

滑面開水路抵抗則についての理論的検討

山口大学工学部 正員 斎藤 隆
九州大学大学院 ○田崎 武詞
五 洋 建 設 須田 純司

対数則は流れの抵抗則として確固たるものとして位置付けされているが、壁面近傍における極めて複雑な流れ場を仮想壁面高さで置換えられ、その上部の流れが流れ場の大部分を占めるような流れによって実験的に決められている。したがって、壁面近傍における流れ場とその上部の流れ場とが同程度であるような薄層流れなどに対して対数則をそのまま適用することには強い疑問が持たれる。壁面近傍における現象を扱うような場合には、その近傍における流れ特性を明らかにすることが必要であり、また、より一般的な抵抗則の表示方法としては壁面近傍における流れの特性を包含したものであるべきであると考えらる。

本研究は、著者らが実験的に明らかにした渦動粘性係数の分布に立脚して平均流速分布則を導き、その結果について数値的に検討し、抵抗則における壁面領域流れの役割を明らかにしようとしたものである。

著者らが、実験的に明らかにした渦動粘性係数の分布をモデル的に描くと図-1のとうりである。これをもとに流れ場を次きの4領域に分けて平均流速分布を等流状態の2次元運動方程式を積分して求めると次のようになる。

図-1 渦動粘性係数分布モデル

- i 粘性底層 $\eta \leq \eta_0 = \eta_0 / \varepsilon_{0m}$, $\nu + \varepsilon = \nu$

$$\frac{U}{U_*} = \frac{U_* H}{\nu} \eta \left(1 - \frac{1}{2} \eta\right)$$

- ii 壁面領域 $\eta_0 \leq \eta \leq \eta_0$, $\nu + \varepsilon = \varepsilon_{0m} \eta / \eta_0$

$$\frac{U}{U_*} = \left(\frac{U}{U_*}\right)_{\eta_0} + \frac{U_* H}{\varepsilon_{0m}} \eta_0 \left\{ \ln \frac{\eta_0}{\eta} - (\eta_0 - \eta_0) \right\}$$

- iii 干渉領域 $\eta_0 \leq \eta \leq 2\eta_0$ or $0 < \eta' < \eta_0' = (1 - \eta_0) / \eta_0$

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

- iv 対数領域 $\eta > 2\eta_0$ or $\eta' > \eta_0'$, $\nu + \varepsilon = 4\varepsilon_{tm} \eta' (1 - \eta')$

$$\frac{U}{U_*} = \left(\frac{U}{U_*}\right)_{2\eta_0} + \frac{U_* H}{4\varepsilon_{tm}} (1 - \eta_0)^2 \left\{ \ln \left(\frac{U_* Y_0'}{\nu} \right) - \ln \left(\frac{U_* Y_0'}{\nu} \right) \right\}$$

$$B = -\left(1 - \frac{\varepsilon_{0m}}{4\varepsilon_{tm} \eta_0}\right), \quad C = -\frac{\varepsilon_{0m}}{4\varepsilon_{tm}}, \quad D = B^2 - 4C$$

上式を積分すると、平均流速は次式のように求まる。

$$\begin{aligned} \frac{V}{U_*} = & \frac{U_* H}{\nu} \frac{\eta_0^2}{2} \left(1 - \frac{\eta_0}{3}\right) + \frac{U_* H}{\nu} \left(\frac{\nu}{\varepsilon_{0m} \eta_0}\right)^2 \left\{ \ln \frac{\eta_0}{\eta_0} - \frac{1}{2} \eta_0 \left(1 - \frac{\eta_0}{\eta_0}\right) \right\} + \frac{U_* H}{\varepsilon_{0m}} \eta_0 (1 - \eta_0) \left\{ 1 - \eta_0 + \frac{1}{2} \eta_0 + \ln \frac{\eta_0}{\eta_0} \right\} \\ & + \frac{U_* H}{4\varepsilon_{tm}} \frac{(1 - \eta_0)^3}{2} \left\{ (B+2) \ln \left(\frac{\eta_0'^2 + B\eta_0' + C}{C} \right) + \left(\frac{\sqrt{D}}{2} + \frac{(B+2)^2}{2\sqrt{D}} \right) \ln \left(\frac{2\eta_0' + B + \sqrt{D}}{2\eta_0' + B - \sqrt{D}} \right) \right\} \\ & + \frac{U_* H}{4\varepsilon_{tm}} (1 - \eta_0)^3 \left\{ \ln \left(1 - \eta_0\right) - \frac{1 - 2\eta_0}{1 - \eta_0} - \ln \left(\frac{U_* Y_0'}{\nu} \right) + \ln \left(\frac{U_* H}{\nu} \right) \right\} \end{aligned}$$

