

市街地を対象とした建物周辺気流に関する研究

LES・PIVによる地表面居住域付近における平均風速分布及びガストファクターの検討

T14K714A 水越 裕紀 指導教員 有波 裕貴 助教

1 研究目的

近年、商業地域における容積率の規制緩和や、特例容積率適用地区の指定による容積率の地区内移転などにより特定地域において土地が部分的に高密度利用されている。これらの地域では都市環境問題の一つであるビル風と呼ばれる風害が発生する可能性がある。ビル風は周辺と比較して特に高層の建物が建設されることで、建物建設前後で建物周辺の地表面付近における強風の発生頻度が増加する現象である。偏った状況で高密度利用されている地域におけるビル風を解明することは都市の風環境を検討する上で重要であると考えられる。

本研究では、Large-Eddy Simulation(以下:LES)及び粒子画像流速測定法(以下:PIV)を用いて中層・高層の建物を組み合わせたモデルを対象に平均風速及びガストファクター^{*1}(以下:GF)の空間分布を算出する。各建物モデルにおいて平均風速及びGFの空間分布を比較・検討することで、建物周辺の風環境を評価^{*2}することを目的とする。

2 研究概要

2.1 実験・解析対象: 図1に建物モデルの概要を、表1に実験及び解析 case を示す。case1 では風上側に中層モデル、風下側に高層モデルを、case2 では風上側と風下側に中層モデルを風向に対して直列に配置する。両モデルの隣棟間隔はそれぞれ 100[mm] とする。尚、実験・解析結果の表示断面は、地表面付近^{*3}(z=4.0[mm])の水平断面と建物モデル中心(y=900[mm])の鉛直断面とする。

2.2 LES 解析概要: 表2にLES解析条件を示す。本研究におけるLES解析には汎用数値流体解析ソフト STREAM ver. 12

高層モデル

中層モデル

単位 [mm]

(a) case1 (中層・高層)

中層モデル

中層モデル

単位 [mm]

(b) case2 (中層・中層)

図1 建物モデルの概要

表1 実験及び解析 case

	風上側建物モデル	風下側建物モデル	測定・解析断面
case1-1	中層(高さ100[mm])	高層(高さ200[mm])	水平断面
case1-2	中層(高さ100[mm])	高層(高さ200[mm])	鉛直断面
case2-1	中層(高さ100[mm])	中層(高さ100[mm])	水平断面
case2-2	中層(高さ100[mm])	中層(高さ100[mm])	鉛直断面

表2 LES 解析条件

項目	条件
SGSモデル	Dynamic型 Smagorinskyモデル
解析領域	7.8(x) × 1.8(y) × 1.8(z) [m]
解析対象	中層モデル: 0.02(x) × 0.1(y) × 0.1(z) [m] 高層モデル: 0.02(x) × 0.1(y) × 0.2(z) [m]
境界条件	流入: ドライバー領域で流入変動気流を作成する
	流出: 自然流出
	壁境界: Ymin, Ymax, Zmax面: フリースリップ Zmin面: 拡張型 流体と接する全ての面: Werner-Wengert
解析時間 t	プレ解析: t=0~4.0[s], 本解析: t=4.0~10.0[s]
時間刻み Δt	0.002[s]
温度	等温
最小メッシュ幅	case1: 0.00016[m] case2: 0.0006[m]
解析領域メッシュ数	case1: 4,689,684=251(x) × 108(y) × 173(z)
	case2: 3,473,612=257(x) × 124(y) × 109(z)

表3 PIV測定における実験機器の概要

Camera	ハイスピードカメラ Photron FASTCAM SA3 LD励起Nd:YAG/YVO ₄ レーザ
Laser	DPGL-3W 波長:532[nm] 出力:3[W] 0~30kHzにて変調可能な連続光
	LD励起Nd:YAG/YVO ₄ レーザ 波長:532[nm] 出力:5[W] 0~30kHzにて変調可能な連続光
SoftWare	カメラ制御: Photron FASTCAM Viewer ver.3.3.8 PIV解析: Flow-Expert ver1.2.10

を使用する。LES解析では、ドライバー領域^{*4}を設け、流入変動気流を作成し、対象とする建物モデルに対して変動気流を流入させて解析^{*5}を行う。接近流の鉛直プロファイルは市街地を想定して $U \propto Z^{1/4}$ (U: 流速, Z: 高さ) とする。

