【カテゴリーⅡ】

大型境界層風洞内における単純住宅モデルを対象とした 風速変動による通風気流の可視化及び解析結果 ^{室内気流を対象とした PIV}計測に関する研究 その2

VISUALIZATION AND MEASUREMENTS FOR FLUCTUATING CROSS VENTILATION AIRFLOW IN SIMPLE HOUSE MODEL USING LARGE-SIZE BOUNDARY LAYER WIND TUNNEL Study on PIV measurement and analysis for room air flow distribution Part 2

有波裕貴*,赤林伸一**,高野康夫*,富永禎秀***,坂口 淳**** Yuki ARINAMI, Shin-ichi AKABAYASHI, Yasuo TAKANO, Yoshihide TOMINAGA and Jun SAKAGUCHI

Cross ventilation in interior spaces is a commonly adopted means of providing natural ventilation in Japan during moderate seasons, including summer. Cross ventilation is occurred by interaction that caused by the airflow in interior and exterior rooms and the pressure distribution of the building walls. The airflow distribution varied depending on the outside wind direction and velocity. Moreover, the outside wind turbulence affects cross ventilation, for example, in the case of two wall openings symmetrical to the wind direction. Cross ventilation is a unsteady-state phenomenon, and in order to understand it better, the wind flow and velocity have to be quantified. This study describes the airflow distribution in a simple cross-ventilated house model by using PIV and a large-size boundary wind tunnel. In this paper, the location of the openings and the wind direction are the experimental variables. The wind speed ratio and turbulent kinetic energy distribution by wind velocity vector of 2 dimensions and 2 components in and around the model are reported.

In Case B (two openings placed on opposite walls parallel to wind direction), Case C (two openings placed on windward wall) and Case D (two openings placed on leeward wall), where there is no pressure difference of the building walls as a function of time, it is clarified that airflow moves into and out of the model through the openings in turn due to the outside wind turbulence.

Keywords: 2D2C-PIV, Model Experiment, Airflow Distribution, Turbulemt Kinetic Energy, Wind Tunnel Experiment 2 次元 2 成分 PIV, 模型実験,気流分布,乱流エネルギー,風洞実験

1. はじめに

住宅における通風は、我が国では古来より中間季及び夏季におけ る身近な環境調整手法の一つである。外部風を主たる駆動力とする 通風現象は窓等の開口部を室内外の境界として、建物周辺及び室内 の気流速度と壁面の全圧分布が極めて複雑に影響を及ぼし合う流れ 場である為、気流性状の構造解明が必要である。

流れ場の解析手法の一つに風洞実験等による流れの可視化がある。 流れの可視化は目には見えない自然風や空調機器等が作る流れ場を、 煙やトレーサーガス、風速計、温度計等を使用して可視化する技術で ある。古来より流れの特性を直感的に把握する手法として、様々な可 視化手法が試みられている^{1)~2)}。例えば、建物の通風に関する研究 分野では、我が国では古くは勝田³⁾が堅型水槽内に住宅模型を設置し、 アルミニウム粉をトレーサとして住戸間の屋外気流の可視化実験を行

**** 新潟県立大学国際地域学部国際地域学科 教授·博士(工学) い、隣棟間隔の変化による通風量の増減に関する要因の解明を行って いる。又、村上ら⁴⁾ はアルゴンイオンレーザーを用いた風洞実験によ り、通風時の住宅模型を対象に室内外気流分布の可視化を行っており、 定常的に通風が得にくいとされる開口条件である風向に対して平行な 両壁面に開口部を設けた住宅モデルにおいて両開口部から交互に換気 が行われている様子を動画で撮影し、報告している。

流れの可視化に加えて、近年、画像処理技術の発展及びパソコン の性能向上により、可視化技術にデジタル画像処理技術を融合した 粒子画像流速測定法 (Particle Image Velocimetry:以下PIV)が実 用化されている。PIV は流れの可視化と同時に定量的な風速分布を得 ることができる技術であり、流れ場に微細なトレーサ粒子を混入さ せ、レーザ光などの光源をシート状に照射することで、平面上の流 れの可視化を行いながら、トレーサ粒子の動きを高速度カメラで撮

^{*} 新潟大学大学院自然科学研究科 大学院生・修士(工学) ** 新潟大学大学院自然科学研究科 教授・工博

^{***} 新潟工科大学建築学科 教授·博士(工学)

Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Niigata University, M. Eng. Prof., Graduate School of Science and Technology, Niigata University, Dr. Eng. Prof., Department of Architecture and Building Engineering, Niigata Institute of Technology, Dr. Eng.

Prof., Faculty of International Studies and Regional Development, Department of International Studies and Regional Development, University of Niigata Prefecture, Dr. Eng.

影し、得られた連続した可視化画像をデジタル画像処理することで、 気流速度を定量的に測定することが可能である。PIV は熱線風速計等 による風速測定と異なり、流れに非接触で多数の空間位置で同時に気 流速度情報が得られる利点があり、従来の風速計では測定が困難な流 れ場において気流性状構造解明のツールとして期待されている5)~6)。 住宅周囲の気流構造を対象とした PIV では、Bangalee ら⁷⁾ が通風時の 戸建住宅を対象に風上・風下に開口を設けた条件を基本として、開口 位置や開口数を変化させた住宅模型を用いて水槽による実験により、 染料による可視化と PIV 測定を行い、CFD 解析結果との比較を行った 結果を報告している。Karava ら⁸⁾は、開口部の高さと位置及び流入・ 流出開口面積の比を変化させた単体の直方体の住宅モデルを対象とし て、等温の風洞実験により通風気流の可視化実験及び PIV 解析を行っ た結果を報告している。

我が国の建物の通風に関する既往研究は、主に単純な住宅モデル を用いて風上・風下側壁面の開口条件を変化させ、有効開口面積や 流管のエネルギーバランス等について解析した研究が行われている。 桶山・加藤⁹⁾らは、風上・風下側に開口部を設けた立方体モデルを 用いて風洞実験及び RANS 系の数値流体解析 (CFD) を行い、風上・風 下開口面積比及び開口位置により通風性状が異なることに言及して いる。倉渕ら¹⁰⁾は、Large-Eddy Simulation(LES) と風洞実験により 風上・風下側に開口を設けた住宅モデルを対象に様々な風向に対し て流入・流出開口部の気流性状及び流管形状の解析、圧力変化及び 損失について明らかにしている。山中、甲谷ら ^{11~13)} はパルスレー ザを用いた一様流の風洞実験による PIV 測定により、風上・風下側 壁面に単一開口を持つ住宅モデルを用いて通風量の解析及び流出開 口部において流出気流の流管の同定を行っている。

