

# 地下水を利用した融雪に関する研究

—特に坂道における融雪について—

加 場 重 正\* 大 深 伸 尚\*\*

## Studies on Snow-Melt by Use of the Ground Water

— On the Slope —

by

Shigemasa HASABA and Nobuhisa OHFUKA

### Abstract

In general, the sprinkler system to melt the snow by use of the ground water is set on the flat road because the loss of head at nozzles on the pipe need not be considered, but on the slope, the loss of head at nozzles cannot be disregarded.

Now in order to determine the sprinkling distance of the water from a nozzle of the pipe on the slope, in this paper, the equations which compute the water-head of each nozzle were derived, moreover, the sprinkling distance and the direction, thickness and temperature of the flowing water were measured by the aid of the testing model, and we conclude from the results described above that the sprinkler system by use of the ground water is available on the slope.

### 1. ま え が き

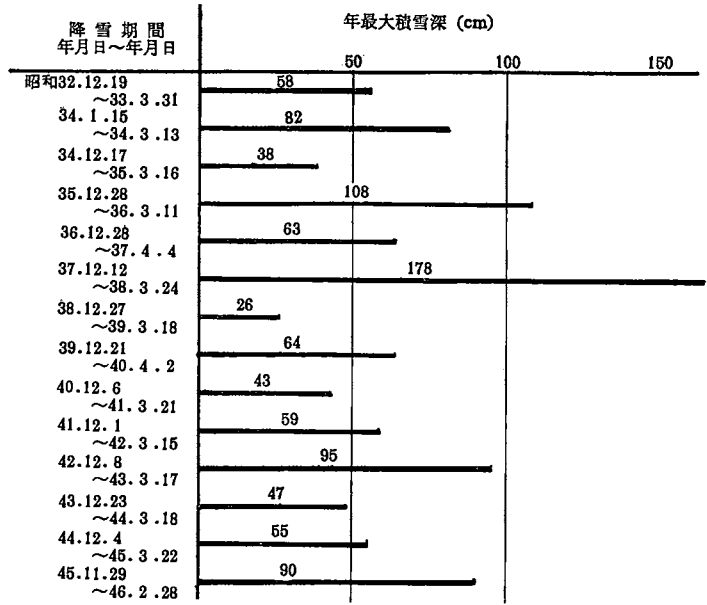
地下水を利用した融雪装置は、昭和38年の豪雪の時長岡市<sup>1)</sup>でその効果が大いに認められて以来、多雪地帯の市街地で数多く取り入れられるようになった。この融雪方式は、地下水の熱量を利用して消雪するものであるから冬の気温があまり低くない地方で、豊富な地下水が得られ、かつ地盤沈下や付近の井戸に悪影響を与えない所でなければならぬし、比較的平坦で線形のゆるやかな、屋根雪などの影響をあまり受けない程度の幅員を持つ舗装道路で、十分な容量の排水溝や下水設備を有していなければならない<sup>2), 3)</sup>かなり地域的には限られてくる。

昭和43年から主要交差点を主に、融雪装置を設置した金沢市<sup>4)</sup>の場合は、第1図に示すように、昭和32年より14年間の記録から、降雪期間は12月、1月、2月、3月の4ヶ月間あり、年最大積雪深も50cmを越える年がほとんどである。気温の方も昭和41年から昭和46年までの6年間の調べで(第2図参照)、最低気温の月平均値でやや氷点下を下回る年があるが、平均で下回った例はなく、多雪地方では比較的温暖な地域に入り、散水の凍結する心配が少なく、地下水についても市街地に犀川、浅の川という

