

IV-98 地下水を利用した融雪に関する研究

金沢大学 正員 柳場重正
" 正員 大深伸尚

1 はじめに

金沢市では昭和49年から主要交差点や坂道に地下水による融雪を主体に融雪装置が設置され、交通路確保が進められることになった。金沢市の場合、雪質は湿り気が多い、いわゆる「ベタ雪」であり、1,2月の平均気温は2-4℃で凍結の心配も多いので地下水による融雪は効果的であると考えられるが、地形条件としては起伏が多く、従来の平地のような融雪の方法では、効果のある融雪が可能かどうか、さらに融雪水などの検討はあまり行われていないようである。本報告ではそれら等を検討する目的から坂道における地下水を利用した融雪水の流れについて理論式を検討し、実験値と比較したものを、さらに流下する水の温度変化や水層厚の測定結果について述べる。

2 実験装置

図-1に示すような模型道路をつくり、縦断(本実験では0.4, 6, 8, 10, 12, 14%)及び横断勾配(0.15, 2%)が自由に換えられるようにした。融雪水は14±1℃程度の維持できるような水槽にヒーターを入れ、水槽内水は16℃となるようサーモスタットによって調整した。なお使用したノズルは図-2に示すように放射式のものと同軸式のものを使用した。

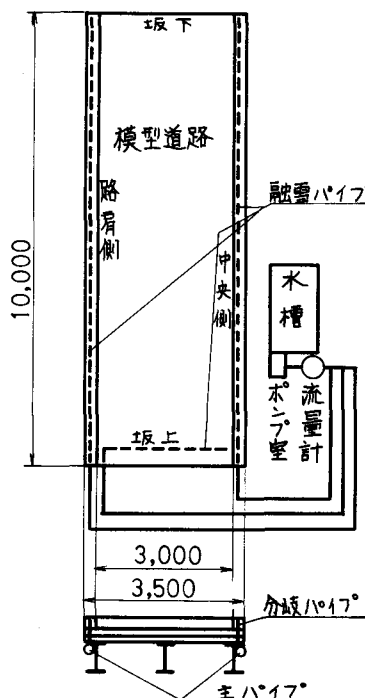


図-1 模型配置図

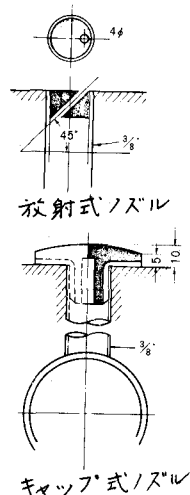


図-2 使用ノズル

3 融雪水の放射距離の算定

a) 放射式ノズルの場合

基本的な三方と記号は図-3に示す。断面Bより断面Aまでの流れに Bernoulli の定理を適用すれば、

$$P_B + \frac{\rho}{2g} V_{n+1}^2 = \rho_{n+1} \frac{\omega}{2g} V_{n+1}^2 + f \frac{l}{D} \frac{\omega}{2g} V_n^2 + \rho_n \frac{\omega}{2g} V_n^2 + \rho'_n \frac{\omega}{2g} V_n^2 + \frac{\omega}{2g} V_n^2 - \omega h \dots (1)$$

また断面Bより断面Aまでの流れに対しては同様に

$$P_B + \frac{\rho}{2g} V_{n+1}^2 = \rho_{n+1} \frac{\omega}{2g} V_{n+1}^2 + \rho'_{n+1} \frac{\omega}{2g} V_{n+1}^2 + \frac{\omega}{2g} V_{n+1}^2 \dots (2)$$

(1)=(2) でありから次の条件を代入して

$$V_n = \frac{Q_n}{A}, \quad v_n = \frac{g_n}{a c}, \quad V_{n+1} = \frac{Q_{n+1}}{A}, \quad v_{n+1} = \frac{g_{n+1}}{a c}$$

$$\left(f \frac{l}{D} + \zeta_{bn}\right) \frac{Q_n^2}{A^2} + (1 + \zeta'_n) \frac{g_n^2}{a^2 c^2} = (\zeta_{bn+1} + \zeta'_{n+1}) \frac{Q_{n+1}^2}{A^2} + (1 + \zeta'_{n+1}) \frac{g_{n+1}^2}{a^2 c^2} + 2gh \dots (3)$$

(3)式が得られる。

ここで分岐にある損失は摩擦損失に比べて無視できるといえるから

$$f \frac{l}{D} \frac{Q_n^2}{A^2} + (1 + \zeta'_n) \frac{g_n^2}{a^2 c^2} = (1 + \zeta'_{n+1}) \frac{g_{n+1}^2}{a^2 c^2} + 2gh \dots (4)$$

