

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K04455

研究課題名(和文)自然風の非定常性により生じる自然換気性状の定量的評価に関する研究

研究課題名(英文) Study on quantitative evaluation of natural ventilation properties caused by unsteady natural wind

研究代表者

赤林 伸一 (Akabayashi, Shin-ichi)

新潟大学・自然科学系・フェロー

研究者番号：70192458

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、平均風圧による換気量に対して瞬時の風圧による換気量の算出を行うことで、風圧変動による自然換気量を定量的に評価することを目的とする。LESを用いて単独及び複数建物モデルを対象とした解析を行い、算出された壁面の時系列圧力データから風圧係数を算出する。算出された風圧係数を基に換気回路網計算で、風圧変動による自然換気量の算出を行う。自然換気量の算出は等温及び冬季、夏季、中間期を想定した温度差を考慮し、検討を行う。

研究成果の学術的意義や社会的意義

室内外温度差及び外部風によって生じる圧力差の方向が逆向きの場合、風圧変動を考慮した換気量の検討が必要であると考えられる。周囲に同程度高さの建物がある場合、外部風によって壁面で生じる圧力が小さくなるため、室内外温度差による圧力差の影響が相対的に大きくなる。室内外温度差を考慮した場合、平均圧力差から算出した換気量に対する変動を考慮した換気量の増加率は、外部風による平均圧力差と室内外温度差による圧力差が同程度で逆向きに生じた場合に極めて大きくなる傾向がある。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to quantitatively evaluate the natural ventilation rate due to wind pressure fluctuation by calculating the ventilation rate due to instantaneous wind pressure relative to the ventilation rate due to average wind pressure. The analysis is performed for single and multiple building models using LES and the wind pressure coefficient is calculated from the calculated wall surface time series pressure data. Based on the calculated wind pressure coefficient, a ventilation network calculation is performed to calculate the natural ventilation rate due to wind pressure fluctuations. The calculation of natural ventilation volume is performed considering isothermal temperatures and temperature differences in winter, summer, and the middle of the year.

研究分野：建築・都市環境工学

キーワード：自然換気 風速変動 非定常 LES 換気回路網計算 温度差換気 風力換気

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我が国では外部風を利用した自然通風は、古来より中間季及び夏季における身近な環境調整手法の一つである。近年では数値流体解析(CFD)を用いたコンピュータシミュレーションが発展し、風洞実験と合わせて CFD 解析の妥当性が検証され、建築環境工学分野において実用化されている。研究代表者は住宅を対象とした窓などの開口による自然通風に関して、Large-Eddy Simulation (以下:LES) による解析や粒子画像流速測定法(PIV)などを用いた風洞実験により、通風性能の定量的評価手法を提案している。一方、換気口による自然換気では、Reynolds Averaged Navier-Stokes Simulation (RANS)を用いた CFD 解析が多く行われ、時間的変化をアンサンブル平均した値によって換気口を利用した換気量や室内の気流性状などを明らかにしているのが現状である。以上のように当該研究分野では、これまでに主に時間平均値による検討が数多く行われており、変動を考慮した換気量や換気性状の評価は行われていない。

最近では住宅のみならずオフィスビルにおいても自然エネルギーの有効活用の一つとして中間期や夜間に自然換気を取り入れる設計が多くなっている。しかし、設計を行う上で使用されるのは時間平均値による定常計算であり、自然風の特徴の一つである変動やゆらぎは無視され、これらによって生じる換気量は考慮されていないのが現状である。本来、自然換気は、時間的に換気量や室内の気流性状が大きく変化する現象である。現象をより実態に即して捉え、建物の換気による省エネルギー効果(主に冷房負荷の削減)や室内空気質の改善効果の評価を行うためには、時間的な変動を考慮することが極めて重要である。研究代表者は既往の研究^{文1)}で、風向に対して対称な位置に開口がある場合、理論上、時間平均的に開口間に圧力差は生じないが、実際には瞬時的な風圧変動により、風上・風下に開口があり定常的に得られる風量に対して 2 割程度の換気が生じることを定量的に明らかにしている。現状では、この変動による換気量は実務設計の上では無視されているが、建築分野における省エネルギーの要請の観点からも、積極的に評価し、利用することが重要である。

