

## 阿蘇カルデラ北外輪山におけるUAV空中電磁探査による比抵抗の特徴

大日本ダイヤコンサルタント株式会社 ○金山 健太郎

国土交通省 九州地方整備局 阿蘇砂防事務所 (現所属 九州地方整備局) 梶原 慎一・山下 聡

日本工営株式会社 田方 智・湯澤 樹

大日本ダイヤコンサルタント株式会社 篠崎 嗣浩・金丸 諒太郎

有限会社ネオサイエンス 天川 健太

## 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。

地下水が集中する斜面を抽出する手法については、広域の地盤情報を取得できる「空中電磁探査」の有効性が示されており<sup>1)</sup>、従来型のヘリコプターを用いた空中電磁探査より、迅速かつ簡便に実施する手法として、近年実装されたUAV空中電磁探査を用いた事例が報告されている<sup>2)</sup>。

阿蘇カルデラ外輪山は、火砕流堆積物が分布し、湧水が認められることから、無降雨時等崩壊の発生場の特徴を有するとされており、地下水が集中する斜面を抽出するための調査が実施されてきた<sup>3)</sup>。

本稿では、無降雨時等崩壊の発生場の特徴を有する流域のうち、2種類の地質(溶岩と火砕流堆積物)が分布する阿蘇カルデラ北外輪山において実施した、UAV空中電磁探査の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、帯水構造の存在が示唆される<sup>4)</sup>。このうち、2種類の地質(溶岩と火砕流堆積物)が分布する北外輪山の「6溪流」(熊本県阿蘇市西湯浦地区、図-1の流域界43~48)について、地質の違いによる地下水分布の特徴を把握することを目的として、UAV空中電磁探査および水文調査(現地踏査・水質分析など:別稿で詳細を記載)を実施した。

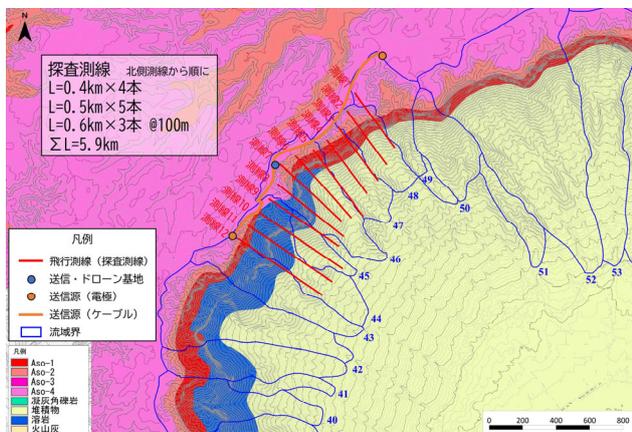


図-1 調査地の地質と探査測線位置

## 3. UAV空中電磁探査

本調査では、前述の「6溪流」と、溪流背後の火砕流台地を含む範囲に探査測線を設定した。測線長は5.9km(L=0.4km×4本, L=0.5km×5本, L=0.6km×3本)、測線間隔は100mとした。探査装置は、地上送信型ドローン時間領域空中電磁探査システム(D-GREAT-EM, ネオサイエンス社製)を使用した。現地計測は、一定量の降雨後の調査として、2024年8月21日に実施した。なお、調査前30日の先行累積雨量は32.0mm、調査前60日の先行累積雨量は909.0mm(気象庁阿蘇乙姫)であった。

## 4. 地盤の比抵抗の取得結果

UAV空中電磁探査により取得した比抵抗データより、比抵抗平面図(深度0~100m, 11深度)、比抵抗断面図(各測線, 12断面)、比抵抗三次元モデルを作成した。

