

2020 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：分野横断型

研究期間：2020 年度

課題番号：20203009

研究課題名（和文）：風環境評価に広域 PIV 計測手法を適用するための基礎的検討

研究課題名（英文）：Fundamental study on applicability of wide-area PIV to wind environmental assessment

研究代表者：池谷直樹

交付決定額（当該年度）：300000 円

※ページ数の制限はありません。

※成果等の説明に図表を使用していただいて構いません。（カラーも可）

※提出して頂いた成果報告書をホームページでの公開を予定しております。

1. 研究の目的

可視化粒子画像流速測定法（PIV, Particle Image Velocimetry）は、レーザーシート光を計測領域面内に導入し、オイルパーティクルなどのトレーサー粒子を散布、粒子によるレーザー散乱光を高速カメラで連続撮影することにより、粒子の相関分布から移動距離を推定し、計測領域面内の二次元流速分布を推定する流速測定法である。建築環境分野においても、非定常気流を面内に同時計測できるという最大の利点から、建物屋外気や室内気流を問わず、近年になり積極的な活用が進められている。また、建築構造分野においても同様に、構造物に作用するピーク負圧に対する支配的気流場の抽出など、面的な気流場を把握できることの利点を最大限に生かした PIV 計測が行われている。しかしながら、複雑な構造物の内外気流を計測対象とするこれらの研究分野においては、トレーサー散布方法、レーザーシート導入手法などに工夫が必要なことに加えて、計測領域が従来の PIV 計測に比べて大きくなることが避けられないことから、画角やトレーサー濃度、解析アルゴリズムといった項目について、最適な設定方法が明らかになっていない。このような背景から、本研究課題では、広域 PIV 計測における問題点を明らかにし、PIV 計測手法を風環境評価に適用するための基礎的検討を行うことを目的として、以下の研究課題を遂行した。第一に、境界層流および角柱歩行者高さ気流を対象として、平均風速分布、乱れ強さ、乱流エネルギー、レイノルズ応力、積分時間スケールなどの基礎的統計量の比較を目的として、熱線流速計による検証実験との比較を行う。第二に、検査領域の影響を統計量と瞬間風速の評価の二点において、分析する。第三に、二点相関分布や積分長さスケールなどの広域計測の利点を活かした統計量の評価により、広域 PIV の有用性を明らかにする。以上により、風工学を対象とした広域 PIV の実用化に向けて、計測手法や統計解析における注意点を明らかにするとともに、広域 PIV 適用の有用性について議論する。

2. 研究の方法

2018 年 1 月に東京工芸大学の大型境界層風洞により行なった単純境界層の瞬時速度データベースを用いた追加解析を行なった。以下に風速データベースを取得した実験の概要を述べる。使用した大型境界層風洞は、幅 2.3m、高さ 1.8m、長さ 19.1m の測定胴を持つ。気流は建屋の内部を回流し、測定胴風上のメッシュ、ハニカム、縮流胴を介して、測定胴に流入する。縮尺 1/400 に設定した粗度区分 III 相当の速度境界層を想定し、測定胴風上から設置したスパイヤー、バリア、及びラフネスブロックにより、変動速度場を形成した。計測地点の床面には、ラフネスは設置せず、滑面の条件とし、I 型熱線流速系、X 型熱線流速計、PIV の 3 つの手法により鉛直方向に瞬間風速を計測した。流入風の平均風速、乱れ強さ、積分長さスケール、パワースベクトル密度は、それぞれ X 型熱線流速計により計測した瞬間風速から算出し、目標とする粗度区分 III の大気境界層における推定式とよく一致することを確認した（図 1）。この系において、PIV 計測における撮影領域を大・中・小とした際の瞬間風速及び統計量の相互比較を行なった。