2. 研究の目的

近年、オフィスビル等では自然エネルギーの有効活用の一つとして夏季の夜間や中間季に自然換気を行い、冷房や機械換気によるエネルギー消費量を削減する試みが行われている。これまで自然換気量の算出・評価には壁面の平均風圧係数が用いられており、外部風の変動により生じる圧力変動は考慮されていないのが現状である。圧力変動による換気量は平均的な圧力差による換気量の 1 ~ 2 割程度^{文1)}と推察されるが、風向や換気口の配置によっては無視できない換気量の増加が生じる可能性があるかと推測される。そこで、外部風の変動によって生じる換気量の変化に関する検討を行う必要がある。

本研究では、平均風圧による換気量に対して瞬時の風圧による換気量の算出を行うことで、風圧変動による自然換気量を定量的に評価することを目的とする。LES を用いて単独及び複数建物モデルを対象とした解析を行い、算出された壁面の時系列圧力データから風圧係数を算出する。算出された風圧係数を基に換気回路網計算で、風圧変動による自然換気量の算出を行う。自然換気量の算出は等温及び冬季、夏季、中間期を想定した温度差を考慮し、検討を行う。

3. 研究の方法

3.1 解析対象

図 1 に解析対象モデルを、表 1 に LES 解析条件を示す。建物モデルは、50[m](x) × 50[m](y) × 100[m](z)とする。モデル A は建物単体、モデル B は風向に対して 2 棟を直列に配置し、隣棟間隔は 25[m]とする。モデル C は市街地を模擬して 4 × 4 棟に建物モデルを整列配置し、各建物の隣棟間隔は xy 方向共に 25[m]とする。モデル B では風下側、モデル C では風上から 3 列目の建物を解析対象とする。

表 1 LES 解析条件

SGSモデル	Dynamic型 Smagorinskyモデル		
解析対象領域	3,900(x) × 900(y) × 900(z) [m]		
解析対象	建物モデル 50(x) × 50(y) × 100(z) [m]		
境界条件	流入	ドライバ領域で流入変動気流を作成する	
	流出	自然流出	
	壁境界	Ymin, Ymax, Zmax面	フリースリップ
		Zmin面	拡張型
	流体と接する全ての面 Werner-Wengel		
解析時間 t	ブレ解析: t=0~2,000[s]、本解析: t=2,000~5,000[s]		
瞬時データサンプリング間隔	1.0[s]		
温度	等温		
最小メッシュ幅	0.2[m]		
解析領域メッシュ数	260(x) × 197(y) × 103(z)=5,275,660		

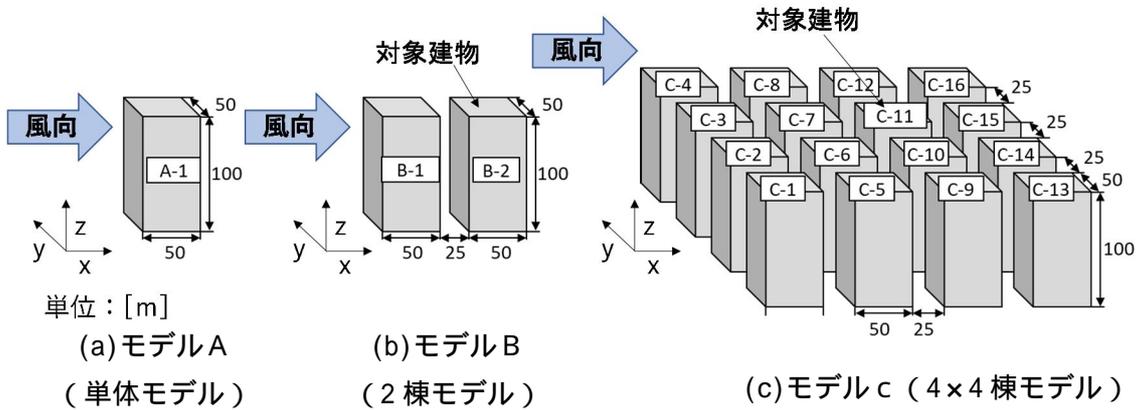


図1 解析対象モデル

3.2 換気回路網モデルの概要

図2に建物モデルの開口部位置を示す。壁面開口部は風上、風下及び風向と平行な壁面中心に6階(地上22[m])から25階(地上98[m])まで4[m]毎に設置し、寸法は1.0[m](幅)×0.5[m](高さ)、流量係数は0.6[-]とする。建物モデル内に4.0[m](幅)×4.0[m](奥行)×80[m](高さ)の縦シャフトを設置し、縦シャフトの屋上開口部は、4.0[m](幅)×4.0[m](奥行)とする。縦シャフトの各階との開口部は1.0[m](幅)×0.5[m](高さ)、開口の流量係数は0.6[-]とする。

