

アスファルト舗装体の温度分布に関する実験的研究

長崎大学工学部 学生員○大原 実 正 員 杉山 和一

学生員 坂本 直太 正 員 後藤 恵之輔

1.はじめに

本研究は、舗装道路が吸収した太陽熱を有効利用するための基礎資料を得ることを目的とする。実験には、アスファルトの厚さや路床材料の異なった3種類の舗装道路模型（二層体）を製作し、それらの内部温度の変化を比較検討する。さらに、アスファルト表面温度の実測値から上下層の境界面での温度変化を予測するために、二層モデルを内部の温度解析に導入し、理論値と実測値を比較検討する。

2.実験概要

図-1に例示するA、B、C3種類のアスファルト舗装道路模型の表面と内部の温度を、それぞれ放射温度計と熱電対を用いて30分毎に24時間連続測定した。観測は6階建て校舎の屋上で1994年10月15日の快晴日に行った。供試体は下層の周りに厚さ1.5cmの発泡スチロールを用いて、上方向以外からの熱の影響を遮断している。3種類の供試体の素材、アスファルトの厚さおよび熱電対の設置点などを、表-1に示す。

表-1 材料の種類及び特徴

種類	上層	下層	熱電対設置点
A	アスファルト厚さ5cm	切込砕石	深さ2.5、5、10、25cm
B	アスファルト厚さ3cm	切込砕石	深さ1.5、3、10、25cm
C	アスファルト厚さ5cm	発泡スチロール	深さ2.5、5、10、25cm

素材	熱伝導率(kcal/mh°C)	密度(kg/m³)	比熱(kcal/kg°C)
アスファルト	1.07	2100	0.50
切込砕石	0.20	2790	0.21
発泡スチロール	0.03	23	0.29

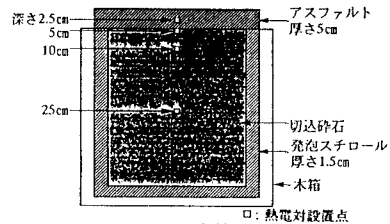


図-1 供試体A

3.実験結果と考察

図-2に3種類の供試体のそれぞれの1日の温度変化を示す。Cの場合は表面から深さ10cmまでの温度がA、Bと比べて非常に高い。これは、表-1に示す発泡スチロールの熱伝導率が、切込砕石の約1/10であり、下層に流れる熱が少ないためと考えられる。Bの表面温度はAより高いが、深さ10cm以下ではAのほうが高い。降温状況はCの温度が一番下がりがやすく次にB、Aと続く。観測終了時の24時では温度の

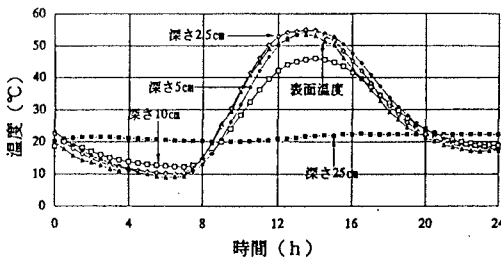


図-2(b) 供試体B 10月15日観測

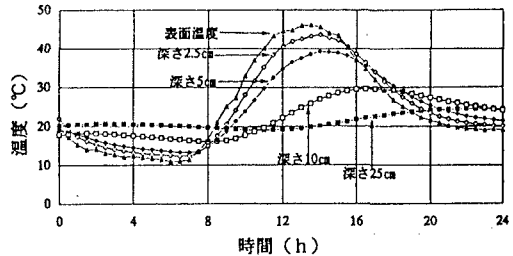


図-2(a) 供試体A 10月15日観測

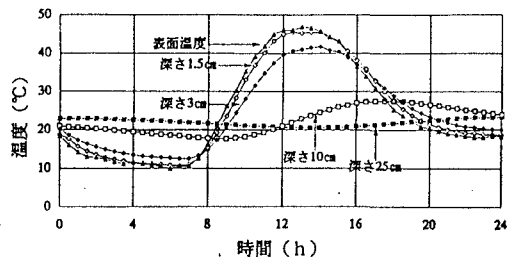


図-2(c) 供試体C 10月15日観測

高さはA>B>Cの順であった。以上のことを明確にするために、図-2の温度変化をフーリエ分解して温度振幅の一日周期項を取り出し、深さ方向にプロットしたものを図-3に示す。同図の斜線部分は上層部分のアスファルトを示しており、A、Cは深さ5cmまで、Bは3cmまでである。深さ3cmまではBはAよりも振幅は大きい、それ以下はAが大きい。これは上層のアスファルトの厚さの違いが大きく原因していると考えられる。図-2からAの上下層境界面で25°C以上の持続温度は9時間、Bは8時間30分である。観測終了時の深夜24時では、AがBより全ての深さで温度は高かった。図-2から明らかなように、日中、太陽に

