

空中物理探査等を用いた紀伊山系における重力変形斜面内の比抵抗特性

大日本コンサルタント株式会社 ○奥村稔・馬場敬之・河戸克志・金山健太郎

有限会社ネオサイエンス 城森明

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 小杉恵・竹下航・北本楽

1. はじめに

深層崩壊対策を具体的に検討するには、深層崩壊が発生する恐れのある斜面を抽出する必要がある。深層崩壊が発生する恐れのある斜面を抽出する手法は、UAV 空中電磁探査を利用して降雨後と乾燥期の比抵抗の違いから断層が斜面の地下水分布に大きな影響を与える可能性が示され¹⁾、ヘリコプター空中電磁探査と UAV 空中電磁探査を用いて広いエリアに多数存在する重力変形斜面の中から特に崩壊の危険性が高い斜面を抽出する方法が提案²⁾されている。

本報告は、既報の複合物理探査を用いた重力変形斜面の内部構造³⁾を踏まえたヘリコプター空中電磁探査、UAV 空中電磁探査、地上電気探査による斜面内部構造の比抵抗特性の把握と、降雨条件の異なる時期の測定によって重力変形斜面内部における比抵抗変化の確認を目的とした。

2. 調査地の概況

調査対象とした重力変形斜面は、奈良県吉野郡天川村枋尾地区の天ノ川に面した斜面である(図-1)。枋尾地区は、複数の重力変形斜面が存在し、ヘリコプター空中電磁探査による比抵抗構造に着目した対象斜面(D-02)で実施した。枋尾地区は、四万十帯付加体の分布地域で、既往ボーリングや電気探査の他に、水文調査や地表地質調査が実施されており、現在、枋尾地区内に設置された雨量計やボーリング孔内水位観測が継続されている。

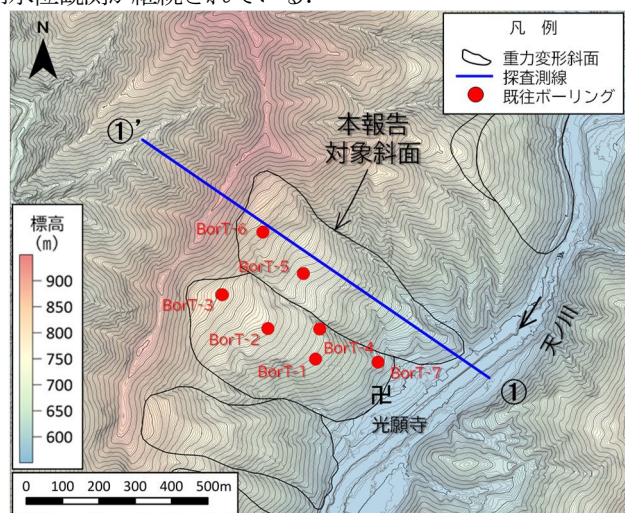


図-1 枋尾地区での重力変形斜面と物理探査測線位置

3. 空中物理探査等による比抵抗特性の把握

本報告では、過年度測定したデータとの対比を行うため、探査測線は同一測線として、地上電気探査と UAV 空中電磁探査を実施した。併せて2013年に実施したヘリコプター空中電磁探査データを使用して同じ探査測線での比抵抗断面図を作成し対比した。

3.1 ヘリコプター空中電磁探査

枋尾地区のヘリコプター空中電磁探査は、2013年11月11日と12日に実施し、14日先行累積雨量は55mm、28日先行累積雨量は388.5mm、90日先行累積雨量は1185.5mm

である。ヘリコプター空中電磁探査の比抵抗断面図を図-2に示す。地表から深度20~30m付近に斜面方向に沿った等比抵抗線集中帯が現れ、縦断距離750m付近に鉛直方向の等比抵抗集中帯が見られる。また、縦断距離100~400m付近は300~400Ω・m程度の低比抵抗を示す。

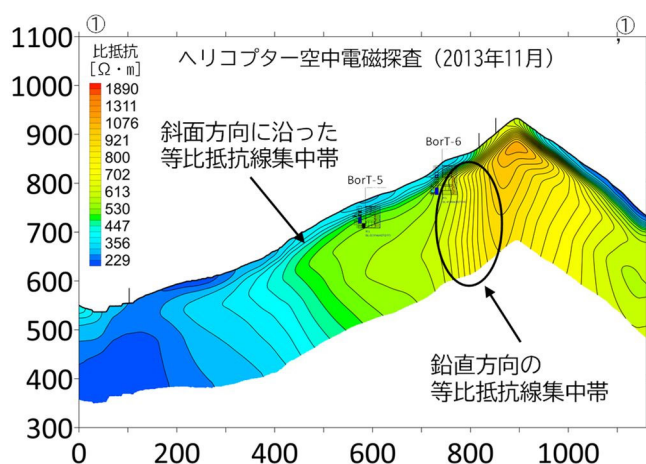


図-2 ヘリコプター空中電磁探査比抵抗断面

3.2 地上電気探査

地上電気探査は、過年度測定値と対比するため同一測線・同一手法(電流電極一対と電位電極一対を測線上に配置する4極法)で実施した。測定は2022年9月7日と13日に実施し、14日先行累積雨量は108mm、28日先行累積雨量は159.5mm、90日先行累積雨量は460mmである。地上電気探査の比抵抗断面図を図-3に示す。

