

# 長岡市における地下水節水型消雪パイプ制御システムの実証試験

水工学研究室 石川有貴子

指導教官 福嶋祐介

## 1.はじめに

長岡市は湿潤な雪が降る典型的な豪雪地帯である。このような地域での除排雪方法として消雪パイプは極めて有効である。しかし、この方法では地下水を大量に汲み上げて散水するため、冬季後期には地下水位が下がり、消雪パイプそのものが機能しない、また、地盤条件によっては深刻な地盤沈下が発生することなどが欠点となる。

従来の消雪パイプは、地下水の揚水ポンプをオン・オフするだけであり、その結果、無駄に地下水を汲み上げていたことになる。このような現状から、地下水節水型消雪パイプの発想が生まれた。すなわち、降雪強度計の出力によって、揚水インバータ制御をすることで使用する地下水の総量を節約しようとするものである。

本研究では、従来型と地下水節水型とを比較し、新システムの有効性を検証し、実用化への検討を行うことを目的とする。また散水施設設計施工マニュアルに記載されている必要散水量算定式の各係数を検討することで、より効果的な融雪量算定方法の確立を目指すものとする。

## 2.実証試験の概要と測定項目

新システム(節水型)を長岡市中島4丁目に設置し、隣接する中島6丁目の従来型消雪パイプと比較した。検討は、2003年度(平成15年1月18日から平成15年3月15日)、2004年度(平成15年12月15日から平成16年3月31日)の実証試験結果に基づいて行った。

主たる測定項目は次の通りである。

- (1)降雪量...節水型に取り付ける降雪強度計(茅ら, 1995)のデータを収集する。
- (2)揚水流量...節水型,従来型両方に流量計を設置し、実際に使用された水量(揚水量)を計測する。
- (3)使用電力量...節水型のみを設置し、既設電力使用量との比較に用いる。
- (4)地下水位...節水型側に投げ込み圧力式水位計を設置し、揚水量と水位との関係および季節

(冬季の初期と終期)と水位等を測定する。

- (5)外気温...節水型制御盤に設置し、ポンプ運転強度と外気温との相対関係を調べる。
- (6)管内圧力...揚水管内に設置し、流量計との相関を調べることにより、流量計の代替として使えるか否かを検討する。
- (7)積雪深...中島中央公園内に測量用のスタッフを取り付け、これを10分おきに撮影し、後に読み取ることにより、積雪深を測定した。

## 3.測定したデータの解析

図-1に2003年度のアメダスデータおよび中島6丁目(中島中央公園内)に設置されたカメラの画像より判読した積雪深の経日変化を示す。

1月中旬および3月上旬に短期的なまとまった降雪があり、1月下旬および2月上旬に比較的大きな降雪があった。しかし、2003年度は例年に比べ、小雪であったといえよう。

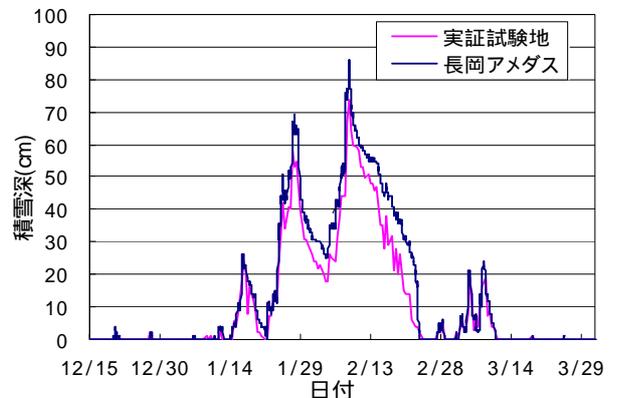


図-1 2003年度積雪深

図-2に従来型と節水型のポンプによる揚水量の日変化,図-3に従来型と節水型のポンプによる使用電力量の日変化,表-1に節水型と従来型の揚水量と使用電力量の比較を示す。

