

UAV 空中電磁探査データの空間フィルタ解析による重力変形斜面の可視化

大日本ダイヤコンサルタント株式会社 ○金山健太郎・馬場敬之・奥村稔・河戸克志

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 竹下航

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し、その崩壊規模を推定する必要がある。

深層崩壊が発生する恐れのある斜面を抽出する手法の一つとしては、近年実装された UAV 空中電磁探査のデータを用いて、降雨条件の異なる時期の比抵抗の違いから重力変形斜面内部における地下水集中帯を抽出できる可能性が示されている¹⁾。

一方で、崩壊規模を推定する手法としては、ヘリコプター空中電磁探査のデータを用いて、空間フィルタ解析²⁾を行うことにより、空間的な比抵抗急変部を抽出することで、重力変形斜面の緩み域下端深度を推定する方法³⁾が検討されてきたが、UAV 空中電磁探査のデータへ適用した事例については、これまで報告されていなかった。

本報告では、2022 年 9 月に取得した UAV 空中電磁探査のデータを用いて、空間フィルタ解析を行い、空間的な比抵抗急変部を抽出するとともに、崩壊規模の推定に有効となる、重力変形斜面の可視化手法を検討した。

2. 調査地の概況

研究対象は、奈良県吉野郡天川村柅尾地区の天ノ川に面した斜面である(図-1)。LP データによる詳細な地形図から判読された 5 箇所の重力変形斜面が分布する。柅尾地区の地質は、四万十帯(北帯)の花園層と美山層であり、砂岩・頁岩および砂岩頁岩互層が主に分布する。

地質調査は、本研究における UAV 空中電磁探査の他に、地上電気探査等の物理探査や、ボーリング調査が実施されており、現在、柅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。

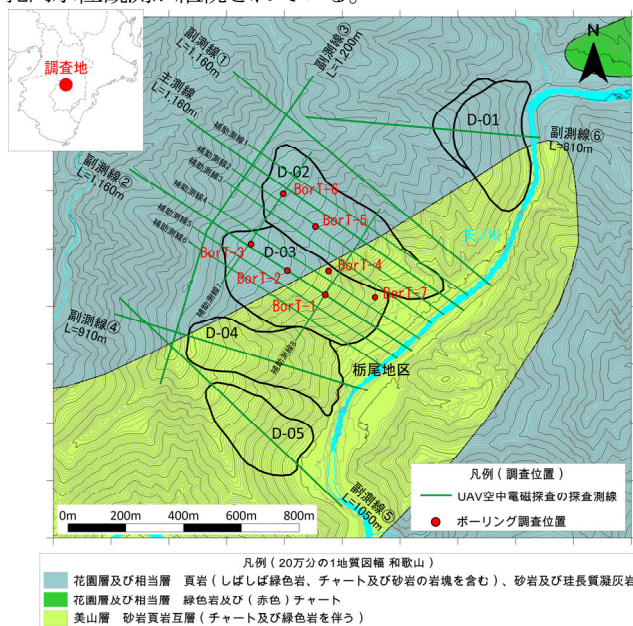


図-1 柅尾地区の重力変形斜面と探査測線位置

3. UAV 空中電磁探査による比抵抗測定

本報告の検討に用いた UAV 空中電磁探査のデータは、2022 年 9 月 7 日の測定により取得したものである。測定日に降雨は観測されておらず、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 であった。探査測線は、5 箇所の重力変形斜面 (D-01~D-05 斜面) において、ひずみ率を算定した位置を基準に 7 本(主測線、副測線①~⑥)を配置した。また、三次元モデル作成を目的として、D-02 と D-03 斜面に 8 本の補助測線を配置している。取得した比抵抗データは三次元座標で管理し、探査測線の比抵抗断面図等を作成した(図-2)。