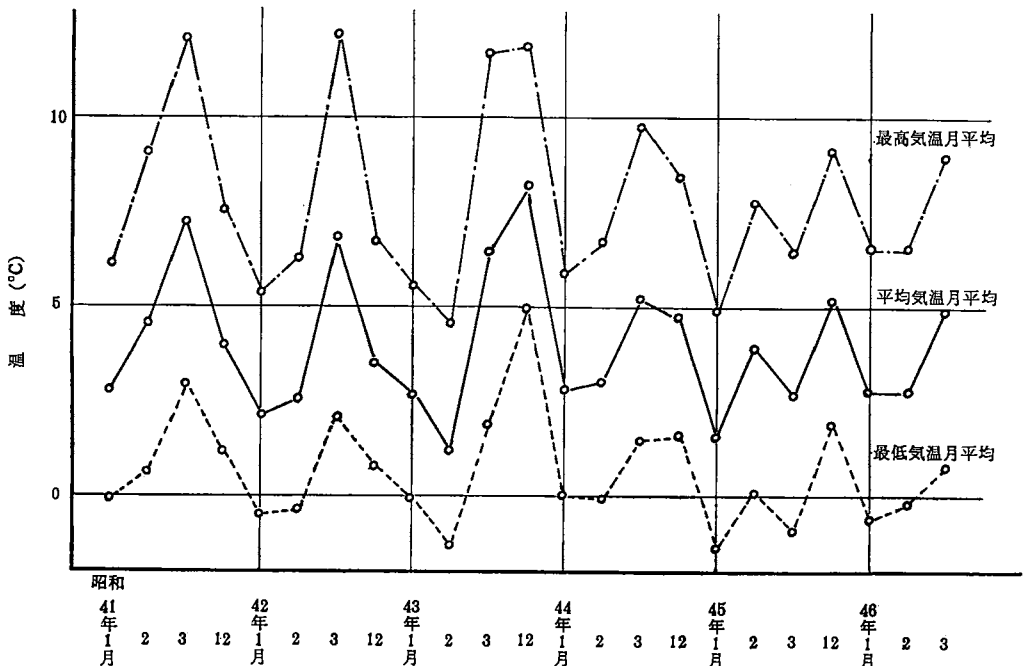
\* 土木工学科 \*\*アルスコンサルタンツ株式会社 (元土木工学科講師)

比較的大きな河川があり、昭和43年に行った金沢市地下水調査で市街地における地下水の状態も調査され<sup>4)</sup>、排水溝や下水施設についてもすでにある程度融雪水の排水に利用できることなど、地下水を利用した融雪装置を敷設するのに有利な条件を備えている。しかし、市街地は起伏が多く、各主要道路の線形は必ずしもゆるやかではなく、地形的には恵まれていない。

従来地下水を利用した融雪水の散水の方法や流量決定、配水の問題などの研究は、平坦な道路を対象に行なわれてきたため、坂道における融雪装置の取付法や、散水や排水の方法については全く解明されていないのが現状である。そこでわれわれは、坂道における散水の問題と、路面を流れる融雪水の諸問題について、理論的な解明と模型実験による測定値を比較検討し、今後の坂道における融雪装置を計画する場合の参考にしたい考えで研究を進めてきたのでここに報告する。



第1図 金沢市の降雪期間および年最大積雪深 (金沢気象台調べ)



第2図 金沢市の冬期間における最高・最低・平均気温月平均値 (金沢気象台調べ)

2. 流量の決定と問題点

融雪水量は降雪量，使用水温，道路幅員などから定まり，次の式<sup>2),3)</sup>から決定される。

$$Q = \frac{\gamma_s h \{ (J + C_s |t_s|) + C_w t_2 \}}{1,440 \times \eta C_w (t_1 - t_2)} \quad (1)$$

- Q : 1 m<sup>2</sup> 当り毎分所要水量 (l/min/m<sup>2</sup>)
- h : 1 日当り設計降雪深 (m/day)
- γ<sub>s</sub> : 降雪密度 (t/m<sup>3</sup>)
- η : 噴水の融解効率 (気温, 風などによる影響)
- J : 氷の融解潜熱 (8 × 10<sup>4</sup> Kcal/ton)
- C<sub>s</sub> : 氷の比熱 (5 × 10<sup>2</sup> Kcal/ton°C)
- C<sub>w</sub> : 水の比熱 (10 × 10<sup>2</sup> Kcal/ton°C)
- t<sub>s</sub> : 降雪温度 (°C)
- t<sub>1</sub> : 噴水の温度 (°C)
- t<sub>2</sub> : 噴水が側溝に入るときの温度 (°C)

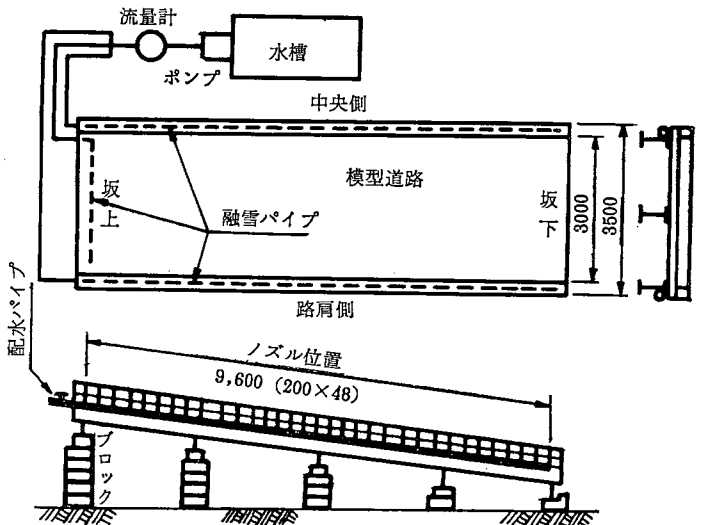
$$Q_T = Q \times L \times B \quad (2)$$

- Q<sub>T</sub> : 融雪個所に要する全水量 (l/min)
- L : 延長距離 (m)
- B : 有効幅員 (m)

