特集

都市の風通し

居住空間の換気能力に関する超過確率に基づく都市の風通しの評価法 AN EVALUATION METHOD BASED ON EXCEEDANCE PROBABILITIES FOR VENTILATION PERFORMANCE WITHIN URBAN AREAS

石田義洋*1 加藤信介*2 黄 弘*3

Yoshihiro ISHIDA, Shinsuke KATO, Hong HUANG

1. はじめに

市街地の風環境の評価においては、対象市街地の上空風の年間に亘る変動を考慮した検討が必要である。超過確率を用いてこの変動を統計的に取り込んだ数多くの研究が報告されている^{1, 2, 3, 4)}。これらの研究の多くは、強風による風害対策を目的として進められて来た。

市街地の風環境は、複雑に入り組んだ建物や工作物などの影響を大きく受ける。特に住宅群を貫く生活道路などの特定の領域では、換気能力の低下によって空気環境が悪化し、住民の健康に悪影響をおよぼす可能性も考えられる。

筆者らは、弱風時の換気性能評価指標として、上空風の駆動による居住空間の局所排出換気回数^{5, 6, 7)}に対する超過確率、および平均運動エネルギーに対する超過確率のそれぞれを定義した⁸⁾。局所排出換気回数は清浄化機能を代表する評価尺度、平均運動エネルギーは清涼化機能を代表する評価尺度と考えられる^{8, 9)}。そこでは、密集市街地を模した簡単な形状の空堀モデルを設定して、二種類の超過確率を用いて、その方位・形状、都市(東京、大阪)が換気能力に及ぼす影響を検討した⁸⁾。

続いて、現実の市街地に近い形状を有する三種類の密集市街地モデルを設定し¹⁰⁾、局所排出換気回数に対する

超過確率⁸⁾を使用して、密集度の異なる市街地モデルの換気能力を評価した^{11, 12)}。

本報では、密集市街地の超過確率の計算法を解説するとともに、局所排出換気回数、すなわち清浄化機能を代表する評価尺度を基準とした超過確率の4都市における計算例を示す。

2. 新しい換気能力尺度

2.1 局所排出換気回数とその計算法

図-1 に市街地の検査空間とその清浄化機能を代表すると考えられる局所排出換気量(PFR)の概念を示す。先に計算手順を述べる。

①市街地への流入プロファイルを設定し、図-1の検査空間を含む市街地全体(図-2~4 参照)の定常気流分布をCFDにより計算する。

②検査空間内で、一様に汚染質を発生させ、市街地全体の濃度分布が定常になるまで、CFDで計算する。汚染質発生量は検査空間全体で $q[\text{kg/s}]$ とする。

この手順で得られた検査空間の濃度の発生・排出状況を模式的に表したものが図-1である。流入プロファイルを設定すると検査空間への流入量 Q が定まる。検査空

*1 東京大学生産技術研究所 特任教授
Project Professor, Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Dr. Eng.

*2 東京大学生産技術研究所 教授
Professor, Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Dr. Eng.

*3 東京大学生産技術研究所 准教授
Associate Professor, Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Dr. Eng.

間への気流の流入出は再流入もあり複雑であるが、図-1では再流入はないものとして、濃度 0 の気流の $Q[\text{m}^3/\text{s}]$ の流入と平均流出濃度 $C_{out}[\text{kg}/\text{s}]$ の気流の同量の流出を仮定している。このような単純な流入出の仮定のもとでは汚染質量の保存則から、式(1)が成り立つ。

式(1)の Q は、平均濃度 C_{out} の汚染空気を排出して、検査空間の平均濃度を C_p に保つ換気能力と考えられる。

式(2)を考える。空間平均濃度 C_p は容易に計算可能である。式(2)の $PFR[\text{m}^3/\text{s}]$ は換気量の単位を持ち、かつ発生量 $q[\text{kg}/\text{s}]$ の値によらず検査空間固有の特性値となる。

風通しの悪い空間では、再流入もあり、空間内濃度が分布するから、平均濃度 C_p は流出濃度 C_{out} より高くなる。したがって、 $PFR < Q$ である。すなわち風通しの悪い空間では、 PFR は実際の流入量 Q より小である。

