

V-11 河川弯曲部における連続水制について。

九州大学 正員 橋 東一郎
 〃 〃 佐 藤 謙三
 〃 学生員 〇 長江 元義

まえがき

直線部に設置した越流連続水制についての実験及び解析を行ってきたが、水制の流速減殺効果は水制高さ h_g と、水制間隔 l との比 l/h_g が10~20程度のとき著しい。水制長 B としては、 $(l/h_g)^{0.25}$ を満す範囲内で短いことが望ましいという結果が得られた。従って、河川工学の基準とされている l/h_g は直線部水制では有効なパラメーターとなり得ない。しかしながらもともと水制は河川弯曲部に設けられることが多く、その場合の流れの集中流向の性状よりみて直線部の要素の他に l/h_g が弯曲性状に関連して重要なファクターとして入ってくる事が予想される。弯曲部における水制の機能を調べるため、連続越流水制を置いて河床変動とその流況について、実験を行ない若干の考察を加えてみた。

1. 実験装置と実験方法

実験に用いた水路は、巾 $b=100\text{cm}$ の長方形断面コンクリート製であって、上流4 m 、下流45 m の直線水路の間に偏角 90° 中心曲率半径180 cm の曲線部が挿入されている。路床勾配 $1/600$ に粒径0.6 mm の均一砂を厚さ150 cm に敷いたものである。流れの条件は流量15 L/sec で下流直線部の水深を等流水深 $h_0=4.4\text{cm}$ に保った。

水制の配置は、図-1に示すように砂表面から高さ $h_g=2\text{cm}$ 、長さ $B=15\text{cm}$ の水制を、水制間隔 $l_g=20$ に弯曲部50より 90° まで 10° おき、弯曲部下流の直線部には、40 cm おきに計8ヶ所である。従って $l_g/B=2.7$ となる。

実験はまず、(I)水制を設置しない場合に於いて外側部の洗堀、内側部における洗堀、堆積のパターンとその時間的变化を測定し、ついで (II)水制を設置して、水制先端部付近における局所的洗堀と、全体的な河床変動のパターンを調べた。また実際の水制では、適当な保護工法が施されているから、水制先端を中心とする10 cm 四角の範囲を0.5 cm ~1 cm の砂でおおき図-1のように、上を金網で覆って先端の局所的洗堀がない場合に於いても保護を行なった。

測定にあたっては、下流端に流出した砂を上流端にもどし、できるだけ平衡状態を保つようにし、河床変動の測定は水を止め、実験開始より10分、30分、60分、120分である。この実験に於ては、水路床にカンドウブが突生発達し2時間後には波高 H が7 cm (等流水深 h_0 の約1.5倍)に達する。

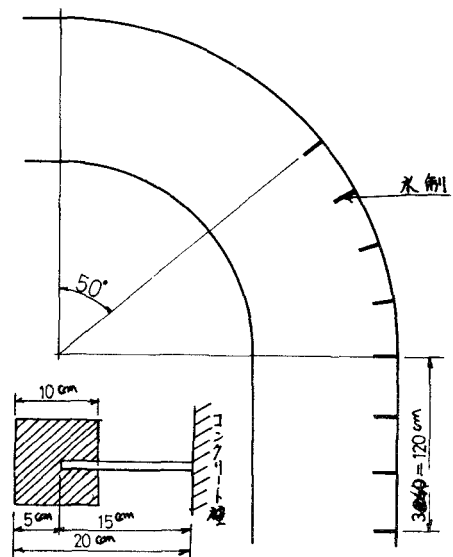


図-1
水制の配置図



この%の値は河川の値に較べて著しく過大であるため、適当にサドウエーブをならしなから実験を行なった。

2 弯曲水路の河床変動(実験I)

弯曲流の流況は 図-2 に示されるように主流流速の横断分布を、 $U=kr^2$ で表わす時入口付近で自由渦 $n=-1$ 、 $\theta=0$ 付近で $n=0$ 、それより下流で n は正となり弯曲部下流 15° 付近で n は最大値 0.65 をとる。弯曲による流向の変化は、表面は外向き底面は内向きであつて中心線における偏向角は 図-2 のようでありその最大値は共に 80° 度付近である。いま底面におかれた粒子の移動軌跡が、底面流向と一致すると仮定すると、 U_r, U_θ を半径方向、切線方向の断面速度として

$$\frac{U_r}{U_\theta} = -\tan\theta = \frac{dr}{r d\theta}$$

より粒子の移動軌跡は

$$\frac{r}{r_0} = e^{\int_{\theta_0}^{\theta} \tan\theta d\theta} \quad (1)$$

(r_0, θ_0 は粒子の出発点の位置)で与えられ、弯曲内側に集中して堆積を生ずる。なお河床高(Z は下向きを正)の式は村本が示しているように、流砂量 $q_{\theta 0}$ 、半径方向の流砂量を q_{r0} と仮定して

$$\frac{\partial Z}{\partial t} - \frac{1}{1-\lambda} \left\{ \frac{\partial q_{r0}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (q_{r0} r) \right\} = 0$$

