

九州大学工学部 正員 工博 椿 東一郎

九州大学工学部 正員 浜 村 実

九州大学大学院 学生員 古本 勝弘

温水槽に於ける流速分布及び境界面に働く摩擦抵抗係数を実験的に求め、層流条件における流速分布及び摩擦抵抗係数について若干の考察を行なった。

実験結果 実験は長さ 13.6 m, 巾 0.3 m, 高さ 0.3 m の 3 面アクリライト製矩形断面水路を使用した。流速分布の測定は water-blue の小粒子を流路に投入し縦方向に色素の軌跡を作りその変形する状態を記録するか又はクロールベンゼン及びキシレンの混合液を着色し上流から噴射させて流れの中に数小球を作りその速度を測定した。

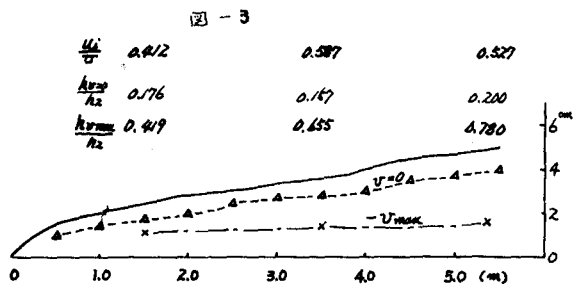
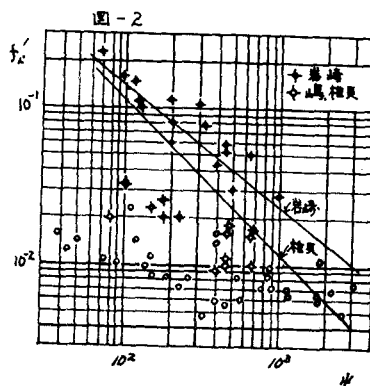
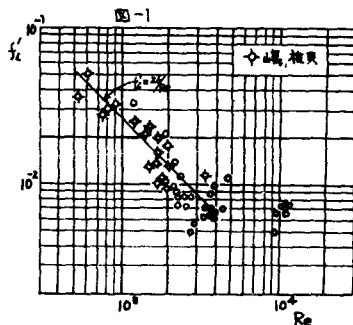
実験より $f'_2 = \frac{-2(\frac{1}{Re} - 1)\frac{u_1}{u_2}}{1 + \frac{u_1}{u_2}}$ を用いて求めた境界面の抵抗係数 f'_2 と Reynolds 数との関係を図-1 に示す。 Re が 4×10^3 以下では f'_2 は Reynolds 数の増加と共に減少し境界面附近は層流状態を保っているが Reynolds 数が 4×10^3 を越えると f'_2 は Reynolds 数に無関係に一定となり境界面附近は内部波の発生が顕著になり流況にかなりの変化を生ずる。

なお、内部波の発生による抵抗係数と権貝氏の提案した parameter $\psi = \frac{1}{Re} \frac{u_1}{u_2}$ との関係を図示すると図-2 が得られる。

図-3 は実験により得られた流速分布より境界面の流速、下層の流速の 0 点、逆流最大流速の生ずる点を示したものである。これは従来の研究とはかなり異なった傾向を示している。すなわち従来は $u_1/u_2 = \text{一定}$ と考え下層の流速分布を 2 次式と仮定した関係で $Re_{v1}/Re_2 = \frac{1}{2}$, $Re_{vmax}/Re_2 = \frac{2}{3}$ と一般的に定まったが実験によりこれらの値は検討を要するものと思われる。

図-1 より Reynolds 数が 4×10^3 以下では層流として取り扱いが可能であり普通は上層の境界層内及び下層内の流速分布を 2 次式と仮定して解析が行なわれている。

一方図-4 に示す座標系を考えれば境界に於ける条件は運動方程式の慣性項 $u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y}$ が連続であるから



$$\varepsilon g \frac{\partial h_1}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 u_2}{\partial y^2} = \nu \frac{\partial^2 u_1}{\partial y^2} \quad (1)$$

