

## 流雪溝の流雪能力と塗装によるその改善

### SNOW-TRANSPORTATION CAPACITY OF SNOW-CONVEYANCE-GUTTER SYSTEMS AND AN IMPROVEMENT OF THE CAPACITY BY COATING WITH RESINOID

大熊 孝\*・米内弘明\*\*・星野和利\*\*\*・小林雄二\*\*\*\*

By Takashi OKUMA, Hiroaki YONAI, Kazutoshi HOSHINO and Yuji KOBAYASHI

The usual techniques, of snow-removal with gasoline-mobile machineries and snow-melting by means of ground water, have some problems, such as energy-consumption and ground-settlement.

To overcome above problems, the snow-conveyance-gutter systems by using surface water have become a centre of attraction. However, the snow-transportation capacity, with which flow discharge shall dispose of snow casted into the gutter systems, is not clear. The objects of this paper are as follows,

1. to make clear the snow-transportation capacity of the gutter systems by site-observations and experiments,
2. to improve the capacity by coating the surface of gutters with resinoid.

#### 1. ま え が き

わが国の日本海側の地域は、世界的にみても有数の多雪地域であり、そのほとんどが昭和 37 年制定の豪雪地帯対策特別措置法によって豪雪地帯に指定されている。その指定面積はわが国総面積の約 52% を占めている<sup>1)</sup>。

この豪雪地域の雪処理問題は第 2 次世界大戦後の車社会の到来とともに顕在化してきたが、昭和 36 年、同 38 年豪雪を契機に道路除雪の必要性が明確に認識された。それ以後、国・県・自治体等の道路除雪体制が急速に整えられ、現在、わが国の雪処理技術は世界の最高水準にあるといわれている。この雪処理技術は多様であり、そのうち主なるものをわれわれは図-1 のように分類している<sup>2),3)</sup>。融雪方式は、降雪を直接融かす方式であり、除雪方式は、いったん堆積した雪を排出する方式である。

これらの方式のうち、現在、費用が安く、最も一般的な方法は、道路側帯などに堆雪させる堆雪方式である。しかし、市街地家屋連担部では、雪を堆積する空間を確

保することが困難であり、従来は、地下水を吸み上げ散布する消雪パイプ方式が主として採用されてきた。しかし、この消雪パイプ方式にも、地下水枯渇、地盤沈下、高額な維持管理費などの欠点があり、現状では、この方式を増設するよりはむしろ縮小する方向にある。かわって、近年注目されているのが、地表水を利用した流雪溝方式と消融雪溝方式である。

流雪溝方式は、道路の側溝等に水を流し、その流水の力で投入された雪を運搬させる方法である。この方法は流水量が少ないと、雪が閉塞して溢水害を発生させる。消融雪溝は、この流雪溝の欠点を克服する方法として考案されたものであり、流水量が少ない場合に、雪を流すことは考えず、その水のもつわずかな熱エネルギーを効率的に利用して、時間をかけて雪を融かす方式である。流雪溝と消融雪溝は、このように関係が深いわけであるが、本論文では紙数の関係上流雪溝についてのみ論じる。

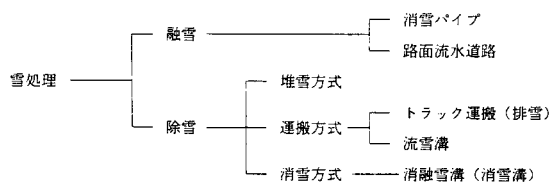


図-1 主なる雪処理技術の分類

\* 正会員 工博 新潟大学助教授 工学部土木工学科  
(〒950-21 新潟市五十嵐 2 の町 8050)

\*\* 正会員 工修 アイ・エヌ・エー新土木研究所(株)  
(〒162 新宿区水道町 22 番 1 水道町ビル)

\*\*\* 正会員 (株)植木組 (〒945 柏崎市新橋 2-8)

\*\*\*\* 正会員 (株)間組 (〒107 港区北青山 2-5-8)

流雪溝は、昭和初期に新潟県小出町の国鉄構内や市街地で実用化されたことに始まるが、いまだその標準的設計法が確立されておらず、溢水害をしばしば発生させてきた。これは、一定流量に対しどの程度の雪量を流し得るかという“流雪能力”が必ずしも明らかでないからである。そこで、本論文は次の2点を目的としている。

すなわち、第1の目的は、この流雪能力に関して、従来提案されている諸式を整理し、新たな実験を行い、コンクリート製流雪溝における適用限界を明らかにすることである。第2の目的は、その適用限度を拡大する方法を探ることであり、本論文では、コンクリート製流雪溝に樹脂系塗装をすることによって、流雪能力が倍増することを明らかにする。

## 2. 従来の流雪能力算定法

流雪溝の流雪能力は単に流量のみの関数だけでなく、流雪溝の材質、溝幅、勾配、屈曲、分合流、気温、水温、雪質等に影響される。しかし、ここでは、まずコンクリート製流雪溝に関して、直線水路で分合流のない場合をモデルとして、その他の影響因子を考慮しつつ、流雪能力を検討する。まず、その流雪能力を、「一定流量に対して、投入された雪塊が瞬時に流下されるときの、毎秒当たり投入される雪塊の最大体積で表わす」と定義する。流雪能力を体積単位系で表示する理由は、従来の流雪能力算定式のほとんどが、雪量を流量との対比において、体積単位系を採用しているからである。なお、われわれの実験では、体積を直接測定するほか、雪の重量と比重を測定しておき、それから体積に換算する方法もとった。以下、この定義において、流量、投入雪量（流雪能力）、雪の比重を原則として次の記号と単位に統一して表わす。

