

流雪溝における限界投雪量に関する研究

北海道開発コンサルタント(株)	正 員	渡辺 洋一
北海道開発コンサルタント(株)	正 員	山根 正裕
北海道開発コンサルタント(株)	正 員	澤口 雄介
北海道開発コンサルタント(株)	正 員	原田 希樹

1. はじめに

流雪溝における限界投雪量とは、ある一定流量の流水の作用によって流雪溝内において閉塞や停滞をおこさず流下させることができる最大の雪量とすることができる。

本研究では、流雪溝の流れを水で飽和した雪層部分とその下の流水のみの部分とに分け、雪塊と壁面の摩擦抵抗と流水によるせん断力との力のつり合いを基本とする理論モデルによって限界投雪量の算定を行った。

2. 基本モデルと考え方

このモデルは式(1)に示すように、雪層部分に作用する4つの力がつり合うことによって等流状態が持続されることを基本とするものである。すなわち、ある一定の流水量 Q_w に対して一定の雪量 Q_s が投じられた場合、雪塊が流水の作用によって流下していくためには以下に示す(1)式が成り立っている必要がある。

$$P + \tau_c \cdot B = R_1 + R_2 \quad (1)$$

- P : 雪塊に作用する重力による力 (kgf)
 τ_c : 雪層が水層との相対速度によって受けるせん断力 (kgf/m)
 B : 水路幅 (m)
 R_1 : 雪層が側壁から受ける摩擦力 (kgf)
 R_2 : 雪層が底面から受ける摩擦力 (kgf)

ここで、個々の力の特性について以下に述べる。

①雪塊に作用する重力による力 (P)

単位長さ当りの雪層部分に働く重力を M 、水路勾配を θ とすれば、流れ方向には $P = M \sin \theta$ が作用する。

②雪層に作用するせん断力 (τ_c)

$$\tau_c = \rho_w \frac{n^2}{R^{1/3}} (v_2 - v_1)^2 \quad (2)$$

- v_1 : 雪層部の流速 (m/s) n : 粗度係数
 v_2 : 雪層下部の流れの流速 (m/s) R : 径深 (m)
 ρ_w : 水の密度 (kg/m³)

③側壁からの摩擦抵抗 (R_1)

水で飽和した雪密度を ρ_{sw} (kg/m³) とすれば、

$$\rho_{sw} = \rho_s + \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_i}\right) \rho_w \quad (3)$$

- ρ_s : 雪の密度 (kg/m³) ρ_i : 氷の密度 (kg/m³)

雪層の厚さを h_1 とすれば、

$$h_1 = \frac{Q_s}{B \cdot v_1} \quad (4)$$

であるから、雪層の側圧係数を α 、雪と壁の動摩擦係数を μ とすれば雪層が側壁から受ける摩擦力 R_1 は式(5)となる。

$$R_1 = \alpha \mu (\rho_{sw} - \rho_w) h_1^2 \quad (5)$$

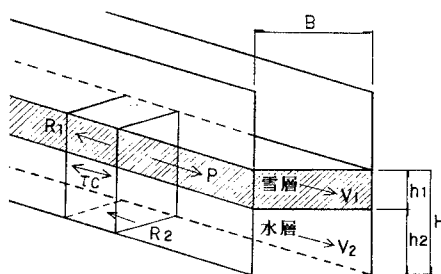


図-1 基本モデル

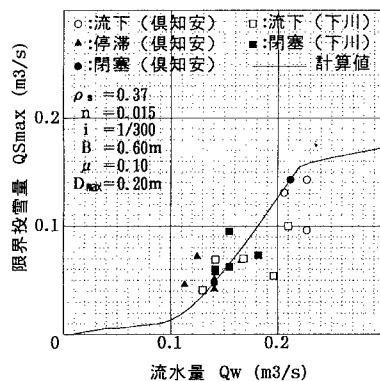


図-2 実験値(観測, 刊)との比較図

④雪層が底面から受ける摩擦力 (R_2)

$$R_2 = \beta \mu \left(\frac{h_2}{D_{\max}} - 1 \right) (\rho_{sw} - \rho_w) B h_1 \quad (6)$$

β : 鉛直方向雪圧係数

$D_{\max}$: 雪塊最大粒径 (但し $h_2 > D_{\max}$ の時 $R_2 = 0$)

