

空中電磁探査技術を用いた深層崩壊・表層崩壊危険斜面抽出技術

木下篤彦(国土交通省国土技術政策総合研究所)・田中健貴(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)・河戸克志(大日本コンサルタント株式会社)

The extraction technology of the dangerous slopes for deep-seated landslides and shallow landslides using the Airborne Electromagnetic Survey

Atsuhiko Kinoshita (NILIM), Yasutaka Tanaka (Sediment Disaster Prevention Technology Center, MIIT),
Katsushi Kawato (NIPPON ENGINEERING CONSULTANTS CO.,LTD.)

Abstract

In Typhoon Talas in 2011, many deep-seated landslides were occurred in the Kii mountain area and caused the serious damage. In the future, in order to reduce the damage, it is necessary to extract the dangerous slopes for deep-seated landslides in advance. In this research, as the extraction method for deep-seated landslides, we use the airborne electromagnetic survey

In this study, two slopes in the Akadani-west area, which are bedrock creep slopes, were taken as research fields. First, we conducted the boring survey, installed the inclinometers and observed the strain. We also measured the resistivity distributions of the ground by the airborne electromagnetic survey. By comparing these results, we checked the verification of the resistivity distributions.

From this study, we have found that the risk of the deep-seated landslides and the slip surface can be roughly estimated from the resistivity distributions of the ground obtained by the airborne electromagnetic survey.

1. はじめに

平成 23 年の台風 12 号では、紀伊山系において多数の深層崩壊が発生し、大きな被害が出ている(写真-1)。今後、これらによる被害を軽減するには、事前に崩壊危険斜面を抽出しておく必要がある。これらの抽出技術¹⁾には、レーザプロファイラによる地形図から判読する方法や千木良ら²⁾による地形の概況から危険度を判定する手法、湧水の量や水質から判定する手法³⁾などがある。本研究では、これらの手法のうち、空中電磁探査技術を用いた比抵抗分布による深層崩壊危険斜面の抽出技術について検討した。

2. これまでの取り組みと今後の実施内容について

まず、深層崩壊の特徴と起こりうる土砂災害の形態について図-1 にまとめる。大きな特徴として、崩壊深が深いこと(場所によっては約 50~100m 程度になることもある。)、非常に頻度の低い現象であることが挙げられる。国土交通省では、これまで、図-2 に示すように、地形や地質を基にした「深層崩壊推定頻度マップ(平成 22 年 8 月公表)」、1km²の溪流レベル単位で危険度を評価した「深層崩壊溪流レベル評価マップ(平成 24 年 9 月公表)」、過去の深層崩壊の発生頻度を評価した「深層崩壊跡地密度マップ(平成 24 年 9 月公表)」を公表している。今後は、図-3 に示すように、危険斜面を抽出し、その崩壊深を推定することで、崩壊土砂量を推定する技術が求められている。

3. 空中電磁探査について

空中電磁探査の仕組みは、図-4 に示すとおりである。空中電磁探査は、地盤の比抵抗を測定する電磁

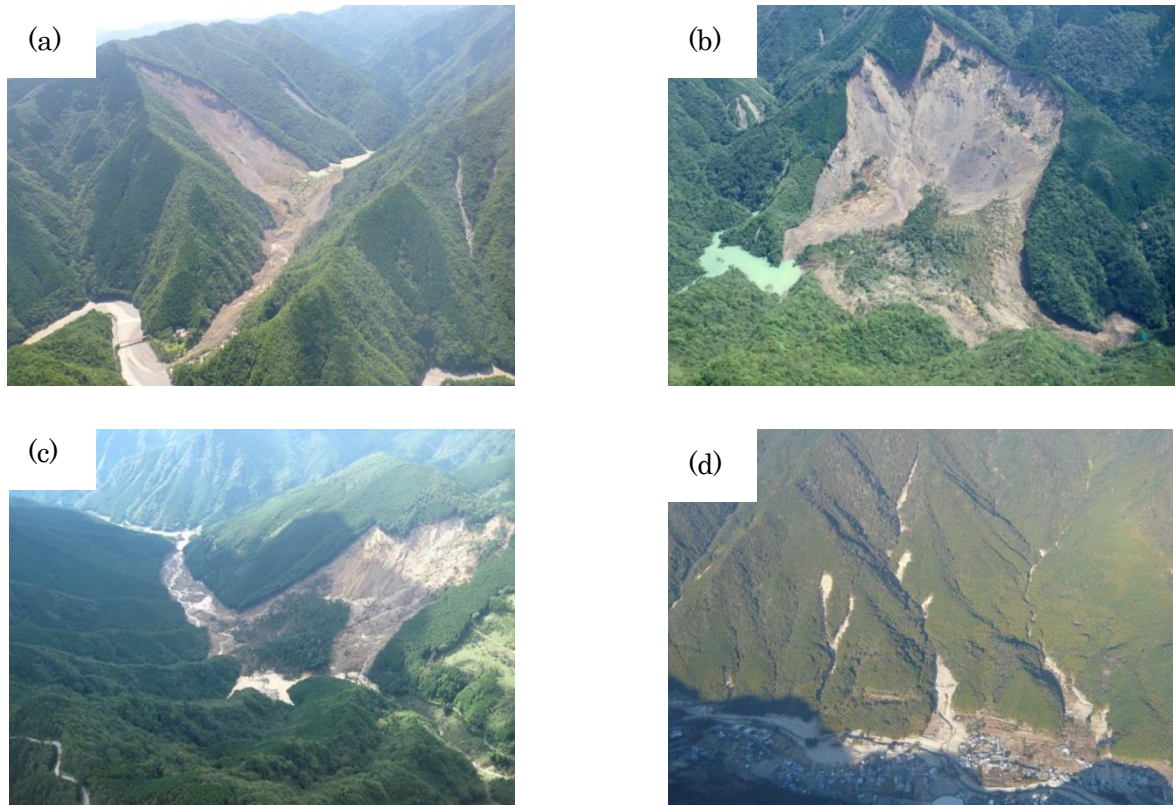


写真-1 平成 23 年 9 月の台風 12 号で深層崩壊・表層崩壊が発生した箇所の災害後の様子。(a)赤谷地区(奈良県五條市), (b)栗平地区(奈良県十津川村), (c)熊野地区(和歌山県田辺市), (d)那智川流域(和歌山県那智勝浦町)



【深層崩壊とは】

- 表土層だけではなく、基盤から崩壊する現象
- 豪雨・地震・融雪で発生
- 移動速度が速い
- 突発性
- 表層崩壊より土砂量が多く、到達距離が長い

【深層崩壊による土砂災害】

- 土砂災害は毎年1000件程度発生
- 深層崩壊は10年間で30件程度
- 低頻度大規模災害

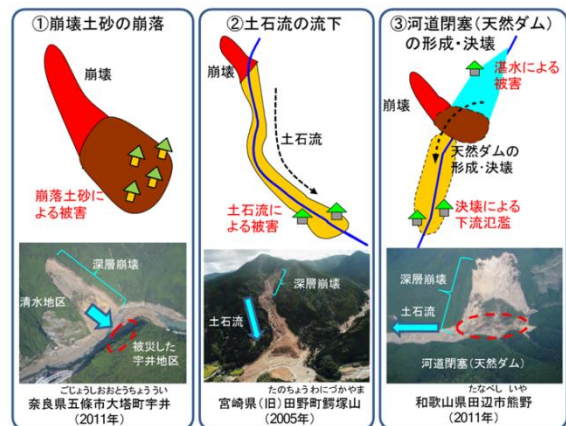


図-1 深層崩壊の特徴と起こりうる土砂災害の形態

- 「深層崩壊推定頻度マップ」で頻度が「特に高い」区域を中心に溪流レベルでの危険度評価を実施。
- 区域内の相対的な危険度を示した「溪流レベル評価マップ」と全国的な発生傾向を示した「跡地密度マップ」を公表(2012年9月)

