



気候資源としての風の利用を目的とした街路形態と 街路空間の風通しの関係の分析

竹林, 英樹
森山, 正和
三宅, 弘祥

(Citation)

日本建築学会環境系論文集, 74(635):77-82

(Issue Date)

2009-01-30

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90001565>



気候資源としての風の利用を目的とした街路形態と 街路空間の風通しの関係の分析

ANALYSIS ON THE RELATIONSHIP BETWEEN PROPERTIES OF URBAN BLOCK AND WIND PATH IN THE STREET CANYON FOR THE USE OF THE WIND AS THE CLIMATE RESOURCES

竹林英樹^{*1}, 森山正和^{*2}, 三宅弘祥^{*3}

Hideki TAKEBAYASHI, Masakazu MORIYAMA and Koyo MIYAKE

To promote ventilation in the street canyon is one of the effective heat island measures. The analysis on the relationship between properties of urban block and wind environment in the street canyon is required. In this study, relationship between wind environment in the street canyon and the direction of street, the width of street and the building height beside street is studied by CFD simulation result and observation result. Wind velocity ratio, which is calculated in street wind velocity by upper wind velocity, is used for the index of wind environment in the street canyon.

Keywords: Urban Heat Island, Wind path, Street Canyon, Properties of Urban Block

都市ヒートアイランド, 風通し, 街路空間, 街路形態

1. はじめに

日本の多くの大都市は沿岸部に位置するため、非常に大きな海風による高温化抑制効果の恩恵を得ていると考えられる。ヒートアイランド現象の対策の一つとして、この海風を市街地内へ積極的に誘導することが検討されている¹⁾。従来の研究において、佐々木ら²⁾により規模の異なる沿岸都市を対象として海風の高温化抑制効果の評価が行われている。著者ら³⁾も大阪において日中に海風の影響を受けた地表付近の気温分布は海岸からの距離によりほぼ説明されることを指摘している。久保田ら^{4,5)}、義江ら⁶⁾により市街地のグロス建蔽率と市街地内の歩行者レベルの空間平均風速の関係が明らかにされている。また、グロス建蔽率が同様の街区であっても、低層建築物より中高層建築物で構成される街区の場合に平均風速が大きくなることも示されており、その原因としては、建築物の高さのばらつきが指摘されている^{6,7)}。

ここで、ヒートアイランド対策として上空の海風を積極的に市街地へ誘導することを想定すると、久保田らや義江らが対象とした市街地の平均風速だけではなく、市街地内での風速の分布も検討される必要があると考えられる。この課題に対し、足永ら⁸⁾は地球シミュレータを用いた数値計算により、市街地内の風、気温等の分布を高解像度且つ広領域で得る方

法を提案している。それに対し本研究では、上空風の市街地への誘導策を様々な提案されているヒートアイランド対策⁹⁾の一案として位置づけ、より簡易にヒートアイランド対策の導入効果を予測することを目的に、街路の形態と街路空間の風通しとの関係を分析するものである。本研究の目指すものは、ポテンシャルとしての上空風（海風）が与えられた場合に、どのような街区を設計すると効果的な街路空間の風通しが得られるかという点にあり、その評価には上空の風速に対する地上の風速の比を用いる。具体的には、夏期の高温化が顕著で、何らかのヒートアイランド対策が必要とされる大阪の中心市街地を対象とする。検討には主にCFDによる計算結果を用い、一部実測調査の結果により計算結果との対応を確認する。街路形態を特徴づける指標として、道路方位、道路幅、周辺建築物の高さを用いる。なお、街路の形態と街路空間の風通しとの関係については、街路の方向がその地域の卓越風向に沿う場合に良好となることが指摘されているが、その他の要因に関しては、チャンネル効果、縮流効果、風圧相乗効果、ピラミッド効果、シェルター効果、などの流れのパターンのモデル化と風通しとの関係の定性的特徴が示されている程度であり、都市風の設計のための計画資料は極めて不備であると指摘されている¹⁰⁾。

^{*1} 神戸大学大学院工学研究科 准教授・博士(工学)

^{*2} 神戸大学大学院工学研究科 教授・工博

^{*3} ㈱安井建築設計事務所 修士(工学)

Associate Professor, Graduate School of Engineering, Kobe University, Dr. Eng.

