

粒子画像流速測定法 (PIV) による 建物周辺気流に関する研究

高・中層建物の組み合わせを対象としたPIV測定
及びガストファクターの算出

窪寺 航

指導教員

大嶋 拓也 准教授

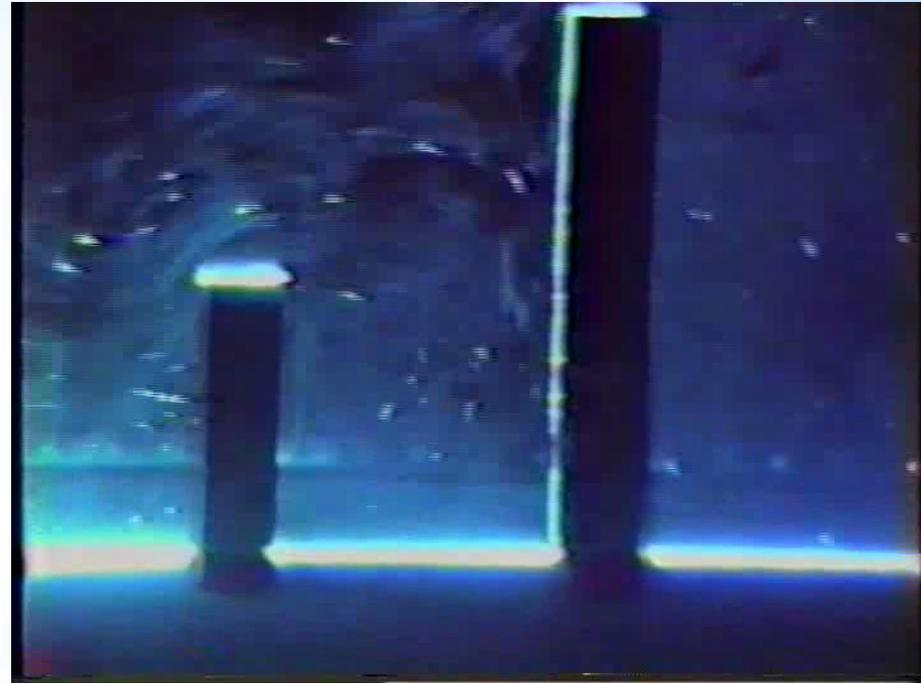
研究目的

建物周辺の気流性状は地域の風向・風速、建物の形状や周辺条件、建物の風上側・風下側などの配置条件により異なり特に高層の建物周辺では吹き降ろしや剥離流などによる強風の影響を受けやすい。この強風は風害の1つであるビル風と呼ばれ、高層建物周辺の都市居住環境の悪化が懸念される。

研究目的

本研究では、建物周辺の地上付近に特徴的な気流性状が生じる中層と高層、中層と中層の建物を組み合わせたモデルを対象として大型境界層風洞を用いた可視化実験及びPIV解析を行う。

風向→



動画 高層と中層の建物モデルを組み合わせた場合の気流性状の可視化

研究目的

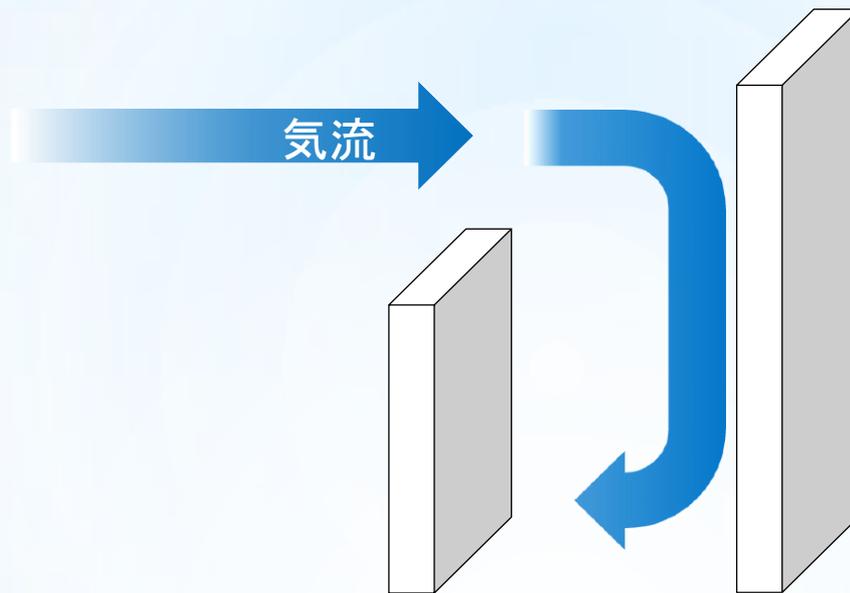


図 建物と気流性状のイメージ

また、水平断面では吹き降ろしによる強風が発生する地表居住域付近において風環境評価をする上で重要な指標であるガストファクターをPIVにより測定した風速をもとに算出することで数値的に市街地における高層建物周辺の屋外気流性状の特性を評価し明らかにすることを目的とする。

研究概要

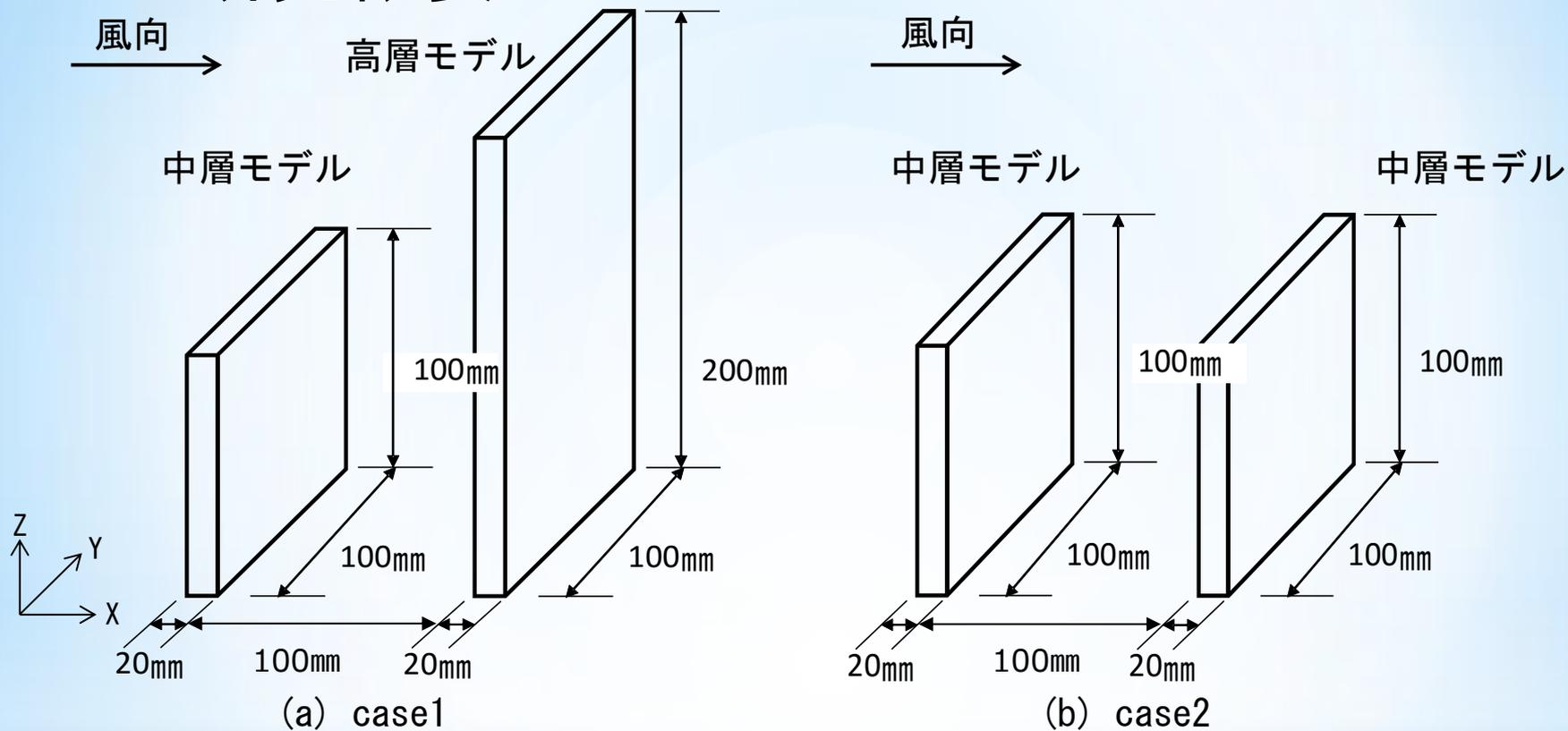


図 実験対象の建物モデルの概要

建物モデルは

- ・ 中層モデル：幅20 [mm] × 奥行き100 [mm] × 高さ100 [mm]
- ・ 高層モデル：幅20 [mm] × 奥行き100 [mm] × 高さ200 [mm]