表-1 計測結果のまとめ

	総揚水量(m <sup>3</sup> )	使用電力量(kWh)
節水型	9.546	2.248
従来型	18.194	4.824

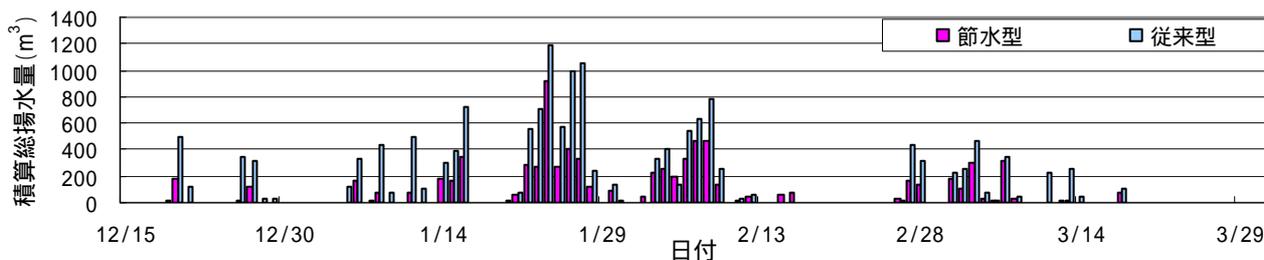


図-2 消雪パイプ 1m 当たりの積算揚水量

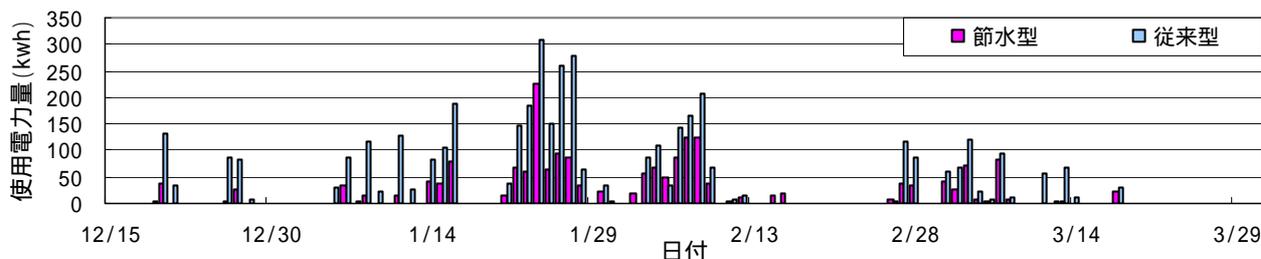


図-3 消雪パイプ 1m 当たりの使用電力

従来型と節水型を比較すると、若干の例外はあるが、揚水量には大きな差があり、節水型の揚水量は従来型に比べ、1/2 から 1/3 にも減少している。特に降雪強度が小さい場合には節水型の消雪パイプは盛んに揚水量を変化させるため、節水効果は大きい。使用電力についても同様の効果が見られ、省エネルギーのシステムとなっていることがわかる。これらより、節水型の消雪パイプシステムの節水効果が十分にあるといえる。

#### 4. 消雪パイプの流れに関する水理的検討

消雪パイプ内の流れを水理的に解析すると、全揚水量、すなわち全散水量 $Q_0$ は次のようになる。

$$Q_0 = \left\{ \frac{\left( \frac{P_0}{\rho g} - H \right) 2gA_0^2}{f \left( \frac{L}{d} \frac{N-1}{6N} + \frac{H}{d} \right) - 1 + \frac{c_0}{n_0 N} \left( \frac{A_0}{a_0} \right)^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

ここで、ノズルからの流出に伴う損失係数 $c_0$ については、よくわかっていない。そこで、この係数については、実験結果より算定することにする。 $c_0$ を求める式は次のようになる。

$$c_0 = \left( \frac{a_0}{A_0} \right)^2 n_0 N \left\{ \frac{\left( \frac{P_0}{\rho g} - H \right)}{\frac{U_0^2}{2g}} - f \left( \frac{L}{d} \frac{2N-1}{6N} + \frac{H}{d} \right) + 1 \right\} \quad (2)$$

