

舗装の熱パラメータ推定に関する考察

青木大介¹・吉中 保²・藤波 潔³・井上武美⁴・松井邦人⁵

¹学生会員 東京電機大学大学院 建設工学専攻 (〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

²正会員 博(工) (株)NIPPO コーポレーション 技術研究所 (〒140-0002 東京都品川区東品川 3-32-34)

³正会員 工修 東京電機大学 建設環境工学科 (〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

⁴フェロー会員 博(工) (株)NIPPO コーポレーション (〒104-8380 東京都中央区京橋 1-19-11)

⁵フェロー会員 Ph.D. 東京電機大学 建設環境工学科 (〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

アスファルト混合物の剛性はその温度により変化することが知られている。アスファルト舗装の寿命を予測する上で、アスファルト混合物の温度予測および舗装の剛性と温度の関係は重要である。しかし、舗装内部の温度は日射、大気温度、風速、長波放射、舗装の熱特性値等に依存する。本研究では、舗装の熱特性に注目し、屋外の4種類の試験舗装で測定している気象データ、舗装内部の温度データを用いて、舗装を構成する各層の熱特性値(熱容量、熱伝達係数等)の推定方法と得られた結果について考察する。

Key Words : flexible pavement, thermal parameters, inverse analysis, thermal analysis

1. はじめに

アスファルト舗装の支持力はアスファルト混合物層のスチフネスの影響を大きく受ける。アスファルト混合物層のスチフネスはその温度の関数であり、時間ごと、日ごと、季節ごとに变化する。スチフネスとはここでは弾性係数のことである。アスファルト混合物層の弾性係数は、文献1)では、冬季に8,000MPa、夏季に700MPaとしている。文献2)では、舗装温度が10℃のとき15,000MPa、舗装温度が60℃のとき100MPaと弾性係数は大きく変化することが知られている。文献3)でもほぼ同様に弾性係数は温度によって大きくなることが示されている。アスファルト混合物層の弾性係数が小さくなると大きな応力が路盤や路床に伝わることになる。したがって、アスファルト舗装を理論的に設計するとき、アスファルト混合物層の温度分布、そのときの弾性係数を知る必要があり、活発な研究がなされている。

姫野ら⁴⁾は、アメダスのデータを用いて、全天日射量による舗装表面から熱流速を定量的に推定して、伝熱解析を行っている。椎名ら⁵⁾とHermansson^{6),7)}は、気象と舗装構造の熱的インターアクションをモデル化して舗装内部の温度を推定している。Lukanenら⁸⁾は、LTPPデータを用いてアスファルト混合物層の中央における温度を予測するBELLS3を提案している。Parkら⁹⁾も、表面温度だけを用いて簡単にアスファルト混合物層内部の任意の深さにおける温度を予測する方法を開発している。

また、アスファルト混合物層内部の温度予測やアスファルト混合物の弾性係数と舗装温度の関係についての研

究報告には、例えば文献2), 3), 8)~13)がある。しかし、アスファルト混合物層内部の温度はその熱特性値の影響が大きく、その報告は色々な論文に散見するが、屋外における実測データから、熱特性値を推定している報告(例えば、文献14)など)は少ない。

以上のことを考慮して、本研究の目的は、アスファルト舗装の熱特性値を現場試験から推定する方法を提示し、推定できるパラメータと計測データの関係性を明らかにしている。さらに、試験ヤードで計測データを用いて熱特性値を推定し、結果の考察を行っている。

このようなデータの蓄積により、熱特性値が舗装温度に及ぼす影響が明らかになり、アスファルト内部の精度良い温度予測が可能となる。

2. アスファルト舗装の温度計測

2002年8月に図-1のような断面が同じ4種類の舗装(密粒度舗装、排水性舗装、遮熱性舗装(黒)、遮熱性舗装(灰))を構築した。舗装の寸法はいずれも、一辺5mの正方形で、深さ60cmである。これらの舗装に熱電対を埋設し温度変化を計測している。熱電対の位置は図-1に丸印で示している。気象観測のため、試験ヤード外に温・湿度計、雨量計、および風速計を設置している。

