

空中電磁探査（ヘリコプター）を用いた深層崩壊素因平面図の検討

大日本ダイヤコンサルタント株式会社 ○奥村稔・馬場敬之・金丸諒太郎・東篤義・野崎勇佑
紀伊山系砂防事務所 竹下航・山田啄也・青野友哉
大規模土砂災害対策技術センター 高原晃宙

1. はじめに

2011 年台風第 12 号によって紀伊山地では深層崩壊が多発し甚大な被害が生じた。深層崩壊による被害を防ぐ、あるいは軽減するためには事前に深層崩壊が発生するおそれのある斜面（以下「深層崩壊危険箇所」という）を抽出するとともに、発生規模の推定を行う事が重要である。

深層崩壊危険箇所は LP による微地形判読等からの抽出が研究されてきたが、岩盤クリープに着目した地表面情報からの絞り込みに限界があり、地盤内部の情報を加えるために、広域の地盤情報を得る手段として空中電磁探査が注目され、その活用の可能性が確認されている¹⁾。一方、広域で重力変形斜面の判定に空中電磁探査を用いる場合、比抵抗断面図や微分図を斜面ごとに作成し、膨大な作業量を伴う点や、判読者の主観・経験に左右されやすく客観性の確保が困難である点が課題であった。

そこで、本研究では、客観性の確保を目的として、空中電磁探査データの解析プロセスを数値化することにより、従来の「断面単位の定性的評価」から「定量的な面的評価」への拡張を試みた。そのために、「深層崩壊素因平面図」を作成し、その有効性を検討することとした。

2. 空中電磁探査データの概要

2.1 使用データ

本研究で用いる空中電磁探査データは、紀伊山地砂防事務所が 2012 年度～2014 年度に取得した中の一部で、ヘリコプター曳航型、周波数領域空中電磁探査法（RESOLVE）による取得である。なお、現在空中電磁探査法は多様化しており、その詳細は『物理探査ハンドブック第三版』²⁾を参照されたい。

2.2 事前処理

本研究では、定量的な素因抽出を実現するため、測定当時の解析技術では実用的でなかった「比抵抗差分解析」³⁾を適用した。これは、低周波数（深部）データに含まれる浅層（高周波数帯）の影響を、表皮深度や有効深度に基づく電気伝導率差分から数学的に分離する手法である。これにより、地下構造を、より細かな解析単位で分析可能になった。

3. 深層崩壊素因の可視化検討

木下ほか（2013）⁴⁾は、深層崩壊 8 地区の隣接未崩壊の斜面で空中電磁探査の比抵抗断面構造を分析し、共通の特徴として、①斜面深部に地質不連続面の可能性がある高角度の比抵抗構造の存在と、②斜面頂部から崩壊部にかけて斜面に平行した低・中比抵抗の連続（含水状態を反映した可能性）があることを確認し、これが後続の研究で継承されている。ここでいう①②の比抵抗構造は、断面図上の抽出であり、平面的な連続性表現を実現していないため、抽出には多数の断面図の作成と判読が必要となる。

本研究は、空中電磁探査実施範囲のうち和歌山県熊野地区を対象に、この課題に取り組んだもので、空中電磁探査で

得られた比抵抗構造から、「比抵抗リニアメント」、「斜面に沿った分離面構造」、「ゆるみ深度」を平面図として可視化した。

3.1 比抵抗リニアメントの抽出：図-1

比抵抗平面データ（10m グリッド）の平面一次微分（空間フィルタ）により、断層や地質境界の可能性を示す「比抵抗ギャップ」を線状構造として抽出した。空間フィルタの工夫として、微分方向を南北、東西に加え、北東-南西、北西-南東の計 4 方向を考慮したことと、微分値からの極値抽出フィルタを後処理で追加し、線構造を明瞭化した。この結果を産総研 1/5 万地質図と対比したところ、推定断層線や砂岩・泥岩の境界線と整合性を確認できた。

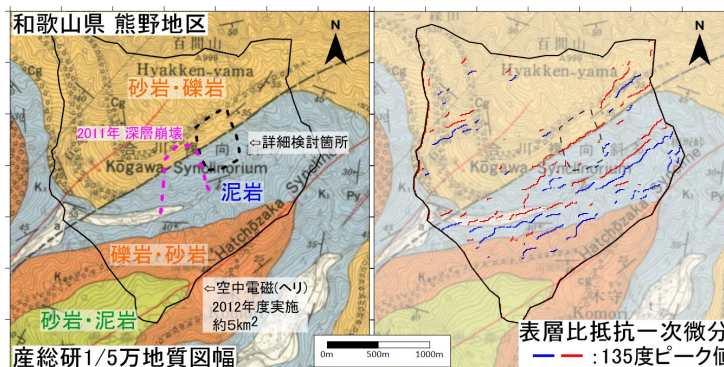
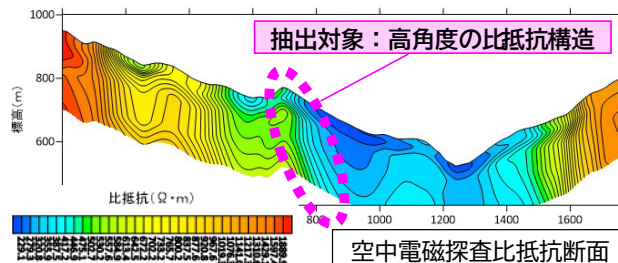


