

東北大学大学院 学生員○上山 敦 野路正浩
東北大学工学部 正 員 今村文彦 首藤伸夫

1. はじめに

近年、除排雪施設の中で特に注目されているものとして流雪溝があるが、その運用が悪いと閉塞が発生し利用できなくなる。その運用条件を定めるには、流雪溝内での雪の動き（流下雪量）を知ることが重要となる。本研究は、流雪溝への投入時における雪塊の流下速度の数値モデルを開発し、水理実験と比較検討する。

2. 実験方法

実験装置は図-1に示す、直線水路である。速度を算定するには2地点での物体通過時間を測定する必要がある、光電スイッチ部を2箇所設けた。物体が通過すると光電スイッチのセンサー部より発せられた赤外線がその物体に反射しその反射光を感知する赤外線反射型センサーで物体の通過を判定できる。実験の条件は、水深17cm、平均流速89.2cm/sとした。センサー間の距離は20cmとし、雪塊（12cm×12cm×10cm）の投入地点から60, 80, 100, 120, 140, 160cmの地点に始めのスイッチを設置した。

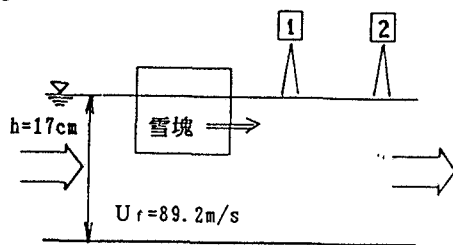


図-1 水理実験装置

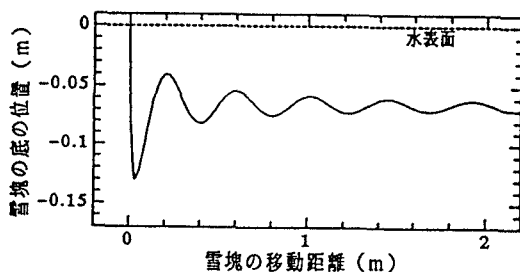


図-2 雪塊の上下変動特性

3. 投入時の雪塊の上下変動

雪塊を投入させると、始め水面下まで埋没するが浮力により水表面まで戻され、上下の変動を繰り返す。この現象は雪塊の流下方向投影面積に関係する。ここでは、水理実験により現象を撮影し投入直後の雪塊変動を計測して、次のようなモデルを仮定した。

$$\rho_s L_s H_s \beta_s = \rho_f L_s H_s g - \rho_f L_s H_s R g - \rho_f C_D v_s |v_s| L_s / 2 \quad (1)$$

ここで、 ρ_s は雪の密度、 L_s は雪塊の長さ、 H_s は雪塊の高さ、 β_s は雪塊の加速度、 v_s は雪塊の速度、 R は雪塊の水に浸っている割合である。(1)式を数値計算により解析した結果を図-2に示す。

4. 雪塊流下数値モデル

数値モデルは、流雪溝内の流体の式（連続と運動の式）と雪塊の運動の式を用いている。この運動系は抵抗力と付加質量力により相互に影響を与えることによって成立している。流体は1次元の不定流であり、雪塊は式(2)に示す運動の式である。計算条件としては、空間格子の間隔は2cm、時間間隔は0.002s、 $C_D=2.05$ 、 $C_M=0.25$ 、雪の比重は0.66である。始めに、数値計算を行う上で、付加質量力と雪塊の投影断面積変化の影響の有無により、表-1に示す3つのモデルを考えた。

$$\rho_s L_s H_s \alpha_s = \rho_f C_D (u_f - u_s) |u_f - u_s| H_s R / 2 + \rho_f C_M L_s H_s R \alpha_s - \rho_f C_M L_s H_s R \alpha_f + \rho_f L_s H_s R \alpha_s \quad (2)$$

表 1 数値モデルの条件

	C_M 値	投影面積
MODEL 1	0	一定
MODEL 2	0.25	一定
MODEL 3	0.25	変化

ここで、各モデルによる付加質量力、抵抗力の結果を図-3に示す。モデル1は抵抗力だけが雪塊を移動させるモデルであり、初期に正の抵抗力を強く受けた後、速度値が増加したために開水路平均流速よりも大きくなり負の抵抗力を受けていることが分かる。モデル2では初期には付加質量力が支配的に作用し、その後は振動しながら減衰しているが、付加質量力は抵抗力より大きい。従って、雪塊の運動には初期の付加質量力は不可欠であることが分かる。最後に、モデル3では初期での投影断面変化を考慮しているために、付加質量力、抵抗力ともに小さく抵抗力が正の値を持ち続けていることが分かる。これは雪塊速度が流速値より一気に大きくなることが無いことを示している。次に、どのモデルが実際の雪塊流下の現象に適合するかを検討する。