また、2003年8月から長・短波放射計を2台設置している。

舗装表面は対流熱伝達があり、かつ、日射や赤外放射等の影響を受けるような境界である。表面では太陽から

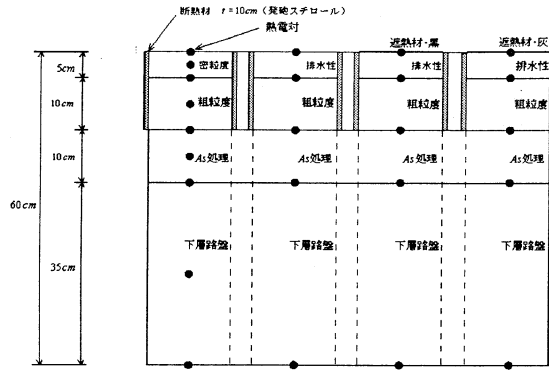


図-1 各試験体における熱電対の配置図

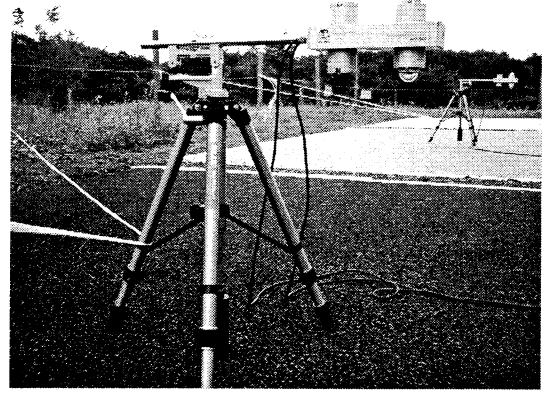


写真-1 実験風景

舗装表面への下向き日射と舗装表面で天空に向け反射する上向き日射、および天空から舗装表面への下向きの赤外放射と舗装表面から天空への上向き赤外放射も同時に計測している。

長・短波計は2台しかないため、4種類の舗装で同時に日射や赤外放射を計測できない。そこで、密粒度舗装では常時計測することにして、他の舗装上面では1週間ごとに設置位置を変更して計測を行っている(写真-1参照)。

3. 順解析

熱パラメータを推定するには、まず順解析である伝熱解析が必要である。差分法、有限要素法を用いることも可能であるが、本研究ではアルゴリズムが簡単で境界条件に柔軟に対応でき、解析精度も良いコントロールボリューム法^{15), 16)}を用いている。この方法により、着目している節点と隣接する節点の中央で切断した有限な厚さの層に流入・流出する熱エネルギーの収支が釣り合うという条件から支配方程式を誘導している。解析領域を図-2のように $N-1$ 個の等間隔に分割する。節点1と節点 N が境界上の節点である。このとき、節点2から節点 $N-1$ は内部の節点であり、任意の内部の節点 i における熱収支より(図-3参照)。

$$\begin{aligned} \rho_k C_k \Delta z_k \frac{T_i^p - T_i^{p-1}}{\Delta t} \\ = \frac{K_k}{\Delta z_k} (T_{i-1}^p - T_i^p) + \frac{K_k}{\Delta z_k} (T_{i+1}^p - T_i^p) \end{aligned} \quad (1a)$$

が成立する。上式を書き直すと、

$$\begin{aligned} -\frac{K_k}{\Delta z_k} T_{i-1}^p + \left(\frac{\rho_k C_k \Delta z_k}{\Delta t} + \frac{2K_k}{\Delta z_k} \right) T_i^p - \frac{K_k}{\Delta z_k} T_{i+1}^p \\ = \frac{\rho_k C_k \Delta z_k}{\Delta t} T_i^{p-1} \end{aligned} \quad (1b)$$

ここで、 K は熱伝導係数、 ρC は熱容量(ρ :密度、 C :比熱、) Δz は節点間隔、 Δt は時間間隔、添え字 k は k 番

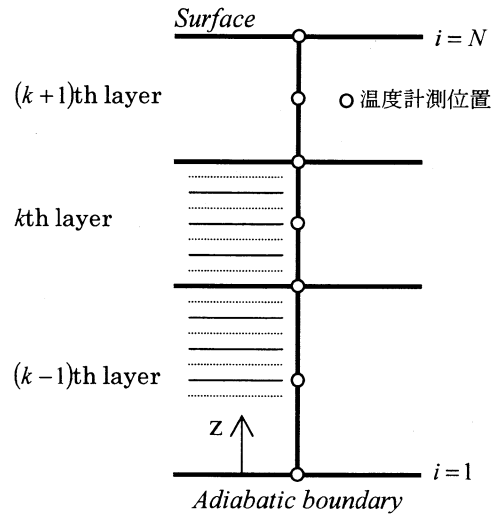


図-2 解析領域

目の層を意味している。また、 T_i^p は節点 i における時間 t_p のときの温度である。境界条件として節点1で温度 T_1^p が既知であるとき、節点2における熱収支より、

$$\begin{aligned} \left(\frac{\rho_k C_k \Delta z_k}{\Delta t} + \frac{2K_k}{\Delta z_k} \right) T_2^p - \frac{K_k}{\Delta z_k} T_3^p \\ = \frac{\rho_k C_k \Delta z_k}{\Delta t} T_2^{p-1} + \frac{K_k}{\Delta z_k} T_1^p \end{aligned} \quad (2)$$