図-1 比抵抗リニアメント平面図（平面一次微分例）

3.2 斜面に沿った分離面構造の平面分布：図-2

特徴②を比抵抗断面図で抽出（判読）するには Laplacian フィルタの適用（画像処理ではコントラストの強調を期待）が考えられる。Laplacian フィルタは、構造境界、深層崩壊斜面においては斜面に沿った比抵抗の変化面（すべり面のような分離面の可能性）を微分値のゼロ位置として検出する一方で意味のないノイズを拾う可能性がある。そのため斜面方向に対して、プラスマイナス同時に強い微分値が連続出現することを従来法は判定基準としていた（図-2(a)）。

この基準を面的に適用する場合、各点の深度変化を効率良く処理する手法が鍵となる。先行研究では、あらかじめ平面 10m 毎の格子点で、深度 10m 毎の比抵抗を抽出しておき、その串刺し解析を行った例がある⁵⁾。意味的に鉛直一次微分とも言えるが、本研究では断面図検討と整合のため計算方法を変更し鉛直二次微分相当の計算式とした（図-2(b)）。図化結果は従来法（図-2(a)）と比較し整合性を確認した。

3.3 ゆるみ深度（層厚）分布平面図：図-3

崩壊深度の推定についての先行研究は比抵抗断面図の鉛直方向の変化(鉛直一次微分)に着目し、ボーリング地点での鉛直方向への最大変化点、つまり一次微分の極値の深度を用いる方法が提案されている⁹⁾。本研究では、まず3.2で準備した深度別格子点データで検討したが、精度が悪く、飛行測線沿いの鉛直一次微分図のデータから一次微分の極値を抽出して(図-3(a))、その深度を平面に展開した(図-3(b))。この深度の検証にはボーリングで確認された「ゆるみ深度: 既往地質調査で確認されたゆるみ領域下限深度」を用いたが、それとの相関係数は0.87であった(図-3(c))。

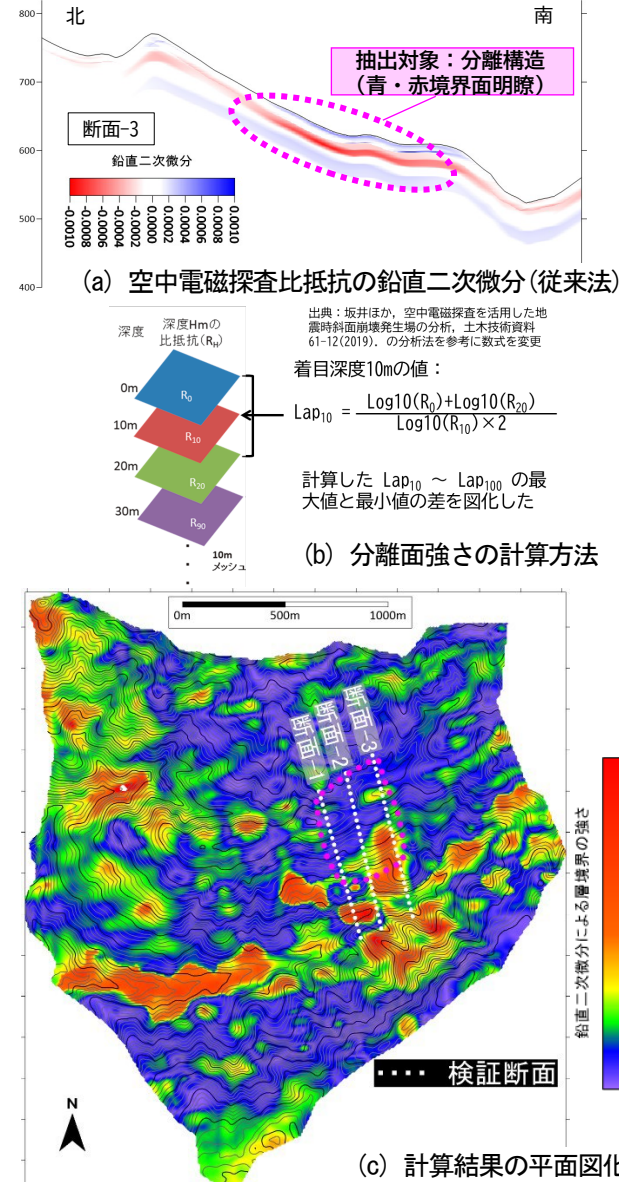


図-2 斜面に沿った分離面構造の平面分布

4. おわりに(結論と今後の課題)

