

下水処理水を熱源に用いた熱交換型融雪歩道に関する研究 Pavement Snow Melting System with Treated Sewage

有地 裕之
ARICHI, Hiroyuki

Abstract

The purpose of this study is to pursue an approach to developing the snow melting systems on pavement, which utilizes the treated sewage. Snow melt on pavement provides a means of transportation for all the trip makers, including transportation-disadvantaged people, which can be viewed as a civil minimum in snowy and icy areas.

In this snow melting system treated sewage with relatively high temperature is conveyed through pipes under target pavement and melts snow by heat conduction. Though other systems have been conventionally adopted for snow melting, this system can be a viable option in terms of cost. To demonstrate the feasibility, we first set the objective of snow melting capacity on a risk management basis, and confirmed treated sewage had sufficiently high temperature. Next, we conducted an experiment to measure heat capacity provided by treated sewage using the experimental pavement and pipes. We also showed this system has cost advantage over the conventional in case of a larger area. Finally, we pointed out the problem of scale formation in the pipes and the countermeasures.

1. はじめに

温室効果ガスの削減や地球環境の改善を目的に、地域エネルギーの活用が重要

な課題として認識されている状況にある。こうした中で、下水道事業は、熱、バイオガス、汚泥を原料とするたい肥、骨材、表層材など、有用な資源の宝庫であり、下水道普及率の向上に伴い、今後資源供給としての事業が展望される。

一方、本格的な少子高齢化社会を迎える中で、多くの地方都市においては、中心市街地がすでに高齢社会に突入しており、鶴岡市もまた例外ではない。中心市街地では、老人世帯が増加しており、積雪地域では冬期間の雪かきが負担になっている。

そこで筆者らは、従来の融雪方式に比べコストが低い普及型の融雪方式の開発を目的に、都市の大小を問わずに必ず存在する下水2次処理水の熱に着目し、地中に敷設した放熱管の内部に2次処理水を通水し、熱交換により融雪する機能を付加した歩道について研究を行い、いくつかの知見を得たので報告する。

2. 鶴岡市の降雪特性

図1は、鶴岡市における平成9年度～13年度の日降雪深の発生日数である。

10cm未満が4分の3を占め、10cm以上は35日、15cm以上が19日、20cm以上12日…と、降雪深の深度が上昇するに従って、発生日数が減少している。これを発生日

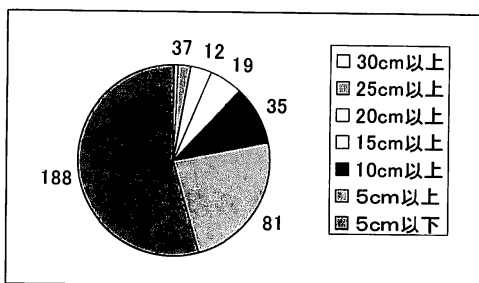


図1. 降雪深ごとの発生日数（過去5年間）

確率に変換すると、概ね表1のとおりとなる。

3. 融雪能力の設定

上述した降雪特性に対して、求める融雪システムの能力をいかに設定するかが、本研究における最初の課題であった。

元来、設備の能力や製品の品質とコストは、トレードオフの関係にあり、能力

を大きくするとコストがかさみ、コストを抑制すると能力が小さくなる。

鶴岡市の降雪特性に対して過不足のない融雪能力の設定に対し、筆者らは「リスクマネジメント」の考え方を導入した。

日降雪深	発生確率	備 考
30cm以上	2年に1回	過去5年間
25cm以上	1年に1回	同上
20cm以上	1年に2回	同上
15cm以上	1年に4回	同上
10cm以上	1年に7回	同上

表1. 日降雪深と発生確率

3-1. リスクマネジメント¹⁾

リスクマネジメントとは、ある事業に対するリスクを特定し、リスクアセスメントを施し、リスク対策を決定する一連の手法である。リスクとは、発生確率と被害規模の積と定義され、リスク値が同じであるなら、発生確率が低く被害規模が大きいリスクがより重要なリスクとされる。

リスク対策には、①その事業による利益と損失双方を受容する「リスク保有 (risk retention)」、

②投資をすることでリスクを削減する「リスク削減 (risk reduction)」、③事業への参入自体を回避する「リスク回避 (risk avoidance)」、④保険を掛けることでリスクを移転する「リスク移転 (risk transfer)」の4つの手法がある。発生確率を縦軸に、被害規模を横軸に取りリスクマトリクスを描くと、実施すべきリスク対策は図2のとおりとなる。