2棟の間隔は100 [mm] とする。建物モデルは風向に対し直列に設置する。

研究概要

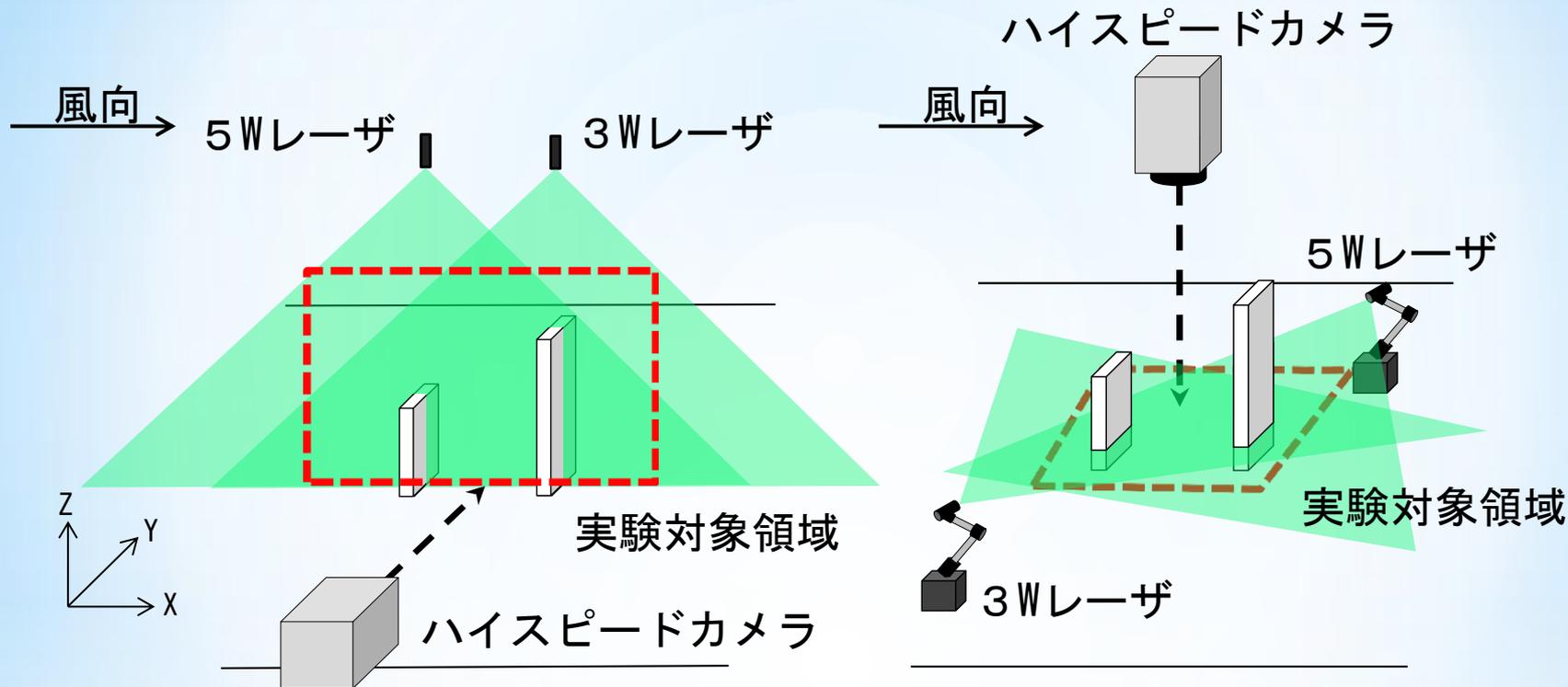


図1 実験機器の配置
表 配置条件

	風上側	風下側
case1	中層モデル	高層モデル
case2	中層モデル	中層モデル

研究概要

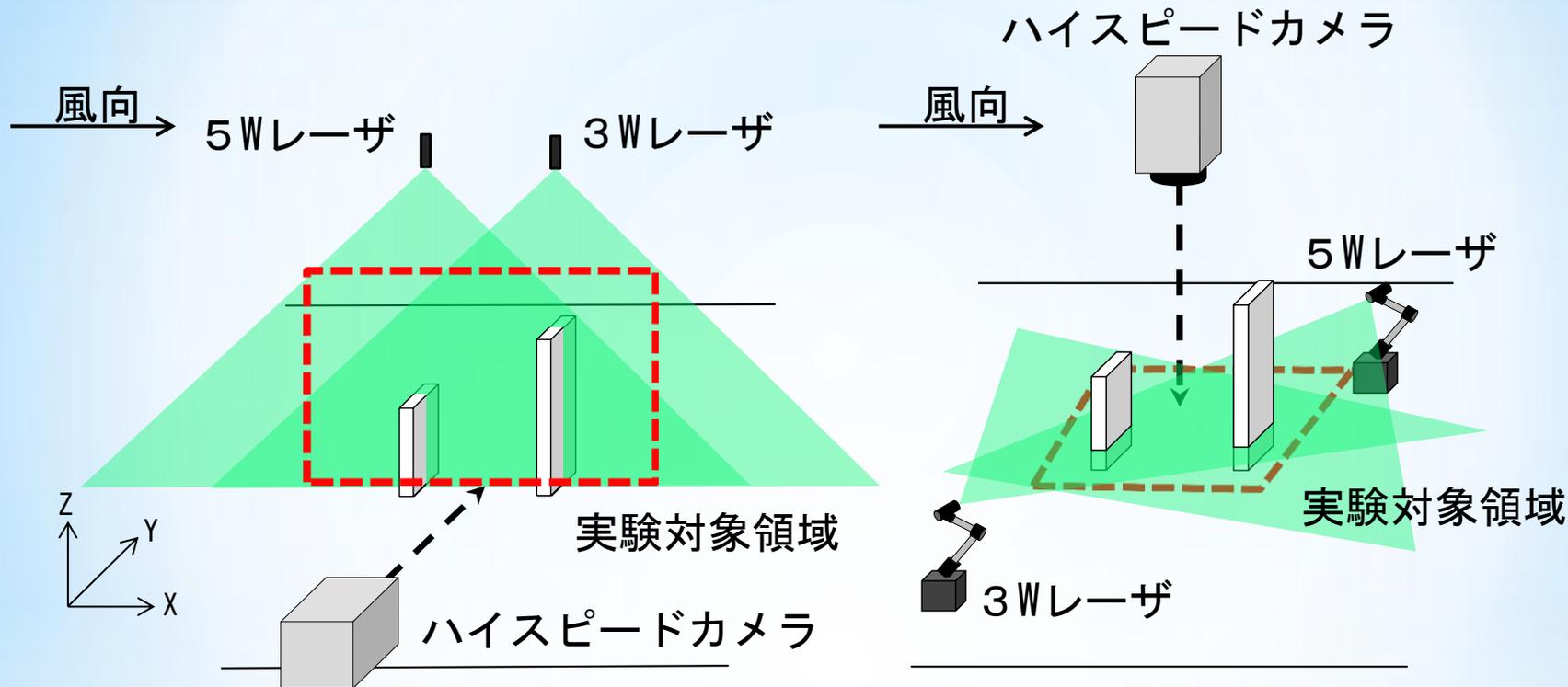
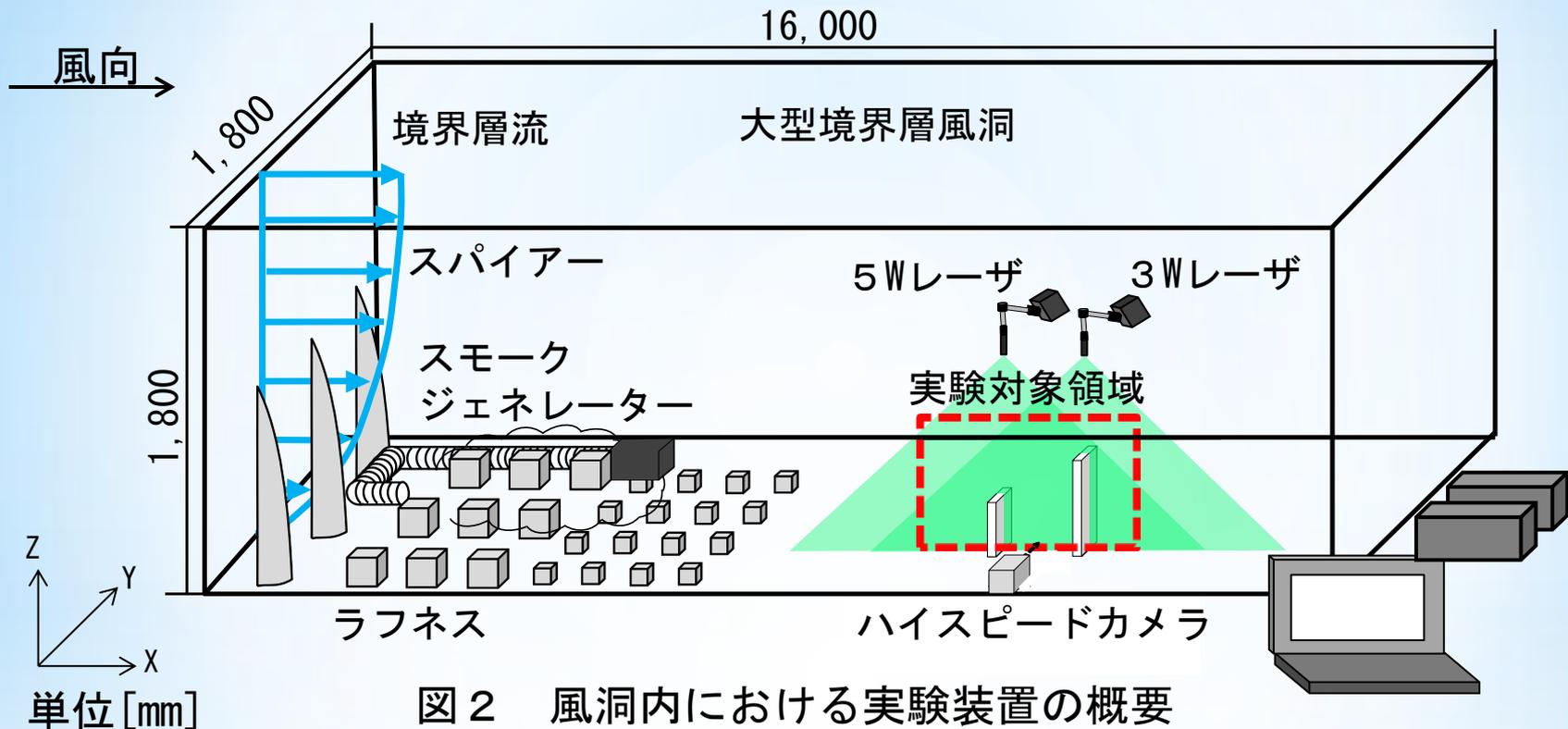


図1 実験機器の配置

実験対象領域は建物モデル中央の鉛直断面および床面から高さ4 [mm]の水平断面の2条件とする。

研究概要



1,800 [mm] × 1,800 [mm] × 16,000 [mm] の大型境界層風洞内で実験を行う。

風洞内の接近流の鉛直プロファイルは、 $U \propto Z^{1/4}$ (U:風速, Z:高さ) である。

研究概要

表 1 実験機器の仕様

Camera	ハイスピードカメラ	Photron FASTCAM SA3
Laser	DPGL-3W	LD励起Nd:YAG/YVO ₄ レーザー 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 レーザー 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

可視化には出力3[W]及び5[W]のシート状連続光レーザー2台を同時に使用し照射断面を一致させ実験を行う。

撮影にはハイスピードカメラPhotron FASTCAM-SA3を用いて、得られた可視化画像のPIV解析にはFlow-Expert ver1.2.10を使用する。

研究概要

表 2 PIV解析パラメータ

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
探査範囲 [pixel]	±11 × ±11			

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**※は鉛直断面で0.421 [mm/pixel]、水平断面で0.357 [mm/pixel]である。

※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、求める。

研究概要

表 2 PIV解析パラメータ

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
探査範囲 [pixel]	±11 × ±11			

本実験ではトレー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ダクト付スモークジェネレータを設置し、シーディングを行う。

実験時の風洞内の基準風速は基準高さ1.0[m]で1.0[m/s]に設定する。

研究概要 (ガストファクターの算出方法)

気象庁が定めるガストファクターの算出方法は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**瞬間風速の最大値**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に基づき**2 [ms]間のデータ40個**を平均した**瞬間風速の最大値**と**16秒間の平均風速の比**として以下の式で算出する。

$$\text{ガストファクター (GF)} = \frac{\text{最大瞬間風速 [m/s]}}{\text{平均風速 [m/s]}}$$

実験結果

風向 →



Z
→ X

動画 可視化結果 (case1)

(風上側: 中層、風下側: 高層、鉛直断面)

