

熱赤外線画像解析を用いたモルタル吹付のり面の健全度評価

日本地研株式会社 ○木村 健志, 山下 武志, 岡崎 成昭

1. はじめに

我が国では、高度経済成長期の昭和 40 年頃から現在に至るまで、数多くのモルタルやコンクリート吹付のり面（以下、吹付のり面）が施工されてきた。その中でも、モルタルの耐用年数はコンクリートと比較して 30 年程度と短く、施工から 40～50 年以上が経過した吹付のり面は老朽化の一途をたどり、維持管理における健全度評価の重要性が高まっている。

吹付のり面の健全度評価は、従来から打音調査やコア抜き調査など人員と日数を要する直接的な調査が主流であり、広かつ多数の調査対象に対して作業の効率化や簡素化が望まれている。

こうした中で、熱赤外線調査は広範囲を効率的に評価できる非破壊検査として有効であり、汎用性の高さから UAV などの新技術を用いた洗練化も進んでいる。

本報告では、吹付のり面の健全度評価を目的として UAV を利用した熱赤外線調査の事例を紹介し、これらの解析手法や適用に際しての留意点について述べる。

2. 熱赤外線調査の概要

(1) メカニズム

吹付のり面の表層温度は日照の影響を受け、日中〔高温時〕と夜間〔低温時〕で空洞部や健全部に差が生じる（図-1）。熱赤外線調査はこの現象を利用し、サーモグラフィカメラで検出した 2 時刻の表層温度の差分をとることで、異常部（温度差の大きい範囲）を強調し、相対的な温度分布の違いから吹付背面の空洞、土砂、湿潤の分布範囲を推測する手法である（表-1）。

表-1 地山性状別の表面温度特性¹⁾

背面性状	表面温度		2 時刻の温度変化
	昼間	夜間	
空洞部	特に高温	低温	特に大きい
土砂部	高温	低温	大きい
健全部	やや低温	高温	小さい
湿潤部	特に低温	低温	特に小さい

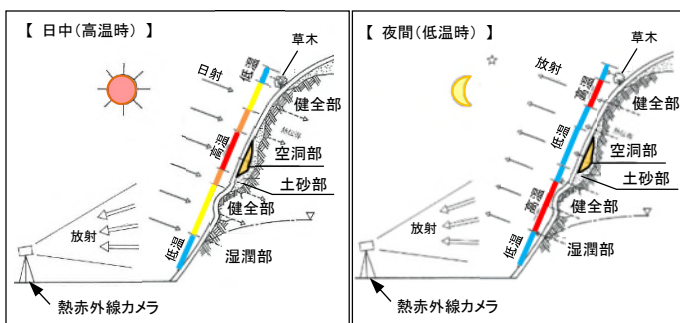


図-1 吹付のり面の熱移動模式図(左:日中, 右:夜間)¹⁾

(2) 調査手法

熱赤外線調査の調査手順の一例を図-2に示す。



図-2 熱赤外線調査フロー

熱赤外線調査では、対象のり面の温度変化を詳細に捉えるため、日照時間やのり面形状、植生・湧水など現場状況を踏まえた撮影計画の策定が重要となる。特に植生は日照を遮るため、可能な限り除去しておくことが望ましい。撮影ではカメラの画角に応じて地上撮影（高所作業車の併用）、UAV 撮影など手法を選定する。撮影画像から空洞部や土砂部を抽出し、検証調査（目視・打音・コア抜き）で精査する。これらの結果を総合的に解析し、のり面健全度を評価する。

3. 調査事例

(1) 現場条件と撮影手法

調査事例は結晶片岩地域にある道路のり面が対象で、180° 回転のカーブ区間に位置する（写真-1）。対象のり面では日照範囲が刻々と変化するため、細かな時間間隔での撮影が求められた。また、対面に高所が無く、交通規制も制限されていたため、地上撮影は困難と判断し、機動力があり画角制限の少ない UAV 撮影を計画した。



写真-1 調査のり面全景

なお、UAV 飛行には空港や航空局が定める制限があり、該当項目の確認と許可申請が必要となる（表-2）。

表-2 UAV 飛行に伴う制限と許可申請（例）

UAV飛行に伴う制限	対応・許可
空港の飛行制限（標高146m以上）	UAV最大高度 120m → 問題なし
人または物件との距離30m以内での飛行 夜間飛行（日の出前撮影）	許可申請→承認 （大阪航空局）

UAV 撮影は1回5分の飛行で、のり面の周囲7箇所を経由し、14枚の画像を取得した。これを日照状況に合わせて30分～1時間毎に実施し、詳細な温度変化の把握に努めた。このような小刻みな連続撮影は UAV 手法の長所であり、調査精度の向上に有効である。

