

## V—23 寒冷地における融雪機の研究開発

鹿島道路(株) 札幌支店 正員 辻本 明人  
古河電工(株) 札幌支店 正員 鈴木 征勝  
北海道大学 工学部 正員 森吉 昭博

### 1. まえがき

北海道における降雪対策は、その時代の交通事情や冬期間の生活環境等により様々なものがある。最近の降雪対策としては大型除排雪機、ロードヒーティング等の様々な方法が採用されているが、ここ数年来、省資源省エネルギーが叫ばれて来ており、降雪対策にも省エネルギーとなる効率的な方法が試作、開発されている。

ここで報告する融雪機は、北見市一条商店街（北見市北一条西一丁目～四丁目）再開発事業の街路整備の一環として、試作されたものであり、これは雨水機のような形状のコンクリート製品の内部にロードヒーティングケーブルを配して、投入された雪を人工的に溶かすものである。（以下融雪機と呼ぶ。）ここでは気象条件、地理的条件を十分考慮して設計した試作融雪機の実験結果と、これを基にして改良し、現在同商店街に設置されている融雪機の仕様並びにその実験結果を報告する。

図-1及び図-2は融雪機の設置場所と街路の標準断面を示したものである。

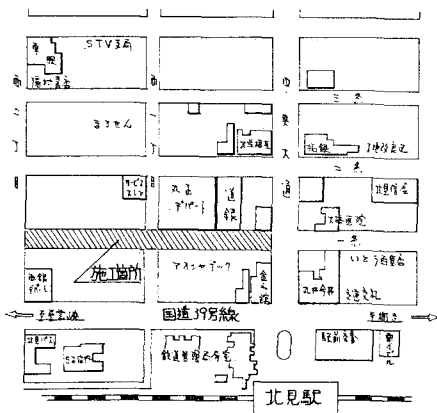


図-1. 融雪機設置位置図

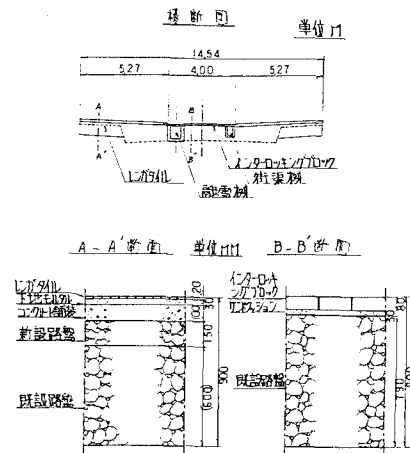


図-2. 街路の標準断面図

### 2. 各種の除雪方法

北見市一条商店街再開発事業の街路設計々画における舗装構造は、図-2に示すように表面をレンガタイルとカラーコンクリートブロックの組合せである。ここではデザインを重視し商店街の景観を引き立たせるよう努力した。従って冬期間の約半年間、路面が雪に覆われることはその景観をかなり損うことになる。この対策としては当然除雪あるいは融雪ということになるが、最も安いコストで効率の良い方法の採用のため、以下のように除雪融雪方法について検討した。

現地の今までの除雪方法の問題点は以下の通りである。

- ① 大雪の時あるいは積雪量が多くなると、ダンプトラックとショベルを用いて排雪する。
- ② 数cm以下の降雪については除排雪の対象とならないため、車道部では圧雪されて固まりアイスバーンを形成する。一方歩道部については人力で雪を掻寄せ、それを歩車道部の境界等に堆積しておくため、汚れも

加わって周囲の景観を損うことになる。

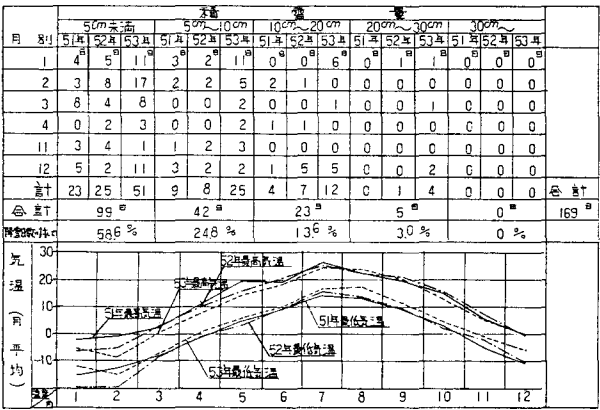
次に商店街の除雪融雪方法として採用可能な各種の方法を掲げて検討を行なうと表-1のようになった。

