

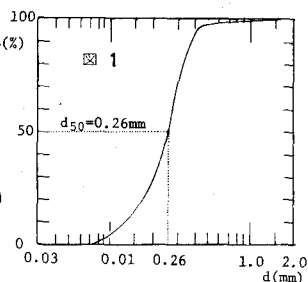
北海道大学 工学部 正会員 ○ 山岡 勲

長谷川和義

北海道函館土木現業所

渡辺 彰彦

1. 実験の概要 本研究は、流路両側も(流路床材料と同じ砂で構成して)移動可能とした自由蛇行水路の抵抗に関するもので、実際河川で言えば低水敷内での自由蛇行か、又は無堤防河川における蛇行の抵抗の予測に資そうとするものである。全体としての流体抵抗をできるだけ確に算定して、側壁可動の場合の抵抗増加の概況と流速係数の式中の要素の影響に目標をしよう。実験は全長15m、水路深さ20cmの変可こう配の水路に、図1の砂を10cm厚さに敷き、予め幅11cm、深さ5.5cmの三角形断面の直線水路を中央に掘っておき、通水後主流が自然に蛇行し始め、やがて図2の如き蛇行流路を形成した時代代表的な半波長の蛇行を選定して停水し、断面1,2



における主流線の接線角 θ_1, θ_2 を分度盤で測定し、断面1,2の河床高の相対位置をポイントゲージで測定しレベルでその点の絶対位置をおさえ、主流線をポイントゲージで追跡した後通水して断面1,2の水位を測定した。水路こう配は1/50, 1/60, 1/70, 1/80, 1/100, 及び1/120、流量は235~6740cm³/sの間で適宜に変え、18実験例について考察した。蛇行流路におけるエネルギーこう配 I_e は $I_e = h_f/L$ (1) 断面1,2間を流下するエネルギー損失(単位流量当り) h_f は、図3の如く蛇行流路の流心に沿う水路床上のX, Y 及びZ軸により $\zeta, H, \theta, \phi, \phi_0$ の測定結果を用いて算定し正確を期した。 ζ はX軸に沿う流路長で、直線長Sとの比を S_n (Sinuosity, 屈曲度)といい、平面形状を表わす一指標とした。流速係数は、 $\Psi_0 = \frac{u_m}{u_*} = \frac{u_m}{\sqrt{g R I_e}}$ (2)ただし、 u_m は平均流速、Rは径深、 u_* は摩擦速度で、摩擦係数 f との関係は、 $f = 8 \Psi_0^2$ (3)

