

II-407

曲線部を含む流雪溝の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 原田 希樹
 北海道開発コンサルタント(株) 正 員 黒沢 弘行
 北海道開発コンサルタント(株) 正 員 渡辺 洋一

1. はじめに

流雪溝の限界投雪量とは、ある一定量の流水の作用によって閉塞や停滞を起こさず流下させることができる最大の雪量ということができる。本研究では、遠心力を考慮することにより流雪溝の曲線部における力学モデルを構築し、限界投雪量の算定を行った。その結果から曲線半径が限界投雪量に及ぼす影響を推定した。

2. 基本モデルと考え方

このモデルは、流雪溝の流れを水で飽和した雪塊の部分（雪層）と、流水のみが存在する部分（水層）とに区分したものである。雪層部分に作用する力のつりあいが基本である。すなわち、ある一定量の流水に対し一定量の投雪が行われた場合、雪塊が流水の作用によって安定的に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。

$$P + \tau_c \cdot B \cdot \ell = F_s + F_B + F_R \cdot A \quad (1)$$

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/m²)

F_s : 雪層が側壁から受ける摩擦力 (kgf)

F_B : 雪層が底面から受ける摩擦力 (kgf)

F_R : 雪層が遠心力により側壁から受ける摩擦力 (kgf/m²)

B : 水路幅 (m)

ℓ : 流心の長さ (1 m)

A : 雪層が曲線部外側の側壁と接触する面積 (m²)

個々の力の特性については以下に述べる。

2-1. 雪塊に作用する重力による力 (P)

流心長さ当りの雪層に作用する重力を M (kgf)、水路勾配を i とすると、流れ方向には $P = M \sin i$ が作用する。

2-2. 雪層に作用するせん断力 (τ_c)

V_1 と V_2 の大小により作用する方向が異なるため、次のように表される。

$$\tau_c = W_w \frac{n^2}{R^{1/3}} (V_2 - V_1) |V_2 - V_1|^{2/3} \quad (2)$$

W_w : 水の単位体積重量 (kgf/m³) n : 粗度係数

V_1 : 雪層の流速 (m/s) R : 径深 (m)

V_2 : 水層の流速 (m/s)

2-3. 側壁からの摩擦力 (F_s)

水で飽和した雪の単位体積重量を W_{sw} (kgf/m³) とすると、

$$W_{sw} = W_s + \left(1 - \frac{W_s}{W_i}\right) W_w \quad (3)$$

W_s : 雪の単位体積重量 (kgf/m³)

W_i : 氷の単位体積重量 (kgf/m³)

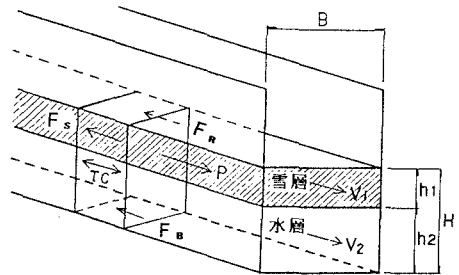


図-1 基本モデル

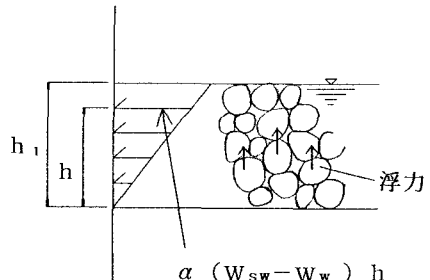


図-2 側壁からの摩擦抵抗

雪層の厚さを h_1 とすると、

$$h_1 = \frac{Q_s}{B \cdot V_1} \quad \text{----- (4)}$$

雪塊は重力とは逆の向きに浮力を受けることから、側壁に及ぼす圧力は図-2に示すような逆三角形の分布となる。雪層の側圧係数を α 、雪と壁の動摩擦係数を μ とすると、雪層が側壁から受ける摩擦力 F_s は、

$$F_s = \alpha \mu (W_w - W_{sw}) h_1^2 \quad \text{----- (5)}$$

2-4. 雪層が底面から受ける摩擦力 (F_B)

