

IV-12 舗装体内部の温度分布に関する研究(第2報)

北海道大学工学部	学生員	○須川賢次
北海道大学工学部	正員	深井一郎
北海道大学工学部	正員	森古昭博
北海道大学工学部	正員	菅原照雄

1. まえがき

アスファルト舗装は道路の利用上の理由から、その幅員はさまざまな要素で構成されている。そしてこの構成要素の幅およびその厚みは通常車輻走行や人の通行等を考慮して設計されている。しかしながら、舗装体にはこれらの外力のほか、外気温が変動したとき舗装体内部に生ずる温度応力も作用することが知られている。この応力は寒冷地の舗装体では大きく、温暖地では小さいとされているが、いずれの場合にも交通荷重がほとんど作用しない時に横断方向や縦断方向の亀裂が生じているため、この値は無視できないほど大きいものであると考えられる。筆者らはこの応力の舗装の構成、厚み、下層の温度ならびに各構成材料の熱的性状により変化することを横方向に半無限の舗装体にも生ずる温度解析からすでに確かめているので、本報告は横方向に有限な3種の舗装モデルを想定し、この舗装体にも生ずる温度分布についてさまざまな検討を試みたものである。解析手法は先の報告と同じ有限要素法を用い、外気温は昭和48年12月6日から昭和48年12月7日までに北海道の美々で観測されたものを使用した。(図-1参照)解析モデルは図-2に示すような3種の舗装構造であり、温度解析においてこれらの表面はニュートンクーリング状態、両側面は断熱状態、土壌Cの底面は 3°C の一定温度とし、舗装体内部の水分の移動や凍結は考慮せず、表-1の軟化率を用いた。これらの舗装構造は一般国道における3種規格と、また各舗装構成材料の工費A、BおよびCは切込砂利、凍上抑制剤の火山灰、路床土とそれぞれ想定している。図-2における外側縁および中心線における白線については表-1に示すごとく、この厚みが薄いこともあり表面熱伝達率のみが変化していると考え、その他の熱特性は考慮していない。

2. 解析方法

一般に非定常状態の熱伝導方程式は温度を T 、熱伝達率を K 、熱容量を C 、熱発生率を q とすると次式で表現できる。

$$\text{div}(K \text{ grad } T) + q - C \frac{\partial T}{\partial t} = 0$$

表面のニュートンクーリング状態は外部温度を T_i 、熱伝達率を α とすると $K \cdot \text{grad } T + \alpha(T - T_i) = 0$ で表わされる。舗装体内部の温度は上の2式を基にした以下の汎関数の全微分

エネルギー χ の最小条件より求める。

$$\chi = \int_V \left\{ \frac{1}{2} K (\text{grad } T)^2 - \left(q - C \frac{\partial T}{\partial t} \right) T \right\} dV +$$

$$\int_S \left\{ \alpha \left(\frac{1}{2} T^2 - T_i T \right) \right\} dS$$

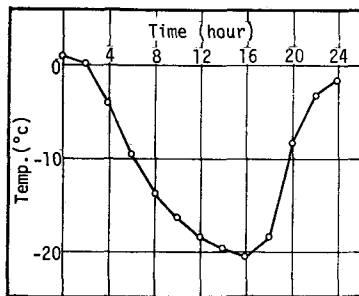


図-1 美々で観測された外気温
(48年12月6日～48年12月7日)

