

【4-13】

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

正会員 赤林伸一\*1 同 ○青木駿也\*2  
同 有波祐貴\*3 同 安達郁美\*2  
同 坂口 淳\*4 同 富永禎秀\*5

Large-Eddy Simulation ビル風 PIV  
建物周辺気流 高層建物

1 研究目的

近年、建物の高層化は著しく、首都圏以外の地方都市においても高さ100[m]を超える超高層建物が次々と竣工している。また、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などにより、今後はオフィスビルのみならず、商業施設や集合住宅においても高層建物は増加すると考えられる。高層建物周辺では都市環境問題の一つであるビル風<sup>\*1</sup>と呼ばれる強風による風害が発生する可能性がある。その気流性状は建物が立地する地域の風向・風速、建物形状、周辺街区によって大きく変化する。また、ビル風は上空の強風が吹き降り、地表面を水平方向へ流れ、再び上空へ巻き上がるなどの三次元的な流れの構造であり、ビル風の時間的・空間的な流体现象を解明し、建物周辺及び地表面居住域に生じる乱流構造の空間分布を明らかにすることは極めて有用である。

本研究では、PIV 及び LES を用いて中層と高層、中層と中層の建物を組み合わせたモデルを対象に建物周辺気流性状の解析を行う。本報(その1)ではLES(Large-Eddy Simulation)を用いた解析について検討する。次報(その2)では、PIVを用いた風洞実験結果について報告する。

2 数値流体解析の概要

2.1 解析対象：図1に解析領域を、図2に解析モデルの概要を示す。解析領域は風洞を模擬し、7,800[mm] (長さ) × 1,800[mm] (幅) × 1,800[mm] (高さ) とする。解析モデルの寸法は、それぞれ高層モデルを20[mm] (幅) × 100[mm] (奥行き) × 200[mm] (高さ)、中層モデルを20[mm] (幅) × 100[mm] (奥行き) × 100[mm] (高さ) とす

る。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直列に組み合わせて配置する。両モデルの隣棟間隔はそれぞれ100[mm]とする。

2.2 LES 解析条件：表1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を使用する。subgrid scaleモデル(SGSモデル)はDynamic型Smagorinskyモデルを使用し、等温で解析を行う。壁面境界条件にはWerner-Wengle型の境界条件を三層モデルに拡張した条件式<sup>x1)</sup>を用いる。LES解析では、ドライバー領域<sup>\*2</sup>を設け、流入変動気流を作成し、対象とする解析caseに対して変動気流を流入させて解析を行う。基準流入プロファイルは市街地を想定し、 $U \propto Z^{1/4}$

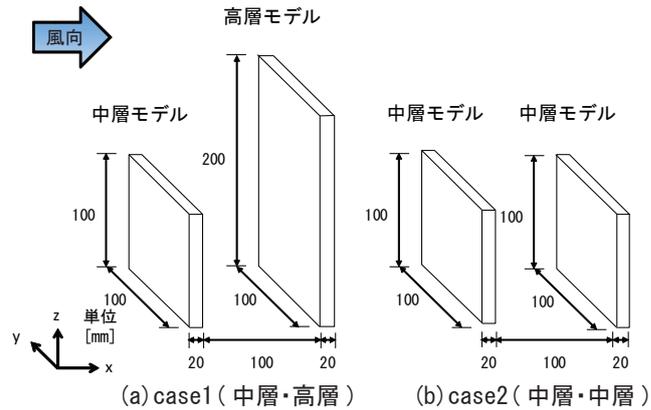


図2 解析モデルの概要

表1 LES 解析条件

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	1/4乗則(基準高さ1.0[m]で風速5.0[m/s])
	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
	流体と接するすべての面	Werner-Wengle
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	0.00015[m]
	case2	0.0005[m]
解析領域メッシュ数	case1	251(x) × 108(y) × 173(z) = 4,689,684
	case2	257(x) × 124(y) × 109(z) = 3,473,612

