

橋梁の画像診断における赤外線カメラを用いた コンクリート浮きの検出に関する基礎的研究

南 貴大¹・浦田 渡²・松岡 佑樹³・藤生 慎⁴・
福岡 知隆⁵・須田 信也⁶・高山 純一⁷

¹学生会員 金沢大学大学院 環境デザイン学専攻 (〒920-1192 金沢市角間町)
E-mail: taketaka0503@stu.kanazawa-u.ac.jp

²学生会員 金沢大学 環境デザイン学類 (〒920-1192 金沢市角間町)
E-mail: superw7@stu.kanazawa-u.ac.jp

³学生会員 金沢大学大学院 環境デザイン学専攻 (〒920-1192 金沢市角間町)
E-mail: yuki912@stu.kanazawa-u.ac.jp

⁴正会員 金沢大学助教 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: fujiau@se.kanazawa-u.ac.jp

⁵正会員 金沢大学博士研究員 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 金沢市角間町)
E-mail: tfukuoka@se.kanazawa-u.ac.jp

⁶非会員 株式会社WorldLink&Company SkyLink Japan (〒603-8053 京都市北区賀茂岩ヶ垣内町98-2-2F)
E-mail: s.suda@skylinkjapan.com

⁷正会員 金沢大学教授 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 金沢市角間町)
E-mail: takayama@se.kanazawa-u.ac.jp

高度成長期に建設された橋梁が一斉に高齢化する中で、予防保全的維持管理が重要視されている。しかし、近接目視による点検は、高所作業車・橋梁点検車などを利用するため点検費用が高価であり、現場での時間を要する。そこで、筆者らは、超高解像度カメラで撮影された画像を用いて画像目視による点検環境の構築を行っている。ひび割れは可視光画像で検出可能であるが、浮きについては検出することが困難である。本研究では、赤外線カメラを用いることで、画像から浮きを検出する手法の提案を行う。基礎実験を行った結果、32m離れた場所からでも赤外線カメラを用いることで、温度変化をとらえることが可能であった。また、可視光画像と組み合わせることで、温度変化がある箇所の中から浮きを抽出することができる可能性があることが示唆された。

Key Words : bridge inspection, infrared camera, concrete flaking, unmanned aerial vehicle

1. はじめに

日本では、橋長2m以上の橋梁が約73万橋あり、その多くが高度経済成長期に建設されており、高齢化が進んでいる。緊急的に整備された箇所や立地条件が厳しい箇所では老朽化が顕在化している。地方自治体管理の橋梁では、2015年で約2300橋が通行規制を行っており、2008年から7年間で約2.4倍に増加している¹⁾。

一斉に高齢化する橋梁を予防保全的に維持管理するために、道路管理者は、国が定める統一的な基準により、5年に1度の頻度で近接目視による全数監視が義務づけら

れている。定期的な点検を行うことで、橋梁の最新の状態を把握するとともに、措置の必要性の判断を行う上で必要な情報を取得し、予防保全的維持管理を可能にしている。しかし、地方公共団体では、管理する橋梁の数に対して人材が不足していること、維持管理にかけられる財源が不足していることから、定期的に近接目視点検を行っていない自治体が一定数存在する。地方公共団体を対象に行った5年に1度の近接目視点検の義務化に関するアンケート調査²⁾では、点検業務の課題として財源・人材不足の課題が問題視されている。具体的な課題としては「職員・委託コンサル技術者の人数が、管理橋梁に対

して圧倒的に少ない」ことや「点検費用が高いため、修繕にお金があてられない」ことなどが挙げられている。特に市区町村においては、橋梁保全業務に携わる土木技術者が少なく、また、ひとつの橋梁にかけることができる点検業務費用についても都道府県などの規模の大きな自治体に比べて市町村では少ない。財源・人材の不足により、今後継続的に予防保全的に維持管理を行っていくことは困難である。