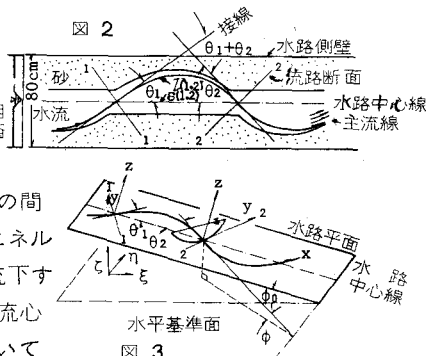


図 3

2. 抵抗則及び水路床せん断力 τ_* と粒子せん断力(有効せん断力) τ_*' の関係 岸ら(1973)²⁾による河床形態と流体抵抗との関係の研究は、抵抗則の原形として次式を提案している。 $\Psi_0 = \frac{u_m}{u_*} = 7.66 \left(\frac{R}{2d} \right)^{1/6} \left(\frac{\tau_*'}{\tau_*} \right)^{2/3}$ (4)ただし、 $\tau_* = R I_e / s d$, $s = (\rho_s - \rho_0) / \rho_0$, ρ_s, ρ_0 は流砂、流体の密度、 d は河床砂の粒径。 τ_*' はEinstein-Barbarossa(1952)の式に修正を加えたもので $\tau_*' = R I_e' / s d = R' I_e / s d$, $\Psi_0' = \frac{u_m}{\sqrt{g R I_e'}} = 7.66 \left(\frac{R}{2d} \right)^{1/6}$ (5) これはManning-Stricklerの式(指数式)で近似したもので、また $\Psi_0 / \Psi_0' = (R' / R)^{1/2}$, $\tau_*' / \tau_* = R' / R$ (6) {(5), (6)式から(4)式が得られる。} τ_* と τ_*' の関係が明確になると(4)式でその場合の流体抵抗が解明されるわけだが、自由蛇行流に関する本実験の結果では τ_*' / τ_* と R / d の関係も相関が認められず、 $\tau_* \sim \tau_*'$ 図(図4)でも τ_*' は τ_* のみの関数とはならない。ただ、 τ_*' / τ_* が1から3.5位までの各グループ中に散在しているので、後述の Ψ_0 に影響の考えられる F_r 数と S_n (蛇行屈曲度)の τ_*' / τ_* との関係を考察するのに便利である。(4)式は、 τ_*' / τ_* が1の時、直線水路のManning-Strickler式となり、これより τ_*' / τ_* が大となるにつれ Ψ_0 は(同一 $R / 2d$ において)小となり抵抗が増加する。

3. 自由蛇行流の抵抗特性 $\Psi_0 \sim R / 2d$ 図(図5)では、自由蛇行の実験値は全て吉野ら(1968)³⁾の経験式

$$n = \frac{1}{2.7 \sqrt{g}} \left(\frac{d}{h} \right)^{1/3} d^{1/6} \text{ (7) } \quad \text{の変換式と前述の}$$

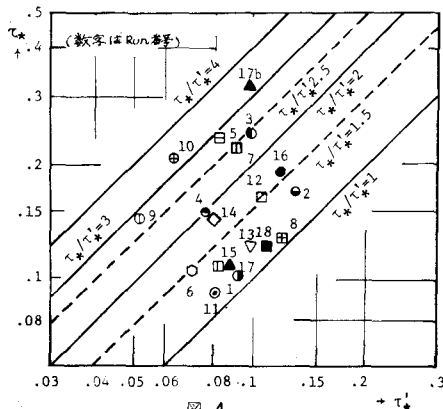


図 4

Manning-Strickler式の下方向、すなわち Ψ_0 がより小なる部分にプロットされることが注目される。前者は直線水路における交互砂州上の流れの流体抵抗に関する多くの実験値や自然河川の観測値に基づいている。なお図中には(4)式中の係数 a の各 (τ_*/τ_*') 値に対応する式が示されている。プロットの諸点は流路の状態 c (流路自体も十分に蛇行している)のものであるが、Run16, 17, 18については状態 a (まだ河床においても十分に砂州が発達して直線流)から b (河床の砂州は発達しており流れも流路中で蛇行しているが側壁の浸食は十分でなく流路はまだ直線)を経て c 、更に d (砂州をつききって走る流れが網状流に近似)までの経過を明示した。 F_r 数の大なるRun18は別としてRun16, 17では、蛇行が進むと抵抗が大となる特性の一端が示されている。

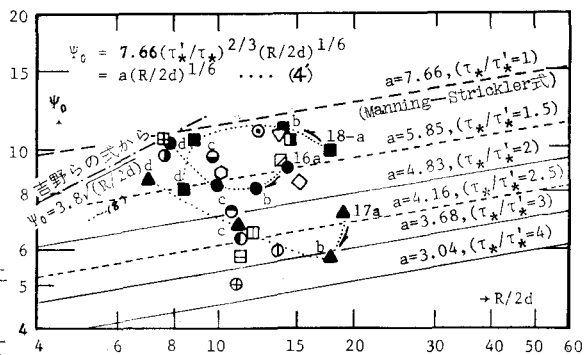


図 5

4. 蛇行平面形状の抵抗則への影響 (4)式で Ψ_0 へ影響を与えるものは、 $R/2d$ と τ_*/τ_*' であることは明らかだが、 τ_*/τ_*' と蛇行平面形状及び F_r 数の関係を調べてみる。図6の記号によって蛇行流路の平面形状を表わす二つの指標、 S_n と $\sqrt{c^2}$ (曲率に関するもの)を算定し、図7にその関係を示した。

$$S_n = \frac{l(1,2)}{s(1,2)}, \quad \sqrt{c^2} = B_x \sqrt{\frac{1}{N} \sum c_i^2}, \quad c_i = \Delta \theta_i / \Delta s_i, \quad \theta_i = \tan^{-1}(\Delta Z_i / \Delta X_i) \quad \dots\dots (9)$$