#### 5. 現場試験による係数の同定と流量の算定

ノズルからの流出に伴う損失係数 $c_0$ の算出には平成 15 年 12 月 15 日から平成 16 年 1 月 27 日の間の降雪があり、揚水が行われている時間、かつ揚水量が 1.0 ~ 1.125 m<sup>3</sup>/min の範囲のデータを使用した。2003 年度試験における一分間隔の瞬時値データの内、上記の条件を満たすデータは 2244 個あった。これらの実験データから算出した流出に伴う損失係数 $c_0$ の平均は 0.06520 となった。

図-4 は節水型消雪パイプシステム揚水量制御を流量計の出力から圧力センサーの出力に切り替えて運転した結果を示す。

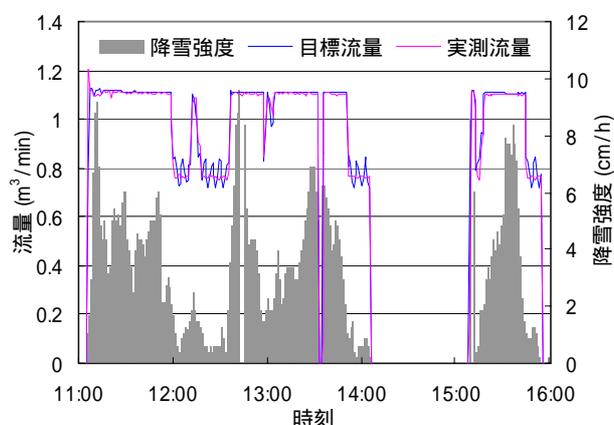


図-4 圧力センサーによる流量制御の計測結果

この図より、圧力センサーによる制御によって目標揚水量通りの揚水を行えることがわかる。短時間で激しく揚水量が変化すると目標流量と実測流量が一致しない場合もある。これは式(1)の算定にあたり、流れが定常であると仮定したためである。

### 6. 必要散水量算定式

現在、消雪パイプの必要散水量は式(3)により決定している。

$$q = \frac{hs \cdot \rho_s \cdot (J + C_s |ts| + C_w \cdot t_2)}{6 \cdot \alpha \cdot k \cdot \rho_w \cdot C_w (t_1 - t_2 - tr)} \quad (3)$$

式(3)は降雪の融解に必要な熱量と、散水が噴水点から側溝に落ちるまでに失われる熱量によって表わされたものである。しかし、散水で失った熱量は全てが降雪の融解に使用されるわけではなく、外気や路面への伝導、あるいは熱交換にも使用される。散水した路面では、落下してくる雪片が全て融解されず、一部は未融解のまま側溝に流される流雪現象もある。この流雪の効果と融雪の効果を含めた係数が融解係数  $k$  である。

また、車両の通行により融解と流雪効果が大幅に促進され、その攪はん効果を係数として表わしたものが通行車両による攪はん効果係数 である。

本研究では、これら融解係数  $k$ 、通行車両による攪はん効果係数 および設計時間降雪深  $h_s$  について検討を行った。

### 7. 融解係数 $k$ の検討結果

融解係数は気温と散水温差別に降雪強度によって決定される。散水温は水源によって異なり、大きく河川水、加温水、地下水の3つに分けられている。そこで、これを1つにまとめることとした。融解係数に気温と散水温の差を乗じ、 $k'$  とし次式のように表わした。このことにより、これまで3種類に分けられていた融解係数を1つにまとめることができた。またこれより作成した図を図-5に示す。

$$k' = k(t_1 - t_a) \quad (4)$$

これに伴い、式(3)を次式のように改定した。

$$q = \frac{hs \cdot \rho_s \cdot (J + C_s |ts| + C_w \cdot t_2)}{6 \cdot \alpha \cdot k' \cdot \rho_w \cdot C_w (t_1 - t_2 - tr) / (t_1 - t_a)} \quad (5)$$

