

1. はじめに 蛇行流路における流れの場合は、曲線部で遠心力が作用するために二次流が発達する。二次流によって河床の土砂が横断方向へ運ばれることによって内岸側で土砂の堆積、外岸側で洗掘の傾向が現れる。流れの状況については、主流、二次流、河床形および蛇行形状がそれぞれ相互に影響し合って平衡状態に保たれるようになる。蛇行形状として最大偏角が大きい場合の主流速の縦断分布は、その形状とのズレ（位相差）が大きくでてくる。すなわち主流速が最大となる位置は外岸部よりかなり下流部になる。河床形についてはそのズレはほとんど現れてこない。このような流れの場に水制を設置して河床の洗掘、堆積の大きさを制御できるかどうかを検討した。そして流れの構造がどのように変化するかを確かめた。

2. 流速分布 鉛直平均の流速などについては、浅水流の連続式、流下・横断方向の運動方程式を摂動法で解かれた2次解を利用する。摂動展開のパラメーター $\varepsilon (=B_0/2/R)$ を用いて、 $u(=\overline{u_s}/V)=u_0+\varepsilon u_1+\varepsilon^2 u_2$ (1)、 $v(=\overline{u_n}/V)=v_0+\varepsilon v_1+\varepsilon^2 v_2$ (2)、 $h(=h_0/H_0)=h_0+\varepsilon h_1+\varepsilon^2 h_2$ (3) とする。ここに、 B_0 は水路幅、 R は最小曲率半径、 $u_0, u_1, \dots, h_2$ は (s, n) の関数、または定数、 V は主流の断面平均流速である。 $s=s_c/R, n=n_s/(B_0/2)$ 。流下・横断方向の運動方程式はそれぞれ式(4)、(5)のようである。

$$\nu_t \frac{\partial^2 u_s}{\partial z_a^2} = u_s \frac{\partial u_s}{\partial s_a} + u_n \frac{\partial u_s}{\partial n_a} + \frac{u_s \cdot u_n}{r_a} + g \frac{\partial}{\partial s_a} (h_0 + z_h) \quad (4)$$

$$\nu_t \frac{\partial^2 u_n}{\partial z_a^2} = u_s \frac{\partial u_n}{\partial s_a} + u_n \frac{\partial u_n}{\partial n_a} - \frac{u_s^2}{r_a} + g \frac{\partial h_0}{\partial n_a} \quad (5)$$

式(4)の右辺第1～3項はオーダー的に微小であるから省略して主流の鉛直分布を求めると次のようになる。

$$\hat{u}_s = (u_0 + \varepsilon u_1 + \varepsilon^2 u_2) f_1(\xi) \quad (6), \text{ここに } \hat{u}_s = u_s/V, \nu_t = \alpha u_s h_t, f_1(\xi) = 0_1 + 0_2 \xi + 0_3 \xi^2 \quad (7), 0_1 = M/M_1, 0_2 = 1/M_1, 0_3 = -1/(2M_1), M = M_1 - 1/3, M_1 = (\alpha C)/\sqrt{g}, \xi = z_a/h_t, \alpha = 0.066, g \text{は重力加速度, } C \text{はChezy式の係数である.}$$

二次流の鉛直分布については式(5)の右辺第1, 2項を省略して求めると $\hat{u}_n = P_1 + P_2 \xi + P_3 \xi^2 + P_4 \xi^3 + P_5 \xi^4 + P_6 \xi^5 + P_7 \xi^6$ (8)、 $\hat{u}_n$ は $u_n/V, P_1, P_2, \dots, P_7$ は (s, n) の関数である。次に式(4)、(5)の全ての項を用いて主流、二次流を求めると $\hat{u}_s = 0_7 + 0_8 \xi + 0_9 \xi^2 + 0_{10} \xi^3 + 0_{11} \xi^4 + 0_{12} \xi^5 + 0_{13} \xi^6 + 0_{14} \xi^7 + 0_{15} \xi^8 + 0_{16} \xi^9 + 0_{17} \xi^{10}$ (9)。

$\hat{u}_n = P_8 + P_9 \xi + P_{10} \xi^2 + P_{11} \xi^3 + P_{12} \xi^4 + P_{13} \xi^5 + P_{14} \xi^6 + P_{15} \xi^7 + P_{16} \xi^8 + P_{17} \xi^9 + P_{18} \xi^{10} + P_{19} \xi^{11} + P_{20} \xi^{12} + P_{21} \xi^{13} + P_{22} \xi^{14}$ (10) となる。ここに、 $0_7, 0_8, \dots, 0_{17}, P_8, P_9, \dots, P_{22}$ は (s, n) の関数である。河床形 $\eta(=h_0/H_0)$ については、平衡状態における流砂の連続式を摂動展開しそのパラメーターの係数を0と置き、それが任意の位置で成り立つとして求めている。

3. 計算値と実測値との比較 図-1のような蛇行

流路における主流速の分布を式(9)によって計算し、図に現すと図-2のようである。格子面が速度ベクトルの先端となっている。水深平均の主流速が右岸側また左岸側で最大となる位置はそれぞれ $s_x = 2, 12$ 前後の位置である。それらの位置に透過型の水制モデル(8本の杭)を設置して主流速の分布を計算した結果が図-3のようである。このような水制

