

(Ⅱ-17) 流雪溝における単一の雪塊の移動条件について

㈱建設技術研究所 正会員 ○村上正人
長岡技術科学大学 正会員 福岡祐介
長岡技術科学大学 正会員 早川典生

1. はじめに

流雪溝による除排雪の効率化を図る上で、流雪溝に投入された雪塊の運動を知る必要がある。このような雪の輸送を考える上で最も単純なのは単一の雪塊の運動と移動限界を知ることである。本論では単一の雪塊の運動を力学的に検討すると共に実験を行い理論との比較を行った。

2. 投入直後の雪塊の移動限界の理論

直線水路の流雪溝における閉塞現象は、雪塊の投入直後が最も発生し易いと考えられる¹⁾。そこで、直線水路に単一の雪塊が投入されたときの雪移動の機構を理論的に取り扱う。解析を行うため次のような仮定を設ける。(1) 図-1に示すように雪塊は高さ h_s 、長さ D_s 、幅 B_s の直方体とする。(2) 雪塊中の空隙は均一に分布している。(3) 水温は 0° 付近であり融雪の影響は無視できる。

このとき、雪塊に作用する斜面方向の力の釣合は次のように表される。

$$(W_S - F_S) \sin \theta + F_D + \Delta P = D \quad (1)$$

上式(1)に、雪の重量 W_S 、浮力 F_S 、抗力 F_D 、

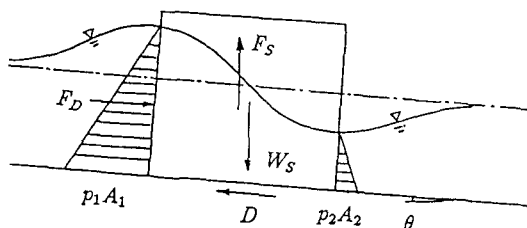


図 1: 雪塊に作用する力の釣り合い

圧力差 ΔP を代入すると次式を得る。

$$\begin{aligned} & (\rho_s h_s - \rho_w h)(1 - \lambda)gB_s d_s \sin \theta \\ & + \frac{1}{2}\rho_w c_D u^2 h_1 B_s + \frac{1}{2}\rho_w g B_s (h_1^2 - h_2^2) \\ & = \mu \psi [\rho_s h_s - \rho_w h](1 - \lambda)gB_s d_s \cos \theta \quad (2) \end{aligned}$$

ここで、 θ は水路の傾斜角、 g は重力加速度、 ρ_s は雪の見かけの密度、 ρ_w は水の密度、 λ は空隙率、 μ は摩擦係数である。

雪塊が移動する条件は、上式(2)の左辺が右辺より大きくなることで与えられる。雪塊を移動させるために必要な水量は式(2)を用いることにより次のように導かれる。

$$Q_w = \left[\frac{gB^2}{c_D} \{2\phi_1 d_s \sin \theta h_1 h - h_1^3 + h_2^2 h_1\} \right]^{1/2} \quad (3)$$

ここで、 ϕ_1 は次式で定義される。

$$\phi_1 = (1 - \lambda) \left\{ \frac{\rho_s h_s}{\rho_w h} - 1 \right\} (\mu \cot \theta - 1) \quad (4)$$

流量、水深が与えられたとき、水により輸送される雪塊の重量 W_S は次のように求められる。

$$\begin{aligned} W_S = & \frac{\rho_w g B_s}{2} \left\{ (1 - \lambda) d_s (h_1 + h_2) \right. \\ & \left. + \frac{1}{(\mu \cos \theta - \sin \theta)} \left(\frac{c_D Q_w^2}{g B^2 h_1} + h_1^2 - h_2^2 \right) \right\} \quad (5) \end{aligned}$$

雪塊の移動条件を求めるためには、雪塊の投入による水面形を知る必要がある。ここでは橋脚によるせき上げ水深を求めるために導かれた、D'Aubuissonの式を用い、 h_1 と h_2 を求めた。

