

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

西日本高速道路エンジニアリング四国(株) ○正会員 廣永厚友, 川西弘一, 林 詳悟, 橋本和明

1. 赤外線法による路面下損傷の抽出における留意点

近年, 橋梁の老朽化に伴い, 橋梁のコンクリート床版上面の劣化損傷に起因するひび割れやポットホールの発生が問題となっている. 赤外線サーモグラフィ法 (以下, 赤外線法) により, 床版上面に発生した内部損傷を非破壊にて検出する検討が行われているが¹⁾, コンクリート床版上面の損傷はこれまでの事例 (写真-1) から, 損傷面積が 0.2~3.8 m² に至るまで大きさが一定ではなく, 土砂化, 滞水など損傷状態も様々である. また, 日射や車両の走行熱などにより舗装表面に温度ムラが発生し, 内部損傷による温度差が舗装面に発生していたとしても, 定量的な損傷検出が困難となっている.

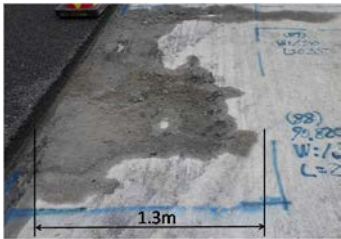


写真-1 損傷事例

2. 実橋梁における損傷検出

2. 1. 調査方法

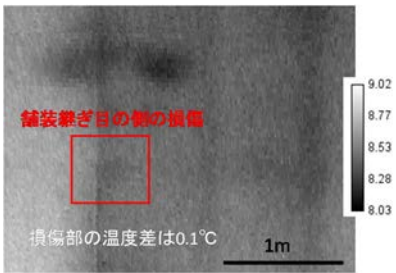
西日本高速道路四国支社管内の橋梁にて床版上面の損傷検出を行った. 当該橋梁は, 舗装のひび割れが顕著であり, 切削オーバーレイによる補修が予定されていた. 切削前に, 冷却型の高性能赤外線カメラ (最小温度分解能 0.02℃の InSb 素子) を搭載した車両により, 時速 80km/h で走行しながら熱画像を取得した. 撮影は 2020 年 10 月 30 日に実施し, 日射による温度ムラの影響を少なくするため, 撮影時間帯は午前 3 時の夜間とした. 後日, 切削後に全面打音点検を行い, 損傷の有無を確認し精度を検証した.

表-1 手動異常部抽出精度

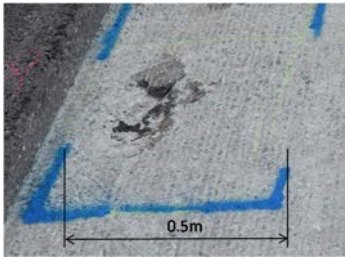
		打音点検		
		損傷	損傷以外	合計
赤外線法	検出	38	27	65
	未検出	6	-	6
	合計	44	27	71

2. 2. 熱画像による損傷検出精度

斜めに撮影した橋梁上面の熱画像を射影変換により平面化して温度差が発生していると思われる個所を目視で手動抽出し, 打音点検結果と比較した (表-1). 全 71 箇所検出した結果, 一致したのは 38 箇所, 検出できなかった見逃しが 6 箇所, 過検出が 27 箇所となった. 図-1 は, 損傷の見逃し事例で, 舗装の継ぎ目近傍に発生した 0.1℃の微細な温度差を見逃している. 図-2 は, 過検出した事例で縦断方向の温度ムラと画像の継ぎ目が重なり, 0.2℃の温度差が発生している個所を異常部と誤認識した. 精度は一致を調和平均で表す F-measure で評価した. 0~1 で表され 1 に近いほどの中率と過検出が少なくなる. F-measure は 0.697 であったが, 見逃しを無くするため疑わしい温度変化を異常と検出すれば, F-measure はさらに低下すると考えられ, 目視による検出では個人差の発生も懸念される.



a) 熱画像



b) 切削後

図-1 損傷見逃し事例

3. 画像処理による自動検出検討

3. 1. 画像処理手法の説明

床版上面には様々な温度ムラが発生するため, それらを除去して温度差情報だけを抽出する画像処理が必要と考える. 画像継ぎ目の除去を行った上で, 式(1.1)により対象ピクセルを中心とする任意の範囲の平均温度を移動平均により求めて画像化する. ここに中心座標(i,j), 任意の範囲を横断方

