

冬期間の給水支援に係わる散水車の凍結防止について

浅野真周 千葉隆宏

1. はじめに

北海道開発局（以下に「当局」という。）は、道路清掃を目的とする散水車を全道各地に配置し、管理及び運用を行っている。散水車は、水の保管、運搬及び散水の機能を有しており、このうち、保管機能と運搬機能は、水道事業者等が運用する給水車と共通する機能であることから、当局は、平成17年度以降、地方自治体の支援を目的に、一部の散水車の仕様に給水機能を追加した。（写真-1）

当局が行う道路清掃は元々夏期に実施することから、散水車の仕様は、夏期の使用を前提としたものである。



散水機能

給水機能

写真-1 散水車を使用した道路清掃と給水支援

水道法第15条は、水道事業者等に対し給水義務を課し、又同条第2項は、災害その他正当なやむを得ない場合、給水の停止を認める。災害その他やむを得ない場合とは水質事故、施設事故等であるが、これらは発生の時期を予断できるものではないことを平成23年3月の東日本大震災による水道施設の損壊及び平成28年1月の九州北部をおそった記録的寒気による水道管の凍結及び破裂で相次いだ断水の事故等¹⁾は示している。これらはいずれも冬期の事故で、水道事業者は給水停止措置を講じている。

冬期間の給水支援を目的とする散水車の運用については、夏期の使用を前提とする仕様のままでは十分に期待できない。とりわけ、給水機能を構成する外部に露出した小口径（50A）管路及び弁類は、容易に凍結することが予測されるので、その凍結防止は優先されねばならないと思料する。

本稿は、平成23年度に国土交通省北海道開発局稚内開発建設部稚内道路事務所に配置された散水車（給水装置付）（以下に「散水車」という。）について、平成27年度に

行った給水機能の凍結防止対策と、平成27年度から平成28年度に行った当該対策の効果の確認及び自治体支援の運用実績についての報告を行うものである。

2. 凍結防止対策の概要

(1) 凍結防止対策の検討

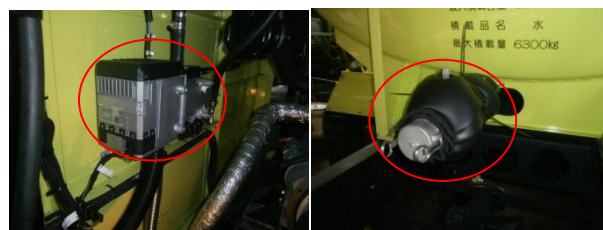
散水車の給水機能は外気に暴露しているため、保温と加熱を行う凍結防止対策とした。

保温は、発泡電子線架橋ポリエチレンフォームシートを厚さ20mmで配管等に巻き付けた。

加熱は、以下を条件とし、バス又はトラック等で一般的に使用される1.5kW以上の市販されている燃焼式暖房機を選定し、装備を行った。

- ・散水車の道路運送車両法に示す保安基準に変更が生じないこと。（質量及び容積）
- ・加熱の熱源は、散水車で使用する軽油の燃焼熱によるものとする。

燃焼式暖房機及び保温の諸元を表-1に示す。



燃焼式暖房機

保温筒

写真-2 使用した暖房機とシーリングされた保温筒

表-1 燃焼式暖房機の諸元

暖房機	軽油燃焼式暖房機
暖房能力	1.5～9.5kW
燃料消費量	0.18～1.2ℓ/h
消費電力	35～86W
質量	6.2kg
大きさ	331×138×174mm
保温材及び厚さ	発泡電子線架橋ポリエチレンフォーム 0.41W/m/K 20mm

