

V-211

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

日本大学 正会員 ○柳内睦人
 東京大学 正会員 魚本健人
 日本大学 学生員 澤村康弘

1. まえがき

最近、コンクリート構造物表層部の損傷診断に熱映像を利用するサーモグラフィ法の実用化への研究が進められている。この手法は、日射および外気温の変化に伴う観測面の熱収支の差によって発生する表面温度差を利用して損傷箇所を抽出している。しかし、この手法を用いてトンネル壁面を観測する場合、トンネル内部は日射を受けなく、また気温変化も微小なために定常な温度分布となっており熱映像から損傷診断をすることは非常に困難である。本研究は、この問題点に対応するためにトンネル壁面を加熱し、その冷却時に得られる熱映像から損傷を容易に判読できる手法を提案するとともに、その判定を視覚的に表示することができる画像処理法についての研究報告である。

2. 製品供試体および熱赤外線センサによる測定概要

トンネル壁面を想定した供試体は、実トンネル壁面に張られたタイルと同様に横2,000mm×高さ800mm×610mm、コンクリート厚さ150mmの道路用鉄筋コンクリート製 U字型側溝の表面に二丁掛タイル（

227mm×60mm×10.5mm、白色、艶有り、タイルの表面温度1.6℃）を貼付したものである。なお、内部の損傷状態は、浮きや空隙を想定して発泡スチロールを3種類の形状に製作しコンクリート下地に接着した上部にタイルを張ったものである（表-1、写真-1 参照）。供熱赤外線センサによる供試体壁面の温度測定は、観測面から1.0m離れた位置から温風ヒーターで均一に加熱し、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分間連続して表面温度の測定を行い、時系列の熱映像を得た。表-2は、観測面の加熱に使用した温風ヒーターの性能である。本研究で使用した表面温度の観測システムは、熱赤外線センサ、ディスプレイユニットおよび 8mmビデオなどで構成されたシステムで、リアルタイムに熱映像を取込み必要に応じてパソコンで画像処理ができるものである。

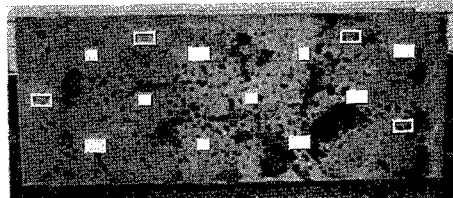
3. 熱映像に現れた表面温度特性

写真-2は、供試体壁面を5分間加熱し、加熱停止後4分経過時に得られた熱映像である。この熱映像には、供試体内部に損傷が在る箇所に大小さまざまな環状の高温部が分布するパターンが認められた。これは、加熱によって一様な温度分布となった壁面が、冷却時において内部に在る損傷の状態によって熱収支差が生じ、

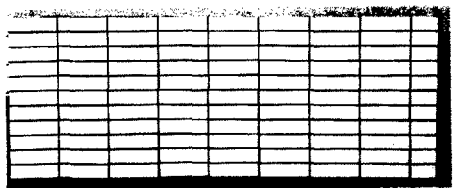
それが表面温度差となって現れたものである。特に、損傷の形状が大きい（Aタイプ）ほど高温でその領域は広範囲を示し、内部がドーナツ状の損傷（Cタイプ）は、損傷面積が小さいため低い温度分布となった。しかし、この判定評価は、あくまでも熱映像内における表面温度の相対的な比較であるために種々の影響を受けることが考えられる。本研究では、この評価を定量化するために時系列に得られた熱映像から求めた温

表-1 損傷の種類

損傷の種類	形状 (mm)
Aタイプ	100×200×5
Bタイプ	100×100×5
Cタイプ	100×100×5（ドーナツ状）



(a) タイル裏面の損傷状況



(b) タイル張付状況

写真-1 トンネル壁面を想定した供試体

表-2 温風ヒーターの性能

熱出力	(kcal/h)	33,430(最大)~20,060(最小)
	(kJ/h)	139,940(最大)~83,970(最小)
燃料消費量	(l/h)	4.0(最大)~2.4(最小)
	(kg/h)	3.2(最大)~1.9(最小)
サーキュレーター風量	(m³/min)	5.6
電源		100V
消費電力		128/131

度特性曲線を適用することにした。すなわち、熱映像のなかから特異的な温度分布を示す箇所を抽出し、その位置の温度特性曲線を求めて線形の違いから損傷を定量的に評価することにした。この温度特性曲線は、観測面全体の平均温度を基準と、内部に損傷が在る位置の温度との差の経時曲線である。なお、損傷の抽出

