

小型無人航空機(ドローン)に搭載した 赤外線カメラを用いたモルタル吹き付け 法面の点検手法の提案

松岡 佑樹¹・藤生 慎²・高山 純一³

¹学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科環境デザイン学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:yuki.sapphire.12@gmail.com

²正会員 金沢大学 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:fujju@se.kanazawa-u.ac.jp

⁵フェロー 金沢大学 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:takayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

モルタル吹き付け法面の維持管理は、道路防災点検や道路管理者が定めた点検要領等にしたがって行われているが、他の土木構造物と同様に、限られた予算や人員の中で、効率良く適切な維持管理を行うことが、今後より重要になっていくと考えられる。そこで、本研究では、法面点検の効率化を目的にドローンに搭載した赤外線カメラの映像に AI を適用し、法面の浮きの把握を試みた。ドローンに搭載した赤外線カメラで石川県の県道 207 号線沿いモルタル吹き付け法面の撮影を行い、法面の赤外線画像を AI に学習させ、法面裏の浮きを判定するモデルを作成した。作成した AI モデルを用いて石川県の県道 209 号線沿いのモルタル吹き付け法面の赤外線画像の判定を行ったところ、打音検査により浮きが認められた箇所を浮きがあると判定することが可能となった。

Key Words:unmanned aerial vehicle (UAV), infrared camera, slope, inspection, AI

1. はじめに

わが国では、高度経済成長期に多くの土木構造物が建設されてきた。しかし、人口減少、少子高齢化、国や地方自治体の財政難などの状況下において、新規の土木構造物の建設は抑制され、現在は既存の構造物を維持管理することが重要視されている¹⁾。

土木構造物の中でもモルタル吹き付け法面は、高度経済成長期とともに昭和 40 年代に多く施工され、昭和 40 年代後半には 800 万 m³/年もの施工量があったといわれている²⁾。現在、道路法面の維持管理は、道路防災点検や道路管理者が定めた点検要領等にしたがって行われているが、他の土木構造物と同様に、限られた予算や人員の中で、効率良く適切な維持管理を行うことが、今後より重要になっていくと考えられる。

そこで、本研究では、法面点検の効率化を目的に小型無人航空機(ドローン)に搭載した赤外線カメラの映像を AI により分析を行い、法面の浮きの把握を目指す。法面の劣化には、亀裂、剥離、浮き、空洞、はらみだし、

目地のずれ、土砂のこぼれ出し等があるが、本研究では、赤外線カメラの特性から浮きの把握のみを点検の効率化の対象としている。

2. 既往研究の整理

本研究の目的に沿って、モルタル吹き付け法面の劣化の把握及び点検手法に関する既往研究についてレビューを行った。

吉田ら³⁾は、現地のり面における吹付けコンクリートの劣化度調査からのり面防護用吹付けコンクリートの劣化形態は、表層のはく離、施工目地からの劣化、吹き重ね部の劣化、吹付け背面の空洞化など様々あり、のり面の立地環境によりその状況も異なることを明らかにしている。

松山ら⁴⁾は、吹付けコンクリートの劣化状況を材料工学的な手法により調査し、そのメカニズムを検討することにより今後ののり面の点検手法および維持管理について提言している。



図-1 本研究の分析対象とした



図-2 本研究の分析対象とした
県道 209 号線沿いの法面

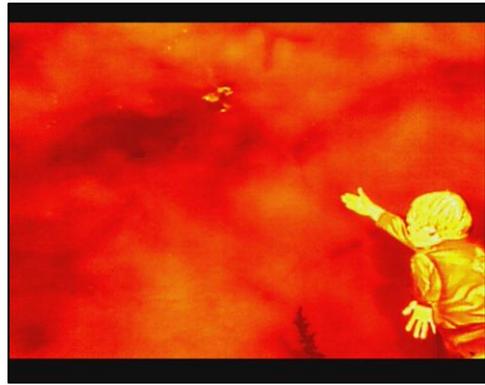


図-3 県道 207 号線沿いの法面の赤外線画像
(指差しによる浮き箇所の確認)

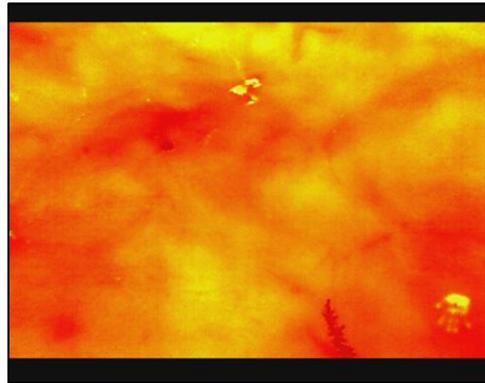


図-4 県道 207 号線沿いの法面の赤外線画像

井元ら⁹⁾は、車載型レーザー計測システムの全方位画像及び LiveViewer を用いてのり面の画像判読点検を行っており、のり面高さ 5m 未満の場合、ひびわれ幅 1mm 程度であれば目視により判読が可能であることを示した。

