

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 北村 忠紀

新日本製鉄 正 員 〇石橋 基之

1. はじめに 河道内の植生には、河川景観の向上、高水敷の利用増進、堤防・河岸の防護機能等、有益な面がある一方で、洪水時には疎通能力を低下させるため、河川管理上弊害をもたらす側面を有する。このため従来河川管理者は、経験的な判断をもとに河道内植生の伐採を行ってきた。しかし近年、環境問題に対する意識が高まる中で、河道内植生の正しい評価が求められるようになってきた。本研究は、側岸部植生帯を有する流れ場の流入部での掃流砂運動について考察を加えた。

2. 側岸部植生帯を有する流れ場での掃流砂に関する実験 実験は、水路に竹製の模擬植生を格子状に配置した場で行われた。流れ場の概念図を図-1に示す。模擬植生の直径は0.26cm、高さは12.0cmで、実験中に振動はみられなかった。底面には、平均粒径 $d=0.088\text{cm}$ の自然砂を厚さで一様に敷き、移動床とした。このように側岸部に一様な植生帯を有する場では植生域への流入とともに、植生域から非植生域への流量シフトが始まる。同時に植生域、非植生域での流下方向流速に徐々に差が生じる。この結果、流れ場に強い水平方向せん断が現れる¹⁾。本研究では、流入直後の流量シフトが著しい領域での流下方向、横断方向の掃流砂を採砂箱を用いて測定した。

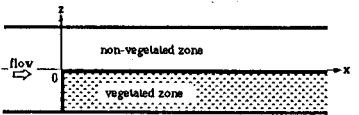


図 1 植生配置概要

3. 遷移部での掃流砂の数値模擬 植生帯流入部での水深方向に平均化された流速の分布は次式で表され²⁾、

$$u_i(x, z) = u_{i0}(x) + \{u_s(x) - u_{i0}(x)\} \exp\{(-1)^i z/b_i\} \quad (1)$$

$$w_i(x, z) = w_0 \exp(-x/L_x) \exp\{(-1)^i z/L_{zi}\} \quad (2)$$

ここで、 $i=1$:非植生域、 $i=2$:植生域、 u_{i0} :せん断の影響を受けない領域での流下方向流速、 u_s :植生境界面での流下方向流速、 b_i :混合層の幅スケール、 w_0 :植生域流入時の境界面での横断方向流速、 L_x :流下方向の緩和距離スケール、 L_{zi} : w_0 の横断方向の距離スケールである。図-2に水深方向に平均化された流速の実測値と式(1)、(2)の計算値を示す。

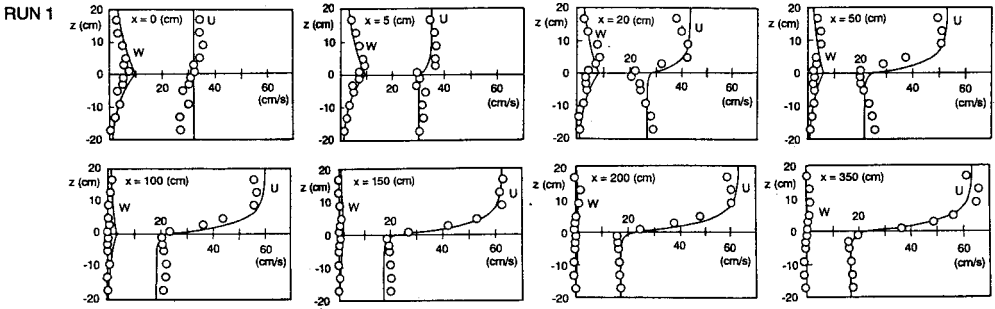


図 2 水深方向に平均化された流速の実測値と計算値

本研究で対象としているような流れ場では掃流力が空間的に変化し、必然的に掃流砂は、非平衡流砂過程を呈する。こうした掃流過程の非平衡性を十分に表現することのできるpick-up rate とstep lengthを用いた確率過程モデルを用いてこうした状況の再現を試みる。図-3に示すように x, z 軸方向をそれぞれ $\Delta x, \Delta z$ のメッシュに分割する。この離散化した領域内のある1つのメッシュの代表点 (x_i, z_i) より飛び出す

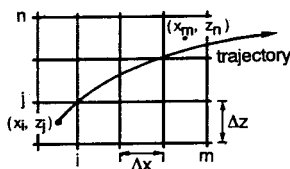


図 3 計算格子

砂粒の個数を求める。それぞれのメッシュから単位時間当りに離脱する砂粒の数 N_{ij} は、次式で表される。

$$N_{ij} = \Delta x \Delta z / (A_2 d^2) p_s(x_i, z_j) \quad (3)$$

ここで、 A_2 :2次元の粒子の形状係数、 d :砂粒の粒径で、砂粒のpick-up rate p_s は、

$$p_{s*} \equiv p_s \sqrt{d / (\sigma / \rho - 1) g} = F_0 \tau_* (1 - k_2 \tau_{*c} / \tau_*)^m \quad (4)$$