これらの課題を踏まえ、筆者らは超高解像度カメラを用いた橋梁の点検手法の提案を行っている³⁾。遠望から点検部位の全景を撮影した1億画素の画像を用いることで、近接目視点検と同じような感覚で、0.1mm程度のひび割れを視認できることが明らかになっている。1億画素の画像を用いることで、ひび割れについては、近接目視点検と同等に検出することが可能であるが、打音検査などで検出するコンクリートの浮きについては可視光画像からは検出することが困難であるといった課題がある。

本研究では画像点検の実現に向けて、可視画像では検出困難なコンクリートの浮きを赤外線カメラを用いることで検出する手法を提案する。赤外線を用いたコンクリートの浮き検出に関する既往研究では、鉄道トンネル坑内においてコンクリートの浮きを赤外線熱計測により非破壊、非接触で効率的に検査する方法が提案されており、撮影環境によってコンクリート浮きの検出精度が異なることが指摘されている⁴⁾。本研究で対象とする橋梁は、様々な立地条件に置かれており、高架橋や河川橋、跨線橋・跨道橋の撮影では、撮影条件に様々な制約があることが予想される。本研究では、コンクリート橋脚を対象に赤外線カメラを用いて浮きの検出可能性を示す。

2. 調査方法

(1) 撮影対象橋梁

撮影対象は石川県羽咋市にかかる架設年次1990年、橋長約120mで、海岸線からの距離300mに位置する路下条件が河川の橋梁とした。点検箇所については橋脚とし、構造形式はT型RC橋脚である。対象とした橋梁は2018年2月に定期点検が実施されており、点検車を使用して近接目視・打音検査が行われている。近接目視点検の結果（損傷図）を図-1に示す。近接目視点検時にコンクリートの浮きが確認されていることがわかる。浮き・剥離が確認された場合の叩き落しは、橋梁下に道路や鉄道がある場合など第3者被害が想定される場合に限り実施しているため、本研究で対象とする橋梁は実施されていない状態であった。

撮影対象橋脚を対岸（撮影距離約32m）から超高解像度カメラで撮影した1億画素の画像を図-2に示す。1億画

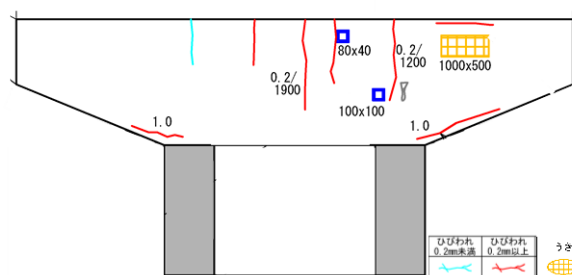


図-1 近接目視点検の結果（損傷図）



図-2 超高解像度カメラを用いた点検対象箇所の画像

素の画像を用いることで拡大を行っても画質が荒れることがないため、0.2mm以上のひび割れについても視認することができた。近接目視で確認されている浮きについても発生している箇所を拡大してみると、ひび割れが発生していることは視認できるが、当該箇所が浮いているかどうかの判断は困難であった。

(2) 使用カメラの概要

本研究で使用した赤外線カメラ⁵⁾は赤外線イメージャー：非冷却VOxマイクロボロメータ、ピクセルピッチ：17μm、フルフレーム率：30Hzの性能であり、約33万画素（640×512ピクセル）の画像を撮影することが可能である。UAV（Unmanned Aerial Vehicle）に取り付けることが可能であり、約20分程度飛行可能である。

赤外線カメラをUAVに搭載して撮影した様子を図-3に示す。操縦者は対岸（点検対象物から約32m）からUAVを操縦して撮影を行った。GPSの入らない橋桁の下におけるUAVでの撮影の場合、GPSと障害物検知が無効化状態で操縦するATTIモードでの操縦になるため、操縦は困難である。安全性を考慮すると、操縦者とUAVの距離はなるべく近い状態で撮影することが望ましい。そのため、本研究では、コンクリートの浮きの検出可能性の検証とともに、距離によってコンクリートの浮きの検出に影響があるのかについて把握を行う。撮影距離については、計測することが困難であるため、図-4に示す