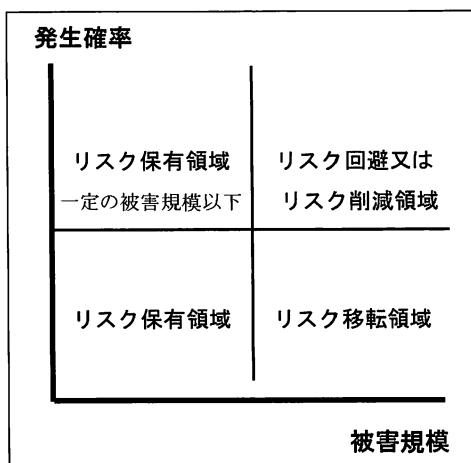


図2. リスクマトリクス

3-2. リスク特定

歩道を融雪する事業では、雪が解け残る「残雪」がリスクである。

3-3. リスクアセスメント

残雪に対してリスクアセスメントを実施し、被害規模について以下の結論を得た。

- ①残雪により影響を受けるのは一時的な歩行者の快適性のみである。
- ②機械除雪により車道が通行できるので、交通は分断されない。
- ③融雪設備が動いているので、雪が降り止めば残雪はやがて消える。
- ④長靴等の装着により歩行が可能である場合が多い。

このことから、残雪のリスクは被害規模の小さいリスクであると判断される。発生確率を考慮し、リスクマトリクスを作成すると、図3のとおりとなり、鶴岡市の降雪特性に見合う融雪能力は、日降雪深20cmまでの雪を確実に融雪する能力であると導き出される(図4参照)。また、この融雪能力は同時にリスクも保有しており、保有するリスクは、「1年に2回程度、雪が解け残る」というリスクである。

リスクを最終的に保有するのは、利用者である市民であることから、過大な設備投資を避けた

発生確率			
	リスク保有領域 年2回の残雪	リスク回避又は リスク削減領域	
	リスク保有領域 2年1回の残雪	リスク移転領域	
		被害規模	

図3. リスクマトリクスの応用

30cm以上	2年に1回	リスク保有領域
25cm以上	1年に1回	
20cm以上	1年に2回	
<hr/>		
15cm以上	1年に4回	融雪領域
10cm以上	1年に7回	
→必要能力：20cmの雪を確実に消す		

図4. リスク対策

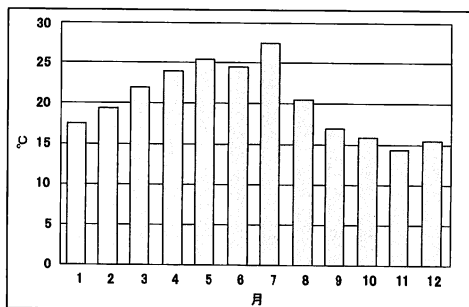


図5. 下水処理水最低水温

めに実質的に被害の小さなリスクを保有していることの説明責任を果たす意味から、計画段階からの積極的なパブリックインボルブメント（住民の巻き込み）が重要である。

4. 下水処理水の持つ熱量

下水処理は、微生物の活動により有機物を酸化することから、熱が発生する。図5は、鶴岡市下水処理場の処理水の最低温度である。最も水温が低下する2月でも、15℃をやや下回る程度である。

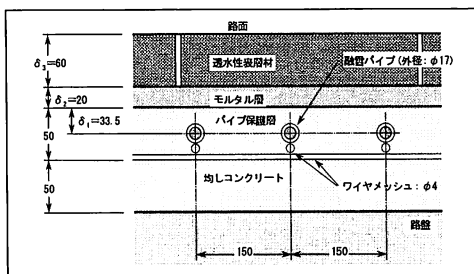


図6. 実験路断面構成

4-1. 実験設備の概要

下水処理水を熱源に用いた融雪歩道を実証するために、実験歩道を建設した。

図6に示すように、均しコンクリートの上にワイヤメッシュを敷き、その上に放熱管を50mmのコンクリートで固定した。さらに20mmのモルタルを敷き、その上に60mmのインターロッキングで舗装した。

