

曲線流路の流れと掃流力

京都大学防災研究所 正員 芦田和男
 京都大学防災研究所 正員 江頭達治
 京都大学大学院 学生員 村岡 猛
 京都大学大学院 学生員 ○足立幸郎

1. まえがき 曲線流路の侵食現象を解明するためには、その流れの構造を解明し、掃流力を把握する必要がある。そこでまず本研究においては、流れの構造を実験的に把握し、それに基づいて曲線流路における掃流力分布について考察した。ついで、侵食速度の評価法を考案し、それに関して実験的検討を行った。

2. 曲線流路の流れと掃流力分布 実験は、幅40cm、長さ800cm、深さ20cm、勾配1/50、流量1.95ℓ/sの条件下で行った。河床材料として $d_m=4\text{mm}$ の一樣砂を用いて、蛇行波長150cm、最大偏角 15° のSine-generated curveで表わされる蛇行流路を作成し、流路表面をラッカーで固めた。実験では、流速流向を詳細に測定した。流速測定結果を図1に示す。彎曲の頂部($\phi=90^\circ, 270^\circ$)あたりでは流心は中心よりやや内側にあり、変曲点($\phi=0^\circ, 180^\circ, 270^\circ$)あたりではかなり偏心していることがわかる。すなわち蛇行中心線より位相が、 90° 遅れている。図2に、流速、流向から求めた二次流速の分布を示す。これによれば、二次流速が最大になるところは、 $\phi=35^\circ, 315^\circ$ 付近であることがわかる。

また図中には、次式で示される池田・田野吉川の振動理論での解析値も示してある。

$$U_r = \left(\frac{1}{2} \right)^{1/2} \frac{R}{k} \left[F_A(\eta) - \frac{1}{k} \frac{d}{d\eta} F_B(\eta) \right], \quad \eta = \frac{R}{k} \dots (1)$$

$$F_A(\eta) = -15(\eta \ln \eta - \frac{1}{2} \eta^2 + \frac{15}{54}) \dots (2)$$

$$F_B(\eta) = \frac{15}{2} (\eta^2 \ln \eta - \eta^2 \ln \eta + \frac{1}{2} \eta^2 - \frac{9}{54}) \dots (3)$$

この解は、完全発達域の二次流を与えるものであり、したがって実験値も十分に説明し得ていない。次に、掃流力の縦横断分布について考察する。掃流力は、Area methodとLog-velocity distribution methodを用いて推定している。Log-velocity distribution methodを適用するに当っては、河床から等流速線に垂直に上げた線上において流速が対数則に従っていない場合には、理論河床を実河床より

