

放熱管方式での融雪能力に関する研究

福井県雪対策・建設技術研究所 正会員 宮本重信
同上 加賀久宣

1. はじめに

温水を埋設放熱管に流しての融雪では，その融雪能力を計算するに際して，円筒の放熱管と融雪地表面との熱抵抗を二次元の形状係数¹⁾から求めることが必要となる．筆者の一人らは，1本の放熱管の地表面等温での二次元形状係数を重ね合わせる方法で放熱管出口水温の計算が実測と一致するとした²⁾³⁾．しかし，重ね合わせるのは誤りで，放熱管間隔が15cmと大きく放熱管が約4cmと浅いことなどから誤差が小さくて実測値と一致したに過ぎない．一方，融雪地表面までの平均距離で簡易に求める設計法⁴⁾も行われている．この方法も円筒管径の大小を考慮せずに，一次元化する無理なものといえよう．そこで，二次元差分法により解析し，その結果を設計に使えるように簡便化することを試みた．

2. 雪で覆われている条件での解析とその結果

降雪強度が大きく路面が雪に常に覆われている条件で，放熱管外径温度を常に10℃として，定常となるまで熱伝導の式を差分法で計算した．地表面での放熱量は放熱管真上で大きく端に行く次第に小さくなるので，その平均値を求める．ここで，放熱管を深さ一定の無限平面に仮定し，その平均地表面放熱量に等しくなる深さを熱抵抗距離とした．この熱抵抗距離は，実用の範囲では，舗装の熱伝導率，放熱管温度，舗装下面の温度や熱伝導率に依存せず，放熱管の外径，埋設深，設置間隔に依存する．そこで，その3つのパラメーターを実際の使用範囲で変えて，それぞれの熱抵抗距離を求めた．例えば，埋設深5cm，放熱管設置間隔15cmで放熱管径を変えた熱抵抗距離を図-1に示す．これらの条件を変えた熱抵抗距離を一次線形で重回帰すると式⁵⁾が得られる．なお地表面への熱流束は式⁶⁾で得られる．

$$dt = 116d - 164Do + 40.1P - 0.80 \quad \text{———}$$

$$q = \lambda (Tp - Ts) / dt \quad \text{———}$$

dt: 熱抵抗距離(m) d: 放熱管埋設深(m) Do: 放熱管外径(m) P: 放熱管設置間隔(m)

q: 地表面での熱流束(W/m²) λ: 舗装の熱伝導率(W/mK) Tp: 放熱管の温度(℃) Ts: 地表面の温度(℃)

その結果が従来の方法とどの程度一致するかを検討した．横軸を差分法からの熱抵抗距離，縦軸を式⁵⁾と従来の方法での結果を熱抵抗距離に換算し，図-2に示した．図-2では，差分法での結果を実線で示したので，その実線からの乖離が各方法での誤差となる．これらから，形状係数を重ね合わせ方法は多くの場合かなり過小設計になること，平均距離での方法は比較的誤差が少ないが，放熱管外径が小さくて配管間隔が大きい場合などで過小設計になること分かる．そして，これらの方法に比べ式⁵⁾の方法は非常によく一致している．

