# 熱赤外線画像による層間剥離検出手法の適用可能時期の検討

国土交通省国土技術政策総合研究所　正会員　○坪川　将丈
国土交通省国土技術政策総合研究所　正会員　水上　純一
国土交通省九州地方整備局　正会員　江崎　徹

## １．はじめに

空港アスファルト舗装の表基層に発生する層間剥離を検出する手法としては，ハンマーで舗装表面を打撃することにより異音部を検出する打音調査が広く用いられているが，広大な面積の空港舗装を正確・迅速に調査するには困難な点が多い．著者らは，層間剥離に起因する剥離部と健全部の舗装表面温度差を熱赤外線カメラにより撮影して剥離位置を検出する手法について，現地試験ならびに熱収支解析により，その有用性を明らかにし，層間剥離に起因する舗装表面温度差には気象条件が大きく影響することを明らかにしている[1)]．本研究では，各地の気象条件を用いて熱収支解析を行い，調査実施の可否を検討可能な舗装表面温度差推定式，ならびに本手法を用いた調査が可能となる時期を検討した．

## ２．熱赤外線画像による舗装表面温度差の測定例

国内の空港誘導路において，高所作業車両にハンディタイプの熱赤外線カメラ（検出素子：非冷却二次元マイクロボロメータ，温度分解能：0.06℃程度）を登載し，夜間に 10km/h の速度で走行しながら高さ約 3m の位置から熱赤外線画像の動画を撮影した．動画からキャプチャーした画像を**図-1** に示す．一般に，高速走行にて撮影した動画では，層間剥離に起因する舗装表面の低温部の判別が困難となるが，この程度の走行速度であれば，舗装低温部を十分に判別可能であった．

## ３．舗装温度差推定式と適用可能時期の検討

国内 6 都市の一般的な気象条件を用いて，層間剥離に起因する舗装表面温度差を熱収支解析により計算した．熱収支解析に用いる気象条件データは，AMeDAS による国内 6 都市（札幌，仙台，新潟，東京，大阪，那覇）の夏季（6～8 月）・秋季（9～11 月）の晴天時（昼夜ともに「晴」もしくは「快晴」）・曇天時（昼夜ともに「曇」「薄曇」「曇時々晴/雨」「曇一時晴/雨」のいずれかで日降水量が 0mm）のデータを使用した．解析モデルを**図-2** に，解析に使用したパラメータを**表-1** に示す．解析結果に大きく影響するアスファルトコンクリートのパラメータの一部は，試験舗装から採取したアスファルト供試体を用いて室内試験により測定した．また，解析モデルにおける剥離深さは，現地試験において本手法により深さ 7cm 程度までの剥離を検出していること，標準の一層最大施工厚が 8cm であることを考慮し，剥離深さを 8cm とした．解析結果の一例として，東京の夏季晴天時における，舗装表面温度と剥離部／健全部での舗装表面温度差の経時変化を**図-3** に示す．この図から，舗装表面温度は夜間から早朝にかけて低下傾向にあること，深夜 0 時頃に舗装表面温度差が最大となるが，早朝にかけて温度差は小さくなる傾向にあることがわかる．現地試験における経験から，低温部を容易に判別するためには 0.2℃程度以上の舗装表面温度差が必要であると考えられるため，夜間調査が終了する早朝の時点でも 0.2℃程度以上の舗装表面温度差が発生していることが望ましい．そこで，深夜に生じる最大舗装表面温度差と早朝 6 時に生じる舗装表面温度差の相関を求めたのが**図-4** である．これによれば，早朝 6 時の時点でも温度差が 0.2℃以上であるためには，少なくとも深夜の最大舗装表面温度差が 0.25℃以上であることが望ましいと言える．

調査時の気象条件と舗装表面温度差との関係を明らかにするため，熱収支解析により算出した国内 6 都市での最大舗装表面温度差 $\Delta T_{pav}$（絶対値，℃）を目的変数，一日の気温差 $\Delta T_{air}$（最高気温－最低気温，℃），日中の積算日射量 $Q$（kW・h/m$^2$），一日の平均風速 $v$（m/s）を説明変数として重回帰分析を実施した（**図-5**）．その結果得られた重回帰式(1)を用いることで $\Delta T_{pav}$ を精度よく推定することが可能である．なお，これらの説明変数同士の相関は低いことを確認している．

$$\Delta T_{pav} = 0.01335\Delta T_{air} + 0.02944Q - 0.01743v + 0.12282 \qquad (1)$$

この推定式と，札幌・東京・大阪における 2006 年 1 月から 12 月までの毎日の気象条件（雨天等の天候時も含む）を用い，夜間における最大舗装表面温度差が前述の 0.25℃以上となる日数を計算した結果を**図-6** に示す．これによれば，比

キーワード　層間剥離，熱赤外線，打音，アスファルト舗装，空港
連絡先　〒239-0826　神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1　TEL：046-844-5034　FAX：046-844-4471

較的高緯度の札幌においても，春から秋にかけて，赤外線画像による層間剥離の検出が可能であることがわかる．

## 4．結論

今回実施した熱収支解析結果から，層間剥離に起因する最大舗装表面温度差を，一日の気温差，日中の積算日射量，平均風速から高精度で推定することができる．また，当該手法は，春から秋にかけて適用可能である．

## 参考文献

1) 坪川，三宅，水上，江崎：熱赤外線画像による空港アスファルト舗装の層間剥離検出手法に関する研究，土木学会第 61 回年次学術講演会，pp. 311-312，2006.　2) 日本建築学会：建築設計資料集成　環境，pp. 97-134，1987.　3) 日本機械学会：伝熱工学資料改訂第 4 版，pp. 320-322，1986.

