

屋外模型都市における PIV を用いた乱流計測

東京工業大学	学生会員	津國	眞明
東京工業大学	正会員	森脇	亮
東京工業大学	正会員	神田	学

1. はじめに

大気中の熱や物質の輸送は主に乱流が担っており、都市の大気環境問題を考える上で乱流計測は重要である。大気乱流の計測は超音波風速計や熱電対などを用いて行われているが、それらはいずれも点計測であり、乱流の空間的な特徴を把握するには大量の測器が必要になる。そこで本研究では、風速の面計測が可能な PIV 計測手法を屋外の乱流計測に適用することを試みた。PIV (Particle Image Velocimetry) とは、可視化した流れの画像から流速の断面分布を計測する手法であり、流れ場の把握に絶大な威力を発揮する。PIV は室内実験での応用は進んでいるが、屋外に適用された非常に少ない (Hommema and Adrian, 2003)。その理由として、(1)屋外では流れの変動が激しくトレーサーの散布 (シーディング) 方法が難しいこと、(2)屋外で有意な乱流統計量を取得するためには最低でも通常 30 分以上の連続計測が必要であるが、長時間のシーディング供給および膨大な画像データの高速保存・処理が困難であること、などが主に挙げられる。数少ない屋外 PIV 計測の例として、Hommema and Adrian (2003) は可視化と瞬間ベクトル図の獲得には成功したものの、長時間連続計測による乱流統計量の計測には至っていない。

そこで本研究では、(1)屋外での長時間連続 PIV 計測システムを構築すること、(2)その精度を検証すること、(3)乱流統計量の空間分布を得ること、を試みた。

2. 実験概要

2. 1 PIV システムの構築

屋外での PIV 計測の難点はシーディング方法と長時間連続運転の 2 つに集約される。本研究では、この 2 点を打開するため以下のようにシステムを構築した。

- ・シーディング装置 本研究では可視化用のトレーサーとして舞台効果用の煙を用いた。煙の熱による浮力と噴出による運動量の影響を最小限に抑えるため、発生させた煙をいったん箱に貯め、それを外気とともにファンで流す方式を採用した。また風向が変動しても計測領域に煙が流れるようにするためシーディングはラインソースとして与えた。具体的には、長さ 4m の塩ビ管の両側からファンで煙を送り、塩ビ管に空けた複数の穴から煙が出るようにした (図 1)。さらに、電流調節装置を作成しファンの強弱を調節することで、煙の出方を自由に制御できるようにした。このシーディング装置を 2 台作成し、風上側の 2 地点に配置することにより、風速の変動にも対応させた。

- ・長時間連続システム シーケンス制御装置を作成して 2 台のフォグマシン (煙発生器) を交互運転させることにより、長時間連続で煙を発生させることを可能にした。また、大容量データを高速書き込みできる特殊な RAID 構成ハードディスクを採用し、1 時間以上のデータ保存を可能とした。

