

# 蓄熱材封入舗装の凍結抑制効果に関する基礎的検討

学生氏名 藤井 公嗣

指導教員 皆川 勝, 吉田 郁政

## 1. はじめに

寒冷な地域では、冬期に路面が凍結し、道路交通機能が低下する。北陸地方などでは冬期の日中の気温が比較的高いので、日中の熱量エネルギーを路面に蓄えて夜間に放出できれば路面は凍結しないと考えられる。近年、潜熱蓄熱材をマイクロカプセルに封入する技術が開発され、すでに福井市内の鋼床版橋などで、蓄熱材封入による鋼床版橋の凍結抑制技術として実用化されている。そこで、本研究では潜熱蓄熱材封入による舗装面の凍結抑制効果を検討した。

## 2. 潜熱蓄熱材による凍結抑制効果の予測

潜熱蓄熱材とは、小容量に多量の熱量を蓄えることができる効率的な蓄熱材であり、固体 $\leftrightarrow$ 液体へ相変化する場合に潜熱を吸放出する。代表的な潜熱蓄熱材としてパラフィン、ボウ硝系（硫酸ナトリウム十水和物）がある。この2種類の蓄熱材を用いた舗装の路面温度予測を行った。表-1に熱特性を示す。

シミュレーションの予測地点は富山県南砺市坪野とし、予測期間は2007年1月30日から2007年2月9日とした。また、この予測で用いた風速、日射量などのデータは富山県地方気象台の観測データである。また、比較に用いた富山県南砺市坪野地点の路面温度実測値は、富山県土木部道路課で測定されたものである。

## 3. 地表面における熱の収支<sup>2)</sup>

地表面の熱収支は日射、大気放射、対流顕熱、地表面での反射、潜熱とした。この地表面での熱移動で、温度 $T$ と深さ $X$ について式(1)の関係が成り立つ。

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial X} = G(1 - \alpha_r) + N_r + H_r \quad (1)$$

ここで、 $\lambda$ :熱伝導率、 $G$ :全天日射量、 $\alpha_r$ :地表面での日射反射率(0.04)、 $N_r$ :長波長放射、 $H_r$ :対流顕熱、である。長波長放射 $N_r$ は式(2)の山本・Bruntの式で求めることができる。

表-1 予測に用いた潜熱蓄熱材の熱特性<sup>1)</sup>

| 種別                           |                   | パラフィン   | ボウ硝系      |
|------------------------------|-------------------|---------|-----------|
| 熱伝導率                         | W/mK              | 0.16    | 0.99      |
| 熱容量<br>MJ/(Km <sup>3</sup> ) | 固体                | 5       | 6.4       |
|                              | 凝固                | 103.1   | 83.7      |
|                              | 液体                | 1.8     | 7         |
| 凝固開始                         | °C                | 3.5     | 6.3       |
| 凝固終了                         | °C                | 2       | 0         |
| 液化開始                         | °C                | 3.6     | 7         |
| 液化終了                         | °C                | 4.9     | 11        |
| 密度(固体/液体)                    | kg/m <sup>3</sup> | 810/770 | 1460/1330 |
| 比熱(固体/液体)                    | J/gK              | 1.8/2.1 | 1.9/2.9   |
| 価格                           | 円/kg              | 約 6000  | 約 1680    |

$$N_r = \varepsilon_r \sigma \{T_r^4 - T_k^4 (0.51 + 0.066e^{\frac{1}{T_k}})\} \quad (2)$$

ここで、 $\varepsilon_r$ :路面の放射率(0.9)、 $\sigma$ :ステファンボルツマン定数( $5.667 \times 10^{-8}$ )、 $T_r$ :路面温度、 $T_k$ :気温、 $e$ :水蒸気圧である。顕熱 $H_r$ 式(3)で、 $h_j$ はユルゲスの式で求めることができる。

$$H_r = h_j (C_r + C_c \cdot S_c \cdot \eta_c) (T_r - T_k) \quad (3)$$

$$U \leq 5 \quad h_j = 3.95U + 5.8, \quad U \geq 5 \quad h_j = 7.13U^{0.58}$$

ここで、 $h_j$ :対流熱伝達率、 $U$ :風速、 $C_r$ :路面と空気間の熱伝達率( $18[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ )、 $C_c$ :蓄熱材と空気間の熱伝達率、 $S_c$ :路面単位面積当りの蓄熱材表面積、 $\eta_c$ :蓄熱効率(0.4)である。蓄熱材封入路面温度は式(4)で求めることができる。

$$T_c = \frac{\rho_r c_r S_r}{\rho_c c_c S_c} (T_r - T_r^{n-1}) + T_c^{n-1} \quad (4)$$

ここで、 $T_c$ :蓄熱材温度、 $\rho_r$ :路面の密度( $920[\text{J}/\text{kgK}]$ )、 $c_r$ :路面の比熱( $2378[\text{kg}/\text{m}^3]$ )、 $S_r$ :路面単位面積当りのアスファルト表面積、 $\rho_c$ :蓄熱材の密度、 $c_c$ :蓄熱材の比熱、である。

$G, T_k, e, U$  のパラメータは実測の時系列を用いた。また、式(1)の非線形方程式を路面温度について解くにあたっては、ニュートン・ラプソン法を用いた。