上記の既往研究では、単純な住宅モデルの風上・風下側に開口部を 設けた条件を対象に時間平均値に基づく解析により、通風気流の性状 について検討が行われている。しかし、実際の自然環境下では外部風 の風向・風速は常に変動しており、風上・風下側壁面に開口部を設け た場合でも外部風の変動に応じて室内の気流性状は非定常的に変化し 続ける。又、佐藤¹⁴⁾により、一般に通風の効果は少ないとされてい る同一の壁面に2箇所の開口部を設けた場合でも、外部風の乱れによ り建物に気流の流入・流出が起こることが定性的に示されている。同 一の壁面において風向に対して対称に開口部を2箇所設けた場合で は、開口部が存在する位置の平均圧力は同じ値になる為、時間平均値 では開口部から室内へ流入・流出する気流は得られず、通風が得られ ない開口条件になってしまうが、実際は外壁面の圧力分布は外部風の 風速変動等により変化する為、開口部から室内へ気流が流入・流出す る。本来、絶えず変化し続ける流体現象である通風の構造解明を行う 上では、瞬時的な風速の変動を含めた室内外気流性状を定量的に把握 し、検討することが課題である。

筆者らは本研究に先立ち、既報(その1)¹⁵⁾で室内縮尺模型を対象に 給気口と排気口が存在する室内モデルの詳細な PIV 測定を行い、定量 的な気流速度の取得と従来の点による計測では不可能な同一時刻の空 間的な乱流統計量について報告している。

本報では、単純住宅モデルを対象に大型境界層風洞^{注1)、16)}を用い て風速変動による通風気流の可視化及び PIV 測定を行った結果を報 告する。連続光レーザを用いて可視化を行い、時系列的に連続した 可視化画像を取得し、PIV 解析を行うことで時々刻々と変化する流れ 場において風速ベクトルの解析を行い、変動気流による通風時の室 内外気流性状の特性を把握することを目的とする。

本報では時間平均的には通風による換気が得にくいとされる開口条件 においても、流入風速の変動によって瞬時的には開口面から空気が流入 し、室内に流れ場が形成されて換気が行われる様子を風洞実験による可 視化及び PIV 解析によって明らかにすることが目的の一つである。本論 文の対象としている時間平均的には換気が得にくいとされる開口条件で は、室内風速分布の時間平均値は殆どゼロとなり極めて不明瞭となる。 一方、乱流エネルギー等の乱流統計量では、風速の変動を持つ流れ場が 存在する箇所では、時間平均的には風速値がゼロとなる箇所においても 流れ場の存在を明確に図示することが可能である。そのため本論文では 時間平均的には通風による換気が得にくいとされる開口条件 (caseB, C, D, E)を対象として2次元2成分の乱流エネルギーの算出を行う。又、 これらの乱流エネルギーの図示には、今後、比較を検討している数値流 体解析に対しての基礎的データを示す意図もある。

Table1 Experimental condition of measurement cases

House model	case	Measurement section	Camera angle
caseA	A-1	Vertical	Center of model
	A-2	section	Windward opening
	A-3	Horizontol	Center of model
	A-4		Windward opening
	A-5		Leeward opening
caseB	B-1		Center of model
	B-2		One opening
caseC	C-1	Horizontal	Center of model
	C-2	section	Windward wall
caseD	D-1		Center of model
	D-2		Leeward wall
caseE	E-1	J	Center of model
	E-2		Side wall













caseD

Unit:[mm]

(d)



300

300

۲ ک





Fig.1 Relation between wind direction and openings of model

-128-

既報(その1)では室内縮尺模型を対象に機械換気により換気が行われている室内気流性状を想定し、模型実験による PIV 測定を行った結果を報告した。機械換気による室内気流性状は気流速度分布が定常的な為、時間平均値による検討を行っている。本報(その2)では外部風の風速変動により、瞬間的に変化する住宅の通風性状を対象に PIV 測定を行う為、瞬時値による室内外気流性状の比較・検討を行う。既報では密閉された縮尺室内模型空間を対象に実験を行ったため、トレーサに金属粉末を用いる実験が可能であった。しかし、本報のような風洞実験では、金属粉末をトレーサに用いることは、風洞設備やレーザ、カメラ等の可視化撮影機器に対する汚染、人体への影響が懸念されるため、使用することは極めて困難である。このため本報では、既報(その1)において金属粉末の次に良好な結果が得られている、難燃性のスモークを使用して可視化実験及び PIV 測定を行い、その結果について報告をする。

尚、本論文は既発表文献^{*1)~*7)}で報告したものに加筆・修正し、 まとめたものである。

2. 実験概要

2.1 測定対象の概要

測定対象モデルはアクリル板ⁱ⁼²⁾で作成されており、寸法は300mm
× 300mm × 300mm である。壁面には40mm × 40mm の開口部が2箇所
設けられている。caseA, B は対向する壁面中央部に1箇所ずつ開口部
を設け、caseC, D, E は同一壁面に2箇所の開口部を設ける。

2.2 測定 case の実験条件

Table1 に各測定 case の実験条件を、Fig.1 に測定対象モデルの開口 部位置と風向の関係を示す。2種類の単純住宅モデルにおいて、それ ぞれ風向に対する開口設置条件を変化させることで計5パターンの開 口条件で可視化及びハイスピードカメラ^{注3)}による撮影を行う。実験



(a) Visualized image (b) Background image Fig. 2 Example of visualized image by wind tunnel experiment (caseA-3)



Fig. 3 Example of relation between camera angle and model (horizontal Section : caseA)

条件は、対向する壁面中央部に開口部を設け、開口部を風上・風下側 に向けた場合(caseA)、開口部を風向に対し平行に向けた場合(caseB)、 同一壁面に2箇所の開口部を設け、開口部のある壁面を風上側に向け た場合(caseC)、開口部のある壁面を風下側に向けた場合(caseD)、 開口部のある壁面を風向に対し平行に向けた場合(caseE)とする。

Fig.2に風洞実験による可視化画像の例を、Fig.3にカメラの画角 の中心と測定対象モデルの関係の例を示す。立方体の模型の内外を撮 影対象とする場合(caseA-1, A-3, B-1, C-1, D-1, E-1)、撮影画像の奥行 方向ヘパースペクティブ効果^{it4)}が働く。このため、模型内壁面が開 口部の付近の室内外の流れ場に映り込み、開口部付近の気流の流入・ 流出を鮮明に撮影することが困難^{it5)}となる。そこで本実験では、カ メラの画角の中心を、測定対象モデルの中心として撮影を行う場合と、 開口部の中心に合わせて撮影を行う場合に分けて撮影を行う。カメラ の画角の中心を測定対象モデルの中心とした場合では、主に室内の気 流性状を測定対象とし、開口部の中心に合わせて撮影を行う場合では、 主に開口部付近における気流の流入・流出及び縮流等を測定対象とす る。建物の室内外における非定常的な気流場のより鮮明な可視化画像 を取得し、通風現象特有の縮流や流入・流出気流の風向・風速等の変 動を PIV 測定することを意図している。

