

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

何, 平

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

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/10.15017/17401>

出版情報 : 九州大学大学院総合理工学報告. 18 (1), pp.25-31, 1996-06-01. 九州大学大学院総合理工学研究科

バージョン :

権利関係 :

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

何 平*・片山 忠久*・林 徹夫*
谷 本 潤*・細岡 出**・堤 純一郎***

(平成8年2月29日 受理)

Cross-ventilation in a house with bay windows and fences by CFD

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

This paper describes the results of the numerical simulation on the effects of bay windows and fences on cross-ventilation in a house. The model house is a simple cube room with two relatively large openings on opposite walls respectively. The thickness of the walls and the depth of the bay windows from the walls to the outside limbs are considered as parameters. The fences are placed around a model house to set the distance from the fences to the walls uniform. The distance and the height of the fences are considered as parameters. These parameters are changed independently. The mathematical model of turbulence adopted here is ordinary $k-\epsilon$ 2-equation model. These factors have great influences on the indoor air flow pattern, flow rate and pressure loss at the openings and indoor. When the house is surrounded by fences, the correct estimation of the ventilation rate requires precedent treatment of pressure loss of fences.

1. はじめに

通風時の室内気流分布は、外から流入した風が速度圧を維持したまま室内を通り抜けるので、建物周辺気流の影響を直接受ける¹⁾²⁾。したがって、建物内外の気流分布を考慮せず、壁面の風圧係数と開口の流量係数を使う従来の計算法による通風量は大きな誤差を含むことになる³⁾。これに関して筆者等は、単純な形状の開口を風上と風下の壁面に設けた単室を対象として、数値シミュレーション及び風洞模型実験によって検討してきた⁴⁾⁵⁾。その数値計算の精度は模型実験によって検証されているが、計算格子数を減少するために建物モデルの壁厚は0、建物の周囲に障害物は存在しないという条件であった。しかし、壁厚や出窓の奥行きは開口を通り抜ける気流に対し、また、フェンスなどの囲いは建物周囲の気流に対し相当な影響を及ぼすであろうし、それによって、通風量や室内気流分布は少なからず変化するであろうことは容易に想像される。しかし、開口の傍に設けられる庇や衝立、開口の位置や面積の影響を調べた文献は未だ少ない⁶⁾。フェンス等の障害物の影響に関しては、模型実験による定性的な研究例が2、3散見されるのみである⁷⁾。

本稿では、まず壁に厚みを与えた後、出窓の奥行きを3段階に変化させて計算を行い、前報⁴⁾における壁厚0の結果と比較する。次に、建物の四周を囲むフェンスの高さと壁面からの距離の組み合わせを5段階に変化させて計算を行い、それらが室内気流分布と通風量に及ぼす影響を検討する。

2. 建物モデル及び計算法の概要

2.1 計算対象モデル

計算の対象とする建物の基本モデルは一辺の長さがHの立方体であり、風上と風下の壁面の中央に一辺H/3の正方形の開口を持ち、壁の厚みはH/12である。なお、壁の厚みが開口を通過する気流の向きに及ぼす影響を検討するため、それが0のモデルについても計算を行う。しかし壁の厚みには限度があるので、開口を出窓としてその奥行きを3段階に変化させる。以上の建物モデルの外観および壁厚や出窓の奥行きの記号をFig. 1に、モデルの名称をTable 1に示す。なお、出窓を構成する四周壁の厚みはすべてH/12である。

次に、建物をフェンスで囲った場合を検討する。フェンスの高さ及び主流方向のフェンスと建物との距離を変化させた5種類のモデルについて計算を行う。その外観と記号をFig. 2に、モデルの名称等をTable 2に示す。フェンスと建物側壁面との距離は一定とし、

*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

***琉球大学工学部

建物として壁厚 $d=H/12$, 出窓の奥行き $D=0$ の Model B を使用する。

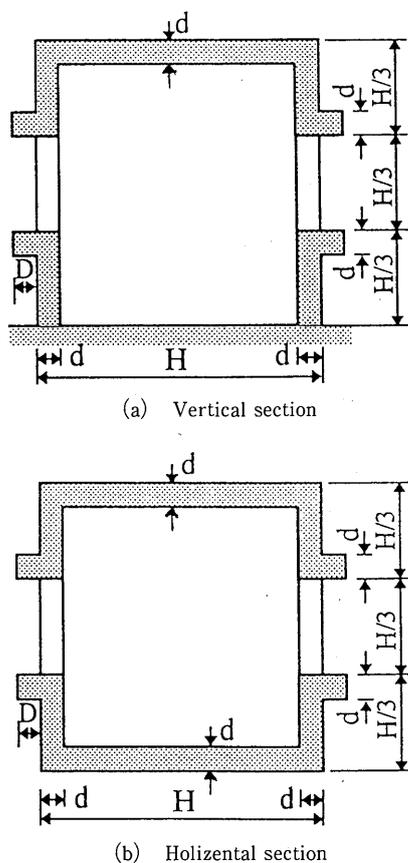


Fig. 1 Configuration of model houses

Table 1 Five model houses with different thickness walls and with bay windows of different depth

