

II-116 2次流モデルを導入した単列交互砂州上の流れの計算

秋田大学 土木工学科 正 員 石井 千万太郎
(株) 復建技術コンサルタント 沓沢 辰美

1. はじめに 単列交互砂州上の流れは砂州形状の影響をうけて蛇行し、2次流が発達する。特に、低水流量時にその2次流が水衝部の局所洗掘現象に関与することが実験観測により確かめられている。本研究では、この流れを一旦平面流として計算し、その上でモデル化した2次流を導入している。そして、この流れの計算法を、局所洗掘を生じ、動的平衡状態に達している低水流量時の路床形に対して、流れの計算と路床変動計算を行ない、その結果を動的平衡状態と比較することにより検証している。

2. 数値計算 単列交互砂州形成水路における低水時の動的平衡路床（亀井ら¹⁾の実験RUN5）に対して、沓沢ら²⁾のモデルによる2次元浅水流としての数値計算を行った。図1はその計算結果より対数速度分布を仮定して計算した表面流速ベクトルと実験結果とを対比して示している。実験結果が水衝部へより角度を持った流れを示し、流れの3次元構造の存在がうかがわれる。

3. 2次流の導入 実験 水衝部では流れの3次元構造に対応して深掘れを生じている。この流れの構造を知るため、トレーサ（油性塗料）を注入して流れを可視化した。図2は深掘れ部

に注入したトレーサの動きを模式的に表したものである。この図から、この深掘れ部には水面で側壁へ、路床面でその逆向きの流れを生じる流れ方向軸のまわりに回転する渦が生じていることがわかる。また、この渦の大きさは、深掘れの幅および深さと同等の規模であることがうかがわれた。図3は、砂粒の移動状況を表面流とともに示したものである。図中一点鎖線で示した部分は、崩落してくる砂が渦流によって巻き上げられるため、その動きの激しい部分である。最深部においては砂の動きは見られず、主に、深掘れ部の縁を移動した後、先の部分で巻き上げられた砂が下流へと流されているようであった。さらに、深掘れの上流側いずれにおいても表面流と砂粒子の移動方向にはほとんど相違が見られなかったことから、先の渦流はこの領域にのみ存在しているものと考えられる。

2次流のモデル化

著者らは、前述の渦流を、その発達地点および流れの方向の類似性から、一般に水路湾曲部に見られる2次流として扱うことができる

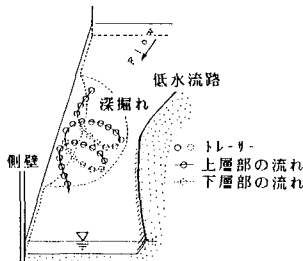


図2 深掘れ部の流れ

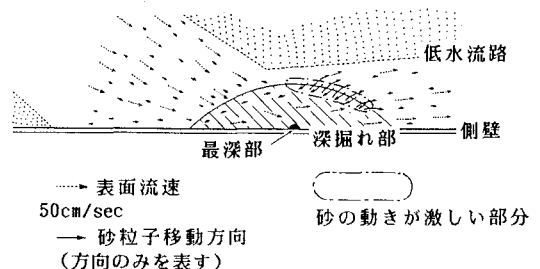


図3 深掘れ部周辺の流れと流砂状況

とした。2次流のモデル化に際し、それを、水深方向に平均化された流速ベクトルに垂直な平面内に生じ、水深方向に平均化すると0となる流速成分であるとする Thorne ら³⁾定義を用いる。この定義によると、平均流に付加的に2次流を考慮しても矛盾は生じない。図4に示すように、2次流による路床面流速を q_{bs} として

清水ら⁴⁾と同様な(1)式の形で与えている。h。とr。は断面で共通のものとし、h。は深掘れ側壁部の水深、r。は2次流を考慮する範囲にある流線のうち最大曲率を有するものの、その断面における曲率半径としている。q_{bp}は断面各点の主流による路床面流速、f_sは側壁の影響を示す関数、Nは定数値である。（一様弯曲水路の平衡流れでは、Rozovskii によると11.0）そして、2次流を考慮する範囲は、横断方向には、側壁部の水深をもとに水深がその1/2 よりも小さくなる計算点（ほぼ深掘れ部の縁に一致する）まで、流下方向には、深掘れの範囲にある計算横断面内のみとしている。

