街区の空間特性が街路空間の風通し環境に及ぼす影響

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 その2

EFFECTS OF CHARACTERISTICS OF URBAN BLOCK ON WIND ENVIRONMENT
IN THE STREET CANYONAnalysis 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 Part 2

竹林 英樹*, 山田 俊明**, 森山 正和***

Hideki TAKEBAYASHI, Toshiaki YAMADA and Masakazu MORIYAMA

To promote ventilation in the street canyon is one of the effective urban 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 characteristics of urban block e.g. building cover ratio, variation of building heights, as well as roadside properties e.g. direction of street, width of street, height of building, is studied by CFD simulation results carried out in the central Osaka city. Ventilation in the street canyon is promoted by positive and negative pressure areas which are formed by variation of building heights. Both "the vertical wind path" caused by high-rise building and "the horizontal wind path" formed along the wide road parallel to upper wind direction should be considered for the improvement of ventilation in the street canyon. It is also confirmed that the attention to windward and downwind areas should be noted.

Keywords : *Wind environment, Street canyon, Urban block, Urban heat island, Sea breeze*

風通し, 街路空間, 街区, ヒートアイランド, 海風

1. はじめに

日本の多くの都市は沿岸部に位置しており, 夏季日中には海風による高温化抑制効果の恩恵を受けていると考えられる. ヒートアイランド現象に対する対策方法の一つとして, この海風を市街地内に積極的に誘導することが検討されている. 著者らは大阪市及びその周辺地域を対象として, 地上から 50m 程度の高さで観測された気温, 風向, 風速のデータを用いて海風の市街地気温緩和効果のポテンシャルを評価した¹⁾. その結果, 海岸から離れた地域 (20km 程度) であっても, 海岸付近の風速の 4 割程度まで減衰するが上空に海風が進入してきており, 地表付近の風通し改善のポテンシャルとして利用することが可能であると考察された. このような背景のもと, 著者らは既報²⁾において, 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の観点から, 街路形態と街路空間の風通しの関係を分析した. 日本建築学会では流体数値計算による風環境評価ガイドライン作成 WG により「市街地風環境予測のための流体数値解析の利用に関するガイドライン」が作成されており³⁾, 本研究では既報に引き続きこのガイドラインに沿って流体数値計算により市街地空間の風環境の計算を実施し, その結果に基づき街路形態

と街路空間の風通しの関係を分析する.

ヒートアイランド対策として, 市街地空間内の風通し環境の改善を図る方策としては, 例えば CASBEE-HI には風通しの項目がある. CASBEE-HI では敷地を取り囲む仮想閉空間を単位として外部環境への負荷を管理する立場が取られており, 風通し環境の評価には地域特性への配慮が定性的に含まれているが, 定量的な評価の指標として用いられる空地率, 卓越風向に対する建築物 (群) の見付面積比, 隣棟間隔指標は, それぞれ, 敷地面積, 敷地幅, 敷地境界からの距離を基準として規定されている. これに対し, 実際の市街地における風通し環境は, 敷地境界からの距離ではなく, 隣接する敷地の建築物との距離 (道路などの公共のオープンスペースを含む) が支配要因であり, グロス建蔽率などを用いて評価される^{4~7)}. 一般に, ヒートアイランド対策の検討が必要とされる大阪市中心部などを想定すると, 敷地毎の建蔽率は大きく, 風通しの指標となる隣棟間隔はほぼ道路幅によって規定される場合が多い. このような観点より, 本報においても既報に引き続き, 道路幅, 建物高さ, 主風向と道路方向の関係などを街区の空間特性の指標とし, 街路空間の風通しとの関係を分析する.

* 神戸大学大学院工学研究科建築学専攻
准教授・博士 (工学)

** 関西電力 (株) 修士 (工学)

*** 摂南大学理工学部住環境デザイン学科 教授・工博

Assoc. Prof., Department of Architecture, Graduate School of Engineering, Kobe University,
Dr. Eng.

The Kansai Electric Power Company, M. Eng.

Prof., Department of Living and Environmental Design, Faculty of Science and Engineering,
Setsunan University, Dr. Eng.

