

風力による非定常自然換気に関する研究

換気用シャフトを設置した高層建物モデル
を対象とした自然換気特性

指導教員

赤林

曾我 仁誠
伸一 教授

研究目的

近年、オフィスビル等では**夏季の夜間**や**中間季**に換気口を開放し**自然換気**を行い、冷房や機械換気に必要なエネルギー消費の削減が行われている。

例 リバティタワー

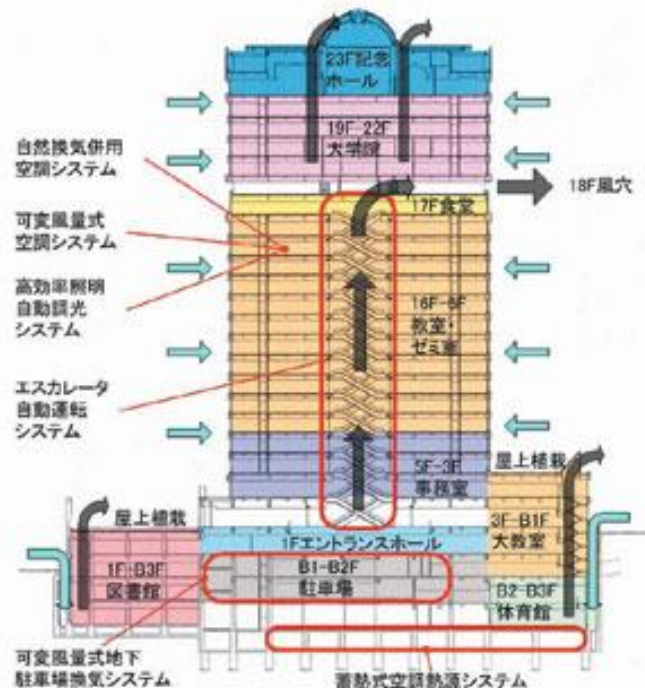


図 オフィスビルにおける自然換気のイメージ

引用 : <https://www.meiji.ac.jp/koho/academeprofile/activity/environmental/libertytower/libertytower.html>

研究目的

近年、オフィスビル等では**夏季の夜間**や**中間季**に換気口を開放し**自然換気**を行い、冷房や機械換気に必要なエネルギー消費の削減が行われている。

従来、風力による自然換気量の計算には**時間平均圧力差**が用いられており、外部風の変動による**圧力変動**は考慮されていない。

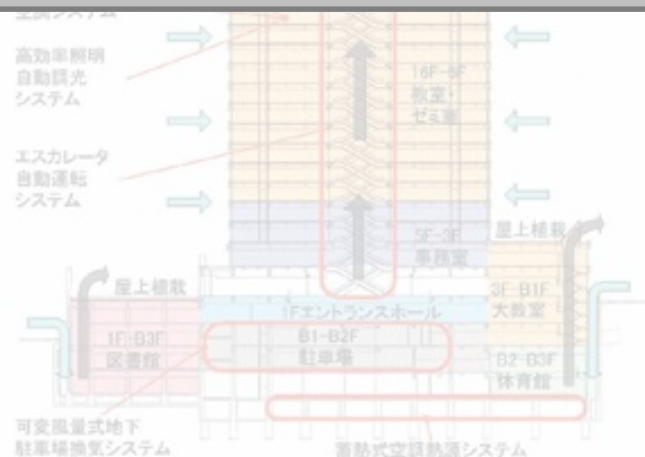


図 オフィスビルにおける自然換気のイメージ

研究目的

圧力差の時間平均値がほぼ0でも、圧力変動を考慮することで、ある程度の換気量^{文1)}を確保できる可能性がある。

文1) 赤林、有波ら「風圧変動を考慮した自然換気・通風性能評価手法の提案：LESによる住宅の自然換気・通風性能に関する研究 その2」日本建築学環境系論文集、2016年

研究目的

本研究では、単体の高層建物モデルを対象に数値流体解析 (LES※¹) により風圧係数を算出し更に、自然換気量の検討を行い、建物内に換気用縦シャフトを設置した場合の風圧変動による非定常自然換気の検討を行う。

※ 1 LES解析では、風速、風圧の時間変動を解析することができる。

解析概要

表 1 LES解析条件

SGSモデル	Dynamic型 Smagorinskyモデル		
解析対象領域	3,900 (x) × 900 (y) × 900 (z) [m]		
解析対象領域	建物モデル	50 (x) × 50 (y) × 100 (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-Wenegl
解析時間 t	プレ解析 : t=0~2,000[s]、本解析 : t=2,000~5,000[s]		
瞬時データ サンプリング間隔	1.0[s]		
温度	等温		
最小メッシュ幅	0.2[m]		
解析領域メッシュ数	260 (x) × 197 (y) × 103 (z) = 5,275,660		

解析概要

解析対象領域は実スケールで $3,900(x) \times 900(y) \times 900(z)$ [m]とする。高層建物モデルの寸法は $50(x) \times 50(y) \times 100(z)$ [m]とする。

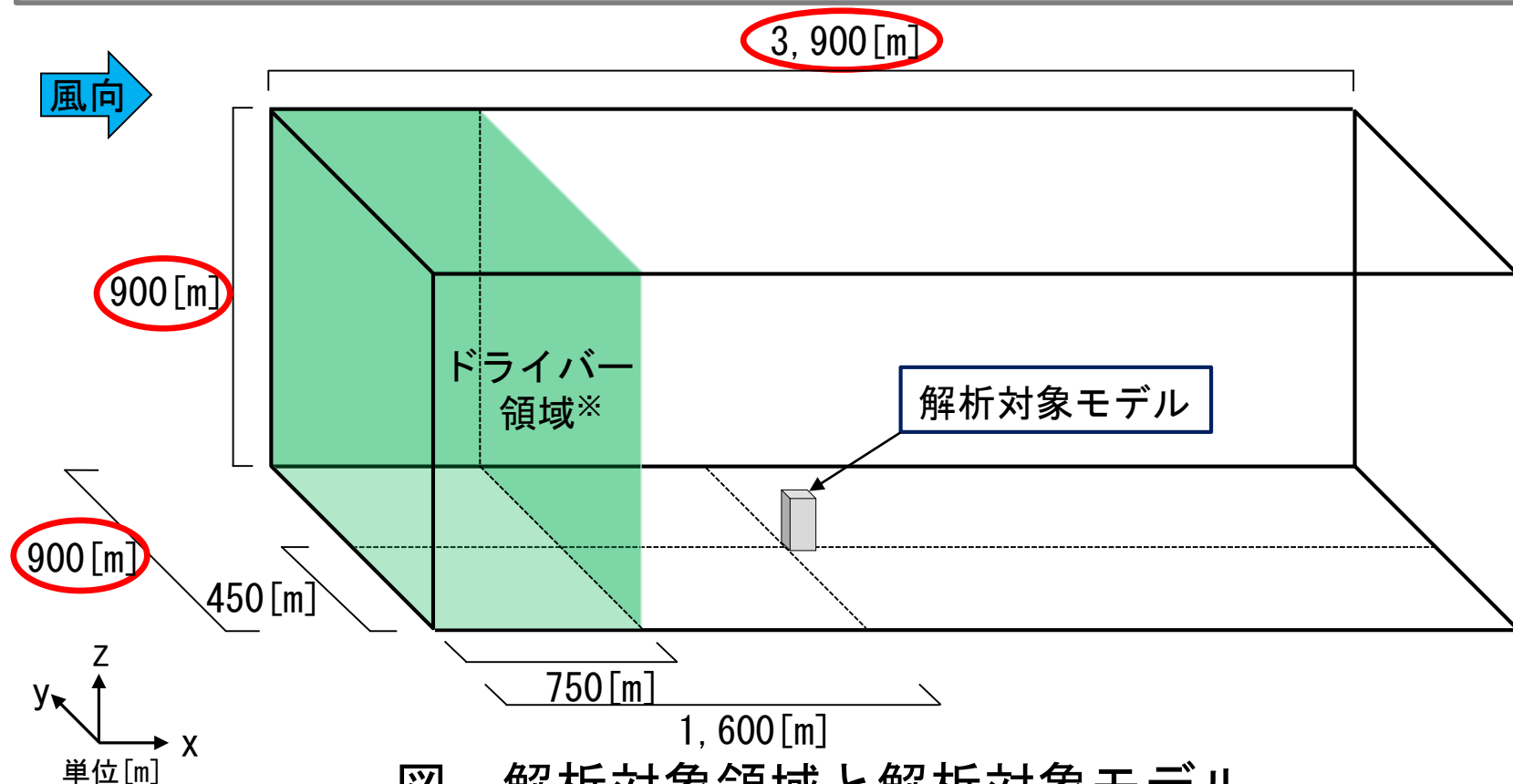


図 解析対象領域と解析対象モデル

※ ドライバー領域とは、周期境界条件を用いて流入変動気流を計算するために、建物風上側に設けた領域である。

解析概要

解析対象領域は実スケールで $3,900(x) \times 900(y) \times 900(z)$ [m]とする。高層建物モデルの寸法は $50(x) \times 50(y) \times 100(z)$ [m]とする。

