

弯曲流路の河床変動に関する基礎的検討

京都大学工学部 正 員 中川 博次

京都大学工学部 正 員 村上 正吾

京都大学工学部 正 員 清水 義彦

大成建設(株) 正 員 〇村山 一啓

京都大学大学院 学生員 中村 武洋

1. まえがき 自然河川においては直線流路はほとんど存在せず、その平面形状は弯曲している。このような弯曲部における流れ特性は、洪水時には水衝部を生じ、そこでの局所洗掘は、河岸あるいは堤防・護岸などの河川構造物の決壊に至らしめる可能性を有する。したがって、弯曲流路における侵食量や時間的な河床変化を定量的に把握することが重要とされ、そのためには、まず弯曲部の流れの機構と流砂機構を整合性よく表現する必要がある。本報では、非平衡流砂過程を記述するstochastic modelを用いて、弯曲部における側岸侵食過程を明らかにする。

2. 弯曲部における側岸侵食過程のモデル化 弯曲部側岸上における侵食過程モデルの基本的フレームワークは、流路の曲がりの流れ及び流砂への影響の考慮は必要であるものの、直線流路の侵食過程のモデルと同様と考えられる。つまり、砂粒の流送過程を記述するにあたって、砂粒の運動方程式を用いてその挙動を追跡し、流砂現象を表現するために、stochastic modelを用いた。stochastic modelのパラメータであるpick-up rate及びstep length の特性は、弯曲部においても直線流路側岸上のそれらと変化ないと考えられるが、弯曲部においては遠心力を考慮した運動方程式の記述及び二次流による主流の偏向角 γ の算定が必要となってくる。弯曲部斜面上での砂粒子の力の釣り合いが図-1で示されると、その運動方程式は式(1)で表される。図-2は式(1)をRunge-Kutta法を用いて数値計算することによって得られた運動軌跡($\gamma=0$)を示しているが、式(1)の遠心力の項を無視しても差違は見られない。このことより、砂粒の運動において、遠心力の効果は実験室規模でも無視できる程微小であると考えられる。さらに、砂粒運動の非定常性が無視できると仮定することにより、砂粒の運動方向角 ϕ が式(2)のように導かれる。一方、底面流向 γ は池田¹⁾による二次流の速度分布式より式(3)で表される。但し種々の断面形状に適用させるため、水深には径深を用いた。

3. 実験 実験は、水路中心線が式(4)で表される図-3のような水路模型を用いその一部を移動床とし、他の部分は同一粗度の固定床粗面仕上げとした。但し、実験使用砂は、 $d=0.19\text{mm}$ 、 $\sigma/\rho=2.64$ とした。径 3mm の小型プロペラ流速計を用いて断面内流速分布を詳細に測定し、粗面对数則を適用して底面せん断力を求め、さらに底面においてその流向も測定した。一方、移動床部での砂粒の挙動を上方からビデオ撮影し、ビデオポジションアナライザーを使用して砂粒が横断面を通過する時の運動方向角 ϕ を読取った。

Hiroji NAKAGAWA , Shogo MURAKAMI , Yoshihiko SHIMIZU , Kazuyoshi MURAYAMA

Takehiro NAKAMURA

図-4は、これらの測定値の横断方向分布を示したものであり、式(3)・式(2)による γ 及び ϕ の計算値も併示した。また、 ϕ においては中川ら²⁾の遠心力を考慮しない場合の砂粒に働く力の釣り合い式を線型化した式(5)による計算値も併示した。 γ に関しては、式(3)で十分に算定が可能であると考えられ、さらに側岸部での側壁の影響を考慮すると、より良好な一致が得られると期待できる。 ϕ に関しては、実験値にばらつきが見られることから、弯曲部においては砂粒運動の非定常性は無視できないと考えられる。

