

北海道大学 工学部 正会員 ○ 山岡 勲
同 上 長谷川和義

1. 概説：中央粒径 $d=0.43\text{mm}$ および 0.25mm の篩砂で構成した浸食性流路で、直線流が拡幅しやがて自由蛇行流(図1)となる39種の実験結果から、河床抵抗の定式化とこれを分離した抵抗に対する平面形状の影響を考察した。今回は蛇行以前の抵抗の変化についても検討を加えた。水路の勾配は $I=1/30\sim 1/120$ で、流量は $Q=0.099\sim 0.715\text{ l/s}$ とした。実験の測定要領は前年度(年講Ⅱ-163, 1975)のとおりで、 a (流れ始めの直線流), b (流路が次第に拡幅し交互砂州の発達をみる), b' (ゆるやかな蛇行をはじめる), c (流路の曲りが最大, 図2の状態), d (網状流への移行)の各状態で測定が行なわれた。

流下方向に垂直な2断面I-I, II-IIを検査面にとり、損失勾配と流速係数を次の両式で表わした。

$$I_e = \frac{1}{l_{I-II}} \left[\left\{ H_I + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{A_I} \right)^2 \right\} - \left\{ H_{II} + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{A_{II}} \right)^2 \right\} \right] \quad \dots (1)$$

$$\Psi_0 = \bar{V} / \sqrt{gRI_e} \quad \dots (2)$$

各Runの状態 a から d に至る間の抵抗変動はかなりランダムだが a では Ψ_0 が大(抵抗小) $\rightarrow b$ では Ψ_0 が小となり $\rightarrow c$ では Ψ_0 は再び大となるというケースが多かった。

2. 状態 a, b (蛇行以前)における抵抗：流路はまだ直流であるが砂州の発生、発達状態にあることは、Garde-Raju による河床形態区分図 ($I/s - R/d$) の遷移領域に全資料が入っていることで明らかである。流れが対数分布則に従うと仮定すれば

$$\Psi_0 = u_m / u_* = \{ A_g - 2.5 + 5.75 \log(R/k_g) \} \quad \dots (3)$$

ただし k_g : 粗度係数, A_g : 粗度に関するRe数 $u_* k_g / \nu$ によって変る定数。 A_g は均一粒径粗度の遷移領域に関する実験式(図3)を用いて k_g が一定になるように試行して決定される。移動床の抵抗を k_g/d で表わす試みには各種の式があるが、芦田の式(水理公式集)は

$$k_g/d_m = f(\tau_*) Fr^{-2} \quad \dots (4)$$

a, b 状態の実験値は芦田の式に近い値を示し(図4)、直流状態での抵抗の増加は河床によるものと推定される。この考察では粗度係数に(4)式より利用し易い実験式(5)を作った。

