

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

国土交通省国土技術政策総合研究所	正会員	○坪川 将丈
内閣府沖縄総合事務局那覇港湾・空港整備事務所	正会員	三宅 光一
国土交通省国土技術政策総合研究所	正会員	水上 純一
国土交通省国土技術政策総合研究所	正会員	江崎 徹

1. はじめに

近年、空港アスファルト舗装の表基層において、層間剥離が発生した事例が多く見受けられる¹⁾。層間剥離を検出するためには、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用いられているが、面的な調査に多くの時間を要すること、個人差があること等、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。

本研究では、熱赤外線画像によるコンクリート構造物の剥離検出手法²⁾を、実際の空港アスファルト舗装の層間剥離検出に適用した事例を報告する。また、本手法を夜間の空港舗装に適用するための気象条件について考察した。

2. 国内空港における適用性試験

那覇空港の滑走路と誘導路の接続部において層間剥離調査を実施した。まず、10m×10mの試験フィールド内で打音調査により異音部を検出した。次に、深夜から早朝まで30分毎に、地上10mの高さから舗装表面の熱赤外線画像を撮影した。その後、コアボーリングにより層間剥離の有無を確認した。熱赤外線画像の撮影には、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：0.1℃程度）を使用した。

打音調査により異音を検出した箇所（以下、異音部）と異音が検出されなかった箇所（以下、非異音部）の熱赤外線画像から算出した舗装表面温度の実測値を図-1に示す。異音部では非異音部よりも舗装表面の温度が0.25～0.35℃程度低く、今回用いた熱赤外線カメラにおいて検出可能であった。また、これらの異音部のうち、8箇所においてコアボーリングを実施した結果、表面から概ね4～7cmの深さにおいて層間剥離が認められた。以上から、熱赤外線画像による層間剥離の検出は可能と考えられるが、今回のコアボーリング調査では7cm以深の層間剥離が確認できなかったこと、全ての異音部を熱赤外線画像により検出できたわけではないことから、今後、検出精度について詳細な調査を実施する必要がある。

3. 適用可能気象条件の検討

調査実施時の気象条件、ならびに国内5都市（札幌、仙台、新潟、東京、那覇）の夏季（6～8月）・秋季（9～11月）の一般的な気象条件を想定した熱収支解析により、本調査手法の適用可能気象条件について検討した。熱収支解析における気象条件データは、調査時に取得したもの、ならびに国内5都市のAMeDASによる夏季・秋季の晴天時（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。これらのパラメータは、アスファルト試験舗装で測定した深さ方向の温度、気温、日射量の時系列データから熱収支解析により推定したものである。

調査実施時の舗装断面を想定した解析結果と実測値を図-1に示す。ここでは、コアボーリング結果を参考に、表面から6cmの深さに層間剥離を想定した。熱収支解析による層間剥離部と健全部の舗装表面温度差は0.25～0.3℃程度であり、実測値とほぼ一致することがわかる。図-3に東京の気象条件を用いた熱収支解析結果を示す。実測値を参考に、層間剥離部と健全部との舗装表面温度差が0.2℃以上の場合を検出可能と仮定すると、深さ6cmの層間剥離は検出可能であるものの、層間剥離の位置が12cm以深の場合は検出が困難となる可能性があること、剥離深さにより温度差が最大となる時刻が異なることがわかる。また、秋季よりも夏季、曇天時よりも晴天時のほうが舗装表面温度差は大きくなる傾向にある。

層間剥離部における舗装表面温度の低下は、層間剥離部の空気層が断熱層として働き、夜間には昼間に蓄積された熱が放出されやすくなることに起因して生じると考えられる。このことから、舗装温度の一日の変動が大きい場合や、舗装温度の変動が大きい浅い位置に剥離がある場合のほうが、層間剥離に起因する舗装表面温度差が大きくなると考えられる。そこで、国内5都市の気象条件による解析結果（剥離深さ6cmの場合、20ケース）から、一日の気温差 ΔT_{air} （最高気温

一最低気温, °C) ならびに日中の積算日射量 Q ($\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$) を説明変数, 深夜の最大舗装表面温度差 ΔT_{pav} (絶対値, °C) を目的変数として重回帰分析を行った結果を図-4 に示す. 最大舗装表面温度差は, 気温差ならびに積算日射量と正の相関関係があり, これらの説明変数から, 高い精度で深夜の最大舗装表面温度差を推定できることがわかった.

4. 結論

今回実施した適用性試験結果から, 熱赤外線画像により深さ 4~7cm の層間剥離を検出できることが確認できた. また, 熱収支解析結果から, 層間剥離の有無に起因する深夜の最大舗装表面温度差は, 一日の気温差ならびに積算日射量との間に高い相関関係があり, これらの因子から本手法を適用可能な気象条件を推定できると考えられる.