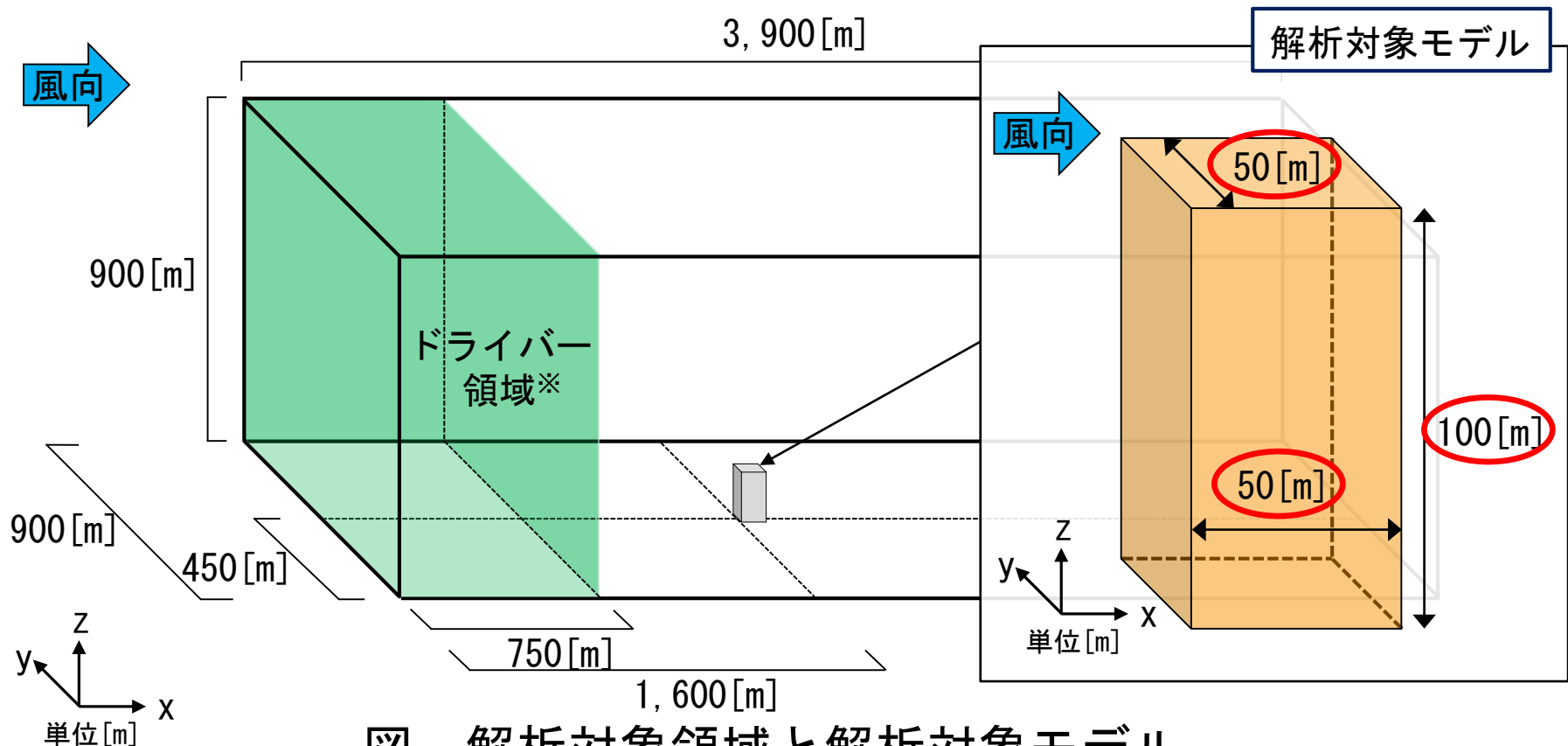


図 解析対象領域と解析対象モデル

※ ドライバー領域とは、周期境界条件を用いて流入変動気流を計算するために、建物風上側に設けた領域である。

換気経路の概要

建物モデルは25階建てとし、階高を4.0[m]とする。

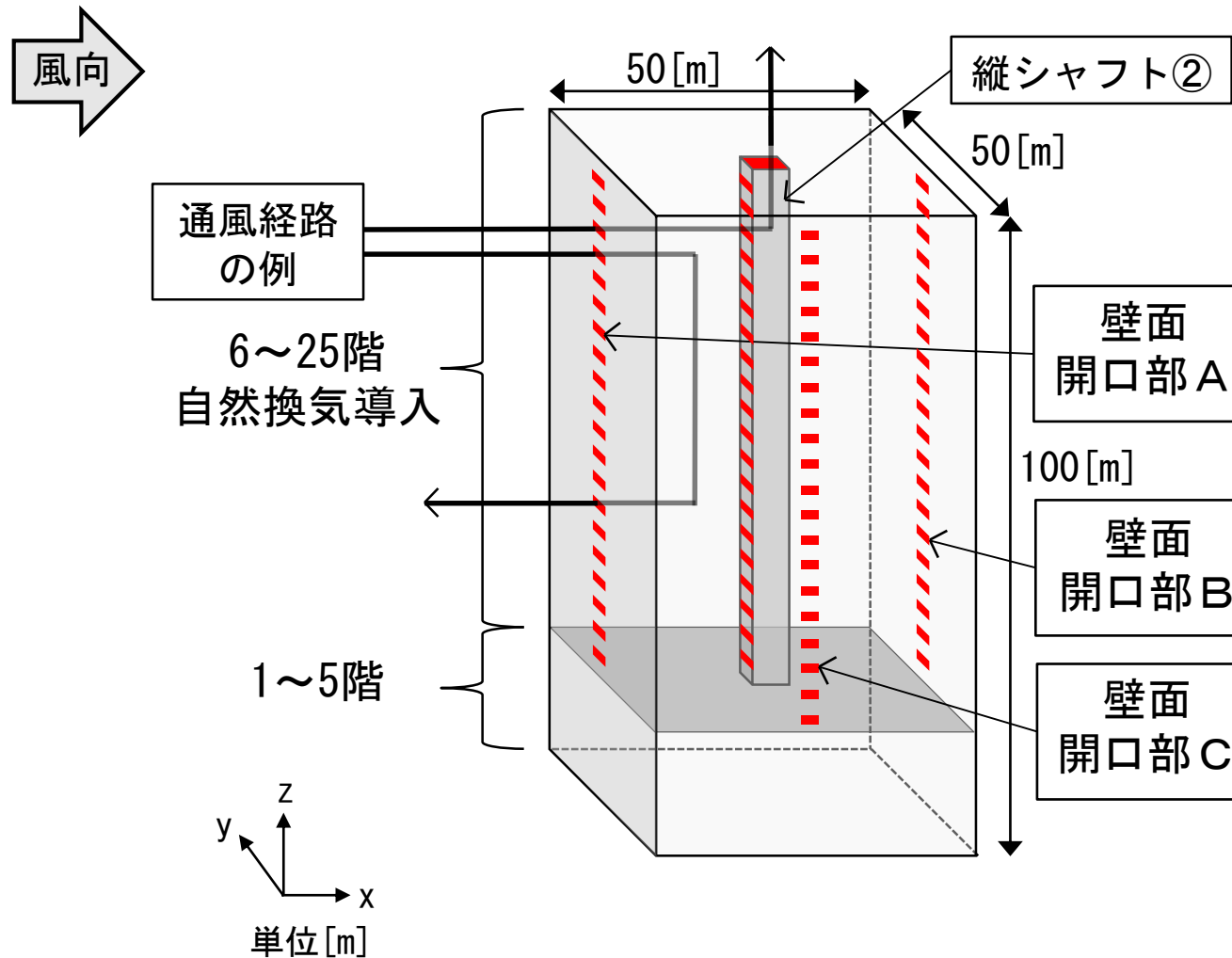


図1 建物モデルの開口部位置

換気経路の概要

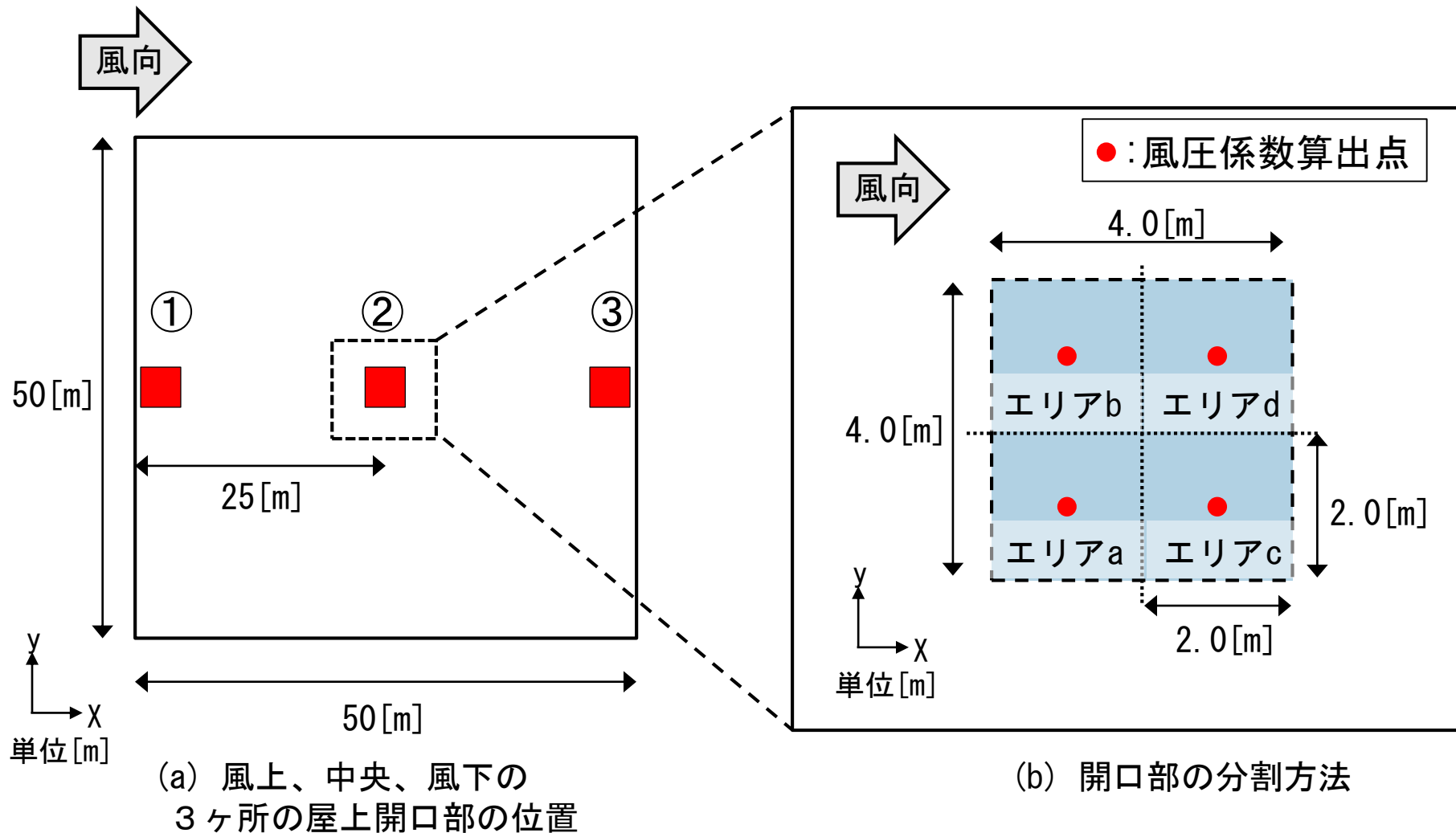


図2 縦シャフトの屋上開口部

換気経路の概要

換気用縦シャフトを図2 (a)に示す①～③の内1ヶ所に、**6階の床(地上20[m])から屋上まで連続した縦シャフトとして設置する。**

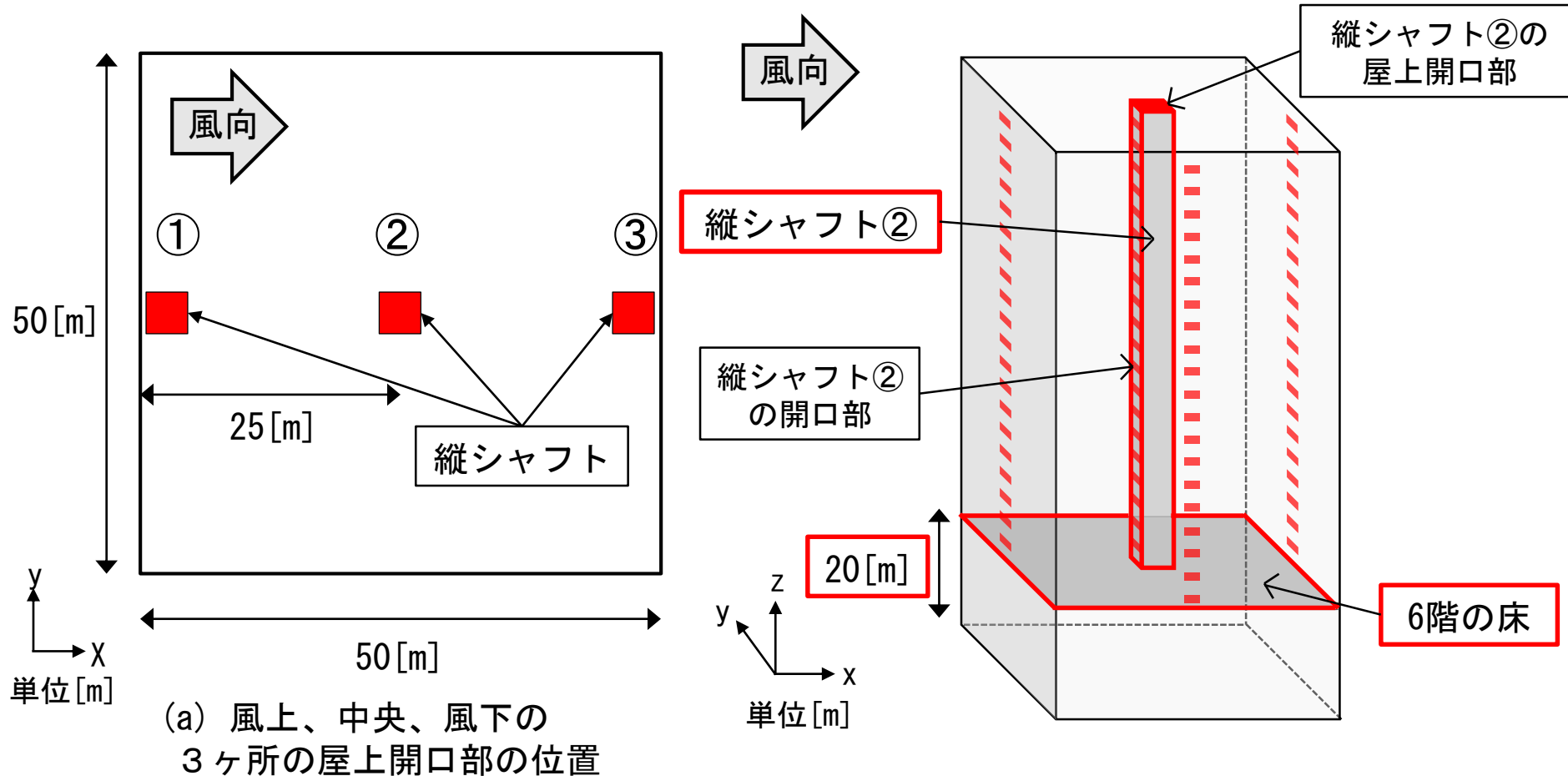


図2 縦シャフトの屋上開口部

図2 建物モデル(縦シャフト②)

換気経路の概要

表 2 換気量の計算条件

計算case		壁面開口	縦シャフト	開口部の面積
case1	case1-1	風上側壁面 開口部を 開放した場合 (開口部A)	①	壁面開口部 $1.0[m] \times 0.5[m]$ 縦シャフトの開口部 $1.0[m] \times 0.5[m]$ 屋上開口部 $4.0[m] \times 4.0[m]$
	case1-2		②	
	case1-3		③	
case2	case2-1	風下側壁面 開口部を 開放した場合 (開口部B)	①	
	case2-2		②	
	case2-3		③	
case3	case3-1	風向に対して 平行な壁面 開口部を 開放した場合 (開口部C)	①	
	case3-2		②	
	case3-3		③	

換気経路の概要

風上側壁面に設置した開口部Aを開放したモデルをcase1、風下側壁面の開口部Bを開放したモデルをcase2、風向に対して平行な壁面の開口部Cを開放したモデルをcase3とする。