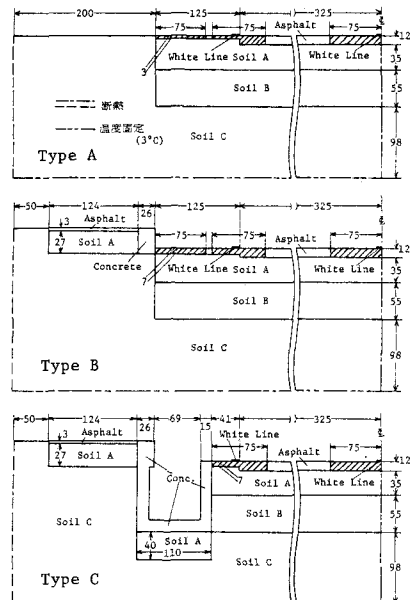


図-2 想定した3種の舗装構造のモデル

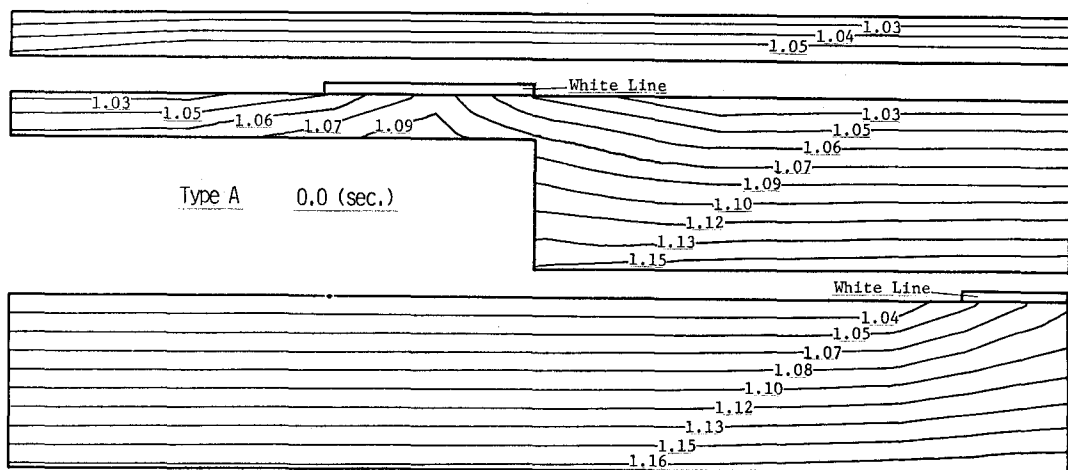


図-3 タイプAの舗装構造の定常状態における温度分布

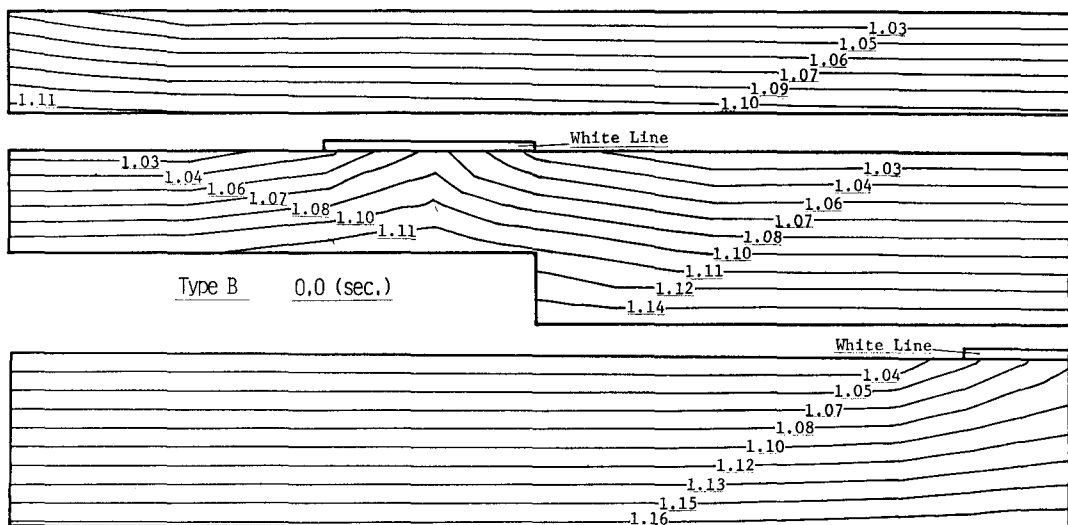


図-4 タイプBの舗装構造の定常状態における温度分布

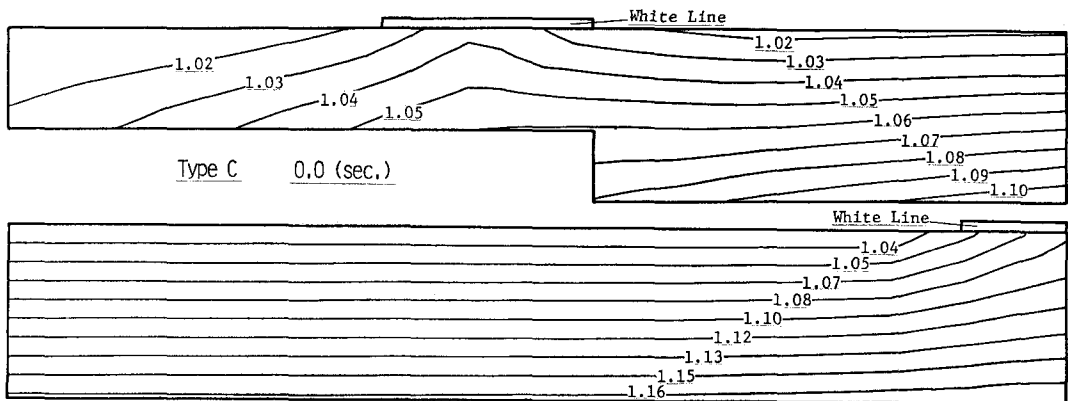


図-5 タイプCの舗装構造の定常状態における温度分布

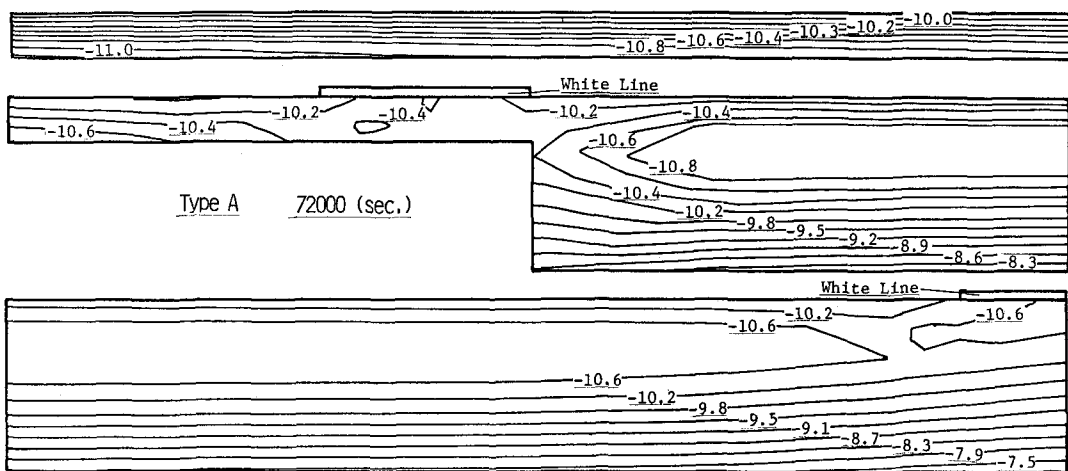


図-6 タイプAの舗装構造の20時間後の温度分布

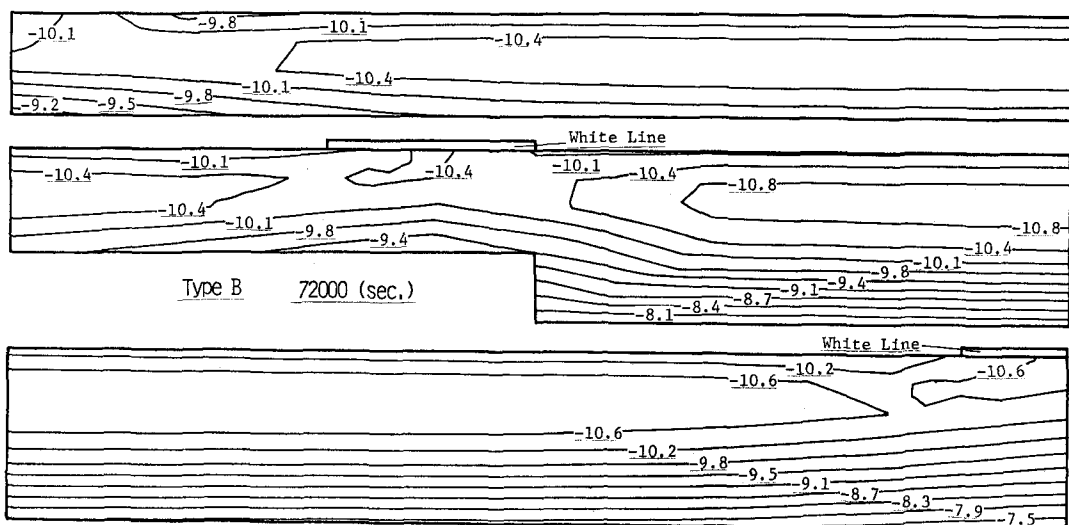


図-7 タイプBの舗装構造の20時間後の温度分布

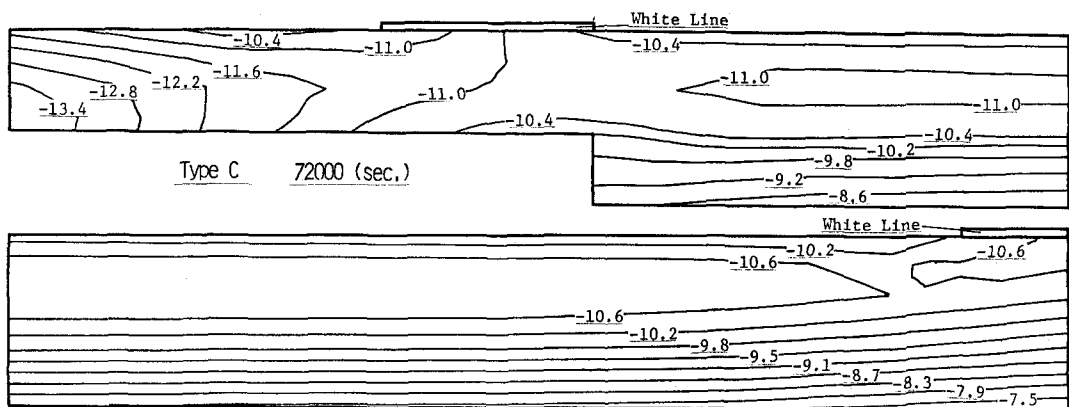


図-8 タイプCの舗装構造の20時間後の温度分布

3. 計算結果および考察

a. 定常状態における温度分布

図-3～5は初期温度 1.0°C が長時間持続したとき、各舗装モデル内のアスファルト層に生ずる温度を図-2の斜線部のみについて整理したものである。いずれの構造でも中心線付近における温度分布は舗装の厚みや白線の位置が同じため、ほとんど同一である。(図-3～5の各下図)一方外側線の白線を有する付近の温度は図-3, 4の中段の図および図-5の上面より明らか

