

V-357 熱赤外線を利用した壁面損傷の診断指標に関する実験的研究

日本大学 学生会員○原 洋平

日本大学 正 会 員 柳内陸人

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トンネル壁面の損傷診断は、トンネル内部なので日射が得られないため人工的に壁面を加熱して得られる熱映像を利用しなければならない⁽¹⁾。しかし、その判定は、オペレータの経験的な判断に依存しているため検知精度や再現性に問題があった。この改善策としては、従来より熱映像に対して様々な画像処理法が試みられているものの、未だに損傷部を抽出するための指標が確立されたとは云えない。本研究では、簡便で容易に損傷部を抽出できる定量的な診断手法を提案した。その診断手法の概略は、(1) 表面温度の経時変化から求めた温度特性曲線を指標として局所的な温度上昇の特異点を有するタイルを取捨選択する。(2) 前項で取捨選択されたタイル面の表面温度分布の分散を指標として内部の損傷程度を判定する。以上、2つの診断指標を適用して検知精度の向上を図るものである。

2. 実験概要

供試体は、実際のトンネル壁面を再現するために二丁掛タイルを図-1のように張った構造である。タイルの補修は、建設省の指針⁽²⁾によるとタイルの面積に対して損傷が30%程度を目安にしているため、本実験では疑似損傷として発泡スチロールを大きさの異なる3種類の形状に製作しタイル裏面に挿入した。熱赤外線センサによる温度測定は、観測面から1m離れた位置から温風ヒーターで壁面を均一に加熱し、加熱停止後5秒経過時から測定距離5.5mを保ち1分間隔で10分間行った(表-1参照)。

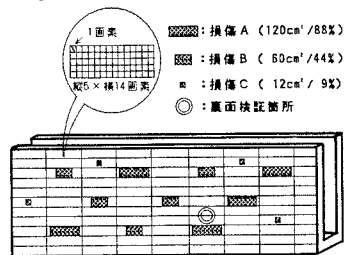


図-1 壁面の損傷配置図

表-1 測定条件

測定距離 (m)	加熱距離 (m)	加熱時間 (min)	初期壁面 平均温度(℃)	加熱後の壁面 平均温度(℃)	上昇温度 (℃)	外気温 (℃)
5.5	1.0	8.0	10.5	34.6	24.1	11.6

3. 熱赤外線センサで得られた熱映像

写真-1は、供試体壁面を8分間加熱し、加熱停止後2分経過時に得られた熱映像である。白い部分は高温部、濃い部分は低温部を表している。この熱映像には、疑似損傷を挿入した箇所などに局所的な高温部が明瞭に認められるが、その他の箇所にも高温部が現れている。この状態での損傷診断では、全ての高温部を損傷と誤診してしまうために検知精度が低下する恐れがある。そこで、本稿では以下に示すような画像処理を適用して検知精度の向上を図った。

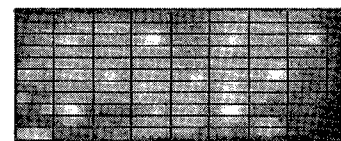


写真-1 センサで得られた熱映像

4. 熱映像を利用した損傷診断

4. 1 温度特性値を指標とした損傷診断

温度特性曲線とは、壁面に張った二丁掛タイルを対象に測定面全体の平均温度と各々タイルの平均温度との差分(温度特性値)が示す経時変化曲線である⁽³⁾(図-2参照)。本研究では、図から損傷部と非損傷部の温度特性曲線が最も明瞭に分離できる2分経過時の温度特性値(-0.4℃)を損傷部と非損傷部を識別する閾値とした。写真-2は、温度特性値を閾値へ適用して得られた処理画像である。特に、診断結果は、損傷箇所を明瞭に表示しているものの、非損傷箇所にもノイズが含まれ損傷があると表示した診断結果もあった。

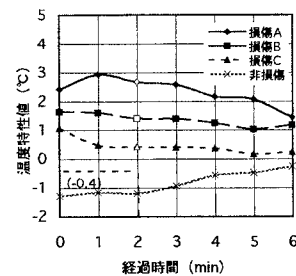


図-2 温度特性曲線

4. 2 表面温度ヒストグラムの分散を指標とした損傷診断

図-3は、前項に記した温度特性曲線によって診断した損傷A、B、Cと非損傷部が示す温度ヒストグラムの分散である。各ヒストグラムが示す分散の平均値は、損傷 A:9.36, 損傷 B:3.55, 損傷 C:0.51, 非損傷部:0.13であった。

