

境界層風洞における建物周辺気流の PIV 計測

富永 禎秀^{*}, 大金 一二^{**}, 長谷川 亮平^{***}

(平成21年10月30日受理)

PIV Measurement of Flow around Buildings in Boundary-Layer Wind Tunnel

Yoshihide TOMINAGA^{*}, Katsuji OOGANE^{**}, Ryouhei HASEGAWA^{***}

Particle Image Velocimetry (PIV) measurements were performed around two kinds of three dimensional building models those were placed in a wind tunnel. Special attention was paid to uniformity of emitting tracers and clearness of images. For a cubic model, flow separation around frontal corner and vortexes in front of and behind the model is observed in measured results. For a street canyon model, a vortex in the canyon is clearly shown. It was confirmed that PIV technique is very effective to measure the complicated velocity field around buildings in detail in a wind tunnel.

Key words: PIV, Flow around buildings, Wind tunnel

1. はじめに

PIV (Particle Image Velocimetry; 粒子画像流速測定法)は流れの可視化技術に画像処理・画像解析技術を組み合わせた流体計測方法である。この方法は、風速計のように流れ場を乱すことなく瞬時・多点の速度情報を得ることができる点で、従来行われてきた風速センサーによる計測方法に比べて優れている。一般に建物周辺気流の計測は、模型の縮尺と測定精度の関係で大型の風洞で行われる。また大気乱流境界層を模擬するため、レイノルズ(Re)数や接近流の乱れのスケールが大きいことも特徴である。PIV をこのような建物周辺気流の風洞実験に適用する際に問題と考えられるのは、風路が大きいため、相対的に出力の大きなレーザが必要なことと、乱れが大きいためトレーサを均一な濃度で射出することが困難なことである。すなわちレーザ照射、撮影技術及びトレーサ射出技術の確立が課題である。

本研究ではこれらの点を検討し、乱れの大きい複雑な流れである建物周辺気流を対象とした風洞実験において、PIV 計測を行うための基礎的な検討を行うことを目的とする。

* 建築学科 教授(Department of Architecture and Building Engineering, Professor)

** 機械制御システム工学科 准教授(Department of Mechanical and Control Engineering, Associate Professor)

*** 建築学科 学部生(Department of Architecture and Building Engineering, Student)

2. PIV の原理と本研究で使用したシステムの概要

2.1 PIV の原理

PIV 計測の基本的な流れを Fig.1 に示す。PIV では、まず流れにトレーサを混入することによって流れ場の可視化を行う。そして微小の時間間隔で撮影した 2 枚の可視化画像に対して、領域分割を行う。その計算領域での粒子輝度のピークや濃度パターンが微小時間後にどれだけ移動したのかを相関係数を用いて計算することによって、局所的な速度ベクトルを求める。これを分割した全ての計算領域に対して行うことにより、多点の速度ベクトルを同時に計測することができる。

