

アスファルト層でオーバーレイされたコンクリート舗装版の温度勾配

西澤辰男¹・七五三野茂²・小松原昭則³・小梁川雅⁴

¹正会員 工博 石川工業高等専門学校助教授 環境都市工学科 (〒 929-0392 河北郡津幡町北中条)

²正会員 博 (工) 日本道路公団試験研究所 舗装研究室 室長 (〒 194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1)

³正会員 日本道路公団試験研究所 舗装研究室 主任 (〒 194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1)

⁴正会員 工博 東京農業大学助教授 地域環境科学部 生産環境工学科 (〒 156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1)

コンクリート舗装版を基層とし、アスファルトを表層に持つコンポジット舗装の設計においては、コンクリート舗装版内の温度勾配の算定が非常に重要である。アスファルト表層の存在によってコンクリート版内の温度勾配が低減され、それにとまって温度応力が減少するからである。本研究においては、このような温度勾配の低減効果を、モデル舗装における温度の実測、その実測データを用いた逆解析、さらに熱伝導解析によって検討した。これらの結果に基づいて、アスファルト表層厚と温度勾配低減効果の関係を求め、その関係を温度勾配低減係数という構造設計に適用可能な形で提示した。

Key Words : composite pavement, asphalt surface, concrete base, temperature gradient, thermal conductivity analysis

1. はじめに

アスファルト層を表層とし、コンクリート舗装版(以下、コンクリート版)を基層とするコンポジット舗装の設計法においては、コンクリート版の疲労解析が基本となる。ここでは、交通荷重による応力とともにコンクリート版内の上下面の温度差によるそり応力の算定が必要である。そり応力は温度差に比例するため、コンクリート版内の温度勾配の設定が非常に重要である。コンポジット舗装においては、アスファルト層が表面にあることによって、コンクリート版上下面の温度差が低減されることが予想される。著者らの試算によれば、この低減効果の設定によってコンクリート版の疲労度は大きく異なり、設計断面に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった¹⁾。したがって、低減効果についてはその実態把握、理論的な一般化を含む慎重な検討が必要である。

しかしながら、このようなアスファルト表層による温度勾配低減効果について着目した調査あるいは研究がなく、その実態は明確でない。とくに設計に組み込むためには、理論解析による検討が不可欠であるが、そのような研究は皆無といってよい。本研究においては、いくつかのコンポジット舗装断面を想定したモデル舗装において測定した舗装体内温度を用いて検討を行う。そこで、以下のように研究を進めた。まず、実測データにより温度勾配の低減効果を定性的に確認した。また、実測データから熱伝導解析に必要な舗装材料の熱拡散

率を同定した。その結果を用いてシミュレーションを行ってアスファルト層の厚さと温度低減効果の関係を求め、現在の設計に組み込むことが容易な低減係数として提示した。

2. 温度応力

我が国のコンクリート版の実用的な温度応力式としては岩間の式がある²⁾。この式は、実物大の試験舗装における実測に基づいて導かれたものであり、わが国の技術指針であるセメントコンクリート舗装要綱(以下、要綱)で採用されている³⁾。岩間の式は縦縁部のそり応力を基本としており、次式のようなものである。

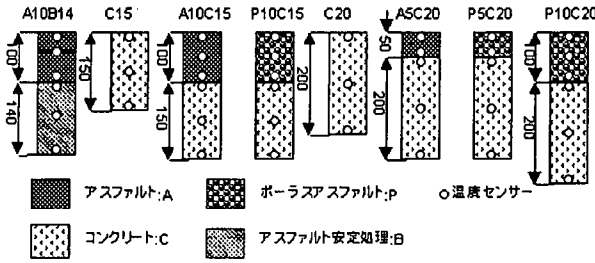
$$\sigma_t = 0.35 \cdot C_w \cdot \alpha \cdot E \cdot \phi \cdot h \quad (1)$$

ここに、

- σ_t : そり応力を含む温度応力
- E : コンクリートの弾性係数
- C_w : そり拘束係数
- α : コンクリートの線膨張係数
- ϕ : コンクリート版の温度勾配
= $\Delta T/h$
- ΔT : 上下面の温度差
- h : コンクリート版厚

そり拘束係数 C_w は、目地間隔によってその値が定められている。この式から明らかのように、温度応力は上

表-1 コンクリート版の温度勾配 [°C/cm]



断面	平均	標準偏差	最大	最低
C20	0.005	0.218	0.839	-0.300
A5C20	0.013	0.168	0.750	-0.306
P5C20	0.003	0.174	0.694	-0.233
P10C20	0.002	0.114	0.450	-0.172
C15	0.001	0.266	1.000	-0.389
A10C15	0.009	0.128	0.608	-0.184
P10C15	0.004	0.104	0.431	-0.208

図-1 温度測定を行った舗装断面

下面の温度差 ΔT に比例するため、温度差がアスファルト層によって低減されるとそのまま温度応力も低減されることになる。要綱においては、 ΔT の値とともにその相対頻度がコンクリート版厚ごとに与えられており、これを用いて疲労解析を行うのである。

コンポジット舗装の設計においても疲労解析の基本的な考え方は同じであって、要綱に与えられている ΔT の頻度分布をそのまま利用していくことになる。そこで、アスファルト層の存在による低減効果を以下のように考慮する。

$$\phi_c = \lambda \cdot \phi \quad (2)$$

ここに、

- ϕ_c : アスファルト層によって低減された温度勾配
- λ : 温度勾配の低減係数

ここで、 ΔT を用いずに温度勾配 ϕ を用いたのは、 ϕ に対する低減効果はコンクリート版厚によらないことが判ったからである。式(2)を用いることによって、要綱の頻度分布をそのまま利用することが可能となる。本研究においては、低減係数 λ をどのように定義し、またそれがアスファルト層の厚さや材料とどのような関係があるのかについて、実験的、解析的に検討することとした。

3. モデル舗装による実測

コンクリート版の上のアスファルト層がコンクリート版内の温度勾配にどのような影響があるかについて調べるために、東関東自動車道路市原IC付近の上り本線路肩部に、図-1に示す断面の1m×1mのモデル舗装を作製した。コンクリート版の厚さは15cmと20cmの2種類、アスファルト層は5cmと10cmで、材料としては通常の密粒度アスファルト混合物とポーラスアスファルト混合物(空隙率20%)の2種類を用いた。それぞれの断面において、図の丸印に示す位置に温度センサー(熱電対)を埋め込み、1996年4月7日から翌年3月27日まで約1年間に渡って1時間ごとに測定を