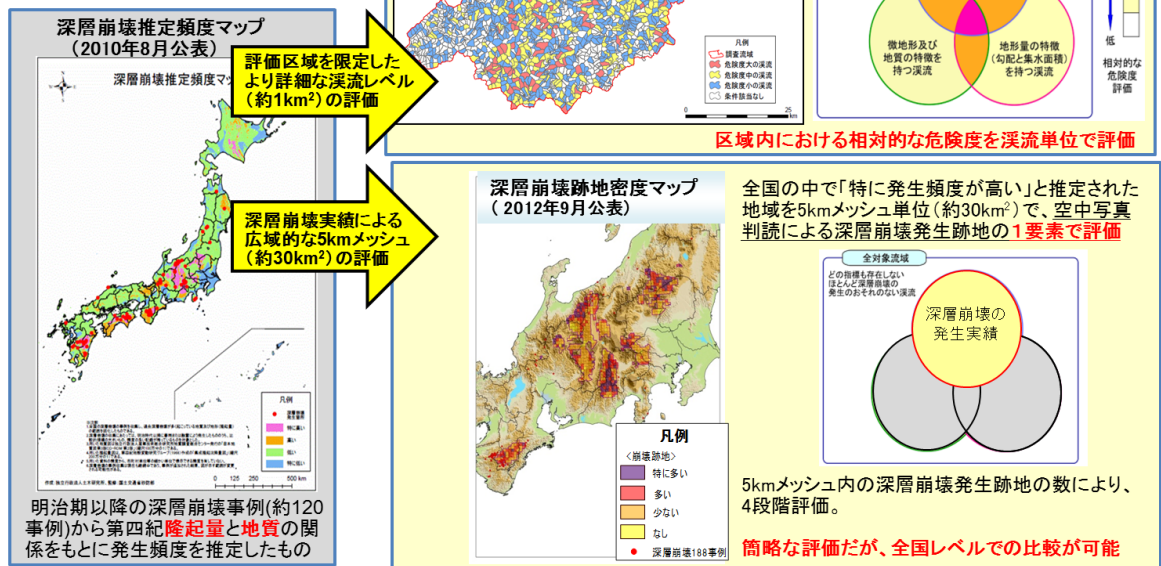


図-2 深層崩壊への国土交通省のこれまでの取り組み

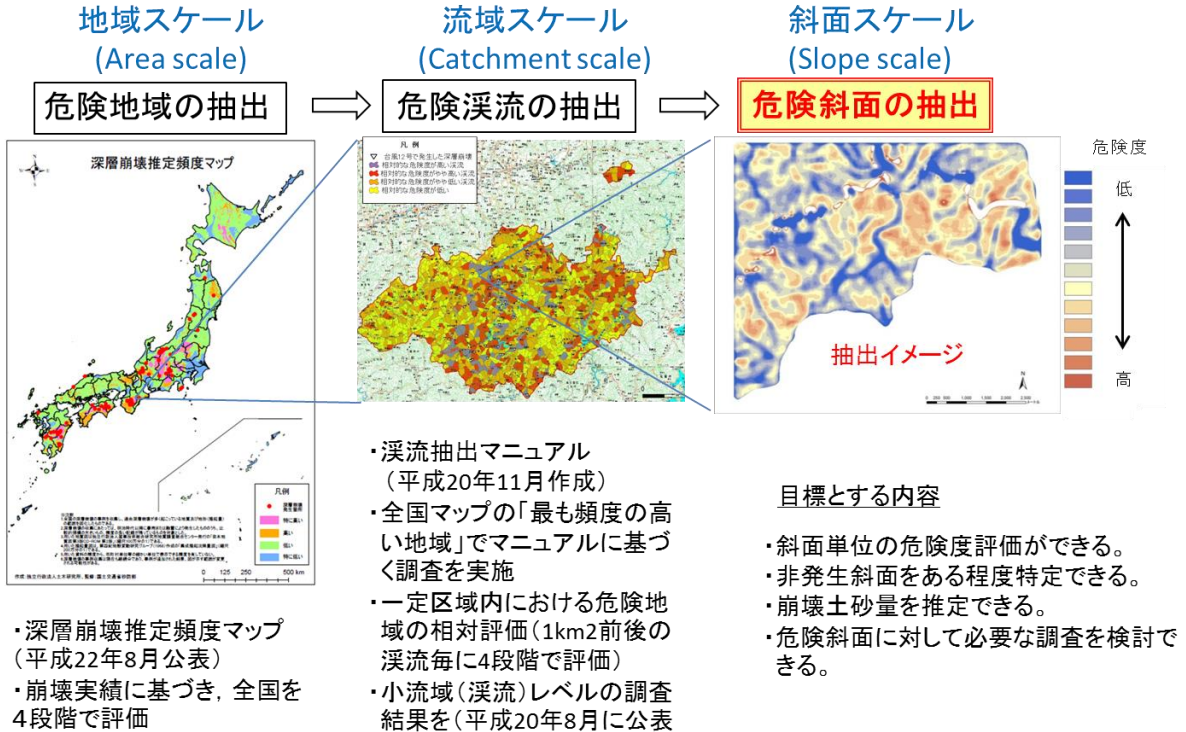


図-3 深層崩壊対策の今後の取り組み

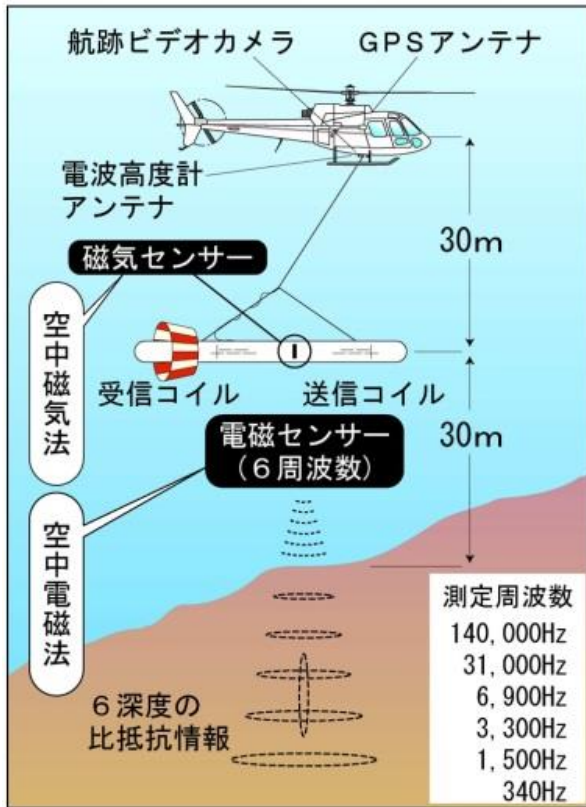


図-4 空中電磁探査の仕組みの模式図

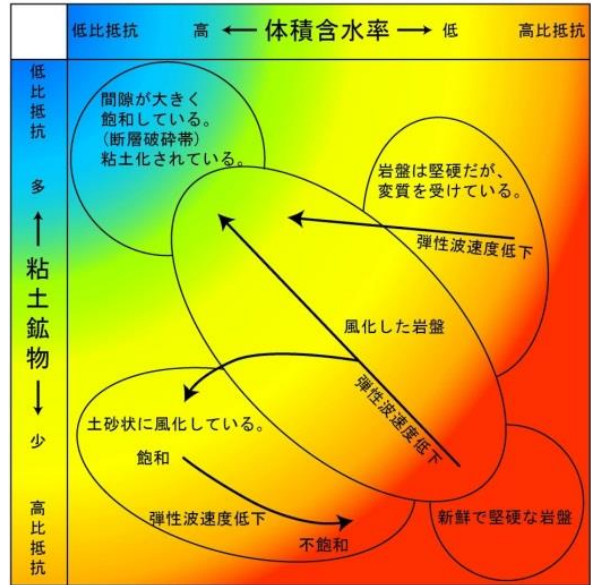


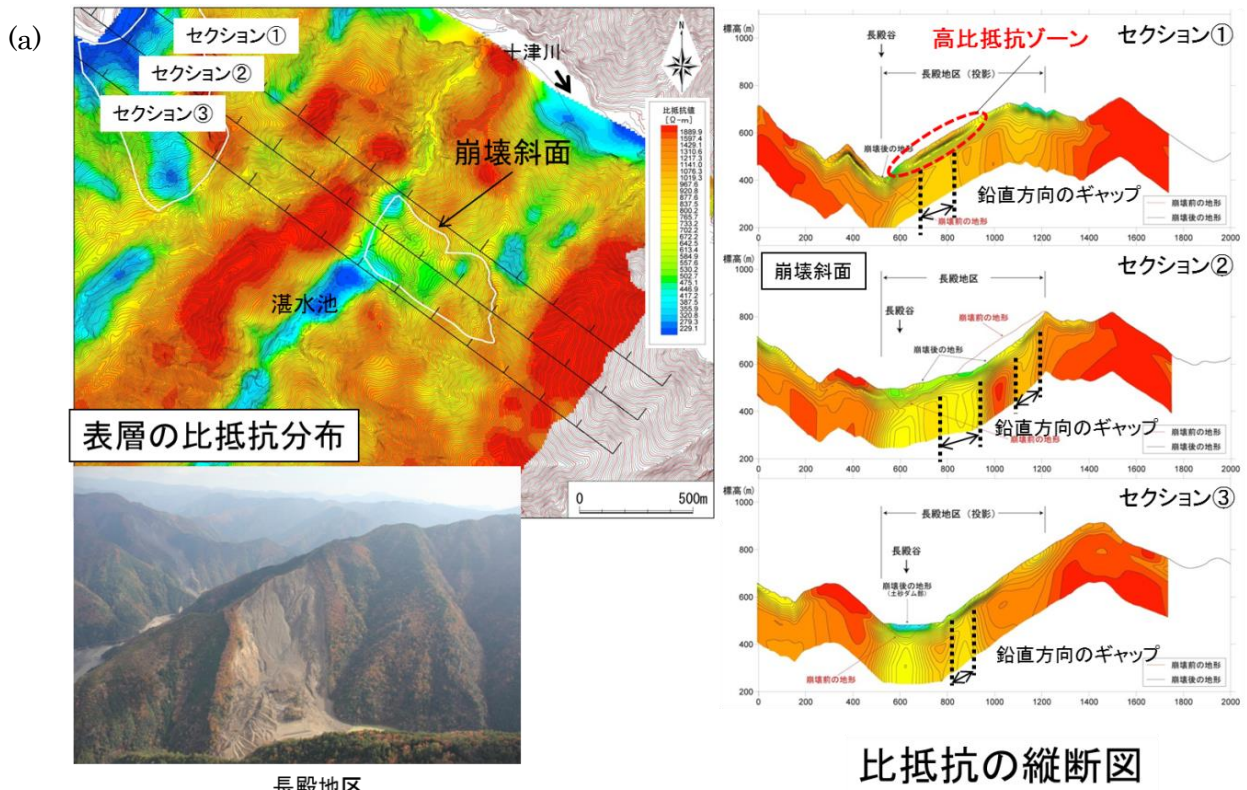
図-5 空中電磁探査により得られる比抵抗値と体積含水率・粘土鉱物含有量との関係についての模式図

探査の一種で、ヘリコプターを用いて空中から人工的に発生させた交流磁場が地中を透過する際に生ずる電磁誘導現象を利用し、地表～深度 150m までの地盤の比抵抗 3 次元構造を測定・解析し、地質・地下水状態を効率的に把握する探査手法である。図-5 に空中電磁探査により得られる比抵抗値と体積含水率・粘土鉱物含有量との関係についての模式図を示す。粘土分が多くなるほど、また、体積含水率が多くなるほど低比抵抗となる。図-6 に平成 23 年台風 12 号により深層崩壊が発生した、長殿地区と坪内地区の深層崩壊発生箇所周辺の比抵抗分布の断面図を示す。