#### 4. 結果と考察

舗装表面温度の実測値と予測値を比較したものを図-1に示す。2月5日以降はほぼ一致しているが、1月30日から2月4日まででは一致していない。この誤差は1月30日から2月4日まで降雪または降雨があったが、本研究のシミュレーションでは降雪または降雨の影響を考慮していないことによる。快晴の続いた2月5日以降は実測値と予測値はよく一致している。

舗装表面温度の実測値とパラフィン封入舗装の封入割合毎表面温度予測値を比較したものを図-2に示す。5割以上は2月6日などで氷点下を上回り、路面凍結が緩和されているのが分かる。

実測値との低温側での最高温度差は4割, 5割, 6割, 8割でそれぞれ, 4.1°C, 7.1°C, 9°C, 11.5°Cとなっている。これを材料費(アスファルト合材単価:約10000円/t)で割ったものを図-3に示す。封入方法などを決定していないので正確な材料費ではないが、目安として5割から6割の間で封入するのが効果的であると考えられる。

図-4には舗装表面温度の実測値とボウ硝系封入舗装の表面温度予測値を比較したものを示す。ボウ硝系はパラフィンと比べて潜熱量が大きく、コストも安価になると見込まれるが、融解温度が11°Cと高く、昼間十分に潜熱蓄熱できず、パラフィンほどの効果が得られなかった。比較的暖かい3月ではボウ硝系の方がパラフィンより効果的であると考えられる。

シミュレーション予測により、潜熱蓄熱材を封入した舗装は低温時の路面温度が上昇するという結果が得られた。また、パラフィン封入舗装の路面温度予測では凍結抑制効果もみられた。しかし、蓄熱材を封入する舗装を実用化するにはコストがかかりすぎるため実用化には蓄熱材を安価に路面に封入する技術、もしくは、安価な蓄熱材の開発が必要だと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 関信弘:蓄熱工学, 森北出版, 1995.12.
- 2) 岩井裕, 大村高弘, 小林健一, 富村寿夫, 羽田光明, 平澤茂樹:熱流体のシミュレーション, 丸善, 2005.3.

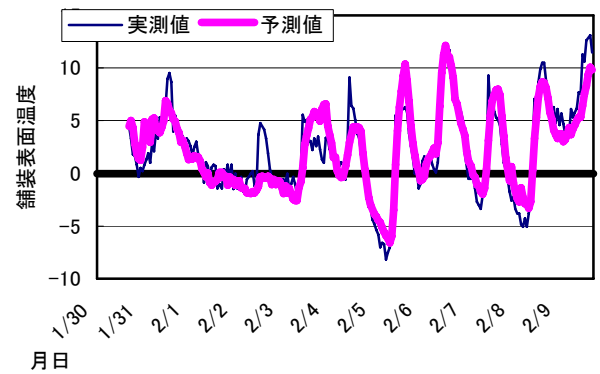


図-1 舗装表面温度実測値と予測値の比較

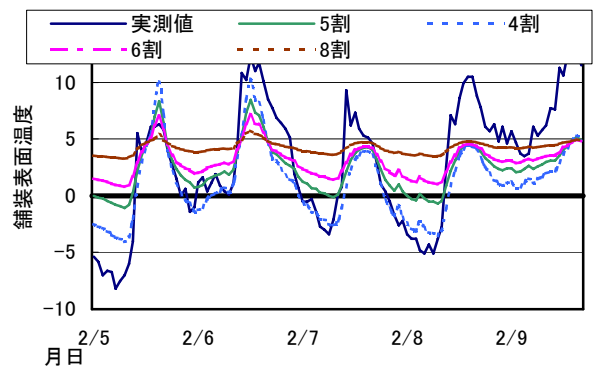


図-2 パラフィン封入による効果

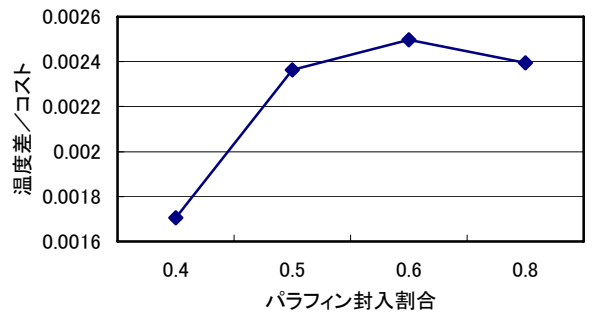


図-3 パラフィン封入割合の目安

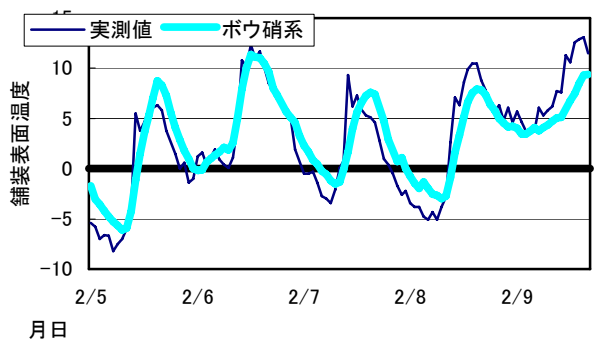


図-4 ボウ硝系封入による効果