通風開口部の流入気流と圧力損失に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON PENETRATING FLOW AND PRESSURE LOSS THROUGH OPENINGS IN A CROSS-VENTILATED MODEL BUILDING

大場 正昭*, 倉 渕 隆**, 入 江 謙 治***

Masaaki OHBA, Takashi KURABUCHI and Kenji IRIE

Cross-ventilation is a valuable tool in achieving comfortable indoor temperatures in humid areas with high summer temperatures. However, the simplified design procedure for utilizing cross-ventilation is not established yet, because the interaction of the internal flow with the envelope flow greatly complicates the flow characteristics inside a room. The wind tunnel is the best way to account for wind effects and measure directly ventilation flow rates. In this study, split-film probes measured the directional velocities and turbulence levels inside and outside a cross-ventilated model. The penetrating flow entered the inlet opening at steep declining angles due to the front eddy and the downwash flow along the upwind face. The penetrating flow flowed downwards the floor. Internal turbulence spectrum of the main stream remained the same as that of the oncoming flow, but the spectra of other components were produced by the inlet and internal turbulence. The ventilation flow rates decreased until $45^\circ \leq \theta$. The Pitot tube was set for the incidence angles of the penetrating flow obtained by the split-film probes at the upwind opening. The pressure loss coefficients for the inlet opening were calculated from the pressure difference between the total pressure and internal pressure. It was found that the pressure loss coefficients greatly depended on wind directions and incidence angles of the penetrating flow.

Keywords: Cross-ventilation, Opening, Penetrating flow, Wind direction, Pressure loss coefficient, Wind tunnel experiment

通風、開口部、流入気流、風向角、圧力損失係数、風洞実験

1. 序

自然通風は夏季に蒸暑気候となる地域で、冷涼感を得たり、大量の発生熱や汚染物を除去したりするのに有効である¹⁾。また、自然換気と空調を組み合わせたハイブリット型空調システムは、自然換気利用による冷房負荷の削減効果の視点で積極的に導入されている²⁾。しかし、効率的に通風を得る方法や良い通風環境を形成する手法は、通風気流が建物内外の気流が相互に影響を及ぼす複雑乱流となることから、現状ではその解明が充分に進んでおらず、その手法が明確には示されていない。

従来の通風量は、一般に開口のない建物模型を用いて風洞実験によって測定された風圧係数と、チャンバー法によって測定された開口の流量係数から算出される。チャンバー法は、無風時の「静止空間から静止空間への開口部」について、チャンバー内外の圧力差と流量の関係から開口部の圧力損失係数を求めるものである³⁾。有風時の圧力損失は無風時の圧力損失とは異なるので、実際の通風量よりも過大に評価することが報告されている⁴⁾。これに対して石原は、通

風においては一般に、開口間の距離が開口寸法に対し、比較的小さいので、各開口の抵抗の相互干渉が生じるとして、従来の計算法を補正するための干渉係数を導入した⁵⁾。山中らは干渉係数の整備を目指している⁶⁾。加藤はエネルギー保存に基づくパワーバランスモデルを提案し、通風室内の流管が明確な場合に有効であることを検討した⁷⁾。しかし、流れのエネルギーが室内で消失する場合にはモデルの適用が難しい。

筆者らは、自然通風・換気を室内環境調整⁸⁾に有効利用するためには、まず通風時における建物内外の乱流現象を実験的に把握することが不可欠であると考え、そのための手段として風洞実験⁹⁾を活用してきた。

近年、実験を代替する検討手法として数値シミュレーションが注目され、 $k-\varepsilon$ モデルを用いた計算が実用予測法として広く実施されている^{9,10)}。風洞実験では精密な計測が困難な空間の静圧分布¹¹⁾の収集が可能になる。しかし、建物前面の衝突域での乱れの過大生産、端部での剥離流形成、屋根面の再付着流、開口部の伸縮歪の評価

* 東京工芸大学 教授・工博

** 東京理科大学 助教授・工博

*** ㈱ビス・アティック

Prof., Tokyo Institute of Polytechnics, Dr. Eng.

