

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損傷診断は、日射や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、気温変化が微小なトンネル壁面を対象とした場合、人為的な加熱が不可欠でその冷却時に得られる熱映像から損傷を判読することになる。特に、加熱によって発生する損傷状態の相対的な温度分布特性を明確にしなければ実用面での判定評価に影響を与えることになる。そこで、本研究では、損傷の判定評価に影響を及ぼすと考えられる各要因による温度分布特性への影響について検討を行うとともに、熱映像から求めた表面温度ならびに温度分布の分散値を2値化処理の閾値へ適用して画像処理を施し、損傷部を精度良く抽出する判定評価について報告するものである。

2. 実験概要

観測の対象とした供試体は、損傷を有するタイル1枚当たりの温度分布特性を検証するものでRCプレキャスト板に正方形及び二丁掛タイルを張ったものである。タイル裏面の損傷は、浮きや空隙を想定した発泡スチロールを加工してタイル1枚当たりの面積比率（損傷A:60%,B:40%,C:20%,D:10%）を有する損傷をコンクリート下地に接着し配置した(図-1 参照)。熱赤外線センサによる測定は、観測面から1.0m離れた位置から温風ヒーターで観測面を均一に加熱し、加熱停止後5秒経過時から測定距離1.7mを保ちリアルタイムに連続して行った。なお、観測面への加熱条件及び上昇温度は表-1及び図-2に示すとおりである。熱映像による損傷診断では、短時間に加熱を完了させ速やかに熱映像を撮り込みその判定評価をどのように表示するかが重要な課題である。図-3は、熱映像から求めた二丁掛タイルCaseT-2の温度特性曲線である。この曲線は、各損傷タイルの平均温度と無損傷タイルの平均温度との差分を時系列に示したもので、損傷状態の違いによってその線形が異なり、これを分析することによって損傷状態を判読する指標となり得る。そこで、建設省のタイル補修指針である損傷比率30%以上が確認できる最適加熱時間及び冷却時間について検討を行うことにした。その結果、外気温20℃における加熱停止直後の上昇温度は無損傷タイルを15～23℃程度に上昇させるのが最適であった。また、その時の冷却時間は加熱停止後3分経過時で十分精度良く損傷を判読することができた。

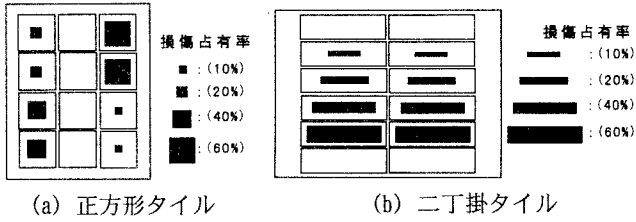


図-1 損傷配置図

表-1 加熱条件毎の上昇温度

実験要因		加熱時間 (min)	上昇温度 (℃)	外気温 (℃)
正 タ イ ル	Case S-1	2.0	14.0	20.1
	Case S-2	3.0	20.0	20.2
	Case S-3	4.0	25.0	20.0
二 丁 掛 タ イ ル	Case T-1	3.0	15.0	19.7
	Case T-2	4.0	19.0	20.0
	Case T-3	5.0	23.0	20.1

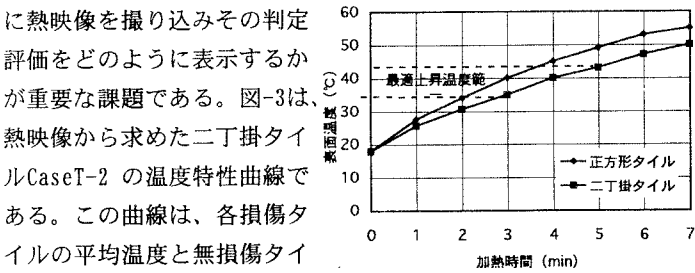


図-2 最適上昇温度

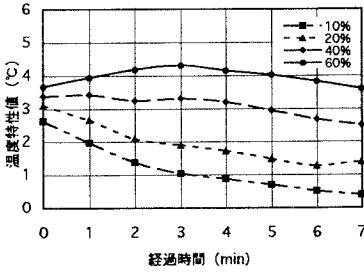


図-3 温度特性曲線 (Case T-2)

列に示したもので、損傷状態の違いによってその線形が異なり、これを分析することによって損傷状態を判読する指標となり得る。そこで、建設省のタイル補修指針である損傷比率30%以上が確認できる最適加熱時間及び冷却時間について検討を行うことにした。その結果、外気温20℃における加熱停止直後の上昇温度は無損傷タイルを15～23℃程度に上昇させるのが最適であった。また、その時の冷却時間は加熱停止後3分経過時で十分精度良く損傷を判読することができた。