また、同様に節点 N で温度が既知のとき、節点 $N-1$ の熱収支より(図-4参照)。

$$\begin{aligned} -\frac{K_k}{\Delta z_k} T_{N-2}^p + \left(\frac{\rho_k C_k \Delta z_k}{\Delta t} + \frac{2K_k}{\Delta z_k} \right) T_{N-1}^p \\ = \frac{\rho_k C_k \Delta z_k}{\Delta t} T_{N-1}^{p-1} + \frac{K_k}{\Delta z_k} T_N^p \end{aligned} \quad (3)$$

境界条件として節点 N で熱流速 q_N^p が与えられているとき、

$$\begin{aligned} \rho_k C_k \left(\frac{\Delta z_k}{2} \right) \frac{T_N^p - T_N^{p-1}}{\Delta t} \\ = \frac{K_k}{\Delta z_k} (T_{N-1}^p - T_N^p) + q_{cov} + q_{sol} + q_{sky} + q_{lat} \end{aligned} \quad (4a)$$

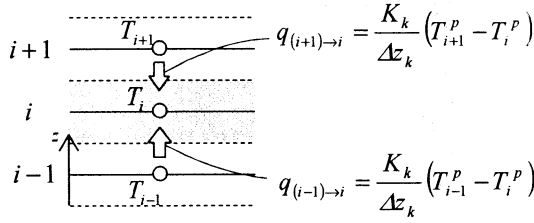


図-3 内部節点*i*の熱収支

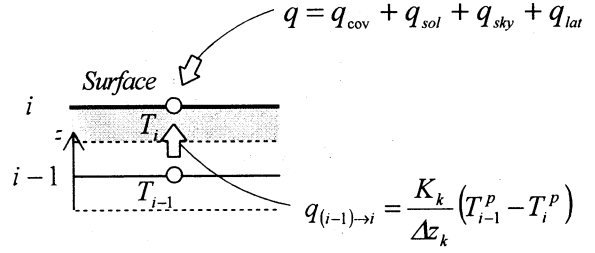


図-4 表面における熱収支

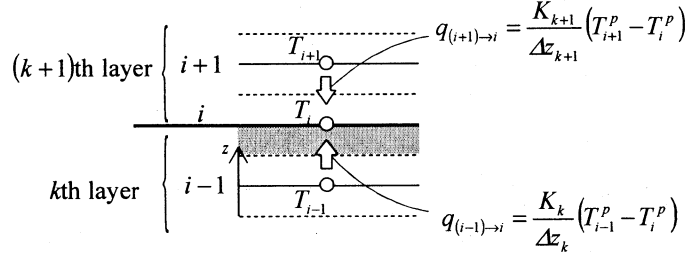


図-5 *k*層と(*k*+1)層の境界上の熱収支

ここに,

$$\begin{aligned} \text{顕熱の影響: } q_{\text{cov}} &= h(T_{\text{air}}^p - T_i^p) \\ \text{短波放射の影響: } q_{\text{sol}} &= q_{\text{sol}} \downarrow - q_{\text{sol}} \uparrow \\ \text{長波放射の影響: } q_{\text{sky}} &= q_{\text{inf}} \downarrow - q_{\text{inf}} \uparrow \\ \text{潜熱の影響: } q_{\text{lat}} & \end{aligned}$$

である。ここで、 h は対流熱伝達係数、 T_{air} は大気温度、 q_{sol} と q_{inf} はそれぞれ日射量と赤外放射量であり、 $\uparrow$ と $\downarrow$ はそれぞれ上向きと下向を表している。上式を整理すると、

$$\begin{aligned} & -\left(\frac{K_k}{\Delta z_k}\right)T_{i-1}^p + \left[\frac{\rho_k C_k}{\Delta t}\left(\frac{\Delta z_k}{2}\right) + \frac{K_k}{\Delta z_k} + h\right]T_i^p \\ & = \frac{\rho_k C_k}{\Delta t}\left(\frac{\Delta z_k}{2}\right)T_{i-1}^{p-1} + hT_{\text{air}}^p + q_{\text{sol}} + q_{\text{sky}} + q_{\text{lat}} \end{aligned} \quad (4b)$$

