層間剥離を有するアスファルト舗装表面の熱画像解析に関する基礎的研究

芝浦工業大学　学生会員　○棚橋　孝次
芝浦工業大学　　正会員　　勝木　太

1．背景と目的

一般にパッシブ法による赤外線画像は、被写体となる材料の熱的特性や日射量などの熱的環境の影響でその画像が異なる。そのため計測された赤外線画像のみを用いてアスファルト舗装内部の層間剥離の大きさや深さ位置を確定する場合、アスファルト舗装材の熱特性や日射量などによる熱収支の影響を考慮した熱伝導解析による理論的な裏づけが必要となる。そこで本研究では、層間剥離を有するアスファルト舗装模擬供試体を作製し、剥離部と健全部とのアスファルト表面の温度差が解析で評価できるか検証した。

2．実験概要

本研究では、以下の実験および解析により、層間剥離が存在するアスファルト舗装表面の温度履歴を理論的に検証し、剥離部検出精度について検討した。

- 層間剥離が存在するアスファルト舗装表面および内部の温度履歴を赤外線カメラ、熱伝対でそれぞれ計測する。
- アスファルト舗装表面に与えられる熱エネルギーを日射計・赤外放射計・温度計・風速計を用いて計測する。
- 計測された熱エネルギーのデータを気温に換算して熱伝導解析を行い、アスファルト舗装表面および内部の温度履歴を推定する。

2-1　供試体概要

アスファルト舗装されたコンクリート床版を模擬した 100cm×100cm×30cm の供試体を作成した。供試体は、鋼製型枠内に 20cm の厚さのコンクリートを打設し、コンクリート硬化後、厚さ 5cm のアスファルト（常温合材）を 2 層転圧して舗装した。なお模擬剥離部として、アスファルトの層間に幅 20cm×厚さ 2mm の帯状の高発泡ポリエチレンシートを供試体中央に埋設した。また、供試体側面の熱の移動を避けるために、供試体側面を厚さ 10cm の発泡スチロールで囲んだ。なお、今回埋設した模擬剥離部は、熱的環境要因の影響を明確にするため比較的大きなものとしたこと、また剥離深さ位置については、一般的な道路舗装厚さの層間に配置したことを付記する。

2-2　熱電対の配置

図-1 に供試体概要を示す。熱伝対を L 字型に深さ 2.5 cm 、5 cm 、7.5 cm 、10 cm 、20 cm 、30 cm の各層に配置した。なお、熱電対のデータは温度解析時に初期温度としても使用した。

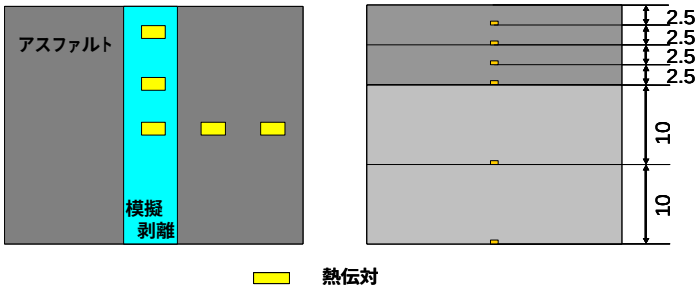


図-1　供試体概要　　単位〔cm〕

2-3　試験方法

供試体を江東区豊洲芝浦工業大学敷地内の日射を受けることのできる場所に置き、日中の日射、気温、赤外線放射の変化による表面温度の変化を赤外線カメラで撮影した。同時に日射量、赤外線放射量、気温を計測した。計測を行ったのは 8 月 7 日、8 月 19 日、10 月 2～3 日、12 月 15～16 日の計 5 回である。

