

LES (Large-Eddy Simulation) による住宅の自然換気・通風性状に関する研究

本田 美穂  
指導教員  
赤林伸一教授

1 研究目的

建物の自然換気・通風性能の評価において気流の非定常性を考慮した実現象により近い現象の再現は極めて重要である。建物の換気・通風性能の評価に関する既往の研究では、数値流体解析 (CFD) の手法として、RANS モデルを使用し、定常状態の流体现象の再現を行っている場合が多い。

通風現象には、定常的には通風が得られないにもかかわらず、非定常的には通風が得られる開口条件が存在する。例えば、風向に対し対称な位置に開口を 2 箇所設けた場合等である。この条件下では、平均的には開口部が存在する位置において圧力分布は同等となり、開口部から気流は流入せず、通風は得られないとされる。しかし、実際には、外壁面の圧力分布は非定常的な接近流の風向・風速の変動により時々刻々と変化する為、両開口部の圧力分布には非定常的に正負が現れ、室内に気流が流入出する様子が観察されている。

つまり、実現象は時々刻々と変化する、定常状態を保ち続けることは無い。この為、定常的な解析による自然換気・通風性能評価だけでは非定常状態の実現象を評価するのには不十分であり、実現象を詳細に再現した非定常かつ変動気流を考慮した解析手法による自然換気・通風

表 1 解析 case

|         | case1 | case2 | case3 | case4 | case5 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 単純住宅モデル | モデルA  | モデルB  | モデルC  | モデルD  | モデルE  |

表 2 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]           |                              |                          |
| 単純住宅モデル    | 0.3(x) × 0.3(y) × 0.3(z)[m]           |                              |                          |
| 開口面積       | 0.04 × 0.04 = 0.0016[m <sup>2</sup> ] |                              |                          |
| 境界条件       | 流入                                    | ドライバー領域により作成                 |                          |
|            | 流出                                    | 自然流出                         |                          |
|            | 壁境界                                   | Ymin,Ymax,Zmax面              | フリースリップ                  |
|            |                                       | Zmin面                        | 拡張型ノースリップ <sup>文7)</sup> |
|            |                                       | 部品面                          | 拡張型ノースリップ <sup>文7)</sup> |
| 流体と接する全ての面 |                                       | 拡張型ノースリップ <sup>文7)</sup>     |                          |
| 解析時間       | プレ解析                                  | 2.6[s]                       |                          |
|            | 本解析                                   | 10.0[s]                      |                          |
| 時間刻み Δt    | 1.0 × 10 <sup>-5</sup> [s]            |                              |                          |
| 温度         | 等温                                    |                              |                          |
| 初期乱流場      | 流入                                    | 1/4乗則(基準高さ1.0[m]、流速5.0[m/s]) |                          |
|            | 変動成分                                  | 流速成分uの振幅                     | 1.0[m/s]                 |
|            |                                       | 流速成分vの振幅                     | 3.0[m/s]                 |
|            |                                       | 流速成分wの振幅                     | 3.0[m/s]                 |
| 最小メッシュ幅    | 0.005[m]                              |                              |                          |
| 解析領域メッシュ数  | 210(x) × 148(y) × 117(z)=3,636,360    |                              |                          |

性能評価が必要である。

既往の非定常流に関する研究<sup>文1~3)</sup>では建物や街区周辺の非定常流体现象の予測技術として Large-Eddy Simulation (以下 LES) を用いた乱流場の可視化・解析手法に関する検討が行われている。

本研究では LES (Dynamic 型 Smagorinsky モデル) により通風時の様々な開口条件における単純住宅モデルを対象とした解析を行い、建物周辺と建物内部の非定常流体现象を再現することで、単純住宅モデルの開口部付近における気流性状及び室内気流性状の検討を行う。

更に、非定常状態における自然換気・通風性能を評価する手法を新たに開発し、単純住宅モデルにおける自然換気・通風性能を評価することを目的とする。

2 LES 解析概要

2.1 解析対象

表 1 に解析 case を、図 1 に解析領域を、図 2 に単純住宅モデルの平面図を示す。解析対象は 300 [mm] (長さ)

