

II-115

PTV可視化計測による模擬植生河道部の乱流特性に関する考察

東北工業大学 正員 相原昭洋

東北工業大学 正員 阿部至雄

東北工業大学 学員 朱 朝利

1. はじめに

多自然型河道の河岸には植生が繁茂していたり、また、粒径の異なる砂礫などが河道横断方向に存在するため、流れ場は複断面河道の流れと類似の流況を呈することが知られている。本研究では、低水敷と粗度の異なる模擬高水敷上に植生帯が局所的に存在する河道部に着目したPTV可視化計測を実施し、その測定精度について検討を加え、次いで植生河道部の乱流特性について若干の考察を行う。

2. 実験概要

水路勾配を1/1000に調整した実験水路の床上に、粒径の異なる砂礫を用いて試作した粗度板を配置し、粗度断面（模擬複断面）を作成した。その水路中央部の右岸高水敷上に、高さ $K=15\text{mm}$ 、長さ $L_K=2\text{m}$ のプラスチック多孔質体（空隙率95%）の模擬植生帯を設置し植生河道部とした（図1）。水路条件は $Q=3700\text{cm}^3/\text{s}$ 、 $b/B=0.4$ 、 $H/K=1.8$ とし、実験で対象とした流れは常流である。また、PTV可視化計測は測定断面を植生帯の上流端、中央部及び下流端断面の水面下5mmの位置で実施した。その際PTV可視化計測の測定精度を検証するために、直径3mmの超小型プロペラ流速計及びレーザー流速計（FLDA）による流速の点計測を植生中央部で行った。なお、可視化計測に使用したトレーサはナトリウム20（粒径 $250\sim 600\mu\text{m}$ 、比重1.02）である。本研究では粒子の追跡時間間隔、平均化時間の長さ、Penalty関数の導入等によって粒子の誤対応や解析精度について検討を加えた後、瞬間流速ベクトルより流速の時系列を得る事によって、空間解析及び乱流統計量の算出を行った。

3. 実験結果とその考察

図2はPenalty関数を用いて時系列に含まれる誤対応の流速ベクトルの除去について検討したものである。同図は流速の時系列の確率密度関数(PDF)分布から得られる平均流速 U の半値を W とすると、解析対象の流速範囲を $BW=U\pm nW$ として得られた流速分布を示したものである。これより、主流方向の平均流速 U は BW に殆ど依存せず、計測される流速の値はほぼ同じである。一方、流速が遅い横断方向の平均流速 W の分布に見られるように W の幅 BW を狭い範囲に限定すると有用な速度情報が棄却されてしまうが、 BW を W の2~3倍の流速範囲で計測するとほぼ同程度の精度で流速の値が計測されるのが知れる。ここでは、棄却されるデータを最小に押さえるため $BW=n=3$ とした。次に、PTVで得られた平均流速の横断分布と点計測結果との比較を図3に示した。PTVによる結果は、FLDVとプロペラ流速計で得られた測定値の中間に位置する結果となり、点計測と同程度の精度で計測されていることが分かる。図4は植生帯付近の流れ

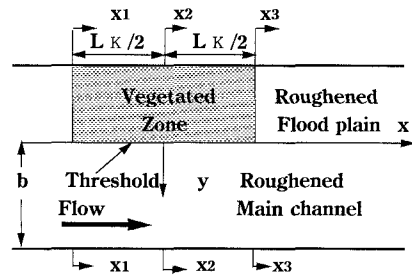


図1 流れの模式図

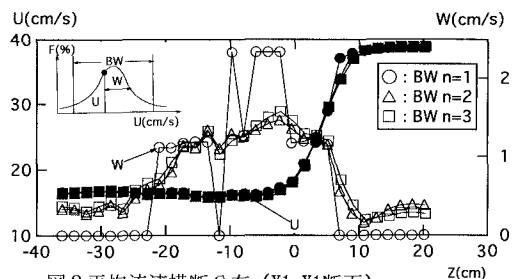


図2 平均流速横断分布 (X1-X1断面)

