

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

正会員 ○ 小林 知広*¹ 同 梅宮 典子*²
同 近本 智行*³ 同 Eunsu Lim*⁴

単一開口 対面開口 LES

1. はじめに

風力換気量予測に用いる換気の式に基づく手法では、単一開口や風圧係数差の無い2開口で換気量が0となる。実際には風の乱れの影響により換気がなされるが、その換気量を簡易に求める手法は確立されていない。単一開口や片側開口についてはWarrenら¹⁾や山中ら²⁾の混合理論に基づく研究や、河野・加藤ら³⁾による研究が見られる。風圧係数差のある対面開口による通風量については、倉渕ら⁴⁾の局所相似モデルや甲谷・山中⁵⁾のベクトル合成モデル等の研究がある。2開口間で風圧係数差が小さい場合の換気効果には高野・赤林ら⁶⁾の近年の研究例も見られるが、まだ不明な点が多いと言える。本研究では風圧係数の時間平均値の差が小さい2開口を有する室モデルを対象として乱れの影響を評価する。本報では対面する2面に開口を有する室モデルに対して横風がアプローチする気流場を検討対象とし、単一開口との比較も行う。評価方法としては、LESによりParticle Tracing⁷⁾を行うことで開口面積と換気効果の関係をPurging Flow Rate (以降PFR)を評価する。

2. 解析概要

風洞における縮小模型実験を想定したCFD解析を行う。検討対象模型(室モデル)は外寸200mm角の立方体模型とし、幅と高さが1,000mm、長さ3,200mmの解析領域の床面に設置した。図1に解析領域と計算格子を示す^{注1)}。開口は室モデルの側面における中央高さに設置し、単一開口条件と対面開口条件に大別して解析を行った。単一条件ではZ=100mmの面のみに、対面開口条件ではZ=100mm及びZ=-100mmの2面に開口を設置した。開口形状は正方形とし、寸法L=20, 40, 50, 60, 80[mm]の5条件を単一開口と対面開口のそれぞれについて解析する。ここで、室モデルの壁面厚さは2.0[mm]とした。解析はまず標準k-εモデルを用いて十分に計算を収束させた後、その結果を初期条件としてLESにより計算を行った。LESの計算時間間隔は0.0005[s]とし、計算開始後の2,000time step(1.0[s])を標準k-εモデルからの移行期間とみなして計算結果を破棄し、その後の計算を本計算とした。流入境界条件は図2

の境界層流(基準高さ900mmで10m/s)にSmirnov⁸⁾らの手法を適用して変動風を与えた。表1にCFD解析手法をまとめて示す。本研究で室内換気効果を評価するPFRは対象領域内で実質的に汚染質を希釈・排出するのに有効な換気空気の流入量を示すもので、ある領域内での汚染質発生量 q_p と領域内平均濃度 C_p を用いることで $PFR = q_p / C_p$ として計算する。ここでは室モデル内で1/2,000秒ごとに表2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、個々の粒子の追跡を行うことで対象領域内の粒子個数濃度[個/m³]を算定してPFRを求めた。LESの総計算時間は対象領域内の濃度が概ね収束するまでを目安とした。図3に本計算開始直後のY=100mmの平面における瞬時風速ベクトルと粒子分布を示す。濃度の対象領域は室モデル外表面から室内側に5mmの室内壁近傍領域を除いた室内空間(-95 < x < 95, 5 < y < 195, -95 < z < 95[mm])とした。ここで C_p は発生開始後の定常濃度であるが、条件によっては総計算時間が不十分である可能性を考え、CFDの個数濃度と(1)式で算定される個数濃度の差の二乗和が最小となる換気回数n[回/s]を同定することで定常の C_p を算出し、PFR(=nV)とした(Vは対象領域体積[m³])。

表2 粒子発生位置

X coordinate [mm]	-66, 0, 66
Y coordinate [mm]	33, 100, 166
Z coordinate [mm]	-66, 0, 66

表1 CFD解析手法

CFD Code		Fluent 14.5
Turbulence Model		Large Eddy Simulation (Smagorinsky-Lilly Model)
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	Smirnov's method (Based on k and ε)
	Outlet	Gauge Pressure:0[Pa]
	Walls	Two Layer Model of Linear - Log Law
Smagorinsky Coefficient		0.1