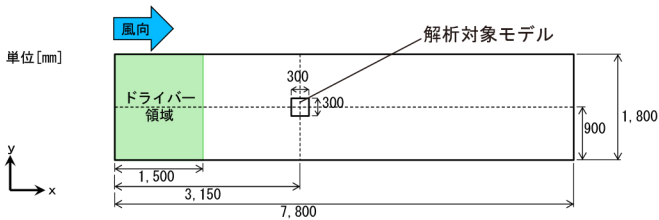


図 1 解析領域

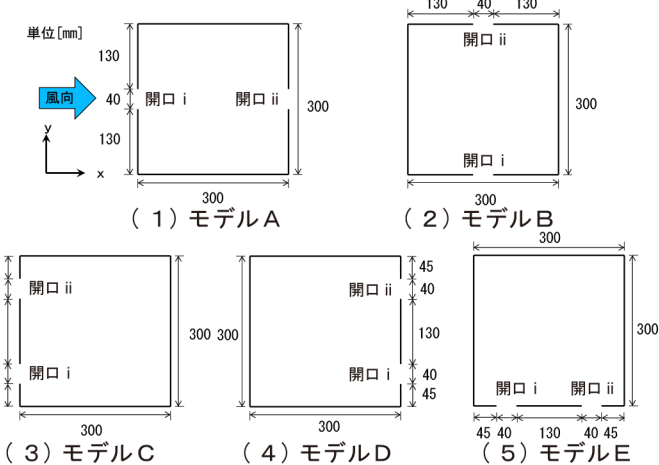


図 2 単純住宅モデルの平面図

× 300[mm] (高さ) × 300[mm] (幅) の単純住宅モデルとする。モデルAでは風上側と風下側壁面中央部に、モデルBでは風向に対し平行な両方の壁面中央部に其々開口を設ける。モデルCでは風上側壁面に、モデルDでは風下側壁面に開口を風向に対して対象に2箇所設ける。モデルEでは風向に対し平行な1つの壁面に開口を風上、風下に2箇所設ける。開口部の大きさは40[mm] (高さ) × 40[mm] (幅) とし、地表面から高さ150[mm] の位置を開口の中心とする。モデルC～モデルEの開口同士の間隔は130[mm] とする。解析領域は、風洞を模擬し、7,800[mm] (長さ) × 1,800[mm] (高さ) × 1,800[mm] (幅) とする。

## 2.2 解析条件

表2に解析条件を示す。本研究によるLES解析には汎用数値流体解析ソフトSTREAM ver.9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、等温で解析する。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>7)</sup>を用いる。

本研究におけるLES解析は、まず、開口部が無い単純住宅モデルでドライバー領域<sup>※1</sup>を作成し、流入変動気流を作成する為の解析 (プレ解析) を行う。次に開口を有する単純住宅モデルに対して流入させて解析 (本解

析) を行い、室内気流分布及び開口部付近における気流性状の検討を行う。

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] として与え、計算開始後2.6[s]までをプレ解析とする。又、本解析開始後2.0[s]間は開口を開けてからモデル内部に気流場が形成される移行期間として破棄し、4.6[s]～14.6[s]までの計10.0[s]間を本解析の結果として用いる。

ドライバー領域下流端部 ( $x = 1,500$  [mm]) での基準高さ ( $z = 1,000$  [mm]) における平均流速は5.0[m/s]、モデル軒高 (地表面から高さ300[mm]) における平均流速は3.74[m/s]である。

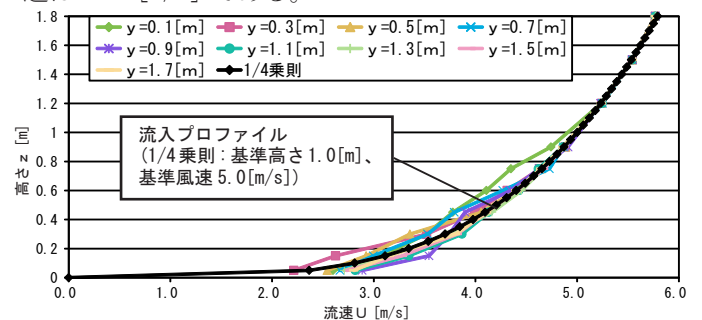


図3 流入変動気流のy方向の平均流速分布 (ドライバー領域下流端部:  $x = 1,500$  [mm])