Professor, Graduate School of Engineering, Kobe University, Dr. Eng.

Yasui Architects & Engineers, Inc., M. Eng.

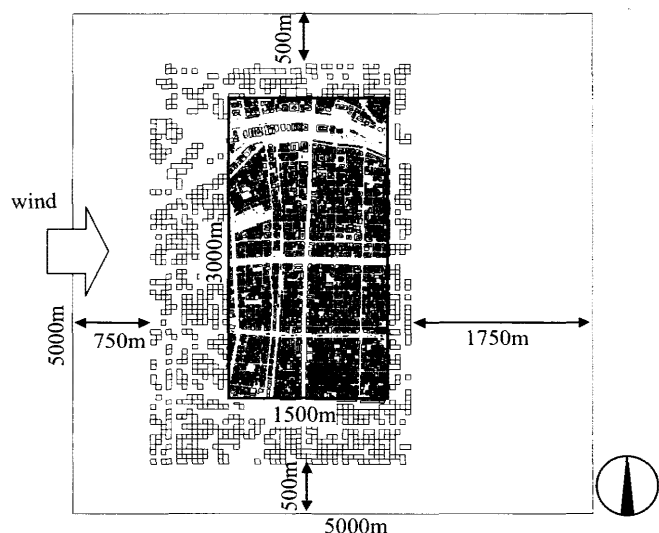


図1 計算対象地域の平面図（中央1.5km×3kmが解析対象領域）

風上側の市街地において上空風のポテンシャルを利用してしまふと、風下側の市街地で利用可能なポテンシャルが低下する可能性が指摘されている¹¹⁾が、この点に関してはより広域での評価が必要となるため、メソスケールモデルの数値計算等により別途検討するものとする。

2. 数値計算の概要

2.1 計算領域と格子間隔

実測調査を実施した地域を含む大阪の中心市街地を対象にCFDによる気流計算を行った。図1に計算対象地域の平面図を示す。航空機により計測されたデータに基づく建物の形状データが存在する東西1500m、南北3000mを解析対象領域とし、周囲には少し粗い建物形状データより作成した50m四方の建物群を配置した。計算対象地域はこれらを含み東西方向5000m、南北方向5000m、鉛直方向570mとした。格子間隔は、水平方向5m、鉛直方向は地表付近2mで上空になるにつれて徐々に広くなるように設定した。水平方向の格子間隔は、計算結果と道路幅及び周辺建物の高さとの関係を考察することを念頭に置き、5m毎の風速分布が得られれば、大通り（幅40～50m程度）、中程度の幅の通り（幅20m前後）、小さな幅の通り（幅10m以下）の違いを表現できると判断して設定した。ただし、5m以下の解像度はなく、格子幅の間に構造物の境界面が相当する場合には適宜格子に落とし込まれるため、以下の考察において道路幅5m以下の差による風速の違いを議論することは出来ない。周辺建物の高さに関しても同様である。なお、対象地域の標高差は小さいため無視し、高架道路については再現出来なかったため解析対象外としており今後の検討課題とする。

2.2 計算条件

乱流モデルには標準 $k-\epsilon$ モデルを用いた。実在市街地流れを対象としたベンチマークテストの結果より、乱流モデルの選択や地表面境界条件の設定以上に、周辺建物形状のモデル化の精度が予測結果に与える影響が大きいと指摘されており¹²⁾、既にある程度モデル化された建物形状を用いざるを得ない本研究においては、乱流モデルや格子形状の高精度化による

