

II-140 長方形水路の抵抗法則について(その3)

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 环 久夫

本報は著者の一人木村が先きに提案した方法を主として平均流速式としての観点から、その適合性を検討したものである。長方形水路の流れを Prandtl-Kármán の対数法則を用いて、二次元乱流の組合せとして取扱う方法は Keulegan, Haywood, 足立などの研究がある。これらの方法は流水断面積を壁面、底面の支配部分に分割し、その分割部分に支配面から法線方向に対数法則を適用するものである。

さて、先きに提案した方法は、いわゆる流水断面分割法ではない。流れのどの部分でも、Prandtl-Kármán の対数法則を用いて (Blasius の $1/\kappa$ 乗則などのべき法則も同様に用いることが出来る。) 水平・鉛直の何れから計算しても同じ流速が得られるような境界摩擦速度の分布を決めた。この結果は図-1, 2 で示したように Keulegan による Bagin の実験 data からみても、ほぼ首肯し得るものであらう。流れの式は境界摩擦力の統計値 WAI でなければならないし、流速から計算した流量は真の流量でなければならない。しかしながら近似式は完全解でないから両条件を同時に充すとは限らない。そこで提案式では補正する係数 m を入れた。この m は層流の場合に検討したようにほぼ 1 に近い値であり、二次元流では 1 になる。Prandtl-Kármán の対数法則に含まれている定数が流れによって変化するという研究もあり、 m の決定は容易ではない。以下の取扱いは $m=1$ とした。(他の式ではもともとこのような補正は考えていない。) しかし将来は明らかにしたいと考えている。先きに示した提案式は

$$\frac{U}{U_{*R}} = \frac{1}{\kappa} \left(\frac{U_{*b}}{U_{*R}} \right) \left\{ \ln \left(\frac{R}{z'} \right) - 1 \right\} \quad (1)$$

左右壁面等粗度のとき

$$\frac{U_{*b}}{U_{*R}} = \sqrt{\frac{1 + 2R/b}{2R/b \cdot [\{\ln(R/z') - 1\}^2 + 1] + [\{\ln(b/z_y) - 1\}^2 + 1]}} \left\{ \ln \left(\frac{b}{2y'} \right) - 1 \right\}$$

粗面 $z' = \frac{R_{*b}}{30}$, $z' = \frac{R_b}{30}$, 滑面 $z' = 0.110 \frac{U}{U_{*b}}$, $z' = 0.110 \frac{U}{U_{*b}}$. U : 平均流速, $U_{*R} = \sqrt{8RI}$, $U_{*b} = \frac{z'}{b} \int_0^b U_{*b} dy$. 左右壁面粗度の異なる場合の $\frac{U_{*b}}{U_{*R}}$ は前報参照のこと。

二次元の単純な拡張式は

$$\frac{U}{U_{*R}} = \frac{1}{\kappa} \left\{ \ln \left(\frac{R}{z'} \right) - 1 \right\} + \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{R}{R} \right) \quad (2) \quad \text{ここで滑面 } z' = 0.110 \frac{U}{U_{*R}}$$

Keulegan の式は境界面等粗度で、摩擦速度は平均値を均一に取換ったものである (を省略すると)

$$\frac{U}{U_{*R}} = \frac{1}{\kappa} \left\{ \ln \left(\frac{R}{z'} \right) - 1 \right\} - \frac{1}{\kappa} \frac{R}{b} \quad (3) \quad \text{滑面の } z' \text{ は次元と同じ。}$$

足立の式は壁面(材林)・底面粗度が異なる場合も取扱い、境界摩擦力平均値の相違を考慮に入れ、壁面・底面からそれぞれ計算した流速の相等的な点を連ねた線を分割線とするもので

$$\begin{aligned} a \geq \delta \text{ のとき } \frac{U}{U_{*R}} &= \frac{1}{\kappa} \left(\frac{U_{*b}}{U_{*R}} \right) \left\{ \ln \left(\frac{R}{z'} \right) - 1 \right\} - \frac{1}{\kappa} \left(\frac{U_{*b}}{U_{*R}} \right) \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{a^2 + \delta} \right) \\ a \leq \delta \text{ のとき } \frac{U}{U_{*R}} &= \frac{1}{\kappa} \left(\frac{U_{*b}}{U_{*R}} \right) \left\{ \frac{1}{a} - \frac{\delta}{a^2 + \delta} - \ln \frac{a(a+\delta)}{a^2 + \delta} \right\} \end{aligned} \quad (4) \quad \begin{aligned} a &= \frac{U_{*b}}{U_{*R}}, \quad U_{*b} = \sqrt{\frac{U_{*R}^2}{\delta}}, \\ \text{滑面の } z' &= 0.110 \frac{U}{U_{*b}} \end{aligned}$$

