

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

国立研究開発法人土木研究所 瀬戸秀治^{※1}，高原晃宙，木下篤彦，水野秀明
大日本コンサルタント株式会社 ○奥村 稔，河戸克志，影浦亮太，阿部征輝
(現所属 ※1：応用地質株式会社)

1. はじめに

わが国には110もの活火山が分布している。火山地域では、降下火砕物や溶岩流・火砕流堆積物といった性質の異なる地質が流れ盤構造で積み重なり、不安定な斜面を形成している。このため、直接的な火山活動以外でも、御嶽山（1984年）や栗駒山（2008年）のように火山体の一部が崩壊し、大規模な土砂災害が発生する場合がある（山越ら，2012）。このような土砂災害を軽減するためには、各火山において崩壊の発生の恐れのある斜面と崩壊土砂量を事前に把握し、火山砂防計画に適切に反映することが求められている。

近年、火山地域での山体内部構造調査として空中電磁探査を活用した研究実績が蓄積され、崩壊に関与する比抵抗パターン¹の類型化や崩壊土砂量の概算が試行されている（瀬戸ら，2015）。しかしながら、崩壊深度の推定手法は提案されておらず、崩壊の発生の恐れのある斜面の範囲や崩壊深度を精度良く求める手法の確立が必要である。

本稿では、空中電磁探査の比抵抗断面情報に基づいた崩壊深度の推定手法と適用結果について報告する。

2. 比抵抗の解釈方法の整理

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×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。一方、大規模な崩壊の発生は、岩盤の強度や地下水状態が関係すると考えられている。そこで、地質や地下水状態が不連続に変化する深度は比抵抗が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と考えた。

既往研究では、比抵抗断面に表現される比抵抗等値線（比抵抗コンター）間隔の粗密の程度や、深度方向の比抵抗曲線の形状に着目して、比抵抗が急変する深度を求めている。しかしながら、これらの方法では比抵抗が変化する傾向は読み取れても、比抵抗の変化の程度や、急変している深度を数値化するなど具体的な方法は報告されていない。

ところで、比抵抗急変部の抽出はデジタル画像処理のエッジ抽出と同様の考え方であり、デジタル画像処理を応用すれば、比抵抗の変化の程度や急変している深度を数値化できる。そこで、デジタル画像処理〔改訂新版〕編集委員会（2015）を参考に深度方向に比抵抗が急変する深度を求める手法として「比抵抗エッジ抽出法」を検討した。

3. 比抵抗エッジ抽出法の概要

比抵抗エッジ抽出法は、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方法である。ここでは、深度方向の1次微分フィルタと2次微分フィルタを検討した。1次微分フィルタは深度方向の差分を求めるもので、2次微分は深度方向の差分を2回繰り返したものである。

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（図-1a）。微分フィルタの計算例を図-1bに示す。1次微分フィルタでマイナス表示の着色セルは、浅部から深部に向かって比抵抗が低下してい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。また、2次微分フィルタでは、計算値がマイナスからプラスへ、あるいはプラスからマイナスへ変化するちょうど0になる位置（ゼロ交差）が最大変化点となる。



図-1 深度方向の微分フィルタの説明と計算例

4. 比抵抗エッジ抽出法の適用性検討

栗駒山ドゾウ沢崩壊は、地質状態の急変部で崩壊が発生しており、空中電磁探査が測定されている。そこで、当該崩壊地において、崩壊深度の推定方法として比抵抗エッジ抽出法の適用性を検討した。

4.1 栗駒山ドゾウ沢崩壊斜面の地質と崩壊深度

栗駒山ドゾウ沢崩壊は、2008年岩手・宮城内陸地震によって発生した。ドゾウ沢崩壊地の地質は、上位から下位に向けて溶岩 (An)、変質凝灰角礫岩 (Al)、凝灰角礫岩 (Tb) からなり、崩壊は変質凝灰角礫岩の中で発生している。滑落崖での変質凝灰角礫岩の分布深度は深度28m~51mで、層厚は23mである (図-2)。

4.2 栗駒山ドゾウ沢崩壊斜面での比抵抗エッジ抽出結果

ドゾウ沢崩壊地の全体の比抵抗断面図を図-3に、滑落崖周辺の比抵抗断面図と深度方向の比抵抗曲線を図-4左に示す。安山岩は $200\Omega\cdot m$ 以上、凝灰角礫岩は $150\Omega\cdot m$ 以下を示している (図-3)。比抵抗が変化する区間は、崩壊が発生した変質凝灰角礫岩に該当するが、上位の溶岩や下位の凝灰角礫岩までも含まれている (図-4左)。このため、比抵抗断面や比抵抗曲線のみで崩壊深度の推定は精度的に劣ると考えられる。

比抵抗エッジ抽出法による1次微分フィルタの計算結果を図-4中に示す。1次微分フィルタで着目するマイナス表示の着色部は、変質凝灰角礫岩と下位の凝灰角礫岩の一部が含まれるが、比抵抗断面や比抵抗曲線と比較して崩壊深度の推定精度は向上している。また、比抵抗が急変する深度は33mと計算され、安山岩と変質凝灰角礫岩の地質境界である深度34mに近似する。

