

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

椎名貴快¹・松井邦人²・T. F. Smith³

¹学生会員 東京電機大学 理工学研究科建設工学専攻 (〒350-03 埼玉県比企郡鳩山町大字石坂)

²フェロー会員 Ph.D. 東京電機大学 理工学部建設工学科 (〒350-03 埼玉県比企郡鳩山町大字石坂)

³ Ph.D. Department of Mechanical Engineering, The University of IOWA. (Iowa City, IA 52242, U.S.A.)

アスファルト舗装内部における深さ方向の温度分布は、時間依存型の非線形な分布形状をしている。この内部温度の推定に関するこれまでの研究では、気温と舗装体内温度との相関式を用いて簡易的に把握する手法や、日射による舗装体内への入熱量を取り入れた推定手法等が提案されてきた。しかし、蓄熱特性の高いアスファルト混合物は、昼間に表層が高温になると、同時に多くの熱量を大気に向けて放出(赤外放射)することが分かっており、これまでの解析モデルが必ずしも実現象を満足するものであるとは言えない。本研究では、舗装表面における影響因子を明らかにしたより確かなモデルの提案と、各因子の内部温度に与える影響を解析的、定量的に示すことを目的とする。

Key Words : solar radiation, sky radiation, long wave radiation, meteorological data, temperature analysis

1. はじめに

アスファルト混合物は、その物性が温度に依存した複合材料である。このため、繰り返して交通荷重を受ける舗装の挙動や路面性状にも、混合物層内の温度分布は影響しているものと推測される。また、舗装の支持性能評価に用いられる FWD の測定たわみ量も、舗装体内の温度による影響を受けるといわれ、昼間と夜間での測定値に顕著な違いがあるとの報告がなされており、このことから解析的に求まる各層の弾性係数に対し、温度補正曲線による補正の必要性があると指摘されている。しかし舗装構成材料の伝熱特性や、自然環境に曝された舗装表面における非定常な熱量の推移が、伝熱問題をより複雑にしていることもあり、実際の舗装体内の温度分布を解析的に推定する手法を理論化することは難しい。また現行の設計法では、舗装の力学的挙動が舗装内部の温度分布に依存することに対する十分な考慮がなされていないものと思われる。¹⁾

これまでに舗装内部の温度分布を推定する解析手法は幾つか提案されてきた。日最高・最低気温等による気温モデルを用いた単純な温度解析、大気温度や舗装表面温度から、舗装内部の深さ方向の非線型温度分布を関係式により推定する簡易手法等がある。また姫野ら¹⁾は、近

年比較的入手の容易となった気象庁のデータの内、地域気象観測システム (AMeDAS : Automated Meteorological Data Acquisition System) のデータを用いて、全天日射による舗装表面からの入熱量を定量的に推定し、温度解析を行っている。

アスファルト混合物は、日射に対する吸収率がコンクリートなどと比較しても極めて高いとされる、これにより日射量のピーク 12:00 (太陽時) の 1, 2 時間後に舗装表面温度は、他の舗装構造のそれに比べて、より高い傾向を示すことが判っている。しかし同時に、表面部が高温となるこの時間帯では、舗装表面から大気に向けて赤外放射(長波放射)の形で多くの熱量が放出される。これは、急激に上昇した舗装体の温度と大気温度との間で、放射によって平衡状態を保とうとするためである。更に夏期のように夜間になっても依然として温度の高い舗装体表面からは、多くの熱量が放射し続けられている。

このように舗装体内の温度を推定する場合、舗装表面から上向き赤外放射量と大気から下向き赤外放射量の差によって定義される“正味地球放射量”(net terrestrial radiation)や、さらに日射による影響を含んだ実質的な放射量となる“正味放射量”(net radiation)を計算し、温度解析に適用することは、より正確な舗装内部における温度分布の把握に必要であると思われる。

実際の舗装表面と大気との境界では、顕熱輸送量や太陽と大気からの輻射・散乱・反射による熱量（全天日射量）、舗装表面からの赤外放射量そして雨水などの気化によって失われる熱量（潜熱）等も考えられる。

そこで本研究では、

- ① 舗装体内の温度分布に影響すると思われる舗装表面と大気との境界での現象を示し、それによる影響因子を明らかにする。
- ② 舗装表面における伝熱現象を把握した後、気象庁の特別地上気象観測データを用いた舗装内部の温度分布を推定する手法の構築とその解析結果を示す。
- ③ 舗装の深さ方向の温度分布を解析的に求め、各因子の深さレベルへの影響度について検討する。
- ④ 各因子が、任意の表・基層点における温度変動にどの程度影響を及ぼすのかを図示し、既往の解析モデルとの相違による結果の比較をし、本解析の有用性を示す。
- ⑤ 舗装表面での影響因子の日変動量を解析的・定量的に示し、その推移に対する考察を加える。

を目的とする。

なお、ここでの解析に使用する気象データは、1995年に東京管区気象台において測定された、1時間毎の地上気象観測原簿に記載されたデータである。また最近では、財団法人 気象情報支援センターにて、年度別での全国各地の気象台におけるこのようなデータが収められたCD-ROMを手軽に入手することも可能である。

