

山口大学 正 齊藤 隆
西日本工大 正 赤司 信義
○ 日本水工 正 本名 元

水工学における最も基本的問題は流れの抵抗則であるが、粗度近傍における流れがきわめて複雑であるため、これを仮想壁面位置と相当粗度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満足すべき成果が得られているとは云えず、不明な点が多く残されている。

粗壁面近傍の流れは、流れの中に連続して設置された物体群周辺の流れとみなせば、粗度からの放出渦ならびに付着渦が卓越しか流れ場であるとみるのが自然であろう。また、粗壁面、特に相対水深の小さい流れにおいては、摩擦速度を規定する水深を測る規準面をどのように定めるかがきわめて重要な問題である。

本研究は、上述の観点から、開水路流れ場を壁面粗度に起因する乱れの場合である粗度領域とその上層の対数則領域とに分けて平均流速分布則を導き、水深の規準面を流体せん断力計によって壁面せん断力を直接測定することによって決定し、実験的に決められる粗度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けったから求め、解析結果の数値的検討を行なったものである。

著者らは渦動粘性係数が粗壁面近傍において鋭い分布をなしていることを明らかにしている。この実験事実に基づき、最も単純な分布として、図-1に示すように渦動粘性係数の分布を対数則領域では2次曲線、粗度領域では三角形分布であるとする。

図-1の渦動粘性係数分布を2次元定常状態の運動方程式に代入し、仮想壁面で流速は零、各境界面の高さで流速が連続であるとの条件で積分すると、平均流速分布則が導かれ、さらに壁面より水表面まで積分することによって平均流速が求まる。形式が繁雑で、紙面の都合上式は省略するか、対数領域における式形は次のようになる。

$$\frac{u}{u_*} = Ar \left(\frac{u_* d}{\epsilon_{km}}, \frac{u_* H}{\epsilon_{tm}}, \frac{\epsilon_{km}}{u_* d}, \frac{\epsilon_s}{\epsilon_{km}}, 1 \right) + \frac{u_* H}{4\epsilon_{tm}} (1 - \eta_k)^2 \ln \frac{y'}{d}$$

$$\frac{v}{u_*} = \overline{Ar} \left(\frac{u_* d}{\epsilon_{km}}, \frac{u_* H}{\epsilon_{tm}}, \frac{\epsilon_{km}}{u_* d}, \frac{\epsilon_s}{\epsilon_k}, 1 \right) + \frac{u_* H}{4\epsilon_{tm}} (1 - \eta_k)^3 \ln \frac{H - y_k}{d}$$

従来の対数則が成立することが確認されている相対水深、Re数の両者が十分大きい場合を考え、 $\eta_k \ll \eta$ なるところで、上式が対数則と一致するのための条件として次の関係が得られる。

$$\frac{u_* H}{4\epsilon_{tm}} = \frac{1}{K}$$

$$Ar = 8.5, \quad \overline{Ar} = 6.0$$

図-1 渦動粘性係数分布モデル

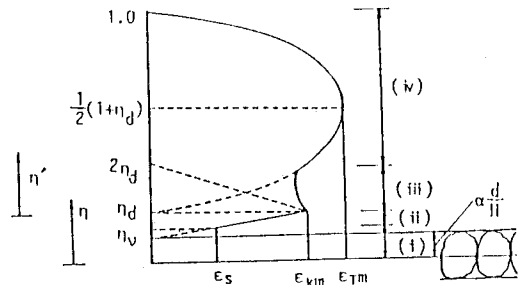
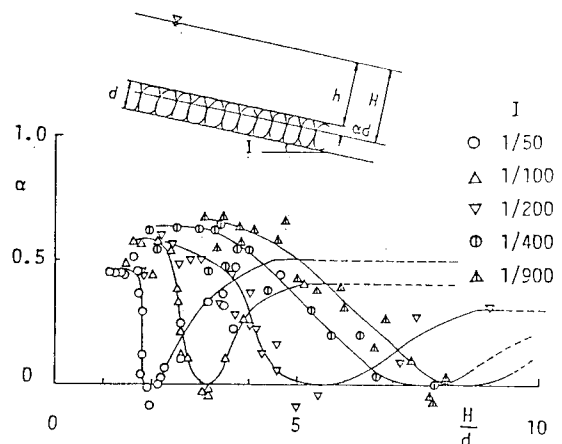