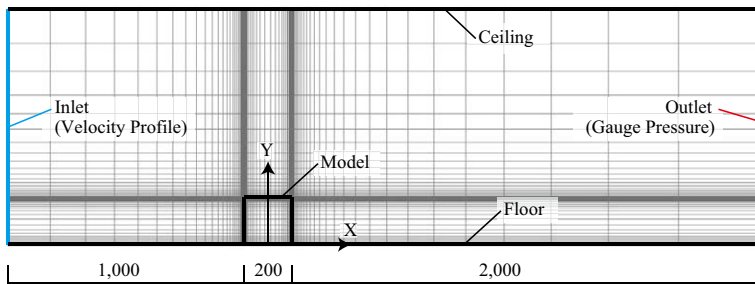


図1 解析対象領域と計算格子配置

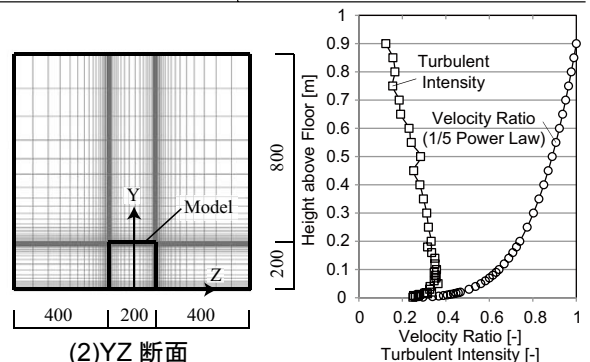


図2 アプローチフロー

Ventilation Effect by Airflow Turbulence for a Room with Multiple Openings
Part 2. Comparison between Single-Sided Opening and Double-Sided Opening by LES

KOBAYASHI Tomohiro, UMEMIYA Noriko, CHIKAMOTO Tomoyuki, and LIM Eunsu

3. 結果と考察

図4に対象領域内の個数濃度と同定された n 及び (1) 式による近似曲線の結果の一部を示す。どの条件でも近似曲線と CFD 結果が良く一致している。図5に PFR と開口面積の合計値との関係を示す。単一開口・対面開口の両方で PFR が概ね開口面積に比例している。対面開口条件では時間平均の風圧係数差は無いが、瞬時的には圧力差が生じて通風が両方向に交互に発生することで、単一開口条件と比較して換気効果が著しく大きくなると予測したが、同じ開口面積で換気効果が若干増加する程度の結果となった。このため、風圧係数差の無い対面開口条件では、瞬時の風圧係数差による通風効果よりも開口面での混合の影響が大きいという可能性も考え得る。なお、山中ら⁹⁾は乱流下での単一開口を対象に混合層外端風速 U_w [m/s] と開口面積 A [m²] により換気量 Q [m³/s] = $0.06AU_w$ を提案したが、本研究で開口部高さのアプローチフロー風速 (6.44 [m/s]) を U_w と仮定した場合、同程度の係数が得られた。

4. おわりに

本報では LES により単一及び対面開口の乱れによる換気効果を評価した。次報では RANS による検討結果を示す。謝辞

解析を行うにあたり黒川玲嗣氏 (当時立命館大学、現長谷工コーポレーション) 及び大野真斗氏 (当時大阪市立大学、現ヤマダエスバイエルホーム) に多大なるご尽力を頂いた。記して謝意を表します。

注

1) 図に示す格子配置は予備検討で実施したモデル外部のみを対象とした格子依存性の検討時のものであり、本報で示す室内の解析時とは若干異なるが、外表面に直行する方向の格子は同一である。

参考文献

- 1) Warren et al.: Single-sided ventilation through open window, ASHRAE SP49, pp.209-228, 1985
- 2) 山中ら: 単一開口を持つ室の風力換気に関する研究 - 開口に沿う気流により形成される混合層に基づく換気現象 -, 日本建築学会計画系論文集, 第 517 号, pp.37-43, 1999.5
- 3) 河野, 加藤ら: 横風時における単一開口換気の実験に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 611 号, pp.29-35, 2007.1
- 4) Kurabuchi, Ohba et al.: Local Dynamic Similarity Model of Cross-Ventilation Part1-Theoretical Framework, *The International Journal of Ventilation*, Volume 2 Number 4, pp.371-382, 2004.3
- 5) 甲谷, 山中: Prediction of Inflow Direction at Large Opening of Cross Ventilated Apartment Building, 日本建築学会環境系論文集, 第 609 号, pp.39-45, 2006.11
- 6) 高野, 赤林ら: 変動気流場における住宅の自然換気・通風に関する研究 (その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, D2, pp. 811-814, 2014.9
- 7) 伊藤ら: 不完全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, pp.41-48, 2000.8
- 8) Smirnov, et al.: Random Flow Generation Technique for Large Eddy Simulations and Particle - Dynamics Modeling, *Journal of Fluids Engineering*, Volume 123, Issue 2, pp.359-371, 2001.6
- 9) Yamanaka, Kotani et al.: Natural, Wind-Forced Ventilation caused by Turbulence in a Room with a Single Opening, *The International Journal of Ventilation*, Volume 5, Number 1, pp.179-187, 2006.6.

