

中高層自然換気建物を対象とした風圧係数データベースの整備と 換気量簡易予測精度に関する研究

ARRANGEMENT OF CP VALUE DATABASE AND ACCURACY VERIFICATION OF NATURAL VENTILATION RATE FOR MID- TO HIGH-RISE OFFICE BUILDING

建築環境工学分野 川分芳子

Division of Architectural Environmental Engineering Yoshiko KAWAWAKE

本研究では自然換気的设计段階で行われる換気量の簡易的予測法の提案を行うことを目標としている。換気量算定時には風圧係数が必要となるが、この値の入力方法として、一般的には汎用的な風圧係数を入力する手法が取られる。しかし汎用値を入力した場合、換気量予測精度が不明となる。そこで本研究では風圧係数のデータベースを作成し、実物件を対象に作成したデータベースに基づき風圧係数を入力した場合と、実物件の風洞実験により取得した値を与えた場合とで換気量比較を行い、データベースの換気量予測精度について検証する。

The final purpose of this work is to propose a simple estimation method of natural ventilation rate for mid- to high-rise office buildings. In designing a natural ventilation building, the flow rate is often estimated through flow network calculation and Cp values needed to provide boundary conditions. In this study, natural ventilation rate of an existing office building is evaluated by flow network model by using two types of Cp values, database values and experimental values of wind tunnel test with its scaled model. This Cp value database is acquired by the wind tunnel experiment of simplified city block. This thesis analyzes three buildings with different natural ventilation systems, i.e., cross-vent type, shaft-type, and combined type. Finally, the effect of the Cp values on predicted flow rate applying different database conditions is studied for each system.

1. はじめに

近年、中高層オフィスビルでも自然換気設計の導入が進んでいる¹⁾。その設計段階では換気回路網計算による換気量予測が行われ、この際、境界条件として風圧係数が必要となる。一般的には、この風圧係数として文献値等を参考に汎用的な風圧係数を与える手法が採用されるが、汎用値を使用した場合には換気量予測精度が不明となる。また、市街地内の換気量予測用風圧係数は不足している現状があり、中高層オフィスビル用に整備されたデータベースは存在しない。そこで本研究ではまず、風洞実験によりモデル街区を対象とした風圧係数を取得し、データベースの整備を行う。その上で実在の3建物（解析順に実建物1～3と称す）を対象とし、作成したデータベースと実街区を含む風洞実験により取得した値を使用して熱・換気回路網計算²⁾を行う。実建物1及び3は、風力・重力併用型の

自然換気システムを有しているが、自然換気システムの違いによる換気量算定精度の比較を行うことを目的とし、設計条件を変更することにより風力換気を主な駆動力とする通風型と、重力換気を行うシャフト型を加えた3種の自然換気システムを解析対象とする。実建物2に関しては実建物を基にしたシャフト型に限った解析を行う。ここでは各自然換気建物に対し、異なるデータベースの条件を適応した際の換気量算定精度の比較を行った結果を示す。

2. 風圧係数データベースの整備

2.1 風洞実験概要

実建物の換気量予測に使用する風圧係数を簡易に取得することを目的とし、市街地を対象とした風圧係数データベースの整備を行った。風圧係数の取得は風洞実験により行い、中高層オフィスビルが立ち並ぶ市街

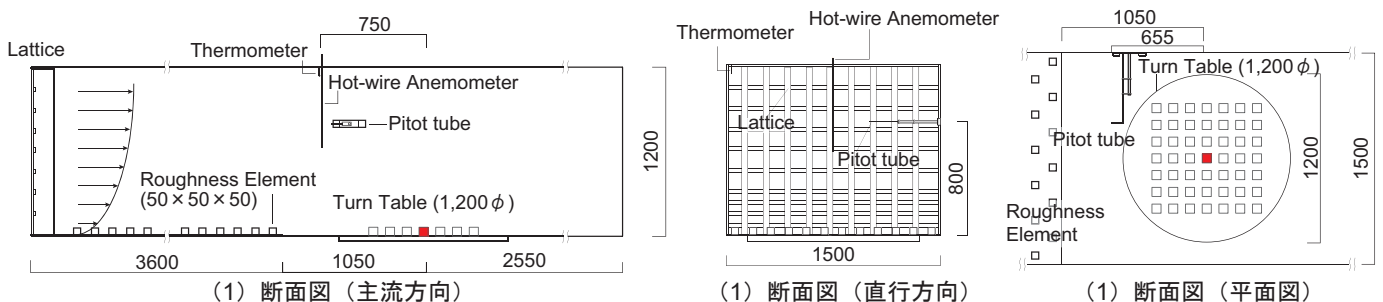
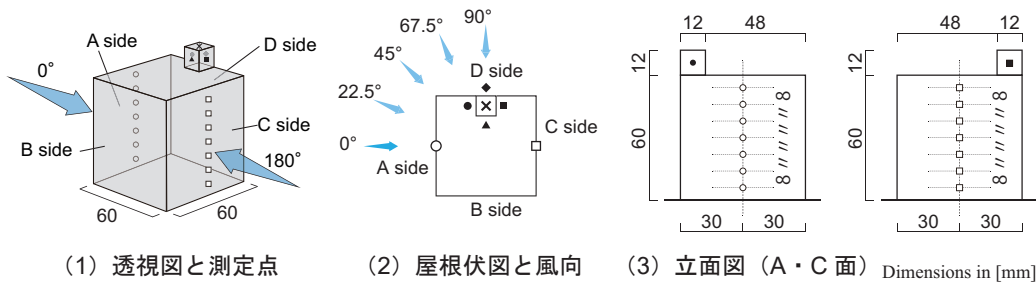


