

舗装体内部の温度分布に関する研究

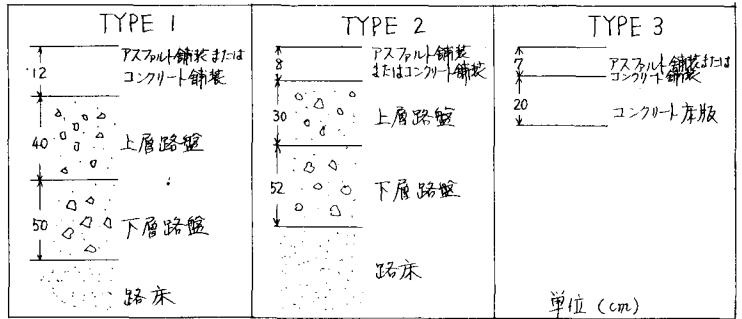
北海道大学 正員 ○森吉昭博
 同上 正員 深井一郎
 同上 正員 菅原照雄

1. まえがき

アスファルトならびにコンクリート舗装は車輛および外気温の変動により舗装体内部に各種の応力が生ずる。前者は高温領域でわだかま現象、また比較的低温の領域では疲労破壊を生ぜしめる要因であるのに対し、後者は低温領域で舗装に横方向の亀裂を生ぜしめる主な要因の一つである。本報告はこの後者の場合で外気温の変動が舗装体内部の温度分布に及ぼす影響を与えるかについて検討したものである。解析手法は先の報告と同じ有限要素法を用い、外気温として昭和51年11月10日から昭和52年3月12日までに実際に足寄で観測された日平均気温(ほぼ0°C以下)を使用した。解析モデルは図-1に示すような3種の舗装構造である。いずれも土壌の凍結は考慮せず、アスファルトおよびコンクリートの各舗装表面の熱伝達率は5 kcal/m²・hr・°Cの同一の値を使用した。

図-1におけるタイプ1の構造は一般国道を、タイプ2は道道、またタイプ3は橋梁部上の舗装を各々対称としている。各舗装構造の標準材料として上層路盤は切込砂利を、また下層路盤としては火山灰をそれぞれ想定している。これらの標準材料の物理定数は表-1の枠内の数字で示したものである。(表-2参照)

図-1 想定した舗装モデル



2. 解析方法

n層系の舗装体の熱伝導問題は次の一次元熱伝導方程式により表わされる。

$$\frac{\partial T_i}{\partial t} = \frac{k_i}{c_i \rho_i} \frac{\partial^2 T_i}{\partial x^2} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

各層の境界における条件は以下に示すとおりである。

$$-k_i \frac{\partial T_i}{\partial x} = -k_{i+1} \frac{\partial T_{i+1}}{\partial x} \quad (i = 1, 2, \dots, n-1)$$

ここで k_i , c_i , ρ_i , T_i はそれぞれ第 i 層の熱伝導率, 比熱, 密度および温度であり, t は時間である。また x 軸の原点は舗装表面にとりこれより深き方向を正とした。

図-1) のモデルにおいて一定温度となる深さ(不易層)は表-1に示すとく、タイプ1では表面より1.02 m, 1.5 m および 20 m とし、タイプ2では表面より1.5 m および 20 m とし、各々の深さにおいて3°Cとした。いずれのタイプも一定温度となる標準の深さは1.5 m とした。タイプ3の場合、舗装体は両面から冷却されるとして、上面および下面の表面熱伝達率は同一の値を用いた。

3. 計算結果および考察

1) 舗装のタイプと温度分布

図-2, 3, 4は一定温度までの深さが1.5 mで、表層材がアスファルトで路盤材料が標準材料のときの3種

表-1 舗装各層の物理定数

物理定数 材料名	熱伝導率 kcal/m・hr・°C	比熱 kcal/kg・°C	密度 g/cm ³
アスファルト	0.9	0.21	2.3
コンクリート	1.7	0.3	2.4
上層路盤	1.0 [2.1]	0.2	2.0
下層路盤	[0.99], 1.4	[0.2], 0.22	1.8, [0.95]
路床	1.0	0.3	1.0
一定温度までの深さ: 1.02, [1.5] および 20 m			
不易層の温度: 3°C			
表面熱伝達率: 5 kcal/m ² ・hr・°C			

の道路舗装内部に生ずる温度分布を示したものである。温度分布の計算はアスファルト層のみについて行い、アスファルト表面温度、中央部付近の温度および底部の温度を求めた。これらの結果は図-2~4の下方に描かれている。一方これらの図の上方には“表面温度と中央部付近の温度差”と“表面温度と底部温度との温度差”が示されている。

