

住宅の通風性能の定量的評価のための実大風洞実験[†]

阿部優美*

A Full Scale Wind Tunnel Experiment for the Quantitative Evaluation of Cross Ventilation Performance in Residential Buildings

Yuumi ABE

1. はじめに

日本の夏の気候は高温多湿であり、伝統的な住宅は通風によって夏の暑さを防いでいた。市街地においては大気汚染や騒音、防犯上の理由などにより窓を開けることが少なくなっているが、温暖地域での住まいの快適性維持と省エネルギー対策のためには開口部による通風は重要な手法といえる。現在の通風量の評価では、外部風の条件により変化する壁面風圧係数を無窓状態の縮小模型による風洞実験により求め、開口部の空気の流れやすさを表す流量係数を開口部の形状により一定値と仮定¹⁾して行われている。これは窓を開けても建物周辺の気流と壁面の圧力が変化しないという仮定をしていることになる。しかしながら、壁面の圧力は近傍を流れる気流によって変化するため、窓を開ければ建物周辺の気流は変化し、圧力分布も変化するはずである。現在の評価法ではこの点が考慮されておらず、住宅の通風性能の評価を実用的にするためには、開口に伴う気流の変化を考慮に入れることが必要である。そのためには流量係数の変化や、開口部周辺の条件、室内の間仕切りなどの影響も定量的に把握する必要がある。しかしながら、縮小模型を使った実験では、建物周辺の気流分布と建物壁面の圧力分布の関係や開口部の通風量を正確に測定することは難しい。

そこで本研究では、住宅の通風性能に関する定量的評価を目的に、実大建物模型を対象とする大型の専用風洞を用いて詳細な測定を行った。

2. 実験方法

2.1. 実験用風洞および実大建物模型

本研究で使用した風洞は建設省建築研究所所属の通風実験用風洞である。図1に通風実験用風洞の平面図・断面図および実験に使用した実大建物模型の平面図・立面図を示す。実大建物模型は幅・奥行5.54m高さ3mで、各壁面に幅1.82m高さ1.8mの開口部が2箇所あり、

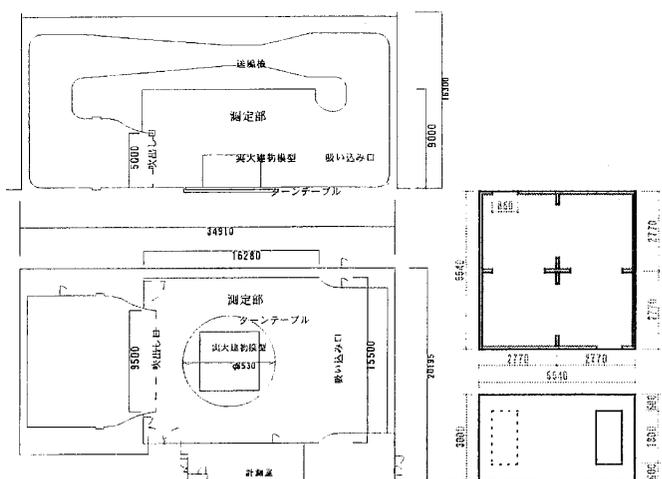


図1 通風実験用風洞と実大建物模型

内部空間は4つに分割され各空間に開放可能である。

2.2. 気流測定および圧力測定

実験風速は通風時の風を考え3m/sである。風速の測定は3次元超音波風速計を用い、10Hzで180秒間収録した。建物周辺気流の測定は5高度、計555点、建物近傍気流の測定は、建物模型壁面より0.05m、0.45m、0.9mの距離において5高度、計840点の測定を行った。開口部の気流測定は、幅方向6点、高さ方向8点の48点の測定を行った。