図-3に埋設深5cm，配管間隔15cm，舗装熱伝導率3.0W/mK，放熱管外径1.7cmでの温度場と融雪能力を示す．

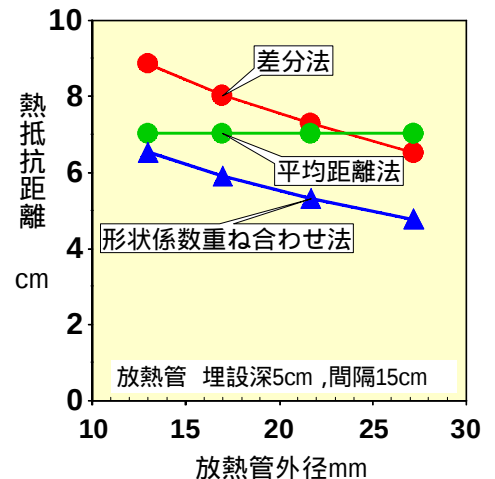


図-1 熱抵抗距離の計算例

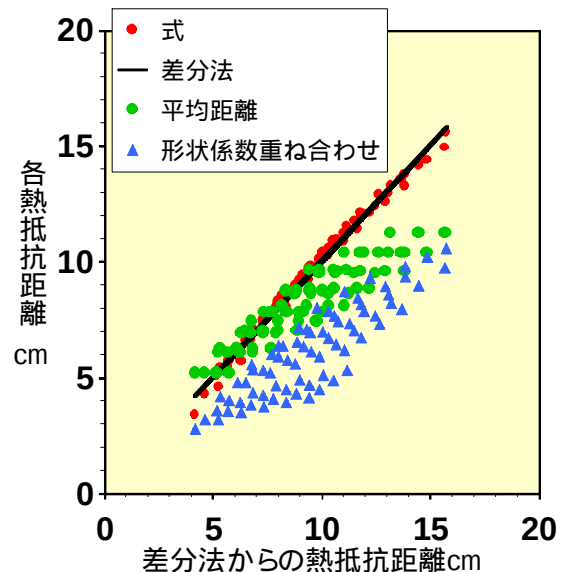


図-2 各方法での熱抵抗距離の誤差

キーワード：融雪，放熱管，差分法，形状係数，熱伝導

〒918-8108 福井市春日3丁目303 TEL0776-35-2412 FAX0776-35-2445

3. 融雪で路面の一部が露出する条件での解析とその結果

次に、路面の一部が露出する条件での解析を行った。0.5 均一の温度場からスタートし、降雪強度3cm/hが3時間降り続き、その後降り止む条件で、埋設深5cmでの3時間経過時での温度場と地表面の放熱量を図-4に示した。図-5に時間経過ごとの残雪深を示した。

対流などのロスは、設計で別に考慮されることから、全放熱量で比較すると図-3での平均320W/m²の放熱に対して図-4では306W/m²、約5%少ないに過ぎない。放熱管真上付近の地表で融雪負荷がなくなると、暖かい気温条件だと放熱されずに、放熱管より離れた位置にまで熱が回り込む。そのことで、放熱管から最も離れた75mmの位置での融雪能力280W/m²(図-4)は図-3より16W/m²多くなる。なお、この気象では306W/m²の内の285W/m²が融雪に使われている。より厳しい気象では全放熱量の差は更に少ないことから、対流などのロスを増やす必要はあるが、全面が雪に覆われている式(図-3)で熱抵抗を考えても問題がない。これは、配管間隔が比較的広い15cmの条件であるから、他のケースでも式を適用しても問題が少ない。なお、50mmの位置での放熱量が3cm/hの融雪熱量より大きいのは、前の時刻での残雪を含めて融雪していることによることが図-5から分かる。

次に、放熱管の埋設深さを浅くすると融雪能力がどの程度向上するかを示すため、図-5の条件で埋設深のみを1cm浅い4cmにしたケースの時間経過ごとの残雪深さを図-6に示した。図-5に比べて75mm位置での最大残雪深が1.3cmから0.86cmになるなど残雪は非常に少なくなっている。

なお、地表面での放熱のモデル式は文献⁵⁾によった。

4. まとめ

放熱管埋設方式融雪での放熱管から地表面への熱的な距離は放熱管の埋設深、設置間隔、外径をパラメータとする一次式で精度よく計算できる。放熱管を浅くに埋設することは、融雪能力を向上させる上で非常に効果的である。

文献

- 1) Robert V.Andrews:solving conductive heat transfer problems with electrical-analogue shape factors, Chemical Engineering Progress,Vol.51,No.2,pp.67-F~71-F.1955
- 2)宮本重信,藤野間幸英:放熱管方式道路融雪の解析と実測,第6回日本雪工学会大会論文集,pp.241-pp.248,1989.11
- 3)宮本重信:地下水を利用した節水型融雪システムの開発,土木学会論文集No.492/ -23,pp.78-86,1994.6
- 4)日本建設機械化協会編:新編防雪ハンドブック,pp.335,1977.12
- 5)宮本重信:鋼床版橋路面の蓄熱材封入凍結抑制法の数値シミュレーションによる効果,土木学会論文集No.595/ -39,pp.117-125,1998.6

