

複数の開口を有する室を対象とした気流の乱れによる換気効果に関する研究 (その5) 微小な風圧係数差の2開口を有する室の換気量評価

正会員 ○藤田拓也*1

同 小林知広*2

同 梅宮典子*3

対面開口 風圧係数 CFD

LES

1. はじめに

2開口を有する室の風力換気量算定には一般に以下の換気の式が用いられる。

$$Q = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{(\alpha_1 A_1)^2} + \frac{1}{(\alpha_2 A_2)^2}}} U \sqrt{C_1 - C_2} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad \dots(1)$$

ここで、 A : 開口面積 [m^2]、 C : 風圧係数 [-]、 U : 外部風速 [m/s]、 α : 流量係数 [-] である。この式では単一開口や風圧係数差がない複数開口で換気量が0となるが、実際には気流の乱れで換気が生じる。乱れによる換気として単一開口を扱った研究はこれまでも見られ、メカニズムは空気の圧縮性による脈動現象と開口部での乱流拡散による混合現象の2種と言われている¹⁾。複数開口においても脈動と混合のメカニズムで換気が行われ、檜崎・山中ら^{2,3)}、河野・加藤ら⁴⁾による研究例も見られるが、風圧係数差が微小な場合での換気効果は不明な点も多い。既報⁵⁾では風圧係数差が0となる2開口で実質的な換気量として Purging Flow Rate (PFR)^{6,7)} を評価し、単一開口との差異を示した。本報では微小な風圧係数差の対面開口を対象として LES を用いた CFD 解析を行い、(1) 式の精度を明らかにする。また換気量評価として、PFR に Air Flow Rate (AFR) を加えた2種の指標を用いて評価した結果を報告する。

2. 解析概要

2.1 解析対象及び解析条件

既報⁵⁾と同様に縮小模型による風洞実験を模擬した CFD 解析を行った。解析領域は幅1,000 mm、高さ1,000 mm、長さ3,200 mmの流路として、風向に対して側面に対面開口を有する一辺200 mmの立方体模型を室モデルとして設置した(図1)。図2に開口条件を示す。開口は風上側から見て左側開口部(開口1)の位置を固定し、右側開口部(開口2)を主流方向に移動させることで異なる風

圧係数差を6条件設定した。開口サイズは全条件で40×40 mmとし、開口部中心高さは100 mm、壁厚は2.0 mmとした。なお、風圧係数は既報⁸⁾で LES により行った開口を設置しない条件での解析結果から取得した。

2.2 CFD 解析手法

まず標準 $k-\epsilon$ モデル (SKE) の結果を初期条件とし、計算時間間隔を1/2,000 [s]、計算開始後の2,000 time step (=1.0 [s]) を SKE から LES への移行期間とみなして結果を破棄し、その後の計算を本計算とした。LES の流入境界は図3の境界層流に Smirnov ら⁹⁾の手法で変動風を与えた。表2に CFD 解析概要を示す。

2.3 換気量評価方法

本報では既報⁵⁾同様、次式で定義される PFR を用いた換気量評価を行う。

$$PFR = \frac{q_p}{C_p} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad \dots(2)$$

PFR は対象領域内で汚染質の希釈・排出に有効な換気空気の入流量で (2) 式の q_p は対象領域内の汚染物発生量

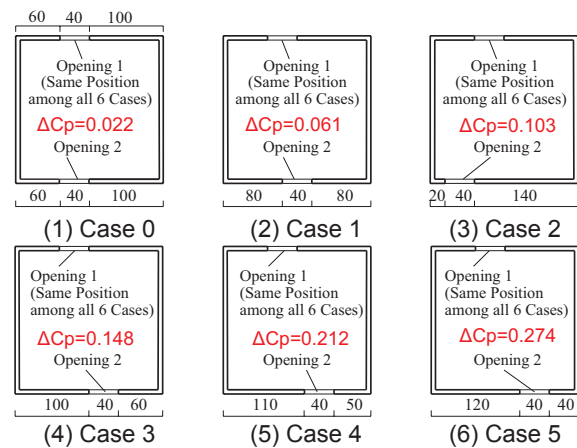
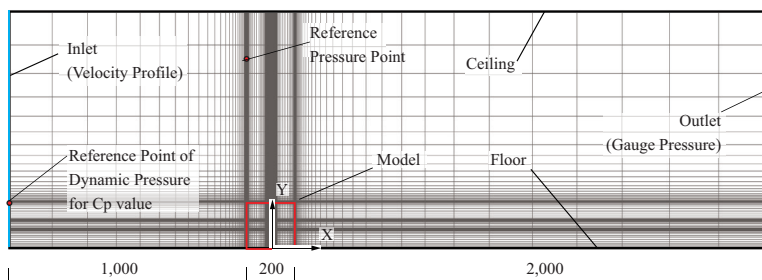