2.3 実験機器の概要

Table2 に実験機器の概要を示す。出力の比較的大きなレーザをア クリル模型に照射する場合、模型壁面の接合部や開口部端部におい てレーザ光が屈折し、可視化測定領域に明瞭な影が生じる。影の部 分では周辺と比較して不自然な輝度値の差が生じる為、影の部分の 算出点においてベクトルが算出されないことや明らかな誤ベクトル が算出されることが多い。そのため本実験では模型周辺から複数の レーザを照射し、PIV 解析結果に影響のある影を除去することを意図 する。レーザ^{注6)} は出力 1W と 2W と 3W の 3 台を同時に使用し、レー

Table2 Experimental equipment

Camera	High speed camera:Photron FASTCAM SA3 1024pixel×1024pixel,500fps,Shutter speed:S=1/500 Focal distance of lens:28mm		
Laser	DPGL-3W	LD Excitation,Nd:YAG/YVO₄ Laser	
		Wavelength:532nm, Output:3W	
		Continuous light(Modulation range:0~30kHz)	
		Laser head size(Lens part): ϕ 20mm x 75mm	
		Laser sheet angle: 60°	
	DPGL-2W	LD Excitation, Nd:YAG/YVO₄ Laser	
		Wavelength:532nm, Output:2W	
		Continuous light(Modulation range:0~30kHz)	
		Laser head size: W60mm x D290mm x H74mm	
		Lens part size : ϕ 40mm x 80mm	
		Laser sheet angele: 60°	
	G1000	LD Excitation, Nd:YAG/YVO4 Laser	
		Wavelength:532nm,Output:1W	
		Continuous light(Modulation range:0~30kHz)	
		Laser head size: W80mm x D185mm x H70mm	
		Laser sheet angele: 63°	
SoftWare	Camera control	Photron FASTCAM Viewer ver. 3. 3. 8	
	PIV analysis	Flow-Expert ver1.25	

Table3 Parameter of PIV analysis

case	case A (Vertical section)	case A~E (Horizontal section)	
Image size	1024pixel×1024pixel		
Measurement range	604mm × 604mm	674mm × 674mm	
Calibration value	0.59[mm/pixe]]	0.66[mm/pixel]	
Measurement time	16sec		
Measurement interval	2.Oms(500fps)		
Interrogation region	27pixel×27pixel	19pixel×19pixe	
Search region	±16pixel×±16pixe	±12pixel×±12pixel	

ザ3台の可視化対象断面を一致させて実験を行う。出力 3W のレーザ を可視化測定領域全体に照射し、対向する位置から出力 1W と 2W のレー ザを照射することで、可視化測定領域全体を均一に可視化する^{注77)}。 カメラはハイスピードカメラ Photron FASTCAM-SA3 を、得られた連続 した可視化画像の PIV 解析には Flow-Expert ver1.25 を使用する。

2.4 実験及び解析条件の詳細

Table3 に PIV 解析のパラメータ^{達8)} を、Fig.4 に大型境界層風洞の 概要を、Fig.5 に風洞実験における可視化システムを示す。実験は断 面が 1800mm × 1800mm の大型境界層風洞内で行う。撮影画像の画素 と実際の距離との換算係数であるキャリブレーション値^{往9)} は鉛直断 面で 0.59mm/pixel、水平断面で 0.66mm/pixel である。高速度カメ ラ^{達10)} のフレームレートは 500fps に設定し、シャッタースピードは 1/500 秒、1 回の実験の撮影時間は 16 秒である。本実験ではトレー





(a) Horizontal section





サに難燃性のスモーク (DAINICHI PORTA SMOKE PS-2002、粒径:数 10 µm)を使用し、風上側の可能な限り気流場に影響が生じない位 置にスモークジェネレータを設置し、シーディングを行う。各レー ザと高速度カメラは風洞内で可能な限り測定対象模型から離して配 置している^{注11)}。可視化測定機器による流れ場の偏りに関しては、連 続光レーザを照射し、気流の可視化による目視での流れ場の確認の みを行っているが、明確な偏りは観察していない。実験時の風洞内 の基準風速は基準高さ1.0mで5.0m/sに設定する^{注12)}。PIV 解析^{注13)} は、2時刻の画像間での局所的な濃度パターンの類似性を相互相関に より求め、そのピーク位置から移動量を定める直接相互相関法^{注14)}に より風速ベクトル注15)を算出する。尚、3つのレーザシートと測定平 面の位置関係については、実験時に連続光レーザを照射しトレーサ を流して目視により可視化に適切なレーザ配置を模索し、試行錯誤 を行った結果、構築した配置であるため、正確に位置や寸法を記載 することはできない。しかし、本論文は複数回の可視化実験及びそ れらの実験で取得した可視化画像の PIV 解析による解析結果の集合 であり、実験を行う度に風洞内の可視化撮影システム系統全体を解 体、再構築しているが、各実験間で配置寸法等の違いによる明確な影 響は殆どない。そのため、十分な実験の再現性があると考えている。

3. 測定結果

PIV 測定結果図中の風速ベクトルは、基準高さ1.0mにおける風速 5.0m/sにより風速比として基準化して示す。通風現象は3次元性が 高い流体現象と考えられる。例えば、caseA-1、A-3は同様の開口条 件に対する鉛直断面及び水平断面の実験であるが、caseA-1では室内 の流れ場は流入側開口部から斜め下向きに流入している様子が明確に 観察できる。一方、caseA-3では流入した空気が左右に振動しながら 室内に流れ場を形成している。このような3次元性の高い流れ場の気 流解析に関しては、等方性乱流の仮定を用いるのは不適切であると考 え、本論文では速度の2次元2成分での乱流統計量の解析を行い、各 測定 case において全測定データから乱流エネルギー^{は10}を算出する。

尚、本論文のFig.6、7、8、9、10、11に関連する連続した可視化 画像及びPIV解析結果の連続したベクトル画像は本稿末尾に記載す る URL から参照することが出来る。

3.1 caseA(鉛直断面)における PIV 解析結果

Fig.6に caseA(鉛直断面)における PIV 解析結果を示す。Fig.6 (a)では、風上側から気流が対象モデルに衝突し、風上側の開口部よ り下降しながら気流が流入する様子が観察される。又、対象モデル 室外の風上側壁面において、開口部より上部の Z=220mm 付近で風速 が殆ど0となる淀み点が観察され、上下に分かれる気流を形成する。 室内に流入した気流は、主流部分の風速は風速比0.16(測定風速 0.8m/s)程度であるが、開口部直近では風速ベクトルは算出されてい ない。対象モデル室内上部では主流部分に誘引され、風速比0.08(測 定風速0.4m/s)程度の風上側壁面へ向かう気流を形成する。又、風 下側の開口部から流出した気流は風速比0.26(測定風速1.3m/s)程 度で斜め方向に上昇する気流となる。