Assoc. Prof., Science Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

Bis Attic Inc.

等に問題点が多い^{12,13)}。そこで数値シミュレーションの妥当性を明らかにする必要があるが、数値モデルの検証に供し得る通風時の複雑乱流を詳細に測定した実験データが充分整備されていない¹⁴⁾。

本研究では、以上の述べた背景から、単純建物周辺気流を対象に、通風時における開口部の流入気流と圧力損失の関係について風洞実験で検討したので、報告する^{既1)～既3)}。

2. 実験概要

2.1 風洞

エッフェル型吹き出し式風洞で、測定部は長さ 14m、幅 1.2m、高さ 1m である。

2.2 建物模型

図-1に開口部なし模型と通風模型を示す。長さ 300mm、幅 300mm、高さ 150mm で開口部を有しない建物模型 Case 1 と、同形状で幅 60mm、高さ 30mm の開口部を 2 個有する通風模型 Case 2 ～Case 4 を用いた。通風模型は屋外気流、室内気流及び開口部流入気流の測定項目ごとに模型タイプを選択した。模型板厚は 8mm。

室内気流用の模型は、屋根面に直径 18mm の測定孔を 77 箇所設け、さらに室内の鉛直風速ベクトル測定のために、側壁に直径 15mm の測定孔を有するスライド式の板を 7 箇所に取り付けた。開口部流入気流用の模型は、開口部上部の壁面に角欠きを入れて風速プロブをはめ込めるようにした。

壁面風圧模型は Case 1 と Case 2 の模型表面に内径 1mm ϕ 、外形 1.7mm ϕ の真鍮パイプを埋め込んだ。Case 1 の測定点は 300 点、通風模型 Case 2 は 143 点で、開口部近傍に測定点を密に配置した。

2.3 計測器

室内外風速とスペクトル測定に気流の方向成分を測定できるスプリットフィルムプロブ (TSI 社の 1288 型) と熱線風速計 (KANOMAX) 2 台を使用した。風圧測定には微差圧計 (MKS バラトロン、測定精度 0.1Pa) を、ガス濃度測定には炭化水素分析計 (大倉理化学研究所、測定精度 $1 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{m}^3$) を使用した。

2.4 実験条件

図-2に接近流の鉛直風速分布、乱流エネルギー分布、及び風速変動のスペクトル分布を示す。市街地風を想定し、バリヤー、ボルトックス発生装置¹⁵⁾、粗度ブロックを組み合わせて、鉛直風速分布が 1/4 乗則に従う乱流境界層を作成した。基準風速は $Z/H=1.0$ で平板上の風速 U_0 を 7.0m/s に設定した。風速変動のスペクトルは、図の横軸を無次元周波数で表示し、周波数を測定高さ $Z=150\text{mm}$ とその高さでの風洞気流で基準化した。スペクトルは主流方向がスパン方向に比べて低周波側に存在する形を示した。表-1に実験条件を示す。室内外気流、風圧係数、風速変動スペクトル、通風量、開口部流入風速、及び開口部全圧の 6 タイプを測定した。

図-3にピトー全圧管の仕様を示す。円筒管先端部を直角に切断した断面形状に製作した。図-4に指向特性を示す。真の風向に対して $\pm 20^\circ$ の範囲で設置すれば、充分な精度で全圧の測定が可能である。