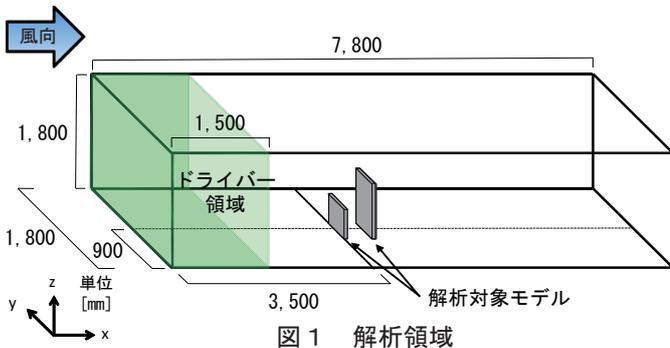


図1 解析領域

Basic Study on Air Flow Distribution around Buildings by PIV and LES  
Part 1 Analysis of Outdoor Air Flow around Medium and High rise Building Models using Large-Eddy Simulation.

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

(U：流速、Z：高さ)とする。解析開始からの経過時間を  $t$  とし、計算開始後  $t=0 \sim 4.0$  [s] までを流入変動気流作成のためのプレ解析とする。 $t=4.0 \sim 10.0$  [s] までの計 6.0 [s] 間を本解析の結果として用いる。LES 解析における初期乱流場は、変動成分として各流速成分の振幅を  $u=1.0$  [m/s]、 $v=3.0$  [m/s]、 $w=3.0$  [m/s] とする。

**2.3 風速比時系列データ：**図 3 に風速比時系列データの算出点を示す。算出時間は本解析である  $t=4.0 \sim 10.0$  [s] までの 6.0 [s] 間とし、①～③の計 3 地点<sup>\*3</sup>において 0.002 [s] 間隔のデータ 15 個を 0.03 [s] 間で平均した風速比として値を算出する。

**③ 数値流体解析結果**

図 4 に流入変動気流の平均風速比分布を示す。本解析  $t=4.0 \sim 10.0$  [s] における接近流の平均風速比分布は基準流入プロファイルとほぼ同様である。解析結果の表示点は、地表面付近<sup>\*4</sup> ( $z=4.0$  [mm]) の水平断面と風向方向に対する解析対象モデルの中心 ( $y=150$  [mm]) の鉛直断面であり、解析結果は基準高さ 1.0 [m] における風速 5.0 [m/s] で基準化した風速比として示す。

**3.1 case1・鉛直断面の解析結果：**図 5 に case1 (鉛直断面) における風速比分布を示す。図 5 (a)、(b) の瞬時風速比分布では、両モデル上部で剥離によって比較的速い気流場を形成する。風下側高層モデルでは、風上側モデルで剥離した気流とともに風上側壁面上部に気流が衝突し、風速比 0.7 程度で風上側壁面に沿って下降する。下降気流によって 2 棟のモデル間では大きな渦状の気流場と共に風下側高層モデルの風上側壁面と床面との隅角部で逆向きの小さな渦状の気流場を形成する。2 棟のモデル間では、複数の渦が形成、消滅を繰り返し、複雑な気流場を形成する。

図 5 (c) の平均風速比分布では、2 棟のモデル間に形成された大きな渦状の気流場によって、地表面付近では風向とは逆方向に風速比 0.5 程度の気流場を形成する。風上側中層モデルの風下側壁面付近では風速比 0.4 程度の壁面に沿った上昇気流が生じる。