行った。いくつかの欠測時間があったため、総データは各温度センサーあたり8497個となった。

図-2は、そのうち、厚さ20cmのコンクリート版の温度勾配が最大を記録した7月21日の舗装体内の温度分布である。温度が高くなる12:00付近では、アスファルト混合物の熱拡散率がコンクリートに比較して小さいため、アスファルト層内で温度は大きく減少する。その結果、コンクリート版内の温度は全体として低下し、コンクリート版の上下面の温度差も小さくなっている。このように、アスファルト層がコンクリート版の上に載ることによって、コンクリート版内の温度勾配は減少する。

図-3は1年間の温度勾配の相対頻度分布と累積相対頻度分布を示したものである。ここでの温度勾配は、コンクリート版上下面にあるセンサーの温度の差をセンサー間の距離で割った値である。温度勾配の分布は $-0.2^\circ\text{C}/\text{cm}$ から $0.0^\circ\text{C}/\text{cm}$ の範囲で発生頻度が最も多く、 $0.0^\circ\text{C}/\text{cm}$ 付近で頻度が急激に減少し最大値まで緩やかに低下していく。負の温度勾配の範囲は狭く頻度が集中しているのに対し、正の温度勾配は広い範囲に分布する非対称の分布形状であることがわかる。また、コンクリート版のみの場合には正の温度勾配がかなり広い範囲に分布しているのに対し、アスファルト層が上にあるとその範囲は狭くなる。これらの図から温度勾配の正負の割合はほぼ3:7であることがわかる。

しかし、この分布形状そのものをこれ以上議論しない。分布形状は気象条件、立地条件によって異なることが予想され、今回の限られた実測データから分布形状についての一般的な議論はできないからである。ここではあくまで、アスファルト層の温度勾配に及ぼす影響のみに着目した検討を行う。

表-1は各断面の温度勾配の統計値である。最大値を見ると、例えば、20cm厚のコンクリート版のみのC20では $0.839^\circ\text{C}/\text{cm}$ であるのに対し、ポーラスアスファルト層が5cm載ったP5C20ではそれが $0.694^\circ\text{C}/\text{cm}$ になり、10cmのP10C20になると $0.450^\circ\text{C}/\text{cm}$ に減少する。15cm厚のコンクリート版の場合も同様で、C15での最大温度勾配は $1.0^\circ\text{C}/\text{cm}$ に対し、10cmのアスファルト層があるA10C15やP10C15では、それぞれ

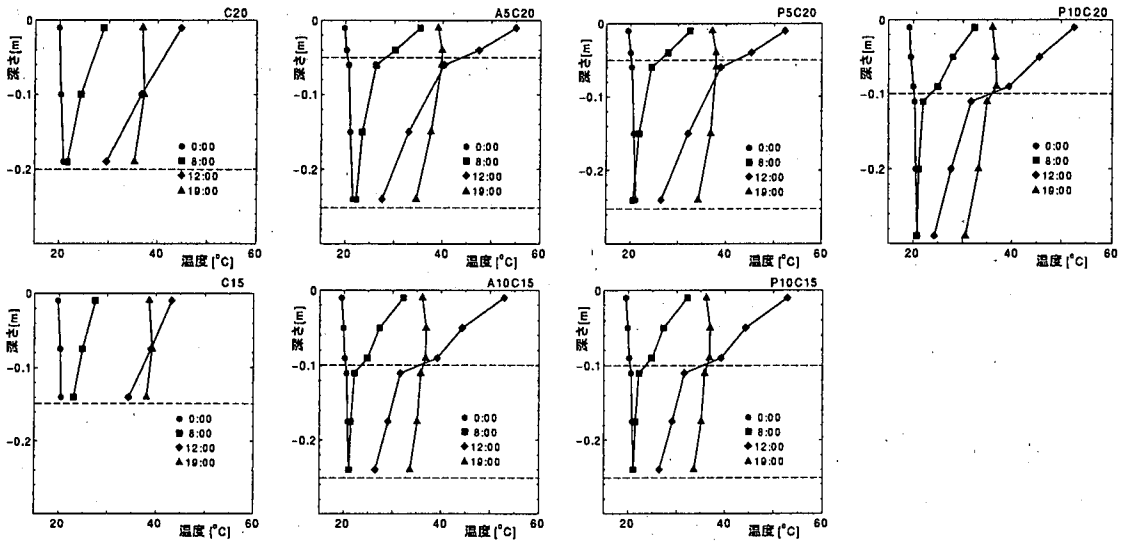


図-2 舗装体内の温度分布 (1996年7月21日)

