

準2次元数値解析による交互砂州上の 常流射流混在流れに関する基礎的検討

宇都宮大学大学院 学生会員 林 一哉
宇都宮大学大学院 正会員 池田 裕一

1. はじめに

一般に、河道の安全性を評価する際には、計画高水など大規模出水を想定する。しかし、中規模出水といえども、河道の安全性が大きく損なわれる可能性がある。砂州波高が大きい鬼怒川のような河道では、中規模出水時の方が砂州形状の影響を強く受け、局所的に水面勾配が急になって射流となることが少なくない。こうした流速の早い射流領域の発生により大規模出水時よりも河岸侵食が大きく進行する可能性がある。



写真1 平成13年9月東北新幹線橋梁付近

例えば、写真1は平成13年9月の出水における鬼怒川の河岸被害の様子である。計画高水にはまだ余裕のある状況にも関わらず、東北新幹線橋梁付近(約95m付近)にて約100mの河岸侵食を被った¹⁾。上述の射流領域の発生も含めて、原因の検討が必要であろう。しかし、こうした射流あるいは射流と常流とが混在する場の発生条件については良く調べられていない²⁾。そこで本研究では、交互砂州上の流れに準2次元数値解析を適用し、射流領域の発生について基礎的な検討を加えるものである。

2. 交互砂州上の常流射流混在流れの流動形態³⁾⁴⁾⁵⁾

砂州前衛部を模擬した固定床実験で確認した流動形態の3つのパターンの概略図を以下の図に示す。水深が大きいと図(a)のように全体的に常流となる。水深が浅くなると(b)のように縦断的な常流射流混在流れが発生し、砂州前縁部付近で跳水も確認できる。さらに水深が浅くなると(c)のように、砂州前縁部および砂州前縁部終端後の河床平坦部において、横断的に常流と射流が混在する流れが発生する。またパターン(c)においては、砂州前縁部の跳水付近で逆流域が発生することを確認した。今回本研究で扱う準2次元数値解析ではパターン(a)と(b)を対象とすることになる。

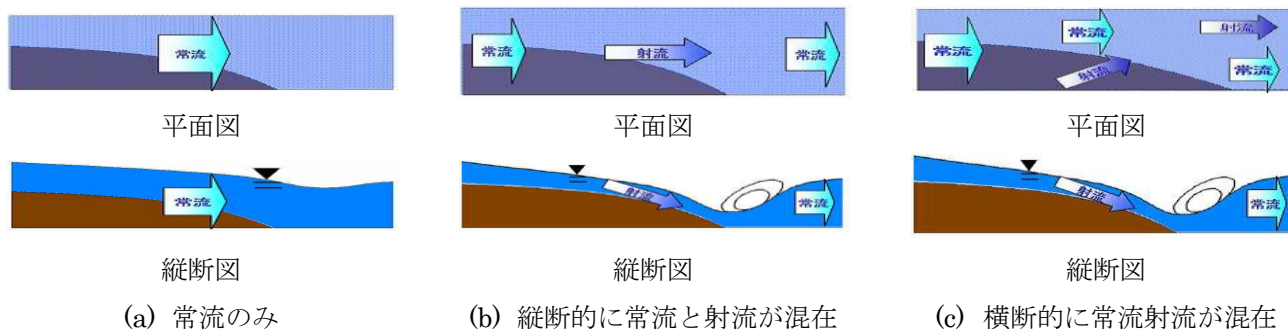


図-1 交互砂州上の流動形態

3. 砂州地形上の常流射流混在流れの数値解析⁶⁾

基礎式は次式で表される一般断面の連続式と運動量式を用いる。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial uQ}{\partial x} + gA \frac{\partial z_s}{\partial x} = -gA \frac{\tau_{bx}}{\rho g R} \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 Q ：流量、 A ：流水断面積、 u ：断面平均流速、 Z_b ：基準水平面からの路床高さ、 θ ：路床勾配、 z_s ：基準水平面からの水位、 R ：径深、 τ_{bx} ：路床に作用する応力ベクトルの x - 方向成分、 g ：重力加速度、 u' ：乱れ速度、 ρ ：流体の密度、 t ：時間、 x ：空間座標。ただし、 $\cos \theta \approx 1$ と近似している。

右辺は通常式(3)で表されるマニング則を用いて評価される。

$$\frac{\tau_{bx}}{\rho} = \frac{gn^2 u |u|}{R^{1/3}} \quad \dots\dots\dots(3)$$

式(1)(2)について、有限体積法を適用し、次のようなスキームで計算を進める。ただし、 x 方向の変数の定義位置は図-2 の通りとし、上付添字は時間ステップを表す。

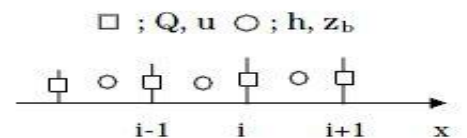


図-2 変数の定義位置

$$\frac{A_{i+1/2}^n - A_{i-1/2}^n}{\Delta t} + \frac{Q_{i+1}^n - Q_i^n}{\Delta x} = 0 \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\frac{Q_i^{n+1} - Q_i^n}{\Delta t} + \frac{u_{i+1/2}^n Q_{i+a}^n - u_{i-1/2}^n Q_{i-b}^n}{\Delta x} + gAu_i^n \frac{z_{si+1/2}^n - zu_{si-1/2}^n}{\Delta x} = - \left(gA \frac{\tau_{bx}}{\rho g R} \right)_i^n \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$a = \begin{cases} 0; u_{i+1/2}^n \geq 0 \\ 1; u_{i+1/2}^n < 0 \end{cases}, b = \begin{cases} 0; u_{i-1/2}^n \geq 0 \\ 1; u_{i-1/2}^n < 0 \end{cases}, u_{i+1/2}^n = \frac{u_{i+1}^n + u_i^n}{2}, u_i^n = \frac{Q_i^n}{h_{i-1/2+c}^n}, c = \begin{cases} 0; Q_i^n \geq 0 \\ 1; Q_i^n < 0 \end{cases}$$

数値粘性、計算条件については説明を省略する。

式(4)(5)を用いて数値解析を行い射流の発生状況を調べることにしている。その結果は発表当日に報告する。

参考文献

- 1) 国土交通省下館河川事務所：下館河川事務所河川概要 2010
(<http://www.ktr.mlit.go.jp/shimodate/gaiyo10/gaiyo10-2.pdf>).
- 2) 池内正幸,山田正,村上良宏,奥村利幸：常流射流およびシュート&プールの発生領域と抵抗則に関する基礎的研究，土木学会年次学術講演会講演概要集，第2部,40巻, pp489-490, 1985
- 3) 照井賢二,池田裕一：直線水路の交互砂州上における常流射流混在流れの流動形態に関する基礎的研究，土木学会関東支部技術研究発表会, 36巻, pII-2, 2009
- 4) 岩崎太志,池田裕一：連続砂州地形における常流射流混在流れの形態に関する基礎的研究，土木学会関東支部技術研究発表会, 34巻, ppII-069, 2007.
- 5) 古川保明,池田裕一：砂州前縁部における常流射流混在流れの構造に関する基礎的研究，水工学論文集, 49巻, pp523-528, 2005.
- 6) 細田尚，朝位孝仁：ダム破壊流れの1次元解析，水工学における計算機利用の講習会，pp23-31, 1999.