表-1. 排雪、融雪方法検討結果一覧表

| 項目    | 作業方法                  | 商店街への適用の可能性                                | 適用上の問題点                            | 問題点に対する解決策の検討                                               |
|-------|-----------------------|--------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 排雪    | ダンプトラックとタイヤショベルの組み合わせ | 従来から行なっていた方法である。                           | 現状では大雪対策として費用の面を考慮すると他の方法は思い当たらない。 |                                                             |
| 融雪、流雪 | ロードヒーティング             | 現在最も有効な方法であり、採用したい方法である。                   | 費用が高い、特にランニングコストが大きい。              | 融雪電力の使用も考えられるが、商店街の性格上不適当である。                               |
|       | 流雪溝(口)消雪パイプ           | 北陸地方あるいは北海道でも利用したり、試験されており、水の確保が出来れば可能である。 | 地下水、河川の利用いすれも不可能である。               | 水のかわりに電力を使えないか<br>↓<br>今まで実施例はない<br>↑<br>可能性を検討する必要がある(融雪機) |
|       | ヒートパイプ(地水熱の利用)        | ランニングコストがほとんどかからないため使用できれば理想的              | 地下熱が低い、まだテスト段階である。                 |                                                             |

さらに同地区の過去3年間の積雪状況を調べると表-2のようになる。これによると積雪量5cm未満の日数が全降雪日数の約60%を示めており、前記の従来の除雪上の問題点でも揚げられたように、この程度の積雪量についての処理方法が同地区の降雪対策の重点項目となる。従って表-1の検討結果と表-2の気象条件の他、地理的条件、設備費、維持費等をすべて考慮すると、融雪機が最も有利なように考えられる。

表-2. 北見地区月別積雪量、気温推移図



3. 融雪機の考案と実験

これまでにコンクリート製雨水桝やU字桝

溝の一部に電熱線を通して冬期間の凍結を防いだ例は見られるが、融雪を目的として電熱線を利用したコンクリート製桝(融雪機)は今まで例がなく、形状、能力ともに全く不明であった。このため現地の諸条件を考慮の上、ここでは試作した融雪機と現在設置されている融雪機の両者の実験結果及び仕様を示す。

3-1. 試作融雪機の設計とその仕様

試作した融雪機の設計条件では以下のような各項目を検討した。

① 形状

一般の雨水桝を参考にして形状は矩形とし、現場に設置時の施工が容易になるように上部と下部の2段式とした。また開口部は広く桝内も深いため転落防止を考慮して2重蓋とした。さらに投入した雪が躯体に接し易くするため図-3のように側壁は傾斜構造とした。

② 躯体構造

躯体コンクリートは厚さ 15 cm の鉄筋コンクリートとした。これは外部からの荷重よりも温度応力による疲労を考慮したものである。また排水口は出来るだけ上部に配置し、内部に留った水に蓄熱出来るように配慮した。

③ 電力量と電熱線の容量

この構造に必要な電力量は全く不明のため、0 ~ 2.7 kW まで自由に選べるようにスライドトランスを設置した。電熱線は最大 430 W/m<sup>2</sup> の容量のものとした。