2. 影響因子

舗装体内の温度への影響因子は、気温、太陽からの輻射熱、風速、降雨そして気化熱などの気象作用となる外的なもの、地面からの輻射熱、舗装構成材料と路床の熱伝導度、熱容量ならびに融解潜熱を含む温度特性に帰する内的なものがある。

著者は舗装表面と大気との境界において、顕熱の輸送量つまり温度の異なる相互間での流体の運動に連動した熱移動である“対流熱伝達²⁾”，そして直達日射量と散乱日射量の和である太陽と大気からの輻射・散乱・反射による“全天日射量”。また、舗装表面から大気に向けて放射される“赤外放射量（長波放射量）”と大気からの赤外放射量との差によって表される“正味地球放射量”を定義し、それにより舗装内部の温度分布を推定する。ここで外的影響因子として考えられる降雨によって舗装表面に張った雨水の気化による熱量（潜熱）の推移については、熱伝達率に含めて考える場合もある。しかしその因子自身の把握が少々困難となり、熱伝達率に含めての設定は問題を複雑にする。著者らは現在、気化熱のモデル化は出来ている。しかし実際の舗装では排水等

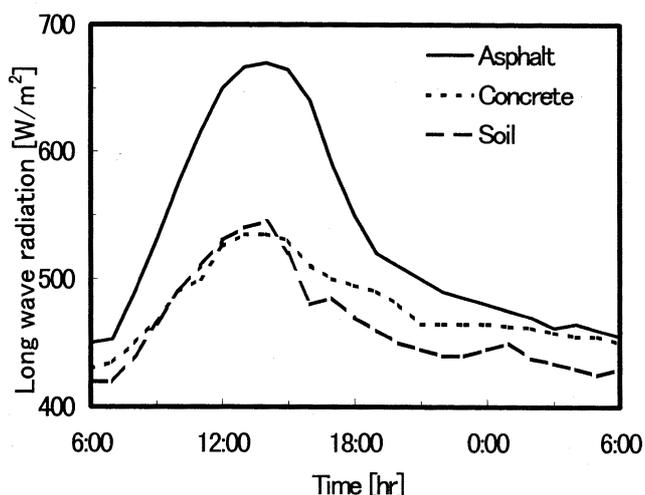


図-1 赤外放射量の日変動⁴⁾

により、雨水の実質的な蒸発可能水量がどの程度であるのか分からない。よってここでは気化熱については特に定義せず、舗装表面は乾燥状態であるとし、また熱伝達率は文献3)を参考にして定数値を用いることとする。

(1) 赤外放射量

アスファルト舗装のような蓄熱特性の高い材料を表・基層に用いている舗装では、日射量の増加とともにその温度も上昇し、同時に舗装表面からの赤外放射量も増加する。そしてその値は一般的に午後1時から2時にかけてピークをむかえるとされ、その後は減少していくものの、日没後における傾向は緩やかなものとなる。ここで浅枝ら^{4) 5) 6)}によって測定された8月における各種舗装での赤外放射量の日変動量を図-1に示す。

この測定結果を見ても判るように、アスファルト舗装は、コンクリート舗装や土に比べて日中の温度上昇量が極めて高く、それに比例して赤外放射量も高くなっていることが判る。また、ピーク後日射の減少と共にその量は小さくなるが、深夜でも依然として400W/m²以上の赤外放射量が存在している。このことから、実質的な正味の放射量は、舗装表面温度が常に大気温度よりも高いことから、上向きに放射されているものと推測され、内部温度に与える影響も非常に大きいと思われる。具体的な正味地球放射量や正味放射量などのそれぞれの内部温度への影響については、後で解析的に示すこととする。

(2) 強制対流熱伝達率

Newtonの冷却法則の比例係数である熱伝達率は、空気の熱容量といった流体の物性との関係からも決まってくるが、流れの性質、つまり風速にも強く依存するとされ、その時の熱伝達を特に“強制対流熱伝達”という。自然界に曝された舗装のような構造物では、自然対流よりも強制対流が支配的になるため、その大きさを一般的

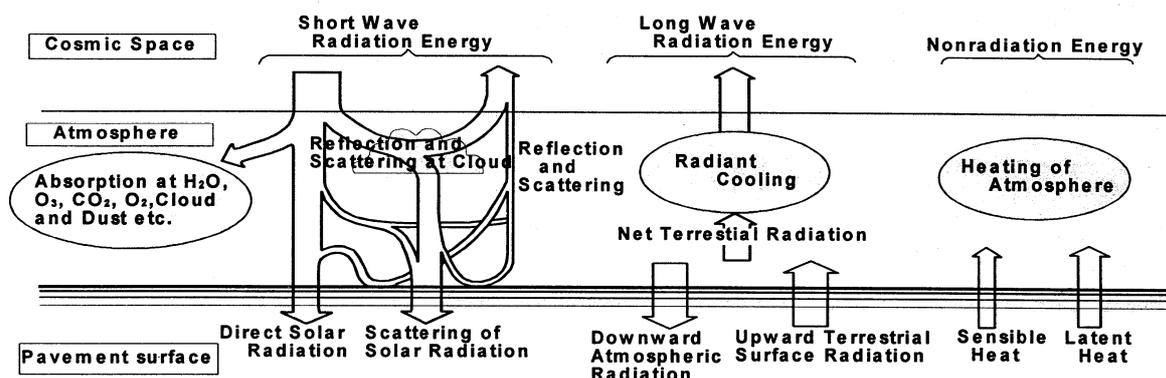


図-2 大気と舗装表面におけるエネルギーの授受

に示すのは困難である。これまでにおよその値として、数多くの室内実験によって風速と熱伝達率の関係式が提案されてきた。しかしそれらの値は区々であり、どれを用いればよいのか判らない。よって平均的な風速での熱伝達率の値として、文献3)に記載された $5.8W/(m^2 \cdot K)$ を用いた。またこの値を用いて舗装表面における熱伝達量を推定した結果、比較的妥当な値を得ることができた。

