

立命館大学理工学部 正員 小澤功一

立命館大学大学院 学生員 ○栗原 基

1. はじめに 水制の機能には護岸と導流がありこれらは、それぞれ単一の効果として現れるのではなく、どちらかがより支配的な影響となって現れることになる。水制の護岸の機能としては河岸付近の流勢を弱めて河岸の洗掘を防ぎ土砂の沈殿を促して局所的な洗掘や堆積を防ぐことが挙げられる。これにより河道の安定をはかり堤防の安全を増大させたり内岸側に設置した取水口の機能を十分発揮させることができる。本研究においては水制がある場合とない場合の蛇行流路における河床高を測り、これらの値と水制がない場合の河床高の理論値の三者を比較検討した。

2. 基礎式 河床形を比較する際には $\eta (=h_b/H_0)$ を用いる。ここで 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 (図-1 参照)。 η を理論値で求める場合にはパラメータ $\varepsilon (= (B_0/2)/R)$ の二次まで摂動展開した形で表し $\eta = \eta_0 + \varepsilon \eta_1 + \varepsilon^2 \eta_2$ となる。ここで B_0 は水路幅、 R は最小曲率半径、 $\eta_0 = 0$ 、 $\eta_1 = n(a_0 \sin ks + a_1 \cos ks)$ 、 $\eta_2 = (n^2 - 1/3)(a_2 + a_3 \sin 2ks + a_4 \cos 2ks)$ とする。これらの式における定数 $a_0 \sim a_4$ については平衡状態における流砂の連続式 $(r_c/r_s)(\partial q_{Bs}/\partial s_c) + \partial q_{Bn}/\partial n_s + q_{Bn}/r_s = 0$ に

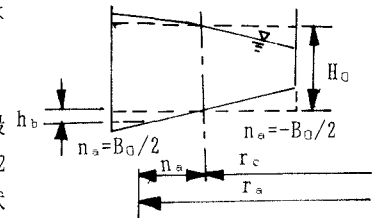


図-1 横断面図

縦断方向の流砂量式 $q_{Bs} = \overline{q_{Bs}} (\overline{u_s}/V)^P$ と横断方向の流砂量式 $q_{Bn} = q_{Bs} (\tan \phi + (1 + \alpha \mu) \sqrt{(\tau_{xc}/\tau_x)} \tan \omega/\mu)$ を代入して摂動パラメータ ε について展開し、その1次、2次の項が任意の座標 (s, n) で成り立つように求める。ここで r_c は蛇行流路曲線の曲率半径、 r_s は任意点の曲率半径、 s_c は中心軸の座標、 n_s は横断軸方向の座標 (図-1 参照)、 q_{Bs} 、 q_{Bn} はそれぞれ縦断方向、横断方向の掃流砂量、 V は断面平均流速、 $\overline{u_s}$ は水深平均流速、 $\overline{q_{Bs}}$ は断面平均流速 V に対する流砂量、 P は定数 (2.5~5.5)、 μ は動摩擦係数、 α は揚力係数の抗力係数に対する比、 τ_x は無次元せん断応力 ($=U_*^2/R_s g d$)、 u_* は摩擦速度、 R_s は粒子の水中比重、 g は重力加速度、 d は粒径、 τ_{xc} は無次元せん断応力、 ω は横断方向の河床勾配、 $\tan \phi$ は河床面における横断方向の二次流の主流に対する比である。これより $a_0 \sim a_4$ を求めるとその解は $P, f_3, f_1, H_0, R, V, L$ を変数とした形で与えられる。ここで $f_3 = (f_1(0.02) + f_2(0.02))/f_1(0.02)$ 、 $f_1(\xi)$ 、 $f_2(\xi)$ はChezy式の係数 C の関数、 f は摩擦損失係数、 L は蛇行長を表している。

3. 実験方法 蛇行した水路 (蛇行長2.8m, 水路幅0.2m, 最大偏角55°, 河床勾配1/400) を4サイクル接続して水路の底に砂を一樣な高さ約10cmに敷き詰める。ここで用いた砂は平均粒径約0.74mmである。次に水路の上流側から流量2.9L/sの水を流し24時間以上経過した後の2蛇行目の河床高と水面の高さを水制を設置した場合と設置しない場合、それぞれのケースについて2回ずつ測定を行った。この際の測点の位置としては1サイクルの水路を横断方向に $B_0/10$ の間隔で9点、縦断方向には蛇行長について $(1/20)L$ の間隔に21点を取り、計189の点すべてにおいて測定した (図-2 参照)。また水制は図-3のような透過水制を用いた。水制を設置する位置としては電磁流速計で各点における流速を計り流速が最大となる位置を調べて、そこに水制を設置した。その位置を図に示すと図-2 のようになり、1サイクルに2個ずつ設置し4サイクルで計8個設置した。

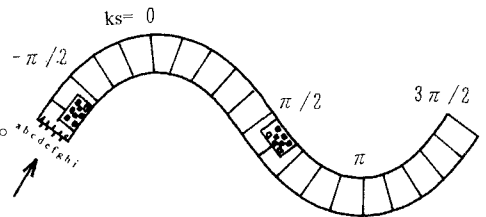


図-2 測点及び水制の位置

4. 実験結果 河床高を無次元化した値 η を実験値、理論値についてそれぞれ求め、その値を蛇行水路の縮尺図に記入し

等高線で結ぶと図-4 になる。 $\eta = h_b/H_0$ における h_b は平均河床からの掘れを正としているので図中の $-\eta$ としては負の値で洗掘を正の値で堆積をあらわしている。また理論値の η を求める際には $P=2.5$, $f_{3b}=0.59$, $f=0.076$, $H_0=0.046\text{m}$, $R=1.46\text{m}$, $V=0.31\text{m/s}$, $L=2.8\text{m}$ の値を用いている。なお理論値に関しては1次解と2次解でよく似た結果が得られたので、ここでは2次解についてのみ示す。図-4 において(a)実験値(水制を設置しない場合)と(b)実験値(水制を設置した場合)を比較すると外

