

京都大学大学院 学生員 田中英児  
京都大学防災研究所 正員 今本博健  
建設省 正員 吉野清文

開水路複断面流れは、低水路内の流れと高水路上の流れとの間の相互作用によりかなり複雑な性状を示し、最も基本的な抵抗特性についてすら不明の点が多い。本報告は開水路複断面流れを記述する無次元量について次元解析的検討を行うとともに、得られた無次元量間の関係について実験的検討を加えたものであって、実験水路には長さ13 m、幅40 cmの可動勾配直線水路内に高さ2.08 cmの高水敷を設置したものが用いられている。

1. 次元解析的検討

開水路複断面流れを記述する水理量としては、一般に、流量 $Q$ 、壁面粗度 $\epsilon$ 、路床勾配 $I$ 、水路幅 $2B$ 、低水路床面を基準とした水位 $H$ 、高水敷幅 $b$ 、高水敷高 $h$ 、動粘性係数 $\nu$ および重力の加速度 $g$ の7量が挙げられる(図-1参照)。したがって、これらの水理量より形成される7種の無次元量間に次式が成立する。

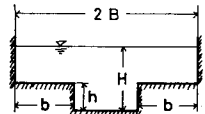


図-1 水路断面

$$f(Re, Fr, I, \epsilon/R, H/B, b/B, H/h) = 0 \quad (1)$$

ここに、 $Re = U_m R / \nu = Q / 2(B+H)\nu$  : レイノルズ数、 $Fr^2 = U_m^2 / gR = Q^2(B+H) / 4g(BH-bh)^3$  : フルード数、 $\epsilon/R$  : 相対粗度、 $H/B$  : 水路の細長比、 $b/B$  : 相対高水敷幅、 $H/h$  : 相対水位、 $U_m = Q / 2(BH-bh)$  : 断面平均流速、 $R = (BH-bh) / (B+H)$  : 径深を表す。

いま、流れの表面抵抗の表示量として抵抗係数 $C_f$ を用いると、 $C_f$ は摩擦速度 $U_* = \sqrt{\tau_0 / \rho}$ と $U_m$ とによって規定され、 $C_f = 2U_*^2 / U_m^2 = 2I / Fr^2$

と表されるから、 $I$ あるいは $Fr$ のうち1量は省略され、結局、 $C_f$ は次の6種の無次元量によって規定されること知れる。すなわち、

$$C_f = f_2(Re, I, \epsilon/R, H/B, b/B, H/h) \quad (2)$$

なお、 $I$ は独立量であるのに対し、 $Fr$ は主として $Q$ によって定められるため、式(2)では $I$ が採用されている。

全く同様に、マニウクの粗度係数 $n$ については次のようになる。すなわち、

$$gn^2/\epsilon^{1/3} = (R/\epsilon)^{1/3} I / Fr^2 \quad (3)$$

であるから、式(1)に示された7種の無次元量のうち $Fr, I$ あるいは $\epsilon/R$ の無次元量の一つが省略され、先と同じ理由により、 $Fr$ を省略すると次のようになる。

$$gn^2/\epsilon^{1/3} = f_2(Re, I, \epsilon/R, H/B, b/B, H/h) \quad (4)$$

2. 実験的検討

図-2は、相対高水敷幅 $b/B=0.8$ の一定とし、種々の路床勾配 $I$ についての抵抗係数 $C_f$ とレイノルズ数 $Re$ との関係

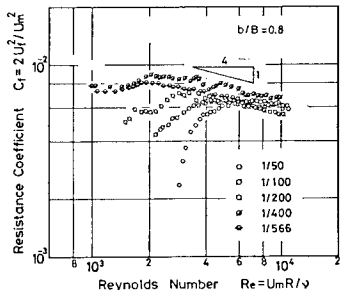


図-2  $C_f$ と $Re$ との関係( $b/B=0.8$ )

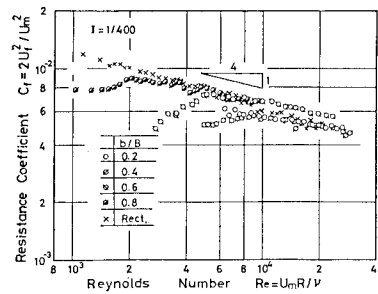


図-3  $C_f$ と $Re$ との関係( $I=1/400$ )

を示したものであって、 $Re$ が大きくなるといずれの $C_f$ についても $Re^{-1/4}$ に比例して減少するというBlasiusの $-1/4$ 乗則にしたかう傾向が見られるが、 $Re$ が小さな場合すなわち高水敷上の水深が小さな場合 $-1/4$ 乗則から大きく離れることが知れる。同様のことは、 $I=1/400$ の一定とし、種々の $b/B$ についての $C_f$ と $Re$ との関係を示した図-3でも確かめられ、複断面開水路流れとしての特性は高水敷上の水深の小さな場合に顕著となることが知れる。