3. 舗装内温度分布の推定方法

舗装表面部は自然環境に曝されていることもあり、図-2に示したような日射や放射などといったさまざまな影響因子が存在し、それらが舗装内部の熱収支に大きく影響をしていると思われる。そのため、これまでのように大気温度のみから内部温度を推定することは、精度上の限界があり、それに替わる理論的な手法を用いて定量的に推定する必要がある。

著者は、舗装表面での自然環境に関わる影響因子を明らかにした境界条件を熱伝導方程式に適用し、より実際の現象に近いモデルの作成を行った。以下にその手法について記述する。

(1) 支配方程式

舗装内部の温度を推定する支配方程式として、下式に示すような1次元の熱伝導方程式を用いる。またここでは、各舗装内における伝熱特性は等方性とする。

$$K \frac{\partial^2 T(z,t)}{\partial z^2} = \rho C \frac{\partial T(z,t)}{\partial t} \quad (1)$$

ここで、 T : 任意の点における舗装体内温度 [°C]

z : 舗装表面から深さ方向にとった軸 [m]

K : 舗装材料の熱伝導率 [$W/(m \cdot K)$]

ρ : 舗装材料の密度 [kg/m^3]

C : 舗装材料の比熱 [$J/(kg \cdot K)$]

t : 時間 [hr]

とする。

(2) 初期条件

初期条件として、各節点における初期温度を与える必要がある。しかし、通常では舗装内部の温度は測定されていない。既存の研究における設定方法には、日・月平均気温や日最高・最低気温、実測舗装内部温度・気温等による気温と舗装体内温度との定常もしくは非定常な関係式を導き、それにより簡易的に設定しているものが多い。これらは、各月においての平均的なモデル温度を求め、設定しているものであり、つまり気象条件の似通った期間(夏期や冬期など)での極端に大きな内部温度変動や気候変動は小さいとする仮定を行っている。またその初期値の影響は、温度解析の中で徐々に無くなり、大きな問題にはならないとされる。

本研究では、日射による内部温度への直接的な影響のない比較的安定した温度分布となる深夜 0:00 における温度を考える。解析期間が同時季の時、およその値を設定し、順解析の最後の同時刻 0:00 における温度を初期温度として繰返し温度解析を行い、前回の順解析での各時刻における結果との温度差が最大で 1°C 以下になるまで計算を繰り返す。通常は 2, 3 回で条件を満たし、その解析結果は、実測値や関係式から初期値を設定した場合での結果と、その解析過程で一致するようになり、実用上への影響は小さいと思われる。

(3) 境界条件

a) 固定温度境界

一般に路床上面付近の比較的浅く、日温度変化の小さい位置に断熱温度境界を設けることがある。著者らも温度解析の結果や実測温度データ等より、舗装表面下 70 から 80cm 程度の位置での温度変動は、短期間においては日に依らずほぼ零で安定していることを確認している。また解析において、浅い位置に境界を設定することは、解析効率も良い。よって著者らは、更に安全側をとって 2m の位置に固定温度境界を設け、その温度を 20°C とした。但し長期の解析では、この付近では季節変動などによる外的な影響や、構成材料の伝熱性といった内的な影

響によって、必ずしも安定したものではない。そのため年間を通して物性や温度変動が安定した、より深い位置に固定温度境界を設定する必要がある。

b) 気象条件等を考慮した大気との境界

舗装表面での気象作用による大気との境界条件は下式に示す通りである。

$$K \frac{\partial T(0,t)}{\partial z} + q = 0 \quad (2)$$

$$q = q_{con} + q_{sol} + q_{sky} \quad (3)$$

ここで、 q : 舗装表面における熱流出入量 [W/m^2]

q_{con} : 対流熱伝達量 [W/m^2]

q_{sol} : 全日射量による入熱量 [W/m^2]

q_{sky} : 天空放射量 (正味地球放射量) [W/m^2]

である。

(4) 舗装表面での伝熱現象について

舗装表面と大気との境界での解析条件において、伝熱現象として挙げた各パラメータについての説明とその定義式を示す。

a) 対流熱伝達量

対流熱伝達量は、大気温度と舗装表面温度との差に依存するとして“Newtonの冷却法則”により定義される。

$$q_{con} = h(T_{air} - T_s) \quad (4)$$

ここに、 q_{con} : 対流熱伝達量 [W/m^2]

h : 対流熱伝達率 [$W/(m^2 \cdot K)$]

T_{air} : 大気温度 [$^{\circ}C$]

T_s : 舗装表面温度 [$^{\circ}C$]

