

PIVによる水面直下の流速鉛直分布計測の試み

東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻
東京理科大学理工学部土木工学科
パシフィックコンサルタンツ(株)

学生員 ○服部 泰士 根岸 大介
正会員 二瓶 泰雄
正会員 柏田 仁

1. 序論

河川流量は河道の疎通能力に相当し、流量観測は河道計画通りに疎通能力が確保されているかをチェックする機能を有する。しかしながら、従来の浮子測法では、計画規模もしくはそれ以上の洪水では、作業が危険のため観測自体を行えず、河道計画のチェック機能が果たされていない。そのため、設置型の非接触流速計である電波流速計や画像解析法等の水表面流速計が注目されている。水表面流速計は水表面の凹凸を利用して流速計測を行うものであるため、風の影響を強く受け、計測深 z が不明確であり、さらに水深平均流速と水表面流速の比である更正係数が定まっていないなど流量計測上の初歩的問題を抱える。一方著者らは電波流速計に着目し、電波流速計・浮子・検証用流速計（ピトー管や ADCP 等）を用いた同時計測を風洞付開水路や現地河川にて行い、電波流速計の計測値が水面直下の流速値（実験室では $z>1\text{cm}$ 、現地では $z>20\text{cm}$ ）と大きく異なることを見出した¹⁾。しかしながら、水表面上の流速と水面直下の流速分布形がブラックボックスであること、異なる流速計の計測値を比べている等の課題が残された。本研究では、瞬時の面流速計測を可能とする PIV (Particle Image Velocimetry) 計測システムに基づいて、水面直下における流速鉛直分布特性を把握し、水表面流速計の性能検証を行うことを試みる。ここでは、水表面流速計として電波流速計を対象とし、前述の PIV と浮子、ピトー管を用いて、2 種類の開水路における室内実験を実施する。これにより 1) PIV 計測結果に基づく水表面直下の流速鉛直分布、2) 電波流速計と他の流速計の比較、3) 電波流速計の計測深を検討する。

2. 研究方法

(1)PIV の概要：PIV は、流れ場中に混入されたトレーサーのパターンマッチングを時刻の近い画像間で行って流速パターンを算出するものである（図 1）。そのため、測定断面上方よりレーザーライトシート（50mW, カトウ光研(株)製）を照射し、流れ場中にトレーサー粒子（DIAION SEPABEADS, 日本錬水(株)製）を入れ、その様子をハイスピードカメラ（ハイスピードデジタル CMOS カメラ k-2 EX, カトウ光研(株)製）で撮影する。この動画に対して PIV ソフトウェアを適用する。

(2)実験概要：本論文では、根岸ら¹⁾と同じく風洞付開水路（パシフィックコンサルタンツ(株)所有、図 2）に加えて、東京理科大学所有の開水路を用いて室内実験を行った。前者では、全長 20m, 幅 1m, 水路床勾配 1/300 であり、流量 $0.270[\text{m}^3/\text{s}]$, 計測断面の水深 0.283m , フルード数 0.57 の水理条件である。風速は逆風 (-5.3m/s), 無風, 順風 (5.3m/s) の 3 条件である。水の濁りの関係で、PIV は側壁から 0.10m 地点、他の流速計（電波流速計, 木片浮子（縦 3.0cm , 横 2.6cm , 高さ 0.5cm ）, ピトー管）については横断面全体にわたり計測した。上記水路では、PIV 計測の制約が大きかったため、PIV 計測精度や計測結果を詳細に検討するために、本学での開水路（全長 20m, 水路幅 0.6m , 水路床勾配 1/100）にて上記 4 つの流速計を用いて計測した。浮子は発泡スチロール ($3.0 \times 3.0 \times 0.5\text{cm}$) と木片 ($3.0 \times 2.6 \times 0.5\text{cm}$) である。ここで浮子については水表面近傍の流速を計測するために用いた。ここでの流量は $0.0236[\text{m}^3/\text{s}]$, 水深は 0.0458m , フルード数は 1.28 である。計測横断位置は PIV のみ中央、他の機器は断面全体とする。

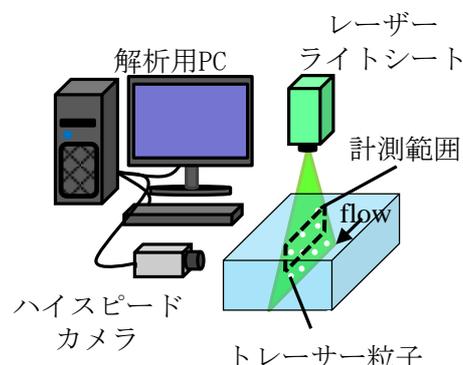


図 1 PIV 計測システムの構成

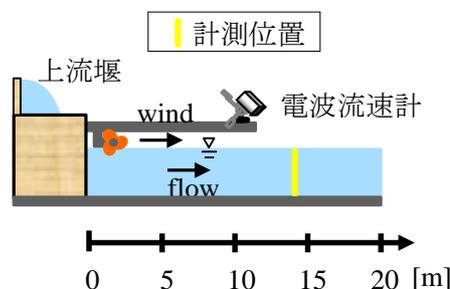


図 2 実験水路の概要と計測位置(パシフィックコンサルタンツ(株)所有)

キーワード：流速鉛直分布, PIV, 電波流速計, 水表面流速, 開水路

連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL：04-7124-1501（内線 4069）FAX：04-7123-9766