3. 単一の雪塊の移動限界に関する実験

本節では雪の移動実験の結果について述べるとともに、理論式の妥当性を検討する。実験装置

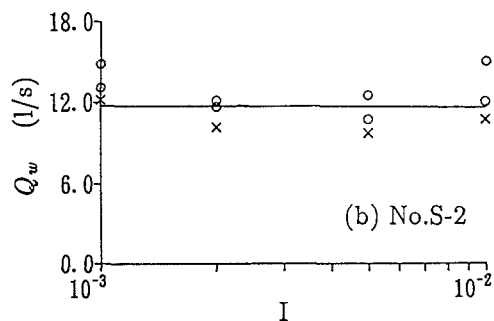


図 2: 流量と水路床勾配でみた雪塊の移動限界

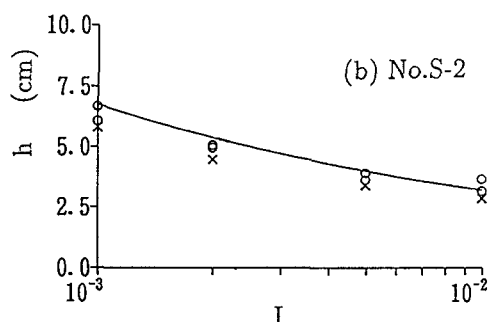


図 3: 水深と水路床勾配でみた雪塊の移動限界

は長さ 10m、幅 0.4m の可変勾配水路 (Channel A) と長さ 21.5m、幅 0.25m、水路床勾配 1/1000 の水路 (Channel C) を用いた。マンニングの n はいずれの水路でも $n = 0.01$ であった。

本実験の概要は次の通りである。実験では、任意の流量、水路床勾配に設定し、所定の位置に雪塊を静止させ、移動するかどうかを調べた。水深は、雪塊の影響が小さいと考えられる下流側で測定した。水路床勾配は雪塊では 1/1000 ~ 1/100 の間で変化させた。Channel C での実験は次のように行った。予め体積と重さを測定した雪塊を水

路の上流部より一定間隔で投入し雪塊が移動するかどうかを判定した。このような測定を数種類の流量に対して行った。

図-2 は雪塊の移動限界を示したものである (Channel A)。縦軸に流量 $Q_w (l/s)$ を横軸に水路床勾配をとっている。図中○印は雪塊が移動したことを、×印は移動しなかったことを、△印はこれらの遷移領域 (○か×かはっきりしない場合) を示す。

図-2 に示すように理論値は広い範囲で実験値の挙動を説明できる。図-3 は縦軸に等流水深 h_0 を横軸に水路床勾配をとり、雪塊の移動限界を示したものである。この図より水深をパラメータとしても、雪塊の移動限界の理論式は実験値を説明できることがわかる。

次に Channel C を用いて、新雪の雪塊を連続投入し、最大流雪能力を求めた実験結果とここで提案した理論式との比較を行う。この実験では断続して雪を投入しているので雪塊の上流の水深と下流の水深がほぼ等しくなる。従って、移動限界式としては式 (5) で $h_1 = h_2$ とした。

図-4 は、その実験結果と理論式を比較したものである。縦軸に単一の雪塊の重量、横軸に流量をとる。これらの図では実験値のばらつきはきわめて小さく、理論値を表す実線は投入した雪の移動を表す○印と移動しなかった×印の中間に位置する。

4. おわりに

以上のように、ここで提案した移動限界式は、密度で表される雪質、水路床勾配、底面の状態などをパラメータとして流量の関数として表すことができた。このような解析によって、これらのパラメータを適切に評価することができれば、広い範囲の条件に対し理論により雪輸送限界を見積もることが可能になる。

最後に、本研究は長岡技術科学大学技術開発センタープロジェクト「市街地のための除排雪機器の開発と除排雪システムの設計法」の一環として行われた。プロジェクトに参加された、日本ブルカン (株)、(株) 新潟鉄工所、(株) 荏原製作所、(株) 佐藤工業、(株) アルゴスの各社に感謝の意を表します。1) 建設省北陸建設局監修：流雪溝設計運営要領、北陸建設弘済会、1983。

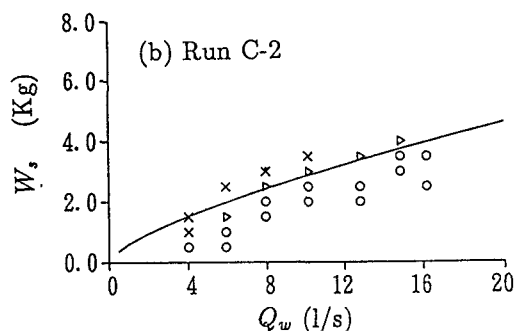


図 4: 単一の雪塊の移動限界その 1