

# (V-13) トンネル内部の外乱ノイズが及ぼす熱映像への影響について

中央工学校 正会員 ○金光寿一  
 日本大学 正会員 柳内睦人  
 日本大学大学院 学生会員 宮崎蒼士

## 1. はじめに

サーモグラフィ法を利用したトンネル壁面の損傷診断では、タイル裏面の浮きやはらみなどの損傷の大きさに応じて放射されるエネルギーを検知し、その熱映像内の相対温度差から健全部と損傷部を判定評価することになる。しかし、熱映像へ影響を及ぼすことになるトンネル内の環境を考慮して画像処理を施さなければ誤診の発生が懸念される。そこで、本研究ではサーモグラフィ法の熱映像、観測精度及び画像処理に影響する問題点として外的要因である壁面の汚れを取り上げて、各種汚れの程度が熱映像にどのような影響を及ぼすのかを明確にするものである。

## 2. 実験概要

測定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タイルを張り付けたものである。タイル裏面の損傷は、浮きや空隙を想定した厚さ 1.0mm の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: 30%)を有する損傷を配置した(図-1 参照)。また、タイル壁面の汚れは、タイヤが巻き上げる粉塵や車両の排気ガスなどを想定してタイル表面へ関東ローム及びグラファイト

|  |   |   |   |  |
|--|---|---|---|--|
|  |   |   |   |  |
|  | A |   | C |  |
|  |   | B | D |  |
|  |   |   |   |  |

図-1 損傷の配置図

(黒鉛粉末、炭素含有量 80%以上)を均一に塗付した。なお、汚れとして使用した各材料の物性は表-1 に示すとおりで、塗布量はタイル1枚当たりの被覆重さを示す。熱赤外線センサによる観測は、タイル表面へ被覆した各材料が絶乾状態となった時点において観測面から 1.0 m 離れた位置から温風ヒーターで加熱し、測定距離 1.7m を保ちリアルタイムに熱映像を得た。表-2 は、観測面への加熱条件及び上昇温度で、表中の上昇温度は各観測面から無作為に抽出した無損傷タイル4枚の平均温度として求めた。

| 実験要因    | 汚れの種類  | 塗布量 (mg) | 密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 熱伝導率 (W/m・K) |
|---------|--------|----------|-------------------------|--------------|
| CaseK-1 | 関東ローム  | 208      | 2.25                    | 1.05         |
| CaseK-2 |        | 596      |                         |              |
| CaseK-3 |        | 1217     |                         |              |
| CaseG-1 | グラファイト | 38       | 2.78                    | 16.00        |
| CaseG-2 |        | 92       |                         |              |
| CaseG-3 |        | 146      |                         |              |

表-1 汚れの物性

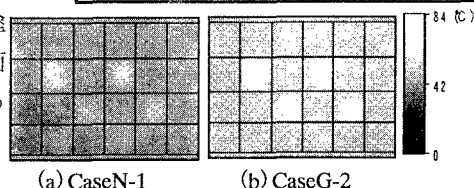
| 汚れの種類 |         | 外気温<br>(℃) | 加熱直後<br>(℃) | 1分経過時<br>(℃) |
|-------|---------|------------|-------------|--------------|
| 無汚染   | CaseN-1 | 19.6       | 61.32       | 46.80        |
|       | CaseK-1 | 21.0       | 63.42       | 52.35        |
|       | CaseK-2 | 20.0       | 65.99       | 54.26        |
|       | CaseK-3 | 18.5       | 68.45       | 58.40        |
| 関東ローム | CaseG-1 | 18.1       | 65.81       | 52.82        |
|       | CaseG-2 | 18.6       | 69.66       | 57.15        |
|       | CaseG-3 | 18.3       | 72.81       | 59.82        |

表-2 上昇温度

## 3. 実験結果及び考察

### 3. 1 熱赤外線センサで得られた汚れタイルの熱映像

写真-1(a)及び(b)は、無汚染タイル及びグラファイトを塗布した1分経過時の熱映像である。上昇温度は、タイル表面に被覆したグラファイトの量が多いほど明瞭な温度差となって現れた。



### 3. 2 熱映像から求めた温度特性値

各種汚れによる熱映像への影響は、既往の研究で提案している温度特性曲線<sup>1)</sup>を指標として検討した。図-2 は CaseG-2 の温度特性曲線で、タイル1枚当たりの各損傷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的に示したものである。なお、対象とする損傷の

写真-1 表面温度分布画像

キーワード：熱映像、トンネル環境、タイルの汚れ、統計変数、閾値

連絡先：〒114-0013 東京都北区東田端1-4-4 Tel 03-3810-8395 Fax 03-3810-8395

大きさは建設省の補修に関する指針<sup>2)</sup>に準拠して損傷比率 30 %とする。図-2 から、無汚染とグラファイトの損傷比率 30 %を比較すると、表面温度はグラファイトの方がより高温を示すにも拘わらず温度特性値は小さくなる。また、塗布量が増加するほどタイル面の上昇温度は高くなるが、温度特性値は逆に小さくなる傾向にあることが明らかになった(表-3 参照)。一方、温度特性値が示す最大値と経過時間との関係では、塗布量が増加するほど最大値を迎える経過時間は遅くなる傾向にある。

