

低 温 水 に よ る 融 雪

官 内 信 之 助^{*}

Melting of snow in cold water

by

Shin'nosuke MIYAUCHI

(Abstract)

The melting of snow in water at low temperatures below 5°C was investigated.

Snow being immersed in water at low temperatures, snow is melted in the two stages, rapid and slow stage. When snow is thrown in cold water at 1°C, the rate of melting in the second stage is very slow resulting in that 60% of snow immersed is remained. But, snow is impregnated with water intermittently, that is melted effectively and even in water at 1°C, is vanished perfectly.

The intermittent method was applied to the outdoor snow-removal.

1 は し が き

地下水による融雪は多方面に利用されているが、その反面、地下水の不足は各市町村で問題となってきた。長岡市や六日町では地下水の過剰利用によって地盤沈下が起こり、また地盤沈下が起こらないまでも豪雪時には十日町市ではほとんど水不足のため、消雪パイプは使用不能に陥っている(写真-1参照)。これにともなって河川等の低い温度の水の利用も盛んになってきたが、河川の水はその気候条件や地勢にもよるが水温が2~4℃と低いことから道路上での水の凍結や、凍結が起こらないまでも融雪効果が悪いなどの色々の欠点がある。それにもかかわらず、低温水による融雪に関してその応用的研究はわずかにみられるが(日本建設機械化協会, 1976), その基礎的研究は皆無に近い。

本研究でははじめに低温水中の雪の融解挙動を検討し、さらにこれらの基礎的知見をもとに実施した新しい低温水利用方法についてもあわせて報告する。

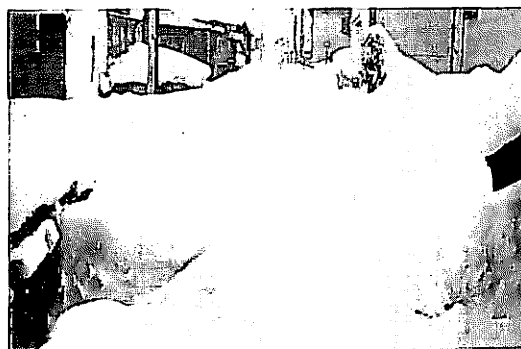


写真-1 消雪パイプがストップした十日町市の道路(1976. 1. 27)

* 新潟大学積雪地域災害研究センター

Ⅱ 実験方法

Ⅱ-1 基礎実験に用いた雪の採取

実験は1975年2月に実施したが、融解量をもとめるためには本実験に用いる雪は水気を含まないことが好都合なので、できるだけ気温の低い日を選んだ。従って、使用した雪は必然的に気温の低い(-2℃以下)明け方に採取された。採取した雪はその場ですぐに重量を秤り、実験に供した。用いた雪の質や密度もあわせて調べた。

Ⅱ-2 低温水中の融解速度のともめ方

図-1 a に示した装置によって、雪の低温水中の融解速度をもとめた。

所定の温度の恒温水槽中にセットしたガラス水槽中に蒸留水を入れ、攪拌した。攪拌は雪の融け方に影響するので、回転棒にセクターを付けフォトダイオードによりその回転数を読み取り、きびしく制御した。この水中に図-1 b に示した規格の1 Gのガラスフィルターに所定の精秤した雪を入れ、上部を極く細かいステンレスの金網でおおい錘りをつけて沈めた。各時間後に、このガラスフィルターを取り出し、金網をはずして雪を取り出し、遠心分離器にかけ遊離水を除いた。続いてすばやく精秤し、初めの雪の重量についての残った雪の重量のパーセントで残留率を求めた。なお、以上の操作はすべて-1~2℃の室内で実施した。

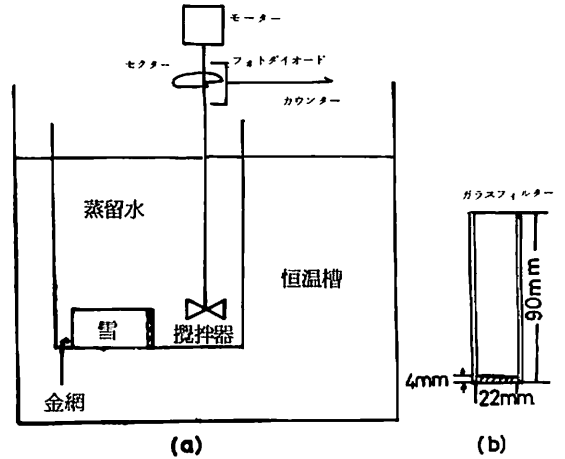


図-1 融雪量測定装置

Ⅱ-3 断続法による雪の融解

図-2 に示したサイフォン付き水槽に、2-2 に示したと同様の方法で雪を充填したガラスフィルターを置き3分間で水を満たし、続いて数秒で水を流出させ断続的に融解を試みた。

