

無散水融雪舗装体の熱移動解析モデル

福井大学大学院 学生員 中村 明子*

福井大学工学部 正会員 福原 輝幸*

1. はじめに

近年本格的な実用化が進む無散水融雪において、放熱管を有する無散水舗装体の熱的特性や融雪能力については、その複雑な配管に起因して、未だに不明な点が多い。特に地中熱のような温度レベルによる融雪能力を効率よく活用するためには、放熱管から舗装体への熱移動を正確に理解・評価しなければならない。

そこで本論では、兵庫県村岡町内の『道の駅八チ北』のチェーン脱着場に設置されている無散水融雪舗装体の温度データを用いて、その融雪能力を評価するための伝熱モデルを紹介する。

2. 無散水融雪舗装体理論

2.1. 矩形無散水舗装モデル

無散水舗装体中の放熱管の配置は、融雪が均一となることから Fig.1 のような双方向型である多重並行流式が採用されている。同図は多重並行流式の配管を示したものであり、放熱管入口地点(A)から折り返し地点(C)までを『行き放熱管』、(C)から放熱管出口地点(B)までを『帰り放熱管』と呼ぶ。また 1～20 の数字は要素番号を表す。Fig.2 は Fig.1 に対応した放熱管内流体温度分布である。横断(z 軸)方向に隣接する要素に含まれる『行き放熱管』の d と e の流体温度差や『帰り放熱管』の b と c の間の流体温度差は、一つの要素内の『行き放熱管』の a と『帰り放熱管』の b、および『行き放熱管』の d と『帰り放熱管』の c の間のそれに比べて小さい。このことより隣接する『行き放熱管』の間、および『帰り放熱管』の間を横切る z 軸方向の熱フラックスを無視すると、Fig.3 に示すような両放熱管が並行に配置された矩形無散水舗装モデルに置き換えることができる。これは Fig.1 の舗装モデルを、 $\dots$ で仕切り、要素番号の 1 から 20 までは順番に連結させた舗装モデルであり、舗装幅は $2p$ (p :放熱管ピッチ)である。一方、従来提案されてきた Fig.4 のような一本の放熱管周りだけに着目した計算モデルでは、融雪能力を表現する流体温度と舗装温度の差は入口付近から出口付近に向かって減少することになり、舗装面全体が均一に融雪されるという事実と矛盾する。

2.2. 矩形無散水舗装モデルの定式化

Fig.3 のように分割された舗装体要素に含まれる放熱管を流れる流体の熱エネルギー収支式は、以下のように示される。

$$(\rho C)_w \frac{\partial T_{w(m)}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_w \frac{\partial T_{w(m)}}{\partial x} \right) - (\rho C)_w \frac{Q}{A} \frac{\partial T_{w(m)}}{\partial x} - \alpha (T_{conc} - T_{w(m)}) \eta_p \quad (m=1,2) \dots (1)$$

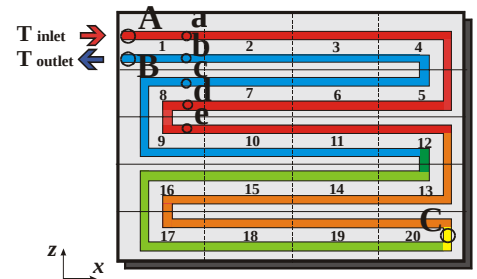


Fig.1 多重並行流式無散水舗装モデル

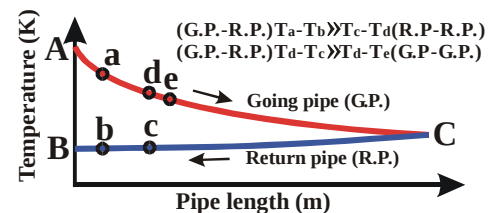


Fig.2 放熱管内流体温度分布

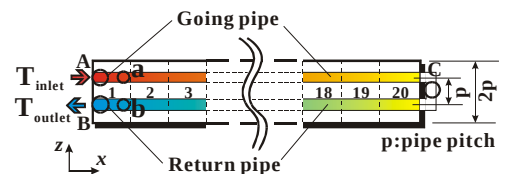


Fig.3 矩形無散水舗装モデル

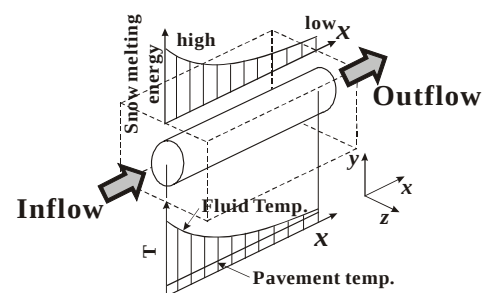


Fig.4. 単一放熱管伝熱モデル

キーワード 無散水融雪, 舗装, 熱移動

* 〒910-8507 福井市文京 3-9-1 TEL 0776-23-0500(2809)

FAX 0776-27-8746

また、放熱管を含む舗装体要素(放熱要素)の熱エネルギー収支式は、以下のように示される。

$$(\rho C)_{conc} \frac{\partial T_{conc}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_{conc} \frac{\partial T_{conc}}{\partial x} \right) + \eta_c \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_{conc} \frac{\partial T_{conc}}{\partial y} \right) - \alpha (2T_{conc} - T_{w(1)} - T_{w(2)}) \eta_d \cdots (2)$$