$Q_w$ : 流量 ( $m^3/s$  or  $l/s$ )

$Q_s$ : 投入雪量 (流雪能力) ( $m^3/s$  or  $l/s$ )

$\gamma_s$ : 雪の比重

### (1) 「新防雪工学ハンドブック」の流雪能力算定式<sup>4)</sup>

このハンドブックは、「流雪溝に投入した雪塊が直ちに流下するのに必要なおよその水量は、経験式 (4-1-1) で求める」と述べ、次式を示している。

$$Q_w = K(1 - \gamma_s)Q_s \dots\dots\dots (i)$$

この  $K$  は、「水路 (流末) の状況による係数」で、「水路が良好、適正な場合  $K=1.0$ 、勾配が緩く水路の条件が悪い場合  $K=1.5$ 」としている。この式は、一定流量に対し、雪の比重が大きくなるほど流雪能力が大きくなり、たとえば、 $K=1.0$ 、 $\gamma_s=0.5$  の場合には、流量の2倍の雪量を流し得ることを示している。

なお、流雪溝の勾配に関する適用範囲は、「一般に1/500より急であることが望ましい」と述べている。

### (2) 「道路構造令の解説と運用」の流雪能力算定式<sup>5)</sup>

この文献では、「流雪溝内の流量は投雪による増加量の1.5倍を標準とし、次の式を参考にして求める」と述べ、次式を示している。

$$Q_w = 2(1 - \gamma_s)Q_s \dots\dots\dots (ii)$$

式 (i) と式 (ii) を比較すると、係数が異なるだけで式自体の型式は同じであり、雪の比重が大きくなるほど流雪能力も大きくなる傾向は同じである。しかし、式 (ii) は、式 (i) より流雪能力を低く評価しており、たとえば、 $\gamma_s=0.5$  の場合、流量と同じ雪量しか流せないことを示している。また、流雪溝の勾配に関しては、「原則として2/1000以上とする」と述べており、前述のハンドブックと同じ値を示している。

### (3) 「流雪溝設計資料」の流雪能力算定式<sup>6)</sup>

この資料は、昭和30年新潟鉄道管理局の内部資料としてまとめられたものであり、「投下雪量と同じ水量では、側壁及び底面の抵抗に打ち勝ってスムーズに流下することは困難である。このことから少なくとも2倍の水量は必要と思われる」と述べ、次式が示されている。

$$Q_w = 2Q_s \dots\dots\dots (iii)$$

この式 (iii) は、雪の比重に関係なく、一定  $Q_w$  に対し流雪能力は50%に過ぎないことを示している。式 (i)、式 (ii) と比較すると、式 (iii) は流雪能力が最も小さい。また、流雪溝の勾配に関しては、「勾配は1/800より大きくすることが必要と思う」と述べており、(1)、(2)より緩くなっている。さらに、国鉄の内部資料である「流雪溝について」(1967年2月、手書き)には、「機械投入の場合は1/700以上、人力投入の場合は1/1000以上」と示されている。

### (4) 「土木工学ハンドブック」の流雪能力算定式<sup>7)</sup>

このハンドブックでは、「流雪溝は水温によって雪を融かすとともに、掃流力によって流去するものである」と定義し、融雪の効果を考慮に入れた元国鉄技師乾市太郎の実験式を引用し、整理して次式を示している。

$$Q_s = mQ_w(T/80 + 0.3)/\gamma_s \dots\dots\dots (iv)$$

ここに、 $m$  は流動係数であるとして、「 $m=0.6$ ぐらいに考えてよいようである」と述べてあり、 $T$  は「流雪溝内の水温 ( $^{\circ}C$ )」としている。

この式で注目される点は、式 (i)、(ii) の傾向と異なり、雪の比重が大きくなるほど流雪能力が小さくなることである。たとえば、 $T$  に冬季において最も一般的な水温  $2^{\circ}C$  を代入し、 $\gamma_s=0.2$  とすると、 $Q_s=0.98Q_w$  であるが、 $\gamma_s=0.5$  とすると、 $Q_s=0.39Q_w$  となる。

また、流雪溝の勾配に関しては、「1/400以上とれることが望ましい」と述べてある。

### (5) 「流雪溝の流雪能力について」の流雪能力<sup>8)</sup>

この論文は、国立防災科学技術センター雪害実験研究

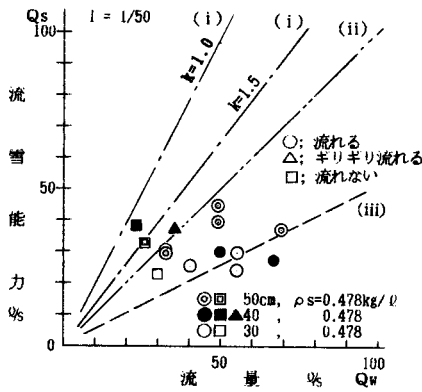


図-2 雪害実験研究所における実験結果 (一部)

