

II-313

側岸植生帯を伴う流れと掃流砂の遷移過程について

中央復建コンサルタンツ 正員 阪本 幹己 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 新日本製鐵 正員 石橋 基之

1. はじめに 近年、河川には治水・利水といった側面に加え、親水機能が積極的に求められている。その結果植生を伴う流れとそこでの流砂の挙動の水理学的な検討が急がれている。側岸植生を有する流れは本質的に横断方向のせん断乱流となり、植生境界面付近に掃流砂量が0となる位置が存在し流砂運動の横断方向の非平衡を生む。また植生帯は有限長であるから、流入・流出部での流れの遷移過程が有意となり、流下方向の流砂の非平衡を生む。従って流れと掃流運動が同時に遷移過程であることに留意した検討が必要である。

2. 流れに関する実験 実験は長さ12m、幅0.50mの勾配可変水路の水路半分に模擬植生を格子状に配置した場で、hot-film流速計を用い、表-1の条件で行われた。ここに、D, s: 模擬植生の直径、間隔、 h_0 : 植生流入口より十分下流での水深である。流れが遷移部から平衡部に至る過程の特徴を容易に把握するため、計測された水量は水深方向に平均化した形で整理した。図-1

表-1 実験条件

Run	材質	D(cm)	s(cm)	路床	勾配	h_0 (cm)	Q(l/s)
A1	ガラス	0.10	1.0	滑面	1/400	3.80	3.80
A2	竹	0.26	2.0	粗面	1/100	4.10	8.00
A3	竹	0.26	4.0	粗面	1/100	4.10	8.50

はその流下、水平方向成分のU, Wを示している。図からほぼ一様な流速 U_0 で流入してきた流れは植生側から非植生側への流量の移動により徐々に横断方向せん断流れが

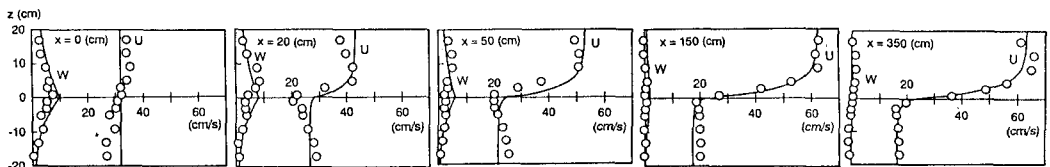


図-1 流下・横断方向流速 U, Wの遷移過程

形成され(①平均流の遷移過程)、150~200cm流下後、Wがほぼ0な平衡な流れに至ることがわかる。図-2には水平せん断の影響を受けない非擾乱域での流下方向流速 U_{10} , U_{20} と植生境界面での流速 U_s が、その平衡値 $U_{10\infty}$, $U_{20\infty}$, $U_{s\infty}$ に至る過程を示した。図から流れの平均流特性が平衡に至る距離 L_E はほぼ同一の値と見なせ、その遷移過程は指数関数的であることがわかる。 $U_{10}(x)=U_{10\infty}+(U_0-U_{10\infty})\exp(-x/L_x)\cdots(1)$, $U_s(x)=U_{s\infty}+(U_0-U_{s\infty})\exp(-x/L_x)\cdots(2)$ と表示した結果は図-2に示すように良好である。流れの遷移過程においてもその流速分布は平

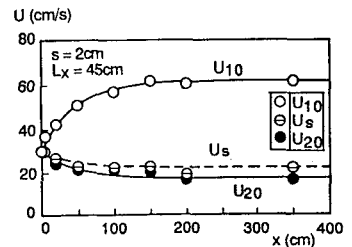


図-2 平均流の遷移過程

衡部におけるそれと相似とみなすと、山崎ら¹⁾の解と式(1), (2)と横断方向の混合層の長さスケール L_{zi} を用いて次式が仮定できる。 $U_i(x, z)=U_{i0}(x)+\{U_s(x)-U_{i0}(x)\}\exp\{(-1)^i z/L_{zi}\}\cdots(3)$, 横断方向の流速分布についても同様の考えより、 $W_i(x, z)=W_i(0, 0)\exp\{(-1)^i z/L_{zi}\}\exp(-x/L_x)\cdots(4)$ と表示され、図-1に示すようにほぼ妥当な表示であることがわかる。ここに、下付け添え字iは1が非植生側、2が植生側であり、 L_x は緩和の距離スケールである。指数関数的緩和を考えているから $L_E=(3\sim 4)L_x$ である。図-3に横断方向乱れ強度W'の水深平均値の流下方向変化を示した。流れの平均量とほぼ同一の緩和距離を経て平衡な乱れ強度分布

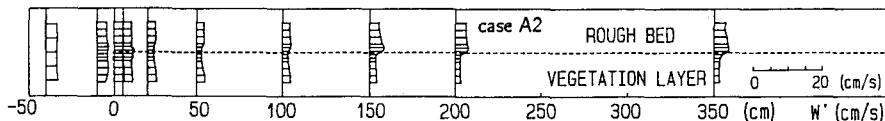


図-3 横断方向乱れ強度W'の水深平均値の流下方向変化

が形成される。ただし図-4, 5のReynolds応力 $-u'w'$ および w' のスペクトル密度関数の流下方向変化図から平均流がほぼ遷移した後、横断方向の乱れ成分が徐々に高周波から低周波へと移行、低周波の横断混合が発達する過程（②横断混合の遷移過程）