圧力の測定は0.01359mmAqまで測定可能な差圧計を使用し、10Hzで30秒間収録した。圧力測定孔は内径1mmで、テフロンチューブにより圧力変換器に気密に接続した。壁面・屋根面風圧は吹出し口上部より0.5mの高さ4.5mに設置したピトー管の静圧を基準圧とし、基準風速の速度圧により無次元化し、風圧係数として表示した。圧力測定点は壁面1面に60点、屋根面1/4面に36点、計96点とした。

3. 開口のない状態における建物周辺気流と壁面・屋根面の圧力分布

3.1. 測定条件

気流測定は風向を0~75°まで15°間隔で変化させ6ケースの測定を行った。圧力測定は、風向を0~82.5°

[†] 本研究の一部は1999年度日本建築学会大会(中国)において発表した。

* 建築学専攻

まで 7.5° 間隔で変化させ 12 ケースの測定を行った。

3.2. 気流速度ベクトル

図 2 に高さ 1m における水平断面、風洞中心軸における鉛直断面の建物周辺気流速度ベクトルの分布を示す。建物隅角部で剥離している領域や建物に沿って気流が流れる領域では特に風速が大きい。風向 0° の場合は建物風上面の上端で大きく剥離し、建物上部に大きな循環流が形成されているが、風向 45° の場合では建物上部の風速が大きく、その結果、鉛直断面において建物後方のベクトル分布に大きな差異が生じている。

3.3. 圧力分布

図 3 に建物壁面・屋根面における風圧係数分布を示す。建物風上側となる面の風圧係数は正圧となり、風下側や側面、屋根面では風圧係数は負圧となっている。風向 0° の場合では風圧係数の分布は変化が小さく、風上側では 0.9、風下側では -0.1 ~ -0.2、屋根面では -0.3 程度を示している。風向 45° の場合では、風上側となる 2 壁面では 0.1 ~ 0.8 程度と同一壁面内において風圧係数が大きく変化する。また、屋根面の風上側端部において極端な負圧となる場所が生じる。

4. 開口のある状態における建物周辺気流と開口部の気流性状

4.1. 測定条件

実大建物模型の対称となる 2 面の壁面に幅 0.86m、高さ 1.73m の開口部を対角線上に設けた。室内の間仕切りは全て取り除いた状態である。近傍気流の測定は風向を 0 ~ 165° まで 15° 間隔で変化させ 12 ケースの測定を行った。開口部の気流測定は、風向を 0 ~ 345° まで 15° 間隔で変化させ 24 ケースの測定を行った。

4.2. 気流速度ベクトル

図 4 に開口のない（無窓）状態と開口のある（有窓）状態の建物中央高さにおける建物近傍気流速度ベクトル水平分布および開口部での気流速度ベクトルを示す。風向 15° の場合、無窓状態では建物の隅角部では建物の外側へ向かって大きく剥離しているが、有窓状態では気流の流れ場が変化するため、大きく剥離されず壁面に沿って気流が流れている。風向 165° の場合、風洞内の気流の流れ場は風向 15° と同様になるが、建物隅角部における剥離の状況は無窓状態と有窓状態でさほど変化は見えない。これは開口部の位置が異なっているためだと思われる。風速が弱く逆流域となっている領域では流出している部分に引かれ気流が変化していることが分かる。開口部の気流速度ベクトルについて見ると、風向 15° では開口部のほぼ全面で気流が流入・流出していることが分かる。風向 165° では開口部の一端においては風速が弱く、逆流となっている部分がある。これは開口部の

