

建蔽率が通風に及ぼす影響に関する数値シミュレーション

細岡, 出

九州大学大学院総合理工学研究科熱エネルギーシステム工学専攻 : (株) 東芝

片山, 忠久

九州大学大学院総合理工学研究科熱エネルギーシステム工学専攻

林, 徹夫

九州大学大学院総合理工学研究科熱エネルギーシステム工学専攻

谷本, 潤

九州大学大学院総合理工学研究科熱エネルギーシステム工学専攻

他

<https://doi.org/10.15017/17441>

出版情報 : 九州大学大学院総合理工学報告. 19 (2), pp.203-208, 1997-09-01. Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :

建蔽率が通風に及ぼす影響に関する 数値シミュレーション

細岡 出*・片山 忠久**・林 徹夫**
谷本 潤**・米澤 仁***・堤 純一郎**
何 平^{5*}

(平成9年5月30日 受理)

Numerical simulation on the effects of building coverage on cross-ventilation

Izuru HOSOOKA, Tadahisa KATAYAMA, Tetsuo HAYASHI
Jun TANIMOTO, Hitoshi YONEZAWA, Jun-ichiro TSUTSUMI
and Ping HE

The results of many wind tunnel model experiments show that the wind pressures on building walls become smaller when building coverage ratio becomes larger. Cross-ventilation rate which is caused by natural wind is not easily calculated by the ordinary equation for ventilation rate based on wind pressure coefficients on building walls and pressure drop coefficients of openings, because the air flow through inlets, rooms and outlets conserves a part of its dynamic energy. Numerical simulation of cross-ventilation can give the detailed information of air flow in and around a house and the cross-ventilation rate. A cyclic boundary conditions method for the numerical simulation is used to model the unlimited spread of a built-up area with regularly aligned blocks which are cubic and have two relatively large openings on opposite walls respectively. There are six layouts of blocks with different building coverage one another. An equation for the calculation of the pressure difference between the windward and the leeward boundary is proposed. The cyclic boundary conditions produced stable calculation results. The simulation results of cross-ventilation rate is compared with the ordinary equation.

1. はじめに

建蔽率が増大して隣棟間隔が狭くなれば、周囲の建物が互いに障害物として作用し、風力による換気量は減少する。このことは、建物の形状によらず、規則的に配列された建物群の壁面の風圧係数が建蔽率の増大とともに減少するという多くの風洞模型実験の結果^{1)~4)}によって裏付けられる。しかし、風上と風下の窓を大きく開放して外から風を導入し、室内で輪道を形成する気流が大きな速度圧を持ったまま外へ流出する通風現象の風量は、風圧係数と開口の流量係数を使い、静圧のみが考慮されている従来の換気量計算法では、正確に予測することができない⁵⁾。

著者等は、通風に対する障害物としてのフェンスが建物を取り囲む場合について、室内外気流分布および通風量を数値シミュレーションによって検討しているが⁶⁾、建物群を対象に速度圧を考慮して通風量を算出

している例は未だ無いようである。

本報は、対向壁面に大きな開口を有する同一形状の建物が規則的に配列する場合、通風時の室内外気流分布および通風量が建蔽率によってどのように変化するかを数値シミュレーションによって調べたものである。通風量に関しては、風洞模型実験による壁面の風圧係数を使って算出される値の建蔽率による変化の傾向⁷⁾と比較している。

2. 建物配列モデルおよび数値計算の概要

2.1 計算対象モデル

計算対象となる建物モデルは一辺の長さがHの正立方体であり、風上および風下になる対向壁面の中央に一辺 H/3 の正方形の開口を持ち、壁の厚みは H/12 である。その鉛直断面および水平断面を Fig. 1 に示す。この建物モデルを前後左右等間隔に整形配列し、建蔽率を5段階に変化させる。その配列状況を Fig. 2 に示す。同一形状の建物が前後左右に等間隔に無限に設置されていると仮定するので、Fig. 2 において点線で示されている水平面内の一定長さ L_0 の正方形、高さ $3H$ の空間を気流分布の計算領域とした場合、主流

*熱エネルギーシステム工学専攻修士課程(現在(株)東芝)

**熱エネルギーシステム工学専攻

***熱エネルギーシステム工学専攻修士課程

¹*琉球大学工学部

⁵*三建設備工業(株)