図1 風洞内断面図



(1) 透視図と測定点

(2) 屋根伏図と風向

(3) 立面図 (A・C面)

図2 風圧測定模型の概要

地を想定したモデル街区を作成し、中央に配置した風圧測定対象模型で風圧係数を取得した。図1に実験に使用した大阪市立大学研究用風洞(エッフェル型)の平面図と断面図、モデル街区の模型配置図を示す。風圧測定対象模型は実建物に応じたデータベースの使い分けを意図し、同一平面を有するが、軒高を周辺ブロックと同じ高さの Model 1 及び 2, 3 倍の高さの Model 2, 3 を設定した。図2に Model 1 の透視図及び屋根伏図・立面図及び風向と風圧測定点を示す。対象建物の換気量算定時に必要となる風圧係数を取得することを目的とし、風圧測定点は自然換気口位置とシャフト頂部の排気窓位置に対応する模型側面(A・C面)とペントハウスの側面及び頂部に配した。側面の風圧係数は各モデルで想定したフロア数に基づき、Model 1 で7点、Model 2, 3 でそれぞれ14点、22点とした。また、風圧測定条件は表1に示す建蔽率を変更した条件を設定し、周辺ブロックの隣棟間隔Dを軒高Hが等しいD/H=1.00及びDを狭くしたD/H=0.75, 0.50, 0.25の条件と、更に周辺ブロックがない条件でも風圧係数を取得した。

図3にI型熱線流速計を用いて1.0kHz, 60sで測定したアプローチフローの風速と乱流強度のプロファイルを示す。風洞内風速は床上800mm高さのピトー管位置で10m/sに設定した。風圧係数の基準動圧は風速プロファイルにより算出した対象模型の軒高におけるアプローチフローの動圧とした。風圧測定は模型の対称性を考慮し、壁面(A・C面)風圧係数は0~90°、ペントハウス位置に関しては0~337.5°の22.5°刻みに風圧係数を取得した。

2.2 風圧測定結果と風圧係数データベースの整備

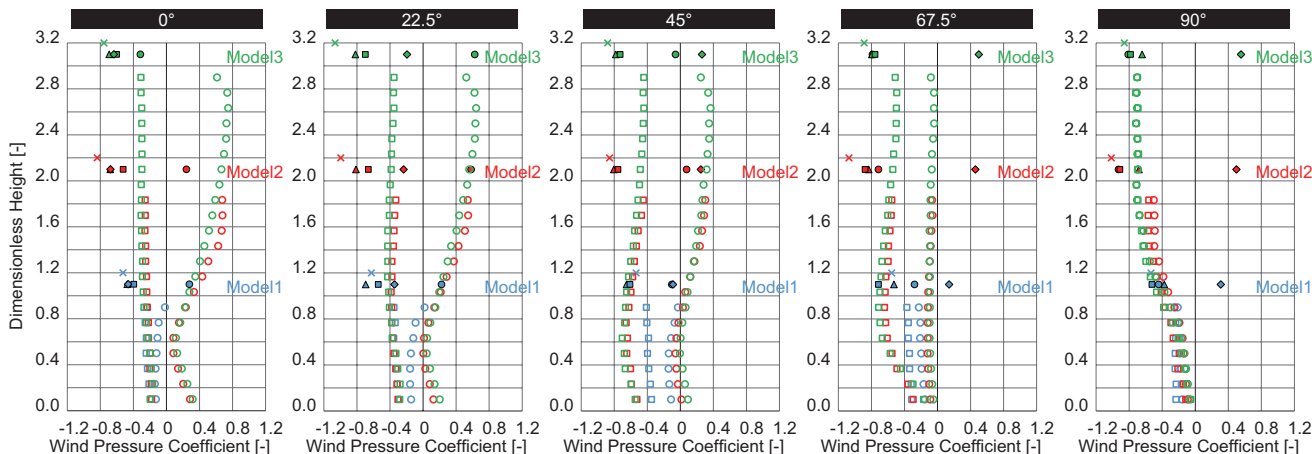


図4 風圧係数データベースにおける Model 1 ~ 3 の風圧係数 (D/H=1.00, 0 ~ 90°)

