

熱赤外線カメラを搭載した UAV による吹付工法面の調査

日特建設株式会社 ○山梨太郎、守屋 彰、松崎大樹

1. はじめに

吹付工は斜面にモルタルやコンクリートを吹き付ける法面保護工であるが、近年は老朽化の進行に対する維持管理が課題となっている。これらの変状確認や対策工選定のための調査点検の一つに、熱赤外線映像法がある¹⁾。これは小型の熱赤外線カメラで高温時（日中）と低温時（深夜・早朝）に対象法面を撮影し、各熱赤外線画像を重ね、表面の温度差分布を可視化する手法である。法面の変状要因の1つである構造物背面の空洞部は、健全な地山と構造物が密着した箇所より熱移動が阻害され温度変化が大きい傾向である。そのため相対的に温度差が大きい箇所を空洞と推定することが可能である（図-1）。ただし誤認要素も多く、コア抜きや打音検査などを併用し、概査として用いるのが一般的である。

従来はこの撮影を地上で行っていたが、対象法面全体の撮影や正対した撮影が困難で、撮影を複数回に分けて行う手間も生じていた。そこで熱赤外線カメラを搭載した UAV を活用し、この課題の解決を図った（図-2）。本稿では当機器による現地撮影の内容と結果を報告する。

2. 熱赤外線カメラを搭載した UAV の概要

法面調査に使用した UAV は、DJI 社製の Mavic 3 Thermal である。UAV には広角カメラと熱赤外線カメラが搭載され、可視画像と熱赤外線画像の同時撮影が可能である。また自動航行撮影機能により、所定の位置や範囲での繰り返し撮影が可能である。UAV は空中を3次元に航行するため、従来の撮影手法で用いた三脚によるカメラ固定が不可能である。そこで自動航行撮影の1つであるウェイポイント撮影を活用した。これは各撮影時の UAV の位置と方向、カメラの仰俯角などを記憶させる手法である。この手法で対象法面を高温時・低温時の2回とも同じ位置と角度で撮影し、温度差画像の抽出が可能となる。

3. 作業概要

現地では撮影前にウェイポイント撮影の設定を行った。UAV の飛行・撮影におけるルート、撮影位置・仰角、撮影枚数などの設定には、ライブミッション記録を用いた。これは UAV の手動操作による飛行と撮影を記録する手法で、UAV のプロポの画面上で被写体を直接確認しながら撮影位置やカメラの仰俯角を適宜調整する作業である。これにより、被写体の法面の形状や周囲の地形が複雑な環境でも、適した撮影設定を短時間で行うことが可能である。この記録を基に、高温時と低温時の各撮影で再現飛行を行うことで同一フレーミングの撮影を行う。

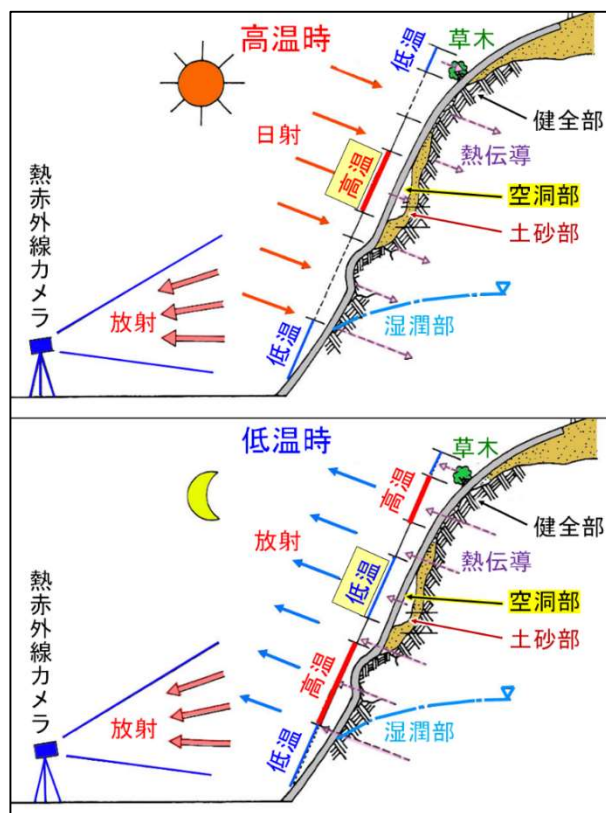


図-1 熱赤外線カメラの撮影図

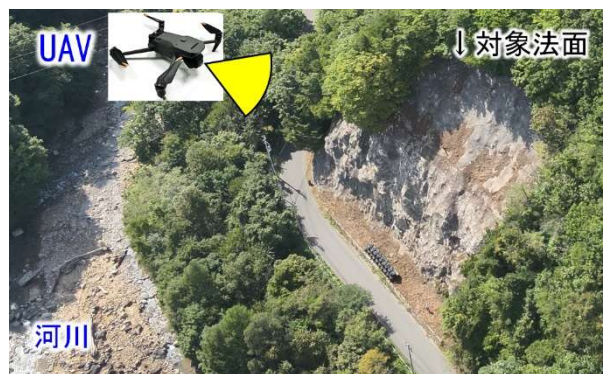


図-2 UAV の飛行による、熱赤外線画像撮影

なお UAV の動的要因、風、GPS の微小な誤差などにより、各写真のフレーミングにはわずかな差異が生じる。そのため各撮影において再現飛行をそれぞれ複数回行い、得られた写真の中から互いの差異が微小な写真を温度差画像の抽出に用いた。