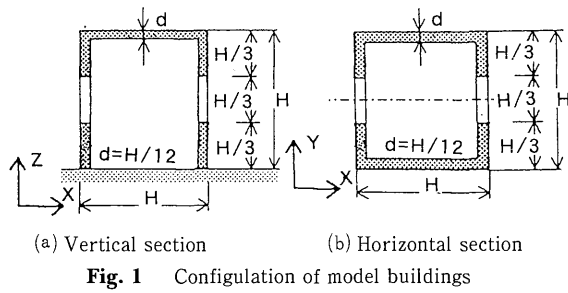


Fig. 1 Configuration of model buildings

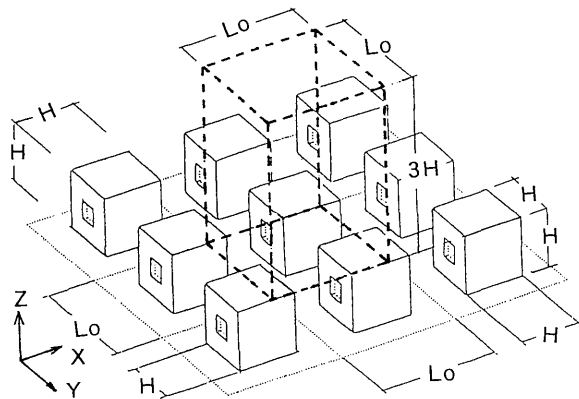


Fig. 2 Layout of model buildings and numerical simulation region

Table 1 Six layouts of model buildings with different building coverage ratio (B.C.R.), numerical simulation region (Lo/H) and total number of grids (T.N.G.)

Model	B.C.R.(%)	Lo/H	T.N.G.
Model C1	25.0	2.0	16,900
Model C2	20.0	$\sqrt{5}$	19,600
Model C3	15.0	$\sqrt{20/3}$	22,500
Model C4	10.0	$\sqrt{10}$	25,600
Model C5	5.0	$2\sqrt{5}$	32,400
Model B	0.0	—	34,200

方向の流入・流出境界および両側の側面境界にサイクリック境界条件を適用することが可能である⁸⁾。Lo/Hをパラメータとして建物配列の建蔽率を5%から25%まで5%刻みで変化させた5種類を設定する。さらに建蔽率0%の独立建物も計算対象とする⁹⁾。各配列モデルの名称および建蔽率をTable 1に示す。

2.2 差分格子

各配列モデルの計算領域はZ=3Hを共通とし、X方向とY方向の計算領域Loは建蔽率によって異なる。Model C3の例では計算領域X=Y=(20/3)^{1/2}H、Z=3Hの直方体であり、差分格子の幅をFig. 3に示すように、H/24~(7/20)Hに変化させた異形格子の場合の総格子数は22,500である。また、独立建物であ

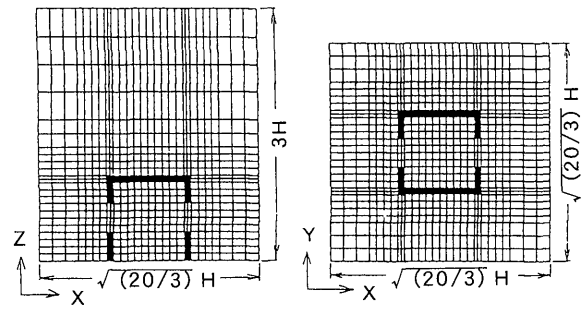


Fig. 3 Numerical simulation region and its calculation grid (The case of Model C3)

Table 2 Basic equations for the numerical simulations

$$\frac{\partial U_i}{\partial X_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial X_j} (U_i \cdot U_j) = -\frac{\partial \Pi}{\partial X_i} + \frac{\partial}{\partial X_j} \left(\nu_i \cdot E_{ij} + \frac{1}{R_e} \frac{\partial U_i}{\partial X_j} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial X_i} (k \cdot U_i) = \frac{\partial}{\partial X_i} \left\{ \left(\frac{\nu_i}{\sigma_1} + \frac{1}{R_e} \right) \frac{\partial k}{\partial X_i} \right\} + \nu_i \cdot E_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial X_j} - \varepsilon \quad (3)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial X_i} (\varepsilon \cdot U_i) = \frac{\partial}{\partial X_i} \left\{ \left(\frac{\nu_i}{\sigma_2} + \frac{1}{R_e} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial X_i} \right\} + C_1 \frac{\varepsilon}{k} \nu_i \cdot E_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial X_j} - C_2 \frac{k \varepsilon}{\nu_i} \quad (4)$$

