

UAV を活用した吹付法面の老朽化診断

中国地方整備局 中国技術事務所

○上田 修靖

宮田 修

秦岡 賢明

1. はじめに

吹付モルタル工は、急峻な岩盤斜面や切土法面の風化・浸食防止を目的として多用されているが、近年、老朽化に伴う災害が発生するなど、その維持管理が問題になっている。特に、災害リスクを抱えた道路に面する吹付法面は、国や自治体を実施する道路防災点検によって定期点検が実施されているものの、高所部や急峻部においては安全面から点検が困難な場合もある。また、吹付法面の老朽化問題は、その数も膨大であり、安全に・簡易に・低予算で維持管理を行うことができる技術が求められている。

本稿は、無人小型航空機（UAV）と熱赤外線映像法を組合わせた吹付法面の診断方法の紹介であり、映像処理の工夫を含めることで調査精度を確保しつつ、調査の省力化・効率化の可能性について検証するものである。

2. 熱赤外線映像法の概要

(1) 原理

熱赤外線映像法は物体から放射される熱赤外線エネルギーを検出し、その表面温度の差分を平面的に映像化することによって、物体内部の状態や性質を調査する非破壊探査技術である(図-1,2)。計測は2時刻の温度差分布が得られるように、日照の少ない朝方や日没後と、日射が最大となる昼間の2時刻が撮影時刻として選ばれることが多い。平成8年1月に建設省土木研究所から「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」が発刊されており、適用事例も増えている。一方、現場条件が解析結果に与える影響も大きく、調査結果を誤認しないために、コア抜きや打音調査等を併用するといった適用方法が一般的となっている。

(2) 従来法の問題点

従来の撮影方法は赤外線サーモグラフィを三脚に取り付け(図-1,2)、法面に対してできるだけ正対した位

置で測定していた。しかしながら、従来法で長大法

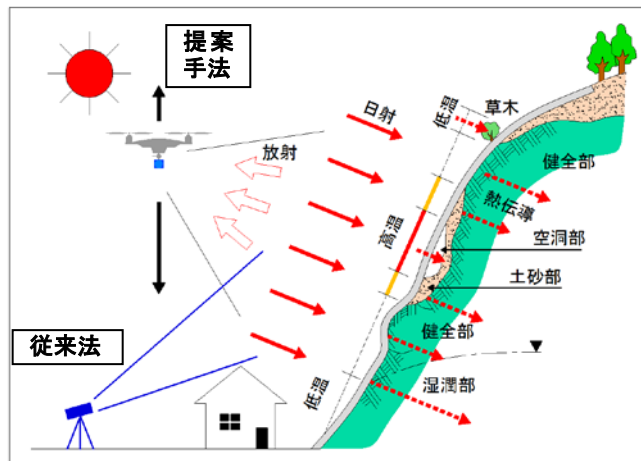


図-1 昼間における熱赤外線映像法の原理図

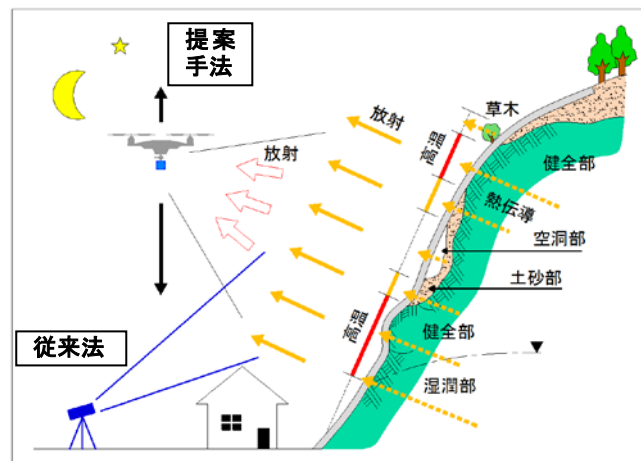


図-2 夜間における熱赤外線映像法の原理図

面を撮影しようとした場合、近影からでは1回の撮影範囲が狭くなり、遠景からでは情報量が低下する問題があった。また、法面上部は正対で測定するよりも1画素あたりの測定面積が広くなり、そのぶん分解能が低下するため、測定精度が低下する問題があった。さらに、建物などの障害物がある場合、その背後の撮影ができず、吹付法面の診断ができない。

(3) UAV撮影の有効性

近年、UAVに赤外線サーモグラフィを搭載し(図-3)、法面に対して上下に移動しながら撮影することで、これまで人が近づくことが困難であった急崖部

や高所部の撮影が容易になった(図-1,2)。さらに、従来法では困難であった正対撮影が可能となり、解析精度の向上が期待されている。しかしながら、撮影位置が管理しにくい UAV に対して、従来法のように同位置における 2 時刻の差分データを作成し、評価することは容易ではない。