Ⅱ-4 屋外の融雪実験

新潟大学工学部構内に設置してある防火用水池を利用して融雪実験を行なった。この防火用水池の大きさは図-3 の通りである。この防火用水池に木枠につけた金網を置き(写真-2参照)、この上に直下より水中ポンプ(ツルミ水中ベビーポンプS-250型鶴見製作所製)を用い散水した。散水量は $0.2\text{ m}^3/\text{min}$ で、散水時間は雪の量によって多少異なるが、30~120分間行なった。なお散水された水は再び金網を通して用水にすべどもどした。

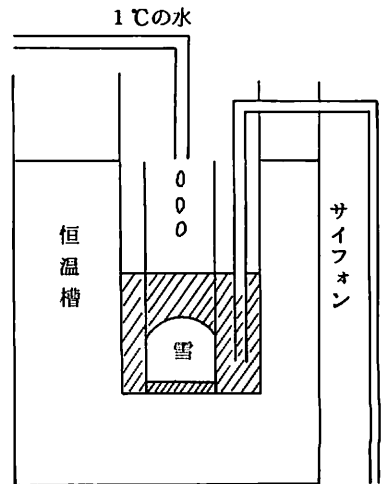


図-2 断続法による融雪

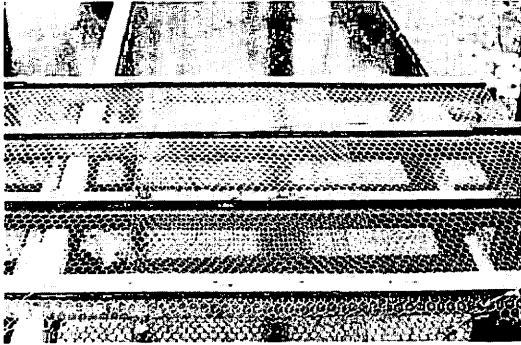


写真-2 金網をかぶせた融雪池

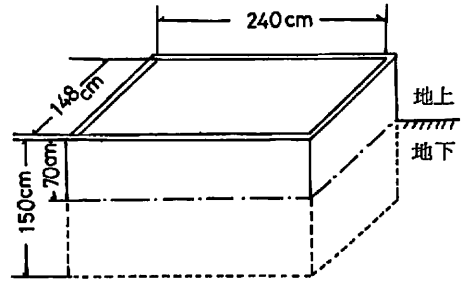


図-3 融雪実験に利用した実験池

Ⅲ 結果 および 考察

Ⅲ-1 低温水中の雪の融解

フィールドワークを実施する前に、実際に雪塊がどの程度低温水で融解するか知る必要がある。しかしながら先にも述べたように、消雪パイプが広く実施されている今日でも、水による雪塊の融解についてはまれにしか報告がない(斉藤, 1967)。そこで恒温水槽を利用して低温水中における雪の融解速度を検討することにした。方法はⅡ-2に記した通りであるが、水中に投入した後の雪の重量を秤る場合、正確にはその含水率が問題になる。ここでは、融解後遠心分離器で水を分離したが、この方法によっては水は完全に除けない恐れがある。しかしこの場合例えば水が除けなかったとしても、遠心分離器で脱離しなかった水は、まだ雪は融けていないものとしてすべて雪の重量に加えて考えることにした。少くとも雪は水に投入する前後における重量差だけ減少していると考えた。つまり、以下ここで測定して得た雪の融解量 W (%)は真の雪の融解量の W_R の最小値と考えることにする($W \leq W_R$)。このことを念頭において以下の議論をすすめた。このことは実験にはこの結果以上の効果が期待できるのであるから全然問題ないであろう。

水中に投入した雪塊がどのくらいの速度で融解するかを検討する場合、その条件によって非常に異ってくる。ここでは次の条件を設定してもとめた。水温は1℃と5℃の二つの温度、投入した雪の重量は3~15gの小さな塊り、水量は1.5ℓとした。

6gの雪を1℃と5℃の温度の水に投入した場合の融解曲線を図-4に示した。実験はすべて夜明の最も冷えこむときを利用したが、-3~-1℃の間で全実験を終了することができた。まず約0.15の密度のしまり雪を利用したが、そのときの雪温は-2℃であった。

1975年2月12日に採取した密度0.146のしまり雪をガラスフィルターに入れ、1℃の水に入れた場合、はじめ1分までは急速に融解がすすむが、それ以後融解はゆるやかになり3分を過ぎるとほとんど融解はすすまず、最終的に約60%の雪が融けずに残った。一方5

