

PIV 及び LES による建物周辺気流に関する基礎的研究

その 2 中・高層の複合建物を対象とした PIV・LES による屋外気流及びガストファクターの解析

PIV LES 屋外気流性状
建物周辺気流 ガストファクター

正会員 ○安達郁弥*1 同 赤林伸一*2
同 坂口 淳*3 同 富永禎秀*4
同 有波裕貴*5 同 青木駿也*1

1 研究目的

高層建物周辺ではビル風などの風害が発生する可能性がある。これらの風環境の評価を行うための重要な指標の一つとしてガストファクター（以下:GF）が挙げられるが、GF を算出する際の予測精度が極めて重要であると考えられる。前報（その 1）¹⁾では、市街地における高層建物周辺の屋外気流性状について Large-Eddy Simulation（以下:LES）を用いて解析を行った。さらに既報²⁾では、粒子画像流速測定法（以下:PIV）を用い、建物周辺気流の風速比分布の測定と PIV 測定結果に基づく GF の算出を行った。

本報（その 2）では瞬時の風速変動が解析可能な LES 解析により前報（その 1）と同様の建物モデルを対象とした気流性状、平均風速比分布及び GF の空間分布を算出し、PIV 測定結果との比較・検討を行う。

2 研究概要

2.1 実験、解析対象モデル：図 1 に対象モデルの概要を、

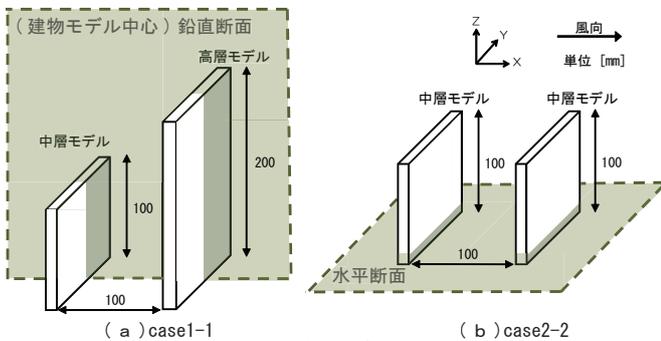


図 1 対象モデルの概要
表 1 実験及び解析 case

| | 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]) | 鉛直断面 |
| case1-2 | 中層(高さ100[mm]) | 高層(高さ200[mm]) | 水平断面 |
| case2-1 | 中層(高さ100[mm]) | 中層(高さ100[mm]) | 鉛直断面 |
| case2-2 | 中層(高さ100[mm]) | 中層(高さ100[mm]) | 水平断面 |

表 2 PIV 測定における実験機器の概要

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

表 1 に実験及び解析 case を示す。対象モデルは 20[mm]（幅）× 100[mm]（奥行き）× 100[mm]（高さ）の中層モデルと、20[mm]（幅）× 100[mm]（奥行き）× 200[mm]（高さ）の中・高層モデルの組み合わせとする。建物モデルを風向に対し直列に組み合わせて配置し、隣棟間隔は 100[mm] とする。配置条件は、風上側に中層モデル、風下側に高層モデルを配置した場合（case1）と風上・風下側の両方に中層モデルを配置した場合（case2）の 2 case とする。比較対象領域は建物モデル中央の鉛直断面及び床面から高さ 4 [mm]^{*1} の水平断面の 2 条件とし、計 4 case の比較を行う。

2.2 実験機器の概要：表 2 に PIV 測定における実験機器の概要を示す。可視化には出力 3 [W] 及び 5 [W] のシート状レーザ 2 台を同時に使用し、レーザ 2 台の照射断面を一致させる。カメラにはハイスピードカメラを用い、得られた可視化画像の PIV 解析を行う。

2.3 PIV 測定の概要：実験は 1,800[mm] × 1,800[mm] × 16,000[mm] の大型境界層風洞^{*2}で行う。表 3 に PIV 解析のパラメータを示す。風洞内の鉛直プロファイルは $U \propto Z^{1/4}$ (U: 流速, Z: 高さ) とする。PIV のキャリブレーション値^{*3}は、鉛直断面で 0.42[mm/pixel]、水平断面で 0.36[mm/pixel] である。ハイスピードカメラのフレームレートは 500[fps] とし、シャッタースピードは 1/500[秒] である。1 回の実験の撮影時間は鉛直断面で 11[秒]、水平断面で 16[秒] である。可視化のシーディングには難燃性のスモークを使用し、風上側の可能な限り気流場に影響が生じない位置にダクト付きスモークジェネレータを設置して行う。