舗装表面から蒸発する水分量を計測することは難しいので、舗装表面で熱流速を境界条件として解析するとき、潜熱の影響を無視して差し支えないような晴天でかつ風速の小さな期間に計測されたデータを用いて解析を行った。その場合、日射量と赤外放射量はそれぞれ下向きおよび上向きの計測値を用いている。

k 層と($k+1$)層の境界上の節点における熱収支より(図-5参照),

$$\begin{aligned} & \frac{\rho_k C_k}{\Delta t}\left(\frac{\Delta z_k}{2}\right)(T_i^p - T_{i-1}^{p-1}) \\ & + \frac{\rho_{k+1} C_{k+1}}{\Delta t}\left(\frac{\Delta z_{k+1}}{2}\right)(T_i^p - T_{i-1}^{p-1}) \\ & = \frac{K_k}{\Delta z_k}(T_{i-1}^p - T_i^p) + \frac{K_{k+1}}{\Delta z_{k+1}}(T_{i+1}^p - T_i^p) \end{aligned} \quad (5a)$$

上式を整理すると、次式ようになる。

$$\begin{aligned} & -\left(\frac{K_k}{\Delta z_k}\right)T_{i-1}^p + \left\{\frac{\rho_k C_k}{\Delta t}\left(\frac{\Delta z_k}{2}\right) + \frac{\rho_{k+1} C_{k+1}}{\Delta t}\left(\frac{\Delta z_{k+1}}{2}\right) \right. \\ & \left. + \left(\frac{K_k}{\Delta z_k} + \frac{K_{k+1}}{\Delta z_{k+1}}\right)\right\}T_i^p - \left(\frac{K_{k+1}}{\Delta z_{k+1}}\right)T_{i+1}^p \\ & = \left\{\frac{\rho_k C_k}{\Delta t}\left(\frac{\Delta z_k}{2}\right) + \frac{\rho_{k+1} C_{k+1}}{\Delta t}\left(\frac{\Delta z_{k+1}}{2}\right)\right\}T_{i-1}^{p-1} \end{aligned} \quad (5b)$$

4. 熱パラメータの逆解析

ここで言う熱パラメータとは、熱容量 ρC 、熱伝導係数 K 、大気と接する舗装表面における対流熱伝達係数 h である。また、熱伝導係数を熱容量で除した値 $K/\rho C$ が熱拡散率である。ここではこれらの値が未知パラメータである。これらの未知パラメータを $\mathbf{X} = \{X_i\}$ 、($i=1, \dots, N$)で表す。また、 i 点における温度の測定値を $u_i(t)$ 、 i 点における温度の解析値 $T_i(\mathbf{X}, t)$ とする。熱パラメータは、測定データと解析温度が一致するように決定すればよい。すなわち、評価関数：

$$J = \frac{1}{2} \int_{t=1}^{t=2N} \sum_{i=1}^N \{u_i(t) - T_i(\mathbf{X}, t)\}^2 dt \quad (6)$$

が最小となるように $\mathbf{X}$ を決定すればよい。この関数の最小化は、ガウスニュートン法を用いて行うことができる。熱パラメータの内、どのパラメータを逆解析で求めることができるかは、支配方程式と境界条件に依存している。境界では温度か熱流速のどちらか一方が与えられなければならない。

ここでは、次の4種類のケースを考える。

① 1層でその上下面において温度が既知であり、内部

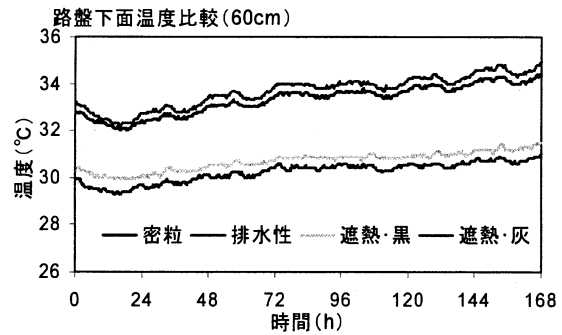
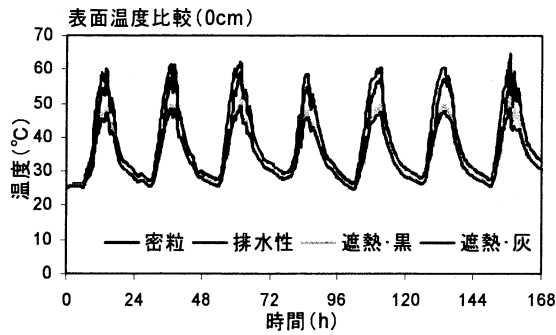