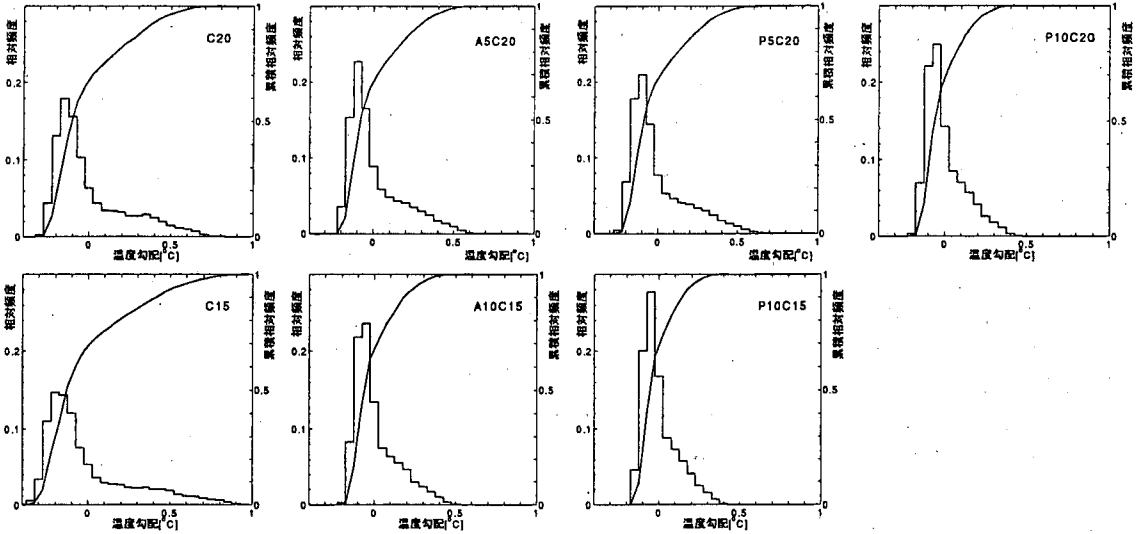


図-3 温度勾配の相対頻度分布と累積相対頻度分布

0.608°C/cm, 0.431°C/cm に低下する。今回の測定での最大値に関していえば、アスファルト層が同じ厚さであっても、ポーラスアスファルト混合物のほうが低下する割合が大きい。

逆に、下にコンクリート版があることによる表面温度の違いをみるために、表面から深さ 1cm のセンサーの温度についてアスファルト舗装断面と比較してみたものが図-4 である。横軸に A10B14 の表面温度をとり、同時刻の他の舗装断面の表面センサーの温度を縦軸にとって比較したものである。C15 と C20 はコンクリート版が表面に出ているため、当然アスファルト舗装とは異なる。その他のアスファルト層が 5cm 以上ある舗装の表面温度との相関をとると 0.97 から 1.03 の範囲にあ

り、A10B14 とほぼ同様の表面温度といえる。姫野らの研究でも、アスファルト舗装の表面温度については舗装構造の違いはほとんどないとの結論に達している⁴⁾。このことから、日射や気温などの気象条件が同じであれば、5cm 以上のアスファルト層を表層にもつ舗装の表面温度はそれ以下の構造にかかわりなくほぼ同じといえる。また、密粒度アスファルト混合物でもポーラスアスファルト混合物であっても表面温度については顕著な差がみられない。

この事実を利用して、この表面温度を用いて理論解析を行うこととした。すなわち、同一のアスファルト表面温度を境界条件とし、いろいろな層構成を想定した熱伝導解析によって、その下のコンクリート版内の温

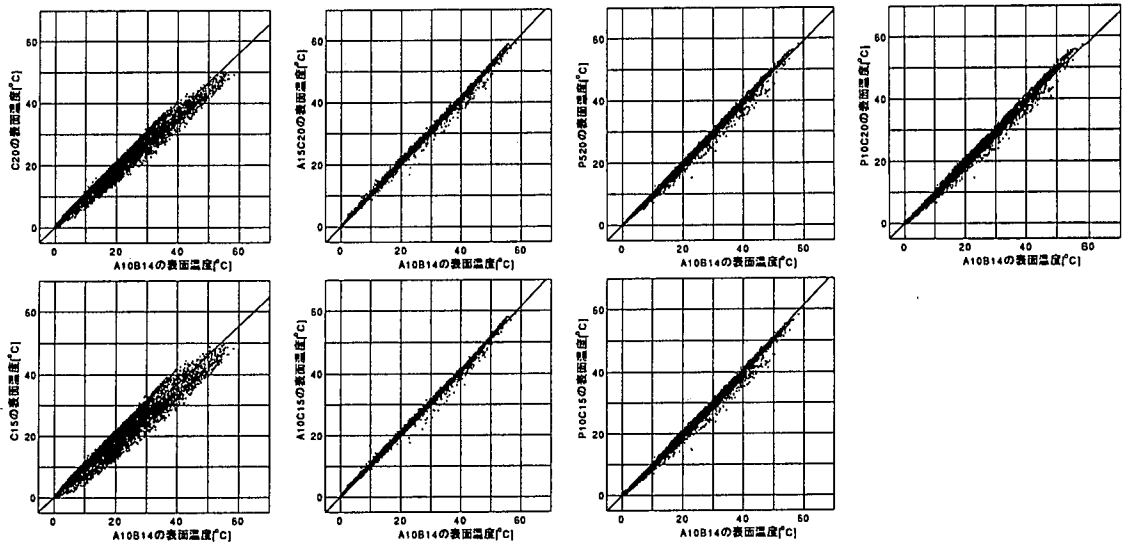


図-4 アスファルト表面温度との比較

表-2 コンクリート版の温度勾配 [°C/cm]

断面	傾き	相関係数
A5C20	0.739	0.930
P5C20	0.790	0.963
P10C20	0.434	0.805
A10C15	0.569	0.792
P10C15	0.479	0.831

度勾配をシミュレートする。このような解析によって、アスファルト層の厚さが温度勾配に及ぼす影響を詳しく検討することができる。

次にコンクリート版内の温度勾配が、アスファルト層の有無あるいはその厚さによってどのように変化するかについて見てみた。図-5はコンクリート版のみの場合の温度勾配を横軸にとり、その上にアスファルト層が載った場合の同時刻の温度勾配を縦軸にとって比較したものである。全体の傾向が同じであれば45度の直線状にデータが集中するはずであるが、図から明らかのようにデータの傾きは全体的に45度より緩やかである。このことは、アスファルト層があることによって、温度勾配が全体として低減していることを示している。また、P5C20よりもP10C20の方が傾きが緩やかなことから、アスファルト層が厚いほどこの低減効果が大きい。一方、勾配が緩くなると全体的なばらつきも大きくなる。同じアスファルト層厚であれば、ポーラスアスファルトの方が全体的なばらつきが小さい。

これらの図から単回帰を行ってその傾きをまとめたものが表-2である。この値が小さいほど、温度低減効果が高いことを意味している。明らかにアスファルト

層の厚さが厚いほど傾きは緩く、低減効果は顕著である。しかしその一方で、アスファルト層の厚さが厚いほど相関係数が小さくなる。これは、アスファルト層が厚くなると、温度変化の位相がずれてくるためである。例えば、温度勾配が最大になる時刻は断面によって異なるのである。したがって、アスファルト層のない場合とある場合との温度勾配の最大値の比は、この傾きと同じではなく、最大値の比は傾きほど小さくはならない。このことについては数値シミュレーションによって詳しく検討する。