	d	D
Model 1	0	0
Model B	$H/12$	0
Model S	$H/12$	$H/12$
Model M	$H/12$	$H/6$
Model L	$H/12$	$H/4$

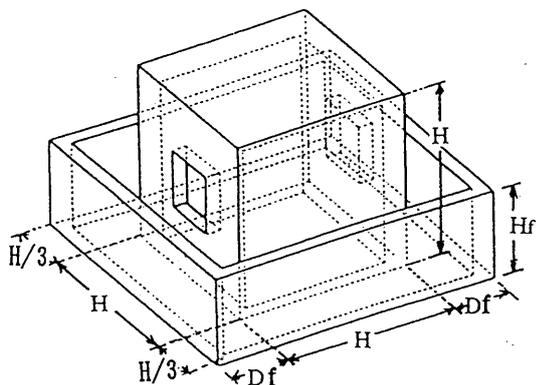


Fig. 2 Configuration of a model house enclosed by a fence

2.2 数値計算領域および差分格子

Table 1 に示す 5 種類の建物モデルの計算領域および差分格子は全て同一である。一例として、 $D=H/4$ の Model L の計算領域を Fig. 3 に示す。計算領域の大きさは $X=7H, Y=5H, Z=3H$ の直方体であり、格子の総数は 34200 となる。

Table 2 に示すフェンスのある建物モデルの計算領域は、 $Y=8H/3, Z=3H$ を共通とし、 X 方向の計算領域はフェンスと建物の風上・風下壁面との距離 Df によって異なる。Model MS の例は $X=22H/3$ の立方体で Fig. 4 に示す通りであり、総格子数は 24200 となる。他のモデルの X 方向の計算領域は Table 2 を参照されたい。なお、全てのモデルは Y 方向に対して対称な形状なので、鏡面境界条件を用いて計算格子数の減少を計っている。また、格子幅を $H/24 \sim 2H/3$ に変化させた異形格子を使用して計算を行っている。

2.3 乱流モデルおよび境界条件

乱流モデルとして $k-\epsilon$ 方程式を用いる。基礎方程

Table 2 Five model houses with a fence of different height and different distance from the wall of the model

	Hf	Df	Calculation Area
Model SS	$H/3$	$H/3$	$X=22H/3$
Model MS	$H/2$	$H/3$	$X=22H/3$
Model LS	$2H/3$	$H/3$	$X=22H/3$
Model MM	$H/2$	$2H/3$	$X=8H$
Model ML	$H/2$	H	$X=26H/3$

