

V-5 圧雪を冠したアスファルト舗装内部の温度推定法に関する研究

北海道大学 学生会員 元木 卓也
 北海道大学 正会員 姫野 賢治
 北海学園大学 正会員 武市 靖

1. 緒言

アスファルト舗装の破壊には、低温によるひびわれ、流動わだち掘れ、疲労ひびわれなど様々なものがあるが、そのどれもが舗装内温度あるいはその変化に直接または間接に関与している。しかしながら、積雪寒冷地域においては、路面が圧雪でおおわれたり、舗装内部の水分が凍結したり、あるいは除雪のため場所により堆雪深が異なるなどの特殊な問題が生ずる場合がある。本研究では、このうち圧雪を冠した場合のアスファルト舗装に着目し、その内部温度の推定を行うことを試みた。

2. 調査区間及び測定方法

本研究に使用した舗装温度データは、忠別の2車線道路で行われた試験舗装で測定したものである。試験舗装は、凍上対策を意識して、置換工法と断熱工法を採用した各々異なる2断面の、計4断面から構成されており、各断面の延長は5m、試験区間の総延長は20mである。置換断面と断熱断面の置換厚、置換率は、それぞれ表-1に示すとおりである。アスファルト舗装体内部の134箇所にTタイプ(C-C)熱電対を埋設し、データ取り込み機とマイクロコンピュータを組み合わせた自動計測システムにより、1時間間隔で舗装温度を計測し、R-80断面は、センターライン部に1箇所、両側の車線中央にそれぞれ1箇所、両側の路肩部にそれぞれ1箇所、計5箇所の深さ方向に、他の3断面(R-100、I-80、I-100)は、道路の片側3箇所の深さ方向に熱電対を埋設した。

また、アスファルト舗装体内の理論的な温度推定を行うには舗装外部からの熱の授受を定量的に知る必要があるが、そのための気象データとして、毎時間の大気温度、降水量、風速および日照時間の割合は、気象庁AMeDASによるものを使用した。日射量は、このうち日照時間の割合から理論式を用いて算出した。

3. アスファルト舗装内部の温度分布の推定方法

舗装内温度は、舗装内部の伝熱を支配していると考えられる熱伝導現象及び舗装表面や地中における熱伝達量を定量化することにより、実用上十分な精度で解析的に推定しうることが確認されている¹⁾。

しかしながら、本研究で対象とした積雪寒冷地域においては、冬季には舗装表面に圧雪の層が存在するため、圧雪についての伝熱特性を求める必要が生ずる。このうち、舗装表面に到達する日射量のうち舗装内部に吸収される割合である熱吸収率については、路面の汚れ具合など多少異なるが、過去の研究成果に基づいて0.30を採用した²⁾。

次に、大気と表面との間における熱量の授受が、両者の温度差に比例するとした場合の比例定数である熱伝達率について

は、室内実験によりこれを求めた。すなわち、図-1に示すように、内部および表面に熱電対を埋め込んだ圧雪供試体を作製し、これをおよそ-10℃及び-20℃の一定温度に養生した後に、室内を-5℃程度の一定温度に保ち、風速を1.5m/s、2.0m/s、3.6m/s、4.0m/s、4.5m/sの5段階に変え、1方向から扇風機による風を約90分間にわたって表面に平行になるように供試体にあてながら、熱電対位置での供試体内部の温度上昇または温度下降を測定した。このとき、供試体内部温度及び大気温度をそれぞれ $\theta(z, t)$ 、 $\Theta(t)$ (z :表面か

表-1 試験舗装区間の置換率と置換厚

	略称記号	置換率	置換厚
置換断面	R-80	80%	89cm
	R-100	100%	128cm
断熱断面	I-80	80%	57.3cm*
	I-100	100%	72.3cm**

*、**は断熱層下面までの厚さで、断熱層の上面では各々51cm、66cmとなる。

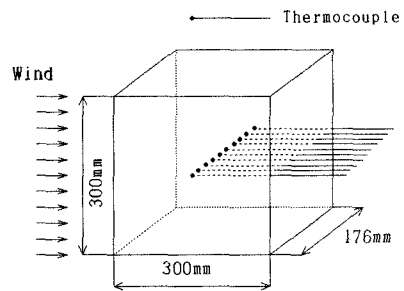


図-1 熱伝達率測定の際の圧雪供試体

らの深さ($0 \leq z \leq 176\text{mm}$), t :測定開始時からの経過時間($0 \leq t \leq 90\text{min}$)とすると、時刻 t 及び $t + \Delta t$ の間に単位体積あたり増加した熱量は、供試体表面において大気との間で伝達された熱量に等しいから、

$$\rho c \int_0^{z_1} (\theta(z, t + \Delta t) - \theta(z, t)) dz / \Delta t = \alpha (\theta(0, t) - \Theta(t) + (\theta(z_1, t) - \Theta(t)))$$