図2 開口条件



(1) XY 断面
図1 解析領域及びメッシュレイアウト [mm]

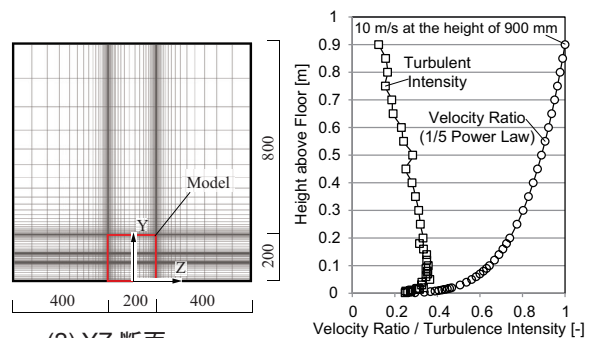


図3 アプローチフローの平均風速及び乱流強度

Ventilation Effect of External Wind Turbulence for a Room with Multiple Openings

Part 5. Evaluation of Ventilation Rate for a Room with Two Openings of Small Wind Pressure Difference

FUJITA Takuya, KOBAYASHI Tomohiro, UMEMIYA Noriko

[kg/s]、 C_p は対象領域内の平均濃度 [kg/m³] である。LES では室内で 1/2,000 [s] ごとに図 4 に示す座標を組み合わせた 27 点から粒子を発生 ($q_p=54,000$ [個/s]) させて、対象領域内 (-95<x<95, 5<y<195, -95<z<95) の室内粒子個数濃度から PFR を求めた。PFR は発生開始後の定常濃度から算出する必要があるが、条件によっては総計算時間が不十分となる可能性を考え、以下の非定常汚染質濃度予測式を用いて CFD 解析の個数濃度と予測個数濃度の差の二乗和が最小となるような換気回数 n [1/s] を同定することで PFR ($=nV$) を算出した。

$$C_r(t) = \frac{q_p}{nV} (1 - e^{-nt}) \quad \dots(3)$$

$C_r(t)$ は室内個数濃度 [個/m³]、 q_p は発生量 [個/s]、 V は室容積 [m³]、 t は本計算開始後の時間 [s] である。

本報では PFR に加えて開口面法線方向の風速を流入出で区別して積分することで空気の流入出量を評価する。PFR と区別してこの風速ベースの換気量を AFR (Air Flow Rate) と表記する。本報では開口に垂直に流入出する瞬時風速のモニター点を各開口で 64 点ずつ設置し (図 5)、両開口からの瞬時流入風量合計 Q_{in} 及び瞬時流出風量合計 Q_{out} を全 time step で求め、それらの時間平均値を AFR(LES) として算出した。

$$AFR(LES) = \left(\frac{|Q_{in}| + |Q_{out}|}{2} \right) \quad \dots(4)$$

3. 解析結果と考察

図 6 に風圧係数差と PFR・AFR の関係を示す。なお、(1) 式による換気量 ($\alpha=0.60, U=7.40$ (室モデル高さのアプローチフロー)) も併せて示す。風圧係数差が 0.1 以上で AFR が (1) 式に概ね一致する結果となり、0~0.1 程度の風圧係数差では乱れ駆動の換気が支配的になるため従来手法による換気量算定では精度が著しく低下することが示された。なお、PFR は AFR より若干小さいが、室内での空気の滞留箇所の存在や流出した汚染物の室内への再帰が原因と考えられる。

4. まとめ

風圧係数差が微小な 2 開口を対象として CFD により換気量を評価した。その結果、風圧係数差が 0.1 程度以下で従来の式が不適切になると示された。

表 1 CFD 解析における計算条件

Turbulence Model	Large Eddy Simulation Smagorinsky-Lilly Model (Cs=0.1)						
CFD Code	Fluent 15.0						
Algorithm	Implicit method(SIMPLE)						
Discretization Scheme for Advection Term	Central Differencing						
Time Step	0.0005 [s]						
Transition Term	2,000 time step (=1.0 [s])						
Boundary Condition	Inlet	1/5 Power law (Smirnov's method)					
	Outlet	Gauge Pressure :0 [Pa]					
	Walls	Two Layer Model of Linear-Log Law					
Total Number of Cells	Case0	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	
	757,253	1,072,323	1,100,923	1,166,275	1,213,571	1,207,659	