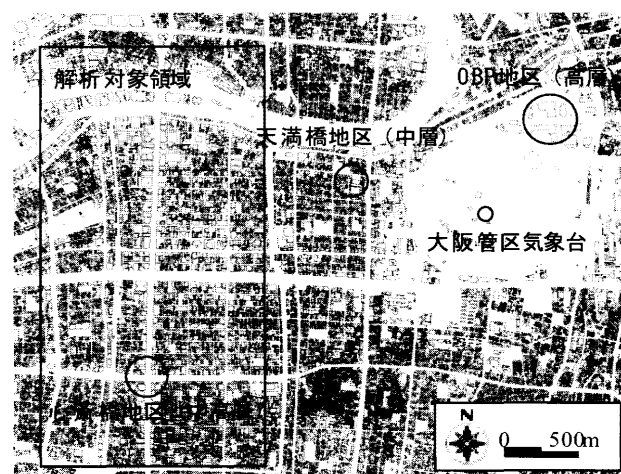


図2 測定地点の位置関係

計算精度の改善はあまり期待できないと判断した。大阪管区気象台の観測値を上空風とみなし、夏期日中の典型的な海風時の平均風速より、風速計高さ47mの風速を4.5m/sとして1/4べき乗則で流入境界条件を設定した¹²⁾。風向も同様に夏期日中の典型的な海風時の主風向である西とした。流出境界は自由流入出条件、上空境界、側面境界はfree-slip条件、地面・壁面境界は一般化対数則条件とした¹²⁾。樹木、看板などの障害物、自動車、歩行者などの移動物体が街路空間の風環境に及ぼす影響についても研究が行われているが¹³⁾、本研究では周辺建物の影響に注目するため、これらの影響は別途考慮するものとし、対象外とした。

2.3 計算結果の解析方法

街路形態を特徴づける指標として、道路方位、道路幅、周辺建物の高さを用いた。道路幅員に関する現況データを基に、主風向に平行な道路（ $-22.5 \sim 22.5^\circ$ ）、主風向に直交する道路（ $67.5 \sim 112.5^\circ$ ）、主風向と45度の角度をもつ道路（ $22.5 \sim 67.5^\circ$ ）、交差点に分類した。分類はGISツールにより（ 22.5° 度を境界として）機械的に行った。道路幅は5mごとに11に区分された。河川や公園近傍の道路は周囲に建物が存在しないため対象外とした。周辺建物の高さは、建物の現況データに基づき階数に建物用途ごとの階高を乗じて算出され、道路両側の建物の平均高さを用いて、道路幅と同様に5mごとに11に区分された。解析には計算結果の高さ2mの水平成分風速を上空風速で除した風速比を用いた。上空風速には測定結果との比較のため、気象台観測点高さの流入風速（4.5m/s）を用いた。

2.4 比較対象の実測結果

大阪の中心市街地に位置する3つの街区を対象に2005年と2006年に実施した実測調査の結果を計算結果との比較に用いる。測定方法の詳細については参考文献14、15を参照されたい。測定地点の位置関係を図2に示す。天満橋地区は中層、心斎橋地区は中高層、大阪ビジネスパーク地区（0BP地区と略す）は高層、の典型的な街区であると想定して測定地点を設定した。なお、心斎橋地区では4地点の測定結果を用いるため、A、B（東西道路）、C、D（南北道路）の記号で地点を示す。いずれの測定期間も典型的な夏季の気象条件であり、日中は海風が発

表1 主風向に平行な道路における各測定点の風速比

	道路幅 (m)	周辺建物の高さ (m)	風速比
心斎橋地区 A	50	33	0.48
心斎橋地区 B	12	36	0.28
天満橋地区	8.5	34	0.21
OBP 地区	38	-	0.39

表2 主風向に直行する道路における各測定点の風速比

	道路幅 (m)	周辺建物の高さ (m)	風速比
心斎橋地区 C	43	38	0.24
心斎橋地区 D	43	45	0.30
OBP 地区	18	-	0.55

達し主風向は西であった。

風速比は各測定点（高さ 2 m）の測定値を上空風速（大阪管区気象台 47 m）で除して算出した。計算結果と比較するために主風向が西の場合の結果（気象台の風向が西の時間の結果）のみを用いる。主風向に平行な道路、主風向に直交する道路における各測定点の風速比を、道路幅、建物高さと共にそれぞれ表 1, 2 に示す。OBP 地区においては、測定を行った道路に建物が隣接していないため建物高さは示していないが、測定地点付近の建物の高さは 150 m 程度であった。OBP 地区において特に大きな風速比となっており、高層建物とその周辺のオープンスペースの影響であると考えられる。