図-6 表面と路盤下面の測定温度の時間変化

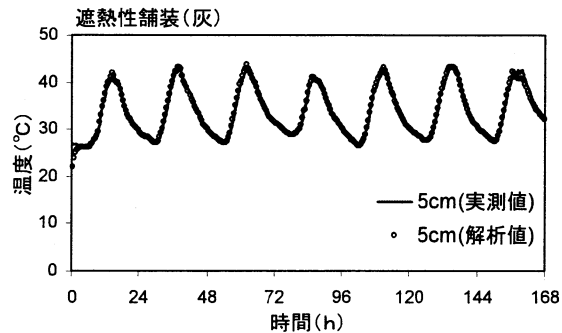
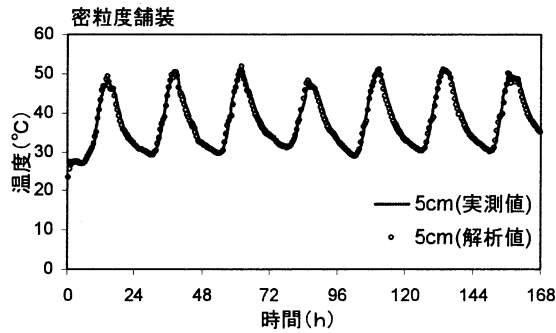


図-7 表層と基層の境界における測定温度と解析温度の時間変化

表-1 1層モデルの逆解析結果

舗装	熱拡散率 $K/\rho C$ [mm ² ・s ⁻¹]
密粒	1.11
排水	4.71×10^{-1}
遮熱(黒)	5.21×10^{-1}
遮熱(灰)	7.05×10^{-1}

でも温度が計測されている場合。

- ② 1層でその上面が熱伝達境界、下面で温度が既知、内部でも温度が計測されている場合。
- ③ 複数の層から構成され、上面と下面の境界条件は①で内部温度が計測されている場合。
- ④ 複数の層から構成され、上面と下面の境界条件は②で内部温度が計測されている場合。

①の場合、式(1)を式(2)と式(3)の境界条件を用いて伝熱解析を行うことになる。これらの式で ρC 、 K が未知パラメータである。これらの式を ρC で除すると、式の中の未知パラメータは $K/\rho C$ となる。このことは、内部の節点で少なくとも1箇所温度を計測していれば、逆解析により $K/\rho C$ の値は求めることができる。

②の場合、式(1)を式(2)と式(4)の境界条件を用いて伝熱解析を行うことになる。この場合、 ρC 、 K と h が未知パラメータである。これらの式を ρC で除すると、式(4)には $K/\rho C$ 、 $h/\rho C$ 、 $1/\rho C$ の項が存在することになる。このことは、適切な内部節点で温度が計測されているとき、逆解析により $K/\rho C$ 、 $h/\rho C$ 、 $1/\rho C$ の値が

求められることを意味している。すなわち、 ρC 、 K と h の値が決定できる。

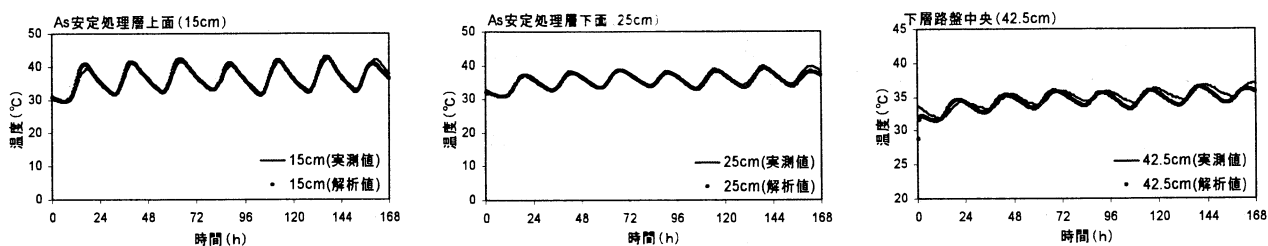
③の場合、複数の層があり、各層の内部節点では式(1)の関係が成立する、層と層の境界では式(5)の関係があり、これらを式(2)と式(3)の境界条件を用いて解くことになる。各層の ρC で割ると式(5)は $K_k/\rho_k C_k$ 、 $K_{k+1}/\rho_{k+1} C_{k+1}$ と $\rho_{k+1} C_{k+1}/\rho_k C_k$ で表すことができる。したがって、内部の節点で温度変化が計測されているとき、逆解析により各層の熱拡散率と層と層の熱容量の比を求めることができる。

④の場合、順解析の式を書き換えると $K_1/\rho_1 C_1$ 、 $h/\rho_1 C_1$ 、 $1/\rho_1 C_1$ 、 $K_2/\rho_2 C_2$ 、 $\rho_2 C_2/\rho_1 C_1$ で表すことができる。よって、逆解析を行うことにより K_1 、 $\rho_1 C_1$ 、 h 、 K_2 、 $\rho_2 C_2$ が決定できる。