2.4 LES の解析概要：基準とする流入プロファイルは、PIV と同様に市街地を想定して $U \propto Z^{1/4}$ (U: 流速, Z: 高さ) とする。解析開始から 4.0 ~ 10.0[s]（本解析）の計 6 [s] 間の結果を比較対象とする。その他の解析条件は前報

表 3 PIV 解析のパラメータ

| 測定断面 | case1(中層・高層) | | case2(中層・中層) | |
|----------------------|-------------------|-----------|--------------|-----------|
| | 鉛直断面 | 水平断面 | 鉛直断面 | 水平断面 |
| 画像サイズ[pixel] | 1024 × 1024 | | | |
| キャリブレーション値[mm/pixel] | 0.421 | 0.357 | 0.421 | 0.357 |
| 測定対象領域[mm] | 430 × 430 | 360 × 360 | 430 × 430 | 360 × 360 |
| 測定時間[sec] | 11 | 16 | 11 | 16 |
| 測定間隔 | 2 [ms] (500[fps]) | | | |
| 検査領域[pixel] | 17 × 17 | 15 × 15 | 17 × 17 | 15 × 15 |
| 探索範囲[pixel] | ±11 × ±11 | | | |

Basic Study on Air Flow Distribution around Buildings by PIV and LES
Part2 Comparison of Outdoor Air Flow Distribution and Gust Factor
around Two Adjacent Building Models by PIV and LES.

ADACHI Ikumi, AKABAYASHI Shin-ichi,
SAKAGUCHI Jun, TOMINAGA Yoshihide,
ARINAMI Yuki, AOKI Syunya

(その1)と同様とする。

3 PIV測定とLES解析結果の比較

図2に流入変動気流の鉛直プロファイル(ドライバー領域端部: $X = 1,500$ [mm])を示す。平均流速は基準とした $U \propto Z^{1/4}$ (U : 流速, Z : 高さ)の流入プロファイルとほぼ同様である。

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比分布の比較を示す。風洞内の基準高さ 1.0 [m]の風速(基準風速)に対する風速比で示し、建物周辺気流分布を比較する。

(1) case1-1(風上側: 中層モデル、風下側: 高層モデル、鉛直断面): PIV、LESともに隣接する2棟間に大きな渦状の気流場を形成する。また、風下側モデルの風上側に気流が衝突し、地表面付近に風速比 $0.6 \sim 0.7$ 程度で吹き降ろしが生じる。剥離が生じるモデル上端部及び風下側モデルの風上側壁面で風速が速くなる。

(2) case1-2(風上側: 中層モデル、風下側: 高層モデル、水平断面): case1-1(鉛直断面)同様、全体の気流性状はほぼ一致する。モデル中心線を軸に対称な気流分布と

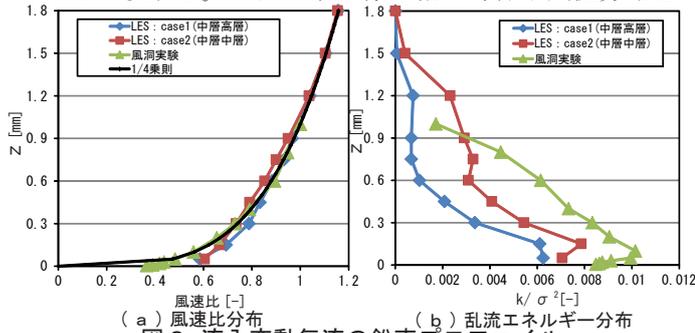


図2 流入変動気流の鉛直プロファイル
(ドライバー領域端部: $X = 1,500$ [mm])

