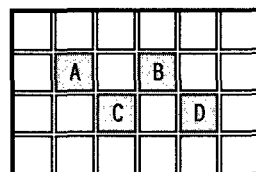


(V-12) 熱映像で得られる表面温度分布特性の確率変数と損傷評価について

日本大学大学院 学生員○宮崎 蒼士
日本大学 正員 柳内 睦人
中央工学校 正員 金光 寿一

1. はじめに

トンネル壁面に張られたタイル裏面の損傷診断にサーモグラフィ法を適用する場合、検知したい損傷部と健全部との相対温度差を明確にするために、タイル裏面を人為的に加熱することが必要である。著者らは、その検知手法としてタイル一枚当たりの平均温度を基準とした温度特性値¹⁾を比較して損傷検知のための指標を構築し、判定精度の向上に努めてきた。しかし、観測時の気象条件、上昇温度及び損傷面積などの諸要因によって表面温度に差が生ずるものの、特に、損傷面積の深さを考慮した関係においては、損傷状態を明確にするまでには至っていない²⁾。本研究では、剥離状態を示す温度分布の形状パターンの相違をより明確にするために、分布形状の統計変数である尖度、歪度を用いて剥離検知の有効性について検討を行った。



□ : 無損傷タイル
A, B, C, D : 剥離配置箇所

2. 実験要因

実験に供した試験体は、既存のタイル壁面に使用されている、正方形タイル(白色、艶有り、一辺 97.75mm、深さ 5mm)をプレキャスト板に張付けたものである(図-1 参照)。タイル一枚当たりの剥離面(20, 30, 40, 60%)を有するよう発泡スチロールを加工してタイル裏面に一時的に配置し、下地モルタルの終結時に除去して、その上部にタイルを貼付けて疑似剥離とした。タイル剥離の状況を表-1 に示す。熱赤外線センサによる温度測定は、タイル表面を 1.0m 離れた位置で 1 分から 4 分まで 1 分間隔で温風ヒータを用いて加熱し、1.7m の位置からリアルタイムに 7 分間連続して VTR に撮り込んだ。なお、測定時の外気温は 20±2℃であった。

図-1 試験体の剥離配置図

表-1 剥離要因

試験体 No.	剥離厚さ (mm)	剥離面積率 (%)			
		A	B	C	D
1	10	60	40	20	30
2	5				
3	3				
4	1				

3. 統計変数式

歪度は、分布の対称性を示す指標で、正の値を取るときは右にすその長い形状を示す。尖度は分布の平坦度を示す値で、数値が大きいほどその分布形状は凸の形状となる。

$$a_3 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i - \bar{x}}{S} \right)^3 = \frac{\sqrt{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{\left\{ \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right\}^{3/2}}, \quad a_4 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i - \bar{x}}{S} \right)^4 = \frac{N \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4}{\left\{ \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right\}^2}$$

ここに、 a_3 : 歪度 a_4 : 尖度 N : 画素数 S : 標準偏差 x : 画素温度 $\bar{x}$: 平均温度

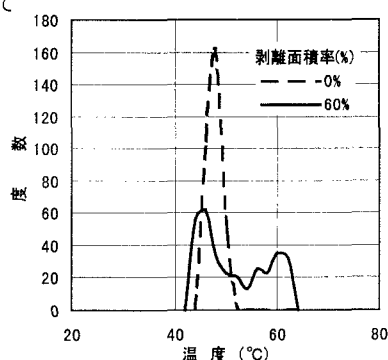


図-2 表面温度分布曲線

4. 実験結果

4.1 タイル面の温度分布特性

図-2 は、加熱時間 3 分の加熱停止後 2 分経過時の熱映像から求めた温度分布曲線である。この図は、健全タイルと裏面に剥離を有するタイル(剥離面積率 60%, 厚さ 5mm)を比較して表示したものである。剥離タイルでは、広範囲に双頭の高温域を示す分布となるが、健全タイルでは、1 箇所に集中した凸形状な分布となる特徴を示した。なお、タイル剥離の定量化を測るためには、この分布の差異を関数として判別することが必要である。

キーワード : 熱映像、確率変数、損傷検知指標、温度分布形状

連絡先 : 〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1 TEL 0474-74-2441 FAX 0474-74-2441

