

中高層オフィスを対象とした風力・重力併用型自然換気設計手法に関する研究
(その2) 風洞実験と換気回路網計算に基づく自然換気量評価

Design Method of Wind and Buoyancy Induced Natural Ventilation System for
High and Medium Rise Office Building
(Part 2) Natural Ventilation Rate based on Wind Tunnel Test and Flow Network Model

正会員 ○小林 知広 (大阪市立大学) 正会員 甲谷 寿史 (大阪大学)
正会員 梅宮 典子 (大阪市立大学) 正会員 落合 奈津子 (日建設計)
Tomohiro KOBAYASHI*¹ Hisashi KOTANI*² Noriko UMEMIYA*¹ Natsuko OCHIAI*³

*¹ Osaka City University *² Osaka University *³ Nikken Sekkei Ltd.

The purpose of this work is to propose a general and simplified design method of natural ventilation system for the office building that utilizes wind and buoyancy effect. This paper first presents the wind tunnel test to obtain wind pressure coefficient of an existing office building. Then, natural ventilation rate of the building is evaluated by flow network model. Based on a parametric study varying the ventilation opening area and resistance of the flow path, a correlation between flow rate and these parameters is finally to be shown.

1. はじめに

主に中間期の空調負荷の削減やBCP対応を目的として、近年事務所ビルでの自然換気導入事例が増えている。本格的な自然換気設計には換気回路網やCFD等の検討が有効だが¹⁾、比較的短期間で設計が求められる場合これらの検討は容易ではない。一般的な自然換気設計手法は確立されているとは言い難く、自然換気口面積等の設計条件は設計者の経験や前例を参考にすることが多い。このため汎用的かつ簡易な自然換気設計手法が必要と言える。本研究ではその提案を最終目的とするが、本報ではまず通風型とシャフト型を組み合わせた自然換気システムを有する実建物を対象として換気量算定を行う。その上で自然換気口面積や換気経路の抵抗を変更したパラメトリックスタディを行い、設計条件と換気量の関係についての知見を得る。なお、本報は既報²⁾に一部加筆し、再構成を行ったものである。

2. 解析対象とする実在オフィスの概要

図1に対象建物の概要を示す。階高は4.2mで自然換気導入階のうち3階から8階を低層フロア、9階から11階を高層フロアと称する。自然換気口(1箇所あたりの

開口面積は0.194 m²)は執務室北側(NV-N)に8個、南側(NV-S)に12個設けられ、コア部に高層用シャフトと階段室兼用の低層用シャフトを有する。主風向は春期と秋期でそれぞれ南と北北西である。図2に設計で意図された換気経路を示す。低層フロアでは自然換気口から外気が執務室に流入し、天井裏から廊下を介して低層用シャフトに流入した後にシャフト上部のバランス式逆流防止窓から排気される。高層フロアは天井裏までは低層フロアと同様でその後パスタクトを介して高層用シャフトへ流入し、シャフト上部から排気される。

3. 風洞実験による風圧係数の取得

3.1 実験概要

換気回路網計算のための風圧係数取得を目的として風洞実験を行った。実験は図3に示す大阪市立大学研究用風洞で行い、対象建物を中心とする直径480mの範囲を縮尺1/400で再現し、境界層流下で風圧測定を行った。実験での建物再現範囲を図4に示す。図5にI型熱線流速計を用いて1.0 kHz, 60 sで測定したモデルを設置しない状態での風洞内アプローチフローの風速と