既往の研究⁴⁻⁷⁾により、都市部において一般的に想定される範囲でグロス建蔽率が大きくなると地区全体の平均的な風通しが悪くなり、建物高さにばらつきがあると風通しが向上することなどが明らかになっている。本研究では、これらの検討結果を踏まえ、街路形態だけでなく幾つかの建築物により形成される街区の特性（グロス建蔽率、建物高さのばらつき、高さ方向グロス建蔽率など）が風通し環境に及ぼす影響を考察する。併せて、風上領域の街区特性が、対象とする街区内の風通し環境に及ぼす影響についても考察する。

足永らは東京都心10km四方を対象に、水平5mメッシュ解像度で地球シミュレータを用いた大規模数値解析を実施し、超高層建物により海風が遮断される様子などを考察している⁸⁾。将来的には都市域全体を対象とした高解像度の数値解析が実施され、それに基づき具体的な風通し対策が検討されると想定されるが、現状では容易に実施できる状況でないため、大阪市中心部を対象とした計算結果に基づき、街区の空間特性と街路空間の風通し環境の関係を考察する。

2. 計算及び解析方法

2. 1 計算の概要

大阪の中心市街地を対象としてCFDによる数値計算を行った。図1に解析対象地域を示す。太線で囲まれた領域を解析対象とし、その大きさは東西3,600m、南北2,700mである。計算負荷との関係により、この領域を900m四方の12領域に分割した。この中の一領域を例として、計算領域の平面図を図2に示す。太線の枠内が解析対象領域であり、その周辺を含めて計算対象領域に設定した。さらに外側の緩衝領域にも建物群を設定した。水平方向の格子間隔は、解析対象領域内で2.5m、その周辺で5mとし、さらに外側は徐々に広がる不等間隔とした。鉛直方向の格子間隔は、解析対象地域内の最高建物高さまでを1m、それ以上は徐々に広がる不等間隔とした。

計算には標準k-ε型2方程式モデルを用いた。流入境界条件は基準高さ47m（大阪管区気象台風速計を想定）の風速を4.5m/s（風向西）として1/4べき乗則により与えた。流出境界は自由流入出条件、上空、側面境界はfree-slip条件、地表面、壁面境界は一般化対数条件とした³⁾。なお、補足計算として実施した整列配置街区モデルによる計算にも同様の計算方法を用いた。

2. 2 解析方法

道路の方向は、主風向との関係に基づき、平行道路、22.5°道路、45°道路、67.5°道路、直交道路、交差点に分類した。±11.25°の範囲に含まれる道路を各道路分類に含めた。道路幅はGIS上で道路に沿って5m毎に計測して分類した。道路に沿ってオープンスペースが存在する場合には、道路に沿った両隣（5m離れた地点）との関係に基づき道路境界線を設定した。道路幅を規定した後に直交する道路の交差部分を交差点とした。周辺の建物高さは、道路に沿った5mの区間の道路両側の建物高さの面積荷重平均により算出した。道路に沿ってオープンスペースが存在する場合には、建物高さを0mとした。高さ2mの風速の計算結果を高さ47mの流入風速（4.5m/s）で除した風速比を風通しの指標とする。地区平均の風通しの考察には、解析対象領域内から300m四方の領域を抜き出し⁴⁾、風速比の平均値やグロス建蔽率等の特性値を算出する。風上領域の特性値も同様に抽出する。

3. 計算結果の考察

3. 1 主風向と道路方向の関係が街路空間の風通しに及ぼす影響

主風向との関係に基づき分類した道路ごとの平均風速比を表1に示す。大阪市内の街路は東西及び南北の基盤目状になっており、主風向の西風に対して平行及び直行する道路の比率が大きい。様々な道路幅及び周辺建物高さを含んだ集計結果ではあるが、地区全体の平均風速比0.27に対し、平行道路及び交差点において若干大きな風速比となっている。ちなみに、村上らによって提案された気温を考慮した風環境評価尺度を用いて大阪の夏季における弱風による非適風の条件を評価すると0.16以下（強風は0.64以上）となり、平均値では適風の範囲となる。

補足計算として、大阪の中心市街地の街区形態を参考に80m四方の整列配置街区を想定し、流入風向、道路幅、建物高さをパラメータとして計算した結果の例を図3に示す。図4に整列配置街区モデル