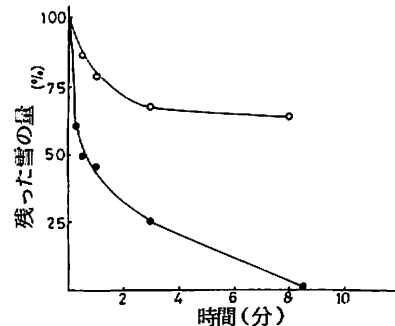


図-4 低温水による融雪における温度の影響

- (—○—): 温度1℃, 雪の密度0.146, 雪質しまり雪, 1975. 2. 12採取
- (—●—): 温度5℃, 雪の密度0.162, 雪質しまり雪, 1975. 2. 18採取

℃の場合は、はじめの1分で急速に融解がすすみのちその融解速度はゆるやかになるが8分30秒で全部融解した。結果を総合すると、低温水の場合には、はじめの数分間に融解はすすみ時間がたつと融解はすすまず、1℃ではほとんど融解は停止する。この場合、水は1.5ℓあるので熱量的にたとえ1℃でも、6gの雪を融かすために不足しているとは考えにくい。このことはまた低温水でも大量の水を利用すれば雪を融かすことができるものとする従来の考え方に疑問を加えた結果でもあった。一方、1℃と5℃に共通していることははじめの1分前後で融雪は非常に早く、その後は比較的ゆるやかに融雪が進行している点である。すなわち水の流動にも関係することではあるが、融雪はラピッドステート、スロウステートの2段階で行なわれている。おそらく水から雪への熱伝達係数は非常に大きいと考えられるため、水が浸透していく過程で融解は急激に起こるが（拡散律速で融解が進行していると考えられる）、浸透後は雪粒子中の水の流速はゆるやかになるために融雪速度は急激に遅くなるものと考えられる。すなわち浸透後は予想よりもはるかに水は雪粒子内を流動しにくいものと考えられる。このことは実際に低温水を応用する場合、水の雪粒子内の流動が大切であることを示唆しており、例えば断続的に低温水に入れやると融雪効果は上るかも知れない。

次に、温度は1℃と一定にして、密度0.162のしまり雪を用い重量を3、5、15gと変えてその融解速度をもとめ図-5に示した。この図からわかるように、充填する重量によって融解速度は異なり、最終的に融けずに残った雪の量は、3gの充填で52%、5gで61%、15gでは83%であった。すなわち雪の量が多い程融けにくいことがわかる。このことを供給熱量と考えるには説明がつきにくい。むしろ雪の充填量が多くなると、雪粒子中の水の流速が異なり、加えて、水が侵入していくときすでに温度が下り融解能力がなくなってしまうのに原因している。従って、はじめのラピッドステートにおける融解に重量が異なると差ができるものと考えられ、また事実とも一致している。

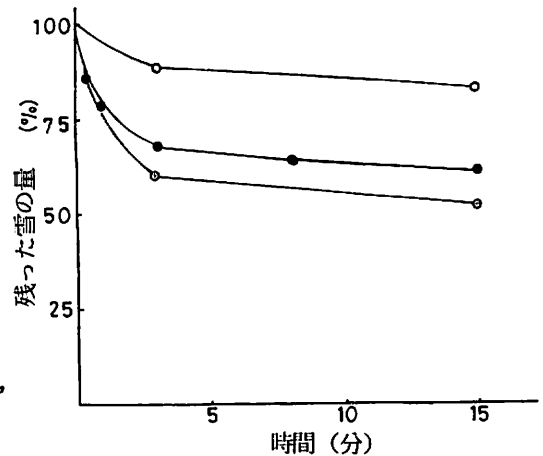


図-5 低温水による融雪における充填量の影響
 雪の密度0.162, 雪質しまり雪, 1975, 2. 18
 採取;
 (—○—): 充填量3g; (—●—): 充填量5g;
 (—○—): 充填量15g

次に雪質の差がどのように影響するか検討した。

充填量5g, 水温1℃で0.162の密度のしまり雪と、0.065の密度の新雪とを比較して図-6に示した。図からわかるように、新雪の方がしまり雪よりも若干融けやすかったが、その差は小さかった。これは雪をガラスフィルターにつめるとき密度の小さい新雪も圧縮され、見かけ上しまり雪の密度との差が小さくなったため融解速度の差も小さくなったものと思われる。実際の融解はもう少し差が大きいものと思われる。またこの図を詳細に見ると、ラピッドステートにおける融解速度は異っているが、スロウステートにおける融解速度はほとんど変わっていないことがわかる。これは、雪質の差が水に入れた直後は大きいですが、時間がたてばざらめ化して雪質の差がなくなることを考えると妥当な結果であろう。いずれにしても低温水で雪を融解しようとする場合、水中に入れた最初の数分間すなわちラピッドステートにおける融解が重要である。