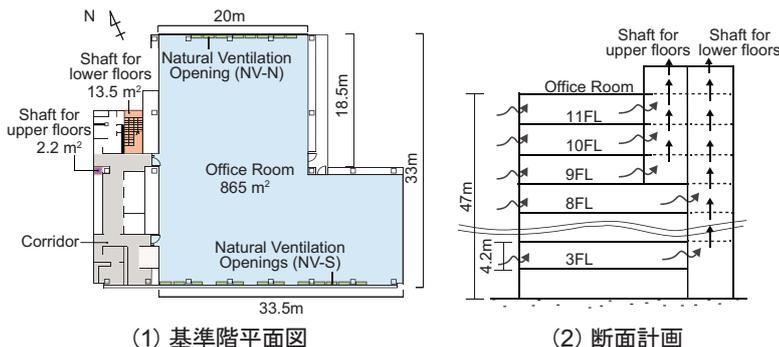


図1 対象建物の計画概要

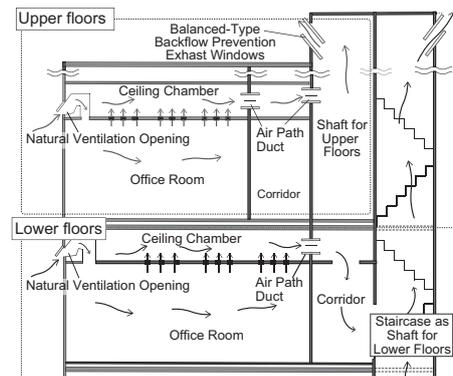


図2 設計で意図された換気経路

乱流強度のプロファイルを示す。風洞内風速は床上 500 mm 高さのピトー管位置で 10m/s に設定した。風圧係数の基準速度圧はピトー管速度圧と風速プロファイルにより算出した対象建物高さにおける外部風速の速度圧とする。図 6 に対象建物模型 (2.0 mm 厚アクリル板製) と風圧測定点を示す。測定点は自然換気口高さで各階の南北面それぞれに 3 点ずつ、低層シャフトについては屋上階の排気窓位置に上下 2 点、高層シャフトについては屋上階排気窓位置で北・西・南面各 1 点ずつ、計 59 点を微差圧計 (Validyne 社, DP45) により 16 風向で測定した。風圧測定は各点 100 Hz で 30 s とし、風洞内基準静圧はピトー管の静圧とした。

3.2 実験結果

図 7 に 16 風向で得られた風圧係数を示す。低層階では周辺建物の影響で概して壁面間の風圧係数差が小さく、水平換気の駆動力は小さいためシャフトを介した自然換気が期待される。上層階では通風とシャフト換気の両者が期待される風向が多い。ここで得られた風圧係数を境界条件に用い、次章では回路網計算を行う。