図1 解析対象領域（太線内の東西3,600m、南北2,700m）

図2 計算領域の平面図（太線内が解析対象領域の900m×900m）

表1 主風向との関係に基づき分類した道路ごとの平均風速比

道路分類	平均風速比	標準偏差	データ数
平行道路	0.29	0.22	123,217
22.5°道路	0.23	0.18	15,684
45°道路	0.25	0.18	6,589
67.5°道路	0.20	0.16	17,230
直交道路	0.24	0.16	115,857
交差点	0.31	0.21	73,812

図3 建物高さごとの平均風速比（平行道路）

図4 整列配置街区モデルの概要

ルの概要を示す。幾つかの建物により形成される80m四方の街区ブロックを基準に道路幅と建物高さを変化させるモデルとした。主風向に平行な道路では、街区の高さが揃っている条件では建物高さが増加する（この計算の想定では約50m以上）と上空風が街路空間内まで流入せず、道路幅を広くしても風通しは改善されない。主風向に直交する道路では、アスペクト比（道路幅と建物高さの比）により渦の発生状況が異なり、この渦の発生状況によって地表付近の風通しが影響されることなどが考察された⁹⁾。主風向と22.5°の角度を持つ平行道路に近い道路では、街路空間内で生じた渦と交差点から流れ込む風が相互に影響し風速比は減少する。主風向と67.5°の角度を持つ直交道路に近い道路では、渦の性状が変化するアスペクト比が若干異なるが、直交道路と同様の傾向になる。

3.2 道路幅が街路空間の風通しに及ぼす影響

平行及び直交道路における道路幅と平均風速比の関係を図5に示す。平行道路では、道路幅の拡大に伴い風通しが改善される。幅員45m以上となると地区平均の風速比0.27を上回っている。直交道路でも道路幅の拡大に伴い風通しが改善されるが、その効果は平行道路より小さい。道路幅45~50mで風速比が小さくなるのは、渦が消滅するアスペクト比に相当するためであると考察された。主風向と22.5°、45°の角度を持つ道路では、平行道路ほどではないが道路幅の拡大に伴う風通しの改善が確認された。

3.3 周辺の建物高さが街路空間の風通しに及ぼす影響

平行及び直交道路における周辺の建物高さと平均風速比の関係を図6に示す。平行道路では、建物高さの増加に伴い風通しが改善される。高さ20m以上で地区平均の風速比0.27を上回っている。直交道路でも建物高さの増大に伴い風通しが改善されるが、渦の発生状況の影響を受けるため、道路幅との比に配慮して設計することが重

(誤差範囲は±標準偏差)

(誤差範囲は±標準偏差)

図5 道路幅と平均風速比（上：平行道路，下：直交道路）

(誤差範囲は±標準偏差)

(誤差範囲は±標準偏差)

図6 周辺の建物高さと平均風速比（上：平行道路，下：直交道路）

図7 グロス建蔽率と平均風速比（左：平行道路，右：直交道路）

図8 建物高さのばらつきと平均風速比（左から，平行道路のグロス建蔽率 50%未満，同 50%以上，直交道路の 50%未満，同 50%以上）

要である。周辺の建物高さは，道路に沿った 5m の区間の道路両側の建物高さの面積荷重平均により算出されたため，道路の両側にオープンスペースが存在する場合には建物高さ 0m，片側や一部に存在する場合には建物高さ 0～5m と判別される場合が多い。直交道路において片側にオープンスペースが存在するとその部分に風が通りやすくなり，風速比が大きくなっていると解釈される。街区内にオープンスペースを設けることで風通しの改善が図られる可能性を示している。ただし，標準偏差が大きいため，周辺建物との関係によりビル風のように強風となっている場合があることも示唆している。

3. 4 グロス建蔽率が街路空間の風通しに及ぼす影響

平行及び直交道路におけるグロス建蔽率と地区平均風速比の関係を図 7 に示す。グロス建蔽率の増加に伴い風通しは悪化する。その影響は直交道路より平行道路で顕著に表れる。グロス建蔽率が同程度で風速比が異なる街区の状況を確認したところ，広幅員の道路を有し道路幅にばらつきの大きい街区で地区平均風速比が大きいことが考察された。