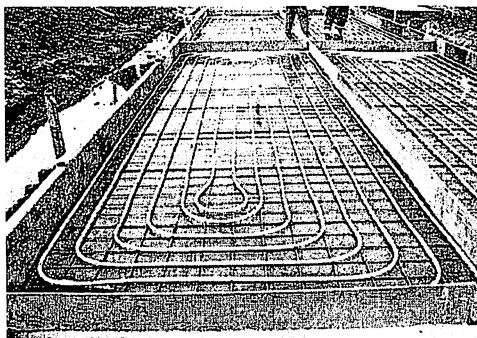


写真1. 放熱管埋設状況

歩道面積は15m²下水処理場、放熱管は内径13mmの樹脂管を150mmピッチで敷設した。(写真1参照)

これに下水処理水を通水し、熱電対により断面各部位の温度を計測した。

4-2. 処理水の供給熱量

鶴岡市における最近の気象データ及び前述したリスクアセスメントより、融雪施設の設計条件は以下のとおりとなる。

- ・ 気温 : -1.0°C (1～2月の最低気温の平均値)
- ・ 日降雪深 : 20cm/day (リスクアセスメントより)
- ・ 時間降雪深 : 0.913cm/h
(日降雪深を24時間で除し安全率10%を見込んだ数値)
- ・ 風速 : 6.0m/sec (1～2月の平均風速値)
- ・ 雪の密度 : 80kg/m^3 (北陸地建設計要領²⁾)

上記の条件より、融雪に必要な熱量は次のとおり求められる。

①顕熱 : $q_s, \text{W/m}^2$

顕熱は雪を 0°C にまで高める熱量であり次式で算出される。

$$q_s = 2.78 \times (c_l \cdot \Delta\theta \cdot h_s \cdot \rho_s)$$

$$\begin{aligned} q_s &= 2.78 \times (2.1 \times 1 \times 0.913 \times 0.08) \\ &= 0.43 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

- cl : 雪の比熱 ($2.1\text{J/g}\cdot^{\circ}\text{C}$)
- $\Delta\theta$: 雪を 0°C まで高める温度 (1°C)
- hs : 時間降雪深 (0.913cm/h)
- ρ_s : 雪の密度 (0.08g/cm^3)

②融解熱 : $q_n, \text{W/m}^2$

融解熱は雪を水に変化させる熱量であり次式で算出される。

$$q_n = 2.78 \times (J \cdot h_s \cdot \rho_s) \quad (6.2)$$

$$\begin{aligned} q_n &= 2.78 \times (334 \times 0.913 \times 0.08) \\ &= 66.85 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

- J : 雪の融解熱 (334J/g)
- hs : 時間降雪深 (0.913cm/h)

ρ_s : 雪の密度 (0.08g/cm³)

③気化熱: $q_e, W/m^2$

気化熱は融水の気化による必要熱であり次式で算出される。

$$q_e = h_{fg} (0.00872 u + 0.0107) \times (4.7 - P) \times 1.163$$

$$\begin{aligned} q_e &= 594.5 \times (0.00872 \times 6.0 + 0.0107) \times (4.7 - 4.22) \times 1.163 \\ &= 20.91 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

hfg : 融雪水の気化熱 (594.5kcal/kg)

u : 風速 (6.0m/sec)

P : 大気の蒸気圧 (4.22mmHg)

ここで hfg は融雪水の気化熱 (kcal/kg) で次式で算出される。

$$h_{fg} = 593 - 0.643 (t_m - 100) - 0.000834 (t_m - 100)^2$$

$$\begin{aligned} h_{fg} &= 593 - 0.643 \times (1 - 100) - 0.000834 \times (1 - 100)^2 \\ &= 594.5 \text{ kcal/kg} \end{aligned}$$

tm : 路面加熱温度 (1.0℃)

④対流輻射熱: $q_i, W/m^2$

対流輻射熱は路面放射による必要熱であり次式で算出される。

$$q_i = 290 \cdot (0.00872 u + 0.0107) \times (t_m - t_a) \times 1.163$$

$$\begin{aligned} q_i &= 290 \cdot (0.00872 \times 6.0 + 0.0107) \times (1 - (-1)) \times 1.163 \\ &= 42.51 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

u : 風速 (6.0m/sec)

tm : 路面加熱温度 (1.0℃)

ta : 気温 (-1.0℃)