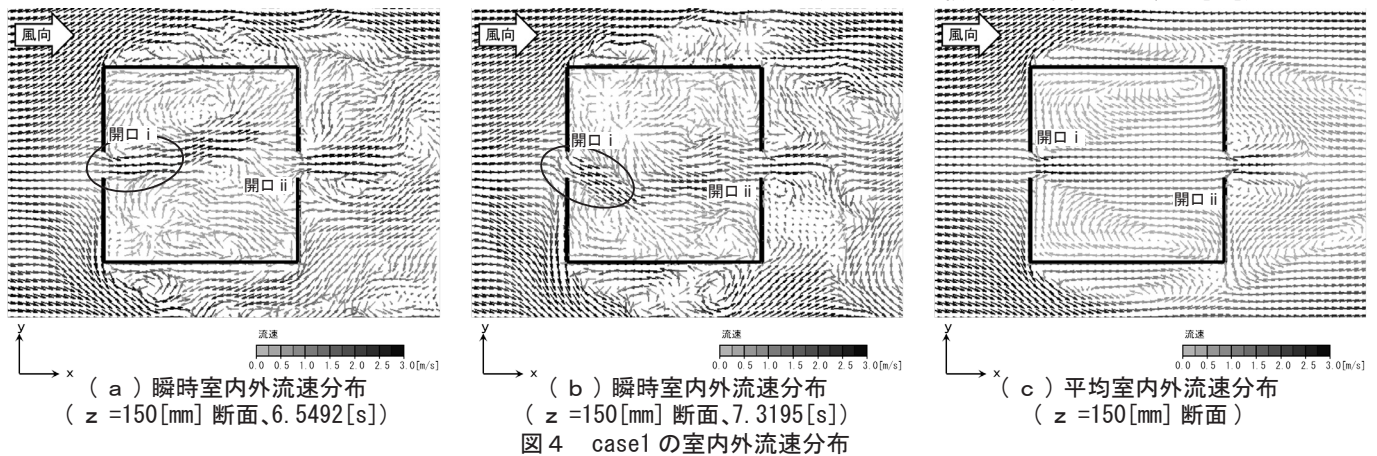


図4 case1の室内外流速分布

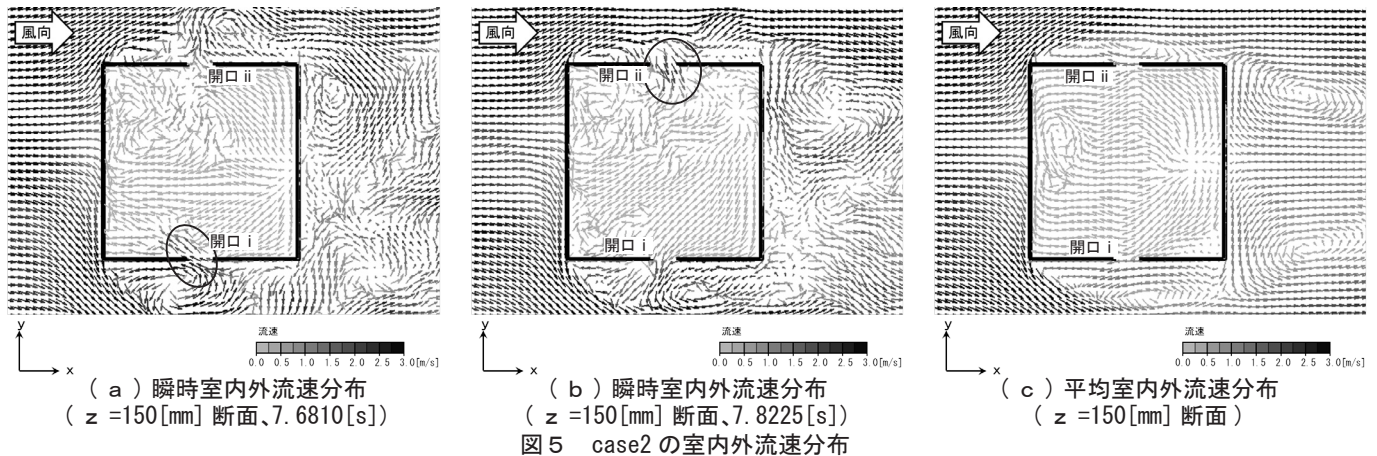


図5 case2の室内外流速分布

### 3 解析結果

#### 3.1 プレ解析の結果

図3に流入変動気流のy方向の平均流速分布（ドライバー領域下流端部：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。

#### 3.2 風上側と風下側に開口を有する場合（case1）

図4に case1 の室内外流速分布を示す。（c）の平均室内外流速分布では、風上側の開口 i から風下側の開口 ii まで直線的な流れ場が生じている。瞬時室内外流速分布は、（a）では開口 i から流速 3.0[m/s] 程度で y 正方向へ流入しているが、（b）では開口 i から流速 3.0[m/s] 程度で y 負方向へ流入している。これらより、瞬時では y 方向に振幅しながら流入していることがわかる。又、流入した気流は室内隅角部で渦を生じさせている。モデル周辺では、外壁側面付近で、剥離流が生じ、逆流が生じている。

3.3 風向に対し平行な両壁面に開口を有する場合（case2）：図5に case2 の室内外流速分布を示す。（c）の平均室内外流速分布では、モデル室内に気流が流入する様子が殆ど見られない。しかし、瞬時室内外流速分布は、（a）では図下部に位置する開口 i から 2.0[m/s] 程度で気流が流入している。それに対し、（b）では図上部に位置する開口 ii から流速 2.0[m/s] 程度で流入しており、開口 i と開口 ii に交互に気流が流入している。モデル周辺では、外壁側面付近で、剥離流が生じ、逆流が生じている。

#### 3.4 風向に対し平行な1壁面に開口を2箇所有する場合（case5）

図6に case5 の室内外流速分布を示す。（b）の平均室内外流速分布では、風向に対して平行な1壁面の

風上、風下に設けた2箇所の開口の内、風下側の開口 ii から流速 1.3[m/s] 程度で気流が流入し、モデル内部を循環する流れ場を形成する。瞬時流入風速は 2.5[m/s] 程度であり、気流は開口部が存在する内壁面に沿って流入する。モデル内部では室内全体で複雑な気流場を形成する。モデル周辺では、外壁側面付近で、剥離流が生じ、逆流が生じている。

### 4 RANS（定常気流の場合）との比較

#### 4.1 RANS の解析条件

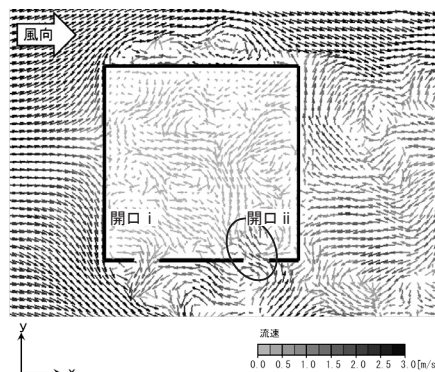
本研究で使用する RANS モデルは標準 k-ε モデルとする。表3に標準 k-ε モデルの解析 case を、表4に標準 k-ε モデルの解析条件を示す。等温で解析する。

表3 標準 k-ε モデルの解析 case

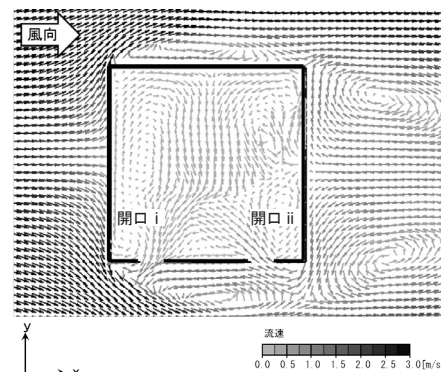
|         | case6 | case7 | case8 | case9 | case10 |
|---------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 単純住宅モデル | モデルA  | モデルB  | モデルC  | モデルD  | モデルE   |