また、検査空間への再流入がなく、検査空間内では完全混合しているという十分に風通しのよい空間を仮定すると、空間内濃度は一様となり、一様濃度が平均濃度 C_p となる。流出濃度も $C_{out} = C_p$ である。したがって、 $PFR = Q$ となり、検査空間への実際の流入出量と一致する。式(1)の Q は設定した流入プロファイルにおける PFR の上限値と考えられる。これから、検査空間の特性値 PFR をその空間の風通しの良し悪しを計る尺度と見なすことができる。 PFR は検査空間という局所領域の汚染質を排出する換気能力を表す尺度であり、換気量の単位を持つ特性値である。よって、 PFR は局所排出換気量と定義される。

さらに、局所排出換気量 PFR を検査空間の体積 V_p で除して換気回数の単位に換算した換気能力の尺度

図-2 建物形状

図-3 密集市街地モデル（一反開発部分を破線で囲んで示す）

図-1 検査空間と PFR (Purging Flow Rate) の概念

$$N = \frac{PFR}{V_p} \left[\frac{\text{回}}{h} \right] \quad (3)$$

を局所排出換気回数と定義し、変数 N で表す。

以上から、局所排出換気回数は領域から汚染質を排出する清浄化機能を代表する尺度と考えることができる。

2.2 平均運動エネルギー

検査空間の平均運動エネルギー KE は次式で算出する。

$$KE = \frac{1}{V_p} \iiint_V \left[\frac{1}{2} \times (U^2 + V^2 + W^2) + k \right] dV \quad [\text{m}^2/\text{s}^2] \quad (4)$$

ただし、 U, V, W : 平均風速成分 $[\text{m}/\text{s}]$ 、 k : 乱流エネルギー $[\text{m}^2/\text{s}^2]$ 、積分は検査空間全体で行う。

平均風速と乱れは体感温度を低下させ、居住環境のさ

図-4 中心部の建物配置と座標 (モデル1)

図-5 計算領域と境界条件 (モデル1、風向 x)

わやかさを助長する。平均運動エネルギーは清涼化機能を代表する評価尺度と考えられる^{8, 9)}。

3. 密集市街地モデル

まず、今回の密集市街地モデルに用いた建物モデルを図-2に示す。建物は3階建て、建物高さ9mの住宅を想定した¹⁰⁾。建物Aは7.5m(x)×9m(y)×9m(z)、建物Bは9m(x)×9m(y)×9m(z)で、両建物とも3階部分にセットバックがある。建物A'、B'はz-y鉛直平面(x=0)に関して建物A、Bと対称な形状を持ち、建物A₀、B₀はセットバックのない直方体形状と定義する(図-4参照)。

図-3に、これらの建物が建ち並ぶ市街地の3種類のモデルを示す。図-3(a)に風向角θが示してある。まず、モデル1(図-3(a))について、図-4に示すその中心部分の拡大図で説明する。

図-4中に座標を示す。中心部には4m道路を挟んで、建物A、A'、B、B'の計10棟を配置してある。この10区画を1ブロックとする。周辺に同様のブロックが図-3のように配置されている。ただし、簡便のため周辺部はセットバックのない建物A₀、B₀が配置されている。図-4の中心部の4m道路はy方向に走り、下方、y=9.5mの位置で建物B、B'により塞がれて行き止まりとなっている。この道路上の地上からセットバック高さまでの領域(x=2m~2m、y=9m~49m、z=0m~5.5m)を検査空間に指定する。4m道路のy方向上端はy=49mの位置で横(x)方向に走る7m幅の道路に開放されている。また、各区画の隣地境界線上には、高さ1.5mの塀が立てられている。ただし、中心の4m道路と各敷地の境界には塀はない。モデルの建物総数は150である^{注1)}。

市街地モデル2(図-3(b))は中心部4m道路を挟む建物A~A、B、B'、A'~A'(図-4参照)を一連の建物として連結したケースである。中心部4m道路の換気性状が悪くなることを想定している。

市街地モデル3(図-3(c))は中心部の戸建て住宅群がモデル1と同じで、その周りを一連の建物で囲んだケースである。モデル1と2の中間の換気性状を想定している。しかし、後述のように、実際にはモデル3が一番高い超過確率分布を示した(図-10、11参照)。