5. 実験値との比較

実験値と数値計算によって得られた雪塊速度の比較をした結果を図-4に示す。この図から実験値はほぼモデル3と一致し、投入時での投影面積変化の効果を取り入れないと、初期に流速が過大になり、実験値と大きく異なることが示された。

6. 屈曲部での閉塞限界

上の数値モデルを利用し、例えば2段階で屈曲する箇所での閉塞条件を考える。ここでは、始めの曲がりで減速した雪塊が次の曲がりで十分な速度を持たないために停滞することになる。そこで、十分な速度を持つために必要な屈曲部間の距離を算定して閉塞限界とする。数値モデルには新たに側壁との摩擦と始めの屈曲部で雪塊にかかる損失を考慮した。その結果を図-5に示す。これを利用し、屈曲部通過に必要な流速値が判明すれば、閉塞条件が求まることになる。ここで仮定した摩擦係数や損失は実際のものではなく、今後水理実験や現地観測を行い定めていく。

7. おわりに

以上、水理実験結果をほぼ再現できる数値モデルを開発することが出来た。これにより、雪塊の速度が分かり雪量を推定できる。さらに屈曲部での閉塞条件算定に利用できるようにモデルを改良した。今後は、単体の雪塊の投入でなく、連続投入時での速度や流下での雪塊の合体問題などを検討していきたい。

《謝辞》本研究の一部は文部省科研費（代表八戸工大佐々木幹夫助教授）によって行われた。

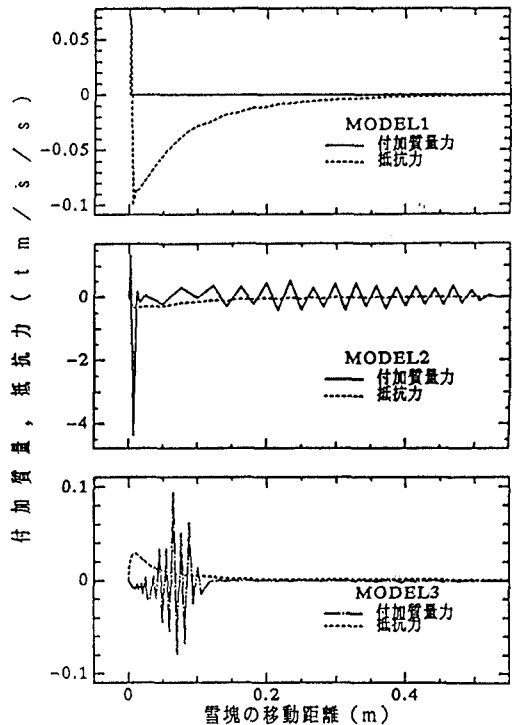


図-3 各モデルの付加質量力と抵抗力

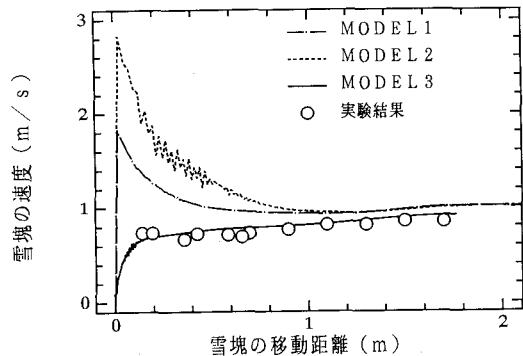


図-4 雪塊の速度の比較

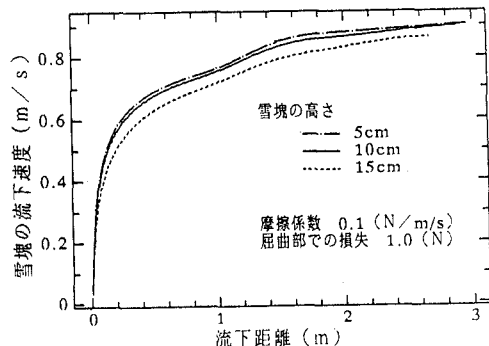


図-5 屈曲部間の雪塊の速度