ここに、 θ : 供試体内部温度 [°C]、 Θ : 大気温度 [°C]、 ρ : 供試体の密度 [kg/cm³]、 c : 供試体の比熱 [J/(kg·K)]、 α : 供試体表面における熱伝達率 [W/(m·K)]、 z_1 : 供試体の厚さ [mm] が成り立つ。本研究では、 $\Delta t = 30\text{min}$ とし、離散型Simpson則を用いた数値積分によって熱伝達率 α を求めた。その結果、風速 w と熱伝達率 α の関係は図-2のようであり、その帰帰曲線は、

$$\alpha = 3.29 + 8.48w - 0.25w^2$$

となった。雪の熱拡散率については、理科年表及び参考文献より求めた。また、寒冷地用の混合物として使用されている細粒アスファルト混合物については、①個々の骨材の形状は楕円体で近似し得る、②バインダーはこの各骨材のまわりに一様な厚さで付着する、③転圧の結果各骨材は最短半径が鉛直になる方向に配向する、④熱はバインダーを通じて各骨材に達した後、各骨材の中心を通して流れ出で行くこと、などを仮定して定量化する既往の研究結果に基づいて解析的に求めた³⁾。

以上のような伝熱特性および気象条件を入力条件として、有限要素法によるマトリックス演算を行い、アスファルト舗装の内部温度の理論的解析を行った。

4. 解析結果及び考察

図-3はR-80断面(80cm置換断面)における舗装温度の実測値と本研究による解析結果とを比較して示したものである。これより、1日の気温変化が小さかったため、50cmより深いところでの実測温度変化も小さく、大きな変動はそれより浅いところで見られる。解析結果もこの傾向をよく表しているが、表面に近い部分では実測値と解析値の間に2~3°Cの相違がみられた。この誤差の原因は、日射量、風速などの気象データが1時間の平均値を利用しているため、実際細かい変動に対応

できていないこと、風速はわずかな場所の違いで大きく変動しうるのにAMeDASの観測地点のデータを用いざるを得なかったこと、舗装内部に生じうる水分の凍結・融解による潜熱の影響を考慮に入れていないことなどが考えられる。

5. 結言

温暖地域と同様、積雪寒冷地域で圧雪を冠している場合もアスファルト舗装内部の温度分布を理論的におおよそ求めることができた。さらにこの精度を上げるためには、気象データを正確に取り込むこと、舗装体内の凍結・融解による潜熱の影響を考慮に入れること、除雪の結果生ずる圧雪厚さの場所的な差を取り込むための2次元解析を行うことなどが必要であろう。

参考文献・・・1)姫野ほか：アスファルト舗装内部の温度推定に関する研究，土木学会論文集，No. 366，1986
2)武市ほか：路面積雪の熱伝導率と密度に関する研究，土木学会年次学術講演会，1988. 3)姫野ほか：異方性を考慮に入れたアスファルト混合物の熱拡散率の推定方法に関する研究，土木学会，年次学術講演会，1986

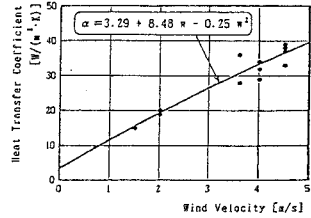


図-2 圧雪の風速と熱伝達率の関係

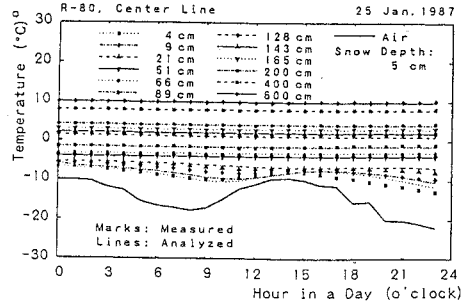


図-3 舗装体内温度の実測値と解析値