外部風による換気の非定常性に関する研究

LES によるオフィスビルの風圧変動を考慮した換気量評価

佐藤　将太　　指導教員　有波　裕貴　助教

1　研究目的

近年、オフィスビル等では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。自然換気量の算出・評価には壁面等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していない。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割程度[文1)]と推定されるが、風向や換気口の位置によって異なると考えられ、どの程度換気量が変化するのか検討する必要がある。

本研究では、Large-Eddy Simulation（以下：LES[※1]）を用いて東京都千代田区丸の内地区のモデルを対象に解析を行う。算出された壁面の風圧係数の変動を基に換気回路網計算で、瞬時風圧係数を時間平均した風圧係数による換気量と瞬時風圧係数による時刻別の換気量の算出を行う。両者を比較することで、風圧変動による自然換気量の増減を定量的に評価することを目的とする。

2　研究概要

2.1　解析対象：表１に解析モデルの大きさを、図１に解析モデルの概要を示す。解析対象は東京都千代田区丸の内地区において現行の都市計画（商業地域、容積率 1,300[%]、建蔽率 80[%]）に基づいて、モデル化を行った建物群である。高層モデルの大きさは50[m]（幅）× 25[m]（奥行き）× 100[m]（高さ）とする。また、各モデルの隣棟間隔は、xy 方向ともに 15[m] とする。

2.2　解析条件：表２に LES 解析条件を示す。本研究における CFD 解析には汎用数値流体解析ソフト STREAM ver.12 を使用する。LES 解析では、ドライバー領域[※2]を設け、流入変動気流を作成することで、対象とする解析モデルに対して変動気流を流入させて解析[※3]を行う。接近流の鉛直プロファイルは市街地を想定して $U \propto Z^{1/4}$(U: 流速、Z: 高さ）とする。

2.3　基準動圧の算出方法：風圧係数の算出の際に用いる基準動圧は、気流が建物の影響を受けない上空（x=750[m]、y=550[m]、z=800[m]）の平均風速を鉛直プロファイル（$U \propto Z^{1/4}$）を基に、高層モデルの建物高さ（100[m]）に換算した風速を基準風速とし、(1) 式を用いて算出する。

$$p_{v0} = \frac{1}{2}\rho v_0{}^2\,[\mathrm{Pa}] \quad \cdots \quad (1)$$

Pv_0 ：基準動圧[Pa]
ρ ：空気密度[kg/m³]
v_0 ：基準風速[m/s]

2.4　換気回路網モデルの概要：表３に計算 case を、図２に換気回路網モデルの概要を、図３に対象室の大きさを示す。換気回路網計算の対象建物は解析モデルの風上側から１、２列目の図１中のＡ～Ｆとする。換気回路網モデルは、対象建物の風向に対して垂直な風上、風下側壁面の中央（y=25[m]、z=50[m]）に開口部 a、b を設けた換気回路網モデル１、風向に対して平行な壁面の中央（x=12.5[m]、z=50[m]）に開口部 c、d を設けた換気回路網モデル２とする。対象室の大きさは、50[m]（幅）× 25[m]（奥行き）× 4 [m]（高さ）とし、地表面から高さ 50[m] に開口部を設置する。開口部の大きさは 0.5[m]（高さ）× 0.5[m]（幅）とし、流量係数 α は 0.6[-] とする。

3　換気量の算出結果

LES を用いて各時刻における風圧係数[※4]を算出し、瞬時風圧係数及び平均風圧係数による換気量を換気回路網計算ソフト COMIS を用いて算出する。LES の瞬時換気量[※5]は開口部 a 及び c からの流入量を正とし、開口部 b 及び d からの流入量を負とする。

3.1　瞬時換気量の比較：図４に case1-C、D 及び case2-C、D における瞬時換気量と平均値を示す。

表１　解析モデルの大きさ

	x[m]	y[m]	z[m]	表示
高層モデル	25	50	100	
高層モデル(東京駅モデル)	25	180	100	
高架線路モデル	25	830	5	

表２　LES 解析条件

SGSモデル	Dynamic型　Smagorinskyモデル		
解析領域	3,900(x)×1,100(y)×900(z)[m]		
境界条件	流入	ドライバー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	プレ解析:t=0～4.0[s]、本解析:t=4.0～10.0[s]		
時間刻みΔt	0.002[s]		
温度	等温		
最小メッシュ幅	0.3[m]		
解析領域メッシュ数	260(x)×440(y)×99(z)=11,325,600		

表３　計算 case

	換気回路網モデル	対象建物
case1-A	1	A
case1-B		B
case1-C		C
case1-D		D
case1-E		E
case1-F		F
case2-A	2	A
case2-B		B
case2-C		C
case2-D		D
case2-E		E
case2-F		F