日本工営株式会社⁷⁾では、熱赤外線画像による吹付のり面の老朽化診断により、維持管理方針をの提案を行っている。

林ら⁸⁾は、赤外線サーモグラフィを用いて吹付けのり面工表面の熱放射量を面的に検知し、画像化した温度分布から、吹付け背後の空洞範囲の推定を行っている。

法面工の劣化に対し様々な研究が行われており、法面工の点検や維持管理の重要性が窺える。

本研究と井元らや日本工営株式会社、林らの研究との差異は、ドローンに搭載した赤外線カメラを用いることで点検の適用範囲が大幅に増加する点と、目視による法面裏の浮きの把握ではなく、AI を用いて把握を行う点である。

3. 調査概要

本研究では、小型無人航空機(ドローン)に搭載した赤外線カメラを用いて、法面を撮影し浮きの把握を行う。以下に、対象とした法面と撮影に用いたドローン及び赤

外線カメラの仕様を示す。

(1) 対象法面

今回対象とした法面は、石川県の県道 207 号線沿いの法面(図-1)、県道 209 号線沿いの法面(図-2)の二箇所である。撮影日時は、2017 年 11 月 22 日に行った。赤外線カメラを用いて県道 207 号線沿いの法面(図-1)の一部を撮影した画像を図-3,4 に示す。図-3 では、コンクリート診断士が打音検査により法面裏に浮きがあることが確認できた箇所を、研究室の学生が指差して示しており、図-4 は法面のみを赤外線カメラで撮影した画像である。図-3,4 より、法面裏が浮いている箇所は温度が高いことを示す白または黄色で表示され、浮いていない箇所は温度が低い赤色で示される。これは、撮影が早朝で気温が低かったため、法面裏の浮きある箇所は空気の温度が高く、浮きがない箇所は冷たくなっていたと考えられるため、温度差が現れたと考えられる。以上より、赤外線画像からモルタル吹き付け法面の浮きが目視により把握することが可能であることが得られた。

(2) 法面の撮影に用いたドローンと赤外線カメラの仕様

今回の調査で用いたドローンは DJI の Inspire1(図-5)、赤外線カメラは DJI と FLIR 共同開発の Zenmuse XT(図-6)



図-5 法面の撮影に用いたドローン⁹⁾



図-6 建物被害の撮影に用いた赤外線カメラ⁹⁾

を用いた。赤外線カメラの主な仕様¹⁰⁾を表-1に示す。赤外線イメージャーは非冷却 VOx マイクロボロメータ、ピクセルピッチは 17 μm、フルフレーム率は 30Hz(NTSC : National Television System Committee)もしくは 25Hz(PAL : Phase Alternating Line)、感度は<50mK at f/1.0である。

4. 法面の浮きの把握

図-4に示したモルタル吹き付け法面の赤外線画像の温度差を AI に学習させ、AI により法面裏の浮きを把握できるか検証を行った。

(1) 本研究で用いた AI の概要

本研究では、法面裏の浮きについて効率的な把握を目指している。したがって、人による目視判定ではなくコンピュータによる自動判定を目指す。ゆえに、その判定には AI を用いることとした。

本研究で用いる AI は、Microsoft 社が開発している Microsoft Azure の Cognitive Services Custom Vision である。Microsoft Azure の Cognitive Services とは、人間の認知機能をモデル化し、そのモデルを API として提供している 7 サービス群の総称であり、言語、音声、視覚、知識、検索(Bing)等を簡単かつ効率的に処理出来る SDK/API サー

表-1 赤外線カメラの仕様¹⁰⁾

赤外線イメージャー	非冷却 VOx マイクロボロメータ	
FPA/デジタルビデオディスプレイ・フォーマット	640 × 512	336 × 256
ピクセル・ピッチ	17 μm	
フルフレーム率	30 Hz (NTSC)	
	25 Hz (PAL)	
感度 (NEΔT)	<50 mK at f/1.0	