⑤融雪パイプの上部放熱量： $q_0, \text{W/m}^2$

上記各値を代入すると融雪パイプ上部放熱量は次式のとおりとなる。

$$\begin{aligned} q_0 &= q_s + q_n + Ar (q_e + q_i) \\ q_0 &= 0.43 + 66.85 + 0.3 \times (20.91 + 42.51) \\ &= 86.31 \quad \text{W/m}^2 \end{aligned}$$

q_s	:	顕熱 (0.43W/m ²)
q_n	:	融解熱 (66.85W/m ²)
Ar	:	歩道部自由面積比 (0.3)
q_e	:	気化熱 (20.91W/m ²)
q_i	:	対流輻射熱 (42.51W/m ²)

⑥融雪パイプ単位必要熱量： $q_{tr}, \text{W/m}^2$

前記計算結果より融雪パイプに与える単位必要熱量は次式のとおり算出される。

$$\begin{aligned} q_t &= q_0 / (1 - \eta) \\ q_t &= 86.31 / (1 - 0.1) \\ &= 95.9 \quad \text{W/m}^2 \end{aligned}$$

q_0	:	融雪パイプ上部放熱量 (123.58W/m ²)
η	:	下部放熱率 (0.1)

■融雪必要送水温度

前記融雪必要熱量より、融雪パイプに供給する処理水（熱源水）の必要温度は以下のとおり算出できる。

①融雪パイプ内処理水標準平均温度： $t_w, ^\circ\text{C}$

$$t_w' = t_f + q_i \times Ac \left(\frac{\delta_p}{\lambda_p \cdot \pi d_i \cdot L} + \frac{\delta_{1u}}{\lambda_1 Ac} + \frac{\delta_2}{\lambda_2 Ac} + \frac{\delta_3}{\lambda_3 Ac} \right)$$

$$\begin{aligned} t_w' &= 1 + 95.9 \times 15 \\ &\quad \times \left(\frac{0.002}{0.23 \cdot \pi \times 0.013 \times 100} + \frac{0.0335}{1.62 \times 15} + \frac{0.02}{1.05 \times 15} + \frac{0.060}{1.10 \times 15} \right) \\ &= 13.1^\circ\text{C} \end{aligned}$$

- t_f : 路面加熱温度 (1.0 $^\circ\text{C}$)
 q_t : 融雪パイプ消費全熱量 (95.9W/m 2)
 Ac : 融雪パイプ1回路あたりの面積 (15m 2)
 δ_p : 融雪パイプの厚さ (0.002m)
 δ_{1u} : 融雪パイプ中心より空練モルタルまでの距離 (0.0335m)
 δ_2 : 空練モルタルの厚さ (0.02m)
 δ_3 : 平板ブロックの厚さ (0.06m)
 λ_p : 融雪パイプの熱伝導率 (0.23W/m $\cdot^\circ\text{C}$)
 λ_1 : コンクリートの熱伝導率 (1.62W/m $\cdot^\circ\text{C}$)
 λ_2 : 空練モルタルの熱伝導率 (1.05W/m $\cdot^\circ\text{C}$)
 λ_3 : 平板ブロックの熱伝導率 (1.10W/m $\cdot^\circ\text{C}$)
 d_i : 融雪パイプ内径 (0.013m)
 L : 融雪パイプ1回路あたりの長さ (100m)

②処理水標準温度差: $\Delta t'$, $^\circ\text{C}$

$$\Delta t' = \frac{60 \times q_i \cdot Ac}{V_p \cdot \gamma_b \cdot c_b}$$

$$\begin{aligned} \Delta t' &= \frac{60 \times 95.9 \times 15}{12 \times 0.9997 \times 4,141} \\ &= 1.7^\circ\text{C} \end{aligned}$$

- q_t : 融雪パイプ消費全熱量 (95.9W/m 2)
 Ac : 融雪パイプ1回路あたりの面積 (15m 2)

- Vp : 融雪パイプ1回路あたりの流量 (12Lit/min)
 γ b : 処理水の比重 (0.9997 / 10℃)
 cb : 処理水の比熱 (4,141J/kg・℃ / 10℃)

③処理水供給温度：tin, °C

$$t_{in} = t_w' + \Delta t' / 2$$

$$t_{in} = 13.1 + 1.7 / 2$$

$$= 14.0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

tw' : 処理水標準平均温度 (13.1℃)

Δ t' : 処理水標準温度差 (1.7℃)

上記熱計算より、融雪設備に求められる熱供給量は安全率を考慮に入れ96w/m²であり、熱源の温度は14℃であることが得られた。仮に表層材の厚さを半分の30mmとすると、熱源温度14℃で121w/m²の熱を供給でき、日降雪深29cmの融雪が可能となる。