④ その他保温方法等

熱が外部に逃げるのを少なくするために側壁外周に断熱材を配置した。また地下 1.5 m 付近の温度はプラスチック側にあるので、下部には断熱材を配置しない。

以上の設計条件を基にして試作した融雪柵を現地に設置し実験を行なった。

3-2. 試作融雪柵の現地実験結果

試作融雪柵による実験検討項目は次の通りである。

- ① 躯体コンクリートと内部の水を温めるための必要電力量
- ② 柵内に一度に投入できる雪の量
- ③ 柵内の雪を溶かすための所要時間と電力量

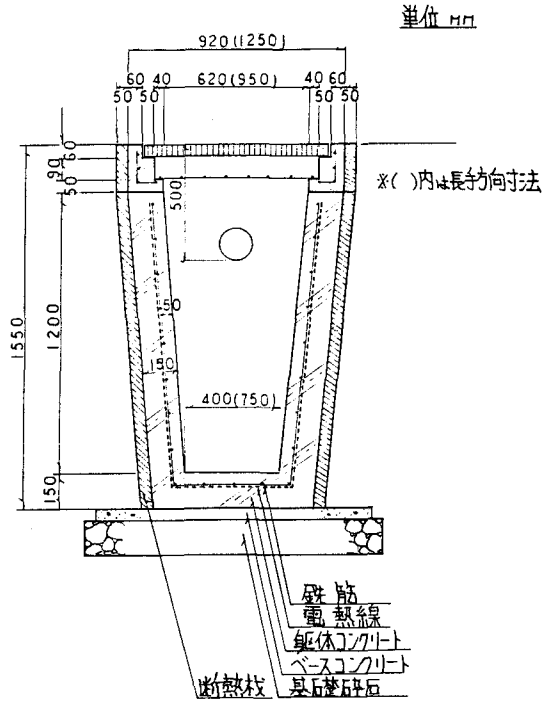


図-3. 試作融雪柵断面図

3-2-1. 躯体及び水の温度上昇に必要な電力量

躯体温度に適当な温度を 30 ~ 50℃ と考えて、この範囲内で一定温度に保つのに必要な電力量を調査した。調査測定方法は図-4 のフローチャートに従って行なった。これは初期電力量と  $T_1$  W/m<sup>2</sup> に設定し、融雪柵躯体温度が期待範囲内 (30 ~ 50℃) に入らなければ仮の電力量と  $T_2$  W/m<sup>2</sup> にして、同様な方法を繰り返して躯体が 30 ~ 50℃ となる基本電力量  $T$  を求めたものである。その結果は図-5 の測定結果に示すように、 $T_1$  (350 W/m<sup>2</sup>) では 10 時間程度で 50℃ 以上 (50℃ 以上は自記温度計の記録範囲外) になり、 $T_2$  (200 W/m<sup>2</sup>) の場合も 50℃ 以上となり、 $T_3$  (40 W/m<sup>2</sup>) の時約 35℃ の一定温度を保つことが判明した。

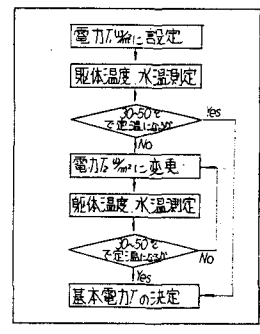


図-4. 基本電力量(T)決定の為のフローチャート

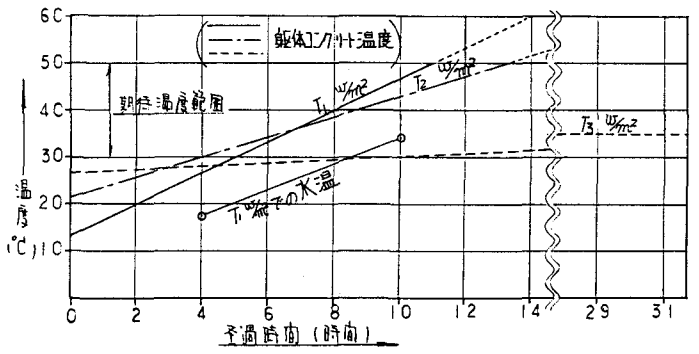


図-5. 試作した融雪柵の各所の温度測定結果

### 3-2-2. 柵内に一度に投入できる雪の量の測定

柵内に一度に入る雪の量を測定し、柵1ヶ当り何平方メートルの面積を受け持つことが出来るかを算出し、当街路に必要な柵の個数を算出した。

測定順序及び測定結果は表-3に示す通りである。また写真-1は実験状況である。

表-3. 融雪実験順序と測定結果

|                                                       | 測定、作業項目  | 測定結果                 | 時間    | 摘要                      |
|-------------------------------------------------------|----------|----------------------|-------|-------------------------|
| 準備<br>↓<br>雪投入<br>↓<br>観察<br>↓<br>融雪完了<br>↓<br>温度復元調査 | 電力量の設定   | 40 %                 | 1月29日 | 外気温 - 12℃               |
|                                                       | 投入雪の密度測定 | 0.3 t/m <sup>3</sup> | 9:00  |                         |
|                                                       | 投入前水温測定  | 34 ℃                 |       |                         |
|                                                       | 投入雪の量測定  | 1.1 m <sup>3</sup>   | 10:40 |                         |
|                                                       | 投入終了時水温  | 3 ℃                  | 10:50 |                         |
|                                                       | 融雪状況調査   | 上部の雪と水面の間が空洞になる      | 12:00 | シャベルで水中に落とす<br>外気温 - 6℃ |
|                                                       | 融雪時水温測定  | 2 ℃                  | 20:00 |                         |
|                                                       | 水温、測定    | 5 ℃                  | 1月31日 | 途中でアクシデントがあったので参考までに測定  |



