中高層オフィスビルを対象とした自然換気量予測手法に関する研究
（その 2）シャフト型自然換気ビルにおける風圧係数の入力方法の影響

Prediction of Natural Ventilation Rate for Mid-to-High-Rise Office Buildings
(Part 2) Effect of Cp Value Input Data for Shaft-Type Natural Ventilation Building

学生会員　○川分　芳子　（大阪市立大学）　　正会員　　小林　知広　（大阪市立大学）
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）

Yoshiko KAWAWAKE[*1] Tomohiro KOBAYASHI[*1] Noriko UMEMIYA[*1] Natsuko OCHIAI[*2]
[*1]Osaka City University [*2]Nikken Sekkei Ltd.

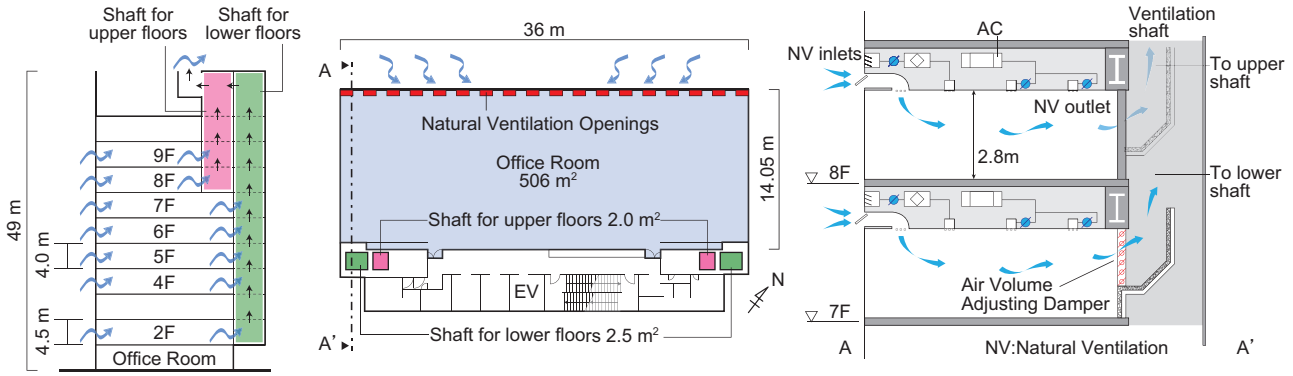
The purpose of this work is to propose an estimation method of the natural ventliation rate for mid-to-high-rise office buildings. In this paper, natural ventilation rate of an existing office building is evaluated by both general-purpose Cp value database and specific Cp values for the target building. These Cp values are obtaind from the wind tunnel test using the simplified city block and actual city block model. This paper presents the effect of input Cp value data on the accuracy of the flow rate estimated by using flow network model.

1.　はじめに

近年、中高層オフィスビルで空調負荷削減のため自然換気が積極的に導入されている[1)]。自然換気設計時の換気量計算には風圧係数が必要となるが、その与え方には複数の手法が存在する。一般的な手法は対象建物及び周辺建物を再現した縮小模型を作成し、風洞実験により取得する方法であり、信頼性は高いが時間や労力を要するため設計段階での実施が難しいことも多い。一方、文献値やデータベースなどを参考におおよその風圧係数を与える簡易的な手法も取られるが、与えた風圧係数の誤差に起因する換気量の予測精度低下が問題となり得る。そこで本報ではシャフト型自然換気システムを有する実建物を対象として、市街地における中高層オフィスを想定した汎用的な風圧係数データベースを風洞実験により作成し、それに基づいて簡易的に与えた場合と、実街区と実建物を再現した風洞実験から得られた風圧係数を与えた場合で換気量を比較し、生じる誤差ついて学術的知見を提供することを目的とする。