表1 建蔽率条件

D/H [-]	0.25	0.50	0.75	1.00
Ratio[%]	25	33	44	64

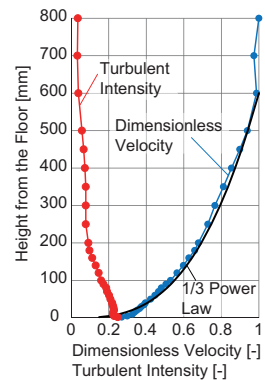


図3 アプローチフロー

図4に風洞実験により取得したD/H=1.00の条件における Model 1 ~ 3 の風圧係数を0~90°の範囲で示す。グラフの横軸は風圧係数を示し、縦軸は Model 1 の軒高を基準とした風圧係数を示している。Model 1 はいずれの風向においても周辺ブロックの風下にあることで風圧係数はほぼ負圧を示す。一方、Model 2 や3 はA面の上部で風圧係数が大きく正圧を示す。また、風圧測定点に対し、風がかすめる様な風向90°に置いた場合は、Model 2, 3ともに上部で負圧が大きくなる。取得した風圧係数は壁面風圧係数分布の近似式を作成し、対象建物の軒高を1とした任意の無次元高さにおいて、必要な風向の風圧係数を取得できるようにした。以降の換気回路網計算では壁面風圧係数はこの近似式を用いて算出した風圧係数を用いることとする。

3. 実建物1の熱・換気回路網計算

3.1 解析対象建物の概要と自然換気システム

本節では実建物1を対象とし、3種の自然換気システムの評価を行う。図5に対象とした実建物1の基準階平面図、自然換気経路の概念図、断面概念図を示す。実建物1は地上11階建てのオフィスビルで自然換気設計は3~11階に導入されている。自然換気口は執務室北・南面に設けられ、執務室床面積の1/560面積に相当する約1.6m²の有効開口面積を有する。さらに建物コア部には高層用シャフトと階段室兼低層用シャフトを有し、実建物2では北・南面の自然換気口による風力換気とシャフトを利用した重力換気が可能である。

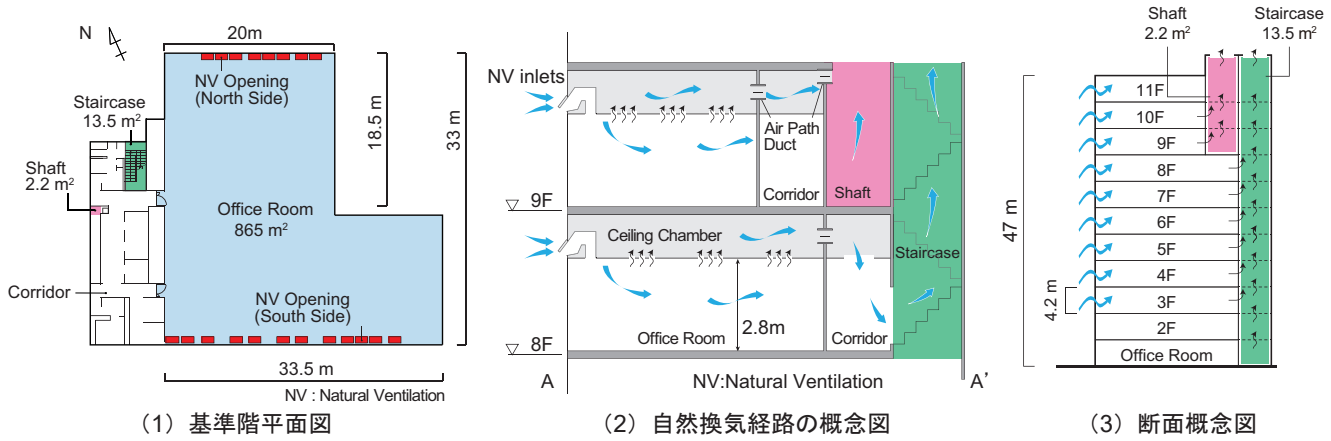


図5 実建物1の概要

低層階と高層階では異なる換気経路を有し、3～8階（低層用フロア）では換気口から外気が流入し、天井裏から廊下を介して低層用シャフトへ流入した後にシャフト上部から排気される。9階以上の高層用フロアでは天井裏までは低層用フロアと同様で、その後パスタクトを介して高層用シャフトへ流入して排気される。前述の通り、実建物1は併用型の自然換気システムを有しているが、自然換気システムの違いによるデータベースの換気量予測値を比較することを目的とし、併用型に加え、通風型、シャフト型の熱・換気計算を行った。