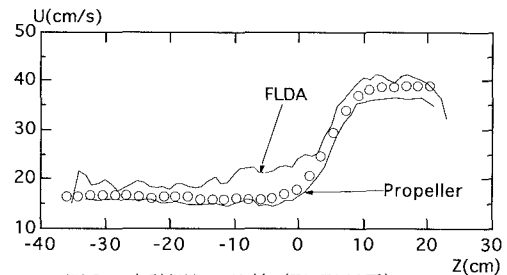
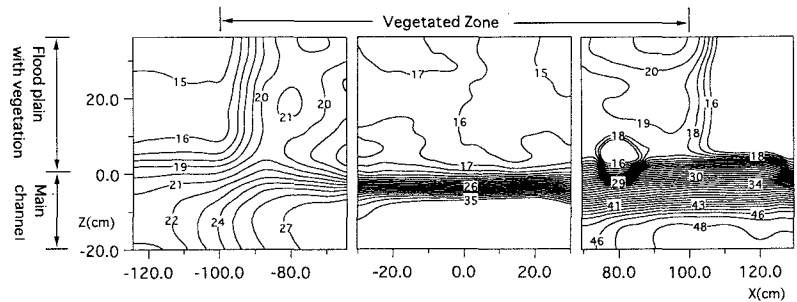


図3 点計測との比較 (X1-X1断面)

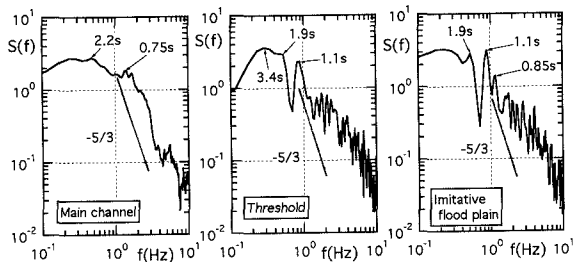
場の主流の平均流速 U の水平分布を示したものである。図から、植生境界付近に生じている平面渦断流れが植生帯の存在によって、植生境界付近で著しく発達すること、特に、主流部の流速が加速され

様子が見られる。また、植生下流端では低水敷の流速の加速に加え、大きな平面渦が補足されている。次に、PTVで得られた流速の時系列より植生帯中央部の流速変動のスペクトルを示したのが図5である。図に示される様に、流速変動のスペクトルは多重構造性を示し、その卓越周期には高、低水敷間の水位変動や水平渦による変動が含まれていると考えられるが、卓越周期2.2、1.9secのスペクトル成分の励

起は、上述の水平渦の存在に対応するものであり、従ってこの水平渦は構造性を持った組織渦であることが分かる。図6は、この水平渦による植生河道部の運動量交換の程度を見るために示したレイノルズ応力の鳥瞰図である。図には、植生帯の存在がレイノルズ応力に及ぼす影響が特徴的に現れている。即ち、植生带上流端では植生帯の存在によってレイノルズ応力は急激に増大し、植生帯中央部では大規模平面渦によって運動量の交換が生じていることが知れる。その運動量の輸送は主に低水敷から高水敷上になされている。

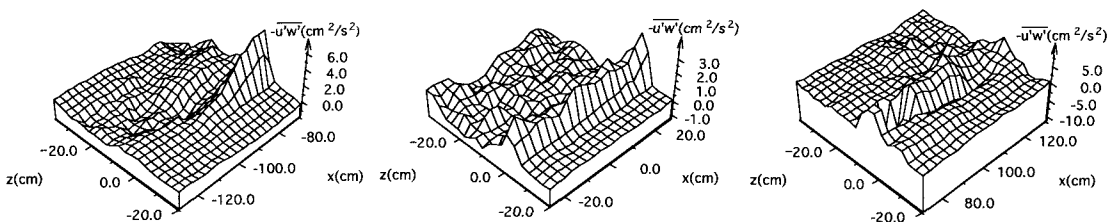


(a) 上流端 (X1-X1) (b) 中央部 (X2-X2) (c) 下流端 (X3-X3)
図4 植生帯における時間平均流速 U の水平分布



(a) 主流部 (b) 植生境界 (c) 植生上

図5 流速変動のスペクトル



(a) 上流端 (X1-X1) (b) 中央部 (X2-X2) (c) 下流端 (X3-X3)

図6 レイノルズ応力の鳥瞰図

4. おわりに

局所的に植生帯を有する河道部においてPTV可視化計測による乱流計測を実施した結果から、(1)PTV可視化計測によっても一定の精度を持った乱流計測が可能であること。(2)PTV可視化計測によって示された流れの空間構造から植生境界付近に大規模な水平渦が存在すること、更に、この水平渦は乱れの統計解析から構造性を持った組織渦であり、植生境界を通しての運動量交換に強く関わっていることなどの乱流特性の一端を示すことが出来た。

参考文献 1)山崎・石川・金丸(1984):開水路平面渦断流に関する実験的研究,第39回年講,第2部,pp473~474

2)T.Abe,A.Aihara and Z.L.Zhu: Application of Particle-Tracking Velocimetry to Visualization of flows in Imitative Compound Open-Channel with Vegetated Zone, 7th, Int.Symp.on Flow Visualization,1995.9,pp 701-706