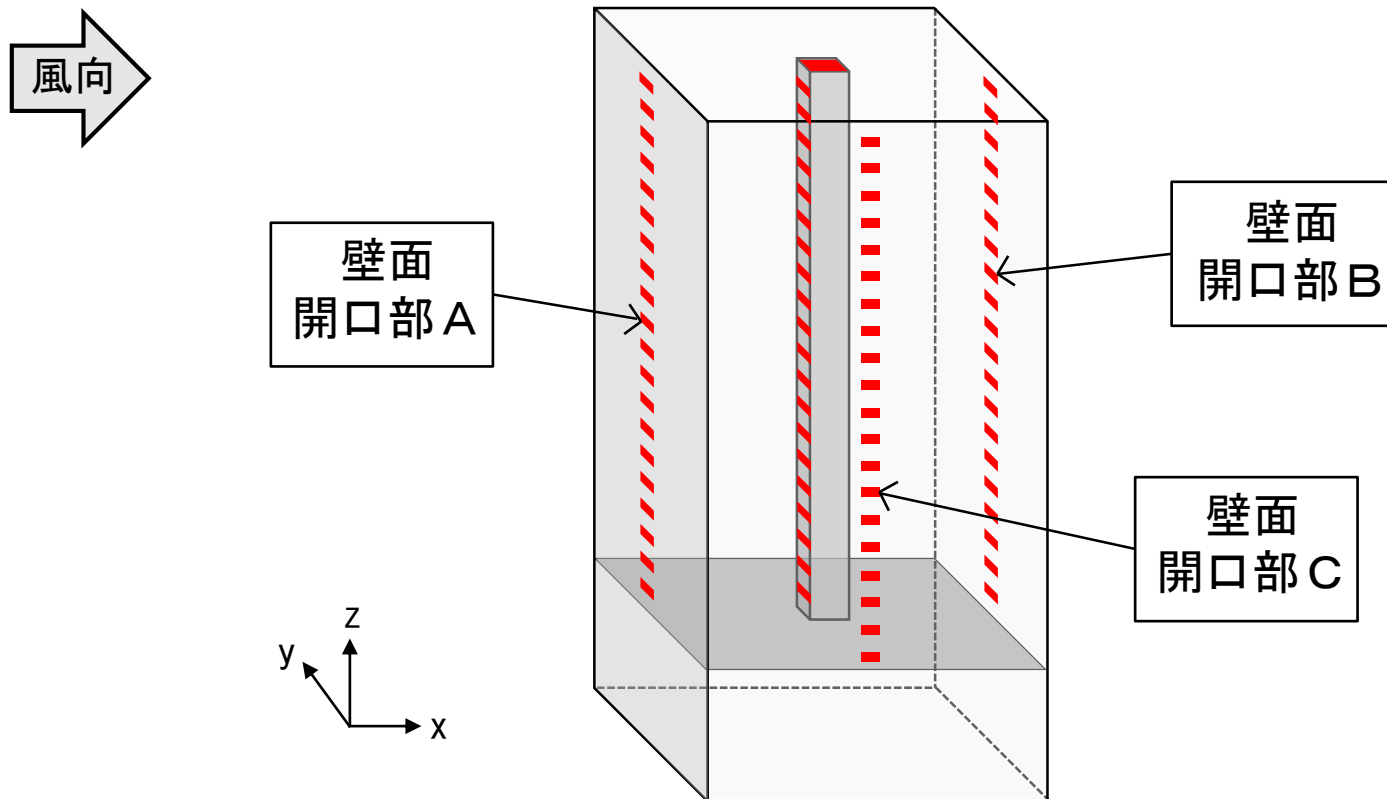


図 1 建物モデルの開口部位置

換気経路の概要

壁面及び縦シャフトの開口部の大きさは 1.0×0.5 [m]とし、6階（中心高さ地上22 [m]）から4.0 [m]毎に25階まで設置する。

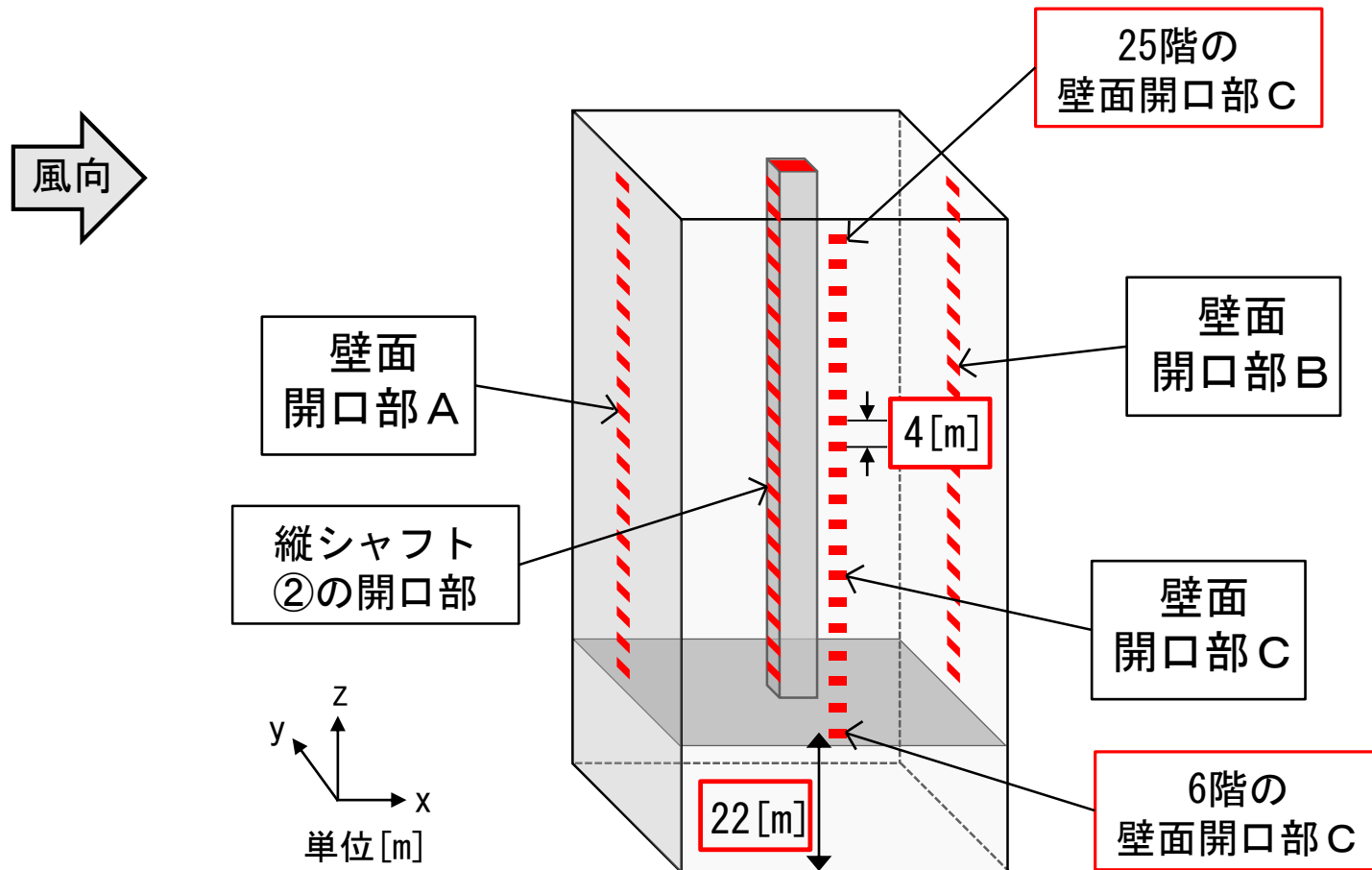


図1 建物モデルの開口部位置

換気経路の概要

縦シャフトの屋上開口部 ($4.0[\text{m}] \times 4.0[\text{m}]$) はa~dの4つのエリアに分割し※2、それぞれの中心の風圧係数を用いる。

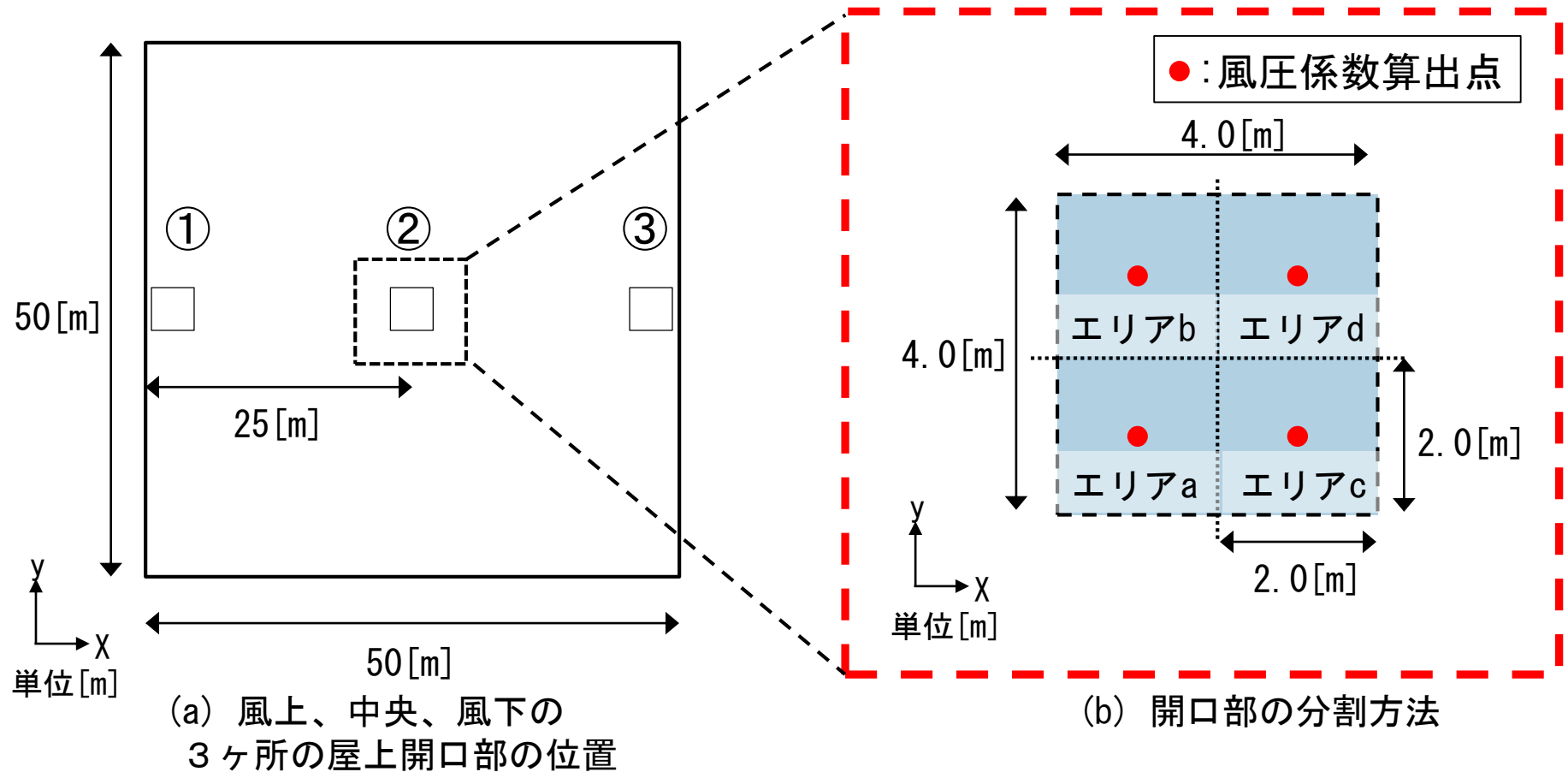


図2 縦シャフトの屋上開口部

※2 開口面内に圧力分布が生じるため、4分割する。

換気量の算出方法

LESにより算出した壁面開口部(6~25F)と、屋上開口部(エリアa~d)の風圧係数の時間平均値の差により、平均圧力差による換気量を換気回路網計算ソフトCOMISを用いて算出する。