(a)から、長殿地区には地下に高比抵抗ゾーンが存在し、この深度が崩壊面となっていると考えられる。この高比抵抗ゾーンはクリープによりひずみが発生している層と考えられる。(b)から、坪内地区は地下約 200m に渡って低比抵抗ゾーンが存在している。これは、この斜面の地下水位が高いことを示唆しており、このことが崩壊につながったと考えられる。

4. 既往研究を基にした赤谷西地区の岩盤クリープ斜面の危険度評価と孔内傾斜計でのひずみの観測について

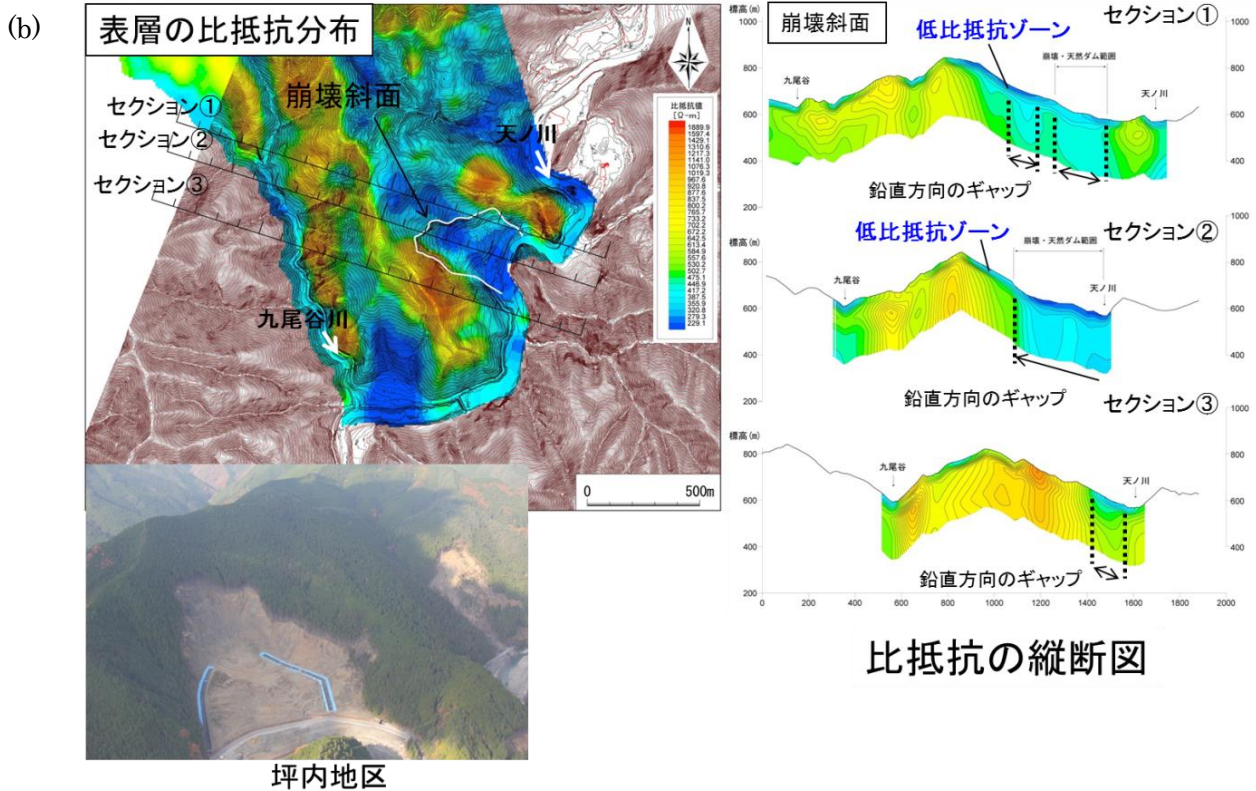
図-7 に研究フィールドである赤谷西地区(赤谷西 1・2 地区)の岩盤クリープ斜面の位置図を示す。これらは、平成 23 年に深層崩壊が発生した赤谷地区の斜面に近接しており、目視からも明らかな変形が見られる斜面である。本研究では、これらの斜面を深層崩壊危険斜面として調査を行った。

まず、既往研究成果¹⁾を基に、赤谷西 1・2 地区の斜面の危険度評価を行った。評価手法としては、ひずみ率¹⁾による手法と千木良ら²⁾による地質・地形からの危険度評価手法を用いた。ひずみ率の概念図は図-8 に示すとおりで、小崖長を斜面長で除したものである。千木良ら²⁾による深層崩壊発生危険斜