あるいは、 q_{r0} を摩擦速度 U_{*0} の関数として

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = \frac{1}{1-\lambda} \left\{ \frac{\partial U_{*0}}{\partial r} + \tan\theta \frac{\partial U_{*0}}{\partial \theta} \right\} \frac{dZ}{dU_{*0}} + \left(\frac{\tan\theta}{r} + \frac{\partial \tan\theta}{\partial r} \right) q_{\theta 0}$$

—— (2) となる。

一般に右辺第1項と第2項が same order であつた $\tan\theta$ が変化するため、上式を解く事は困難であるが、全体的な堆積傾向は $\frac{\tan\theta}{r} q_{\theta 0}$ に外壁における洗堀は $\tan\theta$ が急変するため $\left(\frac{\partial \tan\theta}{\partial r} \right) q_{\theta 0}$ によつて主として規定される。

実験において観測された河床変動の過程は (a) 2 次流速の大きい弯曲、終突外岸沿いに強い洗堀が発生し、流線の集中する $\theta=0$ 付近の内壁附近に堆積を生ずる。またその前面の河床が (b) 次第に流砂量の場合的変化のために低下する。

(b) 時間の経過とともに各断面場所とも

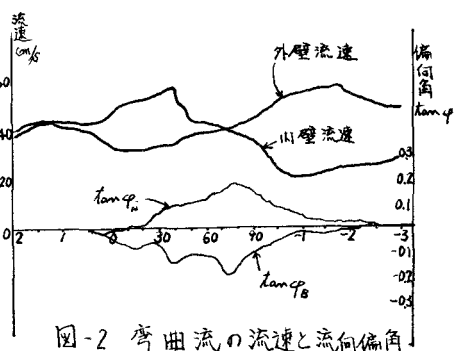


図-2 弯曲流の流速と流向偏向

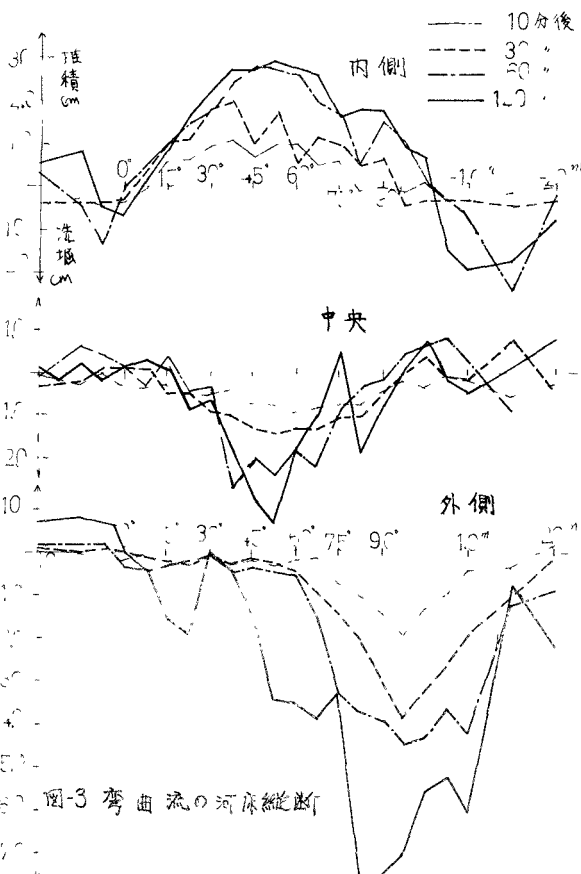


図-3 弯曲流の河床縦断

変化量を増すとともに、変動範囲は広がるが、外側の洗堀は $\theta = 50 \sim 60^\circ$ より直線部 $15m$ の範囲であって流速の小さい $\theta \leq 50^\circ$ の部分には、洗堀されないことが図-3よりわかる。

中央部の洗堀は $\theta = 15^\circ$ より弯曲の終点まで、図-4からもわかるように、 $\theta = 30^\circ$ の中心部から $\theta = 75^\circ$ の外壁に向かって流心部を形成している。また内側の堆積は、 $\theta = 15^\circ$ から下流直線部15mの範囲で堆積部は下方の木路中央部に向かって舌状にのびている。

また上の流心が形成されると、内壁の $10m$ 附近に流れの集中を生じ若干洗堀される。

なお以上の機構は顕著な砂堆の発生、停止した村本の実験結果とかなり異なる。また最大洗堀率は $D_{max}/h_0 = 1.6$ である。

3 連続水流水槽を設置した河床変動(実験II, 実験III)

水制を設置した場合実験IIには底面の流向が更に内側に向き、また水制域の流速減少を補うように主流部の流速は増加する。これは

が内側の堆積、弯曲部流心に及ぼす影響や、水制先端部に生ずる洗堀現象や、水制区間における河床の変動などが問題となる。また、実際の水制では先端の洗堀は保護工により防止されているので、この場合の