対数領域の平均流速分布と断面平均流速分布を従来の対数則と比較すると

$$\begin{aligned} \frac{U}{U_*} = & \bar{A}_S \left(\frac{U_* H}{\nu}, \frac{U_* H}{4\varepsilon_{tm}}, \frac{\nu}{\varepsilon_{0m}}, \frac{U_* Y_0}{\nu} \text{ or } \eta_0 \right) + \frac{U_* H}{4\varepsilon_{tm}} (1 - \eta_0)^2 \ln \frac{U_* Y_0'}{\nu} \\ \frac{V}{U_*} = & \bar{A}_S \left(\frac{U_* H}{\nu}, \frac{U_* H}{4\varepsilon_{tm}}, \frac{\nu}{\varepsilon_{0m}}, \frac{U_* Y_0}{\nu} \text{ or } \eta_0 \right) + \frac{U_* H}{4\varepsilon_{tm}} (1 - \eta_0)^3 \ln \frac{U_* H}{\nu} \end{aligned}$$

Re数が充分大きい場合を考え、 $\eta_0 \ll \eta \sim 1$ となることを考慮して対数分布則を比較すると、

$$\frac{1}{K} = \frac{U_* H}{4 \epsilon_{tm}}, \quad A_s = 5.5, \quad \bar{A}_s = 3.0$$

未知量 ϵ_{tm}/ν 、 $U_* y_0/\nu$ がどのような値をとるかを調べるため、 ϵ_{tm}/ν を系統的にかえて $A_s=5.5$ 、 $\bar{A}_s=3.0$ を満足する $U_* y_0/\nu$ の値を求めた結果が図-2の点線と実線である。この結果、2つの未知量の関係は数値的に無数の組合わせが存在して一意的に決まらないので、両未知量に実験結果を導入することにする。

壁面領域の厚さ η_0 としては図-2中の実験描点をねた太実線で、最大渦動粘性係数の値は図-3の実験描点の平均線で与えて、 A_s 、 $\bar{A}_s$ を求めた結果が図-4の実線と破線である。

抵抗係数 $f_r = 8(\nu/U_*)^2$ を求め、実験結果と比較したものが図-5である。両者の一致は、水面形状等の測定精度を考慮すると、十分満足すべきものとする。図-4の結果から、従来の対数則が適用しうるのは $U_* H/\nu > 5 \times 10^3$ の範囲に限定されることが明らかである。

図-2 $U_* y_0/\nu$ 、 $\epsilon_{tm}/\nu \sim U_* H/\nu$ の関係

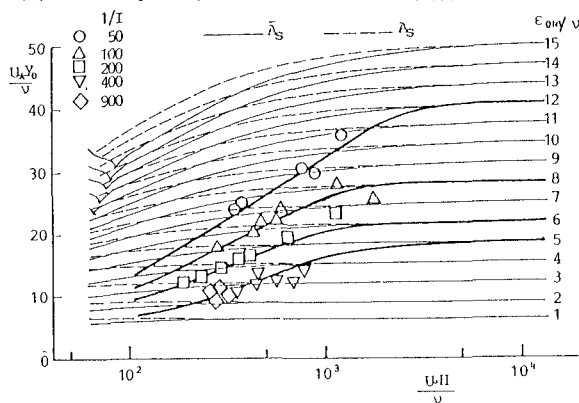


図-3 最大渦動粘性係数

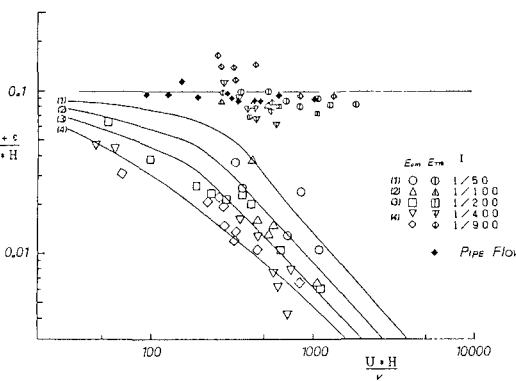


図-4 (a) A_s の値

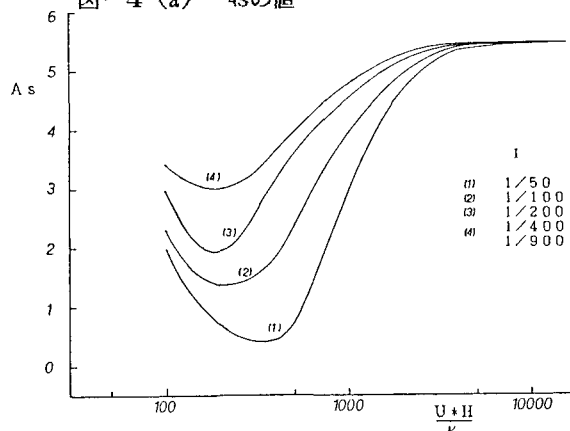


図-5 抵抗係数

