

粗面開水路の抵抗則

山口大学 齊藤 隆
 日本水工 本名 元
 明和技術コンサルタント ○ 齊藤 正人
 山口大学 永岡 義規

壁面粗度近傍の流れはきわめて複雑な流れであるため、粗面近傍における流れの特性を仮想壁面位置と相当粗度とによって置換した対数分布則を基本にして多くの研究がなされているが、必ずしも十分満足すべき成果が得られているとは云い難く、急勾配、相対水深の小さい流れに対して対数分布則は適用できないことが明らかにされている。本研究は壁面粗度近傍における平均的な流れ特性—仮想壁面位置、平均流速分布—を実験的に把握し、粗面開水路抵抗則の普遍的表示方を確立することを目的としたものである。

実験に用いた水路は幅 0.6 m、長さ 6 m のアクリル板製の可変勾配水路である。水路上流より 3.5 m の中央に 8 cm × 8 cm のせん断面をもつ壁面せん断力計を設置し、上・下流の 6 断面に水位測定用端子を 3 本ずつ埋設した。粗度には平均粒径 10 mm でほぼ均一な軽量骨材を用い、これを水路床全体に一層で密に密ペイントで貼り付けた。壁面せん断力計上には 80 粒をその周囲の粒子となじみよく張り付けた。平均流速の測定には、粒子近傍の局所性を平均化するため、巾 15 mm、厚さ 0.2 mm の矩形孔ピトー管を用いた。

水面形状を最小 2 乗法を用いて 2 次曲線で近似し、エネルギー勾配と直接測定した壁面せん断力とから水深を逆算して求めた仮想壁面位置を粗度粒径を用いた相対水深に対して描点したものが図-1 である。相対水深が 10 以上の場合、 α は 0.25 ~ 0.3 とされているが相対水深が小さいと、きわめて複雑な挙動を示し、河床勾配によって異なるが、 $\alpha = 0$ の最小値をとることが注目される。今後検討されなければならないが、粗度間の渦の放出が行なわれないためではないかと考えられる。

図-2 は、粗度近傍では 0.2 mm 間隔で測定した 7 点の平均流速を最小 2 乗法を用いて 2 次曲線で近似し、その中央点の速度勾配から逆算した渦動粘性係数を描点した一例である。図から明らかなように、対数分布則から予測される 2 次曲線の渦動粘性係数の分布の外に壁面近くにするどい Peak 値をもつ分布形とが重ね合わされており、Re 数が小さい（相対水深も小さい）場合には壁面近くの Peak 値の渦動粘性係数値が大きな値となっている。

図-2 の渦動粘性係数の分布を図-3 のようにモデル化し、2 次曲線の分布の渦動粘性係数の最大値 $\epsilon_{T\#}$ とその出現高さ、ならびに壁面近くの三角形分布の渦動粘性係数値の最大値 $\epsilon_{K\#}$ とその出現高さ η_d を調べることにする。

