

(V-30) 熱映像による損傷検知の精度向上に関する検討

日本大学 学生会員○原 洋平
日本大学 正 会 員 柳内睦人
中央工学校 正 会 員 金光寿一

1. まえがき

サーモグラフィ法による損傷診断は、熱映像内の相対的な温度差から損傷箇所を抽出しているが、その判定評価は熟練者に依存しているために検知精度や再現性に問題がある。その改善法としては、熱映像へ任意のエリアを設定してそのエリア内の温度分布のパターン比較、時系列な温度変化から求めた線形の比較、2時系列の熱映像による差分画像および閾値の2値化処理などの画像処理を施して検知精度の向上に努めている⁽¹⁾⁽²⁾。特に、日射を受けなく気温変化が微小なトンネル壁面を観測の対象とする場合には、その温度差でいかに損傷を検知するかが重要な課題である。本報告は、熱映像から求めた温度分布の分散を指標として、最適な加熱条件や冷却過程における熱映像の選択および分散値を中間フィルターの閾値へ適用することによる誤診の除去などについて検討したものである。

2. 実験概要

本実験は、トンネル壁面を想定した供試体を対象として加熱停止後に得られる熱映像の温度分布の分散をタイル毎に求めて、それを指標としてタイル裏面にある疑似損傷の検知精度から評価するものである。

既存のトンネル壁面を想定して、コンクリート構造物に張ったタイル裏面へ人為的に空隙を配置した供試体を作製した。実験に供したタイルは、既存のトンネル壁面に張られたものと同じ二丁掛タイル(227.0mm×60.0mm×10.5mm)を道路用RC製U字型側溝の表面(縦11枚×横8.5列)に張付けたものである。タイル裏面の損傷は、浮きや空隙を想定した疑似損傷を発泡スチロールにて3種類の形状(損傷A:120.0cm², B:60.0cm², C:12.0cm²)に製作し、コンクリート下地に接着し配置した。熱赤外線センサによる温度測定は、タイル表面を温風ヒーターで均等に加熱し、加熱停止後1分経過時から測定距離5.5mの位置において10分間連続して行い、時系列の熱映像を得ることにした。加熱条件は、加熱距離1.0m, 加熱時間4分(Case1), 6分(Case2)および8分(Case3)として、常温から4分加熱で29.0℃, 6分加熱で33.0℃および8分加熱で37.0℃上昇させることにした。

3. 熱映像から求めた温度分布の分散

熱映像内の温度分布の分散は、写真-1に示した各タイル1枚毎の平均温度を基準として各画素のバラツキを表したもので、一般的には次式で求められる。

$$S^2 = \frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + (X_3 - \bar{X})^2 + \dots + (X_N - \bar{X})^2}{N}$$

ここに、 S^2 : 各タイルにおける温度分布の分散, X_N : 1画素の温度データ, $\bar{X}$: タイル1枚の平均温度,
N: タイル1枚に含まれる温度データの個数

表-1は、Case 2の熱映像から求めた各タイルにおける温度分布の分散である。なお、外気に接する外側のタイル(網掛け部分)は周辺環境の影響を受けて特異的な分散を示したので診断の対象外とした。これ

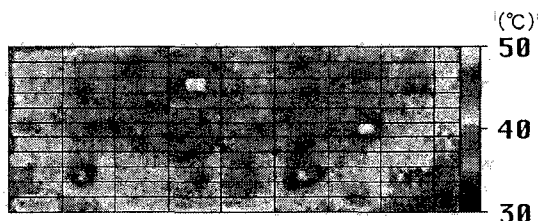


写真-1 タイル壁面の表面温度分布画像
(Case 2 加熱停止後3分経過時)

0.31	0.30	0.51	0.43	0.31	0.55	0.94
0.85	0.35	3.25	0.30	1.19	0.28	3.03
0.46	0.45	0.34	0.23	0.48	0.28	0.50
0.36	0.36	0.40	0.32	0.26	1.50	0.56
0.52	1.47	0.55	1.41	0.59	3.83	0.46
0.37	0.42	0.54	0.42	1.18	0.82	0.38
1.55	0.37	0.73	0.69	1.37	0.51	0.87
3.53	0.21	1.03	0.77	3.35	0.79	0.66
0.41	0.43	0.40	0.97	0.52	1.04	0.76

表-1 タイル壁面の温度分布の分散
(Case 2 加熱停止後3分経過時)

