

(V-32) 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 学生員 ○澤村康弘

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

高速道路網の整備は一段と加速されている反面、既存の構造物が経年に伴う劣化現象が顕在化しつつある。特に、照明効果の向上を図るためにトンネル壁面に張られたタイルの損傷状態をいかに把握するかが問題となっている。万一、タイル裏面に発生した浮きが進展して剥落した場合には、車両に対して多大な被害を与える恐れがある。これを未然に防止するためには、定期的に損傷診断を実施して進展状態を把握することが不可欠である。これに最適な非破壊検査法としてサーモグラフィ法がある。本報告は、この手法の実用化に向けてのデータ蓄積を目的として既存トンネル壁面を想定した実験供試体の表面を加熱し、その冷却時に得られる熱映像の温度分布へ影響を及ぼすと考えられるタイルの色彩、艶の有無などを明らかにした。さらに、損傷状態を容易に判読できる観測システムを提案するとともに、判定結果を視覚的に表示できる画像処理法について検討したものである。

2. 実験供試体および熱赤外線センサによる測定概要

トンネル壁面に張られているタイルは、さまざまな色彩、艶の有無などが異なるために熱映像を利用して損傷診断を行う場合には、それらの各要因が温度分布へどのような影響を及ぼすかを事前に把握しておくことが必要である。予備実験に使用した供試体は、プレキャスト製品の側溝蓋(縦450mm×横600mm×幅50mm)に色彩、艶の有無などが異なる外装タイル(縦98mm×横98mm×厚さ5.0mm)を貼付した。なお、裏面には、発泡スチロールの大きさ(縦60mm×横60mm×厚さ3mm, 縦30mm×横30mm×厚さ3mm)が異なる疑似損傷を配置した。一方、既存トンネルの壁面を想定した実験供試体は、RC道路用U字型側溝(縦800mm×横2,000mm×幅610mm, コンクリート厚さ150mm)の表面に二丁掛タイル(縦60mm×横227mm×厚さ10.5mm, 白色、艶有り)を貼付したもので、裏面の浮きや剥離などの損傷を疑似した3種類の発泡スチロール(損傷の表面積: 200cm², 100cm², 56cm²)を配置した(図-1 参照)。熱赤外線センサによる供試体壁面の温度測定は、諸条件に準じて加熱し加熱停止後 1分経過時から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ることとした。

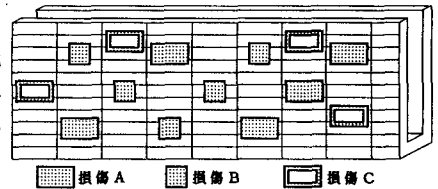


図-1 タイル裏面の損傷配置図

3. 熱映像に現れた表面温度特性

写真-1は予備実験供試体の可視映像で、写真-2は、供試体表面を距離 1.0mの位置から5分間加熱し、加熱停止後 1分経過時に得られた熱映像である。この熱映像には、裏面に大きい損傷がある外装タイル表面に大小さまざまな環状の高温部が分布する温度分布パターンが認められた。これは、写真-1 タイルの可視像 写真-2 表面温度分布画像 加熱によって一様な温度分布となるべき外装タイル表面が、冷却時において内部にあ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、色彩の違いでは黒色タイルが白色タイルより、艶の有無では艶無しが熱吸収が大きい結果であった。この現象は、既存トンネル壁面を想定した実験供試体でも外装タイルと同様に、裏面の疑似損傷の形状が大きいほど温度分布は高温でその領域は広範囲を示し、損傷面積が小さいものは低い温度分布であった。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、本項では、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度特性曲線を適用することにした。この温度特性曲線は、観測面の平均温度を基準とし