(4)式が成り立つものとすると図-4に示すように流量が多く、1ズル間隔の狭い所で比較的实际値と一致する。しかし、1ズル間隔が広いと、流量が少なくてある場合は管内の流速が小さくなり、摩擦損失の項も無視した次の(5)式の方が实际値に一致する。

$$(1 + \zeta'_n) \frac{g_n^2}{a^2 c^2} = (1 + \zeta'_{n+1}) \frac{g_{n+1}^2}{a^2 c^2} + 2gh \dots (5)$$

b) キャップ式1ズルの場合

ある角度をもった路面上の水の飛射距離 l は運動方程式より求めれば

$$v t \sin \alpha - \frac{1}{2} g t^2 \cos \alpha = 0 \dots (1)$$

$$v t \cos \alpha + \frac{1}{2} g t^2 \sin \alpha = l \dots (2)$$

α : 飛射角 α : 路面勾配
 v : 初速 g : 重力加速度
 t : 時間

で示され(1)、(2)式より t を消去して

$$l = \frac{\{ \sin 2\alpha + (1 - \cos 2\alpha) \tan \alpha \}}{\cos \alpha} \cdot \frac{v^2}{g} \dots (3)$$

(3)式に $v = \frac{Q}{a}$ を代入すれば

$$l = A Q^2 \dots (4)$$

Q : 流量
 a : 出口の断面積
 A : 定数

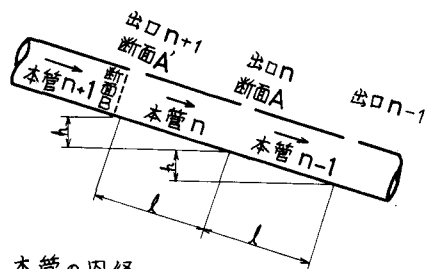
l は Q の2乗に比例して増加する。しかし実際には図-5に示すように飛射距離と流量の関係は直線的である。これは流量の増加に伴って出口の損失や、たがりにける損失が影響していると考えられる。

4. 融雪水の温度変化について

図-6に示すように積雪を溶かしている間はかなりの温度低下がみとめられるが、数分後には $9m$ 流下しても $50^\circ C$ 以上の水温があり、積雪はもとより、凍結にもかなりの効果があるものと考えられる。

図-7は長岡市で測定した結果を示したもので、積雪の融雪時は $6m$ 流下した排水溝附近で $0^\circ C$ となっており、積雪の融雪後は我々の測定値と下差ないほうである。

5 路面上の水膜について



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
 ζ_m : 本管から本管への分岐による損失係数
 ζ_b : 本管から出口への分岐による損失係数
 ζ' : 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

図-3 基本的考え方と記号の意味

水膜の厚さは直接測定することとは難しいため、次の方法で算定した。坂道の融雪水は合成勾配の方向に流れ、ある程度流化するとほぼ一定中になるの2、その一定中になった地点に弱電圧をかけた約3mmの間隔の平行線と数ヶ所に設け、硫酸イトリウム水と流し、各リード線に到達した時間とジジグラウにより測定することにより流水の速度を求め