平坦地の場合，1つのノズルが受け持つ消雪面積は，道路の中央に設置した場合横断勾配があるのみであるから，同じ方向に噴水するノズルのピッチに中央から側溝までの距離を有効幅員として計算すればよく，ノズルのピッチを l(m) とおけば，次の式よりノズル1個から噴水すべき水量 q (l/min) が次式から求まる。

$$q = Q \times l \times B \quad (3)$$

よって交通に支障のない程度の飛射距離を決めればノズルの口径が定まり，配水による水頭の損失は L=50m 程度の消雪パイプの場合，極めて影響が少ない<sup>3)</sup>ことが知られているので，損失水頭を考慮せずに配水計画が立てられるわけである。しかし，坂道における配水計画は水頭の損失が無視できない程大きく，一様な飛射距離を得る事は難しい。つまり，路線方向の配管においては位置のエネルギーによる影響が大きく，路面に一樣



第3図 模型実験装置の配置図

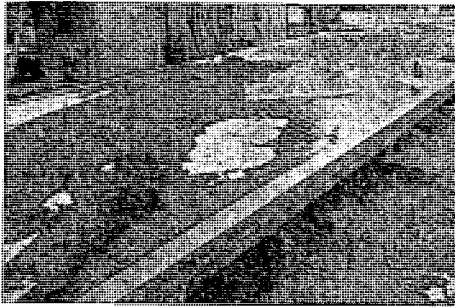


写真 1

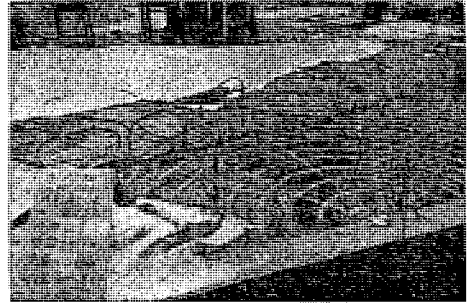
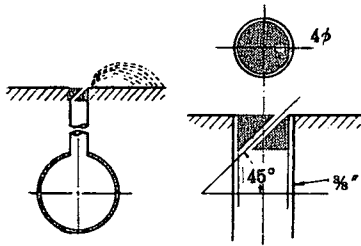


写真 2

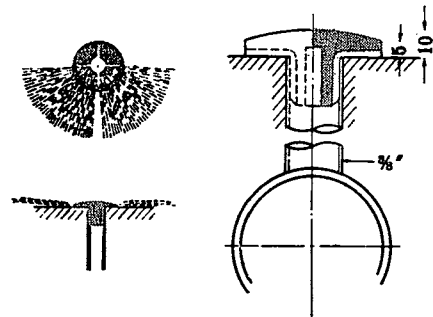
に散水することは難しいことになり、さらに、散水された水の流れの方向にも相当な影響を与えることから、これらを一応理論的に解明し、第3図および写真1、2に示すような縦断、横断勾配を適当に選択できる模型実験装置から得られる実験値と比較検討すると同時に、流水の温度変化や、水膜厚についても実験による値から検討を加えたものである。

### 3. 坂道におけるノズルの飛射距離について

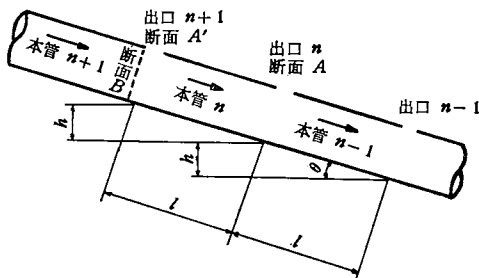
路面に噴水するノズルのタイプは、以前はパイプに適当な大きさの穴を穿ったものであったが、近年は第4図に示す放射式のもの、第5図に示すキャップ式のタイプが多く使用されている。これらのうち、キャップ式のノズルは噴水時の状態が非常に複雑なために、まず放射式ノズルを配備した



第4図 放射式ノズル



第5図 キャップ式ノズル



- $D$  : 本管の内径
- $A$  : 本管の断面積
- $a$  : 出口の面積
- $l$  : 出口の間隔
- $f$  : 摩擦損失係数
- $\zeta_m$  : 本管から本管への分岐による損失係数
- $\zeta_o$  : 本管から出口への分岐による損失係数
- $C'$  : 出口での損失係数
- $V$  : 本管内流速
- $v$  : 出口での流速
- $Q$  : 本管内流量
- $q$  : 出口での流量