$$\nu_i = C_D \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (5)$$

$$E_{ij} = \frac{\partial U_i}{\partial X_j} + \frac{\partial U_j}{\partial X_i} \quad (6)$$

$$\Pi = \frac{p}{\rho} + \frac{2}{3} k \quad (7)$$

U_i: velocity component of X_i direction, X_i: axis, t: time, p, Π: pressure, ρ: density of air, ν_i: eddy viscosity coefficient, k: turbulent kinetic energy, ε: energy dissipation rate, C_D = 0.09, C₁ = 1.59, C₂ = 0.18, σ₁ = 1.0, σ₂ = 1.3

る Model B の計算領域は X=7H, Y=5H, Z=3H であり、総格子数は 34,200 である。各配列モデルの Lo/H および総格子数を Table 1 に示す。

2.3 乱流モデルおよび差分スキーム

乱流モデルとして k-ε 2方程式モデルを用い、その基礎方程式を Table 2 の (1)~(7) 式に示す。差分スキームは、時間微分項を前進差分、空間微分項を中心差分、k および ε の輸送方程式の移流項のみ一次風上差分とする。計算のアルゴリズムは MAC 法である。なお、全ての変数は建物高さ H を代表長さ、計算開始時における流入境界での高さ H の X 方向速度を代表速度として無次元化している。

2.4 計算条件

建物壁面および地表面境界では、法線方向風速を0、接線方向風速をべき数1/4の指数則で与える。上空境界では、法線方向風速を0、接線方向風速をFree Slipとする。流入境界、流出境界および側面境界において、風速および乱流統計量に対しサイクリック境界条件を用いる。その場合、流入境界の風速プロファイルは計算が繰り返される度に変わるので初期条件として与える。その初期条件として風洞実験に基づくべき数1/4の指数則にしたがう平均風速プロファイルおよび乱れの強さのプロファイルを用いる。その際、建蔽率によってX方向の計算領域は異なり、各配列モデルによって建物に対する流入境界面の位置関係も変化する。また、風洞実験では規則的に配列された建物模型群に対するアプローチフローの風速プロファイルを測定している。その測定位置は模型最前列のさらに風上側であり、数値計算の流入境界の位置と一致しないが、サイクリック境界条件を用いた気流計算の結果は初期条件に依存しないことが確認されている¹⁰⁾。

側面境界、流入・流出境界面にサイクリック境界条件を適用して風速および乱流統計量を連結しているが、圧力にサイクリック境界条件を適用すると風速の駆動力である圧力勾配が計算回数とともに小さくなり、遂には0となって計算不能となる。それを防ぐために圧力勾配を与える一つの方法として、流入境界と流出境界の間の圧力差を最適化した定数として与える方法があるが¹¹⁾、計算領域によってその値も変動する。そこで本研究では、流入および流出境界の流量変動を補正するように、数値計算における乱流モデルの運動方程式にもとづいて流入および流出境界の平均圧力勾配を以下のように与えている。

$$\frac{\Delta \Pi}{\Delta n} = \int \int_A \left[V - \frac{\Delta Q}{S \cdot \Delta t} \right] dA/S \quad (8)$$

$$V = \frac{\partial}{\partial X_j} \left[\nu_t \left[\frac{\partial U_n}{\partial X_j} + \frac{\partial U_j}{\partial X_n} \right] \right] - \frac{\partial U_n U_j}{\partial X_j} \quad (9)$$

ここに、 A は流入または流出境界面、 $\Delta \Pi$ は流入および流出境界における乱流圧力 ($p/\rho + 2k/3$) の差、 k は乱流エネルギー、 Δn は境界の法線方向の格子間隔、 Δt は数値計算による時間刻み、 S は流入境界の面積、 ΔQ は流入および流出境界における流量の変動である。