熱赤外線画像の撮影と並行して、地上からは目視が困難な場所の近接空中撮影や、3D 点群データ作成のための空中写真測量を行った。基準となる標定点は、撮影画像から目視確認が可能な不動点を活用し、その座標値取得にはレフィクシア(株)製の LRTK Phone を用いた。

4. 解析

熱赤外線画像の解析には、FLIR システムズ社製の FLIR Research Studio Pro を使用した。解析では高温時と低温時の各熱赤外線写真を重ね、温度差分布を抽出した(図-3)。また、各熱赤外線画像と温度差画像の温度レンジを調節することで色調を調整し、温度分布を明瞭化した。解析した熱赤外線画像と温度差画像は、現地調査と可視画像で確認した法面の状況結果と合わせて、変状の診断を行った。3次元点群データは Pix4D 社製の Pix4D mapper を用いて作成し、対象法面の形状や各寸法の把握に用いた。

5. 考察

現地の目視調査、各画像の撮影、および解析の結果、法面全体に空洞や密着性不良が発生している可能性が高いと推察された。熱赤外線画像の温度差抽出により広範囲で 20°C 以上の温度差が見られ、目視調査においても開口部から露出した地山風化の進行や、広範囲の吹付面の剥離が認められたためである。一方熱赤外線画像は撮影時の日照や吹付面の形状、法面色などの影響による誤認要素も散在する。従って、法面の変状判断の目安となる具体的・定量的な判断材料を得るための他手法による調査の併用が必要である。

なお、UAV を用いた撮影により、地上からの撮影が不可な高所部分も含め、対象範囲全体の正対方向の撮影を円滑に行えた。これにより、従来と比較して撮影作業の省力化と解析をより明確することが可能となった。

6. まとめ

- ・熱赤外線画像を用いた調査は法面全体の空洞や地山の密着性不良位置、範囲を推定する要素となる。
- ・地上からの撮影では実施困難な事例も多く、熱赤外線カメラを搭載した UAV の利用が有効である。
- ・UAV による撮影は、同一フレーミングでの撮影をウェイポイント撮影(ライブミッション記録)で行った。
- ・空中写真測量で作成した3次元点群データによる法面の計測、画像のオルソ化による更なる解析も見込める。
- ・他の調査手法と組み合わせて法面変状の具体的・定量的な判断が望ましい。

参考文献

- 1) のり面診断・補修補強研究会：吹付のり面診断・補修補強の手引き，2013。

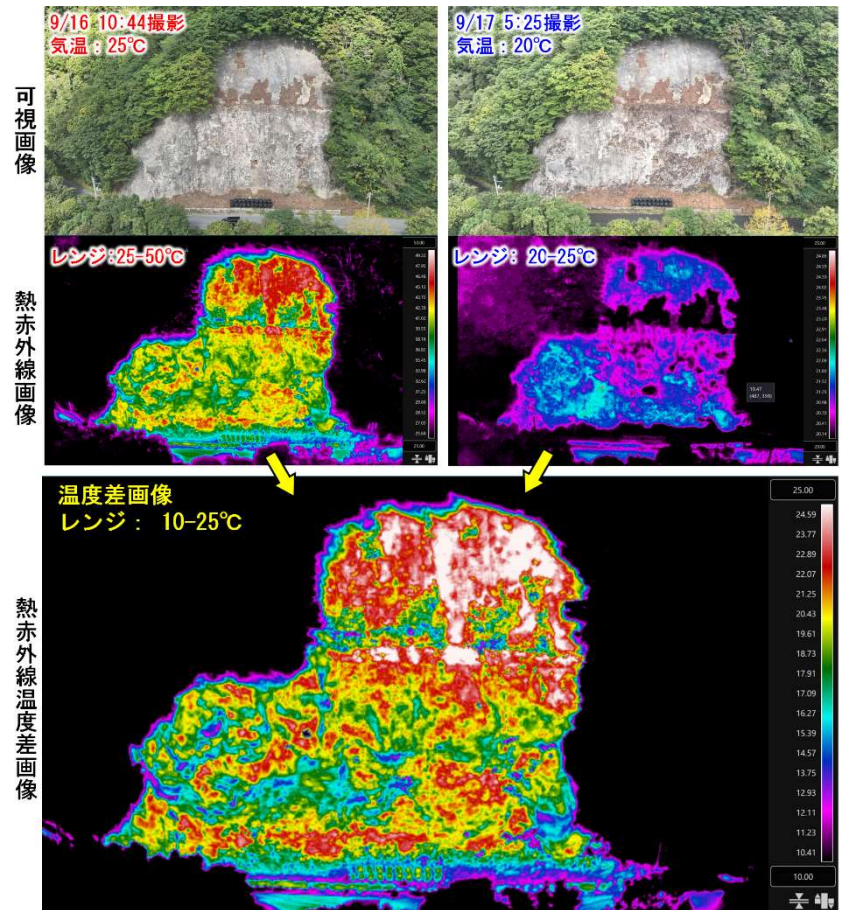


図-3 熱赤外線画像の解析