

II-249 蛇行流路の河床に対する最大偏角の影響

立命館大学理工学部 正員 ○ 小澤功一
 東京大学工学部 正員 玉井信行

1. まえがき 現実の河道蛇行部における最大偏角の大きさは統計的には45度程度が一番多いとの調査結果もある。しかしもちろんその値としては千差万別であり、いろいろな場合についての流れの傾向を的確に判断できることが望ましい。また河床の洗掘・堆積の状況となる位置を正確に予測することも必要である。蛇行部における河床形としては外岸部が洗掘で内岸部では土砂の堆積があると直感的に判断することがよく行われている。しかし実際に実験的に検討してみると必ずしもそのようにはならない。特に最大偏角が小さい場合には内岸側で河床が洗掘される傾向になる実測結果も得られることがある。本研究においては最大偏角が20°, 35°, 45度の3通りの場合についてどの位置の河床面が洗掘されるのかあるいは堆積傾向になるのかを実験的に検討すると共に、理論的に河床の高さを計算することによって予測して、実測によって得られた結果と比較検討している。

2. 蛇行流路における流れと河床形 蛇行流路における水深とか流速の大きさについては、流路の縦断・横断それぞれの方向の運動方程式と連続式を用いて摂動法によって求める。座標軸についてはFig. 1のようである。ここに $n = n_a / (B_0/2)$, $s = s_c / R$ としている。 n_a は中心軸からとった左岸方向への座標軸、 B_0 は水路幅、 s_c は中心軸の下流方向への座標軸、 R は最小曲率半径である。中心軸は蛇行流路曲線に従うとする。すなわち、 $\theta = \theta_0 \sin ks \dots (1)$ である。ここに、

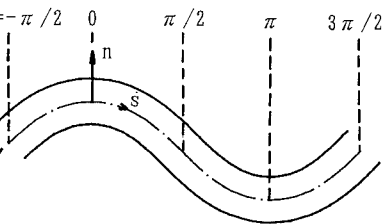


Fig. 1 Co-ordinate System

θ 、 θ_0 はそれぞれ中心軸の偏角、最大偏角、 $k = (2\pi/L)R$ 、 L は中心軸に沿う蛇行長である。主流・二次流については水深方向へ平均した値を用いて $u = \overline{u_s}/V = u_0 + \varepsilon u_1 + \varepsilon^2 u_2 + \varepsilon^3 u_3$, $v = \overline{u_n}/V = v_0 + \varepsilon v_1 + \varepsilon^2 v_2 + \varepsilon^3 v_3$, $h = \overline{h_a}/H_0 = h_0 + \varepsilon h_1 + \varepsilon^2 h_2 + \varepsilon^3 h_3 \dots (2)$ のように3次まで展開するものとする。ここに $\varepsilon = (B_0/2)/R$, H_0 は平均水深である。 $u_1, u_2, \dots, h_3$ については s, n の関数である。河床面における流速の方向については、 $(u_n/u_s)_b = \{f_1(0) + f_2(0)\} \overline{u_n} / \{f_1(0) \overline{u_s}\} \dots (3)$ として評価する。ここに $f_1(\xi), f_2(\xi)$ についてはそれぞれ平均流、螺旋流の水深方向への分布を示している。この分布はChezy式の係数 C をパラメーターとして変化する。 ξ は $\xi = z_a/h_t$, z_a は河床面からの鉛直座標軸、 h_t は水深である。

時間的に変化しない平衡状態の河床形については、非定常項を省略した流砂の連続式を用いて求める。縦断方向の流砂量としては $q_{Bs} = \overline{q_{Bs}} (\overline{u_s}/V)^p$, 横断方向のものについては河床面における水流の方向、河床の横断勾配を勘案して求める。ここに $\overline{q_{Bs}}$ は平均流速 V に対する流砂量、 p は2.5~5.5の定数である。河床形については $\eta = \eta_0 + \varepsilon \eta_1 + \varepsilon^2 \eta_2 + \varepsilon^3 \eta_3 \dots (4)$ のように、水流の場合と同じように摂動パラメーター ε の3次まで展開した形で表す。 $\eta = h_b/H_0$, h_b は平均河床面からの掘れ、 H_0 は平均水深を表している。 $\eta_0 = 0$, $\eta_1 = n(a_0 \sin ks + a_1 \cos ks)$, $\eta_2 = (n^2 - 1/3)(a_2 + a_3 \sin 2ks + a_4 \cos 2ks)$, $\eta_3 = (n^3 + n)(a_5 + a_6 \sin 3ks + a_7 \cos 3ks) \dots (5)$ とにおいて無次元化した流砂