風向 →

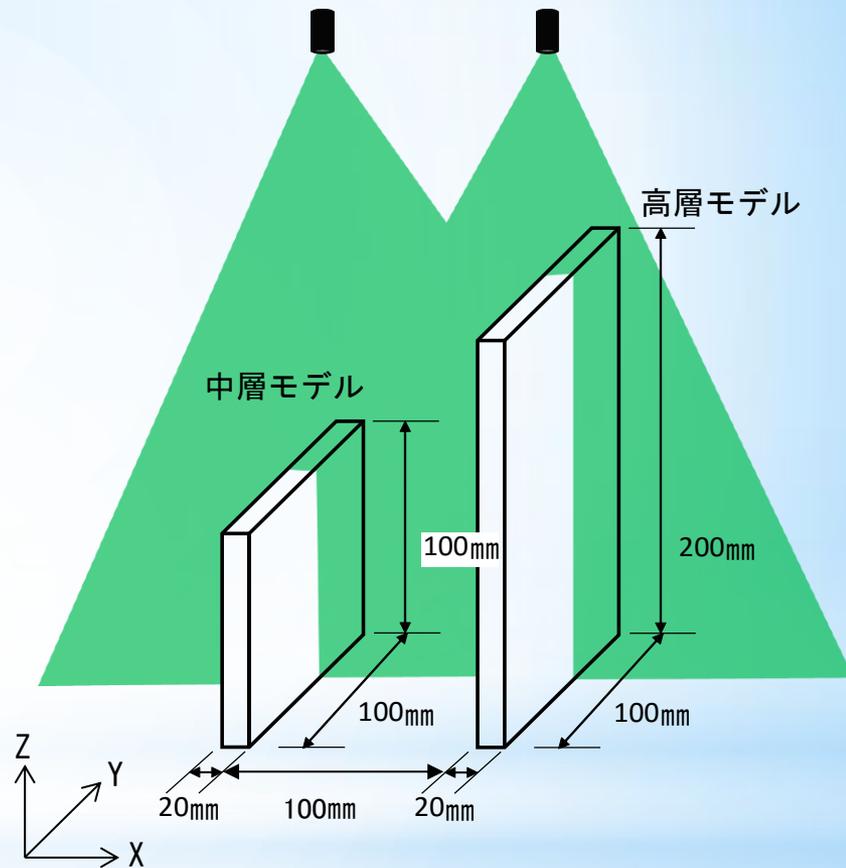


図 実験対象モデルの概要

実験結果

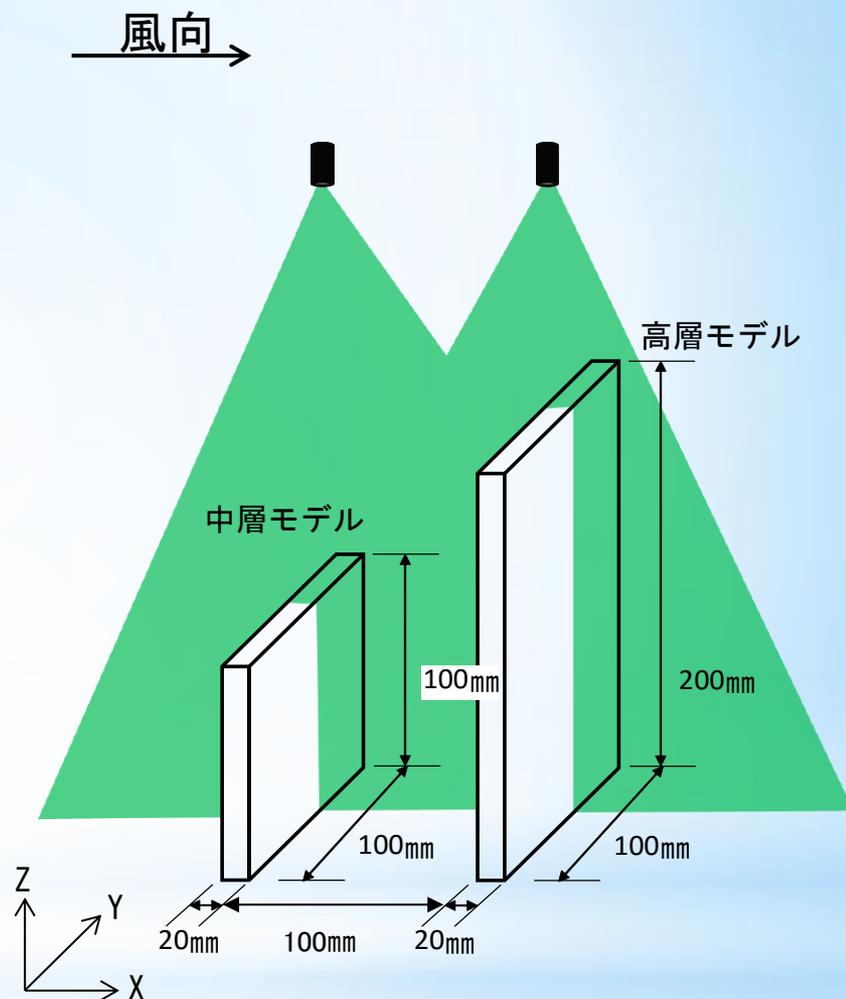
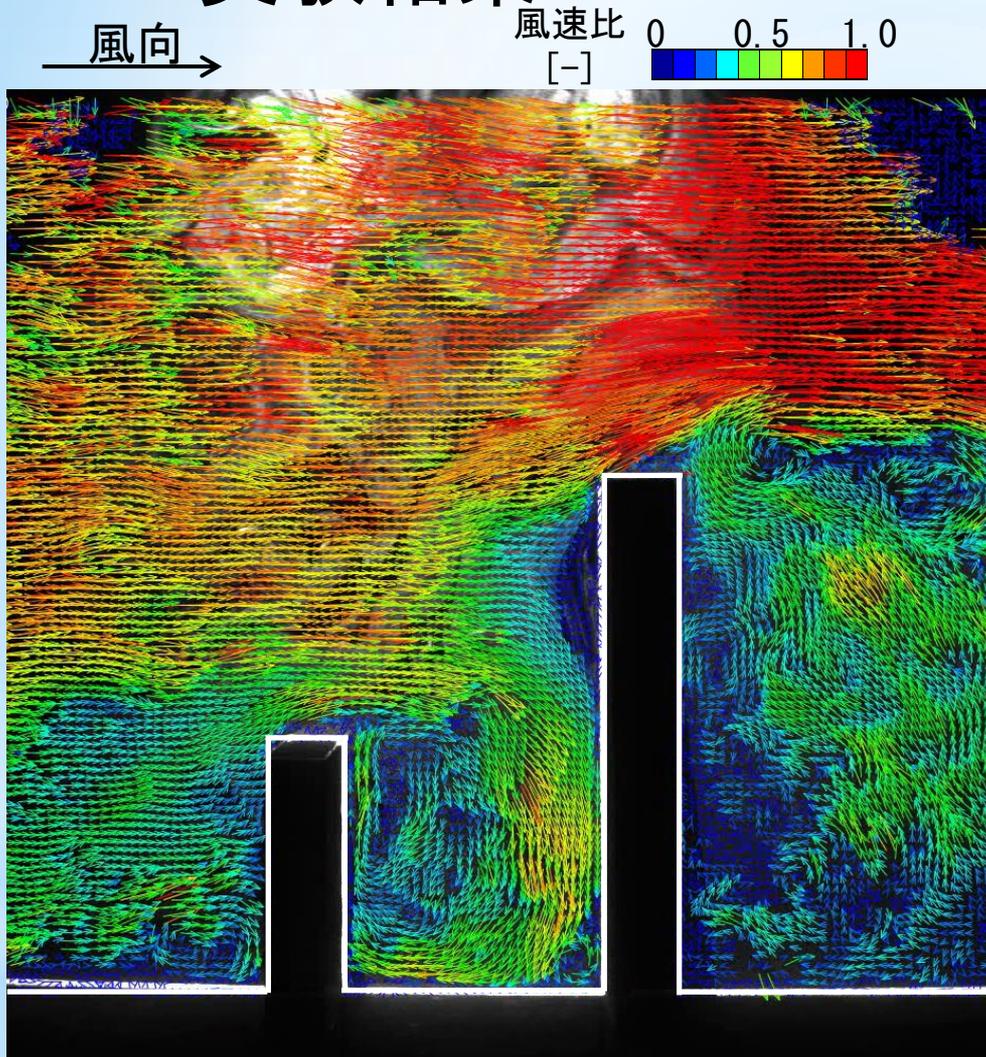
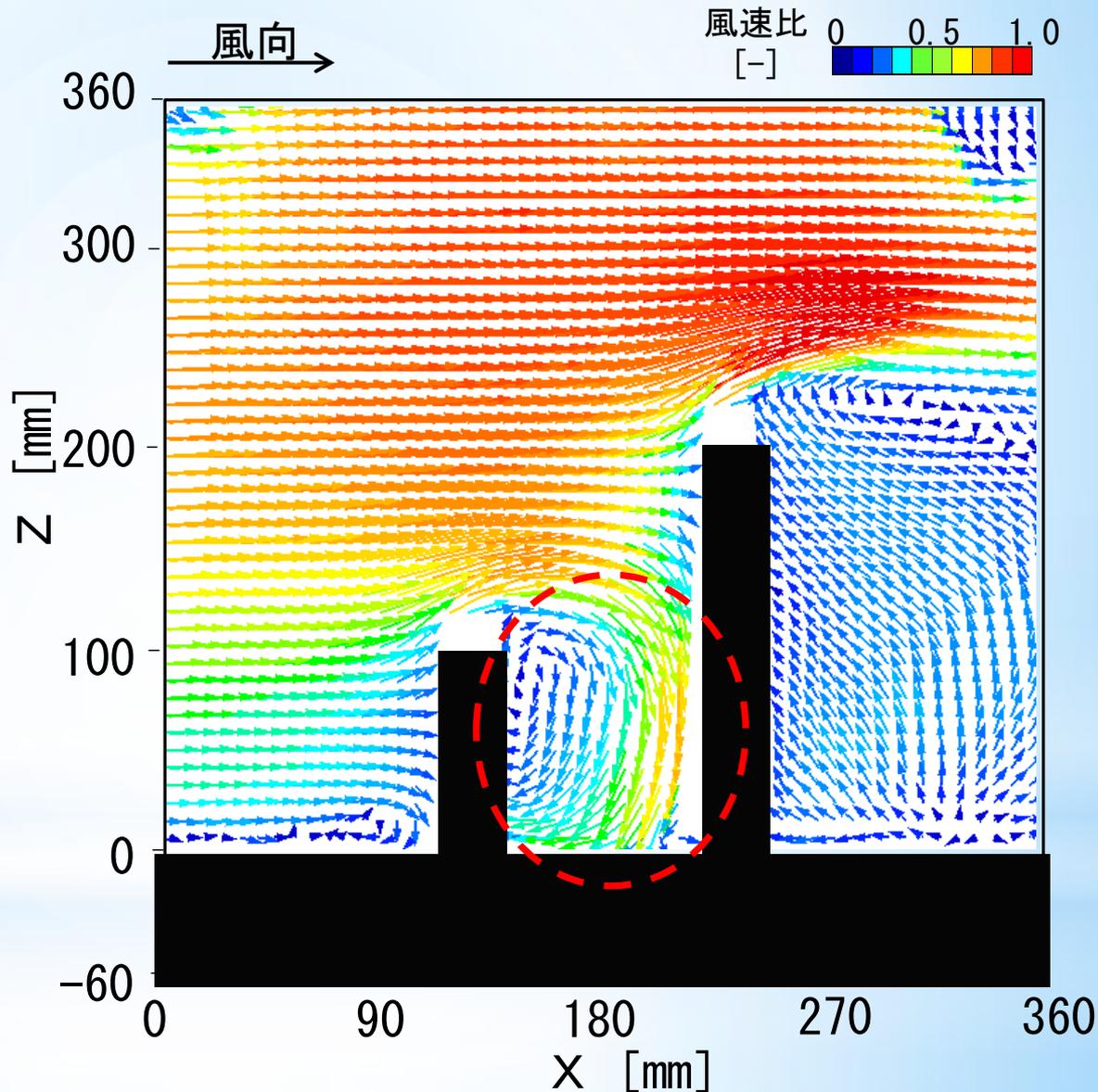


図 実験対象モデルの概要

Z
→ X 動画 PIV解析結果 (case1)
(風上側: 中層、風下側: 高層、鉛直断面)

解析結果

隣接する2棟のモデル間で比較的小規模な渦上の気流場が形成される。

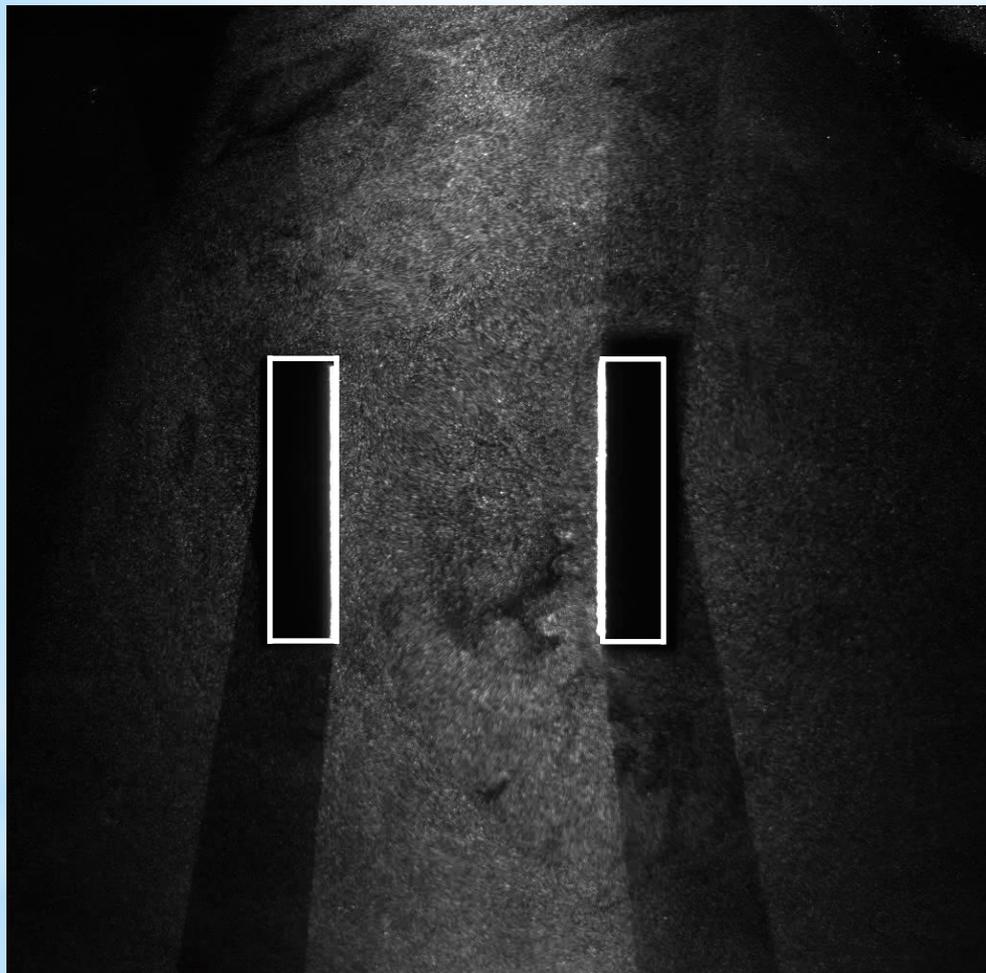


(a) 平均風速ベクトル分布(鉛直断面)

