

### 赤外線サーモグラフィ法における熱画像診断支援システムの提案

西日本高速道路エンジニアリング四国(株)\*1 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)\*1 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)\*1 ○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)によるコンクリート構造物の非破壊検査は、赤外線カメラで特異な温度変化部を浮き・はく離と判断する。赤外線法は、離れた箇所から面的に浮き・はく離箇所を検出でき、打音面積の絞込みが可能となるため効率的な維持管理が期待できる。しかし、赤外線法は調査員の経験によって検出精度が大きく異なる。経験の少ない調査員は、コンクリート表面に出現した特異な温度変化部を見落すことがある。

本論はコンクリート表面に出現する特異な温度変化部を検出する難しさの説明と画像フィルター処理を利用した熱画像診断支援システムの紹介を行う。

#### 2. 温度変化部を検出することが困難となる原因

##### 2.1 コンクリート構造物自体が持つ温度勾配

コンクリート構造物は部材厚が均一でないため、太陽光等の影響で、厚い部分と薄い部分で温度差が発生する。コンクリート構造物自体が温度差を持つと特異な温度変化部(0.1℃程度)は検出することが困難になり、経験のない調査員は見逃す可能性が発生する(図1)。

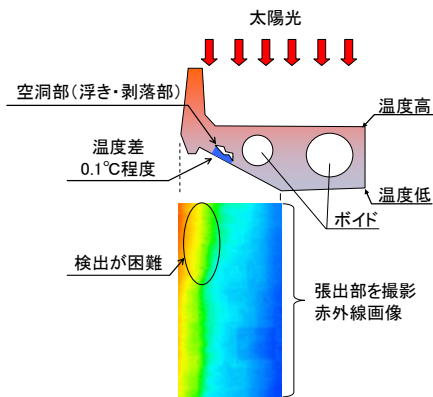


図1 RCホロー橋が温度差を持つ場合の熱画像例

##### 2.2 コンクリート構造物が温度勾配を持つ場合の温度変化部

図2は、特異な温度変化部が均一温度内温度勾配を持つ場合の変化を示したモデルである。均一温度内の損傷であれば、温度変化量のみならず、損傷の大きさまでも簡単に検出することが可能である。しかし実際には、部材厚の変化などによりコンクリート構造物の表面温度は、大きな温度勾配を持つ。この場合、均一

温度内の損傷部と比較して損傷を検出しづらくなる。

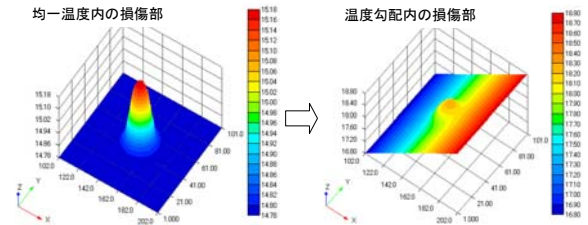


図2 被写体温度変化と損傷部の温度変化部

#### 3. 熱画像の画像フィルター処理方法

##### 3.1 コンクリート構造物自体が持つ温度勾配の除去

コンクリート構造物自体が持つ温度勾配を除去するために温度分布の移動平均を求めて、対象ピクセルの温度を引算することとした。本論はこの指標を強調指標という。図2で示したモデルの温度分布を基に強調指標を図3に示す。この指標を用いるとコンクリート構造物が温度勾配を持っていても損傷を検出することが可能となる。また、構造物の温度勾配に影響を受けない。

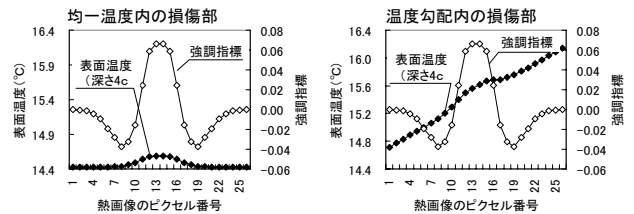


図3 被写体温度変化と損傷部の温度変化部

上記の強調指標を画像上で行と式(1)で表現できる。

$$g(i, j) = \sum_{j=n}^{N-n} \sum_{i=n}^{M-n} [ f(i, j) - \mu(i, j) ] \quad \text{式(1)}$$

ここで、

入力画像:  $f(i, j)$

出力画像:  $g(i, j)$

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

$n$  = 撮影距離によって変更する。

##### 3.2 検出素子間のバラツキ軽減方法

(1) 出力関数を用いた温度変化部の強調  
赤外線カメラの検出素子間の測定誤差や、測定対象

キーワード: 赤外線サーモグラフィ法、検出器、画像フィルター処理

\*1 〒760-0018 高松市天神前10番5号

TEL 082-834-1196 FAX 082-834-1254

物のばらつきがある場合、温度変化を捉えにくくなる。深さ 4cm 相当の異常部の熱画像は温度差 0.1℃程度であるが、コンクリート構造物の熱画像は±0.025℃のばらつきが加えられる。ばらつきが大きくなると、温度変化の抽出が困難となっている。そこで、出力関数を用いて、ばらつきを除去する(図4)。この関数はロジスティック関数が適している。