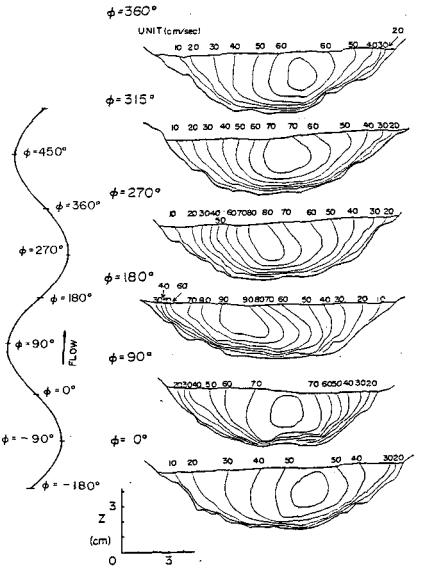


図1. 流速分布

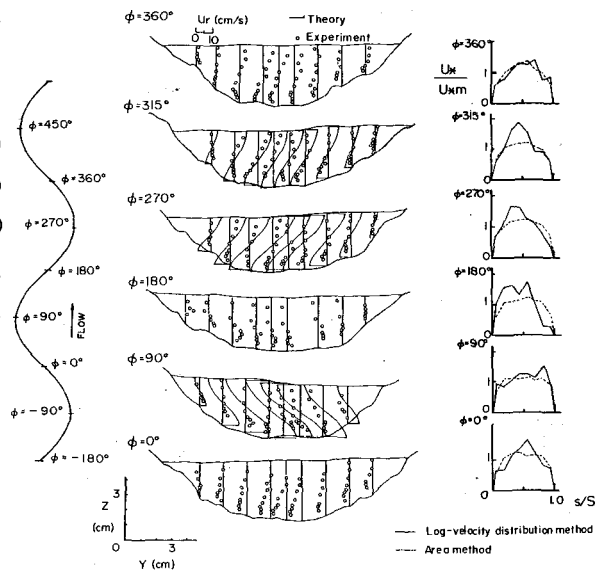


図2. 二次流速分布

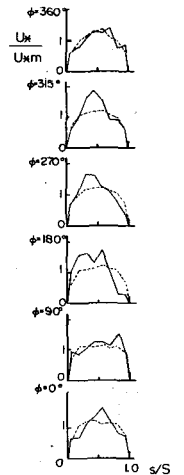


図3. 掃流力の推定

Kazuo ASHIDA, Shinji EGASHIRA, Takeshi MURAOKA, Yukio ADACHI

4程度下げれば、対数則に従うことが確かめられている。図3は、これら二つの方法を用いて推定した瀬上の掃流力分布を示したものである。これによれば、Area methodでは、掃流力の偏りを十分に表現出来ないが、Log-velocity distribution methodでは、その偏りを評価しているようである。なお、弯曲流においてはカルマン定数の推定が重要な問題となるが、ここでは $n=0.4$ としている。それは、このとき推定された U_k の平均値 U_{km} が、 $U_k = \sqrt{gRI}$ より求められるものとほぼ一致するためである。

3. 曲線流路の侵食速度 二次流の影響を考慮した斜面上の砂粒子の限界掃流力について考察してみる。斜面上の砂粒子に、働く力の釣り合いより、次式が成り立つ。

$$D_0^2 + (D_r + G \sin \theta_1)^2 = (G \cos \theta_1 \cdot \tan \phi)^2 \quad \dots (4)$$

ここに、 D_0 、 D_r は、 θ_1 方向の抗力、 θ_1 は斜面の傾斜角、 G は重力、 ϕ は摩擦角である。 θ_1 軸と主流の方向とのなす角を δ とすると、 $D_r = -D_0 \tan \delta$ と考えられる。すると式(4)は、 D_0 に関する二次方程式となり、これを D_0 について解けば、次式を得る。

$$(U_{kco}/U_{kco\delta})^2 = \frac{\tan^2 \delta \cdot \sin^2 \theta_1 + (\tan^2 \delta \cdot \sin^2 \theta_1 - (1 + \tan^2 \delta) \cdot (\sin^2 \theta_1 - \cos^2 \theta_1 \cdot \tan^2 \phi))^2}{1 + \tan^2 \delta} \quad \dots (5)$$

ここに、 U_{kco} 、 $U_{kco\delta}$ は、それぞれ水平床、斜面上における限界摩擦速度である。図4は、上式によって推定される $(U_{kco}/U_{kco\delta})^2$ と、 θ_1 、 δ の関係をみたものである。上式によつて求まる限界掃流力を中川辻本²⁾のPick up rateに適用すれば、侵食速度 E が次式の様に求められる。

$$E = F_{0*} \sqrt{(g/p-1) \cdot g \cdot d} \cdot \Sigma \theta_1 \cdot (1 - \frac{U_{kco\delta}}{U_{kco}})^3 \quad \dots (6)$$

ここに、 $F_{0*} = 0.02$ である。図5は、侵食実験結果と式(6)とを比較したものである。ただし、実験値は堆積量の少ない領域と考えられる浅水深に相当する側岸のものである。式(6)は、侵食される場所、そうでない場所など、定性的には侵食現象をよく表現しているが、図5にみられるように、侵食量を全版に過大に与えている様である。この原因として次のことが考えられる。すなわち、侵食の進行が速く、流路の平面形状・横断形状が変化した後、次第に侵食の進行が遅くなり、そのため掃流力が初期の段階でかなり変化してしまうのに対して計算においては、初期の流路形状に対応した掃流力を採用しているということである。

4. あとがき 曲線流路においては、掃流力の推定には、Log-velocity distribution methodが有効であることが示された。今後、侵食速度と側岸侵食量式について、検討を進め、曲線流路における側岸侵食現象に関する考察を深めてゆきたい。

<参考文献> 1) 池田・日野・吉川：河川の自由蛇行に関する理論的研究，土木学会論文報告集，第255号，pp.63-73，1976。

2) 中川・辻本：水流による砂れきの移動機構に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，第244号，pp.71-80，1975。

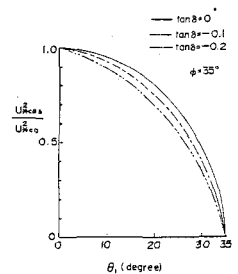


図4. 斜面の限界掃流力

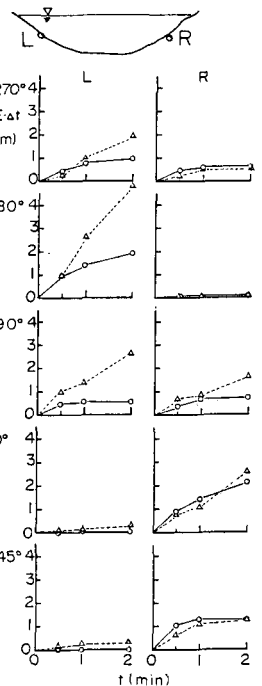


図5 侵食実験結果と式(6)の比較