Fig.6(b) では、風上側において、接近流の境界層が鮮明に観察でき、 上部ほど風速が速い様子が観察できる。又、対象モデル室外の風上 側壁面に衝突した気流が壁面に沿って下降し、床面における X=80 ~ 280mm、Z=0 ~ 150mm 付近では風速比 0.2 ~ 0.4(測定風速 1.0 ~ 2.0m/ s)程度の大きな渦を形成する。気流は対象モデルに衝突し、壁面上部 から風速比 0.3(測定風速 1.5m/s)程度で下降した気流が風上側の開 口部より流入する様子が観察される。対象モデル室内の開口部直近で は風速比 0.2(測定風速 1.0m/s)程度で気流が下降しながら流入する。 流入後の気流は主流部分で風速比 0.28 ~ 0.36(測定風速 1.4 ~ 1.8m/ s)程度となり徐々に減速しながら室内に拡散する。対象モデル屋根上 部では気流の剥離による渦が形成される。Fig.5(a)と比較して、風上 側の開口部付近では撮影画像奥行方向へのパースペクティブ効果が働 かない為、気流分布を鮮明に捉えることができる。

3.2 caseA(水平断面)における PIV 解析結果

Fig.7に caseA(水平断面、Z=150mm) における PIV 解析結果を示 す。Fig.7(a) では、風上側からの気流が対象モデルに衝突し、開口 部付近で風速比 0.1(測定風速 0.5m/s) 程度と比較的遅く、左右に分 かれる気流を形成する。対象モデル室内において、開口部直近は風 速ベクトルが算出されず、主流部分では風速比 0.2 ~ 0.4(測定風速 1.0 ~ 2.0m/s) 程度で左右に振動する気流となる。気流は徐々に減速 し、風下側壁面付近では風速比 0.04 ~ 0.2(測定風速 0.2 ~ 1.0m/s) 程度で室内に拡散する。風下側の開口部から風速比 0.16 ~ 0.3(測 定風速 0.8 ~ 1.5m/s) 程度で流出した気流は、対象モデル室外にお いて流入気流と同様に左右に振幅する様子が観察される。又、後流 域における X=510 ~ 680mm、Y=170 ~ 300mm 付

近では渦が形成される。

Fig.7(b)では、風上側の対象モデル正面 で気流は徐々に減速し、開口部付近では風速 比0.2~0.4(測定風速1.0~2.0m/s)程度 となる。対象モデル室内において、流入し た気流は風速比0.2~0.4(測定風速1.0~ 2.0m/s)程度で、室内に拡散する様子が観察 できる。又、対象モデル室内において、流 出側の開口部付近では風速の速い気流は算 出されない。対象モデル室外では、風向に 対し平行な壁面では風速比0.1~0.5(測定 風速0.5~2.5m/s)程度の渦が形成される。

Fig.7(c)では、風向に対し平行な壁面の室 外側で風速比 0.6(測定風速 3.0m/s)程度の比



(a) Distribution of instantaneous wind velocity vector (caseA-3)

較的速い気流が観察される。風下側の開口部から風速比 0.2~0.3(測 定風速 1.0~1.5m/s)程度で気流が流出する。更に、流出した気流の 周辺において、風速比 0.06~0.1(測定風速 0.3~0.5m/s)程度の渦 が形成される。又、風上側から壁面を沿って流れた気流と混合し、後 流域において極めて複雑な気流場を形成する。

3.3 caseB(水平断面)における PIV 解析結果

Fig.8に caseB(水平断面)における PIV 解析結果を示す。Fig.8(a) では、気流は風速比 0.1 ~ 0.2(測定風速 0.5 ~ 1.0m/s) 程度で風上 側壁面に衝突して、壁面中心部付近で左右に分かれ、壁面を沿って 風下側に流れる。風向に対し平行な壁面の開口部からは、気流の流 入・流出が交互に生じる様子が観察される。対象モデル室内におい て、気流は風速比 0.1 ~ 0.2(測定風速 0.5 ~ 1.0m/s) 程度で風上側 壁面に向かって流入する。又、気流は風速比 0.1 ~ 0.16(測定風速 0.5 ~ 0.8m/s) 程度で開口部から流出する。対象モデル後流域において、 風速の速い気流は殆ど算出されない。

Fig. 8(b) では、開口部から気流が風速比 0.1 ~ 0.2(測定風速 0.5 ~ 1.0m/s) 程度で流入する様子が観察される。又、室内に流入した気流は、風上側壁面に向かう流れ場を形成する。対象モデル後流域における X=560 ~ 680mm、Y=480 ~ 680mm 付近では、風速比 0.06 ~ 0.1(測定風速 0.3 ~ 0.5m/s) 程度の渦が形成される様子が観察される。



Fig.8(c)の乱流エネルギー分布では対象モデル室外において、風上 側壁面及び風下側壁面付近で0.05~0.2m²/s²程度と比較的小さい。そ れに対して風向に対して平行な壁面では0.8m²/s²と比較的大きい。対 象モデル室内では両開口部付近で乱流エネルギーは0.01~0.05m²/s² 程度であるが主流以外の領域では殆ど0となる。乱流エネルギー分布 は若干ではあるが開口部付近の室内風上側で比較的大きくなる。

3.4 caseC(水平断面)における PIV 解析結果

Fig.9に caseC(水平断面)における PIV 解析結果を示す。Fig.9(a) では、風上側の対象モデル正面で気流は減速しながら対象モデルに衝 突する。気流は対象モデル室内に風速比 0.2(測定風速 1.0m/s) 程度 で流入し、流出側の開口部から風速比 0.1 ~ 0.16(測定風速 0.5 ~ 0.8m/s) 程度で流出する。

Fig.9(b)では、風上側からの気流が対象モデルに衝突し、風上側 壁面中心部において、風速が殆ど0となる淀み点が観察される。風 上側の両開口部より気流が交互に流入する様子が観察される。

Fig.9(c)の乱流エネルギー分布では対象モデル室外では caseB-1 と 同様の分布となる。対象モデル室内では両開口部付近で乱流エネルギー は 0.01 ~ 0.05m²/s² 程度であるが主流以外の領域では殆ど 0 となる。

3.5 caseD(水平断面)における PIV 解析結果

Fig. 10 に caseD(水平断面) における PIV 解析結果を示す。Fig. 10(a)

では、風上側の対象モデル正面で気流は減速しながら対象モデルに 衝突する。風下側壁面の両開口部より風速比 0.06 ~ 0.1(測定風速 0.3 ~ 0.5m/s)程度で気流が交互に流入・流出する様子が観察される。 対象モデル後流域では流出気流以外の風速の速い気流は殆ど算出さ れない。