(2) 保温方法と加熱方法（写真-2）

加熱は、燃焼式暖房機で発生する燃焼熱により温めた不凍液を循環させて弁類を対象とした。

保温は、発泡電子線架橋ポリエチレンフォームシートを20mm厚さで配管及び弁類を一様に覆うこととした。

(3) 燃焼式暖房機と保温筒の凍結防止能力の検討

本凍結防止対策について以下を条件として検討を行った。

- ・北海道の最低気温は、明治35年に旭川市で観測されたマイナス41.0℃=232Kを公式記録とすることから、この観測記録を外気温の下限の条件とする。
- ・管路は、水平直線状(50A×7m)とし、両端部は閉じたものとする。
- ・凍結防止は、0℃=273Kの水の液相状態の維持とする。
- ・暖房機に必要とする暖房能力は、無加熱で単位時間当たりに移動する熱量相当とする。

ここでは、簡易的に考えるために円管の熱収支を基に検討を行った。(図-1)

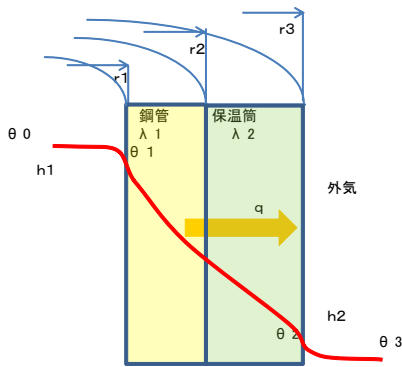


図-1 円管の熱伝導と熱伝達のモデル

一般に管路内外面と流体との間の熱伝達及び管路内部の熱伝達の現象により移動する単位時間当たり熱量qは、流体の熱伝達率をh、円管部の熱伝達率をλとして(1)式を得る

$$q(W) = \frac{-2\pi \cdot \ell \cdot (\theta_3 - \theta_0)}{\frac{1}{h_1 \cdot r_1} + \frac{1}{\lambda_1} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{1}{\lambda_2} \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) + \frac{1}{h_2 \cdot r_2}} \quad \dots(1)$$

(1)式は、境界条件として管表面温度θ₁及びθ₂を所与とし、熱伝達率hについては無限大又θ₁=θ₀、θ₂=θ₃を仮定すると²⁾

$$q(W) = \frac{-2\pi \cdot \ell \cdot (\theta_3 - \theta_0)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{1}{\lambda_2} \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)} \quad \dots(2)$$

なり、図-2に示すフーリエの式(法則)の熱伝導現象だけとなる。

(2)式は暖房機に求める単位時間当たりの熱量と保温筒の関係を示す。

温度差以外の変数に関する関係式は、熱通過抵抗Rと呼

ばれ、(3)式にこれを示す。

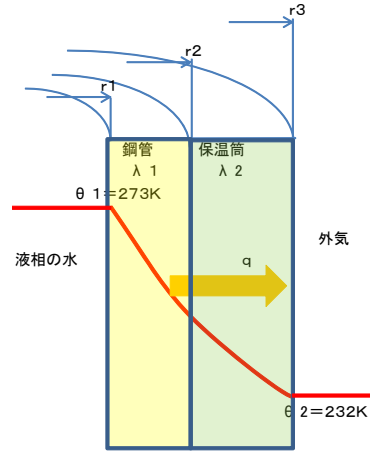


図-2 円管の熱伝導モデル

(3)式に物性値を代入し(4)式を得る。

$$R(K/W) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \ell} \left(\frac{1}{\lambda_1} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{1}{\lambda_2} \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) \right)$$

$$= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \ell \cdot \lambda_2} \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) \right) \quad \dots(3)$$

$$= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \ell \cdot \lambda_2} \left(0.01392 + \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) \right) \quad \dots(4)$$

・物性値を表-2に示す。

表-2 物性値

鋼管の熱伝導率λ ₁	53 (W/m/K)
保温筒の熱伝導率λ ₂	0.41 (W/m/K)
鋼管の内径r ₁	0.02675 (m)
鋼管の外径r ₂	0.03025 (m)
鋼管の長さℓ	7.0 (m)
保温筒の外径r ₃	0.05025 (m)
管内面温度θ ₀	273 (K) = 0 (°C)
管外面温度θ ₃	232 (K) = -41 (°C)