表4 標準 k-ε モデルの解析条件

| 乱流モデル      |     | 標準k-εモデル                          |         |
|------------|-----|-----------------------------------|---------|
| 解析領域       |     | 7.8(x)×1.8(y)×1.8(z)[m]           |         |
| 単純住宅モデル    |     | 0.3(x)×0.3(y)×0.3(z)[m]           |         |
| 開口面積       |     | 0.04×0.04=0.0016[m <sup>2</sup> ] |         |
| 境界条件       | 流入  | 1/4乗則(基準高さ1.0[m]、流速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                             | ノースリップ  |
|            |     | 部品面                               | ノースリップ  |
| 流体と接するすべての |     | ノースリップ                            |         |
| 解析時間       |     | 6.0[s]                            |         |
| 時間刻みΔt     |     | 1.0×10 <sup>-5</sup> [s]          |         |
| 温度         |     | 等温                                |         |
| 最小メッシュ幅    |     | 0.005[m]                          |         |
| 解析領域メッシュ数  |     | 145(x)×122(y)×88(z)=1,556,720     |         |



(a) 瞬時室内外流速分布  
(z = 150[mm] 断面、7.2880[s])



(b) 平均室内外流速分布  
(z = 150[mm] 断面)

図6 case5の室内外流速分布

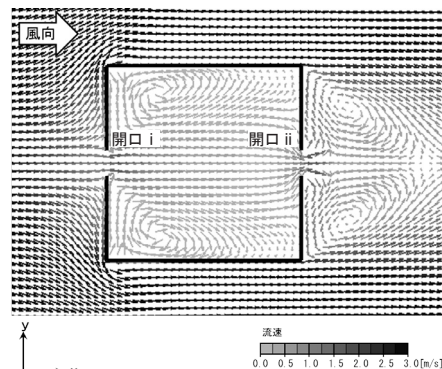


図7 case6の室内外流速分布  
(z = 150[mm] 断面)

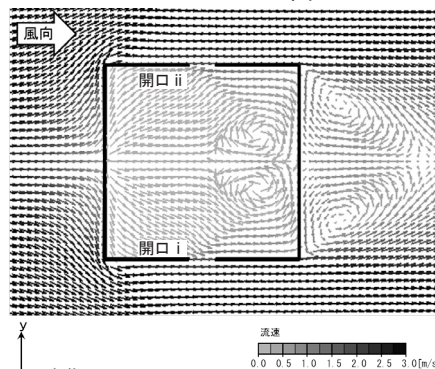


図8 case7の室内外流速分布  
(z = 150[mm] 断面)

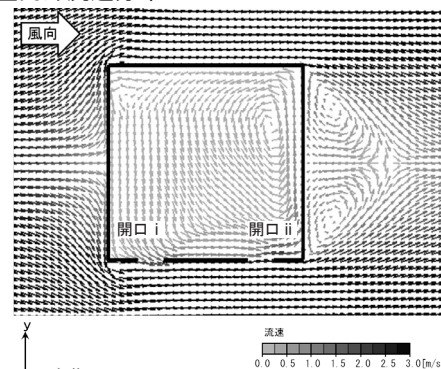


図9 case10の室内外流速分布  
(z = 150[mm] 断面)

## 4.2 RANS の解析結果

### 4.2.1 風上側と風下側に開口を有する場合 (case6)

図 7 に case6 の室内外流速分布 ( $z = 150[\text{mm}]$  断面) を示す。流速  $2.0[\text{m/s}]$  程度で開口 i に垂直に気流が流入しており、開口 i から開口 ii まで直線的な流れ場が生じている。これは case1 の平均と同様であるが、case6 の方が流速が僅かに遅くなっている。モデル周辺では、case1 では外壁側面付近で、剥離流や逆流が生じていたが、case6 では生じていない。

4.2.2 風向に対し平行な両壁面に開口を有する場合 (case7): 図 8 に case7 の室内外流速分布 ( $z = 150[\text{mm}]$  断面) を示す。モデル室内に気流が流入する様子は見られない。これは case2 の平均と同様である。モデル周辺では、case2 では外壁側面付近で、剥離流や逆流が生じていたが、case7 では生じていない。

4.2.3 風向に対し平行な 1 壁面に開口を 2 箇所有する場合 (case10): 図 9 に case10 の室内外流速分布 ( $z = 150[\text{mm}]$  断面) を示す。風向に対して平行な壁面に設けた 2 箇所の開口の内、風下側の開口 ii から流速  $2.5[\text{m/s}]$  程度で気流が流入し、モデル内部を循環する流れ場を形成する。case5 の平均と比較し、case10 の方が流入する気流の流速が速い。又、case5 では外壁側面付近の逆流の影響で、流入する気流は開口 ii からモデル室内前方に向かう気流となっていたが、case10 ではモデル周囲の逆流する気流が無い為、開口 ii から風下側壁面に向かって流入している。

## 5 変動気流による自然換気・通風性能評価手法の概要

図 10 に各 case における自然換気・通風性能評価手法を示す。本研究では非定常状態における自然換気・通風性能を評価する手法として、LES 解析で得られた解析結果を用いて開口部から粒子を散布し、粒子が十分に換気性能評価領域まで達する到達率を用いる。換気性能評価領域はショートサーキット<sup>5,6)</sup>を考慮し、モデル中心線から粒子散布面と相対する壁面までを領域とする。開口部から粒子を  $1.0[\text{s}]$  毎に 100 個ずつ散布する。散布した粒子の到達数が一定となり、定常状態に達するまで  $10[\text{s}]$  間の解析結果を周期的に使用する。case1