鶴岡市の2次処理水は、必要とされる温度を十分に満足することから、2次処理水が融雪歩道の熱源として有効であると判断される。

なお、管材メーカーへの聞き取り調査の結果、パイプ輸送による熱ロス、保温管の使用により1km当たり0.1℃であることから、8 km程度を輸送した場合でも融雪熱源として有効である。

4-3. 実証運転結果

■供給水温

図7は、3つの計測地点における外気温と、実験施設へ送った処理水温の比較である。各計測点とも外気温により僅かに影響を受けるものの、概ね14～15℃で安定している。

■供給熱量

2 / 13の降雪時：18:40～19:30のデータ（外気温度-1.0℃，処理水送り温度

13.0℃) を一例として取り上げると、処理水出入りの温度差は約1.2℃であった。このとき、処理水の流量は定流量弁により12Lit/minに調整してある。

以上より、処理水の物性を清水の値を用いると供給熱量は以下のとおりとなる。

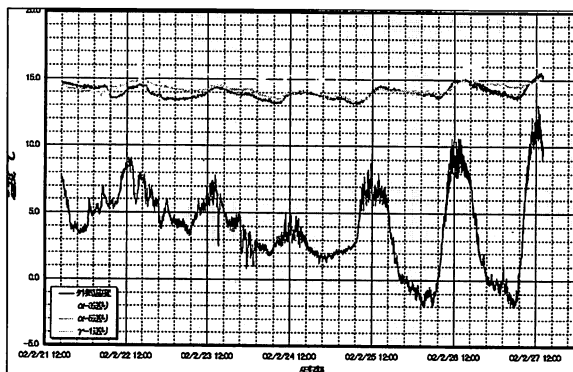


図7. 外気温及び3地点での処理水温

$$\begin{aligned}
 Q &= \Delta t \times \gamma \cdot c_p \cdot v / 60 \\
 &= 1.2^{\circ}\text{C} \times 4,141\text{J/kg} \cdot \text{K} \times 0.9997\text{kg/J} \times 12\text{Lit/min} \\
 &= 993.5\text{W}
 \end{aligned}$$

- Q : 1回路あたりの熱量 (W)
 Δ t : 処理水出入り温度差 (1.2℃)
 γ : 比重量 (4,141J/kg・K)
 cp : 比熱 (0.9997kg/J)
 v : 流量 (12Lit/min)

これを単位面積あたりの熱量に換算すれば1回路あたり15m²であるから

$$\begin{aligned}
 q &= Q / a \\
 &= 993.5\text{W} / 15\text{m}^2 \\
 &= 66.2\text{W} / \text{m}^2
 \end{aligned}$$

- q : 単位面積あたりの必要熱量 (W/m²)
 a : 1回路あたりの面積 (15m²)

下部放熱率を 10% と仮定すると融雪に寄与する熱量は以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned} q_o &= q \cdot (1 - \eta) \\ &= 66.2 \text{ W} / \text{m}^2 \times (1 - 0.1) \\ &= 59.6 \text{ W} / \text{m}^2 \end{aligned}$$

q_o : 単位面積あたりの上部放熱量 (W/m²)
 η : 下部放熱率 (0.1)

なお、暖冬のため実証試験運転中は雪が少なく、従って熱源から融雪に奪われる熱が少なかったことから、設計上の数値に比べて低い熱量となったものである。しかし、運転期間中は、融雪面に積雪することはなく、安定した融雪状況であった。写真奥の積雪している部分が、融雪機能のないcontrol面である。

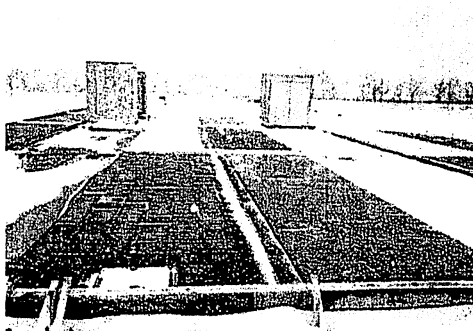


写真 2. 試験運転による融雪状況

5. 下水処理水融雪の特徴

現在使われている主な熱交換型融雪方式には、地下水方式、ヒートポンプ方式、電熱方式がある。

地下水方式は、1,000m²を1ユニットとし、地下水をくみ上げ放熱管に通水し、別の井戸から水を地下に返す方式である。

ヒートポンプ方式は、

条件:融雪面積4,500m ²				
	項 目	金 額	施工計画	備 考
a	送水管工	160,202,998	3,000m	概算見積
b	融雪管工	14,633,243	4,500m ²	概算見積
c	ポンプ設備工	30,000,000	22kw一式	概算見積