4. 気流数値計算の概要

4.1 計算領域と境界条件

図-5に流入風向角θ=0°の場合の計算領域と境界条件を示す。風向に応じて風下となる領域を広くして9風向(後述の流入風向i=4~12)の計算を行う(図-9参照)。

表-1 CFDの計算条件と計算手順

乱流モデル	標準k-εモデル
乱流シュミット数	0.9
差分スキーム	拡散項：中心差分スキーム、 移流項：MARSスキーム*1(速度、k、ε)、 1次風上スキーム(濃度)
流入条件*2	$U = U_0(z/z_0)^\alpha$ (α=1/4) (1-1) $k = 1.5(I \times U_0)^2$, $I = 0.1$ (1-2) $\varepsilon = C_\mu^{1/2} k \frac{\partial U}{\partial z}$ (1-3), $C=0$ (1-4)
流出境界	法線方向勾配0(速度、k、ε、濃度)
側面・上空境界	Free slip(速度、k、ε、濃度)
壁面境界	滑面の一般化対数則(E=9)(速度、k、ε)、 法線方向勾配0(濃度)
代表速度・長さ	U ₀ =1m/s, z ₀ =74.6m
検査空間内の濃度の計算手順	流れ場を解析した後、検査空間内で汚染質(passive contaminant)を0.001kg/(m ³ s)で一樣発生させ、定常濃度分布を計算。
*1: MARS: Monotone Advection and Reconstruction Scheme *2: U: 主流速度(θ方向)[m/s], z: 鉛直方向座標[m], k: 乱流エネルギー[m ² /s ²], ε: エネルギー散逸率[m ² /s ³], I: 乱流強度, C: 濃度[kg/kg]	

領域は流入境界と主流に平行なy方向の両側面境界に市街地モデルの外側の建物壁面から31.5mの距離を取り、流出境界には約300mの距離をとってある。上空境界の第1セルの中心は地表から74.6mの高さ^{注2), 13, 14)}とした。上空境界は地表から82.1mとなる。流入風は1/4乗則の速度プロファイルを与え、高さ74.6mで風速1m/sとする。

CFDの計算条件と検査空間内の濃度の計算手順を表-1に示す。数値解析はSTAR-CDを使用し、SIMPLE法による定常解法、空間差分スキームは速度と乱流量にMARSスキームを適用、濃度に対しては一次風上スキームを適用した。局所排出換気回数の算出に検査空間で汚染質発生源を設定し濃度計算を行うため、二次精度スキームでは計算不安定が生じるためである。乱流モデルは標準k-εモデルを使用した。他の条件等は表-1参照。

4.2 検査空間の風速分布

図-6はモデル1における流入風向角θ=0°の場合の検査空間のz-x鉛直断面(図-4のy-y'断面)のCFDによる風速ベクトルである。断面は検査空間(4m道路)の開口部に接続する7m道路に一番近い建物の中央に位置する。この風速のスカラー値は風洞実験結果とオーダ的により一致を示した¹²⁾。

風向角0°では、セットバック領域に時計回りの強い循環流が生じ、セットバック高さ5.5mでエアカーテン様にセットバック領域と下部の検査空間領域を仕切っている。そして検査空間には反時計回りの循環流が誘引されている。よって、このセットバックのあるモデルの局所排出換気回数は、セットバックのない場合と比べて低下していると考えられる。換気性状の向上を図って設定し

たつもののセットバックが、風向角によっては、換気には働かない場合もあることが興味深い⁸⁾。

5. 風向・風速の統計データに基づく超過確率の計算法

5.1 市街地の方位と流入風向

図-7に市街地モデルの方位、流入風向番号、流入風向角の定義を示す。建物モデルの壁面の β と記した矢印の方向をこの市街地モデルの方位 β と定義し、方位番号で表す。図-7では $\beta=2$ である。モデルの流入風向に、 β 方向を $i=0$ として時計回りに $i=15$ まで番号 i を付ける。上空の風向を n とすると流入風向番号は $i=n-\beta$ と書ける。

5.2 局所排出換気回数に基づく超過確率

高さ方向の風速プロファイルを表-1、式(1-1)のように設定し、高さ h_T [m]における上空風速が v_T [m/s]で、かつ風向が市街地モデルの流入風向番号 i であるときのCFDで計算した検査空間の局所排出換気回数を $N_{i,T}$ ($i=0\sim 15$)とし、局所排出換気回数の指定値を N_S とする。

