

紀伊山地における深層崩壊箇所周辺の地盤特性と比抵抗分布の関係

応用地質株式会社

国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所

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

北海道大学広域複合災害研究センター

○林幸一郎・窪田安打・小松慎二・橋本裕司

小竹利明・山田拓

柴田俊・木下篤彦

田中健貴

1. はじめに

深層崩壊による被害を軽減するためには、崩壊が発生する場所と規模を予測し、事前対策を検討する必要がある。これまでの研究により、崩壊前の斜面には重力変形が生じている場合があること¹⁾、豪雨時に周辺斜面から崩壊地に地下水が流入しやすい水理地質特性があること²⁾などが明らかになっており、崩壊発生前の地盤の特徴を整理し、崩壊が発生する危険度を評価する手法が検討されている。

平成23年9月に崩壊した8地区(図-1)では、対策工事に伴う多くの調査・観測が実施されており、崩壊の要因と考えられる地盤特性が確認されている²⁾など。一方、これらの地盤特性は崩壊後の状況であり、崩壊発生前の斜面のどのような特徴に注目し、どのように危険度を評価すればよいかは明らかになっていない。

そこで本研究では、まず、崩壊箇所8地区の既往調査結果から、崩壊メカニズムに関係があると考えられる地盤特性を整理した。次に、地盤特性のうち物理探査で把握される比抵抗分布と関係性があると考えられる項目について、重力変形が確認されている赤谷西地区(図-1)でモデル計算を行い、感度解析を行った。

2. 調査方法

2.1 調査対象

深層崩壊箇所の地盤特性の整理は、図-1に示す8地区を対象とした。比抵抗モデル計算は、平成28年よりボーリング調査等を実施している赤谷西地区の重力変形斜面とした(図-1)。当該斜面では、斜面上方の尾根に重力変形により生じたと考えられる幅約10mの線状凹地が存在し、これまで1.3mm/年程度の地中変位が観測されている。

2.2 地盤特性の整理

平成23年度から令和元年度まで実施された、表-1に示す調査、観測結果を整理した。その上で、それぞれの調査成果に記載されている崩壊メカニズムに関する記述を抽出した。

2.3 二次元比抵抗モデル計算

地質調査、動態観測、地下水位観測、弾性波探査結果をもとに、単純化した地質構造モデルを複数パター

ン作成した。その上で、コア比抵抗測定、電気検層、水質分析、電気探査結果をもとに、地質構造モデルの各単元にそれぞれ与える比抵抗を設定し(表-2)、比抵抗モデルを作成した。比抵抗モデルからの見掛け比抵抗分布の計算は、応用地質(株)製 ElecImager/2D を用い、地形補正を含めた比抵抗映像法³⁾による解析を行った。



図-1 調査対象位置図

表-1 崩壊箇所8地区の主な既往調査項目

地区名	主な既往調査
赤谷地区	ボーリング調査：21地点、電気探査、空中電磁探査、地下水位観測期間：2012/8/9～2020/3/31
長殿地区	ボーリング調査：19地点、電気探査、空中電磁探査、地下水位観測期間：2013/4/29～2020/3/31
栗平地区	ボーリング調査：16地点、電気探査、空中電磁探査、地下水位観測期間：2013/8/11～2020/3/31
北股地区	ボーリング調査：22地点、弾性波探査、空中電磁探査、地下水位観測期間：2012/9/1～2020/3/31
熊野地区	ボーリング調査：22地点、電気探査、空中電磁探査、地下水位観測期間：2012/8/10～2020/3/31
清水地区	ボーリング調査：16地点、空中電磁探査、比流量調査、地下水位観測期間：2012/5/9～2020/3/31
冷水地区	ボーリング調査：33地点、電気探査、空中電磁探査、地下水位観測期間：2012/3/2～2020/3/31
三越地区	ボーリング調査：17地点、電気探査、空中電磁探査、地下水位観測期間：2012/7/22～2020/3/31

表-2 モデルに与える比抵抗(平均値を丸め採用)

モデル	地質構造モデル		比抵抗 (Ω・m)		
	単元	測定点数	平均値	最大値	最小値
ゆるみ域	ゆるみ	340	821	4,297	308
	非ゆるみ	699	742	3,180	775
ゆるみ域 + 地下水位	ゆるみ+不飽和	85	1,357	4,297	187
	ゆるみ+飽和	255	642	2,960	0
	非ゆるみ+不飽和	96	966	3,129	165
	非ゆるみ+飽和	603	706	3,180	0
地質	砂岩	155	1,265	4,297	0
	砂岩頁岩互層	398	835	3,180	0
	頁岩	416	594	4,268	0
	破碎帯	66	323	817	95

3. 調査結果

3.1 崩壊メカニズムに関する地盤特性

8 地区の地盤特性を整理した結果、主に 7 項目の崩壊メカニズムに関する記述や分析結果が、複数の地区で共通して確認された(表-3)。これらのうち、栗平地区で検討²⁾されているように、断層破碎帯や水ミチ、透水性の差異による飽和度の異なる岩盤の分布は、物理探査で捉えられる可能性がある。

3.2 地質構造モデルの比抵抗分布への感度解析

「ゆるみ域」「ゆるみ域+地下水位」「地質区分」「ゆるみ域+低角度破碎帯」「ゆるみ域+高角度破碎帯」の 5 つの地質構造モデルから作成した比抵抗モデル(最小セルは 5m に設定)ならびに実測結果を対比し、見掛比抵抗への現れ方を比較した。ここでの「ゆるみ域」は、地中変位が確認される領域に相当する単位体積重量、亀裂の開口率、弾性波速度の領域と定義した。

