

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6 住宅モデルを対象とした通風時の気流分布の測定精度に関する風洞実験

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*6

風洞実験 単純住宅通風モデル PIV

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。

既往の研究^{文2)}では、風洞内において単純住宅通風モデルを対象としたPIV測定を行っている。しかし、測定に使用した対象モデルの配置や実験装置の性能による測定結果への影響が問題と指摘されている。

本研究では既報(その3)と同様の単純住宅通風モデルを対象に、撮影条件の再検討及び実験装置の性能向上を図り、良好な連続した可視化画像の取得及びより高精度のPIV測定手法を検討することを目的とする。

2 PIV測定の概要

2.1 PIV測定の概要

表1にPIV測定のパラメータを、表2に実験装置の仕様を、図1にPIV測定の概要を示す。測定は1800mm×1800mmの大型境界層風洞内で行い、風洞内の基準風速は5m/s^{*1}とする。測定対象は単純住宅モデルとし、一辺200mm、開口部が50mm×50mmの立方体の縮尺模型を用いる。

2.2 実験条件

表3に各測定caseの撮影条件を、図2に測定caseの詳細(水平断面: case1)を示す。対象モデルに対する風向及びカメラ、レーザーの配置を変化させ、水平断面

表1 PIV測定のパラメータ

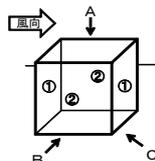
測定対象領域	360mm×360mm		
画像サイズ	1024pixel×1024pixel		
測定時間	16s		
測定間隔	2ms(500fps)		
検査領域	実験case	case1	case3
	pixel	23pixel×23pixel	29pixel×29pixel
探査範囲	±20pixel×±20pixel		

表2 実験装置の仕様

Camera	ハイスピードカメラ Photron FASTCAM SA3 (1024pixel×1024pixel,500fps,シャッタースピード:s=1/500)
Laser	JLC DPGL-5W CW出力可変(連続発光) 光学系 ファイバー・シート光学系 波長 532nm、出力 5W、動作電圧 100V/3A
Soft Ware	カメラ制御 Photron FASTCAM Viewer ver.3341 PIV解析 Flow-Expert ver1.12

表3 各測定caseの撮影条件

実験case	開口部	レーザー位置	カメラ位置	画角の中心
case1	1-1	①	C	対象モデルの中心
	1-2	①	C	風上側開口部
	1-3	①	C	風下側開口部
case2	2-1	②	C	対象モデルの中心
	2-2	②	C	開口部
case3	3-1	①	A	対象モデルの中心
	3-2	①	A	風上側開口部
	3-3	①	A	風下側開口部



で開口部を風向方向に設けた場合(case1)と、水平断面で開口部を風向に対して平行に設けた場合(case2)、又、鉛直断面で開口部を風向方向に設けた場合(case3)の3つのcaseで測定を行う。各測定においてカメラの画角の中心と対象モデルの中心を一致させる場合(case1-1、2-1、3-1)と画角の中心と開口部を一致させる場合(case1-2、1-3、2-2、3-2、3-3)の撮影を行う。各測定ではダクトを取り付けたスモークジェネレーターを風上側に設置してシーディング^{*2}を行う。

3 測定結果

図3に各測定caseの平均風速ベクトル^{*3*5}を、図4に各測定caseのu、v2成分による乱流エネルギー^{*4*5}を示す。

3.1 case1-1(水平断面かつ開口部を風向方向に設けた場合)

気流が風上側の開口部より風速1.5m/s程度で流入し、対象モデル室内の主流部分において、風速1.0m/s程度の比較的速い気流を形成する様子が観察される。又、風下側の開口部において、風速約1.0m/s程度で排出される。Y=180mmを軸として全体的に左右対称の流れ場を形成しているが、レーザーが対象モデルに照射されたことで生じる斜め方向の影の影響により明らかな誤ベクトルが多い結果となっている。乱流エネルギーは、対象モデル室内において、風上側の開口部付近で0.5m²/s²程度と最も大きい。又、対象モデル室外において、風下側の開口部付近で0.25m²/s²