イニシャルコスト算出方法

- 融雪面積1,000～5,000m²
 $a + b/4,500 \times \text{融雪面積(m}^2\text{)} + c$
- 5,000m²～10,000m²
 $a + b/4,500 \times \text{融雪面積(m}^2\text{)} + c \times 1.2$

表 2. 処理水方式建設コスト根拠

1,000m²を1ユニットとし、熱源がない場合は空気を熱源としてヒートアップし、放熱管に封入した不凍液を加温する方式である。

電熱方式は、1,000m²を1ユニットとし、地下に敷設した電熱線を電気抵抗により加温する方式である。

これら3方式は、融雪面積1,000m²を1ユニットとしており、融雪面積が増加するごとに熱源を必要とする。一方、処理水方式は、遠隔地（下水処理場）に大量に存在する熱を、パイプによって輸送することから、送水管工事費が大きくなり、小さな面積の融雪には適しないが、一定の融雪面積以上でスケールメリットが働くのが特徴である。

5-1. 処理水方式の建設コスト

処理水方式の建設コスト積算根拠を表2に示す。仮に融雪面積を4,500m²とし

たときの概算見積は記載のとおりである。

下水処理場から中心市街地までは距離3,000m。a 送水管工事費は融雪面積に関わらず一定である。b 工事費は、1m²単価を算出し、融雪面積に乗じて算出する。c ポンプ設備工事費は、22kw

イニシャルコスト(千円)				
消雪面積(m ²)	地下水方式	処理水方式	電熱方式	ヒートポンプ
1,000	54,450	193,455	38,800	48,200
1,500	81,675	195,081	58,200	72,300
2,000	108,900	196,707	77,600	96,400
2,500	136,125	198,333	97,000	120,500
3,000	163,350	199,959	116,400	144,600
3,500	190,575	201,585	135,800	168,700
4,000	217,800	203,211	155,200	192,800
4,500	245,025	204,837	174,600	216,900
5,000	272,250	206,463	194,000	241,000
5,500	299,475	214,089	213,400	265,100
6,000	326,700	215,715	232,800	289,200
6,500	353,925	217,341	252,200	313,300
7,000	381,150	218,967	271,600	337,400
7,500	408,375	220,593	291,000	361,500
8,000	435,600	222,219	310,400	385,600
8,500	462,825	223,845	329,800	409,700
9,000	490,050	225,471	349,200	433,800
9,500	517,275	227,097	368,600	457,900
10,000	544,500	228,723	388,000	482,000

表3. 融雪方式による建設コスト試算

を基本とし、融雪面積5,000m²～10,000m²では2割増しとする。

5-2. 建設コスト比較

処理方式ごとの建設コストは表3のとおりとなる。

処理水方式以外の方式については、メーカーへの聞き取り調査に基づいて算定した。1,000m²のコストを基本として融雪面積を乗じている。処理水方式の建設コストは、融雪面積4,000m²で地下水方式、4,500m²でヒートポンプ方式、6,000m²で電熱方式と逆転する。

基本料金

係数(円)	1885
ポンプ(kw)	22
月数	4
値引き係数	0.7686
基本料金額	127,495

使用料金

単価(/kw.h)	7.25
ポンプ(kw)	22
運転時間	1,200
調整率	0.91
使用料金	174,174

電力コスト計 301,669

表4. 処理水方式の電力料金算定根拠

5-3. 処理水方式の運転コスト

処理水方式の運転コストは、送水ポンプの運転にかかる電力料金である。融雪面積5,000m²での算定根拠を表4にまとめる。運転月を12～3月の4ヶ月間とし、22kwポンプを運転すると、電力料金は年間301,669円となる。

地下水方式では実績から年間452,235円、ヒートポンプ方式、電熱方式は聞き取り調査からそれぞれ576,106円、2,176,950円である。運転コストの比較を表5にまとめる。