4. 路床変動量による2次流の検討 以上の流れの計算結果をもとに路床変動計算を行い、それを実験時の動的平衡路床状態と比較した。流砂量式には Meyer- Peter & Muller型の(7)式を用いた。ここに、q_B、τ' はの単位幅流砂量、無次元有効せん断応力、τ は無次元限界せん断応力、s は路床材料水中比重、g は重力加速度、A は定数値である。2次流の効果は、q_bに対して(8)式の関係により求められる無次元せん断応力τ から、(9)式の仮定によりその有効成分τ' を求めることで考慮した。ただし、(9)式の右辺

の主流に対する値は岸・黒木の無次元有効せん断応力計算式から求めている。路床変動量の計算には、流砂の連続の式の差分式を用いたが、その際、流砂量の各方向成分は、黒木、岸の方法⁵⁾により路床横断こう配の影響を考慮して求めている。図5はその計算結果を深掘れ部に注目して示している。aの平均流のみの場合に対し、bの2次流を考慮し、N = 11.0の場合では、側壁部での堆積がほとんど0に近くなり、同時にその内側の洗掘も小さくなっている。しかし、計算に用いた路床が通水停止後のものであり、砂の崩落によりその深さが小さくなっていることを考慮すれば、実験時の状態により近付けるためには、側壁部で洗掘が生じる程度の効果が必要であるように思われる。cはN = 20.0の場合の結果である。このようにN値を増加させ、2次流流速を大きく見積もることによって洗掘傾向が表わすことができた。したがって、適当なN値を与えることにより、実際の流れと路床変動を表現できるものと考えられる。

謝 辞 数値計算にあたり、北海道開発局土木試験場の清水康行氏に種々の貴重な御助言を頂いた。また、実験は秋田大学土木工学科昭和62年度卒業生 松橋徹、金井実、山口聖明君の協力を得て行われた。ともに記して謝意を表します。

<参考文献> 1) 亀井義典、田中一也、石井千万太郎：単列交互砂州河道における中小洪水時の河岸侵食機構に関する実験的研究、東北支部技術研究発表会講演概要、昭和61年度。2) 沓沢辰美、石井千万太郎：単列交互砂州交互砂州上の流れの計算、東北支部技術研究発表会講演概要、昭和62年度。3) C.R. Thorne, J.C. Bathurst, R.D. Hey: Gravel Bed Rivers, p. 55~57. 4) 清水康行、板倉忠興：河川における2次元流れと河床変動計算、北海道開発局土木試験所、河川研究室昭和61年10月。5) 黒木幹男、岸力：中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究、土木学会論文報告集、第342号、1984年2月。

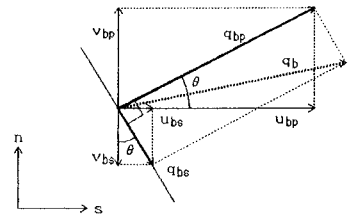


図4 路床面流速

$$q_{bs} = N f_s \frac{h}{r_o} q_{bp} \quad (r_o \text{ と逆向き}) \quad (1)$$

$$u_{bs} = q_{bs} \sin \theta \quad (2)$$

$$v_{bs} = -q_{bs} \cos \theta \quad (r_o \text{ と逆符号}) \quad (3)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{v_{bp}}{u_{bp}} \quad (4)$$

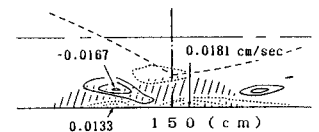
$$f_s = \begin{cases} 0 & (\text{側壁境界}) \\ 1 & (\text{側壁境界以外}) \end{cases} \quad (5)$$

$$q_b = \sqrt{q_{bp}^2 + q_{bs}^2} \quad (6)$$

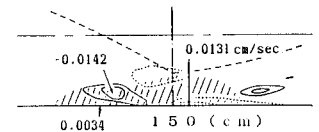
$$\frac{q_b}{\sqrt{s g d^3}} = A (\tau_x' - \tau_{xc})^{1.5} \quad (7)$$

$$\frac{\tau_x}{\tau_{xp}} = \left(\frac{q_b}{q_{bp}} \right)^2 \quad (8)$$

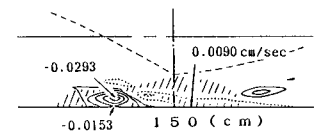
$$\frac{\tau_x'}{\tau_x} = \frac{\tau_{xp}'}{\tau_{xp}} \quad (9)$$



a. 平均流のみ



b. 2次流導入: N = 11.0



c. 2次流導入: N = 20.0

等値線間隔0.005cm/sec

—— 洗掘 - - - - 堆積
- - - - 低水流路 // 深掘れ部

図5 路床変動量