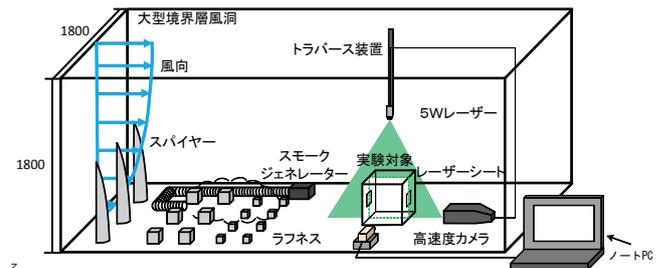


図1 PIV測定の概要

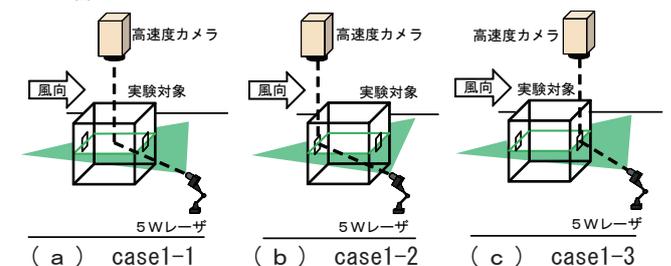


図2 測定caseの詳細(水平断面: case1)

Basic Study on the Measuring Method of the Indoor Air Flow by PIV
Part 6 Improvement of Measurement Accuracy by PIV for the Wind Tunnel
Experiments about Cross Ventilation of House Model

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

と比較的小さい値となる。

3.2 case3-1 (鉛直断面かつ開口部を風向方向に設けた場合)

風上側からの気流が対象モデルに衝突し、対象モデルの風上上部における $X = 135 \sim 225\text{mm}$ 、 $Z = 240 \sim 320\text{mm}$ 付近で風速が 3.0m/s 程度と最も速い気流を形成する。風上側の開口部から風速 0.8m/s 程度で気流が下降しながら流入し、対象モデル室内に流れ場を形成する。又、対象モデル室内の上部では主流部分に誘引される気流がよく観察できる。風下側の開口部より気流が風速 0.9m/s 程度で上向き方向に排出される。乱流エネルギーは、対象モデルの上部で $1.0\text{m}^2/\text{s}^2$ 程度と、測定範囲において最も大きい値となる。

3-3 case3-2 (鉛直断面かつ開口部を風向方向に設け画角の中心と開口部を一致させた場合)

case3-1 と同様に、対象モデル風上上部の $X = 225 \sim 315\text{mm}$ 、 $Z = 240 \sim 320\text{mm}$ 付近で風速 2.8m/s 程度と最も速い気流を形成する。風上側の測定範囲端部において、接近流の接地境界層が明確に観察できる。case3-1 と同様に、風上側の開口部から下降しながら流入する気流が観察されるが、case3-2 では開口部からの流入気流の風速が $0.8 \sim 1.6\text{m/s}$ 程度と比較的速い風速が観察される。これは高速度カメラの画角の中心と開口部を一致させたことで、撮影画像に対象モデルの奥行き方向の壁面が映らないため、風上側の開口部付近の測定精度が向上したと考えられる。乱流エネルギーは、case3-1 とほぼ同様の分布であるが、case3-2 は対象モデル室内外において風上側の開口部付近がより

大きい値となる。

4 結論

① case1-1 は、気流が風上側の開口部より風速 1.5m/s 程度で流入し、風下側の開口部から風速 1.0m/s 程度で排出される。又、 $Y = 180\text{mm}$ を軸として全体的に左右対称の流れ場を形成する。

② case3-1 において、風上側の開口部から風速 0.8m/s 程度で気流が下降しながら流入し、対象モデル室内に流れ場を形成する。又、対象モデル室内の上部では主流部分に誘引される気流がよく観察できる。

③ case3-2 では、case3-1 と比較して比較的速い流入風速が観察される。これは高速度カメラの画角の中心と開口部を一致させたことで、撮影画像に対象モデルの風上側の奥行き方向の壁面が映らないため、風上側の開口部付近の測定精度が向上したと考えられる。

- ※1 case1-1 のみ基準風速 6m/s で測定を行う。
- ※2 本研究はトレーサ粒子に難燃性のスモークを使用する。
- ※3 本研究の PIV 解析は直接相互相関法を用い、相関係数閾値 0.4 以下のベクトルを誤ベクトルとして削除する。
- ※4 乱流エネルギーの算出式を以下に示す。

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

k : 乱流エネルギー [m^2/s^2] 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

- ※5 case3 の PIV 解析結果 (a) は撮影した測定対象領域 ($450\text{mm} \times 450\text{mm}$) のうちの床面部を除いた範囲 ($320\text{mm} \times 450\text{mm}$) である。

