

粒子画像流速測定法 (PIV) を用いた室内気流測定に関する基礎的研究 その3 風洞内における単純住宅通風モデルを対象とした気流分布の測定

正会員 ○大久保肇*1 同 赤林伸一*2 同 坂口 淳*3
同 富永禎秀*4 同 富岡誠子*5 同 有波裕貴*1
同 楊 曉韻*1

大型境界層風洞 単純住宅通風モデル PIV
平均風速ベクトル 乱流エネルギー

1 研究目的

近年の画像処理技術の発展及びPCの性能向上により、流れの可視化技術にデジタル画像処理技術を加えた粒子画像流速測定法 (Particle Image Velocimetry: 以下PIV) が実用化されている。現在一般的に利用されているPIVシステムは比較的狭い範囲 (300mm×300mm程度) を対象としており、実大の室内気流分布をPIVで実測した例はない。既報^{2,3)}では、実大の室内空間をPIVで測定する基礎段階として、600mm×400mm×400mmの縮尺室内模型を対象としたPIV測定を行い、気流速度及び乱れの強さの分布を明らかにし、実大の室内空間をPIV測定する際の問題点等の検討を行った。本報 (その3) では、大型境界層風洞内において、単純住宅通風モデルの測定を行い、通風時における気流性状を把握し、CFD等で流体解析を行う際の参考データを得る事を目的とする。

2 実験概要

2.1 可視化手法の概要

表1に実験装置の仕様を、図1に実験装置の概要を、図2に対象モデルの設置条件を示す。測定は大型境界層風洞内で行い、風洞内の風速は約1.7m/sに設定する。測定対象は単純住宅通風モデルとし、出力2Wのレーザーと高速度CCDカメラを使用し、対象モデルに対する風向とレーザー及びカメラの設置条件を変化させた4つのcaseで測定を行う。可視化に使用するトレーサ粒子は残存性の高い難燃性のスモークを使用し、ダクトを取り付けたスモーク

表1 実験装置の仕様

| | |
|-----------|--|
| Camera | ハイスピードデジタルCCDカメラK-2 |
| Laser | JLC DPGL-2W LD振起Nd:YAG/YVO ₄ レーザー 波長532nm、出力2W 0~30kHzで変調可能な連続光 |
| Seeding | DAINICHI PORTA SMOKE PS-2002 |
| Soft Ware | カメラ制御 Ditect k-II Soft Ware PIV解析 FlowExpert ver1.11 |

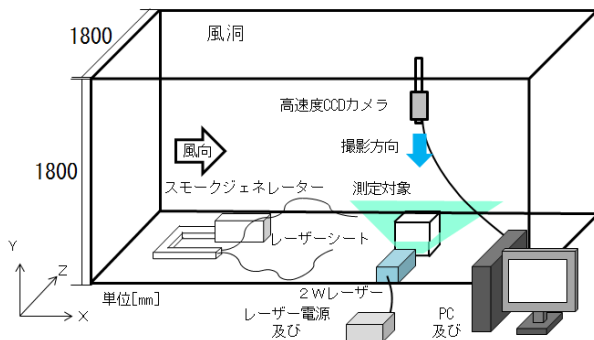


図1 実験装置の概要 (水平断面測定時)

クジェネレーターを風上側に設置してシーディングを行う。

2.2 PIV解析の概要

表2にPIV測定のパラメータを、表3に各測定caseとカメラ、レーザーの設置位置を、表4にPIVの測定可能最大風速を示す。本研究のPIV解析では、異なる2時刻の画像間で、ある時刻に取得した画像中の検査領域と最も濃度パターンの類似する領域を次の時刻の画像中の検査領域内から探し出し、風速ベクトルを算出する直接相互相関法を用いる。撮影した可視化動画の解析にはFlowExpert (ver. 1.11) を使用し、解析の際のパラメータである検査領域は±23pixel、探査範囲は±10pixelと設定する。実際の距離と画像上の距離との換算値 (キャリブレーション値) は、case 1及びcase 3は0.6699mm/pixel、case 2は0.7567mm/pixel、case 4は0.7454mm/pixelである。

2.3 乱流エネルギー

乱流エネルギーは、FlowExpert (ver. 1.11) において次式 (1) で求められる。

$$k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{1}{2} \sum_{c=0}^3 \{ (c, \tilde{u}_i) - (c, u_i) \}^2 \right] \dots (1)$$

k: 乱流エネルギー [m²/s²] t: 時刻 N: データ数
c: 成分番号 (0=X, 1=Y であり、 \tilde{u}_i, u_i において計算する成分を示す)
i: 格子点番号 \tilde{u}_i : 瞬時風速 u_i : 平均風速

