

開水路乱流の壁面粗度の影響について

京都大学工学部 正員 中川 博次 京都大学工学部 正員 福津 家久
建設省 正員 光成 政和 京都大学大学院 学生員 川崎 伸哉
京都大学大学院 ○学生員 瀬谷 和彦

1. まえがき 開水路乱流場において、滑面での流速分布特性、乱れ特性はほぼ明らかになったが、粗面では不明な点が多い。本研究では、固定床粗度を用いて種々の水理条件のもとで、粗度 k_s の変化が流速分布特性、乱れ特性にどのような影響を及ぼすかをレーザ流速計を用いて実験を行ない検討した。

2. 実験装置及び方法 実験水路は、長さ10m 幅40cmの勾配可変型ガラス製水路であり、区間8mにわたり粗度を設け、粗度上流端から8.3mのところに2成分レーザ流速計を設置した。下流端にはゲートを設け、等流が得られるようにした。用いた固定床粗度は、ケイ砂4号（平均粒径0.07cm）、ケイ砂1号（同0.25cm）、玉砂利（同0.818cm）の3種類でありこれらの砂をなるべく密になるようにニス付けした。水理条件は、アスペクト比を6以上にして2次流の発生を抑制し、レイノルズ数、フルード数を幅広く系統的に変化させ（図1）各実験ケースについて、 U （流下方向）、 V （鉛直方向）の流速成分を水路中央断面では流れの2次元性が確保されるものと期待して、約40点ほど高精度に計測した。摩擦速度 U_* はレイノルズ応力分布から決定し、流速分布特性、乱れ特性を検討した。

3. 実験結果及び考察 (1) 平均流速分布特性 対数則を検討するにあたっては、カルマン定数 $\kappa=0.41$ は普遍定数であるという前提に立ち、原点補正量 ΔY 、積分定数 B を実験値から最小自乗法により決定した。図2に平均流速分布図を示す。これより内部層（ $Y/H<0.2$ ）での実験値と対数則との一致は良好であり、外部層（ $Y/H>0.2$ ）ではLog-Wake則が見られる。高速流になると、最大流速点の水面下への降下が見られ、2次流が発生していることがわかる。粗面では乱れの非一様性が大きく、アスペクト比を6以上としても滑面乱流に比べて、2次流は発生しやすいと考えられる。また、積分定数 B の分布を図3に示す。Nikuradseによれば、粗管では B は $f_n(U, k_s/\nu)$ であることが知られている。実験値はNikuradseの結果よりも小さな値をとっている。これは粗度の付け方がNikuradseとは違うにもかかわらず、 $k_s=d$ （粒径）にとったことが原因であると考えられる。しかし、全体の傾向は類似しており開水路においても B は粗度の関数であり、完全粗面になると一定値に落ち着くようである。

(2) 乱れ特性 図4に乱れ強度分布を示す。図の実線は福津¹⁾の提案した滑面での理論曲線である。乱れ強度は、粗面では粗度効果の大きな $Y/H<0.3$ では k_s の増加に伴ない、 u' は減少し v' は若干増加する。これは、平均渦径が減少し乱れエネルギーの再配分が進み一様化に向かうためと説明される。流れが穏やかな場合（図4 a）は k_s の増加に伴ない $Y/H<0.3$ では u' は減少し v' は若干増加していることがわかる。また、 $Y/H>0.3$ においては滑面での理論曲線にほぼ一致している。この分布型で特徴的なことは、 u' がピークを持つことであり、このピークは乱れエネルギーの発生が最大となる $Y^+=20(Y^+=YU_* / \nu)$ に対応している。乱れエネルギーは $Y^+<20$ では粘性のため減衰し、 $Y^+>20$ では拡散のため減衰する流れが速くなると（図4 b） k_s の増加に伴ない系統的な変化が見られなくなる。 v' は滑面での理論曲線にほぼ一致しているが、 u' は全体的に下方に分布している。従って、完全粗

Hiroji NAKAGAWA, Iehisa NEZU, Masakazu MITSUNARI, Nobuya KAWASHIMA, Kazuhiko SEYA

