

II-177 開水路粗面乱流の底面粗度の影響について

京都大学大学院 学生員 瀬谷 和彦
 京都大学工学部 正 員 中川 博次
 京都大学工学部 正 員 福井 家久

1. まえがき 開水路滑面乱流においては、流速分布特性、乱れ特性がほぼ明らかにされたが、粗面乱流については不明な点が多く、系統的な実験、計測の難しさもあって、まだ十分な成果を得るまでには至っていない。管路では、Nikuradse が一様砂を貼り付けその特性を明らかにしている。本研究では、固定床粗度をを用いた直線開水路において、粗度 k_s 、レイノルズ数、フルード数を系統的に変化させ、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考察した。

2. 実験装置及び方法 実験水路は長さ10m、幅40cmの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の地点に2成分レーザ流速計を設置した。粗度上流端にはトリッピングワイヤを設け、計測地点では十分に発達した乱流が得られるようにした。下流端にはゲートを設け、種々の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0.618cm)の3種類の自然砂であり、これらの砂をなるべく密になるようにニス付けた。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、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. 平均流速分布特性 目視による河床を $Y=0$ とし、そこから真の座標原点までの補正量を ΔY とする。カルマン定数は滑面乱流で得られた $\kappa=0.41$ になる普通定数であるとして、 ΔY 、積分定数 B を実験値から $\kappa=0.41$ にできるだけ近づくよう最小自乗法より決定した。図1に平均流速分布図を示す。図の実線はColesのWake関数を加えた理論曲線である。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なりやすく、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2に示すNikuradseによれば、粗管では B は $f_n(u_* k_s / \nu)$ であることが結論されている。実験値はNikuradseの結果よりも小さな値をとっているが、自然砂であり、粗度の付け方が違うにもかかわらず k_s =(粒径)にとっている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、完全粗面では一定値に落着くようである。外部層で見られるLog-Wake則は実験値から最小自乗法によりColes係数 Π を決定した。粗度が大きくなれば、Wakeも大きくなるようである。 Π の分布を図3に示す実線は滑面での実験曲線¹⁾であり、実験値にはかなりばらつきが見られ、増加傾向にあるという以外系統的な変化は見られない。

4. 乱れ特性 図4に乱れ強度分布を示す。実線は福井²⁾の提案した滑面での指数型モデルの理論曲線である。粗面では、粗度の効果が大きな壁近傍($Y/H<0.3$)では、平均渦径 λ_x が減少し乱れエネルギーの再配分がより一様化に向かい、従って u' は減少し、 v' は若干増加する。図より 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。この分布形で特徴的なことは、 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。図5にスペクトル解析より求めた平均渦径 λ_x の分布を示す。 $Y/H<0.3$ では、 k_s^+ ($k_s^+=k_s U_* / \nu$)の増加に対し平均渦径は減少することがわかり、 u' が減少することが説明される。流れが速くなると、 k_s^+ の増加に伴ない u' 、 v' の系統的な変化は見られなくなる。平均渦径についても同様なことが言える。 v' は滑面での理論曲線にほぼ一致しているが、 u' は全体的に滑面での曲線より下方に分布している。従って完全粗面では実験定数 D_0 は、2.3よりも小さな値をとると考え

られる。

5. あとがき 粗度による影響は k_s^+ の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_τ 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。また、今後の課題として人工粗度を用い、座標原点を明確にし、カルマン定数やColes 係数 Π の分布形の検討を詳細に行ないたい。

<参考文献> 1) Nezu & Rodi (1986), ASCE, J. Hydraul. Eng., vol. 112, pp. 335-355

2) 細井家久 (1977), 土木学会論文集, 第 261号, pp. 67-76

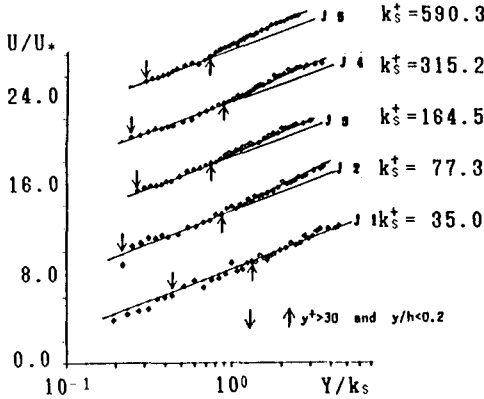


図1 平均流速分布

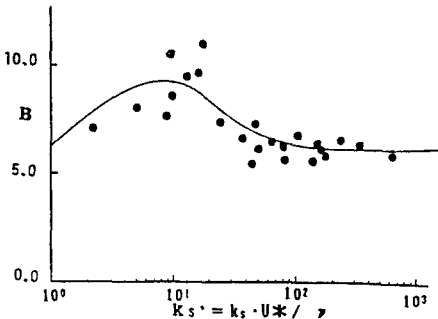


図2 Bの分布

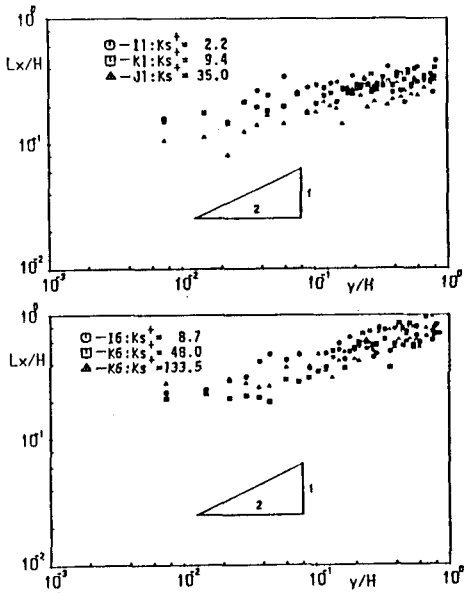


図5 平均渦径

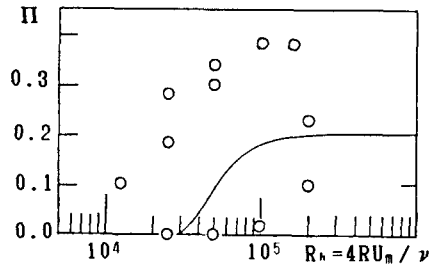


図3 Π の分布

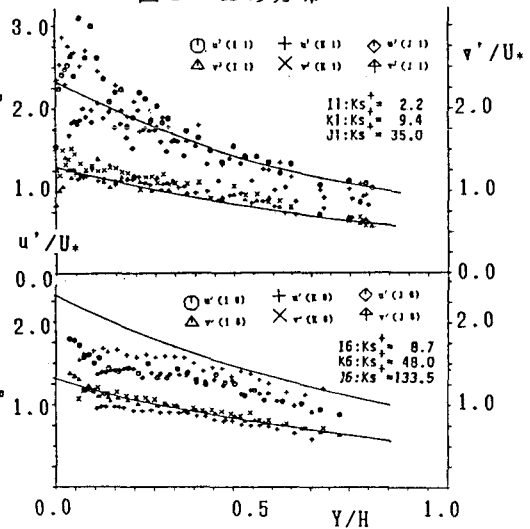


図4 乱れ強度分布