

V—12 舗装体の二次元の熱応力に関する研究 (第7報)

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

1. まえがき

舗装体が外気温の変動により内部に熱応力を発生することはすでに報告した¹⁾。本研究は舗装体の内部に線状熱源 (通称ロードヒーティングケーブル) が挿入されて、ヒータが印加されたときにも舗装体に熱応力が発生することが予想されるのでこの点について検討した。特に橋面舗装のアスファルト層内にこの線状熱源が挿入され、ヒータが印加されると、外気温の変動による熱応力と相まって、この層の下部にあるコンクリート床版にもき裂が発生する可能性があると考えられている。従って本研究はこのような状態における熱応力解析を行うため、橋面舗装のモデルを想定し、これに外気温が変動した場合、ならびに一定の場合およびヒータが印加した場合等種々のケースについてアスファルト層ならびにコンクリート層内部に生ずる水平方向の熱応力ならびにせん断応力の各値について検討した。

解析の結果、外気温のみが変化する場合舗装体の内部にほとんど引張応力しか発生しないが、一方外気温が変動したり、外気温が一定の時にヒータが印加されるとこの両層には大部分圧縮応力が発生することが明らかにされた。

2. 解析法

横方向に無限の広がりを持つ舗装構造で線状熱源 (20 W/m) の間隔が 9.8 cm となる橋面舗装で図-1-a, b のような舗装構造モデルを想定し、これを小さな三角形に分割し、この構造に粘弾性理論を用いた有限要素法を適用した。入力として外気温は図-2 に示す2種を舗装構成材料の物性は表-1をアスファルト層の緩和弾性率は図-4 またこのシフトファクターは図-3 に示したものをそれぞれ使用した。この舗装体の温度分布は

アスファルト層 8 cm 、コンクリート層 20.8 cm 、スチール層 1.6 cm の舗装構造から表-1の物理定数と図-2の外気温を用い、この舗装構造の上下面はニュートンクーリング状態であると仮定して二次元熱伝導方程式において差分を用いて求めた。

図-2の外気温はB地区で昭和48年12月6日から7日にかけて観測されたものとK地区で昭和53年1月29日から30日にかけて観測されたものである。図-3, 4の緩和弾性率、シフトファクターの各値は道路用密粒度アスファルトコンクリート (5.8%) を用いた引張の応力緩和試験から求めたものである。なお図-4に示す実線は実験値を、また破線は

図-1-b 舗装構造の分割モデル

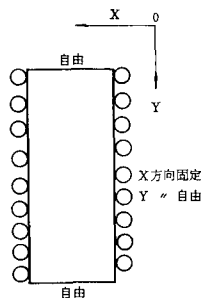


図-5 舗装の境界条件

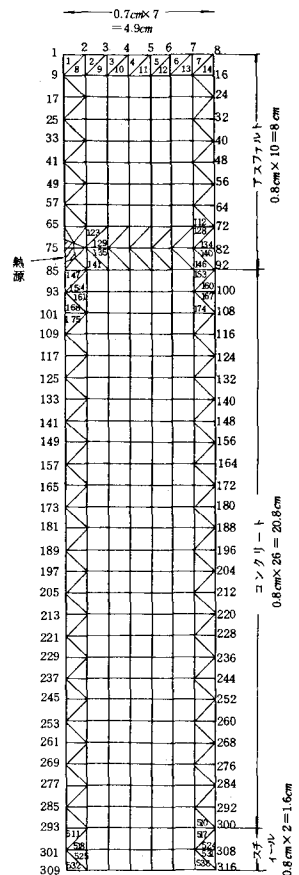


図-1-a 舗装構造の分割モデル

表-1 舗装体の構成材料の材料物性

物理定数 材料名	熱伝導率 (kcal/m hrC°)	比熱 (kcal/ KgC°)	密度 (g/cm³)	ポアソン比	弾性係数 (Kg/cm²)	線膨張係数 (1/C°)
アスファルト	0.8	0.21	2.2	0.35	$K=134615.4$	2.51×10^{-5}
コンクリート	1.8	0.25	2.4	0.2	3.0×10^5	1.0×10^{-5}
スチール	3.8	0.11	7.8	0.3	2.1×10^6	1.1×10^{-5}
ニクロム	1.3	0.11	8.51	0.3	2.0×10^6	1.32×10^{-5}