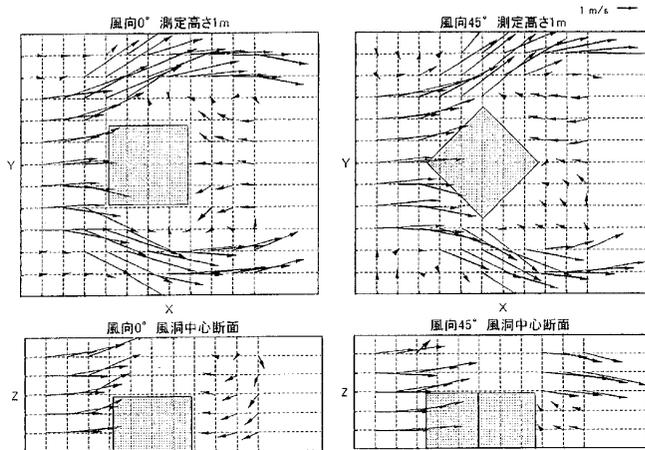


図 2 無窓状態 建物周辺 気流速度ベクトル

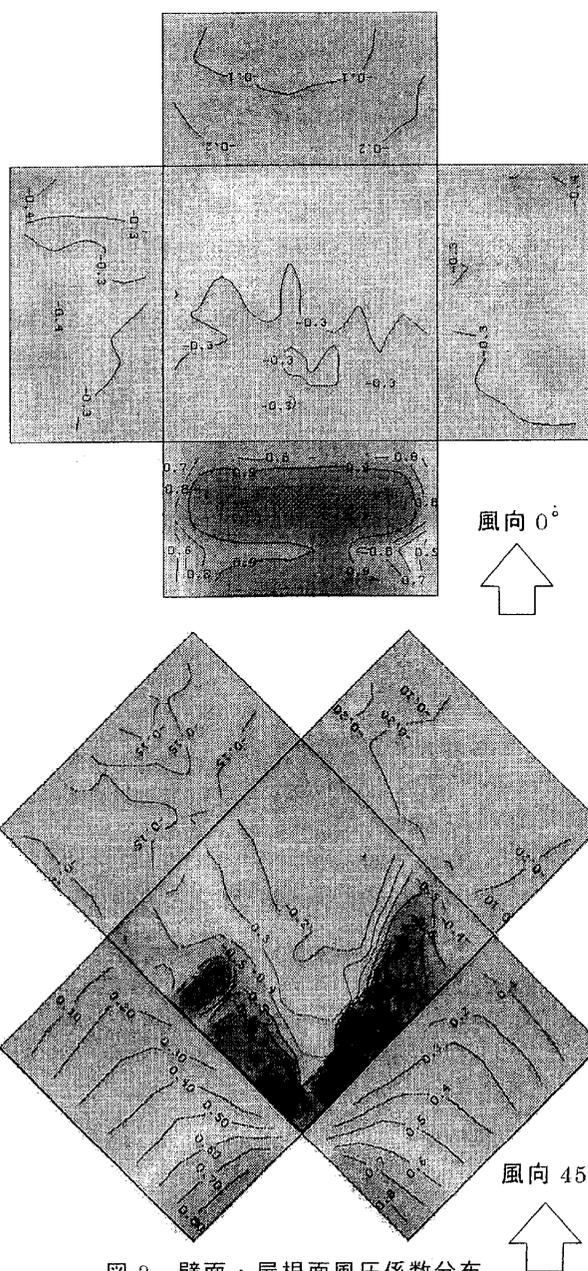


図 3 壁面・屋根面風圧係数分布

端部において気流が剥離しているためだと思われる。

4.3. 開口部の有無による気流の変化

図 5 に測定高さ 1.5m、開口部の中心位置に近い建物近傍気流測定点における開口部の有無による気流の変化を示す。壁面に対して垂直な成分は有窓状態では開口部からの流入・流出の気流の影響を受けて風速が大きくなっている。しかしながら、開口部が吹出し口に対して直角に近くなる風向（90° 270°）では風速が小さくなっている。水平面内で壁面に平行な成分は大きな変化は見られない。上下方向の成分は有窓状態の風速が小さくなっている。これは気流が開口部に流入・流出するため上下方向に気流が流れないためだと思われる。