3. 数値計算の結果

3.1 計算回数による通風量の推移

各配列モデルについて、サイクリック境界条件を用いて算出した計算回数による通風量の推移を Fig. 4に示す。計算開始当初、計算回数とともに通風量は急

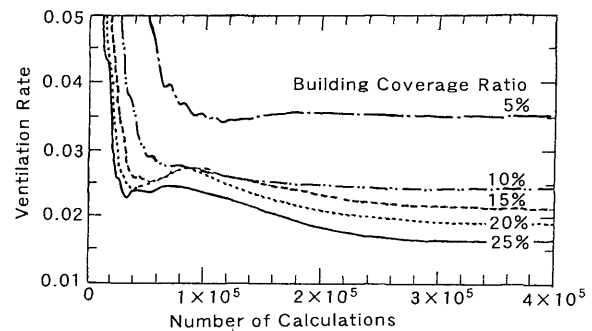


Fig. 4 Transition of ventilation rate in accordance with number of calculations

激に低下する。その低下の仕方は建蔽率が大きく、総格子数が少ないほど激しい。その後、計算が進むと通風量は多少上昇し、緩やかに定常値に向かうが、総格子数が最も多い建蔽率5%の場合が18万回程度で最も早く定常値に達し、総格子数の最も少ない建蔽率25%の場合が30万回前後の最も大きい計算回数で定常となる。これは建蔽率が大きくなる程、計算領域全体に対して建物の占める割合が大きくなり、計算が不安定になるためである。

以降、すべての配列モデルにおいて、計算上通風量が定常に達したと考えられる計算回数 4×10^5 の計算結果を比較検討の対象として扱っていくことにする。

3.2 風速ベクトル分布の比較

各建物配列モデルの通風時における室内外気流分布に関し、中心軸鉛直断面内風速ベクトル分布を比較して Fig. 5に示す。建物屋根面の風上側隅角部で剥離し、その屋根面に再付着した気流が建物間で緩い勾配で下降して風下側建物の風上壁面に衝突する。その気流は壁面に沿って下降し、一部は開口から室内に流入する。一部はさらに壁面に沿って下降し、地表面に達して逆流する。次に、この逆流は地表面に沿って風上側建物の風下壁面に衝突し、その壁面に沿って上昇する。その後、風下開口からの流出気流と一緒に上昇し、風下に向かう。このようにして建物間に形成される縦渦は、建蔽率が增大し建物間の距離が狭くなる程、その勢いは強まる。したがって、この縦渦のために風上開口からの流入気流が床面に向かって下降する勾配は、建蔽率が大きい程大きくなる傾向にある。風下開口からの流出気流は、逆に、上向きであるが、その勾配も建蔽率が大きくなる程大きくなる傾向にある。このような流入気流の下降、流出気流の上昇は Model B においても見られる傾向であるが、隣棟がある場合は建物間に形成される縦渦によってそれが助長されている。このことは、通風量の多少にも影響を与えることになる。

3.3 等値線図の比較

1) スカラー風速

Model C1, C3, C5 および建蔽率 0% の Model B の鉛直断面と水平断面におけるスカラー風速等値線図を比較して Fig. 6 に示す。Model B と Model C1 を比較すると、前者の建物上空における高風速域が後者ではかなり下方まで降りてきており、その上、前者よりも大きな数値を示している。この傾向は建蔽率が大きく

