粒子画像流速測定法(PIV)を用いた 通風時の室内外気流分布に関する研究

新潟大学大学院自然科学研究科環境科学専攻 社会基盤・建築学コース(建築系)

指導教員

大久保肇 赤林伸一教授

平成25年度修士論文発表

2014/3/19



1 研究目的



平成25年度修士論文発表

2014/3/19

| 研究目的

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 おいて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及び壁面の全圧分布が極めて複 雑に影響を及ぼし合う非定常の流体現象であるため、現象の 構造の解明が困難である。

流体現象の解析手法の一つに風洞実験等による流れの可視化 が挙げられる。流れの可視化とは、人間の目には見えない自 然風や空調機器等が作る流れを、何らかの手法により観察可 能にする技術であり、古来より流れの特性を直感的に把握す る手法として、様々な測定法が試みられている。

1 研究目的

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、 流れの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測定は、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 可視化を行う。可視化した流れ場を対象に、トレーサ粒子の 動きを高速度カメラで撮影し、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、気流速度情報を算出する測 定方法である。

PIV測定は熱線風速計等による従来の点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るため、従来の風速計では測定が困難な流れ場に対して、有力な流れの解析手法の一つとして考えられている。



1 研究目的

本研究では、大型境界層風洞内^{注1)}において、先ず対向する壁面に開口部を有する単純住宅モデルのPIV測定を行う。

注1) 新潟工科大学所有の風洞

次に同一壁面に2開口を有する単純住宅モデルを対象とした PIV測定を行う。同一壁面に2開口を有する開口条件は、非定 常流れ場において両開口部の圧力差により室内に気流の流入 出が観察される条件ではあるが、一般的には通風の効果は小 さいとされる。

そこで、両モデルにおいて定性的な流れの可視化及びPIVによる定量的な風速ベクトルの測定を行い、非定常的な通風時の 気流性状の特性を把握することを目的とする。









平成25年度修士論文発表

2014/3/19

2.1 測定対象の概要

測定対象モデルは厚さ5mmのアクリル板で作成されており、 寸法は300mm×300mm×300mmの立方体で、壁面には40mm×40mm の開口部が2箇所設けられている。

測定には対向する壁面中央部に開口部を有する場合と、同一 壁面上に開口部を有する場合の2種類の単純住宅モデルを使 用する。



図 測定対象の概要



表1 各測定caseの撮影条件

測定対象モデル	測定case	測定断面	画角の中心	
caseA	A-1	鉛直断面	対象モデルの中心	
	A-2		風上側開口部	
	A-3	水平断面	対象モデルの中心	
	A-4		風上側開口部	
	A-5		風下側開口部	
caseB	B-1		対象モデルの中心	
	B-2		片側開口部	
caseC	C-1		対象モデルの中心	
	C-2		風上側壁面の中心	
caseD	D-1		対象モデルの中心	
	D-2		風下側壁面の中心	
caseE	E-1		対象モデルの中心	
	E-2		開口部を有する壁面の中心	

対向する壁面中央部に開口を設け、 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)





<u>測定対象モデル</u>	測定case	測定断面	画角の中心	
caseA	A-1	公古新田	対象モデルの中心	
	A-2	可但何回	風上側開口部	
	A-3		対象モデルの中心	
	A-4		風上側開口部	
	A-5		風下側開口部	
caseB	B-1		対象モデルの中心	
	B-2		片側開口部	
caseC	C-1	水平断面	対象モデルの中心	
	C-2		風上側壁面の中心	
caseD	D-1		対象モデルの中心	
	D-2		風下側壁面の中心	
caseE	E-1		対象モデルの中心	
	E-2		開口部を有する壁面の中心	

表1 各測定caseの撮影条件

同一壁面に2箇所の開口部を設け、 開口のある壁面を風上側に向けた 場合(caseC)、開口のある壁面を 風下側に向けた場合(caseD)、開 口のある壁面を風向に対し平行に 向けた場合(caseE)とする。



2014/3/19



通風現象を初めとして、立方体の模型の内外を撮影対象とす る場合、撮影画像奥行き方向へパース効果が働く。このため 模型内壁面が開口部の内外の流れ場に映り込み、開口部付近 の気流の流入出を鮮明に撮影することが困難である。



図 パース効果の例



2014/3/19

本研究では、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 主に室内の通風性状を解析し、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出及び縮 流等を解析対象とする。



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出気流の風向・風 速等の変動をPIV解析することを意図している。





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 化対象領域に明瞭な影が生じる。



図 可視化対象領域に生じる影の例





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。



図 可視化対象領域に生じる影の例





本研究では、模型周辺から複数のレーザを照射し、測定結果 に影響のある影を除去することを意図する。

レーザは出力1Wと2Wと3Wの3台を同時に使用し、レーザ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2)}。

注2) 1Wレーザは風上側、2Wレーザは風下側に設置して可視化を行う。

表2 実験機器の概要

Comoro	ハイスピードカメラPhotoron FASTCAM SA3			
Gailler a	(1024pixel×1024pixel,500fps,シャッタースピード:S=1/500)			
	DPGL - 3W	LD励起Nd:YAG/YV04レーザ(連続光)		
Laser		波長532nm,出力3W		
	DPGL - 2W	LD励起Nd:YAG/YV04レーザ(連続光)		
		波長532nm,出力2W		
	G1000	LD励起Nd:YAG/YV04レーザ(連続光)		
		波長532nm,出力1W		
Software	カメラ制御	Photoron FASTCAM Viewer ver. 3. 3. 8		
	PIV解析	Flow - Expert ver1.25		