4.4. 開口部の風速分布

図 6 に開口部に対して垂直成分の風速分布を示す。これによると風向 15° においては開口部のほぼ全面において 2m/s 程度の風速を示すが、開口 B においては開口部の端で風速が大きく変化している。風向 165° ではほぼ全面において 2m/s 程度の風速を示しているが開口端部においては風速の変化が大きく、風向が入れ替わっている。風向 90° においては、風速が弱く大きな変化は見られないが開口 B においては開口部の中心付近で風向が混在している。同一開口面内において、気流の風向や風速が変化する場合があることが明らかとなった。

5. 通風量の実測と流量係数の算定

5.1. 通風量

無窓状態での壁面風圧係数分布により風上側、風下側の風圧係数の差を求め、流量係数¹⁾を 0.7 として従来の評価方法である次式により通風量を求めた（以下、計算式と表示）。

$$Q = \alpha A v \sqrt{C_1 - C_2} \quad (式 1)$$

Q：換気量(m³/h)、α：流量係数、C₁：風上側風圧係数

C₂：風下側風圧係数、A：開口面積(m²)、v：風速(m/s)

一方、実測通風量に関しては、開口部の端部を考えずに、各測定点の代表する面積と平均風速との積により通風量を求めたものを実測値 1、また開口部の端部を考え、開口端部では風速が減少していると仮定し、各測定点に

よって作られる面積と 4 点の平均風速との積により通風量を求めたものを実測値 2 と表示する。

図 7 に従来の換気式から求めた通風量と、実測通風量の風向変化を示す。風向 15° において通風量が最大となり、10000~12000m³/h 程度を示す。開口部の位置を建物壁面の端よりに設けたため、風向 0° の場合は建物に沿って流れる気流の影響を受け通風量が少なくなった