図-1 仮想壁面位置

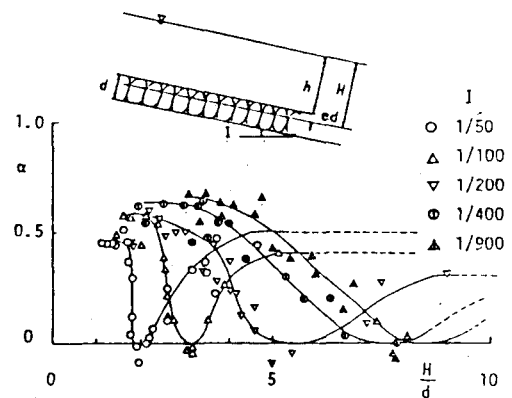


図-2 渦動粘性係数分布

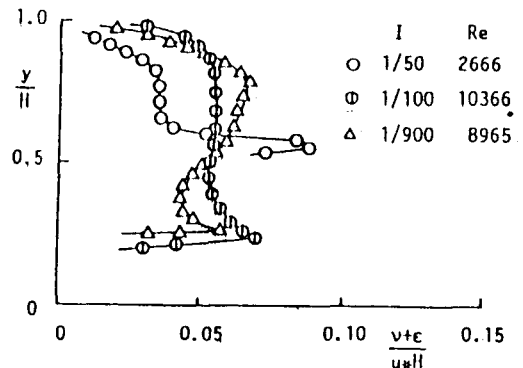


図-4は図-2の分布から読みとった ϵ_{km} 、 ϵ_{tm} の出現高さを粗度粒径で無次元化して描点したものである。図中の破線は水深の1/2点である。図より、 ϵ_{km} の出現高さはほぼ粗度径と一致し、粗度に起因する乱れの場合は粗度粒径の2倍であって、粒径を用いた相対粗度が2以下の流れでは、流れ場全体が粗度に起因する乱れに場になっている。 ϵ_{tm} の出現高さは ϵ_{km} の出現高さから測った水深のほぼ1/2点になっている。

図-3に示した粗度粒子間の流れをも含めたときの渦動粘性係数の値 ϵ_s の値は不明であるので、 ϵ_{km} の1/2であるものとして、図-3の渦動粘性係数の分布を運動方程式に代入し、各層境界面で流速が連続する条件でもって積分して平均流速分布を求め、Re数が十分に大きい場合には従来の対数分布則が成立することから ϵ_{tm} の値を定めると、次式になる。

$$\frac{u_* H}{4 \epsilon_{tm}} (1 - \eta_d')^2 = \frac{1}{K}$$

ϵ_{km} の値は図-6に示す黒ならびに半黒描点のように、描点数が少なく、散乱も大きく、その傾向性を明らかにすることが出来ないで、次のようにして推定してみた。すなわち、上述の平均流速分布を積分して求めた摩擦損失係数 f_r が図-5に示した実験描点の平均曲線に一致する ϵ_{km} の値を逆算した。この ϵ_{km} の値を粗度Re数に対して描点したものが図-6である。推定値に対して実験描点は小さくなっているが、実験値描点の値は、渦動粘性係数の分布特性を明らかにするため7点の平滑化を行なっているので、実際の値よりも小さく評価しているはずである。このことを考慮すると両者はほぼ同じであるとみることができる。

図-5 摩擦損失係数

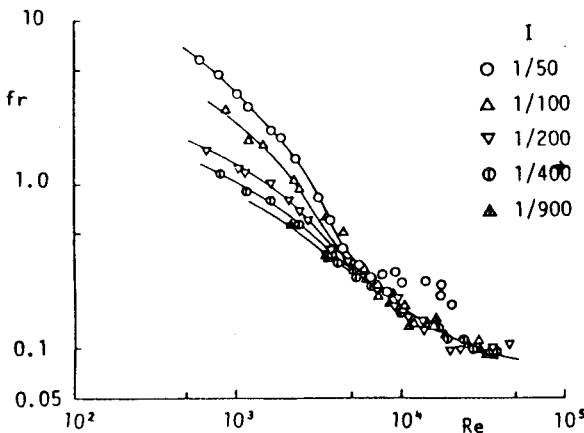


図-3 渦動粘性係数分布モデル

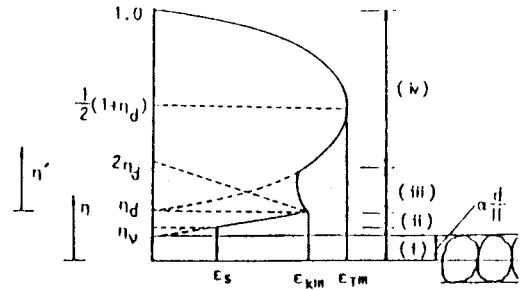


図-4 壁面領域厚さ

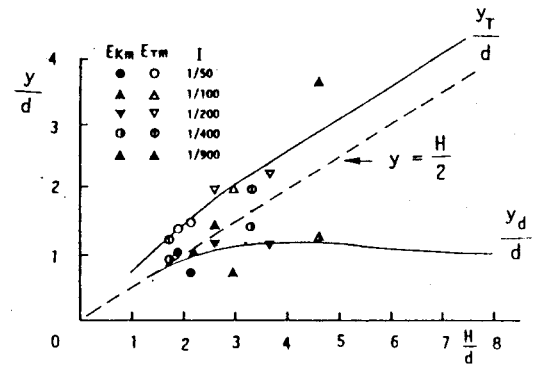


図-6 壁面領域最大渦動粘性係数