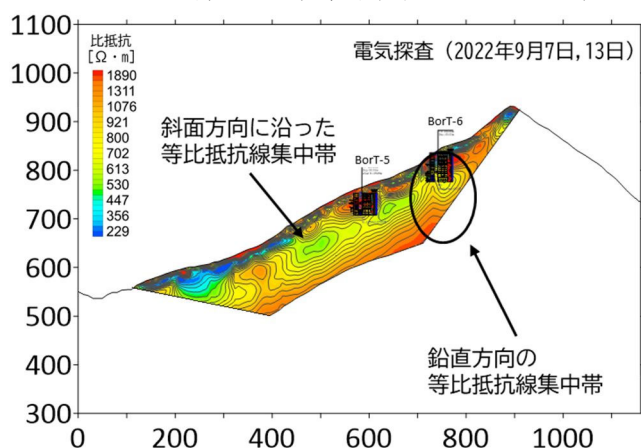
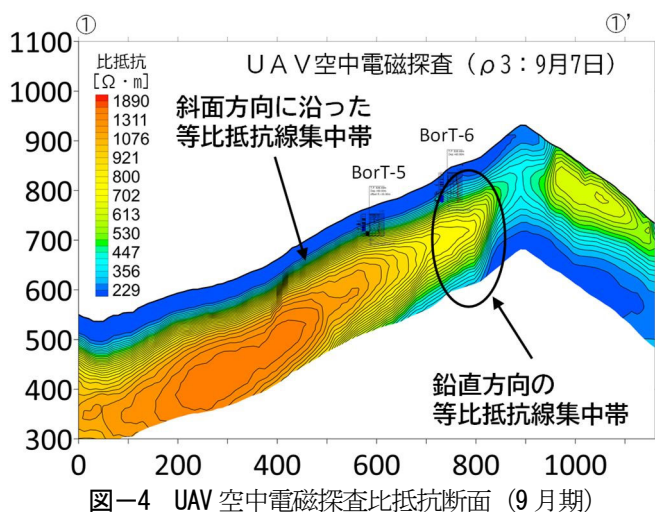


図-3 地上電気探査比抵抗断面

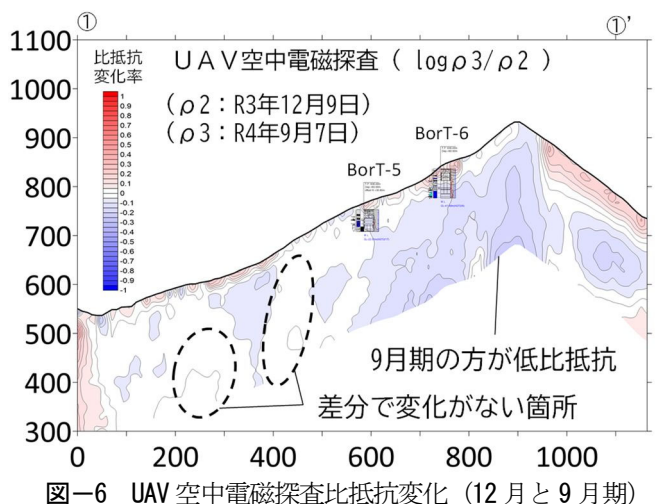
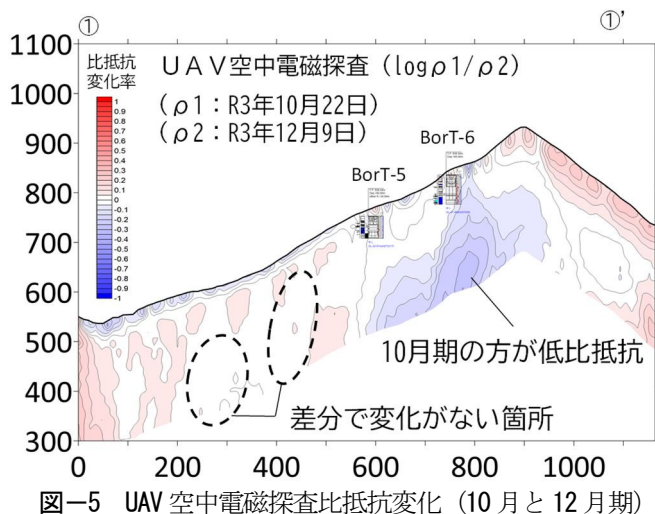
3.3 UAV 空中電磁探査