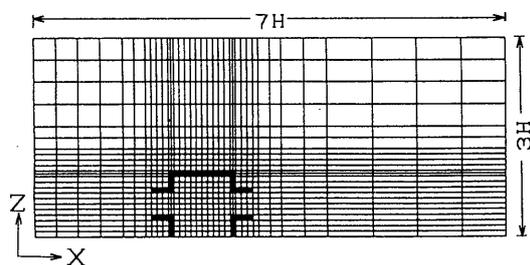


Fig. 3 Numerical simulation region for model houses with bay windows

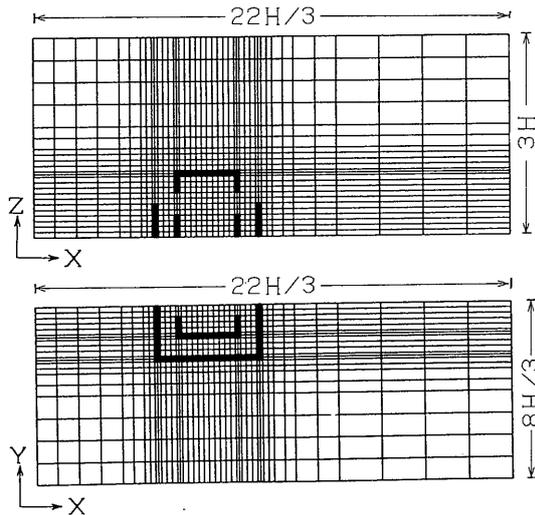


Fig. 4 Numerical simulation region for model houses with a fence

Table 3 Basic equations for the numerical simulations

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

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

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

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

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

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

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

U_i : velocity component of X_i direction, X_i : axis, t : time, Π : pressure, ν_i : eddy viscosity coefficient, k : turbulent kinetic energy, ϵ : energy dissipation rate, $C_D=0.09$, $C_1=1.59$, $C_2=0.18$, $\sigma_1=1.0$, $\sigma_2=1.3$

式を Table 3 に示す。全ての変数は建物高さ H を代表長さとし、流入境界における高さ H の X 方向速度 U_0 を代表速度として無次元化している。流入境界条件として Fig. 5 に示す風洞実験の結果を用いる。平均風速のプロフィールは $Z/H < 1.5$ においてほぼ $1/1.5$ 乗則に従う。乱れの強さのプロフィールは高さ方向に $Z/H < 0.4$, $0.4 < Z/H < 1.3$, $Z/H > 1.3$ の3段階で直線近似され、乱れの等方性を仮定して乱流エネル

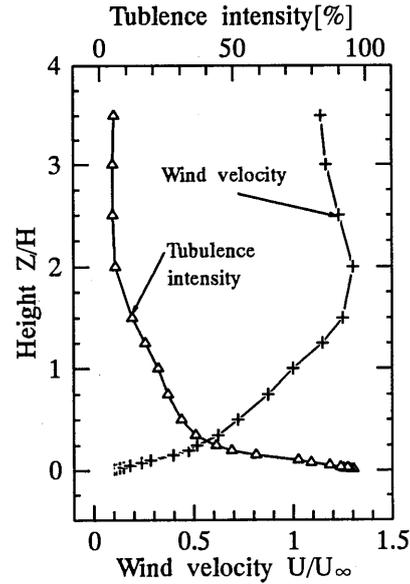


Fig. 5 Vertical profile of the approaching wind at the inflow boundary

ギー k を与える。また流入境界における接線方向速度 V , W はともに 0 とし、流出境界は Free slip としている。上空および側面境界は法線方向の速度を 0、接線方向の速度を Free slip としている。地表面および建物壁面の境界における接線方向の速度成分をそれぞれ指数 $1/1.5$ および $1/4$ のべき乗則で与える。

2.4 差分スキームと計算条件

時間微分項には前進差分を、空間微分項には基本的に中心差分を用い、 k , ϵ の輸送方程式の移流項に対してのみ一次風上差分を用いる。時間刻みは 2.5×10^{-4} とする。計算アルゴリズムには MAC 法を用いる。

3. 壁厚および出窓の奥行きの影響

3.1 風速ベクトルの分布

壁厚および出窓の奥行きが通風時の風速ベクトルの分布に与える影響を比較して Fig. 6 に示す。壁厚 $d=0$ 、出窓の奥行き $D=0$ の Model 1 では流入開口からの気流が床面方向へ急激に下降するのに対し、壁厚 $d=H/12$ の Model B では気流の下降が幾分緩やかになる。出窓を設けるとその傾向が強くなり、 $D=H/6$ の Model M では室内に流入した気流は流出開口に至るまでほぼ床面と平行である。従って、 $Z=H/2$ の水平断面における通風輪道のスカラー風速は、出窓を設けた方が大きくなっている。

3.2 圧力損失の分布および通風量

風上の流入開口端から風下の流出開口端に至る静圧、動圧の分布を Fig. 7 に示す。図中、Model 1, Model B および Model M の結果を比較している。これらの圧力は開口面両端前後ではそれに接するセルの、室内では X 軸に垂直な断面において正の X 方向速度を持つ

セルの平均値である。

各建物モデルにおいて、流入および流出の両開口前後の動圧の変化量は静圧のそれに比べて小さい。動圧は開口部付近に比べて室内では非常に小さくなっている。これは平均化する面積によるものと考えられる。また、静圧および動圧は共に室内ではほぼ一定値を保っている。

壁厚 $d=0$ の Model 1 と $d=H/12$, $D=0$ の Model B を比較すると、流入および流出開口における全圧損失はともに Model B の方が大きい。一方、室内におけるその値は Model 1 の方が大きい。壁に厚みを設けることによって、開口の全圧損失が大きくなるのが分かる。しかし、出窓を設け奥行きを増やすと、流入開口における静圧損失は若干増えるが、流出開口のそれは逆に小さくなり、室内における動圧の値も大きくなる。風速ベクトルの分布 Fig. 6 に示されるように、