3. 5 建物高さのばらつきが街路空間の風通しに及ぼす影響

建物高さのばらつき指標として式 (1) を用いる。平行及び直交道路における建物高さのばらつきと地区平均風速比の関係を図 8 に示す。便宜的にグロス建蔽率 50%未満と以上に分類して示している。グロス建蔽率が小さい街区では建物高さのばらつきの増加による風通しの改善は確認されず，平行道路では地区平均風速比が小さくなる。建物高さのばらつきにより生じる渦の影響により，平行道路に沿って流れてきた風が弱められる場合があると考察された。建物が密集した地域で建物高さにばらつきを与えることは街路の風通し改善に有効であるが，オープンスペースが適度に確保された地域ではばらつきを与える必要性は低いといえる。

$$\text{建物高さのばらつき} = \frac{\sum_i S_i |h_{ave} - h_i|}{S \cdot h_{ave}} \quad h_{ave} = \frac{\sum_i S_i \cdot h_i}{\sum_i S_i} \quad (1)$$

ここで， S_i : 各建築面積 (m^2)， S : 敷地面積 (m^2)， h_i : 各建物高さ (m)， h_{ave} : 面積加重平均建物高さ (m)， n : 対象地区の建物戸数 (戸)。

4. 風上側街区の影響を考慮した考察

4. 1 整列配置一様高さモデルによる考察

補足計算として実施した風上及び対象領域の高さが一様な整列配置街区モデル（大阪の中心市街地の街区形態を参考に，街区 80m 四方，道路幅 15m，建物高さ 20～80m 間で 10m 毎に変化）の計算結果より，風上領域と対象領域の高さの差（対象－風上）と対象領域の平均風速比の関係を図 9 に示す。街区モデルの概要は図 4 と同じで，対象領域と風上領域の設定を図 10 に示す。高さの差が大きいほど平

図9 高さの差（対象領域－風上領域）と対象領域の平均風速比

図10 整列配置街区モデルの計算領域と対象領域，風上領域

均風速比が大きい。特に，対象領域が風上領域より高い場合に影響が大きい。対象領域が高い場合には吹きおろしの風により平行道路と交差点で風速比が大きくなり，風上領域が高い場合には対象領域が負圧域になるため逆流する向きに風速比が大きくなっている。

4. 2 整列配置ばらつき高さモデルによる考察

整列配置街区モデル（街区特性は 4.1 と同様）の高さのばらつきとして図 11 に示す平行，直交，千鳥配置を想定した。対象領域及び風上領域の平均建物高さ及びそのばらつきパターンの影響は小さい。対象領域の高さを平行配置でばらつかせても一様配置と同様に平均建物高さが増大しなければ風通しは改善されないが，直交または千鳥配置でばらつかせると平均建物高さが小さくても風通しが改善する。このときの街区内の風ベクトルの様子を確認したところ，建物高さが大きい街区の風上側の直交道路に上空風が引き込まれて周辺に広がり，負圧域になった風下側の直交道路にも周辺から風が引き込まれる様子が確認された。成田¹⁰⁾や萩島ら⁶⁾が指摘しているように，不均一な建物高さの場合に正圧域，負圧域が適度に形

成され風通しの改善に繋がっていると考察された。

4. 3 実街区モデルによる考察

街区における3次元的な建物の密集度を示す指標として、義江ら⁵⁾は高さ方向平均グロス建蔽率を用い、街区全体の平均的な風通しと負の相関があることを明らかにしている。本研究でも同様に高さ方向平均グロス建蔽率を用いる。ただし、高層建物の上層部分が地表付近の風通しに及ぼす影響は小さいため、評価する基準高さに平均建物高さを用いた高さ方向平均グロス建蔽率（平均建物高さ基準）を用いる（式（2）参照）。

$$\lambda_{ac} = \frac{1}{h_{ave}} \int_0^{h_{ac}} \lambda(z) dz \quad (2)$$

ここで、 λ_{ac} : 高さ方向平均グロス建蔽率（平均建物高さ基準）、 h_{ave} : 街区内の平均建物高さ (m)、 $\lambda(z)$: 高さ z における建物群水平断面積が街区全体の面積に占める割合。