所(長岡)で行われた実験をまとめたものである。その実験は延長 11 m の木製水路で、水路幅 50, 40, 30 cm, 勾配 1/50, 1/100, 1/233 に対し、流量、投入雪量を変化させて、詰り現象が発生するかどうかを観測したものである。その結果が 49 ケースについて重量単位系で記録されているので、それを体積単位系に変換して、グラフ化したものの一部が図-2 である。比較のため、式 (i) ~ (iii) も図示してある。

この実験結果は、最大流量約 70 l/s であり、データが偏っているため明確な判断は下せないが、おおむね流量が 30~40 l/s 以下になると閉塞が発生し、それ以上であれば、流雪能力はだいたい式 (ii) で表現されることを示しているといえる。ただし、雪質による差異は、実験範囲の比重が 0.478~0.54 であり、明確でない。

(6) 「流雪溝の運用と問題点」における流雪能力<sup>9)</sup>

この論文は、国立防災科学技術センター新庄支所で行われた実験をまとめたものである。その実験は、長さ 20 m (可変部) の鉄製水路で、水路幅 50, 70 cm, 勾配 1/50, 1/100, 1/250, 1/500 に対し、流量、投入雪量を変化させ、雪質の違いに対応して、各流量に対する可搬雪量(流雪能力)を kg/s 単位で求めたものである。前述の各式と比較のため、その可搬雪量を体積単位系に変換し、グラフ化したものを図-3 に示す。この実験結果から次のことが指摘できる。

- a) いずれの勾配でも、幅 50 cm 水路では流量が 40 l/s 以下に、幅 70 cm 水路では 60 l/s 以下になると、流雪能力は急激に低下する。
- b) 勾配が急なほど流雪能力は大きい。
- c) 雪質による差異をみると、幅 50 cm 水路では、ざらめ雪の流雪能力が最も大きく、しまり雪と新雪の流雪能力はざらめ雪より劣るがその両者の差はあまりない。ただし、新雪の方がしまり雪より大きくなっている場合がある。幅 70 cm 水路では、新雪が最も流れやすく、

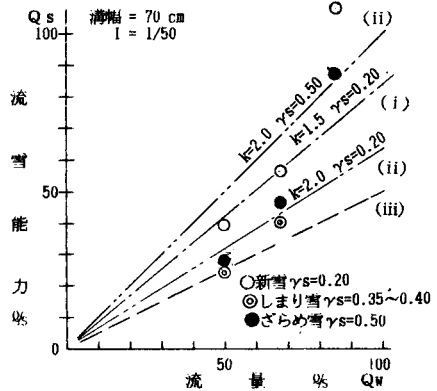
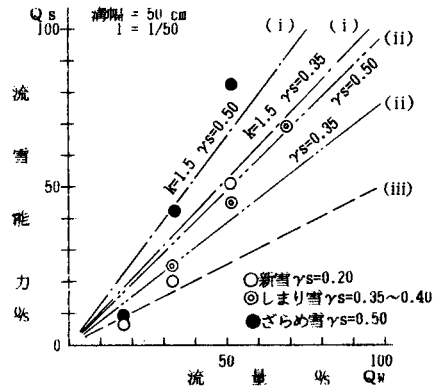


図-3 「流雪溝の運用と問題点」の実験結果 (一部)

ざらめ雪、しまり雪の順に流雪能力が低下する。すなわち、水路幅の違いが雪質による流雪能力を変化させている。

d) 流雪能力が流量の 100 % 以上になることが、どちらの水路幅においても発生している。このことは、鉄製水路の場合であり、コンクリート製水路にそのまま適用し得るかどうかは注意を要する。

(7) 「流雪溝設計運営要領」の流雪能力算定式<sup>10)</sup>

この本は、式 (i), (iv) について記述したあと、「実験用鉄製水路及び現用流雪溝などで勾配と雪質を変換して行った実験結果から得た」として、次式を示している。

$$Q_w = m Q_s^{0.6} \dots \dots \dots (V)$$

ここに、 $m$  は勾配、雪質による係数、 $Q_s$  は投入雪量 (t/s) であり、 $Q_w$  は流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) である。

この式は、(6) の「流雪溝の運用と問題点」における実験結果をかなり引用しており、実質的にその実験結果の数式化と考えて差し支えない。この式は指数型であるので、流量が増大すると流雪能力は極端に増大していく。ちなみに、 $m$  の値を同書の指示どおり勾配と雪質に応じて求め、 $I = 1/50$ ,  $\gamma_s = 0.5$  の場合を計算して、体積単位系で表示してみると、 $Q_w = 100 \text{ l/s}$  に対し  $Q_s = 259 \text{ l/s}$ ,  $Q_w = 200 \text{ l/s}$  に対し  $Q_s = 825 \text{ l/s}$  と、非現実的