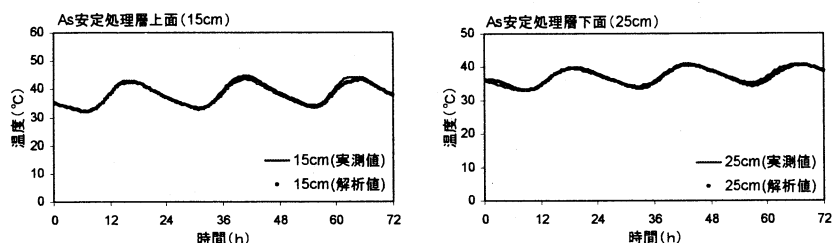
5. 解析結果と考察

図-6は解析に使用した4種類の舗装の表面と路盤下面の温度の変動を示している。密粒、排水性舗装と遮熱性舗装では表面温度にかなり差があることが明らかである。表面温度の差は明らかに路盤下面にも影響している。

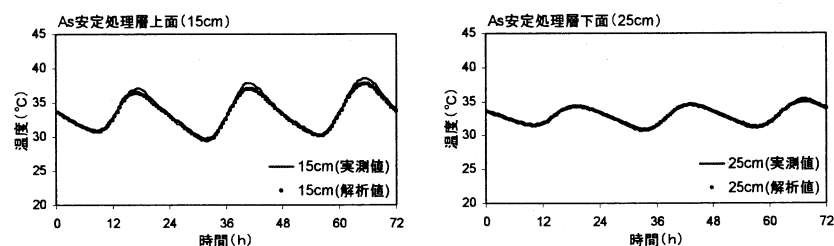
まず、表層(密粒度層あるいは開粒度層)と基層(粗粒度層)を合わせて1層とし、その上端と下端の温度を既知として、内部の測定温度と解析温度が一致するように1層モデルで逆解析を行う。この場合、熱拡散率は $K/\rho C$ である。逆解析で得られた結果を表-1に記す。遮熱性舗装は表面に塗料が塗布されているので表面温度には大きな違いがあるが、材料は排水性舗装と同じである



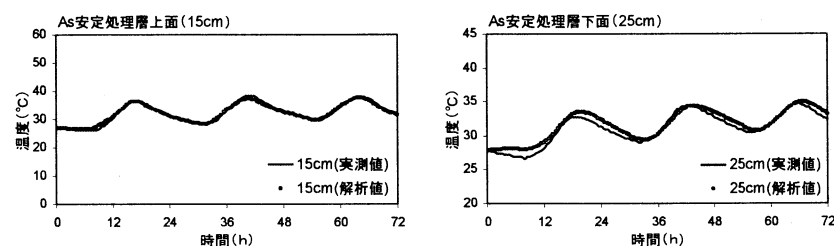
a) 密粒度舗装



b) 排水性舗装



c) 遮熱性舗装 (黒)



d) 遮熱性舗装 (灰)

図-8 3層モデルにおける測定温度と解析温度の比較

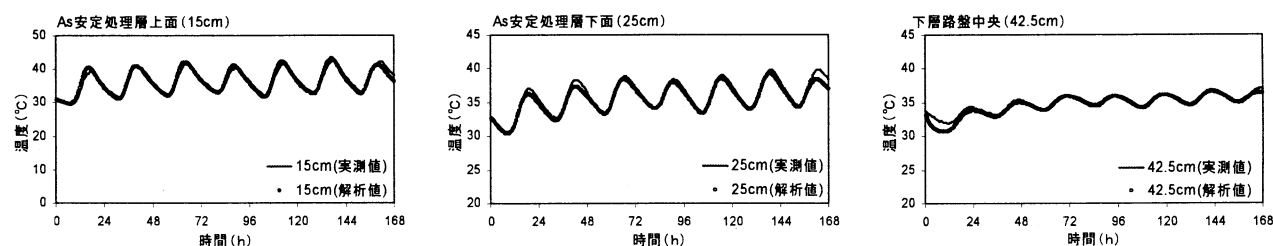


図-9 4層モデルにおける測定温度と解析温度の比較

ので、熱特性値はほとんど同じになると考えられる。逆解析結果もこれを裏付けている。密粒度舗装では熱特性値が若干大きい結果となっている。参考までに、図-7に密粒度舗装と遮熱性舗装(灰)において、表層と基層の境界における測定温度と逆解析後の解析温度の変動を記したが、両者は良く一致している。

