

弯曲流路における河岸侵食機構について

京都大学工学部 正 員 中川 博次 京都大学工学部 正 員 村上 正吾
 京都大学工学部 正 員 清水 義彦 大 阪 府 正 員 〇中村 武洋
 東洋建設(株) 正 員 角谷 竜二

1.はじめに 自然河川の一般的な平面形状である「蛇行」の特性としては、流れが河床や側岸に集中的にぶつかる地点—水衝部が存在することであり、しかも河床形状と流れ、また流れと流砂運動間に空間的遅れが生じるため、その位置予測が極めて困難である。そこで本研究では、蛇行流路での水理現象解明への足がかりとすべく一様弯曲流路での流下方向への流れの発達過程を考慮に入れたモデルを構築し、その流れのモデルと流砂の stochastic model、及び河岸の崩落モデルを組み合わせて河床変動計算を行ない実験値と比較した。

2.流れのモデル 吉川ら¹⁾が流れ関数を導入して書き直した流れの運動方程式(1)を池田²⁾は半径方向の偏微分項を落とした式(2)より求めたが、ここでは式(1)をそのまま解くことを考える。そこで、流れ関数 ψ と主流速 u を式(3)、(4)のように変数分離形で与える。そして、主流速分布に関しては、水深方向分布を二次関数式(5)で与え、横断方向分布を境界条件を考え未知係数 α を含んだ式(6)で与える。また、流れ関数に関しては水深方向へは式(2)と式(5)より求まる式(7)で与え、横断方向に関しては、境界条件と偏微分方程式の形より式(8)で与える。式(8)の妥当性は、後述する実験と良好な一致が得られていることよりいえる。(図-1) 式(3)、(4)を式(1)に代入し重み関数として $\Psi(\eta)$ を選び、Galerkin法を用いると α と β の代数方程式が得られる。ここで α を流下方向の関数として与えると流下方向への横断方向流速分布の発達過程を記述できる。例えば α を式(9)で与え、このモデルで得られる二次流速と図-2に示す実験装置・条件で得られた二次流速を比較したのが図-3である。内・外岸での対応が幾分悪いもののおおむね良好な一致を見せている。

3.河床変動のモデル 上で述べた流れのモデルを用いて河床変動の流下方向に対する変化を表現する。流砂量式としては、pick-up rate と step length により構成される stochastic model を用いることとする。流れのモデルより砂粒中心部での流向 γ が与えられるので、 γ と局所的な横断方向勾配 θ 、無次元掃流力 τ の関数として pick-up rate が推定される。また step length の分布と運動方向角 ϕ を決定することにより流砂量の算定が可能となる。本研究の計算に当たっては、領域を差分化するときのメッシュの間隔を大きくとることで流砂の非平衡性はかなり緩和されると考えられるので、平衡流砂量式(10)、(11)を用いることとする。運動方向角 ϕ の算定には中川ら³⁾により得られた線形解を用い、崩落モデルとしては、崩落砂を pick-up rate に換算して各地点での掃流力により流送されるようなモデルを用いた。図-4が計算と実験の結果である。

H.Nakagawa S.Murakami Y.Shimizu T.Nakamura R.Kakutani

4. まとめ一様弯曲水路における流下方向への流れの発達過程をモデル化し、河床変動モデルに織り込むことにより河床変動計算を行った。今後Navier-Stokes 式の移流項を落とさずにモデル化するなど精緻なモデリングが必要であろう。

(参考文献) 1. Kikkawa, et al, Proc. JSCE, No. 219, 1973.

2) 池田 駿介、土木学会論文集、第229号、1968.

3) 中川 博次ら、第4回自然災害科学会学術講演論文集、1985年10月

$$\text{式) } \frac{\partial^2 \psi}{\partial R^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial R^2 \partial Z} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial Z^2} = -\frac{\partial u}{\partial Z} \frac{\partial \psi}{\partial Z}$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial Z^2} = -\frac{\partial u}{\partial Z} \frac{\partial \psi}{\partial Z}$$

(ψ : 渦動粘性係数, R : 曲率半径, Z : 底面より高さ)

$$\psi(r, z) = \phi(r) \Psi(z)$$

$$u(r, z) = F(r) G(z)$$

($R = R_0 + r$, $r = R - R_0$, $z = Z/h$, R_0 : 水路中央曲率半径, B : 水路幅, h : 開水路深)

$$G(z) = u_{00}(A_1 z^2 + B_1 z + C_1)$$

$$F(r) = (1 - \alpha r)(1 - r^2)$$

$$\Psi(z) = -(2h^2/\alpha) u_{00} \{ c_1 z^2 + c_2 z^3 + c_3 z^4 + c_4 z^5 + c_5 z^6 + c_6 z^7 + c_7 z^8 + c_8 z^9 \}$$

$$\phi(r) = (1 - r^2) \text{EXP}(\beta r)$$

(u_{00} : 水路中央での水速方向平均流速)

$$\alpha = (1 - e)^{-1} [1 - \text{EXP}(\omega/\omega_0)]$$

(ω : 曲率角, ω_0 : 流れが平面に達したときの曲率角)

$$q_{xx} = (A_1/A_2) d p, A_0 \cos \phi \quad (\text{流下方向})$$

$$q_{yy} = (A_1/A_2) d p, A_0 \sin \phi \quad (\text{横断方向})$$

(A_1, A_2 : 二次と三次の形状係数, p : pick-up rate, A : 平均step length, d : 砂粒径)

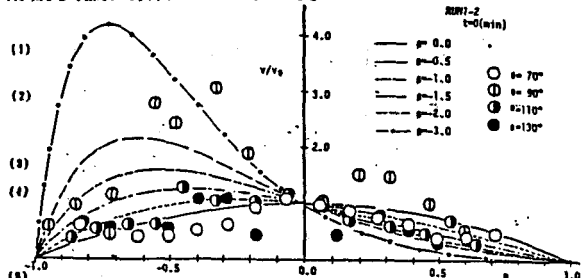


図-1 横断方向底面2次流分布

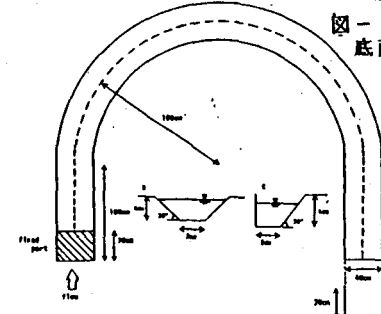


図-2 実験装置・条件

Run No.	1	d_p (m)	c/p	h_p (m)	q [1/s]	U (m/s)	Fr	h_{p0} (m)	q (m)	$h_{p0}^{2/3}$	Cross Section
1-1	1/1000	0.07	2.64	4.11	0.012	23.07	0.363	147.96	12.12	13.32	C
1-2	1/1000	0.07	2.64	3.20	0.073	24.28	0.400	147.12	12.64	8.64	D