長殿地区

比抵抗の縦断図



坪内地区

比抵抗の縦断図

図-6 平成 23 年台風 12 号による深層崩壊発生箇所比抵抗分布。(a)長殿地区(明瞭な崩壊面が存在しているタイプ)、(b)坪内地区(地下水位が高い斜面が存在するタイプ)

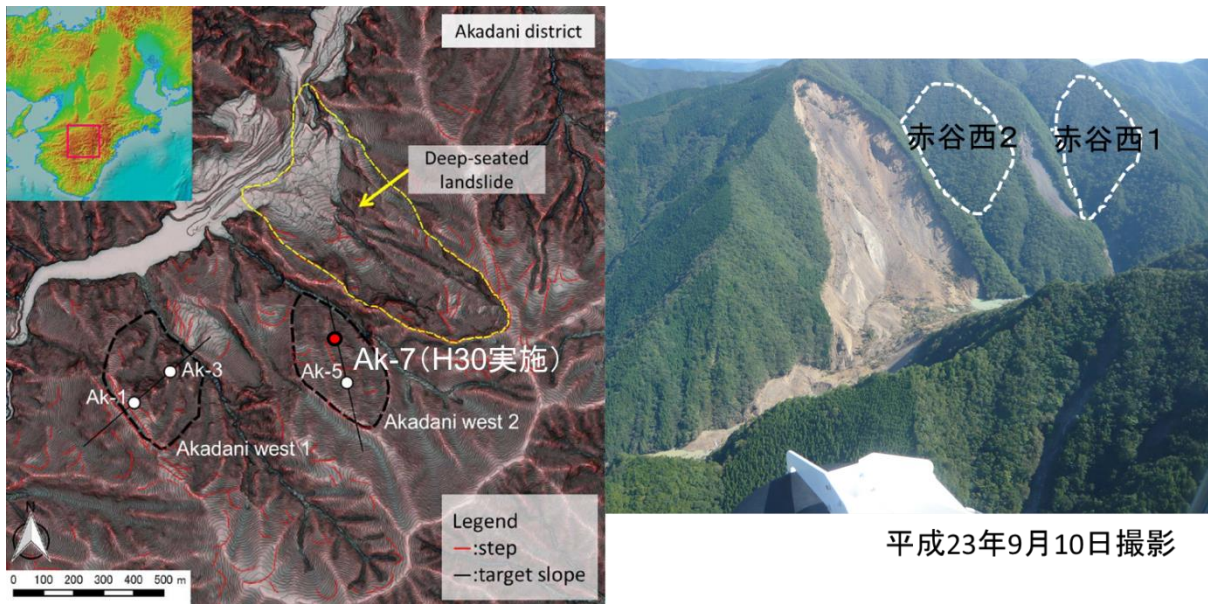


図-7 研究フィールドである赤谷西地区(赤谷西1・2地区)の岩盤クリープ斜面の位置図

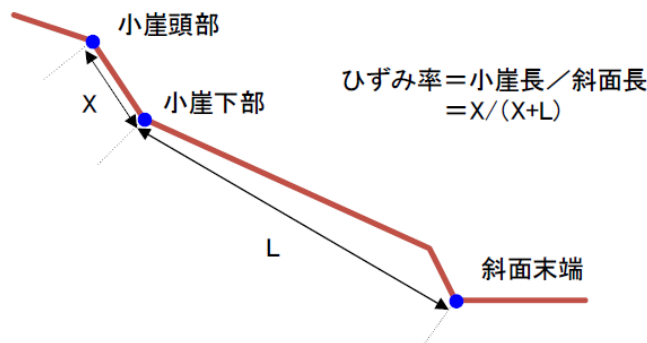


図-8 ひずみ率の概念図¹⁾

面の評価手法は、図-9の通りで斜面の見た目の概況から判定するものである。ひずみ率の算出結果は、図-10に示すとおりで、赤谷西1・2地区でそれぞれ4.1、2.7であった。また、地質・地形による危険度は、それぞれIV、IIであった。このことから従来の手法で評価した場合は、ひずみ率でも地質・地形でも、赤谷西1地区の方が危険度が高いことが分かった。

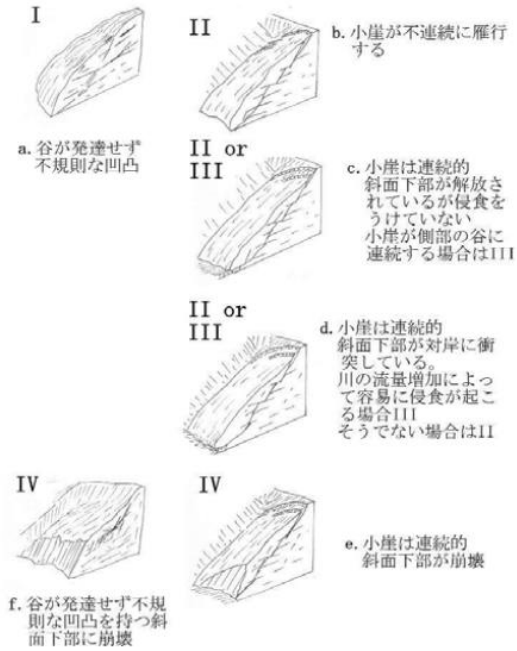
図-11に赤谷西1・2地区の斜面での孔内傾斜計によるひずみの調査結果を示す。赤谷西1地区では、地下46.0～65.0mに弱いクリープ変形が、78.0～79.0mにひずみが見られた。一方、赤谷西2地区では、4.5～5.5mと64.5～68.0mにひずみが見られた。図-12に、赤谷西1・2地区の崩壊面での孔内傾斜計による変位速度を示す。赤谷西1地区の約1.5年間の変位速度は、0.9mm/年(46.0～65.0m)と0.7mm/年(78.0～79.0m)である。一方、赤谷西2地区の約1年間の変位速度は、0.1mm/年(4.5～5.5m)と1.2mm/年(64.5～68.0m)であった。このことから、変位速度の大きい層で考えると、赤谷西2地区の方が変位速度が大きく、崩壊の危険性が高いことが分かった。この結果は、ひずみ率や地質・地形による評価結果とは異なる。

5. 空中電磁探査によって得られた比抵抗分布の補間・補正方法と表示方法について

図-13に空中電磁探査によって得られた比抵抗値の平面的な補間・補正方法を示す。生データは空

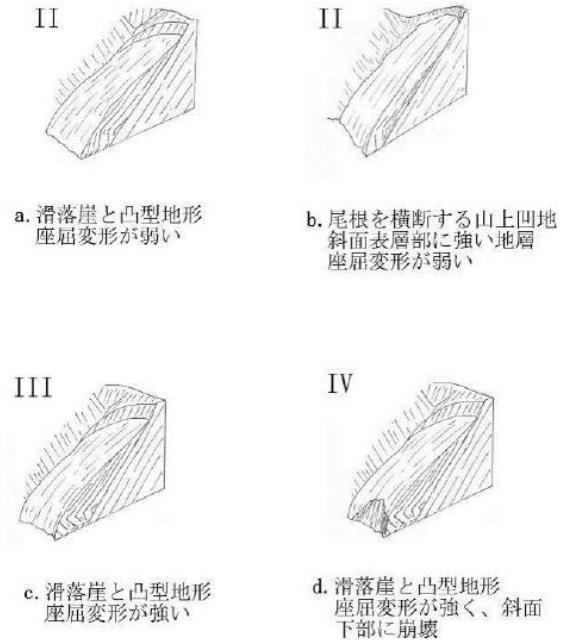
(1) 不規則凹凸斜面

(すべり層は断続的で、発達途上)



(3) 大滑落崖または山上凹地

(平行盤あるいは逆目盤—地層の座屈)



(2) 線状凹地

(山体の側方拡大あるいは曲げトップリング)