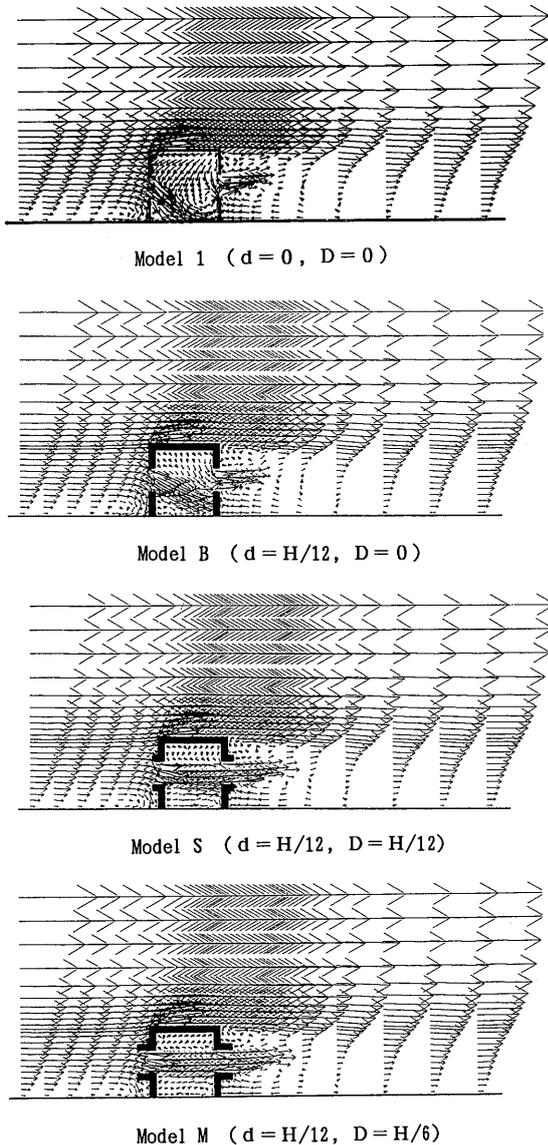


Fig. 6 Comparison of mean velocity vectors in the central vertical section of four models with and without bay windows

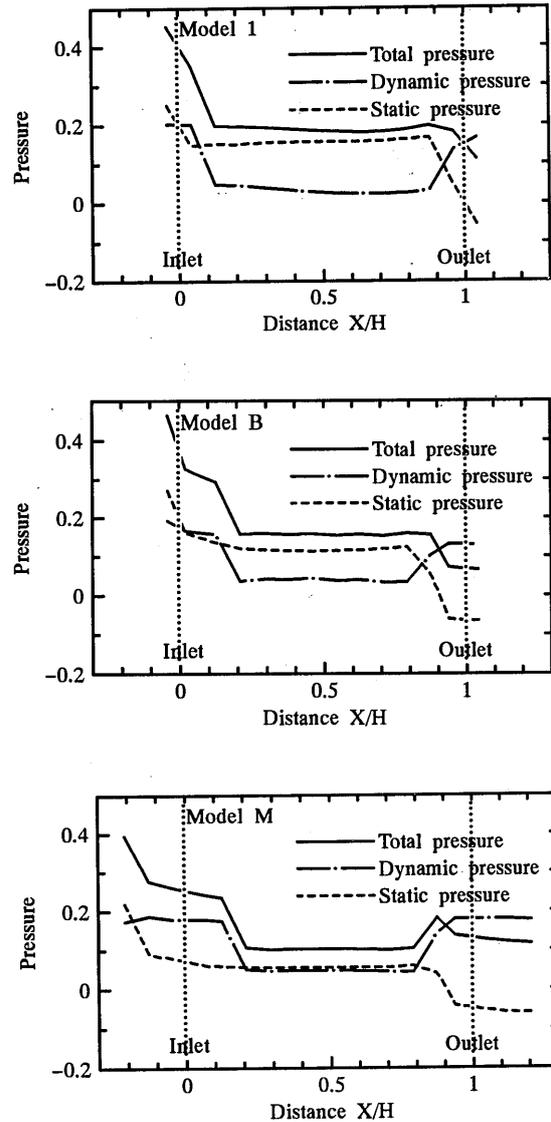


Fig. 7 Distributions of total pressure, dynamic pressure and static pressure along the cross-ventilation paths in three models with and without bay windows