上記を条件とする凍結防止を目的とする燃焼式暖房機的能力は、1.5kWとする結果を得た。

なお、同一条件で保温筒を巻かない場合(r₃=r₂)燃焼式暖房機的能力は、777.0kWとする結果となった。

鋼管の外半径+保温筒厚r₃と熱通過抵抗Rの関係から、r₃と必要とする暖房機の単位時間当たりの熱量qについては、図-3に示すとおり背反的な関係にあることを確認できた。

本凍結防止対策の暖房機は1.5kWから9.5kWの暖房機を選定したが、本検討の条件下においては1.5kWの暖房能力を認めるところであり、本機を選定は十分であることを確認する。

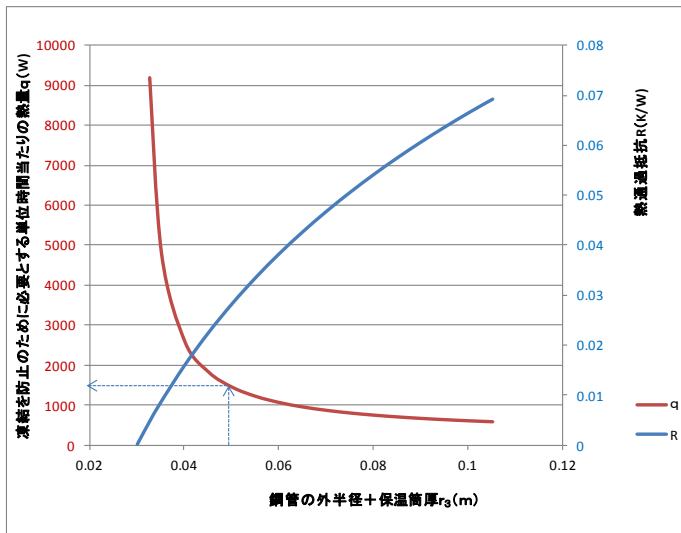


図-3 凍結防止に必要なとする熱量と熱通過抵抗

2. 試験

(1) 試験の概要

試験については、冬期における保管及び運搬を想定した試験とした。

試験は、当局管理の豊富除雪ステーション及び高規格幹線道路を使用し、試験を行った。(図-4)

凍結防止の評価は、暖房機から出入りする不凍液の温度変化の測定などから求めるべきではあるが、測定を行う計装を装備していないため、給水機能端部の止水弁を開放し、放出される水の温度を測定することとし、効果を確認することとした。



図-4 試験場所

試験の概要を以下に示す。

●日時

○運搬試験

平成27年3月6日 14時30分から16時30分

○保管試験

平成28年3月5日 17時00分から05時00分

●場所

○運搬試験

高規格幹線道路(豊富・幌富バイパス)

○保管試験

稚内開発建設部稚内道路事務所豊富管理ステーション

●試験方法

○運搬試験

散水車の水タンクに水2000ℓを注入し、及び燃焼式暖房機で弁類の加熱を行いながら保管し、散水車を2時間走行させた。

不凍液の温度設定を $20^{\circ}\text{C}=292\text{K}$ とした。

○保管試験

散水車の水タンクに水3000ℓを注入し、エンジンを停止し、及び燃焼式暖房機で弁類の加熱を行いながら保管し、12時間外気に放置させた。

不凍液の温度設定を $20^{\circ}\text{C}=292\text{K}$ とした。

(2) 運搬試験

運搬試験の結果を表-4に示す。

表-4 運搬試験結果

計測時刻	気温(°C)	放水水温(°C)	温度差(°C)
14:30	-6.0	13.1	19.1
15:00	-6.0	16.5	22.5
15:30	-6.0	17.1	23.1
16:00	-6.0	16.9	22.9
16:30	-6.0	13.5	19.5

(3) 保管試験(写真-3)

保管試験の結果を表-5に示す。



写真-3 保管試験

表-5 保管試験結果

計測時刻	気温(°C)	放水水温(°C)	温度差(°C)
17:00	-1.1	0.8	1.9
18:00	-1.6	15.8	17.4
20:00	-3.0	18.4	21.4
22:00	-6.7	19.4	26.1
0:00	-9.3	19.2	28.5
5:00	-11.5	15.5	27.0

