

神戸大学大学院 学生員 喜久里政宏
神戸大学工学部 正員 神田 徹

1. まえがき

粗面上の薄層流では、粗度要素の大きさ、形状、集中度等の幾何学的条件に加えて、水深と粗度高さの比が流れに及ぼす影響が大きい。本研究では大小2種類の粒径について実験を行ない、抵抗則について検討したものである。水深が粗度高さより小さい流れでは、水深が大きい場合の抵抗則と異なる特性が得られる。

2. 実験装置と実験方法

実験水路は長さ585cm、幅42.4cmのアクリル樹脂製で、粗度要素には粒径 $\lambda=1.12$ 、および4.24mmのガラス球を用い、所定の集中度 C で水路床に接着した。ここに、 $C=n\lambda/A$ (n :面積 A の水路床面に含まれる粒子数、 λ :1個の粒子の水路床面への投影面積) 水深の測定は10mm読みのポイントゲージを、流速分布の測定には熱線流速計を用いた。

3. 水深の基準面

抵抗係数 $f=89Sh^3/g^2$ (g :重力加速度、 S :水路床勾配、 h :水深、 g :単位幅流量) とレイノルズ数 $Re=4g/\nu$ (ν :動粘性係数) の間には、滑面では $f=96/Re$ の関係がある。一方、粗面上の薄層流では、水深が粗度高さと同じオーダーの流れであるため、 f の算出に際して水深の基準面の設定が重要となる。Schlichtingによる幾何学的基準面を用いると、集中度が小さい場合には $f=K/Re$ (K は各勾配について定数) が成立するが、集中度が大きくなると K は定数とはならない。そこで、層流域で f が Re の増加とともに直線的に減少するものについて、 $f=K/Re$ が成立するように水深の基準面を設定すると、水路底から基準面までの高さ Δh は図-1のようになる。一方、測定した流速分布においてはほぼ $U=0$ なる水深を基準面とすれば、その高さは図-2のようである。図-1、2によれば、集中度が大きい場合に両者の高さは同程度で、いずれも幾何学的基準面よりも大きな値をとる。

4. 抵抗係数

相対水深 h/k が $h/k>1$ 、 $h/k<1$ によって $f-Re$ 関係は異なる性質を示す。 $h/k>1$ の場合については上述の Δh を基準面とすると、層流に対して $f-Re$ の関係は直線 $f=96/Re$ に平行になる(図-3(a), (b))。 K の値は図-4のように水路床勾配の増加とともに大きくなり、ほとんどの勾配について $C=0.25\sim0.3$ で最大値をとる。一方、一定の勾配で流量を減少すると水深が $h/k<1$ となった場合には $f-Re$ 関係は図-5のようである。この場合には Re の増加につれて h/k が0から1に近づくが、この間に流れは層流から乱流へ遷移するとともに、粗度要素に作用する抗力の増大によって、

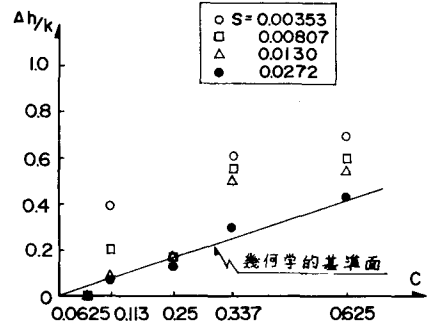


Fig.1 $f-Re$ 関係からの基準面

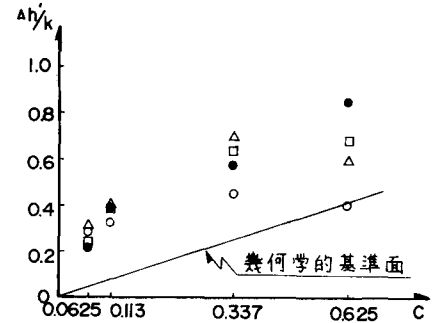


Fig.2 流速分布による基準面

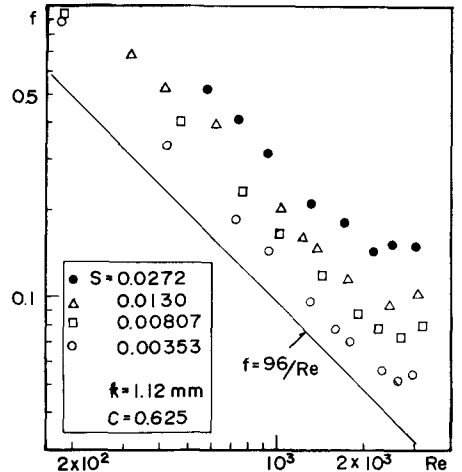


Fig.3(a) 抵抗係数

f の値は $f=96/Re$ 直線から離れて行き、 Re の増加によらず一定となるかもしれない。として、 $h/k \geq 1$ となると $f=K/Re$ よりも緩い勾配で、 Re の増加にもな、 f の値は減少する。また、 $h/k < 1$ が生じない場合と同様に、水路勾配がきついほど f の値は大きい。