図-3 赤外線カメラ搭載 UAV での撮影様子



図-5 撮影距離 10m の撮影様子



図-4 距離測定 UAV で撮影した赤外線画像の撮影様子

ように計測用の UAV を用いて側面から撮影することで、赤外線カメラを搭載した UAV と点検対象物との距離を計測した。撮影時間は10月の14時50分～15時40分の50分間、撮影距離を変えて撮影を行った。

3. 赤外線画像によるコンクリートの浮き検出

(1) 赤外線法とは

点検対象を赤外線カメラで測定し、熱画像として表示することで、その温度差と、温度差の生じている範囲から、浮き・剥離、表層部の内部空洞を検出する手法である。熱画像では、浮き・剥離がある場合は、その背面に空気層が介在するため、健全部に比べて温まりやすく冷めやすい特徴を有しており、表面の温度差として表示される。本研究では、撮影時間が夕方であったことから、浮きが発生している箇所は温まっていたことが考えられ、赤外線カメラで見た場合、浮きが発生している箇所は周りコンクリートの温度より高い温度で表示される。

(2) 撮影結果

赤外線カメラを搭載した UAV で点検対象物から10mの

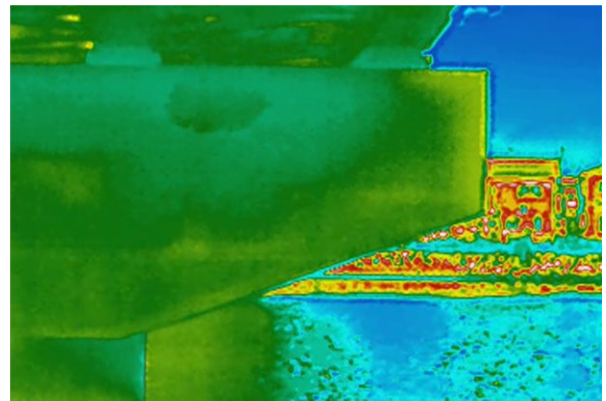


図-6 撮影距離 10m の赤外線画像

距離で撮影した様子を図-5に、その際に得られた赤外線画像について図-6に示す。赤外線画像は青色が温度が低い状態を示しており、赤色は温度が高い状態を示している。図-6によると、コンクリートの端部は日が当たりやすく、黄色を示している。一方橋桁で陰になっている直下のコンクリートは、薄水色を示しており、比較的低い温度を示している。近接目視点検で浮きと判断された箇所は、周囲が薄水色であるのに対し、緑色を示している。つまり温度が周囲のコンクリートと比べて明らかに高くなっている。しかし、近接目視点検時に浮きではないと判定された箇所においても同様に周囲と比べて温度が高くなっている箇所も見当たったため、事前情報がなかった場合、浮きでない箇所についても浮きであると誤検出してしまう可能性があることがわかった。

次に、赤外線カメラを搭載した UAV で点検対象物から約32mの距離で撮影した様子（対岸で飛行せずに撮影）を図-7に、その際に、得られた赤外線画像について図-8に示す。撮影時に画像の左方向から日が差していたため、コンクリートの右側と左側で温度の差がみられる。赤外線画像を見ると、約32m離れていても、近接目視で確認されている浮きの発生箇所が周囲のコンクリートの温度よりも高くなっており、確認することができる。し