表-3 崩壊箇所 8 地区で想定される崩壊メカニズム

想定される崩壊メカニズム
1) 脚部が河川の浸食を受け、豪雨時に不安定化する
2) 数10mを超える高透水性の岩盤が分布し、最下部に透水性の差による地下水層が分布する
3) 難透水性の断層破碎帯によって地下水流動が阻害され、豪雨時に水圧が急上昇する
4) 最上部の透水性の低い地質により、異常な水位上昇時にキャップロック状となり被圧が生じる
5) 連続雨量に対する地下水の上昇傾向が地点ごとに異なり、豪雨時の水頭差の拡大で崩壊斜面に地下水が流れやすくなる
6) 岩盤亀裂や高透水性の断層破碎帯を透過し、周辺斜面から崩壊地に向かう水ミチが存在する
7) 崩壊前から斜面変状が生じており、周辺に比べ風化の進行が早い

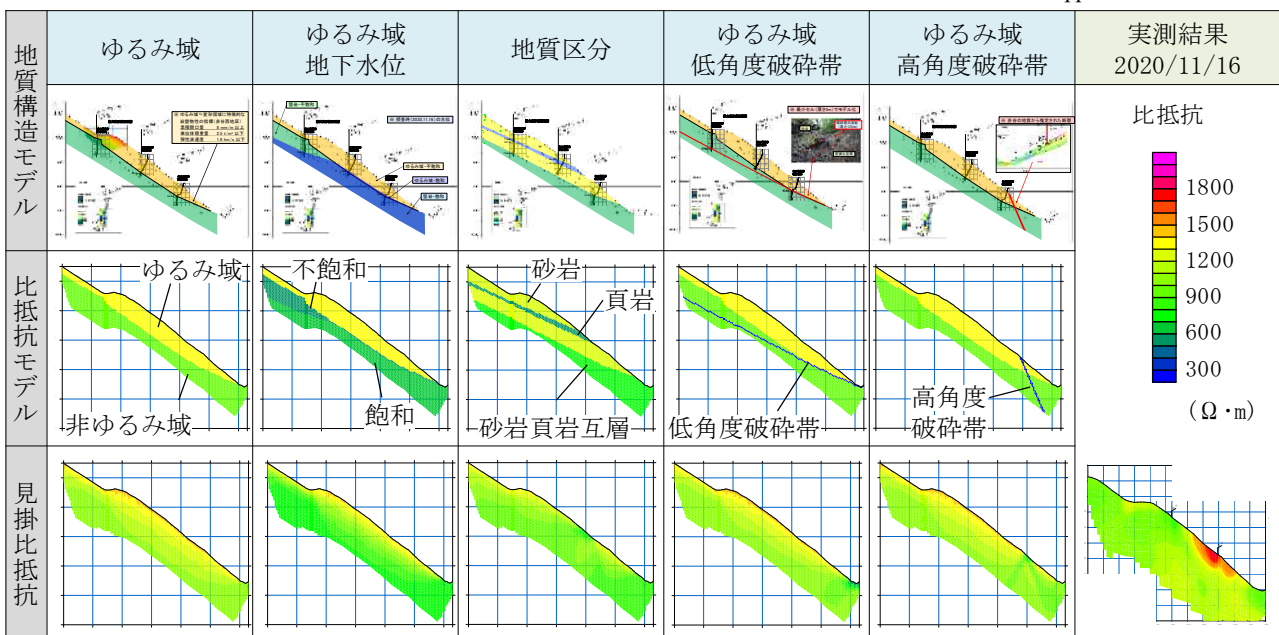


図-2 地質構造モデルから作成した見掛比抵抗と実測結果

その結果、「ゆるみ域」「地質区分」「高角度破碎帯」は、見掛比抵抗として特徴的なパターンを示した。「地下水位」は全体的な傾向として「ゆるみ域」と違いが出るものの、最も比抵抗が低い「ゆるみ+飽和」の層は明瞭に分離されなかった。「低角度破碎帯」は、ほとんど影響が認められなかった。また実測結果に調和的なモデルとその影響度合は、「ゆるみ域」「地質区分」「地下水位」の順であった(図-2)。

4. 考察とまとめ

8 地区で崩壊メカニズムに関係があると考えられる地盤特性のうち、赤谷西地区では「ゆるみ域」「高角度破碎帯」が重力変形斜面の比抵抗分布に特徴として出現している可能性がある。一方で「地質区分」の影響も大きいことから、比抵抗分布からの評価には地質分布による影響を十分に考慮する必要がある。また「地下水位」の評価には、既往検討²⁾のように二時期の差分析などと合わせた評価が望まれる。

今後は、平成 23 年 9 月のような豪雨によって崩壊に至った斜面と崩壊しなかった斜面でどのような地盤特性の違いがあったかなど分析し、崩壊が発生する危険度を評価する指標を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 千木良雅弘：深層崩壊の場所の予測と今後の研究展開について、応用地質、Vol.56, No.5, p.200-209, 2015
- 2) 木下篤彦・柴田俊・山越隆雄・中谷洋明・加藤智久・河戸克志・奥村稔・三田村宗樹・松井保：2011年に深層崩壊が発生した奈良県十津川村栗平地区における比抵抗探査を用いた断層沿いの地下水流入家庭の検討、日本地すべり学会誌、Vol.58, No.1, p.40-47, 2021
- 3) 公益社団法人物理探査学会：新版 物理探査適用の手引き—土木物理探査マニュアル 2008—, pp.539, 2008