

同時生起行列を用いた赤外線サーモグラフィ法自動診断支援システムの基礎的研究

西日本高速道路エンジニアリング四国(株) ○正会員 橋爪 謙治
 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
 愛媛大学 正会員 全 邦釘

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)はコンクリート表面の特異な温度変化領域を浮き・剥離領域と診断する。コンクリート表面には異物が付着しており、その異物が温度変化領域として検出するため、調査員は浮き・剥離と異物付着等を判別する読影技術が求められる。林らは、熱画像を対象とした画像フィルタ処理技術を用いることで、診断結果を定量的に評価し、診断を支援するシステムを提案している¹⁾。解析に用いた熱画像の特徴量は、剥離領域の形状とし、複雑度、円形度、周囲長を算出し、決定木分析により判別式を求めている。この判別方法は、健全領域に発生したノイズと浮き・剥離領域を精度よく判別することができない。

本文は、微妙な熱画像の濃淡に着目し、同時生起行列を用いることで、浮き・剥離領域の的中率向上を目指したものである。

2. 熱画像を対象とした濃淡の事例

2. 1. 温度変化領域とコンクリート表面状態

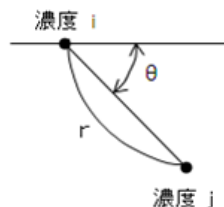
コンクリート表面に異物が付着すると温度変化領域として検出する。1, 253 個所の温度変化領域を打音して確認すると、遊離石灰やノロ、異物(木片)混入、補修跡、色むらが原因で誤検出することを確認した(表-1)。

2. 2. 剥離領域の熱画像と拡大

本文は熱画像を拡大して、温度変化領域内の対象ピクセルと隣接するピクセルとの間の温度差、すなわちコントラストを用いて比較する。拡大したコントラストが小さいと異物が付着したもので、コントラストが大きいと浮き・剥離領域であることが確認できる。これは、異物の温度を計測する場合と熱移動が原因で温度差が出現する違いが要因と推察する。

3. 同時生起行列から得られる特徴量の検討

拡大したコントラストを人の目で、定量的に識別することは困難である。本文は画像の濃淡変化を定量化することができるテクスチャ解析のうち、同時生起行列を用いることとした。同時生起行列は、図-1のようにコントラストが i の点から一定の変位 $\delta = (r, \theta)$ だけ離れた点のコントラストが j であ



1	2	0	3
1	2	2	3
2	0	3	2
1	3	0	2

$$P_i = \begin{matrix} & \rightarrow j \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} \downarrow i & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 2 & 1 \\ 2 & 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$(r, \theta) = (1, 0^\circ)$

a) 変位 $\delta = (r, \theta)$ b) 画像 c) $(r, \theta) = (1, 0^\circ)$

図-1 同時生起行列の例

表-1 打音結果と熱画像・拡大

	可視画像	熱画像・拡大	出現数
遊離石灰			218
ノロ			77
異物混入			48
補修跡			101
色むら			414
剥離			165
浮き			230

る確率 $P_{\sigma} = (i, j)$ を要素とする行列（以下，確率行列という）を求め，その行列からいくつかの特徴量を計算するものである²⁾。

上記の同時生起行列から，Angular second moment, Contrast, Correlation, Sum of square : variance, Inverse difference moment, Sum average, Sum variance, Sum entropy, Entropy, Difference variance, Difference entropy, Information measure of correlation1, Information measure of correlation2, Maximal correlation coefficient の合計 14 種類の特徴量を算出する。なお，変位 δ の値を $r=1, 2$ とし， θ を 0 度，45 度，90 度，135 度，180 度，225 度，270 度とした。濃淡については 32 階調とした。

上記の特徴量と打音結果の関係を整理するため多重比較（その後の検定）を実施した。その結果，14 種類の特徴量から 4 種類の特徴量に關係性が確認できた（図-2）。棒グラフは特徴量の平均値を示し，図中の※は多重比較（Tukey-Kramer 法）で算出した有意差 ($p<0.05$) を示す。Sum of square : variance の値が 60 以上となると，異物混入か健全（色ムラ）となる。Sum Average の値が，20 以下は，剥離領域となる。Sum Variance の値が 150 を超えると異物混入，健全（色むら）となり，Contrast は 60 以上が健全（色むら）で，30 以上 60 以下の範囲にあると浮き領域となる。異物混入，健全（色むら），剥離領域，浮き領域が判別できる。しかし，ノロ，補修跡，遊離石灰が判別できない。判別できないノロ，補修跡，遊離石灰の熱画像（拡大）を参照すると，変位 δ が關係している。ここでは δ ($r=1, 2$) を算出して，平均したものを特徴量して計算した。この変位量 δ の r 値を 1 から，増加させて判別可能な特徴量を検討することが必要になる。

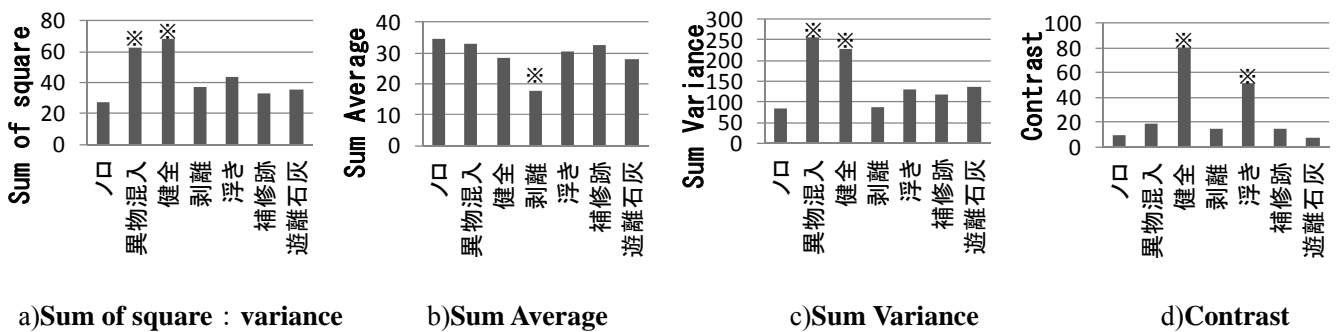


図-2 一元分散分析（多重比較）結果

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 異物が付着した熱画像と浮き・剥離領域の熱画像を拡大するとコントラストが異なることが判明した。
- (2) 同時生起行列で求めた特徴量 14 種類のうち，Sum of square : variance, Sum average, Sum variance, Contrast の 4 種類が判別に有効な特徴量である。
- (3) 変位 δ の距離 r と角 θ をそれぞれ 2, 3, 4... また 45 度，90 度，135 度と変化させて有効な特徴量を探索することが必要である。ただし，角 θ は，撮影角度に影響をうけるため，撮影方法を一定にすることが重要である。
- (4) テクスチャ解析は有効であるが熱画像の 1 ピクセルの大きさを一定にすることが重要であり，撮影する際には注意が必要となる。また，1 ピクセルの大きさを小さくすれば，判別精度が向上する可能性がある。今後の赤外線カメラの性能向上に期待するところである。

参考文献

- 1) 林詳悟・橋本和明・明石行雄：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，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 35, pp. 1813-1818, 2013
- 2) 新編画像解析ハンドブック，高木幹雄，下田陽久，pp. 1260-1268, 東京大学出版会