Fig. 10(b) では、両開口部から風速比 0.1 ~ 0.2(測定風速 0.5 ~ 1.0m/s) 程度で気流が流入・流出する様子が Fig. 10(a) と比較して明瞭に観察できる。対象モデル室外に流出した気流は、風上側からの風速比 0.6(測定風速 3.0m/s) 程度の比較的速い気流の影響により開口部付近で渦を形成する様子が観察される。又、対象モデル後流域では、風速比 0.2(測定風速 1.0m/s) 程度で風上側に向かう気流が観察でき、極めて複雑な気流場となる。

Fig. 10(c)の乱流エネルギー分布では他の測定 case と同様に対象モ デル室外の風上側壁面及び風下側壁面付近で $0.05 \sim 0.2m^2/s^2$ 程度と 比較的小さい。風向に対して平行な壁面では $0.5m^2/s^2$ と比較的大きい。 他の測定 case と比較して、対象モデル室内の両開口部付近では乱流 エネルギーは $0.001 \sim 0.005m^2/s^2$ 程度と極めて小さい。又、主流以外 の領域では乱流エネルギーは殆ど 0 となる。

3.6 caseE(水平断面)における PIV 解析結果

Fig. 11 に caseE(水平断面)における PIV 解析結果を示す。Fig. 11(a)



では風上側からの気流は風速比 0.1 ~ 0.2(測定風速 0.5 ~ 1.0m/s) 程 度で対象モデルに衝突する。風向に対して平行な壁面上に設けた風下側 の開口部から気流が風速比 0.16 ~ 0.26(測定風速 0.8 ~ 1.3m/s) 程度 で対象モデル室内に流入する。

Fig.11(b)では(a)と同様に、風上側からの気流は風速比0.2~0.4(測 定風速1.0~2.0m/s)程度で対象モデルに衝突する。風向に対して平行 な壁面では、気流の剥離により風速比0.16~0.3(測定風速0.8~1.5m/s) 程度の比較的速い渦が形成される。壁面上における風下側の開口部から は気流が風速比0.16~0.3(測定風速0.8~1.5m/s)程度で対象モデル 室内に流入し、対向の壁面に向かう気流を形成する。又、風上側の開口 部からは風速比0.2(測定風速1.0m/s)程度で気流が流出する。

Fig. 11(c)の乱流エネルギー分布では、他の測定 case と同様 に対象モデル室外の風上側壁面及び風下側壁面付近で 0.05 ~ 0.2m²/s²程度と比較的小さい。対象モデル室内では、壁面上の風 下側の開口部付近において乱流エネルギーは 0.02 ~ 0.08m²/s²程 度となる。それ以外の領域では乱流エネルギーは殆ど 0 となる。

3.7 PIV 解析による時系列室内流入速度

Fig. 12 に各開口部における時系列室内流入速度の算出点を、Fig. 13 に PIV 解析による時系列室内流入速度を示す。室内流入速度は各開口

部において約10mm 室内側の算出点(5点)の風速2成分の合成ベク トルの平均値であり、室内へ流入する方向を正として表示する。本節 では主に室内へ流入する気流を解析している。caseA-1 では風上側開 口部 (Opening 1) において、気流の流入速度が風速比 0 から 0.2 程度 に時系列的に増減する。流入開口となるのは Opening 1のみである。 caseB-1、C-1、D-1 では Opening 1 と Opening 2 において交互に流入方 向の風速値の増減が確認できる。このことから caseB-1、C-1、D-1 で は、2つの開口部から交互に気流が流入していることが明らかである。 caseE-1 では、風下側開口部 (Opening 2) において断続的に流入速度が 増減しており、Opening 2から気流が流入している。又、瞬間的には Opening 1 においても流入方向の風速値が存在している。各開口部にお ける時間平均流入風速比は caseA-1 では Opening 1:0.0396、Opening 2: -0.0124、caseB-1 では Opening 1:0.0118、Opening 2:0.0090、C-1 では Opening 1:0.0076、 Opening 2:0.0080、 D-1 では Opening 1:0.011、 Opening 2:0.010、caseE-1 では Opening 1:-0.0029、Opening 2:0.0581 となる。caseB-1、C-1、D-1 では Opening 1、2 でほぼ同等の値となるが、 caseA-1、E-1では流出側開口となる算出点の値が流入側と比較して 小さい。これは流出側開口部の室内側では流入側開口部の噴流と異な り、開口部に誘引される気流となるためと考えられる。今後、本デー



Fig.11 Result of PIV analysis in caseE(horizontal section)

タを基に FFT 分析を行い、開口部近傍における流入・流出風速のスペク トル分析を行う予定である。

3.8 カメラの設置位置の違いによる PIV 解析結果の変化

Fig. 14 にカメラの設置位置の違いによる PIV 解析結果を示す。平均 値は測定時間 16秒 (8000 フレーム)の全ての解析結果により算出した。 図内で若干グリッド状の誤べクトルが存在している。これは可視化画

※室内へ流入する方向を正として表示する。 面に沿って流れる様子と開口部から室内に流れ込み、室内に拡散する ····· :Calculation points 0.4 300mm 300mm Dening 1 ratio[-] 0.2 -Opening 1 Opening 2 10mm Opening 2 Opening 2 Omm Opening 1 caseA. B caseC. D. E speed Opening 1 0.1 Opening 2 ри 0 300mm 300mm ·0.1 (b) caseC. D. E (a) caseA. B 0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0 11.0 12.0 13.0 14.0 15.0 16.0 Fig.12 Calculation points of time series wind velocity Time [s] at openings (2D2C) (c) case C-1 0.4 04 -Opening 1 Opening 2 Opening 1 Opening 2 0.3 0.2 0.2 글0.3 Opening 1 2.0 at Opening 2 Opening 1 beed sbeed 0.1 sbeed Wind pu 0 0 Ň Opening 2 -0.1 0.1 0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0 11.0 12.0 13.0 14.0 15.0 16.0 0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0 11.0 12.0 13.0 14.0 15.0 16.0 Time [s] (d) case D-1 Time [s] (a) case A-1 0.4 0.4 Opening 2 . _____0.3 —Opening 1 Opening 2 Opening 1 T 0.3 **Opening** ratio[-Opening 2 Opening 2 0.2 rat speed 0.1 beed sbeed Wind 0 рц 0 N Opening 1 .0.1 -0.1 0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0 11.0 12.0 13.0 14.0 15.0 16.0 0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0 11.0 12.0 13.0 14.0 15.0 16.0 Time [s] Time [s] (e) case E-1 (b) case B-1 Fig. 13 Time series wind velocity(2D2C) of inlet by PIV analysis Wind speed ratio:1.0 Wind speed ratio:1.0 0 0.5 1.0 Wind speed ratio:1.0 Wind direction Wind direction Wind direction 0.5 0.5 1.0 1.0 700 700 700 600 600 600 500 500 500 160000 Y[mm] 400 400 [u 400 [u u] ↓ 300 EUN Y[mm] 300 300 200 200 200 100 100 100 0 100 200 300 400 500 600 700 Ó ò 200 300 400 500 600 100 Ò 100 200 300 400 500 600 700 X[mm] X[mm] X[mm] (c) Distribution of mean (a) Distribution of mean (b) Distribution of mean wind velocity vector (caseA-3) wind velocity vector (caseA-4) wind velocity vector (caseA-5) Fig. 14 Difference of results of PIV analysis by camera position in case A (Horizontal section)