運転コストについても処理水方式が最も安価となるが、送水距離3,000mであるにもかかわらず、高低差

がほとんどないという鶴岡市の特性も考慮すべきである。

また、ヒートポンプは、

空気熱源でのコスト計算で

あり、廃熱などを利用できる

場合、もっと安価になる

場合もあり得る。電熱方式

は、建設コストが最も安価

であるものの、運転コスト

は他の方式の4倍となり、

融雪面積の小さな局地的な

融雪に用いる方式であると

地下水方式	電熱方式	ヒートポンプ	処理水方式
452,235	2,176,950	576,106	301,669

表5. 方式による運転コスト比較

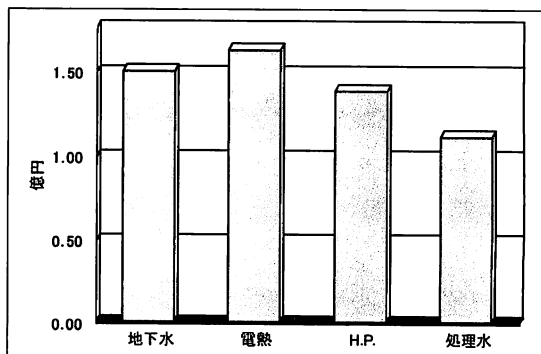


図8. 20年間での総合コスト比較

いえる。

融雪面積5,000m²、20年間での総合コストの比較を図8に示す。総合コストとは、建設費用の半額(国庫補助対応事業となる可能性が高いので、市町村の負担は半額)に、30年間の運転費用を加えた数値である。処理水方式は、電熱方式の60%、地下水方式の75%である。

6. 実用化に向けた課題

写真3は、運転開始前と3ヶ月間運転した後の放熱管である。運転後の放熱管にスケールが付着している。今回用いた処理水は、沈殿処理の後に生物処理を施す2次処理水であり、有機物の指標であるBOD、SSともに5 mg/l前後、鮎が生息できる程度の水質である。しかし、ほとんど有機物が存在しない上水や地下水に比べれば汚濁の度合いは大きく、スケールの付着や電気的な腐食の発生は当所から予想していた。故に熱伝導の面からは、金属管を放熱管に用いた方が効率が高いが、電気的な腐食に配慮して樹脂管を採用した。

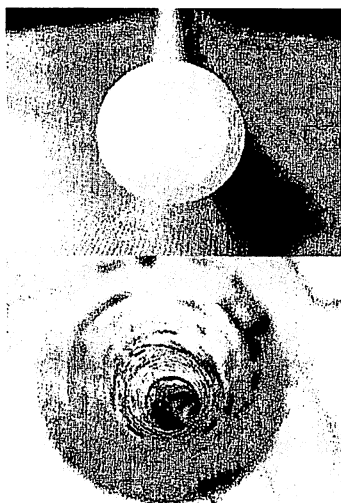


写真3. 放熱管内面

スケールの発生については、下水処理場において2次処理水を中水道として利用しており、25年間閉塞していない実績から、大きな問題ではない可能性も高い。いずれにしても、今後試験運転を重ね観察を続けたいと考えている。

以下に現在考えられるスケール対策を列挙する。

6-1. 熱だけを取りだし融雪管は閉鎖系で不凍液を循環させる方法

図9に示すように、下水処理場から熱交換ステーションに処理水を送り、不凍液を加温する。加温した不凍液を放熱管に通水し、融雪の終わった不凍液は再度

熱交換ステーションで加温するというシステムである。

放熱管の閉塞は無くなるが、熱交換するスペースが必要になること、熱伝導効率が低下することが課題になる。また、ステーションの定期的なメンテナンスが必要となる。

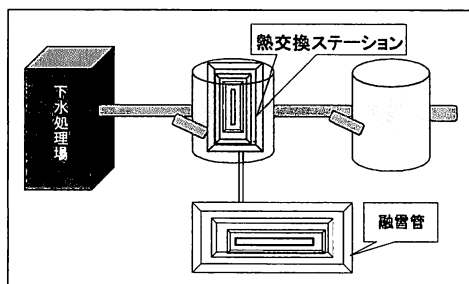


図 9.