対象領域及び風上領域の高さ方向平均グロス建蔽率（平均建物高さ基準）と対象領域の平均風速比の関係を図13に示す。対象領域及び風上領域ともに高さ方向平均グロス建蔽率（平均建物高さ基準）が増加すると対象領域の平均風速比は低下する。なお、この傾向は最高建物高さを基準とした高さ方向平均グロス建蔽率を指標とした場合より顕著に確認された。街路空間の風通しは、対象領域だけでなく風上領域の街区特性の影響も受けており、歩行者レベルよりある程度上層の空間の建物群が高密度になると風通しは悪くなる。

以上より、街路空間の風通しを改善するには、高さ方向平均グロス建蔽率（平均建物高さ基準）を小さくすることが有効であり、建築面積の小さい高層建物が適度に配置されることも対策の一つであるといえる。

5. まとめ

考察対象街路周辺の街路形態だけでなく、幾つかの建築物により形成される街区の特性が、街路空間の風通し環境に及ぼす影響について、風上領域の街区による影響も含めて、大阪の中心市街地を対象としたCFDによる数値計算の結果に基づき検討を行った。

整列配置街区モデルでは、建物高さが揃った条件での検討となるため、建物高さが増大すると上空風が街路空間内まで流入しない結果となった。しかし、建物高さにばらつきを有する実街区モデルの検討結果では、建物高さが増大すると風通しが改善される傾向が確認された。そこで、実街区モデルにおいてグロス建蔽率、建物高さのばらつきを指標として街路空間の風通しとの関係を分析したところ、グロス建蔽率が大きく建物が密集した地域で建物高さにばらつきを与えることは有効であるが、オープンスペースが適度に確保された地域では必要性が低いと考察された。

更に、整列配置街区モデルにより、建物高さのばらつきの状況（平行、直交、千鳥配置）と街路空間の風通しの関係を分析したところ、千鳥配置のように建物の高さがばらつくことで、街路空間内に正圧域、負圧域が適度に形成され風通しの改善に繋がっていると考察された。実街区モデルにより、高さ方向グロス建蔽率（平均建物高さ基準）と街路空間の風通しの関係を分析したところ、対象領域だけでなく風上領域の高さ方向グロス建蔽率（平均建物高さ基準）を小さくすることが、街路空間の風通し改善に有効であると考察された。

図11 平行（左）、直交（中）、千鳥配置（右）高さばらつきモデル

図12 平均建物高さと対象領域の平均風速比
(上：対象領域が変化した場合、下：風上領域が変化した場合)

図13 高さ方向平均グロス建蔽率（平均建物高さ基準）と対象領域の平均風速比(上:対象領域の高さ方向平均グロス建蔽率、下：風上領域の高さ方向平均グロス建蔽率)

謝辞

本研究で使用した建物データは大阪市より提供頂きました。本研究の一部を修士論文として取組まれた増田恭大氏に謝意を表します。

参考文献

- 1) 竹林英樹, 森山正和: 上空気象データを用いた海風による気温低下効果の考察, 日本建築学会環境系論文集, 第 643 号, pp. 1099-1105, 2009. 9
- 2) 竹林英樹, 森山正和, 三宅弘祥: 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, 日本建築学会環境系論文集, 第 635 号, pp. 77-82, 2009. 1
- 3) 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 ―ガイドラインと検証用データベース―, pp. 156-163, 日本建築学会, 2007. 7
- 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) 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
- 6) 萩島理, 谷本潤, 末永啓, 池谷直樹, 前田一行, 成田健一: 直方体粗度群の床面バルクスカラ係数に関する風洞模型実験, 日本建築学会環境系論文集, 第 632 号, pp. 1225-1231, 2008. 10
- 7) 栗田剛, 大場正昭: 一様建物高さ分布で直列配置された街区におけるグロス建蔽率が熱輸送と運動量輸送に及ぼす影響について, 暑熱化都市キャンノビー層の熱輸送特性に関する実験的研究 (その 1), 日本建築学会環境系論文集, 第 652 号, pp. 509-515, 2010. 6
- 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) 山田俊明, 竹林英樹, 森山正和: 街路形態が街路空間の風通し環境に及ぼす影響に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp. 769-772, 2010. 9
- 10) 成田健一: 都市内河川の微気象的影響範囲に及ぼす周辺建物配列の影響に関する風洞実験, 日本建築学会計画系論文集, 第 442 号, pp. 27-35, 1992. 12

(2011年4月25日原稿受理, 2011年9月7日採用決定)