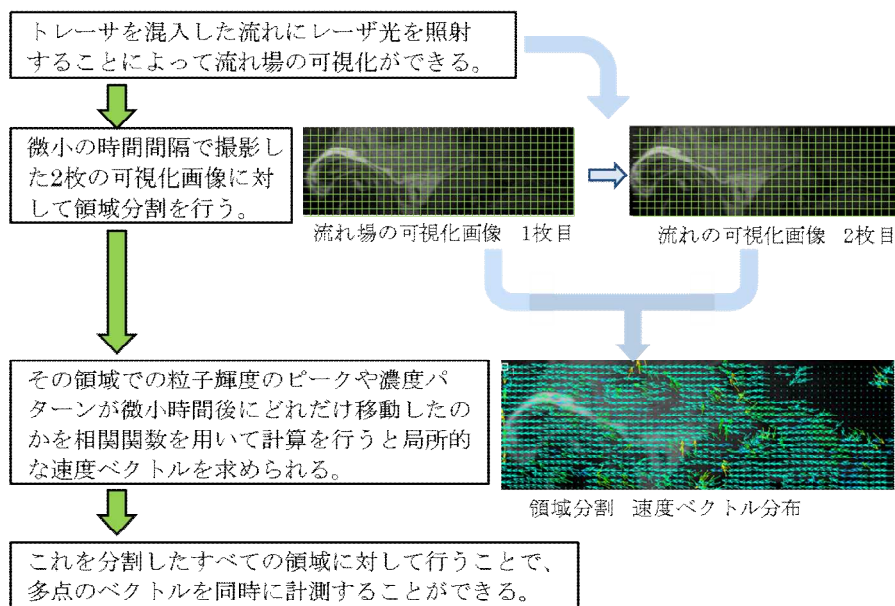


Fig.1 A Procedure of PIV measurement

2.2 今回使用した PIV システム

今回使用したシステムでは、解析ソフトウェアとして DIPP-FLOW (DITECT 製) を、カメラは K-II(カトウ光研製)を使用した。K-II は、専用の固体センサーを使用した高速度カメラで、有効画素数は 640×480 pixel、50 ~ 1000 コマ/秒(ハーフサイズ)の撮影が可能である。また最低被写体照度 10 Lux と、通常の CCD カメラと同程度の感度のため、レーザーの出力が比較的弱い条件でも使用できると考えられる。可視化用のレーザーは Green Laser Sheet 200 m/G(カトウ光研製)を使用。レーザーのシート厚は約 1mm で最大出力 200 mW である。トレーサとして、SAFEX Fog generator (DANTEC DYNAMICS 製) によって発生させたフォグを使用した。Fig.2 に風洞内における PIV の計測システムの設置状況を示す。

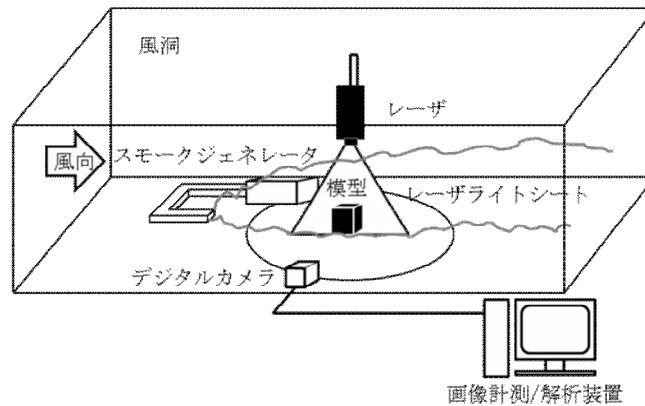


Fig. 2 PIV Measurement System in Wind Tunnel

3. 大型境界層風洞を用いた建物モデル周辺流れの計測

3-1 実験方法

本学所有の高さ 1.8 m×幅 1.8 m の大型境界層風洞を用いる。予備検討の結果，レーザ光源からの距離は画像の鮮明度に大きな影響を及ぼすため，流れに影響を及ぼさない程度に光源を模型に近づけた。実験対象として，一辺 100 mm の立方体建物モデル (Case A) 及び 100 mm×200 mm×100 mm の 2 つの直方体を配置したストリートキャニオンモデル (Case B) の 2 ケースの実験を行う。トレーサは，風洞のターンテーブルの下に設けたチャンバーに一時的にフォグを充満させ，それを立方体風上面から 300 mm 上流の床面に設けた直径 30 mm の穴から濃度を調整しながら排出した。可視化動画の記録は，各条件で約 20 秒間行った。その中から比較的明瞭な可視化画像が得られている約 10 秒間を選び出し，その動画ファイルを解析することによって，速度ベクトルの平均値を算出した。解析における閾値 (相関係数とその値以下の場合には誤ベクトルとみなし，平均値算出に使用しない) は 0.5 とした。

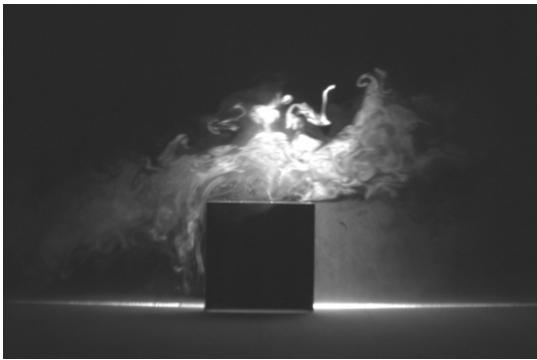
3-2 実験条件

各種の予備的な検討の結果，カメラの撮影スピードは 1/200 とし，風洞内の風速は，風洞中央において約 2 m/s と設定した。また撮影の範囲は以下のように決定される。画像処理における移動距離は，10～15 pixel/flame 程度が理想とされる。すなわち 1 pixel の実際の距離×ピクセル数が撮影範囲ということになる。風速 2 m/s の場合，1 秒間の移動距離は 2000 mm であるから，10 pixel/flame の場合，カメラの画素数が 480 pixel であれば， $(2000 \times 480) / (10 \times 200) = 480$ mm となり，およそその撮影範囲が求められる。