2.5 測定方法

(1) 室内外気流

鉛直面の風速ベクトルは、模型中心軸 $Y/H=0$ 上でプロブの角度を回転させて気流の 3 成分を測定した。図-5に通風模型の鉛直面

図-1 開口部なし模型と通風模型

(1) 平均風速と乱流エネルギー (2) 軒高のスペクトル分布

図-2 接近流の気流性状

表-1 実験条件

No	測定項目	計測器	模型	U_0	風向角
1	室内外気流	スプリット	Case1	7m/s	0°
			Case2,3		$0^\circ, 45^\circ$
2	風圧係数	微差圧計	Case1		$0^\circ, 45^\circ$
			Case2		$0^\circ, 45^\circ$
3	風速変動スペクトル	スプリット	Case1		0°
4	通風量	炭化水素分析計	Case3		0°
5	開口部流入風速	スプリット	Case2		$0^\circ \sim 75^\circ$
6	開口部全圧	全圧ピトー管	Case4		$0^\circ \sim 75^\circ$

図-3 ピトー全圧管

図-4 ピトー全圧管の指向特性

測定点を示す。建物近傍に測定点を密に配置し、323点選定した。通風模型の屋外気流は Case 2 を、室内気流は Case 3 の模型を用いた。Case 3 の測定では、側面中央の直径 15mm の孔からスプリットプローブを挿入し、スリットをスライドさせながらスプリットプローブを移動して X, Z の風速成分を測定した。アプローチフローが開口部に正対する風向角 0° のときにスリットを上下させた。測定以外のときはスリットを下げて、周辺気流への影響を極力小さくするように配慮した。Y 成分の風速は天井面からスプリットプローブを挿入して測定した。サンプリング周波数 250Hz、ローパスフィルター 125Hz、平均化時間 60 秒である。水平面の風速ベクトルは $Z/H=0.5$ で X, Y 成分の 2 成分を測定した。

(2) 風圧係数

各風圧孔から内径 1.4mm ϕ のビニールチューブでスキャニャーバルブまで接続して微差圧計で壁面風圧を測定した。風洞内静圧は平板上の模型高さでの $X/H=0$, $Z/H=1$ の静圧を基準とした。平均風圧係数は壁面風圧を基準風速 7 m/s の動圧で基準化して算出した。ビニールチューブの長さは約 100cm で、平均化時間は 60 秒とした。

(3) 風速変動スペクトル

サンプリング周波数は 500Hz、ローパスフィルター 250Hz で 2048 点の時系列のデータを 16 回採取し、AR 法で解析した。スペクトル分布は 16 回のスペクトルを集合平均したものである。

(4) 通風量

通風模型 Case 2 の屋根面から外形 6mm、内径 4mm のパイプを挿入し、模型内でエチレンガスを 10 cc/s 連続放出させ、流出開口部の平均濃度から通風量を測定した¹⁰⁾。サンプリング流量は 1.7cc/s である。測定点は流出開口部を均等分割した 6 点とした。計測器は炭化水素分析計を用いた。平均化時間は 60 秒である。

(5) 開口部流入風速

図-1(4)に示すように、流入開口部上部の角欠きにスプリットフィルムプローブを沿わせて、開口部の中心高さで X 成分と Y 成分の流入風速を測定した。測定時間は 60 秒である。

(6) 開口部全圧と室内静圧

開口部全圧の測定点は開口部の中心高さで、スプリット風速計で得られた水平面の流入風向角にピトー全圧管の向きを合わせて、開口部前縁で測定した。この点の全圧を開口部全圧とした。測定時間は 60 秒である。室内静圧は室内で下降する流入気流の影響を避けるために天井面で測定した。測定点は天井面を均等分割した 4 点と中央点の合わせた 5 点として、5 点の平均値を室内静圧値とした。

3. 実験結果及び考察

3.1 建物内外の気流性状

(1) 通気輪道

図-6 に開口部なし建物模型周りの鉛直断面流れを対比のために示す。アプローチフローは風上側壁面の $Z/H=2/3$ 付近で上下に分岐し、下降する流れは床面近くで逆流して循環渦を形成した。上昇する流れは風上側屋根面端部で剥離し、直ちに下降して屋根面に沿って流れた。風速測定を屋根面から $Z/H \geq 1/15$ の領域に限定したので、屋根面の渦を捉えることができなかった。