となる。またここで用いる熱伝達率の値は、平均的な風速時での強制対流熱伝達を考え、前述した定数値を用いるものとする。

b) 全日射量

太陽熱がどの程度地表面に吸収・蓄熱され、また影響を及ぼしているのかを知る一つの手段として、全日射量を用いて簡易的に推定する方法がある。

全日射とは、地表面に太陽から直接入射する直達日射量と、大気中の気体分子、雲粒や塵埃によって散乱・反射された太陽面以外から入射した散乱日射量の和で表される日射量のことである。姫野¹⁾は、AMeDASデータに記載された時間毎の日照時間データなどから、理論式により比較的精度良く各時間における全日射量を推定した。またその全日射量を熱伝導解析における境界条件に用い、アスファルト舗装層内の温度分布を推定している。

本解析においては、気象庁東京管区気象台の特別地上気象観測データに記載された1時間毎の全日射量を解析時間毎に換算し用いるものとする。

舗装表面からの日射による入熱量は、単位面積に単位時間当たりに入射する全日射量に、表層アスファルト

の吸収率を乗じて求めるものとする。

$$q_{sol} = \alpha \cdot S \quad (5)$$

ここに、 q_{sol} : 全日射量による入熱量 [W/m^2]

α : 吸収率

S : 全日射量 [W/m^2]

となる。吸収率は、表面の物性や性状だけでなく、その彩色によっても異なるとされている。本解析では、アスファルトの吸収率の値として、文献5) 6) を参考にし「0.90」とした。

c) 天空放射量 (正味地球放射量)

地表面と大気との間における放射エネルギー収支を明らかにする必要がある。つまり地表面から大気への相互の赤外放射量を算出する必要がある。そこで、射出率 ε 、温度 T_s の舗装面と、天空温度 T_{sky} との間における正味地球放射量を、Berdahl and Martin⁷⁾らによって提案された次式を用いて求める。

$$q_{sky} = \varepsilon \sigma (T_{sky}^4 - T_s^4) \quad (6)$$

ここに q_{sky} : 天空放射量 (正味放射量) [W/m^2]

ε : 射出率 (放射率)

σ : Stefan-Boltzmann 定数

($= 5.67 \times 10^{-8} [W/(m^2 \cdot K^4)]$)

T_{sky} : 天空温度 [K]

T_s : 表面温度 [K]

である。射出率 ε は $0 \leq \varepsilon \leq 1$ の範囲値をとり、黒体面に対する灰色面の熱放射の相対的な大きさを示す量であるが、物質の違いはもちろん、表面の温度や状態 (酸化の有無や粗度) などによっても異なる値を示すとされている。ここではアスファルトの射出率を、文献8) を参考にし、平均的な値として「0.90」と設定した。

天空温度の値を求めるために、これまでに気象観測データと関連付けた幾つもの関係式が提案されてきた。

1932年にBrunt⁹⁾は、天空温度と水蒸気圧との関係式を誘導し、1961年には、Bliss¹⁰⁾が天空温度と露点温度の関係を示した。またその後、Swinbank (1963)¹¹⁾は、天空温度と気温との関係式を導いた。そして1984年にBerdahl and Martin⁷⁾らは、自国アメリカでの広範囲に及ぶデータを用いて、露点温度、乾球温度そして時間の関数として天空温度を以下の式のように表した。

$$T_{sky} = \left[0.711 + 0.0056T_{dp} + 0.000073T_{dp}^2 + 0.013 \cos\left(\frac{\pi t}{12}\right) \right]^{0.25} \quad (7)$$

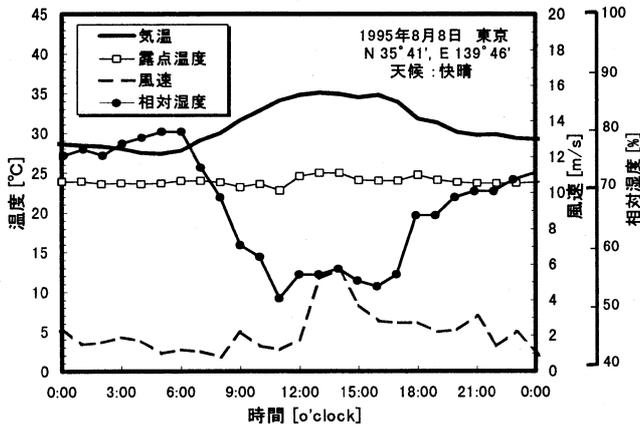
ここで、 T_{sky} : 天空温度 [K]

T_{air} : 気温 [K]

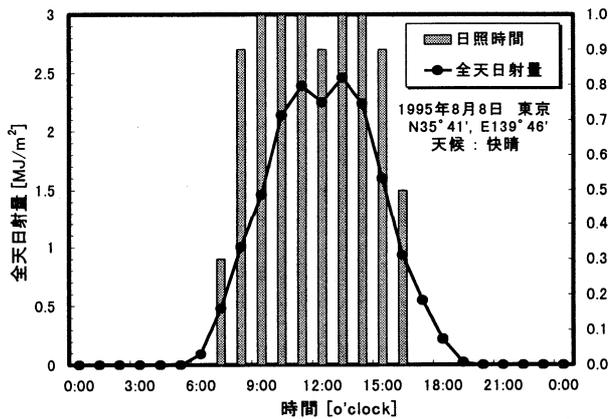
T_{dp} : 露点温度 [$^{\circ}C$]

t : 時間 [hr]