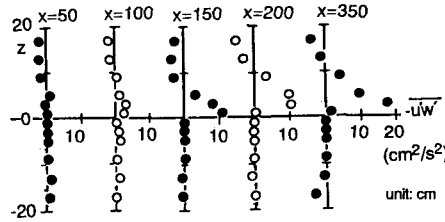


図-4 $-u'w'$ の遷移過程

が出現し、横断混合が完全に発達した流れ（③平衡領域）に至ることが分かる。

3. 掃流砂に関する実験 2.の実験結果から流入部の流れは①～③の過程に分けられ、それに応じた形の掃流運動が出現する。ここでは、低周波の横断混合が発達しない、平均流の遷移過程が主たる状況での流砂過程を対象とする。流下、横断方向に掃流力が変化する場における非平衡掃流過程は、pick-up rateとstep

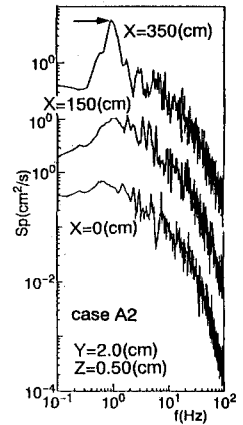


図-5 スペクトル密度関数

lengthを構成要素とする確率過程モデルによつて的確に表現され、 (x_i, z_j) を出発した砂粒子の (x_m, z_n) での運動方向角を ϕ_{mnij} とすると掃流砂量の流下方向成分 q_{Bx} 、横断方向成分 q_{Bz} 、河床高 z の時間変化率は $q_{Bx}(x_m, z_n) = K_0 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_s(x_i, z_j) G_{mnij} \cos \phi_{mnij} \dots (5)$, $q_{Bz}(x_m, z_n) = K_0 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_s(x_i, z_j) G_{mnij} \sin \phi_{mnij} \dots (6)$, $\partial \zeta / \partial t = (\partial q_{Bx} / \partial x + \partial q_{Bz} / \partial z) / (1 - \rho_0) \dots (7)$ と表される。ここで、 $K_0 = A_3 d / A_2$, A_2 , A_3 : 砂の形状係数, d : 砂の粒径, ρ_0 : 砂の空隙率, G_{mnij} : (x_i, z_j) を出発した砂粒子が (x_m, z_n) を通過する確率である。図-6, 7は流れの実験と同じ水理条件で通水したときの q_{Bz} , q_{Bx} の空間分布の実験値と式(5), (6)にもとづく計算値との比較であり、 q_{Bx} については良好に再現された。流入直後の領域での q_{Bz} の計算値と実測値との差異は $W_i(x, z)$ の評価によるものと思われる。計算にあたっては、掃流力の空間分布は $\tau = C_f \sqrt{\{U_i(x, z)^2 + W_i(x, z)^2\}}$, C_f : 非植生側摩阻抵抗係数で与えた。step lengthは掃流粒子の運動軌跡上で定義し、軌跡長は運動方程式を解くことで評価、平均step lengthを $\Lambda = 100d$, その分布は指数分布に従うものとした。また、図-8は河床高の実測値と時間変化率の計算値とを比較したもので定性的な傾向は一致している。

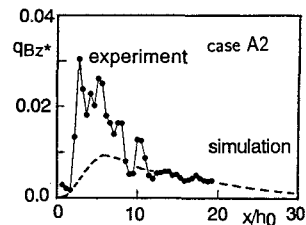


図-6 q_{Bz} の流下方向分布

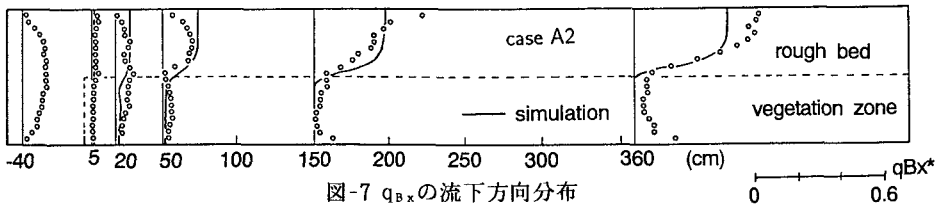


図-7 q_{Bx} の流下方向分布

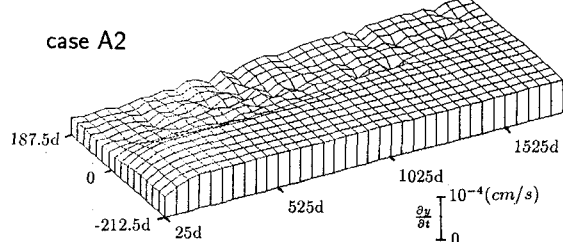
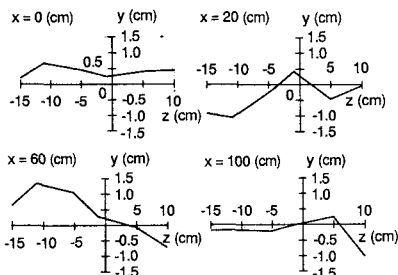


図-8 河床高の実測値と時間変化率の計算値