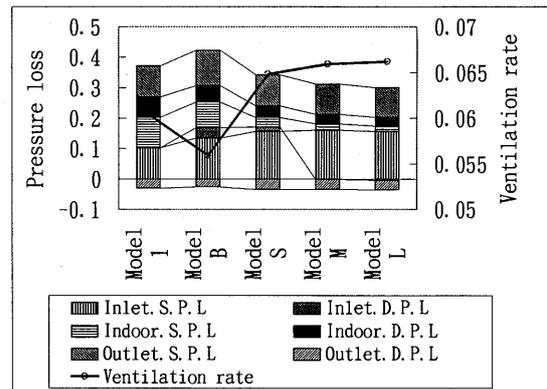


Fig. 8 Comparisons of pressure losses and ventilation rates of five models with and without bay windows

S. P. L.: Static Pressure Loss
D. P. L.: Dynamic Pressure Loss

出窓を設置することにより、下降する流入気流は整流され、ほとんど減速せずに流出開口に向かい、動圧および静圧の損失は小さくなるのが明瞭である。

各モデルの通風量および流入開口、室内および流出開口それぞれの静圧と動圧の圧力損失を比較して Fig. 8 に示す。壁厚 $d=0$ の Model 1 と $d=H/12$, $D=0$ の Model B を比較すると、壁厚を持たせることで流入開口における損失が大きくなりそのため流量も減少する。しかし前述のように流入気流の下降は幾分緩やかになるため、室内での損失は若干小さい。更に出窓を設けた場合、その奥行きが大きくなるに従い通風輪道は床面に対して平行に近づいていくことにより、室内での圧力損失は減少する。このことが通風量の増加に反映している。また、Model M を Model S と比較すると、前者の流入開口における動圧損失は負値、すなわち動圧は増加しているのが特徴的であり、通風量もわずかに増大している。しかし、流入開口が通風輪道の形状に及ぼす影響にも限度があるので、出窓の奥行きをある値以上に増やすとかえって通風を阻害するものと推測される。

4. フェンスが建物の通風に及ぼす影響

4.1 風速ベクトルの分布の比較

フェンスの高さが通風に及ぼす影響を検討するため、

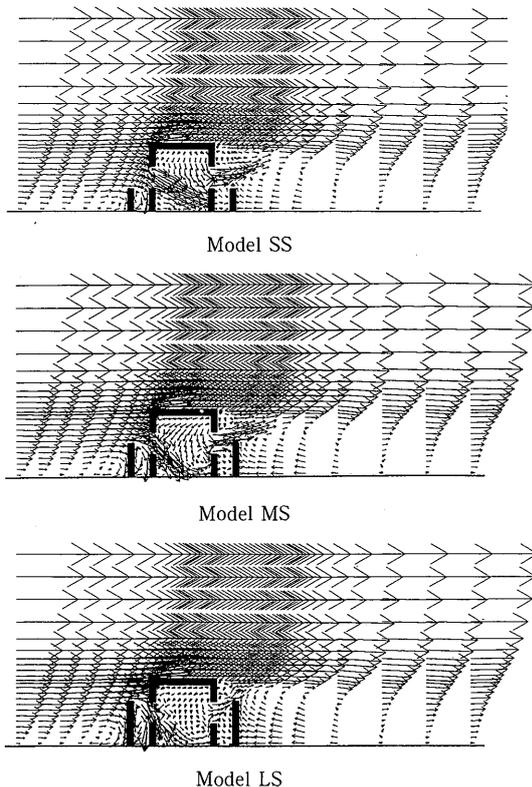


Fig. 9 Comparison of mean velocity vectors of three models with the fences of different heights

Table 2 から Model SS, Model MS および Model LS の3つを選び、それらの中心軸上鉛直断面における風速ベクトル分布を比較して Fig. 9 に示す。風上開口からの流入気流が床面に向かって下降する傾向は、すべてのモデルにおいて見られるが、フェンスが高くなるにしたがって下降のしかたが急激になる。流出開口からの気流もフェンスの影響を受け、それが最も高い Model LS の場合、室内の風速は全般的に小さく、通風量は他のモデルと比較してかなり低下することが予想される。

フェンスと建物との間の主流方向の距離の影響を調べるために、Model MM と Model ML の風速ベクトルの分布を比較して Fig. 10 に示す。フェンスを建物から離して設けると、風上壁面との間に縦方向の渦が、風下壁面との間に横方向の渦が生じ、流入および流出気流がそれに多少影響される。しかし、両モデルにおける室内の流速分布に大きな差異はみられない。