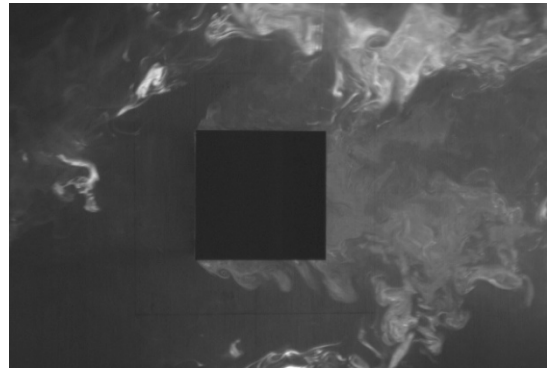
3-3 実験結果

1) 立方体モデル周辺流れ (Case A)

Fig.3 にモデル中心軸上鉛直断面と水平断面 (建物高さの半分の位置) の可視化画像を示す。Fig.4 に Fig.3 とその次の時刻の画像を用いて解析して得られた瞬時の速度ベクトル

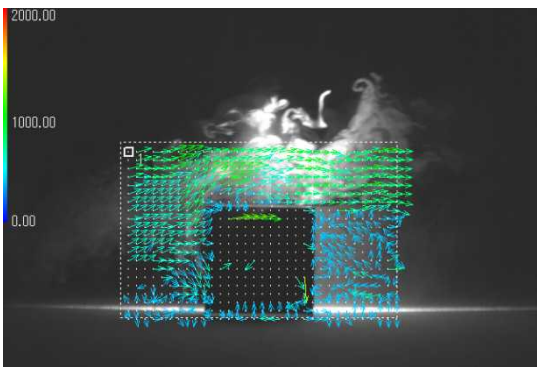


Vertical section

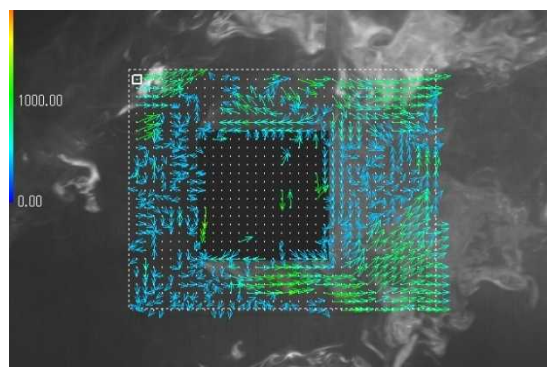


Horizontal section

Fig. 3 Flow Visualization (Case A)

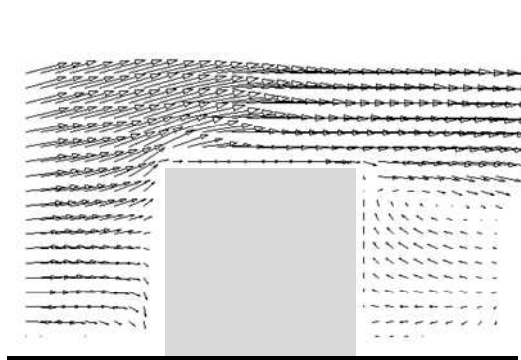


Vertical section

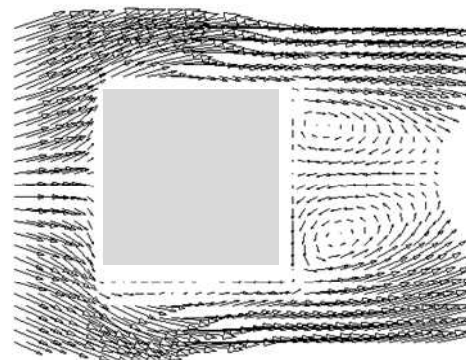


Horizontal section

Fig. 4 Instantaneous Velocity Vectors obtained by PIV (Case A)



Vertical section



Horizontal section

Fig. 5 Time-averaged Velocity Vectors obtained by PIV (Case A)

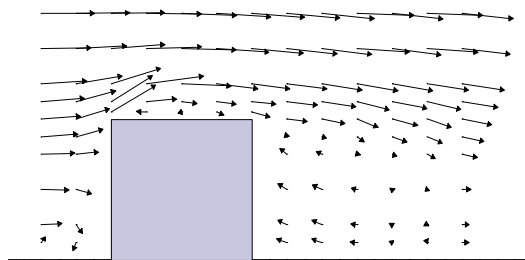


Fig. 6 Time-averaged Velocity Vectors obtained by SFP (Case A; Vertical section)