UAV 空中電磁探査は、地上送信型ドローン時間領域空中電磁探査システムを使用して、2021年10月22日(14日先行累積雨量は13.5mm、28日先行累積雨量は23.5mm、90日先行累積雨量は596mm)と2021年12月10日(14日先行累積雨量は92mm、28日先行累積雨量は119mm、90日先行累積雨量は293mm)及び2022年9月7日(14

日先行累積雨量は89mm, 28日先行累積雨量は143.5mm, 90日先行累積雨量は480.5mm)の計3時期で実施した。解析は1次元逆解析で求めた。今回実施した9月期の比抵抗断面図を図-4に示す。10月及び12月期測定結果については、既報³⁾を参照されたい。



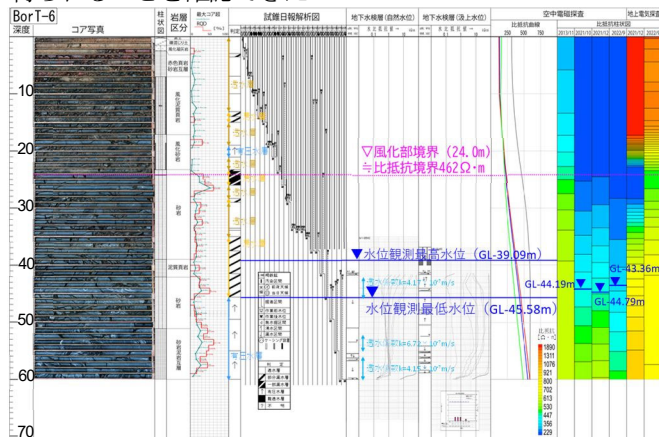
UAV 空中電磁探査の比抵抗断面図は、深度20~30m付近に斜面方向に沿って等比抵抗線集中帯が現れ、また縦断距離400m付近、650m付近及び800m付近に鉛直方向の等比抵抗線集中帯が見られる。また、UAV 空中電磁探査の3時期の比抵抗の違いを比抵抗変化率で示したのが図-5及び図-6である。



10月期と12月期の差分は、縦断距離600~900m付近で鉛直方向に広がる青色で示した箇所は、10月期の方が低比抵抗であったことを示しており、また9月期と12月期の変化率でも同様の傾向で、かつ青色部分が10月期と比べて広がっている状況である。これは28日以降の先行累積雨量の違いを反映しているものと考えられる。また、変化率表示で先行降雨に関係なく変化がない箇所も存在し、この箇所の地山状況(物性等)の確認が今後の課題と考えている。なお、時間軸における比抵抗構造の違いが検討できることは、複数時期の計測が低コストで簡便に実施できるUAV 空中電磁探査の大きな利点である。

4. 空中物理探査等による斜面内部構造

ボーリング結果と比較をすると、深度20~30mにみられる斜面方向に分布する等比抵抗線集中帯の下限深度は、風化帯の下限深度(Bor-T-6孔深度24m)とほぼ一致した(図-7)。また、地下水位との対比では、UAV 空中電磁探査結果における低比抵抗300~400Ω·m程度以下の下限深度と一致する傾向にあり、各物理探査手法と組合わせて「土砂・風化岩」と「新鮮岩」境界、地下水位の推定ができる結果が得られることを確認できた。



一方、縦断距離800m付近に現れた鉛直方向の等比抵抗線集中帯については、ボーリングや調査箇所の現地踏査では確認できなかったが、栃尾地区以外まで踏査を広げた結果、断層破碎帯または地質境界であることは確認できた。

5. まとめと今後の展望

本検討では、物理探査手法における比抵抗特性から斜面内部構造の推定法が検討できた。今後、深層崩壊危険斜面を抽出する手法や斜面のリスク評価手法の高度化に向けて、比抵抗構造の分類と地質・地下水情報の関係について検討を進めていきたい。

謝辞：公立大学法人大阪市立大学三田村宗樹教授、公益財団法人深田地質研究所松澤真主任研究員には、検討方針等多くのご指導を頂きました。記して感謝申し上げます。

参考文献 1)木下ら(2021):2011年台風12号により深層崩壊が発生した熊野地区でのドローン空中電磁探査による深層崩壊メカニズムの解明,令和3年度砂防学会研究発表会概要集,pp.127-128. 2)木下ら(2022):ヘリコプター及びドローン空中電磁探査を活用した深層崩壊リスク評価技術の開発,2022年度日本地すべり学会研究発表会概要集, 3)河戸ら(2022):奈良県天川村栃尾地区における複合物理探査による重力変形斜面の内部構造,令和4年度砂防学会研究発表会概要集