図-7 に通風模型の鉛直面風速ベクトル分布を示す。流れは風上側屋根面端部で剥離する気流、模型内に流入する気流、模型上流面下

図-5 通風模型周りの風速測定点

図-6 開口部なし模型周りの鉛直風速ベクトル分布 ($\theta=0^\circ$)

図-7 通風模型周りの鉛直風速ベクトル分布 ($\theta=0^\circ$)

(1) $\theta=0^\circ$

(2) $\theta=45^\circ$

図-8 通風模型周りの水平風速ベクトル分布

図-9 開口部なし模型周りの乱流エネルギー分布

部で循環渦を形成する気流の3つに分かれた。通風輪道として、流入気流は下降して床面に到達した後に上昇しながら、その一部が風下開口部から流出した。流出した気流は模型後流の循環渦に誘引されて上方に流れた。室内に反時計回りの循環流が形成された。模型上流面下部の循環渦は、 $X/H = -0.5$ 、 $Z/H = 0.3$ に渦中心が存在した。この循環渦により圧力が負圧になって次第にアプローチフローが下降し始め、さらに開口部の直上壁面を下降する気流の作用で流入気流が下向きに押される結果、気流が斜めに開口部を下降して室内に流入した。

図-8に水平断面の風向角 $\theta = 0^\circ$ と 45° の水平面風速ベクトル分布を示す。測定高さは $Z/H = 0.5$ で、 $\theta = 0^\circ$ は風洞の流れに対して右側域のみ測定した。模型外周部では風上側端部で流れが剥離し、同じ側壁面で再付着した。開口部近傍の風速は縮流現象で加速されたが、流入気流が室内で下降するために測定した室中央域の風速は減速した。そのため循環流は明瞭でない。流出気流は模型後流域の風速よりも加速され、後流の渦は $X/H = 2.7$ 、 $Y/H = 0.65$ 付近に中心が形成された。

風向角 $\theta = 45^\circ$ の模型外周部では、流れが風上側端部で分岐し、前面の壁に沿って流れ、風上開口部から室内に流入する。流入開口部直近の風速ベクトルが前面の壁面に沿っている。従って、流入気流は開口部直近の気流よりも、建物先端部で分岐した流れが建物前面の壁面に沿って開口部に到達し流入したと判断される。室内へ流入直後は、アプローチフローの風向と同じ風向分布が観測され、大きな時計廻りの渦を形成した。渦の中心は吸引効果で流出開口部に寄った位置に存在した。室内気流は流入開口部の流入角とほぼ反対の角度で流出開口部から流出した。

(2) 乱流エネルギー

図-9に開口部なし建物模型の乱流エネルギー k/U_0^2 結果を示す。屋根面前縁部で剥離した気流の影響で大きな乱れが屋根面端部で形成された。図-10に通風模型の結果を示す。開口部なし模型と同様に、建物前面下部と屋根面端部で高レベルの範囲が広がったが、屋根面の乱れは開口部なし模型に比べてやや低下した。室内では流入開口部の風下側で0.07と比較的大きい値をとり、斜め下方に流入する主流に沿って拡散し、流出側壁面近傍で0.01の低い値を示した。後流域では、流出気流と建物後流が相互作用する領域で0.06の高い値を示した。

(3) 平均風圧係数

図-11に通風模型外部表面の平均風圧係数分布を示す。風上面の最大風圧係数は0.8で、流入開口部近傍で0.6~0.7に分布した。風下面は-0.2前後の負圧で、室内天井面は0.2の正圧を示した。図-12に開口部なし建物模型の平均風圧係数分布を示す。風上面の最大風圧係数は0.75を示し、風下面はほぼ均一な-0.15~-0.18の風圧係数であった。

3.2 流入気流の降下現象

アプローチフローが建物開口部に正対する条件では、開口部が建物前面中央に存在する場合、流入気流が室内で急激に下降することが知られている¹⁷⁾。そこで、開口部高さで通風模型内外の気流性状を検討した。

