

○ 山口大学 正 齊藤 隆
山口大学 学 永岡 義規
徳山工専 正 大成 博文

開水路流れは境界層が水表面まで達した流れとみなし、水工学において最も重要な壁面近傍の流れ特性に曖昧さを残したまま境界層流れにおける偉大な研究成果である対数分布則が抵抗則として用いられている。近年、条件付測定、可視化実験などにより、壁面近傍には卓越した縦渦が存在し、その挙動が乱流の本質に重要な役割をもつであろうことが明らかにされつつある。この縦渦の存在は、その渦径に相当する範囲における流体混合が行なわれていると考えるのが自然であろう。

本研究は、上述の観点に立脚して、開水路流れ場を（１）壁面のごく限られた範囲で流体粘性が卓越した役割をなす粘性底層、（２）縦渦によって鉛直方向の混合が行なわれている壁面領域、（３）その上層の対数分布則が成立する対数則領域に分けて平均流速分布則を導き、実験的に決められるべき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を詳細な平均流速分布の測定によって求めたものである。

厚さ0.2mmの矩形開孔ピトー管と天秤式差圧計を用いて詳細に測定した平均流速値と上・下3点を加えた計7点を最小2乗法を用いて2次曲線で近似し、中央点の流速勾配から求めた渦動粘性係数分布を描点した1例が図-1である。図-1の結果を参考にして、渦動粘性係数の分布を、図-3に示す概念図のように、壁面近傍におけるさんかけい分布とその上層の2次曲線分布との和で表わすことにする。両渦動粘性係数の最大値 ϵ_{0m} 、 ϵ_{Tm} 、ならびにその出現高さ $\eta_0 = y_0/H$ は実験的に決められる値である。

図-2の渦動粘性係数の分布を2次元定常流れの運動方程式に代入し、壁面で流速が零、各流域の境界面で流速が連続であるとの条件で積分すると、流速分布式が得られ、さらに壁面から水表面まで積分して平均流速が求まる。式形が複雑なので、紙面の都合上省略するが、それぞれ次のような式形となる。

$$\frac{u}{u_*} = As \left(\frac{u_* H}{v}, \frac{\epsilon_{0m}}{v}, \frac{u_* y_0}{v}, \frac{u_* H}{4\epsilon_{Tm}} \right) + \frac{u_* H}{4\epsilon_{Tm}} (1 - \eta_0)^2 \ln \frac{u_* y'}{v}$$
$$\frac{v}{u_*} = \overline{As} \left(\frac{u_* H}{v}, \frac{\epsilon_{0m}}{v}, \frac{u_* y_0}{v}, \frac{u_* H}{4\epsilon_{Tm}} \right) + \frac{u_* H}{4\epsilon_{Tm}} (1 - \eta_0)^3 \ln \frac{u_* H}{v}$$

Re 数が十分大きい場合を考え、 $\eta_0 \ll 1$ ($\eta' \simeq \eta$) なるところで、対数分布則と一致するために、次式が得られる。

$$\frac{1}{K} = \frac{u_* H}{4\epsilon_{Tm}}$$
$$As \left(\frac{u_* H}{v}, \frac{\epsilon_{0m}}{v}, \frac{u_* y_0}{v}, \frac{u_* H}{4\epsilon_{Tm}} \right) = 5.5$$
$$\overline{As} \left(\frac{u_* H}{v}, \frac{\epsilon_{0m}}{v}, \frac{u_* y_0}{v}, \frac{u_* H}{4\epsilon_{Tm}} \right) = 3.0$$

図-3は図-1に示した渦動粘性係数分布から読み取った各領域の最大渦動粘性係数を描点したものである。図中の右下りの実線は ϵ_{0m}/v の整数倍値（図中の数字）である。な

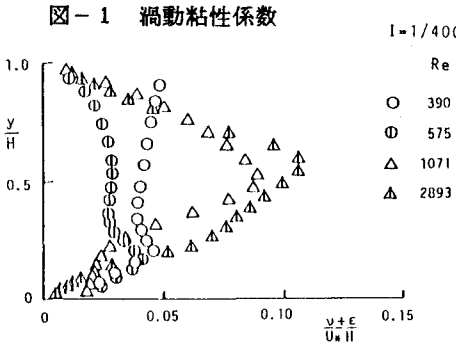
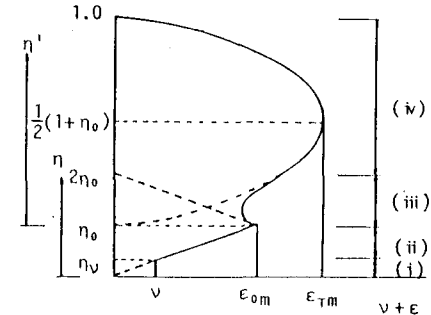