表-2 AIモデルの学習結果

タグ	精度	想起
浮きあり	93.60%	83.10%
浮きなし	95.20%	92.70%

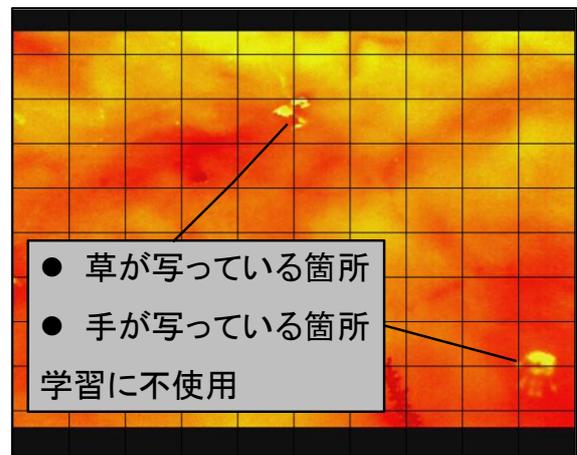


図-7 県道 207 号線沿いの法面の赤外線画像(図-1)を分割した画像

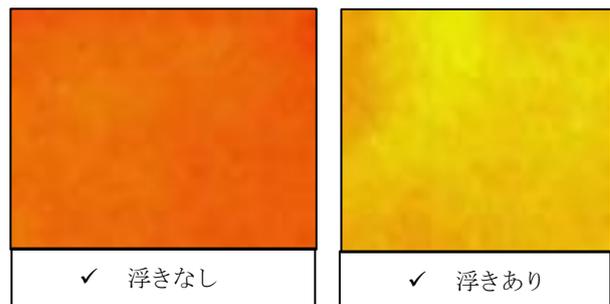


図-8 AI の学習のための画像分類とタグの設定

ビスを提供しているアプリケーションである。このサービスの視覚に当たるのが Custom Vision であり、画像の分析を担っている。今回の分析では Custom Vision を用いて、モルタル吹き付け法面裏の浮きの有無を判定を行う。

(2) AI の学習

AI による分析を行うためには、AI に学習させるため

の学習データが必要になる。今回の分析では、県道 207 号線沿いの法面(図-1)の赤外線画像を学習データとして用いた。学習させる前に、図-1 を縦 10×横 10 に画像を分割し(図-7)、1枚ずつ浮きの箇所と浮きがない箇所を分け、浮きあり、浮きなしのタグ(図-8)をつけて学習させた。浮きありのタグを 35 枚に、浮きなしのタグを 41 枚につけた。ただし、画像の上下 10 枚ずつ計 20 枚と草、手形が写っている箇所の画像は、学習させる画像から除外した。

学習した結果を表-2 に示す。今回作成した AI モデルの学習結果は、「浮きあり」の精度が 93.60%、想起が 83.10%であり、「浮きなし」の精度が 95.20%、想起が 92.70%であった。どちらのタグにおいても精度が 90%を超えているので良好なモデルと言えるだろう。

5. AIによる法面裏の浮きの判定

4章に示した AI モデルを用いて県道 209 号線沿いの法面(図-2)の浮きの判定を行った。県道 209 号線沿いの法面の赤外線画像(図-9)を AI を用いて浮きの判定を行う前に、図-7 と同様に、縦 10×横 10 に画像を分割(図-10)し分析を行った。ただし、画像の上下 10 枚ずつ計 20 枚と手形が写っている箇所の画像は、判定から除外した。

県道 209 号線沿いの法面の赤外線画像の判定結果を図-11 に示す。浮きありの確率が、30%未満のときチェック「✓」、30%以上 60%未満のとき「!」、60%以上のとき「×」と表示した。図-9,10,11 を比較すると浮きがある箇所が「×」で表示されており、浮きの判定できていることがわかる。

5. まとめと今後の課題

法面点検の効率化を目的に、小型無人航空機(ドローン)に搭載した赤外線カメラでモルタル吹付け法面を撮影した。撮影した県道 207 号線沿いの法面の赤外線画像を AI に学習させ、法面裏の浮きを判定することが出来るモデルを作成した。作成した AI モデルを用いて県道 209 号線沿いの法面の赤外線画像の判定を行ったところ打音検査により浮きが認められた箇所を浮きがあると判定することができた。

今後の課題として、今回分析に用いた赤外線画像は朝に撮影した画像であったが、撮影する時間帯によって浮きが赤外線画像にどう写るかを把握し分析に考慮する必要がある。時間帯と同様に、季節による変化も考慮する必要があると考える。また、法面が向いている方向により太陽光の当たり方に差異が生まれ、赤外線画像の写り方が変わってくるということが考えられるため、今後様々な条