タイプ1と2の舗装構造の温度分布は両者同じような傾向にあるものの前者は後者よりも温度分布の幅が広く、アスファルト層が厚いために表面と底部の温度差が大きい。これに対しタイプ3の舗装構造の温度分布はタイプ1および2のそれらと異なり、舗装体内部の温度がほぼ均一であり、深さ方向の温度差がほとんどないといってもよいであろう。

筆者らの観察によると舗装体が横方向亀裂で生じたと思われるものはタイプ1と2に多い。これらはいずれも凍結指数が約800 day°C以上の気象条件で交通量が比較的小さい個所によくみられる。特にタイプ2の舗装構造ではタイプ1の道路よりも交通量は少ないものの、この亀裂現象はタイプ1よりも多いように思われる。一方橋の上の道路舗装部にはほとんどこの現象がみられない。この理由は図-2~4で舗装体内部の温度分布が異なることなども要因の一つと考えられる。現在横方向亀裂現象と凍結指数、舗装厚、施工年度、温度分布等との関係について調査を進めているのでいずれ発表したいと考えている。

2) 路盤材料のタイプと温度分布
図-5, 6はタイプ1およびタイプ

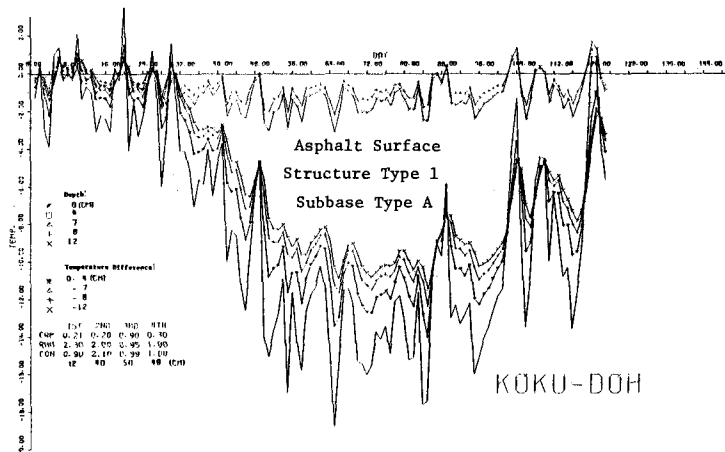


図-2 舗装構造タイプ1の温度分布

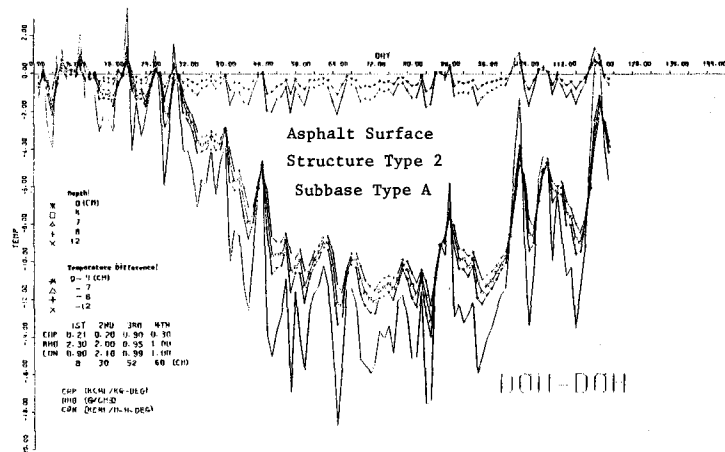


図-3 舗装構造タイプ2の温度分布

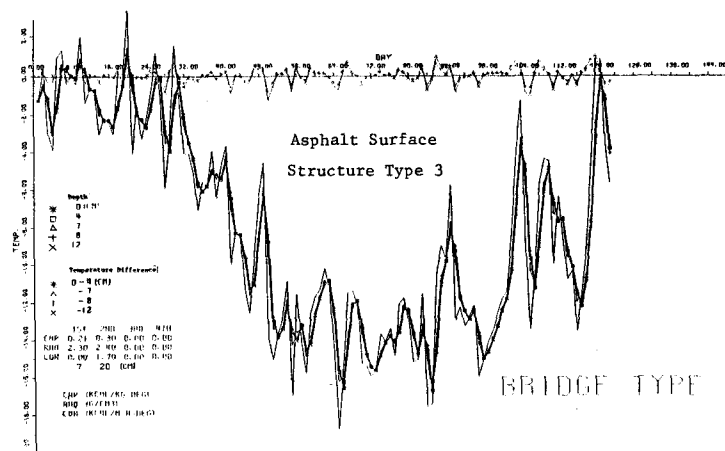


図-4 舗装構造タイプ3の温度分布

7°2の舗装構造で一定温度となる深さが1.5mで、表層材料及路盤材料が変化したときの表面温度と底部温度との差を48日目から88日目までの分を整理したものである。これらの図より、路盤材料が変化した場合より、表層材料が変化した場合の温度変化の方がより顕著であり、上層路盤および下層路盤の材料が変化してもこのときの温度分布は標準状態のそれとほぼ同一である。(図-2)