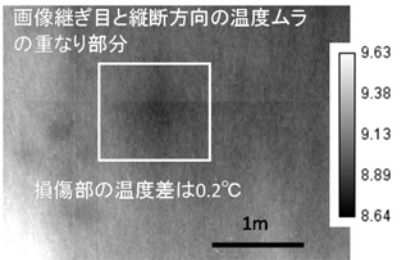


図-2 過検出箇所

キーワード 橋梁, 内部損傷把握, 赤外線, 調査手法, 画像処理, 維持管理

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

向に m 画素，縦断方向に n とすると移動平均の中心座標は $(i+k,j+l)$ となる．なお，フィルタサイズを示す m,n の設定は検出対象の大きさによって変える必要がある．次に式(1.2) により温度画像 $f(i,j)$ から平均温度画像を引算し，温度変化が強調された温度差画像 $g(i,j)$ (以下，強調指標) を得る．

$$u(i,j) = \frac{1}{(m+1)(n+1)} \sum_{l=-m}^m \sum_{k=-n}^n f(i+k,j+l) \tag{1.1}$$

$$g(i,j) = f(i,j) - u(i,j) \tag{1.2}$$

3. 2. フィルタサイズと精度の関係

本検討では，2 種類のフィルタサイズによって検討を行った．小フィルタでは横断方向に 10 画素 (約 0.4m 領域)，縦断方向に 100 画素 (約 4m 領域)，大フィルタでは横断方向に 20 画素 (約 0.8m 領域)，縦断方向に 200 画素 (約 8m 領域) の領域設定を行った．この 2 種類のフィルタによる強調指標から損傷を自動検出した．検出領域の大きさごとに F-measure を算出した結果を図-3 に示す．なお，検出エリアの大きさが 0.01m² (□100×100 mm程度) 以下は，内部損傷が確認されなかったため，温度ムラによるノイズとして集計の対象外とした．小フィルタでは，検出領域の大きさが 0.8m² 以下の個所の F-measure が高く,それよりも大きいと検出できない．対して大フィルタでは，0.8m² を超える損傷の F-measure は 1.0 (完全一致) となるが，それ以下の大きさの検出率は小フィルタよりも劣る結果となった．

3. 3. 画像処理により自動検出精度

大小 2 種類のフィルタで検出した結果を合成した画像を図-4 に示す．画像継ぎ目を除去した (a) 処理前に対して，小フィルタで検出した結果から，検出領域の大きさが 0.8m² 以下だけを抽出した結果を (b) 小抽出の赤領域として，同様に大フィルタで 0.8m² 超だけを抽出した結果を (c) 大抽出の青領域で示す．両フィルタの抽出結果を重合すると (d) 合成となる．表-2 に自動検出の精度を示す．目視では 6 か所あった見逃しが皆無となり，全体の F-measure は手動検出の 0.697 から 0.830 に向上した．損傷の大きさに応じたフィルタサイズによる損傷検出を行えば，損傷の大きさに関わらず安定して自動検出することが可能となる．

4. まとめ

橋梁の路面の熱画像には，様々な温度ムラが発生し，熱画像から人力で異常部を抽出すると，見逃しや過検出が発生する．床版上面に発生する損傷は面積が異なるため，大小 2 種類のフィルタを用いた強調指標により自動検出することで，損傷の見逃しなく高い一致を得ることができた．本手法による熱画像の画像処理による損傷自動検出の有効性は高いと考える．

参考文献

1) 加藤静雄ら：赤外線サーモグラフィ法による床版上面の調査手法について，土木学会第 65 回年次学術講演会，講演番号VI-165，2010.9

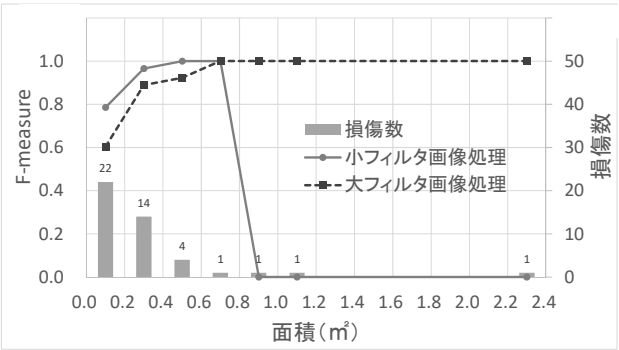
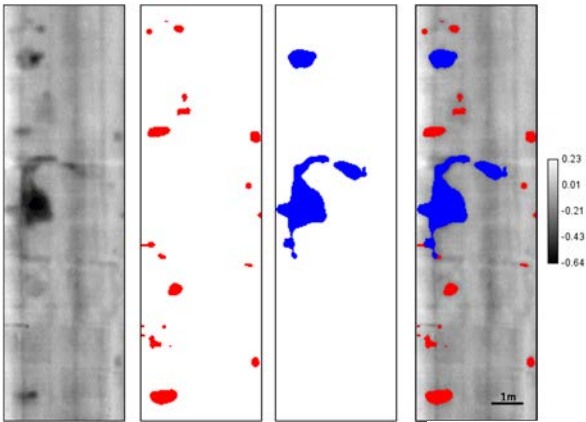


図-3 検出領域の大きさごとの F-measure



(a) 処理前 (b) 小抽出 (c) 大抽出 (d) 合成

図-4 自動検出画像例

表-2 自動検出の検出精度

		打音点検		
		損傷	損傷以外	合計
赤外線法	検出	44	18	62
	未検出	0	-	0
	合計	44	18	62