図3 中・高層におけるPIV解析結果(case1)

実験結果

風向 →



Z
↑
X →

動画 可視化結果 (case1)

(風上側: 中層、風下側: 高層、水平断面 (高さ 4 mm))

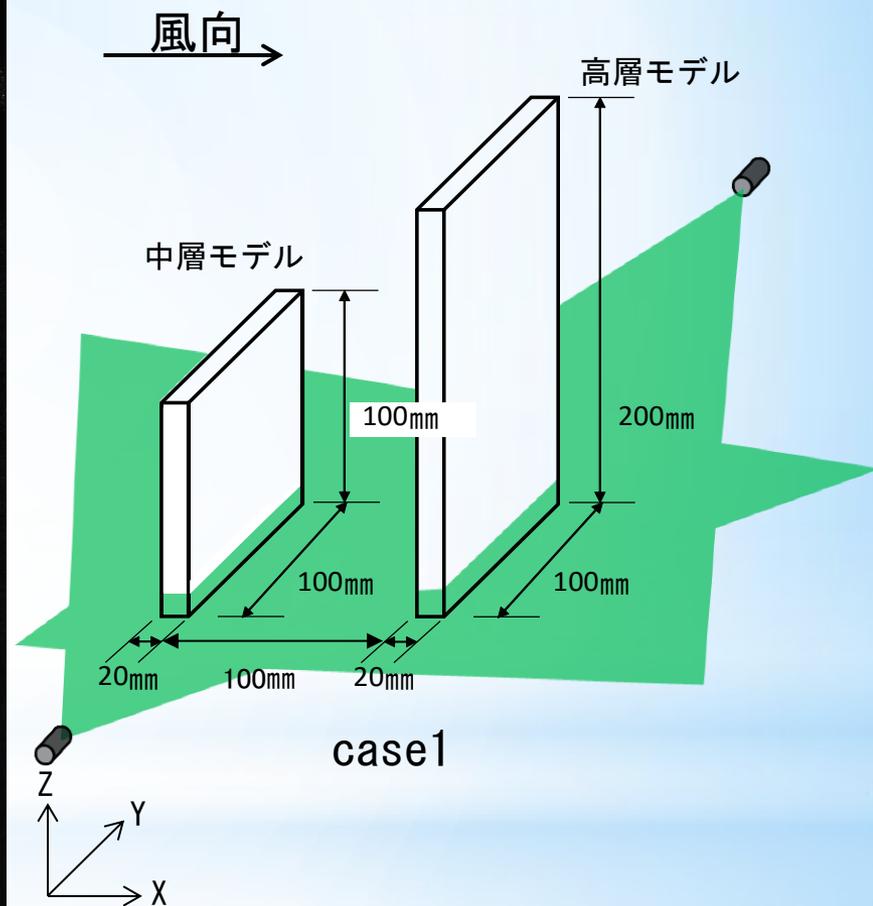


図 実験対象モデルの概要

実験結果

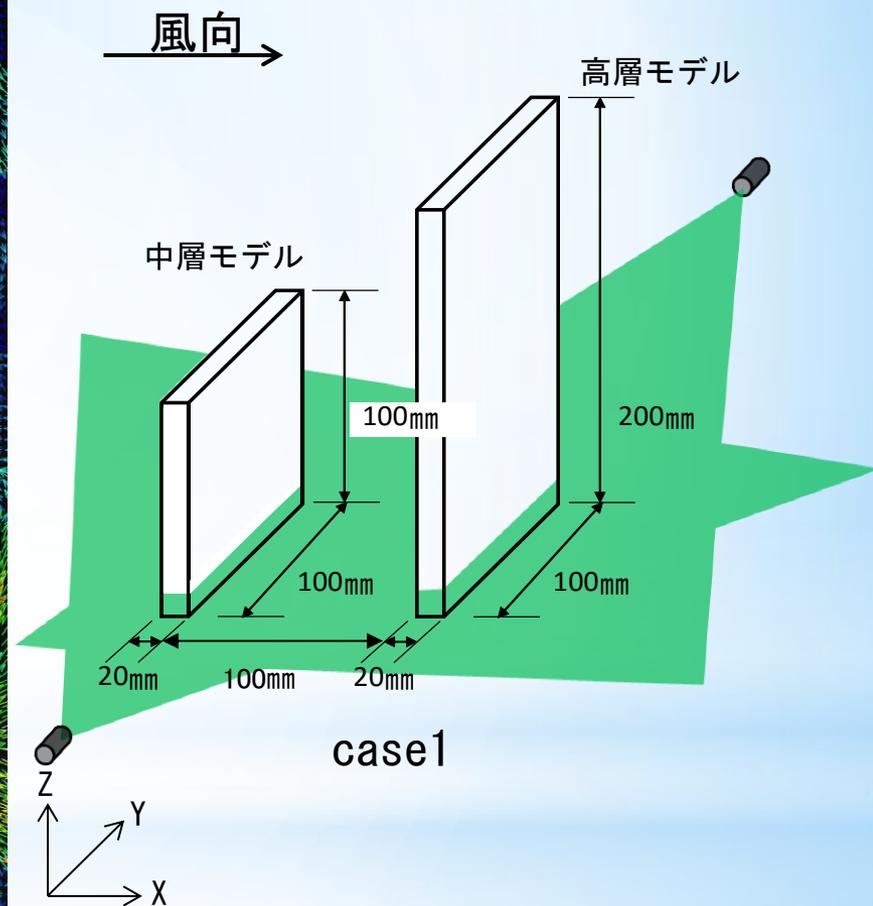
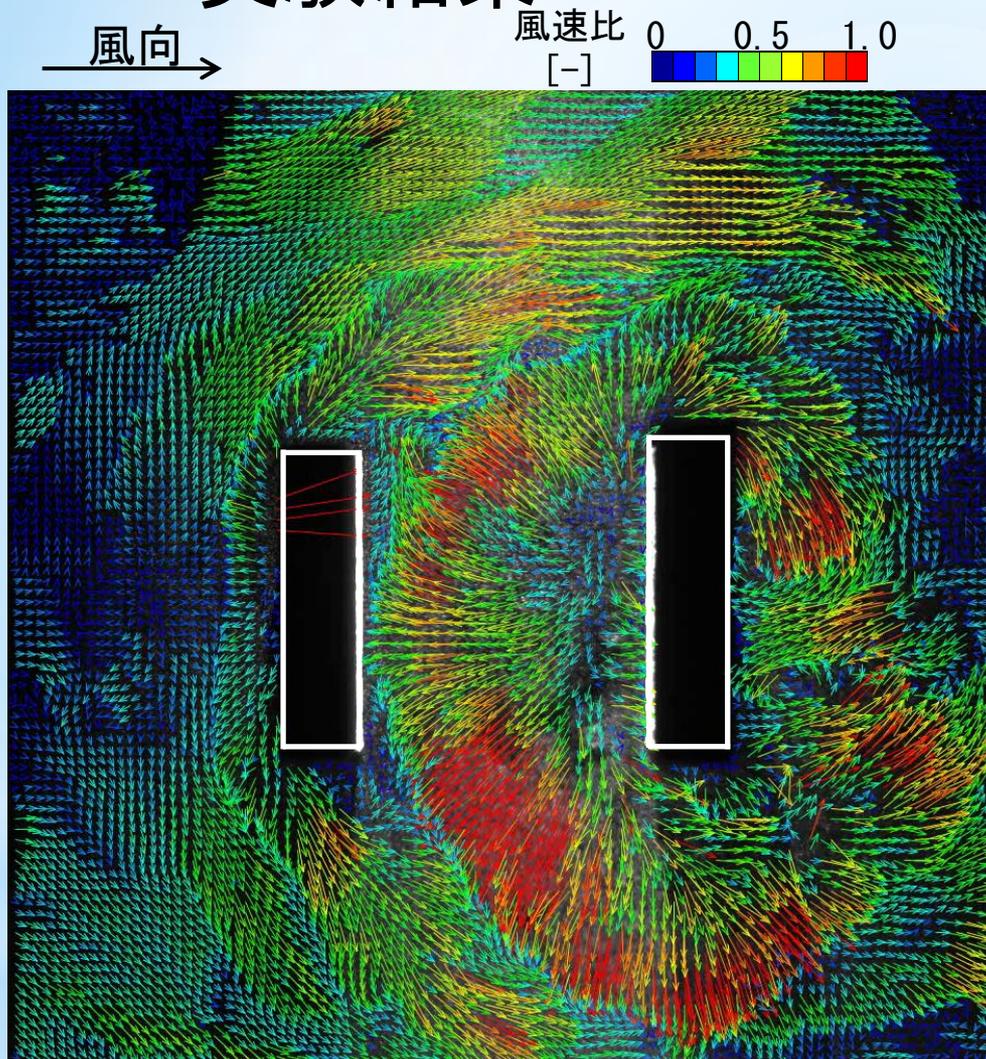


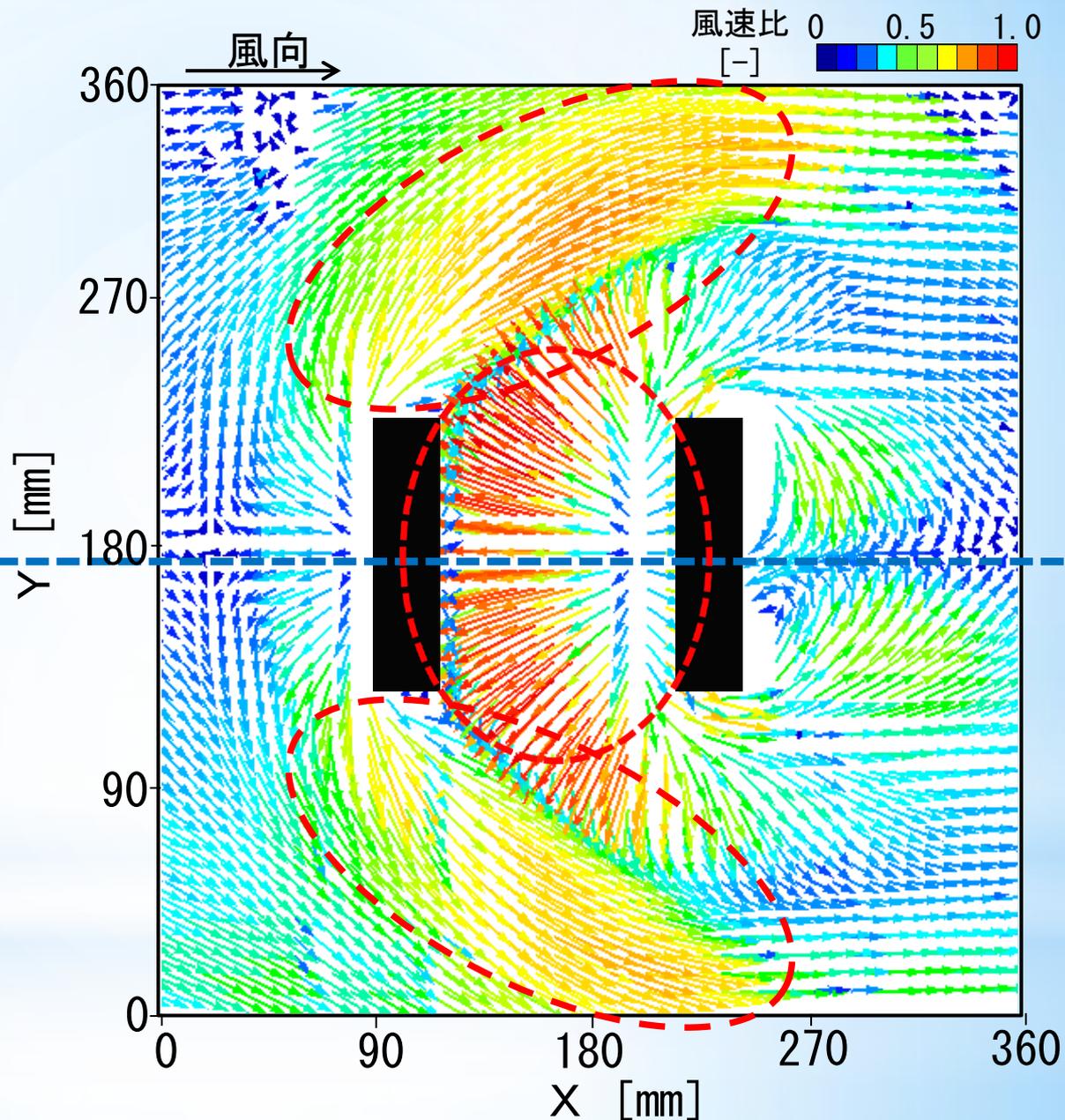
図 実験対象モデルの概要

Z
X → 動画 PIV解析結果 (case1)