4. 対象建物の熱・換気回路網計算

4.1 計算概要

実建物の自然換気量を回路網計算により評価する。外気温は 20℃、風速は拡張アメダス標準年気象データ

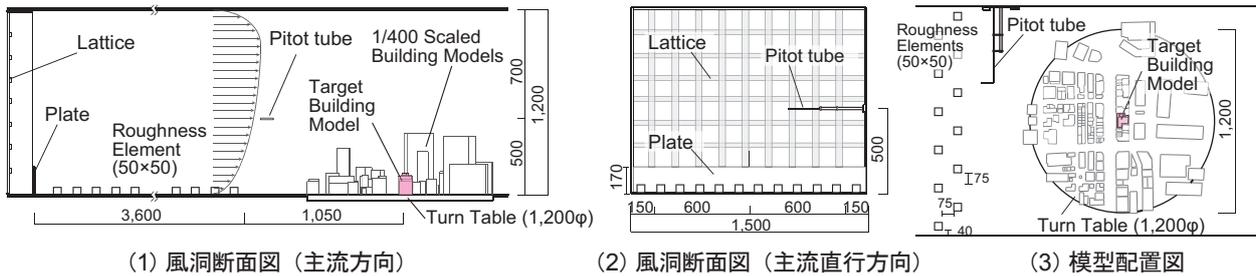


図 3 風洞実験の概要

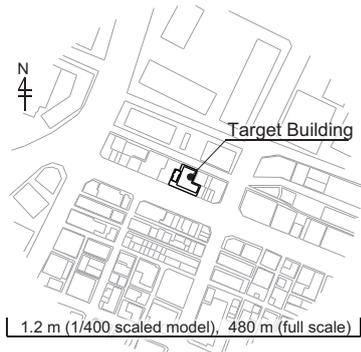


図 4 対象建物配置図

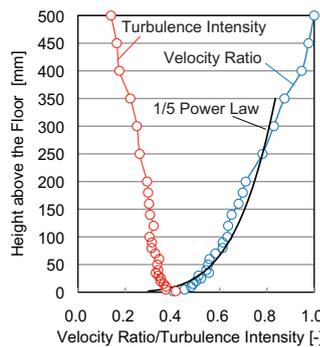


図 5 風洞内アプローチフロー

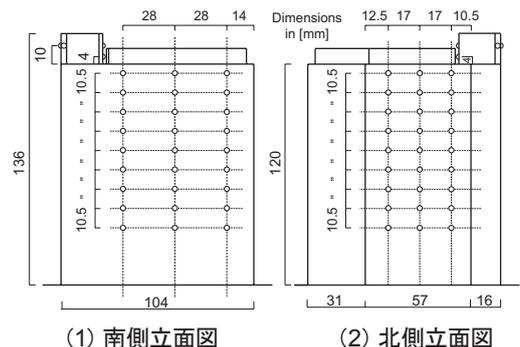


図 6 風圧測定模型

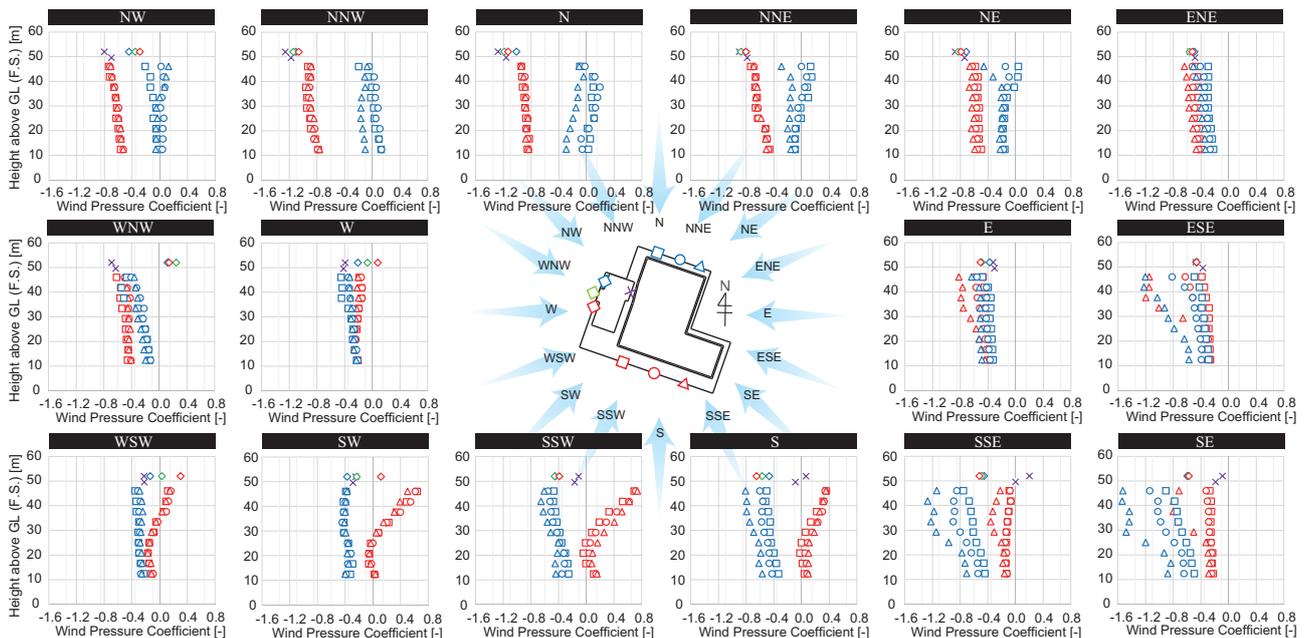


図 7 風洞実験により得られた 16 風向での風圧係数

の中間期就業時間帯における平均値である4.1m/sを採用し、風圧係数には風洞実験値を用いて定常計算を行う。自然換気口の風圧係数は南北面はそれぞれ3点平均、低層シャフト排気口は2点平均とした。図8に作成した回路網を示す。外壁はガラス面とセメント板で熱抵抗を区別した。換気抵抗の入力値を表1に示す。階段室は文献値³⁾を参考に、高層用シャフトは摩擦損失を想定して流量係数を与えた。執務室-シャフト間(パス)の抵抗は天井開口やパスタクト等の有効開口面積の結合値から与えた。内部発熱は執務室で36.625 [W/m²]として日射は無視した。風向は16風向+無風とし、風向Sでは外部風速1.0, 3.0, 10[m/s]でも計算を実施した。

