

早稲田大学理工学部 正会員 鮎川 登  
 同 学生会員 ○三村 隆  
 同 学生会員 吉清 孝

1. まえがき 河床に砂礫堆(交互砂洲)が形成される河川では、河道を適当な曲率で蛇行させ砂礫堆の移動を停止させると、治水及び利水上都合が良いことが指摘されている。<sup>1)</sup>本研究では、このような河道計画の観点から、砂礫堆の移動を止めるような曲率及び彎曲角の小さい彎曲が連続する緩蛇行水路内の流れと河床変動に関する実験を行ない、彎曲部における洗掘深と水路の蛇行形状、水流量及び砂の特性量との関係を検討した。

2. 実験装置及び実験条件 図1に示すような、全長5.6m、幅及び高さ20cm、曲率半径1.625m、波長1.6m、振幅5cmの鋼製蛇行水路で、平均粒径0.18mm、0.67mm及び0.82mmの砂を用いて、それぞれ固定床及び移動床の状態、移動床の場合は水路上流端で砂を補給しながら河床形状がほぼ安定したと思われるまで通水を続けた。通水時間は30~60分であった。勾配は1/5、1/50及び1/300、流量は粒径及び勾配で異なるが、0.50ℓ/s~3.92ℓ/sの範囲で変化した。水位及び河床形状の測定はポイントゲージ及びレベルを用い、流速分布の測定にはプロペラ式流速計を用いた。

3. 蛇行水路内の流れの水面形及び流速分布 平坦な固定床の蛇行水路内の流れの水位及び水深の測定結果の一例を、図2及び図3に示す。これらの図によると、凹岸側の水位及び水深は対岸の凸岸側の水位及び水深より大きい。水路壁に沿う水面勾配は、凹岸部頂点付近から凸岸部頂点付近にかけて急になり、凸岸部頂点付近から凹岸部頂点付近にかけて緩く、あるいは逆勾配になる。水路壁に沿う水深は凹岸部ではほぼ一定で、平均水深より大きく、変曲点付近で急激する。凸岸部でも水深はほぼ一定であるが平均水深より小さい。そして次の変曲点付近で急激に増加する。移動床蛇行水路においても同様な結果が生ずるが、平坦な固定

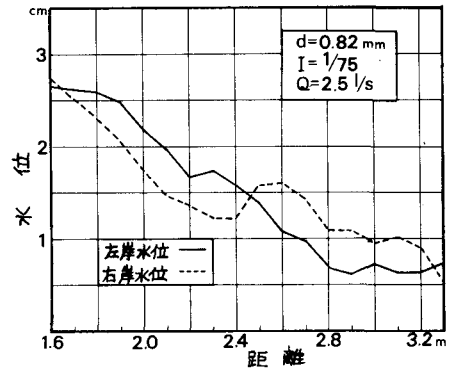


図2 水位の縦断変化

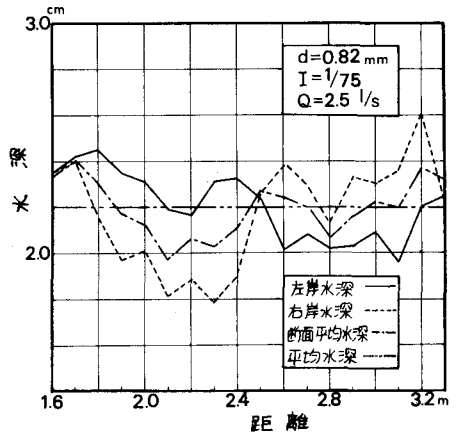


図3 水深の縦断変化

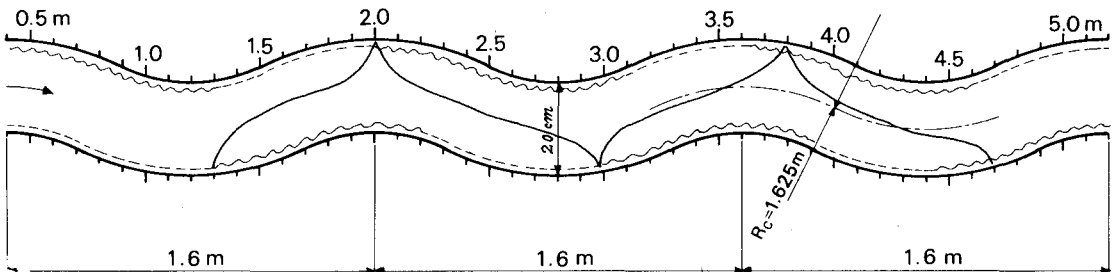


図1 実験に使用した蛇行水路

床の場合とくらべて兩岸の水位差及び水面勾配の変化は小さくなる。流速分布及び等流量線図の一例を図4に示す。この図によると、流速は凹岸部より凸岸部の方が大きい自由渦型の分布を呈しており、また水路の蛇行による流れの偏りは殆どなく流れは水路にほぼ平行になっていることがわかる。平坦な固定床の蛇行水路の場合、凹岸と凸岸の水位差は流速分布の測定結果を用いて、

$$\Delta H = \int_{R_{in}}^{R_{out}} \frac{U^2}{gR} dR$$

として計算した値とほぼ一致した。ここで、 $U$ は曲率半径 $R$ の点の流速、 $g$ は重力加速度、 $R_{in}$ 及び $R_{out}$ はそれぞれ凸岸と凹岸の曲率半径である。なお、水路の蛇行による抵抗の増加は、直線水路と比較した結果非常に小さく、本実験に用いた水路程度の緩い蛇行では考慮しなくてもよいことがわかった。