3. 研究成果

3.1 瞬間風速分布について

図 2 には、最大撮影領域と最小撮影領域における瞬時変動速度 u' 、 w' のベクトル分布と鉛直

変動風速 w' が負の下降流となる際の等値図の時間変化を示す。参照高さ $z_{ref}=1.125m$ より、最大撮影領域では、 $0 < z/z_{ref} < 0.4$ 程度の範囲を、最小撮影領域では、 $0 < z/z_{ref} < 0.15$ 程度の範囲が同時計測されている。L500 の条件では、 $z/z_{ref} \sim 0.4$ の空間に渡る上昇流と下降流が交互に繰り返され、流れ方向に吹走している様子が見られる。また、図 4 (a) に示した (A) 点のように、上昇流から下降流が切り替わる点において、スパン方向に負の渦度を持つ半時計回り渦が確認できる。L200 の条件でも同様に、上昇流と下降流が切り替わる図 4 (b) の (A) 点や (B) 点において、スパン方向に正負の渦が確認でき、それらが徐々に流れ方向に吹走している様子が捉えられている。しかしながら、L200 で捕らえられた渦構造は、 $0.05z_{ref}$ 程度であり、L500 で見られるような構造に比べてかなり小さい。

3.2 統計量の評価について

次に、三つの計測領域の条件について、熱線流速計により十分長く計測することで得られた統計量との比較を示す。熱線流速計では、180s 間 3 セットの計測を行ったが、PIV 計測では、ハイスピードカメラの RAM 容量の制約で、一条件につき一度の撮影のみで、10s 程度の計測時間となった。そこで、統計量のばらつきを含めて PIV 計測結果を評価するため、熱線流速計のデータセットを PIV 計測時間の約 10s としたデータセットを 54 セット作成し、10s 間の平均値のアンサンブル平均と標準偏差を算出し、PIV 計測結果のばらつきを評価した。統計量の比較から、PIV 計測では、計測領域の大きさによる計測結果への影響は大きく見られないものの、計測を高解像度で行うことによる計測時間の不足が統計量のばらつきの要因となったことが判明した。この点については、点計測であっても統計的に有意な代表値を取得するか、もしくは、多点同時に空間情報を取得するかという優先度の問題になると思われる。仮に、今回の PIV 広域計測の設定において、熱線流速計で得られたような統計的な十分長い観測を行うためには、同一条件で 50 セット以上の計測が必要になる。計測時間はわずか 10s 程度であるが、撮影毎に 30GB を超える画像データを転送する必要がある、連続計測は困難である。また、記録した画像データの相関解析にも膨大な時間が必要である。これらのことから、高解像度計測での結果のアンサンブル数を点計測並に確保するのは現実的ではなく、点計測と面計測の両者を併用した効果的な計測方法が必要であろう。

3.3 研究集会の実施について

本研究課題の成果報告および関連分野の研究者の情報交換を目的として、2021 年 3 月 25 日に公開研究会を開催した。研究会下記要領にて実施した。

プログラム (敬称略)

13:00~13:05	趣旨説明	池谷直樹 (前掲)
13:05~13:25	風環境評価に広域 PIV 計測を適用するための基礎的検討	池谷直樹 (前掲)
13:25~13:50	竜巻上流れ場の PIV 計測	松井正宏 (東京工芸大学・拠点内代表者)
13:50~14:15	4D-PTV “Shake-the-Box” を用いた竜巻気流計測	飯田有未 (大林組)
14:15~14:40	ラージスケール PIV 計測手法の最新動向	中村健一 (西華デジタルイメージ株)
14:40~15:05	Proper Orthogonal Decomposition を活用した建物周辺気流の風速分布推定について	菊本英紀 (東京大学生産技術研究所)
15:05~15:30	風洞実験での小型サーミスタ風速計を用いた歩行者空間の瞬間風速計測	平野征将 (東京工業大学), 菊本英紀 (前掲), 大風翼 (東京工業大学)
15:30~	閉会挨拶	松井正宏 (前掲)

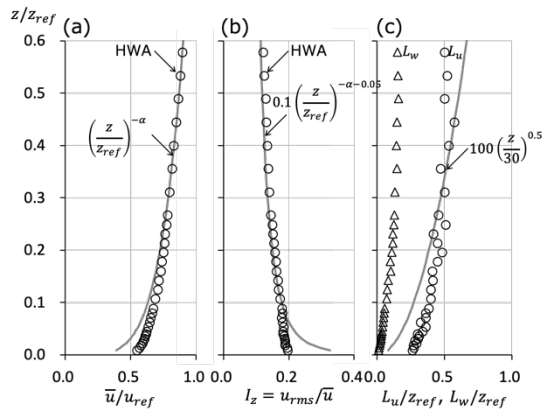


図 1 対象とした大気境界層乱流の鉛直プロファイル (a) 平均風速 (b) 乱れ強さ (c) 積分長さスケール.