4.2 解析結果と考察

図9に例として無風時、東、南、西北西、北北西の風向での換気量と水平換気率(HVR)を示す。横軸は

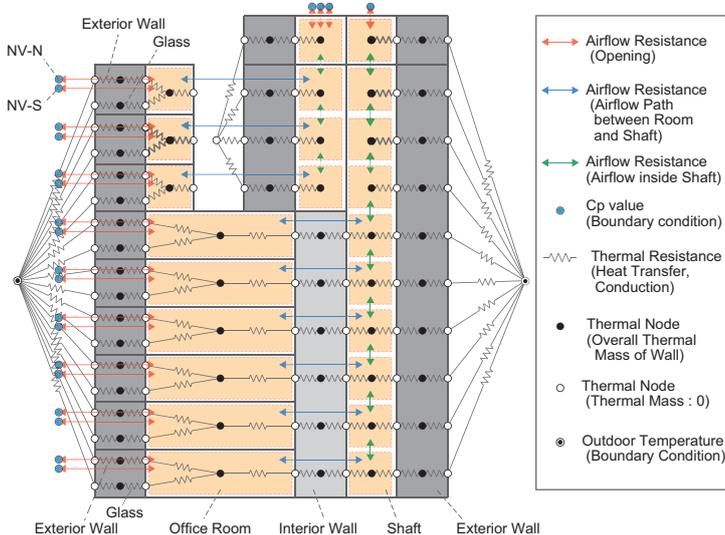


図8 対象建物の熱・換気回路網モデル

各開口から執務室への流入量を表し、自然換気口からの流入のみを新鮮外気とみなしてその合計を有効換気量とした。HVRは自然換気口から流入する外気のうちシャフトに流れず他方の自然換気口から流出する空気の割合とした。換気量はフロア間でばらつきはあるが、無風時はシャフトによる換気が安定して行われ、0.6~2.0 [1/h]程度の換気回数となった。外部風下では通風が促進されるが、特に温度差による駆動力が小さくなる上部階で有効に働き全体的に2~3倍の自然換気量となり、自然換気が有効に働くと考えられる。図10に風向南で外部風速を変更した結果を示す。風速1.0 [m/s]では無風時同様1.0~2.0 [1/h]程度の換気回数で、風速の増加とともに換気量とHVRの増加しており、高風速下では風力の影響が支配的になり大きな換気量が期待できる。

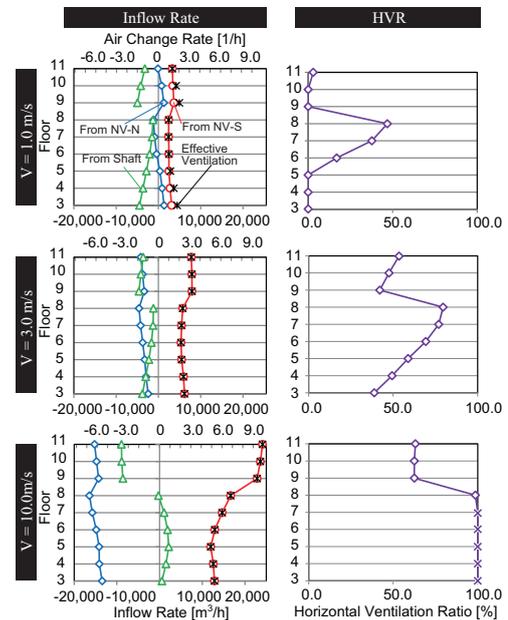


図10 外部風速と自然換気量の関係(風向:南)

表1 換気抵抗に関する入力条件

Flow Path	Natural Ventilation Opening (one opening) ($\alpha A_{\text{intake}} / A_{\text{intake}} = 0.403$)	Flow Path between Office Room and Staircase	Flow Path between Office Room and Shaft	Staircase (one story) ($\alpha_{\text{stair}} = 0.17 [-]$)	Shaft (one story) ($\zeta_{\text{shaft}} = \lambda \frac{L}{D_e} = 0.0866 [-]$)	Backflow Prevention Window ($\alpha = 0.43 [-]$)	
Effective Opening Area	$\alpha A_{\text{intake}} = 0.0783 [\text{m}^2]$	$\alpha A_{\text{path-between}} = 0.442 [\text{m}^2]$	$\alpha A_{\text{path-between}} = 0.448 [\text{m}^2]$	$\alpha A_{\text{stair}} = 2.30 [\text{m}^2]$	$\alpha A_{\text{shaft}} = 7.46 [\text{m}^2]$	$\alpha A_{\text{stair-top}} = 5.23 [\text{m}^2]$	$\alpha A_{\text{shaft-top-W}} = 2.06 [\text{m}^2]$ $\alpha A_{\text{shaft-top-N}} = 0.34 [\text{m}^2]$ $\alpha A_{\text{shaft-top-S}} = 0.34 [\text{m}^2]$