のある流れの場合に支配的な要素は河床形であるとして、計算条件として縦・横断方向の流砂量のパラメータ P, f_{3b} の値として水制の無い場合で2.5, 0.59、水制のある場合で2.0, 0.65を用いた。ここに P は流砂量 $q_{Bs} = \overline{q_{Bs}} (\overline{u_s}/V)^P$ に、 f_{3b} は $\tan \phi = (u_n/u_s)_b = f_{3b} (\overline{u_n}/\overline{u_s})$ に関連している。また流量は両者とも2.9 l/sである

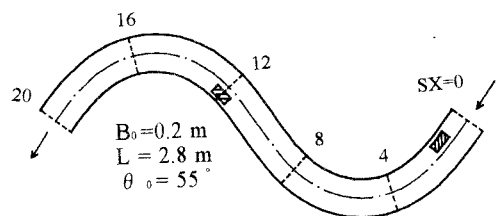


図-1 蛇行流路

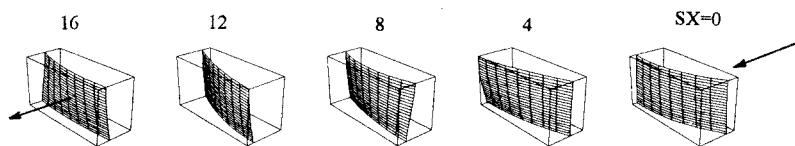


図-2 主流速の分布 (計算値, 水制無し)

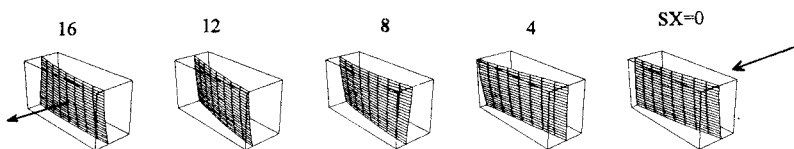
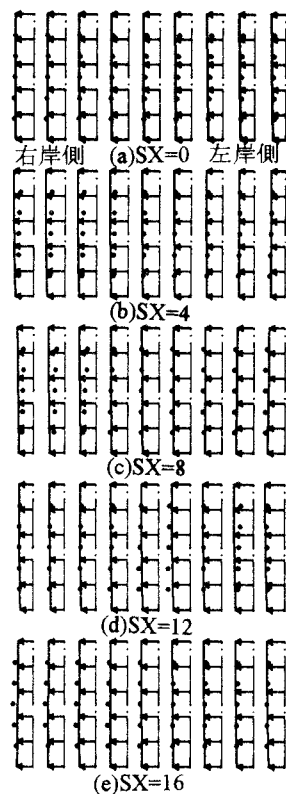
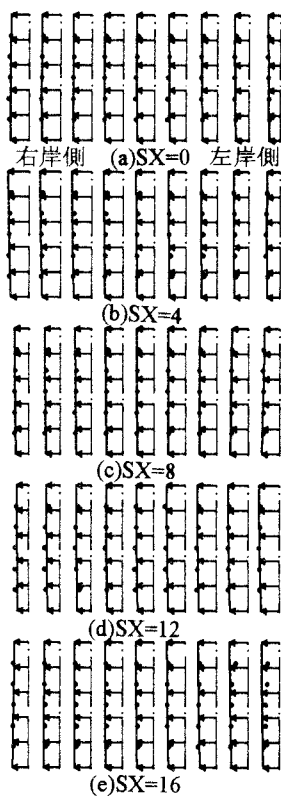


図-3 主流速の分布 (計算値, 水制有り)

が水深は前者, 後者についてそれぞれ 4.66, 5.6cmである。これらの流速分布の一つの特徴として挙げられる点は、 $s_x=8$ の断面の左岸側の鉛直方向への分布は水面での値より河床面での値の方がかなり大きくなっていることである。すなわちこのような場での流れは底面摩擦より河道の形状の方が支配的であると言える。また水制を設置した場合は流速分布の大きさが緩和される傾向が現れている。これは横断方向に対してもまた鉛直方向に対しても共通して言えることである。図-4、5はそれぞれ水制の無い場合、ある場合についての主流速の計算値と実測値とを比較している。実測値は $s_x=0$ から16の断面まで、それぞれの断面毎に横断方向に9点、鉛直方向に5点での値である。これらの図において、水制のある場合でも計算値と実測値は良く一致していると見ることが出来る。



4. おわりに 蛇行流路における外、図-4 主流速分布 (計算値と実験値、水制無し)

図-5 主流速分布 (計算値と実験値、水制有り)

内岸側のそれぞれ河床の洗掘、堆積を制御する目的でその流路に水制モデル (透過型) を設置してその効果を検討した。それを設置する位置は主流速がそれぞれ最大となる左右両岸付近とした。縦断方向の断面 $s_x=8$ の左岸側は洗掘が大きくなる位置であるが、ここでの水制の効果を見てみると次のようである。水制の無い場合のここでの洗掘量を無次元量 η ($=h_b/H_0$) で表すと $\eta=0.58$ となる。水制を設置した場合は $\eta=0.38$ となる。すなわち洗掘量は67%に減少する結果となった。同じ位置の主流速の大きさについては、水制を設置したことによって79%ほどに減少する結果となった。さらに二次流との関連も検討した方が良いと考えられる。