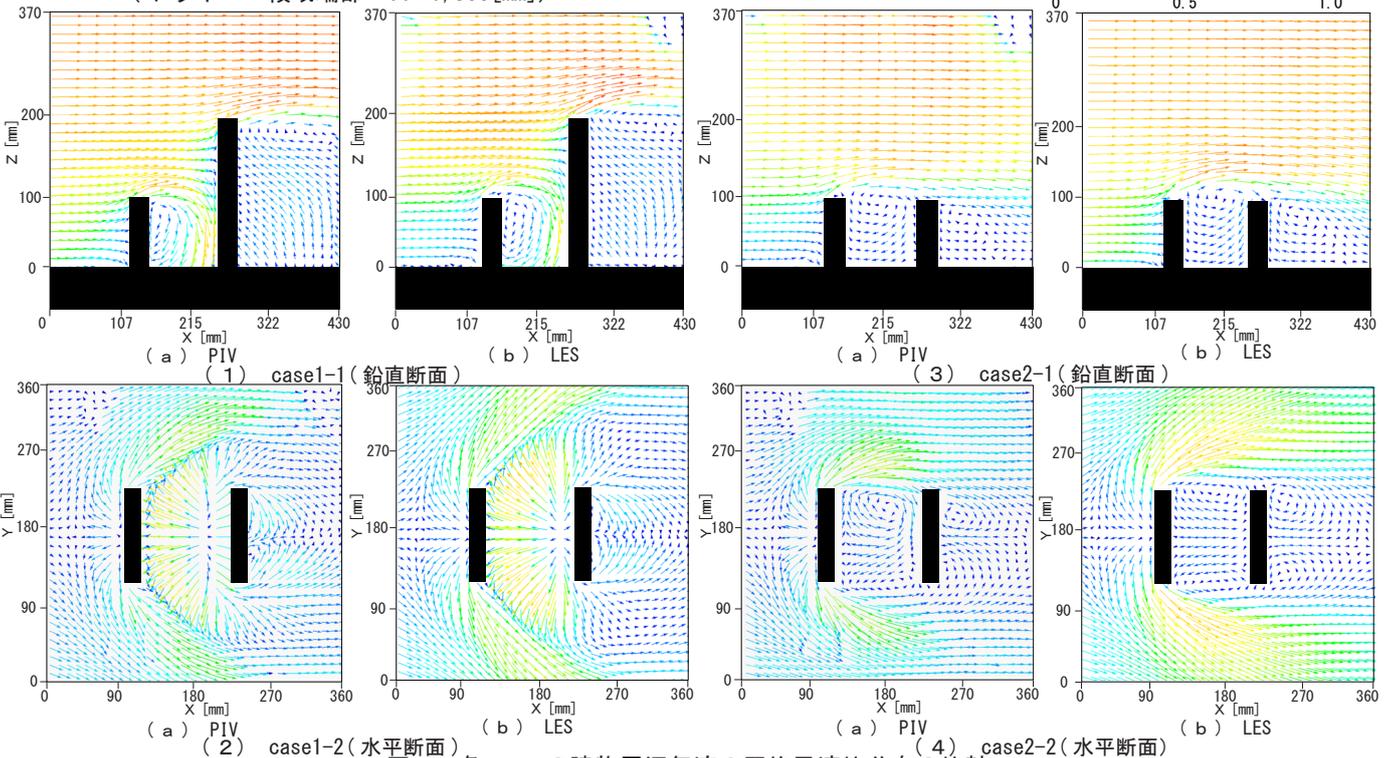


図3 各 case の建物周辺気流の平均風速比分布の比較

なり、風上側モデルの両端部及び2棟間で風速が相対的に速くなる。

(3) case2-1(風上側: 中層モデル、風下側: 中層モデル、鉛直断面): 2棟のモデル間及び風下側モデル後流域で大きな循環流を形成する。case1-1と比較して case2-1は風上側モデル上端部のみで剥離が生じる。

(4) case2-2(風上側: 中層モデル、風下側: 中層モデル、水平断面): LESでは case1-2同様モデル中心線を軸に対象な気流分布であるが、PIVでは2棟のモデル間へY軸方向から気流が流入しており小さな循環流を形成する。2棟間の風速は case1-2と比較して case2-1では風速が遅くなる。風下側モデル後流域で回り込んだ気流により case1-2では見られなかった渦が生じる。

(1)~(4)全体では、複雑な気流場を形成する2棟のモデル間で概ね同様の気流分布を形成しており、気流性状による比較では鉛直、水平断面ともにPIVとLESで定性的には同様の気流構造となる。

3.2 平均風速比分布の比較

図4に平均風速比分布の比較位置を、図5に各 case の平均風速比分布の比較を示す。鉛直、水平断面のそれぞれ①~⑤の位置で比較を行う。比較位置はモデルの中心から風上・風下に 60 [mm]とする。可視断面上の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は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。