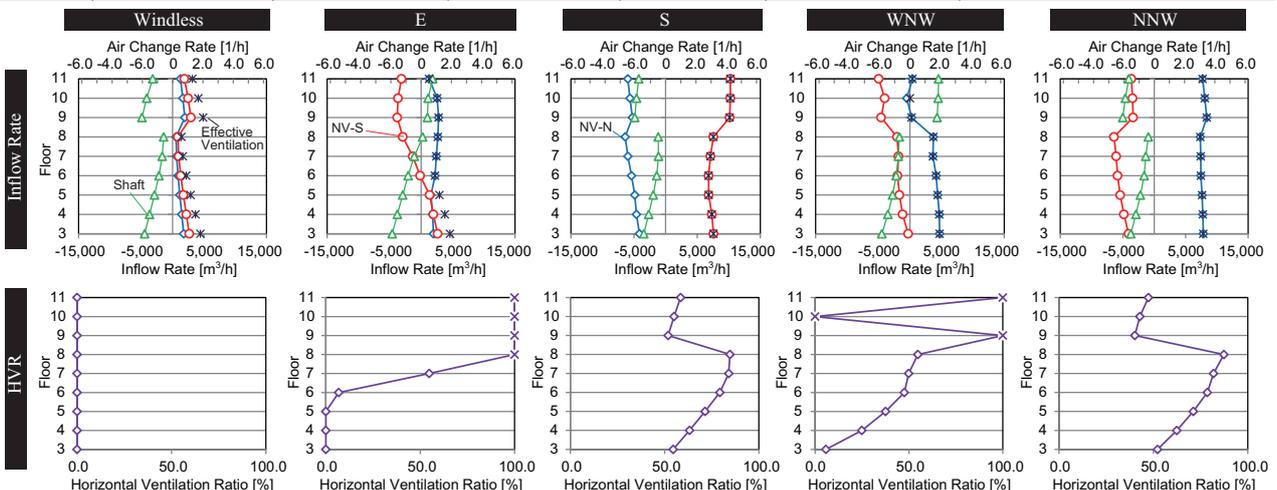


図9 回路網計算による各階執務室における流入出風量(外部風速4.1m/s)

5. 自然換気設計条件を変更した回路網計算

主たる自然換気設計条件が自然換気量に及ぼす影響についての知見を得るため、標準的な自然換気建物を想定してパラメトリックスタディを行う。建物形状及び風圧係数は前章と同様とするが、設計条件が換気量に及ぼす影響の基本的な傾向を把握するため、シャフトが1本で執務室南北それぞれの自然換気口総面積を等しくした建物モデルを対象とした。ここでは「1フロアの自然換気口の有効開口面積合計 ($\alpha A_{opening}$)」と「執務室 - シャフト間の換気経路の有効開口面積の結合値 (αA_{path})」の2項目を変更して計算を行う。図11に換気回路網を示す。シャフトサイズは2.0 m×2.0 mで固定し、外気温、外部風速、内部発熱は前章と同様とした。シャフト上部の開口面積は前章の低層シャフト上部開口に面積比率を乗じたものとする。 $\alpha A_{opening}$ と αA_{path} は基準階執務室床面積 (A_f) に対する比率に基づき変更することとし、表2に示す全7条件で16風向の計算を行った。

図12に各条件16風向で得られたフロア別執務室内有効換気回数の平均値と最大・最小値を示す。上層階

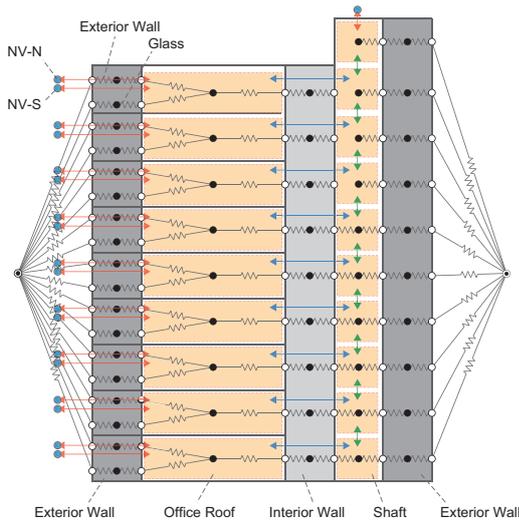


図11 パラメトリックスタディで用いた熱・換気回路網モデル (判例は図8と同様)