Haywood の法は、流動の実験で壁面滑面・底面粗面の場合に壁面の影響の除去において、Prandtl-Kármán 式を用い、両面から計算した流速の等しい線に流れを分割した。(摩擦速度は U_{*R} を使用する)

境界摩擦速度の計算式は前報に示したように壁面・底面についてそれぞれ $U_{*w} = K \ln \left(\frac{R}{z'} \right)$, $U_{*b} = K \ln \left(\frac{y}{y'} \right)$ (左右壁面粗度の対称のとき) であるが、図-1, 2 から Bagin の実験とこれらの式の関係を表わす。図-3, 4, 5 は粗面水路に対する諸式と実験値との関係である。先ず実験より各式毎に κ を計算し、その平均値を求め、これをその式の計算に用いる κ の値とした。図-6 は滑面水路に対する Powell の実験と諸式との関係である。この場合 U/U_{*R} の大きくなるに従って、提案式の適合性が良くなることわかる。

Fig.1 底面における摩擦速度分布(Bazinの実験)

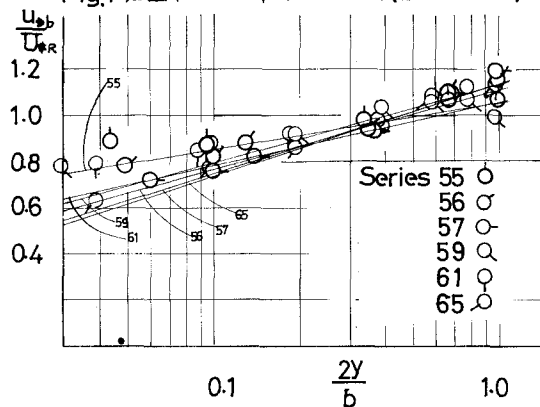


Fig.2 側壁面における摩擦速度分布 (Bazinの実験)

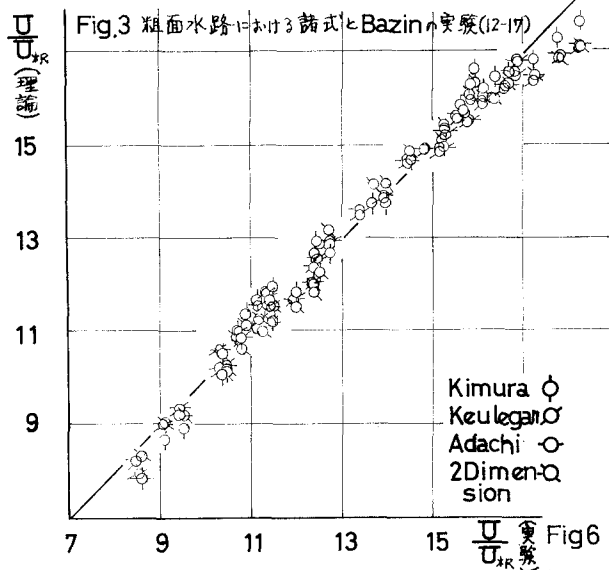
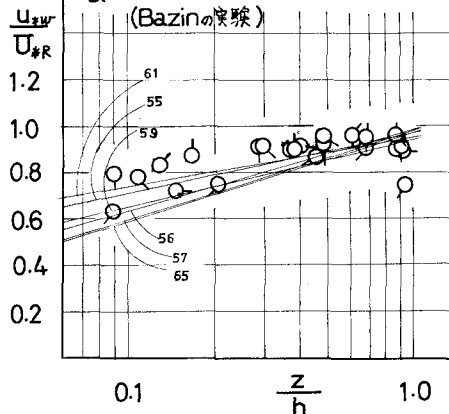


Fig.4 粗面水路における諸式とPowellの実験(Ⅲ,Ⅳ)

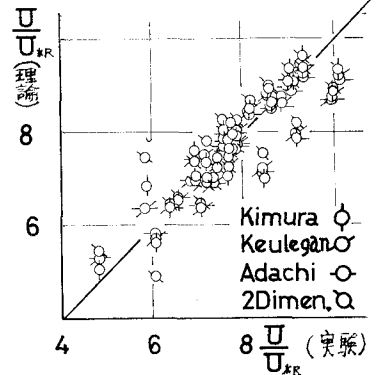


Fig.5 粗面水路 提案式と実験値

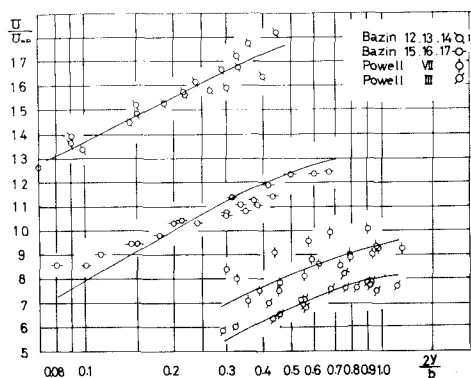


Fig.6 滑面水路における諸式とPowellの実験(a)