6-2. 放熱管の口径を大きくする方法

試験運転に用いた放熱管の内径は13mmであるが、図10に示すようにこれを大きくすることで閉塞の対策とする方法である。

放熱管の肉厚が増すため放熱効率が低下するが、スケールの発生が一定量以下の場合、最も簡単、確実な方法である。

放熱効率の低下に対しては、流量を大きくすることや、舗装材を薄くする対策が必要である。

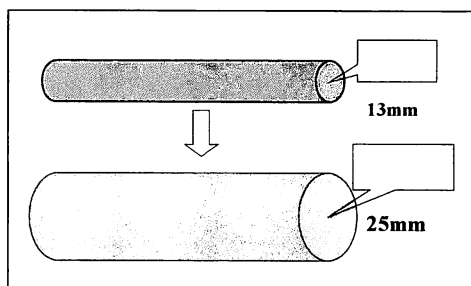


図 10.

6-3. 融雪管内面を負に帯電させる方法

液中の浮遊物質は負に帯電している場合が多い。従って、図11に示すように、放熱管を負に帯電した材料で製作、または負に帯電した材料でコーティングすると、浮遊物質と反発し合い、スケールの発生が抑制される。

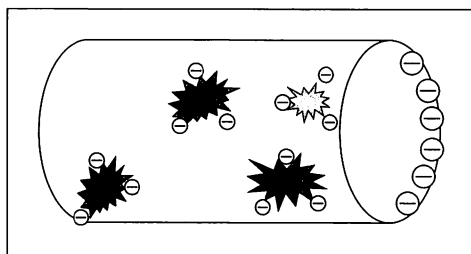


図 11.

6-4. 処理水を

高度処理する方法

2次処理水を濾過するなどの高度処理を行い、有機物を除去し、スケールの発生を抑制する方法である。

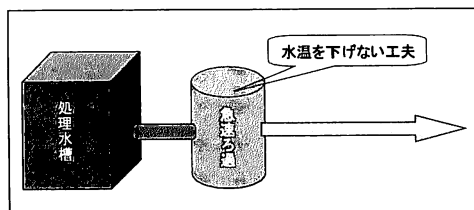


図12.

急速濾過が一般的であるが、処理プロセス内においては図12に示すように、水温を14℃以下に下げない工夫が必要になる。

7. 将来展望

下水処理水を用いた融雪システムの最大のメリットは、送水管を整備すれば融雪面積が増えてもそれほどコストに響かないというスケールメリットである。このメリットを活用して、歩道だけでなく、希望する民地を融雪し、費用を負担してもらって新たな事業が展望される。イメージを図13に示す。

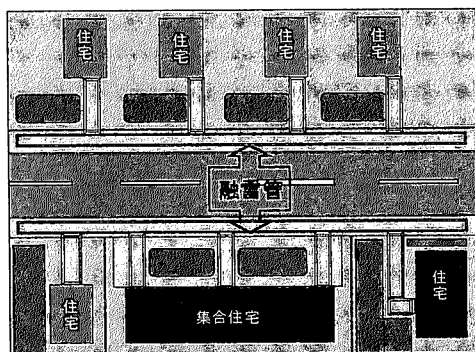


図13.

地方都市では高齢化が進み、特に中心市街地は高齢化率が26%を超え、超高齢社会となっている。老人だけの世帯では、冬期間の雪かきが非常に負担となっていることから、民地の融雪事業は支持されるものであると考えられる。

8. まとめ

本研究により得た知見を以下にまとめる。

- ①鶴岡市の降雪特性から融雪能力は、日降雪深 20cm とすることが望ましい。
- ②下水処理水では最大 121w/m^2 の熱供給が可能で、日降雪深 29cm の融雪が可能である。
- ③処理水方式ではスケールメリットが働き、融雪面積 $4,000\text{m}^2$ 以上で他の方式と見合う。
- ④融雪面積 $5,000\text{m}^2$ で 30 年間の総合コストを比較すると、地下水方式の 75% である。
- ⑤実用化に向けてはスケールに対する調査・対策が必要である。

参考文献

- 1) 社団法人日本技術士会、技術士制度における総合技術監理部門の技術体系、2001、p. 124
- 2) 建設省北陸地方建設局、路面消・融雪施設等設計要領、社団法人日本建設機械化協会北陸支部、1990、p. 41

謝 辞

本研究は、産学官共同研究プロジェクトとして実施した。研究にアドバイザーとして参加して頂いた東北公益文科大学教授 東浦将夫、独立行政法人土木研究所主任研究員 落修一両氏をはじめ、試験材料、測定器などを提供して頂いた民間企業 9 社の方々に、この場をお借りして心より御礼申し上げる次第である。