となる。ただし、この式は露点温度の範囲が $-20 \sim 30^{\circ}C$ における実験データをもとに作成されたものである。天



(a) 気温, 露点温度, 風速, 相対湿度



(b) 全天日射量, 日照時間

図-3 地上気象観測原簿データ

空と外気の温度差は、一般的に暖かく湿った気候での5°C程度から冷たく乾燥した気候における約30°Cの範囲内にあるものとされ、雲は快晴時以上に、天空温度を上げる傾向がある。

(5) 地上気象観測データ

解析において必要な気象観測データは、全天日射量、気温そして露点温度の3つであり、1995年東京管区気象台において測定された1時間毎の地上気象観測原簿に記載されたデータを簡易的に使用する。

解析に用いる気象観測データの期間として、日射量や放射量などそれぞれの影響度が最も大きく、その量を定量的に示すことが比較的容易な夏期(8月の1ヶ月間)を選ぶ。また日変動量の比較には、気候が安定した平均的な気象条件の日(8月8日~9日)を選定し、解析を

おこなった。この期間における気象観測データの内、一般的なものを図-3に示す。

本解析では、境界条件を次に示すような4つのケースにわけた。これは、各影響因子が内部温度変動に対してどの程度影響を及ぼしているかをみるためである。

$$\text{CASE-1} : q = q_{con} \quad (8)$$

$$\text{CASE-2} : q = q_{con} + q_{sol} \quad (9)$$

$$\text{CASE-3} : q = q_{con} + q_{sky} \quad (10)$$

$$\text{CASE-4} : q = q_{con} + q_{sol} + q_{sky} \quad (11)$$

ここで、 q_{con} , q_{sol} , q_{sky} は、それぞれ対流熱伝達量、全天日射量そして天空放射量を表している。

解析に必要な舗装構造断面は、図-4に示すような4層構造モデルを用いた。また各層における物性値については、文献による多少のばらつきはあるものの、文献2) 3) 8) 12) ~ 19)を参考にして、平均的な値を決め、表-1に示すような値とした。

4. 舗装内温度分布の推定結果

(1) 舗装内部温度の日変動比較

4つの境界条件それぞれを用いた時における、舗装内部の任意の点での日温度履歴を図-5~8に示す。

図-6は、図-5の条件に日射の影響が加わったため、舗装表面の最高温度は80°Cを超え、CASE-1に比べて

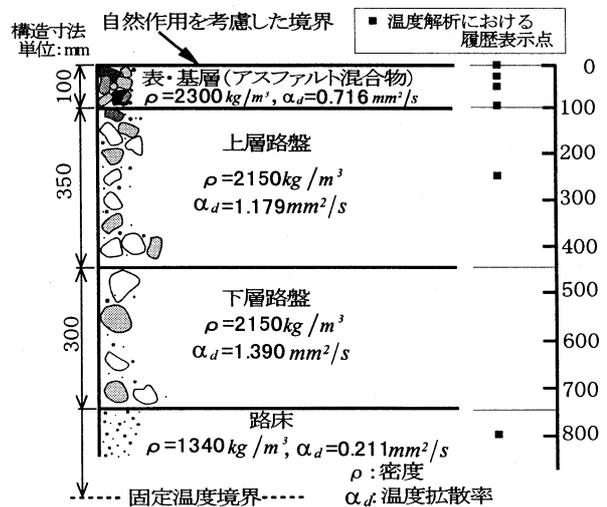


図-4 舗装構造断面(4層構造モデル)

表-1 各舗装構成層の物性値 2) 3) 8) 12) ~ 19)

舗装構成層	熱伝導率 [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	比熱 [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	密度 [kg·m ⁻³]	温度拡散率 [mm ² ·s ⁻¹]	構造寸法 [mm]	熱伝達率 [W·m ² ·K ⁻¹]
アスファルト層	1.45	880	2300	0.716	100	5.8
上層路盤	2.13	840	2150	1.179	350	—
下層路盤	2.51	840	2150	1.390	300	—
路床	0.52	1840	1340	0.211	1250	—