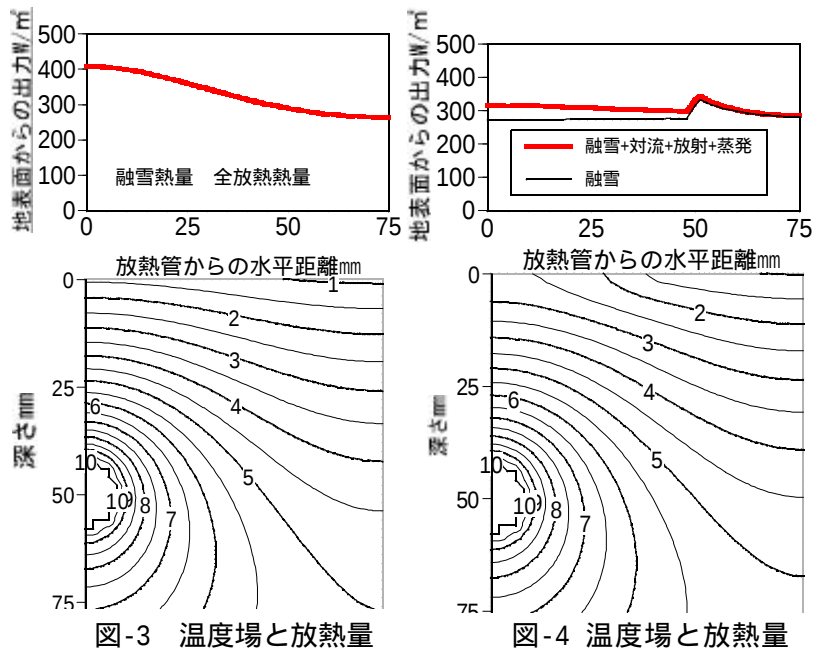


図-3 温度場と放熱量

図-4 温度場と放熱量

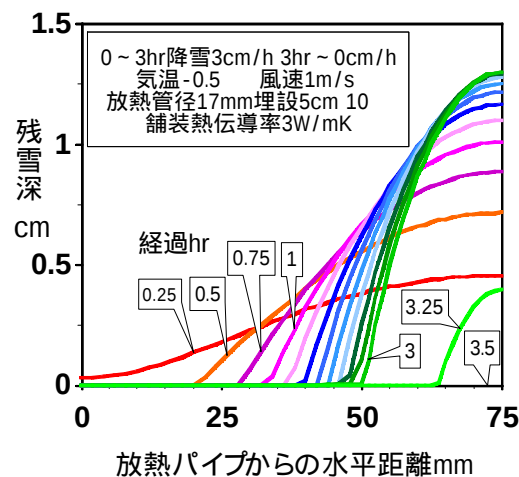


図-5 残雪深の経過

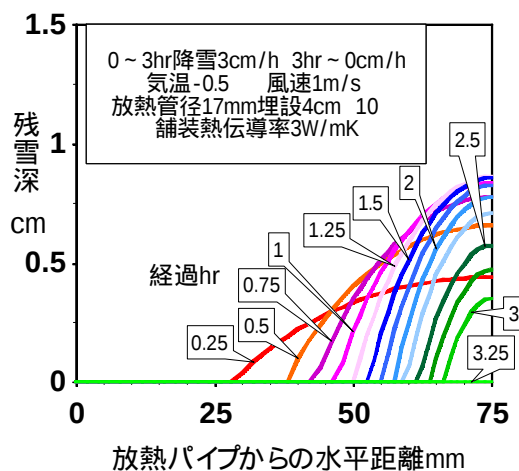


図-6 残雪深の経過