

II-19 流雪溝の水理特性に関する基礎的研究

(株)ソニー

岡村康一

長岡技術科学大学 正員 福嶋祐介

長岡技術科学大学 正員 早川典生

長岡技術科学大学 村上正人

1. はじめに

流雪溝は、近年消雪パイプ等の融雪システムと比較して、環境保護、少資源タイプの除排雪技術として見直されている。しかしながら、流雪溝は比較的急勾配のとれる地域でのみ設置されているのが現状であり、より緩勾配の地域における設置が望まれている。しかし、その特性や設計法は限られた条件の範囲内での実験結果に基づいているものであり、より普及を広め、かつ溢水等の災害を防ぐためには流雪溝内における雪輸送システムを力学的に明らかにする必要がある。そこで本研究では、流雪溝内の雪の流動機構を明らかにし、水路勾配、水路粗度、雪質等を考慮した流雪溝の水理特性を“雪塊の移動限界”、“最大流雪能力”、“雪投入に伴う水深増加量”の3点について検討する。また、それらを実験的に検証することにより理論検討の妥当性を証明するとともに、緩勾配流雪溝の実用性を検討する。

2. 水理学的検討

雪塊の移動限界は、流雪溝内に投入される雪塊の体積過多に起因する溝内の「つまり」に関する検討であり、投入された雪塊に作用する力の釣合式から移動限界を式(1)のように求めた。

$$\left(\frac{\rho_s h_s}{\rho_w h} - 1\right) c(\mu \cot \theta - 1) \leq \frac{1}{1 + (n/n_s)^2 (S_0/S_w)} \quad (1)$$

ここで、 ρ_s :雪の密度、 ρ_w :水の密度、 h_s :雪塊の高さ、 h :水深、 μ :雪と水路底面との摩擦係数、 θ :水路勾配、 n , n_s :雪の投入前と投入後のマンニングの粗度係数、 S_0 , S_w :雪の投入前と投入後の潤辺である。また、 c は固相率といい、雪相部分における単位体積当りの正味の雪の体積率である。

最大流雪能力は、雪の過剰な投入によって発生する流雪溝の閉塞現象の解明を目的とした検討である。単位時間当りの流雪量と投雪量について、雪相と水流に対して連続式、運動量式をたてることにより、

最大流雪能力の理論式を式(2)のように求めた。

$$\frac{Q_s}{Q_w} = \frac{\rho_s h_s}{\rho_w h} \cdot \frac{c}{1-c} \left\{ 1 - \frac{n}{n_s} \cdot \frac{1}{(1+\lambda)^{1/2}} \cdot \left(\frac{\phi}{1-\phi} \right)^{1/2} \right\} \quad (2)$$

ここで、 Q_s :流雪量(1/s)、 Q_w :流水量(1/s)、 λ :雪相内の空隙煮関する係数、 ϕ :雪と水路床との摩擦に関する係数である。

雪投入に伴う水深増加量は、流雪溝の溢水現象の解明を目的として行った検討であり、雪相と水流に対して連続式、運動量式をたてることにより式(3)のように求めた。

$$\frac{h}{h_0} = \left[\frac{1}{1-c} \cdot \frac{n}{n_0} \cdot \left(\frac{1+2h/B}{1+2h_0/B} \right)^{2/3} \cdot \frac{1}{(1-\phi)^{1/2}} \right]^{3/5} \quad (3)$$

ここで、 h_0 , h :雪の投入前と投入後の水深である。

3. 雪を用いた検証実験

移動限界は、立方体の雪塊を水路中央に静置し流水量、水路勾配、雪塊の大きさ等を変化させて移動の有無を調べたものである。図1に実験結果を示す。

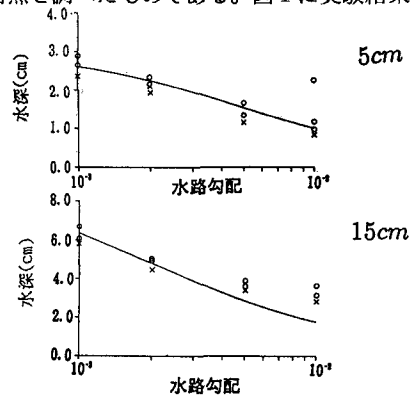


図1 雪塊の移動限界に関する実験結果

図中で○は雪塊が移動した場合、×は移動しない場合、実線は式(1)によって計算した値である。本図より実験値と計算値に良い一致が見られることが解かり、理論の妥当性が示された。