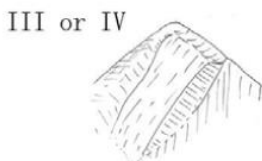
山稜の両側対称



山稜の片側



山稜上



(柎目盤—成熟したすべり層、地すべり)

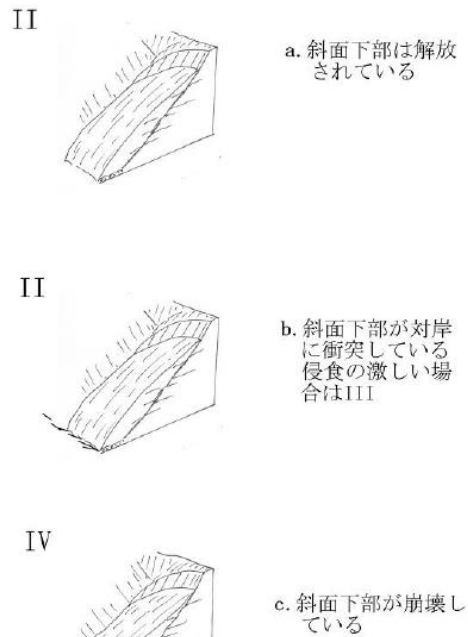
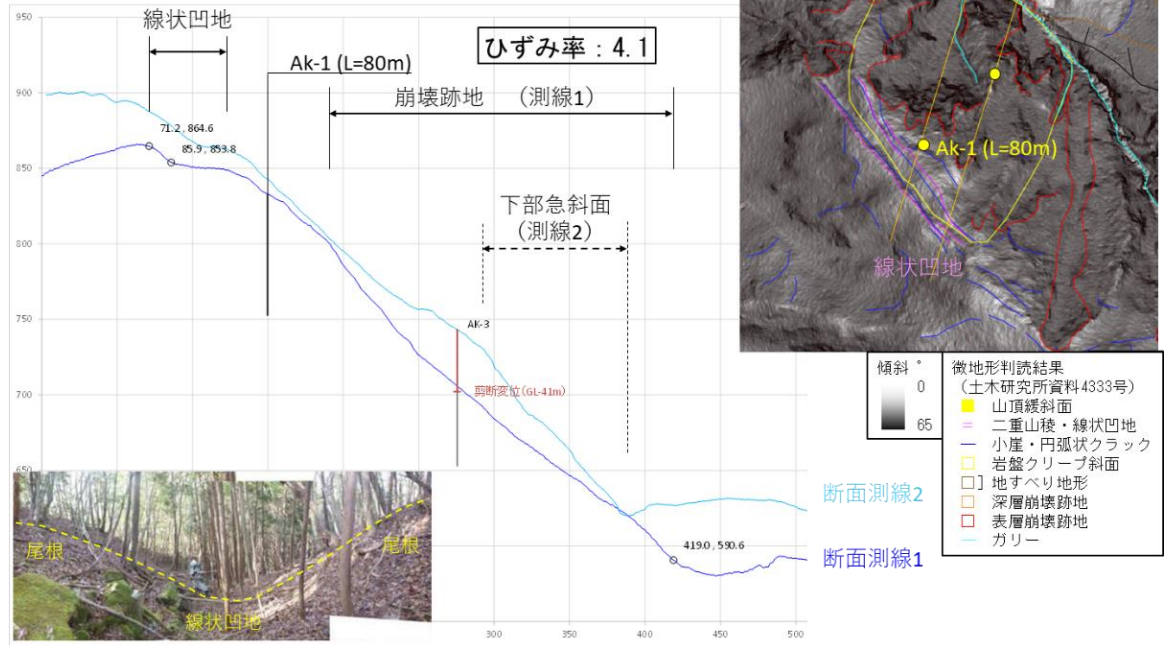


図-9 千木良ら²⁾による深層崩壊発生危険斜面の地質・地形的抽出法

(a) 【赤谷西 1】

- ・ 重力変形斜面、頭部に線状凹地が存在する。
(幅 42m、深さ 8m)
- ・ 赤谷西 2 より、線状凹地、下部急斜面が大きい。



(b) 【赤谷西 2】

- ・ 重力変形斜面、頭部に線状凹地が存在する。
(幅 11m、深さ 1m)

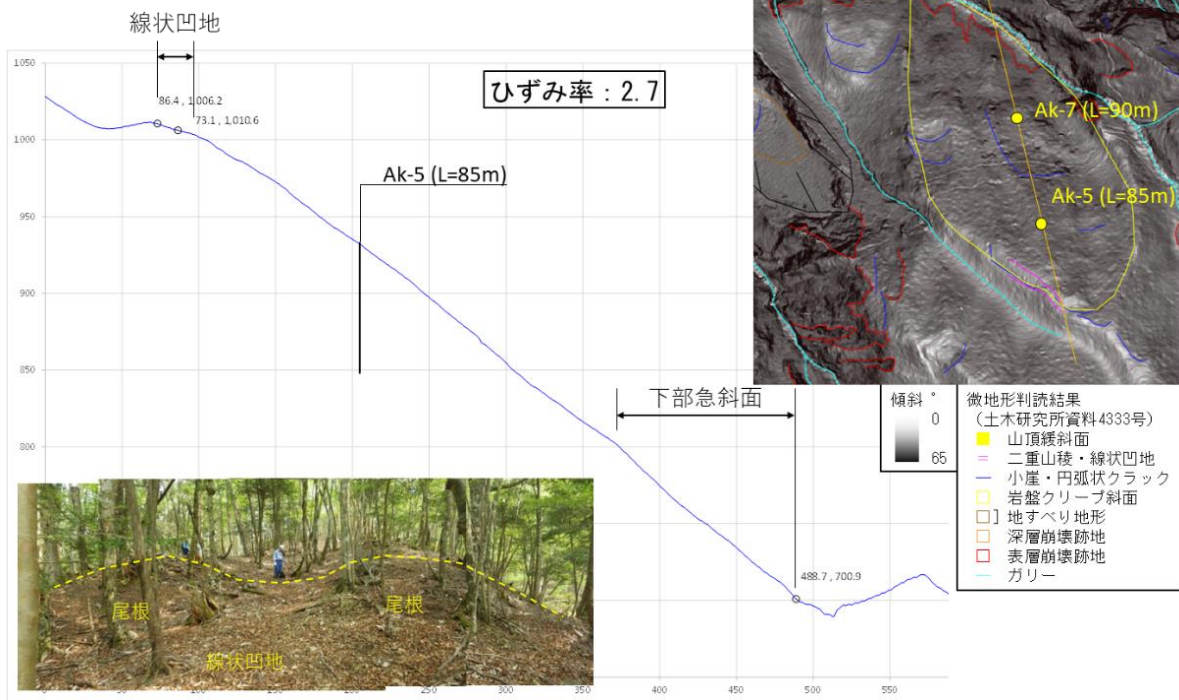
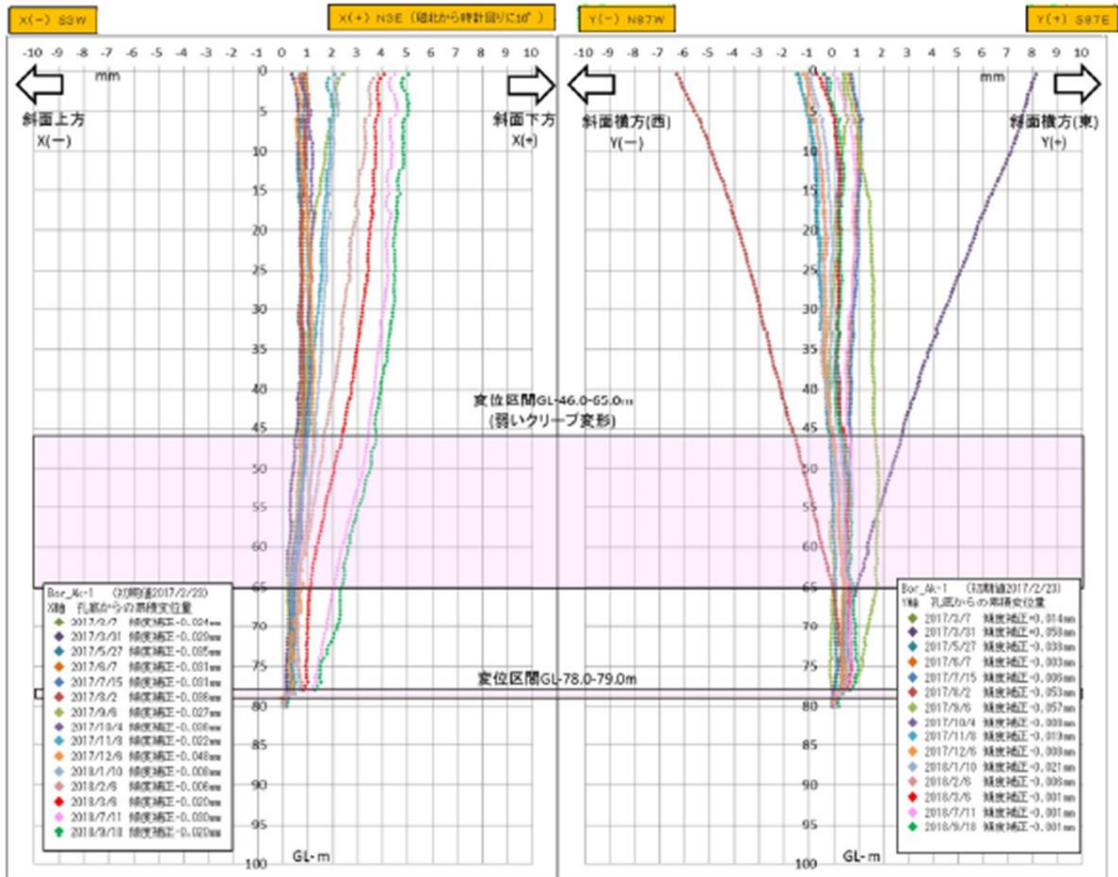