実測結果から、アスファルト層の存在がコンクリート版の温度勾配を低減させ、その程度はアスファルト層の厚さや材料によって異なることが明らかとなった。この効果を設計に組み込むためには理論的な一般化が必要であり、以下でその検討を行う。

4. 熱伝導解析

(1) 基礎方程式

舗装体内の温度分布は、次式のような1次元の熱伝導方程式によって精度良く推定できることが知られている^{4),5)}。

$$\kappa \frac{\partial^2 T(t, z)}{\partial z^2} = \frac{\partial T(t, z)}{\partial t} \quad (3)$$

ここに

- T : 舗装体内温度 [°C]
- t : 時間 [sec]
- z : 舗装表面からの深さ [m]
- κ : 熱拡散率 [m²/sec]

である。

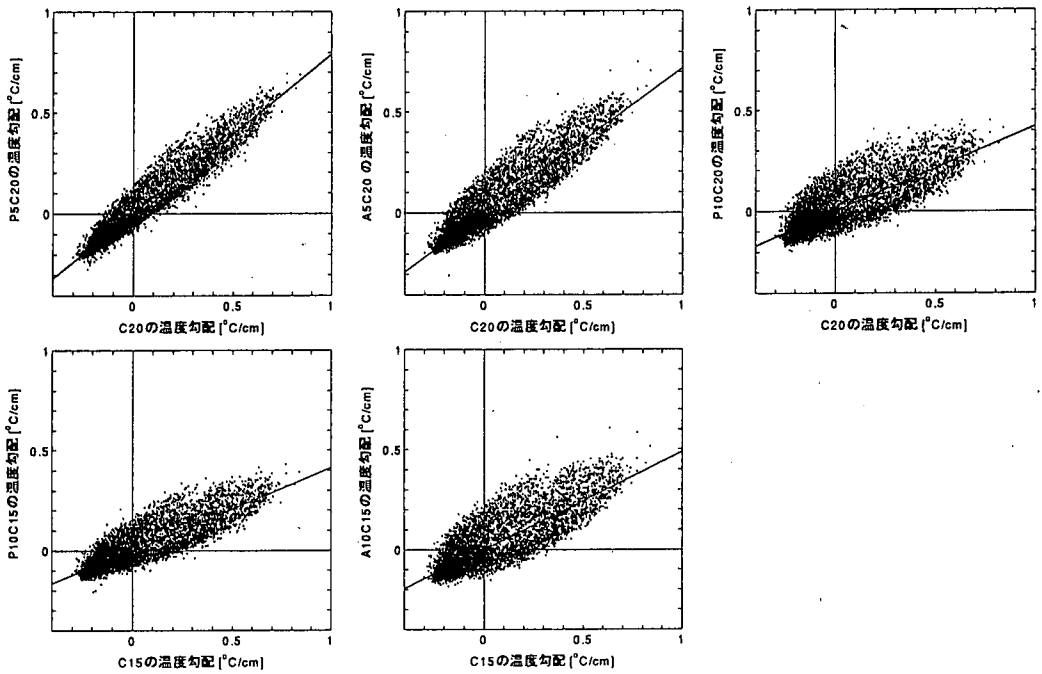


図-5 温度勾配の比較

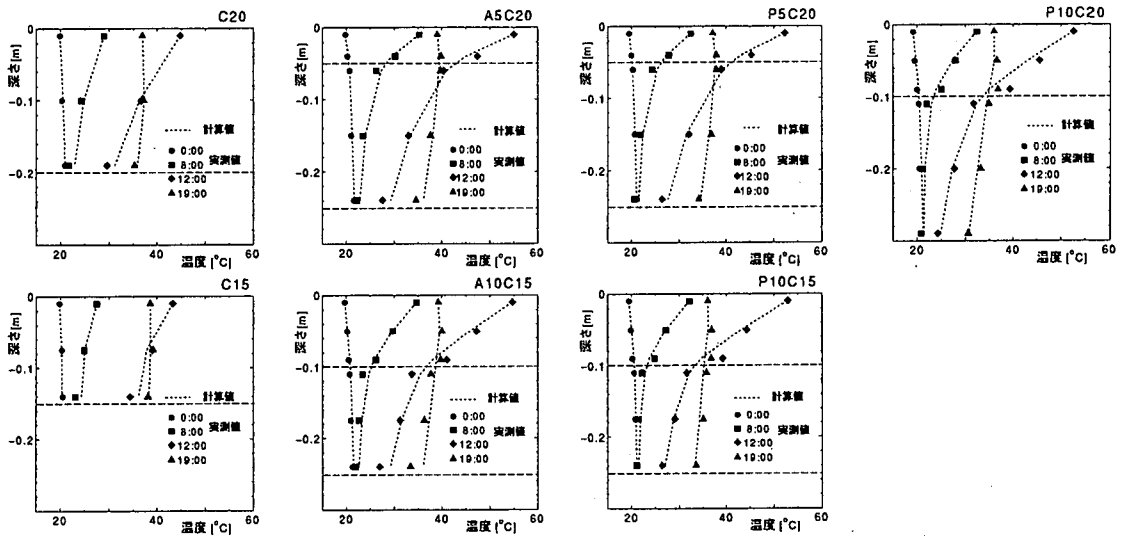


図-6 舗装体内の温度分布における計算値と実測値の比較

本研究においては、この式を1年分の表面温度センサーの値を境界条件として解いて、1年間にわたる舗装体内温度の計算を行った。午前0時を $t=0$ として、この時点における深さ方向の温度分布を初期値と考え、それを以下のように設定した。まず、 $t=0$ における深さ方向の温度分布を表面温度と同じ一定値と仮定して1日分だけの温度解析を行い、翌日の午前0時の温度分布を改めて初期値として再び同じ1日分の解析を繰り返す。このような計算を繰り返すと初期値の温度分布が

収束してくるので、この収束した分布を初期値として改めて1年分の解析を行った。

なお、解析領域は路盤以下路床も含めて1mの深さまでとり、最下部は断熱境界と仮定した。また、具体的な解析手法は1次元のFEMとして定式化し、Crank-Nicholson法によって各節点での温度を計算した⁶⁾。アスファルト層とコンクリート版の要素分割は1cm、路盤・路床は5cmとし、計算に用いた時間ステップは60secとした。