本研究では、広域調査可能なヘリコプター曳航の空中電磁探査装置で取得した3次元比抵抗データを解析し、これまで断面図で判読していた比抵抗構造や深度抽出の平面可視化を実現できた。これは、深層崩壊の素因となる特徴的空間分布を整理・可視化できたものであり、「深層崩壊素因図」としての活用可能性を示すものである。しかし、現時点では深層崩壊の危険度や崩壊規模を直接評価するものではなく、今後、複数素因の組合せによる数値的なリスク

評価へと発展させていきたい。

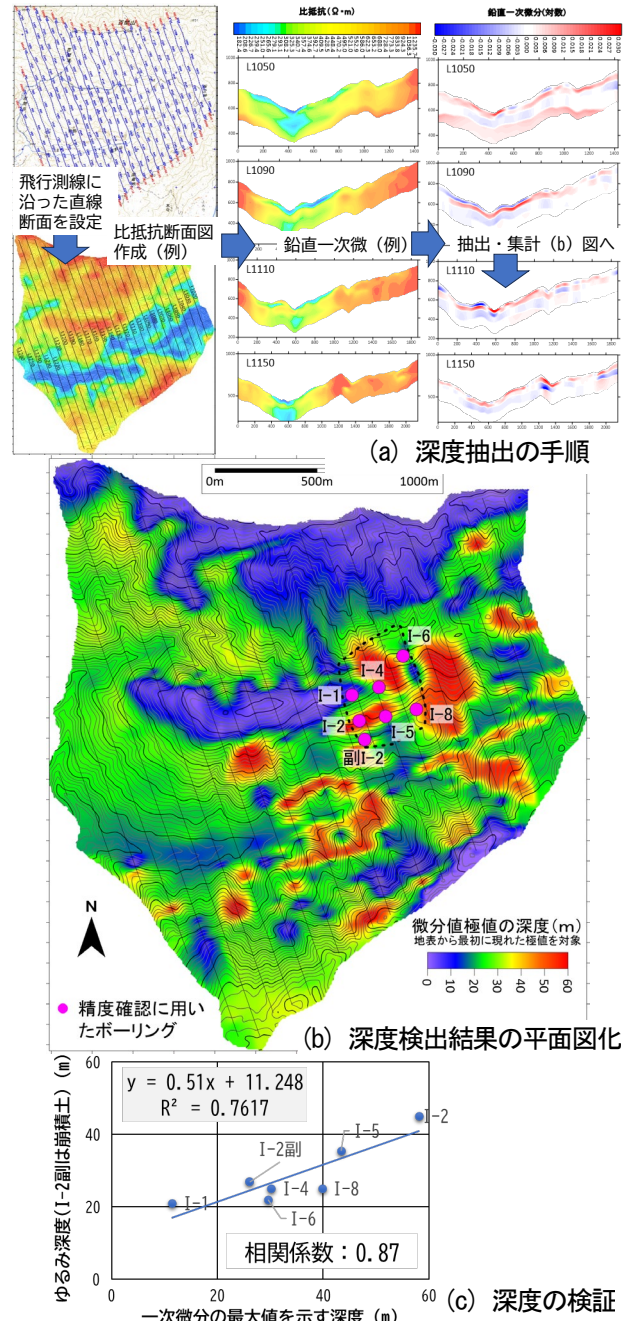


図-3 ゆるみ深度(層厚)分布平面図 手法と検証

参考文献

- 1) 土木研究所: 大規模土石流・深層崩壊・天然ダム等異常土砂災害の被害推定・対策に関する研究, 重点プロジェクト研究報告書, No. 2, 1, 2015
- 2) 物理探査学会: 物理探査ハンドブック第3版, 7.2節, 2024.
- 3) Huang, H. and Fraser, D. C.: The differential parameter method for multifrequency airborne resistivity mapping, Geophysics, 61, 1, 100-109, 1996.
- 4) 木下ほか: 平成23年台風12号により紀伊半島で発生した深層崩壊周辺の広域比抵抗構造特性, 第62回砂防学会研究発表会概要集, Pb-46, 2013
- 5) 坂井ほか: 空中電磁探査を活用した地震時斜面崩壊発生場の分析, 土木技術資料, 61, 12, 40-45, 2019.
- 6) 林ほか: 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, 第60回砂防学会研究発表会概要集, R1-31, 2017