3. 計算結果と考察

3.1 道路方位と風速比

表 3 に道路分類ごとの平均風速比を示す。平均風速比に大きな差が確認されないのは、様々な道路幅や周辺建物の高さを持つ道路上の計算結果を平均したためである。図 3 に道路分類ごとの風配図を示す。それぞれの道路方位に一致した風向の頻度が多く、地表付近の風向は道路方位と一致する傾向にある。久保田ら⁵⁾が導出したグロス建蔽率と街区平均風速比の関係より計算対象領域（グロス建蔽率 48 %）全体の平均風速比を求めると 0.15 となり、計算結果の街区全体の平均風速比（0.16）とほぼ一致している。図 4 に 16 方位別の平均風速比を示す。主風向に平行な道路では、主風向と一致する風向（西）において 0.27 と大きな風速比になっている。交差点においても主風向と一致する風向で 0.3 と大きく、街区全体の平均風速の 2 倍程度となっている。主風向と 45 度の角度を持つ道路においても大きくなっており、幅の広い道路のデータが多いことも影響していると考えられる。

3.2 道路幅と風速比

図 5 に主風向に平行な道路における道路幅ごとの風速比頻度を示す。表 4 に示す通り道路幅ごとのデータ数に偏りがあるため、データ数が少ない場合には図示していない。道路幅は GIS データより抽出したため 5 m ～ 10 m といったように幅を持って表現されているが、水平方向の格子間隔を 5 m に設定しているため、例えば 5 m ～ 10 m では格子数が 2 個の場合に相当する。道路幅が大きくなると、頻度の最大が風速比の大きくなる側へ

表3 道路分類ごとの風速比の平均、標準偏差、サンプル数

	平均	標準偏差	サンプル数
主風向に平行な道路	0.18	0.15	14,326
主風向に直交する道路	0.14	0.09	16,802
主風向と 45 度の道路	0.16	0.11	364
交差点	0.19	0.14	6,472

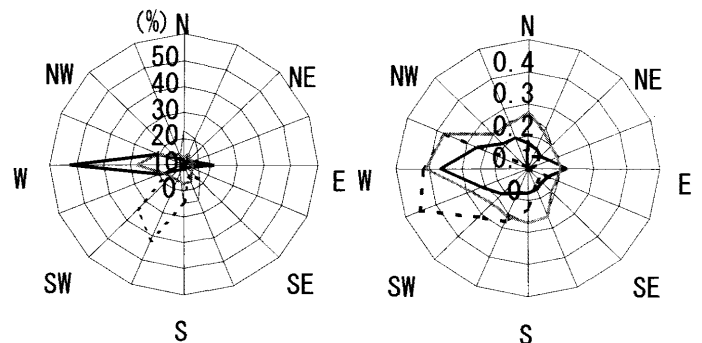


図3 道路分類ごとの風配図 図4 16 方位別の平均風速比

— 主風向に平行な道路 — 主風向に直交した道路
 主風向と45度の道路 - - - 交差点

移動している。道路幅が 15 m ～ 20 m, 25 m ～ 45 m のデータが少ないため頻度の最大の移動が明確に示されたわけではないが、頻度の最大とともに頻度分布も風速比の大きくなる側に広がっており、風速分布の計算結果を確認したところ、街路に沿って風が流れる“街路風”あるいは“道路風”により大きな風速比となっている様子が見られた。なお、主風向に直交する道路では道路幅によって頻度分布の形状は大きく変化しなかった。主風向に直交する道路では、比較的幅の広い道路でも“循環流”となっており、大きな風速比にはなりにくい。

図 6 に主風向に平行な道路と直交する道路における道路幅と平均風速比の関係を示す。心斎橋地区¹³⁾及び天満橋地区、OBP 地区¹⁴⁾の測定結果も併せて示す。図中の誤差範囲は標準偏差を表す。主風向に平行な道路では道路幅の拡大により平均風速比は 0.1 から 0.5 程度まで大きくなる。しかし、主風向に直交した道路では道路幅による平均風速比の変化は 0.1 程度と全体的に小さい。測定結果は概ね計算結果の範囲内にプロットされるが、主風向に直交する道路における OBP 地区の測定結果は大きく異なる。隣棟間隔の大きい高層建物と大きなオープンスペースにより構成される OBP 地区は、計算の対象としている大阪の中心市街地の街区形態と大きく異なっていることが原因であると考えられる。道路幅が 10 m までの場合の風速比は街区全体の平均風速比 0.16 より小さく、20 m 以上の場合には大きくなっている。