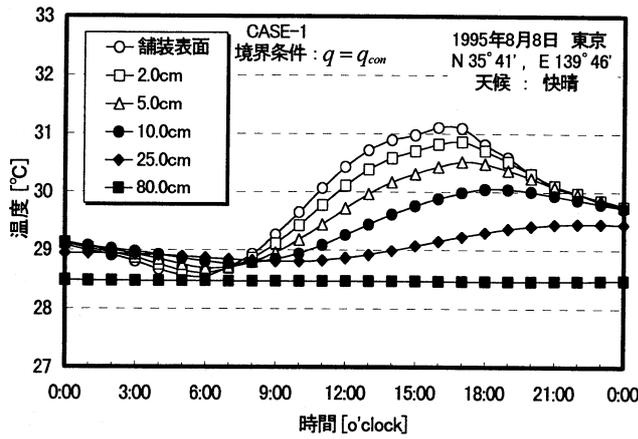


図-5 CASE-1

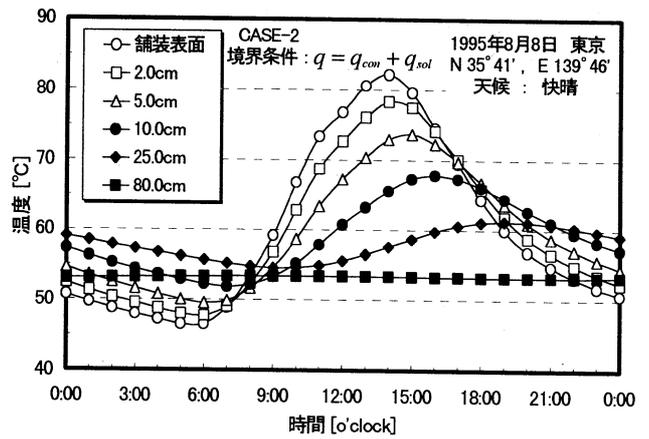


図-6 CASE-2

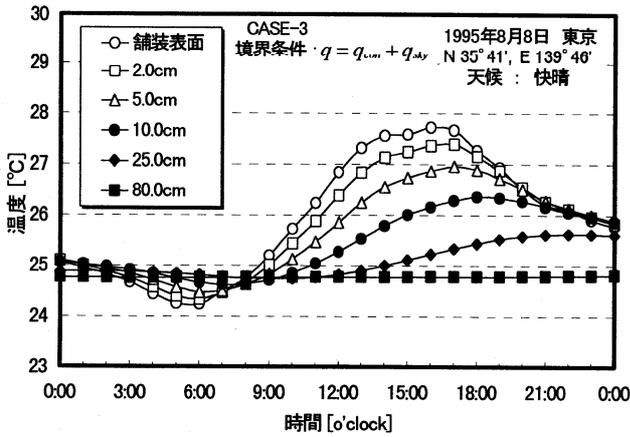


図-7 CASE-3

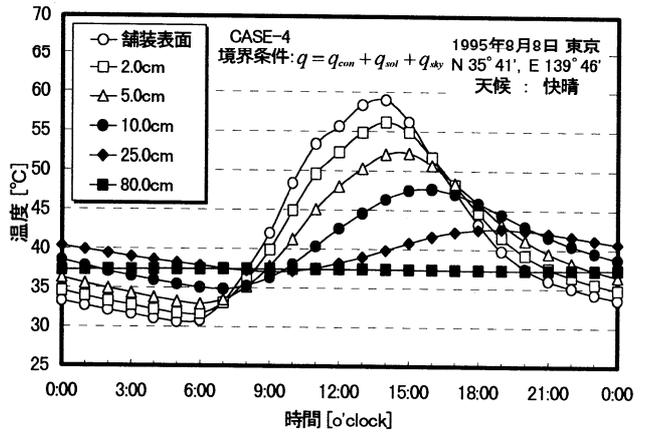


図-8 CASE-4

50°C近くも高く概算された。また、舗装表面下 80cm の位置では両方とも温度勾配はほぼ零であるが、その値も表面からの入熱量が多い CASE-2 は非常に高くなっている。CASE-2 は、日射がはじまる 7:00 から急激に舗装表面での熱収支が活発になり、最大となる 14:00 付近で温度も最高値となる。しかし CASE-1 では、気温のみの影響により急激な入熱量もないことから、温度上昇量も小さく、最高値がでる 16:00 頃までの立ち上がりも緩やかである。このように日射の影響を考慮する事で、非常に高い温度になり、その影響度の高さが判る。しかし、この温度は非常に高く非現実的な値であり、このことから全天日射量と顕熱の輸送量(熱伝達)のみでは十分な熱収支を評価できないことが判る。

図-7 の CASE-3 は、式 (6) に示したように正味の地球放射量を舗装表面での境界条件に加えたものである。これにより CASE-1 よりも全体の傾向としても低く算定されており、さらに舗装の表・基層にあたるアスファルト混合物層の温度は、3:00 から 6:00 にかけて路盤の温度よりも低く、この時間に最も多くの熱量が大気に向けて放出されている。これがいわゆる“放射冷却”といわれる現象である。CASE-1 において、気温が低くなった

夜間でのアスファルト層の温度は、ほぼ上層の路盤の温度と変わらず、これにより対流熱伝達の式 (4) のみでは、CASE-2 同様に十分ではない。

図-8 の CASE-4 は、すべての影響因子を含んだ境界条件による結果を示したものであるが、日射による入熱、熱量の放射(正味地球放射)そして顕熱の輸送(対流熱伝達)により、舗装体内の温度の日傾向や最高・最低温度などは、現実性のある平均的な値を得ることが出来た。また、正味の地球放射量を考慮しない図-6 の CASE-2 と比較して、表面での最高温度が 20°C 近くも下がっている。このことから、日射のある日中でも多くの熱量が地表面から赤外放射として放出されていることが伺える。

(2) 各パラメータの内部温度分布への影響

図-9 に、6:00、10:00、14:00 そして 18:00 における内部温度分布を、各境界条件のケースについて示す。

CASE-1 の対流熱伝達のみを考えた場合においては、大きな入熱量としての影響因子が気温以外にはないため、温度の上昇量は小さい。また温度の日変動量も表面で 3°C 程度しかなく、上層の路盤付近での温度変動量も非常に小さいと言える。