局所排出換気回数 N_S を実現するための高さ h_C の上空風速 v_C は式(5)となる。

$$v_C = \frac{N_S \times v_T}{N_{i=n-\beta}} \left(\frac{h_C}{h_T} \right)^\alpha \quad [\text{m/s}] \quad (5)$$

したがって、指定した換気回数値 N_S に対する換気回数基準の超過確率⁸⁾は式(6)で表される。

$$P(CN > N_S) = \sum_{n=0}^{15} A_C^{a_n} \times \exp \left\{ - \left(\frac{v_C}{C_C^{a_n}} \left(\frac{h_C}{h_T} \right)^\alpha \right)^{K_C^{a_n}} \right\} \\ = \sum_{n=0}^{15} A_C^{a_n} \times \exp \left\{ - \left(\frac{N_S \times v_T}{N_{i=n-\beta} \times C_C^{a_n}} \left(\frac{h_C}{h_T} \right)^\alpha \right)^{K_C^{a_n}} \right\} \quad [\%] \quad (6)$$

ただし、 $A_C^{a_n}$ ：対象都市上空の風向 a_n の発生頻度(風配)[%]¹³⁾、 $C_C^{a_n}$ (尺度係数[m/s])、 $K_C^{a_n}$ (形状係数[-])：同ワイブル係数¹³⁾、 h_C ：対象都市の風速計設置高さ[m]、 C_N ：検査空間の換気回数、添字C：対象都市を表す。

図-8に4都市の風配、尺度係数、形状係数を示す¹³⁾。

6. 計算結果と考察

6.1 検査空間の局所排出換気回数

図-7の流入風向番号 $i=0\sim 15$ の各方向に地上高さ74.6mにおいて風速を $v_T=1.0\text{m/s}$ とする流入風のプロファイル(表-1、式(1-1))を課して、市街地内の検査空間の局所排出換気回数 $N_{i=n-\beta}$ をCFDにより計算する。市街地モデルは道路方向(y軸)に関して対称であるので、実際に

図-6 検査空間(中心部4m道路)の速度ベクトル(モデル1、 $y=44.5\text{m}$ 、 $y\text{-}y'$ 断面)

図-7 市街地モデルの方位と流入風向

図-8 都市の風配とワイブル係数¹³⁾

(— : A_n [%], Δ : $C_n \times 4$ [m/s], $\circ$: $K_n \times 5$ [-])

は局所排出換気回数は $i=4\sim 12$ までを計算すればよい。

図-9に3種類のモデルの流入風向別の局所排出換気回数 $N_{i=n-\beta}$ のCFDによる計算結果を示す。

モデル1は、市街地形状に1m間隙からの流入をさまたげる要素がないため、風向の影響が少ない局所排出換気回数の分布となっている。

モデル2は隙間のない一連の建物であり、4m道路（検査空間）に直交する風向0、8で換気能力が最小となる。風向10~14で大なる局所排出換気回数を示す。

モデル3は、「1m間隙」のある建物群を一連の建物で囲ったモデルである。4m道路（検査空間）に直交する風向0、8（図-4のx軸の正、もしくは負の方向）の換気能力がモデル2の最小値より大となり、モデル1と同じレベルに迫っている。これは下流側の一連建物が間隙からの流入を強くする性状を示すことに起因している¹¹⁾。風向10~14でモデル2とほぼ同じ分布の大なる局所排出換気回数を示す。

風向12においてモデル1、2、3とも最大の局所排出換気回数を示している。この風向12は4m道路（検査空間）の閉鎖側（図-4のyの負の方向）が風上側である。今回の密集市街地モデルでは、この風向において道路の閉鎖側の建物BB'を超えた気流が検査空間内の空気をよく上空に誘引し、検査空間の開口（下流の7m道路側）側からの流入を強く促進する換気性状を示す。