(2) 熱赤外線画像解析結果

取得画像のうち、顕著な空洞部が存在したカーブ付近を代表として示す（図-3）。UAV 撮影でも陸上撮影と遜色ない精度の画像が取得できた。

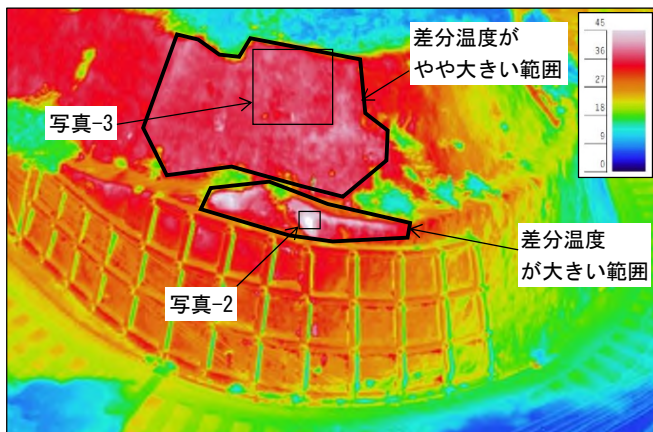


図-3 熱赤外線画像(温度差分画像)

当該範囲は1段目の法枠工の上部に「差分温度が大きい」範囲が、2段目に「温度差分がやや大きい」範囲が存在する。前者は、50mm のズレを伴うクラックが分布し（写真-2）、吹付背面に深さ40mm の空洞を確認した（図-4）。後者は小規模クラックが点在する程度だが（写真-3）、地山の土砂化と深さ10mm の空洞を確認した（図-5）。



写真-2 ズレを伴うクラック

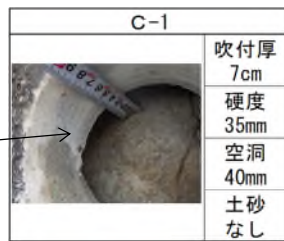


図-4 吹付背面の空洞

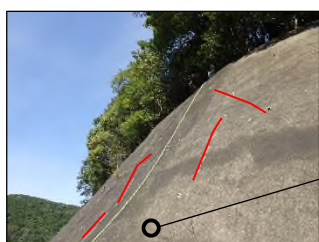


写真-3 小規模なクラック

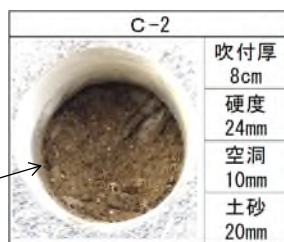


図-5 吹付背面の土砂化

このように、温度差分が大きい範囲は、空洞部や土砂部と一定の相関性を確認できた。また、表層のクラックが少なく、一見して健全な範囲に潜在する空洞や土砂部を抽出できたのは熱赤外線調査の特性と言える。

今回、UAV の活用で撮影ポイントを GPS 管理でき、時間帯の複数ポイントの経時的な熱赤外線画像を記録できた。これにより、日照範囲の細かい変化を考慮した温度変化の判別が可能となった。仮に、地上で同様の撮影を行う場合、機材が7セット必要となり、人員やコストの面で実現が困難である。

4. 吹付のり面の健全度評価

健全度評価は、地山強度とのり面標準勾配、吹付自体の健全度、吹付と地山の密着性に着目して行った（表-3）。

表-3 のり面健全度の評価項目一覧

評価項目	現地状況	判定
① 土壌硬度計での地山強度 ²⁾	硬度計: 1段目 32~36mm → 軟岩 2段目 15~28mm → 土砂~風化岩	2段目 土砂化の進行
② のり面標準勾配 ³⁾	現況のり面勾配: 1段目(軟岩) 「1:0.8」 2段目(土砂~風化岩) 「1:1.0」 標準勾配: 軟岩「1:0.5~0.7」、風化岩「1:0.7~1.2」 礫質土(密実なもの)「1:1.0」	概ね基準を満たす
③ 吹付自体の健全度 ⁴⁾	1段目: 開口幅50mmのクラック、植生が生育 吹付の健全性評価区分「健全度: 低下」 2段目: 開口幅1~10mmのクラック 吹付の健全性評価区分「健全度: 軽微な低下」	軽微な低下 ~ 低下
④ 吹付と地山の密着性 ⁴⁾	1段目: 空洞40mm 密着性の健全性評価区分「健全度: 低下」 2段目: 空洞10mm、土砂化が進行 密着性の健全性評価区分「健全度: 軽微な低下」	軽微な低下 ~ 低下

対象のり面では、一部で地山の土砂化が見られるが、のり面安定性は概ね健全と判断できる。一方で、吹付の健全性と密着性の性能低下が認められたことから、熱赤外線画像を基に範囲を選定し、「増厚吹付工」、「空洞充填工」、「ひび割れ補修工」を提案した。

5. まとめ

熱赤外線調査は、参考図書が平成8年を最後に更新されていない技術であるが、近年 UAV での撮影手法が加わり、調査環境が大きく変化した。既往調査では、地上撮影において画角の制約でのり面全体を捉えられない事例も多く、高所作業車での対応にも限界があった。この課題をドローン撮影技術が解決したことで、調査の汎用性が大幅に向上した。今後は UAV 撮影での調査手法が主流となる可能性が高く、我々も経験と実績を蓄積し、技術の進歩に対応できるよう研鑽に努めていきたい。

《引用・参考文献》

- 1) 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 (1996) : 建設省土木研究所, pp. 15-37.
- 2) 設計要領第一集 土工編 (2010) : 西日本高速道路株式会社, pp. 参3-17.
- 3) 土木工事設計要領 (2023) : 国土交通省 九州地方整備局, pp. 道1-70.
- 4) 吹付のり面 診断・補修補強の手引き (2014) : のり面診断・補修補強研究会, pp. 101-102.