

自然換気下における室内風環境に関する研究 実測による流量係数の算定

濱嶋 知行

1. はじめに

近年、通風現象のメカニズムや遮蔽物の影響を考慮した風環境の評価手法に関する研究が進捗し、定量的な評価の実現性が増してきている。それにより、自然換気の導入に際しての性能の評価や合理性の要求に応えることができるようになり、自然通風の導入の増進が見込まれる。

本研究では、開口形状を変化させた場合の流量係数の算定・比較を行い、将来的に九州大学尾崎研究室で開発した THERB with NAF(換気回路網計算を含む熱環境シミュレーション)の精度検証・向上に生かし、自然換気により適切な導入を目指す。

また、本研究ではオリフィスの流れ式を基本式とし、実験から得られた数値を用いることにより流量係数を算定し、評価を行う。

2. 自然換気下における実測実験

2.1. 実験の目的

開口の大きさ・開口形状を変更した場合の流量係数の検討および風向による流量係数の差異の検討を本実験の目的とする。

表 1 に検討した開口形状を示す。実験では 4 パターンの開口形状についての検討を行った。

2.2. 対象室

図 1, 図 2 に建築環境実験棟のパス、対象室を示す。対象室は九州大学内の建築環境実験施設の三階部分の実験解析室を対象とした。対象室は二か所の開口部を有しており、そのうち屋上側である東側の開口部について開口形状を表 1 に示す 5 つのパターンで変更し、流量係数の検討を実測により行った。

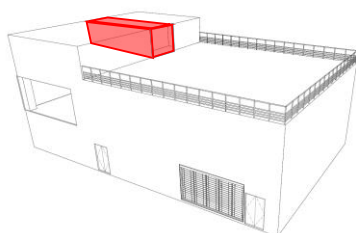


図 1 環境実験棟 パース

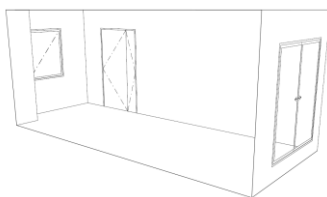


図 2 実験解析室

2.3. 計測機器の配置

図 3 に実験対象室である実験解析室内における実験器具の配置、表 2 に各機器の型番と測定間隔を示す。複合気象観測計は実験対象室屋上に設置し、外部環境を実測する。多数室換気測定器はトレーサーガスとして二酸化炭素を用い一定濃度法により、対象室の換気量を測定する。風速計は室内への流入風速を確認するために設置した。微差圧計は換気駆動力となる壁面近傍の圧力と室内中心の圧力の差を計測している。PMV 計測器は室内環境を把握するために設置した。

2.4. 算定に使用した計算理論

多数室換気量測定器はトレーサーガスである二酸化炭素の室内濃度を一定値に保とうとしたときの放出量、放出前の室内濃度、外気の二酸化炭素濃度から式 1 のザイデル式が成立するものとして換気量を測定している。

$$Q = \frac{M}{C - C_0} \quad (式 1)$$

Q: 換気量, M: CO₂発生量, C, C₀: 室内, 室外CO₂濃度

表 1 検討した開口部

| | 開口面積d×h(m ²) | ルーバー有無 | ルーバー角度 |
|-------|--------------------------|--------|--------|
| case1 | 0.28×0.28 | 無 | - |
| case2 | 0.28×0.42 | 無 | - |
| case3 | 0.28×0.25 | 有 | 0° |
| case4 | 0.25×0.35-0.014* | 有 | 0° |
| case5 | 0.25×0.35-0.010* | 有 | 30° |