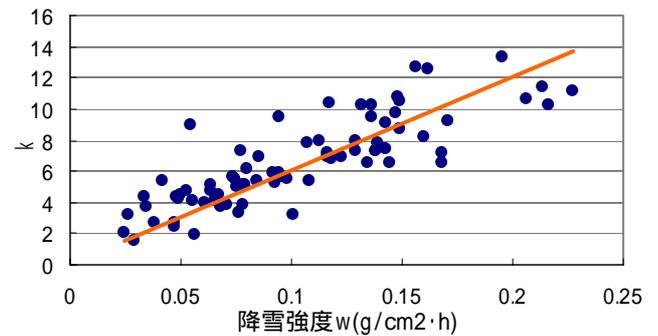


図-5 温度差、降雪強度と  $k$

### 8. 通行車両による攪はん効果係数 の検討結果

通行車両による攪はん効果係数は路面露出率と交通量によって決定される。ここで、交通量をとし、通行車両による攪はん効果係数を路面露出率と交通量の関数とし、次式で表した。

$$\alpha_\gamma = a1(\gamma)\beta^2 + a2(\gamma)\beta + a3(\gamma) \quad (6)$$

なお上式の  $a1, a2, a3$  については以下の通りである。

$$a1 = 1.4 \times 10^{-7} \gamma^2 - 7.0 \times 10^{-6} \gamma + 2.0 \times 10^{-4} \quad (7)$$

$$-a2 = 288.2 \times 10^{-7} \gamma^2 - 121.1 \times 10^{-5} \gamma + 54.1 \times 10^{-3} \quad (8)$$

$$a3 = 1.5 \times 10^{-5} \gamma^2 - 48.3 \times 10^{-3} \gamma + 4074.3 \times 10^{-3} \quad (9)$$

式(6)より、交通量別に通行車両による攪はん効果係数 と期待する路面露出率 の関係を図-6に表わした。

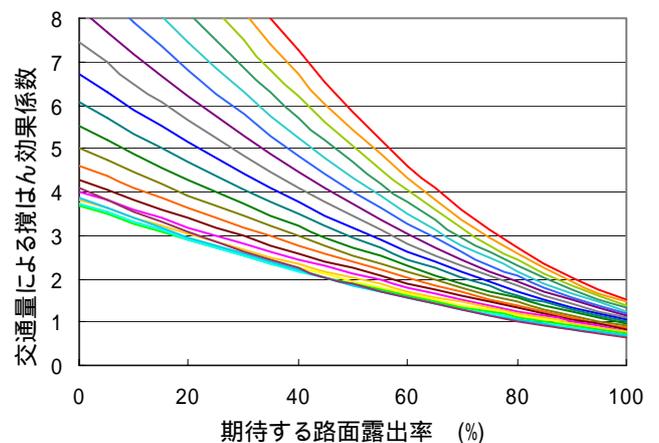


図-6 交通量別通行車両による攪はん効果係数

これは交通量が 0 台/h から 100 台/h までを、5 台/h ごとにプロットしたものである。交通量が 0 ~ 15 台/h においては、期待する路面露出率が 40 ~ 25% 以下で通行車両による攪はん効果係数が一つ上のグラフに重なるように増加している。しかし実際、必要散水量の決定に用いられる値は、期待する路面露出率が 70% 以上の値である。そのため、このグラフの重なりは問題にならないと考えられる。またそれ以外の交通量においても、十分に通行車両による攪はん効果係数と期待する路面露出率の関係を表わすことができています。