第 6 図

水頭の損失について理論式を導くものとする。

まず基本的な考え方<sup>5)</sup>は第6図に示すとおりである。

断面Bより断面Aまでの流れに Bernoulli の定理を適用し、

$$P_B + \frac{w}{2g} V_{n+1}^2 = \zeta_{m_{n+1}} \frac{w}{2g} V_{n+1}^2 + f \frac{l}{D} \cdot \frac{w}{2g} V_n^2 + \zeta_{b_n} \frac{w}{2g} V_n^2 + \zeta'_n \frac{w}{2g} v_n^2 + \frac{w}{2g} v_n^2 - wh \quad (4)$$

また、断面Bより断面A'までの流れに対しても同様に

$$P_B + \frac{w}{2g} V_{n+1}^2 = \zeta_{b_{n+1}} \frac{w}{2g} V_{n+1}^2 + \zeta'_{n+1} \frac{w}{2g} v_{n+1}^2 + \frac{w}{2g} v_{n+1}^2 \quad (5)$$

(4)式と(5)式の左辺が等しいからこれを整理すると、

$$\left( f \frac{l}{D} + \zeta_{b_n} \right) V_n^2 + \left( 1 + \zeta'_n \right) v_n^2 = \left( \zeta_{b_{n+1}} - \zeta_{m_{n+1}} \right) V_{n+1}^2 + \left( 1 + \zeta'_{n+1} \right) v_{n+1}^2 + 2gh \quad (6)$$

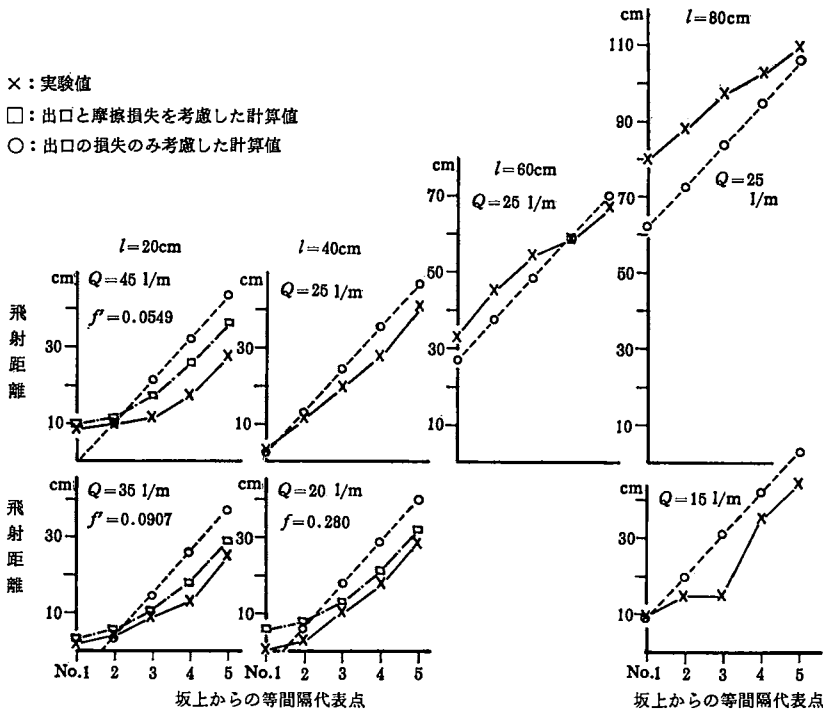
が得られる。この式は流速表示のために流量表示に改めると

$$\left( f \frac{l}{D} + \zeta_{b_n} \right) \frac{Q_n^2}{A_2} + \left( 1 + \zeta'_n \right) \frac{q_n^2}{a^2 c^2} = \left( \zeta_{b_{n+1}} - \zeta_{m_{n+1}} \right) \frac{Q_{n+1}^2}{A_2} + \left( 1 + \zeta'_{n+1} \right) \frac{q_{n+1}^2}{a^2 c^2} + 2gh \quad (7)$$