$$h = \frac{Q}{bv} = \frac{Q}{b \cdot l \cdot t} \dots (6)$$

h; 水膜厚 b; 流水巾

v; 流速 Q; 流量

l; リード線間距離

t; リード線間の到達時間の差

水膜厚を求めた。実験の結果は図-7に示す。水膜厚は流量に影響を受けたりしており、毎分25と流下させた状態2"/mm以下であった。

2-8%
○ ○ 実測値
● ● 分岐点の損失を考慮した場合
x x 出口の損失を考慮した場合

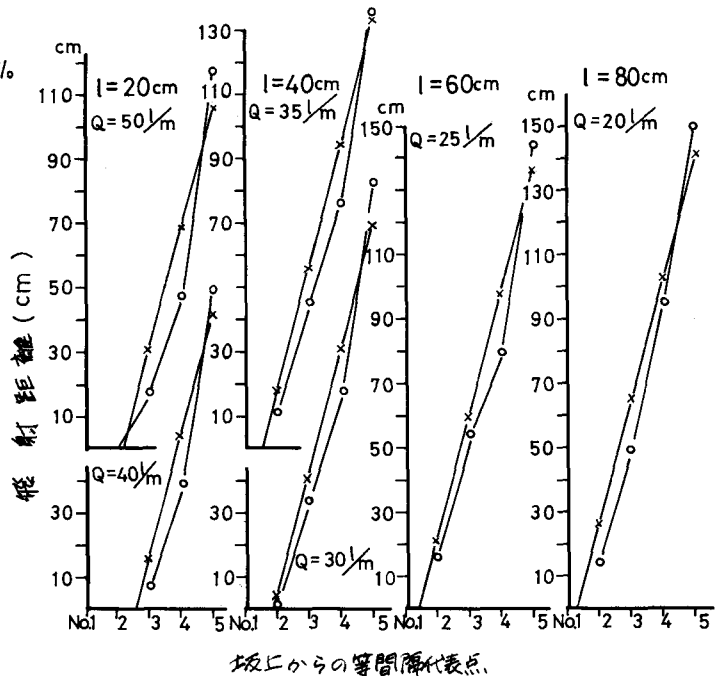
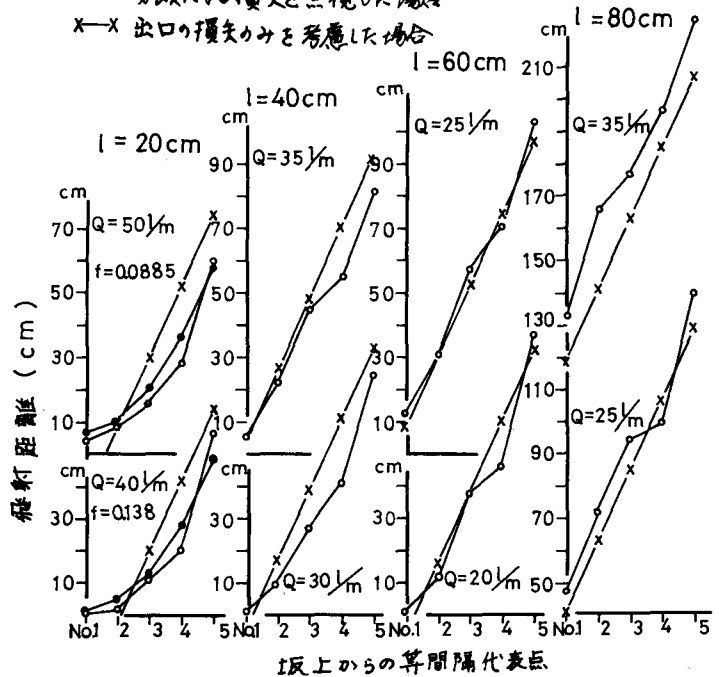


図-4 理論値と実測値との比較

(注) 2-14% → 横断勾配 2% 2" 縦断勾配 14% 2" ありと示す。

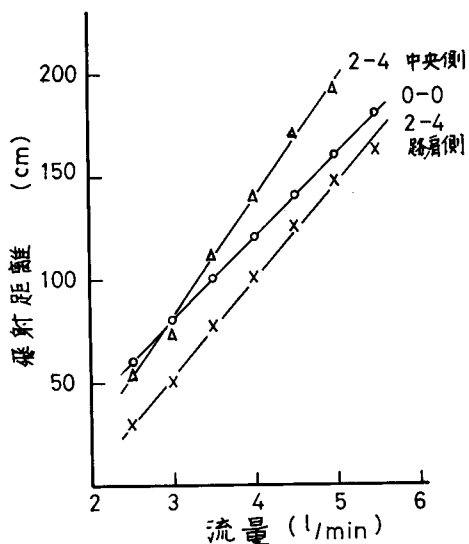


図-5 キャップ式ノズルの飛射距離

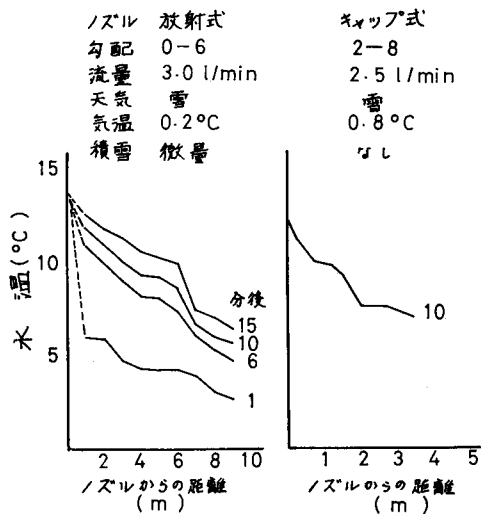


図-6 流下する融雪水の温度変化

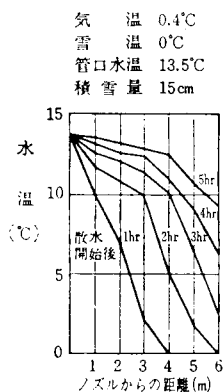


図-7
長岡市での実験結果

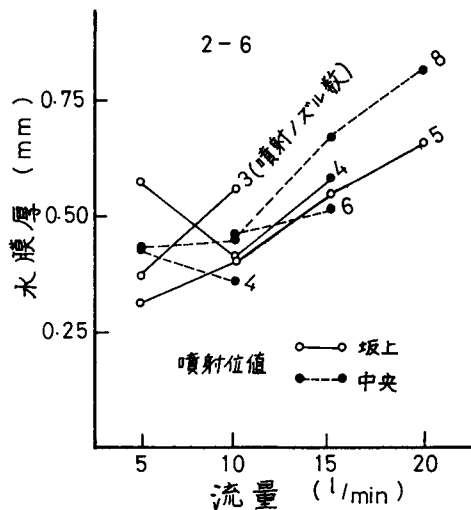


図-8 坂道と流下する水の膜厚