

II - 48

河川の雪塊輸送量の評価

北海道大学工学部 学生会員 梅津 智徳
 北海道大学工学部 7E0-会員 黒木 幹男
 北海道大学工学部 7E0-会員 板倉 忠興

1. はじめに

北海道のような積雪寒冷地では、冬期の安全で快適な交通の確保が重要な課題である。そのため、効率的な排雪施設が求められている。現在、排雪手段としては、融雪施設、雪捨て場への車両による輸送、流雪溝による河川への排雪がある。流雪溝は雪を効率的に直接街区から排除できる利点を持っているが、除雪可能な領域は流雪溝に近接した地域に限られ、輸送可能な雪の量も流量的に問題がある。そこで今回、大量に雪を輸送する施設として、河川を利用する場合を考える。流雪溝の流雪量評価式では、雪は河床に接触せずに流下することを仮定しているものが多いが、河川の場合には、一度に大量の雪がトラック等により投入され、大きな雪の塊が河床にあり、すぐには流れないという事態が想定される。本研究はこのときの河川の雪の輸送量を評価する式を求めることを目的としている。

2. 基礎方程式

実際、雪が河川に投入されるときその形は複雑である。しかし本研究では、それを簡単に直方体であると仮定し、図1のようなモデルを考えた。

雪塊にかかる力は、雪塊自身の重量による流下方向の力、浮力、雪塊の上、下流側の静水圧、底面摩擦力、そして雪塊と水路床の間の付着力である。以上に述べた力の釣合を示したのが式(1)である。

$$gBL \left\{ \rho_s h_s - \rho_w \left(\frac{1}{2} - n \right) (h_1 + h_2) \right\} + \frac{\rho_w g B (h_1^2 - h_2^2)}{2} = \mu g BL \left\{ \rho_s h_s - \rho_w \left(\frac{1}{2} - n \right) (h_1 + h_2) \right\} + BLN \quad (1)$$

ここで、 g : 重力加速度、 I : 水路勾配、 B : 雪塊の幅、 L : 雪塊の長さ、 h_s : 雪塊の高さ、 h_1, h_2 : 雪塊が流下する直前の上、下流側の水深、 μ : 雪塊と底面間の摩擦係数、 N : 雪塊と底面間の単位面積当たりの付着力、 ρ_w, ρ_s : 水及び雪の密度

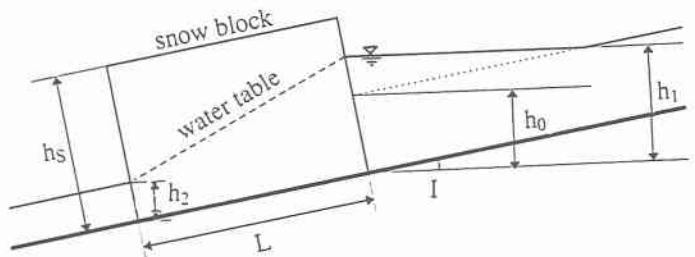


図1 水路内での雪塊の状態のモデル

式(1)では雪塊内の浸透流の水面形は直線であり、勾配は十分小さいと仮定している。

雪塊が水路に投入された後、等流水深 h_0 から雪塊の流下直前の水深 h_1 まで上昇するのにかかる時間 t は、見かけ上増えた水の量が流量にその時間 t を乗じたものと等しいことを単位幅で表し式(2)で与えられる。また単位幅あたりの流雪量 q_s は単位幅あたりの雪塊体積 $L h_s$ を式(2)で求めた時間 t で除する

ことにより式 (3) で求められる。

$$t = \frac{(h_1 - h_0)^2}{2q_w I} \quad (2)$$

$$q_s = \frac{Lh_s}{t} \quad (3)$$

3. 実験

幅 30cm、長さ 20m の実験水路を用いて、直方体にした雪塊を水路に投入する実験を行った。図 2、3 は流量一定のもとで雪塊の体積を変え、投入後の h_1 及び t を測定したものである。

