

空中地温探査の研究開発～解析手法の検討～

(株) みすず総合コンサルタント ○石関 剛史, 阿部 健
土尻川砂防事務所 堀 健人

1. はじめに

「1m 深地温探査¹⁾」を代表とする従来の流動地下水調査法の応用手法として研究・開発している空中地温探査は、1m 深地温探査と一定の整合性が確認されたものの、不整合箇所も認められるなど課題が残された(阿部ほか, 2023)。本論では、前回からの課題である①不整合箇所の原因究明及び②結果の再現性を目的として、前回の赤外線画像の再解析、新規空中地温探査の解析及びノイズのフィルタリング等から課題解決を試みたものである。

2. 対象地の概要

新規に実施した対象地は、長野県土尻川砂防事務所管内の地すべり防止区域「戸谷の腰地区」で、長野市中心部より西方約12kmに位置する。

戸谷の腰地区は A～H までの多数の地すべりブロックで分けられており、このうち A1ブロックと C1・C2ブロックを対象とした。地質は新第三紀鮮新世のスレーキングを起こしやすい砂岩泥岩基盤を素因とし、基盤上部は粘性土よりなる風化土及び崩積土が堆積する。ブロック全体で地下水位が浅く湧水点を多数認めることから、多量の地下水を誘因とする地すべり機構であると考えられる。したがって、地すべり対策を講じるうえで地下水流入経路の把握が重要と考えた。

3. 探査方法と解析手順

探査方法は(阿部ほか, 2023)と同条件とした。

(1) 飛行計画: 対地高度 140～150m, 撮影間隔 3.0 秒, 飛行速度 3.0m/s. 広範囲に及ぶため、3度の飛行を行った(図-1)。



図-1 UAV 飛行計画図

(2) 計測データの整理: 撮影した熱画像は3成分(X, Y, Z)の数値データ化した。各成分はX, Yが公共座標, Zを温度値とした。温度値の数値化は、カラー画像のRGBを256階調に変換することで求めた。

(3) 補正手順: ①地温データ取得と同時に空中写真のオ

ルソ画像を取得し、地温の地況分類を行った。地況は「地下水調査法¹⁾」を参考に、裸地・草地等に区分し、さらに日向・日陰で細分化した。

②地況毎の地温の正規分布曲線を作成し、現地に設置した温度計による実測値を基準とした有意水準片側5%の棄却域を設定した。

③棄却後の地温データを基に地況毎の補正係数を求め、対象地全体の地温の平準化を行った。

(4) 図化: 補正した地温データを段彩図化し、既往平面図に重ね合わせることで解析資料とした。

4. 探査結果

空中地温探査と1m 深地温探査についてそれぞれ作成した地温分布図(段彩図)を図-2～4に示す。探査は2021年1月に1m 深地温探査, 同年3月に空中地温探査, 2024年3月に空中地温探査を実施した。

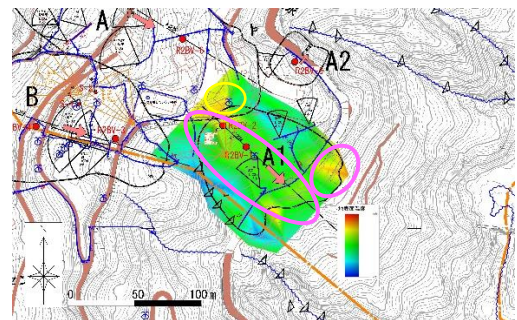


図-2 2021年1月 1m 深地温探査図

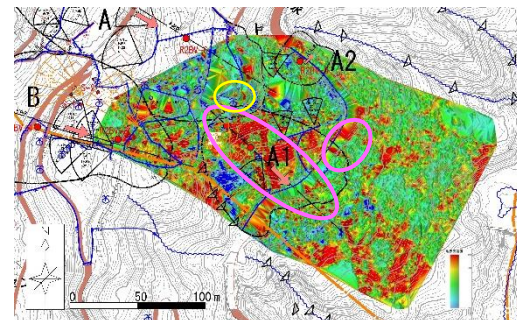


図-3 2021年3月 空中地温探査図

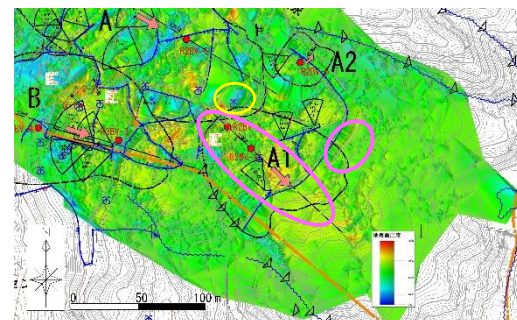


図-4 2024年3月 空中地温探査図

探査は3月に実施した。調査地は高地であるため気温は低く、地下水流動域は高温を示す赤色等の暖色系の色彩で表現されると判断した。

1m 深地温探査と空中地温探査の比較では、整合箇所を桃色線で示し、不整合箇所を黄色線で示した。1m 深地温探査にて A1測線上で認められた暖色系は空中地温探査でも確認できるため整合がみられた。一方で、A1ブロック頭部では1m 深地温探査が暖色系を示すのに対して、空中地温探査では寒色系を示す不整合な結果となった。また、2021年の空中地温探査と2024年の空中地温探査は概ね類似の結果が得られた。