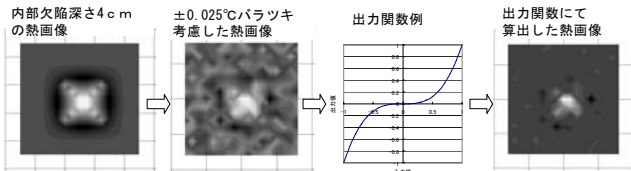


図4 熱画像のバラツキを除去する手法(出力関数の利用)

(2) ピクセル間の補間方法

赤外線カメラの画素数が少ないとピクセル間を補間することが必要になる。このため、ある範囲の累積値を1画素情報に置き換える手法を採用した(図5)。この手法は、温度分布情報から、図中の網掛けの3×3画素の部分の温度差を累積し、この範囲の中心画素である画素番号(4, 4)の温度情報として温度分布図を再作成したものである。この処理を行うと、類似の形状の損傷部を検出することが可能となる。

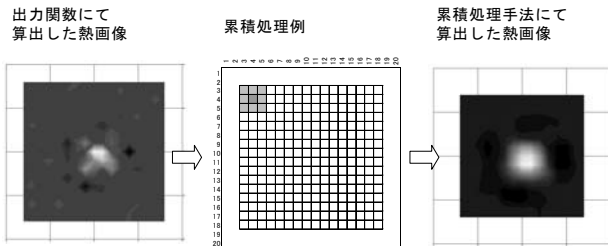


図5 ピクセル間の補間手法(累積処理の利用)

4. 実構造物の熱画像で検証

4.1 RCホロー橋の張出部

図1で示した熱画像を基に、前項で記載した強調指標を算出し画像化した(図6)。強調指標を用いるとプラスチックの埋設物(大きさ5cm程度)もクリアに検出可能である。撮影に用いた赤外線カメラはInSbの検出器を有したものである。

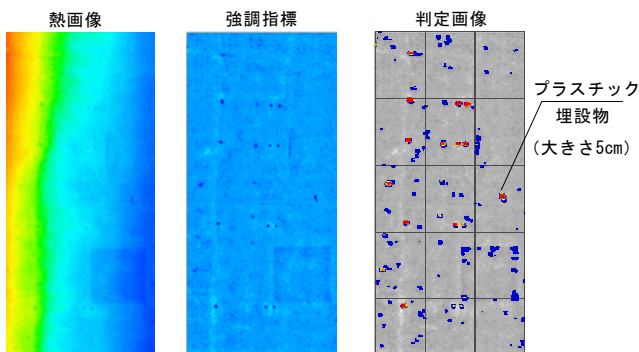


図6 ピクセル間の補間手法(累積処理の利用)

4.2 検出器別の画像フィルター処理

画像フィルター処理は、検出器の検出精度に左右される。深さ2cm、3cm、4cmに空洞部を備えた供試験体を検出器別に撮影した(図7)。この熱画像で画像フィルター処理を行うとμ-ボロメーターは3cm奥の損傷部を検出(強調)できない(図8)。

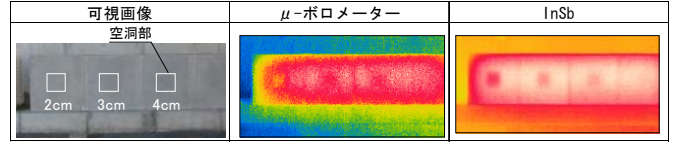


図7 検出器別の熱画像

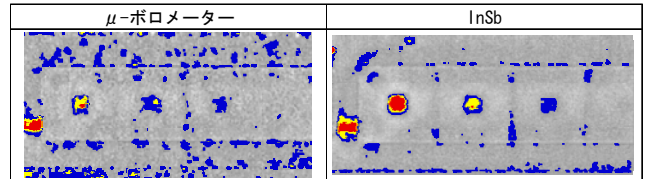


図8 画像フィルター処理結果

4.3 画像フィルター処理結果と打音結果

打音結果と画像フィルター処理結果を比較する。水切部に損傷部があると温度勾配を持つため熱画像で見つけることが難しい。画像フィルター処理を行うと検出可能となる。なお、調査員は経験年数2年と短いが、打音検査で検出した損傷部すべてを検出できた。

可視画像	赤外線画像	画像フィルター処理	応急処置結果
			応急処置済 コンクリート片(5cm×10cm、t=2~4cm)撤去
			応急処置済 コンクリート片(2cm×5cm、t=2cm)撤去

図9 打音結果と画像フィルター処理結果

6. まとめ

本論のまとめを以下に示す。

- 1) コンクリート構造物は温度勾配を持つため、損傷部を見つけることが困難である。
- 2) 画像フィルター処理を行うと損傷部を明瞭に検出することが可能となる。
- 3) 画像フィルター処理は損傷判定分類の効率化に有効である。
- 4) 画像フィルター処理に適した赤外線カメラは InSb の検出器を備えたものである。
- 5) μ-ボロメーターの赤外線カメラについては、内部欠陥深さ 2cm の欠陥を限定するのであれば、画像フィルター処理が有効である。