ところでこれまでの結果から断続的に低温水中に入れてやると、雪の融解が促進されることが予想され

ることから図-2のようなサイフォンを持つ槽を製作しその中で融雪を行なった。このときの水の流入速度は3分間で管が一杯となるように調節し、また管が一杯になるや数秒間で水がなくなるようサイフォンを工夫した。充填した雪質は0.162のしまり雪である。その結果、1℃の低温水で22分で6gの雪が消失した。これは実に驚くべき結果である。低温水に連続して雪をひたしていても半分以上は融けずに残るが、1℃の水でも断続的に投入すれば十分に雪を融かしうるということがわかった。

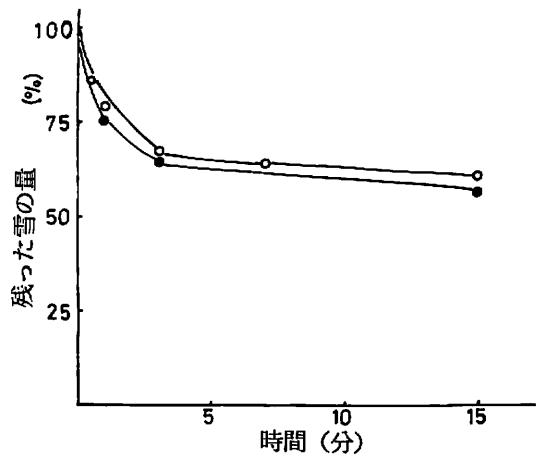


図-6 低温水による融雪における雪質の影響
 (—○—)：雪の密度0.162，雪質しまり雪，1975. 2. 18採取；
 (—●—)：雪の密度0.065，雪質こな雪(新雪)，1975. 2. 18採取；充填量5g；水温1℃

1975年2月の室内実験の結果をもとに1975年12月～1976年1月にその応用実験を行なった。Ⅲ-1の結果より雪の中の水を流動させることが重要であることから、次のような方法を実施した。すなわちⅡ-4でも述べたように工学部に設置されている防火用水池に金網を張り、水を散水して融雪を行なった。

雪が降る前の12月26日の池の温度は4℃で上下均一であり、従ってこの池のはじめの熱量は池の大きさが5,328,000 calであるので、

$$5,328,000 \times 4 + 1,000 = 21,312 \text{ (Kcal)}$$

になる。

一方降雪は1975年12月27日の朝方から第1回の降雪があり、昼すぎ第1回目の散水を行った。なお低温水の散水は気温が低い日(0℃以下)は当然エネルギーの損失であるので行なわないのを原則とする。この時の気温は+1.5℃であった。以下散水は12月28日、1976年1月7日、1月8日、1月13日の各々の日に行われた。1月13日散水したときに水温は0℃になったのでその日で終了した。なお散水時の融かした雪の量は表-1に示した通りである。この雪の量から融かした総熱量は28,306 Kcalであった。先の池の熱量と比較すると、融かすのに利用された熱量が6,994 Kcalだけ多いことがわかる。これは不思議な気がするが、池の水には地熱によって逐次熱が追加されているので実際は池の中の熱量は21,312 Kcalより多

表-1 1975年12月27日～1976年1月13日の間の融雪量

	融雪量	融雪に必要な熱量
	kg	Kcal
1975. 12. 27	55.4	4,432
12. 28	56.8	4,546
1976. 1. 7	96.6	7,728
1. 8	79.6	6,368
1. 13	65.4*	5,232
		28,306 (A)

* 1月9日～1月13日までに池の上
に降った雪の16%に相当

いことになる。なお、最初の池の中の熱量を基準とした場合の融雪効率は133%である。133%ということは最初の熱量の他にさらに地熱をも利用していることを意味し、しかも無駄なく使われていることを示している。

金網を利用すると散水された水はすみやかに池に落下し水抜けが早いことがわかった。これが低温水利用の熱効率を上げていると考えられる。

なお、0℃の池の水は使用后2週間で地熱によって2℃まで温度が上昇してきた。また、他の同種類の防火用水は1976年2月12日の時点で、雪の中にうずもれていたが4℃であったこともあわせて今後の低温水利用のために附記しておく。

IV 結 論

5℃以下の低温水中では雪はラピッドステートとスロウステートの二段階で融解した。温度が1℃と特に低いときには、第二段階のスロウステートの融解が極めて遅く、連続して水に浸しておくとも60%の雪が融けなかった。しかしながら水の中に断続的に浸漬すると雪は約20分で完全に融けた。

この断続法は実際に応用しても効果的である。

引 用 文 献

- 日本建設機械化協会(1976)：新防雪工学ハンドブック，324～325，森北出版株式会社
斎藤博英(1967)：地下水利用による融雪の基礎理論，雪害実験研報，1 1～16