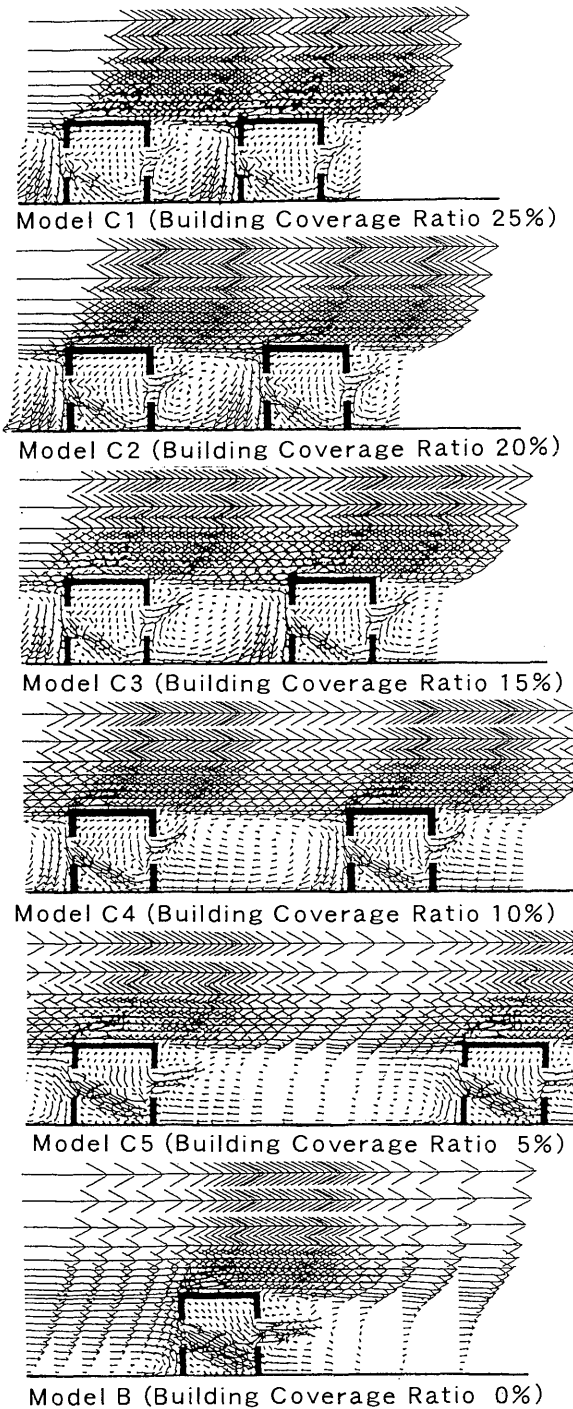


Fig. 5 Comparison of mean velocity vectors on the central vertical section

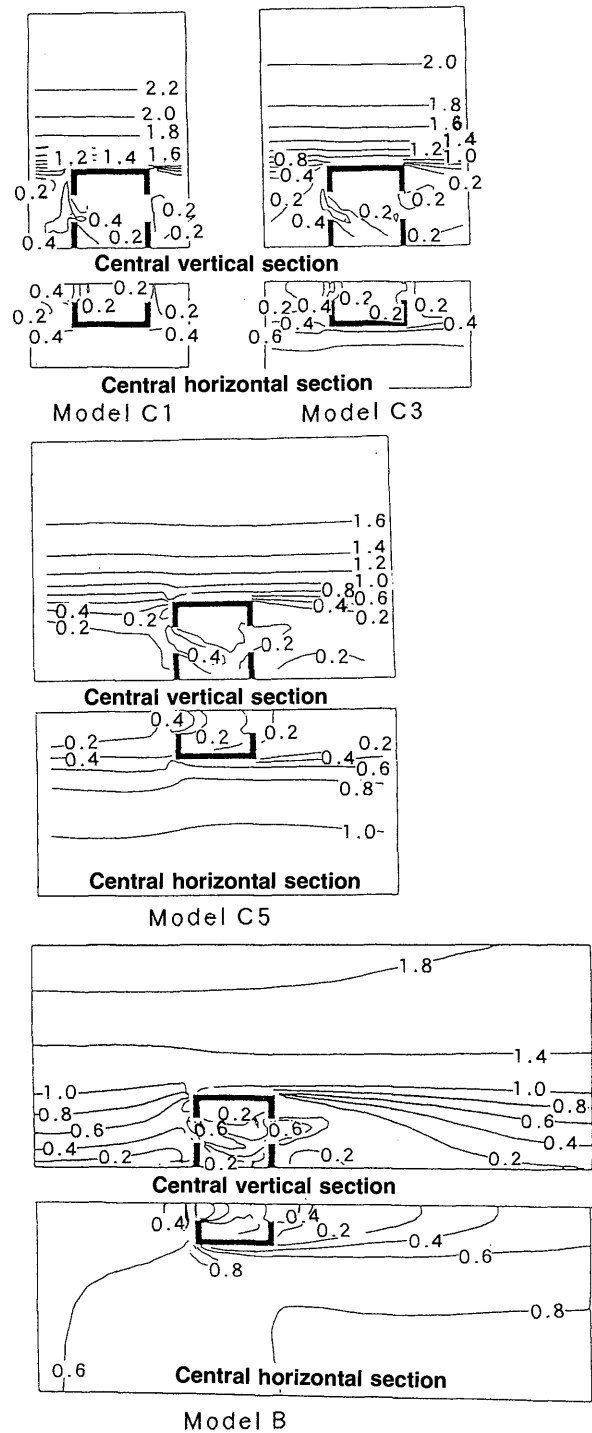


Fig. 6 Comparison of scalar speed distributions on the central vertical section and the central horizontal section of three models