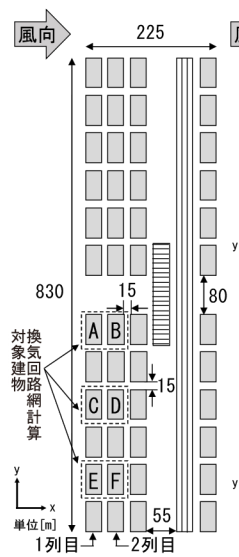
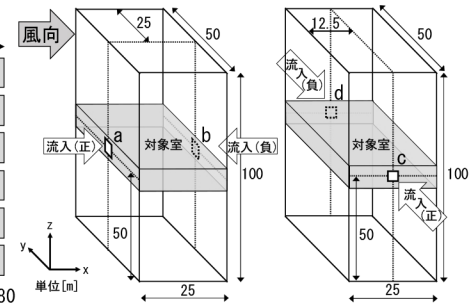
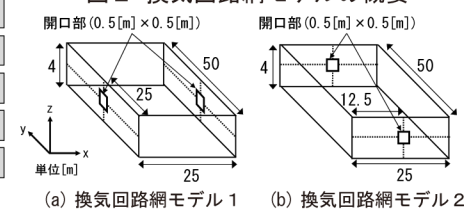


図１　解析モデルの概要



(a) 換気回路網モデル１　(b) 換気回路網モデル２

図２　換気回路網モデルの概要



(a) 換気回路網モデル１　(b) 換気回路網モデル２

図３　対象室の大きさ

(1) case1-C: 風上側の建物の風向に対して垂直に開口を設けた場合、瞬時換気量積算値の平均※6は 0.455[m³/s] であり、変動係数※7が 7.7[%] となり、変動は相対的に小さくなる。

(2) case2-C: 風向に対して平行に開口を設けた場合、瞬時換気量積算値の平均は 0.190[m³/s] であり、case1-C に比較して 60[%] 程度減少し、変動係数が 45.1[%] と相対的に大きくなる。

(3) case1-D: 瞬時換気量積算値の平均は 0.162[m³/s] であり、風上側の建物Ｃの影響により、case1-C に比較して 65[%] 程度減少し、変動係数が 33.7[%] と相対的に大きくなる。また、case1-C では見られない風下側開口からの流入が見られる。

(4) case2-D: case2-C、case1-D と同様に、瞬時換気量積算値の平均は 0.157[m³/s] であり、case1-C に比較して 65[%] 程度減少し、変動係数が 36.9[%] と相対的に大きくなる。

3.2　風圧変動を考慮した換気量の比較：図５に各 case における瞬時換気量積算値の平均と平均風圧係数差から算出した換気量※8の比較を示す。case1 では、瞬時換気量積算値の平均が平均風圧係数差から算出した換気量に比較して 99 ～ 95[%] 程度に減少する。case2 では、平均風圧係数差から算出した換気量に比較して、建物Ｃ、Ｅの瞬時換気量積算値の平均は減少するが、建物Ａ、Ｄ、Ｆの瞬時換気量積算値の平均は 102 ～ 110[%] 程度に増加する。また、建物Ｂの瞬時換気量積算値の平均は 210[%] 程度と大幅に増加する。

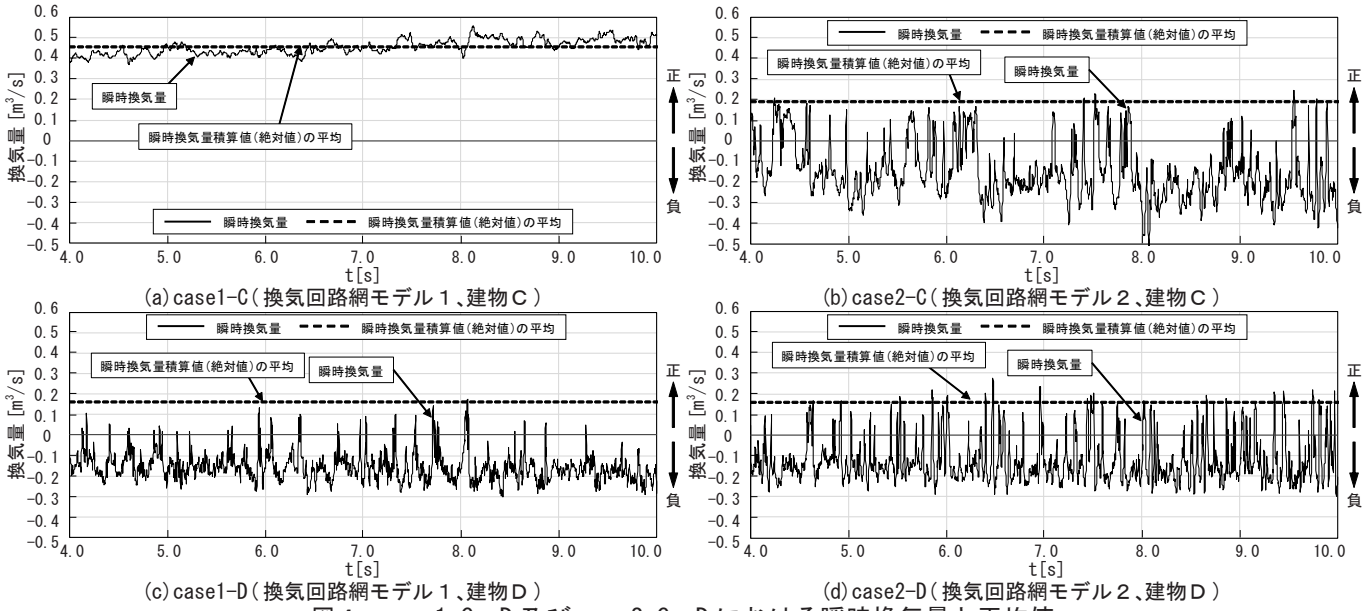
壁面の平均風圧係数の差が大きい場合、風圧変動による瞬時換気量と平均風圧係数差から算出した換気量の差が小さい。壁面の平均風圧係数の差が小さい場合、風圧変動による瞬時換気量と平均風圧係数差から算出した換気量の差が大きい傾向がある。