3.2 実建物1の風圧係数取得

換気回路網計算時に必要となる対象建物の実際の風圧係数を取得する。当該建物については既往研究²⁾において周辺建物を含めた街区の縮小モデルを作成し、風洞実験により風圧係数を取得しているためここではそれを用いる。図6に風圧測定モデル及び図7に風洞内ターンテーブル上のモデル配置図と風向を示す。なお実験は風圧係数データベース作成時と同条件下で16風向で行われている。

3.3 実建物1の熱・換気回路網

図8に実建物1の換気回路網を示す。熱・換気回路網の作成はまず、実建物を基に併用型の回路網を作成し、北・南の自然換気口面積を全て南面に与えるシャフト型の回路網を作成した。続いて通風型は室とシャフト間の開口をなくすことにより作成した。

3.4 計算概要

換気回路網計算は外気温 20℃、風速 4.1m/s（拡張

アメダス標準年気象データの間中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。内部発熱条件は執務室内で 36.6W/m²として日射は無視した。風圧係数は前節の実街区の風洞実験実験で取得した値を与える条件（実街区条件と称す）とデータベースから与える条件の2種類の風圧係数を用いた。データベースの計算条件は風洞実験で再現した範囲の建物部分が街区全体の約37%であることと、実建物1の周辺建物の多くが実建物1の軒高と同等もしくはそれよりも低いものが多いことから、D/H=0.75でModel 2の風圧係数を基本条件とし、D/Hを固定したままModel 1～3に変更する条件と、Model 2に固定し、D/Hを変更する条件を設定した。

3.5 実建物1の熱・換気回路網計算結果

図9に実建物1の無風条件及び実街区条件とデータベースを使用する条件の16風向の発生頻度で重み負けた換気量の平均値を示す。これらの結果から、シャフト型は重力換気の影響が大きく、併用型も低層用フロアや高層用フロアの下部においては重力換気の影響が大きいと言える。また、データベースを使用する条件ではシャフト型はModel 1～3で換気量分布に大きな差はないが、通風型や併用型は換気量分布に差が生じ、実街区条件と最もよく一致するのは基本条件としたModel 2である。他方、Model 3は実街区条件よりも過大に換気量を予測しており、Model 1は換気量を過小評価している。続いて図10に実建物1の風向SSWの実街区条件とデータベースの風圧係数と換気量の計算

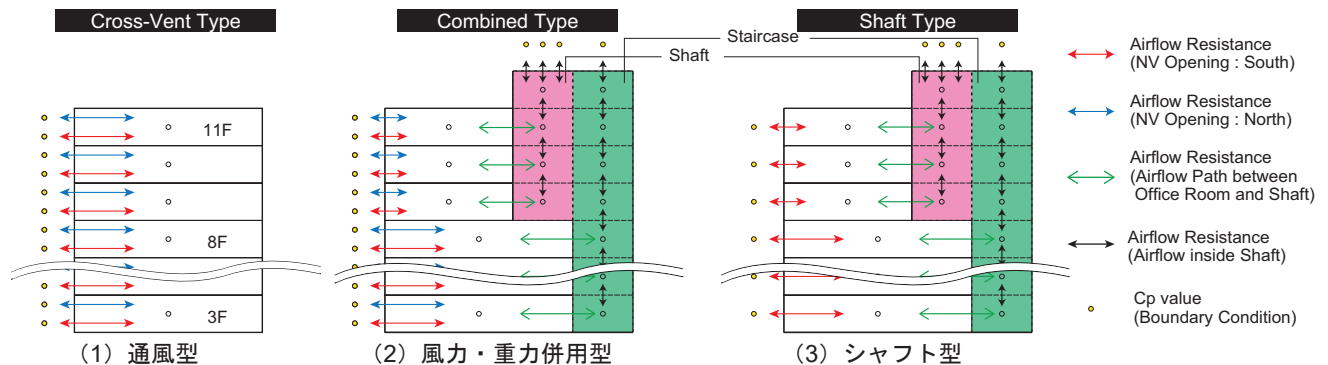


図8 実建物1の換気回路網

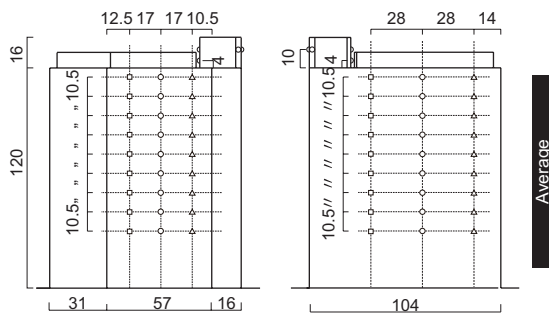
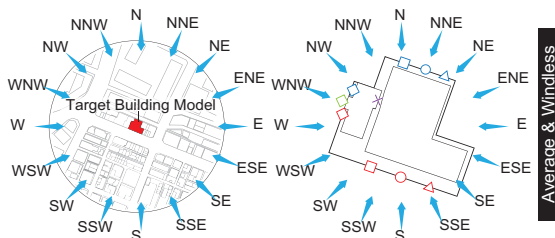