によって得られた分散値は、タイル 1枚における温度データのバラツキを示し、その値が大きければ対象としたタイル裏面に損傷を含み、小さければそのタイルは健全で損傷がないことを表している。特に、人為的な加熱を行う場合、均一に加熱することが困難であるために同形状の損傷があるタイルでも異なった温度分布を示すことがあるために、熱映像のみでの損傷診断では精度良く検知することができない。

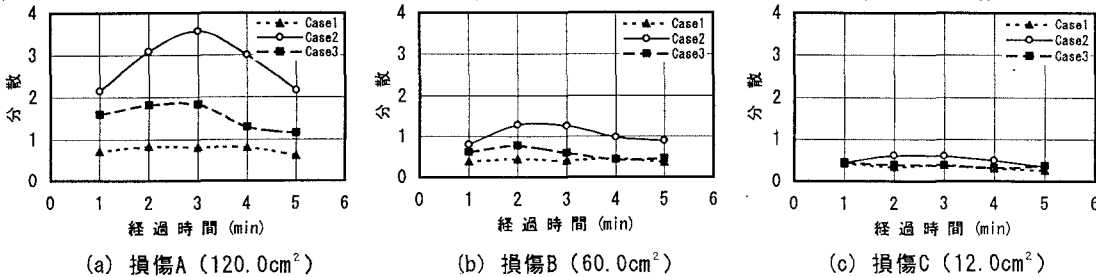


図-1 冷却過程の熱映像から求めた温度分布の分散

3.1 冷却過程時における分散の変動

熱映像による損傷診断では、分散の有意差が顕著に現れる冷却過程を選択することが不可欠であるが、何を基準としてその時間帯を選び出すかが問題である。図-1は、各加熱条件における損傷の大きさが異なる温度分布の分散である。この分散値は、疑似損傷A, Bが5個、損傷Cが3個の平均分散で、どの加熱条件でも 2～3分経過時にピークを示し、この時間帯が診断に最適な熱映像である。

3.2 損傷面積と温度分布の分散の関係

熱映像から損傷を精度良く検知するためには、最適な閾値を設定してノイズを除去し誤診数を減少させなければ検知精度の向上が望めない。図-2は、各加熱条件における損傷面積と温度分布の分散の関係である。特に、この両者間には良い相関性があり、検知したい損傷面積を設定すれば中間フィルターの閾値となる分散値を選択することができる。

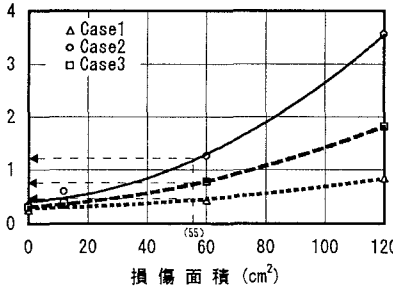


図-2 損傷面積と分散の関係

3.3 判定結果

表-2 損傷診断の検知結果

表-2 は、各加熱条件においてタイル裏面に浮き(損傷面積が40%占有する⁽³⁾)が発生していると仮定した場合の中間フ

加熱条件	閾値	損傷A	損傷B	損傷C	誤診数	損傷検知率(%)	無損傷検知率(%)
Case 1	0.44	5	3	1	6	69.2	76.9
Case 2	1.17	5	4	0	1	69.2	96.2
Case 3	0.72	5	3	0	7	61.5	73.1

ィルターに用いる閾値と中間フィルターによって2値化処理された後の損傷検知の結果である。いずれの加熱条件の損傷検知率が62～69%、無損傷検知率が73～96%で誤診数を大幅に減少させることができた。

4. まとめ

熱映像から求めた温度分布の分散を指標とした損傷診断では、以下の所見を得ることができた。(1) 温度分布の分散は、各タイル毎に求めるために加熱むらの影響を除去し、損傷を精度良く検知することができた。(2) タイル裏面の損傷を検知するために適した加熱条件や冷却過程時の熱映像を温度分布の分散から選択することができた。(3) 損傷面積と温度分布の分散の間には良い相関性があり、検知したい条件を設定することで最適な閾値を選択できることを検証した。(4) 温度分布の分散を中間中間フィルターの閾値へ適用することで損傷診断の誤診数を大幅に減少させることができた。

[参考文献] (1)柳内睦人, 金光寿一, 原 洋平: 熱映像によるトンネル壁面の損傷診断に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 18, No.1, pp. 1209-1214, 1996 (2)原 洋平, 柳内睦人, 金光寿一: 画像処理手法によるトンネル壁面の損傷評価について, 日本大学生産工学部第29回学術講演会(土木部会) 概要集, pp. 51-54, 1996 (3)建設大臣官房技術調査室監修: 外装仕上げおよび防水の補修・改修技術 第4編, p. 38, (財)日本建築センター, 1992