であるから上層の境界層内部の流速分布は2次式、
下層に於ける流速分布は3次式を仮定する。

境界条件は上層について $\eta_1 = 1$ で $u_1 = U$, 及び
 $\frac{\partial u_1}{\partial \eta_1} = 0$ $\eta_1 = 0$ で $u_1 = u_2$ であり下層について
は $\eta_2 = 0$ で $u_2 = u_1$, $\eta_2 = 1$ で $u_2 = 0$, $\int_0^1 u_2 d\eta_2 = 0$,
及び(1)式である。

以上の境界条件により流速分布を求めれば

$$\begin{aligned} \text{上層} \quad \frac{u_1}{U} &= \lambda + 2(1-\lambda)\eta_1 - (1-\lambda)\eta_1^2 \\ \text{下層} \quad \frac{u_2}{U} &= \lambda - (3\lambda + \frac{C}{3})\eta_2 + C\eta_2^2 + (2\lambda - \frac{2}{3}C)\eta_2^3 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{ここに} \quad C = -\left(\frac{h_2}{\delta_1}\right)(1-\lambda) - \frac{1}{2}\Gamma$$

$$\Gamma = \frac{h_2^2}{\nu_2 U} \cdot \varepsilon g \frac{\partial h_1}{\partial x}$$

$$\eta_1 = y/\delta, \quad \eta_2 = y/h_2, \quad \lambda = u_1/U$$

境界面に働く剪断応力の連続条件により

$$(1-\lambda) = \frac{1 - \frac{1}{18}\Gamma}{1 + \frac{2}{3}\left(\frac{h_2}{\delta_1}\right) + \frac{1}{9}\left(\frac{h_2}{\delta_1}\right)^2} \quad (3)$$

$\tau_2 = \frac{\mu_2}{2} \rho U_m^2$ で定義すれば

$$f_2 = \frac{1}{Re} \cdot \left(\frac{U}{U_m}\right) \cdot \left(\frac{h_1}{h_2}\right) \cdot (6\lambda + \frac{2}{3}C) \quad (4)$$

上式はさうに上層及び下層の運動量方程式並びに境界層方程式を連立させて δ_1 , h_2 を決める必要があるが実験によれば λ の変化は小さくとりあえず実験結果から上の関係を吟味してみる。

$\lambda = 0.5$ とすれば h_2/δ_1 は $-\Gamma$ と共に増加する。又図一 は $\lambda = 0.5$ の場合の下層流の流速分布の変化を示したものであり同図より $-\Gamma$ の値が大きくなれば流速の0点が上方に移動し境界面の速度勾配が大きくなる事が解かる。 $-\Gamma$ は一般に下流側に増加するが図一3の流速の0点の傾向とかなり良く合っている。

摩擦抵抗係数 f_2 については 底面の摩擦抵抗 τ_2 とし

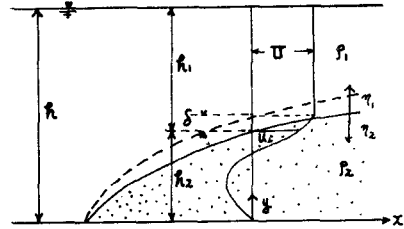
$\tau_0 = \alpha \tau_2$ とすれば

$$f_2 = \frac{-2\left(\frac{1}{\lambda^2} - 1\right) \frac{dh_1}{dx}}{1 - (\alpha - 1) \cdot \frac{f_1}{\lambda} \cdot \frac{h_1}{h_2}} \quad (5)$$

$$\alpha = -\frac{3\lambda - \frac{1}{3}C}{3\lambda + \frac{2}{3}C}$$

であり実験結果より(4)式で示された f_2' と(5)式の f_2 を比較すると(4)式より $f_2' \cdot Re = 13.9$, (5)式より $f_2 \cdot Re = 13.8$ である。

図-4



Γ による下層流の変化

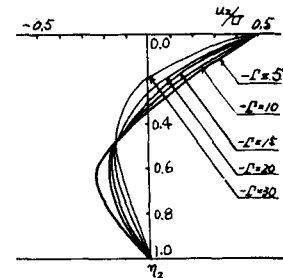


図-5