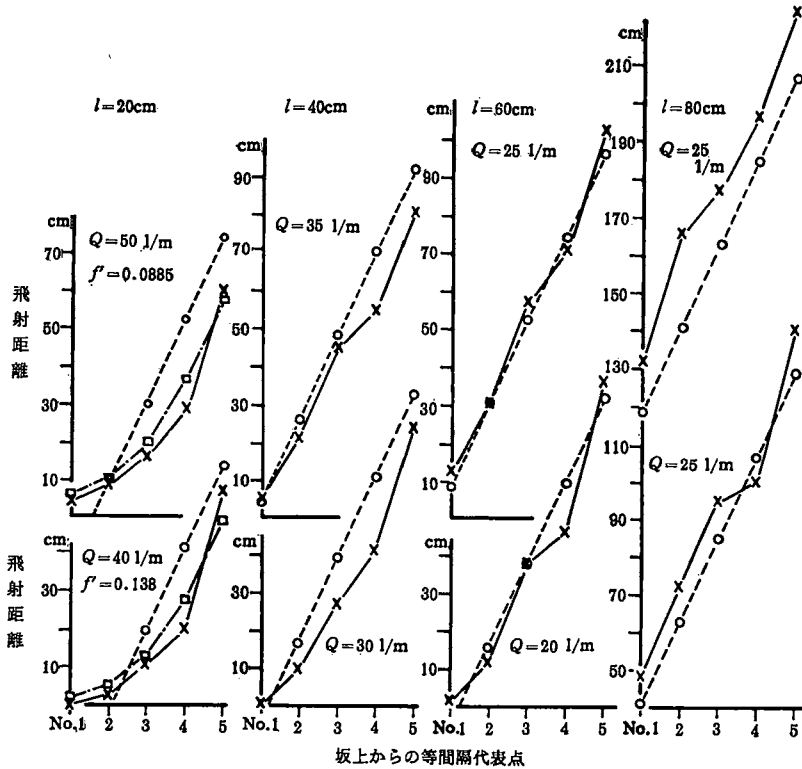
(7式)となり、これが各ノズルの流量を定める一般式である。

第3図に示す模型道路を片車線と考え、中央側と路肩側に縦断方向に20cm間隔で49個、坂上には横断方向に15個の放射式ノズルを取り付け、その間隔はプラグを用いて定め、各勾配毎に流量を変えたときの飛射距離を測定した。一般に融雪装置の取り付ける位置が中央側であるから、中央側に取り付けたノズルからの飛射距離の測定値を図に示したものが第7図～第9図である。この図のノズル位置を示す No.  $N$  は坂上から最初のノズルを No. 1 とすると、 $12(N-1) + 1$  番目のノズルとなる。また2-8%は横断勾配が2%で、縦断勾配が8%であることを示し、 $l$  はノズル間隔 (cm)、 $Q$  は全流量 (l/min) を示している。

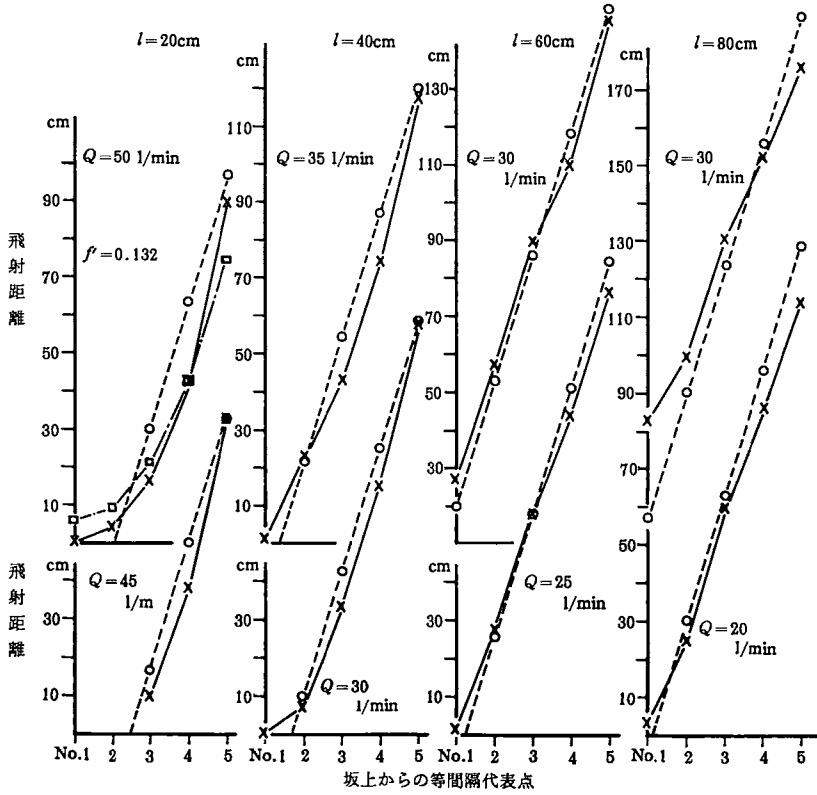
一般式(7)より各損失係数を定めれば各ノズルの噴出流量が計算され、ノズルの方向角(本実験では45°)がわかれば、 $s = q^2 \sin 2\theta / ga^2$ より飛射距離  $s$  を求めることはできるが、計算手順を簡単にする為に実測値のグラフより勾配が比較的ゆるく、ノズル間隔が狭くて、流量が多い場合の飛射距離は、坂下に行くに従って凹曲線的に増加しているところから、本管内の損失が影響を受けていることを示しているが、分岐による損失は摩擦損失より一般的には小さく、特に(7)式の右辺第一項は本管から、出口へと、本管への分岐による損失係数の差となっているため、さらに小さくなるのでこの項を無視し、