図6 実建物1の風圧測定模型



(1) 模型配置図と風向 (2) 屋根伏図と風向

図7 実街区実験における模型配置図と風向

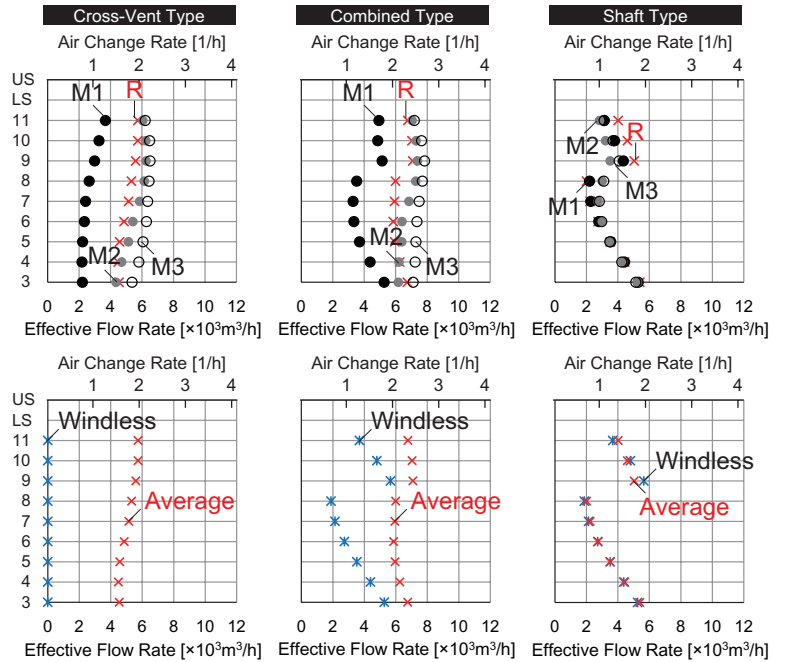


図9 無風条件の換気量と期間平均値 (外部風速: 4.1 m/s)

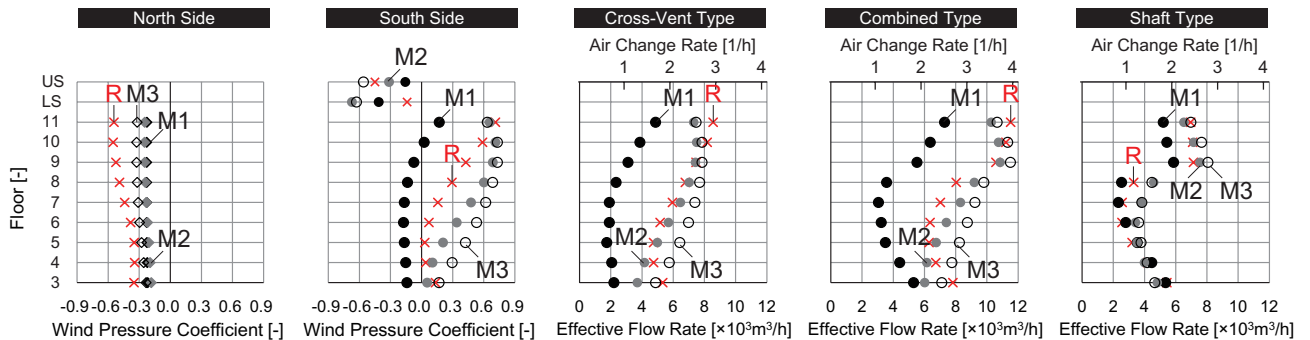


図10 実建物1の換気回路網計算で算定した換気量 (風向: SSW、外部風速: 4.1 m/s)

結果を示す。この風向は実建物1の南側壁面に対して正対する風向であり、実街区条件においては高層フロアの南面の風圧係数が大きく正圧を示す。データベースを使用する条件ではModel 2, 3の南面の風圧係数は、中間階で実街区条件を上回る大きな正圧を示すが、いずれの換気システムにおいても換気量の誤差は小さく、シャフト型は最も実街区条件との誤差が小さくなる。

4. 実建物2の熱・換気回路網計算

4.1 解析対象建物の概要と自然換気システム

本節ではシャフト型の自然換気システムを有する実建物2を対象とした熱・換気回路網計算を行う。図11に実建物2の概要を示す。実建物2は地上10階建てのオフィスビルで、自然換気設計は3階を除く2～9階に導入されている。自然換気口は北西側のガラス面上部に設けられ、全体で執務室床面積の1/250面積に相当する約2.07 m²の有効開口面積を有する。また、換気用シャフトは建物コア部の北東側と南西側にそれぞれ低層用(2～7階)及び高層用(8, 9階)シャフトが1本ずつ設置されている。自然換気口から流入した空気は執務室内を通過して、ダンパーを通過したのちシャフ