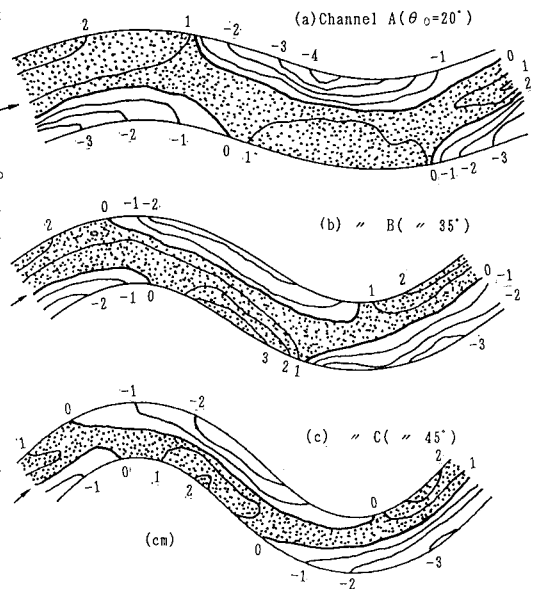


Fig. 2 Bed Form A

の連続式に代入し、 ε の各次数の係数が0であるとおいて $a_0 \sim a_7$ を求める。具体的な式の形などについては過年度の年講に示されているからここでは省略した。

3. 実験値および計算値

実験に使った水路はFig. 2に示されているような3種類の蛇行水路である。水路形状に関する量についてはTable 1に示されている。図の平面的な縮尺については、河床形状が分かりやすいように変えてある。その比率

としては(a)が1/15に対して(b), (c)はそれぞれ1/13, 1/12と少しずつ大きな縮尺にしている。平均粒径が0.74mmの砂を約10cmの高さに水平に敷き均してからTable 1に示されているような流量の水を流して河床形を調べた。河床形に対しては掃流砂が支配的な影響力を持つから、掃流砂に限定した。流し続けた時間は(a), (c)が8時間、(b)は12時間であった。水路の蛇行部は4蛇行が接続している形であるが、上流側から3蛇行目の結果を示している。また給砂は行っていない。

これらの河床形についてはそれぞれ1例のみ示されているがそれぞれの水路について流量や流下時間など数種変えて実験している。それらを比較すると(a)の場合にはこの図と変わる場合が現れたが(b), (c)の場合については常に同じような堆積・洗掘の位置関係が得られた。(a), (b), (c)で比較してみると次のようなことが言える。すなわち、洗掘される位置については(a)から(b), (c)に変わるにつれて徐々に上流の方に移動していつている。(c)の水路の場合になってはじめて外岸側が完全に洗掘領域になってくる。

河床形の計算値については平衡状態の流砂の連続式を用いて摂動法により、式(4), (5)の係数 $a_1 \sim a_7$ を求めた。Fig. 2の(a), (b), (c)の水路、水理条件に対する結果についてはTable 2に示されている。流砂に関する係数についてはTable 3のようである。河床形の比較を図に示すとFig. 3のようである。この図はそれぞれ右岸側のほぼ中央の位置の縦断面を現している。摂動展開した場合の1, 2, 3次まで採った場合のそれぞれについて計算を行ったが、ほとんど相違は出てこなかった。実験結果も同じ図に示されている。計算値と実験値とを比較するとかなりよく一致していると見ることができる。しかし(b)の場合については位相が少しずれているようにもみえる。

4. あとがき

蛇行流路における外岸側は局所的に洗掘されるから護岸とか、床止め、床固めなどをして補強しなければならない場所であるとされている。蛇行流路における外岸側の河床の状況を実験的に調べてみると必ずしも最大曲率の位置が最も深く洗掘されるということにはならない。蛇行形状、水理条件によってかなり影響されるようである。この点に関して実験値と計算値とを比較しながら検討をしたがある程度予測が出来ることがわかった。

Table 1 Hydraulic quantities

	θ_0 ($^\circ$)	B_0 (cm)	L (cm)	Q (L/s)	H_0 (cm)	R (cm)	ε $B_0/2/R$
Channel A	20	30	170	3.7	3.67	77.5	0.194
" B	35	20	150	2.0	4.09	39.1	0.256
" C	45	15	140	1.25	3.40	28.4	0.264

Table 2 Coefficients of Bed Form

	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7
Channel A	2.39	-4.16	3.58	-1.52	4.50	0	0.14	-2.67
" B	2.63	4.18	0.04	0.79	-1.54	"	-0.60	-0.46
" C	4.30	3.83	0.46	0.17	-2.54	"	-1.23	-0.18

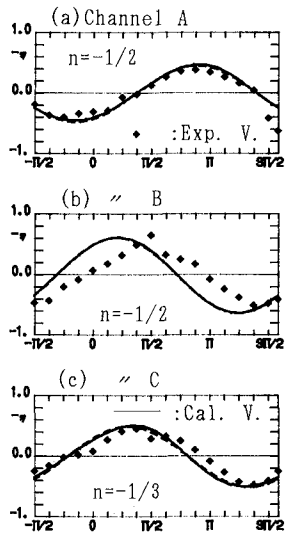


Fig. 3 Bed Form B

Table 3 Coefficients

	p	f_{3b}	Chezy' C	DATA	
				F. S.	B. H.
Channel A	5.0	-1	30	9210	9214
" B	2.5	0.4	20	2F	2B
" C	2.5	0.3	20	9235	9237