*case4, case5の第2項はルーバーの部分の面積

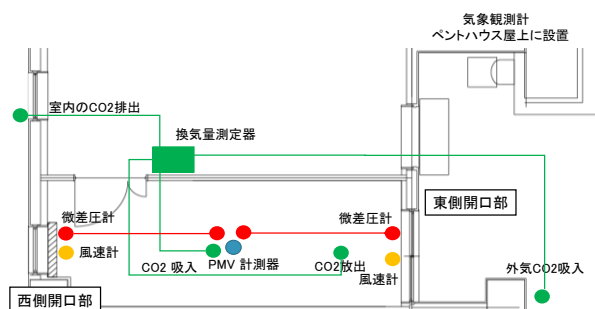


図 3 実験器具配置図

表 2 機器の型番・計測間隔

| 計測機器 | メーカー | 型番 | 計測間隔[s] |
|----------|----------|---------|---------|
| 複合気象観測計 | 英弘精機 | WS502 | 10 |
| 多数室換気測定器 | コーナー札幌 | SK-001 | 300 |
| 風速計 | KANOMAX | 6501-00 | 60 |
| 微差圧計 | testo | 400 | 300 |
| PMV計 | DeltaOHM | HD32.3 | 60 |

今回の流量係数の算定には実験により測定した換気量と換気駆動力となる差圧を利用して、式 2 のオリフィスの換気式が成立するものとして算定を行っている。また、開口の高低差が微小の為、温度差換気は起こらないものとしている。

$$Q = \alpha A \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} \quad (\text{式 2})$$

Q : 換気量, α : 流量係数, A : 開口面積
 p_1 : 室内気圧, p_2 : 開口近傍気圧, ρ : 空気密度

2.5. 計測概要

(1) 開口形状について

実験で使用する換気量測定器は換気量が過大になると正確な測定ができないことが事前実験により明らかになった。そこで、対象室の開口の大きさを調整するためにスタイロフォームを利用し、窓の検討領域以外をふさいだ。検討領域以外の日射の影響を防ぐためスタイロフォームを用いた。

(2) 漏気への対策

室内にはエアコンの給排気口やドアの隙間など漏気が懸念される場所がいくつか存在したため、ビニールシートや養生テープでふさぐことで対策を行った。

(3) トレーサーガスの攪拌

多数室換気測定器で使用するトレーサーガスは室内に様に拡散している必要があるため扇風機を用いて拡散したが、その風速は室内中心に置いた PMV 計測器に影響が出ない程度のもとした。

(4) 多数室換気量測定器の使用方法

本実験では、連続的に測定を行うために多数室換気測定器を稼働させたままガスボンベの交換を行った。交換のタイミングにおいて実測への影響がある場合があり、その場合のデータは外れ値として除外して検討を行った。

2.6. 評価方法

また、微差圧と流量係数の関係において、微差圧が 1 以下の範囲ではばらつきが大きく、差圧が大きくなるにつれて小さくなる。そのため流量係数の算定にはこの範囲の値を除いて行うこととした。また流量係数を文献値と比較することで精度の検証を行った。

3. 実験結果

(1) Case1 : 0.28×0.28 単純開口

開口形状は 0.28×0.28(m²)の単純開口である。実験は 2021 年 9 月 8 日から 9 月 13 日の 6 日間行った。流量係数と開口部近傍と室内中央の微差圧との関係を図 4 に、風向による流量係数の差について図 5 にまとめる。

算定された流量係数は約 0.62 となった。次に、風向別に流量係数を見ると、開口面に対して垂直に流入する 45°付近での流量係数が最も大きい結果になった。開口面に対して垂直に流入するのが最も流量係数が小さい値となった。この結果は室内に垂直に流入する場合が最も抵抗が少ないためだと考えられる。また単純開口の場合、流量係数の文献値は、0.65~0.7 であり実験で得られた値はやや小さな値となるが、計測誤差の範囲内であるといえる。有効データ数は 476 個であった。

(2) Case2 : 0.28×0.42 単純開口

開口形状は 0.28×0.42(m²)の単純開口である。実験は 2021 年 9 月 23 日から 9 月 26 日の 4 日間と 9 月 28 日から 9 月 30 日の 3 日間の計 7 日間で行った。流量係数と開口部近傍と室内中央の微差圧との関係を図 6 に、風向による流量係数の差について図 7 にまとめる。