4.2 静圧の分布

Fig. 11 に Model SS, Model MS, Model LS におけ

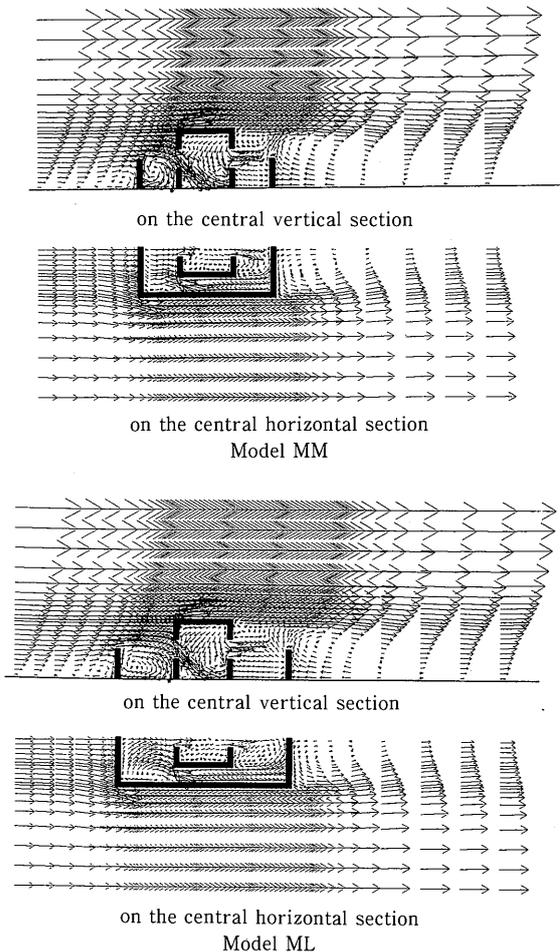


Fig. 10 Comparison of mean velocity vectors of two models with the fences of different distances from the model houses

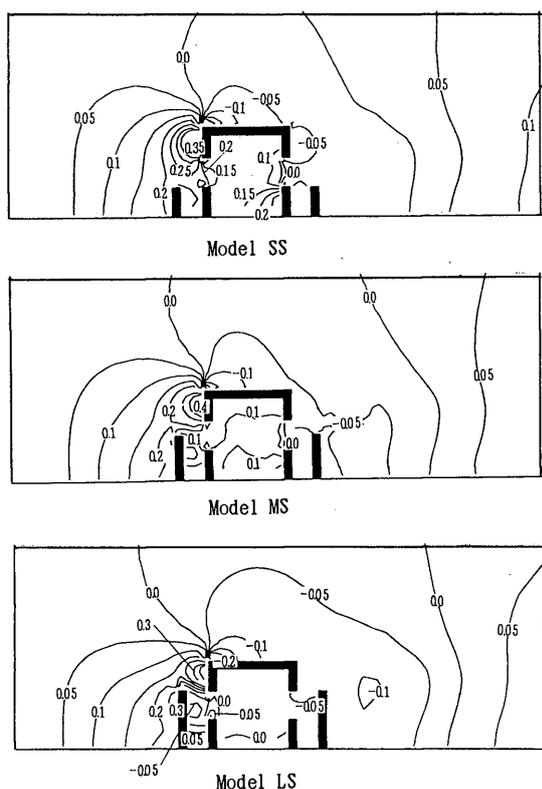


Fig. 11 Comparison of static pressure distributions of three models with the fence of different heights

る中心軸鉛直断面の静圧分布を示し、フェンスの高さによる影響を比較する。ここでの静圧は、乱流エネルギーを含む乱流圧力項を流入境界面における圧力によって基準化した値である。建物風上壁面の上部の値が最も大きく、建物の風下壁面付近で負の値が見られる。風上側フェンスの静圧は、その高さとともに大となり、逆に、風上開口付近の静圧はフェンスに遮蔽される形となって小さくなる。それによって風下開口との間の静圧の差は、フェンスが低い Model SS で大きく、フェンスが高くなるに従い小さくなる。このことは通風量に多大の影響を与えることが予想される。