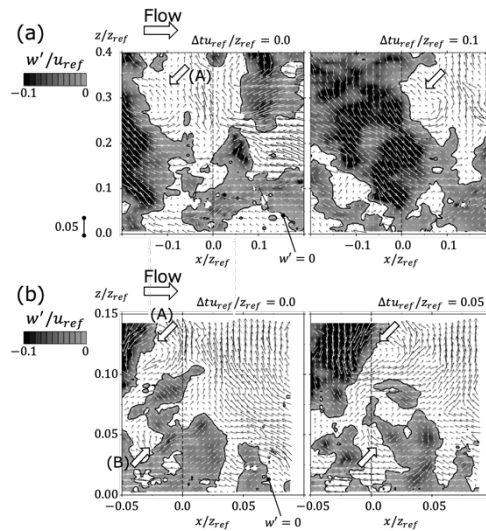


図 2 瞬間風速分布の比較 (a) 最大撮影領域の場合 (b) 最小撮影領域の場合

4. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

1. 日本風工学会誌, 風環境評価のための PIV 広域計測と瞬間風速評価に関する報告, 2021 年 4 月, 予定

[学会発表] (計 1 件)

1. 2021 年度日本風工学会年次大会, 風環境評価のための PIV 広域計測 -境界層流れ- 2021 年, 5 月, 予定

[図書] (計 0 件)

[その他, 産業財産権, ホームページ等]

5. 研究組織

(1) 研究代表者

九州大学大学院総合理工学研究院環境理工学部門 池谷直樹

(2) 研究分担者

1. 東京工芸大学工学部建築学科 松井正宏
2. 清水建設技術研究所環境基盤技術センター風環境 G 佐々木澄
3. 東京大学生産技術研究所人間社会系部門 菊本英紀
4. 大阪ガス株式会社エネルギー技術研究所計算科学材料ソリューションチーム 山田慎一

6. 要約(Abstract, 英文)

Research Theme: Fundamental study on applicability of wide-area PIV to wind environmental assessment

Representative Researcher (Affiliation) Ikegaya, Naoki (Kyushu University)

Particle Image Velocimetry was used to determine velocity fields using seeding particles and laser sheet light to visualize and analyze the spatial velocity distributions. Although the methodology was well established and employed in various fields of study related to the air flow, the applicability of PIV method in the field of wind engineering is not clear yet because the large measurement scale and high demand for obtaining instantaneous velocity fields. Therefore, this study aims to clarify the applicability of PIV measurement for evaluation velocity fields in terms of wind environmental assessment. Three methodologies of velocity determination using I-type and X-type hot wire anemometry, and PIV method were compared. The results showed that PIV is advantageous for capturing the instantaneous velocity distributions especially for turbulent structures in a mimic atmospheric turbulent flow as well as determining multi-point correlation distributions. In contrast, the drawback of the PIV measurements is insufficient measurement period to determine representative profiles of turbulent statistics. Based on these results, this study clarified the wide applicability of PIV measurement and possible use of the method for wind environmental assessments.

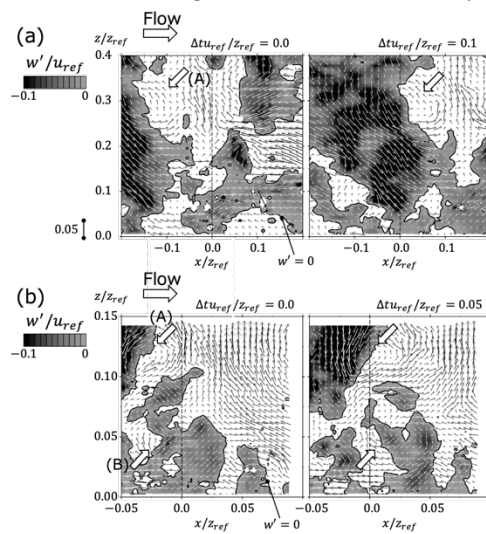


Fig.1 Instantaneous images of the turbulent structures in a mimic atmospheric turbulent boundary layer (a) Large measurement area (b) Small measurement area