

II-224 雪塊量の少ない雪水混相流の Plug flow の位置について

八戸工業大学 正会員 佐々木 幹夫

1. はじめに、流雪溝内の雪混じり流水に関する理論的研究は、佐藤・首藤(1983), Sato and Shuto(1983) 佐々木・西田(1985)および佐々木(1985)によってなされている。佐藤・首藤, 佐々木・西田および佐々木の流体モデルは雪水混相流をビンガム流体とみなしている点は同じであるが、佐藤・首藤, 佐々木・西田の比較的雪塊の多い雪混じり流水を、佐々木は少ない雪塊量の混相流を中心にしているように思われる。Sato and Shutoは水、混相流、雪塊の平均流速で雪塊混入による壁面摩擦係数を取扱っている。ビンガム流 合、混相流体の粘性係数と流動を始める限界のせん断応力およびその位置が新たな未知量となる。少ない雪塊量の混相流の場合、単位幅で考えられる状態であれば、平均流速と表面流速の測定により、Plug flow の始まる位置を知ることができる(佐々木, 1985)。本研究は Plug flow の位置についての考察を進め、これをもとに、実験で得られる Plug flow の位置の妥当性を検討しようとするものである。

2. Plug flow の位置

雪塊量が少ない流水の速度分布  $u$  および平均流速  $v$  は佐々木(1985)によれば次のようになる。

$$u = u_c + \frac{\sqrt{g l_c I}}{k} \log \frac{z}{l_c} \quad \text{--- (1)}$$

$(\delta \leq z \leq l_c)$

$$= u_c \quad \text{--- (2)}$$

$(z \geq l_c)$

$$v = u_c - \frac{u_c^*}{k} l_c^{*3/2} \quad \text{--- (3)}$$

$$u_c^* = \sqrt{g h I} \quad \text{--- (4)}$$

$$l_c^* = l_c / h \quad \text{--- (5)}$$

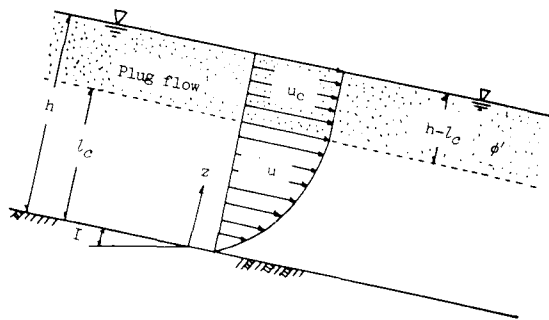


Fig.1 雪水混相流:  $\phi'$  = Plug flow 内の雪塊容積濃度

二に、 $u_c$  は Plug flow を示す流速、 $l_c$  は底面から Plug flow が始まる点までの距離、 $\delta$  は層流底層の厚さ(滑面乱流)か床面の粗度高さを示し、 $k$  はカルマン定数、 $I$  は水路勾配、 $h$  は水深である。底面と Plug flow の間は乱流として上式は導かれており、式(3)は  $\delta/h \ll 1$  として微小項を省略している。式(3)より、平均流速  $v$  と表面流速  $u_c$  を測定することにより、Plug flow の位置を間接的に知ることができる。しかし、Plug flow 内の局所的な容積濃度には限界があるので、この極限值より、Plug flow の位置  $l_c^*$  の範囲を定めることができる。

雪塊が球形であれば、Plug flow 内の容積濃度  $\phi'$  は、

$$\phi' \leq \phi'_c, \quad \phi'_c = 0.52 \sim 0.74 \quad \text{--- (6)}$$

とおける。二に、 $\phi'_c = 0.52$  および  $0.74$  は最疎充填および最密充填の容積濃度である。一方、 $\phi'$  は雪塊の水面下の体積の割合をとすると

$$\phi' = \frac{C \cdot g_s / B}{(h - l_c) u_c} \quad \dots \dots \dots (7)$$

$g_s$  : 単位時間当たりの投雪量  
 $B$  : 水路幅

とおけるので、 $l_c^*$ として、

$$l_c^* = 1 - \frac{C g_s}{\phi' u_c B h} \quad \dots \dots \dots (8)$$

を得る。式(6),(8)より、

$$l_c^* \leq \left\{ 1 - \frac{C}{\phi' (u_c / v_0) \cdot (h / h_0)} \cdot r \right\}, \quad r = \frac{g_s}{Q}, \quad Q = 25 B h_0 \quad \dots \dots (9)$$