6.2 市街地モデルの超過確率分布

密集度の異なる3種類の市街地モデルの超過確率分布を仙台、東京、大阪、福岡の4都市について計算した。

超過確率の計算は式(6)を用いて行う。式(6)中の局所排出換気回数 $N_{i=n-\beta}^{*T}$ は、地上高さを $h_T=74.6\text{m}$ の風速を $v_T=1\text{m/s}$ とした結果（図-9）を使う。また、式中の風配 A_{θ}^* 、ワイブル係数 c_{θ}^* 、 K_{θ}^* は、風速計設置高さ h_c で測定された風速データに基づく統計資料¹³⁾である。局所排出換気回数 $N_{i=T}^{*T}$ （図-9）と $h_T=74.6\text{m}$ 、 h_c （図-8）を、式(6)に与えて、都市における超過確率を計算する^{注2)、13、14)}。

6.2.1 各都市の方位別超過確率分布^{注3)}

図-10は、4都市における検査空間の方位別超過確率である。局所排出換気回数をパラメータとして、横軸を方位番号にとって超過確率の分布を示している。市街地モデルは方位による差異が小さいのでこの表現を採用した。後述の図-11のように横軸に局所排出換気回数をとった表示にすると、16方向の分布が集中して方位による差異が識別不可能となるためである。

図-8を参照しながら各都市の超過確率分布を考える。

図-10(b)の東京の超過確率分布を先に検討する。局所排出換気回数15回/hでは、3モデル共にほぼ一定の超過確率95%程度となり、モデル方位による差はほとんどな

図-9 風向別の局所排出換気回数

い。東京では、この程度の換気回数は年間を通して風向によらずほぼ担保可能であることを示す。局所排出換気回数が大になるに連れて、モデル方位による差異が大になり、局所排出換気回数60回/hで、この図では、最も差が広がっている。この傾向は他の3都市にも見られる。

図-10(b)で、超過確率のピークはモデル方位ESE($\theta=4$)付近にある。この方位では、NNW、N、NNE、NE、ENE（流入風向 $\theta=10\sim14$ ）が検査空間の閉鎖側となり、閉鎖側の風が強いと換気能力が大になる。卓越風向NNW、Nがこれに含まれ、NNE、NE、ENEも7%ほどの頻度を持つので、このモデル方位付近でピークを示すのである。また、後述の3都市に比べて、低い換気回数の超過確率が高いのは、尺度係数が3.3m/s前後でありあまりバラつかずに分布しているからである（図-8(b)参照）。

図-10(a)は仙台の超過確率分布である。局所排出換気回数15回/hでは、3モデル共にほぼ一定の超過確率90%程度であり、東京より低い。換気回数30回/hでも東京より低い傾向を示す。換気回数60回/hで同じレベルになり、90回/hでは仙台の方が高い超過確率を示す。これは、尺度係数がいびつな楕円形で小さい係数値から大きい値まで分布しており、かつ分布の長軸方向と風配の長軸方向がほぼ一致しているので、低い換気回数から減衰をはじめ、高い換気回数まで超過確率の減衰しない方位が残るからである。

モデルの方位による超過確率の差異は東京より少ない。仙台の風配に鋭い卓越風向がないためである。

図-10(c)の大阪では、東京とほぼ同様の超過確率分布を示すが、方位による変化が東京より少し大きい。

また、大阪の超過確率のピークが、東京と同様にモデル方位E、ESE付近にある。これは、このモデル方位で大阪の卓越風向N、NNE、NEが検査空間の閉鎖側になることも主たる要因の一つである。

図-10(d)の福岡は、換気回数15回/h、30回/hでは、東京より超過確率が低い。60回/hでほぼ同じレベルにあ

(a) 仙台

(b) 東京

(c) 大阪

(d) 福岡

図-10 Void の方位別超過確率

(最大・最小値発生位置: モデル1: ○, 2: △, 3: ×)

る。90回/hでは、まだ20%前後と東京より高い。これは仙台と同様に尺度係数値がバラついているためである。超過確率の方位による変動は4都市の中で最も少ない。

図-10中に、60回/hにおける超過確率の最大値、最小値を与える方位を丸印で示す(6.2.3項参照)

(a) 仙台

(b) 東京

(c) 大阪

(d) 福岡

図-11 都市別の超過確率の比較

(PFR/Vp=60[1/h]において、最大・最小超過確率を示す方位の超過確率分布)

