# 複数開口を有する室を対象とした風の乱れによる換気効果に関する研究 (その7)風洞実験による換気量評価

## Ventilation Effect of External Wind Turbulence for a Room with Multiple Openings (Part 7) Evaluation of Ventilation Rate based on Wind Tunnel Test

学正会員	○藤田拓也(大阪市立大学)	正会員 小林知広(大阪市立大学	:)
正会員	Eunsu Lim(東洋大学)	正会員 梅宮典子(大阪市立大学	:)
Takuya FU	JJITA <sup>*1</sup> , Tomohiro KOBAYASHI <sup>*1</sup> ,	Eunsu LIM <sup>*2</sup> , Noriko UMEMIYA <sup>*1</sup>	
	<sup>*1</sup> Osaka City University	*2 Toyo University	

General predition method of wind-induced ventilation rate cannot work well for a room with multiple openings of the same order of magnitude of time-averaged wind pressure coefficient (Cp value), because influence of the wind turbulence cannot be considered. This work aims to evaluate ventilation performance due to turbulence. This paper presents the flow rate of a room with two openings for several cases of small wind pressure difference by wind tunnel test. The flow rate is evaluated by Purging flow rate (PFR), and the correlations between PFR and Cp value is shown.

### 1. はじめに

本研究では風圧係数差が小さい場合の風力換気量 の簡易予測手法の提案を目標としている。既報<sup>1)</sup>で は微小な風圧係数差における2開口で室内濃度に基 づく換気量である Purging Flow Rate (PFR)<sup>2,3)</sup>と開口部 風速に基づく通気量である Air Flow Rate (AFR) で換 気量評価を行い、従来の換気量予測式が不適切とな る風圧係数差の範囲を示した。前報4)では脈動と混 合による換気効果を考慮することを意図して、風圧 係数差の標準偏差と開口近傍近傍風速を組み込んだ 予測式の提案を行った。これらの検討は全て CFD 解 析で行っており、得られた知見は実験による検証が 欠けている。そこで本報では風洞実験を行い、風圧 係数と換気量を測定して風圧係数差が比較的小さな 範囲での従来手法の予測精度について検討を行う。

## 2. 対象モデル

対象室モデルは既報<sup>1)</sup>のCFDと同様、外寸一辺 200 mm で、40×40 mm の開口を2つ有する。開口設 置面の条件は、風上側から見て右側面と風上面 (Case FR)、右側面と風下面 (Case BR)、右側面と左側面 (Case LR)の3種を設定した(図1)。本報ではこの3種の 条件において右側面の開口位置を水平方向に移動さ せた7箇所を設定し、計21条件を解析した。また、 他方の開口位置は固定し、開口部中心高さは全条件 で模型中心高さの100mmで統一した。これらの条件 を後述する実験結果と併せて表1にまとめて示す。

#### 3. 風圧係数測定実験

Opening 1

zſ

-X

#### 3.1 実験概要

8

₽ ₽

実験は大阪市立大学研究用風洞で行った。まずは 開口を有しないシールドモデルを用いて、風圧係数 の取得に加えて全21条件における2開口間における 風圧係数差の瞬時値の測定も行った。図2に実験概

Wind

Opening1

zſ

-X

80

6  80 40 80

Opening 1

z, ¯<sup>×X</sup>



要を示す。風洞は測定胴高さ1,200 mm、幅1,500 mm のエッフェル型で、境界層流で実験を行った。図3 に風圧測定模型と測定点を示す。測定点は開口中心 高さの床上100 mm に風上側から見て前面・後面の2 面と、側面は対称性を仮定して左側面のみの1 面に 設置し、10 mm 間隔で各面19 点、計57 点設置した。