図-2 仮想壁面高さ



上記の結果を検討するには仮想壁面位置を確定することが必要である。平均粒径10mmのほぼ均一な軽量骨材を一層に張付けた水路に8×8cmのせん断面をもつ液体せん断力計により直接測定した壁面せん断と、その上・下流の計6断面で測定した水表面水位を最少2乗法により2次曲線で近似したものから求めた水深、エネルギー勾配とから定めた仮想壁面位置を描点したものが図-2である。仮想壁面位置は河床勾配、相対水深によって複雑に変化し、仮想壁面位置が粗度頂となる最少値をとることが注目される。以後の検討は図中の曲線値を用いて行った。

図-3は最大渦動粘性係数の出現高さを描点したものである。図中の破線は1/2 水深点である。粗度領域の最大渦動粘性係数の出現高さはほぼ粗度粒径程度と一定しており、対数則領域の最大渦動粘性係数の出現高さは水深より粗度粒径を差引いた1/2 水深点となっている。

図-4の黒、半黒描点は、粗度近傍の強い局所性を平均化するため、厚さ0.2mm、幅13mmの矩形開孔ピトー管を用いて測定した流速分布を、上・下の3点を加えた計7点の測定値を最少2乗法により2次曲線で近似し、その中央点の速度勾配から逆算した粗度領域最大渦動粘性係数を描点したものである。実験描点は散乱し、その傾向も把握し難い。

図-5は図-2の実験資料から求めた摩擦損失係数 $f_r = 8(V/u_*')^2$ である。明らかに、摩擦損失係数は Re 数だけでなく、 Re 数が小さい場合は河床勾配によって系統的に変化している。

図-4で示したように、粗度領域最大渦動粘性係数を実験的に定めるにはより密で精度の高い平均流速の測定を必要とし、現時点では困難であることから、最大渦動粘性係数の出現高さを図-3中の曲線で、摩擦損失係数の値を図-5中の曲線でもって与え、また今後の検討を必要とするが $\epsilon_s/\epsilon_{km} = 0.5$ として、粗度領域最大渦動粘性係数を逆算した結果を描点したものが図-4の白描点群である。解析結果は河床勾配の影響はほとんどみられず、ほぼ粗度 Re 数によって規定されているものとみられる。結果の散乱を防ぐ目的で実測平均流速分布を平滑化して求めたことを考慮すると、実験描点と解析描点との一致は良好であるとみることが出来る。現在、粗度径を変えた実験を準備している。

図-3 大渦動粘性係数の出現高さ

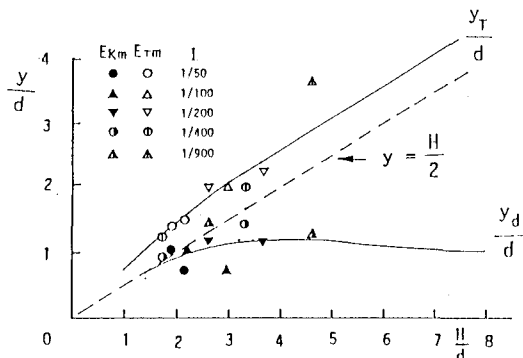


図-4 粗度領域最大渦動粘性係数

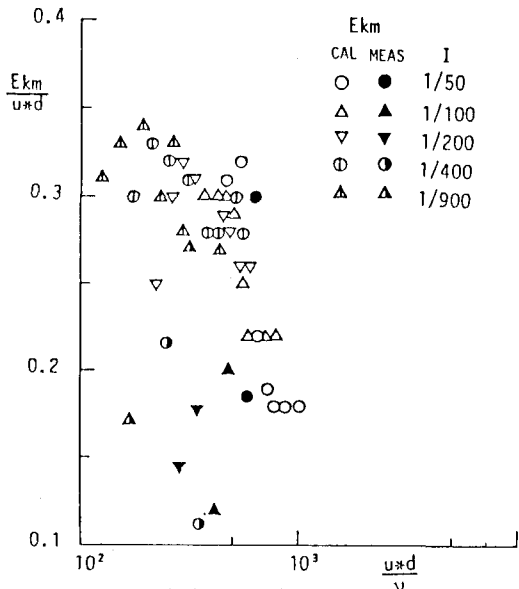


図-5 摩擦損失係数