ト内へと流入し、屋上から外気へと排気される。

4.2 実建物2の熱・換気回路網計算概要

対象建物に基づき、シャフト型の換気回路網を作成した。換気回路網計算の駆動条件としては、実建物1と等しい外気温、風速、内部発熱密度、日射条件を与えた。風圧係数は実街区条件とデータベースの2種の風圧係数を与え、16風向+無風の17条件で定常計算を行った。実街区条件の風圧係数は実建物1同様、実建物2を含む周辺建物の縮小模型を作成し、風洞実験により取得した風圧係数を使用した。また、データベースを使用する条件は、風洞実験で再現した範囲の建物部分が街区全体の約48%であることと、実建物2の周辺建物の多くが実建物2と同程度の軒高を有していることから、D/H=0.50のModel 1の風圧係数を与える条件を基本条件とした。また、D/H=0.50に固定したまま、Model 2や3の風圧係数を与える条件でも計算を行った。

4.3 実建物2の熱・換気回路網計算結果

図12に実建物2の無風条件及び16風向の風向の発生頻度で重みづけを行った平均値の換気量計算結果を示す。平均値については実街区条件の結果とModel 1～3の平均値を示す。実街区条件の無風条件及び平均値の

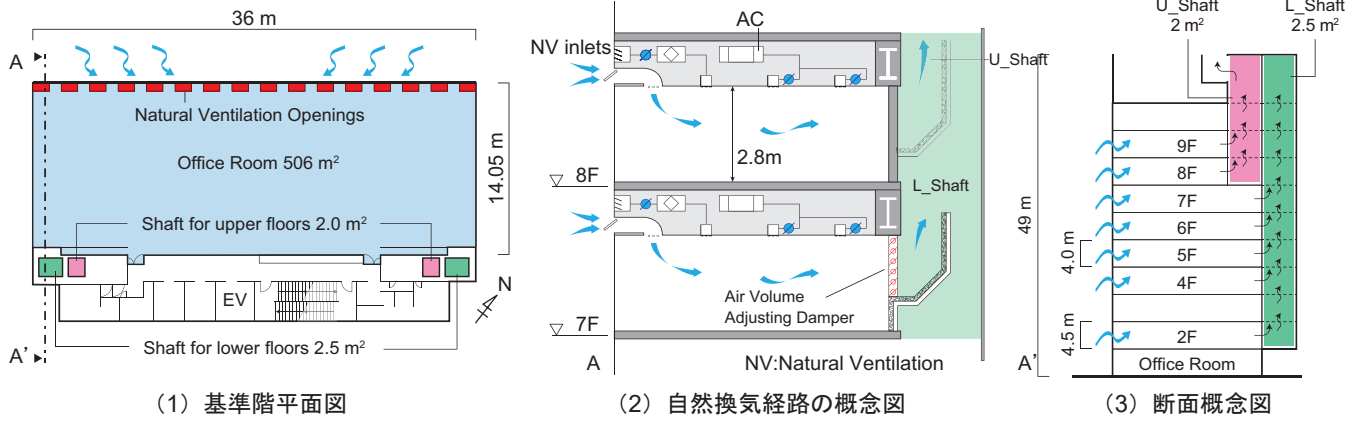


図 11 実建物 2 の概要

換気量を比較するとその差は小さく、実建物 2 は重力換気を主体とした換気が行われていると言える。また、Model 1～3 の平均値を実街区条件の結果と比較すると、基本条件とした Model 1 の解析結果が最も近い値を示し、Model 2 や 3 は過剰に換気量を予測していると言える。図 13 に風向 NW と SE の実街区条件及び Model 1～3 の風圧係数と有効換気量を示し、図 14 に実建物 2 の屋根伏図及び風向を示す。風向 NW は実建物の自然換気口がある北西面の壁面に対し正対する風向であるが、このとき各条件で風圧係数の分布には大きな差が見られる。また、これらの分布の差から Model 1 は換気量を過小に予測し、Model 2, 3 は過大に予測する傾向があると言える。一方、その反対の風向 SE では Model 1～3 共に実街区条件と類似した風圧係数分布を示し、換気量も比較的実街区条件に近い算定結果を示す。以上のことにより、実建物 2 に関しては、特定の風向においては風圧係数の分布の差によりデータベースを使

用する条件では換気量予測値に誤差を生じるが、16 風向の期間平均値では実街区条件に近い値を示すと言える。

5. 実建物 3 の熱・換気回路網計算

5.1 実建物 3 の概要と自然換気システム

図 15 に対象とした実建物 3 の概要を示す。実建物 3 は地上 22 階建てのオフィスビルで、自然換気システムは 6 階以上の階に導入されている。自然換気口は執務室東・南・西面に設けられ、執務室床面積の 1/2000 面積に相当する約 0.65m^2 の有効開口面積を有する。コア部には低層フロア用 (6～16 階) の外部ボイドを 2 本と中層用 (17～20 階) 及び高層用 (21, 22 階) の内部シャフトを有する。フロアによって前室の有無が変わり、前室があるフロアに関しては、自然換気口から流入した空気は同フロア内の他の自然換気口から流出するか、室内を通過し天井チャンバーに流入した後、ボイド・シャフト内へと流入し屋上から排気される。前室がある場合は天井チャンバー内へ流入前に執務室と前室を隔てる内壁上部のガリリを通過する。