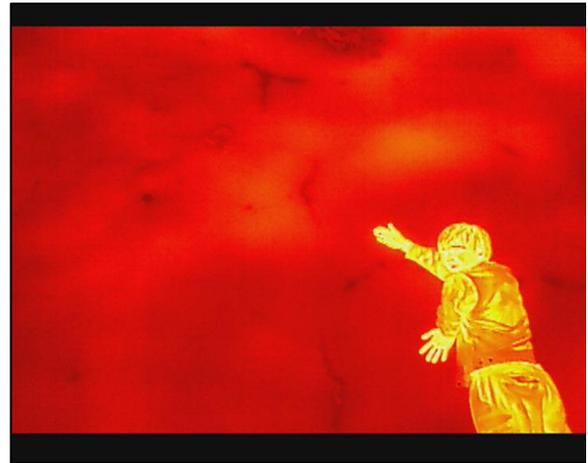


図-9 県道 209 号線沿いの法面の赤外線画像

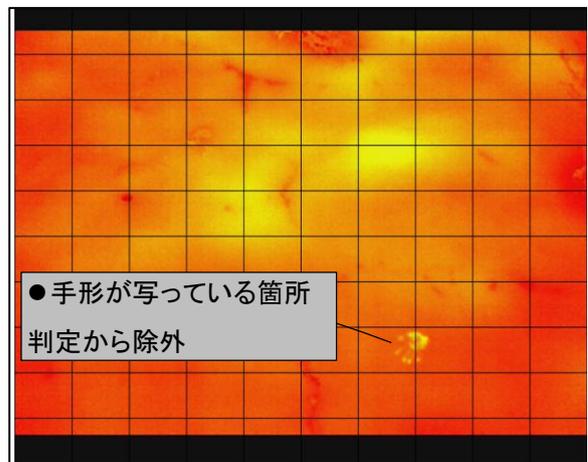


図-10 県道 209 号線沿いの法面の赤外線画像(図-9)を分割した画像

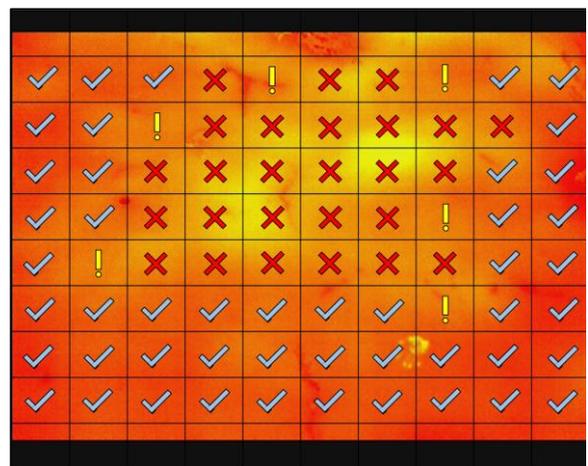


図-11 県道 209 号線沿いの法面の赤外線画像の判定結果

件で実験を行う必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省 道路局：総点検実施要領(案)【道路のり面工・土工構造物編】(参考資料)，平成 25 年 2

- 月
- 2) 一般社団法人建設コンサルタンツ協会近畿支部 公共土木施設の維持管理に関する研究委員会：斜面・のり面の適切な点検手法の手引きと補修・補強工法選定資料，平成 24 年 7 月 1 日
 - 3) 補強土工法研究会 老朽化吹付のり面補修工：
<http://www.japan-hokyoudo.jp/roukyuuka-morutaru.html>，
(最終閲覧日：2018 年 7 月 30 日)
 - 4) 吉田 行，田口 史雄，山崎 勲：のり面防護用吹付けコンクリートの劣化度調査と性能評価，北海道開発土木研究所，月報第 617 号，2004
 - 5) 松山裕幸，天野浄行，山本高司：吹付けコンクリートの安定性と劣化状況，土木学会論文集 F, Vol.62, No.3, pp.445-458, 2006.7
 - 6) 井元成治，辻求，小堀裕貴：LiveViewer を用いた画像判読点検による道路のり面工点検について 道路ストック総点検の効率化、省力化を目指して，アジア航測株式会社 西日本空間情報部，技術紹介 http://www.ajiko.co.jp/dl/pdf_ff2016/p32-33.pdf
(最終閲覧日：2018 年 7 月 30 日)
 - 7) 日本工営株式会社：熱赤外線画像による吹付のり面の老朽化診断，
https://www.n-koei.co.jp/rd/technology/pdf/h16pr_13.pdf
(最終閲覧日：2018 年 7 月 30 日)
 - 8) 林智明，上坂光泰：熱赤外線映像法によるのり面調査，NiX Technical Report, 2014
 - 9) FRIR HP：
<http://flir.com/suas/content/?id=73063>，
(最終閲覧日 2016 年 1 月 31 日)
 - 10) FLIR HP (Zenmuse XT)：
<http://www.dji.com/jp/zenmuse-xt/info>，
(最終閲覧日 2016 年 2 月 22 日)

PROPOSAL OF MORTAR SPRAY SLOPE INSPECTION METHOD USING THE INFRARED CAMERA MOUNTED ON DRONE

Yuki MATSUOKA, Makoto FUJIU, Junichi TAKAYAMA