なる程顕著である。隣棟間隔が狭くなり屋根面配置が密になるほど、上空気流に対する建物のラフネスとしての作用は見掛け上小さくなるためである¹³⁾。しかし、屋根面高さ以下の領域の気流に対する建物のラフネスとしての作用は隣棟間隔が狭くなるほど大きくなり、建蔽率が大きくなるほど、風速の低下が促がされる。そのため、通風量も Model B に比べて低下するものと予想される。

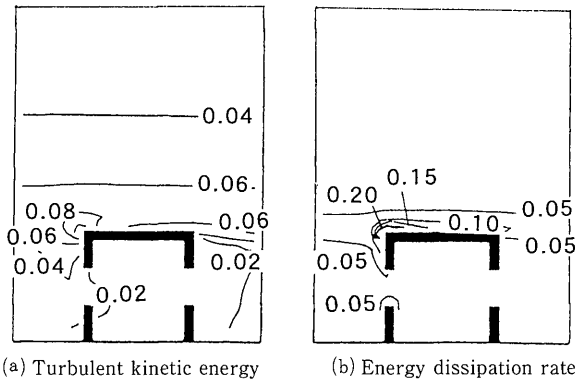


Fig. 7 Distributions of turbulent kinetic energy and energy dissipation rate on the central vertical section of Model C2

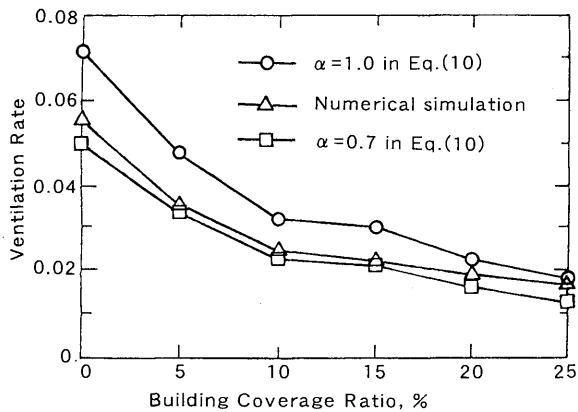


Fig. 8 Relation between building coverage ratio and ventilation rate

逆に、建蔽率が小さくなるほど気流に対する建物モデルの影響も小さくなるため、建蔽率5%のModel C5の場合の速度分布は建蔽率0%のModel Bのそれに近いものとなっている。

2) 乱流統計量

Model C2の乱流エネルギー k と粘性逸散率 ε の分布をFig. 7に示す。 k は建物風上壁面の、特に隅角部付近で大きく、そのため ε も同じ部分で相対的に大きくなっている。乱れの等方性を仮定している k - ε 2方程式モデルは法線応力を十分に表現することができないためである¹³⁾。しかし、サイクリック境界条件の適用によって、建物間と室内の気流分布の特徴は表現されるものと考えられる。

3.4 建蔽率と通風量の関係

建蔽率による通風量の変化の傾向をFig. 8に示す。ここでは、開口面に対して垂直な流入気流速度に開口面積を乗じて算出した数値計算による通風量と、風洞模型実験による開口なしの建物モデルの壁面風圧係数を使用して計算した通風量を比較する。この従来法に

よる通風量 Q の計算式は次式で与えられる。

$$Q = (\alpha A / \sqrt{2}) (C_w - C_L)^{1/2} \cdot V \quad (10)$$

ここに、 A は開口面積、 α は流量係数、 C_w と C_L は各々風上壁面と風下壁面の風圧係数、 V は基準風速である。

数値計算および(10)式による通風量ともに、建蔽率が大きくなるにしたがって減少するという類似の傾向を示している。室内の速度圧が考慮されている数値計算による通風量は、(10)式において $\alpha=0.7$ を与えた場合の値に比較して全体に大きく¹⁴⁾、 $\alpha=1.0$ を与えた場合の値より小さい。 $\alpha=0.7$ と 1.0 を与えた場合の通風量の相違は建蔽率が大きくなるにしたがって小さくなっている。