5.2 実建物 3 の熱・換気回路網計算概要

前述のように対象建物は併用型の自然換気システムを有しているが、併用型に加え、風力型、シャフト型の熱・換気回路網を作成し、3 種の自然換気システムで換気量予測精度の比較を行った。計算は風速は 3.3 m/s (拡張アメダス標準年気象データの間中期就業時間帯の

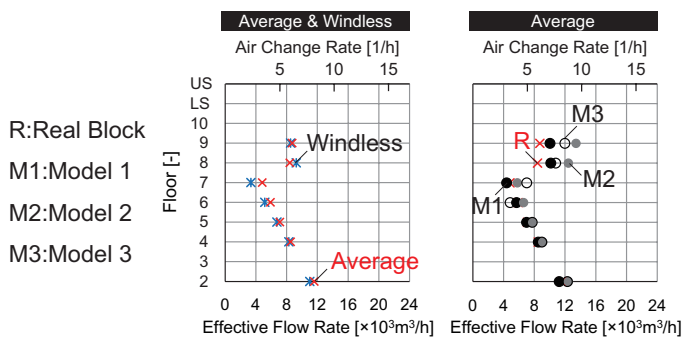
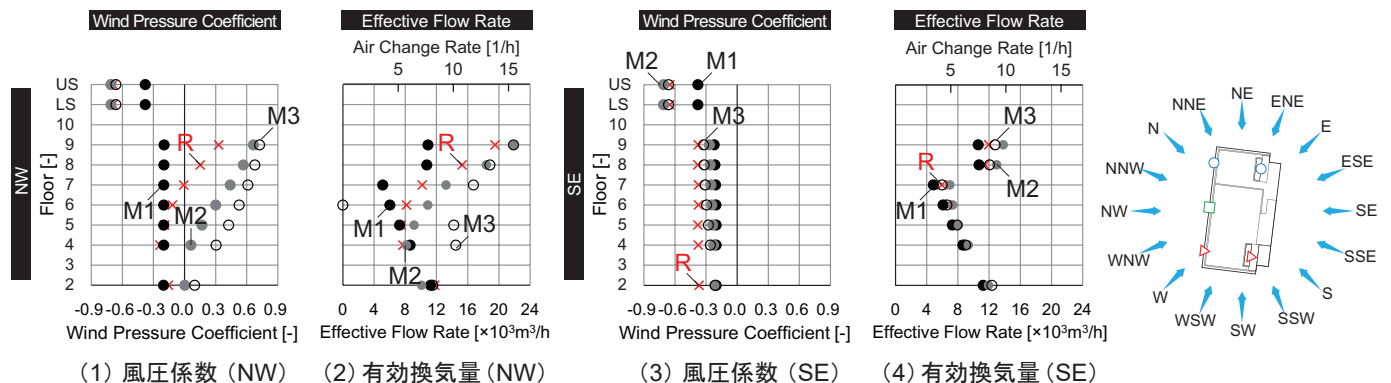


図 12 無風条件の換気量と期間平均値 (外部風速: 4.1 m/s)



(1) 風圧係数 (NW) (2) 有効換気量 (NW) (3) 風圧係数 (SE) (4) 有効換気量 (SE)

図 13 実建物 2 の換気回路網計算で算定した換気量 (風向: SE, NW、外部風速: 4.1 m/s)