6.2.2 方位別超過確率分布に対する密集度の影響

東京(図-10(b))の局所排出換気回数60回/hについて、密集度の異なる3種のモデルの換気性状の違いを考える。

モデル1は、方位による超過確率分布の変化が最も少ない。これは戸建て住宅の「1m 間隙」が、換気に対して有効に機能していることを示す。モデル2は、間隙を

なくした一連の建物である。方位による超過確率の差異は大きく、最大と最小の差で、20%を超えている。モデル3は戸建て住宅を一連の建物を取り囲んだモデルであり、方位による違いはモデル1と2の中間となっている。しかし、超過確率はモデル1より大きい分布を示す(図-10(b)の—と—)。戸建て住宅群を取り囲む一連の建物が下流側からの流入を増加させているからである^{11, 12)}。

3種のモデルによる差異は、程度の違いは見られるが、他の都市においても同様に観察される。

以上をまとめると、モデル1は方位による変動が少なく、モデル2が一番大きい。モデル3は両者の中間の変動を示すが、超過確率は一番高い分布を示す。

6.2.3 都市別の超過確率分布の比較

さて、図-10には情報は全て盛り込まれているのであるが、この図から都市間の特性を判別するのは少々困難である。そこで、別の切り口から超過確率の変動範囲を表示して都市別の超過確率分布を比較・検討する。

図-11は3種の市街地モデルに設定した検査空間の超過確率分布の方位による変動範囲の都市別の比較である。横軸は局所排出換気回数にとってある。図-10から、局所排出換気回数が60回/hであるときの最大超過確率を示す方位と最小超過確率を示す方位を選定して、これらの方位の超過確率分布を、各都市の超過確率分布のモデル方位による変動範囲をおおむね表すものとして^{注4)}、都市毎に示してある。この方位の選定は一貫した方位に対する超過確率分布を使用して検討するためである。

図-11(b)は東京の超過確率のモデル方位による変動範囲である。モデル1の方位による最大と最小分布の差異(□と■の差)は小さい。これに対し、モデル2では大なる差異(△、▲)を示す。モデル3は、両者の中間となる差異(○、●)を示す。しかし、モデル3は最も高い最大超過確率分布(○)を示す。

図-11(a)は仙台の超過確率の変動範囲である。変動の幅は、局所排出換気回数が90回/hまでは東京より少ないが、これ以上では減衰が遅く、モデルによる差異も東京より大きくなる。図-11(c)は大阪の超過確率の範囲である。大阪は少しモデルによる差異の幅が広いが、東京とよく似た分布を示している。図-11(d)は福岡の超過確率の幅である。福岡は他の3都市より、モデルによる差異が小さい。

以上のように、市街地モデルの方位別特性を見るには、図-10の表示を使用し、モデルの都市別の換気能力を比較する場合は図-11の表示が便利である。また、モデル間の違いを見るには、図-10、11を併用するとよい。

6.2.4 超過確率85%と15%に対する局所排出換気回数

表-2に超過確率85%と15%に対応する各市街地モデルの4都市の最小局所排出換気回数とそれを与えるモデルの方位を示す^{注5)}。

表-2 超過確率15%、85%に対応する最小局所排出換気回数

都市	モデル1		モデル2		モデル3	
	85%	15%	85%	15%	85%	15%
仙台	NNE	SSW	NNW	SSE	NNW	SSE
	20.45	89.59	15.36	67.49	20.36	86.98
東京	NNE	WSW	NNW	SSW	NW	SSW
	26.24	74.25	19.83	63.54	26.13	77.63
大阪	W	S	N	WSW	NW	SW
	22.76	81.71	16.78	62.09	21.99	80.19
福岡	NE	W	SE	SSE	ESE	NW
	19.86	94.94	14.82	73.97	19.57	96.86

注) 方位記号は最小局所排出換気回数[回/h]を与えるモデルの方位。

15%に対応する局所排出換気回数とは、検査空間がその局所排出換気回数以上の換気能力を発揮する確率が1週間のうち1日程度ある、逆にこれ以下になる可能性が6日あるということを表す。85%に対応する局所排出換気回数とは、この換気回数以上の換気能力が、1週間のうち6日程度は確保されることを表す¹⁵⁾。例えば表から、東京のモデル1では、週に6日は約26回/h以上の局所排出換気回数が確保され、週に1日は約74回/h以上の換気能力が期待出来るということが分る。