では数値流体解析の結果より、風上側の開口部からのみ室内に流入する様子が観察された為、風上側開口部からのみ粒子を散布する。case2 では両開口部から交互に気流が流入している為、其々の開口部から 100 個ずつ散布する。case5 では風下側の開口部からの流入が殆どである為、風下側の開口部からのみ粒子を散布する。次に、換気性能評価領域に到達した粒子のみを換気に寄与する粒子として算出する。更に (1) 式により、到達率を算出し、開口部の流入量と到達率から、(2) 式を用い、有効換気量を求める。又、case1 の結果と他 case の結果から、(5) 式より有効換気量比を求める。

$$r = n_r/n_m[\%] \quad \dots (1)$$

$$Q_e = Q \cdot r[\text{m}^3/\text{h}] \quad \dots (2)$$

$$Q_s = Q/(v \cdot A)[-] \quad \dots (3)$$

$$Q_{se} = Q_s \cdot r[-] \quad \dots (4)$$

$$r_e = Q_e/Q_{e1}[-] \quad \dots (5)$$

$r$ : 到達率[%]、 $n_r$ : 到達数 [個]、 $n_m$ : 流入数 [個]、 $Q_e$ : 有効換気量 [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]、 $Q$ : 開口流入量 [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]、 $Q_s$ : 基準化流入量 [-]、 $v$ : 基準風速 ( $5.0$ ) [ $\text{m/s}$ ]、 $A$ : 開口面積 ( $0.0016$ ) [ $\text{m}^2$ ]、 $Q_{se}$ : 基準化有効換気量 [-]、 $r_e$ : 有効換気量比 [-]、 $Q_{e1}$ : case1 の有効換気量 [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

## 6 換気評価結果

### 6.1 風上側と風下側に開口を有する場合 (case1)

図 11 に case1 の各粒子数推移を、表 5 に case1 の粒子散布結果を示す。散布した全粒子がモデル室内に流入している。積算到達粒子は  $14.6[\text{s}]$  以降増加していないことから、定常に達したとみなすことが出来る。到達率は最低でも  $85[\%]$  となり、平均では  $97[\%]$  である。この結果から、基準流速  $5.0[\text{m/s}]$ 、開口面積  $0.0016[\text{m}^2]$  の時の平均有効換気量は  $10.43[\text{m}^3/\text{h}]$  となる。case1 で得られた平均有効換気量  $10.43[\text{m}^3/\text{h}]$  を基準として (5) 式の有効換気量比を求める。

6.2 風向に対し平行な両壁面に開口を有する場合 (case2): 図 12 に case2 の各粒子数推移を、表 6 に case2 の粒子散布結果を示す。散布した粒子の内、約半数の粒子がモデル室内に流入している。積算到達粒子は

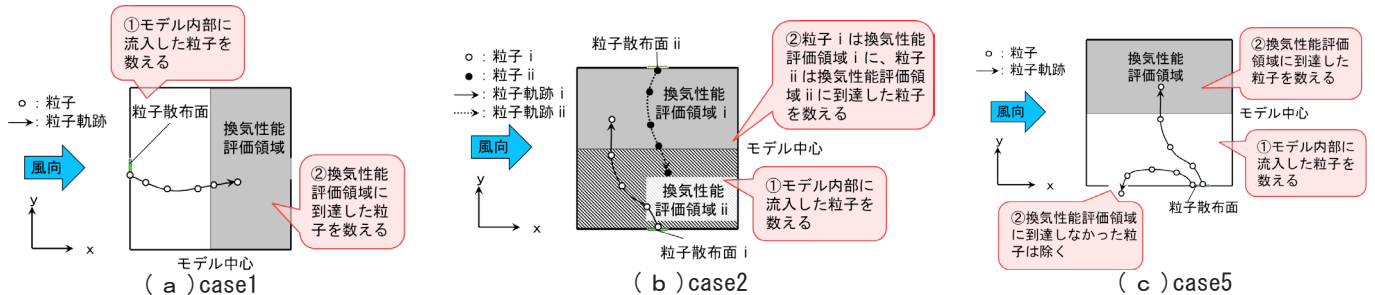


図 10 各 case における自然換気・通風性能評価手法

22.6[s]以降は増加していない為、定常に達したとみなすことが出来る。到達率は平均で42[%]である。この結果から、基準流速5.0[m/s]、開口面積0.0016[m<sup>2</sup>]の時の平均有効換気量は0.98[m<sup>3</sup>/h]となる。有効換気量比は0.0937である。

6.3 風向に対し平行な1壁面に開口を2箇所有する場合 (case5)：図13にcase5の各粒子数推移を、表7にcase5の粒子散布結果を示す。散布した粒子の内、約8割の粒子がモデル室内に流入している。積算到達粒子は16.6[s]以降増加していない為、定常に達したとみなすことが出来る。到達率は平均で49[%]である。この結果から、基準流速5.0[m/s]、開口面積0.0016[m<sup>2</sup>]の時の平均有効換気量は1.70[m<sup>3</sup>/h]となる。有効換気量比は0.1626である。

