

1. まえがき 河床の洗掘とか堆積に関係する要素としては一つには蛇行の最大偏角(1)が考えられる。二つには河床面における流速ベクトルの方向(2)がある。さらには水深(3)が考えられる。

本研究においては、河床形は非定常項を省略した平衡状態における流砂の連続式を利用して求める。この場合摂動法を用いて河床形の式の係数を決める。また流速や水深などについても流れの運動量方程式や連続式から摂動法により解析解を求める。このように河床形の式と流速などの式を連立させて、上記の三つのパラメータに関して最大洗掘量とその位置を求めている。そして、それらのパラメータによる影響の大きさについて考察している。

2. 河床形について 河床形 $\eta (=h_b/H_0)$ については $\eta = \eta_0 + \varepsilon \eta_1 + \varepsilon^2 \eta_2 + \varepsilon^3 \eta_3 \dots (1)$ のようにパラメータ $\varepsilon (=B_0/2/R)$ の3次まで摂動展開した形で表す。ここに、 h_b は平均河床面からの掘れ、 H_0 は平均水深、 B_0 は水路幅、 R は最小曲率半径、 $\eta_0 = 0$ 、 $\eta_1 = n(a_0 \sin ks + a_1 \cos ks)$ 、 $\eta_2 = (n^2 - 1/3)(a_2 + a_3 \sin 2ks + a_4 \cos 2ks)$ 、 $\eta_3 = (n^3 + n)(a_5 + a_6 \sin 3ks + a_7 \cos 3ks)$ とする。これらの式における係数 $a_0 \sim a_7$ については次のような平衡状態における流砂の連続式に摂動法を適用して決める。

$(r_c/r_a)(\partial q_{Bs}/\partial s_c) + \partial q_{Bn}/\partial n_s + q_{Bn}/r_a = 0 \dots (2)$ ここに、 r_c は蛇行流路曲線の曲率半径 ($r_c = L/(2\pi \theta_0)$)、 L は蛇行長、 θ_0 は最大偏角、 q_{Bs} 、 q_{Bn} はそれぞれ縦断、横断方向の掃流砂量である。縦断方向の流砂量式としてはEngelundが用いたものと同様な式 $q_{Bs} = \overline{q_{Bs}} (\overline{u_s}/V)^p = \overline{q_{Bs}} \cdot u^p \dots (3)$ を用いる。ここに p は定数で $p = 2.5 \sim 5.5$ の値である。また横断方向の流砂量式としてはParkerによる次のような式を用いる。

$q_{Bn} = \{ \tan \phi + (1 + \alpha \mu) / \mu \cdot \sqrt{\tau_{*c}/\tau_* \cdot \tan \omega} \} \overline{q_{Bs}} \cdot u^p \dots (4)$
 ここで $\tan \phi$ は河床面における二次流と主流の比 $\tan \phi = (u_n/u_s)_b = \{f_1(0) + f_2(0)\} \overline{u_n} / \{f_1(0) \overline{u_s}\} = f_3(0) \overline{u_n} / \overline{u_s} \dots (5)$ を表している。 $f_1(\xi)$ 、 $f_2(\xi)$ については 平均流、螺旋流の鉛直 ($\xi = z_a/h_t$) 分布を表しており、Chezy式の係数 C の関数でもある。 C の値を20, 40, 60, 80と変化させた場合の $f_3(0) = \{f_1(0) + f_2(0)\} / f_1(0)$ の値は、184, -0.724, -1.631, -2.538である。 $\tan \omega$ については $\tan \omega = dh_b/dn_s = H_0/(B_0/2) (d\eta/dn) = 2H_0/B_0 (d\eta/dn)$ である。また μ および α については池田等によると $\mu = 0.43$ 、 $\alpha = 0.85$ が適当であるとされている。さらに $\tau_{*c} = 0.04$ を用いる。摩擦速度 U_* については $U_* = \overline{u_s} \sqrt{g/C} = uV \sqrt{g/C}$ 、無次元で表した掃流力 τ_* については $\tau_* = U_*^2/(R_* g D_{50}) = u^2 V^2/(R_* D_{50} C^2)$ である。ここに $R_* = \rho_s/\rho - 1 = 1.65$ 、実験に用いた砂の50%粒径は $D_{50} = 0.74 \text{ mm}$ 。式(2)を摂動展開して、この式が任意の ε に対して成立するためには、 ε の各次数の係数が0になる必要がある。すなわち、 ε の1次項、2次項、3次項の係数=0とおく。これらの式が任意の座標点 (s, n) で成り立つという条件から $a_0 \sim a_7$ を求める。

最大洗掘深の値については式(1)において横断方向の位置を固定して縦断方向に適当な間隔 ($L/50$) で河

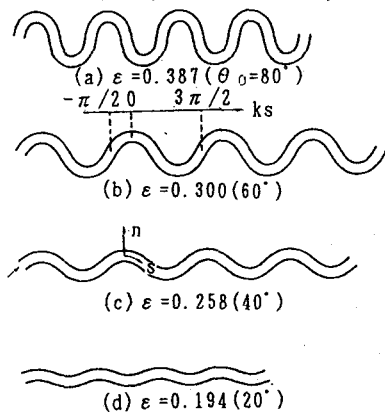


Fig.1 Meandering channel

Table 1 Meandering Channel

	ε ($=B_0/2/R$)	θ_0 ($^\circ$)	L (a)	B_0 (a)
(a)	0.387	80	3.40	0.3
(b)	0.300	60	3.29	"
(c)	0.258	40	2.55	"
(d)	0.194	20	1.70	"