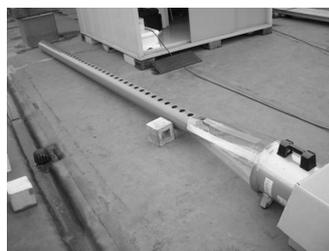


図 1 シーディング装置

キーワード PIV, 屋外, 乱流計測, 都市

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1-I4-9 TEL 03-5734-2768



図2 屋外模型都市

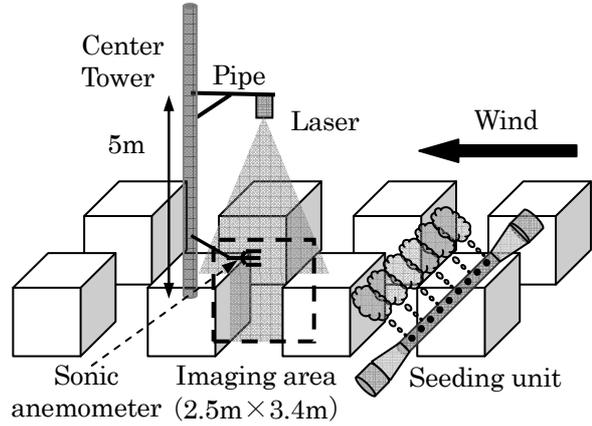


図3 各機器のセッティング

2. 2 実験方法

長時間連続 PIV 計測システムを用いて屋外模型都市 (図 2) において乱流統計量の空間分布の計測を試みた。図 3 のようにレーザー、シーディング装置を設置して流れの可視化を行い、高解像度 CCD カメラで撮像した。また PIV の精度検証のため、大気の乱流計測では現在最も信頼の置ける超音波風速計 (Kaijo, DA-600) を計測領域内に設置し同期計測を行った。

3. 結果と考察

PIV 計測で得られたデータと超音波風速計のデータの 30 分統計量を比較する (表 1)。 u の平均値, 標準偏差, w の標準偏差は 10% 以内でよく合致している。 $u_* (= \sqrt{-u'w'})$ は 20% 程度の差で合致していた。

15 分間の平均ベクトル図 (図 4) から、キャニオン内 (建物に挟まれた領域) の循環流れの様子が良好に計測できている。また 30 分平均の $u'w'$ のコンター図 (図 5) から、キャニオン上端部で最もレイノルズ応力が大きく運動量の盛んに交換されている (図中白丸部分)。このことは Uehara et al. (2000) による風洞実験や Kanda et al. (2004) による LES 計算などと合致した傾向である。

4. 結論

屋外模型都市における PIV 計測システムを構築し、その計測実績を作った。PIV 計測の結果は超音波風速計の結果と比較して誤差 10% 以内であり精度は良好であった。また乱流統計量の空間分布が得られ、キャノピー上端部での盛んな運動量輸送を捉えることができた。

参考文献

- Hommema and Adrian, 2003 : Packet structure of surface eddies in the atmospheric boundary layer, *Boundary-Layer Meteorology* 106, 147-170.
- Uehara et al., 2000: Wind tunnel experiments on how thermal stratification affects flow in and above urban street canyons, *Atmos. Environ.* 34, 1553-1562.
- Kanda et al., 2004: Large-eddy simulation of turbulent organized structures within and above explicitly resolved cube array *Boundary-Layer Meteorology* 112, 343-368.

表 1 乱流統計量の比較

	PIV	sonic	PIV/sonic
\bar{u}	0.702	0.749	0.94
σ_u	0.315	0.339	0.93
σ_w	0.217	0.234	0.93
u_*	0.136	0.171	0.80

[m s⁻¹]

データ取得率 25.1%

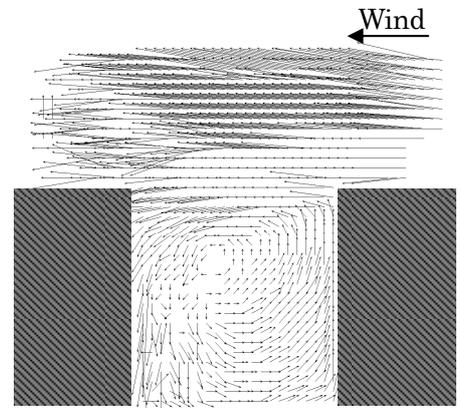


図4 15分間の平均ベクトル図

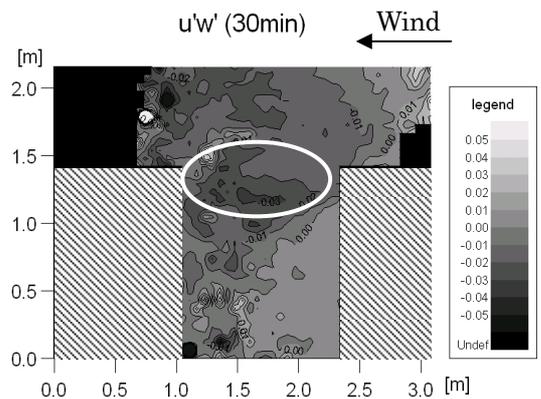


図5 $u'w'$ の空間分布