

IV-197 消融雪溝の熱収支に関する研究

新潟県土木部

正会員 小野田 勲

新潟大学工学部

正会員 大 熊 孝

(株)アイ・エヌ・エー新土木研究所 正会員 米内 弘明

I. はじめに

消融雪溝^{*)}は、地表水の持つわずかな熱エネルギーを利用して雪を融解・処理する除雪施設である。消融雪溝の構造は図1で示される様に、開水路の底部に消網板と呼ばれる金網をしき、雪を投入した際に一定間隔ごとに止水板と呼ばれている板で水を堰上げる様になっており、水路内に水の通り道を確保するのが特徴である。この水の通り道によって流雪溝に見られる溢水を防ぐとともに、雪を融かす前の比較的温かい水を下流まで供給して消融雪溝の下流部でも雪が融ける様にしたものである。しかし今までのところ消融雪溝内部での雪の融解過程、熱収支は不明であり、水温の低下と融解量の関係が解析された程度である。そこで、本研究においては水温低下以外の熱源も考慮に入れた熱収支式を仮定して、消融雪溝における処理能力を把握することを試みるものである。

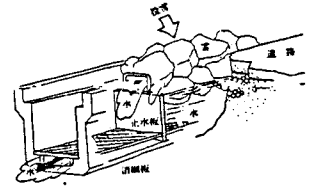
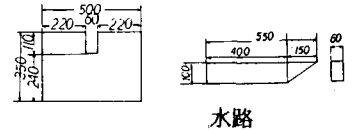


図-1

II. 研究及び実験の概要

本研究では、消融雪溝の熱収支式を考える上で必要な熱的要素を仮定して、熱収支式を組み立てて、それが妥当であるか否かを、まず1/10の模型実験によって確認する。次いで1/2のスケールのコンクリートU字溝を用いた室内実験を行い、さらに山形県の現用消融雪溝を用いた実験を行って、仮定した熱収支式から雪の融解に用いられたと推算される熱量と、雪の重量から算出される融解熱を比較・検討し、消融雪溝の処理能力を明らかにするものである。

- ・1/10模型実験： 図2の様に箱に水路を取り付け、その間に砂を詰めて低温実験室内において実験を行う。水路内に氷を投入し、水を流して気温・水温・水温低下・流量・地温・融解量を測定した。



木箱 図-2

- ・1/2 模型実験： 図3の様な呼び名180のU字溝に金網を曲げた消網板を置く。U字溝を開水路中に入れ地熱の代わりにU字溝の外側に水を流し、水温で代用する。雪をU字溝内に入れ、1/10模型実験と同じ項目を測定した。

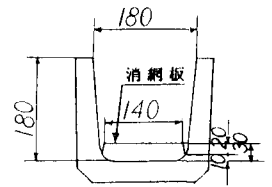


図-3

- ・現用消融雪溝： 山形県米沢市館山地内の全長16mの現用消融雪溝を用いて上の実験と同じ項目を測定した。

また、熱収支式の仮定においては、熱的要素として従来考えてきた水温低下・雪の融解熱の他に地熱・空気との対流・水面からの輻射を加えたものを考える。i式において示されるものがそれであるが、対流熱 Q_T 、地熱 Q_E 、輻射熱 Q_F は、実測が不可能であり計算によって求める必要がある。基本的には、 Q_T は水温と気温の差に空気の熱伝達率をかけることで、 Q_E は消融雪溝の周りの土の温度勾配に熱伝導率をかけることで、輻射はその物体の温度と輻射率によって求める。その他の項目は実測できるので、その結果を用いる。

$$C_w \gamma_w \sum [(T_i(t_i) - T_o(t_i)) Q(t_i) \Delta t] - C_s W_s + L \sum [Q_T(t_i) + Q_E(t_i) + Q_F(t_i)] \Delta t \quad \dots i$$

C_w 水の比熱	$T_i(t_i)$ 取水時の水温	$Q(t_i)$ 流量	C_s 雪の融解熱
γ_w 水の比重	$T_o(t_i)$ 排水時の水温	t_i i 回目の測定時刻	W_s 融解量
L 溝の距離	$Q_T(t_i)$ 対流熱	$Q_E(t_i)$ 地熱	$Q_F(t_i)$ 輻射熱

$$\Delta t = t_i - t_{i-1}$$

III. 解析結果

(1) 1/10 模型実験

図 4 は、実測の水の融解量と仮定した熱収支式を用いて算出した融解量を時間ごとに示すグラフであり、実測と計算の融解量はほとんど合致している。この他の例でも、その誤差は±10% 以内に入っており、このことから考えて、QT, QE, QF の計算方法及び仮定した熱収支式は十分妥当であると、推定される。この実験は、図において、×で示されるのは、水温以外の熱で融解したと考えられるもので、地温・対流・輻射を考慮する必要があることを示している。しかし、この模型では相似則が成立しないので他の項を以下の実験で検討する。

