

兵庫県土木部 ○ 竹本 修

神戸大学大学院 藤井 宏行

神戸大学工学部 道奥 康治

1. はじめに：直線河道を，蛇行河川のように変化の富む線形に改修する場合，改修によって増加する洪水時の流水抵抗を考えると治水面からは重要である．ここでは，全抵抗力を河道線形に起因する形状抵抗と摩擦抵抗とに分割して解析し，これを水理実験により検証する．

2. 実験概要：実験は全長7m，水路幅45cm，深さ20cmの可変勾配開水路で行った．対象とする河道形状を図-1に示す．実験は全潤辺が滑面からなる場合(Run-A)と，高水敷上に粗度を設置した場合(Run-B)の二種類について行われた．まず，Run-Aの実験より，滑面流の全抵抗から摩擦損失分を差し引いて形状抵抗を分離評価する．次に，運動量保存式に基づいて，粗面と滑面からなる蛇行河道の全抵抗を摩擦抵抗と形状抵抗の合成によって評価する．解析の妥当性は，高水敷に粗度を配した実験結果との比較から検証される．滑面の蛇行水路を対象に次元解析を行えば，摩擦損失係数 f を支配する無次元パラメータは，次のように得られる．

$$f = \text{Func.} \left(\frac{R}{\lambda}, \theta, \frac{d}{R}, \frac{R}{B}, \frac{R}{b}, \frac{UR}{v} \right) \quad (1)$$

パラメータの数と実験条件を限定するために，本実験では $R=2.35\text{cm}$ ， $B=45\text{cm}$ ， $b=15\text{cm}$ と固定する．この時，式(1)は，次のように簡略化される．

$$f = \text{Func.} \left(\frac{R}{\lambda}, \theta, \frac{d}{R}, \frac{UR}{v} \right) \quad (2)$$

式(2)に基づいて，Run-Aの実験条件を表-1のように設定する．また，高水敷に粗度を設置した実験では，河床勾配を $I=1/400$ に固定した．表-2に高水敷上に粗度を持つ場合(Run-B)の実験条件を示す．

3. 実験結果：Run-Aより得られた摩擦損失係数の一例を図-2に示す．同図は R/λ を変化させた場合の f とレイノルズ数 Re の関係である．いずれの R/λ に対しても，図中の曲線群のように $1/4$ 乗則， $f=k/Re^{0.25}$ (3)，に回帰できる．ここで用いた河道模型では，流れ方向に河床形状が周期変化するので，半波長あたりの運動量の釣り合いを考える．高水敷が滑面の水路(Run-A)の場合，次式ようになる．

$$\frac{\rho}{2} g \lambda A I - \frac{1}{2} (B + 2h) \lambda \tau - \frac{\rho}{2} C_D U^2 A d = 0 \quad (4)$$

ここで， C_D ：低水路蛇行による形状抵抗係数， A ：流水断面積，その他の諸量は図-1に示す．式(4)中の摩擦抵抗 τ は，滑面直線水路の実験より，ブラジウスの式であらわされることが確認されている．一方，図-2のように，Run-A（滑面）の摩擦損失係数 $f_A=8gRI/U^2$ は各河道形状に対して得られているので，式(4)から形状抵抗係

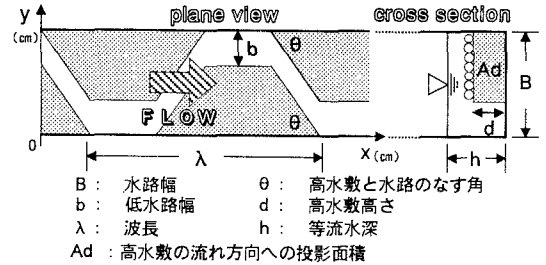


図-1 対象とする河道形状

表-1 Run-A（滑面）の実験条件

Run No.	R/λ	θ (deg)	d/R
1	0	45	0.212
2	0.0118		
③	0.0159		
4	0.0181		
5	0.0226		
6	0.0274		
7	0.159	30	0.765
8		60	
9		75	
10		90	
11		45	
12			1.19

表-2 Run-Bの実験条件

Run No.	d/λ	θ (deg)
1	0.0172	45
2	0.0142	
3	0.00998	
4	0.00616	
5	0.00998	30
6		60

数 C_D を算出できる。各水路形状について得られた C_D を基準とするケース（ここでは、Run-A-3）の形状抵抗係数 C_{Ds} によって無次元化し、形状パラメーターとの関係を見たものが、図-3 から図-5 である。各図中の実験値は、各々次のように回帰される

$$f\left(\frac{R}{\lambda}\right) = 0.904 \quad (5)$$

$$g(\theta) = -1.83 \cdot 10^{-5} \cdot \theta^3 + 2.41 \cdot 10^{-3} \cdot \theta^2 - 6.94 \cdot 10^{-2} \cdot \theta + 0.958 \quad (6)$$

$$h\left(\frac{d}{R}\right) = 0.161\left(\frac{d}{R}\right)^2 + 0.0563\left(\frac{d}{R}\right) + 0.981 \quad (7)$$