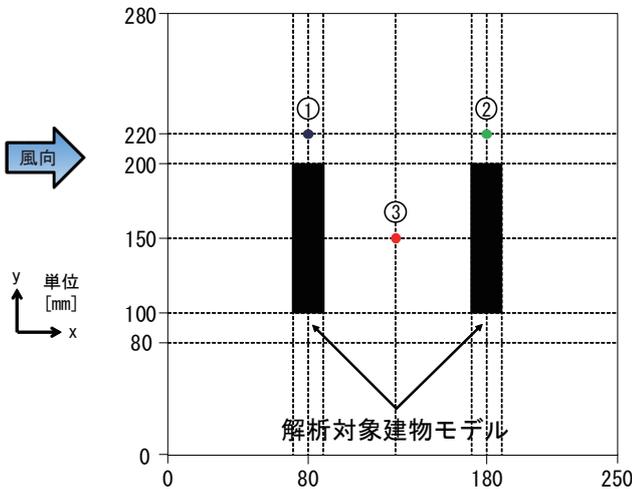


図 3 風速比時系列データの算出点 ( $z=4.0$  [mm])

**3.2 case1・水平断面の解析結果：**図 6 に case1 (水平断面) における風速比分布を示す。図 6 (a)、(b) の瞬時風速比分布では、風上側中層モデルの風上側壁面付近に風速比 0.1 ~ 0.2 程度で壁面に衝突した気流は、解析モデルの中心付近で  $y$  軸の正方向、負方向それぞれに分かれて壁面に沿った気流場を形成する。2 棟のモデル間では、風下側高層モデルの風上側壁面付近で生じた下降気流が地表面に衝突し、風速比 0.2 ~ 0.6 程度で水平方向に広がり、風向に対して逆方向に流れる気流場を形成する。風下側高層モデルの風上側壁面隅角部では、剥離流によって風速比 1.0 程度の極めて速い気流場を形成する。また、風下側高層モデルの風上側からモデル後流域に回り込む気流場を形成する。

図 6 (c) の平均風速比分布では、2 棟のモデル間では、風速比 0.2 ~ 0.6 程度の比較的速い気流場を形成する。また、解析モデル中心を軸に概ね対称な気流分布となる。

**3.3 case2・鉛直断面の解析結果：**図 7 に case2 (鉛直断面) における風速比分布を示す。図 7 (a)、(b) の瞬時風速比分布では、case1 と同様に風上側中層モデルの風上側壁面上部で剥離が生じている。風上側中層モデルの風上側床面付近、また 2 棟のモデル間では渦を形成しており、風下側中層モデルの風上側壁面付近では、渦に誘引され風速比 0.2 程度で風上側壁面に沿って下降する。下降気流は地表面付近を風向とは逆方向に流れ、風上側中層モデルの風下側壁面を沿って上昇するような気流場を形成する。また、風上側中層モデルの壁面上部で剥離が生じたことで、風下側中層モデルの風上側壁面上部に気流がほとんど衝突することなくモデル上を通過するため、風下側中層モデル上部ではほとんど剥離が生じていない。

図 7 (c) の平均風速比分布では、2 棟のモデル間と風下側中層モデルの後流域で渦上の気流場を形成する。また、2 棟のモデル間を流れる気流の風速比は 0.2 程度と case1 と比較して小さい。

**3.4 case2・水平断面の解析結果：**図 8 に case2 (水平断面) における風速比分布を示す。図 8 (a)、(b) の瞬時風速比分布では、風上側中層モデルの風上側壁面付近に衝突した気流は、case1 と同様に壁面に沿って流れ、モ

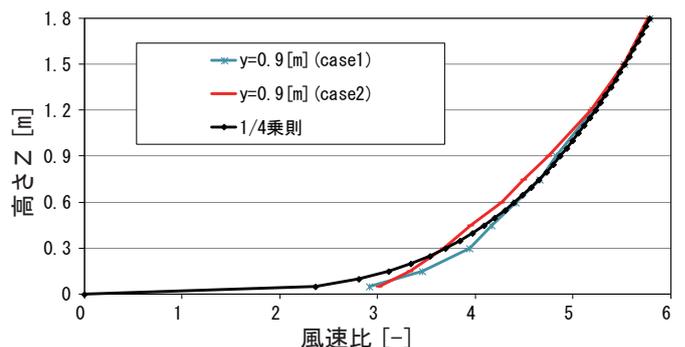


図 4 流入変動気流の平均風速比分布

デルの風下側に回り込む気流場を形成する。2棟のモデル間に流れ込む気流は風速比0.1～0.4程度と大きく変動する。また、風下側中層モデルの風下側では、風上側中層モデルの端部で剥離した気流が後流域に回り込む気流場を形成する場合がある。