(a) 鉛直断面(case1-1、case2-1): どの比較位置でも概ね同様の分布を示す。case2-1の2棟のモデル間では

PIV、LES とともにほぼ一致した分布となる。また、剥離流により流れの構造が比較的複雑となる 2 棟のモデル上部及びモデルの後流域上部で風速の変化が大きくなり、これらの位置では他の位置と比較して風速比分布が一致しない領域も見られる。

(b) 水平断面 (case1-2、case2-2): 風速比分布は case1-2、case2-2 で異なる分布になる。PIV、LES で比較すると、2 棟のモデル間、風下側モデルの後流域では一致する風速比の分布になるが、風上、風下側モデル両端部から離れるにつれて差が生じている。

3.3 GF の比較

図 6 に各 case の GF の空間分布の比較を示す。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 秒間で平均した瞬時風速の最大値と 10 分間の平均風速の比により求められる。本報では、この算出方法を参考に、PIV では 2 [ms] 毎のデータ 40 個を平均した瞬時風速の最大値と 16 秒間の平均風速の比、LES では 2 [ms] 毎のデータ 15 個を平均した瞬時風速の最大値と 6 秒間 (本解析) の平均風速の比として GF を算出する。

(1) case1-2 (風上側: 中層モデル、風下側: 高層モデル): GF は、中層モデル前方 (X=40 [mm]、Y=180 [mm]) 及び高層

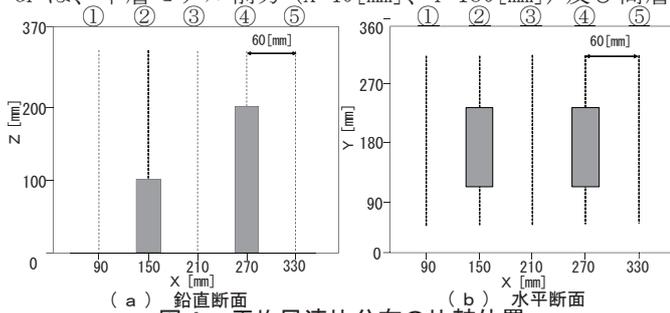


図 4 平均風速比分布の比較位置

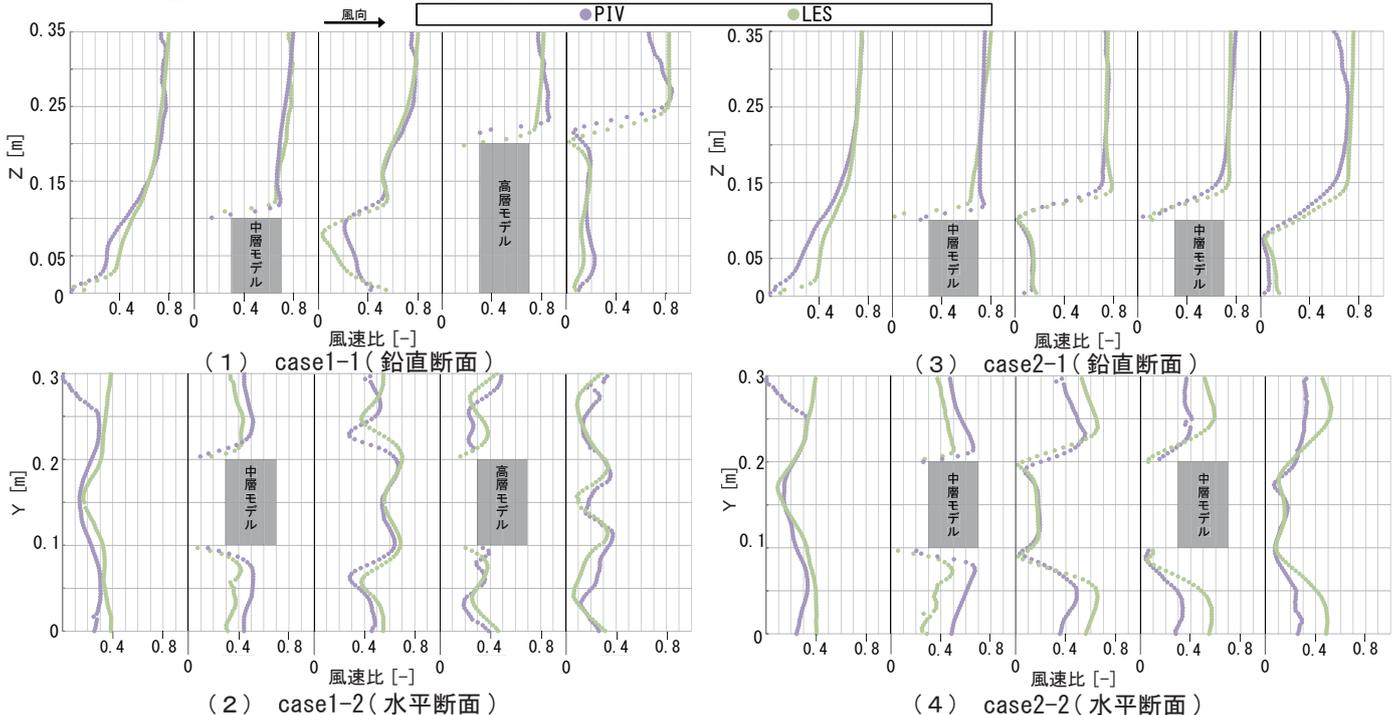


図 5 各 case の平均風速比分布の比較

モデル後流域 (X=300 [mm]、Y=70・300 [mm]) で比較的大きくなり 3.0 ~ 4.0 となる。一方で 2 棟のモデル間では GF は比較的小さく、1.2 ~ 1.6 程度となる。PIV では風上側の中層モデルの風上側で GF が 4.0 と大きくなるのに対し、LES では 3.0 程度となる。

(2) case2-2 (風上側: 中層モデル、風下側: 中層モデル): GF は、case1-2 と同様に風上側の中層モデル前方 (X=70 [mm]、Y=180 [mm]) 及び風下側の中層モデル後流域 (X=320 ~ 360 [mm]、Y=200 [mm]) で比較的大きくなる。また風下側の中層モデルの風上側では吹き降ろしの影響で 4.0 程度となる。風上側の中層モデル端部では剥離による影響で GF が大きくなるが LES と比較して PIV では GF の範囲が小さくなる。

