

神戸大学工学部 正員 神田 徹
神戸大学大学院 学生員 ○喜久里政宏

1. まえがき

粗面上の薄層流では、流水断面に占める粗度の割合が大きいから、粗度要素の大きさ、形状、集中度、材質などの相異により流れの特性は変化する。従来、国内外で抵抗係数に関する実験成果が集積されつつあるが、いまだその抵抗則は統一的に表現されるに至っていない。本研究は、レイノルズ数が比較的小さい流れについて、粗度要素の粒径と集中度を変えて行った実験から、抵抗係数の値と流れの形態との関係を考察したものである。

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、粗度要素として平均粒径： $k=1.12, 4.24\text{mm}$ のガラス球を使用した。 $C=n\alpha/A$ (n : 面積Aの水路床面に含まれる粒子数, α : 1個の粒子の水路床への投影面積) で定義される集中度の値は、 $C=0.0625 \sim 0.625$ であり、水路床勾配： S_0 は、 $S_0=0.000717 \sim 0.0272$ である。水深測定は $1/10\text{mm}$ 読みのポイントゲージを用い、流速測定は熱線流速計を用いた。

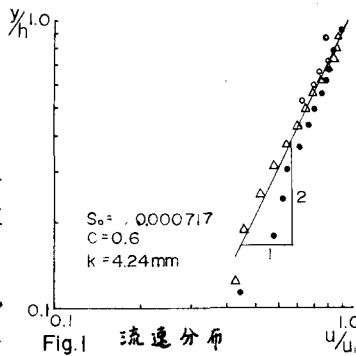


Fig.1 流速分布

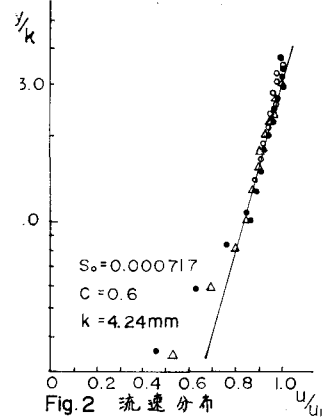


Fig.2 流速分布

3. 流速分布

図-1, 2は、 $k=4.24\text{mm}$, $C=0.6$ の場合の流速分布の例であり、層流(図-1)、乱流または遷移状態(図-2)に対応して、それぞれ放物線分布、対数分布を示す。これに対して、 $k=1.12\text{mm}$, $C=0.377$ の場合には(図-3(a),(b))、流れは層流であるが、底面近くでは放物線分布からはずれて流速は小さくなり、図-3(b)のようにむしろ対数分布に近い流速分布を示す。以上のように粒径が小さくなるとともに、底面近くで流速の減少の割合が大きいため、 $k=1.12\text{mm}$ の場合に対して、次のような水路床面の設定を試みた³⁾。すなわち、図-3(b)の直線を外挿して $u=0$ となる位置を求め、これを基準面の高さ Δh_2 とする。 $\Delta h_2/k$ の値は C に比例して増大し、約0.3~0.65程度である。

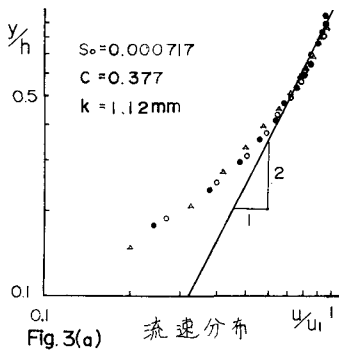


Fig.3(a) 流速分布

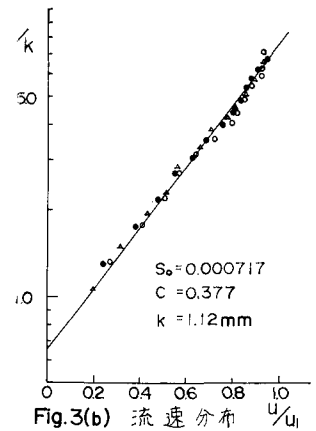


Fig.3(b) 流速分布

4. 抵抗係数

水路床面の位置、すなわち水深の基準面の高さとして、まずSchlichtingによる幾何学的水路床面の高さ $\Delta h_1=nV/A$ (V : 粒子1個の体積)とする。この基準面から割った水深： h と、単位幅流量： q を用いて算出した抵抗係数： $f=89S_0\Delta h_1^3/q^2$ を、 $Re=4q/\nu$ に対してプロットしたものが、図-4 ($k=4.24\text{mm}$, $C=0.1$)、図-5 ($k=4.24\text{mm}$, $C=0.6$)、図-6 (a) ($k=1.12\text{mm}$, $C=0.13$)である。いずれの f の値も層流抵抗則 $f=96/Re$ の値より大きく、また必ずしもこの直線に平行な関係式 $f=K/Re$ (K : const)で表わすこともできない。ただし、 $k=1.12\text{mm}$ の場合については、前述の流速分布による基準面を用い、さらに潤辺が基準面上の粗度のない部分の