2.　解析対象建物の概要と自然換気システム

図 1 に対象とした実建物の断面概要と基準階平面図、自然換気経路図を示す。対象建物は地上 10 階建のオフィスビルで、基準階の執務室面積は 506 m^2、天井高は 2.8 m である。自然換気システムは 3 階を除く 2 階から 9 階に導入されている。執務室は長方形型のフロアで、コアは南東側に配置されている。自然換気口（1 箇所あたりの開口面積は 0.25 m^2）は北西側のガラス面上部に並べて各階 18 箇所設置されている。ワンフロアを 2 室に区切った場合でも自然換気が運用できるよう室内の自然換気パスは 2 か所に分かれ、それぞれが換気シャフトへと通じている。シャフトは屋上のソーラーチムニーにつながり地上 49 m 付近で外気へと開放される。なお、中性帯がシャフト中に発生することによる逆流を防止するため、換気シャフトは 7F 以下を対象とする低層用シャフトと 8・9F を対象とする高層用シャフトに分けられている。また､9F を除いて執務室とシャフトの間には消音チャンバーが設置されている。



(1)　建物断面の概要　　(2)　基準階平面図　　(3)　自然換気経路の概念図

図 1　対象建物の概要

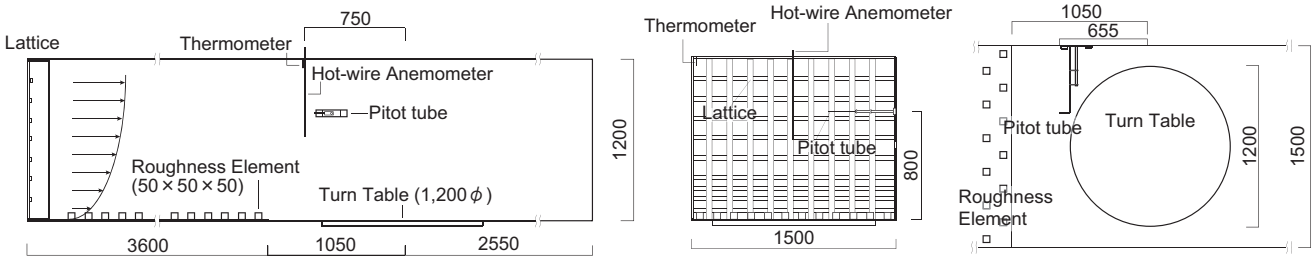
3.　風洞実験

3.1　実験概要

市街地に立地する中高層オフィスを対象とした汎用的な風圧係数作成を意図した「モデル建物＋モデル街区」（以降、モデル街区条件）と、対象建物に限定した風圧係数取得を意図した「実建物＋実街区」（以降、実街区条件）の 2 種の模型配置で風洞実験を行った。実験は**図 2** に示す大阪市立大学研究用エッフェル型風洞で行った。**図 3** に I 型熱線流速計を用いて 1.0 kHz, 60 s で測定したアプローチフローのプロファイルを示す。風洞内風速は床上 800 mm 高さのピトー管位置で 10 m/s に設定した。風圧係数の基準動圧はピトー管動圧と風速プロファイルにより算出した対象模型上端におけるアプローチフローの動圧とする。**図 4** に風洞内ターンテーブルに設置した実街区とモデル街区条件における風向と模型配置図を示す。実街区条件では前述の実建物とその周辺建物を縮尺 1/300 で作成し、16 風向の風圧係数を測定した。**図 5** に実建物模型の立面図と風圧測定点を示す。風圧は自然換気口の存在する北西面ファサードで測定し、換気口高さで各階 3 点ずつの 27 点に 2 つのシャフト排気口位置を加えて計 29 点で測定を行った。モデル街区条件では 1 辺 60 mm の立方体を 7 × 7 の 49 個配置し、中央に測定対象となるペントハウス付きの矩形模型を配置し、壁面とペントハウス部で風圧係数を測定することで汎用的な風圧係数取得を意図した。なお、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　モデル街区による汎用風圧係数データの作成