表面熱伝達率: $5 \text{ Kcal/m}^2\text{hrC}^\circ$
ヒータ熱発生率: 20 W/m

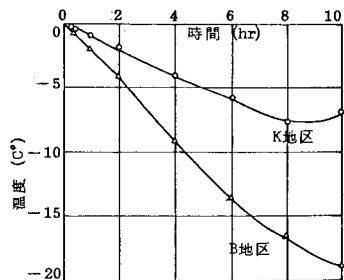


図-2 KおよびB地区の外気温

この曲線をProny級数

で近似したときの近似曲線をそれぞれ示す。

舗装構造の熱応力は2時間までは10分、20分および1時間という時間スケール毎に、またそれ以後は2時間毎に舗装体の内部温度をま

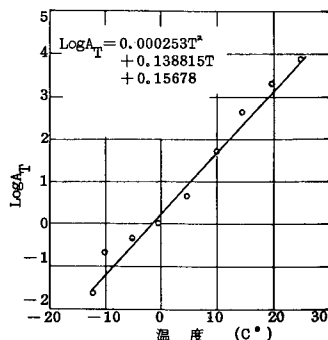


図-3 シフトファクターと温度との関係

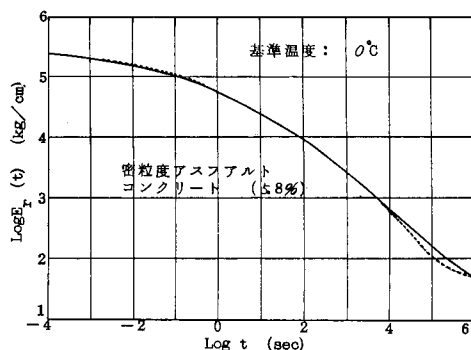


図-4 アスファルト混合物の緩和弾性率(測定値)とその近似曲線(点線)

ず計算し、この値を用い、アスファルト混合の応力・ひずみ関係が線形で、時間・温度の重ね合せが可能で、かつアスファルト層の体積弾性係数が一定で均質等方性物質であると仮定し、図-5の境界条件を考慮すると各三角形要素の釣合の方程式と全節点の変位から要素毎の応力を計算により求めることができる。¹⁾

3. 計算結果および考察

3.1 アスファルト表面の温度

図-6は各種の条件におけるアスファルト舗装の表面温度の時間経過を示したものである。これよりヒータに印加のないK地区の外気温のみのアスファルト表面温度は外気温の下降と似た曲線で下降する。

B地区のヒータの印加のある舗装体の表面温度は7.5時間で氷点下に達し以後次第にこの温度は降下する。一方K地区のそれと同じ条件の表面温度はヒータ印加後常に0°C以上の温度を保っており、外気温が-10°Cの一定時にヒータが印加されたとき10時間経過しても表面温度は0°C以上にならない。