な流雪能力となる。実験が80 l/s以下の鉄製水路を主体として行われていることから、この式の適用範囲はそのことを留意すべきであろう。

なお、流雪溝の勾配に関しては、「流雪溝の勾配は1/50~1/500の範囲が望ましい」としている。

(8) 国道121号線流雪溝における流雪能力算定法<sup>1)</sup>

米沢市の国道121号線では、延長4 kmにわたって両側に流雪溝があり、その平均勾配は約1/160である。その流雪溝の幅は70 cmであり、片側500 l/sの流量を流し、雪をロータリー等の機械で連続投入するという画期的な方法を採用している。ここでの投入雪量は、表一で示される規準によって決定されている。この表の規準は、繰り返し溢水被害をこうむってきた、長年の経験の中から生みだされたものであり、流雪能力を気温との関係で明示している点で注目される。さらに、気温が高く、条件がよいと思われるときでも、流雪能力は流量の80%を超えないとしている点でも注目される。

3. 新潟大学による流雪能力に関する実験

流雪溝の流雪能力算定式や勾配に関する適用範囲は、前述したようにさまざまな見解があり、どれを信頼すべ

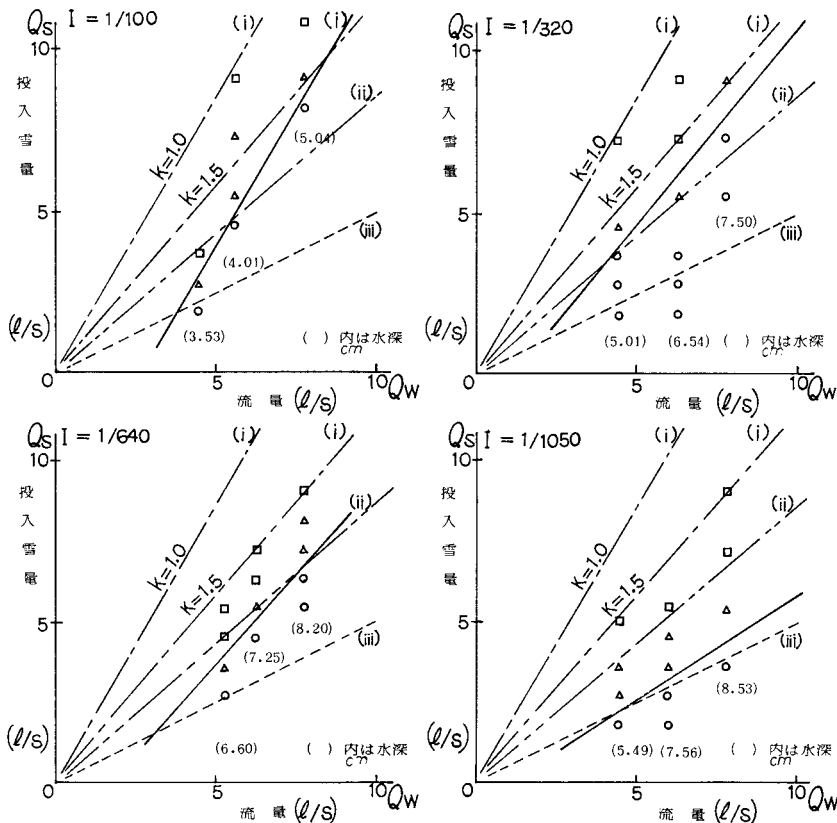
表一 流雪溝の処理能力 (米沢市国道121号線流雪溝)

気温	投雪量 (体積単位)	投雪可
+5 ~ 0℃	水量の約80%	投雪可
0 ~ -5	60	〃
-5 ~ -10	40	〃
-10℃以下	10	〃

きか定かではない。そこで、まず、コンクリート製水路で、1/1000程度の緩勾配までを対象として室内実験を行い、ついで、現用流雪溝において可能なかぎり現地実験を行い、従来の流雪能力算定式を吟味した。

(1) 室内実験とその結果

鉄筋コンクリートU字溝 (幅18 cm, 長さ7 m) 水路を用い、勾配1/100, 1/320, 1/640, 1/1050に対し、流量を4~8 l/sの範囲で3通りに変化させ、雪塊を投入して、流雪能力を判定した。その判定基準は、「○……投入後直ちに流下する」、「△……投入後一時停滞するが、流下する」、「□……閉塞する」とした。投入する雪塊の大きさは10×10×9 (cm)とし、その比重は作製上0.42前後となり、1種類の雪質に対する実験となった。投入雪塊の大きさは、最も一般的な現用流雪溝50 cm幅水路を想定し、スcoop投入する場合雪塊の大きさが



図一四 新潟大学における流雪能力に関する室内実験 (U字溝・幅18 cm)

おおむね 30×30×30 (cm) であることから、18 cm 幅水路に対してはその 1/3 程度の大きさであればよいと考えて、決定した。また、流水温は実験中 0°C に保ち、その水を循環させて使用した。気温は室内のため 1~5°C であった。