前述の通り、市街地オフィス用の汎用風圧係数データ作成を目的にモデル街区条件で測定を行った。測定対象模型は周辺模型同様 1 辺 60 mm の平面としたが、高さは 60, 120, 180 mm の 3 条件設定し、それぞれ Model 1 ～ 3 と称する。これは設計時の対象建物の高さに応じた汎用データの使い分けを意図した。**図 6** に測定対象模型（Model 1）を示す。なお、図中のプロット形状は後述する**図 7** の風圧係数結果の表示に対応している。風圧測定点は模型 A 面と C 面の中央で縦方向に配置し Model 1 ～ 3 で各面それぞれ 7, 14, 22 点ずつ設けた。模型屋上面にはペントハウスを想定した 12 mm 角の立方体を設置しており、その壁面 4 面中央と頂部でも風圧係数を測定した。外部風向は壁面風圧測定時には対称性



(1)　断面図　（主流方向）　(2)　断面図　（直行方向）　(3)　平面図

図 2　風洞内断面図　（内法寸法 [mm]）

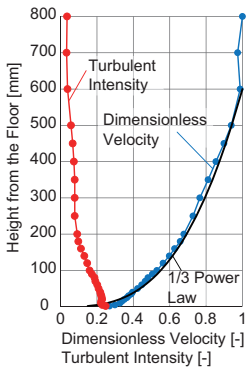


図 3　アプローチフロー

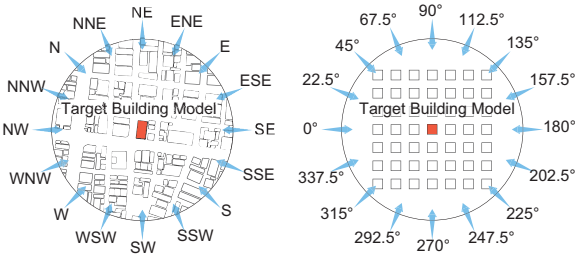


図 4　街区模型の配置図値と風向

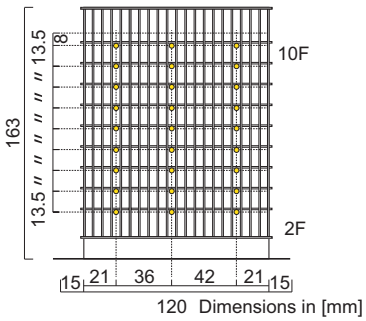
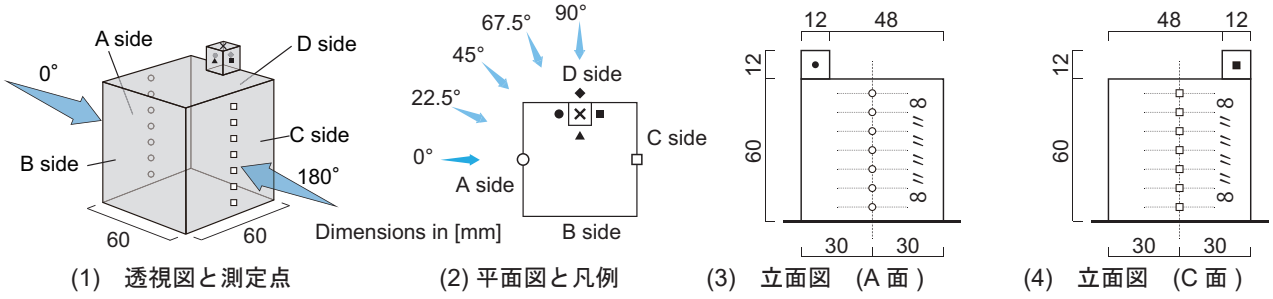


図 5　対象建物模型の測定点



(1)　透視図と測定点　(2) 平面図と凡例　(3)　立面図　(A 面）　(4)　立面図　(C 面）

図 6　対象モデル建物模型の測定点

を仮定して 0 ～ 90° まで 22.5° 刻みの 5 風向としたが、ペントハウスの 5 点については 16 風向で測定した。

図 7 にモデル街区条件で得られた風圧係数を示す。ここで風圧係数の基準速度圧算出のための風速は各モデルの軒高のアプローチフロー風速とし、縦軸は 60 mm で無次元化している。Model 2、Model 3 では周辺建物より高いため、どの風向条件でも高さが等しければ同程度の風圧係数となった。一方 Model 1 では測定対象模型の高さが周辺と変わらないため異なる分布性状が得られた。以降、本報ではここで得られた Model 1 の風圧係数データを使用する。