で最小値が0となるのはシャフトから逆流が見られる風向があるためである。 αA_{path} を床面積の1/1000で固定した場合 $\alpha A_{opening}$ の大小で換気回数が大きく変化するが、フロア間のばらつきは比較的小さい。 $\alpha A_{opening}$ を床面積の1/200で固定した場合、 αA_{path} の大小で換気量のオーダーは変わらないもののフロア間でのばらつきが大きくなる。機械換気基準の必要換気量に基づく換気回数目標値として仮に2.5 [1/h]¹⁾を目安にこれらの結果を考慮すると、 $\alpha A_{opening}$ は床面積の1/500程度以上、 αA_{path} は床面積の1/1000程度の確保が目安になると言える。

6. まとめ

本報では風力・重力併用型自然換気を導入した実在オフィスビルを対象として自然換気量を算定し、自然換気口面積と経路の抵抗に関する検討を行った。その結果、自然換気口の有効開口面積は床面積の1/500以上、室からシャフトまでの換気経路の有効開口面積は1/1000程度が好ましいという知見が得られた。今後はパラメータを増やした検討を行い、より体系的な知見を得る。

【謝辞】

本研究を進めるにあたり多大なるご尽力を頂きました田中比呂美氏 (当時大阪市立大学, 現 NTT ファシリティーズ関西)、一部の測定機器をお貸し頂いた立命館大学の環境・設備研究室、回路網モデルの作成にあたってご協力頂いた松本明広氏 (日建設計) 及びヒューリック株式会社、ご厚意で回路網計算ソフト NETS (研究教育版) を利用させて頂いた奥山博康先生 (神奈川大学) に謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会編「実務者のための自然換気設計ハンドブック」、技報堂出版, 2013.8
- 2) 田中比呂美, 小林知広, 甲谷寿史他: 「中高層オフィスビルを対象とした風力・重力併用型自然換気設計手法に関する研究 (その1)」 空気調和・衛生工学会近畿支部 学術研究発表会 A21, 2016.3
- 3) 松下敬幸, 寺井俊夫: 階段室加圧時の気流性状の実測, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp.737-738, 1985, 10

表2 自然換気口とパスの有効開口面積条件

$\alpha A_{path} / A_f$	$\alpha A_{opening} / A_f$			
	1 / 1000	1 / 500	1 / 200	1 / 100
1 / 2000			○	
1 / 1000	○	○	○	○
1 / 500			○	
1 / 250			○	

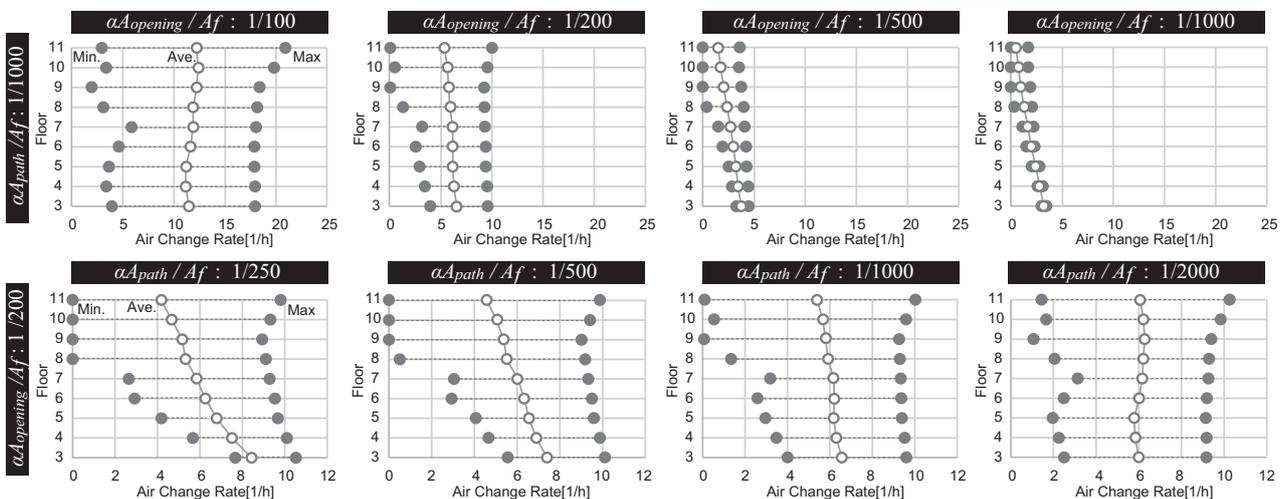


図12 自然換気口と換気パスの有効開口面積を変化させたパラメトリックスタディで得られた各階の自然換気量