実験結果は図-4 にまとめた。流雪能力は、判定基準 ○と△の間を一つの目安として実線で示し、あわせて比較のため前述の各流雪能力算定式も図示した。また、図中の ( ) 内の数値は、雪塊を投入する前の等流水深であり、各勾配に対し類似した水深が得られるように流量を調節した。この結果、式 (i) は、流量が少ない場合また勾配が緩い場合に、流雪能力が過大に評価されていることがわかる。すなわち、閉塞をまねくほどの投入雪量を許容しており、式 (i) から算定した必要水量は危険側の値となる。一方、式 (iii) は、勾配が急で流量が少ない場合以外は安全側の値を示す。特に勾配が 1/1050 の場合は、今回の実験とほぼ一致しており、比較的勾配の緩い鉄道構内で得られた式 (iii) の実用性を示している。式 (ii) は、式 (i) と (iii) の中間であり、勾配が緩くないかぎり、比較的妥当な流雪能力を示しているといえよう。

図-5 は、図-4 から各流量、勾配に対する流雪能力をまとめて表わしたものである。この図から、流雪能力は、8 l/s 程度までは勾配が 1/300 から 1/150 にかけてピークとなるところがあり、1/1000 以下になると激減することがわかる。

(2) 現地実験とその結果

現地実験は、新潟県北魚沼郡小出町における勾配 1/100、幅 30 cm と 50 cm の流雪溝、および、十日町市における勾配 1/56、幅 50 cm の流雪溝において、流量を 2~4 通りに変えて、雪塊の重量と比重を測定し、その雪塊をスノーダンプで写真-1 のように連続的に投入して、流雪能力を求めた。流量は、表-2 にみられるよ

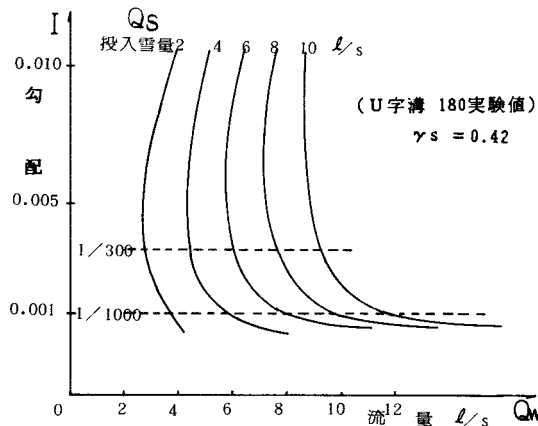


図-5 各流量・勾配に対する流雪能力 (室内実験)

うに流速が 2 m/s 前後と速く、水深も 10 cm 以下と浅く、流速計の使用が難しいので、表面流速を測定し、図-6 から平均流速に換算し、断面積を刺じて求めた。図-6 は、室内実験において、幅 18 cm のコンクリート U 字溝水路で、勾配ごとに流量を変えて、水路幅 B と水深 h の関係を  $2 < B/h < 15$  の範囲で、実測した結果である。これが、30 cm 幅や 50 cm 幅水路の大流量に適用し得るかどうかの問題である。そこで、幅 30 cm 流雪溝においてフローセル流量計を取り付けた携行ポンプで水を流し、その流量と、表面流速から図-6 を使って求めた流量を比較してみた。その結果、フローセル流量計による値が 27 l/s、15 l/s に対し、表面流速から求めた流量はそれぞれ 29.3 l/s、16.5 l/s であった。フローセル流量計にも誤差があり、50 cm 幅水路ではチェックできなかったため、ここでは統一するため表面流速から求めた流量を採用した。なお、勾配 1/56 に対しては図-6 を外挿した。また、水深測定は、室内・現地実験ともにポイントゲージを使用し、数点の測定値を平均した。

実験結果は、重量と比重から体積換算して、図-7 に示した。同図の○、△、□は前述と同じ意味であるが、

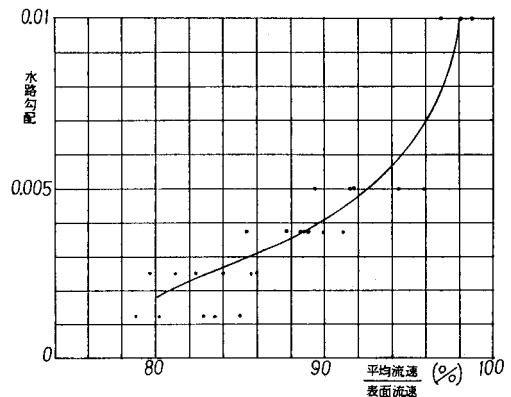


図-6 表面流速からの平均流速の推定 (コンクリート製 18 cm 幅 U 字溝における実測結果)



写真-1 現地での雪塊投入状況 (小出町・30 cm 溝)

白めきものは後述する塗装水路に対する場合であり、コンクリート製の非塗装水路に対する実験値は、●のように黒めりのものである。流雪能力は、●と▲の間を目安として、点線で示し、あわせて比較のため前述の式(ⅱ)を一点破線で示してある。この実験結果は、水路幅2種類、勾配2種類、雪質2種類と限定されているけれども、式(ⅱ)がかなり妥当性の高い式であることを示しているといえよう。

