

1. まえがき 蛇行流路における二次流速の鉛直分布は、河床の洗掘・堆積にも関係してくるから精度良く見積もることが出来るのが望ましい。特に河床面近くにおける二次流の大きさを正確に求めることが必要である。曲率が一定の単弯曲における二次流の完全発達域の速度分布についてはこれまで多くの検討がなされている。曲率が縦断方向へ変化する蛇行流路における二次流の分布については必ずしも充分には明らかにされていない。数値計算によってその分布を求めることがなされているが、精度的には充分に満足できるものではない。今回は平均流に対する摂動解¹⁾を利用して、横断方向の運動方程式を鉛直方向に積分することによって二次流の鉛直分布を求めた。この値を実測値と比較するとかなり良く一致する結果が得られた。

2. 基礎式 二次流の鉛直分布を求めるのに、幅に比べて水深が浅い平均流の摂動解¹⁾ (1, 2次解)を利用する。これは連続方程式と流下方向・横断方向の運動方程式を境界条件として1)側壁面での二次流の大きさは0、2)上流端での主流速の横断分布に実測値を使う、3)下流端での平均水深は全体の平均水深に等しいという条件を満足するように求められている。主流・二次流・水深についての2次解はそれぞれ $u(=\bar{u}_e/V)=u_0+\varepsilon u_1+\varepsilon^2 u_2$, $v(=\bar{v}_n/V)=v_0+\varepsilon v_1+\varepsilon^2 v_2$, $h(=\bar{h}_a/H_0)=h_0+\varepsilon h_1+\varepsilon^2 h_2$ である。ここに、 $u_1, u_2, \dots, h_2$ などは (s, n) の関数、 ε は摂動展開パラメータ $(=B_0/2/R)$, B_0 は水路幅、 R は最小曲率半径である。二次流の鉛直分布を求めるときの基礎式は横断方向の運動方程式の摩擦項を鉛直方向への2階微分の形で表した次のような式である。

$$\nu \frac{\partial^2 u_n}{\partial z_a^2} = u_s \frac{\partial u_n}{\partial s_a} + u_n \frac{\partial u_s}{\partial n_a} - \frac{u_s^2}{r_a} + g \frac{\partial h_a}{\partial n_a} \quad \dots\dots (1)$$

鉛直平均流の解から各項のオーダーを推定し、順次精度の高い解を求めていく。境界条件は1)水面でのせん断力は0である、2)鉛直平均値は平均流から得られた解を用いる。

3. 二次流速の分布 摩擦項の渦動粘性係数 $(\nu_t = \alpha u_s h)$ における α の値については、Engelund²⁾, Parker等³⁾ は0.077を用いている。この値は主流速の分布が対数則

$$(u_{max}-u)/u_s = -(1/\kappa) \ln \xi \quad \dots\dots (2)$$

と放物線則

$$(u_{max}-u)/u_s = (1/2\alpha)(1-\xi)^2 \quad \dots\dots (3)$$

とで良く一致するように決められている。図-1から明らかのように $\alpha \approx 0.066 \sim 0.077$ とみることが出来る。ここに ξ は無次元鉛直座標 $(\xi = z_a/h)$ である。今回は0.066を用いている。また式(1)を積分して二次流の分布形を求めるに当たっては、その平均値のオーダーに等しい分布の変動を想定する。積分して得られた分布形と実測値⁴⁾とを比較すると図-3, 4のようである。実測値は図-2のような蛇行水路 $(L=2.48\text{m}, B_0=0.3\text{m}, \theta_0=45^\circ, \text{固定床})$ に $Q=2\text{ l/s}$ ($H_0=3\text{cm}$) の流量を流したときの値である。図-3, 4における点線はそれぞれ螺旋流

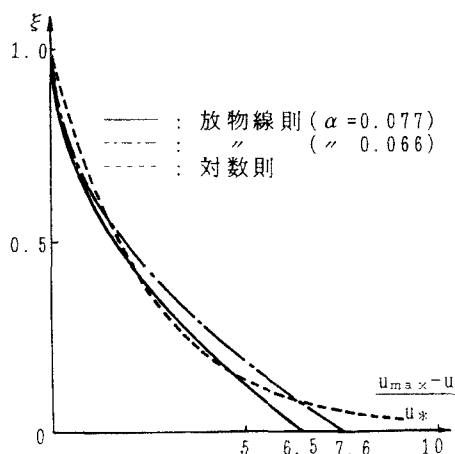


図-1 速度欠損則

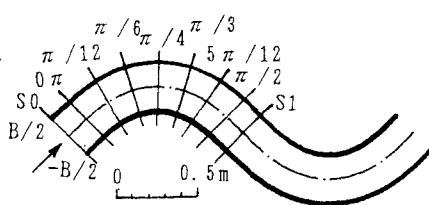


図-2 蛇行水路

$$\hat{u}_n = u_n(s, n, \xi) \dots\dots\dots (4)$$

平均流の分布と螺旋流との和

$$\hat{u}_n = (v_0 + \varepsilon v_1 + \varepsilon^2 v_2) f_1(\xi) + u_n(s, n, \xi) \dots\dots\dots (5)$$