図-3 赤外線サーモグラフィを搭載し UAV

3. 事前調査

(1) 吹付法面の概要

現場は国道に面する東南向きの幅 125m の吹付法面である(図-4)。左側は高さ約 30m(4 段)、右側は高さ 20m(3 段)であり、勾配 1 : 1.0 である。建設から約 40 年経過しており、モルタル片の剥落が発生しており、顕著な箇所では簡易ネットで飛散防止対策が図られている。

吹付法面は尾根の先端部に位置しているため(図-5)、法面端部の地質は脆弱であると推測される。地質は強風化凝灰岩である。多くの水抜き穴に土砂が堆積しており(図-6)、風化の影響により、背面は土砂化していると想定される。また、法面頂部に大規模な崩壊を予想させるような変状も確認されていない。事前調査として、法面観察および打音調査を実施した。



図-4 全景写真

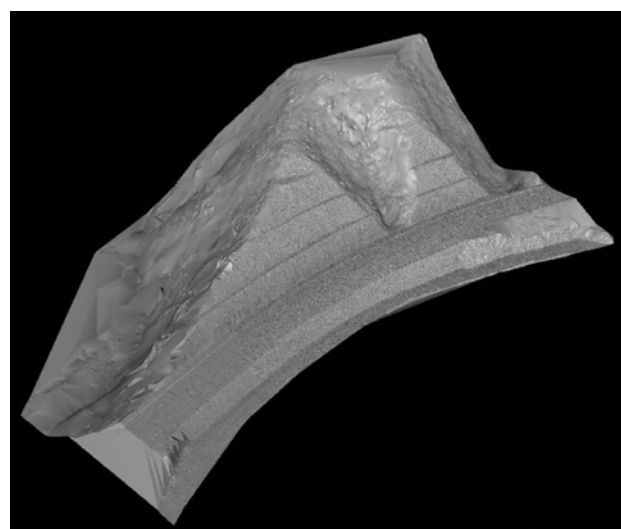


図-5 植生を除去した後の地形形状



図-6 背面から流出し水抜き穴に堆積する土砂

(2) 法面観察

吹付法面の劣化は、様々な要因が複合して起こる場合が多い。単に亀裂の発生に着目するのではなく、亀裂の形態を観察して、どのような機構でそのような亀裂が発生したか考察した。亀裂は吹付法面全体に分布しており、互いに連結しており(図-7)、吹付自体の劣化が進行していると考えられる。亀裂は段差亀裂(図-8)と開口亀裂(図-9)に区分される。段差

亀裂は地山の土砂化に伴い、背面からの土圧が作用した結果、発生したものと考えられる。また、法尻部にも僅かに迫り出した水平亀裂が発生しており、吹付と地山の密着性が低下し、吹付が自重を支えきれなくなり、吹付の滑動も懸念される。開口亀裂については、亀裂に沿って風化し、空洞化や土砂化が進行した結果と考えられる。

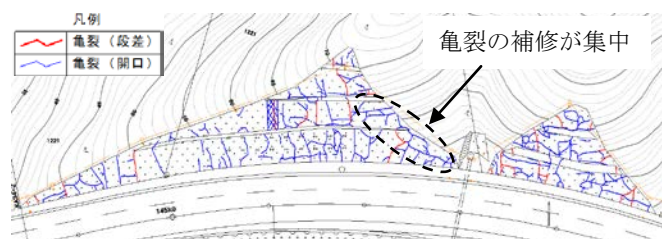


図-7 亀裂分布図



図-8 段差を伴う亀裂（青色の亀裂）



図-9 開口亀裂（赤色の亀裂）

(3) 打音調査

打音調査は点検で実施可能な法尻部を対象とした。この結果、法面端部および段差を伴う亀裂の周辺で「不良」が確認され、多くが「やや劣化」と評価さ

れた(図-10)。

同時にコア抜き調査も実施した。この結果、「不良」部分の背面は空洞であり、「やや劣化」部分の背面は土砂および風化岩であった。また、多くの水抜き穴に土砂が堆積していることから、背面が土砂化していると考えられ、空洞調査結果と整合が図られている。空洞は土砂で埋まっている可能性もある。法面全体に亀裂が発生していることを考えれば、モルタルの老朽化と合わせて、背面の土砂化が進行し、地山からの土圧が作用して亀裂が伸長していることも考えられる。

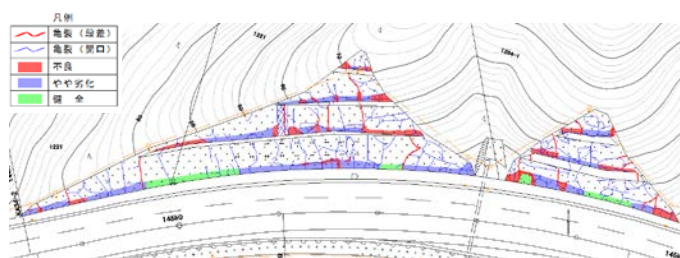


図-10 打音調査結果

4. 熱赤外線映像法 による吹付法面の老朽化診断

(1) 撮影条件

調査日は2月下旬である。UAVを目視で操縦する必要があるため、撮影は日の出後の午前7時（外気温0℃；風速0.3m/s）と午後2時（外気温12℃；風速2.1m/s）の2回実施した。