#### 4. 各式・実験の統一的解釈と流雪能力の適用限界

以上に述べた各式、各実験の結果から、流雪能力に関する適用限界をまとめると、次のごとくである。

##### (1) 雪の比重による流雪能力の相違

従来から、式(ⅰ)、(ⅱ)に代表されるように、流雪能力の比重による相違について、「新雪の方が、しまり雪、ざらめ雪に比べて流れにくい」といわれてきた。しかし、図-3の幅50cmと幅70cm水路の比較において、水路幅が広いと新雪の方が流れやすくなっていることがわかる。これは、一定流量・一定勾配に対して水路幅の広狭が水深に関係し、新雪は雪塊になりやすく、比重が小さく浮きやすいことから、水表面積が広いほど流れやすく、しまり雪・ざらめ雪はその反対で水深が深いほど流れやすいということである、ある程度説明できる。したがって、雪質と水路幅は流雪能力に強い影響があるといえる。しかし、その具体的な関係を明らかにするには、より多くの実験・現地観測が必要である。

##### (2) 流雪能力の上限

図-3および図-4の実験結果によると、勾配が急で流量が増大すると、流雪能力が流量の100%以上になることがあり、式(ⅰ)と式(ⅴ)はそれを肯定している。しかし、われわれの現地実験では、式(ⅱ)に対応して、比重0.25に対しては流量の65%程度、比重0.48に対しては80%程度(図-7参照)の流雪能力しかなかった。また、室内実験ではあるが、勾配1/1000程度になると流量の50%の流雪能力となった。さらに、米沢市の国道121号線流雪溝では、平均勾配約1/160と急であり、500 l/sという大流量を流しているが、流雪能力は流量の80%を上限としている。

以上のことから、流雪能力の上限は多くとも流量の100%とすべきであり、安全率を見込み、計画上の流雪能力は流量の60~80%が妥当であろう。

##### (3) 必要最低流量の存在

各実験結果から、ある水路幅に対して、流雪能力を維持するための、最低流量が存在することが認められる。2.(5)の実験では、水路幅30~50cmに対して流量が30~40 l/s以下になると閉塞が発生しやすく、2.(6)

の実験では、50、70cm幅に対しそれぞれ40、60 l/s以下になると、流雪能力が急激に低下している。それは、投入される雪が、それに使用される道具によってある程度の体積と重さをもつ塊状のものであるからである。以上のことから、幅50cmの水路に対しては、少なくとも50 l/s以上の流量が、70cmに対しては、70 l/s以上の流量が最低限必要であろう。

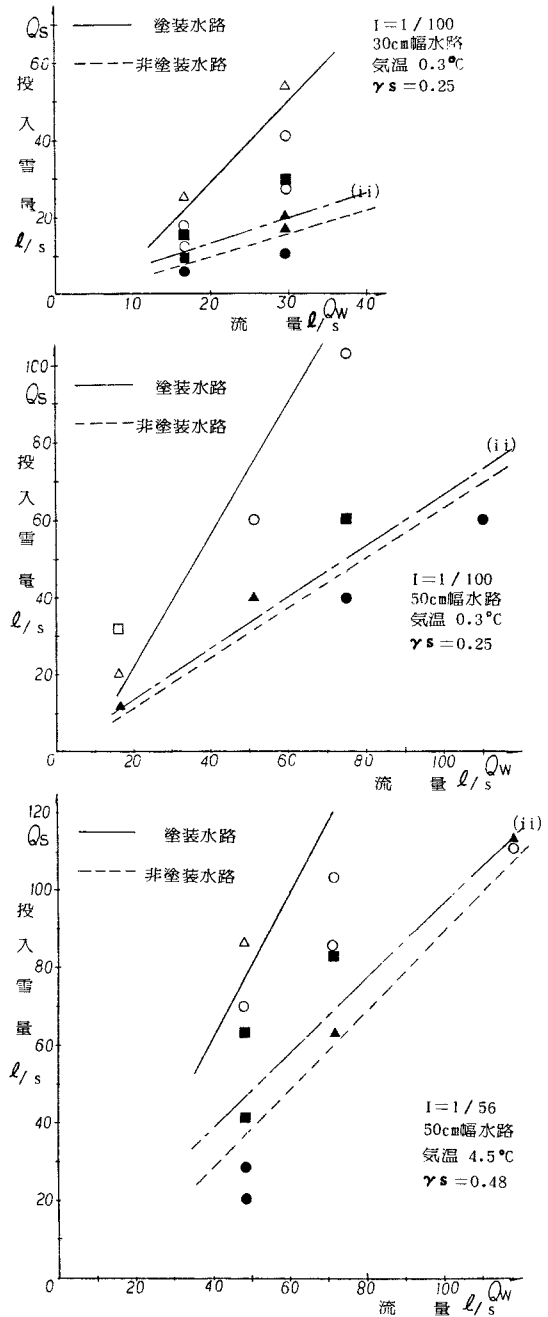


図-7 現地実験における流雪能力

ところで、われわれの現地観測によれば、壮年男子がスノーダンプによって連続的に扱ひ得る重量は1回20kg程度が最大であり、また、その扱ひ得る体積は80l程度である(体積80l、重量20kgの雪の比重は0.25であり、流雪溝への投入頻度の高い雪質といえる)。この壮年男子が扱ひ得る雪量が投入されて、瞬時に流下するには、図一7から幅50cm水路、雪の比重0.25に対し少なくとも100l/s以上の流量が必要である。したがって、幅50cmのコンクリート水路では、流雪溝として機能させるためには、少なくとも100l/s以上の流量を流しておく必要がある。

