

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14078

研究課題名(和文) 数値流体解析による建築物の通風換気に対する都市内非定常・非一様気流場の影響評価

研究課題名(英文) Evaluation of the effects on building indoor ventilation rates of unsteady and non-uniform flow field by numerical simulation

研究代表者

池谷 直樹 (Ikegaya, Naoki)

九州大学・総合理工学研究院・助教

研究者番号：70628213

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、実在建築物の換気量推定精度向上を目的とした数値流体解析を実施し、建物周辺風速場の非定常性や非一様性が対象建物換気量に及ぼす影響評価を行った。その結果、建物壁面風圧分布は、周辺建物配列の違いのより大きく異なることを明らかにした。また、開口部位置の違いによって、開口部への気流導入に差異が生じることを明らかにし、従来法による換気量推定が困難な開口部条件を特定した。以上により、建物群内建築物の換気量推定の高精度化に資する知見が得られた。

研究成果の概要(英文)：In this theme, series of numerical simulation have been conducted in order to clarify the effect of non-uniform and unsteady flow field generated by urban building arrays on indoor ventilation efficiency. Conclusions are summarized as follows. First, wall pressure distribution on a target building differs drastically due the surrounding building array types because of the non-uniform flow distributions. Second, suitable conditions are clarified for estimating indoor ventilation rates by conventional prediction method by classifying flow distribution patterns in the openings and by comparing gross ventilation rates and those deduced by the conventional method.

研究分野：環境工学

キーワード：都市キャノピー 非定常換気

1. 研究開始当初の背景

近年の省エネルギー意識の高まりから、室内の空気質や温熱感などの屋内環境改善方法として、空調やファンによるアクティブ制御には頼らないパッシブな自然換気を活用することが見直されつつある。アクティブ制御を用いつつ自然換気を効果的に利用するためには、自然換気量を精度良く推定することが必要である。換気開口が十分に小さな場合、自然換気量は換気口周辺の壁面圧力差から流入量を推定する従来型推定方法により精度よく予測できることが知られている。一方で、開口が大きい場合や、換気開口が複雑形状を有している場合、さらには換気口に対して風向が直交していない場合等、現実的な換気条件における換気量推定は従来法では困難であることが多い。そのため、従来法における流量係数を開口前後動圧-静圧差などの特性で補正する方法や、流入部の運動エネルギーからパワーバランスを考慮する方法等の改良型換気量推定方法の提案が進められてきた。

しかしながら、これらの換気量推定モデルは、理想的な気流条件での単体建物を対象として開発されたものである。一方で、実際の都市域の实在建築物は、複数の周辺建物から構成される都市建物群内に位置していることが多い。こうした都市建物群は、建物に作用する抗力として気流の運動量を吸収するため、大きな風速勾配を生じさせる。結果として、建物群周辺には、都市キャノピー層と呼ばれる時空間的に非一様な複雑な乱流気流場が形成される。以上のことから、換気量推定モデル開発における周辺条件と、实在建物が曝されている外部環境は大きく異なっていると言える。

このような時空間的に非一様な乱流条件下において、前述の様な換気量推定方法がそのまま適用できるかどうかは不明である。また、周辺の建物群が形成する複雑な気流場が対象建物の換気量に及ぼす影響も明らかになっていない。

2. 研究の目的

以上の背景から、本研究課題では、単体建物群内建築物に対する換気量推定において、以下の三点を明らかにすることを研究目的として設定した。

- (1) 建物群内建築物の換気量ポテンシャルとなる壁面風圧の非定常特性を明らかにする。
- (2) 建物群内建築物に対する平均流による通風換気量推定を目的として、周辺建物群の幾何条件や対象建物の開口条件が及ぼす影響を明らかにする。
- (3) 建物群内建築物に対する変動風による換気量推定を目的として、対象建物周辺の非定常気流場と間ポテンシャルである壁面変動風圧の影響をを明らかにする。