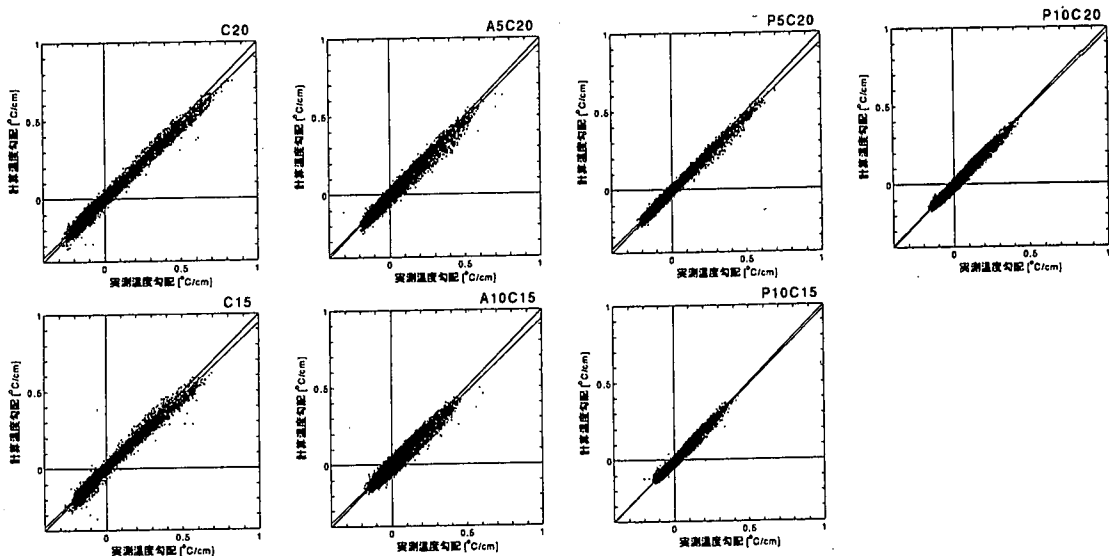


図-7 温度勾配における計算値と実測値の比較

(2) 逆解析法

式(3)を解くためには、アスファルト層、コンクリート版、路盤・路床の熱拡散率 κ を知らねばならない。本研究においては、これらの値を深さ方向の実測温度分布から逆解析することとした。すなわち、実測値 u_j と計算値 T_j の差を以下のような評価関数として表す。

$$f(\kappa) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \{u_j(t_i) - T_j(\kappa, t_i)\}^2 \quad (4)$$

ここに、添え字 i は各測定時刻を表し、 j は温度センサーを表す。 N は今回の実測点数である8497であり、 M は温度センサー数である。

この $f(\kappa)$ が最小になるように κ を求めていく。具体的な手法は松井、西田らの提案した Gauss-Newton 法に従った^{7),8)}。すなわち、次式を解く。

$$\sum_k^P \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \frac{\partial T_j(\kappa, t_i)}{\partial \kappa_k} \frac{\partial T_j(\kappa, t_i)}{\partial \kappa_l} \right\} \Delta \kappa_k = - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \{u_j(t_i) - T_j(\kappa, t_i)\} \frac{\partial T_j}{\partial \kappa_l} \quad (5)$$

ここに、添え字 k, l ($l=1 \sim P$)は逆解析する熱拡散係数の数である。なお、路盤と路床の κ は同じと仮定した。式(5)においては、 κ による T の微分を計算する必要があるが、本研究では数値微分を用いた。式(5)を解いて得られた $\Delta \kappa_k$ を用いて、

$$\kappa_{k,new} = \kappa_{k,old} + \Delta \kappa_k \quad (6)$$

によって修正 κ を求める。このような計算を収束するまで繰り返す。なお、温度勾配を精度良く予測するために、逆解析にはコンクリート版内の実測温度のみを用いた。

(3) 推定された熱拡散率

各断面の1年間にわたる実測結果を用いて計算した温度と実測温度を、7月21日の深さ方向の分布について比較したものが図-6である。計算においては、逆解析された κ 値を用い、表面温度の境界条件は実測値を用いた。コンクリート版内の温度のみを用いたためアスファルト層下面における温度に差があるものの、コンクリート版内の温度については計算値と実測値は良く一致している。温度勾配について1年間にわたって計算値と実測値を比較したものが図-7である。温度勾配の計算値と実測値の対応は良好であり、その誤差は $\pm 0.05^\circ\text{C}/\text{cm}$ 程度であることがわかる。

逆解析の結果得られた推定値をまとめて表-3に示す。アスファルト混合物の κ は $7.5 \sim 10.0 \times 10^{-7} \text{m}^2/\text{sec}$ の範囲にあり、これは姫野らが実験的に求めた範囲にある⁴⁾。コンクリートについては、アスファルト層の有無で異なった値となり、アスファルト層がないほうが大きな値をとった。コンクリートの値はコンクリート標準示方書[施工編]の推奨値 $8.3 \sim 11.1 \times 10^{-7} \text{m}^2/\text{sec}$ よりやや高いが⁹⁾、徳田らが示した範囲内 $0.83 \sim 24.4 \times 10^{-7} \text{m}^2/\text{sec}$ にある¹⁰⁾。路盤・路床のそれは $6.47 \sim 14.76 \times 10^{-7} \text{m}^2/\text{sec}$ と比較的広い範囲にある。このような広い範囲になったのは、逆解析における路盤・路床内の温度情報の欠如や材料的なばらつきなどが原因と考えられる。

さらに同じ種類の材料ごとの平均を表-4に示す。アスファルト混合物の κ に比べてコンクリートのそれはかなり大きく、またアスファルト層がないとさらに大きな値となる。ポーラスアスファルト混合物の κ は密粒度アスファルト混合物のそれよりも約10%小さい。