4. 結果 弯曲部における側岸侵食過程を記述するために、stochastic modelの適用を試みた。弯曲部における河床変動を砂粒の運動レベルでみると、その変動過程の記述において最も明らかにすべき点は平均的な流砂方向であり、横断方向勾配と流路の弯曲によってほぼ規定されるものと考えてよいことが明らかにされた。また、流砂方向に関しては砂粒の運動方程式に基き力学的に評価され、底面流向も池田の研究が援用可能であることを示し、これらの実験的な検証にも努めた。今後さらに実験的な検討を加えて、モデルの確立を図りたい。

- 参考文献 1) 池田 駿介;土木学会論文報告集,第229号,1974
2) 中川 博次ら;第4回自然災害科学会学術講演会,1985

$$\begin{aligned} \text{式 (1)} \quad & M \cdot dv_s/dt = D \cos \phi - F \cos \phi + F_c \sin \phi \\ & M \cdot dv_p/dt = D \sin \phi + W \sin \phi - F \sin \phi - F_c \cos \phi \\ & M = \rho(\sigma/p + C_H) A_3 d^3 \\ & D = \frac{1}{2} C_D \rho ((u_d \cos \gamma - v_s)^2 + (u_d \sin \gamma - v_p)^2) A_2 d^2 \\ & W = (\sigma - \rho) g A_3 d^3 \\ & F = \mu_{fd} (\sigma - \rho) g A_3 d^3 \cos \theta \\ & F_c = H \cdot u_g^2 / R_s \end{aligned}$$

$$(2) \quad \frac{\sin^2(\phi - \gamma)}{\cos^2 \phi} \sqrt{\tan^2 \theta + \mu_{fd}^2 - 2 \mu_{fd} \tan \theta \sin \phi} = \frac{2 A_3}{A_2 C_D} \left(\frac{\tan \theta \sin \phi}{A_*^2 \tau_*} \right)$$

$$(3) \quad \tan \gamma = \frac{|u_r|}{|u_\theta|} = - \frac{u_a f^2 \frac{H}{R_s} \frac{1}{\kappa} F(0)}{u_* A_*}$$

$$F(0) = (-4.167 + 2.640 \frac{1}{\kappa} \frac{u_a}{u_*})$$

$$(4) \quad \omega = \omega_0 \sin(2\pi s/L) \quad (\omega_0 = 40^\circ, L = 200 \text{ cm})$$

$$(5) \quad \tan \phi = \sqrt{2 A_3 / C_D A_2 A_*^2 \tau_*} \cdot \tan \theta + \tan \gamma$$

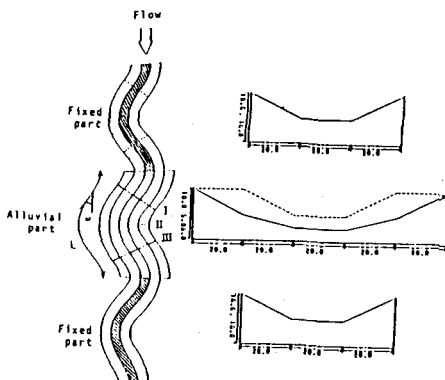


図-3 実験水路模型図

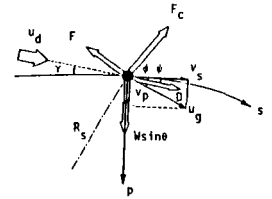


図-1 力の釣り合い

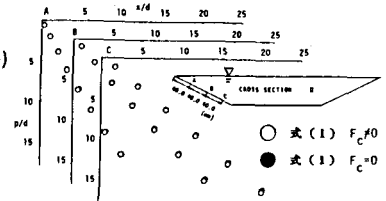


図-2 砂粒の運動軌跡

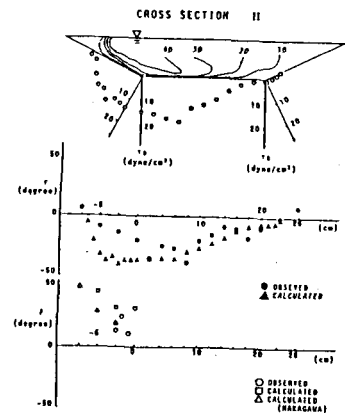


図-4 諸量の横断方向分布