最大洗掘深の値については式(1)において横断方向の位置を固定して縦断方向に適当な間隔 ($L/50$) で河

Kouichi OZAWA, Nobuyuki TAMAI

床形を求めて、最大値をその位置と共に算出した。縦断方向に微分して解を求めることも原理的にはできるわけであるが式形が複雑であるために洗堀深の値から判断した。

3. 最大洗堀が生ずる位置とその大きさについて

(1) 最大偏角が変わる場合 最大洗堀深の大きさとそれが生ずる位置についてはFig. 2に示されている。最大洗堀が生ずる位置については図の(b)に示されているように左岸側においては $ks=0.85\pi$ 、右岸側においては $ks=-0.15\pi$ 程度の所である。これらの位置は凹岸のかなり下流、凸岸の少し上流に位置している。最大偏角による相違についてはそれが小さいほど下流側にずれる。また最大洗堀深の大きさについては最大偏角の値が大きいくほど深くなる。

(2) 河床面における速度ベクトルに関する量をパラメータとする場合 $\varepsilon=0.194$ ($\theta_0=45^\circ$, $L=3.82m$) の場合について最大洗堀深の大きさとそれが生ずる位置を求めるとFig. 3のようである。(b)の方はそれが生ずる位置を示しているが、 $C=20$ の場合と $C=40, 60, 80$ の場合とで様子が完全に異なっている。それは f_{3b} ($=f_3(0)$ 、式(5)参照) の値が正か負かの相違によっている。最大洗堀深に対する f_{3b} の影響についてはこの値が大きくなるほど最大洗堀深も大きくなる。

(3) 水深が変化する場合 水深の無次元量として δ ($=H_0/R$) をパラメータとして最大洗堀深とそれが生ずる位置について示すとFig. 4のようである ($\varepsilon=0.194$)。最大洗堀深が生ずる位置については、 δ の値が大きくなる (H_0 が大きくなる) につれてその位置は下流の方へずれる。この傾向は左右両岸について同様な傾向が見られる。また最大洗堀深の大きさに関しては、 δ の値が増加するにつれてそれも大きくなる。

4. あとがき 流砂の連続式に摂動法を適用して河床形を決めた。この解を用いて最大洗堀深とそれが生ずる位置について検討した。パラメータとしては蛇行の最大偏角・河床面における流速ベクトルの方向・平均水深を用いた。

最大洗堀深に対する最大偏角の影響についてはそれが 20° ($\varepsilon=0.194$) の場合と 80° ($\varepsilon=0.387$) の場合とで比較すると後者は前者の約 1.7倍となった。その位置については前者の方が下流側に位置し、そのズレは蛇行長の3%程度であった。河床面における流速ベクトルの方向の影響については式(5)の $f_3(0)=f_{3b}$ で評価したが、最大洗堀深に関しては $f_{3b}=0.184$ ($C=20$) の場合は $f_{3b}=-2.54$ ($C=80$) の場合の4.2倍程になった。その位置については必ずしも方向性は見られないが蛇行長の4%程度のズレがあった。平均水深の影響についてはそれが δ ($=H_0/R$) $=0.0647$ ($H_0=5cm$) の場合と $\delta=0.0259$ ($H_0=2cm$) の場合とで比較すると最大洗堀深にたいしては前者は後者の約2.2倍となり、位置に関しては前者の場合は蛇行長の10%ほど後者の場合より下流側にずれた。

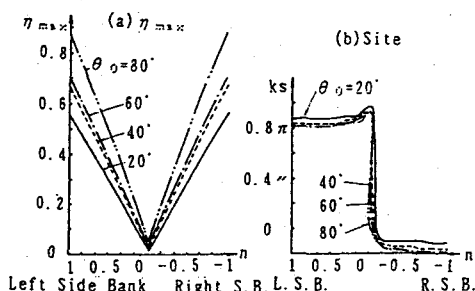


Fig. 2 Maximum scour (Parameter: θ_0)

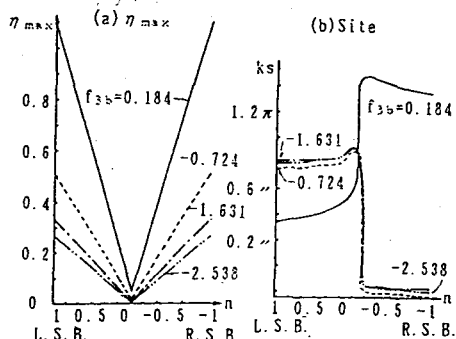


Fig. 3 Maximum scour ($\varepsilon=0.194$)

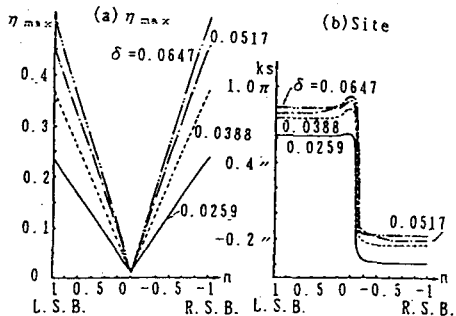


Fig. 4 Maximum scour (Parameter: H_0)