

赤外線サーモグラフィ法によるコンクリート損傷の検出精度向上

西日本高速道路エンジニアリング四国(株) ○ 正会員 橋本 和明
 西日本高速道路エンジニアリング四国(株) 正会員 明石 行雄
 西日本高速道路エンジニアリング四国(株) 正会員 林 詳悟

1. はじめに

赤外線サーモグラフィ法(以下、赤外線法という)とは、赤外線カメラで構造物表面の特異な温度分布を撮像することで、内部欠陥を検出する非破壊検査であり、効率的な維持管理が期待できる。しかし、赤外線法では、ヒューマンエラーなどにより、浮き・剥離部の見逃しや、誤検出が散見される。

本論文は、赤外線法の技術的な問題点を紹介するとともに、熱画像の画像処理による見逃し防止技術、および点検・補修の優先度の判断の目安となる、コンクリート剥落・損傷予測確率を算出する画像診断技術と、その活用方法の提案を行うものである。

2. 赤外線法の技術的問題点

水抜きパイプ周辺に低温部を有する熱画像(図-1)では、剥離による低温部を水抜きパイプの影響と誤認識する恐れがある。周囲の温度変化に気を取られ、水抜きパイプ周辺に潜んでいる損傷部を見落とす危険性が高い事例である。

3. 熱画像における画像フィルター処理技術

コンクリート構造物自体が持つ温度勾配を除去することで見逃しを防止する。式(1)(2)より、対象 pixel から周辺の平均温度を引算して求めた強調指標(式(1)で求めた値とする)を用いると、コンクリート構造物の温度勾配に影響を受けずに損傷部を検出することが可能となる

$$g(i, j) = f(i, j) - u(i, j) \quad (1)$$

$$u(i, j) = \frac{1}{2(n+1)^2} \sum_{l=-n}^n \sum_{k=-n}^n f(i+k, j+l) \quad (2)$$

また、筆者らは、構造物に貼付けることで、模擬的な浮き・剥離部となる試験体を提案している(図-2)³⁾。この試験体は、ひび割れ深さが10mm~30mmの浮きを想定したものである。熱画像から求めた強調指標の値を基に、3値化させると、10, 20, 30mmの浮きが赤, 黄, 青に判定される。同様の手法で、図-1の画像を処理すると、図-3のように周辺のコンクリート温度勾配を除去し、水抜パイプと張出し部にある欠陥のみ赤色で表示するため、欠陥部の検出が容易となる。

キーワード 赤外線サーモグラフィ法, 非破壊検査, コンクリート表面, 画像フィルター処理, 画像認識

連絡先 〒760-0072 高松市花園町三丁目1番1号 TEL 082-834-1121 FAX 082-834-1193

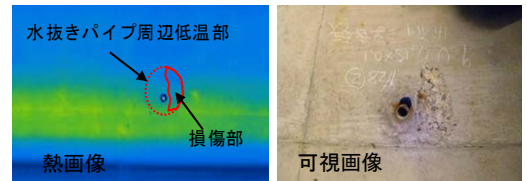


図-1 水抜きパイプ周辺の画像

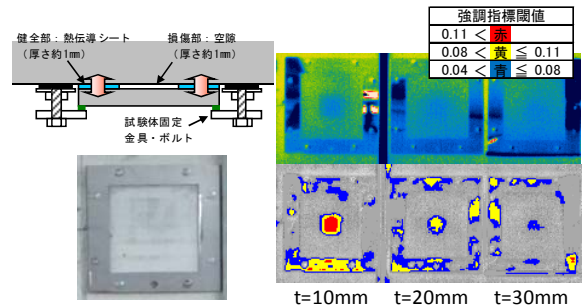


図-2 貼付け型試験体および処理結果

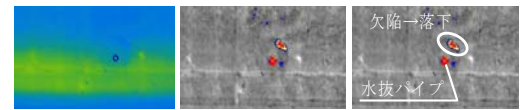


図-3 事例箇所の画像処理結果

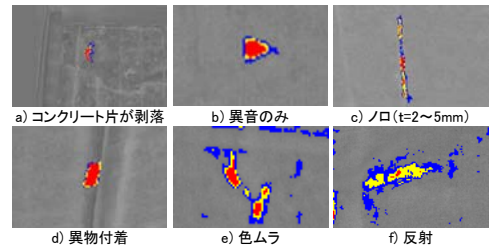


図-4 打音結果の画像処理例

表-1 打音結果と画像処理結果の関係

打音結果	画像処理の特徴	備考
コンクリート片が剥落	・赤の位置は、黄、青の中心から離れた位置にある ・クラック先端箇所には赤が偏った分布 ・赤領域が全体領域の重心から外れる	
異音のみ	・赤の位置が黄、青の中心に近く、形状は円形に近い傾向がある ・赤領域が全体領域の中心の位置にある	
ノロ (t=2~5mm)	・明瞭に検出するが、全体領域が細長い ・赤の占有率が高く形状が四角で周辺が複雑	誤検出
異物附着	・急激な温度変化として現れるため、赤の占有率が高く形状が四角である。	誤検出
健全 (色ムラ、反射)	・色ムラは、形状が複雑で可視画像の色ムラと形状が相似する ・反射は、黄の占有率が高い	誤検出