材料物性	表面熱伝達率 ($\text{kcal}/\text{m}^2\text{hr}^{\circ}\text{C}$)	熱伝導率 ($\text{Kcal}/\text{mhr}^{\circ}\text{C}$)	比熱 ($\text{kcal}/\text{Kg}^{\circ}\text{C}$)	密度 (g/cm^3)
Asphalt	5.0	0.9	0.21	2.3
Concrete	5.0	1.7	0.30	2.4
Soil A (切込砂利)	—	2.1	0.20	2.0
Soil B (凍上抑制土、火山灰)	—	0.99	0.20	0.95
Soil C (路床土)	5.0	1.0	0.30	1.0
White Line	0.5	—	—	—

表-1 舗装体の構成材料の材料物性

なごとく、白線の下部で特に低く、ここでは全体に工環Aを覆うような等温線が見られる。タイプAとタイプBの構造の温度分布は外側線より外側におけるアスファルト層の厚さが異なるにもかかわらず、両者はほぼ同一とみてよいと思われる。しかし、タイプCの構造の温度分布は前二者のそれとは著しく異なり、全体に温度が低く、かつ深さ方向の温度勾配はゆるやかであり、雨水析け付近では温度が特に低い。これは雨水析けを介して側方から冷気が入り込みやすいためであると考えられる。タイプAおよびタイプBの路肩部の温度分布はともにほぼ同じとなるが、舗装端部の等温線は縁石の有無により若干の形が異なる。

b. 非定常状態における温度分布

図-1に示すように一定温度(初期温度)から外気温は急激に下降する。この途中における各舗装モデルのアスファルト層内の温度分布は図-3～5に示したものとほぼ同一形状で、各等温線の温度のみが低い状態となる。しかし、16時間経過したところでは外気温が急に上昇するため、この時間と境にして各温度分布は著しく異なる。本報告では20時間経過したとき、各舗装モデル内のアスファルト層に生ずる温度を求めた。(図-6～8)