第7図 飛射距離の理論値と実側値 2-4%



第8図 2-8%



第 9 図 2-12%

$f' = \left( f + \frac{D}{l} \zeta_{bn} \right)$  とおけば (7) 式から

$$f' \frac{l}{D} \frac{Q_n^2}{A^2} + (1 + \zeta'_n) \frac{q_n^2}{a^2 c^2} = (1 + \zeta'_{n+1}) \frac{q_{n+1}^2}{a^2 c^2} + 2gh \quad (8)$$

が得られる。この式は出口の損失と管内の摩擦損失を考慮したもので、第 7 図又第 9 図の左側の曲線で見られるように路面勾配とノズル間隔が小さく、流量の多い時は実測値よりやや大きめの飛射距離を示すが、グラフの形態はほぼ一致する。ただし、飛射距離の算定に用いた  $f'$  の値は実験値より計算したものである。しかし、この値はマンシングやフォルハイマーなどの式による  $f$  の値<sup>6)</sup> と比べると数倍大きい。これは分岐管を本管岐に取り付ける時の施工上の欠陥から、出口への分岐による損失の項  $\frac{D}{l} \zeta_{bn}$  が大きくなったためと考えられる。

次に勾配およびノズルの間隔が大きくなるに従って、流量の少い程グラフは直線的となり水頭差の影響が管内流速のそれに比べて非常に大きく、出口での急速な流速の変化による損失が摩擦や分岐による損失よりはるかに大きくなるために、出口の損失のみを考慮した。

$$(1 + \zeta'_n) \frac{q_n^2}{a^2 c^2} = (1 + \zeta'_{n+1}) \frac{q_{n+1}^2}{a^2 c^2} + 2gh \quad (9)$$

(9) 式より計算した飛射距離の値は、実験値とよく付合している。

(8) 式と (9) 式の使い分けは勾配、ノズル間隔、流量によって定まるが、これは各ノズル間隔

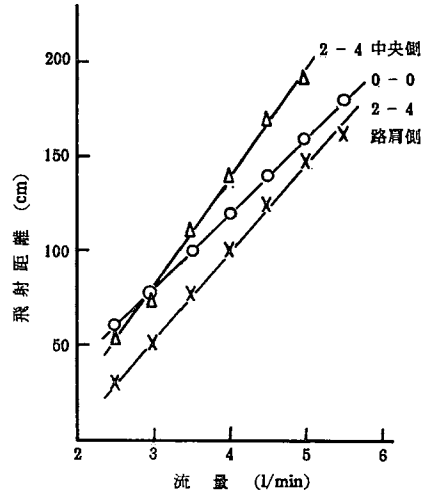
当りの水頭の変化の程度を示すため、摩擦損失を無視するか否かは、次の式

$$\left(f' \frac{l}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}\right) / h = \left(f' \frac{l}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}\right) / l \sin \theta = f' \frac{V^2}{2g} \cdot \frac{1}{D \sin \theta} \tag{10}$$

より実験値と比較し、 $\frac{V^2}{2g} \cdot \frac{1}{D \sin \theta} > 7$  の場合は、(8)

式を用い、 $\frac{V^2}{2g} \cdot \frac{1}{D \sin \theta} \leq 7$  の場合は(9)式を用い  
れば実験値とよく一致する。

キャップ式ノズルは、融雪水を強制的に路面に拡散させる目的から、ノズルの間隔は当然大きくなり、出口における流速変化が急激であるから(8)式で流量の算出ができるが、第5図に示すようにキャップからの噴水は、45°の扇状に拡散して面状に飛射するため、流量から飛射距離を計算することは非常に困難となる。しかし、第10図に示すように、実測値では飛射距離と流量の関係は直線的である。