誤検出=熱画像に特異な温度分布があるが打音点検では損傷なし

4. 解析画像の形状の特徴

誤検出を低減し精度を向上させるため、3 値化させた領域の形状と位置の特徴量に対して統計解析を行った。

打音結果と解析画像を整理すると (図- 4), 解析画像の形状特徴を表- 1 のように大きく5つの異常区分に分類できる。異常区分と3 値化させた領域の位置関係と形状には特長がある。例えば、赤領域が青領域の重心に近い場合は、異音のみで剥落にまで至らない浮きの可能性が高く、赤領域が青領域の重心から離れると剥落の可能性が高まる。そこで、3 値化させた領域の位置関係と形状から図- 5 のような形状特徴量を算出して統計解析を行った。

5. 予測確率の作成

前項で求めた解析画像の形状特徴量を基に、複数の多変量解析モデル(決定木分析, ニューラルネットワーク, ロジスティック回帰分析)を用いて統計解析を実施した。まず、平成 20~22 年度の打音結果 6,292 件を教師データとして解析モデルを検討した結果、決定木分析の予測精度が 98%と最も高かった。次に、この決定木分析モデルを用いて、平成 23 年度の打音結果 2,353 件の予測を行い、打音結果と比較したところ、89%の一致と高い予測精度が確認できた(表- 2)。

この決定木分析で得られた判別式を赤外線画像解析ソフトに組み込むと、「コンクリート撤去」のような危険な損傷の予測確率をリアルタイムにグループ化して画面に表示することが可能となる(図- 6)。さらに、予測確率に基準値を設け損傷程度を目安とすることで、基準値以上の場合は補修、基準値未満の場合は、応急処置(緊急点検)というような橋梁維持管理も可能となり、経済性、効率性の向上が見込まれる。さらに、交差道路の重要性や、剥落コンクリート片の推定重量なども考慮すれば、より高度なリスク管理が可能になると考えられる²⁴⁾。

6. まとめ

- (1) 熱画像に画像フィルター処理を行うことで、構造物に発生する温度勾配を除去でき、損傷部の検出や損傷の厚さが定量的に判断可能となり、損傷を見逃す危険性は低減される。
- (2) 各領域(赤, 黄, 青)位置関係を形状特徴量として用い、多変量解析を行うことで「コンクリート撤去」のような危険な損傷の予測確率(鑑別指標)をリアルタイムにソフト上に表示することが可能となる。
- (3) 予測確率(鑑別指標)を危険度評価の指標に用いることで、より細かく、定量的な損傷判定が可能となる。

参考文献

1)橋本和明・明石行雄・川西弘一：橋種別の熱的環境と部材内の熱流を考慮した赤外線サーモグラフィ法の留意点, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.31, pp. 2041-2046, 2009
 2)橋本和明・林詳悟・明石行雄：赤外線サーモグラフィ法の技術的な問題点と画像処理技術の研究, コンクリート構造物の非破壊検査論文集, Vol.4, pp389-398, 2012
 3)橋本和明・明石行雄・川西弘一：橋梁を対象とした赤外線サーモグラフィ法における効率的な熱環境把握方法の提案, 第 65 回土木学会年次学術講演会, 2010.9
 4)林詳悟・橋本和明・明石行雄：コンクリート表面の赤外線サーモグラフィ法を実施する場合の技術的な問題点, 第 66 回土木学会年次学術講演会, 2011.9

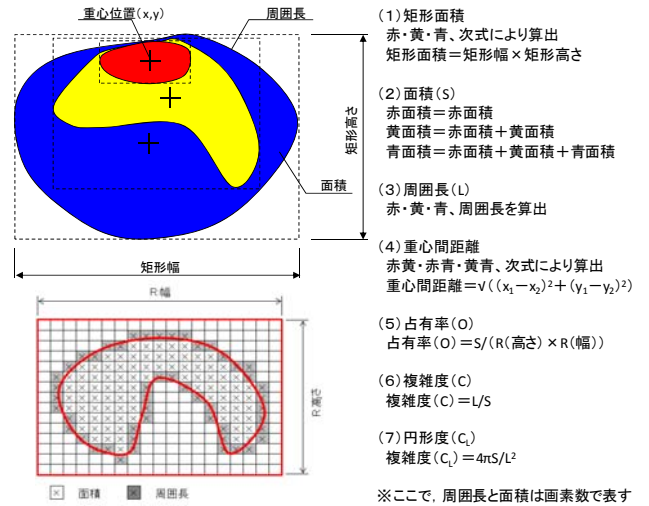


図- 5 画像処理の形状特徴量算出概念図

表- 2 精度結果(一致行列)

予測結果 \ 打音結果	剥落	異音	ノロ	異物	健全	合計
剥落	111	2	0	2	32	147
異音	2	116	2	0	12	132
ノロ	1	0	34	0	6	41
異物	3	0	0	93	11	107
健全	64	71	17	42	1,732	1,926
合計	181	189	53	137	1,793	2,353

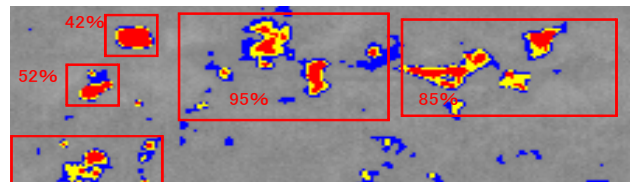


図- 6 予測確率の表示例