本実験では測定対象領域のベクトル算出点において、測定間隔5msで24秒間の計4800個のデータを対象とする。

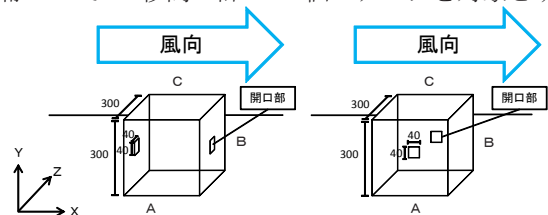


図2 対象モデルの設置条件

表2 PIV測定のパラメータ
表3 各測定caseとカメラ、レーザーの設置位置

| 画像サイズ | 640pixel×480pixel | 測定case | カメラ位置 | レーザー位置 | 可視化断面 |
|-------|-------------------|--------|-------|--------|-------|
| 測定時間 | 24s | case 1 | C | A | 水平断面 |
| 測定間隔 | 5ms (200fps) | case 2 | A | B | 垂直断面 |
| 検査領域 | 23pixel×23pixel | case 3 | C | A | 水平断面 |
| 探査範囲 | ±10pixel×±10pixel | case 4 | B | A | 垂直断面 |

表4 PIVの測定可能最大風速

| 測定対象 | フレームレート [fps] | キャリブレーション値 [mm/pixel] | 測定可能最大風速 [m/s] | | | | |
|--------|---------------|-----------------------|----------------|------|------|------|------|
| | | | 探査範囲 [pixel] | | | | |
| case 1 | 200 | 0.6699 | 5 | 10 | 15 | 20 | |
| | | | 0.67 | 1.34 | 2.01 | 2.68 | |
| | | | 0.7567 | 0.76 | 1.51 | 2.27 | 3.03 |
| | | | 0.6699 | 0.67 | 1.34 | 2.01 | 2.68 |
| case 4 | | 0.7454 | 0.75 | 1.49 | 2.24 | 2.98 | |

Basic Study on the Measuring Method of the Indoor Air Flow by PIV
Part 3 Wind Tunnel Experiments about Cross Ventilation
of Simple House Model

OKUBO Hajime, AKABAYASHI Shin-ichi, SAKAGUCHI Jun
TOMINAGA Yoshihide, TOMIOKA Seiko, ARINAMI Yuki, YANG Xiaoyun

3 測定結果

3.1 case 1

図3に case 1における PIV 測定結果を示す。

(1) 平均風速ベクトル

図3(a)の平均風速ベクトルでは、風上側からの気流が対象モデルの開口部から室内に流入し、流れ場の中心部で風速0.5m/s程度の比較的速い気流を生成する。又、風下側の開口部から排出されなかった気流が室内の壁に衝突し、壁面を沿って拡散し、測定対象内部のZ=50mm~150mm、250mm~350mmでほぼ左右対称の循環流を形成する。

(2) 乱流エネルギー

図3(b)の乱流エネルギーでは、対象モデル室内において、乱流エネルギーは空気の流入する風上側の開口部付近で最も大きく、流れ場の中心部では気流が減速すると共に次第に小さくなる。又、対象モデル外側の隅角部及び風向に対して左右の壁面では、乱流エネルギーが0.05m²/s²を超える箇所が観察される。

3.2 case 3

図4に case 3における PIV 測定結果を示す。

(1) 平均風速ベクトル

図4(a)の平均風速ベクトルでは、対象モデル室内で形成される流れ場は、室内全体で渦状の流れ場を形成する。又、片側の開口部の空気の流出入が多くなる場合があり、測定に

使用した縮尺模型の寸法精度や風洞内における模型の配置等の影響があると考えられる。

(2) 乱流エネルギー

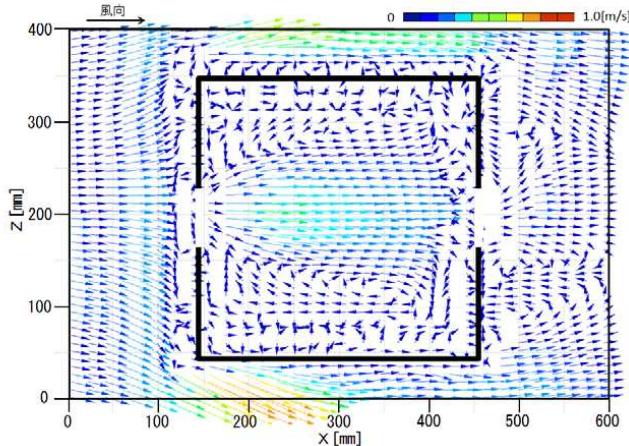
図4(b)の乱流エネルギーでは、対象モデル室内の乱流エネルギーは極めて小さく、case 1のような流れ場の中心部に集中して分布する様子は観察されない。又、測定対象周辺の乱流エネルギーは case 1 とほぼ同様の分布となる。