式 (5), (6), (7) から、 C_D/C_{Ds} を定式化すると次式を得る。

$$\frac{C_D}{C_{Ds}} = f\left(\frac{R}{\lambda}\right)g(\theta)h\left(\frac{d}{R}\right) \quad (8)$$

4. 高水数が粗面の場合の抵抗特性：以上のように評価された C_D を用いて、高水数に粗度を設置した Run-B の場合の運動量のつりあいから摩擦抵抗係数を評価する。前と同様に、流れ方向半波長当たりの力のつりあいは次式のようになる。

$$\frac{\rho}{2} g \lambda A I - \frac{1}{2} (b + 2h) \lambda \tau - \frac{1}{2} (B - b) \lambda \tau_f - \frac{\rho}{2} C_D U^2 A d = 0 \quad (9)$$

ここで、 $\tau_f = \rho f_R U^2 / 8$ は高水数（粗面）に作用する壁面せん断力であり、粗面直線水路の実験で別途得られた、次式の摩擦損失係数 f_R から評価される。

$$\sqrt{\frac{1}{f_R}} = 2.10 - 2.03 \log \left(\frac{175 v}{\sqrt{8 g I (h - d)^{1.5}}} + \frac{0.00277}{h - d} \right) \quad (10)$$

式(8), (10)を式(9)に代入し、滑面水路としての摩擦抵抗力 τ をブラジウスの式により与えられれば、 U が算定される。これより $f_B = 8 g R I / U^2$ として全抵抗に関する摩擦損失係数の解析値が求まる。様々な d/λ に対して f_B と Re の関係を実験値と共に図-6 に示す。図-7 にはパラメーターを θ とした場合について、 f_B と無次元水深 h/d の関係を実験値と共に示す。計算値と実験値の対応は概ね良好である。以上より高水数に粗度を有する場合の抵抗特性が形状抵抗と摩擦抵抗の合成によって評価された。

参考文献

1) 川端，道奥：瀬と淵を有する滑面開水路乱流の抵抗則，関西支部年次学術講演会，Ⅱ-46，1996 年

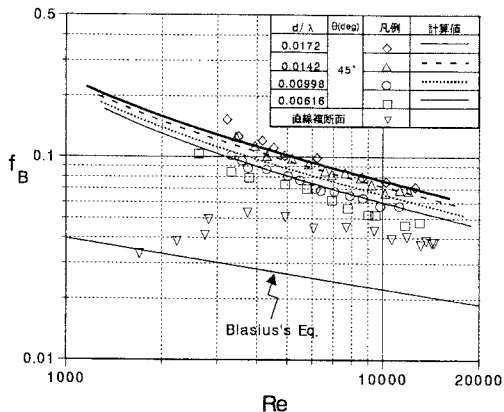


図-6 計算値と実験値の比較(パラメータ d/λ)

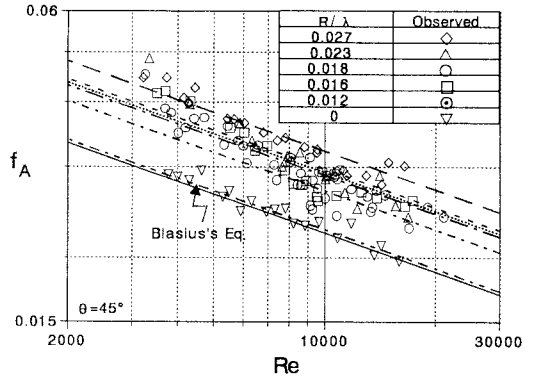


図-2 f と Re の関係

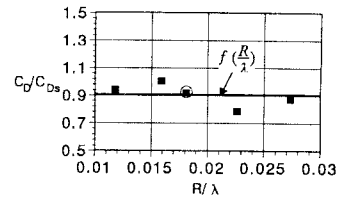


図-3 C_D/C_{Ds} と R/λ の関係

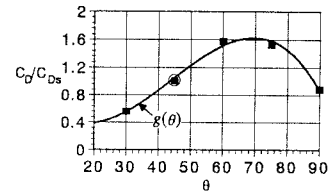


図-4 C_D/C_{Ds} と θ の関係

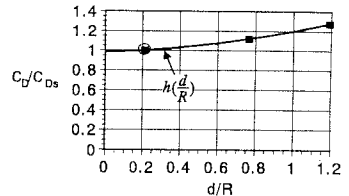


図-5 C_D/C_{Ds} と d/R の関係

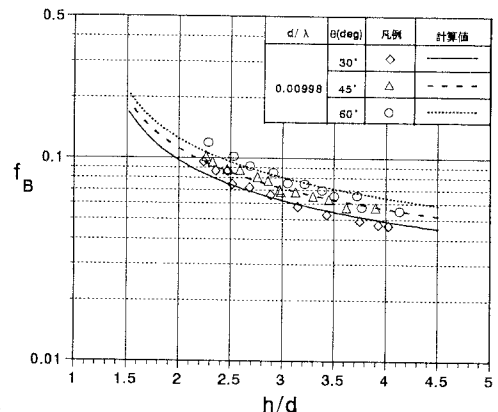


図-7 計算値と実験値の比較(パラメータ θ)