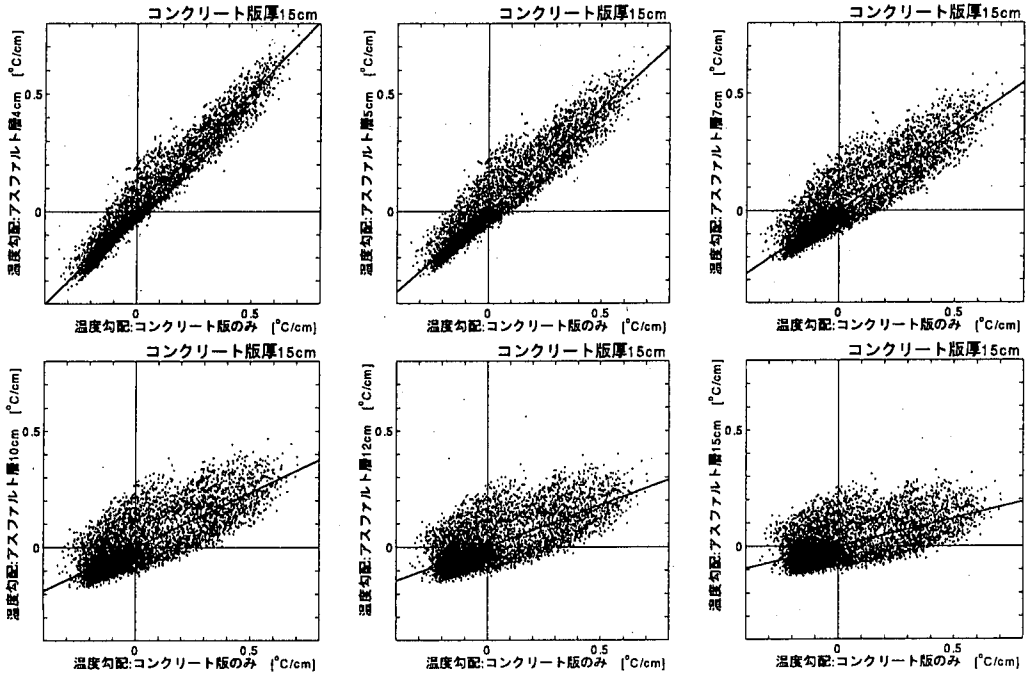


図-8 アスファルト層の温度勾配に及ぼす影響(コンクリート版厚 15cm+密粒度アスファルト表層)

表-3 逆解析によって推定された κ [$\times 10^{-7} \text{m}^2/\text{sec}$]

断面	アスファルト	コンクリート	路盤
A10B15	9.84	-	11.12
C15	-	23.70	14.34
A10C15	10.22	17.00	7.60
P10C15	8.24	17.60	6.16
C20	-	17.40	14.76
A5C20	7.52	16.20	9.44
P5C20	7.93	14.90	6.47
P10C20	8.54	14.90	7.22

表-4 材料ごとに平均した κ [$\times 10^{-7} \text{m}^2/\text{sec}$]

材料の種類	κ
密粒度アスファルト	9.19
ポーラスアスファルト	8.24
アスファルト全体	8.72
コンクリートのみ	20.56
表層を持つコンクリート	16.12
コンクリート全体	17.39
路盤・路床	9.64

5. アスファルト層の温度勾配低減効果

本章では前章で推定された κ の値を用い、計算によってアスファルト層の温度勾配低減効果について調べる。厚さ15, 20, 25cmのコンクリート版を想定し、その上にアスファルト層の厚さを0, 4, 5, 7, 10, 12, 15cmと変化させて計算した。アスファルト層には密粒度アスファルト混合物と、ポーラスアスファルト混合物の2

種類を考え、それらの κ は表-4の平均値を用いた。コンクリート版の κ は、表-4に従ってアスファルト層がない場合とある場合で異なる値を用いた。境界条件は、コンクリート版のみの場合はC20の表面温度センサーの実測値を用い、アスファルト層がある場合にはA10B14の表面温度センサーの実測値を用いた。

図-8はコンクリート版厚15cmと密粒度アスファルト表層の場合の計算結果であり、アスファルト層がない場合とある場合での温度勾配を同時刻で比較したものである。ポーラスアスファルト混合物でも全体的な傾向はかわらない。アスファルト層が厚くなるにしたがって温度勾配の低減効果が大きくなるのがわかる。その一方でアスファルト層が厚くなると、ばらつきも大きくなっている。これは温度変化の位相のずれが大きくなるためである。また、アスファルト層厚が4cmになるとむしろ温度勾配が増加する結果となっている。これは、アスファルト表面の比較的高い温度は薄いアスファルト層においてわずかしき減少せず、コンクリート上面での温度がコンクリート版のみの場合より高くなってしまっているからである。したがって、薄いアスファルトでコンクリート版を覆うとかえって温度応力を増加させてしまう危険性をはらんでいることになる。今回のシミュレーションによれば、このような危険性を防ぐための限界厚さは4~5cm程度ということになる。

図-9は1年間にわたる温度勾配の累積相対頻度分布である。ただし、密粒度アスファルト表層の場合のみ

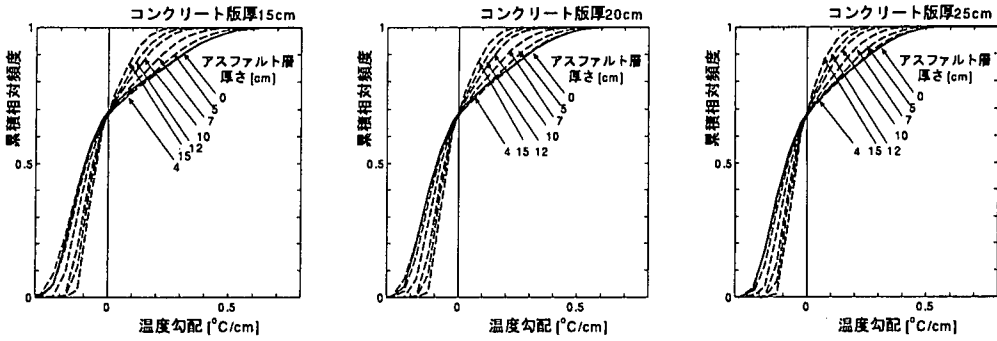


図-9 1年間の温度勾配の累積相対頻度分布 (密粒度アスファルト表層)