参考文献は次報にまとめて記す。

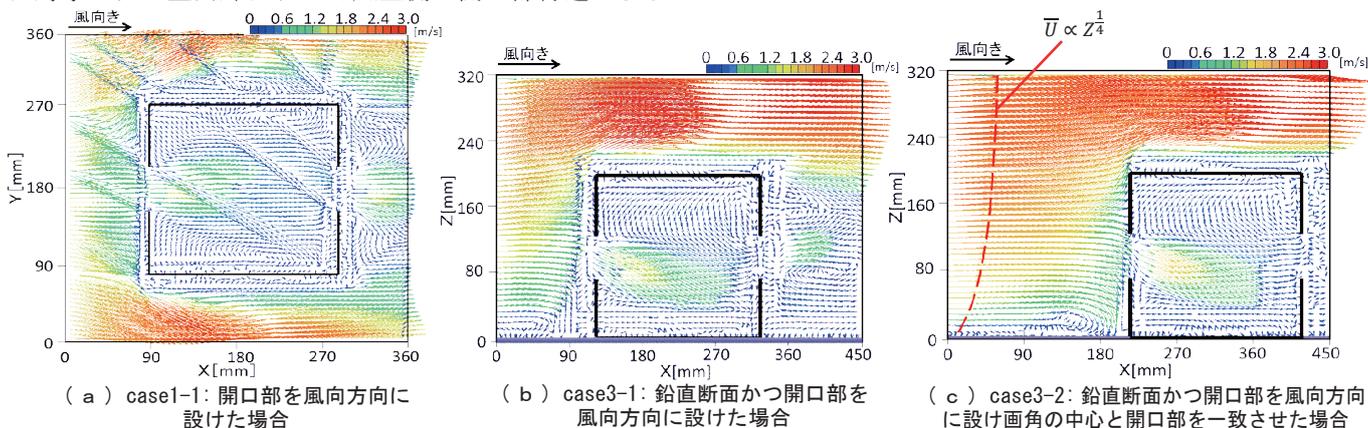


図3 各測定 case の平均風速ベクトル

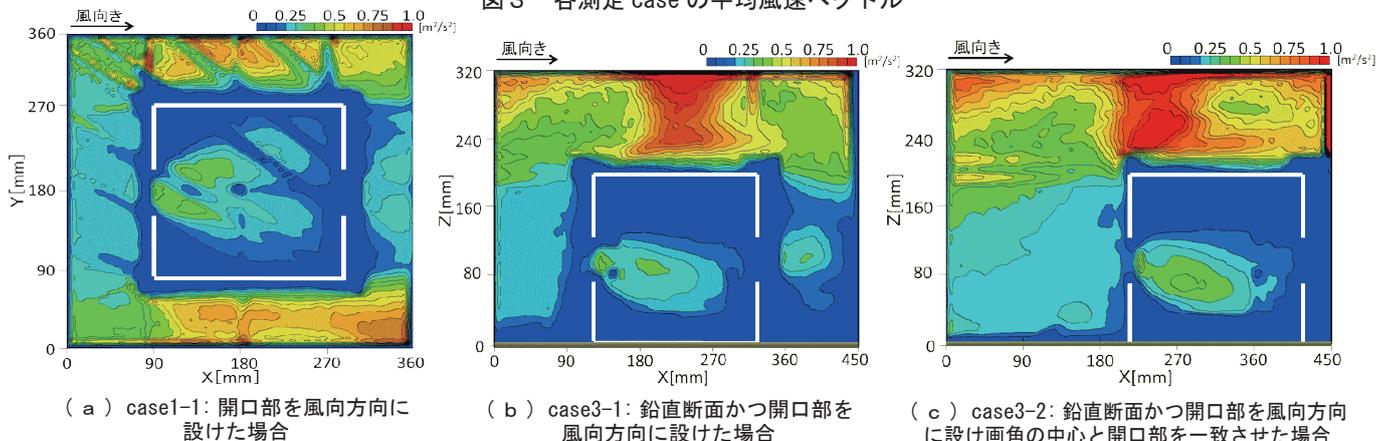


図4 各測定 case の u, v 2成分による乱流エネルギー

*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
 *5 新潟大学工学部建設学科 技術職員
 *6 新潟大学大学院自然科学研究科 大学院生 修士 (工学)

*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.
 *6 Graduate Students, Division of Science and Technology, Graduate School of Niigata Univ., M. Eng.