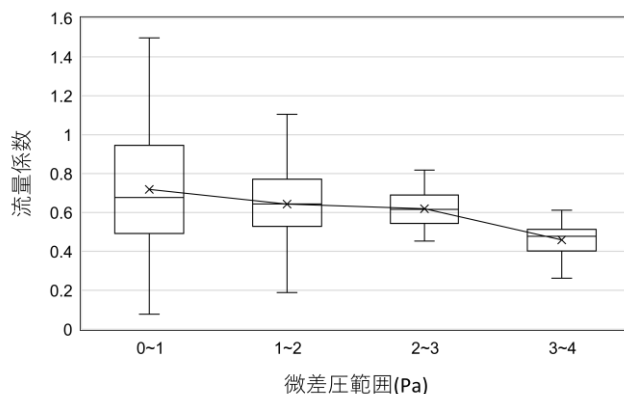


図 4 Case1 流量係数と微差圧の関係

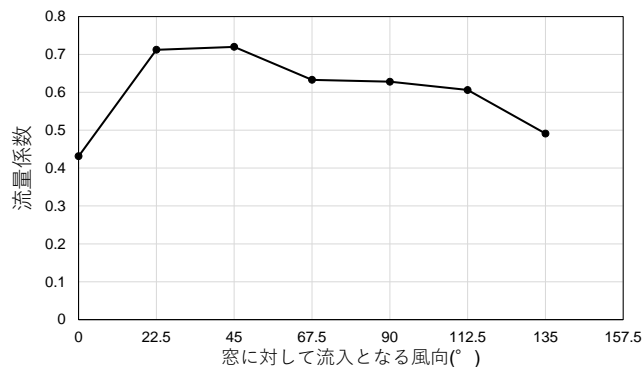


図 5 Case1 風向による流量係数の比較

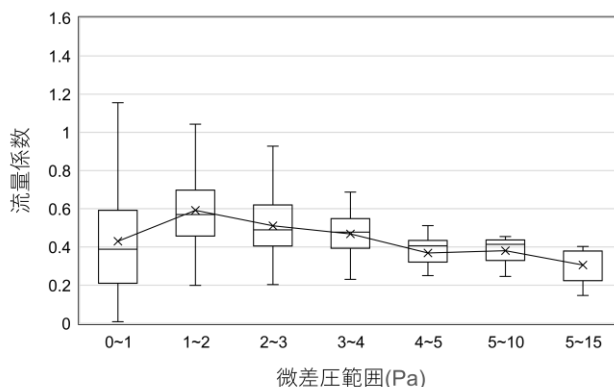


図 6 Case2 流量係数と微差圧の関係

前半のデータを **case2-1**、後半のデータを **case2-2** としてそれぞれ算定された流量係数は約 **0.49** と **0.63** となり二つのデータを合わせて算出すると **0.55** となった。風向別の流量係数は、開口面に対して垂直に流入する **45°** 付近で大きくなり、開口に対して垂直に流入する場合の開口の抵抗値が比較的小さい傾向にあることが分かる。また単純開口の流量係数の文献値は、**0.65~0.7** であり実験で得られた値はこれより小さな値となった。有効なデータ数は **1301** 個だった。

(3) Case3 : 0.20×0.25-0.010 ガラリ形状 小 角度 0°

開口形状は、**0.20×0.25(m²)**の開口からルーバーの厚みの合計である **0.010(m²)**の面積を差し引いた **0.040(m²)**の開口面積を持つ、一般的にガラリ形状と呼ばれる開口形状である。また、ルーバーには角度をつけていない。実験は **2021年10月5日から10月9日の5日間**で行った。流量係数と開口部近傍と室内中央の微差圧との関係を図 **8** に、風向による流量係数の差について図 **9** にまとめる。

