

## 阿蘇カルデラ北東外輪山における3時期のUAV空中電磁探査による比抵抗変化

国土交通省 九州地方整備局 阿蘇砂防事務所 梶原 慎一・河上 眞広  
 大日本コンサルタント株式会社 ○金山 健太郎・阿部 征輝  
 日本工営株式会社 田方 智・湯澤 樹  
 有限会社ネオサイエンス 十山 哲也

## 1 はじめに

降雨終了後、あるいは直近の降雨の影響を受けず、無降雨時に発生する斜面崩壊（無降雨時等崩壊）について対応策を具体的に検討するには、崩壊の誘因となる地下水が集中する斜面を抽出する必要がある。また、地下水が集中する斜面を抽出する手法については、ヘリコプター空中電磁探査を利用して2時期の比抵抗変化（降雨後／渇水期）から、電気が流れやすくなった領域を「地下水が増加した領域」として把握する方法が提案されている（無降雨時等の崩壊研究会，2020）。

一方、近年実装された UAV 空中電磁探査を、深層崩壊や地すべり調査に適用した事例（木下ほか，2021 など）が報告されており、複数時期の比抵抗計測を低コストで簡便に実施する手法として、無降雨時等崩壊の調査への適用が期待される。

本稿では、無降雨時等崩壊の発生場の特徴を有する流域において、2022年2月～2022年10月にかけて実施した、降雨条件の異なる3時期の UAV 空中電磁探査結果の内容と、同時期に現地で行った水文調査との対比結果について報告する。

## 2 調査地の概況

阿蘇カルデラ外輪山は、第四紀火砕流堆積物による台地が広がり、地下水が集中する溪流が推定されている。また、溶岩や火砕流堆積物、降下火砕物など透水性の異なる地層が連続的に積み重なっており、帯水構造の存在が唆される（清崎ほか，2021 など）。このうち、阿蘇カルデラ内で最も溪流の比流量が高い地域となっている北東外輪山に位置する「中園川1」を、無降雨時等崩壊の発生場に特徴的な地形・地質・水文条件を有する流域とみなし、本調査の対象とした。

中園川1は、熊本県阿蘇市一の宮地区に位置する、流域面積0.03km<sup>2</sup>の土石流危険溪流である。溪流背後は九重山まで平坦な火砕流台地が広がり、台地上には大蘇川などの河川が阿蘇カルデラとは逆方向に流れている。

## 3 UAV空中電磁探査

本調査では、中園川1の流域と、溪流背後の火砕流台地を含む位置を探査測線として、測線長1km×5本、測線間隔75mのUAV空中電磁探査を実施した（図-1）。

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、2022年2月22日（30日の先行累積雨量は9.0mm：少雨期）、2022年7月26日（30日の先行累積雨量は414.5mm：降雨期）、2022年10月25日（30日の先行累積雨量は93.0mm：降雨期後）の3時期で実施した。

## 4 地盤の比抵抗取得結果

UAV空中電磁探査により取得した比抵抗データより、比抵抗断面図および比抵抗平面図を作成した。中園川1の比抵抗値について、3時期の比抵抗値は共通して、低比抵抗（50～200Ω・m程度）と高比抵抗（300～500Ω・m程度）を繰り返す層状構造が明瞭であり、火砕流堆積物等の地層の重なりを反映していると推定する。また、地表付近の比抵抗については、水文調査で確認した湧水地点が低比抵抗（概ね200Ω・m以下）の傾向を示しており、地表付近における地盤の含水状態を反映していると推定する。

## 5 比抵抗変化に着目した地下水分布の推定

水文調査（別稿で詳細を記載）による湧水等の流量と比較すると、ほとんどの調査地点で湧水等の流量の変化（増／減）と、表層～深度30m付近における比抵抗の変化（低／高）が整合する（図-2）。ただし、湧水4については、流量の変化（増／減）と、深度50～100m付近の比抵抗の変化（低／高）が整合する（図-3）。地盤の比抵抗変化と湧水量等の流量変化の状況から、中園川1には少なくとも2深度の地下水流動（帯水層）が存在すると推定する。