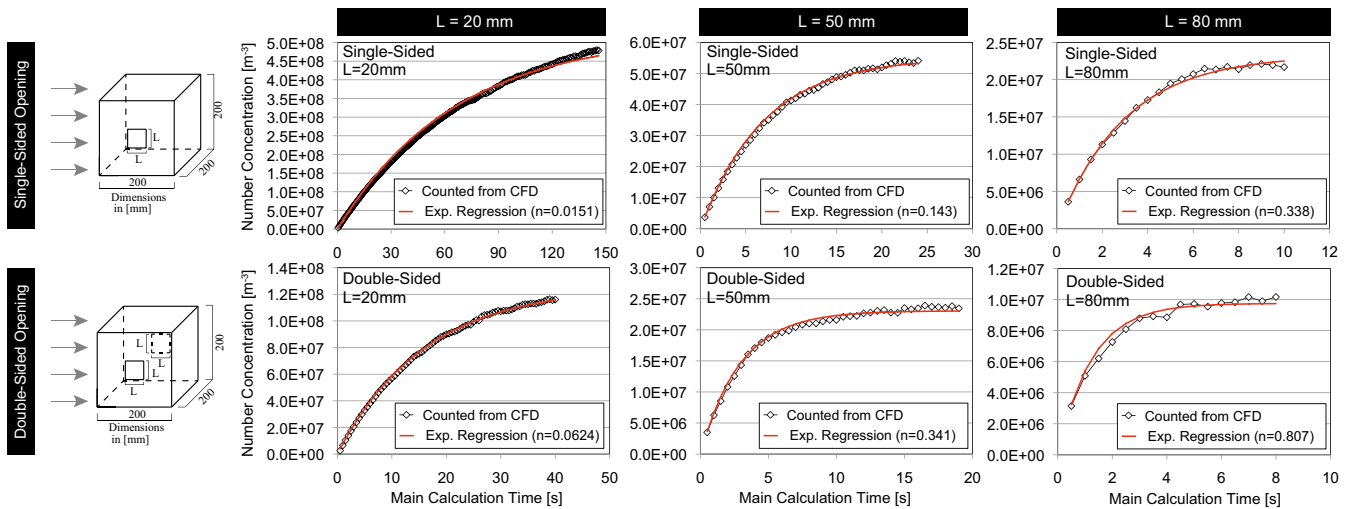
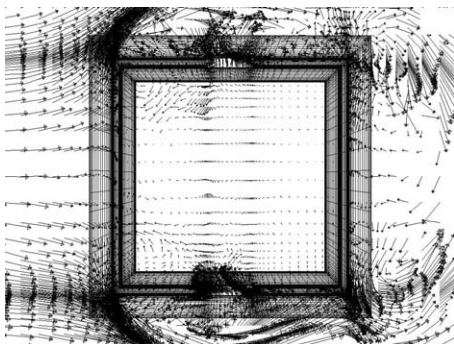
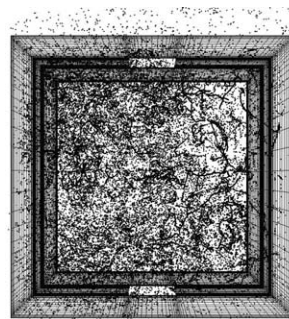


図4 対象領域内における個数濃度分布の時間変化と近似曲線



(1) 瞬時ベクトル



(2) 飛散した粒子の分布

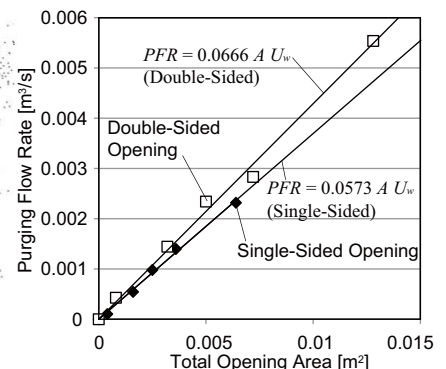


図5 開口面積と PFR の関係

図3 t=1.0 [s] (2,000 time step) における LES の瞬時結果 (対面開口 L=40mm)

* 1 大阪市立大学大学院工学研究科 講師 博士 (工学)
 * 2 大阪市立大学大学院工学研究科 教授 博士 (工学)
 * 3 立命館大学理工学部 教授 博士 (工学)
 * 4 東洋大学理工学部 准教授 博士 (工学)

Lecturer, Graduate School of Eng., Osaka City University, Dr. Eng.
 Professor, Graduate School of Eng., Osaka City University, Dr. Eng.
 Professor, Faculty of Science and Eng., Ritsumeikan University, Dr. Eng.
 Associate Professor, Faculty of Science and Eng., Toyo University., Dr. Eng.