最大流雪能力は、あらかじめ設定した量の雪をバケツを用いて水路内に投入し、雪が流下するか否かを単位時間当りの投雪量、流量、水路勾配を変化させて調べたものである。図2に実験結果を示す。

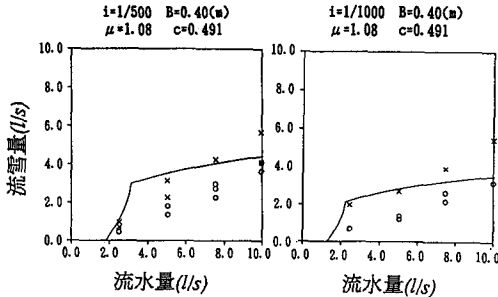


図2 最大流雪能力に関する実験結果

図中で実線は、式(2)によって計算された理論値である。本図より実験値が理論値の概略を示すことが解かり理論の妥当性が示された。また、本実験で発生した誤差は、雪の投入間隔の均一化等で減らすことが可能であると考えられる。

水深増加量は、雪を投入する前と後の水深を単位時間当りの投雪量、流量、水路勾配を変化させて調べたものである。図3に実験結果を示す。

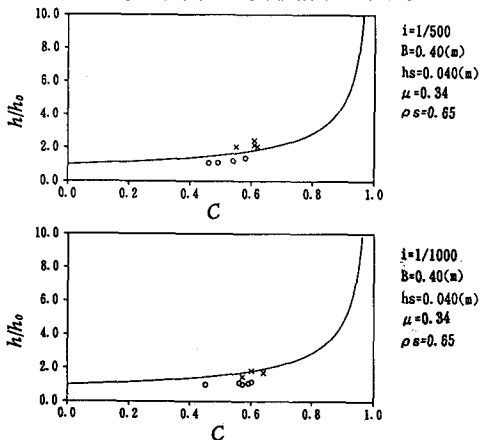


図3 水深増加量に関する実験結果

実線は、式(3)によって計算された理論値である。本図より実験値と計算値に良い一致が見られることが解かり、理論の妥当性が示された。

4. 流雪溝の水理特性

式(2)により最大流雪能力に関する水理特性を表わしたグラフを図4に示す。縦軸に流雪量、横軸

に流量をとり水路勾配を4種類変化させて求めた。

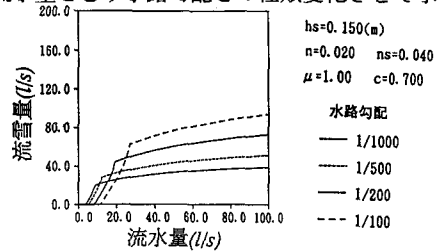


図4 最大流雪能力に関する水理特性

本図より、急勾配ほど流雪能力が大きくなる。また、現在設置されていない低勾配流雪溝であっても、実用的な流雪量が確保できることが解かる。

式(3)により雪投入に伴う水深増加量に関する水理特性を表わしたグラフを図5に示す。縦軸に水深増加率、横軸に水路勾配をとり固相率を0.1~0.7まで変化させて解析した。

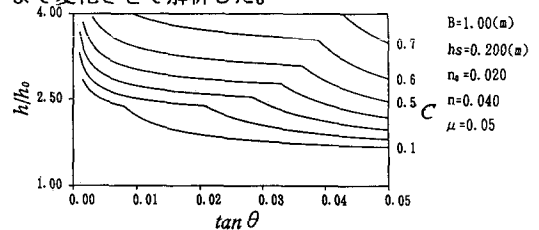


図5 水深増加量に関する水理特性

本図において水深増加率が急激に下がる地点は雪の移動限界であることが式(1)の数値解析上解っている。すなわち、雪が閉塞していると水深増加率は極めて大きくなり溢水の危険性が高くなる。

5. 結論

雪塊の移動限界、最大流雪能力、雪投入に伴う水深増加量に関して、水理条件や雪質を考慮にいたれた理論式を提案し、解析解を求めることにより流雪溝の水理特性を明らかにした。そして検証実験の結果、実験値が理論値の概略を示すことが確認され、理論の妥当性を示した。また、これにより緩勾配における流雪溝の有効性の一端を示すことができた。

参考文献

- 1) 流雪溝設計運営要領、建設省北陸地方建設局監修、1983.9.
- 2) 吉永一義、福嶋祐介、流雪溝の雪輸送能力に関する基礎的研究、第46回年次学術講演会論文集、1991, pp.782-783
- 3) 岡村康一、福嶋祐介、流雪溝の雪輸送能力に関する水理学的検討、水工学論文集第36巻、1992, pp.287-292