風洞床上800 mm にピトー管を設置し、この位置で 風速10 m/s に設定した。図4にI型熱線流速計によ り測定(1.0 kHz、60 s)したアプローチフローのプロ ファイルを示す。風圧係数の基準動圧は、風圧と同 時測定したピトー管動圧から図4のプロファイルで 推定した模型軒高(200 mm)の動圧とした。風圧は 微差圧計(Validyne 社, DP45)により1.0 kHz で60 s 測定し、基準静圧はピトー管静圧とした。風圧係数 差の瞬時値の測定では、表1に示す全21条件で想定 する2開口それぞれの中心位置の風圧差を同微差圧 計により直接測定した。なお、CaseLRで風圧係数差 の瞬時値を測定した際には、図3(1)に示す風向から 90°模型を回転させた。

#### 3.2 実験結果

図5に各面の風圧係数の水平分布を示す。風下の 風圧係数は対称の分布が確認される。一方風上面の 風圧分布は厳密には対称でないが、これは当該風洞 の特性としての風速の水平分布が原因と思われる。

Case FR-4, Case BR-4, Case LR-4 における風圧係数 差の瞬時値を図6に示す。各条件において風圧係数 差の変動が見られるが、Case FR-4 では常に正の値を 取り、常に風上面から流入して側面から流出する通 風による換気が行われると考えられる。Case BR-4 で は風圧係数差が正から負に変わる瞬間が存在はする がほぼ差圧は正であり、風下面から側面への流れが 主流と推察される。一方 Case LR-4 では測定点の配置 が完全に左右対称であることから差圧の正負が変動 しており、風圧係数差の平均値は0 であるが開口部 間で流入流出する気流の向きが交互入れ替わる脈動 的な換気が行われることが予測される。

-1.0



Description	Case	Central Position of Opening (X, Y, Z) [mm]		ACp []	a []	DED [L/min]	ACP [1/min]				
Description		Opening 1	0	pening 2		$O_{\Delta C_p}[-]$	FFK [L/IIIII]	ACK [1/min]			
Opening 1	Case FR-1	(-100,100,0)	r = 40	(-60, 100, 100)	1.46	0.226	333	43.8			
	Case FR-2	(-100,100,0)	r = 60	(-40, 100, 100)	1.44	0.245	334	44.0			
	Case FR-3	(-100,100,0)	r = 80	(-20, 100, 100)	1.33	0.257	322	42.4			
	Case FR-4	(-100,100,0)	r = 100	(0, 100, 100)	1.23	0.248	306	40.2			
Wind Z	Case FR-5	(-100,100,0)	r = 120	(-20, 100, 100)	1.10	0.229	299	39.3			
	Case FR-6	(-100,100,0)	r = 140	(-40, 100, 100)	0.99	0.201	288	37.9			
Opening 2	Case FR-7	(-100,100,0)	r = 160	(-60, 100, 100)	0.91	0.189	279	36.7			
Opening 1	Case BR-1	(100,100,0)	r = 40	(-60, 100, 100)	0.66	0.127	162	21.3			
	Case BR-2	(100,100,0)	r = 60	(-40, 100, 100)	0.63	0.136	153	20.1			
	Case BR-3	(100,100,0)	r = 80	(-20, 100, 100)	0.53	0.143	141	18.5			
	Case BR-4	(100,100,0)	r = 100	(0, 100, 100)	0.43	0.148	130	17.1			
Wind	Case BR-5	(100,100,0)	r = 120	(-20, 100, 100)	0.29	0.142	110	14.5			
	Case BR-6	(100,100,0)	r = 140	(-40, 100, 100)	0.19	0.127	90.4	11.9			
Opening 2	Case BR-7	(100,100,0)	r = 160	(-60, 100, 100)	0.10	0.103	72.5	9.54			
Opening 1	Case LR-1	(0,100,-100)	r = 40	(-60, 100, 100)	0.23	0.178	68.1	8.96			
	Case LR-2	(0,100,-100)	r = 60	(-40, 100, 100)	0.20	0.165	64.5	8.48			
	Case LR-3	(0,100,-100)	r = 80	(-20, 100, 100)	0.10	0.163	66.4	8.73			
	Case LR-4	(0,100,-100)	r = 100	(0, 100, 100)	0.00	0.166	70.5	9.26			
Wind Z'	Case LR-5	(0,100,-100)	r = 120	(-20, 100, 100)	0.14	0.164	79.4	10.4			
	Case LR-6	(0,100,-100)	r = 140	(-40, 100, 100)	0.24	0.162	81.4	10.7			
Opening 2	Case LR-7	(0,100,-100)	r = 160	(-60, 100, 100)	0.33	0.157	84.5	11.1			