これらのことより、通行車両による攪はん効果係数は従来の交通量別の図からではなく、式(6) ~ 式(9)で決定することが出来るようになった。

### 9. 設計時間降雪深 $h_s$ の検討結果

2003 年度に長岡市において行われた節水型消雪パイプシステムの実証試験において、得られた降雪強度を時間降雪深および累積日降雪深として集計し、図-7 を作成した。黒線で示された曲線が 2003 年度の降雪データより求めたものであり、赤線で示された曲線が昭和 50 年 ~ 52 年のデータにより作成された散水施設設計施工マニュアルに示されているものである。

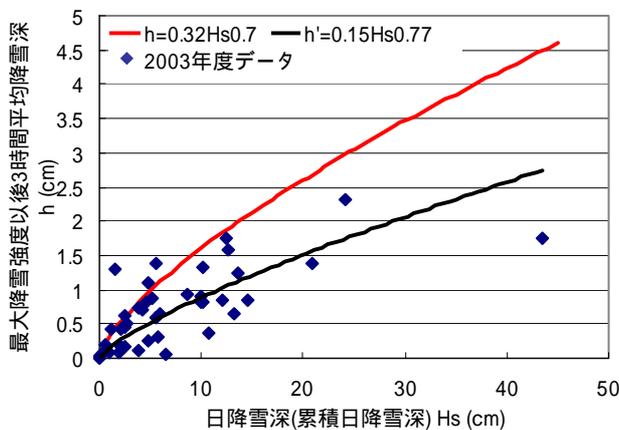


図-7 2003 年度における累積日降雪深  $H_s$  と時間降雪深  $h$  の関係

両者を比較すると前者の傾きは小さくなっている。2003 年度は比較的小雪であったことと、日降雪深は降雪強度から算定した累積日降雪深であるため、実際の積雪深より大きな値となっていることから、このような結果となったと考えられる。近年では小雪傾向にあることに加え、集中的な強い降雪も少なくなってきたおり、多雪であった昭和 50 年 ~

52 年のデータでは、現在の降雪状況を的確に表わしているとは考え難く、データの更新が必要であり、その解析が不可欠である。

### 10. まとめ

地下水節水型消雪パイプシステム有効性検証の結果、従来の消雪パイプシステムと比較し、揚水量、運転時間、電力量を 1/2 程度にできることがわかり、地下水節水効果とともに、省エネルギー効果も高いこともわかった。また、圧力センサーによる地下水揚水量測定法の理論を検討し、超音波流量計で測定された実際の値と比較したところ、かなりの精度で一致した。この理論を節水型消雪パイプシステムに導入し、検証試験も行い、圧力センサーを用いても流量計を使用した場合と同等の値を得ることができた。

必要散水量算定式において、融解係数  $k$  を  $k'$  として、散水温と気温の差を乗じることで一つの数式をして表わすことで、水源の温度に依らず、一つの関数式として扱うことができた。また、通行車両による攪はん効果係数は、これまで交通量別に示されていたが、交通量の関数として表わすことができ、簡便化を図ることができた。設計時間降雪深については、近年の冬期における降雪状況を十分に反映できていないと考えられる。

### 8. 今後の課題

必要散水量算定式における設計時間降雪深の決定については、今後の降雪データ収集が不可欠である。近年の降雪の傾向を把握し、設計時間降雪深を決定する必要がある。

#### ・参考文献

- 1) 福嶋祐介・木本二郎・原正栄・小林敏夫・酒井龍市・石丸民之永・八戸剛志・石川有貴子 (2004): 地下水節水型消雪パイプ制御システムの実証試験(その2), 雪氷(日本雪氷学会誌), 66 巻 4 号, pp.495-502.
- 2) 八戸剛志 (2004): 降雪強度を考慮したインバータ制御による消雪パイプシステムの実証試験, 長岡技術科学大学大学院工学研究科修士論文, pp.1-44.
- 3) 散水消雪施設設計施工マニュアル編集委員会 (2000): 散水消雪施設設計施工マニュアル, 建設省北陸地方建設局道路部監修, pp.10-16.