図-10 赤谷西 1・2 地区のひずみ率の算出方法

(a)



(b)

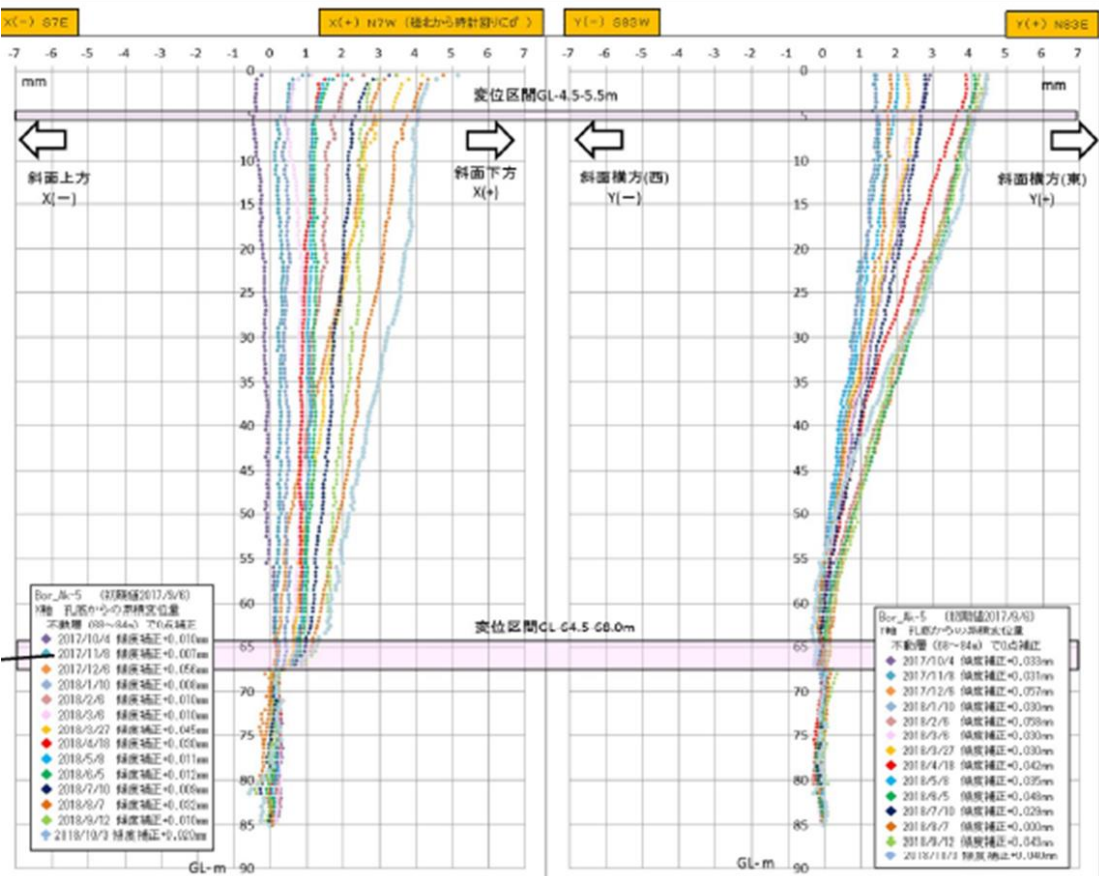


図-11 (a)赤谷西1地区, (b)赤谷西2地区の孔内傾斜計によるひずみ観測結果

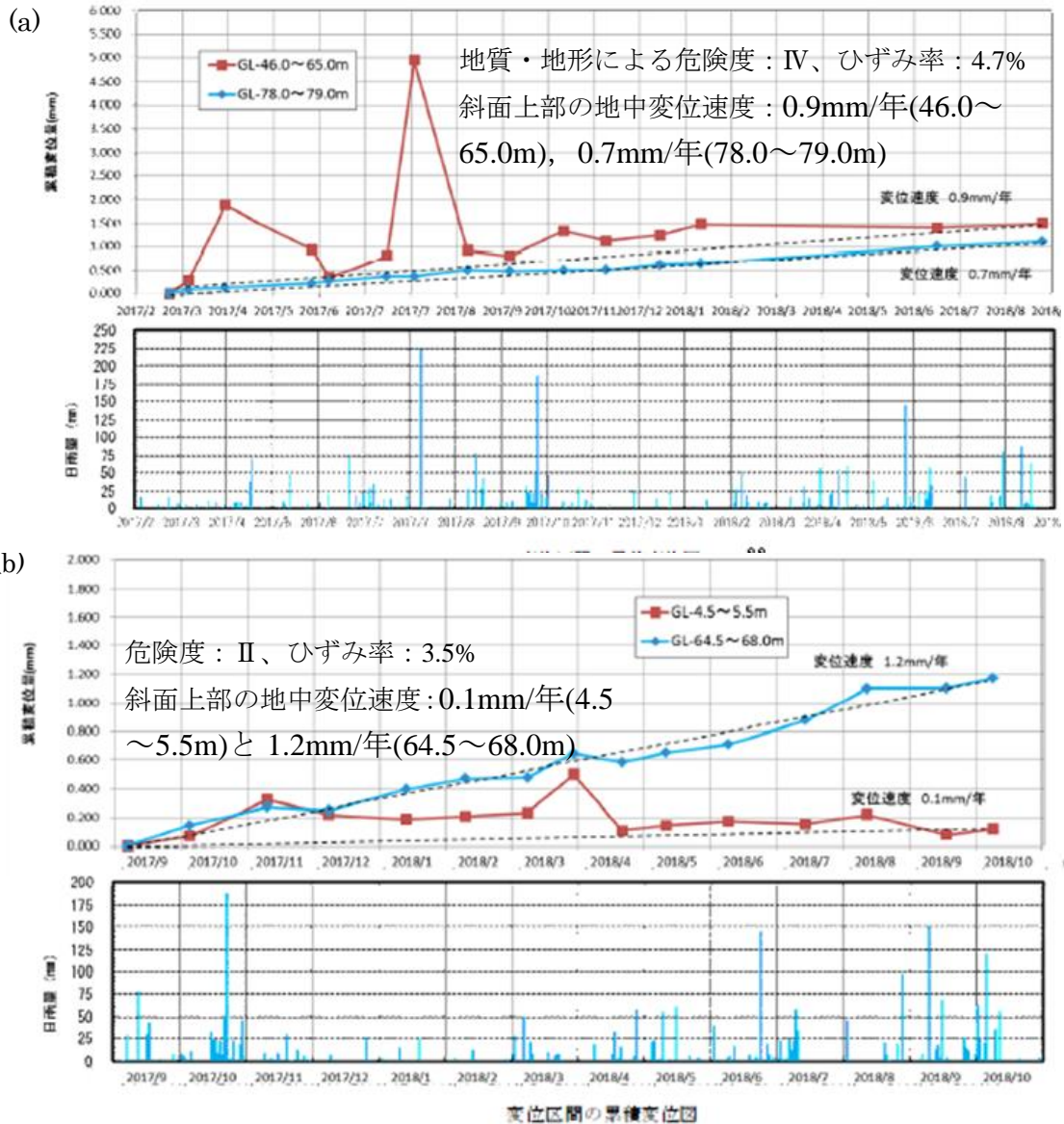
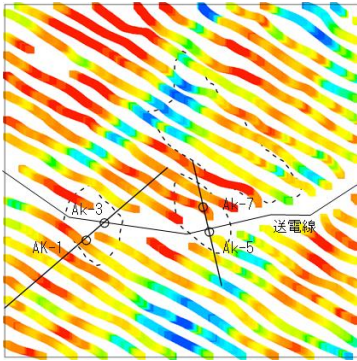