一方、各時刻の壁面開口部(6~25F)と、屋上開口部(エリアa~d)の風圧係数の差により、瞬時圧力差による換気量の算出を行う。

換気量の算出方法

平均圧力差から算出した換気量と圧力変動を考慮した換気量の比較を行う。

圧力変動を考慮した換気量は、瞬時圧力差から算出した建物に対する流入量の積算値を平均した値とする。

流入出量の時系列データ

流入出量は建物に対して**流入量を正**、**流出量を負**とする。

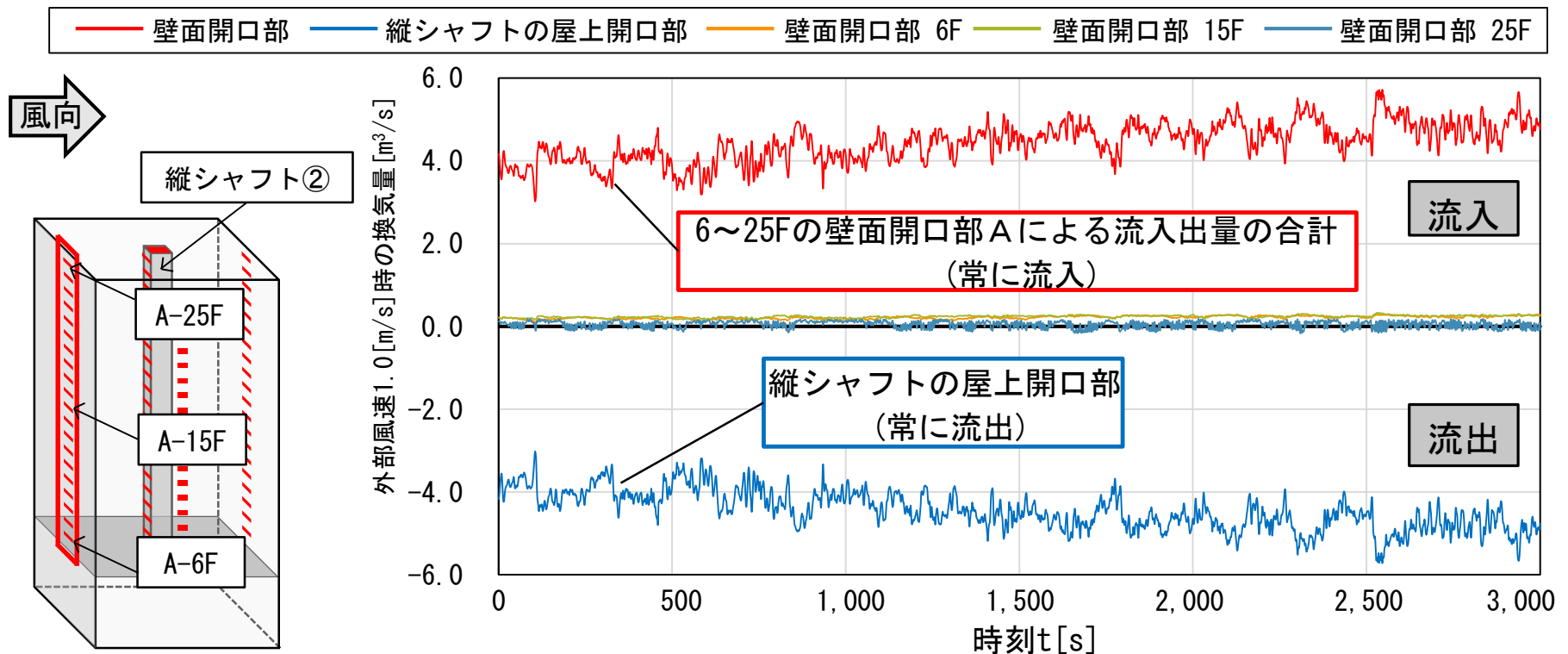


図 建物モデル
壁面開口部Aを開放

(a) case1-2 (壁面開口部A、縦シャフト②)

図3 壁面開口部(6~25Fの合計、6F、15F、25F)と縦シャフトの屋上開口部の流入出量の時系列データ

case1-2 (壁面開口部 A、縦シャフト②)

壁面の開口部から**流入**し、縦シャフトの屋上開口部から**流出**する。

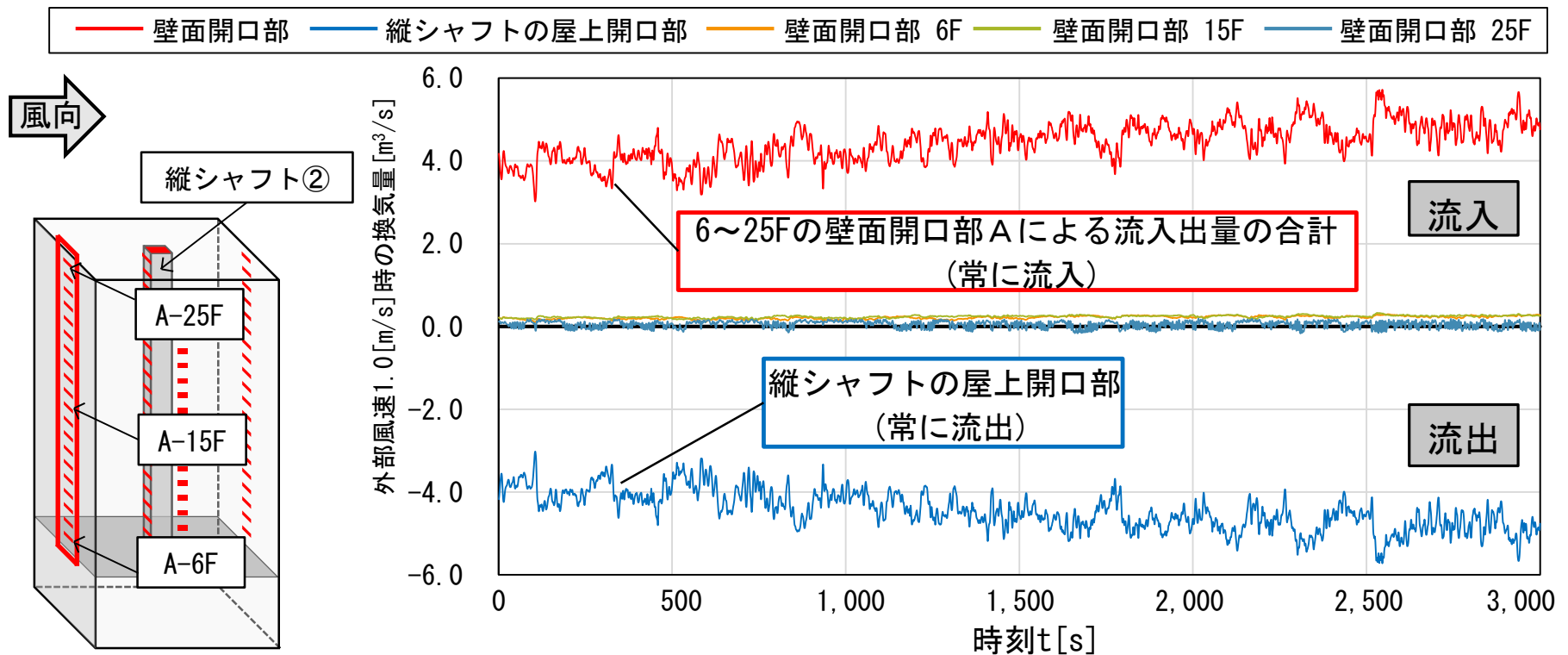


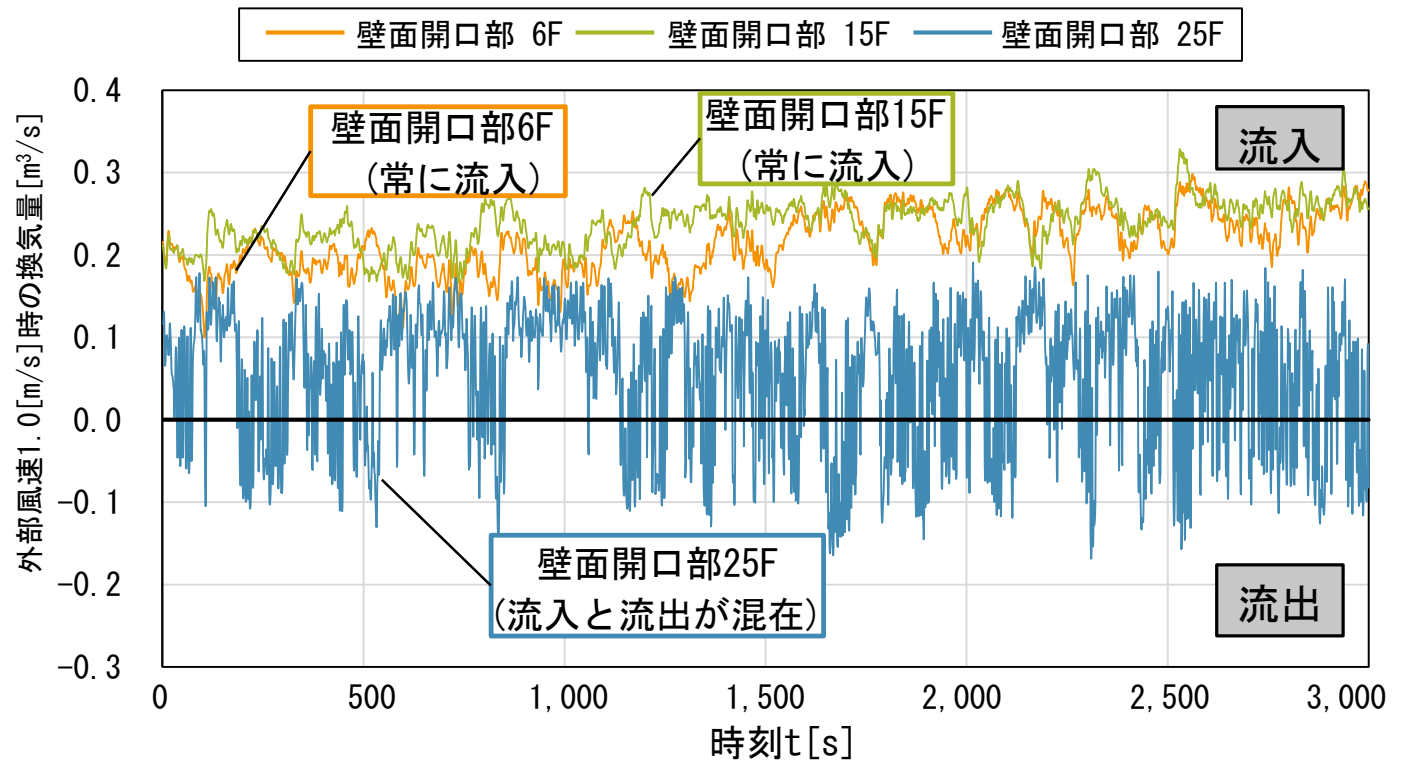
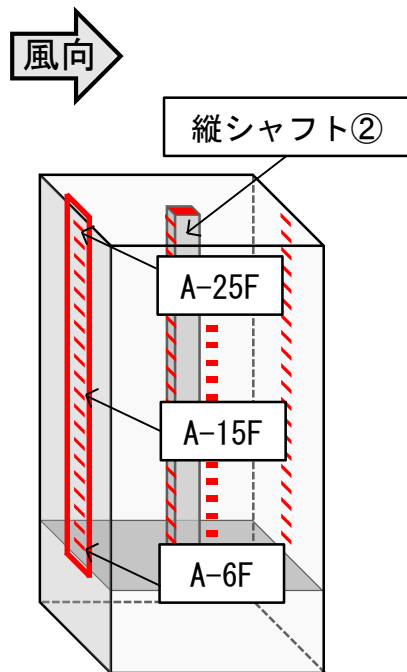
図 建物モデル
壁面開口部 A を開放

(a) case1-2 (壁面開口部 A、縦シャフト②)

図 3 壁面開口部 (6~25Fの合計、6F、15F、25F) と
縦シャフトの屋上開口部の流入出量の時系列データ

case1-2 (壁面開口部 A、縦シャフト②)

6F、15Fの壁面開口部では常に流入し、25Fの壁面開口部では流入出が頻繁に変化する。屋上開口部からは常に流出する。



(a) case1-2 (壁面開口部 A、縦シャフト②)

図 建物モデル
壁面開口部 A を開放

図 4 6F、15F、25Fの壁面開口部の流入出量の時系列データ

case1-2 (壁面開口部 A、縦シャフト②)

6F、15Fの壁面開口部では常に流入し、25Fの壁面開口部では流入出が頻繁に変化する。屋上開口部からは常に流出する。

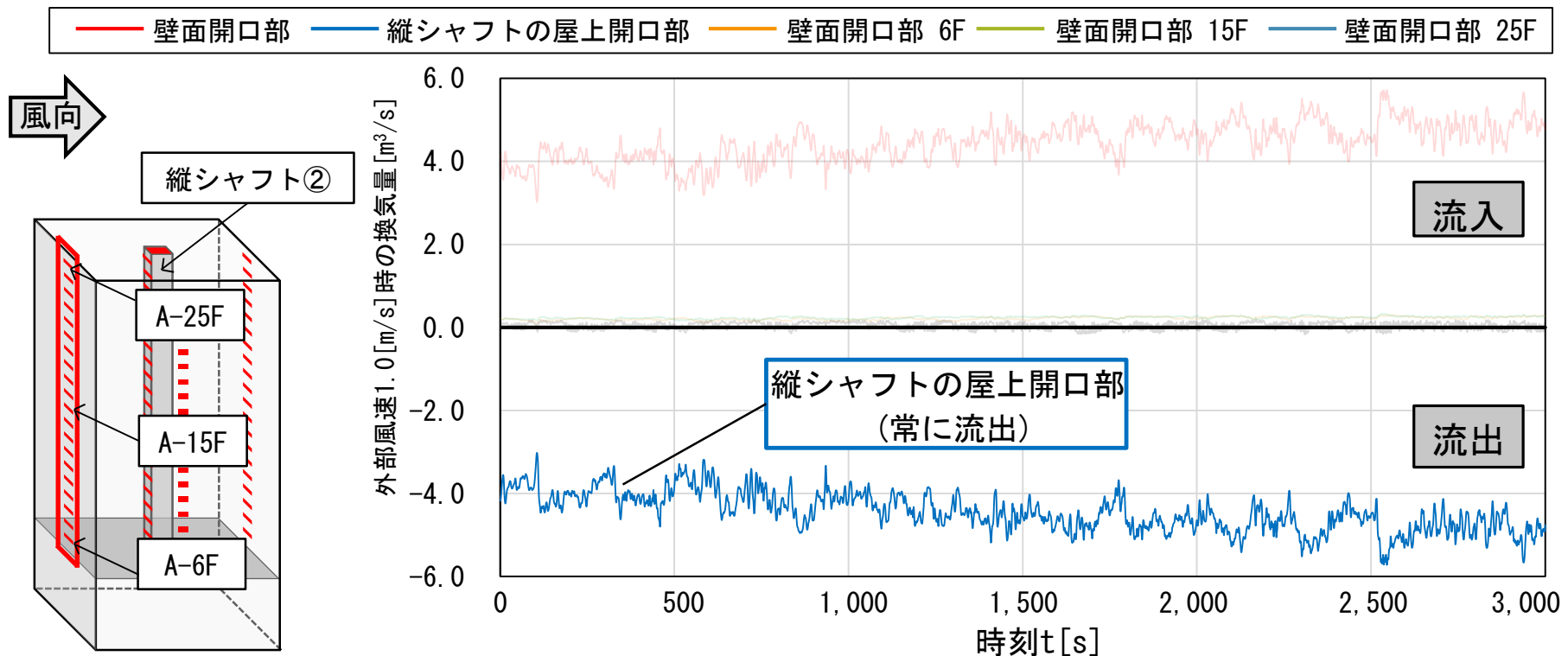


図 建物モデル
壁面開口部 A を開放

(a) case1-2 (壁面開口部 A、縦シャフト②)