3. 研究の方法

- (1) 水平方向に立方体模型が無限に繰り返し配置された単純建物群を対象として、数値流体解析を実施する。建物配列形状の影響を評価するため、二種の配列条件を対象とする(図 1(a) 整列配列 (b) 千鳥配列)。既往研究の風洞実験によって、これらの配列条件における摩擦速度および、抗力係数、鉛直速度分布等の測定結果が得られているため、詳細な数値解析結果の妥当性検証が可能である。計算領域水平方向の境界条件には、周期境界条件を適用する。解析コードには、Open Source Code である OpenFOAM を適用し、非解像成分に乱流モデルを適用する Large-eddy simulation により解析を行う。
- (2) 建物群内建築物に開口を設けた系を対象として、数値流体解析を実施する。建物群配列は整列配列の一条条件とし、開口部条件を図 2 に示す通り複数組み合わせることで、開口部条件が換気量に与える影響を評価する。計算領域水平方向には周期境界条件を設定することで、建物群内に位置する屋内解像型建物を再現している。解析には、(1)と同様に OpenFOAM および Large-eddy simulation を適用する。

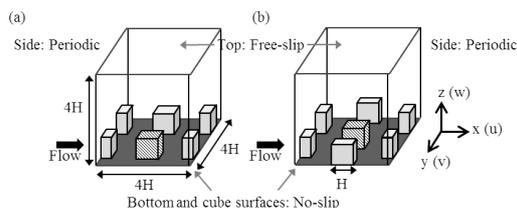


図1 無開口模型条件における模型配列条件。建物形状が周辺気流に及ぼす影響を明らかにするため、(a) 整列配列 (b) 千鳥配列、の二種の模型配列を対象とする。

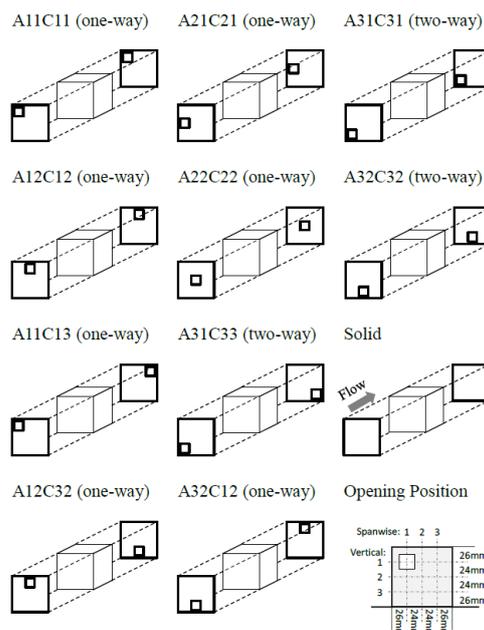


図2 開口粗度条件における開口条件。模型風上面および風下面の開口部位置を変化させた複数条件を対象として、開口部位置が換気量に与える影響を評価する。

4. 研究成果

(1) 建物群内建築物の換気量ポテンシャルとなる壁面風圧に対する幾何形状及び周辺気流の影響を以下にまとめる．図3には，整列および千鳥配列条件における対象建物壁面平均風圧係数および変動風圧係数を示している．整列配列条件では，建物外縁部で平均及び変動風圧係数が大きくなっている．これは，図3(d)に示したような模型間に定常的な渦が形成されるため，模型間に上空や模型周辺から気流が導入されにくくなるためであると考えられる．一方，千鳥配列条件では，模型中心上部において平均及び変動風圧が大きくなっている．これは，千鳥配列条件において，図3(h)の模式図に示したように，上空風が効果的に模型間に取り込まれているためであると考えられる．図4には，模型表面四点において，長時間平均風圧係数（灰色実線）と短時間平均風圧係数（黒実線）の時間変化を示している．図4(c) (d) のように，模型外縁上部での短時間平均風圧係数は大きな振幅で変動し，模型中心部の図4(a) (b)での風圧係数の振幅とは大きく異なっている．一方で，各点の長時間平均風圧係数は，連動して時間方向に対して緩やかに変化していることが分かる．以上のことから，壁面