温度 [°C]

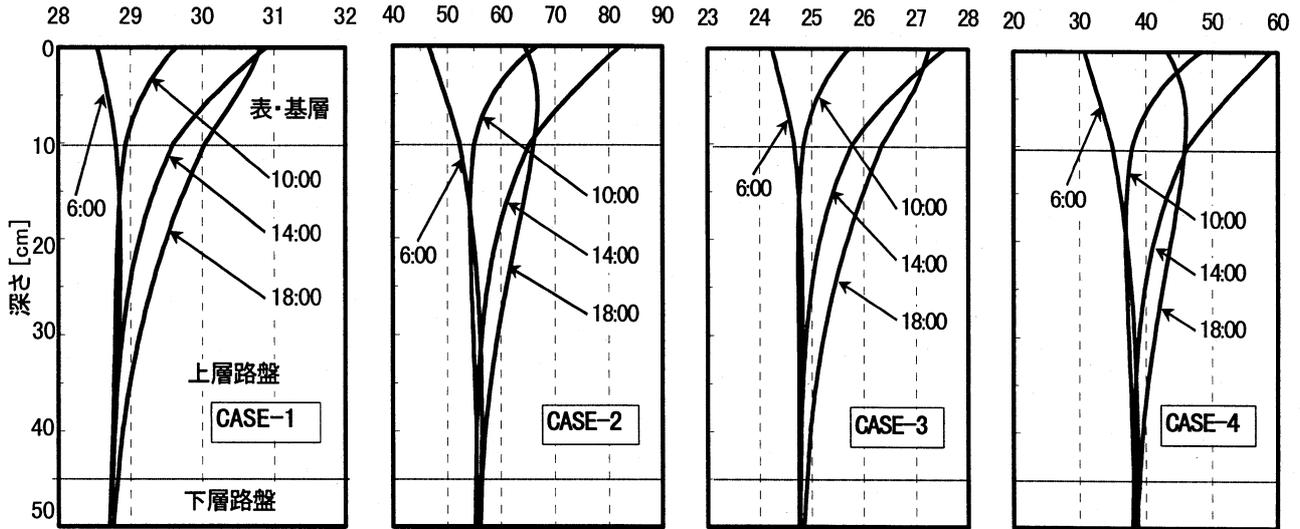


図-9 各ケースにおける深さ方向の温度分布

日射の影響が加わった CASE-2 では、表面で 1 日に 40°C 近い温度変動があり、路盤でもおおきな変動が見られる。しかし、対流熱伝達による熱量の移動により、蓄熱性は極端に大きくあらわれていない。また、著者は対流熱伝達のない、日射のみの境界条件においても解析を行ったが、温度が摂氏数百度にも達する結果となった。これは熱の供給量が多く、対流熱伝達や放射といった現象がないために起こったと思われる。

CASE-3 では、CASE-1 に比べ、全体の傾向として低く概算され、また任意の経過時間における深さ方向の層内温度変化量には、とりわけ大きな違いは見受けられなかった。このことから、正味の地球放射量による影響によって、深さ方向の舗装体温度の分布形状に対する極端な影響はないと思われる。

CASE-4 は、日中に受けた日射からの入熱量が、18:00 以降に、放射と対流の形で大気へ放出され、最高で 10°C 以上の温度低下となった。しかし日射がなくとも依然として舗装体温度は気温よりも高い。深さ 50cm 以上では、ほぼ温度も安定しており、この時季での温度変動は、表・基層と上層の路盤部で起こると思われる。但し、路盤の下層部における温度は、厳密には地熱等の影響により必ずしも年間を通じて安定したものではない。

既往の研究で姫野ら¹⁾は、比較的精度良く AMeDAS データを用いて温度解析を行っているが、その境界条件はここでの CASE-2 の条件に近い。この場合、日射の入熱量に対して対流による伝達量に実質的な放射量を含めて扱うことになる。しかし本解析結果から、放射量の影響は大きく、無視することは出来ないと思われる。結果の傾向が CASE-2 と 4 では似ているため、解析的には対流熱伝達量に含める事は上手くいき、便利であるようだが、解析モデルとしては実際的ではないと思われる。

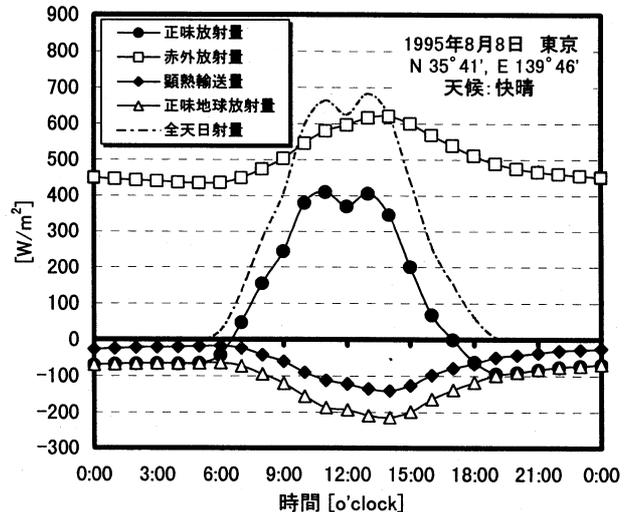


図-10 舗装面熱収支の日変化

(3) 地表面熱収支の日変化量

CASE-4 において、任意の解析日における正味放射量、舗装表面から大気に向けての赤外放射量、顕熱の輸送量、正味地球放射量そして全天日射による入熱量の日推移を、図-10 に示した。

