

物理探査技術を活用した深層崩壊リスク評価手法の 試行事例と今後の課題

木下篤彦・北本 楽・山越隆雄・中谷洋明

1. はじめに

2011年台風第12号では、紀伊半島の72箇所では深層崩壊が発生し、17箇所では河道閉塞し、天然ダムが発生した。紀伊半島では、これまでの発生履歴の調査結果から、将来的に再度深層崩壊が発生する可能性が高いため、ハード対策およびソフト対策を行うためには、事前に危険度評価手法の開発が必要である。

国土交通省では、2010年8月に全国の深層崩壊の発生危険度を表した「深層崩壊推定頻度マップ」を公表したことに続いて、深層崩壊の推定頻度が特に高いとされた地域を中心にさらに調査し、2012年に深層崩壊に関する溪流（小流域）レベルの調査結果を公表した。深層崩壊の発生要因等は、未だ全てが解明されているものではないが、当時の技術レベルで判明している知見を踏まえ、空中写真判読等による全国的な調査を進めて得られた結果である。

その後、紀伊山地を対象にして、大規模土砂災害対策技術センターにおいて更なる調査研究を進め、2011年に紀伊山地で発生した深層崩壊地におけるボーリング調査結果等と物理探査結果の間に一定の整合性を確認し、物理探査結果によって、地下水の流入、せき止め断層破碎帯が地下水をせき止めたり、流入を促している可能性があることを示した¹⁾。これらの知見を踏まえ、物理探査技術を活用した深層崩壊の危険性が特に高い斜面の抽出手法を提案した²⁾。本報文では、その評価手法と実施事例の紹介とともに、さらに追加してドローンを用いて複数時期実施されたより詳細な空中電磁探査結果との比較を踏まえ、提案している評価手法の課題と今後の方向性について述べるものである。

2. 優先的に調査する斜面の抽出方法

国土交通省では、危険斜面の抽出や斜面の変動状況を把握するため、奈良県南部地域で航空レーザ測量および航空写真撮影を行っている。その結果を基

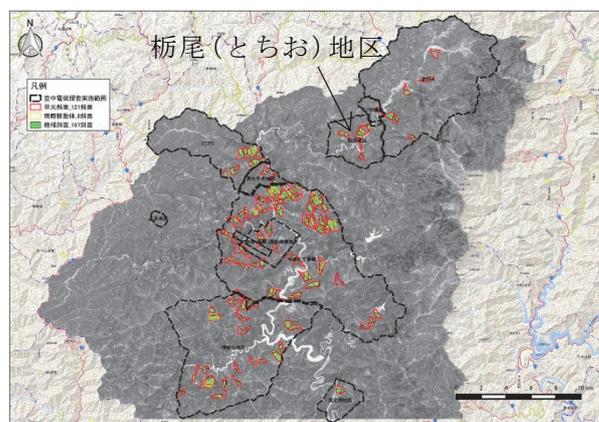


図-1 奈良県南部でのレーザ測量・航空測量範囲（灰色で表示）と変形している斜面の判読結果（国土地理院地図に追記）。点線で囲まれたエリアがヘリコプター空中電磁探査実施範囲。



写真-1 奈良県十津川村での変形斜面（岩盤クリーブ斜面）の事例



写真-2 奈良県天川村の深層崩壊発生斜面（冷水（ひやみず）地区）でのヘリコプター空中電磁探査の様子（2012年12月）

に、二重山稜や線状凹地等を判読し、将来的に深層崩壊が発生すると考えられる岩盤クリーブ斜面を抽出した（図-1・写真-1）。また、これらのエリアのうち、約280km²の範囲で、2012～2014年に、地下の比