4.3 圧力損失の分布および通風量

Model SS, Model MS および Model LS の3つの計算モデルにおける開口前後と室内の静圧、動圧および全圧のX方向の分布を計算し、その結果を比較して Fig. 12 に示す。なお、出窓の場合と同様に開口前後の圧力は開口面に隣接するセルの平均値であるが、室内ではX軸に垂直な断面内で正のX方向速度をもつセルの平均値としている。流入開口直前の全圧を比較すると、Model SS の値が最も大きく、Model LS の値は最も小さくなっている。その内訳を見ると静圧では、同様な傾向を示すが、動圧では全圧と逆の傾向がみられる。これは、Model LS においてフェンスと建物との距離に比較してフェンスの高さが大きいので、流入

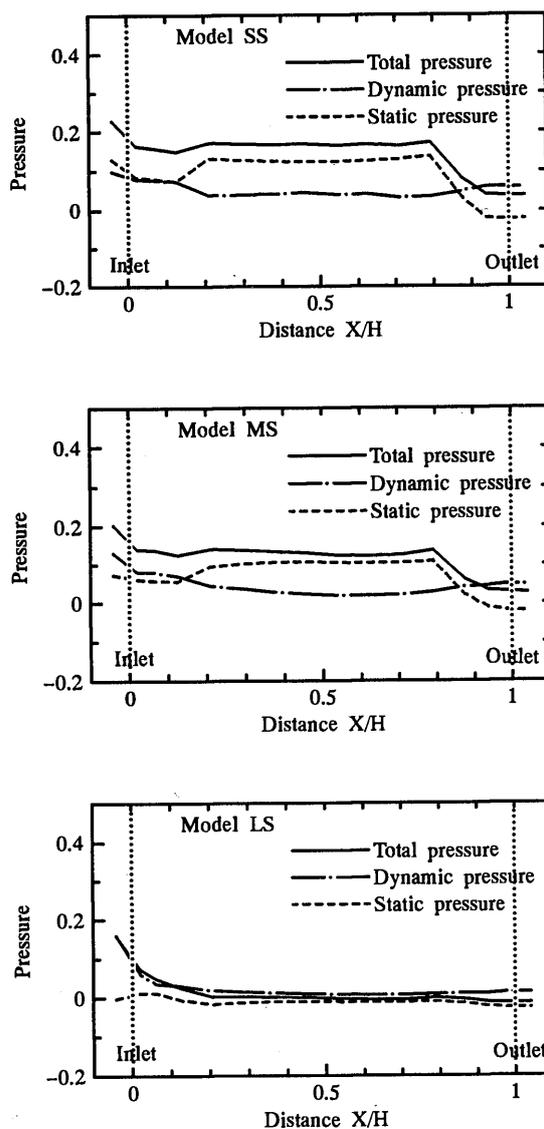
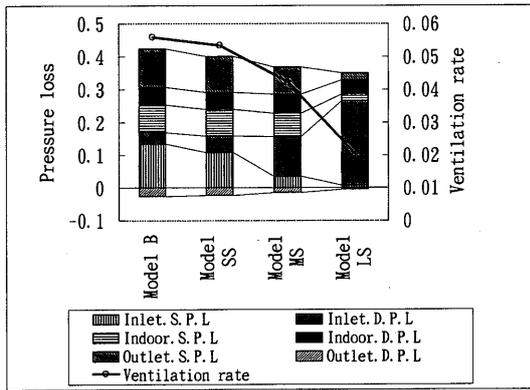


Fig. 12 Distributions of total pressure, dynamic pressure and static pressure along the cross-ventilation paths in three models with the fences of different heights

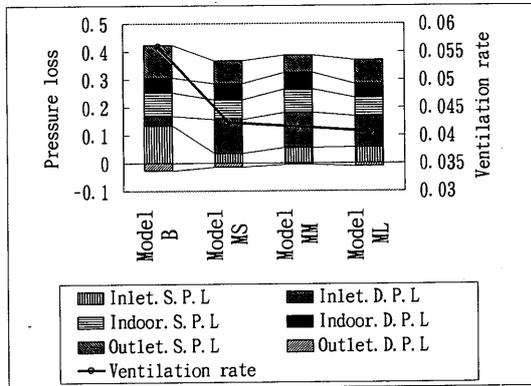
気流はフェンスと建物の風上壁面の間で影響を受け、Z軸方向の風速が大きくなるためと考えられる。しかし、Fig. 11 を見ても分かるようにフェンスが高くなると、流入開口直前で静圧は極端に低下する。そのため結果的に全圧も低い値になる。また、Model LS では流入開口前後で、動圧も大きく損失するので、室内においては、静圧、動圧および全圧ともに非常に小さい値を示している。