これに対し、福岡のモデル1では、週に6日間、期待できる換気回数は、ほぼ19回/h以上と東京より少なく、週に1日では約94回/h以上と東京に比べ高い値となる。

仙台のモデル1では、週に6日は約20回/h以上と東京より低く、週に1日は約89回/h以上と東京より高い。

大阪も同じ傾向を示すが、週に6日は約22回/h以上、週に1日は約81回/h以上と東京との差は少ない。

表-2により、都市の換気能力に関して、具体的な局所排出換気回数値によって比較・評価することが可能となる。表-2は都市の風による浄化能力の一つの評価方法を示している。この週6日、週1日の発生確率とは、まさに人間の生活パターンとよく調和した確率条件である。

7. 結論

密集度の異なる3種類の市街地モデルの局所排出換気回数に対する超過確率分布を4都市について検討した。

モデルによる差異は4都市でほぼ同様の傾向を示した。戸建て建物で構成されたモデル1では、建物間の間隙が有効に働き、市街地方位による換気性能の差異は少ない。建物間の間隙のない一連の建物では(モデル2)、市街地方位による差異は大きくなるが、袋小路の道路の一方の開口が有効に働き、換気性能はさほど低下しない。一連の建物で囲まれた戸建て住宅群(モデル3)では、モデル方位の影響はモデル1と2の中間になるが、必ずしも換気性能は低下せず、一連の建物が戸建て住宅群の換気能力を強める場合もある。

都市間の差異は、今回の検討では、都市の風況特性(風配、ワイブル係数)のみで決る。都市の強い卓越風向の存在がモデル間の違いを広げ、都市の尺度係数のバラツ

きが超過確率分布の局所排出換気回数に対する減衰勾配に影響を与える。これらがそのまま都市間の差異になる。

また、超過確率 15%、85%に対応する都市・モデル別の局所排出換気回数値を算出し、具体的な換気回数値によって比較・評価する一つの方法を示した。

研究の第一段階として、平均的な風向・風速データに基づく風向出現頻度およびワイブル係数を使用して、ワイブル分布を仮定した換気回数に対する超過確率に基づく評価手法を示した。弱風に対する統計的性質の検討は、弱風データの測定も含めて今後の課題である。

謝辞

本研究の遂行に当たってご協力を頂いた国土交通省東北地方整備局 副局長後藤隆之氏、国土交通省国土技術政策総合研究所都市研究部 都市計画研究室長明石達生博士、国土交通省土地・水資源局土地政策課土地市場企画室 企画専門官豊原寛明氏、独立行政法人建築研究所 環境研究グループ長澤地孝男博士、国土交通省国土技術政策総合研究所都市研究部 都市開発研究室主任研究官勝又済博士、同都市計画研究室主任研究官石井儀光博士に謝意を表す。