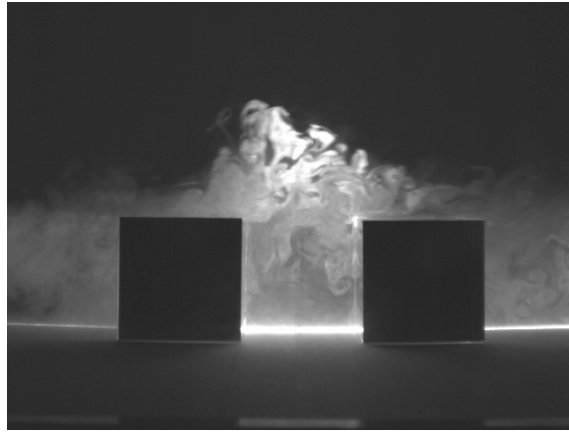


Fig. 7 Flow Visualization (Case B; Vertical section)

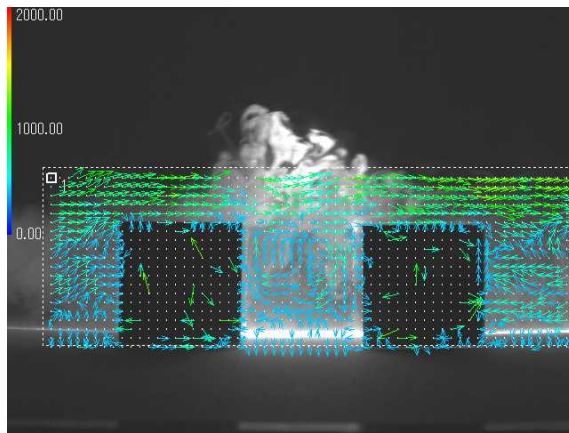


Fig. 8 Instantaneous Velocity Vectors obtained by PIV (Case B; Vertical section)

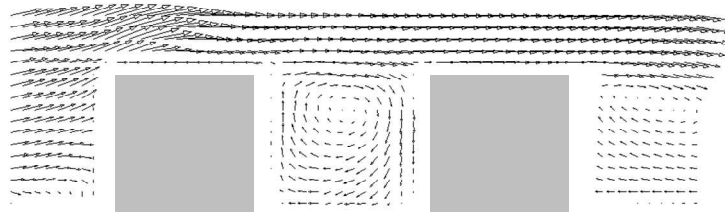


Fig. 9 Time-averaged Velocity Vector obtained by PIV (Case B; Vertical section)

を示す。建物モデルで流れが剥離し、後方の循環流に巻き込まれていく様子が観察される。なおモデル上に見える風速ベクトルは、手前に映り込む煙によって算出されるもので、本来この断面では模型内に風速は存在しないため誤ベクトルである。Fig.5 に 10 秒間分の画像を解析して選ばれた平均速度ベクトル分布を示す。同じ対象モデルをスプリットファイバ - プローブ (SFP) を用いて計測した速度ベクトルを Fig.6 に示す。流れのパターンはよく一致している。

2) ストリートキャニオンモデル周辺流れ (Case B)

Fig.7 にある時刻のモデル中心軸上の鉛直断面の可視化画像を示す。Fig.8 に Fig.7 とその次の画像を用いて解析して得られた瞬時の速度ベクトルを示す。ストリートキャニオン

内に上空の気流が流れ込んでいるのが分かる。Fig. 9 には、10 秒間分の画像を解析して得られた平均速度ベクトル分布を示す。ストリートキャニオン内に明確な循環流が観察される。

4. まとめ

1) 乱れの大きい複雑な流れである建物周辺気流を対象とした風洞実験において、PIV 計測を行うための基礎的な検討を行った。レーザ光源からの距離は画像の鮮明度に大きな影響を及ぼすため、流れに影響を及ぼさない程度に近づけた方がよい。また煙の量や排出位置を適切に制御することが重要である。

2) 本論文で示した方法によって、2 種類の建物モデルにおいて比較的良好な可視化画像を得ることができた。そしてその結果を解析することによって、速度分布を得ることができた。その結果は、過去の風速センサーによる計測結果と比較して概ね妥当であると判断できる。

3) 今後は、誤ベクトルの処理等の解析手法の最適化をさらに行いながら、数値流体解析 (CFD) の結果との比較なども行う予定である。

謝辞

本研究の一部は、平成 20 年度学内共同研究費の助成を受けて行われました。計測システムの構築に際しては、平成 20 年度卒論生・清水徹也君のご協力を得ました。関係各位に記して謝意を表します。

文献

- [1] M. ラッフエル, C.E. ヴィラート, J. コンペンハンス: PIV の基礎と応用 粒子画像流速測定法; シュプリンガー・フェアラーク東京, 2002, 10.
- [2] 可視化情報学会編: PIV ハンドブック; 森北出版, 2002, 7.