図-5において表層材料がアスファルトとコンクリートの場合標準状態で表面温度と底部温度との差は約1°Cであり、前者の方が大きい。タイプ2の舗装構造ではこの差は約0.5°Cとなる。(図-6)

図-7はタイプ1の構造で標準材料を用いた時、一定温度となる深さと表層材料が変化したときの表面温度と底部温度との差を示したものである。表層材料の性状に関係なく、一定温度となる深さが浅いほど表面温度と底部温度との差は大きくなり、表層がコンクリートの場合よりもアスファルトの方がこの差は大きくなっている。

図-8は図-7と同様にタイプ2の構造について検討した結果を示す。この場合もタイプ1の構造と同じように表面温度と底部温度との差は変化しているもののその動き幅はタイプ1のそれの約半分である。いずれの場合も一定温度となる深さが変化したときの表面温度と底部温度との差は路盤材料を変化したときのそれよりも大きい。

Burgess, Kopvillam, および Young は野外と屋内の実験結果から低温電裂現象が使用したバインダーのタイプに強く依存し、アスファルト処理層の厚さや路床のタイプとはあまり関係がないと示しながらも、野外調査ではこの現象が路床の質ならびに道路の高さと密接な関係にあることを報告している。ここで高盤上の路床では低盤上のそれよりも電裂現象が少なく、さらに岩石カットの路床ではさらに少ないことが確かめられている。これらの結果は本報告で得られた路盤材の性質より、むしろ一定温度となる深さが舗装体内部の温度分布と密接に関連しているという結果とよく似ていることは極めて興味深い。

3) 舗装の表層厚と温度分布

図-9は表層材料および舗装の構造を変化したとき舗装表面よりほぼ一定の深さにおいて表面温度と底部温度との差を示したものである。ここではすべて標

表-2 路盤材のタイプと物理定数

路盤材のタイプ	路盤名	熱伝導率 Kcal/m hr°C	比熱 Kcal/kg°C	密度 g/cm ³
(標準) Type A	上層	2.1	0.2	2.0
	下層	0.99	0.2	0.95
Type B	上層	1.0	0.2	2.0
	下層	0.99	0.2	0.95
Type C	上層	2.1	0.2	2.0
	下層	1.4	0.22	1.8