以上の①～④の力がつり合って(1)式が成り立つことが、雪層が流下することの前提となる。また同時に雪層と水層について流れの連続性を確認する必要がある。流水量 Q_w が与えられた場合、雪層に吸収されて流下する流水量は

$$Q_{w1} = B h_1 \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_i} \right) v_1 \quad (7)$$

と表すことができ、水層の流量を Q_{w2} とすれば $Q_w = Q_{w1} + Q_{w2}$ が成り立つことが連続の条件となる。

逆に水路の閉塞条件は、雪層が壁面からの抵抗によって流速 v_1 が下がり、そのことによって雪層厚が(4)式によって厚くなり、さらに抵抗が増えることによって(1)式が成り立たず発散する場合 ($h_1 \rightarrow \infty$) と考えられる。

3. 計算結果及び考察

以上の流れのモデル化に基づく計算結果を図-2に示す。実線は流水量 Q_w と限界投雪量 $Q_{S\max}$ の関係であるが、俣知安町・下川町での投雪実験結果とも良く整合し、理論の妥当性が示されたと考える。但し雪塊の閉塞は限界値を越えた場合急速に起こると考えられることから、安全率を見込む必要がある。

図-3に水路幅 B (cm) を変えて計算を行った結果を示す。流雪溝における一般的な流水量 0.2% に対しては水路幅 $0.6 \sim 0.8$ m の場合に限界投雪量が最大となっている。同様に図-4は水路勾配 i を、図-5は雪密度 ρ_s を変化させた場合の計算結果である。それぞれ $i = 1/300$, $\rho_s = 0.2$ の場合が $Q_w = 0.2\%$ に対しては最も多く投雪可能という結果となる。

今後は雪塊の壁面に及ぼす圧力や動摩擦係数を実験によって確認し、モデル化に反映させていきたい。

(参考文献)

- 1) 時岡真治・黒木幹男・岡部和憲・板倉忠興
「流雪溝の雪氷運搬能力に関する研究」
平成5年度 土木学会北海道支部論文集
- 2) 福嶋祐介・吉永一義・早川典生・岡村康一
「流雪溝の最大流雪能力と水深増加率に関する水理学的検討」
1991年12月 日本雪氷学会誌雪氷
- 3) 一般国道5号俣知安町地内
「流雪溝限界投雪量調査報告書」
昭和62年3月 北海道開発局建設機械工作所
- 4) 一般国道239号
「下川町流雪溝投雪実験調査報告書」
昭和62年3月 北海道開発局旭川開発建設部

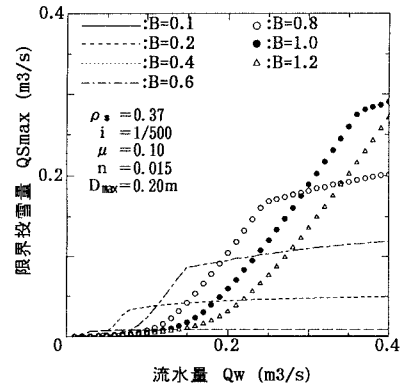


図-3 水路幅 B (m) を変化した場合の $Q_w - Q_{S\max}$ 関係

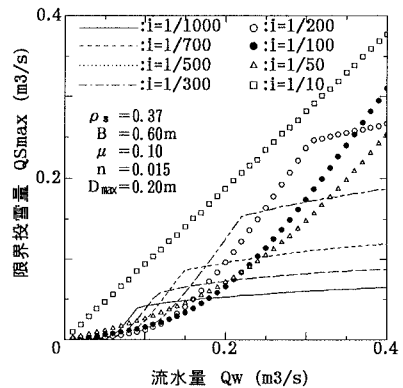


図-4 勾配 i を変化した場合の $Q_w - Q_{S\max}$ 関係

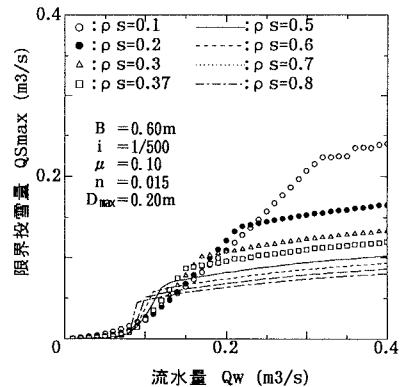


図-5 雪密度 ρ_s を変化した場合の $Q_w - Q_{S\max}$ 関係