

Aspect Ratioの小さい開水路における乱流粗滑遷移領域の抵抗則について

立命館大学大学院 学生員○楊 永荻

立命館大学理工学部 正員 大同淳之

1. まえがき

乱流粗滑遷移領域の抵抗則についての研究は、管路におけるNikurdseの抵抗係数図が得られているが、開水路流についての研究は少ない。開水路における実験の困難な点として、レイルノズ数が小さいところで水面勾配が測定しにくいことや、側壁の影響を除くために幅広の水路を用いた場合、自由水面の影響が大きくなることがあげられる。本研究では、自由水面と底壁の影響が小さくなり、かつ、広幅水路で水面波による水面勾配の測定の困難さを避けられるという利点があるAspect Ratioが小さい開水路の鉛直平板間流れを扱う。本報はこのような開水路の側壁に粗度をつけ、粗滑遷移領域の抵抗則、特に管流との区別を実験的に検討するものである。

2. 実験概要

実験はFig.1に示すような長さ14.3m、幅15cm、高さ75cmの鋼製開水路の側壁に流れに対して垂直な方向に砂および円柱棧型粗度を設置し、円柱の直径と相対棧間隔とを変化させて行った。砂の粒径は $d_{50}=0.15\text{cm}$ 、円柱直径は $k=0.4$ 、 1.0 および 1.5cm の三種類である。流速の測定には直径3mmの超小型プロベラ式流速計を用いる。水路に沿って設置される5本の水位計によって、水面勾配を求めた。実験条件は表1に示される。

3. 実験結果と考察

3.1 流れの2次元性についての評価

Fig.2は水深方向中央部で側壁に垂直方向の流速分布と乱れ強度分布の1例(砂粗度)である。両側面の間の流れは対称性を満たすことが分かる。Fig.3及びFig.4は同一粗度で、断面内に流速分布および乱れ強度分布である。Aspect比の小さい開水路における流速分布では $y/(h+b)=0.16\sim 0.8$ の間でNikuradse-Prandtlの対数式と一致するほかに、中心部で乱れは増加し、流速は対数則より減小する傾向が見られ、流れに自由水面、底面から及ぼす影響が強くなるということが分かった。Fig.5には流速分布から求めた側面せん断力分布で、側面のせん断力は底面と水面のところで減小し、中央部で $\tau_0 = \rho g b I_e$ と一致した同様なことを示す。以上から、Aspect比の小さい開水路における両側板間の流れには2次元流として扱える範囲は $y/(h+b)=0.16\sim 0.8$ の間であるといえる。

3.2 エネルギー勾配の評価

水面勾配は水位計の測定値から最小自乗法で求められる。水位計の最小目盛りは 0.01cm 、最小水面勾配は $1/100000$ と測られる。エネルギー勾配は

$$I_e = I + q^2 / 2g (1/h_1^2 - 1/h_2^2)$$

で求める。qは単位幅流量、 h_1 、 h_2 はそれぞれ上下断面の水深、Iは水面勾配である。等流の場合、 h_1 と h_2 同一で、エネルギー勾配は水面勾配と同じである。一方、不等流の場合、エネルギー勾配は幅広い開水路流より不等水深による影響が小さくなる。

3.3 抵抗係数

開水路流の抵抗係数は $f=2(u_*'/U)^2$ で定義される。Fig.7は各種粗度配置の抵抗係数fとレイルノズ数 $Re=RU/\nu$

との関係で、図中の線は滑面のBlasius式である。fはRe数の増加に伴って減少して、最低になってから大きく
 くなっている。L/kによるfはそれぞれ変化し、二つのパラメータが存在する。Fig.8は抵抗係数と砂粒レイノ
 ルズ数 $Re^*=u^*k/\nu$ との関係図で、 $Re^*=100$ のところで、抵抗係数はやや一定値で、レイノルズ数と無関係に、
 粗面になる。 $Re^*<100$ は遷移領域と判断できる。これは管流のNikuradseの実験結果と同じで、同様な抵抗則
 を示すものと思われる。Fig.9は抵抗係数と栈間隔の関係で、図中の線は粗面領域の平均抵抗係数の変化を示
 している。L/kによる粗面領域の抵抗係数の違いは従来の研究と同様で、やや $L/k=8$ のところで最大抵抗を
 示す。

