く、深層崩壊発生と相対的に関連性が低いことが示唆される。また、非発生斜面の回帰式より上位に位置する斜面はヒズミを蓄えた斜面と、ヒズミをすでに解放した地すべり性の滑落崖を有する斜面が混在すると考えられる。このため、重力性変形に伴うヒズミ発達度合いを小崖水平長と斜面水平長の比率のみから評価することは難しく、特に土塊が変形、移動した斜面とクリープ変位が発達した斜面の取り扱いが、今後の課題と考えられる。

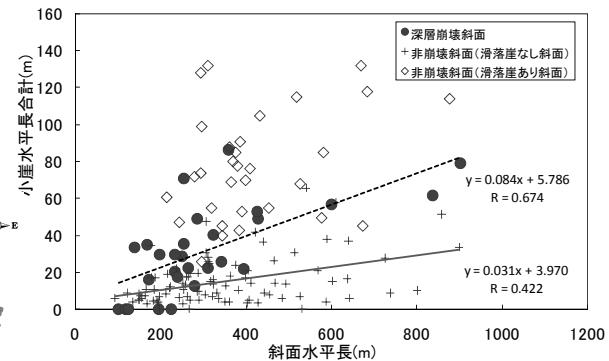


図4 小崖水平長と斜面水平長との関係

5. おわりに

高精度航空レーザ計測データを用いて、深層崩壊発生前の微地形変化を確認し、平成23年台風12号によって新たに形成された重力性変形に伴う微地形が非常に少なかったことを示した。また、発生前の地形条件と深層崩壊発生状況とを比較することにより、重力性変形による微地形が深層崩壊に強い関係性を持つ条件であることを示すとともに、絞り込みに有効な地形条件の抽出と、それらを用いた危険斜面の絞り込み結果を示した。

今後、異なる地形・地質条件をもつ地域で、今回示した手法がどの程度適用できるかを検証するとともに、空中電磁探査や地質・水文調査など、異なる手法による調査結果と組合せ、より詳細に危険な斜面を絞り込んでいく方法を検討していく必要がある。

参考文献

- 千葉達郎・鈴木雄介（2004）：赤色立体地図－新しい地形表現手法－、応用測量論文集、p.3-13
- 千木良雅弘（2013）：深層崩壊－どこが崩れるのか－、近未来社
- 独立行政法人土木研究所（2008）：「深層崩壊の発生の恐れのある渓流抽出マニュアル（案）」
- 内田太郎・中野陽子・秋山浩一・田村圭司、笠井美青、鈴木隆司（2010）：レーザー測量データが表層崩壊発生斜面予測及び岩盤クリープ斜面抽出に及ぼす効果に関する検討、地形 Vol31, No.4, p.383-402
- 石塚忠範・山越隆雄・武澤永純・横山修、岡本敦、内田太郎（2012）：平成23年台風12号により紀伊半島で発生した深層崩壊に関する検討、平成24年度砂防学会研究発表会概要集、p.674-675