ここで、 $(\rho C)_w$:放熱管内流体体積熱容量(J/m³K)、 $(\rho C)_{conc}$:放熱要素体積熱容量(J/m³K)、 λ_w :放熱管内流体熱伝導率(W/mK)、 λ_{conc} :放熱要素熱伝導率(W/mK)、 $T_{w(m)}$:放熱管内流体温度(K)、 T_{conc} :放熱要素代表温度(K)、 Q :循環流量(m³/h)、 A :放熱管断面積(m²)、 α :放熱管と放熱要素間の熱貫流率(W/m²K)、 η_p :放熱管の体積に対する表面積の比、 η_c :放熱管を除く放熱要素の体積に対する放熱要素の体積の比、 η_d :放熱管を除く放熱要素の体積に対する放熱管表面積の比である。ただし、添字 m は $m=1$:行き放熱管、 $m=2$:帰り放熱管を表す。

3. 『道の駅ハチ北』の無散水融雪装置

『道の駅ハチ北』に設置されている無散水舗装パネル(以下融雪パネルと呼称)は 3(m)×2(m)×0.25(m)のコンクリート製であり、骨材には熱伝導率の高い珪石が使用される。放熱管は鋼管であり、内径 0.016(m)、融雪パネル一枚あたりの長さは 58.7(m)である。またピッチ 0.1(m)、被り厚 0.06(m)であり、融雪パネル上には厚さ 0.03(m)のアスファルト層がある。なお循環流量は 4(l/min)で一定である。

4. 放熱管と周辺コンクリート間の熱貫流率

放熱管と放熱要素間の熱貫流率 α は式(1)および式(2)において唯一の未知パラメーターである。そこで α は無散水舗装体の底部温度と最上部温度および放熱管入口水温の実測値を境界条件として計算された放熱管出口温度が、実測のそれを最良に再現できたときの値とする。なお計算期間は、気温が -0.7 ~ -1()で変化の小さい 1999 年 1 月 15 日の午前 0 時から午前 5 時の間とする。この期間の、計算結果は Fig.5 に示すように、 $\alpha=100(W/m^2K)$ のとき出口水温は良好に再現される。

5. 無散水融雪パネル温度および放熱管内流体温度

4. で述べたと同じ境界条件と $\alpha=100(W/m^2K)$ を用いて計算された放熱管を含む舗装体要素(放熱要素)温度の時間変化を Fig.6 に示す。放熱要素温度は、放熱管長に亘り等しいことから、舗装表面温度は全域に亘りほぼ等しいことが知れる。実際に舗装表面温度はほぼ一様であることをサーモグラフィーにより確認しており¹⁾、モデル構成の妥当性が示唆される。

Fig.7 は放熱管内水温分布の時間変化を示しており、水温は入口から出口に向かって指数関数的に低下する。

6. 結論

本論を通して以下の結論が得られた。

- (1) 無散水舗装体中の放熱管と放熱要素間の熱貫流率は 100(W/m²K)である。
- (2) 計算モデルにより融け斑のない融雪路面状況を提示することができた。

参考文献 1)小寺健太郎：地中熱利用による路面温度制御システムの評価解析，福井大学大学院平成 13 年度修士論文

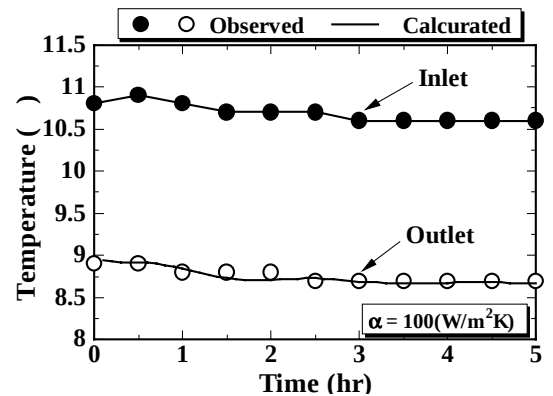


Fig.5 放熱管出入口水温

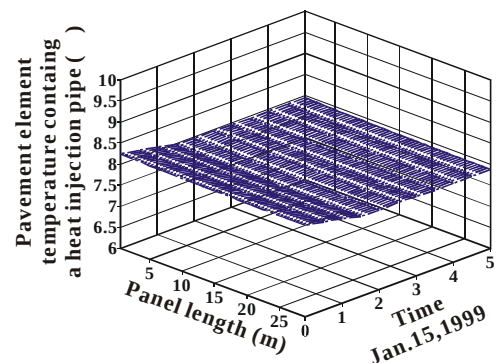


Fig.6 放熱管を含む舗装体要素温度分布

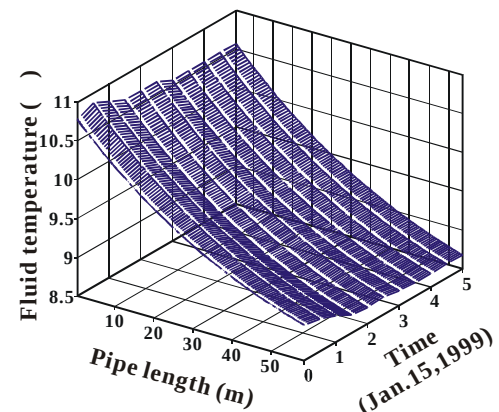


Fig.7 放熱管内流体温度分布