3. 結果と考察

(1) 3つの風速条件下の流速鉛直分布：風洞付開水路において得られた順風 (+5.3m/s)，無風，逆風 (-5.3m/s) における水表面直下の流速鉛直分布を図3に示す。ここでは、PIV、ピトー管、電波流速計、浮子の計測結果を表示する。また、水面位置は変動幅も含めて明記している。なお、PIVでは、水面変動幅範囲における流速データには、トレーサーが少ないがゆえに過誤ベクトルが多く見られたので、ここでは、割愛している。これより、全体としては、流速は、水表面に近づくほど、順風・無風時では減少し、逆風時では増加している様子が、全ての流速計データから見られる。このような状況は一般的な吹送流の鉛直分布とは逆の関係となっているが、これは計測地点が側壁近く(幅1mの中で側壁より0.1m地点)であり、二次流構造の影響を大きく受けているためであると推察される。また、PIVデータに関しては、水面直下の高さ(z=0.27m)ではピトー管と必ずしも一致していないが(特に逆風時)、水表面上の流速(電波流速計・浮子の計測値)や直下の流速を概ね繋げたような結果となっている。

(2) 電波流速計の計測深の推定：上記の結果に基づいて、電波流速計の計測値とPIVなどの計測値が一致する高さ(計測深)を推定する。図3より、電波流速計の計測値からの垂直線とPIVなどの計測値が交差する高さを求めた結果を風速との関係でまとめたものを図4に示す。なお、逆風時ではPIVデータに近似式を当てはめ、外挿をした結果から電波流速計の計測深を算出している。これより、計測深は無風時では-0.010~0.033mの範囲に位置している。これらの結果の精度やマイナスの値となるなど検討すべき点は多く、実験を積み重ね再検討が必要である。

(3) PIVによる水表面を含む流速鉛直分布計測結果：本学所有の開水路においてPIV計測により得られた水表面直下の流速鉛直分布を図5に示す。ここでもピトー管、浮子、電波流速計のデータも合わせて表示する。PIV計測結果より、水面直下の流速は水表面に近づくにつれて遅くなる傾向が見られる。また、PIVの計測値とピトー管の計測値は近い値になるが、電波流速計と浮子の計測値とはずれている。このように、定性的にはPIV計測により水表面を含めた流速鉛直分布の傾向は捉えられたが、他の測器との比較やその機器間の流速差に関しては、今後の検討課題といえる。

参考文献：1) 根岸ら：現地観測と室内実験による電波流速計の計測精度の検証，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.70, No.4, pp.625-630, 2014.

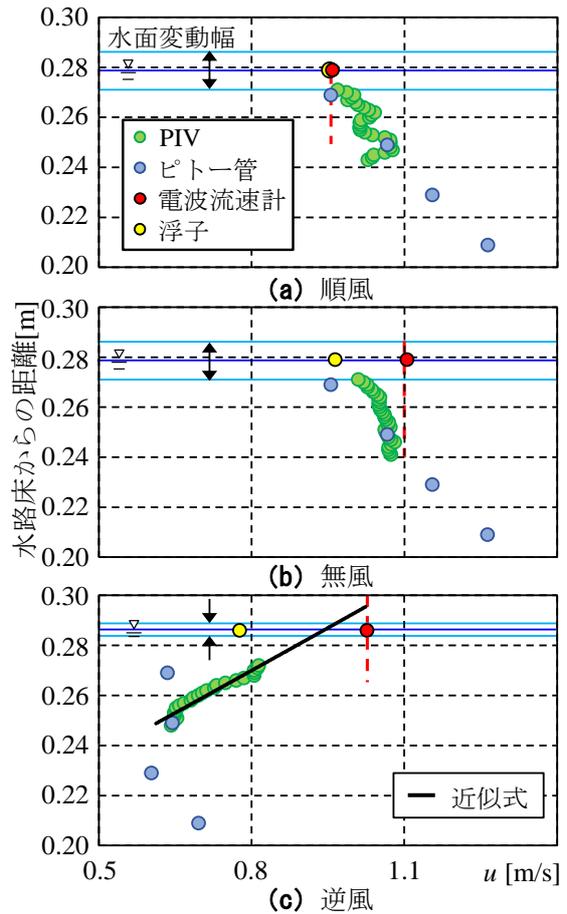


図3 風洞付開水路の流速鉛直分布

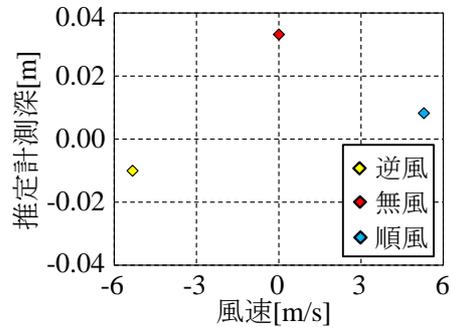


図4 電波流速計の推定計測深と風速の関係 (計測深の正は水面下を意味する)

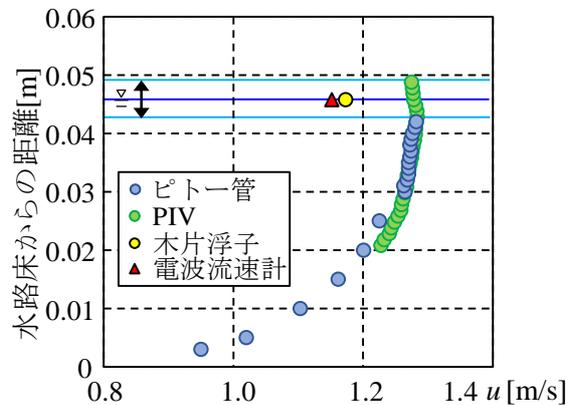


図5 PIVによる水表面近傍の流速鉛直分布