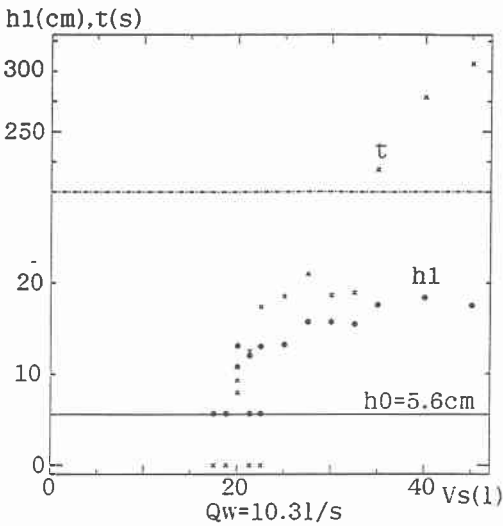


図 2 実験結果 (その 1)

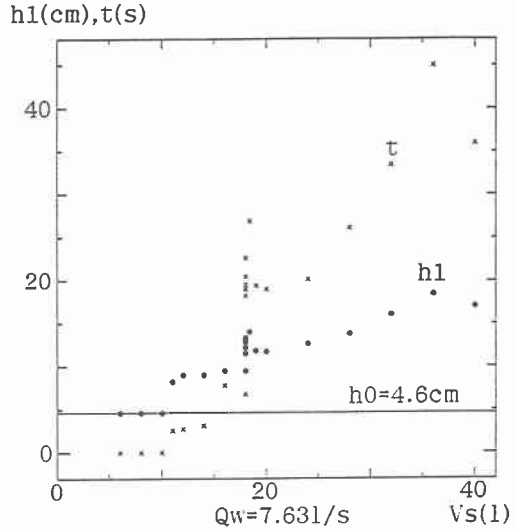


図 3 実験結果 (その 2)

図 2 から雪塊の体積がある値を超えると、時間 t が極端に大きくなっていることが解る。このような場合は式 (1) ~ (3) は適応されない。図 3 中では雪塊の体積が一定であっても、 h_1 、 t の値が違っているのが見える。この理由は雪塊の形状の違いである。形が崩れるほど時間 t は小さくなるがこの実験から解っているので、雪塊の形状を直方体と仮定することは最も安全であると思われる。

また、この実験では h_2 は h_1 に比べて、十分に小さいので今後省略する事にする。式 (1) の各パラメーターに、実験に用いた値を代入すると、最小二乗法により、摩擦係数及び付着力を求めることが出来る。その結果 $\mu = 0.31$ 、 $N = 0.077$ を得た。

4. 実験値と理論の比較

理論式 (1) ~ (3) を用い、実験値と理論の比較を行う。しかしながら、実験水路の長さが十分でないため、式 (2) をそのまま用いることが出来ない。従ってここでは式 (2) の代わりに式 (4) を用いる。

$$t = \frac{D(h_1 - h_0)}{q_w} \quad (4)$$

ここで、 D : 水路上端から雪塊までの距離

実験に用いた値は、 $L = 0.45\text{m}$ 、 $\rho_s = 0.5$ 、 $I = 1/396$ 、 $n = 0.2$ である。結果を次項の図 4 に示した。