算定された流量係数は約 **0.78** となった。風向別の流量係数は、開口面に対して垂直に流入する **45°** 付近で大きくなり、開口に対して垂直に流入する場合の開口の抵抗値が比較的小さい傾向にあることが分かる。またガラリ開口の場合 **0°** の、流量係数の文献値は、**0.65~0.8** であり実験で得られた値はこれを下回る結果となった。有効なデータ数は **159** 個だった。

(4) Case4 : 0.20×0.35-0.014 ガラリ形状 大 角度 0°

開口形状は、**0.20×0.35(m²)**の開口からルーバーの厚みである **0.014(m²)**の面積を差し引いた **0.0739(m²)**の開口面積を持つ、一般的にガラリ形状と呼ばれる開口形状である。また、ルーバーには角度をつけていない。実験は **2021年11月2日から11月5日の4日間**で行った。流量係数と開口部近傍と室内中央の微差圧との関係を図 **10** に、風向による流量係数の差について図 **11** にまとめる。

算定された流量係数は約 **0.54** となった。次に、風向別に流量係数を見ると、開口面に対して垂直に流入する **45°** 付近でやや低下がみられるものの比較的大きな値がみられ、開口面に対して垂直に流入する場合の開口の抵抗値が比較的小さい傾向にあることが分かる。またガラリ開口の場合 **0°** の、流量係数の文献値は、**0.65~0.8** であり実験で得られた値はこれを下回る結果となった。有効なデータ数は **159** 個だった。

(5) Case5 : 0.20×0.35-0.010 ガラリ形状 角度 30°

開口形状は **0.20×0.35(m²)**の開口からルーバーの厚みである **0.014(m²)**の面積を差し引いた **0.0739(m²)**の開

口面積を持つ、一般的にガラリ形状と呼ばれる開口形状である。ルーバーには角度を **15°**つけた。実験は **2021年11月19日から11月21日の3日間**で行っている。流量係数と開口部近傍と室内中央の微差圧との関係を図 **12** に、風向による流量係数の差について図 **13** にまとめる。

算定された流量係数は約 **0.36** となった。次に、風向別に流量係数を見ると、開口面に対して垂直に流入する **45°** 付近で値が大きくなり、開口面に対して垂直に流入する場合の開口の抵抗値が比較的小さい傾向にあることが分かる。またガラリ開口で **20°**の角度をつけた場合、流量係数の文献値は **0.40~0.50**、**40°**の角度をつけた場合、**0.35** であり、**30°**の角度をつけて求めた実験値は **2** つの文献値の中間に位置し、値は妥当性のある値となった。有効なデータ数は **218** 個だった。