(2) 1/2 模型実験

図 5 において、縦軸は熱収支式より推定される融解に用いられた熱量、横軸は雪の重さから計算される融解の熱量である。45° の線は両者が一致したことを示し、結果がこの線に近いほど良い計算方法といえる。○は水温低下のみを、△は他の項も考慮に入れるて計算したものである。明らかに、地熱・対流・輻射を考えた方が、適合性が良いことが分かる。補助線から離れた点は、取水温が高い時に発生しており、これは排水温を測定するとき雪を融かす前の温かい水と後の冷たい水がうまく混合せず、誤差を生じさせたためである。

(3) 現用消融雪溝実験

図 6 は、現用消融雪溝の実験結果を図 5 と同様にまとめたものである。輻射熱は室内実験と異なり、従来堆雪の融解量を推定するのに用いられる式^{*2}を使う。これは、そうすることで晴れた日の夜間の放射冷却、日中の日射にも対応させるためである。結果は(1)、(2)とは異なり、どちらが正確な方法と言うことはできない。これは、輻射熱と地熱が相殺し合うこと、流量算出に流速計から求めた流速を用いているために±5%程度の誤差が含まれること、測定区間が16m では水温による項に比べて他の項が 1/50 ~ 1/100 位で無視しうるためである。また大きく外れたものが一例あるが、その理由は良く分からない。

IV. まとめ及び今後の課題

上の解析から、少なくとも10~30m の短い距離の融解量を推定するには、水温による熱のみを考慮して算出しても良い。しかし、i 式からも分かる様に消融雪溝の距離が長くなるほど、地熱・輻射・対流の影響が大きくなると考えられる。また、1/2 模型実験において、相似則が成り立たないとしても、6m 以下の短距離でも明確な差が生ずることから考えて、長距離の消融雪溝では地熱・輻射・対流を考慮しなければならない。従って今後の課題としては、長距離の消融雪溝で実際に実験を行う必要があるとともに、輻射項のより正確な算出方法を考えることが大切である。今回の熱収支式から消融雪溝の設置条件を推定すると、長さ500m の消融雪溝に対して大雪の場合水温・流量ともに低下することを考えて、平常 2℃, 10ℓ/s で取水することが最低条件となる。これ以下では、大雪の時などは処理時間が長くなり住民の生活サイクルに合わなくなってしまう不便になると考えられる。

^{*1} 消融雪溝は東北流雪研究所において昭和 55 年に開発されたものである。

^{*2} 参考文献：土屋雪蔵・「道路除雪における堆雪に関する研究」

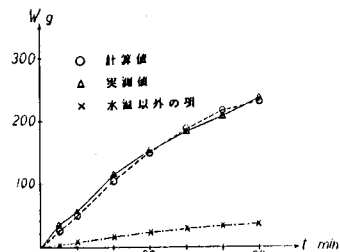


図-4

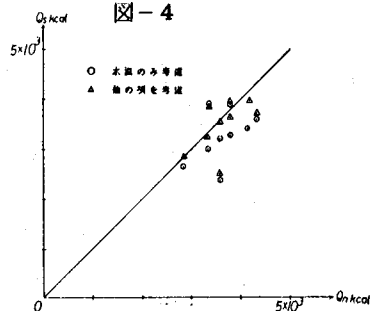


図-5

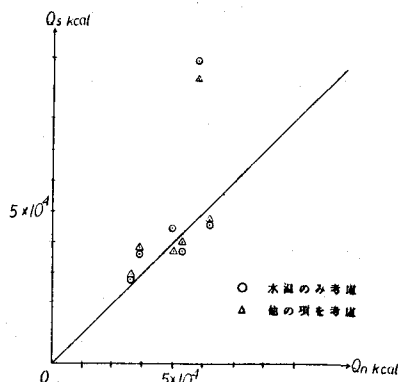


図-6