6.4 各 case の比較

図14に各caseの有効換気量比を示す。case2では平均で0.0937、case3では平均で0.1685、case4では平均で0.1154、case5では平均で0.1626である。定常的には通風を得られないとされるcase2～case4についても非定常気流による換気量が得られる。

6.5 LES と RANS の換気量の比較

図15に各caseの有効換気量を、図16に各caseの換気回数と有効換気量比を示す。ここで、case6～case10の有効換気量については開口流入量をそのまま用いることとする。有効換気量はcase1では10.43[m<sup>3</sup>/h]、case6では7.668[m<sup>3</sup>/h]となっており、LESによる解析の方が換気量が多い。

case2では2.32[m<sup>3</sup>/h]、case7では0.0[m<sup>3</sup>/h]である。これはRANSでは流入風が見られなかったのに対し、LES

では交互に流入する様子が見られたことによる。つまり、定常的には換気に寄与する気流が得られないとされる対称的な開口を有する建物においても、非定常気流によって換気に寄与する気流が生じている。case3、case4、case8、case9の場合も同様であり、case8、case9では

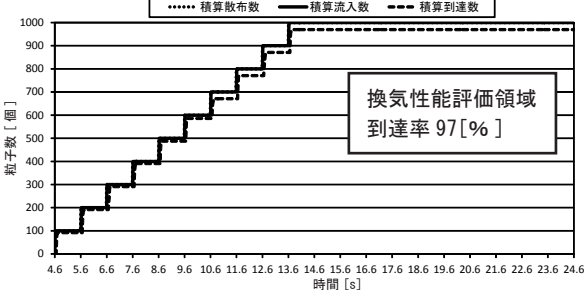


図 11 case1 の各粒子数推移

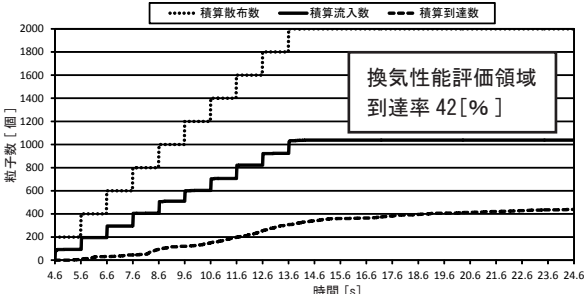


図 12 case2 の各粒子数推移

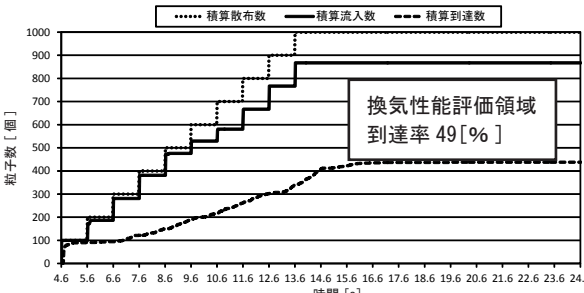


図 13 case5 の各粒子数推移

表 5 case1 の粒子散布結果

| 粒子散布<br>タイミング[s] | 粒子散布数[個] | 流入数[個] | 到達数[個] | 到達率[%] | 開口流入量<br>[m <sup>3</sup> /h] | 有効換気量<br>[m <sup>3</sup> /h] | 換気回数<br>[回/h] | 基準化流入量   | 基準化有効換気<br>量 | 有効換気量比 |
|------------------|----------|--------|--------|--------|------------------------------|------------------------------|---------------|----------|--------------|--------|
| 4.6              | 100      | 100    | 92     | 92%    | 11.48                        | 10.56                        | 391.13        | 1434.86  | 1320.07      | 1.0129 |
| 5.6              | 100      | 100    | 100    | 100%   | 11.00                        | 11.00                        | 407.36        | 1374.82  | 1374.82      | 1.0549 |
| 6.6              | 100      | 100    | 99     | 99%    | 10.14                        | 10.04                        | 371.81        | 1267.55  | 1254.87      | 0.9629 |
| 7.6              | 100      | 100    | 100    | 100%   | 10.05                        | 10.05                        | 372.28        | 1256.45  | 1256.45      | 0.9641 |
| 8.6              | 100      | 100    | 97     | 97%    | 10.76                        | 10.44                        | 386.49        | 1344.76  | 1304.42      | 1.0009 |
| 9.6              | 100      | 100    | 98     | 98%    | 10.74                        | 10.52                        | 389.67        | 1341.96  | 1315.12      | 1.0091 |
| 10.6             | 100      | 100    | 85     | 85%    | 10.10                        | 8.59                         | 317.98        | 1262.58  | 1073.19      | 0.8235 |
| 11.6             | 100      | 100    | 100    | 100%   | 10.81                        | 10.81                        | 400.22        | 1350.75  | 1350.75      | 1.0365 |
| 12.6             | 100      | 100    | 100    | 100%   | 11.12                        | 11.12                        | 412.04        | 1390.62  | 1390.62      | 1.0670 |
| 13.6             | 100      | 100    | 99     | 99%    | 11.25                        | 11.14                        | 412.46        | 1406.12  | 1392.06      | 1.0682 |
| 合計               | 1000     | 1000   | 970    | 97%    | 107.44                       | 104.26                       | 3861.45       | 13430.48 | 13032.39     | -      |
| 平均               | 100      | 100    | 97     | 97%    | 10.74                        | 10.43                        | 386.14        | 1343.05  | 1303.24      | 1.0000 |