第10図 キャップ式ノズルの噴水飛射距離

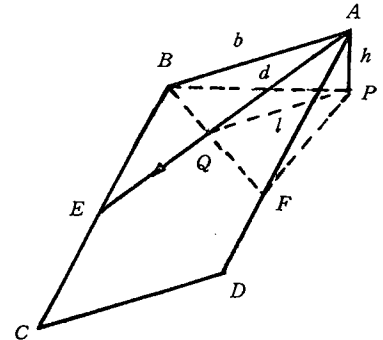
#### 4. 融雪水の路面を流れる方向の算定式

一般に、道路には排水のため横断勾配をつけるが、地形により縦断勾配が生ずる。道路における勾配  $m_i$  と

は、 $m_i = \frac{\text{高さ}}{\text{水平距離}} \times 100(\%)$  で表示される。

いま坂道について横断勾配を  $m_1$ 、縦断勾配を  $m_2$  とすれば、融雪水の流れる方向は理論的には双方の勾配によって合成される最大勾配  $m$  の方向に流れることになる。ここで  $m, m_1, m_2$  との関係式を求める。

第11図において、 $\overline{AE}$  の傾きを合成最大勾配  $m$  とし、



第 11 図

$$m_1 = \frac{PA}{PB} = \frac{h}{\sqrt{b^2 - h^2}}, \quad m_2 = \frac{PA}{PF} = \frac{h}{\sqrt{l^2 - h^2}}, \quad m = \frac{PA}{PQ} = \frac{h}{\sqrt{d^2 - h^2}}$$

とすれば、 $h$  に関係なく  $\frac{m^2}{m^2 + 1} = \frac{m_1^2}{m_1^2 + 1} + \frac{m_2^2}{m_2^2 + 1}$  (11)

が成り立ち、さらに  $l/b$  を求めておけば  $h$  に関係なく、A点から側溝Eに到達する縦断距離の割



合を算出することができるので、 $M_1 = \frac{m_1^2}{m_1^2 + 1}$ 、 $M_2 = \frac{m_2^2}{m_2^2 + 1}$  とおいて、 $m$  と  $l/b$  を求めれば次式のようなになる。

$$\frac{l}{b} = \sqrt{\frac{m_1^2 (1 + m_2^2)}{m_2^2 (1 + m_1^2)}} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}, \quad m = \sqrt{\frac{M_1 + M_2}{1 - (M_1 + M_2)}} \quad (12)$$

縦断勾配のみで横断勾配がないときは、 $m = m_2$  となり縦断勾配の方向に流下することになるが、一般に舗装道路では 1.5～2% の横断勾配をつけることになっていることから、実験値と比較する目的で計算した結果が第 1 表である。実測値は路面表層の凹凸の状態やぬれの状態によってかなりのバラつきはあったが、その平均値は計算とかなり類似している。

第 1 表 各横断・縦断勾配の  $m$ ,  $l/b$  の計算値

横断勾配 $m_1\%$	縦断勾配 $m_2\%$	合成勾配 $m\%$	流下比 $l/b$	実測値 $l/b$
1.5	2	2.45	1.414	—
	4	4.24	2.828	—
	6	6.16	4.243	—
	8	8.12	5.657	—
	10	10.10	7.036	—
	12	12.08	8.426	—
	14	14.07	9.798	—
2.0	2	2.83	1.000	—
	4	4.47	1.999	2.25
	6	6.32	2.996	3.05
	8	8.25	3.987	4.24
	10	10.20	4.975	—
	12	12.17	5.956	—
	14	14.14	6.930	—
	16	16.16	7.899	—

### 5. 路面の水膜厚

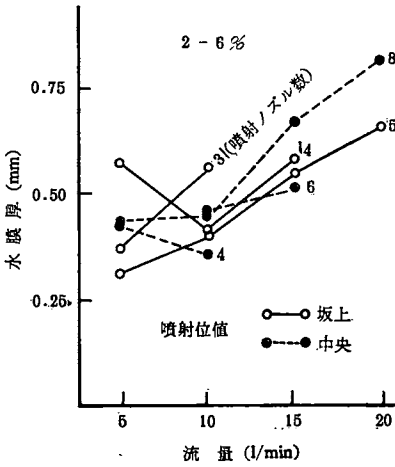
坂道に融雪水を流した場合、スリップや水はね等の弊害が予想されるところから模型道路を利用し、水膜厚は非常に薄く、直接測定することは難しいため次のような手順で実験を行った。

噴水の流れは最大勾配の方向に流れるが、観察によりある程度流下するとほぼ流下巾が一定になるので、その地点に弱電圧をかけた約 3 mm 間隔の平行線を 40～50cm 間隔に 4 ケ所設け、上流から電解質溶液（本実験では硫酸ナトリウム水溶液）を流し、各リード線に到達したときに電流が生ずるからこれをビジグラフに記録させ、各平行線間の到達時間を測定することによって流速を求め次式によって水膜厚  $h$  を求めた。