3時期（少雨期p1ー降雨期p2ー降雨期後p3）の比抵抗変化について時系列で整理すると、少雨期p1から降雨期p2の比抵抗変化は、表層～深度30m付近では「高比抵抗」へ変化、深度50～100m付近では「低比抵抗」へ変化する。また、降雨期p2から降雨期後p3の比抵抗変化は、表層～深度30m付近では「低比抵抗」へ変化、深度50～100m付近では「高比抵抗」へ変化する。すなわち、表層～深度30m付近までは、降水量の増加と、地盤の「低比抵抗」への変化（地下水の増加）に「タイムラグ」が認められる。地盤の比抵抗変化と先行降雨の関係から、降雨期に降った雨は地盤に時間をかけて浸透し、降雨期後の暫くの間は地下水面が上昇（表層～深度30m付近の地下水が増加）していたと推定する（図-4）。

斜面縦断方向の比抵抗変化に着目すると、「低比抵抗」へ変化する（地下水が増加する）帯状の領域は地形的分水界を超えて連続しており、概ねカルデラ内の斜面下方に向かって傾斜していることから、カルデラ壁外から地下水が流入していると推定する。とくに、降雨期後には、カルデラ壁外に「低比抵抗」への変化が大きい目玉が分布しており、地下水の供給源が存在していると推定する（図-4、図-5）。

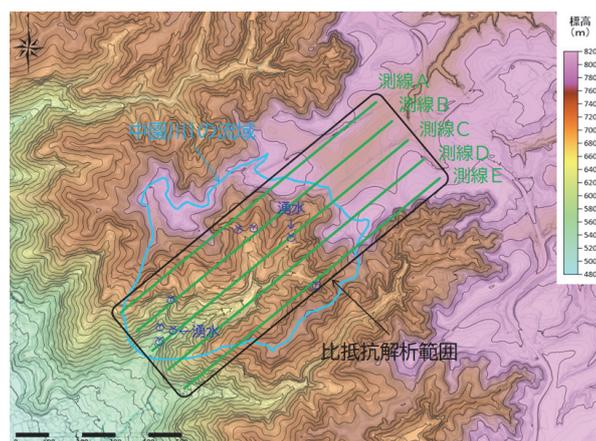
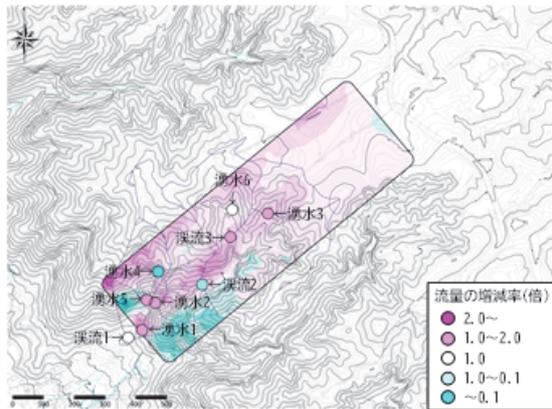