3.3 周辺建物の高さと風速比

図 7 に主風向に平行な道路における周辺建物の高さごとの風速比頻度を示す。表 5 に示す通り周辺建物の高さごとのデータ数に偏りがあるため、データ数が少ない場合には図示していない。周辺建物の高さには、該当する道路の両側の建物高さの平均値を用いた。両側の建物高さが大きく異なる場合には解析に適さないが、今回の計算対象領域は御堂筋の高さ制限

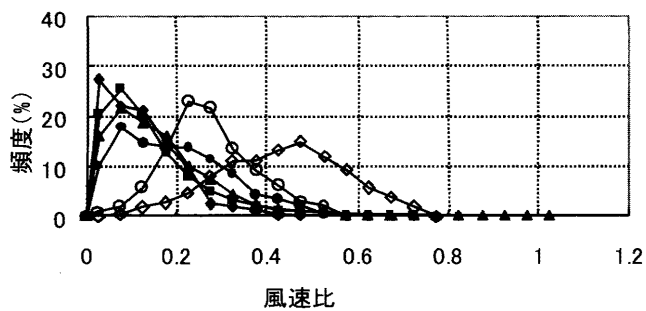


図5 主風向に平行な道路における道路幅ごとの風速比頻度

◆ ~5m ■ 5m~10m ▲ 10m~15m
● 20m~25m ○ 45m~50m ◇ 50m~

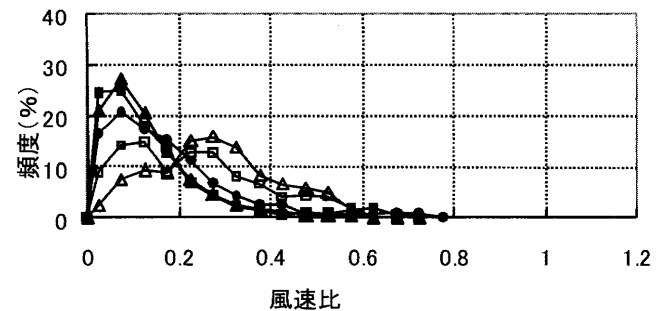


図7 主風向に平行な道路における周辺建物高さごとの風速比頻度

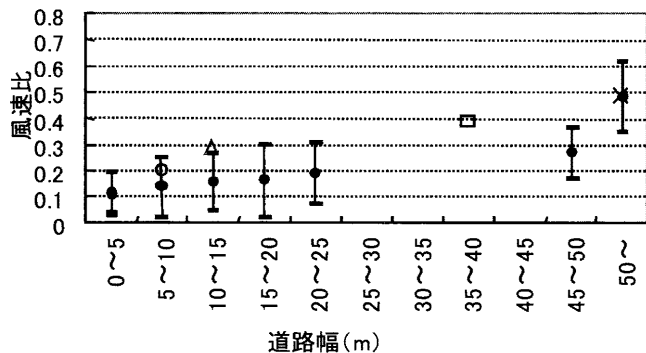
■ 10m~15m ▲ 15m~20m ● 20m~25m
□ 25m~30m △ 30m~35m ◇ 35m~

表4 道路幅ごとのサンプル数

道路幅 (m)	主風向に平行な道路	主風向に直交した道路
0-5	327	238
5-10	7,717	5,999
10-15	2,859	1,876
15-20	379	26
20-25	938	3,166
25-30	0	173
30-35	0	0
35-40	0	1,023
40-45	0	4,301
45-50	1,122	0
50-	984	0