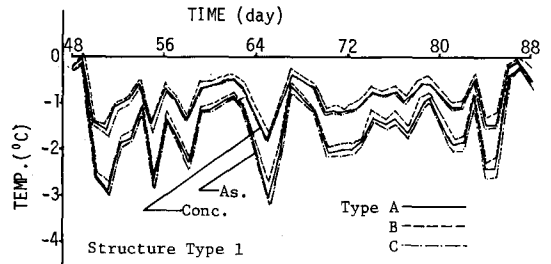


図-5 表層材および路盤材が温度分布に与える影響

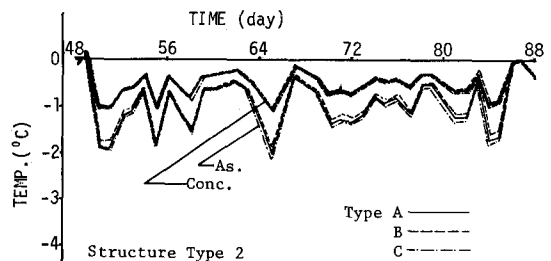


図-6 表層材および路盤材が温度分布に与える影響

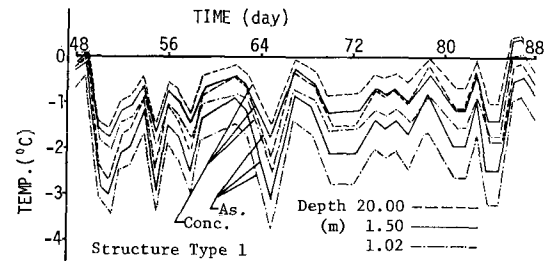


図-7 表層材および不凍層の深さが温度分布に与える影響

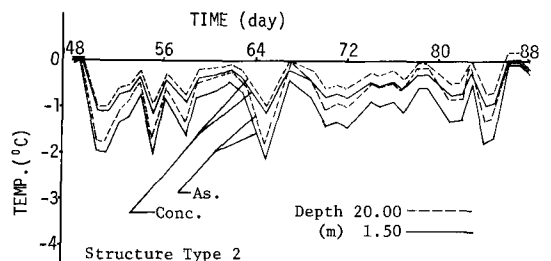


図-8 表層材および不凍層の深さが温度分布に与える影響

準状態のものである。タイプ1および2は表面から8 cm、タイプ3の舗装構造では表面から7 cmの深さにおいて表面温度とこれらの位置の温度との差を示している。3種のタイプの舗装構造で表層材料が変化したときの温度変化はアスファルトの方がコンクリートよりも大きいことはこれより明白である。またタイプ1とタイプ2では舗装構成の厚みが異なるにもかかわらず表面より8 cmの深さにおける温度変化は両者ほぼほとんど同一とみてもよいと思われる。これに対し、タイプ3の構造では舗装表面と舗装底部の温度はほぼ同一であり、前二者と対称的である。

Yangによる舗装体がコンクリートの場合、舗装体中に生ずる熱応力はスラブが厚いときは深さ方向の温度勾配と、また薄い場合は底部の温度変化と密接に関係しているとしている²⁾。

図-10は標準状態において表層材料がアスファルトの場合、49日目から51日目までの3種の舗装構造の内部に生ずる温度分布を示したものである。これよりタイプ1とタイプ2での温度勾配はほぼ同一と考えられるがタイプ3とこれらの温度勾配を比較すると前者が若干小さくなっている。

図-11は図-10と同様の処理を表面がコンクリートの場合について行ったものである。傾向はアスファルトの場合とほぼ同様であるが、コンクリート舗装の温度勾配はアスファルトのそれよりも著しく小さい。以上の計算では両者の表面熱伝達率は同一であると仮定しているので、表面の熱的性質の違いを考慮すると一層この差は大きくなることか予想される。

3. 結論

- 一般道路部の舗装体内部の温度分布は表層材料の性状よび一定温度となる深さと密接な関係にある。
- 一般道路部の舗装体内部の温度分布は路盤材料の性状が変化してもほとんど変化しない。
- 橋梁部の舗装体内部の温度分布は深さ方向にほぼ均一である。
- 一般道路部で舗装厚が異、ても表層の温度分布はほぼ同一である。
- 一般道路部と橋梁部の舗装体内部に生ずる温度分布は両者全く異なる。
- 今後さらに種々の条件について温度分布を求め実測値とのつき合せを行う必要があらう。

本研究の数値設定に於て開発局の文彦宏氏、また計算にあつては葛葉慎、須川賢次両君の協力を得た。ここに感謝の意を表する。なお計算は北大大型計算機 FACOM 230-75を使用した。

参考文献

- International Conference of the Structural Design of Asphalt Pavements, vol II, London, 1972
- Design of Functional Pavements, McGraw Hill, Yang

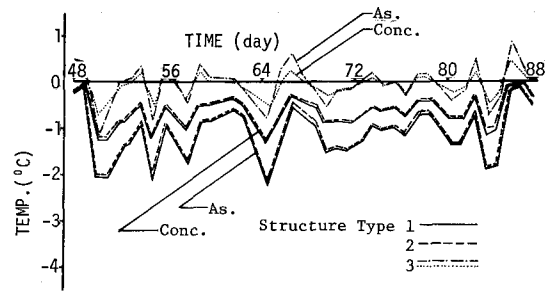


図-9 表層材料よび舗装構成が温度分布に与える影響

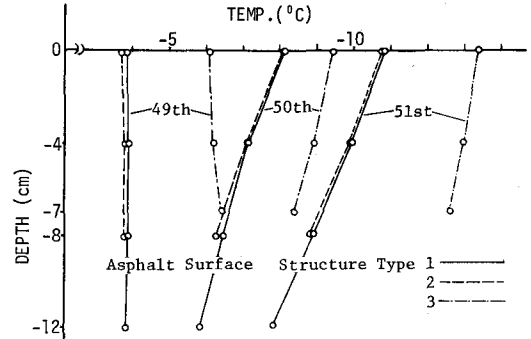


図-10 3種の舗装構造の温度分布(アスファルト)

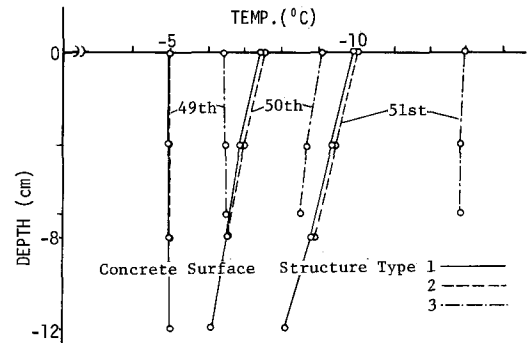


図-11 3種の舗装構造の温度分布(コンクリート)