範囲は、表面に貼付した二丁掛タイルの大きさ縦390mm×横465mm（縦23画素×横27画素）の部分とした。

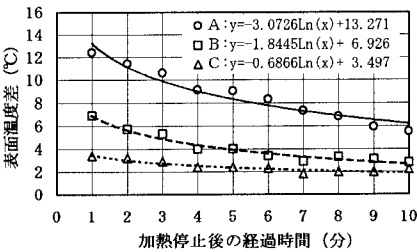


図-1(a), (b)

は、温風ヒー

ターで3分および5分間の加熱後の冷却時に得られた熱映像から求めた代表的な各損傷タイプの温度特性曲線である。内部に在る損傷の面積が大きい（Aタイプ>Bタイプ>Cタイプ）ほど急勾配となり、線形の違いから定量的な評価ができることが明らかになった。

4. 画像解析による損傷の抽出

写真-2の熱映像では、損傷が在る箇所の温度分布が高温部として現れたが、周辺温度との差が微小であるために損傷を抽出することが難しい場合がある。そこで、この熱映像に閾値を設定して、閾値以外の温度データを削除し、損傷箇所のみを強調する画像処理法を適用することにした。写真-3は、加熱停止後4分経過時に得られた熱映像に対して閾値（10.0℃）を設定し、それ以下の画素は全て削除し、それ以上の画素のみを強調して表示したものである。この画像処理によって、損傷箇所が高温部として強調され明瞭な処理画像を得ることができた。次に、3次元的な表示処理とは、熱映像内の温度分布の差異を高低の差分として、微小な温度差を立体的に表現するものである。閾値以上の表面温度を平面から突出して表現する処理法と内部に浮きや空隙がある箇所は高温部となって現れる現象を適用して考察すれば損傷の位置および大きさの違いを高低差で表すことができる。特に、この評価画像は観測面に張られたタイル位置と重ね合わせて表示してあるため、3次元的に表示してある位置はタイル裏面に損傷が在ることを示し、その高さおよび幅の違いは損傷の位置および大きさなどを定量的に判読した結果を表している（写真-4 参照）。

5. まとめ

熱映像を利用したトンネル内部の損傷診断について実験検討を行い次の結果が得られた。(1) トンネル内部の損傷診断への熱映像の適用では、非常に温度変化が微小であるため人為的な加熱が不可欠である。(2) 対象観測面の平均温度との表面温度差から求めた温度特性曲線の線形の違いからトンネル壁面にある損傷を定量的に判読することができた。(3) 閾値の設定や3次元表示などの強調処理によって、微小な温度分布から損傷箇所を抽出できるより明確な診断画像を作成することができた。

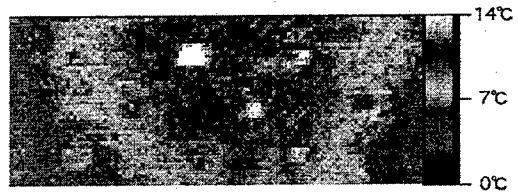
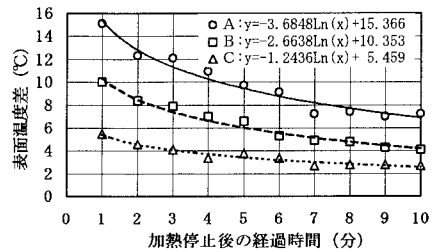


写真-2 表面温度分布画像（5分加熱・4分経過時）



(b) 5分加熱

図-1 熱映像から求めた温度特性曲線

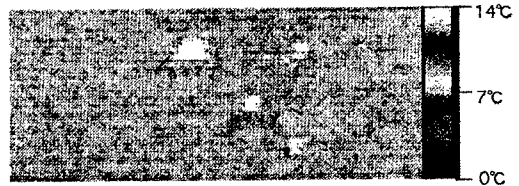


写真-3 強調処理画像（閾値：10.0℃）

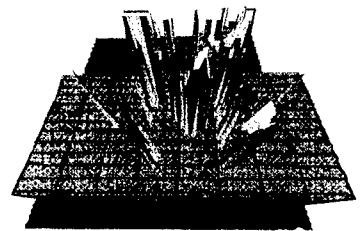


写真-4 3次元表示画像