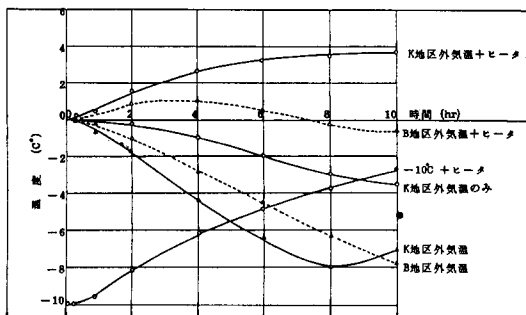


図-6 アスファルト舗装表面の温度

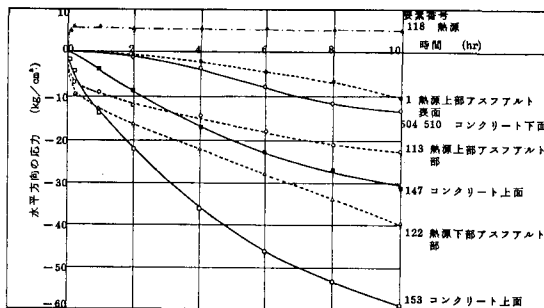


図-7 外気温が-10°Cの一定温度の時ヒータが印加された場合

3.2 水平方向の熱応力

図-7,11はコンクリート層上面、下面、熱源、熱源の上部および下部のアスファルト部およびアスファルト表面部の熱応力の時間経過を各状態別に示す。

3.2.1 外気温のみが変化した場合

図-8,10はKおよびB地区の外気温のみが変化し、ヒータの印加がない場合の熱応力を示す。コンクリート層の上面および下面の熱応力はいずれの場合も圧縮応力のみしか生ぜず、この値は外気温の低いB地区の方が外気温にほぼ比例して大きく、かつ上面よりは下面の方の熱応力が大きい。また熱源下部のアスファルト部には圧縮応力が、一方上部には引張応力が若干発生するが、これらの値はコンクリート部に生ずる熱応力よりもいちじるしく小さい。

3.2.2 一定温度の外気温のもとでヒータが印加された場合

図-7は外気温が -10°C の一定温度のヒータが印加されたとき生ずる各部の熱応力の値の時間経過を示す。引張応力が生ずるのはほぼ熱源部のみであり、アスファルト層およびコンクリート層にはいずれも圧縮応力しか作用しない。コンクリート底部の応力は熱源上部のアスファルト層上面のそれとよく似た応力となり上部の応力よりも著しく小さい。

3.2.3 外気変動時にヒータが印加された場合

図-9,11を比較するとコンクリート底部の応力がK地区では圧縮であるのに対し、B地区では引張であり、それ以外の各部の応力の値は差こそあれほぼ同様の傾向にある。外気温のみが変動した場合と外気温が変動する時にヒータの印加がある場合を図-8~11で比較すると、熱源部はヒータの有無に関係なく常に少し引張応力が作用するのに対し、コンクリート層下部においてはB地区のように外気温が低くなると引張応力が、K地区のように少し高くなると圧縮応力がそれぞれ生ずる。

3.3 セン断応力

この舗装構造には熱源としてヒータが挿入されているため図-1の温度分布は一次元分布でなく二次元分布となる。このためこの舗装構造にせん断応力が働くことが予想される。

図-12~15はこの舗装構造で極大値のせん断応力を

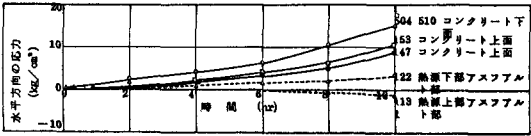


図-8 K地区の外気温のみが変化した場合の水平方向の応力と時間との関係

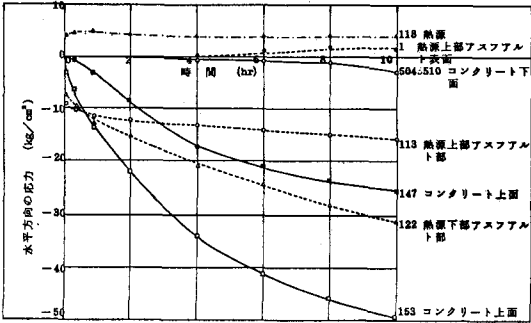


図-9 K地区の外気温変動時にヒータが印加されたときの水平方向の応力と時間との関係

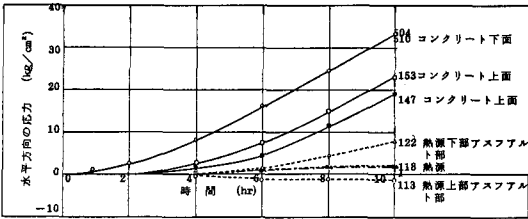


図-10 B地区の外気温のみが変化した場合の水平方向の応力と時間との関係

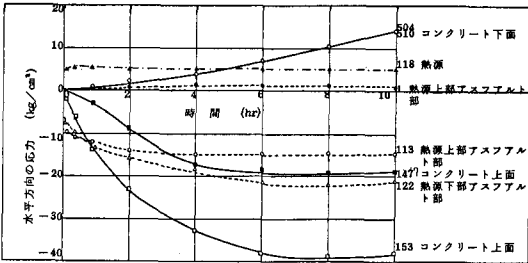


図-11 B地区の外気温変動時にヒータが印加されたときの水平方向の応力と時間との関係

示す箇所の時間経過を各状態毎に示したものである。図-12はB地区の外気温のみが変化したとき熱源下部のコンクリート上面に働くせん断応力を示す。この値は極大値でも 1 Kg/cm^2 程度であり、これをK地区について検討すると 0.6 Kg/cm^2 であり、両者とも著しく小さい。