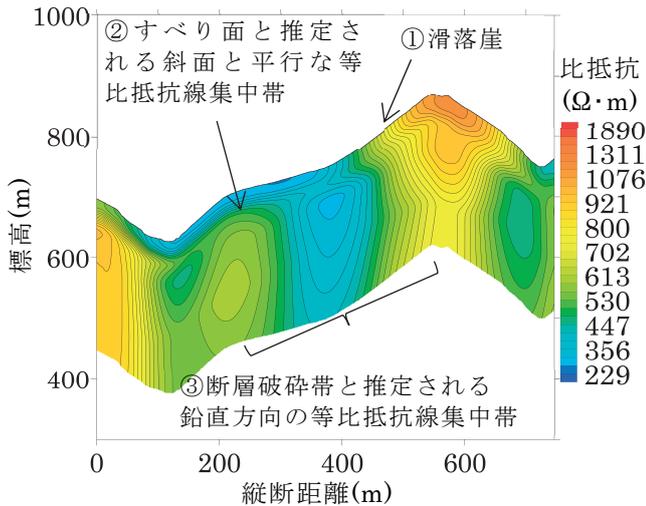


図-2 奈良県南部における岩盤クリープ斜面でのヘリコプター空中電磁探査による比抵抗縦断図の一例とリスク評価の指標

抵抗構造や地下水の分布の把握を目的としてヘリコプター空中電磁探査(写真-2)を行った。ヘリコプター空中電磁探査は、ヘリコプターに吊るされた電磁センサから周波数の異なる電磁場を発生し、地面から深さ約200mまでの間の地盤内部の比抵抗を得る。比抵抗が得られれば、地盤内の空隙や固結度、地下水の状況などの情報が分かる。

既往研究²⁾によるリスク評価はレベル1~3で表している。図-2に評価に用いた指標を示す。レベル1は、2011年台風第12号時の実績から、5%以上のひずみ(滑落崖の高さを斜面長で除した値)が生じていることを条件とした。レベル2は、レベル1に加え、ヘリコプター空中電磁探査による比抵抗縦断図に、すべり面と考えられる等比抵抗線集中帯が斜面と平行に走っていることを条件とした。レベル3は、レベル2に加え、ヘリコプター空中電磁探査による主測線の比抵抗縦断図に、断層と推定される鉛直方向の比抵抗線集中帯が存在することを条件とした。

3. 既往研究によるリスク評価

約280km²の範囲(図-1)で、既往研究を基にリスク評価を行った(図-3)。このエリアで岩盤クリープ斜面は198箇所で見つかった。このうち、ひずみ率が5%を超えている斜面は、80箇所であった(レベル1)。80箇所のうち、主測線の比抵抗縦断図に斜面と平行な等比抵抗線集中帯(推定すべり面)が見られたのは、14箇所であった(レベル2)。さらに、比抵抗縦断図に鉛直方向の等比抵抗線集中帯(推定断層)が見られたのは、14箇所であった(レベル3)。

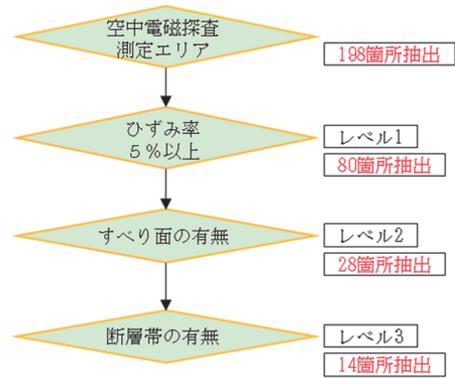


図-3 既往研究による奈良県南部における岩盤クリープ斜面のリスク評価結果

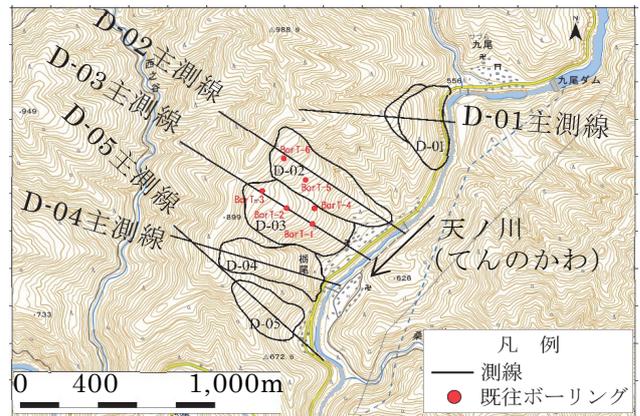


図-4 栃尾地区の5箇所の岩盤クリープ斜面の位置図(国土地理院地図に追記)