地表面から大気への赤外放射量は常に大きな値であり、これは常時上向きの放射量が存在していることを示す。

顕熱による輸送量は、他と比べて小さいが、その値が負になることはなく、このことは舗装表面温度が常に外気よりも高いことを意味している。

正味の放射量は、17:00 から翌朝 6:00 にかけて負値であり、これは上向きの放射 (放射冷却) が起きているため、これにより舗装体温度は夜間に低下していくことが判る。

5. 結論

本研究の結果を要約し、以下に示す。

- ① 舗装内部の温度分布を推定するには、その境界条件に気象作用を考慮する必要がある。
- ② 地上気象観測データの内、気温、全天日射量そして露点温度の3つを用いることにより、舗装体温度を推定することが出来る。
- ③ 日射は、舗装体温度に大きな影響を及ぼすが、放射も放射冷却などにより、温度と深く関係し、必要な影響因子である。
- ④ 舗装表面から上向きには常に多くの赤外放射量が存在し、その影響は大きい。
- ⑤ 今回は潜熱の影響を考慮せず、舗装表面は乾燥状態と仮定した。今後、表面における実質的な蒸発可能水量の把握により、気化熱のモデル化を更に確かなものにし、数値解析への適用を可能にしたい。

謝辞：本研究を進める上で、的確なご助言と貴重な資料を提供して下さい、中央大学の姫野賢治氏には大変感謝致しております。また、気象データの提供と相談にご協力頂いた気象庁統計部の方々にも、ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 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, 1986.2.
- 2) 庄司正弘: 伝熱工学, 東京大学出版会, pp.254.
- 3) 天野隆明, 森吉昭博, 鏡慎, 笠原彰彦: アスファルト舗装の熱応力と変形の粘弾性解析, 土木学会論文集, No.564/V-35, pp.23-32, 1997.5.
- 4) 浅枝隆, ヴタンカ, 北原正代: 道路舗装の熱環境に及ぼす影響, 環境システム研究, Vol.19, pp.93-97, 1991.8.
- 5) 浅枝隆, 藤野毅: 舗装面の熱収支と蓄熱特性について, 水文・水資源学会誌, Vol.5. No.4, pp.3-7, 1992.
- 6) 浅枝隆, 北原正代, 藤野毅, 和氣亜紀夫: 加熱された舗装上空の 대기加熱過程の解析, 土木学会論文集, No.467/II-23, pp.39-47, 1993.5.
- 7) Berdahl, P., and M. Martin, Solar Energy, 13, 3 (1984). "Emissivity of Clear Skies."
- 8) Frank P. Incropera and David P. DeWitt: Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Fourth Edition, John Wiley & Sons, 1996.
- 9) Brunt, D., Quarterly J. Royal Meteorological Soc., 58, 389 (1932). "Notes on Radiation in the Atmosphere."
- 10) Bliss, R. W., Solar Energy, 5, 103 (1961). "Atmospheric Radiation Near the Surface of the Ground."
- 11) Swinbank, W. C., Quarterly J. Royal Meteorological Soc., 89, 339, (1963). "Long-Wave Radiation from Clear Skies."
- 12) 土木工学会編: 土質基礎工学ライブラリー 23 土の凍結—その制御と応用—, 土質工学会, pp.104.
- 13) 小谷昇, 井田敏行, 森田幸義: 図解土木講座 アスファルト混合物の知識 (改訂3版), 技報堂出版, pp.60.
- 14) N. C. ヤン, 猪瀬寧雄, 井上静三, 山下弘美: 舗装新設計法, 森北出版, pp.106-109.
- 15) 土木工学会: 舗装工学, 丸善.
- 16) 土木工学会編: 土質基礎工学ライブラリー 35 土質工学と気象, 土質工学会.
- 17) 木下誠一: 凍土の物理学, 森北出版.
- 18) Duffie, J. A. and Beckman, W. A.: Solar Engineering of Thermal Processes, Second Edition, John Wiley & Sons, 1991.
- 19) 斎藤孝基: 東京大学基礎工学双書 応用熱力学, 東京大学出版会

THERMAL ANALYSIS OF ASPHALT PAVEMENT USING METEOROLOGICAL DATA

Takayoshi SHIINA, Kunihito MATSUI and Smith, T. F.

Temperature profile in asphalt pavement manifests nonlinear distribution which varies with time. In the past researches, there exist two major approaches; one uses a correlation between air temperature and temperature measured in pavement, and the other considers the effect of solar radiation. However, asphalt which has a strong characteristics of absorbing and storing heat, also emit the heat to the atmosphere. Dust and waterdrop in the atmosphere also radiate heat to pavement. This paper presents a general thermal flow model between pavement and its surroundings and the effect of factors involved in the model on the temperature distribution in pavement using meteorological data.