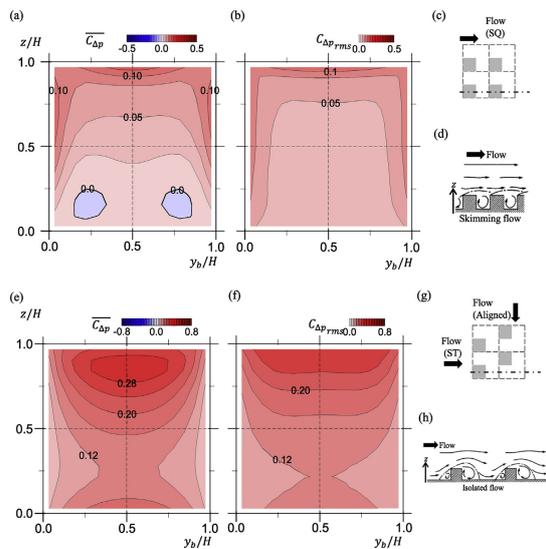


図3 配列条件による壁面平均・変動風圧の違いと周辺気流場の模式図．(a)~(d) 整列配列の場合，(e)~(h) 千鳥配列の場合．(a) (e) 平均風圧係数 (b) (f) 変動風圧係数

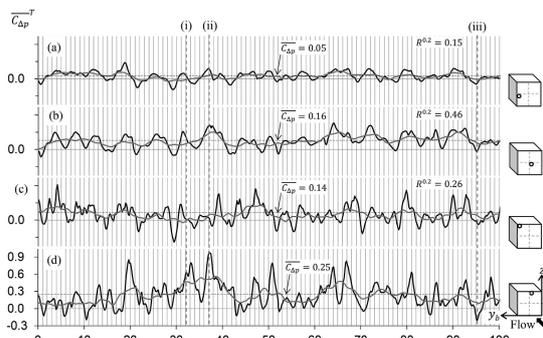


図4 壁面変動風圧の時間変化．開口位置に応じて， t/τ 変動幅が大きく異なる．各点の変動風圧が連動して変化することが分かる．

風圧分布が周辺模型配列に大きく依存していること，周辺気流場の影響により，短時間変動風圧は観測場所に依存し大きく異なる時間変動を示すこと，長時間変動風圧は，観測場所にほとんど依存せず，時間方向に対して連動しながら変化していること，の三点を明らかにした．

(2) 建物群内建築物に対する換気量に対する開口条件の影響を以下にまとめる．図5は，代表的な上部開口及び下部開口における模型内部および周辺流れを示している．開口部位置によって，模型内部気流は大きく異なる．上部開口の場合（図5(a)），模型内部に噴流として外部流が取り込まれ，大きな流速が維持されている．一方で，下部開口の場合（図5(b)），模型内部流は極めて低速となっている．図6は，各開口条件における推定換気量を示している．開口部条件は図2に示した全11条件である．また，推定換気量は以下の四つの推定方法により算出した．すなわち，従来法による推定換気量 Q_{cov} ，開口平均風速による正味換気量 Q_{net} ，開口部平均速度分布を考慮し