像にターンテーブル床面に設置されていたグリッドが映り込んだ影響

と考えられる。caseA-3 では、風上・風下側開口部の室外側では測定

対象模型の奥行方向の内壁面が映り込むため、開口部付近で室内外

の流れ場を連続的に撮影することができない。風上側開口部では気流

が模型内に流入する際の縮流を捉えることができず、風下側開口部で

は流出した気流が後流域に拡散する様子が不鮮明となっている。一 方、caseA-4では、風上から流入する接近流が模型壁面に到達し、壁 様子が室内外で連続的に観察できる。又、caseA-5 では、風下側開口 部の室内側付近で動圧が再形成され、開口部で縮流して流出し、後流 域の複雑な渦へ拡散する様子が観察できる。

室内外を対象としてカメラ等により撮影を行う際に測定対象の壁面 付近で発生するパースペクティブ効果に対しては、開口部にカメラの 画角の中心を合わせて撮影を行うことにより、比較的鮮明に流れ場の 撮影を行うことができるため、PIV 解析による風速ベクトルの算出結 果を改善させることができる。

4. 結論

現在、通風に関する多くの研究では時間平均値や定常解析によっ て得られるアンサンブル平均値により、気流性状の検討が行われて いる。本来、非定常現象である通風現象の構造解明を行うためには、 時々刻々と変化する室内外気流性状を定量的に把握することが重要 である。本研究では2種類の単純住宅モデルを用いて大型境界層風 洞において可視化を行い、得られた連続的な可視化画像から室内外 の瞬時的な風速の変動を捉えた通風気流のPIV 測定結果^{達17)}を報告 した。本実験では風洞内の接近流の風速が変動しながら測定対象模 型に衝突し、模型室内に流れ込み、絶えず室内外気流性状が移り変 わる様子を比較的鮮明に測定することが出来た。定常解析では得る ことが出来ない実際の自然環境下により近い風速変動による通風気 流の再現ができたと考えられる。

以下が本研究の PIV 測定により新たに得られた風速変動による通風 気流の知見である。

(1)時間平均値において圧力差が生じる条件 (caseA、E):時間平均 値では流入した気流は直線的に室内を通過し流出するが、瞬時値で は流入した気流は左右に大きく振動しながら室内を通過し流出する 気流となる。

(2)時間平均値では圧力差が生じない条件 (caseB、C、D):瞬時的 には開口部付近に発生する剥離流や接近流の風向・風速の変動によ り外壁面の圧力分布が絶えず変化し、開口間に圧力差が発生する為、 開口部から交互に気流が流入・流出する。どの開口条件でも風上・ 風下側に開口を設けた caseA に比較して流入風速は遅い。乱流エネ ルギーは開口部付近の流入気流の主流で最も大きく、その他の室内 では殆ど0となる。

又、室内外を対象として PIV 測定を行う際に発生するパースペク ティブ効果は開口部に対してカメラの画角の中心を合わせることに より、算出される風速ベクトルが比較的改善されることが明らかに なった。

注

- 注1) 新潟工科大学所有の大型境界層風洞を用いる。
- 注2) 本実験で使用した縮尺室内模型は、厚さ 5mm の透明なアクリル板で製 作した。
- 注3) 本実験で使用した画像は8bitの階調を持った濃淡画像である。
- 注4) 本論文におけるパースペクティブ効果 (perspective effect) とは、カメ ラ等により光学的な撮影を行う際に、遠近法により測定対象模型の奥行方 向の内壁面が流れ場に映り込むことを言う。パースペクティブ効果による 可視化画像及び PIV 解析への主な影響は、模型のエッジ部分(模型の隅角 部や輪郭、接合部、開口端部のアクリルの厚み部分)の輝度が流れ場に重 なるため、その部分では流れ場のトレーサの輝度値の取得自体が困難とな ることと、奥行方向の内壁面が鏡面のように反射し、流れ場が内壁面に映 り込むため、その箇所ではトレーサのみの輝度値の取得が困難となること

が挙げられる。

- 注5) 本論文の PIV 解析ではバックグラウンド画像による輝度値の減算処理 を行っている。バックグラウンド画像による輝度値の減算処理によるパー スペクティブ効果の低減ついては、まず測定対象模型のエッジ部分が流 れ場に映り込むことに関して、アクリル模型のエッジ部分ではトレーサ の輝度値の取得自体が困難であり、このような画像でバックグラウンド 画像の減算処理を行ったとしてもトレーサの輝度値が不連続的になるた め、バックグラウンド画像の減算処理では対応が困難である。また、奥 行方向の内壁面が鏡面のように反射し、流れ場が内壁面に映り込むこと に対しては、バックグラウンド画像撮影時では存在しないトレーサによ る輝度値が奥行方向の内壁面に映ることにより発生する現象のため、こ れに対してもバックグラウンド画像による輝度の減算処理では対応が困 難である。
- 注6)本実験で使用する可視化用レーザは連続光で照射する。
- 注7) 3台のレーザを用いることにより、レーザ光の境界ライン上における 輝度値の変化による誤ベクトルの増加や、3台のレーザ光源による干渉縞 の発生等が懸念されたが、本実験ではそのような現象は観察されていない。
- 注8)本論文の PIV 解析における検査領域と探査範囲のサイズは、実験時の風 洞の設定風速とカメラのフレームレートとキャリブレーション値を考慮 し、測定面全体で良く風速ベクトルが算出できる値を模索した試行錯誤 の結果、決定した値である。通風現象のように室外では流れが速く、室 内では遅いような比較的大きな速度変化がある流れ場では可視化測定面 全体を同一の検査領域と探査範囲で PIV 解析するのではなく、それぞれ に合った検査領域及び探査範囲を決定し、室外と室内の解析パラメータ を分けて解析する手法も考えられる。更に、例えば 500fps で撮影した 可視化画像について、流れが比較的遅い室内では 250fps に画像を間引 いて解析することで画像間のトレーサの移動量が大きくなり流れが明確 化することにより PIV 解析パラメータを更に検討する予定である。
- 注9) 撮影画像の画素と実際の距離との換算係数であるキャリプレーション値 は、撮影面に校正用プレートを設置し、実際の距離が画像上で認識でき る画像を撮影し、キャリプレーション値を求める。
- 注10) 本実験ではハイスピードカメラを風洞内に配置して撮影を行っている。 カメラは水平断面撮影時では床面から高さ約940mmにレンズ下端が位置し ており、模型中心の測定対象面からは約790mm離して設置している。鉛直 断面撮影時では模型中心の測定対象面から約710mm離して設置している。
- 注11) レーザと高速度カメラを設置する際、模型の風上側に三脚の足が配置されないように配慮して設置を行っており、三脚の各足と測定対象模型は約400mm以上離して配置している。
- 注12) Fig. 15 に実験に使用した大型境界層風洞の流入風速の流速及び乱流エ ネルギーの鉛直プロファイルを示す。両図とも基準高さの流入気流の流 速U(風速5.0[m/s])で基準化している。データを取得した際のサンプリ ング間隔は100Hzであり、基準流速によって両鉛直プロファイルが変化 しないことは確認している。流入方向である x 方向の速度成分の鉛直プ ロファイルは、基準とした1/4 乗則とほぼ一致する。



