

II-280

流雪溝の流雪能力に関する基礎的研究

○(株)建設技術研究所 正員 村上正人
長岡技術科学大学 正員 福岡祐介
長岡技術科学大学 正員 早川典生

1. はじめに

流雪溝は流水力により雪を輸送するシステムであり、従来は流水力がより大きい急勾配の地域でのみ設置されてきた。しかしながら、消雪パイプ等の融雪システムと比較して環境保護、省資源タイプの除排雪技術であり、また幅員狭小な市街地道路で有効であることから、平坦な地域においても流雪溝の設置が望まれその計画がなされている。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、平坦な地域においてより普及を広め、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機構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、雪質等を考慮して理論的検討を行い理論式を提案した。また実際の雪を用いて実験的検討を行い理論式の妥当性を証明した。そしてその結果から、流雪溝の流動特性を明らかにするとともに、平坦地における流雪溝の設置について検討した。

2. 理論的検討

流雪溝内の雪の流動機構を、与えられた流量に対して投入可能な単位時間当りの投雪量である最大流雪能力(雪が連続して流下する場合)と、与えられた流量に対して移動可能な雪の大きさを求める雪塊の移動限界(間欠的に流下する場合)の2点にわけ、それぞれ異なるモデルの用いて理論式を提案した。

(1) 最大流雪能力

雪層は流下方向に無限に長く底面と接して流下すると仮定し、雪水二相流の考え方に基づき雪層と水に対してそれぞれ連続式と力の釣合式をたてることにより、最大流雪能力の理論式を次式のように導いた。本理論式では、流体力としてせん断力を用いた。

$$Q_s = \chi \cdot \frac{1 - (1 - \alpha)\lambda}{1 - \lambda} \cdot \left\{ \frac{1 - \frac{1 - \beta(1 - \alpha)\lambda}{1 - \lambda} c}{1 - \left(\frac{1 - c}{\gamma}\right)^{2/3} \frac{n}{n_s} \left(\frac{\phi}{1 - \phi}\right)^{1/2}} + \frac{(1 - \beta)(1 - \alpha)\lambda}{1 - \lambda} c \right\}$$

ここで、 Q_s : 単位時間当りの雪の投入量 (ℓ/s)、 Q_w : 単位時間当りの流量 (ℓ/s)、 λ : 空隙率、 α : 空隙残留率、 β : 水の空隙通過率、 γ : 雪の潤辺に関する係数、 n : 水と水路とのマンニングの粗度係数、 n_s : 水と雪とのマンニングの粗度係数である。 c は固相率であり、流積中の水の断面積で表される。また、 χ は雪層に働く重力と浮力の関係を表わすパラメータであり、 ϕ は摩擦係数等を含むパラメータである。

(2) 雪塊の移動限界

雪塊は直方体であり底面と接して流下すると仮定し、それに作用する力の釣合式から雪の移動限界を次式のように導いた。ここでは、流体力は抗力として与えた。

$$W_s = \frac{\rho_w g B_s}{2} \left[\{1 - (1 - \alpha)\lambda\} d_s h + \frac{1}{(\mu \cos \theta - \sin \theta)} \cdot \frac{c_d}{g} Q_w^2 B^3 h \right]$$

ここで、 W_s : 一個の雪塊の重量 (Kg/ℓ)、 Q_w : 単位時間当りの流量 (ℓ/s)、 ρ_w : 水の密度 (g/cm^3)、 B : 水路幅 (m)、 B_s : 雪塊の幅 (m)、 d_s : 雪塊の長さ (m)、 c_d : 抗力係数、 μ : 雪と水路の摩擦係数、 λ : 空隙率、 α : 空隙残留率である。

3. 実験的検討

水路勾配、摩擦係数、雪の密度が流雪能力に及ぼす影響を把握することと、緩勾配水路における流雪能力をより詳しく把握するために、水路延長 10m、水路幅 40cm の可変勾配二次元開水路(水路1)と水路延長 21.50m、水路幅 25cm の水路勾配を 1/1000 に固定した水路(水路2)を用いて実験を行った。そして、この実験結果を用いて理論式の妥当性を検討した。実験条件を表1に示す。

表1 実験条件

項 目	条 件	
	水路 No.1	水路 No.2
水路勾配 I	$\frac{1}{100}$ 、 $\frac{1}{250}$ 、 $\frac{1}{500}$ 、 $\frac{1}{1000}$ 、 $\frac{1}{2000}$ の5勾配	$\frac{1}{1000}$
水路床	珪砂板 ($\mu = 1.08$) ベニア板 ($\mu = 0.86$) アクリル板 ($\mu = 0.05$)	ベニア板 ($\mu = 0.70$)
雪 質	新 雪 ($\rho_s = 0.17 \sim 0.25 g/cm^3$) しまり雪 ($\rho_s = 0.31 \sim 0.46 g/cm^3$) ざらめ雪 ($\rho_s = 0.53 \sim 0.58 g/cm^3$)	新雪、しまり雪 ($\rho_s = 0.27 \sim 0.41 g/cm^3$)
流 量	2.5(ℓ/sec) ~ 15.0(ℓ/sec) の6流量	4.0(ℓ/sec) ~ 16.0(ℓ/sec) の7流量