各条件における風圧係数の時間平均値の差 ( $\Delta C_p$ ) と風圧係数差の標準偏差 ( $\sigma_{\Delta C_p}$ )の関係を図7に示す。 Case FR, Case BR では  $\Delta C_p$  が大きいときに $\sigma_{\Delta C_p}$  が大 きくなるが、それぞれ1.3、0.4を超えると減少する。 一方 Case LR では  $\Delta C_p$  が 0 ~ 0.3 [-] 程度の範囲でば らつくが  $\sigma_{\Delta C_p}$  は概ね一定の値をとる。また、Case BR は Case LR よりも  $\Delta C_p$  が大きいが、 $\sigma_{\Delta C_p}$  は小さくなっ ている。少なくともこれらの結果からは  $\Delta C_p$  と  $\sigma_{\Delta C_p}$ の間に一貫した明確な関係性は見出し難く、乱れを 考慮した換気量予測にあたってはそれぞれ独立した パラメータとして取り扱うべきと考える。

# 4.トレーサーガス法による換気量測定 4.1実験概要

CO2を用いたトレーサーガス法により換気量測定 を行う。実験概要を図8に示す。濃度はマルチガス モニター (LumaSense Technologies, Innova 1312, 較正 濃度 5,000 ppm) により模型内の空気を吸引して測定 する。吸引は室平面中心位置に立てた外径 3.5 mmの 配管から行い、床上 50,100,150 mm の高さでそれぞ れ四方に直径 1.0 mm の吸引孔を設けて 12 点から吸 引した。これは室内の平均濃度に近い値の測定を意 図したためである。実験はまず風洞内で気流を発生 させた状態で CO2 濃度を5分間測定して外気濃度を 取得する。その後ボンベから CO, ガスを噴出し、マ スフローコントローラ (Fujikin, FCST 1005 LC) で流量 を 250 sccm に制御<sup>註1)</sup>して模型内にガスを供給し、11 分間継続して濃度測定を行い発生後1分のデータを 破棄して10分平均値を定常濃度とみなした。ドージ ングは極端な室内濃度分布の発生を避けるため、床



上 50 mm の高さで4箇所設けた配管上端からガス供給を行った。図9に室モデルの供給・吸引位置を示す。



#### 4.2 結果と考察

図 10 に Case FR-4, Case BR-4, Case LR-4 の CO<sub>2</sub> 濃 度応答を示す。Case FR-4 は定常の10分間で1,300 ppm 程度の濃度で安定しており、 $\Delta C_p$ が大きいため 換気量も大きく比較的低濃度になった。一方、Case BR-4 と Case LR-4 では濃度に変動が見られ、脈動的 な風力換気現象により一度流出したトレーサーガス の再流入も考えられるため、この濃度から算出した 換気量は流入出する通気量(AFR)より小さくなる 可能性がある。本報ではトレーサーガス定常発生法 を用いるため換気量は次式で PFR を評価する<sup>註2)</sup>。

$$PFR = \frac{m}{c_r - c_o} \left[ \frac{m^3}{s} \right] \qquad \dots (1)$$

ここで、m は単位時間当たりの室内 CO<sub>2</sub> 発生量 [m<sup>3</sup>/s]、  $c_r \ge c_o$ はそれぞれ前述の室内定常濃度と外気濃度 [-] である。