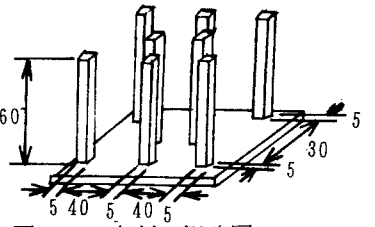
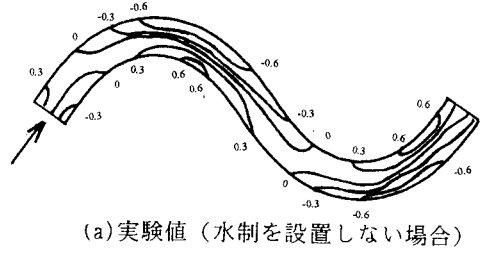
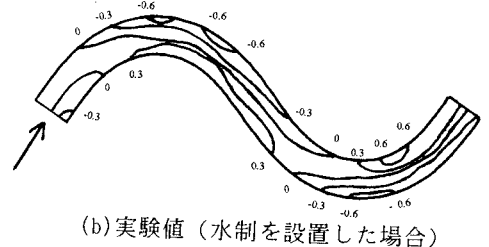


図-3 水制の概略図 単位(mm)

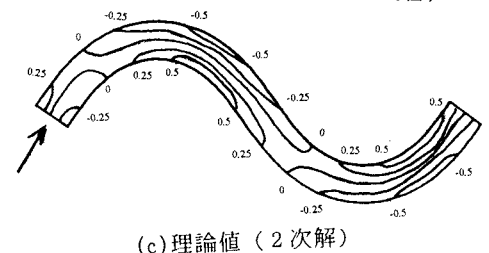
岸側で洗掘、内岸側で堆積という傾向は一致するが $|\eta|$ の値としては(a)の方が(b)よりも大きくなった。このため横断方向の河床勾配は(a)よりも(b)の方が緩やかになり、等高線の最大値あるいは最小値、 $-\eta = \pm 0.6$ で囲まれた面積を比較すると(b)は(a)よりもかなり狭くなっている。これは(a)の方が洗掘・堆積傾向が進んでいることを示しており、これより河床付近の流勢を弱めて土砂の沈殿を促すという水制の効果を確認できた。次に縦断方向の河床勾配を比較してみると(a)は等高線 $-\eta = 0$ が水路の中心付近を平均して通っているのに対し(b)は縦断方向に大きく変化していることがわかる。特に最大曲率付近では0の等高線は内岸側に大きく偏っている。図の中の最大曲率付近では等高線 $-\eta = 0$ より外岸側が洗掘、内岸側が堆積を表しているのので(a)は外岸側の広い範囲にわたって平均的に洗掘されているのに対し(b)は最大曲率付近が大きく洗掘されていることになる。これと関連して最大洗掘を生じた位置を比較してみると(b)は左岸側($n=4/5$) $ks=0$ で $-\eta = -0.73$ 、右岸側($n=-4/5$) $ks=\pi$ で $-\eta = -0.76$ と最大曲率の位置であるのに対し(a)は左岸側($n=4/5$) $ks=\pi/10$ で $-\eta = -0.80$ 、右岸側($n=-4/5$) $ks=6\pi/5$ で $-\eta = -0.74$ と(b)よりわずかに下流側となっている。最大洗掘深については左岸側では(a)の方が深掘れしているのに対し右岸側では水制を設置した(b)の方が深掘れしている。これらは水制を設置したことにより水制が障害物となり水流の方向が変化したことが関係すると思われる。次に(b)実験値(水制を設置した場合)と(c)理論値(2次解)を比較すると洗掘と堆積の傾向としては上記と同じようなことがいえるが全体的な $-\eta$ の値としては近い結果が得られた。しかし最大洗掘の位置での $-\eta$ の値は(c)では左岸側($n=4/5$) $ks=\pi/5$ で $-\eta = -0.55$ 、右岸側($n=-4/5$) $ks=6\pi/5$ で $-\eta = -0.55$ と(b)に比べてやや過大値となった。



(a)実験値(水制を設置しない場合)



(b)実験値(水制を設置した場合)



(c)理論値(2次解)

図-4 $-\eta$ の等高線図

5. あとがき 河床形を無次元化した値 $-\eta$ を水制を設置した場合、しない場合の実験値、理論値についてそれぞれ求め、これら三者を比較し水制の効果を検討した。結果として水制の、河床付近の流勢を弱めて土砂の沈殿を促すという効果は確認できた。しかし水制を設置した場合の実験値において水路の最大曲率の外岸付近が局所的に大きく洗掘されるという結果がえられた。これは水制が障害物となり水流の方向を望ましくない方向に変えてしまったことが原因と思われる。そのため蛇行流路内に設置する水制の位置を変えて実験をおこない、どの位置に水制を設置すれば最も安定した河床形がえられるかを今後の研究で調べていきたい。