UAVは手動操縦で法面を直角に撮影できるように上下・道路縦断方向に飛行させた。また、UAVをできるだけ法面に近づけて複数枚撮影することで、解析精度を高めることにした。

(2) オルソフォトを活用した温度データの解析

図-11の差分温度分布画像は遠景からの一画角写真ではなく、解析精度向上を目的として国道のすぐ外側からUAV撮影した約500枚の写真を合成して作成した。このため、一画角の写真よりピクセルが多くなり、温度データの精度が向上している。

従来法では、撮影位置、撮影角度が同一であるため、差分処理が容易であるが、UAV撮影はそれが困難である。このため、以下の過程に示す映像処理を施すことで、従来法と同様のデータを作成した。

① 近接撮影した複数の熱赤外線画像1枚ずつをオ

ルソフット(正射変換処理)して、座標を持たせ、ひずみのない画像データを作成する。それを午前・午後の2時刻でそれぞれ作成する。

- ② 別に UAV 撮影した複数の法面写真も同様にオルソフット化する。
- ③ ①の写真の座標を合わせるように合成して1枚の単写真を作成する。②も同様に行う。
- ④ ③で作成した1時刻毎の熱赤外線写真と法面写真を重ね合わせて、2時刻それぞれの画像データを作成する。
- ⑤ ④で作成した2時刻の温度データの差分を計算し、差分温度分布を作成する(図-11)。

このように画像をオルソフット化することで、従来法と同様の2時刻の差分データを作成することができ、あえて UAV を同一の飛行ルートで飛行させなくても、温度データを評価することが可能となる。

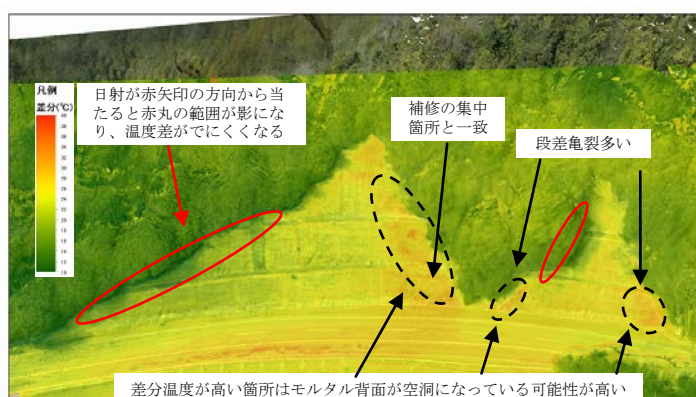


図-11 差分温度分布(法面画像データにオルソフット化した熱赤外線画像を貼り合わせた写真)

(3)測定結果

測定結果より(図-11)、左側法面の右端部に温度差が大きい箇所が存在しており、亀裂の補修が集中している箇所と整合している。第2,3法面右端部の打音調査では「不良」と評価され、熱赤外線の結果と整合している。さらに、法面最上段でも整合が図られている。これより、右端部及び上部で「浮いている」箇所が広く分布している。相対的な温度差が小さい箇所(黄～黄緑)は、土砂化部分を主体としていると考えられる。

右側法面の第1法面両端部に差分温度が大きい箇所が確認されている。段差亀裂の位置および打音調

査の「不良」位置と整合しており、両端部は「浮いている」と評価する。

一方で、法面の左端部には、打音調査における不良箇所や段差亀裂など確認されているが、温度差が低い結果(緑)になっている。これは樹木によって影になる箇所であり、法面の立地環境条件によっては適切な診断ができないことを示している。

5. まとめ

熱赤外線映像法による吹付法面の老朽化診断は一般的なものであるが、本報告では UAV から撮影した画像をオルソフット化することで、データの整合を図り、事前調査結果と比較することで、その有効性を確認した。今回の結果を受けて、今後、道路に面した長大法面や急峻な斜面の高所部など、調査員が日常パトロールで容易に確認できない現場でも、UAV を活用することで吹付法面の老朽化診断がより容易になると期待される。

UAV による撮影は1回30分程度であり、画像処理も全てコンピュータで処理するため、作業の省力化を図ることが可能である。

一方で、熱赤外線映像法自体で背面空洞の深さを把握することはできず、測定結果は様々な条件に影響を受ける。このため、その適用に当たっては現場環境条件を十分熟知して、それを加味した考察が大切である。

今後は従来法と本手法を同じ現場で実施し、その結果の違いから本手法の妥当性を検証していく必要がある。

キーワード 吹付法面, 熱赤外線映像法, UAV, オルソフット, 維持管理, 診断

連絡先 〒736-0082 広島県広島市安芸区船越南 2-8-1

TEL 082-822-2340