(1) 迎角分布

図-13に迎角分布を示す。流入開口部前方に形成される循環渦の

図-10 通風模型周りの乱流エネルギー分布

図-11 通風模型の平均風圧係数分布

図-12 開口部なし模型の平均風圧係数分布

図-13 開口部中心高さでの迎角分布

図-14 開口部中心高さでの主流方向と鉛直方向の速度分布

影響で、開口部近くで下向きの鉛直速度成分が増加し、さらに開口部直上の風上壁面を下降する気流の作用で流入気流が下向きに押される結果、開口部に近づくと迎角は正から負に変化した。開口部流入直前の流入角は 19° の下向き角度を示した。室内に流入した気流は床面に向かって下降し、その後、流出開口部に対して上向き角度で流出した後、模型後流域の渦流に誘引されて上昇した。

(2) 運動量分布とシヤーストレス分布

図-14 に主流方向速度 U と鉛直方向速度 W の分布を、図-15 に運動量分布とシヤーストレス分布を示す。流入開口部に近づくに従い、建物前面下部の循環域により圧力勾配が変化し、主流方向速度を減じながら鉛直方向速度が正から負に変化する。それに伴い、鉛直方向の運動量輸送 UW が正から負に変化し、さらに開口部直上の下降気流の作用が加わり、流入開口部直前で流入気流に下向きの力を及ぼす運動量が形成された。シヤーストレスは負から正に変化した。変化量は運動量に比べて小さかった。従って、流入気流の下降現象は開口部直前における下向きの運動量輸送の増加が要因であると考えられる^{4, 5)}。開口部前後の短い区間で減速、加速、減速が生じる複雑な流れが形成されていた。

3.3 流入開口部近傍と室内の風速変動スペクトル分布

図-16 に通風時の流入開口部前後と室内のスペクトル分布を示す。流入後の $X/H=1/6$ では流入直前の $X/H=-1/6$ に比べて、 Y 成分と Z 成分のピークが高周波側に形成され、とくに Z 成分は大幅にピーク時の無次元周波数がシフトした。アプローチフローが室内に流入した時、開口部と室内の乱れがアプローチフローの Y 成分と Z 成分に付加されたと考えられる。主流方向のスペクトルは図-2 のスペクトル分布に似ており、アプローチフローの乱れ X 成分が室内で持続された。 $X/H=1/3$ と $X/H=2/3$ でも Y 成分と Z 成分のピークが X 成分に比べて高周波数側に存在した。

3.4 開口部の流入気流と通風量

(1) 開口部流入気流の流入角と流入風速

図-17 に風上開口部前縁の流入角と接近流の風向角との関係を示す。水平面の流入角 β はスプリット風速計の X 成分と Y 成分から算出した。測定点は開口部前縁の3点で、測定高さは $Z/H=0.5$ である。アプローチフローが模型に正対する場合、流れの縮流現象により A 点と C 点の流入角が対称であった。風向角 45° までは、流入気流は壁面に沿う接線方向速度の影響で風向角よりも大きな角度で流入した。 45° 以上になると流入気流が壁面に遮られる影響で、 $45^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ で流入角は一定の傾向を示した。風向角が 60° を超えると、流入角は減少した。

図-18 に風向角と流入風速比の関係を示す。アプローチフローが模型に正対する場合、軒高風速の約50%の風速で上流側開口部から室内に流入した。流入開口部の有効開口面積は風向角とともに減少して、風向角 60° まで流入風速が加速された。 60° を超えると、流入風速比は減少した。

(2) 通風量

図-19 に風向角と通風量の関係を示す。風向角の増加に従い、流入の有効開口面積が単調減少するので、風向角 45° まで通風量が緩やかに減少した。風向角 45° から 50° までの範囲で通風量が増加した後、再び緩やかに減少した。実験では2つの開口部でガス濃度を測り、 75° まで上流側開口部からガスが同時に流出していないこ