図-1 中園川1のUAV空中電磁探査測線位置

深度10m 比抵抗比率（降雨期 $\rho_2$ /少雨期 $\rho_1$ ）



深度10m 比抵抗比率（降雨期後 $\rho_3$ /降雨期 $\rho_2$ ）

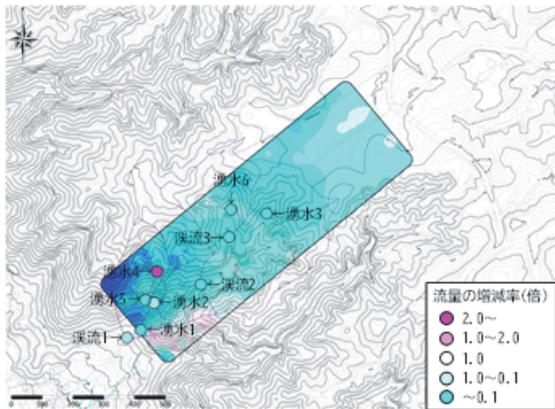


図-2 比抵抗比率（深度10m）と流量の増減率

深度50m 比抵抗比率（降雨期 $\rho_2$ /少雨期 $\rho_1$ ）



深度50m 比抵抗比率（降雨期後 $\rho_3$ /降雨期 $\rho_2$ ）

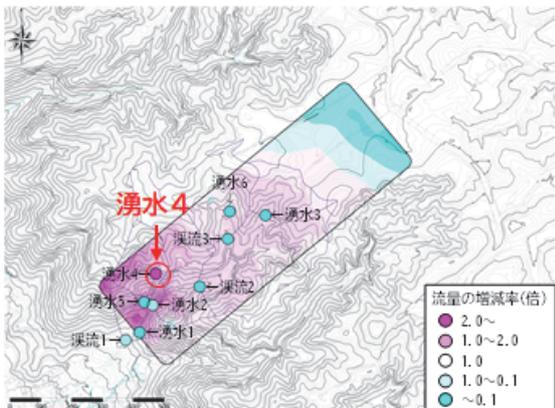


図-3 比抵抗比率（深度50m）と流量の増減率

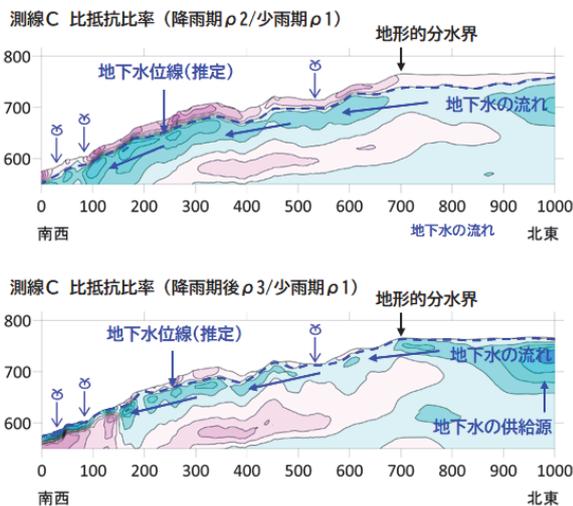


図-4 斜面縦断方向の2時期比抵抗比率

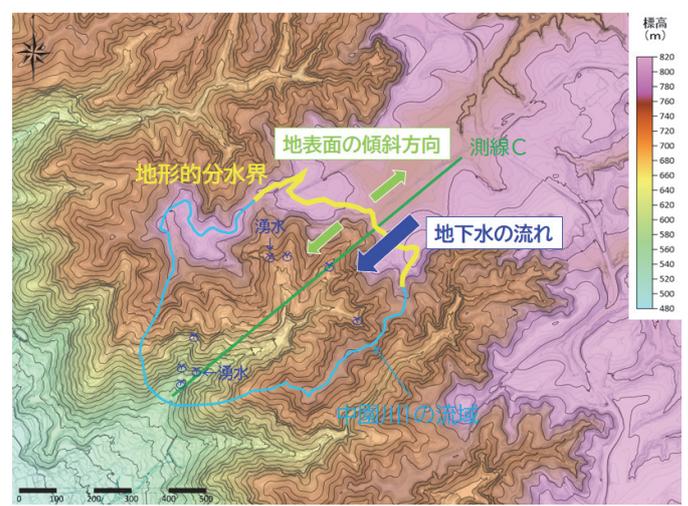


図-5 地下水の流れのイメージ

## 6 まとめ

阿蘇カルデラ北東外輪山の中園川1において、無降雨時等崩壊の誘因となる地下水分布を調査した。UAV 空中電磁探査により取得した地盤の「比抵抗値」や「比抵抗変化」が、水文調査による湧水等の「流量」や「流量変化」と整合することを確認できた。また、地盤の比抵抗変化に着目した検討を行うことにより、「地下水が増加する領域」を把握できた。

**謝辞** 本検討にあたっては、鹿児島大学の地頭菌教授には貴重なご意見を頂いた。ここに深甚の謝意を表す次第である。

**参考文献** 無降雨時等の崩壊研究会 (2020) : 第3回研究会資料, 資料4 地下水の集中する斜面を抽出するための調査の留意点. 木下ほか (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, T3-002. 清崎ほか (2021) : 阿蘇カルデラにおける地下水型発生危険箇所抽出, 令和3年度砂防学会研究発表会概要集, P2-024.