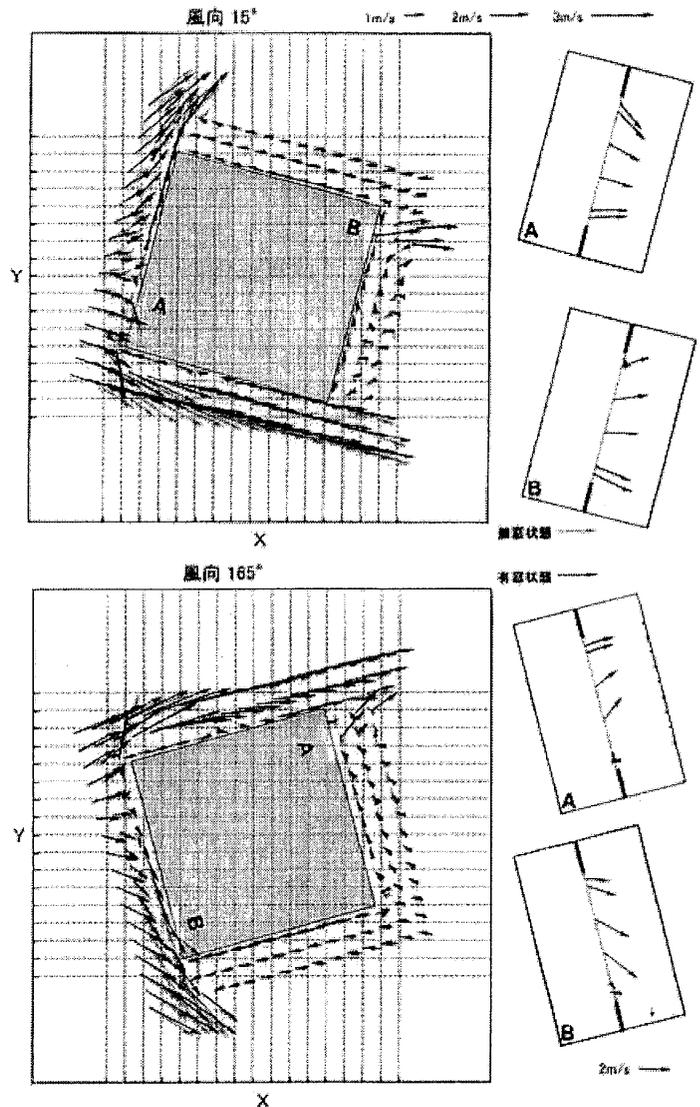


図 4 開口の有無による近傍気流の変化（建物中央高さ）
開口部 気流速度ベクトル

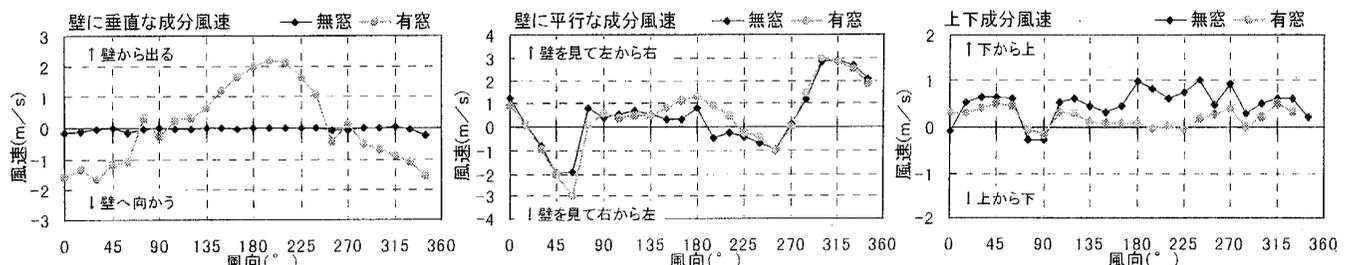


図 5 開口の有無による近傍気流の変化（建物中央高さ 開口部中央 壁から 5cm）

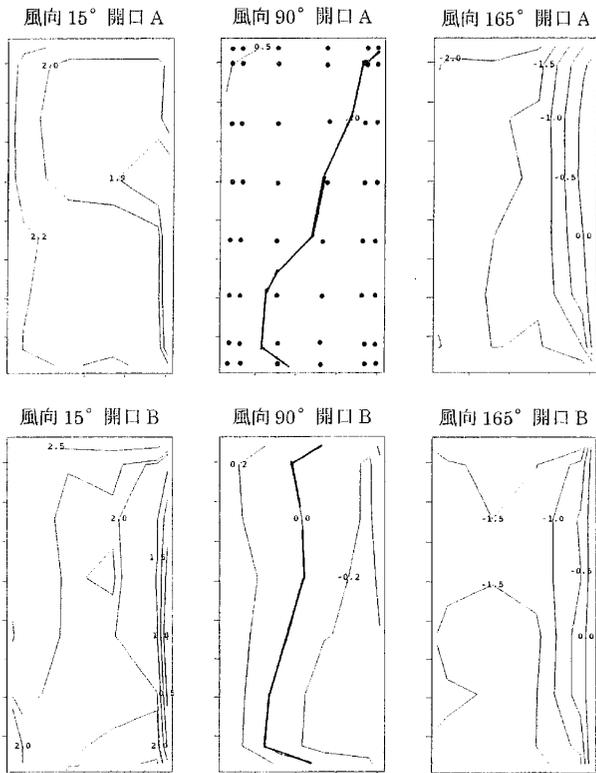


図6 開口部の風速分布
(風向90° 開口Aの点は開口部 気流測定点)

ものと考えられる。風向90°において通風量が最小となり、約2000m³/h以下となる。計算式、実測値1、実測値2の順に通風量が小さくなっている。

5.2. 流量係数と気流性状の比較

開口部の流量係数(α)は実測通風量(Q)と、壁面風圧係数の差と開口面積から算定される通風の駆動力により式2から求められる。

$$\alpha = Q / A_v \sqrt{C_1 - C_2} \quad (式2)$$

図8に流量係数と開口部近傍の乱れの強さの風向変化を示す。流量係数1は実測値1から、流量係数2は実測値2から求めたものである。流量係数は風向により変化し約0.6~0.1までの値を示す。流量係数は風向15°において最大となり、風向90°の場合に最小となる。流量係数2のほうが若干小さい値を示している。流量係数が小さくなる風向においては開口部近傍の乱れの強さは大きい値を示している。