特に水深が浅い場合において、雪塊への底面からの摩擦力が無視できないと考え、次式で表現した。

$$F_B = \beta \mu \left(1 - \frac{h_2}{D_{\max}}\right) (W_w - W_{sw}) B h_1 \quad \text{----- (6)}$$

β : 鉛直方向雪圧係数

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

2-5. 遠心力による側壁からの摩擦力 (F_R)

曲線部における遠心力により、曲線部外側の側壁から雪塊に作用する摩擦力 F_R (kgf/m²) は以下のように表される。

$$F_R = \frac{\mu \cdot B \cdot r \cdot W_{sw} \cdot (V_1 \cos i)^2}{r + \frac{B}{2}} \quad \text{----- (7)}$$

r : 曲線半径 (m)

3. 結果および考察

図-4は曲線半径 r (m)と限界投雪量の関係である。同一条件の場合、 $r = 5$ (m)以上の範囲で限界投雪量は直線部と近い値を示しているが、それ以下になると急速に低下し、 $r = 1$ (m)では直線部の6割程度の値を示している。³⁾

図-5は、同一条件で曲線半径 r (m)を変化させ、流量 Q_w (m³/s)と限界投雪量 Q_s (m³/s)の関係を求めたものである。 $Q_w = 0.2$ (m³/s)付近までは r による変化はそれほど顕著には現れないが、それ以降は r の小さいものから順次上昇割合が少なくなる。これは、雪層に対する下層流水によるせん断力よりも遠心力による壁面からの摩擦力が上回るため、水路の形状および材質における投雪量の限界値とも考えられる。

なお、今後の課題として、回転角の影響について考察を加えるとともに、実験等によって検証を行ってきたい。

《参考文献》

- 1) 時岡真治, 黒木幹夫, 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) 「積雪寒冷地における流雪溝マニュアル (案)」平成2年2月 (財)北海道開発技術センター

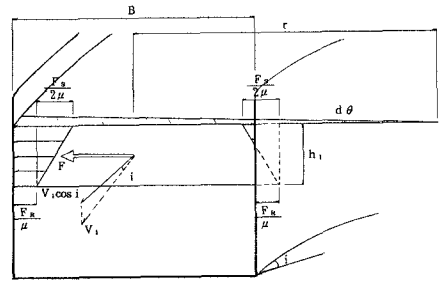


図-3 遠心力による側壁からの抵抗

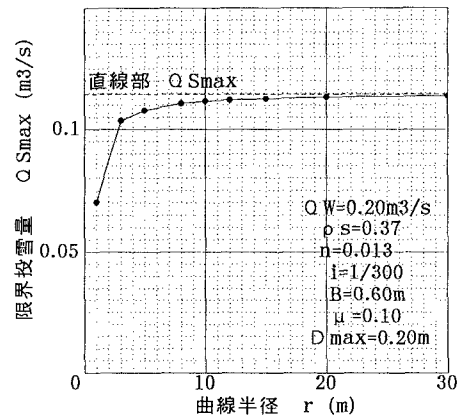


図-4 曲線半径と限界投雪量の関係

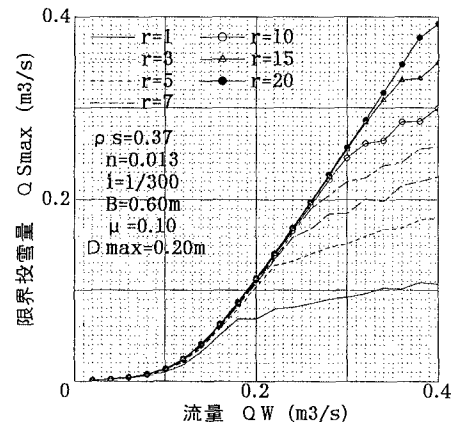


図-5 流量と限界投雪量の関係