(4) 流雪溝の勾配に関する適用限界

流雪溝の勾配に関する下限は、多くの文献が1/500としているが、国鉄の例およびわれわれの室内実験結果から1/1000程度までは可能であると考えられる。ただし、その場合の流雪能力は流量の50%程度と評価すべきであろう。なお、勾配が1/1000程度になると水深が大きくなり、余裕高を考慮すると、水路の深さが大きくなるため、経済性に問題があるかもしれない。

以上の結論は、気温、雪質、水路幅など多くの影響因子をすべて明らかにしたものではないが、コンクリート製流雪溝に対する実用的な目安として、一応有効性があるものとする。

5. 塗装流雪溝の流雪能力

コンクリート製流雪溝の流雪能力は、上述のように、流量に対しその上限は100%以下であり、勾配が緩いと50%以下となる。しかし、水資源は限定されており得られる水量を可能なかぎり有効に利用したい。また、勾配が1/1000以下の平坦地においても流雪溝設置の要望は高い。こうした要求に答えるためには、流雪溝の流雪能力を何らかの方法で高めてやる以外にない。その方法としては、コンクリートと雪とが付着しやすい性質があるので、これを断つ方法として塗装することが考えられる。その他、流雪溝の材質を強化プラスチック製品等にすることも考えられよう。われわれは、比較的簡単に実施でき、費用も安い塗装方法を実行してみた。

(1) 室内実験とその結果

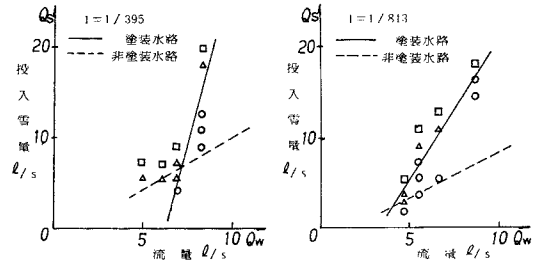
前述の室内実験で使用した幅18cm U字溝にウレタン系樹脂塗料を塗装し、勾配1/268, 1/395, 1/813に対し、流量を4~9l/sの範囲で4通りに変化させて、前述の実験と同じように流雪能力を測定した。その結果を図一8の□, △, ○で示し、おおむね○と△の間を目安として、流雪能力を実線で示してある。ただし、勾配1/268の場合は、流量が4.7l/sでも、10×10×9(cm)の雪塊を同時に28個投入しても閉塞しなかったため図示していない。なお、その雪塊の比重は0.4前後であった。図一

8の点線は、非塗装水路に対する流雪能力として、図一5から勾配に対応して求めたものである。この実線と点線の傾きを比較すると、実線の方が点線より約2倍大きい。

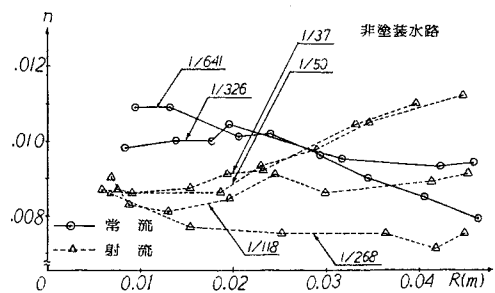
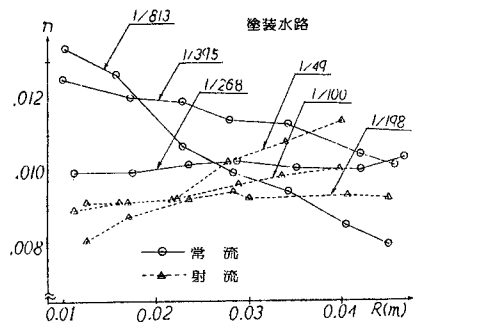
この結果、塗装水路の方が非塗装水路に対し約2倍の流雪能力があるといえる。ところで、マンシングの粗度係数nは図一9のごとく径深と勾配によって変化するが、平均的にみて塗装した水路の方が若干大きい。後述するように現地実験によれば、塗装水路の方が粗度係数が小さいので(表一2参照)、この理由は、鉄製型枠によって滑らかに仕上げられた非塗装面にに対し、塗装面の方が素人塗装によるムラが影響したのではないかと考えられる。いずれにしろ、粗度係数に大差がないのに、塗装水路の方が流雪能力が飛躍的に大きくなっている。

(2) 現地実験とその結果

この室内実験を踏まえて、現地で実施した実験結果が前掲の図一7である。これに使用した塗料は前述のウレ



図一8 塗装水路での流雪能力実験結果(室内実験)



図一9 非塗装水路と塗装水路の粗度係数(18cm幅U字溝)

表一 塗装流雪溝とコンクリート流雪溝の粗度係数比較  
(現地実験)

(a) 小出町：30cm U字溝流雪溝

	水路底 勾配	水深 (cm)	流速 (m/s)	流量 ( $\ell/s$ )	粗度係数 $n$	$n$ (平均値)
塗装水路	1/111	6.72	2.00	29.3	0.0065	0.0067
		4.75	1.60	16.5	0.0069	
非塗装水路	1/106	7.09	1.66	29.3	0.0083	0.0082
		4.91	1.44	16.5	0.0081	