4　まとめ

開口を風向に対して垂直に設けた場合、瞬時換気量積算値の平均は平均風圧係数差から算出した換気量に比較して 99 ～ 95[%] 程度に減少する。開口を風向に対して平行に設けた場合では、瞬時換気量積算値の平均は平均風圧係数差から算出した換気量に比較して 102 ～ 110[%]、最大で 210[%] 程度増加する。

注釈
※1　LES 解析では風速、風圧の時間変動を解析することができる。
※2　ドライバー領域とは、周期境界条件を用いて流入変動気流を計算するために、建物風上側に設けた領域である。
※3　解析開始からの経過時間を t とし、計算開始後 t=0 ～ 4.0[s] まで流入変動気流作成のためのプレ解析とする。t=4.0 ～ 10.0[s] までの計 6.0[s] 間を本解析の結果とする。
※4　各時刻において (1) 式で算出した基準動圧を用いて壁面静圧を除し、風圧係数を算出する。
※5　LES で算出した瞬時風圧係数を基に COMIS を用いて各時刻ごとに算出した換気量とする。
※6　瞬時換気量積算値の平均は各時刻の瞬時換気量の絶対値を積算し、平均したものである。
※7　変動係数は瞬時換気量の絶対値の標準偏差を瞬時換気量積算値の平均で除し、百分率で表す。
※8　平均風圧係数差から算出した換気量は絶対値で表す。

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



(a) case1-C（換気回路網モデル１、建物Ｃ）
(b) case2-C（換気回路網モデル２、建物Ｃ）
(c) case1-D（換気回路網モデル１、建物Ｄ）
(d) case2-D（換気回路網モデル２、建物Ｄ）

図４　case1-C、D 及び case2-C、D における瞬時換気量と平均値

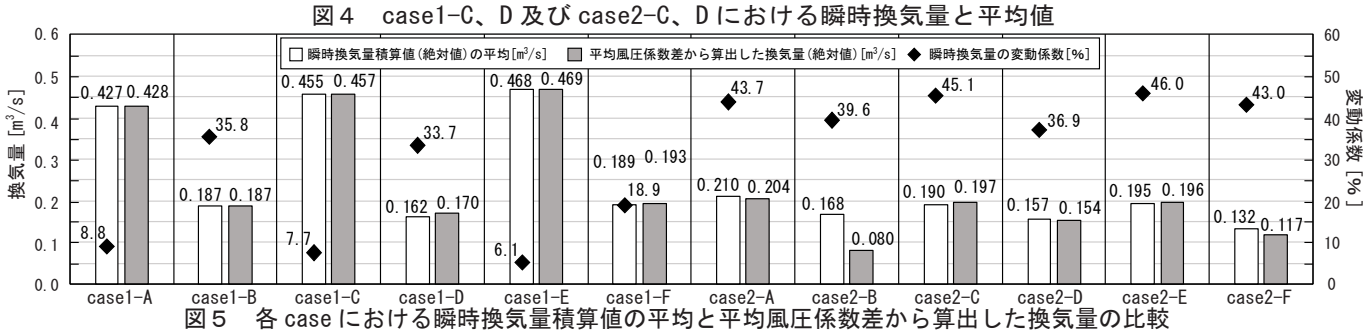


図５　各 case における瞬時換気量積算値の平均と平均風圧係数差から算出した換気量の比較