風上と風下の開口および室内における圧力損失と通風量を各建物モデル毎に算出し、それらを比較して Fig. 13 に示す。通風量に関しては、フェンスのない Model B と比べて、Model SS, Model MS および Model LS の順にフェンスが高くなるに従い著しい減少がみられる。各圧力損失については、フェンスが高くなれば、流入開口において動圧損失が大きくなり Model



S. P. L.: Static Pressure Loss
D. P. L.: Dynamic Pressure Loss

Fig. 13 Comparisons of pressure losses and ventilation rates of four models with the fences of different heights



S. P. L.: Static Pressure Loss
D. P. L.: Dynamic Pressure Loss

Fig. 14 Comparisons of pressure losses and ventilation rates of four models with the fences of different distances from the model houses

LSにおいて最もその特徴が顕著に現れている。これは、フェンスが流路を遮へいすることによるものであり、全圧損失が小さくなるにも拘わらず通風量が減少することの一因と考えられる。このように、流入開口から流出開口までの圧力損失を考えるだけでは通風量の大小が予想できないのは、フェンスによる圧力損失が明確に捉え切れていないためであり、今後の課題といえよう。

一方フェンスの高さを一定に保ち、主流方向におけるフェンスと建物間の距離を大きくしていく場合の圧力損失と通風量を比較して Fig. 14 に示す。Model B を含むこの4つの建物モデルについては、流入開口における全圧損失はほぼ一定である。その内訳は変化しており、フェンスを設置することで静圧損失は減少するが動圧損失は増加していることが確認できる。この動圧損失の増加のため、流入から流出までの全圧損失が小さくなるにも関わらず通風量は大きく減少している。また建物モデルとフェンスとの距離を変化させて

も通風量や各圧力損失の変化の傾向は非常に小さい。ここで Model MM と Model ML の全圧損失の傾向と通風量の大小の関係は、一見矛盾している。両建物モデルはフェンスと壁面との間に特徴的な2次流れを形成しており、その影響が考慮されていないためである。

5. 結 論

建物における壁厚、開口部の出窓の奥行きおよび四周を囲うフェンスの高さと開口面からの距離などが建物の通風に及ぼす影響を検討するため、通風時における室内気流分布の数値シミュレーションを行い、10種類の建物モデルの結果を比較・検討し、以下の知見を得た。

- (1)壁厚によって窓の奥行き方向に厚みが生じると、流入開口および流出開口の全圧損失は大きくなり通風量は低下する。
- (2)出窓を設け、その奥行きを増すことにより、流入気流が床面に下降せず、水平になるように作用して室内での全圧損失は小さくなり、通風量が増加する。
- (3)建物の周囲にフェンスを設けることによって流入開口での動圧損失は大きくなり、通風量は減少する。
- (4)フェンスと建物の間隔が一定の場合、フェンスの高さが高くなるほど、通風量が低下する。
- (5)フェンスの高さが一定であれば、フェンスと建物との間隔が通風に及ぼす影響は小さく、風上および風下壁面とフェンス間の2次的な気流による通風への影響が大きくなる傾向にある。
- (6)フェンスで囲われた建物の通風量に関しては、風上と風下の両開口間の全圧損失のみから推算することはできない。フェンスの圧力損失をどのように捉えていくかが今後の課題である。

参 考 文 献

- 1) 片山忠久, 石井昭夫, 堤純一郎, 福田輝明, 大町徹: 建物近傍における風の特性と住宅の通風に関する実測, 日本風工学会誌, 第18号, pp. 11-19, 1984.
- 2) 赤林伸一, 村上周三, 加藤信介, 長谷川功, 金沢徳: 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環境工学, pp. 629-630, 1989.
- 3) 加藤信介: パワーバランスモデルに基づく通風量算出モデル, 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, 1990.
- 4) 何 平, 片山忠久, 林 徹夫, 堤純一郎: 数値シミュレーションによる通風量の検討, 九州大学院総合理工学研究科報告, 16巻1号, pp. 23-32, 1994.
- 5) 何 平, 片山忠久, 林徹夫, 堤純一郎: 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報告集, 第474号, pp. 45-47, 1995.
- 6) 倉渕隆, 鎌田元康: Multi-Mesh法を用いた通風時建物内外気流の同時解析, 日本建築学会計画系論文報告集, 第426号, pp. 1-11, 1991.
- 7) 日本建築学会編: 建築設計資料集成1環境, p. 161, 1978.