

赤外線サーモグラフィ法を用いた鋼橋コンクリート床版の劣化傾向分析

西日本高速道路エンジニアリング四国(株) 正会員 ○高畑東志明, 川西弘一, 林詳悟

1. はじめに

四国の高速道路橋は供用 37 年を迎え、老朽化に伴う劣化事象が顕在化し始めている。コンクリート床版上面の土砂化は、凍結防止剤などの浸透により発生した床版上縁鉄筋の腐食によりはく離が生じ、交通荷重により粉砕され、最終的に写真-1 に示すような、床版下面の劣化¹⁾に進展するため、早期発見による速やかな対策が重要となっている。以上の背景から、筆者らは赤外線サーモグラフィ法（以下、赤外線調査）による床版上面の調査手法を確立した²⁾³⁾。本検討では、四国の高速道路の鋼橋コンクリート床版を対象として、赤外線調査による床版上面の損傷状況と、点検記録による床版下面の損傷状況を調査し、劣化の一因とされる気象環境¹⁾を踏まえた床版の劣化傾向分析により、劣化進行の指標としての赤外線調査の有効性を立証するものである。

a) 四国の損傷事例 b) 四国外の損傷事例¹⁾

2. 赤外線調査手法

写真-1 床版の劣化

床版上面に損傷がある場合、路面上に損傷領域が温度変化部（以下、温度差領域）として表れる。温度差領域の検出は、検知波長帯 3~5 μm の冷却型赤外線カメラを用いた。本検討では適した熱環境で調査するため FEM 解析にて事前に熱環境を把握し、温度差領域が確実に発生する時間帯にのみ調査を実施する手法を用いた²⁾。また、定量的に温度差領域を検出するため、様々な損傷サイズに対応する大小 2 種類のフィルタサイズによる画像処理手法を用いた³⁾。なお、フィルタサイズは実橋の損傷面積を参考に、大フィルタは横断約 0.8m × 縦断約 8m 領域、小フィルタは横断約 0.4m × 縦断約 4m 領域とした。

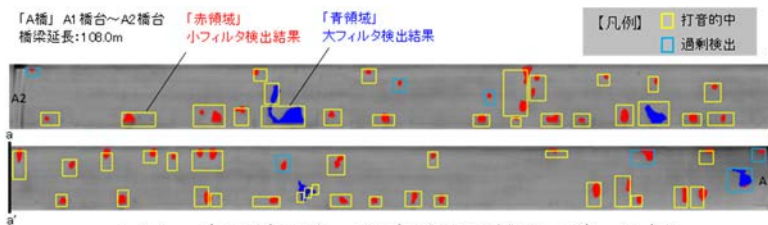


図-1 赤外線調査 温度差領域検出画像 (A橋)

延長 108.0m の鋼橋 A 橋の赤外線調査事例を図-1、表-1 に示す。A 橋は 2020 年 10 月に赤外線調査を実施後、舗装改良と床版補修が実施された際に検出結果を照合した橋梁である。

赤外線調査では、土砂化を含めた床版上面の損傷を 88% の精度で検出しており、舗装切削無しで床版上面の損傷状況を把握できる。

表-1 赤外線調査精度 (A橋)

		赤外線法自動検出			一致率
		検出	未検出	合計	
打音 点検	損傷	50	0	50	88% (50/57)
	健全	7	-	7	
	合計	57	0	57	

3. 四国内高速道路の鋼橋コンクリート床版調査

3. 1. 赤外線調査による床版上面損傷検出

四国内高速道路の鋼橋を対象に 2021 年 11 月から 2022 年 2 月にかけて路面の赤外線調査を実施した。現場で撮影した熱画像は画像処理により温度差領域を自動検出し、延長当たりの温度差領域面積を橋梁径間ごとに算出した。本調査では、橋梁数が上下線別で 267 橋、径間数が 854 径間のデータを取得した。本データより床版上面の損傷発生状況を確認した。

3. 2. AI を用いた床版上面の損傷に起因する床版下面損傷の抽出

床版上面の土砂化は最終的に床版下面の劣化に進展する¹⁾ため、点検記録から床版下面の損傷状況を調査し、上面と下面の状況を対比した。床版下面の損傷で対象となるのは、既往文献¹⁾で報告されている写真-1 のような遊離石灰を伴うひび割れであるが、膨大な点検写真から 1 枚ずつ目視で確認するのは困難である。そこで、床版上面の土砂化部における代表的な床版下面の損傷画像を AI に学習させて判別モデルを構築した。解析に

キーワード 赤外線サーモグラフィ法, コンクリート床版, 土砂化, 経年劣化

連絡先 〒760-0072 高松市花園町三丁目 1 番 1 号 TEL 087-834-1121 FAX 087-834-0150

は HALCON ver18.0 を使用し、102 枚の損傷画像を学習した。このモデルにより約 15 万枚の点検写真を自動判別して類似画像を抽出し (図-2)、該当する損傷の延長当たり面積を橋梁径間ごとに算出して、床版下面の損傷発生状況の指標とした。