測定は1800mm×1800mmの大型境界層風洞内^{注1)}で行う。

注1) 新潟工科大学所有の風洞。

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^{注3)}は鉛直断面で0.59mm/pixel、水平断面で 0.66mm/pixelである。

注3) 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 リブレーション値を求める。

境界層風洞

表3 PIV解析のパラメータ

测定case	caseA(鉛直断面)	caseA~E(水平断面)	
画像サイズ[pixel]	1024pixel × 1024pixel		
キャリブレーション値[mm/pixel]	0.58985	0.65856	
测定対象領域[mm]	604mm × 604mm	674mm × 674mm	
測定時間[s]	16s		
測定間隔[ms]	2ms(500fps)		
検査領域[pixel]	27pixel × 27pixel	19pixel × 19pixel	
探査範囲[pixel]	± 14 pixel × ± 14 pixel	± 12 pixel × ± 12 pixel	



図3 風洞内における実験装置の概要





風洞内の基準風速は、基準高さ1.0mで5.0m/sに設定する。

境界層風洞

表3 PIV解析のパラメータ

測定case	caseA(鉛直断面)	caseA~E(水平断面)	
画像サイズ[pixel]	1024pixel × 1024pixel		
キャリブレーション値[mm/pixel]	0.58985	0.65856	
測定対象領域[mm]	604mm × 604mm	674mm × 674mm	
測定時間[s]	16s		
測定間隔[ms]	2ms(500fps)		
検査領域[pixel]	27pixel × 27pixel	19pixel × 19pixel	
探査範囲[pixel]	± 14 pixel $\times \pm 14$ pixel	± 12 pixel × ± 12 pixel	



図3 風洞内における実験装置の概要



2014/3/19

本研究のPIV解析は、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により風速ベクトルを算出する。





連続した可視化画像 図4はPIV測定における速度算出原理の説 明のため、デフォルメした濃淡画像を掲載 している。

図4 PIV解析(直接相互相関法)の詳細

各測定caseにおいて速度2成分による乱流エネルギー^{注4)}を 算出する。

注4) 乱流エネルギーの算出式

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

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(\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









平成25年度修士論文発表

2014/3/19

3.1 caseA(鉛直断面)におけるPIV解析結果





動画 caseA-2(鉛直断面)における連続する可視化画像





Akabayashi ALaba

3.1 caseA(鉛直断面)におけるPIV解析結果







2014/3/19



3.1 caseA(鉛直断面)におけるPIV解析結果



図5(a) caseA-1における瞬時風速ベクトル分布 画角の中心が対象モデルの中心と一致する場合 図5(b) caseA-2における瞬時風速ベクトル分布 開口部の中心に合わせて撮影を行う場合



3.3 caseC(水平断面)におけるPIV解析結果





動画 caseC-1(水平断面)における連続する可視化画像







2014/3/19





3.3 caseC(水平断面)におけるPIV解析結果





3.5 caseE(水平断面)におけるPIV解析結果





動画 caseE-1(水平断面)における連続する可視化画像









2014/3/1



3.5 caseE(水平断面)におけるPIV解析結果





まとめ

4 まとめ

- 4.1 caseA(鉛直断面)
- ①対象モデル室外の風上側壁面において、開口部の上部付近で風速が殆どO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。
- ②気流は対象モデルに衝突し、風上側の開口部より風速1.0m/s程度で下降しながら気流が流入する。又、風下側の開口部より風速1.3m/sで流出した気流は斜め方向に上昇する気流となる。
- 4.2 caseA(水平断面)
- ①風上側からの気流が対象モデルに衝突し、開口部付近で比較的遅い風速で、左右に分かれる気流を形成する。
- ②風上側の開口部から流入した気流は左右に振幅しながら室内に拡散する。又、風下側の開口部から流出した気流は流入 気流と同様に左右に振幅する。
- 4.3 caseB(水平断面)
- ①気流は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。
- ②開口部からは、気流の流入出が交互に生じる。又、対象モデル室内において気流は風上側壁面に向かって流入する。 4.4 caseC(水平断面)
- ①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。 ②風上側壁面の両開口部から気流が風速1.0m/s程度で交互に流入出する様子が観察される。
- ③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。
- 4.5 caseD(水平断面)
- ①風下側壁面の両開口部から気流が交互に流入出する。
- ②対象モデル室外に流出した気流は、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 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。
- ③対象モデル室内の両開口部付近では乱流エネルギーは0.001~0.005m²/s²程度と極めて小さい。
- 4.6 caseE(水平断面)
- ①風向に対して平行な壁面では、気流の剥離により比較的速い渦が形成される。
- ②風下側の開口部からは気流が風速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1.0m/s程度で気流が流出する。
- ③対象モデル室内では、風下側の開口部付近において乱流エネルギーは0.002~0.008m²/s²程度である。