図8(c)の平均風速比分布では、case1と同様に解析モデル中心を軸に概ね対称な気流分布となる。2棟のモデル間、風下側中層モデルの後流域では複数の比較的小規模な渦が形成される。また、剥離によって風上側モデルの風上側壁面端部から広がる気流場で、風速比は0.6程度と比較的速くなる。

**3.5 時系列風速比の算出結果：**図9(a)、(b)に各caseの時系列風速比の推移を示す。case2において算出点②(風下側モデル側面付近)では、算出点①、③と比較して瞬時風速比が時間的に大きく変動する。風上側、風下側の両モデルそれぞれで剥離した気流が風下側モデル後流域に流れ込む際に、複雑な気流場が形成されたことで風速比の変動が大きくなったと考えられる。

**4 まとめ**

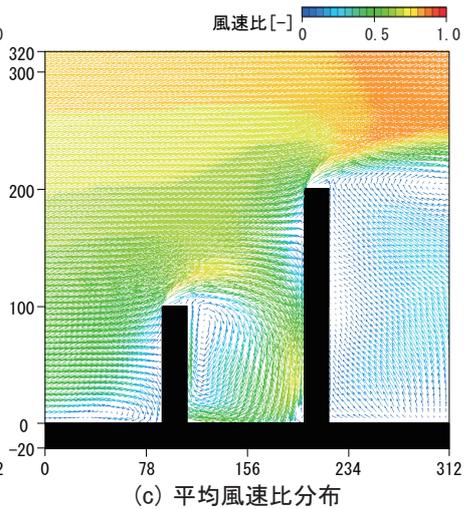
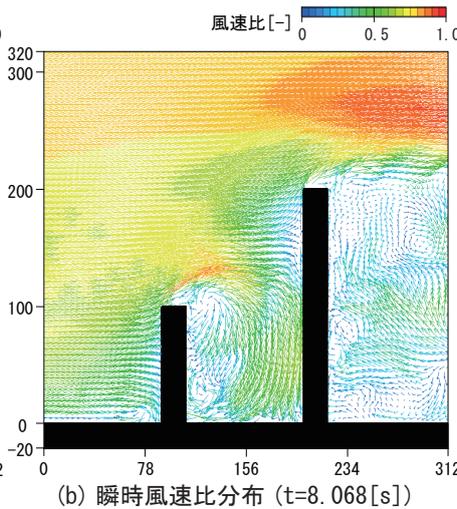
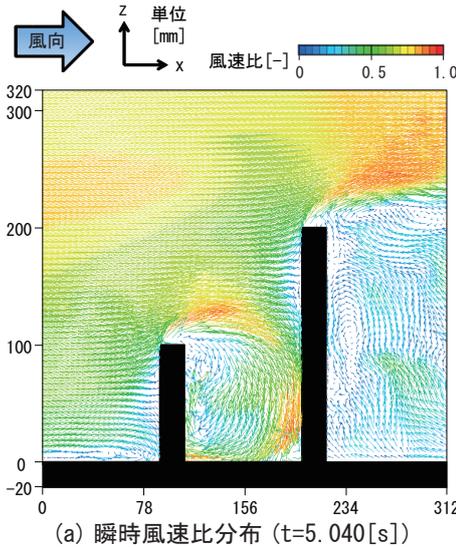


図5 風速比分布 (case1・鉛直断面)