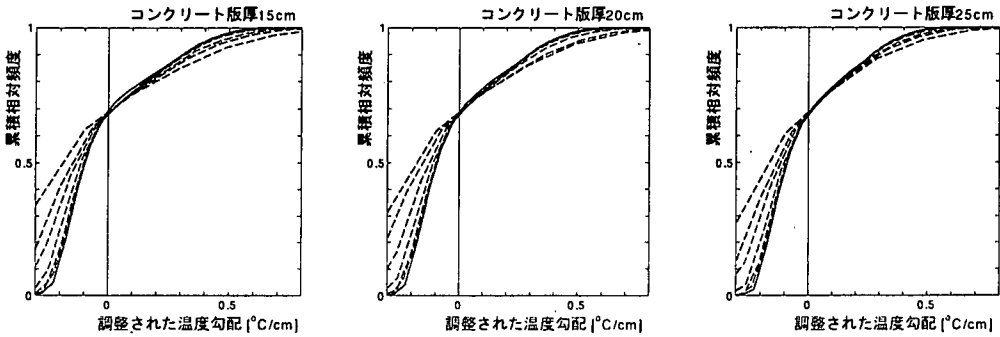


図-10 回帰係数で調整した累積相対頻度分布 (密粒度アスファルト表層)

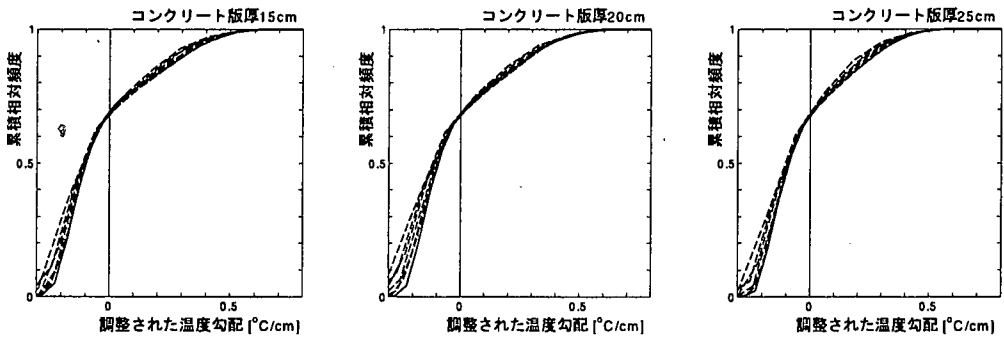


図-11 平均値+標準偏差の比で調整した累積相対頻度分布 (密粒度アスファルト表層)

を示した。ポーラスアスファルトの場合もほとんど同様の分布であった。アスファルト層が厚くなるにしたがい温度勾配の範囲は狭くなり、大きな温度勾配の頻度が少なくなる様子が明瞭である。また、コンクリート版厚によって分布の形状はあまり変わらない。このように温度勾配によってまとめることによって、版厚の影響を小さくすることができる。

6. 温度勾配低減効果

本研究では、低減係数を用いることによって、コンクリート版のみの分布をアスファルト層のある場合の分布に置きかえられると仮定する。すなわち、コンポ

ジット舗装の温度勾配 ϕ_c を、ある係数で割って頻度分布を記述した場合に、その頻度分布がコンクリート版のみの頻度分布に一致するような係数を温度勾配低減係数 λ と定義するのである。すなわち、

$$F(\phi) \simeq F_c(\phi_c/\lambda) \quad (7)$$

となるように λ を定義する。ここに、 F 、 F_c はそれぞれコンクリート版のみの累積相対頻度分布およびアスファルト表層がある場合の累積相対頻度分布を表す。こうして定義した λ を逆にコンクリート版の ϕ にかけることによって、アスファルト層のある場合の ϕ_c の頻度分布を得ることができる。そのような係数の候補としては以下のような値が考えられる。

1. 図-8 から得られる回帰係数.

2. コンクリート版のみの場合に対するアスファルト層のある場合の統計値の比. ここでは平均値+標準偏差を考える.

まず, 回帰係数を λ と仮定し, 実測温度勾配をこの λ で割って調整して累積相対頻度分布を表すと図-10となる. 温度勾配が正の部分はコンクリート版のみの分布に近づくがそれを下回る. これでは, コンクリート版の ϕ に λ をかけて得られた頻度分布が, ϕ の大きな範囲でむしろ頻度が低く算定されてしまい, 危険側になる. また, 負の場合には頻度分布の差がむしろ広がる. このようなことから, 回帰係数を λ とすることは適当でない.

次に, 平均値+標準偏差の比を λ と仮定し, この値で温度勾配を調整して表した累積相対頻度分布が図-11である. アスファルト層厚ごとの分布がコンクリート版のみのそれに近づき, アスファルト層厚の影響をかなり小さくできることがわかる. そこで, 本研究では平均値+標準偏差の比を λ として定義することとした.

図-12は, このように考えたときの λ とアスファルト層厚の関係である. 実測値の λ は表-1における平均値+標準偏差の比として計算した. 密粒度アスファルト混合物と, ポーラスアスファルト混合物にわけて示している. λ とアスファルト層厚の関係は下に凸の曲線になる. また, コンクリート版厚による差は非常にわずかである. 密粒度アスファルト混合物を表層に用いた場合, アスファルト層厚が4cm以下になると λ は1.0を超えてしまう.

この結果より, アスファルト混合物の種類ごとに, 最も安全側となるコンクリート版厚15cmにおける λ とアスファルト層厚 h_{as} との関係を代表値として近似し, これをもって低減係数の一般式として用いることを提案したい.

- 密粒度アスファルト表層の場合

$$\lambda = 1.43 - 0.114h_{as} + 0.00316h_{as}^2 \quad (8)$$

- ポーラスアスファルト表層の場合

$$\lambda = 1.41 - 0.118h_{as} + 0.00339h_{as}^2 \quad (9)$$

適用範囲は, 今回の実測範囲であるアスファルト表層の厚さが5cm以上10cm以下に限定し, 10cm以降は安全側になるように一定値としておく. ただし, 4cm以下についてはむしろ λ が1.0より大きくなることが予想されるため, さらに検討が必要と思われる.