で与えられる³⁾。ここで、 F_0 :実験定数(=0.03)、 k_2 :乱れの効果を示す定数(=0.7)、 τ_{*c} :無次元限界掃流力(岩垣式より本実験では $\tau_{*c}=0.034$ とした)、 $\tau_* \equiv u_*^2 / [(\sigma / \rho - 1) g d]$ 、 u_* :摩擦速度である。

あるメッシュ(x_i, z_j)を出発した粒子の運動軌跡を運動方程式を解くことによって求め、その砂粒がメッシュ(x_m, z_n)を通過したとき、(x_m, z_n)での掃流砂量として数える。step lengthが、平坦河床と同様に指数分布に従うとすると、メッシュ(x_i, z_j)を出発した砂粒が $S_{mn|ij}$ の距離を移動してメッシュ(x_m, z_n)を通過する確率 $G_{mn|ij}$ は次式で与えられる。

$$G_{mn|ij} = \int_{S_{mn|ij}}^{\infty} f_x(\xi) d\xi = \exp\left(-\frac{S_{mn|ij}}{\Lambda}\right) \quad (5)$$

ここで、 Λ :平均step length、 $f_x(\xi)$:step lengthの確率密度関数で、従来の実験値より $\Lambda=100d$ 、 $f_x(\xi)$ は指数分布を仮定した。

メッシュ(x_i, z_j)を出発した砂粒子のメッシュ(x_m, z_n)での運動方向角を $\phi_{mn|ij}$ とすると、流下方向、横断方向への流砂量はそれぞれ次のように表される。

$$q_{Bx}(x_m, z_n) = \frac{A_3}{A_2} d \left\{ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [p_s(x_i, z_j) G_{mn|ij} \cos \phi_{mn|ij}] \right\} \quad (6)$$

$$q_{Bz}(x_m, z_n) = \frac{A_3}{A_2} d \left\{ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [p_s(x_i, z_j) G_{mn|ij} \sin \phi_{mn|ij}] \right\} \quad (7)$$

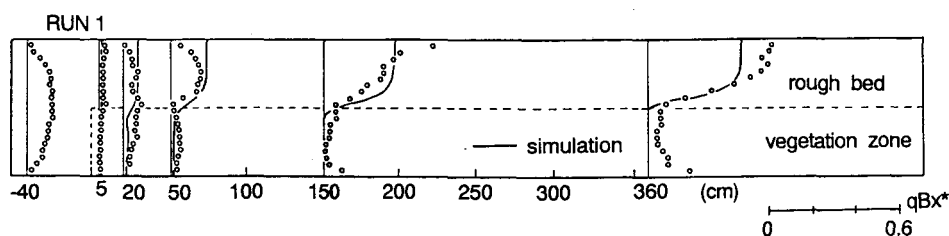


図4 流下方向掃流砂量の流下方向変化

図-4は、無次元流砂量 q_{Bx*} ($\equiv q_{Bx} / \sqrt{(\sigma / \rho - 1) g d^2}$) の実験値とシミュレーションの結果を流下方向に追ったものである。図-5は、 q_{Bz*}

($\equiv q_{Bz} / \sqrt{(\sigma / \rho - 1) g d^3}$) の実験値とシミュレーションの結果を流下方向に追ったのである。

4. 結論 数値模擬の結果より q_{Bx*} 変化過程は、確率過程モデルで十分に表現できることがわかった。 q_{Bz*} については、流入後 x/h_0 が10を越えたあたりからは実測値との一致がみられるが、流入直後の領域で実測値と差異がみられる。これは式(2)の評価に問題があると思われる。横断方向流速についてのより正確な評価が今後の課題となろう。

参考文献

- 1) 佐藤：植生を有する流れ場の遷移過程と浮遊砂に関する研究，京都大学修士論文，1991。
- 2) 中川ら：側岸植生帯を伴う流れの遷移過程に関する研究，平成5年度土木学会関西支部講演会概要。
- 3) 中川・辻本：移動床流れの水理，土木学会編 新体系土木工学23，1986。

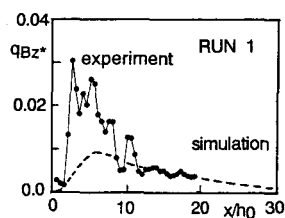


図5 横断方向掃流砂量の流下方向変化