図-15 開口部中心高さでの運動量分布とシヤーストレス分布

図-16 開口部前後と室内の風速変動スペクトル分布

図-17 風向角と開口部流入角の関係

図-18 風向角と流入風速比の関係

とを確認した。通風量の増減現象の原因について、今後、開口部近傍の流れと乱れの性状から詳細に検討する必要がある。

3. 5 流入開口部の圧力変化と圧力損失係数

(1) 開口部の圧力変化

図-20 に開口部中心に位置する B 点の全圧、動圧、静圧及び室内静圧を示す。開口部動圧はスプリット風速計の流入風速から計算し、開口部静圧はピトー全圧管の全圧から開口部動圧を差し引いて算出した。圧力は軒高風速の動圧で基準化した。天井面の室内静圧分布は変動係数が風向角 0° で 4.5%、風向角 75° で -5.6% であった。開口部全圧は剥離流の影響が小さければ、ベルヌーイの定理により風向角に対してほぼ一定の値が保持されるはずだが⁴⁾、開口部全圧は風向角 40° まで緩やかに増大した。原因はピトー全圧管を水平方向の流入角のみに合わせ、下降気流による迎角成分を考慮せずに全圧を測定したこと起因しており、とくに下降気流の迎角が大きい風向角 $0^\circ \sim 22.5^\circ$ の範囲で、全圧が過小評価された可能性が強い。開口部全圧は 40° を超えた辺りから下降傾向がみられた。模型風上端部で発生する剥離流により乱れが生産される結果、全圧が低下したと考えられる⁶⁾。模型上流のエネルギーが室内で消失し、最終的なエネルギーの到達レベルが室内静圧に転化すると仮定し、室内静圧基準で開口部損失を表現すれば、全圧損失は $0^\circ < \theta \leq 40^\circ$ まで増大し、 $40^\circ < \theta < 60^\circ$ で一定になり、 $\theta > 60^\circ$ で全圧が急激に減少するために全圧損失が減少した。開口部の静圧損失は風向角によらずほぼ一定値を示した。動圧損失は流入風速の加速が続く 60° まで増大した。

(2) 開口部の圧力損失係数

圧力損失係数 ζ を開口部流入風速 V_P の通過動圧、及び開口部全圧 P_T と室内静圧 P_R の圧力差で定義する。

$$\zeta = (P_T - P_R) / [\rho (V_P)^2 / 2] \quad (1)$$

対比に従来の開口部なし模型の壁面風圧を用いた圧力損失係数¹⁸⁾

$$\zeta' = (P_W - P_R) / [\rho (Q/A)^2 / 2] \quad (2)$$

を計算した。図-21 に風向角と圧力損失係数の関係を示す。従来型の圧力損失係数 ζ' は外部表面静圧 P_W を式(1)の全圧 P_T に対応させている。 ζ' は風向角 0° で 1.8 を示した。 ζ' は風向角の増加に伴い増加し、風向角 $30^\circ \sim 90^\circ$ で最大値を示すとの報告がある⁴⁾。本測定では通風量が単調減少から風向角 $45^\circ \sim 50^\circ$ で増加に転じ、その後、再び緩やかに減少した。その結果、 ζ' は風向角 45° から 50° で減少した後、 60° から 70° で増加傾向がみられた。開口部全圧を用いた圧力損失係数 ζ は風向角 $0^\circ \sim 22.5^\circ$ の範囲で全圧の過小評価により、 ζ' に比べて小さい数値を示した。 ζ は風向角 20° 以後、緩やかに減衰した。式(1)の開口部風速はポイント風速を、式(2)の風速はバルク風速を示す。風向角が大きくなる場合は、流入角が 45° まで風向角に比例するので、 V_P と Q/A の風速差が拡大して ζ と ζ' の差異は増大すると考えられる。