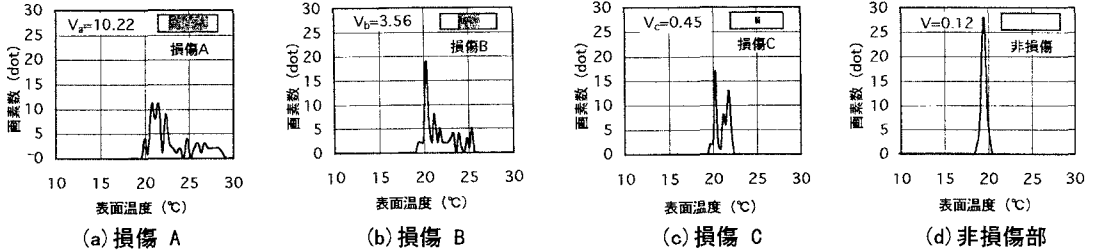


図-3 損傷部および非損傷部タイル面の温度ヒストグラム

この分散は、熱映像内の温度分布のバラツキを表し、タイル裏面にある損傷の面積が大きいほど分散は大きくなるので、この分散を用いて温度特性値で抽出した損傷部を再分類する閾値は以下ようになる。

- (1) 非損傷部と損傷 C以上の面積を有する損傷を分離する分散閾値 :0.32
- (2) 損傷 Cと損傷 B以上の面積を有する損傷を分離する分散閾値 :2.03
- (3) 損傷 Bと損傷 A以上の面積を有する損傷を分離する分散閾値 :6.45

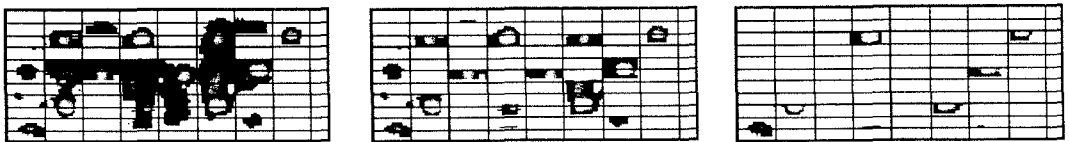


写真-3 処理画像 II (分散閾値:0.32) 写真-4処理画像 III (分散閾値:2.03) 写真-5処理画像 IV (分散閾値:6.45)

写真-3は、閾値0.32を適用して非損傷部と損傷 C以上を分離するために再抽出したものである。その結果、損傷面積が非常に小さい損傷をも含むため確実にノイズを除去し分離することができなかった。写真-4は、建設省の補修指針と同程度の損傷 B以上を有する損傷を再抽出したものである。ここでの閾値処理は、写真-3と比べて大幅にノイズを除去し検知精度を向上させることができた。写真-5は、損傷 A以上の損傷面積を有する損傷のみを再抽出するため、確実に高精度で検知することができた。表-2は、各条件において最適閾値、損傷検知的中率および誤分散数について比較検討した結果である。本手法による検知精度は、診断する損傷の面積が大きければ大きいほど、高精度で診断できることが判った。

表-2 最適閾値による検知結果

損傷種類	分散範囲	閾値	疑似損傷数	的中数	誤分散数
損傷A	6.45~	0.32	5	5	1
〃 B	2.03~6.45		5	5	6
〃 C	0.32~2.03		4	3	17
損傷A	6.45~	2.03	5	5	1
〃 B	2.03~6.45		5	5	6
〃 C	0.32~1.98		4	1	0
損傷A	6.45~	6.45	5	5	1
〃 B	2.03~6.45		5	0	0
〃 C	0.32~2.03		4	0	0

4. 3 特異的な温度分布を示す箇所の検証

本実験では、閾値処理を行って検知精度の向上を試みたが、疑似損傷を挿入しない箇所にも特異的な温度分布が現れ損傷と検知した診断結果があった。その原因を究明するために、タイルを剥がして検証したところ、タイル裏面には写真-6のような接着不良個所があった。これが要因となって特異的な温度分布が現れたものと推察される。これは、本診断手法が実用的に優れていることが実証された。



写真-6 タイル裏面の損傷状態

【参考文献】(1)柳内睦人他：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報告集, Vol. 18, No. 1, pp. 1209-1214, 1996

(2)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

(3)柳内睦人他：熱赤外線計測技術によるコンクリート構造物内空隙・鉄筋の判読に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No. 442/V-16, pp. 91-100, 1992. 2