(b) 十日町市：50cm幅流雪溝

	水路底 勾配	水深 (cm)	流速 (m/s)	流量 ( $\ell/s$ )	粗度係数 $n$	$n$ (平均値)
塗装水路	1/55	8.47	2.76	118	0.0078	0.0077
		5.94	2.37	72	0.0075	
		4.66	2.03	48	0.0077	
非塗装水路	1/57	8.95	2.63	118	0.0082	0.0082
		6.63	2.23	72	0.0083	
		4.94	1.93	48	0.0082	

タン樹脂とフッ素樹脂塗料であるが、両者の流雪能力に対する相異は認められなかった。なお、両者の耐久性に関する相異は現在調査中である。塗装方法は、幅50cm溝では底面と側壁50cm高さまで、幅30cm溝では内面全体に塗った。その延長は、小出町で幅30cm溝40m、幅50cm溝60m、十日町市で幅50cm溝65mであった。

塗装水路における流雪能力は図一7の実線で示した。幅50cm溝の塗装水路の場合、流量が大きくなると数人の人力投入では閉塞させることが難しく、測定個数が少ないけれど、勾配1/100と1/56の実験結果を互いに参考にしながら、また、何回かの投入作業による経験から得た勘から、この実線を引いた。現地実験でのマンングの粗度係数の違いは表一のごとくであり、塗装水路の方が若干小さかったが、極端な差異はみられない。しかるに、流雪能力は、図一7にみるごとく、塗装した方が勾配で比較して2倍以上の能力がある。

### (3) 塗装流雪溝に関する考察とその有用性

室内実験、現地実験とも、塗装流雪溝の方が非塗装流雪溝に比べ、約2倍の流雪能力があることがわかった。これは、コンクリート壁は親水性があり、水が浸透しやすく、雪も付着しやすいのに対し、塗装面は防水性があり、雪が付着しにくく、壁面と雪の摩擦係数が小さくなることに理由があると考えられる。

塗装による利点は、従来の非塗装流雪溝では、水路勾配が緩いところや流量が少ない場合は設置できなかったが、塗装することによって流雪溝の設置が可能となることであろう。また、屈曲部・分岐部・合流部等、閉塞しやすい箇所に塗装することによって、それを防止することが可能となろう（今回の現地実験では、勾配が1/250から1/100に変化する90°の屈曲部に塗装しておいた

が、そこにおいて流量52 $\ell/s$ のとき、比重0.25の雪を60 $\ell/s$ 楽に流下させることができた）。さらに、気温が-10°C程度になると側壁の水面付近に氷が発達し、これは容易にはがすことができず、閉塞の原因となっているが、塗装してあると、その水をスコップや木槌による軽い衝撃で落とすことが可能である。

流雪溝の建設費は、幅50cm水路で約5万円/mである。これに対し、塗装費用は、今回実験で約3000円/mであった。今後、この塗装流雪溝は、耐用年数、維持管理法、塗装施工の簡略化、再塗装法など研究の余地が多いが、同様な発想で流雪能力を増大させる方法が開発されることも期待される。

謝 辞：本研究は、文部省科学研究費補助金（一般研究B）による「豪雪地帯における交通及び生活環境確保のための流雪・融雪技術の開発研究」の一部として実施されたものであり、これを進めるにあたり、国・県・市町村の関係機関および地域住民の方々から多大な協力を得た。ここに、心から謝意を表す次第である。

### 参 考 文 献

- 1) 国土庁地方振興局編：豪雪地帯の現状と対策，p.15，大蔵省印刷局，1983年5月。
- 2) 鈴木 哲・大熊 孝ほか：除雪技術の変遷に関する研究一主として流雪溝について一，第3回日本土木史研究発表会論文集，土木学会，pp.156~163，1983年6月。
- 3) 鈴木 哲・大熊 孝ほか：除雪技術の変遷に関する研究一主として道路の機械除雪について一，第4回日本土木史研究発表会論文集，土木学会，pp.125~134，1984年6月。
- 4) 日本建築機械化協会編：新防雪工学ハンドブック，p.305，森北出版，1977年12月。
- 5) 日本道路協会編：道路構造令の解説と運用，p.486，丸善（株），1981年4月。
- 6) 新潟鉄道管理局：雪にいでむ（pp.191~202）に集録された資料で1955年に書かれたものである。「雪にいでむ」は過去の資料群を集録したもので、発行年月日等は記されていない。
- 7) 土木学会編：土木工学ハンドブック，上巻，pp.1292~1293，技報堂，1968年9月。
- 8) 田中康之ほか：流雪溝の流雪能力について，国立防災科学技術センター雪害実験研究所報告，1967年。
- 9) 東浦将夫：流雪溝の運用と問題点，除雪研究会資料，建設省，1981年1月。
- 10) 建設省北陸地方建設局監修：流雪溝設計運営要領，p.37，p.60，北陸建設弘済会，1983年9月。
- 11) 米沢建設事務所・西部流雪溝利用協力会：流雪溝利用のしおり——一般国道121号線——

(1984.8.23・受付)