表面積であるとして流れのモデル化を行なえば、 $f' = 89.5 \cdot h^{1/8} \cdot [1 + 4C(4h/3)^{1/2}]$ で抵抗係数は与えられる。この f を示せば図-6(b)のように実験値は、 $f = 96/Re$ の直線に接近し、また勾配、粗粒粗度による差も少ない。

5. 流況と抵抗係数の関係について

図-5において、 f の値はレイノルズ数の増加とともに直線的に減少しレイノルズ数が1000~2000でこの直線関係からはずれ、異なった $f-Re$ 関係を示す。 f が直線的に減少する領域では、トレーサーによる観察およびこの領域の流速分布を示した図-1から、流れは層流である。一方、直線的減少からはずれた高レイノルズ数の領域では、トレーサー観察と図-2に示した流速分布から、流れは遷移状態もしくは乱流である。図-6(a)でも図-5と同様に、層流の上限レイノルズ数が $f-Re$ 関係の変化から見い出されるが、 f の値は $k=4.24\text{mm}$ の場合に比べてかなり小さくなる。図-4は、上記2種とは異なった抵抗特性を示している。すなわち、かなり低いレイノルズ数において f の値はレイノルズ数によってあまり変化しない領域がある。また、レイノルズ数の増加とともに f の値は $f = 96/Re$ にほぼ平行に減少するが、トレーサー観察によれば、水路床が緩勾配の場合には f の値がレイノルズ数とともに減少する領域で流れは乱れ、急勾配の場合には f の値の変化しない領域から流れは乱れるので、 f の値が $96/Re$ にほぼ平行に減少しても、常に層流状態であるとはいえない。 f の値が変化しない上記のレイノルズ数の流れは、水深が粒径より小さい場合の流れであり、流れに直接作用する粗度球の抵抗は水路床から水面まで及ぶ。レイノルズ数の増大(流量の増加)とともに水深が増し、水深が粗度径の約70~80%以上になると、流れの抵抗特性は粒径の小さい場合や、粒径が大ききとも集中度の大きな場合と大差はなく、レイノルズ数の増加とともに f の値が減少するものと考えられる。

6. 結語

薄層流では、粒径、集中度の違いにより流れの性状は微妙に変化する。幾何学的基準面を用いて算出した f の値は、従来の実験と同様に径が大きいほど、勾配が大きいほど大きくなり、また粒径の小さい場合と粒径が大ききとも集中度の大きな場合の流れの抵抗特性は類似して、流れの遷移点も明瞭である。粒径が大きき集中度の小さい場合には、 f の値は $96/Re$ にほぼ平行に減少するが、流れは乱れている場合があり、遷移レイノルズ数は不明瞭である。今後はさらに、粗度要素近傍の流れを詳細に調べ、抵抗特性との対応を検討していきたい。

謝辞 本研究において有益な御助言を賜った神戸大学工学部、菅源亮教授に謝意を表します。

参考文献: 1). Chen, C.: Flow RESISTANCE IN BROAD SHALLOW GRASSED CHANNE-LS. HY3, ASCE, 1976

2). 堀野・藤原: 急勾配粗面の薄層流に関する実験的研究, 土木学会中国四支部講演概要集, 昭和52年。

3). 神田・小笠原・喜久里: 粗面上の薄層流の抵抗則に関する考察, 土木学会関西支部講演概要集, 昭和52年。

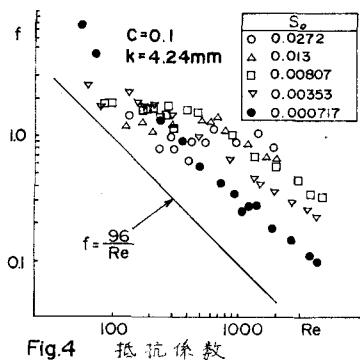


Fig.4 抵抗係数

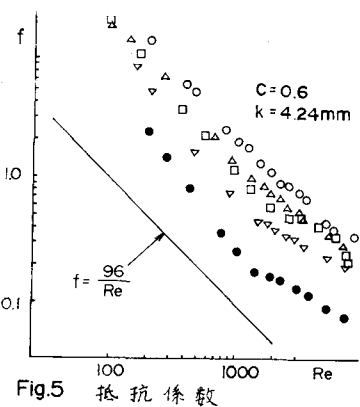


Fig.5 抵抗係数

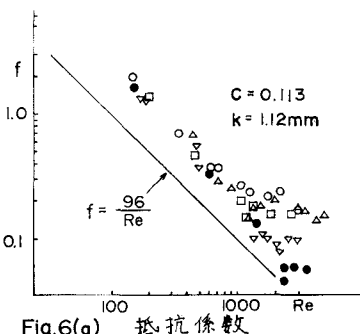


Fig.6(a) 抵抗係数

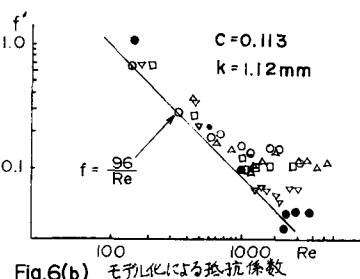


Fig.6(b) モデル化による抵抗係数