2-4　解析

日射によるアスファルトの熱吸収を考慮するため、式-1 によって求まる等価外気温を用いた。

$$T_e = T_0 + A_{su} \times J / a_0 \cdots \text{（式-1）}$$

T_e:等価外気温（℃）　T_0:外気温（℃）
A_{su}：表面の日射吸収率　J：日射量（W/㎡）
a_0：熱伝達率（W/㎡℃）

また、風速計を用いて供試体付近に吹く風の強さを計測した。その風の影響を考慮し、熱伝達率を求めた。既往の研究より、「赤外線カメラでの表面温度＝等価外気温」とし、この供試体における 1 日の平均風速と式-2 から求まる熱伝達率の関係について整理した。

$$a_0 = (A_{su} \times J) / (T_e' - T_0) \cdots \text{（式-2）}$$

キーワード　維持管理　アスファルト舗装　赤外線法　剥離
連絡先　〒135-8548　東京都江東区豊洲 3-7-5　芝浦工業大学　TEL 03-5859-7000　E-mail:h05064@shibaura-it.ac.jp

3．結果と考察

3-1　熱伝達率

各測定日の日照時間内の平均日射量、平均温度、および平均表面温度を式-2 に代入して求めた熱伝達率と平均風速の関係を**図-2** に示す。図より両者には強い相関関係があり熱伝達率を平均風速の 1 次式で評価できることが分かった。そこで今後の解析では、平均風速に対する熱伝導率を、この 1 次式を用いて評価する。

3-2　実測と解析

10 月 2～3 日に計測した健全部表面の温度履歴の実測値と解析結果を**図-3** に示す。図より、解析値と実測値には時間差が生じている。これは、アスファルト表面が日射を受けてから温度が上昇するまでに時間がかかる実測と、等価外気温によってすぐに温度上昇が反映される解析の差だと考えられる。そこで解析値、実測値それぞれの健全部と剥離部の表面温度差を比較した。そのグラフを**図-4** に示す。図より、解析値と実測値の温度差は同形の変化を示しており、日射量等を考慮した解析によって剥離部に生じる温度差を検知できることが分かった。

次に、舗装内部の初期温度がその後のアスファルト舗装表面の温度履歴に与える影響を検証した。これは、実際の計測において舗装内部の初期温度を計測できないためである。そこで**図-5** には 10 月 2～3 日に計測した実測データを参考に、舗装内部の初期温度をすべて外気温(17.3℃)と仮定し、5 日後に生じる剥離部と健全部の表面温度差を解析で求めたものを示す。図より、実測値と解析値はほぼ同等の温度履歴になることから、舗装内部の初期温度を外気温とすることで、剥離部と健全部との温度差を評価できることが分かった。