(風上側: 中層、風下側: 高層、水平断面 (高さ 4 mm))

解析結果

2棟のモデル間に風速比0.2~0.5程度で気流が生じ、主風向に対して逆方向に流れる。モデル中心線を軸として概ね対称な気流分布となり、モデル間及び風上側モデル端部から広がる部分で風速が比較的速くなる。

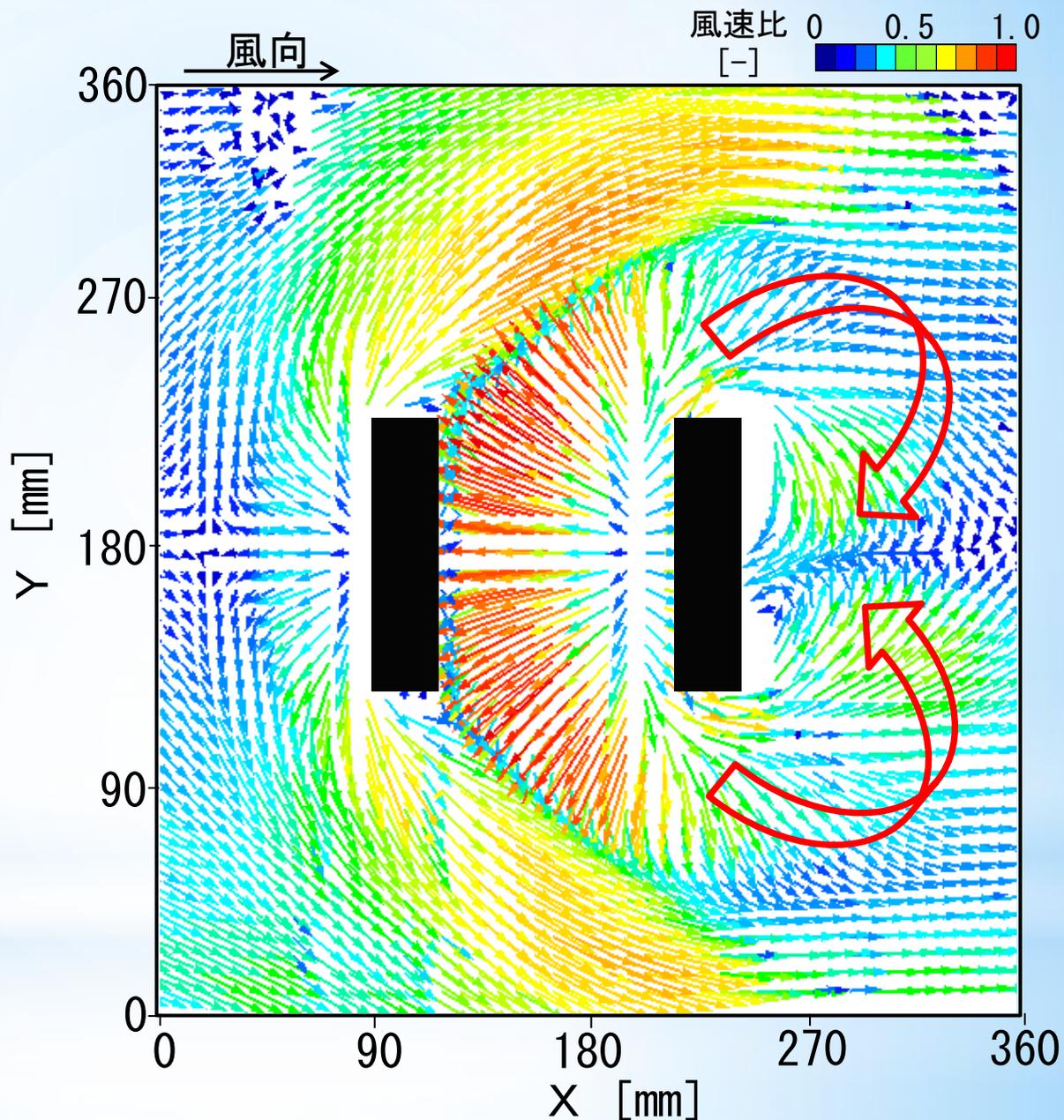


(b) 平均風速ベクトル(水平断面)

図3 中・高層におけるPIV解析結果(case1)

解析結果

風下側モデルの風下側へ
風速比0.3程度で**回り込**
む気流が生じる。

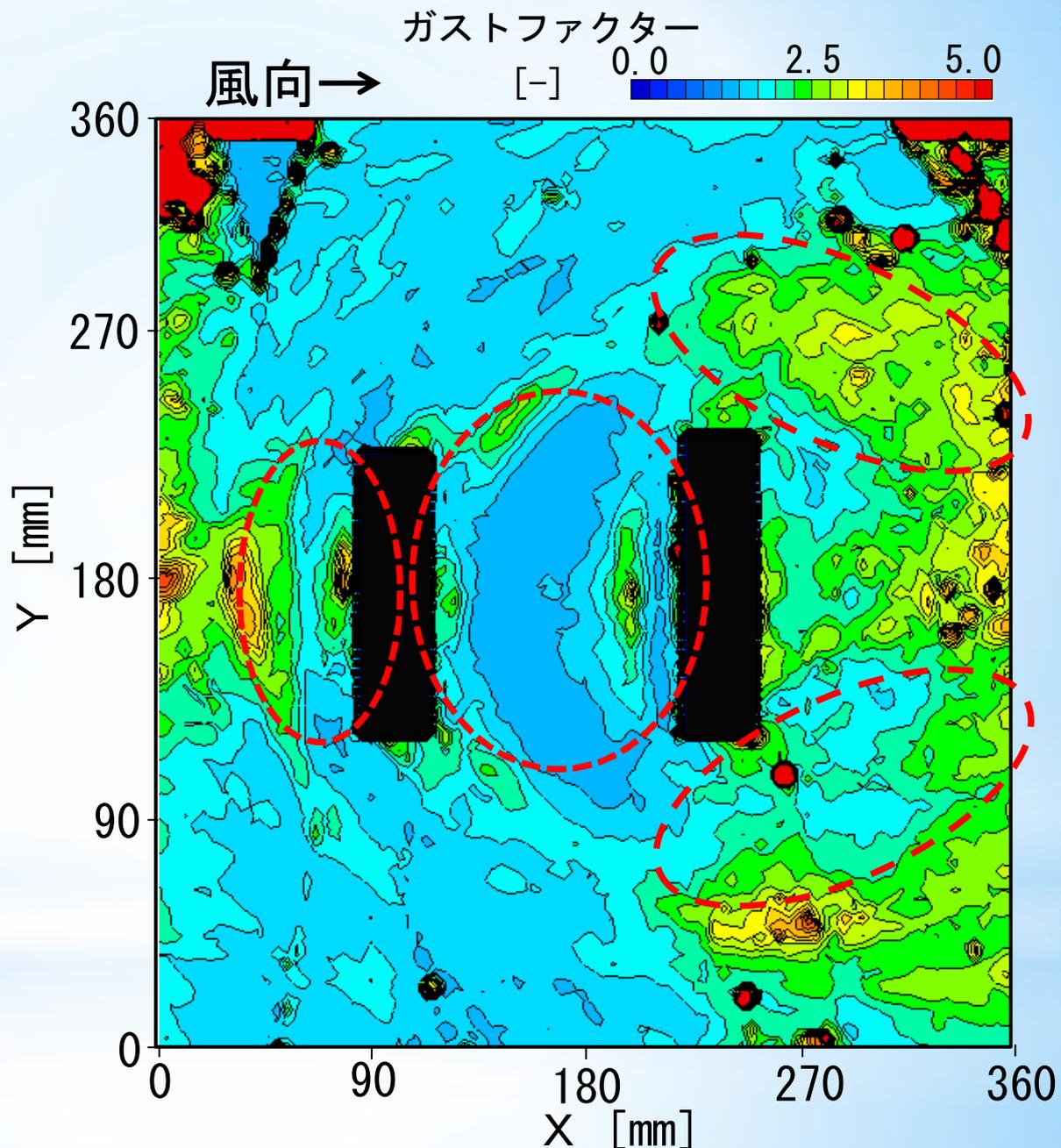


(b) 平均風速ベクトル(水平断面)

図3 中・高層におけるPIV解析結果(case1)

解析結果

中層モデル前方や高層モデルの周辺及び後流域で2.5を超える。一方、2棟のモデル間では1.25程度となる。

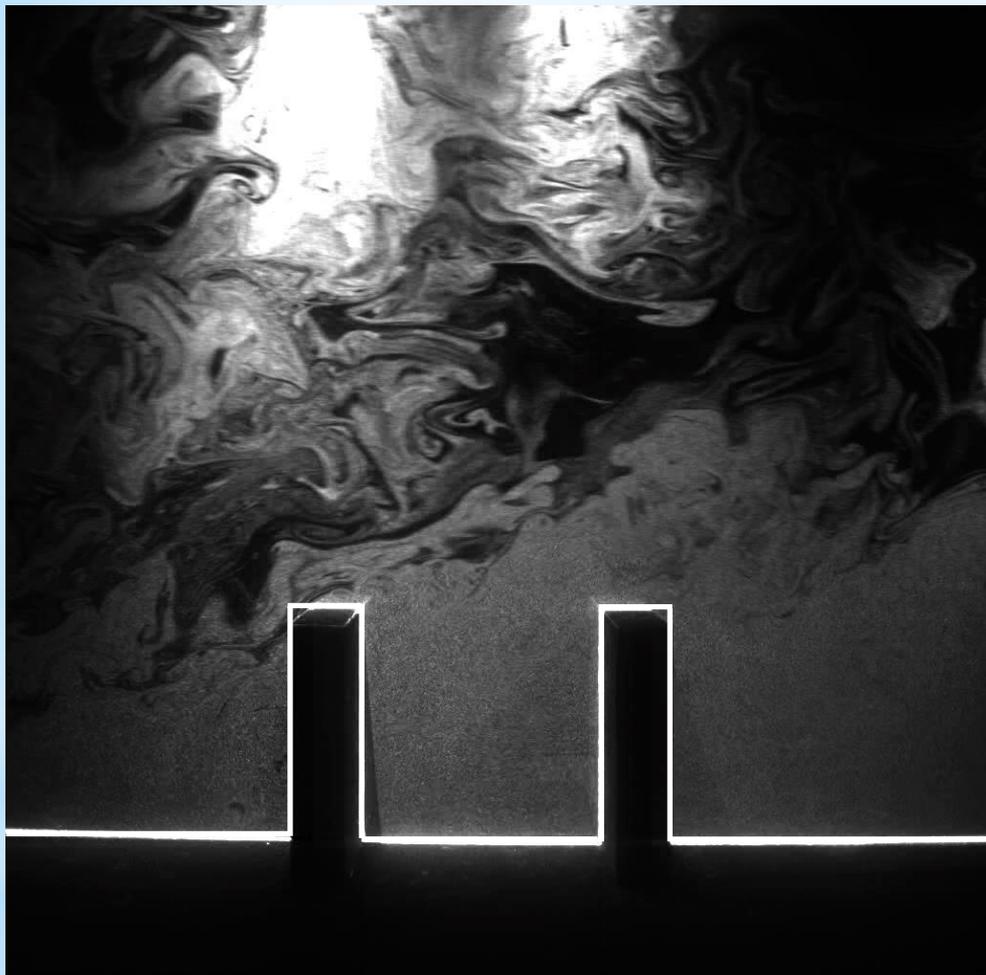


(c) ガストファクターの分布

図3 中・高層におけるPIV解析結果(case1)