### 3. 3 汚れによる表面温度分布への影響

熱映像から損傷を精度良く抽出するためには、各汚れの塗布量に適応した加熱条件や冷却時間を定量的に把握しておくことが必要である。本項では、上昇温度によって得られる表面温度分布は加熱時間が増加するほど各損傷間に相対差が生じることを考慮して加熱時間は 5 分間とした。また、冷却時間の選択は温度特性曲線及び図-3 に示す経過時間と標準偏差の関係により、各損傷間の相対差が大きくなり、汚れの種類による熱流速の相違を考慮して 1 分経過時とした。各種汚れを有するタイル裏面の損傷検知について、タイル 1 枚当たりの温度特性を統計変数を用いて定量化し、損傷比率 30 %以上が判定評価できるか否かを検討した。損傷比率 30 %以上を抽出するための統計処理結果を表-3 に示す。標準偏差及び変動

係数は、各種汚れならびに損傷面積に対する熱放射の違いを示し、各損傷間を比較することで各損傷間を分離できる損傷検知の閾値となり得るものである。

しかし、無汚染で得られた標準偏差の 4.60℃及び変動係数の 4.63 %を 2 値化処理法の閾値に適用すると、塗布量によっては損傷比率 20 %をも抽出する結果となる。図-4 及び図-5 に上昇温度と標準偏差ならびに変動係数との関係を示す。特に、変動係数は良好な相関性を示しており、損傷 30 %を明瞭に分離することができる。このように標準偏差及び変動係数は汚れの種類及び塗布量の違いによる相違は認められず、上昇温度に強い依存性が認められる。従って、事前に無汚染タイルの温度特性を適正に評価することで検知したい損傷比率を抽出できるものと考えられる。

### 4. まとめ

(1) 加熱による上昇温度は汚れの種類及び塗布量によって大幅に異なり、塗布量が大きくなるほど上昇温度が高く鮮明な熱映像を得ることができた。(2) 関東ローム及びグラファイトの塗布量が増加するほど、逆に温度特性値は小さくなる。(3) 無汚染タイルを基準として観測面を加熱し測定時間を早めることで、上昇温度の割合と変動係数の関係から汚れによる影響を除去することができた。

#### 【参考文献】

- 1) 柳内睦人・魚本健人：熱赤外線計測技術によるコンクリート構造物内空洞・鉄筋の判読に関する基礎的研究、土木学会論文、No.442/N-16、pp.91-100、1992.2
- 2) 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、p.3.8、(財)日本建築センター、1992.

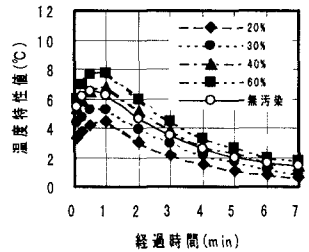


図-2 温度特性曲線

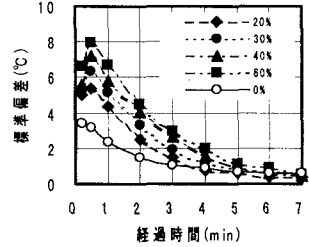


図-3 標準偏差の経時変化

表-3 統計処理結果一覧

| 実験要因    | 温度特性値<br>(°C) | 上昇温度<br>(°C) | 標準偏差(°C) |      |      | 変動係数(%) |      |      |
|---------|---------------|--------------|----------|------|------|---------|------|------|
|         |               |              | 20%      | 30%  | 40%  | 20%     | 30%  | 40%  |
| CaseN-1 | 6.21          | 41.72        | 3.95     | 4.60 | 5.22 | 4.00    | 4.63 | 5.65 |
| CaseK-1 | 5.15          | 42.42        | 4.00     | 4.62 | 5.29 | 4.16    | 5.10 | 6.12 |
| CaseK-2 | 4.10          | 45.99        | 4.49     | 5.17 | 5.77 | 5.20    | 6.46 | 7.57 |
| CaseK-3 | 3.09          | 49.95        | 4.90     | 5.54 | 6.10 | 6.64    | 8.16 | 9.12 |
| CaseG-1 | 5.61          | 47.71        | 4.36     | 4.83 | 5.58 | 5.75    | 7.03 | 7.93 |
| CaseG-2 | 5.24          | 51.06        | 4.53     | 5.28 | 5.84 | 6.68    | 7.91 | 9.05 |
| CaseG-3 | 4.81          | 54.51        | 4.97     | 5.81 | 6.35 | 7.47    | 8.99 | 9.82 |

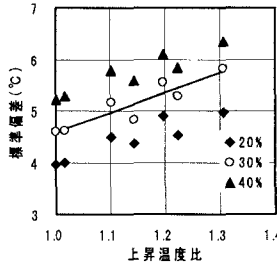


図-4 標準偏差と上昇温度比

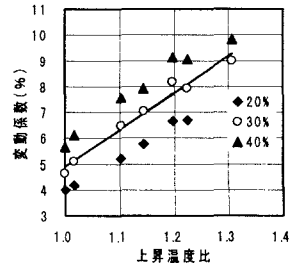


図-5 変動係数と上昇温度比