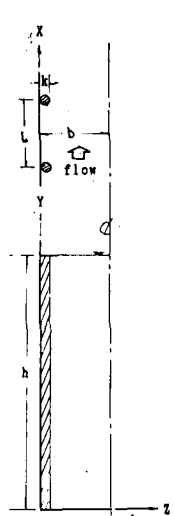


Fig.1 実験水路概要

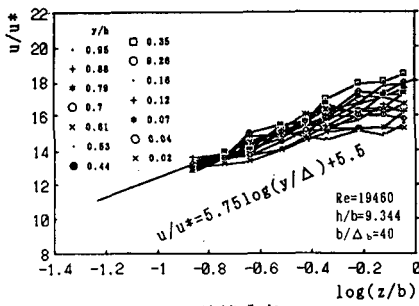


Fig.3 流速分布

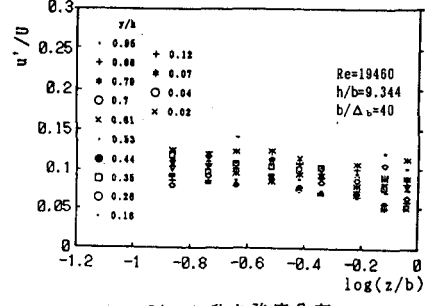


Fig.4 乱れ強度分布

表1 実験範囲

粗度種類	間隔L/k	水路半幅	水深	Re=UR/ν
砂Δ50=0.15cm		6.1	50~65	760~23000
円柱k=0.4cm	4	6.8	55~65	2512~22400
円柱k=1.0cm	2, 4, 8	6.7~7	54~65	2500~26000
円柱k=1.5cm	4, 8, 16	5.3~7	56~66	914~21400

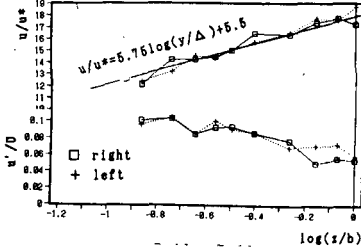


Fig.2 流速分布と乱れ強度分布の対称性

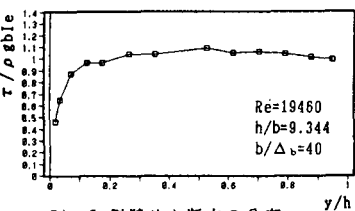


Fig.5 側壁せん断力の分布

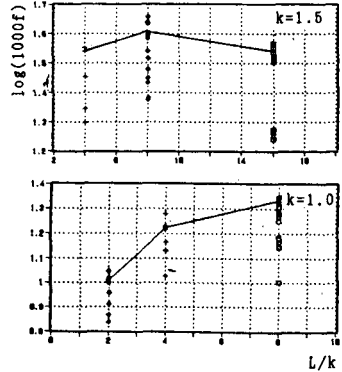


Fig.9 抵抗係数fと栈粗度間隔L/kの関係

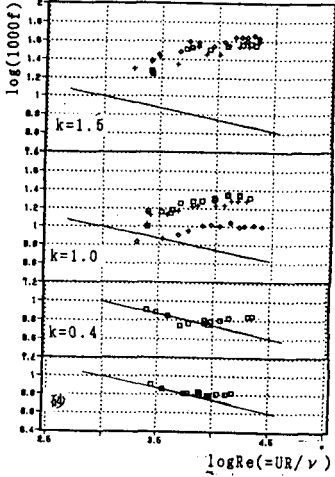


Fig.7 抵抗係数fとReの関係

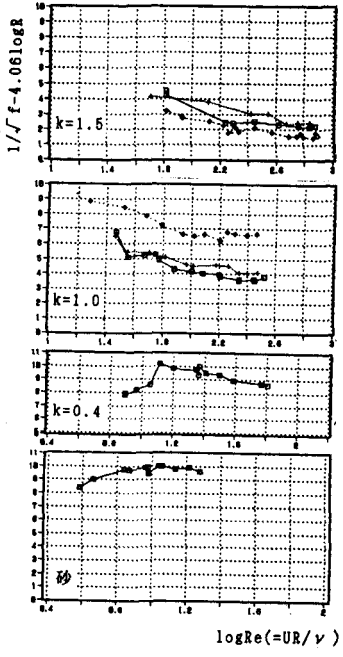


Fig.8 抵抗係数fとRe*の関係