図9に開口部近傍の乱れの強さと流量係数の関係を示す。乱れの強さが大きくなるにつれて流量係数が小さくなるという関係が見られる。流量係数は開口部近傍の乱れの強さに関係し、特に開口部が建物隅角部の剥離域にある場合など、乱れの強さが大きくなる風向では流量係数が小さくなることが分かった。

6. まとめ

住宅の通風性能に関する実大風洞実験を行い、次の

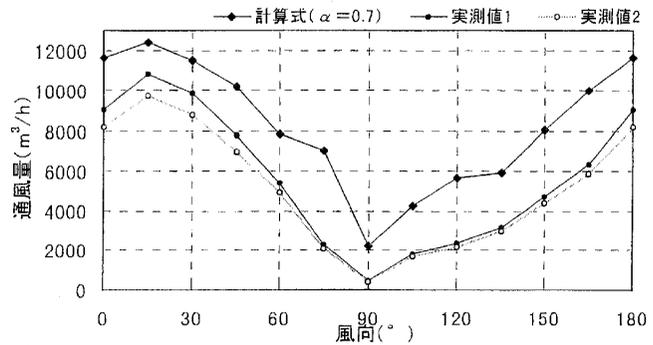


図7 通風量の変化

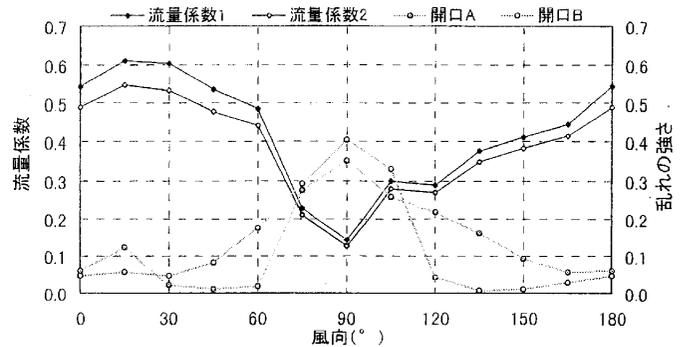


図8 流量係数と乱れ強さの変化

ような結果が得られた。

開口部がない場合ならびに開口を設けた場合の建物近傍の詳細な気流性状の測定を行い、開口を設けることにより建物近傍気流性状が大きく変化することが明らかとなった。

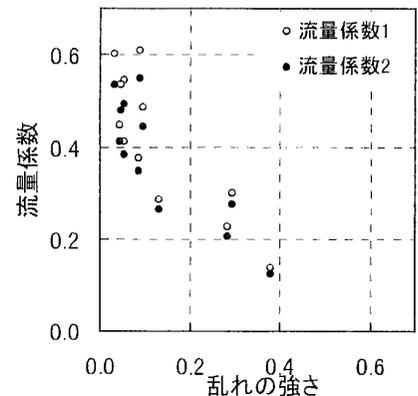


図9 流量係数と乱れ強さの関係

無窓状態の風圧係数分布から得られる通風の駆動力と実測通風量から流量係数の算定を行った。流量係数は一定ではなく風向により変化し、その変化は開口部近傍の乱れの強さに関係することが明らかとなった。

しかしながら、実用的な評価方法を確立するためには、設計者にとって利用しやすい一般的な指標化が必要となる。本研究はそのための第一歩であり、今後さらに開口部の位置や大きさ、室内の条件を変化させたい様々な実験を系統的に行う必要がある。

1) 換気設計 設計計画パンフレット18 日本建築学会(1965)

審査委員(主査) 成田健一(助教授)

審査委員(副査) 伊藤庸一(教授)

審査委員(副査) 市橋重勝(教授)