表 6 case2 の粒子散布結果

| 粒子散布<br>タイミング[s] | 粒子散布数[個] | 流入数[個] | 到達数[個] | 到達率[%] | 開口流入量<br>[m <sup>3</sup> /h] | 有効換気量<br>[m <sup>3</sup> /h] | 換気回数<br>[回/h] | 基準化流入量  | 基準化有効換気<br>量 | 有効換気量比 |
|------------------|----------|--------|--------|--------|------------------------------|------------------------------|---------------|---------|--------------|--------|
| 4.6              | 200      | 93     | 43     | 46%    | 3.00                         | 1.39                         | 51.34         | 374.72  | 173.26       | 0.1329 |
| 5.6              | 200      | 102    | 37     | 36%    | 2.33                         | 0.85                         | 31.33         | 291.46  | 105.73       | 0.0811 |
| 6.6              | 200      | 102    | 48     | 47%    | 3.51                         | 1.65                         | 61.18         | 438.76  | 206.48       | 0.1584 |
| 7.6              | 200      | 109    | 54     | 50%    | 0.70                         | 0.35                         | 12.93         | 88.05   | 43.62        | 0.0335 |
| 8.6              | 200      | 104    | 39     | 38%    | 0.75                         | 0.28                         | 10.35         | 93.16   | 34.94        | 0.0268 |
| 9.6              | 200      | 93     | 44     | 47%    | 1.69                         | 0.80                         | 29.54         | 210.73  | 99.70        | 0.0765 |
| 10.6             | 200      | 104    | 48     | 46%    | 4.59                         | 2.12                         | 78.48         | 573.90  | 264.88       | 0.2032 |
| 11.6             | 200      | 115    | 61     | 53%    | 1.03                         | 0.55                         | 20.26         | 128.91  | 68.38        | 0.0525 |
| 12.6             | 200      | 102    | 36     | 35%    | 3.71                         | 1.31                         | 48.52         | 463.95  | 163.75       | 0.1256 |
| 13.6             | 200      | 114    | 29     | 25%    | 1.89                         | 0.48                         | 17.83         | 236.60  | 60.19        | 0.0462 |
| 合計               | 2000     | 1038   | 439    | 42%    | 23.20                        | 9.77                         | 361.75        | 2900.26 | 1220.91      | -      |
| 平均               | 200      | 103.8  | 43.9   | 42%    | 2.32                         | 0.98                         | 36.18         | 290.03  | 122.09       | 0.0937 |

殆ど換気量が得られていないが、case3、case4 では得ることが出来ている。

case5 では開口流入量は 2.99[m<sup>3</sup>/h] であるのに対し、case10 では 2.29[m<sup>3</sup>/h] と case10 が約 8 割程度となる。

7 まとめ

- ① LES では単純住宅モデル外壁側面周辺で剥離流や逆流が生じているが、RANS では生じていない。
- ② case1 では平均的には、風上側開口部から風下側開口部まで直線的な流れ場が生じているが、瞬時では y 方向に振幅しながら流入している。又、流入した気流は室内隅角部で渦を生じさせている。
- ③ case2 では平均的にはモデル内部に気流が流入する様子が見られないが、瞬時では両開口部から交互に気流が流入している。
- ④ case5 では平均的には風向に対して平行な壁面に設けた 2 箇所の開口の内、風下側の開口 ii から気流が流入し、モデル内部を循環する流れ場を形成する。モデル内部では室内全体で複雑な気流場を形成する。
- ⑤ case1 の粒子散布結果は、散布した全粒子がモデル室内に流入し、到達率は最低でも 85[%] となる。平均では 97[%] である。基準流速 5.0[m/s]、開口面積 0.0016[m<sup>2</sup>] の時の平均有効換気量は 10.43[m<sup>3</sup>/h] となる。
- ⑥ case2 の粒子散布結果は、散布した粒子の内、約半数の粒子がモデル室内に流入し、到達率は平均で 42[%] である。基準流速 5.0[m/s]、開口面積 0.0016[m<sup>2</sup>] の時の平均有効換気量は 0.98[m<sup>3</sup>/h] となる。有効換気量比は 0.0937 である。
- ⑦ case5 の粒子散布結果は、散布した粒子の内、約 8 割の粒子がモデル室内に流入し、到達率は平均で 49[%] である。基準流速 5.0[m/s]、開口面積 0.0016[m<sup>2</sup>] の時の平均有効換気量は 1.70[m<sup>3</sup>/h] となる。有効換気量比は 0.1626 である。
- ⑧ case1 の有効流量は 10.43[m<sup>3</sup>/h]、case6 では 7.668[m<sup>3</sup>/h] となっており、LES による解析の方が換気量が多い。
- ⑨ case2 では 2.32[m<sup>3</sup>/h]、case7 では 0.0[m<sup>3</sup>/h] である。RANS では流入風が見られなかったのに対し、LES では交互に流入する様子が見られたことによる。定常

的には換気に寄与する気流が得られないとされる対称的な開口を有する建物においても、実際には換気に寄与する気流が生じている。

- ⑩ case5 では開口流入量は 2.99[m<sup>3</sup>/h] であるのに対し、case10 では 2.29[m<sup>3</sup>/h] と case10 が約 8 割となる。