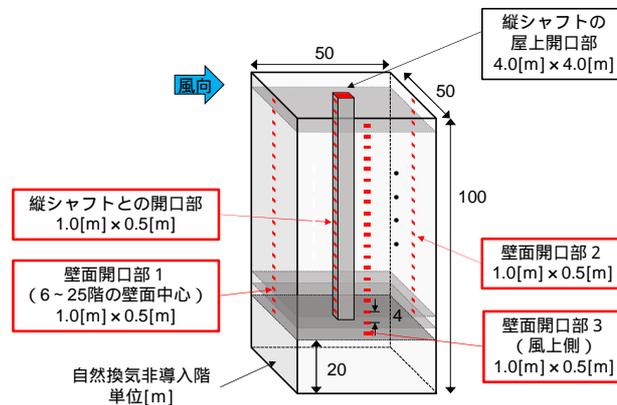


図2 建物モデルの開口部位置

3.3 換気量の算出

表2に換気量の計算caseを示す。モデルA、B、Cにおいて壁面開口部1~3をそれぞれの計算条件で1ヶ所ずつ開放する。室温25・外気温15(中間期)室温27・外気温35(夏季)室温20・外気温0(冬季)の3パターンの温度差を設定する。換気回路網計算ソフトCOMISを用いてLES解析で得られた各開口部及び屋上開口部の風圧係数と室内外温度差を設定し、換気量の計算を行う。また風圧係数には時系列風圧係数と時間平均風圧係数を用い、両者の換気量を比較することで非等温条件における風圧変動による換気量の検討を行う。

表2 換気量の計算case

計算case	温度			壁面開口条件	風速
	室内	室外	温度差 (室内-室外)		
case1	case1-0	20	20	0(等温)	基準風速(軒高、地上100m)を1,3,5,10m/sとする
	case1-1	25	15	10	
	case1-2	27	35	-8	
	case1-3	20	0	20	
case2	case2-0	20	20	0(等温)	
	case2-1	25	15	10	
	case2-2	27	35	-8	
	case2-3	20	0	20	
case3	case3-0	20	20	0(等温)	
	case3-1	25	15	10	
	case3-2	27	35	-8	
	case3-3	20	0	20	

4. 研究成果

4.1 外部風と室内外温度差による圧力差が逆向きに生じた場合の壁面開口部の換気性状

図3に各階の平均圧力差と壁面開口部の換気量(モデルA、case1-2:室温27℃、外気温35℃)を示す。外部風による圧力差と室内外温度差による圧力差が逆向きに生じた場合、合計した平均圧力差がほぼ0となる階が生じる(図3(a))。合計した平均圧力差がほぼ0の場合、風圧変動によって壁面開口部から気流の流入出が生じる換気性状となるため、平均換気量に対して変動を考慮した換気量が増加する傾向がある(図3(b):風速3[m/s]・18~20階、(c):風速5[m/s]・6~12階)。

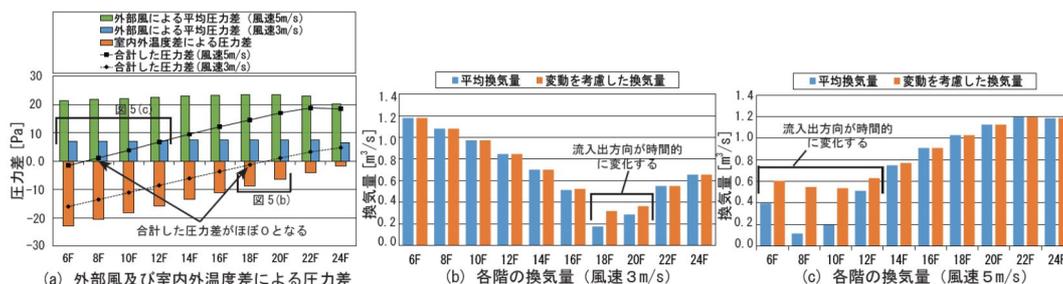


図3 各階の平均圧力差と壁面開口部の換気量
(モデルA、case1-2:室温27℃、外気温35℃)

