

II - 4

P T Vによる乱流計測の実際

東北工業大学 ○ 学生員 平谷 裕
東北工業大学 正 員 阿部 至雄
東北工業大学 正 員 相原 昭洋

1. はじめに

可視化計測手法の一つであるP T V技術は可視化空間内の同時多点の速度情報が得られ、瞬間的な乱流の構造を把握する上では大変有用であるが、時間平均的な統計量に対する測定精度や三次元流れ場への適用などに於いて、解決すべき問題点が残されている。

本研究では、河道に植生が存在するような流れ場を対象として可視化計測を実施し、その瞬間流速ベクトルから流速の時系列を求めることにより、P T Vによる乱流統計量の測定精度について検討を行った。

2. 実験方法及び解析方法

実験に使用した水路は、長さ12m、幅0.6mの勾配可変型開水路である。その水路床に砂礫を用いた粗度の異なる抵抗板を横断方向に配列して模擬複断面河道を作成した。実験は模擬高水敷上に長さ $L_k=2m$ の7°プラスチック製の多孔質体の植生モデルを局部的に配置した植生河道部を対象とした（図-1）。水力条件は、 $Q=3700cm^3/s$ 、河床勾配 $i=1/1000$ 及び低水敷幅 b と河幅 B の比 $b/B=0.4$ とした。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7°傾斜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イロン20（粒径250~600 μm 、比重1.02）である。

可視化計測の際、精度へ直接的に影響を与えるのは、瞬間流速ベクトルを求める時に生じる粒子の誤追跡である。この誤追跡は、流水中に含まれる気泡やゴミ等の実験施設から生じるものと可視化平面内に投入するトレーサ粒子の濃度、粒径等の可視化技術から派生するものや、さらに、画像処理時に生じる事が考えられる。実験施設や可視化技術から生じる誤追跡の要因となるものは極力排除し、ここでは、処理画像のサンプリングタイム Δt 、平均化時間の長さ T 、Penalty関数（Gaussian Window）の導入等によって解析精度の検討を行い、局所的平均流速、レイノルズ応力等を求めた。

3. 実験結果及び考察

図-2に低水敷と高水敷の境界部付近の瞬間流速ベクトルから得られた流速成分 u の時系列データを示した。図に見られるように、境界部付近では平面渦の通過に伴う流速の変動が激しいにも関わらず得られた時系列のデータには、流速の値や経時的な変化、また、サンプリングタイムの違いによる有意な差異は殆ど見られない。次に、平均化時間の長さに対する時間平均流速の変化を図-3に示した。図は、PTVと点計測の高水敷、低水敷の各領域の一定流速部分での平均値を比較したものである。図によれば、平均化時間を長くしてもPTVで得られる時間平均流速値は変わらず一

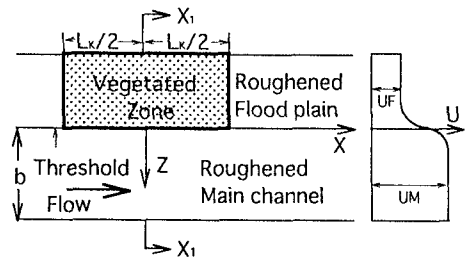


図-1 流れ場の模式図

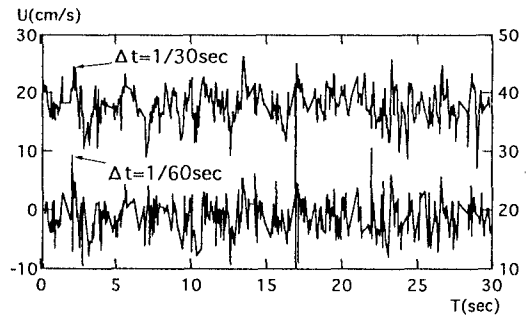


図-2 流速の時系列（Threshold）

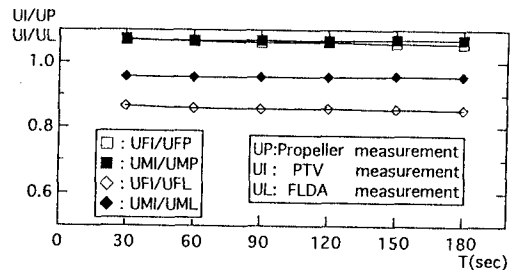


図-3 時間平均流速の変化

定の値を示していることから、30秒程度の計測時間でも十分対応できる事が知れる。また、データ処理に要する時間はサンプリングタイム、平均化時間によって飛躍的に増加するので、処理時間を軽減するため種々検討した結果、サンプリングタイム $\Delta t = 1/30s$ 、計測時間30sとしてデータの処理を行った。