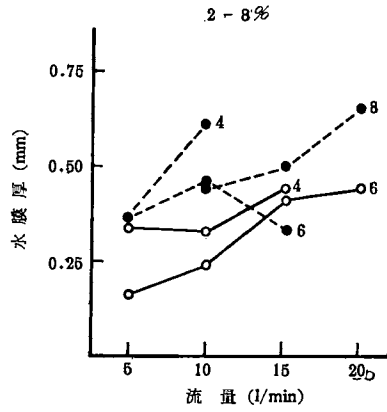
$$h = \frac{1000Q}{60bv} = \frac{1000Qt}{60bl} \quad (\text{mm}) \quad (13)$$

- $Q$  : 流量 (l/min)
- $v$  : 流速 (cm/sec)
- $b$  : 流れ巾 (cm)
- $l$  : リード線間隔 (cm)
- $t$  : リード線間に水溶液の到達する時間差 (sec)

測定結果の一例を示すのが第 12, 13 図である。図より流量が増加すれば水膜厚も増加するが、流量 20 l/min の流れで 2～6% の勾配ならば 0.8mm 以下であり、2～8% の勾配でも 0.7mm 以下であったことや、平坦地におけるアスファルト舗装上に激しい降雨があった場合の水膜厚でも、排水が十分なときは 2 mm 以下といわれているところからして、坂道における水膜は勾配が急になる程一定流量に対しては薄くなり、巾員 3 m 程度の道路に 20 l/min 程の水を流しても 1 mm 以下の値しか



第12図 勾配2—6%における流量と水膜厚



第13図 勾配2—8%における流量と水膜厚

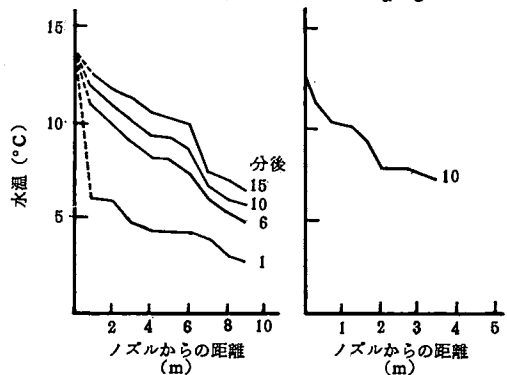
示さないようであり、舗装の仕上げが良ければ水はねの問題はあまり心配ないと考えていいようである。

### 6. 融雪水の温度変化

外気温によって噴水時十数度あった水温が流下するに従って水温を失い融雪能力が低下するが、坂道の場合、坂上から流れてきた水が途中で噴水する水に影響を及ぼす。しかし、これら温度の変化に関する理論的考察は現在解析中であるが、ここでは実測結果についてのみ述べる。

実験装置は第3図に示す水槽の水が16°C程度となるようヒーターによって調節し、噴水時の温度が14±1°C程度となるようにし、温度変化の測定はサーミスターを写真1, 2に示すように配置して表面水の温度が計測できるようにしたものである。その結果の一例が第14図である。図より、気温0.2°Cのときの測定では15分経過後、噴水が6m地点に到達しても10°C以上を示し、散水によって路面の温度がかなり上昇することから、融雪だけでなく凍結作用にもかなり有効と考えられる。

ノズル	放射式	キャップ式
勾配	0—6	2—8
流量	3.0 l/min	2.5 l/min
天気	雪	雪
気温	0.2°C	0.8°C
積雪	微量	なし



第14図 融雪水の温度変化

## 7. む す び

以上、坂道に融雪パイプを配置した場合の各地点における損失水頭の算定式、および路面を流れる流水の方向と最大勾配を求める式を導き、実測値とよく一致することを確認し、平坦地ばかりでなく坂道においても、地下水による融雪装置は水膜厚や温度変化の状態から有効であることを示したが、これらが今後坂道における融雪装置を計画する上に役立つものと確信する。本実験の一部は金沢市の依託試験により行なわれたものであり、実験に当って当時学生であった山本工業の山本利丸君、西村組の橋本司郎君、石川県庁の山下武秋君、佐藤工業の野口実君および日立化成の方々に多大なる御助力を賜りましたことを感謝致します。

## 参 考 文 献

- 1) 土屋芳雄：浅井戸消雪パイプの施工と観測結果—長岡工事事務所における—第7回管内技術研究発表会資料，昭和40年9月
- 2) 道路除雪ハンドブック，社団法人日本建設機械化協会 p. 181～187
- 3) 防雪工学ハンドブック，社団法人日本建設機械化協会 p. 209～222
- 4) 粕野義夫：金沢市地下水調査報告書，昭和43年10月
- 5) 新津 靖：高速ダクトの設計研究(1)～(9)配管と装置 1961年9月，12月，1962年1月，2月，4月，5月，6月，7月，9月
- 6) 永井荘七郎：水理学 p. 71～73 コロナ社

(昭和47年9月20日受理)