$$k_g/d = A \tau_*^{2.2}, \quad \log A = 3.637 - 0.943 Fr \quad \dots (5)$$

この式の適用範囲は τ_* の増大で河床形態も変るのでこの図のデー

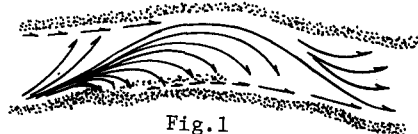


Fig.1

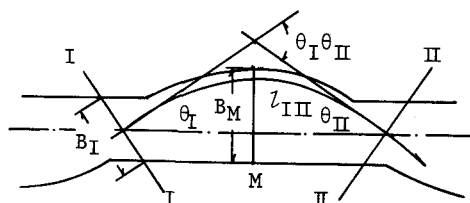
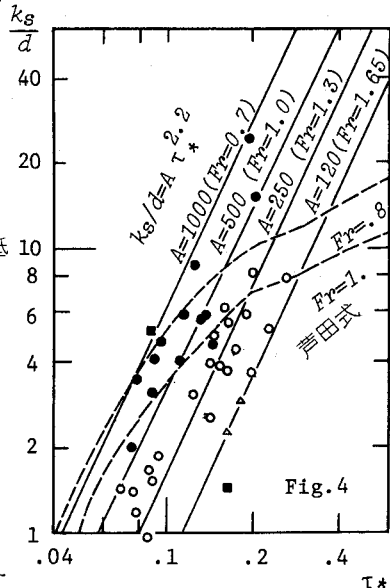
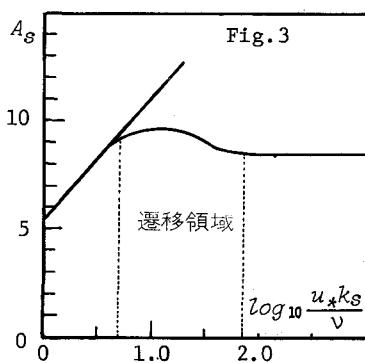


Fig.2



タの範囲に制限される。(5)式を(3)式に代入して $F_r = \Psi_0 \sqrt{I_e}$ を用いて整理すれば(6)式がえられる。(図5)

$$\Psi_0 = (A_s - 23.41 - 12.66 \log \frac{I_e}{s} - 6.911 \log \frac{R}{d}) / (1 - 5.42 \sqrt{I_e}) \quad (6)$$

A_s が定めれば Ψ_0 は $I_e/s, R/d$ の増大とともに減少する(抵抗は増大)ことがわかる。(6)式はGarde-Rajuの区分図での遷移領域の上下限で適用範囲が制限され、また粗度に関するRe数が5以下では滑面領域に入るので遷移領域の下限によっても制限される(図5)。図には $1/70, 1/75$ のデータをプロットしているがよく適合している。一方、砂州が十分に発達した状態では R/d の増加とともに抵抗が減少する固定壁移動床水路における岸、黒木の次式が成立するものと考えられる。(図6)

$$\Psi_0 = 6.0 \left(\frac{R}{d} \right)^{\frac{1}{6}}, \quad \left(\frac{R}{d} > 10 \right) \dots (7)$$

$\Psi_0 - R/d$ の傾向が(6)式と逆になるが、砂州が成立しているときは(6)式、やがて安定した状態に達すると(7)式のまわりに集まるものと推定される。

3. 状態 c (蛇行流) の場合の抵抗: 流路に曲りが発生し発達した状態(b', c)における抵抗を河床による抵抗とその他の抵抗の和と考え、全抵抗と河床抵抗の比と平面形状の関係を検討した。この抵抗比は指数を省けばエネルギー勾配 I_e と河床の分担する勾配 I_b との比で表わせる。 I_b の算定には2つの方法があり、砂州がまだ発達中とみなして(6)式によって算定したものを $I_{b(A)}$ とし、砂州が安定しているとして(7)式がフラット河床について成立する(8)式によって算定した I_b を $I_{b(B)}$ とする。

$$\Psi_0 = A_s - 2.5 + 5.75 \log \left(\frac{R}{2d} \right) \approx 7.66 \left(\frac{R}{2d} \right)^{\frac{1}{6}}, \quad (A_s = 8.5) \dots (8)$$

$I_{b(A)}$ は $I_{b(B)}$ のおよそ $1/2 \sim 1/3$ となった。図7, 図8の横軸には、主流線の無次元曲率(流路幅を乗じたもの)の2乗平均の平方根を用いている。これは0(直線流)から蛇行曲率が大きくなるにつれて増加する。両図で、各 F_r 数毎に $\sqrt{g^2}$ の増加とともに I_e/I_b の増加する関係が比較的明確に示された。

なお、河床以外の損失は図1のごとく、曲り損失係数、流路幅拡散効果の他主流と副流の混合による損失の合成と考えられる。前2者については $\sqrt{g^2}$ との定性的関係を確認している。

文献: 山岡・長谷川: 1-3 流路の自由蛇行の研究, 50年度北大研究報告(河川の機能に関する研究), 北海道開発局, 昭和51年3月