なお、測定結果の詳細および、比抵抗断面図から判読した比抵抗構造については、既報¹⁾を参照されたい。

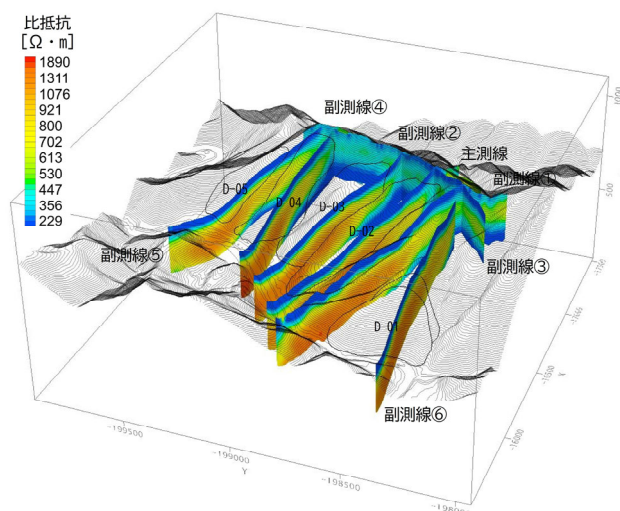


図-2 UAV 空中電磁探査の比抵抗断面(疑似鳥瞰表示)

4. 空間フィルタ解析

UAV 空中電磁探査で取得する比抵抗($\Omega \cdot m$)は、粘土の含有量と体積含水率(=間隙率 $\times$ 飽和度)を反映していることから、比抵抗の変化は斜面内部の地質や地下水の状態変化を示している。深層崩壊の素因となる地盤構造は、基盤内の弱部、緩み域下部の飽和層などが考えられるため、地質や地下水状態が不連続に変化する深度は比抵抗が空間的に急変する深度として把握でき、比抵抗が急変する深度から崩壊深度を推定できる可能性がある。

本検討では、微分フィルタを用いて深度方向の比抵抗の差分から比抵抗が急変する深度を求める「比抵抗エッジ抽出法」²⁾を用いて、鉛直 1 次微分フィルタによる解析を行った。微分フィルタによる計算は、比抵抗断面図から比抵抗メッシュを作成し、評価対象セルにフィルタの原点を合わせ、対応するセル同士を乗算し、これを全て合算(積和演算)するものである。1 次微分フィルタでプラス(赤色)表示の着色セルは、浅部から深部に向かって比抵抗が高くなることを示している。また、計算値が大きくなるセルが最大変化のセルである。

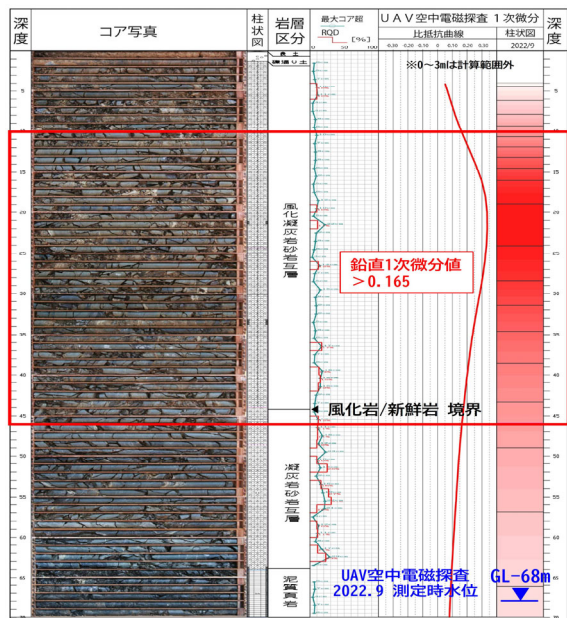


図-3 鉛直1次微分値とボーリングコアとの対比例 (D-03 斜面 Bor-T-1)

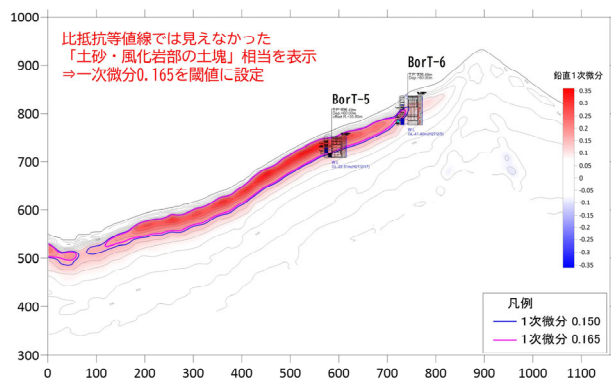


図-4 比抵抗断面の鉛直1次微分値表示 (D-02 斜面 主測線)