**図 11** に実験で得られた ΔC<sub>p</sub> と PFR の関係を従来 のオリフィス式による算定結果(α=0.65で有効開口 面積を直列結合)とともに示す。Case FR は全条件 において ΔC<sub>p</sub>が大きくなるとともに換気量が増加し、 オリフィス式によく一致した。Case BR でも同様に ΔC<sub>n</sub>が大きくなると換気量の増加傾向が見られたが、 オリフィス式より小さい結果となった。これは濃度 応答からも推察されたように、トレーサーの再流入 や室内の分布により局所的に濃度が高くなることで 換気量を小さく評価した可能性がある。つまり、本 来オリフィス式と比較すべきは純粋な通気量である AFR であるが、換気効率も考慮される PFR で評価し たことに起因する差も含んでいる可能性がある。一 方、Case LR については  $\Delta C_p$  は 0 ~ 0.3 程度の範囲で 分布しているが換気量はそれと関係せずに概ね一定 の値となった。したがって、この条件では換気量は ΔC<sub>p</sub>に依存せず、気流の乱れが換気の支配的な駆動力 になっている可能性が考えられる。

各条件における  $\sigma_{\Delta C_{P}}$  と PFR の関係を図 12 に示す。 Case LR は  $\sigma_{\Delta C_{P}}$  が一点に集中する傾向が見られる。こ のことから  $\Delta C_{p}$  が小さく主に気流の乱れによる換気 が行われていると考えられるこの条件では、 $\sigma_{\Delta C_{P}}$  が同 程度であることが換気量が同程度になったことの要 因の一つと推察される。乱れによる換気のメカニズ ムを考えると  $\sigma_{\Delta C_{P}}$  は換気量の脈動的な成分を表す指 標の一つで乱れによる換気量を予測する上で重要な パラメータになり得ると言えるが、今後これに加え て前報<sup>4)</sup> で示したように開口部での混合を考慮した 評価を実験に基づいても行う必要があると考える。

#### 5. まとめ

本報では風洞実験により換気量測定を行い、風圧 係数差が小さな条件ではオリフィス式で予測出来ず、 風圧係数差の標準偏差のように脈動に関連する項目 がパラメータになり得ることが実験でも示された。 今後は混合現象も考慮した評価を行う所存である。



本研究の一部は JSPS 科研費(挑戦的萌芽研究,課題番号 JP16K14347,研究代表者;小林知広)の助成を受けた。 **註釈** 

- 発生量 250 sccm は、既報<sup>1)</sup>に基づき本報の検討に近い条件の LES 計算から換気量のオーダーを推測し、風量バランスの観点 から CO<sub>2</sub> 発生の体積流量が換気量の 0.5% 以下、かつモデル内 平均濃度が 5,000 ppm を超過しない程度となるよう計画して決 定した。
- 2)本研究ではこれまでに濃度と発生量に基づいて算定する換気量 を PFR (Purging Flow Rate)、両開口面の瞬時風速を流入出で区 別して積分した値の時間平均を AFR (Air Flow Rate) と区別し ているため、本報でもそれに従った表記を採用している。

#### 参考文献

- 藤田拓也,小林知広,梅宮典子:複数の開口を有する室を対象とした風の乱れによる換気効果に関する研究(その4)微小な風 圧係数差の2開口を有する室の換気量評価,空気調和・衛生工 学会大会学術講演論文集,第4巻,pp.105-108,2016.9
- M. Sandberg and D. Etheridge : BUILDING VENTILATION Theory and Measurement, John Wiley & Sons Ltd, 1996
- 伊藤一秀,加藤信介,村上周三:不完全性混合室内の居住域 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
- 4)小林知広,梅宮典子,藤田拓也:複数開口を有する室を対象とした風の乱れによる換気効果に関する研究(その6)微小な風圧係数差での換気量簡易予測,空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集,2017(投稿中)