表5 周辺建物の高さごとのサンプル数

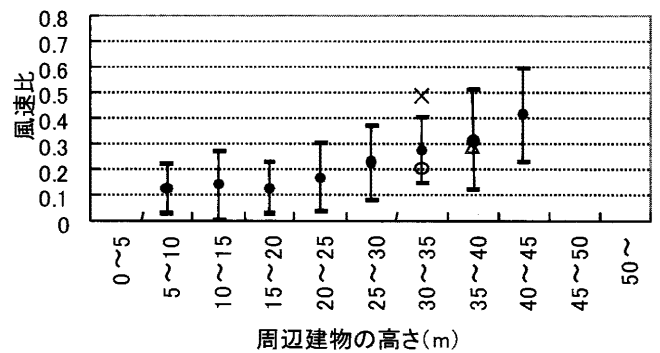
建物高さ (m)	主風向に平行な道路	主風向に直交した道路
0-5	21	29
5-10	242	351
10-15	2,267	2,728
15-20	4,276	3,141
20-25	3,275	3,159
25-30	2,131	2,019
30-35	879	1,978
35-40	686	1,241
40-45	245	1,307
45-50	67	498
50-	88	208



a. 主風向に平行な道路

● 計算結果の平均値 (バーは標準偏差)

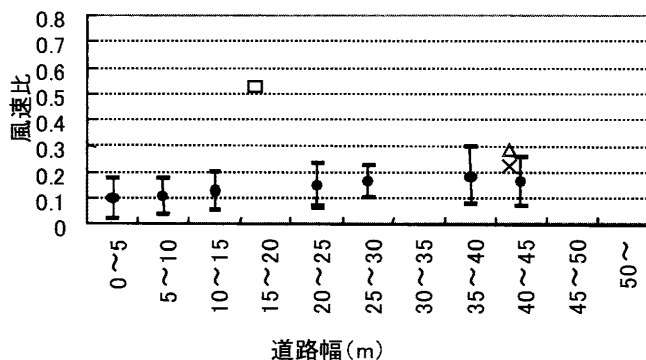
× 心斎橋地区A ▲ 心斎橋地区B ○ 天満橋地区 □ OBP地区



a. 主風向に平行な道路

● 計算結果の平均値 (バーは標準偏差)

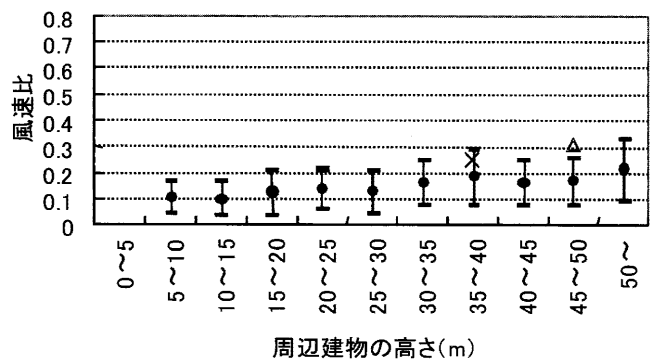
× 心斎橋地区A ▲ 心斎橋地区B ● 天満橋地区



b. 主風向に直交する道路

● 計算結果の平均値 (バーは標準偏差)

× 心斎橋地区C ▲ 心斎橋地区D □ OBP地区



b. 主風向と直交する道路

● 計算結果の平均値 (バーは標準偏差)

× 心斎橋地区C ▲ 心斎橋地区D

図6 道路幅と平均風速比

図8 周辺建物の高さと平均風速比

に代表されるように、比較的均等な建物高さを持った街区である。周辺建物の高さが大きくなると分布がばらつく傾向にある。風速分布の計算結果を確認したところ、特に周辺建物の高さが25m 以上の場合には、建物による“吹降ろし”や“はく離流”により大きな風速比となっている様子が見られるとともに、場所によっては建物の影響をあまり受けない地点もあり、風速比はばらついているが平均的には大きくなっている。なお、主風向に直交する道路では周辺建物の高さによって頻度分布の形状は大きく変化しなかった。