比較できる実験データが少ないが、ほぼ実験と理論が一致していると言える。よって式 (1) ~ (3) をもちいると、ある条件での雪の輸送量が求められる。

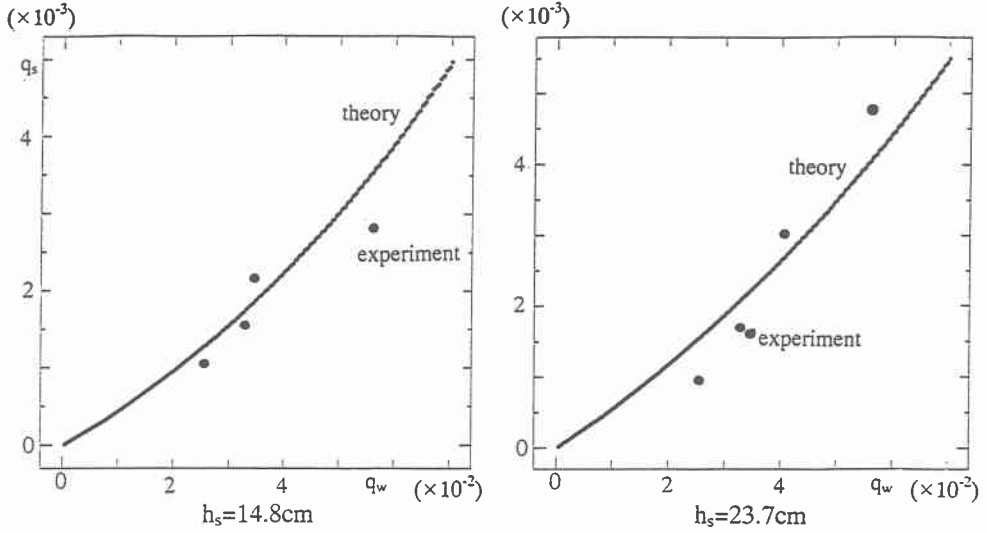


図4 理論と実験値の比較

5. 理論式における各パラメーターの影響

ここで式(1)において h_2 を省略し整理すると式(5)になる。

$$\left(\frac{h_1}{L}\right)^2 - 2(I - \mu)\left(\frac{1}{2} - n\right)\frac{h_1}{L} + 2\frac{\rho_s}{\rho_w}(I - \mu)\frac{h_s}{L} - \frac{2N}{\rho_w g L} = 0 \quad (5)$$

式(5)において、雪塊を投入する水路の条件があらかじめ解っているとすると、 I 、 $L h_s$ と h_s/L を決定することにより、 h_1/L の二次方程式になる。図5、6に I 、 $L h_s$ がどの程度 h_1/L の決定に影響を及ぼしているかグラフに示した。

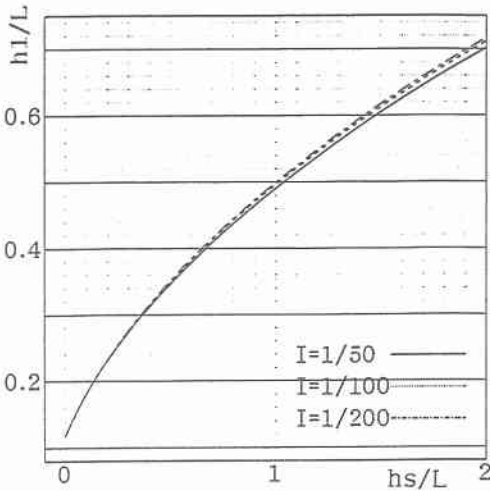


図5 Iが及ぼす影響 ($L h_s = 0.5$, $h_s/L = 0.5$)

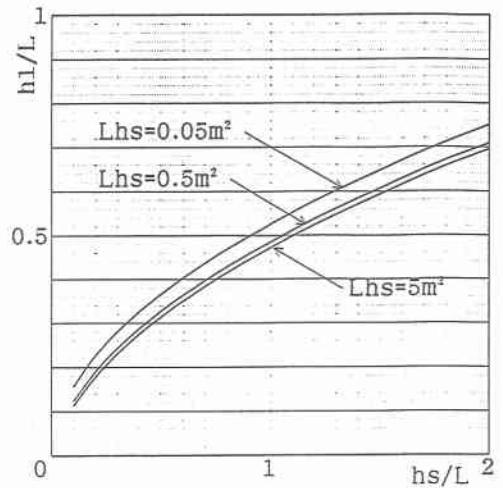


図6 $L h_s$ が及ぼす影響 ($h_s/L = 0.5$, $I = 1/100$)