4. ま と め

周囲の建物が通風におよぼす影響を検討するため、同一の建物が規則的に配列する場合の建蔽率を5種類に設定し、通風時における室内外気流分布の数値シミュレーションをサイクリック境界条件を適用して行った。また、独立建物の場合の計算も併せて行った。通風量に関しては風洞模型実験で求めた壁面の風圧係数を使用し従来法による値と比較・検討した。以上により次のような知見を得た。

- (1) 建蔽率が大きくなる程、計算領域全体に対して建物の占める割合が大きくなり、通風量が定常に達する計算回数は大となる。
- (2) 建蔽率が大きくなる程、風上開口から流入する気流の下降の勾配および風下開口から流出する気流の上昇の勾配が大となる。
- (3) 建蔽率が大きくなるほど隣棟が気流に対して障害物として作用し、通風量は減少する。
- (4) 速度圧を考慮し数値計算により求めた通風量は、風洞模型実験による風圧係数を使用して開口の流量係数 $\alpha=0.7$ として従来法により求めた通風量より大きく、 $\alpha=1.0$ の場合より小さい。しかし、両者の建蔽率による変化はほぼ類似の傾向を示す。

参 考 文 献

- 1) 勝田高司, 後藤 滋, 建物周囲条件の換気通風におよぼす影響, 日本建築学会論文報告集, No. 53, pp. 80~87, 1956
- 2) B.E. Lee, M. Hussain and B. Soliman, Predicting Natural Ventilation Forces upon Low-Rise Buildings, ASHRAE Journal, pp. 35~39, 1980.2
- 3) 西田 勝, 片山忠久 他3名, 風洞模型実験による規則的配列建物群の換気駆動力に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, No. 382, pp. 60~67, 1987.12
- 4) 赤林伸一, 通風時の室内外の流れ場・圧力場に関する実

- 測及び風洞実験, 日本建築学会環境工学委員会, 空気環境運営委員会, 第1回空気シンポジウム, pp.9~16, 1990, 11
- 5) 赤林伸一, 村上周三 他3名, 住宅の換気・通風に関する実験的研究その6, 通風時の開口の流量係数 α に関する基礎的検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D, pp.629~630, 1989
- 6) 何平, 片山忠久 他4名, 出窓およびフェンスが通風に及ぼす影響に関する数値シミュレーション, 九州大学大学院総合理工学研究科報告, Vol.18, No.1, pp.25~31, 1996.6
- 7) 吉田信之他: 高層建物が周辺低層建物の換気・通風に及ぼす影響に関する風洞模型実験(その4), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.811-812, 1993年8月
- 8) 何平他: 均等街路の風速分布に関する数値シミュレーション, 日本建築学会中国・九州支部研究報告, 第10号, pp.209-212, 1996年3月
- 9) 細岡出他: 通風時における室内気流分布の数値シミュレーション(その18), 日本建築学会学術講演梗概集 D-2, pp.547-548, 1996年8月
- 10) 細岡出, 片山忠久 他5名, 均等街路の風速分布に関する数値シミュレーションその2サイクリック境界条件の適用, 日本建築学会九州支部研究報告, No.36, pp.337~340, 1997.3
- 11) 村上周三, 日比一喜, 持田灯, Large Eddy Simulationによる街区周辺の乱流場の3次元解析(その1), 日本建築学会計画系論文集, No.412, pp.1~10, 1990.6
- 12) 片山忠久, 後藤滋, 堀寛, 市街地上の接地境界層の形成に関する風洞実験, 日本建築学会論文報告集, No.293, pp.97-104, 1980.7
- 13) 林吉彦, 村上周三, 持田灯, 建物周辺気流の数値シミュレーションの診断システムに関する研究(第5報) k- ϵ モデルにおける建物風上のkの過大評価とモデルの改良, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D 環境工学, pp.779~780, 1980
- 14) 何平他: 単室モデルの通風量に関する数値シミュレーションによる基礎的検討, 日本建築学会計画系論文集, No.474, pp.47-55, 1995年8月