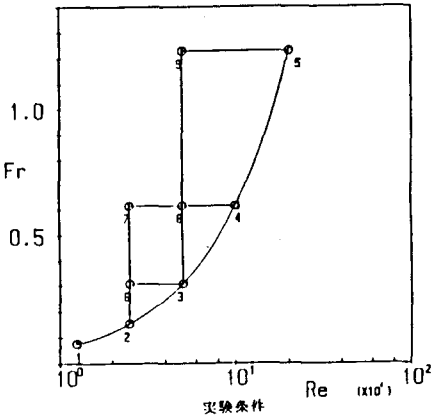
面においては実験定数 U_0 は、滑面での値 2.3 よりも小さい値となることがわかった。

4. あとがき 壁面粗度の影響は、 k_s^+ が小さい場合には顕著に見られるが、 k_s^+ が大きくなると U_0 により粗度の影響が丸め込まれてしまい、その特性は見かけ上粗度 k_s^+ の大小には無関係になるものと考えられる。また、内部層での対数則の成立は明らかにされたが、外部層のLog-Wake則に及ぼす粗度の影響はまだ不明であり、今後詳細にこれを検討したい。

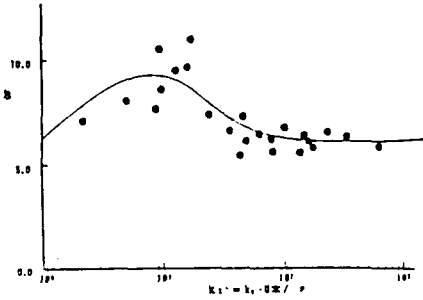
<参考文献> 1. 福津家久：開水路乱流の乱れ強度に関する研究 土木学会論文報告集

1877

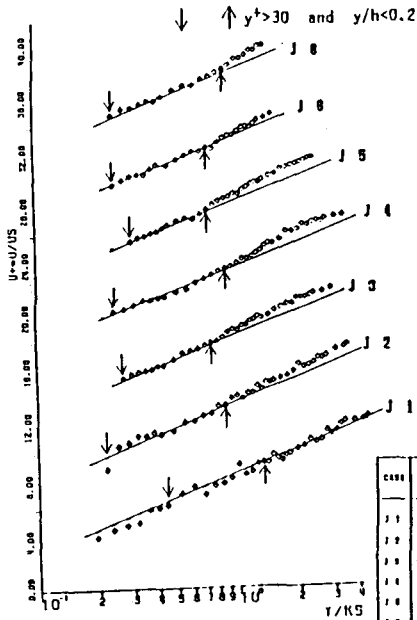
2. I. NEZU and W. Rodi: Open-Channel Flow Measurements with a Laser Doppler Anemometer



(図1) $Re - Fr$ の関係

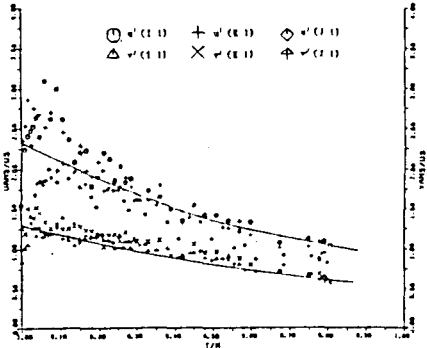


(図3) 積分正数 u' の分布

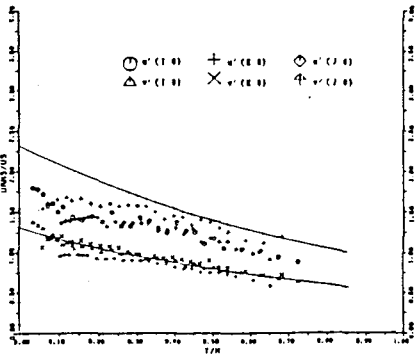


(図2) 平均速度分布

Case	k_s^+	Re	U_0
J 1	0.0700	10000	25.0
J 2	0.1027	20000	27.5
J 3	0.2075	30000	104.0
J 4	0.3117	100000	210.2
J 5	0.6030	100000	500.0
J 6	0.2047	20000	153.0
J 7	0.0101	30000	202.0



(図4 a) 乱れ強度分布



(図4 b) 乱れ強度分布