5. 考察

(1) 課題①: 不整合箇所の原因の考察

(阿部ほか, 2023) について、1m 深地温探査と空中地温探査の不整合箇所の原因を考察した。

1) 測点密度の影響

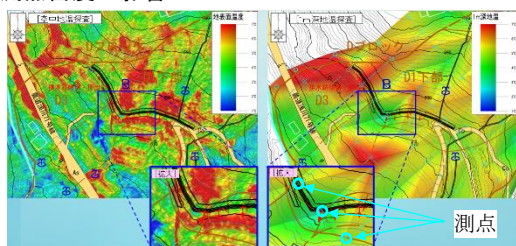


図-5 空中地温探査と1m 深地温探査比較図³⁾

1m 深地温探査は通常10m×10m 間隔に測点を設け、段彩図を作成する。観測ピッチを細かくする方法もあるが、図化した際に微細な表現をすることが困難である。一方で最小10cm 程度の点群データとして取得する空中地温探査は、測点密度から詳細な温度差を捕捉することができる。(阿部ほか, 2023) では、この測点密度の影響が、図化した際の不整合を招いたと考えられる (図-5)。

2) 林地の影響

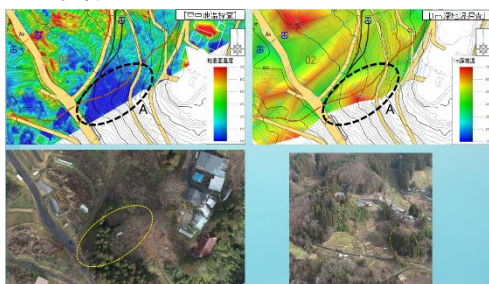


図-6 空中地温探査と1m 深地温探査比較図³⁾

(阿部ほか, 2023) では、空中地温探査は寒色、1m 深地温探査では暖色を示し真逆の結果が得られていた。これは林地(スギ林)の影響と考えられる(図-6)。冬季でも枝葉の残るスギは日影を形成し、空中地温探査では日中長期間に渡って日影の影響を受けたことで、地表面温度が冷えた状態にあったと考えられる。

(2) 課題②: 結果の再現性

本論で示した空中地温探査は2021年と2024年に実施した。探査時期と気象条件を揃えたことで、段彩状況は類似の結果が得られたと判断する。

したがって、探査時期・気象条件・解析手法を揃えることで、結果の再現は可能であると考えられる。

2021年と2024年でみられる違いは、1) 解析時に地況補正と日照条件の細分化の有無、2) 3年の間に対策工事が実施されたことの2点が挙げられる。対策工事後は一部で温度が寒色域へと変わり、地下水の流動が変化したことを示した。

6. 今後の課題

1m 深地温探査と空中地温探査の不整合箇所の原因を特定したことで、次の課題が挙げられた。

①不整合の解消方法: 日照の影響を強く受ける本探査は、林地の影響が極めて大きい。林地のみを対象とした補正方法や、林地のみ地上から温度計測をする等の異なるアプローチが必要と考える。

②地況区分の定量化: 地況区分は、探査と同時に撮影した空中写真画像と現地調査を踏まえた総合的な判断で区分している。すなわち現地を歩いた人間でないと適切な地況区分ができないこと表示しており、また区分は当人の感覚に委ねられている。AI の画像解析を導入するなど、定量的な地況区分ができる方法を検討する。

③対策工事との対比: 対策工事前後の地温の変化・地下水排除工の排水量の確認等、地温探査結果と対策工事が整合しているか検討する。

④結果の再現性: 探査時期・気象条件・解析手法を揃えることで結果の再現性がみられた。一方で、夏季・冬季や早朝・夕方・夜間等の異なる条件下でも再現性が得られるのか検討する必要がある。

⑤UAV 飛行条件: 山間部で実施した本探査は、飛行中に電波強度が減衰し自動航行が停止するアクシデントに数度見舞われた。衛生の影響を受けるため、現在の環境では現場の制約を受ける恐れがある。

空中地温探査は広域の地温を簡便に探査できる手法だが、地況の影響を受けるため従来の探査手法と所々で異なる結果が得られている。これらの課題を解決し、実用化に至れるよう継続して研究していきたい。

《引用・参考文献》

- 1) 竹内篤雄 (2013): 地下水調査法 1m 深地温探査, 古今書院.
- 2) 阿部健, 石関剛史, 高橋甚一 (2023): UAV 撮影による赤外線熱画像を利用した空中地温探査の試み, 全地連技術フォーラム2023論文集, 論文 No. C0104.