4．　まとめ

今回の実験および解析によって以下のことが明確になった。

① 屋外のアスファルト舗装表面の温度履歴は、外気温以外に日射量の影響を大きく受けること。

② アスファルト舗装表面の熱伝達率は、風速の影響を受けて変化すること。また熱伝達率は、日照時の平均風速と高い相関関係にあること。

③ 剥離部と健全部との温度差を熱伝導解析によって評価するためには、日射の影響を考慮した等価外気温と風速の影響を考慮した熱伝達率を用いて評価できること。

④ 舗装内部の初期温度は外気温とし、繰返し計算することで、剥離部と健全部の温度差を評価できること。

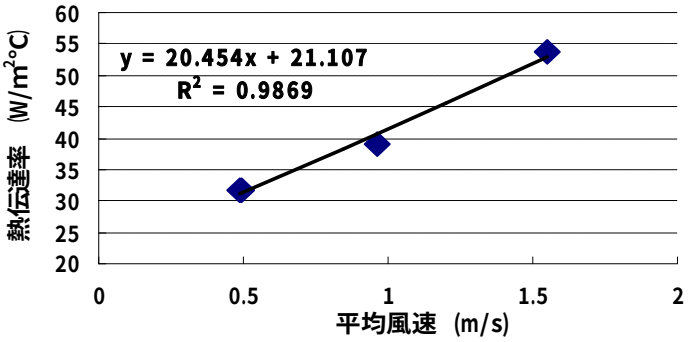


図-2　風速と熱伝達率

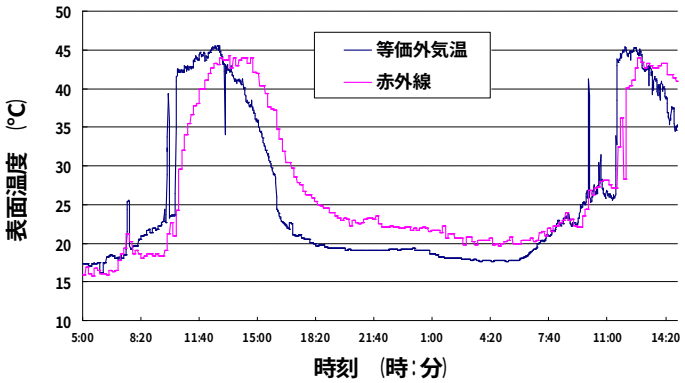


図-3　等価外気温と表面温度

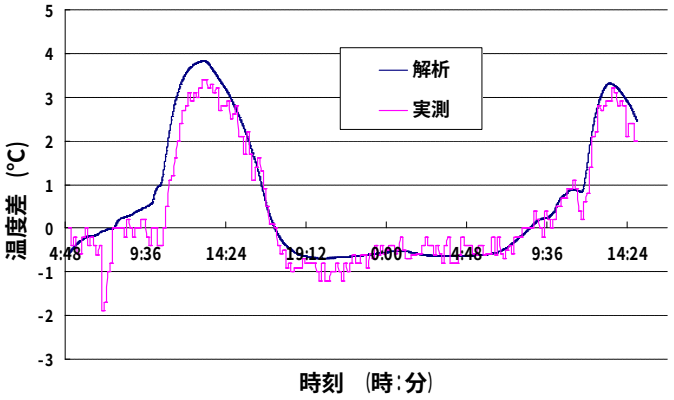


図-4　健全部と剥離部表面の相対温度

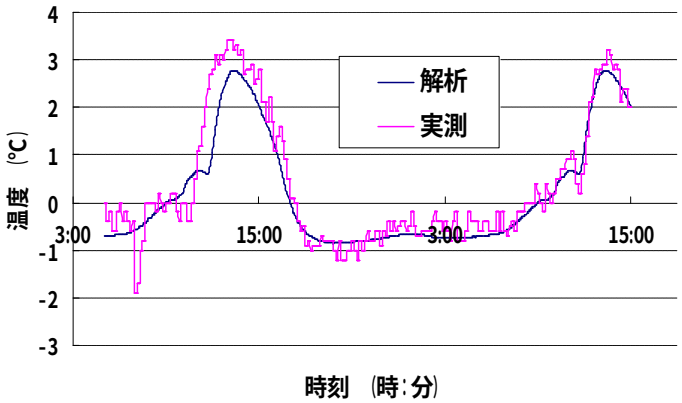
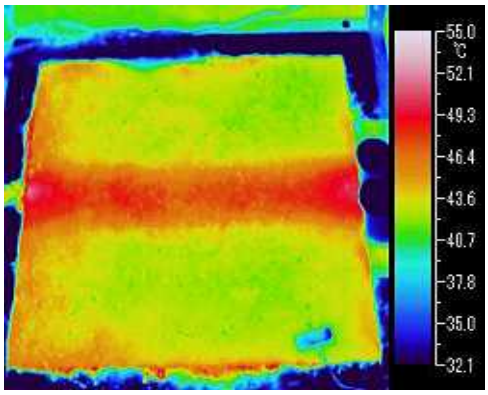
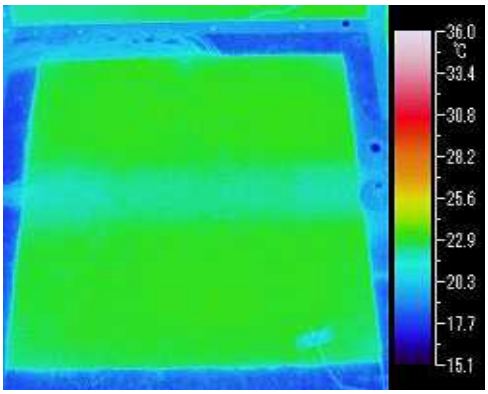


図-5　解析と実測の温度差履歴


55.0
℃
52.1
49.3
46.4
43.6
40.7
37.8
35.0
32.1


36.0
℃
33.4
30.8
28.2
25.6
22.9
20.3
17.7
15.1