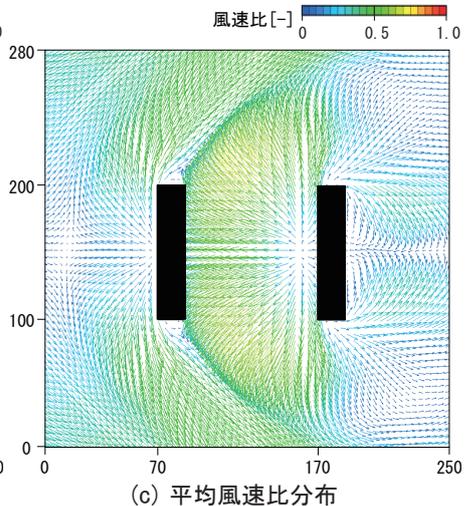
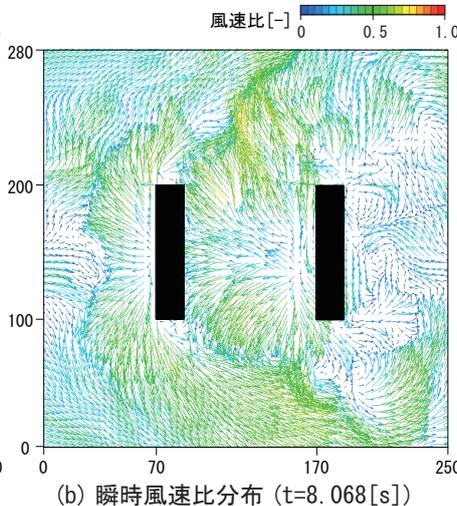
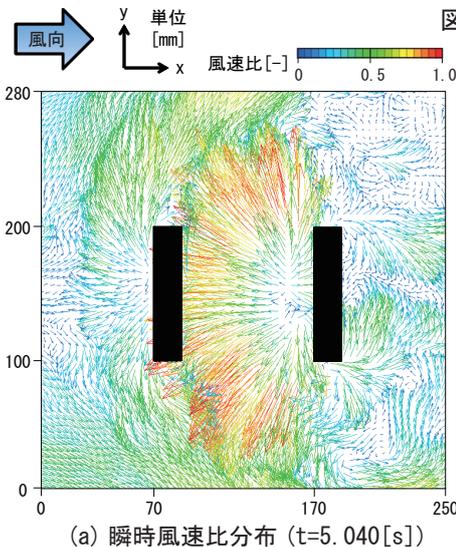


図6 風速比分布 (case1・水平断面)

**4.1 case1 (中層・高層)**

- ①鉛直断面では、両モデル上部で剥離が生じ、風下側高層モデルの風上側壁面付近において、風上側モデルで剥離した気流とともに壁面に沿った下降気流が生じる。
- ②2棟のモデル間では、風下側高層モデル壁面付近で下降気流が地表面に衝突し、風速比0.2～0.6程度で水平方向に広がり、風向に対して逆方向の比較的速い気流場を形成する。
- ③水平断面では、風下側高層モデルの風上側からモデル後流域に回り込む気流場を形成する。

**4.2 case2 (中層・中層)**

- ①鉛直断面では、風上側中層モデルの風上側壁面上部で剥離が生じたことで、風下側中層モデルの風上側壁面上部に気流がほとんど衝突することなくモデル上を通過する。
- ②風上側中層モデルの風上側壁面付近に衝突した気流はモデルの風下側に回り込む気流場を形成する。
- ③水平断面では、2棟のモデル間、風下側中層モデルの後流域では複数の比較的小規模な渦が形成される。