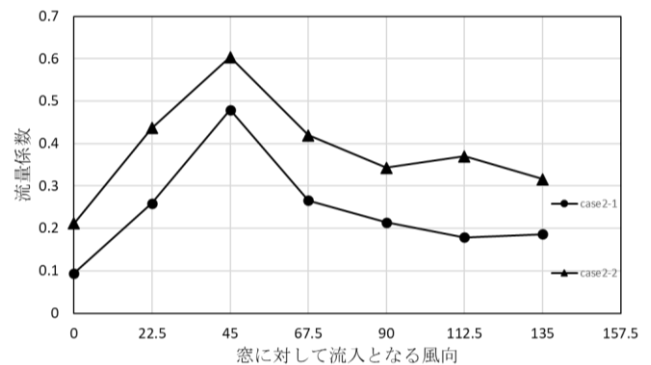


図 7 Case2 風向による流量係数の比較

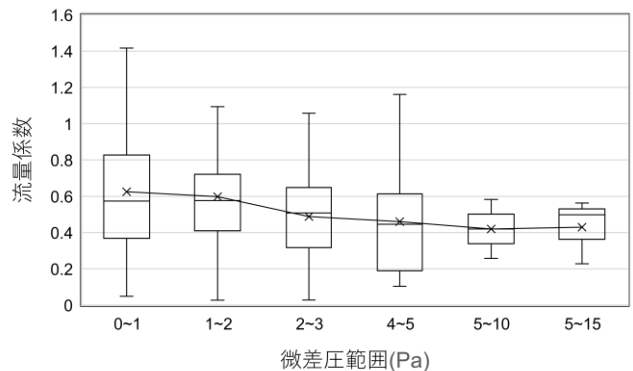


図 8 Case3 流量係数と微差圧の関係

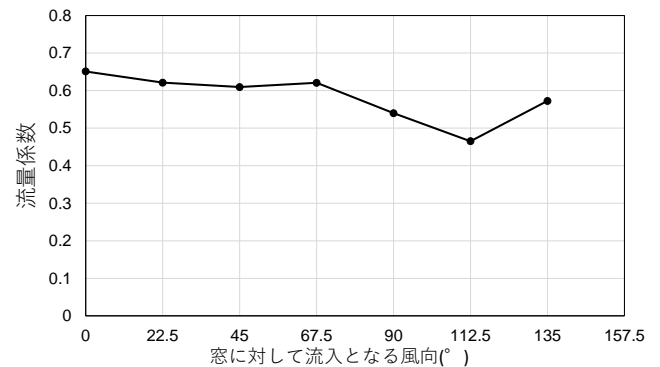


図 9 Case3 風向による流量係数の比較

4. 考察

風向毎に流量係数を算定すると、157.5°のデータが存在しないため、算定することができなかった。これは窓面のある壁が入り組んだ形状になっており、その方向は壁により風がさえぎられるため、流入がなかったためであると考えられる。また、各ケースの実験結果でも述べたように流入風向45°付近でほとんどのケースで流量係数の値が大きくなり、窓面に垂直な風向で開口の抵抗値の低減が原因であると考えられる。しかし、45°を超えていくと流量係数が上昇するCase4のようなパターンも見られたため、より多くのデータ数の確保をしてより正確な傾向をつかむことや乱流の影響を考慮することが今後の課題となる。

また、Case1とCase2を比較すると、開口が大きくなると、流量係数が低下するという結果になった。これは予想に反する結果であった。一般的に開口が大きくなると抵抗値が小さくなるため、流量係数は大きくなる。本実験では開口の大きさを変えるために一辺の大きさだけを変えたことが原因であるのではないかと考えられる。これは、開口の面積より開口の形状が流量係数に与える影響が大きいためではないかと予測でき、今後検討したい。

実験から得られた流量係数と文献値の比較を行う。図14に全ての微差圧範囲により求められる流量係数と微差圧が1Pa以上の範囲により求められる流量係数、文献値の流量係数の中央値を並べた。どの場合においても実験により精度よく流量係数を算定できていることが分かる。

5. まとめ

本実験では、実在建築物の開口部を対象に流量係数を算定し、その形状を変化させ比較・検討を行った。実在建築物においても、換気量が多くなく安定していれば、精度よく流量係数が算定できることを確認した。しかし、多くの既往研究で行われている風洞実験による算定とは異なり、気温、気圧、風向、風速などが安定しないため、データの分析が複雑となり、またデータ数にかなりの差が生じてしまう結果となった。より正確に流量係数を算定するためには、計測により単純な建物を選択することやデータ数を増やす必要がある。

【参考文献】

- 1) B-56 環境負荷型オフィスビルにおける地球・地域環境負荷の低減効果の検証(2)研究棟運用段階における個別対策技術のLCA評価：澤地孝男・瀬戸裕直
- 2) 建築環境工学 浦野良美 中村洋 編著 pp280-304