4.3 風圧変動と室内外温度差による換気量の比較

図4に風圧変動と室内外温度差による壁面開口部の換気量(case1、13F)を示す。モデルA(図4(a))では、風速3[m/s]において、case1-2(室温27℃、外気温35℃)で平均換気量が負の値となり、case1-0(室温20℃、外気温20℃、等温)に対して逆方向の換気が生じる。これはcase1-0に対し、case1-2で室内外温度差による圧力差が外部風による圧力差を上回り、縦シャフトから室に気流が流入し壁面開口部から流出する気流性状となるためである。風速が5[m/s]以上では外部風による圧力差が室内外温度差による圧力差を常に超過するため、流入出方向の変化はほぼない。

モデルB及びC(図4(b)、(c))では、等温時と比較して、case1-1(室温25℃、外気温15℃)、case1-3(室温20℃、外気温0℃)では逆向きの換気が生じる。特にモデルBのcase1-1では、外部風速10[m/s]で平均換気量はほぼ0であるが、風圧変動によって平均値に対して最大で±30倍以上の換気量が生じる。

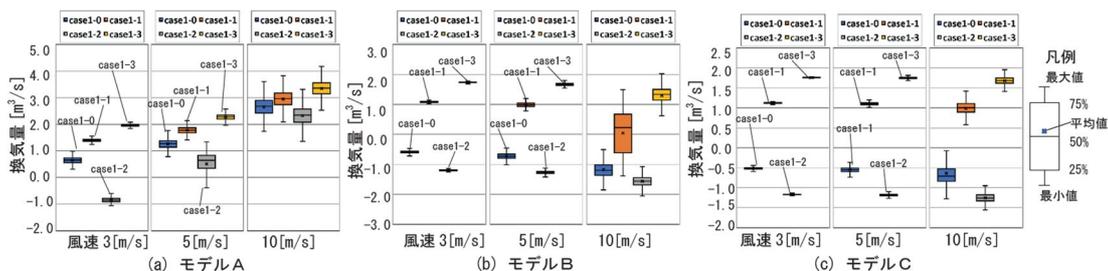


図4 風圧変動と室内外温度差による壁面開口部の換気量(case1、13F)

4.4 変動係数

各階に生じる外部風による圧力差の変動の指標として、変動係数(F)を導入する。変動係数は壁面開口部と屋上開口部の風圧係数差の標準偏差を平均風圧係数差で除して求める。平均風圧係数差は各階開口部と屋上面開口部の風圧係数差から算出する。変動係数の計算式を(1)式に示す。

$$F(\text{変動係数}) = \frac{\sigma}{|\Delta C|} \quad \dots (1)$$

σ : 風圧係数の標準偏差 [-]

ΔC : 開口部の風圧係数差 [-]

4.5 室内外温度差による圧力差と外部風による圧力差の比

外部風と室内外温度差による壁面開口部と屋上開口部間の圧力差を各階において算出し、式(2)より圧力差の比(R)を求める。圧力差の比が負の場合は室内外温度差による圧力差と外部風による圧力差が逆向きであることを示す。

$$R(\text{圧力差の比}) = \frac{2|\rho_1 - \rho_2|gh}{(-)\Delta C \rho_1 v^2} \quad \dots (2)$$

ρ_1 : 室内空気密度 [kg/m³] g : 重力加速度 [m/s²]
 ρ_2 : 室外空気密度 [kg/m³] h : 開口部間高さの差 [m]
 ΔC : 各開口部風圧係数の差 [-] v : 風速 [m/s]

4.6 F 及び R と平均換気量に対する変動換気量の増加率

図5に平均換気量に対する変動換気量の増加率とF及びRの関係を示す。図5には計算した全てのモデル、階、開口条件の計算結果をプロットしている。変動換気量は瞬時風圧係数により算出した建物に対する流入量の積算値を時間平均したものである。増加率は平均圧力差から算出した換気量に対する変動を考慮した換気量の比率とする。

(1) R (圧力差の比) と増加率 (図5(a))

Rが-1付近で増加率が高くなる傾向がある。これは外部風と室内外温度差による圧力差が同程度かつ逆向きに生じるため、階に対する気流の流入出方向が時々刻々と変化する換気性状となり、変動を考慮した換気量が増加するためである。Rが-6または2付近ではF(変動係数)が5以上の場合で、増加率が高くなる傾向がある。

(2) F (変動係数) と増加率(図5(b))