いま、複断面開水路流れの抵抗係数に、同一水路幅の長方形単断面開水路流れの場合と比較した補正係数 $K$ を導入し、Blasius表示を用いて次のように表す。すなわち、

$$C_f = K C Re^{-1/4}$$

ここに、 $K$ は単断面流れについての比例定数であって、図-4に示されるように、 $I$ によって若干変化するようである。

図-5は、図-4に示された $K$ を用いて、複断面流れの $C_f$ および $Re$ より逆算された補正係数 $K$ と相対水深 $H/h$ との関係を示したものであって、 $K$ と $H/h$ との関係は $I$ にはほとんど関係しないことが知れる。また、図-6は同様の関係を $b/B$ をパラメータとして示したものであるが、両者間の関係は $b/B$ により大きく変化し、かなり複雑であることが知れる。

一方、マニングの粗度係数 $n$ について同様の検討を加えると次のようである。本実験水路は高水敷を含め全断面がアクリル樹脂性滑面で構成されているため、壁面粗度 $n$ は一定と考えられ、また $n$ も一定であるから、 $n$ は式(4)に示された6種の無次元量によって規定されると考えられる。したがって、図-5および図-6と同様に、 $n$ と $H/h$ との関係について検討すると図-7および図-8のようになり、 $H/h \geq 1.5$ では $n$ はほぼ一定とみなせるのに対し、 $H/h \leq 1.5$ では $H/h$ が1に近づくにしたがって $n$ は減少することが知れる。ただし、 $n$ の値そのものは $I$ あるいは $b/B$ によってかなり変化しており、今後さらに詳細に検討する必要がある。

以上のように、本実験では開水路複断面流れの抵抗特性に関し、式(2)あるいは式(4)に示された6種の無次元量のうち、レイノルズ数、路床勾配、相対高水敷幅および相対水位の4量の効果について検討を加えたが、今後においては、残りの相対粗度および水路の細長比の影響を含めたより広範囲の水利条件下についての実験的検討を行い、普遍的な抵抗特性の解明に努める予定である。

参考文献

- 1) 今本・久下：京大防災研年報，1974。
- 2) 今本・久下・吉野：第31回年講，1976。

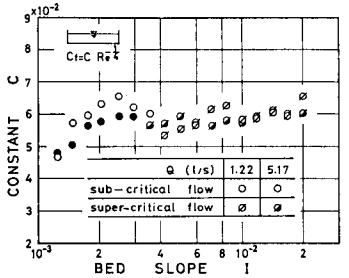


図-4  $C$ と $I$ との関係(長方形単断面)

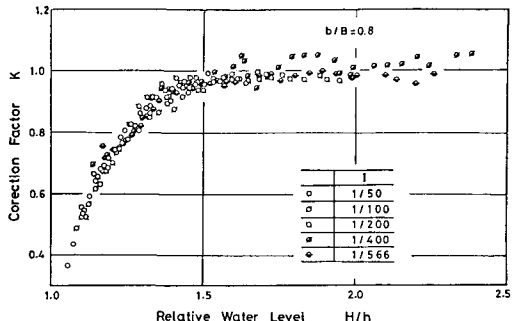


図-5  $K$ と $H/h$ との関係 ( $b/B=0.8$ )

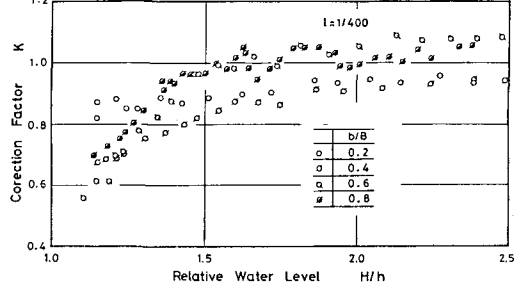


図-6  $K$ と $H/h$ との関係 ( $I=1/400$ )

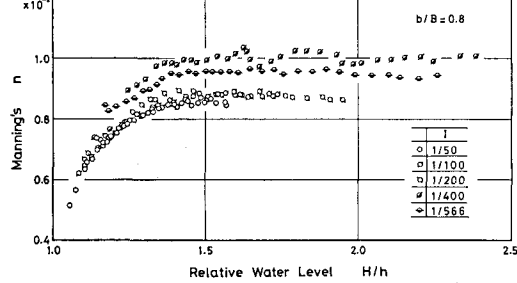


図-7  $n$ と $H/h$ との関係 ( $b/B=0.8$ )

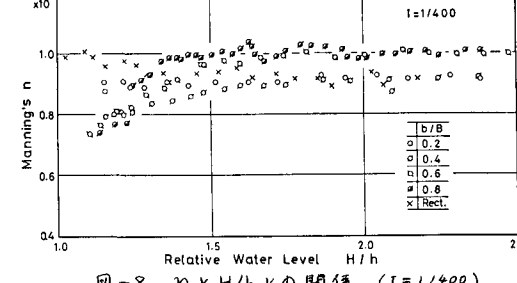


図-8  $n$ と $H/h$ との関係 ( $I=1/400$ )