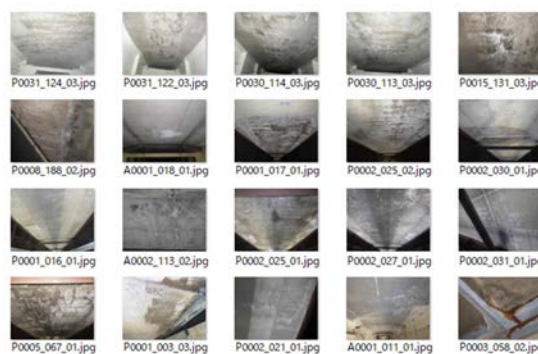


図-2 AI抽出床版下面損傷画像(代表例)

3. 3. 気象条件の整理

積雪寒冷地域では、凍害や凍結防止剤による塩害により床版の損傷が助長されるケースが報告されている³⁾。四国地方は比較的温暖な地域であるが、山岳区間においては冬期の気温が低く、凍結防止剤が頻繁に散布されている。そこで、「農研機構メッシュ農業気象情報」⁴⁾提供の1kmメッシュ気象情報と、高速道路沿線に設置されている気象観測データから、過去10年の最低路面温度を整理した。

3. 4. 調査結果

赤外線調査で検出した温度差領域面積と床版下面の損傷面積を径間ごとに整理した結果を図-3に示す。経年とともに、温度差領域面積は増加傾向であり、床版上面の劣化が進行している。一方、床版下面損傷は供用25年以上になると顕在化する。これは経年により床版上面の土砂化が床版下面の損傷を誘発したものと考察する。なお、床版下面の損傷面積が大きいにも関わらず温度差領域面積が小さい径間(図-3の点線囲み)については10年以内に床版上面のみ補修を行っていた。このように、温度差領域面積は、床版上面の損傷状況を示しており、経年劣化により床版下面の損傷に進展する傾向がみられることから、床版上面の健全性や、床版下面の損傷発生の先行指標となりうる。また、図-3の最低路面温度に着目すると、-6°C未満では床版の損傷が進展しやすい傾向が見られた。温度差領域面積と過去10年間の最低路面温度の関係を示す図-4では、-6°Cを境に温度差領域面積が大きくなっており、低温環境下では床版の劣化が促進されることが示唆された。

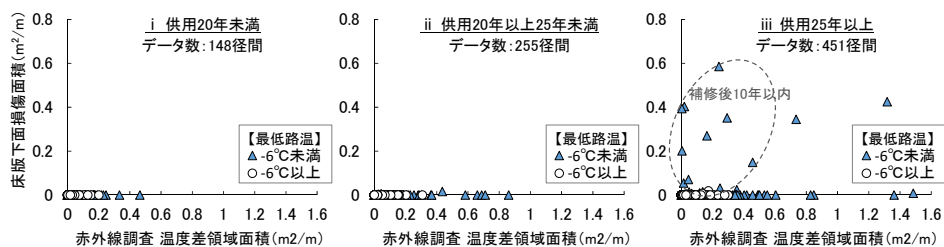


図-3 赤外線調査温度差領域面積と床版下面損傷面積

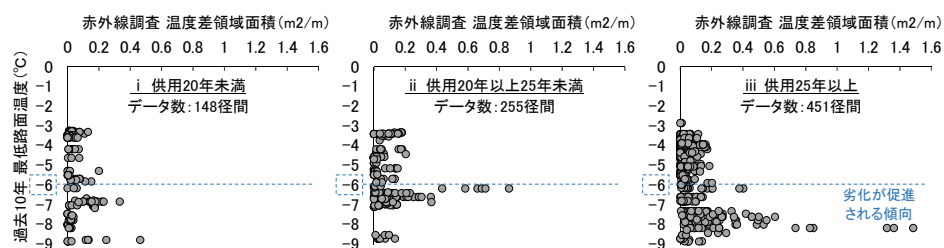


図-4 赤外線調査温度差領域面積と最低路面温度

4. おわりに

赤外線調査により検出した床版上面の損傷は、土砂化の早期発見や、床版補修が必要な橋梁の絞り込み、床版下面損傷の先行指標として活用できる。また、比較的温暖な四国地方においても、低温環境が土砂化を促進させることが確認できた。今後は、気象条件だけでなく凍結防止剤散布量、交通量、橋梁構造など複合的な要因分析を行う予定である。

4. おわりに

赤外線調査により検出した床版上面の損傷は、土砂化の早期発見や、床版補修が必要な橋梁の絞り込み、床版下面損傷の先行指標として活用できる。また、比較的温暖な四国地方においても、低温環境が土砂化を促進させることが確認できた。今後は、気象条件だけでなく凍結防止剤散布量、交通量、橋梁構造など複合的な要因分析を行う予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省,国立研究開発法人土木研究所: 道路橋コンクリート床版の土砂化対策に関する調査研究, 2020.3.
- 2) 川西弘一, 林 詳悟, 橋本和明: 赤外線サーモグラフィ法による橋梁路面下の損傷検出における留意点, 講演番号IV-852, 土木学会第76回年次学術講演会, 2021.9.
- 3) 廣永厚友, 川西弘一, 林 詳悟, 橋本和明: 赤外線サーモグラフィ法による床版上面損傷の自動検出手法の検討, 講演番号IV-853, 土木学会第76回年次学術講演会, 2021.9.
- 4) 農研機構 メッシュ農業気象情報システム, <https://amu.rd.naro.go.jp/>, アクセス日 2022年2月17日