図-22 に流入角と圧力損失係数 ζ の関係を示す。流入角が $0^\circ \sim 30^\circ$ で ζ が 1.5 付近の一定を示し、それ以降は流入角の増大に伴い低下する傾向がみられた。圧力損失係数が流入角と風向角に依存することが判る。今後、圧力損失係数と流入角を一意的に表す方法について検討を進める必要がある。

4. 結語

図-19 風向角と通風量の関係

図-20 風向角と開口部圧力の関係

図-21 風向角と圧力損失係数の関係

図-22 流入角と圧力損失係数の関係

本実験条件で通風開口部の流入気流と圧力損失に関して、次の結果を得た。

(1) アプローチフローが建物開口部に正対する条件では、建物前面下部に形成される循環流と開口部直上面を下降する気流との相互作用により、下向きの運動量輸送が開口部直前で増大し、流入気流が開口部を急激に下降しながら室内に流入した。

(2) 開口部全圧は、風向角が 40° を超えた辺りから、模型風上端部で発生する剥離流による乱れ生産の影響により低下した。

(3) 通風室内の主流方向のスペクトル成分はアプローチフローの影響を強く受けた。

(4) 開口部の流入気流は、風向角 45° まで風向角よりも大きな流入角度で流入し、 $45^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ で流入角は一定の傾向を示した。

(5) 開口部の全圧損失は風向角 40° まで増大し、 $40^\circ < \theta < 60^\circ$ で一定になり、 $\theta > 60^\circ$ で減少した。開口部の静圧損失は風向角によらずほぼ一定値を示した。

(6) 開口部の圧力損失係数は流入角と風向角に依存した。

謝辞 本実験を行うに当たり、東京工芸大学と東京理科大学の卒研究生及び元東京理科大学院生岩瀬拓志氏の協力を得た。ここに深謝する。

<主な記号>

A : 開口部面積、 $A=0.0018$ [m^2]

C_w : 平均風圧係数、 $C_w = P_w/P_0$

H : 模型高さ、 $H=0.15$ [m]

f : 周波数 [$1/\text{s}$]

k : 乱流エネルギー、 $k=(u^2+v^2+w^2)/2$ [m^2/s^2]

P_0 : 基準動圧で、軒高風速の動圧 [Pa]

P_T : 開口部全圧 [Pa]

P_V : 開口部動圧 [Pa]

P_S : 開口部静圧 [Pa]

P_R : 室内静圧 [Pa]

P_W : 壁面風圧 [Pa]

Q : 通風量 [m^3/s]

Q_0 : 基準風量 $Q_0=H^2 \cdot U_0$

$S(f)$: パワースペクトル [m^2/s]

U_0 : 軒高風速 [m/s]

U, V, W : 風速の3成分 [m/s]

u, v, w : 乱れの3成分 [m/s]

V_P : 開口部流入風速、 $V_P = \sqrt{U^2 + V^2}$ [m/s]

β : 流入角 [$^\circ$]

δ : 迎角 [$^\circ$]

θ : 風向角 [$^\circ$]

ρ : 空気密度 [kg/m^3]

ζ , ζ' : 圧力損失係数

参考文献

- 1) 村上周三、小林信行、加藤信介、赤林伸一、住宅の自然通風に関する実験的研究、日本建築学会計画系論文報告集、372、10-19、1987.2
- 2) 義江龍一郎、オフィスビルにおける自然換気併用空調方式の省エネルギー効果、日本建築学会大会学術講演梗概集、535-536、2000.9
- 3) 石原正雄、建築換気設計、213、261-262、朝倉書店、1969
- 4) 清田誠良、関根毅、模型壁面の開口部圧力損失に関する実験的研究、日本建築学会環境工学論文集、6、77-83、1984.11
- 5) 甲谷寿史、山中俊夫、古川準、直列配置された複数開口を持つ建物における通風量算定法に関する基礎研究 その2～その3、日本建築学会大会学術講演梗概集、551-554、2000.9
- 6) 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第1回空気シンポジウム 通風量算出のモデリング、45-48、1990.11
- 7) 澤地孝男、瀬戸裕直、清田誠良、成田健一、安部優美、住宅の通風設計および評価性能に関する研究 その5、日本建築学会大会学術講演梗概集、

