

LES を用いた領域分割法を用いた室内の通風気流解析法に関する研究 (その2) 集合住宅における一室を対象とした基本検討

正会員 ○ HOANG Minh Hung^{*1} 同 小林 知広^{*2}
同 山中 俊夫^{*3}

自然換気 通風 領域分割法
CFD LES

1. はじめに

計算機性能の向上により近年通風分野の研究でも Large Eddy Simulation (LES) の利用が見られる¹⁾。しかし、LES は計算負荷が高いために様々な条件でケーススタディを実施するには膨大な時間を要するため、精度を保ちながら計算負荷を抑える方法が必要がある。本研究では倉渕ら²⁾が RANS で計算負荷を抑える手法として室内のみを計算領域とした「領域分割法」を LES で適用し、建物内外を同時に解析する「全域計算」の結果と比較する。

2. 解析概要

2.1 室内外同時計算 (全域計算: Whole Domain)

風洞を模擬して室モデル内外を同時に解析する CFD 解析を LES により行った (以降、全域計算)。本報で解析対象とした建物及び室モデルを図 1 に示す。解析対象としては 3 住戸が 6 層で計 18 住戸が含まれる建物を想定した。当該モデルは丹原ら³⁾が PIV 測定と CFD 解析により通風気流を解析したモデルに基づいている。本報では 5 層目の 1 室を解析対象とし、この住戸のみ開口を開放している状況を想定した。アプローチフローの外部風向はリビングを有する面に対して 45° の風向角とした。解析領域と計算格子の概要を図 2 に示す。

解析は SST $k-\omega$ モデルの結果を初期条件として LES 計算を開始した。計算時間間隔は 1/2,000 s、計算開始後の 2,000 time step (=1.0 s) を LES への移行期間として結果を

破棄してその後の 11 s を本計算とみなした。なお、LES の流入境界は 1/4.5 べき乗則の境界層流に Smirnov ら⁴⁾の手法を適用した。また、本計算中の全 time step で図 3 に示す開口面の計 210 点の点において瞬時風速 3 成分をモニターする。また、領域分割法による室内気流解析精度の検証のため、図 4 の室内 15 点でも瞬時風速をモニターした。

2.2 局所相似モデルを用いた領域分割法 (Method 1)

本報では倉渕ら²⁾の領域分割法を LES に適用した計算 (Method 1) を実施する。ここではまず図 1 の解析領域で開口の無いシールドモデルで屋外気流解析を行い、開口想定位置の瞬時壁面静圧、開口中心から外側に 5 mm 離れた位置の壁面接線方向の瞬時風速 2 成分を取得した (STEP 1)。これを用いて開口 1 と開口 2 は局所相似モデルにより流量係数を算出し、リビングから開口 3 までの流路の有効開口面積はダクトの急縮小 ($\zeta = 0.443$) と摩擦損失係数 ($\lambda = 0.032$) と流出 ($\zeta = 1.0$) を考慮した固定値を用いることで各 time step の開口ごとの瞬時通風量を算出した (STEP 2)。次に室内のみを解析領域とし、STEP 2 で算出した瞬時通風量を開口面積で除した開口面法線方向瞬時風速と、シールドモデルの屋外気流計算で取得した接線方向の瞬時風速 2 成分を各 time step の流入境界に与えて室内気流を解析した (STEP 3)。室内解析では SST $k-\omega$ モデルで領域分割法による室内解析を行った結果を初期条件とし、計算時間間隔、計算ステップ数は全域計算と同様した。