(4) 考察

放水温度は、管路内壁面温度に等しいと仮定し、(4)式を使用し移動した単位時間当たりの熱量を求める。計測時刻で温度差のばらつきを確認するので温度差の平均を元に単位時間当たりの熱量を求める。

なお、保管試験の計測時刻17:00については、暖房機の運転直後の温度となるので、対象としない。

・運搬試験

$$(\theta_2 - \theta_1)_{t\text{-mean}} = 21.4^\circ\text{C}$$

$$q_{t\text{-mean}} = 0.76 \text{ kW}$$

・保管試験

$$(\theta_2 - \theta_1)_{s\text{-mean}} = 24.1^\circ\text{C}$$

$$q_{s\text{-mean}} = 0.85 \text{ kW}$$

運搬及び保管試験中に熱伝導で移動する単位時間当たりの熱量は、暖房機の暖房能力下限1.5 kWを下回る結果を得た。試験中に発生した単位時間当たりの熱量を定量的に評価できていないが、暖房能力下限1.5 kWの熱量を管路の熱伝導だけに消費される場合、温度差は40 K程度を見込むところであることから、熱伝導以外の熱の漏洩が伺える。原因としては、給水機能の配管路とタンクの接続部分が開放しているため、自然対流及び熱伝達現象を推測するところである。

給水機能の凍結防止のための暖房機の決定については、熱伝導だけではなく、水タンクと管路の温度差により生じる熱伝達を仕様に考慮されるべきと料する。

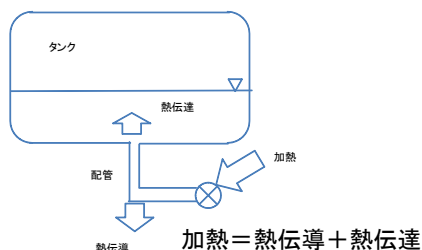


図-5 熱の収支概念図

本試験の結果は、定量的な評価を困難とするが、タンクと管路との間の熱伝達現象からタンク内へ漏洩する熱のため、本暖房機の暖房能力については、20 K程度の温度差であっても1.5 kW以上を費やすと推測される。このことから、選定した燃焼式暖房機の1.5 kWから9.5 kWの暖房能力は、北海道内での運用に必要とする能力と判断する。

4. 運用実績

稚内開発建設部は、平成28年3月9日管内の地方公共団体からの支援の要請により散水車の貸付を行った。(写真-4)散水車の冬期の貸付に関しては、当局初の対応となった。

本貸付にあたって、水道水を散水車に補給し、運搬を行ったが、給水機能の凍結防止の効果を確認できた。



写真-4 水道水の補給

なお、本貸付にあたって行った水道水の補給作業は、冬期夜間の作業であったことから、給水口廻りの暗さ、水タンクからの滑落及び転落のおそれがあることが確認された。これらは冬期の使用に限った作業ではないが、より安全を確保するため、水タンク上部の歩廊及び梯子に滑落防止及び転落防止並びに給水口廻りにおける照明措置の必要があると思慮される。

5. まとめ

散水車の凍結防止対策及び運用について以下をまとめる。

- ・散水車の給水機能の凍結防止対策は、保温と加熱を組み合わせる措置とした。
- ・保温は、凍結防止に必要とする暖房機の単位時間当たりの熱量を著しく軽減できる事が確認できた。
- ・本確認及び試験では、本凍結防止対策は必要十分であることを認めることができた。
- ・本凍結防止装置による冬期の給水支援は、北海道内のみならず全国での運用を十分期待できる。
- ・作業の安全向上のため、散水車の水タンク上部の滑落防止、転落防止及び給水口廻りの照明を必要とすることが確認できた。

参考文献及び資料

1) 産経新聞社 :

<http://www.sankei.com/region/news/160128/rgn1601280020-n1.html>

寒波断水なお14万世帯 福岡・大牟田の小中一部休校

2) 森北出版株式会社 : 関 信弘, 伝熱工学