実験結果

風向 →



風向 →

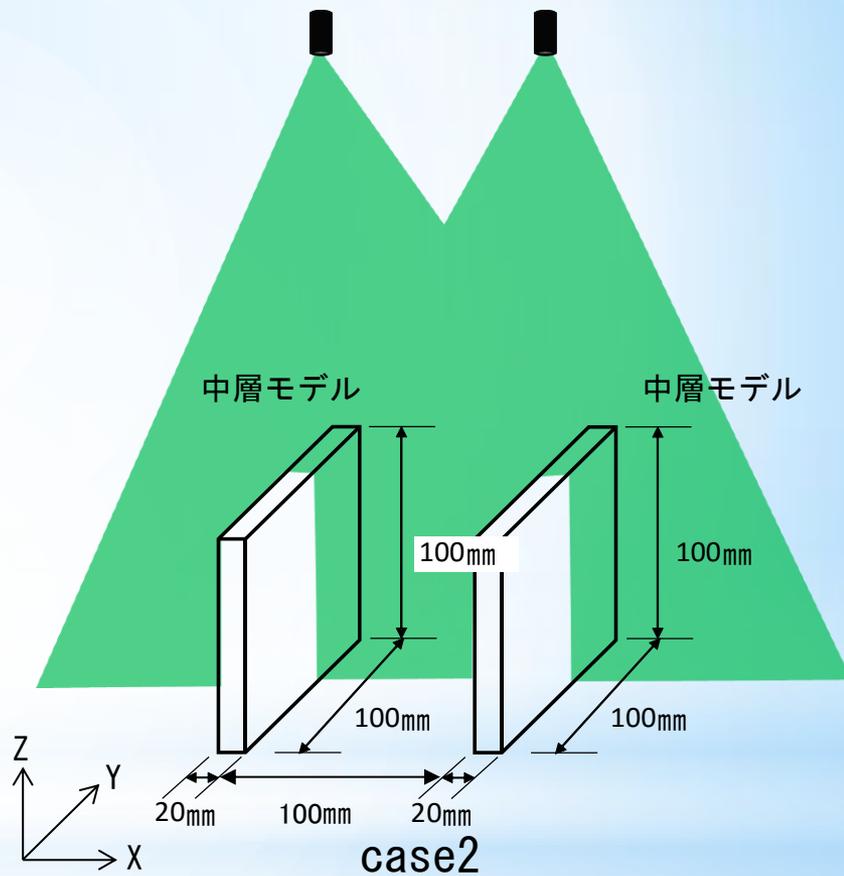


図 実験対象モデルの概要

Z
↑
X
→

動画 可視化動画 (case2)

(風上側: 中層、風下側: 中層、鉛直断面)

実験結果

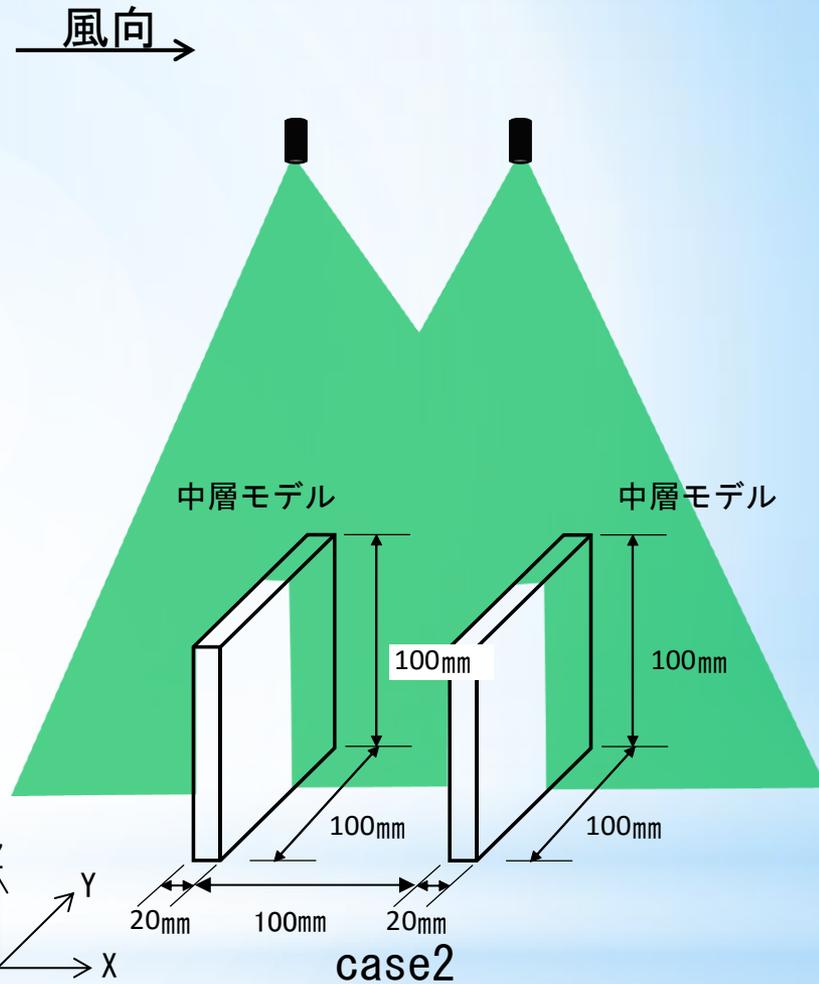
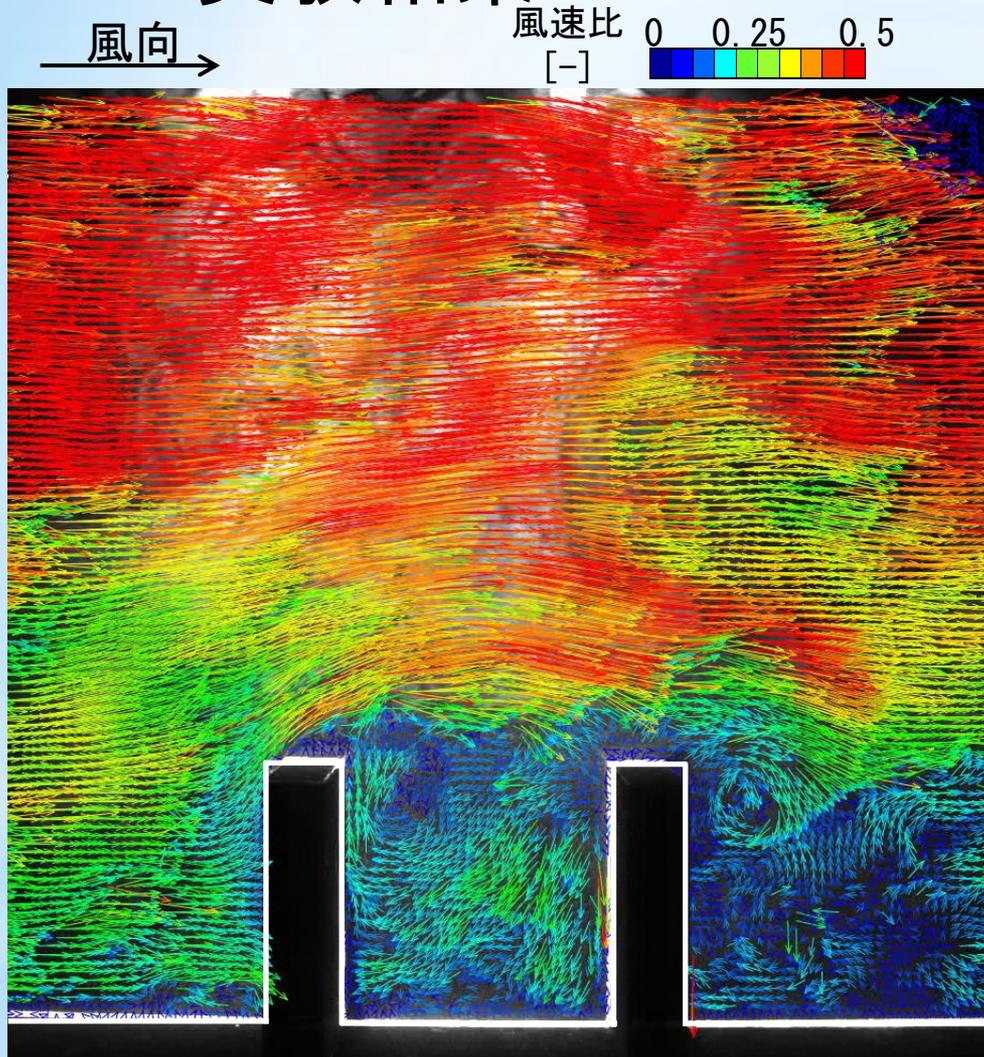


図 実験対象モデルの概要

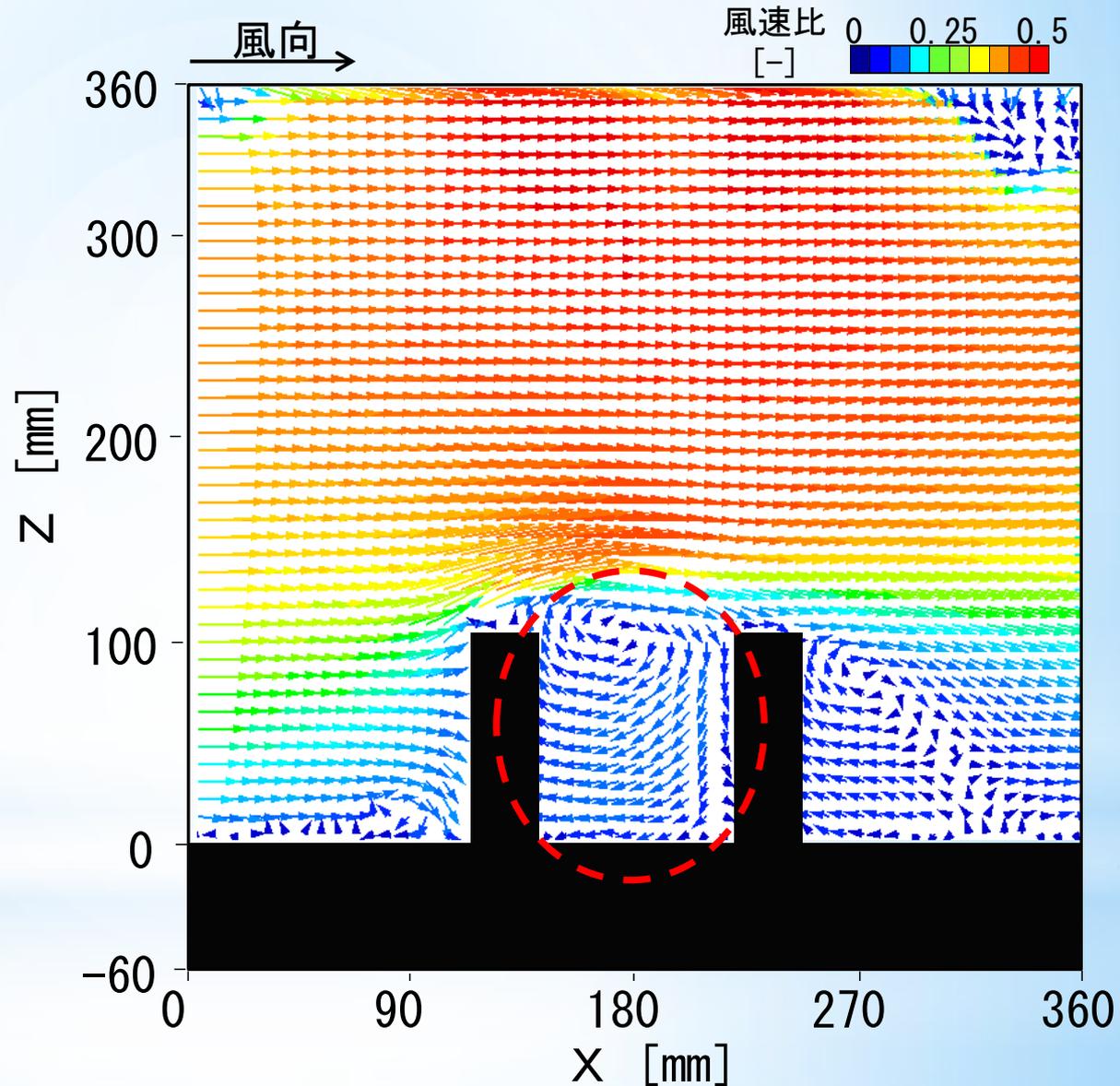
Z

X

動画 PIV解析結果 (case2)
(風上側:中層、風下側:中層、鉛直断面)

