

II-181 長方形水路の抵抗法則について (その4)

日本大学工学部 正員 ○木村喜代治
日本大学工学部 学生員 長林久夫

長方形水路の壁面および底面粗度が等しい場合に、先き示した平均流速式は

$$\frac{\pi}{\pi_{KR}} = \frac{1}{R} \left(\frac{\bar{u}_{xb}}{\pi_{KR}} \right) \left\{ \ln \left(\frac{R}{\bar{y}} \right) - 1 \right\} = \frac{1}{R} \left(\frac{\bar{u}_{xw}}{\pi_{KR}} \right) \left\{ \ln \left(\frac{b}{2\bar{y}} \right) - 1 \right\} \quad (1)$$

この式の $\bar{u}_{xb}/\pi_{KR}$ および $\bar{u}_{xw}/\pi_{KR}$ を $\pi_{KR}R/\nu$, h/R_b などパラメータとして $2h/b$ を変化せしめて計算すると, $\bar{u}_{xb}/\pi_{KR}$ は $2h/b \leq 1.0$ において, ほぼ 1.0 になり (このとき, この値の最大は $2h/b$ が 0.3 付近に現われ, h/R_b が小さいほど大きく, h/R_b が 8.0 だとほぼ 1.03 である)。また $\bar{u}_{xw}/\pi_{KR}$ は $2h/b \geq 1.0$ において 1.0 になり (このとき, この値の最大は $2h/b$ が 3.0 付近で, h/R_b が 8.0 だとほぼ 1.03 である)。よって全辺滑面および全辺等粗面の水路における平均流速式は式(1)を近似的に下記式で表わしても大差がない

$$\frac{2h}{b} \leq 1.0 \text{ のとき } \frac{\pi}{\pi_{KR}} = \frac{1}{R} \left\{ \ln \left(\frac{R}{\bar{y}} \right) - 1 \right\}, \quad \frac{2h}{b} \geq 1.0 \text{ のとき } \frac{\pi}{\pi_{KR}} = \frac{1}{R} \left\{ \ln \left(\frac{b}{2\bar{y}} \right) - 1 \right\} \quad (2)$$

ここで等粗面であるから $\alpha' = \beta'$ であり, 滑面のとき $\alpha' = 0.111 \nu / \pi_{KR}$ とする。式(2)と実験データとの適合性を調べまた他の式と比較するために, Powell のデータ (滑面) と Bazin のデータ (粗面) に式(1), 式(2), Keulegan, 足立, Goncharov-Komora, 二次元などの諸式をあてはめ計算値と実験値の比較をしたのが Fig. 1, 2 である。これらの図より近似式式(2)はデータにほぼ適合すると見ても良いであろう。さて壁面状態が粗滑遷移領域のときに, 円管では Colebrook-White の式があることは良く知られている。長方形水路の場合に遷移領域について Colebrook と White の取組と同様な方法によつて抵抗式を導いてみる。なお, 水理的に粗面であるか滑面であるかの判別は良く知られているように層流層厚の厚みと粗度要素の高さとの相対的大きさによつて決まる。前報では潤边上の摩擦速度は一定でなく変化するものと考えるから同一面内においても粗面であるものが隅角に近いところでは摩擦速度は小さく滑面と考えられるようになる。しかしこのようにするといたずらに複雑になるから, 滑面では $\alpha' = 0.111 \nu / \bar{u}_{xb}$, $\beta' = 0.111 \nu / \bar{u}_{xw}$ とし一方粗面では $\alpha' = R_b/30$, $\beta' = R_w/30$ とした。そしてこの粗滑の何れか大きい方の α' (または β') によつて, その面の粗滑を決めた。このようにしたとき, 等粗面では, 例へば $2h/b < 1.0$ (このとき $\bar{u}_{xw} < \bar{u}_{xb}$) のある一定値に対し, Reynolds 数の大きいところでは壁面と底面が粗面であったものが, より小さな Reynolds 数で先が壁面が滑面となり, 更に Reynolds 数が小さくなると底面も滑面になると考えられる。このとき, 壁面が滑面で底面が粗面と考える領域は $2h/b$ が 1.0 では存在せず, $2h/b$ が小さいほど大きくなるが, この領域が大きくなるほどこのときの摩擦係数 (あるいは π/π_{KR} の値) はほぼ一定であり, 三辺とも粗面のときの値に極めて近い (Fig. 3 参照)。よつて抵抗関係を考えるとき, $2h/b$ の値にかかわらず壁面底面とも粗面であったものが, Reynolds 数のある値のところと同時に滑面になると考えても大差がない。従つて遷移領域を考えると, $2h/b$ の値にかかわらず, 壁面と底面が同時に粗面, 遷移領域, 滑面になるとする。