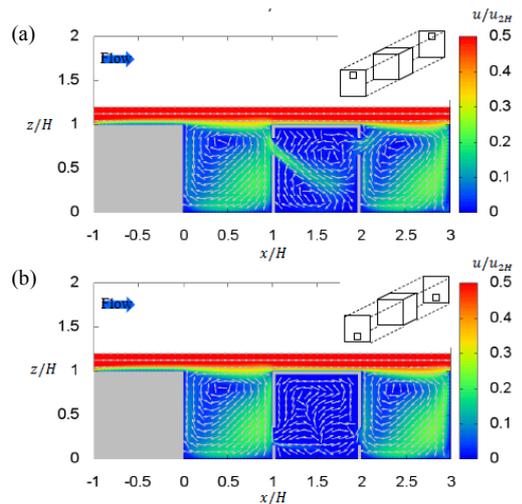


図5 開口部位置の違いによる周辺気流及び内部気流変化．(a)上部に開口がある場合 (b)下部に開口がある場合

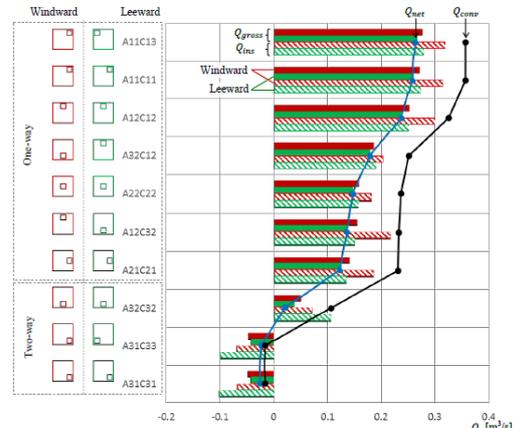


図6 開口位置と推定換気量の関係．凡例は図2の条件に対応． Q_{net} : 正味換気量， Q_{conv} : 従来法推定換気量， Q_{gross} : 実質換気量， Q_{ins} : 推定変動換気量．赤: 模型風上面開口，緑: 模型風下面開口

た実質換気量 Q_{gross} , 開口部乱れを考慮した推定瞬時換気量 Q_{inst} である。各換気量の比較から、開口部流入風向の影響により従来法推定換気量に比べて正味換気量が小さくなること、正味換気量と実質換気量の差が小さい一方向流入タイプと正味換気量と実質換気量の差が大きい二方向流入タイプに分けられること、推定瞬時換気量は平均換気量よりも大きくなること、の三点を明らかにした。

(3) 対象建物周辺の非定常な気流場と換気量ポテンシャルである壁面風圧の関係を以下にまとめる。図7には、模型周辺気流と対象模型の瞬時壁面圧力分布を示している。図7(a-1)に示すように、模型前方に模型間に向かう渦が形成されている。それに対応し、図7(b-1)に示す瞬時壁面風圧は、外縁部において大きくなっている。同様に、図7(a-2)、(b-2)においても、模型周辺流れが模型間に取り込まれるのと同時に、模型全面圧が大きく変動していることが分かる。以上のことから、変動風速により壁面圧が連動していることが明らかとなった。

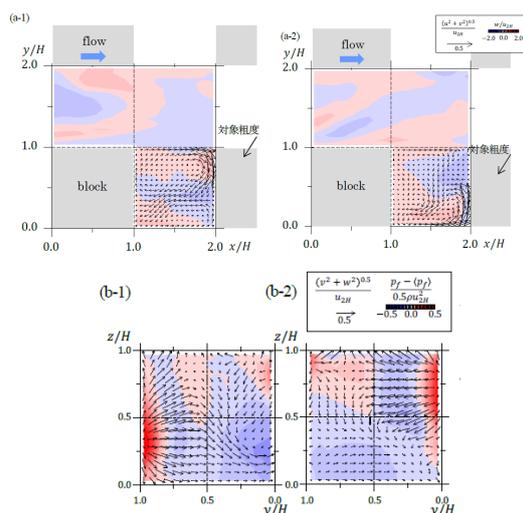


図7 建物周辺気流と壁面風圧の関係。(a) 模型中心水平断面における速度場 (b) 対象粗度の壁面風圧。(a-1)と(b-1)、(a-2)と(b-2)は同じ時刻における速度場と圧力分布を示している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