図 14 屋根伏図と風向

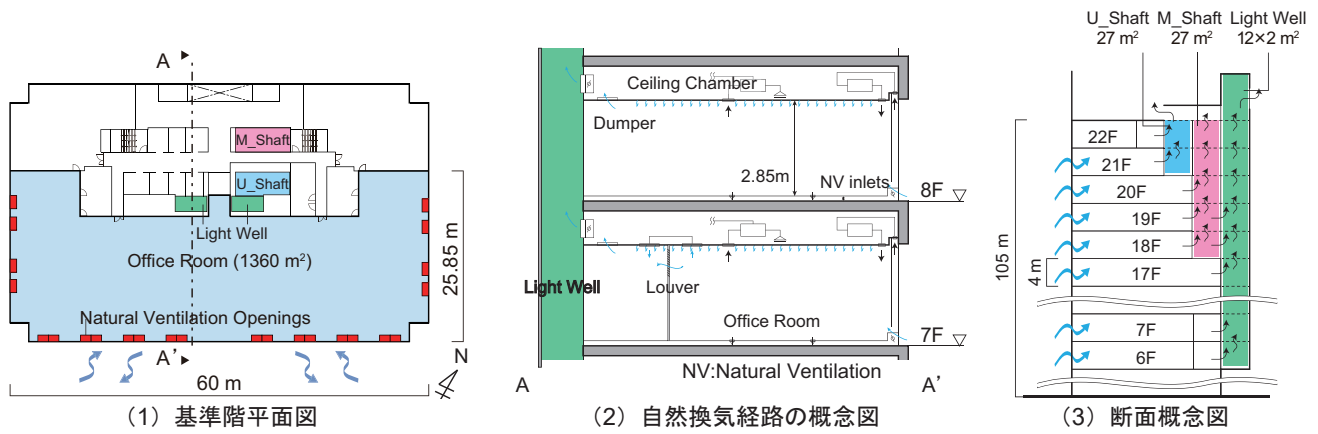


図 15 実建物 3 の概要

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。その他の外気温、内部発熱密度、日射条件は実建物1,2と等しくした。実街区条件の風圧係数は対象建物の外装材の設計用荷重を取得することを目的とした設計段階での風洞実験による風圧係数を使用した。また、データベースを使用する条件は、風洞実験で再現した範囲の建物部分が街区全体の約16%であることと、実建物3が超高層建物であることから、 $D/H=1.00$ のModel3の風圧係数を与える条件を基本条件とし、 $D/H=1.00$ に固定したまま、Model1の風圧係数を与える条件でも計算を行った。

5.3 実建物3の解析結果

図16に無風条件と16風向の風向の発生頻度で重みづけを行った平均値の換気量計算結果を示す。通風型においては実街区条件の平均換気回数が0.3回程度と非常に少ない。これは実建物3の東・南・西面間の風圧係数差が小さいことが要因と考えられ、併用型や通風型においては実街区条件の平均値が無風条件の結果と差が小さいことから、風力換気の影響が小さいと言える。Model1や3の風圧係数を使用した場合の期間平均値も実街区条件との分布の差も小さく、風圧係数の分布の差による換気量算定結果の違いは見られない。従って、通風型では、絶対的な換気量が小さいことで換気量予測精度は低下するが、併用型やシャフト型においては風力換気の影響が少ない分予測精度が向上したと言える。

6. まとめ

本研究では異なる3種の実建物を対象として、風圧係数データベースと、実街区を再現した風洞実験により取得した風圧係数を与えた場合で換気量比較を行った。その結果、実街区条件と最も近いデータベースの基本条件の風圧係数を使用した場合には、いずれの建物においても16風向期間平均値に関しては比較的精度良く予測できる可能性があることを示した。また、本研究で対象とした実建物1~3においては、執務室床面積に対する自然換気口の有効開口面積が異なり、換気量予測精度はこの影響を受けることが考えられた。実建物1はこの無次元有効開口面積が比較的大きい建物であるが、3種の自然換気システム別に基本条件の換気量の平均値を実街区条件と比較すると、特にシャフト型が最もよく一致し、次いで併用型、通風型は最も誤差を生ずる結果を示した。一方、この無次元有効開口面積が小さい実建物3に関しては、自然換気システムによらず、ほぼ実街区条件に一致する結果を示した。また、実建物2は実建物1や2よりも更にこの無次元有効開口面積が大きく、シャフト型でも風向によっては換気量の予測値に誤差を生じることを示した。従って、実建物2程度の無次元有効開口面積を有する併用型や通風型の自然換気システムを有する自然換気建物はよりデータベースの影響を受けると言え、今後はより自然換気口面積が大きい建物を対象に異なる自然換気システムにおける換気量予測精度の差を検証する必要があると言える。

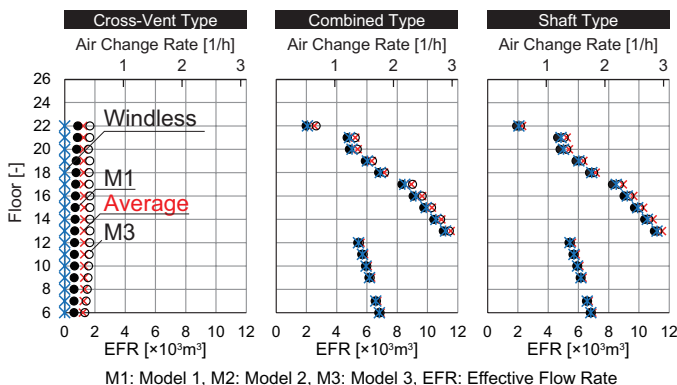


図 16 無風条件の換気量と期間平均値 (外部風速: 3.3 m/s)

[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。

[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) 奥山博康, 建築物の熱回路網モデルに関する理論的研究, 早稲田大学・博士号学位請求論文, 1987, 12
- 3) 田中他: 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に関する研究(その1), 日本建築学会近畿支部研究報告会, pp.109-112, 2016. 6