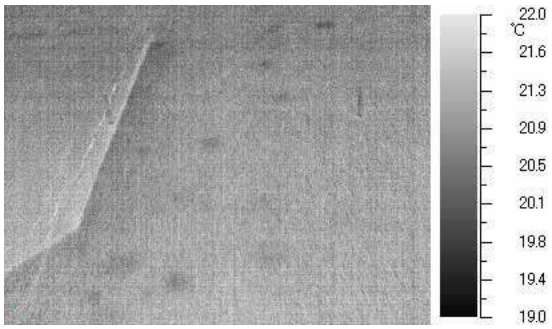


図-1　走行撮影した熱赤外線動画からの画像

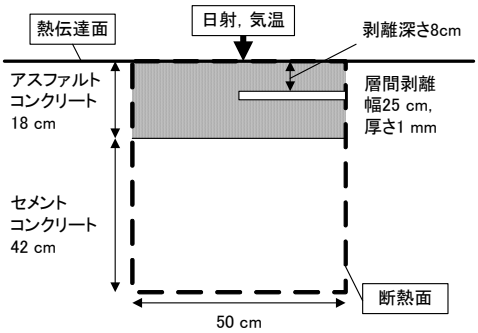


図-2　熱収支解析モデル図

表-1　熱収支解析に使用したパラメータ

| 項目 | | | 備考 |
|---|---|---|---|
| アスコン | 熱伝導率 | 1.11　(W/m･K) | 室内実測値（JIS A 1412-2，40℃） |
| | 比熱 | 0.89　(kJ/kg･K) | 室内実測値 |
| | 輻射率 | 0.92 | 室内実測値（JIS R 3106, 3107） |
| | 日射吸収率 | 1.0 | 文献 2) |
| | 熱伝達率 | 7.8+4.5$v$　(W/m$^2$･K)<br>$v$：風速 (m/s) | コンクリートを対象とした式 2) |
| コンクリート | 熱伝導率 | 1.20　(W/m･K) | 文献 3) |
| | 比熱 | 0.90　(kJ/kg･K) | |

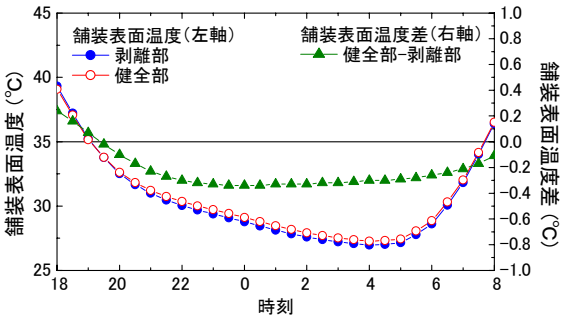


図-3　東京の夏季晴天時における舗装表面温度差

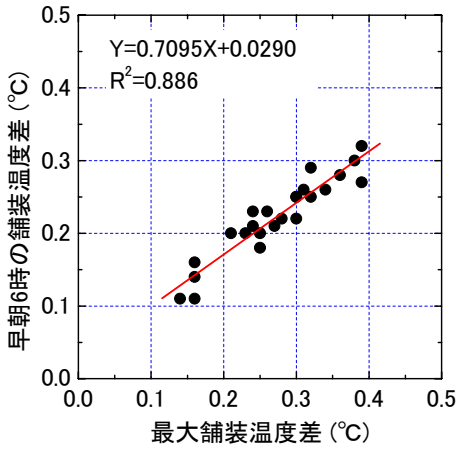


図-4　早朝と最大の舗装表面温度差の関係

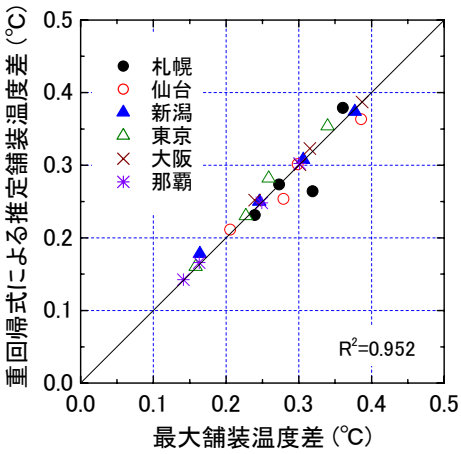


図-5　重回帰分析結果

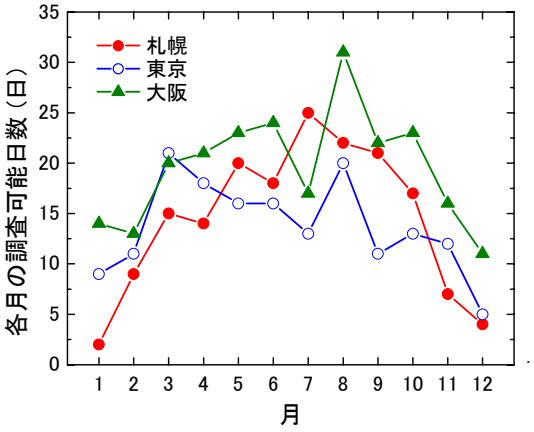


図-6　各月の調査可能日数