- 注 13) 本論文の PIV 解析ではサブビクセル補間を行っており、補間後の PIV 解 析結果において、ピクセルロッキング現象の兆候がないことは別途確認 している。
- 注14)本論文のPIV解析では再帰的相関法は用いていない。

- 注15) PIV 解析により算出された風速ベクトルから誤ベクトルを判定する手法 は、相関係数閾値による判定、対象算出点と周囲の算出点8点の平均速度と の差や速度ベクトルの角度差が挙げられるが、相関係数の高い誤ベクトルが 存在することや本論文の測定対象が乱流場であるため、渦の部分では微小範 囲においても比較的大きな速度勾配や角度差が存在するため、一概に適切な 速度差、角度差閾値を設定することが困難である。以上の理由から本論文の PIV 解析では一切の補間操作、誤ベクトルの削除処理を行っていない。
- 注16) 乱流エネルギーの算出式を以下に示す。

$$k'_{i} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N} \left[\frac{1}{2} \sum_{c=0}^{1} \{ (c, \tilde{u}_{i,t}) - (c, u_{i}) \}^{2} \right]$$

 k'_i :Turbulent kinetic energy by 2D2C [m²/s²], t:Time, N:Data number, c:Component number (c=0 : x component, c=1 : y or z component), i:Grid number, $\widetilde{u_{i,t}}$:Instantaneous wind velocity, u_i :Mean wind velocity

注17) カメラのフレームレートを 500fps、caseA の鉛直断面の PIV 解析結果 から室内の主流の水平断面高さ(高さ130 mm)における流速を平均1. 5[m/s]、流入角度を下向きに約30°とすると、撮影画像1フレーム間のz 方向(水平断面通過方向)の移動量は約1.5[mm]となる。本実験で使用し ているレーザシートの厚さは2.0[mm] 程度であるため、1フレーム間の移 動がシート内で行われていることとなる。シートを通過する方向の流れ(面 外風速)の測定が困難であることは2次元2成分 PIV の特徴であり、更に 三次元性の強い流れ場を詳細に PIV 測定する場合はステレオ PIV やトモグ ラフィック PIV の導入を検討する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 流れの可視化学会編:新版流れの可視化ハンドブック,朝倉書店,1986.10
- 可視化情報学会20周年記念誌編集委員会編:流れの可視化 今・昔,春 恒社、1993.2
- 3) 勝田千利:通風に関する実験的研究 特に2棟の1階建建物が直角に相前後して並ぶ場合の風下家屋の通風について,建築学会論文集,第5号,pp.261-270,1937.3
- 4) 村上周三,赤林伸一:レーザーライトシート(LLS)を用いた乱流の微細 構造の可視化 通風時の建物における室内外気流の可視化,社団法人可視 化情報学会,流れの可視化,Vol.6,No.22,pp.419-420,1986.7
- 5) 可視化情報学会編: PIV ハンドブック,森北出版株式会社, pp. 1-3, 2002.7
- 6) 可視化情報学会編:可視化情報ライブラリー4 PIVと画像解析技術,朝 倉書店,2004.6
- M.Z.I. Bangalee, J.J. Miau, S.Y. Lin, J.H. Yang. : Flow visualization, PIV measurement and CFD calculation for fluid-driven natural cross-ventilation in a scale model. Journal of Energy and Building, vol. 66, pp. 306-314, 2013.
- P. Karava, T. Stathopoulos, A.K. Athienitis. : Airflow assessment in cross-ventilated buildings with operable façade elements, Journal of Building and Environment, vol. 46, pp. 266-279, 2011.
- 9) 種山恭助,加藤信介,高橋岳生,河野良坪:開口面積比及び開口位置関係が通風時気流性状に与える影響の分析,日本建築学会環境系論文集,第 596号,pp.21-27,2005.10
- 10) 倉渕隆,大場正昭,岩淵拓志,島田朋裕:風向正面の場合の通風気流に 関する予測精度検証と流管分析 LESと風洞実験による建物通風気流構造 の解明に関する研究 第1報,日本建築学会環境系論文集,第561号, pp.47-52,2002.11
- 11) 山中俊夫,甲谷寿史,加藤正宏:単一開口を持つ室の風力換気現象に関す る研究 その4 PIVによる単一開口部における気流性状の把握,日本建 築学会大会学術講演梗概集,D-2,pp.669-670,2002.8
- 12) 甲谷寿史,相良和伸,山中俊夫,小林知広,塩崎康弘:PIVによる通風時の建物周辺の気流場解析,可視化情報学会誌,vol29,No.112,pp.18-24,2009.1
- 13) 甲谷寿史、山中俊夫、桃井良尚、相良和伸、有馬雄佑:通風量の簡易予測 を目的とした室内外流管解析に関する研究 その19 PIVを用いた流管同 定と CFD 解析との比較、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、pp. 637-638、2012.9
- 14) 佐藤鑑:風向に対し同一側の二開口部による通気輪道について,建築学会論文集,第5号,pp.241-250,1937.3
- 15) 赤林伸一,大嶋拓也,有波裕貴,大久保肇,楊暁韻,坂口淳:室内気流模

型を対象としたシーディング手法の検討及び測定結果室内気流を対象と した PIV 計測に関する研究 その1,日本建築学会環境系論文集,第690 号,pp.631-638,2013.8