解析結果

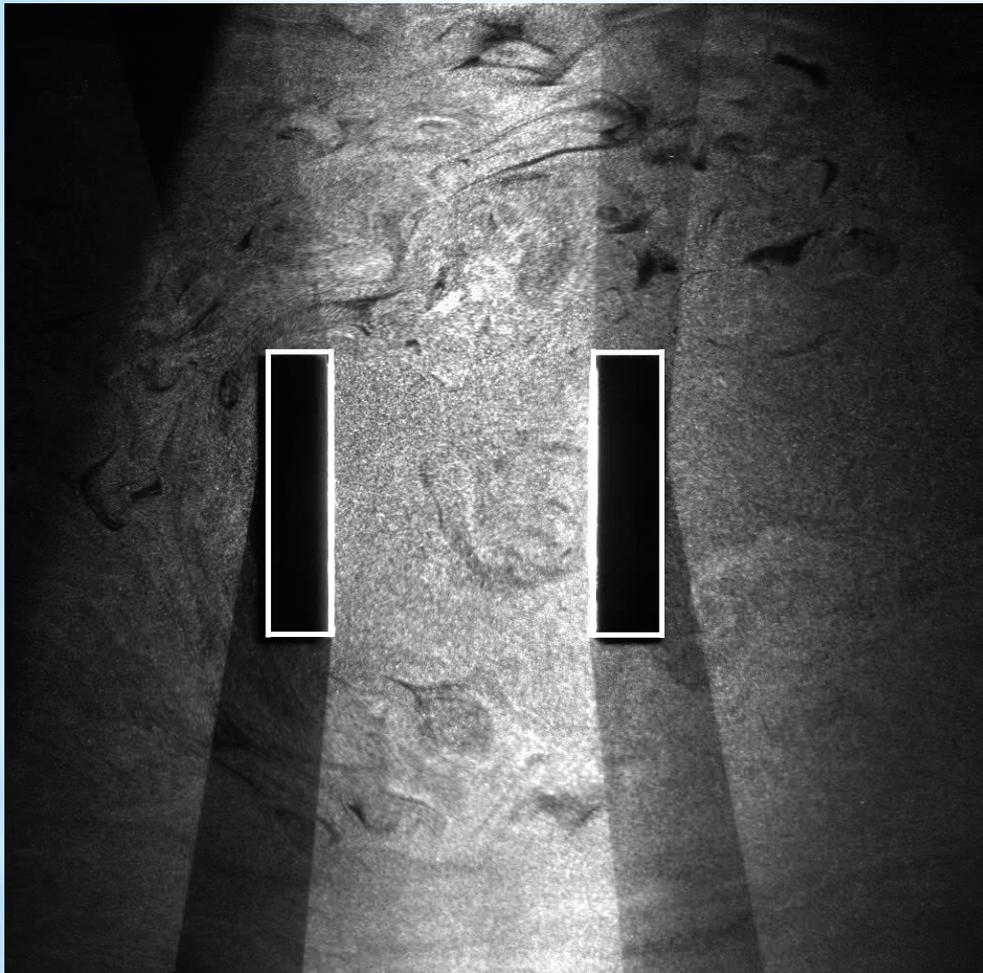
隣接する2棟のモデル間に気流が流入し風速比0.05~0.15程度で渦状の気流場が形成される。



(a) 平均風速ベクトル分布(鉛直断面)
図4 中・中層におけるPIV解析結果(case2)

実験結果

風向 →

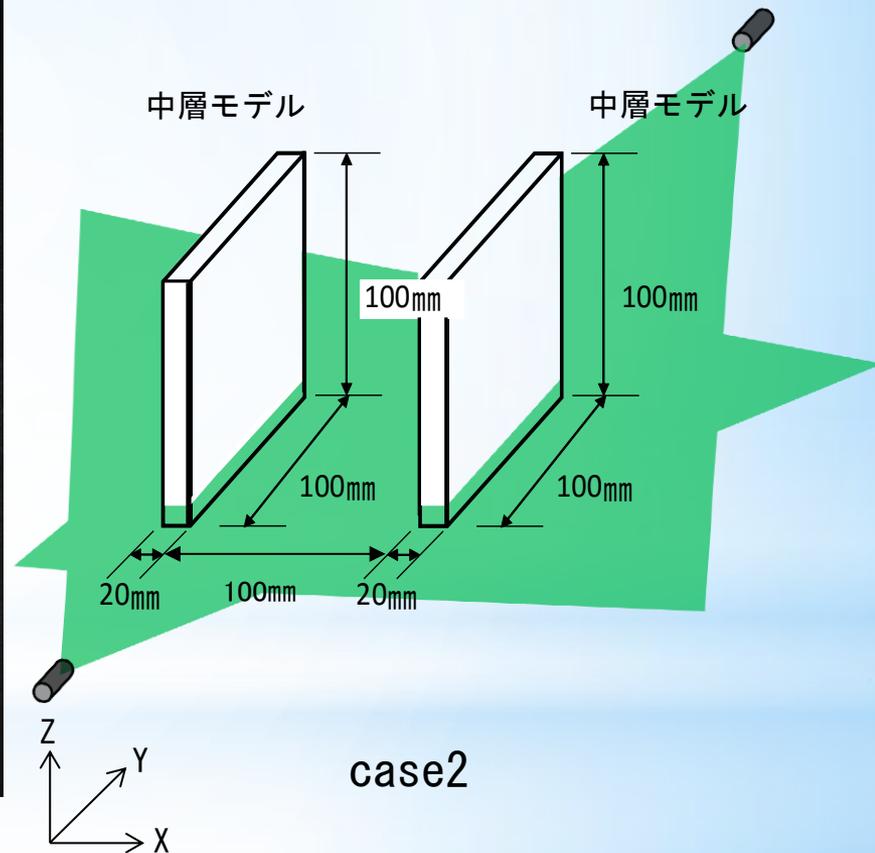


Z
↑
X →

動画 可視化動画 (case2)

(風上側: 中層、風下側: 中層、水平断面 (高さ 4 mm))

風向 →



case2

図 実験対象モデルの概要

実験結果

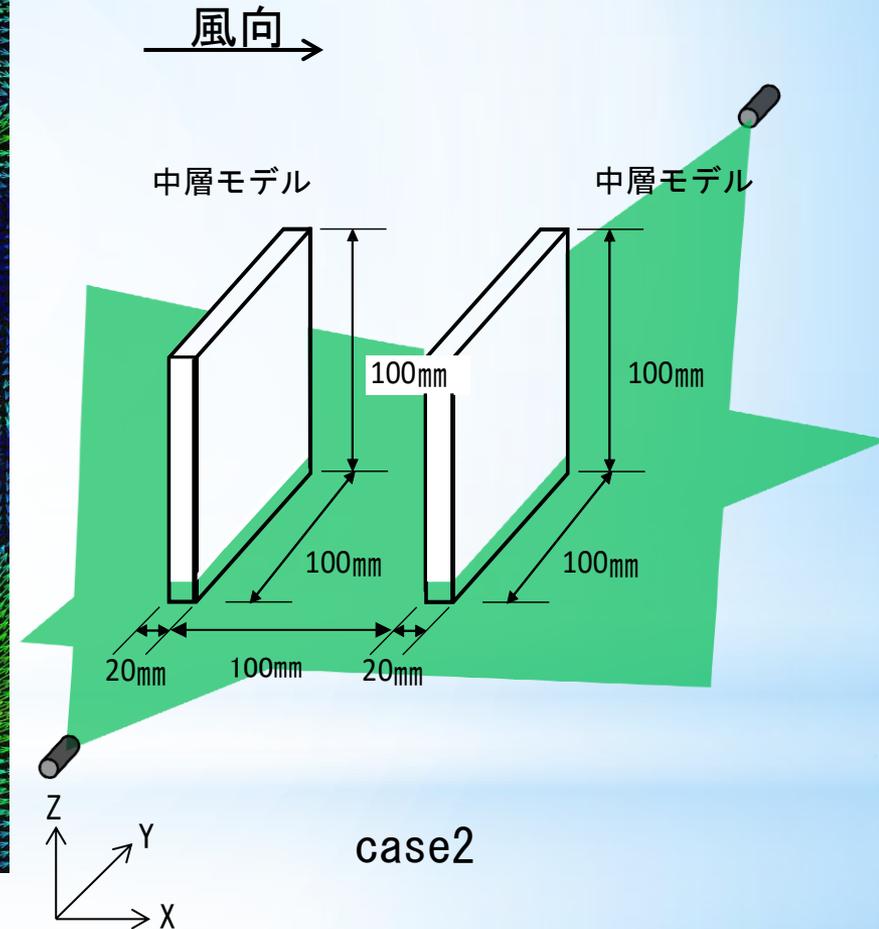
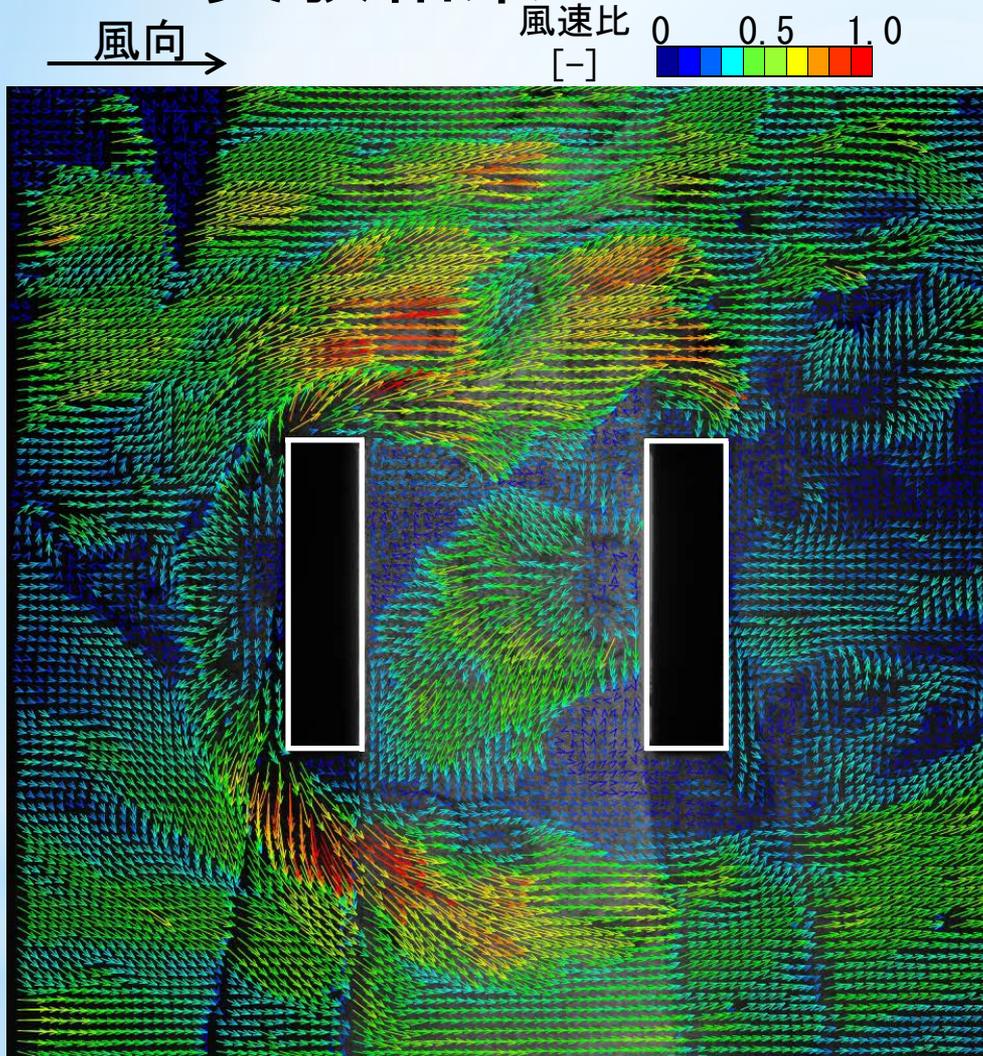


