

第II部門 オプティカルフロー法の乱流計測への適用

神戸大学工学部 学生員 ○八木 潤平 神戸大学大学院工学研究科 学生員 谷 昂二郎
 神戸大学大学院工学研究科 正会員 藤田 一郎 神戸大学大学院工学研究科 学生員 東川 真也

1. はじめに

昨今の流速場計測では、PIV(Particle Image Velocimetry)が標準となっているが、最近の画像処理分野ではオプティカルフローにより物体の速度を求める手法が発達し、2013年頃からは活発に新たなフロー推定アルゴリズムが開発・提案されている。このアルゴリズムは海外で様々な学術分野で応用されており、水工学分野でも研究が行われている。しかし我が国の水工学分野では研究例が存在しない。そこで本研究ではその有用性やPIVと比較しての優位性を検討するために精度検証を行う。アルゴリズムはOpenCVで提供されているSparseToDense(STD)とDeepFlow(DF)¹⁾を用いた。

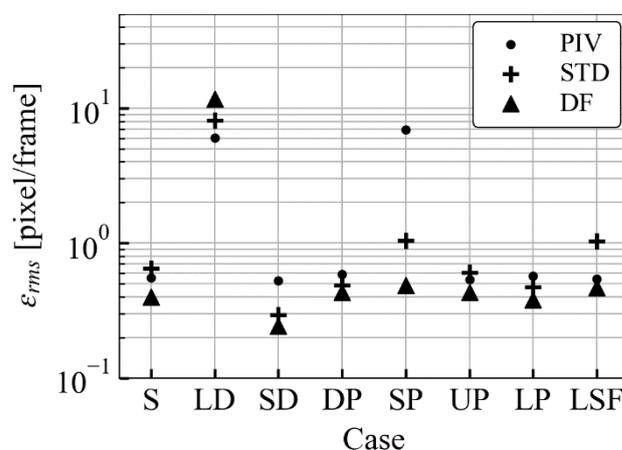
2. 精度検証方法

精度検証は2種類の方法で実施する。1つは流速場の真値が確認できる画像を用いたシミュレーションによる精度検証、もう1つは実験粒子画像による精度検証である。粒子シミュレーション画像は可視化情報学会が提供する画像計測手法の精度検証用の画像(4枚)²⁾を用い、ケースは標準画像(S)を基準に、大変位(LD)、小変位(SD)、粒子密度大(DP)と小(SP)、粒子径均一(UP)と大(LP)、二次流大(LSF)の8ケースについて検証を行う。ケースSの粒子は1フレームで画像平均7ピクセル動き、ケースLDでは平均22ピクセル、ケースSDでは平均2.5ピクセル動くように設定されている。実験粒子画像は直線開水路の下から横断方向中心部を縦断方向に照射し、粒子により可視化したものを用いた。用いた画像は栈粗度と呼ばれる一辺が0.9cmの角柱を栈粗度高さの10倍の間隔で設置した画像(SR)と設置していない滑面の画像(SM)である。

3. シミュレーション画像による精度検証

シミュレーション画像は真値が存在するため、これと結果を比較して検討を行う。Fig. 1は各ケースの主流速の結果と真値の差のRMS値を示している。これより、オプティカルフローの結果はPIV(直接相互相関法)と比較してケースLDを除き優位な結果と

なっている。ケースLDではPIVが優位な結果となっているが、実用上ここまで大変位の画像を用いることは少ないので、問題ないといえるであろう。また、ケースSPではPIVのみ大きく精度が悪くなっており、オプティカルフローは疎な密度の画像に対し有用であるとわかる。ケースSDでは粒子が1ピクセル以下の動きも多い画像で誤差がPIVの半分程度となっており、サブピクセル解析の精度も良好である。また、オプティカルフローはアルゴリズムによって平滑性や粒子のマッチング精度が異なる。STDは平滑性がDFほど大きくないため、ケースSPやケースLSFなど粒子がマッチングしにくい画像では精度が低下する傾向がある。

Fig. 1 rms of \bar{u} error

4. 実験画像による精度検証

Fig. 2 は PIV とオプティカルフローの計測結果を摩擦速度で無次元化した分布を示している。PIV(SR)は時空間微分法で PIV(SM)は直接相互相関法である。まず、(a)の平均流速分布では対数則およびPIV と概ね一致しており、平均流速精度は良好である。(b)の乱流強度分布では図中に Nezu³⁾の開水路の普遍分布を示しており、外層ではこれによく一致している。また、主流方向の乱流強度では栈粗度あり(SR)はPIV とよく一致している。鉛直方向の乱流強度では $y/h=0.2$ 以下でPIVより小さくなっている。(c)のレイノルズ応力分布では外層は図中に示した三角形分布に概ね一致している。しかし、栈粗度あり(SR)のケースでは底層付近に近づくときPIVより小さくなっている。以上の乱流強度とレイノルズ応力はどちらも底層付近で低下している。オプティカルフローでは流れが空間的に滑らかであると強く仮定して最適化問題を解くが、底層付近の鉛直速度勾配が大きい領域では本仮定の適用に問題を生じる可能性が考えられる。また、鉛直乱流強度やレイノルズ応力ではDFはSTDより小さくなっているが、この仮定の強度の違いが影響を及ぼしていると考えられ、DFは強度が大きいといえる。