図8 に主風向に平行な道路と直交する道路における周辺建物の高さで平均風速比の関係を示す。心斎橋地区¹³⁾及び天満橋地区¹⁴⁾の測定結果も併せて示す。図中の誤差範囲は標準偏差を表す。主風向に平行な道路では周辺建物が高くなると平均風速比が大きくなる。心斎橋地区の大通り（建物高さ30～35m）における測定値が計算値より大きくなっているのは、該当する通りの道路幅が計算領域全体の平均的な道路幅と比較して広いためであると考えられる。周辺建物の高さが20m までの場合の風速比は街区全体の平均風速比0.16 より小さく、主風向と平行な道路では20m 以上、直交する道路では30m 以上の場合に大きくなっている。

図9 に主風向に直交する道路において風速比が大きい場所の風速比の分布を示す。道路幅が狭くても周辺の建物高さが大きい場合に大きな風速比となっている（図9 の下側の領域）。オープンスペースを流れる風や風上側の高層建物により引き起こされる風をうまく取り入れることが有効であると考えられる。

4. まとめ

大阪の中心市街地を対象にCFD による数値計算を行い、気候資源としての風の利用を目的とした街路形態と街路空間の風通しの関係の分析を行った。地表付近（高さ2m 程度）の風の風向は道路方位と一致する傾向にあり、その方位が上空の主風向と一致する場合には街区平均風速の2 倍程度の風速となっていた。

主風向に平行な道路における風速は、道路幅が10m～20m 程度で街区平均風速とほぼ等しく、それより狭い道路では小さく、広い道路では大きくなり、45m 以上の幅員を持つ道路では街区平均風速の2～3 倍程度となっていた。周辺建物の高さが20m 以上になると街区平均風速より大きくなる傾向にあるが、道路幅と周辺建物高さの相関関係が影響していると考えられる。

主風向に直交する道路における風速は、道路幅が大きくなってもあまり大きくなりず、周辺の建物高さが30m 以上になると若干大きくなる傾向にある。風速が大きい場所を抽出して考察したところ、開けた空間を流れてくる風や風上側の高層建物により引き起こされる風が確認された。

以上より、グロス建蔽率を抑制すると街区平均風速が大きくなるという従来の知見を踏まえ、さらに街路の方位が上空の主風向と一致する場合には、道路幅を大きくして風通しの改善を図ること、街路の方位が上空の主風向と直交する場合

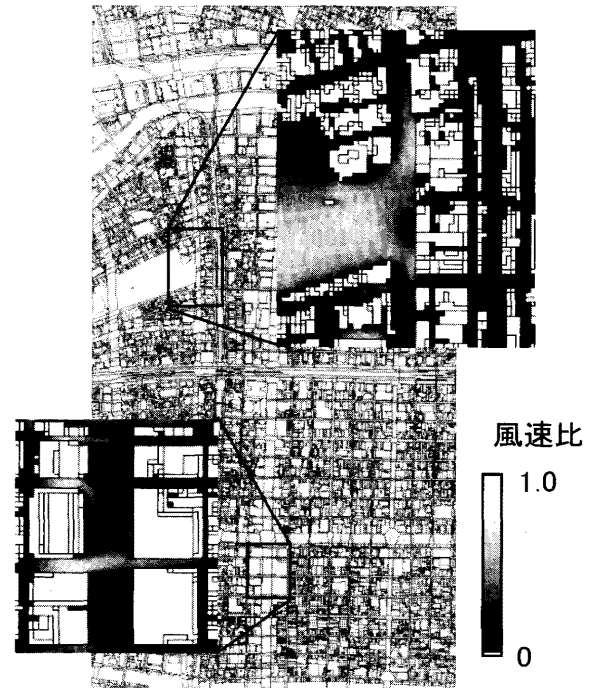


図9 主風向に直交する道路において風速比が大きい場所の風速比の分布

には、道路幅を大きくしても風通しはあまり改善されないため、オープンスペースや高層建物により引き起こされる風の利用を図ること、がヒートアイランド対策として上空の風を市街地へ誘導する際に重要になると考えられる。

なお、街路空間の熱環境に対しては、本研究で注目した風通しとともに放射環境が大きく影響する。放射環境に対しても、本研究で指標とした道路方位、道路幅、周辺建物の高さが主要なパラメータになると考えられる。但し、時刻によりパラメータの影響度合いが異なることも予想される。今後、本研究と同様の方法により放射環境に関する分析を行い、今回の結果と合わせて評価を行う予定である。