を得る。なお $v_0$ および $h_0$ は投雪前

の流速および水深である。よって、 $C=1$ 、 $\phi' = 0.52$ 、 $u_c / v_0 \approx 1.0$ 、 $h / h_0 = 1.0$ とすれば、Plug flowの最高位置として、

$$l_{c \max}^* = (0.52 - r) / 0.52 \quad \dots \dots \dots (10)$$

を得る。式(3)より、 $u_c$ および $v_0$ の実測により求まる $l_c^*$ の値は $l_{c \max}^*$ より小さくなっていくば良いことになる。

### 3. 流雪実験および考察

前述の取扱いは雪塊の少ない場合の流氷に対して適用できるので、以下に示す実験水路を用いて実験を行った。

3.1 実験装置 Fig.1(a)(b)(c)に示す水路を用いた。水路はアクリル製で、水底勾配は $I=1/105$ で、 $Fr \approx 1.1$ 程度の流氷を作り出す水路である。

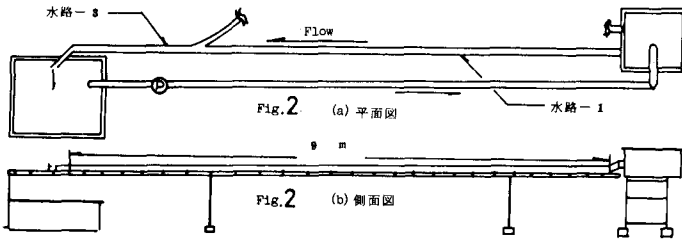


Fig. 2 実験装置

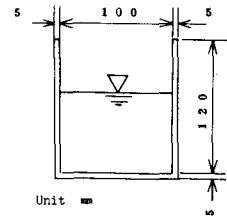


Fig. 2 (c) 水路断面

3.2 測定方法 雪塊の速度は2m間隔に設けた羽根の通過時間より、各区間の速度を出し、これらの平均と雪塊の速度とした。水深は各区間の中央の水深を読み取り、この水りの平均値を水深とした。投雪は一箇所にて2人が付き、連続投入で行った。

3.3 結果 雪塊は投雪作業の効率と雪塊体積の変化を防ぐために、雪玉をにぎって作ったもので、雪塊のサイズが水深より大きい場合には、少量の雪塊投入は雪塊の流速速度を増大させる傾向にある。

表1 実験条件および結果

$V_0$ : 投雪前の流速

	雪温 ( $^{\circ}C$ )	水温 ( $^{\circ}C$ )	雪の密度 ( $g/cm^3$ )	雪玉の直径 ( $cm$ )	投雪量 ( $kg$ )	投雪時間 ( $sec$ )	排雪量 $q_s$ ( $l/s$ )	水深 $h$ ( $cm$ )	流速 $v_0$ ( $cm/s$ )	流量 $Q$ ( $l/s$ )	雪塊速度 $v_s/v_0$	投雪比 $r = q_s/Q$
CASE3	-6	10	0.350	6	13.826	80.4	0.49	6.2	1.188	7.37	1.150	0.066
CASE4	0	11	0.540	6.1	24.870	111.2	0.41	8.5	1.299	11.04	1.063	0.037
CASE6	-2	9	0.462	5.7	22.370	154.7	0.31	7.3	1.273	9.29	1.079	0.033

カルマン定数を $k=0.4$ として、式(3)より、 $l_c^*$ を求めると、Case 3, 4, 6で0.96, 0.51, 0.62となる。式(10)より、 $l_{c \max}^*$ は0.87, 0.93, 0.94となり、Case 3の $l_c^* = 0.96$ は大きすぎる値となっている。

4. おわりに、式(3)を用いて、実験により $l_c^*$ を知る事が可能であるが、 $l_c^* \leq l_{c \max}^*$ となつてい