中心線付近における温度分布は舗装モデルに依存せずほぼ同一であるが、外側線の白線付近の温度分布は各モデル毎に著しく異なる。ここでタイプAおよびタイプBの構造のアスファルト層内の温度は比較较早く上昇するのに対して、タイプCのそれはかなりゆっくりした変化となる。しかし、いずれも外側線の白線より中心線側のアスファルト層の温度はむね温度変化に対する遅れ、低温の溜りが内部に生ずる。

路肩部においてはタイプAの構造の温度分布が均一なものになるのに対して、タイプBのそれは前者のアスファルト層より厚いために、内部に低温の溜りが生ずる。しかし、表面近くの温度分布はほぼ同一と考えてよいと思われる。

4. 結論

以上より得られた結論を要約すると以下のとおりである。

1. 同一の温度変化に対しても舗装体内部の温度分布は構造により著しく変化する。
2. 温度分布はアスファルト層の厚み、縁石、雨水析および白線の存在などにより著しく異なる。
3. 中心線の白線付近の温度変化は他の箇所より大きい。
4. 温度下降が続いた後に急に温度上昇になるとアスファルト層内に低温の溜りが生ずる。
5. 各舗装構造における温度分布は異なるものの温度差はわずかである。
6. 本研究結果と現場における温度測定値との関連および温度応力との関係についても検討する必要がある。

本研究の計算にあっては計算機FACOM 230-75を使用した。ここに感謝の意を表す。なお計算は北大大型計算機FACOM 230-75を使用した。

参考文献

1. 森吉、深井、菅原；舗装体内部の温度分布に関する研究、土木学会北海道支部論文報告集、第3号、1977年
2. 須川、森吉、菅原；アスファルト舗装の熱的性状に関する研究、土木学会第30回年次学術講演要録、第3部