

赤外線による RC 構造物の鉄筋腐食性状評価における熱画像処理の適用性に関する研究

中央大学 学生会員 ○今井 嵩弓

中央大学 正会員 大下 英吉

西日本高速道路エンジニアリング株式会社 正会員 林 詳悟

1. はじめに

著者らによる RC 構造物内の鉄筋腐食性状を定性的かつ定量的に非破壊・非接触で評価を可能とする非破壊検査システムは、電磁誘導によって強制加熱された鉄筋からコンクリート表面に伝搬した熱を赤外線サーモグラフィにて撮影し、表面温度性状をもとに鉄筋腐食率を推定するというものである¹⁾²⁾。

本研究では、鉄筋の格子部における鉄筋に発生する加熱むらによる影響を解消し、鉄筋腐食性状をより鮮明に可視化することのできる熱画像処理方法を適用するとともに、その有用性について検討する。

2. 本システムにおける画像処理方法³⁾

2.1 熱画像上の加熱むらの除去

本研究では撮影した熱画像に対して林等³⁾の提案している画像フィルター処理を線的に適用することで加熱むらをどの程度軽減できるのかを検討する。

鉄筋の加熱むらがコンクリート表面の熱画像に及ぼす影響を除去するために、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(以下、強調指標)。この指標を用いると、コンクリート表面に及ぼす鉄筋の加熱むらの影響を軽減することが可能となる。強調指標は画像領域で行と式(1)で表現できる。

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

ここで、

入力画像 : $f(i, j)$

出力画像 : $g(i, j)$

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

n = 撮影距離によって変更する。

2.2 検出素子間のばらつき軽減方法

(1) 出力関数を用いた温度変化部の強調

赤外線サーモグラフィカメラの検出素子間の測定誤差や測定対象物のばらつきがある場合、温度変化を捉

えにくくなる。すなわち、ばらつきが大きくなると温度変化の抽出が困難となるため、出力関数を用いてばらつきを除去することとした。なお、この関数にはロジスティック関数が適している。

(2) ピクセル間の補間方法

サーモグラフィ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となる。そのため、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。その手法を用いると、熱画像におけるコンクリート表面の温度性状のばらつきを軽減することが可能となる。

3. 画像処理手法の適用による温度性状の可視化

3.1 鉄筋が全面腐食した試験体

(1) 実験概要

実験概要を図-1に示す。かぶりを 30mm とした試験体を対象として本システムを適用し、コンクリート表面の温度性状を確認した。鉄筋は D16(SD295)であり、かぶり 30mm の位置に 200mm の間隔で 2 本配筋し、一方は軸方向全長に渡って比較的均一な腐食を生じた腐食鉄筋で、もう一方は非腐食鉄筋である。

鉄筋の腐食方法に関しては、鉄筋を大気中に暴露することによって腐食させ、所定の位置に設置した後にコンクリートを打設することにより作成した。

(2) 熱画像フィルター処理の適用

図-2(a)に加熱停止 180 秒後のコンクリート表面の熱画像を示す。上縁の鉄筋は非腐食鉄筋、下縁は腐食鉄筋である。それぞれの鉄筋上の表面温度を相対的に比較すると、腐食鉄筋直上では温度が低くなっている。これは、腐食性生物の有する断熱材の効果によるもので、その影響によりコンクリート表面の温度上昇量が低くなることがわかっている。しかし、鉄筋 1 本の温度性状に着目すると、いずれの鉄筋も A 面において高温、B 面において低温となる分布を示しており、コイルによる加熱むらが生じている。このような加熱時の温

キーワード 非破壊検査, 電磁誘導, 鉄筋腐食, サーモグラフィ, 鉄筋格子, 画像処理

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 2 号館 4 階 2422 TEL: 03-3817-1892 FAX: 03-3817-1803