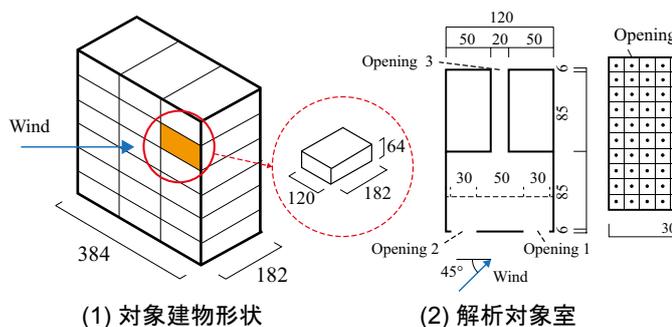


図 1 対象建物モデル

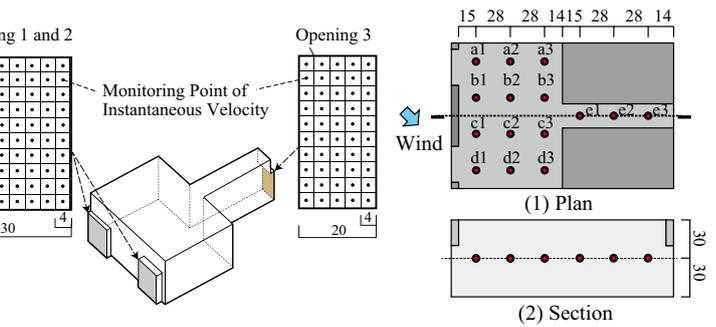
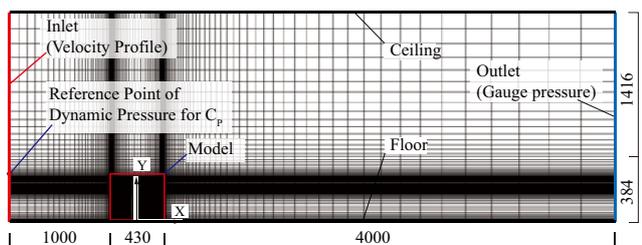
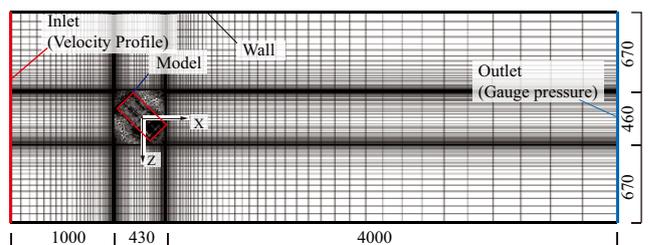


図 3 開口面の風速モニター点

図 4 室内風速モニター点



(1) XY 断面



(2) ZX 断面

図 2 解析領域とメッシュ図

Analysis of Indoor Cross-Ventilation Flow using Domain Decomposition Technique by LES
(Part 2) Basic Investigation for a room in an Apartment Building

2.3 流入風向のみを考慮した領域分割法 (Method 2)

簡易化した領域分割法として、全ての開口の流量係数を固定値とし、流入風向は屋外解析のシールドモデル壁面から 5 mm の位置の接線方向風速に基づいて与える手法でも解析を行った (Method 2)。ここでは開口 1 と開口 2 の流量係数は 0.65 の固定値として瞬時風圧とオリフィス式から瞬時風量を算出し、開口面法線方向の瞬時風速を与えた。その他の計算手順は前節の Method 1 と同様とした。

2.4 開口法線方向に流入する領域分割法 (Method 3)

最も簡易的な領域分割法として、単純にシールドモデルによる屋外解析で得られた開口面の瞬時風圧とオリフィス式を用いて算定される瞬時風量に基づいて開口面の法線方向の瞬時風速のみを境界条件とする解析も行った (Method 3)。ここでは流量係数が固定値のため、当該手法の瞬時流入風量 (法線方向風速) は前節の Method 2 と完全に一致することになる。

3. 結果と考察

本報では全域計算と前述の 3 種の領域分割法の計 4 種の手法で、通風量と室内のスカラ風速・およびその標準偏差を比較する。全域計算における通風量は、堂本ら⁵⁾による通風量 (AFR) で算出した。領域分割法の通風量については STEP 2 で換気計算から得られた値とする。

図 5 に各条件のスカラ風速の時間平均値の室内分布と通風量 (AFR) を示す。Method 1 と Method 2 の結果は定性的に全域計算の結果と良く一致しているが、開口面接線方向風速を与えない Method 3 では流入風向を再現できず気流性状が大きく異なる。AFR の結果からは、Method 1 では局所モデルにより開口 1 と開口 2 の流量係数を補正しているために Method 2, 3 より小さくなっており、全域解析と比較しても小さい。これは流入風向だけでなく室内での動圧の残