図-2 渦動粘性係数分布モデル



図中にはNikuradseの管路流の実験結果を白四角描点で示してある。白描点で示した対数則領域における最大渦動粘性係数は $U_*H/\nu > 5 \times 10^2$ 付近において極大値を示し、 $U_*H/\nu > 5 \times 10^2$ では、開水路流れで確認することが必要であるが、ほぼ0.08の一定値となっている。 U_*H/ν が100 以下ではこの最大値は急激に小さくなり、50~70程度においては壁面領域における最大渦動粘性係数の値に等しいかそれよりも小さい値となっている。

図-6は壁面領域における最大渦動粘性係数が出現する高さを描点したものである。同図中には ϵ_{0m}/ν を一定値(図中の数字)とにおいて、 $As=5.5$ となる u_*y_0/ν の値を求めた結果を曲線で記入してある。図より、 U_*H/ν が大きくなるに伴ない、壁面領域最大渦動粘性係数の出現高さ、換言すれば壁面領域の厚さが大きくなっている。従来、Buffer領域の高さ y_+ はほぼ70程度であることお参考にして延長した実験描点の平均線によって与えられる U_*H/ν と ϵ_{0m}/ν の内挿値、ならびに、図-4の点線で示した対数則領域の最大渦動粘性係数を用いて摩擦損失係数 $fr=8(V/U_*)$ を計算した結果が図-5中の点線で示した曲線である。

図-4で与えられる ϵ_{0m}/ν の内挿値でなく、実験描点の平均曲線として図-5の破線によって与えられる $(\epsilon_{0m} + \nu)/U_*H$ の値を用いて摩擦損失係数を計算した結果は図-5の実線である。

図-5の実験描点は、上・下流とも3点における水面高さを最小2乗法でもって2次曲線で近似したものから求めたエネルギー勾配(水路床勾配との差は3%以下)を用いて計算したもので、零位法による壁面せん断力計で直接測定した結果とは良く一致いた。

図-3、4から、壁面領域の厚さ、ならびにその領域の最大渦動粘性係数はRe数のよって大きくなり、両者ともある一定値に漸近している。

図-3 渦動粘性係数の最大値

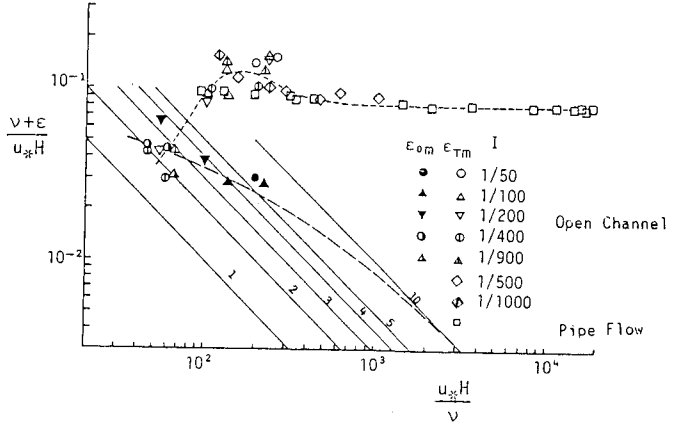


図-4 壁面領域最大渦動粘性係数出現高さ

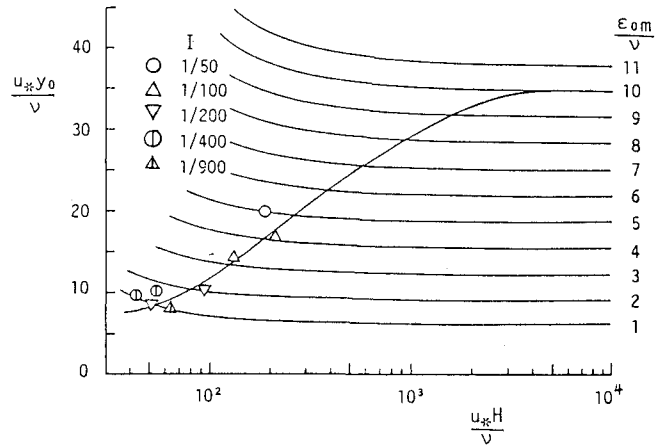


図-5 摩擦損失係数