参考文献

- 1) F. Haghghat, J. Rao, and P. Fazio : The Influence of Turbulent Wind on Air Change Rates - A Modeling Approach, *Building and Environment*, Vol.26, No.2, pp.95-109, 1991
- 2) 榎崎正也, 山中俊夫, 樋口祥明: 風の乱れを考慮した換気設計法に関する研究 第 1 報 風の乱れによる換気効果とそのメカニズム, 空気調和・衛生工学会論文集, pp25-34, 1989.2
- 3) 山中俊夫, 榎崎正也, 岩本清孝: 自然風の乱れによる換気効果 (その 31) 大小二つの開口を持つ室の風の乱れによる換気効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), pp819-820, 1993.9
- 4) 河野良坪, 加藤信介, 大岡龍三, 高橋岳生: 吹風時における片側開口居室の換気量予測 片壁面上のみに開口を有する居室の換気性状に関する研究 (その 3), 日本建築学会環境系論文集 第 73 巻 第 626 号, pp437-443, 2008.4
- 5) 小林知広, 梅宮典子, 近本智行, LIM Eunsu: 複数開口を有する室を対象とした気流の乱れによる換気効果に関する研究 (その 2) LES による単一開口と対面開口の比較, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D2, pp.601-602, 2015.9
- 6) 伊藤一秀, 加藤信介, 村上周三: 不完全性混合室内の居住域換気効率の評価に関する研究 -Particle Tracing による Visitation Frequency, Purging Flow Rate の基礎的解析, 日本建築学会計画系論文集, 第 534 号, pp41-48, 2000.8
- 7) M. Sandberg and D. Etheridge : BUILDING VENTILATION - Theory and Measurement, John Wiley & Sons Ltd, 1996
- 8) 小林知広, 梅宮典子, 近本智行, LIM Eunsu: 複数開口を有する室を対象とした気流の乱れによる換気効果に関する研究 (その 1) LES を用いた単一及び対面開口の比較, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第 55 号・環境系, pp.397-400, 2015.6
- 9) A. Smirnov, et al : Random Flow Generation Technique for Large Eddy Simulations and Particle-Dynamics Modeling, *Journal of Fluids Engineering*, Vol.123, Issue2, pp359-371, 2001.6

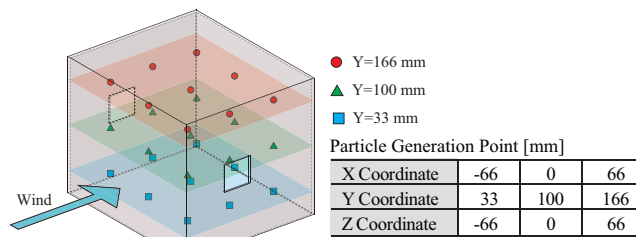


図 4 LES における粒子発生位置図及び発生位置座標 [mm]

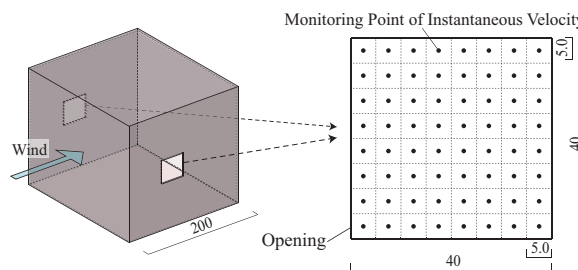


図 5 LES における開口部 z 成分風速モニター一点位置 [mm]

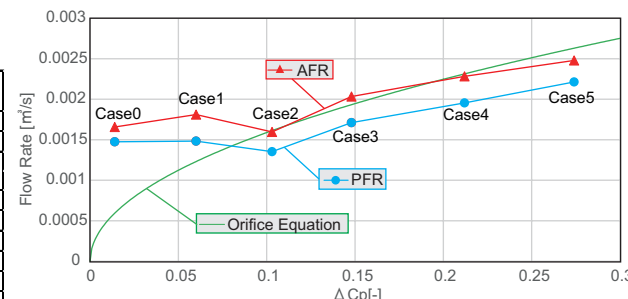


図 6 風圧係数差と換気量の関係

* 1 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 前期博士課程
 * 2 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 講師 博士 (工学)
 * 3 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 教授 博士 (工学)

Graduate Student, Department of Urban Eng., Graduate School of Eng., Osaka City University
 Lecturer, Department of Urban Eng., Graduate School of Eng., Osaka City University, Dr. Eng.
 Professor, Department of Urban Eng., Graduate School of Eng., Osaka City University, Dr. Eng.