図 3 壁面開口部 (6~25Fの合計、6F、15F、25F) と
縦シャフトの屋上開口部の流入出量の時系列データ

case2-2 (壁面開口部B、縦シャフト②)

壁面の開口部と縦シャフトの屋上開口部の両方で**流入**と**流出**が生じる。

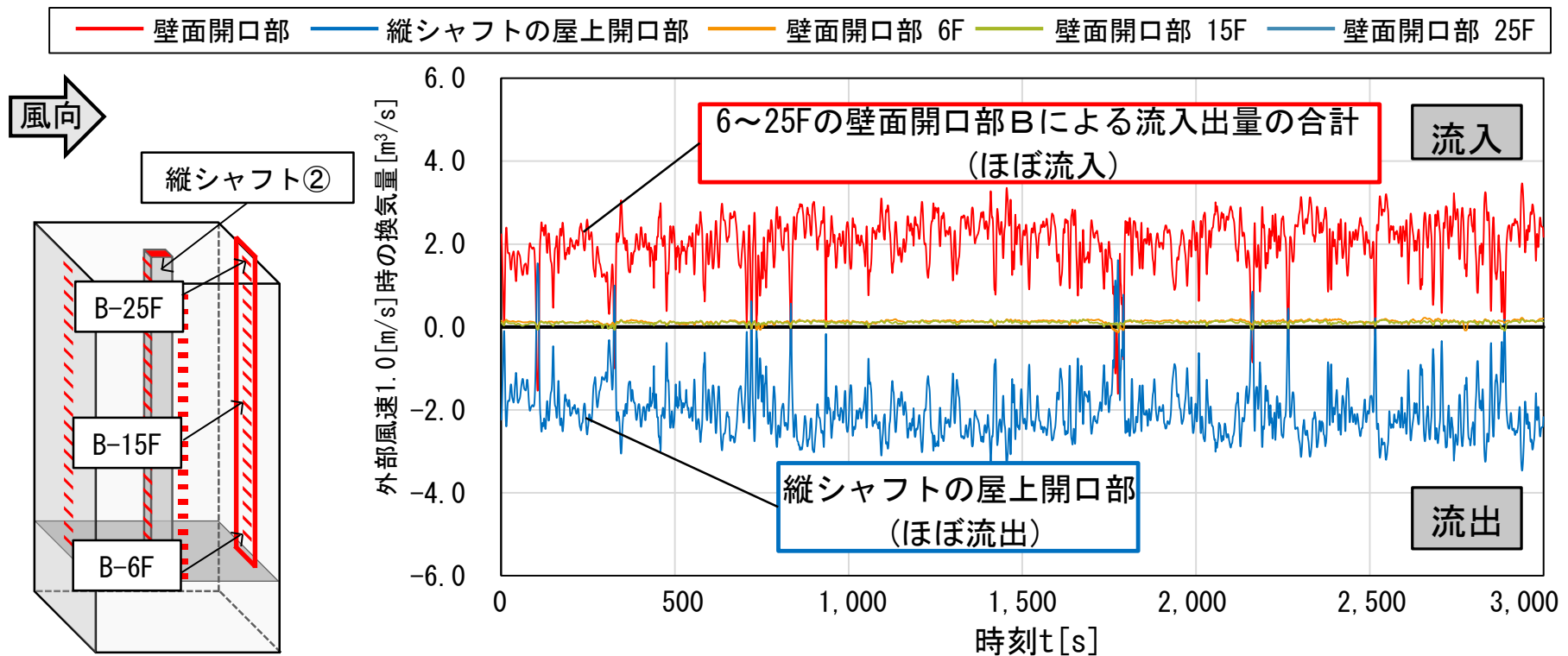


図 建物モデル
壁面開口部Bを開放

(b) case2-2 (壁面開口部B、縦シャフト②)

図3 壁面開口部(6~25Fの合計、6F、15F、25F)と
縦シャフトの屋上開口部の流入流出の時系列データ

case2-2 (壁面開口部B、縦シャフト②)

6F、15F、25Fのどの壁面開口部でも**ほぼ流入**するが、流出する時刻もある。屋上開口部からはほぼ流出するが、流入する時刻もある。

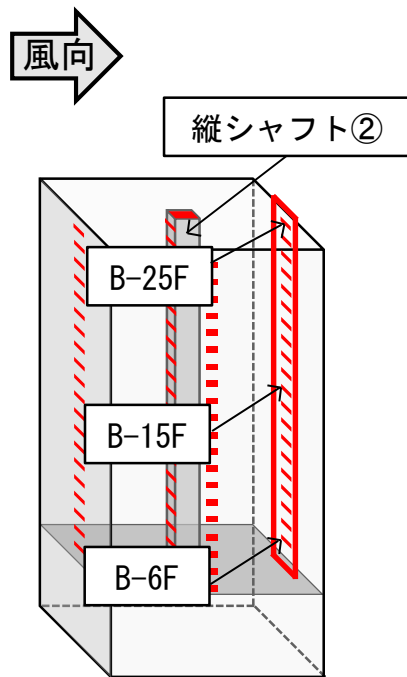
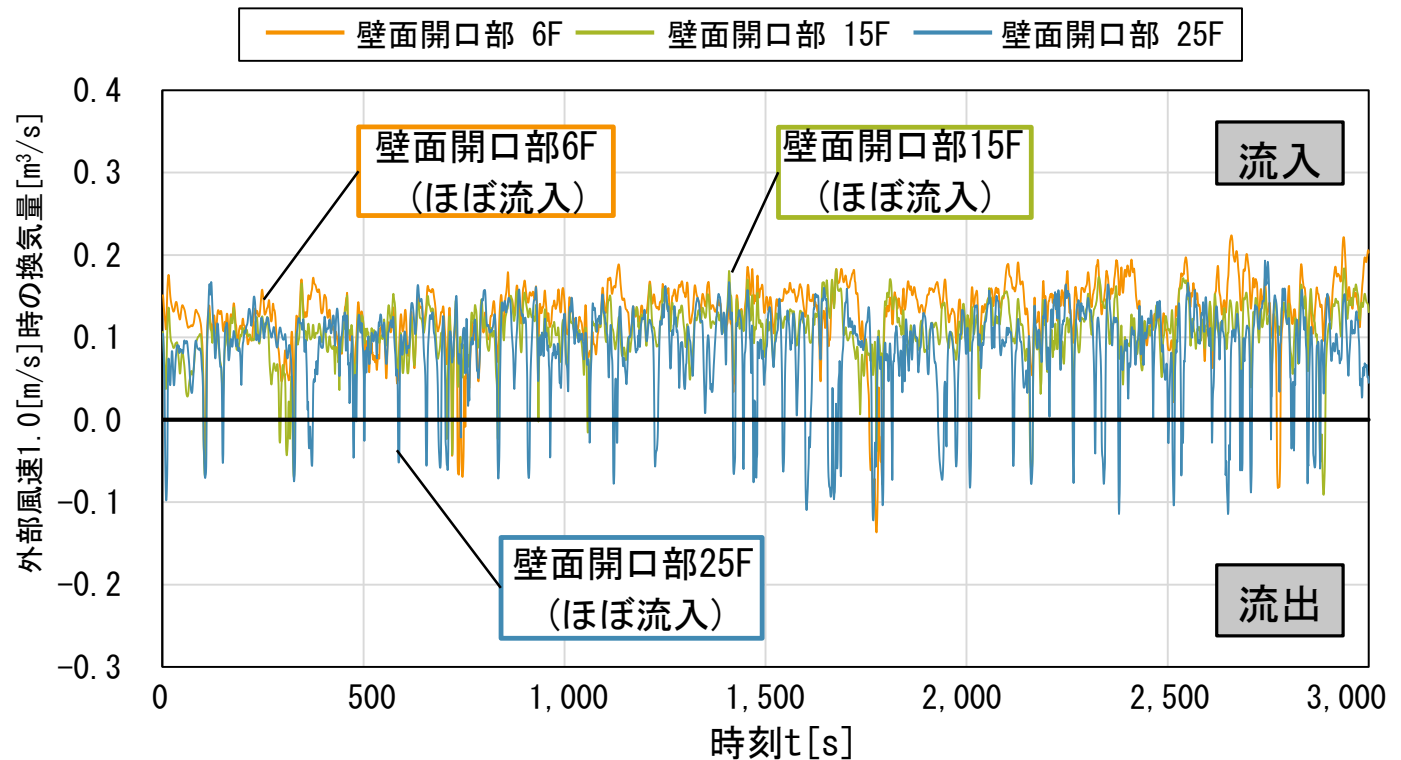


図 建物モデル
壁面開口部Bを開放



(b) case2-2 (壁面開口部B、縦シャフト②)

図4 6F、15F、25Fの壁面開口部の流入出量の時系列データ

case2-2 (壁面開口部B、縦シャフト②)

6F、15F、25Fのどの壁面開口部でもほぼ流入するが、流出する時刻もある。屋上開口部からは**ほぼ流出**するが、流入する時刻もある。

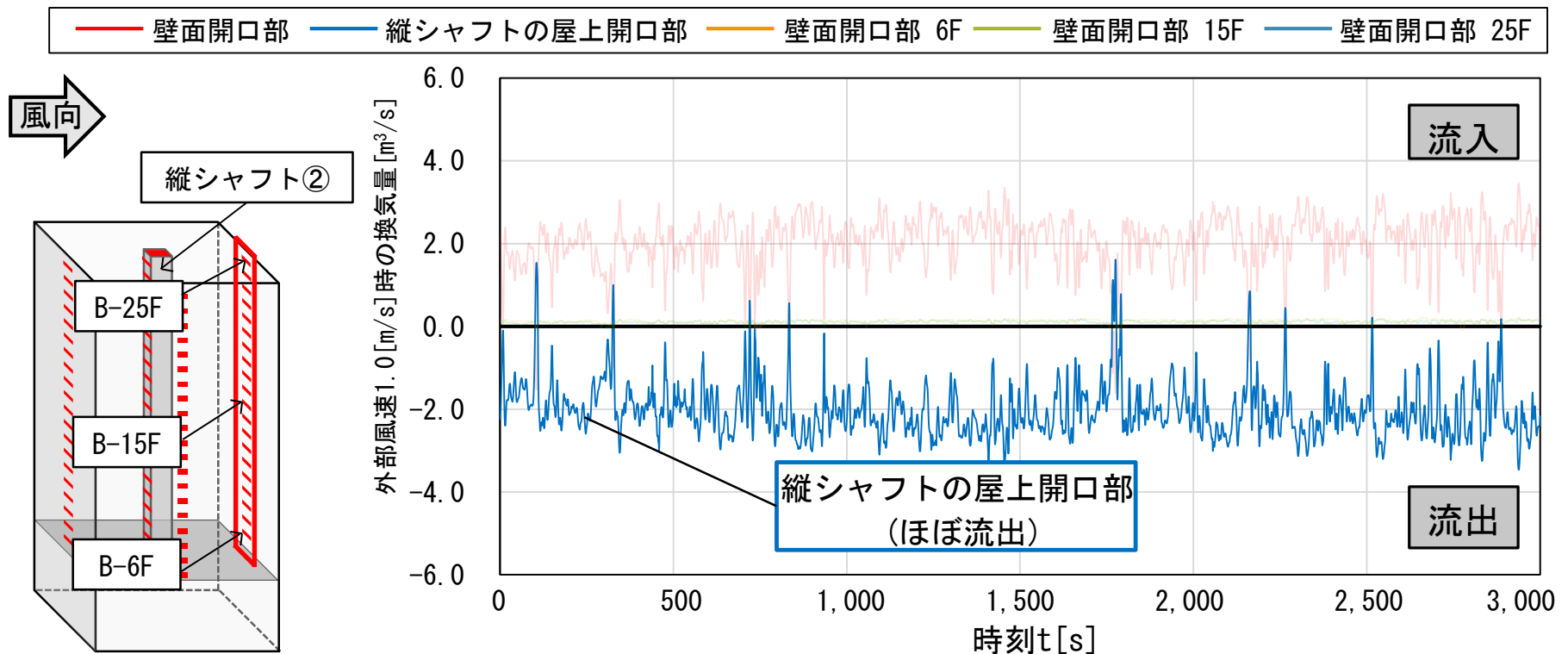


図 建物モデル
壁面開口部Bを開放

(b) case2-2 (壁面開口部B、縦シャフト②)