図-12 (a)赤谷西1地区、(b)赤谷西2地区の孔内傾斜計による崩壊面付近の変位

白部分が存在するため、その部分を補完する必要がある。また、ノイズ等により特異値を示すエリアもあるため、平滑化しその部分を補正する。図-14に比抵抗分布のカラースケールの検討方法を示す。得られた比抵抗分布は比抵抗値によって青や赤、黄により色づけしてグラフィック化する必要があるが、その表示方法は等差スケール・等比スケール・等頻度スケールの3タイプが考えられる。これについては、それぞれの地質や箇所毎に異なると考えられるが、紀伊山系の場合は崩壊面や地下水位等が等頻度スケールにした場合に最も見やすく表示されたため、本研究では等頻度スケールで表示した。この原因として、紀伊山系の場合は低比抵抗値がほとんどをためと考えられる。図-15に鉛直方向の比抵抗断面の作成プロセスを示す。電磁波の周波数によって、5深度の比抵抗データが得られる。これらを平面の場合と同様に補間・補正を行う。地下200mを超える場合は空白部分が多いため、本研究では、地表から地下200mまでを研究対象とした。

図-16に赤谷西1・2地区の比抵抗断面と鉛直プロファイルを示す。赤谷2地区の方が比抵抗断面に

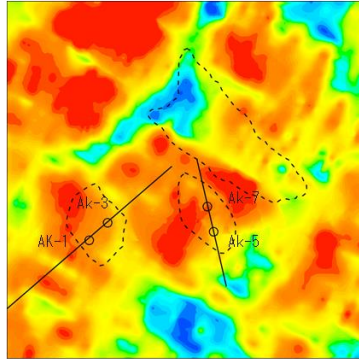
測定データ



測定時送電線は被災しており、通電に伴うノイズは無い。

送電線等の支障物で一部に補間が広い領域あり

マッピング(平面補間)



グリッドレベリング(平面補正)

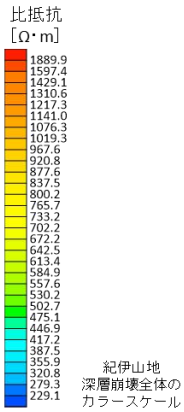
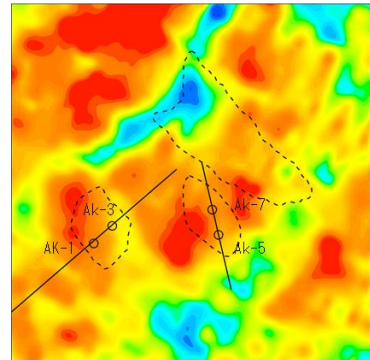
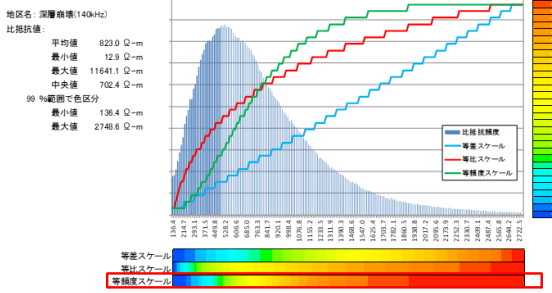


図-13 比抵抗の平面分布の作成プロセス(補間・補正)

深層崩壊全体(表層140kHz)



現在紀伊山地の空中電磁探査データの着色は、2012年度に測定した全範囲(那智川を除く)の表層(140kHz)比抵抗のヒストグラムに基づいて作成した、「等頻度カラースケール」を用いている。