2.3 PIV測定概要: PIV解析パラメータ、実験機器・風洞は既報^{*1}と同様とする。風洞内の鉛直プロファイルはLESと同様とする。

2.4 GFの算出方法: 気象庁が定めるGFの算出方法は10分間の内、0.25秒間隔で測定した値を3秒間で平均した風速の最大値と10分間の平均風速の比により求められる。本研究では、この算出方法を参考に、LESでは2[ms]毎のデータ15個(30[ms]間)を平均した風速の最大値と6秒間(本解析)の平均風速の比、PIVでは2[ms]毎のデータ40個(80[ms]間)を平均した風速の最大値と16秒間の平均風速の比としてGFを算出する。

3 LES解析結果とPIV測定結果の比較

図2に流入変動気流の鉛直プロファイル(ドライバー領域下流端部: X=1,500[mm], Y=900[mm])を示す。平均風速比^{*6}の鉛直分布は1/4乗則を基準とする流入プロファイルとほぼ同様である。乱流エネルギーの鉛直分布はLESと比較して風洞実験(PIV測定)が大きい傾向がある。

3.1 建物周辺気流分布の比較

図3に各caseの建物周辺気流の平均風速ベクトル分布の比較を示す。風洞内の基準高さ1.0[m]の風速に対する風速比^{*7}で示し、建物周辺気流分布を比較する。可視化断面上の2次元風速分布を測定したPIV測定結果と比較を行うため、LESの鉛直断面では流速のXZ成分の合成値、水平断面では流速のXY成分の合成値を用いて2次元風速比を算出する。

(1) 水平断面: LESとPIVによる全体の気流性状はほぼ一致する。case2-1におけるLESではモデル中心線を軸に対称な気流分布である一方で、PIVでは隣棟間へY軸方向から気流が流入し小さな循環流を形成する。

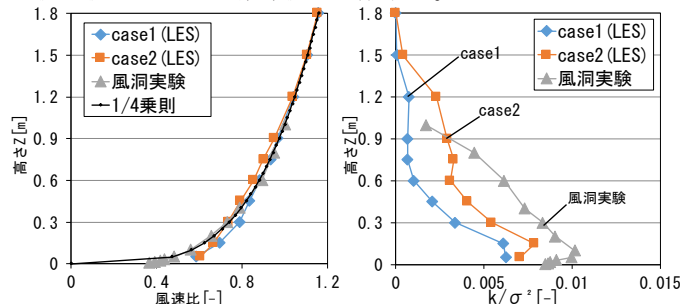


図2 流入変動気流の鉛直プロファイル (ドライバー領域下流端部: X=1,500[mm], Y=900[mm])

(2) 鉛直断面 : LES と PIV による全体の気流性状は水平断面と同様にほぼ一致する。case1-2 では中層・高層モデルの壁面上端部で剥離が生じるのに対し、case2-2 では風上側中層モデル壁面上端部のみで剥離が生じる。隣棟間の気流性状を比較すると、case1-2 では風速比 0.5 ~ 0.7 の下降流が生じるが case2-2 では殆ど生じない。

3.2 GF の比較

図 4 に各 case の GF の空間分布の比較を示す。case1-1 では LES・PIV とともに風上側中層モデル前方 (X=40[mm]、Y=180[mm]) 及び風下側高層モデル後流域の広範囲で GF が比較的大きくなり 2.6 ~ 3.4 となる。高層モデル前方 (X=200[mm]、Y=180[mm]) で GF が大きくなる一方で、隣棟間では GF は比較的小さく、1.0 ~ 1.6 である。case2-1 では case1-1 と同様に風上側中層モデルの前方 (X=40[mm]、Y=180[mm]) 及び風下側中層モデルの後流域の広範囲で GF が比較的大きくなる。隣棟間では case1-1 と異なり、GF が 2.0 ~ 2.6 と比較的大きくなる。LES では GF が大きくなる範囲が建物モデル周辺に分布しているのに対し、PIV では局所的に GF の大きい箇所が広範囲に点在する傾向がある。

