

## 熱伝導論による高速道路路面温度予測法の検討

金沢大学自然科学研究科

○二條 崇 田中 孝治 関 平和

### 1. はじめに

北陸のような豪雪地帯では冬季の路面管理が毎年重要となっている。高速道路などでは降雪、路面の凍結が道路交通の安全を阻害している。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する方法がとられている。これまでは統計的な路面温度の予測を行ってきたが、これ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現状である。そこでより正確に予測するための方法が求められてきている。この問題に関し、当研究室では中日本高速道路株式会社とともに、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を求め温度予測を行う方法を検討してきている(伊藤, 2008)。今回、新たに予測精度を向上させる取り組みを行ったので、結果の一部を発表する。

### 2. 理論

#### 2-1 伝熱モデル

図-1 に舗装体内の伝熱モデルを示す。表面での熱収支、すなわち、境界条件は、日射、顕熱伝達、長波放射伝達を考慮して組み立てられる。この伝熱モデルの解析解は Green 関数法(Carslaw, 1959)を用いて誘導できる。ただし、 $z$ : 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、 $\epsilon_s$ : 土壌表面の放射率、 $\sigma$ : Stefan-Boltzmann 定数、 $K$ : 舗装体の熱伝導率、 $\kappa$ : 舗装体の熱拡散率、 $T_0$ : 舗装体底面温度を表す。

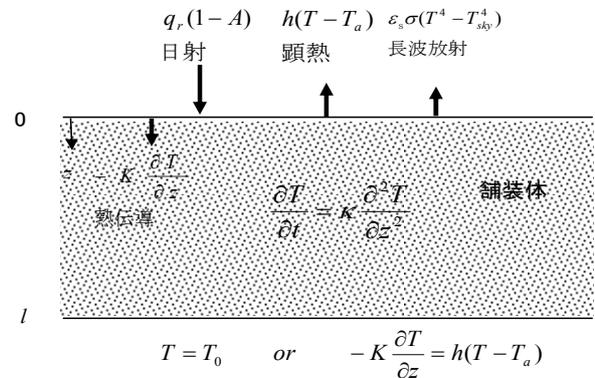


図-1 伝熱モデル

#### 2-2 解析解の妥当性の検討

舗装体内温度の解析解  $T(z,t)$  は適当な外界条件の数値を与えれば、路面温度の値を計算可能であり、外界条件を数時間後の予測値として与えることで、路面温度の数時間後の予測値も計算可能である。

まず、解析解の妥当性を検討するため、初期条件である路面温度と外界条件(ここでは、外気温、日射量、長波放射量)を測定し、それらを用いて、一日分の路面温度を計算した。図-2 に路面から 1cm 下での計算結果と路面温度実測値との比較に一例を示す。図からわかるように、計算値結果は実測値と良好に一致し、解析解に対し予測した外界条件(気温、日射量、長波放射量)を与えることで路面温度の予測が可能であるといえる。

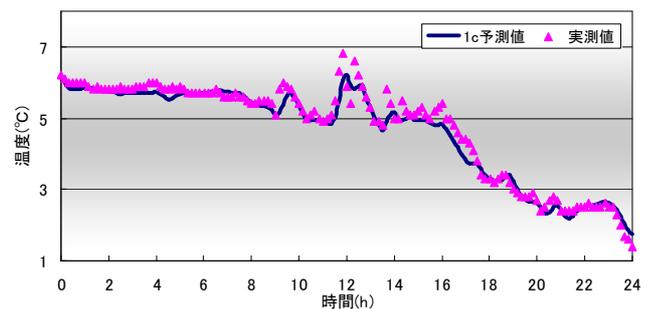


図-2 路面温度の実測値と計算値の比較

#### 2-3 路面温度予測

2-2で述べたように、外界条件である外気温、日射量、長波放射量を予測し、解析解に与えることで路面温度を予測できる。路面が凍結するかどうかを判定するために、数時間後の路面温度を予測する必要があるが、本研究では2時間後の予測をすることとした。外界条件の予測方法は以下に述べるとおりである。

