

II-232 滑 面 開 水 路 抵 抗 則

山口大学 正会員 齊 藤 隆  
 山口大学 正会員 羽 野 義 徳  
 徳山工専 正会員 佐 賀 孝 徳

本報告は、厚さ 0.1mm、巾12mmの矩形開孔ビト一管を用いて詳細に測定した平均流速分布より求めた渦動粘性係数分布をモデル化し、得られた平均流速分布式を実験結果によって検討したものである。

著者らが数年来行なってきた開水路流れの可視化実験によると、壁面近傍にはその上部の流れ場とは異なった組織構造がかなり恒常的に存在することから、渦動粘性係数の分布を図-1に示すように、壁面近傍とよの上部の流れ場とが独立性を持つような形で仮定する。各領域における渦動粘性係数の分布式と平均流速分布式は次のとおりである。

図-1 渦動粘性係数分布

$$\eta \leq \eta_v \quad v+\epsilon=v \quad \frac{U}{U_*} = \frac{U_* H}{V} \eta (1 - \frac{1}{2} \eta)$$

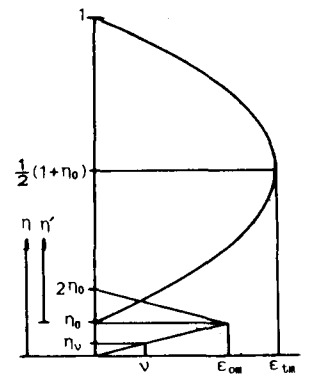
$$\eta_v \leq \eta \leq \eta_0 \quad v+\epsilon=\epsilon_{tm} \frac{\eta}{\eta_0} \quad \frac{U}{U_*} = (\frac{U}{U_*})_{\eta_v} + \frac{U_* H}{\epsilon_{tm}} \eta_0 \{1 n \frac{\eta}{\eta_v} - (\eta - \eta_v)\}$$

$$\eta_0 \leq \eta \leq 2\eta_0 \quad v+\epsilon = -4\epsilon_{tm} \left( \eta'^2 - \left(1 - \frac{\epsilon_{om}}{4\epsilon_{tm} \eta_0'}\right) \eta' - \frac{\epsilon_{om}}{4\epsilon_{tm}} \right)$$

$$\frac{U}{U_*} = (\frac{U}{U_*})_{\eta_0} + \frac{U_* H}{4\epsilon_{tm}} \frac{(1 - \eta_0')^2}{2} \left\{ \ln \left( \frac{\eta'^2 + B\eta' + C}{C} \right) + \frac{B+2}{\sqrt{D}} \ln \left( \frac{2\eta' + B + \sqrt{D}}{2\eta' + B - \sqrt{D}} \right) \right\}$$

$$2\eta_0 \leq \eta \quad v+\epsilon = 4\epsilon_{tm} \eta' (1 - \eta') \quad \frac{U}{U_*} = (\frac{U}{U_*})_{2\eta_0} + \frac{U_* H}{4\epsilon_{tm}} (1 - \eta_0')^2 \ln \frac{\eta'}{\eta_0'}$$

$$B = -\left(1 - \frac{\epsilon_{om}}{4\epsilon_{tm} \eta_0'}\right), \quad C = -\frac{\epsilon_{om}}{4\epsilon_{tm}}, \quad D = B^2 - 4C$$



上式を積分することによって平均流速は次式と得られる。

$$\frac{v}{U_*} = \frac{U_* H}{V} \frac{\eta_v^2}{2} \left(1 - \frac{\eta_v}{3}\right) + \frac{U_* H}{V} \left(\frac{v}{\epsilon_{tm} \eta_0'}\right)^2 \left\{ \ln \frac{\eta_0}{\eta_v} - \frac{1}{2} \eta_0 \left(1 - \frac{\eta_v}{\eta_0}\right) \right\} + \frac{U_* H}{\epsilon_{om}} \eta_0 (1 - \eta_0') \left(1 - \eta_0' + \frac{1}{2} \eta_v + \ln \frac{\eta_0}{\eta_v}\right)$$

$$+ \frac{U_* H}{4\epsilon_{tm}} \frac{(1 - \eta_0')^3}{2} \left\{ (B+2) \ln \left( \frac{\eta_0'^2 + B\eta_0' + C}{C} \right) + \left( \frac{\sqrt{D}}{2} + \frac{(B+2)^2}{2\sqrt{D}} \right) \ln \left( \frac{2\eta_0' + B + \sqrt{D}}{2\eta_0' + B - \sqrt{D}} \right) \right\}$$

$$+ \frac{U_* H}{4\epsilon_{tm}} (1 - \eta_0')^3 \left\{ \ln(1 - \eta_0') - \frac{1 - 2\eta_0}{1 - \eta_0} - \ln \left( \frac{U_* Y_0}{V} \right) + \ln \left( \frac{U_* H}{V} \right) \right\}$$

最上層領域の速度分布、ならびに平均流速は次式のように書け、式形は対数分布式と一致する。

$$\frac{U}{U_*} = A_S \left( \frac{U_* H}{V}, \frac{U_* H}{4\epsilon_{tm}}, \frac{v}{\epsilon_{om}}, \frac{U_* Y_0}{V} \text{ or } \eta_0 \right) + \frac{U_* H}{4\epsilon_{tm}} (1 - \eta_0')^2 \ln \frac{U_* Y'}{V}$$

$$\frac{v}{U_*} = \bar{A}_S \left( \frac{U_* H}{V}, \frac{U_* H}{4\epsilon_{tm}}, \frac{v}{\epsilon_{om}}, \frac{U_* Y_0}{V} \text{ or } \eta_0 \right) + \frac{U_* H}{4\epsilon_{tm}} (1 - \eta_0')^3 \ln \frac{U_* H}{V}$$