て、内部に損傷がある位置の温度との差の経時曲線である。損傷の抽出範囲は、表面に貼付した外装タイルの大きさ（縦20画素×横20画素）および二丁掛タイルの大きさ（縦 5画素×横14画素）の部分とした。なお、温度特性曲線の作成に使用する温度特性値は、次式で求めることにした。

$$T_t = T_{\text{av}} - A_{\text{av}} \tag{1}$$

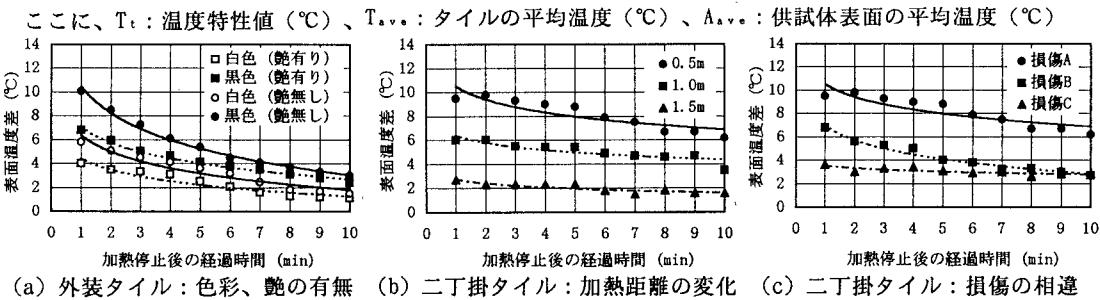


図-2 熱映像から求めた温度特性曲線

図-2(a)は、色彩および艶の有無が異なる外装タイル表面から求めた温度特性曲線である。色彩および艶の有無が明瞭な線形の違いとして判別できた。図-2(b)は、実験供試体の壁面を温風ヒーターで4分間加熱時における加熱距離変化を、図-2(c)は、加熱距離0.5mの位置における加熱時間4分間の冷却時に得られた熱映像から求めた代表的な各損傷の温度特性曲線である。その結果、裏面にある損傷の大きさ、位置などの違いが温度特性曲線の指数関数形が示す減衰勾配の違いから定量的な評価ができることを示している。

4. 画像解析による損傷の抽出

熱映像から損傷を検知する場合、損傷があるタイル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。写真-3 強調処理画像(閾値：50℃)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。特に、表示画像のメッシュは対象とした二丁掛タイルの大きさに重ね合わせてある。

写真-3は、加熱停止後 2分経過時に得られた熱映像に対して閾値（50.0℃）を設定し、強調表示したものである。写真-4は、写真-3で得られた判定結果をタイルに張付けてメッシュ毎に色付け表示したものである。なお、最適な閾値は、任意に設けた閾値によって検知された損傷の精度から設定した。表-1は、任意に設定した閾値によって検知された損傷の評価結果である。写真-5は、写真-4の判定結果に 3次元の処理を施したもので、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したものである。この処理法は、閾値以上の表面温度を平面から突出して表現するために、損傷があるタイルが高温部となる占有面積が広く、表示高さが高いほど損傷が大きいことを示している。

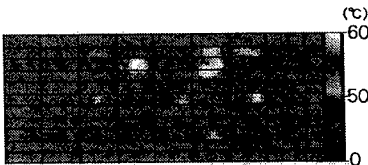


写真-3 強調処理画像(閾値：50℃)

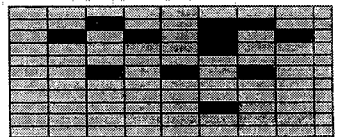


写真-4 損傷検知の表示画像

表-1 閾値による損傷の検知結果

閾値 (℃)	検 知 率			誤診数
	損傷A	損傷B	損傷C	
48	4/5	4/5	2/4	23
49	4/5	4/5	2/4	16
50	4/5	4/5	2/4	4
51	4/5	3/5	0/4	7
52	2/5	2/5	0/4	10

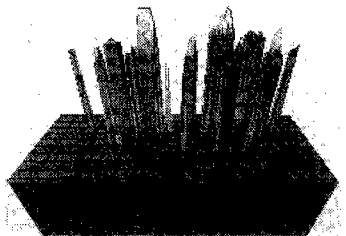


写真-5 3次元表示画像

5. まとめ

熱映像を利用したトンネル壁面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)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で損傷を判読することができた。(2)閾値の設定によって損傷検知の精度向上ならびに判定結果の 3次元表示で微小な温度分布から損傷箇所を抽出できる最適な診断画像を作成できた。