571-572、2000.9

- 8) 西田勝、片山忠久、石井昭夫、堤純一郎、石井米二郎、風洞模型実験による通風の駆動力と室内気流分布の再現性に関する研究、日本建築学会計画系論文報告集、375、1-8、1987.5
- 9) 何平、片山忠久、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、474、47-55、1995.8
- 10) 飯野由香利、倉瀬隆、小林信行、嵐口晃宏、風洞実験およびCFDを併用した通風時の開口条件や主風向が異なる場合における建物内外の気流性状に関する研究、日本建築学会計画系論文報告集、520、47-54、1999.6
- 11) 清田誠良、関根毅、建築物周囲空間の静圧分布に関する実験的研究、日本建築学会計画系論文報告集、397、23-29、1989.3
- 12) 村上周三、CFDによる建築・都市の環境設計工学、東京大学出版会、2000
- 13) 鈴木求紀、倉瀬隆、大場正昭、嵐口晃宏、岩瀬拓志、小橋史彦、通風時の建物内外気流構造解明のための数値シミュレーションに関する研究 (3) 標準 $k-\epsilon$ モデル 改良モデルの比較検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、701-702、2000.9
- 14) 金永徳、村上周三、赤林伸一、通風量算出モデルに関する基礎的研究 その2、49-52、日本建築学会関東支部学術講演梗概集、1991.3
- 15) 日本建築センター編、実務者のための建築物風洞実験ガイドブック、32-35、1994
- 16) 村上周三、赤林伸一、トレーサース法を利用した住宅の自然通風に関する風洞実験、日本風工学誌、33、1-8、1987.9
- 17) 金永徳、村上周三、赤林伸一、住宅における通風時の室内外の流れ場の可視化、日本建築学会環境工学委員会第1回空気シンポジウム 通風量算出のモデリング、17-20、1990.11
- 18) 清田誠良、関根毅、模型壁面の開口部圧力損失に関する実験的研究 (続報)、日本建築学会計画系論文報告集、398、47-54、1989.4

本論文に関する既発表論文

- 1) 入江謙治、大場正昭、倉瀬隆、通風時の室内気流空間分布の予測・評価手法に関する研究 その3 風洞実験による室内外の風速ベクトル分布に関する検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、531-532、1999.9
- 2) 入江謙治、大場正昭、倉瀬隆、通風時の室内気流空間分布の予測・評価手法に関する研究 その4 風洞実験による通風量及び室内風速変動スベクトルに関する検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、637-638、2000.9
- 3) M. Ohba, K. Irie, T. Kurabuchi, Study on airflow characteristics inside and outside a building induced by cross-ventilation using wind tunnel experiments, 317-320, 4th Bluff Body Aerodynamics & Applications, 2000.9
- 4) T. Kurabuchi, M. Ohba, A. Arashiguchi, T. Iwabuchi, Numerical study of airflow structure of a cross-ventilated model building, Roomvent 2000, 1, 313-318, 2000.7
- 5) 岩瀬拓志、倉瀬隆、嵐口晃宏、大場正昭、通風時建物内外気流の構造解明を目的とした LES シミュレーション、空調調和・衛生工学会講演論文集、1185-1188、2000.9
- 6) 倉瀬隆、大場正昭、嵐口晃宏、岩瀬拓志、小橋史彦、通風時の建物内外気流構造解明のための数値シミュレーションに関する研究(5) 計算結果の分析に基づく通風時の乱流構造の解明、日本建築学会大会学術講演梗概集、705-706、2000.9

(2001年5月7日原稿受理、2001年9月27日採用決定)