5. おわりに

今後は, 人工的に層間剥離を設けた試験舗装において, 表面から深い位置の層間剥離検出精度についても調査を実施し, 本手法の適用性を取りまとめて行く所存である.

参考文献

- 久保, 八谷, 長田, 平尾, 浜: 最近の空港アスファルト舗装の損傷と改良工法について, 土木学会舗装工学論文集, 第9巻, pp. 35-40, 2004.
- 例えば, 長田, 山田, 田明, 赤松: 熱画像による鉄道高架橋コンクリートの剥離診断手法の開発, 土木学会論文集, No. 760/V-63, pp.121-133, 2004.

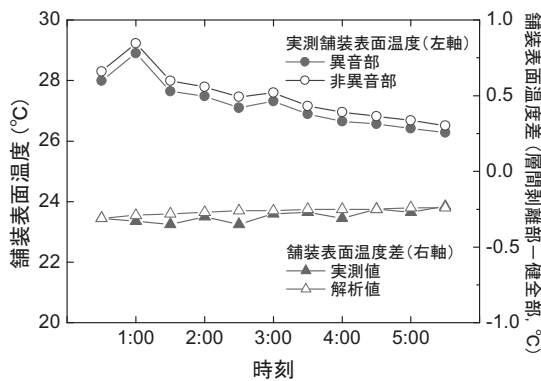


図-1 舗装表面温度と温度差の実測値と解析値

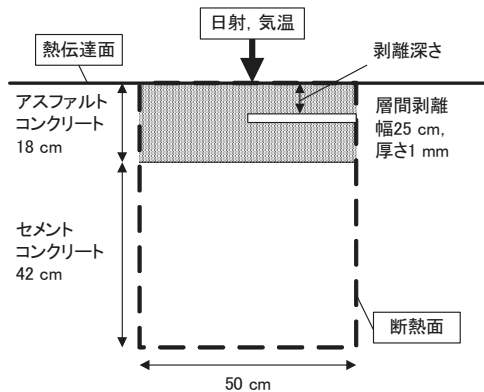
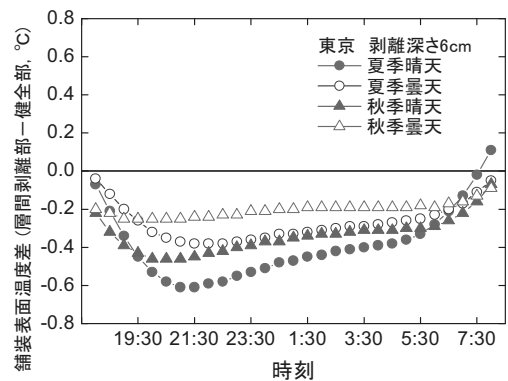


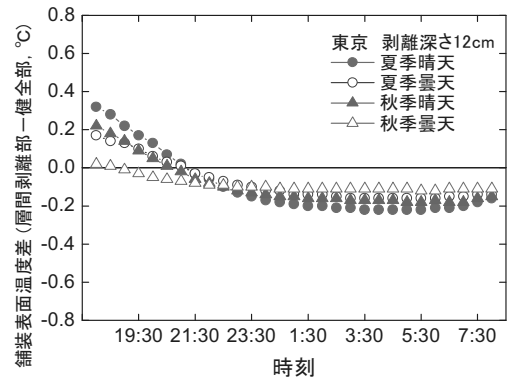
図-2 熱収支解析モデル図

表-1 熱収支解析に使用したパラメータ

項目		設定値	
物性値	熱伝導率 ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)	アスコン	1.3
		コンクリート	1.2
	比熱 ($\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$)	アスコン	0.92
		コンクリート	0.90
表面熱収支	輻射率	1.0	
	日射吸収率	1.0	



(a) 剥離深さ 6cm



(b) 剥離深さ 12cm

図-3 東京の気象条件における舗装表面温度差

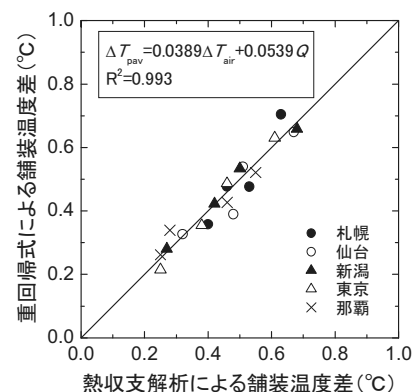


図-4 重回帰分析結果