5. おわりに

本研究では粒子画像を用いた流体計測におけるオプティカルフローの精度検証を行った。その結果、シミュレーション画像を用いた検証においては、PIV と比べて画像の撮影条件に対してより頑健であることが示された。実際の実験画像を用いた乱流計測では、低層付近では分布の再現性にやや難が見られたが、外層は良好な結果を示した。以上より、少なくとも平均場の計測には非常に有用であることがわかった。今後も様々な画像に対する検証を続け、その適用範囲や有用性を明らかにする予定である。

参考文献

- 1) P. Weinzapfel, J. Revaud, Z. Harchaoui, and C. Schmid : Deepflow: Large displacement optical flow with deep matching, In Computer Vision(ICCV), IEEE International Conference on, pp.1385-1392.IEEE, 2013.
- 2) <http://www.vsj.jp/~pivstd/image.html>, 2019年1月10日参照.
- 3) Nezu, I., Nakagawa, H. : Turbulence in Open-Channel Flows, IAHR-Monograph, Balkema, Rotterda, 1993.

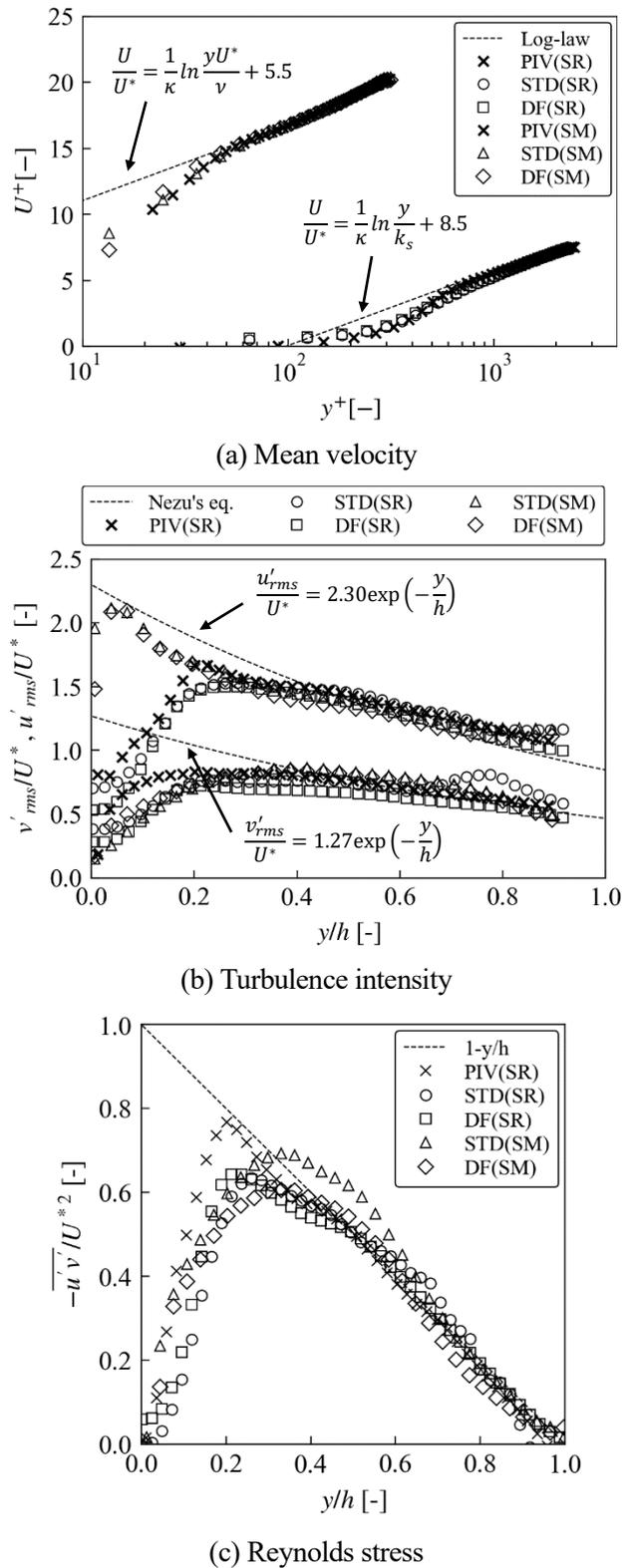


Fig. 2 Vertical distribution