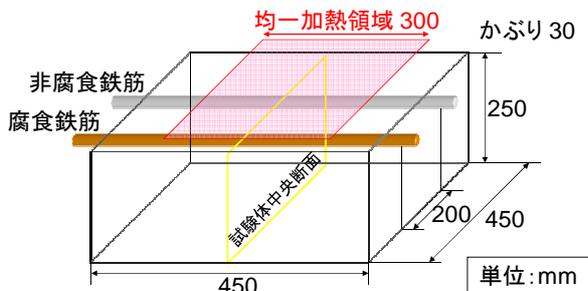


図-1 腐食試験体の形状寸法

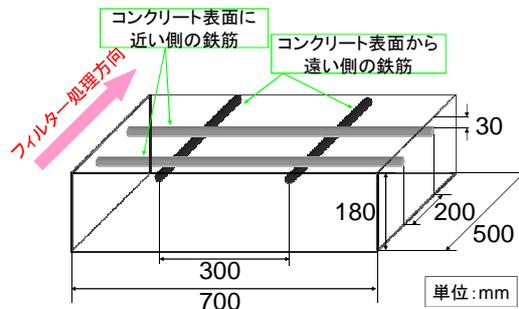
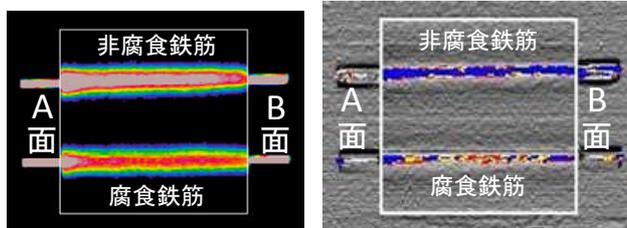
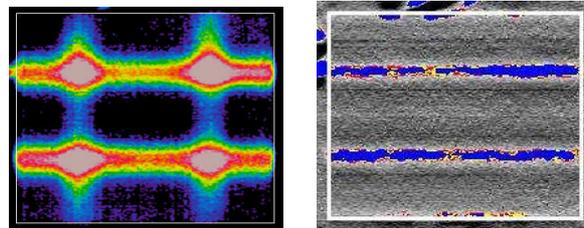


図-3 格子試験体の形状寸法



(a) 処理前 (b) 処理後
図-2 腐食試験体の熱画像(加熱停止 180 秒後)



(a) 処理前 (b) 処理後
図-4 格子試験体の熱画像(温度最高時点)

度むらが鉄筋の腐食量の測定精度に影響を及ぼす要因であり、このむらを如何に解消できるかが重要である。

図-2(b)は同図(a)の熱画像に画像フィルター処理を適用した画像である。判定画像では鉄筋腐食の進行度合いに伴った閾値を設定し、鉄筋の状態を青、黄、赤で表示している。図-2(a)および (b)の熱画像を比較すると、鉄筋の腐食領域がより鮮明に可視化され、非腐食鉄筋と腐食鉄筋の差異がより明確になっていることがわかる。さらに、同図(a)において確認された加熱むらの影響がほぼ除去されていることがわかる。これらのことから、本実験結果の熱画像に画像処理を適用することは、有用性があると言える。

3.2 鉄筋が格子状に配筋された試験体

(1) 実験概要

図-3 に試験体の形状寸法を示す。格子鉄筋の格子部の影響を検討するために、鉄筋は全て D16(SD295)の健全鉄筋を使用し、コンクリート表面に近い側の鉄筋のかぶり が 30mm、格子間隔が 200×300mm である。

(2) 熱画像フィルター処理の応用

鉄筋の格子部直上のコンクリート表面温度が最高となる時点での熱画像を図-4(a)に示す。同図から、格子部上のコンクリート表面において非常に高温となり、鉄筋中心部と格子部上の表面温度差は最大で約 1.2℃である。これは、鉄筋格子部における鉄筋量が多く、結束線の影響も加わって電磁誘導の特性から鉄筋の温度上昇量が大きくなるためである。

図-4(b)に示した画像は、同図(a)の格子部のコンクリ

ート表面温度が最大となる時点の熱画像に対し、前述の画像フィルター処理を適用した熱画像である。コンクリート表面に近い側の鉄筋に着目してフィルター処理を適用したことにより、コンクリート表面から遠い側の鉄筋の影響が無くなっている。また、鉄筋がほぼ一様に健全であると判定されていることから、鉄筋の腐食性状評価を行うことが可能であると考えられる。

4. まとめ

- (1) コンクリート中に全面に渡って腐食した鉄筋を配筋した場合、画像フィルター処理を適用することで、鉄筋の加熱むらを軽減することが可能である。
- (2) コンクリート中に健全鉄筋を格子状に配筋した場合、画像フィルター処理を適用することで、鉄筋格子部の高温となる箇所を取り除くことが可能である。

参考文献

- 1) 梅原 稔之, 大下 英吉: 電磁誘導加熱を用いた各種非破壊検査における鉄筋加熱むら解消法に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.1143-1148, 2008
- 2) 大下 英吉, 堀江 宏明, 長坂 慎吾, 谷口 修, 吉川 信二郎: 電磁誘導加熱によるコンクリート表面温度性状に基づいた RC 構造物の鉄筋腐食性状に関する非破壊検査手法, 土木学会論文集 E, Vol.65, No.1, pp.76-92, 2009
- 3) 林 詳悟, 橋本 和明, 明石 行雄: 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, 土木学会年次学術講演会講演概要集論 第 6 部, Vol.65No.7/VI-159, pp.317-318, 2010