図-7 撮影距離 32m の撮影様子

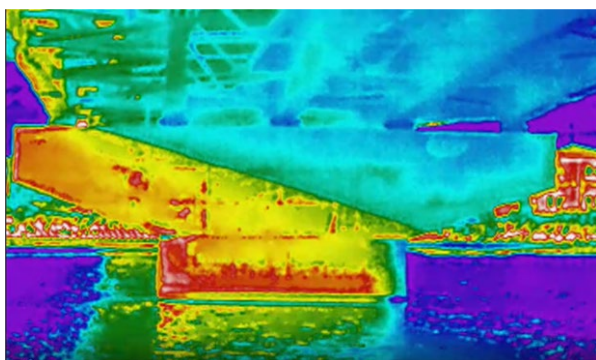


図-8 撮影距離 32m の赤外線画像

かし、周りの温度よりも高くなっている箇所は他にも数か所確認するできた。温度変化があった箇所について可視光画像（図-2）と比較してみると、コンクリートの表面が汚れて黒ずんでいる箇所、コンクリートの打ち継ぎ目の箇所と重なることが確認できた。そのため可視光画像の黒ずんでいない箇所・コンクリートの打ち継ぎ目でない箇所、かつ、赤外線で温度変化がみられる箇所を抽出すると浮きを検出できる可能性が示唆された。

4. まとめと今後の課題

本研究では、赤外線カメラ搭載のUAV を用いて、コ

ンクリートの浮きを非破壊、非接触で検査する手法の提案を行った。その結果、約32m離れていても浮きの確認することが可能であった。また、浮きでない箇所（汚れや打ち継ぎ目）についても温度変化が見られたため、赤外線画像だけでは浮きを特定することが困難であることが分かった。可視光画像と組み合わせることで、赤外線では温度変化が出てしまう汚れや打ち継ぎ目などの箇所と浮きを分類することが可能であることが示唆された。

今後の課題として、他の橋梁についても実験を行い、浮きの視認性が撮影の時間帯や構造形式によって、どのように影響するのかについて検証する。

また、赤外線画像から浮き発生箇所の特徴量と可視光画像の汚れ・打ち継ぎ目の箇所の特徴量を分析し、浮き検出の自動化を目指す。

参考文献

- 1) 国土交通省 老朽化の現状・老朽化対策の課題，
<http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/torikumi.pdf>，
2018 年 7 月 17 日閲覧
- 2) 一般社団法人次世代センサ協議会，点検業務の IoT の利活用をめざして 自治体橋梁における橋梁点検業務実態調査報告書【課題・ニーズ調査偏】，
http://www.socialinfra.org/p_activity/questionnaire/Bridge_tenken_Digest.pdf，2018 年 7 月 19 日閲覧
- 3) 南 貴大，藤生 慎，高山 純一，須田 信也，奥村 周也，渡辺 一生：超高解像度カメラで撮影された画像を用いた橋梁点検の実施可能性に関する基礎的検討，社会技術研究論文集，Vol.15，pp.54-64，2018.
- 4) 川上 幸一，小西 真治，村上 哲哉，久保 昌史，中山 聡子：赤外線熱計測による地下鉄シールドトンネル内中子型セグメント表層コンクリートの浮き検出，土木学会論文集 F1（トンネル工学），Vol.71，No.3（特集号），I_112-I_121，2015
- 5) ZENMUSE XT，<https://www.dji.com/jp/zenmuse-xt>，2018 年 10 月 1 日閲覧

0

A STUDY ON DETECTION OF CONCRETE FLOAT USING INFRARED CAMERA FOR IMAGING DIAGNOSIS OF BRIDGES

Takahiro MINAMI, Wataru URATA, Yuki MATHUOKA, Makoto FUJIIU,
Tomotaka FUKUOKA, Shinya SUDA and Junichi TAKAYAMA

Bridges constructed during the period of high growth are all aging at the same time, and preventive maintenance maintenance is important. However, the current near vision inspection is expensive because it uses high altitude work vehicles, bridge inspection vehicles, and takes time. Cracks can be detected with visible light images, it is difficult to detect concrete flaking. Therefore, in this research, we propose a method to detect concrete flaking from images by using infrared camera. By using an infrared camera even from 32 m away, it was possible to capture the temperature change.