水面にトレーリを流し、それが乱れ始めるときの Re を層流から乱流への遷移レイノルズ数: Rec とすると、 Rec の値は、 $f-Re$ 曲線で f の値が $f=K/Re$ から逸脱する Re の値と一致する。すべての流れが $h/k > 1$ である場合には、 $k=1.12\text{mm}$ では、 $Rec=1000 \sim 2500$ であり、 $k=4.24\text{mm}$ では、 $Rec=1100 \sim 1700$ である。一方、 $h/k < 1$ の流れが生じうる場合には、 $Rec < 1000$ の小さな Rec で乱れが生ずる。

5. $\beta \sim h$ 関係

流れを Kinematic wave として解析する場合に流量～水深の関係として、 $h=m\beta^p$ なる式を用いる。この式の定数 m 、 p の値は抵抗係数 f の一般的特性に規定されるのであるが、いま上述のような f の特性が m 、 p の値にどのように対応するかをしらべてみる。上の関係式を無次元化して $h/k = \alpha Re^\beta$ とし、実験値から最小自乗法によって α 、 β の値を求めた。 $h/k > 1$ の流れでは、 $f=K/Re$ が成立することから、層流域では $\beta=1/3$ の値をとる。一方、遷移領域については、 $k=4.24\text{mm}$ の場合、図-6 のようになり、 $\beta=1/2$ の値をとる。 α の値についてはしばらくして、水路床勾配、集中度に対する明確な関係が得られなかった。今後検討を加えていきたい。

6. あとがき

流れが層流である場合には、水深の基準面を適切に決めれば $f=K/Re$ なる関係が成立し、 K の特性については従来の結果と定性的に一致する結果を得た。その際、幾何学的基準面に替る水深の基準面の設定が必要であることが確認された。また、 $h/k > 1$ の流れと $h/k < 1$ の流れでは抵抗則の特性が異なることがわかった。今後は、実験範囲を広い範囲にとるとともに、流れの機構をしらべて、薄層流抵抗則の一般的特性を明らかにしていきたい。

謝 辞

本研究を行なうにあたり有益な御助言を賜った、神戸大学工学部、箕原亮教授に謝意を表します。

参考文献

1. 神田・喜久里 粗面上の薄層流の抵抗則に関する実験的研究 工学会第32回年次学術講演概要集 昭和52年10月

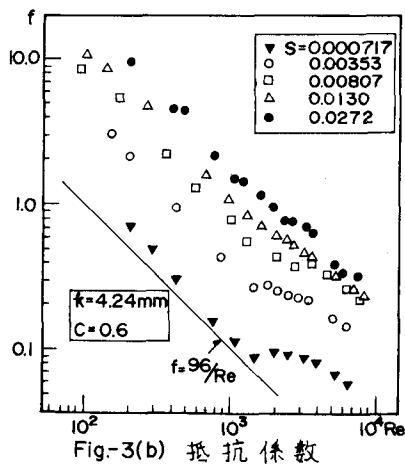


Fig-3(b) 抵抗係数

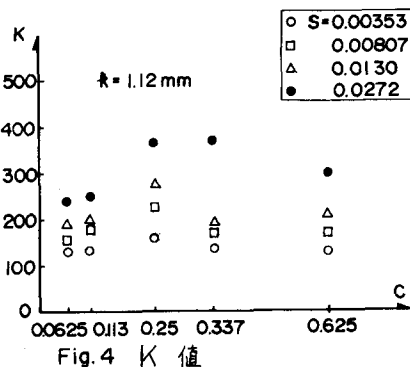


Fig.4 K 値

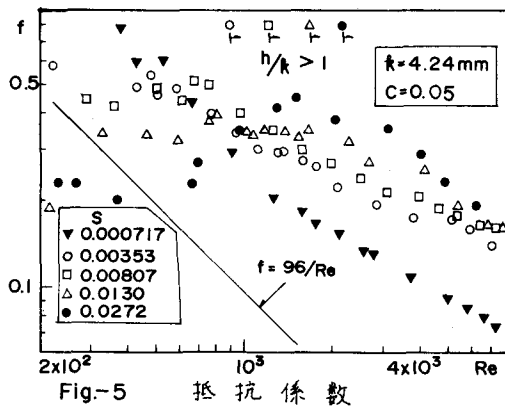


Fig-5 抵抗係数

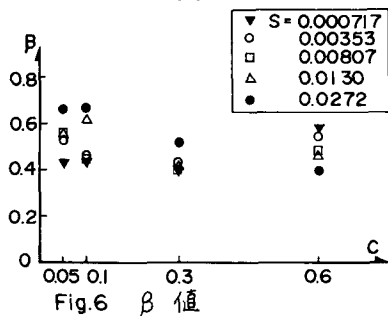


Fig.6 beta 値