図-13は外気温が -10°C の一定時にヒータが印加されたときのせん断応力を示す。アスファルト層の熱源上部および側部においてせん断応力は大きく、かつその増加率が大きい。一方コンクリート層の熱源下部に生ずる応力は時間の経過と共にほぼ一定値に近づく傾向にある。

図-14, 15は外気温の変動時にヒータが印加された場合の熱応力によるせん断応力を示す。これからせん断応力の値は必ずしも外気温の低いもの程大きくはならないこと、またコンクリートの熱源の下部の箇所に働く応力は外気温が変化してもほぼ同一であり、熱源付近のアスファルト部に生ずるせん断応力が外気温の変化により変化することは明らかである。

以上の結果を最大主応力で引張となるものの極大値を求めるとK地区の外気温のみの場合で 3.2 Kg/cm^2 、残りの状態は全て 1.4 Kg/cm^2 以下の値であった。

4. 結論

以上の結果を要約すると次のようである。

- 1) 線状熱源のヒータのみでコンクリート層内のひびわれ発生の危険性は極めて少ない。
- 2) コンクリート層下面には外気温変動のみでも過大な引張応力が生ずる。
- 3) 本研究の舗装構造体には外気温の変動のみの場合はおおむね引張応力が働き、外気温の変動時にヒータの印加があると圧縮応力が作用する。

以上理論解析から熱応力について考察したが、実際の橋についてこれらの実験を行い、裏付けを行い、これらの結果についてさらに検討する必要がある。

参考文献

- 1) 森吉、深井、菅原：舗装体の二次元の熱応力に関する研究（第6報） pp505~508、No37、1981、土木学会北海道支部論文集

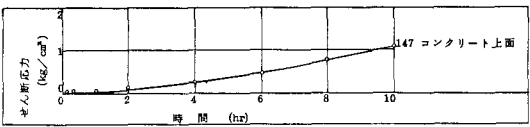


図-12 B地区の外気温のみが変化したときのせん断応力と時間との関係

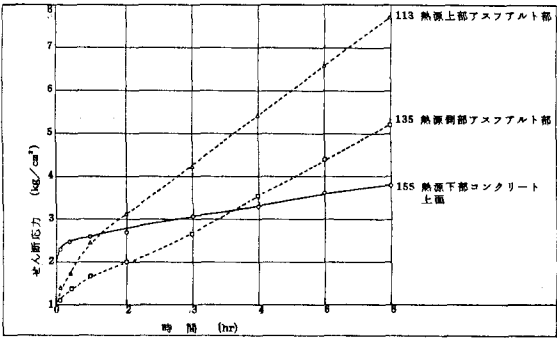


図-13 外気温が -10°C の一定温度のときヒータが印加された場合のせん断応力と時間との関係

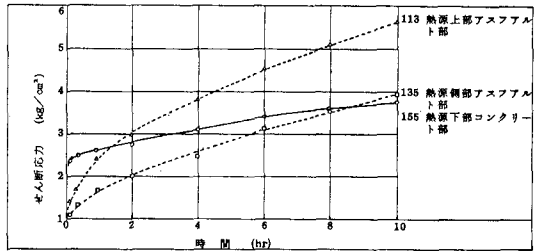


図-14 K地区の外気温変動時にヒータが印加された場合のせん断応力と時間との関係

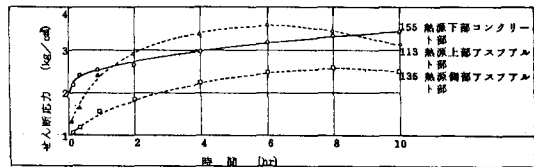


図-15 B地区の外気温変動時にヒータが印加された場合のせん断応力と時間との関係