

UAV 搭載赤外線カメラ画像を用いた老朽化法面の診断調査事例

株式会社みすず総合コンサルタント ○嶋田 隆信, 中澤 潤一
長野県上田建設事務所 成田 穂澄

1. はじめに

従来、吹付法面の劣化診断調査は目視観察や打音による検査を主体として実施されるが、長大法面を調査する場合には、作業期間及び熟練技術者の長期確保や大規模な交通規制など作業工期や安全面に対しての課題が多い。

上記の課題に対して UAV (Unmanned Air Vehicle) により空中から写真画像ならびに熱赤外線画像を取得し、オルソ画像による変状抽出や吹付法面の温度変化から劣化診断を行った事例を紹介する。

2. 対象法面の概要

対象地は長野県上田市菅平地籍の菅平ダム西側に位置し、(国)406号に面した延長約300m、高さ15~25m のモルタル吹付法面である (図-1)。全体に老朽化が進んでおり、令和4年6月に吹付法面の一部が崩落した。(写真-1)



図-1 調査位置図¹⁾



写真-1 対象法面全景

基盤岩は新第三期中新世の内村累層に相当する泥岩が分布している。強い変質を受けており、岩盤自体は非常に硬質で暗緑色を呈している。また、崩落箇所の露頭観察では、多くの微細な節理面が発達しており、写真-2に示すように節理に沿って風化が進行している状況やモルタル吹付の浮きなどが確認された。

さらに、法面上部は集水地形を呈していることから、節理への表流水の浸透や凍結融解の影響により風化が進行し、モルタル吹付工背面の空洞化や緩みに繋がっている。



写真-2 基盤岩の切断面状況

3. 調査手法と使用機器

調査時期は秋の観光シーズンと重なり、大規模な交通規制は困難である上、豪雪地帯で降雪期が近いことから限られた期間で効率的に法面調査を行う必要があった。また、広い範囲が落石防護網に覆われていることから、高所作業車を使用した場合にも近接での打音調査は困難である。こうした制約条件に鑑み、以下に示す遠方からの画像情報取得による非接触型の調査を提案した。

(1)変状調査

UAVにより高解像度の法面連続写真を撮影し、これを基にオルソ画像 (歪補正を行った画像) を作成して法面のひび割れ、剥離、湧水などを抽出する。

(2)熱赤外線画像調査

UAVに搭載した熱赤外線カメラにより、広範囲に渡る吹付法面の表面温度を複数の時間帯で計測し、吹付表面の温度差により既往文献²⁾に示される表-1を参考として、背面の地山性状を推定する。

表-1 吹付背面の性状と吹付表面の温度変化²⁾

吹付背後の性状	深夜・早朝の画像	日中の画像	2時刻の温度変化
空洞部	低温	特に高温	温度変化が特に大きい。
土砂部	低温	高温	温度変化が大きい。
湿潤部	低温*	特に低温	温度変化が特に小さい。
健全部	高温	やや低温	温度変化が小さい。

*冬季、地下水温が相対的に高い場合は、夜間の画像において湿潤部が高温部として検出されることがある。

図-2に本調査に使用した機器の概要を示す。



図-2 使用機器概要

4. 調査結果

(1)調査条件の整理

対象法面は延長が長く、カーブ区間を挟むため日射条件等も異なる。このため、図-3に示す通り法面を3区間 (A面~C面) に分割して複数の地点で気温を計測した。なお、熱赤外線画像の差分解析は、各区間で気温差が最も大きい時間帯において実施した。

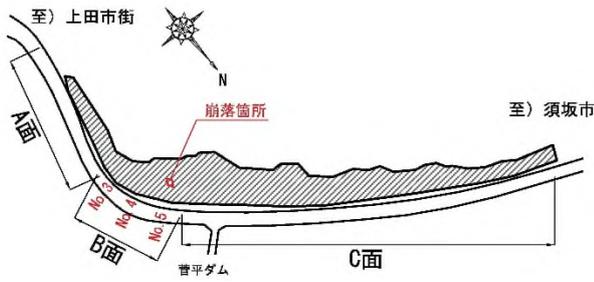


図-3 調査斜面の区分

(2) 変状調査結果

空中写真により作成したオルソ画像を用いてひび割れ、表面剥離、湧水（表面の濡れ）等の変状箇所を抽出した（図-4）。これによると、法面のクラックはNo.3付近の斜面中腹部と No.5付近（崩落箇所周辺）に集中しており、特に崩落箇所の直下および起点側に接する範囲では劣化が著しい。また、崩落箇所を中心にしてみると左上～右下の斜め方向に変状が発生している。