であり、実線は2回積分して得られた
次式

$$\begin{aligned} \hat{u}_n = & (h_0 + \varepsilon h_1 + \varepsilon h_2) \{ (u_0 + \varepsilon u_1 + \varepsilon^2 u_2) \\ & \cdot (r_c/r_a) A1(s, n) S2(\xi) + A2(s, n)/\varepsilon (M \\ & 1/\alpha^2) \cdot H_0/R (h_0 + \varepsilon h_1 + \varepsilon^2 h_2) (1 - \varepsilon n c o \\ & s k s) c o s k s \cdot N2(\xi) - c o s k s (r_c/r_a) (u_0 + \\ & \varepsilon u_1 + \varepsilon^2 u_2)^2 A C2(\xi) + P R E(s, n) \xi^2/2 + \\ & C1(s, n) \xi + C2(s, n) \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

による計算値である。ここに、 $\hat{u}_n = u_n/V$ 。

4. あとがき 二次流速の鉛直分布については、平均流の鉛直分布と螺旋流の和（式(5)参照）で表すことが出来るされている。しかし、実測値と比較してみると曲率が小さいところにおいては特に計算値が小さくなる。これは螺旋流がほとんど0になるからである。また平均流の値は他の位置に比べて大きいとその鉛直分布を考慮しても、図-4に示されているようにわずかな値にしかならない。鉛直方向に積分して得られた計算式(6)による値は実測値に近い結果が得られている。ただ(b)0 π 、(h) $\pi/2$ での実測値は計算値よりかなり大きい。これは蛇行水路が直線と一様半径の曲線との組み合わせから成り立っているから、その接続位置で曲率が不連続になる影響がこの実測値に現れた可能性がある。

参考文献

- 1) 池内幸司・玉井信行:蛇行水路における水深平均流れ場の遷移特性,1983.
- 2) Engelund, P.: Flow and bed topography in channel bends, 1974.
- 3) Parker, G. et al.: Velocity Redistribution in Meandering River, 1989.
- 4) 玉井信行・池内幸司・山崎晶:連続彎曲水路における流れの実験的研究,1983.

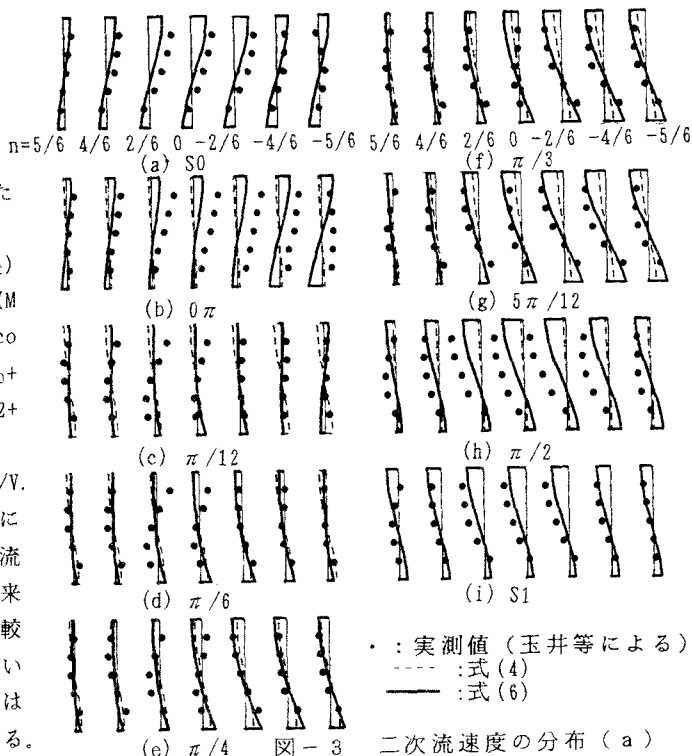


図-3 二次流速の分布 (a)

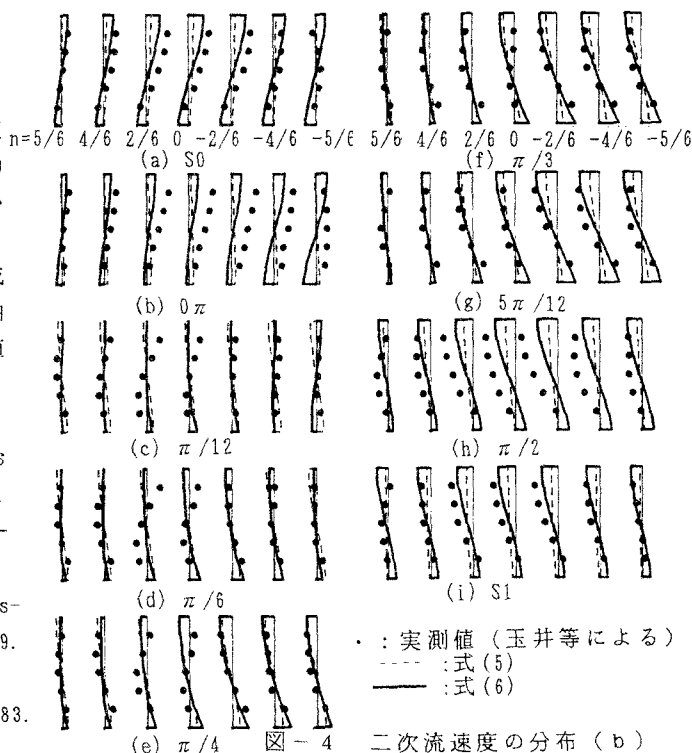


図-4 二次流速の分布 (b)