参考文献

- 1) Melbourne W. H. : Criteria for environmental wind conditions, Journal of Industrial Aerodynamics, Vol. 3, pp. 241-249 (1978).
- 2) 村上周三, 岩佐義輝, 森川泰成: 市街地低層部における風の性状と風環境評価に関する研究 (III) 居住者の日誌による風環境調査と評価尺度に関する研究, 日本建築学会論文報告集, 第 325 号, pp. 74-84, 1983 年 3 月
- 3) Ohba M., Kobayashi N., and Murakami S. : Study on the assessment of environmental wind conditions at ground level in a built-up area -based on long-term measurements using portable 3-cup anemometers-, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 28, pp. 129-138 (1988).
- 4) Isyumov N., Davenport A. G. : The ground level wind environment in built-up areas, Proceedings of fourth international conference on Wind Effects on Buildings and Structures, London, pp. 403-422 (1975).
- 5) Sandberg M. Sjöberg M. : The Use of Moments for Assessing Air Quality in Ventilated Rooms, Building Environment, Vol.18, pp.181-197, (1983).
- 6) 加藤信介, 伊藤一秀, 村上周三: 換気システムを変化させた場合の規準化居住域濃度, Visitation Frequency, Purging Flow Rate の系統的解析, 第 1 報—オフィス空間を対象とした居住域換気効率の評価に関する研究, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 78, pp. 45-56, 2000 年 7 月
- 7) 伊藤一秀, 加藤信介, 村上周三: 平均拡散場解析による Visitation Frequency, Purging Flow Rate の解析, 不完全混合室内の居住域換気効率の評価に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第 529 号, pp. 31-37, 2000 年 3 月
- 8) ト震, 加藤信介, 石田義洋, 黄弘, 他: 市街地の風環境の研究 (その 1) 通風換気性能に関する超過確率に基づく風環境評価法の提案とその空堀モデルへの適用, 日本建築学会計画系論文集, 第 629 号, 2008 年 7 月
- 9) 加藤信介: 都市境界層の鉛直乱流輸送能力に関係づけられた市街地ポイド空間の風環境評価, 日本建築学会, 第 15 回空気シンポジウム, pp. 63-66, 2006 年 9 月 6 日
- 10) 澤地孝男, 加藤信介, 豊原寛明, 勝又済, 石井儀光, 石田義洋, 黄弘: 市街地の風環境の研究 (その 3), 密集市街地における通風・換気性能の検討のためのモデル設定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D2, pp. 785-786, 2006 年 9 月
- 11) 石田義洋, 加藤信介, 黄弘, 豊原寛明, 澤地孝男, 勝又済, 石井儀光: 市街地の風環境の研究 (その 4), 密集市街地モデル内のポイドの通風・換気性能の予備検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D2, pp. 787-788, 2006 年
- 12) モハメドバディ, 加藤信介, 石田義洋, 黄弘, : 市街地の風環境に関する研究 (その 2) 局所排出換気回数に関する超過確率に基づく風環境評価の密集市街地モデルへの適用, 日本建築学会計画系論文集, (投稿中)
- 13) 風工学研究所, ビル風の基礎知識, 鹿島出版会, pp. 110-117, 2005 年
- 14) 風工学研究所, 新ビル風の知識, 鹿島出版会, pp. 189, 1989 年
- 15) 加藤信介: 巻頭言 市街地の風通しはどのように計られるか, 日本風工学会誌第 32 巻第 4 号, PP. 421-423, 2007 年 10 月

注

- 注 1) 空間分割は $\theta=0^\circ$ の場合、領域全体で $107(x) \times 136(y) \times 36(z)$ 分割である。建物 A, A', A₀ は $7(x) \times 5(y) \times 21(z)$ 分割、B, B', B₀ は $9(x) \times 6(y) \times 21(z)$ 分割、中心部の 4m 道路は横断方向に 9 分割である。計算格子の地表面第一点の高さは 0.1m である。
- 注 2) 東京では、 $h_f=74.5m$ であるが、これは先に文献¹⁴⁾により東京の風速計設置高さを $h_c=h_f=74.6m$ として風速を $v_f=1m/s$ として CFD 計算を済ませてしまってから、文献¹³⁾の新しい統計値 (東京の風速計設置高さ $h_c=74.5m$) を採用したためである。もちろん、流入プロファイルを同一に設定する限り、計算結果に差異は生じない。
- 注 3) ここで、尺度係数 (C_n^{θ}) と形状係数 (K_n^{θ}) が超過確率の減衰勾配に与える影響を確認する。 C_n^{θ} が 16 方向同一であると、式(6)の指数関数が同じ風速 (に対応した局所排出換気回数) で一斉に減衰するので、超過確率の換気回数に対する減衰が急激になる。 C_n^{θ} の値がバラバラしていると、減衰が異なる風速で始まるので減衰が緩やかになる。また、形状係数 K_n^{θ} が大であるとその風向 n の減衰が急激になる。
- 注 4) 正確には、最小・最大値を与える方位は、局所排出換気回数値によって入れ替わる。より詳細な検討を行うには、必要な局所排出換気回数をパラメータにとって、超過確率分布を算出して比較するとよい^{注 5)}。超過確率分布は、図-9 に示した流入風向別の局所排出換気回数さえ計算してあれば、表計算ソフトで容易に算出可能である。
- 注 5) 最小の局所排出換気回数を示す方位を選定してある。図-11 の最小方位とは必ずしも一致しないが、局所排出換気回数値はほぼ等しくなる。