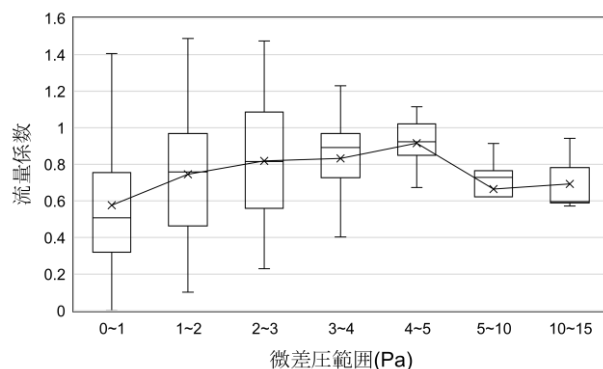


図 10 Case4 流量係数と微差圧の関係

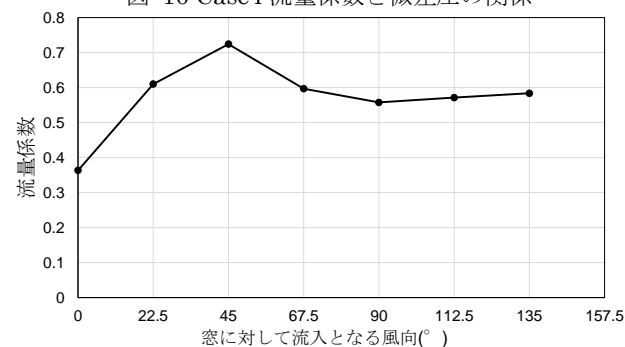


図 11 Case4 風向による流量係数の比較

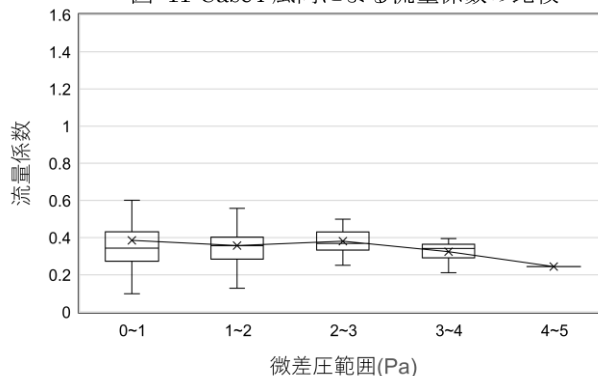


図 12 Case5 流量係数と微差圧の関係

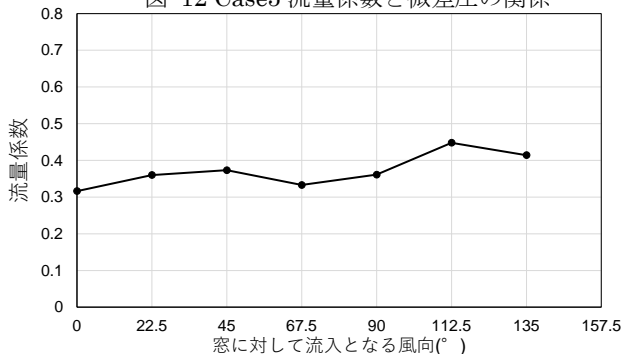


図 13 Case5 風向による流量係数の比較

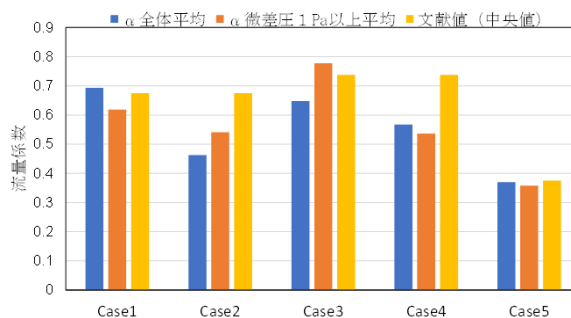


図 14 範囲の違いによる流量係数の違いと文献値