実験(III)として水制のない場合の

実験(I)とあわせて河床変動の機構を

考察してみる。まず通水後2時間

における弯曲角 $\theta = 0^\circ, \theta = 30^\circ$, 水制端点

$\theta = 50^\circ$, 水制区間における $\theta = 70^\circ, 90^\circ$

および水制区域外 $14m$ の各断面

における河床の横断形状を示した

ものが図-4である。なお実験(II)では、水制による局所的洗堀は、まず

先端に洗堀を生じ、岸側に移動して

いる。実験(II)では一般に水制の前面

に堆堀を生じるため水制先端は

若干低下した程度であるが、水制背

面に発生する逆流渦のため h_0 の数倍

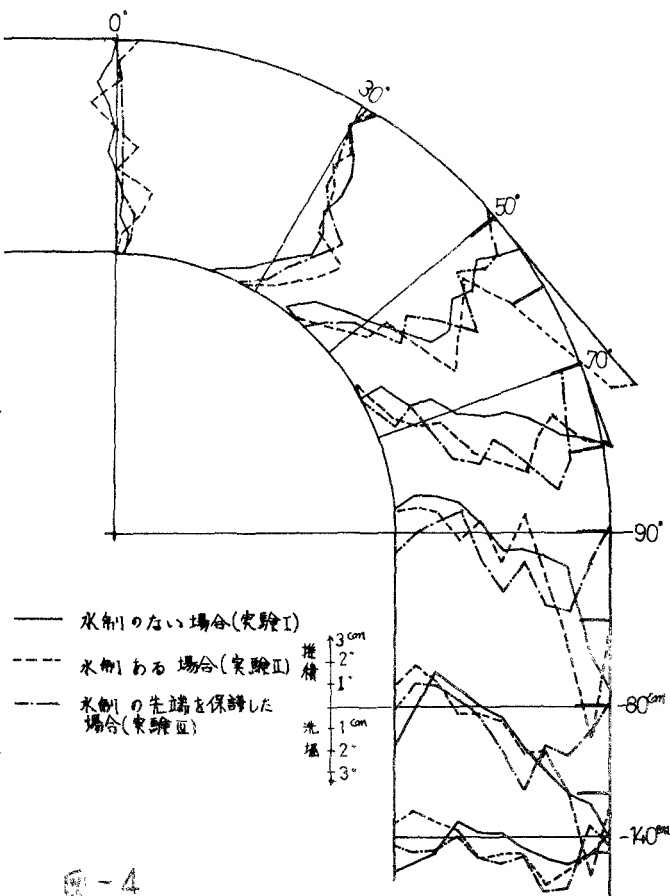
程度下流まで若干の洗堀を受けてい

る事に注意を要する。主流部から内

壁にかけての河床の変化の機構は

実験(III)は流速の増大のため実験(II)

に較べて流心が若干内側に移動し、



120分後の河床状態

中央部における底下の築固と規模が大きく、内壁における堆積が、かなり大幅に減少している。これらの傾向は(Ⅲ)の方が(Ⅳ)より著しく、実験(Ⅲ)は水割の配置とその保護によって弯曲部の流況が著しく改善されることを示している。また(Ⅲ)(Ⅳ)の場合、特徴のある sand ridge が発生している。図は $\theta = 0^\circ \sim 45^\circ$ までは外

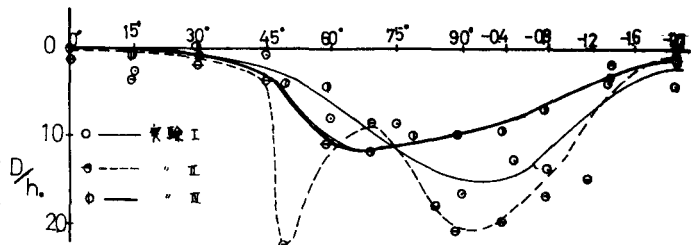


図-5. 最大洗掘深

壁にそう洗掘深水割始末後は断面の最大洗掘深を、等流水深で割ったものをプロットした。

(Ⅰ)(Ⅱ)では、その位置は外壁部、あるいは、その附近に発生している。実験では、始末の洗掘が著しく、また、実験(Ⅱ)では $\theta \approx 90^\circ$ 附近に流れの集中による範囲の狭い深さが大きい著しい洗掘が見られる。実験(Ⅲ)の洗掘は $\theta \approx 70^\circ$ 附近の流路ほぼ中央に発生する。河床低下が最大で、下流側へ漸減する。この事は次のような理由に基くものである。

直線水路の実験によって水割域と主流域間に流速の遷移域が形成され遷移域の流速は下流に減少し、また幅を増していく。弯曲流として $\theta \approx 90^\circ$ 附近で流れの集中を起すか、前者の影響の方が卓越する、なお、実験(Ⅲ)の河床低下はその形状と場所からみて、流況改善に役立ったものである。