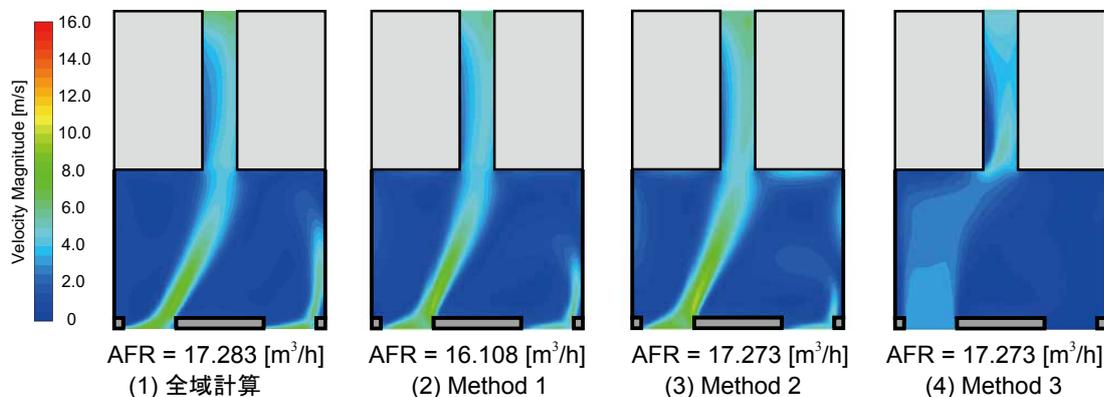


図 5 床上 20mm におけるスカラ風速の平均分布

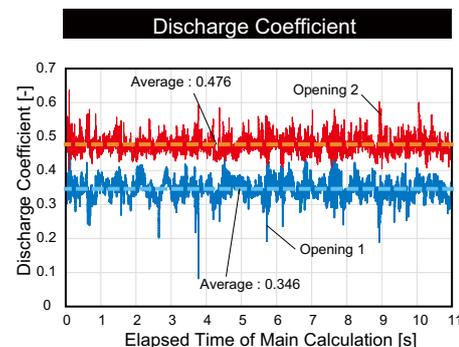


図 6 Method1 の流量係数の時間変化

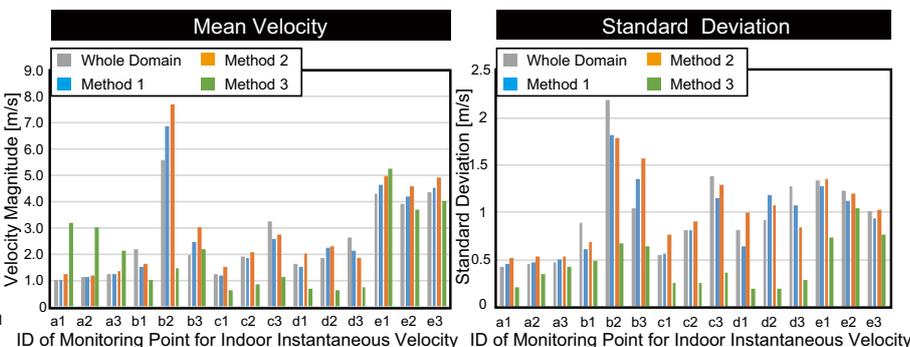


図 7 各モニター点における瞬時風速の時間平均と標準偏差

存⁶⁾も影響していると思われる。図 6 に Method 1 における各開口の流量係数示す。特に開口 1 で流量係数が小さくなっており、建物端部付近のために接線方向動圧が大きいことによる影響が出ている。図 7 に各条件の室内でのスカラ風速の時間平均値と標準偏差を示す。どの条件においても Method 3 では全域解析の傾向を再現できていない一方で、Method 1 と 2 は概ね全域解析と同様の傾向が得られた。しかし、b2 と b3 点については風速を若干過大評価している。これらは通風輪道内に位置しており、流入風向のわずかな差と風量自体の予測精度が影響と思われる。

5. まとめ

本報では nLDK 型の集合住宅モデルで領域分割法を適用した LES 計算を実施し、全域計算との比較を行った。結果として、流入風向を考慮する領域分割法 (Method 1, 2) で比較的精度良く予測することができた。今後は異なる風向と建物条件で検討を行う所存である。

【参考文献】

- 1) 高野康夫, 赤林伸一, 富永禎秀ら: 単純住宅モデルを対象とした変動気流場における室内外通風性状の解析, 日本建築学会環境系論文集, 第 80 巻, 第 716 号, pp.925-934, 2015.10
- 2) 河内悠磨, 倉淵隆, 大場正昭ら: 領域分割法を用いた数値シミュレーションによる通風室内気流予測に関する研究 (第 1 報), 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, D-21, pp1043-1046, 2009.9
- 3) 丹原千里, 甲谷寿史, 山中俊夫ら: 集合住宅の nLDK 型住戸における通風量予測に関する研究 (その 3) PIV 測定と CFD 解析による室内気流性状の比較, 空気調和・衛生工学会大会, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第 4 巻, pp.105-108, 2014.9
- 4) A. Smirnov, S. Shi, I. Celik: Random Flow Generation Technique for Large Eddy Simulations and Particle-Dynamics Modeling, *Journal of Fluids Engineering*, Vol.123, Issue 2, pp.359-371, 2001.6
- 5) 堂本浩規, 小林知広, 梅宮典子: LES による領域分割法を用いた室内通風気流解析法に関する研究 (その 1) 2 開口を有する単室モデルを対象とした検証, 空気調和・衛生工学会近畿支部, 学術研究発表会論文集, 2020.3
- 6) 石原正雄: 建築換気設計, 朝倉書店, 1969

* 1 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 博士前期課程
 * 2 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 准教授・博士 (工学)
 * 3 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 教授・博士 (工学)

Graduate Student, Division of Global Architecture, Graduate School of Eng., Osaka University
 Associate Prof., Division of Global Architecture, Graduate School of Eng., Osaka University, Dr. Eng.
 Prof., Division of Global Architecture, Graduate School of Eng., Osaka University, Dr. Eng.