写真-3 栃尾地区でのドローン空中電磁探査の様子(ドローンが飛び立つところ、2021年10月)

4. リスク評価手法の妥当性の検証

4.1 調査方法

図-3のリスク評価結果の妥当性を検証するには、出水期における断層破碎帯による周囲からの地下水の誘導やせき止めを調査する必要がある。そこで、レベル3の斜面が見つかった箇所のうち、機器設置の容易さや道路からの近さ等の点から、栃尾地区(図-4)にて、ドローン空中電磁探査(写真-3)による2時期(出水期・乾燥期)の比抵抗調査を行った。ドローン空中電磁探査では、対象斜面及び現地状況に応じて数百メートル~1kmに渡って電流送信ケーブル

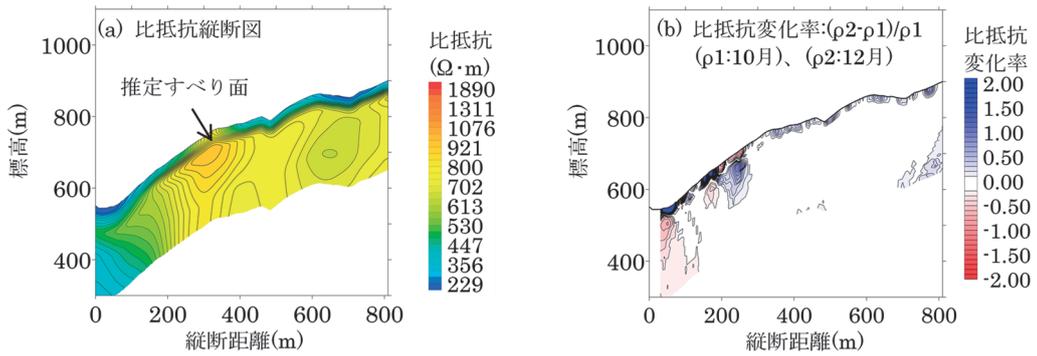


図-5 図-4中、D-01斜面主測線での、(a)ヘリコプター空中電磁探査による比抵抗縦断面図、(b)ドローン空中電磁探査による2時期の比抵抗変化率

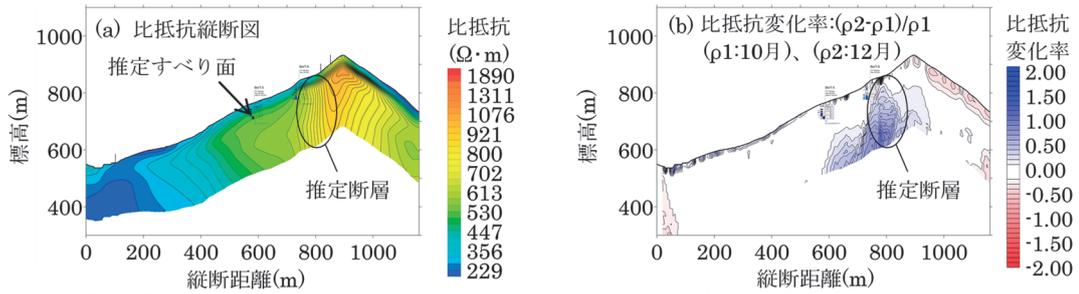


図-6 図-4中、D-02斜面主測線での、(a)ヘリコプター空中電磁探査による比抵抗縦断面図、(b)ドローン空中電磁探査による2時期の比抵抗変化率