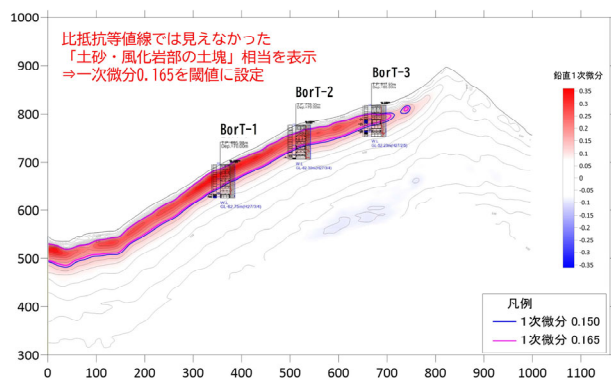


図-5 比抵抗断面の鉛直1次微分値表示 (D-03 斜面 副測線②)

解析結果について、ボーリング柱状図との対比結果(代表例 D-03 斜面 Bor-T-1)を図-3に示す。栃尾地区の全7孔のボーリング調査結果と対比したところ、土砂・風化岩部は鉛直1次微分値がプラス0.165以上の領域に相当した。下端深度の相関性はR2値が0.89である。これは、①土砂・風化部が不飽和層であること、②浅部から深部にかけて強風化岩盤(低比抵抗:粘土の含有量が多い)から亀裂性岩盤(高比抵抗:粘土の含有量が少なく、空隙が多い)へと変化することにより起因すると考えられる。緩み域下端深度より深部では、鉛

直1次微分値はゼロからマイナスとなる。これは、①飽和層となることや、②岩盤の亀裂(空隙)が減少することが影響していると考えられる。

次に、鉛直1次微分値プラス0.165を閾値に設定し、該当する領域を赤色系統で示した比抵抗断面図を図-4(D-02 斜面)と図-5(D-03 斜面)に示す。微分値の閾値を設定することにより、土砂・風化岩部相当の領域を区分した。

5. 重力変形斜面の可視化

空間フィルタ解析結果を反映した比抵抗断面図は主測線と副測線に加えて、補助測線でも作成し、さらに三次元モデルを作成した(図-6)。鉛直1次微分値を三次元表示することによって、比抵抗等値線では判別しづらい領域を可視化することができ、斜面内部構造の把握精度を向上させるものと期待できる。

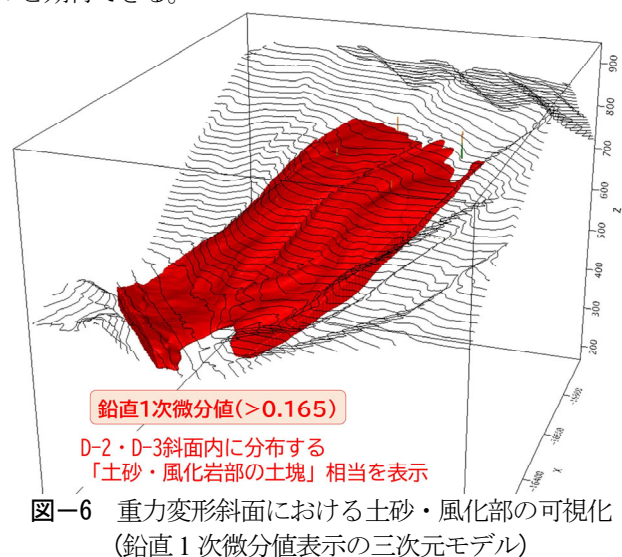


図-6 重力変形斜面における土砂・風化部の可視化 (鉛直1次微分値表示の三次元モデル)

6. まとめと今後の展望

本検討では、UAV 空中電磁探査のデータを用いた空間フィルタ解析を行い、空間的な比抵抗急変部を抽出することで、重力変形斜面における土砂・風化部を可視化することができた。この手法は、深層崩壊の崩壊規模推定に有効であると考えられる。

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、さらに検討を進めていきたい。

謝辞 本検討にあたり、大阪公立大学の三田村宗樹教授、深田地質研究所の松澤真主任研究員(現所属先 京都大学)には、貴重なご意見を頂きました。記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 奥村ら(2023): 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, 令和5年度砂防学会研究発表会概要集, pp.543-544.
- 2) 瀬戸ら(2016): 空中電磁探査を活用した崩壊するおそれのある斜面における崩壊深度の推定手法に関する検討, 平成28年度砂防学会研究発表会概要集, pp.A-244-245.
- 3) 林ら(2017): 重力変形斜面における空中電磁探査を用いた崩壊深推定手法の検討, 平成29年度砂防学会研究発表会概要集, pp.62-63.