注

※1 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。

参考文献

- 1) 富永・持田・村上・佐脇 「建物後方の周期的変動と再付着距離の予測精度に関する検討 LES による高層建物周辺気流の解析(その1)」 日本建築学会環境系論文集、2004 年
- 2) 持田・村上・林 「立方体モデル周辺の非等方乱流場に関する k-ε モデルと LES の比較 乱流エネルギー生産の構造とノルマルストレスの非等方性の再現に関して」 日本建築学会計画系論文報告集、1991 年
- 3) Marcel Lesieur・Olivier Métais・Pierre Comte 柳瀬・百武・河原・渡辺訳 「乱流のシミュレーション LES による数値計算と可視化」 森北出版、2010 年
- 4) 日本建築学会 「市街地風環境予測のための流体数値解析ガイドブック-ガイドラインと検証用データベース-」
- 5) 小林・近本 「住宅における越屋根の風力換気性能に関する研究(その2)LESを用いた室内換気性能の検証」 日本建築学会学術講演梗概集、2012 年
- 6) 太田・近藤 「CFD 解析による換気・空調気流のショートサーキット率の算定」 空気調和・衛生工学会論文集、2009 年
- 7) 株式会社ソフトウェアレイド 「STREAM ver.9 ユーザーズガイド 基礎編」 2011 年 7 月 pp2-45

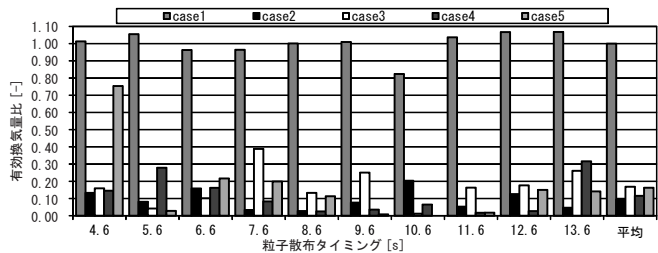


図 14 各 case の有効換気量比

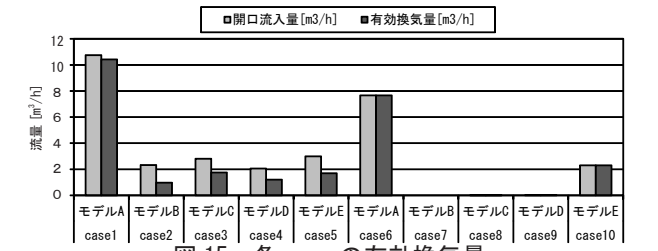


図 15 各 case の有効換気量

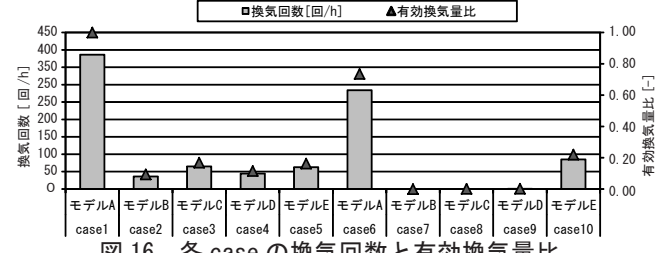


図 16 各 case の換気回数と有効換気量比

表 7 case5 の粒子散布結果

| 粒子散布<br>タイミング[s] | 粒子散布数[個] | 流入数[個] | 到達数[個] | 到達率[%] | 開口流入量<br>[m <sup>3</sup> /h] | 有効換気量<br>[m <sup>3</sup> /h] | 換気回数<br>[回/h] | 基準化流入量  | 基準化有効換気<br>量 | 有効換気量比 |
|------------------|----------|--------|--------|--------|------------------------------|------------------------------|---------------|---------|--------------|--------|
| 4.6              | 100      | 100    | 93     | 93%    | 8.45                         | 7.86                         | 290.99        | 1056.01 | 982.09       | 0.7536 |
| 5.6              | 100      | 87     | 26     | 30%    | 0.98                         | 0.29                         | 10.84         | 122.40  | 36.58        | 0.0281 |
| 6.6              | 100      | 94     | 52     | 55%    | 4.08                         | 2.26                         | 83.53         | 509.63  | 281.92       | 0.2163 |
| 7.6              | 100      | 100    | 63     | 63%    | 3.29                         | 2.07                         | 76.65         | 410.65  | 258.71       | 0.1985 |
| 8.6              | 100      | 95     | 34     | 36%    | 3.30                         | 1.18                         | 43.68         | 411.89  | 147.41       | 0.1131 |
| 9.6              | 100      | 53     | 3      | 6%     | 1.45                         | 0.08                         | 3.03          | 180.89  | 10.24        | 0.0079 |
| 10.6             | 100      | 52     | 38     | 73%    | 0.00                         | 0.00                         | 0.00          | 0.00    | 0.00         | 0.0000 |
| 11.6             | 100      | 86     | 45     | 52%    | 0.35                         | 0.18                         | 6.85          | 44.19   | 23.12        | 0.0177 |
| 12.6             | 100      | 100    | 56     | 56%    | 2.79                         | 1.56                         | 57.92         | 349.09  | 195.49       | 0.1500 |
| 13.6             | 100      | 100    | 28     | 28%    | 5.25                         | 1.47                         | 54.44         | 656.14  | 183.72       | 0.1410 |
| 合計               | 1000     | 867    | 438    | 51%    | 29.93                        | 16.95                        | 627.94        | 3740.88 | 2119.28      | -      |
| 平均               | 100      | 86.7   | 43.8   | 49%    | 2.99                         | 1.70                         | 62.79         | 374.09  | 211.93       | 0.1626 |