図3 壁面開口部(6~25Fの合計、6F、15F、25F)と縦シャフトの屋上開口部の流入出量の時系列データ

case3-2 (壁面開口部 C、縦シャフト②)

壁面の開口部と縦シャフトの屋上開口部の両方で**流入**と**流出**が生じる。

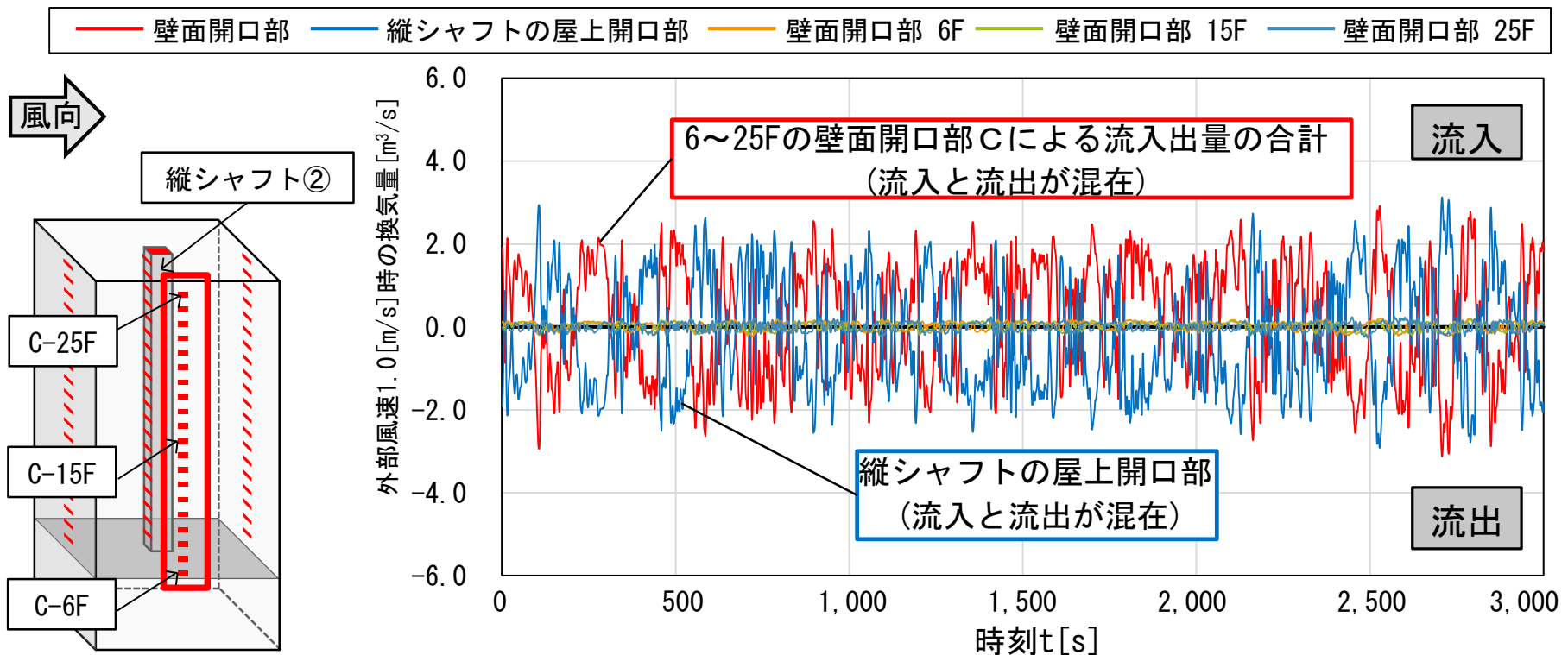


図 建物モデル
壁面開口部 C を開放

(c) case3-2 (壁面開口部 C、縦シャフト②)

図 3 壁面開口部 (6~25Fの合計、6F、15F、25F) と
縦シャフトの屋上開口部の流入出量の時系列データ

case3-2 (壁面開口部 C、縦シャフト②)

瞬間的に6F、15F、25Fの壁面開口部の流入出が頻繁に変化する。また、屋上開口部の流入出も頻繁に変化する。

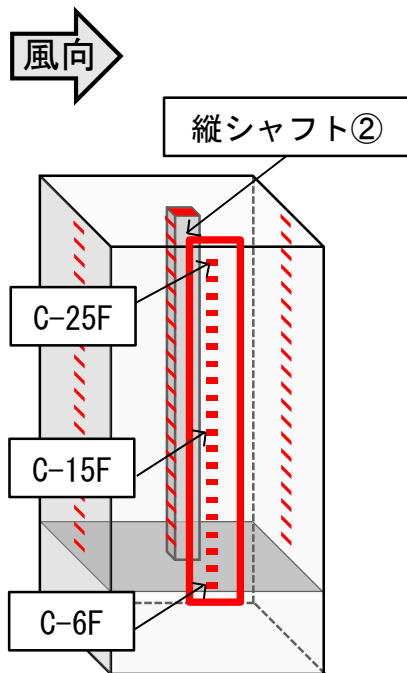
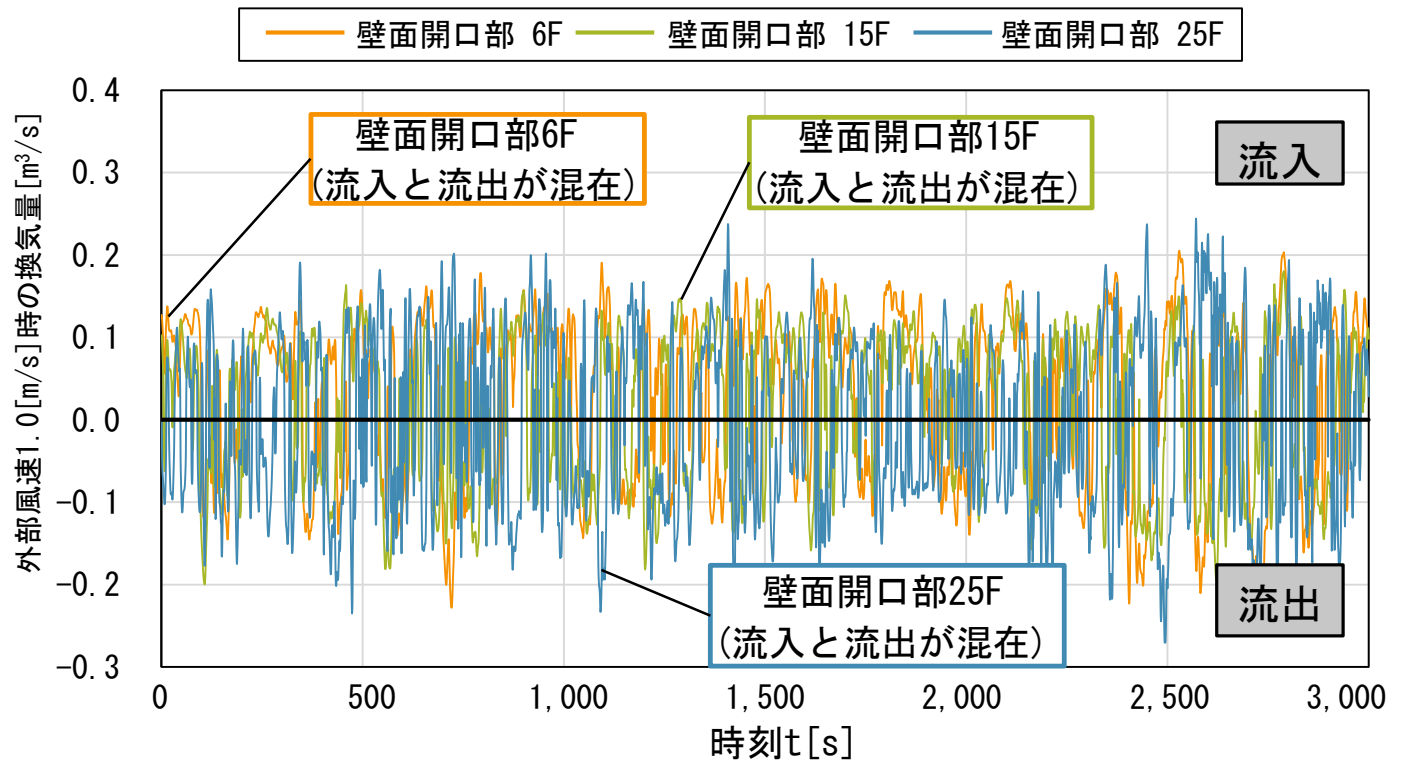


図 建物モデル
壁面開口部 C を開放



(c) case3-2 (壁面開口部 C、縦シャフト②)

図 4 6F、15F、25Fの壁面開口部の流入出量の時系列データ

case3-2 (壁面開口部 C、縦シャフト②)

瞬間的に6F、15F、25Fの壁面開口部の流入出が頻繁に変化する。また、屋上開口部の流入出も頻繁に変化する。

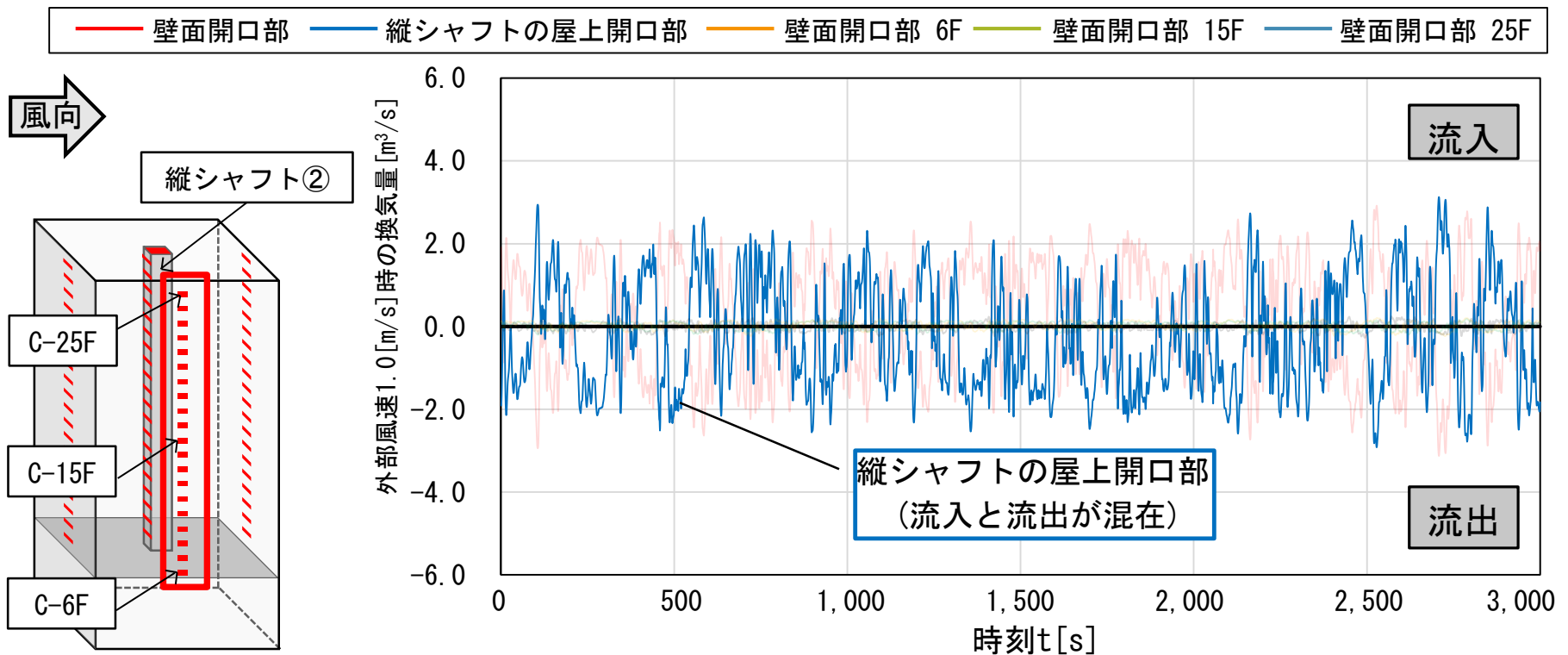


図 建物モデル
壁面開口部 C を開放

(c) case3-2 (壁面開口部 C、縦シャフト②)