4 結論

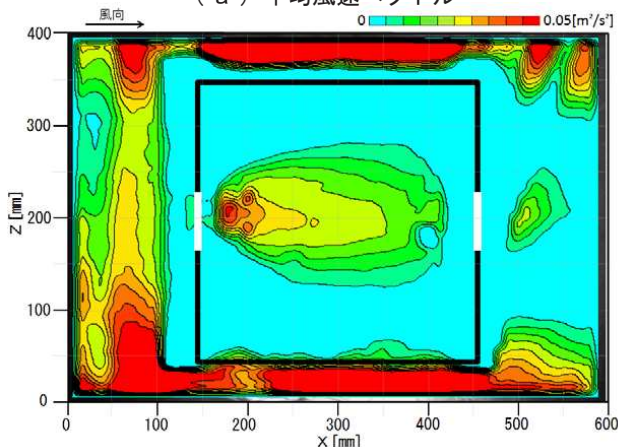
- ① case 1 では、風上側の開口部からの流入空気が、対象モデル室内の中心部で風速0.5m/s程度の比較的速い気流を生成する。又、排出されなかった空気は、壁面を沿って拡散し、左右対称の循環流を生成する。
- ② case 1 において、対象モデル室内の乱流エネルギーは開口部付近で最も大きく、気流が減速すると共に次第に小さくなる。
- ③ case 3 では、対象モデル室内全体で渦状の流れ場を形成する。又、縮尺模型の寸法精度や模型の配置等の影響で空気の流出入が片側の開口部に偏ると考えられる。
- ④ case 3 において、対象モデル室内の乱流エネルギーは極めて小さく、流れ場の中心部に集中して分布しない。

【参考文献】

- 1) 赤林・坂口他「粒子画像流速測定法(PIV)を用いた室内気流測定法に関する基礎的研究 その1~2」日本建築学会大会学術講演梗概集、2011年
- 2) 可視化情報学会編：PIVハンドブック、森北出版株式会社、2002年

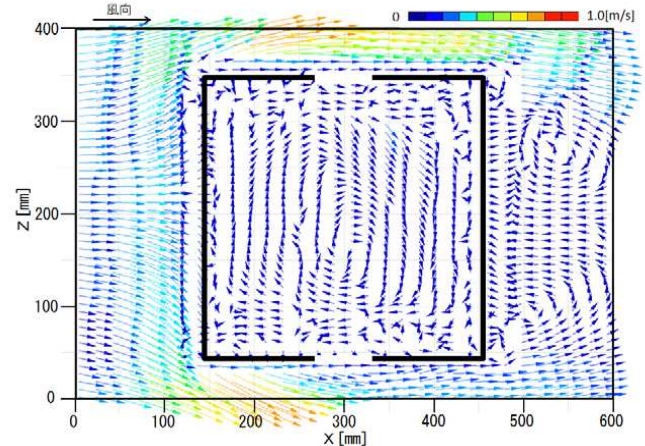


(a) 平均風速ベクトル

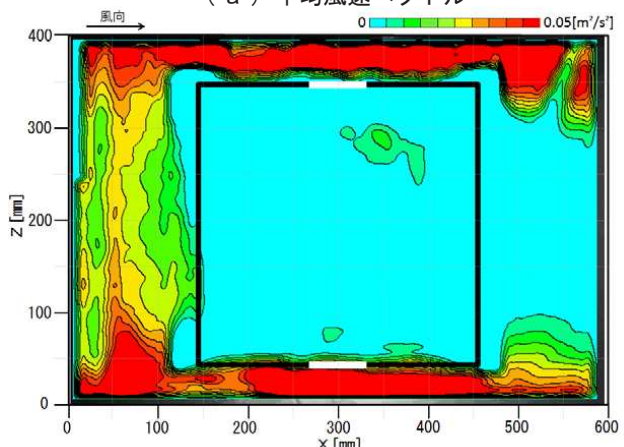


(b) 乱流エネルギー

図3 case 1における PIV 測定結果



(a) 平均風速ベクトル



(b) 乱流エネルギー

図4 case 3における PIV 測定結果

*1 新潟大学大学院自然科学研究科 大学院生
 *2 新潟大学大学院自然科学研究科 教授 工学博士
 *3 新潟県立大学国際地域学部国際地域学科 教授 博士(工学)
 *4 新潟工科大学建築学科 教授 博士(工学)
 *5 新潟大学工学部建設学科 技術職員

*1 Graduate Students, Division of Science and Technology, Graduate School of Niigata Univ.
 *2 Prof., Division of Science and Technology, Graduate School of Niigata Univ., Dr. Eng.
 *3 Prof., Faculty of International Studies and Regional Development, Department of International Studies and Regional Development, University of Niigata Prefecture, Dr. Eng.
 *4 Prof., Department of Architecture and Building Engineering, Niigata Institute of Technology, Dr. Eng.
 *5 Technical Staff Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Niigata Univ.