4.2 加熱及び冷却時間

剥離検知へ統計量を適用する場合、各剥離間の良好に分離できる温度分布を得るための加熱条件の設定が必要である。図-3は、各加熱時間における加熱停止後2分経過時の各剥離面積率の歪度である。図より、各剥離面積率間で最も有意差が現れた3分加熱時の剥離を検知する加熱時間として採用した。また、冷却時間も外気温に対して剥離を容易に検知できる冷却時間を選定しなければならない。図-4は、加熱時間3分における、冷却過程の尖度の推移である。図より、加熱停止後1分から3分経過時の近傍では、尖度の変化が少なく比較的安定していることを考慮して冷却時間2分を採用した。

4.3 歪度による剥離検知

前項で設定した加熱及び冷却時間について、温度分布の統計変数の有効性を検討して閾値処理により剥離を検知するものである。

なお、対象とする剥離の大きさは建設省の補修指針³⁾を適用して剥離面積率30%とする。図-5は、各剥離面積率毎の平均歪度である。各剥離の近似直線は剥離面積が増加するほど歪度が小さくなる良好な負の相関性であった。剥離面積率30%を検知する場合には、歪度が1.3となり、この値を閾値へ適用すれば、30%以上の剥離が検知できることになる。

4.4 尖度による剥離の分離

図-6は、剥離面積率毎に求めた尖度で、剥離面積の増大の伴い尖度が低下する傾向となった。損傷面積率40%以上では有意な差異が微小であったために、剥離を分離して検知することは困難であるが、損傷面積率40%以下では剥離を分離することが可能である。剥離面積率30%を検知する場合には、尖度が3.5となり、この値を閾値へ適用すれば30%以上の剥離が検知できることになる。

5. まとめ

- 本実験では、以下に示す結果が得られた。
- (1) 熱映像から求めた温度分布曲線の線形の相違でタイル裏面の剥離を精度良く判定することができた。
 - (2) 剥離検知のために適した加熱及び冷却時間を選択することができた。
 - (3) 剥離面積率30%を抽出するためには、歪度、尖度などの統計量を適用することで検知精度を向上させることが可能である。

【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 学年次論文報告, Vol.18, No.1, pp1209-1214, 1996

2) 金光寿一, 柳内睦人, 原洋平, 宮崎善士: 熱赤外線を利用した壁面損傷判定指標の構築と定量化に関する研究, コンクリート工学年次論文報告, Vol.20, No.1, pp323-328, 1998

3) 建設大臣官房技術調査室監修: 外装仕上げ及び防水の補修・改修技術, 第4編, p38, (財)日本建築センター, 1992

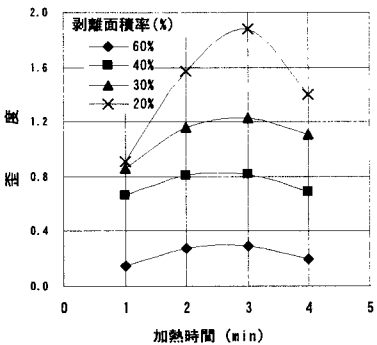


図-3 加熱時間と歪度の関係

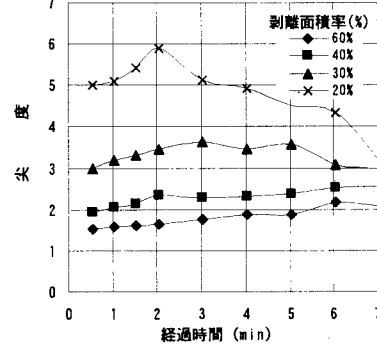


図-4 尖度の経時変化

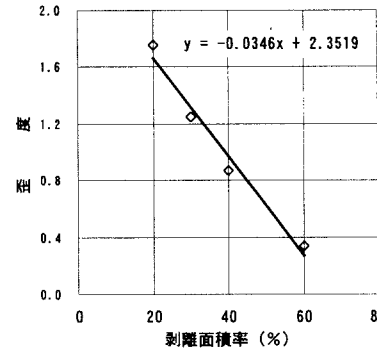


図-5 剥離面積率別歪度分布変数

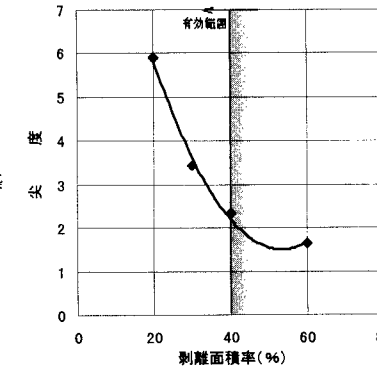


図-6 剥離面積率別尖度分布