今回、赤谷西エリアの比抵抗分布に特化したカラースケールを検討した。

←これまでに使用してきたカラースケール

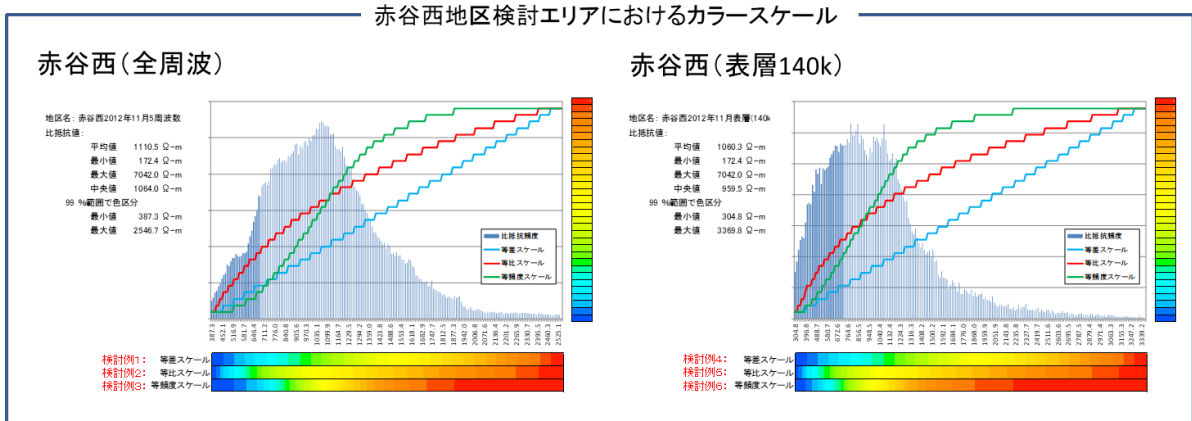


図-14 カラースケールの検討方法

比抵抗平面図

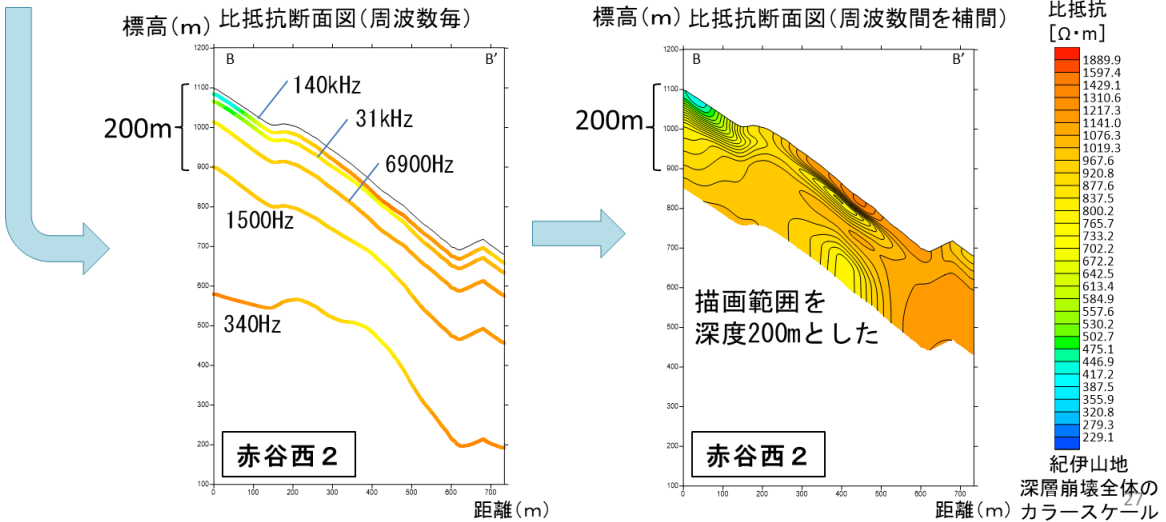
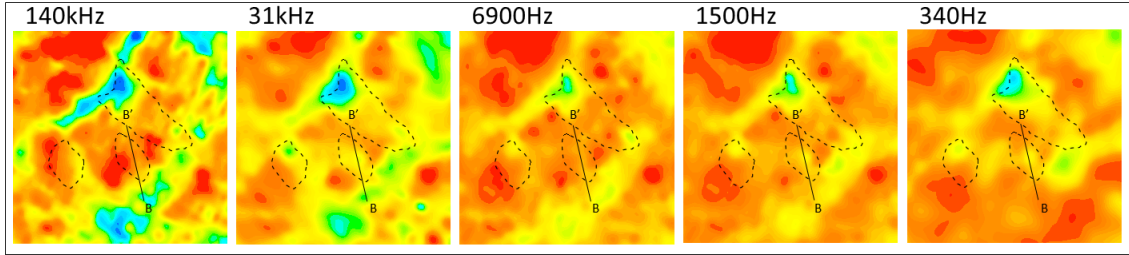


図-15 鉛直方向の比抵抗断面の作成プロセス

変化する面が見られ、深層崩壊危険度が高いことが示唆される。このことは、孔内傾斜計による変位速度の調査結果と同様であった。ボーリング番号 Ak-1 と Ak-7 については、変状が発生している層(破碎岩の分布している層)を合わせて示す。比抵抗値が変化している層で変状も発生していることが分かる。図-17 に、比抵抗の深度方向 1 次微分断面と鉛直プロファイルを示す。1 次微分をすることで、鉛直方向で最も変化が見られる箇所を探索することが可能となり、崩壊面である可能性のある層を抽出することができると思われる。

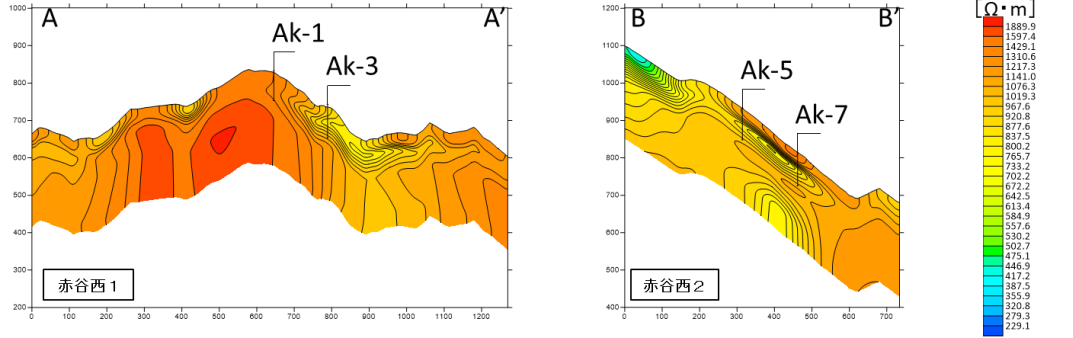
6. まとめ

本研究では、赤谷西 1・2 地区について、既往研究による危険度評価手法と空中電磁探査による比抵抗分布による評価手法を孔内傾斜計による変位速度と比較した結果、空中電磁探査による手法の方が危険度を適切に評価できていることが分かった。ただし、空中電磁探査による手法は補間・補正などが伴うため、地質境界がある場合など、精度が大きく落ちることも想定される。このため、複数の手法で検討する必要があると考えられる。また、目視によっても斜面の変形が進んでいるような斜面では、電気探査なども合わせて実施することで、危険度や崩壊面の位置などが精度良く推定できると考えられる。

参考文献

- 1) 木下篤彦・石塚忠範・高原晃宙・瀬戸秀治・野池耕平・森加代子・水野秀明：深層崩壊の発生する恐れのある斜面抽出技術手法及びリスク評価手法に関する研究，土木研究所資料，pp.1-18，2016.
- 2) 千木良雅弘・坂島俊彦・渋谷研一：深層崩壊発生危険斜面の地質・地形的抽出法について，平成 26

比抵抗断面



各ボーリング孔位置における比抵抗鉛直プロフィール

紀伊山地
深層崩壊全体の
カラスケール

図-16 比抵抗断面と鉛直プロフィール

比抵抗の深度方向1次微分断面：グリッドサイズ1m, 評価対象は着目点の上下1m 深度方向

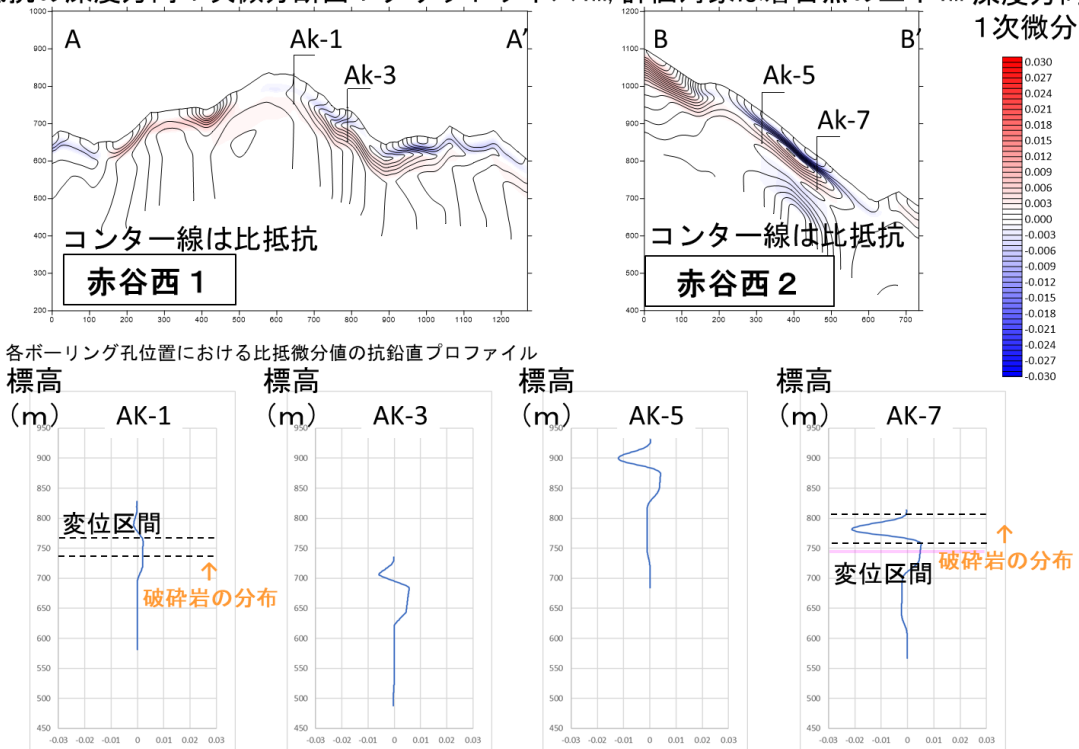


図-17 比抵抗の深度方向1次微分断面と鉛直プロフィール

年度砂防学会研究発表会概要集 A, pp.16-17, 2014.

- 3) 地頭菌隆・下川悦郎・寺本行芳：深層崩壊発生場予測法の提案－鹿児島県出水市矢筈岳山体を例にして－，砂防学会誌，Vol.59，No.2，pp.5-12，2006.