次に、表層と粗粒土層を合わせて1層とみなして舗装を3層モデルと考える。舗装表面は熱流速境界、下層路

盤下面は既知温度境界として伝熱解析を行い、その他の熱電対で計測した温度を測定データとして、舗装表面の対流熱伝達係数 h 、それぞれの層の熱容量 ρC 、熱伝導係数 K を解析温度が内部の測定温度と一致するように逆解析で熱パラメータを推定する。ここでは、対流熱伝達係数 h を定数としているので風速が比較的弱い期間に計測されたデータを用いている。使用したデータは、密粒度舗装は2004年8月8日～8月14日(7日間)、排水性

表-2 3層モデルにおける逆解析結果

層	舗装種類	熱伝導係数 K [W・m ⁻¹ ・K ⁻¹]	比熱 C [J・kg ⁻¹ ・K ⁻¹]	熱拡散率 $K/\rho C$ [mm ² ・s ⁻¹]	熱伝達係数 h [W・m ⁻² ・K ⁻¹]
1	密 粒	2.35	1.19×10^3	8.56×10^{-1}	6.37
	排 水	1.43	1.32×10^3	4.71×10^{-1}	8.92
	遮熱(黒)	2.03	1.48×10^3	5.97×10^{-1}	6.33
	遮熱(灰)	7.28×10^{-1}	9.00×10^2	3.52×10^{-1}	12.6
2	密 粒	1.51	2.42×10^3	2.90×10^{-1}	—
	排 水	2.12	1.75×10^3	5.64×10^{-1}	—
	遮熱(黒)	2.41	9.29×10^2	1.21	—
	遮熱(灰)	1.82	2.24×10^3	3.79×10^{-1}	—
3	密 粒	2.43	4.61×10^2	2.93	—
	排 水	3.05	5.53×10^2	3.07	—
	遮熱(黒)	2.03	2.70×10^3	4.18×10^{-1}	—
	遮熱(灰)	2.84	1.02×10^3	1.54	—

舗装は7月7日～7月9日(3日間), 遮熱性舗装(黒)は8月11日～8月13日(3日間), 遮熱性舗装(灰)は8月18日～8月20日(3日間)である。密粒度舗装では, 常時計測しており, ここでは晴れの日が最も長く続いている期間を選んでいる。その他の舗装については, 密粒度舗装のデータに近い期間で, 舗装面が乾燥し, 晴れの日が3日以上続く期間を選んでいる。

理論的には各層の比熱, 熱伝導係数と舗装表面の対流熱伝達係数を推定できる。4種類の舗装で計測されたデータを用いて逆解析を行った。1層目の密度を $2,300 \text{ kg/m}^3$, 2層目を $2,150 \text{ kg/m}^3$, 3層目を $1,800 \text{ kg/m}^3$ として比熱を求め, 熱伝導係数 K , 比熱 C , 熱拡散率 $K/\rho C$, 熱伝達係数を表-2に整理した。密粒度舗装と遮熱性舗装(黒)は, ほぼ同じ期間で計測しているので, 対流熱伝達係数は非常に近い値となっている。逆解析結果は密粒度舗装の粒状路盤の比熱を除きほぼ妥当な値となっている。図-8にアスコン安定処理層の上面と下面における測定温度と逆解析後の解析温度の比較を記した。密粒度舗装については温度の一致度が良いとはいえない。これは, 下層路盤の熱拡散率が他の舗装と比べ全く異なっていることが原因であると思われる。そこで, 密粒度舗装については路盤をセンサー位置で分割し, 4層モデルとして逆解析を行った。その結果を表-3として記した。この結果より路盤の熱特性値が上側と下側で異なる結果を得た。図-9にアスコン安定処理層の上面と下面, および下層路盤中央のセンサー位置で測定温度と解析温度の比較を記した。図-8と比べると, 一致度が改善されており, 妥当な熱特性値が得られたことが分かる。

6. 結論

試験ヤードに構築された4種類の舗装で計測した気象情報と舗装内部の温度から熱特性値を推定する方法を提示し, 測定データに適用した。この結果から以下の結論が得られた。

表-3 密粒度舗装に関する4層モデルの逆解析結果

層	熱伝導係数 K [W・m ⁻¹ ・K ⁻¹]	比熱 C [J・kg ⁻¹ ・K ⁻¹]	熱拡散率 $K/\rho C$ [mm ² ・s ⁻¹]	熱伝達係数 h [W・m ⁻² ・K ⁻¹]
1	2.34	1.28×10^3	7.94×10^{-1}	6.13
2	2.40	1.09×10^3	9.53×10^{-1}	—
3	3.21	1.66×10^3	9.01×10^{-1}	—
4	1.41	4.11×10^3	1.90×10^{-1}	—