3.3　実街区とモデル街区による対象建物の風圧係数

図 8 に実街区条件で得られた北西・南東の風向のフロアごとの風圧係数分布をモデル街区条件の風圧係数と共に示す。ここでは比較のため、実建物における北西・南東の風向がモデル街区における 0° と 180° に対応すると想定した。また、実建物のシャフト排気部は遮風壁により常に負圧となる工夫が施されているため、**図 8** のモデル街区条件の排気シャフト部風圧には風向によらず 90° におけるペントハウス B 面の風圧を採用した。実街区条件の風圧係数は風向北西で上層が正圧、下層部が負圧となったが、モデル街区から予測した結果は比較的一様で分布の違いが見られる。一方自然換気口が風下となる風向南東の風圧係数はモデル街区の結果と大きな差異はない。また、モデル街区条件から予測したシャフト部の風圧は実街区と比較して両風向で負圧を過小評価している。次章ではこれらの風圧係数の結果を境界条件に用いた換気回路網計算を行い、換気量の算定結果を比較する。

4.　換気回路網計算

4.1　対象実建物の解析モデル

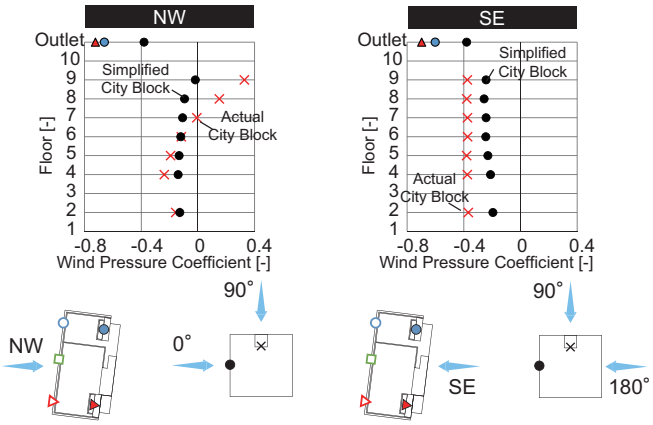
本章では対象建物の換気回路網計算を行い、風圧係数の与え方が換気量算定結果に及ぼす影響を評価する。**図 9** に作成した熱・換気回路網モデルを示す。外壁はガラス面とそれ以外の壁面で熱抵抗を区別した。また執務室−コア間の内壁やシャフト外壁では断熱を想定した。**表 1** に換気抵抗の入力値を示す。執務室 - シャフト間はダンパやシャフト内消音チャンバーを考慮し、有効開口面積を結合して与えた。シャフト内では摩擦抵抗と消音チャンバーによってシャフト断面積が拡大・縮小する形状抵抗を想定して換気抵抗を与えた。

4.2　計算概要

解析は外気温 20 ℃、風速 4.1 m/s（拡張アメダス標準年気象データの中間期就業時間帯の平均風速に基づく軒高風速）として 16 風向＋無風の 17 条件で定常計算を行った。内部発熱は執務室内で 36.625 W/m^2 として日射は無視した。風圧係数は前章で得られた実街区条件とモデル街区条件で得られた 2 種類を用いる。実街区条件の風圧係数は、各階で測定点 3 点の平均値を与えた。汎用風圧係数データを想定したモデル街区条件では、鉛直方向の壁面測定点 7 点の風圧係数分布性状に基づいて与えた。