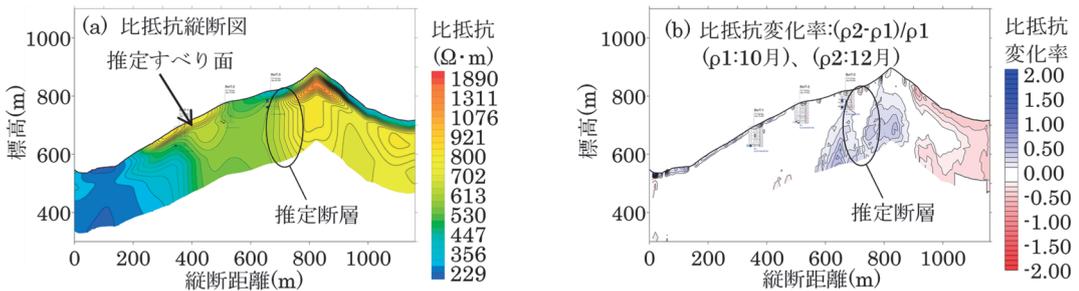


図-7 図-4中、D-03斜面主測線での、(a)ヘリコプター空中電磁探査による比抵抗縦断面図、(b)ドローン空中電磁探査による2時期の比抵抗変化率

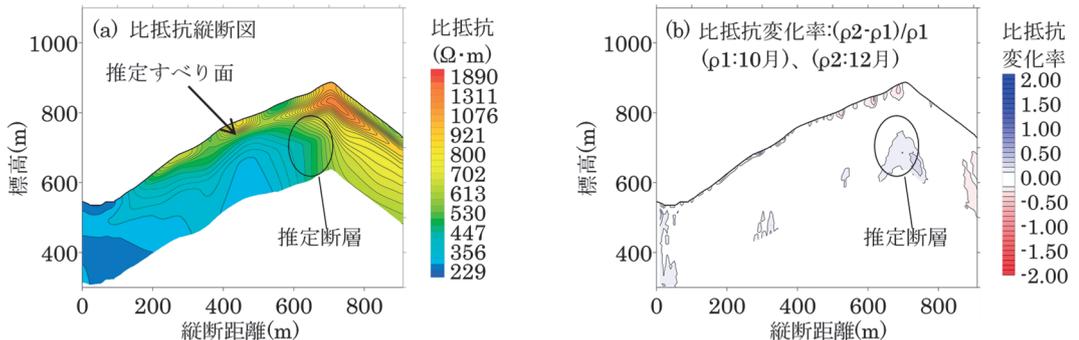


図-8 図-4中、D-04斜面主測線での、(a)ヘリコプター空中電磁探査による比抵抗縦断面図、(b)ドローン空中電磁探査による2時期の比抵抗変化率

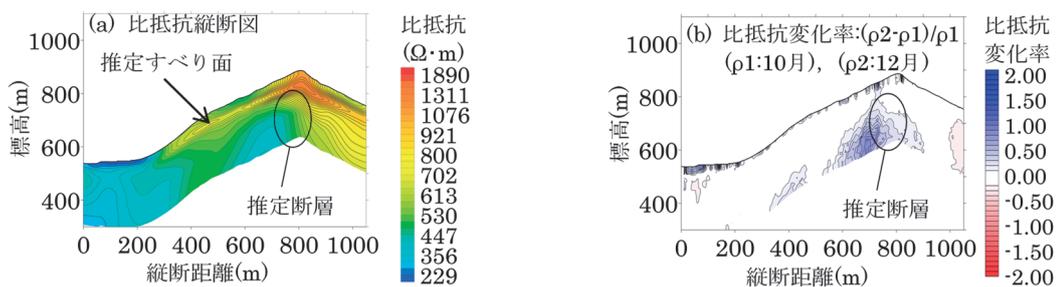


図-9 図-4中、D-05斜面主測線での、(a)ヘリコプター空中電磁探査による比抵抗縦断面図、(b)ドローン空中電磁探査による2時期の比抵抗変化率

ルを張り、電流を流す。電流を切断することで発生する磁場の強さをドローンの受信センサで読み取り地盤の比抵抗を得る。栃尾地区にはレベル3の斜面が2か所(D-02・03)ある他に、岩盤クリープ斜面が3箇所あり、合わせて調査を行った。