図-13はこれらの式をまとめたものである. 提案する λ は実測から得られたものよりも全体的に大きな値となるため設計においては安全側といってよい. ただし, 提案式は1つの地点での実測データに基づいて導いた

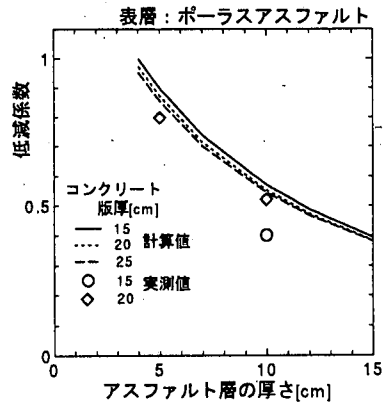
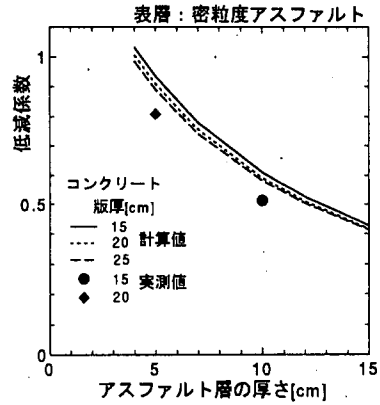


図-12 λ とアスファルト層厚の関係

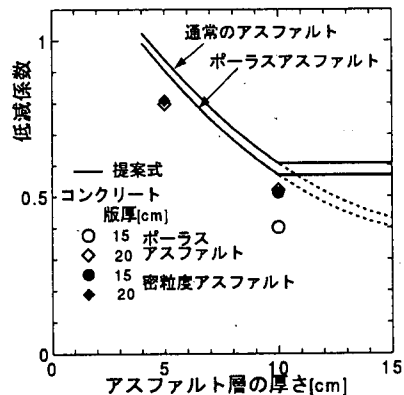


図-13 本研究で提案する λ

ものである. 地域的な補正については今後の課題としたい.

7. まとめ

本研究においては, アスファルト表層とコンクリート版からなるコンポジット舗装の温度勾配について, 実験および理論的に検討を行った. モデル舗装による

実測からアスファルト層の存在によって、コンクリート版内の温度勾配は低減されることが明らかとなった。また、このデータにより数値シミュレーションに必要な舗装材料の熱特性値を得た。さらに、設計にこの低減効果を考慮していくために温度勾配の低減係数を定義した。

本研究で得られた結論をまとめると以下ようになる。

1. 実測結果より、アスファルト層によってコンクリート版内の温度勾配は低減され、その程度はアスファルト層が厚いほど大きく、また密粒度アスファルト混合物よりポーラスアスファルト混合物の方が大きい。
2. 舗装表面温度は表面が厚さ 5cm 以上のアスファルト層であれば、以下の構成が変化してもほぼ同様であり、密粒度アスファルト表層とポーラスアスファルト表層の間でも顕著な差はない。
3. 実測温度を用い逆解析によって同定されたアスファルト混合物の熱拡散率は、通常のアスファルト混合物よりポーラスアスファルト混合物の方が小さい。コンクリート版の熱拡散率は、アスファルト表層がある場合より、ない場合の方が大きい。
4. 数値シミュレーションによれば、アスファルト層の厚さが温度勾配に与える影響は顕著であるが、コンクリート版の厚さの影響は小さい。
5. アスファルト層が 5cm より薄くなると、かえってコンクリート版の温度勾配は大きくなる恐れがある。
6. 低減係数を 1 年間の温度勾配の平均値とその標準偏差を加えた値について、コンクリート版のみの場合とアスファルト層がある場合の比と定義すると、温度勾配の分布曲線が統一的に記述できる。
7. 設計における低減係数とアスファルト表層の厚さ

の関係を表す式 (8), (9) のように提案した。

謝辞: 本研究を遂行するにあたり、日本道路公団東京建設局東京技術事務所試験第一課長大井正美氏をはじめとする関係各位の多大な協力を頂いた。また、本研究の一部は文部省科学研究費補助金 (基盤研究 (C) : 課題番号 10650456) によった。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 西澤辰男, 七五三野茂, 小松原昭則, 小梁川雅: 連続鉄筋コンクリート舗装版をベースとしたコンポジット舗装の設計法に関する研究, 土木学会舗装工学論文集, Vol.2, pp.53-62, 1997.
- 2) 岩間滋: コンクリート舗装の構造設計に関する実験的研究, 1963.
- 3) 日本道路協会: セメントコンクリート舗装要綱, 1984.
- 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, 第 366 号/V-4, pp.123-132, 1986.
- 5) 椎名貴快, 松井邦人, T.F.Smith: 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, 土木学会舗装工学論文集, Vol.2, pp.105-112, 1997.
- 6) 矢川元基, 宮崎則幸: 有限要素法による熱応力・クリープ・熱伝導解析, サイエンス社, pp.135-142, 1991.
- 7) 松井邦人, 西田德行, 土橋吉輝, 潮田和司: 逆解析手法によるマスコンクリートの熱特性値の推定, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.16, No.1 pp.1347-1352, 1994.
- 8) 西田德行, 潮田和司, 土橋吉輝, 松井邦人: 現場計測データに基づくコンクリートの熱特性の推定とその考察, 土木学会論文集, 第 544 号/V-32, pp.89-100, 1996.
- 9) 土木学会; コンクリート標準示方書 [施工編], p.186, 1996.
- 10) 徳田弘, 庄谷征美: コンクリートの熱特性の測定と二, 三の考察, 土木学会論文報告集, 第 212 号, pp.89-98, 1973.

(1999.5.10 受付)

TEMPERATURE GRADIENT OF CONCRETE PAVEMENT SLAB OVERLAID BY ASPHALT LAYER

Tatsuo NISHIZAWA, Shigeru SHIMENO, Akinori KOMATSUBARA
and Masashi KOYANAGAWA

In the structural design of composite pavement with concrete pavement slab overlaid with asphalt surface course, it is very important to estimate temperature gradient in the concrete slab. The asphalt surface course reduces the temperature gradient in the concrete slab, resulting in the reduction of thermal stress of the concrete slab. In this study, this effect was investigated by the temperature measurement in model pavements and thermal conductivity analysis. Based on the investigation, the relationship between the reduction effect and the asphalt thickness was derived for the structural design.