Re数が充分大きい場合には  $\eta_0 \ll 1$ なることを考慮して上式を簡略化すると、 $A_S$ ならびに $\bar{A}_S$ は次式となる。

$$A_S = \frac{U_* Y_0}{V} \frac{v}{\epsilon_{om}} \left(1 + \ln \left( \frac{\epsilon_{om}}{V} \right)\right) - \frac{U_* H}{4\epsilon_{tm}} \ln \left( \frac{U_* Y_0}{V} \right)$$

$$\bar{A}_S = \frac{U_* Y_0}{V} \frac{v}{\epsilon_{om}} \left(1 + \ln \left( \frac{\epsilon_{om}}{V} \right)\right) - \frac{U_* H}{4\epsilon_{tm}} - \frac{U_* H}{4\epsilon_{tm}} \ln \left( \frac{U_* Y_0}{V} \right)$$

$4\epsilon_{tm}/U_* H = \kappa = 0.4$ と置くと、 $A_S = 5.5$ を満足する  $U_* Y_0/v$ と  $\epsilon_{om}/v$ の関係は  $A_S = 3.0$ を自動的に満足し、Re数が充分大きい場合、求められた速度分布式は対数分布則と完全に一致する。

Re数が充分大きい場合、壁面領域における渦動粘性係数の最大値が出現する高さ、その絶対値がどのような値をとるのかを計算によって求めてみると、 $u_*H/\nu=10^5$ において

$$\frac{u_*y_0}{\nu} = 3.0 + 3.12 \frac{E_{om}}{\nu}$$

なる関係となり、何らかの関係を新たに導入しなければ、両者の関係を一意的に決めることはできない。

測定した平均流速分布から求めて滑動粘性係数の分布からその最大値とその出現位置を決定して描点したものが図-2、3である。 $u_*H/\nu < 10^2$ の実験描点は前年度厚さ0.2mmの矩形開孔ピトー管によって測定したもので最大値は若干小さめの可能性が考えられる。実験描点はかなり散乱しているが、河床勾配によって系統的に変化していて、壁面領域における渦動粘性係数の最大値ならびにその出現高さは、図の表示をすれば、河床勾配が急であるほど大きくなっている。

測定技術上実験範囲が限定されているが、河床勾配が緩やかな場合、壁面領域における渦動粘性係数の最大値が出現する高さが、境界層流れにおいて乱れの生成頃が最大値をとる $y^+=11$ とほぼ一致していることが注目される。

実験描点の平内曲線として、図-2、3に描いてある実線の値を用い、前述の平均流速式で計算した抵抗係数と抵抗係数を求める追加実験の結果をも加えたものとを比較したものが図-4で、両者の一致は良好である。図中の点線は $u_*H/\nu=2 \times 10^2$ に相当するもので、

この点線より左側のRe数が小さい範囲におけるfrの値、ならびに壁面領域の渦動粘性係数の最大値は実験によって確認する必要がある。現在、計測システムを改良してRe数がより大きい範囲における渦動粘性係数の最大値ならびにその出現高さを確認すべき実験の準備を行なっている。

図-2 渦動粘性係数の最大値

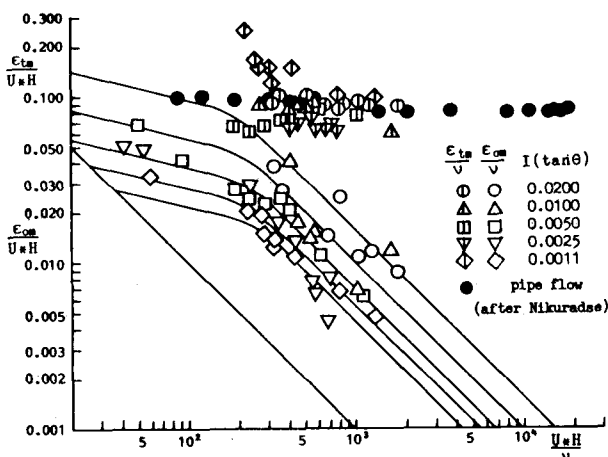


図-3 壁面領域最大渦動粘性係数の出現高さ

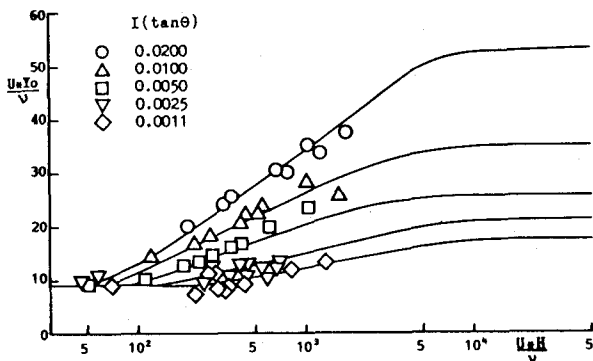


図-4 抵抗係数とRe数との関係