次に、2次微分フィルタの計算結果を図-4右に示す。2次微分フィルタで着目するマイナス表示に関連するゼロ交差深度は深度34m、深度54mと計算された。これらの深度は、安山岩と変質凝灰角礫岩の地質境界である深度28m、変質凝灰角礫岩と凝灰角礫岩の地質境界である深度51mに各々近似している。2次微分フィルタは、変質凝灰角礫岩の出現深度の他に、その基底深度も検討できる点が特徴と考えられる。

5. まとめと今後の展望

本研究では、崩壊深度の推定方法として比抵抗が急変する深度に着目し、微分フィルタを用いた比抵抗エッジ抽出法を提案した。さらに、地質状態の急変部で崩壊が発生した栗駒山ドゾウ沢崩壊地において比抵抗エッジ抽出法の適用性検討の結果を報告した。

比抵抗エッジ抽出法は、崩壊に関係する可能性がある比抵抗急変部を数値情報として取り扱えるため、比抵抗急変部の平面的な広がりや崩壊土砂量の試算などに応用できる可能性がある。今後、比抵抗エッジ抽出法の適用性と応用方法について検討を進めていく予定である。

引用文献

- デジタル画像処理 [改訂新版] 編集委員会 (2015) : デジタル画像処理 [改訂新版], 公益財団法人画像情報教育振興協会 (CG-ARTS 協会), p.100-112
- 瀬戸秀治・高原晃宙・木下篤彦・清水孝一・石塚忠範・河戸克志・奥村稔・影浦亮太 (2015) : 空中電磁探査を活用した火山体調査事例, 平成27年度砂防学会研究発表会概要集A, p.292-293
- 山越隆雄・一色弘充・石塚忠範・内田太郎・横山 修・河戸克志・奥村 稔・佐藤敏久 (2012) : 2008年岩手・宮城内陸地震による栗駒山崩壊斜面の三次元比抵抗パターン, 日本火山学会講演予稿集, p.109-110

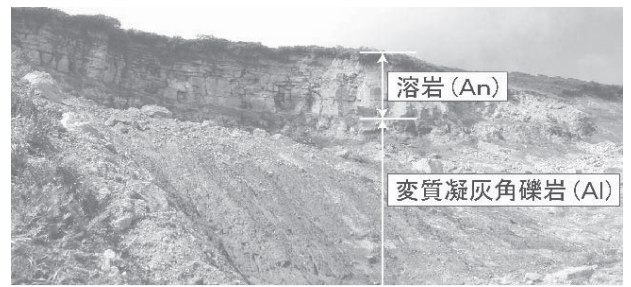


図-2 栗駒山ドゾウ沢崩壊地の状況

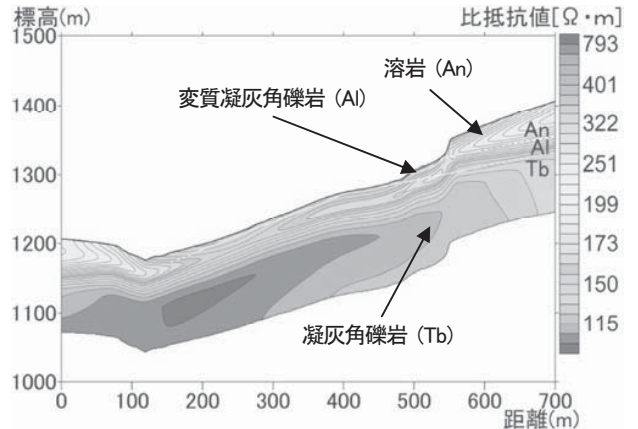


図-3 栗駒山ドゾウ沢崩壊地の比抵抗断面図

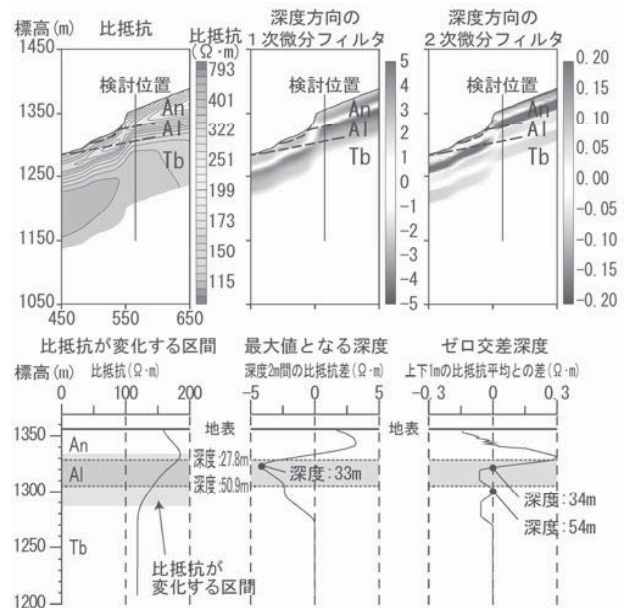


図-4 栗駒山ドゾウ沢崩壊地での適用結果