

II-186 植生帯流入部での流れの遷移過程と平衡部での乱れの特性について

京都大学大学院 学生員 堀 孝成 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 京都大学大学院 学生員 島村亜紀子

1. はじめに 近年、河川環境の保全・積極的な醸成のため河道内の植生を残す事が多く、治水面においても流水断面積のみで河道の安全性等を論ずることは少なくなってきているばかりでなく、堤防の侵食や護岸の根の洗掘を抑制するために、積極的に植生を利用した近自然型工法が採用されることが多い。こうした河道内植生帯の近傍では、流砂の挙動は流下・横断方向にわたって変化しており、植生帯の存在が河床形状や流路の平面形状に及ぼす影響を検討しておくことが河道内植生を利用する上で重要である。流砂モデルが整備されつつある現状では、流れの遷移過程と平衡部における特性を知ることが必須である。本報では流入部の遷移過程及び平衡部の乱れの特性について、そのスペクトル密度の特性の面から実験的な検討を行った。

2. 実験方法 長さ12m, 幅0.5mの可変勾配水路に平均粒径0.022cmの砂を粗度として貼り付けた。側岸に沿って、直径2.6mmの木製円柱を中心間隔2cmで幅25cmの植生帯を側岸にそって流下方向に6mにわたって設置した。路床勾配及び流量はRun.1では1/300, 14.0(l/s), Run.2では1/500, 11.5(l/s)であった。流速はホットフィルム流速計を用いて、平均流速と一致する路床よりの高さ($y/H=0.37$, H :水深)で、流下方向に流れが十分に発達したと思われる流入部から4mの断面まで計測された。さらに同一の水理条件の下で波高計を用いて境界面を挟んで植生・非植生に3.0cm入った位置での水面変動を同時計測した。

3. 流れと水面変動の流下方向変化 図-1に流下方向流速, 横断方向流速の平均流速 U , その乱れ強度 u_{rms} , w_{rms} , 横断方向の運動量輸送(レイノルズ応力) $-\overline{uw}$ の流下方向変化を示す。平均流速成分の変化は従来の実験結果と同様に流入部水深の約40倍程度の距離(2m)ではほぼ平衡に達しているように見える。一方、乱れ強度 u_{rms} , w_{rms} の横断方向分布は明らかに2m以降もその流下方向変化率は小さくなるものの変化を続ける。 u_{rms} , w_{rms} は2.5m付近でかなり平衡な状況に達するのに対して、レイノルズ応力の変化過程は、これ以降も変化が顕著であることがわかる。流下方向流速 U の横断方向分布は横断方向の運動量輸送量(レイノルズ応力)の積分として与えられるので、その特徴の現れ方が鈍くなり、従って遷移距離が乱れのそれより見かけ上短くなっているものと推測される。図-2に水面変動の乱れ強度 h_{rms} の流下方向を示す。横断方向流れ W が顕著な0~1mの区間では、流入直前の値とほぼ等しく、レイノルズ応力分布の形成が始まる1m以降の区間で徐々に増加し、その増加率は形成過程ではほぼ一定値をとっている。すなわち水面の変動と乱れ成分の横断方向分布との形成が密接な関係に有ることがわかる。こうした両者の関係を乱れのスペクトル密度の面から検討する。図-3に植生側の水面変動のスペクトル密度関数の流下方向変化を示す。図から、水面変動の全乱れエネルギーに占める高周波成分はそれほど変化せず、図-1に示される乱れ強度の増加は主に低周波成分の増加であることがわかる。一方、低周波側での卓越周波数は1.5から2.0mの区間ではほぼ一定の値(0.3Hz程度)をとるようになり、乱れ強度が平衡に至る以前に乱れの動特性が決まることが推測された。植生側のスペクトル密度も同様の傾向を示す。図-4に植生及び非植生側のそれぞれの水面変動の相互相関係数を示したものである。流入部直後約1mの区間では両者の相関はほぼ無く、スペクトル密度のピークを与える周波数が一定になるに従ってその相関が高くなることから、両者の相互作用によって変動特性が決まることが理解される。また原点とそれぞれの水面変動周期以外にピークをもたないことより、植生、非植生領域の水面変動はほぼ同位相であることもわかる。横断方向流れの変動のスペクトルの流下方向変化も乱れ強度の増加特性とその卓越周波数の顕在化傾向は水面変動と同様の特徴を持っていることも確認された。

4. 乱れ成分の分離について 3. で述べたように植生流入部における流れの乱れエネルギーは流下するにしたがって低周波側成分が増加、したがって図-5に示す実測例のように U , W は低周波変動に規定されたような時系列になる。一般に周期成分を含む非定常時系列は平均値成分, 周期成分, 乱れ成分に分離して扱われる。こうした観点から石川ら¹⁾は、非定常時系列データの解析に対して用いられる位相平均法の適用を試みている。ここでは低周波変動に着目し、低周波成分に対してフーリエ級数展開法を用い、周期成分と平均値を定義し、それからの残差を乱れと見なして、運動量輸送に果たす低周波変動の効果についての検討を進めた。図-6はフーリエ級数の項数を15として非定常平均値を定義して、そこからの残差を乱れとして計算されたレイノルズ応力($-\overline{uw}$)と低周波変動による輸送量との関係を示したもので、横断方向の混合が激しい干涉領域では低周波変動によるものの割合が大きいのにに対し、こうした領域を離れるにしたがって減少し、通常の乱れ成分に漸近する事が伺える。図-7は周期成分を除いたレイノルズ応力をそこの流下方向流れの横断方向勾配で除して求めた渦動粘性係数を、局所的