写真-1. 融雪実験中の柵

この結果より一度に柵に投入できる雪の量は 1.1 m<sup>3</sup> (r = 0.3 t/m<sup>3</sup>) となった。この値を基にして柵1ヶが受け持つ面積を算出すると次のようになる。なおここでは積雪量を 3 cm 程度 (r = 0.032 t/m<sup>3</sup>) の場合を想定した。

$$\text{新雪の投入可能量} = \frac{\text{柵内の雪の量} \times \text{柵内の雪の密度}}{\text{新雪の密度}} = \frac{1.1 \times 0.3}{0.032} = 10.3 \text{ m}^3$$

従って柵1ヶで受け持つ面積は次のようになる。

$$\text{融雪柵1個当り投雪可能面積} = \frac{10.3}{0.03} = 343 \text{ m}^2$$

すなわち約300m<sup>2</sup>に1個ずつ配置すれば、3 cm程度の雪は1度に柵に投入できることになる。

### 3-2-3. 柵内の雪を溶かすための所要電力量及び融雪時間

図-6は融雪実験時に測定した融雪柵躯体コンクリート、水温及び外気温の時間変化を示したものである。雪を投入後約9時間で少量の雪を残す程度まで溶け、その後はそのままの状態が継続していくように観察されたため、この時点(9時間後)を1つの区切りとしてとらえ、この間の柵の温度低下値を用いて融雪柵に適当な電力量を推定した。

融雪に要する熱量は温水の持つ熱量と躯体コンクリートが持つ熱量に分けられ、融雪効果はそれぞれの低下温度の大きさで示される。したがって融雪効果を上げるためには、躯体温度と水温は出来るだけ高い方が望ましいが、省エネルギーと躯体内の温度応力の両者を考えて、躯体コンクリートの温度は今回の実験では 35℃～40℃に設定した。したがって水温も実験での値が最大のものと思われる。

一方躯体に与える適当な熱量（電力量）は融雪時の損失熱量の供給量と考えられるため図-6より求められる損失熱量（温度）の勾配を用いて補給電力量を算出して、融雪電力の目安とした。

躯体の低下した温度8℃が9時間ですべて内部の水に与えられたとすると、1時間当りに枅が水に与えた熱量は次式で計算できる。

$$Q = V \times \frac{T}{t} \times \rho$$

ここで  $Q$  : 躯体の1時間当りの発熱量  $\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$   
 $V$  : 枅内の水の重量 390kg  
 $T$  : 9時間で降下した温度 8℃  
 $t$  : 経過時間 9時間  
 $\rho$  : 水の潜熱  $1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{C}}$

したがって発熱量は次のようになる。

$$Q = 390 \times \frac{8}{9} \times 1 = 347 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