本調査地における地表付近(深度0~20m)の全体的な比抵抗値は、概ね200Ω・m以下である(図-2)。これは、北東外輪山(中園川1)の調査事例<sup>3)</sup>と概ね整合する比抵抗値である。本調査地では、急崖部や、その下方の崖錐斜面に、比抵抗値50Ω・m程度の「低比抵抗領域」が分布しており、体積含水率が大きい箇所(湧水・伏流水)を捉えていると考えられる。この「低比抵抗領域」は、現地踏査により確認した湧水地点と概ね整合しているが、本調査地の南西側では、湧水が確認された場所が相対的な「高比抵抗領域」となっており、崖錐堆積物の分布状況(例えば、崖錐堆積物の層厚が薄い場合は基盤岩の高比抵抗を検出)など、地質の違いによる影響も受けている可能性がある。

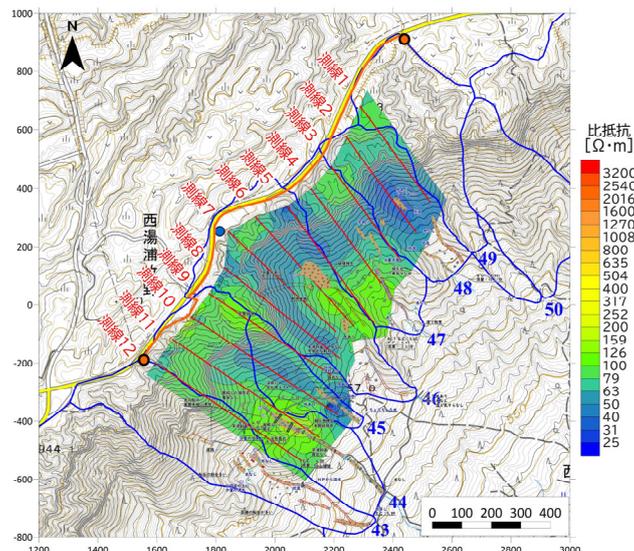


図-2 比抵抗平面図(深度0m)

地下深部（深度30～100m）の全体的な比抵抗値については、概ね100～1,000Ω・mである（図-3）。本調査地の北側で相対的に「低比抵抗」、南側で相対的に「高比抵抗」を示す。地質分布と対比すると、北側の「低比抵抗領域」は火砕流堆積物（主に凝灰岩：粘土鉱物を含む）、南側の「高比抵抗領域」は溶岩（粘土鉱物をあまり含まない）の分布を捉えていると考えられる。

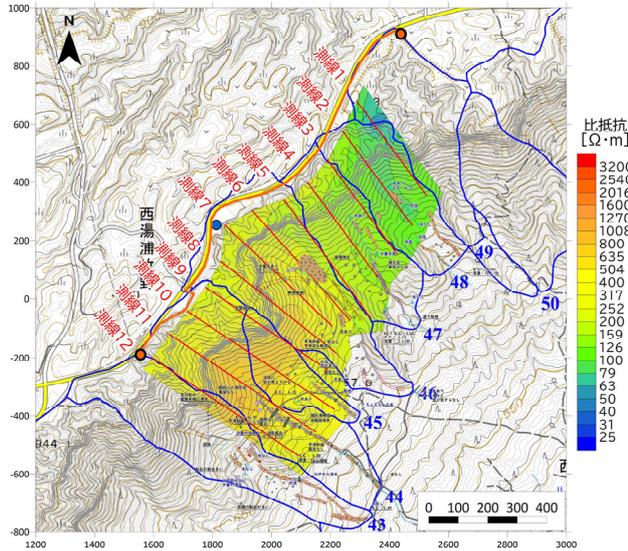


図-3 比抵抗平面図（深度70m）

深度方向の比抵抗分布を見ると、「低比抵抗」と「高比抵抗」を繰り返す層状構造が明瞭である（図-4, 5）。カルデラ内斜面は、地表付近（深度10～20mまで）が「低比抵抗」である。深度30～100mは地表付近に比べると「高比抵抗」であり、とくに南側の断面（溶岩の分布域）で「高比抵抗」である。背後の平坦面は、北側の断面では深部（深度50～100m）まで「低比抵抗」である。南側の断面では深部が相対的に「高比抵抗」であるが、浅部（深度20～30mまで）に顕著な「低比抵抗」がみられる。これらの「低比抵抗領域」は、帯水層（水みち）を捉えている可能性がある。