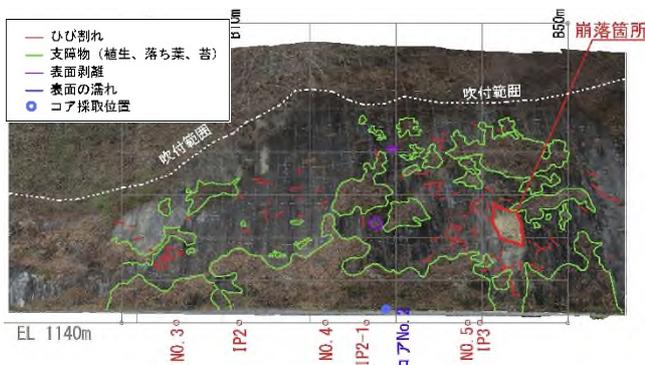


図-4 UAV オルソ画像による変状抽出結果(B面)

目視調査が可能な法面下部で確認を行ったところ、オルソ画像にて抽出したクラックは開き3mm 以上の連続するクラックであった。それより微細なクラックや短いものも遊離石灰の付着などがあれば抽出は可能であるが、相対的に判断が難しい。

(3) 熱赤外線画像調査結果

9:00および15:00に取得した熱赤外線画像（図-5）、また、差分画像（図-6）を示す。差分画像は植生などの支障物範囲を除外し、黒抜きとしている。

差分画像では、No.5付近（崩落箇所周辺）を中心にして斜め方向に温度差の大きい範囲（赤色～黄色）が連続しており、オルソ画像により抽出したクラックの多い箇所とほぼ合致する傾向がみられた。

これは吹付法面背後に空洞化もしくは土砂化した箇所が存在するため、地山への熱伝導率が健全部に比べて低くなり、温度上昇時には地山への熱伝導、冷却時には地山からの熱伝導が小さくなった結果と判断される。

なお、起点側 No.3～No.4についても法面全体で温度差が大きくなっているが、B面は北東向きの法面であり、9:00の画像より直射日光の影響を受けて全体的に表面温度が高温になっているものと推察する。

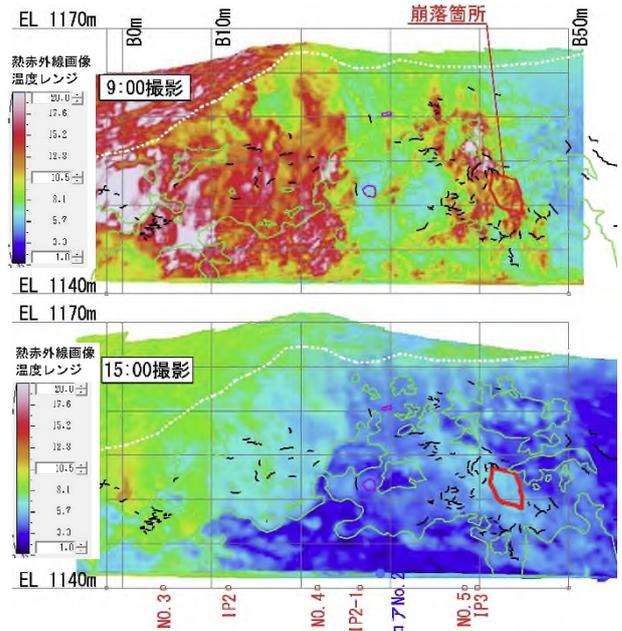


図-5 熱赤外線画像調査結果(B面 9:00、15:00)

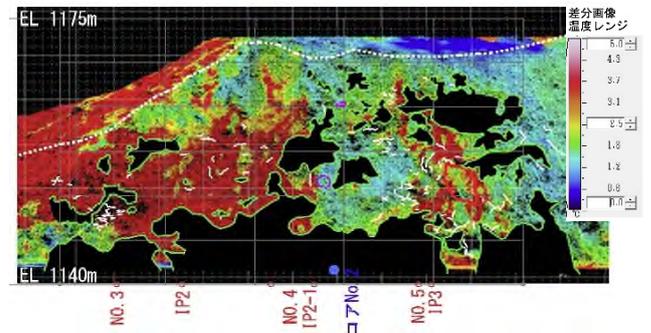


図-6 熱赤外線画像差分解析結果(B面)

5. とりまとめ

本手法についての利点と留意点をとりまとめる。

(1) 利点

- ・現場制約条件がある中で、長大法面の老朽化状況を大きな範囲で評価するためには有効な手法である。
- ・ポケット式落石防護網が設置されている斜面においても、熱赤外線画像による判断が可能であった。
- ・UAV を利用することで、通行車両等への影響を最小限にできる。また、近接目視や打音調査に比べて熟練技術者を必要とする作業工程が少ない。

(2) 留意すべき点

- ・オルソ画像から微細なクラック（3mm 未満）までの確認は難しい。特に剥離箇所については判別が難しく、熟練度を要する。
- ・熱赤外線画像は直射日光の影響を受けた箇所では判読が難しいため、事前に天候や日射条件、支障物の状況等を熟慮して作業計画を立案する必要がある。

《引用・参考文献》

- 1) 国土地理院地形図（に加筆）
https://maps.gsi.go.jp/（最終閲覧日2023.5.31）
- 2) 旧建設省土木研究所：熱赤外線映像法による吹付のり面老朽化診断マニュアル p16 1996.1