よって暖められたアスファルトは、14時頃から大気へ熱放出を始める。AがBより温度が高くなっていたのはAが日中により多くの熱を取り込めていたからである。図-3からBがAよりも減衰が大きいといえる。

図-3において、Cの深さ10cmまではA、Bの場合と比べて非常に大きい。これは下方向に伝導する熱がA、Bに比べて小さく、上層のアスファルトが高温になったためと考えられる。図-3でCの深さ5cmから深さ25cmまでの温度振幅は直線的に減衰しているが、A、Bの場合は、下部と上部とで減衰の様子が異なっている。これはA、Bの切込碎石の上部は締め固めが弱く熱伝導率が下部に比べて小さくなっており、また含水比も下部で高く熱的に均一な状態でなかったためと考えられる。反面、Cの発泡スチロールは深さ方向に密度や比熱が均一であるために直線的に減衰している。

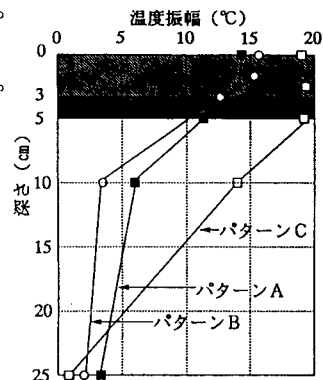


図-3 深さと減衰の関係

4.二層モデルによる境界面の温度振幅の算出

<二層モデルの解³⁾>

(上層部 $0 \leq Z \leq d$)

$$\text{上層温度 } \theta_1(Z, t) = \theta_a + \theta_1' \exp(-Z/D_1) \sin(\omega t - Z/D_1 + \gamma_1') + \theta_1'' \exp(Z/D_1) \sin(\omega t + Z/D_1 + \gamma_1'')$$

(下層部 $Z \geq d$)

$$\text{下層温度 } \theta_2(Z, t) = \theta_a + \theta_a \exp\{-(Z-d)/D_2\} \sin\{\omega t - (Z-d)/D_2 + \gamma_2\}$$

$$\text{境界面温度振幅 } \theta_a = \theta_1(1+r_1) \exp(-d/D_1) \{1+r_1^2 \exp(-4d/D_1) + 2r_1 \exp(-2d/D_1) \cos(2d/D_1)\}^{-1/2}$$

$$r_1 = \{\sqrt{(\lambda_1 C_1)} - \sqrt{(\lambda_2 C_2)}\} / \{\sqrt{(\lambda_2 C_2)} + \sqrt{(\lambda_1 C_1)}\}$$

ここで θ_a : 表面温度平均 λ_1, λ_2 : 熱伝導係数 C_1, C_2 : 体積熱容量 ($C = \rho c$)

θ_1' : 表面温度の振幅 D_1, D_2 : 減衰深 ($D = \sqrt{(\alpha/\omega)}$) ρ_1, ρ_2 : 密度 Z : 任意の深さ

d : 上層厚 α_1, α_2 : 熱拡散係数 ($\alpha = \lambda/C$) c_1, c_2 : 比熱 ω : 角速度

他の記号の説明については割愛する。

上式を用いて境界面の温度振幅を算出した結果を表-2に示す。境界面における表面温度の減衰率の理論値と実測値の比較を表-3に示す。表-3からAで0.13、Bで0.08、Cで0.21ほどの誤差が認められた。

表-2 温度振幅

種類	境界面の温度振幅 (理論値)	境界面の温度振幅 (実測値)	表面温度振幅 (実測値)
A	9.43	11.46	14.60
B	11.77	12.91	15.43
C	15.33	19.23	18.57

表-3 減衰率の比較

種類	境界面の温度振幅(理論値) 表面温度振幅(実測値)	境界面の温度振幅(実測値) 表面温度振幅(実測値)
A	0.65	0.78
B	0.76	0.84
C	0.83	1.04

5.まとめ

下層の物質の熱的特性によって上層の温度分布に顕著な差がみられた。また、二層モデルによって境界面の温度振幅を予想することは、かなり良好な精度でできることがわかった。下層部の温度変化については、発泡スチロールは単一層とみなすことができるが、切込碎石の場合は含水比が深さ方向に異なって熱的特性に変化が生じており、多層モデルで算出する必要があると考えられる。このことから上下層の正確な熱的特性を把握する必要がある。今後より多くの観測を行い、内部温度の予測法を確立する所存である。

本文の作成に当たり、貴重な助言を頂いた本学武政剛弘助教授に深甚の謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 理科年表 pp. 18-19, 1993.
- 2) 牧・小坂田: プラスチックフォーム ハンドブック, p. 221, 1973.
- 3) W.R. Van Wijk and W.J. Derksen : Sinusoidal Temperature Variation in a Layered Soil, Physics of Plant Environment, pp. 171~174, 1963.