- ① Naoki Ikegaya, Aya Hagishima, Jun Tanimoto, Azli Abd Razak, Yasuaki Ikeda, A prediction model for wind speed ratios at pedestrian level with simplified urban canopies, *Theoretical and Applied Climatology* 3(127), pp. 655-665, 2017, 査読有, doi:10.1007/s00704-015-1655-z
- ② 池谷直樹, 廣瀬智陽子, 萩島理, 谷本潤, 都市乱流境界層における建物壁面風圧と周辺気流に関する Large-Eddy Simulation, *日本風工学会論文集* 42(1), pp.22-35, 2017,

査読有, <http://doi.org/10.5359/jwe.42.22>

- ③ 池谷直樹, 池田恭彰, 萩島理, 谷本潤, 単純形状粗度が形成する地表面近傍乱流場に関する統計的解析, *日本風工学会論文集* 42(1), pp.1-8, 2017, 査読有, <http://doi.org/10.5359/jwe.42.1>
- ④ 佐藤幹, 萩島理, 池谷直樹, 谷本潤, 庇を有する2次元ストリートキャニオン周囲の気流場に関する風洞実験, *日本建築学会環境系論文集* 81(723), pp.467-476, 2016, 査読有, <http://doi.org/10.3130/aije.81.467>
- ⑤ Naoki Ikegaya, Chiyoko Hirose, Aya Hagishima, Jun Tanimoto, Effect of turbulent flow on wall pressure coefficients of block arrays within urban boundary layer, *Building and Environment* 100, pp.28-39, 2016, 査読有, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.02.005>
- ⑥ Yasuaki Ikeda, Aya Hagishima, Naoki Ikegaya, Jun Tanimoto, Azli Abd Razak, Estimation of wind speed in urban pedestrian spaces on the basis of large-eddy simulation, *Journal of Environmental Engineering (Japan)* 80(709), pp.259-267, 2015, 査読有, <http://doi.org/10.3130/aije.80.259>

〔学会発表〕(計6件)

- ① Naoki Ikegaya, Aya Hagishima, Jun Tanimoto, Instantaneous variation of wall pressure on a cube in an urban-like array under atmospheric flow, 8th Japanese-German Meeting on Urban Climatology, Kansai University, 2017.3.27
- ② 池谷直樹, 池田恭彰, 萩島理, 谷本潤, 単純粗度配列の歩行者空間を対象とした平均風速による低頻度風環境予測, 第30回数値流体力学シンポジウム CFD2016, 東京, タワーホール船堀, 2016.12.13
- ③ 佐藤幹, 萩島理, 谷本潤, 池谷直樹, 庇を有する二次元ストリートキャニオン周囲の気流場に関する PIV 計測, 2015年度日本建築学会大会学術講演会, 神奈川, 平塚, 東海大学湘南キャンパス, 2015.9.6
- ④ 池谷直樹, 廣瀬智陽子, 萩島理, 谷本潤, 立方体粗度の壁面風圧に対する非定常気流場の影響に関する数値流体解析, 2015年度日本建築学会大会学術講演会, 神奈川, 平塚, 東海大学湘南キャンパス, 2015.9.6
- ⑤ Naoki Ikegaya, Aya Hagishima, Jun Tanimoto, Characteristics of scalar dispersion from a continuous area source over a cubical array,

9th International Conference on Urban
Climate ICUC9, Toulouse, France, 2015.6.20

- ⑥ 池谷直樹，池田恭彰，萩島理，谷本潤，
単純都市形状を対象とした地表面近傍風
速に関する統計的性質と突風の評価，平成
27年度日本風工学会年次研究発表会，徳
島，徳島，徳島大学工学部キャンパス，
2015.5.27

6. 研究組織

(1)研究代表者

池谷 直樹 (IKEGAYA, Naoki)

九州大学大学院・総合理工学研究院，助教
研究者番号：70628213

(2)研究分担者

谷本 潤 (TANIMOTO, Jun)

九州大学大学院・総合理工学研究院，教授
研究者番号：60227238

萩島 理 (HAGISHIMA, Aya)

九州大学大学院・総合理工学研究院，教授
研究者番号：60294980