- 上面と下面の温度を与え, 内部の対応する節点で測定温度と解析温度が一致するように逆解析することにより熱拡散率が求められることが確認できた。
- 舗装表面の気象情報を用いることにより, 比熱と対流熱伝達係数を推定できることが確認できた。この結果から熱拡散率を計算するとほぼ(a)の結果と一致する。
- 測定温度と解析温度が比較的良く一致していることから推定値の妥当性が確認できた。
- 3層モデルで逆解析すると密粒度舗装内部の温度の一致度は悪いが, 路盤をセンサー位置で2分割した4層モデルでは内部温度の一致度が大きく改善した。

熱パラメータが舗装内部の温度分布に影響することは明らかである。一般の舗装でどのような値になっているかの情報を蓄積することは, アスファルト混合物層の温度を精度よく推定する上で非常に重要である。

また, 舗装表面からの水分蒸発は, アスファルト混合物層の熱特性値にかなり影響すると思われるので, 水分の影響を評価できる実験を行うことも重要であると考えている。しかし, 今後の研究課題としたい。

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会: 舗装設計施工指針, 2001.
- 2) Dong, Q., Matsui, K., Yamamoto, K. and Higashi, S.: SPIE's 5th International symposium, Nondestructive Evaluation and Health Monitoring of Aging Infrastructure, 8 March 2000.
- 3) Salem, H.M., Bayomy, F. M., Al-Taher, M. G and Genc, I. H.: Using Long-Term Pavement Performance Data to Predict Seasonal Variation in Asphalt Concrete Modulus, In Transportation Research Record 1896, TRB, National Research Council, Washington, D.C, pp.119-128, 2004.
- 4) 姫野賢治, 渡辺隆, 勝呂太: アスファルト舗装の内部温度の推定に関する研究, 土木学会論文集, No.366/V-4, pp.123-132, 1986.
- 5) 椎名貴快, 松井邦人, Smith, T. F.: 地上気象観測データを用いたアスファルト舗装の内部温度推定, 土木学会, 第2回舗装工学論文講演会論文集, pp. 105-112, 1997.
- 6) Hermansson, A.: Simulation Model for Calculating Pavement Temperature Including Maximum Temperature, Transportation Research Record 1699, pp.134-141, 2000.
- 7) Hermansson, A.: A Mathematical Model for Calculating

- Pavement Temperatures, Comparisons between Calculated and Measured Temperature, TRB Annual Meeting, 2001.
- 8) Lukanen, E.O., Stubstad, R. and Briggs, R.C.: Temperature Predictions and Adjustment Factors for Asphalt Pavement. Publication No. FHWA-RD-98-085, Federal Highway Administration, June 2000.
 - 9) Park, D.Y., Buch, Neeraj, and Chatti, K. : Development of Effective Layer Temperature Prediction Model and Temperature Correction Using FWD Deflections, TRB Annual Meeting, 2001.
 - 10) 林信也, 東滋夫, 金井利浩, 岡部俊幸 : FWD試験における温度補正システムの開発, 土木学会, 第2回舗装工学講演会論文集, pp.95-104, 1997.
 - 11) Maqshall, C., Meir, R. W. Welsh, M., : Seasonal Temperature Effects on Flexible Pavements in Tennessee, TRB Annual Meeting, 2001.
 - 12) Shiina, T., Nishida, N., Matsui, K. and Smith, T.F.: Identification of Convective Heat Transfer Coefficient from Field Test, NDT2000, Tokyo, Elsevier, pp.593-604, 2000.4.
 - 13) Trujillo, D. M. and Busby, H.R.: Practical Inverse Analysis in Engineering, CRC Press, 1997.
 - 14) 松井邦人, 吉中保, マイナ・ジェイムス : 逆解析による熱拡散率の同定と路面からの推定赤外放射, 道路会議, 2003.
 - 15) スハス V.パタンカー, 水谷幸夫, 香月正司 : コンピュータによる熱移動と流れの数値解析, 1995.
 - 16) Incropera, F.P. and De Witt, D.P.: Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 3rd edition, Wiley, 1990.

A STUDY OF THERMAL PARAMETER ESTIMATION FOR PAVEMENT

Daisuke AOKI, Tamotsu YOSHINAKA, Kiyoshi FUJINAMI,
Takemi INOUE and Kunihito MATSUI

It has been known that a stiffness of asphalt mixture varies with its temperature. A temperature prediction of asphalt mixture and a relationship between its stiffness and temperature constitute important elements when pavement life span is predicted.

Pavement temperature depends solar radiation, air temperature, wind velocity, infrared radiation, thermal properties of materials constituting pavement. Focusing on the thermal properties, we present the method to estimate thermal properties of materials and discuss the estimates of thermal properties obtained from meteorological data and temperatures measured by thermocouples at our field test site.