次に、時系列データの確率密度関数(PDF)を計算し、誤対応の速度ベクトルの除去を行う。図-4(a)、(b)はPDF分布の最大値を100%として、その最小頻度BCに対する計測流速範囲を定めて誤対応を除去した平均流速(W成分)、レイルス応力 $\overline{-U'W'}$ を示したものである。図よりBCを5~15%の割合で誤対応を除去しても解析結果の平均流速、レイルス応力は殆ど変わらない事が分かる。

図-5(a)、(b)にPDF分布から得られる平均流速Uの半値Wを用い計測流速範囲を $BW = U \pm nW$ として計測した場合をそれぞれ示した。同図より計測流速範囲BWを狭い範囲に限定すると図に示すように、有用な速度情報も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平均流速、レイルス応力は同程度の測定値で計測される。また、何れの方法で誤対応を消去してもBC=5%、BWを $n=3$ の計測範囲を定めればよい。さらに、計測されたレイルス応力分布は、平面切断流場の特徴である低水敷から高水敷への運動量輸送の様子を表現しており、PTVで乱流計測が適用し得ることが分かる。

図-6にPTVで得られた平均流速の横断分布を点計測と比較して示した。PTVによる測定結果は、FLDA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。

図-7に低水敷部で得られた流速成分Uの時系列データに対するスペクトルを示した。これより、流速変動のスペクトル特性は乱流場で云われる $-5/3$ 乗則に従うスペクトル特性の減衰を示し、低水敷部での流れを再現しているものと思われる。

4. あとがき

植生河道部の流れ場にPTV可視化計測法を適用し、その精度について検討を行った結果、実験中の諸注意に加え、画像解析時に Δt 、T、Window等を適切に考慮することによって、PTV可視化計測で信頼性のある乱流計測が可能であることが示された。最後に、本実験に際し本学学生、大平哲也、大洞敦彦君の協力を得た。ここに記して感謝の意を表したい。

参考文献1)相原、阿部：平面切断流場の境界混合現象の可視化計測、土木学会、東北支部1995

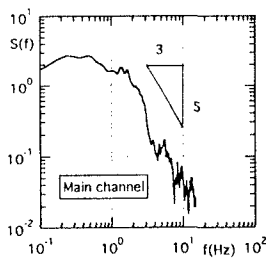


図-7 流速成分Uのスペクトル

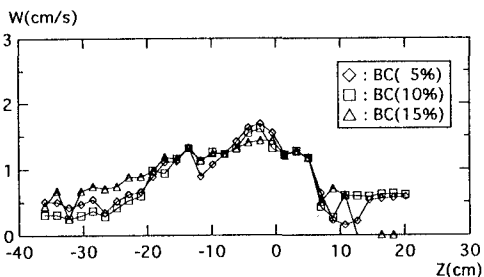


図-4 (a) 平均流速横断分布 (W成分, X_1-X_1)

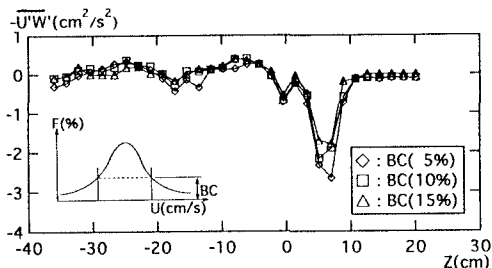


図-4 (b) レイルス応力 (X_1-X_1)

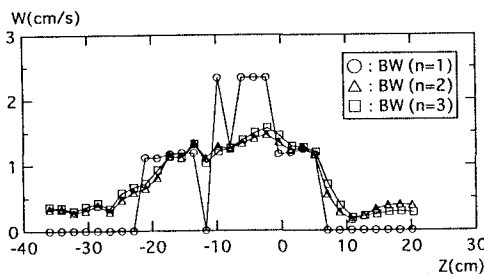


図-5 (a) 平均流速横断分布 (W成分, X_1-X_1)

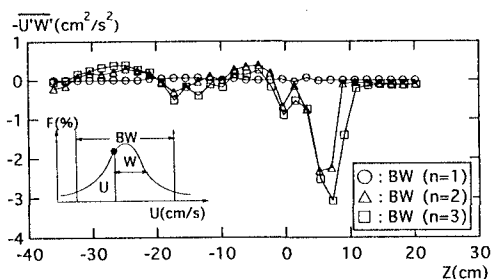


図-5 (b) レイルス応力 (X_1-X_1)

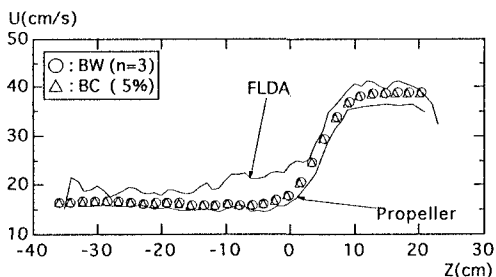


図-6 平均流速横断分布 (X_1-X_1)