16)赤林伸一,持田灯,富永禎秀,吉田正昭,坂口淳:新潟工科大学境界層型 風洞の基本特性,日本風工学会誌,第68号,pp.95-106,1996.7

本論文に関連した既発表文献

- *1) 大久保肇,赤林伸一,坂口淳,富永禎秀,有波裕貴,楊暁韻:粒子画像 流速測定法 (PIV) を用いた室内気流測定方法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, 日本建築学会北陸支部研究報告集,第55号,4-10,pp.199-202,2012.7
- *2) 大久保肇,赤林伸一,坂口淳,富永禎秀,富岡誠子,有波裕貴,楊暁韻: 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, 日本建築学会大会学術講演梗概集,D-2,pp.617-618,2012.9
- *3) 有波裕貴,赤林伸一,坂口淳,富永禎秀: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2 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と実大室内空間における扇風機 と天井埋め込み型空調機を対象とした実測,空気調和・衛生工学会学術講 演論文集,C-23, pp. 309-312, 2012.9
- *4) 大久保肇,赤林伸一,坂口淳,富永禎秀,富岡誠子,有波裕貴: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, 日本建築学会大会学術講演梗概集,D-2,pp.609-610,2013.8
- *5) 坂口淳,赤林伸一,富永禎秀,有波裕貴:非定常変動気流場における住 宅の通風性状に関する研究 その1 対向する壁面に開口を設けた場合の 単純住宅モデルを対象とした PIV と LES による通風性状の比較,空気調和・ 衛生工学会学術講演論文集,D-39, pp. 153-156, 2013.9
- *6) 有波裕貴,赤林伸一,富永禎秀,坂口淳:非定常変動気流場における住 宅の通風性状に関する研究 その2 同一壁面に複数の開口を設けた場合 の単純住宅モデルを対象とした PIV と LES による通風性状の比較,空気調 和・衛生工学会学術講演論文集, D-40, pp. 157-160, 2013. 9
- *7)赤林伸一,坂口淳,富永禎秀,有波裕貴,本田美穂,大久保肇:非定常変 動気流場における住宅の通風性状に関する研究 その1 単純住宅モデ ルを対象とした PIV による通風性状,可視化情報全国講演会講演論文 集,A201, pp. 33-34, 2013.9

本論文に関連した連続する可視化画像及び PIV 測定結果の連続したベクトル画像の URL

http://tkkankyo.eng.niigata-u.ac.jp/dougainfo/journal/piv2013_4/piv2013_4.html

http://tkkankyo.eng.niigata-u.ac.jp/(新潟大学 赤林研究室ホームページのURL) 尚、新潟大学 赤林研究室ホームページの中段右側の論文関連可視化画像から も参照できる。

本論文に関連した連続する可視化画像及び PIV 測定結果の連続したベクトル画 像に関する考察

1 caseA(水平断面)における PIV 解析結果

caseA では室内へ流入した気流が左右に振動しながら室内に拡散する様子が 観察できる。

2 caseB(水平断面)における PIV 解析結果

caseBでは、風向に平行な壁面に設けられた両開口部から気流が交互に流入・ 流出する様子が観察できる。

3 caseC(水平断面)における PIV 解析結果

caseCでは、風上側壁面に設けられた両開口部から気流が交互に流入・流出 する様子が観察できる。

4 caseD(水平断面)における PIV 解析結果

caseDでは、風下側壁面の両開口部より気流が交互に流入・流出する様子が 観察できる。

5 caseE(水平断面)における PIV 解析結果

caseE では、風下側開口部より気流が流入する様子が観察できる。

VISUALIZATION AND MEASUREMENTS FOR FLUCTUATING CROSS VENTILATION AIRFLOW IN SIMPLE HOUSE MODEL USING LARGE-SIZE BOUNDARY LAYER WIND TUNNEL

Study on PIV measurement and analysis for room air flow distribution $\mbox{ Part }2$

Yuki ARINAMI^{*}, Shin-ichi AKABAYASHI^{**}, Yasuo TAKANO^{*}, Yoshihide TOMINAGA^{***} and Jun SAKAGUCHI^{****}

* Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Niigata University, M. Eng. ** Prof., Graduate School of Science and Technology, Niigata University, Dr. Eng. *** Prof., Department of Architecture and Building Engineering, Niigata Institute of Technology, Dr. Eng. **** Prof., Faculty of International Studies and Regional Development, Department of International Studies and Regional Development, University of Niigata Prefecture, Dr. Eng.

Cross ventilation in interior spaces is a commonly adopted means of providing natural ventilation in Japan during moderate seasons, including summer. Cross ventilation is occurred by interaction that caused by the airflow in interior and exterior rooms and the pressure distribution of the building walls. In a previous study, steady airflow distribution was studied as a function of time for a simple house model with two windward and leeward openings on opposite walls, however, the wind direction and velocity outside the house were found to vary. Consequently, the airflow distribution varied depending on the outside wind direction and velocity. Moreover, the outside wind turbulence affects cross ventilation, for example, in the case of two wall openings symmetrical to the wind direction. Cross ventilation is a unsteady-state phenomenon, and in order to understand it better, the wind flow and velocity have to be quantified.

Recently, particle image velocimetry (PIV) has attracted considerable attention. PIV is a noncontact method that measures airflow velocity at multiple points simultaneously, thus, it is preferred over conventional anemometers.

When setting camera angle on center of the model in order to provide visualization images, it is caused that walls of the model are reflected in the flow field around the walls and are crowded. We call it perspective effect. If visualization images with perspective effect are used for PIV analysis, it tends to be occurred that error vectors are increased and no vectors are calculated in the area.

This study describes the airflow distribution in a simple cross-ventilated house model by using PIV and a large-size boundary wind tunnel. Considering perspective effect, center of the camera angle is changed in order to provide clear visualization images around the walls and openings. Two house models were used in the experiments. The first model has two openings placed on opposite walls, and the second has two openings placed on the same wall. The visualization of cross ventilation is performed by using three lasers. The location of the openings and the wind direction are the experimental variables. The wind speed ratio and turbulent kinetic energy distribution by wind velocity vector of 2 dimensions and 2 components in and around the model are reported.

The results are as follows:

(1) In Case A (two openings placed on opposite windward and leeward walls), airflow moves steadily into the model through the windward opening and sways from side to side. The wind speed ratio of mainstream of inlet is about 0.3.

(2) In Case B (two openings placed on opposite walls parallel to wind direction), airflow moves into the room model through one opening and another one in turn.

(3) In Case C (two openings placed on windward wall) and in Case D (two openings placed on leeward wall), airflow moves into and out of the model through the openings on the same wall in turn.

(4) In Case E (two openings placed on wall parallel to wind direction), airflow moves steadily into the model through a leeward opening. The wind speed ratio of mainstream of inlet is about 0.2 to 0.4.

(5) By changing the center of the camera angle, visualization images around the wall and openings are clarified.

In Case B, Case C and Case D, where there is no pressure difference of the building walls as a function of time, it is clarified that airflow moves into and out of the model through the openings in turn due to the outside wind turbulence.

(2014年6月10日原稿受理, 2014年10月29日採用決定)