変動係数と増加率を比較するとほとんど相関がない。

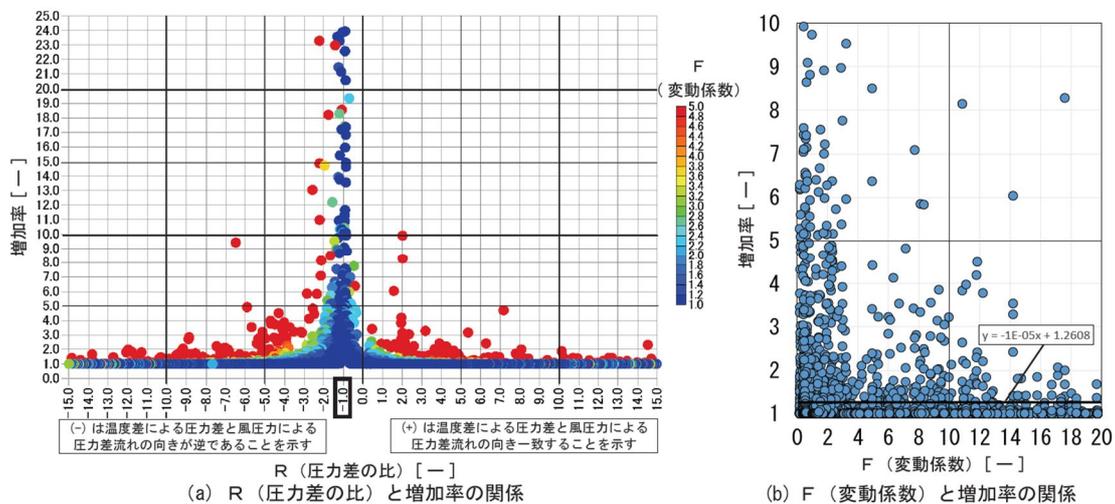


図5 平均換気量に対する変動換気量の増加率とF及びRの関係

4.7 まとめ

室内外温度差及び外部風によって生じる圧力差の方向が逆向きの場合、風圧変動を考慮した換気量の検討が必要であると考えられる。

周囲に同程度高さの建物がある場合、外部風によって壁面で生じる圧力が小さくなるため、室内外温度差による圧力差の影響が相対的に大きくなる。

室内外温度差を考慮した場合、平均圧力差から算出した換気量に対する変動を考慮した換気量の増加率は、外部風による平均圧力差と室内外温度差による圧力差が同程度で逆向きに生じた場合に極めて大きくなる傾向がある。

参考文献

文1) 赤林、有波ら「風速変動を考慮した自然換気・通風性能評価手法の提案：LESによる住宅の自然換気・通風性状に関する研究 その2」日本建築学会環境系論文集、2016年

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 王函、赤林伸一、有波裕貴
2. 発表標題 自然風による非定常換気に関する研究 その4 単体と複数の縦シャフトを設置した高層建物モデルを対象とした換気性状
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 王函、赤林伸一、有波裕貴
2. 発表標題 風力による非定常換気に関する研究 その3 単体と複数の縦シャフトを設置した高層建物モデルを対象とした換気性状
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤将太、赤林伸一、有波裕貴
2. 発表標題 風力による換気の変動に関する研究 その3 ポイドを有する高層建物モデルを対象とした風圧変動による自然換気の変動
3. 学会等名 日本建築学会北陸支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤将太、赤林伸一、有波裕貴
2. 発表標題 自然風による非定常換気に関する研究 その3 縦シャフトを設置した高層建物を対象とした風圧変動による換気性状
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 赤林伸一、有波裕貴
2. 発表標題 外部風による換気の非定常性に関する研究 オフィスビルを対象とした LESによる風圧変動を考慮した換気量評価
3. 学会等名 日本風工学会年次研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水越裕紀、赤林伸一、有波裕貴、佐藤将太
2. 発表標題 風力による換気の非定常性に関する研究 その1 1棟及び2棟の建物モデルを対象とした風圧変動による自然換気
3. 学会等名 日本建築学会北陸支部大会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤将太、赤林伸一、有波裕貴、水越裕紀
2. 発表標題 風力により換気の非定常性に関する研究 その2 市街地モデルを対象とした風圧変動による自然換気
3. 学会等名 日本建築学会北陸支部大会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤林伸一、水越裕紀、有波裕貴、佐藤将太
2. 発表標題 自然風による非定常換気に関する研究 その1 単独及び複数建物モデルを対象とした風圧変動による自然換気
3. 学会等名 日本建築学会大会(北陸)学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤将太、赤林伸一、有波裕貴、水越裕紀
2. 発表標題 自然風による非定常換気に関する研究 その2 市街地モデルを対象とした風圧変動による自然換気
3. 学会等名 日本建築学会大会(北陸)学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------