な摩擦速度と水深を用いて規格化したものの横断方向変化を示したもので、2次元等流の鉛直方向乱れの渦動粘性係数の水深平均値とほぼ同じ程度であることがわかる。

5. おわりに 本報では流れ及び水面の変動の平衡に至る過程の特徴を実験的に検討し、その変動の動特性の変化過程は静特性のそれより早く出現し、卓越周波数が一定になるのは水深の倍程度であるのに対し、変動強度はこれ以降も増加し水深の40倍程度で平衡に至る事が認められた。さらに、平衡部の乱れが低周波変動に強く支配されることから、フーリエ級数展開法を用いて定義された平均値と周期成分からの変動成分の性質は2次元流れの鉛直方向成分乱れと類似することが推測された。今後は、さらに実験的な検討を進めるとともに、周期成分自身の流下方向変化についての検討を進める予定である。

参考文献 1) 石川・高橋・細井：河岸植生付近の横断混合流れの位相平均解析，第37回水工学論文集，1993。

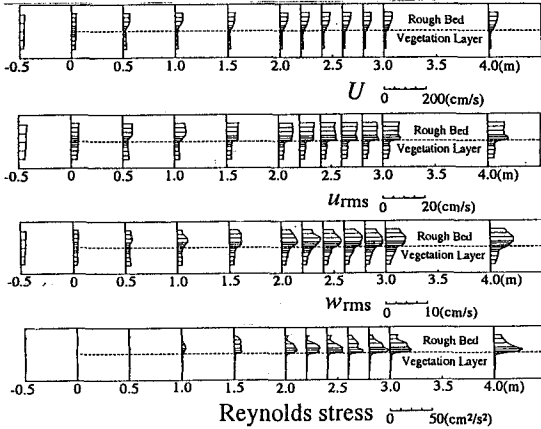


図-1 流れの流下方向変化

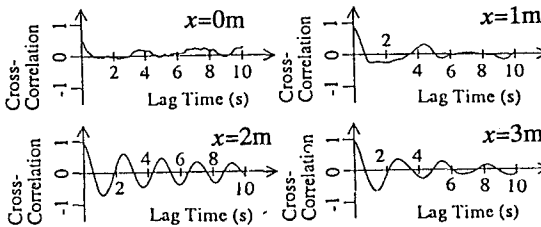


図-4 水面変動の相互相関係数

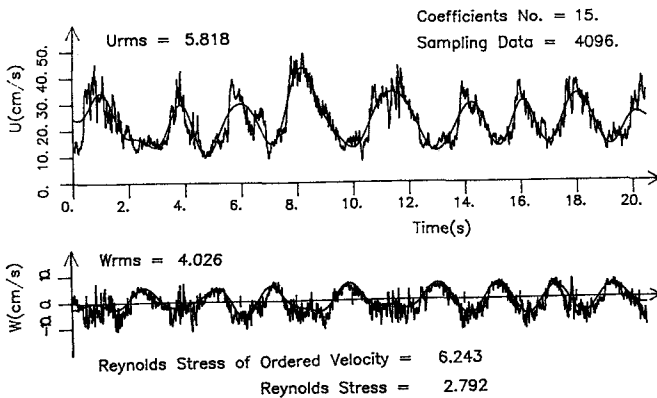


図-5 U, Wの時系列の例

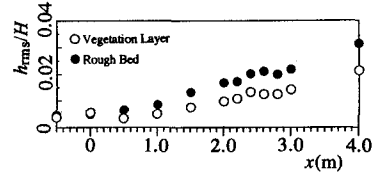


図-2 水面変動の乱れ強度 h_{rms}

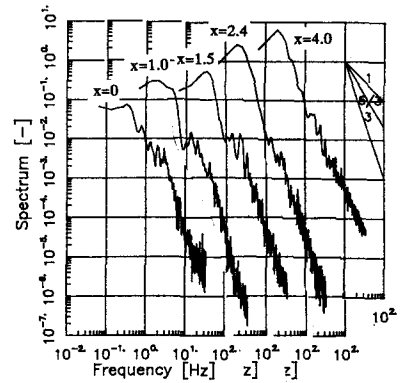


図-3 水面変動のスペクトルの流下方向変化

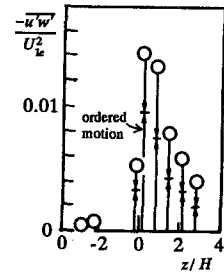


図-6 レイノルズ応力への低周波変動の寄与

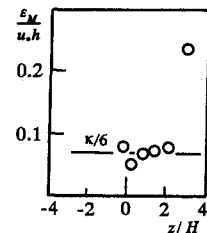


図-7 渦動粘性係数の横断方向変化