4.3　解析結果と考察

図 10 に無風および風向北西・南東条件の換気回路網計算で得られたフロア別の換気量を示す。また、16 風向の発生頻度で重み付けた換気量の平均値も併せて示す。



(1)　北西の風向　　(2)　南東の風向

図 8　両街区条件による風圧係数比較

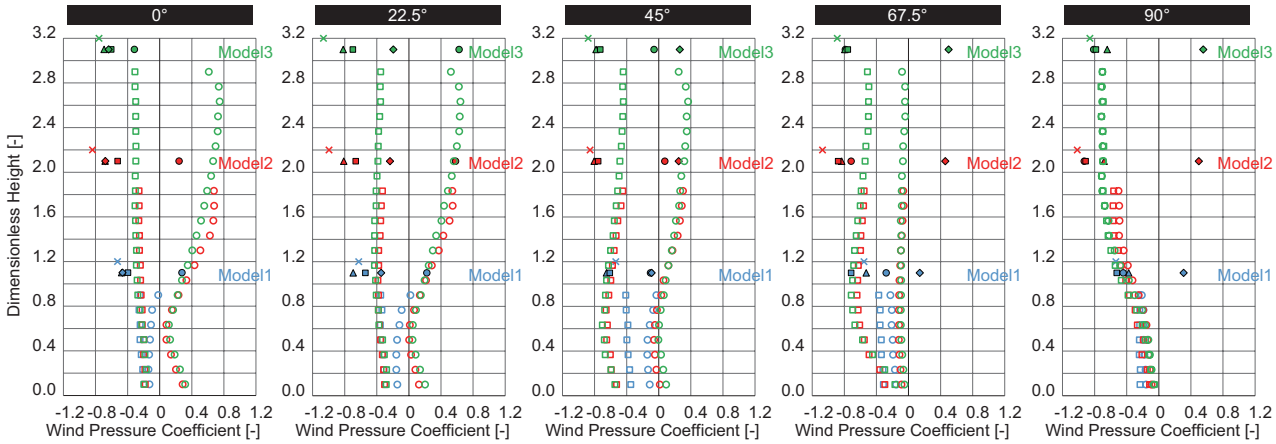


図 7　モデル街区条件の風洞実験で得られた Model1 ～ 3 の風圧係数

無風条件の結果を見ると、上層階で中性帯に近づくにつれて換気量が減少するが、シャフトが切り替わる 8・9 階では換気量の増加が見られる。自然換気口が風上側の北西風向の換気量は下層階では両条件に大きな差異はないが、モデル街区と実街区で風圧係数が大きく異なる上層階で差が見られる。一方、南東風向条件では風圧係数分布の傾向が類似していることから、換気量にも大きな差異はない。また、16 風向平均の結果を見ても両条件の換気量は概ね一致している。このため今回対象としたようなシャフト型の重力換気システムでは、換気量算定に汎用的な風圧係数データ用いた場合、特に自然換気口が風上になる風向で算定結果が不適切になるが、換気量の期間平均値は比較的精度良く予測できる可能性があると言える。ただし、風力を主な駆動力とする自然換気システムでは風圧係数の影響は大きくなると考えられ、今後は異なる自然換気システムでの検討も必要と言える。

5. まとめ

本報ではオフィスビルの自然換気量算定に実街区とモデル街区の風圧係数を使用して換気量の比較を行った。その結果、モデル街区の風圧係数を使用すると特定の風向では換気量算定結果に差が見られるが、期間平均では差が大きくないことが示された。

[謝辞]

本研究の一部は JSPS 科研費（若手研究 A, 課題番号 JP16H06110, 研究代表者：小林知広）の助成を受けた。モデル作成にあたっては、松本明広氏（日建設計）及びヒューリック株式会社にご協力頂いた。回路網計算には神奈川大学の奥山博康先生のご厚意で NETS（研究教育版）を利用させて頂いた。ここに記して謝意を表します。

[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.