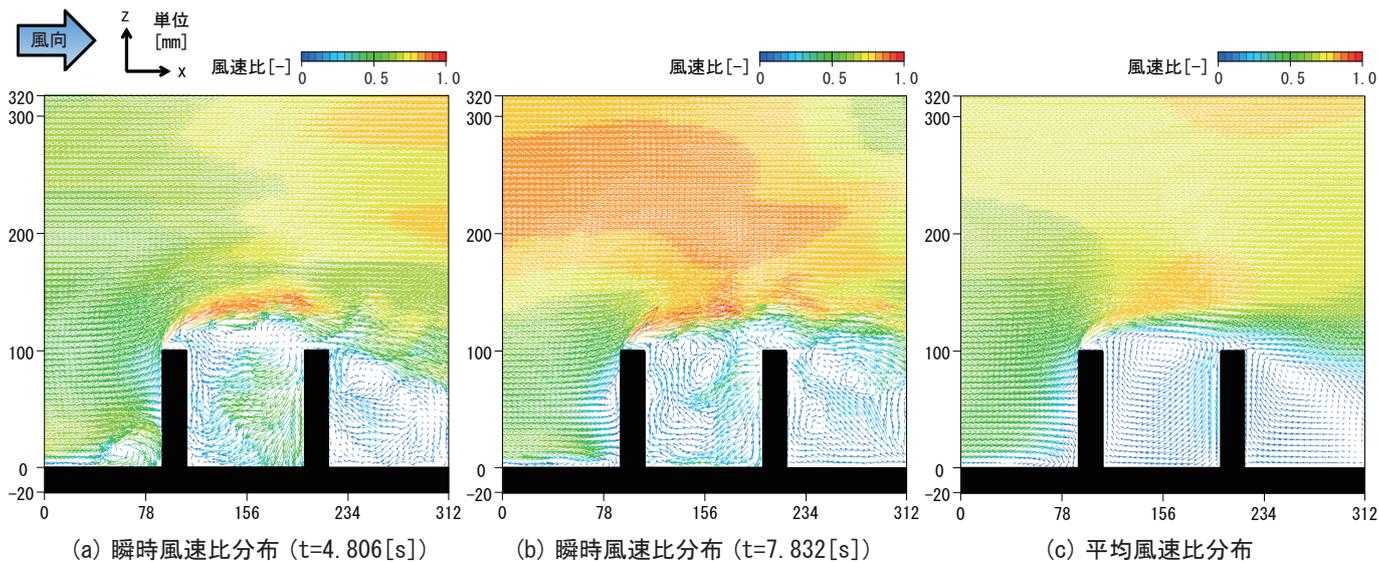


図7 風速比分布 (case2・鉛直断面)