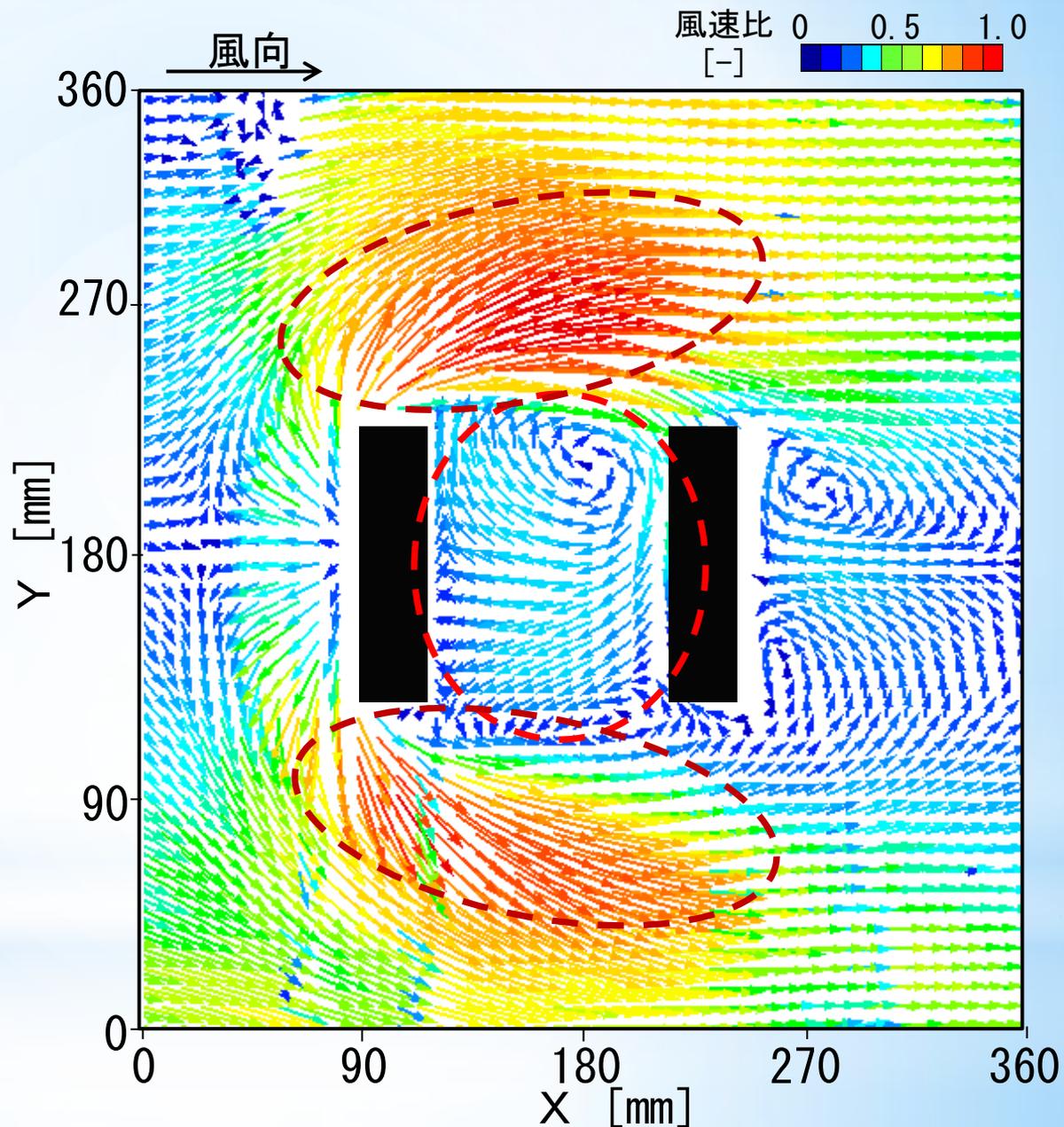
図 実験対象モデルの概要

動画 PIV解析結果 (case2)

(風上側:中層、風下側:中層、水平断面(高さ 4 mm))

解析結果

2棟のモデル間に風速比0.1~0.15程度で**主風向**に対して**逆方向に気流が生じる**。また、モデル間及び風上側モデル端部から**case1より比較的やや小さく広がる部分で風速が比較的速くなる**。

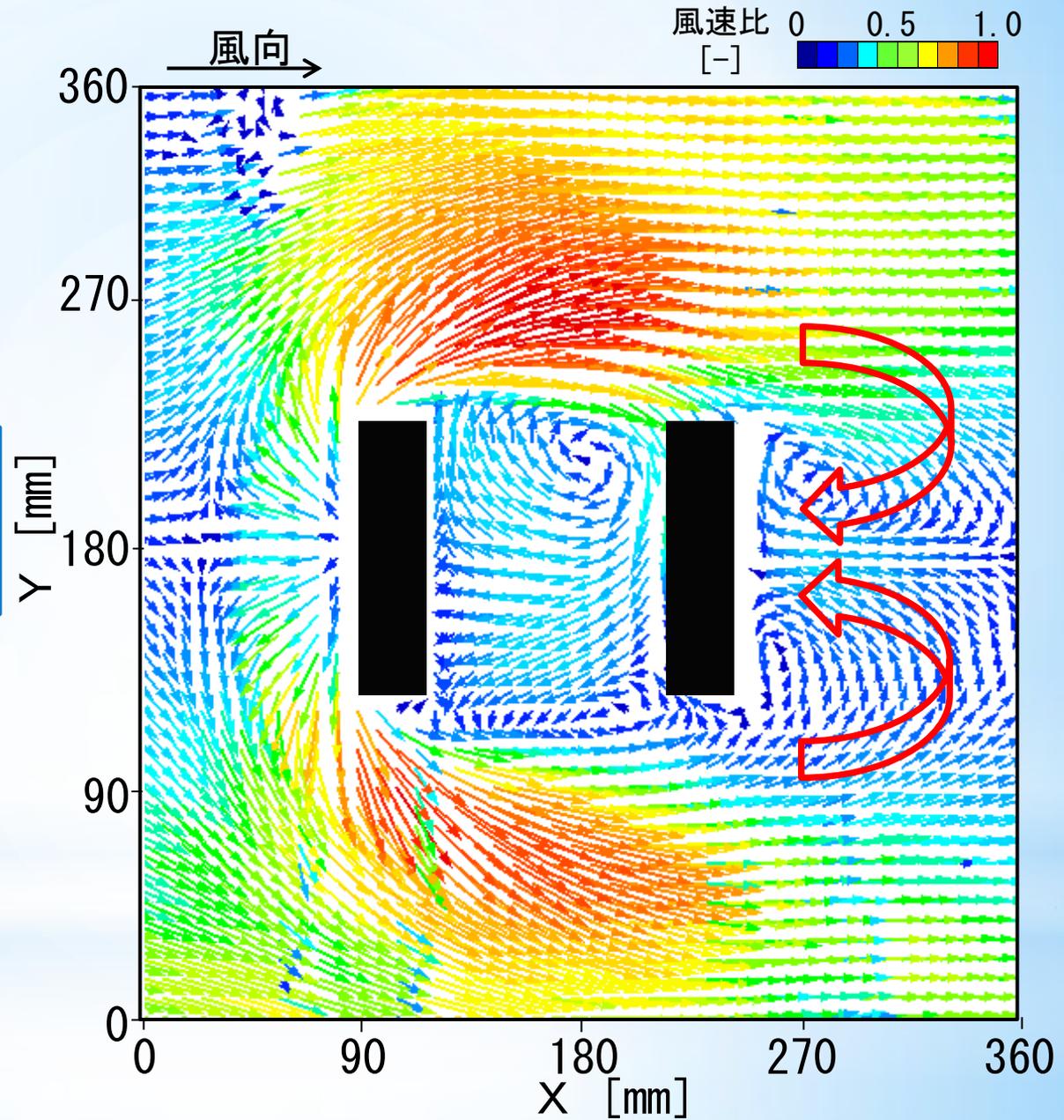


(b) 平均風速ベクトル分布(水平断面)

図4 中・中層におけるPIV解析結果(case2)

解析結果

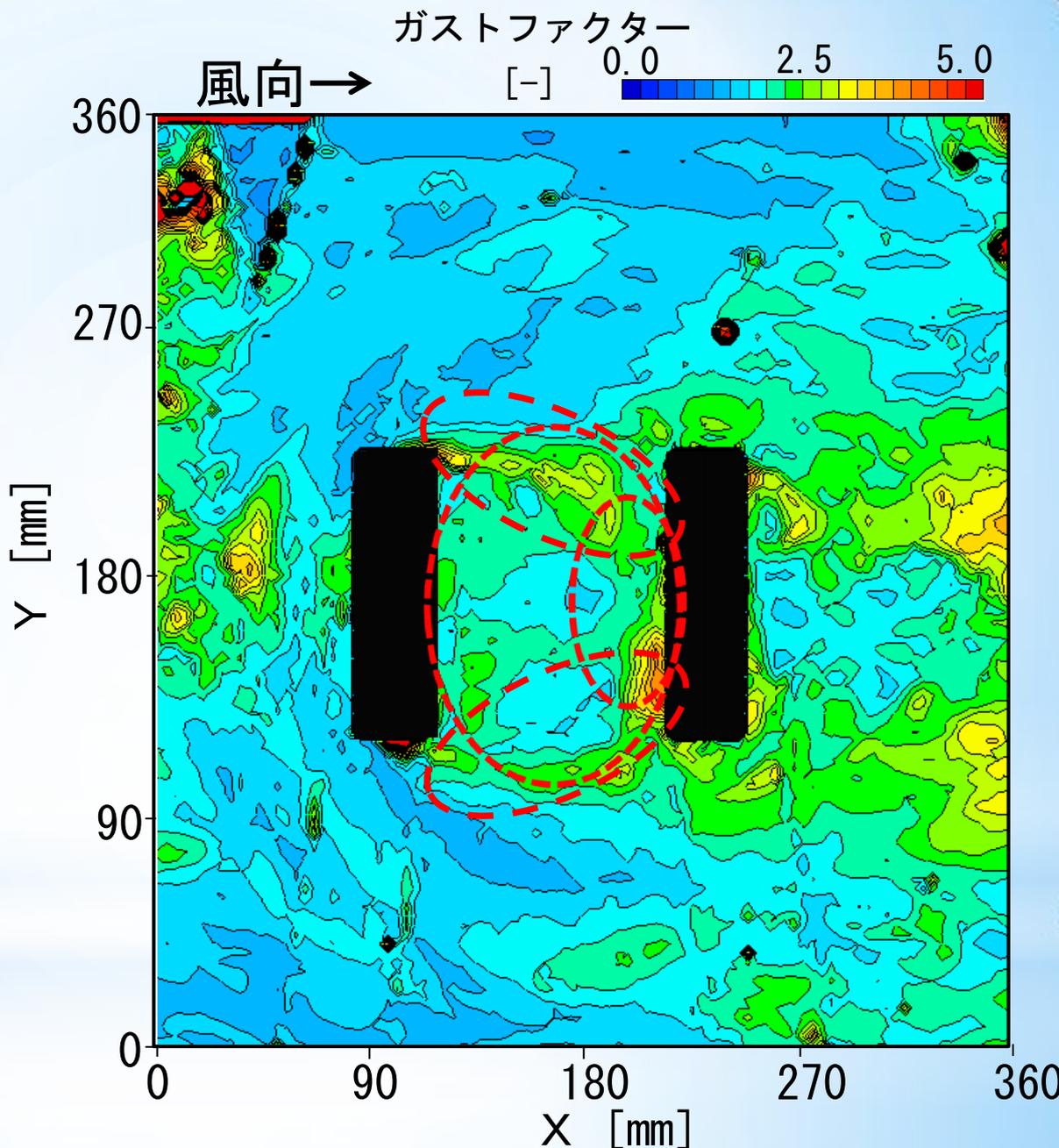
風下側モデル後流域において風速比0.1~0.2程度で回
り込む気流が生じる。



(b) 平均風速ベクトル分布(水平断面)
図4 中・中層におけるPIV解析結果(case2)

解析結果

風上側モデル後流域及び
風下側モデルの風上側壁
面付近で2.5を超える。
一方、2棟のモデル間
では1.0~2.0程度とな
り、case1と比較してGF
が大きくなる。



(c) ガストファクターの分布

図4 中・中層におけるPIV解析結果(case2)

まとめ

■中層・高層の組み合わせ (case1)

- ① 2棟のモデル間では複数の渦が生成、消滅を繰り返し複雑な気流場を形成する。
- ② 2棟のモデル間では風速比0.2~0.5程度で主風向に対して逆方向に気流が生じる。
- ③ 中層モデル前方や高層モデルの周辺及び後流域でGFは2.5を超える。2棟のモデル間では1.25程度となる。

■中層・中層の組み合わせ (case2)

- ① 2棟のモデル間では風速比0.05~0.15程度で渦状の気流場が形成される。
- ② 2棟のモデル間では風速比0.2程度で主風向に対して逆方向に気流が生じる。
- ③ 風上側モデルの後流域及び風下側モデルの風上側壁面付近でGFは2.5を超える。2棟のモデル間では1.0~2.0程度となる。