4.2 調査結果

図-5～9に、図-4中D-01～05の斜面の2013年11月に実施したヘリコプター空中電磁探査の比抵抗縦断面図、ドローン空中電磁探査による2時期(2021年10月と12月)の比抵抗変化率((12月の比抵抗値-10月の比抵抗値)/10月の比抵抗値)を示す。比抵抗変化率は、青が濃いほど10月出水期の比抵抗値が12月に比べて小さいことを示しており、含水率が高かったと考えられる。なお、10月・12月のドローン空中電磁探査実施時は、いずれも降雨は無かったが、D-02斜面で計測中の2孔の水位観測孔では、10月実施時の水位の方が高いことを確認している。

調査結果をまとめると、表-1のようになった。D-01は、ヘリコプター空中電磁探査でも断層破碎帯が確認されておらず、ドローン空中電磁探査でも地下水への影響は確認されなかった。D-02と03は、既往評価手法ではレベル3であったが、断層破碎帯による地下水への影響が確認されており、既往評価手法は妥当であった。D-04と05については、ひずみ率が5%未満であり、リスク対象外と評価したが、ドローン空中電磁探査では地下水への影響が確認された。ひずみ率が小さくても断層破碎帯による地下水への影響がある事例が確認された。ひずみ率のしきい値については、孔内傾斜計等の観測結果によって今後検証していく必要がある。

また、図-6～9の(b)を見比べると、断層破碎帯による地下水への影響は差があることが分かった。図-6(b)のD-02斜面のような2時期の比抵抗変化率の高

表-1 栃尾地区5斜面の既往評価と2時期のドローン空中電磁探査による検証結果

| 斜面名 | 既往評価 | | | | 2時期のドローン空中電磁探査による検証結果 |
|------|------|------|----------|----------|-----------------------|
| | ひずみ率 | すべり面 | 断層破碎帯の有無 | 既往リスクレベル | 断層破碎帯による地下水への影響の有無 |
| | 5%以上 | あり | あり | | あり |
| D-01 | | ○ | | | |
| D-02 | ○ | ○ | ○ | 3 | ○ |
| D-03 | ○ | ○ | ○ | 3 | ○ |
| D-04 | | ○ | ○ | | ○ |
| D-05 | | ○ | ○ | | ○ |

いものが断層破碎帯による地下水の挙動への影響が大きかったと考えられる。変化率の程度が、崩壊リスクにどう寄与するか、さらなる検討が必要である。

5. まとめ

山地流域を対象とする調査はその範囲が広域であるため、依然として主に地形情報等に基づく場合が多い。空中電磁探査を活用したリスク評価手法には未だ課題は残されているが、広域にわたる地下情報を踏まえていることから、有望な手法であると考えており、今後とも手法の改良に努めていく。

参考文献

- 1) 木下篤彦ほか：2011年に深層崩壊が発生した奈良県十津川村栗平地区における比抵抗探査を用いた断層沿いの地下水流入過程の検討、日本地すべり学会誌、Vol.58、No.1、pp.40~47、2021
- 2) 木下篤彦ほか：紀伊山系におけるヘリコプター及びドローンによる空中電磁探査を活用した深層崩壊危険度評価手法、物理探査学会第146回学術講演会論文集、pp.50~53、2022.

木下篤彦



研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部砂防研究室(近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター)主任研究官、現 土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム主任研究員、博士(農学)
Dr. KINOSHITA Atsuhiko

北本 楽



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 技官
KITAMOTO Gaku

山越隆雄



国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部砂防研究室 室長、博士(農学)
Dr. YAMAKOSHI Takao

中谷洋明



国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部土砂災害研究室 室長、博士(農学)
Dr. NAKAYA Hiroaki