

熱収支解析による路面温度予測法について

金沢大学工学部

関平和

○伊藤太一

NEXCO 中日本高速道路(株) 金沢支社 西谷直人 中源達雄

1. はじめに

自動車の利用が増加する現代社会の中で、冬季において道路の路面凍結が原因で発生する事故が問題となっている。そこで、その冬季の雪氷対策が重要となっている。その対策として、路面の温度を予測し、凍結する前に凍結防止剤を散布し凍結を防ごうとする方法がとられている。これまでは測定結果の統計的整理に基づく経験的予測方法がとられてきているが、その方法では、急激な気象変動に対して適応できず、正確な路面温度の予測をしきれないのが問題としてあげられている。この問題を改善すべく、より精度の高い予測を行う方法として舗装体周囲の熱収支の関係から熱伝導解析解を導き、舗装体内の温度分布式を求め温度予測を行う方法を新しく提示する。具体的には、外部条件(外気温、日射量、土壌深部の温度)に対する事前予測データを基に、舗装体内温度分布の熱伝導解析解を用いて路面温度の予測を行うというものである。

2. 理論

2-1. 解析解の誘導

本解析手法の基礎となる伝熱モデルを図-1に示す。図-1より、舗装体内の熱伝導方程式、境界条件、初期条件を以下の通りに示した。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$$

$$z = l; \quad T = T_0(t)$$

$$t = 0; \quad T = T_i(z)$$

$$z = 0; \quad -K \frac{\partial T}{\partial z} = F(t) - U\{T - T_a(t)\}$$

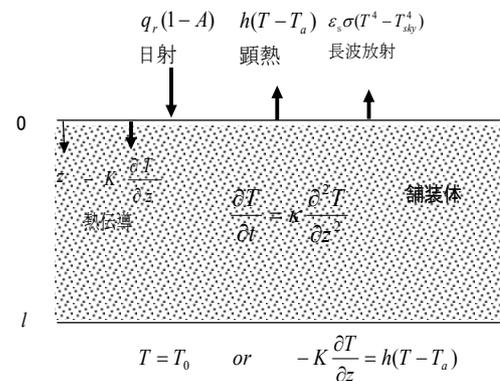


図-1 舗装体内の伝熱モデル

ただし、 $F(t)$ 、 U は $F(t) = q_r(1-A) - \epsilon_s \sigma(1-f_{pw})T_a^4$ 、 $U = h + 4\epsilon_s \sigma T_a^3$ とする。

z : 鉛直方向距離、 T : 舗装体内温度、 T_a : 外気温、 T_{sky} : 天空温度、 q_r : 日射量(日射熱流束)、 A : アルベド(反射係数)、 h : 顕熱伝達係数、 ϵ_s : 土壌表面の放射率、 σ : Stefan-Boltzmann 定数、 K : 舗装体の熱伝導率、 κ : 舗装体の熱拡散率、 T_0 : 舗装体底面温度、を表す。

この問題の解析解は Green 関数法により導かれ、その式を用いて予測プログラムを作成する。

2-2. 解析の手順

上記の解析解を用いての本研究における路面温度予測は次の手順で行う。

1. 計算を行うプログラムを作成し、解析において必要となる各種パラメータを放射熱量、温度、風速などの実測データに基づき算出する。
2. (財)日本気象協会が算出している冬期の気象予測データを外部データとして盛り込む。
3. 上記までに与えられたデータや解析パラメータから熱伝導の解析解の式に入力し、舗装表面から内部

の任意の位置における任意の時間の温度を算出する。

4. 予測した温度を実測値と比較する。予測値と実測値が一致するように外気温や日射量を補正する。何十日間ものサンプル日から補正係数の平均値を割り出し、その補正係数を用い再度計算する。
5. 4の工程を繰り返し行い、予測精度を高める。

3. 予測結果と考察

表面温度実測値と計算値の時間経過比較図の一例を、図-2、3、4に示す。なお、図-2、3、4は、それぞれ、土工部での観測時点における理論値と実測値の比較図、観測時点から1時間後の予測値と実測値との比較図、観測時点から2時間後の予測値と実測値との比較図である。

観測時点における理論値と実測値の比較図(図-2)ではほぼ一致した結果が見られた。1時間後の予測値と実測値の比較図(図-3)では、観測時点における結果(図-2)に比べると多少精度は低下するが、比較的一致していると言える。2時間後の予測値と実測値の比較図(図-4)では、気温の予測精度の低下の影響も加わって、日射量及び気温変動の大きい日中において予測精度が幾分か低下するものの、予測値と実測値とのずれはそれほど大きいものではないと考えられる。いずれの場合も、日射がなく、気温変動も小さい夜間では、予測値と実測値により一致が見られる。

全サンプル日(15日間分)の実測値と予測値の ± 1 、 2°C 内の的中率をまとめたものを表-1に示す。

日中の予測においては全体的に精度が低かったものの、2時間後の予測結果においても全体では8割方一致するといった良好な結果が得られた。ここには載せていないが、夜間のみの的中率は9~10割方一致するといった結果が得られ、本研究での予測手法がおおむね良好であるということが明らかになった。橋梁においても土工部同様またはそれ以上の結果になった。

表-1 土工部における的中率

区分	0時間	1時間	2時間
$\pm 1^{\circ}\text{C}$ 内 的中率	80%	71%	58%
$\pm 2^{\circ}\text{C}$ 内 的中率	93%	90%	81%

4. 結論と今後の研究方針

本研究で行った熱収支解析による路温予測手法で求めた路温は、日射の影響が少ない夜間や明け方を前提として、実用の域に達する精度まで求めることができる技術を確認したといえる。今後は、さらに3時間・4時間後までの予測精度を高めるための技術を考えていくことや、実際の現場において活用するために、データ等を独自に取り込み、路温を予測計算することができるようなプログラム及びシステムの構築が課題として残っている。