水平面を対象とした case1-2、case2-2 共に PIV と LES で全体の分布は概ね一致している。しかし、吹き降ろしや剥離の影響を受ける部分では GF の大きさ及び範囲に差が生じる。この点は今後の検討課題である。

4 まとめ

4.1 建物周辺気流分布の比較

- ①鉛直断面では case1-1 では PIV、LES とともに隣接する 2 棟間に大きな循環流を形成する。case2-1 では case1-1 と比較して風上側モデル上端部のみで剥離が生じる。
- ②水平断面では case1-2 では全体の気流性状はほぼ一致する。case2-2 では風下側モデル後流域で回り込んだ気流により渦が生じる。

4.2 平均風速比分布の比較

- ①鉛直断面ではどの比較位置でも PIV と LES で同様の分布を示す。
- ②水平断面では PIV、LES で比較して 2 棟のモデル間及び

風下側モデルの後流域では概ね一致する。風上、風下側モデル両端部から離れるにつれて差が生じている。

4.3 GF の比較

- ① case1-2 では中層モデル及び高層モデル前方、高層モデル後流域で比較的大きくなる。PIV では風上側の中層モデルの風上側でGF が4.0 と大きくなるのに対し、LES では3.0程度となる。全体の分布としては概ね一致する。
- ② case2-2 では風上側の中層モデル端部では剥離による影響でGF が大きくなるがLES と比較してPIV ではGF の範囲が小さくなる。
- ③ case1-2、case2-2 共にPIV とLES で全体の分布は概

ね一致しているが、吹き降ろしや剥離の影響を受ける部分ではGF の大きさ及び範囲に差が生じる。この点は今後の検討課題である。

注釈

- ※1 模型の縮尺を1/500 とすると、高さ2000[mm] の位置に相当する。
- ※2 新潟工科大学所有の風洞
- ※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、撮影断面に校正用のプレートを設置し、実際の距離が画像上で認識できる画像を撮影し、求める。

参考文献

- 文1) 赤林・坂口ら「PIV 及び LES による建物周辺気流に関する基礎的研究(その1) LES(Large-Eddy Simulation) による中・高層建物モデルを対象とした建物周辺気流の解析」日本建築学会北陸支部研究報告集、2017年
- 文2) 赤林・坂口ら「PIV 及び LES による建物周辺移流に関する基礎的研究(その1) 高層と中層の建物を対象とした屋外気流性状に関する PIV 測定結果」日本建築学会学術講演梗概集、2016年