5. まとめ

比抵抗値と地質・地下水分布との関係を整理した結果、地質分布については、崖錐堆積物が「低比抵抗」、火砕流堆積物が「中間的な比抵抗」、溶岩が「高比抵抗」となり、現地踏査等で確認した分布範囲と整合することが確認できた。このことから、UAV 空中電磁探査による地盤の比抵抗の取得は地質分布の把握に有効な調査手法であるといえる。

地下水分布については、比抵抗値が地質分布の影響を受けているため、「低比抵抗領域」を地下水が豊富な場所として単純に解釈することはできない。一方で、同じ地質分布内で考えると、湧水を確認した地点や、侵食された微地形を確認した場所が、相対的な「低比抵抗領域」となっており、対象箇所の地質分布さえ確認できていれば、地下水が集中する領域の把握にも十分に活用できると考える。

また、本稿では「1 時期」の計測による調査結果を報告したが、空中電磁探査では、先行雨量の異なる「2 時期」の計測を実施することにより、地質による影響をキャンセルして「間隙率が大きく地下水で飽和しやすい領域」を推定する

ことができる<sup>1), 2), 3)</sup>。したがって、追加調査で、地下水が集中する斜面の抽出精度がさらに向上すると考える。

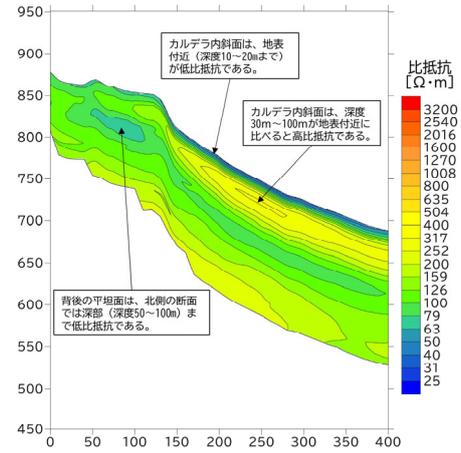


図-4 比抵抗平面図（測線2：北側）

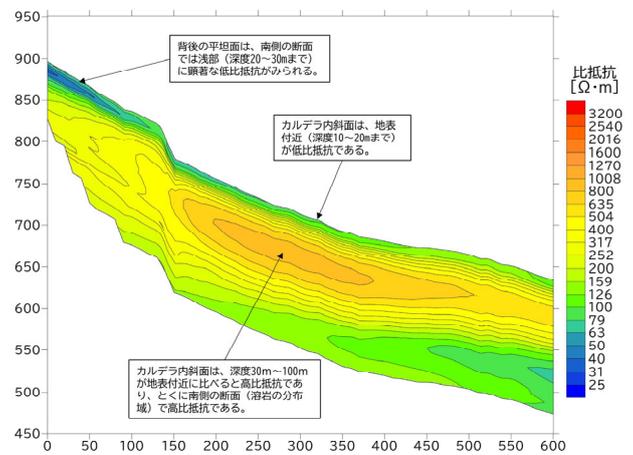


図-5 比抵抗平面図（測線11：南側）

6. 今後の展望

今回、空中電磁探査により取得した地盤の比抵抗の情報が、現地の地質・地下水分布の特徴を捉えていることを検証できたことで、空中電磁探査が、阿蘇カルデラ内の斜面崩壊調査に有効な手法であることが確認できた。

今後も、土砂災害（無降雨時等崩壊）発生の危険度の高い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、鹿児島大学の地頭菌陸教授には、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) 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
- 2) 国土技術政策総合研究所（2021）：比抵抗の季節変化をもちいた斜面調査方法・評価の手引き（案）
- 3) 金山ら（2023）：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，令和5年度砂防学会研究発表会概要集，P.46.
- 4) 清崎ら（2021）：阿蘇カルデラにおける地下水型発生の危険箇所抽出，令和3年度砂防学会研究発表会概要集，P2-24.