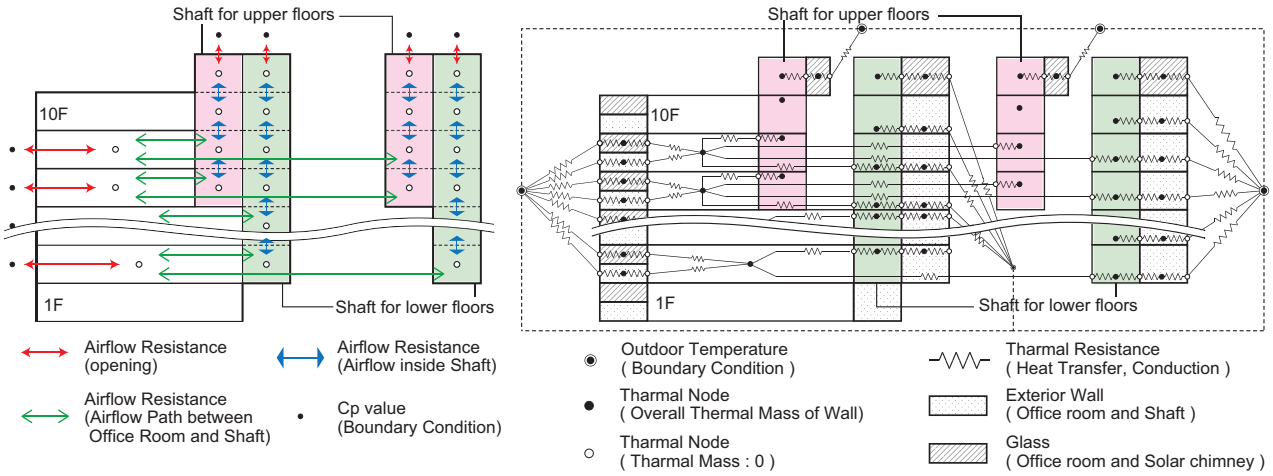


図 9　対象建物の熱・換気回路網モデル

表 1　換気回路網計算における有効開口面積

Flow Path	Natural Ventilation Opening	Flow Path between Office Room and Shaft	Shaft (one story)	Exhast Opening of Solar chimney
Effective Opening Area	for each opening $\alpha A_{intake} = 0.115\ [m^2]$ Nominal discharge coefficient $\alpha A_{intake} / A_{intake} = 0.460$ (18 openings for one floor)	for 2nd to 8th floors $\alpha A_{path-lower} = 0.872\ [m^2]$ for 9th floor $\alpha A_{path-lower} = 1.16\ [m^2]$ including resistance of the volume dampter and duct silencer	for lower floors (2-7F) $\alpha A_{shaft-lower\ (2-7F)} = 4.40\ [m^2]$ for lower floors (7-8F) $\alpha A_{shaft-lower\ (7-8F)} = 4.05\ [m^2]$ for lower floors (9F-) $\alpha A_{shaft-lower\ (9F-)} = 8.80\ [m^2]$ for upper floors (8F-) $\alpha A_{shaft-upper} = 6.84\ [m^2]$	for each opening $\alpha A_{outlet} = 4.085\ [m^2]$ Nominal discharge coefficient $\alpha A_{outlet} / A_{outlet} = 0.430$ (2 openings on the rooftop)

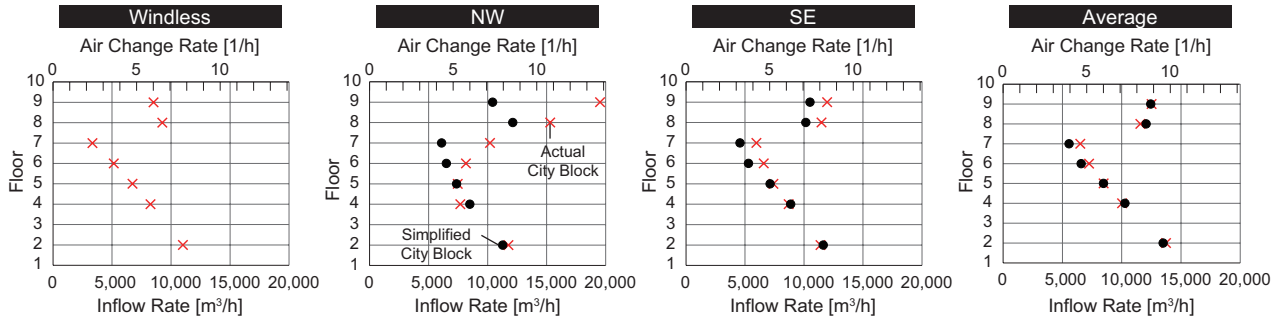


図 10　対象建物の換気回路網計算で算定した換気量とその期間平均値　(外部風速 : 4.1 m/s)