i) 外気温

予測時点まで測定していた温度データから、その日の温度変化の上下の傾向を計算し、一日分の温度変化の近似と合わせて予測を行う。図-3にその概念図を示す。

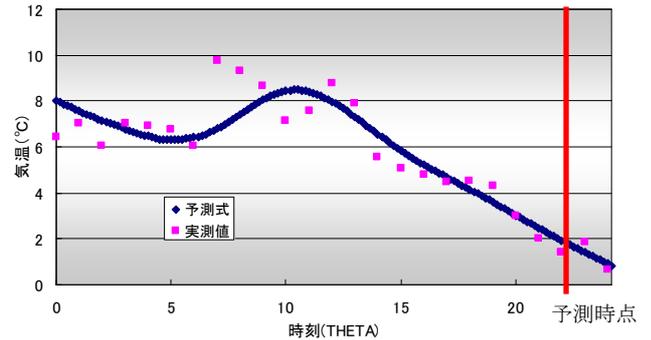


図-3 気温予測の概念図

ii) 日射量

予測時点の日射量と、その日の快晴時の理論日射量からその時点で相当する雲量を算出し、予測時間後までその雲量が変わらないものとして計算する。

iii) 長波放射量

予測時点における、天空からの長波放射に関するパラメータ（天空温度を外気温に見立てた場合の天空の見掛けの放射率） $f_{pw}$ を計算し、予測時間後までその値が変わらないものとして計算する。ここで、 $R_n$ :放射収支量である。

$$f_{pw}(t) = \frac{R_n(t) - (1 - A)q_r(t) + \epsilon_s \sigma T_a(t)^4}{\epsilon_s \sigma T_a(t)^4} \tag{1}$$

3. 結果

路面凍結の可能性が考えられる路面が湿潤状態の日をいくつか選定し計算を行った。予測は、路面が凍結する危険性のある夜間を中心に行い、1時から7時及び15時から24時の一時間ごとに算出した。以下に2時間後の路面温度予測結果と実測値との比較の一例を示す。

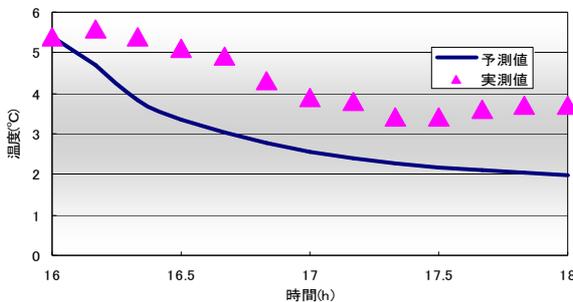


図-4 予測値と実測値の比較(16時—18時)

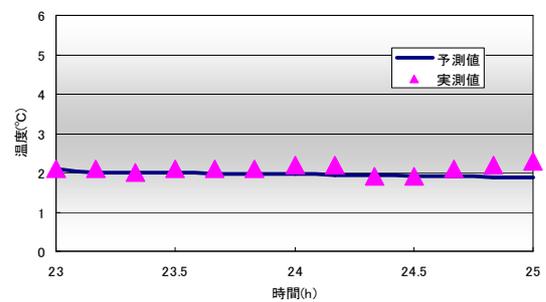


図-5 予測値と実測値の比較(23時—1時)

4. 考察

図-4は夕方予測であり、図-5は真夜中の予測である。全体として、夜間の予測結果は比較的正確であったが、朝方、夕方などの外界条件が変化する時間帯において予測精度が低下した。夜間であっても、外界条件の急変によって予測精度が低下するケースも見られた。予測精度が悪い場合の原因は、集約すると外界条件の予測が原因となるものと、解析解自体が原因となるものに分けられると考えられた。前者は、感度解析の結果、特に外気温が路面温度変化に及ぼす影響が強いと考えられるためより精度の高い外気温の予測が必要となる。

後者に関しては、解析解から計算した値自体は実測値に対して傾向は近いため、何らかの補正を行うことで改善が可能である。今後より多くのデータを蓄積し、補正の決定方法を検討してゆく必要があると考えられる。

引用文献

- 1) 伊藤太一, 2008, 熱収支解析による高速道路路面温度の予測方法に関する研究、金沢大学修士学位論文
- 2) Carslaw, H. S., and Jaeger, J. C., 1959, Conduction of heat in solids, 2nd ed., Oxford Univ. Press