これを電力量に換算すると、

$$347 \div 0.86 = 403 \text{W}$$

となり、ここで電熱ヒータの面積は4.3㎡であり、熱効率を0.6（水中のヒータ線の割合）とすると、1㎡当りに必要な電力量は次のように計算できる。

1㎡当り必要な電力

$$= 403 \div 4.3 \div 0.6 = 156 \text{W/㎡}$$

なおここではコンクリート躯体の温度低下に伴う熱量のロスについては考慮していない。

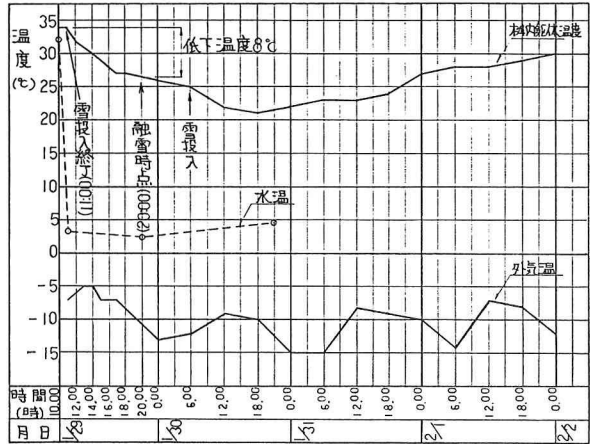


図-6. 融雪時の枅内の各所の温度変化

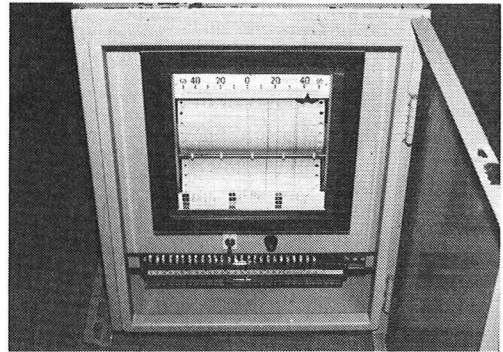


写真-2. 自記温度記録計

### 3-3. 実験結果のまとめと現在設置されている融雪枅の仕様

以上の調査実験結果をまとめると次のようになる。

- ① 融雪の効果は水と躯体の蓄熱及び電熱線の発熱によって得られる事が判明した。また当初考えた傾斜構造は必要がない事がわかった。
- ② 内部の熱はできるだけ逃げずらく、かつ枅の熱容量も大きい方が良い。
- ③ 電力量は、融雪のためには160W/㎡程度で良いと思われるが、温度の立上り及び熱ロス等を考慮し、200W/㎡程度にするのが適当と思われる。ただし躯体温度を制御するためのサーモスタットが必要である。
- ④ 融雪時間は約10時間である。
- ⑤ 夏期には雨水枅として使える。

実際に現地に設置した融雪枅については、以上の項目をすべて検討した結果、次のような仕様の融雪枅とした。

また図-7は現在設置してある融雪柵の断面図である。

- ① 総電力量 1.06 kW ( $200\text{W}/\text{m}^2$ )
- ② 躯体温度はサーモスタットで  $40^\circ\text{C}$  にコントロール
- ③ 融雪時間 10 時間程度
- ④ 夏期は雨水柵として使用

現在融雪柵は昭和 56 年に 6 個、57 年に 6 個の合計 12 個設置しており、この電力料金を調べると、56 年 12 月～57 年 4 月までの 6 個当り合計金額は約 44 万円であった。すなわち 1 個当りで計算すると 7.4 万円になる。

またこの仕様での現地の融雪実績は、投入可能雪量は  $1\text{m}^3$  (密度 0.55、新雪換算  $300\text{m}^2$ 、3 cm に相当) であり、融雪時間は約 11 時間であった。これは設計条件をはば満足しており非常に良い結果であった。

#### 4. あとがき

本報で紹介した融雪柵は当初の省エネルギーを最重要項目とした降雪対策としても非常に優れたものであると評価されている。現在この融雪柵について柵内の各箇所における温度並びに気温と降雪量等と使用電力との関係等、様々なデータを継続して収集中である。現在の所、当初考えられた熱効率よりも格段に良いことが判明したが、融雪柵内に挿入したヒータリングケーブルの発熱によりコンクリート躯体に生じる温度応力の測定結果は得られていない。しかし、視察によるとコンクリート表面の温度応力による亀裂は判明できなかった。現在設置されている融雪柵の熱効率をさらに上げる方法についても検討中であるが、単純に通常のロードヒータリングシステムの維持費と比較は出来ないとしても、電熱線を用いた融雪システムとしては非常に安価な方法であることが理解されよう。

本報での融雪柵仕様はあくまで北見地区に対するものであり、他の地域でこれを設置する場合は構造、気象条件等を十分に検討して設計する必要があるだろう。

最後にこの開発研究を進めるに当たり、発案の時から実験までいつも協力頂いた北見市一条商店街振興組合の皆様、北見市都市計画課の皆様、並びに関係各位に感謝するしだいです。

#### 参考文献

- (1) 建設電気技術協会 : ロードヒータリング設備の設計指針
- (2) 日本建設機械化協会 : 新防雪工学ハンドブック、森北出版

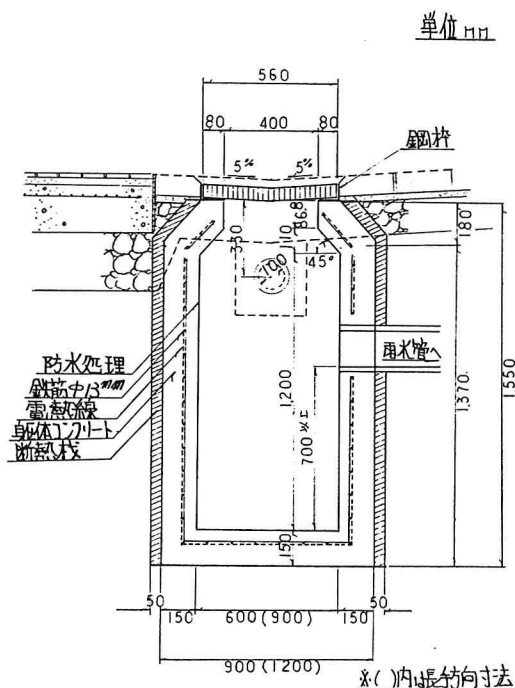


図-7. 融雪柵断面図



写真-3. 融雪柵設置状況