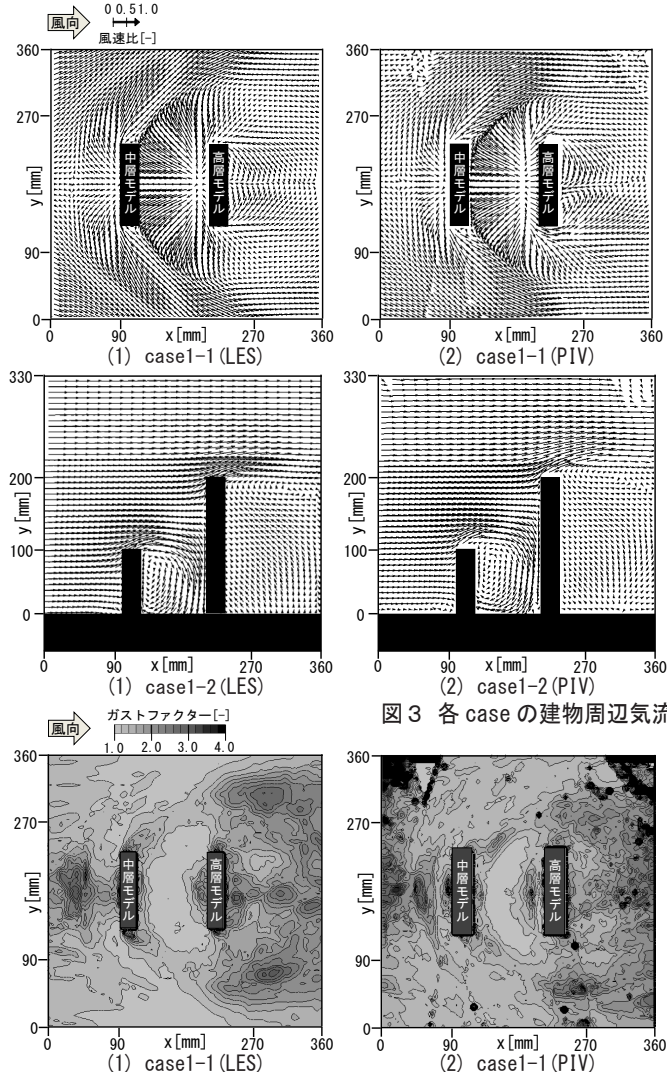


図 3 各 case の建物周辺気流の平均風速ベクトル分布の比較

図 4 各 case の GF の空間分布の比較

4 まとめ

4.1 LES と PIV による建物周辺気流分布の比較

水平・鉛直断面ともに全体の気流性状はほぼ一致するが case2-1 の隣棟間では LES・PIV の気流性状に違いが見られた。

4.2 GF の算出結果

- ① case1-1 では風上側中層モデル前方及び風下側高層モデル後流域の広範囲で GF が比較的大きくなる。高層モデル前方で局所的に GF が大きくなるが隣棟間では GF は比較的小さくなる。
- ② case2-1 では case1-1 と同様に風上側中層モデル前方で GF が比較的大きくなる一方で、隣棟間では case1-1 と比べて GF が大きくなる。
- ③ LES と PIV を比較すると、全体の GF 分布は概ね一致しているが、剥離や吹きおろしの影響を受ける部分では差が生じている。

※1 ガストファクターとは、突風率を意味し、平均風速に対する最大瞬間風速の比で表される。
 ※2 風環境は平均風速と GF から算出される最大瞬間風速の年間の頻度で評価する。
 ※3 模型の縮尺を 1/500 とすると、地表面から 2,000[mm] に相当する。
 ※4 ドライバー領域とは、周期境界条件で変動気流流入境界条件を計算するために、建物風上側に設けた領域である。
 ※5 解析開始からの経過時間を t とし、計算開始後 t=0 ~ 4.0[s] まで流入変動気流作成のためのプレ解析とする。t=4.0 ~ 10.0[s] までの計 6.0[s] 間を本解析の結果とする。
 ※6 解析結果は、各点の風速を基準高さにおける基準風速 (5.0[m/s]) で除し、風速比として示す。
 ※7 case1-2 の基準風速は 1.0[m/s] である。ただし case2 の鉛直断面の平均風速比 (図 3 (4)) において基準風速は 2.0[m/s] である。
 文 1) 赤林ら「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 9)」日本建築学会北陸支部研究報告集、2016 年