3. 画像処理法による損傷の抽出

3. 1 ヒストグラムによる閾値処理

熱映像から求めたヒストグラムは、加熱停止後における無損傷及び各損傷の表面温度と画素数との関係を示し、損傷状態の相違を特徴的に表している。しかし、表面温度が分散しているために損傷を検知するための判定指標をどこに設定すれば良いかの問題点

がある。そこで、損傷比率を区分するための判定指標は、損傷を判読できる信頼評価として、計測された各表面温度をもとに (1)式より温度閾値 T_h を算出した。

$$T_h = T_{ave} + k(T_{max} - T_{ave}) \dots \dots (1)$$
$$0 \leq k \leq 1$$

ここに、 T_h :温度閾値 (°C) , T_{ave} :検知したい損傷タイル1枚の平均温度 (°C) , k :検知係数, T_{max} :最大温度 (°C)

この検知係数 k は、確率変数であり値が大きくなれば損傷を検知できる信頼確率が低下するものの確実にノイズを除去し特定の損傷面積以上を判読することができる。両タイルの各加熱条件において損傷比率 30%以上が検知できる温度閾値は、正方形タイルが 29.9°C、二丁掛タイルが 33.1°Cであった (図-4 参照)。

3. 2 温度分布の分散値による閾値処理

熱映像内の温度分布の分散は、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ある。図-5は、両タイルの各加熱条件の3分経過時における損傷比率30%の分散値である。特に、この分散値は無損傷タイルと比較することで損傷の判定指標の目安とすることができる。

3. 3 クリッピング処理による損傷の抽出

クリッピング処理は、最適な冷却時間の熱映像に対して画像処理を施して損傷のみを抽出するもので、まず、第一段階として損傷比率30%以上を抽出する温度閾値を適用してクリッピング処理を施すことにした。しかし、この判定画像では若干のノイズが含まれているために誤診を多く含み改善の余地を残している。次に第二段階として、この判定画像へ温度分布の分散閾値を適用して再度、クリッピング処理を施すことにした。なお、ここで適用した分散閾値は正方形タイルが1.2、二丁掛タイルが2.5である。写真-1は、クリッピング処理後の判定表示画像である。熱映像内のノイズが大幅に除去され損傷比率30%以上の損傷だけを精度良く抽出できた。

4. まとめ

本研究では、以下に示すような結果が得られた。(1)温度特性曲線の線形の比較から最適な加熱条件、冷却時間が選択できた。(2)温度閾値や分散閾値を適用したクリッピング処理では、熱映像内のノイズを大幅に除去し、検知したい損傷比率以上の鮮明な判定画像を得ることができた。

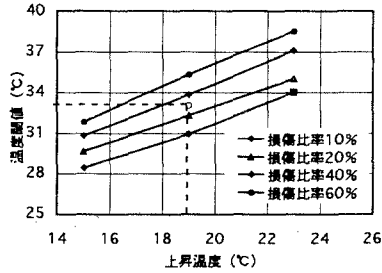
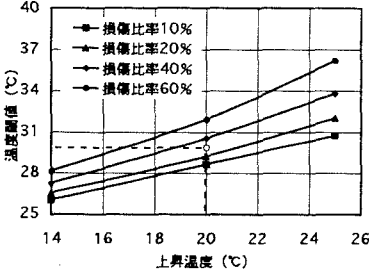
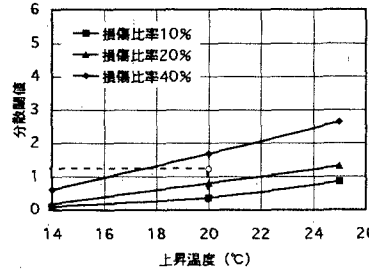
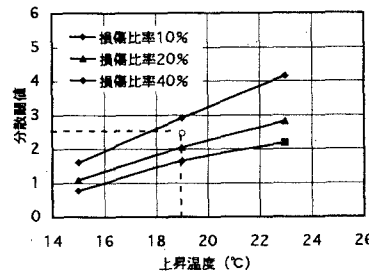


図-4 温度閾値



(a) 正方形タイル



(b) 二丁掛タイル

図-5 分散閾値

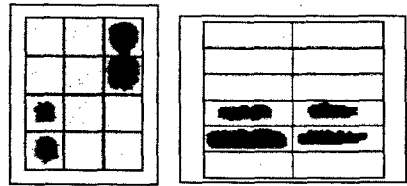


写真-1 判定評価画像