図5を見て解るように、 I は h_1/L の決定にほとんど影響していない。しかし図6より $L h_s$ は影響を及ぼしている。

式(3)を式(2)に代入し、 t を消去すると式(6)になり、それを変形し式(7)を得る。

$$q_s = \frac{2ILh_s}{(h_1 - h_0)^2} q_w \quad (6)$$

$$\frac{q_s}{q_w} = 2I \frac{1}{h_s/L} \frac{1}{\left(\frac{1}{h_s/L} \frac{h_1}{L} - \frac{h_0}{h_s}\right)^2} \quad (7)$$

式(5)を用いてある I 、 h_s/L における h_1/L を求めれば、式(7)よりある h_0/h_s における q_s/q_w を求めることが出来る。式(5)において、 I は影響を与えていないことから、式(7)では q_s/q_w は I に比例する。式(7)における Lh_s と h_s/L の影響を図7、8に示す。

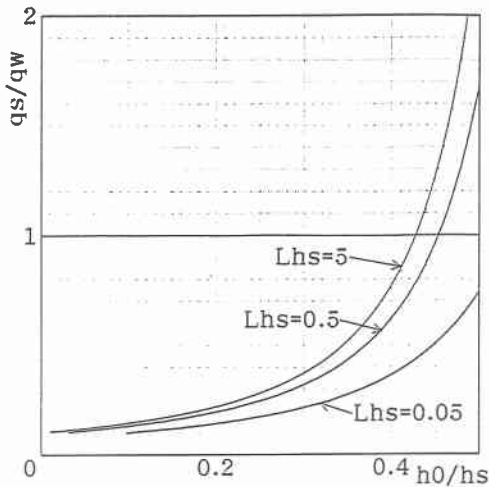


図7 式(7)における Lh_s の影響
($h_s/L=0.5, I=1/100$)

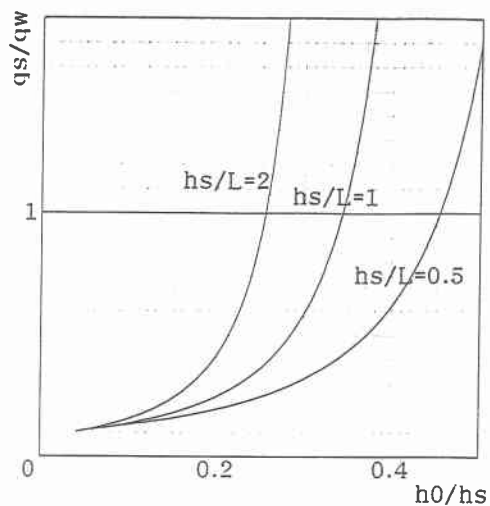


図8 式(7)における h_s/L の影響
($Lh_s=0.5, I=1/100$)

これらから、大きな影響を与えるパラメーターは Lh_s と h_s/L 、すなわち雪塊の体積と形状である。またこのグラフにおいて、 h_0/h_s を大きくしていくと q_s/q_w が急増するが、これは式(6)の右辺の分母の形から、 h_0 が h_1 に近づくことによって起こる。しかし実際はこのようなことはあり得ないので、 h_0 が h_1 よりある程度小さい場合においてのみこの理論は適用される。

6. 終わりに

以上により、河川における雪塊の輸送量は、その雪塊の体積及び形状に大きな影響を受ける。しかしそれらを決定すると、本論文中の理論式から流雪量を求めることが可能である。しかし先述のようにその理論式の適用範囲については完全に決定されておらず、その適用範囲を決定する必要がある。

参考文献

1. 日本建設機械協会：防雪工学ハンドブック、流雪溝マニュアル(案)、流雪溝マニュアル編集委員会
2. 黒木幹男、岡部和憲：河川の雪氷輸送能評価の可能性の検討
3. 時岡真治、黒木幹男、板倉忠興、岡部和憲：河川の氷雪運搬能に関する研究

土木学会北海道支部論文集 1995.2 pp112