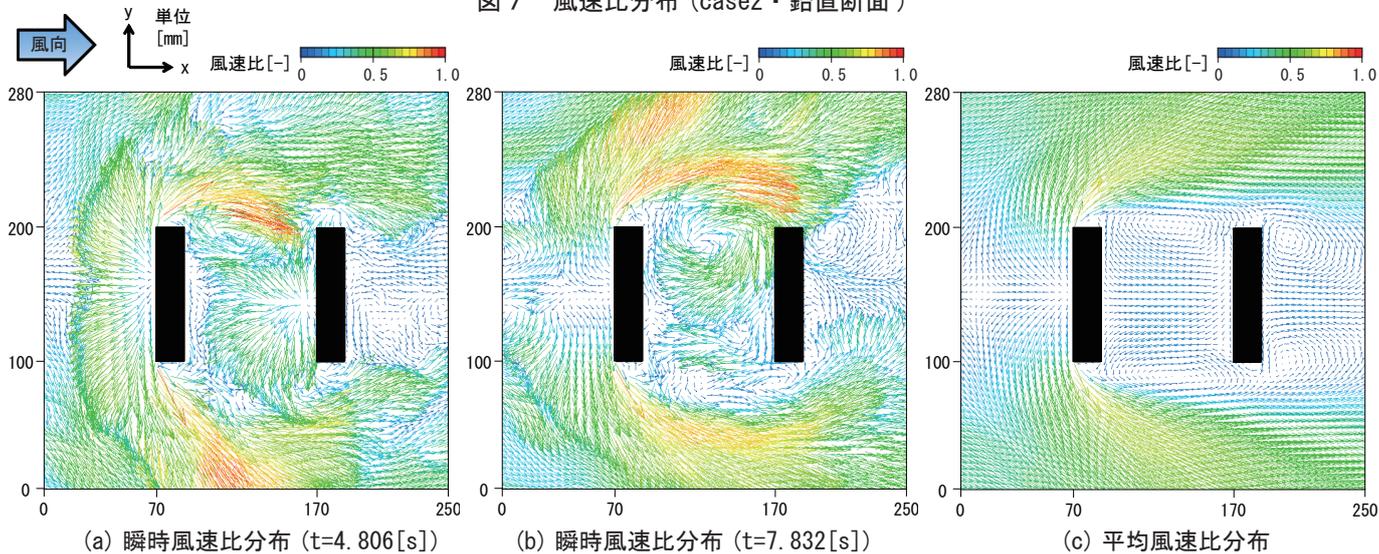


図8 風速比分布 (case2・水平断面)

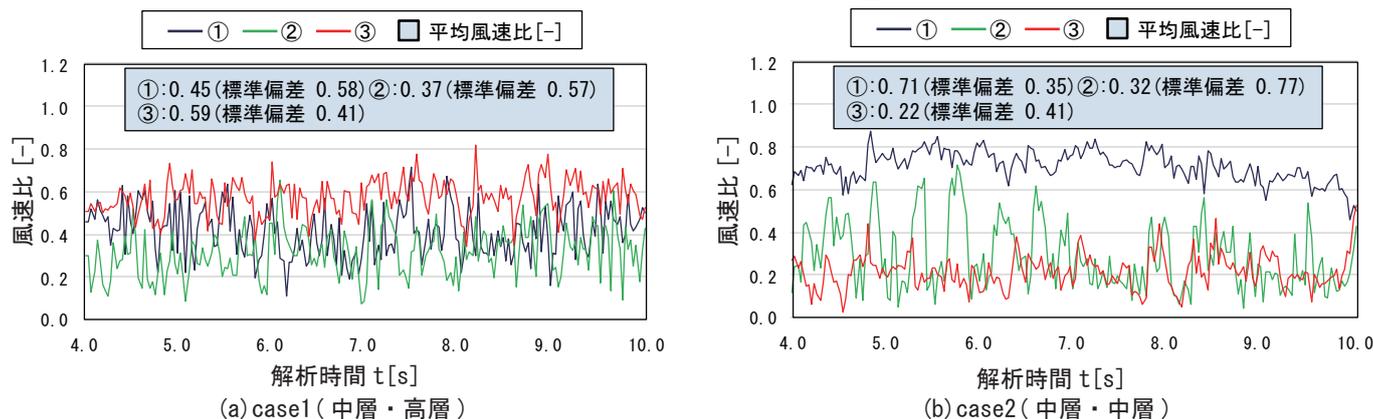


図9 各 case の時系列風速比の推移

※1 ビル風とは、周辺と比較して高層の建物が建設されることで、建物の建設前後で建物周辺の地表付近における強風の発生頻度が増加する現象である。

※2 ドライバー領域は、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。

- \*1 新潟大学大学院自然科学研究科 教授 工学博士
- \*2 新潟大学大学院自然科学研究科 大学院生
- \*3 新潟大学大学院自然科学研究科 特任助教 博士 (工学)
- \*4 新潟県立大学国際地域学部国際地域学科 教授 博士 (工学)
- \*5 新潟工科大学建築学科 教授 博士 (工学)

※3 水平断面における風速比分布は解析モデル中心を軸に概ね対称な気流分布となると仮定し、中心より片側のみを測定領域とする。

※4 模型の縮尺を 1/500 とすると、地表面から高さ 2,000 [mm] に相当する。  
文1) 株式会社ソフトウェアレイドル 「STREAM ver. 10 ユーザーズガイド 基礎編」 2011年7月 pp2-45

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