$$\left. \begin{aligned} \frac{2h}{b} \leq 1.0 \text{ のとき } \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} &= -0.884 \ln \left(\frac{0.0906}{h/R_b} + \frac{0.853}{Re \sqrt{\lambda}} \frac{R}{h} \right) \\ \frac{2h}{b} \geq 1.0 \text{ のとき } \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} &= -0.884 \ln \left(\frac{0.0906}{b/2R_w} + \frac{0.853}{Re \sqrt{\lambda}} \frac{2R}{b} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここに λ : 摩擦係数, $Re = UR/\nu$ 。なお粗面と遷移領域との境界は Colebrook-White になら
て $Re\sqrt{\lambda}/(R/r_b) = 200$ とした。 $2h/b = 1.0$ の場合には、これらの式を用いて λ を計算図化した
のが Fig. 4 である。式(3)を Bazin のデータ、松尾のデータと比較したのが Fig. 5 であり、また松尾の
データに対して式(2)による滑面としての取扱いと式(3)による遷移領域としての取扱とを比較したのが Fig. 6
である。

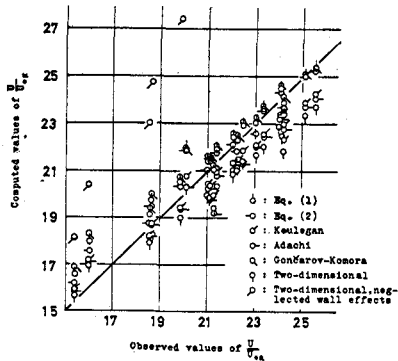


Fig. 1 Relations between Powell's data (a) and various formulas.

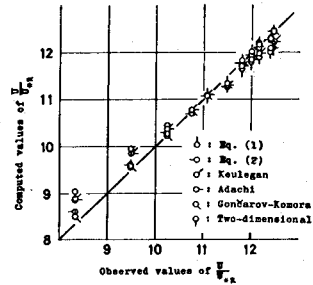


Fig. 2 Relations between Bazin's data, series 5 and various formulas.

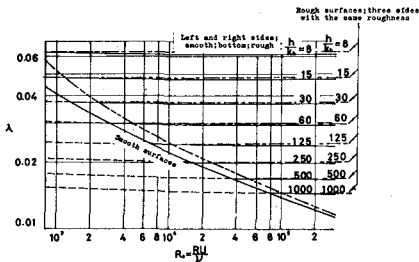


Fig. 3 Friction factor: $2h/b=0.06$

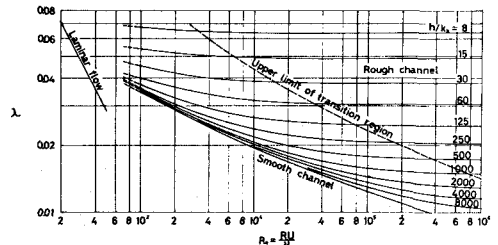


Fig. 4 Friction factor: $2h/b=1.0$

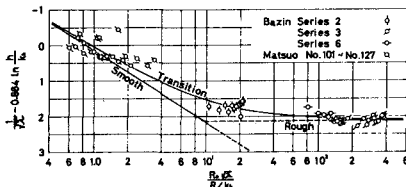


Fig. 5 Relations between Eq. (3) and various data.

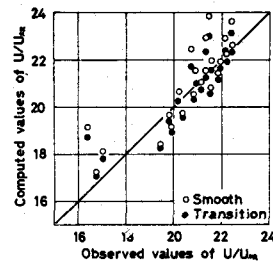


Fig. 6 Observed values of Matsuo's data No. 101-No. 127 against computed values from Eq. (2) (as a smooth channel) and Eq. (3).