(1) 最大流雪能力

幅40cm、高さ40cm、長さ10mの可変勾配二次開水路（水路1）での実験結果を図1に示す。

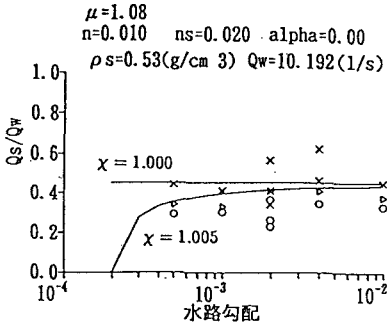


図1 最大流雪能力に関する実験結果（水路1）

図中で○が移動した場合、×が移動しなかった場合、実線は $\chi = 1$ （浮遊限界の場合）と $\chi = 1.005$ （底面と接して流れる場合）での理論値である。この結果から、今回の実験では水路勾配による流雪流量比の変化はあまり見られなかった。これは緩勾配の場合、急勾配と比較して流体力は小さくなるけれども、水深が大きいために浮力が大きくなるので流雪流量比があまり変化しなかったと考えられる。

幅25cm、高さ40cm、長さ21.5mの開水路（水路2）での実験結果を図2に示す。

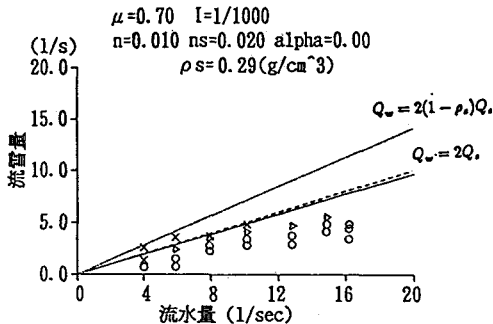
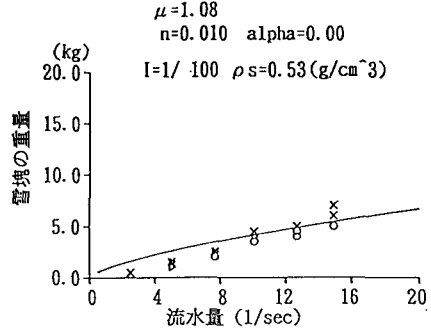


図2 最大流雪能力に関する実験結果（水路2）

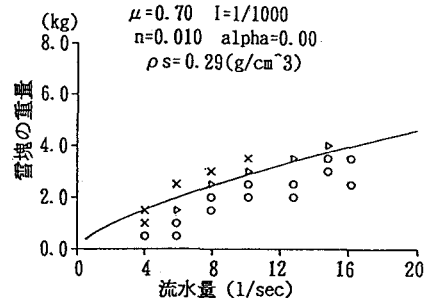
図中で破線は国鉄の式、一点鎖線は道路構造令の式、実線は理論式である。本図より、適切なパラメータを与えることによって理論値が実験値の概略を示すことが分かり、理論の妥当性が示された。また、この実験結果から1/1000のような緩勾配水路においても十分な流雪量が確保できることが示された。

(2) 移動限界

移動限界式を適用した結果を図3に示す。



(a) 水路1



(b) 水路2

図3 移動限界

(a) は水路1での実験結果であり、(b) は水路2での実験結果である。水路幅がことなる2つの実験のどちらも実験値と理論値がよく一致することから、移動限界式の妥当性が示された。またこれにより、与えられた流量に対して閉塞をおこさない1回の投雪量を把握できる。

4. 結論

流雪溝内の雪輸送機構を理論的に解明することにより諸条件を考慮にいれた理論式を提案した。そして実験結果から、理論値が実験値の概略を示すことが確認され理論の妥当性が示された。

緩勾配流雪溝の適用に関しては、実験結果から雪が底面と接すると閉塞を起こすので浮遊状態にさせなければならない、水深が大きくなり溢水の危険性が増す、流速が遅いので障害物の影響を受けやすく閉塞が起こりやすいということが確認されたが、適切な投雪を行えば十分な流雪量は確保可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 建設省北陸地方建設局監修、流雪溝設計運営要領、北陸建設弘済会、1983。
- 2) 大熊孝、大川秀雄、神立秀明、宮拓男、水落直人、中村一郎、流雪溝と消融雪溝の標準的計画・設計法に関する基礎的研究、雪氷第51巻4号、1989、pp.239-251