(ただし B : 流路幅, N : データ数, $\Delta S_1 = 5\text{cm}$)

図7の相関はかなり良いので、ここでは S_n を採って、図8に $\tau_*/\tau_*' \sim S_n$

図9に $\tau_*/\tau_*' \sim F_r$ 数の関係を図示した。図中のパラメータはそれぞれ F_r , S_n である。 $Fr = \frac{um}{\sqrt{gR}} = \Psi_0 \sqrt{I_e} \dots\dots (10)$ ゆえ同一 I_e に対し F_r が大きくなれば Ψ_0 も大となり、流体抵抗が小となることは定義上当然だが、この実験の範囲内では、Sinuosityが1(直線流路, b)の状態から1.05近傍に至り各 F_r 数とも抵抗が小さくなり、 S_n が1.10から1.15へと蛇行が発達するにつれて抵抗も大となってくることが確められた。 $F_r=1.0$ の場合その比は約2倍(τ_*/τ_*' 値で)で $F_r=0.7$ になると約1.2倍位にとどまる。一方 F_r 数の影響は、 F_r が大なるほど抵抗は小さく F_r 数が小さくなると抵抗が大となるが、例えば $S_n=1.05$ 近傍で $F_r=1.0 \sim 0.7$ で τ_*/τ_*' は1.0 $\sim$ 2.7と増加する。図8で S_n と F_r が与えられた時(τ_*/τ_*')の推定ができ、図5からその τ_*/τ_*' と与えられた($R/2d$)に対応する Ψ_0 が推定されるものと考ええる。なお $R/2d$ の幅を拡げて資料を整えたい。

本研究は文部省科学研究費, 総合研究(A) (研究代表者: 岸 力) によるものである。

参考文献

- 1) 山岡, 長谷川: 分担課題6, 沖積地河川における河床形態と流体抵抗の研究(総合研究報告書, 岸 力), 昭和50年3月
- 2) 岸: 土木学会論文報告集第210号, 昭和48年2月, など
- 3) 吉野: 東京大学土木科論文集録 第4輯, 1968年, など

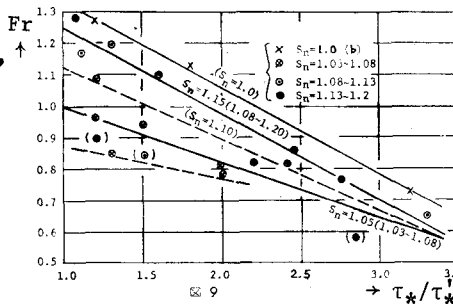


図 9

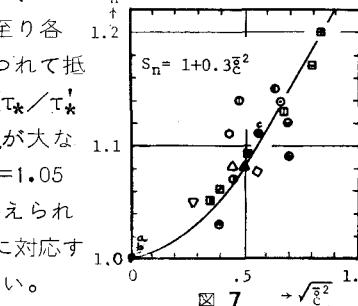


図 7

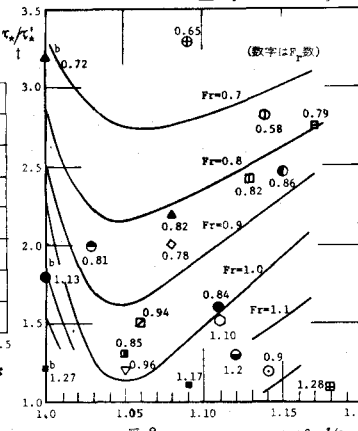


図 8

[1)の報告で $\tau_*/\tau_*' \propto R/d$ と相関をもつとしたための誤りを本稿のとおり訂正致します。]