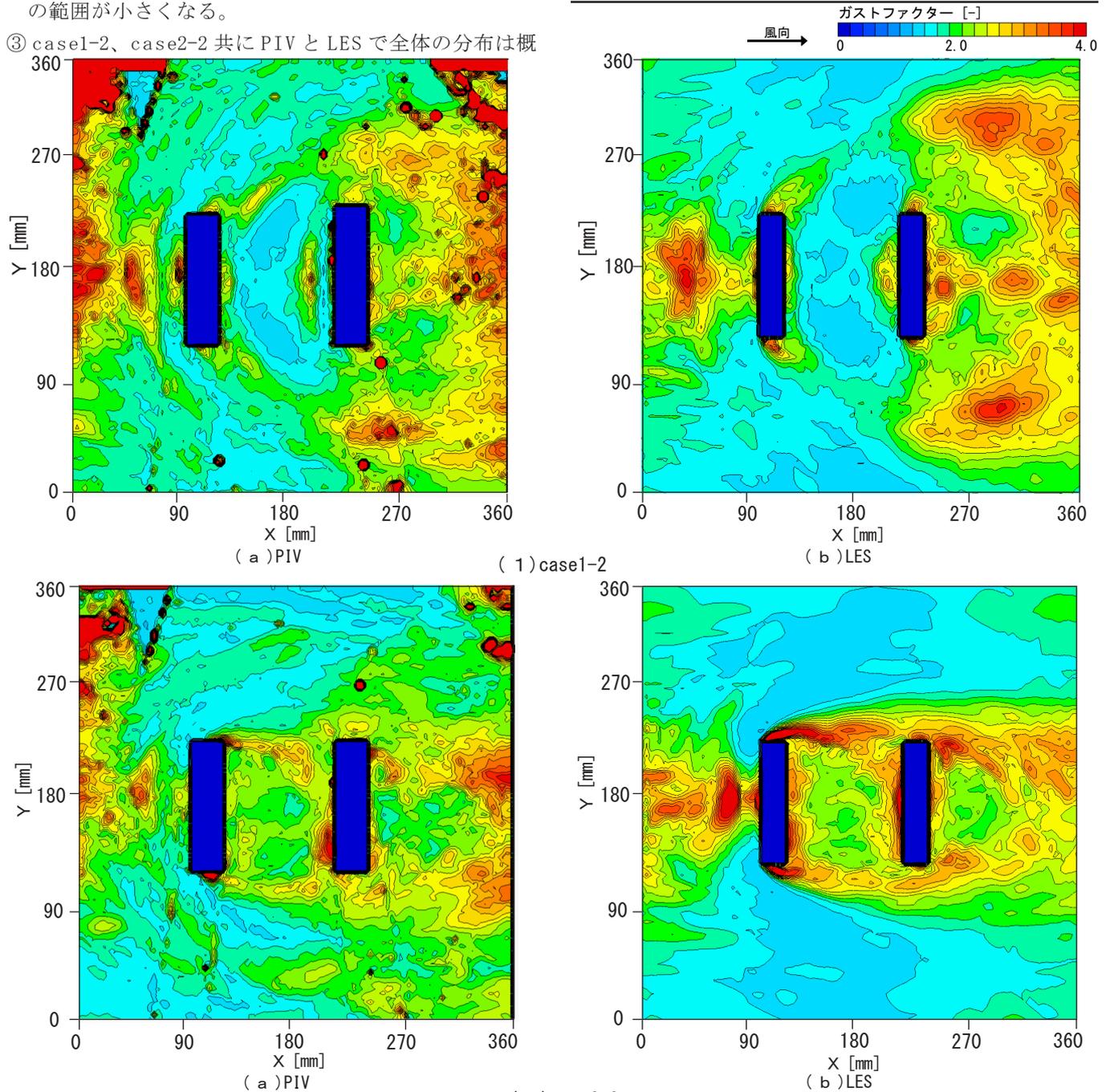


図6 各 case の GF の空間分布の比較

*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 新潟大学大学院自然科学研究科 特任助教 博士 (工学)

*1 Graduate Students, Graduate School of Science and Technology, Niigata Univ.
 *2 Prof., Graduate School of Science and Technology, Niigata Univ., Dr.Eng.
 *3 Prof., ISRD, University of Niigata Prefecture, Dr.Eng.
 *4 Prof., Niigata Institute of Technology, Dr.Eng.
 *5 Research Assistant Professor, Graduate School of Science and Technology, Niigata Univ., Dr.Eng.