謝辞 本研究は平成18 年度空気調和・衛生工学会近畿支部都市平熱化委員会（委員長：水野稔）の活動の一環として実施した。

参考文献

- 1) Masuda, Y., Ikeda, N., Seno, T., Takahashi, N. and Ojima, T.: A Basic Study on Utilization of the Cooling Effect of Sea Breeze in Waterfront Areas along Tokyo Bay, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, Vol.4, No.2, pp.483-487, 2005.11
- 2) 佐々木澄, 持田灯, 吉野博, 渡辺浩文, 吉田知弘: 海風が卓越する夏季晴天日における規模の異なる3つの太平洋沿岸都市, 東京, 仙台, 原町の中心部の大気部熱収支構造の比較, 一気候数値解析に基づく都市気候の地域特性の定量化(その1) -, 日本建築学会環境系論文集, 第595号, pp.121-128, 2005.9
- 3) 竹林英樹, 森山正和: 海風の影響を受けた都市ヒートアイランド現象, 日本建築学会技術報告集, 第21号, pp.199-202, 2005.6
- 4) 久保田徹, 三浦昌生, 富永禎秀, 持田灯: 実在する270m 平方の住宅地における地域的な風通しに関する風洞実験, 建築群の配置・集合形態

- が地域的な風通しに及ぼす影響 その1, 日本建築学会計画系論文集, 第529号, pp.109-116, 2000.3
- 5) 久保田徹, 三浦昌生, 富永禎秀, 持田灯: 風通しを考慮した住宅地計画のための全国主要都市におけるグロス建蔽率の基準値, 建築群の配置・集合形態が地域的な風通しに及ぼす影響 その2, 日本建築学会計画系論文集, 第556号, pp.107-114, 2002.6
- 6) 義江龍一郎, 田中英之, 白澤多一, 小林剛: 高層密集市街地における建物群の形態が歩行者レベルの風速・気温分布に与える影響, 日本建築学会環境系論文集, 第627号, pp.661-667, 2008.5
- 7) 成田健一, 関根毅, 徳岡利一: 市街地の蒸発量に及ぼす建物周辺気流の影響に関する実験的研究(統報), 日本建築学会計画系論文報告集, 第366号, pp.1-11, 1986.8
- 8) 足永靖信, 東海林孝幸, 河野孝昭: 地球シミュレータを用いた東京都心10km四方における高解像度のヒートアイランド数値解析, 日本建築学会環境系論文集, 第616号, pp.67-74, 2007.6
- 9) 竹林英樹: 上空気象データを用いたヒートアイランド対策技術導入効果の簡易評価方法の検討, 日本建築学会環境系論文集, 第621号, pp.57-62, 2007.11
- 10) 日本建築学会: 都市の風環境評価と計画ービル風から適風環境までー, 丸善, 1993.3
- 11) 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ボイド空間の風環境評価, 第15回空気シンポジウム「都市空間の換気・通風と風の道」, pp.63-66, 2006.9
- 12) 日本建築学会: 市街地風環境予測のための流体数値解析ガイドブックーガイドラインと検証用データベースー, 丸善, 2007.7
- 13) 持田灯, 田畑侑一, 吉野博, 幡谷尚子, 菊池文: 街路樹と自動車の走行が街路空間内の温熱空気環境・気流分布・乱流拡散性に及ぼす影響の測定と解析, その4 実在市街地の乱流拡散場に及ぼす自動車走行の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp.803-804, 2007.8
- 14) 鳥町孟, 中川健一郎, 竹林英樹, 森山正和: 中層オフィス街区における熱環境に関する研究(その1) 風通し環境に関する実測調査と数値計算による考察, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, pp.131-134, 2007.3
- 15) 三宅弘祥, 竹林英樹, 森山正和: 市街地形態の異なる街区の熱環境に関する研究(その2)ー風通し環境に関する実測調査と数値計算による考察ー, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp.607-608, 2006.9

(2008年3月27日原稿受理, 2008年9月23日採用決定)