

II-68

流雪溝に関する研究 —— 流動モデルの検討 ——

八戸工業大学 学生員○田沢 隆 正 員 川島 俊夫
正 員 佐々木幹夫 正 員 高島 幸典
東北大学 正 員 高橋 弘

1. 流動のモデル化

雪水二相流が Fig. 1 に示すように A、B、C の 3 つの層に分けられるものとする。すなわち、

A 層：浮遊粒子が集積しており、固体は転動しながら流下する。速度分布は零とならない ($du/dy \neq 0$)。

B 層：栓流としての領域 ($du/dy = 0$)。

C 層：水粒子の渦運動の激しい領域である。

A 層は開水路では形成されないが、管水路では流速が低い場合に上層に固相粒子が集まり、この層を形成するものとする。管水路でも流速が大きくなると A 層は消滅し、中央に栓流域の B 層が発生し、両側が A 層となる。

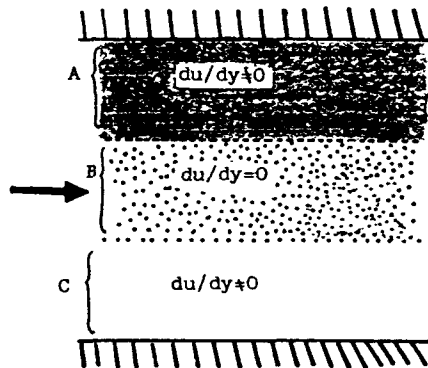


Fig. 1 流動のモデル化

2. 速度分布

(1) C 層内の速度分布：壁面に近い領域とそれから十分離れた領域における代表的な長さを L_1 および L_2 とすると ($L_1 \neq L_2$)。それぞれの領域における速度分布形は次のように書ける。

$$\frac{u}{u_*} = f_1 \left(\frac{y}{L_1} \right) \cdots (1)$$

$$\frac{(u_s - u)}{u_*} = f_2 \left(\frac{y}{L_2} \right) \cdots (2)$$

ここに、 u_* は摩擦速度、 u_s は壁面から距離 L_2 離れた点の速度である。式 (1)、(2) が同時に成立するものとする、両式を y で微分すると、

$$\frac{du}{dy} = u_* \frac{1}{L_1} \frac{df_1(y_1^*)}{dy_1^*} = -u_* \frac{1}{L_2} \frac{df_2(y_2^*)}{dy_2^*}$$

を得、よって、次式のように書けるので、

$$\frac{y_1^* df_1}{dy_1^*} = \frac{y_2^* df_2}{dy_2^*} \quad \text{ここに、} y_1^* = \frac{y}{L_1}, y_2^* = \frac{y}{L_2}$$

これが成立するためには、 f_1 、 f_2 が互いに独立な変数 y_1^* 、 y_2^* の関数であるから、上式は定数でなければならない。この定数を K とおけば、両辺の積分より、

$$f_1(y_1^*) = K \ln(y_1^*) + C_1 \cdots (3) \quad f_2(y_2^*) = -K \ln(y_2^*) + C_2 \cdots (4)$$

得る。いま、式 (4) の速度分布を採用し、 $y = l_c$ にて、 $u = u_P$ とすると、式 (2)、(4) より次式を得る。

$$\frac{u}{u_*} = \frac{u_P}{u_*} + K \ln \left(\frac{y}{l_c} \right) \cdots (5)$$

式(5)をB層まで適用できるようにすると次式のようになる。

$$\frac{u}{u_*} = \begin{cases} \frac{u_P}{u_*} + K \ln \left(\frac{y}{l_c} \right) & (y \leq l_o) \\ \frac{u_P}{u_*} & (y \geq l_o) \end{cases} \dots\dots\dots (6)$$

(2) A層内の速度分布

この層内の流れをダイレタント流れとすると、流動方程式は $\tau/\mu = (du/dy)^2$ となり、せん断力の分布をFig. 2のように考えると速度分布 u が次式のように与えられる。

$$\begin{aligned} \frac{u}{u_*} &= \frac{u_o'}{u_*} \left\{ 1 - \left(1 - \frac{y}{a} \right)^{3/2} \right\} & 0 \leq y \leq a \\ &= \frac{u_o'}{u_*} \left\{ 1 + \left(\frac{y}{a} - 1 \right)^{3/2} \right\} & a \leq y \leq l_a \end{aligned} \dots\dots\dots (7)$$

ここに

$$a = l_a - b, \quad b = \frac{\tau_e'}{\tau_e + \tau_e'} l_a, \quad \frac{b}{a} = \frac{\tau_e'}{\tau_e}$$

$$u_o' = \frac{u_o}{\{1 + (b/a)^{3/2}\}}$$

3. 実験との比較

管水路の二相流は低速域でAタイプの流動が現われ、高速域になると浮遊集積層は消滅し、栓流域とみれる層が中央に形成されるが、Fig. 3は式(6)で与えられる速度分布と実験との比較を示したもので、対応はとれている。栓流域を大きくすると、ビンガム流モデルとの差異は明確にならないが、実験値は対数分布を指示する傾向にある。Fig. 4は前述のように浮遊集積層をダイレタント流れとしてみた場合の実験象を良く再していることが理解されよう。

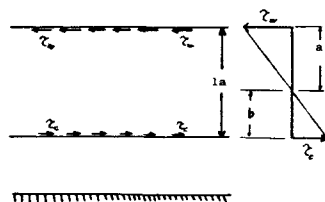


Fig. 2 せん断力の分布

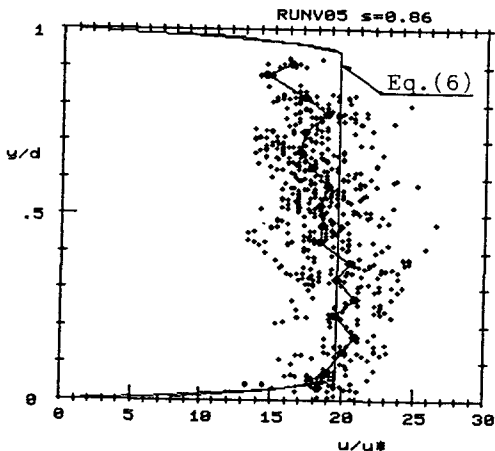


Fig. 3 理論と実験との比較

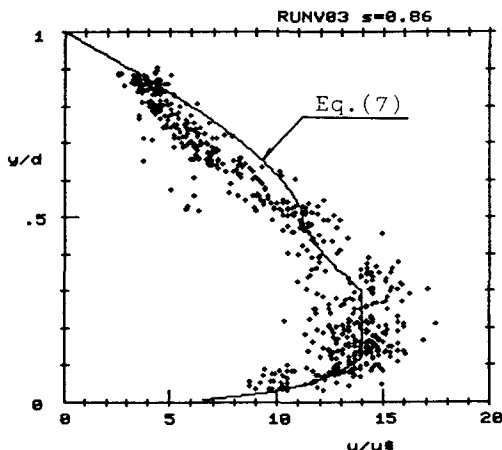


Fig. 4 浮遊集積層モデルと実験との比較

4. おわりに

二相流の流動現象が3つの領域からなるモデルを提案し、速度分布を求めてみた。浮遊集積層ダイレタントモデルは、低流速域においては実験と良く一致する。