図 3 壁面開口部 (6~25Fの合計、6F、15F、25F) と
縦シャフトの屋上開口部の流入出量の時系列データ

換気量の比較

換気量は基準風速※³ (3.34[m/s]) で除し、外部平均風速 1.0[m/s]の時の換気量で示す。

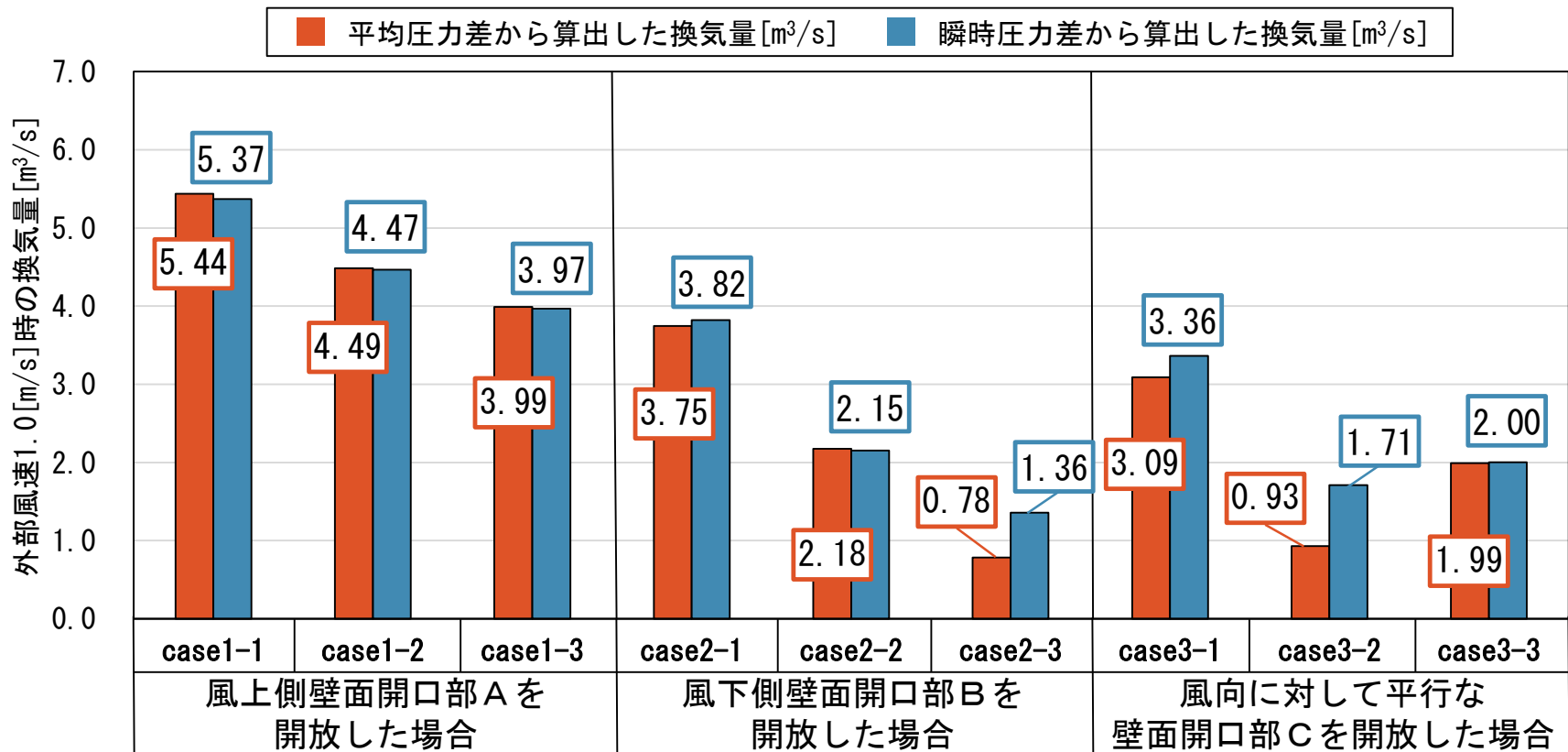


図 5 平均圧力差から算出した換気量と圧力変動を考慮した換気量

※³ 基準風速は気流が建物の影響を受けない上空 (x=750[m]、y=450[m]、z=800[m]) の時間平均値を1/4乗則を基に軒高(100[m])に換算した風速とする。

case1 (壁面開口部 A を開放)

平均圧力差から算出した換気量は $3.99 \sim 5.44 [\text{m}^3/\text{s}]$ 、圧力変動を考慮した換気量は $3.97 \sim 5.37 [\text{m}^3/\text{s}]$ であり、**case1-1～1-3 (縦シャフト①～③) の全caseで平均圧力差から算出した換気量と圧力変動を考慮した換気量はほぼ同様である。**

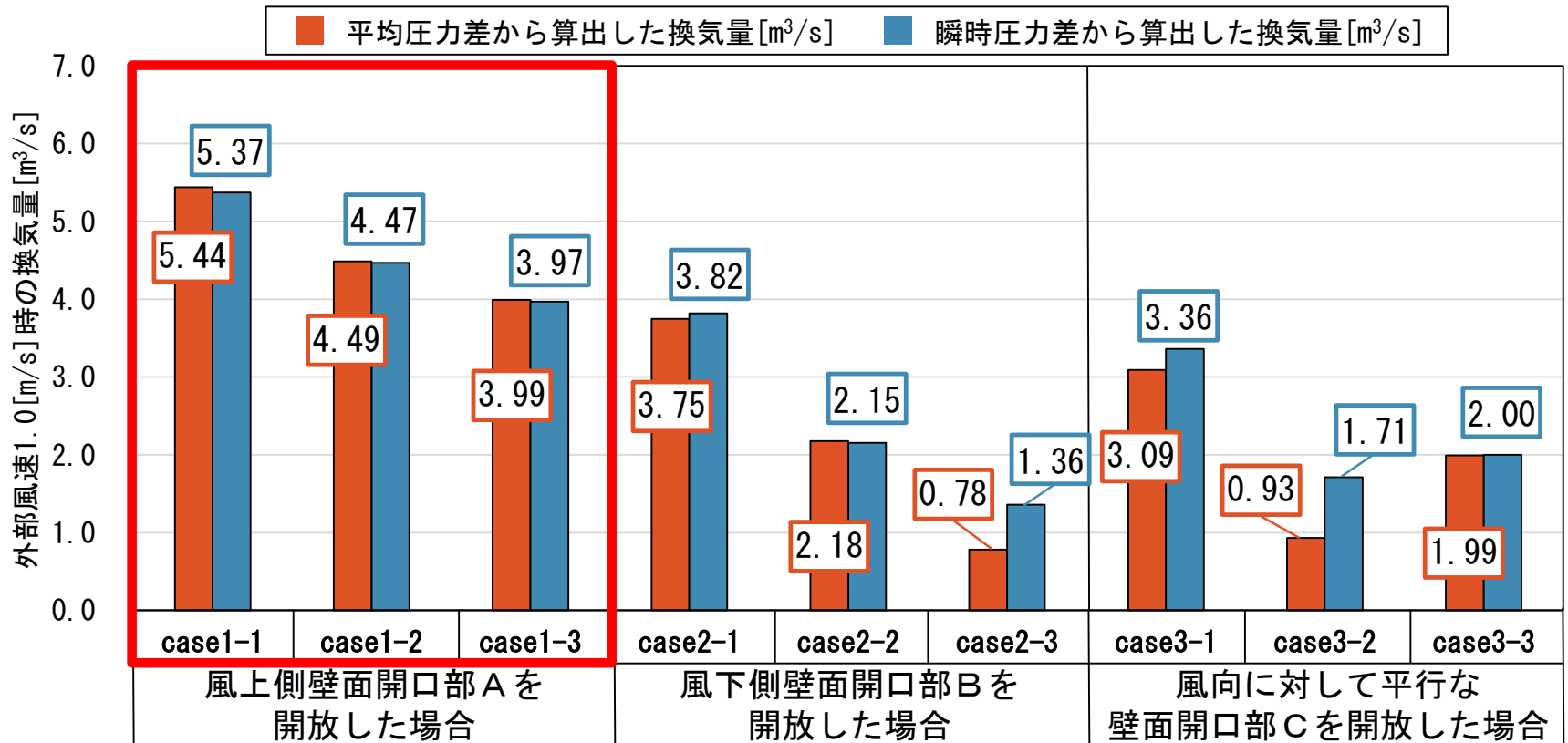


図 5 平均圧力差から算出した換気量と圧力変動を考慮した換気量

case2 (壁面開口部 B を開放)

case2-1、2-2 (縦シャフト①、②) の場合、平均圧力差から算出した換気量は3.75、2.18[m³/s]、圧力変動を考慮した換気量は3.82、2.15[m³/s]であり、平均圧力差から算出した換気量と圧力変動を考慮した換気量はほぼ同様である。

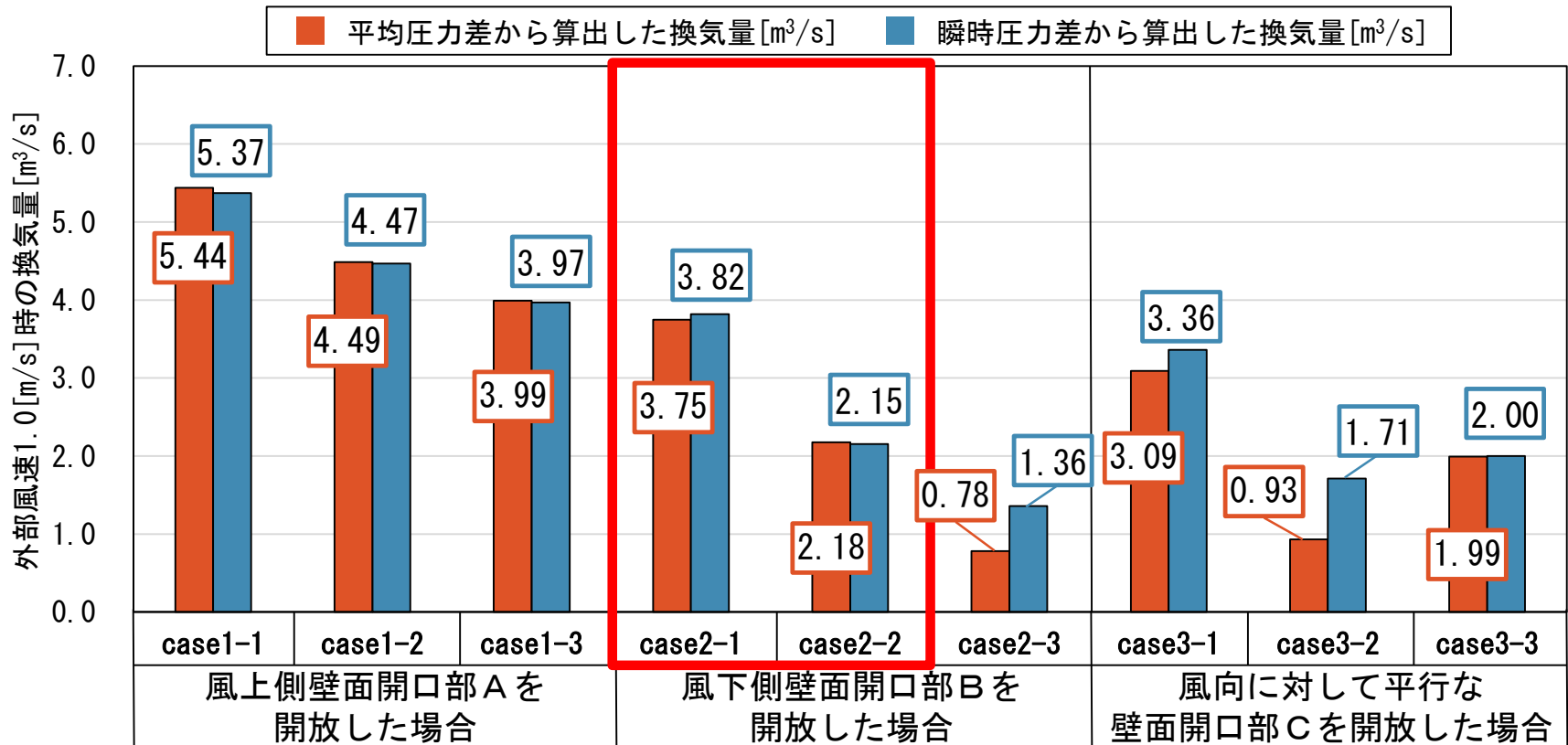


図 5 平均圧力差から算出した換気量と圧力変動を考慮した換気量

case2 (壁面開口部 B を開放)

case2-3 (縦シャフト③) の場合、平均圧力差から算出した換気量は $0.78[\text{m}^3/\text{s}]$ 、圧力変動を考慮した換気量は $1.36[\text{m}^3/\text{s}]$ であり、圧力変動を考慮した換気量は平均圧力差から算出した換気量に比較して約1.7倍になる。

