

東北大学大学院 学生員 〇佐藤敏之
東北大学工学部 正 員 首藤伸夫

1. はじめに

著者らは前報⁽¹⁾で流雪溝の送雪能力の解明の第1段階として実用流雪溝の運用とその実態を報告し、送雪能力を決定する停滞現象に関する知見を述べた。今回は、この停滞現象の原因と思われる雪と溝の壁面との間に生ずる摩擦力を、最も単純化した流雪溝のモデルを使用し、摩擦損失係数の形で評価してみた。

2. 流雪溝内の流体の流況

実際の流雪溝内に流下する流体は、雪と水の混相流である。また、その流況は雪が横流入する非定常流と考えるのが本来であろう。しかし、現象をそのまま非定常流として解析することは困難である。

図1は、現在我々が行なっている流雪溝の模型実験結果の一例である。図は、横流入を考えず上流から定常的に水と雪を流入させた時の2m離れた2点間の水深の経時変化を示す。雪投入後、流況が定常的になる30秒以後の上流水深平均は10.9cm、下流水深平均も10.9cmである。横流入を考えない流れの流況はほぼ等流と見なすことができよう。

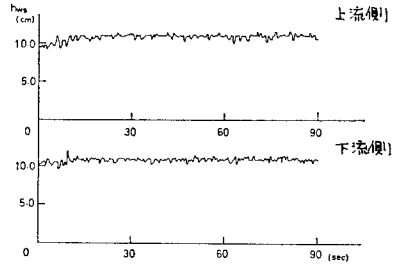


図-1 雪投入後の水深の経時変化の一例

等流状態で流れるなら停滞は生じないはずである。実際の溝内混相流が減速し、停滞するのは雪の横流入により単位長さ当りの溝内の雪が場所的、時間的に増加し、雪と壁面間に生ずる摩擦力が流体に対して抵抗として働くことが原因の一つであるといえよう。

したがって、流雪溝の送雪能力を決定する停滞現象を解明するには、混相流中の雪による摩擦力の評価がまず第1に必要となる。

3. 混相流中の雪の摩擦力の算定

上述のような考察から流雪溝を単純にモデル化した。雪と水が上流から定常的に流入し、横流入はない状況で次のように仮定する。

- (i). 雪と水の混相流は流入後等流状態となり、混相流中の雪と水は同じ速度 u_{ws} で流下する。
- (ii). 流入後、空隙に水を吸収した雪は上部に厚さ h_s で一様に浮遊状態で分布し、側壁とのみ接する。
- (iii). 水のみが流速 u_0 で流れる時に得られた水の摩擦損失係数 f_w は混相流時の水と壁面間の摩擦に関して不変である。ただし、 f_w は後に述べる雪の摩擦損失係数と比較するため次式で定義した。

$$\tau_w = w_w R_0 I = \frac{1}{2} f_w \rho_w u_0^2 \quad (1)$$

τ_w : 水と壁面間の摩擦応力 ρ_w : 水の密度 R_0 : 雪投入前径深 I : 水路床勾配

w_w : 水の単位体積重量

図2の $d \times$ 区間において混相流の重量の流れ方向の成分が、雪と側壁間の摩擦力、水と壁面間の摩擦力とつりあう。したがって力のつりあい式より 雪と側壁との摩擦応力 τ_s は

$$\tau_s = \frac{1}{2h_s} w_{wi} B I - \left(\frac{h_w}{h_s} + \frac{B}{h_s} \right) \cdot \tau_w \quad (2)$$

w_{wi} : $d \times$ 区間の混相流の単位体積重量 B : 溝幅 h_w : 全水深 h_{ws} に対して水が占める水層

ここで混相流の全水深 h_{ws} に対して雪が占める厚さ h_s を求めるため、 K_S を dx 区間における混相流の総体積中で雪の占める割合として定義する。雪は氷と空隙よりできていて、空隙には水が吸収されることを考えると、 dx 区間における混相流の総体積は流入水と流入雪の氷の部分の和である。ゆえに、 K_S は

$$K_S = \frac{Q_s}{Q_w + Q_i} = \frac{B \cdot U_{ws} \cdot h_s}{B \cdot U_{ws} \cdot h_{ws}} \quad (3)$$

Q_s : 雪の体積流量 Q_w : 水の体積流量

Q_i : Q_s を氷部分に換算した体積流量

(3) 式より

$$h_s = K_S \cdot h_{ws} \quad (4)$$

$$h_w = (1 - K_S) \cdot h_{ws} \quad (5)$$

τ_w を (iii) の仮定から f_w で表わし (4), (5) 式を使って (2) を書き直すと、

$$\tau_s = \frac{1}{2} w_{wi} \frac{1}{K_S} BI - \left(\frac{1 - K_S}{K_S} + \frac{B}{2 K_S h_{ws}} \right) \frac{1}{2} f_w \rho_w U_{ws}^2 \quad (6)$$

このようにして求めた τ_s に対し、雪による摩擦損失係数 f_s を次式のように定義する。

$$\tau_s = \frac{1}{2} f_s \rho_s' U_{ws}^2 \quad (7)$$

ρ_s' : 空隙に水を吸収した雪の密度

4. f_s の算定

(7) 式の定義により f_s を算出した。使用したデータは、文献(2)より引用したもので、木製流雪溝の模型実験の結果である。比数の意味で f_w も算出した。文献に示された水理量は、1点におけるものしか与えられていない。そこで上流側からの水と雪の氷部分の流入量の和と下流側での流出量を比較して、その差が流出量の $\pm 10\%$ 以内のデータのみを使用した。許容できる差の範囲は、この種の実験につきものの雪流量の誤差をみこんで決定した。

f_s を統一的に表現するパラメータは現在検討中であるので、 $Re_s = 2 h_s \cdot U_{ws} / \nu_{10}$ を横軸にとって図示したが図3である。同じ図中の $Re_w = R_o \cdot U_o / \nu_{10}$ をパラメータとした f_w と比較するとオーダーが1けた大きくなっている。混相流化した流雪溝内の流体の停滞現象は、水と側壁間の摩擦のみでは到底発生しえない。混入している雪が流体に対して大きく抵抗として働くことを考えると f_s の値は興味深い。

5. おわりに

現在は、 f_s を算出したのみの結果となり、これがこれからの課題として、(i) モデル化に際して立てた仮定の妥当性の検討、(ii) f_s を統一的に表現するパラメータの検討、(iii) 種々の条件によるデータの蓄積、があげられよう。

参考文献 (1). 佐藤・首藤：第35回年譜要集

(2). 日本積雪連合：流雪溝の流雪能力について

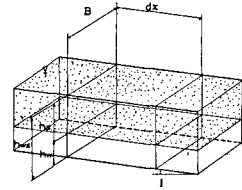


図-2 流雪溝モデル

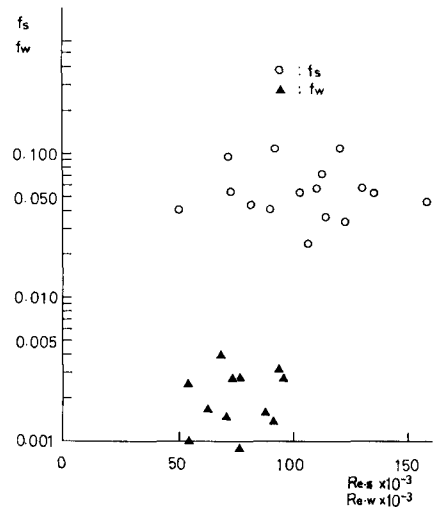


図-3 f_s, f_w の比較