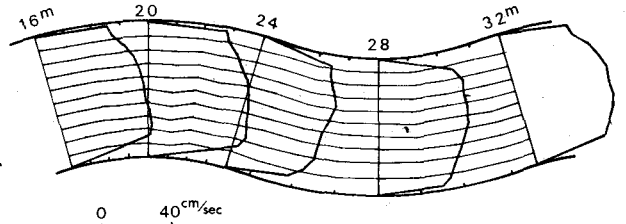


図4 流速分布及び等流量線図

4. 弯曲部の洗掘深

本実験の範囲内では、蛇行水路における河床変動の定性的傾向はどの条件下においても図1に示すように、凹岸下流から凸岸上流にかけて洗掘され、凸岸下流から凹岸上流にかけて堆積し、最大洗掘は凹岸から凸岸への変曲点付近に生じた。本実験では流れ方向に直交する断面内の最高点と最低点の差のうち、半波長間の最大値とその区間の洗掘深とし、各区間の洗掘深の平均値とその条件に対する洗掘深 $B$ とした。次に本実験の結果に基づいて、蛇行の形状が洗掘深に及ぼす影響について考察する。実験結果によると、水面勾配が急になる地点で洗掘され、水面勾配が緩くなる地点で堆積がおこっている。また、流線は水路にほぼ平行であり、砂も水路にほぼ平行に移動することなどから、本実験における洗掘は二次流には関係せず、水路の蛇行によって生ずる水面勾配の変化に関係するものと考えられる。蛇行によって生ずる流れ方向の凹岸と凸岸の水深差 $\Delta H_c$ は横断面内の水位差とほぼ等しいと仮定し、 $\Delta H_c$ は近似的に、

$$\Delta H_c = \frac{U_m^2}{gR_c} B$$

で与えられるものとする、水面勾配は

$$\Delta I = \frac{\Delta H_c}{L} = \frac{U_m^2}{gR_c L} B$$

だけ増加し、無次元化された摩擦速度は、

$$\frac{\Delta U_{*c}^2}{U_{*c}^2} = \frac{3\Delta I}{U_{*c}^2} = \frac{B A}{R_c L} \frac{U_m^2}{U_{*c}^2} = \frac{B A}{R_c L} Fr^2 \frac{U_m^2}{U_{*c}^2}$$

だけ増加する。ここで、 $U_m$ は平均流速、 $B$ は水路幅、 $R_c$ は水路中心の曲率半径、 $L$ は蛇行の半波長、 $U_{*c}$ は砂粒子の移動限界摩擦速度、 $Fr$ は流れのFroude数である。この結果河床が洗掘されると考え、洗掘深 $B$ に関する無次元量 $\frac{\Delta U_{*c}^2}{U_{*c}^2} \left(\frac{d}{IL}\right)^3 I$ と $\frac{B A}{R_c L} Fr^2 \frac{U_m^2}{U_{*c}^2}$ の関係プロットすると図5のようになる。この図によると、蛇行の曲率半径、波長及び水路幅が洗掘深におよぼす影響を推定することができる。

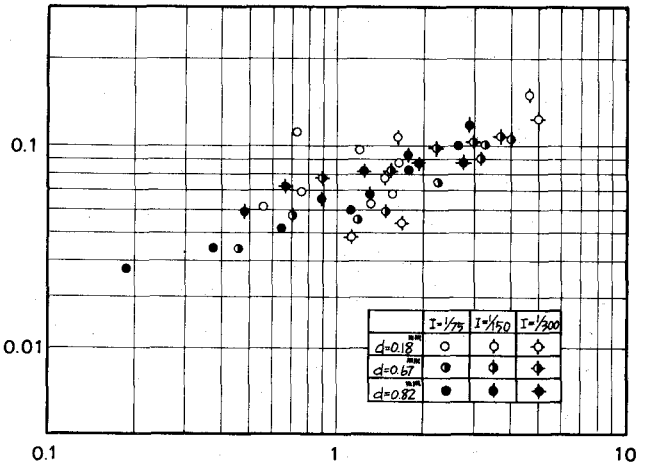


図5  $\frac{\Delta U_{*c}^2}{U_{*c}^2} \left(\frac{d}{IL}\right)^3 I$  と  $\frac{B A}{R_c L} Fr^2 \frac{U_m^2}{U_{*c}^2}$  の関係

なお、図5の関係は単一の形状の蛇行水路を用いて行なわれた実験結果によるものであるため、他の形状の蛇行水路を用いて実験を行ない、蛇行の形状が洗掘深におよぼす影響をさらに検討することが必要である。

参考文献 1) 木下良作：河川の蛇行現象と河道計画，科学技術庁資源調査所資料，昭和46年6月。