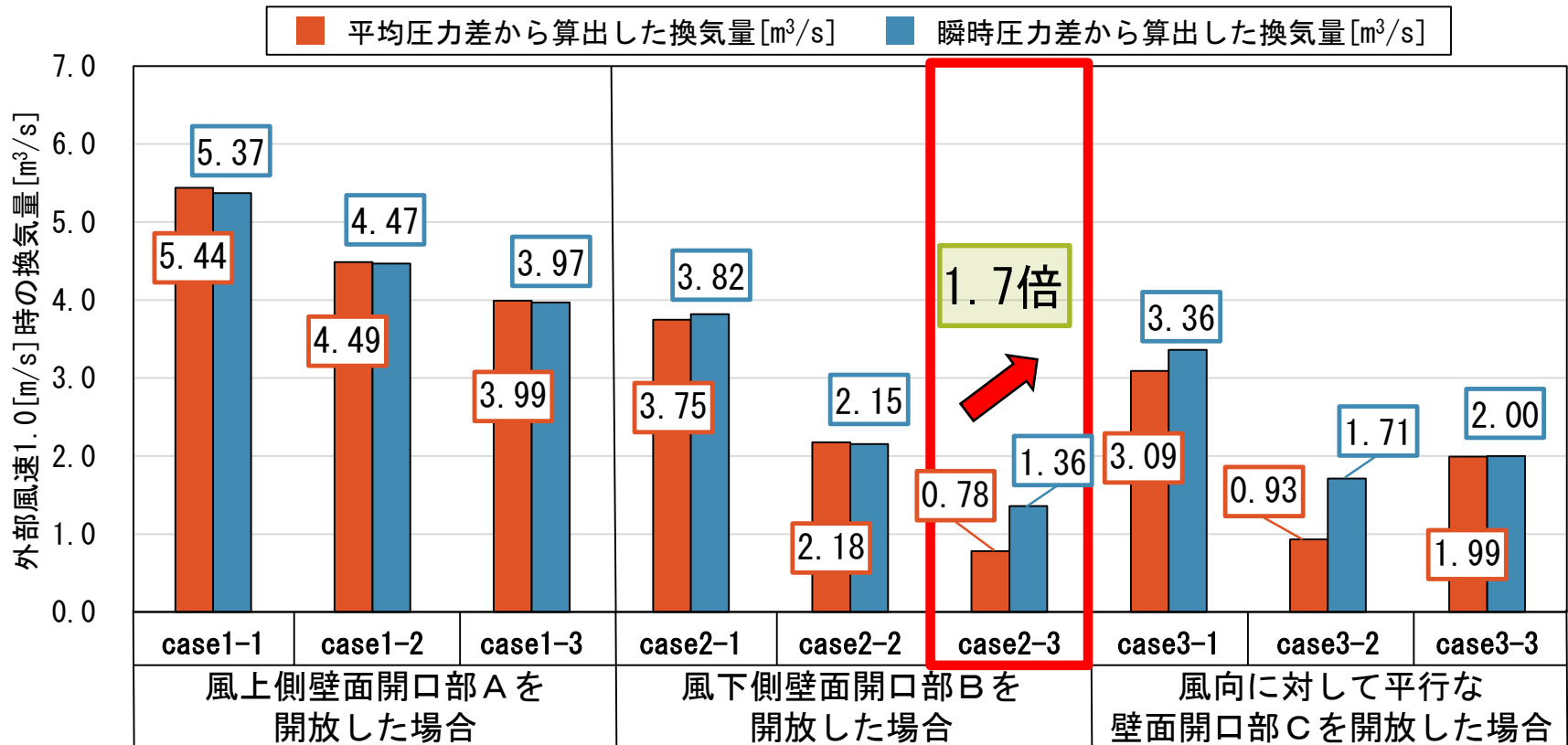


図 5 平均圧力差から算出した換気量と圧力変動を考慮した換気量

case3 (壁面開口部 C を開放)

case3-1、3-3 (縦シャフト①、③) の場合、平均圧力差から算出した換気量は3.09、1.99[m³/s]、圧力変動を考慮した換気量は3.36、2.00[m³/s]であり、平均圧力差から算出した換気量と圧力変動を考慮した換気量はほぼ同様である。

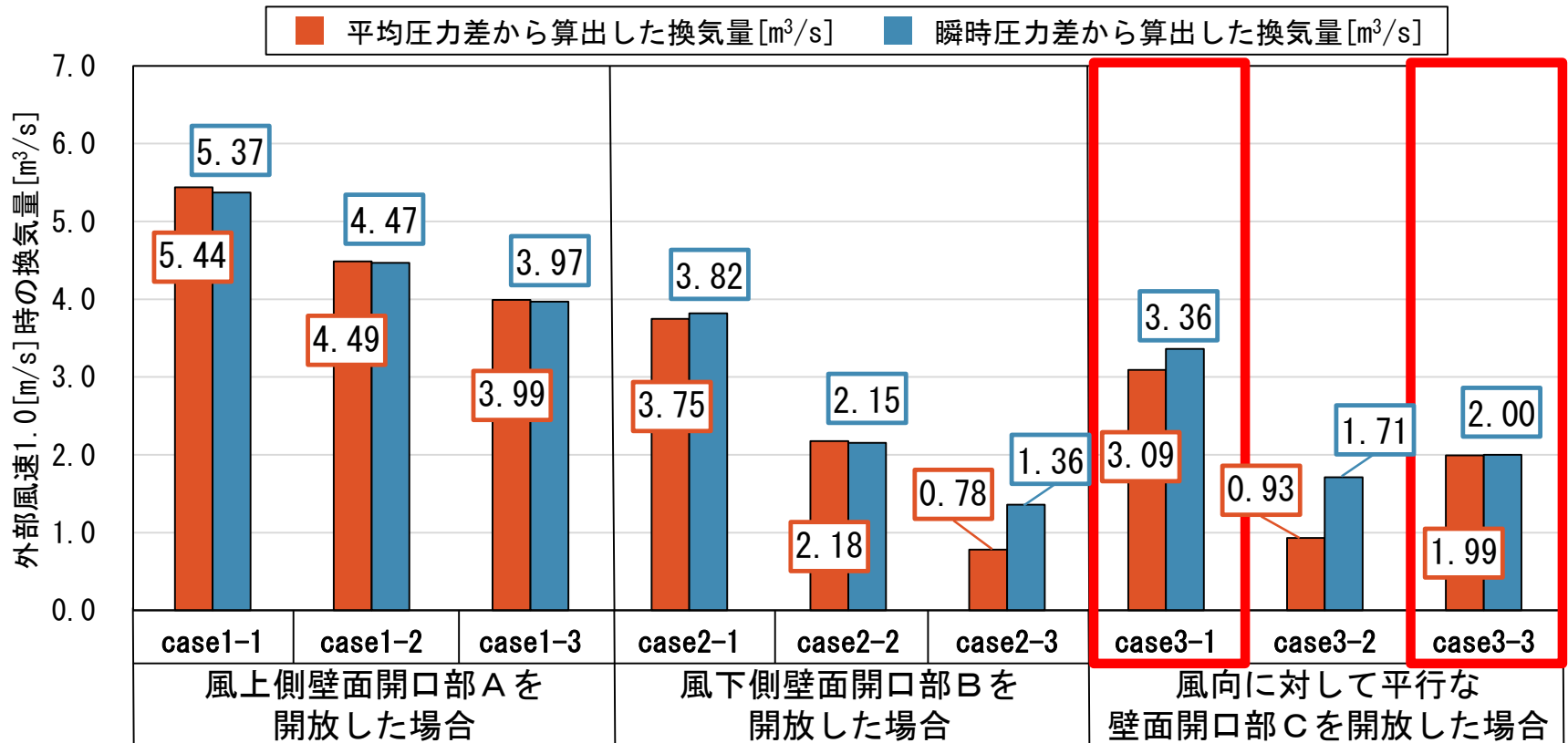


図 5 平均圧力差から算出した換気量と圧力変動を考慮した換気量

case3 (壁面開口部 C を開放)

case3-2 (縦シャフト②) の場合、平均圧力差から算出した換気量は $0.93 [\text{m}^3/\text{s}]$ 、圧力変動を考慮した換気量は $1.71 [\text{m}^3/\text{s}]$ であり、圧力変動を考慮した換気量は平均圧力差から算出した換気量に比較して約1.8倍になる。

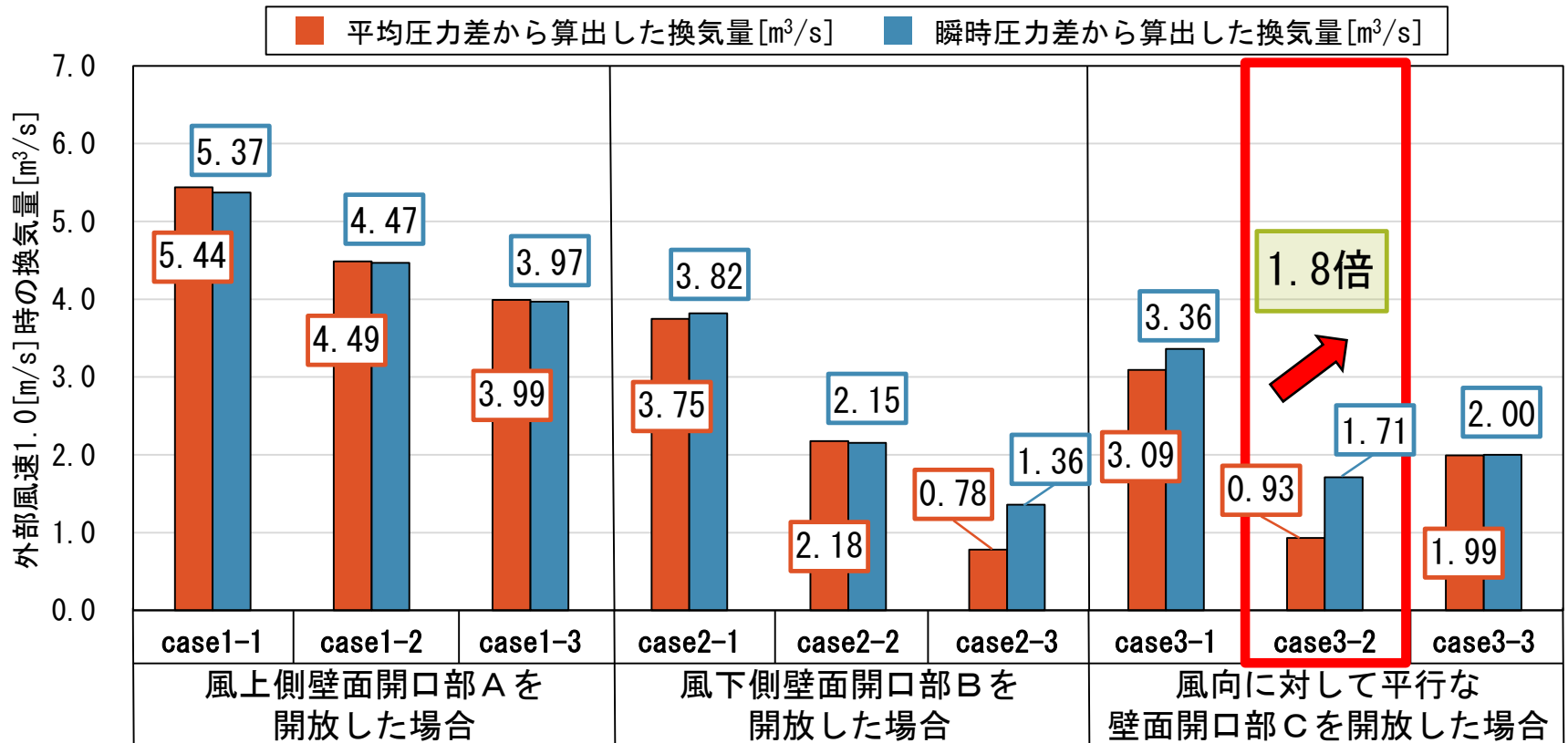


図 5 平均圧力差から算出した換気量と圧力変動を考慮した換気量

- ①風上側壁面の開口部Aを開放した場合（case1）、縦シャフトが①～③のどの位置でも、平均圧力差から算出した換気量と、外部風の変動による圧力変動を考慮した場合の換気量はほぼ同様である。
- ②風下側壁面の開口部Bを開放した場合（case2）、縦シャフト③では平均圧力差から算出した換気量に比較して、外部風の変動による圧力変動を考慮することで、流入出が非定常的に変化し約1.7倍の換気量が得られる。
- ③風向に対して平行な壁面の開口部Cを開放した場合（case3）、縦シャフト②では平均圧力差から算出した換気量に比較して、外部風の変動による圧力変動を考慮することで、流入出が非定常的に変化し、約1.8倍の換気量が得られる。
- ④時間平均圧力差がほぼ0でも、瞬時的には圧力差が生じ、圧力変動を考慮した換気量は平均圧力差から算出した換気量に比較して大きくなる。